

Μία σαφής παρουσίαση του σημαντικού ρόλου που διαδραματίζει
η Υδατοκαλλιέργεια στην υποστήριξη της ασφάλειας των τροφίμων,
του βιοπορισμού και της οικονομικής ανάπτυξης σε όλο τον κόσμο.

Η νέα αυτή έκδοση του βιβλίου *Υδατοκαλλιέργειες: Καλλιέργεια Υδρόβιων Ζώων και Φυκών* καλύπτει σημαντικές πτυχές της καλλιέργειας ιχθύων, οστρακοειδών και φυκών στα εσωτερικά ύδατα και θαλάσσια οικοσυστήματα. Τα θέματα που αναλύονται περιλαμβάνουν τις αρχές της υδατοκαλλιέργειας, την ποιότητα του νερού, τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της υδατοκαλλιέργειας, την αναπαραγωγή, τους κύκλους της ζωής και την ανάπτυξη, τη γενετική και τη βελτίωση των ζώων, τη διατροφή και τη παραγωγή ζωοτροφών, τις ασθένειες, τον εμβολιασμό, τη τεχνολογία μετά τη εξαλίευση, τα οικονομικά και την εμπορία καθώς και τις μελλοντικές εξελίξεις στην υδατοκαλλιέργεια.

Υπάρχουν ακόμη ξεχωριστά κεφάλαια που καλύπτουν την καλλιέργεια φυκών, κυπρινοειδών, σαλμονιδών, τιλάπιας, γατόψαρου, ιχθύων θαλάσσης και υφάλμυρων υδάτων, χελώνας με μαλακό κέλυφος, γαρίδων θαλάσσης, κινέζικου καβουριού και άλλων δεκάποδων καρκινοειδών, δίθυρων μαλακίων, γαστερόποδων και διακοσμητικών ειδών. Η έκδοση αυτή αναφέρεται επίσης πιο εκτεταμένα στην υδατοκαλλιέργεια στην Κίνα, αντανακλώντας έτσι τη σημασία της στην παγκόσμια παραγωγή.

Η εκτεταμένη και πλήρως ανανεωμένη τρίτη αγγλική έκδοση του βιβλίου *Υδατοκαλλιέργειες*, παρέχει βασικές επιστημονικές και εμπορικά χρήσιμες πληροφορίες και είναι επιμελημένη από 35 αναγνωρισμένους συγγραφείς από όλο τον κόσμο. Αποτελεί απαραίτητο ανάγνωσμα για όλους τους φοιτητές και τους επαγγελματίες που σπουδάζουν ή απασχολούνται στον κλάδο της Υδατοκαλλιέργειας. Οι ιχθυοκαλλιεργητές, οι διαχειριστές εκκολαπτηρίων και όσοι απασχολούνται στη βιομηχανία υποστήριξης και προμηθειών του κλάδου της υδατοκαλλιέργειας, όπως για παράδειγμα στη παραγωγή ζωοτροφών, θα βρουν πληθώρα από πληροφορίες με εμπορική χρησιμότητα σε αυτό το σημαντικό και διεθνώς αναγνωρισμένο πλέον εγχειρίδιο.

- Περιγράφει τις ποικίλες εξελίξεις που έχουν συμβεί στον κλάδο της υδατοκαλλιέργειας τα τελευταία 15 χρόνια.
- Περιλαμβάνει μία σημαντική αναθεώρηση της στατιστικής και των τάσεων της παραγωγής, μία περιγραφή των τεχνικών εξελίξεων, καθώς και μία αναθεωρημένη και εκτεταμένη κάλυψη θεμάτων επιμελημένα από ένα πλούσιο πάνελ διεθνώς αναγνωρισμένων επιστημόνων.
- Για τη συγγραφή του συνεργάστηκαν 35 διεθνώς καταξιωμένοι επιστήμονες - συνεργάτες, μεταξύ των οποίων και ορισμένοι νέοι συνεργάτες.

Το βιβλίο *Υδατοκαλλιέργειες: Καλλιέργεια Υδρόβιων Ζώων και Φυκών* είναι το απαραίτητο σύγγραμμα για τους φοιτητές του αντίστοιχου αντικειμένου, καθώς και μία συνοπτική βιβλιογραφική πηγή για όσους ήδη απασχολούνται στον κλάδο των Υδατοκαλλιεργειών.

Συγγραφείς

John S. Lucas, Λέκτορας στη Σχολή Βιολογικών Επιστημών του Πανεπιστημίου του Queensland, Brisbane Queensland, Αυστραλία.

Paul C. Southgate, Καθηγητής Τροπικής Υδατοκαλλιέργειας, Πανεπιστήμιο του Sunshine Coast, Maroochydore, Queensland, Αυστραλία.

Craig S. Tucker, Κύριος Ερευνητής, Μονάδα Έρευνας στην Υδατοκαλλιέργεια Θερμών Υδάτων, Υπουργείο Γεωργίας Ηνωμένων Πολιτειών, Stoneville, Mississippi, ΗΠΑ.

John S. Lucas
Paul C. Southgate
Craig S. Tucker

Υδατοκαλλιέργειες
ΚΑΛΙΕΡΓΕΙΑ ΥΔΡΟΒΙΩΝ ΖΩΩΝ ΚΑΙ ΦΥΚΩΝ

John S. Lucas, Paul C. Southgate και Craig S. Tucker

Υδατοκαλλιέργειες

ΚΑΛΙΕΡΓΕΙΑ ΥΔΡΟΒΙΩΝ ΖΩΩΝ ΚΑΙ ΦΥΚΩΝ

3^η ΑΓΓΛΙΚΗ ΕΚΔΟΣΗ
1^η ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΕΚΔΟΣΗ

Γενική Επιμέλεια – Συντονισμός Έκδοσης
Γεώργιος Μίνος

Μετάφραση – Επιμέλεια

Ιωάννης Γιάντσης
Κωνσταντίνος Γκάνιας
Αθανάσιος Εξαδάκτυλος
Κωνσταντίνος Κατσούλης
Γεώργιος Κεχαγιάς
Αντώνιος Κοκκινάκης
Μάρκος Κολύγας
Γεώργιος Μίνος
Βασίλειος Μπακόπουλος
Κοσμάς Ναθαναηλίδης
Γεώργιος Χώτος



www.konstadaras.gr



Κωνσταντάρας
ΕΚΔΟΣΕΙΣ

Υδατοκαλλιέργειες

ΚΑΛΙΕΡΓΕΙΑ ΥΔΡΟΒΙΩΝ ΖΩΩΝ ΚΑΙ ΦΥΚΩΝ

Υδατοκαλλιέργειες

ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΥΔΡΟΒΙΩΝ ΖΩΩΝ ΚΑΙ ΦΥΚΩΝ

3^η Αγγλική Έκδοση / 1^η Ελληνική Έκδοση

John S. Lucas

Adjunct Professor in School
of Biological Sciences
University of Queensland
Brisbane, Australia

Paul C. Southgate

Professor in Tropical Aquaculture
Faculty of Science, Health,
Education and Engineering
University of the Sunshine Coast
Maroochydore, Australia

Craig S. Tucker

Research Leader, Warmwater
Aquaculture Research Unit
United States Department of
Agriculture
Stoneville, Mississippi, USA

Γενική Επιμέλεια – Συντονισμός Έκδοσης

Γεώργιος Μίνος

Καθηγητής Βιοσυστηματικής Βιομετρίας,
Τμήμα Νοσηλευτικής, Διεθνές Πανεπιστήμιο της Ελλάδος (ΔΙΠΑΕ)

Μετάφραση – Επιμέλεια

Ιωάννης Γιάντσης

Επίκουρος Καθηγητής
Γενετικής Βελτίωσης Ζωικών Οργανισμών,
Τμήμα Γεωπονίας,
Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας

Κωνσταντίνος Γκάνιας

Αναπληρωτής Καθηγητής
Βιολογικής Ωκεανογραφίας,
Τμήμα Βιολογίας,
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης (ΑΠΘ)

Αθανάσιος Εξαδάκτυλος

Καθηγητής Γενετικής
Υδρόβιων Ζωικών Οργανισμών,
Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας & Υδάτινου
Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Κωνσταντίνος Κατσούλης

Επίκουρος Καθηγητής
Ποιότητας Αλιευμάτων, Νερού και
Περιβαλλοντικές αλληλεπιδράσεις,
Τμήμα Κτηνιατρικής, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Γεώργιος Κεχαγιάς

Αναπληρωτής Καθηγητής
Υδάτινων Οικοσυστημάτων,
Τμήμα Επιστήμης & Τεχνολογίας Τροφίμων,
Πανεπιστήμιο Πατρών

Αντώνιος Κοκκινάκης

Καθηγητής
Ιχθυοπονίας Γλυκών Υδάτων,
Τμήμα Δασολογίας & Φυσικού Περιβάλλοντος,
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης (ΑΠΘ)

Μάρκος Κολύγας

Ακαδημαϊκός Υπότροφος,
Τμήμα Κτηνιατρικής, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Γεώργιος Μίνος

Καθηγητής Βιοσυστηματικής Βιομετρίας,
Τμήμα Νοσηλευτικής, Διεθνές Πανεπιστήμιο
της Ελλάδος (ΔΙΠΑΕ)

Βασίλειος Μπακόπουλος

Αναπληρωτής Καθηγητής
Ασθενειών Υδρόβιων Οργανισμών,
Τμήμα Ωκεανογραφίας & Θαλασσίων Επιστημών,
Πανεπιστήμιο Αιγαίου

Κοσμάς Ναθαναηλίδης

Καθηγητής Οικοφυσιολογίας
Εκτρεφόμενων Εμπορικών Ειδών Ψαριών,
με Έμφαση στις Εργαστηριακές Τεχνικές,
Τμήμα Γεωπονίας, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων

Γεώργιος Χώτος

Καθηγητής Ιχθυοκαλλιέργειών Θαλασσινών &
Υφάλμυρων Νερών - Φυκοκαλλιέργειών,
Τμήμα Ζωικής Παραγωγής,
Αλιείας και Υδατοκαλλιέργειών,
Πανεπιστήμιο Πατρών



Κωνσταντάρας

ΕΚΔΟΣΕΙΣ

Συμμετοχή στην Μετάφραση

Δρ. Σοφία Αναστασίου

Επίκουρη Καθηγήτρια,

Τμήμα Αγωγής και Φροντίδας στην Πρώιμη Παιδική Ηλικία,

Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων

Δρ. Φοίβος Αλέξανδρος Μουχλιανίτης

Βιολόγος – Ιχθυολόγος,

Ασημένια Κορομηλή (MSc)

Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας & Υδάτινου Περιβάλλοντος,

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

This third edition first published 2019, © 2019 John Wiley & Sons Ltd

Edition History / John Wiley & Sons Ltd (2e, 2012); John Wiley & Sons Ltd (1e, 2003).

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, except as permitted by law. Advice on how to obtain permission to reuse material from this title is available at <http://www.wiley.com/go/permissions>.

The right of John S. Lucas, Paul C. Southgate and Craig S. Tucker to be identified as the authors of the editorial material in this work has been asserted in accordance with law.

Library of Congress Cataloging-in-Publication data has been applied for ISBN:

9781119230861, Cover Design: Wiley, Cover Image: Courtesy of the FAO Aquaculture Photo Library/F. Cardia, Set in 10/12pt Warnock by SPi Global, Pondicherry, India

COPYRIGHT © 2021 ΚΩΝΣΤΑΝΤΑΡΑΣ ΕΚΔΟΣΕΙΣ

ΥΔΑΤΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ
ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΥΔΡΟΒΙΩΝ ΖΩΩΝ ΚΑΙ ΦΥΚΩΝ
ISBN: 978-960-608-056-2

Μαυρομιχάλη 2-4, Αθήνα, 10679, Τηλ.: 210.3635343, Fax.: 210.3628173
e-mail: info@konstadaras.gr, website: www.konstadaras.gr

Δημιουργικό: **A. ΜΕΪΜΑΡΟΓΛΟΥ** www.citycreative.gr

Η πνευματική ιδιοκτησία αποκτάται χωρίς καμία διατύπωση και χωρίς την ανάγκη ρήτρας απαγορευτικής των προσβολών της. Κατά το Ν.2387/20 (όπως έχει τροποποιηθεί με το Ν.2121/93 και ισχύει σήμερα) και κατά τη Διεθνή Σύμβαση της Βέρνης (που έχει κυρωθεί με το Ν.100/1975), απαγορεύεται η αναδημοσίευση, η αποθήκευση σε κάποιο σύστημα διάσωσης και γενικά η αναπαραγωγή του παρόντος έργου με οποιονδήποτε τρόπο ή μορφή, τμηματικά ή περιληπτικά, στο πρωτότυπο ή σε μετάφραση ή άλλη διασκευή, χωρίς τη γραπτή άδεια του εκδότη.

Περιεχόμενα

Λίστα Συνεργατών *xi*

Πρόλογος στην Τρίτη Έκδοση *xiii*

Πρόλογος στη Δεύτερη Έκδοση *xv*

Πρόλογος στην Πρώτη Έκδοση *xvii*

Πρόλογος Ελληνικής Έκδοσης *xix*

Ευχαριστίες *xxi*

1. Εισαγωγή 1

John S. Lucas

- 1.1 Τι είναι και τι δεν είναι Υδατοκαλλιέργεια, 1
- 1.2 Η προέλευση της Υδατοκαλλιέργειας και της Γεωργίας, 3
- 1.3 Υδατοκαλλιέργεια και Παραγωγή από Συλλεκτική Αλιεία, 6
- 1.4 Η Αποτελεσματικότητα της Υδατοκαλλιέργειας στην Παραγωγή Τροφίμων, 10
- 1.5 Έχει Υπάρξει η 'Γαλάζια' Επανάσταση; 12
- 1.6 Οι Μεγάλοι Παραγωγοί, 14
- 1.7 Κίνα, 16
- 1.8 Ζητήματα για τις Αναπτυγμένες Χώρες, 18
- 1.9 Μια Αλληγορία, 20
- 1.10 Η Ποικιλομορφία της Υδατοκαλλιέργειας, 21
- 1.11 Ενίσχυση και Αποκατάσταση Αλιευτικών Αποθεμάτων, 22
- 1.12 Περίληψη, 23
Βιβλιογραφία 24

2. Αρχές της Υδατοκαλλιέργειας 25

Paul C. Southgate και John S. Lucas

- 2.1 Εισαγωγή, 25
- 2.2 Ένταση της Υδατοκαλλιέργειας, 25
- 2.3 Πολυκαλλιέργεια, 29
- 2.4 Ολοκληρωμένα Συστήματα Αγρο-Υδατοκαλλιέργειας, 33
- 2.5 Στατικά, Ανοιχτά, Ημίκλειστα και Ανακυκλούμενα (Κλειστά) Συστήματα, 34
- 2.6 Επιλογή Νέου Είδους για Καλλιέργεια, 38
- 2.7 Ανάπτυξη Νέας Καλλιέργειας ή Νέων Καλλιεργούμενων Ειδών, 43
- 2.8 Μελέτες Περιπτώσεων, 46
- 2.9 Περίληψη, 54
Βιβλιογραφία, 55

3. Σχεδιασμός Συστημάτων Υδατοκαλλιέργειας 57

Igor Pirozzi, Paul C. Southgate και John S. Lucas

- 3.1 Εισαγωγή, 57
- 3.2 Επιλογή Τοποθεσίας και Ανάπτυξη, 57
- 3.3 Συστήματα Υδατοκαλλιέργειας, 60
- 3.4 Υδραυλικές Εγκαταστάσεις και Αντλίες, 78
- 3.5 Συστήματα Εκκολαπτηρίου, 85
- 3.6 Περίληψη, 87
Βιβλιογραφία, 88

4. Ποιότητα νερού 89

Claude E. Boyd και Craig S. Tucker

- 4.1. Εισαγωγή, 89
- 4.2. Παράμετροι της Ποιότητας του Νερού, 89
- 4.3. Επίδραση της Ποιότητας του Νερού στα Υδρόβια Ζώα, 105
- 4.4. Διαχείριση της Ποιότητας του Νερού σε Λιμνοδεξαμενές, 113
- 4.5. Απόβλητα, 130
- 4.6. Περίληψη, 132
Βιβλιογραφία, 133

5. Χρήση Πόρων και Περιβάλλον 135

Claude E. Boyd, Aaron A. Mc Nevin και Craig S. Tucker

- 5.1 Εισαγωγή, 135
- 5.2 Επισκόπηση της Χρήσης των Πόρων και Περιβαλλοντικά Ζητήματα, 136
- 5.3 Χρήση Γης, 140
- 5.4 Χρήση Νερού, 143
- 5.5 Χρήση Ενέργειας, 146
- 5.6 Χρήση Ιχθυοτροφών, 147

- 5.7 Χημικές Ουσίες, 151
- 5.8 Ρύπανση των Νερών, 154
- 5.9 Βέλτιστες Πρακτικές Διαχείρισης, 159
- 5.10 Υπεράσπιση του Περιβάλλοντος στην Υδατοκαλλιέργεια, 161
- 5.11 Περίληψη, 162
Βιβλιογραφία, 163

6. Αναπαραγωγή, Κύκλοι Ζωής και Αύξηση 165

John S. Lucas και Paul C. Southgate

- 6.1 Εισαγωγή, 165
- 6.2 Φυσιολογία της Αναπαραγωγής, 165
- 6.3 Κύκλοι ζωής, 170
- 6.4 Αύξηση, 177
- 6.5 Περίληψη, 184
Βιβλιογραφία, 185

7. Γενετική 187

Rex Dunham

- 7.1 Εισαγωγή, 187
- 7.2 Βασική Γενετική, 188
- 7.3 Επιγενετική, 191
- 7.4 Προσαρμογή και Αξιολόγηση Σειρών, 191
- 7.5 Επιλογή, 193
- 7.6 Ενδογαμία και Διατήρηση Γενετικής Ποικιλότητας, 201
- 7.7 Διασταύρωση και Υβριδισμός, 201
- 7.8 Χρωμοσωμικές Τεχνικές, 207
- 7.9 Ξενογένεση, 215
- 7.10 Γενετική Μηχανική, 216
- 7.11 Γονιδιακή Τροποποίηση, 224
- 7.12 Συνδυάζοντας Προγράμματα Γενετικής Βελτίωσης, 225
- 7.13 Αλληλεπιδράσεις Γονότυπου – Περιβάλλοντος, 226
- 7.14 Μελλοντικές Εξελίξεις, 227
- 7.15 Περίληψη, 227
Βιβλιογραφία, 228

8. Διατροφή και Τροφές 229

Lou D'Abramo

- 8.1 Εισαγωγή, 229
- 8.2 Κατανάλωση και Κατανομή της Ενέργειας (Βιοενεργητική), 230
- 8.3 Η Σχέση Μεταξύ Αύξησης και Κατανάλωσης Τροφής, 232
- 8.4 Απαιτήσεις και Μεταβολικές Λειτουργίες

Θρεπτικών Ουσιών, 234

- 8.5 Πέψη και Αφομοίωση Τροφής, 248
- 8.6 Σύσταση, Παραγωγή και Πεπτικότητα Τροφών, 250
- 8.7 Στρατηγικές Διαχείρισης της Διατροφής, 260
- 8.8 Διαχείριση Σίτισης, 263
- 8.9 Αναδυόμενα Ερευνητικά Πεδία, 264
- 8.10 Περίληψη, 265
Βιβλιογραφία, 266

9. Εκκολαπτήρια και Τροφές Προνυμφών 269

Paul C. Southgate

- 9.1 Εισαγωγή, 269
- 9.2 Τροφές για Συστήματα Καλλιέργειας σε Εκκολαπτήρια, 269
- 9.3 Στρατηγική Σίτισης για Καλλιέργειες Προνυμφών, 288
- 9.4 Σύνθετες Τροφές Εκκολαπτηρίων, 290
- 9.5 Ανάπτυξη Μικροδιαιτών για Προνύμφες Ψαριών, 291
- 9.6 Συγκομιδή Φυσικού Πλαγκτού, 293
- 9.7 Λίπανση Λιμνοδεξαμενών ως Πηγή Τροφής για Υδατοκαλλιέργειες, 294
- 9.8 Περίληψη, 296
Βιβλιογραφία, 297

10. Θεμελιώδεις Αρχές Ασθενειών 299

Leigh Owens

- 10.1 Εισαγωγή στις Ασθένειες, 299
- 10.2 Γενικές Αρχές Μολυσματικών Ασθενειών στην Υδατοκαλλιέργεια, 300
- 10.3 Η Φιλοσοφία Ελέγχου των Ασθενειών, 302
- 10.4 Τεχνικές Γενικευμένης Διαχείρισης Ασθενειών, 304
- 10.5 Κύριες Ασθένειες, 307
- 10.6 Περίληψη, 320
Βιβλιογραφία, 320

11. Παθογόνα και Παράσιτα 321

Kate S. Hutson και Kenneth D. Cain

- 11.1 Εισαγωγή, 321
- 11.2 Ιοί, 322
- 11.3 Βακτήρια, 330
- 11.4 Μύκητες, 340
- 11.5 Πρωτόζωα, 342
- 11.6 Μυξόζωα, 348

- 11.7 Πλατυέλμινθες, 350
- 11.8 Νηματοώδεις, 356
- 11.9 Ακανθοκέφαλα, 358
- 11.10 Βδέλλες, 358
- 11.11 Καρκινοειδή, 360
- 11.12 Ιχθυογενείς Ζωονοσογόνοι Παράγοντες και Υδατοκαλλιέργεια 364
- 11.13 Υδροπονία, 367
- 11.14 Περίληψη, 367
- Βιβλιογραφία, 368

12. Πρόληψη Ασθενειών με Εμβολιασμό 369

Andrew Barnes

- 12.1 Εισαγωγή, 369
- 12.2 Οδηγός για Αρχάριους στην Ανοσολογία Ψαριών, 371
- 12.3 Εμβολιασμός των Ψαριών, 385
- 12.4 Τύποι Εμβολίων, 386
- 12.5 Οδοί Χορήγησης, 391
- 12.6 Ανοσοενισχυτικά, 394
- 12.7 Εμβολιασμός στην Πράξη, 395
- 12.8 Διαδικασία Έρευνας και Ανάπτυξης Εμπορικών Εμβολίων Ψαριών, 396
- 12.9 Μελλοντικές Τάσεις: Ο Εμβολιασμός στην Εποχή της Γονιδιωματικής, 398
- 12.10 Συμπεράσματα, 399
- 12.11 Περίληψη, 400
- Βιβλιογραφία, 401

13. Τεχνολογία και Επεξεργασία μετά τη Συγκομιδή 403

Allan Bremner

- 13.1 Εισαγωγή, 403
- 13.2 Βασικά Χαρακτηριστικά, 404
- 13.3 Ασφάλεια και Υγεία, 404
- 13.4 Πτυχές της Διατροφής, 406
- 13.5 Ισορροπία μεταξύ Ασφάλειας και Διατροφής, 407
- 13.6 Προϊόντα Υδατοκαλλιέργειας και Αλιείας, 407
- 13.7 Συγκομιδή, 408
- 13.8 Μεταφορά Ζωντανών Οργανισμών, 408
- 13.9 Μυϊκή Δομή: Ακαμψία και Υφή, 411
- 13.10 Αναισθητοποίηση και Επεξεργασία Μετά τη Θανάτωση, 413
- 13.11 Επιδράσεις της Διατροφής στο Προϊόν, 419
- 13.12 Προϊόντα για Εξειδικευμένες Αγορές, 420
- 13.13 Γεύσεις και Αλλοιώσεις, 420

- 13.14 Υφή, 422
- 13.15 Έννοιες: Ποιότητα, Φρεσκότητα, Διάρκεια Ζωής Προϊόντος και Δείκτης Ποιότητας, 422
- 13.16 Μικροβιολογία, Ειδικοί Αλλοιογόνοι Μικροοργανισμοί (SSO) και Λοιπές Διαδικασίες Αλλοίωσης, 425
- 13.17 Κατάψυξη και Αποθήκευση, 426
- 13.18 Συσκευασία, 430
- 13.19 Ποιοτικός Έλεγχος, Διασφάλιση Ποιότητας, HACCP και Αξιολόγηση Κινδύνου, 433
- 13.20 Ιχνηλασιμότητα, Ταυτοποίηση και Προέλευση, 436
- 13.21 Κονσερβοποίηση, 437
- 13.22 Κάπνισμα, 438
- 13.23 Περίληψη, 439
- Βιβλιογραφία, 439

14. Οικονομικά 441

Clem Tisdell

- 14.1 Εισαγωγή, 441
- 14.2 Κερδοφορία από Επιχειρηματική Σκοπιά (Μοντέλα Εκτροφής), 442
- 14.3 Αγορές και Μάρκετινγκ, 446
- 14.4 Οικονομίες Κλίμακας και Ίδιοι Συντελεστές, 451
- 14.5 Επιτρέποντας και Αντιμετωπίζοντας τον Επιχειρηματικό Κίνδυνο και την Αβεβαιότητα, 455
- 14.6 Οικονομική Αξιολόγηση από Κοινωνική Άποψη, 458
- 14.7 Περίληψη, 461
- Βιβλιογραφία, 462

15. Μακροφύκη και Μικροφύκη 463

Μακροφύκη: Nicholas A. Paul και Μικροφύκη: Michael Borowitzka

- 15.1 Γενική Εισαγωγή, 463
- 15.2 Θαλασσομακροφύκη, 463
- 15.3 Μικροφύκη, 484
- 15.4 Περίληψη, 496
- Βιβλιογραφία, 497

16. Κυπρίνοι 499

Sena De Silva και Qidong Wang

- 16.1 Εισαγωγή, 499
- 16.2 Βιολογία των Σημαντικών Κυπρίνων στην Υδατοκαλλιέργεια, 504
- 16.3 Τεχνητή Αναπαραγωγή, 517

- 16.4 Διατροφή, 521
- 16.5 Τεχνικές Εκτροφής, 522
- 16.6 Ασθένειες, 531
- 16.7 Γενετική Βελτίωση, 531
- 16.8 Ενίσχυση της Αλείας μέσω της Εκτροφής (CBF), 532
- 16.9 Συμπεράσματα, 533
- 16.10 Περίληψη, 534
- Βιβλιογραφία, 535

17. Σολομοειδή 537

John Purser

- 17.1 Εισαγωγή, 537
- 17.2 Βιολογία, 539
- 17.3 Υδατοκαλλιέργεια Γλυκών Νερών, 543
- 17.4 Θαλάσσια Ιχθυοκαλλιέργεια, 559
- 17.5 Τροφές, 567
- 17.6 Διαλογή και Πυκνότητα Εκτροφής, 571
- 17.7 Ωρίμανση, Αναστροφή Φύλου και Τριπλοειδία, 572
- 17.8 Υγεία των Ψαριών, 575
- 17.9 Εξαίευση και Προϊόντα, 576
- 17.10 Περιβαλλοντικά Θέματα, 577
- 17.11 Περίληψη, 578
- Βιβλιογραφία, 579

18. Τιλάπια 581

Victor Suresh και Ram C. Bhujel

- 18.1 Πρόλογος, 581
- 18.2 Οικογένεια, Είδη και Γενετική Ποικιλομορφία, 584
- 18.3 Οικολογία και Κατανομή, 587
- 18.4 Προσδιορισμός Φύλου και Αναπαραγωγή, 588
- 18.5 Έλεγχος της Αναπαραγωγής, 591
- 18.6 Παραγωγή Ιχθυοδίων, 593
- 18.7 Διατροφή, Τροφές και Σίτιση, 595
- 18.8 Συστήματα Πάχυνσης, 601
- 18.9 Διαχείριση Ασθενειών, 608
- 18.10 Συγκομιδή, Επεξεργασία και Εμπορία, 611
- 18.11 Περίληψη, 613
- Βιβλιογραφία, 614

19. Γατόψαρα 615

*Craig S. Tucker, Aaron A. McNevin,
Les Torrans και Brian Bosworth*

- 19.1 Εισαγωγή, 615

- 19.2 Γατόψαρα της Οικογένειας Pangasiidae, 616
- 19.3 Γατόψαρα της Οικογένειας Ictaluridae, 624
- 19.4 Γατόψαρα της Οικογένειας Clariidae, 639
- 19.5 Περίληψη, 644
- Βιβλιογραφία, 645

20. Υδατοκαλλιέργεια Θαλάσσιων Ψαριών 647

*Wade O. Watanabe, Md Shah Alam, Patrick
M. Carroll, Harry V. Daniels και Jeffrey M.
Hinshaw*

- 20.1 Εισαγωγή, 647
- 20.2 Σημασία της Υδατοκαλλιέργειας Θαλάσσιων Ψαριών, 647
- 20.3 Εκκολαπτήρια, 650
- 20.4 Συστήματα Εκτροφής - Πάχυνσης, 658
- 20.5 Θρεπτική Αξία και Τροφές, 663
- 20.6 Θαλάσσια Ψάρια στην Υδατοκαλλιέργεια, 665
- 20.7 Γαλατόψαρο, 665
- 20.8 Λαβράκι, 673
- 20.9 Τσιπούρα, 677
- 20.10 Μαγιάτικο 682
- 20.11 Ιαπωνικό φαγγρί, 686
- 20.12 Κόμπια, 690
- 20.13 Πλατύψαρο, 695
- 20.14 Οξύρρυγχος, 710
- 20.15 Περίληψη, 717
- Βιβλιογραφία, 718

21. Χελώνες Μαλακού Κελύφους 721

Qingjun Shao και John S. Lucas

- 21.1 Εισαγωγή, 721
- 21.2 Βιολογία, 721
- 21.3 Ανάπτυξη της Υδατοκαλλιέργειας, 724
- 21.4 Εγκαταστάσεις Καλλιέργειας, 726
- 21.5 Στάδια Καλλιέργειας, 730
- 21.6 Ποιότητα Νερού, 733
- 21.7 Θρέψη, Διατροφή και Σύσταση Τροφής, 734
- 21.8 Μεταδοτικές Ασθένειες, 737
- 21.9 Συγκομιδή και Επεξεργασία, 739
- 21.10 Το Μέλλον της Καλλιέργειας Χελωνών Μαλακού Κελύφους, 742
- 21.11 Περίληψη, 743
- Βιβλιογραφία, 744

22. Γαρίδες 745

Darryl Jory

- 22.1 Εισαγωγή, 745
- 22.2 Καλλιεργούμενα Είδη, 749
- 22.3 Συστήματα Πάχυνσης, 751
- 22.4 Προετοιμασία Λιμνοδεξαμενών, 755
- 22.5 Αναπαραγωγή και Γεννητική Ωρίμανση, 759
- 22.6 Σχεδιασμός Εκκολαπτηρίου και Καλλιέργεια Προνυμφών, 762
- 22.7 Ποιότητα των Μεταπρονυμφών και Αποθεματοποίηση, 764
- 22.8 Διαχείριση Παραγωγής και Συγκομιδή, 767
- 22.9 Διατροφή, Τυποποιημένες Τροφές και Διαχείριση της Σίτισης, 775
- 22.10 Αναδυόμενες Τεχνολογίες Παραγωγής και άλλα Θέματα, 781
- 22.11 Υπεύθυνη Καλλιέργεια Γαρίδας και η Πρόκληση της Βιωσιμότητας, 785
- 22.12 Περίληψη, 786
Βιβλιογραφία, 787

23. Δεκάποδα Καρκινοειδή Εσωτερικών Νερών 789

Chaoshu Zeng, John S. Lucas and Paul C. Southgate

- 23.1 Εισαγωγή, 789
- 23.2 Εκτρεφόμενα Είδη, 792
- 23.3 Κινέζικος Κάβουρας, 793
- 23.4 Καραβίδες Εσωτερικών Νερών, 802
- 23.5 Γαρίδες Εσωτερικών Νερών, 812
- 23.6 Περίληψη, 820
Βιβλιογραφία, 821

24. Δίθυρα Μαλάκια 823

John S. Lucas

- 24.1 Εισαγωγή, 823
- 24.2 Στοιχεία Βιολογίας, 824
- 24.3 Εκτρεφόμενα Δίθυρα, 828
- 24.4 Φάσεις Υδατοκαλλιέργειας Διθύρων, 832
- 24.5 Προβλήματα στις Καλλιέργειες, 840
- 24.6 Εισαγωγές και άλλα Περιβαλλοντικά Ζητήματα, 845
- 24.7 Βιομηχανικές Αξιολογήσεις, 846
- 24.8 Το Μέλλον της Υδατοκαλλιέργειας Διθύρων, 853
- 24.9 Περίληψη, 854
Βιβλιογραφία, 855

25. Αλιώτιδα 857

Petek Cook

- 25.1 Εισαγωγή, 857
- 25.2 Παραγωγή από την Αλιεία και τις Καλλιέργειες, 858
- 25.3 Βιολογία, 862
- 25.4 Τεχνικές Καλλιέργειας, 863
- 25.5 Μεταπρονύμφες και Νεαρά Ατομα, 867
- 25.6 Συστήματα Πάχυνσης, 868
- 25.7 Ασθένειες και Παράσιτα, 871
- 25.8 Η Παγκόσμια Αγορά Αλιώτιδας, 873
- 25.9 Περίληψη, 873
Βιβλιογραφία, 874

26. Υδατοκαλλιέργεια στη Βιομηχανία των Ενυδρείων 875

Thane A. Militz

- 26.1 Εισαγωγή, 875
- 26.2 Η Βιομηχανία Ενυδρείων, 876
- 26.3 Η Ανάγκη για Υδατοκαλλιέργεια στη Βιομηχανία Ενυδρείων, 877
- 26.4 Υδατοκαλλιέργεια Τροπικών Οργανισμών Εσωτερικών Νερών, 884
- 26.5 Υδατοκαλλιέργεια Τροπικών Θαλάσσιων Οργανισμών, 897
- 26.6 Βιώσιμη Ανάπτυξη, 916
- 26.7 Το Μέλλον της Υδατοκαλλιέργειας στη Βιομηχανία των Ενυδρείων, 918
- 26.8 Περίληψη, 919
Βιβλιογραφία, 919

27. Το Μέλλον της Υδατοκαλλιέργειας 921

John Hargreaves, Randall Brummett και Craig S. Tucker

- 27.1 Εισαγωγή, 921
- 27.2 Οδηγοί Μελλοντικής Ζήτησης και Προμήθειας, 924
- 27.3 Ανταπόκριση στις Προκλήσεις του Μέλλοντος, 934
- 27.4 Περίληψη, 949
Βιβλιογραφία, 950

Ευρετήριο 951

Λίστα Συνεργατών

Md Shah Alam

Center for Marine Science
University of North Carolina Wilmington
USA

Andrew Barnes

School of Biological Science
University of Queensland
Australia

Ram C. Bhujel

School of Environment, Resources and
Development
Asian Institute of Technology
Thailand

Michael Borowitzka

Algae R & D Centre (Tasmanian Branch)
Murdoch University
Australia

Brian Bosworth

Warmwater Aquaculture Research Unit
United States Department of Agriculture
USA

Claude E. Boyd

School of Fisheries, Aquaculture and Aquatic
Sciences
Auburn University
USA

Allan Bremner

University of the Sunshine Coast
Australia
Randall Brummett
Environment and Natural Resources Department
World Bank
USA

Kenneth D. Cain

Department of Fish and Wildlife Sciences
University of Idaho
USA

Patrick M. Carroll

Center for Marine Science
University of North Carolina Wilmington
USA

Peter Cook

Center of Excellence in Natural
Resource Management
University of Western Australia
Australia

Lou D'Abramo

Department of Biology
University of Alabama at Birmingham
USA

Harry V. Daniels

Department of Applied Ecology
North Carolina State University
USA

Sena De Silva

School of Life and Environmental Sciences
Deakin University
Australia

Rex Dunham

School of Fisheries, Aquaculture and
Aquatic Sciences
Auburn University
USA

John Hargreaves

Aquaculture Assessments, LLC
San Antonio, USA

Jeffrey M. Hinshaw

Department of Applied Ecology
North Carolina State University
USA

Kate S. Hutson

Centre for Sustainable Tropical Fisheries and
Aquaculture
James Cook University
Australia

Darryl Jory

Shrimp Production and Business Development
Florida, USA

John S. Lucas

School of Biological Sciences
University of Queensland
Australia

Aaron A. McNevin

Aquaculture
World Wildlife Fund
USA

Thane A. Miltz

Faculty of Science, Health, Education and
Engineering
University of the Sunshine Coast
Australia

Leigh Owens

College of Public Health, Medical & Vet Sciences
James Cook University
Australia

Nicholas A. Paul

Faculty of Science, Health, Education and
Engineering
University of the Sunshine Coast
Australia

Igor Pirozzi

Port Stephens Fisheries Institute
New South Wales Department of Primary Industries
Australia

John Purser

Fisheries and Aquaculture Centre
University of Tasmania
Australia

Qingjun Shao

College of Animal Sciences
Zhejiang University
China

Victor Suresh

United Research (Singapore) Pte. Ltd.
Singapore

Paul C. Southgate

Faculty of Science, Health, Education
and Engineering
University of the Sunshine Coast
Australia

Clem Tisdell

School of Economics
University of Queensland
Australia

Les Torrans

Warmwater Aquaculture Research Unit
United States Department of Agriculture
USA

Craig S. Tucker

Warmwater Aquaculture Research Unit
United States Department of Agriculture
USA

Qidong Wang

Institute of Hydrobiology
Chinese Academy of Sciences
China

Wade O. Watanabe

Center for Marine Science
University of North Carolina at Wilmington
USA

Chaoshu Zeng

Centre for Sustainable Tropical Fisheries and
Aquaculture
James Cook

Πρόλογος στην Τρίτη Έκδοση

Όταν εκδόθηκε η πρώτη έκδοση αυτού του βιβλίου πριν από σχεδόν 15 χρόνια, η ετήσια παραγωγή από την υδατοκαλλιέργεια ήταν περίπου 43 εκατομμύρια τόνοι. Ωστόσο, τις τελευταίες δύο δεκαετίες παρατηρήθηκε μια άνευ προηγουμένου ανάπτυξη που έχει υπερβεί σε μεγάλο βαθμό τις προβλέψεις, και η ετήσια παραγωγή της υδατοκαλλιέργειας το 2016 ήταν περίπου 106 εκατομμύρια τόνοι αξίας περίπου 243 δισεκατομμύρια δολάρια. Παράγοντες που υποστηρίζουν αυτή τη γρήγορη ανάπτυξη του τομέα της υδατοκαλλιέργειας περιλαμβάνουν την αυξημένη παραγωγή από τις υπάρχουσες βιομηχανίες μέσω βελτίωσης των καλλιεργητικών μεθόδων και τεχνολογικές εξελίξεις, επέκταση της υδατοκαλλιέργειας σε νέους τομείς, και αύξηση του αριθμού των ειδών που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή από την υδατοκαλλιέργεια. Οι εξελίξεις αυτές περιγράφονται στην αναθεωρημένη και εκτεταμένη τρίτη έκδοση η οποία περιλαμβάνει μια σημαντική αναθεώρηση των στατιστικών και τά-

σεων της παραγωγής, περιγραφή και συζήτηση πάνω στις τεχνικές εξελίξεις, και αναθεωρημένη και εκτεταμένη κάλυψη από ευρύτερο διεθνές εύρος συγγραφέων. Αυτή η έκδοση περιλαμβάνει 35 διεθνώς αναγνωρισμένους συνεργάτες, συμπεριλαμβανομένων ορισμένων νέων συνεργατών, καθώς επίσης και επέκταση της συντακτικής ομάδας του βιβλίου. Πιστεύουμε ότι αυτή η νέα έκδοση δεν θα είναι μόνο χρήσιμη αλλά θα αποτελέσει και πηγή έμπνευσης για όσους μοιράζονται τον δικό μας ενθουσιασμό για την υδατοκαλλιέργεια και τον σημαντικό της ρόλο στην υποστήριξη της *επισιτιστικής ασφάλειας*, και την βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης και της οικονομικής ανάπτυξη σε όλο τον κόσμο.

Απρίλιος 2018

John S. Lucas
Paul C. Southgate
Craig S. Tucker

Πρόλογος στη Δεύτερη Έκδοση

Η ταχεία ανάπτυξη της υδατοκαλλιέργειας συνεχίζεται με ταχύτερο ρυθμό από τον προβλεπόμενο πριν από μια δεκαετία. Η συνολική παγκόσμια παραγωγή μέχρι το 2007 είχε αυξηθεί κατά δύο τρίτα σε σχέση με την παραγωγή που είχε αναφερθεί στην πρώτη έκδοση αυτού του βιβλίου. Αυτό κατέστη δυνατό λόγω των νέων τεχνικών εξελίξεων, της ταχείας επέκτασης ορισμένων νέων και υφιστάμενων βιομηχανιών, και στην διαφοροποίηση των ειδών που χρησιμοποιούνται από την υδατοκαλλιέργεια. Αυτές οι συναρπαστικές εξελίξεις αποτελούν τη βάση για αυτή την δεύτερη έκδοση, η οποία περιλαμβάνει μια σημαντική αναθεώρηση των στατιστικών της παραγωγής και το περιεχόμενο των κεφαλαίων, όπου περιλαμβάνονται επτά νέα κεφάλαια και μια πιο ευρεία διεθνή συγγραφική. Υπάρχουν συνεργάτες από 12 χώρες, και λαμβάνεται υπόψη η υδατοκαλλιέργεια σε πολλές ακόμη χώρες. Με την αυξανόμενη σπουδαιότητας της Κίνας ως σημαντική πηγή των προϊόντων υδατοκαλλιέργειας, περιλαμβάνεται μεγαλύτερης έκτασης μελέτη της υδατοκαλλιέργειας

στη χώρα αυτή. Υπάρχουν τρεις νέοι Κινέζοι συγγραφείς που συνεισφέρουν σε αυτήν την έκδοση. Δυστυχώς, έχει αποβιώσει ο καθηγητής C.K. Tseng, ο οποίος συνέβαλε στο κεφάλαιο 'Μακροφύκη' στην πρώτη έκδοση. Θεωρείται ότι είναι ο 'πατέρας' της Κινέζικης θαλασσοκαλλιέργειας για τα μεγάλα επιτεύγματά του στη επιστήμη της θάλασσας και την εξαιρετική ηγετική του ικανότητα στη χώρα για πολλά χρόνια.

Εκφράζουμε την ειλικρινή ευγνωμοσύνη μας στους συγγραφείς για τη αφοσίωση τους να συνεισφέρουν στα κεφάλαια και, σε ορισμένες περιπτώσεις, για την κατανόησή τους και την υπομονή τους. Εκφράζουμε επίσης την ευγνωμοσύνη μας για τις συζύγους μας, Helen και Dawn, για τη συμβολή και την υποστήριξή τους. Ελπίζουμε ότι θα βρείτε αυτή τη νέα έκδοση τόσο χρήσιμη όσο και ενδιαφέρουσα.

Ιούνιος 2011

John S. Lucas
Paul C. Southgate

Πρόλογος στην Πρώτη Έκδοση

Αυτό το βιβλίο επιδιώκει να μεταδώσει στους αναγνώστες του τον ενθουσιασμό των συντελεστών για την υδατοκαλλιέργεια και τις συσσωρευμένες γνώσεις τους. Οι συνεργάτες χαίρουν διεθνούς αναγνώρισης στους τομείς τους. Παρόλο που δεν είναι δυνατόν να καλυφθούν πλήρως τα εύρη της θεωρίας, των πρακτικών και των καλλιεργούμενων οργανισμών της υδατοκαλλιέργειας σε ένα βιβλίο, ευελπιστούμε ότι αυτό το κείμενο θα δώσει στους αναγνώστες μια ευρεία κατανόηση αυτών των θεμάτων.

Το πρώτο μέρος του κειμένου εισάγει την υδατοκαλλιέργεια με μια σειρά θεμάτων 'θεωρίας και πρακτικής', που κυμαίνονται από παραδοσιακά θέματα όπως λιμνοδεξαμενές και αντλίες έως σύγχρονα περιβαλλοντικά θέματα, τη φυσιολογία της διατροφής και τη γενετική μηχανική. Το δεύτερο μέρος του κειμένου αποτελείται από κεφάλαια που αφορούν συγκεκριμένους οργανισμούς, ή ομάδες οργανισμών, οι οποίες απεικονίζουν την ποικιλία των μεθόδων καλλιέργειας που χρησιμοποιούνται στην υδατοκαλλιέργεια. Παρέχει επίσης παραδείγματα βιολογικών και άλλων παραγόντων που καθιστούν αυτούς τους οργανισμούς κατάλληλους για καλλιέργεια. Τα υδρόβια ζώα και φυτά που περιγράφονται στο κείμενο του βιβλίου είναι μόνο ένα μικρό ποσοστό των εκατοντάδων ειδών που καλλιεργούνται

σε εμπορική κλίμακα. Ωστόσο, αποτελούν τα σημαντικότερα εμπορικά είδη της παγκόσμιας παραγωγής από την υδατοκαλλιέργεια. Περιλαμβάνουν τις τέσσερις μεγάλες ομάδες καλλιεργούμενων οργανισμών, δηλαδή ψάρια, καρκινοειδή, δίθυρα μαλάκια και θαλάσσια μακροφύκη, τις τρεις ευρείες κατηγορίες υδάτινων περιβαλλόντων, δηλαδή το γλυκό, υφάλμυρο και θαλασσινό νερό και τις ευρείες γεωγραφικές ζώνες, δηλαδή εύκρατες, υποτροπικές και τροπικές περιοχές.

Εκφράζουμε την ειλικρινή μας ευγνωμοσύνη στους συγγραφείς για τη αφοσίωση τους να συνεισφέρουν στη συγγραφή των κεφαλαίων και, σε μερικές περιπτώσεις, για την κατανόησή τους. Ο κ. Michael New, πρόεδρος της Ευρωπαϊκής Ένωσης Υδατοκαλλιεργειών (European Aquaculture Society), πρώην πρόεδρος της Παγκόσμιας Ένωσης Υδατοκαλλιεργειών (World Aquaculture Society), είχε την ευγένεια να βοηθήσει στην αναθεώρηση των κεφαλαίων 1 και 23. Θέλουμε επίσης να εκφράσουμε την ευγνωμοσύνη μας στις συζύγους μας, Helen και Dawn, για τη σημαντική συμβολή τους.

Απρίλιος 2003

John S. Lucas
Paul C. Southgate

Πρόλογος Ελληνικής Έκδοσης

Το βιβλίο μας απευθύνεται στους φοιτητές (προπτυχιακούς και μεταπτυχιακούς) σε περισσότερα από 10 Τμήματα των Ελληνικών Πανεπιστημίων όπου διδάσκεται το αντικείμενο των Υδατοκαλλιεργειών. Όλοι οι συντελεστές του βιβλίου πιστεύουμε ότι παρέχουμε στους φοιτητές των Βιολογικών, Γεωπονικών, Κτηνιατρικών και συναφών Τμημάτων, το πλέον σύγχρονο σύγγραμμα διεθνώς και θεωρούμε ότι θα βοηθήσει τα μέγιστα στην πολύπλευρη εκπαίδευση και την επιστημονική τους κατάρτιση, ως προς τις νέες εξελίξεις της επιστήμης. Παράλληλα, στους απόφοιτους των σχετικών Τμημάτων να δημιουργηθεί εκείνο το ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τον κλάδο, που θα τους ανοίξει μια επιπλέον δυνατότητα για επαγγελματική αποκατάσταση.

Από την άποψη της ερευνητικής δραστηριότητας που θα αντιμετωπίσει σημερινά και μελλοντικά προβλήματα, ευελπιστούμε το σύγγραμμά μας να προσελκύσει το ενδιαφέρον και να προετοιμάσει κατάλληλα τους νέους επιστήμονες του κλάδου, παρέχοντας τους τη σύγχρονη γνώση και τα εργαλεία για να διεξάγουν την έρευνά τους σε όλο το φάσμα των υδατοκαλλιεργειών.

Παράλληλα, ευχόμαστε το παρόν σύγγραμμα να αποτελέσει ένα σημαντικό και χρήσιμο εργαλείο για τους διδάσκοντες, ώστε να βοηθήσει στο απαιτητικό έργο της κατανόησης από τους φοιτητές των αρχών και των μεθόδων της υδατοκαλλιέργειας των υδρόβιων οργανισμών.

Επίσης, ελπίζουμε να αποτελέσει ένα χρήσιμο βοήθημα και πηγή έμπνευσης για επιχειρηματίες και επιστήμονες που ασχολούνται με την ιχθυοκαλλιέργεια ειδικά, και με την υδατοκαλλιέργεια γενικότερα, για να βρουν πολλές και νέες ιδέες και πληροφορίες για την εκτροφή νέων ειδών υδρόβιων οργανισμών. Με τον τρόπο αυτό να μπορέσουν να αναπτυχθούν στην Ελλάδα και άλλες νέες μορφές υδατοκαλλιεργείας, που θα δημιουργήσουν νέες θέσεις εργασίας για τους απόφοιτους των Πανεπιστημίων αλλά και θα προωθήσουν τη συνεργασία στην έρευνα για νέα είδη με Ελληνικά Πανεπιστήμια και Ερευνητικά Ινστιτούτα. Για παράδειγμα, είναι πολύ υποσχόμενα (κυρίως για εξαγωγή)

η καλλιέργεια αλιώτιδας, στρειδιών, μακροφυκών, ακόμη και ερπετών. Άξια μνείας είναι και η υδατοκαλλιέργεια ειδών για τη βιομηχανία των ενυδρείων (αισθητική και διακόσμηση), μια αγορά συνεχώς αναπτυσσόμενη με κύκλο εργασιών 15 δις/έτος διεθνώς.

Η ομάδα των επιμελητών της παρούσας έκδοσης περιλαμβάνει ειδικούς επιστήμονες με μεγάλη ερευνητική πείρα και συστηματική ενασχόληση σε αντικείμενα που άπτονται τον κλάδο των υδατοκαλλιεργειών, άμεσα ή έμμεσα. Παράλληλα, διδάσκουν εδώ και πολλά χρόνια το αντικείμενο των υδατοκαλλιεργειών (ψαριών, δίθυρων μαλακίων, καρκινοειδών και μικροφυκών), της ιχθυοπαθολογίας, της γενετικής και άλλων συναφών γνωστικών αντικειμένων στους προπτυχιακούς και μεταπτυχιακούς φοιτητές διαφόρων Τμημάτων των Πανεπιστημίων της Ελλάδος.

Έγινε μεγάλη προσπάθεια και αφιερώθηκαν πολλές ανθρωποώρες για την ορθή απόδοση του ξενόγλωσσου κειμένου στην Ελληνική, σεβόμενοι μεν το πρωτότυπο κείμενο αλλά παράλληλα προσπαθώντας να γίνουν κατανοητοί κάποιοι δυσνόητοι ή ασαφείς όροι και τεχνικές.

Ευχαριστούμε θερμά όλους τους υπεύθυνους των εκδόσεων ΚΩΝΣΤΑΝΤΑΡΑΣ, και ιδιαίτερα τον εκδότη Πάννη Κωνσταντάρα για την εμπιστοσύνη που μας έδειξαν από την πρώτη στιγμή, με την άμεση εξασφάλιση των πνευματικών δικαιωμάτων ενός καινούργιου βιβλίου, την άψογη συνεργασία και την αμέριστη συμπαράσταση σε όλη τη διαδικασία της προετοιμασίας μέχρι την ολοκλήρωσή του.

Εκ μέρους της επιστημονικής ομάδας των συντελεστών προετοιμασίας της Ελληνικής έκδοσης.

Γεώργιος Μίνος

Βιολόγος - Ιχθυολόγος

Καθηγητής Βιοσυστηματικής Βιομετρίας

Δ/ντής Εργαστηρίου Βιολογίας & Ιστολογίας,

Μικροσκοπίας & Ανάλυσης Εικόνας,

Συστηματικής & Βιομετρίας

Τμήμα Νοσηλευτικής

Διεθνές Πανεπιστήμιο της Ελλάδος

Ευχαριστίες

Καταρχάς, θέλουμε να αναγνωρίσουμε τη συμβολή του καθηγητή T.K Tseng, πλέον αποθανών, ο οποίος συνέβαλε στο κεφάλαιο με τα θαλασσομακροφύκη στην πρώτη και δεύτερη έκδοση αυτού του βιβλίου, και του οποίου η κληρονομιά αντικατοπτρίζεται σε αυτήν την έκδοση. Η Helen Lucas και η Dawn Southgate βοήθησαν σε εκδοτικές, διοικητικές και υποστηρικτικές δραστηριότητες που απαιτούνταν για την ολοκλήρωση αυτού του βιβλίου και η Dr. Kate Hutson βοήθησε με

συντακτική συμβολή σε κεφάλαια εκτός από τα δικά της. Πολλοί άνθρωποι βοήθησαν τους επιμελητές της έκδοσης και τους συγγραφείς των κεφαλαίων με φωτογραφίες, μεταφράσεις, πληροφορίες και απόψεις, και εκφράζουμε την ειλικρινή μας ευγνωμοσύνη για τη συμβολή τους. Τέλος, εκφράζουμε την ειλικρινή μας ευγνωμοσύνη σε όλους τους συγγραφείς για τη αφοσίωση, την υπομονή και τον ενθουσιασμό τους για αυτό το έργο.

1

Εισαγωγή

John S. Lucas

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

1.1	Τι είναι και τι δεν είναι Υδατοκαλλιέργεια, 1	1.7	Κίνα, 16
1.2	Η προέλευση της Υδατοκαλλιέργειας και της Γεωργίας, 3	1.8	Ζητήματα για τις Αναπτυγμένες Χώρες, 18
1.3	Υδατοκαλλιέργεια και Παραγωγή από Συλλεκτική Αλιεία, 6	1.9	Μια Αλληγορία, 20
1.4	Η Αποτελεσματικότητα της Υδατοκαλλιέργειας στην Παραγωγή Τροφίμων, 10	1.10	Η Ποικιλομορφία της Υδατοκαλλιέργειας, 21
1.5	Έχει Υπάρξει η 'Γαλάζια' Επανάσταση; 12	1.11	Ενίσχυση και Αποκατάσταση Αλιευτικών Αποθεμάτων, 22
1.6	Οι Μεγάλοι Παραγωγοί, 14	1.12	Περίληψη, 23
			Βιβλιογραφία, 24

1.1 Τι είναι και τι δεν είναι Υδατοκαλλιέργεια

Δώστε σε έναν άνθρωπο ένα ψάρι και θα του παρέχετε τροφή για μια μέρα; Διδάξτε έναν άνθρωπο πώς να ψαρεύει και θα του παρέχετε τροφή για μια ζωή. Διδάξτε σε έναν άνθρωπο πώς να καλλιεργεί ψάρια και θα παρέχετε τροφή σε αυτόν και τους γείτονες του για μια ολόκληρη ζωή

(τροποποιήθηκε από μια Κινεζική παροιμία).

Η υδατοκαλλιέργεια συνεχίζει να αναπτύσσεται με ταχείς ρυθμούς, ιδίως μέσω της ανάπτυξης της στην Ασία. Η Παγκόσμια παραγωγή από την υδατοκαλλιέργεια αυξάνεται πολύ ταχύτερα από την κτηνοτροφία και την συλλεκτική αλιεία, που αποτελούν τις άλλες δυο πηγές προέλευσης της ζωικής πρωτεΐνης του παγκόσμιου πληθυσμού. Αναγνωρίζεται ευρέως ότι η παραγωγή θαλάσσιων προϊόντων διατροφής από την συλλεκτική αλιεία βρίσκεται στο αποκορύφωμα της, και ότι η υδατοκαλλιέργεια θα αποτελεί ολοένα και περισσότερο την πλέον σημαντική πηγή παραγωγής θαλάσσιων προϊόντων διατροφής και τελικά η μόνη κύρια πηγή.

Υπάρχει πλέον ένα μεγάλο ευρέως διαδεδομένο δημόσιο ενδιαφέρον για την υδατοκαλλιέργεια. Το παρόν εγχειρίδιο έχει συνταχθεί βάσει αυτού του πλαισίου και ευελπιστούμε ότι θα μεταφέρει μέρος του ενθουσιασμού μας σχετικά με τις ταχέως αναδύμενες αρχές της υδατοκαλλιέργειας.

Με τον όρο “θαλάσσια προϊόντα διατροφής” (seafood) που χρησιμοποιείται αποκλειστικά στο παρόν εγχειρίδιο, θεωρούμε, για παράδειγμα, όλα τα ζωικά και φυτικά προϊόντα προερχόμενα από υδάτινα περιβάλλοντα, συμπεριλαμβανόμενων των εσωτερικών νερών, υφάλμυρα, θαλάσσια και υπεράλμυρα περιβάλλοντα. Ο όρος “οστρακοειδή”, ορίζεται σύμφωνα με την κοινή χρήση και χρησιμοποιείται για την περιγραφή των υδρόβιων ασπόνδυλων με “όστρακο”, συμπεριλαμβανομένων των δίθυρων και γαστερόποδων μαλακίων, δεκάποδων καρκινοειδών καθώς και αχινών (εχινόδερμα), αναγνωρίζοντας παράλληλα την ύπαρξη ακραίας ποικιλομορφίας της μορφολογίας και της βιολογίας αυτής της ομάδας. Οι δύο ομάδες που αποτελούν στην συντριπτική τους πλειονοψηφία τα οστρακοειδή είναι τα δίθυρα (στρείδια, μύδια, αχιβάδες, κ.λπ.) και τα δεκάποδα καρκινοειδή (γα-

ρίδες¹, караβίδες, καβούρια, κ.λπ.). Η άλλη μεγάλη ομάδα υδρόβιων ζωικών οργανισμών που καλλιεργείται είναι τα ψάρια. Ο όρος “ιχθυοκαλλιέργεια” χρησιμοποιείται με την έννοια της υδατοκαλλιέργειας ψαριών, καρκινοειδών, μαλακίων κ.λπ. αλλά όχι φυτών.

Υπάρχουν πολλές διαφορετικές μορφές υδατοκαλλιέργειας και είναι σημαντικό, στην αρχή αυτού του βιβλίου, να δώσουμε τον ορισμό της υδατοκαλλιέργειας και μη και τι την διακρίνει από την συλλεκτική αλιεία.

“Ο ορισμός του όρου υδατοκαλλιέργεια νοείται ως η εκτροφή υδρόβιων οργανισμών, συμπεριλαμβανομένων των ψαριών, των μαλακίων, των καρκινοειδών και των υδρόβιων φυτών. Ο όρος εκτροφή υπονοεί κάποια μορφή παρέμβασης στη διαδικασία εκτροφής για την ενίσχυση της παραγωγής, όπως η τακτική δημιουργία αποθέματος (stocking), η χορήγηση τροφής και η προστασία από θηρευτές. Ο όρος εκτροφή (farming) επίσης υπονοεί την ατομική ή εταιρική ιδιοκτησία του υδρόβιου κεφαλαίου (αποθέματος) που καλλιεργείται.

Για στατιστικούς σκοπούς:

- Χαρακτηρίζονται ως προϊόντα υδατοκαλλιέργειας, υδρόβιοι οργανισμοί που συλλέγονται από ένα άτομο ή εταιρικό φορέα που τους έχει υπό την κατοχή του καθ’ όλη τη διάρκεια της εκτροφής τους.
- Θεωρούνται ως προϊόντα συγκομιδής από την αλιεία, υδρόβιοι οργανισμοί που μπορούν να αξιοποιηθούν από το ευρύ κοινό ως κοινός πόρος ιδιοκτησίας, με ή χωρίς κατάλληλη άδεια.

Σύμφωνα με τον ορισμό του Παγκόσμιου Οργανισμού Τροφίμων και Γεωργίας - FAO², οι δύο βασικοί παράγοντες που διακρίνουν την υδατοκαλλιέργεια από την συλλεκτική αλιεία είναι:

- *Παρέμβαση* για την ενίσχυση του αποθέματος (ζωικού ή φυτικού κεφαλαίου)
- *Κυριότητα* του αποθέματος.

Ως εκ τούτου, μια κατασκευή στην οποία προσελκύνονται και αλιεύονται ψάρια, π.χ. μια συ-

σκευή συνάθροισης ψαριών (Fish Aggregating Device - FAD) η οποία επιπλέει στον ανοικτό ωκεανό και δύναται να είναι συγκεκριμένης ιδιοκτησίας, αλλά αυτό δεν παρέχει την κυριότητα του αποθέματος των προσελκυσόμενων ψαριών. Επιπλέον, οι συσκευές συνάθροισης ψαριών (FAD) διευκολύνουν τη αλιεία, αλλά δεν ενισχύουν το απόθεμα των ψαριών που αλιεύονται. Αυτό θεωρείται παραγωγή από συλλεκτική αλιεία. Υδατοκαλλιέργεια θεωρείται η παραγωγή νεαρών (juvenile) ατόμων ιχθύων από εκκολαπτήρια, τα οποία είναι στην ιδιοκτησία των εκκολαπτηρίων και τα ψάρια μπορούν να πωληθούν ως ιχθύδια (fingerling). Αλιεία χαρακτηρίζεται η τελική σύλληψή τους, αφού αυτά απελευθερώθηκαν σε ποτάμια στα οποία τελικά επιστρέφουν για να αναπαραχθούν. Τα απελευθερωμένα ιχθύδια ενισχύουν το απόθεμα, αλλά θεωρούνται ως κοινή πηγή ιδιοκτησίας. Το ίδιο ισχύει στην περίπτωση που ιχθύδια που προέρχονται από εκκολαπτήρια πωλούνται σε λέσχες αλιείας και φορείς τοπικής αυτοδιοίκησης ώστε να ενισχύσουν τα αποθέματα σε λίμνες και φράγματα για την ενίσχυση της ερασιτεχνικής / ψυχαγωγικής αλιείας.

Η Υδροπονία και η Αεροπονία, δηλαδή η καλλιέργεια των χερσαίων φυτών με τις ρίζες τους σε αραιά θρεπτικά διαλύματα δεν εκλαμβάνεται ως υδατοκαλλιέργεια. Αυτές είναι εναλλακτικές μέθοδοι για την καλλιέργεια χερσαίων φυτών.

Οι δραστηριότητες που συνιστούν την παραγωγή υδατοκαλλιέργειας, σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Τροφίμων και Γεωργίας - FAO³ είναι:

- Η εκτροφή από εκκολαπτήρια γόνου ψαριών, νυμφών διθύρων μαλακίων έτοιμων για την υιοθέτηση του βενθικού τρόπου ζωής και για την προσκόλλησή τους στο εκάστοτε υπόστρωμα (spat), μεταπρονυμφών (postlarvae) κ.λπ.
- Δημιουργία αποθέματος σε λιμνοδεξαμενές (ponds), κλουβιά (cages), δεξαμενές (tanks), καναλόμορφα συγκοινωνούντα συστήματα καλλιέργειας (raceways) και προσωρινά φράγματα (π.χ. υδροφράγματα) με νεαρά άτομα ιχθύων είτε αλιευμένα στη φύση είτε προερχόμενα από εκκολαπτήρια και καλλιεργήθηκαν μέχρι το εμπορικό μέγεθος.

¹ Ο όρος “γαρίδες” χρησιμοποιείται σε όλο το βιβλίο για τα είδη της οικογένειας Penaeidae (γνωστά ως “γαρίδες” – “prawns” σε ορισμένες χώρες). Δεν περιλαμβάνει είδη της οικογένειας Palaemonidae.

² [ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/011/i0400t/i0400t.pdf](http://ftp.fao.org/docrep/fao/011/i0400t/i0400t.pdf)

³ [ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/011/i0400t/i0400t.pdf](http://ftp.fao.org/docrep/fao/011/i0400t/i0400t.pdf)



Εικόνα 1.1 Το αρτοποιείο της Βασιλικής αυλής του Ραμσή III. Από τον τάφο του Ραμσή III στην Κοιλιάδα των Βασιλέων, εικοστή δυναστεία. (Η Εγκυκλοπαίδεια της Οξφόρδης της Αρχαίας Αιγύπτου.) (Ευγενική προσφορά των Wikimedia Commons).

- Καλλιέργεια σε ιδιόκτητες παλιρροϊκές λιμνοδεξαμενές (tidal ponds) (π.χ. Ινδονησιακά “tambaks”).
- Εκτροφή μαλακίων προς πώληση σε εμπορικό μέγεθος από νεαρά άτομα έτοιμα για προσκόλληση στο εκάστοτε υπόστρωμα (spat), παραγόμενα από εκκολαπτήρια ή συλλεγμένα στο φυσικό περιβάλλον ή μερικώς ανεπτυγμένοι οργανισμοί.
- Καλλιέργεια ψαριών σε ορυζώνες με απόθεμα που τοποθετείται.
- Συγκομιδή μακροφυκών ριζωμένα στο υπόστρωμα ή αιωρούμενα.
- Valliculture (καλλιέργεια σε παράκτιες λιμνοθάλασσες).

1.2 Η προέλευση της Υδατοκαλλιέργειας και της Γεωργίας

Γνώρισμα της Νέας Λίθινης Εποχής (Νεολιθική Εποχή, περίπου 8000-4000 π.Χ.) υπήρξε η εφεύρεση της γεωργίας. Διακρίνονται τουλάχιστον επτά ανεξάρτητες προελεύσεις της γεωργίας κατά τη διάρκεια αυτής της Εποχής: της Κίνα, της Νέα Γουινέα, του Μεξικού, της Δυτικής Αφρικής, των Άνδεων, της λεκάνης του Αμαζονίου και της Μέσης Ανατολής (**Εικό-**

να 1.1). Το σιτάρι, το ρύζι, ο αραβόσιτος, το κριθάρι και το κечρί, εξακολουθούν να είναι οι σημαντικότερες καλλιέργειες δημητριακών και οι σημαντικότερες καλλιέργειες σε ριζωματώδη φυτά, όπως οι πατάτες και η μανιόκα, όλα καλλιεργήθηκαν σε διάφορες από αυτές τις γεωγραφικές τοποθεσίες κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου. Παρομοίως, η εκτροφή χοίρων, βοοειδών, κοτόπουλων, προβάτων, αιγών και αλόγων, τα οποία εξακολουθούν να αποτελούν κύρια εκτρεφόμενα ζώα, αναπτύχθηκε κατά τη Νεολιθική Εποχή. Η προέλευση των φυτών που καλλιεργούμε και των ζώων που εκτρέφουμε προέρχεται χρονικά από πολύ παλιά.

Αυτές οι αλλαγές από το κυνήγι και την συλλογή τροφής στη γεωργία και την κτηνοτροφία προκάλεσαν βαθιές αλλαγές στον τρόπο ζωής, από ένα νομαδικό τρόπο ζωής σε ένα μόνιμο τόπο κατοικία. Ως αποτέλεσμα υπήρξε η κατά πολύ αυξημένη παραγωγικότητα της γης προς όφελος της ανθρώπινης κατανάλωσης και κατά συνέπεια την αύξηση του ανθρώπινου πληθυσμού ανά μονάδα χερσαίας έκτασης γης. Υπήρχαν, ωστόσο μειονεκτήματα. Η μεγάλη εξάρτηση από μια καλλιέργεια θα μπορούσε να οδηγήσει σε διατροφικές ελλείψεις και, εάν η καλλιέργεια αποτύγχανε, σε λιμοκτονία. Η στενή εγγύτητα με άλλους αν-



Εικόνα 1.2 Ο κοινός κυπρίνος (*Cyprinus carpio*). Πηγή: Φωτογραφία του Piet Spaans. Αναπαραγωγή με την άδεια Αναφοράς Δημιουργού - Παρόμοιας Διανομής Creative Commons, CC-BY-SA 4.0.

θρώπους, κατοικίδια ζώα και ευκαιριακά παράσιτα οδήγησαν στη μετάδοση ασθενειών. Ο κυνηγός-τροφοσυλλέκτης είχε την τάση πιθανώς να είναι πιο υγιής, να έχει μια πιο ποικίλη διατροφή και λιγότερη έκθεση σε ασθένειες.

Η προέλευση της υδατοκαλλιέργειας ανάγεται μερικές χιλιάδες χρόνια μετά τη Νεολιθική Εποχή, όταν η καλλιέργεια του κοινού κυπρίνου (*Cyprinus carpio*) αναπτύχθηκε στην Κίνα, όπου ο κυπρίνος είναι ένα αυτόχθονο είδος (**Εικόνα 1.2**). Υπάρχει μια μακρά ιστορία της υδατοκαλλιέργειας στην Κίνα (ενότητα 1.6). Η εκτροφή του κοινού κυπρίνου γινόταν ήδη από το 2000–1000 π.Χ.⁴ Το πρώτο κείμενο υδατοκαλλιέργειας αποδίδεται σε έναν Κινέζο πολιτικό, τον Φαν Λέι (Fan Lei), και χρονολογείται περίπου το 500 π.Χ. Ο Φαν Λέι αποδίδει την πηγή του πλούτου του στις λιμνοδεξαμενές εκτροφής ψαριών που διέθετε, με αποτέλεσμα η καλλιέργεια των ψαριών να είναι κάτι παραπάνω από προσφιλή ενασχόληση για τον ίδιο. Ωστόσο, σε τρεις ηπείρους, την Αφρική, την Αμερική και την Αυστραλία, η υδατοκαλλιέργεια ήταν άγνωστη και δεν ασκείτο παρά μόνο μέχρι την εισαγωγή της τους τελευταίους αιώνες.

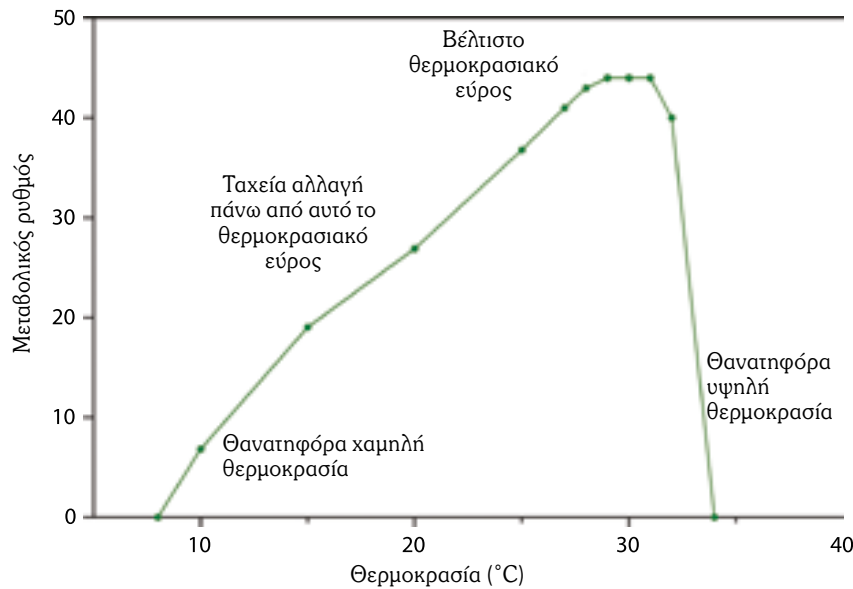
Η καθυστερημένη ενασχόληση με την υδατο-

καλλιέργεια σε σύγκριση με τη γεωργία και η αποτυχία της να αναπτυχθεί σε ορισμένες ηπείρους οφείλεται εν μέρει στο γεγονός ότι οι άνθρωποι είναι χερσαίοι οργανισμοί. Δεν μπορούμε να εκτιμήσουμε εύκολα τις παραμέτρους του υδάτινου περιβάλλοντος. Υπάρχουν ορισμένοι περιβαλλοντικοί παράγοντες που μπορεί να επηρεάσουν βαθιά τους υδρόβιους οργανισμούς, όπως:

- η πολύ χαμηλή περιεκτικότητα του O_2 στο νερό (<1%) σε σύγκριση με τον αέρα (21%)
- η υψηλή διαλυτότητα του CO_2 στο νερό
- το pH
- η αλατότητα
- η ρυθμιστική ικανότητα
- τα διαλυμένα θρεπτικά συστατικά
- τα μόρια τοξικών αζωτούχων αποβλήτων
- η θολερότητα
- τα βαρέα μέταλλα και άλλα τοξικά μόρια στο διάλυμα
- οι συγκεντρώσεις φύτο- και ζωοπλαγκτού, και
- η ταχύτητα των ρευμάτων

Πολλές από τις ασθένειες που πλήττουν τους υδρόβιους οργανισμούς είναι αρκετά άγνωστες σε μας. Επιπλέον, σχεδόν όλα τα ζώα που εκτρέφονται στην υδατοκαλλιέργεια είναι ποικιλόθερμα (η θερμοκρασία του σώματός τους μεταβάλλεται και επηρεάζεται έντονα από την θερμοκρασία του περιβάλλοντος) (“ψυχρόαιμα”). Οι μεταβολι-

⁴ <http://www.fao.org/docrep/field/009/ag158e/AG158E02.htm> (ανακτήθηκε τον Ιανουάριο του 2007)



Εικόνα 1.3 Διακύμανση του μεταβολικού ρυθμού των ποικιλόθερμων οργανισμών σε συνάρτηση με την θερμοκρασία. Ο μεταβολικός ρυθμός αντανakλάται στον ρυθμό κατανάλωσης οξυγόνου των ζώων. Αναπαράγεται με άδεια από τον John Lucas.

κοί ρυθμοί τους, και όλες οι λειτουργίες που εξαρτώνται με το μεταβολικό τους ρυθμό, επηρεάζονται έντονα από την θερμοκρασία του περιβάλλοντος με τρόπους που εμείς οι άνθρωποι ως “θερμόαιμα” θηλαστικά αδυνατούμε να κατανοήσουμε (**Εικόνα 1.3**).

Οι δυσκολίες στην αξιολόγηση και τον έλεγχο των επιπτώσεων αυτών των περιβαλλοντικών παραγόντων εξακολουθούν να υφίστανται και σήμερα, με αποτέλεσμα τα προγράμματα υδατοκαλλιέργειας να απαιτούν μια μεγαλύτερη περίοδο εξέλιξης και ανάπτυξης από άλλες μορφές παραγωγής τροφίμων. Ακόμη και στην περίπτωση που υπάρχει καλώς εδραιωμένη τεχνολογία για έναν οργανισμό θα εξακολουθούν να υπάρχουν εξειδικευμένα θέματα τοποθεσίας και προοδευτική επίτευξη της βέλτιστης εκτροφής. Στη γεωργία είμαστε πολύ πιο εύκολα σε θέση να εκτιμήσουμε τις παραμέτρους που επηρεάζουν την επιτυχία ή ανεξαρτητως αποτελέσματος, υπάρχει πολύ μεγάλο ιστορικό απόκτησης των δεξιοτήτων που απαιτούνται.

Μια άλλη σημαντική συνέπεια της καθυστερημένης έναρξης της υδατοκαλλιέργειας είναι ότι υπήρξε σχετικά μικρή γενετική επιλογή για πολλά είδη εάν την συγκρίνουμε με τα εξαιρετικά γενετικά επιλεγμένα φυτά και ζώα της γεωργίας. Η σύγχρονη γεωργία βασίζεται σε οργανισμούς που είναι πολύ διαφορετικοί από τους άγριους προγόνους

τους, και σε πολλές περιπτώσεις οι άγριοι πρόγονοί τους δεν υπάρχουν πλέον. Αυτή η επιλογή για τα επιθυμητά γνωρίσματα πραγματοποιήθηκε σταθερά και χωρίς καμία επιστημονική βάση κατά τη διάρκεια χιλιάδων ετών εξημέρωσης. Ωστόσο, ήταν πιο έντονη τον περασμένο αιώνα με τα επιστημονικά προγράμματα αναπαραγωγής. Η σύγχρονη γεωργία θα ήταν εντελώς αντικοινωνική, και ο σημερινός παγκόσμιος πληθυσμός θα λιμοκτονούσε χωρίς αυτά τα εξημερωμένα και γενετικά επιλεγμένα γεωργικά φυτά και ζώα. Αντίθετα, μεγάλο μέρος της υδατοκαλλιέργειας βασίζεται σε φυτά και ζώα που εξακολουθούν να παραμένουν “άγρια”. Υπάρχουν ορισμένα είδη που έχουν υποβληθεί σε ισχυρή γενετική επιλογή, υβριδισμό και υποβλήθηκαν σε μοριακές και γονιδιωματικές τεχνικές (Κεφάλαιο 7) όπως:

- ο κοινός κυπρίνος (*Cyprinus carpio*)
- ο σολομός του Ατλαντικού (*Salmo salar*)
- η ιριδίζουσα πέστροφα (*Oncorhynchus mykiss*)
- η τιλάπια του Νείλου (*Oreochromis niloticus*)
- το γατόψαρο (*Ictalurus punctatus*)

Η αναπαραγωγή τους βασίζεται σε γεννήτορες που διαφέρουν σημαντικά από τους προγόνους τους στη γενετική τους. Πολλά άλλα είδη υδατοκαλλιέργειας βασίζονται σε άγριους γεννήτορες που προέρχονται από φυσικούς πληθυσμούς. Σε ορισμένες περιπτώσεις, ο κύκλος ζωής δεν έχει

ακόμη “κλείσει”, δηλαδή το είδος δεν έχει εκτραφεί μέχρι την γενετική του ωρίμανση, με αποτέλεσμα να ωστοκοούν σε τακτική βάση υπό συνθήκες καλλιέργειας. Μέχρι να κλείσει ο κύκλος ζωής, υπάρχει ελάχιστη δυνατότητα επιλεκτικής αναπαραγωγής.

1.3 Υδατοκαλλιέργεια και Παραγωγή από Συλλεκτική Αλιεία

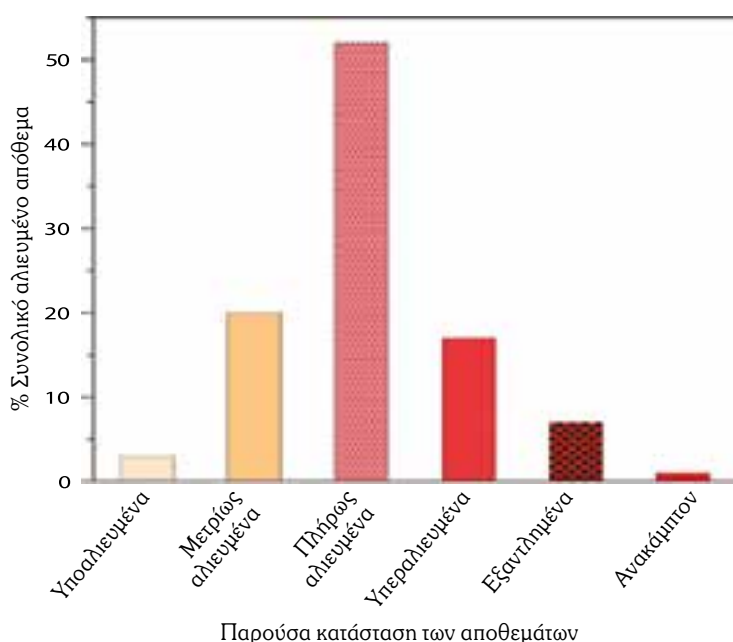
Οι αλιευτικές δραστηριότητες, είτε πρόκειται για αλίευση μεμονωμένων ψαριών με ψαροντούφεκο ή καμάκι, είτε για τη συλλογή οστρακοειδών από την ακτή, είτε για αλίευση με πεζόβολο, είτε για αλίευση από μια βάρκα ή με πλοία εργοστάσια που διασχίζουν στους ωκεανούς του κόσμου, εκλαμβάνονται όλες ως εμπορικές δραστηριότητες των κυνηγών-τροφοσυλλεκτών, ανεξάρτητα από τον βαθμό της τεχνολογίας που χρησιμοποιείται. Μέχρι πρόσφατα, η παραγωγή από τη συλλεκτική αλιεία υπερέβαινε την παραγωγή της υδατοκαλλιέργειας: η αλίευση - τροφοσυλλογή ήταν η κύρια πηγή θαλάσσιων προϊόντων διατροφής. Αυτά τα είδη αλιείας αντιμετωπίζουν προβλήματα που είναι θεμελιώδη για αλίευση-τροφοσυλλογή:

- Η μεταβαλλόμενη στρατολόγηση και κατά συνέπεια η μη δυνατότητα πρόβλεψης του μεγέθους του αποθέματος.
- Δυσκολίες στην εκτίμηση του μεγέθους του

αποθέματος και της ικανότητάς του για εκμετάλλευση.

- Δυσκολία στη ρύθμιση της εκμετάλλευσης ώστε να ταιριάζει με το μέγεθος του αποθέματος.
- Σχετικά χαμηλή παραγωγικότητα.

Η φυσική παραγωγικότητα των Παγκόσμιων υδάτινων μαζών, των εσωτερικών νερών, του υφάλμυρου και θαλασσινού νερού, είναι τεράστια, αλλά είναι πεπερασμένη. Παράλληλα, είναι πεπερασμένη και η ποσότητα των φυτικών και ζωικών προϊόντων που μπορεί να συλλεχθεί με την αλιεία. Για παράδειγμα, η μέση συγκομιδή από τους ωκεανούς που μπορεί να αποκτηθεί για άμεση κατανάλωση από τον άνθρωπο ή κατανάλωση μέσω της χρήσης σε ιχθυάλευρα είναι περίπου 2,5 kg/εκτάριο/έτος της επιφάνειας του ωκεανού. Επιπλέον, αυτή η τεράστια αλλά πεπερασμένη ποσότητα συγκομιδής εμπίπτει στο πεδίο εφαρμογής της τρέχουσας αλιευτικής μας ικανότητας (fishing capacity). Με βάση την αξιολόγηση του FAO για 600 περιοχές αλιείας, το 77% θεωρούνται υπεραλιευμένα, δηλαδή χωρίς περαιτέρω ικανότητα αύξησης της συγκομιδής. Το διάγραμμα αυτό περιλαμβάνει το 17% των περιοχών αλιείας που υπεραλιεύεται, το 7% που είναι εξαντλημένα και το 1% που ανακάμπτει από την εξάντληση (**Εικόνα 1.4**). Η κατάσταση αυτή αντικατοπτρίζεται στα στοιχεία του FAO για την ετήσια παραγωγή από τη συλλεκτική αλιεία. Η παγκόσμια αλιευτική παραγωγή



Εικόνα 1.4. Ποσοστά επιπέδων κατάστασης 600 αποθεμάτων θαλάσσιας αλιείας βάση της αξιολόγησης του FAO.

Δεδομένα από: <http://www.fao.org/newsroom/common/ecg/1000505/en/stocks.pdf>. Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από τον John Lucas

γή αυξήθηκε σε 93 εκατομμύρια τόνους/έτος (τόνος)⁵ περίπου το 1994 και έκτοτε κυμάνθηκε μεταξύ 89 και 97 εκατομμυρίων τόνους/έτος χωρίς καμία άλλη τάση (**Εικόνα 1.5**).⁶

Υπάρχουν δύο ακόμη παράγοντες στην παραγωγή από τη συλλεκτική αλιεία. Περίπου το ένα τέταρτο της συλλεκτικής αλιευτικής παραγωγής χρησιμοποιείται για την παρασκευή ιχθυαλεύρων, δηλαδή, αποξηραμένων προϊόντων ψαριών, με βάση τη σαρδέλα και το γαύρο (**Εικόνες 5.10, 27.4**), και υποπροϊόντα ψαριών. Τα ιχθυάλευρα χρησιμοποιούνται ως πηγή ω-3 λιπαρών οξέων στις ζωοτροφές για την κτηνοτροφία (π.χ. ζωοτροφές χοίρων) αλλά χρησιμοποιούνται επίσης εκτενώς στις τροφές που προορίζονται για την υδατοκαλλιέργεια. Ως εκ τούτου, η πραγματική ετήσια παραγωγή από την παγκόσμια συλλεκτική αλιεία για άμεση ανθρώπινη κατανάλωση είναι της τάξης των 70 εκατομμυρίων τόνων/έτος. Τα άλλα 20-30 εκατομμύρια τόνοι στη συνέχεια βρίσκουν τον δρόμο τους στην ανθρώπινη διατροφή με έμμεσες διαδικασίες που συνεπάγονται σημαντικές απώλειες από τις ζωοτροφές για να ενσωματωθούν σε μια διατροφή κατάλληλη για ανθρώπινη κατανάλωση (βλ. παρακάτω).

Ένας άλλος επιπλέον παράγοντας που δεν περιλαμβάνεται στις στατιστικές αλιείας του FAO είναι το σημαντικό ποσοστό της συλλεκτικής αλιείας που αποτελείται από:

- παρεμπόμποντα αλιεύματα (bycatch) = μη στοχευόμενα είδη αλιευμάτων
- απορρίψεις (discards) = άτομα των ειδών-στόχων που δεν εμπίπτουν στα κριτήρια εμπορευσιμότητας.

Δεν υπάρχουν ακριβή στοιχεία, αλλά αυτά ισχυάζονται με μια ουσιαστική συνιστώσα των συνολικών συλλήψεων από την αλιεία και υψηλά ποσοστά πεθαίνουν μέσω του χειρισμού. Τα παρεμπόμποντα αλιεύματα (bycatch) και τα απορριπτό-

μενα (discards) ποικίλλουν ανάλογα με τη φύση της αλιείας και ορισμένες αλιευτικές δραστηριότητες με τράτα συγκαταλέγονται μεταξύ εκείνων με τα υψηλότερα ποσοστά παρεμπιπτόντων αλιευμάτων. Συνεπώς, δεν είναι παράλογο να υποθεθεί ότι αυτή η απώλεια ανέρχεται σε τουλάχιστον 10% πάνω από τα 90 εκατομμυρίων τόνους/έτος της παγκόσμιας αλιείας των, περίπου δηλαδή σε 10 εκατομμύρια τόνους/έτος.

Σε αντίθεση με την συλλεκτική αλιεία, η παραγωγή από την υδατοκαλλιέργεια ζώων και φυκών αυξήθηκε με μέσο ρυθμό 6,7% κατά την ίδια χρονική περίοδο (**Εικόνα 1.5**) (**Πίνακας 1.1**). Όλη η αύξηση της παγκόσμιας παραγωγής θαλασσινών προϊόντων διατροφής τις τελευταίες δύο δεκαετίες προήλθε από την υδατοκαλλιέργεια.

Στη δεύτερη Αγγλική έκδοση του παρόντος βιβλίου, παρατηρούμε την παρακάτω πρόβλεψη στη σελίδα 5 ότι:

“...η παραγωγή υδατοκαλλιέργειας ... αναπόφευκτα θα ξεπεράσει την παγκόσμια παραγωγή της συλλεκτικής αλιείας. Λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι το ποσοστό συνεισφοράς της υδατοκαλλιέργειας στην παγκόσμια προσφορά θαλασσινών προϊόντων διατροφής φαίνεται να αυξάνεται εκθετικά, αυτό μπορεί να συμβεί νωρίτερα παρά αργότερα.”

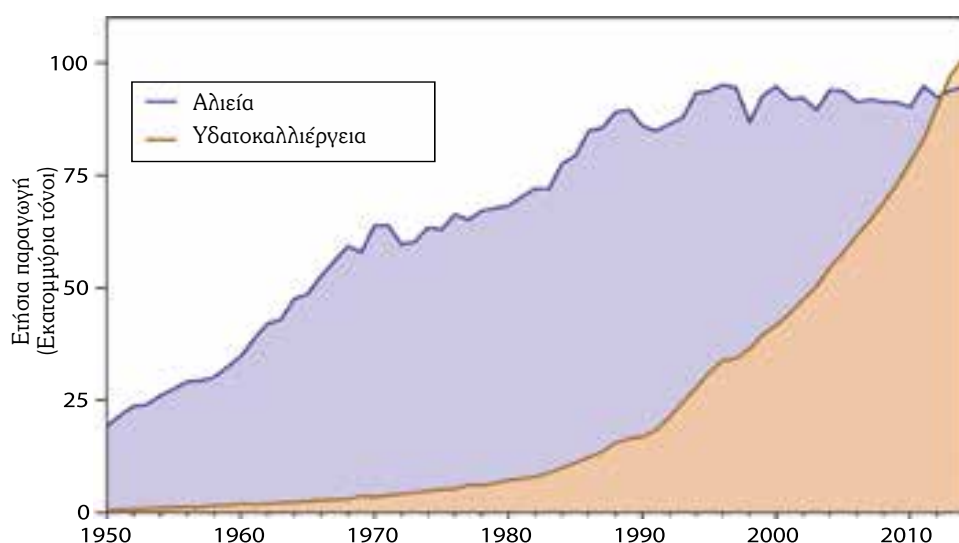
Η πρόβλεψη αυτή εκπληρώθηκε σε ένα εκπληκτικό σύντομο χρονικό διάστημα κατά το οποίο η υδατοκαλλιέργεια το 2015 συνέβαλε στο 50% της παγκόσμιας παραγωγής θαλασσινών προϊόντων διατροφής (**Εικόνα 1.5**). Επιπλέον, θα συνεχίσει να αυξάνεται με σημαντικό ρυθμό και να αποτελεί πηγή αυξημένης προσφοράς τροφίμων από υδάτινα περιβάλλοντα. Σε αντίθεση με την συλλεκτική αλιεία, η υδατοκαλλιέργεια δεν περιορίζεται από τη φυσική παραγωγικότητα των παγκόσμιων υδάτινων μαζών.

Τα υδρόβια φύκη (κυρίως μακροφύκη) συμβάλουν σημαντικά στην παραγωγή από την υδατοκαλλιέργεια. Η παραγωγή υδρόβιων φυκών από την υδατοκαλλιέργεια και τη συλλεκτική αλιεία, ήταν περίπου 29,3 εκατομμύρια τόνοι και 1,09 εκατομμύρια τόνοι νωπού βάρους (wet weight), αντίστοιχα, το 2015 (**Εικόνα 1.6**) (FAO).⁷

⁵ Το Διεθνές Σύστημα Μονάδων (ISU) χρησιμοποιείται σε αυτό το βιβλίο, συνήθως με την κατάλληλη συντομογραφία. Η μονάδα “tonne”, τόνος (=1.000 kg) συντομεύεται σε “t”. Η μονάδα “ton” (= 2.000 ή = 2240 λίβρες) δεν χρησιμοποιείται.

⁶ Τα στοιχεία για την παγκόσμια υδατοκαλλιέργεια και την αλιευτική παραγωγή προέρχονται από τους δικτυακούς τόπους του FAO <http://www.fao.org/fishery/statistics/global-aquaculture-production/query/en> <http://www.fao.org/fishery/statistics/global-capture-production/query/en> ή από το λογισμικό FAO FishStatJ, το οποίο έχει πανομοιότυπα δεδομένα.

⁷ <http://www.fao.org/fishery/statistics/global-aquaculture-production/query/en>



Εικόνα 1.5 Παγκόσμια παραγωγή υδατοκαλλιέργειας και συλλεκτικής αλιείας ετησίως από το 1950 έως το 2015. Δεδομένα από <http://www.fao.org/fishery/statistics/global-aquaculture-production/query/en>. Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από τον John Lucas.

Πίνακας 1.1. Παγκόσμια παραγωγή υδατοκαλλιέργειας σε διάστημα 20 ετών από το 1993 έως και το 2013 από αναπτυσσόμενες και ανεπτυγμένες χώρες. Τα δεδομένα για την Κίνα εμφανίζονται επίσης ξεχωριστά.*

	Παραγωγή υδατοκαλλιέργειας		
	1994	2014	Μέσος Όρος
	(10 ⁶ t)	(10 ⁶ t)	% αύξηση/ετησίως
Παγκόσμια	27,8	101,1	6,7
Λιγότερο αναπτυσσόμενες χώρες	0,8	4,0	8,4
% του παγκόσμιου συνόλου	2,9	4,0	
Αναπτυσσόμενες χώρες	24,3	93,3	7,0
% του παγκόσμιου συνόλου	87,4	92,2	
Ανεπτυγμένες χώρες	3,5	4,8	1,6%
% του παγκόσμιου συνόλου	12,6	4,7	
Κίνα	17,5	59,2	6,3%
% του παγκόσμιου συνόλου	62,9	58,1	

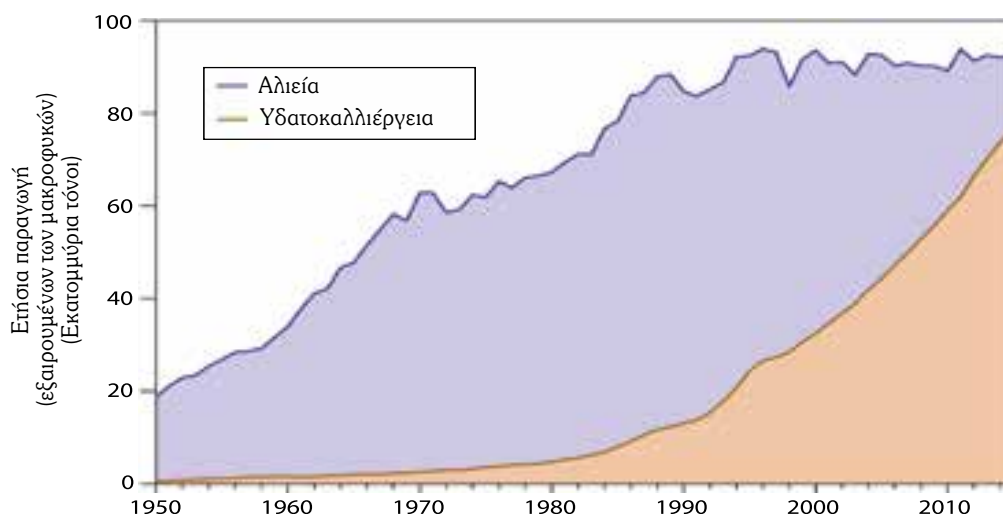
Δεδομένα από <mailto:jorgen.bjorkli@balsfjord.kommune.no>

*<http://www.fao.org/fishery/statistics/global-aquaculture-production/query/en>

Από αυτούς τους αριθμούς παραγωγής φαίνεται ότι η υδατοκαλλιέργεια εξακολουθεί να βρίσκεται σημαντικά πίσω από την αλιεία ως πηγή θαλασσινών προϊόντων διατροφής για ανθρώπινη κατανάλωση και ότι η υδατοκαλλιέργεια πρέπει να αυξηθεί σημαντικά πριν φθάσει την συλλεκτική αλιεία ως τη σημαντικότερη πηγή θαλασσινών προϊόντων διατροφής υψηλής περιεκτικότητας σε πρωτεΐνες για ανθρώπινη κατανάλωση. Στην πραγματικότητα:

1) Ένα σημαντικό ποσοστό των μακροφυκών κατα-

ναλώνεται σε διάφορες μορφές (όχι μόνο σούσι) (Πίνακας 15.2). Ορισμένη ποσότητα καταναλώνεται απευθείας σε ορισμένες χώρες, ιδιαιτέρως τη Νότια Κορέα, την Κίνα και την Ιαπωνία. Η κατανάλωση της Κορέας ανέρχεται στα 15,6 kg νωπού βάρους (wet wt)/άτομο/έτος (GAIN, 2015). Ωστόσο, όλη η κατανάλωση δεν αφορά μόνο τις Ασιατικές χώρες. Το επονομαζόμενο “Laverbread” (bara lafwr ή bara lawr στα Ουαλικά) είναι μια παραδοσιακή λιχουδιά στην Ουαλία από μακροφύκη. Μπορεί να καταναλωθεί τηγανιτό με μπέικον.



Εικόνα 1.6 Παγκόσμια παραγωγή υδατοκαλλιέργειας και συλλεκτικής αλιείας, εξαιρουμένων των υδρόβιων φυτών (κυρίως μακροφύκη) από το 1950 έως το 2015. Δεδομένα από <http://www.fao.org/fishery/statistics/global-aquaculture-production/query/en> Σημειώστε ότι πάνω από 20 εκατομμύρια τόνοι προϊόντων συλλεκτικής αλιείας χρησιμοποιούνται για ιχθυάλευρα κλπ., και όχι απευθείας για ανθρώπινη κατανάλωση. Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από τον John Lucas.

2) Δεν έχουν όλα τα μακροφύκη χαμηλά επίπεδα πρωτεϊνών. Ειδικότερα, τα ροδοφύκη (*Rhodophyta*) έχουν υψηλά πρωτεϊνικά επίπεδα της τάξης του 33–47% ξηρού βάρους, ανάλογα με το είδος και την εποχή (Fleurence, 1999).

3) Αλλά, όπως περιγράφηκε ανωτέρω, ένα σημαντικό μέρος των αλιευμάτων χρησιμοποιείται για την παραγωγή ιχθυαλεύρων και όχι για την άμεση κατανάλωση από τον άνθρωπο.⁸ Περίπου 21 εκατομμύρια τόνοι της αλιευτικής παραγωγής ψαριών, γαριδών και μαλακίων το 2016 διοχετεύτηκαν για την παραγωγή ιχθυαλεύρων, μειώνοντας το σύνολο της ανθρώπινης κατανάλωσης σε 72,5 εκατομμύρια τόνους. Η υδατοκαλλιέργεια παρήγαγε 73,8 εκατομμύρια τόνους ψαριών, γαριδών και μαλακίων το 2016, σχεδόν όλη η παραγωγή για ανθρώπινη κατανάλωση.

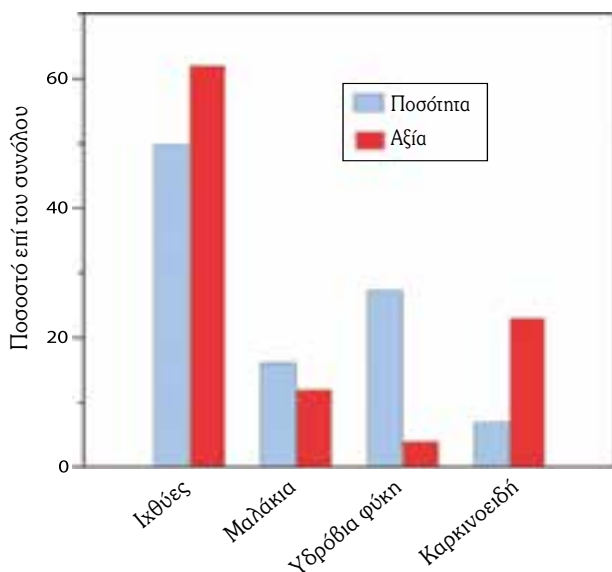
Η υδατοκαλλιέργεια είναι τώρα μεγαλύτερη ή τουλάχιστον ισοδύναμη με την συλλεκτική αλιεία ως η κύρια πηγή ζωικών θαλασσινών προϊόντων διατροφής για άμεση ανθρώπινη κατανάλωση.

Οι σχετικές αναλογίες ανά ποσότητα και αξία ψαριών, μαλακίων, καρκινοειδών και υδρόβιων φυτών από την υδατοκαλλιέργεια το 2014 παρουσιάζονται στην **Εικόνα 1.7**. Τα ψάρια αποτελούν περίπου το ήμισυ του βάρους και της αξίας της παρα-

γωγής από την υδατοκαλλιέργεια. Τα φυτά και τα οστρακοειδή το καθένα αποτελούν περίπου ένα τέταρτο της ποσότητας. Υπάρχουν, ωστόσο, σημαντικές αλλαγές μεταξύ των σχετικών ποσοτήτων και των σχετικών τιμών. Τα ψάρια αυξάνουν στο 60% της αξίας των προϊόντων υδατοκαλλιέργειας. Τα καρκινοειδή (κυρίως γαρίδες) παρουσιάζουν μια πολύ μεγάλη αύξηση που αποτιμάται σε περίπου ένα τέταρτο της συνολικής παραγωγής. Τα μαλάκια μειώνονται σε σχετική αξία και τα φύκη μειώνονται ακόμη περισσότερο.

Η επισιτιστική ασφάλεια του παγκόσμιου πληθυσμού, ιδιαίτερα στις φτωχότερες χώρες, αποτελεί ένα σημαντικό παράγοντα που απασχολεί τους διεθνείς οργανισμούς όπως ο FAO (Κεφάλαιο 27). Για να τεθεί η υδατοκαλλιέργεια και η αλιευτική παραγωγή υπό την προοπτική της παροχής ζωικών πρωτεϊνών για τις τρέχουσες παγκόσμιες πληθυσμιακές ανάγκες: η παγκόσμια παραγωγή σφαγιασμένου κρέατος από ζώα (χοιρινό, βόειο, κοτόπουλο και αρνί) είναι της τάξης των 300 εκατομμυρίων τόνων/έτος σε σύγκριση με περίπου 70 εκατομμύρια τόνους/έτος από την συλλεκτική αλιεία (για άμεση κατανάλωση από τον άνθρωπο) και 70 εκατομμύρια τόνοι από την υδατοκαλλιέργεια (εξαιρουμένων των υδρόβιων φυτών). Αυτά τα 140 εκατομμύρια τόνοι από την υδατοκαλλιέργεια και την αλιεία είναι προσφαγιασμένο βάρος και το μετά τη σφαγή βάρος (μετά την αφαίρεση των σπλάχνων, κεφα-

⁸ The state of World Fisheries and Agriculture (Η κατάσταση της Παγκόσμιας Αλιείας και Γεωργίας) (SOFIA) FAO (2016) <http://www.fao.org/fishery/sofia/en>



Εικόνα 1.7 Σχετικές αναλογίες ιχθύων, μαλακίων, καρκινοειδών και υδρόβιων φυκών από την παγκόσμια παραγωγή υδατοκαλλιέργειας το 2013. Α. Κατά ποσότητα. Β. Κατά αξία.

Δεδομένα από <http://www.fao.org/fishery/statistics/global-aquaculture-production/query/en>. Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από τον John Lucas.

λιών και κελυφών) είναι πιθανώς περίπου 50-60%. Η τιμή αυτή δεν είναι εύκολο να εκτιμηθεί, καθώς ποικίλλει σημαντικά ανάλογα με το είδος των θαλασσινών προϊόντων διατροφής και τη χώρα της κατανάλωσης. Κατά συνέπεια, τα θαλασσινά προϊόντα διατροφής αποτελούν το 20-25% του συνόλου των ζωικών πρωτεϊνών που παράγονται/έτος για την κατανάλωση από τον άνθρωπο. Η υδατοκαλλιέργεια συμμετέχει σήμερα περίπου στο 10% του συνόλου των ζωικών πρωτεϊνών που παράγονται/έτος με βάση αυτών των υπολογισμών. Με την αλιευτική παραγωγή να είναι στάσιμη και με την κτηνοτροφία να αυξάνεται σε περίπου 1,5%/έτος⁹, η υδατοκαλλιέργεια αυξάνεται κατά 7%/έτος. Συνεπώς, φαίνεται αναπόφευκτο ότι η υδατοκαλλιέργεια θα καθίσταται ολοένα και πιο σημαντική όσον αφορά την παγκόσμια επισιτιστική ασφάλεια.

1.4 Η Αποτελεσματικότητα της Υδατοκαλλιέργειας στην Παραγωγή Τροφίμων

Η αξία της υδατοκαλλιέργειας υπερβαίνει την αντικατάσταση της συλλεκτικής αλιείας ως κύρια πη-

γή θαλασσινών. Είναι ένας από τους πιο αποτελεσματικούς τρόπους παραγωγής πρωτεϊνών για ανθρώπινη κατανάλωση.

Στην καλλιέργεια δίθυρων μαλακίων, για παράδειγμα, η πρωτεΐνη παράγεται χωρίς καμία εισροή ζωοτροφών. Υπάρχουν πολλά παραδείγματα υψηλών επιπέδων παραγωγής στις διάφορες μορφές καλλιέργειας δίθυρων (Κεφάλαιο 24). Ωστόσο, είναι εξαιρετική η καλλιέργεια του μυδιού, *Mytilus galloprovincialis* με σύστημα πλωτής καλλιέργειας πάνω σε εξέδρες (floating raft), στους κολπίσκους της Γαλικίας που αποκαλούνται “rias”. Η παραδοσιακή καλλιέργεια πάνω σε εξέδρες στις επονομαζόμενες περιοχές “rias”, δηλαδή παράκτιοι όρμοι στη Β.Δ. Ισπανία, εφαρμόζεται εδώ και πολλές δεκαετίες και, παρόλο που η παραγωγή αυτή αντιπροσωπεύει το αποκορύφωμα αυτής της τεχνικής υδατοκαλλιέργειας, εντούτοις είναι ενδεικτική του τι μπορεί να επιτευχθεί. Υπάρχουν πάνω από 3000 πλωτές εξέδρες (rafts), όπου η κάθε μία καλύπτει περίπου μια επιφάνεια 500 m² στην περιοχή. Κάθε μια φέρει περίπου 500 σχοινιά που κρέμονται κάτω από αυτές, μήκους περίπου 12 m, τα οποία διατίθεται κάτω από την επιφάνεια του νερού για την προσάρτηση των μυδιών (Εικόνα 24.15). Τα μύδια προσκολλώνται στα σχοινιά με τις ίνες του βύσσου σε πυκνότητες άνω των 400/m. Παράγοντες όπως το αν τα μύδια αραιώνονται κατά τη διάρκεια της πρώιμης ανάπτυξης επηρεάζουν την απόδοση (yield), αλλά μια τυπική απόδοση για τα εμπορικού μεγέθους μύδια μετά από ένα έτος ανάπτυξης είναι περίπου 200 kg μεικτό βάρος /σχοινί (Pérez-Camacho et al., 2013). Η απόδοση είναι άνω των 60 τόνων μεικτό βάρος/πλωτή σχεδία/έτος. Το μεικτό βάρος περιλαμβάνει το κέλυφος και το νερό από την κοιλότητα του μανδύα και το βάρος της σάρκας είναι περίπου 15% του μεικτού βάρους, περίπου 0,9 τόνοι/πλωτή σχεδία/έτος. Η περιεκτικότητα της σάρκας σε βρώσιμες πρωτεΐνες είναι περίπου το 60% του βάρους της νωπής σάρκας. Αυτό αντιπροσωπεύει περίπου το 0,5 τόνους βρώσιμης πρωτεΐνης/πλωτή σχεδία/έτος. Υπάρχουν πολλαπλές πλωτές εξέδρες σε ένα εκτάριο επιφάνειας των παράκτιων κολπίσκων “rias” και οι πυκνά τοποθετημένες εξέδρες δύνανται να παράγουν 16 τόνους/εκτάριο/έτος ή και ακόμη περισσότερη σάρκα (Duarte et al., 2009). Αυτή η απόδοση σάρκας έρχεται μαζί με τις συνήθη υγιεινά θρεπτικά συστατι-

⁹ <http://www.fao.org/docrep/005/y4252e/y4252e07.htm> (Πίνακας 5.2).

Πίνακας 1.2 Τιμές μετατρεψιμότητας παρεχομένης τροφής και άλλες παράμετροι για κυπρίνους σε σύγκριση με εκτρεφόμενα χερσαία ζώα.*

	Κυπρίνος	Κοτόπουλο	Χοιρινό	Βόειο
FCR (kg ζωοτροφής/kg νωπού βάρους)	1,5	2,3	5,9	12,7
Μετατρεψιμότητα τροφής (Kg ζωοτροφής/kg βρώσιμο νωπό βάρος)	2,3	4,2	10,7	31,7
Περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες (% βρώσιμο νωπό βάρος)	18	20	14	15
% αποδοτικότητα μετατροπής πρωτεϊνών	30	26	13	5

*<http://www.vaclavsmil.com/wp-content/uploads/docs/smil-article-2002-nitrogen-and-food-production.pdf> (Ιούνιος 2016)

κά των θαλασσινών προϊόντων διατροφής, συμπεριλαμβανομένων των ω-3 λιπαρών οξέων.

Αυτό είναι σημαντικά πιο παραγωγικό από την ισοδύναμη εκτροφή χερσαίων ζώων. Τα μύδια τα οποία αναρτώνται από τη σχεδία δεν χρειάζονται συμπληρωματική χορήγηση τροφής, μόνο τα σωματίδια που φιλτράρουν από το νερό. Το ισοδύναμο που αντιστοιχεί στην ξηρά είναι η ελευθέρως βοσκής κτηνοτροφία σε βοσκοτόπια όπου το απόθεμα των ζώων ελευθέρως βοσκής είναι σε χαμηλές πυκνότητες χωρίς την συμπληρωματική χορήγηση χόρτων ή σιτηρών ως συμπλήρωμα της φυσικής βλάστησης (π.χ. βοοειδή ελευθέρως βοσκής, καθώς και αιγοπρόβατα). Η πυκνότητα εκτροφής (stocking rates) (δηλαδή ο αριθμός των ζώων που βόσκουν σε μια δεδομένη επιφάνεια γης για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα) θα διαφέρει σημαντικά, ανάλογα με την ποιότητα και την ποσότητα της φυσικής βλάστησης. Για τα κρεατοπαραγωγά βοοειδή, η πυκνότητα εκτροφής μπορεί να είναι αρκετά ζώα ανά εκτάριο. Επιπλέον, υπάρχει εξάρτηση από τις καιρικές συνθήκες. Κατά τη διάρκεια της ξηρασίας, η πυκνότητα εκτροφής πρέπει να μειωθεί σημαντικά και τα εκτρεφόμενα ζώα μπορεί να λιμοκτονήσουν ή πεθάνουν από την αφυδάτωση. Σε περιόδους πλημμυρών από έντονες βροχοπτώσεις, τα ζώα υπάρχει περίπτωση να πνιγούν. Και οι δύο καταστάσεις εμφανίζονται τακτικά σε διάφορες περιοχές του κόσμου. Η καλλιέργεια δίθυρων μαλακίων είναι ουσιαστικά ανεξάρτητη από καιρικές συνθήκες, αρκεί η επιλεγμένη περιοχή καλλιέργειας να προστατεύεται από έντονο κυματισμό και οι φυσικοχημικές παράμετροι του νερού να βρίσκονται εντός των ορίων ανοχών των εκτρεφόμενων οργανισμών.

Η ιχθυοκαλλιέργεια είναι επίσης αποτελεσματική στην παραγωγή βρώσιμης πρωτεΐνης σε σύ-

γκριση με άλλα είδη κτηνοτροφίας. Στα δεδομένα του **Πίνακα 1.2** ο κυπρίνος υπερβαίνεται στη μετατροπή των πρωτεϊνών και την περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες μόνο στο πεδίο: Περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες (% βρώσιμο βάρος). Το αποτέλεσμα είναι ότι ο κυπρίνος έχει την υψηλότερη απόδοση μετατροπής πρωτεϊνών, ακολουθούμενος από το κοτόπουλο, τον χοίρο και το μοσχάρι. Αυτό είναι ένα κλασικό πρότυπο μετατρεψιμότητας της τροφής με τα κρεατοπαραγωγά βοοειδή να παρουσιάζουν σταθερά χαμηλές τιμές. Το βόειο κρέας χαίρει μεγάλης εκτίμησης από το καταναλωτικό κοινό και είναι ακριβό, αλλά η παραγωγή του δεν γίνεται με βάση την απόδοση των εισροών.

Η αποτελεσματικότητα με την ιχθυοκαλλιέργεια εκτείνεται πέρα από τον κυπρίνο και φθάνει μέχρι τους κορυφαίους θηρευτές όπως ο σολομός του Ατλαντικού. Τα δεδομένα για τον σολομό του Ατλαντικού, τα κοτόπουλα και τους χοίρους περιγράφουν ζώα σε εντατική καλλιέργεια όπου τους χορηγούνται ιδιαίτερα εξελιγμένες ζωοτροφές (**Πίνακας 1.3**). Όλα έχουν εξαιρετικούς ρυθμούς μετατρεψιμότητας της τροφής, αλλά ο σολομός του Ατλαντικού έχει την υψηλότερη τιμή. Το πλεονέκτημά του συνδυάζεται από το υψηλότερο ποσοστό διατήρησης της ενέργειας και της πρωτεΐνης από την παρεχόμενη τροφή. Επιπλέον, ο σολομός του Ατλαντικού έχει την υψηλότερη απόδοση βρώσιμων πρωτεϊνών ανά βάρος σώματος.

Υπάρχουν διάφοροι παράγοντες στην ενεργειακή απόδοση που σχετίζονται με τα περισσότερα ψάρια. Η εξοικονόμηση ενέργειας προέρχεται από τα ακόλουθα:

- Είναι ποικιλόθερμα (δηλαδή “ψυχρόαιμα”) ζώα και ως εκ τούτου δεν δαπανούν ενέργεια για τη διατήρηση της θερμοκρασίας του σώματος τους.

Πίνακας 1.3 Τιμές μετατρεψιμότητας τροφών και άλλες παράμετροι για τον σολομό του Ατλαντικού σε σύγκριση με εκτρεφόμενα χερσαία ζώα.

	Σολομός Ατλαντικού	Κοτόπουλο	Χοίρος	Αρνί
FCR ^a	1,15	1,79	2,63	6,3
% Απόδοση Συγκομιδής ^b	86,0	65,6	72,5	46,9
% βρώσιμο αναλογία ^c	68,3	46,1	52,1	38
% διατήρηση ενέργειας ^d	23	10	14	5
% διατήρηση πρωτεϊνών ^e	31	21	18	

Από Bjørkli, J. 2002. *Protein og energiregnskap hos laks, kylling, gris og lam* [Αντιπροσώπηση της πρωτεΐνης και της ενέργειας σε σολομό, κοτόπουλο, χοίρο και αρνί], Νορβηγία: Νορβηγικό Πανεπιστήμιο Επιστημών της Ζωής (UMB). Μεταπτυχιακή εργασία. (Αναπαράχθεν με άδεια από τον J. Bjørkli, 2006.)

^aFCR = (κιλά χορηγούμενης τροφής)/(κιλά νωπού βάρους σώματος που αποκτήθηκε).

^bΑπόδοση της συγκομιδής (harvest yield) είναι η απόδοση των ευσπλαχνισμένων και αφαιματοποιημένων ζώων.

^cΗ βρώσιμη αναλογία είναι ο λόγος του συνολικού σωματικού βάρους που χρησιμοποιείται κανονικά προς κατανάλωση (βρώση), οι μυς, ο λιπώδης ιστός σώματος (+ συκώτι, πνεύμονας και καρδιά για χοίρους). Το δέρμα εξαιρείται για όλα τα ζώα.

^dΔιατήρηση ενέργειας = (ενέργεια σε βρώσιμα μέρη)/(μεικτή ενέργεια που παρέχεται ως τροφή).

^eΔιατήρηση πρωτεϊνών = (κιλά πρωτεΐνης σε βρώσιμα μέρη)/(κιλά πρωτεΐνης που παρέχεται ως τροφή).

- Έχουν ουδέτερη πλευστότητα, και ως εκ τούτου καταναλώνεται λιγότερη ενέργεια για την δημιουργία σκελετού και την στάση του σώματος ενάντια στη βαρύτητα. Ο σκελετός αποτελείται από σχετικά λεπτά οστά, που έχει ως αποτέλεσμα υψηλότερη % απόδοση βρώσιμης σάρκας (αλλά τα λεπτά οστά μπορεί να διακρίνονται στα φιλέτα ψαριών).
- Απέκκριση ορισμένης ποσότητας αμμωνίας, με αποτέλεσμα να γίνεται εξοικονόμηση της ενέργειας που θα απαιτούνταν για την μετατροπή του πλεονάζοντος αζώτου (N) σε ουρία.
- Σχετικά λιγότερες δαπάνες στην αναπαραγωγή σε σύγκριση με τα πτηνά και τα θηλαστικά.

Είναι αξιοσημείωτο στον **Πίνακα 1.3** ότι τα κοτόπουλα, τα οποία συνήθως είναι πιο κοντά στα ψάρια από την άποψη των καλών τιμών για αυτές τις παραμέτρους, έχουν χαμηλή επί τοις εκατό διατήρηση ενέργειας. Τα πουλιά τείνουν να έχουν σχετικά υψηλούς μεταβολικούς ρυθμούς.

Δεν έχουν όλα τα θαλασσινά ψάρια τιμές FCR (Feed Conversion Ratio – Συντελεστής Μετατρεψιμότητας της Παρεχόμενης Τροφής) συγκρίσιμες με τον σολομό του Ατλαντικού για τον οποίο έχει αναπτυχθεί ένα πολύ αποτελεσματικό σιτηρέσιο μετά από αρκετά έτη έρευνας. Ο ερυθρός τόνος είναι ένα υψηλής αξίας ψάρι, ειδικά για την Ιαπωνική αγορά φρέσκων ψαριών για τη χρήση ως σασίμι (sashimi) και σούσι (sushi). Η ανάπτυξη της υδατοκαλλιέργειας των ειδών τόνου ήταν αργή και

μεγάλο μέρος της παραγωγής καλλιεργούμενων ψαριών προέρχεται από μικρά ψάρια που έχουν αιχμαλωτιστεί και εκτράφηκαν για εμπορία σε μεγαλύτερο μέγεθος και υψηλότερης αξίας. Ο τόνος τρέφεται με μικρά ψάρια, όπως σαρδέλες, ρέγγες, σκουμπριά και καλαμάρια. Δεδομένου ότι δεν έχει καταστεί ακόμη δυνατό να παραχθεί μια ικανοποιητική τεχνητή τροφή που να είναι αποδεκτή από τον τόνο, κατεψυγμένες σαρδέλες και άλλα μικρά ψάρια χρησιμοποιούνται ως ιχθυοτροφή. Με τις συγκεκριμένες ιχθυοτροφές, ο ερυθρός τόνος του Ειρηνικού (*Thunnus orientalis*) εμφανίζει πολύ υψηλούς δείκτες FCR: 18:1 με διατροφή με σαρδέλας και 23:1 με μεικτή τροφή που αποτελείται από σαρδέλες + καλαμάρι + ζελατίνη + βιταμίνες (Estess et al., 2014).

1.5 Έχει Υπάρξει η “Γαλάζια” Επανάσταση;

Η ραγδαία αύξηση της παραγωγής από την υδατοκαλλιέργεια κατά τη δεκαετία του 1990 οδήγησε σε προτάσεις ότι η υδατοκαλλιέργεια διέρχεται μια “Γαλάζια” Επανάσταση που θα μεταμόρφωνε την παραγωγή θαλάσσιων και άλλων υδάτινων περιβαλλόντων σε μια νέα τεχνολογία (π.χ. **Εικόνα 1.8**). Αυτό προέβλεπε μια αναδιάταξη της παραγωγικότητας παρόμοια με την “Πράσινη Επανάσταση” στη γεωργία κατά τη διάρκεια των δεκαετιών που ακολούθησαν τον Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο. Η



Εικόνα 1.8 Ο θαλάσσιος κλωβός Sea Station 3000 ήταν ένας πλήρως βυθιζόμενος θαλάσσιος κλωβός 3000 m³ (24 m διάμετρο x 16,5 m ύψος). Κατά τη λειτουργία του, ο θαλάσσιος κλωβός βυθίζονταν σε βάθος 10 m, περίπου 800 μ. από την ακτή Κονα του Μεγάλου Νησιού της Χαβάης. Εκτρέφονταν σε αυτόν έως και 70.000 άτομα μαγιάτικο *Seriola rivoliana* (Kona Kampachi®). Ο Διευθυντής της εταιρίας βρίσκεται στην κορυφή της δοκού της ημιβυθισμένης κατασκευής. Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από την Kona Blue Water Farms, Inc., 2017.

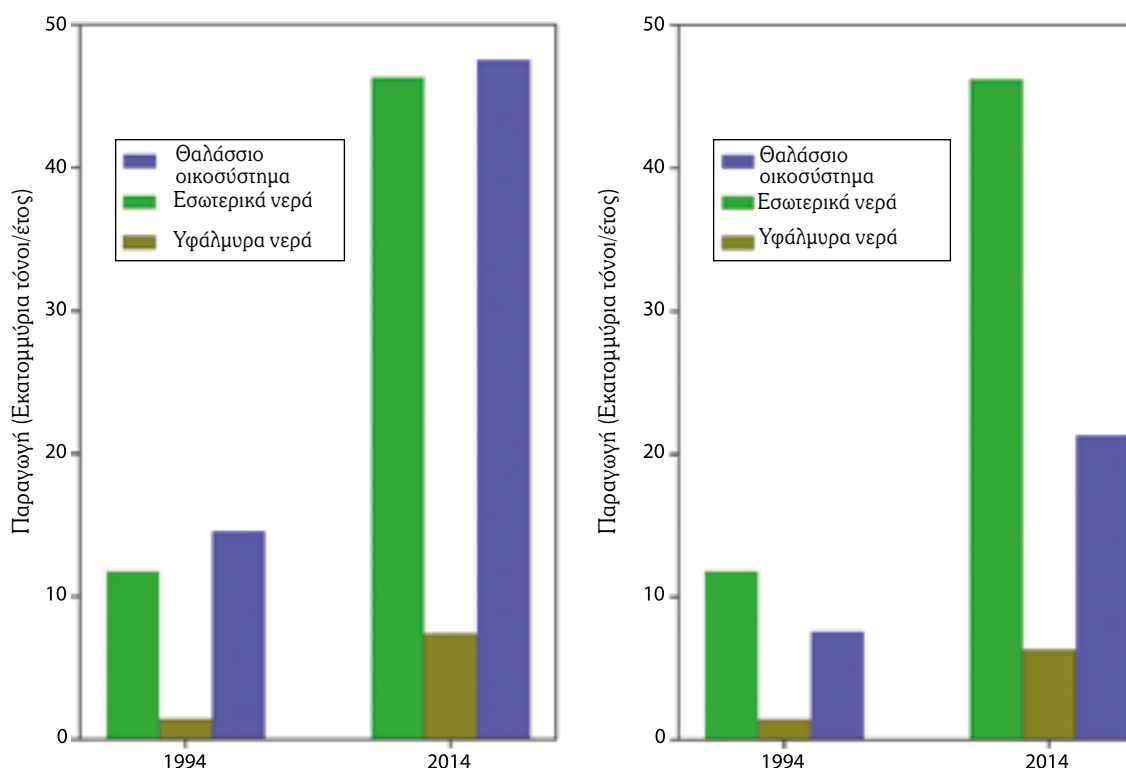
Πράσινη Επανάσταση συνέβη όταν η επικεντρωμένη έρευνα ανέπτυξε σύγχρονες γεωργικές πρακτικές, π.χ. μηχανοποίηση, έντονη και συχνή χρήση λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων, άρδευση, γενετικά βελτιωμένο ζωικό κεφάλαιο και προηγμένες μέθοδοι τυποποίησης παρεχόμενης τροφής. Η Πράσινη Επανάσταση, ωστόσο, δεν ήταν μια απόλυτη επιτυχία. Υπήρξαν δυσμενείς περιβαλλοντικές επιπτώσεις τις οποίες, είτε με την Γαλάζια Επανάσταση είτε όχι, η υδατοκαλλιέργεια πρέπει να αποφύγει κατά την μακροπρόθεσμη ανάπτυξή της (Diana et al., 2013).

Η σχεδόν εκθετική αύξηση της ποσότητας της παραγωγής από την υδατοκαλλιέργεια ζώων και φυτών κατά τις δύο δεκαετίες από το 1994 έως το 2014 προήλθε από την αύξηση της παραγωγής της υδατοκαλλιέργειας στα εσωτερικά νερά και τα θαλάσσια οικοσυστήματα. Παρόμοιες αυξήσεις σημειώθηκαν σε αυτά τα δύο περιβάλλοντα (**Εικόνα 1.9Α και Β**). Ωστόσο, όσον αφορά την παραγωγή ζωικών προϊόντων, και ως εκ τούτου την παραγωγή πρωτεϊνών απευθείας για ανθρώπινη κατανάλωση, η αύξηση ήταν σημαντικά μεγαλύτερη από την υδατοκαλλιέργεια στα εσωτερικά νερά. Η παραγωγή υδρόβιων ζώων σε περιβάλλοντα εσωτερικών νερών αυξήθηκε κατά 34,4 εκατομμύρια τό-

νους/έτος, κατά τη διάρκεια αυτών των δύο δεκαετιών σε σύγκριση με αύξηση κατά 13,7 εκατομμύρια τόνους/έτος στο θαλάσσιο οικοσύστημα, στο οποίο μεγάλο μέρος της αυξημένης παραγωγής προήλθε από μακροφύκη. Αυτό καθιστά σαφώς τα εσωτερικά νερά ως το κύριο περιβάλλον της παραγωγής υδρόβιων ζώων (**Εικόνα 1.9**). Λόγω του γεγονότος ότι η αύξηση της παραγωγής υδρόβιων ζώων από την υδατοκαλλιέργεια, σημειώθηκε κυρίως σε συστήματα εσωτερικών νερών, τα οποία συχνά είναι κάθε άλλο παρά “Γαλάζια”, θα ήταν ίσως σκόπιμο να ονομαστεί η τεράστια αύξηση της υδατοκαλλιέργειας ως “Καφέ” επανάσταση.

Θα ήταν παραπλανητικό ωστόσο, να δούμε την υδατοκαλλιέργεια να αναπτύσσεται καθαρά ως επέκταση της καλλιέργειας σε λιμνοδεξαμενές. Για παράδειγμα, υπάρχει μια σειρά από προηγμένες εξελίξεις στη γενετική, στη διατροφή και στον έλεγχο των ασθενειών.

Επιπλέον, ο ανοιχτός ωκεανός είναι τεράστιος, αλλά γεμάτος προκλήσεις, και είναι πιθανό ότι θα υπάρξει μια Γαλάζια Επανάσταση, καθώς οι τεχνολογικές εξελίξεις επιτρέπουν την αύξηση της κυκλοφορίας στην ανοικτή θάλασσα σε γαλάζιες ωκεάνιες συνθήκες (Simpson, 2011).



Εικόνα 1.9 Αύξηση της παγκόσμιας παραγωγής υδρόβιων ζώων από την υδατοκαλλιέργεια ανά περιβάλλον μεταξύ 1984 και 2014. α) Δεδομένα για όλα τα προϊόντα υδατοκαλλιέργειας. β) Δεδομένα μόνο για τα ζωικά προϊόντα. Δεδομένα από <http://www.fao.org/fishery/statistics/global-aquaculture-production/query/en>. Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από τον John Lucas.

1.6 Οι Μεγάλοι Παραγωγοί

Υπάρχει ένα ακόμη πολύ σημαντικό στατιστικό στοιχείο σχετικά με την αύξηση της παραγωγής από την υδατοκαλλιέργεια: η σημαντική διαίρεση μεταξύ των λιγότερο ανεπτυγμένων/αναπτυσσόμενων χωρών και των ανεπτυγμένων χωρών (ταξινόμηση FAO¹⁰). Από την αύξηση της παγκόσμιας παραγωγής υδατοκαλλιέργειας κατά 73,3 εκατομμύρια τόνους/έτος σε διάστημα δύο δεκαετιών, 1994 έως 2014, 72,2 εκατομμύρια τόνοι/έτος προέρχονταν από τις λιγότερο ανεπτυγμένες/αναπτυσσόμενες χώρες (**Πίνακας 1.1**). Η παραγωγή της υδατοκαλλιέργειας στις χώρες αυτές αυξήθηκε με αξιοσημείωτα ποσοστά 8,4 και 7,0% ανά έτος, αντίστοιχα, κατά τη διάρκεια αυτών των δύο δεκαετιών (**Πίνακας 1.1**). Σε σύγκριση με αυτό, η αύξηση της παραγωγής της υδατοκαλλιέργειας κατά 1,9% ανά έτος στις ανεπτυγμένες χώρες ήταν μέ-

τρια¹¹. Η “Καφέ Επανάσταση” στην υδατοκαλλιέργεια, όπως και η “Πράσινη Επανάσταση” στη γεωργία, σημειώθηκε κυρίως στις λιγότερο ανεπτυγμένες και αναπτυσσόμενες χώρες. Στην πραγματικότητα, υπήρχε μια αντίστροφη σχέση μεταξύ της κατηγορίας ανάπτυξης και του ποσοστού ανάπτυξης της υδατοκαλλιέργειας (χαμηλότερο = ταχύτερος κ.λπ.).

Οι 10 μεγαλύτερες χώρες όσον αφορά την ποσότητα της παραγωγής από την υδατοκαλλιέργεια το 2014, παρουσιάζονται στον **Πίνακα 1.4**. Όλες εκτός από τις χαμηλότερες στην κατάταξη Νορβηγία και Αίγυπτος, είναι Ασιατικές χώρες και μόνο δύο, η Νορβηγία και η Ιαπωνία, είναι ανεπτυγμένες χώρες (ταξινόμηση FAO). Το τεράστιο χάσμα μεταξύ της παραγωγής της Κίνας και των επόμενων χωρών είναι αξιοσημείωτο. Αξιοσημείωτη είναι και η αύξηση της ποσότητας από την υδατοκαλλιέργεια της Ιν-

¹⁰ Βάση του εισοδήματος/κατά κεφαλήν και άλλων κριτηρίων. Ορισμένες χώρες της Αφρικής και ορισμένες χώρες της Ασίας και του Ειρηνικού θεωρούνται λιγότερο ανεπτυγμένες.

¹¹ Ωστόσο, αυτό είναι ελαφρώς μεγαλύτερο από τον ετήσιο ρυθμό αύξησης της ζωικής παραγωγής κατά την περίοδο 1997/1999 έως το 2015: βόειο κρέας 1,4%, χοιρινό 1,4%, πουλερικά 2,9%, αρνί 2,1% με παγκόσμιο μέσο όρο 1,5% ετησίως. <http://www.fao.org/docrep/005/y4252e/y4252e07.htm> (Ανακτήθηκε τον Μάρτιο του 2016) (Πίνακας 5.2).

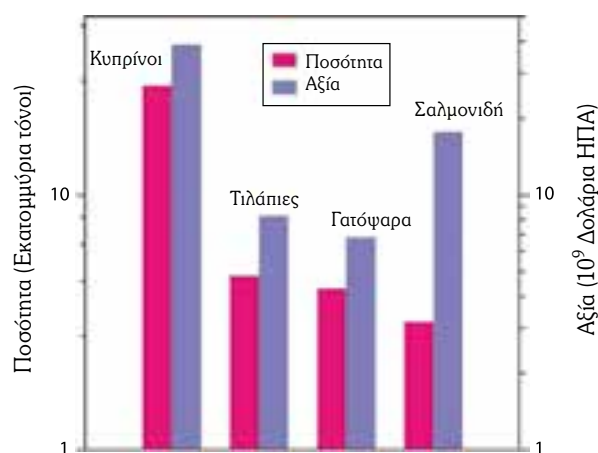
Πίνακας 1.4 Οι 10 κορυφαίες χώρες κατά ποσοστό της παραγωγής υδατοκαλλιέργειας το 2014.

Σειρά	Χώρα	% Παγκόσμια Παραγωγή
1	Κίνα	58,1
2	Ινδονησία	14,2
3	Ινδία	4,8
4	Βιετνάμ	3,4
5	Φιλιππίνες	2,3
6	Μπαγκλαντές	1,9
7	Νότια Κορέα	1,5
8	Αίγυπτος	1,4
9	Νορβηγία	1,3
10	Ιαπωνία	1,0

δονησίας τα τελευταία χρόνια για να την κατατάξει στη δεύτερη θέση του καταλόγου αυτού. Η αύξηση βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στην επέκταση της παραγωγής μακροφυκών.

Αν και οι αναπτυσσόμενες Ασιατικές χώρες διαθέτουν βιομηχανίες υδατοκαλλιέργειας με προϊόντα υψηλής αξίας, όπως γαρίδες και χτένια, για κερδοφόρες εξαγωγικές αγορές, ένα υψηλό ποσοστό υδατοκαλλιέργειας στις χώρες αυτές εξακολουθεί να προέρχεται από την παραδοσιακή καλλιέργεια ψαριών εσωτερικών νερών, κυρίως κυπρίνων και άλλων κυπρινοειδών (Κεφάλαιο 16). Η **Εικόνα 1.10** δείχνει ότι οι κυπρίνοι μαζί με άλλα κυπρινοειδή είναι μακράν τα σημαντικότερα είδη ψαριών ανά ποσότητα στην παγκόσμια παραγωγή. Είναι σχεδόν ένα μέγεθος μεγαλύτερο από τις επόμενες τρεις μεγάλες ομάδες ψαριών στην υδατοκαλλιέργεια: γατόψαρα, τιλάπιες και σαλμονιδή (σολομός και πέστροφα). Οι κυπρίνοι είναι τα πιο πολύτιμα ψάρια στη συνολική παγκόσμια παραγωγή, αλλά είναι σημαντικά χαμηλότερα σε αξία/μονάδα βάρους από τα σαλμονιδή, τα οποία αντιπροσωπεύουν το άκρο της αγοράς με τις υψηλές τιμές. Υπάρχει δέκα φορές μεγαλύτερη παραγωγή από την καλλιέργεια κυπρίνων από ότι υπάρχει σε σαλμονιδή, αλλά η συνολική τους αξία δεν είναι πολύ περισσότερο από δύο φορές την αξία των σαλμονιδών.

Τα ψάρια εσωτερικών νερών συχνά καλλιεργούνται μαζί ως συμπληρωματικά είδη (πολυκαλλιέργεια, ενότητα 2.3). Αυτά τα είδη ψαριών είναι φυτοφάγα (herbivores), παμφάγα (omnivores) και σαπροφάγα-τριματοφάγα (detritivores), τρέφονται χαμηλά στην τροφική αλυσίδα και απαιτούν τη χορήγηση μικρής ποσότητας συμπληρω-



Εικόνα 1.10 Ετήσια παραγωγή μεγάλων ομάδων ψαριών το 2014. Σημειώστε ότι και οι δύο άξονες Y είναι λογαριθμικοί και υπάρχουν πολύ μεγάλες διαφορές. Δεδομένα από <http://www.fao.org/fishery/statistics/global-aquaculture-production/query/en>. Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από τον John Lucas.

ματικής τροφής. Αυτή η υδατοκαλλιέργεια περιλαμβάνει συχνά λιμνοδεξαμενές, βασική τεχνολογία και χαμηλή πυκνότητα εκτροφής (**Εικόνα 2.4**). Η παραγωγή συχνά ενισχύεται με τη χρήση φθηνών οργανικών λιπασμάτων, όπως απόβλητα φυτικών, οικόσιτων ζώων και ανθρώπων, για τη διατροφή των καλλιεργούμενων ψαριών και για την ενίσχυση της πρωτογενούς παραγωγής στις λιμνοδεξαμενές (Ολοκληρωμένα Συστήματα Αγρο-Υδατοκαλλιέργειας, ενότητα 2.4). Στις αγροτικές κοινότητες όπου οι ζωικές πρωτεΐνες είναι λιγοστές και είναι απαγορευτικά δαπανηρές από άλλες πηγές, τα καλλιεργημένα ψάρια μπορούν να αποτελέσουν την κύρια, αν όχι την αποκλειστική πηγή ζωικής πρωτεΐνης.

Κατά την εξέταση της παραγωγής σε σχέση με

την κατανάλωση, υπάρχει μια περαιτέρω επιπλοκή όταν λαμβάνονται υπόψη τα στοιχεία για τη συνολική παραγωγή βρώσιμων θαλάσσιων προϊόντων διατροφής από την υδατοκαλλιέργεια μαζί με την συλλεκτική αλιεία (**Πίνακας 1.3**). Δεδομένου ότι η περιοχή της Ασίας περιλαμβάνει τους σημαντικότερους παραγωγούς υδατοκαλλιέργειας, έχει μακράν τη μεγαλύτερη παραγωγή, αλλά οι περιοχές της Ευρώπης και της Βόρειας Αμερικανικής είναι σχετικά μεγαλύτεροι εισαγωγείς. Παρά την πολύ υψηλή παραγωγή θαλάσσιων προϊόντων διατροφής στην Ασία, όταν οι συνολικές διαθέσιμες προμήθειες βρώσιμων θαλάσσιων προϊόντων διατροφής σχετίζονται με το μέγεθος του πληθυσμού, η κατανάλωση kg/κατά κεφαλήν/έτος είναι μεγαλύτερη στις περιοχές της Ευρώπης και της Βόρειας Αμερικής (**Πίνακας 1.5**). Αυτές οι εύπορες περιοχές καταναλώνουν επίσης τις μεγαλύτερες ποσότητες ζωικών προϊόντων από την κτηνοτροφία. Η ευημερία υποστηρίζει την υψηλή κατανάλωση ζωικής πρωτεΐνης που παράγεται τόσο στην ξηρά όσο και στη θάλασσα. Οι Αφρικανικές χώρες, οι οποίες κατά μέσο όρο έχουν χαμηλή πρόσληψη ζωικών προϊόντων /κατά κεφαλήν/έτος από την κτηνοτροφία, έχουν επίσης χαμηλή κατανάλωση θαλάσσιων προϊόντων διατροφής.

Η σχέση μεταξύ της κατά κεφαλήν κατανάλωσης ζωικών πρωτεϊνών δεν ισχύει μόνο για τις χώρες, αλλά και για τους ανθρώπους εντός των χωρών. Καθώς οι μεσαίες τάξεις αυξάνονται στις ανα-

πτυσσόμενες χώρες, το μέσο επίπεδο κατά κεφαλήν κατανάλωσης θαλάσσιων προϊόντων διατροφής θα αυξάνεται. Προβολές από το τρέχον επίπεδο της παγκόσμιας παραγωγής υδατοκαλλιέργειας στα μελλοντικά επίπεδα παγκόσμιων πληθυσμών πρέπει να λαμβάνουν υπόψη όχι μόνο την αύξηση του πληθυσμού, αλλά και την αύξηση της μεσαίας τάξης σε ορισμένες χώρες.

Υπάρχει μια άλλη αντίθεση μεταξύ της υδατοκαλλιέργειας στις αναπτυσσόμενες Ασιατικές χώρες και στις ανεπτυγμένες χώρες. Πάνω από το 60% της παραγωγής ψαριών στις ανεπτυγμένες χώρες βασίζεται σε σαρκοφάγα είδη ψαριών υψηλής εμπορικής αξίας (**Εικόνα 2.7**). Τα ψάρια αυτά εκτρέφονται σε μονοκαλλιέργεια σε υψηλές πυκνότητες εκτροφής και απαιτείται χορήγηση τροφών υψηλής περιεκτικότητας σε πρωτεΐνες. Οι τροφές με υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες είναι ακριβές και συνήθως απαιτούν ιχθυάλευρα ως πηγή ζωικής πρωτεΐνης και λιπιδίων για τη σαρκοφάγα διατροφή. Έτσι, αυτή η μορφή υδατοκαλλιέργειας χρησιμοποιεί προϊόντα χαμηλής αγοραστικής αξίας από την αλιεία ως ιχθυοτροφή για να αυξήσει την αξία του τελικού προϊόντος από την καλλιέργεια. Αυτό είναι αναποτελεσματικό.

1.7 Κίνα

Η Κίνα είχε ένα καταπληκτικό ξεκίνημα στην ανάπτυξη της σύγχρονης υδατοκαλλιέργειας. Υπάρ-

Πίνακας 1.5 Ετήσια παραγωγή εδώδιμων ψαριών* (εκατομμύρια τόνους) από την υδατοκαλλιέργεια και την συλλεκτική αλιεία στις μεγάλες περιοχές του κόσμου. Συμπεριλαμβάνεται επίσης η κατανάλωση εδώδιμων ψαριών/κατά κεφαλήν/έτος. Η τιμή της Συνολικής παροχής τροφίμων (Total food supply) είναι το άθροισμα των θετικών (παραγωγής και εισαγωγών) και αρνητικών (χρήση όχι ως τροφή και εξαγωγών) τιμών.

	Αφρική	Βόρεια Αμερική	Κεντρική Αμερική	Ασία	Ευρώπη	Ωκεανία	Παγκόσμια
Συνολική παραγωγή εδώδιμων ψαριών	8,0	6,8	10,9	82,3	15,9	1,6	134,6
Χρήση όχι ως τροφή	-1,2	-0,9	12,9	-10,1	-3,5	-0,4	-28,8
Εισαγωγές	2,5	5,0	1,3	12,5	15,4	0,5	37,3
Εξαγωγές	-1,8	-3,1	-3,8	-14,6	12,8	-0,9	-38,8
Συνολική παροχή τροφίμων	7,6	8,0	4,0	70,2	15,2	0,8	106,7
Κατανάλωση kg/κατά κεφαλήν/έτος	8,3	24,1	8,7	17,8	20,7	24,6	16,4

*Ο όρος εδώδιμα ψάρια σε αυτόν τον Πίνακα αναφέρεται σε ψάρια, καρκινοειδή και μαλάκια που προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση (βλ. Κεφάλαιο 26).

Δεδομένα από FAO 2007

χει εκτενές ιστορικό υδατοκαλλιέργειας στην Κίνα.¹² Ορισμένα αρχεία δείχνουν ότι ο κοινός κυπρίνος (*Cyprinus carpio*) καλλιεργούνταν σε χωμάτινες λιμνοδεξαμενές ήδη από το 1100 π.Χ. Αργότερα, κατά την δυναστεία των Τάνγκ (618-917 μ.Χ.), η καλλιέργεια εξελίχθηκε σε πέντε ακόμη είδη κυπρινοειδών: στον ασημοκυπρίνο (*Hypophthalmichthys molitrix*), στον μαρμαροκυπρίνο (*Hypophthalmichthys nobilis*), στον χορτοφάγο κυπρίνο (*Ctenopharyngodon idellus*), στον μυλοφαρυγγόδοντα (*Mylopharyngodon piceus*) και στον λασποκυπρίνο (*Cirrhinus molitorella*). Για όλα αυτά τα είδη συλλέγονταν ιχθύδια από φυσικούς πληθυσμούς από τον ποταμό Γιανγκτσέ (Yangtze) και από τον ποταμό Πέρλ (Pearl).

Η καλλιέργεια στρειδιών καταγράφηκε ήδη από τη δυναστεία των Χαν (206 π.Χ. έως 220 μ.Χ.), ενώ ο καλλιέργεια των θαλάσσιων ψαριών και οστρακοειδών αναπτύχθηκε κατά τη διάρκεια της δυναστείας των Μινγκ. Η θαλάσσια υδατοκαλλιέργεια και η καλλιέργεια γαλατόψαρου (milkfish) έγιναν διάσημες κατά την δυναστεία των Μίνγκ (1368-1644 μ.Χ.). Έφτασε σε τέτοιο επίπεδο που ο Xu Guangqi (1639 μ.Χ.) κατέγραψε τις μεθόδους για ιχθυοκαλλιέργεια ψαριών εσωτερικών νερών και για την πρόληψη των ασθενειών των ψαριών και δημιουργήθηκε ένα σύγγραμμα για την καλλιέργεια κεφαλοειδών.

Σήμερα, ακόμη και αν οι περισσότερες χώρες ήταν σαν τις ανεπτυγμένες χώρες και είχαν μέτρια επίπεδα ανάπτυξης της υδατοκαλλιέργειας στις τελευταίες δύο δεκαετίες, η υδατοκαλλιέργεια θα εξακολουθούσε να είχε ανθίσει σε παγκόσμια κλίμακα. Η Κίνα μόνη της αύξησε την παραγωγή από την υδατοκαλλιέργεια κατά 40 εκατομμύρια τόνους/έτος κατά την χρονική περίοδο 1994 με 2014 (**Πίνακας 1.1**). Ήταν μια κινητήρια δύναμη για την επέκταση της υδατοκαλλιέργειας σε όλο τον κόσμο. Η Κίνα αντιπροσωπεύει περίπου το 60% της παγκόσμιας παραγωγής (**Πίνακες 1.1 και 1.4**).

Ορισμένοι παράγοντες είναι υπεύθυνοι για την εξωπραγματική αύξηση της παραγωγής από την υδατοκαλλιέργεια στην Κίνα. Ο κύριος παράγοντας είναι η εσκεμμένη πολιτική προώθησης της υδατοκαλλιέργειας από το 1978.¹³ Υπήρξε μια σειρά πενταετών σχεδίων για την προώθηση νέων εξε-

λίξεων και στόχων. Μεταξύ αυτών περιλαμβάνεται η υδατοκαλλιέργεια, η οποία αντιμετωπίστηκε ως σημαντική συνιστώσα της παραγωγής τροφίμων και βασικών προϊόντων της Κίνας. Υπάρχει ένα ολοκληρωμένο, αν και πολύπλοκο, σύστημα συνιστωσών σε τρία επίπεδα:

1. Οι Εθνικοί και τοπικοί κυβερνητικοί φορείς μαζί με το Υπουργείο Επιστημών και Τεχνολογίας καθόρισαν τους στόχους για τα πενταετή σχέδια.
2. Υπάρχουν ερευνητικά και αναπτυξιακά ιδρύματα και ιδρύματα τριτοβάθμιας εκπαίδευσης. Εκπροσωπούνται από την Κινεζική Ακαδημία Επιστημών της Αλιείας και από τρία θεσμικά ιδρύματα.
3. Τα Εθνικά και Επαρχιακά Κέντρα Τεχνολογίας και Επέκτασης βοηθούν στην εφαρμογή των νέων τεχνολογιών που αναπτύσσονται από τους οργανισμούς έρευνας και ανάπτυξης (R&D) σε τοπικές εκμεταλλεύσεις και επιχειρήσεις.

Η υδατοκαλλιέργεια θα αυξανόταν πολύ πιο γρήγορα σε πολλές χώρες με αυτό το επίπεδο κυβερνητικής δέσμευσης.

Ακολούθως παρατίθεται μια σειρά σημαντικών παραγόντων στην ανάπτυξη της υδατοκαλλιέργειας στην Κίνα. Ορισμένες εξελίξεις ενδέχεται να μην θεωρούνται κατάλληλες σε ορισμένες χώρες, αλλά ήταν στην περίπτωση της Κίνας:

- Εντοπισμός τεράστιων περιοχών δυνητικών τόπων υδατοκαλλιέργειας, δηλαδή 2,6 εκατομμύρια εκτάρια κατάλληλων παραθαλάσσιων τοποθεσιών και 17,5 εκατομμύριων εκτάρια εσωτερικών νερών στην ενδοχώρα.
- Επέκταση των υπεράκτιων (offshore) περιοχών που χρησιμοποιούνται για τη θαλασσοκαλλιέργεια, από τα 10 στα 50 m βάθος.
- Αύξηση της χρήσης των εσωτερικών νερών για την υδατοκαλλιέργεια, π.χ. ήταν 25,5% το 1995 σε σύγκριση με 4,3% το 1978 (το 4,3% αντιπροσώπευε ήδη 100.500 εκτάρια).
- Αύξηση της παραγωγικότητας/μονάδα επιφανείας, μέσω έρευνας, επέκτασης και καλύτερης τεχνολογίας.
- Αύξηση του αριθμού των καλλιεργούμενων ειδών, συμπεριλαμβανομένων των ειδών υψηλής αξίας όπως η γαρίδα, τα χτένια και οι αλιώτιδες (abalone) για τις διεθνείς αγορές.
- Εισαγωγή περίπου 60 ειδών από το εξωτερικό.
- Εξημέρωση περίπου 20 νέων ειδών από άγριους

¹² <http://www.fao.org/docrep/006/y4762e/y4762e04.htm>

¹³ <http://www.fao.org/docrep/006/y4762e/y4762e04.htm>

πληθυσμούς και βελτίωση άλλων ειδών μέσω προγραμμάτων υβριδισμού και επιλογής αποθεμάτων (stock selection).

- Παραγωγή τεράστιου αριθμού ιχθυδίων και νεαρών ατόμων από πολλά μεγάλα εξειδικευμένα εκκολαπτήρια.

Σε αντίθεση με την Πράσινη Επανάσταση, όπου οι τεχνολογικές εξελίξεις διαδραμάτισαν σημαντικό ρόλο στην αύξηση της παραγωγικότητας, η εξαιρετική ανάπτυξη της υδατοκαλλιέργειας στην Κίνα δεν εξαρτήθηκε από σημαντικές τεχνολογικές εξελίξεις. Παρόλο που τα προγράμματα έρευνας και ανάπτυξης και επέκτασης έχουν τώρα σημαντικό αντίκτυπο, η προηγούμενη ανάπτυξη προήλθε από την αναβάθμιση (upscalation).

Το αποτέλεσμα αυτού του μελετημένου προγράμματος για την προώθηση της υδατοκαλλιέργειας είναι ότι η Κίνα ηγείται παγκόσμια ως μια από τις λίγες, πιθανόν η μόνη μεγάλη χώρα, της οποίας η παραγωγή υδατοκαλλιέργειας υπερβαίνει κατά πολύ την αλιευτική παραγωγή. Το 2014, η ποσότητα της παραγωγής από την υδατοκαλλιέργεια ήταν τριπλάσια της αλιευτικής παραγωγής.

Δεν φαίνεται να προκαλεί έκπληξη το γεγονός ότι η Κίνα, ως χώρα με τον μεγαλύτερο πληθυσμό, είναι ο μεγαλύτερος παραγωγός υδατοκαλλιέργειας. Ορισμένα στοιχεία σχετικά με την παραγωγή σε σχέση με το μέγεθος του πληθυσμού παρουσιάζονται στον **Πίνακα 1.1**. Η παραγωγή της υδατοκαλλιέργειας στην Κίνα είναι περίπου 36 kg/άτομο/έτος. Η μέση παραγωγή για όλες τις αναπτυσσόμενες χώρες είναι περίπου 17 kg/άτομο/έτος και για τις ανεπτυγμένες χώρες είναι <2 kg/άτομο/έτος. Λαμβάνοντας υπόψη την ονομαστική αξία, αυτά τα αριθμητικά στοιχεία είναι παραπλανητικά. Για παράδειγμα, η Κίνα παράγει πολλά μακροφύκη (βλ. παραπάνω), τα οποία χρησιμοποιούνται λιγότερο για ανθρώπινη κατανάλωση και, όπως και άλλες Ασιατικές χώρες, εξαγεί προϊόντα υδατοκαλλιέργειας υψηλής αξίας στις ανεπτυγμένες χώρες.

1.8 Ζητήματα για τις Ανεπτυγμένες Χώρες

“Καμία χερσαία βιομηχανία παραγωγής τροφίμων δεν έχει υποβληθεί σε τόσο έντονο και εξο-

νυχιστικό έλεγχο όσο η υδατοκαλλιέργεια”.

Jose R. Villalon¹⁴

Ορισμένες εξελίξεις στον τομέα της υδατοκαλλιέργειας κατά τις τελευταίες δεκαετίες κατά την περίοδο της ταχείας ανάπτυξης ήταν περιβαλλοντικά καταστροφικές και όχι βιώσιμες. Αυτές αφορούσαν ιδιαίτερα τη νοτιοανατολική Ασία και ήταν επιχειρήσεις οι οποίες “πλούτισαν γρήγορα” χωρίς να λάβουν υπόψη τις μακροπρόθεσμες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Αυτό οδήγησε σε ένα επίπεδο κακής εικόνας και καχυποψίας για τις εξελίξεις και τα προϊόντα υδατοκαλλιέργειας σε ορισμένες ανεπτυγμένες χώρες.

Είναι στοιχειώδες στην καλλιέργεια ότι περιλαμβάνει περιβαλλοντικές τροποποιήσεις σε διάφορους βαθμούς για την ενίσχυση της παραγωγής. Για παράδειγμα, η καλλιέργεια σιτηρών όπως η καλλιέργεια σιταριού, κατάστρεψε ανεπανόρθωτα το περιβάλλον σε αμέτρητα εκατομμύρια εκτάρια ανά τον κόσμο, με:

- Αποψίλωση της ενδημικής βλάστησης
- Καταστροφή της δομής του εδάφους
- Διάβρωση του εδάφους
- Εξαφάνιση ή κοντά στην εξαφάνιση των ενδημικών ειδών που εξαρτώνται από το αρχικό περιβάλλον
- Εισαγωγές εξωτικών και επιβλαβών ειδών.

Βάσει της σύγχρονης περιβαλλοντικής συνείδησης είναι πολύ απίθανο να επιτραπεί ή ακόμη και να εξεταστεί η καλλιέργεια σιτηρών σε αυτή την κλίμακα. Ωστόσο, η περιβαλλοντική ζημιά που έχει συντελεστεί κατά τη διάρκεια εκατοντάδων έως χιλιάδων ετών, είναι μη αναστρέψιμη, και η εναλλακτική λύση στην καλλιέργεια σιτηρών είναι ο παγκόσμιος πληθυσμός να λιμοκτονήσει.

Η συλλεκτική αλιεία υφίσταται εδώ και δεκάδες χιλιάδες χρόνια. Ωστόσο, δεδομένου ότι η παγκόσμια αλιεία έχει φθάσει στο σημείο ότι δεν είναι πλέον δυνατή η εξαγωγή (σύλληψη) περισσότερων προϊόντων (**Εικόνα 1.3**), είναι αδιανόητο η συλλεκτική αλιεία να μην έχει εκτεταμένες επιπτώσεις όχι μόνο στους αλιευθέντες πληθυσμούς

¹⁴ “Setting the Bar for Food Production: Is aquaculture the model for how protein should be farmed?” World Aquaculture 2014–Meeting Abstract.

αλλά και στα παρακείμενα υδάτινα οικοσυστήματα. Η πρόσφατη έναρξη της “βιομηχανοποιημένης αλιείας” ήταν ένας ιδιαίτερος παράγοντας για τη μείωση των πληθυσμών ψαριών θηρευτών σε παράκτιες και σε ορισμένες ωκεάνιες περιοχές σε ποσοστό 80% ή λιγότερο από τα προηγούμενα επίπεδα (Meyers and Worm, 2013). Οι βαθιές αυτές επιπτώσεις είναι δύσκολο να προσδιοριστούν, αλλά το ερευνητικό έργο Sea Around Us προσπαθεί για αυτό. «Γενικά, η υλοποίηση του έργου αποσκοπεί στην επανεξέταση της αλιείας, από την αβλαβή δραστηριότητα που πολλοί ενδιαφερόμενοι εξακολουθούν να αντιλαμβάνονται ότι είναι, σε μια συνειδητοποίηση ότι έχει γίνει ο κύριος παράγων της μαζικής απώλειας βιοποικιλότητας στον ωκεανό» (Pauly, 2007). Έχουν διεξαχθεί μελέτες που δείχνουν τις επιπτώσεις στα κατώτερα τροφικά επίπεδα λόγω υπερβολικής αλιείας ψαριών θηρευτών, έτσι ώστε να αλλάξει η δομή της κοινότητας. Ένα παράδειγμα είναι οι επιπτώσεις στο οικοσύστημα μετά την κατάρρευση από τη υπεραλίευση του γάδου του Ατλαντικού στην ανατολική υφαλοκρηπίδα της Σκωτίας (Bundy, 2005). Το σύστημα άλλαξε από ένα σύστημα το οποίο κυριαρχούσαν υδρόβιοι οργανισμοί που έβρισκαν την τροφή τους στον πυθμένα και κοντά στον πυθμένα (bottom and near-bottom feeders) σε ένα σύστημα κυριαρχούμενο από οργανισμούς που βρίσκουν την τροφή τους πελαγικά (pelagic feeders), πιθανώς λόγω της μεγάλης αφθονίας σε πελαγικά ψάρια.

Η φιλική προς το περιβάλλον και βιώσιμη υδατοκαλλιέργεια είναι μια καλύτερη εναλλακτική λύση για την αλιεία και προσφέρει κάτι περισσότερο από την αύξηση της παραγωγής θαλάσσιων προϊόντων διατροφής.

Η γεωργία και η αλιεία αποτελούν μέρος της κληρονομιάς μας, αλλά η υδατοκαλλιέργεια, ιδίως στις ανεπτυγμένες χώρες είναι μια χρονικά καθυστερημένη προσέγγιση και πρέπει να κάνει τις προσπάθειές της σε ρυθμιστικές περιστάσεις που είναι πολύ πιο αυστηρές. Η γεωργία και η συλλεκτική αλιεία γίνονται αποδεκτές παρά την περιβαλλοντική καταστροφή γιατί βασιζόμαστε σε αυτές ως απαραίτητες πηγές τροφής.

Η υδατοκαλλιέργεια στις ανεπτυγμένες χώρες πρέπει να αναπτυχθεί μέσα στους περιορισμούς των συνολικών περιβαλλοντικών κανονισμών που μερικές φορές είναι παράλογοι, παραδείγματος

χάριν οι υδρολογικές παράμετροι του εκρέοντος (discharge) νερού από τις λιμνοδεξαμενές πρέπει να είναι καλύτερης ποιότητας από το νερό που εισέρχεται σε αυτές. Πρέπει επίσης να αναπτυχθεί εντός των περιορισμών των υφιστάμενων ενδιαφερομένων, οι οποίοι ενδέχεται να υποβάλουν αντιρρήσεις στην προτεινόμενη ανάπτυξη της υδατοκαλλιέργειας, π.χ. για αλληλεπιδράσεις (παρενοχλήσεις) με σκάφη αναψυχής, για την αλλοίωση μιας γραφικής τοποθεσίας. Αν και η περιοχή υδατοκαλλιέργειας αποτελεί μακροχρόνιο σχέδιο προτού προταθεί η μαρίνα ή αρχίσει να αναπτύσσεται η παράκτια κοινότητα στην περιοχή, οι αντιρρήσεις αυτές είναι πιο δύσκολο να διατηρηθούν αλλά οι μακροχρόνιες επιχειρήσεις υδατοκαλλιέργειας είναι συχνά ασυνήθιστες στις ανεπτυγμένες χώρες. Πολλές προτάσεις δημιουργίας εγκαταστάσεων υδατοκαλλιέργειας αποτυγχάνουν κάτω από την πίεση του αριθμού των απαιτούμενων αδειών και εγκρίσεων, τις νομικές και διοικητικές δαπάνες και τη διάρκεια των διαδικασιών για την απόκτηση της τελικής έγκρισης για να προχωρήσουν στην υλοποίηση του έργου.

Παρά τον αυστηρό έλεγχο, υπάρχει ευρεία αναγνώριση στις ανεπτυγμένες χώρες ότι η υδατοκαλλιέργεια είναι το μέλλον εάν επιθυμούμε να ανταποκριθούμε στην αυξημένη ζήτηση θαλάσσιων προϊόντων διατροφής. Φαίνεται ωστόσο, ότι οι κυβερνήσεις ορισμένων ανεπτυγμένων χωρών είναι διατεθειμένες να εισάγουν αυξανόμενες ποσότητες εκτρεφόμενων θαλάσσιων προϊόντων διατροφής παρά να διευκολύνουν την ανάπτυξη αυτών των βιομηχανιών στις χώρες τους. Οι ρυθμοί ανάπτυξης της υδατοκαλλιέργειας στις ανεπτυγμένες χώρες κατά τις επόμενες δεκαετίες θα εξαρτηθούν σημαντικά από τις κυβερνητικές πολιτικές:

- Σε ποιο βαθμό είναι ικανοποιημένοι να δεχθούν αυξημένες εισαγωγές θαλάσσιων προϊόντων διατροφής.
- Σε ποιο βαθμό σκοπεύουν να υποστηρίξουν την παραγωγή εντός της χώρας.

Εάν πρόκειται για το τελευταίο, θα χρειαστεί να κάνουν περισσότερα για να “αφαιρέσουν την τροχόπεδη” και να διευκολύνουν νέες επιχειρήσεις υδατοκαλλιέργειας. Εν όψει της κυβερνητικής αδιαφορίας και τις υπερβολικές νομοθετικές ρυθμίσεις, δεν προβλέπεται να υπάρξει μεγάλη ανάπτυξη της

υδατοκαλλιέργειας. Στις αναπτυσσόμενες χώρες, η ανάπτυξη του κλάδου της υδατοκαλλιέργειας συμπεριλαμβάνει τις κυβερνήσεις οι οποίες λαμβάνουν αποφάσεις για τη διευκόλυνση της υδατοκαλλιέργειας γενικά και μερικές βιομηχανίες πιο ειδικά.

1.9 Μια Αλληγορία

Τα lums είναι μετρίου μεγέθους φυτοφάγα ζώα που μπορούν να ζυγίζουν μέχρι 50 kg. Ένα μέρος του κρέατός τους πωλείται στην τοπική αγορά αλλά το περισσότερο καταψύχεται και γίνεται εξαγωγή στις Ασιατικές αγορές όπου έχει μεγάλη αξία. Η συλλογή των lums στηρίζεται στο κυνήγι τη νύχτα όπου πυροβολούνται όταν είναι δραστήρια. Τα lums εντοπίζονται με προβολέα και πυροβολούνται από επαγγελματίες κυνηγούς οι οποίοι βρίσκονται πάνω σε τετρακίνητα οχήματα. Ωστόσο, καθώς έγινε συκομιδή αυτών των πληθυσμών σε μη βιώσιμα επίπεδα, ήταν απαραίτητο στη συνέχεια οι κυνηγοί να κατευθύνονται σε περιοχές σε μεγαλύτερες αποστάσεις για την εξεύρεση των lums. Επιπλέον, τα εναπομείναντα lums φοβόντουσαν τα οχήματα και για αυτό τα οχήματα έπρεπε να κινούνται με μεγαλύτερη ταχύτητα και να εισέρχονται μέσα σε θαμνώδεις περιοχές καταστρέφοντας συστάδες θάμνων και μικρά δέντρα. Μερικά παρόμοιου μεγέθους με τα lums σαρκοφάγα θηλαστικά, πυροβολούνταν επίσης εξαιτίας του περιορισμένου χρόνου για προσεκτική αναγνώριση του είδους από τους κυνηγούς (παράπλευρες απώλειες). Στην πραγματικότητα, δεδομένου ότι τα lums έγιναν όλο και περισσότερο σπάνια, η στρατηγική άλλαξε στο να πυροβολούν πρώτα και στη συνέχεια να ελέγχουν όταν τα κατάλληλου μεγέθους θηλαστικά εντοπίζονταν από τον προβολέα. Όλο και περισσότερα από τα μη στοχευμένα θηλαστικά πυροβολήθηκαν με αυτόν τον τρόπο, αλλά είχαν μικρή εμπορική αξία. Η βιομηχανία των lums έγινε οριακά κερδοφόρα και ο μεγάλος αριθμός των σκοπευτών αναχώρησε για άλλη απασχόληση.

Οι ερασιτέχνες κυνηγοί των lums επηρεάστηκαν από τη μείωση των πληθυσμών και έστειλαν μια αντιπροσωπεία για να θέσει το ζήτημα σε αρμόδιο κυβερνητικό στέλεχος. Προτάθηκε λοιπόν, να δημιουργηθούν αποθέματα για την προστασία των lums. Ορισμένοι βιολόγοι ωστόσο, επισήμαναν

ότι οι ρυθμοί ανάκαμψης (recovery) του πληθυσμού των lums καθώς και άλλοι μειωμένοι πληθυσμοί θηλαστικών, δεν θα περιορίζονταν από τους ρυθμούς αναπαραγωγής. Η ανάκαμψη των πληθυσμών, θα επηρεαζόταν από την μακρόχρονη περίοδο που απαιτούνταν για την ανάκαμψη του περιβάλλοντος τους. Επιπλέον, τα lums ταξίδευαν σε μικρά κοπάδια τα οποία συγχωνεύονταν σε μεγάλα κοπάδια αναπαραγωγής κατά την διάρκεια της εαρινής περιόδου. Τα περισσότερα lums ζούσαν πλέον μόνα τους και ήταν προφανές ότι η αναπαραγωγική συμπεριφορά τους που περιελάμβανε μεγάλα συγχωνευμένα κοπάδια, δεν μπορούσε πλέον να συμβεί.

Ανεξάρτητα από αυτό, προτάθηκε στην ευρύτερη περιοχή να γίνει ένα αγρόκτημα για την εκτροφή των lums. Έγιναν προσεκτικοί σχεδιασμοί για αυτό το αγρόκτημα για την ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και την ικανοποίηση όλων των απαιτήσεων για την νέα δραστηριότητα. Τα lums θα εκτρέφονταν σε σχετικά μεγάλη πυκνότητα και θα τρέφονταν με μια προσεκτικά μελετημένη διατροφή από σιτηρά, τροφή σε μορφή σφαιριδίων (pellet) και άχυρο (chaff), αντί να βόσκουν σε μία μεγάλη έκταση. Αποδείχθηκε και η οικονομική βιωσιμότητα αυτής της πρότασης. Το απόθεμα των lum για εκτροφή θα μπορούσε να ληφθεί από άλλες εκτροφές με ημι-εξημερωμένο απόθεμα. Η πρόταση υποβλήθηκε στο Τμήμα Πρωτογενών Βιομηχανιών και Νέων Επιχειρήσεων (DPINE) μετά από δύο χρόνια προγραμματισμού και διάσκεψης με τους τοπικούς, κρατικούς και εθνικούς κυβερνητικούς φορείς για την ικανοποίηση των κριτηρίων για μια νέα γεωργική ανάπτυξη. Το Τμήμα αυτό λοιπόν δημοσίευσε την πρόταση και ζήτησε τις υποψηφιότητες από τους διάφορους ενδιαφερόμενους.

Όταν ρωτήθηκαν, οι περισσότεροι άνθρωποι αναγνώρισαν ότι η καλλιέργεια των lums ήταν η μόνη λύση για να διατηρήσουν ή να αποκτήσουν περισσότερα προϊόντα από τα lums. Ωστόσο, δεν ήθελαν μια εκτροφή κοντά στον τόπο διαμονής τους (NIMBY – Not In My BackYard). Διοργανώθηκαν διαμαρτυρίες από τους εναπομείναντες σκοπευτές και από περιβαλλοντικούς ακτιβιστές. Κατατέθηκαν υπομνήματα στο Τμήμα και σε τοπικούς πολιτικούς.

Οι βάσεις για τις αντιθέσεις ήταν:

- Τα lums είναι θορυβώδη ζώα και ενεργά τη νύχτα.

- Η μυρωδιά των περιττωμάτων των lums θα διαχέεται στον αέρα.
- Το τοπικό σφαγείο θα αναγεννηθεί μαζί με την επιστροφή της δυσάρεστης οσμής τους.
- Εκτάρια αγροτικής έκτασης θα καταστρέφονταν εάν ο τρόπος εκτροφής άλλαζε με νέα άδεια.
- Τα ημι-εξημερωμένα lums θα μπορούσαν να διαφύγουν από τους φράχτες και να ζευγαρώσουν με τα άγρια lums εξασθενίζοντας με αυτόν τον τρόπο την γενετική δεξαμενή των εναπομενόντων lums.
- Οι εναπομείναντες επαγγελματίες κυνηγοί θα υποστούν περαιτέρω οικονομικές δυσχέρειες αφού θα ανταγωνίζονται τους αγρότες.

Η αίτηση απορρίφθηκε από το Τμήμα Πρωτογενών Βιομηχανιών και Νέων Επιχειρήσεων (DPINE) εν όψει αυτής της έντονης αντιπολίτευσης.

Εν τω μεταξύ, δύο είδη μυγών και τρία είδη σκαθαριών, τα οποία γεννούν τα αβγά τους στα περιττώματα των lums ή στο έδαφος κάτω από αυτά, πέθαιναν σε αυτή την περιοχή εξαιτίας της έλλειψης περιττωμάτων των lum. Δύο είδη πτηνών και μία σαύρα που εξαρτώνται από αυτά τα έντομα και τις προνύμφες τους με τις οποίες τρέφονταν, έφτασαν σε σημείο εξαφάνισης. Η μείωση των πληθυσμών τους σε σημείο εξαφάνισης στην περιοχή πέρασε απαρατήρητη. Αυτό που δεν πέρασε απαρατήρητο ήταν το αποτέλεσμα του μειωμένου αριθμού ενός από τα μη στοχευόμενα θηλαστικά. Σημαντικοί αριθμοί αυτού του θηλαστικού, το οποίο τρέφεται με τρωκτικά, πυροβολήθηκαν τυχαία και αυτό είχε ως αποτέλεσμα ο πληθυσμός των αρουραίων να αρχίσουν να εξαπλώνονται γρήγορα λόγω της μειωμένης πίεσης των αρπακτικών. Η τροφή των αρουραίων έγινε σπάνια στο φυσικό τους περιβάλλον με αποτέλεσμα να αρχίσουν να αναζητούν την τροφή τους σε νέα περιβάλλοντα. Οι παρακείμενες κατοικημένες περιοχές είχαν ανεξήγητες εισβολές από αρουραίους.

Εδώ τελειώνει η Αλληγορία!

1.10 Η Ποικιλομορφία της Υδατοκαλλιέργειας

Τα κυπρινοειδή και τα μακροφύκη των εσωτερικών νερών κυριαρχούν στην παγκόσμια παραγωγή

υδατοκαλλιέργειας. Ωστόσο, πέραν αυτών των δύο μεγάλων ομάδων και του μέτριου αριθμού ειδών υδατοκαλλιέργειας που περιγράφονται σε αυτό το βιβλίο, υπάρχει μια τεράστια ποικιλία καλλιεργούμενων ειδών. Ο Διεθνής Οργανισμός Τροφίμων και Γεωργίας (FAO) παρέχει δεδομένα σχετικά με την ποσότητα και την εμπορική αξία της παραγωγής από την υδατοκαλλιέργεια μερικών εκατοντάδων ειδών ψαριών, οστρακοειδών και μικροφυκών που καλλιεργούνται για ανθρώπινη κατανάλωση.

Ακόμη και αυτές οι τρεις πολύ ευρείες κατηγορίες οργανισμών δεν καλύπτουν ολόκληρο το φάσμα των καλλιεργούμενων ειδών στην υδατοκαλλιέργεια. Εκτός από την υδατοκαλλιέργεια για ανθρώπινη κατανάλωση υπάρχουν:

- Διεθνείς και τοπικές βιομηχανίες που παράγουν ζωντανές τροφές για εκκολαπτήρια, π.χ. αποξηραμένες κύστες *Artemia*, ζωντανά σκουλήκια, μικροφύκη (Κεφάλαιο 9).
- Μια τεράστια παγκόσμια βιομηχανία υδατοκαλλιέργειας για διακοσμητικά ψάρια, ιδίως τροπικά ψάρια γλυκού και θαλασσινού νερού (Κεφάλαιο 26).
- Βιομηχανίες που σχετίζονται με τα ενυδρεία και την παραγωγή φυτών για ενυδρεία, ασπόνδυλα θαλάσσιου και γλυκού νερού συμπεριλαμβανομένων των εμπονομαζόμενων “ζωντανών βράχων” (υποστρώματα αποτελούμενα από σκελετούς νεκρών κοραλλιών, κελύφη δίθυρων μαλακίων και άλλους οργανισμούς που συνδέονται μεταξύ τους με σπόγγους και φύκη) για τροπικά θαλάσσια ενυδρεία.
- Μαργαριτάρια και σπόγγοι καλλιεργούνται για τις παραδοσιακές τους χρήσεις.
- Κροκόδειλοι εκτρέφονται για την παραγωγή δερμάτων για χρήση τους σε ακριβές γυναικείες τσάντες.
- Ειδικά προϊόντα όπως τα ολοθούρια (αγγούρι της θάλασσας), αχινοί, βουβαλοβάτραχοι (bullfrogs) και χελώνες με μαλακό κέλυφος (Κεφάλαιο 21) τα οποία είναι εξαιρετικά δημοφιλή στην Ασιατική κουζίνα.

Συγκεκριμένα, οι Ασιατικές χώρες με μεγάλες και παραδοσιακές βιομηχανίες υδατοκαλλιέργειας συμμετέχουν στην καλλιέργεια μιας ευρείας ποικιλίας ειδών. Οι Cen and Zhang (1998) αναφέρουν ότι τουλάχιστον 110 είδη (συμπεριλαμβανομένων των



Εικόνα 1.11. Εμπλουτισμός με νεαρά ιχθύδια στο ποταμό Κολοράντο, κοντά στο πάρκο Moabi, Καλιφόρνια, ΗΠΑ. Πηγή: Φωτογραφία από τον Stephen Fried, Αναπαραγωγή με την άδεια Αναφοράς Δημιουργού - Παρόμοιες Διανομές Creative Commons, CC-BY-SA 4.0.

εισαγόμενων ειδών) καλλιεργούνται στην Κίνα. Αυτά περιλαμβάνουν θαλασσινά ψάρια καθώς και ψάρια των εσωτερικών νερών, γαρίδες, καραβίδες, καβούρια, δίθυρα, γαστερόποδα, διάφορα μακροφύκη και άλλα ειδικά προϊόντα (Κεφάλαιο 20). Οι υδατοκαλλιεργητές στην Ταϊβάν έχουν αναπτύξει τεχνικές για την καλλιέργεια περισσότερων από 90 ειδών προνυμφών ψαριών του θαλασσινού νερού αλλά και εσωτερικών νερών. Στην Ιαπωνία, το 1997, 284 εκκολαπτήρια παρήγαγαν ιχθύδια 88 ειδών ψαριών (Fushimi, 2001). Τα ιχθύδια 73 ειδών, που ανέρχονται σε 168 εκατομμύρια ιχθύδια, απελευθερώθηκαν στο φυσικό περιβάλλον μέσω προγραμμαμάτων ενίσχυσης των φυσικών αποθεμάτων.

1.11 Ενίσχυση και Αποκατάσταση Αλιευτικών Αποθεμάτων

Αυτό εγείρει μια άλλη πτυχή της ποικιλομορφίας της υδατοκαλλιέργειας: συνδέσεις μεταξύ της υδατοκαλλιέργειας και της αλιείας.

Υπάρχει ένα μακρύ ιστορικό βελτίωσης των αποθεμάτων των περιορισμένων οικοσυστημάτων εσωτερικών νερών για μετέπειτα αλιεία (συνήθως αναψυχής). Αυτό ισχύει τυπικά με τα νεαρά ιχθύδια από εξειδικευμένα εκκολαπτήρια (**Εικόνα 1.11**). Τα νεαρά ιχθύδια δεν είναι απαραίτητα σε όλες τις περιπτώσεις να είναι ενδημικά στα υδάτινα οικοσυστήματα

και αυτό δεν μπορεί να επιφέρει βελτίωση των αποθεμάτων, στην πραγματικότητα έχει περισσότερα κοινά με την υδατοκαλλιέργεια σε λιμνοδεξαμενές.

Ο εμπλουτισμός και η αποκατάσταση των αλιευτικών αποθεμάτων σε θαλάσσια περιβάλλοντα είναι πιο περίπλοκα, καθώς οι ιχθύες που απελευθερώνονται δεν μπορούν να περιοριστούν σε ένα σημείο.

Η Επιστημονική Κοινοπραξία για την Ανασύσταση του Ωκεανού (SCORE, Science Consortium for Ocean Replenishment)¹⁵ αναγνωρίζει τρεις βασικές μορφές ενίσχυσης (εμπλουτισμό) της αλιείας:

- Η καλλιέργεια στη θάλασσα (*Sea ranching*) αφορά την απελευθέρωση νεαρών ατόμων που προέρχεται από καλλιέργεια σε μη κλειστά θαλάσσια περιβάλλοντα και σε εκβολές ποταμών δηλαδή όχι σε θαλάσσια κλουβιά για να έχουμε στη συνέχεια εξαλίευση σε μεγαλύτερο μέγεθος. Τα ζώα δεν απελευθερώνονται με την προσδοκία ότι θα συμβάλουν στην αναπαραγωγή της βιομάζας του αλιευτικού αποθέματος, αν και είναι αναπόφευκτο ότι μερικά δεν θα συλληφθούν και ότι ενδέχεται να φτάσουν στην αναπαραγωγική ωριμότητα.
- Βελτίωση των αποθεμάτων (*Stock enhancement*) είναι η απελευθέρωση νεαρών ατόμων που προέρχεται από καλλιέργεια σε ένα αλιευτικό απόθεμα στο οποίο έχει περιοριστεί η στρατολόγη-

¹⁵ <http://www.stockenhancement.org/about/history.html>

ση, για να ενισχυθούν τα φυσικά αποθέματα νεαρών ατόμων και ως αποτέλεσμα να αυξηθούν τα αλιεύματα (η αλιεία μπορεί να είναι εμπορική ή ψυχαγωγική).

- Η ανανέωση ή επανεισαγωγή του αποθέματος (*restocking*) (ή αποκατάσταση αυτού) είναι η απελευθέρωση νεαρών ατόμων που προέρχεται από καλλιέργεια σε ένα αλιευτικό απόθεμα για την αποκατάσταση της έντονα εξαντλημένης αναπαραγωγικής βιομάζας σε ένα επίπεδο έτσι ώστε να δώσει κανονικές και ουσιαστικές αποδόσεις, για άλλη μια φορά.

Οι χώρες που εμπλέκονται σε προγράμματα ανανέωσης (επανεισαγωγής) και βελτίωσης των αποθεμάτων με διάφορα καλλιεργούμενα είδη περιλαμβάνουν την Αυστραλία, την Κίνα, την Δανία, την Γαλλία, την Ισλανδία, το Ιράν, την Νότια Κορέα, την Νορβηγία, την Ωκεανία, την Ισπανία, την Ταϊλάνδη, το Ηνωμένο Βασίλειο και τις ΗΠΑ. Τα προγράμματα περιλαμβάνουν ένα ευρύ φάσμα ειδών: κυρίως ιχθύες αλλά επίσης και οστρακοειδή όπως αλιώτιδες (*abalone*), χτένια και αστακούς. Η Ιαπωνία από μόνη της ενισχύει τα αποθέματα περίπου 80 ειδών.

Τα αποτελέσματα των προγραμμάτων ενίσχυσης (βελτίωσης) των αποθεμάτων για τα έντονα υπεραλιευμένα αποθέματα αλιώτιδας στην Ιαπωνία, δείχνουν την μεταβαλλόμενη επιτυχία ορισμένων προγραμμάτων αποκατάστασης των αποθεμάτων (Hamasaki and Kitada, 2008). Οι ρυθμοί επανασύλληψης των απελευθερωμένων αλιώτιδων κυμαίνονται από 1,4 έως 23,8% σε 13 περιοχές: η απελευθερωμένη αλιώτιδα συνέβαλε από 6,9 έως 83,5% των συνολικών συλλήψεων σε αυτές τις περιοχές και η οικονομική απόδοση της ενίσχυσης των αποθεμάτων εκτιμάται ότι κυμαίνεται από 0,4 έως 6,2 σε αυτές τις 13 περιοχές.¹⁶ Αυτή η μεταβλητότητα των δεδομένων ανανέωσης των αποθεμάτων της αλιώτιδας ήταν μεταξύ συγκεκριμένων περιοχών, αλλά συνέβη και μεταξύ ετών απελευθέρωσης. Τα προγράμματα ανανέωσης των αποθεμάτων της αλιώτιδας ξεκίνησαν στα τέλη του 1960, αλλά ο ετήσιος αριθμός αλιευμάτων μειώ-

θηκε από περίπου 6500 τόνους το 1970 σε 2000 τόνους στα μέσα της δεκαετίας του 1990 (Hamasaki and Kitada, 2008).

Η βελτίωση των αποθεμάτων περιλαμβάνει μια πιο εξελιγμένη προσέγγιση και όχι μόνο την εκτροφή μεγάλου αριθμού νεαρών ατόμων και την απελευθέρωση τους στην περιοχή εγγύτητας του αλιευτικού αποθέματος, καθώς άλλοι παράγοντες είναι πολύ σημαντικοί για την επιτυχία αυτής της διαδικασίας. Αυτοί οι παράγοντες περιλαμβάνουν τη γενετική ποικιλομορφία των γεννητόρων, την προετοιμασία και την επιλογή κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας στο εκκολαπτήριο με σκοπό τη μεγιστοποίηση της φυσιολογικής αλλά και της συμπεριφορικής προσαρμογής των νεαρών ατόμων μετά την απελευθέρωση τους.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν αρνητικά το άγριο απόθεμα μπορεί να χρειαστεί να τροποποιηθούν ταυτόχρονα με την αποκατάσταση του αποθέματος, π.χ. αποκατάσταση των ενδιαιτημάτων τους, μέτρα ελέγχου των θηρευτών και περιορισμούς στην αλιεία. Επιπλέον, πρέπει να υπάρχουν αρκετοί διαθέσιμοι βιότοποι για τις νέες απελευθερώσεις. Δεν υπάρχει λόγος να ενισχυθεί το απόθεμα όταν ο βιότοπος δεν μπορεί να στηρίξει τις νέες απελευθερώσεις ή όταν στο αλιευόμενο απόθεμα δεν υπάρχει περιορισμός στη στρατολόγηση.

Υπάρχει ένα αναπτυσσόμενο ερευνητικό πεδίο για την εξεύρεση (*discerning*) των βέλτιστων συνθηκών απελευθέρωσης των ζώων που προέρχονται από την υδατοκαλλιέργεια στο πεδίο (Lorenzen et al., 2013).

1.12 Περίληψη

- Η υδατοκαλλιέργεια αναπτύχθηκε χιλιάδες χρόνια αργότερα από την γεωργία λόγω, μεταξύ των άλλων, της δυσκολίας μας να εκτιμήσουμε τις κρίσιμες παραμέτρους του υδάτινου περιβάλλοντος.
- Η υδατοκαλλιέργεια συνεχίζει να αυξάνεται με ταχείς ρυθμούς για την παραγωγή θαλάσσιων προϊόντων διατροφής, ενώ η αλιευτική παραγωγή έχει σταθεροποιηθεί, όμως με πολλά αλιευτικά αποθέματα να είναι σε κακή κατάσταση.
- Η αύξηση της υδατοκαλλιέργειας ως ποσοστού της συνολικής παραγωγής θαλάσσιων προϊό-

¹⁶ Η Οικονομική αποδοτικότητα θεωρεί την αυξημένη αξία της αλιείας από τη βελτίωση των αποθεμάτων έναντι του κόστους εκκόλαψης για την παραγωγή ιχθυδίων και τον εμπλουτισμό των αλιευθέντων πληθυσμών.

ντων διατροφής είναι επί του παρόντος εκθετική και ξεπέρασε την συλλεκτική αλιεία ως κύρια πηγή θαλάσσιων προϊόντων διατροφής το 2014.

- Υπάρχει, ωστόσο, ένα σημαντικά μεγαλύτερο ποσοστό υδρόβιων φυτών στην υδατοκαλλιέργητική παραγωγή και ενώ σημαντικές ποσότητες μακροφυκών καταναλώνονται σε διάφορες μορφές, η μεγαλύτερη ανάγκη στον κόσμο είναι για ζωικές πρωτεΐνες. Με τον σημερινό ρυθμό εκθετικής αύξησης της ζωικής παραγωγής, η υδατοκαλλιέργεια θα πρέπει να ξεπεράσει την αλιεία ως κύρια πηγή θαλασσινών ζώων πριν από το 2020.
- Οι μεγαλύτερες αυξήσεις στην παραγωγή σε ζωικά θαλάσσια προϊόντα διατροφής, έχουν παρατηρηθεί σε ψάρια εσωτερικών νερών χαμηλής αξίας και εντός των αναπτυσσόμενων χωρών. Η αύξηση της υδατοκαλλιέργειας ετησίως ήταν στο εκπληκτικό 11,9% στις λιγότερο ανεπτυγμένες χώρες και στο 7,4% στις αναπτυσσόμενες χώρες κατά την περίοδο 1994-2014. Οι τιμές είναι αποτέλεσμα της ισχυρής προώθησης της βιομηχανίας σε αυτές τις χώρες.
- Η υδατοκαλλιέργεια δεν προωθείται σχεδόν κα-

θόλου σε πολλές ανεπτυγμένες χώρες. Στην πραγματικότητα, συχνά παρεμποδίζεται από την υπερβολική νομοθεσία και την καχυποψία του κοινού. Υπήρξε κάποια πολύ καταστροφική για το περιβάλλον μορφή υδατοκαλλιέργειας τις δεκαετίες του 1980 και του '90 και η βιομηχανία πρέπει να κερδίσει πια την εμπιστοσύνη του κοινού. Παρ' όλα αυτά, η υδατοκαλλιέργεια εξακολουθεί να αναπτύσσεται στις ανεπτυγμένες χώρες με ετήσιο ρυθμό 1,8%, ελαφρώς μεγαλύτερο από την κτηνοτροφία.

- Έρευνα έχει δείξει ότι η παραγωγή ορισμένων δίθυρων μαλακίων και ιχθύων είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική. Οι ιχθύες υπερέρχουν, συγκρινόμενα με τα σημαντικότερα είδη εκτρεφόμενων ζώων, σε κρίσιμες παραμέτρους όπως το ρυθμό μετατρεψιμότητας της τροφής, το ρυθμό μετατρεψιμότητας των πρωτεϊνών και την περιεκτικότητα του σώματος τους σε πρωτεΐνες. Έτσι, πέ-ρα από το να είναι μια εναλλακτική λύση θαλάσσιων προϊόντων διατροφής σε σχέση με την συλλεκτική αλιεία, η υδατοκαλλιέργεια έχει μεγάλες δυνατότητες για αποτελεσματική παραγωγή τροφίμων.

Βιβλιογραφία

- Bundy, A. (2005). Structure and functioning of the eastern Scotian Shelf ecosystem before and after the collapse of groundfish stocks in the early 1990s. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **62**, 1453–1473.
- Diana, J.S., Egna, H.S., Chopin, T. et al. (2013). Responsible aquaculture in 2050: valuing local conditions and human innovations will be key to success. *BioScience*, **63** (4), 255–262. [doi: 10.1525/bio.2013.63.4.5]
- Duarte, C.M., Holmer, M., Olsen, Y. et al. (2009). Will the oceans help feed humanity? *BioScience*, **59** (11), 967–976.
- Estess, E.E., Coffey, D.M., Shimose, T. et al. (2014). Bioenergetics of captive Pacific bluefin tuna (*Thunnus orientalis*). *Aquaculture*, **434**, 137–144.
- FAO. (2003). Aquaculture development in China: the role of public sector policies. FAO Fisheries and Aquaculture Department <http://www.fao.org/docrep/006/y4762e/y4762e04.htm>. [confirmed June 2016]
- Fleurence, J. (1999) Seaweed proteins: biochemical, nutritional aspects and potential uses. *Trends in Food Science & Technology*, **10**, 25–28.
- Fushimi, H. (2001). Production of juvenile marine finfish for stock enhancement in Japan. *Aquaculture*, **200**, 33–53.
- GAIN Report. (2015). Global Agriculture Information Network. Report Number KS1529. 7/24/2015. USDA. Foreign Agriculture Service. http://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publications/2015%20Seafood%20Products%20Market%20Brief_Seoul%20ATO_Korea%20-%20Republic%20of_7-24-2015.pdf (confirmed June 2016)
- Hamasaki, K., and Kitada, S. (2008). The enhancement of abalone stocks: lessons from Japanese case studies. *Fish and Fisheries*, **9** (3), 243–260.
- Lorenzen, K., Agnalt, A-L., Blankenship, L. et al. (2013). Evolving context and maturing science: aquaculture-based enhancement and restoration enter the marine fisheries management toolbox. *Reviews in Fisheries Science*, **21**(3–4), 213–221.
- Meyers, R.A. and Worm, B. (2003). Rapid worldwide depletion of predatory fish communities. *Nature*, **423** (May 15), 260–263.
- Pauly, D. (2007). The Sea Around Us Project: documenting and communicating global fisheries impacts on marine ecosystems. *Ambio*, **36** (4), 290–295.
- Pérez-Camacho, A., Labarta, U., Vinheiro, V. et al. (2013). Mussel production management: Raft culture without thinning-out. *Aquaculture*, **406–407**, 172–179.
- Simpson, S. (2011). The blue food revolution: making aquaculture a sustainable food source. *Scientific American*, **304**, 54–61.

2

Αρχές της Υδατοκαλλιέργειας

Paul C. Southgate και John S. Lucas

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

2.1	Εισαγωγή, 25	2.6	Επιλογή Νέου Είδους για Καλλιέργεια, 38
2.2	Ένταση της Υδατοκαλλιέργειας, 25	2.7	Ανάπτυξη Νέας Καλλιέργειας ή Νέων Καλλιεργούμενων Ειδών, 43
2.3	Πολυκαλλιέργεια, 29	2.8	Μελέτες Περιπτώσεων, 46
2.4	Ολοκληρωμένα Συστήματα Αγρο-Υδατοκαλλιέργειας, 33	2.9	Περίληψη, 54
2.5	Στατικά, Ανοιχτά, Ημίκλειστα και Ανακυκλούμενα (Κλειστά) Συστήματα, 34		Βιβλιογραφία, 55

2.1 Εισαγωγή

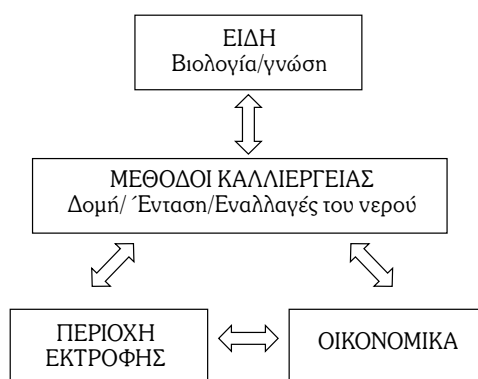
Πολλές βασικές αρχές της υδατοκαλλιέργειας δεν περιγράφονται αναλυτικά σε άλλα κεφάλαια αυτού του βιβλίου και κατά συνέπεια αναλύονται στο παρών κεφάλαιο. Τα επόμενα κεφάλαια περιγράφουν τις μεθόδους καλλιέργειας για συγκεκριμένα είδη. Όμως γιατί έχουν επιλεγεί αυτά τα είδη και ποια είναι η σειρά των βημάτων που απαιτούνται για την ανάπτυξή τους ως εμπορικών προϊόντων υδατοκαλλιέργειας; Πολλοί άλλοι παράγοντες, συμπεριλαμβανομένης της έντασης της καλλιέργειας, ενότητες 2.2-2.5, σχεδιασμός των συστημάτων (Κεφάλαιο 4) και η οικονομική βιωσιμότητα (Κεφάλαιο 13) επηρεάζουν την εμπορική επιτυχία των επιχειρήσεων υδατοκαλλιέργειας και σε σημαντικό βαθμό αυτοί οι παράγοντες είναι αλληλένδετοι (**Εικόνα 2.1**).

2.2 Ένταση της Υδατοκαλλιέργειας

Η ένταση της υδατοκαλλιέργειας περιγράφει τις διαφορές πυκνότητες των οργανισμών ανά μονά-

δα όγκου ή ανά μονάδα επιφάνειας. Είναι σημαντικό στις συγκρίσεις μεταξύ των επιπέδων καλλιέργειας ενός είδους ή συγγενικών ειδών. Ωστόσο, είναι άνευ σημασίας όσον αφορά τις συγκρίσεις των πυκνοτήτων των οργανισμών από διαφορετικές ομάδες. Για παράδειγμα, η καλλιέργεια τιλάπιας στα 100 kg/m³ νερού σε ένα σύστημα επανακυκλοφορίας του νερού θεωρείται εντατική καλλιέργεια, η καλλιέργεια θαλάσσιων γαρίδων σε 50 άτομα/m² (1-2 kg/m³) σε λιμνοδεξαμενές θεωρείται εντατική καλλιέργεια. Υπάρχουν, ωστόσο, χαρακτηριστικά διαφορετικής εντατικότητας της καλλιέργειας που δεν είναι συγκεκριμένα για τις ομάδες, και η εξέταση εντατικότητας της καλλιέργειας θα βασιστεί σε αυτά.

Η εντατικότητα της καλλιέργειας θα εξετάσει σε γενικές γραμμές τις εισροές στο σύστημα για να διατηρήσει επαρκή ανάπτυξη των καλλιεργημένων οργανισμών. Χρησιμοποιείται ο όρος “εντατικότητα” επειδή όσο μεγαλύτερη είναι η ένταση (ή η πυκνότητα) των καλλιεργημένων οργανισμών τόσο μεγαλύτερη είναι η απαίτηση για εισροές στο σύστημα.



Εικόνα 2.1 Οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των καλλιεργούμενων ειδών, των μεθόδων καλλιέργειας, της περιοχής καλλιέργειας και της οικονομίας σε μια επιχείρηση υδατοκαλλιέργειας.

2.2.1 Φυσικά Υδάτινα Οικοσυστήματα

Όλα τα οικοσυστήματα, φυσικά και τεχνητά, χρειάζονται την εισαγωγή κάποιας μορφής ενέργειας για να διατηρηθούν. Ακόμα κι αν υπάρχει τέλεια ανακύκλωση οργανικής ύλης, θα υπάρξει απώλεια ενέργειας μέσω του μεταβολισμού και αυτή η ενέργεια πρέπει να αντικατασταθεί.

Τα φυσικά υδάτινα οικοσυστήματα αποτελούνται συνήθως από πρωτογενείς παραγωγούς, διάφορα επίπεδα καταναλωτών (πρωτογενή, δευτερογενή, κ.λπ.) και αποικοδομητές. Αυτά είναι αυτοσυντηρούμενα με την ανακύκλωση των θρεπτικών ουσιών και την εισαγωγή ενέργειας από τον ήλιο. Χαρακτηρίζονται από μακριά και σύνθετα τροφικά πλέγματα. Υπάρχουν πολύ μεγάλες απώλειες ενέργειας σε αυτήν την τροφική αλυσίδα. Η μεταφορά ενέργειας από το ένα επίπεδο στο άλλο στην τροφική αλυσίδα είναι της τάξεως του 10% ως εμπειρικός κανόνας. Τα ακόλουθα είναι ένα υποθετικό παράδειγμα έξι επιπέδων σε μια τροφική αλυσίδα:

1. ηλιακή ενέργεια + ανόργανα θρεπτικά συστατικά →
2. φυτοπλαγκτόν (π.χ. δινωμαστιγώτα και διάτομα) →
3. ζωοπλαγκτόν και ηθμοφάγα (π.χ. κωπήποδα, προνύμφες ασπονδύλων, δίθυρα) →
4. μεγαλύτερο ζωοπλαγκτόν (π.χ., προνύμφες ψαριών, πλαγκτονοφάγα ψάρια) →
5. νεαρά ψάρια - ιχθύδια (juvenile) →
6. μεγάλα σαρκοφάγα ψάρια.

Έτσι, σε αυτό το παράδειγμα που αποτελείται

από έξι επίπεδα σε μια τροφική αλυσίδα, σε επίπεδα (1) έως (6).

(1) 100% → (2) 10% → (3) 1% → (4) 0,1% →
(5) 0,01% → (6) 0,001%

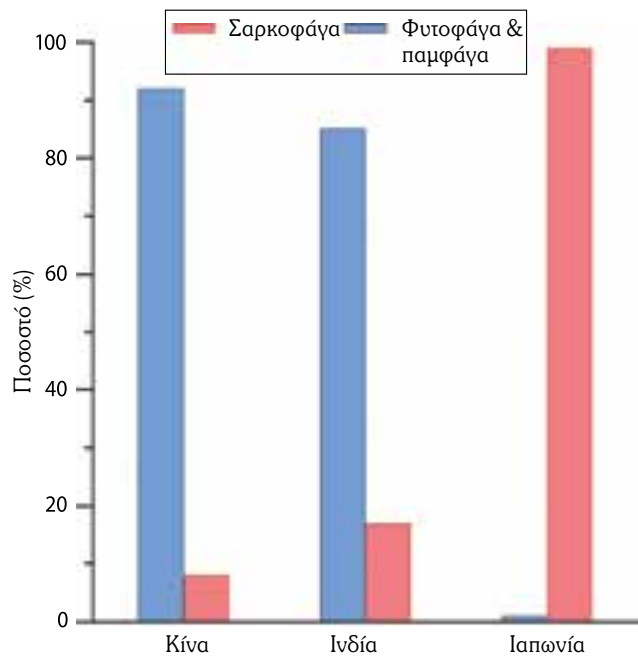
Πρόκειται για μια πολύ πρόχειρη (χονδρική) προσέγγιση, αλλά δείχνει ότι το τελικό στάδιο αυτής της τροφικής αλυσίδας, για παράδειγμα το μεγάλο σαρκοφάγο ψάρι, έχει λιγότερη ενέργεια (και τροφή) διαθέσιμη σε αυτό από τα χαμηλότερα επίπεδα στην τροφική αλυσίδα. Η απώλεια ενέργειας σε κάθε βήμα (περίπου 90%) χάνεται μέσω:

- Μεταβολισμού: η μεταβολική ενέργεια που απαιτείται για τη λειτουργία του οργανισμού, π.χ. κίνηση, διατροφή, πέψη τροφής, κυκλοφορία σωματικών υγρών.
- Μεταβολικών αποβλήτων που εκκρίνονται και τα άπεπτα υλικά (κόπρανα) που απορρίπτονται.
- Ενέργειας που καταναλώνεται στην αναπαραγωγή.
- Ενέργειας που χάνεται στο περιβάλλον ως θερμότητα, επειδή οι μεταβολικές διαδικασίες, όπως οι μηχανές, δεν είναι 100% αποδοτικές.

Αυτές οι σημαντικές μειώσεις της ενέργειας με κάθε βήμα στην τροφική αλυσίδα έχουν προφανείς επιπτώσεις στην υδατοκαλλιέργεια: είναι αποτελεσματικότερο να καλλιεργούνται πρωτογενείς παραγωγοί ή ζώα που τρέφονται σε χαμηλό επίπεδο στην τροφική αλυσίδα. Αυτός είναι ένας σημαντικός παράγοντας για τα αναπτυσσόμενα κράτη, όπου τα προϊόντα υδατοκαλλιέργειας

ας αποτιμώνται ως σημαντική πηγή ζωικών πρωτεϊνών και εκτρέφονται για επισιτιστική ασφάλεια αντί για εξαγωγικό εμπόριο. Με εξαίρεση την υδατοκαλλιέργεια ειδών όπως η γαρίδα, η οποία απευθύνεται στις διεθνείς αγορές, οι περισσότερες υδατοκαλλιέργειες στις αναπτυσσόμενες χώρες, π.χ. Κίνα και Ινδία, προέρχεται από εκτατική (extensive) ή ημι-εντατική (semi-intensive) καλλιέργεια βασισμένη σε είδη που τρέφονται χαμηλά στην τροφική αλυσίδα (**Εικόνα 2.2**). Δεν είναι μόνο μη αποδοτική η παραγωγή σαρκοφάγων ειδών μέσω μιας πολυεπίπεδης διατροφικής αλυσίδας, αλλά η παραγωγικότητα θα είναι πολύ φτωχή ανά μονάδα επιφάνειας ή όγκου από τέτοια εκτατικά ή ημι-εντατικά συστήματα.

Σε πολλά ανεπτυγμένα κράτη ωστόσο, η ζήτηση αφορά προϊόντα υδατοκαλλιέργειας που είναι υψηλά στην τροφική αλυσίδα, π.χ. στην Ιαπωνία. Στην πραγματικότητα, η μεγαλύτερη ζήτηση αφορά τα σαρκοφάγα ψάρια και τις γαρίδες, καθώς θεωρούνται ποιοτικά προϊόντα (**Εικόνα 2.3**). Αυτά



Εικόνα 2.2. Σχετικά ποσοστά σαρκοφάγων ψαριών έναντι φυτοφάγων και παμφάγων ψαριών που παράγονται από την υδατοκαλλιέργεια στην Κίνα, την Ινδία και την Ιαπωνία το 2014.



Εικόνα 2.3. Ιχθυαγορά Tsukiji, Τόκιο, με κατεψυγμένο ερυθρό τόνο (*Thunnus thynnus*) και εμπόρους που τους αγοράζουν. Προσεξτε την απαιτούμενη κατάσταση των ψαριών: από βαθεία κατάψυξη, εκσπλαχνισμένα, χωρίς πτερύγια και βράγχια. Πηγή: Φωτογραφία από Humanoid one. Αναπαραγωγή με την άδεια Αναφοράς Δημιουργού - Παρόμοιας Διανομής Creative Commons, CC-BY-SA 3.0.

πρέπει να τρέφονται με τροφές υψηλής περιεκτικότητας σε πρωτεΐνες, συνήθως με ιχθυάλευρα ως κύρια πηγή πρωτεΐνης. Έτσι, ένα είδος λιγότερο πολύτιμων θαλάσσιων προϊόντων διατροφής χρησιμοποιείται για την παραγωγή πιο πολύτιμων θαλάσσιων προϊόντων διατροφής, με την επακόλουθη απώλεια ενέργειας.

2.2.2 Συστήματα Εντατικής Υδατοκαλλιέργειας

Τα συστήματα εντατικής υδατοκαλλιέργειας είναι σε πλήρη αντίθεση με τα φυσικά συστήματα. Στην εντατική υδατοκαλλιέργεια όλη η διατροφή για το εκτρεφόμενο απόθεμα προέρχεται από εισαγόμενες τροφές, χωρίς τη χρήση φυσικής διατροφής. Τα εντατικά συστήματα μπορεί να είναι:

- Λιμνοδεξαμενές (ponds) (π.χ., για γαρίδες σε τροπικές/υποτροπικές περιοχές) (**Εικόνα 3.1**).
- Κλωβοί (cages) (π.χ. για θαλάσσια ιχθυοκαλλιέργεια) (**Εικόνα 3.5**).
- Καναλόμορφες δεξαμενές (raceways) (π.χ., για είδη πέστροφας σε εύκρατες περιοχές (**Εικόνα 3.10**).
- Δεξαμενές (tanks) (π.χ., για χέλια στην Ιαπωνία).

Η μέγιστη πυκνότητα εκτροφής που επιτυγχάνεται σε κάθε περίπτωση εξαρτάται από το να είναι σε θέση να διατηρήσει τις συνθήκες ποιότητας του νερού που απαιτούνται από τον καλλιεργούμενο οργανισμό. Γενικά, οι πυκνότητες καλλιέργειας είναι οι χαμηλότερες στις λιμνοδεξαμενές (ponds), ακολουθούν τα κλουβιά (cages) και οι μεγαλύτερες πυκνότητες επιτυγχάνονται στις καναλόμορφες δεξαμενές (raceways) και τις δεξαμενές (tanks). Η εντατική υδατοκαλλιέργεια χαρακτηρίζεται από:

- Πολύ απλές τροφικές αλυσίδες, δηλ. παρασκευασμένες ζωτροφές → καλλιεργημένοι οργανισμοί.
- Χαμηλή απώλεια ενέργειας από την εισαγωγή της τροφής, με υψηλούς συντελεστές μετατρεψιμότητας της τροφής (FCRs)¹ από εξειδικευμένες τεχνητές ζωτροφές.

- Καμία ανακύκλωση της ενέργειας και εντελώς μη αυτοσυντηρούμενη.
- Την απαίτηση για υψηλές εισροές ενέργειας (π.χ. τάισμα, οξυγόνωση, φιλτράρισμα, άντληση).
- Υψηλές αποδόσεις ανά μονάδα επιφάνειας ή μονάδα όγκου.

Η ποιότητα του νερού διατηρείται συνήθως με υψηλούς ρυθμούς εναλλαγής και, σε ορισμένες περιπτώσεις, με μηχανικά μέσα. Στην εντατική καλλιέργεια σε εσωτερικές (στεγασμένες) δεξαμενές, η αφαίρεση των αιωρούμενων στερεών αποβλήτων, η ανταλλαγή των αερίων και η παραγωγή οξυγόνου πραγματοποιούνται με μηχανικά μέσα. Σε εξωτερικά εντατικά συστήματα με υπόστρωμα εδάφους και ανάπτυξη φυτοπλάγκτου, υπάρχει καθίζηση των αιωρούμενων στερεών αποβλήτων, αποικοδόμηση από βακτήρια και ανταλλαγή αερίων ενισχυμένη με μηχανικό αερισμό. Η πυκνότητα καλλιέργειας (μάζα εκτρεφόμενων ζώων ανά μονάδα όγκου ή επιφάνειας νερού, εκφραζόμενη σε kg/m³ ή kg/εκτάριο) σε εντατικά συστήματα, ποικίλλει σημαντικά ανάλογα με τον τύπο του συστήματος και τον εκτρεφόμενο οργανισμό, αλλά είναι πάντα σχετικά υψηλή.

2.2.3 Εκτατικά Συστήματα Υδατοκαλλιέργειας

Η εκτατική υδατοκαλλιέργεια χρησιμοποιείται ευρέως, ειδικά στις αναπτυσσόμενες χώρες. Είναι η κύρια πηγή της υδατοκαλλιεργητικής παραγωγής στον κόσμο.

Τα εκτατικά και εντατικά συστήματα υδατοκαλλιέργειας αντιπαρατίθενται στον **Πίνακα 2.1**. Αυτά διαφέρουν σημαντικά, καθώς η εκτατική υδατοκαλλιέργεια αποτελεί μέρος ενός φυσικού οικοσυστήματος και εξαρτάται από αυτό για τη διατήρηση της ποιότητας των υδάτων και το μεγαλύτερο μέρος της τροφής των ζώων και άλλες απαιτήσεις. Συνεπώς, ένα εκτατικό σύστημα υδατοκαλλιέργειας έχει περιορισμένες εισροές για τη διατήρηση της ανάπτυξης και της επιβίωσης των ζώων, δηλαδή μπορεί να έχει μερικά βασικά οργανικά λιπάσματα, όπως ζωικά και φυτικά απόβλητα, αλλά χωρίς αερισμό κ.λπ. Τα συστήματα αυτά έχουν συνήθως χαμηλή πυκνότητα καλλιέργειας (stocking density), συνήθως <500 kg/εκτάριο, ενώ

¹ Συντελεστής μετατρεψιμότητας της τροφής (FCR, Food Conversion Ratio) είναι ο λόγος του βάρους της τροφής/κέρδους ζωντανού βάρους από τα εκτρεφόμενα ζώα. Μπορεί να είναι κοντά στο 1,0 όπου η τεχνητή τροφή έχει αναπτυχθεί διεξοδικά για να καλύψει τις διατροφικές ανάγκες του καλλιεργημένου ζώου.

η φυσική παραγωγικότητα των ζωοτροφών (φυτά και ζώα) στο σύστημα και η φυσική ανταλλαγή αερίων επαρκούν για την υποστήριξη των καλλιεργούμενων οργανισμών. Η εκτατική υδατοκαλλιέργεια χρησιμοποιείται για καλλιέργειες σε λιμνοδεξαμενές και για οργανισμούς που καλλιεργούνται σε ή μέσα σε διάφορα υποστρώματα, π.χ., καλλιέργεια δίθυρων και μακροφυκών. Η καλλιέργεια μακροφυκών διαφέρει βέβαια από την κτηνοτροφία όσον αφορά τις ανάγκες σε τροφή, αλλά τα μακροφύκη εξαρτώνται από το περιβάλλον τους για ανόργανα θρεπτικά συστατικά.

Εκτός από τα μακροφύκη και τα δίθυρα, μια σημαντική ποσότητα εκτατικής υδατοκαλλιέργειας είναι τα ψάρια χαμηλής αξίας, όπως οι κυπρίνοι και οι τιλάπιες. Αυτό είναι δυνατό λόγω του χαμηλού κόστους παραγωγής που συνδέεται με την εκτατική καλλιέργεια.

Η εκτατική έναντι της εντατικής υδατοκαλλιέργειας είναι σαν τη διαφορά μεταξύ:

- Μονάδων πάχυνσης βοοειδών, τα οποία εξαρτώνται απόλυτα από το περιβάλλον της μονάδας καλλιέργειας και την παρεχόμενη τροφή (εντατική καλλιέργεια), και
- Βοοειδών ελεύθερης βοσκής που περιπλανιούνται μέσα από τη φυσική βλάστηση σε ένα μεγάλο βουστάσιο ή ένα ράντσο, που βόσκουν σε φυσικούς βοσκότοπους και με ελάχιστη διαχείριση (εκτατική καλλιέργεια).

Σε κάθε περίπτωση υπάρχει μια απόδοση βόειου κρέατος, αλλά η απόδοση ανά εκτάριο είναι μεγαλύτερη από το σύστημα των μονάδων πάχυνσης. Παρόλα αυτά, και τα δύο συστήματα μπορούν να είναι κερδοφόρα. Η αποδοτικότητα εξαρτάται από τη διαφορά μεταξύ του συνολικού κόστους παραγωγής και της τιμής του προϊόντος που αποδίδεται στον καλλιεργητή.

2.2.4 Ημι-Εντατικά Συστήματα Υδατοκαλλιέργειας

Δεν υπάρχει ξαφνικό σημείο διάκρισης μεταξύ εκτατικής και εντατικής υδατοκαλλιέργειας (**Πίνακας 2.2**).

Η ημι-εντατική υδατοκαλλιέργεια χρησιμοποιείται ως προσέγγιση για να περιγράψει η ενδιάμεση κατάσταση. Τα συστήματα της ημι-εντατικής υδατοκαλλιέργειας βασίζονται ως ένα

βαθμό στη φυσική παραγωγικότητα. Ωστόσο, υπάρχει μεγαλύτερη παροχή συμπληρωμάτων (supplementation) από το φυσικό σύστημα. Η παροχή συμπληρωμάτων μπορεί να λάβει πολλές μορφές, όπως:

- Παροχή αερισμού για την διατήρηση των επιπέδων διαλυμένου οξυγόνου (DO).
- Προσθήκη ανόργανων ή οργανικών λιπασμάτων για τη βελτίωση της φυσικής παραγωγικότητας.
- Προσθήκη παρασκευασμένων ζωοτροφών (συμπληρωματική σίτιση).

Η ημι-εντατική καλλιέργεια είναι σχεδόν αποκλειστική για τις λιμνοδεξαμενές και επιτρέπει την αύξηση της πυκνότητας καλλιέργειας των ζώων εντός της λιμνοδεξαμενής. Περαιτέρω συγκρίσεις των τριών επιπέδων έντασης της καλλιέργειας που σχετίζονται με την καλλιέργεια τιλάπιας δίνονται στον **Πίνακα 18.2**.

2.3 Πολυκαλλιέργεια

Η πολυκαλλιέργεια είναι η σκόπιμη καλλιέργεια μαζί συμπληρωματικών ειδών, για παράδειγμα, ειδών που καταλαμβάνουν συμπληρωματικούς οικολογικούς θώκους, ειδικά όσον αφορά την τροφή (food) και τη διατροφή (feeding) τους (**Εικόνα 2.4**).

Η πολυκαλλιέργεια αυξάνει την παραγωγή ανά μονάδα επιφάνειας ή μονάδα όγκου της λιμνοδεξαμενής μεγιστοποιώντας τη χρήση των θρεπτικών θώκων εντός της λιμνοδεξαμενής. Χρησιμοποιείται μεγαλύτερο ποσοστό της πρωτογενούς παραγωγής, καθώς τα είδη-στόχοι συνδέονται με περισσότερα τροφικά πλέγματα (food webs) από ένα και μόνο είδος, με αποτέλεσμα την αύξηση της παραγωγικότητας. Έχουν επίσης ως αποτέλεσμα τη μείωση της πολυπλοκότητας των τροφικών πλεγμάτων (food webs), επειδή “καλύπτουν” ένα υψηλό ποσοστό πρωτογενούς παραγωγής στις πηγές τους με τη διατροφή τους. Σε αυτές τις περιπτώσεις, τα συστήματα πολυκαλλιέργειας μπορεί να έχουν μέσο όρο παραγωγής ψαριών 3 τόνοι/εκτάριο/έτος σε λιμνοδεξαμενές στις οποίες υπάρχει μεγάλη προσθήκη κοπριάς ως λίπασμα. Με τη συμπληρωματική σίτιση μπορεί να υπάρχουν αποδόσεις μέχρι 16 τόνοι/εκτάριο/έτος. Η πολυκαλλιέργεια κυπρίνου περιγρά-

Πίνακας 2.1 Σύγκριση των γενικών χαρακτηριστικών των συστημάτων εκτατικής και εντατικής υδατοκαλλιέργειας.

	Εκτατική υδατοκαλλιέργεια	Εντατική υδατοκαλλιέργεια
Έξοδα εγκατάστασης	Χαμηλά	Υψηλά
Χρησιμοποιούμενα συστήματα καλλιέργειας	Φυσικές υδάτινες μάζες και απλές δομές συγκράτησης	Κατασκευές που έχουν δημιουργηθεί από τον άνθρωπο, συμπεριλαμβανομένων δεξαμενών, συστημάτων λιμνοδεξαμενών, καναλόμορφων δεξαμενών, θαλάσσιων κλωβών κλπ.
Επίπεδο τεχνολογίας	Χαμηλό	Υψηλό
Βαθμός ελέγχου του περιβάλλοντος, της διατροφής, των θηρευτών, των παραγόντων του ανταγωνισμού και των παραγόντων νοσηρότητας	Πολύ Χαμηλό	Υψηλό
Συνήθης πηγή αποθεμάτων γόνου (φυτών ή ζώων)	Από την φύση	Από εκτρεφόμενους γεννήτορες (ενδεχομένως γενετικά επιλεγμένους)
Λειτουργικό κόστος, πυκνότητα καλλιέργειας και επίπεδα παραγωγής.	Χαμηλό	Υψηλό
Εξάρτηση από το τοπικό κλίμα και την ποιότητα των υδάτων	Υψηλή, μπορεί να είναι κάποια αδρή ρύθμιση του pH με ασβέστη και συναφείς ουσίες	Χαμηλή έως πολύ χαμηλή
Παρακολούθηση της ποιότητας του νερού	Μηδέν	Εκτελείται τακτικά
Πηγή τροφής για καλλιεργούμενα ζώα	Φυσικοί οργανισμοί, συχνά μερική εισροή ζωικών και φυτικών αποβλήτων	Επεξεργασμένες ζωοτροφές σε μορφή σύμπηκτων (pellet), οι οποίες πρέπει να είναι θρεπτικά πλήρεις
Παραγωγή (kg/εκτάριο/έτος)	Χαμηλή (ανά μονάδα επιφάνειας ή όγκου) (20-500)	Υψηλή: μεγιστοποίηση της παραγωγής του προϊόντος σε ελάχιστη επιφάνεια, όγκου νερού και χρόνο 5000-100.000 +*
Κόστος παραγωγής	Χαμηλό έως πολύ χαμηλό	Υψηλό έως πολύ υψηλό

*Οι υψηλότερες τιμές συνάγονται από m².

φεται λεπτομερέστερα στην ενότητα 16.5.2 (Κυπρίνοι).

Σε ορισμένα ημι-εντατικά συστήματα, όπως οι λιμνοδεξαμενές, μπορεί να υπάρχει αποθεματοποίηση (stocking) με είδη που διευκολύνουν την ανάπτυξη των ειδών μέσω δραστηριοτήτων υποστήριξης, π.χ. σαπροφάγα για απομάκρυνση των βενθικών αποβλήτων από το περιβάλλον, προτού δημιουργηθούν ανοξικές συνθήκες στην κατώτερη στήλη του νερού και σαρκοφάγα ψάρια που διατηρούν μειωμένο τον αριθμό των μικρών ψαριών που θα “κλέψουν” το φαγητό των χελωνών με μαλακό κέλυφος.

Μια νέα μορφή πολυκαλλιέργειας που ερευνάται είναι η χρήση των εκροών (effluent) από λιμνοδεξαμενές, π.χ. λιμνοδεξαμενές με γαρίδες,

για την καλλιέργεια συμπληρωματικών ειδών. Οι εκροές είναι πλούσιες σε θρεπτικά συστατικά και ιζήματα και ενδεχομένως ενέχουν περιβαλλοντικό κίνδυνο, μπορεί να διοχετευτούν σε επόμενες λιμνοδεξαμενές που περιέχουν ζώα ή φυτά τα οποία κατακρατούν τα θρεπτικά συστατικά και το ίζημα από τις εκροές. Μπορεί να υπάρχουν:

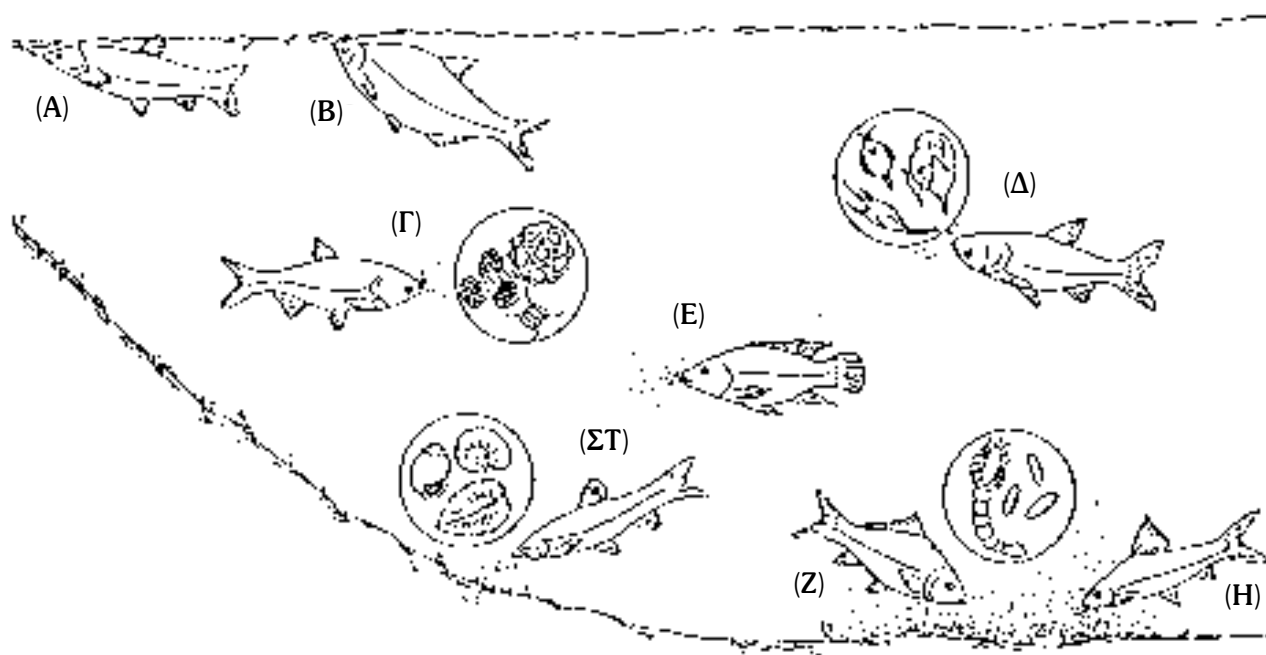
- Δίθυρα, τα οποία φιλτράρουν το νερό που περιέχει αιωρούμενα στερεά, μικροφύκη και ορισμένα βακτήρια.
- Μακροφύκη, τα οποία κατακρατούν τα θρεπτικά συστατικά από το νερό (**Εικόνα 2.5**) και,
- Μαγκρόβια (mangroves) που παγιδεύουν τα αιωρούμενα στερεά με την παραγωγή ξύλου.

Ο στόχος δεν είναι μόνο να αποκατασταθεί η

Πίνακας 2.2 Παραδείγματα εκτατικής, ημι-εντατικής και εντατικής καλλιέργειας υδατοκαλλιέργειας που δείχνει τη συνέχεια μεταξύ των επιπέδων.

Βαθμός συγκομιδής (kg/εκτάριο)	Παραδείγματα εκτρεφόμενων ζώων και δομή	Μέθοδοι καλλιέργειας	Επίπεδο καλλιέργειας
90	Καραβίδες γλυκού νερού, λαβράκι του γλυκού νερού σε φράγμα	Απλή δημιουργία αποθέματος (stocking)	Εκτατικό
> 10.000	Θαλάσσια καλλιέργεια μυδιών σε σύστημα με εξέδρες (raft) / πλωτό σύστημα μακράς γραμμής (longline)	Δεν υπάρχει συμπληρωματική τροφή, αιωρούμενα για λήψη τροφής με φιλτράρισμα από τα θαλάσσια ρεύματα	Εκτατικό
900	Κυπρίνοι, γατόφαρο, τιλάπια σε λιμνοδεξαμενές	Ορισμένες συμπληρωματικές ζωοτροφές και λίπανση λιμνοδεξαμενών, πιθανός αερισμός έκτακτης ανάγκης	Ημι-εντατικό
6000	Γαρίδα σε λιμνοδεξαμενή	Σχεδόν πλήρης διατροφή, τακτική εναλλαγή νερού, αερισμός	Εντατικό
15.000	Τσιπούρα, λαβράκι, σολομός του Ατλαντικού σε κλουβί	Πλήρης διατροφή	Εντατικό
> 60.000 *	Χέλια, γιγαντόπερκα σε συστήματα δεξαμενών σε στεγασμένο χώρο	Πλήρης διατροφή, κλειστό κύκλωμα επανακυκλοφορίας του νερού και αυστηρός έλεγχος της ποιότητας του νερού	Εντατικό

*Συνάγεται.



Εικόνα 2.4: Φυσικοί τροφικοί πόροι που χρησιμοποιούνται από σημαντικά είδη ψαριών που καλλιεργούνται σε λιμνοδεξαμενές πολυκαλλιέργειας κινεζικών κυπρίνων. Χορτοφάγος κυπρίνος (*Ctenopharyngodon idella*) Α) και κυπρινοειδή όπως η λεστιά, Β) τρέφονται με χερσαία βλάστηση και υδρόβια μακροφύκη. Ασημοκυπρίνος (*Hypophthalmichthys molitrix*) Γ) που “βόσκει” σε φυτοπλαγκτόν. Μαρμαροκυπρίνος (*Hypophthalmichthys nobilis*), Δ) που καταναλώνει ζωοπλαγκτόν. Τιλάπιες (*Oreochromis, Sarotherodon*) Ε) που τρέφονται με αμφότερα είδη πλαγκτόν, με πράσινες τροφές και με βενθική οργανική ύλη. Μαυροκυπρίνος (*Mylopharyngodon piceus*), ΣΤ) τρέφεται με μαλάκια. Κοινός κυπρίνος (*Cyprinus carpio*) Ζ) και Λασποκυπρίνος (*Cirrhinus molitorella*) Η) καταναλώνουν βενθικά ασπόνδυλα και οργανικά υπολείμματα στον πυθμένα. Πηγή: Zweig 1985. Αναπαράγεται με άδεια από την Βασιλική Σουηδική Ακαδημία Επιστημών.

ποιότητα του νερού εκροής (effluent), στο βαθμό που μπορεί να ανακυκλωθεί στο σύστημα υδατοκαλλιέργειας ή να απορριφθεί, αλλά και να παραχθεί μια εμπορική καλλιέργεια από τους οργανισμούς επεξεργασίας των εκροών.

Για τα συστήματα εντατικής υδατοκαλλιέργειας που βρίσκονται στη στεριά, όπως η καλλιέργεια γαρίδων, η περιβαλλοντική νομοθεσία για τις απορροές έχει γίνει πιο αυστηρή παγκοσμίως και αυτό έχει δώσει ώθηση στην ανάπτυξη βελτιωμένων συστημάτων διαχείρισης των αποβλήτων, πέρα από τα στοιχειώδη συστήματα που χρησιμοποιούν λιμνοδεξαμενές ως δεξαμενές καθίζησης. Οι σύγχρονες προσεγγίσεις σε αυτό το πρόβλημα περιλαμβάνουν συστήματα πολλαπλών σταδίων που διαδοχικά αφαιρούν τα αιωρούμενα σωματίδια και τα διαλυμένα θρεπτικά συστατικά (Castine et al., 2013), και μπορεί να περιλαμβάνουν αφομοίωση των διαλυμένων θρεπτικών ουσιών σε βιομάζα που μπορεί να συγκομιστεί, όπως τα μακροφύκη (**Εικόνα 2.5**) παρέχοντας δευτερογενή προϊόντα σημαντικής εμπορικής αξίας. Μια άλλη σχετικά πρόσφατη εξέλιξη είναι αυτή των συστημάτων

φίλτρων άμμου υποβοηθούμενων από πολύχαιτους (PASF, PolychaeteAssisted Sand Filter) όπου χρησιμοποιούν ρηχές κλίνες άμμου που περιέχουν πολύχαιτους, (*Perinereis* spp) για να φιλτράρουν τις εκροές της υδατοκαλλιέργειας. Τα φίλτρα άμμου με σκώληκες μπορούν να απομακρύνουν σημαντικές ποσότητες αιωρούμενων στερεών, χλωροφύλλης, άζωτο και φώσφορο και να παράγουν αξιόλογο υποπροϊόν (σκουλήκια) που χρησιμοποιούνται στη διατροφή κατά την ωρίμανση των γαρίδων και ως δολώματα για την αλιεία (Palmer, 2010). Αυτές οι αναπτυσσόμενες μορφές πολυκαλλιέργειας διαφέρουν από την παραδοσιακή πολυκαλλιέργεια, στο ότι τα συμπληρωματικά είδη είναι απομονωμένα σε διαφορετικά μέρη του συστήματος.

Παρόμοια τεχνολογία χρησιμοποιείται επίσης σε μερικές χώρες για να “αναβαθμίσουν” την ποιότητα του ανακυκλωμένου νερού και να αυξήσουν την αξία του ως πηγή κατά τρόπο ουδέτερο ως προς το κόστος. Ανακυκλωμένο νερό υδατοκαλλιέργειας, που χρησιμοποιούνταν στο παρελθόν για άρδευση καλλιέργειας φυτών μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για κηπουρικές δραστηριότητες.



Εικόνα 2.5. Πειραματικά καναλόμορφα συγκοινωνούνται συστήματα καλλιέργειας 150.000 L που χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία του νερού εκροής από μια καλλιέργεια γαρίδας στο Βόρειο Queensland της Αυστραλίας. Οι καναλόμορφες δεξαμενές περιέχουν πράσινα μακροφύκη (*Ulva* sp.) που αφαιρούν διαλυμένα θρεπτικά συστατικά, έχοντας ως αποτέλεσμα ένα δευτερεύον εμπορικό προϊόν για την καλλιέργεια. Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από την MBO Energy Ltd.



Εικόνα 2.6. Λιμνοδεξαμενές με ψάρια και λαχανόκηποι σε μια καλλιέργεια κοντά στο Yangshuo, Guangxi, νότια Κίνα. Το υπόστεγο πάνω από τη λίμνη χρησιμοποιείται πιθανώς ως υπαίθρια τουαλέτα και ως αποθήκη. Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από τον John Lucas.

2.4 Ολοκληρωμένα Συστήματα Αγρο-Υδατοκαλλιέργειας

Η υδατοκαλλιέργεια αναπτύχθηκε παραδοσιακά σε ολοκληρωμένη βάση και πολλές υδατοκαλλιέργειες στις Ασιατικές χώρες εξακολουθούν να λειτουργούν κατ' αυτόν τον τρόπο. Η ενσωμάτωση περιλαμβάνει:

- Καλλιέργεια (growing) ποικιλίας υδρόβιων ειδών σε μια ενιαία μάζα νερού.
- Επαναχρησιμοποίηση νερού για διαδοχικά είδη υδατοκαλλιέργειας ή άλλων καλλιεργειών (crops).
- Ολοκλήρωση της υδατοκαλλιέργειας με άλλες γεωργικές παραγωγές ή υποπροϊόντα.

Η παραδοσιακή ολοκληρωμένη υδατοκαλλιέργεια εμφανίζεται συνήθως σε οικογενειακές καλλιέργειες στις οποίες υπάρχουν φυτικές καλλιέργειες, καλλιέργεια ζώων και υδατοκαλλιέργεια. Η υδατοκαλλιέργεια είναι εκτατική και τα εκτρεφόμενα ζώα είναι χαμηλά στο τροφικό πλέγμα. Οι λιμνοδεξαμενές λιπαίνονται με περιττώματα από χοίρους, πάπιες, ανθρώπους κλπ., οτιδήποτε εκτρέ-

φεται ή χρησιμοποιείται στη καλλιέργεια (**Εικόνα 2.6**). Τα απόβλητα από καλλιέργειες, π.χ. στάχια από καλλιέργειες δημητριακών, μπορούν να προστεθούν στις λίμνες ως τροφή για βενθικούς καταναλωτές και αποικοδομητές. Οι λιμνοδεξαμενές δεν αποστραγγίζονται αλλά επαναχρησιμοποιούνται για διαδοχικές σοδειές υδατοκαλλιέργειας. Σε ορισμένες περιπτώσεις, τα ζώα υδατοκαλλιεργείας προστίθενται σε χωράφια όπου η καλλιέργεια, συνήθως ρυζιού, καλλιεργείται μερικώς κατακλισμένη σε νερό. Οι καραβίδες του γλυκού νερού (ενότητα 23.4.5.2) και τα Κινέζικα καβούρια (ενότητα 23.3.3.5, **Εικόνες 23.6** και **23.7**) αποτελούν παραδείγματα αυτού. Τα καλλιεργούμενα ζώα εκτρέφονται με φυτικά απόβλητα και αναπτύσσονται και συλλέγονται μετά την καλλιέργεια, όταν το χωράφι αποστραγγίζεται. Μια διπλή σοδειά, φυτά και ζώα, λαμβάνεται από τον χωράφι.

Η σύγχρονη υδατοκαλλιέργεια στις ανεπτυγμένες χώρες έχει κινηθεί ενάντια στην ενοποιημένη (integrated) υδατοκαλλιέργεια. Η κίνηση ήταν προς την κατεύθυνση της ανάπτυξης συστημάτων μονοκαλλιέργειας για είδη υψηλής αξίας με

χρήση του νερού μία φορά. Ωστόσο, η περιορισμένη διαθεσιμότητα του νερού και η συνειδητοποίηση της παγκόσμιας σημασίας των υδάτινων πόρων οδήγησε σε μια στροφή προς την ενοποίηση της υδατοκαλλιέργειας στις χώρες όπου αναπτύχθηκαν οι μονοκαλλιεργητικές βιομηχανίες.

Τα ολοκληρωμένα συστήματα γεωργό-υδατοκαλλιέργειας (IASSs, Integrated Agri-Aquaculture Systems) έχουν οριστεί με διαφορετικό τρόπο (βλ. Cohen, 1997; Edwards, 1998). Η βασική προϋπόθεση των IASS είναι η πολλαπλή χρήση του νερού τόσο για την παραδοσιακή χερσαία γεωργία όσο και για την υδατοκαλλιέργεια κατά τρόπο κερδοφόρο και οικολογικά βιώσιμο. Ως αποτέλεσμα, η ολοκληρωμένη γεωργό-υδατοκαλλιέργεια (IASS) περιλαμβάνει μια ποικιλία πρακτικών, συστημάτων και λειτουργιών.

Το νερό είναι ένας από τους πιο πολύτιμους και αναποτελεσματικούς φυσικούς πόρους στον κόσμο. Η ενσωμάτωση των γεωργικών πρακτικών για την αύξηση της παραγωγικότητας και της αποδοτικότητας της χρήσης του νερού θα συμβάλλει στην οικολογικά βιώσιμη ανάπτυξη των φυσικών πόρων. Τα IASSs επιτρέπουν να αρδεύονται συστήματα καλλιέργειας και πολλαπλή χρήση του ίδιου νερού, τυπικά πρώτα για την παραγωγή ιχθύων και στη συνέχεια για άρδευση γεωργικών εκτάσεων.

Προσφάτως, τα IASSs εμφανίζονται συχνότερα σε χώρες με πολύ περιορισμένους υδάτινους πόρους. Σε πολλές αναπτυσσόμενες χώρες του κόσμου και στο Ισραήλ, τα IASSs είναι ιδιαίτερα ανεπτυγμένα και κάνουν βέλτιστη χρήση του διαθέσιμου νερού. Στο Ισραήλ, τα γλυκά επιφανειακά νερά και τα υφάλμυρα υπόγεια νερά έχουν χρησιμοποιηθεί στην ολοκληρωμένη καλλιέργεια ποικιλίας ειδών ψαριών με ποικιλία γεωργικών σοδειών. (Cohen, 1997). Στις Ασιατικές χώρες, τα ψάρια, οι σοδειές ρυζιού και οι πάπιες έχουν ενσωματωθεί για να αξιοποιήσουν καλύτερα το διαθέσιμο νερό, τη γη και τα θρεπτικά συστατικά.

Στις ανεπτυγμένες χώρες, όπως στις ΗΠΑ και στην Ευρώπη, η τεχνολογία των IASS περιορίστηκε γενικά σε συστήματα μικρής κλίμακας που συνδέονται με την αρδευτική γεωργία. Οι ευκαιρίες περιλαμβάνουν συνήθως τη χρήση παραδοσιακών εγκαταστάσεων αποθήκευσης νερού (φράγματα), κανάλια άρδευσης, υπόγεια και επιφανεια-

κά νερά και υπόγεια υφάλμυρα νερά. Με τις τεχνολογικές εξελίξεις, όπως οι πλωτές καναλόμορφες δεξαμενές, δοκιμάζονται πλέον συστήματα μεγάλης κλίμακας.

2.5 Στατικά, Ανοικτά, Ημίκλειστα και Ανακυκλούμενα (Κλειστά) Συστήματα

2.5.1 Στατικά συστήματα

Μεγάλο μέρος της παγκόσμιας παραγωγής της υδατοκαλλιέργειας χρησιμοποιεί παραδοσιακές μεθόδους καλλιέργειας σε λιμνοδεξαμενές. Αυτές οι λιμνοδεξαμενές είναι στατικές (με στάσιμο νερό), χωρίς ανταλλαγή νερού κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας. Μπορεί να υπάρχει κάποια συμπλήρωση νερού για να αντισταθμιστεί η εξάτμιση.

Η στατική καλλιέργεια σε λιμνοδεξαμενές είναι συνήθως εκτατική λόγω των μεγάλων προβλημάτων στη διατήρηση της ποιότητας του νερού υπό συνθήκες μεγάλης βιομάζας καλλιεργούμενων οργανισμών ανά μονάδα όγκου στάσιμου νερού (**Πίνακας 2.3**). Η αύξηση της βιομάζας απαιτεί αυξημένες εισροές λιπασμάτων και συμπληρωματική χορήγηση τροφής για τη διατήρηση της παραγωγικότητας. Αυτό, με τη σειρά του, απαιτεί διαχείριση για τέτοια προβλήματα ποιότητας των νερών όπως μη αποδεκτά επίπεδα αζωτούχων ενώσεων και χαμηλά επίπεδα διαλυμένου οξυγόνου (DO, Dissolved Oxygen) τη νύχτα. Με συμπληρωματικό αερισμό μπορεί να είναι δυνατή η διατήρηση του διαλυμένου οξυγόνου με υψηλότερη βιομάζα και επίτευξη μεγαλύτερης παραγωγικότητας (**Εικόνες 3.12 και 4.9**). Ωστόσο, οι αεριστήρες συχνά δεν είναι διαθέσιμοι ή εφικτοί (χωρίς ηλεκτρική ενέργεια) σε αγροτικές περιοχές όπου ασκείται η καλλιέργεια σε λιμνοδεξαμενές με στάσιμο νερό.

2.5.2 Ανοικτά Συστήματα

Σε αυτά τα συστήματα το περιβάλλον είναι η εγκατάσταση υδατοκαλλιέργειας, π.χ. οι εκτροφόμενοι οργανισμοί περιορίζονται ή προστατεύονται μέσα στην εκτροφή σε μεγάλη ποσότητα νερού (π.χ. λίμνη ή ωκεανό), έτσι ώστε η ποιότητα του νε-

Πίνακας 2.3: Παράδειγμα υδατοκαλλιέργειας σε συνδυασμούς διαφορετικών επιπέδων έντασης καλλιέργειας μαζί με ανοιχτά, στατικά, ημί-κλειστά και ανακυκλωμένα (κλειστά) συστήματα.

Ένταση καλλιέργειας			
Σύστημα	Εκτατική	Ημι-εντατική	Εντατική
Ανοιχτό	Πλωτό σύστημα μακράς γραμμής (longline) εκτροφής χτενιών, στρειδιών σε διάτρητα καλάθια.	Περιφράξεις σε λίμνες γλυκού νερού για την καλλιέργεια ψαριών, όπως η τιλάπια.	Καλλιέργεια ψαριών σε θαλάσσια κλουβιά, όπως τσιπούρα, λαβράκι, σολομός του Ατλαντικού.
Στατικό (λιμνοδεξαμενές)	Πολυκαλλιέργεια κυπρίνου σε λιμνοδεξαμενές, καλλιέργεια γαλατόψαρου σε λιμνοδεξαμενές.	Πολυκαλλιέργεια ψαριών γλυκού νερού με αερισμό.	Κροκόδειλοι θαλασσινού νερού.
Ημί-κλειστό	Παραγωγή καβουριού της λάσπης σε μαγκρόβιες παλιρροϊκές λιμνοδεξαμενές.	Καλλιέργεια γαρίδας σε λιμνοδεξαμενές με 20 άτομα/m ² .	Καλλιέργεια γαρίδας σε λιμνοδεξαμενές με 50 άτομα/m ² .
Κλειστό	X	X	Εσωτερική καλλιέργεια ψαριών υψηλής αξίας.

X, πολύ ασυνήθιστο.

ρού να διατηρείται μέσω φυσικών ροών και επεξεργασίες. Δεν υπάρχει τεχνητή κυκλοφορία νερού διαμέσου ή μέσα στο σύστημα. Ακολουθούν δύο παραδείγματα ανοιχτών συστημάτων.

1. Τα συστήματα κλωβών ταξινομούνται ως ανοιχτά συστήματα όταν τοποθετούνται σε μια μεγάλη μάζα νερού όπως η ανοιχτή θάλασσα, ο ωκεανός ή μια εκβολή ποταμού (**Εικόνες 3.4 και 3.5**). Σε αυτά τα συστήματα κλωβών τα ψάρια είναι γενικά σε υψηλή πυκνότητα και παρέχεται εμπορική τυποποιημένη τροφή (**Εικόνα 2.7**). Η ποιότητα του νερού διατηρείται, ωστόσο, από φυσικά ρεύματα και παλίρροιες. Επομένως, πρόκειται για εντατικά ανοιχτά συστήματα καλλιέργειας (**Πίνακας 2.3**).
2. Καλλιέργεια δίθυρων σε πασσάλους (racks) ή πλωτό σύστημα μακράς γραμμής (long-lines) τοποθετημένο στα ανοιχτά είναι ένα ανοιχτό σύστημα (**Εικόνες 2.14, 5.2 και 24.13**). Τα φυσικά ρεύματα και οι παλίρροιες διατηρούν την ποιότητα του νερού. Τα δίθυρα προσλαμβάνουν την τροφή τους φιλτράροντας το φυτοπλαγκτόν από το νερό που ρέει ανάμεσα τους. Πρόκειται για εκτατικά ανοιχτά συστήματα καλλιέργειας (**Πίνακας 2.3**).

Τα ανοιχτά συστήματα τείνουν να έχουν χαμηλό λειτουργικό κόστος, καθώς δεν υπάρχει απαίτηση για άντληση του νερού. Το κόστος για κεφάλαια ποικίλλει σε μεγάλο βαθμό ανάλογα με τον τύπο

της καλλιέργειας, με το συστήματα καλλιέργειας δίθυρων γενικά να είναι χαμηλού κόστους και τα εντατικά συστήματα καλλιέργειας ψαριών να είναι με υψηλό αρχικό κόστος κεφαλαίου (capital cost). Γενικά, οι περιοχές υδατοκαλλιέργειας στα ανοιχτά δεν είναι διαθέσιμες για αγορά της αποκλειστικής κυριότητας του χώρου και πρέπει να εκμισθώνονται από την αρμόδια κρατική υπηρεσία (π.χ. μισθώσεις στρειδιών). Οι ιδανικές τοποθεσίες για υδατοκαλλιέργειες στα ανοιχτά είναι επίσης συχνά δημοφιλείς για άλλες χρήσεις, όπως η ιστιοπλοΐα και άλλα θαλάσσια σπόρ και μπορεί να προκύψουν συγκρούσεις με τους χρήστες.

Τα ανοιχτά συστήματα είναι επιρρεπή σε προβλήματα που είτε δεν ισχύουν είτε είναι πιο δύσκολα να μετριάστούν σε σχέση με άλλα συστήματα καλλιέργειας. Ένα σημαντικό πρόβλημα που σχετίζεται με την επιλογή της τοποθεσίας για ανοιχτά συστήματα είναι η έλλειψη ελέγχου της ποιότητας του νερού. Η ποιότητα του νερού εξαρτάται από τοπικούς παράγοντες και δεν μπορεί να διαχειριστεί. Επομένως είναι απαραίτητο ο καλλιεργητής να γνωρίζει όλες τις ακραίες τιμές της ποιότητας των νερών που παρατηρούνται στην συγκεκριμένη περιοχή, δηλαδή τη θερμοκρασία του νερού, την αλατότητα, τις ανθίσεις του φυτοπλαγκτού πριν από την ανάπτυξη μιας εγκατάστασης υδατοκαλλιέργειας. Οι εποχιακές διακυμάνσεις των περιβαλλοντικών παραγόντων μπορεί να οδηγήσουν σε μεγάλες διακυμάνσεις των ρυθμών



Εικόνα 2.7. Μαγιάτικο, *Seriola rivoliana*, που καλλιεργείται σε υψηλή πυκνότητα σε κλουβί ανοικτής θαλάσσης στα ανοικτά την ακτής Kona της Χαβάης. Πηγή: Καλλιέργεια Kampachi. Αναπαράγεται με άδεια από τον N. A. Sims, Co-CEO, Kampachi Farms, LLC.

ανάπτυξης και οι τοπικές διαφορές στο περιβάλλον μπορεί επίσης να προκαλέσουν μεγάλες διαφορές στην ανάπτυξη και την επιβίωση. Η κλιματική αλλαγή έχει πλέον εισαγάγει μια πρόσθετη μεταβλητή στη επιλογή της τοποθεσίας νέων καλλιεργειών και στη λειτουργία των υφιστάμενων καλλιεργειών. Τα ιστορικά δεδομένα για την ποιότητα του νερού που χρησιμοποιούνταν έως τώρα για να υποδείξουν την πιθανή μελλοντική ποιότητα του νερού ενδέχεται να έχουν περιορισμένη χρήση. Θα απαιτηθούν δοκιμές σεναρίων, δηλαδή πιθανές αλλαγές στην ποιότητα των υδάτων που μπορεί να προκύψουν με την αλλαγή του κλίματος, για να ενημερωθούν οι επιλογές για τον εντοπισμό και τη διαχείριση της καλλιέργειας. Η πιθανή άνοδος της στάθμης του νερού της θάλασσας λόγω της κλιματικής αλλαγής μπορεί επίσης να έχει αντίκτυπο στις βιομηχανίες υδατοκαλλιέργειας στις εκβολές ή σε δέλτα ποταμών. Για παράδειγμα, η βιομηχανία καλλιέργειας γατόψαρου στο Βιετνάμ μπορεί να έχει μεγαλύτερη πηγή αλμυρού νερού στο μέλλον.

Τα ανοικτά συστήματα είναι επίσης πιο επιρρεπή σε θηρευτές. Η θήρευση μπορεί να ελεγχθεί με την προσθήκη ορισμένων συσκευών προστασίας (**Εικόνα 5.2**). Επιπλέον, οι μέθοδοι ελέγχου των

θηρευτών στις περισσότερες χώρες πρέπει να είναι μη καταστρεπτικές (δεν επιτρέπεται το κυνήγι!) και είναι γενικά δαπανηρές για να λειτουργούν και να συντηρούνται. Η θήρευση μπορεί επίσης να εκτείνεται πέρα από τα άγρια ζώα όπως στην ανθρώπινη παρέμβαση ή τη λαθροθηρία. Παρόλο που η παρέμβαση σε εξοπλισμό και αποθέματα υδατοκαλλιέργειας αποτελεί αδίκημα στις περισσότερες χώρες, η επιβολή της νομοθεσίας είναι δύσκολη και η ευθύνη για την προστασία του εξοπλισμού και των αποθεμάτων συχνά είναι στην ευθύνη του διαχειριστή του συστήματος.

2.5.3 Ημίκλειστα Συστήματα

Τα ημίκλειστα συστήματα περιλαμβάνουν λιμνοδεξαμενές, δεξαμενές και καναλόμορφες συγκοινωνούντες δεξαμενές όπου η παροχή νερού περιορίζεται σε διακριτές μονάδες με κάποια ροή νερού. Τα συστήματα αυτά διακρίνονται σαφώς μεταξύ στατικών και ανοιχτών συστημάτων όσον αφορά την ανταλλαγή του νερού με παρακείμενες πηγές νερού. Υπάρχει ένας βαθμός ανταλλαγής νερού σε ημίκλειστα συστήματα που είναι σημαντικά μεγαλύτερος από ότι στα στατικά συστήματα και πολύ μικρότερος από ότι στα ανοικτά συ-

Πίνακας 2.4 Πηγές γλυκού νερού για ημίκλειστη καλλιέργεια.

Πηγή νερού	Πλεονεκτήματα	Πιθανά προβλήματα
Λίμνες και ταμειυτήρες	Υπάρχουν διαθέσιμοι μεγάλοι όγκοι	• Ευάλωτα στις κλιματικές αλλαγές και στη ρύπανση. • Πιθανή ύπαρξη θρευτών, ανταγωνιστών και παθογόνων μικροβίων
Ρέματα ή ρηχές πηγές	Υψηλό περιεχόμενο σε οξυγόνο	• Υψηλά μεταβαλλόμενη προσφορά και ποιότητα νερού λόγω της κλιματικής αλλαγής • Ευπαθή σε ρύπανση • Πιθανή ύπαρξη θρευτών, ανταγωνιστών, παθογόνων
Βαθείες πηγές	Σχετικά σταθερή παροχή Χωρίς αιωρούμενα στερεά	• Χαμηλό οξυγόνο • Υπερκορεσμός με αέριο N₂ • Σουλφίδια
Πηγάδια	Πολύ σταθερή παροχή Χωρίς αιωρούμενα στερεά	• Είναι δύσκολο να προβλεφθεί η απόδοση • Υψηλό κόστος άντλησης • Μπορεί να καταστρέψει τα υπόγεια νερά • Υπερκορεσμός με αέριο N₂

Πίνακας 2.5 Πηγή υφάλμυρου νερού για ημίκλειστη καλλιέργεια.

Πηγή νερού	Πλεονεκτήματα	Πιθανά προβλήματα
Εκβολή ποταμού	• Αξιοπιστία	• Εποχιακή μεταβολή αλατότητας
	• Μπορεί να στηρίζεται σε παλίρροιες για την εναλλαγή του νερού σε μικρές λιμνοδεξαμενές	• Επίδραση της παλίρροιας στην περίοδο άντλησης (εάν η αντλία είναι τοποθετημένη πάνω από τη στάθμη της άμπωτης
		• Μεταβλητή ικανότητα αναρρόφηση ανάλογα με το εύρος της παλίρροιας.
		• Ευαίσθητο στη ρύπανση
		• Παρουσία θρευτών και παρασίτων.
		• Μπορεί να υπάρχουν παθογόνα μικρόβια
		• Υψηλό φορτίο ιζήματος

στήματα. Μια άλλη σημαντική διαφορά μεταξύ ημίκλειστων και ανοικτών συστημάτων υδατοκαλλιέργειας είναι ότι το νερό μεταφέρεται συνεχώς ή συχνά στην καλλιέργεια. Η προέλευση του νερού μπορεί να είναι γλυκό νερό, υφάλμυρο ή θαλασσινό. Χαρακτηριστικές προελεύσεις γλυκού και υφάλμυρου νερού περιγράφονται στους **Πίνακες 2.4** και **2.5** και μορφές θαλασσινού νερού, περιγράφονται στο Κεφάλαιο 3.

Το νερό αντλείται από μια αξιόπιστη πηγή και ρέει προς και μέσω της καλλιέργειας, όπου οδηγείται από τη βαρύτητα, την παλιρροιακή ανταλλαγή ή, πιο συχνά, την άντληση. Σε αυτά τα συστήματα, το νερό εναλλάσσεται για να διατηρηθεί η ποιότητα του νερού. Καθώς η καλλιέργεια δεν βρίσκεται μέσα σε ένα φυσικό υδάτινο περιβάλλον, υπάρχει ένας βαθμός ελέγχου της ποιότητας του νερού, αλλά μόνο στην έκταση που η ροή του

νερού μπορεί να αυξηθεί, να μειωθεί ή να σταματήσει. Εάν η πηγή του νερού μολυνθεί ή γίνει μη απαράδεκτης ποιότητας, ο καλλιεργητής μπορεί να σταματήσει τη ροή του νερού, αλλά αυτό αφήνει εκτεθειμένο το απόθεμα στο στάσιμο νερό όπου η ποιότητα του νερού χειροτερεύει.

Τα πλεονεκτήματα των ημίκλειστων συστημάτων ποικίλλουν από:

- την ενίσχυση της παραγωγής από τις λιμνοδεξαμενές με την εναλλαγή κάποιας ποσότητας νερού διατηρώντας ταυτόχρονα κάποια εξάρτηση από τις φυσικές διεργασίες του οικοσυστήματος της λιμνοδεξαμενής.

Προς την

- πλήρη εξάρτηση της ποιότητας του νερού από την εναλλαγή του νερού (π.χ. καναλόμορφες συγκοινωνούντες δεξαμενές) με αποτέλεσμα

μεγάλη αύξηση της παραγωγής.

Στην τελευταία, η χρήση του νερού ανά μονάδα παραγωγής είναι εξαιρετικά υψηλή. Στα συστήματα αυτά το νερό μπορεί να κάνει μία ή πολλές διελεύσεις μέσα από τις υποδομές της καλλιέργειας.

Εάν το νερό εναλλάσσεται με άντληση, το κόστος της άντλησης μπορεί να είναι υψηλό, ανάλογα με το ύψος του νερού που πρέπει να αντληθεί και να αντικατασταθεί (ενότητα 3.4.3).

Σε μεγάλα ημίκλειστα συστήματα με ημιεντατική έως εντατική καλλιέργεια (**Πίνακας 2.3**), η ροή του νερού είναι γενικά υψηλή έως πολύ υψηλή. Συνιστάται γενικά ότι η εναλλαγή του νερού κυμαίνεται από 5-10% ανά ημέρα για ημιεντατικές λιμνοδεξαμενές (Boyd, 1991) και μέχρι 30-40% ανά ημέρα για εντατικές εκτροφές σε λιμνοδεξαμενές (Yoo and Boyd, 1994). Ένας ρυθμός εναλλαγής του νερού καλλιέργειας ίσο με 1% ανά ημέρα ισούται με 100 m³/εκτάριο/μ μιας μέσου βάθους λιμνοδεξαμενής (Yoo and Boyd, 1994). Αυτό σημαίνει ότι ένας ρυθμός εναλλαγής του νερού καλλιέργειας 5% ημερησίως σε μια δεξαμενή 1 εκταρίου με μέσο βάθος 2 m απαιτεί συνολικά 1000 m³ νερού ανά ημέρα. Επιπλέον, πρέπει να ληφθούν υπόψη οι απώλειες νερού από την εξάτμιση και τις διαρροές. Ο Boyd (1991) παρέχει περαιτέρω λεπτομέρειες για τον καθορισμό του ρυθμού εναλλαγής του νερού καλλιέργειας.

2.5.4 Συστήματα Επανακυκλοφορίας (Κλειστά)

Τα συστήματα επανακυκλοφορίας του νερού (recirculating systems) συνήθως έχουν ελάχιστη σύνδεση με το περιβάλλον και την αρχική πηγή νερού (**Πίνακας 2.6**). Αυτά τα συστήματα έχουν ελάχιστη εναλλαγή του νερού κατά τη διάρκεια ενός κύκλου παραγωγής, εξ ου και η περιγραφή ως “κλειστά” συστήματα. Προστίθεται νερό για να αντισταθμίσει τις επιπτώσεις της εξάτμισης ή των τυχαίων απωλειών ή, συχνότερα, για τη διατήρηση της ποιότητας του νερού. Κάποια ποσότητα νερού απομακρύνεται και αντικαθίσταται καθημερινά στα περισσότερα συστήματα επανακυκλοφορίας του νερού σε με εντατική καλλιέργεια (Losordo, 1998a, b). Αυτό ανακύπτει λόγω πτυ-

χών της τακτικής συντήρησης του συστήματος, όπως η αφαίρεση συσσωρευμένων στερεών από τα φίλτρα. Η ποιότητα του νερού σε εντελώς κλειστά συστήματα δεξαμενών εντατικής καλλιέργειας είναι πολύ πιο δύσκολο να διατηρηθεί σε σχέση με τα συστήματα στα οποία υπάρχει κανονική αντικατάσταση 5% του νερού ή περισσότερο ανά ημέρα (Losordo, 1998a, b). Ακόμη και με περιορισμένη εναλλαγή νερού κάθε μέρα, η ποιότητα του νερού μέσα σε ένα σύστημα επανακυκλοφορίας του νερού θα διατηρηθεί μόνο με τεχνητό χειρισμό (**Εικόνα 4.15**). Οι Losordo et al. (2001) έκαναν ανασκόπηση σε αυτά τα συστήματα και τις κρίσιμες εκτιμήσεις τους, την κατάσταση και το μέλλον τους.

Το κόστος κατασκευής και παραγωγής σε εντατικά συστήματα επανακυκλοφορίας του νερού έχει περιορίσει την εμπορική ανάπτυξη αυτών των συστημάτων για το στάδιο της πάχυνσης δηλαδή, την τελική φάση της καλλιέργειας έως το εμπορικό μέγεθος. Ωστόσο, η δυνατότητα υψηλών αποδόσεων με παραγωγή όλο το χρόνο κοντά στις αγορές οδηγεί στην ανάπτυξή τους. Ορισμένα από τα πλεονεκτήματα και τα πιθανά μειονεκτήματα των συστημάτων επανακυκλοφορίας περιγράφονται στον **Πίνακα 2.6**.

2.6 Επιλογή Νέου Είδους για Καλλιέργεια

Τα ακόλουθοι παράγραφοι αφορούν κυρίως τις πρωτοβουλίες υδατοκαλλιέργειας στις ανεπτυγμένες χώρες. Ποια είδη θα καλλιεργηθούν; Τι είδους σύστημα θα χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη των επιλεγμένων ειδών; Τα αλληλοσυνδεόμενα στοιχεία για την υδατοκαλλιέργεια περιγράφηκαν στην **Εικόνα 2.1**. Δυστυχώς, πολλές νέες επιχειρήσεις υδατοκαλλιέργειας αποτυγχάνουν επειδή τουλάχιστον ένα συστατικό δεν εξετάστηκε σωστά πριν από την έναρξη λειτουργίας της επιχείρησης.

Τα κριτήρια επιλογής νέων ειδών για την εμπορική υδατοκαλλιέργεια περιγράφηκαν από τον Avault (1996). Η επιλογή των ειδών υδατοκαλλιέργειας αποτελεί συχνά μια ισορροπία μεταξύ της βιολογικής γνώσης και των οικονομικών.

Πίνακας 2.6. Γενικά χαρακτηριστικά, πλεονεκτήματα και πιθανά προβλήματα συστημάτων επανακυκλοφορίας του νερού στις υδατοκαλλιέργειες σε συνθήκες εσωτερικού χώρου.

Χαρακτηριστικά	Πλεονέκτημα	Πιθανά προβλήματα και μειονεκτήματα
Περιορισμένη εναλλαγή νερού εκτός του συστήματος	- Είναι δυνατόν ο αυστηρός έλεγχος - Δεν επηρεάζεται από τον καιρό	- Υψηλό κόστος κεφαλαίου - Υψηλό κόστος λειτουργίας (άντληση, διήθηση, συντήρηση, κ.λ.π.
Αυστηρή παρακολούθηση και έλεγχος κρίσιμων παραμέτρων ποιότητας του νερού	- Οι θηρευτές και οι ανταγωνιστές αποκλείονται εύκολα - Τα παθογόνα μικρόβια είναι λιγότερο πιθανό να μολύνουν	Απαιτεί πολύ προσεκτική διαχείριση (δεν διαθέτει ρυθμιστική ικανότητα)
Υψηλές πυκνότητες εκτρεφόμενων ζώων	Αποτελεσματική σίτιση	Ένα ξέσπασμα παθογόνων μικροοργανισμών θα είναι σοβαρό
Υψηλή απόδοση ανά μονάδα όγκου και ανά μονάδα επιφάνειας νερού	- Ελάχιστες περιβαλλοντικές επιπτώσεις - Απαιτείται ελάχιστο νερό	

2.6.1 Επιλογή ενός Κατάλληλου Είδους

Η βιολογική γνώση που απαιτείται για την επιτυχή καλλιέργεια ενός είδους είναι ποικίλη και θα περιγραφεί στην επόμενη ενότητα.

Υπάρχει ένα ευρύ φάσμα χρήσεων των προϊόντων υδατοκαλλιέργειας, και ενώ υπάρχουν εκατοντάδες εκτρεφόμενων ειδών, υπάρχουν δυνατότητες για πολλά άλλα ακόμη. Η υδατοκαλλιέργεια είναι πολλά περισσότερα από την παραγωγή πρωτεϊνών για ανθρώπινη κατανάλωση, αν και αυτός είναι ο συχνότερος στόχος των νέων επιχειρήσεων καλλιέργειας. Άλλοι στόχοι παραγωγής της υδατοκαλλιέργειας περιλαμβάνουν:

- βιομηχανικά προϊόντα, π.χ., άγαρ /αλγινικό.
- φαρμακευτικά προϊόντα, π.χ., χημικές ουσίες ανθεκτικές στην υπεριώδη ακτινοβολία, παράγοντες καταπολέμησης του καρκίνου.
- πολύτιμοι λίθοι, π.χ., μαργαριτάρια από μαργαριτοφόρα στρείδια, αλιώτιδες και αχιβάδες.
- αύξηση άγριων αποθεμάτων για διατήρηση της άγριας αλιείας ή την ψυχαγωγική αλιεία.
- "διακοσμητικά" είδη για τη βιομηχανία ενυδρείων.
- δέρματα κροκοδείλου και αλιγάτορα (**Εικόνα 2.8**).
- τροφή και συστατικά τροφίμων για τα πρώιμα στάδια ανάπτυξη των καλλιεργούμενων ψαριών και ασπόνδυλων, π.χ., φυτοπλαγκτόν και ζωοπλαγκτόν.

Έτσι, τα χαρακτηριστικά των επιλεγμένων ειδών μπορεί να ποικίλλουν ανάλογα με τους στόχους παραγωγής. Η χρήση του προϊόντος μπορεί να καθορίσει την τιμή της αγοράς και αυτό με τη σειρά του θα επηρεάσει την οικονομική βιωσιμότητα της επιχείρησης.

2.6.2 Απαιτήσεις για Κατάλληλα Καλλιεργούμενα Είδη

Οι επιχειρηματικές προσπάθειες στην υδατοκαλλιέργεια συχνά αποτυγχάνουν λόγω ανεπαρκούς κατανόησης όλων των πτυχών της βιολογίας και των οικονομικών των ειδών-στόχων ή με την επιλογή ειδών που δεν έχουν τα κατάλληλα χαρακτηριστικά. Ο Anault (1996) απαριθμεί τα ακόλουθα θέματα που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την επιλογή ενός είδους υδατοκαλλιέργειας.

2.6.2.1 Θερμοκρασία και Ποιότητα νερού

Κάθε είδος έχει ειδικές απαιτήσεις για διάφορες παραμέτρους της ποιότητας του νερού. Αυτές οι παράμετροι περιλαμβάνουν τη θερμοκρασία, το διαλυμένο οξυγόνο, την αλατότητα, το pH και την αμμωνία/νιτρώδη/νιτρικά (Κεφάλαιο 4). Είναι σημαντικό να κατανοούμε όχι μόνο τα βέλτιστα επίπεδα ανάπτυξης, επιβίωσης, αναπαραγωγής και κατάστασης, αλλά και τις ανεκτές περιοχές του είδους στόχου για αυτές τις παραμέτρους.



Εικόνα 2.8 Καλλιέργεια κροκοδείλων. Πηγή: Φωτογραφία του Rick Bayok. Αναπαραγωγή με την άδεια Αναφοράς Δημιουργού - Παρόμοιας Διανομής Creative Commons, CC-BY-SA 3.0.

2.6.2.2 Ρυθμός Ανάπτυξης

Τα είδη που παρουσιάζουν ταχείς ρυθμούς ανάπτυξης για να φθάσουν στο εμπορικό μέγεθος προτιμώνται σαφώς για την υδατοκαλλιέργεια. Γενικά θεωρείται μη σκόπιμο να καλλιεργούν ένα είδος που απαιτεί περισσότερο από δύο χρόνια για να φτάσει το εμπορικό μέγεθος. Επιπλέον, ο ρυθμός ανάπτυξης πρέπει να εξετάζεται σε σχέση με τον επιχειρηματικό κίνδυνο και τα οικονομικά. Ο επιχειρηματικός κίνδυνος έρχεται με την πιθανότητα να χάσεις το προϊόν λόγω ασθένειας ή αποτυχίας του συστήματος κατά τη διάρκεια της περιόδου πάχυνσης. Εάν, ωστόσο, ο κίνδυνος απώλειας του προϊόντος είναι χαμηλός ή το προϊόν είναι σημαντικά υψηλότερης αξίας από τα αντίστοιχα είδη που είναι ταχύτερα αναπτυσσόμενων, τότε το είδος με βραδύτερους ρυθμούς ανάπτυξης μπορεί να καλλιεργηθεί αποτελεσματικά.

2.6.2.3 Διατροφικές Συνήθειες και Διατροφή

Οι διατροφικές συνήθειες και οι απαιτήσεις σε τροφή ενός είδους μπορούν να επηρεάσουν σε μεγάλο βαθμό την κερδοφορία της καλλιέργει-

ας. Οι διατροφικές συνήθειες μπορούν γενικά να διαχωριστούν ανάλογα με τη φάση της παραγωγής, δηλαδή εκκολαπτήριο(hatchery)/νηπιοτροφείο (nursery), τις νεανικές και τις φάσεις πάχυνσης. Γενικά, οι διατροφικές συνήθειες αλλάζουν σημαντικά μετά την φάση του εκκολαπτηρίου/νηπιοτροφείου, με τα νεαρά άτομα και άτομα στην φάση της πάχυνσης να έχουν παρόμοιες διατροφικές συνήθειες. Έτσι, οι διατροφικές απαιτήσεις τόσο για τη ζωντανή όσο και για την τεχνητή τροφή, τις τεχνικές ταΐσματος και τους αναμενόμενους ρυθμούς ανάπτυξης πρέπει να είναι γνωστές όσο το δυνατόν πληρέστερα. Ο καθορισμός των διατροφικών απαιτήσεων είναι μια περίπλοκη διαδικασία, η οποία εξακολουθεί να εφαρμόζεται για τα μακροπρόθεσμα καλλιεργούμενα είδη, αλλά είναι κατάλληλη η δοκιμή με διαθέσιμες εμπορικές ζωοτροφές.

Οι διατροφικές συνήθειες περιλαμβάνουν την τροφή και τη θέση στη στήλη του νερού στην οποία τρέφονται τα ζώα. Οι ανάγκες σε τρόφιμα επηρεάζουν το κόστος διατροφής, με τα ζώα που τρέφονται υψηλότερα στην τροφική αλυσίδα, για παράδειγμα τα σαρκοφάγα, γενικά απαιτούν ακριβότερες τροφές. Η δυνατότητα αποδοχής τεχνη-

τού σιτηρεσίου είναι επίσης σημαντική, καθώς οι ζωντανές τροφές είναι δαπανηρές να παραχθούν από άποψη διαθέσιμου χώρου, απαιτούμενης εργασίας και αναλωσίμων. Στο άλλο άκρο του φάσματος, εκτατικά καλλιεργούμενα γαστερόποδα που βόσκουν και δίδυρα που τρέφονται με διήθηση προσλαμβάνουν τροφή από το περιβάλλον τους χωρίς την ανάγκη χορήγησης συμπληρωματικής τροφής. Η θέση στη στήλη του νερού στην οποία τρέφονται τα ζώα μπορεί να επηρεάσει τον τύπο του χρησιμοποιούμενου συστήματος υδατοκαλλιέργειας. Για παράδειγμα, εάν ένα ψάρι είναι βενθοφάγο είναι απίθανο να μπορεί να καλλιεργηθεί αποτελεσματικά σε ένα πλωτό κλουβί.

2.6.2.4 Αναπαραγωγική Βιολογία

Μια αξιόπιστη πηγή παροχής νεαρών ατόμων ή “γόνου” είναι θεμελιώδης για όλες τις επιχειρήσεις υδατοκαλλιέργειας. Ο γόνος πρέπει να είναι διαθέσιμος στην απαιτούμενη ποιότητα και ποσότητα και στις κατάλληλες χρονικές στιγμές. Αν και ορισμένοι κλάδοι υδατοκαλλιέργειας έχουν αναπτυχθεί χρησιμοποιώντας γόνο που έχει αλιευθεί από άγριους πληθυσμούς, π.χ. στρείδια και γαλατόψαρα, είναι ιδιαίτερα επιθυμητό τα είδη-στόχοι να μπορούν να αναπαράγονται σε αιχμαλωσία. Εκτός από τη δυνατότητα αναπαραγωγής σε αιχμαλωσία, είναι επίσης επιθυμητό ένα εκτρεφόμενο είδος να έχει υψηλή γονιμότητα, είτε μεγάλο αριθμό αβγών ανά αναπαραγωγή είτε πολλαπλές ωοτοκίες ανά εποχή. Η υψηλή γονιμότητα βοηθά στην αντιστάθμιση του υψηλού κόστους της διατήρησης και της αναπαραγωγής των γεννητόρων. Η αναπαραγωγή σε αιχμαλωσία είναι βέβαια απαραίτητη για τη γενετική επιλογή.

2.6.2.5 Ανθεκτικότητα

Για να επιτευχθούν αποδεκτά επίπεδα παραγωγής, είναι πιθανό τα εκτρεφόμενα είδη να εκτίθενται σε συνθήκες που διαφέρουν σημαντικά από το φυσικό τους περιβάλλον. Τα εκτρεφόμενα ζώα γενικά αντιμετωπίζουν τον κοινωνικό συνωστισμό (social crowding), έναν βαθμό μειωμένης ποιότητας και χειρισμού των νερών. Όλες αυτές οι παράμετροι θα δημιουργήσουν καταπόνηση (stress). Τα καλλιεργημένα είδη πρέπει να είναι σε θέση να

προσαρμόζονται σε αυτές τις καταπονήσεις και να διατηρούν υψηλή επιβίωση και βέλτιστη ανάπτυξη. Είναι σημαντικό να εξετάσουμε τις επιπτώσεις αυτών των καταπονήσεων σε όλα τα στάδια του κύκλου ζωής. Σε συνδυασμό με την ικανότητα προσαρμογής στις καταπονήσεις της καλλιέργειας είναι μια ικανότητα να αντιστέκεται στις ασθένειες. Η πιθανότητα εμφάνισης και πολλαπλασιασμού της νόσου είναι υψηλότερη στην καλλιέργεια από ότι στην φύση και ένα είδος ευαίσθητο σε μαζική θνησιμότητα από χαμηλά επίπεδα νόσου είναι ανεπιθύμητο.

2.6.2.6 Κερδοφορία

Μια διεξοδική διερεύνηση των αγορών για τα είδη-στόχους αποτελεί βασική προϋπόθεση στο επενδυτικό εγχείρημα της υδατοκαλλιέργειας. Όπως περιγράφηκε προηγουμένως, υπάρχει ένα εύρος χρήσεων για τα προϊόντα υδατοκαλλιέργειας, τα οποία μπορούν να ληφθούν υπόψη κατά την επιλογή του στοχευόμενου είδους. Ορισμένα είδη μπορεί επίσης να έχουν πολλές εμπορικές ευκαιρίες. Ορισμένα είδη ψαριών μπορεί να:

- πωλούνται ως νεαρά ιχθύδια (fingerlings) για την ανασύσταση του αποθέματος.
- έχουν αναπτυχθεί σε εμπορεύσιμο μέγεθος,
- έχουν αναπτυχθεί σε μεγαλύτερο μέγεθος για φιλετάρισμα.

Τα στρείδια για κατανάλωση μπορεί να πωληθούν στις εκτροφές στρειδιών ως γόνος ή να πωληθούν μετά την πάχυνση ως ενήλικα μέσα σε κέλυφος ή χωρίς κέλυφος ή καπνιστά. Είναι σημαντικό να εντοπιστούν οι καλύτερες αγορές για το προϊόν και οι εμπορικές αξίες των δυνητικών προϊόντων. Μια απόφαση σχετικά με τα οικονομικά της καλλιέργειας μπορεί να γίνει στη συνέχεια.

2.6.2.7 Οικονομικά

Η υδατοκαλλιέργεια, ειδικά στις ανεπτυγμένες χώρες, είναι ουσιαστικά ένας τρόπος για να κερδίσεις χρήματα. Σε όλα τα στάδια της διαδικασίας επιλογής ενός είδους για υδατοκαλλιέργεια, ο βαθύτερος στόχος είναι το κέρδος (Κεφάλαιο 14). Έτσι, το σύνολο των εξόδων παραγωγής, συμπεριλαμβανομένων των αποθεμάτων, των τροφών,

της ηλεκτρικής ενέργειας, των τόκων δανείων, του κόστους εργασίας, κλπ. και οι αποδόσεις από την πώληση του προϊόντος πρέπει να εκτιμώνται με λεπτομερή ανάλυση κόστους και απόδοσης.

Παρά τη στόχευση ενός είδους που είναι πολύ κατάλληλο για καλλιέργεια, μια επιχείρηση υδατοκαλλιέργειας μπορεί να αποτύχει εάν:

- Υπάρχει ανεπαρκής αγοραστική ζήτηση για το προϊόν.
- Το προϊόν δεν μπορεί να παραχθεί σε κερδοφόρο επίπεδο σε σύγκριση με άλλες πηγές στην αγορά.

Οι οικονομολόγοι έχουν δημιουργήσει μια ποικιλία λογισμικού που επιτρέπει στους υποψήφιους υδατοκαλλιεργητές και στις εταιρείες υδατοκαλλιέργειας να προβούν σε όλους τους κατάλληλους οικονομικούς υπολογισμούς. Η οικονομική σκοπιμότητα της καλλιέργειας μπορεί να καθοριστεί συνδυάζοντας την ανάλυση της αγοράς και τη βιολογική σκοπιμότητα.

Μπορεί να υπάρχουν εναλλακτικά συστήματα παραγωγής για την καλλιέργεια ενός είδους. Μπορεί να είναι δυνατή η αντιστοίχιση του τύπου του συστήματος παραγωγής και των συναφών δαπανών του με το είδος και την εμπορική του τιμή για να επιτευχθεί κερδοφορία. Για παράδειγμα, η αύξηση των ψαριών σε ένα εντατικό σύστημα δεξαμενής ανακύκλωσης μπορεί να κοστίσει 4-8 δολάρια ΗΠΑ/kg για να φθάσει στο εμπορικό μέγεθος. Η εμπορική τιμή αυτού του είδους θα πρέπει σαφώς να είναι σημαντικά υψηλότερη από το κόστος παραγωγής για να εξασφαλιστεί η οικονομική βιωσιμότητα. Αν όχι, τότε καλλιεργητής ή η εταιρεία υδατοκαλλιέργειας πρέπει να διερευνήσει μια εναλλακτική φθηνότερη μέθοδο παραγωγής, π.χ. ημιεντατική καλλιέργεια σε λίμνοδεξαμενές, η οποία μπορεί να μειώσει το κόστος παραγωγής ανά κιλό εμπορικού μεγέθους ψαριού. Δεν είναι απλώς θέμα να έχουμε ένα θετικό ισοζύγιο κέρδους στο κόστος. Αν ο ρυθμός απόδοσης της επένδυσης σε μια επιχείρηση υδατοκαλλιέργειας δεν είναι μεγαλύτερος από τον επικρατούμενο κανονικό συντελεστή απόδοσης των επενδύσεων, τότε η επιχείρηση είναι πραγματικά μη κερδοφόρα. Τα δεσμευμένα κεφάλαια θα χρησιμοποιηθούν καλύτερα για επενδύσεις χαμηλότερου κινδύνου (Κεφάλαιο 14).

2.6.3 Συμβιβασμός

Το ιδανικό εκτρεφόμενο είδος διαθέτει όλα τα παραπάνω χαρακτηριστικά. Ωστόσο, από λίγα έως ελάχιστα είδη είναι ιδανικά, και γενικά υπάρχει κάποιος συμβιβασμός ως προς αυτά τα χαρακτηριστικά.

Η επιλογή ενός είδους για παραγωγή στην υδατοκαλλιέργεια μπορεί να είναι μεταξύ αυτών των ακραίων:

1. Ένα είδος ή ένα προϊόν έχει μια υπάρχουσα αγορά και μπορεί εύκολα να διατεθεί στο εμπόριο. Ο υδατοκαλλιεργητής ή η εταιρεία υδατοκαλλιέργειας μπορούν να εισέλθουν σε μια εδραιωμένη αγορά και η απόφαση για την καλλιέργεια βασίζεται στο πόσο ελκυστική είναι οικονομικά. Εάν υπάρχουν βιολογικές πληροφορίες που επιτρέπουν τη διαχείριση καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής, τότε, δεδομένης της οικονομικής δυνατότητας υλοποίησης, η επιτυχής καλλιέργεια είναι σχεδόν εξασφαλισμένη. Ενδέχεται να υπάρχουν προβλήματα στη καλλιέργεια, αν υπάρχουν πτυχές του κύκλου ζωής που δεν είναι πλήρως κατανοητές. Ο καλλιεργητής ή η εταιρεία υδατοκαλλιέργειας πρέπει να αναλάβει τον κίνδυνο αποτυχίας, παρά την έτοιμη αγορά.
2. Η βιολογική δυνατότητα να εφαρμοστεί η καλλιέργεια είναι υψηλή, αλλά υπάρχει μια περιορισμένη αγορά ή η εμπορική τιμή είναι χαμηλή. Σε αυτή την περίπτωση, η απόφαση για την καλλιέργεια βασίζεται στο γεγονός ότι ο έλεγχος του κύκλου ζωής είναι πλήρης και όχι στην άμεση οικονομική ελκυστικότητα. Προφανώς, το προϊόν πρέπει να είναι εμπορεύσιμο, αλλά ο κίνδυνος είναι αν υπάρχει επαρκής χρόνος και πόροι για την ανάπτυξη μιας αγοράς. Εάν εδραιωθεί μια αγορά και δεδομένου ότι η καλλιέργεια είναι οικονομικά εφικτή, η επιχείρηση θα είναι επιτυχής.

Εάν ένα προϊόν δεν ταιριάζει σε μια αγορά, η καλλιέργεια του προϊόντος θα είναι ανεπιτυχής. Ωστόσο, μια εναλλακτική λύση από την αλλαγή του είδους μπορεί να είναι θέμα αλλαγής της θέσης του στην αγορά (εξειδικευμένο τμήμα της αγοράς) ή η πραγματοποίηση μιας καινοτόμου εκστρατείας προώθησης. Η προσέγγιση αυτή έχει αποτελέσει παράδειγμα για ορισμένα είδη ψαριών, π.χ. τιλάπια στην Ασία (Κεφάλαιο 18) και γατόψαρα στις ΗΠΑ

(Κεφάλαιο 19), καθώς και για τα μύδια που εξάγονται από τη Νέα Ζηλανδία ως “Kiwi clams” (Κεφάλαιο 24).

2.7 Ανάπτυξη Νέας Καλλιέργειας ή Νέων Καλλιεργούμενων Ειδών

2.7.1 Ταχεία Ανάπτυξη

Εάν τα είδη υδατοκαλλιέργειας της επιλογής μας καλλιεργούνται ευρέως στην περιοχή και οι τεχνικές είναι καλά ανεπτυγμένες, τότε η ανάπτυξη μιας νέας καλλιέργειας για το είδος μπορεί να είναι σχετικά απλή και οι κύριες ανησυχίες σχετικά με την επιτυχία θα είναι οικονομικές. Η ίδρυση μιας επιχείρησης θα είναι θέμα εφαρμογής των υφιστάμενων τεχνολογιών στην επιλεγμένη τοποθεσία της καλλιέργειας. Αυτό είναι το πρότυπο ανάπτυξης σε όλες τις περιοχές όπου η υδατοκαλλιέργεια αυξάνεται με ταχείς ρυθμούς. Η ανάπτυξη της καλλιέργειας της Αμερικανικής καραβίδας του γλυκού νερού *Procambarus clarkii* στην Κίνα είναι ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτού του προτύπου (**Εικόνα 23.10**).

Αυτό δεν συμβαίνει πάντα και μπορεί να απαιτηθεί κάποια διαδικασία δοκιμής και σφάλματος με την εκτροφή. Η τεχνολογία δεν εφαρμόζεται αυτόματα από μια τοποθεσία σε άλλη τοποθεσία, ειδικά για την υδατοκαλλιέργεια σε λιμνοδεξαμενές. Υπάρχουν τοπικές διαφορές ως προς τον τύπο του εδάφους, την τοπογραφία, την πρόσβαση σε νερό κλπ., αλλά η λειτουργία πρέπει να εισέρχεται στο στάδιο της εμπορικής δοκιμής (ενότητα 2.7.1.4). Επιπλέον, εφόσον η εκπαίδευση των εργαζομένων είναι ικανοποιητική (είναι φρόνιμο να απασχολούνται άτομα που έχουν ήδη εμπειρία στη συγκεκριμένη βιομηχανία), η επιτυχία είναι πιθανή.

2.7.2 Πιο Τεχνικά Απαιτητική Ανάπτυξη

Αν το είδος καλλιεργείται μόνο σε άλλες περιοχές, τότε η ανάπτυξη μπορεί να είναι πιο δύσκολη. Μπορεί να προκύψουν δυσκολίες από τις δια-

φορές στη παραγωγή, π.χ. το είδος απαιτεί περισσότερη τεχνολογική ανάπτυξη ή οι κλιματικές διαφορές ανάμεσα στις περιοχές μπορούν να επηρεάσουν τις παραδοσιακές ή εξελιγμένες τεχνολογίες καλλιέργειας.

Εάν το στοχευόμενο είδος αποτελεί ένα νέο είδος για τη βιομηχανία της υδατοκαλλιέργειας, ή εάν προτείνεται η καλλιέργεια του είδους υπό πολύ διαφορετικές συνθήκες, π.χ. εντατική έναντι εκτατικής καλλιέργειας, θα χρειαστεί να αναπτυχθούν κατάλληλες τεχνικές καλλιέργειας. Το παρακάτω πρωτόκολλο ανάπτυξης συνιστάται για τον προσδιορισμό της καταλληλότητας του είδους, ειδικά στις ανεπτυγμένες χώρες όπου έχουν δεσμευθεί μεγάλες επενδύσεις.

2.7.2.1 Στάδια Ανάπτυξης

Πολλές επιχειρήσεις υδατοκαλλιέργειας αποτυγχάνουν σε διάφορα σημεία κατά τη διάρκεια του ακόλουθου πρωτοκόλλου ανάπτυξης. Το κλειδί δεν είναι να πραγματοποιηθούν μεγάλες επενδύσεις σε ένα νέο είδος και σε μεθόδους καλλιέργειας έως ότου τα προκαταρκτικά στάδια, που περιγράφονται παρακάτω, δώσουν κάποια εμπιστοσύνη στις δυνατότητες της.

Αυτή η διαδικασία ανάπτυξης της καλλιέργειας ενός νέου είδους σε μια ανεπτυγμένη χώρα είναι πιθανότατα να αποτελεί προνόμιο μιας εταιρείας υδατοκαλλιέργειας και όχι ενός μεμονωμένου καλλιεργητή, λόγω του κόστους κεφαλαίου, των ποικίλων δραστηριοτήτων και της εξειδίκευσης, συμπεριλαμβανομένης της νομικής εξειδίκευσης που απαιτείται. Εκτός από το κόστος της αρχικής εγκατάστασης, απαιτείται σημαντικό κεφάλαιο για τη διατήρηση της λειτουργίας της μονάδας έως ότου εξελιχθούν ως το σημείο που θα έχουν καθαρές θετικές αποδόσεις. Αυτό θα διαρκέσει ένα σημαντικό χρονικό διάστημα.

Αξιολόγηση

Στόχος αυτού του σταδίου είναι να ληφθεί τεκμηριωμένη απόφαση σχετικά με το δυναμικό καλλιέργειας των ειδών.

Εφόσον το είδος δείχνει να έχει προοπτικές, πρέπει να διερευνηθούν τυχόν νομικοί περιορισμοί στην καλλιέργεια, π.χ. περιβαλλοντικές άδειες, θέματα μεταφοράς γενετικού υλικού. Αυ-

τό θα ενημερώσει μια υποψήφια εταιρεία για τις νομικές δυνατότητες.

Είναι σημαντικό σε αυτό το στάδιο να παραχθούν ορισμένα προκαταρκτικά δεδομένα σχετικά με τις πιθανές αποδόσεις των επενδύσεων. Τα δεδομένα αυτά πρέπει να είναι ρεαλιστικά και να μην λειτουργούν με βάση το χαμηλότερο δυνατό κόστος παραγωγής και τους υψηλότερους δυνατούς ρυθμούς παραγωγής και τις τιμές της αγοράς. Με την υιοθέτηση τιμών μεσαίας κλίμακας, είναι πιο πιθανό να αντικατοπτρίζεται η πραγματικότητα της καλλιέργειας του είδους. Οι πιθανοί επενδυτές πρέπει να περικλείουν προς την συντηρητική πλευρά. Ο καθορισμός της απόδοσης της επένδυσης πρέπει να περιλαμβάνει όλες τις οικονομικές πτυχές, συμπεριλαμβανομένων των επενδύσεων κεφαλαίου για την αγορά γης και των υποδομών, της απόσβεσης των περιουσιακών στοιχείων και των επιτοκίων με των χρημάτων που δανείστηκαν, καθώς και του ετήσιου κόστους παραγωγής. Επιπλέον, πρέπει να υπολογίζεται η πιθανή απόδοση του επενδυμένου κεφαλαίου εάν χρησιμοποιούνταν σε μια εναλλακτική επενδυτική στρατηγική (Κεφάλαιο 14). Υπάρχουν διαθέσιμα στο εμπόριο προγράμματα λογισμικού και συ-

χνά μέσω των κυβερνητικών οργανισμών επέκτασης υδατοκαλλιέργειας, για την εξαγωγή των κατάλληλων οικονομικών δεδομένων.

Τα είδη-στόχοι μπορούν να γίνουν αποδεκτά ή να απορριφθούν στο παρόν στάδιο με βάση τα επιθυμητά χαρακτηριστικά του, τις βιολογικές δυνατότητές τους για καλλιέργεια, τη διαθεσιμότητα μιας αγοράς και τα οικονομικά της καλλιέργειας. Εάν το είδος γίνει αποδεκτό, η ανάπτυξη θα πρέπει να προχωρήσει με τη μετάβαση στο στάδιο της έρευνας.

Ερευνητικές Απόπειρες

Μετά την αξιολόγηση πρέπει να διεξαχθεί έρευνα για τη βιολογία και την εκτροφή του είδους. Η έρευνα αυτή θα παράσχει τις πληροφορίες που απαιτούνται για την ανάπτυξη κατάλληλων συστημάτων καλλιέργειας και τεχνικών εκτροφής (Εικόνα 2.9). Οι ερευνητικές δοκιμές θα διερευνήσουν παράγοντες όπως οι περιβαλλοντικές απαιτήσεις των ειδών-στόχων, οι βέλτιστες πυκνότητες καλλιέργειας και τα πρωτόκολλα διατροφής, η φυσιολογία της αναπαραγωγής και η εκτροφή των γεννητόρων, οι διατροφικές απαιτήσεις και οι ρυθμοί ανάπτυξης των αντίστοιχων οντογεννητικών



Εικόνα 2.9 Υπάρχουν έτοιμες αγορές στη Ν.Α. Ασία για υψηλής αξίας τροπικά ολοθούρια (αγγούρι της θάλασσας), όπως το *Holothuria scabra*, όπου μπορούν να αποφέρουν αποξηραμένα περισσότερα από 200 δολάρια ΗΠΑ/kg. Αλλά οι μέθοδοι για την εμπορική καλλιέργεια δεν έχουν ακόμη αναπτυχθεί για αυτό το είδος. Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από την Cathy Hair.

σταδίων του κύκλου ζωής.

Τα είδη μπορεί να αποδειχθούν ανεπιθύμητα με βάση ένα ή περισσότερα από τα παραπάνω κριτήρια και να απορριφθούν.

Εάν οι δοκιμές είναι επιτυχείς, ίσως είναι το κατάλληλο στάδιο, αν όχι νωρίτερα, να επιλέξετε έναν τόπο καλλιέργειας και να αναλάβετε τις νομικές διαδικασίες που σχετίζονται με την απόκτηση της έκτασης ή κάποιου τίτλου της έκτασης.

Πιλοτική δοκιμή

Χρησιμοποιώντας τις πληροφορίες που προέρχονται από πειραματικές δοκιμές, μπορεί να διεξαχθεί μια πιλοτική δοκιμή. Οι υδατοκαλλιεργητές θεωρούν αυτό το βήμα σαν να μεταφέρουν την καλλιέργεια από το εργαστήριο στον “πραγματικό κόσμο”. Σε αυτή τη δοκιμή, η δομή της καλλιέργειας, π.χ. δεξαμενές, λιμνοδεξαμενές, κλουβιά, καναλόμορφες δεξαμενές, είναι μικρές και χρησιμοποιείται μικρός αριθμός ζώων. Η δοκιμή αυτή θα παρέχει ημιεμπορικές αξίες για ή/και πληροφορίες σχετικά με:

- επιβίωση
- δυνητικές αποδόσεις
- συντελεστή μετατρεψιμότητας (FCR)
- προβλήματα ποιότητας των υδάτων
- αντιμετώπιση των δυσκολιών
- οικονομικά της καλλιέργειας

Είναι σημαντικό σε αυτό το στάδιο να προσδιοριστούν τα εμπόδια για μια καλλιέργεια μεγάλης κλίμακας. Αν επισημανθούν προβλήματα, η εταιρεία πρέπει είτε να χρηματοδοτήσει περισσότερη έρευνα είτε να συμβουλευθεί το προσωπικό να τροποποιήσει τις τεχνικές και να διεξαγάγει περαιτέρω πιλοτικές δοκιμές.

Εμπορική δοκιμή

Η εμπορική δοκιμή είναι μια αύξηση σε κλίμακα της πιλοτικής δοκιμής. Κατά τις εμπορικές δοκιμές, η εταιρεία πρέπει να χρησιμοποιεί μονάδες καλλιέργειας πλήρους μεγέθους και μεγαλύτερο αριθμό ζώων. Πρέπει να έχει εξασφαλιστεί περιοχή και κεφάλαια για να επενδυθούν για την ανάπτυξη της υποδομής.

Η εμπορική δοκιμή παρέχει πληροφορίες σχετικά με το κόστος παραγωγής και τα δυνητικά κέρδη, καθώς και σχετικά με την καλλιέργεια μεγάλου αριθμού ζώων. Η εμπορική δοκιμή μπορεί να

εντοπίσει δυσκολίες στην καλλιέργεια των οργανισμών ή τη δυναμική του κόστους που συνδέεται με τα μεγαλύτερα συστήματα καλλιέργειας.

Αυτή τη στιγμή πρέπει να πραγματοποιηθεί κάποια προκαταρκτική ανάπτυξη της αγοράς. Ωστόσο, πρέπει να σημειωθεί ότι είναι δύσκολο να εδραιωθούν σταθερές αγορές πριν από την καθιέρωση της παραγωγής πλήρους κλίμακας.

Παραγωγή πλήρους κλίμακας

Η παραγωγή πλήρους κλίμακας περιλαμβάνει την εταιρεία που αναπτύσσει τον πλήρη αριθμό των μονάδων καλλιέργειας. Είναι σημαντικό οι άλλες πτυχές των μονάδων καλλιέργειας, όπως το μέγεθος και το σχήμα των κατασκευών, η δυναμική της ροής και η καλλιέργεια, να μην τροποποιούνται από εκείνες που χρησιμοποιήθηκαν στην εμπορική δοκιμή. Η πλήρης παραγωγή απαιτεί σημαντικά κεφάλαια και ανάπτυξη υποδομών στην περιοχή. Η υποκεφαλαιοποίηση, που οδηγεί σε προβλήματα ρευστότητας, αποτελεί μείζον πρόβλημα στις αναπτυσσόμενες βιομηχανίες υδατοκαλλιέργειας.

Σταθερές αγορές, π.χ. εστιατόρια, μεγάλοι λιανοπωλητές, μπορούν να δημιουργηθούν καθώς η παραγωγή επεκτείνεται.

2.7.2.2 Χρονοδιαγράμματα για την Ανάπτυξη

Το χρονοδιάγραμμα για την ανάπτυξη ενός νέου είδους είναι σημαντικό για τις εταιρείες υδατοκαλλιέργειας που αναλαμβάνουν αυτό το εγχείρημα. Στο παραπάνω πρωτόκολλο, το χρονικό διάστημα που δαπανάται σε κάθε στάδιο εξαρτάται από πολλούς παράγοντες.

Μετά τις αρχικές φάσεις Επιλογής και Έρευνας, θα περιλαμβάνει:

- πιλοτικές δοκιμές που μπορεί να είναι πάνω από δύο καλλιεργητικές περιόδους,
- εμπορικές δοκιμές που μπορεί να είναι πάνω από δύο καλλιεργητικές περιόδους.

Υπάρχει μια μακρά περίοδος πριν από την εμπορική παραγωγή, αλλά παραλείποντας βήματα από αυτό το πρωτόκολλο είναι ένα κοινό λάθος στην ανάπτυξη της υδατοκαλλιέργειας. Είναι συχνά δαπανηρή και έχει ως αποτέλεσμα την αποτυχία πολλών νέων επιχειρήσεων υδατοκαλλιέργειας. Τα ενημερωτικά δελτία για τις νέες εταιρείες συ-

χνά δεν περιλαμβάνουν πρωτόκολλο ανάπτυξης και πολλές επιχειρήσεις προβαίνουν σε ανεπαρκή πληροφόρηση σχετικά με τις απαιτήσεις καλλιέργειας των ειδών- στόχων. Πολλές επιχειρήσεις που στοχεύουν σε νέα είδη κινούνται απευθείας σε εμπορικές δοκιμές ή επιχειρούν πλήρη παραγωγή. Η παράλειψη πιλοτικών δοκιμών, ακόμη και αν το είδος είναι γνωστό ή δεν έχουν διορθωθεί σημαντικά προβλήματα πριν από τη μετάβαση σε εμπορικές δοκιμές, οδηγεί συχνά στην κατασκευή ακατάλληλων εγκαταστάσεων υδατοκαλλιέργειας και οικονομικής αποτυχίας. Ωστόσο, η διαδοχική ανάπτυξη, όπως περιγράφεται ανωτέρω, παρέχει μια στέρεη βάση για τη λήψη αποφάσεων και την κατάλληλη εξέλιξη των επιχειρήσεων υδατοκαλλιέργειας.

Ένας άλλος παράγοντας που προκύπτει από τη διάρκεια της ανάπτυξης της υδατοκαλλιέργειας νέων ειδών είναι ότι η υδατοκαλλιεργητική επιχειρηματική δραστηριότητα πρέπει να έχει σχεδιαστεί με επαρκείς κεφαλαιουχικούς πόρους για να καλύψει την περίοδο των ετών πριν από την πλήρη εμπορική παραγωγή και την καθαρή θετική ροή κέρδους. Όπως είναι προφανές παραπάνω, αυτό μπορεί να είναι μια μακρά και δαπανηρή περίοδος για μια επιχείρηση με ένα νέο είδος. Δεν είναι ασυνήθιστο να υπάρχει υπερβολική αισιοδοξία για το χρόνο για να αποκομίσουν κέρδος από τη καλλιέργεια ενός συναρπαστικού νέου είδους και την παραπαίουσα επιχείρηση καθώς τα κεφάλαια εξαντλούνται.

2.8 Μελέτες Περιπτώσεων

Οι ακόλουθες μελέτες περιπτώσεων (case studies) παρουσιάζουν σύντομα περιγράμματα σχετικά με την καλλιέργεια και την εμπορία ορισμένων υδρόβιων ζώων που πέτυχαν ποικίλες επιτυχίες στην εμπορική υδατοκαλλιέργεια. Παρουσιάζουν μερικούς από τους βασικούς παράγοντες επιτυχίας και σημεία συμφόρησης ή στενωπού (bottlenecks) στην εμπορική ανάπτυξη και τη μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα.

Πρέπει να σημειωθεί ότι αυτές οι μελέτες περιπτώσεων (case studies) δείχνουν εντελώς διανοητικά χρονοδιαγράμματα για την ανάπτυξη της καλλιέργειας νέων ειδών σε μικρές καλ-

λιέργειες σε μη ανεπτυγμένες χώρες σε σύγκριση με τα χρονοδιαγράμματα στις ανεπτυγμένες χώρες. Στην περίπτωση των αστακών, οι καλλιεργητές παρακάμπτουν την εξαιρετικά δύσκολη καλλιέργεια των πρώιμων προνυμφικών σταδίων (early larval stages) και συλλέγουν μετα-προνύμφες (post-larvae) στη φύση. Είχαν επίσης το πλεονέκτημα ότι γνώριζαν τα είδη της τροφής που χρειάζονται τα δεκάποδα καρκινοειδή. Οι καλλιεργητές στη Γαλλική Πολυνησία χρησιμοποίησαν την ίδια προσέγγιση για την παράκαμψη της καλλιέργειας των προνυμφών (larvae) των μαργαριτοφόρων στρειδιών συλλέγοντας τις μετα-προνύμφες (post-larvae), γνωστών ως “spat”. Επίσης είχαν το πλεονέκτημα ότι στην Ιαπωνία υπήρχε ένα προηγούμενο ιστορικό καλλιέργειας των μαργαριτοφόρων στρειδιών και τεχνικό προσωπικό ήταν διαθέσιμο για να κάνουν “σπορά” στα μαργαριτοφόρα στρείδια για την παραγωγή μαργαριταριών από καλλιέργεια (ενότητα 2.8.3).

2.8.1 Μελέτη Περιπτώσεων 1: Αστακοί

Οι αστακοί απαντώνται στις τροπικές και τις υποτροπικές περιοχές (κυρίως το είδος *Panulirus*) μέχρι τα εύκρατα νερά (κυρίως τα είδη *Jasus*). Διαβιούν σε προστατευμένα ενδιαίτηματα σε υφάλους και άλλα σκληρά υποστρώματα. Υπάρχουν τύποι αλιείας για τους αστακούς σε πολλά μέρη της εξάπλωσης τους και συνήθως τα φυσικά αποθέματα υπεραλιεύονται λόγω της υψηλής αγοραστικής ζήτησης. Οι αστακοί έχουν την υψηλότερη ή σχεδόν υψηλότερη εμπορική αξία από όλα τα δεκάποδα καρκινοειδή. Η συλλεκτική αλιεία των 6000 τόνων ετησίως, που στηρίζεται στον αστακό (*Panulirus cygnus*) της δυτικής Αυστραλίας, έχει αξία περίπου 200 εκατ. δολαρίων ΗΠΑ/έτος. Είναι πολύτιμο στις Ασιατικές αγορές ως ένα ζωντανό προϊόν και αποφέρει στους εξαγωγείς πάνω από 30 δολάρια ΗΠΑ/κιλό. Ζωντανοί αστακοί, *Panulirus ornatus*, είναι ιδιαίτερα δημοφιλείς λόγω του ελκυστικού τους χρωματισμού. Η υδατοκαλλιέργεια έχει ένα δυνητικό πλεονέκτημα έναντι της συλλεκτικής αλιείας με την ευνοϊκότερη παραγωγή ζωντανών προϊόντων και την επιδιώκει αυτή την προσοδοφόρα αγορά. Επίσης, το σημαντικότερο είναι να ξεπεραστούν οι περιορισμοί της εκτεταμένης υπεραλίευσης. Έτσι, σε χώρες όπως

η Ιαπωνία και η Αυστραλία, υπάρχει μεγάλο ενδιαφέρον για την καλλιέργεια του αστακού.

Η συνήθης εμπορική καλλιέργεια αστακών κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής τους είναι ένα από τα “Ιερά Δισκοπότηρα” της υδατοκαλλιέργειας, δηλαδή ένας στόχος που δεν θα επιτευχθεί χωρίς μεγάλη προσπάθεια και έρευνα. Το αναπαραγωγικό απόθεμα μπορεί να διατηρηθεί σε δεξαμενές γεννητόρων και να αναπαραχθεί εύκολα, παράγοντας πολυάριθμα αυγά. Όμως τα προνυμφικά (larval) στάδια που ακολουθούν απαιτούν 8 μήνες έως σχεδόν 2 χρόνια για να ολοκληρωθεί η πλαγκτονική φάση του κύκλου ζωής τους. Η διατήρηση των προνυμφών για τόσο μεγάλο χρονικό διάστημα απαιτεί τεράστια δέσμευση εξοπλισμού. Επιπλέον, οι πιθανότητες βακτηριακής λοίμωξης, μόλυνσης, βλάβης και διακοπής λειτουργίας του εξοπλισμού και άλλων πηγών καλλιεργητικών ατυχημάτων είναι υψηλές κατά τη διάρκεια μιας τόσο παρατεταμένης περιόδου. Η ύπαρξη μαζικής θνησιμότητας σε μια καλλιέργεια προνυμφών ηλικίας 7 μηνών είναι καταστροφική σε σύγκριση με τη μαζική θνησιμότητα σε μια καλλιέργεια γαρίδων ή προνυμφών διθύρων ηλικίας 7 ημερών, οι οποίες μπορούν να απορριφθούν και στη συνέχεια να ξεκινήσει και πάλι η διαδικασία καλλιέργειας αρκετά γρήγορα.

Η φύση του προνυμφικού σταδίου του φυλλοσώματος (phyllosoma) των αστακών προσθέτει περαιτέρω στα προβλήματα της καλλιέργειας. Η μακρά περίοδος ανάπτυξης περιλαμβάνει πολυάριθμα προνυμφικά στάδια και αντίστοιχους αριθμούς επικίνδυνων εκδύσεων καθώς αναπτύσσονται προοδευτικά. Το φυλλόσωμα είναι φυλλοειδούς μορφής, διαφανές, εύθραυστο και δύσκολο να ταϊστεί. Τα μακριά λεπτά άκρα του χτυπούν το νερό καθώς κολυμπά και παγιδεύει μάλλον τυχαία σχετικά μεγάλα σωματίδια, καθώς αυτά κινούνται αργά. Τα παγιδευμένα σωματίδια ωθούνται προς την περιοχή του στόματος όπου γίνεται η μάσηση και η κατάποση. Οι ναύπλιοι της *Artemia* και τα μεταγενέστερα στάδια της *Artemia* χρησιμοποιούνται συνήθως ως πηγή τροφής στην καλλιέργεια, αλλά η επαρκής διατροφή είναι ένα πρόβλημα καθώς οι προνύμφες σταδιακά πεθαίνουν κατά τα τελευταία στάδια της ανάπτυξης. Η τρέχουσα έρευνα επικεντρώνεται στην ανάπτυξη πιο κατάλληλων τροφών για τις προνυμφικές μορφές

του φυλλοσώματος και στις τεχνικές καλλιέργειας που μειώνουν τα επίπεδα των απαιτήσεων και του κινδύνου.

Αυτό είναι ένα παράδειγμα όπου η διαφορά μεταξύ της ανάπτυξης ενός εκτρεφόμενου είδους σε αναπτυγμένες και αναπτυσσόμενες χώρες είναι πολύ εμφανής.

Είναι δυνατή η παράκαμψη της φάσης του εκκολαπτηρίου (hatchery) και να γίνει συλλογή των μετα-προνυμφών στο φυσικό περιβάλλον. Οι προνυμφικές μορφές του φυλλοσώματος τείνουν να απαντώνται σε συστήματα ρευμάτων που τις φέρνουν πίσω στην ακτή στο τέλος της μακράς πλαγκτονικής τους φάσης. Είναι τυπικά δείγματα καρκινοειδών δεκαπόδων με ένα μεταβατικό στάδιο, το πουερούλος (puerulus), μεταξύ του τελευταίου πλαγκτονικού σταδίου του φυλλοσώματος (phyllosoma) και του πρώτου νεανικού σταδίου instar (**Εικόνα 2.10**). Το στάδιο πουερούλος εγκαθίσταται σκοπίμως από το πλαγκτόν σε ένα κατάλληλο υπόστρωμα για τα νεανικά στάδια. Σε ορι-



Εικόνα 2.10 Πρόσφατα εγκατεστημένη προνύμφη πουερούλος (puerulus) του είδους *Panulirus ornatus*, που συλλέγεται στο φυσικό περιβάλλον. Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από τον Dr. Clive Jones.



Εικόνα 2.11 Αστακοί, *Panulirus ornatus*, που εκτρέφονται σε καλλιέργειες σε κλωβούς στο χωριό Pemongkong, Ανατολικό Lombok, Ινδονησία. Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από τη βιβλιοθήκη φωτογραφιών Ιχθυοκαλλιέργειας του FAO/ I. Christensen.

σμένες περιοχές όπου τα ρεύματα φέρνουν μεγάλο αριθμό προνυμφών πουερούλος, είναι δυνατόν να συλλεχθεί σημαντικός αριθμός από αυτές.

Στα κεντρικά γεωγραφικά διαμερίσματα του Βιετνάμ, μια βιομηχανία καλλιέργειας αστακών βασίζεται σε:

- Προνύμφες πουερούλους (puerulus) που συλλαμβάνονται με απόχες όταν έλκονται από τα φώτα.
- Πρόσφατα εγκαταστημένα νεαρά άτομα σε παγίδες που τα ελκύουν από δεσμίδες με διχτυωτό ύφασμα και ξύλο με τρύπες για καταφύγιο που αιωρούνται στη στήλη του νερού.

Υπάρχουν ειδικοί συλλέκτες “γόνου” αστακού που πωλούν τα νεαρά άτομα στους καλλιεργητές που τα αναπτύσσουν σε εμπορικό μέγεθος σε κλωβούς στη θάλασσα. Τα νεαρά άτομα και οι ενήλικοι αστακοί είναι εύρωστοι και έχουν εκτραφεί σε θαλάσσιους κλωβούς χρησιμοποιώντας τα λεγόμενα ‘παραλιεύματα’ (trash fish). **(Εικόνα 2.11)** Ωστόσο, καθώς η βιομηχανία του Βιετνάμ έχει επεκταθεί, υπήρξαν περιβαλλοντικά προβλήματα και προβλήματα ασθενειών που προέκυψαν από αυτή την τεχνική και τον υπερπληθυσμό. Η παροχή του γόνου είναι επίσης ένα πρόβλημα, καθώς είναι

ασταθής και μειώνεται σε πολλές περιοχές.

Αυτή η δραστηριότητα παγίδευσης των προνυμφικών σταδίων πουερούλος (puerulus) καθώς εγκαθίστανται είναι εφικτή σε άλλες τοποθεσίες, όπως εντός της εξάπλωσης του *Panulirus cygnus* στη Δυτική Αυστραλία. Ωστόσο, οι αλιείς αντιτίθενται σθεναρά, θεωρώντας ότι αυτό μειώνει τον επακόλουθο αριθμό των εμπορεύσιμων αστακών.

Η έρευνα για την καλλιέργεια προνυμφικών μορφών των αστακών χρηματοδοτείται με εκατομμύρια δολάρια από την κυβέρνηση και εμπορικές πηγές. Τα μερίδια είναι υψηλά, με το βραβείο της επιτυχίας να είναι μια εξαιρετικά μεγάλης αξίας βιομηχανία υδατοκαλλιέργειας.

2.8.2 Μελέτη περιπτώσεων 2: Νότιος Ερυθρός Τόνος

Όπως στους αστακοί, έτσι και η καλλιέργεια του νότιου ερυθρού τόνου (SBT, Southern Bluefin Tuna) (*Thunnus maccoyii*), για όλο τον κύκλο ζωής του σε εμπορικό επίπεδο είναι ένα από τα ‘Ιερά Δισκοπότηρα’ της υδατοκαλλιέργειας. Ο νότιος ερυθρός τόνος (SBT) είναι ένα πολύ μεγάλο ψάρι, φθάνοντας μέχρι 250 kg **(Εικόνες 2.3 και 2.12)**. Έχει μια παγκόσμια εξάπλωση στους νότιους ωκεα-



Εικόνα 2.12 Αλίευση ενός νεαρού ατόμου νότιου ερυθρού τόνου (*Thunnus maccoyii*). Ο τόνος θα σημανθεί και θα απελευθερωθεί. Αυτό ήταν μέρος ενός προγράμματος από τον Οργανισμό Επιστημονικής και Βιομηχανικής Έρευνας της Κοινοπολιτείας (CSIRO, Αυστραλία) για τον προσδιορισμό των περιοχής εξάπλωσης και της συμπεριφοράς του τόνου. Πηγή: Φωτογραφία από CSIRO. Αναπαραγωγή με την άδεια Αναφοράς Δημιουργού - Παρόμοιας Διανομής Creative Commons, CC-BY-SA 3.0.

νούς μεταξύ 30-50°N.² Προσαρμόζονται για γρήγορη κολύμβηση. Μέσω ενός εξειδικευμένου συστήματος κυκλοφορίας του αίματος, είναι σε θέση να διατηρούν τη θερμοκρασία του σώματος τους έως και 10 °C πάνω από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Αυτό διατηρεί ένα υψηλό μεταβολικό ρυθμό του πυρήνα των μυών κολύμβησης, οι οποίοι με τη σειρά τους παράγουν θερμότητα για να διατηρηθεί η θερμοκρασία του πυρήνα. Οι μεγάλοι θερμοί μύες επιτρέπουν στον τόνο να κολυμπήσει πολύ γρήγορα. Αυτό απαιτεί πολύ οξυγόνο και αυτοί ενισχύουν την οξυγόνωση, πιέζοντας το νερό μέσα από το στόμα και πάνω από τα βράγχια. Αυτό απαιτεί επίσης υψηλή κατανάλωση τροφής και είναι ευκαιριακοί θηρευτές, ειδικά σε μικρά πελαγικά ψάρια.

Αυτό το ταχύτατα κινούμενο αρπακτικό ψάρι δεν συστήνει τον εαυτό του ως πιθανό υποψήφιο για την υδατοκαλλιέργεια. Ωστόσο, η κινητήρια δύναμη είναι η μεγάλη αξία του προϊόντος. Ο νότιος ερυθρός τόνος (SBT) έχει μεγάλη ζήτηση για σούσι και σασίμι, ίσως ως το πιο κατάλληλο ψάρι για τους σκοπούς αυτούς. Η μεγαλύτερη ζήτηση για νότιο ερυθρό τόνο (SBT) είναι στην Ιαπω-

νία και στην αγορά Tsukiji του Τόκιο, που είναι η μεγαλύτερη αγορά χονδρικής πώλησης του SBT (Εικόνα 2.3). Ο τόνος τυπικά πωλείται για 20+ δολάρια ΗΠΑ/κιλό, με την τιμή να εξαρτάται ανάλογα με την ποιότητα και το μέγεθος. Αυτό σημαίνει ότι ένα ψάρι 50 kg πωλείται για 1000+ δολάρια ΗΠΑ και είναι δύσκολο να αγνοηθεί μια αγορά όπου ένα μόνο ψάρι αξίζει 1000 δολάρια ΗΠΑ ή περισσότερα.

Με τη μεγάλη αξία του SBT ήταν αναπόφευκτο να υπάρξει εμπορική αλιεία και η σοβαρή έντονη αλιεία άρχισε τη δεκαετία του 1950. Έφτασε στην κορυφή της, την περίοδο του 1960-1983, όταν υπήρχαν παγκόσμια αλιεύματα >40.000 τόνους/έτος. Τα αλιεύματα κορυφώθηκαν το 1972 σε 55.000 τόνους. Η Ιαπωνία ήταν ο μεγαλύτερος αλιέας, συλλέγοντας 46.000 τόνους το 1969. Τα αλιεύματα ρυθμίζονται πλέον στα όρια των 10.000 τόνων ετησίως. Ο νότιος ερυθρός τόνος (SBT) είναι τώρα ταξινομημένο ως Κρισίμως Κινδυνεύων (Critically Endangered) στην Κόκκινη λίστα απειλούμενων ειδών από την Διεθνή Ένωση Προστασίας της Φύσης/IUCN. Μέχρι το 1994 αναγνωρίστηκε ότι ο SBT αλιεύονταν σε μη βιώσιμα επίπεδα και δημιουργήθηκε η Επιτροπή για τη Διατήρηση του νότιου ερυθρού τόνου (CCSBT). Στόχος της ήταν να εξασφαλίσει, μέσω κατάλληλης δια-

² <http://www.fishbase.se/summary/Thunnus-maccoyii.html>
[πρόσβαση Μάιος 2016].

χείρισης, τη διατήρηση και τη βέλτιστη αξιοποίηση της παγκόσμιας αλιείας. Ορισμένες χώρες προσχώρησαν στην CCSBT, συμπεριλαμβανομένων των μεγάλων αλιείων, της Ιαπωνίας και της Αυστραλίας. Οι συνολικά επιτρεπόμενες συλλήψεις για όλα τα συμμετέχοντα κράτη ήταν 9449 τόνους για την περίοδο 2010/2011. Φαίνεται, ωστόσο, ότι η Ιαπωνία πιθανότατα έχει υπερβεί σημαντικά την επιτρεπόμενη ποσόστωση αλιείας (quota) τα τελευταία 20 χρόνια.

Η κατάσταση αυτή ευνοούσε την υδατοκαλλιέργεια ως εναλλακτική λύση στην υπεραλίευση. Ωστόσο, αντί για αναπαραγωγή και καλλιέργεια σε εμπορεύσιμο μέγεθος και ακόμη και για την ολοκλήρωση του κύκλου ζωής, η υδατοκαλλιέργεια του SBT ακολουθούσε την ίδια πορεία με εκείνη που χρησιμοποιήθηκε για την καλλιέργεια αστακών στην Ασία και την αρχική καλλιέργεια μαύρου μαργαριταριού στη Γαλλική Πολυνησία. Η καλλιέργεια των δύσκολων αρχικών σταδίων αυτών των ειδών παρακάμπτεται με την σύλληψη προσκολυτικών μορφών μετανυμφών του αστακού (ενότητα 2.8.1) και μικρών στρειδιών (στάδιο spat) από εγκατεστημένη προνύμφη από το μαργαριτοφόρο στρείδι Μελεαγρίνη η μαργαριτοφόρα, *Pinctada margaritifera*. Η παράκαμψη των αρχικών αναπτυξιακών σταδίων του SBT ήταν, ωστόσο, σε πολύ πιο βιομηχανική κλίμακα που ονομαζόταν καλλιέργεια “ranching”. Η καλλιέργεια “ranching” του νότιου ερυθρού τόνου (SBT) ξεκίνησε το 1992 στα ανοιχτά στο Port Lincoln της Νότιας Αυστραλίας και αυτό παραμένει το κέντρο για την υδατοκαλλιέργεια του SBT. Η βιομηχανία αναπτύχθηκε σταθερά και είχε μια μέση παραγωγή περίπου 7000 τόνους/έτος για την περίοδο 2010-2014. Αυτό αντιπροσωπεύει περίπου 128×10^6 δολάρια/έτος (18 δολάρια/kg). Ο εκτρεφόμενος SBT εξελίχθηκε στην πιο πολύτιμη βιομηχανία υδατοκαλλιέργειας στην Αυστραλία.

Τα νεαρά άτομα του νότιου ερυθρού τόνου (SBT) βάρους περίπου 15 kg αλιεύονται με γρί γρί (purse seined) στην ηπειρωτική υφαλοκρηπίδα στην περιοχή Great Australian Bight από τον Δεκέμβριο έως τον Απρίλιο. Στην συνέχεια μεταφέρονται σε ειδικά κυκλικά κλουβιά θαλάσσης με πολλαπλές γραμμές ρυμούλκησης και εσωτερικές γραμμές που διατηρούν το κυκλικό σχήμα τους. Τα κλουβιά θαλάσσης μεταφέρονται πολύ

αργά στις περιοχές καλλιέργειας του Port Lincoln, έτσι ώστε τα κλουβιά να διατηρούν το σχήμα τους και ο τόνος να μην πιέζεται προς το δίκτυο και να προκαλούνται βλάβες στο ψάρι. Κατά την άφιξη στις περιοχές καλλιέργειας, τα νεαρά άτομα του νότιου ερυθρού τόνου (SBT) μεταφέρονται από τα θαλάσσια κλουβιά ρυμούλκησης, σε κλουβιά θαλάσσης διαμέτρου 40-50 m. Απαιτούνται πολύ μεγάλα κλουβιά θαλάσσης για να ικανοποιήσουν την ταχύτητα κολύμβησης τους. Επίσης, το δέρμα τους είναι ευαίσθητο και μπορεί να υποστεί βλάβη από τις συγκρούσεις με το δίκτυο και κατά τη διάρκεια του χειρισμού.

Ο νότιος ερυθρός τόνος (SBT) έχει πρόβλημα στη διατροφή του σε συνθήκες καλλιέργειας. Δεν προσλαμβάνουν εύκολα είτε ξηρές είτε ενυδατωμένες τροφές και ταΐζονται με μικρά πελαγικά ψάρια (ψάρια δολώματα-baitfish), όπως οι σαρδέλες. Μερικά από τα ψάρια δολώματα εισάγονται από το εξωτερικό, αλλά υπάρχει μια σημαντική αλιεία της σαρδέλας στη νότια Αυστραλία ως τροφή για τον τόνο. Έχουν διεξαχθεί έρευνες για την ανάπτυξη κατάλληλων ζωοτροφών σε μορφή σφαιριδίων (pellet), αλλά, μέχρι στιγμής, είναι αντικοινωνικές σε σύγκριση με τα ψάρια δολώματα. Ο νότιος ερυθρός τόνος (SBT) όχι μόνο τρέφεται με ψάρια δολώματα, αλλά με τον υψηλό μεταβολικό ρυθμό του, χρειάζονται πολλή τροφή και σιτίζεται δύο φορές την ημέρα. Φαίνεται ότι δεν υπάρχουν στοιχεία για τον συντελεστή μετατρεψιμότητας FCR αλλά υπάρχουν στοιχεία για τον συγγενικό Βόρειο ερυθρό τόνο (NBT) (*Thunnus orientalis*) και είναι εξαιρετικά χαμηλά: ο δείκτης FCR όταν χορηγούνται ως τροφή σαρδέλες είναι 17,8:1 και συνδυασμός σαρδέλες με καλαμάρια είναι 22,6:1 (Estess et al., 2014). Αυτές οι εξαιρετικά χαμηλές τιμές του δείκτη μετατρεψιμότητας FCR οφείλονται στο γεγονός ότι περισσότερο από το 80% της ενέργειας που καταναλώνεται δεν είναι διαθέσιμη για την ανάπτυξη των ιστών. Χρησιμοποιείται για τη διατήρηση της αυξημένης θερμοκρασίας του σώματος και του υψηλού μεταβολικού ρυθμού.

Μετά από 3-8 μήνες το νεαρό άτομα του νότιου ερυθρού τόνου SBT φθάνει τα 30-40 kg και διατίθεται στο εμπόριο. Τα ψάρια συλλέγονται προσεκτικά: τραυματίζονται εύκολα και αυτό μειώνει την αξία τους. Τα περισσότερα είναι για την Ιαπωνική αγορά, η οποία απαιτεί να θανατωθούν και να



Εικόνα 2.13 Συλλογή νεαρού ατόμου μαργαριτοφόρου στρείδιου (*Pinctada margaritifera*) ή “spat” στο Ναμαράι, Φίτζι. Τα στρείδια συλλέγονται σε αναρτημένα σχοινιά που εκτείνονται στη θάλασσα για να συμπίπτουν με την εγκατάσταση των προνυμφών των στρειδιών. Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από τον Paul Southgate.

προετοιμαστούν με συγκεκριμένο τρόπο. Στη συνέχεια, καταψύχονται άμεσα και μεταφέρονται αεροπορικώς στο Τόκιο (**Εικόνα 2.3**).

Αυτή η μορφή καλλιέργειας στην ιχθυοκαλλιέργεια εξακολουθεί να περιλαμβάνει την αλιεία του εξαντλημένου (depleted) αποθέματος. Επιπλέον, συλλαμβάνει τα ανώριμα ψάρια και μειώνει τον επόμενο πληθυσμό ωοτοκίας. Πρέπει να προχωρήσουμε στο επόμενο βήμα και να εκθρέψουμε από την αναπαραγωγή μέχρι το εμπορικό μέγεθος, ακόμη και για να κλείσουμε τον κύκλο ζωής σε συνθήκες καλλιέργειας. Αυτό έχει επιτευχθεί για τον βόρειο ερυθρό τόνο (NBT, Northern Bluefin Tuna) από τους ερευνητές του Ερευνητικού Ινστιτούτου Υδατοκαλλιεργειών του Πανεπιστημίου του Kindai, Οσάκα, Ιαπωνία³. Ολοκλήρωσαν τον κύκλο ζωής και μέχρι το 2007 είχαν την 3^η γενιά ψαριών σε αιχμαλωσία. Το 2004 απέστειλαν στην αγορά την πρώτη παρτίδα ψαριών που αναπύχθηκαν σε αιχμαλωσία.

Μια Αυστραλιανή εταιρεία υδατοκαλλιέργειας ανέλαβε την πρόκληση της αναπαραγωγής και της καλλιέργειας του νότιου ερυθρού τόνου (SBT) σε εμπορικό μέγεθος. Ενδεχομένως υπήρξε η ενθάρρυνση της επιτυχίας με τον βόρειο ερυθρό τό-

νο (NBT) στην Ιαπωνία. Το 2007, η εταιρεία χρησιμοποίησε ορμόνες σε μεγάλου μεγέθους γεννήτορες SBT που συλλέχθηκαν στη φύση για να προκαλέσει ωρίμανση των γονάδων και ωοτοκία και έλαβε την πρώτη παρτίδα αβγών. Η εταιρεία αναβάθμισε τις εγκαταστάσεις της έτσι ώστε να διαθέτει εγκατάσταση ανακύκλωσης του νερού ειδικά για την παραγωγή προνυμφών SBT. Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού 2009 έως το 2010 σημειώθηκαν περαιτέρω επιτυχίες με προκαλούμενη ωοτοκία. Τα ιχθύδια εκτράφηκαν έως την ηλικία των 40 ημερών, αλλά η ανάπτυξη εμπορικών ποσοτήτων από ιχθύδια SBT δεν ήταν επιτυχής εκείνη την εποχή. Η παραγωγή των νεαρών ατόμων SBT ήταν πιο αργή και πιο δύσκολη από ότι αναμενόταν και αποφασίστηκε η αναβολή του εγχειρήματος. Η εταιρεία θα διατηρήσει τους γεννήτορες της για να επιτρέψει ξεχωριστή έρευνα στο μέλλον. Ωστόσο, δεν αναμένεται να επιτευχθεί εμπορική παραγωγή βραχυπρόθεσμα ή μεσοπρόθεσμα.

2.8.3 Μελέτη Περιπτώσεων 3: Καλλιεργημένα “Μαύρα” Μαργαριτάρια

Το μαργαριτοφόρο στρείδι Μελεαγρίνη η μαργαριτοφόρα, *Pinctada margaritifera*, έχει μια ευρεία εξάπλωση στον Ινδικό και Ειρηνικό Ωκεανό, από

³ <http://www.flku.jp/english/aquaculture/tuna/index> [accessed June 2016].

την Ερυθρά Θάλασσα και τις ακτές της ανατολικής Αφρικής έως την Πολυνησία. Υπάρχει μια μακρά ιστορία αλιείας αυτών των στρειδιών για την προμήθεια μαργαριταριών, αλλά από τα μέσα της δεκαετίας του 1970 το είδος αυτό έχει χρησιμοποιηθεί για την καλλιεργούμενη παραγωγή “μαύρων” μαργαριταριών στη Γαλλική Πολυνησία. Τα καλλιεργημένα “μαύρα” ή μαργαριτάρια “Ταϊτής” έχουν μια διεθνή φήμη για την ομορφιά τους και το εύρος χρωμάτων τους που είναι απaráμιλλη από άλλα είδη μαργαριτοφόρων στρειδιών. Η ανάπτυξη της βιομηχανίας στη Γαλλική Πολυνησία βασίστηκε στη συλλογή νεαρών στρειδιών από το φυσικό περιβάλλον με τη χρήση “συλλεκτών μικρών στρειδιών - spat” (ενότητα 24.4.1). Αυτό συνεπάγεται την ανάπτυξη κατάλληλων υποστρωμάτων (συλλέκτες spat) στον ωκεανό για να συμπίπτουν με την εγκατάσταση των προνυμφών στους συλλέκτες. Τα νεαρά στρείδια που στρατολογούνται (recruit) στους συλλέκτες (**Εικόνα 2.13**) μπορούν να πωληθούν σε μεγάλες εκτροφές για την παραγωγή μαργαριταριών ή να διατηρηθούν για μικρής κλίμακας παραγωγή μαργαριταριών. Η δραστηριότητα αυτή μπορεί να αναληφθεί από τους ντόπιους με χαμηλό κόστος και παρέχει ένα πολύτιμο εισόδημα για απομακρυσμένες κοινότητες. Λό-

γω των κοινωνικο-οικονομικών οφελών που προσφέρει η καλλιέργεια μαργαριταριών, η κυβέρνηση της Γαλλικής Πολυνησίας υποστήριξε ενεργά την επέκταση της βιομηχανίας και μέχρι το 1999 υπήρχαν περισσότερες από 2700 μισθώσεις για την καλλιέργεια μαργαριταριών σε όλη τη Γαλλική Πολυνησία.

Οι εξαγωγές μαργαριταριών από τη Γαλλική Πολυνησία κορυφώθηκαν το 2000 σε περισσότερα από 11 τόνους αξίας περίπου 200 εκατομμυρίων δολαρίων ΗΠΑ και αυτό σηματοδότησε ένα σημείο καμψής για τη βιομηχανία. Μια πλημμύρα μαργαριταριών χαμηλότερης ποιότητας έριξε τις διεθνείς τιμές για τα μαργαριτάρια της Ταϊτής και η ζήτηση στην αγορά μειώθηκε. Η Γαλλική Πολυνησιακή κυβέρνηση εισήγαγε μια σειρά μέτρων για να βοηθήσει στη σταθεροποίηση της βιομηχανίας. Αυτά περιλάμβαναν ένα επίσημο σύστημα ταξινόμησης, ελάχιστα πρότυπα ποιότητας εφαρμόστηκαν στα μαργαριτάρια για εξαγωγή (π.χ. πάχος μαργαριτογόνου υλικού (nacre), και επιφανειακή ποιότητα) και νομοθεσία για τον έλεγχο της παραγωγής μαργαριταριών. Η παρέμβαση αυτή είχε θετικές επιπτώσεις με την αύξηση των τιμών των εξαγωγών και τα σταθεροποιημένα επίπεδα παραγωγής. Οι τιμές των εξαγωγών αυξήθηκαν σε



Εικόνα 2.14 Μαργαριτοφόρα στρείδια (*Pinctada margaritifera*) που καλλιεργούνται σε ‘κομποσχοίνια’ chaplets (δεμένα σε σχοινιά) που αιωρούνται από ένα πλωτό σύστημα μακράς γραμμής (longline) στον κόλπο Savusavu, Φίτζι. Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από τον C. M. Prevost, Civa Pearls, Φίτζι.

126 εκατ. δολάρια ΗΠΑ το 2005, από το χαμηλότερο των 95 εκατ. δολαρίων ΗΠΑ το 2003. Ωστόσο, παρά τις ενέργειες για τη σταθεροποίηση της βιομηχανίας, η μέση τιμή εξαγωγής ενός καλλιεργηθέντος μαργαριταριού μειώθηκε από ~18 σε ~4,5 δολάρια ΗΠΑ τη δεκαετία έως το 2015 και το μέσο μέγεθος και η μέση ποιότητα ήταν χαμηλότερα από ότι ήταν μια δεκαετία πριν (Ky et al., 2015). Εκτός από τα θέματα ποιότητας, ο κλάδος της βιομηχανίας επηρεάστηκε σοβαρά από την παγκόσμια οικονομική ύφεση που ξεκίνησε το 2007/08, η οποία μείωσε την παγκόσμια ζήτηση για όλα τα αγαθά πολυτελείας. Ο αριθμός των εκμεταλλεύσεων μαργαριταριών στη Γαλλική Πολυνησία έχει πλέον μειωθεί σε 487 και η τρέχουσα αξία των εξαγωγών της βιομηχανίας είναι περίπου 73 εκατομμύρια δολάρια ΗΠΑ (Ky et al., 2015).

Παρά το σκηνικό της υπερπαραγωγής και της μείωσης της διεθνούς ζήτησης για καλλιεργηθέντα μαργαριτάρια από τη Γαλλική Πολυνησία, τα Φίτζι εισήλθαν στην βιομηχανία καλλιεργούμενων μαργαριταριών το 2000 (**Εικόνα 2.14**). Αξιοποιώντας τα διδάγματα που αντλήθηκαν στη Γαλλική Πολυνησία, η καλλιέργεια μαργαριταριών στα Φίτζι επικεντρώνεται σε σχετικά χαμηλό όγκο παραγωγής και εξαγωγή μαργαριταριών υψηλής ποιότητας. Ανέπτυξε επίσης μια εμπορική στρατηγική προωθώντας τα μοναδικά χρώματα των μαργαριταριών που παράγονται στα Φίτζι που διαφέρουν από εκείνα των μαργαριταριών της Ταϊτής και δεν είναι διαθέσιμα από οποιαδήποτε άλλη πηγή. Τα καλλιεργημένα μαργαριτάρια των Φίτζι απέκτησαν γρήγορα διεθνή φήμη για την ποιότητα και το χρωματικό τους εύρος (**Εικόνα 2.15**) και η προσφορά δεν είναι σε θέση να ανταποκριθεί στη διεθνή ζήτηση. Η κυβέρνηση των Φίτζι υποστηρίζει ενεργά την επέκταση της καλλιέργειας μαργαριταριών σε όλα τα Φίτζι και, με την κατάλληλη εξέταση του ποιοτικού ελέγχου και του μάρκετινγκ, είναι πιθανή η συνεχής ανάπτυξη της βιομηχανίας καλλιεργούμενων μαργαριταριών των Φίτζι.

Η βιομηχανία καλλιέργειας “μαύρων” μαργαριταριών παράγει είδη πολυτελείας υψηλής αξίας που, σε κανονικές συνθήκες βρίσκουν μια έτοιμη αγορά. Ωστόσο, οι εμπειρίες της Γαλλικής Πολυνησιακής βιομηχανίας καλλιέργειας μαργαριταριών αποδεικνύουν τη σημασία του ελέγχου τόσο του όγκου παραγωγής όσο και της ποιότητας του



Εικόνα 2.15 Τα καλλιεργημένα μαργαριτάρια από τα Φίτζι έχουν σημαντική ζήτηση στην αγορά λόγω της υψηλής ποιότητας και της μοναδικής χρωματικής τους ποικιλίας. Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από την C.M. Prevost, Civa Pearls, Fiji.

προϊόντος. Η ανεξέλεγκτη παραγωγή και ο ανεπαρκής ποιοτικός έλεγχος είχαν ως αποτέλεσμα τη σημαντική υποτίμηση του προϊόντος, τη μείωση του αριθμού των εκμεταλλεύσεων και την παραγωγή της βιομηχανίας. Η βιομηχανία επηρεάστηκε επίσης από την απώλεια της φήμης που είναι ένα βασικό συστατικό της επιτυχούς εμπορίας των προϊόντων πολυτελείας. Η μειωμένη ζήτηση για καλλιεργηθέντα μαργαριτάρια ως αποτέλεσμα της παγκόσμιας οικονομικής κρίσης καταδεικνύει επίσης τις πιθανές επιπτώσεις των εξωτερικών παραγόντων στην οικονομική βιωσιμότητα των επιχειρήσεων υδατοκαλλιέργειας. Ωστόσο, παρά τους παράγοντες αυτούς, η καλλιέργεια των μαργαριταριών στα Φίτζι έχει αναπτυχθεί με επιτυχία με βάση τις εμπειρίες της Γαλλικής Πολυνησιακής βιομηχανίας, και μέσω της παραγωγής ενός “σπάνιου” και μοναδικού προϊόντος στοχεύει σε μια εξειδικευμένη αγορά. Οι παράγοντες αυτοί έχουν υποστηρίξει τη συνεχή επέκταση της βιομηχανίας στα Φίτζι τα τελευταία χρόνια.

Οι βιομηχανίες καλλιέργειας μαργαριταριών

στον Ειρηνικό έχουν αναπτυχθεί στη βάση της συλλογής μικρών στρειδιών (sprat) από τη φύση, η οποία, όπως και το παράδειγμα του αστακού, επιτρέπει την παράκαμψη της τεχνικά απαιτητικής φάσης του εκκολαπτηρίου. Οι απλές μέθοδοι που απαιτούνται για τη συλλογή των sprat επιτρέπουν στους ντόπιους να εισέλθουν στη βιομηχανία σε διάφορα επίπεδα. Αυτοί μπορούν να παράγουν εισόδημα μέσω των πωλήσεων των συλλεγόμενων sprat, να διατηρούν sprat για τις επόμενες πωλήσεις μαργαριταριών (όστρακα στρειδιών) ή χειροτεχνήματα σε όστρακα, ή να διατηρούν τα στρείδια για την παραγωγή μαργαριταριών. Οι παράγοντες αυτοί υποστήριξαν την επέκταση της παραγωγής καλλιεργημένων “μαύρων” μαργαριταριών από τη Γαλλική Πολυνησία σε διάφορες άλλες νησιωτικές χώρες του Ειρηνικού. Η εξέλιξη αυτή υποστηρίζεται με ενθουσιασμό σε κυβερνητικό επίπεδο, διότι εκτός από το δυνητικό εξαγωγικό εισόδημα από τις πωλήσεις μαργαριταριών, μπορεί να υπάρξουν σημαντικά κοινωνικοοικονομικά οφέλη για τις απομακρυσμένες παράκτιες κοινότητες.

2.9 Περίληψη

- Η ένταση της υδατοκαλλιέργειας κυμαίνεται από τα φυσικά οικοσυστήματα σε λιμνοδεξαμενές, αποδίδοντας $0,009 \text{ kg/m}^2$, μέχρι εντατικά συστήματα επανακυκλοφορίας που ρυθμίζονται σε μεγάλο βαθμό και παράγουν 6 kg/m^2 . Η ένταση της καλλιέργειας, δηλαδή η εκτατική, ημι-εντατική και εντατική, αντικατοπτρίζεται στο επίπεδο των εισροών που απαιτούνται για να διατηρηθεί η επαρκής ανάπτυξη των καλλιεργημένων οργανισμών.
- Η εκτατική και ημι-εντατική υδατοκαλλιέργεια είναι πιο χαρακτηριστική στις αναπτυσσόμενες χώρες. Η ζήτηση στις ανεπτυγμένες χώρες αφορά σαρκοφάγα είδη που εκτρέφονται σε εντατικές συνθήκες με τροφές υψηλής περιεκτικότητας σε πρωτεΐνες.
- Άλλες μορφές υδατοκαλλιέργειας είναι η πολυκαλλιέργεια, όπου τα συμπληρωματικά είδη καλλιεργούνται μαζί σε λιμνοδεξαμενές για την αύξηση της παραγωγικότητας, και η αγρό-υδατοκαλλιέργεια, όπου τα καλλιεργούμενα είδη καλλιεργούνται σε υγρές γεωργικές καλλιέργειες ή σε λιμνοδεξαμενές που λαμβάνουν απόβλητα από καλλιέργειες. Αυτά είναι χαρακτηριστικά της παραδοσιακής υδατοκαλλιέργειας.
- Ο βαθμός της εναλλαγής του νερού διαμέσω της καλλιέργειας είναι μια άλλη μεταβλητή. Μπορεί να είναι στατικός, π.χ. λιμνοδεξαμενές ή ανοιχτά συστήματα, π.χ. κλωβοί ψαριών στον ωκεανό ή ημι-ανοικτός, π.χ. δεξαμενές με νερό που ρέει μέσω αυτών.
- Η επιλογή ενός νέου είδους για την ανάπτυξη της υδατοκαλλιέργειας είναι μια πολύπλοκη διαδικασία, ιδίως στις ανεπτυγμένες χώρες. Πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα οικονομικά, π.χ. η ζήτηση και η αποδοτικότητα, η βιολογία του ζώου και οι κατάλληλες εγκαταστάσεις καλλιέργειας. Απαιτούνται κατάλληλες πτυχές της βιολογίας στα επιλεγμένα είδη, συμπεριλαμβανομένης της ανθεκτικότητας, της ικανότητας να ανεχτούν τις συνθήκες συνωστισμού, των διακυμάνσεων στην ποιότητα των υδάτων και του χειρισμού.
- Η δημιουργία νέων εκμεταλλεύσεων για τα είδη που εκτρέφονται συνήθως μπορεί να είναι απλή στις αναπτυσσόμενες χώρες. Ωστόσο, η προσαγωγή ενός νέου είδους στο σημείο της κερδοφόρας εμπορικής καλλιέργειας στις ανεπτυγμένες χώρες είναι πολύπλοκη και απαιτεί μια σειρά αναπτυξιακών σταδίων. Η διάρκεια της περιόδου ανάπτυξης μπορεί να προκαλέσει την αποτυχία του εγχειρήματος, καθώς η εμπλεκόμενη εταιρεία δεν διαθέτει επαρκή κεφάλαια για τη διατήρηση του εγχειρήματος έως ότου καταστεί κερδοφόρο.
- Παρουσιάζονται τρεις μελέτες περιπτώσεων (case studies) για τις εξελίξεις στην υδατοκαλλιέργεια: η καλλιέργεια μαύρου μαργαριταριού στην Πολυνησία, η καλλιέργεια αστακών στο Βιετνάμ και ο νότιος ερυθρός τόπος στη Νότια Αυστραλία. Κανένα από αυτά δεν δείχνει το πλήρες πρότυπο της ανάπτυξης της υδατοκαλλιέργειας ενός νέου είδους. Βρήκαν τρόπους να παρακάμψουν τα πρώιμα αναπτυξιακά στάδια που είναι το δύσκολο μέρος του κύκλου ζωής. Μια προσπάθεια να εκτραφεί ο νότιος ερυθρός τόπος από την ωτοκία εγκαταλείφθηκε όταν κατέστη σαφές ότι η επίτευξη της εμπορικής παραγωγής με την τεχνική αυτή θα πάρει πολύ χρόνο.

Βιβλιογραφία

- Avault, J.W. Jr (1996). *Fundamentals of Aquaculture: A Step-by-Step Guide to Commercial Aquaculture*. AVA Publishing Co., Baton Rouge, LA.
- Boyd, C.E. (1991). *Water Quality in Ponds for Aquaculture*. Auburn University, Alabama.
- Castine, S.A., McKinnon, D.A., Paul, N.A. et al. (2013). Wastewater treatment for land-based aquaculture: improvements and value adding alternatives in model systems in Australia. *Aquaculture Environment Interactions*, **4**, 285–300.
- Cohen, D. (1997). Integration of aquaculture and irrigation: rationale, principles and its practice in Israel. *International Water and Irrigation Review*, **17**, 8–18.
- Edwards, P. (1998). A system approach for the promotion of integrated aquaculture. *Aquaculture Economics and Management*, **2**, 1–12.
- Estess, E.E., Coffey, D.M., Shimose, T, et al. (2014). Bioenergetics of captive Pacific bluefin tuna (*Thunnus orientalis*). *Aquaculture*, **434**, 137–144.
- Ky, C.L., Nakasai, S., Molinari, N, et al. (2015). Influence of grafter skill and season on cultured pearl shape, circles and rejects in *Pinctada margaritifera* aquaculture in Mangareva lagoon. *Aquaculture*, **435**, 361–370.
- Losordo, T.M. (1998a). Recirculating aquaculture production systems: the status and future. *Aquaculture Magazine*, **24**(1), 38–45.
- Losordo, T.M. (1998b). Recirculating aquaculture production systems: the status and future, part II. *Aquaculture Magazine*, **24**(2), 45–53.
- Losordo, T.M., Masser, M.P. and Rakocy, J. (2001). Recirculating aquaculture tank production systems. An overview of critical considerations. *World Aquaculture*, **32**(1), 18–22.
- Palmer, P.J. (2010). Polyculture-assisted sand filters. *Aquaculture*, **306**, 369–377.
- Yoo, K.H. and Boyd, C.E. (1994). *Hydrology and Water-Supply for Pond Aquaculture*. Chapman and Hall, New York.

3

Σχεδιασμός Συστημάτων Υδατοκαλλιέργειας

Igor Pirozzi, Paul C. Southgate και John S. Lucas

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

3.1	Εισαγωγή, 57	3.5	Συστήματα Εκκολαπτηρίου, 85
3.2	Επιλογή Τοποθεσίας και Ανάπτυξη, 57	3.6	Περίληψη, 87
3.3	Συστήματα Υδατοκαλλιέργειας, 60		Βιβλιογραφία, 88
3.4	Υδραυλικές Εγκαταστάσεις και Αντλίες, 78		

3.1 Εισαγωγή

Ο πρωταρχικός στόχος του σχεδιασμού του συστήματος υδατοκαλλιέργειας είναι να εξασφαλίσει ότι οι εγκαταστάσεις είναι παραγωγικές με αξιόπιστο και οικονομικά αποδοτικό τρόπο. Ο σχεδιασμός ενός συστήματος υδατοκαλλιέργειας πρέπει να επιτρέπει τη μέγιστη ανάπτυξη και επιβίωση των ειδών-στόχων και τη βέλτιστη τιμή αγοράς για το προϊόν. Τα συστήματα υδατοκαλλιέργειας πρέπει επίσης να είναι αξιόπιστα και οικονομικά αποδοτικά για την κατασκευή και, από την πλευρά του φορέα εκμετάλλευσης, το σύστημα θα πρέπει να έχει ελάχιστες απαιτήσεις λειτουργίας και συντήρησης. Ένας κατάλληλος σχεδιασμός πρέπει να:

- πληρεί τις απαιτήσεις των ειδών-στόχων.
- επιτρέπει την ευελιξία.
- παρέχει εισόδους χαμηλής συντήρησης.
- επιτρέπει την χρήση φθηνών υλικών χωρίς να θέτει σε κίνδυνο την ποιότητα
- ενσωματώνει συστήματα υποστήριξης όπου είναι δυνατόν και
- επιτρέπει τη μελλοντική επέκταση.

Τα συστήματα υδατοκαλλιέργειας ποικίλλουν πάρα πολύ (εξωτερικές λίμνοδεξαμενές, εσωτερικές δεξαμενές, θαλάσσια κλουβιά, πλωτά συστήματα

μακράς γραμμής - long-line κ.λπ.), αλλά παρόμοιες μορφές παραγωγής υδατοκαλλιέργειας έχουν κοινές εγκαταστάσεις. Για παράδειγμα, ένα ημί-κλειστο σύστημα δεξαμενών ή λιμνοδεξαμενών θα περιλαμβάνει:

- Παροχή νερού
- Δομή καλλιέργειας
- Παροχή αέρα
- Ηλεκτρικό ρεύμα
- Κτίρια
- Διαρρύθμιση

Στο πλαίσιο των παραπάνω περιορισμών, η τελική επιλογή και ο σχεδιασμός του συστήματος, όπως πάντα, είναι η ισορροπία μεταξύ των ειδών και των απαιτήσεων των χρηστών, το διαθέσιμο κεφάλαιο για την κατασκευή και τους περιορισμούς του χώρου.

3.2 Επιλογή Τοποθεσίας και Ανάπτυξη

Ένα από τα πιο κρίσιμα ζητήματα για μια επιχείρηση υδατοκαλλιέργειας είναι η επιλογή της καταλληλότερης τοποθεσίας (χώρου). Η τοποθεσία θα εξαρτηθεί, φυσικά, από τον τύπο της υδατοκαλλιέργειας που προτείνεται, όπως για παράδειγμα

χερσαία ή θαλάσσια, εκκολαπτήριο, πάχυνση κλπ. και το τύπο των ειδών που πρόκειται να καλλιεργηθούν. Η υδατοκαλλιέργεια, όπως γνωρίζουμε, είναι η καλλιέργεια υδρόβιων οργανισμών, συνεπώς η πρόσβαση σε νερό καλής ποιότητας, σταθερά και αξιοπιστία, είναι απολύτως απαραίτητη. Εάν είναι δυνατόν, εξετάζονται περιοχές που έχουν ήδη πρόσβαση σε βασικές υποδομές, όπως δρόμοι και ηλεκτρική ενέργεια, για να μειωθεί το αρχικό κόστος εγκατάστασης.

3.2.1 Ποή Νερού

Εκτός από την εξασφάλιση της ποσότητας και της ποιότητας του νερού που διατίθεται στο σύστημα, πρέπει επίσης να ληφθεί υπόψη η κατανομή του νερού γύρω από τον τόπο. Κατά κανόνα είναι σκόπιμο να χρησιμοποιούνται οι πιο σύντομες διαδρομές για την παροχή του νερού και την απομάκρυνσή του για την εξοικονόμηση κεφαλαίου και, εάν χρησιμοποιούνται σωληνώσεις, για να μειωθούν οι απώλειες πίεσης λόγω τριβής και συνεπώς κόστους άντλησης. Επιπλέον, είναι προτιμότερο το σύστημα ύδρευσης να ελέγχεται από ένα κεντρικό σημείο. Σε ένα σύστημα λιμνοδεξαμενών αυτό μπορεί να είναι τόσο απλό όσο να μπορεί να ανοίξει ή να κλείσει η τροφοδοσία του νερού σε μια λιμνοδεξαμενή, χωρίς να χρειάζεται να κινηθεί ως το αντλιοστάσιο. Όπου είναι δυνατόν, το νερό που ρέει στις δεξαμενές, τα καναλόμορφα συγκοινωνούντα συστήματα καλλιέργειας και τις λιμνοδεξαμενές θα πρέπει να μπορεί να ρυθμιστεί μεμονωμένα.

3.2.2 Χρήση Υπάρχουσας Τοπογραφίας: Μανομετρικό Ύψος Νερού/ Χωρητικότητα Άντλησης

Όλες οι απαιτήσεις της καλλιέργειας είναι σημαντικές λαμβάνοντας υπόψη την τοπογραφία. Η τοπογραφία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να μειώσει το κόστος άντλησης, να συλλέξει και να αποθηκεύσει νερό από φυσικές λεκάνες απορροής και να παρέχει χώρους για κτίρια.

Ως “μανομετρικό ύψος νερού” καλείται η ικανότητα ή το ενδεχόμενο να πέσει το νερό, δηλαδή το νερό θα πέσει από ένα υψηλότερο σημείο σε ένα χαμηλότερο σημείο μέσω της βαρύτητας χω-

ρίς καμία απαίτηση για άντληση. Η παροχή άντλησης είναι δαπανηρή όσον αφορά τόσο του κεφαλαίου που απαιτείται για τη κατασκευή όσο και το κόστος λειτουργίας. Είναι σημαντικό να χρησιμοποιείται αποτελεσματικά το *μανομετρικό ύψος του νερού* στο σχεδιασμό της καλλιέργειας. Εάν χρησιμοποιούνται λιμνοδεξαμενές ή καναλόμορφα συγκοινωνούντα συστήματα καλλιέργειας, ο σχεδιασμός πρέπει να χρησιμοποιεί την κλίση του εδάφους έτσι ώστε το νερό να μπορεί να παρέχεται και να αποστραγγίζεται ή μόνο να αποστραγγίζεται μόνο με τη βαρύτητα, δηλαδή αφήνοντας το νερό “να πέσει” κάτω παρά αντλώντας το. Όσο μεγαλύτερο είναι το ύψος που πρέπει να αντλείται το νερό και όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση των σωληνώσεων, τόσο μεγαλύτερο είναι το κόστος λειτουργίας χωρίς βελτίωση της παραγωγικότητας.

3.2.3 Αξιοποίηση του Εδάφους και/ή του Νερού

Δεδομένου ότι η έκταση ή το νερό είναι γενικά δαπανηρά για την αγορά ή τη μίσθωση, είναι σημαντικό να ελαχιστοποιείται ο μη παραγωγικός χώρος όπου είναι δυνατόν. Η ελαχιστοποίηση του σπαταλούμενου χώρου είναι εξίσου σημαντική για τα συστήματα επανακυκλοφορίας του νερού όπως και για τις μικρές εκτροφές σε λιμνοδεξαμενές ή τις θαλάσσιες μισθώσεις. Γενικά, θεωρείται συνετό να ελαχιστοποιηθούν οι αποστάσεις μεταξύ των δομών καλλιέργειας (λιμνοδεξαμενές, δεξαμενές, καναλόμορφες συγκοινωνούντες δεξαμενές, πλωτά συστήματα μακράς γραμμής) και των χώρων εργασίας και των κτιρίων.

Ωστόσο, αν και είναι σημαντικό να ελαχιστοποιηθεί ο μη παραγωγικός χώρος, πρέπει να υπάρχει επαρκής χώρος εργασίας για να επιτρέπεται:

- πρόσβαση σε δομές καλλιέργειας και σωληνώσεις για δραστηριότητες ρουτίνας.
- πρόσβαση των οχημάτων σε χώρους εργασίας
- αντλίες και συστήματα επεξεργασίας για συντήρηση και ρύθμιση για εργασίες ρουτίνας (π.χ. επισκευή εξοπλισμού και καθαρισμό/στέγνωμα δικτύων) και μη συνήθεις εργασίες ή καταστάσεις έκτακτης ανάγκης που πρέπει να διεξαχθούν.
- Εκτροφή των ζώων (π.χ. διαλογή) και την επε-

ξεργασία των προϊόντων (π.χ. συγκομιδή, σφαγή, συσκευασία) και

- μία ουδέτερη ζώνη γύρω από τη μονάδα υδατοκαλλιέργειας, συμπεριλαμβάνοντας μια “ζώνη προστασίας του περιβάλλοντος”.

Είναι σημαντικό να εντοπίζονται οι εγκαταστάσεις συγκομιδής και επεξεργασίας όσο το δυνατόν πλησιέστερα στον τόπο συγκομιδής. Αυτό θα ελαχιστοποιήσει τις απαιτήσεις των μεταφορών, αλλά κυρίως θα συμβάλει στη διατήρηση της ποιότητας των προϊόντων, ιδιαίτερα σε θερμά κλίματα. Ωστόσο, οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας πρέπει να φυλάσσονται μακριά από τις εγκαταστάσεις εκκολαπτηρίου για να αποφευχθεί η μόλυνση της περιοχής του εκκολαπτηρίου από ασθένειες από το εκτρεφόμενο απόθεμα.

Εκτός από τις περιοχές που σχετίζονται άμεσα με την καλλιέργεια του προϊόντος, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι περιοχές για την παράδοση, την αποθήκευση και το χειρισμό προϊόντων όπως οι ζωοτροφές, τα λιπάσματα και οι χημικές ουσίες. Έτσι, ο σχεδιασμός των δρόμων πρέπει να πληροί όλες τις απαιτήσεις πρόσβασης, ελαχιστοποιώντας παράλληλα το κόστος κατασκευής. Πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα φορτία που εισέρχονται και εξέρχονται από το ακίνητο, καθώς και τα είδη των οχημάτων που χρησιμοποιούνται. Αν και μικρά οχήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν στους χώρους της καλλιέργειας, οι εταιρείες μεταφορών, π.χ. εταιρείες ζωοτροφών, μπορούν να διενεργούν τις παραδώσεις χρησιμοποιώντας πολύ μεγαλύτερα οχήματα. Όταν τα προϊόντα που παραδίδονται αγοράζονται χύδην, πρέπει να υπάρχει επαρκής χώρος για την αποθήκευση και τη διαχείριση των προϊόντων. Σε συνδυασμό με την πρόσβαση είναι σημαντικό να διασφαλιστεί ότι ο εξωτερικός χώρος εργασίας και η περιοχή που γίνονται οι μανούβρες για την παράδοση των χύδην προμηθειών και τη μεταφορά του παραγόμενου προϊόντος, είναι επαρκείς.

Η επέκταση είναι συχνά ο στόχος για επιχειρήσεις υδατοκαλλιέργειας και η δυνατότητα επέκτασης εγκαταστάσεων και λειτουργιών πέραν της αρχικής ανάπτυξης πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά την επιλογή του χώρου και το πλάνο του σχεδίου. Όπου είναι δυνατόν, πρέπει να είναι διαθέσιμα στο μέλλον να μισθώνουν ή να αγορά-

ζουν παρακείμενη έκταση ή νερό ή έκταση και νερό. Εναλλακτικά, εάν η έκταση ή το νερό είναι αρκετά φτηνά, μπορεί να αγοραστούν για να επιτρέψουν μελλοντική επέκταση. Η τοποθεσία πρέπει να είναι διαμορφωμένη έτσι ώστε να μπορεί εύκολα να τροποποιηθεί για αυξημένη χωρητικότητα. Για παράδειγμα, να ληφθεί πρόνοια εξ αρχής να χρησιμοποιούνται μεγαλύτεροι σωλήνες για να αποφευχθεί αργότερα το κόστος αντικατάστασής τους.

Παρόλο που μπορεί να θεωρηθεί ως “μη παραγωγικός χώρος”, μπορεί να απαιτηθεί μια “ουδέτερη ζώνη” ως μέρος των απαιτήσεων αδειοδότησης από περιβαλλοντικές υπηρεσίες για ορισμένες μορφές υδατοκαλλιέργειας. Μια ουδέτερη ζώνη γύρω από μια καλλιέργεια σε λιμνοδεξαμενές μπορεί να χρειαστεί ως προστασία έναντι διαφυγών, αρπακτικών και παρασίτων. Επίσης χρειάζεται επιπλέον έκταση για την απόρριψη αποβλήτων από το υπόστρωμα των λιμνοδεξαμενών μεταξύ διαδοχικών καλλιεργειών. Στην ιχθυοκαλλιέργεια σε κλωβούς και στην υδατοκαλλιέργεια δίθυρων μαλακίων υψηλής βιομάζας, π.χ., μυδιών σε πλωτές εξέδρες, υπάρχει το ενδεχόμενο σοβαρής οργανικής ρύπανσης του βένθους κάτω από τις εγκαταστάσεις. Η ρύπανση μπορεί να μειωθεί αν τα κλουβιά και οι εξέδρες μπορούν να μετακινηθούν σε νέες τοποθεσίες στην περιοχή της μίσθωσης.

3.2.4 Ελαχιστοποίηση του Κόστους Κατασκευής

Κατά την κατασκευή κτιρίων παρόμοιων επιπέδων, είναι γενικά φθηνότερο να χτίζονται μεγαλύτερα κτίρια και στη συνέχεια να διαιρούνται σε μικρότερες ενότητες και δωμάτια. Ωστόσο, πρέπει να εξεταστεί ποιες δραστηριότητες μπορούν να διεξαχθούν σε κοντινή απόσταση μεταξύ τους. Ομοίως, οι μεγαλύτερες λιμνοδεξαμενές είναι φθηνότερες για την κατασκευή ανά μονάδα επιφάνειας από τις μικρότερες λιμνοδεξαμενές. Ωστόσο, πρέπει να ληφθεί υπόψη το διαχειρίσιμο μέγεθος της λιμνοδεξαμενής και το βέλτιστο μέγεθος για την ανάπτυξη των καλλιεργούμενων ειδών.

Οι προδιαγραφές των κτιρίων (π.χ., η αντοχή και το μέγεθος των υλικών) και των τοιχωμάτων των λιμνοδεξαμενών (π.χ., το ύψος του τοίχου, το πλά-

τος και οι εσωτερικές και εξωτερικές κλίσεις) είναι επίσης σημαντικές. Το κόστος της κατασκευής αυξάνεται με ταχύ ρυθμό εάν προκύψει η υπερειδίκευση. Ως εκ τούτου, είναι σημαντικό να λαμβάνονται υπόψη οι κατάλληλες προδιαγραφές για τις απαιτούμενες εργασίες.

3.3 Συστήματα Υδατοκαλλιέργειας

Λόγω της μεγάλης ποικιλομορφίας των δραστηριοτήτων στην υδατοκαλλιέργεια, η περιγραφή των τύπων των συστημάτων υδατοκαλλιέργειας μπορεί να είναι πολύπλοκη και μερικές φορές προκαλεί σύγχυση στους αρχάριους. Συνήθως τα συστήματα καλλιέργειας ταξινομούνται σύμφωνα με τρία κριτήρια.

1. **Τύπος της δομής καλλιέργειας.** Η δομή της καλλιέργειας περιγράφει τι περιβάλλει ή υποστηρίζει τους οργανισμούς υδατοκαλλιέργειας. Σε γενικές γραμμές, οι δομές υδατοκαλλιέργειας περιλαμβάνουν λιμνοδεξαμενές, δεξαμενές, κλουβιά, ιχθυομάνδρες (pen), καλλιέργεια σε πασσάλους (racks), πλωτά συστήματα μακρά γραμμής (long-lines) και πλωτήρες (floats).
2. **Εναλλαγή νερού.** Η εναλλαγή του νερού περιγράφει την ποσότητα νερού που εναλλάσσεται (εισάγεται-εξάγεται στην καλλιέργεια) ή τον έλεγχο της ροής του νερού στο σύστημα. Σε γενικές γραμμές, τα επίπεδα εναλλαγής νερού είναι στατικά, ανοικτά, ημίκλειστα και επανακυκλοφορούντα (κλειστά).
3. **Ένταση της καλλιέργειας.** Η ένταση της καλλιέργειας αντανakλά τον αριθμό των εκτρεφόμενων οργανισμών ανά μονάδα επιφάνειας ή όγκο νερού καθώς και την ικανότητα της φυσικής παραγωγικότητας να στηρίζει την καλλιέργεια. Σε γενικές γραμμές, η ένταση της καλλιέργειας περιγράφεται ως εντατική, ημιεντατική ή εκτατική και περιγράφεται λεπτομερώς στο Κεφάλαιο 2.

Ο τύπος του συστήματος που χρησιμοποιείται για την παραγωγή στην υδατοκαλλιέργεια είναι ένας συνδυασμός των παραπάνω κριτηρίων. Για παρά-

δειγμα, μπορεί να υπάρχει ένα σύστημα λιμνοδεξαμενών που είναι:

- Εκτατικό και στατικό: καλλιέργεια κυπρινοειδών σε λιμνοδεξαμενές στην Κίνα και την Ινδία.
- Ημιεντατικό και ημίκλειστο: καλλιέργεια ασημένιας πέρκας *Bidyanus bidyanus* σε λιμνοδεξαμενές στην Αυστραλία.
- Ημίκλειστο και εντατικό: καλλιέργεια γαρίδων σε λιμνοδεξαμενές στην Ασία και την Αμερική.
- Ανοικτό και εντατικό: καλλιέργεια σολομού του Ατλαντικού σε θαλάσσια κλουβιά στη Νορβηγία και τον Καναδά.

Παρόλο που κάθε συγκεκριμένο είδος συστήματος εκτροφής θα εξεταστεί σε ξεχωριστό υποκεφάλαιο, ένα σύστημα χρησιμοποιείται σπάνια για όλη τη διάρκεια ζωής ενός καλλιεργούμενου είδους, εκτός από κάποια εκτατικά συστήματα καλλιέργειας. Για παράδειγμα, η εντατική καλλιέργεια ενός συγκεκριμένου είδους ψαριού από το στάδιο της συλλογής των γαμετών μέχρι την συγκομιδή του, μπορεί να περιλαμβάνει διαδοχικά τα εξής:

- μια μικρή δεξαμενή γονιμοποίησης.
- μια δεξαμενή εμβρυϊκής ανάπτυξης με ήπια ροή νερού.
- μια δεξαμενή προνυμφών με ήπια κυκλοφορία.
- μια δεξαμενή με νεαρά ιχθύδια με ήπια ροή νερού.
- μια λιμνοδεξαμενή για την ανάπτυξη των νεαρών ιχθυδίων σε μεγάλα νεαρά άτομα.
- ένα κλουβί για να αναπτυχθούν πλήρως μέχρι την συγκομιδή.

3.3.1 Λιμνοδεξαμενές

Οι λιμνοδεξαμενές (ponds) ορίζονται ευρέως ως χωμάτινες κατασκευές για τη συγκράτηση των υδρόβιων ειδών. Η λιμνοδεξαμενή είναι η πιο παλιά κατασκευή στην υδατοκαλλιέργεια λόγω της απλότητας της βασικής καλλιέργειας γλυκού νερού σε λιμνοδεξαμενές. Η καλλιέργεια σε λιμνοδεξαμενές μπορεί να πραγματοποιηθεί με τύποτα περισσότερο από βολικές φυσικές λιμνοδεξαμενές. Αποκλειστικά η συγκομιδή από τις φυσικές λιμνοδεξαμενές δεν θεωρείται ως υδατοκαλλιέργεια καθώς δεν διαθέτει το στοιχείο της ενίσχυσης της παραγωγής. Η ενίσχυση της παραγωγής

δεν μπορεί να περιλαμβάνει τίποτα περισσότερο από την προσθήκη ακατέργαστων οργανικών λιπασμάτων (ενότητα 9.7) ή την αφαίρεση θηρευτών ή ανταγωνιστών των καλλιεργούμενων ειδών.

Μια λιμνοδεξαμενή μπορεί να είναι μια απλή τρύπα στο έδαφος (σκαμμένη λιμνοδεξαμενή) ή ένα κλειστό κανάλι σε μια κοιλάδα ή κοίτη ρέματος όπου μόνο ένας ή δύο τοίχοι είναι κατασκευασμένοι (λιμνοδεξαμενές φράγματος) ή μπορεί να είναι πάνω από το έδαφος (λιμνοδεξαμενή από αναχώματα). Τα αναχώματα μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για να διαιρέσουν μια μεγάλη μάζα γλυκού ή υφάλμυρου νερού σε γειτονικές υπομονάδες, π.χ. λιμνοδεξαμενές διαφόρων σχημάτων σύμφωνα με τη φυσική τοπογραφία. Οι λιμνοδεξαμενές από αναχώματα μπορούν να έχουν οποιοδήποτε μέγεθος ή σχήμα, αλλά οι ορθογώνιες λιμνοδεξαμενές είναι οι πιο συνηθισμένες καθώς περιορίζουν την σπατάλη χώρου μεταξύ των λιμνοδεξαμενών. Στην ιδανική περίπτωση, η είσοδος του νερού και η απόρριψη του από τις λιμνοδεξαμενές διευκολύνεται από τη βαρύτητα, ώστε να ελαχιστοποιούνται τα έξοδα κατασκευής και λειτουργίας. Οι λιμνοδεξαμενές χρησιμοποιούνται συνηθέστερα για την καλλιέργεια ψαριών και καρκινοειδών.

Οι φτηνές απλές λιμνοδεξαμενές είναι τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα συστήματα υδατοκαλλιέργειας γλυκού και υφάλμυρου νερού. Οι βασικές απαιτήσεις για τις λιμνοδεξαμενές είναι:

- μια αξιόπιστη παροχή καλής ποιότητας νερού (κατά προτίμηση κίνηση με τη βαρύτητα)
- μια κατασκευή σχετικά αδιαπέραστα εδάφη
- σωστά δομημένα εδάφη με καλή περιεκτικότητα σε οργανικές ύλες για την υποστήριξη των οικοσυστημάτων των λιμνοδεξαμενών
- αποστράγγιση με τη βαρύτητα.

Οι λιμνοδεξαμενές γενικά είναι φτηνότερες για την κατασκευή ανά μονάδα επιφάνειας από το κόστος των δεξαμενών και των κλωβών και μπορεί να είναι οικονομικές στην λειτουργία, ανάλογα με το κόστος άντλησης. Οι λιμνοδεξαμενές τείνουν να έχουν τις χαμηλότερες πυκνότητες εκτροφής από όλες τις κατασκευές καλλιέργειας. Ωστόσο, η πυκνότητα ποικίλλει ανάλογα με το εάν το σύστημα είναι εκτατικό, ημιεντατικό ή εντατικό (ενότητα 2.2). Οι λιμνοδεξαμενές διατηρούνται γενικά με

ελαφριά άνθηση του φυτοπλαγκτού για να ελαχιστοποιηθεί η εναλλαγή του νερού.

3.3.1.1 Απαιτήσεις Τοποθεσίας Λιμνοδεξαμενών

Η αξιολόγηση του εδάφους αποτελεί ένα πολύ σημαντικό στοιχείο στην επιλογή, την ανάπτυξη και τη διαχείριση της θέσης των δεξαμενών υδατοκαλλιέργειας. Τα εδάφη στην περιοχή θα καθορίσουν τη φυσική παραγωγικότητα της λιμνοδεξαμενής, την ικανότητα συγκράτησης του νερού, τις απαιτήσεις λίπανσης, την ποιότητα των υδάτων και την κατασκευή.

Η κακή επιλογή τοποθεσιών θα έχει αποτέλεσμα στις λιμνοδεξαμενές όπου δεν θα μπορούν να διαχειριστούν για να ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις των καλλιεργηθέντων οργανισμών ή που θα απαιτούν ένα μη αποδεκτό επίπεδο εισροών και συντήρησης για να το πράξουν. Οι κύριες ιδιότητες του εδάφους που είναι σημαντικές για χρήση στην υδατοκαλλιέργεια είναι:

1. Φυσικές: υφή, αντοχή, σταθερότητα, ικανότητα συγκράτησης νερού.
2. Φυσικοχημικές: ικανότητα ανταλλαγής ιόντων, όξινη-αλκαλική αντίδραση, φαινόμενο έκπλυσης και ικανότητα απορρόφησης/δέσμευσης.
3. Βιολογικές: οργανική ύλη και βιομάζα μετασχηματισμού θρεπτικών.

Περισσότερες πληροφορίες σχετικά με τις ιδιότητες του εδάφους διατίθενται από κείμενα σχετικά με την κατασκευή λιμνοδεξαμενών υδατοκαλλιέργειας (π.χ. Boyd, 1995; Boyd and Tucker, 1998).

Σε ορισμένες περιπτώσεις, ιδιαίτερα με μικρές λιμνοδεξαμενές και σε περιοχές όπου το έδαφος είναι πορώδες, οι λιμνοδεξαμενές μπορούν να επενδυθούν με αδιαπέραστη κάλυψη, π.χ., παχιά πλαστική κάλυψη. Χώμα ή άλλο υπόστρωμα (π.χ. άμμος) μπορεί έπειτα να προστεθεί σε αυτές τις επενδυμένες λιμνοδεξαμενές για να παρέχει τις λειτουργίες του εδάφους.

3.3.1.2 Διάταξη λιμνοδεξαμενών

Στα μεγάλες υδατοκαλλιέργειες σε λιμνοδεξαμενές, υπάρχει ένα προσεκτικά σχεδιασμένο διάγραμμα των λιμνοδεξαμενών και των αναχωμάτων

για να περιλάβει κανάλια μεταξύ των λιμνοδεξαμενών για την εισροή καθαρού νερού και της εκροής του νερού εκροής. Μπορεί να υπάρχουν δεκάδες έως εκατοντάδες λιμνοδεξαμενές σε μια μεγάλη υδατοκαλλιέργεια, με την επιφάνεια κάθε λιμνοδεξαμενής να κυμαίνεται από ~0,5 έως 10 εκτάρια (**Εικόνες 3.1, 5.4 και 5.8**).

Ιστορικά οι λιμνοδεξαμενές έχουν κατασκευαστεί σε μια από τις ακόλουθες τέσσερις κύριες διαμορφώσεις ή διαρρυθμίσεις, κάθε μια με τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά της. Από αυτές, η παράλληλη διαρρύθμιση χρησιμοποιείται συνήθως ειδικά στις μεγάλες σύγχρονες εμπορικές επιχειρήσεις δεδομένου ότι παρέχει το μέγιστο έλεγχο των μεμονωμένων λιμνοδεξαμενών (**Εικόνα 3.1**).

1. Σε σειρά. Οι λιμνοδεξαμενές κατασκευάζονται διαδοχικά έτσι ώστε το νερό να ρέει μέσω κάθε λιμνοδεξαμενής πριν από την απόρριψη του. Αυτή η διάταξη επιτρέπει την εύκολη μετακίνηση του αποθέματος από τη μία λιμνοδεξαμενή

στην άλλη και τη μέγιστη χρήση του νερού. Ένα μειονέκτημα της κατασκευής των λιμνοδεξαμενών στη σειρά είναι η μείωση στην ποιότητα του νερού μέσω των διαδοχικών λιμνοδεξαμενών και η αδυναμία να απομονωθούν οι μεμονωμένες λιμνοδεξαμενές, αποτρέποντας την απομόνωση της ασθένειας.

2. Παράλληλα. Σε μια παράλληλη διαρρύθμιση των λιμνοδεξαμενών, το νερό διανέμεται από ένα κοινό κανάλι ανεφοδιασμού σε κάθε λιμνοδεξαμενή χωριστά. Το νερό εκροής συλλέγεται σε ένα κοινό αποστραγγιστικό κανάλι. Η κίνηση των αποθεμάτων είναι πιο δύσκολη και η χρήση του νερού αυξάνεται. Εντούτοις, αυτό αντισταθμίζεται από το μεγαλύτερο έλεγχο της εναλλαγής του νερού για τις μεμονωμένες λιμνοδεξαμενές και την απλούστερη διαχείριση της ποιότητας του νερού.

3. Ακτινωτά. Η κατασκευή των λιμνοδεξαμενών σε ένα ακτινωτό σχέδιο είναι ασυνήθιστη και χρησιμοποιείται μόνο όταν υπάρχει ένας συγκεκρι-



Εικόνα 3.1 Πολλαπλές σειρές λιμνοδεξαμενών εκτροφής γαρίδας σε μια μεγάλη μονάδα υδατοκαλλιέργειας στον Κόλπο της Καλιφόρνιας, Μεξικό. Παρατηρήστε το σύνθετο σύστημα δικτύων από την εισαγωγή (κάτω δεξιά) έως το σωλήνα αποχέτευσης στα αριστερά. *Πηγή:* Αναπαράγεται με άδεια από το Planet Labs, Inc.

μένος σκοπός προγραμματισμού της παραγωγής. Σε ένα ακτινικό σχεδιάγραμμα, οι λιμνοδεξαμενές κατασκευάζονται έτσι ώστε κάθε εσωτερική λιμνοδεξαμενή να παροχετεύει πολλαπλάσιες εξωτερικές λιμνοδεξαμενές ή μεγαλύτερες εξωτερικές λιμνοδεξαμενές σε ένα ομόκεντρο σχέδιο. Αυτό το σχεδιάγραμμα λιμνοδεξαμενών μπορεί να χρησιμοποιηθεί όταν υπάρχει ένας συνεχής εφοδιασμός μικρότερων ζώων (π.χ., νεαρά άτομα) και, δεδομένου ότι τα ζώα αυξάνονται σε μέγεθος και απαιτούν περισσότερο χώρο, κινούνται προς τις εξωτερικές λιμνοδεξαμενές έως ότου γίνει η συγκομιδή τους.

4. Ένθετα. Σε μια ένθετη διαμόρφωση των λιμνοδεξαμενών, μια λιμνοδεξαμενή τοποθετείται μέσα σε μια άλλη μεγαλύτερη λιμνοδεξαμενή. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται όταν μια λιμνοδεξαμενή εκτροφής νεαρών ατόμων τοποθετείται μέσα σε μια λιμνοδεξαμενή αύξεσης.

3.3.1.3 Μέγεθος και Μορφή λιμνοδεξαμενών

Οι λιμνοδεξαμενές είναι συνήθως ορθογώνιες για να επιτρέπουν τη μέγιστη χρησιμοποίηση του χώρου. Συνήθως, η αναλογία μήκους προς πλάτος είναι 2–3:1. Οι παράγοντες που διέπουν το μέγεθος της λιμνοδεξαμενής είναι οι βιολογικές απαιτήσεις των εκτρεφόμενων οργανισμών και η πρόσβαση στη λιμνοδεξαμενή για την εκτροφή των οργανισμών. Παραδείγματος χάριν, εάν σε μια λιμνοδεξαμενή πρόκειται να γίνει συγκομιδή χρησιμοποιώντας για την αλιεία ένα γρίπο, τότε ένα συνιστώμενο μέγιστο πλάτος είναι τα 20 m. Ομοίως, 20 m. είναι περίπου η μέγιστη εμβέλεια για πολλά αυτόματα μηχανήματα διανομής τροφής. Εάν, εντούτοις, τα καλλιεργούμενα ζώα έρχονται στην άκρη για να προσλάβουν τροφή και μπορούν να συγκομιστούν χρησιμοποιώντας ένα φρεάτιο συλλογής, η λιμνοδεξαμενή μπορεί να είναι πολύ μεγαλύτερη. Ένα μειονέκτημα των μεγαλύτερων λιμνοδεξαμενών με τη μεγαλύτερη βιομάζα και τις υψηλότερες εισαγωγές τροφών είναι ότι μπορούν να είναι δυσκολότερες να διαχειριστούν.

Πιθανώς το μεγαλύτερο μειονέκτημα μιας ορθογώνιας λιμνοδεξαμενής είναι η περιορισμένη κυκλοφορία του νερού. Οι κυκλικές λιμνοδεξαμενές έχουν δοκιμαστεί για υψηλής αξίας εντατικές καλλιέργειες με καλά αποτελέσματα. Εντού-

τοις, η εναλλακτική είναι λιγότερη περιοχή λιμνοδεξαμενών ανά μονάδα επιφανείας της εκτροφής (Wyban and Sweeney, 1989). Οι τετράγωνες λιμνοδεξαμενές μπορούν να επιτρέπουν την αποτελεσματικότερη χρήση του χώρου καθώς επίσης και να διευκολύνουν την καλή κυκλοφορία του νερού και έχουν χρησιμοποιηθεί επιτυχώς για την υδατοκαλλιέργεια γαρίδων (Εικόνα 3.1 και 3.2). Εντούτοις, οι τετράγωνες διαμορφώσεις μπορεί να μην είναι τόσο αποτελεσματικές για μερικά είδη ψαριών.

3.3.1.4 Τοιχία της Λιμνοδεξαμενής

Για το σχέδιο των τοιχίων χρειάζεται να λάβουμε υπόψη μας το ύψος του τοιχίου και την κλίση του. Το ύψος του τοιχίου εξαρτάται από το βάθος της λιμνοδεξαμενής, το ύψος του κύματος και τα έξαλα. Τα έξαλα είναι το επιπρόσθετο ύψος πάνω από τη στάθμη του νερού και το ύψος των κυμάτων το οποίο απαιτείται σε ακραίες εκδηλώσεις καταιγίδας που έχει ως αποτέλεσμα αυξημένα επίπεδα νερού ή μεγαλύτερο ύψος κύματος. Το βάθος της λιμνοδεξαμενής κυμαίνεται γενικά από 0,8 έως 1,8 m. Τέτοια βάθη επιτρέπουν επαρκή διείσδυση του φωτός για την πρωτογενή παραγωγή και αρκετό βάθος ώστε να μειωθούν οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας μειώνοντας ταυτόχρονα την πιθανότητα διαστρωμάτωσης οξυγόνου και θερμοκρασίας.

Τα φωτοσυνθετικά παραγωγικά βάθη των λιμνοδεξαμενών περιορίζονται από τη διείσδυση του φωτός μέσω της στήλης του νερού και, κατά συνέπεια, οι λιμνοδεξαμενές είναι γενικά ρηχές σε σύγκριση με την έκτασή τους. Αυτό συμβαίνει επειδή, σε αντίθεση με τα μικρότερα συστήματα καλλιέργειας στα οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί αερισμός για την προώθηση της ανταλλαγής αερίων και, σε αντίθεση με τα συστήματα με συνεχή ροή νερού, η μάζα νερού της λιμνοδεξαμενής εξαρτάται από την ανταλλαγή αερίων στην επιφάνεια τόσο για την πρόσληψη οξυγόνου όσο και για την απομάκρυνση του διοξειδίου του άνθρακα τη νύχτα. Η ανταλλαγή αερίων και η διάχυση είναι αργές διεργασίες και είναι δυνατόν να υπάρξει ισχυρή διαστρωμάτωση διαλυμένου οξυγόνου μέσω της στήλης του νερού της λιμνοδεξαμενής. Αυτή η διαστρωμάτωση αυξάνεται με το βάθος του



Εικόνα 3.2. Λιμνοδεξαμενή καλλιέργειας γαρίδας που έχει αποστραγγιστεί όπου εμφανίζονται: (Α) Η παροχή του νερού, (Β) Ο καλόνερος αποχέτευσης του νερού, (Γ) Λεκάνη συλλογής εκτρεφόμενων οργανισμών, (Δ) Πάσσαλοι για πρόσδεση αεριστήρων, (Ε) Συσσώρευση αποβλήτων από την κυκλική κίνηση του νερού που κατευθύνεται από τους αεριστήρες, (ΣΤ), Ράμπα πρόσβασης οχημάτων. Παρατηρήστε τα τοιχεία που είναι ενδεδυμένα με πλαστικό και το χωμάτινο υπόστρωμα. Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από τον Igor Pirozzi.

νερού και ως εκ τούτου αποτελεί έναν περιοριστικό παράγοντα για το βάθος του νερού, παρά την ύπαρξη ορισμένων συστημάτων αερισμού για την λιμνοδεξαμενή.

Η διείσδυση του ηλιακού φωτός μπορεί επίσης να ζεσταίνει το νερό, δημιουργώντας υψηλότερες θερμοκρασίες σε λιμνοδεξαμενές με μικρότερα βάθη. Εάν μια λιμνοδεξαμενή είναι πολύ βαθιά, η θέρμανση θα συμβεί έως ένα ορισμένο βάθος. Αυτό μπορεί να δημιουργήσει ένα θερμοκλινές, με το νερό κάτω από αυτό το βάθος να είναι ουσιαστικά πιο δροσερό από το νερό που βρίσκεται από πάνω. Η δημιουργία θερμοκλινούς μπορεί να οδηγήσει σε ανοξικά στρώματα κρύου νερού που μπορούν να αναστραφούν και να οδηγήσουν σε σημαντικές απώλειες των εκτρεφόμενων αποθεμάτων.

Η καθίζηση του τοιχείου πρέπει επίσης να λαμβάνεται υπόψη κατά την κατασκευή της λιμνοδεξαμενής. Η καθίζηση γενικά κυμαίνεται από 5% έως 10% ανάλογα με τον τύπο του εδάφους που χρησι-

μοποιείται για την κατασκευή. Συνιστάται να επιτρέπεται 10% επιπλέον ύψος λαμβάνοντας υπόψη την καθίζηση (Yoo and Boyd, 1994).

Η κλίση του τοιχείου εξαρτάται από τη σταθερότητα του εδάφους στην τοποθεσία, την προστασία από την διάβρωση και από το τι θεωρείται ως αποδεκτή συντήρηση. Δουλεύοντας σε σταθερά εδάφη για την επίτευξη ελάχιστης διάβρωσης, μια κλίση του εσωτερικού τοιχώματος μεταξύ 1:2 (κατακόρυφη- οριζόντια) και 1:3 είναι αποδεκτή. Η κλίση του εξωτερικού τοιχώματος που πρέπει να είναι μεταξύ 1:2,5 και 1:3,5. Στην πράξη, οι δύο κλίσεις συχνά μειώνονται σε ~1:1 (εσωτερική) και 1:2 (εξωτερική) για τη μείωση του κόστους κεφαλαίου της κατασκευής. Αυτό επίσης αυξάνει το κόστος συντήρησης. Εάν περιλαμβάνεται προστασία διάβρωσης, π.χ., βλάστηση πάνω από τη στάθμη του νερού και πέτρες κάτω από τη στάθμη του νερού, οι κλίσεις μπορούν να μειωθούν περαιτέρω. Η ενίσχυση των τοίχων μπορεί να επιτρέ-

ψει τη χρήση κάθετων τοίχων, αν και αυτό είναι πιο δαπανηρό.

Οι τοίχοι πρέπει επίσης να έχουν ένα πλάτος στο άνω μέρος τους για να επιτρέπουν την κατάλληλη πρόσβαση στην λιμνοδεξαμενή. Τα πλάτη στο άνω μέρος εξαρτώνται από το ύψος του τοίχου και τη δραστηριότητα που πρέπει να εκτελεστεί γύρω από τη λιμνοδεξαμενή. Τα συνιστώμενα πλάτη στο άνω μέρος (Yoo and Boyd, 1994) σχετίζονται με το ύψος των τοίχων, αλλά γενικά δεν λαμβάνουν υπόψη τη δραστηριότητα γύρω από την λιμνοδεξαμενή. Ορισμένα μηχανήματα της εκτροφής συχνά χρησιμοποιούνται γύρω από τη λιμνοδεξαμενή κατά τη διάρκεια της κανονικής λειτουργίας της, και αυτά τα οχήματα θα απαιτούν ένα πλάτος στο άνω μέρος μεγαλύτερο από αυτό που συνιστάται.

3.3.1.5 Πυθμένες Λιμνοδεξαμενών

Αυτά που λαμβάνονται υπόψη στο σχεδιασμό του πυθμένα των λιμνοδεξαμενών είναι η αποστράγγιση των λιμνοδεξαμενών και η συγκομιδή. Εάν μια λιμνοδεξαμενή πρόκειται να αποστραγγιστεί για τη συλλογή του εκτρεφόμενου αποθέματος, ο πυθμένας θα πρέπει να είναι ομαλός ώστε να αποφεύγεται η συλλογή νερού σε κοιλάτητες. Χρησιμοποιείται κλίση πυθμένα 0,3% έως 0,6% για την αποτελεσματική αποστράγγιση του νερού στο τέλος της λιμνοδεξαμενής ή σε κεντρικό αποχετευτικό αγωγό (Wang and Fast, 1992). Επιπλέον κανάλια (πλάτος 30-50 cm και βάθος 10-20 cm) μπορεί να δημιουργηθούν για να διευκολύνουν την αποστράγγιση. Στο κατώτερο άκρο του συστήματος αποστράγγισης μπορεί να υπάρχει μια λεκάνη συγκομιδής, βάθους συνήθως περίπου 10-20 cm και να καταλαμβάνει το 0,5 – 1,0% της συνολικής έκτασης της λιμνοδεξαμενής.

3.3.2 Παροχή Νερού (Είσοδοι) και Δίκτυο Αποχέτευσης (Έξοδοι)

Οι εισοδοί και οι έξοδοι είναι σημαντικές συνιστώσες των λιμνοδεξαμενών και πρέπει να είναι ασφαλείς, εύχρηστες και κατάλληλου μεγέθους. Η εναλλαγή του νερού μέσω μιας λιμνοδεξαμενής ελέγχεται μέσω της εισόδου. Οι εισοδοί μπορεί να είναι σωλήνες, κανάλια ή υδατοφράκτες (ένα τε-

χνητό κανάλι για τη μεταφορά νερού). Η ροή μέσω των εισόδων μπορεί να ρυθμιστεί με βαλβίδες (σωλήνες) ή σανίδες (κανάλια και υδατοφράκτες) ή με τη χρήση αντλιών.

Σε πολλές λιμνοδεξαμενές, το νερό πρέπει να φιλτραριστεί για να αποφευχθεί η είσοδος οργανισμών που μπορεί να είναι θηρευτές, ανταγωνιστές ή φορείς ασθενειών. Για να γίνει αυτό, το νερό ελέγχεται διεξοδικά χρησιμοποιώντας είτε μία απλή νάιλον κάλτσα ή μια σακούλα πάνω από ένα σωλήνα ή ένα διαχωριστικό κιβώτιο/φίλτρο στο κανάλι ή στον υδατοφράκτη. Οι κάλτσες και τα διαχωριστικά πρέπει να είναι κατάλληλου μεγέθους ώστε να απομακρύνονται οι αναμενόμενοι θηρευτές.

Οι έξοδοι εξυπηρετούν διάφορες λειτουργίες και χρησιμοποιούνται για:

- Να ρυθμίζουν και να κρατούν την στάθμη του νερού
- Αποστράγγιση ή μερική αποστράγγιση της λιμνοδεξαμενής
- Αποστράγγιση του νερού από συγκεκριμένα επίπεδα της λιμνοδεξαμενής
- Να παρέχουν μια υπερχειλίση σε μία λιμνοδεξαμενή με συνεχή ροή νερού
- Διαλογή και συλλογή του εκτρεφόμενου αποθέματος.

Οι έξοδοι είναι συνήθως σωλήνες ή υδατοφράκτες, οι οποίοι είναι επίσης γνωστοί ως “καλόγεροι”. Οι σωλήνες είναι φθηνοί, απλοί και βολικοί για μικρές λιμνοδεξαμενές. Ωστόσο, δεν επαρκούν για μεγαλύτερες λιμνοδεξαμενές. Οι υδατοφράκτες είναι κατακόρυφα κουτιά ελέγχου προσαρτημένα σε σωλήνες ή κανάλια αποβλήτων (**Εικόνα 3.3**). Αυτοί είναι ένας συνδυασμός διαχωριστικών για τη ρύθμιση των κινήσεων των ζώων, σανίδων για τη ρύθμιση της στάθμης και της ροής του νερού, καθώς και σωλήνες ή κανάλια για την μετακίνηση του νερού από την λιμνοδεξαμενή. Οι Landau (1992) και Yoo and Boyd (1994) παρέχουν λεπτομερείς περιγραφές εξόδων των λιμνοδεξαμενών.

3.3.3 Κλουβιά

Αρχικά, τα κλουβιά που χρησιμοποιήθηκαν για την υδατοκαλλιέργεια αποτελούνταν από κοντάρια ή



Εικόνα 3.3. Ένας υδατοφράκτης ή “καλόγερος” που ελέγχει το νερό εκροής από μια λιμνοδεξαμενή καλλιέργειας γαρίδας. Οι αυλακώσεις στους τοίχους του σκυροδέματος κρατούν ένα διαχωριστικό (κορυφή) για να ρυθμίζουν τις κινήσεις των ζώων και οι σανίδες (μέσο και κάτω) ρυθμίζουν την στάθμη και τη ροή του νερού. Το νερό διέρχεται από το διαχωριστικό και πάνω από τις σανίδες και αποστραγγίζεται μακριά από τη λιμνοδεξαμενή σε ένα κανάλι. Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από τον Igor Pirozzi.

πασσάλους που τοποθετούνταν στο ίζημα ρηχών λιμνών ή κόλπων με δίκτυ απλωμένο γύρω τους. Αυτά εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται και αναφέρονται ως περιφραγμένες με δίκτυ μάνδρες (net pens) ή περιοχές μέσα σε λιμνοδεξαμενές (haras). Τα σύγχρονα κλουβιά είναι πλωτές κατασκευές με ένα δίκτυ αναρτημένο από κάτω. Μπορεί να είναι τετράγωνα ή ορθογώνια (**Εικόνα 3.4**), ή στρογγυλά (**Εικόνα 3.5**). Τα πλωτά αυτά κλουβιά μπορεί να είναι μικρά και περιορισμένης αντοχής ή να έχουν όγκο πολλών χιλιάδων κυβικών μέτρων και να σχεδιάζονται για χρήση στον ανοιχτό ωκεανό (**Εικόνα 1.8**). Τα κλουβιά χρησιμοποιούνται για την καλλιέργεια ψαριών στη φάση ανάπτυξής τους μέχρι το εμπορικό τους μέγεθος.

Τα κλουβιά είναι ενδιάμεσα στις δεξαμενές και τις λιμνοδεξαμενές όσον αφορά το κόστος κεφαλαίου και είναι σχετικά φθηνά για να λειτουργούν, απαιτώντας συντήρηση αλλά χωρίς κόστος άντλησης. Τα κλουβιά που βρίσκονται σε ανοιχτά συστήματα δεν επιτρέπουν τον έλεγχο της ποιότητας του νερού και επομένως απαιτούν καλή τοποθεσία με επαρκή εναλλαγή νερού υψηλής ποιότητας. Εάν γίνει ορθή επιλογή της τοποθεσίας,

μπορεί να επιτευχθεί εντατική καλλιέργεια σε πυκνότητες εκτροφής μέχρι $15\text{-}40\text{ kg/m}^3$. Τοποθετημένα σε περικλειστές μάζες νερού, τα κλουβιά μπορεί να έχουν προβλήματα με:

- Ρύπανση των δικτύων από φύκη, δίθυρα μαλάκια και σπόγγους τα οποία μειώνουν τη ροή του νερού μέσω του κλουβιού.
- Θηρευτές, π.χ. φώκιες, πουλιά.
- Παράσιτα.
- Ασθένειες, οι οποίες είναι δύσκολο να διαχειριστούν, καθώς τα καλλιεργούμενα αποθέματα είναι δύσκολο να παρατηρηθούν και οι ασθένειες δεν είναι εύκολα αντιμετωπίσιμες παρά μόνο με φαρμακευτικές ουσίες στις τροφές.
- Ανθήσεις φυτοπλαγκτού.

Τα κλουβιά μπορούν να τοποθετηθούν σε παράκτιες προστατευμένες περιοχές των ωκεανών, όπως κόλποι, φιόρδ ή σε ανοιχτές θάλασσες. Τα κλουβιά μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν σε μεγάλες λίμνες γλυκού νερού και λιμνοδεξαμενές. Τα θαλάσσια κλουβιά χρησιμοποιούνται γενικά σε ομάδες, είτε μεμονωμένα είτε συνδεδεμένα μεταξύ τους, και αγκυροβολημένα στο βυθό. Σε



Εικόνα 3.4. Κλουβί καλλιέργειας ροφών (*Serranidae*) στις Φιλιππίνες. Παρατηρήστε τους πλωτούς δακτυλίους από HDPE. Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από τον Igor Pirozzi.



Εικόνα 3.5. Κλουβιά εκτροφής σολομού του Ατλαντικού (*Salmo salar*) στο Velfjorden, Brønnøysund, Νορβηγία. Τα ψάρια εκτρέφονται μέσα σε βυθισμένα δίκτυα αναρτημένα από τις κυκλικές πλωτές κατασκευές. Πηγή: Φωτογραφία του T. Bjørkan. Αναπαράγεται με την άδεια Αναφοράς Δημιουργού - Παρόμοιας Διανομής Creative Commons, CC-BY-SA 3.0.

αυτές τις ομάδες, μπορούν να εξυπηρετηθούν, και τα ψάρια λαμβάνουν τροφή και διαχειρίζονται από μια εγκατάσταση βάσης στην παρακείμενη ακτή ή από μια κοντινή πλωτή εγκατάσταση.

Τα κλουβιά μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμό με τις λιμνοδεξαμενές, όπου το κλουβί χρησιμοποιείται για τη συγκράτηση των καλλιεργούμενων ειδών και η λιμνοδεξαμενή χρησιμοποιείται για τη διαχείριση της ποιότητας του νερού. Αυτή η τεχνολογία έχει πλέον προχωρήσει στη χρήση “πλωτών καναλόμορφων συγκοινωνούντων δεξαμενών” όπου το καλλιεργούμενο είδος διατηρείται σε μια καναλόμορφη δεξαμενή που επιπλέει σε μια μεγαλύτερο μάζα νερού που εξασφαλίζει τη διαχείριση της ποιότητας του νερού. Αυτοί οι τύποι συστημάτων χρησιμοποιούνται σε περιοχές “άρδευσης” όπου το νερό που προηγουμένως αποθηκεύτηκε σε μεγάλες δεξαμενές αποκλειστικά για την άρδευση καλλιεργειών έχει τώρα πολλαπλές χρήσεις μέσω της καλλιέργειας ψαριών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της αποδοτικότητας της χρήσης του νερού ανά μονάδα νερού με τη χρήση της καλλιέργειας κηπευτικών και υδατοκαλλιέργειας.

Ο σχεδιασμός των κλουβιών ποικίλλει ανάλογα με τη χρήση και τη θέση τους.

1. **Λιμνοδεξαμενές.** Αυτά τα κλουβιά είναι μικρά (περίπου 4-6 m και 1,5 m βάθος) και είναι στερεωμένα σε πασσάλους που είναι τοποθετημένοι στον πυθμένα των ρηχών λιμνοδεξαμενών. Τα κλουβιά βρίσκονται σε ένα πολύ φιλικό περιβάλλον και είναι εύκολα προσβάσιμα από το τοίχιο της λιμνοδεξαμενής ή από έναν πλωτό διάδρομο.
2. **Λίμνες, εκβολές ποταμών ή προστατευόμενοι κόλποι.** Αυτά τα κλουβιά τείνουν να είναι πολύ μεγαλύτερα (διάμετρος 10-40 m) και στερεώνονται στον πυθμένα της υδάτινης μάζας με γραμμές αγκύρωσης. Οι δυνάμεις που συνδέονται με αυτά τα περιβάλλοντα είναι μεγαλύτερες από αυτές που απαντώνται στις λιμνοδεξαμενές ως αποτέλεσμα των παλιρροιακών ρευμάτων, των κυμάτων που παράγονται από τον άνεμο (<1 m) και τα θαλάσσια κύματα. Και πάλι, αυτά τα κλουβιά είναι εύκολα προσβάσιμα από την ακτή ή με ένα σύντομο ταξίδι σε ένα μικρό μηχανοκίνητο σκάφος.
3. **Ανοιχτή θάλασσα.** Αυτά τα κλουβιά πρέπει να

αντέχουν τη δυσκολία των ωκεάνιων κυμάτων και των κυμάτων που δημιουργούνται από τον άνεμο περισσότερο από 4 m (**Εικόνα 3.5**). Τα κλουβιά είναι πολύ μεγάλα και μπορούν να έχουν διάμετρο 50 m ή περισσότερο. Συχνά βρίσκονται μακριά από την ακτή, αυτά τα κλουβιά απαιτούν προσαρτημένους χώρους εργασίας.

3.3.3.1 Χαρακτηριστικά Κλουβιών

Ανεξάρτητα από τη χρήση του κλωβού, υπάρχουν δομές που έχουν κοινά χαρακτηριστικά. Οι στόχοι αυτών των δομών είναι να διατηρούν και να προστατεύουν το εκτρεφόμενο απόθεμα και να διατηρούν τη θέση, το μέγεθος και το σχήμα του κλουβιού.

1. **Πλωτήρας.** Ο πλωτήρας διατηρεί το κλουβί στην επιφάνεια του νερού και βοηθά στη διατήρηση του σχήματος του κλουβιού τόσο σε κατακόρυφα όσο και σε οριζόντια επίπεδα. Οι πλωτήρες μπορεί να είναι εύκαμπτοι σωλήνες από καουτσούκ μεγάλης διαμέτρου ή σωλήνες πολυαιθυλενίου υψηλής πυκνότητας.
2. **Δακτύλιος (κολάρο).** Ο δακτύλιος (κολάρο) διατηρεί το σχήμα του κλουβιού σε οριζόντιο επίπεδο. Μπορεί απλώς να είναι ένας δακτύλιος μετάλλου που τοποθετείται στην βάση του κλουβιού προσθέτοντας βάρος στο κλουβί βοηθώντας στη διαμόρφωση του απαιτούμενου σχήματος ή μπορεί να είναι ένα πολύπλοκο σχέδιο που περιλαμβάνει πλευστότητα και βάρος.
3. **Δίχτυα.** Υπάρχουν διάφοροι τύποι δικτύων για τα κλουβιά.
 - **Κυρίως δίχτυ.** Αυτό το δίχτυ περιέχει το εκτρεφόμενο απόθεμα. Πρέπει να αντιστέκεται στο σκίσιμο από αντικείμενα και θηρευτές, και να είναι σε θέση να συγκρατεί τη βιομάζα όταν ανασηκώνονται τα δίχτυα για την αλιεία/συγκομιδή. Το μάτι του δικτυού πρέπει να είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε να εμποδίζει τα ψάρια που καλλιεργούνται να πιαστούν στο δίχτυ. Εκτός από το να διατηρεί τα ψάρια, το δίχτυ αυτό πρέπει επίσης να επιτρέπει επαρκή ροή νερού μέσω των κλουβιών για τη διατήρηση της ποιότητας του νερού.
 - **Δίχτυ θηρευτών.** Αυτό το δίχτυ διατηρεί τους θαλάσσιους θηρευτές μακριά από το εκτρεφόμενο απόθεμα για να μειώσει την θήρευση. Τοποθετείται έξω από το κυρίως δίχτυ.



Εικόνα 3.6. Περιφραγμένες με δίχτυ περιοχές (hapa) μέσα σε μία μεγάλη λιμνοδεξαμενή με τοίχια από μπeton στο Ινστιτούτο Έρευνας Υδατοκαλλιέργειας (RIA3), Κεντρικό Εθνικό Κέντρο Θαλάσσιας Αναπαραγωγής, περιοχή Van Ninh, επαρχία Khanh Hoa, Βιετνάμ. Τα δίχτυα hapa χρησιμοποιούνται για την καλλιέργεια νεαρών ολοθούριων (*Holothuria scabra*). Πηγή: Φωτογραφία του Dr. D. Mills. Αναπαράγεται με άδεια από το WorldFish.

- Δίχτυ κάλυψης. Αυτό το δίχτυ τοποθετείται στην κορυφή του κλουβιού για την προστασία από τις επιθέσεις πτηνών.
 - Δίχτυ αλμάτων. Αυτό το δίχτυ προβάλλει κατακόρυφα έξω από το νερό γύρω από το κυρίως δίχτυ, αποτρέποντας τη διαφυγή των ψαριών.
4. Αγκυροβόλια. Αυτά χρησιμοποιούνται για να ασφαλίσουν το κλουβί στην συγκεκριμένη θέση. Τα αγκυροβόλια είναι συχνά συγκεκριμένα για τον τύπο του κλουβιού και για μεγαλύτερα κλουβιά καθορίζονται γενικά από τους κατασκευαστές.

Περαιτέρω λεπτομέρειες σχετικά με τα κλουβιά και την καλλιέργεια σε κλωβούς παρέχονται από τον Beveridge (2004) και οι ολοκληρωμένες πληροφορίες σχετικά με το σχεδιασμό, την εγκατάσταση, τη λειτουργία και τη διαχείριση κλουβιών υψηλής πυκνότητας πολυαιθυλενίου (HDPE) στη σύγχρονη βιομηχανική θαλάσσια υδατοκαλλι-

έργεια παρέχονται από τους Cardia and Lovatelli (2015).

3.3.4 Περιφραγμένες περιοχές - Ιχθυομάνδρες (Pens)

Οι περιφραγμένες περιοχές ή ιχθυομάνδρες (pens) ή περιφραγμένες με δίχτυ περιοχές μέσα σε λιμνοδεξαμενές (hapas) χρησιμοποιούνται σε ρηχά νερά, συνήθως σε λιμνοδεξαμενές, για να δημιουργήσουν ένα περιορισμένο περιβάλλον για την καλλιέργεια ψαριών και ορισμένων καρκινοειδών. Δεν είναι συνήθως μεγάλες και βρίσκονται στην τάξη των δεκάδων τετραγωνικών μέτρων ή λιγότερο. Τα τοιχώματα των περιβλημάτων μπορεί να είναι σε πολύ κοντινές αποστάσεις τοποθετημένοι πάσσαλοι, όπως στελέχη από μπαμπού ή κλαδιά μαγκρόβιων ή σύρματα και άλλα πλέγματα (**Εικόνα 3.6**). Αυτό το σύστημα καλλιέργειας ασκείται κυρίως στις αναπτυσσόμενες χώρες. Μια ενδιαφέρουσα εξαίρεση για την περιφραγμένη

περιοχή ρηχού νερού είναι η χρήση φραχτών με πλέγματα ή τοίχων για να περικλείουν βενθικά διαβιώντα χτένια. Αυτές οι περιφραγμένες περιοχές έχουν επαρκές ύψος για να αποτρέψουν τα χτένια να κολυμπήσουν πάνω από τον τοίχο. Μπορούν να χρησιμοποιούν πλωτήρες για να επιτρέψουν στο πλέγμα να ανεβαίνει και να κατεβαίνει, ακολουθώντας την παλίρροια (Quayle and Newkirk, 1989). Παρόμοιοι οριοθετημένοι χώροι μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για καλλιέργεια γαστερόποδων μαλακίων.

3.3.5 Υποστρώματα, Πάσσαλοι και Αιωρούμενες Καλλιέργειες

Χρησιμοποιούνται επιφάνειες, όπως θα ήταν αναμενόμενο, για την καλλιέργεια βενθικών και προσκολλημένων ειδών. Αυτή η κατηγορία θεωρείται ότι εφαρμόζεται σε είδη που καλλιεργούνται στο πεδίο για το μεγαλύτερο μέρος της καλλιεργειάς τους και όχι σε δεξαμενές με τεχνητές επιφάνειες, π.χ., καλλιέργεια αλιώτιδων που απαντάται εξολοκλήρου σε δεξαμενές.

Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται σε αυτή την κατηγορία είναι αρκετά ποικίλες, αντανakλώντας το εύρος της ποικιλίας των οργανισμών που καλλιεργούνται και τις μεταβαλλόμενες περιβαλλοντικές τους απαιτήσεις.

Ορισμένα δίθυρα προσκολλώνται μόνιμα σε σκληρά υποστρώματα. Οι προνύμφες τους εγκαθίστανται και μεταμορφώνονται σε ελκυστικά υποστρώματα, τα οποία εναποτίθενται στο πεδίο σε κατάλληλες τοποθεσίες και ώρες για να προσκολληθούν τα νεαρά άτομα. Τα νεαρά άτομα μπορούν τότε να αναπτυχθούν στο αρχικό υπόστρωμα ή να απομακρυνθούν σε άλλο σύστημα καλλιέργειας. Τα συστήματα δευτερογενούς καλλιέργειας μπορεί να είναι:

- διάτρητοι δίσκοι σε οριζόντιους δοκούς πάνω από το υπόστρωμα στην διαπαλιρροιακή ζώνη (**Εικόνα 5.2**).
- ανάρτηση σε διάφορα είδη δίχτυων, σχοινιών, δίσκων και καλαθιών, που κρέμονται κατά διαστήματα από μια οριζόντια πλωτή μακρά γραμμή (long-line) ή εξέδρα (raft) στην επιφάνεια (**Εικόνα 3.7, Εικόνα 2.14**).



Εικόνα 3.7. Ένα εκτατικό σύστημα εκτροφής με εξέδρες στην επαρχία Khánh Hòa, Βιετνάμ, χρησιμοποιείται για την καλλιέργεια στρειδιών και άλλων δίθυρων μαλακίων που διατηρούνται σε καλάθια που αιωρούνται από τις εξέδρες. Μεγαλύτερα δίχτυα είναι επίσης δεμένα μεταξύ των τμημάτων της εξέδρας και χρησιμοποιούνται για ιχθυοκαλλιέργεια μικρής κλίμακας. Πηγή: Αναπαράγεται με την άδεια από τον Paul Southgate.

Περισσότερες πληροφορίες σχετικά με αυτές τις τεχνικές και την εφαρμογή τους στην καλλιέργεια δίθυρων μαλακίων μπορούν να βρεθούν στο Κεφάλαιο 24.

Άλλοι βενθικοί οργανισμοί, π.χ. μακροφύκη και σπόγγοι, μπορούν να αναπτυχθούν συνδεδεμένοι με γραμμές που εκτείνονται πάνω από το υπόστρωμα.

3.3.6 Δεξαμενές και Καναλόμορφες Συγκοινωνούντες Δεξαμενές

Οι δεξαμενές (tanks) ακολουθούν δεύτερες τις λιμνοδεξαμενές (ponds) ως οι πιο συνήθεις κατασκευές στις υδατοκαλλιέργειες. Οι δεξαμενές γενικά βρίσκονται πάνω από το έδαφος σε μια σταθερή βάση και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εσωτερικούς ή εξωτερικούς χώρους. Οι δεξαμενές έχουν το πλεονέκτημα ότι επιτρέπουν τη χρήση εδαφών συνήθως ακατάλληλων για υδατοκαλλιέργεια, καθώς το νερό περιέχεται στις κατασκευές χωρίς να έρχεται σε επαφή με τα περιβάλλοντα εδάφη. Υπάρχει ένα ευρύ φάσμα διαστάσεων και μεγεθών των δεξαμενών, που αντιστοιχούν στο ευρύ φάσμα των χρήσεών τους στην καλλιέργεια μικροφυκών, μακροφυκών και διαφόρων σταδίων του κύκλου ζωής των ψαριών και των ασπόνδυλων (**Εικόνα 3.8, Εικόνα 3.9**). Το μέγεθος τους κυμαίνεται από δεκάδες λίτρα έως εκατοντάδες κυβικά μέτρα.

Οι καναλόμορφες συγκοινωνούντες δεξαμενές (raceways) είναι ουσιαστικά επιμήκεις δεξαμενές στις οποίες το νερό εισέρχεται στο ένα άκρο και εξέρχεται από το άλλο. Συνήθως αποτελούνται από επιμήκη, στενά και ρηχά συστήματα με συνεχή ροή νερού. Η περιορισμένη διατομή του διαδρόμου μαζί με τον ισχυρό ρυθμό ροής έχουν σχεδιαστεί για να διατηρούν τη συνεχή ροή προς μία κατεύθυνση κατά μήκος της καναλόμορφης δεξαμενής. Είναι ένα ιδιαίτερα κατάλληλο σύστημα για ορισμένα ψάρια, όπως τα σολομοειδή, που ζουν σε ρηχά ρέματα και κολυμπούν ενάντια στο ρεύμα (**Εικόνα 3.10**). Οι καναλόμορφες συγκοινωνούντες δεξαμενές γενικά απαιτούν μεγάλες ποσότητες νερού ανά μονάδα όγκου του συστήματος. Οι καναλόμορφες συγκοινωνούντες δεξαμενές γλυκού νερού, η πιο συνηθισμένη μορφή, πρέπει να τοποθετούνται κοντά σε ένα πηγάδι γλυκού νε-



Εικόνα 3.8 Μεγάλου μεγέθους (20.000 L) δεξαμενές καλλιέργειας εκκολαπτηρίου από υαλόνημα σε ένα εκκολαπτήριο στρειδιών στην Τασμανία της Αυστραλίας. Παρατηρήστε ότι η πρόσβαση στην κορυφή των δεξαμενών απαιτεί τη χρήση σκάλας, και την άνω (κορυφή) πλευρά της δεξαμενής γίνεται παροχή νερού, αέρα και μικροφυκών. Πηγή: Αναπαράγεται με την άδεια από τον Paul Southgate.

ρού ή σε ένα σημαντικό ρέμα που δεν αποξηραίνεται. Όπως και με άλλες υδατοκαλλιέργειες, χρειάζονται μια μη ρυπασμένη πηγή νερού. Ένα πιθανό πρόβλημα με τις καναλόμορφες συγκοινωνούντες δεξαμενές είναι η υποβάθμιση της ποιότητας του νερού κατά μήκος τους.

Οι δεξαμενές χρησιμοποιούνται συνήθως για την καλλιέργεια των αρχικών σταδίων ανάπτυξης των ψαριών, των δίθυρων μαλακίων και των καρκινοειδών, καθώς και για την καλλιέργεια ειδών ψαριών υψηλής αξίας. Οι καναλόμορφες συγκοινωνούντες δεξαμενές χρησιμοποιούνται επίσης για την καλλιέργεια ψαριών υψηλής αξίας. Όπως και με τις λιμνοδεξαμενές, υπάρχει μια ποικιλία συ-



Εικόνα 3.9. Μεγάλες δεξαμενές προνυμφικών καλλιέργειών κατασκευασμένες από σκυρόδεμα στο Ερευνητικό Ινστιτούτο Υδατοκαλλιέργειας (RIA3), στο Κεντρικό Εθνικό Κέντρο Αναπαραγωγής, στη συνοικία VanNinh, στην επαρχία KhanhHoa, στο Βιετνάμ. Οι δεξαμενές χρησιμοποιούνται για την καλλιέργεια ολοθούριων, γαρίδων και γαστερόποδων. Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από τον Paul Southgate.

στημάτων δεξαμενών που κυμαίνονται από συστήματα συνεχούς ροής (flow-through), στα οποία το σύστημα δεξαμενής είναι απλά ένας περιορισμός για τα ζώα, σε συστήματα επανακυκλοφορίας του νερού σε δεξαμενές (ενότητα 2.5.4), όπου το νερό επαναχρησιμοποιείται διατηρώντας ταυτόχρονα υψηλή την πυκνότητα των εκτρεφόμενων οργανισμών. Στην πλειονότητα τους οι καναλόμορφες δεξαμενές είναι συνεχούς ροής (flow-through).

3.3.6.1 Κατασκευή

Οι δεξαμενές και οι καναλόμορφες συγκοινωνούντες δεξαμενές είναι συνήθως κατασκευασμένες από σκυρόδεμα ή συνθετικά υλικά, όπως ο υαλοβάμβακας. Θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στην επιλογή του υλικού τα ακόλουθα:

- η αντοχή
- η τραχύτητα απέναντι στα ζώα
- το κόστος
- πιθανά υπολείμματα χημικών ουσιών
- το σχήμα

Το σχήμα πρέπει να επιτρέπει καλή ροή του νερού

για τη διατήρηση ομοιόμορφης ποιότητας του νερού και πρόληψη της δημιουργίας αποβλήτων σε “νεκρά-τυφλά σημεία”. Το σχήμα των δεξαμενών ποικίλλει σε μεγάλο βαθμό από ημισφαιρικό έως με επίπεδο πυθμένα και τετράγωνο. Η κυκλοφορία και η ικανότητα αυτοκαθαρισμού των δεξαμενών είναι συνάρτηση του σχήματος, του βάθους και της εναλλαγής του νερού. Οι δεξαμενές που είναι κυκλικές στο οριζόντιο επίπεδο με κωνικό πυθμένα θεωρούνται γενικά ότι παρέχουν τις καλύτερες ιδιότητες κυκλοφορίας και αυτοκαθαρισμού, για τη χαμηλότερη ροή ή τους ρυθμούς εναλλαγής του νερού. Η ροή του νερού στις καναλόμορφες δεξαμενές, που είναι γραμμική από την είσοδο στην έξοδο, διευκολύνει τον καθαρισμό και την ομοιόμορφη ποιότητα του νερού. Στην καλλιέργεια αλιωτίδων, με επίπεδο πυθμένα, ορθογώνιες ρηχές δεξαμενές συνδυάζονται με υψηλούς ρυθμούς εναλλαγής του νερού.

3.3.6.2 Είσοδοι και Έξοδοι

Όπως αναφέρθηκε για τις λιμνοδεξαμενές, η κύρια λειτουργία της εισόδου των δεξαμενών και



Εικόνα 3.10. Το προσωπικό του Εθνικού εκκολαπτηρίου ιχθύων του Creston καθοδηγεί την ιριδίζουσα πέστροφα (*Oncorhynchus mykiss*) στο ένα άκρο μιας καναλόμορφης δεξαμενής από σκυρόδεμα Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από την Υπηρεσία Ιχθύων και Άγριας Φύσης των ΗΠΑ.

των καναλόμορφων δεξαμενών είναι η ρύθμιση της εναλλαγής του νερού. Γενικά, η ροή του νερού εντός των δεξαμενών ρυθμίζεται με τη χρήση βαλβίδας (βάνας), ενώ η ροή προς τις καναλόμορφες δεξαμενές μπορεί να ρυθμίζεται είτε από βαλβίδες είτε από θυροφράγματα.

Οι εισροές σε δεξαμενές ή καναλόμορφες δεξαμενές, ωστόσο, πρέπει επίσης να παρέχουν κίνηση του νερού. Η παροχή του νερού στη δεξαμενή ή στην καναλόμορφη δεξαμενή πρέπει να είναι τέτοια ώστε να διευκολύνει την ομαλή μετακίνηση του νερού σε όλη τη δομή, διατηρώντας την ομοιόμορφη ποιότητα του νερού. Στις καναλόμορφες δεξαμενές επιτυγχάνεται συχνά η παροχή νερού σε πολλαπλά σημεία κατά μήκος του άκρου εισόδου στην καναλόμορφη δεξαμενή είτε μέσω διάτρητων σωλήνων είτε μέσω υπερχειλιστή. Η δι-

ατήρηση της ομοιόμορφης ποιότητας του νερού μπορεί επίσης να βοηθηθεί με την ύπαρξη πολλαπλών εισόδων κατά μήκος της καναλόμορφης δεξαμενής.

Το νερό στις δεξαμενές τροφοδοτείται γενικά μέσω σωλήνων και ο αριθμός των σημείων εισόδου, σε συνδυασμό με τις κατευθυντήριες εισόδους, ρυθμίζει την κίνηση του νερού και βοηθά με τον αερισμό σε ορισμένα συστήματα.

Οι λειτουργίες των εξόδων από δεξαμενές και καναλόμορφες δεξαμενές περιλαμβάνουν:

- Τη διατήρηση της στάθμης του νερού,
- Τη συγκράτηση των καλλιεργούμενων οργανισμών.
- Να επιτρέπουν την αποστράγγιση της κατασκευής
- Την αφαίρεση των αποβλήτων.

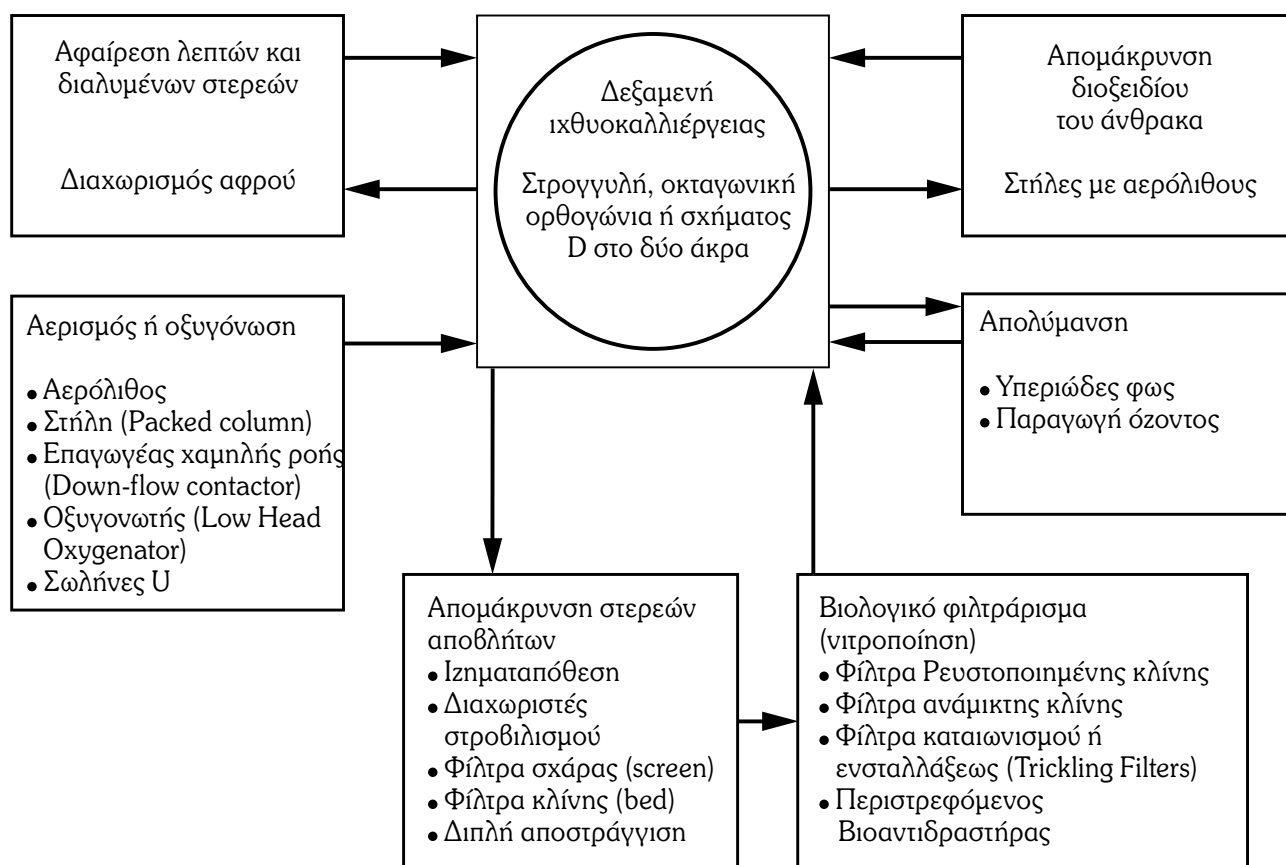
Οι έξοδοι για τις δεξαμενές αποτελούνται συνήθως από έναν κατακόρυφο ή οριζόντιο σωλήνα, από μια σχάρα (λεπτό πλέγμα) για την συγκράτηση των αποθεμάτων (ή από μια παγίδα συλλογής για το απόθεμα) και από σωλήνες που κατευθύνουν το νερό είτε πίσω σε ένα φρεάτιο είτε σε απόβλητα. Ωστόσο, δεδομένης της ποικιλομορφίας των συστημάτων δεξαμενών και του σχεδιασμού της ροής για τα συστήματα αυτά, υπάρχουν πολλά σχέδια εξαγωγής.

3.3.7 Σχεδιασμός Συστήματος Επανακυκλοφορίας του Νερού

Τα συστήματα επανακυκλοφορίας του νερού έχουν ελάχιστη σύνδεση με το περιβάλλον και την αρχική πηγή νερού και υπάρχει ελάχιστη εναλλαγή νερού κατά τη διάρκεια ενός κύκλου παραγωγής (ενότητα 2.5.4). Η χορήγηση τροφής, ο μεταβολισμός των ζώων, η μη καταναλωμένη τρο-

φή και η παραγωγή περιττωμάτων επηρεάζουν την ποιότητα του νερού. Κατά συνέπεια, πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στο σχεδιασμό των συστημάτων ανακύκλωσης στην υδατοκαλλιέργεια όσον αφορά την απομάκρυνση των αποβλήτων και τη διατήρηση της κατάλληλης ποιότητας του νερού. Τα διάφορα μέσα επεξεργασίας των αποβλήτων και ορισμένα τυπικά συστατικά που χρησιμοποιούνται στα συστήματα επανακυκλοφορίας παρουσιάζονται στην **Εικόνα 3.11**. Οι παράμετροι που απαιτούν ρύθμιση σε ένα εντατικό σύστημα επανακυκλοφορίας του νερού σε δεξαμενές είναι:

- Σωματιδιακά υλικά (καθηλωμένα, αιωρούμενα και λεπτά στερεά απόβλητα) στο σύστημα που προέρχονται από τις χορηγούμενες τροφές και τα περιττώματα.
- Αζωτούχα απόβλητα (μη ιονισμένη αμμωνία, ιονισμένη αμμωνία, νιτρώδη και νιτρικά, τα οποία συχνά εκφράζονται ως $\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$ και $\text{NO}_3\text{-N}$ αντίστοιχα).



Εικόνα 3.11 Οι διαδικασίες επεξεργασίας νερού και τα τυπικά εξαρτήματα ενός μεγάλου συστήματος επανακυκλοφορίας για εντατική καλλιέργεια ψαριών. Πηγή: Αναπαράγεται από τους Losordo et al. (2001) με άδεια του World Aquaculture Society.

- Διαλυμένα αέρια (O_2 , CO_2 και N_2)
- Παθογόνα
- pH
- Αλκαλικότητα

Για περισσότερες λεπτομέρειες για κάθε μία από αυτές τις πτυχές της ποιότητας του νερού συμβουλευτείτε το Κεφάλαιο 4.

Στα συστήματα ανακύκλωσης σε δεξαμενές, η ποιότητα του νερού διατηρείται με άντληση του νερού καλλιέργειας μέσω εξειδικευμένου εξοπλισμού φιλτραρίσματος και αερισμού. Τα τμήματα που αποτελούν τα εντατικά συστήματα εκτροφής με επανακυκλοφορία δεξαμενών περιγράφονται ακολούθως και περαιτέρω περιγραφές των διαφόρων τμημάτων αυτών των συστημάτων παρέχονται από τους Losordo et al. (2001).

Τα απόβλητα, συμπεριλαμβανομένων της μη καταναλωμένη τροφής, των περιττωμάτων και των μεταβολιτών των ιχθύων που παράγονται σε εντατικά συστήματα υδατοκαλλιέργειας, πρέπει να αντιμετωπιστούν πολύ πριν τα προϊόντα διάσπασης, όπως η αμμωνία, συσσωρευθούν σε τοξικά επίπεδα (βλέπε Κεφάλαιο 4). Υπάρχουν πολλές στρατηγικές για την αντιμετώπιση των αποβλήτων στα συστήματα υδατοκαλλιέργειας, οι οποίες περιλαμβάνουν την εφαρμογή ορθών πρακτικών διαχείρισης της χορηγούμενης τροφής, την πραγματοποίηση εναλλαγών νερού καθώς και τη χρήση κατάλληλου εξοπλισμού για την επεξεργασία των λυμάτων του νερού. Από τις τελευταίες, οι τύποι εξοπλισμού που χρησιμοποιούνται γενικά εξαρτώνται από το μέγεθος των σωματιδίων των αποβλήτων προϊόντος που πρόκειται να υποστεί επεξεργασία. Το μέγεθος των σωματιδίων των αποβλήτων μπορεί να ταξινομηθεί ως καθηλωμένα ($\geq 10 \mu m$), αιωρούμενα ($\geq 1 \mu m$), κολλοειδή ($< 1 \mu m - 10^{-3} \mu m$) και διαλυμένα ($< 10^{-3} \mu m$).

3.3.7.1 Φιλτράρισμα Στερεών

Η μέθοδος που χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση των στερεών αποβλήτων εξαρτάται από το είδος των αποβλήτων. Τα καθηλωμένα στερεά καθιζάνουν και μπορούν να απομακρυνθούν με τη βαρύτητα και την ροή, σε συνεχή βάση ή με σιφονισμό σε τακτική βάση. Εναλλακτικά, τα καθηλωμένα στερεά μπορούν να διατηρηθούν σε αιώρηση με συνεχή ανάδευση από τον αερισμό, τη ροή

του νερού και την κίνηση των εκτρεφόμενων οργανισμών και να απομακρυνθούν χρησιμοποιώντας ένα φίλτρο πλέγματος ή να αφεθούν να ρέουν σε λεκάνες ή δεξαμενές καθίζησης. Τα καθηλωμένα στερεά μπορούν επίσης να απομακρυνθούν με φυγοκεντρική δύναμη χρησιμοποιώντας ένα διαχωριστή στροβιλισμού ή υδροκυκλώνα.

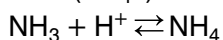
Τα αιωρούμενα στερεά που δεν θα καθηλωθούν με τη βαρύτητα, απομακρύνονται συνήθως από συστήματα ανακύκλωσης σε δεξαμενής χρησιμοποιώντας μηχανική διήθηση (μηχανικό φιλτράρισμα).

1. Τα φίλτρα σχάρας (διαχωρισμού) είναι κατασκευασμένα από ένα λεπτό πλέγμα μέσω του οποίου ρέει το νερό και τα αιωρούμενα στερεά κατακρατούνται στην σχάρα. Στη συνέχεια, τα φίλτρα σχάρας καθαρίζονται περιοδικά ή συνεχώς. Τα είδη των αυτοκαθαριζόμενων φίλτρων σχάρας περιλαμβάνουν περιστρεφόμενα φίλτρα σχάρας (screen filters) και περιστρεφόμενα φίλτρα τυμπάνου (drum filters).
2. Φίλτρα σωματιδίων, που περιλαμβάνουν φίλτρα άμμου (sand filters) και φίλτρα με διογκούμενα κοκκώδη υλικά (expandable granular media). Τα φίλτρα σωματιδίων απαιτούν επίσης καθαρισμό, μια διαδικασία που ονομάζεται “backwashing” όπου το νερό διατρέχει το διηθητικό υλικό ανάποδα και γίνεται πλύσιμο αυτού.
3. Οι διαχωριστές αφρού ή ξαφριστές (skimmers) πρωτεϊνών, χρησιμοποιούνται για την απομάκρυνση πολύ λεπτών αιωρούμενων στερεών και διαλυμένων οργανικών ενώσεων (DOCs, Dissolved Organic Compounds) που δεν μπορούν να απομακρυνθούν με μηχανικό φιλτράρισμα σε συστήματα επανακυκλοφορίας. Ο αέρας εγχέεται στον πυθμένα της κατακόρυφης στήλης κλασμάτωσης, συνήθως μέσω συστήματος venturi, σχηματίζοντας πολύ μικρές φυσαλίδες που ανέρχονται για να δημιουργήσουν αφρό στην επιφάνεια. Αυτός ο αφρός με τα απόβλητα στη συνέχεια συλλέγεται και απομακρύνεται. Ο διαχωρισμός του αφρού λειτουργεί μέσω της φυσικής προσρόφησης (συγκόλλησης) των διαλυμένων οργανικών ενώσεων (DOC) στις πολύ μικρές φυσαλίδες καθώς αυτές ανυψώνονται μέσω της στήλης κλασμάτωσης. Η αποτελεσματικότητα της απομάκρυνσης των DOC και των πολύ μικρών αιωρούμενων στερεών εξαρτά-

ται από το μέγεθος των φυσαλίδων αέρα (όσο μικρότερες τόσο το καλύτερο) και το χρόνο επαφής (όσο μεγαλύτερος τόσο το καλύτερο). Αύξηση του χρόνου επαφής επιτυγχάνεται συνήθως με την δημιουργία αντίστροφης ροής.

3.3.7.2 Αφαίρεση Αμμωνίας και Νιτρωδών

Τα τοξικά επίπεδα αμμωνίας και νιτρωδών μπορούν να δημιουργηθούν γρήγορα, ιδίως σε κλειστά εντατικά συστήματα υδατοκαλλιέργειας. Υπάρχει μια ισορροπία μεταξύ της συγκέντρωσης της τοξικής αμμωνίας (NH_3) και των λιγότερο τοξικών ιόντων αμμωνίου (NH_4^+) σε διάλυμα:



Το άθροισμα της αμμωνίας και του αμμωνίου είναι η Ολική Αμμωνία ή Ολικό Αμμωνιακό Άζωτο (TAN-Total Ammonia Nitrogen) και επειδή αυτά βρίσκονται σε ισορροπία, η μείωση μιας ένωσης θα μειώσει και την άλλη. Αυτή η ισορροπία, και ως εκ τούτου η τοξικότητα της αμμωνίας, εξαρτάται από το pH και τη θερμοκρασία από τα σχετικά επίπεδα τοξικότητας της αμμωνίας αυξάνουν καθώς αυτές οι μεταβλητές αυξάνουν επίσης (ενότητα 4.3). Η μείωση του pH και της θερμοκρασίας στα χαμηλότερα δυνατά αποδεκτά επίπεδα για τους καλλιεργούμενους οργανισμούς θα βοηθήσει ως εκ τούτου στην ανακούφιση από τα προβλήματα που σχετίζονται με την υψηλή συσσώρευση αμμωνίας στα κλειστά κυκλώματα, αλλά αυτό φυσικά δεν μπορεί να θεωρηθεί ως η μόνη λύση στη συσσώρευση τοξικών αζωτούχων ενώσεων.

Στην υδατοκαλλιέργεια, η αμμωνία και τα νιτρώδη άλατα (επίσης τοξικά για τα ψάρια) μπορούν να απομακρυνθούν αποτελεσματικά μέσω της νιτροποίησης στα συστήματα βιοδιήθησης. Αυτή η διαδικασία περιλαμβάνει τη βακτηριακή διάσπαση:

- 1) Ιόντα αμμωνίου (NH_4^+) σε νιτρώδη (NO_2^-)
 - 2) Νιτρώδη (NO_2^-) σε νιτρικά (NO_3^-). Τα Βήματα 1 και 2 (νιτροποίηση) συμβαίνουν ταυτόχρονα υπό αερόβιες συνθήκες με νιτρικά άλατα ως τελικό προϊόν. Γενικά, τα ψάρια έχουν υψηλή ανοχή στα νιτρικά άλατα, επομένως η περαιτέρω αναερόβια απονιτροποίηση, Βήμα 3, δεν θεωρείται κανονικά κρίσιμο εάν υπάρχει κάποια εναλλαγή νερού στο σύστημα.
 - 3) Νιτρικά (NO_3^-) σε αέριο άζωτο (N_2)
- Η συγκέντρωση στην οποία τα νιτρικά άλατα εί-

ναι τοξικά για τα θαλασσινά ψάρια μπορεί να ποικίλει σημαντικά, ανάλογα με το είδος. Για παράδειγμα, επίπεδα νιτρικών αλάτων $>500 \text{ mg NO}_3^-/\text{L}$ είναι τοξικά για τα γουρουνόψαρα (*Stephanolepis hispidus*), ενώ τοξικότητα από νιτρικά άλατα δεν εμφανίζεται έως ότου τα επίπεδα είναι $>3000 \text{ mg NO}_3^-/\text{L}$ για το είδος καλογρίτσας, *Stegastes leucostictus* (Pierce et al., 1993). Περισσότερες λεπτομέρειες για την ολική αμμωνία (TAN) εξετάζονται στην ενότητα 4.3.7.

Υπάρχουν πολλές διαθέσιμες τεχνολογίες για την αφαίρεση της ολικής αμμωνίας TAN από το νερό, συμπεριλαμβανομένης του αερισμού ή της έκφυσης (air stripping), την ιοντοανταλλαγή (ion exchange), του βιολογικού φιλτραρίσματος (biological filtration) και της απομάκρυνσης της με μικροφύκη. Το βιολογικό φιλτράρισμα είναι η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος. Τα βιολογικά φίλτρα διατίθενται σε ποικίλες μορφές, συμπεριλαμβανομένων των φίλτρων καταιονισμού (trickle filters), των βυθισμένων φίλτρων, των περιστρεφόμενων βιολογικών αντιδραστήρων (rotating biological contactors), των φίλτρων συμπυκνωμένων πύργων (packed tower filters) και των φίλτρων ρευστοποιημένης κλίνης (fluidized bed filters).

Τα βιολογικά φίλτρα προάγουν την αερόβια μετατροπή (νιτροποίηση) της ολικής αμμωνίας TAN ($\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$) σε νιτρώδη (NO_2^-) και νιτρικά NO_3^- μέσω της παροχής βιομέσων (biomedia) με μεγάλο λόγο επιφάνειας προς όγκο στον οποίο μπορούν να αναπτυχθούν τα βακτήρια νιτροποίησης. Ανεξάρτητα από τον τύπο του βιολογικού φίλτρου, η αποτελεσματικότητα του συστήματος νιτροποίησης θα εξαρτηθεί από τη συγκεκριμένη ειδική επιφάνεια (SSA, Specific Surface Area) των βιομέσων και τον χρόνο επαφής των λυμάτων, με τη βιομάζα και την τροφή του εκτρεφόμενου αποθέματος (διατροφική πρωτεΐνη) που καθορίζει το μέγεθος της μονάδας βιολογικού φιλτραρίσματος που απαιτείται.

3.3.7.3 Διαλυμένο οξυγόνο

Ο αερισμός είναι η διάλυση του οξυγόνου από την ατμόσφαιρα στο νερό. Είναι μια σημαντική πτυχή του σχεδιασμού των συστημάτων ανακύκλωσης του νερού των δεξαμενών, καθώς είναι απαραίτητο να διατηρηθεί το διαλυμένο οξυγόνο στο απαιτού-



Εικόνα 3.12 Αεριστήρες τύπου επιφανειακών πτερυγιοφόρων αναμοχλευτών (paddlewheels) είναι ένας αποτελεσματικός τρόπος διατήρησης καλών επιπέδων διαλυμένου οξυγόνου στην υδατοκαλλιέργεια σε λιμνοδεξαμενές. Σημειώστε ότι πρόκειται για μια πλαστικοποιημένη λιμνοδεξαμενή που είναι κατασκευασμένη πάνω σε ένα πορώδες υπόστρωμα (άμμο) με εναέριο δίκτυο για προστασία από τους θηρευτές. Άλλα παραδείγματα αεριστών λιμνοδεξαμενής φαίνονται στην Εικόνα 4.9 και 4.10. Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από τον Paul Southgate.

μενο επίπεδο για τους καλλιεργούμενους οργανισμούς. Είναι επίσης σημαντικό να διατηρηθεί το διαλυμένο διοξείδιο του άνθρακα κάτω από 20 mg/L για να διατηρηθεί το ευνοϊκό pH, να μειωθεί το άγχος και να μεγιστοποιηθεί η αύξηση. Υπάρχουν διάφοροι τύποι συσκευών αερισμού που χρησιμοποιούνται συνήθως σε συστήματα ανακύκλωσης νερού σε δεξαμενές, όπως αεριστήρες διαχύσεως (diffuser), μηχανικοί (mechanical) αεριστήρες όπως επιφανειακοί πτερυγιοφόροι αναμοχλευτές (paddle-wheels) (**Εικόνα 3.12**), αεριστήρες κατακόρυφων αντλιών (vertical pump) και αεριστήρες συσκευασμένων στηλών (packed column).

Οξυγόνωση είναι η διαδικασία μεταφοράς καθαρού οξυγόνου στο νερό και χρησιμοποιείται όταν η κατανάλωση οξυγόνου είναι μεγαλύτερη από την ικανότητα μεταφοράς οξυγόνου μέσω αερισμού χρησιμοποιώντας ατμοσφαιρικό αέρα (ο οποίος έχει περιεκτικότητα μόνο 21% οξυγόνο). Το οξυγόνο μπορεί να παρέχεται ως συμπιεσμένο αέριο οξυγόνο και υγρό οξυγόνο από εμπορικές πηγές ή μπορεί να παραχθεί επί τόπου από γεννήτρι-

ες οξυγόνου. Η επιλογή είναι ανάμεσα στο κόστος και την αξιοπιστία της παροχής ηλεκτρισμού για την παραγωγή οξυγόνου στο χώρο εκτροφής. Καθώς η μεταφορά του αερίου στο νερό με τη χρήση διαχυτών (diffusers) είναι ανεπαρκής (λιγότερο από 40% για το οξυγόνο), έχουν αναπτυχθεί εξειδικευμένα εξαρτήματα για την παροχή οξυγόνου σε συστήματα ανακύκλωσης του νερού σε δεξαμενές. Αυτά τα συστατικά μπορούν να μεταφέρουν αποτελεσματικά περισσότερο από το 90% του οξυγόνου στο νερό. Διατίθενται διάφορες συσκευές οξυγόνωσης.

3.3.7.4 Παθογόνα

Η συνεχής απολύμανση του νερού σε ένα σύστημα ανακύκλωσης του νερού σε δεξαμενές μπορεί να συμβάλει στον περιορισμό της εισαγωγής και της εξάπλωσης της ασθένειας και της συσσώρευσης παθογόνων βακτηρίων, π.χ. των ειδών *Vibrio*, σε επίπεδα στα οποία προκαλούν θνησιμότητα στο απόθεμα. Η ακτινοβολήση με υπεριώδη ακτι-

νοβολία (UV) και οζονισμός είναι δύο μέθοδοι συνεχούς απολύμανσης που χρησιμοποιούνται σε συστήματα ανακύκλωσης σε δεξαμενές.

Αυτή τη στιγμή ασχολείται πρωτίστως με συστήματα επανακυκλοφορίας σε δεξαμενές που χρησιμοποιούνται για εντατική καλλιέργεια, αλλά τώρα αναπτύσσονται συστήματα επανακυκλοφορίας του νερού μεγάλης κλίμακας για καλλιέργεια σε λιμνοδεξαμενές. Στις λιμνοδεξαμενές με εντατική καλλιέργεια, π.χ. καλλιέργεια γαρίδας, είναι δύσκολο να λειτουργήσουν χωρίς τακτική εναλλαγή νερού. Ωστόσο, αναπτύσσονται τώρα συστήματα λιμνοδεξαμενών στα οποία υπάρχει πολύ περιορισμένη ή καθόλου εναλλαγή νερού καθ' όλη τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου.

3.4 Υδραυλικές Εγκαταστάσεις και Αντλίες

Η ακόλουθη ενότητα εμπίπτει στο πεδίο εφαρμογής της μηχανικής του συστήματος υδατοκαλλιέργειας. Περαιτέρω αναλυτικές πληροφορίες σχετικά με τις πτυχές της μηχανικής της υδατοκαλλιέργειας και της μηχανικής των ρευστών μπορούν να ληφθούν από ένα κατάλληλο κείμενο, για παράδειγμα, του Wheaton (1977) που εξακολουθεί να θεωρείται ως το κλασικό κείμενο στον τομέα αυτό και πιο πρόσφατο, του Lekang (2013a) παρέχει ολοκληρωμένες πληροφορίες για αυτό το θέμα.

3.4.1 Σωλήνες

3.4.1.1 Γενικά

Οι σωληνώσεις, τα κανάλια και οι αντλίες αποτελούν βασικά συστατικά των περισσότερων συστημάτων υδατοκαλλιέργειας, εκτός από εκείνα που είναι ανοικτά και στατικά (ενότητα 2.5). Το νερό μπορεί να μεταφερθεί σε όλη την εγκατάσταση υδατοκαλλιέργειας χρησιμοποιώντας είτε σωλήνες είτε ανοικτά κανάλια. Τα πλεονεκτήματα των σωλήνων περιλαμβάνουν την ικανότητα αντλήσεως νερού υπό πίεση και μέχρι μιας βαθμίδας πίεσεως. Τα μειονεκτήματα των σωλήνων σε σύγκριση με τα ανοικτά κανάλια περιλαμβάνουν μεγαλύτερο κόστος κατασκευής ανά μονάδα ροής νερού, μεγαλύτερες απώλειες λόγω τριβής που οδηγούν σε υψηλότερο κόστος άντλησης και χαμηλότε-

ρες επιτεύξιμες ταχύτητες ροής νερού. Ωστόσο, τα κανάλια δεν μπορούν να παρέχουν νερό υπό πίεση ή σε βαθμίδες πίεσης. Ως εκ τούτου, οι σωλήνες χρησιμοποιούνται συνήθως για την παροχή νερού, εκτός εάν απαιτούνται πολύ μεγάλοι ρυθμοί ροής και τα κανάλια χρησιμοποιούνται για την αποχέτευση. Συχνά χρησιμοποιείται ένας συνδυασμός σωλήνων και καναλιών όπου οι μεγάλοι σωλήνες χρησιμοποιούνται για να “ανυψώσουν” το νερό σε μικρή απόσταση μέχρι την κλίση της πίεσης και στη συνέχεια σε κανάλια διανομής (Εικόνα 22.6). Αυτό παρέχει το πλεονέκτημα της άντλησης από τις εκβολές ποταμών, ποτάμια και θάλασσες στην εγκατάσταση εκτροφής και αποφεύγεται το κόστος που συνδέεται με τα μεγάλα μήκη συστήματα σωληνώσεων.

Ο στόχος της επιλογής σωλήνων είναι να επιτευχθεί το βέλτιστο μέγεθος του σωλήνα (συνήθως εκφράζεται ως εσωτερική διάμετρος σε mm), το σωστό υλικό των σωλήνων και οι καλύτερες τιμές πίεσης προς ικανοποίηση της πίεσης άντλησης και τις ικανότητες ροής που απαιτούνται για την εγκατάσταση.

Κατά την επιλογή σωλήνων για μια συγκεκριμένη ροή υπάρχει η δυνατότητα επιλογής μεταξύ:

- μικρότερων σωλήνων με μεγαλύτερη ταχύτητα ροής και πίεσης και
- μεγαλύτερων σωλήνων με χαμηλότερη ταχύτητα ροής και πίεση.

Το πλεονέκτημα της χρήσης μικρότερων σωλήνων είναι ότι το κόστος του κεφαλαίου της κατασκευής μειώνεται σημαντικά, με το κόστος των σωλήνων να αυξάνεται ραγδαία με την αύξηση της διαμέτρου και της πίεσης των σωληνώσεων. Τα μειονεκτήματα της χρήσης μικρότερων σωλήνων είναι ότι απαιτούν μεγαλύτερες ταχύτητες ροής για έναν δεδομένο όγκο νερού και παράγουν υψηλότερες δυνάμεις τριβής και αυξάνεται το κόστος άντλησης. Οι υψηλότερες δυνάμεις τριβής οδηγούν επίσης σε μεγαλύτερο ύψος πίεσης (pressure head) που πρέπει να αντληθεί ενάντια, αυξάνοντας την απαιτούμενη αντοχή των σωλήνων και, σε κάποιο βαθμό, αύξηση του κόστους κεφαλαίου της κατασκευής. Η επιλογή σωλήνων μικρότερης διαμέτρου κατά την αρχική κατασκευή μειώνει επίσης σημαντικά τη δυνατότητα επέκτασης των δυνατοτήτων του συστήματος στο μέλλον.

Επιπλέον, όσο υψηλότερος είναι ο ρυθμός ροής τόσο μεγαλύτερη είναι η πιθανότητα εμφάνισης του υδραυλικού πλήγματος (water-hammer)¹. Κατά κανόνα, είναι προτιμότερο να έχεις την ταχύτητα του νερού όσο το δυνατόν χαμηλότερη μέσα στους περιορισμούς του κόστους κεφαλαίου της κατασκευής.

Εάν είναι γνωστά ο ρυθμός ροής και η ταχύτητα ροής/νερού, τότε μπορεί να προσδιοριστεί ο απαιτούμενος σωλήνας. Οι κατασκευαστές θερμοπλαστικών σωληνώσεων μπορούν να παράσχουν γραφήματα, γνωστά ως νομογράμματα, για να διευκολύνουν τη σωστή επιλογή του σωλήνα με διασταύρωση σε πίνακα το ρυθμό ροής και της ταχύτητας του νερού. Οι σωληνώσεις όμως κατασκευάζονται σε διακριτά μεγέθη και σε κατηγορίες πίεσης (δηλ. η μέγιστη πίεση που μπορεί να λειτουργεί ένας σωλήνας), τα οποία δεν είναι όλα διαθέσιμα ή παρέχουν την ίδια επιλογή εξαρτημάτων. Γενικά, τα κριτήρια ταχύτητας δεν θα δώσουν σαφή απόφαση για τον καλύτερο σωλήνα που θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί και θα οδηγήσουν σε επιλογή δύο μεγεθών. Η σοφή απόφαση είναι να είναι συντηρητική και να επιλέξετε τον μεγαλύτερο σωλήνα.

Ένα άλλο συντηρητικό μέτρο στο σχεδιασμό του συστήματος είναι ύπαρξη εφεδρικών (εις διπλούν) αντλιών, κύριων σωληνώσεων και άλλων εξαρτημάτων του συστήματος. Ακόμα και στα καλύτερα διατηρημένα συστήματα μπορεί να υπάρξουν απότομες βλάβες στον εξοπλισμό. Η ύπαρξη εφεδρικών (εις διπλούν) εξαρτημάτων επιτρέπει την παράκαμψη του προβληματικού εξαρτήματος χωρίς να χρειάζεται να σταματήσετε τη λειτουργία του συστήματος ενώ επηρεάζονται οι επισκευές ή οι αντικαταστάσεις. Επιπλέον, υπάρχει μια σειρά δραστηριοτήτων συντήρησης ρουτίνας που μπορούν να διεξαχθούν χωρίς να χρειαστεί να κλείσει ολόκληρο το σύστημα. Ορισμένες από αυτές τις δραστηριότητες είναι:

- Συντήρηση των αντλιών και των άλλων εξαρτημάτων του συστήματος.
- Πλύσιμο των φίλτρων με αντίστροφη ροή (back-flushing) για την απομάκρυνση του ιζήματος ή για την ανανέωση των επιφανειών του φίλτρου.

- Καθαρισμός των σωλήνων εισαγωγής του νερού από βιολογική ρύπανση.
- Πλύσιμο των γενικών υδραυλικών για καθαρισμό των συσσωρευμένων ιζημάτων.

3.4.1.2 Απώλειες Λόγω Τριβής

Οι απώλειες λόγω τριβής οφείλονται σε παράγοντες όπως ο τύπος της ροής, ο ρυθμός της ροής ή η ταχύτητα, το μήκος του σωλήνα και η τραχύτητα της εσωτερικής επιφάνειας του σωλήνα. Στα συστήματα υδατοκαλλιέργειας, η ροή είναι τυρβώδης, δημιουργώντας εσωτερικά στροβιλισμούς που συγκρούονται με τα πλευρά του σωλήνα, προκαλώντας αυξημένη εσωτερική τριβή με αποτέλεσμα την αύξηση των απωλειών ενέργειας. Ο ρυθμός ροής εξαρτάται από τις απαιτήσεις της εγκατάστασης σε νερό, ενώ η ταχύτητα ροής προκύπτει από την απαιτούμενη ροή και τη διάμετρο του σωλήνα. Το μήκος των σωλήνων είναι ένα αποτέλεσμα του σχεδιαγράμματος και του σχεδίου εγκαταστάσεων. Η τραχύτητα της εσωτερικής επιφάνειας του σωλήνα οφείλεται στην απόξεση από την άμμο, στον σχηματισμό επικαθήσεων, την εναπόθεση ιζημάτων και βίο-ρύπανσης. Οι απώλειες λόγω τριβής θα ποικίλουν επίσης ανάλογα με την αλατότητα και τη θερμοκρασία, αλλά αυτές οι αλλαγές είναι μόνο μικρές.

Οι απώλειες λόγω τριβής μετρώνται γενικά σε μονάδες ανύψωσης (m) ή αλλιώς διαφορά πίεσης. Οι απώλειες λόγω τριβής για τους σωλήνες είναι διαθέσιμες στα νομόγραμμα και τα διαγράμματα ροής από τον κατασκευαστή για τις τυποποιημένες συνθήκες. Οι Yoo and Boyd (1994) και Lekang (2013a) παρέχουν περαιτέρω πληροφορίες σχετικά με τον τρόπο με τον οποίο καθένας από τους ανωτέρω παράγοντες επηρεάζει την τριβή και, ως εκ τούτου, πώς οι αποφάσεις σχετικά με το μέγεθος των σωλήνων και τους ρυθμούς ροής μπορεί να επηρεάσουν τη λειτουργία του συστήματος.

3.4.1.3 Εξαρτήματα

Υδραυλικά εξαρτήματα είναι τα κομμάτια που:

- Συνδέουν σωλήνες ή ενσωματώνουν εξαρτήματα στη γραμμή
- Ανακατευθύνουν και διαχωρίζουν τη ροή
- αλλάζουν τη διάμετρο του σωλήνα.

¹ Ένα φαινόμενο παροδικής πίεσης που προκαλείται από ταχεία διακοπή ή αλλαγή της κατεύθυνσης της ροής (Lekang, 2013a).

Όλα αυτά τα εξαρτήματα παρέχουν αντίσταση στη ροή και πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στον υπολογισμό της τριβής εντός του συστήματος.

Απώλειες που οφείλονται σε εξαρτήματα εξαρτώνται από:

- Τον τύπο των εξαρτημάτων (π.χ. γωνίες, σύνδεσμοι)
- Απότομες αλλαγές της ροής
- Υλικά και κατάσταση της εσωτερικής επιφάνειας
- Ταχύτητα κίνησης του νερού

Εκτός από τα εξαρτήματα, μπορεί να υπάρχουν δραματικές απώλειες της πίεσης από ενσωματωμένα εξαρτήματα (π.χ. αποστειρωτές UV και φίλτρα άμμου). Αυτές οι επιδράσεις στο ρυθμό ροής παρέχονται από τους κατασκευαστές και περιγράφονται από τους Yoo and Boyd (1994) και Lekang (2013a).

3.4.1.4 Επιλογή Υδραυλικών Υλικών

Για την πλειονότητα των εφαρμογών, και κυρίως για την παροχή του νερού σε μεγάλες αποστάσεις με διάμετρο σωλήνα μικρότερη από 200 mm, η επιλογή των υδραυλικών υλικών διακρίνονται σε δύο τύπους γενικής χρήσης, με καλή σχέση κόστους-απόδοσης θερμοπλαστικά: άκαμπτο PVC (πολυβινυλοχλωρίδιο) και πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας (HDPE). Για ειδικές εφαρμογές, π.χ. σε εξωτερικούς χώρους εκτεθειμένους σε υψηλά επίπεδα ακτινοβολίας UV, υψηλές θερμοκρασίες (>50 °C) ή υψηλή τριβή λόγω άμμου που μεταφέρεται με το νερό, και σε περιοχές υψηλών επιπτώσεων, ειδικά δίπλα σε μεγάλες αντλίες, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σωλήνας από ακρυλονιτρίλιο βουταδιένιο στυρένιο (ABS), αν και το υλικό αυτό μπορεί να είναι πιο ακριβό. Όταν η εσωτερική διάμετρος υπερβαίνει τα 200 mm, και ιδίως σε περιοχές υψηλών επιπτώσεων, τείνουν να χρησιμοποιούνται το σκυρόδεμα και ο χάλυβας, καθώς αυτά είναι πιο ανθεκτικά και με καλή σχέση κόστους-απόδοσης.

3.4.2 Δύο Κοινά Προβλήματα στο Σχεδιασμό των Υδραυλικών

Δύο από τα πιο κοινά προβλήματα στο σχεδιασμό των υδραυλικών είναι το υδραυλικό πλήγμα ή το κροτάλισμα του υδροσωλήνα (water hammer) και η βιολογική ρύπανση (bio-fouling).

Το υδραυλικό πλήγμα προκαλείται από την απότομη διακοπή ή αλλαγή στην κατεύθυνση της ροής (Lekang, 2013a) που δημιουργεί ένα κύμα πίεσης επιστροφής (backpressure), με αποτέλεσμα ένα δυνατό χτύπημα (πλήγμα), εκ ου και ό ορος “υδραυλικό πλήγμα”. Είναι ο θόρυβος που μπορεί να ακουστεί στα οικιακά υδραυλικά όταν ανοίγουν οι βρύσες. Το κύμα της πίεσης προστίθεται στην υπάρχουσα πίεση του συστήματος και έχει την ικανότητα να προκαλέσει ρωγμές ή μόνιμες ζημιές στις σωληνώσεις, στις αντλίες και στα συνδεδεμένα εξαρτήματα. Το μέγεθος του κύματος πίεσης σχετίζεται με την ταχύτητα του νερού στο σωλήνα, το μήκος του σωλήνα και το ρυθμό αλλαγής της ροής.

Ο κίνδυνος του υδραυλικού πλήγματος αυξάνεται με:

- Την ταχύτητα του νερού
- Το μήκος του συνεχούς (χωρίς διακοπές) σωλήνα
- Την απότομη αλλαγή της ροής

Ως αποτέλεσμα, συνιστάται η ταχύτητα του νερού στους σωλήνες να διατηρείται κάτω από 1,2 m/s. Είναι επίσης σημαντικό να γνωρίζουμε τις περιοχές υψηλού κινδύνου στο σχεδιασμό των υδραυλικών εγκαταστάσεων. Αυτές περιλαμβάνουν παραμέτρους σχεδίασης που δημιουργούν αλλαγή της ροής στο τέλος ενός μεγάλου μήκους συνεχούς (χωρίς διακοπές) σωλήνα.

Στα συστήματα υδατοκαλλιέργειας, το υδραυλικό πλήγμα προέρχεται συχνά από το γρήγορο άνοιγμα μιας γραμμής με αποτέλεσμα μια υψηλής ταχύτητας ροή κατά μήκος του σωλήνα. Αυτό το νερό συναντά τελικά μια στροφή 90° ή, ίσως, μια συνήθως κλειστή βαλβίδα, με συνέπεια μια ξαφνική αλλαγή στη ροή και την πρόκληση του υδραυλικού πλήγματος. Το γρήγορο άνοιγμα μιας γραμμής μπορεί να προκύψει είτε από την ενεργοποίηση μιας βαλβίδας πάρα πολύ γρήγορα είτε από την ενεργοποίηση μιας αντλίας. Υπό αυτές τις συνθήκες, είναι σημαντικό να ενεργοποιούνται οι βαλβίδες αργά. Ομοίως, η χρήση αντλιών “απαλής εκκίνησης” μειώνει τον κίνδυνο εμφάνισης υδραυλικού πλήγματος από αντλίες που ξεκινούν την λειτουργία τους. Ο κίνδυνος του υδραυλικού πλήγματος μπορεί επίσης να μετριαστεί με την εξασφάλιση ότι ο σωλήνας λήψης είναι γεμάτος νερό, μειώνοντας έτσι την προκύπτουσα ροή από την αντλία, ή εξα-

σφαλίζοντας ότι δεν υπάρχουν απότομες στροφές ή κλειστές βαλβίδες στην πορεία της ροής. Όπως με το άνοιγμα μιας βαλβίδας πάρα πολύ γρήγορα, το κλείσιμο μιας βαλβίδας σε μια ρέουσα γραμμή πάρα πολύ γρήγορα θα ενισχύσει τον κίνδυνο υδραυλικού πλήγματος. Αυτό διορθώνεται εύκολα με τον προσδιορισμό και τη σήμανση κρίσιμων βαλβίδων ή με τη χρήση βαλβίδων που απαιτούν αρκετές στροφές για να κλείσουν, π.χ. βάνες ή βαλβίδες θύρας (gate valves), που παρατείνουν έτσι το χρόνο κλεισίματος.

Οι δυσμενείς επιπτώσεις των οργανισμών που δημιουργούν βιολογική ρύπανση (bio-fouling), τα φύκη, οι σπόγγοι, τα θυσανόποδα καρκινοειδή (βάλανοι) και άλλα ζώα με κελύφη έχουν αποδειχθεί έως τώρα στις εκτροφές στα κλουβιά. Η Βιολογική ρύπανση συμβαίνει επίσης και στις εσωτερικές επιφάνειες των υδραυλικών των υδατοκαλλιεργειών. Είναι ένας σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει τις επιδόσεις στα συστήματα θαλασσινού νερού, αλλά έχει μικρότερη επίδραση στα συστήματα γλυκού νερού. Η βιολογική ρύπανση κάνει πιο άγριες τις επιφάνειες και ως εκ του αυξάνει την τριβή στις εσωτερικές επιφάνειες των σωλήνων και των εξαρτημάτων. Εμποδίζει επίσης τις προστατευτικές σχάρες και τις κοιλότητες των σωλήνων. Απαιτείται σημαντική προσπάθεια για τη μείωση της βιολογικής ρύπανσης σε συστήματα θαλασσινού νερού και μπορεί να ελεγχθεί μόνο με τακτική συντήρηση. Είναι σημαντικό κατά τη διάρκεια της συντήρησης να αφαιρεθούν τόσο οι οργανισμοί που προκαλούν την ρύπανση όσο και τα ασβεστούχα κελύφη τους, εάν υπάρχουν. Πολλές μέθοδοι, π.χ., έκπλυση με γλυκό νερό και ζεστό νερό, και ανοξία (με την διατήρηση στάσιμου νερού στα υδραυλικά για μεγάλο χρονικό διάστημα), απλά σκοτώνουν τον οργανισμό, αλλά δεν αφαιρούν τα κελύφη. Η πιο κοινή και αποτελεσματική μέθοδος ελέγχου της βιολογικής ρύπανσης είναι η απομάκρυνση των οργανισμών που προκαλούν την ρύπανση διοχετεύοντας υπό πίεση μια άκαμπτη δομή διαμέσω του σωλήνα. Οι συσκευές αυτές καθαρισμού σωληνώσεων είναι γνωστές ως “γουρουνάκια” (pigs) ή “φίδια” (snakes) και η πρόσβαση των συσκευών αυτών (είσοδος και έξοδος) από το σύστημα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά το σχεδιασμό του συστήματος, π.χ. με την ύπαρξη κόμβων σχήματος T αντί για γωνίες 90°. Υπό πίεση, τα “γουρουνά-

κια” ή τα “φίδια” ξύνουν την εσωτερική επιφάνεια του σωλήνα, αφαιρώντας τόσο τους οργανισμούς όσο και τους εξωσκελετούς. Τα αντιρρυπαντικά χρώματα που χρησιμοποιούνται συνήθως στη θαλάσσια βιομηχανία μπορεί να μην είναι κατάλληλα για εφαρμογή στην υδατοκαλλιέργεια, καθώς μπορούν να περιέχουν βαρέα μέταλλα και οργανικά βιοκτόνα. Η βιολογική ρύπανση, ιδίως στα θαλάσσια περιβάλλοντα, εξακολουθεί να αποτελεί σημαντική πρόκληση για τον κλάδο της υδατοκαλλιέργειας. Οι Fitridge et al. (2012) συνέστησαν έξι κριτήρια για την στρατηγική καταπολέμησης της ρύπανσης: (1) να είναι αποτελεσματικά έναντι ενός ευρέος φάσματος οργανισμών που προκαλούν ρύπανση, (2) να είναι περιβαλλοντικά αβλαβή, (3) δεν έχουν αρνητικές επιπτώσεις στα καλλιεργούμενα είδη, (4) να μην αφήνουν υπολείμματα στα καλλιεργούμενα είδη, (5) να είναι σε θέση να αντέχουν στο χειρισμό και τον καθαρισμό στην ξηρά και (6) να είναι οικονομικά βιώσιμα.

3.4.3 Σχεδιασμός Ανοικτού Καναλιού

Όταν απαιτούνται υψηλές ροές νερού είτε προς ή από το σύστημα, και δεν υπάρχει ανάγκη να υπάρχει ροή υπό πίεση, καθώς το νερό μπορεί να ρέει από τη βαρύτητα, είναι οικονομικώς αποδοτικότερο να αντικατασταθούν οι σωλήνες με ανοικτά κανάλια (αυλάκια). Τα πλεονεκτήματα των ανοικτών καναλιών σε σύγκριση με τους κλειστούς σωλήνες έχουν ήδη εξεταστεί, αλλά υπάρχει ένα περαιτέρω πλεονέκτημα της ικανότητας υψηλής ροής που τους επιτρέπει να διαχειρίζονται υψηλές παροδικές ροές (π.χ., αποστράγγιση έκτακτης ανάγκης των δεξαμενών ή λιμνοδεξαμενών). Υπάρχουν επίσης τα πλεονεκτήματα της ευκολίας πρόσβασης για τον καθαρισμό ρουτίνας και την απολύμανση, και τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν ως φρεάτιο συγκομιδής.

Ο αγωγός είναι γενικά ορθογώνιος, ημικυκλικός ή σχήματος U. Είναι συνήθως από χύμα ή σκυρόδεμα. Το σκυρόδεμα χρησιμοποιείται συχνά στα χωμάτινα κανάλια για να προστατεύσει περιοχές ευάλωτες στη διάβρωση, όπως το τμήμα του καναλιού αμέσως μετά από την αντλία παροχής νερού. Τα κανάλια από σκυρόδεμα χρησιμοποιούνται επίσης για τα συστήματα δεξαμενών, και εσωτερικά (στεγασμένα) και υπαίθρια. Ο όγκος του

νερού που μπορεί να μετακινηθεί από ένα κανάλι σχετίζεται με το μέγεθος, το σχήμα, το δομικό υλικό και την κλίση του καναλιού. Περισσότερες πληροφορίες σχετικά με τον τρόπο με τον οποίο καθένας από τους ανωτέρω παράγοντες επηρεάζει τη μέγιστη ροή για ένα σχέδιο καναλιού μπορεί να ληφθεί από τους Yoo and Boyd (1994).

3.4.4 Αντλίες

Μια σημαντική πτυχή των συστημάτων υδατοκαλλιέργειας είναι η σωστή επιλογή της αντλίας. Αν και αυτό το έργο εκτελείται καλύτερα από ειδικευμένο προσωπικό, είναι σημαντικό να γνωρίζουμε τους τύπους των διαθέσιμων αντλιών και να κατανοήσουν τους παράγοντες που επηρεάζουν την επιλογή της αντλίας. Οι αντλίες και η άντληση καλύπτονται λεπτομερώς από τους Yoo and Boyd (1994) και τον Lekang (2013a).

Η ποικιλία των αντλιών που χρησιμοποιούνται στην υδατοκαλλιέργεια μπορεί γενικά να ταξινομηθεί σε δύο ομάδες:

- μηχανικά καθοδηγούμενες (θετικής μετατόπισης και ροτοδυναμικές αντλίες).
- καθοδηγούμενες με αέρα (αεροανυψωτικές αντλίες -airlift pumps) και αντλίες έρματος (ballast pumps) αέρα/νερού).

Η πλειονότητα των αντλιών που χρησιμοποιούνται για την παροχή νερού σε συστήματα υδατοκαλλιέργειας είναι ροτοδυναμικές αντλίες. Λειτουργούν με τη συνεχή μετάδοση της ενέργειας στο νερό χρησιμοποιώντας μια περιστρεφόμενη φτερωτή, μια προπέλα ή ένα στροφείο (ρότορα). Υπάρχουν τρεις τύποι ροτοδυναμικών αντλιών.

3.4.4.1 Φυγοκεντρικές (Ακτινικής Ροής) Αντλίες

Το νερό εισέρχεται στην περρωτή αξονικά (κατά μήκος του άξονα περιστροφής) και εξέρχεται ακτινικά σε φυγοκεντρικές αντλίες. Η πίεση οφείλεται στη φυγόκεντρο δύναμη της φτερωτής στο νερό και στο νερό που περιέχεται από το περίβλημα της αντλίας. Οι φυγοκεντρικές αντλίες έχουν χαρακτηριστικό υψηλής ανύψωσης/χαμηλού όγκου, ώστε να μπορούν να αντλούν ενάντια σε ύψος ανύψωσης 15 m. Έχουν επίσης τα καλύτερα χαρακτηριστικά ανύψωσης από αναρρόφηση.

Εντούτοις, αποδίδουν καλύτερα εάν βρίσκονται όσο το δυνατόν πιο κοντά στην πηγή του νερού. Αν και οι φυγοκεντρικές αντλίες θα ρουφήξουν νερό, θα το κάνουν μόνο εάν είναι γεμάτες, δηλαδή εάν η γραμμή στην πλευρά αναρρόφησης και η αντλία είναι γεμάτα με νερό.

3.4.4.2 Αντλίες Αξονικής Ροής

Στις αντλίες αξονικής ροής (axial flow pumps), το νερό εισέρχεται και εξέρχεται κατά μήκος του κινητήριου άξονα (αξονικά). Η πίεση παράγεται από τη δράση των λεπίδων της προπέλας (πτερύγια) απευθείας στο νερό. Οι αντλίες αξονικής ροής χρησιμοποιούνται για χαμηλό ύψος πιέσεως, γενικά <7 m, και υψηλό όγκο παροχής, 1 m³/s. Ένας περιορισμός αυτών των αντλιών είναι ότι δεν θα αντλήσουν το νερό, γι' αυτό ή προπέλα πρέπει πάντα να είναι βυθισμένη στο νερό.

3.4.4.3 Αντλίες Μεικτής Ροής

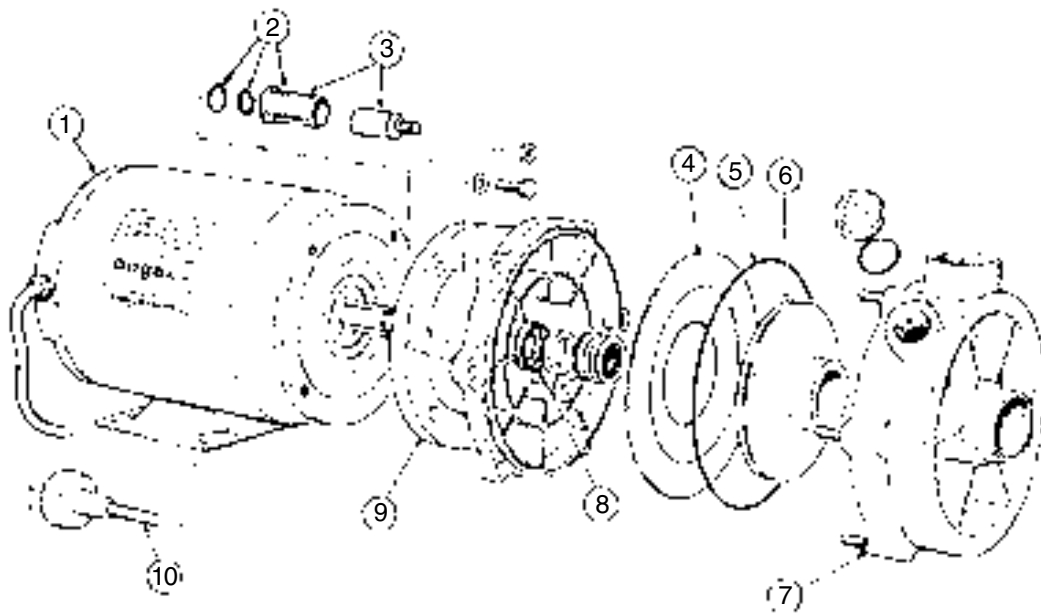
Στις αντλίες μικτής ροής, το νερό εισέρχεται αξονικά και εκρέει αξονικά και ακτινωτά. Η πίεση που αναπτύσσεται οφείλεται στον συνδυασμό της φυγοκέντρου δύναμης και της ανύψωσης λόγω των ελικών. Αυτές οι αντλίες είναι κατάλληλες για μεσαίο ύψος πιέσεως, 5-15 m, και εφαρμογές παροχής.

3.4.4.4 Εξαρτήματα Αντλίας

Οι αντλίες αποτελούν αναπόσπαστο μέρος ενός συστήματος υδατοκαλλιέργειας και η κατανόηση της δομής και της συντήρησής τους είναι σημαντική για τους υδατοκαλλιεργητές. Υπάρχουν δύο κύρια στοιχεία σε μια περιστροφική (rotodynamic) αντλία. Αυτά είναι το περιστρεφόμενο στοιχείο (περρωτή ή έλικα στον άξονα) και τα στατικά στοιχεία (περίβλημα, στυπιοθλίπτες (διάταξη με υλικά πλήρωσης που στεγανοποίηση) και τα ρουλεμάν του άξονα).

Οι φυγοκεντρικές αντλίες (**Εικόνα 3.13**) έχουν τα ακόλουθα εξαρτήματα:

1. **Περίβλημα (κέλυφος).** Το περίβλημα μετατρέπει την ταχύτητα του νερού αφήνοντας την περρωτή μέσα στο ύψος πιέσεως. Υπάρχουν δύο τύποι περιβλημάτων που χρησιμοποιούνται



Εικόνα 3.13. Διάγραμμα που απεικονίζει το συγκρότημα και τα κύρια εξαρτήματα μιας φυγοκεντρικής αντλίας. Τα κύρια εξαρτήματα περιλαμβάνουν: (1) ηλεκτροκινητήρα, (2/3) συγκρότημα άξονα - χιτώνιου, (4) ανακλαστήρα, (5) δακτύλιος στεγανοποίησης ('O' ring), (6) στροφείο - πτερωτή, (7) περίβλημα - θήκη, (8) τσιμούχα - παρεμβύσμα, (9) πηνίο, (10) τροφοδοσία. Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από την Onga Pty Ltd.

στις φυγοκεντρικές αντλίες. Κέλυφος για σπειροειδείς ή ελικοφρακτες αντλίες (volute casing) που αυξάνουν τον όγκο του περιβλήματος με τη σπείρα, με αποτέλεσμα τη μείωση της ταχύτητας της ροής του νερού και τη δημιουργία πίεσης. Αντλίες με κέλυφος σταθερών πτερυγίων (ή διαχυτήρων) που οδηγούν το νερό μέσω μιας σειράς πτερυγίων διάχυσης. Ο διαχύτης επιτρέπει τη μετατροπή σε πίεση μεγαλύτερης ποσότητας ενέργειας που μεταδίδεται στο νερό, με αποτέλεσμα υψηλότερη απόδοση.

2. **Άξονας και ρουλεμάν.** Ο άξονας μεταδίδει τη ροπή του κινητήρα στην πτερωτή. Ο άξονας υποστηρίζεται από ρουλεμάν (τριβείς ή έδρανα) για να κεντράρει τον άξονα και την πτερωτή τόσο ακτινικά όσο και αξονικά και να επιτρέπει την περιστροφή του άξονα. Τα ρουλεμάν μπορούν να είναι είτε σφραγισμένα είτε να λιπαίνονται με νερό.
3. **Μηχανικοί Στυπαιοθλίπτες (μηχανική στεγανοποίηση με τσιμούχες).** Οι μηχανικοί στυπαιοθλίπτες εμποδίζουν τη διαρροή νερού γύρω από τον άξονα, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει στην φθορά των ρουλεμάν, του άξονα και του κινητήρα. Τα παρεμβύσματα (τσιμούχες) είναι συνήθως από μαλακό πλαστικό κομμένα σε σχήμα δακτυλίου και τοποθετούνται σφιχτά

γύρω από τον άξονα και το χιτώνιο του άξονα. Τα παρεμβύσματα (τσιμούχες) είναι φτηνά και αντικαθίστανται εύκολα. Είναι απαραίτητο να υπάρχουν σε απόθεμα ανταλλακτικά παρεμβύσματα για σημαντικές αντλίες.

4. **Πτερωτές (στροφεία).** Υπάρχουν τρεις τύποι πτερωτών (impellers) και η πτερωτή που ταιριάζει καλύτερα στην αντλία διέπεται γενικά από τις απαιτήσεις σε νερό που πρέπει να αντληθεί. Οι ανοικτού τύπου πτερωτές (open impellers) έχουν πτερύγια (vanes) καλούμενες πτερυγιοφόρες αντλίες που συνδέονται με μια κεντρική πλήμνη και υποστηρίζονται από τα πλευρά. Μια μικρή περιοχή πρόσοψης έχει ως αποτέλεσμα μεγάλα διάκενα, που επιτρέπουν την άντληση στερεών λυμάτων διαλυμένων σε νερό. Εντούτοις, οι ανοικτού τύπου πτερωτές δεν είναι πολύ αποδοτικές επειδή επιτρέπουν την ολίσθηση της πτερωτής μέσω του νερού και κατά συνέπεια τη μείωση της απόδοσης. Οι πτερωτές ημικλειστού τύπου (semi-closed impellers) έχουν πλήρη πρόσοψη στην οποία είναι συνδεδεμένα τα πτερύγια. Αυτό σημαίνει ότι η απόδοση της αντλίας αυξάνεται, αλλά δεν μπορεί διαχειριστεί στερεά όπως μπορούν οι ανοικτού τύπου πτερωτές. Οι κλειστού τύπου πτερωτές (enclosed impellers) έχουν μια πλήρη πρόσοψη

που συνδέεται με κάθε πλευρά των πτερυγίων. Εσωκλείοντας το νερό ελαχιστοποιείται η μείωση της απόδοσης και έτσι αυξάνει την αποδοτικότητα της πτερωτής. Ωστόσο, οι μικρές οδοί για την κίνηση του νερού έχουν ως αποτέλεσμα την κακή ικανότητα αυτών των αντλιών να διαχειρίζονται στερεά διαλυμένα μέσα στο νερό.

Οι αντλίες αξονικής ροής είναι απλούστερες στην κατασκευή από τις φυγοκεντρικές αντλίες, που αποτελούνται βασικά από μια προπέλα μέσα σε έναν σωλήνα με έναν μηχανοκίνητο άξονα. Όπως περιγράφεται παραπάνω, αυτές οι αντλίες είναι καλύτερες για χαμηλό ύψος άντλησης, αν και οι πολυβάθμιες ή πολυσταδιακές αντλίες (multistage pumps) μπορούν να πραγματοποιήσουν ύψος άντλησης έως και 40 m, και χρησιμοποιούνται για την άντληση μεγάλου όγκου. Το χαμηλό υδροστατικό ύψος αυτών των αντλιών σημαίνει ότι δεν χρησιμοποιούνται για τη παροχή νερού σε σωλήνες και η κύρια χρήση τους είναι για την παροχή νερού στα ανοικτά κανάλια ή άμεσα σε λιμνοδεξαμενές.

3.4.5 Επιλογή Αντλίας

Εκτός από, ή με τη χρησιμοποίηση των υπηρεσιών ενός εμπειρογνώμονα, οι υδατοκαλλιεργητές υποχρεούνται να επιλέξουν τον τύπο, τη χρήση και το μοντέλο της αντλίας, και εναλλακτικό μέγεθος και ταχύτητα των πτερωτών, που θα ταιριάζει το σύστημά τους. Η απόφαση αυτή ενισχύεται από τα δεδομένα απόδοσης για τις αντλίες που παρέχονται από τους κατασκευαστές. Για ένα συγκεκριμένο σώμα αντλίας, παρουσιάζονται δεδομένα για μια σειρά διαφορετικών μεγεθών πτερωτών και ταχυτήτων άντλησης (Lekang, 2013a; Yoo and Boyd, 1994).

Οι κατασκευαστές θα παρέχουν γενικά δεδομένα απόδοσης της αντλίας με τη μορφή καμπυλών ικανότητας ύψους/ροής (H-Q). Οι καμπύλες H-Q είναι η γραφική αναπαράσταση της απόδοσης σε ροή της αντλίας έναντι του συνολικού ύψους άντλησης (δυνάμεις τριβής και ανύψωσης) έναντι στις οποίες δρα η αντλία. Το σχήμα της καμπύλης χωρητικότητας H-Q είναι κρίσιμο. Η καμπύλη πρέπει να μειώνεται ομοιόμορφα από το υψηλό ύψος άντλησης/χαμηλή ροή έως τις συνθήκες χαμηλό ύψος/υψηλή

ροή. Εάν η καμπύλη έχει ένα επίπεδο σημείο ή μειώνεται απότομα στη χαμηλή ροή, η αντλία μπορεί να μην λειτουργήσει ομαλά σε αυτό το εύρος. Επιπρόσθετα από την καμπύλη H-Q, οι οδηγίες του κατασκευαστή θα περιλαμβάνουν επίσης συχνά δεδομένα απόδοσης, επιτρέποντας αποφάσεις σχετικά με το αν η επιλεγμένη αντλία θα λειτουργεί κοντά στη μέγιστη αποτελεσματικότητά της στο σύστημα. Μπορεί επίσης να απεικονίζεται η “ισχύς” της αντλίας. Η ισχύς αντιπροσωπεύει την ισχύ που απαιτείται για τη λειτουργία της αντλίας για συγκεκριμένη ροή και για συγκεκριμένο ύψος άντλησης. Από αυτό είναι δυνατόν να προσδιοριστούν τα λειτουργικά έξοδα των διαφόρων αντλιών πολλαπλασιάζοντας το χρόνο λειτουργίας (ώρες) με την ισχύ για την αντλία και στη συνέχεια πολλαπλασιάζοντας την τιμή αυτή με το κιλοβάτ ανά ώρα του προμηθευτή ηλεκτρικής ενέργειας.

3.4.5.1 Καθαρό Θετικό Ύψος Αναρρόφησης

Το καθαρό θετικό ύψος αναρρόφησης (NPSH, Net Positive Suction Head) και το συνολικό δυναμικό ύψος (TDH, Total Dynamic Head) απαιτούνται για τον προσδιορισμό του μεγέθους της αντλίας που απαιτείται (Wheaton, 1977; Yoo and Boyd, 1994). Το τελευταίο θα αναφερθεί στην επόμενη ενότητα.

Για να λειτουργήσουν οι περιστροφικές (rotodynamic) αντλίες, το νερό πρέπει να εισαχθεί στην αντλία υπό πίεση. Το καθαρό θετικό ύψος αναρρόφησης (NPSH) είναι η πίεση στην πλευρά αναρρόφησης της αντλίας. Το NPSH που υπάρχει στο πλαίσιο ενός συστήματος είναι το διαθέσιμο NPSH (NPSH-A). Το ελάχιστο NPSH που απαιτείται για την αποτελεσματική λειτουργία μιας αντλίας είναι το απαιτούμενο NPSH (NPSH-R). Το NPSH-A μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας τον ακόλουθο τύπο:

$$NPSH-A = H_a + H_s - H_{fs} - H_{vap}$$

όπου H_a είναι το ατμοσφαιρικό ύψος (πίεση), η πίεση της ατμόσφαιρας στην επιφάνεια του νερού που ωθεί το νερό στην αντλία. Το H_s είναι το στατικό ύψος αναρρόφησης (static suction head), η διαφορά ανύψωσης μεταξύ της αντλίας και της παροχής νερού. Είναι αρνητικό εάν η πηγή νερού είναι κάτω από την αντλία και θετικό εάν το νερό είναι πάνω από την αντλία. Το H_{fs} είναι το άθροισμα

των απωλειών λόγω τριβής από το σωλήνα και τα υδραυλικά στην πλευρά αναρρόφησης της αντλίας. Το H_{vap} είναι η τάση των ατμών του υγρού.

Ωστόσο, οι τιμές που απαιτούνται για τον υπολογισμό του NPSH-A δεν είναι όλες σταθερές, π.χ.

- Το H_{fs} ποικίλλει ανάλογα με το ρυθμό ροής και τη βιολογική ρύπανση.
- Το H_s ποικίλλει ανάλογα με το ύψος της παλίδροιας, του ποταμού, της δεξαμενής.
- Το H_a ποικίλλει ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες.

Για το λόγο αυτό, το NPSH-A πρέπει να υπολογίζεται με μια σειρά συνθηκών και να είναι μεγαλύτερο από το NPSH-R για όλες τις συνθήκες, με ένα περιθώριο ασφαλείας τουλάχιστον 1 m. Εάν αποτύχει να το γίνει το ανωτέρω, είναι από μόνη της η μεγαλύτερη πηγή προβλημάτων στην άντληση. Εάν το NPSH-R είναι μεγαλύτερο από το NPSH-A, η αντλία θα παράγει ελάχιστη ή καθόλου ροή ή θα γίνει σπηλαιώση λόγω εξαέρωσης.

3.4.5.2 Συνολικό Δυναμικό Ύψος

Το συνολικό δυναμικό ύψος (Total Dynamic Head-TDH) αναφέρεται επίσης ως ύψος του συστήματος, διαφορικό ύψος που παράγεται ή συνολικό ύψος. Συνολικό δυναμικό ύψος είναι η διαφορά ύψους μεταξύ της πηγής του νερού και της εξόδου συν τις απώλειες λόγω τριβής, δηλαδή,

$$TDH = H_{st} + H_{ft} + H_v$$

όπου, H_{st} είναι το συνολικό στατικό ύψος, η διαφορά μεταξύ ανύψωσης της εκκένωσης και της παροχής του νερού, H_{ft} είναι το συνολικό ύψος τριβής των σωλήνων, εξαρτημάτων και ενσωματωμένων εξαρτημάτων στις πλευρές αναρρόφησης και απόρριψης του συστήματος και H_v είναι το ύψος της γραμμής ενέργειας (velocity head).

Κατά τον υπολογισμό του TDH, είναι σημαντικό να περιλαμβάνεται το εύρος των ροών που χρησιμοποιούνται στο σύστημα, καθώς οι απώλειες λόγω τριβής στους σωλήνες και τα εξαρτήματα και ύψος της γραμμής ενέργειας είναι ανάλογες με τη ροή και την ταχύτητα του νερού. Το στατικό ύψος (static head) θα διαφέρει επίσης ανάλογα με το ύψος του νερού στην πηγή του νερού, π.χ., ανάλογα με το ύψος της παλίδροιας. Ο προσδιορισμός

του TDH σε όλο το εύρος των ροών και του στατικού ύψους θα επιτρέψει τον προσδιορισμό του “εύρους λειτουργίας” της αντλίας.

Μια αντλία μπορεί να επιλεγεί μετά τον καθορισμό του ρυθμού ροής, και των απαιτήσεων των TDH και NPSH-A.

3.5 Συστήματα Εκκολαπτηρίου

Τα εκκολαπτήρια (hatcheries) είναι οι εγκαταστάσεις στην υδατοκαλλιέργεια που συνδέονται με την αναπαραγωγή, την ανάπτυξη των προνυμφών και την προμήθεια νεαρών ιχθυδίων στις εγκαταστάσεις εκτροφής (πάχυνσης). Ένα μόνο εκκολαπτήριο συχνά προμηθεύει μεγάλο αριθμό εκτροφών, αν και πολλές βιομηχανίες υδατοκαλλιέργειας (π.χ. η βιομηχανία στρειδιών) εξακολουθούν να βασίζονται σε μεγάλο βαθμό στη φυσική στρατολόγηση ως πηγή συλλογής αποθέματος για την εκτροφή αλλά η φυσική στρατολόγηση μπορεί να είναι απρόβλεπτη και αναξιόπιστη. Εκτός από την παροχή ανεξαρτησίας από τις φυσικές στρατολογίες, άλλα οφέλη από την παραγωγή των εκκολαπτηρίων περιλαμβάνουν τη δυνατότητα γενετικής βελτίωσης του εκτρεφόμενου αποθέματος (Κεφάλαιο 7) και τη μειωμένη προοπτική σύγκρουσης με την συλλεκτική αλιεία.

Τα εκκολαπτήρια έχουν παρόμοιες απαιτήσεις για την επιλογή της τοποθεσίας όπως τα βρεφοκομεία (περιοχές εκτροφής νεαρών ατόμων) και οι περιοχές πάχυνσης (ενότητα 3.2, Lekang, 2013b). Ιδιαίτερη σημασία έχει η ποιότητα του νερού που εισέρχεται, το οποίο πρέπει να είναι απαλλαγμένο από βιομηχανικούς, αστικούς και γεωργικούς ρύπους. Ο σωλήνας εισαγωγής του νερού συνήθως έχει μια σίτα (πυκνό πλέγμα διαλογής) για να αφαιρούνται τα ξένα σώματα όπως τα φύκια από το νερό εισαγωγής. Το νερό εισαγωγής θα πρέπει επίσης να έχει χαμηλά επίπεδα αιωρούμενων στερεών, να ελαχιστοποιούνται οι απαιτήσεις φιλτραρίσματος (διήθησης) και βακτηριακής μόλυνσης, καθώς και θερμοκρασία όσο το δυνατόν πλησιέστερη σε εκείνη που θα χρησιμοποιηθεί για την εκτροφή των προνυμφών για την ελαχιστοποίηση του κόστους θέρμανσης/ψύξης του νερού. Ένα εκκολαπτήριο θα πρέπει επίσης να είναι σε θέση να αντλεί νερό ανεξάρτητα από την κατάσταση

της παλίνρροιας και θα πρέπει να βρίσκεται κοντά στις εκτροφές που προμηθεύει.

Τα εκκολαπτήρια θαλάσσιας υδατοκαλλιέργειας μπορούν να είναι τοποθετημένα για τη χρήση είτε θαλασσινού είτε υφάλμυρου νερού. Το θαλασσινό νερό θεωρείται γενικά υψηλότερης ποιότητας, αλλά τέτοιες περιοχές μπορούν να υφίστανται την υψηλή δράση των κυμάτων και της διάβρωσης που μπορούν να οδηγήσουν σε προβλήματα με την παροχή του νερού. Η χρήση τέτοιων περιοχών μπορεί επίσης να οδηγήσει σε δημόσιες αντιδράσεις από πολίτες για αισθητικούς λόγους. Τα υφάλμυρα νερά των εκβολών υπόκεινται σε γρήγορες αλλαγές στη θερμοκρασία και την αλατότητα, οι οποίες μπορεί να προκύψουν από έντονες βροχοπτώσεις. Η βροχόπτωση μπορεί επίσης να αυξήσει τα επίπεδα των αιωρούμενων στερεών και των βακτηριδίων στο νερό εισαγωγής. Και οι δύο παράγοντες επηρεάζουν την ποιότητα του νερού και θα επηρεάσουν την ευημερία των προνυμφών. Τα εκκολαπτήρια των εσωτερικών υδάτων (γλυκών νερών) χρησιμοποιούν ως πηγές νερού γενικά είτε υπόγεια ύδατα (π.χ. από τον υδροφόρο ορίζοντα με τη χρήση πηγαδιού ή αρτεσιανό πηγάδι) είτε επιφανειακά ύδατα (π.χ. ρέματα, ποτάμια και λίμνες). Είναι σημαντικό τα εκκολαπτήρια θαλασσινού νερού να διαθέτουν επίσης μια αξιόπιστη πηγή γλυκού νερού για τον καθαρισμό και το πλύσιμο των δεξαμενών.

3.5.1 Επεξεργασία Νερού στα Εκκολαπτήρια

Το νερό που χρησιμοποιείται για την εκτροφή προνυμφών συνήθως υποβάλλεται σε επεξεργασία για τη μείωση των σωματιδίων και των βακτηρίων και θερμαίνεται/ψύχεται για τη βελτιστοποίηση της θερμοκρασίας του νερού. Η επεξεργασία του νερού στα εκκολαπτήρια περιλαμβάνει συνήθως τα ακόλουθα βήματα:

1. **Αποθήκευση του νερού.** Το νερό αποθηκεύεται συνήθως σε μεγάλες δεξαμενές (π.χ. 20–100.000 L) πριν διοχετευτεί στο εκκολαπτήριο. Αυτό επιτρέπει επίσης στα αιωρούμενα στερεά να καθιζάνουν από τη στήλη του νερού.
2. **Αδρή διήθηση (φιλτράρισμα).** Το νερό περνά από εξοπλισμό διήθησης (π.χ. φίλτρο άμμου), όπου αφαιρούνται τα μεγαλύτερα μεγέθους μόρια

και το νερό φιλτράρεται στα περίπου 20 μm .

3. **Θέρμανση.** Το νερό μπορεί να θερμανθεί πριν από τη χρήση. Αυτό μπορεί να γίνει με τη θέρμανση μιας κοινής πηγής νερού ή μια “υπερψωμένη δεξαμενή”, από την οποία εφοδιάζονται οι δεξαμενές καλλιέργειας των προνυμφών. Εντούτοις, το νερό μπορεί επίσης να θερμανθεί χρησιμοποιώντας συστήματα με εναλλάκτες θερμότητας, ή οι δεξαμενές καλλιέργειας προνυμφών μπορούν να θερμανθούν χωριστά χρησιμοποιώντας βυθιζόμενους θερμοστάτες.
4. **Λεπτή διήθηση (φιλτράρισμα).** Πριν από την είσοδο του σε δεξαμενές καλλιέργειας προνυμφών, το νερό συνήθως διέρχεται από εξοπλισμό λεπτής διήθησης (π.χ., πτυχωτά φιλτροφυσίγια-cartridge filters), όπου φιλτράρεται το νερό σε μέγεθος $\sim 1 \mu\text{m}$. Αυτό γενικά επιτυγχάνεται με τη χρήση μιας σειράς φίλτρων διαφορετικών μεγεθών τοποθετημένων εν σειρά (π.χ. 10 μm , 5 μm και 1 μm). Το νερό που χρησιμοποιείται για τη καλλιέργεια ζωντανής τροφής (π.χ. μικροφύκη, ενότητα 9.2) φιλτράρεται σε πιο μικρά επίπεδα 0,2–0,45 μm .
5. **Υπεριώδης (UV) επεξεργασία.** Το νερό που θα χρησιμοποιηθεί για την καλλιέργεια των προνυμφών και την καλλιέργεια ζωντανής τροφής μπορεί επίσης να περάσει μέσω ενός αποστειρωτή υπεριώδους ακτινοβολίας (UV) για τη μείωση των επιπέδων των βακτηρίων. Το νερό πρέπει πάντα να φιλτράρεται για να απομακρύνονται τα αιωρούμενα σωματίδια πριν περάσει μέσω ενός αποστειρωτή UV, επειδή τα σωματίδια είναι το κύριο υπόστρωμα για τα βακτήρια στο νερό της καλλιέργειας και τα υψηλά φορτία σωματιδίων θα μειώσουν τη διείσδυση, και ως εκ τούτου την αποτελεσματικότητα, της υπεριώδους ακτινοβολίας στο νερό.

Πρόσθετες πληροφορίες σχετικά με την αξιολόγηση των διαφόρων συστημάτων παροχής νερού και του εξοπλισμού επεξεργασίας του νερού και των μεθόδων στα εκκολαπτήρια στην υδατοκαλλιέργεια παρέχονται από τον Lekang (2013b). Στην ενότητα 17.3.2 δίνονται γενικές εκτιμήσεις όσον αφορά την ποιότητα και την επεξεργασία του νερού στα εκκολαπτήρια γλυκού νερού για τα σαλμονειδή.

3.5.2 Γενική Διάταξη των Εκκολαπτηρίων

Αν και τα εκκολαπτήρια διαφέρουν σημαντικά στη διάταξη ανάλογα με τον τύπο του ζώου που αναπαράγεται, έχουν διάφορες κοινές απαιτήσεις στο σχεδιασμό. Αυτές είναι:

- μια περιοχή για την διατήρηση των γεννητόρων,
- μια ειδική περιοχή αναπαραγωγής-ωοτοκίας,
- ειδικούς χώρους παραγωγής τροφής,
- μια ειδική περιοχή εκτροφής προνυμφών και
- μια περιοχή για την πρώιμη ανάπτυξη των ιχθυδίων (βρεφοκομείο).

Η υγιεινή αποτελεί μείζονα ανησυχία για τα εκκολαπτήρια στην υδατοκαλλιέργεια. Μία ασθένεια μπορεί να είναι πολύ κοστοβόρα για ένα εκκολαπτήριο και μπορεί να οδηγήσει στην απώλεια καλλιέργειας ζωντανής τροφής καθώς και προνυμφών, νεαρών ατόμων και γεννητόρων. Τα εκκολαπτήρια πρέπει να είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται η πιθανότητα μεταφοράς της νόσου από μια περιοχή του εκκολαπτηρίου σε άλλη και να διευκολύνεται η απομόνωση μιας συγκεκριμένης περιοχής, εφόσον απαιτείται. Για να επιτευχθεί αυτό, κάθε μέρος ενός εκκολαπτηρίου θα πρέπει να διαχωρίζεται από τα υπόλοιπα. Για παράδειγμα, οι ζωντανές τροφές συνήθως καλλιεργούνται πολύ μακριά από περιοχές που διατηρούν καλλιεργούμενα αποθέματα (γεννήτορες ή προνύμφες). Η καλλιέργεια προνυμφών και οι περιοχές διατήρησης γεννητόρων διαχωρίζονται ομοίως. Εκτός από τις εκτιμήσεις της νόσου, η απομόνωση των περιοχών διατήρησης γεννητόρων ελαχιστοποιεί το θόρυβο και άλλες διαταραχές που μπορεί να στρεσάρουν τους γεννήτορες και να έχει αντίκτυπο στο αποτέλεσμα της αναπαραγωγής. Ο κατάλληλος σχεδιασμός των εκκολαπτηρίων μπορεί να βοηθήσει στην ελαχιστοποίηση του κινδύνου εμφάνισης νόσου και να διευκολύνει την αποδοτικότητα και την παραγωγικότητα του εκκολαπτηρίου (**Εικόνα 3.8**). Μερικά σημαντικά ζητήματα σχεδιασμού περιλαμβάνουν:

Ξεχωριστή πρόσβαση σε διάφορους χώρους του εκκολαπτηρίου.

- Λουτρά με αντισηπτικά ποδιών μεταξύ των περιοχών για την ελαχιστοποίηση του κινδύνου μεταφοράς νόσου.
- Δεξαμενές προνυμφών που προεξέχουν από το

έδαφος για να επιτρέπεται η πρόσβαση για το πλύσιμο ή την αποστείρωση των περιοχών του δαπέδου.

- Καλά αποστραγγιζόμενα δάπεδα για την ελαχιστοποίηση του στάσιμου νερού.
- Γραμμές παροχής αέρα, νερού και ηλεκτρισμού που βρίσκεται ψηλά (εναέρια) για να επιτρέπεται η εύκολη πρόσβαση.

3.6 Περίληψη

- Πρωταρχικός στόχος του σχεδιασμού ενός συστήματος υδατοκαλλιέργειας είναι να διασφαλίσει ότι μια εγκατάσταση είναι παραγωγική με αξιόπιστο και οικονομικά αποδοτικό τρόπο. Ο σχεδιασμός ενός συστήματος υδατοκαλλιέργειας πρέπει να επιτρέπει τη μέγιστη ανάπτυξη και επιβίωση των ειδών-στόχων και της ποιότητας των προϊόντων που απαιτεί βέλτιστη τιμή αγοράς. Τα συστήματα υδατοκαλλιέργειας πρέπει επίσης να είναι αξιόπιστα και οικονομικά αποδοτικά για την κατασκευή και, από την πλευρά του χειριστή (φορέα εκμετάλλευσης), θα πρέπει να έχουν ελάχιστες απαιτήσεις λειτουργίας και συντήρησης.
- Οι δομές καλλιέργειας περιγράφουν τι περικλείει ή υποστηρίζει τους οργανισμούς στην υδατοκαλλιέργεια. Σε γενικές γραμμές, οι δομές υδατοκαλλιέργειας περιλαμβάνουν λιμνοδεξαμενές (ponds), δεξαμενές (tanks), καναλόμορφες συγκοινωνούντες δεξαμενές (raceways), κλουβιά (cages), περιφραγμένες περιοχές - ιχθυομάνδρες (pens), καλλιέργεια σε πασσάλους (racks), πλωτά συστήματα μακράς γραμμής (long-lines) και πάνω σε πλωτήρες (floats).
- Η εναλλαγή του νερού περιγράφει την ποσότητα του νερού που εναλλάσσεται ή το επίπεδο του ελέγχου επί της ροής του νερού προς το σύστημα. Σε γενικές γραμμές, τα επίπεδα εναλλαγής του νερού είναι στατικά, ανοικτά, ημικλειστά και ανακυκλούμενα (κλειστά).
- Αν και τα εκκολαπτήρια διαφέρουν σημαντικά στη διάταξη ανάλογα με τον τύπο του ζώου που αναπαράγεται, έχουν έναν κοινό σε απαιτήσεις αριθμό όσον αφορά τον σχεδιασμό. Θα πρέπει να περιλαμβάνουν μια περιοχή για την εκμετάλλευση των γεννητόρων, μια ειδική περιοχή ανα-

παραγωγής-ωοτοκίας, ειδικούς χώρους παραγωγής ζωντανής τροφής, μια ειδική περιοχή

εκτροφής προνυμφών και μια περιοχή για την πρώιμη ανάπτυξη των ιχθυδίων (βρεφοκομείο).

Βιβλιογραφία

- Beveridge, M., 2004. *Cage aquaculture*. Blackwell Publishing.
- Boyd, C.E., 1995. *Bottom soils, sediment, and pond aquaculture*. New York, USA. Chapman & Hall, 366.
- Boyd, C.E., Tucker, C.S., 1998. *Pond aquaculture water quality management*. Springer Science & Business Media.
- Cardia, F., Lovatelli, A. 2015. *Aquaculture operations in floating HDPE cages: a field handbook*. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 593. Rome, FAO. 152 pp.
- Fitridge, I., Dempster, T., Guenther, J., de Nys, R., 2012. The impact and control of biofouling in marine aquaculture: a review. *Biofouling*, 28, 649–669.
- Landau, M., 1992. *Introduction to aquaculture*. Wiley, New York.
- Lekang, O.I., 2013a. *Aquaculture Engineering*, 2nd ed. Wiley Blackwell, UK.
- Lekang, O.I. 2013b. *Aquaculture hatchery water supply and treatment systems*. In: Allan G., Burnell, G. (Eds.) *Advances in Aquaculture Hatchery Technology*. Woodhead Publishing, Oxford. 3–22 pp.
- Losordo, T. M., Masser, M. P. & Rakocy, J. 2001. Recirculating aquaculture tank production systems. An overview of critical considerations. *World Aquaculture*, 32, 18–22.
- Pierce, R.H., Weeks, J.M., Prappas, J.M., 1993. Nitrate toxicity to five species of marine fish. *J. World Aquacult. Soc.*, 24, 105–107.
- Quayle, D., Newkirk, G., 1989. *Farming bivalve molluscs: methods for study and development*. World Aquaculture Society in association with the International Development Research Centre.
- Wang, J., Fast, A., 1992. Shrimp pond engineering considerations. *Dev. Aquac. Fish. Sci.*, 23, 415–429.
- Wheaton, F.W., 1977. *Aquaculture Engineering*. Wiley, New York (reissued, 1993).
- Wyban, J., Sweeney, J., 1989. Intensive shrimp growout trials in a round pond. *Aquaculture*, 76, 215–225.
- Yoo, K.H., Boyd, C.E., 1994. *Hydrology and water supply for pond aquaculture*. Springer Science & Business Media.

4

Ποιότητα Νερού

Claude E. Boyd και Craig S. Tucker

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

4.1. Εισαγωγή, 89	4.4. Διαχείριση της Ποιότητας του Νερού σε
4.2. Παράμετροι της Ποιότητας του Νερού, 89	Λιμνοδεξαμενές, 113
4.3. Επίδραση της Ποιότητας του Νερού στα	4.5. Απόβλητα, 130
Υδρόβια Ζώα, 105	4.6. Περίληψη, 132
	Βιβλιογραφία, 133

4.1 Εισαγωγή

Τα υδρόβια ζώα είναι πιο υγιή και αναπτύσσονται καλύτερα όταν οι περιβαλλοντολογικές συνθήκες είναι μεταξύ ενός συγκεκριμένου εύρους που καθορίζουν, για ένα συγκεκριμένο είδος, την 'καλή' ποιότητα του νερού. Εξ' ορισμού, η επιτυχημένη υδατοκαλλιέργεια απαιτεί υψηλής ποιότητας παροχή νερού. Η ποιότητα του νερού στα συστήματα υδατοκαλλιέργειας επιδεινώνεται επίσης ως μη σκόπιμη συνέπεια της χορήγησης τροφής στα ζώα, για την βελτίωση της παραγωγής. Το νερό πρέπει να διαχειρίζεται κατά την παραγωγή ώστε να εξασφαλιστεί καλή ανάπτυξη και να αποφευχθεί η καταπόνηση (στρες) και ο θάνατος των καλλιεργουμένων ειδών. Επιπρόσθετος, το νερό που αποβάλλεται από τις εγκαταστάσεις υδατοκαλλιέργειας περιέχει θρεπτικά συστατικά, οργανικά στοιχεία και αιωρούμενα στερεά που μολύνουν τους αποδέκτες αυτών, δηλαδή τα υδάτινα οικοσυστήματα. Πολλές εγκαταστάσεις υδατοκαλλιέργειας οφείλουν να επεξεργαστούν το νερό προκειμένου να ελαχιστοποιήσουν τη μόλυνση, καθώς και να συμμορφωθούν με τους κανό-

νες διάθεσης των αποβλήτων. Η ποιότητα νερού, είναι επομένως η πρώτη, η τελευταία και η πιο σημαντική παράμετρος που πρέπει να ληφθεί υπόψη για μια επιτυχημένη υδατοκαλλιεργητική δραστηριότητα.

4.2 Παράμετροι της Ποιότητας του Νερού

Το νερό της βροχής, η υπέρτατη δηλαδή πηγή γλυκού νερού, είναι εμποτισμένη με άζωτο, οξυγόνο, διοξείδιο του άνθρακα και άλλα ατμοσφαιρικά αέρια. Σαρώνει τη σκόνη, τους ρύπους και άλλα σωματίδια από τον αέρα, και αυτές οι ουσίες διαλύονται σε κάποιο βαθμό στις σταγόνες της βροχής. Το νερό της βροχής είτε εξατμίζεται, είτε γίνεται απορροή, είτε εισχωρεί στη γη όπου γίνεται υγρασία του εδάφους ή υπόγεια νερά. Η απορροή του νερού αιωρεί και διαλύει τα μεταλλικά στοιχεία και τα οργανικά υλικά από την επιφάνεια του εδάφους. Τα αιωρούμενα σωματίδια προέρχονται από τη διάβρωση, και ευνοούνται από ελάχιστη φυτική κάλυψη, διαταραγμένο ή

χαλαρό έδαφος, έντονες βροχοπτώσεις και απότομες πλαγιές. Οι παράγοντες που ευνοούν την διάλυση των μεταλλικών στοιχείων από τις απορροές που δημιουργούν οι έντονες βροχοπτώσεις είναι, η υψηλή θερμοκρασία, τα σχετικά διαλυτά πετρώματα και τα μεταλλικά στοιχεία και ο μακρύς χρόνος επαφής με τις υδάτινες επιφάνειες. Τα νερά της απορροής που δημιουργείται μετά από καταιγίδα, καταλήγουν σε ρυάκια και λίμνες, όπου εκεί μειώνεται η ταχύτητα και η τυρβώδης ροή του νερού, επιτρέποντας έτσι την καθίζηση της αιωρούμενης ύλης. Ο χρόνος κατακράτησης (retention time) του νερού αυξάνεται καθώς ρέει προς τα κατόντη, επιτρέποντας περισσότερο χρόνο για τη διάλυση των μεταλλικών στοιχείων, τη συγκέντρωση των διαλυμένων ουσιών μέσω εξάτμισης και τις βιολογικές επιπτώσεις στην ποιότητα του νερού. Τα νερά των ποταμών καταλήγουν στις εκβολές όπου αναμειγνύονται με θαλασσινό νερό. Στις εκβολές των ποταμών, η ποιότητα των νερών επηρεάζεται από τον όγκο της εισροής των γλυκών νερών, την παλιρροϊκή δράση και το ρυθμό έκπλυσης (flushing rate) με τη θάλασσα. Η υψηλή συγκέντρωση κατιόντων στις εκβολές των ποταμών και στη θάλασσα προάγουν την κροκίδωση, την συσσωμάτωση και στη συνέχεια την καθίζηση των αιωρούμενων μεταλλικών στοιχείων. Η θάλασσα έχει πολύ μεγάλο όγκο και μεγάλης διάρκειας χρόνο παραμονής και η ποιότητά της τείνει να είναι σταθερή.

Ένα μέρος του νερού που περνά πάνω από την επιφάνεια του εδάφους το εμποτίζει σε βάθος, μέχρι να φτάσει σε ένα αδιαπέραστο στρώμα όπου και παραμένει σε γεωλογικούς σχηματισμούς που ονομάζονται υδροφορείς ή υδροφόροι (aquifers). Το νερό αυτό συνήθως δεν έχει καθόλου διαλυμένο οξυγόνο (DO) και είναι υπερκορεσμένο με διοξείδιο του άνθρακα, ενώ διέρχεται από το ριζόστρωμα του εδάφους (root zone). Τα περισσότερα υπόγεια νερά βρίσκονται σε στενή επαφή με τα μεταλλικά στοιχεία σε υπόγειους γεωλογικούς σχηματισμούς για μεγάλο χρονικό διάστημα, που κυμαίνονται από μήνες έως αιώνες. Οι συνθήκες διαλυτότητας των μεταλλικών στοιχείων είναι καλές για τους υδροφορείς και ο κύριος παράγοντας που καθορίζει τη σύνθεση των υπόγειων νερών είναι η διαλυτότητα των μεταλλικών στοιχείων μέσα στους σχηματισμούς.

4.2.1 Στερεά

Στερεά είναι το υπόλειμμα που απομένει μετά την εξάτμιση του νερού. Τα στερεά μπορούν να διαλύονται ή να αιωρούνται, είτε ανόργανα είτε οργανικά. Οι μετρήσεις των στερεών είναι χρήσιμες ως γενικός οδηγός για την καταλληλότητα του νερού για συγκεκριμένες χρήσεις.

Η συγκέντρωση των ολικών στερεών (TS, Total Solids) είναι το βάρος του υπολείμματος που παραμένει μετά την πλήρη εξάτμιση ενός δείγματος νερού. Τα ολικά στερεά περιλαμβάνουν τα ολικά διαλυμένα στερεά (TDS, Total Dissolved Solids) και τα ολικά αιωρούμενα στερεά (TSS, Total Suspended Solids). Τα ολικά διαλυμένα στερεά TDS είναι το βάρος του υπολείμματος μετά την πλήρη εξάτμιση ενός φιλτραρισμένου δείγματος και αποτελείται κυρίως από ανόργανα ιόντα, αν και οι μη ιονισμένες ανόργανες ουσίες και οι οργανικές ενώσεις μπορούν να συμμετέχουν σε μεταβλητή αναλογία. Τα ολικά αιωρούμενα στερεά TSS αποτελούνται από σωματίδια εδάφους, φυτοπλαγκτόν, ζωοπλαγκτόν και νεκρή οργανική ύλη. Τα ολικά αιωρούμενα στερεά (TSS) μετρώνται ως το ξηρό βάρος του υλικού που κατακρατείται στο φίλτρο. Η απώλεια βάρους μετά την ανάφλεξη στους 500 °C του υπολείμματος των ολικών στερεών (TS) είναι τα ολικά πτητικά στερεά (TVS, Total Volatile Solids). Η απώλεια κατά την ανάφλεξη από το υπόλειμμα στο φίλτρο που χρησιμοποιείται για την ανάλυση των ολικών αιωρούμενων στερεών (TSS) είναι η σωματιδιακή οργανική ύλη (POM, Particulate Organic Matter). Οι συγκεντρώσεις των στερεών εκφράζονται συνήθως σε mg/L που ισοδυναμεί σε μέρη στο εκατομμύριο (ppm).

Τα όμβρια νερά (νερά της βροχής) μπορεί να περιέχουν μόνο 1 ή 2 mg/L ολικά διαλυμένα στερεά (TDS) σε αγροτικές και περιοχές της ενδοχώρας, αλλά κοντά σε πόλεις, βιομηχανικές περιοχές ή παράκτιες περιοχές, η συγκέντρωση μπορεί να είναι 10-30 mg/L. Σε υγρές περιοχές, η συγκέντρωση των ολικών διαλυμένων στερεών (TDS) των επιφανειακών νερών κυμαίνεται από 25-50 mg/L σε μέρη με αραιό, πολύ πορώδες έδαφος και έως 250-500 mg/L σε περιοχές με γόνιμο ή ασβεστολιθικό έδαφος. Σε ημιάνυδρες περιοχές, η εξάτμιση συγκεντρώνει τα ιόντα και τα επιφανειακά νερά συχνά περιέχουν 500-1000 mg/L ολικά διαλυμέ-

να στερεά (TDS), ενώ ακόμη υψηλότερες συγκεντρώσεις (TDS) είναι κοινές σε άνωδρες περιοχές.

Οι συγκεντρώσεις των ιόντων ποικίλλουν επίσης σημαντικά στα υπόγεια νερά ανάλογα με τη φύση του εδάφους μέσω του οποίου διεισδύει το νερό και τη σύνθεση του γεωλογικού σχηματισμού που περιέχει τον υδροφόρο. Η διείσδυση (διήθηση) του νερού διαμέσου αμμόδους εδάφους σε σχηματισμούς με άμμο ή χαλίκι συχνά έχει συγκεντρώσεις ολικών διαλυμένων στερεών TDS <50 mg/L. Το νερό που διεισδύει σε ασβεστολιθικό (calcareous) έδαφος ή διατηρείται σε ασβεστολιθικούς (limestone) σχηματισμούς μπορεί να έχει 200-500 mg/L ολικά διαλυμένα στερεά (TDS). Σε ορισμένες περιοχές, οι υδροφορείς περιέχουν εναποθέσεις αλατιού ή αρχαίο θαλάσσιο νερό. Αυτοί οι υδροφορείς παράγουν αλατούχο νερό και συγκεντρώσεις των ολικών διαλυμένων στερεών (TDS) από 1000 mg/L έως >50.000 mg/L παρατηρούνται σε πολλές περιοχές παγκοσμίως.

Το γλυκό νερό θεωρείται συνήθως ότι έχει συγκέντρωση ολικών διαλυμένων στερεών TDS <1000 mg/L. Έτσι, όλα τα εσωτερικά νερά δεν είναι γλυκά νερά. Πολλές άνωδρες περιοχές έχουν αλμυρά επιφανειακά νερά και τα υπόγεια νερά μπορεί να είναι αλμυρά ακόμη και σε υγρές περιοχές.

Η αλατότητα είναι η συνολική συγκέντρωση διαλυμένων ιόντων, και τα ολικά διαλυμένα στερεά TDS και η αλατότητα έχουν παρόμοια συγκέντρωση στα περισσότερα νερά, αν και είναι πιο συνηθισμένο να μιλάμε για αλατότητα παρά για TDS στις αναφορές για τα θαλάσσια νερά. Η αλατότητα συχνά εκφράζεται σε μέρη τις χιλιάδες (1‰ = 1000 mg/L). Η μέση αλατότητα του θαλάσσιου νερού είναι 34,5 ‰, ενώ τα νερά των ποταμών σπάνια έχουν περισσότερο από 0,5 ‰. Το νερό των ποταμών αναμειγνύεται με το θαλασσινό νερό στις εκβολές των ποταμών και η αλατότητα ποικίλλει από με τιμή κοντά σε αυτή του νερού των ποταμών στα ανώτερα άκρα των εκβολών έως τιμή κοντά σε αυτή του θαλασσινού νερού στα κατώτερα άκρα. Η εισροή γλυκού νερού αραιώνει τις εκβολές και η αλατότητα είναι μεγαλύτερη κατά την εποχή της ξηρασίας από ότι κατά την περίοδο των βροχών. Σε εκβολές ποταμών με κακή έκπλυση κοντά στο τέλος της εποχής της ξηρασίας, η αλατότητα μπορεί να είναι μεγαλύτερη από εκείνη του θαλασσινού νερού. Η αλατότητα ποικίλλει επίσης

ανάλογα με την ημερήσια παλιρροϊκή δράση σε ένα δεδομένο σημείο σε μιας εκβολής.

4.2.2 Ειδική Αγωγιμότητα

Η ικανότητα του νερού να μεταδίδει ηλεκτρικό ρεύμα αυξάνεται με την αύξηση της ιοντικής συγκέντρωσης. Η ειδική αγωγιμότητα (specific conductance) είναι επομένως ένας δείκτης του βαθμού της ανοργανοποίησης (mineralization) του νερού. Η ειδική αγωγιμότητα εκφράζεται σε microSiemens/cm ($\mu\text{S}/\text{cm}$) ή σε micromhos/cm ($\mu\text{mhos}/\text{cm}$), τα οποία είναι αριθμητικά ισοδύναμα. Το νερό της βροχής έχει συνήθως ειδική αγωγιμότητα 10-20 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ή μικρότερη. Στις υγρές περιοχές της ενδοχώρας, η ειδική αγωγιμότητα σπάνια υπερβαίνει τα 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ στα επιφανειακά νερά, αλλά τιμές >5000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ μπορεί να απαντηθούν σε επιφανειακά νερά σε άνωδρες περιοχές. Η ειδική αγωγιμότητα του θαλασσινού νερού είναι περίπου 50.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Η αναλογικότητα μεταξύ της ειδικής αγωγιμότητας και της συγκέντρωσης των ολικών διαλυμένων στερεών (TDS) ποικίλλει από 0,55 έως 0,9 ανάλογα με την πηγή του νερού. Σε πολλές υδάτινες μάζες, συμπεριλαμβανομένου του ωκεανού, η συγκέντρωση TDS είναι περίπου 0,7 φορές μεγαλύτερη από τη συγκεκριμένη αγωγιμότητα, π.χ. 1500 $\mu\text{S}/\text{cm} \approx 1000 \text{ mg/L TDS}$.

4.2.3 Σημαντικά Ιόντα

Τα κατιόντα όπως το ασβέστιο, το μαγνήσιο, το νάτριο και το κάλιο και τα ανιόντα όπως το χλώριο, το θειικό ανιόν, το διττανθρακικό και το ανθρακικό άλας, αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος των διαλυμένων στερεών στα εσωτερικά επιφανειακά νερά, στα υπόγεια νερά και στα θαλασσινά νερά. Στις υγρές περιοχές, τα κυρίαρχα ιόντα στα επιφανειακά γλυκά νερά είναι συνήθως το ασβέστιο, το μαγνήσιο και το διττανθρακικό (**Πίνακας 4.1**). Στις άνωδρες περιοχές, τα συμπυκνώματα της εξάτμισης καταλήγουν σε κατακρήμνιση των αλκαλικών ανθρακικών γαιών (alkaline earth carbonates), και τα νερά μπορεί να περιέχουν πολύ μεγαλύτερες αναλογίες νατρίου, καλίου, χλωριδίου και θειικού άλατος. Το θαλασσινό νερό είναι ιδιαίτερα υψηλό σε συγκέντρωση νατρίου και χλωριδίου. Τα υπόγεια νερά είναι συχνά παρόμοια

με τα επιφανειακά νερά σε αναλογίες των σημαντικών ιόντων, αν και ορισμένα έχουν ασυνήθιστη σύνθεση. Για παράδειγμα, ορισμένα υπόγεια νερά σε παράκτιες περιοχές έχουν υψηλές συγκεντρώσεις διτανθρακικού αλλά χαμηλές συγκεντρώσεις ασβεστίου και μαγνησίου που προκύπτουν από μια φυσική διαδικασία αποσκλήρυνσης του νερού εντός των υδροφορέων που κάποτε περιείχαν θαλασσινό νερό. Ορισμένα υπόγεια νερά παρουσιάζουν έλλειψη καλίου και μαγνησίου, διότι τα κατιόντα αυτά, ιδίως το κάλιο, σταθεροποιούνται στα ενδιάμεσα στρώματα των αργιλικών μεταλλικών στοιχείων. Εκτός από τα σημαντικά ιόντα, τα γλυκά νερά μπορεί να περιέχουν αρκετά mg/L του κατά πολύ μη διαχωριζόμενου πυριτικού οξέως.

4.2.4 Ανόργανα Συστατικά Ήσσοнос Σημασίας

Το νερό περιέχει επίσης αμμώνιο, αμμωνία, νιτρικά, νιτρώδη, φωσφορικά, σίδηρο, μαγγάνιο, ψευδάργυρο, χαλκό, βόριο, κοβάλτιο, μολυβδαίνιο και

άλλες διαλυτές ουσίες. Τυπικές συγκεντρώσεις ορισμένων επιλεγμένων ιχνοστοιχείων στα γλυκά επιφανειακά νερά στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής παρέχονται στον **Πίνακα 4.1**. Οι συγκεντρώσεις αυτές είναι γενικά μεγαλύτερες από αυτές που απαντώνται στο θαλάσσιο νερό. Το χαμηλό pH ευνοεί τη διαλυτότητα των ιχνοστοιχείων. Τα μεταλλικά ιχνοστοιχεία σχηματίζουν ζεύγη ιόντων, προϊόντα υδρόλυσης και χηλικές ενώσεις με τη διαλυμένη οργανική ύλη (Boyd, 2015). Οι συνολικές συγκεντρώσεις των μεμονωμένων μεταλλικών ιχνοστοιχείων είναι συνήθως πολύ μεγαλύτερες από τις συγκεντρώσεις των ελεύθερων ιοντικών μορφών. Τα εσωτερικά νερά τείνουν να έχουν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις μεταλλικών ιχνοστοιχείων, επειδή γενικά έχουν χαμηλότερο pH και περισσότερο διαλυμένη οργανική ύλη από το θαλασσινό νερό. Παρά τις χαμηλές συγκεντρώσεις τους σε σχέση με τις συγκεντρώσεις των σημαντικών ιόντων, ορισμένα ήσσοнос σημασία συστατικά, συγκεκριμένα το άζωτο και ο φώσφορος, επηρεάζουν έντονα την ανάπτυξη των φυτών και την

Πίνακας 4.1 Κύριες συγκεντρώσεις ιόντων (mg/L) για τρεις λιμνοδεξαμενές, συγκέντρωση ιχνοστοιχείων σε τυπικά συστήματα γλυκών νερών και χημική σύνθεση τυπικού θαλασσινού νερού.

Μεταβλητή	Λιμνοδεξαμενή σε όξινο έδαφος σε υγρή περιοχή	Λιμνοδεξαμενή σε βασικό έδαφος σε υγρή περιοχή	Λιμνοδεξαμενή σε άνυδρη περιοχή	Τυπικό θαλασσινό νερό
Κύρια Ιόντα:				
Ανθρακικά και διτανθρακικά ($\text{HCO}_3^-/\text{CO}_3^{2-}$)	11,6	136	244	142
Χλώριο (Cl^-)	2,6	29	7,6	19000
Θειικό άλας (SO_4^{2-})	1,4	28	65	2700
Ασβέστιο (Ca^{2+})	2,7	41	34	400
Μαγνήσιο (Mg^{2+})	1,4	9,1	15	1350
Κάλιο (K^+)	2,6	1,2	10	380
Νάτριο (Na^+)	1,4	2,2	34	10500
Βρώμιο (Br^-)	-	-	-	65
Ιχνοστοιχεία:				
	Εύρος τυπικών γλυκών νερών			
Σίδηρος (Fe)	Ιχνοστοιχεία έως 1,0			0,01
Μαγγάνιο (Mg)	Ιχνοστοιχεία έως 0,25			0,002
Ψευδάργυρος (Zn)	0,04-0,08			0,01
Χαλκός (Cu)	0,01-0,02			0,003
Βόριο (B)	0,01-1,0			4,6
Κοβάλτιο (Co)	0,0005-0,0015			0,0005
Μολυβδαίνιο (Mo)	0,0002-0,0008			0,01

Πηγή: Προσαρμόστηκε από τους Boyd & Tucker (2014)

ποιότητα των νερών. Ομοίως, σχετικά μικρές συγκεντρώσεις ορισμένων μεταλλικών ιχνοστοιχείων μπορεί να είναι τοξικές για τα υδρόβια ζώα.

4.2.5 Διαλυμένη Οργανική Ύλη

Η διαλυμένη οργανική ύλη σε φυσικά νερά κυμαίνεται σε συγκέντρωση από <1 έως >20 mg/L. Οι ταννίνες, οι λιγνίνες και άλλες χουμικές ουσίες προέρχονται από την αποσύνθεση και την έκπλυση των φυτικών υλικών. Οι υδάτινες μάζες που δέχονται υδάτινες εκροές από δασικές λεκάνες μπορεί να έχουν υποστεί έντονη χρώση στο χρώμα του τσαγιού ή του καφέ από χουμικές ουσίες. Στα συστήματα υδατοκαλλιέργειας, η διαλυμένη οργανική ύλη προέρχεται επίσης από οργανικά λιπάσματα, υπολείμματα τροφών και νεκρό πλαγκτόν.

4.2.6 Σωματιδιακή Ύλη

Οι υδάτινες μάζες με αναταραγμένες λεκάνες απορροής συνήθως έχουν υψηλές συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων του εδάφους και οι συγκεντρώσεις των ολικών αιωρούμενων στερεών (TSS) αυτών των θολών από λάσπη νερών μπορεί να φτάσουν τα 100 mg/L ή υψηλότερες. Οι αυξημένες συγκεντρώσεις σωματιδιακής οργανικής ύλης (POM) είναι πιο συχνές σε υδάτινες μάζες με μέτριες ή υψηλές εισροές αζώτου και φωσφόρου και άφθονο πλαγκτόν. Στις λιμνοδεξαμενές υδατοκαλλιέργειας, η συγκέντρωση των ολικών αιωρούμενων στερεών (TSS) κυμαίνεται συνήθως από 20-80 mg/L. Τα σωματίδια που συνιστούν περιέχουν τα ολικά αιωρούμενα στερεά (TSS) είναι συνήθως περίπου κατά το ήμισυ οργανική ύλη. Επομένως, οι συγκεντρώσεις της σωματιδιακής οργανικής ύλης (POM) είναι συνήθως 10-40 mg/L.

Το φυτοπλαγκτόν είναι η πηγή μεγάλου μέρους της οργανικής ύλης σε λιμνοδεξαμενές υδατοκαλλιέργειας και η συγκέντρωση της σωματιδιακής οργανικής ύλης (POM) μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δείκτης αφθονίας του φυτοπλαγκτού. Ένας καλύτερος δείκτης είναι η συγκέντρωση της χλωροφύλλης α, η οποία περιέχεται σε ζωντανά κύτταρα φυκών, ενώ η σωματιδιακή οργανική ύλη (POM) μπορεί να αποτελείται από ένα μεταβλητό ποσοστό νεκρής οργανικής ύλης.

4.2.7 Διαλυμένα Αέρια

Η ατμόσφαιρα περιέχει περίπου 20,9% οξυγόνο, 78,1% άζωτο, 0,9% αργό, περίπου 0,04% διοξείδιο του άνθρακα και μικρότερα ποσοστά άλλων αερίων. Κάθε αέριο έχει έναν ειδικό συντελεστή απορρόφησης στο νερό και η διαλυτότητά του είναι επίσης ευθέως ανάλογη της μερικής πίεσης που ασκεί στην ατμόσφαιρα. Τα ατμοσφαιρικά αέρια εισέρχονται στο νερό μέχρι να επιτευχθεί ισορροπία, κατά την οποία η πίεση κάθε αερίου στο νερό είναι ίση με την πίεσή του στην ατμόσφαιρα. Η συγκέντρωση ισορροπίας του οξυγόνου στο νερό δίνεται στον **Πίνακα 4.2** για πίεση στην επιφάνεια της θάλασσας 101,325 kPa (760 mm Hg) και διαφορετικές θερμοκρασίες και αλατότητες. Η συγκέντρωση ισορροπίας (κορεσμός) του διαλυμένου οξυγόνου (DO) μειώνεται τόσο με την αύξηση της θερμοκρασίας όσο και με την αύξηση της αλατότητας. Οι συγκεντρώσεις του διαλυμένου οξυγόνου (DO) στον **Πίνακα 4.2** μπορούν να ρυθμίζονται για άλλες ατμοσφαιρικές πιέσεις:

$$DO_s = DO_t \times BP/101,325$$

όπου DO_s = η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου σε κορεσμό (mg/L) σε μετρούμενη ατμοσφαιρική πίεση, DO_t = η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου στον κορεσμό στο επίπεδο της θάλασσας (mg/L) από τον **Πίνακα 4.2**, BP = η μετρούμενη ατμοσφαιρική πίεση (kPa).

Για παράδειγμα, το DO_s για γλυκά νερά σε 25 °C και 98,0 kPa είναι:

$$DO_s = 8,244 \times 98,0/101,325 = 7,973 \text{ mg/L}$$

Η ατμοσφαιρική πίεση δεν ποικίλλει πολύ σε ένα δεδομένο μέρος. Στο επίπεδο της θάλασσας, ένα τυπικό σύστημα υψηλής πίεσης μπορεί προκαλεί αύξηση της πίεσης σε 103 kPa, ενώ ένας αρκετά ισχυρός τυφώνας μπορεί να μειώσει την πίεση στα 98 kPa. Πολύ μεγαλύτερες μεταβολές της πίεσης μπορεί να προκύψουν ως αποτέλεσμα της υψομετρικής διαφοράς, επειδή η πίεση μειώνεται με την αύξηση του υψομέτρου. Η ατμοσφαιρική πίεση μπορεί να μετρηθεί με το βαρόμετρο, ή η μέση πίεση για συγκεκριμένο υψόμετρο μπορεί να υπολογίζεται ως εξής:

Πίνακας 4.2 Διαλυτότητα του οξυγόνου (O_2) (mg/L) σε συνάρτηση της θερμοκρασίας του νερού και της αλατότητας στον υγρό αέρα σε 1 ατμόσφαιρα βαρομετρική πίεση (101,325 kPa).

Θερμοκρασία (°C)	Αλατότητα (‰)								
	0	5	10	15	20	25	30	35	40
0	14,602	14,112	13,638	13,180	12,737	12,309	11,896	11,497	11,111
5	12,757	12,344	11,944	11,557	11,183	10,820	10,470	10,131	9,802
10	11,277	10,925	10,583	10,252	9,932	9,621	9,321	9,029	8,747
15	10,072	9,768	9,473	9,188	8,911	8,642	8,381	8,129	7,883
20	9,077	8,812	8,556	8,307	8,065	7,831	7,603	7,382	7,167
25	8,244	8,013	7,788	7,569	7,357	7,150	6,950	6,754	6,565
30	7,539	7,335	7,136	6,943	6,755	6,572	6,394	6,221	6,052
35	6,935	6,753	6,577	6,405	6,237	6,074	5,915	5,761	5,610

Πηγή: Στοιχεία από τον Colt (2012).

$$P = 101,325(1 - 0,0000225577 h)^{5,25588}$$

όπου P = η πίεση (kPa) και h = το υψόμετρο (m). Με την εξίσωση αυτή, η πίεση θα είναι 95,46 kPa σε υψόμετρο 500 m, 89,87 kPa στα 1000 m και 79,49 kPa στα 2000 m, δηλαδή πολύ χαμηλότερες πιέσεις από αυτές που παρατηρούνται στο επίπεδο της θάλασσας. Τέτοιες μεγάλες μειώσεις της πίεσης μπορούν να μειώσουν σημαντικά τη συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου DO . Για παράδειγμα, η συγκέντρωση του DO στον κορεσμό και 20 °C θα ήταν 9,092 mg/L στο επίπεδο της θάλασσας, 8,566 mg/L σε 500 m υψόμετρο, 8,064 mg/L στα 1000 m και 7,133 mg/L στα 2000 m.

Η συνολική πίεση που διατηρεί το οξυγόνο στο νερό σε μεγαλύτερη βάθος είναι η ατμοσφαιρική πίεση συν το βάρος της στήλης του νερού (υδροστατική πίεση). Η υδροστατική πίεση στα γλυκά νερά ισούται με 9,78 kPa/m στους 25 °C. Οι τιμές για άλλες θερμοκρασίες και αλατότητες παρέχονται από τον Colt (2012). Σε βάθος 2 m, η συνολική πίεση θα είναι 120,88 kPa όταν η ατμοσφαιρική πίεση είναι 101,325 kPa. Η συγκέντρωση των DO_s στα 2 m θα είναι:

$$DO_s = 8,244 \times 120,88/101,325 = 9,835 \text{ mg/L.}$$

Αυτό είναι περισσότερο από 2 mg/L μεγαλύτερο από την συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου (DO) στα επιφανειακά νερά στην ίδια θερμοκρασία και ατμοσφαιρική πίεση.

Λόγω της βιολογικής δραστηριότητας, η συ-

γκέντρωση του DO στα φυσικά νερά σπάνια είναι στον κορεσμό. Το ποσοστό κορεσμού του DO υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$\%DO \text{ κορεσμού} = DO_m/DO_s \times 100$$

όπου DO_m = η μετρούμενη συγκέντρωση του DO (mg/L). Τα επιφανειακά γλυκά νερά στους 25 °C και σε ατμοσφαιρική πίεση 101,325 kPa και περιέχοντας 10 mg/L DO θα είναι σε κορεσμό 121%.

Όταν το επιφανειακό νερό είναι κάτω από 100% κορεσμένο σε διαλυμένο οξυγόνο (DO), το οξυγόνο διαχέεται από τον αέρα στο νερό. Το αντίθετο συμβαίνει όταν το νερό είναι υπερκορεσμένο με διαλυμένο οξυγόνο (DO). Η διάχυση του οξυγόνου μέσα και έξω από υδάτινες μάζες πραγματοποιείται διαμέσου του επιφανειακού λεπτού στρώματος μεταξύ αέρα και νερού. Η μεταφορά του οξυγόνου επιταχύνεται από κύματα και άλλες διαταραχές που αυξάνουν την επιφάνεια. Η ανάμειξη του στρώματος της επιφάνειας με νερό από βαθύτερα στρώματα αποκαθιστά το επιφανειακό λεπτό στρώμα, εμποδίζοντας το από τον κορεσμό με οξυγόνο ταχύτερα από ότι το οξυγόνο μπορεί να μεταφερθεί στην υποκείμενη μάζα του νερού. Ο άνεμος είναι ο σημαντικότερος φυσικός παράγοντας που επηρεάζει την ανταλλαγή του οξυγόνου στην επιφάνεια των λιμνών και των ληνοδεξαμενών. Οι αναταράξεις που δημιουργούνται από την ροή του νερού ευνοούν την ανταλλαγή του οξυγόνου. Η μεταφορά είναι ιδιαίτερα μεγάλη όταν το νερό ρέει μέσα από βράχους. Φυσι-

Πίνακας 4.3 Διαλυτότητες του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) και του αζώτου (N₂) (mg/L) σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία του νερού και της αλατότητας σε υγρό αέρα σε 1 ατμόσφαιρα βαρομετρική πίεση (101,325 kPa).

Θερμοκρασία (°C)	Αλατότητα (‰)			
	0	10	20	30
Διοξείδιο του άνθρακα				
0	1,32	1,25	1,19	1,13
10	0,91	0,86	0,82	0,78
20	0,65	0,62	0,60	0,56
30	0,49	0,47	0,45	0,43
40	0,38	0,36	0,35	0,34
Άζωτο				
0	23,26	21,59	20,04	18,60
10	18,29	17,09	15,96	14,91
20	15,03	14,11	13,25	12,44
30	12,77	12,04	11,34	10,69
40	11,12	10,50	9,92	9,37

Πηγή: Στοιχεία από τον Colt (2012).

κά, ο μηχανικός αερισμός χρησιμοποιείται συχνά στην υδατοκαλλιέργεια για να αυξηθεί σημαντικά η μεταφορά του οξυγόνου από τον αέρα στο νερό όταν οι συγκεντρώσεις διαλυμένου οξυγόνου (DO) είναι χαμηλές.

Οι συγκεντρώσεις κορεσμού για το διοξείδιο του άνθρακα και το άζωτο στα γλυκά νερά, σε διαφορετικές θερμοκρασίες παρέχονται στον **Πίνακα 4.3** και τα πιο αναλυτικά στοιχεία για τη διαλυτότητα αυτών των αερίων παρέχονται από τον Colt (2012). Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται παραπάνω για τον υπολογισμό των συγκεντρώσεων κορεσμού και του ποσοστιαίου κορεσμού του διαλυμένου οξυγόνου (DO) εφαρμόζονται εξίσου για το άζωτο και το διοξείδιο του άνθρακα.

4.2.8 Θερμοκρασία Νερού και Φως

Το νερό έχει μεγάλη χωρητικότητα να αποθηκεύει θερμότητα, και η θερμοκρασία του νερού σε μεγάλες βαθιές λίμνες, συχνά υστερεί σε σχέση με τις αλλαγές στη θερμοκρασία του αέρα. Ωστόσο, οι λιμνοδεξαμενές στις υδατοκαλλιέργειες είναι σχετικά μικρές και ρηχές, με υψηλό λόγο επιφάνειας προς όγκο και η θερμοκρασία του νερού ακολουθεί στενά τη θερμοκρασία του αέρα. Τα αιωρούμενα σωματίδια απορροφούν θερμότητα και

τα επιφανειακά στρώματα νερών σε λασπώδεις λιμνοδεξαμενές ή λιμνοδεξαμενές με άνθηση πλαγκτού γίνονται θερμότερα από εκείνα των λιμνών με καθαρό νερό. Ορισμένα συστήματα υδατοκαλλιέργειας έχουν σχετικά σταθερές θερμοκρασίες νερού. Για παράδειγμα, στις καναλόμορφες δεξαμενές μπορούν να παρέχεται με νερό από πηγές με ασήμαντη ημερήσια ή εποχιακή μεταβολή της θερμοκρασίας του νερού. Παρομοίως, τα κλειστά συστήματα ανακύκλωσης του νερού στις υδατοκαλλιέργειες βρίσκονται συνήθως σε εσωτερικούς χώρους, όπου η θερμοκρασία του νερού μπορεί να ελέγχεται στενά.

Οι υδάτινες μάζες δέχονται ηλιακή ακτινοβολία στην επιφάνεια τους και τα επιφανειακά νερά ζεσταίνονται ταχύτερα από τα νερά στα βαθύτερα στρώματα. Η πυκνότητα του νερού είναι στο μέγιστο στους ~4 °C. Το επιφανειακό νερό γίνεται ελαφρύτερο καθώς θερμαίνεται και μπορεί να γίνει πολύ ελαφρύτερο από το νερό στα βαθύτερα στρώματα όπου τα δύο στρώματα δεν αναμιγνύονται, με αποτέλεσμα μια κατάσταση που ονομάζεται θερμική στρωμάτωση. Το επιφανειακό στρώμα είναι η επιλίμνιο και το βαθύτερο στρώμα είναι το υπολίμνιο. Μεταξύ των δύο στρωμάτων νερού είναι το θερμοκλινές, όπου η θερμοκρασία αλλάζει γρήγορα με βάθος (**Εικόνα 4.1**). Η θερμική στρω-

μάτωση συμβαίνει στις περισσότερες μάζες νερού που δεν έχουμε ροή νερού που είναι βαθύτερες από 2 ή 3 m. Οι υδάτινες μάζες, ιδίως οι μικρές, που είναι προστατεύονται από τον άνεμο είναι ιδιαίτερα ευαίσθητες στη στρωμάτωση.

Η θερμική στρωμάτωση διαρκεί έως ότου η ανάμειξη λόγω του ανέμου είναι αρκετά ισχυρή ώστε να υπερβεί τη διαφορά πυκνότητας μεταξύ των δύο στρωμάτων ή έως τα επιφανειακά νερά να ψυχρανθούν. Σε εύκρατα κλίματα, οι υδάτινες μάζες στρωματοποιούνται και αποστρωματοποιούνται σε ετήσια βάση, αλλά στους τροπικούς, ορισμένες λίμνες μπορεί να στρωματοποιούνται για μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα. Οι λιμνοδεξαμενές στις υδατοκαλλιέργειες είναι συνήθως ρηχές, και στρωματοποιούνται και αποστρωματοποιούνται καθημερινά και όχι εποχικά. Επιπλέον, αρκετές λιμνοδεξαμενές στις υδατοκαλλιέργειες αερίζονται μηχανικά και τα ρεύματα του νερού που παράγονται από τους αεριστές διαταράσσουν τη θερμική διαστρωμάτωση.

Το ηλιακό φως είναι η πηγή ενέργειας για τη φωτοσύνθεση. Η ένταση του φωτός μειώνεται γρήγορα σε συνάρτηση με το βάθος, ακόμα και σε καθαρό νερό. Τα αιωρούμενα σωματίδια απορροφούν και αντανakλούν το φως, το οποίο αυξάνει το ρυθμό ψύξης (quenching rate) και συμβάλλουν στη θέρμανση στο υπερκείμενο στρώμα νερού (επιλίμνιο). Η ταχεία εξασθένιση του φωτός περιορίζει επίσης τη φωτοσύνθεση στα επιφανειακά νερά. Η ελάχιστη απαίτηση φωτός για την ανάπτυξη του φυτοπλαγκτού είναι περίπου 1% της πλήρους έντασης του καλοκαιρινού ηλιακού φωτός

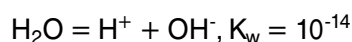
και το βάθος στο οποίο διαπερνά το 1% του ηλιακού φωτός είναι το βάθος αντιστάθμισης (περίπου το βάθος στο οποίο η φωτοσύνθεση και η αναπνοή του φυτοπλαγκτόν είναι ίσες). Η απλούστερη μέθοδος για την αξιολόγηση της διείσδυσης του φωτός είναι η μέτρηση της διαφάνειας με το δίσκο του Secchi (**Εικόνα 4.2**). Το βάθος του νερού στο οποίο εξαφανίζεται ο δίσκος είναι η ορατότητα του δίσκου του Secchi. Το βάθος αντιστάθμισης είναι περίπου διπλάσιο από την ορατότητα του δίσκου του Secchi. Οι φυσικές, μη μολυσμένες λίμνες μπορεί να έχουν ορατότητα του δίσκου του Secchi 5-10 m, αλλά οι λιμνοδεξαμενές στις υδατοκαλλιέργειες συχνά έχουν τιμές <50 cm.

4.2.9 pH

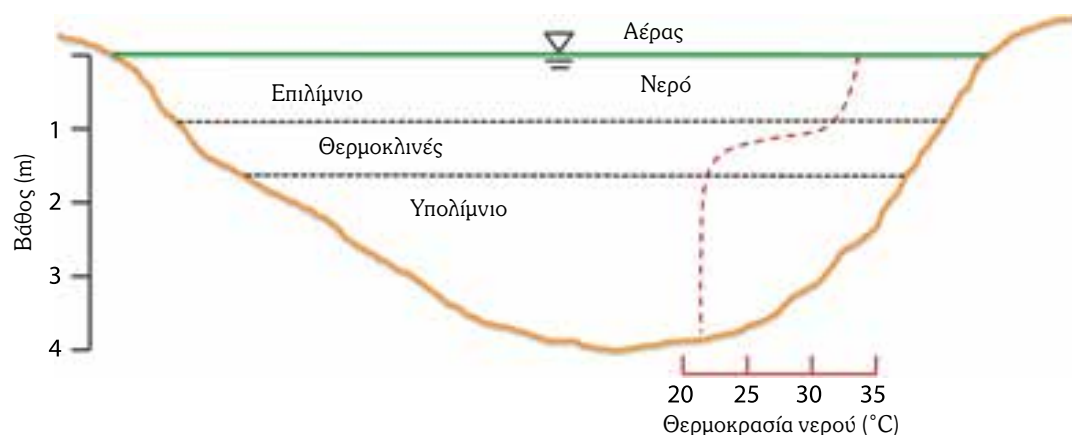
Το pH είναι ο αρνητικός λογάριθμος της συγκέντρωσης των ιόντων υδρογόνου:

$$\text{pH} = -\log(\text{H}^+)$$

όπου (H^+) = μοριακή συγκέντρωση των ιόντων υδρογόνου. Η έννοια του pH προήλθε από την ιονισμό του νερού:



Το K_w είναι η σταθερά ισορροπίας (K) για τη διάσταση του νερού. Η τιμή του K είναι ένα μέτρο της θέσης ισορροπίας μιας αντίδρασης. Για τη διάσταση του νερού, το K_w είναι πολύ μικρό (10^{-14}), γεγονός που ευνοεί σε μεγάλο βαθμό το αντιδρα-



Εικόνα 4.1 Θερμική διαστρωμάτωση μιας μικρής λίμνης. Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από τον Craig Tucker 2017.



Εικόνα 4.2 Δίσκος του Secchi βυθίζεται στο νερό μιας λιμνοδεξαμενής για να προσδιοριστεί η θολερότητα. Χρησιμοποιώντας τις διαβαθμίσεις του σχοινιού (ή της λαβής), η θολερότητα μετράται με την επισήμανση του βάθους στο οποίο ο δίσκος δεν είναι πλέον ορατός. Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από τον Danny Oberle, 2017.

στήριο H_2O . Η συγκέντρωση των ιόντων υδρογόνου και το pH του καθαρού νερού υπολογίζονται ως εξής:

$$\begin{aligned} (H^+) (OH^-) &= 10^{-14}, \text{ και } (H^+) = (OH^-) \\ (H^+)^2 &= 10^{-14} \\ H^+ = OH^- &= 10^{-7} \text{ M} \\ \text{pH} &= -\log (10^{-7}) = -(-7) = 7 \end{aligned}$$

Η έννοια του pH επιτρέπει τη συγκέντρωση ιόντων υδρογόνου να εκφράζεται ως αριθμός μεταξύ 0 και 14 αντί εκθετικά ή ως μικρό δεκαδικό κλάσμα.

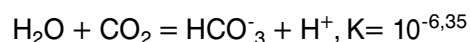
Τα ιόντα υδρογόνου προκαλούν οξύτητα και το pH εκφράζει το βαθμό οξύτητας. Το καθαρό νερό είναι ουδέτερο, ούτε βασικό ούτε όξινο, διότι $(H^+) = (OH^-)$. Νερά με pH κάτω του 7 είναι όξινα, ενώ αυτά με pH άνω του 7 είναι βασικά (ή αλκαλικά). Η οξύτητα αυξάνεται καθώς το pH μειώνεται κάτω από το 7 και μειώνεται καθώς το pH αυξάνεται πάνω από το 7. Το αντίθετο ισχύει για τις βάσεις.

Λόγω της λογαριθμικής φύσης του pH, ορισμένοι υποστηρίζουν ότι οι μέσες τιμές του pH πρέ-

πει να υπολογίζονται μετατρέποντας πρώτα τις τιμές του pH σε συγκεντρώσεις ιόντων υδρογόνου. Αυτές είναι ο μέσος όρος και στη συνέχεια το μέσο pH υπολογίζεται από τη μέση συγκέντρωση ιόντων υδρογόνου. Η πρακτική αυτή είναι σχεδόν πάντα εσφαλμένη για σκοπούς υδατοκαλλιέργειας και είναι ορθότερο να υπολογίζεται η μέση τιμή των μετρήσεων του pH (Boyd et al. 2011).

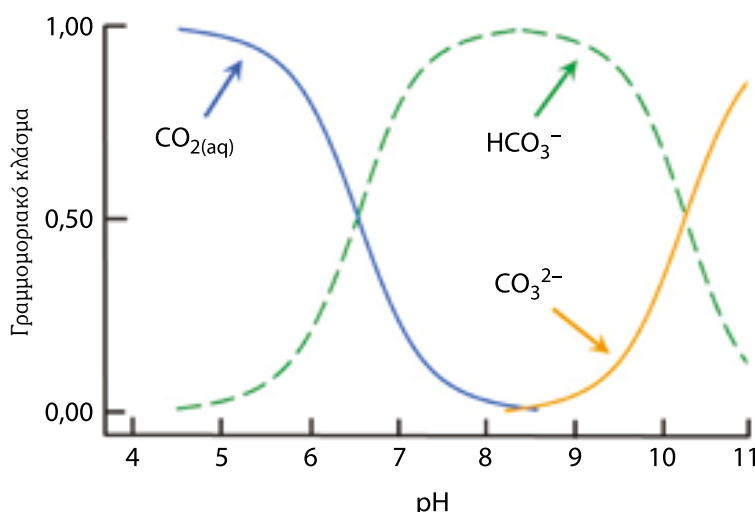
4.2.10 Διοξείδιο του Άνθρακα, Ανθρακικά και Διττανθρακικά

Οι βροχοπτώσεις είναι φυσικά όξινες, επειδή είναι κορεσμένες με διοξείδιο του άνθρακα (CO_2):



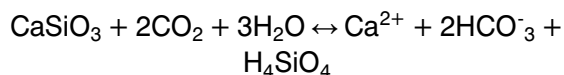
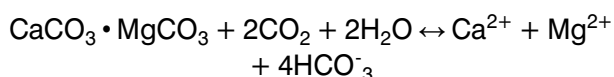
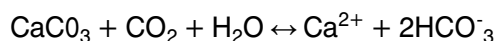
Το διοξείδιο του άνθρακα μειώνει το pH του βρόχινου νερού στο περίπου 5,6. Χαμηλότερες τιμές pH των βροχοπτώσεων μπορεί να προκληθούν από θειικό οξύ και άλλα ισχυρά οξέα που προέρχονται από την ατμοσφαιρική ρύπανση.

Η οξύτητα από το διοξείδιο του άνθρακα στο



Εικόνα 4.3 Μοριακά κλάσματα διαλυμένου ανόργανου άνθρακα που εμφανίζεται ως CO_2 , HCO_3^- , CO_3^{2-} σε διαφορετικές τιμές pH. Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από τον Craig Tucker, 2017.

βρόχινο νερό διαλύει ασβεστολιθικά και πυριτικά μεταλλικά στοιχεία¹.



Η αντίδραση του CO_2 με τα μεταλλικά στοιχεία είναι η πηγή διτανθρακικού (HCO_3^-) στο νερό. Τα διτανθρακικά δεν απαντώνται σε pH μικρότερο του 4,5. Σε τιμές pH μεταξύ 4,5 και 8,3, το νερό περιέχει CO_2 και HCO_3^- και οι αναλογίες των δύο αυτών ουσιών καθορίζουν το pH (**Εικόνα 4.3**).

Η συγκέντρωση CO_2 είναι αμελητέα σε pH 8,3 και άνω, και τα HCO_3^- θα βρίσκονται σε ισορροπία με τα ανθρακικά (CO_3^{2-}) αντί για το διοξείδιο του άνθρακα:



Οι αναλογίες CO_2 , HCO_3^- και CO_3^{2-} σχετίζονται με το pH (**Εικόνα 4.3**) και, για πρακτικούς σκοπούς, μόνο δύο εξ αυτών συνυπάρχουν σε δεδομένη τι-

μή pH. Τα δύο συστατικά μέρη σχηματίζουν ένα ρυθμιστικό σύστημα για να αντισταθούν στην αλλαγή του pH. Εάν προστεθεί H^+ στο νερό σε pH 7,5, θα αντιδράσει με το HCO_3^- για να παράγει περισσότερο CO_2 , και το pH δεν θα αλλάξει όσο είναι διαθέσιμο το HCO_3^- . Εάν προστεθεί OH^- στο νερό με pH 7,5, θα αντιδράσει με το CO_2 για να παράγει περισσότερο HCO_3^- . Με τον τρόπο αυτό αποφεύγεται η απότομη αύξηση του pH όσο υπάρχει CO_2 . Δεν υπάρχει CO_2 σε pH 8,3 και άνω, και το HCO_3^- και το CO_3^{2-} λειτουργούν ως ρυθμιστικό διάλυμα αντιδρώντας με την προσθήκη H^+ και OH^- .

Πολλά βυθισμένα υδρόβια φυτά και τα περισσότερα είδη φυτοπλαγκτού του γλυκού νερού μπορούν να χρησιμοποιήσουν είτε CO_2 είτε HCO_3^- ως πηγή άνθρακα για τη φωτοσύνθεση. Τα φυτά που μπορούν να χρησιμοποιήσουν μόνο διαλυμένο CO_2 γενικά περιορίζονται σε νερά με χαμηλές συγκεντρώσεις HCO_3^- , επειδή τα είδη που μπορούν να χρησιμοποιήσουν είτε CO_2 είτε HCO_3^- έχουν ένα αναπτυξιακό πλεονέκτημα σε νερά με άφθονο HCO_3^- . Ανεξάρτητα από το αν τα φυτά χρησιμοποιούν CO_2 ή HCO_3^- ως πηγή άνθρακα, το καθαρό αποτέλεσμα της υποβρύχιας φωτοσύνθεσης είναι η αύξηση του pH του νερού. Όταν η υποβρύχια αναπνοή υπερβαίνει τη φωτοσύνθεση (για παράδειγμα κατά τη διάρκεια της νύχτας), παράγεται περίσσεια CO_2 και το pH μειώνεται. Οι αντιδράσεις που είναι υπεύθυνες για τις αλλαγές του pH κατά τη διάρκεια της φωτοσύνθεσης και της αναπνοής εξηγούνται από τους Boyd et al. (2016).

¹ (Το ανθρακικό ασβέστιο CaCO_3 είναι ασβεστιτικός ασβεστόλιθος και το $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ είναι δολομιτικός ασβεστόλιθος, αλλά ο πιο πολλός ασβεστόλιθος δεν είναι καθαρός ασβεστόλιθος ή καθαρός δολομίτης. Εκτός από το πυριτικό ασβέστιο, τα πυριτικά της ομάδας των άστριων (τεκτοπυριτικά ορυκτά) είναι πηγές αλκαλικότητας).

4.2.11 Ολική Αλκαλικότητα και Ολική Σκληρότητα

- Η ολική αλκαλικότητα είναι η ικανότητα εξουδετέρωσης των οξέων του νερού και περιλαμβάνει όλες τις βάσεις που τιτλοδοτούνται με ισχυρό οξύ σε pH περίπου 4,5.
- Συνολική σκληρότητα είναι η συγκέντρωση όλων των δισθενών κατιόντων στο νερό. Στα περισσότερα νερά τα κύρια δισθενή κατιόντα είναι το ασβέστιο και το μαγνήσιο.

Η ολική σκληρότητα μπορεί να μετρηθεί με τιτλοδότηση των δισθενών κατιόντων με το χηλικό συμπλεκτικό παράγοντα αιθυλενοδιαμινοτετραοξικό οξύ (EDTA) ή με άθροιση των ανεξάρτητων μετρήσεων ασβεστίου και μαγνησίου. Η αλκαλικότητα και η σκληρότητα εκφράζονται με διάφορους τρόπους, ανάλογα με την επιστημονική πειθαρχία και τη χώρα, αλλά και οι δύο εκφράζονται συχνά ως ισοδύναμα CaCO_3 . Οι έννοιες της αλκαλικότητας και της σκληρότητας, η μέτρηση τους και η έκφραση της συγκέντρωσης εξηγούνται λεπτομερώς από τους Boyd et al. (2016).

Η ολική αλκαλικότητα του φυσικού νερού σπάνια υπερβαίνει τα 50 mg/L, όπως το CaCO_3 , σε περιοχές με όξινα εδάφη. Περιοχές με ουδέτερα ή βασικά εδάφη, ιδίως όπου τα εδάφη που περιέχουν ασβεστόλιθο, συνήθως έχουν νερά ολικής αλκαλικότητας 50-200 mg/L. Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις απαντώνται συχνά σε άνυδρες περιοχές. Τα υπόγεια νερά από ασβεστολιθικούς σχηματισμούς μπορεί να περιέχουν έως 500 mg/L ολικής αλκαλικότητας, αλλά ορισμένα υπόγεια νερά μπορεί να είναι πολύ χαμηλά σε αλκαλικότητα. Η μέση συνολική αλκαλικότητα του θαλάσσιου νερού είναι 116 mg/L.

Στις υγρές περιοχές, οι συνολικές συγκεντρώσεις σκληρότητας στο νερό είναι συνήθως παρόμοιες με εκείνες της ολικής αλκαλικότητας. Η σκληρότητα μπορεί να είναι σημαντικά υψηλότερη από την ολική αλκαλικότητα στις άνυδρες περιοχές. Τα φυσικά μαλακά υπόγεια νερά έχουν μικρότερη σκληρότητα από αλκαλικότητα. Η συνολική σκληρότητα του θαλάσσιου νερού υπερβαίνει τα 6000 mg/L.

4.2.12 Θρεπτικά συστατικά

Τα φυτά απαιτούν άνθρακα, υδρογόνο, οξυγόνο,

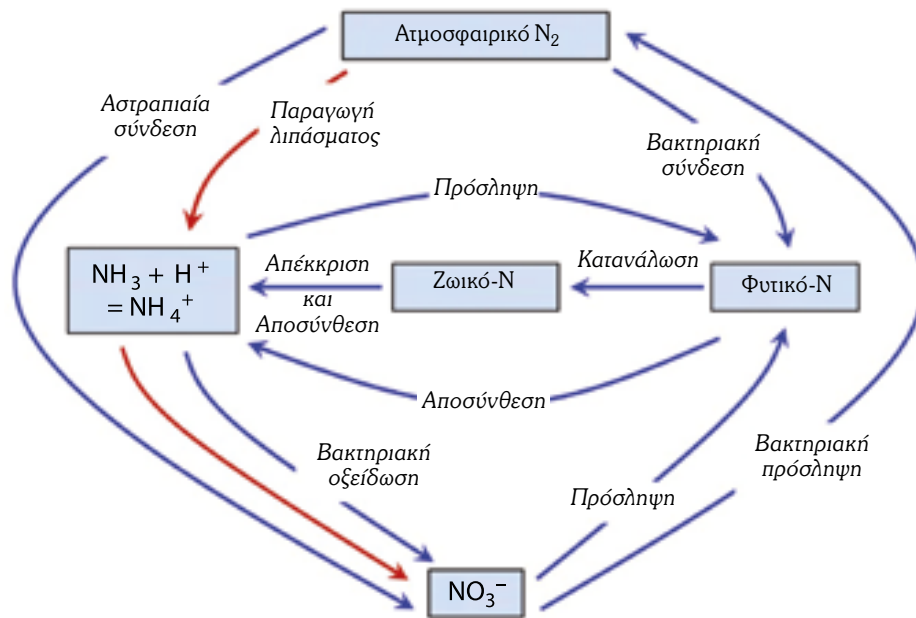
άζωτο, θείο, φώσφορο, ασβέστιο, μαγνήσιο, κάλιο, νάτριο, σίδηρο, μαγγάνιο, ψευδάργυρο, χαλκό και ενδεχομένως άλλα στοιχεία. Ωστόσο, το άζωτο και ο φώσφορος είναι συνήθως τα δύο σημαντικότερα θρεπτικά συστατικά που ρυθμίζουν την παραγωγικότητα των φυτών στα υδάτινα οικοσυστήματα. Σχετικά μεγάλες ποσότητες N και P μπορούν να προστεθούν σε συστήματα υδατοκαλλιέργειας μέσα στα λιπάσματα ή τις χορηγούμενες τροφές.

Ο φωσφόρος παρατηρείται στο νερό κυρίως ως φωσφορικά ιόντα (H_2PO_4^- ή HPO_4^{2-}) και σε διάφορες οργανικές ενώσεις. Στο ίζημα, ο φωσφόρος σχηματίζει ανεπαρκώς διαλυτές ενώσεις με σίδηρο και αλουμίνιο υπό όξινες συνθήκες και με ασβέστιο υπό βασικές συνθήκες. Η συγκέντρωση του φωσφόρου στο νερό σε ισορροπία με το φωσφόρο στο ίζημα είναι συνήθως μικρότερη από 10 mg/L. Το μεγαλύτερο μέρος του φωσφόρου στο νερό βρίσκεται στη βιομάζα του πλαγκτόν ή προσροφημένος σε αιωρούμενα σωματίδια του εδάφους. Οι συνολικές συγκεντρώσεις φωσφόρου είναι συνήθως 10-20 φορές μεγαλύτερες από τις συγκεντρώσεις του διαλυτού φωσφόρου.

Το άζωτο απαντάται στο νερό με διάφορες μορφές: μοριακό άζωτο (N_2), αμμωνία (NH_3), αμμώνιο (NH_4^+), νιτρώδη (NO_2^-), νιτρικά (NO_3^-) και οργανικό άζωτο. Το οργανικό άζωτο μπορεί να διαλυθεί ή να είναι σε μορφή αιωρούμενων σωματιδίων και το σωματιδιακό άζωτο μπορεί να βρίσκεται σε ζωντανούς οργανισμούς ή στα υπολείμματα τους.

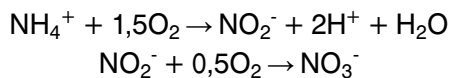
Η διαλυτότητα του αερίου δινιτρογόνου (N_2) στο νερό δίνεται στον **Πίνακα 4.3**. Στα μη μολυσμένα νερά, οι συγκεντρώσεις αμμωνίας-αζώτου και νιτρικά-αζώτου σπάνια υπερβαίνουν τα 0,25 mg/L, και τα νιτρώδη συχνά δεν είναι ανιχνεύσιμα. Η συνολική συγκέντρωση αζώτου μπορεί να φθάσει το 1 mg/L. Ωστόσο, το μολυσμένο νερό και το νερό στις εγκαταστάσεις υδατοκαλλιέργειας ενδέχεται να περιέχουν πολύ μεγαλύτερες συγκεντρώσεις των διαφόρων αζωτούχων ενώσεων.

Όλες οι μορφές του κύκλου του αζώτου (**Εικόνα 4.4**) εκτός από την παραγωγή λιπασμάτων συμβαίνουν σε λίμνες και λιμνοδεξαμενές. Ορισμένα βακτήρια και γαλαζοπράσινα φύκη μπορούν να δεσμεύσουν το μοριακό άζωτο, και όταν πεθάνουν και αποσυντεθούν, το άζωτο απελευθερώνεται με την μορφή αμμωνίας και εισέρχεται στον βι-

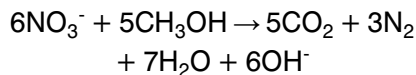


Εικόνα 4.4 Ο κύκλος του αζώτου. Παραγωγή βιομηχανικών λιπασμάτων από ατμοσφαιρικό άζωτο (κόκκινο βέλος). Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από τον Craig Tucker, 2017.

ολογικό κύκλο. Οι βροχοπτώσεις περιέχουν νιτρικά, επειδή η ηλεκτρική δραστηριότητα στην ατμόσφαιρα οξειδώνει το μοριακό άζωτο σε νιτρικά. Η αμμωνία οξειδώνεται σε νιτρικά από τα νιτροποιητικά βακτήρια σε μια διεργασία δύο σταδίων:



Στα αναερόβια ιζήματα και νερό, τα απονιτροποιητικά βακτήρια ελαττώνουν τα νιτρικά σε μοριακό άζωτο, όπως απεικονίζεται ακολούθως, χρησιμοποιώντας τη μεθανόλη ως πηγή άνθρακα:



Σημειώστε τις επιπτώσεις της νιτροποίησης και της απονιτροποίησης στο pH: η νιτροποίηση παράγει H^+ και προκαλεί μείωση του pH, η απονιτροποίηση παράγει OH^- και προκαλεί αύξηση του pH. Οι επιπτώσεις των μετασχηματισμών του αζώτου στο pH μπορεί να είναι σημαντικές για την υδατοκαλλιέργεια.

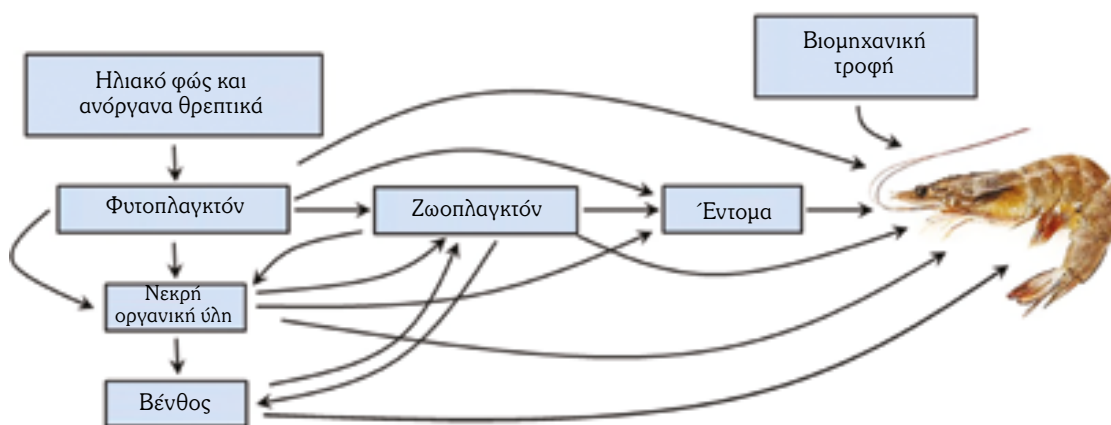
Τα φυτά χρησιμοποιούν αμμώνιο και νιτρικά για την παρασκευή αμινοξέων και πρωτεϊνών. Όταν τα φυτά πεθαίνουν, τα υπολείμματα τους αποσυντίθενται από μικροοργανισμούς με ανοργανοποίη-

ση (μετατροπή σε ανόργανη ουσία) της αμμωνίας στον περιβάλλοντα χώρο. Το άζωτο περιέχεται επίσης σε οργανική ύλη που συσσωρεύεται στον πυθμένα των υδάτινων οικοσυστημάτων.

Τόσο το άζωτο όσο και ο φώσφορος αποτελούν περιοριστικούς παράγοντες για την ανάπτυξη των φυτών στα περισσότερα υδάτινα οικοσυστήματα, συμπεριλαμβανομένων των συστημάτων υδατοκαλλιέργειας. Οι υπερβολικές συγκεντρώσεις αζώτου και φωσφόρου σε υδάτινα οικοσυστήματα οδηγούν στον ευτροφισμό και ανεπιθύμητες ανθήσεις πυκνού φυτοπλαγκτού όπου κυριαρχούν τα γαλαζοπράσινα φύκη.

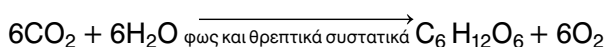
4.2.13 Μικροοργανισμοί και Ποιότητα του Νερού

Η αφθονία του φυτοπλαγκτού ελέγχεται από τη διαθεσιμότητα του φωτός και των θρεπτικών ουσιών. Σε καθαρά νερά με χαμηλά επίπεδα θρεπτικών, η υποβρύχια βλάστηση ακμάζει επειδή μπορούν να προσλαμβάνουν τα θρεπτικά συστατικά από τα ιζήματα. Τα νερά με μεγαλύτερη διαθεσιμότητα θρεπτικών ουσιών διαλυμένων στο νερό θα εμφανίσουν ανθήσεις φυτοπλαγκτού, εκτός και εάν υδατοδιαλυτές ουσίες ή θολερότητα λόγω αργύλου περιορίζουν τη διαθεσιμότητα του φωτός.



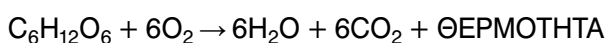
Εικόνα 4.5 Η τροφική αλυσίδα σε μια λιμνοδεξαμενή καλλιέργειας γαρίδας. Πηγή: Craig Tucker, 2017.

Τα φυτά παράγουν οργανική ύλη και απελευθερώνουν οξυγόνο μέσω της φωτοσύνθεσης:



Η οργανική ύλη που παράγεται στη φωτοσύνθεση είναι η βάση της τροφικής αλυσίδας (**Εικόνα 4.5**) στα υδρόβια οικοσυστήματα. Όλοι οι οργανισμοί αναπνέουν και μεγάλο μέρος του οξυγόνου που παράγεται στη φωτοσύνθεση χρησιμοποιείται για την αναπνοή από τους ζωντανούς οργανισμούς των λιμνοδεξαμενών (συμπεριλαμβανομένου του φυτοπλαγκτού και των υδρόβιων φυτών κατά τη διάρκεια της νύχτας).

Η αναπνοή, ως οικολογική διαδικασία, είναι ουσιαστικά το αντίστροφο της φωτοσύνθεσης:



Για τους σκοπούς μας, αρκεί να επισημάνουμε ότι τα φυτά παράγουν οργανική ύλη η οποία είτε χρησιμοποιείται για την αναπνοή τους είτε για την παραγωγή των ιστών τους. Τα φυτά γίνονται τροφή για τα ζώα ή υπόστρωμα για οργανισμούς αποσύνθεσης. Το φυτοπλαγκτόν απομακρύνει θρεπτικά συστατικά από το νερό, ενώ οι οργανισμοί αποσύνθεσης τα ανακυκλώνουν.

Τα νιτροποιητικά και τα απονιτροποιητικά βακτήρια επηρεάζουν σημαντικά τις συγκεντρώσεις αμμωνίας και νιτρικών. Οι υψηλές συγκεντρώσεις νιτρώδων επιτυγχάνονται όταν ο ρυθμός οξείδωσης της αμμωνίας σε νιτρώδη υπερβαίνει το ρυθμό οξείδωσης των νιτρώδων σε νιτρικά. Τα νιτρώδη άλατα μπορούν επίσης να συσσωρευτούν όταν τα απονιτροποιητικά βακτήρια παράγουν νι-

τρώδη αντί αερίου αζωτούχου υπό ορισμένες συνθήκες.

Έντονες ανθήσεις φυτοπλαγκτού μπορεί να προκαλέσουν επιφανειακή θερμική στρωμάτωση, καθώς τα κύτταρα απορροφούν το φως και θερμαίνουν τα επιφανειακά νερά. Το νεκρό φυτοπλαγκτόν εγκαθίσταται στο υπολίμνιο, προκαλώντας εξάντληση του διαλυμένου οξυγόνου DO και συσσώρευση δυνητικά τοξικών μικροβιακών μεταβολιτών. Η αιφνίδια αποστρωματοποίηση των υδάτινων μαζών που οφείλεται σε ισχυρό άνεμο, έντονες βροχές ή άλλους παράγοντες, μπορεί να αναμίξει με το νερό του υπολίμνιου με αυτό της επιφάνειας, οδηγώντας σε εξάντληση του διαλυμένου οξυγόνου DO και να οδηγήσει σε θανάτους των ψαριών.

Το απόγευμα, το διαλυμένο οξυγόνο DO και το pH θα είναι υψηλότερα στα επιφανειακά νερά από ότι στα βαθύτερα νερά, ενώ το αντίθετο συμβαίνει με το διοξείδιο του άνθρακα. Στα υδατικά οικοσυστήματα που δεν υπάρχει θερμική στρωμάτωση, η μείωση του οξυγόνου συνήθως δεν θα συμβεί στα βαθιά νερά, αλλά αναερόβιες ζώνες ενδέχεται να αναπτυχθούν στη ζώνη επαφής μεταξύ νερού και ιζήματος.

Το φυτοπλαγκτό επηρεάζει το διαλυμένο οξυγόνο DO, τις συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα και το pH του νερού κατά τη διάρκεια του 24ώρου κύκλου φωτός και σκότους. Στο φως της ημέρας, η φωτοσύνθεση χρησιμοποιεί διοξείδιο του άνθρακα και παράγει διαλυμένο οξυγόνο (DO) ταχύτερα από ότι η αναπνοή απελευθερώνει διοξείδιο του άνθρακα και χρησιμοποιεί οξυγόνο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου (DO) και τη

μείωση της συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα. Η μείωση του διοξειδίου του άνθρακα προκαλεί αύξηση του pH. Τη νύχτα, η φωτοσύνθεση σταματά αλλά η αναπνοή συνεχίζεται. Έτσι, το διαλυμένο οξυγόνο (DO) μειώνεται και το pH μειώνεται επειδή αυξάνεται η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα. Η ένταση της διακύμανσης των τριών μεταβλητών αυξάνεται καθώς αυξάνεται η αφθονία του φυτοπλαγκτού. Μείωση του διαλυμένου οξυγόνου (DO) μπορεί να συμβεί κατά τη διάρκεια της νύχτας σε υδάτινες μάζες με έντονη άνθηση φυτοπλαγκτού (**Εικόνα 4.6**). Η πιθανότητα εξάντλησης του διαλυμένου οξυγόνου (DO) αυξάνεται κατά τη διάρκεια συννεφιάς, επειδή η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου (DO) κατά τη διάρκεια της ημέρας δεν αυξάνεται τόσο πολύ όσο αυξάνεται συνήθως και η συγκέντρωση κατά τη διάρκεια της νύχτας θα μειωθεί σε επίπεδα χαμηλότερα από τα κανονικά.

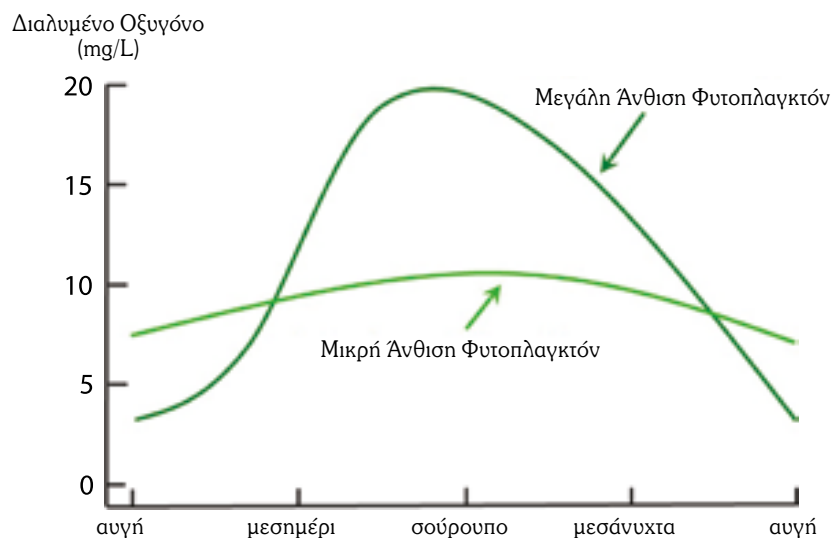
Οι έντονες ανθήσεις φυτοπλαγκτού μπορεί ξαφνικά να πεθάνουν λόγω της έκθεσης σε υπερβολικό φως ή ανεξήγητους παράγοντες. Η αποσύνθεση του νεκρού φυτοπλαγκτού μπορεί να οδηγήσει σε εξάντληση του διαλυμένου οξυγόνου DO με συνέπεια το θάνατο των ψαριών.

4.2.14 Εδάφη του βυθού και Ποιότητα του Νερού

Οι λιμνοδεξαμενές με όξινο έδαφος του βυθού και γεμάτες με νερό απορροής θα έχουν χαμηλή

αλκαλικότητα και κακή ρυθμιστική ικανότητα. Τα εδάφη έχουν μεγάλη συγγένεια με τον φώσφορο και ελέγχουν τις συγκεντρώσεις του φωσφόρου και την αύξηση του φυτοπλαγκτού. Η οργανική ύλη συσσωρεύεται στον πυθμένα των λιμνοδεξαμενών και τα βακτήρια διασπούν αυτό το υλικό και ανακυκλώνουν τα θρεπτικά συστατικά που περιέχει. Η βακτηριακή δραστηριότητα χρησιμοποιεί οξυγόνο ταχύτερα από ότι μπορεί να διαχυθεί ή να διεισδύει στον πυθμένα της λιμνοδεξαμενής. Κάτω από ένα συγκεκριμένο βάθος, μερικών εκατοστών σε ολιγοτροφικά υδάτινα οικοσυστήματα ή λίγα χιλιστά σε ευτροφικά οικοσυστήματα, το ίζημα είναι αναερόβιο.

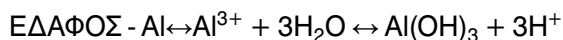
Η οργανική ύλη αποσυντίθεται με ζύμωση υπό αναερόβιες συνθήκες, αλλά η διαδικασία αυτή αποικοδομεί μόνο εν μέρει την οργανική ύλη. Ορισμένα βακτήρια χρησιμοποιούν οξυγόνο από ανόργανες ενώσεις αντί του μοριακού οξυγόνου για την πλήρη αποσύνθεση της οργανικής ύλης σε CO₂ και H₂O. Τα απονιτροποιητικά βακτήρια είναι ένα παράδειγμα. Άλλα βακτήρια μπορούν να χρησιμοποιήσουν οξυγόνο από ενώσεις σιδήρου και μαγγανίου, θειικές ενώσεις και διοξείδιο του άνθρακα σε αποσυντιθέμενη οργανική ύλη. Οι διεργασίες αυτές έχουν ως αποτέλεσμα την απελευθέρωση αερίου αζώτου και νιτρωδών, σιδήρου, μαγγανικού μαγγανίου, υδροθείου και μεθανίου, αντίστοιχα. Ιδιαίτερα τα νιτρώδη και το υδρόθειο είναι δυνητικά τοξικά για τα υδρόβια ζώα. Εκτός από το μεθάνιο και το αέριο αζώτου, οι μει-



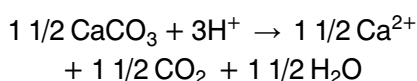
Εικόνα 4.6 Επίδραση του χρόνου της ημέρας και της πυκνότητας πλαγκτόν στη συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου (DO) στα επιφανειακά νερά των λιμνοδεξαμενών υδατοκαλλιέργειας. Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από τον Craig Tucker, 2017

ωμένες ουσίες δεν διαχέονται συνήθως στη στήλη του νερού, επειδή το σημείο επαφής μεταξύ ιζήματος και νερού τείνει να είναι αερόβιο.

Το χαμηλό pH στα περισσότερα εδάφη οφείλεται στην ακόλουθη αντίδραση που περιλαμβάνει ιόντα αλουμινίου προσροφημένα σε εδαφικά σωματίδια αργίλου:



Ανθρακικό ασβέστιο (όπως απεικονίζεται ως CaCO_3) μπορεί να εφαρμοστεί στο ίζημα για την εξουδετέρωση των ιόντων υδρογόνου:



Η εξουδετέρωση του H^+ έχει ως αποτέλεσμα την απελευθέρωση ιόντων αλουμινίου από το έδαφος για την υδρόλυση και το ιζηματοποιείται ως υδροξείδιο του αλουμινίου, με αποτέλεσμα την παραγωγή πρόσθετων ιόντων υδρογόνου που εξακολουθούν να εξουδετερώνονται με ανθρακικό ασβέστιο. Ένα ιόν ασβεστίου από την αντίδραση του CaCO_3 και H^+ αντικαθιστά το Al^{3+} στο έδαφος. Αυτό προκαλεί αύξηση του pH του εδάφους. Εφαρμόζεται αρκετό ανθρακικό ασβέστιο ή άλλος ασβεστούχος παράγοντας για την εξουδετέρωση της οξύτητας που μπορεί δυνητικά να προκύψει από ανταλλάξιμο αλουμίνιο. Η αντικατάσταση του ανταλλάξιμου αλουμινίου με ασβέστιο θα αυξήσει το pH του εδάφους σε περίπου 7.

4.2.15 Χορήγηση Τροφής και Ποιότητα Νερού

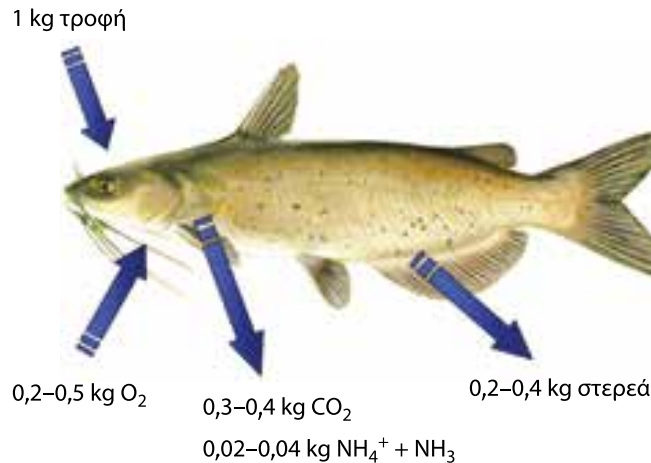
Στα νερά που δεν γίνεται διαχείριση, εάν δεν ρυπαίνονται, μπορούν να προσφέρουν ένα εξαιρετικό περιβάλλον για τα ψάρια, αλλά συνήθως δεν είναι παραγωγικά, επειδή η τροφή σπανίζει. Η διαθεσιμότητα της τροφής μπορεί να αυξηθεί με τη χρήση λιπασμάτων για την ενίσχυση της φυσικής παραγωγικότητας. Η χορήγηση λιπασμάτων εξετάζεται στη συνέχεια, στην ενότητα 4.4.2. Η παραγωγή στην υδατοκαλλιέργεια από λιπασμένες λιμνοδεξαμενές εξαρτάται από το ρυθμό ανάπτυξης των φυτών, το οποίο περιορίζεται τελικά από την πεπερασμένη ενέργεια που διατίθεται από το

ηλιακό φως. Για να επιτευχθεί μεγαλύτερη παραγωγή, η τροφή, συνήθως με τη μορφή βιομηχανικών τροφών, πρέπει να εισάγονται εκτός του συστήματος εκτροφής.

Μόνο ένα ποσοστό της χορηγούμενης τροφής καταναλώνεται. Τα ψάρια καταναλώνουν γρήγορα την τροφή σε σύμπηκτα (pellets) και με προσεκτική χορήγηση τροφής, καταναλώνεται το 90% ή μεγαλύτερο ποσοστό της τροφής. Η γαρίδα τσιμπολογάει την τροφή σε σύμπηκτα και το 20-40% της τροφής μπορεί να μην καταναλωθεί άμεσα. Περίπου το 80 ή 90% της τροφής που καταναλώνεται από τα εκτρεφόμενα είδη απορροφάται από το έντερο και το υπόλοιπο μετατρέπεται σε περιττώματα. Τα απορροφούμενα θρεπτικά συστατικά χρησιμοποιούνται στο μεταβολισμό και, σε μικρότερο βαθμό, στην αύξηση. Το νερό, το διοξείδιο του άνθρακα, η αμμωνία, το φωσφορικό άλας και άλλες ενώσεις απεκκρίνονται ως απόβλητα μεταβολισμού (**Εικόνα 4.7**). Μια σχετικά μικρή ποσότητα θρεπτικών ουσιών στην αρχική εισροή τροφής δεσμεύεται στη βιομάζα των εκτρεφόμενων ζώων. Σε ένα παράδειγμα, η γαρίδα από υδατοκαλλιέργεια περιείχε μόνο το 12,2% του άνθρακα, το 25,8% του αζώτου και το 14,2% του φωσφόρου που χρησιμοποιούνταν στις χορηγούμενες τροφές. Στην ιχθυοκαλλιέργεια, τα ποσοστά του άνθρακα και του αζώτου των εκτρεφόμενων ψαριών είναι παρόμοια με εκείνα με τις γαρίδες. Ωστόσο, σε αντίθεση με τις γαρίδες, τα ψάρια έχουν οστά από φωσφορικό ασβέστιο και επομένως περιέχουν περισσότερο φώσφορο από τις γαρίδες. Το ποσοστό του φωσφόρου των χορηγούμενων τροφών που αφαιρείται στα ψάρια κατά τη συγκομιδή είναι συνήθως περίπου 25-35%.

Τα απόβλητα από τη διατροφή έχουν τεράστια επίδραση ποιότητα του νερού των λιμνοδεξαμενών. Εκτός από την αμμωνία, τα φωσφορικά και άλλα μεταλλικά στοιχεία που απεκκρίνονται απευθείας από τα ζώα, οι μικροοργανισμοί αποσυνθέτουν την οργανική ύλη από τις τροφές που δεν έχουν καταναλωθεί και τα κόπρανα και αποδεσμεύουν τις ίδιες ουσίες στη διαδικασία που ονομάζεται ανοργανοποίηση (mineralisation). Αυτή η διαδικασία διάσπασης αφαιρεί επίσης το διαλυμένο οξυγόνο DO από το νερό και απελευθερώνει διοξείδιο του άνθρακα.

Η αμμωνία και τα φωσφορικά διεγείρουν την



Εικόνα 4.7 Παραγωγή αποβλήτων από ψάρια ως αποτέλεσμα της διατροφής τους. Οι ρυθμοί παραγωγής αποβλήτων ανά kg χορηγούμενης τροφής είναι τυπικές τιμές και ποικίλουν ανάλογα με τα είδη και το μέγεθος των ψαριών, την ποιότητα των τροφών, το ρυθμό χορήγησης της τροφής, τη θερμοκρασία του νερού και άλλους παράγοντες. Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από τον Craig Tucker, 2017

ανάπτυξη πλαγκτονικών και βενθικών φυκών. Η αφθονία των φυκών στις λιμνοδεξαμενές αυξάνεται όσο αυξάνονται οι εισροές από τη χορήγηση τροφής. Λιμνοδεξαμενές με έντονη άνθηση πλαγκτονικών φυκών έχουν συνήθως υψηλές συγκεντρώσεις διαλυμένου οξυγόνου (DO) κατά τη διάρκεια της ημέρας, αλλά χαμηλές συγκεντρώσεις διαλυμένου οξυγόνου (DO) τη νύχτα μπορεί να προκαλέσουν καταπόνιση ή να σκοτώσουν τα εκτρεφόμενα είδη (**Εικόνα 4.6**).

Όταν οι ημερήσιες ρυθμοί χορήγησης τροφής υπερβαίνουν τα 30-40 kg/εκτάριο, η συγκεντρώση του διαλυμένου οξυγόνου (DO) συχνά θα πέσει κατά τη διάρκεια της νύχτας σε λιγότερο από 3 ή 4 mg/L. Οι χαμηλές συγκεντρώσεις του διαλυμένου οξυγόνου (DO) στρεσάρουν τα καλλιεργούμενα είδη, οπότε απαιτείται μηχανικός αερισμός σε υψηλότερους ημερήσιους ρυθμούς χορήγησης τροφής. Τα επίπεδα του διαλυμένου οξυγόνου πρέπει να παρακολουθούνται, ακόμη και σε λιμνοδεξαμενές με μηχανικό αερισμό, για να αποφευχθεί η υπερβολική εισαγωγή τροφής για την ποσότητα του αερισμού που εφαρμόζεται. Η εναλλαγή του νερού χρησιμοποιείται μερικές φορές για να ξεπλένεται το πλαγκτό και τα θρεπτικά συστατικά από τις λιμνοδεξαμενές και να βελτιώνεται η ποιότητα του νερού. Ωστόσο, η πρακτική αυτή μπορεί να οδηγήσει σε υποβάθμιση της ποιότητας των υδάτινων μαζών που δέχονται τα λύματα από τις λιμνοδεξαμενές.

Οι λιμνοδεξαμενές έχουν μεγάλη ικανότητα να

αφομοιώνουν τα απόβλητα που προκύπτουν από την χορηγούμενη τροφή. Όπως αναφέρθηκε ανωτέρω, τα βακτήρια ανοργανοποιεί την οργανική ύλη σε διοξείδιο του άνθρακα, αμμωνία και φωσφορικό οξύ. Η αμμωνία χάνεται στην ατμόσφαιρα με την εξαέρωση (διάχυση). Επίσης, οξειδώνεται σε μη τοξικά νιτρικά άλατα από νιτροποιητικά βακτήρια. Τα νιτρικά μπορούν να απονιτροποιηθούν σε αέριο άζωτο, το οποίο διαχέεται στην ατμόσφαιρα. Το διοξείδιο του άνθρακα μετατρέπεται σε οργανικό άνθρακα με τη φωτοσύνθεση ή διαχέεται από τα νερά της λιμνοδεξαμενής στην ατμόσφαιρα. Τα βακτήρια μπορούν να μετατρέψουν το διοξείδιο του άνθρακα στο ίζημα σε μεθάνιο, το οποίο επίσης διαχέεται στην ατμόσφαιρα. Το ίζημα έχει συνήθως μεγάλη ικανότητα να σταθεροποιεί τον φώσφορο σε αδιάλυτο φωσφορικό άλας σιδήρου, αλουμινίου και ασβεστίου. Μερικά από τα οργανικά υλικά στις λιμνοδεξαμενές είναι σχετικά ανθεκτικά στη μικροβιακή αποσύνθεση και συσσωρεύονται στο ίζημα ως σταθερή οργανική ύλη. Παρόλο που η ικανότητα επεξεργασίας των αποβλήτων των λιμνοδεξαμενών είναι μεγάλη, πολλές λιμνοδεξαμενές λαμβάνουν μεγαλύτερες εισροές θρεπτικών ουσιών με την χορηγούμενη τροφή από αυτές που μπορούν να αφομοιώσουν γρήγορα και η ποιότητα του νερού επιδεινώνεται. Όταν συμβεί αυτό, τα καλλιεργημένα είδη θα επηρεαστούν αρνητικά και ο συντελεστής μετατρεψιμότητας της τροφής θα μειωθεί.

Όταν οι λιμνοδεξαμενές αποστραγγίζονται για

τη συγκομιδή, απορρίπτονται η οργανική ύλη και τα θρεπτικά συστατικά που βρίσκονται στο νερό. Η αποικοδόμηση της νέας οργανικής ύλης στα πυθμένα της λιμνοδεξαμενής μπορεί να επιταχυνθεί επιτρέποντας την ξήρανση και τη δημιουργία ρωγμών στα πυθμένα της λιμνοδεξαμενής για να διευκολυνθεί ο αερισμός (**Εικόνα 22.9**). Κάνοντας αυτό κάθε φορά που αποστραγγίζεται μια λιμνοδεξαμενή, οι σχετικά χαμηλές συγκεντρώσεις οργανικής ύλης μπορούν να διατηρηθούν απεριόριστα στον πυθμένα των λιμνοδεξαμενών. Φυσικά, οι πυθμένες των λιμνοδεξαμενών μπορεί τελικά να κορεστούν με φώσφορο, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις διαλυμένου φωσφόρου και εντονότερες ανθήσεις φυκών.

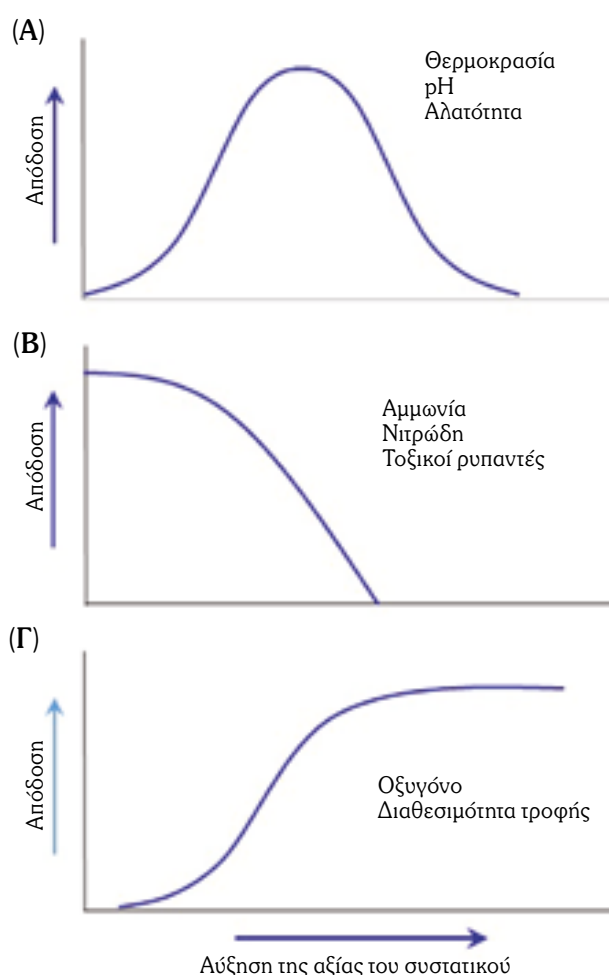
Οι εισαγωγή τροφής στις λιμνοδεξαμενές δεν πρέπει να υπερβαίνουν την ικανότητα των λιμνοδεξαμενών να αφομοιώνουν τα απορρίμματα που προκύπτουν. Ο πιο αξιόπιστος τρόπος καθορισμού του βαθμού αφομοίωσης της λίμνης από την χορηγούμενη τροφή είναι η παρακολούθηση των συγκεντρώσεων του διαλυμένου οξυγόνου (DO) νωρίς το πρωί. Οι ρυθμοί χορήγησης τροφής και του μηχανικού αερισμού πρέπει να ρυθμίζονται ώστε να διατηρούνται οι συγκεντρώσεις του διαλυμένου οξυγόνου DO νωρίς το πρωί πάνω από 3-4 mg/L, όταν εμφανίζονται οι χαμηλότερες συγκεντρώσεις.

4.3 Επιδράσεις της Ποιότητας του Νερού στα Υδρόβια Ζώα

Τα αποτελέσματα αυτών των μεταβλητών της ποιότητας του νερού τείνουν να ακολουθούν τρία πρότυπα (**Εικόνα 4.8**). Στην **Εικόνα 4.8** η “Απόδοση” συμπεριλαμβάνει παράγοντες όπως το επίπεδο της διατροφής, η αύξηση, η συμπεριφορά, η επιβίωση, η γονιμότητα και η ανοσία.

4.3.1 Θερμοκρασία Νερού

Η θερμοκρασία είναι ίσως η σημαντικότερη μεταβλητή της ποιότητας του νερού επειδή επηρεάζει άμεσα ή έμμεσα άλλες μεταβλητές της ποιότητας του νερού, τη φυσική παραγωγικότητα και τα καλλιεργούμενα είδη. Η διαχείριση της θερμοκρασί-



Εικόνα 4.8 Γενικές αντιδράσεις των υδρόβιων ζώων στα αυξανόμενα επίπεδα των περιβαλλοντικών μεταβλητών. **Α)** Ένα διακριτό βέλτιστο επίπεδο με μειωμένη απόδοση σε υψηλά και χαμηλά επίπεδα. **Β)** Μείωση της απόδοσης καθώς αυξάνονται τα επίπεδα. **Γ)** Αύξηση της απόδοσης με την αύξηση του επιπέδου (αν και η απόδοση μπορεί να μειωθεί σε πολύ υψηλό επίπεδο). Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από τον Craig Tucker, 2017.

ας του νερού είναι οικονομικά ανέφικτη στην υπαίθρια υδατοκαλλιέργεια και πρέπει να επιλέγονται εκτρεφόμενα είδη που αναπτύσσονται καλά στο θερμοκρασιακό εύρος του νερού μιας συγκεκριμένης τοποθεσίας.

Η αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνει το ρυθμό των φυσικών διεργασιών, των χημικών αντιδράσεων και του μεταβολισμού και της αύξησης των οργανισμών. Οι ρυθμοί των χημικών αντιδράσεων διπλασιάζονται με αύξηση της θερμοκρασίας κατά 10 °C. Αυτή η σχέση ισχύει για στην αύξηση των υδρόβιων ζώων εντός του εύρους ανοχής της θερμοκρασίας τους. Ο παράγοντας της αύξησης ονο-

μάζεται Q_{10} , ο οποίος είναι συνήθως περίπου 2 για τα υδρόβια ζώα. Φυσικά, εάν η θερμοκρασία υπερβεί το βέλτιστο, η ανάπτυξη των υδρόβιων ζώων θα μειωθεί.

Τα εύρη της θερμοκρασίας του νερού για ορισμένα κοινά είδη υδατοκαλλιέργειας παρέχονται στον **Πίνακα 4.4**. Αυτός ο πίνακας δίνει το χαμηλότερο κρίσιμο εύρος, το εύρος κατά το οποίο γίνεται η λήψη τροφής, το βέλτιστο εύρος για την ανάπτυξη και το ανώτερο κρίσιμο εύρος. Για να επεξηγήσουμε την ερμηνεία των δεδομένων στον πίνακα, η τιλάπια μπορεί να πεθάνει σε θερμοκρασίες νερού κοντά στους 10 °C και στους 40 °C. Δεν θα τραφεί σε θερμοκρασίες κάτω από περίπου 18 °C ή πάνω από 35 °C. Η καλύτερη ανάπτυξη επιτυγχάνεται σε θερμοκρασίες 28-32 °C.

Η σχέση μεταξύ της θερμοκρασίας και της νόσου είναι περίπλοκη επειδή η θερμοκρασία επηρεάζει τον ξενιστή και τον παθογόνο παράγοντα. Το ανοσοποιητικό σύστημα των υδρόβιων ζώων λειτουργεί καλύτερα εντός του βέλτιστου εύρους θερμοκρασίας για την ανάπτυξη (**Πίνακας 4.4**). Οι αιφνίδιες μεταβολές της θερμοκρασίας μειώνουν επίσης την αποτελεσματικότητα του ανοσοποιητικού συστήματος.

4.3.2 Αλατότητα

Τα είδη υδατοκαλλιέργειας έχουν ένα εύρος ανοχής για την αλατότητα, επειδή πρέπει να διατηρούν κατάλληλη αλατότητα των εσωτερικών υγρών τους μέσω ωσμωρύθμισης (οσμωτική προσαρμογή) ή ρύθμισης των ιόντων. Τα ψάρια και τα καρκινοειδή του γλυκού νερού έχουν σωματικά υγρά πιο πυκνά σε ιόντα σε σχέση με το υδάτινο περιβάλλον τους και είναι υπεράλμυρα ή υπέρτονα σε σχέση με το υδάτινο περιβάλλον τους. Τα θαλάσσια είδη έχουν σωματικά υγρά πιο αραιά σε σχέση με το υδάτινο περιβάλλον τους και είναι υπόαλα ή υποτονικά σε σχέση με το υδάτινο περιβάλλον τους. Η οσμωρύθμιση στα ψάρια του γλυκού νερού περιλαμβάνει την πρόσληψη ιόντων από το περιβάλλον και περιορισμό της απώλειας των ιόντων. Τα ψάρια του γλυκού νερού τείνουν να συσσωρεύουν νερό επειδή είναι υπερτονικό για το περιβάλλον, γι' αυτό πρέπει να αποβάλλουν το νερό και να συγκρατούν τα ιόντα. Από την άλλη πλευρά, η οσμωρύθμιση για τα θαλασσινά ψάρια απαιτεί τη συνεχή πρόσληψη νερού και την απέκκριση ιόντων. Επειδή τα θαλασσινά ψάρια είναι υποτονικά ως προς το περιβάλλον τους, χάνουν νερό. Για να αντικαταστήσουν αυτό το νερό, τα ψάρια προσλαμβάνουν αλμυρό νερό αλλά, για να αποφευχθεί η συσσώρευση περίσσειας αλατιού, πρέπει να αποβάλλεται το αλάτι.

Τα ασπόνδυλα, όπως τα δεκάποδα καρκινοει-

Πίνακας 4.4. Κρίσιμες θερμοκρασίες νερού για έξι αντιπροσωπευτικά είδη ψαριών.

Είδος	Χαμηλότερο κρίσιμο ¹ εύρος (°C)	Βέλτιστο ^{2,3} εύρος (°C)	Ανώτερο κρίσιμο εύρος (°C)
<i>Oreochromis mossambicus</i> (Τιλάπια της Μοζαμβίκης)	10–14	18-(28-32)-35	36–42
<i>Sciaenops ocellatus</i> (Στικτομυλοκόπι)	8–15	18-(22-28)-30	34–40
<i>Ictalurus punctatus</i> (Γατόψαρο)	0–10	15-(25-30)-34	35–40
<i>Micropterus salmoides</i> (Μεγαλόστομη πέρκα)	0–10	12-(25-30)-32	32–38
<i>Morone saxatilis</i> (Γραμμωτό λαβράκι)	0–6	10-(14-24)-28	30–34
<i>Oncorhynchus mykiss</i> (Ιριδίζουσα πέστροφα)	0–4	5-(10-16)-20	22–26

¹ Οι υψηλότερες και χαμηλότερες κρίσιμες θερμοκρασίες περιγράφουν τις περιοχές στις οποίες ενδέχεται να εμφανιστούν σημαντικές διαταραχές στον μεταβολισμό, ακόμη και αν τα ψάρια εγκλιματίζονται αργά σε αυτές τις θερμοκρασίες. Η πιο ακραία τιμή στο εύρος είναι μια προσέγγιση του κρίσιμου μέγιστου ή ελάχιστου θερμικού - της θερμοκρασίας στην οποία αναμένεται μόνο σύντομη επιβίωση.

² Το βέλτιστο εύρος είναι το εύρος της θερμοκρασίας στο οποίο πραγματοποιείται η λήψη τροφής.

³ Οι τιμές σε παρένθεση είναι τα εύρη για την ταχύτερη ανάπτυξη.

δή και τα δίθυρα μαλάκια, τείνουν να προσαρμόζονται με την περιβαλλοντική τους αλατότητα περισσότερο από ότι τα ψάρια. Τείνουν να είναι ισοτονικά ως προς το θαλασσινό νερό, αν και οι συγκεντρώσεις ιόντων των σωματικών υγρών τους διαφέρουν από το θαλασσινό νερό. Έτσι, πρέπει να ρυθμίζουν την πρόσληψη και την απώλεια συγκεκριμένων ιόντων σε όλη την επιφάνεια του σώματος τους. Τα οστρακόδερμα και ειδικά τα δίθυρα που ζουν σε γλυκά νερά ή αραιά, υφάλμυρα νερά έχουν χαμηλότερες συγκεντρώσεις σωματικού υγρού από εκείνα στο θαλασσινό νερό. Ωστόσο, είναι υπερτονικά ως προς το περιβάλλον τους και πρέπει να ρυθμίζουν το νερό και τα ιόντα με τον ίδιο τρόπο όπως τα ψάρια του γλυκού νερού.

Κάθε είδος έχει ένα βέλτιστο εύρος αλατότητας. Εκτός από αυτό το εύρος, το ζώο πρέπει να καταναλώνει σημαντική ενέργεια για την οσμωρύθμιση σε βάρος της ανάπτυξης και άλλων διαδικασιών. Εάν η αλατότητα αποκλίνει υπερβολικά από το βέλτιστο, το ζώο θα πεθάνει επειδή δεν μπορεί να διατηρήσει την εσωτερική ισορροπία των αλάτων.

Πολλά ψάρια γλυκού νερού μπορούν να ζουν σε νερά με αλατότητες έως 5-10 ‰, αλλά δεν μπορούν να αναπαραχθούν ή να αναπτυχθούν καλά σε αλατότητες πάνω από 3-4 ‰. Ορισμένα είδη όπως η τιλάπια και η ιριδιζουσα πέστροφα μπορούν να ανεχθούν υψηλή αλατότητα. Τα θαλάσσια είδη είναι προσαρμοσμένα να αναπτύσσονται σε αλμυρά νερά και δεν αναπτύσσονται καλά σε νερά με χαμηλή αλατότητα. Τα είδη που ζουν σε εκβολές έχουν προσαρμοστεί σε ένα ευρύ φάσμα αλατότητας. Τα περισσότερα είδη των εκτρεφόμενων θαλάσσιων γαρίδων επιβιώνουν και αναπτύσσονται καλά σε αλατότητες 1-2 ‰ έως 35-40 ‰. Η υποβέλτιστη αλατότητα προκαλεί ιδιαίτερη καταπόνηση στα είδη της υδατοκαλλιέργειας όταν η θερμοκρασία είναι επίσης εκτός του βέλτιστου εύρους.

4.3.3 pH

Το βέλτιστο pH για την ανάπτυξη και την διατήρηση της υγείας των περισσότερων υδρόβιων ζώων γλυκού νερού κυμαίνεται από 6,5 έως 9,0. Τα σημεία όξινου και αλκαλικού θανάτου είναι περίπου σε pH 4 και pH 11. Τα θαλάσσια ψάρια εξελίχθηκαν

σε ουδέτερο θαλασσινό νερό, το οποίο δεν υπόκειται σε μεγάλες διακυμάνσεις του pH. Κατά συνέπεια, τα περισσότερα θαλασσινά ζώα δεν μπορούν να ανεχθούν ένα ευρύ φάσμα περιβαλλοντικού pH όσο τα ζώα του γλυκού νερού και το βέλτιστο pH συνήθως κυμαίνεται μεταξύ 7,5 και 8,5. Ορισμένα είδη εξελίχθηκαν σε εκβολές ποταμών όπου υπάρχει συνήθως μεγάλη μεταβολή του pH σε απόκριση στις μεταβολές στα νερά του ποταμού και στην παλιρροιακή ροή. Οι οργανισμοί που ζούν στα υφάλμυρα νερά είναι μάλλον ανεκτικοί σε ακραίες τιμές pH.

Τα βράγχια είναι ο πρωταρχικός στόχος της αυξημένης συγκέντρωσης ιόντων H^+ στο περιβάλλον. Για τα ψάρια των γλυκών νερών, οι αλλαγές στη δομή και τη λειτουργία των βραγχίων προκαλούν μειωμένη πρόσληψη ιόντων, αυξημένη απώλεια ιόντων και μειωμένη αναπνευστική αποτελεσματικότητα (Boyd and Tucker, 1998). Η αναπνοή υπονομεύεται περαιτέρω από την οξέωση του αίματος, η οποία μειώνει την ικανότητα δέσμευσης του οξυγόνου από την αιμοσφαιρίνη. Κάτω από ήπια όξινη καταπόνηση, τα ζώα καταναλώνουν επιπλέον μεταβολική ενέργεια για τη διατήρηση της λειτουργίας των βραγχίων σε βάρος της ανάπτυξης και της ανοσολογικής λειτουργίας. Υπό ακραία όξινη καταπόνηση, το ζώο δεν είναι σε θέση να διατηρήσει την ομοιόσταση και πεθαίνει.

Η όξινη καταπόνηση είναι πιο συνηθισμένο σε υδατικά συστήματα όπου το pH έχει μειωθεί λόγω ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Για παράδειγμα, η μακροχρόνια οξίνιση των λιμνών λόγω της όξινης βροχής έχει καταστροφικές επιπτώσεις στους φυσικούς πληθυσμούς ψαριών σε ορισμένες περιοχές της Ευρώπης και της Βόρειας Αμερικής. Το χαμηλό pH στα συστήματα υδατοκαλλιέργειας συνήθως μπορεί να ελεγχθεί μέσω της ασβέστωσης.

4.3.4 Διαλυμένο οξυγόνο

Το μεγαλύτερο μέρος του οξυγόνου που μεταφέρεται στο αίμα των ψαριών συνδέεται με την αιμοσφαιρίνη στα ερυθρά αιμοσφαίρια, αν και ένα μικρό κλάσμα διαλύεται στο πλάσμα. Η δέσμευση και η αποδέσμευση του οξυγόνου από την αιμοσφαιρίνη διέπεται από την τάση του οξυγόνου (oxygen tension). Στα βράγχια, η τάση του οξυγό-

νου στο νερό είναι υψηλότερη από ότι στο αίμα και το οξυγόνο δεσμεύεται στην αιμοσφαιρίνη. Στους ιστούς, το οξυγόνο χρησιμοποιείται ταχέως και τα υγρά του ιστού έχουν χαμηλότερη τάση οξυγόνου από το αίμα που εισέρχεται στους ιστούς από το αρτηριακό σύστημα. Έτσι, η αιμοσφαιρίνη αποδεσμεύει το οξυγόνο στα υγρά του ιστού. Τα ασπόνδυλα δεν έχουν αιμοσφαιρίνη στο αίμα τους. Τα περισσότερα είδη περιέχουν άλλη χρωστική, αιμοκυανίνη, η οποία λειτουργεί με τον ίδιο τρόπο όπως η αιμοσφαιρίνη.

Γενικά, τα ψάρια που ζουν σε κρύα νερά είναι πιο ευαίσθητα στην υποξία από ότι τα ψάρια που ζουν σε ζεστά νερά. Οι κρίσιμες συγκεντρώσεις διαλυμένου οξυγόνου (DO) που επηρεάζουν αρνητικά την ανάπτυξη είναι χαμηλότερες από 5-6 mg/L για την πέστροφα και τον σολομό και 3-4 mg/L για τα ψάρια που ζουν σε ζεστά νερά.

Καθώς οι συγκεντρώσεις διαλυμένου οξυγόνου DO μειώνονται κάτω από τα κρίσιμα επίπεδα, τα ψάρια αντισταθμίζουν τη μειωμένη διαθεσιμότητα οξυγόνου με συμπεριφορές και φυσιολογικές αλλαγές. Ο όγκος αερισμού αυξάνεται επειδή υπάρχει μικρότερη ποσότητα οξυγόνου σε δεδομένη ποσότητα νερού. Τα ψάρια ελαχιστοποιούν την εξωγενή δραστηριότητα για να μειώσουν τη μεταβολική ανάγκη σε οξυγόνο. Ορισμένες φυσιολογικές αποκρίσεις σε χαμηλές συγκεντρώσεις διαλυμένου οξυγόνου (DO) αυξάνουν την ικανότητα ανταλλαγής αερίων στα βράγχια. Αυτές οι προσαρμογές και αποκρίσεις επιτρέπουν στα ψάρια που ζουν σε λίμνες με ζεστό νερό να επιβιώσουν για μέρες ακόμα και όταν οι συγκεντρώσεις του διαλυμένου οξυγόνου (DO) είναι τόσο χαμηλές όσο 1-2 mg/L. Σε κάποιο σημείο, οι αντισταθμιστικές αποκρίσεις δεν επαρκούν πλέον και η απαίτηση οξυγόνου από τους ιστούς υπερβαίνει το ποσό που μπορεί να παρασχεθεί. Σχεδόν σε εκείνο το σημείο, τα ψάρια κολυμπούν κοντά στην επιφάνεια του νερού σε μια προσπάθεια να εκμεταλλευτούν το οξυγόνο στο επιφανειακό στρώμα. Τελικά, η ενεργειακή απαίτηση για μεταβολισμό στον εγκέφαλο δεν ικανοποιείται και τα ψάρια πεθαίνουν. Τα ενήλικα ψάρια που ζουν σε ζεστά νερά μπορούν να ζουν για αρκετές ώρες σε συγκεντρώσεις διαλυμένου οξυγόνου (DO) τόσο χαμηλές όσο 0,3-0,5 mg/L και τα νεαρά ιχθύδια μπορούν να επιζήσουν σε σύντομη έκθεση σε χαμηλό-

τερες συγκεντρώσεις. Τα μικρά ψάρια καταναλώνουν περισσότερο οξυγόνο ανά μονάδα βάρους απ' ότι τα μεγάλα ψάρια λόγω του υψηλότερου μεταβολικού ρυθμού ανά μονάδα βάρους. Τα μικρά ψάρια είναι επίσης πιο αποτελεσματικά στη χρήση του οξυγόνου στις επιφανειακά στρώματα απ' ότι τα μεγάλα ψάρια.

Τα ψάρια που ζουν σε κρύα νερά συνήθως πεθαίνουν όταν εκτίθενται σε μια ελαφρώς υψηλότερη συγκέντρωση οξυγόνου από ότι απαιτείται για να θανατωθούν τα ψάρια που ζουν σε ζεστά νερά. Για παράδειγμα, η ιριδίζουσα πέστροφα μπορεί να πεθάνει σε συγκεντρώσεις διαλυμένου οξυγόνου (DO) 2,5-3,5 mg/L και δεν αναπτύσσεται καλά σε συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου (DO) κάτω από 5 mg/L. Τα καρκινοειδή είναι αξιοσημείωτα παρόμοια με τα ψάρια στην ανοχή τους σε χαμηλές συγκεντρώσεις διαλυμένου οξυγόνου (DO).

Οι ευρείες καθημερινές διακυμάνσεις του διαλυμένου οξυγόνου (DO) εμφανίζονται συνήθως σε λιμνοδεξαμενές εντατικής υδατοκαλλιέργειας. Στις λιμνοδεξαμενές υδατοκαλλιέργειας, οι συγκεντρώσεις του διαλυμένου οξυγόνου (DO) συχνά υπερβαίνουν τα 15 mg/L το απόγευμα, αλλά μειώνονται κάτω από τα 5 mg/L κατά το χάραμα. Συνήθως, η αύξηση των περισσότερων ειδών μειώνεται εάν οι συγκεντρώσεις του διαλυμένου οξυγόνου DO πριν την ανατολή του ηλίου πέσουν κάτω από το 25% του κορεσμού. Φυσικά, μερικά είδη υδατοκαλλιέργειας, όπως η τιλάπια και, ιδιαίτερα, τα γατόψαρα είναι ιδιαίτερα ανεκτικά σε χαμηλές συγκεντρώσεις διαλυμένου οξυγόνου (DO). Οι συγκεντρώσεις του διαλυμένου οξυγόνου (DO) πάνω από τον κορεσμό παρέχουν ελάχιστο όφελος επειδή η χρωστική που μεταφέρει το οξυγόνο θα δεσμεύσει πλήρως το οξυγόνο όταν το νερό είναι κορεσμένο με διαλυμένου οξυγόνου (DO).

4.3.5 Διοξείδιο του Άνθρακα

Τα υδρόβια ζώα εκκρίνουν διοξείδιο του άνθρακα που παράγεται με την κυτταρική αναπνοή διαμέσου των βράγχιων τους. Όταν η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα στο νερό αυξάνεται, ο ρυθμός απέκκρισης μειώνεται, οδηγώντας στη συσσώρευση διοξειδίου του άνθρακα στο αίμα και στη μείωση του pH του αίματος. Αυτές οι συνθήκες μειώνουν την ικανότητα δέσμευσης των ανα-

πνευστικών χρωστικών με το οξυγόνο, γεγονός που μειώνει την αναπνευστική αποτελεσματικότητα και μειώνει την ανεκτικότητα των ζώων σε χαμηλές συγκεντρώσεις διαλυμένου οξυγόνου.

Η ανεκτικότητα των ψαριών και των καρκινοειδών στις συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα στο περιβάλλον διαφέρει σημαντικά. Τα θαλασσινά ψάρια εξελίχθηκαν σε περιβάλλοντα με σταθερό, χαμηλής συγκέντρωσης διαλυμένο διοξείδιο του άνθρακα και έχουν δυσανεξία με το διαλυμένο διοξείδιο του άνθρακα. Η μακροχρόνια έκθεση σε περισσότερο από 5 mg/L διοξείδιο του άνθρακα μπορεί να μειώσει την ανάπτυξη. Ένα ανώτατο όριο 20 mg/L διαλυμένου διοξειδίου του άνθρακα έχει προταθεί για την υγεία των σαλμονιδών. Τα ψάρια που ζουν σε ζεστά νερά εξελίχθηκαν σε περιβάλλοντα όπου οι διακυμάνσεις του διαλυμένου άνθρακα είναι πιο συχνές και επομένως μπορούν να ανεχθούν υψηλότερες συγκεντρώσεις. Οι συγκεντρώσεις διαλυμένου διοξειδίου του άνθρακα μεγαλύτερες από 60 έως 80 mg/L έχουν ικανότητα νάρκωσης στα υδρόβια ζώα και ακόμη υψηλότερες συγκεντρώσεις μπορεί να προκαλέσουν το θάνατο.

Οι περισσότερες μελέτες έχουν επικεντρωθεί στις επιπτώσεις της μακροχρόνιας έκθεσης σε συγκεκριμένες συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα. Τέτοιες πληροφορίες έχουν εφαρμογή σε συστήματα καλλιέργειας όπου η συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα είναι σχετικά σταθερή με την πάροδο του χρόνου. Οι συγκεντρώσεις του διοξειδίου του άνθρακα στις λιμνοδεξαμενές μπορεί να αλλάξουν κατά μία τάξη μεγέθους μεταξύ της νύχτας και της ημέρας. Δεν έχουν διεξαχθεί μελέτες σχετικά με τις επιπτώσεις της βραχυπρόθεσμης έκθεσης των ψαριών ή των καρκινοειδών στις διακυμάνσεις των συγκεντρώσεων του διοξειδίου του άνθρακα, επομένως είναι δύσκολο να εκτιμηθεί η συνολική σημασία του διοξειδίου του άνθρακα για την υδατοκαλλιέργεια σε λιμνοδεξαμενές.

4.3.6 Υπερκορεσμός Αερίου

Το νερό μπορεί να γίνει υπερκορεσμένο σε αέρια με διάφορες διαδικασίες: γρήγορη αύξηση της θερμοκρασίας, ανάμειξη μάζας νερού που έχει κορεσθεί με αέρα διαφορετικών θερμοκρασι-

ών, απομάκρυνση του αέρα σε περιβάλλοντα νερά κατά τη διάρκεια σχηματισμού πάγου, ανασυρση του αέρα από την πτώση του νερού, διαρροές στην αναρροφημένη πλευρά των αντλιών, βυθισμένοι αεριστήρες, φωτοσύνθεση (μόνο οξυγόνο) ή ξαφνικές αλλαγές στη βαρομετρική πίεση. Ο υπερκορεσμός σε αέριο εκφράζεται ως η τιμή ΔΡ που υπολογίζεται αφαιρώντας την τοπική βαρομετρική πίεση από τη συνολική πίεση του αερίου στο νερό ή μετρώντας την απευθείας με ένα μετρητή κορεσμού.

Ο υπερκορεσμός είναι μια ασταθής κατάσταση και καθώς τα αέρια εξέρχονται από το διάλυμα σχηματίζουν φυσαλίδες. Εάν τα διαλυμένα αέρια διαχέονται κατά μήκος του βραγχίου πριν βγουν από το διάλυμα, προκαλείται εμβολή στο αγγειακό σύστημα και σε άλλους ιστούς: μια κατάσταση που ονομάζεται φυσαλιδώδης νόσος (gas bubble disease). Η οξεία φυσαλιδώδης νόσος εμφανίζεται σε υψηλά επίπεδα υπερκορεσμού, συνήθως σε τιμές ΔΡ περίπου 15 kPa ή μεγαλύτερες. Τα αυγά θα επιπλέουν στην επιφάνεια, και οι προνύμφες και ο γόνος μπορεί να παρουσιάσουν υπερδιόγκωση της νηκτικής τους κύστης, εξόφθαλμο ("Pop-eye"), κρανιακό πρήξιμο, πρησμένα βράγχια, αίμα στην σπλαχνική κοιλότητα, φυσαλίδες αερίου στον λεκιθικό σάκο, διόγκωση και ρήξη της μεμβράνης του λεκιθικού σάκου. Στα νεαρά και τα ενήλικα ψάρια, τα πιο κοινά συμπτώματα της οξείας φυσαλιδώδης νόσου είναι η ύπαρξη φυσαλίδων αέρα στο αίμα και ο σχηματισμός φυσαλίδων στα βραγχιακά ελάσματα, στο κεφάλι, στο στόμα και στα πτερύγια. Επίσης τα μάτια θα προεξέχουν. Τα ποσοστά θνησιμότητας μπορεί να είναι υψηλά και ο θάνατος προκαλείται από φυσαλίδες που περιορίζουν τη ροή του αίματος. Όταν τα υδρόβια ζώα εκτίθενται σε τιμές ΔΡ των 5-15 kPa σε συνεχή βάση, μπορεί να αναπτυχθεί μια χρόνια φυσαλιδώδης νόσος. Τα συμπτώματα είναι σχηματισμός φυσαλίδων στο στομάχι και το στόμα, υπερδιόγκωση της νηκτικής κύστης και θνησιμότητα χαμηλού επιπέδου. Ο θάνατος συχνά προκαλείται από δευτερεύουσες, ασθένειες που σχετίζονται με την καταπόνηση.

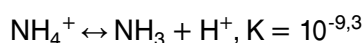
Αν και τα ζώα μπορούν δυνητικά να αναπτύξουν τη φυσαλιδώδη νόσο οποιαδήποτε στιγμή υπάρχει θετικό ΔΡ, η εμφάνιση επηρεάζεται έντονα από το βάθος στο οποίο τα ζώα περνούν το μεγαλύτε-

ρο μέρος του χρόνου τους. Η υψηλότερη υδροστατική πίεση σε βάθος σημαίνει ότι απαιτείται μεγαλύτερη συγκέντρωση αερίου για υπερκορεσμό. Το βάθος του νερού μπορεί επίσης να επηρεάσει τις δυνατότητες για την ανάπτυξη τραύματος λόγω των φυσαλίδων αέρα, επειδή τα ποσοστά της φωτοσύνθεσης και της ηλιακής θέρμανσης μειώνονται με το βάθος.

Παρά τη συχνή εμφάνιση υπερκορεσμένων συνθηκών στα επιφανειακά νερά, το τραύμα από φυσαλίδες αέρα σπάνια εμφανίζεται σε λιμνοδεξαμενές υδατοκαλλιέργειες. Προφανώς, αν ο υπερκορεσμός των επιφανειακών νερών φτάσει σε επιβλαβή επίπεδα στις λιμνοδεξαμενές, τα ζώα θα μετακινηθούν σε βαθύτερα νερά όπου η ΔΡ είναι χαμηλότερη. Στις περισσότερες λιμνοδεξαμενές, ο υπερκορεσμός θα απειλεί μόνο τα αβγά ή το γόνιο που περιορίζονται στην επιφάνεια από την έλλειψη κινητικότητας. Σε ρηχές λιμνοδεξαμενές με καθαρό νερό και άφθονη βυθισμένη βλάστηση, ολόκληρος ο όγκος του νερού μπορεί να γίνει έντονα υπερκορεσμένος και δεν θα υπάρχει καταφύγιο για τα ζώα.

4.3.7 Αμμωνία και Νιτρώδη άλατα

Η αμμωνία υπάρχει σε δύο μορφές, μη ιονισμένη αμμωνία (NH_3) και ιονισμένη (NH_4^+), σε ισορροπία εξαρτώμενη από το pH και τη θερμοκρασία:



Καθώς αυξάνεται το pH, αυξάνεται η μη ιονισμέ-

νη αμμωνία NH_3 σε σχέση με την ιονισμένη αμμωνία NH_4^+ . Η θερμοκρασία του νερού προκαλεί επίσης μια αύξηση της αναλογίας της μη ιονισμένη αμμωνίας, αλλά η επίδραση της θερμοκρασίας είναι μικρότερη από εκείνη του pH. Οι κοινές αναλυτικές διαδικασίες για τη μέτρηση της αμμωνίας μετρούν την ολική αμμωνία ή ολική αμμωνία-άζωτο (TAN, Total Ammonia Nitrogen) η οποία περιλαμβάνει και την μη ιονισμένη $\text{NH}_3\text{-N}$ και την ιονισμένη $\text{NH}_4^+\text{-N}$. Τα δεκαδικά κλάσματα των συγκεκριμένων της ολικής αμμωνίας TAN που απαντώνται ως ιονισμένη αμμωνία-άζωτο $\text{NH}_3\text{-N}$ σε διαφορετικές τιμές θερμοκρασίας και pH (Πίνακας 4.5) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση της μη ιονισμένης αμμωνίας-άζωτο $\text{NH}_3\text{-N}$ από την ολική αμμωνία TAN.

Η “τοξικότητα στην αμμωνία” στα ψάρια και άλλα υδρόβια πλάσματα αποδίδεται κυρίως στη μη ιονισμένη αμμωνία NH_3 . Καθώς η συγκέντρωση της αμμωνίας στο νερό αυξάνεται, η έκλυση αμμωνίας από τους υδρόβιους οργανισμούς μειώνεται και τα επίπεδα της αμμωνίας στο αίμα τους και σε άλλους ιστούς αυξάνονται. Το αποτέλεσμα είναι η αύξηση του pH του αίματος και οι δυσμενείς επιδράσεις στις καταλυόμενες από ένζυμα αντιδράσεις και τη σταθερότητα της μεμβράνης. Η αμμωνία αυξάνει την κατανάλωση οξυγόνου από τους ιστούς, προκαλεί βλάβες στα βράγχια και μειώνει την ικανότητα του αίματος να μεταφέρει οξυγόνο. Η τοξικότητά της εκφράζεται συνήθως με μειωμένο ρυθμό ανάπτυξης αντί για θνησιμότητα. Ωστόσο, η ευαισθησία στην ασθένεια αυξά-

Πίνακας 4.5 Δεκαδικά κλάσματα της ολικής αμμωνίας-άζωτο TAN που υπάρχει ως μη ιονισμένη αμμωνία-άζωτο σε διάφορες τιμές pH και θερμοκρασίες νερού. Οι τιμές υπολογίστηκαν με τη χρήση του ‘υπολογιστή αμμωνίας’ στη διεύθυνση <http://fisheries.org/hatchery> για ένα τυπικό, αραιωμένο γλυκό νερό με συγκέντρωση ολικών διαλυμένων στερεών TDS 250 mg/L.

pH	Θερμοκρασία (°C)						
	5	10	15	20	25	30	35
7,0	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,007	0,010
7,5	0,004	0,005	0,008	0,011	0,016	0,023	0,032
8,0	0,011	0,017	0,024	0,035	0,050	0,069	0,093
8,5	0,035	0,051	0,073	0,103	0,141	0,189	0,246
9,0	0,103	0,146	0,200	0,267	0,342	0,424	0,507
9,5	0,266	0,350	0,442	0,535	0,622	0,699	0,765
10,0	0,534	0,630	0,715	0,784	0,839	0,880	0,911

Πηγή: Προσαρμόστηκε από τους Boyd and Tucker (2014).

νεται επίσης στους οργανισμούς που εκτίθενται σε ελαφρώς λιγότερο θανατηφόρες συγκεντρώσεις αμμωνίας. Η ανοχή στην αμμωνία ποικίλλει ανάλογα με τα είδη, τη φυσιολογική κατάσταση και τους περιβαλλοντικούς παράγοντες. Οι θανατηφόρες συγκεντρώσεις για ψάρια και καρκινοειδή που ζουν σε ζεστά νερά για έκθεση 24-96 ώρες είναι μεταξύ 0,4 και 2,0 mg/L μη ιονισμένη αμμωνία-άζωτο $\text{NH}_3\text{-N}$.

Ο κίνδυνος δηλητηρίασης από αμμωνία είναι δύσκολο να αξιολογηθεί για τα ζώα που αναπτύσσονται σε λιμνοδεξαμενές επειδή η ημερήσια διακύμανση του pH προκαλεί συνεχείς μεταβολές των συγκεντρώσεων της μη ιονισμένης αμμωνίας NH_3 . Αν και τα pH κατά τη διάρκεια του απογεύματος (και συνεπώς τα επίπεδα μη ιονισμένης αμμωνίας NH_3) μπορεί να είναι υψηλά στις λιμνοδεξαμενές, σπάνια παραμένει στο μέγιστο επίπεδο για περισσότερο από μερικές ώρες. Όταν το pH μειώνεται κατά τη διάρκεια της νύχτας, οι συγκεντρώσεις της μη ιονισμένης αμμωνίας NH_3 μειώνονται και η αμμωνία που μπορεί να έχει συσσωρευτεί στο αίμα κατά τη διάρκεια της ημέρας, όταν το pH ήταν υψηλό, μπορεί στη συνέχεια να εκκρίνεται διμέσου των βραγχίων.

Τα νιτρώδη $\text{NO}_2\text{-N}$ μπορεί να συσσωρευθούν σε συγκεντρώσεις 1-10 mg/L ή περισσότερο, στο νερό συστημάτων υδατοκαλλιέργειας υπό ορισμένες συνθήκες. Όταν τα νιτρώδη απορροφώνται από τα ψάρια, οξειδώνουν τον δισθενή σίδηρο (ferrous iron - Fe^{+2}) στην αιμοσφαιρίνη σε τρισθενή σίδηρο (ferric iron - Fe^{+3}) και σχηματίζεται μεθαιμοσφαιρίνη που δεν είναι ικανή να δεσμευτεί με το οξυγόνο. Το αίμα που περιέχει σημαντικές ποσότητες μεθαιμοσφαιρίνης είναι καφέ, οπότε η δηλητηρίαση από νιτρώδη άλατα καλείται συνήθως “νόσος του καφετί αίματος”. Τα καρκινοειδή περιέχουν αιμοκυανίνη, μια ένωση παρόμοια με την αιμοσφαιρίνη που περιέχει όμως χαλκό αντί για σίδηρο. Οι αντιδράσεις των νιτρωδών με την αιμοκυανίνη είναι ελάχιστα κατανοητές, αλλά τα νιτρώδη μπορούν να είναι τοξικά για τα καρκινοειδή.

Η ανοχή σε νιτρώδη ποικίλλει σημαντικά. Η τιλάπια, ο κυπρίνος, το γατόψαρο, η πέστροφα και ο σολομός είναι ευαίσθητα, επειδή τα νιτρώδη συμπεκνώνονται στο αίμα από τον ίδιο μηχανισμό πρόσληψης ανιόντων στα βράγχια που είναι υπεύθυνος για την πρόσληψη χλωρίου. Τα ηλιόψα

του γλυκού νερού (Centrarchidae), τα λαβράκια (Moronidae), και ίσως άλλα αποκλείουν τα νιτρώδη από την κυκλοφορία του αίματος και αυτά τα ψάρια είναι σχετικά ανεκτικά. Τα θαλασσινά ψάρια είναι επίσης ανθεκτικά στα νιτρώδη, λόγω της υψηλής συγκέντρωσης χλωρίου στο θαλασσινό νερό.

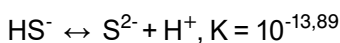
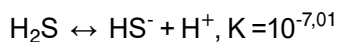
Επειδή το χλώριο και τα νιτρώδη συμπεκνώνονται με τον ίδιο μηχανισμό σε είδη που είναι ευαίσθητα σε νιτρώδη άλατα, του νατρίου που εισέρχονται στο αίμα (και έτσι η ποσότητα της σχηματισμένης μεθαμογλοβίνης) εξαρτάται από την αναλογία χλωριούχου προς νιτρώδες στο νερό.

Επειδή το χλώριο και τα νιτρώδη συμπεκνώνονται με τον ίδιο μηχανισμό στα ευαίσθητα είδη σε νιτρώδη, το ποσό των νιτρωδών που εισέρχεται στο αίμα (και έτσι η ποσότητα της μεθαιμοσφαιρίνης που σχηματίζεται) εξαρτάται από την αναλογία χλωρίου ως προς τα νιτρώδη στο νερό. Είτε η αύξηση της συγκέντρωσης χλωρίου είτε η μείωση της συγκέντρωσης νιτρωδών θα μειώσει την πρόσληψη νιτρωδών με ανταγωνιστικό αποκλεισμό της πρόσληψης ιόντων. Η απλούστερη διαδικασία αντιμετώπισης της τοξικότητας από νιτρώδη στα ψάρια είναι η επεξεργασία του νερού με κοινό αλάτι (NaCl) για να αυξηθεί η αναλογία χλωρίου προς νιτρώδη. Μια αναλογία $\text{Cl}:\text{NO}_2\text{-N}$ που είναι 20:1 αποτρέπει τις αρνητικές επιπτώσεις του υψηλών συγκεντρώσεων νιτρωδών $\text{NO}_2\text{-N}$ σε γατόψαρο και φαίνεται να έχει ευρεία εφαρμογή σε άλλα ευαίσθητα σε νιτρώδη είδη. Η εναλλαγή του νερού ή η αντικατάσταση του μπορεί επίσης να είναι αποτελεσματική στη μείωση των συγκεντρώσεων νιτρωδών $\text{NO}_2\text{-N}$.

Ο προσδιορισμός της μέγιστης επιτρεπόμενης συγκέντρωσης νιτρωδών $\text{NO}_2\text{-N}$ για τα νερά σε λιμνοδεξαμενή είναι δύσκολος λόγω των αλληλεπιδράσεων με το χλώριο και επειδή η τοξικότητα των νιτρωδών είναι στενά συνδεδεμένη με τις συγκεντρώσεις του διαλυμένου οξυγόνου DO. Γενικά, οι διαχειριστές των λιμνοδεξαμενών θα πρέπει να ανησυχούν όταν οι συγκεντρώσεις των νιτρωδών $\text{NO}_2\text{-N}$ υπερβαίνουν τα 2 ή 3 mg/L.

4.3.8 Υδροθείο

Το θειούχο (σουλφίδιο) είναι προϊόν ιονισμού του υδροθείου και συμμετέχει στις ακόλουθες ισορροπίες:



Το pH ρυθμίζει την κατανομή του ολικού θείουχου μεταξύ των μορφών του (H_2S , HS^- και S^{2-}). Το μη ιονισμένο υδρόθειο (H_2S) είναι τοξικό για τους υδρόβιους οργανισμούς. Οι ιονισμένες μορφές του δεν έχουν αξιοσημείωτη τοξικότητα. Οι αναλυτικές διαδικασίες μετρούν το ολικό θειούχο (σουλφίδιο). Οι αναλογίες (δεκαδικά κλάσματα) ολικά θειούχα (σουλφίδια)-θείο που απαντώνται ως μη ιονισμένο υδρόθειο σε διαφορετικές τιμές pH στους 28 °C παρουσιάζονται στον **Πίνακα 4.6**. Η αναλογία υδρόθειου μειώνεται όσο αυξάνεται το pH. Αυτά τα δεκαδικά κλάσματα μπορούν να πολλαπλασιαστούν με τις συγκεντρώσεις από τα ολικά θειούχα-θείο για να δώσουν τη συγκέντρωση του υδρόθειου (ως θείο).

Συγκεντρώσεις υδρόθειου 0,01-0,05 mg/L μπορεί να είναι θανατηφόρες για τους υδρόβιους οργανισμούς. Οποιοδήποτε ανιχνεύσιμο υδρόθειο θεωρείται ανεπιθύμητο. Η παρουσία υδρόθειου μπορεί να αναγνωριστεί χωρίς ανάλυση νερού, από την οσμή του 'σάπιου αβγού' του υδρόθειου ανιχνεύεται σε πολύ χαμηλή συγκέντρωση.

4.3.9 Ολική Αλκαλικότητα και Ολική Σκληρότητα

Η ολική αλκαλικότητα (η ικανότητα του νερού να εξουδετερώνει οξέα) προκύπτει κυρίως από την

παρουσία διττανθρακικών στο νερό για την υδατοκαλλιέργεια και τα ψάρια δεν έχουν άμεση απαίτηση για διττανθρακικά. Υπάρχουν ενδείξεις ότι τα καρκινοειδή χρειάζονται τα διττανθρακικά κατά τη διάρκεια της έκδυσης και ότι 50-100 mg/L θεωρούνται επαρκή για το σκοπό αυτό. Τα νερά με χαμηλή ολική αλκαλικότητα είναι ελλιπώς ρυθμισμένα και η διαθεσιμότητα άνθρακα για τη φωτοσύνθεση είναι περιορισμένη. Τα νερά που περιέχουν 50 mg/L ή περισσότερη ολική αλκαλικότητα έχουν πιο σταθερή ποιότητα νερού και είναι πιο παραγωγικά από τα νερά χαμηλότερης αλκαλικότητας. Νερά με μεγάλη αλκαλικότητα άνω των 20-300 mg/L μπορεί να έχουν υψηλό pH και χαμηλή διαθεσιμότητα φωσφόρου.

Τα υπόγεια νερά από ορισμένους υδροφόρους ορίζοντες είναι υπερκορεσμένα σε διοξείδιο του άνθρακα και υψηλή περιεκτικότητα σε ολική αλκαλικότητα. Όταν αυτό το νερό εκτίθεται στον αέρα, χάνεται διοξείδιο του άνθρακα και ένα τμήμα των διττανθρακικών μετασχηματίζεται σε ανθρακικά και προκαλείται ίζημα με τη μορφή ανθρακικού ασβεστίου. Το φαινόμενο αυτό συνήθως δεν είναι επιβλαβές σε λιμνοδεξαμενές ή άλλες μεγάλες μονάδες καλλιέργειας, αλλά η ιζηματοποίηση του ανθρακικού ασβεστίου σε δεξαμενές με αβγά ή γόνιμα ψαριών ή γαρίδες σε εκκολαπτήρια, μπορεί να είναι επιβλαβής.

Στα συστήματα υδατοκαλλιέργειας γλυκού νερού, η συγκέντρωση της ολικής σκληρότητας είναι συνήθως παρόμοια με αυτή της ολικής αλκαλι-

Πίνακας 4.6 Δεκαδικά κλάσματα (αναλογίες) για ολικά θειούχα (σουλφίδια)-θείο που απαντώνται ως μη ιονισμένο υδρόθειο σε γλυκά νερά σε διαφορετικές τιμές pH και θερμοκρασίας. Σημείωση: πολλαπλασιάστε τις τιμές επί 0,9 για θαλάσσιο νερό.

pH	Θερμοκρασία							
	16	18	20	22	24	26	28	30
5,0	0,993	0,992	0,992	0,991	0,991	0,990	0,989	0,989
5,5	0,977	0,976	0,974	0,973	0,971	0,969	0,967	0,965
6,0	0,932	0,928	0,923	0,920	0,914	0,908	0,903	0,897
6,5	0,812	0,802	0,792	0,781	0,770	0,758	0,746	0,734
7,0	0,577	0,562	0,546	0,530	0,514	0,497	0,482	0,466
7,5	0,301	0,289	0,275	0,263	0,250	0,238	0,227	0,216
8,0	0,120	0,114	0,107	0,101	0,096	0,090	0,085	0,080
8,5	0,041	0,039	0,037	0,034	0,032	0,030	0,029	0,027
9,0	0,013	0,013	0,012	0,011	0,010	0,010	0,009	0,009

Πηγή: Προσαρμόστηκε από τους Boyd and Tucker (2014).

κότητας. Η πιο συνηθισμένη παρέκκλιση περιλαμβάνει συγκεκριμένα νερά από πηγάδια με σκληρότητα σημαντικά χαμηλότερη από την αλκαλικότητα. Όταν χρησιμοποιείται σε λιμνοδεξαμενές, αυτό το νερό μπορεί να αναπτύξει πολύ υψηλό pH σε συνδυασμό με την φωτοσύνθεση. Σε υφάλμυρο και θαλασσινό νερό, η ολική σκληρότητα θα είναι αρκετές φορές μεγαλύτερη από την ολική αλκαλικότητα. Η κατάσταση αυτή δεν προκαλεί προβλήματα στα καλλιεργούμενα είδη.

Το ασβέστιο συνεισφέρει σημαντικά στη ολική σκληρότητα των γλυκών νερών και η χαμηλή σκληρότητα είναι ένας δείκτης χαμηλής συγκέντρωσης ασβεστίου. Το επαρκές ασβέστιο στο νερό είναι απαραίτητο για την καλή εκκόλαψη των αβγών των ψαριών. Στο θαλασσινό νερό, το μαγνήσιο συμβάλλει πολύ περισσότερο στη σκληρότητα από ότι το ασβέστιο.

Οι Boyd et al. (2016) παρέχουν λεπτομερή περίληψη της αλκαλικότητας και της σκληρότητας και της διαχείρισης τους στην υδατοκαλλιέργεια.

4.4 Διαχείριση της Ποιότητας του Νερού σε Λιμνοδεξαμενές.

Η διαχείριση της ποιότητας των νερών στην υδατοκαλλιέργεια έχει συνήθως τέσσερις στόχους:

- 1) Διόρθωση προβλημάτων με την παροχή νερού των εγκαταστάσεων.
- 2) Βελτίωση της παραγωγικότητας των λιμνοδεξαμενών που βασίζονται στην ενδογενή πρωτογενή παραγωγικότητα της λιμνοδεξαμενής για τη υποστήριξη της παραγωγής της υδατοκαλλιέργειας.
- 3) Περιορισμός των αρνητικών συνεπειών της χρήσης βιομηχανικής τροφής για τη υποστήριξη της παραγωγής της υδατοκαλλιέργειας.
- 4) Μείωση των επιπτώσεων των υγρών αποβλήτων από την υδατοκαλλιέργεια στους υδάτινους αποδέκτες.

Είναι διαθέσιμες τεχνολογίες για τη διόρθωση κάθε προβλήματος της ποιότητας του νερού που σχετίζεται με τις πηγές νερού, αλλά είναι σχεδόν πάντα πολύ δαπανηρή η προσπάθεια επεξεργασίας του νερού, εκτός από μικρές εγκαταστάσεις που παράγουν ζώα υψηλής εμπορικής αξίας. Τα

προβλήματα με την παροχή νερού αντιμετωπίζονται καλύτερα με την προσεκτική επιλογή των περιοχών με νερό επαρκούς όγκου και κατάλληλης ποιότητας.

Στο υπόλοιπο κεφάλαιο θα επικεντρωθούμε σε ορισμένες κοινές πρακτικές διαχείρισης της ποιότητας του νερού, με έμφαση στην αύξηση της παραγωγικότητας των λιμνοδεξαμενών και στην αποτροπή της υποβάθμισης της ποιότητας των νερών στις λιμνοδεξαμενές λόγω της χορήγησης τροφής. Η έμφαση στις υδατοκαλλιέργειες σε λιμνοδεξαμενές δικαιολογείται επειδή οι λιμνοδεξαμενές είναι μακράν το πιο συνηθισμένο σύστημα υδατοκαλλιέργειας στον κόσμο. Η διαχείριση της ποιότητας του νερού σε άλλα συστήματα παρουσιάζεται συνοπτικά στην ενότητα 4.4.11. Πρόσθετες πληροφορίες σχετικά με τη διαχείριση της ποιότητας των νερών στις λιμνοδεξαμενές και σε άλλα συστήματα υδατοκαλλιέργειας μπορούν να αναζητηθούν στους Boyd and Tucker (1998, 2014) και στον Tidwell (2012). Η επεξεργασία των αποβλήτων των υδατοκαλλιεργειών εξετάζεται αργότερα, στην ενότητα 4.5.

4.4.1 Ασβέστωση σε Όξινα, Χαμηλής Αλκαλικότητας Νερά Λιμνοδεξαμενών

Οι λιμνοδεξαμενές που είναι κατασκευασμένες σε θειούχα εδάφη, συχνά αποκαλούμενα εδάφη θειικού οξέος (acid-sulphate soils), μπορούν να έχουν νερά με τιμές pH τόσο χαμηλές ώστε τα καλλιεργούμενα είδη δεν θα επιβιώσουν, ή αν επιβιώσουν, δεν θα αναπτυχθούν καλά. Τέτοιες καταστάσεις μπορεί να διορθωθούν με έντονες ασβεστώσεις (liming) και διαδικασίες διαχείρισης σχεδιασμένες έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί η επαφή του θειούχου εδάφους με τον αέρα έτσι ώστε να αποτραπεί η οξείδωση και ο σχηματισμός θειικού οξέος. Ωστόσο, είναι καλύτερο να αποφεύγονται για υδατοκαλλιέργειες οι περιοχές με δυνητικά θειούχα εδάφη.

Το πιο συνηθισμένο πρόβλημα οξύτητας παρατηρείται σε λιμνοδεξαμενές κατασκευασμένες σε εδάφη με υψηλή συγκέντρωση από ανταλλάξιμο αλουμίνιο. Τα νερά σε τέτοιες λιμνοδεξαμενές έχουν pH από 5,5 έως 6,5 και αλκαλικότητα κάτω από 20 mg/L. Τα ψάρια θα αναπτυχθούν σε αυτά

τα νερά αλλά θα είναι χαμηλή η φυσική παραγωγικότητα των οργανισμών που είναι η τροφή των ψαριών και τα νερά θα είναι ανεπαρκώς ρυθμισμένα έναντι της αλλαγής του pH σε απάντηση στην φωτοσύνθεση του φυτοπλαγκτού. Τα υλικά ασβέστωσης αυξάνουν το pH του εδάφους του βυθού και αυξάνουν την αλκαλικότητα και τη σκληρότητα του νερού. Αυτές οι αλλαγές βελτιώνουν τις συνθήκες για τη μικροβιακή δραστηριότητα και την ανάπτυξη των βενθικών οργανισμών, αυξάνεται η διαθεσιμότητα του διοξειδίου του άνθρακα, του φωσφόρου και των άλλων θρεπτικών συστατικών, ενισχύεται η ανάπτυξη του φυτοπλαγκτού και βελτιώνεται η επιβίωση και η ανάπτυξη των εκτρεφόμενων οργανισμών.

Τα συνηθέστερα υλικά ασβέστωσης είναι ο γεωργικός ασβεστόλιθος, μη εσβεσμένη άσβεστος (οξείδιο του ασβεστίου) και ο ένυδρος ασβέστης. Τα προϊόντα αυτά κατασκευάζονται από ασβεστόλιθο, ο οποίος είναι σχετικά μαλακός βράχος που αποτελείται από ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3 ή ασβεστίτη), ανθρακικό μαγνήσιο του ασβεστίου ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ ή δολομίτης) ή μείγμα αυτών των ανθρακικών αλάτων. Το οξείδιο του ασβεστίου (CaO) ή μη εσβεσμένη άσβεστος ή άσβεστος ασβέστης (quicklime ή burnt lime), παράγεται με την καύση του ασβεστόλιθου σε υψικάμινο σε υψηλή θερμοκρασία. Το υδροξείδιο του ασβεστίου Ca(OH)_2 , ή εσβεσμένη άσβεστος ή ένυδρος ασβέστης, παράγεται με κατεργασία του οξειδίου του ασβεστίου σε νερό. Και το οξείδιο του ασβεστίου και το υδροξείδιο του ασβεστίου είναι συνήθως σε μορφή λεπτής λευκής σκόνης.

Ο γεωργικός ασβέστης (ασβεστόλιθος) είναι ο ασφαλέστερος και λιγότερο δαπανηρός παράγοντας ασβέστωσης που χρησιμοποιείται για την συνήθη διαχείριση των λιμνοδεξαμενών με χαμηλή αλκαλικότητα και όξινα εδάφη. Ο γεωργικός ασβεστόλιθος διαλύεται αργά και δεν προκαλεί ταχείες αλλαγές στο pH του νερού. Ο άσβεστος ασβέστης και ο ένυδρος ασβέστης έχουν τις ίδιες συνολικές επιπτώσεις με τον γεωργικό ασβέστη (ασβεστόλιθο), αλλά προκαλούν στην αρχή πολύ υψηλότερο pH και δεν είναι δυνατό να εφαρμοστούν στο νερό της λιμνοδεξαμενής κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Αυτά τα δύο υλικά, ωστόσο, μπορούν να εφαρμοστούν στους πυθμένες των κενών λιμνοδεξαμενών σε αναλογία

2000-3000 kg/εκτάριο για να αυξήσουν το pH και να σκοτώσουν τους παθογόνους και άλλους ανεπιθύμητους οργανισμούς. Ο ένυδρος ασβέστης αντιδρά με το διοξείδιο του άνθρακα και μερικές φορές χρησιμοποιείται ως αντιμετώπιση σε υψηλά επίπεδα διοξειδίου του άνθρακα.

Οι λιμνοδεξαμενές με ολική αλκαλικότητα κάτω από 50-60 mg/L, πρέπει να ασβεστοποιούνται. Ο ρυθμός ασβέστωσης που απαιτείται για την αύξηση του pH του εδάφους και της αλκαλικότητας μπορεί να εκτιμηθεί με μία από τις πολλές δοκιμές απαίτησης ασβέστου που περιγράφονται αλλού (Boyd and Tucker, 2014). Μια εναλλακτική λύση είναι η μέτρηση του pH του εδάφους μιας λιμνοδεξαμενής σε ένα μείγμα ξηρού κονιορτοποιημένου εδάφους της λιμνοδεξαμενής και αποσταγμένου νερού σε αναλογία 1:1. Ο ρυθμός ασβέστωσης μπορεί να επιλεγεί με βάση το pH του εδάφους από τον **Πίνακα 4.7**. Μια άλλη προσέγγιση είναι η εφαρμογή γεωργικού ασβέστη σε αναλογία 1000 kg/εκτάριο και να ελεγχθεί η αλκαλικότητα μετά από 3-4 εβδομάδες. Εάν η αλκαλικότητα είναι ακόμη χαμηλή, μπορεί να εφαρμοστεί περισσότερος γεωργικός ασβέστης.

Η εφαρμογή γεωργικού ασβέστη στο νερό συνήθως αυξάνει ισότιμα την ολική αλκαλικότητα και σκληρότητα του. Η διαλυτότητα του ανθρακικού ασβεστίου στο νερό σε ισορροπία με κανονικές ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα είναι περίπου 60 mg/L. Στις λιμνοδεξαμενές, υπάρχει συνήθως διαθέσιμο περισσότερο διοξείδιο του άνθρακα από την αποσύνθεση της ορ-

Πίνακας 4.7 Απαιτήσεις σε ασβέστη (kg/εκτάριο) με βάση το pH του εδάφους και την υφή του εδάφους.

Σύσταση του εδάφους			
pH του εδάφους	Πηλώδες	Αργιλώδες	Αμμώδες
<4,5	5.000	4.000	2.500
4,5–5,0	4.000	3.000	2.000
5,1–5,5	3.000	2.000	1.500
5,6–6,0	2.000	1.500	1.000
6,1–6,5	1.500	1.000	750
6,6–7,0	1.000	750	500
7,1–7,5	500	375	250
>7,5	0	0	0

γανικής ύλης και διαλύεται περισσότερο ανθρακικό ασβέστιο. Παρόλα αυτά, εάν τα νερά της λιμνοδεξαμενής έχουν αλκαλικότητα άνω των 80-100 mg/L, ο γεωργικός ασβέστης συνήθως δεν διαλύεται.

Είναι σημαντικό ο γεωργικός ασβέστης να εφαρμοστεί σε ολόκληρη την επιφάνεια της λιμνοδεξαμενής. Αυτό μπορεί να γίνει καλύτερα όταν οι λιμνοδεξαμενές είναι άδειες μεταξύ των διαδοχικών καλλιεργειών, αλλά ο ασβεστόλιθος μπορεί επίσης να απλωθεί στην επιφάνεια της λιμνοδεξαμενής από μια βάρκα. Οι όξινες λιμνοδεξαμενές θα πρέπει συνήθως να ασβεστοποιηθούν μετά από κάθε καλλιέργεια εάν αποστραγγιστούν με σκοπό τη συγκομιδή. Οι όξινες λιμνοδεξαμενές που δεν αποστραγγίζονται κατά τη συγκομιδή, πρέπει συνήθως να ασβεστοποιηθούν σε χρονικά διαστήματα 3 έως 4 ετών μεταξύ των καλλιεργειών.

4.4.2 Λίπανση Λιμνοδεξαμενής

Τα λιπάσματα χρησιμοποιούνται συχνά σε λιμνοδεξαμενές στις υδατοκαλλιέργειες για την τόνωση της παραγωγικότητας του φυτοπλαγκτόν και τη βελτίωση της διαθεσιμότητας των φυσικών οργανισμών που χρησιμοποιούνται ως τροφή. Η θολρότητα που δημιουργείται από το φυτοπλαγκτόν σκιάζει επίσης τον βυθό της λιμνοδεξαμενής για να αποτρέψει την ανάπτυξη υποβρύχιας υδρόβιας βλάστησης. Οι λιμνοδεξαμενές μπορούν να λιπανθούν με οργανικά υλικά όπως ζωικά απόβλητα, γεωργικά υποπροϊόντα ή χορτάρι. Μπορούν επίσης να λιπανθούν με χημικά λιπάσματα.

4.4.2.1 Οργανικά Λιπάσματα

Τα οργανικά λιπάσματα, που μερικές φορές ονομάζονται “κοπριά”, συνήθως αποτελούνται από ουσίες σχετικά χαμηλής ποιότητας που διαφορετικά θα μπορούσαν να θεωρηθούν απόβλητα, όπως κοπριά πουλερικών, απορρίμματα πουλερικών, περιττώματα αγελάδων, φυτικά υποπροϊόντα και λύματα. Το οργανικό υλικό που προστίθεται στις λιμνοδεξαμενές παρέχει τροφή για τους εκτρεφόμενους οργανισμούς με τρεις τρόπους, αν και στην πράξη και τα τρία συμβάλλουν στην

ανάπτυξη του εκτρεφόμενου οργανισμού.

Πρώτον, η σωματιδιακή οργανική ύλη (POM) μπορεί να καταναλωθεί άμεσα από τα ζώα. Αυτό είναι συνήθως μια μικρή συμβολή, επειδή τα περισσότερα οργανικά λιπάσματα είναι ανεπαρκή από άποψη διατροφικής αξίας, που δεν καταναλώνονται ή είναι πολύ δύσκολο να προσληφθούν για να υποστηρίξουν μια υψηλή παραγωγικότητα των εκτρεφόμενων οργανισμών μέσω άμεσης κατανάλωσης.

Δεύτερον, το οργανικό υλικό αποσυντίθεται εν μέρει από τα βακτήρια και τους μύκητες, με αποτέλεσμα την παραγωγή υψηλής ποιότητας υπολείμματος που αποτελείται από μικροβιακή βιομάζα και μερικώς αποσυντιθέμενη οργανική ύλη. Τα υπολείμματα καταναλώνονται από το ζωοπλαγκτόν και τα μακροασπόνδυλα του βυθού. Τα υπολείμματα, καθώς επίσης το ζωοπλαγκτόν και τα μακροασπόνδυλα, καταναλώνονται από τους εκτρεφόμενους οργανισμούς.

Η τρίτη τροφική οδός προέρχεται όταν ανόργανα θρεπτικά συστατικά (άζωτο, φωσφόρος και άλλα) και το διοξείδιο του άνθρακα απελευθερώνεται καθώς αποσυντίθεται η οργανική ύλη. Αυτές οι θρεπτικές ουσίες διεγείρουν την ανάπτυξη φυτών, η οποία στη συνέχεια χρησιμεύει ως βάση πολύπλοκων τροφικών αλυσίδων που κορυφώνονται με την ανάπτυξη του εκτρεφόμενου οργανισμού.

Τα οργανικά λιπάσματα έχουν το μέγιστο όφελος στις αναπτυσσόμενες χώρες, όπου μικρής κλίμακας καλλιεργητές αποκτούν χαμηλής ποιότητας υλικά από εκτρεφόμενα ζώα μιας και δεν μπορούν να αγοράσουν χημικά λιπάσματα. Παρόλο που φαίνεται να είναι μια απλή πρακτική, η εκτροφή ψαριών σε λιμνοδεξαμενές λιπασμένες με οργανικά λιπάσματα μπορεί να είναι τόσο υψηλή όσο και υψηλότερη από αυτή που επιτυγχάνεται με τα χημικά λιπάσματα. Υπάρχουν, ωστόσο, αρκετά μειονεκτήματα από την χρήση κοπριάς:

- Τα περισσότερα οργανικά λιπάσματα έχουν χαμηλό ποσοστό θρεπτικών συστατικών και ποικίλλουν στη σύνθεση τους.
- Λόγω της χαμηλής ποιότητας των θρεπτικών ουσιών, είναι απαραίτητη η συχνή εφαρμογή τους.
- Οι μεγάλες εφαρμογές μπορούν να προκαλέσουν την μείωση του διαλυμένου οξυγόνου (DO) και συσσώρευση μερικώς αποσυντιθέμε-

νης κοπριάς στον πυθμένα των λιμνοδεξαμενών. Οι ρυθμοί εφαρμογής δεν πρέπει να υπερβαίνουν τα 50 kg/εκτάριο ξηράς ύλης ημερησίως σε μη αεριζόμενες λιμνοδεξαμενές, προκειμένου να αποφευχθεί η μείωση του διαλυμένου οξυγόνου (DO) από την μικροβιακή υποβάθμιση του υλικού.

- Τα οργανικά λιπάσματα ευνοούν την ανάπτυξη στρωμάτων από φύκη.
- Τα οργανικά λιπάσματα ενδέχεται να περιέχουν αντιβιοτικά που χορηγήθηκαν στις τροφές του ζώων, και έχουν υψηλές συγκεντρώσεις σε μέταλλα
- Πολλοί καταναλωτές έχουν αρνητικές απόψεις για προϊόντα υδατοκαλλιέργειας που προέρχονται από λιμνοδεξαμενές με οργανικά λιπάσματα.

4.4.2.2 Χημικά Λιπάσματα

Η ιδέα πίσω από τη χημική λίπανση είναι ότι τα βασικά φυτικά θρεπτικά συστατικά προστίθενται στη λιμνοδεξαμενή για την τόνωση της ανάπτυξης των φυτών (πρωτογενής παραγωγή) η οποία, με τη σειρά της, χρησιμεύει ως βάση των τροφικών αλυσίδων που τελικά καταλήγουν στην ανάπτυξη του εκτρεφόμενου οργανισμού. Βασικά θρεπτικά συστατικά για την ανάπτυξη των υδρόβιων φυτών είναι ο φώσφορος και το άζωτο. Το κάλιο και άλλα θρεπτικά συστατικά είναι σημαντικά μερικές φορές.

Τα δύο πιο κοινά λιπάσματα που χρησιμοποιούνται παγκοσμίως στην υδατοκαλλιέργεια είναι τα τριπλά υπερφωσφορικά και η ουρία. Άλλα κοινά λιπάσματα που χρησιμοποιούνται στην υδατοκαλλιέργεια παρατίθενται στον **Πίνακα 4.8**. Τα περισσότερα λιπάσματα συσκευάζονται σε σάκους και πωλούνται ως ξηροί κόκκοι ή σβώλοι (στρογγυλά σφαιρίδια), αλλά το πολυφωσφορικό αμμώνιο και το φωσφορικό οξύ είναι σε υγρή μορφή.

Το άζωτο προστίθεται συνήθως με τη μορφή ουρίας, αμμωνίου ή νιτρικού άλατος. Ο φώσφορος απαντάται ως ορθοφωσφορικό ή πολυφωσφορικό, ενώ το κάλιο βρίσκεται σε ιοντική μορφή. Τα λιπάσματα διαλύονται στο νερό για να απελευθερώσουν τα θρεπτικά συστατικά τους. Η ουρία αρχίζει να υδατοδιαλύεται αμέσως και μετασχηματίζεται πλήρως σε αμμωνία και διοξειδίο

Πίνακας 4.8 Κατά προσέγγιση σύνθεση κοινών εμπορικών λιπασμάτων.

Λίπασμα	Ποσοστό		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Ουρία	45	0	0
Νιτρικό ασβέστιο	15	0	0
Νιτρικό νάτριο	16	0	0
Νιτρικό αμμώνιο	33-35	0	0
Θειικό αμμώνιο	20-21	0	0
Υπερφωσφορικό	0	18-20	0
Τριπλό υπερφωσφορικό	0	44-54	0
Φωσφορικό μονοαμμώνιο	11	48	0
Φωσφορικό διαμμώνιο	18	48	0
Μεταφωσφορικό ασβέστιο	0	62-64	0
Νιτρικό κάλιο	13	0	44
Θειικό κάλιο	0	0	50
Χλωριούχο κάλιο (ποτάσα)	0	0	60

του άνθρακα μέσα σε λίγες μέρες. Τα πολυφωσφορικά επίσης υδρολύονται γρήγορα σε ορθοφωσφορικά.

Η κατηγορία του λιπάσματος αναφέρεται συνήθως με σήμανση της περιεκτικότητας του λιπάσματος με αριθμούς, όπου ο πρώτος αριθμός εκφράζει την εκατοστιαία περιεκτικότητα του λιπάσματος σε άζωτο (N), ο δεύτερος σε φώσφορο υπό τη μορφή οξειδίου του φωσφόρου (P₂O₅) και ο τρίτος σε κάλιο υπό τη μορφή οξειδίου του καλίου (K₂O). Έτσι, το τριπλό υπερφωσφορικό είναι συνήθως ένα λίπασμα 0-46-0, το φωσφορικό διαμμώνιο είναι ένα λίπασμα 18-48-0 και η ουρία είναι ένα λίπασμα 45-0-0. Ο **Πίνακας 4.9** δείχνει τις κατά προσέγγιση ποιότητες των κοινών εμπορικών λιπασμάτων. Σημειώστε ότι ορισμένες πρωτογενείς πηγές λιπασμάτων περιέχουν ένα βασικό θρεπτικό συστατικό, όπως ουρία ή τριπλό υπερφωσφορικό, ενώ άλλα μπορεί να περιέχουν δύο κύρια θρεπτικά συστατικά όπως φωσφορικό διαμμώνιο και φωσφορικό κάλιο. Ένα μεικτό λίπασμα γίνεται με ανάμειξη δύο ή περισσότερων πρωταρχικών πηγών λιπασμάτων για την παραγωγή δύο ή τριών βασικών θρεπτικών ουσιών. Τα μικτά λιπάσματα που αντιπροσωπεύουν ένα ευρύ φάσμα κατηγοριών μπορούν να αγοραστούν στις περισσότερες χώρες.

Μερικές φορές, τα λιπάσματα θα συμπληρω-

Πίνακας 4.9 Συγκέντρωση αζώτου και φωσφόρου ως ποσοστά της αρχικής χορήγησης των στοιχείων, μέσω τροφής, σε λιμνοδεξαμενές με γατόψαρα.

Τρόπος	Άζωτο	Φώσφορος
Συγκομιδή ψαριών	31,5	31,0
Εξαέρωση της αμμωνίας	12,5	-
Απονιτροποίηση	17,4	-
Συσσωρευση ιζημάτων	22,6	57,6
Λύματα	16,0	11,4

θούν με τα δευτερεύοντα θρεπτικά συστατικά όπως ασβέστιο, μαγνήσιο και θείο. Οι συνήθεις πηγές αυτών των στοιχείων είναι τα θειικά άλατα ασβεστίου και μαγνησίου. Συμπληρώματα ιχνοστοιχείων, όπως σιδήρου, μαγγανίου, ψευδαργύρου, χαλκού, βορίου και άλλων μπορούν να προστεθούν στα λιπάσματα.

Οι κόκκοι ή οι σβώλοι λιπασμάτων είναι υδατοδιαλυτοί, αλλά κατακάθονται στον πυθμένα της λιμνοδεξαμενής πριν διαλυθούν πλήρως. Το μεγαλύτερο μέρος του φωσφόρου μπορεί να προσροφηθεί από το έδαφος στο βυθό αντί να παραμείνει διαλυμένο στο νερό. Το πρόβλημα αυτό μπορεί να μειωθεί με τη χρήση υγρών λιπασμάτων.

Τα υγρά λιπάσματα είναι πυκνότερα από το νερό και πρέπει να αραιωθούν σε αναλογία 1:10 με το νερό των λιμνοδεξαμενών και να διανεμηθούν σε όλη την επιφάνεια των λιμνοδεξαμενών ή να απελευθερωθούν στα απόνερα που δημιουργούνται από την περιστροφή του έλικα του κινητήρα ενός σκάφους, καθώς το σκάφος κινείται στην επιφάνεια της λιμνοδεξαμενής. Εάν τα υγρά λιπάσματα δεν είναι διαθέσιμα ή θεωρούνται υπερβολικά δαπανηρά, τα κοκκώδη λιπάσματα μπορούν να τοποθετηθούν σε νερό λιμνοδεξαμενών 10 έως 20 φορές του όγκου τους, που έχουν διαλυθεί προηγουμένως με έντονη ανάδευση και ρίψη πάνω στην επιφάνεια του νερού.

Οι συνήθεις ρυθμοί εφαρμογής του N και του P_2O_5 είναι 2-10 kg/εκτάριο ανά εφαρμογή. Πολλοί καλλιεργητές εφαρμόζουν υπερβολικό άζωτο. Συνιστούμε εφαρμογές των 2 kg N/εκτάριο και 8 kg P_2O_5 /εκτάριο για λιμνοδεξαμενές με γλυκό νερό και 8 kg/εκτάριο για N και P_2O_5 για λιμνοδεξαμενές με υφάλμυρο ή θαλασσινό νερό.

Το φωσφορικό διαμμώνιο ή το φωσφορικό μονοαμμώνιο, είναι καλά λιπάσματα για το γλυκό νερό, επειδή έχουν αναλογίες N: P_2O_5 περίπου 1:3 και 1:4 αντίστοιχα. Για τα υφάλμυρα ή θαλασσινά νερά, είναι καλύτερο ένα λίπασμα με αναλογία 1:1 για N: P_2O_5 και ένα μικτό λίπασμα κατηγορίας 20-20-0 είναι μια καλή επιλογή. Σε υφάλμυρες λιμνοδεξαμενές για καλλιέργειες γαρίδας, πολλοί καλλιεργητές επιθυμούν να ενισχύσουν την ανάπτυξη των διατόμων. Αυτό μπορεί να γίνει με την εφαρμογή αζωτούχων λιπασμάτων εβδομαδιαίως σε αναλογία 2-3 kg N/εκτάριο. Τα νιτρικά άλατα είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικά στην παραγωγή διατόμων και το νιτρικό νάτριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως λίπασμα που προωθεί τη παραγωγή των διατόμων.

Το λίπασμα μπορεί να χρειαστεί να εφαρμοστούν σε διαστήματα 2-4 βδομάδων για να διατηρηθεί η άνθηση του φυτοπλαγκτού. Ωστόσο, συχνότερες εφαρμογές μπορεί να είναι απαραίτητες για την έναρξη της άνθησης. Στις λιμνοδεξαμενές όπου χορηγείται βιομηχανική τροφή, θρεπτικά συστατικά εισέρχονται στο νερό από τα απόβλητα των τροφών και οι εφαρμογές με λιπάσματα είναι συχνά περιττές ή απαραίτητες μόνο μέχρι να φτάσουν τα ποσοστά χορήγησης τροφής τα 15 ή 20 kg/εκτάριο την ημέρα.

Μόλις έχει αρχίσει η άνθηση, το λίπασμα μπορεί να χορηγηθεί ανάλογα με τις ανάγκες, όπως κρίνεται από την ορατότητα του δίσκου του Secchi. Η ορατότητα του δίσκου του Secchi στα 25-40 cm θεωρείται συνήθως επαρκής. Για παράδειγμα, όταν ο κανονικός ρυθμός χορήγησης είναι 2 kg N/εκτάριο και 8 kg P_2O_5 /εκτάριο, ο ρυθμός χορήγησης μπορεί να ρυθμιστεί ως προς την ορατότητα του δίσκου Secchi (SD) ως εξής: SD ≤ 25 cm, 0 kg N και P_2O_5 , SD = 26-30 cm, 0,5 kg N και 2 kg P_2O_5 /εκτάριο, SD = 31-35 cm, 1 kg N και 4 kg P_2O_5 /εκτάριο, SD = 36-40 cm, 1,5 kg N και 6 kg P_2O_5 /εκτάριο, SD > 40 cm, 2 kg N και 8 kg P_2O_5 /εκτάριο.

Λιπάσματα που περιέχουν αμμώνιο ή ουρία είναι δυνητικά όξινα επειδή τα νιτροποιητικά βακτήρια στο νερό μπορούν να οξειδώσουν την αμμωνία σε νιτρικά άλατα και να παραχθούν ιόντα υδρογόνου. Τα ιόντα υδρογόνου θα αντιδράσουν στο νερό για να μειωθεί η ολική αλκαλικότητα και το pH. Η δυσμενή επίδραση της νιτροποίησης στην αλκαλικότητα και το pH μπορεί να εξουδετερωθεί με χο-

ρηγήσεις ρουτίνας γεωργικού ασβέστη σε λιμνοδεξαμενές όπου η αλκαλικότητα είναι φυσιολογικά χαμηλή. Στα υφάλμυρα νερά, το θαλασσινό νερό και το γλυκό νερό με αλκαλικότητα άνω των 50 mg/L, η οξύτητα από αζωτούχα λιπάσματα δεν δημιουργεί πρόβλημα.

4.4.3 Μηχανικός Αερισμός και Ανάμιξη

Ο μηχανικός αερισμός χρησιμοποιείται ευρέως σε λιμνοδεξαμενές στην υδατοκαλλιέργεια για την αποφυγή χαμηλών συγκεντρώσεων διαλυμένου οξυγόνου (DO), ειδικά τη νύχτα. Βελτιώνει την αποτελεσματικότητα της χορηγούμενης τροφής και αυξάνει την παραγωγή ψαριών ή γαρίδων. Οι μηχανικοί αεριστές αυξάνουν τον ρυθμό μεταφοράς του οξυγόνου από τον αέρα παρέχοντας μεγαλύτερη επιφάνεια μεταξύ του αέρα και του νερού. Αυτό επιτυγχάνεται με την εκτόξευση νερού στον αέρα ή με την απελευθέρωση φυσαλίδων αέρα στο νερό.

Οι αεριστήρες είναι πιο αποτελεσματικοί όταν οι συγκεντρώσεις διαλυμένου οξυγόνου (DO) στο νερό είναι χαμηλές, επειδή η κινητήρια δύναμη που προκαλεί την είσοδο του οξυγόνου στο νερό είναι η διαφορά πίεσης μεταξύ του οξυγόνου στον αέρα και του οξυγόνου στο νερό. Ομοίως, οι αεριστήρες μεταφέρουν οξυγόνο από το νερό στον αέρα όταν το νερό είναι υπερκορεσμένο με διαλυμένο οξυγόνο (DO).

Εκτός από τη μεταφορά οξυγόνου στο νερό, οι αεριστήρες κυκλοφορούν το νερό της λιμνοδεξαμενής. Η κυκλοφορία του νερού είναι ευεργετική για τη μετακίνηση του οξυγονωμένου νερού μακριά από τους αεριστήρες για να αποφευχθεί ο περιορισμός σε ένα σημείο του κορεσμού και η απώλεια της αποτελεσματικότητας μεταφοράς του οξυγόνου από τον αεριστήρα. Επίσης προστατεύει τις λιμνοδεξαμενές από τη δημιουργία θερμικής στρωμάτωσης. Τα ρεύματα νερού που δημιουργούνται από τον αεριστήρα μεταφέρουν οξυγόνο σε όλη τη λιμνοδεξαμενή για χρήση από τα καλλιεργούμενα είδη. Η κυκλοφορία δημιουργεί κυματισμούς στην επιφάνεια του νερού που ευνοούν την διάχυση στο εξωτερικό περιβάλλον της αμμωνίας και των άλλων τοξικών αερίων. Παράγει επίσης νερό που περιέχει διαλυμένο οξυγόνο (DO) κατά μήκος του πυθμένα της λιμνοδε-

ξαμενής για να αποφευχθεί η δημιουργία τοπικών θυλάκων με αναερόβια ιζήματα.

Στις δεξαμενές με υψηλή ζωική βιομάζα, μπορεί να χρειαστεί αερισμός κατά τη διάρκεια της ημέρας για τη δημιουργία κυκλοφορίας του νερού, ακόμη και αν προκύψει μικρή ή δεν προκύψει καθόλου μεταφορά οξυγόνου. Ωστόσο, η ποσότητα του αερισμού που χορηγείται πρέπει να μειωθεί κατά τη διάρκεια της ημέρας ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι απώλειες οξυγόνου στον αέρα και να μειωθεί το ενεργειακό κόστος. Κατά τη διάρκεια της νύχτας, ο αερισμός πρέπει να αυξηθεί για να αποφευχθεί η χαμηλή συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου (DO).

Υπάρχουν αρκετοί τύποι μηχανικών αεραντλίων. Οι πτερυγιοφόροι (paddlewheel) αεριστήρες και οι αεριστήρες κάθετων στροβίλων (vertical turbine) (**Εικόνες 4.9** και **4.10**) είναι δύο συνήθεις τύποι αεριστήρων. Τα συστήματα αερισμού με διάχυση αέρα (diffused-air) απελευθερώνουν φυσαλίδες αέρα κοντά στα πυθμένα της λιμνοδεξαμενής για να ανέβουν διαμέσου της στήλης του νερού. Ένας άλλος τύπος είναι ο αεριστήρας αντλίας αναρρόφησης με έλικα (propeller-aspirator pump), ο οποίος απελευθερώνει μικροσκοπικές φυσαλίδες αέρα σε νερό υπό ανάδευση που δημιουργείται από μια ταχέως περιστρεφόμενη πτερωτή.

Η τυπική απόδοση αερισμού (SAE, Standard Aeration Efficiency) είναι η ποσότητα του οξυγόνου που θα μεταφέρει ένας αεριστήρας ανά κιλοβάτ ισχύος σε 1 ώρα όταν τυποποιηθεί σε συνθήκες θερμοκρασίας 20 °C, 0 mg/L διαλυμένο οξυγόνο DO και καθαρό νερό. Οι τυπικές τιμές SAE κυμαίνονται από 1 έως 2 kg οξυγόνου/kW ανά ώρα. Ο ρυθμός μεταφοράς του οξυγόνου μειώνεται καθώς οι συγκεντρώσεις διαλυμένου οξυγόνου (DO) αυξάνουν πάνω από 0 mg/L. Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας σε μια λίμνη που περιέχει 3-4 mg/L διαλυμένο οξυγόνο (DO), ο πραγματικός ρυθμός μεταφοράς του οξυγόνου θα είναι 40-50% του SAE.

Η εμπειρία και οι υπολογισμοί που βασίζονται σε προϋπολογισμό του οξυγόνου των λιμνοδεξαμενών υποδηλώνουν ότι η παραγωγή μπορεί να αυξηθεί κατά περίπου 500 kg για κάθε kW αερισμού που εφαρμόζεται. Για παράδειγμα, ας υποθέσουμε ότι 1500 kg/εκτάριο μπορούν να παραχθούν χωρίς μηχανικό αερισμό. Για να αυξηθεί η



Εικόνα 4.9 Επιφανειακοί πτερυγιοφόροι αεριστήρες σε λιμνοδεξαμενή με γατόψαρα. Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από τον Danny Oberle, 2017.

παραγωγή από 3500 kg/εκτάριο σε 5000 kg/εκτάριο, η ελάχιστη απαίτηση αερισμού θα είναι περίπου 7 kW/εκτάριο ($3500 \text{ kg/εκτάριο} \div 500 \text{ kg/kW}$). Ωστόσο, για να μειωθούν οι κίνδυνοι, πρέπει να εφαρμοστεί ένας συντελεστής ασφαλείας 1,5, με αποτέλεσμα να απαιτείται στο παράδειγμά μας ένας αερισμός περίπου 11 kW/εκτάριο.

Λίγες μελέτες έχουν εξετάσει τους καλύτερους τρόπους τοποθέτησης των αεριστήρων στις λιμνοδεξαμενές. Τα ψάρια μετακινούνται σε αεριζόμενες ζώνες νερού, οπότε η τοποθέτηση είναι λιγότερο σημαντική στις λιμνοδεξαμενές με ψάρια από ότι στις λιμνοδεξαμενές με γαρίδες. Στην πραγματικότητα, στην καλλιέργεια γατόψαρου, όλοι οι αεριστήρες βρίσκονται στο ένα άκρο της λιμνοδεξαμενής, κοντά στην πηγή ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτή η πρακτική επιτρέπει τη χρήση ενός μόνο ηλεκτρικού πίνακα και μειώνει σημαντικά την ποσότητα ηλεκτρικού καλωδίου μεταξύ του πίνακα και των αεριστών.

Στις λιμνοδεξαμενές εκτροφής γαρίδας, η μακρόχρονη πρακτική της τοποθέτησης των αεριστήρων για τη δημιουργία κυκλικής κίνησης του νερού είναι συνήθως τόσο καλή όσο οποιαδήποτε

άλλη εναλλακτική λύση. Για την αποφυγή της διάβρωσης, οι αεριστήρες δεν πρέπει να τοποθετούνται σε νερό με βάθους μικρότερο των 0,75 m ή κοντά σε αναχώματα. Για τον ίδιο λόγο, τα ρεύματα του νερού δεν πρέπει επίσης να προσκρούουν στα αναχώματα. Επιπλέον, τα ρεύματα του νερού που δημιουργούνται από έναν αεριστήρα, δεν πρέπει να συγκρούονται με τα ρεύματα νερού που δημιουργούνται από έναν άλλο αεριστήρα.

Η παραγωγή οξυγόνου στη φωτοσύνθεση συμβαίνει στα επιφανειακά νερά και αν στα νερά υπάρχει θερμική στρωμάτωση, το οξυγόνο δεν μπορεί να διανεμηθεί στα κατώτερα στρώματα νερού κοντά στον πυθμένα. Η μηχανική ανάμιξη μπορεί να διαταράξει τη στρωμάτωση του νερού και ενδεχομένως να μειώσει την ανάγκη αερισμού. Η ανάμιξη μπορεί επίσης να ωφελήσει την ποιότητα του νερού αυξάνοντας τον “βιώσιμο” όγκο του νερού και ενδεχομένως μειώνοντας την εμφάνιση βλαπτικής άνθησης από κυανοπράσινα φύκη (κυανοβακτήρια).

Πολλές συσκευές ανάμιξης έχουν αναπτυχθεί για χρήση στην υδατοκαλλιέργεια, παρόλο που η έρευνα δεν παρείχε επαρκή στοιχεία για τα οφέλη



Εικόνα 4.10 Αεριστήρας κάθετης αντλίας (ψεκαστήρας). Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από τον Les Torrans, 2017.

της ανάμειξης. Ωστόσο, το κόστος ενέργειας αυξάνεται παγκοσμίως και η δυνατότητα χρήσης μηχανικών αναμικτών νερού για τη μείωση των απαιτήσεων για μηχανικό αερισμό φαίνεται να αξίζει ένα δεύτερο γύρο επιστημονικών ερευνών και δοκιμών σε καλλιέργειες. Τα πιθανά οφέλη από την ανάμειξη και περιγραφή των συσκευών ανάμειξης αναλύονται λεπτομερώς από τους Boyd and Tucker (2014).

4.4.4 Διαχείριση Αμμωνίας

Μέθοδοι πρόληψης της τοξικότητας της αμμωνίας ποικίλλουν μεταξύ των συστημάτων καλλιέργειας, αλλά ο κοινός στόχος είναι να διατηρηθεί ο ρυθμός λήψης τροφής εντός των ορίων της ικανότητας του συστήματος να απομακρύνει ή να αποτοξινώνει την αμμωνία που παράγεται ως παραπροϊόν της χορηγούμενης τροφής. Στα συστή-

ματα υδατοκαλλιέργειας με συνεχή ροή νερού (flow-through) και στα περιφραγμένα με δίκτυα (net pens), η αμμωνία επεξεργάζεται μετατρέποντας την σε νιτρικά άλατα, μέσα σε βιολογικά φίλτρα νιτροποίησης.

Η αμμωνία είναι πολύ πιο δύσκολο να διαχειριστεί στις λιμνοδεξαμενές απ' ό,τι σε άλλα συστήματα υδατοκαλλιέργειας επειδή οι ρυθμοί μετασχηματισμού του αζώτου ποικίλλουν καθημερινά και εποχιακά ανάλογα με τη θερμοκρασία του νερού, το ηλιακό φως, την ταχύτητα του ανέμου και άλλες περιβαλλοντικές μεταβλητές που είναι αδύνατον να ελεγχθούν. Επίσης, η απομάκρυνση της αμμωνίας από το νερό της λιμνοδεξαμενής είναι δύσκολη λόγω του μεγάλου όγκου νερού στις περισσότερες λιμνοδεξαμενές. Έχουν προταθεί διάφορες επεμβάσεις, μερικές βασισμένες σε επιταχυνόμενες φυσικές διαδικασίες, αλλά οι περισσότερες είτε δεν λειτουργούν είτε είναι πολύ ακρι-

βές (Boyd and Tucker, 2014). Η αμμωνία μπορεί να απομακρυνθεί με την εναλλαγή του νερού και αυτό συμβαίνει συνήθως σε ορισμένες καλλιέργειες σε λιμνοδεξαμενές, αν και η εναλλαγή του νερού αυξάνει τον όγκο εκροής και προκαλεί ρύπανση στους υδάτινους αποδέκτες.

Επειδή η αμμωνία είναι δύσκολο να απομακρυνθεί από το νερό της λιμνοδεξαμενής, το κλειδί για τη διαχείριση της αμμωνίας στις λιμνοδεξαμενές είναι η ελαχιστοποίηση της πιθανότητας συσσώρευσης σε τοξικά επίπεδα λειτουργώντας μέσα στην αφομοιωτική ικανότητα του οικοσυστήματος της λιμνοδεξαμενής. Εάν η συγκέντρωση της αμμωνίας είναι συνήθως υψηλή σε λιπασμένες λιμνοδεξαμενές, το άζωτο παρέχεται σε άσκοπη περίπτωση των απαιτήσεων για την ανάπτυξη των φυκών. Στις λιμνοδεξαμενές που χορηγείται τροφή, ο κίνδυνος τοξικότητας λόγω αμμωνίας μειώνεται με τη χρησιμοποίηση μέτρων ποσοστών εκτροφόμενης βιομάζας και χορηγούμενης τροφής και με τη χρήση υψηλής ποιότητας τροφών και καλών πρακτικών χορήγησης της τροφής για τη μεγιστοποίηση της κατακράτησης του αζώτου από τα εκτρεφόμενα ζώα. Εκτός από αυτούς τους γενικούς κανόνες και χρησιμοποιώντας την εμπειρία για τον προσδιορισμό της αφομοιωτικής ικανότητας της λιμνοδεξαμενής, είναι δύσκολο να καθοριστούν επακριβώς τα όρια φόρτισης του αζώτου για τις λιμνοδεξαμενές.

Έχουν αναπτυχθεί τα τελευταία 25 χρόνια καινοτόμα συστήματα καλλιέργειας σε λιμνοδεξαμενές, τα οποία επιτρέπουν πολύ υψηλότερους ρυθμούς χορήγησης τροφής χωρίς τον κίνδυνο της τοξικότητας της αμμωνίας (Tidwell, 2012). Συστήματα λιμνοδεξαμενών που φέρουν διαχωρισμό χρησιμοποιούν την κίνηση του νερού για να βελτιώσουν τις διαδικασίες αφαίρεσης της αμμωνίας και η παραγωγή ψαριών μπορεί να είναι αρκετές φορές μεγαλύτερη σε σχέση με τις παραδοσιακές λιμνοδεξαμενές. Για να υπάρξει ακόμα μεγαλύτερη ικανότητα απομάκρυνσης των αποβλήτων, έχουν αναπτυχθεί συστήματα λιμνοδεξαμενών όπου το οξυγόνο χορηγείται εξ ολοκλήρου από αεριστήρες και τα απόβλητα απομακρύνονται με τη χρήση των βιονιφάδων “*Biofloc*”, που είναι αιωρούμενα συσσωματώματα φυκών, βακτηρίων, πρωτόζων, περιττωμάτων και τροφή που δεν έχει καταναλωθεί. Η εντατική περιστροφική ανάμι-

ξη είναι το κλειδί για την επιτυχή λειτουργία των *Biofloc*, διότι οι νιφάδες πρέπει να αιωρούνται για να λειτουργήσουν σωστά. Τα συστήματα *Biofloc* λειτουργούν καλύτερα για την εκτροφή της γαρίδας, της τιλάπιας και άλλων ζώων που μπορούν να τραφούν άμεσα με τις νιφάδες ως συμπλήρωμα των χορηγούμενων βιομηχανικών τροφών.

4.4.5 Έλεγχος Υψηλού pH

Υψηλό pH εμφανίζεται στις λιμνοδεξαμενές ως αποτέλεσμα παρατεταμένων περιόδων υψηλών ρυθμών φωτοσύνθεσης. Τα προβλήματα είναι τα πιο κοινά στις λιμνοδεξαμενές όπου η συνολική αλκαλικότητα υπερβαίνει κατά πολύ την ολική σκληρότητα.

Αρκετές διαδικασίες αντιμετώπισης έχουν χρησιμοποιηθεί για τη μείωση του pH (Boyd and Tucker, 2014). Σε ορισμένες περιπτώσεις, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η εναλλαγή του νερού για την εξάλειψη του φυτοπλαγκτόν και συχνά αυτό θα μειώσει το pH. Η επεξεργασία με θειικό χαλκό θα καταστρέψει τα φύκη προκαλώντας μείωση της χρήσης του διοξειδίου του άνθρακα στη φωτοσύνθεση και την επακόλουθη πτώση του pH. Αυτή η πρακτική, ωστόσο, μπορεί να προκαλέσει χαμηλή συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου (DO) όταν έχουμε αποσύνθεση των νεκρή φυκών. Οι οργανικοί βελτιωτές εδαφών όπως η κοπριά και η μελάσα έχουν χρησιμοποιηθεί επειδή το διοξείδιο του άνθρακα απελευθερώνεται όταν η αποσύνθεση αυτών των υλικών θα μειώσει το pH. Αυτή η επεξεργασία μπορεί επίσης να προκαλέσει εξάντληση του διαλυμένου οξυγόνου (DO). Σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, μπορεί να εφαρμοστεί θειικό αργίλιο. Το αργίλιο υδρολύεται και απελευθερώνει το υδρογόνο και μειώνει το pH.

Τα νερά με χαμηλή ολική σκληρότητα και υψηλή συγκέντρωση ολικής αλκαλικότητας, π.χ. 3 έως 10 φορές περισσότερο αλκαλικότητα από την σκληρότητα, μπορεί να έχουν τιμές pH 10 ή περισσότερο όταν η φωτοσύνθεση είναι έντονη. Η προσθήκη θειικού ασβεστίου (γύψος) για την αύξηση της συγκέντρωσης ασβεστίου μπορεί να είναι μια αποτελεσματική αντιμετώπιση. Συνιστάται συνήθως να προστίθεται αρκετό θειικό ασβέστιο για να φτάσει η ολική συγκέντρωση σκληρότητας σε εκείνη της ολικής αλκαλικότητας. Ο ρυθμός επε-

ξεργασίας του γύψου σε mg/L μπορεί να εκτιμηθεί ως:

$$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} =$$

2 (ολική αλκαλικότητα – ολική σκληρότητα)

Η αντιμετώπιση αυτή έχει μια υπολειμματική επίδραση που ποικίλλει ανάλογα με το ρυθμό ανανέωσης του νερού της λιμνοδεξαμενής.

4.4.6 Διαχείριση Υπερκορεσμού Αερίου

Η φωτοσύνθεση από τα φυτά ή τα φύκη μπορεί να προκαλέσει υπερκορεσμό σε διαλυμένο οξυγόνο (DO) στις λιμνοδεξαμενές. Η φωτοσύνθεση συνήθως περιορίζεται σε ρηχά νερά, επειδή το φως εξασθενεί γρήγορα ανάλογα με βάθος στις λιμνοδεξαμενές υδατοκαλλιέργειας. Οι άνεμοι ή μηχανικές συσκευές μπορούν να αναμιγνύουν υπερκορεσμένα στρώματα νερού με βαθύτερα στρώματα νερού και να αποτρέπουν τον υπερκορεσμό, αλλά σε ήρεμες και ηλιόλουστες ημέρες ο βαθμός υπερκορεσμού στα επιφανειακά νερά μπορεί να αυξηθεί πολύ. Παρά την συχνή εμφάνιση υπερκορεσμού του διαλυμένου οξυγόνου (DO) στα επιφανειακά νερά, η φυσαλιδώδης νόσος είναι σπάνια στις λιμνοδεξαμενές υδατοκαλλιέργειας. Οι περισσότερες λιμνοδεξαμενές είναι σχετικά βαθιές (> 1 m) και τα βαθύτερα στρώματα νερού προφανώς παρέχουν καταφύγιο για τα εκτρεφόμενα ζώα, επειδή η ελαφριά εξασθένηση με βάθος μειώνει την παραγωγή του οξυγόνου με τη φωτοσύνθεση (βλέπε ενότητα 4.2.8 και 4.4.3) και η υδροστατική πίεση μειώνει τον υπερκορεσμό σε αέριο ΔΡ (ενότητα 4.3.6). Στις περισσότερες λιμνοδεξαμενές, ο υπερκορεσμός θα απειλεί μόνο τα αβγά ή το γόνο που περιορίζονται στην επιφάνεια λόγω έλλειψης κινητικότητας.

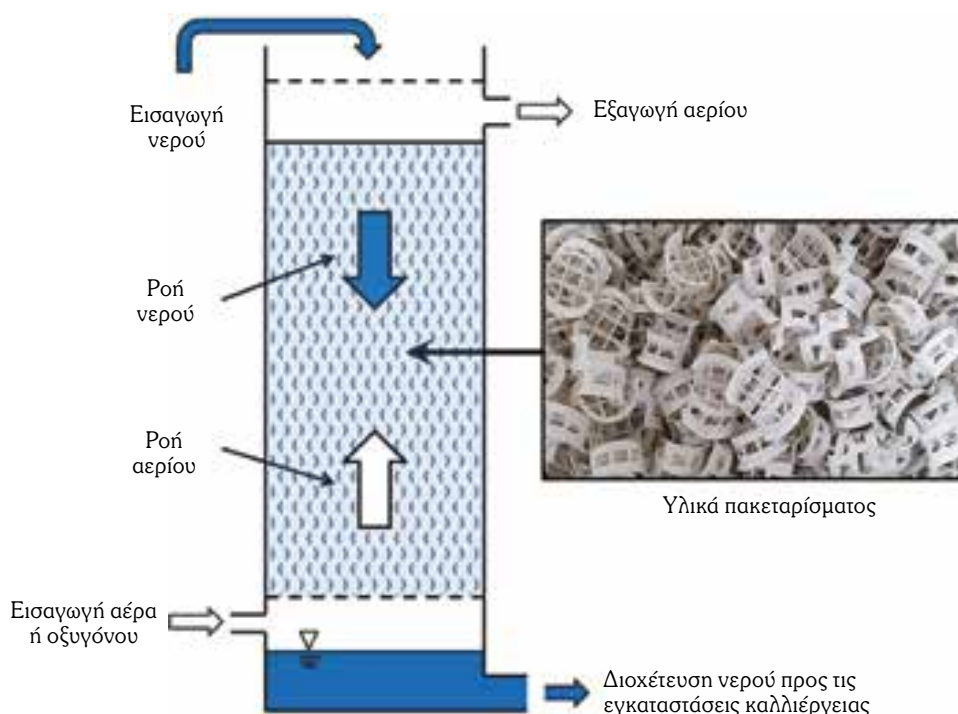
Η φυσαλιδώδης νόσος δεν είναι ασυνήθιστη στα συστήματα εντατικής καλλιέργειας, επειδή οι συνθηότερα χρησιμοποιούμενες πηγές νερού (όπως τα υπόγεια νερά) μπορεί να είναι υπερκορεσμένες και τα συστήματα διανομής του νερού παρουσιάζουν πολλαπλές ευκαιρίες για ανάπτυξη υπερκορεσμού, ακόμη και αν η παροχή δεν είναι αρχικά υπερκορεσμένη. Οι περισσότερες δεξαμενές καλλιέργειας και οι καναλόμορφες δεξαμενές είναι επίσης ρηχές, γεγονός που δεν παρέχει την

ευκαιρία στην υδροστατική πίεση να αντισταθμιστεί ο υπερκορεσμός. Η χρησιμοποίηση βαθύτερων δεξαμενών καλλιέργειας για την αποφυγή υψηλών τιμών ΔΡ είναι σπάνια μια λογική επιλογή σχεδιασμού, επομένως τα πιθανά προβλήματα στην παροχή νερού πρέπει να αντιμετωπιστούν χρησιμοποιώντας καλές πρακτικές γεωτρήσεων (εάν χρησιμοποιούνται υπόγεια νερά) και σωστή εγκατάσταση του συστήματος παροχής του νερού για να ελαχιστοποιηθούν οι δυνατότητες για διοχέτευση του αέρα.

Ο υπερκορεσμός σε αέριο μπορεί να διορθωθεί εκθέτοντας το νερό στον αέρα. Ο ρυθμός απαερίωσης είναι υψηλότερος όταν το νερό διασπάζεται σε λεπτά σταγονίδια ή σε λεπτά στρώματα για να αυξηθεί ο λόγος του όγκου αέρα προς τον όγκο του νερού. Οι πακεταρισμένες στήλες (Packed columns) (**Εικόνα 4.11**) είναι απλές, αποτελεσματικές συσκευές για τη διαχείριση του υπερκορεσμού των αερίων. Οι πακεταρισμένες στήλες αποτελούνται από ένα πλαστικό ή μεταλλικό σωλήνα γεμάτο με υλικό συσκευασίας που έχει μεγάλο κενό όγκο (οι δακτύλιοι Pall παρουσιάζονται ως υλικό συσκευασίας στην **Εικόνα 4.11**). Το νερό διοχετεύεται με καταιονισμό διαμέσου της στήλης ως λεπτό στρώμα ή σε μικρά σταγονίδια. Η ανταλλαγή του αερίου ενισχύεται εάν ωθείται αέρας διαμέσου της στήλης σε αντίθετη κατεύθυνση από την κατεύθυνση ροής του νερού. Οι πακεταρισμένες στήλες συχνά εξυπηρετούν τους διπλούς ρόλους της απομάκρυνσης των υπερκορεσμένων αερίων και της προσθήκης οξυγόνου. Οι Colt and Bouck (1984) παρέχουν λεπτομερείς πληροφορίες.

4.4.7 Καθαρισμός του Νερού της Λιμνοδεξαμενής από τη Θολερότητα του Αργίλου

Οι λασπώδεις λιμνοδεξαμενές έχουν συχνά χαμηλή αλκαλικότητα, δηλαδή όξινο νερό. Η εφαρμογή γεωργικού ασβέστη και λιπασμάτων για την αύξηση της αλκαλικότητας, της αφθονίας του φυτοπλαγκτού και του pH μπορεί να προκαλέσει την κατακράτηση σωματιδίων αργίλου σε ορισμένες λιμνοδεξαμενές. Όταν η ασβέστωση και η γονιμοποίηση των εδαφών δεν είναι αποτελεσματικά, μπορούν να εφαρμοσθούν παράγοντες κροκίδωσης για να ιζηματοποιηθούν τα αιωρούμενα σωμα-



Εικόνα 4.11 Ένας αεριστής πακεταρισμένης στήλης που χρησιμοποιείται για τον αερισμό του νερού και την απομάκρυνση των υπερκορεσμένων αερίων. Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από τον Craig Tucker, 2017.

τίδια αργίλου και να καθαρίσει το νερό από τη θολερότητα. Οι πιο συνηθισμένοι παράγοντες είναι: οργανική ύλη, συνήθως χόρτα, θειικό ασβέστιο, κοινώς γνωστό ως γύψος και το θειικό αργίλιο, συχνά αποκαλούμενο στυπτηρία (alum).

Η χρήση οργανικής ύλης για την αντιμετώπιση της θολερότητας είναι προβληματική λόγω των μεγάλων απαιτούμενων ποσοτήτων. Τα ποσοστά επεξεργασίας είναι συνήθως 2-3 τόνοι/εκτάριο χόρτου ή 500-1000 kg/εκτάριο ζωικής κοπριάς. Τέτοιες μεγάλες εφαρμογές οργανικής ύλης μπορούν να προκαλέσουν εξάντληση του διαλυμένου οξυγόνου (DO) και θνησιμότητα των καλλιεργούμενων ζώων.

Η χρήση γύψου αυξάνει τη συγκέντρωση ασβεστίου και ενθαρρύνει την κροκίδωση σωματιδίων αργίλου με την εξουδετέρωση των αρνητικών φορτίων στις επιφάνειές τους. Ο γύψος πρέπει να εφαρμόζεται σε ποσότητες 200-1000 kg/εκτάριο για να επιτευχθεί ικανοποιητική μείωση της θολερότητας. Ανάλογα με τον υδραυλικό χρόνο παραμονής (HRT, Hydraulic Retention Time), η συγκέντρωση του ασβεστίου θα αυξηθεί για μήνες ή και έτη, για να εξασφαλιστεί μελλοντική προστασία έναντι της θολερότητας από αιωρούμενα σωματίδια αργίλου.

Η στυπτηρία (alum) διαλύεται στο νερό για να αυξήσει προσωρινά τη συγκέντρωση των ιόντων αλουμινίου. Τα ιόντα αλουμινίου είναι τρισθενή και πιο αποτελεσματικά από τα δισθενή ιόντα ασβεστίου σε κροκιδωμένα σωματίδια αργίλου. Στα περισσότερα νερά, η χορήγηση 25-30 mg/L στυπτηρίας αφαιρεί αποτελεσματικά τη θολερότητα λόγω αργίλου. Ορισμένοι άργιλοι είναι πιο δύσκολο να κροκιδωθούν, επομένως είναι σκόπιμο να διεξάγονται απλές δοκιμές με τη δοσολογία στα νερά με διαφορετικές συγκεντρώσεις στυπτηρίας για να προσδιοριστεί το δραστικό ποσοστό.

Το στυπτηρία πρέπει να χορηγείται κατά τη διάρκεια μιας ήρεμης και καθαρής ημέρας για να αποφευχθεί η αναταραχή λόγω της δράσης του ανέμου ή της βροχόπτωσης. Συνήθως, τα συσσωματώματα γίνονται εμφανή μέσα σε 10-15 λεπτά μετά την χορήγηση, και η λιμνοδεξαμενή καθαρίζει από τη θολότητα μέσα σε λίγες ώρες.

Επειδή η στυπτηρία σχηματίζει θειικό οξύ στο νερό, μειώνει την ολική αλκαλικότητα και μειώνει το pH. Κάθε χιλιοστόγραμμα ανά λίτρο (mg/L) της στυπτηρίας καταναλώνει περίπου 0,5 mg/L ολικής αλκαλικότητας. Για να διασφαλιστεί η υπολειπόμενη ολική αλκαλικότητα και ένα ασφαλές pH, οι ρυθμοί χορήγησης της στυπτηρίας δεν πρέπει να

υπερβαίνουν την συγκέντρωση της ολικής αλκαλικότητας. Για παράδειγμα, εάν η ολική αλκαλικότητα είναι 25 mg/L, η μέγιστη, ασφαλής στυπτηρία που χορηγείται είναι 25 mg/L.

4.4.8 Έλεγχος Υδρόβιων Φυτών και Φυτοπλαγκτού

Τα φυτά αποτελούν βασικά χαρακτηριστικά των περισσότερων συστημάτων υδατοκαλλιέργειας σε λιμνοδεξαμενές. Αποτελούν τη βάση της τροφικής αλυσίδας και λειτουργούν με άλλα συστατικά του οικοσυστήματος για να διατηρούν ικανοποιητική την ποιότητα του νερού. Για παράδειγμα, το οξυγόνο που παράγεται με τη φωτοσύνθεση των φυτών μπορεί να αποτελέσει μείζονα πηγή διαλυμένου οξυγόνου (DO) στις λιμνοδεξαμενές.

Παρόλο που τα φυτά είναι επιθυμητά στις πε-

ρισσότερες υδατοκαλλιέργειες σε λιμνοδεξαμενές, ορισμένα είδη παρεμποδίζουν τη διαχείριση των λιμνοδεξαμενών, θέτουν σε κίνδυνο τα εκτρεφόμενο ζώα ή βλάπτουν την ποιότητα του προϊόντος (Εικόνα 4.12). Αυτά τα φυτά γίνονται τότε ζιζάνια και οι υδατοκαλλιεργητές προσπαθούν συχνά να τα εμποδίσουν να αναπτυχθούν ή να τα εξαλείψουν αμέσως μετά την εμφάνισή τους.

4.4.8.1 Έλεγχος των Αγγειακών (Ανώτερων) Φυτών και των Νηματοειδών Μακροφυκών.

Οι λιμνοδεξαμενές πρέπει να διαχειριστούν έτσι ώστε να μειώσουν τις ευκαιρίες για ανάπτυξη ζιζανίων αντί να στηρίζονται σε ζιζανιοκτόνα για την αντιμετώπιση των προβλημάτων μετά την ανάπτυξή τους. Η πιο κοινή προσέγγιση για τον έλεγχο



Εικόνα 4.12 Πλωτά χαλάκια από νηματοειδή μακροφύκη *Pithophora* sp. που αναπτύσσονται σε μια λιμνοδεξαμενή ψαριών γλυκού νερού. Τα χαλάκια από φύκη και πυκνά στρώματα από βυθισμένα φυτά καθιστούν δύσκολη τη συγκομιδή ή την χορήγηση τροφής των ιχθύων που καλλιεργούνται στις λιμνοδεξαμενές. Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από τον Craig Tucker, 2017.

των ζιζανίων είναι η λίπανση των λιμνοδεξαμενών για την ενίσχυση της αύξησης του φυτοπλαγκτού σε βάρος άλλων τύπων φυτών. Η εκβάθυνση των άκρων των λιμνοδεξαμενών βοηθά επίσης μέσω της αποθάρρυνσης της εγκατάστασης αναδυομένων στην ακτογραμμή ή βυθισμένων ζιζανίων. Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν μη τοξικές χρωστικές που αναστέλλουν την ανάπτυξη των βυθισμένων φυτών σκιάζοντας το νερό. Η αφαίρεση των ζιζανίων μηχανικά ή με το χέρι μπορεί να μείωση τις πιθανότητες να χρειαστεί να χρησιμοποιήσετε άλλο μέτρο ελέγχου, αλλά είναι δυνατή μόνο σε μικρές λιμνοδεξαμενές και είναι σπάνια ως επιλογή στην εμπορική υδατοκαλλιέργεια.

Ορισμένα ψάρια, κυρίως ο χορτοφάγος κυπρίνος, έχουν χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο των φυτικών ζιζανίων. Ο χορτοφάγος κυπρίνος τρέφεται σχεδόν αποκλειστικά από μεγαλύτερα φυτά και όταν χρησιμοποιείται σε χαμηλές πυκνότητες (25-50 ψάρια/εκτάριο) για τον έλεγχο των ζιζανίων, δεν ανταγωνίζεται άλλα ψάρια για την τροφή. Οι χορτοφάγοι κυπρίνοι απαγορεύονται ή ρυθμίζονται αυστηρά σε ορισμένες χώρες. Αρκετά είδη τιλάπια καταναλώνουν μακροφυτικά νηματοειδή φύκη και βυθισμένα φυτά ως μέρος της παμφάγας διατροφής τους. Ωστόσο, η τάση των ειδών τιλάπιας να δημιουργούν υπερπληθυσμούς στις λιμνοδεξαμενές είναι ένα σημαντικό μειονέκτημα της χρήσης τους για τον έλεγχο των ζιζανίων. Οι τιλάπιες επίσης δεν ανέχεται χαμηλές θερμοκρασίες νερού και πρέπει να τοποθετείται απόθεμα κάθε χρόνο εάν τα ζιζάνια παραμένουν σε εύκρατες λίμνες.

Η χρήση χημικών ζιζανιοκτόνων είναι συνήθως ο γρηγορότερος τρόπος για την εξάλειψη των εγκατεστημένων κοινοτήτων ζιζανίων. Πολλές χημικές ουσίες έχουν χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο των υδρόβιων ζιζανίων, αλλά σχετικά λίγες είναι νόμιμες για χρήση σε λιμνοδεξαμενές υδατοκαλλιέργειας. Οι κατάλογοι των νόμιμων ζιζανιοκτόνων διαφέρουν μεταξύ των χωρών και η νομική κατάσταση αλλάζει με την πάροδο του χρόνου, επομένως δεν θα συζητήσουμε για μεμονωμένα ζιζανιοκτόνα. Έντυποι και ηλεκτρονικοί κατάλογοι για τη διαχείριση των υδρόβιων φυτών είναι διαθέσιμοι.

Η αποτελεσματική χρήση του ζιζανιοκτόνου εξαρτάται από τον σωστό προσδιορισμό του προ-

βλήματος των ζιζανίων, την επιλογή του οικονομικά αποδοτικότερου χημικού προϊόντος, την ορθή εφαρμογή και τη διαχείριση των επιδράσεων της χρήσης ζιζανιοκτόνων στην ποιότητα του νερού. Η σωστή ταυτοποίηση των ζιζανίων είναι σημαντική, διότι τα ζιζανιοκτόνα που είναι αποτελεσματικά σε ένα είδος, μπορεί όμως να είναι αναποτελεσματικά σε άλλα είδη. Ακόμη και αν επιλεγεί το κατάλληλο ζιζανιοκτόνο, η αδυναμία χρήσης σωστά των ζιζανιοκτόνων μπορεί να οδηγήσει σε κακό έλεγχο των ζιζανίων και σε κινδύνους για τους ανθρώπους, την υδατοκαλλιέργεια ή την άγρια πανίδα ή προβλήματα από υπολείμματα ζιζανιοκτόνων στο προϊόν της υδατοκαλλιέργειας. Η ετικέτα παρέχει πληροφορίες σχετικά με το δραστικό συστατικό, οδηγίες για την σωστή χρήση στα είδη των φυτών στόχους, προειδοποιήσεις και περιορισμούς χρήσης καθώς και πληροφορίες σχετικά με την ασφάλεια και το αντίδοτο.

Με λίγες εξαιρέσεις (για παράδειγμα τα ζιζανιοκτόνα με βάση το χαλκό), τα περισσότερα υδρόβια ζιζανιοκτόνα δεν είναι πολύ τοξικά για τα υδρόβια ζώα. Ωστόσο, η χρήση ζιζανιοκτόνων είναι επικίνδυνη, διότι η επεξεργασία μολυσμένων με φυτά λιμνοδεξαμενών προκαλεί δραματική υποβάθμιση της ποιότητας των νερών. Η αποσύνθεση των φυτών που έχουν θανατωθεί από ζιζανιοκτόνα μπορεί να προκαλέσει εξάντληση του διαλυμένου οξυγόνου (DO) και αυξημένα επίπεδα διαλυμένου διοξειδίου του άνθρακα και αμμωνίας. Σε πολλές περιπτώσεις, μόνο ένα τμήμα της λιμνοδεξαμενής πρέπει να υποβληθεί σε διαχείριση ταυτόχρονα. Συμπληρωματικός αερισμός πρέπει να είναι πάντα διαθέσιμος, όταν χρησιμοποιούνται ζιζανιοκτόνα.

4.4.8.2 Διαχείριση Ανθήσεων Φυτοπλαγκτού

Οι λιμνοδεξαμενές συνήθως διαχειρίζονται για την προώθηση της ανάπτυξης του φυτοπλαγκτού και την αποθάρρυνση της ανάπτυξης άλλων φυτών. Το φυτοπλαγκτό μπορεί, ωστόσο, να αποτελέσει πρόβλημα ως ζιζάνιο όταν η βιομάζα της κοινότητας καθίσταται υπερβολική ή όταν ορισμένα είδη παράγουν οσμές ή τοξίνες. Η υπεραφθονία φυτοπλαγκτού στις λιπασμένες λιμνοδεξαμενές υποδεικνύει ότι χορηγείται υπερβολικό λίπασμα και ότι η λύση είναι να μειωθεί η χορήγηση

λιπάσματος. Στις καλλιέργειες σε λιμνοδεξαμενές με τη χορήγηση τροφής, άφθονες ανθήσεις φυτοπλαγκτού και επιβλαβή κυανοφύκη είναι μια φυσική συνέπεια μεγάλων ποσοτήτων θρεπτικών ουσιών που εκκρίνονται στο νερό ως μεταβολικά απόβλητα.

Τα αλγοκτόνα (algicides) είναι συνθετικά προϊόντα με δράση ενάντια στα φύκη και χρησιμοποιούνται για τη διαχείριση των ανθήσεων του φυτοπλαγκτού για δύο διαφορετικούς σκοπούς. Πρώτον, χρησιμοποιούνται για την εξάλειψη ανεπιθύμητων ειδών φυτοπλαγκτού από την κοινότητα. Αυτό μπορεί να είναι σχετικά επιτυχημένο κατά τη διαχείριση των αλλοιωμένων οσμών που προέρχονται από φύκη, αλλά μπορεί να είναι επικίνδυνο όταν επεξεργάζονται φύκη που παράγουν τοξίνες. Οι τοξίνες που αποθηκεύονται μέσα στα κύτταρα των φυκών, απελευθερώνονται όταν τα κύτταρα πεθαίνουν και λύνονται, προκαλώντας ξαφνική και δυνητικά επικίνδυνη αύξηση των συγκεντρώσεων τοξινών στον νερό. Η δεύτερη χρήση των αλγοκτόνων είναι η μείωση της συνολικής βιομάζας του φυτοπλαγκτού. Η πρακτική αυτή φαίνεται λογική επειδή η υπερβολική βιομάζα του φυτοπλαγκτού συνδέεται με την κακή ποιότητα του νερού, αλλά η χρήση αλγοκτόνων για την εξόντωση ενός τμήματος της κοινότητας του φυτοπλαγκτού συχνά προκαλεί χειρότερες περιβαλλοντικές συνθήκες από εκείνες που υπήρχαν πριν από την χρήση.

Τα προϊόντα που περιέχουν χαλκό είναι τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα αλγοκτόνα στην υδατοκαλλιέργεια. Η παραδοσιακή σύνθεση του χαλκού που χρησιμοποιείται ως αλγοκτόνο είναι ο πενταένυδρος θειικό χαλκός, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, που περιέχει 26% χαλκό. Αν και ο θειικός χαλκός διαλύεται εύκολα στο νερό, απομακρύνεται γρήγορα από το διάλυμα μέσω της καθίζησης και της αντίδρασης με τα εδάφη.

Η τοξικότητα του χαλκού σε φυτά και υδρόβια ζώα επηρεάζεται έντονα από άλλες μεταβλητές της ποιότητας του νερού, κυρίως από το pH, την αλκαλικότητα και τη σκληρότητα. Αυτό καθιστά δύσκολη τη διαμόρφωση ασφαλών, αποτελεσματικών δόσεων. Στα περισσότερα νερά, αυτές οι τρεις μεταβλητές συσχετίζονται σε μεγάλο βαθμό (τα νερά υψηλότερης αλκαλικότητας έχουν υψηλότερο pH και σκληρότητα από τα νερά χαμηλότερης αλκαλικότητας) και έχουν αναπτυχθεί γε-

νικές κατευθυντήριες γραμμές με βάση την ολική αλκαλικότητα. Μια τέτοια οδηγία είναι να πολλαπλασιάζεται την ολική αλκαλικότητα (εκφρασμένη ως CaCO_3) με το 0,01 για να προσδιοριστεί η αλγοκτόνη δόση για το $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. Για παράδειγμα, εάν η συνολική αλκαλικότητα των 135 mg/L ως CaCO_3 , ο ρυθμός χορήγησης θα είναι 1,35 mg/L $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (ή 0,35 mg/L ως Cu). Χρησιμοποιώντας θειικό χαλκό σε νερά με χαμηλό pH (<7,5) και χαμηλή αλκαλικότητα (<50 mg/L) μπορεί να είναι επικίνδυνο ακόμη και με τον ρυθμό που υπολογίζεται χρησιμοποιώντας αυτόν τον τύπο.

Ο θειικός χαλκός μπορεί να χρησιμοποιηθεί με διάφορες μεθόδους. Η πιο συνηθισμένη είναι η διασπορά κρυστάλλων πάνω από τις εκτάσεις των λιμνοδεξαμενών, η διάλυση της χημικής ουσίας στο νερό και ο ψεκασμός του διαλύματος πάνω από τη λιμνοδεξαμενή και η εναιώρηση του θειικού χαλκού σε πορώδεις σακούλες όπου ρεύματα νερού από αεριστήρες θα μπορούν να διασκορπίσουν το χημικό καθώς διαλύεται. Ο θειικός χαλκός μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την επεξεργασία των επιφανειακών στρωμάτων σαν χαλάκια που σχηματίζουν γύρω από τις άκρες της λιμνοδεξαμενής. Η συνήθης μέθοδος είναι η διασπορά κρυστάλλων θειικού χαλκού πάνω από τα χαλάκια των φυκών.

Το ιόν του χαλκού μπορεί να χηλικοποιηθεί με οργανικές ενώσεις, όπως η τριαιθανολαμίνη ή το αιθυλενοδιαμινοτετραοξικό οξύ. Ο χηλικός χαλκός είναι τοξικός για το φυτοπλαγκτό, αλλά δεν είναι σχεδόν τόσο τοξικός όσο το ιόν της χαλκού στα υδρόβια ζώα. Έτσι, τα προϊόντα χηλικού χαλκού για τον έλεγχο του φυτοπλαγκτού μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε όξινα, χαμηλής αλκαλικότητας νερά με μικρότερο φόβο να βλάψουν τα καλλιεργούμενα είδη. Επιπλέον, σε υψηλής αλκαλικότητας νερό μεγαλύτερου pH, μία αποτελεσματική συγκέντρωση χαλκού μπορεί να επιτευχθεί ευκολότερα χρησιμοποιώντας χηλικά προϊόντα χαλκού. Το κύριο μειονέκτημα των χηλικών συμπλοκών χαλκού είναι το υψηλό τους κόστος, το οποίο είναι συνήθως αρκετές φορές μεγαλύτερο από το θειικό χαλκό ανά μονάδα βάρους χαλκού.

Τα αλγοκτόνα χηλικού χαλκού μπορούν να αναμιχθούν με νερό και να ψεκαστούν πάνω από τις επιφάνειες των λιμνοδεξαμενών. Επίσης, μερικοί εργάτες αναμιγνύουν αλγοκτόνα χηλικού χαλ-

κού με νερό και αποστραγγίζουν το διάλυμα από μια δεξαμενή τοποθετημένη σε βάρκα σε μια αναταραχή που προκαλείται από την έλικα ενός εξωλέμβιου κινητήρα ενώ οδηγεί το σκάφος πάνω από την επιφάνεια της λίμνης.

Οι Boyd and Tucker (1998, 2014) παρέχουν πρόσθετες πληροφορίες σχετικά με τα φύκη που παράγουν τοξίνες, τις δυσάρεστες οσμές που προκαλούνται από τη διαχείριση των ανθήσεων φυκών και φυτοπλαγκτού.

4.4.9 Γεωυλικά

Έχουν ήδη συζητηθεί αρκετές χρήσεις των γεωυλικών (mineral amendments). Επιπλέον, σε εκκολαπτήρια ιχθύων και λεκάνες εκτροφής νεαρών ατόμων, μπορεί να χρειαστεί να αυξηθεί η αλατότητα για ορισμένα είδη. Αυτό μπορεί να συμβεί με την εφαρμογή βιομηχανικού αλατιού, το οποίο είναι περίπου 96-98% χλωριούχο νάτριο. Σε ορισμένες χώρες, ως εναλλακτική λύση στο αλάτι μπορεί να εφαρμοστεί διάλυμα άλμης (100-250 ‰ αλατότητα) που προέρχεται από τις παράκτιες αλυκές.

Αλίπεδα και υπόγεια νερά που απαντώνται σε ορισμένες περιοχές της ενδοχώρας χρησιμοποιούνται για την καλλιέργεια θαλάσσιων ειδών και ειδών υφάλμυρων υδάτων. Αυτά τα νερά έχουν συχνά διαφορετικές αναλογίες των σημαντικότερων ιόντων απ' ό,τι απαντώνται στο θαλασσινό νερό. Συγκεκριμένα, οι χαμηλές συγκεντρώσεις καλίου και μαγνησίου συνδέονται με την μειωμένη επιβίωση και ανάπτυξη ορισμένων γαρίδων και ειδών ψαριών. Οι ειδικές απαιτήσεις των θαλάσσιων και των υφάλμυρων ειδών για τα σημαντικότερα ιόντα δεν είναι γνωστές, αλλά αρκετές μελέτες έχουν δείξει ότι η αυξανόμενη συγκέντρωση καλίου και μερικές φορές η συγκέντρωση μαγνησίου επιτρέπουν την κανονική ανάπτυξη αυτών των ειδών. Τα μεταλλικά στοιχεία, όπως το λίπασμα χλωριούχου καλίου (muriate of potash), θειϊκό κάλιο και μαγνήσιο (Kmag[®]) και θειϊκό μαγνήσιο (άλας αποτοξίνωσης - Epsom salt) έχουν χορηγηθεί στις λιμνοδεξαμενές για τη διόρθωση των ιοντικών ανισορροπιών.

4.4.10 Βακτηριακά και Ενζυμικά Προϊόντα

Η παραγωγή της υδατοκαλλιέργειας περιορίζεται

ολοκληρωτικά από την ικανότητα της μικροβιακής κοινότητας της λιμνοδεξαμενής να επεξεργάζεται τα απόβλητα που παράγονται κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας. Για την εντατικοποίηση της παραγωγής της υδατοκαλλιέργειας πέραν εκείνης που επιτυγχάνεται στις λιμνοδεξαμενές με στάσιμο νερό, το σύστημα παραγωγής πρέπει να σχεδιαστεί ή να διευθετηθεί για να αυξήσει την ικανότητα επεξεργασίας των αποβλήτων. Μια προσέγγιση για την εντατικοποίηση της υδατοκαλλιέργειας είναι η εξαγωγή των αποβλήτων που παράγονται κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας και η επεξεργασία αυτών σε ξεχωριστές μονάδες του συνολικού συστήματος καλλιέργειας (όπως στα συστήματα επανακυκλοφορίας των υδατοκαλλιεργειών) ή με την απόρριψη των αποβλήτων σε δημόσιους υδάτινους αποδέκτες (όπως στις καλλιέργειες σε καναλόμορφες δεξαμενές και στις περιφραγμένες περιοχές με δίχτυα - ιχθυομάνδρες).

Μια εναλλακτική προσέγγιση για την εντατικοποίηση της παραγωγής της υδατοκαλλιέργειας είναι η αύξηση της παραγωγικής ικανότητας της μικροβιακής κοινότητας στις λιμνοδεξαμενές για την αφαίρεση ή το μετασχηματισμό των μεταβολικών αποβλήτων. Αυτό επιτυγχάνεται συνήθως, για παράδειγμα, με τη χρήση αερισμού για την παροχή περισσότερου οξυγόνου, το οποίο διεγείρει τη μικροβιακή δραστηριότητα (αυτή η γενική προσέγγιση στη περιβαλλοντολογική αποκατάσταση είναι η "βιοδιέγερση - biostimulation").

Μια άλλη προσέγγιση είναι η συμπλήρωση με φυσικούς μικροοργανισμούς μέσω της προσθήκης μικροοργανισμών που καλλιεργούνται σε μαζικές εργαστηριακές καλλιέργειες ή με την προσθήκη ενζυμικών παρασκευασμάτων που προέρχονται από εργαστηριακές καλλιέργειες. Αυτή η γενική προσέγγιση ονομάζεται βιοενίσχυση (bioaugmentation).

Πολλά μικροβιακά προϊόντα είναι διαθέσιμα στο εμπόριο για χρήση στην υδατοκαλλιέργεια. Συγκεκριμένοι ισχυρισμοί για τα βακτηριακά συμπληρώματα περιλαμβάνουν τη βελτιωμένη ποιότητα του νερού, μειωμένη ανάπτυξη των φυκών, ενισχυμένες συνθήκες δημιουργίας ιζημάτων και βελτιωμένη παραγωγή της υδατοκαλλιέργειας. Τα ένζυμα είναι οργανικοί καταλύτες που μπορούν να επιταχύνουν τις χημικές αντιδράσεις αλλά δεν καταναλώνονται στη διαδικασία. Τα παρασκευά-

σματα ενζύμων που χρησιμοποιούνται ως βελτιωτικά της ποιότητας του νερού είναι συνήθως εκχυλίσματα από ομογενοποιημένα κύτταρα ζυμομυκήτων και λειτουργούν εξωκυτταρικά. Οι υπέρμαχοι αυτών των προϊόντων υποστηρίζουν ότι η προσθήκη ενζύμων στις λιμνοδεξαμενές αυξάνει την δραστηριότητα των εξωκυττάρων ενζύμων και ευνοεί τους υψηλότερους ρυθμούς απορρόφησης των αποβλήτων από τα μικρόβια.

Τα απόβλητα στις υδατοκαλλιέργειες σε λιμνοδεξαμενές συνίστανται από χορηγούμενες τροφές που δεν καταναλώθηκαν, περιττώματα και υπολείμματα πλαγκτόν που είναι συνηθισμένο οργανικό υλικό που αποσυντίθεται εύκολα. Οι οργανισμοί που αποσυνθέτουν ανταποκρίνονται στο υπόστρωμα (πηγή θρεπτικών ουσιών) και αν οι περιβαλλοντικές συνθήκες είναι ευνοϊκές, η αφθονία τους αυξάνεται ταχύτατα μέχρι εξαντλήσεως του υποστρώματος. Επειδή η αφθονία και η ποικιλία των μικροοργανισμών αποκρίνονται στο υπόστρωμα και υπάρχουν πάντα μικροοργανισμοί που είναι ικανοί να αφομοιώσουν τα απόβλητα από την υδατοκαλλιέργεια, φαίνεται απίθανο η έλλειψη βακτηρίων να επηρεάζει τα ιζήματα και την ποιότητα των νερών. Αυτό το απογοητευτικό συμπέρασμα έχει επαληθευτεί από πολυάριθμες μελέτες σε λιμνοδεξαμενές που απέτυχαν να επιδείξουν σημαντικές βελτιώσεις στα ιζήματα και την ποιότητα των νερών στις λιμνοδεξαμενές ή στα εργαστηριακά συστήματα που έχουν υποστεί επεξεργασία με αυτά τα προϊόντα.

Λίγες μελέτες έχουν δείξει ότι οι τροποποιήσεις με μικρόβια ή ένζυμα μπορούν να αυξήσουν την επιβίωση των ψαριών και των γαρίδων. Ο μηχανισμός με τους οποίους τα προϊόντα αυτά ενισχύουν την επιβίωση είναι αινιγματικός, αλλά δεν σχετίζεται με βελτιώσεις της ποιότητας του νερού ή των ιζημάτων.

4.4.11 Διαχείριση της Ποιότητας του Νερού σε Κλωβούς, Καναλόμορφες Δεξαμενές και Συστήματα Επανακυκλοφορίας

Η ποιότητα του νερού των λιμνοδεξαμενών και η διαχείριση τους είναι περίπλοκες, διότι όλες οι βιολογικές, χημικές και φυσικές διεργασίες επηρεάζονται από εξωτερικούς παράγοντες όπως η ηλι-

ακή ακτινοβολία, η θερμοκρασία του νερού, ο άνεμος, οι βροχοπτώσεις και άλλοι. Αυτοί οι παράγοντες ποικίλλουν, με την ώρα, ημερήσια και εποχικά και είναι δύσκολο ή αδύνατο να ελεγχθούν. Η διαχείριση της ποιότητας του νερού στα κλουβιά, τις καναλόμορφες δεξαμενές και στα συστήματα επανακυκλοφορίας του νερού είναι απλούστερη, αν και η μηχανική τεχνολογία που χρησιμοποιείται για τη διαχείριση του συστήματος μπορεί να είναι πολύπλοκη. Ο σχεδιασμός και η διαχείριση αυτών των συστημάτων παρουσιάζονται από τον Tidwell (2012).

Τα κλουβιά (cages) είναι οριοθετημένοι χώροι που χρησιμοποιούνται για τη συγκράτηση και την ανάπτυξη των ψαριών (**Εικόνες 4.13 και 3.6**). Μπορούν να τοποθετηθούν κατά μήκος μιας ακτής ή προβλήτας, ή να αγκυροβοληθούν και να επιπλέουν στην ανοικτή θάλασσα, σε γλυκό ή αλμυρό νερό. Οι περιβαλλοντικές συνθήκες εντός των κλωβών (και συνεπώς η πιθανή απόδοση των ψαριών) εξαρτώνται από την ποιότητα του περιβάλλοντος νερού και την ταχύτητα ροής του νερού μέσα από τον κλωβό. Η ροή του νερού προκαλείται από τις παλίρροιες, τα επιφανειακά ρεύματα και άλλες φυσικές μετακινήσεις του νερού που παρέχουν συνεχή παροχή νερού υψηλής ποιότητας και απομακρύνουν τα απόβλητα που παράγονται κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας. Ο μόνος έλεγχος που έχει ο καλλιεργητής επί της ποιότητας του νερού είναι η επιλογή κατάλληλων τοποθεσιών βασιζόμενος σε μακροχρόνια δεδομένα της ποιότητας του νερού, του κλίματος, τις ταχύτητες των ρευμάτων και άλλες συνθήκες.

Τα συστήματα συνεχούς ροής (flow-through) αποτελούνται από καναλόμορφες δεξαμενές (raceways), δεξαμενές (tanks) ή μικρές λιμνοδεξαμενές (small ponds) με νερό που διέρχεται μία φορά διαμέσου της μονάδας καλλιέργειας (**Εικόνα 4.14**). Το νερό που εισέρχεται στη μονάδα καλλιέργειας παρέχει διαλυμένο οξυγόνο (DO), και το νερό που εξέρχεται μεταφέρει τα απόβλητα. Το νερό μπορεί να ανανεωθεί και να ξαναχρησιμοποιηθεί καθώς διέρχεται μέσα από μια σειρά μονάδων καλλιέργειας, αλλά σε αντίθεση με τα συστήματα ανακύκλωσης στην υδατοκαλλιέργεια, το νερό δεν ανανεώνεται και διέρχεται από την ίδια μονάδα περισσότερες από μία φορές. Η παραγωγή των ψαριών αποτελεί συνάρτηση του ρυθμού ροής, δι-



Εικόνα 4.13 Καλλιέργεια σε κλωβούς Ευρωπαϊκού λαβρακιού (*Dicentrarchus labrax*) και τσιπούρας (*Sparus aurata*) κοντά στη Μασσαλία της Γαλλίας. Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από τον John Hargreaves, 2017.

ότι η ροή του νερού καθορίζει την ποσότητα του διαλυμένου οξυγόνου (DO) που είναι διαθέσιμη για να ικανοποιεί τις απαιτήσεις μεταβολισμού των ψαριών και τον ρυθμό με τον οποίο αραιώνονται τα απόβλητα. Για την υδατοκαλλιέργεια πέστροφας και σολομού, που είναι ο πιο κοινός τύπος υδατοκαλλιέργειας συνεχούς ροής, οι σχέσεις μεταξύ της παραγωγής και της ροής του νερού βελτιώνονται μέχρι του σημείου όπου υπολογίζονται εύκολα οι σχεδιαστικές και παραγωγικές αποφάσεις.

Η παραγωγή σε συστήματα συνεχούς ροής μπορεί να αυξηθεί με την παροχή συμπληρωματικού οξυγόνου, είτε με αερισμό (εκθέτοντας το νερό στον αέρα) είτε με οξυγόνωση (εκθέτοντας το νερό σε καθαρό οξυγόνο). Το οξυγόνο μπορεί να τροφοδοτηθεί απευθείας στη μονάδα καλλιέργειας ή στο νερό που ρέει ανάμεσα στις μονάδες καλλιέργειας όταν οι μονάδες είναι διατεταγμένες σε σειρά. Ο αερισμός σε καναλόμορφες δεξαμενές σε σειρά επιτυγχάνεται συνήθως με την βαρύτητα διαμέσου υδατοφρακτών μεταξύ των επιμέρους καναλόμορφων δεξαμενών. Η παραγωγή δεν μπορεί να αυξηθεί απεριόριστα με την παροχή συμπληρωματικού οξυγόνου, επειδή οι μεταβλητές της ποιότητας του νερού εκτός από το διαλυ-

μένο οξυγόνο (DO), όπως η συσσώρευση της αμμωνίας ή του διαλυμένου διοξειδίου του άνθρακα, ενδεχομένως επηρεάζουν την απόδοση των ψαριών.

Τα συστήματα υδατοκαλλιέργειας με επανακυκλοφορία του νερού (RAS, Recirculating Aquaculture Systems) στην υδατοκαλλιέργεια περιορίζουν τα ψάρια σε δεξαμενές με πολύ υψηλές πυκνότητες εκτροφής. Το οξυγονωμένο νερό ρέει μέσα στη δεξαμενή και το νερό που περιέχει απόβλητα των ψαριών ρέει έξω από τη δεξαμενή. Ένα μεγάλο μέρος του νερού που ρέει από τη δεξαμενή καλλιέργειας ανακυκλώνεται πίσω στη δεξαμενή αφού προστεθεί διαλυμένο οξυγόνο (DO) και απομακρυνθούν τα απόβλητα.

Η ταχεία αύξηση των ψαριών επιτυγχάνεται με την χορήγηση τροφών υψηλής ποιότητας και τη διατήρηση των βέλτιστων περιβαλλοντικών συνθηκών για την ανάπτυξη και τη διατήρηση της υγείας τους. Οι θερμοκρασίες του νερού ελέγχονται καθ' όλη τη διάρκεια του έτους (τα συστήματα υδατοκαλλιέργειας με επανακυκλοφορία (RAS) είναι συνήθως σε κλειστό στεγασμένο χώρο) και τα ποσοστά χρήσης του οξυγόνου και της παραγωγής αποβλήτων μπορούν να εκτιμηθούν



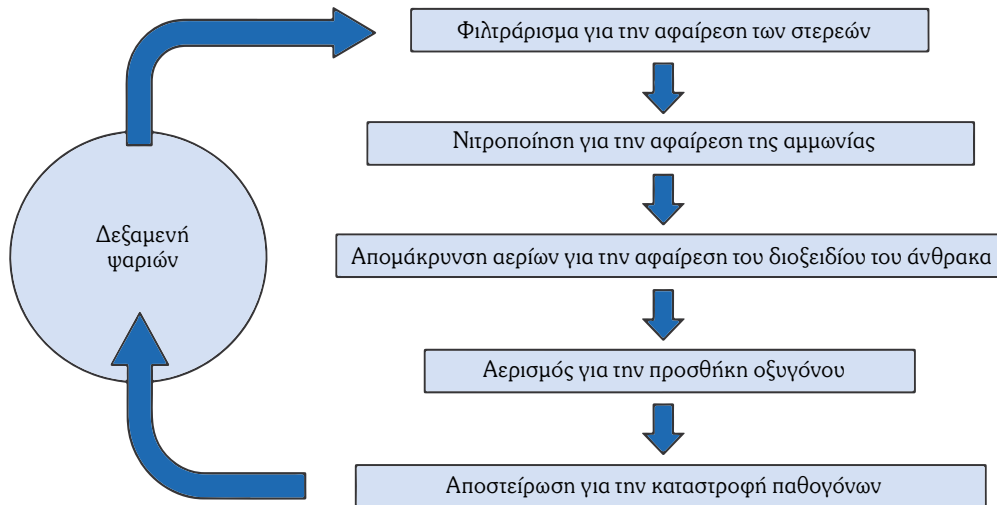
Εικόνα 4.14 Μια μεγάλη εγκατάσταση υδατοκαλλιέργειας συνεχούς ροής που χρησιμοποιείται για την καλλιέργεια ιριδίζουσας πέστροφας (*Oncorhynchus mykiss*) στο φαράγγι του ποταμού Snake, Idaho, ΗΠΑ. Η εγκατάσταση τροφοδοτείται με αρτεσιανά νερά με σταθερή ετήσια θερμοκρασία 15 °C που ρέει ελεύθερα από διάφορες πηγές στα τοιχώματα του φαραγγιού. Το νερό διοχετεύεται στις καναλόμορφες δεξαμενές και απορρίπτεται στον ποταμό Snake. Πηγή: Αναπαραγωγή με άδεια από το Ερευνητικό Ινστιτούτο Νερού του Πανεπιστημίου του Αίνταχο, 2017.

με ακρίβεια. Αυτά τα ποσοστά (ρυθμοί) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να σχεδιάσουν με ακρίβεια συστήματα που ενσωματώνουν μια σειρά διαδικασιών στις μονάδες, κάθε μία από τις οποίες έχει κατασκευαστεί για να εκτελέσει μια συγκεκριμένη εργασία (**Εικόνα 4.15**). Τα στερεά σωματίδια απομακρύνονται με μηχανικά φίλτρα, οι τοξικές διαλυμένες ενώσεις αζώτου απομακρύνονται με βακτηριακή νιτροποίηση σε βιολογικά φίλτρα, το διοξείδιο του άνθρακα απομακρύνεται με απογυμνωτές αερίου (gas strippers) και προστίθεται οξυγόνο από αεριστήρες ή οξυγονωτές. Μπορούν επίσης να απαιτούνται διαδικασίες ελέγχου του pH και της αλκαλικότητας, απομάκρυνση νιτρικών και διαλυμένων οργανικών ουσιών και απολύμανση του νερού, ανάλογα με τους στόχους πα-

ραγωγής και τα εκτρεφόμενα είδη. Στις περισσότερες εγκαταστάσεις, οι συσκευές παρακολούθησης και ελέγχου ελέγχουν σημαντικές διαδικασίες έτσι ώστε οι περιβαλλοντικές συνθήκες να μην αποκλίνουν ποτέ από τα αποδεκτά εύρη τιμών.

4.5 Απόβλητα

Οι απορρίψεις από τις εγκαταστάσεις εκτατικής υδατοκαλλιέργειας έχουν χαμηλή συγκέντρωση σε θρεπτικές ουσίες και οργανική ύλη. Για τον λόγο αυτό, συνήθως δεν θεωρούνται σημαντικές πηγές ρύπανσης από τους υδάτινους αποδέκτες. Τα λιπάσματα και οι τροφές που χορηγούνται σε μια ημι-εντατική και μια εντατική καλλιέργεια και



Εικόνα 4.15 Διεργασίες που χρησιμοποιούνται για την βελτίωση της ποιότητας του νερού στα συστήματα υδατοκαλλιέργειας με επανακυκλοφορία (RAS). Πηγή: Αναπαραγωγή με άδεια από τον Craig Tucker 2017.

τα υγρά απόβλητα αυτών των συστημάτων καλλιέργειας έχουν περισσότερες πιθανότητες να αποτελέσουν πηγή μόλυνσης για το νερό.

Η χορηγούμενη τροφή είναι η κύρια πηγή θρεπτικών ουσιών στα υγρά απόβλητα της υδατοκαλλιέργειας. Η πορεία των θρεπτικών ουσιών και άλλων αποβλήτων εξαρτάται από το σύστημα καλλιέργειας. Στις στάσιμες λιμνοδεξαμενές, το νερό παραμένει στις λιμνοδεξαμενές για μεγάλο χρονικό διάστημα και οι φυσικές διαδικασίες αποικοδομούν την οργανική ύλη, τα θρεπτικά στοιχεία απομονώνονται στο ίζημα, η αμμωνία διαχέεται στον αέρα, η απονιτροποίηση επιστρέφει άζωτο στην ατμόσφαιρα και τα αιωρούμενα στερεά καθιζάνουν. Ένα τμήμα των αποβλήτων διοχετεύονται στους φυσικούς υδάτινους αποδέκτες όταν συμβαίνει υπερχειλίση μετά από βροχόπτωση ή όταν οι λιμνοδεξαμενές αποξηραίνονται κατά την περίοδο της συγκομιδής. Ωστόσο, οι στάσιμες λιμνοδεξαμενές τείνουν να λειτουργούν ως παγίδες ιζήματος και ένα σχετικά μικρό ποσοστό του άνθρακα, του αζώτου και του φωσφόρου τα οποία είναι ενσωματωμένα στην τροφή απομακρύνονται με την εκροή. Για παράδειγμα, οι εκροές από τις λιμνοδεξαμενές των γατόψαρων περιέχουν περίπου 3,1% άνθρακα, 28,5% άζωτο και 7,0% φώσφορο τα οποία χορηγούνται με την τροφή (Boyd and Tucker, 1998).

Στις λιμνοδεξαμενές οι οποίες υπάρχει εναλλαγή νερού, ο χρόνος υδραυλικής παραμονής του

νερού διαρκεί χρονικά λιγότερο και οι φυσικές διεργασίες έχουν λιγότερο χρόνο για να απομακρύνουν τα αιωρούμενα στερεά, την οργανική ύλη και τις θρεπτικές ουσίες οι οποίες είναι αποτέλεσμα της υδατοκαλλιέργειας. Για παράδειγμα, μια τυπική λιμνοδεξαμενή σε λεκάνη απορροής στις νοτιοανατολικές Ηνωμένες Πολιτείες συνήθως θα έχει απορροή δύο με τρεις φορές του όγκου της κατά την διάρκεια του χειμώνα και στις αρχές της άνοιξης και θα απορρέει λίγο έως και καθόλου νερό κατά την διάρκεια του υπόλοιπου έτους. Το μεγαλύτερο μέρος της τροφής χορηγείται κατά την διάρκεια των θερμών μηνών, όταν η απορροή είναι ελάχιστη. Ωστόσο σε μια παράκτια λιμνοδεξαμενή καλλιέργειας γαρίδας στην κεντρική Αμερική, το νερό μπορεί να εναλλάσσεται με ένα ρυθμό της τάξεως του 5-10% του όγκου της λιμνοδεξαμενής καθημερινά και να έχει ανανεωθεί όλο το νερό της λιμνοδεξαμενής μέσα σε 10-20 ημέρες.

Στα συστήματα καλλιέργειας συνεχούς ροής, οι μονάδες καλλιέργειας αλλάζουν το νερό της εκτροφής τους αρκετές φορές κατά τη διάρκεια της ημέρας. Στις καναλόμορφες δεξαμενές εκτροφής πέστροφας δεν είναι ασυνήθιστο για τις μονάδες των καναλόμορφων δεξαμενών να αλλάζουν το νερό της εκτροφής τους τρεις φορές την ώρα. Είναι πιθανό να απομακρύνονται τροφές που δεν έχουν καταναλωθεί και περιττώματα τα οποία κατακάθονται στις “ζώνες αδράνειας” (quiescent zones) στο τέλος των καναλόμορφων δεξαμενών,

αλλά τα αιωρούμενα στερεά και τα θρεπτικά στοιχεία περνάνε μέσα από τα συστήματα στους φυσικούς υδάτινους αποδέκτες.

Στην καλλιέργεια σε κλουβιά, όλα τα συστατικά των τροφών τα οποία δεν μετατρέπονται σε βιομάζα των ψαριών και αφαιρούνται κατά την συγκομιδή, εισέρχονται στην υδάτινη μάζα όπου είναι εγκατεστημένες οι δεξαμενές. Ορισμένα από τα στερεά απόβλητα είναι αρκετά βαριά με αποτέλεσμα να κατακάθονται στον βυθό, κάτω από τα κλουβιά ενώ κάποια άλλα που είναι ελαφρύτερα στερεά παραμένουν αιωρούμενα στο νερό. Τα ψάρια εκκρίνουν αμμωνία, διοξείδιο του άνθρακα και άλλα απόβλητα τα οποία εισέρχονται στο νερό ως διαλυμένα θρεπτικά στοιχεία.

Υπάρχουν δύο τύποι συστημάτων ανακύκλωσης (επαναχρησιμοποίησης) του νερού. Τα υπαίθρια συστήματα ανακυκλώνουν το νερό από μονάδες πάχυνσης σε μονάδες επεξεργασίας και το νερό τελικά επιστρέφει στις μονάδες καλλιέργειας. Αυτά τα συστήματα θα απορρίπτουν στο περιβάλλον μόνο σε περίπτωση έντονης βροχόπτωσης. Τα εσωτερικά (σε κλειστό χώρο) συστήματα βασίζονται στις μονάδες επεξεργασίας αποβλήτων όπως λεκάνες καθίζησης, μηχανικά φίλτρα, κλασματοποιητές αφρού, βιολογικά φίλτρα, κτλ. Ωστόσο θα αποβάλλουν τα απόβλητα προς τα έξω όταν θα πρέπει να καθαριστούν οι λεκάνες και τα φίλτρα και όταν γλυκό νερό θα προστεθεί για να αραιωθεί η συγκέντρωση του άλατος η οποία αυξάνεται με το πέρασμα του χρόνου.

Τα τελευταία χρόνια, υπάρχει αυξανόμενη ανησυχία σχετικά με τις αρνητικές επιπτώσεις των λυμάτων από την υδατοκαλλιέργεια σε φυσικούς υδάτινους αποδέκτες στους οποίους απορρίπτονται. Πολλές κυβερνήσεις έχουν αναπτύξει κανονισμούς για τον περιορισμό της έντασης και την βελτίωση των εκροών (λυμάτων) της υδατοκαλλιέργειας. Σε ορισμένα κράτη έχουν θεσμοθετηθεί κανονισμοί για την συγκέντρωση συγκεκριμένων παραμέτρων της ποιότητας του νερού και της έντασης των εκροών για τα λύματα της υδατοκαλλιέργειας. Οι καλλιεργητές συμμορφώνονται με αυτούς τους κανονισμούς για να μπορούν να αποχετεύουν τα απόβλητα των εγκαταστάσεών τους. Σε άλλα κράτη απαιτούνται βέλτιστες πρακτικές διαχείρισης (BMPs, Best Management Practices). Αυτές οι πρακτικές συνήθως περιλαμ-

βάνουν μεθόδους για την μείωση των εκροών των αποβλήτων και για την εξασφάλιση της καλύτερης μετατροπής της χορηγούμενης τροφής σε βιομάζα από τα καλλιεργούμενα είδη (Tucker and Hargreaves, 2008). Πολλές ενώσεις υδατοκαλλιέργειας έχουν αναπτύξει βέλτιστες πρακτικές διαχείρισης (BMPs) για εθελοντική υιοθεσία αυτών από τα ίδια τους τα μέλη και αυξανόμενος αριθμός καταναλωτών στις ανεπτυγμένες χώρες αναζητούν προϊόντα υδατοκαλλιέργειας τα οποία προέρχονται από μεθόδους καλλιέργειας με περιβαλλοντική συνείδηση. Πολλοί οργανισμοί όπως η Παγκόσμια Συμμαχία για την Υδατοκαλλιέργεια (Global Aquaculture Alliance), το Συμβούλιο Διαχείρισης της Υδατοκαλλιέργειας (the Aquaculture Stewardship Council), η GLOBAL G.A.P., οι Φίλοι της Θάλασσας (Friends of the Sea), και κάποιες κυβερνητικές υπηρεσίες έχουν αναπτύξει προγράμματα πιστοποίησης οικολογικού σήματος (eco-label certification) για πολλά είδη της υδατοκαλλιέργειας (Boyd and McNevin, 2015).

4.6 Περίληψη

- Η ποιότητα του νερού είναι κρίσιμο θέμα στην υδατοκαλλιέργεια. Η ποιότητα του νερού στη υδατοκαλλιέργεια διαχειρίζεται για να διορθώσει προβλήματα με την παροχή του νερού της εγκατάστασης, για την ενίσχυση της παραγωγικότητας των συστημάτων των λιμνοδεξαμενών, για τον περιορισμό της επιδείνωσης της ποιότητας του νερού από την χρήση βιομηχανοποιημένων τροφών και για την βελτίωση της ποιότητας του νερού πριν το νερό που χρησιμοποιείται για την καλλιέργεια απορριφθεί στο εξωτερικό περιβάλλον (υδάτινο αποδέκτη).
- Το νερό της πηγής μπορεί να είναι υποβαθμισμένης ποιότητας λόγω του χαμηλού pH, υψηλής θολερότητας ή μόλυνσης. Η θολερότητα μπορεί να ελεγχθεί εξαλείφοντας την πηγή της στη λεκάνη απορροής ή με την χρήση δεξαμενών καθίζησης για τον καθαρισμό του νερού πριν την χρήση. Πηγές μόλυνσης συνήθως δεν μπορούν να ελεγχτούν από τους υδατοκαλλιεργητές και υψηλά μολυσμένες περιοχές πρέπει να αποφεύγονται.
- Το χαμηλό pH μπορεί να διορθωθεί με την πρό-

σθεση ασβέστη στις λιμνοδεξαμενές ή σε άλλα συστήματα καλλιέργειας. Τα λιπάσματα χρησιμοποιούνται για την αύξηση της παραγωγικότητας στην υδατοκαλλιέργεια σε λιμνοδεξαμενές.

- Οι βιομηχανοποιημένες τροφές χρησιμοποιούνται για την υποστήριξη της υψηλής παραγωγής των ψαριών και των γαρίδων. Τα απόβλητα από τις τροφές υποβαθμίζουν την ποιότητα του νερού, αλλά μπορεί να εφαρμοστεί μηχανικός αερισμός για να αυξηθεί η διαθεσιμότητα του διαλυμένου οξυγόνου (DO) και να επιτραπεί μεγαλύτερη παραγωγή. Δεν υπάρχει κάποια μέθοδος για την μείωση της εισαγωγής της αμμωνίας-αζώτου στις λιμνοδεξαμενές εκτός από την μείωση του ρυθμού λίπανσης ή της πυκνότητας εκτροφής ή το ρυθμό χορήγησης της τροφής. Ωστόσο, οι φυσικές διεργασίες νιτροποίησης, της πρόσληψης από τους μικροοργανισμών και της εξαέρωσης συνήθως αποτρέπουν την υψηλή συγκέντρωση σε αμμωνία.
- Η τοξικότητα από νιτρώδη μπορεί να αντισταθμιστεί στις λιμνοδεξαμενές γλυκού νερού με την προσθήκη χλωριούχου ιόντος. Η θολερότητα από το αιωρούμενα σωματίδια στις λιμνοδεξαμενές καλλιέργειας μπορούν να αφαιρεθούν καλύτερα με υλικά όπως ο ασβέστης, το θειϊκό ασβέστιο ή το θειϊκό αργίλιο.
- Τα υδρόβια φυτά είναι κρίσιμο συστατικό στα οικοσυστήματα των λιμνοδεξαμενών αλλά ορισμένα φυτά παρεμβαίνουν στην διαδικασία διαχείρισης των λιμνοδεξαμενών, απειλούν τα

εκτρεφόμενα ζώα ή υποβαθμίζουν την ποιότητα των προϊόντων. Ο στόχος της διαχείρισης των υδρόβιων φυτών είναι η ενίσχυση της παραγωγής συγκεκριμένων ειδών φυτοπλαγκτού σε βάρος των επιβλαβών φυτών ή των βλαβερών ανθήσεων φυκών.

- Η ποιότητα του νερού στα κλουβιά και στις καναλόμορφες δεξαμενές ελέγχεται από την ροή του νερού διαμέσου του συστήματος για να παρέχει οξυγονωμένο νερό και να απομακρύνει τα απόβλητα. Η ποιότητα του νερού στα κλουβιά επιτυγχάνεται πρωταρχικά με την επιλογή καλών περιοχών. Η παραγωγή στις καναλόμορφες δεξαμενές είναι άμεσα συνδεδεμένη με την ροή του νερού αλλά μπορεί να αυξηθεί μέχρι ενός σημείου με την χρήση αεριστήρων για την παροχή περισσότερου οξυγόνου. Τα συστήματα υδατοκαλλιέργειας με επανακυκλοφορία του νερού (RAS) έχουν υψηλό δυναμικό παραγωγής επειδή η ποιότητα του νερού διατηρείται στα βέλτιστα επίπεδα, χρησιμοποιώντας μια σειρά από διακριτών μηχανικών διαδικασιών για την αποκατάσταση της ποιότητας του νερού και το επιστρέφουν πίσω στην μονάδα καλλιέργειας.
- Τα υγρά απόβλητα από τις εγκαταστάσεις υδατοκαλλιέργειας μπορούν να προκαλέσουν μόλυνση στις υδάτινες μάζες στις οποίες απορρίπτονται. Για το λόγο αυτό, πρέπει να εφαρμοστούν πρακτικές στις εγκαταστάσεις υδατοκαλλιέργειας για να μειωθεί ο όγκος και να βελτιωθεί η ποιότητα των υγρών αποβλήτων.

Βιβλιογραφία

- Boyd, C. E. (2015). *Water Quality, an Introduction*, 2nd edition. Kluwer Academic Publishers, Boston.
- Boyd, C. E. and McNevin, A. A. (2014). *Aquaculture, Resource Use, and the Environment*. Wiley Blackwell, Hoboken.
- Boyd, C. E. and Tucker, C. S. (1998). *Pond Aquaculture Water Quality Management*. Kluwer Academic Publishers, Boston.
- Boyd, C. E. and Tucker, C. S. (2014). *Handbook for Aquaculture Water Quality*. Craftmaster Printers, Auburn, AL.
- Boyd, C. E., Tucker, C. S. and Somridhivej, B. (2016). Alkalinity and hardness: critical but elusive concepts in aquaculture. *Journal of the World Aquaculture Association*, 47, 6–40.
- Boyd, C. E., Tucker, C. S. and Viriyatum, R. (2011). Interpretation of pH, acidity and alkalinity in aquaculture and fisheries. *North American Journal of Aquaculture*, 73, 403–408.
- Colt, J. (2012). *Dissolved Gas Concentration in Water*. Elsevier, Amsterdam.
- Colt, J. and Bouck, G. (1984). Design of packed columns for degassing. *Aquacultural Engineering*, 3, 251–273.
- Tidwell, J. H., ed. (2012). *Aquaculture Production Systems*. Wiley Blackwell, Ames, IA.
- Tomasso, J. R. (1996). Environmental requirements of aquaculture animals—a conceptual summary. *World Aquaculture*, 27(2), 27–31.
- Tucker, C.S. and Hargreaves, J. A. (Eds.) (2008). *Environmental Best Management Practices for Aquaculture*. Blackwell, Ames, IA.

5

Χρήση Πόρων και Περιβάλλον

Claude E. Boyd, Aaron A. McNevin και Craig S. Tucker

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

5.1	Εισαγωγή, 135	5.7	Χημικές Ουσίες, 151
5.2	Επισκόπηση της Χρήσης των Πόρων και Περιβαλλοντικά Ζητήματα, 136	5.8	Ρύπανση των Νερών, 154
5.3	Χρήση Γης, 140	5.9	Βέλτιστες Πρακτικές Διαχείρισης, 159
5.4	Χρήση Νερού, 143	5.10	Υπεράσπιση του Περιβάλλοντος στην Υδατοκαλλιέργεια, 161
5.5	Χρήση Ενέργειας, 146	5.11	Περίληψη, 162
5.6	Χρήση Ιχθυοτροφών, 147		Βιβλιογραφία, 163

5.1 Εισαγωγή

Ο ανθρώπινος πληθυσμός έχει αυξηθεί ραγδαία από την αρχή της Βιομηχανικής Επανάστασης (1750) με αποτέλεσμα σήμερα να ανέρχεται σε περίπου 7,4 δισεκατομμύρια. Σύμφωνα με εκτιμήσεις του Τμήματος Οικονομικών και Κοινωνικών Υποθέσεων των Ηνωμένων Εθνών ο παγκόσμιος πληθυσμός αναμένεται να αγγίξει τα 9,7 δισεκατομμύρια έως το 2050 και τα 11,2 δισεκατομμύρια έως το 2100 - αυξήσεις σε σχέση με τον πληθυσμό του 2015 της τάξεως του 31% και του 51% αντίστοιχα. Ο σημερινός πληθυσμός απαιτεί τεράστιες ποσότητες φυσικών πόρων, η απόκτηση των οποίων ενδέχεται να μεταβάλλει τις χρήσεις γης και να προκαλέσει υποβάθμιση των οικοσυστημάτων. Η ζήτηση για φυσικούς πόρους και οι επακόλουθες αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις αναμένεται να αυξηθούν στο μέλλον εάν οι άνθρωποι εξακολουθήσουν να τους χρησιμοποιούν σε κοντινά στα σημερινά επίπεδα. Επιδεινώνοντας τις επιπτώσεις της πληθυσμιακής αύξησης, οι κοινωνίες πολλών χωρών καθίστανται όλο και περισσότερο άφθονες γεγονόσ που αναμένεται να αυξήσει τη χρήση των

φυσικών πόρων και τις σχετικές κατά κεφαλήν επιπτώσεις.

Τα οικοσυστήματα πρέπει να παρέχουν τα αγαθά και τις υπηρεσίες που ζητά ο πληθυσμός απομοιώνοντας παράλληλα τα απορρίμματα που προκύπτουν όπως επίσης και άλλες αρνητικές επιπτώσεις. Με τον τρόπο όμως αυτό εξαντλούνται οι μη ανανεώσιμοι πόροι, καταναλώνονται ταχύτερα αυτοί που μπορούν να δημιουργηθούν, και προκαλούνται αλλαγές στις μορφές χρήσης της γης και των υδάτων με αποτέλεσμα να μειώνεται η βιοποικιλότητα. Τα φορτία των αποβλήτων συχνά υπερβαίνουν την ικανότητα αποικοδόμησης από μέρους των οικοσυστημάτων προκαλώντας σοβαρές αλλαγές στη δομή και τη λειτουργία του οικοσυστήματος (μειώνοντας επίσης τη βιοποικιλότητα). Η ικανότητα των οικοσυστημάτων να παρέχουν υπηρεσίες στην ανθρωπότητα έχει προφανώς όρια. Το οικολογικό αποτύπωμα της ανθρωπότητας αποτελεί ένα μέτρο της επιφάνειας του πλανήτη απαραίτητο για την παροχή της συνδυασμένης ζήτησης όλων των αγαθών και υπηρεσιών που καταναλώνει η ανθρωπότητα και

για την αφομοίωση των απορριμμάτων που προκύπτουν. Σύμφωνα με την αναφορά Living Planet του WWF για το 2012, το οικολογικό αποτύπωμα της ανθρωπότητας έχει γίνει τόσο μεγάλο που θα απαιτούνταν 1,5 πλανήτες για την αειφόρο προσφορά της τρέχουσας ζήτησης φυσικών πόρων και οικολογικών λειτουργιών. Προφανώς, η κατάσταση αυτή του περιβάλλοντος δεν μπορεί να συνεχιστεί χωρίς ολέθριες συνέπειες τόσο στα οικοσυστήματα όσο και στους ανθρώπους.

Το παγκόσμιο σύστημα διατροφής ευθύνεται σε σημαντικό βαθμό για την εξάντληση των φυσικών πόρων, αντιπροσωπεύοντας τη μεγαλύτερη απειλή για την υποβάθμιση των οικοσυστημάτων μας. Η σύγχρονη βιομηχανία τροφίμων έχει αυξήσει τις προμήθειες τροφίμων με ελαφρώς υψηλότερο ρυθμό από την αύξηση του ανθρώπινου πληθυσμού από τη δεκαετία του 1950. Όμως, η δυνατότητα αύξησης των προμηθειών τροφίμων συνεπάγεται συγχρόνως και ένα κόστος: πολύ περισσότερο νερό, θρεπτικά συστατικά και αγροχημικά απαιτούνται από ότι κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1950, αλλά μόνο ελάχιστα περισσότερη έκταση γης είναι διαθέσιμη. Η τεράστια χρήση φυσικών πόρων για την παραγωγή τροφίμων απεικονίζεται χαρακτηριστικά από την εκτίμηση του Οργανισμού Τροφίμων και Γεωργίας (FAO) των Ηνωμένων Εθνών που αναφέρει χαρακτηριστικά πως το 32% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας αποδίδεται στο παγκόσμιο σύστημα παραγωγής τροφίμων.

Τα αλιευτικά προϊόντα παρέχουν περίπου το 6,5% των συνολικών εδωδίων πρωτεϊνών και το 16,5% των ζωικών πρωτεϊνών προς κατανάλωση από τον άνθρωπο. Η υδατοκαλλιέργεια είναι υπεύθυνη για το ήμισυ περίπου των παγκόσμια παραγόμενων αλιευμάτων προς ανθρώπινη κατανάλωση (**Εικόνα 1.5**). Από την άλλη πλευρά, δεν αναμένεται αύξηση της ετήσιας αλιευτικής παραγωγής στο μέλλον και ως εκ τούτου η υδατοκαλλιέργεια οφείλει να αναλάβει να προμηθεύσει τη μελλοντική αυξημένη ζήτηση σε αλιεύματα (ενότητα 1.3). Η υδατοκαλλιέργεια αποτελεί ένα μικρό, αλλά σημαντικό και αναπτυσσόμενο τμήμα της παγκόσμιας βιομηχανίας τροφίμων, αλλά συγχρόνως και ένα βασικό μέρος της παγκόσμιας παραγωγής αλιευμάτων. Καθώς αποτελεί ένα μικρό μόνο τμήμα της παγκόσμιας βιομηχανίας τροφίμων,

δεν χρησιμοποιεί μεγάλο μέρος φυσικών πόρων - με εξαίρεση το ιχθυάλευρο και το ιχθυέλαιο που συμπεριλαμβάνονται στις ιχθυοτροφές (Boyd & McNevin, 2015).

Η παραγωγή ικανής ποσότητας τροφίμων για το μέλλον συνιστά από μόνη της ένα αποθαρρυντικά δύσκολο έργο, ειδικότερα όμως δε, συνδυαζόμενη με την αποφυγή κινδύνου εξάντλησης των μη ανανεώσιμων πόρων, με την αύξηση του ποσοστού αναγέννησης των ανανεώσιμων πόρων και με την αποφυγή οικολογικής καταστροφής, αποτελεί μια ακόμη μεγαλύτερη πρόκληση (**Εικόνα 5.1**). Η συγκεκριμένη όμως πρόκληση πρέπει να αντιμετωπιστεί, διαφορετικά, το μέλλον του ανθρώπινου είδους θα τεθεί σε κίνδυνο. Πρέπει να καταβληθούν ηρωικές προσπάθειες με σκοπό τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας χρήσης των φυσικών πόρων και τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της παγκόσμιας παραγωγής τροφίμων. Στις προσπάθειες αυτές πρέπει να συμπεριληφθούν μικροί τομείς όπως η υδατοκαλλιέργεια, καθότι η εκτεταμένη χρήση πόρων και οι συνεπαγόμενες αρνητικές επιπτώσεις στα οικοσυστήματα προκύπτουν από τη σωρευτική επίδραση όλων των ανθρώπινων δραστηριοτήτων - μικρών ή μεγάλων - στους φυσικούς πόρους και το περιβάλλον.

5.2 Επισκόπηση της Χρήσης των Πόρων και Περιβαλλοντικά Ζητήματα

Η παγκόσμια παραγωγή της υδατοκαλλιέργειας περιλαμβάνει τέσσερις βασικούς τομείς:

- την υδατοκαλλιέργεια ψαριών σε χερσαίες λιμνοδεξαμενές
- την καλλιέργεια ψαριών σε κλωβούς στα εσωτερικά νερά και τη θάλασσα
- την καλλιέργεια καρκινοειδών σε παράκτιες λιμνοδεξαμενές και
- την θαλάσσια καλλιέργεια δίθυρων μαλακίων και φυκών

Η φύση και η σημασία των περιβαλλοντικών επιπτώσεων ποικίλλουν σημαντικά μεταξύ των διαφόρων τύπων υδατοκαλλιέργειας.

Τα δίθυρα μαλάκια και η καλλιέργεια φυκών δεν απαιτούν τη χρήση γης, γλυκού νερού, εισροές



Εικόνα 5.1. Η Ευρώπη κατά τη διάρκεια της νύχτας, όπως φαίνεται από τον Διεθνή Διαστημικό Σταθμό. Η εικόνα αυτή υποδεικνύει την καταπληκτική έκταση της ανθρώπινης ανάπτυξης (και της χρήσης ενέργειας) στην περιοχή. Η παροχή επαρκών ποσοτήτων τροφής στον αυξανόμενο παγκόσμιο πληθυσμό χωρίς να εξαντλούνται οι πόροι είναι η μεγαλύτερη πρόκληση της ανθρωπότητας. Πηγή: Φωτογραφία ευγενική προσφορά της Εθνικής Υπηρεσίας Αεροναυτικής και Διαστήματος (NASA).

θρεπτικών ουσιών με τη μορφή λιπασμάτων ή ζωοτροφών, ή μεγάλες ποσότητες άλλων πόρων. Τα φύκη και τα δίσυρα αιωρούνται στο νερό ή τοποθετούνται στον πυθμένα για να προσλάβουν θρεπτικά συστατικά από το περιβάλλον που διαβιούν (**Εικόνες 5.2 και 5.3**, επίσης βλέπε Κεφάλαια 15, 24 και 25). Τα φύκη απομακρύνουν τα θρεπτικά συστατικά από το νερό μειώνοντας την πιθανότητα πυκνών πληθυσμιακών εξάρσεων φυτοπλαγκτού σε ευτροφικά παράκτια ενδιαιτήματα. Τα δίσυρα φιλτράρουν πλαγκτόν και αιωρούμενα σωματίδια από το νερό, μειώνοντας τον κίνδυνο υπερβολικής άνθησης φυτοπλαγκτού στα παράκτια νερά. Αν και η καλλιέργεια διθύρων και θαλάσσιων φυκών μπορεί να έχει συγκεκριμένες αρνητικές επιπτώσεις (όπως είναι η απόθεση προϊόντων απέκκρισης πλησίον των περιοχών οστρακοκαλλιέργειας), οι καλλιέργειες αυτές θεωρούνται - στη χειρότερη περίπτωση - περιβαλλοντικά φιλικές συμβάλλοντας συνήθως με αξιόλογα οφέλη στο οικοσύστημα και την οικονομία (Boyd et al., 2005; Shumway, 2011). Το στοιχείο αυτό παρουσιάζει ιδιαίτερη σημασία, καθώς σχεδόν το ήμισυ της παγκόσμιας παραγωγής από την υδατοκαλλιέργεια

αποτελείται από καλλιεργούμενα μακροφύκη και οστρακοειδή (**Εικόνα 1.17**) και οι δραστηριότητες αυτές τελικά έχουν θετικά αποτελέσματα.

Η υδατοκαλλιέργεια σε λιμνοδεξαμενές με γλυκό νερό απαιτεί διαθέσιμο έδαφος (γη) και νερό, ενώ πρέπει να χορηγούνται λιπάσματα και τροφές για να αυξηθεί η παραγωγή σε επίπεδα πάνω από τη φυσική παραγωγικότητα. Η υδατοκαλλιέργεια στις παράκτιες λιμνοδεξαμενές δεν χρησιμοποιεί συνήθως γλυκό νερό, αλλά απαιτεί γη, λιπάσματα και τροφές. Οι υδατοκαλλιέργειες σε κλωβούς και καναλόμορφες δεξαμενές δεν απαιτούν παρά μόνο λίγη ή καθόλου γη, απαιτούν όμως την χορήγηση τροφών. Τα λιπάσματα και οι τροφές μετατρέπονται μόνο μερικώς σε συγκομιζόμενη βιομάζα, ενώ τα θρεπτικά συστατικά και τα οργανικά απόβλητα απορρίπτονται σε φυσικά υδατικά συστήματα. Το γλυκό νερό που χρησιμοποιείται στις καναλόμορφες δεξαμενές μπορεί να προέρχεται από εκτροπές ρεμάτων ή ποταμών, ή από υδροφορείς υπόγειων υδάτων, ενώ το νερό που απαιτείται για την υδατοκαλλιέργεια σε κλωβούς είναι από τις ίδιες υδάτινες μάζες στις οποίες τοποθετούνται οι κλωβοί.



Εικόνα 5.2 Καλλιέργεια στρειδιών στη διαπαλιρροιακή ζώνη όπου τα στρείδια εκτρέφονται σε δικτυωτά πλεκτά καλάθια, στο Μεντόκ της νότιας Γαλλίας. Πηγή: Φωτογραφία του Mike Peel (www.mikepeel.net). Αναπαραγωγή με την άδεια Αναφοράς Δημιουργού - Παρόμοιας Διανομής Creative Commons, CC-BY-SA 4.0.



Εικόνα 5.3 Καλλιέργεια θαλάσσιου ροδοφύκου (*Eucheuma* sp.) στην διαπαλιρροιακή ζώνη στην Τζαμπιανά, Ζανζιβάρη, Τανζανία. Πηγή: © FAO Aquaculture photo library/S. Venturini.

Το συμπέρασμα είναι πως η υδατοκαλλιέργεια (όπως και άλλες μορφές παραγωγής τροφίμων) χρησιμοποιεί γη, νερό, θρεπτικά συστατικά, ενέργεια και άλλους πόρους. Η παραγωγή και η χρήση αυτών των πόρων οδηγεί σε αντιπαραθέσεις για τη χρήση γης και νερού, τη ρύπανση από την απόθεση θρεπτικών συστατικών, οργανικής ύλης, αιωρούμενων στερεών, αγροχημικών και αντιβιοτικών σε φυσικά υδάτινα συστήματα, την εισαγωγή εξωτικών ειδών και τις επιπτώσεις του ελέγχου των θηρευτών στην άγρια πανίδα. Η εκτεταμένη εξαλίευση πελαγικών ψαριών ανοιχτής θαλάσσης για την παραγωγή ιχθυαλεύρων και ιχθυελαίου μπορεί να επηρεάσει αρνητικά τις τροφικές αλυσίδες στη θάλασσα.

Η Diana (2009), πραγματοποίησε μια επισκόπηση των πιθανών αρνητικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων της υδατοκαλλιέργειας στη βιοποικιλότητα. Ορισμένες επιπρόσθετες επιπτώσεις που σχετίζονται με τη χρήση των πόρων παρέχονται μαζί με τη λίστα της Diana για την υδατοκαλλιέργεια και τη βιοποικιλότητα στον Πίνακα 5.1. Οι Boyd and McNevin (2015) ανέλυσαν τις επιπτώσεις που αναφέρονται στον Πίνακα 5.1 για την αξιολόγηση της χρήσης των πόρων και των αρνητικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων της υδατοκαλλιέργειας. Το συμπέρασμά τους ήταν ότι η υδατοκαλλιέργεια (εκτός των οστρακοειδών και της υδατοκαλλιέργειας των μακροφυκών) αποτελεί το σημαντικότερο καταναλωτή σε παγκόσμιο επίπεδο του ιχθυάλευρου και του ιχθυελαίου και πως σε τοπικό επίπεδο συχνά συμβάλλει σε αρνητικές επιπτώσεις στη βιοποικιλότητα. Οι επόμενες πέντε ενότητες αυτού του κεφαλαίου επικεντρώνονται στις επιπτώσεις της υδατοκαλλιέργειας των θαλάσσιων γαρίδων και των ψαριών σε πέντε σημαντικούς τομείς: χρήση γης, νερού, ενέργειας, ιχθυοτροφών, χημικών και ρύπανση των υδάτων. Η εστίαση στα ψάρια και τις θαλάσσιες γαρίδες είναι σκόπιμη διότι, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, οι επιπτώσεις της υδατοκαλλιέργειας μακροφυκών και διθύρων είναι γενικά θετικές. Οι επιπτώσεις της υδατοκαλλιέργειας διθύρων συνοψίζονται λεπτομερώς από τον Shumway (2011).

Πριν προχωρήσουμε σε συζήτηση των επιπτώσεων, είναι σημαντικό να επισημάνουμε ότι οι αρνητικές επιπτώσεις της υδατοκαλλιέργειας πρέπει να αξιολογούνται στο κατάλληλο πλαίσιο. Οι

Πίνακας 5.1 Κατάλογος αρνητικών επιπτώσεων στη βιοποικιλότητα που προκύπτουν από την υδατοκαλλιέργεια.

- Εισαγωγή μη αυτόχθονων ειδών υδατοκαλλιέργειας που μπορεί να καταστούν ενδημικά και επιβλαβή για τα υδρόβια οικοσυστήματα,
- Ευτροφισμός και άλλα φαινόμενα ρύπανσης των υδάτων και συναφείς μεταβολές στη χλωρίδα και την πανίδα στο νερό όπου καταλήγουν απόβλητα από εγκαταστάσεις υδατοκαλλιέργειας,
- Μετατροπή μαγκρόβιων οικοσυστημάτων, υγροτόπων και άλλων περιοχών υψηλής βιοποικιλότητας σε λιμνοδεξαμενές για καλλιέργεια οργανισμών,
- Υπερβολική χρήση του γλυκού νερού,
- Εκμετάλλευση των φυσικών ιχθυαποθεμάτων για την παρασκευή ιχθυάλευρων και ιχθυελαίων για χρήση στην παρασκευή ιχθυοτροφών ή ως ζωτανή τροφή για είδη καλλιέργειας,
- Μετάδοση ασθενειών και παρασίτων από εκτρεφόμενους οργανισμούς σε άγρια αποθέματα,
- Γενετική μεταβολή του άγριου αποθέματος εξαιτίας της διαφυγής οργανισμών από τις υδατοκαλλιέργειες,
- Καταστροφή πτηνών και άλλων θηρευτών που τρέφονται με εκτρεφόμενα είδη,
- Επιπτώσεις της χρήσης αντιβιοτικών και ορμονών που χρησιμοποιούνται στις εγκαταστάσεις υδατοκαλλιέργειας, στη χλωρίδα και την πανίδα των υδάτινων μαζών που δέχονται τα απόβλητα των εκμεταλλεύσεων,
- Εκπομπές άνθρακα που προέρχονται από τη χρήση ενέργειας και συμβάλλουν στην κλιματική αλλαγή,
- Διαταραχή της συνέχειας των φυσικών βιοτόπων από τις εγκαταστάσεις υδατοκαλλιέργειας, π.χ. απώλεια περιοχών απομόνωσης και διαδρόμων για μετακινήσεις των ζώων.

Πηγή: Τροποποιημένο από Diana (2009).

περιβαλλοντικές επιπτώσεις της υδατοκαλλιέργειας ή οποιασδήποτε δραστηριότητας είναι δύσκολο να αξιολογηθούν αντικειμενικά. Ελάχιστη συναίνεση υπάρχει αναφορικά με τη σχετική σημασία των διαφόρων περιβαλλοντικών επιπτώσεων, κυρίως επειδή ποικίλλουν πολύ μεταξύ των διαφόρων τύπων υδατοκαλλιέργειας και μεταξύ των διαφορετικών τοποθεσιών. Οι επιπτώσεις συνήθως αξιολογούνται στο πλαίσιο των σημερινών κοινωνικών προτύπων, ενώ συχνά είναι υποκειμενικές και συνεπάγονται αντισταθμίσεις μεταξύ αξιών. Ως ένα ευρέως αποδεκτό παράδειγμα αντισταθμίσεων πρέπει να θεωρηθούν οι αρνητικές

επιπτώσεις, οι οποίες πρέπει να σταθμίζονται έναντι των οφελών της υδατοκαλλιέργειας. Πρωτίστως, η υδατοκαλλιέργεια είναι απαραίτητη εάν ο παγκόσμιος πληθυσμός επιθυμεί να συνεχίσει να καταναλώνει θαλασσινά. Ακόμη, η υδατοκαλλιέργεια μπορεί να αποτελέσει αξιόπιστη πηγή πρωτεϊνών υψηλής ποιότητας που μπορούν να παραχθούν αποτελεσματικά, συχνά με μικρότερο συνολικό αρνητικό αντίκτυπο από την αντίστοιχη ποσότητα πρωτεϊνών που παράγονται από την αλιεία, τη γεωργία ή την εκτροφή χερσαίων ζώων. Η υδατοκαλλιέργεια και οι δευτερεύουσες δραστηριότητες (όπως η μεταποίηση, η διανομή, ο σχεδιασμός εγκαταστάσεων και η κατασκευή εξοπλισμού) παρέχουν απασχόληση σε περισσότερους από 100 εκατομμύρια εργαζομένους παγκοσμίως και το διεθνές εμπόριο προϊόντων υδατοκαλλιέργειας αποτελεί ζωτικό μέρος των οικονομιών πολλών χωρών.

5.3 Χρήση Γης

Η παγκόσμια ηπειρωτική έκταση των 130 εκατομμυρίων τετραγωνικών χιλιομέτρων αποτελείται

από εσωτερικά νερά (3,5%), δάση και δρυμούς (31%), γεωργοκτηνοτροφικές εκτάσεις (37,8%) και αστικές περιοχές (3%). Το υπόλοιπο αποσκοπεί σε ποικίλες χρήσεις ή είναι ακατάλληλο για ανθρώπινη χρήση. Οι εγκαταστάσεις υδατοκαλλιέργειας καταλαμβάνουν ένα μικρό ποσοστό της επιφάνειας της γης, ενώ η μεγαλύτερη χρήση γης στην υδατοκαλλιέργεια αφορά τις λιμνοδεξαμενές. Η χρήση της γης σε επίπεδο εκμετάλλευσης για τις λιμνοδεξαμενές περιλαμβάνει το εμβαδόν της επιφάνειας του νερού και την περιβάλλουσα περιοχή υποστήριξης (**Εικόνα 5.4**). Ένας συντελεστής 1,5 φορές μεγαλύτερος από τον όγκο της υδάτινης επιφάνειας παραγωγής – στην οποία συνήθως αναφέρεται η παραγωγή – αντιστοιχεί περίπου στο μέσο όρο για τη χρήση της γης σε υδατοκαλλιέργειες σε επίπεδο μονάδας εκμετάλλευσης (Jescovitch et al., 2014). Συνάγωντας από τη συνολική παγκόσμια εκτιμώμενη επιφάνεια των 110.000 km² που είχε υπολογιστεί για το έτος 2005 (Verdegem & Bosma, 2009), η συνολική έκταση γης που διατίθεται σήμερα για την υδατοκαλλιέργεια σε λιμνοδεξαμενές σε επίπεδο εκμετάλλευσης ανέρχεται σε 210.000 km² (140.000 km² λιμνοδεξαμενές και 70.000 km² επιπλέον εκτάσεις).



Εικόνα 5.4. Εκμεταλλεύσεις υδατοκαλλιέργειας όπου διακρίνεται η επιφάνεια που καλύπτεται με νερό (ορισμένες λιμνοδεξαμενές είναι άδειες) μαζί με τις περιοχές υποστήριξης. *Πηγή:* Αναπαράγεται με άδεια από τον Aaron McNevin, 2017.



Εικόνα 5.5 Μονάδα υδατοκαλλιέργειας σε παράκτια περιοχή χαμηλού υψομέτρου. Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από τον Aaron McNevin, 2017.

Η μέση χρήση γης για εδώδιμα φυτά, π.χ. σόγια και δημητριακά, εκτιμάται κατά μέσο όρο σε περίπου 0,274 εκτάρια/τόνο τροφής, ενώ 41 εκατομμύρια τόνων τροφών για την υδατοκαλλιέργεια χρησιμοποιήθηκαν το 2014. Επιπλέον έκταση της τάξεως περίπου των 112.000 km² αγροτικής γης χρειάστηκε για την παραγωγή φυτικών ειδών που προορίζονταν για τροφές στην υδατοκαλλιέργεια το 2014. Η συνολική έκταση που προορίζεται για την υδατοκαλλιέργεια θα πρέπει σήμερα να κυμαίνεται περίπου στα 322.000 km². Φυσικά, μια μικρή επιπρόσθετη ποσότητα γης χρησιμοποιείται ως περιοχή υποστήριξης για την εξυπηρέτηση της υδατοκαλλιέργειας σε κλωβούς και για τις εγκαταστάσεις καναλόμορφων δεξαμενών. Πιστεύουμε ότι η εν λόγω έκταση δεν ξεπερνάει τα 1000 km² και ως εκ τούτου θεωρείται αμελητέα λαμβάνοντας υπόψη τις μεγάλες πιθανότητες σφάλματος στους παραπάνω υπολογισμούς. Η έκταση της υδατοκαλλιέργειας αντιστοιχεί περίπου στο 0,66% της συνολικής αγροτικής έκτασης των 49.000.000 km² και 0,25% της συνολικής έκτασης της γης.

Ως εκ τούτου, ενώ η υδατοκαλλιέργεια επιβαρύνει ελάχιστα τη συνολική χρήση γης, οι επιπτώ-

σεις της μπορεί να είναι σημαντικές σε τοπικό επίπεδο. Οι υλικοτεχνικές υποδομές υδατοκαλλιέργειας βρίσκονται συχνά εγκατεστημένες σε πεδινές πλημμυρικές εκτάσεις ποταμών, στις άκρες λεκανών απορροής και σε υδροβιότοπους (**Εικόνα 5.5**) που τείνουν να χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερη βιοποικιλότητα σε σύγκριση με πολλές άλλες κατηγορίες γεωγραφικών περιοχών. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζεται σχετικά με την εγκατάσταση μονάδων υδατοκαλλιέργειας στις παράκτιες μακρόβιες περιοχές. Παρόλο που λιμνοδεξαμενές εκτροφής γαρίδας και γαλατόψαρων βρίσκονται τοποθετημένες σε περιοχές με μακρόβια βλάστηση, η συνολική καταστροφή των βιότοπων μακρόβιας βλάστησης από μονάδες υδατοκαλλιέργειας ήταν μικρότερη από το 10% των περιοχών αυτών κατά τη δεκαετία του 1980 (Boyd & McNevin, 2015). Σε ορισμένες χώρες εντούτοις, οι διάφορες μορφές υδατοκαλλιέργειας μπορεί να έχουν προκαλέσει μέχρι 30% ή και 40% απωλειών μακρόβιας βλάστησης, ή και ακόμα μεγαλύτερες απώλειες τοπικά σε κάποιες περιοχές.

Οι μακρόβιες περιοχές (**Εικόνα 5.6**) θεωρούνται κατώτερης δυναμικότητας τοποθεσίες για υδατοκαλλιέργεια και οι περισσότερες κυβερ-



Εικόνα 5.6 Μαγκρόβια βλάστηση στο Lile de Moucha, στον κόλπο της Τατζούρας στα ανοιχτά των ακτών του Τζιμπουτί. Τα μαγκρόβια φυτά αποτελούν σημαντικά τμήματα των τροπικών και των υποτροπικών οικοσυστημάτων. Έχουν εγγενή αισθητική αξία και παρέχουν πολύτιμες υπηρεσίες στο οικοσύστημα συμπεριλαμβανομένης της προστασίας των ακτών από τη διάβρωση και της παροχής οικοτόπων και τροφής σε πολλά υδρόβια και χερσαία ζώα και πτηνά. Παρόλο που τα συστήματα μαγκρόβιων δασών αποτελούν κατάλληλες τοποθεσίες για την υδατοκαλλιέργεια υφάλμυρων υδάτων, δεν είναι ιδανικά για το σκοπό αυτό και δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται ως χώροι εγκατάστασης. Πηγή: Φωτογραφία από την Benlilkon93. Αναπαραγωγή με την άδεια Αναφοράς Δημιουργού - Παρόμοιας Διανομής Creative Commons, CC-BY-SA 4.0.

νήσεις έχουν αναπτύξει κανονισμούς για την αποφυγή της υποβάθμισης των μαγκρόβιων δασών. Αν και η αφαίρεση της μαγκρόβιας βλάστησης για δημιουργία υδατοκαλλιέργειας δεν είναι τόσο κοινή όσο στο παρελθόν, εξακολουθεί να αποτελεί υπαρκτό φαινόμενο σε αρκετές χώρες. Οι μικρής κλίμακας καλλιεργητές, οι οποίοι δεν έχουν στη διάθεσή τους μεγάλες εκτάσεις γης και μεγάλα κεφάλαια προς επένδυση για την άντληση νερού από τη διαπαλιρροιακή ζώνη είναι πιθανώς υπεύθυνοι για το μεγαλύτερο μερίδιο της μετατροπής μαγκρόβιων δασών σε λιμνοδεξαμενές.

Η υδατοκαλλιέργεια εντατικοποιείται. Για να φανταστεί κανείς το μέγεθος της έντασης αυτής, η παραγωγή γατόψαρου στις ΗΠΑ ήταν μικρότερη από 2000 kg/εκτάριο επιφάνειας νερού σε λιμνοδεξαμενές στις αρχές της δεκαετίας του 1970, ενώ σήμερα η μέση ετήσια παραγωγή υπερβαίνει τα 5000 kg/εκτάριο με πολλούς καλλιεργητές να παράγουν περισσότερα από 10.000 kg/εκτάριο. Παρόμοιες αυξήσεις έχουν παρατηρηθεί στις καλλιέργειες θαλάσσιας γαρίδας, τιλάπιας και άλλα κοινά είδη υδατοκαλλιέργειας. Έτσι, όπως αντίστοιχα συνέβη στη χερσαία πρωτογενή αγρο-

τική παραγωγή κατά τη διάρκεια των τελευταίων 50 ετών, η ένταση της παραγωγής από την υδατοκαλλιέργεια θα αυξηθεί πιθανότατα στο μέλλον. Η ενίσχυση και όχι η επέκταση των περιοχών υδατοκαλλιέργειας αναμένεται να είναι η πηγή της αυξημένης παραγωγής που απαιτείται για την κάλυψη της μελλοντικής ζήτησης. Φυσικά, περισσότερη έκταση γης θα απαιτείται για την παραγωγή των συστατικών των ιχθυοτροφών, αλλά η γη αυτή θα παραμείνει η ίδια ανά τόνο παραγωγής υδατοκαλλιέργειας ανεξάρτητα από το αν η αυξημένη μελλοντική ζήτηση οφείλεται σε εντατικοποίηση ή επέκταση των περιοχών υδατοκαλλιέργειας. Η εντατικοποίηση θα μειώσει την ποσότητα της έκτασης γης που απαιτείται ανά τόνο παραγωγής σε επίπεδο εκμετάλλευσης. Η επέκταση και προσθήκη νέων περιοχών υδατοκαλλιέργειας είναι λιγότερο πιθανό να εισβάλλει σε περιοχές υψηλότερης χερσαίας βιοποικιλότητας από ότι η επέκταση της γεωργικής έκτασης στην ξηρά που θα απαιτηθεί για παραγωγή συστατικών ιχθυοτροφών.

Από τη σκοπιά της χρήσης γης και μόνο, θα ήταν πιο επιθυμητή η αύξηση της παγκόσμιας παραγωγής υδατοκαλλιέργειας μέσω της εντατικοποίησης παρά η αύξηση μέσω επέκτασης της χερσαί-

ας παραγωγής. Φυσικά, οποιαδήποτε αλλαγή στη μεθοδολογία παραγωγής συνεπάγεται αντισταθμίσεις στη χρήση των πόρων και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Για τις χειρσαίες δραστηριότητες παραγωγής τροφίμων, η χρήση γης (ιδίως η αποψίλωση των εδαφών) συνιστά τον κύριο παράγοντα που επηρεάζει τη βιοποικιλότητα. Παρόλα αυτά, θα πρέπει να γίνει διεξοδική αξιολόγηση όλων των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων της εντατικοποίησης της υδατοκαλλιέργειας.

5.4 Χρήση Νερού

Στις παραδοσιακές εκτιμήσεις διαθεσιμότητας του νερού που διατίθεται για ανθρώπινη χρήση, τα ανανεώσιμα διαθέσιμα γλυκά νερά θεωρούνται τα ρέοντα και τα αποθηκευμένα σε δεξαμενές (**Πίνακας 5.2**). Η εκτιμώμενη χρήση δεν περιλαμβάνει τα όμβρια ύδατα που πέφτουν στο έδαφος μόνο για να απορροφηθούν από τις καλλιέργειες και τα υπόγεια νερά από τα πηγάδια. Αυτή η διαδικασία ακολουθείται εδώ, καθώς τα όμβρια ύδατα που χρησιμοποιούνται από τις καλλιέργειες θα είχαν εξατμιστεί ή απορροφηθεί αν δεν υπήρχαν οι καλλιέργειες και επειδή η απομάκρυνση των υπόγειων νερών μέσω των πηγαδιών μειώνει τον υδροφόρο ορίζοντα όπως επίσης και την ποσότητα του υπόγειου νερού (βασική ροή) συνεισφέροντας στα στάσιμα στάδια των ρεμάτων.

Το νερό που καταναλώνεται από τον άνθρωπο υπολογίζεται παραδοσιακά ως τα επιφανειακά νερά συν τα υπόγεια νερά από πηγάδια που εξατμίζονται ως αποτέλεσμα της χρήσης τους. Υπάρχει, ωστόσο, μια πρόσφατη τάση διαχωρισμού της χρήσης του νερού σε τρεις κατηγορίες:

- 1) Το πράσινο νερό συνιστά το βρόχινο νερό που εξατμίζεται κατά τη χρήση. Η κατηγορία αυτή νερού χρησιμοποιείται σχεδόν εξ ολοκλήρου για τη γεωργία, και θα είχε εξατμιστεί ούτως ή άλλως. Επιπλέον, το πράσινο νερό δεν περιλαμβάνεται στις εκτιμήσεις διαθεσιμότητας των ανανεώσιμων γλυκών νερών (**Πίνακας 5.2**).
- 2) Το γαλάζιο νερό συνιστά τα επιφανειακά ή υπόγεια νερά που εξατμίζονται κατά τη χρήση. Η χρήση γαλάζιου νερού είναι βασικά η ίδια με την παραδοσιακή καταναλώσιμη χρήση νερού, και μπορεί να υπολογιστεί με ακρίβεια.

Πίνακας 5.2. Παγκόσμια παροχή προσβάσιμων, ανανεώσιμων πηγών γλυκού νερού.

Συστατικό εσωτερικών υδάτων	Όγκος (km ³ /έτος)
Συνολική απορροή	39.700
Ροή πλημμυρικών σταδίων (75% του συνόλου)	29.250
Ροή εκτός φάσης πλημμύρας (με υπόθεση διαθεσιμότητας 100%)	10.450
Προσβάσιμο (70% του διαθέσιμου)	7.315
Αποθηκευμένο σε δεξαμενές (με υπόθεση διαθεσιμότητας 100%)	6.917
Προσβάσιμες, ανανεώσιμες παροχές	13.512

- 3) Το γκρίζο αποτελεί την ποσότητα νερού που απαιτείται για την επεξεργασία των αποβλήτων που προκύπτουν από τη χρήση νερού.

Δεν υπάρχει αντικειμενικός τρόπος υπολογισμού του γκρίζου νερού. Επομένως, δεν υποστηρίζουμε υιοθέτηση της συνολικής χρήσης νερού (του πράσινου, του γαλάζιου και του γκρίζου νερού αθροιστικά) ως μέσο εκτίμησης της χρήσης νερού της γεωργίας και της υδατοκαλλιέργειας.

Οι εκτιμήσεις των κύριων χρήσεων κατανάλωσης νερού δείχνουν πως η γεωργία αποτελεί το βασικό καταναλωτή, συνιστώντας το 80% της συνολικής χρήσης νερού παγκοσμίως (**Πίνακας 5.3**). Η κατανάλωση νερού από τη γεωργία ανέρχεται περίπου στο 30% των διαθέσιμων ανανεώσιμων πηγών γλυκού νερών. Εντούτοις, η υδροδότηση δεν κατανέμεται ανάλογα με την πυκνότητα του πληθυσμού, με τις άνυδρες περιοχές με υψηλή πληθυσμιακή πυκνότητα να παρουσιάζουν συχνά φυσική έλλειψη γλυκού νερού. Ακόμη και σε ορισμένες περιοχές όπου το νερό είναι κανονικά άφθονο, μπορεί να προκύψει έλλειψη νερού κατά τη διάρκεια συγκεκριμένων περιόδων ξηρασίας. Ορισμένες χώρες δεν διαθέτουν επαρκή υποδομή διανομής του νερού ή υποφέρουν από πολιτικές αναταραχές ή ένοπλες συγκρούσεις που παρεμποδίζουν τη σωστή διανομή του νερού. Η ρύπανση των υδάτων μπορεί επίσης να καταστήσει το νερό ακατάλληλο για ορισμένες χρήσεις.

Η κατανάλωση νερού στις υδατοκαλλιέργει-

Πίνακας 5.3. Εκτιμήσεις συνολικής χρήσης νερού παγκοσμίως.

Σκοπός	Χρήση	
	(km ³ /έτος)	(%)
Νερό για άρδευση	3.200	80,6
Νερό για ζωική παραγωγή	46	1,1
Βιομηχανικό νερό	400	10,1
Οικιακή χρήση	324	8,2
Σύνολο	3.970	100

ες εσωτερικών υδάτων ανέρχεται περίπου σε 12.700 m³/εκτάριο (Boyd & McNevin, 2015). Χρησιμοποιώντας μια μέση συνολική απόδοση από ιχθυοκαλλιέργειες 2496 kg/εκτάριο (Verdegem & Bosma, 2009), η χρήση νερού θα ήταν 5088 m³/τόνο και η άμεση χρήση νερού στην υδατοκαλλιέργεια λιμνοδεξαμενών γλυκού νερού θα ήταν περίπου 111 m³/έτος. Συνήθως δεν προστίθεται γλυκό νερό στις λιμνοδεξαμενές που εφοδιάζονται με υφάλμυρο ή θαλασσινό νερό. Η υδατοκαλλιέργεια σε κλωβούς και οι καναλόμορφες δεξαμενές παρουσιάζουν μικρή άμεση κατανάλωση νε-

ρού, πιθανώς περίπου 0,25 km³/έτος, ποσότητα που περιέχεται κυρίως στη συγκομισθείσα βιομάζα. Το νερό που χρησιμοποιείται για την παρασκευή συστατικών των ιχθυοτροφών για την υδατοκαλλιέργεια (**Εικόνα 5.7**) υπολογίζεται σε 275 m³/τόνο, ενώ περίπου 41 εκατομμύρια τόνοι ιχθυοτροφών χρησιμοποιήθηκαν το 2014. Κατά συνέπεια, η χρήση νερού για παραγωγή ιχθυοτροφών είναι περίπου 1 km³/έτος, αποτελώντας την πρωταρχική δραστηριότητα που είναι υπεύθυνη για κατανάλωση νερού στην υδατοκαλλιέργεια σε κλωβούς και καναλόμορφες δεξαμενές. Η κατανάλωση νερού από την υδατοκαλλιέργεια είναι πιθανό να ανέλθει σε περίπου 122 km³/έτος ή μόλις 3,7 % σε σχέση με τη γεωργία. Εάν συμπεριληφθούν στον υπολογισμό τα πράσινα νερά, η χρήση νερού από την υδατοκαλλιέργεια θα αυξηθεί σε περίπου 429 km³/έτος (Verdegem & Bosma, 2009).

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι μείωσης της άμεσης χρήσης του γλυκού νερού στην υδατοκαλλιέργεια σε λιμνοδεξαμενές ώστε να επιτευχθεί η εντατικοποίηση της παραγωγής, όπως η επανα-



Εικόνα 5.7 Επιφανειακή άρδευση σιταριού στο Κολοράντο, ΗΠΑ. Το νερό που χρησιμοποιείται για το πότισμα των κερσαίων καλλιεργειών, με σκοπό τη χρήση σε ιχθυοτροφές, απαρτίζει σημαντικό μέρος της συνολικής χρήσης νερού σε ορισμένους τύπους υδατοκαλλιέργειας. Πηγή: Φωτογραφία του Gene Alexander, Υπηρεσία Διατήρησης Φυσικών Πόρων, Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης ΗΠΑ (photogallery.nrcs.usda.gov No. NRCSC87001), μέσω του Wikimedia Commons.



Εικόνα 5.8 Εκτροφή γαρίδας με ταμιευτήρα (τεχνητή λίμνη) για ανακύκλωση του νερού. Ο ταμιευτήρας αποτελείται από τα δύο ευρεία κανάλια και δύο μεγάλες λιμνοδεξαμενές στην επάνω δεξιά γωνία της εικόνας. Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από τον Aaron McNevin, 2017.

χρησιμοποίηση του νερού, οι τεχνικές κατασκευής για την ελαχιστοποίηση της απώλειας λόγω διαρροών και ο έλεγχος της στάθμης του νερού για τη συγκράτηση όσο το δυνατόν μεγαλύτερης ποσότητας νερού από τις βροχοπτώσεις. Η αύξηση της παραγωγής από 3000 kg/εκτάριο σε 6000 kg/εκτάριο σε μια λιμνοδεξαμενή με ετήσια χρήση νερού 12.000 m³/εκτάριο θα μείωνε τη χρήση νερού από 4000 m³/τόνο σε 2000 m³/τόνο. Φυσικά, θεωρώντας ότι δεν μεταβάλλεται η μετατρεψιμότητα των ιχθυοτροφών (FCR), το νερό που ενσωματώνεται στις ιχθυοτροφές δεν θα παρουσιάσει αύξηση ανά τόνο παραγωγής. Η επαναχρησιμοποίηση του νερού μπορεί να επιτευχθεί σε λιμνοδεξαμενές εάν δεν αποστραγγίζονται κατά τη συγκομιδή ή εάν το νερό αποστραγγίζεται από αυτές και αποθηκεύεται για επαναχρησιμοποίηση. Για παράδειγμα, πολλές καναλόμορφες δεξαμενές με γατόψαρα στις ΗΠΑ λειτουργούν για 10 χρόνια ή περισσότερο, χωρίς να αποστραγγίζονται. Τα αλιεύματα στο εμπορεύσιμο μέγεθος συλλέγονται με τη βοήθεια διχτυού με μεγάλο μέγεθος ματιού και αντικαθίστανται από νεορά ιχθύδια. Ο κύκλος αυτός, της μερικής συλλο-

γής και του επανεμπλουτισμού, μπορεί να συνεχίζεται απεριόριστα, με εξαίρεση την περιοδική αποστράγγιση για την ανακατασκευή των διαβρωμένων αναχωμάτων. Σε ορισμένα συστήματα, τα ψάρια μπορούν να εκτραφούν εντατικά σε ένα τμήμα και το νερό να κυκλοφορεί σε άλλο τμήμα για καθαρισμό πριν επιστρέψει στο τμήμα εκτροφής (**Εικόνα 5.8**). Κατά τη διαδικασία αυτή δε διατηρείται συνήθως το νερό, καθώς η συνδυασμένη παραγωγική έκταση και η έκταση επεξεργασίας των αποβλήτων ισούνται με εκείνη μιας μη διαχωρισμένης λιμνοδεξαμενής με ίδια ποσότητα παραγωγής. Η απώλεια λόγω διαρροής μπορεί να φθάσει έως και τα 50 cm/μήνα ή περισσότερο, αλλά οι ρυθμοί διαρροής συνήθως μπορούν να μειωθούν σε 10-20 cm/μήνα ή λιγότερο, μέσω κατάλληλων κατασκευαστικών πρακτικών. Το νερό της βροχής μπορεί να συλλεγεί διατηρώντας τα επίπεδα νερού στις λιμνοδεξαμενές 10-15 cm κάτω από τα επίπεδα υπερχειλίσσης. Τα κατακρημνίσματα (π.χ. βροχή, χιόνι) αντισταθμίζουν εν μέρει την μελλοντική ανάγκη για άντληση νερού από άλλες πηγές. Η εναλλαγή του νερού είναι μια ιδιαίτερα κακή πρακτική που σπάνια βελτιώνει την ποιότη-

τα των νερών σε μεγάλες δεξαμενές υδατοκαλλιέργειας, αλλά αντίθετα αυξάνει τη χρήση νερού και τη δυνατότητα ρύπανσης των εγκαταστάσεων υδατοκαλλιέργειας.

Ο μηχανικός αερισμός είναι πιο αποτελεσματικός από την εναλλαγή του νερού για τη διατήρηση επαρκών συγκεντρώσεων διαλυμένου οξυγόνου στις λιμνοδεξαμενές. Μηχανικοί αεριστήρες (ειδικά εκείνοι που εκτοξεύουν νερό στον αέρα) μπορεί να αυξήσουν την απώλεια του νερού εκθέτοντας μεγαλύτερη ποσότητα της επιφάνειάς του στον αέρα, αλλά δεν αυξάνουν τη χρήση νερού τόσο όσο η πρακτική της εναλλαγής του νερού.

5.5 Χρήση Ενέργειας

Παγκοσμίως χρησιμοποιείται μια τεράστια ποσότητα ενέργειας για τη βιομηχανία, τη γεωργία, τις μεταφορές, τις οικιακές και κοινωνικές δραστηριότητες και για ποικίλους άλλους σκοπούς. Η συνολική παγκόσμια κατανάλωση πρωτογενών καυσίμων ήταν περίπου 541×10^{18} joules ή 541 exajoules (EJ) το 2014. Μόνο περίπου το 60% της ενέργειας αυτής αποτελεί ενέργεια τελικής χρήσης με το υπόλοιπο να καταναλώνεται για τη μετατροπή της ενέργειας στα πρωτογενή καύσιμα σε ενέργεια που χρησιμοποιείται για διάφορους εξειδικευμένους σκοπούς.

Το 2008, η τελική κατανάλωση ενέργειας για όλους τους σκοπούς υπολογίστηκε σε 294 EJ, εκ των οποίων 95 EJ (32%) χρησιμοποιήθηκαν στο παγκόσμιο σύστημα διατροφής. Το μεγαλύτερο μέρος αυτής της ενέργειας χρησιμοποιήθηκε για τη μεταποίηση, τη διανομή, το λιανικό εμπόριο, την παρασκευή και το μαγείρεμα (Πίνακας 5.4).

Το μερίδιο για την παραγωγή των τροφίμων στις αγροτικές εκμεταλλεύσεις (ή στις αποβάθρες, στην περίπτωση της αλιευτικής δραστηριότητας) ήταν μόνο το 21,4% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας στο σύστημα τροφίμων.

Σύμφωνα με έκθεση του Παγκόσμιου Οργανισμού Τροφίμων και Γεωργία (FAO 2011) βάσει δεδομένων του 2008, η εκτιμώμενη κατανάλωση ενέργειας για την αλιεία είναι 2 EJ/έτος, η οποία είναι μάλλον μεγάλη λαμβάνοντας υπόψη πως η χρήση ενέργειας για όλες τις χερσαίες μορφές ζωικής παραγωγής, ανερχόταν μόνο σε 5,1 EJ/έτος. Στην ίδια έκθεση, η υδατοκαλλιέργεια εκτιμάται ότι χρησιμοποιεί μόνο 0,4 EJ/έτος – πολύ μικρότερη από ότι καταλαμβάνει η αλιεία. Ωστόσο, έχουν γίνει λίγες μελέτες σχετικά με τη χρήση ενέργειας στην υδατοκαλλιέργεια και οι εκτιμήσεις του FAO φαίνονται πολύ χαμηλές. Διάφορες αναλύσεις του κύκλου ζωής (LCA, Life Cycle Analyses) της παραγωγής από την υδατοκαλλιέργεια της τιλάπιας, του γατόψαρου, του σολομού, της γαρίδας και των μυδιών εκτιμούν μια μέση συνολική κατανάλωση ενέργειας 26 GJ/τόνο. Η παραγωγή της υδατοκαλλιέργειας το 2008 (έτος της έκθεσης του FAO) ήταν 53 τόνοι, με συνολική ενεργειακή κατανάλωση 1,4 EJ/έτος. Ωστόσο, δεν υπάρχουν σχεδόν καθόλου διαθέσιμα στοιχεία για την παραγωγή ειδών που έχουν αναπτυχθεί με χαμηλότερες εισροές ενέργειας (όπως ορισμένοι τύποι υδατοκαλλιέργειας κυπρίνων), οπότε υπάρχει μεγάλη αβεβαιότητα όσον αφορά τη συνολική κατανάλωση ενέργειας. Το καλύτερο που μπορεί να ειπωθεί είναι ότι η χρήση ενέργειας στην υδατοκαλλιέργεια κυμαινόταν πιθανώς μεταξύ 0,4 και 1,4 EJ/έτος το 2008.

Υπάρχουν πολλές άμεσες χρήσεις της ενέργειας στην υδατοκαλλιέργεια οι οποίες περι-

Πίνακας 5.4. Τελική χρήση ενέργειας στο παγκόσμιο σύστημα διατροφής το 2008.

Τελική χρήση	Ενέργεια (EJ)
Φυτικές καλλιέργειες	12,8
Ζωική παραγωγή	5,1
Αλιεία και υδατοκαλλιέργεια	2,4
Επεξεργασία και διανομή	40,9
Λιανικό εμπόριο, προετοιμασία και μαγειρική	33,8
Σύνολο	95

Πηγή: <http://www.eia.gov/cfapps/ipdbproject/iedindex3.cfm?tid=90&pid=44&aid=8>



Εικόνα 5.9 Συγκομιδή ρυζιού στο Μισισσιπή, ΗΠΑ. Οι παραγόμενες ιχθυοτροφές ενσωματώνουν το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας που χρησιμοποιείται σε πολλούς τύπους υδατοκαλλιέργειας. Ενέργεια χρησιμοποιείται επίσης για την παραγωγή λιπασμάτων και γεωργικού εξοπλισμού, την καλλιέργεια, την συγκομιδή και την μεταφορά της σοδειάς, την επεξεργασία και την μεταφορά των ιχθυοτροφών, την παραγωγή και μεταφορά των τελικών προϊόντων. Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από τον Kenner Patton, 2017.

λαμβάνουν την κατασκευή εγκαταστάσεων, την άντληση νερού, τον αερισμό και τις καθημερινές δραστηριότητες της εκμετάλλευσης. Σημαντική ενέργεια επίσης χρησιμοποιείται για την παραγωγή ιχθυοτροφών και την παράδοσή τους στις μονάδες (Εικόνα 5.9). Η έμμεση αυτή χρήση ενέργειας συχνά αποκαλείται ενσωματωμένη ενέργεια και το ενσωματωμένο ενεργειακό περιεχόμενο των ιχθυοτροφών κυμαίνεται από 4 έως 10 GJ/τόνο. Ο αερισμός αποτελεί επίσης σημαντικό παράγοντα ενεργειακής χρήσης για την υδατοκαλλιέργεια. Για παράδειγμα, με ρυθμό αερισμού 1,5 κιλοβάτ/τόνο παραγωγής και 1000 ώρες αερισμού κατά τη διάρκεια μιας καλλιέργειας, η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας θα είναι περίπου 5,4 GJ/τόνο παραγωγής. Η κατασκευή της εγκατάστασης μπορεί να αποσβεστεί σε μερικά χρόνια και σπανίως θα είναι μεγαλύτερη από 2,0 GJ/τόνο παραγωγής. Η ενέργεια για την άντληση νερού για πλήρωση των λιμνοδεξαμενών και για την αναπλήρωση του νερού λόγω εξάτμισης και της απώλειας λόγω υπερχειλίσης συνήθως δεν υπερβαίνει το 0,5 GJ/τόνο παραγωγής.

Η εξοικονόμηση ενέργειας είναι σημαντική, καθώς συνήθως η ενέργεια που χρησιμοποιείται στην υδατοκαλλιέργεια προέρχεται από μη ανανεώσιμες πηγές. Η καύση ορυκτών καυσίμων είναι

επίσης η σημαντικότερη πηγή αερίων θερμοκηπίου που συμβάλλουν στο φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής.

5.6 Χρήση Ιχθυοτροφών

Τα ψάρια και άλλοι υδρόβιοι οργανισμοί είναι ικανοί να μετατρέπουν τις πρωτεΐνες των ιχθυοτροφών τους σε βρώσιμες ζωικές πρωτεΐνες με καλή απόδοση. Το ποσοστό της πρωτεΐνης των ιχθυοτροφών που ανακτάται στη συγκομιζόμενη βιομάζα και στα μεταποιημένα φιλέτα για πέντε κοινά είδη ήταν κατά μέσο όρο 30,9% και 19,4% αντίστοιχα (Πίνακας 5.5). Σε σύγκριση με τα χερσαία ζώα κρεοπαραγωγής, τα υδρόβια είδη γενικά χρειάζονται κάπως υψηλότερες συγκεντρώσεις ακατέργαστης πρωτεΐνης στη διατροφή τους (αν και οι διαφορές δεν είναι μεγάλες, Naylor et al., 2009), αλλά τείνουν να έχουν καλύτερο συντελεστή μετατρεψιμότητας των τροφών από τα χερσαία ζώα. Τα είδη υδατοκαλλιέργειας ποικίλλουν σημαντικά αναφορικά με τη μετατρεψιμότητα των πρωτεϊνών των ιχθυοτροφών, ενώ ειδικότερα, κάτω από αυτό το πλαίσιο, ορισμένα είδη είναι ανώτερα ενώ άλλα είναι κατώτερα από τα κοτόπουλα κρεοπαραγωγής.

Πίνακας 5.5 Διακύμανση του συντελεστή μετατρεψιμότητας της τροφής (FCR), της συγκέντρωσης ακατέργαστης πρωτεΐνης στη ζωοτροφή και τυπική ανάκτηση πρωτεΐνης των ζωοτροφών σε τελικά παραγόμενα ζώα και βρώσιμη σάρκα (κρέας) για διάφορες πηγές ζωικών πρωτεϊνών.

Είδος κρέατος	Συντελεστής Μετατρεψιμότητα Τροφής (FCR)	Ακατέργαστη πρωτεΐνη στις ζωοτροφές	Τυπική ανάκτηση πρωτεΐνης (%)	
			Ολόκληρο το σώμα	Βρώσιμο κρέας (%)
Γατόψαρα	1,6-2,2	28-32	25,9	12,1
Τιλάπια	1,5-2,0	28-34	25,7	11,9
Γαρίδα	1,2-1,8	35-40	31,2	13,0
Πέστροφα	1,2-1,4	42-45	28,9	26,7
Σολομός	1,0-1,2	40-45	43,0	33,3
Κοτόπουλα κρεοπαραγωγής	1,6-2,0	18-24	34,0	20,0
Χοιρινά	2,5-3,0	14-20	20,0	10,0
Βοοειδή κρεοπαραγωγής	5,0-7,0	10-20	10,0	4,0

Ωστόσο, τα είδη υδατοκαλλιέργειας μετατρέπουν την πρωτεΐνη πιο αποτελεσματικά από τα χοιρινά ή τα βοοειδή.

Η παραγωγή ζωικών οργανισμών υδατοκαλλιέργειας φαίνεται να είναι τουλάχιστον εξίσου αποτελεσματική με τα παραδοσιακά ζώα κρεοπαραγωγής κατά τη μετατροπή των συστατικών των ζωοτροφών και κυρίως της πρωτεΐνης σε κρέας και ζωικές πρωτεΐνες προς ανθρώπινη κατανάλωση. Φυσικά, η παραγωγή ειδών υδατοκαλλιέργειας είναι πολύ μικρότερη από την παραγωγή παραδοσιακών ζώων κρεοπαραγωγής. Η έρευνα για την παγκόσμια διατροφή και το φαγητό (Global Feed Survey) του Alltech 2015¹ έδειξε ότι η συνολική παγκόσμια παραγωγή ζωοτροφών το 2014 ήταν 980 εκατομμύρια τόνοι. Η κατανάλωση ζωοτροφών ανά κατηγορία ειδών είχε ως εξής: πουλερικά 439 εκατομμύρια τόνοι, χοίροι 256 εκατομμύρια τόνοι, βοοειδή και άλλα μηρυκαστικά 196 εκατομμύρια τόνοι, υδατοκαλλιέργεια 41 εκατομμύρια τόνοι, κατοικίδια ζώα συντροφιάς 22 εκατομμύρια τόνοι, ιπποειδή 11 εκατομμύρια τόνοι.

Η κύρια διαφορά των ιχθυοτροφών από άλλων τύπων ζωοτροφές είναι ότι στην τροφή για ορισμένα είδη υδατοκαλλιέργειας περιλαμβάνεται μεγάλη ποσότητα ιχθυάλευρου και ιχθυελαίου, ειδικά σε ζωοτροφές για θαλάσσιες γαρίδες και σαρκοφάγα ψάρια όπως η πέστροφα και ο σολο-

μός. Το ιχθυάλευρο περιλαμβάνεται στις τροφές για την υδατοκαλλιέργεια ως συστατικό υψηλής περιεκτικότητας σε πρωτεΐνες με ισορροπημένη ποσότητα αμινοξέων. Περιέχει επίσης φωσφόρο, ασβέστιο και βασικά ωμέγα-3 λιπαρά οξέα. Το ιχθυέλαιο έχει υψηλή περιεκτικότητα σε ω-3 και ω-6 λιπαρά οξέα, τα οποία θεωρούνται ευεργετικά για την καρδιακή υγεία του ανθρώπου. Τα φυτικά έλαια έχουν χαμηλότερη αναλογία ω-3 προς ω-6 λιπαρά οξέα και συνεπώς θεωρείται ότι η ενσωμάτωση ιχθυελαίου σε σιτηρέσια υδατοκαλλιέργειας αυξάνει την αναλογία ω-3 προς ω-6 λιπαρών οξέων στο βρώσιμο κρέας των ειδών υδατοκαλλιέργειας.

Η παραγωγή ιχθυαλεύρων από την αλιεία πελαγικών ψαριών (γαύρος, ρέγγα, σαρδέλα και άλλα, τα οποία καλούνται συνολικά ως ψάρια σιτηρεσίου (feed-fish), **Εικόνα 5.10**) έφτασε το 1994 τους 7,4 εκατομμύρια τόνους. Η παραγωγή αυτή κυμαίνεται σήμερα περίπου στα 4,5 έως 5 εκατομμύρια τόνους/έτος και δεν αναμένεται να αυξηθεί στο μέλλον. Το ιχθυέλαιο είναι ένα υποπροϊόν του ιχθυάλευρου ενώ η ετήσια παραγωγή του από πελαγικά ψάρια υπολογίζεται σε περίπου 1 εκατομμύριο τόνους/έτος. Επομένως, η απόδοση του ιχθυελαίου από την παραγωγή ιχθυαλεύρων είναι περίπου 1:4,5. Απαιτούνται περίπου 4,5 kg ζωντανά ψάρια για την παραγωγή ενός κιλού ιχθυαλεύρου. Έτσι, η τρέχουσα παραγωγή ιχθυαλεύρων απαιτεί μια ποσότητα ζωοτροφών 20-23 εκατομμυρίων τόνων ετησίως. Επιπλέον 1 έως 1,5 εκατομμύρια τό-

¹ <http://www.alltech.com/sites/default/files/global-feed-survey-2015.pdf>



Εικόνα 5.10 Αλίευση φρίσσας του Ατλαντικού (*Brevoortia tyrannus*) στις ακτές των ΗΠΑ. Το είδος αυτό είναι ένα από τα πολλά είδη ψαριών που αλιεύονται συχνά για να παραχθούν ιχθυάλευρα και ιχθυέλαιο. Η παράκτια αλιεία του χρησιμοποιεί αεροπλάνα εντοπισμού για να εντοπίσουν κοπάδια και να υλοποιήσουν αλιευτικές δραστηριότητες. Εδώ, δύο μικρά σκάφη ολοκληρώνουν ένα γρι-γρι συλλέγοντας το δίκτυ για να συγκεντρωθούν τα ψάρια. Αφού τα ψάρια συγκεντρωθούν στο δίκτυ, η βάρκα μεταφοράς θα έρθει δίπλα και τα ψάρια θα αντληθούν. Το σύνολο αλιευμάτων ανά καλάδα κυμαίνεται από μερικούς έως περισσότερους από 50 τόνους. Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από την Omega Protein Corporation, 2017.

νοι ιχθυάλευρου προέρχονται από την επεξεργασία υπολειμμάτων ψαριών. Επί του παρόντος, στις ιχθυοτροφές περιλαμβάνονται περίπου το 60% της παγκόσμιας παραγωγής ιχθυάλευρου και το 80% του ιχθυελαίου. Ειδικότερα, τα σιτηρέσια για σολομό, πέστροφα, γαρίδες και διάφορα θαλάσσια είδη ιχθύων καταλαμβάνουν περίπου το 80% του χρησιμοποιούμενου ιχθυαλεύρου και το 92% του ιχθυελαίου στην υδατοκαλλιέργεια.

Μια άλλη πηγή ιχθυαλεύρου και ιχθυελαίου για ιχθυοτροφές αποτελούν τα απορριφθέντα αλιεύματα ή παρεμπύπτοντα αλιεύματα που απαρτίζονται από υδρόβιους οργανισμούς οι οποίοι συλλαμβάνονται σε δίκτυα μηχανότρατας και δεν έχουν αγοραστική αξία για άμεση ανθρώπινη κατανάλωση. Η αλιεία με μηχανότρατα, ενώ αναγνωρίστηκε ως καταστρεπτική πρακτική, παραμένει ένα παραδοσιακό μέσο αλιείας σε πολλά μέρη του κόσμου. Τα παρεμπύπτοντα αλιεύματα (by-catch)

χαρακτηρίζονταν κάποτε ως άχρηστα, αλλά σε ορισμένες περιοχές έχουν κερδίσει μια θέση στην αγορά ως συστατικά ιχθυοτροφών για την υδατοκαλλιέργεια. Ως δυσμενής συνέπεια, η χρήση παρεμπιπτόντων αλιευμάτων στις ιχθυοτροφές ενθαρρύνει την αδιάκριτη αλιεία οποιουδήποτε είδους εξαιτίας της ύπαρξης - μεγάλων ή μικρών - αγορών για το προηγούμενως υποβαθμισμένο αυτό προϊόν.

Η σύλληψη πελαγικών ψαριών και παρεμπιπτόντων αλιευμάτων για παραγωγή ιχθυάλευρου και ιχθυελαίου μπορούν να επηρεάσουν τη βιοποικιλότητα στον ωκεανό. Η υπεραλίευση αυτών των αλιευμάτων θα μπορούσε να προκαλέσει μείωση της παραγωγής παμφάγων ή σαρκοφάγων ειδών που είναι σημαντικά είδη αλιείας για την ανθρώπινη κατανάλωση. Υπάρχει εν γένει περιορισμένη προσφορά ιχθυαλεύρων και ιχθυελαίου, στοιχείο που θα μπορούσε να περιορίσει τη μελλοντική πα-

ραγωγή της υδατοκαλλιέργειας, ειδικά εκείνα τα είδη για τα οποία οι τροφές περιέχουν υψηλό ποσοστό ιχθυάλευρου και ιχθυελαίου.

Η χρήση ψαριών από τη συλλεκτική αλιεία για την παρασκευή ιχθυοτροφών είναι ίσως η σημαντικότερη περιβαλλοντική επίπτωση της υδατοκαλλιέργειας (ή τουλάχιστον η πιο πολυσυζητημένη). Οι περισσότερες άλλες περιβαλλοντικές επιπτώσεις της υδατοκαλλιέργειας είναι εντοπισμένες (αποκαλούμενες επιπτώσεις κοντινών πεδίων – near-field effects), είναι εύκολα κατανοητές και συχνά αναστρέφονται με απλές τροποποιήσεις στη διαχείριση ή την τεχνολογία. Η ανησυχία σχετικά με τη χρήση των ιχθυοτροφών στην υδατοκαλλιέργεια είναι παγκόσμια, με εκτεταμένες συνέπειες (αποτέλεσμα μακράς διάρκειας). Κυρίαρχο μέλημα είναι πως η καλλιέργεια ψαριών και καρκινοειδών κάνοντας χρήση ιχθυοτροφών που περιέχουν υψηλά επίπεδα ιχθυαλεύρων και ιχθυελαίων ουσιαστικά και αθροιστικά δεν αυξάνει την παγκόσμια παραγωγή ιχθύων. Με άλλα λόγια, κάθε κιλό εκτρεφόμενων ψαριών καταναλώνει περισσότερο από ένα κιλό ιχθυοτροφών με τη μορφή ιχθυάλευρου ή ιχθυελαίου.

Η ποσότητα ιχθυοτροφών που απαιτείται για την ανάπτυξη ενός κιλού ιχθύων ή καρκινοειδών στην υδατοκαλλιέργεια ονομάζεται “αναλογία ιχθύων προς ιχθύες” (FIFO, fish in – fish out) και υπολογίζεται από το συντελεστή μετατρεψιμότητας της τροφής (FCR), τα ποσοστά ιχθυάλευρου και ιχθυελαίου στις ιχθυοτροφές και την αναλογία της ποσότητας των ιχθύων που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή τροφής που απαιτείται για την παραγωγή μίας μονάδας ιχθυάλευρου ή ιχθυελαίου (Boyd and McNevin, 2015). Για τα ψάρια που λαμβάνουν σιτηρέσια με υψηλά ποσοστά ιχθυάλευρου και ιχθυελαίου, μπορεί να χρειαστεί να αναπτυχθούν περισσότερα κιλά ιχθύων που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή τροφής για την παραγωγή 1 kg εκτρεφόμενων ψαριών (FIFO >> 1). Για τα ψάρια που λαμβάνουν σιτηρέσια με χαμηλά επίπεδα ιχθυαλεύρων και ιχθυελαίου, χρειάζονται πολύ λιγότερα από 1 kg ιχθύων που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή τροφής για την ανάπτυξη 1 kg εκτρεφόμενων ψαριών (FIFO << 1).

Ένα σημείο ανησυχίας είναι ότι χαρακτηρίζεται ως οικολογικά αναποτελεσματικό όταν τα ψά-

ρια τρέφονται με σιτηρέσια με υψηλά επίπεδα ιχθυαλεύρων και ιχθυελαίου. Φαινομενικά, αυτό συνιστά μια αλήθεια. Αλλά αυτό το επιφανειακό συμπέρασμα παραβλέπει άλλους παράγοντες. Τα ψάρια που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή τροφής, και τα υψηλής αξίας ψάρια και γαρίδες δεν αντιμετωπίζονται ισόβαθμα κοινωνικά ή οικονομικά, οπότε η αναλογία FIFO είναι πολύ απλή για να εκτιμήσει τη βαθύτερη σημασία της χρήσης των ιχθύων που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή τροφής στην υδατοκαλλιέργεια. Τα περισσότερα ψάρια που αλιεύονται για να μετατραπούν σε ιχθυάλευρα και ιχθυέλαια δεν χρησιμοποιούνται συνήθως ως τροφή για τον άνθρωπο και η χρήση των ιχθυαλεύρων και των ιχθυελαίων προσθέτει αξία στις ιχθυοτροφές. Η φαινομενική οικολογική ανεπάρκεια της διαδικασίας είναι επίσης παραπλανητική καθώς οι ανεπάρκειες είναι αναπόφευκτες στη φύση όταν οι οργανισμοί σε ένα τροφικό επίπεδο καταναλώνουν βιομάζα από ένα χαμηλότερο τροφικό επίπεδο. Στην πραγματικότητα, η αποτελεσματικότητα της χρήσης ιχθυοτροφών στην υδατοκαλλιέργεια είναι πολύ ψηλότερη από ότι στη φύση, όπου οι οικολογικές ανεπάρκειες είναι της τάξης του δεκαπλάσιου για κάθε αλλαγή τροφικού επιπέδου.

Η αυξημένη ζήτηση για ιχθυάλευρα και ιχθυέλαιο προκάλεσε δραματικές αυξήσεις των τιμών από το 2000. Το αυξημένο κόστος σε συνδυασμό με την κριτική για τη χρήση αλιευτικών προϊόντων στις ιχθυοτροφές, έχει προωθήσει προσπάθειες για τη βελτίωση της διατροφής και την ανάπτυξη διατροφικών υποκατάστατων των αλιευτικών προϊόντων. Ωστόσο σημαντικό περιθώριο υπάρχει για μείωση των ιχθυαλεύρων και των ιχθυελαίων στις ιχθυοτροφές, ενώ ειδικότερα έχει επιτευχθεί πρόοδος στην αντικατάσταση του ιχθυαλεύρου από ελαιούχα σπέρματα, αλλά όχι αντίστοιχη πρόοδος στην αντικατάσταση του ιχθυελαίου (Naylor et al., 2009).

Μεγάλες μειώσεις στη χρήση αλιευτικών προϊόντων στις ιχθυοτροφές θα μπορούσαν να επιτευχθούν με εκτροφή υδρόβιων ζώων χαμηλής διατροφικής εξάρτησης από τα αλιευτικά προϊόντα. Κάτι τέτοιο θα απαιτούσε μετατοπίσεις των κοινωνικών και οικονομικών αξιών που ενδεχομένως θα καταστούν απαραίτητες, αλλά είναι δύσκολο να προβλεφθούν επί του παρόντος. Η εκτρο-

φή σαρκοφάγων ειδών με τη χρήση ιχθυοτροφών που περιέχουν υψηλά ποσοστά ιχθυάλευρου και ιχθυελαίου βασίζεται στη ζήτηση των καταναλωτών για τα εν λόγω προϊόντα. Ο ρόλος της κοινωνίας στη διαμόρφωση της παγκόσμιας υδατοκαλλιέργειας δεν πρέπει να υποτιμηθεί. Υπό την προϋπόθεση ότι οι καταναλωτές είναι πρόθυμοι να πληρώσουν για προϊόντα με υψηλά ποσοστά χρήσης των πόρων, τα οποία μπορεί να είναι κερδοφόρα, οι υδατοκαλλιεργητές θα συνεχίσουν να τα εκτρέφουν. Η γενική χρήση των αλιευτικών προϊόντων στις ιχθυοτροφές θα μπορούσε να μειωθεί δραματικά αν αλλάξουν οι κοινωνικές αξίες (ή η παραγωγική οικονομία) ευνοώντας τα "ψάρια χαμηλού τροφικού επιπέδου", όπως οι κυπρίνοι και τα γατόψαρα που μπορούν να εκτραφούν με ιχθυοτροφές με λίγο ή καθόλου ιχθυάλευρο ή ιχθυέλαιο.

5.7 Χημικές Ουσίες

Οι χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται ευρύτατα στην υδατοκαλλιέργεια είναι τα λιπάσματα και τα ασβεστούχα υλικά. Επιπλέον όμως χρησιμοποιείται και μια ευρεία ποικιλία άλλων χημικών ουσιών συμπεριλαμβανομένων οξειδωτικών, πηκτικών, ωσμωρυθμιστών, αλγοκτόνων, ζιζανιοκτόνων, τοξικών ουσιών για τα ψάρια, αντιρρυπαντικών, απολυμαντικών, αναισθητικών, αντιβιοτικών, εντομοκτόνων και ορμονών. Πολλές από αυτές τις χημικές ουσίες μπορεί να είναι τοξικές ή να έχουν άλλες αρνητικές επιπτώσεις στο βιότοπο όταν απελευθερώνονται σε φυσικά υδατικά συστήματα. Ορισμένες χημικές ουσίες θέτουν σε κίνδυνο τους εργαζόμενους στην καλλιέργεια λόγω τοξικότητας τους ή λειτουργούν ως παράγοντες κινδύνου πυρκαγιάς ή έκρηξης. Ορισμένες χημικές ουσίες μπορεί να μολύνουν τα προϊόντα υδατοκαλλιέργειας και να αποτελέσουν κίνδυνο για την υγεία των καταναλωτών. Ωστόσο πολλές χημικές ουσίες είναι απαραίτητες για την αποδοτική υδατοκαλλιεργητική παραγωγή και οι περισσότερες από αυτές είναι ασφαλείς υπό την προϋπόθεση ότι αποθηκεύονται, χρησιμοποιούνται και διατίθενται καταλλήλως. Φυσικά, τα χημικά θα πρέπει να χρησιμοποιούνται μόνο όταν είναι πραγματικά απαραίτητα, ενώ ορισμένα από αυτά δεν είναι

αποτελεσματικά για το σκοπό τους ή απαγορεύονται λόγω γνωστών κινδύνων για το περιβάλλον, την ασφάλεια των εργαζομένων και των τροφίμων.

Τα ασβεστούχα υλικά αποτελούνται πρωτίστως από γεωργικό ασβεστόλιθο και ασβέστη που προκύπτει από την καύση του ασβεστόλιθου. Ο γεωργικός ασβεστόλιθος είναι ανθρακικό ασβέστιο ή εναλλακτικά ένα λεπτόκοκκο μείγμα ανθρακικού ασβεστίου και μαγνησίου. Ο καμένος ασβέστης παράγεται με την καύση ασβεστόλιθου σε υψηλή θερμοκρασία σε κάμινο για να απομακρύνει το διοξείδιο του άνθρακα. Το προϊόν αποτελείται από οξείδιο ασβεστίου και μαγνησίου. Ο ενυδατωμένος ασβέστης παράγεται προσθέτοντας νερό σε καμένο ασβέστη.

Τα ασβεστολιθικά υλικά χρησιμοποιούνται κυρίως για να εξουδετερώσουν την οξύτητα στο έδαφος και το νερό στο βυθό της λιμνοδεξαμενής. Η ασβέστωση αυξάνει επίσης τη συνολική αλκαλικότητα και τη συνολική συγκέντρωση της σκληρότητας στο νερό. Δεν υπάρχει ιδιαίτερος περιβαλλοντικός κίνδυνος που να συνδέεται με τη χρήση γεωργικού ασβεστόλιθου. Ο καμένος και ενυδατωμένος ασβέστης είναι καυστικός και οι εργαζόμενοι πρέπει να φορούν γάντια και υλικά προστασίας των ματιών.

Οι Boyd and McNevin (2015) υπολόγισαν τη χρήση ασβεστολιθικών υλικών στην υδατοκαλλιέργεια σε περίπου 5,5 τόνους/έτος, μόλις περίπου 2,75% της αντίστοιχης ποσότητας που χρησιμοποιείται στη γεωργία. Υπάρχουν άφθονες προμήθειες ασβεστόλιθου σε πολλές χώρες. Ωστόσο, ο ασβεστόλιθος λατομείου μπορεί να έχει δυσμενείς επιπτώσεις στο περιβάλλον και την παραγωγή ασβέστη ενώ η αντίδραση ασβεστόλιθου και ασβέστη με την οξύτητα συμβάλλει στις παγκόσμιες εκπομπές άνθρακα.

Τα κύρια χημικά λιπάσματα που χρησιμοποιούνται στην υδατοκαλλιέργεια είναι η ουρία και το τριπλό υπερφωσφορικό, όπως επίσης και πολλά άλλα λιπάσματα που χρησιμοποιούνται σε μικρότερο βαθμό. Δε συνίσταται ιδιαίτερος κίνδυνος για την ασφάλεια των εργαζομένων και για την ανθρώπινη υγεία από τη χρήση λιπασμάτων. Ωστόσο, το άζωτο και ο φωσφόρος από λιπάσματα που προστίθενται στις λιμνοδεξαμενές για την αύξηση της πρωτογενούς παραγωγικότητας και την προώθηση της μεγαλύτερης παραγωγής της υδα-

τοκαλλιέργειας μπορούν να εισέλθουν σε φυσικά υδατικά συστήματα και να συμβάλουν στον ευτροφισμό.

Η χρήση λιπασμάτων στην υδατοκαλλιέργεια υπολογίστηκε σε 207.000 τόνους αζώτου (N) και 103.000 τόνους φωσφόρου (P) (Boyd and McNevin, 2015). Αυτό αντιπροσωπεύει μόνο το 0,20% και το 0,27% της παγκόσμιας χρήσης N και P σε λίπασμα, αντίστοιχα. Υπάρχουν περιορισμοί στη διαθεσιμότητα του απατίτη, του μεταλλεύματος από το οποίο παράγονται τα φωσφορικά λιπάσματα, αλλά και στο φυσικό αέριο που είναι απαραίτητο για τη μετατροπή του ατμοσφαιρικού αζώτου σε αμμωνία για την παραγωγή αζωτούχων λιπασμάτων. Επιπλέον, η παραγωγή λιπασμάτων έχει υψηλή απαίτηση ενέργειας - 57,46 GJ/τόνο αζώτου και 7,03 GJ/τόνο φωσφόρου σε λίπασμα. Συνεπώς, η διατήρηση των λιπασμάτων θα πρέπει να εφαρμόζεται σε όλους τους τύπους παραγωγής τροφίμων, συμπεριλαμβανομένης της υδατοκαλλιέργειας.

Οι οργανικές ύλες, κυρίως η ζωική κοπριά, τα χόρτα και ορισμένα υποπροϊόντα επεξεργασίας φυτών, χρησιμοποιούνται επίσης ως λιπάσματα στην υδατοκαλλιέργεια. Η ανακύκλωση των θρεπτικών ουσιών από τα γεωργικά απόβλητα μέσω χρησιμοποίησής τους ως λιπάσματα των λιμνοδεξαμενών αποτελεί μια σοφή χρήση πόρων εξοικονομώντας χημικά λιπάσματα και εκχυλίσματα αξίας από τα απόβλητα. Φυσικά, οι εκροές λυμάτων από τις λιμνοδεξαμενές που έχουν λιπανθεί με οργανική ύλη θα εμπλουτιστούν επιπλέον με άζωτο και φωσφόρο, περίπου στον ίδιο βαθμό, με τις εκροές λυμάτων που προέρχονται από λιμνοδεξαμενές επεξεργασμένες με χημικά λιπάσματα.

Ποικίλα αντιβιοτικά χρησιμοποιούνται για την αντιμετώπιση διαφόρων ασθενειών των εκτρεφόμενων ειδών στην υδατοκαλλιέργεια (Πίνακας 5.6). Τα περισσότερα από αυτά τα αντιβιοτικά χρησιμοποιούνται επίσης στην ιατρική ή στην κτηνιατρική και μόνο λίγα αναπτύχθηκαν ειδικά για την υδατοκαλλιέργεια. Η πιο εκτεταμένη χρήση αντιβιοτικών λαμβάνει χώρα σε είδη υψηλής αξίας, όπως η ιριδίζουσα πέστροφα, ο σολομός και η γαρίδα, αλλά χρησιμοποιούνται επίσης στην καλλιέργεια ειδών Pangasius (Ασιατικό γατόψαρο) στο Βιετνάμ, γατόψαρων *Ictalurus punctatus* στις ΗΠΑ και σε μερικά είδη ψαριών σε άλλες χώρες.

Πίνακας 5.6 Αντιβιοτικά που χρησιμοποιούνται στην παγκόσμια υδατοκαλλιέργεια. Με αστερίσκο σημειώνονται εκείνα που χρησιμοποιούνται επίσης στην ιατρική. Η χρήση αντιβιοτικών ρυθμίζεται βάσει κανονισμών στις περισσότερες χώρες ενώ ο αριθμός των αντιβιοτικών που χρησιμοποιούνται στην κάθε χώρα είναι πολύ μικρότερος από αυτόν που δείχνει αυτή η λίστα.

Τάξη	Χημική ένωση
Αμινογλυκοσίδες	Νεομυκίνη *
	Γενταμυκίνη *
	Στρεπτομυκίνη (παρωχημένη)
β-Λακτάμες. Πενικιλίνες	Αμοξικιλίνη *
	Αμπικιλίνη *
Φαινόλες	Χλωραμφενικόλη
	Φλοροφενικόλη
Φθοροκινολόνες	Σιπροφλοξασίνη *
	Ενροφλοξασίνη *
	Κινολόνη *
Μακρολίδες	Ερυθρομυκίνη *
Μη φθοριωμένες γκινολόνες	Οξολινικό οξύ
	Σαραφλοξίνη
Σουλφοναμίδια	Σουλφαμεθαζίνη
	Σουλφαμεραζίνη
	Σουλφαδιμεθοξίνη
Τριμεθοπρίμη	Τριμεθοπρίμη *
Τετρακυκλίνες	Χλωροτετρακυκλίνη
	Οξυτετρακυκλίνη *
	Τετρακυκλίνη *

Υπάρχουν λίγες αξιόπιστες πληροφορίες σχετικά με την παγκόσμια χρήση αντιβιοτικών. Οι χώρες της ΕΕ χρησιμοποίησαν 13.288 τόνους το 1999 ενώ στις ΗΠΑ το 2006 χρησιμοποιήθηκαν 16.200 τόνοι με τη μεγαλύτερη χρήση να είναι για την ιατρική στην ΕΕ και για την κτηνοτροφία στις ΗΠΑ. Έτσι, η παγκόσμια χρήση είναι πιθανό να είναι τουλάχιστον διπλάσια από τη συνδυασμένη χρήση στην ΕΕ και τις ΗΠΑ. Είναι επίσης δύσκολο να βρεθούν στοιχεία σχετικά με τις ποσότητες αντιβιοτικών που χρησιμοποιούνται στην υδατοκαλλιέργεια. Ωστόσο, η συνολική χρήση στην υδατοκαλλιέργεια των ΗΠΑ στα τέλη της δεκαετίας του 1990 υπολογίστηκε σε 135.000 kg/έτος ενώ περίπου 385.600 kg χρησιμοποιήθηκαν στη

καλλιέργεια σολομού στη Χιλή το 2007. Στη Νορβηγία από την άλλη μεριά, όπου η παραγωγή σολομού ήταν πάνω από το διπλάσιο της παραγωγής της Χιλής του 2007, χρησιμοποιήθηκαν μόνο 649 kg αντιβιοτικών.

Οι συνηθισμένες μέθοδοι χορήγησης αντιβιοτικών στην υδατοκαλλιέργεια είναι μέσω φαρμακευτικών ιχθυοτροφών. Το 70% έως το 80% των αντιβιοτικών στη φαρμακευτική ιχθυοτροφή εισέρχονται στο νερό μέσω της έκκρισης των ούρων και της μη καταναλωθείσας τροφής. Το αντιβιοτικό παραμένει στο νερό μέχρι να αποικοδομηθεί από φυσικές διεργασίες και να απορροφηθεί από ιζήματα. Στα φυσικά νερά, τα αντιβιοτικά μπορεί να είναι τοξικά για μη-στοχευμένα βακτήρια, φύκη και μικρο-καρκινοειδή. Ωστόσο, η μεγαλύτερη ανησυχία είναι ότι η επαναλαμβανόμενη έκθεση μικροοργανισμών σε αντιβιοτικά μπορεί να οδηγήσει στην επιλογή και επικράτηση των μεταλλαγμένων ανθεκτικών στα αντιβιοτικά στελεχών των βακτηρίων. Η ανθεκτικότητα μπορεί να καταστήσει ένα αντιβιοτικό άχρηστο για τον επιδιωκόμενο σκοπό του ελέγχου των ασθενειών της υδατοκαλλιέργειας. Μια ευρύτερη ανησυχία είναι επίσης η οριζόντια μετάδοση της ανθεκτικότητας στα αντιβιοτικά από βακτήρια σε υδατοκαλλιέργειας σε βακτήρια που είναι υπεύθυνα για ανθρώπινες ασθένειες.

Μολονότι η υδατοκαλλιέργεια δεν είναι σημαντικός χρήστης αντιβιοτικών, η παραγωγή της τείνει να βρίσκεται συγκεντρωμένη σε μικρές περιοχές. Έτσι, ο έλεγχος των ασθενειών θα μπορούσε να οδηγήσει σε τοπικά μεγάλες και συχνές εισροές αντιβιοτικών. Αυτές οι περιοχές θα μπορούσαν ενδεχομένως να καταστούν “θερμά σημεία - hot spots” για την ανάπτυξη μικροβιακής ανθεκτικότητας στα αντιβιοτικά που μέσω οριζόντιας μετάδοσης θα μπορούσε να οδηγήσει σε προβλήματα για την ανθρώπινη υγεία. Τα περισσότερα αντιβιοτικά που έχουν σχέση με την ασφάλεια των τροφίμων έχουν απαγορευτεί από τις κυβερνήσεις για χρήση στην υδατοκαλλιέργεια. Παρ’ όλα αυτά, αυτές οι ενώσεις χρησιμοποιούνται ακόμα από μερικούς παραγωγούς και οι χώρες εισαγωγής πραγματοποιούν αναλύσεις υπολειμματικότητας των προϊόντων υδατοκαλλιέργειας σε ορισμένα αντιβιοτικά:

- η χρήση αντιβιοτικών θα πρέπει να αποτελεί

έσχατη λύση

- τα απαγορευμένα αντιβιοτικά δεν πρέπει να εφαρμόζονται
- οι θεραπείες με αντιβιοτικά πρέπει να ακολουθούν τις συστάσεις στις ετικέτες προϊόντων.

Οι εναλλακτικές προσεγγίσεις για τη διαχείριση της υγείας των υδρόβιων ζωικών οργανισμών, οι οποίες συχνά είναι πιο αποτελεσματικές από τη χρήση αντιβιοτικών, περιλαμβάνουν την ανάπτυξη και χρήση εμβολίων (Κεφάλαιο 12) και τη βελτίωση της βιοασφάλειας. Τα μέτρα βιοασφάλειας περιλαμβάνουν:

- την παροχή ζωικών οργανισμών ελεύθερων ασθενειών κατά την αποθεματοποίηση
- την πρόληψη, στο μέτρο του δυνατού, των παθογόνων από το να εισέρχονται από εξωτερικές πηγές
- τη διατήρηση της καλής ποιότητας του νερού για να αποφευχθούν οι βλάβες που σχετίζονται με την ανοσοποιητική λειτουργία των ζώων και την ευαισθησία σε ασθένειες.

Τα παρασιτοκτόνα, τα μυκητοκτόνα και τα απολυμαντικά περιλαμβάνουν μια λίστα χημικών ουσιών που ξεφεύγουν από τα πλαίσια του παρόντος κεφαλαίου. Οι περισσότερες από αυτές τις χημικές ουσίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν με ασφάλεια, αλλά σχεδόν όλες μπορεί να καταστούν τοξικές για την υδρόβια ζωή, εάν χρησιμοποιηθούν σε υπερβολική συγκέντρωση ή έχουν περάσει κατά λάθος σε υδάτινα σώματα. Μερικές ενώσεις από αυτές αξίζουν να αναφερθούν εξαιτίας του υψηλού κινδύνου ή ευρείας χρήσης.

Το πράσινο του μαλαχίτη (ένα παράγωγο του τριαρυλομεθανίου) μερικές φορές χρησιμοποιείται για τον έλεγχο πρωτοζωικών και μυκητιακών λοιμώξεων. Αυτή η ένωση είναι εξαιρετικά τοξική για τα υδρόβια ζώα καθώς συσσωρεύεται στους ιστούς των ζώων. Έτσι, το πράσινο του μαλαχίτη αποτελεί κίνδυνο για την ασφάλεια των τροφίμων για τους καταναλωτές επηρεάζοντας τα νεφρά, το ήπαρ, το σπλήνα, την καρδιά, τα μάτια, τους πνεύμονες και τα οστά των σπονδυλωτών. Επιπλέον, το πράσινο του μαλαχίτη μπορεί να επηρεάσει αρνητικά το ανοσοποιητικό και το αναπαραγωγικό σύστημα ενώ έχει γονιδιατοξικές και καρκινογόνες ιδιότητες.

Ποικίλες χημικές ουσίες χρησιμοποιούνται για την απολύμανση των λιμνοδεξαμενών πριν από την εισαγωγή των ψαριών ή την προσθήκη νερού για την αναπλήρωση των απωλειών λόγω των διαρροών και της εξάτμισης. Φυσικά, τα εντομοκτόνα (ειδικά εκείνα με υπολειμματική δράση) δεν θα πρέπει να εφαρμόζονται για να σκοτώσουν εστίες ασπόνδυλων ξενιστών φορέων ασθενειών. Επιπλέον, υπάρχουν ανεπαρκείς πληροφορίες για πολλές από τις άλλες ενώσεις που χρησιμοποιούνται ως απολυμαντικά, αναφορικά με την ασφάλεια των εργαζομένων, το περιβάλλον και τους καταναλωτές. Οι ενώσεις χλωρίου έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως για την υγιεινή σε άλλες περιπτώσεις, π.χ. σε καλλιέργειες δεξαμενών, ενώ μπορούν να χρησιμοποιηθούν με ασφάλεια ως απολυμαντικά στην υδατοκαλλιέργεια με κατάλληλες όμως προφυλάξεις.

Οι ορμόνες χρησιμοποιούνται ευρέως στην αναπαραγωγή των ψαριών, ενώ ειδικότερα η χρήση της 17-μεθυλοτεστοστερόνης (MT) για αναστροφή του φύλου στην τιλάπια, όπως επίσης και σε άλλα είδη, αξίζει ιδιαίτερης προσοχής. Εντούτοις μεγάλη ανησυχία υπάρχει για τις επιπτώσεις στα ψάρια και άλλους υδρόβιους οργανισμούς υδάτινων σωμάτων που λαμβάνουν εκροές από λίμνες όπου έχει χορηγηθεί MT. Επιπλέον, οι εργαζόμενοι σε εγκαταστάσεις υδατοκαλλιέργειας είναι δυνατόν να εκτεθούν σε MT ενώ επίσης ερώτημα παραμένει αν μπορεί να υπάρχουν υπολείμματα MT στα προϊόντα υδατοκαλλιέργειας. Οι περισσότερες έρευνες για τη MT δείχνουν ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί εφόσον τα απόβλητα που περιέχουν MT κρατούνται για δύο εβδομάδες πριν από την απόρριψη. Επίσης, υπάρχει μικρός κίνδυνος από την κατανάλωση ιστών ψαριών εμπορεύσιμου μεγέθους στα οποία χορηγήθηκε MT στο στάδιο των νεαρών ιχθυδίων. Παρόλα αυτά, εξακολουθεί να υπάρχει μεγάλη ανησυχία για την ασφάλεια της χρήσης MT στην υδατοκαλλιέργεια.

Τα οξειδωτικά που χρησιμοποιούνται στην υδατοκαλλιέργεια περιλαμβάνουν το υπερμαγγανικό κάλιο, τις ενώσεις υπεροξειδίου και τα νιτρικά ιόντα. Ο μεγαλύτερος κίνδυνος που σχετίζεται με αυτά τα προϊόντα είναι ενδεχομένως μια τυχαία διαρροή με αποτέλεσμα υψηλή τοπική συγκέντρωση που θα μπορούσε να καταστεί θανατηφόρα για υδρόβιους οργανισμούς. Τα νιτρικά λιπάσματα

έχουν μεγάλο δυναμικό έκρηξης και ως εκ τούτου πρέπει να αποθηκεύονται ξεχωριστά από τα προϊόντα ιχθυελαίου και να μην εκτίθενται σε σπινθήρες ή γυμνή φλόγα. Το θειώδες νάτριο είναι ένας αναγωγικός παράγοντας που χρησιμοποιείται ως πρόσθετο μετά τη συγκομιδή των γαρίδων ώστε να αποτρέψει ορισμένα ένζυμα από το να σχηματίσουν αποχρωματισμούς στο κέλυφος της γαρίδας. Τα χρησιμοποιημένα διαλύματα θειώδους νατρίου πρέπει να κρατούνται μέχρις ότου το θείο να οξειδωθεί πλήρως και στη συνέχεια να επεξεργαστούν με ασβέστη ώστε να αυξηθεί το pH τους πριν από την απόρριψη τους σε φυσικούς υδάτινους αποδέκτες.

Το πιο συνηθισμένο αλγοκτόνο που χρησιμοποιείται σε λιμνοδεξαμενές υδατοκαλλιέργειας είναι ο θειικός χαλκός. Η ένωση αυτή έχει ιστορικό ασφαλούς χρήσης σε δημοτικές λίμνες και υδατοσυλλογές παροχής πόσιμου νερού για τον έλεγχο των φυκών. Είναι ασφαλής για χρήση σε λιμνοδεξαμενές σε συγκέντρωση ίση με 0,01 φορές της ολικής αλκαλικότητας. Παρά την ατράνταχτη απόδειξη ασφάλειας του θειικού χαλκού όταν εφαρμόζεται σύμφωνα με τις οδηγίες στην ετικέτα του προϊόντος, ορισμένοι εξακολουθούν να προτιμούν να μην το χρησιμοποιείται στην υδατοκαλλιέργεια.

Αρκετά υδρόβια ζιζανιοκτόνα χρησιμοποιούνται στην υδατοκαλλιέργεια (**Πίνακας 5.7**). Εάν τα ποσοστά χρήσης και ο εργαζόμενος ακολουθούν τις προφυλάξεις περιβαλλοντικής ασφάλειας που αναγράφονται στις ετικέτες των ζιζανιοκτόνων, τότε συνιστούν προϊόντα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν με ασφάλεια. Οι Boyd and McNevin (2015) κατέληξαν σε παρόμοια άποψη για τη χρήση αναισθητικών ψαριών, τοξικών ουσιών ψαριών, πηκτικών παραγόντων, αντιρρυπαντικών, παραγόντων ωσμωρύθμισης, πρόσθετων ιχθυοτροφών, βακτηριακών καλλιεργειών και των παραγώγων τους, καθώς και των καυσίμων και λιπαντικών που χρησιμοποιούνται στην υδατοκαλλιέργεια.

5.8 Ρύπανση των Νερών

Στους τύπους υδατοκαλλιέργειας που χορηγούνται ιχθυοτροφές, μόνο το 20 έως 40% του αζώτου και του φωσφόρου που περιλαμβάνονται σε αυτές

Πίνακας 5.7 Υδρόβια ζιζανιοκτόνα που χρησιμοποιούνται στην υδατοκαλλιέργεια. Η χρήση ζιζανιοκτόνων ρυθμίζεται βάσει κανονισμών στις περισσότερες χώρες και τα είδη ζιζανιοκτόνων που χρησιμοποιούνται σε μια συγκεκριμένη χώρα μπορεί να είναι λιγότερα από αυτά που δείχνει ο κατάλογος.

Κοινή Ονομασία	Χημική φόρμουλα
Θειικός χαλκός	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
Χαλκός με χηλικές ενώσεις	2-αμινοαιθανόλη χαλκού και άλλα
Δικουάτης	6,7-διϋδροδιπυριδο [1,2-α: 2', 1'-c] πυραζινιδίλιο διβρωμίδιο
Ενδοξοεξυδροφθαλικο οξύ	(7-οξαδικυκλο [2.2.1] επτάνιο-2,3-δικαρβοξυλικό οξύ)
Φλουριδόνη	1-μεθυλ-3-φαινυλ-5-3- (τριφθορομεθυλ) φαινυλο-4H-πυριδινόνης
Γλυφοζάτη	N- (φωσφονομεθυλ) γλυκίνη
Σιμαζίνη	6-χλωρο-N, N'-δισουλ-1,3,5-τριαζινο-2,4-διαμίνη
Διαχλωρικό άλας του παρακουατ	1, 1'-διμεθυλ-4,4'-διπυριδινίου διχλωριδίου
2, 4-D	2,4-διχλωροφαινοξυοξικό οξύ

ανακτώνται στη βιομάζα που συγκομίζεται. Παρόμοια ανάκτηση του αζώτου παρατηρείται στην καλλιέργεια γαρίδας. Όμως, στη γαρίδα δεν περιλαμβάνεται περισσότερο από 10% φωσφόρου στις ζωτροφές, επειδή οι γαρίδες δεν έχουν στον οργανισμό τους τόσο φωσφόρο όσο τα ψάρια, τα οστά των οποίων αποτελούνται από φωσφορικό ασβέστιο. Η ανάκτηση του άνθρακα των ζωτροφών κυμαίνεται μεταξύ 10 και 20% τόσο στις γαρίδες όσο και στα ψάρια. Στις λιμνοδεξαμενές που έχουν λιπανθεί, η παραγωγή εξαρτάται από φυσικούς οργανισμούς που χρησιμεύουν ως τροφή και η ανάκτηση του αζώτου και του φωσφόρου που χρησιμοποιούνται στις λιμνοδεξαμενές είναι συνήθως μικρότερη από την υδατοκαλλιέργεια όπου χορηγούνται ιχθυοτροφές. Ο οργανικός άνθρακας στις λιμνοδεξαμενές που έχουν λιπανθεί προέρχεται κυρίως από τη φωτοσύνθεση ενώ δεν υπάρχουν επαρκείς πληροφορίες σχετικά με τους ρυθμούς πρωτογενούς παραγωγής στις λιμνοδεξαμενές υδατοκαλλιέργειας ώστε να καταστεί δυνατή η αξιόπιστη αξιολόγηση της τυπικής αποτελεσματικότητας μεταφοράς άνθρακα από τη φωτοσύνθεση έως τη βιομάζα συγκομιδής. Ωστόσο, μερικές μελέτες έχουν τοποθετήσει την απόδοση σε λιγότερο από 5%.

Το μερίδιο των εισροών θρεπτικών στοιχείων

στην υδατοκαλλιέργεια που δεν ανακτάται στη βιομάζα κατά τη συγκομιδή αντιπροσωπεύει θρεπτικά συστατικά τα οποία εισέρχονται στο νερό του συστήματος καλλιέργειας και μπορούν δυνητικά να αποτελέσουν ρύπους σε φυσικά νερά όπου καταλήγουν οι εκροές από μονάδες υδατοκαλλιέργειας. Μόνο ένα μέρος των θρεπτικών ουσιών που προστίθενται σε λιμνοδεξαμενές ως λιπάσματα ανακτάται στη βιομάζα συγκομιδής, λόγω όμως της σχετικά χαμηλής παραγωγής των λιμνοδεξαμενών που έχουν λιπανθεί, το δυναμικό ρύπανσης δεν είναι μεγάλο. Πολύ υψηλότερη παραγωγή επιτυγχάνεται στην υδατοκαλλιέργεια με χορήγηση ιχθυοτροφών και το μεγαλύτερο μέρος της ανησυχίας σχετικά με τη ρύπανση των νερών από την υδατοκαλλιέργεια απευθύνεται στην κατηγορία αυτή.

Δεδομένα από καλλιέργεια τιλάπιας σε λιμνοδεξαμενές χρησιμοποιήθηκαν για να εκτιμηθεί η ανάκτηση προστιθέμενου αζώτου και φωσφόρου σε λιμνοδεξαμενές που δέχονται λίπασμα ή ιχθυοτροφές όπως επίσης και η ανάκτηση άνθρακα τροφοδοσίας σε λιμνοδεξαμενές που χορηγούνται ιχθυοτροφές (Πίνακας 5.8). Η διαφορά μεταξύ της εισροής ενός θρεπτικού συστατικού ως λίπασμα ή ζωτροφή και της εκροής αυτής της θρεπτικής ουσίας στη βιομάζα κατά τη συγκομιδή αντι-

Πίνακας 5.8 Ανάκτηση άνθρακα, αζώτου και φωσφόρου που εφαρμόζεται σε λιμνοδεξαμενές εκτροφής τιλάπιας κατά τη συγκομιδή.

	Χημικά λιπάσματα ^α	Κοπριά ^β	Τροφές ^γ
	Αζωτο		
Εισροές (kg/εκτάριο)	108,0	198,7	500
Απομάκρυνση σε ψάρια (kg/εκτάριο)	26,0	45,3	165
Ανάκτηση (%)	24,1	22,8	33,0
	Φωσφόρος		
Εισροές (kg/εκτάριο)	47,2	141,9	130
Απομάκρυνση σε ψάρια (kg/εκτάριο)	7,6	13,2	48
Ανάκτηση (%)	16,1	9,3	36,9
	Ανθρακας		
Εισροές (kg/εκτάριο)	-	-	4270
Απομάκρυνση σε ψάρια (kg/εκτάριο)	-	-	726
Ανάκτηση (%)	-	-	17,0

^αΔώδεκα εφαρμογές, η καθεμία των 45 kg/εκτάριο λιπάσματος τύπου 20-20-5, 947 kg/εκτάριο τιλάπιας (12,1% C, 2,75% N, 0,8% P)

^βΣυνολικά 28.380 kg/εκτάριο (0,7% N και 0,5% P), 1646 kg/εκτάριο τιλάπιας

^γ10.000 kg/εκτάριο ιχθυοτροφής (42,7% C, 5,0% N, 1,3% P), 6000 kg/εκτάριο τιλάπιας

στοιχεί στην ποσότητα που εισέρχεται στο σύστημα καλλιέργειας. Αυτή η διαφορά αποτελεί το φορτίο συστήματος (system load) ενός στοιχείου. Για παράδειγμα, στη συνέχεια υπολογίζεται το φορτίο συστήματος του αζώτου για την παραγωγή τιλάπιας με χορήγηση τροφής. Στο παράδειγμα (**Πίνακας 5.8**), ο συντελεστής μετατρεψιμότητας είναι $FCR = 1,67$, η τροφή περιέχει 5,9% N και η ζωντανή τιλάπια περιείχε 2,75% N. Έτσι, χρησιμοποιήθηκαν 1670 kg τροφής που περιείχαν 83,5 kg N για να παράγουν 1000 kg τιλάπιας που περιείχε 27,5 kg N. Το φορτίο συστήματος για το N ήταν 56 kg N/τόνο τιλάπιας. Οι υπολογισμοί αυτοί μπορούν να συνδυαστούν στην ακόλουθη εξίσωση για την εκτίμηση του φορτίου συστήματος:

$$\text{Φορτίο συστήματος (kg/τόνο)} = [(F_i \times FCR) - B_i] \times 1000$$

όπου i = ένα συγκεκριμένο στοιχείο, F = δεκαδικό κλάσμα του στοιχείου i στην τροφή, B_i = το δεκαδικό κλάσμα του στοιχείου i στη συγκομισθεί-

σα βιομάζα, FCR = συντελεστής μετατρεψιμότητας τροφής.

Τα φορτία συστήματος για τα στοιχεία παρουσιάζουν διακύμανση μεταξύ των ειδών. Για παράδειγμα, το φορτίο συστήματος για την τιλάπια ήταν 56 kg N/τόνο για συνήθεις τιμές συντελεστή μετατρεψιμότητας (FCR). Για το γατόψαρο τυπικής μετατρεψιμότητας (FCR) που κυμαίνεται στο 2,0, το φορτίο N θα ήταν περίπου 72 kg N/τόνο. Η τιμή FCR έχει τη μεγαλύτερη επίδραση στα φορτία συστήματος. Στο παράδειγμα της τιλάπιας, με $FCR = 2,0$ το φορτίο του συστήματος αζώτου θα αυξηθεί σε 72,5 kg/τόνο. Η συγκέντρωση του αζώτου στην ιχθυοτροφή επηρεάζει επίσης το φορτίο συστήματος. Στο παράδειγμα της τιλάπιας, μια ιχθυοτροφή με 5% N είχε φορτίο συστήματος 56 kg/τόνο, αλλά εάν η ιχθυοτροφή περιείχε 5,5% N, το φορτίο N θα ήταν 64 kg/τόνο με ίδια FCR . Η συγκέντρωση στοιχείων στη βιομάζα κατά τη συγκομιδή ενός είδους είναι συνήθως αρκετά σταθερή και δεν επηρεάζει αισθητά το φορτίο συστήματος. Τα φορτία συστήματος για τα κύρια είδη είναι συ-

νήθως περίπου 60 έως 90 kg N/τόνο, 12 έως 22 kg P/τόνο και 400 έως 900 kg C/τόνο σε συνήθεις τιμές FCR για τα κοινά είδη.

Η τύχη των θρεπτικών ουσιών στις ιχθυοτροφές στα συστήματα υδατοκαλλιέργειας εξετάζεται στο Κεφάλαιο 4. Εν ολίγοις, ένα μεγάλο μέρος των αποβλήτων από τη σίτιση αφομοιώνεται στις λιμνοδεξαμενές, ειδικά σε εκείνες που δεν χαρακτηρίζονται από αξιοσημείωτη εναλλαγή νερού για να ξεπλύνουν τα θρεπτικά συστατικά. Με άλλα λόγια, μόνο μια μικρή αναλογία του συνολικού φορτίου θρεπτικών ουσιών από τις ιχθυοτροφές απορρίπτεται τελικά από τις λιμνοδεξαμενές. Σε καναλόμορφες αλλά και άλλων τύπων δεξαμενές, μεγάλο μέρος των στερεών αποβλήτων μπορεί να απομακρυνθεί από το σύστημα καλλιέργειας, ενώ στην καλλιέργεια σε κλωβούς απορρίπτεται ολόκληρο το φορτίο συστήματος στην υδάτινη μάζα που περιέχει τους κλωβούς. Κατά συνέπεια, με εξαίρεση την καλλιέργεια σε κλωβούς, το φορτίο ενός στοιχείου που απελευθερώθηκε στον φυσικό αποδέκτη (μάζα νερού) είναι συνήθως μικρότερο από το φορτίο εισόδου – και μπορεί να είναι πολύ μικρότερο σε σωστά διαχειριζόμενες λιμνοδεξαμενές και καναλόμορφες δεξαμενές.

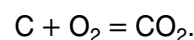
Όπως αναλύεται στο Κεφάλαιο 4, η χρήση ιχθυοτροφών στην υδατοκαλλιέργεια αποτελεί πηγή οξύτητας επειδή κάθε γραμμομόριο αμμωνιακού N που έχει υποστεί οξείδωση σε νιτρικό N παράγει δύο γραμμομόρια H^+ . Το δυναμικό αύξησης της οξύτητας (acidification potential) που προκύπτει από την παροχή τροφής μπορεί να υπολογιστεί με την ακόλουθη εξίσωση:

$$\begin{aligned} &\text{Παραγωγή Δυναμικού αύξησης της οξύτητας} \\ &\quad (\text{kg CaCO}_3/\text{τόνο}) \\ &= [(N_f \times FCR) - N_B] \times 7,14 \times 1000 \end{aligned}$$

όπου N_f και N_B = δεκαδικά κλάσματα του N σε βιομάζα τροφής και συγκομιδής αντίστοιχα, 7,14 = ισοδύναμο οξύτητας CaCO_3 από νιτροποίηση 1 kg αμμωνιακού N, 1000 = kg/τόνο.

Στο παράδειγμα της τιλάπιας που χρησιμοποιήθηκε προηγουμένως, το δυναμικό αύξησης της οξύτητας θα είναι 400 kg CaCO_3 /τόνο τιλάπιας. Ένα τμήμα της πιθανής οξύτητας θα εκφράζεται στο σύστημα καλλιέργειας ενώ το υπόλοιπο θα εκφραστεί στην υδάτινη μάζα που θα απορριφθεί.

Τα φορτία άνθρακα για τα συστήματα υδατοκαλλιέργειας δεν υπολογίστηκαν παραπάνω, καθώς η πιο σημαντική μεταβλητή είναι το BOD (βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο)² που σχετίζεται με την είσοδο άνθρακα στην τροφή. Επιπλέον, τα θρεπτικά συστατικά από την τροφή υποστηρίζουν την παραγωγή οργανικής ύλης μέσω φωτοσύνθεσης. Καταρχήν, η οργανική ουσία που παράγεται στη φωτοσύνθεση δεν δημιουργεί απαίτηση σε οξυγόνο, επειδή η ποσότητα οξυγόνου που παράγεται αντισταθμίζει το οξυγόνο που καταναλώνεται κατά την αποσύνθεση της οργανικής ύλης που παράγεται κατά τη διαδικασία. Η χορηγούμενη τροφή, ωστόσο, παράγει μία απαίτηση σε οξυγόνο ως αποτέλεσμα της οξείδωσης των μη καταναλωθέντων ιχθυοτροφών και των απεκκριμάτων, αλλά και της αναπνοής των ψαριών. Αυτή η απαίτηση μπορεί να περιγραφεί απλά ως εξής:



Από την εξίσωση προκύπτει ότι 1 kg οργανικού άνθρακα απαιτεί 2,67 kg O_2 για οξείδωση. Αυτή η στοιχειομετρία ισχύει για τη γενική αναπνοή σε οποιοδήποτε οικολογικό σύστημα. Επιπλέον, η οξείδωση του 1 kg αμμωνιακού N από τα αζωτοδεσμευτικά βακτήρια καταναλώνει 4,57 kg οξυγόνου. Η εξίσωση για την εκτίμηση του συνολικού BOD που επιβάλλεται από τις ιχθυοτροφές για την παραγωγή 1 kg βιομάζας συγκομιδής είναι:

$$\begin{aligned} &\text{BOD τροφής (kg } O_2/\text{τόνος παραγωγής)} \\ &= 1000\{[(C_f \times FCR) - C_B] \times 2,67 + \\ &\quad [(N_f \times FCR) - N_B] \times 4,57\} \end{aligned}$$

όπου C_f και C_B = δεκαδικά κλάσματα του άνθρακα στην τροφή και τη βιομάζα κατά τη συγκομιδή, αντίστοιχα. N_f και N_B = δεκαδικά κλάσματα του αζώτου στη τροφή και τη βιομάζα κατά τη συγκομιδή, αντίστοιχα.

Το τροφής της τιλάπιας περιέχει περίπου 43% άνθρακα ενώ η τιλάπια αποτελείται από περίπου 12% άνθρακα. Για το παράδειγμα στην τιλάπια που

² Η ποσότητα οξυγόνου που απαιτείται από τους αερόβιους μικροοργανισμούς για την αποσύνθεση της οργανικής ύλης στο νερό: υψηλά επίπεδα οργανικής ύλης οδηγούν σε υψηλό BOD και δυνητικά χαμηλά επίπεδα διαλυμένου οξυγόνου από την αερόβια αποσύνθεση.

χρησιμοποιήθηκε παραπάνω, το BOD της τροφής θα είναι περίπου 1854 kg O₂/τόνο. Φυσικά, το μεγαλύτερο μέρος του BOD προέρχεται από την αναπνοή των ψαριών. Σε λιμνοδεξαμενές και καναλόμορφες δεξαμενές, το μεγαλύτερο μέρος του BOD των ιχθυοτροφών εκφράζεται στο σύστημα καλλιέργειας. Η συγκέντρωση BOD σε εκροές αποβλήτων από εγκαταστάσεις υδατοκαλλιέργειας σπανίως υπερβαίνει τα 25 έως 50 mg/L, πολύ χαμηλότερη από ότι στα οικιακά λύματα ή άλλα κοινά λύματα. Σε υδατοκαλλιέργειες σε κλωβούς ωστόσο, ολόκληρο το BOD αποβάλλεται στην υδάτινη μάζα.

Οι συγκεντρώσεις αζώτου, φωσφόρου και BOD στα απόβλητα από λιμνοδεξαμενές υδατοκαλλιέργειας κυμαίνονται συνήθως από 0,3 έως 5 mg/L αμμωνιακό N, 2-10 mg/L ολικό N, 0,1 έως 0,5 mg/L φωσφόρου και 5-20 mg/L BOD. Αναφορικά με άλλες μεταβλητές, οι συνήθεις τιμές είναι: pH: 7-9, διαλυμένο οξυγόνο >3 mg/L, συνολικά αιωρούμενα στερεά: 30-50 mg/L. Το αρχικό και τελικό απόβλητο της τάξεως του 5 έως 10% της εκροής από λιμνοδεξαμενές υδατοκαλλιέργειας ενδέχεται να είναι πιο συγκεντρωμένο σε αυτές μεταβλητές. Παρόλα αυτά, το δυναμικό ρύπανσης των εκροών των λιμνοδεξαμενών είναι μάλλον μέτριο σε σύγκριση με τον μέσο όρο ρύπανσης από οικιακά λύματα: pH: 6,5-8, διαλυμένο οξυγόνο <1 mg/L, συνολικά αιωρούμενα στερεά: 210 mg/L, αμμωνιακό N: 25 mg/L, ολικό άζωτο: 4 mg/L, ολικός φωσφόρος: 7 mg/L, BOD: 190 mg/L (Tchobanoglous et al., 2003).

Οι Boyd and McNevin (2015) εκτιμούν ότι τα απόβλητα υδατοκαλλιέργειας μπορεί να συμβάλλουν έως 2% και 2,9% στις παγκόσμιες ανθρωπογενείς απορρίψεις N και P, αντίστοιχα, σε φυσικά νερά. Η υδατοκαλλιέργεια είναι ιδιαίτερα συγκεντρωμένη σε μικρές περιοχές και παρά το γεγονός ότι συμμετέχει μόνο με ένα μικρό μερίδιο στην παγκόσμια ρύπανση των νερών, μπορεί να συμβάλει σημαντικά στη ρύπανση των νερών σε τοπικό επίπεδο. Ο σημαντικότερος αντίκτυπος των εκροών αποβλήτων της υδατοκαλλιέργειας είναι η συμβολή στον ευτροφισμό, ενώ μπορούν επίσης να αποτελέσουν πηγή αιωρούμενων στερεών.

Τα απόβλητα της υδατοκαλλιέργειας είναι μάλλον αραιά, καθιστώντας τα δύσκολα στην επεξεργασία τους. Τα χονδρόκοκκα στερεά μπορούν να

απομακρυνθούν από την τελική εκροή αποστράγγισης των δεξαμενών με καθίζηση και τα στερεά μπορούν να απομακρυνθούν από τις καναλόμορφες δεξαμενές και άλλα ρέοντα συστήματα. Οι τρεις πιο αποτελεσματικοί τρόποι μείωσης του δυναμικού ρύπανσης της υδατοκαλλιέργειας είναι:

- 1) Ορθή διαχείριση της σίτισης ώστε να περιλαμβάνει ιχθυοτροφές υψηλής ποιότητας που δεν περιέχουν περισσότερο άζωτο και φώσφορο από ότι είναι απαραίτητο για την ικανοποίηση των απαιτήσεων διατροφής των εκτρεφόμενων ειδών.
- 2) Συντηρητική χορήγηση τροφής για να αποφευχθεί η υπερβολική σίτιση και ως εκ τούτου μια σημαντική ποσότητα μη καταναλωθείσας τροφής.
- 3) Η χρήση άφθονων μορφών μηχανικού αερισμού για την αποφυγή της καταπονήσεως (στρες) των ψαριών (το στρες μειώνει την όρεξη και ευνοεί τις ασθένειες) και την παροχή αρκετού οξυγόνου για την οξείδωση των αποβλήτων.

Αυτές οι διαδικασίες συνήθως επιτρέπουν ένα καλό συντελεστή μετατρεψιμότητας (FCR) ελαττώνοντας τόσο τα απόβλητα του συστήματος όσο και τα περιβαλλοντικά. Μολονότι η διαχείριση της χορήγησης της τροφής αποτελεί κεντρικό θέμα στη μείωση του κινδύνου της ρύπανσης από όλες τις εγκαταστάσεις υδατοκαλλιέργειας, ειδικές πρακτικές διαχείρισης για τον μετριασμό της ρύπανσης ποικίλλουν ευρέως μεταξύ των διαφόρων τύπων συστημάτων υδατοκαλλιέργειας. Οι πρακτικές αυτές συνοψίζονται από τους Tucker and Hargreaves (2008).

Σε ορισμένες χώρες έχουν τεθεί όρια στις εκροές από λιμνοδεξαμενές. Τα όρια μπορεί να είναι όρια συγκέντρωσης, όρια φορτίου ή συνδυαστικά για τις δύο μεταβλητές. Έχουν επίσης επιβληθεί όρια στις εισροές τροφής ή την ποσότητα της παραγωγής, ειδικά στην υδατοκαλλιέργεια σε κλωβούς. Στις ΗΠΑ, δεν έχουν τεθεί καθορισμένες και συγκεκριμένες κατευθυντήριες γραμμές για τον περιορισμό των εκροών από την Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος (EPA, Environmental Protection Agency). Η EPA υποδεικνύει ότι οι παραγωγοί πρέπει να χρησιμοποιούν τις καλύτερες διαχειριστικές πρακτικές για την ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

5.9 Βέλτιστες Πρακτικές Διαχείρισης

Οι πρακτικές που μπορούν να εφαρμοστούν με σκοπό τη διατήρηση των πόρων, τη μείωση της ρύπανσης και την αντιμετώπιση άλλων αρνητικών επιπτώσεων έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως στη γεωργία, τη δασοπονία, την εξόρυξη και άλλες ανθρωπογενείς δραστηριότητες όπου η ρύπανση από μη σημειακή πηγή είναι κοινή. Αυτές οι λεγόμενες "βέλτιστες πρακτικές διαχείρισης (ΒΠΔ)" (BMP, Best Management Practices) βασίζονται σε συνδυασμό αποτελεσμάτων έρευνας, πρακτικής εμπειρίας, υιοθεσίας από άλλες βιομηχανίες και λογικής. Έτσι, κατέστη δυνατό να προταθούν ΒΠΔ για την υδατοκαλλιέργεια σε απάντηση στις περιβαλλοντικές επικρίσεις. Από τα τέλη της δεκαετίας του 1990, πολλές ΒΠΔ έχουν αναπτυχθεί ως προγράμματα για μεμονωμένα είδη υδατοκαλλιέργειας ή για διαφορετικούς τύπους συστημάτων υδατοκαλλιέργειας. Ένα παράδειγμα μιας σειράς ΒΠΔ που συνιστώνται στην παραγωγή του γατόφαρου στην Αλαμπάμα των ΗΠΑ παρατίθεται στον **Πίνακα 5.9**. Το παράδειγμα στον **Πίνακα 5.9** αφορά την άμβλυση των επιπτώσεων από τη χρήση ενισχυτών της ποιότητας του νερού. Μπορούν επίσης να αναπτυχθούν ομάδες ΒΠΔ για κάθε περιβαλλοντικό ζήτημα (όπως διατήρηση του νερού, χρήση αντιβιοτικών, έλεγχος της ρύπανσης, πρόληψη της διάβρωσης κ.ο.κ.).

Δεν υπάρχουν αξιόπιστες εκτιμήσεις σχετικά με την έκταση της υιοθέτησης των προγραμμάτων βέλτιστων πρακτικών διαχείρισης (ΒΠΔ) ή την αποτελεσματικότητα των προγραμμάτων αυτών στην υδατοκαλλιέργεια. Οι ΒΠΔ που παρουσιάζονται από τους περισσότερους οργανισμούς φαίνεται ότι καλύπτουν τις περισσότερες αρνητικές επιπτώσεις της υδατοκαλλιέργειας. Ωστόσο, πολ-

Πίνακας 5.9 Βέλτιστες πρακτικές διαχείρισης (ΒΠΔ) για τη χρήση των ενισχυτών ποιότητας του νερού στην καλλιέργεια του γατόφαρου.

- Αποθήκευση των βελτιωτικών σε υπόστεγο όπου οι βροχοπτώσεις δεν θα τα εκπλύνουν στα επιφανειακά νερά.
- Εφαρμογή θειικού χαλκού με ρυθμό που δεν υπερβαίνει το ένα εκατοστό (0,01) της ολικής αλκαλικότητας (σε mg/L). Αποφυγή απελευθέρωσης του νερού της λιμνοδεξαμενής για 72 ώρες μετά την εφαρμογή του θειικού χαλκού.
- Εφαρμογή χλωριούχου νατρίου σε δόσεις που δεν υπερβαίνουν τα 200 mg/L ανά εφαρμογή.
- Εφαρμογή ασβέστη (οξείδιο ή υδροξείδιο του ασβεστίου) σε ποσότητες που δεν υπερβαίνουν τα 100 kg/εκτάριο ανά εφαρμογή.
- Εφαρμογή γεωργικού ασβεστόλιθου και γύψου (θειικό ασβέστιο) σε ποσότητες που δεν υπερβαίνουν τα 5000 kg/εκτάριο ανά εφαρμογή και 2000 kg/εκτάριο ανά εφαρμογή αντίστοιχα.

λά από τα προγράμματα δεν παρέχουν επαρκείς λεπτομέρειες για την εγκατάσταση των ΒΠΔ σε επίπεδο εκμετάλλευσης. Το μόνο γνωστό παράδειγμα της αξιολόγησης των οφελειών των ΒΠΔ συνοψίζεται στον **Πίνακα 5.10**. Οι ΒΠΔ που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτή τη μελέτη περιορίζουν τον ημερήσιο ρυθμό σίτισης στα 110 kg/εκτάριο έναντι ρυθμών σίτισης έως ≈ 50 kg/εκτάριο, 28% έναντι 32% ακατέργαστης πρωτεΐνης στην ιχθυοτροφή, και τη λήψη βροχοπτώσεων για να αντισταθμιστεί εν μέρει η ανάγκη χρήσης αντληθέντων εδαφών με τη διατήρηση τουλάχιστον 7,6 cm από την ικανότητα αποθήκευσης νερού στη λιμνοδεξαμενή. Οι ΒΠΔ μείωσαν τα απόβλητα, την απόρριψη φωσφόρου και τη χρήση των υπόγειων υδάτων. Η παραγωγή δεν διαφοροποιήθηκε μεταξύ των λιμνοδεξαμενών ΒΠΔ και των μη-ΒΠΔ. Το παράδειγμα δείχνει σαφώς τα οφέλη των ΒΠΔ ενώ γενικά υπάρχει συναίνεση ότι οι ΒΠΔ μπορούν να είναι

Πίνακας 5.10 Αποτελέσματα των βέλτιστων πρακτικών διαχείρισης (ΒΠΔ) σε τρεις μεταβλητές στις λιμνοδεξαμενές γατόφαρων στο Μισισσιπή, ΗΠΑ.

Μεταβλητές	Λιμνοδεξαμενές ΒΠΔ	Λιμνοδεξαμενές χωρίς ΒΠΔ
Υπερχείλιση (cm)	52	96
Απορρόφηση φωσφόρου (kg/εκτάριο)	1,6	4,3
Προσθήκη υπόγειων υδάτων (cm)	18	47

Πηγή: Τροποποιημένο από τους Tucker and Hargreaves (2006).

αποτελεσματικές (χωρίς να μειώνεται η παραγωγή) εάν εφαρμοστούν σωστά.

Οι κύριες επικρίσεις των βέλτιστων πρακτικών διαχείρισης (ΒΠΔ) αφορούν το γεγονός πως η υιοθέτησή τους είναι συνήθως εθελοντική και είναι δύσκολο να επαληθευθεί η χρήση τους. Οι καλλιεργητές μπορούν να εφαρμόσουν επιλεκτικά ΒΠΔ και ως εκ τούτου εκείνες που είναι λιγότερο δαπανηρές και ευκολότερες στην εφαρμογή είναι πιθανόν να επιλεγούν σε σχέση με άλλες. Εξ' όσων γνωρίζουμε, καμία μελέτη δεν έχει καθορίσει την έκταση της χρήσης των ΒΠΔ ή δεν έχει διαπιστώσει την πληρότητα όταν υλοποιείται μια συγκεκριμένη σειρά ΒΠΔ. Η αβεβαιότητα αυτή οδήγησε ταχέως όσους επιχειρούν να βελτιώσουν τις περιβαλλοντικές επιδόσεις της υδατοκαλλιέργειας στο συμπέρασμα ότι η πιστοποίηση οικολογικού σήματος που απαιτεί συμμόρφωση με συγκεκριμένα πρότυπα ήταν απαραίτητη για να εξασφαλιστεί πραγματική βελτίωση των περιβαλλοντικών επιδόσεων. Φυσικά, οι ΒΠΔ μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μέσο για την επίτευξη συμμόρφωσης με τα πρότυπα πιστοποίησης οικολογικού σήματος ή με κυβερνητικούς κανονισμούς.

Η λογική για την οικολογική επισήμανση (eco-labelling) στην υδατοκαλλιέργεια ήταν η ακόλουθη:

- Πολλοί καταναλωτές προτιμούν προϊόντα αλιείας που παράγονται υπεύθυνα.
- Τα κράτη θέλουν να προστατεύσουν τις εξαγωγές, ώστε να μην εξαρτώνται από την προϋπόθεση της υπεύθυνης υδατοκαλλιέργειας.
- Η υδατοκαλλιέργεια (παρά τις αρνητικές επιπτώσεις της) μπορεί να είναι περιβαλλοντικά πιο υπεύθυνη από την αλιεία.
- Οι καταναλωτές αναζητούν προϊόντα από υπεύθυνη υδατοκαλλιέργεια.
- Η εθελοντικής βάσης υιοθέτηση των ΒΠΔ από τους παραγωγούς ενώ υφίσταται σε πολλές περιπτώσεις, εξακολουθεί να αποτελεί μια μη επιβεβαιωμένη και αναξιόπιστη απόδειξη περιβαλλοντικής εποπτείας.
- Η παραγωγή υπεύθυνων προϊόντων υδατοκαλλιέργειας πιστοποιείται με την οικολογική σήμανση (eco-labelling).

Η ανάπτυξη προγραμμάτων οικολογικής σήμανσης (eco-labelling) έχει αναληφθεί από τη βιομηχανία υδατοκαλλιέργειας, τις κυβερνήσεις, τις ιδιωτικές εταιρείες και τις περιβαλλοντικές μη κυ-

βερνητικές οργανώσεις (ΜΚΟ). Η νομιμότητα και η αποτελεσματικότητα αυτών των προγραμμάτων ποικίλλουν, αλλά καταρχήν, τα πρότυπα για το οικολογικό σήμα πρέπει να καθοριστούν μέσω συμμετοχής των ενδιαφερομένων σύμφωνα με τις κατευθυντήριες γραμμές της Διεθνούς Συμμαχίας για την Κοινωνική και Περιβαλλοντική Σήμανση (ISEAL, International Social and Environmental Labelling Alliance). Το πρότυπο πρέπει να μεταφερθεί σε ανεξάρτητο φορέα πιστοποίησης ο οποίος θα επιβλέπει τους συμμετέχοντες (παραγωγούς) που συμφωνούν να συμμορφωθούν με τα πρότυπα. Ένας τρίτος έλεγχος των συμμετεχόντων παραγωγών για συμμόρφωση με τα πρότυπα γίνεται από εξωτερικό, ανεξάρτητο, διαπιστευμένο οργανισμό. Επίσης, πρέπει να είναι διαθέσιμη η ιχνηλασιμότητα του προϊόντος από τον παραγωγό στον καταναλωτή. Ο τακτικός επανέλεγχος και η αναθεώρηση των επιδόσεων είναι απαραίτητη για τη συνέχιση της πιστοποίησης.

Ενδεικτικά, το Παγκόσμιο Ταμείο για τη Φύση (WWF, World Wildlife Fund) πραγματοποίησε συζητήσεις με ενδιαφερομένους για ανάπτυξη προτύπων για διάφορα είδη. Το Συμβούλιο Επιμέλειας της Υδατοκαλλιέργειας (ASC, Aquaculture Stewardship Council) κατέχει τα πρότυπα, ενώ οι παραγωγοί καταχωρούνται στο ASC για να εναρμονιστούν σχετικά με την προσπάθεια απόκτησης πιστοποιημένου καταστατικού. Το ASC περιλαμβάνει διάφορους οργανισμούς ελέγχου τρίτων που είναι διαπιστευμένοι από την Accreditation Services International. Οι ελεγκτικοί αυτοί φορείς μεταβαίνουν στις συμμετέχουσες εγκαταστάσεις παραγωγής και διενεργούν ελέγχους για τη συμμόρφωση με τα πρότυπα και τις απαιτήσεις ιχνηλασιμότητας. Τα προϊόντα από πιστοποιημένες μονάδες μπορούν να πωληθούν με το οικολογικό σήμα του ASC υπό την προϋπόθεση ότι λαμβάνεται η πιστοποίηση της αλυσίδας επιτήρησης.

Υπάρχουν πολλές άλλες προσπάθειες οικολογικής σήμανσης για την υδατοκαλλιέργεια εκτός από το ASC. Οι σημαντικότερες είναι η πιστοποίηση της Διεθνούς Οργάνωσης Υδατοκαλλιέργειας (GAA, Global Aquaculture Alliance), η πιστοποίηση Καλών Πρακτικών Υδατοκαλλιέργειας (Best Aquaculture Practices certification), οι Φίλοι της Θάλασσας (Friends of the Sea) και η GLOBAL G.A.P.

5.10 Υπεράσπιση του Περιβάλλοντος στην Υδατοκαλλιέργεια

Η βιομηχανία της υδατοκαλλιέργειας αυξάνεται με ρυθμούς της τάξεως περίπου 10% ετησίως από τη δεκαετία του 1990. Ο ρυθμός αυτός είναι ταχύτερος από οποιαδήποτε άλλη μορφή παραγωγής ζωικών πρωτεϊνών. Ο συγκεκριμένος ρυθμός αύξησης είχε ως αποτέλεσμα μια παραδόξως απότομη καμπύλη επίγνωσης σχετικά με τις πρακτικές που είχαν δυσμενείς περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Συγκεκριμένα, η μετατροπή των παράκτιων εκτάσεων για την κατασκευή λιμνοδεξαμενών (ιδίως για την υδατοκαλλιέργεια γαρίδας) και η ταχεία επέκταση της παραγωγή σολομοειδών μέσω θαλάσσιων κλωβών προκάλεσε ανησυχία σε πολλές περιβαλλοντικές ΜΚΟ που αποσκοπούσαν στην προστασία από την υποβάθμιση των περιοχών υψηλής βιοποικιλότητας. Το αποτέλεσμα ήταν μια σειρά εκστρατειών υπεράσπισης και εμπλοκής που αναγνώρισαν τις αρνητικές επιπτώσεις της υδατοκαλλιέργειας. Η βιομηχανία της υδατοκαλλιέργειας ανταποκρίθηκε με την ανάπτυξη μιας ομάδας υποστήριξης της βιομηχανίας, της GAA, για να αντικρούσει πολλούς από τους ισχυρισμούς των περιβαλλοντολόγων. Καθώς οι ΒΠΔ ήταν δημοφιλείς και τα προγράμματα πιστοποίησης αυξήθηκαν, μεγάλο μέρος της αρνητικής προπαγάνδας μειώθηκε. Ωστόσο, η προάσπιση των δεσμεύσεών τους στον κλάδο της υδατοκαλλιέργειας δεν έλαβε τελικά χώρα.

Μολονότι οι ΜΚΟ ήταν επιτυχημένες στον εντοπισμό των αρνητικών επιπτώσεων της υδατοκαλλιέργειας και στην ενθάρρυνση των δημόσιων απαντήσεων σε αυτά τα θέματα, οι ομάδες αυτές ήταν γενικά ανεπαρκώς εξοπλισμένες για να παρέμβουν και να παρέχουν πρακτικές λύσεις που να μειώνουν τέτοιες επιπτώσεις. Η πιο κοινή προσέγγιση των εθνικών οργανισμών είναι η ενοποίηση πληροφοριών από άλλες πηγές και η χρήση αυτών των πληροφοριών ως μέσου αξιολόγησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της παραγωγής συγκεκριμένων ειδών σε συγκεκριμένες περιοχές. Μεγάλο μέρος αυτού του τύπου ανάλυσης προέκυψε από την αξιολόγηση της αλιείας, όπου μπορεί να αξιολογηθεί ένας συγκεκριμένος τύπος αλιείας βάσει της κατάστασης και της διαχείρισής

του. Οι δραστηριότητες της υδατοκαλλιέργειας ωστόσο ποικίλλουν πολύ, ακόμη και όταν οι εκμεταλλεύσεις αναπτύσσουν τα ίδια είδη χρησιμοποιώντας παρόμοια συστήματα και υπάρχει μεγάλη ποικιλία στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των διαφόρων καλλιεργειών στην ίδια γεωγραφική περιοχή. Έτσι, οι ΜΚΟ συχνά κάνουν γενικεύσεις σχετικά με τον αντίκτυπο της υδατοκαλλιέργειας χρησιμοποιώντας μόνο τις πληροφορίες που μπορούν να συγκεντρωθούν από τη βιβλιογραφία, επειδή δεν έχουν πρόσβαση σε καλλιεργητικές δραστηριότητες όπου μπορούν να αξιολογήσουν την παρακολούθηση των επιπτώσεων της υδατοκαλλιέργειας. Το ζήτημα αυτό περιπλέκεται περαιτέρω λόγω μείωσης της ακαδημαϊκής έρευνας για την παραγωγή της υδατοκαλλιέργειας και τις συναφείς επιπτώσεις. Από το 1980 περίπου έως τα τέλη της δεκαετίας του 1990, μεγάλο μέρος της ακαδημαϊκής έρευνας στον τομέα της υδατοκαλλιέργειας αφορούσε θέματα σχετικά με την παραγωγή και τους τρόπους βελτίωσής της. Οι εργασίες αυτές ενημερώθηκαν σε μεγάλο βαθμό από τις αλληλεπιδράσεις με τον ιδιωτικό τομέα της βιομηχανίας της υδατοκαλλιέργειας. Στις αρχές της δεκαετίας του 2000, η έρευνα στράφηκε σε πιο συγκεκριμένες αναλύσεις σε στενά επιστημονικά πεδία (όπως η γονιδιωματική) τα οποία τείνουν να έχουν περισσότερο ακαδημαϊκό όφελος από ότι ενίσχυση της παραγωγικότητας στην υδατοκαλλιέργεια. Συνεπώς, ο τύπος των ερευνητικών δεδομένων που παρείχε κάποτε ακριβείς απεικονίσεις του παγκόσμιου τομέα της υδατοκαλλιέργειας δεν είναι πλέον διαθέσιμος για τη σημερινή παραγωγή.

Η νέα γενιά ΜΚΟ στον τομέα της υδατοκαλλιέργειας επικεντρώνεται κυρίως στην θαλάσσια ή παράκτια υδατοκαλλιέργεια, ως αποτέλεσμα των σημαντικότερων χορηγών που επίσης εστιάζονται ή διαχωρίζονται θεσμικά σε βασικούς τομείς εργασίας. Οι περισσότερες ΜΚΟ που ασχολούνται με την υδατοκαλλιέργεια χρηματοδοτούνται μέσω παραγόντων διατήρησης των θαλάσσιων πόρων από ιδιώτες δωρητές με λιγότερη ουσιαστικά προσοχή στην υδατοκαλλιέργεια εσωτερικών νερών. Άλλες μορφές χρηματοδότησης αυτών των ΜΚΟ λαμβάνουν χώρα μέσω συμπράξεων του ιδιωτικού τομέα, οι οποίες αφορούν κυρίως μεγάλους λιανοπωλητές. Με τη χρηματοδό-

τηση από το λιανεμπόριο και τον ιδιωτικό τομέα, οι ΜΚΟ επιχειρούν να βοηθήσουν στον εντοπισμό "καλύτερων" πηγών προϊόντων υδατοκαλλιέργειας ή να συμμετάσχουν άμεσα σε παραγωγούς υδατοκαλλιέργειας για τη βελτίωση των πρακτικών παραγωγής. Πρέπει να σημειωθεί ότι πολύ λίγες ΜΚΟ που ασχολούνται με την προώθηση της αειφορίας στην παραγωγή θαλασσινών προϊόντων μπορούν να προασπίσουν τις συνεχείς δεσμεύσεις τους στον τομέα της παραγωγής προϊόντων υδατοκαλλιέργειας επειδή οι δραστηριότητές τους εντοπίζονται συνήθως στις ανεπτυγμένες χώρες, ενώ πάνω από το 90% της παγκόσμιας παραγωγής υδατοκαλλιέργειας λαμβάνει χώρα στον αναπτυσσόμενο κόσμο. Το αποτέλεσμα είναι πολύ υψηλότερα επίπεδα προάσπισης των δεσμεύσεων από τους αγοραστές προϊόντων υδατοκαλλιέργειας παρά από τους παραγωγούς.

Όλα τα θέματα που θίγονται σε αυτό το κεφάλαιο αποτελούν ανησυχίες της κοινότητας των ΜΚΟ. Ωστόσο, λόγω της ανάγκης για τη διαφοροποίηση στους δωρητές, οι ΜΚΟ επιλέγουν αντίστοιχα διαφορετικές στρατηγικές για να διαφοροποιήσουν τον εαυτό τους. Σε συνδυασμό με συγκεκριμένες εταιρικές σχέσεις των ΜΚΟ, η κοινότητα περιβαλλοντικής υποστήριξης έχει καταλήξει σε ένα σαφές όραμα για την υδατοκαλλιέργεια στο μέλλον. Ενώ έχουν γίνει προσπάθειες για να παρέχουν ενότητα, συχνά αυτές οι προσπάθειες καταλήγουν σε περισσότερα διφορούμενες και γενικευμένες φιλοδοξίες για την υδατοκαλλιέργεια. Επιπλέον, δεν υπάρχει συμφωνία για το τι συνιστά τις μεγαλύτερες περιβαλλοντικές απειλές της υδατοκαλλιέργειας και, ως αποτέλεσμα, εργασία σε συγκεκριμένη περιοχή επιπτώσεων εμφανίζεται σπάνια. Οι Boyd and McNevin (2015) ισχυρίστηκαν ότι πρέπει να υπάρχει μικρή διαφωνία μεταξύ των ΜΚΟ που στοχεύουν στη διατήρηση των φυσικών πόρων που χρησιμοποιούνται στην υδατοκαλλιέργεια – τη γη, το νερό, την ενέργεια, τα ιχθυάλευρα και το ιχθυέλαιο και τις υδάτινες μάζες που συνιστούν αποδέκτες των στοιχείων αυτών όπου λαμβάνει χώρα κατεργασία των αποβλήτων. Συλλογικές προσεγγίσεις για τη μείωση των επιπτώσεων που συνδέονται με αυτά τα ζητήματα αναμφισβήτητα θα ενισχύσουν τη σαφήνεια σε ότι έχει περιγραφεί ως το "αειφόρο κίνημα για τα θα-

λασσινά προϊόντα διατροφής". Επιπλέον, η εστίαση στους φυσικούς πόρους που χρησιμοποιούνται στην υδατοκαλλιέργεια παρουσιάζει το πρόσθετο πλεονέκτημα πως μεταφέρει μια πρόταση αξίας στους παραγωγούς ώστε να γίνουν πιο αποτελεσματικοί.

5.11 Περίληψη

- Η υδατοκαλλιέργεια αποτελεί ένα μικρό αλλά σημαντικό και αυξανόμενο μέρος του παγκόσμιου συστήματος διατροφής. Η υδατοκαλλιέργεια (όπως όλες οι ανθρώπινες δραστηριότητες) χρησιμοποιεί πόρους και συνεπώς έχει επιπτώσεις στο περιβάλλον.
- Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις ποικίλλουν σημαντικά μεταξύ των διαφόρων τύπων υδατοκαλλιέργειας. Η καλλιέργεια μακροφυκών και οστρακοειδών έχει γενικά θετικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Η υδατοκαλλιέργεια που βασίζεται στις επεξεργασμένες ιχθυοτροφές μπορεί να έχει σημαντικές επιπτώσεις, επειδή για την παραγωγή ιχθυοτροφών χρησιμοποιούνται σημαντικές εκτάσεις γης, ενέργειας και νερού. Επίσης, τα θρεπτικά συστατικά των ιχθυοτροφών που δεν μετατράπηκαν σε βιομάζα κατά τη συγκομιδή αντιπροσωπεύουν πιθανή πηγή ρύπανσης.
- Η υδατοκαλλιέργεια συνεισφέρει ελάχιστα στη συνολική χρήση γης, αλλά οι εκμεταλλεύσεις συχνά βρίσκονται σε ευαίσθητα και σημαντικά οικοσυστήματα. Η αυξημένη παραγωγή της υδατοκαλλιέργειας που απαιτείται για την εφοδιασμό της μελλοντικής ζήτησης είναι πιθανό να προέρχεται από την εντατικοποίηση της παραγωγής και όχι από την επέκταση των περιοχών παραγωγής.
- Η χρήση του νερού ποικίλλει σημαντικά μεταξύ των διαφόρων τύπων υδατοκαλλιέργειας, με τις λιμνοδεξαμενές γλυκού νερού να αποτελούν το πιο εντατικό σύστημα όσον αφορά το νερό. Η διαθεσιμότητα του νερού αποτελεί σημαντικό κριτήριο επιλογής της τοποθεσίας για ορισμένες εγκαταστάσεις υδατοκαλλιέργειας.
- Η ενέργεια χρησιμοποιείται στην υδατοκαλλιέργεια για την κατασκευή εγκαταστάσεων, την άντληση ή τον αερισμό του νερού όπως επίσης

και για άλλες δραστηριότητες. Σημαντικό ποσό ενέργειας χρησιμοποιείται ακόμη για την παραγωγή πρώτων υλών για τις ιχθυοτροφές, την παραγωγή των ιχθυοτροφών και την παράδοση τους στις εγκαταστάσεις καλλιέργειας των οργανισμών.

- Τα ψάρια είναι σχετικά αποδοτικά στη μετατροπή της τροφής σε βιομάζα, στοιχείο που επιτρέπει στην υδατοκαλλιέργεια να είναι μία από τις πιο αποδοτικές (από πλευράς πόρων) μορφές ζωικής παραγωγής. Σχετικά μεγάλες ποσότητες ιχθυαλεύρων και ιχθυελαίων χρησιμοποιούνται σε ορισμένους τύπους υδατοκαλλιέργειας, ειδικά στις θαλάσσιες γαρίδες και στα σαρκοφάγα ψάρια όπως η πέστροφα και ο σολομός. Καθώς όμως η παγκόσμια προσφορά ιχθυαλεύρου και ιχθυελαίου είναι περιορισμένη, θα μπορούσε να περιορίσει την παραγωγή ορισμένων ειδών.
- Οι περισσότερες χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται στην υδατοκαλλιέργεια, (όπως ασβεστόχυα υλικά, λιπάσματα, οξειδωτικά και ζιζανιοκτόνα) έχουν αμελητέες περιβαλλοντικές επι-

πτώσεις όταν χρησιμοποιούνται σωστά. Η κακή χρήση των αντιβιοτικών για την αντιμετώπιση ασθενειών μπορεί να είναι ένα σημαντικό ζήτημα, αλλά τα προβλήματα μπορούν να μειωθούν (ή να αποφευχθούν) μέσω της ορθής πρακτικής και της ανάπτυξης και χρήσης εμβολίων.

- Μόνο το 20 έως 40% του αζώτου, του φωσφόρου και του άνθρακα στις ιχθυοτροφές ανακτάται στη συγκομισθείσα βιομάζα. Το υπόλοιπο αντιπροσωπεύει θρεπτικά συστατικά που εισέρχονται στο νερό του συστήματος καλλιέργειας και μπορούν να συνιστούν ρύπους στις υδάτινες μάζες που καταλήγουν τα απόβλητα. Η ορθή διαχείριση της χορηγούμενης τροφής αποτελεί το κλειδί για τη μείωση της ρύπανσης από την υδατοκαλλιέργεια.
- Η υπεράσπιση του περιβάλλοντος κατά τις τελευταίες δύο δεκαετίες οδήγησε σε ουσιαστική βελτίωση των πρακτικών παραγωγής στην υδατοκαλλιέργεια. Η βελτίωση συχνά βασίζεται στην υιοθέτηση των βέλτιστων πρακτικών διαχείρισης (ΒΠΔ) που αναπτύχθηκαν μέσω της έρευνας και της πρακτικής εμπειρίας.

Βιβλιογραφία

- Boyd, C. E. and A. A. McNevin. (2015). *Aquaculture, Resource Use, and the Environment*. Wiley Blackwell, Hoboken.
- Boyd, C. E., McNevin, A. A., Clay, J. and Johnson, H. M. (2005). Certification issues for some common aquaculture species. *Reviews in Fisheries Science*, 13, 231–279.
- Diana, J. S. (2009). Aquaculture production and biodiversity conservation. *BioScience*, 59(1), 27–38.
- FAO (Food and Agricultural Organization) (2011). “Energy-Smart” Food for People and Climate. FAO, Rome.
- Jescovitch, L. N., Chaney, P. and Boyd, C. E. (2014). Land to water surface area ratio in pond aquaculture. *World Aquaculture*, 45(4), 44–46.
- Naylor, R. L., Hardy, R. W., Bureau, D. P., Chiu, A., Elliott, M., Farrell, A. P., Forster, I., Gatlin, D. M., Goldburg, R. J. Hua, K., and Nichols, P. D. (2010). Feeding aquaculture in an era of finite resources. *Proceedings of the National Academy of Science*, 106(36), 15103–15110.
- Shumway, S. E. (Ed.) (2011). *Shellfish Aquaculture and the Environment*. John Wiley and Sons, West Sussex.
- Tchobanoglous, G., Burton, F. L. and Stensel, H. D. (2003). *Wastewater Engineering*. McGraw Hill, New York.
- Tucker, C. S. and Hargreaves, J. A. (2006). Water-level management and BMPs cut water use and pond effluents. *Global Aquaculture Advocate*, 9(3), 50–51.
- Tucker, C. S. and Hargreaves, J. A. (Eds.) (2008). *Environmental Best Management Practices for Aquaculture*. John Wiley and Sons, West Sussex.
- Verdegem, M. C. J. and Bosma, R. H. (2009). Water withdrawal for brackish and inland aquaculture, and options to produce more fish in ponds with present water use. *Water Policy*, 11(1), 52–68.

6

Αναπαραγωγή, Κύκλοι ζωής και Αύξηση

John S. Lucas και Paul C. Southgate

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

6.1	Εισαγωγή, 165	6.4	Αύξηση, 177
6.2	Φυσιολογία της Αναπαραγωγής, 165	6.5	Περίληψη, 184
6.3	Κύκλοι ζωής, 170		Βιβλιογραφία, 185

6.1 Εισαγωγή

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα εξετασθούν μόνο οι τρεις κύριες ομάδες οργανισμών υδατοκαλλιέργειας: τα ψάρια, τα δίθυρα μαλάκια και τα δεικάρια. Τα δεικάρια με τις δύο τελευταίες να αποτελούν τις κυριότερες ομάδες των οστρακοειδών. Τόσο η εξωτερική μορφολογία και η ανατομία τους όσο και οι κύκλοι ζωής, τα αναπαραγωγικά τους συστήματα και τα πρότυπα ανάπτυξης αυτών των ομάδων είναι εξαιρετικά διαφορετικά. Ωστόσο, παρά το γεγονός ότι οι απαιτήσεις και τα χαρακτηριστικά των διαφόρων σταδίων του κύκλου ζωής των ειδών υδατοκαλλιέργειας ποικίλουν σημαντικά, υπάρχουν ορισμένα κοινά πρότυπα. Πιο ειδικές λεπτομέρειες σχετικά με τα χαρακτηριστικά αυτά εντοπίζονται στα αντίστοιχα κεφάλαια για τις διάφορες ομάδες και είδη.

Η αναπαραγωγή, οι κύκλοι ζωής και η ανάπτυξη των φυκών παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές στα χαρακτηριστικά τους σε σχέση με τους ζωικούς οργανισμούς και για το λόγο αυτό περιγράφονται ξεχωριστά στο Κεφάλαιο 15.

6.2 Φυσιολογία της Αναπαραγωγής

6.2.1 Ψάρια

Τα περισσότερα είδη ψαριών που καλλιεργούνται είναι γονοχωριστικά και τα ζεύγη των γονάδων τους εντοπίζονται στην οροφή της σπλαχνικής κοιλότητας. Η αναπαραγωγική δραστηριότητα συνήθως περιορίζεται σε μία συγκεκριμένη εποχή του χρόνου. Η αναπαραγωγή συνήθως ενεργοποιείται από διάφορα περιβαλλοντικά ερεθίσματα, όπως η διάρκεια της ημέρας (φωτοπερίοδος), η θερμοκρασία του νερού (σε εύκρατα και τροπικά είδη), οι αλλαγές στην αλατότητα ή τη θολρότητα (σε τροπικά είδη). Αυτά τα ερεθίσματα προκαλούν ορμονικές αποκρίσεις στον οργανισμό ως αποτέλεσμα της διέγερσης της υπόφυσης.

Τα ορμονικά συστήματα είναι συχνά πολύπλοκα και η υπόφυση περιέχει τρεις κύριες ορμόνες που σχετίζονται με την αναπαραγωγή:

- 1) Την εκλυτική ορμόνη των γοναδοτοπινών (GnRH), η οποία ελέγχει την απελευθέρωση της γοναδοτροπίνης από την υπόφυση.

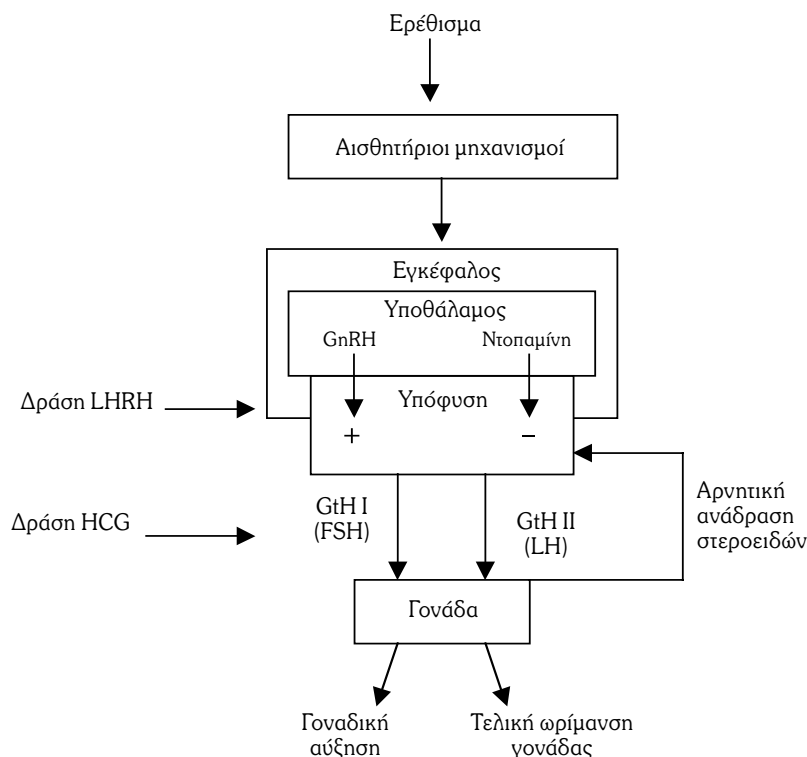
- 2) Τους ανασταλτικούς παράγοντες απελευθέρωσης γοναδοτροπίνης (GnRIF, κυρίως ντοπαμίνη), η οποία αναστέλλει την απελευθέρωση της γοναδοτροπίνης από την υπόφυση, και
- 3) Οι γοναδοτροπίνες (GtHs), οι οποίες ρυθμίζουν την απελευθέρωση των στεροειδών ορμονών από τις γονάδες. Οι γοναδοτροπίνες αποτελούνται από τη GtH I (ορμόνη διέγερσης των ωοθυλακίων, FSH) και τη GtH II (ωχρινότροπος ορμόνη, LH).

Οι κυριότερες στεροειδείς ορμόνες στα αρσενικά και τα θηλυκά άτομα είναι η 11α-κετοστεστερόνη και η 17β-οιστραδιόλη, αντιστοίχως. Αυτές ελέγχουν τις κύριες λειτουργίες της αναπαραγωγής, όπως είναι η αναπαραγωγική συμπεριφορά, η ωρίμανση των ωοκυττάρων, η σπερματογένεση και η ωορρηξία. Τα στεροειδή αυτά έχουν επίσης αρνητική επίδραση (ανάδραση) στην παραγωγή GtH από την υπόφυση. Αυτό το ορμονικό σύστημα παρουσιάζεται στην **Εικόνα 6.1**. Παρόλο που χαμηλά επίπεδα GtH εντοπίζονται στο αίμα όλο τον χρόνο, η τελική ωρίμανση των γαμετών και η ωορρηξία προκαλούνται από την αύξηση των επιπέδων της GtH ως απόκριση στα απώτερα περιβαλ-

λοντικά ερεθίσματα.

Η γνώση του συστήματος αυτού επιτρέπει στους υδατοκαλλιεργητές να ελέγχουν την αναπαραγωγή σε συνθήκες αιχμαλωσίας και να επιτυγχάνουν υψηλής ποιότητας γεννοβολία όταν αυτό απαιτείται. Ο έλεγχος της αναπαραγωγής επιτρέπει επίσης στους διαχειριστές των εκκολαπτηρίων να σχεδιάσουν τη μέγιστη παραγωγή τροφής για τις ιχθυνύμφες και τα νεαρά άτομα, όταν χρειάζεται. Παρόλα αυτά, σε συνθήκες αιχμαλωσίας συχνά απουσιάζουν τα απώτερα περιβαλλοντικά ερεθίσματα της αναπαραγωγής. Σε αυτή την περίπτωση τα ωοκύτταρα δεν προχωρούν στο στάδιο της τελικής ωρίμανσης με αποτέλεσμα να μην επιτυγχάνεται ούτε ωορρηξία ούτε συνεπώς και ωοτοκία λόγω της ελλειμματικής αύξησης των επιπέδων GtH. Το πρόβλημα αυτό συνήθως ξεπερνιέται με δύο τρόπους:

- 1) Παρέμβαση στο περιβάλλον της καλλιέργειας. Σε αυτή την περίπτωση, παρέχονται τα απαραίτητα περιβαλλοντικά ερεθίσματα που είναι απαραίτητα για την τελική ωρίμανση των γαμετών και την γεννοβολία. Αυτή η μέθοδος απαιτεί ακριβή γνώση των παραγόντων που διέπουν



Εικόνα 6.1. Σχηματική αναπαράσταση της ενδοκρινολογικής φυσιολογίας της αναπαραγωγής των ψαριών με τις θέσεις δράσης της LHRHα και της HCG που χρησιμοποιούνται για την τεχνητή πρόκληση της ωρίμανσης. Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από τον Paul Southgate.

την αναπαραγωγή σε ένα συγκεκριμένο είδος. Σημαντικά ερεθίσματα αποτελούν η θερμοκρασία του νερού, η αλατότητα, η φωτοπερίοδος και η διαθεσιμότητα της τροφής.

- 2) Χορήγηση ορμονών. Η αύξηση των επιπέδων της GtH επιτυγχάνεται τεχνητά με τη χορήγηση κατάλληλων ορμονών στα ψάρια. Αν και μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ακατέργαστο εκχύλισμα υπόφυσης, συνήθως χρησιμοποιούνται η ανθρώπινη χοριακή γοναδοτροπίνη (hCG) και η ανάλογη ορμόνη απελευθέρωσης της ωχρινοποιητικής ορμόνης (LHRHa).

Οι δράσεις αυτών των ορμονών περιγράφονται λεπτομερώς στον **Πίνακα 6.1** και τα σημεία δράσης τους εντός της αλληλουχίας της ωρίμανσης των ψαριών παρουσιάζονται στην **Εικόνα 6.1**. Η ανάπτυξη των σύγχρονων μεθόδων που χρησιμοποιούνται για τον ορμονικό έλεγχο της αναπαραγωγής στα ψάρια καλλιέργειας περιγράφονται από τους Zohar & Mylonas (2001).

Η επιτυχία της τεχνητής αναπαραγωγής εξαρτάται από έναν αριθμό παραγόντων, οι οποίοι περιγράφονται στις επόμενες ενότητες.

6.2.1.1 Ωρίμανση των Γεννητόρων

Η τεχνητή αύξηση των επιπέδων της GtH μπορεί να προκαλέσει ωοτοκία μόνο στην περίπτωση που τα ωοκύτταρα έχουν φτάσει σε ένα ορισμένο στάδιο της ανάπτυξης τους. Για να προσδιορισθεί το στάδιο αυτό, θα πρέπει από το θηλυκό γεννήτορα να ληφθεί ένα μικρό δείγμα αναπτυσσόμενων ωοκυττάρων και να εξεταστεί μικροσκοπικά. Αυτό γίνεται με καθετηριασμό, κατά τον οποίο ένας λεπτός πλαστικός σωλήνας διέρχεται μέσω της ου-

Πίνακας 6.1 Οι δράσεις της ανθρώπινης χοριακής γοναδοτροπίνης (HCG) και της ανάλογης ορμόνης απελευθέρωσης της ωχρινοποιητικής ορμόνης (LHRHa) και ο τρόπος επίδρασης τους στην αναπαραγωγή των ψαριών.

Ορμόνη	Δράση
HCG	Δρα άμεσα στη γονάδα για να προκαλέσει την απελευθέρωση των γοναδικών στεροειδών (ορμόνες φύλου)
LHRHa	Δρα στην υπόφυση για την πρόκληση της απελευθέρωσης γοναδοτροπινών (GtH)

ρογεννητικής θηλής προς την ωοθήκη. Ένα μικρό δείγμα ωοκυττάρων λαμβάνεται με μια ελαφρά αναρρόφηση (με το στόμα) από το άλλο άκρο του πλαστικού σωλήνα. Τα ωοκύτταρα είναι απαραίτητα να διαθέτουν σφαιρίδια λεκίθου καθώς και να είναι συγκεκριμένου μεγέθους. Το απαιτούμενο μέγεθος μπορεί να καθοριστεί μόνο πειραματικά για το κάθε είδος, αλλά, κατά κανόνα, θα πρέπει να είναι τουλάχιστον το μισό σε σχέση με το μέγεθος τους κατά την ωορρηξία. Τα ώριμα αρσενικά πρέπει να εκκρίνουν σπέρμα (εναιώρημα σπέρματος) από το άνοιγμα του γεννητικού τους πόρου κατά την άσκηση πίεσης στην κοιλιακή χώρα.

6.2.1.2 Η Επιλογή της Σωστής Ορμόνης και της Σωστής Δοσολογίας

Η hCG και η LHRHa είναι οι προτιμώμενες ορμόνες για την τεχνητή πρόκληση της ωοτοκίας στα ψάρια. Και οι δύο τους είναι εμπορικά διαθέσιμες σε καθαρή μορφή:

- Η LHRHa είναι πιο αποτελεσματική στην πρόκληση ωρίμανσης των ωοκυττάρων. Συνήθως χρησιμοποιείται σε δόση των 10-50μg/kg βιομάζας.
- Η hCG χρησιμοποιείται συνήθως σε δόσεις των 250-2000 IU (διεθνής μονάδα μέτρησης της δραστηριότητας) ανά κιλό βιομάζας.

Αρχικά, χρησιμοποιείται μία δόση μεσαίου εύρους και η βέλτιστη δόση καθορίζεται δια της πειραματικής δοκιμασίας. Εάν η δόση είναι πολύ χαμηλή, θα αποτύχει να προκληθεί ωοτοκία. Πάρα πολύ υψηλή δόση θα προκαλέσει τελική ωρίμανση των ωοκυττάρων με πολύ γρήγορους ρυθμούς που θα οδηγήσουν σε κακής ποιότητας αβγά. Μια πολύ χαμηλή δόση θα είναι αποτελεσματική εάν τα ωοκύτταρα είναι πολύ ώριμα (καθορίζεται από τους καθετηριασμούς).

6.2.1.3 Μέθοδος Χορήγησης Ορμονών

Οι ορμόνες χορηγούνται είτε ενδομυϊκά (IM) (**Εικόνα 6.2**) είτε ενδοπεριτοναϊκά (IP) (στην σπλαχνική κοιλότητα του σώματος). Οι ενδομυϊκές ενέσεις έχουν το μειονέκτημα της απώλειας ορμονών όταν αποσύρεται η βελόνα. Ωστόσο, η ελαχιστοποίηση του όγκου έγχυσης μπορεί να μειώσει την απώλεια. Με τις ενδοπεριτοναϊκές ενέσεις απο-



Εικόνα 6.2 Ενδομυϊκή ένεση ορμόνης στην πέρκα, *Perca fluviatilis*. Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από τον Tomáš Polícar.

φεύγεται το πρόβλημα της απώλειας ορμονών, αλλά μπορεί να προκληθεί βλάβη στα εσωτερικά όργανα ή απορροή στο έντερο, όπου η ορμόνη θα είναι αναποτελεσματική.

Οι ορμόνες μπορούν επίσης να χορηγηθούν μέσω σύμπηκτων (pellet). Σε αυτή την περίπτωση, η ορμόνη αναμειγνύεται με χοληστερόλη και συμπιέζεται για να σχηματίσει ένα σύμπηκτο, το οποίο εγχέεται στον μυ. Το πλεονέκτημα της χρήσης σύμπηκτων είναι ότι η απελευθέρωση της ορμόνης στο κυκλοφορικό σύστημα γίνεται πιο ομοιόμορφα και δεν έχει ως αποτέλεσμα μια απότομη αύξηση των ορμονικών επιπέδων όπως συμβαίνει με την έγχυση υγρού. Τα σύμπηκτα μπορούν επίσης να εμπεριέχουν κυτταρίνη ώστε να βοηθήσει στη ρύθμιση της ταχύτητας απελευθέρωσης των ορμονών: όσο αυξάνεται η συγκέντρωση της κυτταρίνης, τόσο πιο αργή είναι η ταχύτητα απελευθέρωσης.

6.2.1.4 Σωστός Χρονισμός στη Χορήγηση Ορμονών

Η τεχνητή πρόκληση ωοτοκίας είναι πιο επιτυχημένη εάν η ορμόνη χορηγείται έτσι ώστε αυτή να λαμβάνει χώρα κατά τις ώρες της ημέρας που θα συνέβαινε και στην φύση. Για να επιτευχθεί αυτό, απαιτείται γνώση τόσο του φυσικού ημερήσιου κύκλου

της ωοτοκίας όσο και του χρονικού διαστήματος που μεσολαβεί μεταξύ της χορήγησης ορμονών και της ωορρηξίας γνωστή και “λανθάνουσα περίοδος”. Για παράδειγμα, το είδος *Lates calcarifer* (μπα-ραμούντι) γεννά στη φύση κατά τις απογευματινές ώρες έχοντας μια λανθάνουσα περίοδο περίπου 36 ωρών. Επομένως, η ορμόνη χορηγείται περίπου στις 7 π.μ. ώστε να προκαλέσει τεχνητή ωοτοκία το απόγευμα της επόμενης ημέρας.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η GnRIF αναστέλλει την απελευθέρωση της GtH εντός της υπόφυσης (**Εικόνα 6.1**). Η GnRIF είναι στην πραγματικότητα ντοπαμίνη, και ανταγωνιστές της ντοπαμίνης όπως η πιμοζίδη και η ντομπεριδόνη μπορούν να εμποδίσουν την ανασταλτική της δράση. Ως εκ τούτου, η ωοτοκία δύναται να διευκολυνθεί χορηγώντας έναν ανταγωνιστή της ντοπαμίνης μέσω της τροφής. Η χρήση ενός συνδυασμού του αναλόγου της GnRIF (π.χ. η LHRHa) και ενός ανταγωνιστή της ντοπαμίνης (π.χ. ντομπεριδόνη) για την πρόκληση ωορρηξίας και ωοτοκίας στα καλλιεργούμενα ψάρια είναι γνωστή και ως ‘μέθοδος Linpre’. Για παράδειγμα, ένας συνδυασμός LHRHa (διεγέρτη της GtH) και πιμοζίδης (αναστολέας της GnRIF) διατίθεται προς εμπορική χρήση όπως επίσης και κιτ αναπαραγωγής για τις κύριες ομάδες ψαριών καλλιέργειας, όπως οι κυπρίνοι και τα διάφορα είδη σολομού.

6.2.2 Δεκάποδα Καρκινοειδή

Τα φύλα στα καλλιεργούμενα δεκάποδα καρκινοειδή είναι διακριτά και τα ζεύγη των γονάδων είναι τοποθετημένα ραχιαία και πλευρικά των σπλάχων. Η αναπαραγωγή τους και η ωρίμανση των γονάδων δύναται να ρυθμιστούν ορμονικά. Η σύνθεση και η απελευθέρωση των αναπαραγωγικών ορμονών των καρκινοειδών στο φυσικό περιβάλλον συμβαίνει ως απόκριση τόσο σε εξωγενείς όσο και ενδογενείς παράγοντες και η αναπαραγωγή συνδέεται στενά με την εποχιακή διακύμανση παραμέτρων παρόμοιων με αυτές των ψαριών, όπως είναι για παράδειγμα η φωτοπερίοδος, η θερμοκρασία του νερού και η διαθεσιμότητα της τροφής.

Η αναπαραγωγή στα δεκάποδα καρκινοειδή ελέγχεται από ορμόνες που απελευθερώνονται από τον ρινικό αδένα και τα παρεμφερή κέντρα (όργανο-Χ και όργανο-Υ). Αυτοί οι αδένες, οι οποίοι εκκρίνουν τις θεμελιώδεις ορμόνες για τη λειτουργία του οργανισμού, βρίσκονται στο εσωτερικό των οφθαλμικών μίσχων. Στις ορμόνες αυτές περιλαμβάνονται ο αναστολέας των γονάδων (GIH), η ανασταλτική ορμόνη της έκδυσης (MIH) και πολλές άλλες. Μία ευρέως χρησιμοποιούμενη τεχνική για την πρόκληση της αναπαραγωγικής ωρίμανσης στις γαρίδες είναι η εκτομή των οφθαλμικών μίσχων. Δια της εκτομής αφαιρείται ο οφθαλμός και ο μίσχος καθώς και η πηγή των ορμονών. Η εκτομή του μίσχου είναι συνήθως μονομερής (εφαρμόζεται μόνο στο ένα μάτι) και επιτυγχάνεται με:

- αποκοπή του οφθαλμικού μίσχου, ή
- δια του καυτηριασμού, της σύνθλιψης ή της επίδεσης του οφθαλμικού μίσχου.

Στα θηλυκά, η εκτομή έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της συνολικής μάζας των ωοθηκών εξαιτίας της επιτάχυνσης της πρωτογενούς λεκιθογένεσης και την έναρξη της δευτερογενούς λεκιθογένεσης. Στα αρσενικά, η εκτομή προκαλεί σπερματογένεση, διεύρυνση του σπερματικού πόρου και υπερέκκριση του ανδρογόνου αδένα. Η εκτομή του οφθαλμικού μίσχου αφαιρεί επίσης την πηγή των MIH και άλλων ενώσεων που ελέγχουν την έκδυση. Στη φύση, η αναπαραγωγή των δεκάποδων καρκινοειδών συχνά συνοδεύεται από έκδυση είτε πριν από το ζευγάρωμα είτε πριν από την ωοτοκία.

Στις γαρίδες, η ωρίμανση των γονάδων μετά την εκτομή μπορεί να είναι πολύ γρήγορη, και τα θη-

λυκά μπορούν να αναπτύξουν πλήρεις ωοθήκες εντός 3-4 ημερών. Όπως και σε άλλα αρθρόποδα, τα σπερματοζώαρια των δεκάποδων καρκινοειδών δε φέρουν μαστίγια και συνεπώς δεν παρουσιάζουν κινητικότητα. Κατά το ζευγάρωμα, το αρσενικό εισάγει στο θηλυκό ένα σπερματοφόρο (μια μεγάλη δέσμη μη κινητικών σπερματοζωαρίων) είτε στον κοιλιακό υποδοχέα του σπέρματος (θηλυκό) είτε σε μία επιφάνεια στην κοιλιακή περιοχή, κοντά στον ωαγωγό. Η γονιμοποίηση συμβαίνει εξωτερικά μετά την ωορρηξία και την διέλευση των ωοκυττάρων μέσω του ωαγωγού, και τα γονιμοποιημένα αβγά αποτίθενται στην υδάτινη στήλη. Τα σπερματοφόρα μπορούν να παραμείνουν εμφυτευμένα στο θηλυκό για αρκετούς κύκλους ωρίμανσης των ωοθηκών γονιμοποιώντας ωοκύτταρα έως και έξι αποθέσεων σε ένα κύκλο έκδυσης. Τα σπερματοφόρα στη συνέχεια χάνονται με τον εκδυόμενο εξωσκελετό.

Η σύζευξη στα δεκάποδα καρκινοειδή συνήθως περιλαμβάνει ένα θηλυκό με μαλακό κέλυφος που μόλις απέρριψε τον εξωσκελετό του κι ένα αρσενικό με σκληρό κέλυφος. Καθώς τα δεκάποδα καρκινοειδή εκδύονται τακτικά (ενότητα 6.4.2), η επιτυχής γονιμοποίηση μπορεί να επιτευχθεί, διατηρώντας μαζί τους θηλυκούς και τους αρσενικούς γεννήτορες υπό κατάλληλες συνθήκες. Η τακτική αυτή χρησιμοποιείται στα εκκολαπτήρια καραβίδων του γλυκού νερού, καβουριών, αστακού καθώς και σε ορισμένα είδη γαρίδας. Στις υπόλοιπες ομάδες καρκινοειδών εκτός των γαρίδων, τα γονιμοποιημένα αβγά δεν αποτίθενται στη στήλη του νερού αλλά διατηρούνται στα πλεοπόδια (κοιλιακές αποφύσεις) των θηλυκών έως ότου οι προνύμφες ή τα νεαρά άτομα να εκκολαφθούν (**Εικόνα 23.11**). Τα θηλυκά που φέρουν τα γονιμοποιημένα αβγά στα πλεοπόδια τους είναι γνωστά ως ωοφόρα (ovigerous). Περισσότερο λεπτομερείς πληροφορίες για την αναπαραγωγική βιολογία των δεκάποδων καρκινοειδών παρέχονται από την Mente (2008).

6.2.3 Δίθυρα Μαλάκια

Τα περισσότερα είδη καλλιεργούμενων δίθυρων είναι γονοχωριστικά. Παρόλα αυτά, η αναπαραγωγική τους κατάσταση είναι πιο περίπλοκη σε σχέση τόσο με τα καλλιεργούμενα είδη ψαριών όσο και με τα δεκάποδα καρκινοειδή. Μερικά είδη δί-

θυρων όπως για παράδειγμα μερικά χτένια, είναι ερμαφρόδιτα παρουσιάζουν δηλαδή ταυτόχρονη παραγωγή αβγών και σπέρματος. Άλλα είδη δίθυρων παρουσιάζουν αναστροφή του φύλου κατά την ανάπτυξη τους. Συνήθως παρουσιάζουν πρωτανδρία, με τα νεότερα άτομα να είναι αρσενικά και τα μεγαλύτερα θηλυκά. Ορισμένα δίθυρα μπορούν να υποστούν περισσότερες από μία αλλαγές (συχνά σε ετήσια βάση) στη λειτουργική διάκριση των φύλων τους παρουσιάζοντας ρυθμικό διδοχικό ερμαφροδιτισμό (π.χ. τα είδη του γένους *Ostrea*). Αν και οι αιτίες της αλλαγής του φύλου στα δίθυρα δεν είναι πλήρως κατανοητές, φαίνεται ότι ενέχονται παράγοντες όπως η ενεργοποίηση γονιδίων ως απόκριση σε περιβαλλοντικούς παράγοντες, γονίδια που καθορίζουν το φύλο, η παροχή τροφής, κ.α.

Όπως στα ψάρια και στα δεκάποδα καρκινοειδή, η ωρίμανση των γαμετών στα δίθυρα επηρεάζεται από έναν αριθμό εξωγενών παραγόντων, συμπεριλαμβανομένης της θερμοκρασίας του νερού, της διαθεσιμότητας της τροφής, της έντασης του φωτός και του σεληνιακού κύκλου. Επίσης, επηρεάζεται από ενδογενείς παράγοντες, όπως ορμόνες, γενετικοί παράγοντες και τα επίπεδα των σωματικών αποθεμάτων ενέργειας. Η ωρίμανση των γονάδων στα δίθυρα βασίζεται τόσο στην άμεση πρόσληψη τροφής όσο και στη χρήση αποθεμάτων ενέργειας. Η θερμοκρασία του νερού είναι ίσως ο κύριος ρυθμιστής της ωρίμανσης των γονάδων στα δίθυρα. Ωστόσο, η σχέση μεταξύ της αυξημένης θερμοκρασίας του νερού και της φυσικής αύξησης της παραγωγής φυτοπλαγκτού (διαθεσιμότητα τροφής) είναι επίσης πολύ σημαντική.

Σημαντικά περιβαλλοντικά ερεθίσματα πρόκλησης ωοτοκίας στα δίθυρα αποτελούν η μεταβολή της θερμοκρασίας του νερού, η μεταβολή της αλατότητας, ο σεληνιακός κύκλος καθώς και οι φερομόνες, χημικές δηλαδή ουσίες που σχετίζονται με την παραγωγή των γαμετών και μεταφέρονται στο νερό από τα άλλα άτομα του πληθυσμού. Με εξαίρεση τον σεληνιακό κύκλο, όλα αυτά τα ερεθίσματα χρησιμοποιούνται και για την τεχνητή πρόκληση ωοτοκίας σε εκκολαπτήρια δίθυρων (ενότητα 6.3.2). Τα περισσότερα είδη είναι ωοτόκα και οι γαμέτες απελευθερώνονται στο υδάτινο περιβάλλον για να γονιμοποιηθούν. Σε

ορισμένα όμως είδη, όπως για παράδειγμα στο στρείδι *Ostrea edulis*, τα γονιμοποιημένα αβγά διατηρούνται στη μανδυακή κοιλότητα, όπου και αναπτύσσονται σε κολυμβητικές προνύμφες προτού απελευθερωθούν. Περισσότερες πληροφορίες για την αναπαραγωγική βιολογία των δίθυρων μαλακίων μπορούν να αναζητηθούν στο Κεφάλαιο 24 και στην εργασία του Gosling (2002).

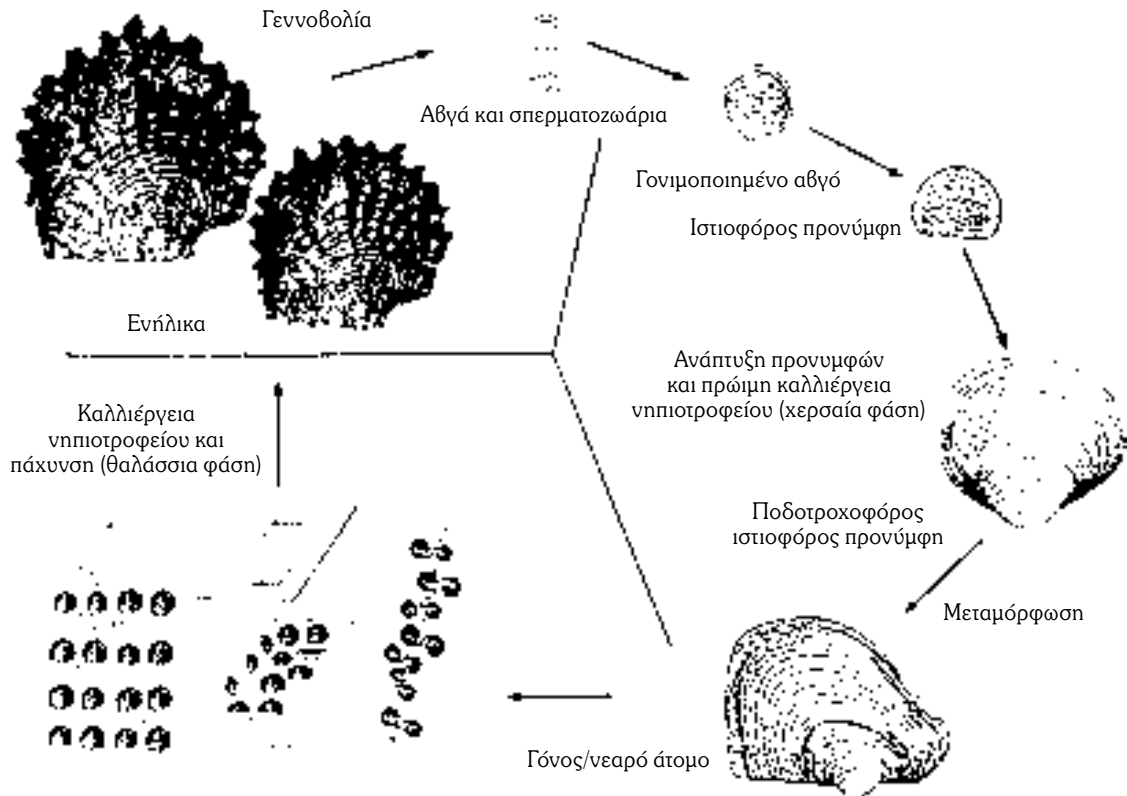
6.3 Κύκλοι Ζωής

6.3.1 Αλληλουχία των Σταδίων

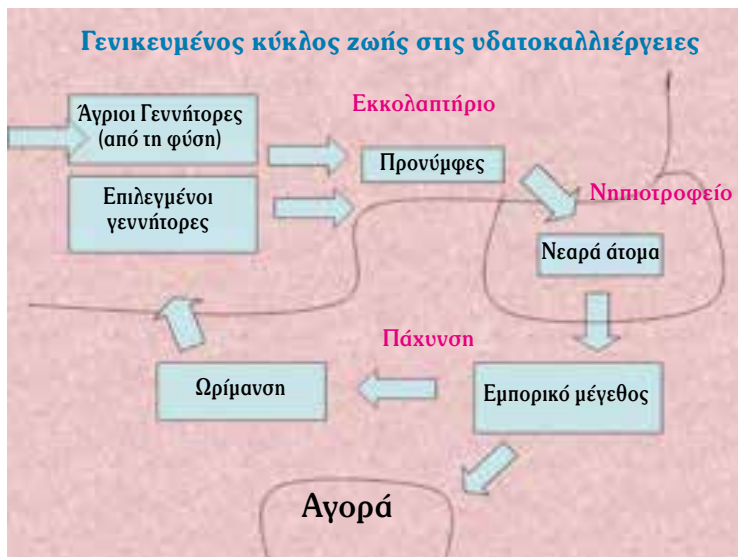
Κατά την περίοδο της αναπαραγωγής, τα ενήλικα άτομα είτε αποθέτουν τα αβγά και το σπέρμα τους ελεύθερα στο νερό (εξωτερική γονιμοποίηση) είτε το αρσενικό γονιμοποιεί το θηλυκό μέσω σύζευξης (εσωτερική γονιμοποίηση). Η γονιμοποίηση έχει ως αποτέλεσμα, αρχικά, την παραγωγή του ζυγώτη και στη συνέχεια του εμβρύου, το οποίο αναπτύσσεται εντός του αβγού. Η εμβρυϊκή ανάπτυξη λαμβάνει χώρα σε μια περίοδο που μπορεί να κυμαίνεται από λίγες ώρες έως αρκετές ημέρες, ανάλογα με το είδος και τη θερμοκρασία. Σε έναν τυπικό κύκλο ζωής ενός είδους με πλαγκτονικές προνύμφες, το έμβρυο εκκολάπτεται από το αβγό ως κολυμβητική προνύμφη που στη συνέχεια αναπτύσσεται σε νεαρό άτομο εντός της διάρκειας μερικών ημερών, εβδομάδων ή ακόμα σε μερικά είδη και μηνών. Αυτό μπορεί να είναι μία προοδευτική διαδικασία, όπως συμβαίνει στις γαρίδες και στα περισσότερα ψάρια. Σε κάποιες όμως περιπτώσεις, η προνύμφη μπορεί να εγκαταλείψει ξαφνικά το πλαγκτόν και να εγκατασταθεί σε ένα κατάλληλο υπόστρωμα προκειμένου να μεταμορφωθεί σε νεαρό άτομο, όπως συμβαίνει στα δίθυρα μαλάκια και σε άλλα βενθικά ασπόνδυλα. Το νεαρό αυτό άτομο στη συνέχεια αναπτύσσεται σταδιακά σε μια περίοδο μηνών ή ετών μέχρι να φτάσει στη γεννητική ωριμότητα και να ολοκληρωθεί ο κύκλος της ζωής (**Εικόνα 6.3**).

Από την πλευρά της υδατοκαλλιέργειας, αυτοί οι κύκλοι ζωής μπορούν να χωριστούν στα παρακάτω διαδοχικά στάδια:

- κατάλληλος χειρισμός των γεννητόρων ώστε να προκύψουν αναπαραγωγικά ενεργά άτομα, έτοιμα για γεννοβολία.
- γεννοβολία, είτε φυσική είτε τεχνητή (η δεύτε-



Εικόνα 6.3 Γενικευμένος κύκλος ζωής ενός μαργαριτοφόρου στρειδιού (είδη του γένους *Pinctada*) που δείχνει τις διαδοχικές φάσεις της καλλιέργειας. Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από τον Paul Southgate.



Εικόνα 6.4 Πώς σχετίζονται τα τυπικά στάδια της υδατοκαλλιέργειας με τα γενικά στάδια του κύκλου ζωής των ζώων καλλιέργειας. Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από τον John Lucas.

ρη είναι συνηθέστερη στην υδατοκαλλιέργεια).

- γονιμοποίηση των αβγών
- εκτροφή των προνυμφών
- εκτροφή των μετα-προνυμφών και νεαρών ατόμων
- πάχυνση στο εμπορικό μέγεθος, ή
- πάχυνση έως τη γεννητική ωρίμανση για παραγωγή γαμετών στην τεχνητή αναπαραγωγή.

Στην εντατική υδατοκαλλιέργεια ενός είδους,

πολλές από αυτές τις φάσεις του κύκλου ζωής απαιτούν διαφορετικές τεχνικές καλλιέργειας (**Εικόνα 6.4**). Για παράδειγμα, τόσο στα δίθυρα όσο και στα καρκινοειδή και στα ψάρια οι προνύμφες, τα νεαρά άτομα και οι γεννήτορες απαιτούν διαφορετικές μεθόδους καλλιέργειας. Ωστόσο, στην εκτατική υδατοκαλλιέργεια, μπορεί να υπάρξουν πολύ μικρές αλλαγές στις τεχνικές καλλιέργειας στις διαφορετικές φάσεις του κύκλου ζωής, π.χ.

στην εκτατική καλλιέργεια της τιλάπιας και της караβίδας του γλυκού νερού.

6.3.2 Επιλογή και Διαχείριση Γεννητόρων

Η συγκεκριμένη διαδικασία περιλαμβάνει την επιλογή των κατάλληλων οργανισμών που θα χρησιμεύσουν ως πηγές γαμετών. Μπορεί επίσης να περιλαμβάνει την επιλογή ενός αποθέματος οργανισμών με συγκεκριμένα γενετικά χαρακτηριστικά (Κεφάλαιο 7). Σε πολλές περιπτώσεις, η ομάδα των γεννητόρων προέρχεται από τη φύση (**Εικόνα 6.4**). Σε αυτή όμως την περίπτωση δεν υπάρχει η δυνατότητα τεχνητής επιλογής για τη βελτίωση των χαρακτηριστικών που σχετίζονται με την υδατοκαλλιέργεια του είδους. Όπως έχει ήδη περιγραφεί, τα περισσότερα υδρόβια ζώα καθίστανται γεννητικά ώριμα και αναπαράγονται κατά τους θερμότερους μήνες του έτους ως απόκριση της αύξησης της φωτοπεριόδου, της διαθεσιμότητας της τροφής και της αύξησης της θερμοκρασίας του νερού. Γνωρίζοντας τα κυριότερα περιβαλλοντικά ερεθίσματα για την ωρίμανση των γονάδων, οι τεχνητές περιβαλλοντικές συνθήκες σε ένα εκκολαπτήριο υδατοκαλλιέργειας μπορούν να διαμορφωθούν κατά τέτοιο τρόπο ώστε να επιφέρουν γεννητική ωριμότητα ακόμη και εκτός των φυσικής περιόδου αναπαραγωγής. Η διαδικασία αυτή είναι γνωστή ως διαχείριση γεννητόρων και δίνει την δυνατότητα σε ένα εκκολαπτήριο να παράγει γόνο καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.

6.3.3 Γεννοβολία

Οι μέθοδοι πρόκλησης γεννοβολίας (απελευθέρωση ωαρίων και σπερματοζωαρίων) σε μεμονωμένα είδη και ομάδες περιγράφονται λεπτομερώς σε άλλα κεφάλαια. Ωστόσο, είναι καλό να συνοψίσουμε αυτές τις μεθόδους σε πέντε κατηγορίες:

- 1) Ήπιες παρεμβάσεις όπως απότομη αύξηση της θερμοκρασίας, π.χ. στα δίθυρα.
- 2) Χειρισμός των αναπαραγωγικών ορμονών είτε με έγχυση/εμφύτευση αναπαραγωγικών ορμονών (στα ψάρια) είτε με εκτομή των οφθαλμικών μίσχων (στις γαρίδες).
- 3) Μεταφορά γαμετών από μία δεξαμενή όπου υπάρχουν ζώα που έχουν γεννήσει σε μία άλ-

λη όπου δεν έχουν γεννήσει επιτρέποντας έτσι στις φερομόνες που σχετίζονται με τη γαμετογένεση να προκαλέσουν απόκριση ωρίμανσης στους οργανισμούς της δεξαμενής, π.χ. στα δίθυρα.

- 4) “Άρμεγμα” των γονάδων, σε περιπτώσεις που η ομάδα των γεννητόρων μας είναι γνωστό ότι διαθέτουν ώριμους γαμέτες. Στην περίπτωση αυτή, είτε γίνονται κατάλληλες μαλάξεις στο σώμα του ζώου ώστε να αποβάλλει τους γαμέτες του, π.χ. ψάρια (**Εικόνα 6.5**, **Εικόνα 17.2**), είτε οι γονάδες αφαιρούνται από ένα θυσιασθέν ζώο το οποίο και θα ανοιχθεί για να απελευθερωθούν οι γαμέτες του, π.χ., δίθυρα (ενότητα 24.4.2.1).
- 5) Έγχυση νευροδιαβιβαστικής ουσίας απευθείας στη γονάδα ενός ώριμου ζώου, που πιθανώς να προκαλέσει γοναδικές συσπάσεις, π.χ. σε μερικά δίθυρα.

Είναι προφανές ότι το μεγαλύτερο εύρος μεθόδων προκαλούμενης γεννοβολίας χρησιμοποιείται στα δίθυρα μαλάκια (ενότητα 21.4.2). Ως ενός βαθμού, αυτό αντικατοπτρίζει το γεγονός ότι στα είδη αυτά η πρόκληση γεννοβολίας είναι ευκολότερη σε σχέση με τα ψάρια ή τις γαρίδες.

6.3.4 Γονιμοποίηση Αβγών

Στις περιπτώσεις που τα φύλα των γεννητόρων είναι διαχωρισμένα, η γονιμοποίηση περιλαμβάνει ανάμιξη μιας κατάλληλης ποσότητας εναιωρήματος σπέρματος και ωαρίων. Μέσω αυτής της διαδικασίας αποφεύγονται τόσο τα χαμηλά ποσοστά γονιμοποίησης, ως αποτέλεσμα ανεπαρκούς ποσότητας σπέρματος όσο και οι περιπτώσεις πολυσπερμίας, όπου στα ωάρια διεισδύει μεγαλύτερος αριθμός σπερματοζωαρίων. Όταν ένα σπερματοζωάριο διεισδύσει σε ένα ωάριο, η επιφάνεια του ωαρίου συχνά αλλάζει ώστε να αποτρέψει την περαιτέρω είσοδο σπερματοζωαρίων. Εάν, ωστόσο, η ποσότητα του σπέρματος είναι άφθονη, τότε μπορεί να συμβούν επιπλέον εισδύσεις πριν από τη δημιουργία αυτού του φραγμού με αποτέλεσμα το αβγό να περιέχει δύο ή και περισσότερους απλοειδείς πυρήνες σπερματοζωαρίων. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε ένα πολυπλοειδές (2+n) ζυγωτό και το έμβρυο να αναπτύσσεται μη φυσιολογικά.



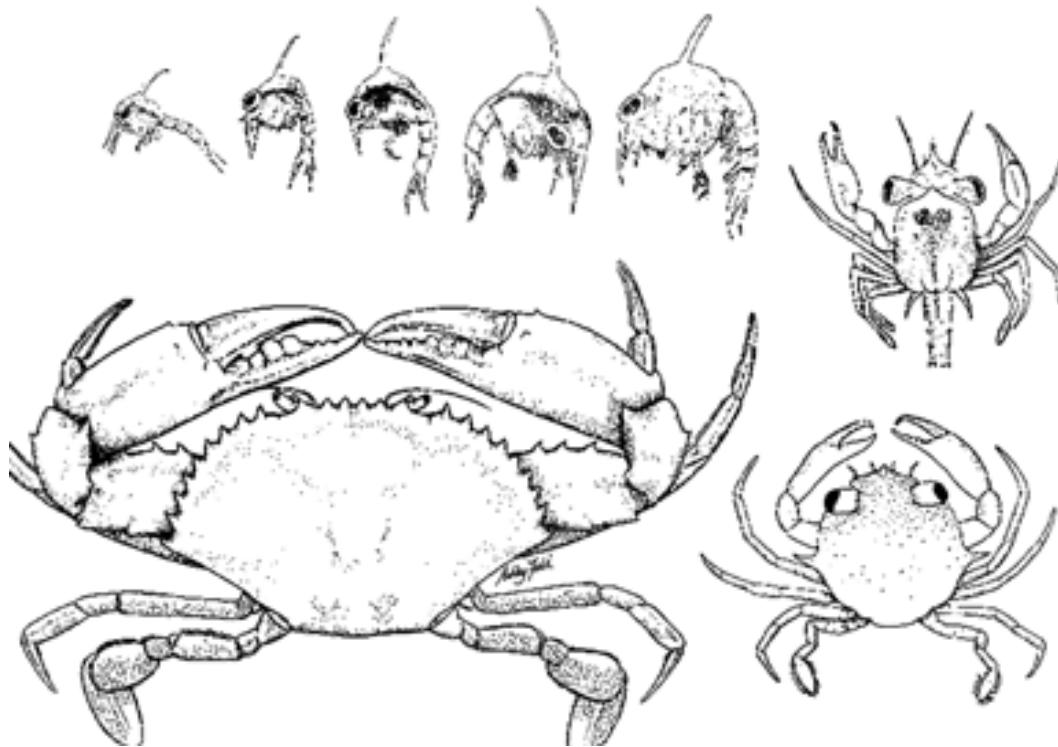
Εικόνα 6.5. Λήψη ωαρίων με ελαφριές μαλάξεις στην κοιλιακή χώρα των ψαριών (άρμεγμα) στο ποταμολάβρακο, *Sander lucioperca*. Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από τον Tomáš Polícar.

6.3.5 Εκτροφή Προνυμφών

Η εμβρυϊκή ανάπτυξη είναι συνήθως μια σύντομη διαδικασία, διάρκειας από μερικές ώρες έως αρκετές ημέρες. Σε συνθήκες καλλιέργειας απαιτείται το περιβάλλον στο οποίο αναπτύσσονται τα έμβρυα να είναι καθαρό και απαλλαγμένο από τα τυχόν οργανικά υπολείμματα και τις χημικές ουσίες της τεχνητής γονιμοποίησης που προηγήθηκε. Για το λόγο αυτό, τα έμβρυα πρέπει να διατηρούνται σε νερό το οποίο έχει υποστεί πολύ καλό φιλτράρισμα (π.χ. 0,2-2 μm) για την κατά το δυνατόν μείωση των επιπέδων βακτηρίων, τα οποία ενδεχομένως θα μολύνουν στις επιφάνειες των αβγών. Στα αναπτυσσόμενα έμβρυα πρέπει επίσης να παρέχονται επαρκή επίπεδα συγκέντρωσης διαλυμένου οξυγόνου.

Τα προνυμφικά στάδια των περισσότερων ψαριών, καρκινοειδών (**Εικόνα 6.6**) και δίθυρων (**Εικόνα 26.13**) είναι πλαγκτονοφάγα, δηλαδή εξαρτώνται από την εξωγενή παροχή τροφής για μεγάλο μέρος της ανάπτυξής τους. Ωστόσο, μόλις οι προνύμφες εκκολαφθούν, συνήθως έχουν επαρκή αποθέματα λεκίθου ώστε να υποστηριχθεί η ανά-

πτυξη τους για μια ημέρα ή ακόμη και περισσότερο πριν χρειαστούν τροφή (**Εικόνα 19.7**). Τα αποθέματα αυτά υπήρχαν στο αβγό και μεταφέρθηκαν από τη μητέρα. Οι προνύμφες των ψαριών για παράδειγμα δεν αναπτύσσουν λειτουργικό έντερο παρά μόνο κάποιο χρονικό διάστημα μετά την εκκόλαψη τους. Έως ότου μπορέσουν να συντηρηθούν σιτιζόμενες με κατάλληλες τροφές από το περιβάλλον τους εξαρτώνται από τα ενδογενή αποθέματα ενέργειας (**Εικόνα 6.7**). Τα έμβρυα και τα πρώιμα στάδια των προνυμφών των περισσότερων υδρόβιων ζώων χρησιμοποιούν λιπίδια και πρωτεΐνες από τα αποθέματα της λεκίθου για να στηρίξουν ενεργειακά την ανάπτυξη τους. Για παράδειγμα, έχει υπολογισθεί ότι σε μερικά δίθυρα η εμβρυϊκή ανάπτυξη χρησιμοποιεί περίπου το 70% των αποθεμάτων λιπιδίων του αβγού. Οι προνύμφες των δίθυρων θα πρέπει επίσης να βασίζονται σε ενδογενή ενεργειακά αποθέματα στο τέλος της ανάπτυξής τους, κατά τη διάρκεια της μεταμόρφωσής τους, όταν χάνουν προσωρινά την ικανότητά τους να τρέφονται. Σε αντίθεση με τις προνύμφες των ψαριών και των καρκινοειδών, οι οποίες διατηρούν την ικανότητα να τρέφονται κατά τη



Σχήμα 6.6 Ο κύκλος ζωής του καβουριού, *Scylla serrata*, όπου παρουσιάζονται τα διαδοχικά αναπτυξιακά του στάδια. Πηγή: Holme et al. 2009. Αναπαράγεται με άδεια από τον Elsevier.

Διατροφή

Ενδογενής



Μικτή



Εξωγενής



Fe



E



H



S



Re

Εικόνα 6.7 Διάγραμμα που δείχνει την πρώιμη ανάπτυξη των ειδών των σολομοειδών. E, ανάπτυξη των οφθαλμών του εμβρύου μέσα στο αυγό. Fe, γονιμοποιημένο αυγό. H, εκκόλαψη με μεγάλο λεκιθικό σάκο. S, προνύμφες στην έναρξη της εξωγενούς θρέψης. Re, ολοκλήρωση της απορρόφησης του λεκιθικού σάκου και αποκλειστική στήριξη στην εξωγενή θρέψη. Πηγή: Kamler 1992. Αναπαράγεται με άδεια από τον Springer. Προσαρμοσμένο από Raciborski 1987.

διάρκεια της σταθερής μετάβασης από προνύμφη σε νεαρό άτομο, οι προνύμφες των δίθυρων πρέπει να συσσωρεύουν σημαντικά αποθέματα ενέργειας κατά την ανάπτυξή τους. Σε ορισμένα είδη γαστερόποδων, όπως είναι για παράδειγμα η αλιώτιδα και οι τροχοί, τα αβγά περιέχουν επαρκή θρεπτικά αποθέματα για να υποστηρίξουν την ανάπτυξη των προνυμφών μέχρι τη φάση του νεαρού ατόμου χωρίς να χρειάζεται η προνύμφη να τραφεί. Η λεκιθοτροφική ανάπτυξη είναι συνήθως σύντομη και σχετίζεται με σχετικά μεγάλα, λεκιθοφόρα αβγά.

Οι κύκλοι ζωής στους οργανισμούς των εσωτερικών υδάτων συχνά διαφέρουν από το γενικό αυτό πρότυπο ως προς το ότι τα πλαγκτονικά στάδια των προνυμφών είτε γίνονται πιο σύντομα είτε ακόμη και παραλείπονται. Αυτό είναι γνωστό ως άμεση ανάπτυξη. Τα είδη του γλυκού νερού με άμεση ανάπτυξη τυπικά παράγουν μεγαλύτερα αβγά και με περισσότερη λέκιθο από τα συγγενικά θαλάσσια ζώα (**Εικόνα 23.11**). Αυτά τα μεγάλα αβγά υποστηρίζουν μια συγκριτικά μεγαλύτερη εμβρυϊκή περίοδο για να οδηγήσουν στην εκκόλαψη νεαρών ή σχεδόν νεαρών ατόμων. Τα αβγά συνήθως προστατεύονται κατά τη διάρκεια αυτής της μακράς εμβρυϊκής ανάπτυξης και τα ενήλικα άτομα μπορεί είτε να τα μεταφέρουν, όπως συμβαίνει για παράδειγμα με τα πλεοπόδια των θηλυκών караβίδων ή εντός του στόματος σε ορισμένα ψάρια, ή να κατασκευάζουν φωλιές ή και να επιδεικνύουν πρότυπα αναπαραγωγικής συμπεριφοράς για την προστασία των αβγών τους (γονική φροντίδα). Η γονική φροντίδα μπορεί επίσης να εμφανίζεται ως συμπεριφορά σε μερικά ψάρια του γλυκού νερού ή θαλάσσια που έχουν κανονικά προνυμφικά στάδια.

Αν και η άμεση ανάπτυξη είναι ο κανόνας στις караβίδες των εσωτερικών υδάτων, οι γιγαντιαίες караβίδες, είδη του γένους *Macrobrachium*, και ο Κινέζικος κάβουρας *Eriocheir sinensis*, έχουν προνυμφικά στάδια. Πρέπει να μεταναστεύσουν κατάντη του ρέματος των ποταμών προς αναζήτηση αλμυρού νερού προκειμένου να απελευθεώσουν τις προνύμφες τους, οι οποίες δεν μπορούν να επιβιώσουν στα γλυκά ύδατα.

Η φάση της εξωγενούς θρέψης των προνυμφών είναι συχνά η πιο απαιτητική φάση του κύκλου ζωής των οργανισμών στην υδατοκαλλιέργεια και

μπορεί να διαρκέσει από αρκετές ημέρες μέχρι πολλές εβδομάδες (ή ακόμα και μήνες στην περίπτωση κάποιων, ενότητα 2.8.1). Οι προνύμφες είναι ευαίσθητες τόσο από σωματικής όσο και φυσιολογικής άποψης. Απαιτούν καλά ελεγχόμενες περιβαλλοντικές παραμέτρους, όπως η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου (DO), το pH, τα επίπεδα του αζώτου στα απόβλητα, οι πληθυσμοί των βακτηρίων, τα επίπεδα οργανικών και ανόργανων σωματιδίων και η θερμοκρασία. Συχνά εκτρέφονται σε μεγάλες δεξαμενές για τη ρύθμιση αυτών των περιβαλλοντικών παραμέτρων. Όμως, η καλλιέργεια σε δεξαμενές ενέχει επίσης αρκετούς κινδύνους, όπως η μόλυνση και η πληθυσμιακές εκρήξεις παθογόνων βακτηρίων.

Καθώς οι προνύμφες περνούν από την ενδογενή στην εξωγενή θρέψη, η παροχή της κατάλληλης τροφής γίνεται ίσως η πιο σημαντική πτυχή της καλλιέργειας τους. Υπάρχουν δύο κύριες μορφές τροφών:

- Τα μικροφύκη για τη διηθηματική θρέψη στις προνύμφες των μαλακίων και των γαρίδων και
- Οι ναύπλιοι των τροχοζώων και της Αρτέμια για τις προνύμφες των ψαριών και τις μεγαλύτερες προνύμφες των γαρίδων (Κεφάλαιο 9).

Η πυκνότητα των προνυμφών στις δεξαμενές καλλιέργειας είναι ιδιαίτερα σημαντική για τη σωστή λειτουργία ενός εκκολαπτηρίου. Το πλεονέκτημα της υψηλής πυκνότητας των προνυμφών είναι ότι μπορούν να παραχθούν περισσότερες μετα-προνύμφες ανά μονάδα όγκου δεξαμενής καλλιέργειας. Ωστόσο, εάν η πυκνότητα των προνυμφών είναι υπερβολικά υψηλή, μπορεί να υποβαθμιστεί η ποιότητα του νερού και να επηρεαστεί η ανάπτυξη των προνυμφών και κατά συνέπεια η επιβίωση τους. Το νερό της δεξαμενής της καλλιέργειας συνήθως ανανεώνεται ανά τακτά διαστήματα για να διατηρηθεί η ποιότητά του. Παρόλα αυτά, εξαιτίας της πολύ υψηλής θνησιμότητας η πυκνότητα των προνυμφών μειώνεται καθώς μεγαλώνουν. Ενδεικτικά, 1 προνύμφη/ml νερού καλλιέργειας που ολοκληρώνει την ανάπτυξη της, αντιστοιχεί σε ένα εκατομμύριο προνύμφες από 1000 λίτρα νερού καλλιέργειας. Τα εκκολαπτήρια χρησιμοποιούν στις δεξαμενές εκτροφής έως και 20.000 λίτρα και παράγουν δεκάδες εκατομμύρια προνυμφών ανά κύκλο εκτροφής (**Εικόνα 3.9**).

Για την παροχή πολύ μεγαλύτερου όγκου στην εκτροφή των προνυμφών μπορούν να χρησιμοποιηθούν και λιμνοδεξαμενές (ponds). Ακόμη και με χαμηλές πυκνότητες προνυμφών, αυτό μπορεί να οδηγήσει σε πολύ μεγάλο αριθμό μεταπρονυμφών, π.χ., τόννοι του σταδίου της μεγαλόπης (megalopae) του κινέζικου κάβουρα *Eriocheir sinensis* παράγονται κατ' αυτόν τον τρόπο στην Κίνα (ενότητα 23.3.3.3).

6.3.6 Εκτροφή Μεταπρονυμφών και Νεαρών Ατόμων

Η εγκατάσταση των προνυμφών των δίθυρων προϋποθέτει την παροχή κατάλληλου υποστρώματος στο σύστημα της καλλιέργειας (ενότητα 24.4.2.4). Οι προνύμφες είναι επιλεκτικές επειδή, κατά την εγκατάσταση και τη μεταμόρφωση τους, προσκολλώνται και δεσμεύονται σε ένα συγκεκριμένο περιβάλλον για το υπόλοιπο της ζωής τους. Στις προνύμφες των ψαριών και των γαρίδων δεν υπάρχει ωστόσο απότομη μεταμόρφωση. Παρόλα αυτά, υπάρχει μία σταδιακή μεταβολή της συμπεριφοράς των μεταπρονυμφών των γαρίδων καθώς αυτές επηρεάζονται ολοένα και περισσότερο από το υπόστρωμα. Το ίδιο πρότυπο παρατηρείται και στα βενθικά ψάρια.

Τα θαλάσσια καβούρια κι εκείνα των υφάλμυρων υδάτων, όπως τα είδη της οικογένειας Portunidae, αποτελούν ένα άλλο παράδειγμα απότομης μεταμόρφωσης από το στάδιο των πλαγκτικής προνύμφης στο βενθικό στάδιο του νεαρού ατόμου. Στην περίπτωση αυτή, η μεταμόρφωση γίνεται μέσω ενός μεταβατικού σταδίου μεγαλώπων (megalopa).

Το πρώιμο στάδιο αυτής της περιόδου είναι συχνά ιδιαίτερα δύσκολο για την εκτροφή ψαριών, καθώς τα μεταμορφικά νεαρά άτομα αυτού του σταδίου πρέπει να περνούν σταδιακά από τη ζωντανή προς την τεχνητή διατροφή. Αν και για τα κυριότερα είδη καλλιέργειας έχουν αναπτυχθεί προτυποποιημένες διαδικασίες (ενότητα 9.5.1), το συγκεκριμένο στάδιο είναι συχνά ένα από τα δυσκολότερα σημεία στην εισαγωγή ενός νέου είδους ψαριών προς καλλιέργεια.

Τα μετα-μεταμορφικά νεαρά άτομα στα ψάρια, τα δεκάποδα καρκινοειδή και τα δίθυρα είναι πολύ μικρά, φυσιολογικώς εύθραυστα και ευάλωτα στη

θήρευση. Για μια περίοδο ημερών έως και μηνών ή ακόμη και για περισσότερο από ένα χρόνο, καλλιεργούνται σε προστατευμένες συνθήκες, πριν τοποθετηθούν στις δομές πάχυνσης. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει μια περίοδο καλλιέργειας εντός δεξαμενών στο εκκολαπτήριο, ακολουθούμενη από μια περίοδο προστατευόμενης καλλιέργειας είτε σε λιμνοδεξαμενές είτε στο πεδίο. Απαιτείται ιδιαίτερη φροντίδα και ειδικές συνθήκες για την ελαχιστοποίηση της θνησιμότητας κατά τη μεταφορά των νεαρών ατόμων από τις σχεδόν ιδανικές συνθήκες του εκκολαπτηρίου στις δεξαμενές ανάπτυξης. Οι συνθήκες αυτές περιλαμβάνουν κυμαινόμενη παροχή κατάλληλης τροφής, φιλτραρισμένο νερό το οποίο να μπορεί να θερμανθεί πάνω από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος και έλεγχο θηρευτών, ασθενειών και ρύπανσης.

6.3.7 Στάδιο της Πάχυνσης

Η πάχυνση είναι η τελική φάση του κύκλου της υδατοκαλλιέργειας κατά το οποίο τα νεαρά άτομα τοποθετούνται σε περιβάλλον εκτροφής ενηλίκων μέχρι και την εξαίευσή τους, τη φάση δηλαδή της συγκομιδής (Εικόνα 6.4). Παρόλα αυτά, τα άτομα δεν υφίστανται την ίδια μεταχείριση καθ' όλη τη διάρκεια αυτής της φάσης: παράγοντες όπως το μέγεθος των σύμπληκτων της τροφής, το μέγεθος της δεξαμενής (ή του κλωβού) και το μέγεθος της διαμέτρου του ματιού των διχτυών, μπορεί να ποικίλουν καθώς αυτά μεγαλώνουν.

6.3.8 Άλλοι Παράγοντες προς Εκτίμηση

Σε ορισμένες περιπτώσεις, όλη η διαδικασία της καλλιέργειας από την αναπαραγωγή των γεννητόρων έως την τελική εμπορική διάθεση και το μάρκετινγκ λαμβάνει χώρα σε μία μονάδα. Σε άλλες περιπτώσεις, το απόθεμα των καλλιεργούμενων οργανισμών μπορεί να πωληθεί διαδοχικά αρκετές φορές κατά τη διάρκεια του κύκλου της καλλιέργειας. Η συλλογή των γεννητόρων μπορεί να πραγματοποιηθεί με αλίευση τους στη φύση ή να εκτραφούν σε μία εξειδικευμένη μονάδα και στη συνέχεια να πωληθούν στο εκκολαπτήριο. Τα προχωρημένα στάδια των προνυμφών ή τα πρόωγα νεαρά άτομα πωλούνται συχνά από ένα εξειδικευμένο εκκολαπτήριο σε μονάδες εκτροφής νε-

αρών ατόμων. Τα νεαρά άτομα που είναι έτοιμα να “αποκοπούν” μπορούν τέλος να πωληθούν σε ειδικές μονάδες πάχυνσης. Αυτή η αλληλουχία οφείλεται στο γεγονός ότι οι διάφορες φάσεις του κύκλου της υδατοκαλλιέργειας απαιτούν την ύπαρξη ιδιαίτερης τεχνογνωσίας, εγκαταστάσεων, καθώς και αποτελεσματικότητα και εξειδίκευση. Στις περισσότερες περιπτώσεις, ο κύκλος παραγωγής σε μία τοπική υδατοκαλλιέργεια περιλαμβάνει ένα εκκολαπτήριο το οποίο να εμπορεύεται νεαρά άτομα σε μονάδες πάχυνσης, διότι όπως ήδη αναπτύχθηκε στις προηγούμενες παραγράφους, το στάδιο του εκκολαπτηρίου είναι τεχνικά πιο απαιτητικό και διότι ένα εκκολαπτήριο μπορεί να προμηθεύσει πολλές μονάδες. Σε ορισμένες Ασιατικές χώρες, όπως η Ταϊβάν, η διαδικασία αυτή επεκτείνεται περαιτέρω. Υπάρχει μια σειρά ειδικών εγκαταστάσεων με εξειδικευμένο τεχνικό προσωπικό που καλλιεργεί συγκεκριμένα στάδια πρώιμης ανάπτυξης των ψαριών. Κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης, τα ψάρια μπορούν να πωληθούν σε άλλες εγκαταστάσεις αρκετές φορές. Μάλιστα σε αυτή την περίπτωση η κάθε μονάδα/εγκατάσταση έχει τη δυνατότητα να καλλιεργήσει τα ίδια στάδια από διαφορετικά είδη ψαριών.

Πολλές βιομηχανίες υδατοκαλλιέργειας βασίζονται στην εύρεση και την αλίευση νεαρών ατόμων από το φυσικό τους περιβάλλον, παραλείποντας έτσι τις τεχνικά πιο απαιτητικές φάσεις της υδατοκαλλιέργειας που αναφέρονται στις ενότητες 6.3.2 έως 6.3.6. Η διαδικασία της συλλογής γόνου/νεαρών ατόμων από το φυσικό περιβάλλον είναι δυνατή γνωρίζοντας την εποχή και τις τοποθεσίες που αυτά απαντούν, καθώς και άλλες βιολογικές πληροφορίες σχετικά με τα νεοσυλλεχθέντα άτομα, όπως το υπόστρωμα εγκατάστασης. Για παράδειγμα, είναι δυνατό να αποθηκεύονται νεοσυλλεχθέντα άτομα ψαριών, γαρίδων ή καβουριών σε παράκτιες λιμνοδεξαμενές κατά τη διάρκεια της πλημμυρίδας (ανώτατη στάθμη παλίρροιας), όταν τα νεαρά άτομα είναι άφθονα στα γειτονικά παράκτια ύδατα. Εναλλακτικά, τα νεοσυλλεχθέντα μπορούν να αλιεύονται, π.χ. με δίκτυα, από τα παράκτια ύδατα όταν είναι άφθονα και στη συνέχεια να αποθηκεύονται στις λιμνοδεξαμενές καλλιέργειας. Στην περίπτωση των προνυμφών των δίθυρων, θα πρέπει να παρέχονται κατάλληλα υποστρώματα για την προσέλκυση προνυμφών

τελικού-σταδίου από τη στήλη του νερού προκειμένου να εγκατασταθούν (**Εικόνα 24.8**). Σε λιμνοδεξαμενές με γλυκό νερό, μπορεί να χρειαστεί τα ενήλικα άτομα να ζευγαρώνουν και να παράσχουν γονική φροντίδα στα αυγά τους και στη συνέχεια τα νεαρά άτομα να απομακρύνονται όταν βρεθούν στο κατάλληλο στάδιο. Ενδέχεται να υπάρχουν ακόμη αρκετά εμπορικά στάδια σε αυτήν τη διαδικασία, σύμφωνα με τα οποία νεαρά άτομα από το πεδίο, που συλλέγονται από ιδιόκτητες περιοχές ή με ψάρεμα, πωλούνται σε καλλιεργητές με σκοπό την πάχυνση.

Η νεοσυλλογή (φυσική στρατολόγηση) στο φυσικό περιβάλλον είναι συχνά το εναρκτήριο σημείο είτε σε μία εκτατική είτε μία ημι-εντατική υδατοκαλλιέργεια, δηλαδή σε περιπτώσεις όπου το μέγεθος των καλλιεργούμενων αποθεμάτων είναι χαμηλό έως μέτριο και ο αριθμός των γεννητόρων περιορισμένος. Αποτελεί τη βάση πολλών σημαντικών βιομηχανιών υδατοκαλλιέργειας, υπάρχουν όμως και πολλά εγγενή προβλήματα. Όπως και στην περίπτωση της εμπορικής αλιείας, το μεγαλύτερο πρόβλημα είναι ότι η νεοσυλλογή μπορεί να διαφέρει μεταξύ των ετών και δε μπορεί να είναι εντελώς προβλέψιμη ως προς το χρόνο. Η αλιευτική πίεση στα αποθέματα των ενηλίκων στη φύση μπορεί να μειώσει το αναπαραγωγικό τους δυναμικό και κατά συνέπεια την εύρεση και συλλογή γόνου και ιχθυδίων από την φύση. Ένα άλλο μειονέκτημα της εξάρτησης της υδατοκαλλιέργειας από τη νεοσυλλογή στη φύση είναι ότι σε αντίθεση με τις συνθήκες καλλιέργειας δεν υπάρχει η δυνατότητα παρέμβασης στα αποθέματα και συνεπώς βελτίωσης τους. Σε αυτή την περίπτωση είναι αδύνατο να επιλέξουμε επιθυμητά χαρακτηριστικά για την υδατοκαλλιέργεια.

6.4 Αύξηση

6.4.1 Ηλικία και Αύξηση

Σε πολλούς οργανισμούς υπάρχουν δύο πρότυπα αύξησης που λαμβάνουν χώρα ταυτόχρονα:

- 1) Ο απόλυτος ρυθμός αύξησης (absolute growth rate), δηλαδή ο ρυθμός αύξησης του μήκους ή της μάζας ανά μονάδα χρόνου, ο οποίος αρχικά είναι ασήμαντος, όταν το ζώο είναι πολύ μικρό (**Εικόνα 6.8**). Στη συνέχεια, καθώς το ζώο μεγαλώνει, η ικανότητά του να τρέφεται και να αφο-

μοιώνει την τροφή προοδευτικά αυξάνεται. Ο απόλυτος ρυθμός αύξησης μεγαλώνει και η καμπύλη μεγέθους έναντι της ηλικίας γίνεται πιο απότομη. Αυτό είναι γνωστό ως 'εκθετική φάση' της αύξησης.

- 2) Ο σχετικός ρυθμός αύξησης (relative growth rate), δηλαδή η αύξηση ανά μονάδα μάζας σώματος και ανά μονάδα χρόνου. Αντίθετα με τον απόλυτο ρυθμό αύξησης, ο σχετικός ρυθμός αύξησης είναι πολύ μεγάλος κατά τη διάρκεια της πρώιμης φάσης του κύκλου ζωής ενός ζώου (**Εικόνα 6.8**). Η σχετική αύξηση μπορεί να είναι 200% ή ακόμη και μεγαλύτερη κατά την πρώτη περίπου εβδομάδα της ανάπτυξης και παραμένει σε υψηλό επίπεδο κατά τους πρώτους μήνες.

Η σχέση ηλικίας-μεγέθους αντικατοπτρίζει το μεταβαλλόμενο πρότυπο της απόλυτης αύξησης (absolute growth), παράγοντας μία ημιτονοειδή καμπύλη (**Εικόνα 6.8**). Στο ανώτερο μέρος της καμπύλης υπάρχει μία κλίση, και το μέγεθος του σώματος τείνει προς μία ασυμπτωτική τιμή L_{∞} στην οποία θα έφτανε το ζώο εάν ζούσε επ' αόριστων.

Μία από τις σύνθετες λογιστικές εξισώσεις που χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν τη σχέση μεταξύ μεγέθους και ηλικίας είναι και η εξίσωση αύξησης του von Bertalanffy (von Bertalanffy growth function, VBGF). Μία μορφή της VBGF είναι η:

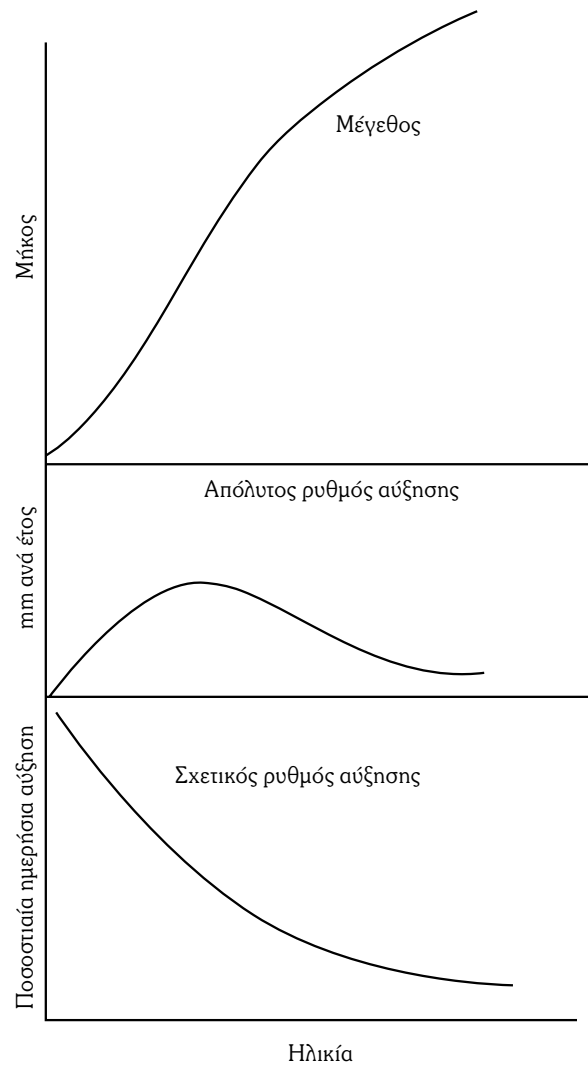
$$L_t = L_{\infty} \left(1 - e^{-kt} \right)$$

όπου L_t είναι το μέγεθος σώματος κατά τη χρονική στιγμή t . Το L_{∞} είναι το ασυμπτωτικό μήκος και τα b και K είναι οι συντελεστές αύξησης. Το b σχετίζεται με την αναλογία του μέγιστου μεγέθους προς το αρχικό και το K είναι ο συντελεστής αύξησης, που χρησιμοποιείται συχνά σε συγκρίσεις ρυθμών αύξησης μεταξύ πληθυσμών και ειδών.

Ωστόσο, σε πιο σύντομες περιόδους μέτρησης (π.χ. μήνες), όταν οι οργανισμοί βρίσκονται στην εκθετική (ταχεία) φάση της αύξησης, μπορεί να χρησιμοποιείται και ο συντελεστής σχετικής αύξησης (relative growth coefficient) ο οποίος περιγράφεται από ακόλουθη εξίσωση:

$$k = \frac{(\ln L_2 - \ln L_1)}{(t_2 - t_1)}$$

όπου L_t είναι μέγεθος στην αρχική χρονική στιγμή



Εικόνα 6.8 Γενικευμένες καμπύλες μεγέθους, απόλυτου ρυθμού αύξησης και σχετικού ρυθμού αύξησης έναντι της ηλικίας. Πηγή: Επανεκτύπωση από τους Malouf & Bricej (1989) κατόπιν αδείας από την Elsevier Science.

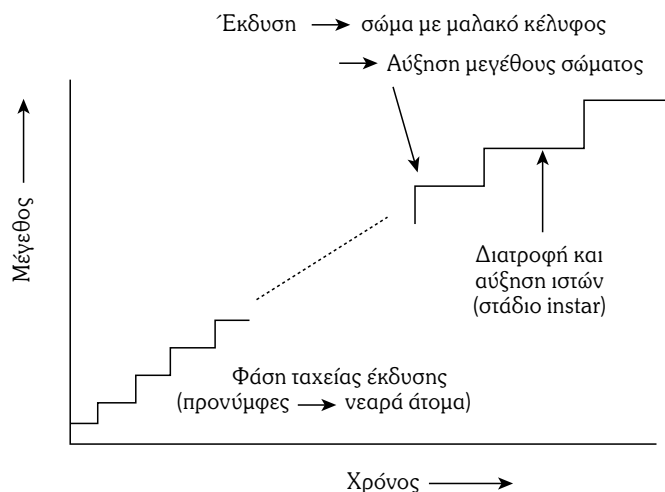
μή t_1 και L_2 είναι το μέγεθος στον τελικό χρόνο t_2 . Αυτός ο συντελεστής, k , υπολογίζεται εύκολα και χρησιμοποιείται ευρέως σε συγκριτικές μελέτες.

6.4.2 Αύξηση των Δεκάποδων Καρκινοειδών

Η αύξηση στα δεκάποδα καρκινοειδή ακολουθεί κατά κύριο λόγο το πρότυπο που περιγράφεται στην ενότητα 6.4.1. Το πρότυπο της αύξησης τους ωστόσο περιπλέκεται από το φαινόμενο της έκδυσης, κατά την οποία το ζώο αποβάλλει τον παλιό του εξωσκελετό (**Εικόνα 6.9**) και αυξάνεται γρήγορα κατά τη διάρκεια μιας σύντομης περιόδου



Εικόνα 6.9 Ένας σωρός από εκδεδυμένα κελύφη (εξωσκελετοί) του κινέζικου καβουριού, *Eriocheir sinensis*. Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από τον John Lucas.



Εικόνα 6.10 Κλιμακωτό πρότυπο αύξησης των δεκάποδων καρκινοειδών με τους διαδοχικούς κύκλους έκδυσης να λαμβάνουν χώρα ως εναλλασσόμενες φάσεις διόγκωσης (κυρίως μέσω ενυδάτωσης) και σκληρού κελύφους κατά τη διάρκεια των οποίων το σώμα σταθεροποιείται μεν σε σχέση με το εξωτερικό του μέγεθος, αλλά εσωτερικά αναπτύσσει τους οργανικούς του ιστούς καθώς τρέφεται. Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από τον John Lucas.

προτού σκληρύνει ο νέος του εξωσκελετός. Έτσι, η αύξηση εμφανίζεται ως μία σειρά από απότομα βήματα παρά ως μια συνεχής διαδικασία (**Εικόνα 6.10**). Οι λεπτομέρειες του κύκλου της έκδυσης περιγράφονται στον **Πίνακα 6.2**.

Η ζωή του δεκάποδου καρκινοειδούς διαιρείται σε μια σειρά από διαδοχικούς κύκλους έκδυ-

σης, οι οποίοι δύνανται να αριθμηθούν για λόγους ευκολίας. Αυτοί σημειώνονται κατά τις εκδύσεις όσο το ζώο συνεχίζει να αποβάλλει το κέλυφος του, εκτός κι εάν εισέλθει σε ένα τελικό, τερματικό στάδιο οπότε και παύει να εκδύεται (τελική έκδυση). Οι εκδύσεις εμφανίζονται συχνότερα στα νεαρότερα στάδια του κύκλου ζωής και χαρακτηρί-

Πίνακας 6.2 Κύρια γεγονότα που λαμβάνουν χώρα ανάμεσα στους διαδοχικούς κύκλους έκδυσης των δεκάποδων καρκινοειδών, από την πρώτη περίοδο έκδυσης (instar X) έως την επόμενη (instar X + 1).

Φάση	Διάρκεια ¹	Εξωτερικό μέγεθος σώματος	Οργανική μάζα ιστών	Συμπεριφορά	Κέλυφος
Μεταξύ των εκδύσεων (instar X)	Μέρες-εβδομάδες	Σταθερό	Αύξουσα	Σίτιση, Μετακίνηση	Σκληρό
Προ-έκδυσης	Ώρες έως αρκετές μέρες	Μικρή αλλαγή	Μείωση → αύξηση οργανικών στα σωματικών υγρών	Παύση της σίτισης, μπορεί να αναζητήσει κάλυμμα	Το κέλυφος απασβεστώνεται
Έκδυση	Λεπτά-ώρες	Ταχεία αύξηση	Χαμηλή	Ταχεία αποβολή του παλιού κελύφους. Δεν σπίζεται, μπορεί να αποκρυφθεί	Το παλιό κέλυφος απορρίπτεται. Νέο μαλακό κέλυφος
Μετά-έκδυσης	Ώρες-μέρες	Μικρή αλλαγή	Αρχίζει να αυξάνεται	Αρχίζει να σπίζεται	Σκληραίνει
Μεταξύ των εκδύσεων (instar X +1)	Ημέρες - εβδομάδες (μήνες) ²	Σταθερή	Αυξάνεται	Σίτιση, κινητικότητα	Σκληρό

¹ Η διάρκεια των σταδίων σχετίζεται με το μέγεθος του ζώου: μικρό μέγεθος = σύντομης διάρκειας, μεγάλο μέγεθος = μεγάλης διάρκειας.

² Τελευταία στάδια instar ορισμένων μεγάλου μεγέθους ειδών, π.χ. θαλάσσιοι αστακοί, καβούρια της λάσπης, τα οποία ενδέχεται να σταματήσουν την έκδυση (τερματική ανέκδυση)

ζονται από μεγαλύτερη μεν σχετική αύξηση αλλά μικρότερη απόλυτη αύξηση. Το αποτέλεσμα είναι μία σχέση ηλικίας-μεγέθους που μοιάζει αρκετά με τη σχέση της **Εικόνας 6.8**. Αντί όμως μίας ομαλής καμπύλης, η σχέση ακολουθεί ένα κλιμακωτό, πρότυπο (**Εικόνα 6.10**).

Οι διαδικασίες της:

- Έκδυσης, ώστε να επεκταθούν οι διαστάσεις του σώματος και
- Αύξησης, στο πλαίσιο της προσθήκης οργανικών ιστών και ενεργειακού περιεχομένου, είναι τελείως ανεξάρτητες μεταξύ τους (**Πίνακα 6.2**). Κατά τη διάρκεια της περιόδου μεταξύ των εκδύσεων τα δεκάποδα καρκινοειδή τρέφονται, συσσωρεύοντας οργανικούς ιστούς. Αυτή είναι η κρίσιμη περίοδος της αύξησης, αν και δεν υπάρχει καμία αλλαγή στις εξωτερικές διαστάσεις εφόσον το μέγεθος του σώματος περιορίζεται από τον εξωσκελετό. Το ζώο δεν τρέφεται κατά τις περιόδους αμέσως πριν, κατά τη διάρκεια και μετά τη έκδυση καθώς το κέλυφος του είναι πολύ μαλακό και ευάλωτο ώστε να μπορεί να τραφεί. Επί

της ουσίας είναι μία περίοδος μη-αύξησης, παρόλο που το σώμα διογκώνεται γρήγορα απορροφώντας νερό.

6.4.3 Το Ενεργειακό Ισοζύγιο της Αύξησης

Ο ρυθμός αύξησης (growth rate) εξαρτάται από το βαθμό που η καθαρή ενέργεια από την πρόσληψη της τροφής υπερβαίνει το μεταβολικό ρυθμό καθώς και από το ποσοστό της ενέργειας που πηγαίνει στην αναπαραγωγή μετά την ωρίμανση των οργανισμών (ενότητα 8.5). Η ενέργεια που δαπανάται για γαμετογένεση είναι μία σημαντική συνιστώσα των σωματικών αποθεμάτων σε πολλούς οργανισμούς υδατοκαλλιέργειας. Ως εκ τούτου, η γαμετογένεση αποτελεί μια σημαντική αιτία της σταδιακής μείωσης του ρυθμού αύξησης με την ηλικία.

Η ενέργεια για αύξηση μπορεί να εκφραστεί ως ένα ισοζύγιο ενεργειακών εισόδων και εξόδων ως εξής:

$$G = I - M - E - F - R$$

όπου G είναι ο ρυθμός αύξησης, I ο ρυθμός πρόσληψης της τροφής, M ο ρυθμός μεταβολισμού, E είναι ο ρυθμός μεταβολικής απέκκρισης των μοριακών αποβλήτων, F η παραγωγή στερεών αποβλήτων (κόπρανα) και R η ενέργεια για τη γαμετογένεση. Ο καθαρός ρυθμός πρόσληψης ενέργειας ισούται με $I - (E + F)$, είναι δηλαδή η πρόσληψη τροφής μείον τα αποβαλλόμενα μοριακά και στερεά απόβλητα. Συνεπώς η εξίσωση μπορεί να εκφραστεί και ως ο καθαρός ρυθμός πρόσληψης ενέργειας μείον την ενέργεια που καταναλώνεται για μεταβολισμό και αναπαραγωγή:

$$G = [I - (E + F)] - M - R$$

ή

$$G = [I - (E + F)] - M$$

κατά τη διάρκεια της ανώριμης φάσης του κύκλου ζωής.

6.4.4 Μετρώντας την Αύξηση

6.4.4.1 Γενικά

Ο ρυθμός αύξησης συχνά χρειάζεται να μετρηθεί με ακρίβεια. Είναι ένας τρόπος να προβλέψουμε πότε το καλλιεργούμενο απόθεμα θα είναι έτοιμο για συγκομιδή. Οι ανεπαρκείς ρυθμοί αύξησης ενδέχεται να σχετίζονται με παράγοντες όπως η κακή υγεία, η ανεπάρκεια τροφής και θρεπτικών στοιχείων, η κακή ποιότητα περιβάλλοντος, κακής ποιότητας απόθεμα, κλπ., που μπορεί να επηρεάσουν δυσμενώς την επίδοση της καλλιέργειας.

Πρέπει να μετρηθεί η αλλαγή του μεγέθους ενός αντιπροσωπευτικού δείγματος των καλλιεργούμενων οργανισμών για να επιτευχθεί η εκτίμηση του ρυθμού αύξησης. Για παράδειγμα, ένα κατάλληλο δείγμα από κάθε λιμνοδεξαμενή σε μία μονάδα παραγωγής γαρίδας μπορεί να είναι τουλάχιστον 100 άτομα. Το μέγεθος των οργανισμών μπορεί να μετρηθεί με διαφορετικές μεθόδους ανάλογα και με την κατηγορία που ανήκουν, π.χ. εάν είναι φύκη, ψάρια, δίθυρα μαλάκια ή καρκινοειδή. Οι τέσσερις κύριες μετρήσεις μεγέθους που χρησιμοποιούνται στην υδατοκαλλιέργεια είναι:

1) Μία έκφραση του μήκους (μονοδιάστατη μέτρηση) που μετριέται με όργανα όπως είναι τα παχύμετρα ή ένας χάρακας, ανάλογα με το μέ-

γεθος και το σχήμα του σώματος. Τα πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι ότι είναι γρήγορη και εύκολη και το ζώο δεν υφίσταται αδικαιολόγητη βλάβη. Τα μειονεκτήματα είναι ότι δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για οργανισμούς με ακαθόριστο σχήμα σώματος (π.χ. θαλάσσια φύκη) και δε δίνει ένδειξη της σωματικής κατάστασης του οργανισμού (παχύς/αδύναμος).

2) Το νωπό βάρος (*wet weight*) ολόκληρου του ζωντανού οργανισμού, που λαμβάνεται με ζυγούς ακριβείας. Το πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι είναι επίσης γρήγορη και εύκολη και το ζώο δεν υφίσταται αδικαιολόγητη βλάβη.

3) Το ξηρό βάρος (*dry weight*). Ολόκληρος ο νεκρός οργανισμός ή ένα ποσοτικοποιημένο κομμάτι αυτού ξηραίνεται σε κλίβανο στους 50 °C μέχρις ότου απομακρυνθεί (εξατμιστεί) όλη η υγρασία. Το πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι δίνει μία τιμή βάρους των ιστών που είναι ανεπηρέαστη από την περιεκτικότητα του σώματος σε νερό και η μέτρηση γίνεται σχετικά γρήγορα και εύκολα.

4) Το αποτεφρωμένο βάρος (*AFDW*, *Ash-free dry weight*). Μόλις προσδιοριστεί το ξηρό βάρος, ο οργανισμός θερμαίνεται σε κλίβανο περίπου στους 500 °C για 24 ώρες. Όλα τα οργανικά μόρια καίγονται στον κλίβανο, αφήνοντας μόνο ανόργανη τέφρα το βάρος της οποίας αφαιρείται από το ξηρό βάρος. Αυτός ο υπολογισμός δίνει το αποτεφρωμένο βάρος (*AFDW*), το οποίο αντιστοιχεί στο ξηρό βάρος της οργανικής ύλης του οργανισμού. Το ξηρό βάρος του ζώου ή του δείγματος ιστού – αποτεφρωμένο βάρος (*AFDW*) = ξηρό βάρος οργανικής ύλης. Η γνώση της ποσότητας της οργανικής ύλης αποτελεί ένα πολύ ακριβές μέτρο του μεγέθους ενός οργανισμού. Ένα ιδιαίτερο πλεονέκτημα στον προσδιορισμό του αποτεφρωμένου βάρους (*AFDW*) είναι ότι είναι ακριβής για οργανισμούς με μεγάλο ποσοστό ανόργανων συστατικών, όπως είναι τα κελύφη (π.χ. στα δίθυρα), στα οποία είναι δύσκολο να εκτιμηθεί η περιεκτικότητα σε οργανικό ιστό, επειδή αυτός είναι σχετικά μικρός. Μια λιγότερο ακριβής εναλλακτική λύση για το αποτεφρωμένο βάρος (*AFDW*) είναι να χρησιμοποιηθεί ο δείκτης ευρωστίας (*Condition Index*) (ενότητα 6.4.4.3)

Ο προσδιορισμός του ξηρού βάρους και του απο-



Εικόνα 6.11 Εργαστηριακός κλίβανος που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του αποτεφρωμένου ξηρού βάρους. Τα δείγματα ξηρού βάρους συνήθως τοποθετούνται σε κωνευτήρια μετάλλων ή πορσελάνης και ο χειρισμός τους γίνεται με λαβίδες. Πηγή: Cjr24 2009. Αναπαραγωγή με την άδεια Αναφοράς Δημιουργού - Παρόμοι-ας Διανομής Creative Commons, CC-BY-SA 3.0.

τεφρωμένου βάρους (AFDW) απαιτεί εξειδικευ- μένο εξοπλισμό όπως φούρνο ξήρανσης, κλίβανο $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ (**Εικόνα 6.11**) καθώς και ζυγό μεγάλης ακρί- βειας. Ο εξοπλισμός αυτός αποτελεί προϋπόθεση για εργαστηριακές μελέτες που απαιτούν πολύ ακριβή δεδομένα. Οι απλές μετρήσεις μήκους και βάρους χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση του μεγέθους ή της αύξησης στις μονάδες εκτροφής.

Συχνά αρκεί ο υδατοκαλλιεργητής απλά να πα- ρακολουθεί την μετρούμενη αύξηση, αλλά σε ορι- σμένες περιπτώσεις μπορεί να υπάρξει ανάγκη υπολογισμού και των ρυθμών αύξησης (growth rate), π.χ. για συγκρίσεις του ρυθμού αύξησης κα-

τά τη διάρκεια των εποχών ή μεταξύ διαφορετικών ομάδων. Ο ρυθμός αύξησης μπορεί να υπολογι- στεί στη βάση της γραμμικής αύξησης, δηλαδή με έναν υπολογισμό του μεγέθους σε μια συγκεκρι- μένη περίοδο. Ωστόσο, όπως απεικονίζεται στην **Εικόνα 6.8**, η αύξηση δεν είναι γραμμική. Ο συντε- λεστής αύξησης (growth coefficient) που παρέ- χεται στην ενότητα 6.4.1 μπορεί να χρησιμοποιη- θεί ως μία πιο αξιόπιστη τιμή για συγκρίσεις του σχετικού ρυθμού αύξησης (relative growth rate), υπό την προϋπόθεση ότι οι οργανισμοί βρίσκονται στην κατάλληλη φάση αύξησης τους.

6.4.4.2 Ψάρια

Το μήκος των ψαριών χρησιμοποιείται από παλιά στις εκτιμήσεις του μεγέθους και της αύξησης. Οι δύο πιο χρησιμοποιούμενες εκφράσεις του μήκους είναι οι εξής:

- 1) Το σταθερό μήκος (SL). Το SL υπολογίζεται από την άκρη του ρύγχους έως τη βάση του ουραίου πτερυγίου. Στις προνύμφες των ψαριών, ωστόσο, το SL είναι από την άκρη του ρύγχους μέχρι την άκρη της νωτοχορδής.
- 2) Το ολικό μήκος (TL). Το TL μετρείται από την άκρη του ρύγχους έως το άκρο του ουραίου πτερυγίου. Ωστόσο, η μέτρηση του TL μπορεί να είναι ανακριβής καθώς το ουραίο πτερύγιο μπορεί να έχει φθαρεί. Επιπλέον το TL είναι δύσκολο να μετρηθεί με ακρίβεια στις προνύμφες και τα ιχθύδια.

Όπως σημειώθηκε προηγουμένως, οι μετρήσεις μήκους δεν περιλαμβάνουν την ποσότητα του λίπους ή την σωματική κατάσταση ενός ψαριού και μπορεί ως εκ τούτου να είναι ένας κακός δείκτης της αύξησης. Κατά συνέπεια, το νωπό βάρος χρησιμοποιείται επίσης συχνά για την εκτίμηση του μεγέθους και της αύξησης, συνήθως σε συνδυασμό με το μήκος.

6.4.4.3 Δίθυρα μαλάκια

Τα δίθυρα μετρώνται συνήθως ως προς τις διαστάσεις του οστράκου τους, π.χ. το μήκος (SL), το ύψος (SH) και το πλάτος του οστράκου (SW). Εάν χρησιμοποιείται μόνο μία από τις διαστάσεις αυτές, όπως συμβαίνει στις περισσότερες περιπτώσεις, αυτή είναι η μεγαλύτερη και δεν είναι η ίδια σε όλα τα δίθυρα, π.χ. στα στρείδια η μεγαλύτερη διάσταση είναι το SH, στα μύδια το SL ενώ στις αχιβάδες το SW.

Το κύριο πρόβλημα με τις διαστάσεις του οστράκου ως μέτρο της αύξησης είναι ότι δεν λαμβάνει υπόψη την ανάπτυξη των ιστών. Το όστρακο των διθύρων έχει την τάση να αναπτύσσεται, ανεξάρτητα από την σωματική κατάσταση κι ευρωστία του ζώου. Το όστρακο μπορεί να αυξηθεί αργά ενώ η μάζα των ιστών να μειώνεται. Αυτό μπορεί να συμβεί κατά τη διάρκεια περιόδων χαμηλής αφθονίας φυτοπλαγκτού, δυσμενών περιβαλλοντικών συνθηκών ή ασθενειών. Οι δακτύλιοι αύ-

ξησης του οστράκου σε αυτές τις περιστάσεις δείχνουν μόνο την εμφανή αύξηση και εδώ είναι όπου ο προσδιορισμός του αποτεφρωμένου βάρους (AFDW) θα δείξει την πραγματική κατάσταση των ιστών και της υγείας των οργανισμών.

Υπάρχει επίσης μια απλούστερη μέθοδος για τον προσδιορισμό της σχετικής ποσότητας των ιστών σε σχέση με το όστρακο. Ονομάζεται δείκτης ευρωστίας (CI, Condition Index) και είναι ένα ποσοτικό μέτρο που χρησιμοποιείται στην εμπορική υδατοκαλλιέργεια, κατά κύριο λόγο για την αξιολόγηση της αναπαραγωγικής κατάστασης:

$$CI = \frac{\text{νωπό βάρος σάρκας (g)} / \text{όγκος κοιλότητας οστράκου (ml)}}{\text{ή}}$$

$$CI = \frac{\text{ξηρό βάρος σάρκας (g)} / \text{όγκος κοιλότητας οστράκου (ml)}}{\text{ή}}$$

Ο όγκος της κοιλότητας του οστράκου μπορεί να προσδιοριστεί με την μέθοδο του εκτοπισμού σε ογκομετρικό δοχείο.

Ο δείκτης ευρωστίας (CI) χρησιμοποιείται ευρέως στα στρείδια και αφορά περισσότερο στην εκτίμηση της αναπαραγωγικής τους κατάστασης καθώς και του κατά πόσο είναι "λιπαρά" σε σχέση με την καθαυτή ανάπτυξη ιστού.

6.4.4.4 Δεκάποδα Καρκινοειδή

Η αύξηση στα δεκάποδα καρκινοειδή μετρείται συνήθως με μια γραμμική μέτρηση του μήκους του κεφαλοθώρακα (carapace) τους. Σε καβούρια στα οποία ο κεφαλοθώρακας είναι πιο πλατύς από ότι το μήκος του, μετρείται το μέγιστο πλάτος του κεφαλοθώρακα (CW, Carapace Width). Σε άλλα δεκάποδα καρκινοειδή, όπως στις γαρίδες, τις καραβίδες, κλπ., με κεφαλοθώρακα που είναι μακρύτερος σε σχέση με το πλάτος τους, μετρείται το μήκος του κεφαλοθώρακα (CL, Carapace Length). Αυτές οι τελευταίες ομάδες καρκινοειδών έχουν καλά αναπτυγμένη κοιλία και τα ζωντανά άτομα τείνουν κατά τη διάρκεια της μέτρησης να εκτινάσσουν το σώμα τους με απότομη σύμπτυξη της κοιλιάς, παρεμποδίζοντας κατά συνέπεια τις μετρήσεις του CL. Για το λόγο αυτό, οι τελευταίες συνήθως δεν πραγματοποιούνται.

Λόγω του κύκλου της έκδυσης, η περιεκτικότη-

τα σε νερό των ιστών των δεκάποδων καρκινοειδών είναι πολύ μεταβλητή και οι μετρήσεις του νωπού βάρους μερικών ατόμων είναι αναξιόπιστες. Οι μετρήσεις νωπού βάρους σε μεγάλες ομάδες ατόμων είναι πιο αξιόπιστες καθώς καλύπτουν όλο το εύρος του κύκλου την έκδυσης στην ομάδα. Το μέσο νωπό βάρος προσδιορίζεται μετρώντας ένα γνωστό αριθμό περισσότερων ατόμων κι έχει το πλεονέκτημα ότι είναι μία πιο εύκολη και γρήγορη μέτρηση σε σχέση με τις μεμονωμένες μετρήσεις του κεφαλοθώρακα.

Η συχνότητα της έκδυσης είναι μια σημαντική ένδειξη του ρυθμού της σχετικής αύξησης (relative growth rate) σε έναν πληθυσμό δεκάποδων καρκινοειδών μιας καλλιέργειας. Παρόλα αυτά, είναι δύσκολο να εκτιμηθεί και δεν μπορεί να υποκαταστήσει τις μετρήσεις μεγέθους.

6.5 Περίληψη

- Στα περισσότερα είδη καλλιεργούμενων ψαριών τα φύλα είναι ξεχωριστά. Η αναπαραγωγική δραστηριότητα περιορίζεται σε μια συγκεκριμένη εποχή του έτους ανταποκρινόμενη σε συγκεκριμένα περιβαλλοντικά ερεθίσματα, όπως η αύξηση της διάρκειας της ημέρας ή της θερμοκρασίας του νερού. Αυτά προκαλούν ορμονικές αλλαγές οι οποίες ελέγχονται από την υπόφυση.
- Η γνώση αυτών των ερεθισμάτων και του ορμονικού ελέγχου της αναπαραγωγής επιτρέπει τον έλεγχο της αναπαραγωγής των ψαριών στα εκκολαπτήρια μέσω χειρισμού των περιβαλλοντικών συνθηκών και μέσω χορήγησης ορμονών.
- Η αναπαραγωγή στα δεκάποδα καρκινοειδή ελέγχεται από ορμόνες που απελευθερώνονται από τον ρινικό αδένα και τα συναφή τους κέντρα (όργανο Χ και όργανο Υ) που βρίσκονται εντός των οφθαλμικών μίσχων. Οι ορμόνες αυτές περιλαμβάνουν τον αναστολέα των γονάδων (GIH) και την ανασταλτική ορμόνη της έκδυσης (MIH) ενώ και μια ευρέως χρησιμοποιούμενη τεχνική για την πρόκληση της αναπαραγωγικής ωρίμανσης στις γαρίδες είναι η εκτομή του οφθαλμικού μίσχου. Η εκτομή του μίσχου είναι συνήθως μονομερής, εφαρμόζεται δηλαδή μόνο στον ένα οφθαλμό.
- Στα περισσότερα δίθυρα μαλάκια τα φύλα είναι ξεχωριστά και η αναπαραγωγική ωρίμανση επηρεάζεται από εξωγενείς παράγοντες όπως η θερμοκρασία του νερού και η διαθεσιμότητα της τροφής. Τα κυριότερα ερεθίσματα για τη γεννοβολία είναι η μεταβολή της θερμοκρασίας του νερού, η μεταβολή της αλατότητας, ο σεληνιακός κύκλος και χημικές ουσίες (φερομόνες) που σχετίζονται με τους γαμέτες που μεταφέρονται στο νερό από άλλα άτομα. Οι γαμέτες γενικά απελευθερώνονται στο περιβάλλον του νερού όπου και γονιμοποιούνται.
- Ο κύκλος ζωής των οργανισμών υδατοκαλλιέργειας περιλαμβάνει: το χειρισμό των γεννητόρων για την παραγωγή ώριμων ενηλίκων ατόμων ιακανών για γεννοβολία, τη γεννοβολία, είτε φυσική είτε προκαλούμενη (η τελευταία είναι πιο συνηθισμένη στην υδατοκαλλιέργεια), τη γονιμοποίηση των αβγών, την εκτροφή των προνυμφών, την εκτροφή των μετα-προνυμφών και των νεαρών ατόμων και την πάχυνση σε εμπορικό μέγεθος προς συγκομιδή. Η τελική αυτή φάση ενδέχεται εναλλακτικά να συνίσταται στην εκτροφή γεννητόρων για χρήση αυτών στην αναπαραγωγή.
- Η καλλιέργεια των δεκάποδων καρκινοειδών περιπλέκεται από το φαινόμενο της έκδυσης και η αύξηση επιτυγχάνεται μέσα από μια σειρά κλιμακωτών βημάτων κι όχι μέσω μιας συνεχούς διαδικασίας. Ο κύκλος ζωής των δεκάποδων καρκινοειδών διαιρείται σε μια σειρά διαδοχικών περιόδων έκδυσης.
- Οι μετρήσεις μήκους χρησιμοποιούνται συχνότερα στις εκτιμήσεις του ρυθμού αύξησης των οργανισμών υδατοκαλλιέργειας. Παρόλα αυτά, ο προσδιορισμός του ξηρού ή του αποτεφρωμένου βάρους (περιεκτικότητα σε οργανικά συστατικά) παρέχει μια ακριβέστερη μέτρηση της αύξησης των ιστών.

Βιβλιογραφία

- Gosling, E. (2002). *Bivalve Molluscs, Biology, Ecology and Culture*. Fishing News Books. Blackwell Publishing, UK. 443 pp.
- Kamler, E. (1992). *Early Life History of Fish: An Energetics Approach*. Chapman & Hall, London. 267 pp.
- Malouf, R.E. and Bricelj, V.M. (1989). Comparative biology of clams: environmental tolerances, feeding and growth. In: *Clam mariculture in North America*, J. Manzi, M. Castagna (eds.), Elsevier, New York. pp. 23–73.
- Mente, E. (2008). *Reproductive Biology of Crustaceans: Case Studies of Decapod Crustaceans*. CRC Press. 565 pp.
- Raciborski, K. (1987). Energy and protein transformation in sea trout (*Salmo trutta* L.) larvae during transition from yolk to external food. *Polskie Archiwum Hydrobiologii*, 34, 437–502.
- Zohar, Y. and Mylonas, C.C. (2001). Endocrine manipulations of spawning in cultured fish: from hormones to genes. *Aquaculture*, 197, 99–136.

7

ΓΕΝΕΤΙΚΗ

Rex Dunham

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

7.1	Εισαγωγή, 187	7.9	Ξενογένεση, 215
7.2	Βασική Γενετική, 188	7.10	Γενετική Μηχανική, 216
7.3	Επιγενετική, 191	7.11	Γονιδιακή Τροποποίηση, 224
7.4	Προσαρμογή και Αξιολόγηση Σειρών, 191	7.12	Συνδυάζοντας Προγράμματα Γενετικής Βελτίωσης, 225
7.5	Επιλογή, 193	7.13	Αλληλεπιδράσεις Γονότυπου – Περιβάλλοντος, 226
7.6	Ενδογαμία και Διατήρηση Γενετικής Ποικιλότητας, 201	7.14	Μελλοντικές Εξελίξεις, 227
7.7	Διασταύρωση και Υβριδισμός, 201	7.15	Περίληψη, 227
7.8	Χρωμοσωμικές Τεχνικές, 207		Βιβλιογραφία, 228

7.1 Εισαγωγή

Η γενετική βελτίωση, εδώ και αιώνες, έχει χρησιμοποιηθεί για την αύξηση της γεωργικής παραγωγής ζώων και φυτών κι έχει ενταθεί κατά τους τελευταίους δύο αιώνες. Η γενετική στην υδατοκαλλιέργεια έχει τεράστιες δυνατότητες για την ενίσχυση της παραγωγικής διαδικασίας και πλέον εφαρμόζεται στους υδρόβιους οργανισμούς προκειμένου να βελτιωθούν τα χαρακτηριστικά τους. Η σύγχρονη έρευνα για τη γενετική στην υδατοκαλλιέργεια άρχισε σποραδικά πριν από 80 χρόνια και εδραιώθηκε κατά τη δεκαετία του '70. Κατά τη διάρκεια των τριών τελευταίων δεκαετιών, η έρευνα στον τομέα αυτόν έχει ενταθεί σταθερά και πλέον η παραδοσιακή επιλεκτική αναπαραγωγή, η γενετική βιοτεχνολογία, η διαγονιδίωση και η γενετική τροποποίηση είναι ευρέως διαδεδομένες. Μελετώνται σύγχρονες τεχνικές, όπως η επιλογή μέσω ιχνηθέτησης (μοριακοί δείκτες), και υπάρχει ευρεία εφαρμογή της γενετικής βελτίωσης στην υδατοκαλλιέργεια, συμπεριλαμβανομένων της επιλογής, της επιλογής πολλαπλών χαρακτηριστικών, της υποβοηθούμενης από δείκτη

επιλογής, του διειδικού υβριδισμού, της πολυπloidείας, του γενετικού μονοφυλετισμού και, προσφάτως, της γενετικής μηχανικής.

Πριν από είκοσι χρόνια, το μεγαλύτερο μέρος της παραγωγής θαλάσσιων ψαριών παρέμενε ισοδύναμο μ' αυτό των μη κατοικίδιων βοοειδών και πουλερικών στην παραδοσιακή χερσαία γεωργία. Ωστόσο, τα προγράμματα επιλογής είναι πλέον συνηθισμένα για ορισμένα από τα κύρια είδη. Παρ' όλα αυτά, ορισμένες βιβλιογραφικές αναφορές δείχνουν ότι τα προγράμματα γενετικής βελτίωσης στη βιομηχανία της υδατοκαλλιέργειας δεν είναι ευρέως διαδεδομένα, και μόνο το 10% των εμπορικών πληθυσμών υδατοκαλλιέργειας είναι γενετικώς βελτιωμένα (Gjedrem et al., 2012; Gjedrem and Robinson, 2014). Αυτό ισχύει για τα γενετικά αποθέματα που χρησιμοποιούνται για τα νέα είδη υδατοκαλλιέργειας, τα οποία αποτελούνται ουσιαστικά από φυσικούς πληθυσμούς. Ωστόσο, αυτή η βιβλιογραφία περί έλλειψης εφαρμογής προγραμμάτων γενετικής βελτίωσης θεωρεί ως γενετική βελτίωση μόνο την επιλογή. Προφανώς, υπάρχουν εναλλακτικά προγράμ-

ματα γενετικής βελτίωσης, και μετά από 40-50 χρόνια γενετικής έρευνας και έρευνας σχετικής με την αναπαραγωγή, σε συνδυασμό με τη γενετική βιοτεχνολογία, καθιερωμένα στην αγορά εμπορικά είδη όπως κυπρίνοι, γατόψαρα, σολομοειδή, τιλάπιες και στρείδια, είναι ουσιαστικά όλα γενετικά βελτιωμένα. Οι καλύτεροι διαθέσιμοι γονότυποι μπορεί να έχουν επίπεδα απόδοσης έως και 10 φορές υψηλότερα από εκείνα των φυσικών γονότυπων με χαμηλή απόδοση, και ο ρυθμός προόδου και γενετικής βελτίωσης σίγουρα ανταγωνίζεται, ή και υπερβαίνει, εκείνον των χερσαίων ζώων. Ανεξαρτήτως του είδους και του γενετικού οφέλους που έχει επιτευχθεί έως και σήμερα, μπορεί να συνεχίσει να επιτυγχάνεται πολύ μεγαλύτερη γενετική πρόοδος.

Τα αποτελεσματικά προγράμματα έχουν στόχους και σχέδια, κι αυτό ισχύει και για τα προγράμματα γενετικής βελτίωσης. Στόχοι είναι τα σημαντικά χαρακτηριστικά οικονομικής σπουδαιότητας που θέλουμε να βελτιώσουμε, και ο βαθμός στον οποίο θεωρούμε ότι είναι εφικτό να τα βελτιώσουμε. Άρα, τα προγράμματα γενετικής βελτίωσης είναι τα σχέδια που χρησιμοποιούμε για την επίτευξη αυτών των στόχων και σκοπών. Ο βασικός στόχος αυτού του κεφαλαίου είναι να επανεξετάσει αυτά τα προγράμματα γενετικής βελτίωσης, ώστε να παρουσιάσει πόσο αποτελεσματικά ήταν, εστιάζοντας στα χαρακτηριστικά παραγωγής οστεϊχθύων, μαλακίων και καρκινοειδών.

7.2 Βασική Γενετική

7.2.1 Γονιδιακή Δράση

Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι γονιδιακής δράσης: κυρίαρχη / υπολειπόμενη και αθροιστική.

Στην περίπτωση της κυριαρχίας, είναι απαραίτητο ένα μόνο αντίγραφο του κυρίαρχου αλληλόμορφου (A) σ' έναν διπλοειδή οργανισμό για την έκφραση του σχετικού χαρακτηριστικού. Στην περίπτωση του υπολειπόμενου αλληλόμορφου (a), απαιτούνται δύο αντίγραφα του αλληλόμορφου για να παρατηρηθεί ο υπολειπόμενος φαινότυπος:

- Σ' ένα εντελώς κυρίαρχο σύστημα (**Πίνακας 7.1Α**), διακρίνεται μια μεγάλη μονάδα φαινοτυπικής παραλλακτικότητας όταν πηγαίνουμε από τον ομόζυγο υπολειπόμενο γονότυπο (aa) στον ετερόζυγο (Aa) και καμία μονάδα παραλλαγής

όταν πηγαίνουμε στον ομόζυγο γονότυπο (AA).

- Για την αθροιστική γονιδιακή δράση, τα αλληλόμορφα δρουν κατά τρόπο αθροιστικό με παρόμοιες μονάδες παραλλακτικότητας, όταν συγκρίνονται οι διαφορετικοί γονότυποι (aa → Aa → AA) ή, όπως στη μαθηματική πρόσθεση, το ισχυρότερο αλληλόμορφο θα συμβάλει περισσότερο στον φαινότυπο (**Πίνακας 7.1Ε**).
- Στην υπερκυριαρχία, ο ετεροζυγώτης είναι ανώτερος ή εκτός του εύρους των φαινοτύπων των δύο γονεϊκών ομοζυγίων (**Πίνακας 7.1Γ**).

Επιπλέον, στην περίπτωση αλληλομόρφων σε περισσότερες από μία θέσεις, τα αλληλόμορφα σε μία θέση μπορούν να επηρεάσουν την έκφραση αλληλόμορφων σε άλλη θέση. Αυτός ο τύπος γονιδιακής αλληλεπίδρασης ονομάζεται επίσταση.

7.2.2 Ποιοτικά Χαρακτηριστικά

Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά είναι φαινότυποι που εκφράζονται πλήρως ή καθόλου. Για παράδειγμα, ο αλφισμός ή ο κανονικός χρωματισμός είναι συνήθως αποτέλεσμα γονιδιακής έκφρασης μίας ή μόνο λίγων θώκων. Ο χρωματισμός και οι δυσμορφίες είναι παραδείγματα ποιοτικών χαρακτηριστικών.

Ποιοτικά χαρακτηριστικά, όπως αλλαγές στο χρώμα, στα πτερύγια, στον τύπο των λεπιών ή δυσμορφίες, μπορεί να είναι επιθυμητά ή επιζήμια για την υδατοκαλλιέργεια. Προφανώς, τα ποιοτικά χαρακτηριστικά είναι σημαντικά και αποτελούν την κύρια βάση για τη βιομηχανία της ενυδρείολογίας. Οι δυσμορφίες μπορεί να είναι πολύτιμες στο εμπόριο διακοσμητικών ειδών, αλλά συνήθως είναι ανεπιθύμητες στη βιομηχανία του εμπορίου τροφίμων. Εάν αυτά τα ποιοτικά χαρακτηριστικά είναι το αποτέλεσμα κυρίαρχης γονιδιακής δράσης, μπορούν εύκολα να εξαλειφθούν, καθώς όλοι οι κυρίαρχοι ομόζυγοι και ετερόζυγοι (άτομα φορείς) φαινότυποι είναι εμφανείς κι αυτά τα άτομα μπορούν να επιλεγούν αμέσως, με αποτέλεσμα έναν πληθυσμό χωρίς κανένα κυρίαρχο επιζήμιο αλληλόμορφο. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι η μετάλλαξη ατελούς ανάπτυξης ραχιαίου πτερυγίου ("saddleback") στην τιλάπια. Εξάλλου, είναι εξαιρετικά δύσκολο να εξαλειφθεί ένα επιζήμιο υπολειπόμενο αλληλόμορφο από έναν πληθυσμό, καθώς οι ετερόζυγοι φορείς δεν μπορούν ν'

Πίνακας 7.1 Βασικοί τύποι γονιδιακής έκφρασης

	Γονότυποι	Φαινότυποι	Μονάδα Φαινοτυπικής Αλλαγής μεταξύ των γονοτύπων
(Α) Πλήρης κυριαρχία	bb Bb BB	κόκκινο μαύρο μαύρο	↑ μεγάλη ↓ καμία
(Β) Ατελής κυριαρχία	bb Bb BB	λευκό σκούρο γκρι μαύρο	↑ μεγάλη ↓ μικρή
(Γ) Υπερκυριαρχία	ss	επιρρεπές στην ελονοσία	↑ μεγάλη
	Ss	υγιής (βέλτιστη περίπτωση)	↑ μεγάλη
	SS	δρεπανοκυτταρική αναιμία (ασθενές)	
(Δ) Συγκυριαρχία	AA Aa aa	μαύρο ασπρόμαυρο λευκό	μεγάλες, ίσες μονάδες αλλαγής
(Ε) Αθροιστική	rr Rr RR	λευκό ροζ κόκκινο	μεγάλες, ίσες μονάδες αλλαγής

αναγνωριστούν με απλή οπτική παρατήρηση (**Πίνακας 1Α**). Εάν το χαρακτηριστικό είχε μεγάλη οικονομική σημασία ή επέφερε ζημία, οι ετερόζυγοι φορείς θα μπορούσαν να εξαλειφθούν, ζευγαρώνοντας με άτομα γνωστού γονότυπου και εξετάζοντας τις φαινοτυπικές αναλογίες στους απογόνους: έλεγχος απογόνων (διασταύρωση ελέγχου). Δεδομένου ότι τα ψάρια έχουν υψηλή γονιμότητα και παράγουν μεγάλο αριθμό απογόνων, ο έλεγχος απογόνων θα μπορούσε να εξαλείψει τα επιβλαβή αλληλόμορφα από τον πληθυσμό σε μία μόνο γενιά.

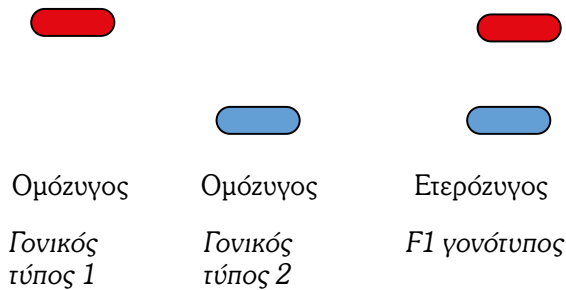
Όταν παρατηρούνται παραμορφώσεις, οι εκτροφείς ψαριών συχνά υποθέτουν ότι αυτές έχουν γενετική βάση κι ότι είναι πιθανό να αυξάνονται λόγω της ενδογαμίας στον πληθυσμό. Ωστόσο, αυτές οι υποθέσεις είναι συχνά λανθασμένες. Πολλές από τις παρατηρούμενες παραμορφώσεις προκαλούνται από το περιβάλλον και συχνά σχετίζονται με τη χαμηλή ποιότητα των αβγών ή την κακή ποιότητα του νερού στο εκκολαπτήριο.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι κυριαρχίας (**Πίνακας 7.1**), όπως αναφέρθηκε προηγουμένως. Στην περίπτωση της πλήρους κυριαρχίας, το χαρακτηριστικό εκφράζεται πλήρως στους ετερόζυγους και ομόζυγους κυρίαρχους γονότυπους. Ο κανονι-

κός χρωματισμός (σε αντίθεση με τον αλφισμό, ο οποίος είναι ομόζυγος υπολειπόμενος) και η ατελής ανάπτυξη ραχιαίου πτερυγίου είναι παραδείγματα πλήρους κυριαρχίας στα ψάρια.

Ο ετερόζυγος γονότυπος επιτρέπει μια σημαντική, αλλά όχι πλήρη μονάδα παραλλαγής του φαινοτύπου σε μια ατελή κυριαρχία. Ο ομόζυγος κυρίαρχος γονότυπος είναι απαραίτητος για να γίνει η μέγιστη αλλαγή στον φαινότυπο. Στην περίπτωση υπερκυριαρχίας, ο φαινότυπος του ετερόζυγου γονότυπου είναι εκτός του εύρους των δύο ομόζυγων γονοτύπων (**Πίνακας 7.1Γ**). Ο φαινότυπος που σχετίζεται με κάθε αλληλόμορφο παρατηρείται στην περίπτωση συγκυριαρχίας (**Εικόνα 7.1**).

1) **Επίσταση** είναι η αλληλεπίδραση γονιδίων σε διαφορετικούς θώκους. Αλληλόμορφα που βρίσκονται σε έναν θώκο μπορεί να επηρεάσουν την έκφραση αλληλομόρφων σε έναν άλλο θώκο. Η επίσταση είναι η βάση κάποιων προτύπων χρωματισμού στα ψάρια. Για παράδειγμα, είναι η εξήγηση για κάποιες κόκκινες και μαύρες παραλλαγές χρώματος στην τιλάπια, ο δε τύπος των λεπιών στον κοινό κυπρίνο επηρεάζεται επίσης από την επιστατική γονιδιακή δράση (**Εικόνες 7.2 και 16.5**).



Εικόνα 7.1 Συγκυριαρχία όπου και τα δύο αλληλόμορφα εκφράζονται εξίσου. Το DNA ή το υπόδειγμα του πρότυπου ζυμογράμματος της πρωτεΐνης εικονίζει την έννοια.



Εικόνα 7.2 Γραμμικός τύπος λεπιών στον κοινό κυπρίνο. Τα γονίδια για τον τύπο των λεπιών στον κοινό κυπρίνο έχουν επιστατική αλληλεπίδραση, πλειοτροπία και ημι-θνησιμότητα. Πηγή: George Chernilevsky. Αναπαραγωγή με την άδεια Αναφοράς Δημιουργού - Παρόμοιας Διανομής Creative Commons, CC-BY-SA 3.0.

2) **Πλειοτροπία** είναι όταν ένα γονίδιο επηρεάζει περισσότερα από ένα χαρακτηριστικά. Τα αλληλόμορφα και οι θώκοι που επηρεάζουν τον τύπο των λεπιών στον κοινό κυπρίνο είναι ένα εξαιρετικό παράδειγμα αυτού του φαινομένου. Αυτά τα γονίδια δεν επηρεάζουν μόνο τον τύπο των λεπιών, αλλά και την ανάπτυξη, την επιβίωση, άλλα μεριστικά γνωρίσματα, την ανθεκτικότητα σε χαμηλές τιμές διαλυμένου οξυγόνου, την αιμοσφαιρίνη και τον αιματοκρίτη και την ικανότητα αναγέννησης των πτερυγίων. Ορισμένες μεταλλάξεις μπορούν, επίσης, να έχουν ημι-θανατηφόρες ή θανατηφόρες επιπτώσεις, με αποτέλεσμα τη μειωμένη επιβίωση ή τον θάνατο. Και πάλι, ορισμένα αλληλόμορφα που επηρεάζουν τον τύπο των λεπιών του κοινού κυπρίνου έχουν ημι-θανατηφόρες ή θανατηφόρες συνέπειες κι αυτό ισχύει για τα αλληλόμορφα που είναι υπεύθυνα για την ατελή ανάπτυξη ραχιαίου πτερυγίου στις τιλάπιες.

3) **Ετέρωση** είναι η αυξημένη ή μειωμένη οποιασδήποτε ποιοτικής βιολογικής λειτουργίας σε υβριδικούς απογόνους, καθώς μπορεί να εί-

ναι θετική ή αρνητική. Στην περίπτωση γενετικής βελτίωσης των χαρακτηριστικών συμπεριφοράς στα ζώα, οι όροι ετέρωση και υβριδικό σθένος μπορούν να εναλλάσσονται. Ωστόσο, προτείνουμε για τη γενετική βελτίωση των ψαριών αυτό να καθιερωθεί ως ετέρωση, καθώς στην πληθυσμιακή γενετική το υβριδικό σθένος αναφέρεται στην αναπαραγωγική ικανότητα και συμβαίνει όταν η F1 παράγει περισσότερους ζώντες απογόνους απ' ό,τι οι γονεϊκοί γονότυποι.

7.2.3 Φαινοτυπική Παραλλακτικότητα

Οι μεμονωμένοι φαινότυποι, η εμφάνιση, τα χαρακτηριστικά και οι επιδόσεις των ατόμων, είναι αποτέλεσμα τριών βασικών στοιχείων:

- του περιβάλλοντος
- του γονότυπου
- της αλληλεπίδρασης μεταξύ περιβάλλοντος και γονότυπου

Έτσι, η φαινοτυπική παραλλακτικότητα (V_p) είναι το αποτέλεσμα γενετικής παραλλακτικότητας

(Vg), περιβαλλοντικής παραλλακτικότητας (Ve) και παραλλακτικότητας λόγω αλληλεπίδρασης γονότυπου - περιβάλλοντος (Vgs):

$$Vp = Vg + Ve + Vge.$$

Η γενετική παραλλακτικότητα στους πληθυσμούς έχει, επίσης, πολλές πιθανές συνιστώσες:

- αθροιστική γενετική παραλλακτικότητα
- γενετική παραλλακτικότητα κυριαρχίας
- παραλλακτικότητα λόγω αλληλεπίδρασης της επίστασης
- παραλλακτικότητα λόγω μητρικής ετέρωσης.

Ο τύπος της γενετικής παραλλακτικότητας επηρεάζει την επιτυχία του προγράμματος γενετικής βελτίωσης που επιχειρείται. Για να είναι επιτυχής η επιλογή, ένα χαρακτηριστικό πρέπει να έχει σημαντική κληρονομικότητα και ο λόγος της αθροιστικής γενετικής παραλλακτικότητας προς τη συνολική φαινοτυπική παραλλακτικότητα (κληρονομικότητα με τη στενή έννοια) πρέπει να είναι υψηλός. Ωστόσο, οι απόλυτες ποσοότητες αθροιστικής γενετικής παραλλακτικότητας και φαινοτυπικής παραλλακτικότητας είναι ίσης ή μεγαλύτερης σημασίας. Η κυριαρχία, η επίσταση και η υπερκυριαρχία είναι οι γενετικές βάσεις της ετέρωσης: η σχετική επίδοση των διασταυρώσεων και των υβριδίων σε σύγκριση με τους γονείς τους. Συνεπώς, πρέπει να υπάρχει σημαντική παραλλακτικότητα σχετιζόμενη με την κυριαρχία, ώστε τα προγράμματα διασταυρώσεων και υβριδισμού να είναι επιτυχημένα.

7.3 Επιγενετική

Η έκφραση των γονιδίων μπορεί να επηρεαστεί σε μεγάλο βαθμό από περιβαλλοντικούς παράγοντες. Έτσι, η ποιοτική και ποσοτική γενετική παραλλακτικότητα μπορεί να είναι ακόμη πιο περίπλοκη από ότι θεωρούνταν κάποτε. Η επιγενετική σχετίζεται με αλλαγές στη γονιδιακή έκφραση χωρίς τροποποίηση της αλληλουχίας του DNA. Το περιβάλλον μεταβάλλει τη γονιδιακή έκφραση προκαλώντας “αποσιώπηση” ή “αφυπνίζοντας” τα γονίδια, εξ ου και ονομάζεται επιγενετική τροποποίηση, η οποία συνδέεται με το επιγονιδίωμα, το συνολικό πρότυπο ενεργοποίησης του γονιδιώμα-

τος. Η επιρροή της επιγενετικής θεωρήθηκε κάποτε ότι επηρεάζει κυρίως τα εμβρυϊκά στάδια της ανάπτυξης, αλλά τώρα είναι γνωστό ότι αυτές οι επιγενετικές επιρροές μπορούν να συσσωρευτούν με την πάροδο του χρόνου και να είναι πιο επικρατούσες σε ενήλικα στάδια. Παρ’ όλο που προκαλούνται από το περιβάλλον, οι επιγενετικές αλλαγές μπορούν να μεταβιβαστούν σε μία ή σε περισσότερες γενιές. Έτσι, το πώς ένα ψάρι φροντίζεται, τρέφεται, εκτίθεται σε ασθένειες και άλλους περιβαλλοντικούς παράγοντες μπορεί να έχει μακροχρόνιες συνέπειες στο άτομο, οι οποίες μπορούν να μεταφερθούν στους άμεσους απογόνους του, αλλά και σε επόμενες γενιές.

Υπάρχουν πολλαπλοί μηχανισμοί για επιγενετική αποσιώπηση ή σίγαση γονιδίων. Οι κύριοι επιγενετικοί μηχανισμοί για την τροποποίηση της γονιδιακής έκφρασης περιλαμβάνουν μεθυλίωση του DNA, τροποποιήσεις της χρωματίνης (ιστόνες) και μη κωδικοποιημένα RNAs. Μεθυλίωση είναι η προσκόλληση ομάδων μεθυλίου σε αλληλουχίες DNA σ’ ένα γονίδιο, συγκεκριμένα στην κυτοσίνη όταν είναι δίπλα στη γουανίνη. Η λειτουργία του επιγονιδίου σχετίζεται, επίσης, με τις ιστόνες, πρωτεΐνες που ελέγχουν την πρόσβαση των γονιδίων για μεταγραφή, των οποίων η αφθονία μπορεί και πάλι να επηρεαστεί από περιβαλλοντικούς παράγοντες.

7.4 Προσαρμογή και Αξιολόγηση Σειρών

Η χρήση υφιστάμενων προσαρμοσμένων σειρών που έχουν καλύτερη επίδοση είναι το πρώτο βήμα σ’ ένα πρόγραμμα γενετικής βελτίωσης και ο μηχανισμός για την ταχύτερη αρχική πρόοδο στη γενετική βελτίωση. Οι προσαρμοσμένες σειρές ιχθύων έχουν συνήθως καλύτερες επιδόσεις σε περιβάλλοντα υδατοκαλλιέργειας απ’ ότι ο φυσικός πληθυσμός. Η παραλλακτικότητα της σειράς είναι επίσης σημαντική, καθώς η σειρά επηρεάζει άλλες προσεγγίσεις γενετικής βελτίωσης, όπως η ενδοειδική διασταύρωση, ο διεϊδικός υβριδισμός, η τριπλοειδία, ο έλεγχος του φύλου και η γενετική μηχανική.

Όταν άγρια ψάρια μετακινούνται σε περιβάλλον υδατοκαλλιέργειας ή εκκολαπτηρίου, εκτίθε-

Πίνακας 7.2 Παραλλαγές σειρών τιλάπιας του Νείλου (*Oreochromis niloticus*). Σύγκριση των σειρών της Αιγύπτου, της Ακτής Ελεφαντοστού και της Γκάνα για ορισμένα χαρακτηριστικά που είναι σημαντικά για την υδατοκαλλιέργεια.

Χαρακτηριστικό	Σειρά με τις καλύτερες αποδόσεις
Ρυθμός Ανάπτυξης	Αίγυπτος, Ακτή Ελεφαντοστού
Αναπαραγωγή	Γκάνα
Αντοχή στο κρύο	Αίγυπτος
Αλιευμένη ποσότητα*	Αίγυπτος, Γκάνα

*Ευαλωτότητα συλλεκτικής αλίευσης με γρίπο

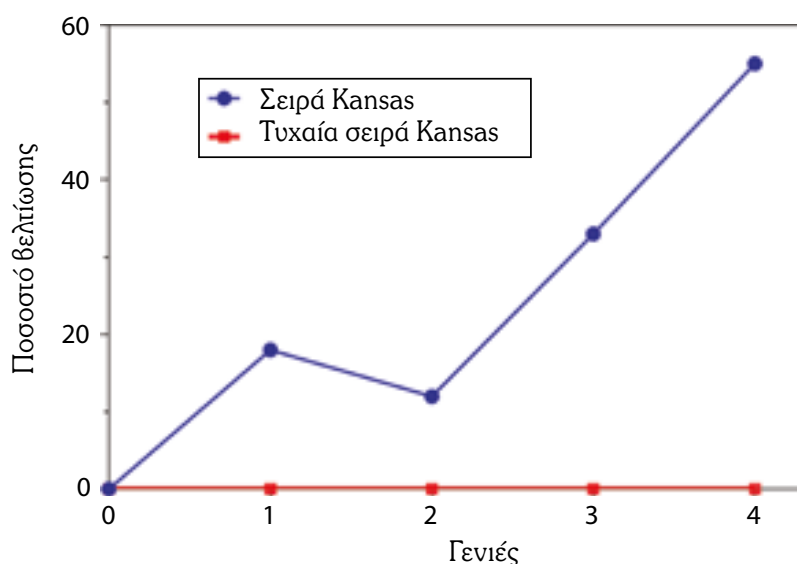
νται σ' ένα νέο περιβάλλον επιλεκτικών πιέσεων που θ' αλλάξει τις γονιδιακές συχνότητες. Έτσι, αρχίζει ν' αναπτύσσεται ένας οργανισμός που ταιριάζει καλύτερα στο περιβάλλον της υδατοκαλλιέργειας. Αυτή η διαδικασία, που ονομάζεται προσαρμογή, συμβαίνει ακόμη και χωρίς κατευθυνόμενη επιλογή από τον ιχθυοκαλλιεργητή. Φαινόμενα προσαρμογής παρατηρούνται σε ορισμένα ψάρια σε σύντομο χρονικό διάστημα, μέσα σε μία έως δύο γενιές μετά την απομάκρυνση από το φυσικό περιβάλλον (Dunham, 2011).

Στο γατόψαρο (*Ictalurus punctatus*) παρατηρήθηκε ένας αυξημένος ρυθμός ανάπτυξης της τάξης του 3% έως 6% ανά γενιά λόγω της επιλογής ως προς την προσαρμογή (**Εικόνα 7.3**), και η παλαιότερη προσαρμοσμένη σειρά του γατόψαρου

(107 ετών), η σειρά Kansas, έχει έναν από τους ταχύτερους ρυθμούς ανάπτυξης όλων των σειρών του γατόψαρου.

Ο προσαρμοσμένος κοινός κυπρίνος στην Ουγκανδία παρουσίασε καλύτερη ανάπτυξη και αντοχή στην *Aeromonas hydrophila* απ' ότι οι σειρές του φυσικού πληθυσμού. Αν και οι περισσότερες προσαρμοσμένες σειρές έχουν συνήθως καλύτερη απόδοση στο περιβάλλον της υδατοκαλλιέργειας απ' ότι οι σειρές του φυσικού πληθυσμού, αναφέρθηκαν κάποιες εξαιρέσεις, όπως η άγρια τιλάπια του Νείλου (*Oreochromis niloticus*) και ο ινδικός κυπρίνος (*Labeo rohita*), που φάνηκε ν' αναπτύσσονται καλύτερα στο περιβάλλον της υδατοκαλλιέργειας. Ωστόσο, η εξήγηση γι' αυτή την ανωμαλία φαίνεται ότι σχετίζεται με την έλλειψη διατήρησης της γενετικής ποιότητας και τη γενετική υποβάθμιση στις προσαρμοσμένες σειρές σε σύγκριση μ' αυτές του φυσικού πληθυσμού. Η κακή απόδοση ορισμένων προσαρμοσμένων ατόμων τιλάπιας σχετίζεται με την κακής ποιότητας γενεϊκή γενεαλογική γραμμή, την τυχαία γενετική παρέκκλιση, την ενδογαμία και την παρεμβολή βραδύτερα αναπτυσσόμενων ειδών, όπως η τιλάπια της Μοζαμβίκης (*Oreochromis mossambicus*), αλλά και βραδύτερα αναπτυσσόμενων σειρών, όπως η τιλάπια της Γκάνας.

Η προσαρμογή των εκτρεφόμενων γαρίδων ήταν σχετικά αργή σε σύγκριση μ' εκείνη των οστεϊχθύων, λόγω:



Εικόνα 7.3 Ποσοστιαία βελτίωση για γατόψαρο με επιλεγμένες σειρές Kansas σε σύγκριση με γατόψαρο τυχαίας σειράς Kansas μετά την πρώτη, τη δεύτερη, την τρίτη και την τέταρτη γενιά επιλογής ως προς την αύξηση του σωματικού βάρους. Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από τον Rex Dunham.

- της χρήσης άγριων γεννητόρων από τον φυσικό πληθυσμό και μεταπρονυμφών
- της έλλειψης κατανόησης της αναπαραγωγικής βιολογίας της γαρίδας για την προσαρμογή του είδους
- των προκλήσεων που παρουσιάζουν οι ενδημικές ασθένειες
- των νόμων που περιορίζουν τις μετακινήσεις των γαρίδων και της υγειονομικής πιστοποίησης
- της σχετικά πρόσφατης ανάπτυξης της υδατοκαλλιέργειας της γαρίδας.

Όπως συμβαίνει και με τα ψάρια, οι εκτρεφόμενες γαρίδες είναι περισσότερο οικονομικά αποδοτικές από τις ποικιλίες του φυσικού πληθυσμού για εφαρμογές υδατοκαλλιέργειας, όμως οι αναπαραγωγικές επιδόσεις της εκτρεφόμενης γαρίδας τίγρης (*Penaeus monodon*) και της καφέ γαρίδας τίγρης (*P. esculentus*), είναι παρόμοιες μ' αυτές των φυσικών πληθυσμών. Είναι πιθανόν τα αίτια αυτής της ομοιότητας να είναι περιβαλλοντικά και όχι γενετικά.

Διάφορες σειρές ψαριών εμφανίζουν μεγάλες διακυμάνσεις σε πολλά διαφορετικά χαρακτηριστικά. Υπάρχουν σειρές του γατόψαρου και της ιριδίζουσας πέστροφας που διαφέρουν ως προς τον ρυθμό ανάπτυξης, την ανθεκτικότητα σε ασθένειες, τη διαμόρφωση του σώματος, το ποσοστό φιλετοποιημένου σφαγίου, την ευαλωτότητα στην αλίευση με καλάμι και γρι-γρι, την ηλικία γεννητικής ωριμότητας, τον χρόνο ωοτοκίας, τη γονιμότητα και το μέγεθος των αβγών. Οι Okamoto et al. (1993) ανέφεραν ότι ένα ανθεκτικό στέλεχος μολυσματικού ιού παγκρεατικής νέκρωσης (IPNV) από ιριδίζουσα πέστροφα εμφάνισε θνησιμότητα της τάξης του 4,3% σε σύγκριση με το 96,1% ενός εξαιρετικά ευαίσθητου στελέχους. Άλλες σειρές ορισμένων ειδών θαλάσσιων ψαριών τροποποιούνται σχετικά με την ανθεκτικότητά τους σε υψηλές θερμοκρασίες, συμπεριλαμβανομένης της απώλειας ισορροπίας κολύμβησης και του διαχωρισμένου ουραίου πτερυγίου.

7.5 Επιλογή

7.5.1 Επιλεκτική Αναπαραγωγή

Η εξατομικευμένη ή η μαζική, η οικογενειακή, η

συνδυασμένη και η επιλογή με δείκτη είναι εναλλακτικά προγράμματα επιλογής με διάφορα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Η εξατομικευμένη επιλογή είναι απλή, αποτελεσματική και απαιτεί τους λιγότερους πόρους. Ωστόσο, δεδομένου ότι δεν υπάρχουν διαθέσιμες γενεαλογικές πληροφορίες, η εξατομικευμένη επιλογή θα οδηγήσει τελικά σε ενδογαμία και γενετική υποβάθμιση λόγω αυτής. Παρ' όλ' αυτά, σε σχετικά μικρούς πληθυσμούς, με 20 ζευγάρια να αναπαράγονται ανά γενιά, η ενδογαμία δεν θα συμβεί παρά μόνο αφού έχουν παρέλθει 5-6 γενιές. Σε ιδιαίτερα γόνιμα είδη, όπως οι κινεζικοί και οι ινδικοί κυπρίνοι, για τους οποίους απαιτούνται μόνο λίγες ωοτοκίες για να ικανοποιηθούν οι ανάγκες εκκόλαψης, η μαζική επιλογή θα οδηγήσει σε ταχεία ενδογαμική υποβάθμιση.

Η οικογενειακή επιλογή θα μπορούσε να οδηγήσει σε ταχύτερη γενετική βελτίωση. Επιτρέπει γενετική βελτίωση για λιγότερα κληρονομικά χαρακτηριστικά και εμποδίζει την ενδογαμία, καθώς τα γενεαλογικά χαρακτηριστικά πρέπει να διατηρούνται. Η οικογενειακή επιλογή επιτρέπει, επίσης, επιλογή και των δύο φύλων ως προς τα περιορισμένα λόγω φύλου χαρακτηριστικά και επιλογή ως προς χαρακτηριστικά που απαιτούν τη θανάτωση των ψαριών, όπως η απόδοση του σφαγίου. Το κύριο μειονέκτημα της οικογενειακής επιλογής είναι οι απαιτούμενοι επιπλέον πόροι και η τήρηση αρχείων που απαιτούνται για να έλθει εις πέρας αυτό το πρόγραμμα. Η συνδυασμένη επιλογή περιλαμβάνει την επιμέρους επιλογή εντός των οικογενειών και, θεωρητικά, οδηγεί στην ταχύτερη γενετική βελτίωση μέσω της επιλογής.

Η έρευνα για την επιλογή στα ψάρια ως προς τα σχετικά με την υδατοκαλλιέργεια χαρακτηριστικά, ξεκίνησε τη δεκαετία του 1920 (Emboday and Hayford, 1925), αλλά πολύ λίγα είχαν επιτευχθεί πριν το 1970. Δυστυχώς, κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, αρκετά πειράματα δυνητικά υψηλού αντίκτυπου, δεν περιλάμβαναν επαρκείς γενετικούς ελέγχους ώστε να αποδειχθεί όντως γενετική βελτίωση. Από το 1970 μέχρι σήμερα, η έρευνα για την επιλογή και την παραδοσιακή επιλεκτική αναπαραγωγή εξακολούθησε ν' αναπτύσσεται με ταχύ ρυθμό (Dunham, 2011; Gjerdrem et al., 2012; Gjerdrem και Robinson, 2014) παρά τον ενθουσιασμό και την αυξημένη χρηματοδότηση

στον τομέα της μοριακής γενετικής και της γονιδιοματικής. Γενικά, η ανταπόκριση στην επιλογή ως προς τον ρυθμό ανάπτυξης των υδρόβιων ειδών είναι πολύ καλή σε σύγκριση μ' εκείνη των χερσαίων αγροτικών ζώων και τα προγράμματα αυτά ήταν ιδιαίτερα επιτυχημένα (Πίνακας 7.3). Τα ψάρια, οι γαρίδες και τα δίθυρα μαλάκια έχουν συχνά υψηλότερη γενετική διακύμανση σε σύγκριση με τα ζώα εκτροφής: η γενετική ποικιλοότητα ως προς τον ρυθμό ανάπτυξης είναι 7-10% στα εκτρεφόμενα χερσαία ζώα και 20-35% στα ψάρια, τις γαρίδες και τα δίθυρα. Η γονιμότητα είναι, επίσης, υψηλότερη στα είδη υδατοκαλλιέργειας σε σύγκριση με τα θερμόαιμα γεωργικά ζώα, επιτρέποντας υψηλότερη ένταση επιλογής ως προς τη βελτίωση της παραγωγής από τις υδατοκαλλιέργειες και έχουν γίνει εκατοντάδες εκτιμήσεις σχετικά με την κληρονομικότητα διαφόρων χαρακτηριστικών εκτρεφόμενων ψαριών και οστρακοειδών (Tave, 1993).

Η επιλογή ως προς την αύξηση του σωματικού βάρους έχει μεγάλη πιθανότητα επιτυχίας στη μεγάλη πλειοψηφία των υδρόβιων οργανισμών και στη συντριπτική πλειονότητα των σειρών ενός είδους. Έξι γενιές επιλογής αύξησαν το σωματικό βάρος κατά 30% στην ιριδίζουσα πέστροφα. Μία αύξηση της τάξης του 7% επετεύχθη σε μία μόνο γενιά στον σολομό του Ατλαντικού (*Salmo salar*) κι ένας αυξημένος ρυθμός ανάπτυξης της τάξης του 50% επετεύχθη με 10 γενιές στον ασημένιο σολο-

μό (*Oncorhynchus kisutch*). Στο γατόψαρο το σωματικό βάρος βελτιώθηκε κατά 12-20% με μία έως δύο γενιές γενετικής επιλογής και η καλύτερη σειρά αναπτύχθηκε δύο φορές πιο γρήγορα από τις τυπικά μη επιλεγμένες. Μετά από τρεις γενιές, ο ρυθμός αύξησης του γατόψαρου σε λιμνοδεξαμενές βελτιώθηκε κατά 20-30% κι αυτό αυξήθηκε περαιτέρω σε 55% μετά από τέσσερις γενιές επιλογής στη σειρά Kansas του γατόψαρου (Εικόνα 7.3).

Η επιλογή ως προς το σωματικό βάρος ήταν, επίσης, επιτυχής στα θαλάσσια είδη, όπως στην τσιπούρα (*Sparus aurata*). Η επιλογή βελτίωσε την ανάπτυξη της θαλάσσιας γαρίδας *Marsupenaeus japonicus*. Η βελτίωση στην ανάπτυξη, η επιβίωση και οι συνολικές αποδόσεις επιτεύχθηκαν σε δύο επιλεγμένες σειρές (10-15% αύξηση στις μέσες αποδόσεις).

Η επιλογή είναι ένα αποτελεσματικό πρόγραμμα γενετικής βελτίωσης προκειμένου να βελτιωθούν οι ρυθμοί ανάπτυξης στα δίθυρα και στα καρκινοειδή. Μία γενιά μαζικής επιλογής ως προς τον έλεγχο του ρυθμού ανάπτυξης στα στρείδια του Ειρηνικού τον αύξησε κατά 8%, και η μαζική επιλογή ενήλικων στρειδιών είχε πολύ μεγάλη ανταπόκριση στην επιλογή ως προς τον ρυθμό ανάπτυξης στα *Crassostrea virginica*. Σε άλλα πειράματα, ένα κέρδος 10-20% στον ρυθμό ανάπτυξης των στρειδιών επετεύχθη μετά από μια γενιά επιλογής. Γενετική βελτίωση της τάξης του 9% αύ-

Πίνακας 7.3 Παραδείγματα βελτίωσης από την επιλεκτική αναπαραγωγή σε είδη υδατοκαλλιέργειας.

Είδος	Παράμετρος	Αριθμός Γενεών Επιλογής	% βελτίωση
Ιριδίζουσα πέστροφα	Σωματικό Βάρος	6	30
Ασημένιος σολομός	Ρυθμός Ανάπτυξης	10	50
Σολομός του Ατλαντικού	Ρυθμός Ανάπτυξης	1	7
Γατόψαρο	Ρυθμός Ανάπτυξης	4	55
Σαλβελίνος	Αντοχή στην βακτηριακή δοθιήνωση	3	2-69% επιβίωση
Ιριδίζουσα πέστροφα	Αντίσταση στο <i>Flavobacterium psychrophilum</i>	1	32
Κοινός Βιετναμέζικος κυπρίνος	Σωματικό Βάρος	6	5 ανά γενιά
GIFT Τιλάπια του Νείλου	Σωματικό Βάρος	8-14	11-13 ανά γενιά
Δίθυρα Μαλάκια	Ρυθμός Ανάπτυξης	1	8-9
Γαρίδα Κεντρικής Αμερικής	Ρυθμός Ανάπτυξης	1	4,4
Γαρίδα Κεντρικής Αμερικής	Αντίσταση στον ιό <i>Taura</i>	1	12,4% επιβίωση

ξησε τον ρυθμό ανάπτυξης στα στρείδια των βράχων του Σίδνεϋ (*Saccostrea lomerate*) σε μια γενιά και στο στρείδι της Χιλής (*Ostrea chilensis*). Ένα ποσοστό 9% ανά γενιά επιλογής ως προς τον ρυθμό ανάπτυξης υπολογίστηκε για την αχιβάδα του Ατλαντικού (*Mercenaria mercenaria*). Η επιλογή ως προς το αυξημένο σωματικό βάρος ήταν επιτυχής για μια ποικιλία θαλάσσιων γαρίδων, γαρίδων γλυκού νερού και καραβίδων (Gjedrem et al., 2012). Ο ρυθμός γενετικής βελτίωσης στα δίθυρα και τα οστρακοειδή φαίνεται να είναι παρόμοιος μ' εκείνον των οστεϊχθύων.

Η επιλογή υπήρξε αποτελεσματική όσον αφορά στη βελτίωση της ανθεκτικότητας σε ασθένειες, αλλά όχι τόσο σταθερά όσο η επιλογή ως προς το σωματικό βάρος. Η μεταβολή του στελέχους για την απόκριση στην επιλογή είναι πιο διαδεδομένη για την ανθεκτικότητα σε ασθένειες απ' ό,τι για το σωματικό βάρος και συχνά δεν υπάρχει κάποια απόκριση στην επιλογή για ορισμένα στελέχη, ενώ άλλα θα δείξουν σημαντική αύξηση της ανθεκτικότητας σε ασθένειες ως αποτέλεσμα της επιλογής. Στην περίπτωση των σολομοειδών, η επιλογή ως προς την ανθεκτικότητα σε ασθένειες ήταν ιδιαίτερα επιτυχημένη (Embrey and Hayford, 1925). Τρεις γενιές επιλογής ως προς την ανθεκτικότητα στην ενδημική βακτηριακή δοθιήνωση του σαλβελίνου (*Salvelinus fontinalis*) βελτίωσαν την επιβίωση από το 2% στο 69%. Η ανθεκτικότητα στη δοθιήνωση της κοινής πέστροφας (Εικόνα 7.4) και της λιμνοπέστροφας έχει βελτιωθεί μέσω της επιλογής. Μια γενιά επιλογής αύξησε την ανθεκτικότητα της ιριδίζουσας πέστροφας (*Oncorhynchus mykiss*) στο *Flavobacterium psychrophilum* (βακτηριακή ασθένεια των ψυχρών νερών) κατά ένα απόλυτο κι ένα σχετικό ποσοστό της τάξης του 32% και 105%, αντίστοιχα. Η απόκριση στην επιλογή ως προς την ανθεκτικότητα σε ιικές και βακτηριακές ασθένειες σε σολομοειδή έχει φτάσει κάποιες φορές στο 18-19%.

Η επιλογή ως προς την αυξημένη ανθεκτικότητα σε ασθένειες και την επιβίωση ήταν, επίσης, επιτυχής σε καρκινοειδή και δίθυρα. Στην γαρίδα της Κεντρικής Αμερικής (*Litopenaeus vannamei*), όταν εκτέθηκε στον ιό του συνδρόμου Taura, παρατηρήθηκε μία απόκριση για μία γενιά επιλογής της τάξης του 4,4% ως προς τον ρυθμό ανάπτυξης και του 12,4% ως προς την επιβίωση. Ακόμη περισ-

σότερο, η ανθεκτικότητα στον ιό του συνδρόμου Taura είχε μια απόλυτη βελτίωση κατά 30% και μια σχετική βελτίωση της τάξης του 100% σε δύο γενιές επιλογής στην *L. vannamei*. Επιπλέον, η ανάπτυξη και η επιβίωση σε λίμνες βελτιώθηκαν κατά 5-6% ανά γενιά.

Η κληρονομικότητα¹, η αθροιστική γενετική παραλλακτικότητα και η απόκριση στην επιλογή μπορούν να ποικίλλουν μεταξύ των σειρών ως προς το σωματικό βάρος και οι τιλάπιες και ο κοινός κυπρίνος (*Cyprinus carpio*) είναι ορισμένα από τα πιο εμφανή παραδείγματα αυτού του φαινομένου. Το σωματικό βάρος του κοινού κυπρίνου αρχικά φάνηκε ότι δεν αποκρίθηκε στην επιλογή, καθώς πέντε γενιές επιλογής ως προς το αυξημένο σωματικό βάρος δεν είχαν γενετική βελτίωση και πέντε γενιές επιλογής ως προς το είδος οδήγησαν σε μέτρια βελτίωση, της τάξης περίπου του 5-10%. Ωστόσο, σε μια Τσεχοσλοβακική σειρά κοινού κυπρίνου, η κληρονομικότητα ως προς το σωματικό βάρος εκτιμήθηκε σε 0,15-0,49. Ο Βιετναμέζικος κοινός κυπρίνος είχε κληρονομικότητα 0,3 ως προς τον ρυθμό ανάπτυξης και έξι γενιές επιλογής αύξησαν το σωματικό βάρος κατά 5% ανά γενιά.

Η μαζική επιλογή αποδίδει βελτιωμένο σωματικό βάρος στην τιλάπια της Μοζαμβίκης (*Oreochromis mossambicus*), στην κόκκινη τιλάπια, στην τιλάπια του Νείλου (*O. niloticus*), στην τιλάπια της Μαλάουι (*O. shiranus*) και στην μπλε τιλάπια (*O. aureus*). Ωστόσο, η επιλογή ως προς το αυξημένο σωματικό βάρος στην κόκκινη τιλάπια παρουσιάζει μεταβολές. Ακόμα μεγαλύτερη μεταβολή στην απόκριση στην επιλογή παρατηρήθηκε στην τιλάπια του Νείλου: από καμία απόκριση σε ορισμένες σειρές, στο 1-7% κέρδος ανά γενιά σε άλλες, και έως 11% ανά γενιά στις Φιλιππίνες για τη σειρά της γενετικά τροποποιημένης εκτρεφόμενης τιλάπιας του Νείλου (GIFT). Η έλλειψη απόκρισης σε ορισμένες σειρές μπορεί να αντικατοπτρίζει μια περιορισμένη γενετική βάση στο προγονικό απόθεμα, ή την αποκλειστική χρήση

¹ Η κληρονομικότητα είναι μια εκτίμηση για το πόσο μια παραλλαγή σ' ένα φαινοτυπικό χαρακτηριστικό εντός ενός πληθυσμού οφείλεται σε γενετικές παραλλαγές μεταξύ των ατόμων σ' αυτόν τον πληθυσμό. Συχνότερα παραπέμπει στη στενή έννοια της κληρονομικότητας, η οποία είναι η αναλογία της φαινοτυπικής διακύμανσης λόγω της αθροιστικής γενετικής παραλλαγής.

της μαζικής επιλογής σε περιπτώσεις στις οποίες η αθροιστική γενετική ποικιλοότητα ήταν χαμηλή. Ορισμένα προγράμματα επιλογής για την τιλάπια του Νείλου είχαν μέτρια επιτυχία, αύξηση σωματικού βάρους κατά 14% σε δύο γενιές για μια συνθετική αιγυπτιακή σειρά. Η επιλογή ως προς την αυξημένη ανάπτυξη στην τιλάπια του Νείλου με στέλεχος GIFT ήταν πολύ πιο παραγωγική, με βελτίωση της ανάπτυξης από 77% έως 123% μετά από 7 γενιές επιλογής. Κατά τις δύο πρώτες γενιές επιλογής, παρόμοιες αποκρίσεις στην επιλογή στην τιλάπια του Νείλου που αναπτύχθηκε σε περιβάλλον χαμηλής εισροής, εντοπίστηκαν στις πρώτες δύο γενιές του πληθυσμού GIFT, ο οποίος επιλέχθηκε σε διάφορα περιβάλλοντα. Η κατά 11% γενετική βελτίωση ανά γενιά σε τιλάπιες GIFT ήταν καλύτερη από εκείνη που προέκυψε στα περισσότερα άλλα είδη ψαριών, τα οποία υπολογίζονται κατά μέσο όρο από 5-7% ανά γενιά, όπως περιγράφηκε, μετά από περίπου 10 γενιές επιλογής. Εντούτοις, υπάρχουν κι άλλα εξαιρετικά παραδείγματα, όπως αυτά για τα γατόψαρα, τα οποία είχαν αυξημένο σωματικό βάρος της τάξης του 14% ανά γενιά για τέσσερις γενιές, και η αύξηση κατά 13-14% ανά γενιά που παρατηρήθηκε σε ορισμένες περιπτώσεις για τον σολομό.

Η απόκριση στην επιλογή μπορεί να διαφέρει αναλόγως με την κατεύθυνση της επιλογής. Το σωματικό βάρος του κοινού κυπρίνου στο Ισραήλ δεν βελτιώθηκε κατά τη διάρκεια πέντε γενιών, αλλά θα μπορούσε να μειωθεί στην ίδια σειρά που επιλέχθηκε ως προς το μικρό μέγεθος σώματος. Έχουν, επίσης, αναφερθεί σχεδόν πανομοιότυπα αποτελέσματα για την τιλάπια του Νείλου. Γενικά, είναι ευκολότερο να επιλεχθούν χαρακτηριστικά μικρότερα παρά μεγαλύτερα, τα οποία, φυσικά, σπανίως θα έχουν σημαντικότητα για την υδατοκαλλιέργεια. Υπάρχουν εξαιρέσεις στις παραπάνω παρατηρήσεις, καθώς ο κοινός κυπρίνος στην Τσεχική Δημοκρατία αποκρίθηκε στην επιλογή ως προς το αυξημένο σωματικό βάρος, αλλά όχι ως προς το μειωμένο σωματικό βάρος.

Η διαμόρφωση του σώματος μπορεί ν' αλλάξει δραματικά μέσω της επιλογής. Η κληρονομικότητα για το μέγιστο μήκος του σώματος είναι αρκετά υψηλή στον κοινό κυπρίνο. Πρόσφατα, διαπιστώθηκε σημαντική κληρονομικότητα για τις παραμορφώσεις στον γάδο του Ατλαντικού (*Gadus*



Εικόνα 7.4 Κοινή πέστροφα (*Salmo trutta*). Πηγή: USFWS. Φωτογραφία του Eric Engbretson <http://www.underwaterfishphotos.com>.

morhua). Κατά συνέπεια, ο ρυθμός δυσμορφίας θα μπορούσε να μειωθεί μέσω της επιλογής.

Τα αναπαραγωγικά χαρακτηριστικά τείνουν να έχουν υψηλή απόκριση στην επιλογή. Η ημερομηνία αναπαραγωγής μπορεί να μετατοπιστεί στον ασημένιο σολομό, (*Oncorhynchus kisutch*), κατά περίπου 14 ημέρες μετά από τέσσερις γενιές επιλογής. Η ηλικία αναπαραγωγικής ωρίμανσης, η γονιμότητα, ακόμη και η αναλογία του φύλου είναι κληρονομικά χαρακτηριστικά στα ψάρια. Στα ψάρια, μπορεί να υπάρχουν ισχυρές αλληλεπιδράσεις γονότυπου-περιβάλλοντος για τον προσδιορισμό του φύλου. Η κληρονομικότητα ως προς την αναλογία γένους και φύλου μπορεί να είναι εντυπωσιακά διαφορετική σε διαφορετικές θερμοκρασίες εκκόλαψης και εκτροφής, επιτρέποντας την επιλογή για εξαιρετικά στρεβλή αναλογία φύλου ή μονόφυλων πληθυσμών.

Η μακροπρόθεσμη επιλογή φαίνεται εφικτή στα ψάρια. Το βάρος του σώματος της τιλάπιας του Νείλου διπλασιάστηκε μέσα σε επτά γενιές επιλογής. Η 8^η έως 14^η γενιά επιλογής ως προς το

Πίνακας 7.4 Παραδείγματα συσχετισμένων αποκρίσεων στην επιλογή

Είδος	Επιλογή ως προς συγκεκριμένο χαρακτηριστικό	Συσχετισμένα χαρακτηριστικά		
		Θετική	Καμία Συσχέτιση	Αρνητική
Γατόψαρο	αυξημένο σωματικό βάρος	ποσοστό φιλετοποίησης ^a κατανάλωση τροφής FCE ^b	σωματική σύσταση αλιευμένη ποσότητα ^c	χαμηλή ανθεκτικότητα σε χαμηλές τιμές οξυγόνου
Σολομός Ατλαντικού	ρυθμός ανάπτυξης	κατανάλωση τροφής FCE		
Γαλάζιος κορήγονος	ρυθμός ανάπτυξης	FCE		
Ιριδίζουσα Πέστροφα	περιεκτικότητα μυϊκών λιπιδίων		ποσοστό φιλετοποίησης ποσοστό φιλέτου	
Ιριδίζουσα Πέστροφα	βακτηριακή αντοχή στην ασθένεια των ψυχρών υδάτων		σωματικό βάρος συντελεστές θερμικής ανάπτυξης	

^a(σωματικό βάρος εκτός κεφαλής, σπλάχνων και δέρματος) × 100 /ολικού σωματικού βάρους.

^bFCE (ικανότητα αφομοίωσης τροφής) (%) = 100 / FCR.

^cαλιευμένη ποσότητα από συλλεκτική αλιεία με γρίπο.

σωματικό βάρος στην τιλάπια GIFT οδήγησε σε μία απόκριση ανά γενιά της τάξης του 13% ακόμη και μετά απ' αυτό το χρονικό διάστημα.

7.5.2 Συσχετισμένη απόκριση στην επιλογή και την έμμεση επιλογή

Όταν η επιλογή διεξάγεται ως προς ένα χαρακτηριστικό, θετικές, αρνητικές ή καθόλου συσχετισμένες αποκρίσεις στην επιλογή μπορούν να εμφανιστούν και ως προς άλλα χαρακτηριστικά ανάλογα με τη φύση των γενετικών συσχετισμών μεταξύ των χαρακτηριστικών (Πίνακας 7.4). Επιπλέον, στα προγράμματα μαζικής επιλογής υπάρχει το ενδεχόμενο μείωσης των επιδόσεων σε ορισμένα χαρακτηριστικά, μακροπρόθεσμα, λόγω της επισωρευτικής ενδογαμίας.

Οι γενετικές συσχετίσεις μεταξύ των χαρακτηριστικών, αν είναι θετικές, επιτρέπουν τη δυνατότητα έμμεσης επιλογής, επιλέγοντας ένα δεύτερο χαρακτηριστικό ώστε να βελτιωθεί το κύριο χαρακτηριστικό. Κάτω από ορισμένες συνθήκες, η έμμεση επιλογή μπορεί να είναι πιο αποτελεσματική από την άμεση. Επιπλέον, η έμμεση επιλογή έχει κάποια από τα πλεονεκτήματα της οικογε-

νειακής επιλογής, καθώς μπορεί να επιτρέψει την επιλογή θανατηφόρων χαρακτηριστικών και χαρακτηριστικών που περιορίζονται από το φύλο.

Παρ' όλο που η επιλογή ως προς το σωματικό βάρος σχετίζεται γενικά με θετικές συσχετισμένες αποκρίσεις, όπως η αυξημένη επιβίωση και η ανθεκτικότητα σε ασθένειες, σε ορισμένες περιπτώσεις η μακροπρόθεσμη επιλογή οδηγεί σε μειωμένη βακτηριακή αντίσταση λόγω αλλαγών σε γενετικούς συσχετισμούς ή λόγω ενδογαμικής υποβάθμισης. Η αυξημένη γονιμότητα, η επιβίωση του γόνου και η ανθεκτικότητα σε ασθένειες συσχετίστηκαν με την επιλογή ως προς το αυξημένο σωματικό βάρος στο γατόψαρο μετά από μία γενιά επιλογής. Τρεις και τέσσερις ακόμη γενιές επιλογής οδήγησαν σε αυξημένο ποσοστό σάρκας προς φιλετοποίηση², μειωμένη ανθεκτικότητα σε χαμηλές τιμές διαλυμένου οξυγόνου και καμία μεταβολή στη σύσταση του σώματος ή στην αλιευτική ποσότητα³. Γόνος γατόψαρου που είχε υποστεί επιλογή παρουσίασε αποτελεσματικό-

² (σωματικό βάρος εκτός κεφαλής, σπλάχνων και δέρματος) × 100 /ολικό σωματικό βάρος.

³ Αλιευμένη ποσότητα από συλλεκτική αλιεία με γρίπο.

τερη αφομοίωση της τροφής και μεγαλύτερη ανθεκτικότητα σε ασθένειες από το δείγμα ελέγχου.

Ο σολομός του Ατλαντικού παρουσιάζει μια θετική συσχετισμένη απόκριση στην μετατρεψιμότητα της τροφής όταν υπόκειται σε επιλογή ως προς τον ρυθμό ανάπτυξης. Ο άγριος σολομός είχε 17% υψηλότερη ποσότητα ενέργειας και πρωτεΐνης ανά kg ανάπτυξης σε σύγκριση με τα ψάρια από την 4^η γενιά που υπέστησαν επιλογή ως προς τον ρυθμό ανάπτυξης. Τα ψάρια του φυσικού πληθυσμού είχαν 8% χαμηλότερη κατακράτηση ενέργειας και πρωτεΐνης. Υπάρχουν ισχυροί γενετικοί συσχετισμοί μεταξύ του ρυθμού ανάπτυξης και της αφομοίωσης της τροφής στον γαλάζιο κορήγονο (*Coregonus lavaretus*) και στο γατόψαρο, και η φύση των κληρονομικών και γενετικών συσχετίσεων δείχνει ότι η έμμεση επιλογή ως προς την αφομοίωση της τροφής, επιλέγοντας ως προς τον ρυθμό ανάπτυξης, θα μπορούσε να βελτιώσει αποτελεσματικότερα την αφομοίωση της τροφής απ' ό,τι η άμεση επιλογή ως προς την αποδοτικότητα της αφομοίωσης της τροφής.

Η σχέση μεταξύ του σωματικού βάρους και των χαρακτηριστικών σφαγίου δεν είναι σταθερή από το ένα είδος στο άλλο. Η φύση των κληρονομικών παραγόντων και των γενετικών συσχετίσεων μεταξύ σωματικού βάρους, σπλαχνικού λίπους, μυϊκού λίπους, μυϊκής υγρασίας και μυϊκής τέφρας στην κοινή τσιπούρα (*Sparus auratus*), θα επέτρεπε την ανάπτυξη ενός δείκτη επιλογής για τη βελτίωση της ανάπτυξης, της περιεκτικότητας σε λίπος, της σύστασης και της απόδοσης του σφαγίου ταυτόχρονα. Η ποσότητα % σάρκας προς φιλετοποίηση και του φιλέτου είχαν επίσης θετικές κληρονομικές ιδιότητες στην κοινή τσιπούρα. Ωστόσο, η ποσότητα % του σωματικού βάρους και η ποσότητα % του φιλέτου είχαν μια αρνητική γενετική συσχέτιση, που δείχνει ότι μπορεί να είναι δύσκολο να επιλέξουμε ταυτόχρονα ως προς και τα δύο χαρακτηριστικά. Στην περίπτωση του λαβρακιού (*Dicentrarchus labrax*), το σωματικό βάρος, η ποσότητα % των σπλάχνων, του σπλαχνικού λίπους, του φιλέτου και του βάρους του κεφαλιού, όλα είχαν στατιστικά σημαντική κληρονομικότητα. Το σωματικό βάρος είχε θετική συσχέτιση με καθένα απ' αυτά τα χαρακτηριστικά εκτός από μια αρνητική συσχέτιση με τη ποσότητα % του βάρους του κεφαλιού, υποδεικνύοντας ότι η επιλο-

γή ως προς το αυξημένο σωματικό βάρος θα μπορούσε, επίσης, να αυξήσει τη ποσότητα % του φιλέτου, αλλά θα είχε ως αποτέλεσμα ψάρια με υψηλότερη ποσότητα % σπλαχνικού λίπους. Το βάρος σώματος, η ποσότητα % λίπους, το σχετικό μήκος του κεφαλιού, το σχετικό ύψος του σώματος, το σχετικό πλάτος του σώματος, η ποσότητα % του σώματος μετά την επεξεργασία και η απόδοση του φιλέτου είχαν μέτρια έως υψηλή κληρονομικότητα στον κοινό κυπρίνο στην Τσεχία. Το σωματικό βάρος συσχετίστηκε σε μεγάλο βαθμό με τη ποσότητα % λίπους. Το σχετικό μήκος του κεφαλιού είχε ισχυρή αρνητική συσχέτιση με τη ποσότητα % λίπους, σάρκας προς φιλετοποίηση και φιλέτου. Επομένως, η έμμεση επιλογή ως προς το μειωμένο σχετικό μήκος του κεφαλιού έπρεπε να αυξήσει τη ποσότητα % φιλέτου και σάρκας προς φιλετοποίηση, αλλά επίσης ν' αυξήσει και τη ποσότητα % του λίπους. Η επιλογή ως προς την αύξηση του σωματικού βάρους θα μπορούσε επίσης να οδηγήσει σ' έναν πιο λιπαρό κοινό κυπρίνο.

Η περιεκτικότητα μυϊκών λιπιδίων στην ιριδίζουσα πέστροφα αποκρίθηκε στην αμφίδρομη επιλογή. Η επιλογή ως προς την περιεκτικότητα σε μυϊκά λιπίδια δεν επηρέασε τη ποσότητα % της σάρκας προς φιλετοποίηση ή του φιλέτου.

Υπάρχει μια πληθώρα γενετικών συσχετίσεων μεταξύ των χαρακτηριστικών ανάπτυξης και επιβίωσης. Η επιλογή ως προς την ανθεκτικότητα στη βακτηριακή ασθένεια των ψυχρών υδάτων της ιριδίζουσας πέστροφας δεν επηρέασε το σωματικό βάρος ή τους δείκτες θερμικής ανάπτυξης. Η ανθεκτικότητα στη δοθιήνωση, η λοιμώδης αναιμία του σολομού και η μολυσματική παγκρεατική νέκρωση είχαν όλες σχετικά υψηλή κληρονομικότητα στον σολομό του Ατλαντικού. Επιπλέον, οι γενετικές συσχετίσεις μεταξύ αυτών των χαρακτηριστικών ήταν όλες μηδενικές, πράγμα που θα επέτρεπε την ταυτόχρονη επιλογή ως προς και τα τρία χαρακτηριστικά χωρίς καμία αρνητική συσχετισμένη απόκριση στην επιλογή.

Η κληρονομικότητα για την υψηλότερη τιμή θερμικής αντοχής είναι στατιστικώς σημαντική στην ιριδίζουσα πέστροφα. Η γενετική συσχέτιση ανάμεσα σ' αυτό το χαρακτηριστικό και στο σωματικό βάρος ήταν ουσιαστικά μηδενική, επομένως δεν αναμενόταν συσχετισμένες αποκρί-

σεις στο αντίστοιχο χαρακτηριστικό κατά την επιλογή ως προς οποιοδήποτε απ' αυτά τα χαρακτηριστικά. Οι αποθέσεις μελανίνης του σολομού του Ατλαντικού συσχετίστηκαν αρνητικά με την περικαρδίτιδα, η δε περικαρδίτιδα δεν συσχετίστηκε με το σωματικό βάρος. Ωστόσο, το περικαρδιακό λίπος συσχετίστηκε θετικά με το σωματικό βάρος. Η δύναμη με την οποία κλείνει το κέλυφος έχει υψηλή κληρονομικότητα στα Ιαπωνικά μαργαριτοφόρα στρείδια (*Pinctada fucata*). Αυτό το χαρακτηριστικό συσχετίζεται με την υψηλή επιβίωση την περίοδο του καλοκαιριού, καθώς η ικανότητα κλεισίματος του κελύφους φαίνεται να αποτελεί σημαντικό χαρακτηριστικό επιβίωσης.

7.5.3 Επιλογή ως προς Πολλαπλά Χαρακτηριστικά

Σε μια καθορισμένη στιγμή μπορεί να γίνει επιλογή ως προς περισσότερα από ένα χαρακτηριστικά. Μπορούν να εφαρμοστούν διάφορες τεχνικές, αλλά η πιο κοινή και αποτελεσματική είναι η επιλογή ως προς πολλαπλά χαρακτηριστικά χρησιμοποιώντας έναν δείκτη επιλογής. Κάθε χαρακτηριστικό εκτιμάται βάσει συντελεστών παλινδρόμησης που δημιουργούνται λόγω κληρονομικότητας, γενετικής συσχέτισης, φαινοτυπικής συσχέτισης και οικονομικής αξίας. Έχει γίνει πολύ μικρή χρήση επιλογής πολλαπλών χαρακτηριστικών στην υδατοκαλλιέργεια λόγω της απαιτούμενης πρόσθετης προσπάθειας και τήρησης αρχείων. Ωστόσο, αυτή η τεχνική έχει μεγάλες δυνατότητες όταν χρησιμοποιείται σε υδρόβιους οργανισμούς σε σύγκριση με τη χρήση της σε χερσαία ζώα, καθώς η υψηλή γονιμότητα των ψαριών, των καρκινοειδών και των δίθυρων επιτρέπει τη διενέργεια πιο επισταμένης επιλογής ως προς πολλαπλά χαρακτηριστικά.

Η επιλογή ως προς πολλαπλά χαρακτηριστικά δεν ήταν επιτυχής στην λευκή γαρίδα της Κεντρικής Αμερικής (*Litopenaeus vannamei*) ως προς την ανάπτυξη και την ανθεκτικότητα στο σύνδρομο του ιού Taura, καθώς αυτά τα δύο χαρακτηριστικά συσχετίστηκαν αρνητικά (Argue et al., 2002). Η ταυτόχρονη επιλογή ως προς το σωματικό βάρος και το ποσοστό φιλετοποίησης βελτίωσε και τα δύο χαρακτηριστικά γνωρίσματα στην τιλάπια του Νείλου.

7.5.4 Επιλογή υποβοηθούμενη από δείκτη και Επιλογή Γονιδιώματος

Η γονιδιωματική της υδατοκαλλιέργειας έχει προκαλέσει έκρηξη πληροφοριών κατά τα τελευταία 22 χρόνια. Έχουν κατασκευαστεί χάρτες συστημάτων σύνδεσης γονιδίων με μεγάλους αριθμούς δεικτών για ορισμένα είδη υδατοκαλλιέργειας, ιδιαίτερος δείκτες τύπου I γνωστών γονιδίων. Έχουν κατασκευαστεί κανονικοποιημένες βιβλιοθήκες cDNA για ανάλυση EST και λειτουργική ανάλυση. Η λειτουργική γονιδιωματική έχει προχωρήσει γρήγορα και η γνώση της γονιδιακής έκφρασης που είναι υπεύθυνη για την ανάπτυξη, την ανθεκτικότητα σε ασθένειες, την αναπαραγωγή, την αναλογία των φύλων και την απόκριση στην υψηλή θερμοκρασία και άλλα χαρακτηριστικά, έχει επεκταθεί σε μεγάλο βαθμό για είδη υδατοκαλλιέργειας, χρησιμοποιώντας εργαλεία όπως ανάλυση EST (εκφρασμένοι δείκτες αλληλουχίας) και τις μικροσυστοιχίες. Τα υβριδικά πάνελ ακτινοβολίας στην τιλάπια και η ανάλυση των βιβλιοθηκών BAC (βακτηριακά τεχνητά χρωμοσώματα) στο γατόψαρο, προάγουν σημαντικά τον τομέα φυσικής χαρτογράφησης των γονιδιωμάτων των ψαριών. Για ορισμένα είδη υδατοκαλλιέργειας, όπως το γατόψαρο και ο σολομός, η πλειονότητα των γονιδίων έχουν απομονωθεί και κλωνοποιηθεί. Τα γατόψαρα φέρουν περίπου 27.000 γονίδια, από τα οποία σήμερα περίπου το 50% είναι γνωστής λειτουργίας. Η αλληλούχηση των γονιδιωμάτων των ψαριών έχει προχωρήσει αρκετά σε ορισμένα είδη υδατοκαλλιέργειας και σε ορισμένες περιπτώσεις προσεγγίζει την ολοκλήρωση. Αυτή η πρόοδος τα τελευταία 22 χρόνια είναι αρκετά αξιοσημείωτη.

Η ανάλυση ποσοτικών χαρακτηριστικών γονδιακών θώκων (QTL, Quantitative Trait Loci), δημιουργεί τα δεδομένα για να επιτραπεί η υποβοηθούμενη από δείκτη επιλογή (MAS, Marker Assisted Selection), επιλογή βασισμένη σε γενετικούς δείκτες που σχετίζονται μ' ένα ποσοτικό χαρακτηριστικό. Έχει πραγματοποιηθεί ένα μεγάλο μέρος χαρτογράφησης και ανάλυσης QTL για τους υδρόβιους οργανισμούς, αλλά πολύ μικρό με MAS, λόγω της προστιθέμενης δαπάνης και της ανάγκης τόσο για περισσότερους πόρους όσο και για σχολαστική τήρηση αρχείων, συγκριτικά με την παραδοσιακή επιλογή. Τα υποβοηθούμενα

από δείκτες προγράμματα επιλογής έχουν αξιολογηθεί με επιτυχία σε διάφορα συστήματα ζώων και φυτών. Διεξήχθησαν πολλές θεωρητικές έρευνες, οι οποίες δείχνουν ότι η υποβοηθούμενη από δείκτη επιλογή έχει τη δυνατότητα να επιταχύνει σημαντικά τη γενετική βελτίωση στα προγράμματα αναπαραγωγής. Τα αρχικά πειράματα με καλαμπόκι, ντομάτες, κριθάρι, χοίρους και γαλακτοπαραγωγή βοοειδή έδωσαν όλα θετικά αποτελέσματα, καταδεικνύοντας ότι η χρήση των DNA και πρωτεϊνικών δεικτών έχει τη δυνατότητα να επιταχύνει τη γενετική βελτίωση σε διάφορες καλλιέργειες ή χερσαία ζώα.

Ωστόσο, η υποβοηθούμενη από δείκτη επιλογή δεν είναι πάντα η πλέον αποτελεσματική, ή οικονομικά αποδοτικότερη μέθοδος. Αυτά τα αρχικά πειράματα δείχνουν ότι όταν η κληρονομικότητα ως προς ένα χαρακτηριστικό είναι υψηλή, η υποβοηθούμενη από δείκτη επιλογή δεν παρέχει ταχύτερο ρυθμό γενετικής βελτίωσης από την παραδοσιακή επιλογή. Ωστόσο, όταν η κληρονομικότητα είναι χαμηλή, ο ρυθμός γενετικής βελτίωσης που αποκτάται από την υποβοηθούμενη από δείκτη επιλογή μπορεί να είναι σημαντικά υψηλότερη από εκείνη της παραδοσιακής επιλογής. Ένα άλλο μειονέκτημα της MAS είναι ότι οι γενετικοί δείκτες είναι συνήθως συγκεκριμένης σειράς, εμποδίζοντας τη χρήση της εις βάθος έρευνας μεταξύ σειρών και πληθυσμών.

Στο γατόψαρο, την ιριδίζουσα πέστροφα και την τιλάπια έχουν εντοπιστεί δείκτες QTL για την ανάπτυξη, την αποτελεσματικότητα αφομοίωσης της τροφής, την ανθεκτικότητα σε βακτηριακές νόσους, τον χρόνο ωοτοκίας, τους ρυθμούς εμβρυϊκής ανάπτυξης και την ανθεκτικότητα στο ψύχος. Στο γατόψαρο (Dunham, 2011) έχουν εντοπιστεί δείκτες που θεωρούνται ως συνδετικοί των χαρακτηριστικών της αποτελεσματικότητας της αφομοίωσης της τροφής και του ρυθμού ανάπτυξης. Στην πέστροφα και στον σολομό, έχει επίσης, προσδιοριστεί ένας υποψήφιος δείκτης DNA που συνδέεται με την ανθεκτικότητα στη λοιμώδη αιμοποιητική νέκρωση (IHN) και με τη νόσο IPN στον σολομό του Ατλαντικού. Ένα μοναδικό IPN QTL που βρίσκεται στην LG1 αντιπροσωπεύει το μεγαλύτερο μέρος της παραλλακτικότητας στην ανθεκτικότητα στην IPN, και επιλέγοντας έτσι αυτόν τον δείκτη μπορεί να αναπτυχθεί μια πολύ αν-

θεκτική σειρά. Έχουν αναπτυχθεί χάρτες QTL με πολλαπλούς δείκτες για την ανθεκτικότητα της Ιαπωνικής ιππόγλωσσας σε βακτηριακές νόσους, καθώς και για το σωματικό βάρος, το συνολικό μήκος και μία ποικιλία χαρακτηριστικών διαμόρφωσης του σώματος στο γατόψαρο και του σωματικού βάρους στην γιγαντόπερκα (*Lates calcarifer*). Ένας πολυμορφισμός μονού νουκλεοτιδίου (SNP) για την πρωτεΐνη τύπου RunB στη γιγαντιαία γαρίδα τίγρης συσχετίζεται με τον ταχύ ρυθμό ανάπτυξης.

Η υποβοηθούμενη από δείκτη επιλογή δεν έχει εφαρμοστεί ευρέως στα ψάρια. Ωστόσο, οδήγησε στην ανάπτυξη μιας σειράς ελαιόχρωμης χωματίδας (*Paralichthys olivaceus*) ανθεκτικής στην ασθένεια της λεμφοκύστης. Αυτά τα ψάρια χρησιμοποιήθηκαν ευρέως σε καλλιέργειες και κατέδειξαν υψηλά επίπεδα επιβίωσης και ανθεκτικότητας στις ασθένειες. Η MAS μπορεί να είναι ένας μηχανισμός για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας της μονοφυλετικής παραγωγής αρσενικών στην τιλάπια του Νείλου. Ένας μικροδορυφορικός δείκτης βρέθηκε στην ομάδα διασύνδεσης 23, η οποία σχετίζεται με τον προσδιορισμό του φύλου. Η MAS βελτίωσε την ικανότητα αφομοίωσης της τροφής κατά 11% για τα είδη υδατοκαλλιέργειας, ενώ η παραδοσιακή επιλογή κατά 4,3%. Ο ρυθμός ανάπτυξης της ιριδίζουσας πέστροφας αυξήθηκε κατά 26% με βάση την επιλογή ως προς έναν δείκτη mtDNA, αλλά αυτή η μέθοδος ήταν συγκεκριμένη ως προς τη σειρά αυτή, επειδή η σχετική απόδοση των ψαριών με τον συγκεκριμένο απλότυπο ήταν σταθερή μεταξύ των αρσενικών εντός της σειράς, αλλά όχι μεταξύ σειρών. Αντίθετα, χρειάστηκαν έξι γενιές παραδοσιακής επιλογής ως προς την αύξηση του σωματικού βάρους κατά 30% στην ιριδίζουσα πέστροφα. Στην ιριδίζουσα πέστροφα, το 25% των απογόνων εμφάνισε υψηλό βαθμό αντοχής σε αυξημένη θερμοκρασία μετά από διενέργεια MAS για ανθεκτικότητα στη θερμότητα.

Η γονιδιωματική επιλογή βρίσκεται στην αιχμή της επανάστασης που έχει επιφέρει η επιλεκτική αναπαραγωγή και, θεωρητικά, τα νέα σχήματα που βασίζονται στην επιλογή ολόκληρου του γονιδιώματος μπορούν ν' αυξήσουν τον ρυθμό γενετικής βελτίωσης ακόμη και για τα χαρακτηριστικά με υψηλή κληρονομικότητα. Σ' αυτή την περίπτωση

ση, οι μελέτες ευρείας συσχέτισης του γονιδιώματος (GWAS, Genome Wide Association Studies), παράγουν δεδομένα σχετικά με την επίδραση καθενός πολυμορφισμού μονού νουκλεοτιδίου (SNP, Single Nucleotide Polymorphism), στην επίδοση όλων των χαρακτηριστικών. Αυτές οι μελέτες τώρα μόλις βρίσκουν εφαρμογή στους υδρόβιους οργανισμούς. Οι SNPs μπορεί να είναι ειδικό ως προς τη σειρά, αλλά πολλοί απαντώνται ευρέως σε όλα τα είδη. Η καινοτομία αυτής της τεχνολογίας, η υψηλή δαπάνη, η ανάγκη για μεγάλης δυναμικότητας βιοπληροφορική ανάλυση καθώς και η ανάγκη τήρησης αρχείων, έχουν αποτρέψει την ταχεία παραγωγή αποτελεσμάτων GWAS στους υδρόβιους οργανισμούς που βελτιώνονται με γονιδιωματική επιλογή. Η γονιδιωματική επιλογή χρησιμοποιείται ολοένα και περισσότερο στην επιλεκτική εκτροφή παραγωγικών ζώων και στη γενετική βελτίωση. Τα αρχικά πειράματα υποδηλώνουν ότι η επιλογή γονιδιωμάτων θα έπρεπε να παράγει ταχύτερη γενετική βελτίωση ως προς την ανθεκτικότητα στη βακτηριακή ασθένεια του ψυχρού νερού, απ' ό,τι η παραδοσιακή επιλογή στην ιριδίζουσα πέστροφα (Vallejo et al., 2016).

7.6 Ενδογαμία και Διατήρηση της Γενετικής Ποικιλότητας

Ακόμη κι αν η γενετική βελτίωση δεν είναι ο στόχος, η απώλεια γενετικής ποικιλότητας και η αποφυγή μείωσης της απόδοσης θα είναι πάντα το ζητούμενο. Είναι εξίσου σημαντικό να αποτρέψουμε απώλειες παραγωγής λόγω της ενδογαμίας, όσο είναι και η αύξηση της παραγωγής από τη γενετική βελτίωση. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα για είδη με υψηλή γονιμότητα, όπως οι κυπρίνοι, στους οποίους αρκεί ένας μικρός αριθμός αβγών σε κάθε εκκόλαψη ώστε να καλυφθούν οι ανάγκες για δημιουργία γόνου και ανανέωση γεννητόρων. Οι επιβλαβείς συνέπειες της ενδογαμίας, το ζευγάρωμα συγγενικών ατόμων, είναι καλά τεκμηριωμένες και μπορούν να οδηγήσουν σε μείωση κατά 30% ή και περισσότερο της αύξησης της παραγωγής, επιβίωσης και αναπαραγωγής (Dunham, 2011) μόλις οι συντελεστές ενδογαμίας φτάσουν το 0,125 και 0,250 (επί τοις εκατό αύξηση ομόζυγων θώκων λόγω του ζευγαρώματος συγγενών). Για πολλά χαρακτηριστικά, όσο αυξάνεται η ενδογαμία,

τόσο αυξάνεται και η ενδογαμική υποβάθμιση, η οποία είναι εύκολο να διορθωθεί. Όταν ένα συγγενικό άτομο ζευγαρώνει με ένα μη-συγγενικό άτομο, ο συντελεστής ενδογαμίας των απογόνων επιστρέφει στο μηδέν και οι επιπτώσεις της ενδογαμίας στην εκτροφή των απογόνων εξαλείφονται, αλλά και η ενδογαμική υποβάθμιση είναι, επίσης, μηδενική. Αυτό αποδείχθηκε στο γατόψαρο. Στις περισσότερες επιχειρήσεις ιχθυοκαλλιέργειας, η ενδογαμία δεν θα αποτελέσει πρόβλημα, διότι οι πληθυσμοί των γεννητόρων είναι σχετικά ευρείς. Εάν 50 αναπαραγωγικά ζευγάρια ζευγαρώνουν τυχαία ανά γενιά, η συσσωρευμένη ενδογαμία δεν θα πρέπει να οδηγήσει σε ενδογαμική υποβάθμιση για 25-50 γενιές. Οι τύποι για τον υπολογισμό της ενδογαμίας και τον προσδιορισμό των επιπτώσεων της τυχαίας γενετικής παρέκκλισης αναφέρονται διεξοδικά από τον Tave (1993).

7.7 Διασταύρωση και Υβριδισμός

7.7.1 Ενδοειδική Διασταύρωση

Το αντίθετο της ενδογαμίας, η διασταύρωση, είναι το ζευγάρωμα μη συγγενικών ατόμων. Η ενδοειδική διασταύρωση (διασταύρωση διαφορετικών σειρών, γενιών ή φυλών) έχει τη δυνατότητα ν' αυξήσει τον ρυθμό ανάπτυξης και άλλα χαρακτηριστικά, αλλά η ετέρωση (διαφορές μεταξύ των απογόνων και των γονέων) δεν μπορεί να επιτευχθεί σε κάθε περίπτωση. Εντούτοις, η ενδοειδική διασταύρωση είναι ένα σχετικά αποτελεσματικό πρόγραμμα γενετικής βελτίωσης, ώστε να επιτευχθεί καλύτερος ρυθμός ανάπτυξης, και τείνει να είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική για τη βελτίωση των χαρακτηριστικών που σχετίζονται με την επιβίωση και των αναπαραγωγικών επιδόσεων. Αυτό το εξαιρετικό πρόγραμμα γενετικής βελτίωσης πιθανότατα δεν χρησιμοποιείται ιδιαιτέρως, διότι:

- δεν έχει διεθνείς υποστηρικτές όπως η επιλογή,
- απαιτείται αρκετή προσπάθεια για να προσδιοριστούν οι σειρές που συνδυάζονται καλύτερα, και άρα
- απαιτεί τη συντήρηση δύο ή περισσότερων σειρών χωρίς ανάμειξη και γενετική νόθευση.

Περίπου το 55% και το 22% αντιστοίχως των διασταυρώσεων στο γατόψαρο και ιριδίζουσας πέ-

στροφας που αξιολογήθηκαν, σημείωσαν βελτιωμένο ρυθμό ανάπτυξης (Dunham, 2011). Οι διασταυρώσεις του σολομού κέτα *Oncorhynchus keta*, ωστόσο, δεν παρουσίασαν ετερωτική αύξηση του ρυθμού ανάπτυξης (Dunham, 2011). Οι διασταυρώσεις του κοινού κυπρίνου, γενικά, εμφανίζουν χαμηλά επίπεδα ετέρωσης και μόνο το 5% περίπου των διασταυρωμένων κυπρίνων που αξιολογήθηκαν είχαν αυξημένους ρυθμούς ανάπτυξης. Ωστόσο, εκείνοι που έδειξαν θετική ετέρωση είναι αρκετά σημαντικοί και σε κάποια χρονική φάση αποτέλεσαν τη βάση για υδατοκαλλιέργεια κυπρίνων στο Ισραήλ, το Βιετνάμ, την Κίνα και την Ουγγαρία.

Στην περίπτωση του γατόψαρου, αντίστοιχες διασταυρώσεις δεν εμφάνισαν την ίδια επίδοση και φάνηκε να υπάρχει μια μητρική επίδραση στη συνδυαστική ικανότητα.

Η διασταύρωση σειρών του κοινού κυπρίνου στην Ουγγαρία καταδεικνύει τη συχνότητα επιτυχίας στην περίπτωση μακροπρόθεσμης διασταύρωσης του είδους αυτού. Κατά τη διάρκεια μιας περιόδου 35 ετών, ελέγχθηκαν περισσότερες από 140 διασταυρώσεις. Τρεις επιλέχθηκαν για εκτροφή, βάσει σχετικής βελτίωσης της τάξης του 20%, κατά προσέγγιση, στον ρυθμό ανάπτυξης και σε άλλα ποιοτικά χαρακτηριστικά, σε σύγκριση με τις σειρές γονέων και των κυπρίνων του δείγματος ελέγχου. Περίπου το 80% των κοινών κυπρίνων στην Ουγγαρία παράγεται απ' αυτές τις διασταυρώσεις Szarvas. Στο Ισραήλ, η διασταύρωση της σειράς του κοινού κυπρίνου, του DOR-70 και της Κροατικής σειράς Nawice, είχε ως αποτέλεσμα ταχεία ανάπτυξη και χρησιμοποιήθηκε ευρέως στην Ισραηλινή ιχθυοκαλλιέργεια. Η Τσεχία χρησιμοποιεί, επίσης, διασταυρώσεις που παρουσιάζουν βελτιωμένη ανάπτυξη, κυπρίνος Νότιας Βοημίας x Βόρειος κατοπτρικός κυπρίνος και κυπρίνος Ουγγαρίας 15 x Βόρειος κατοπτρικός κυπρίνος (**Εικόνες 7.2 και 16.5**). Στο Βιετνάμ, η διασταύρωση οκτώ τοπικών ποικιλιών κοινού κυπρίνου, με της Ουγγαρίας, της Ουκρανίας, της Ινδονησίας και της Τσεχίας, οδήγησε σε σημαντική ετέρωση στους F1 απογόνους. Η διασταύρωση Βιετναμέζικου με Ουγγρικό κοινό κυπρίνο ήταν ιδιαίτερα δημοφιλής, λόγω της ταχείας ανάπτυξης και του υψηλού βαθμού επιβίωσης υπό διαφορετικές συνθήκες παραγωγής. Διπλές διασταυρώσεις μεταξύ

των στελεχών του Βιετνάμ, της Ουγγαρίας και της Ινδονησίας χρησιμοποιήθηκαν στη συνέχεια για επιλογή κυπρίνων και η διασταύρωση σταμάτησε σε ολόκληρο το Βιετνάμ επειδή οι καλλιεργητές δυσκολεύονταν να διατηρήσουν καθαρές γονεϊκές σειρές για τη διασταύρωση.

Στην τιλάπια του Νείλου, έχει παρατηρηθεί ετέρωση ως προς τον ρυθμό ανάπτυξης, το σχήμα σώματος, την απόδοση του φιλέτου και το ποσοστό % του σπλαχνικού λίπους του σώματος. Στην περίπτωση της μπριάνας της Ιάβας (*Barbodes gonionotus*), διαπιστώθηκε 23-35% υψηλότερος ρυθμός ανάπτυξης στα διασταυρωμένα είδη απ' ό,τι στις γονεϊκές σειρές. Διασταυρώσεις διαφορετικών σειρών του Ευρωπαϊκού γατόψαρου (*Silurus glanis*), έχουν εξαιρετική προσαρμοστικότητα και ετερόκλητες διαιτητικές συνήθειες στο ζεστό νερό. Η διασταύρωση μπορεί επίσης να βελτιώσει την απόδοση στα καρκινοειδή και είχε ως αποτέλεσμα την ετέρωση ως προς τον ρυθμό ανάπτυξης, αλλά όχι την επιβίωση στις Κινεζικές λευκές γαρίδες (*Fenneropenaeus chinensis*).

Η διασταύρωση συχνά βελτιώνει τα χαρακτηριστικά επιβίωσης. Έχουν αναπτυχθεί σειρές κυπρίνων ανθεκτικών στο ψύχος, όπως ο κυπρίνος Rorsha, για τις ψυχρές ζώνες της βόρειας Ρωσίας, με διασταύρωση τοπικών κυπρίνων και κυπρίνων από τον φυσικό πληθυσμό της Σιβηρίας, από τον ποταμό Amur. Οι σειρές του φυσικού πληθυσμού του κοινού κυπρίνου είναι λιγότερο ευαίσθητες στον ιό του έρπητα κοί (διάμεση νεφρίτιδα κυπρίνων και ιός νέκρωσης βραγχίων), ενώ οι προσαρμοσμένες σειρές τείνουν να είναι πιο ευάλωτες. Δύο προσαρμοσμένες σειρές, δύο διασταυρώσεις μεταξύ προσαρμοσμένων σειρών και σειρών από τον φυσικό πληθυσμό και μια διασταύρωση μεταξύ προσαρμοσμένων σειρών συγκρίθηκαν ως προ την ιική τους αντοχή. Στο εργαστήριο, ο πιο ανθεκτικός γονότυπος ήταν ένας απ' αυτούς που προήλθε από τη διασταύρωση μεταξύ προσαρμοσμένων σειρών και σειρών από τον φυσικό πληθυσμό, κι μια από τις μη διασταυρωμένες σειρές ήταν η λιγότερο ανθεκτική. Οι υπόλοιπες γενετικές ομάδες ήταν στην ενδιάμεση τιμή ιικής αντοχής. Όταν η δοκιμασία επαναλήφθηκε σε λιμνοδεξαμενές, τα αποτελέσματα ήταν τα ίδια, εκτός από την έτερη διασταύρωση μεταξύ προσαρμοσμένων σειρών και σειρών από τον φυσικό

πληθυσμό, που εμφάνισε εξαιρετική ανθεκτικότητα στις λιμνοδεξαμενές, αν και η επίδοσή της ήταν μέτρια στο εργαστήριο.

Η διασταύρωση στο βαδιστικό γατόψαρο (*Clarias macrocephalus*), βελτιώνει την ανθεκτικότητα στις λοιμώξεις που προκαλούνται από την *Aeromonas hydrophila*. Η διασταύρωση βελτίωσε τη δραστηριότητα της φαγοκυττάρωσης στο Αφρικανικό γατόψαρο (*Clarias gariepinus*), αλλά δεν ενίσχυσε το σωματικό βάρος, το συνολικό μήκος, τη συγκεκριμένη ανοσοαπόκριση στην *A. hydrophila*, τον φαγοκυτταρικό δείκτη ή την αναπαραγωγική απόδοση των αρσενικών ατόμων. Στην περίπτωση του γατόψαρου, αμοιβαίες διασταυρώσεις δεν απέδωσαν το ίδιο και φάνηκε να υπάρχει μια μητρική επίδραση στη συνδυαστική ικανότητα.

Η προσαρμογή έχει ισχυρή επίδραση στην επιτυχία των προγραμμάτων διασταύρωσης. Οι διασταυρώσεις μεταξύ προσαρμοσμένων σειρών είναι πιο πιθανό να οδηγήσουν σε ετέρωση απ' ό,τι είτε οι διασταυρώσεις μεταξύ προσαρμοσμένων σειρών και σειρών από τον φυσικό πληθυσμό ή και μεταξύ σειρών από τον φυσικό πληθυσμό, ως προς διάφορα χαρακτηριστικά. Η διασταύρωση μεταξύ προσαρμοσμένων σειρών στο γατόψαρο (Πίνακας 7.5) και ιριδίζουσας πέστροφας, είναι πιο πιθανό να παρουσιάσουν ετερωτικούς ρυθμούς ανάπτυξης από τις διασταυρώσεις μεταξύ προσαρμοσμένων σειρών και σειρών από τον φυσικό πληθυσμό.

Και πάλι, όμως, η διασταύρωση δεν οδηγεί πάντοτε σε γενετική βελτίωση. Δεν σημειώθηκε ετέρωση σε αμοιβαίες διασταυρώσεις μεταξύ προσαρμοσμένων σειρών και σειρών από τον φυσικό πληθυσμό του Βασιλικού σολομού (*Oncorhynchus tshawytscha*), ως προς την επιβίωση, την ανάπτυξη και ανθεκτικότητα στο αλμυρό νερό, την αντίδραση και ανάκαμψη από το στρες και τη γονιμότητα. Οι διασταυρώσεις μεταξύ άγριου και προσαρμοσμένου σολομού του Ατλαντικού ήταν στη μέση τιμή της απόδοσής τους ως προς το σωματικό βάρος, τον δείκτη ευζωίας και της αναπαραγωγικής ωρίμανσης. Όταν διασταυρώθηκαν σειρές από τον φυσικό πληθυσμό Ευρωπαϊκού λαβρακιού (*Dicentrarchus labrax*), επιτεύχθηκαν μεγάλες διαφοροποιήσεις ως προς την επιβίωση, την ανάπτυξη, το σχήμα, την αναλογία φύλου, την

Πίνακας 7.5. Αριθμός γατόψαρων (*Ictalurus punctatus*) που προήλθαν από διασταυρώσεις ανάμεσα σε προσαρμοσμένες ($D \times D$) σειρές και ανάμεσα σε προσαρμοσμένες σειρές και σειρές από τον φυσικό πληθυσμό ($D \times W$) που παρουσιάζουν θετική, αρνητική ή καμία ετέρωση (υβριδική ενέργεια) ως προς τον ρυθμό ανάπτυξης.

Διασταύρωση	Ετέρωση		
	Θετική	Καμία	Αρνητική
$D \times D$	4	0	1
$D \times W$	2	3	1

περιεκτικότητα σε μυϊκό λίπος, τη σπλαχνική απόδοση και τις δυσμορφίες της σπονδυλικής στήλης, αλλά όχι ως προς την απόδοση του φιλέτου. Δεν υπήρξε ετέρωση μεταξύ αυτών των σειρών του φυσικού πληθυσμού και καμία αλληλεπίδραση γονότυπου X περιβάλλοντος ($G \times E$). Αυτό επεξηγείται από το γεγονός ότι η ετέρωση είναι λιγότερο πιθανό να επιτευχθεί σε άτομα από τον φυσικό πληθυσμό παρά σε προσαρμοσμένες σειρές.

Προφανώς, η προσαρμογή επηρεάζει επίσης την επιτυχία της διασταύρωσης και στα καρκινοειδή. Όταν διασταυρώθηκαν δύο σειρές από τον φυσικό πληθυσμό της γιγαντογαρίδας των γλυκών νερών (*Macrobrachium rosenbergii*), με μια προσαρμοσμένη σειρά (Bangkok), παρατηρήθηκε πρόσθετη επίδραση στις σειρές ως προς την ανάπτυξη, αλλά όχι ετέρωση. Συμπεριλήφθηκαν σειρές από τον φυσικό πληθυσμό και παρατηρήθηκε μικρή ετέρωση. Η προσαρμοσμένη σειρά ήταν η ταχύτερα αναπτυσσόμενη μεταξύ των σειρών. Οι ταχύτερα αναπτυσσόμενες γαρίδες ήταν αυτές που είχαν προέλθει από τις διασταυρώσεις. Οι αμοιβαίες διασταυρώσεις δεν είχαν την ίδια απόδοση.

Μία πρακτική διασταύρωσης είναι να δημιουργηθούν σειρές που προήλθαν από ενδογαμία, ώστε να χρησιμοποιηθούν σε προγράμματα διασταυρώσεων προκειμένου να επιτευχθεί ετέρωση. Τα υπάρχοντα δεδομένα δείχνουν ότι είναι απίθανο να υπάρξει πραγματική γενετική βελτίωση χρησιμοποιώντας αυτή τη στρατηγική. Η διασταύρωση σειρών που προήλθαν από ενδογαμία στα στρείδια του Ειρηνικού (*Crassostrea gigas*), συχνά κατέληξε σε ετέρωση για ανάπτυξη και επιβίωση.

Επιπλέον, τέτοιου είδους διασταύρωση πάλι στα στρείδια του Ειρηνικού μείωσε τη θνησιμότητα κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού. Ομοίως, η διασταύρωση δύο συγγενών σειρών κυδωνιών (*Fulvia mutica*), είχε ως αποτέλεσμα το αυξημένο μήκος κελύφους και ολικού σωματικού βάρους, αλλά μια μεσαίου βαθμού επιβίωση. Ενδέχεται αυτό να μην αποτελεί πραγματική γενετική βελτίωση. Έχει αποδειχθεί ότι η ενδογαμία μειώνει την ανάπτυξη στο γατόψαρο. Το αποτέλεσμα των διασταυρώσεων σειρών που προήλθαν από ενδογαμία πράγματι ήταν η ταχύτερη ανάπτυξη απ' αυτή των γονεϊκών σειρών. Ωστόσο, οι διασταυρώσεις το μόνο που έκαναν ήταν να αποτρέψουν την υποβάθμιση που προκαλούνταν από την ενδογαμία και ήταν ισοδύναμη μ' εκείνη του αρχικού πληθυσμού, οπότε δεν επιτεύχθηκε κάποια πραγματική γενετική βελτίωση, καθώς οι αποδόσεις επανήλθαν στο αρχικό επίπεδο αναφοράς. Η παραγωγή γυνογενετικών θηλυκών σειρών και ενδογαμικών αρσενικών με αναστροφή φύλου σειρών κοινού κυπρίνου με την καλύτερη συνδυαστική ικανότητα, κατείχαν ένα σημαντικό ποσοστό των ουγγρικών προγραμμάτων διασταύρωσης. Μία υψηλότερη ετέρωση αναμενόταν από τη διασταύρωση μεταξύ συγγενικών σειρών, αλλά ο ρυθμός ανάπτυξης των διασταυρώσεων F1 ήταν μόνο 10% υψηλότερος απ' αυτόν της ομάδας ελέγχου.

Ένα μικρό δυνητικά εμπόδιο στα προγράμματα διασταύρωσης είναι η παραγωγή σπερματοζωαρίων. Μπορεί να υπάρξει ασυμβατότητα στις σειρές που θα ζευγαρώσουν, παρακλύοντας την παραγωγή γόνου στο γατόψαρο και στην τιλάπια του Νείλου, γεγονός που φαίνεται να επηρεάζεται περισσότερο από το θηλυκό παρά από το αρσενικό άτομο.

7.7.2 Διαειδικός Υβριδισμός

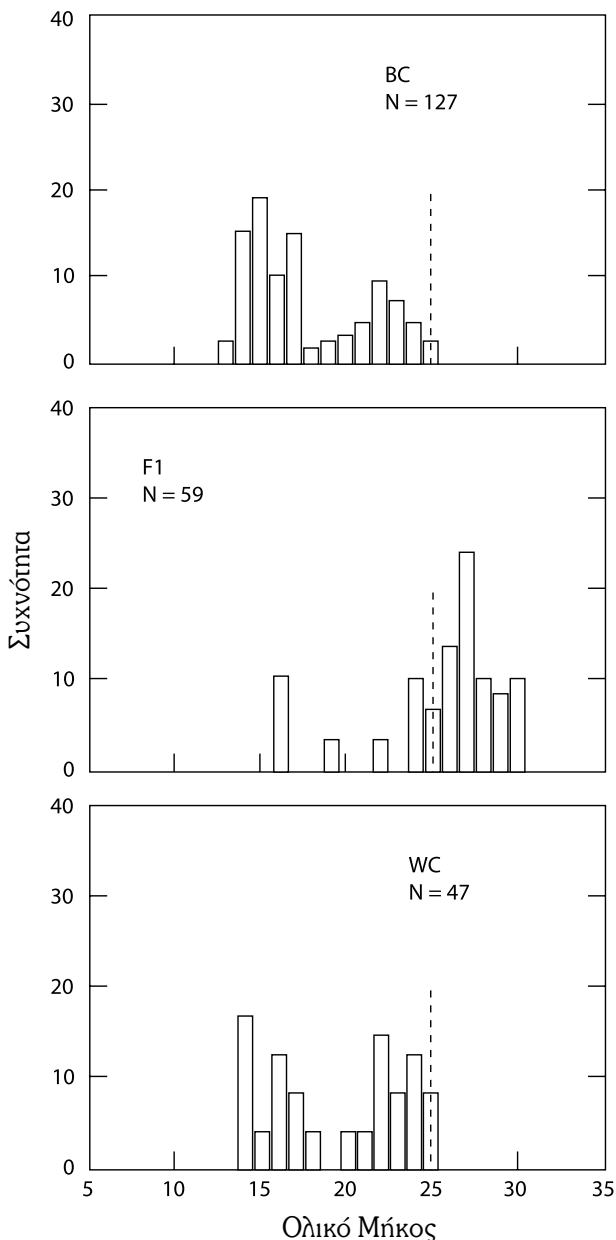
Κατ' αρχάς, και σε γενετική βάση, ο διαειδικός υβριδισμός είναι παρόμοιος με την ενδοειδική διασταύρωση. Πρόκειται για ένα δημοφιλές πρόγραμμα αναπαραγωγής, καθώς κατά τη διάρκεια όλων αυτών των ετών οι ιχθυολόγοι προσπάθησαν επανειλημμένως να συνδυάσουν τα καλύτερα γνωρίσματα περισσότερων του ενός είδους με ελάχιστη επιτυχία. Ο διαειδικός υβριδισμός σπάνια οδηγεί σε ετέρωση. Ωστόσο, κάποιες φορές

οδήγησε σε ψάρια με αυξημένο ρυθμό ανάπτυξης (**Εικόνα 7.5**), στρεβλή αναλογία φύλου, στειρότητα, βελτιωμένη ποιότητα σάρκας, αυξημένη ανθεκτικότητα σε ασθένειες, βελτιωμένη αντοχή σε ακραίες περιβαλλοντικές συνθήκες και σε άλλα τροποποιημένα χαρακτηριστικά.

Αν και ο διαειδικός υβριδισμός σπάνια έχει ως αποτέλεσμα εφαρμογής F1 γενιάς κατάλληλης για υδατοκαλλιέργεια, υπάρχουν μερικές σημαντικές εξαιρέσεις σ' αυτόν τον κανόνα. Το θηλυκό γατόψαρο διασταυρούμενο με αρσενικό μπλε γατόψαρο (*Ictalurus furcatus*), είναι το μοναδικό υβρίδιο, ανάμεσα σε περίπου 50 υβρίδια γατόψαρου της Βόρειας Αμερικής που εξετάστηκαν, που εμφανίζει μεγαλύτερη αποδοτικότητα ως προς τον ρυθμό ανάπτυξης, την ομοιομορφία ανάπτυξης, την ανθεκτικότητα σε ασθένειες, την ανθεκτικότητα σε χαμηλές τιμές διαλυμένου οξυγόνου, το ποσοστό φιλετοποίησης και τη δυνατότητα εξαλίευσης. Αυτός είναι μακράν ο καλύτερος γονότυπος για την καλλιέργεια κοινών κυπρίνων της οικογένειας Ictaluridae. Αυτό είναι πλέον και το καλύτερο παράδειγμα εμπορικής εκμετάλλευσης των διαειδικών υβριδίων, καθώς αυτή τη στιγμή το 70% της αμερικανικής παραγωγής γατόψαρων είναι υβρίδια. Επίσης, αυτό είναι το καλύτερο παράδειγμα γενετικής βελτίωσης ολιστικά στην υδατοκαλλιέργεια.

Παρ' όλο που δεν παρουσιάζουν ετέρωση για ένα τόσο ευρύ φάσμα χαρακτηριστικών, όλες οι διασταυρώσεις του ασημοκυπρίνου (*Hypophthalmichthys molitrix*) και του μαρμαροκυπρίνου (*Hypophthalmichthys nobilis*), του μαύρου crappie (*Pomoxis nigromaculatus*) και του λευκού crappie (*P. annularis*) και των υβριδίων του αφρικανικού γατόψαρου (*Clarias gariepinus*, *Heterobranchus longifilis* και *H. bisorsalis*), δείχνουν ταχύτερη ανάπτυξη από τα γονεϊκά είδη. Στα θαλάσσια ψάρια, στην οικογένεια Sparidae, τα υβρίδια του *P. major* και της συναγρίδας (*Dentex dentex*), αναπτύσσονται, επίσης, ταχύτερα από τους γονεϊκούς γονότυπους.

Στην περίπτωση των οστρακοειδών, συγκρίθηκαν διάφορα υβρίδια μεταξύ των ειδών του Ασιατικού στρείδιου (*Crassostrea belcheri*, *C. lugubris* και *Saccostrea cucullata*), αλλά δεν παρατηρήθηκε ετέρωση. Ωστόσο, στην Κίνα έχει επιτευχθεί παραγωγή ετερωτικών μαργαριταριών με τη χρή-



Εικόνα 7.5 Κατανομή μήκους - ηλικιακής κλάσης 1⁺ (κλάση 1989) σε μαύρα crappies (BC) (*Pomoxis nigromaculata*) και λευκά crappies (WC) (*P. annularis*) και υβριδίων (F1) που συλλέχθηκαν το φθινόπωρο του 1990. Οι διακεκομμένες γραμμές δείχνουν το ελάχιστο μέγεθος για αλίευση. Πηγή: Travnichek et al. 1996. Αναπαράγεται με άδεια από τον Taylor & Francis.

ση διαειδικού υβριδισμού. Το υβρίδιο ανάμεσα στα μαργαριτοφόρα μύδια εσωτερικών υδάτων (*Hyriopsis schlegel* ♀) και (*H. cumingii* ♂), αύξησε το μέγεθος του μαργαριταριού κατά 23%, την παραγωγή των μαργαριταριών κατά 32% και τη συχνότητα εμφάνισης μεγάλων μαργαριταριών κατά 3,7 φορές.

Η ετέρωση για ένα μοναδικό χαρακτηριστικό

δεν είναι απαραίτητως αναγκαία για ένα υβρίδιο F1, ή μια διασταύρωση ώστε να έχει μεγαλύτερη αξία συγκριτικά με τους γονείς. Η σύνθετη απόδοση μπορεί να ορίσει τον F1 ως τον γονότυπο επιλογής για την εκτροφή. Το λαβράκι “sunshine” που προέρχεται από το ασπρολάβρακο, *Morone chrysops* και το γραμμωτό λαβράκι (*M. saxatilis*), αναπτύσσεται ταχύτερα, με καλύτερα γενικά χαρακτηριστικά εκτροφής ως προς την ανάπτυξη, τη διατήρηση σταθερής ωσμωτικής πίεσης, την υψηλή θερμική ανθεκτικότητα, την αντοχή στο στρες και σε συγκεκριμένες ασθένειες, την υψηλή επιβίωση σε εντατική εκτροφή, την ικανότητα χρήσης πρωτεΐνης σόγιας στην τροφή, την ανθεκτικότητα στη διαχείριση και την ευαλωτότητα στο ψάρεμα με καλάμι, απ’ ό,τι οποιοδήποτε από τα γονεϊκά είδη. Άλλα παραδείγματα διασταυρώσεων που έχουν οδηγήσει σε βελτιωμένη συνολική απόδοση σε πειραματικές συνθήκες υδατοκαλλιέργειας περιλαμβάνουν:

- κοινός κυπρίνος με κυπρίνο ‘rohu’ (*Labeo rohita*).
- ινδικός κυπρίνος ‘mrigal’ (*Cirrhinus cirrhosus*) και ινδικός κυπρίνος ‘catla’ (*Labeo catla*).
- γιγάντιο racu (*Colossoma macropomum*) και μεγάλο racu (*Piaractus brachypoma*) και (*P. mesopotamicus*).
- πράσινο ηλιόψαρο (*Lepomis cyanellus*) διασταυρωμένο με γαλαζολιόψαρο (*L. macrochirus*).
- τσιπούρα (*Sparus aurata*) με Ιαπωνικό φαγγρί (*Pagrus major*).

Ένα από τα καλύτερα παραδείγματα εμπορικής εφαρμογής του διαειδικού υβριδισμού είναι αυτό του βαδιστικού γατόψαρου. Κάποια στιγμή, το αρχικό γατόψαρο που καλλιεργούνταν στην Ταϊλάνδη, ήταν το υβρίδιο που προήλθε από τα γατόψαρα της Αφρικής (*Clarias gariepinus*) και της Ταϊλάνδης (*C. macrocephalus*). Παρόλο που δεν αναπτύσσεται τόσο γρήγορα όσο το καθαρόαιμο Αφρικανικό γατόψαρο, μεγαλώνει ταχύτερα από το βαδιστικό γατόψαρο της Ταϊλάνδης και η κίτρινη σάρκα του είναι αποδεκτή από τους Ταϊλανδούς καταναλωτές, σε αντίθεση με την κόκκινη σάρκα του αφρικανικού βαδιστικού γατόψαρου. Ωστόσο, οι καταναλωτικές και κοινωνικές συμπεριφορές επηρεάζουν τους στόχους της αναπαραγωγικής βελτίωσης. Η νεότερη γενιά Ταϊλανδών αποδέχεται την κόκκινη σάρκα, καθιστώντας το Αφρικανικό βαδιστικό γατόψαρο ως τον προτιμώμενο γονό-

τυπο καλλιέργειας. Ένα άλλο παράδειγμα υβριδίου που προήλθε μετά από έναν «υγιή συμβιβασμό» είναι το αποτέλεσμα της διασταύρωσης ινδικού κυπρίνου 'rohu' (*Labeo rohita*) με ινδικό κυπρίνο 'catla' (*Labeo catla*) που αναπτύσσεται σχεδόν τόσο γρήγορα όσο ο καθαρόαιμος 'catla', αλλά έχει το μικρό κεφάλι του ινδικού κυπρίνου rohu, που θεωρείται επιθυμητό στην ινδική υδατοκαλλιέργεια. Τα υβρίδια που προέρχονται από τη διασταύρωση *Labeo catla* με *Labeo fimbriatus* (κυπρίνος της Ινδικής Χερσονήσου) έχουν τα μικρά κεφάλια του *L. fimbriatus* συν το βαθύ σώμα και τον ρυθμό ανάπτυξης του *C. catla*.

Ένα άλλο πιθανό πλεονέκτημα του διαειδικού υβριδισμού είναι ότι μερικοί συνδυασμοί ειδών καταλήγουν σε απογόνους με στρεβλές αναλογίες φύλου, ή μονόφυλους απογόνους. Οι μονόφυλοι πληθυσμοί ψαριών είναι επιθυμητοί όταν οι διαφορές ανάπτυξης μεταξύ των φύλων, τα εξειδικευμένα σύμφωνα με το φύλο προϊόντα, όπως το χαβιάρι, είναι πράγματι επιθυμητά, οπότε η αναπαραγωγή πρέπει να ελέγχεται, ή όταν υπάρχει άλλος εκμεταλλεύσιμος φυλετικός διμορφισμός. Ο υβριδισμός σε τιλάπιες ή ηλιόψαρα (Centrarchidae) συχνά οδηγεί σε σχεδόν μονόφυλα υβρίδια. Ο υβριδισμός μεταξύ της τιλάπιας του Νείλου και της μπλε τιλάπιας (*Oreochromis aureus*), έχει ως αποτέλεσμα κυρίως αρσενικούς απογόνους. Τα ζευγαρώματα της τιλάπιας, τα οποία παράγουν κυρίως αρσενικούς απογόνους, περιλαμβάνουν τη διασταύρωση ανάμεσα στην τιλάπια του Νείλου με *O. urolepis honorum* ή *O. macrochir*, και τη διασταύρωση *O. mossambicus* με *O. urolepis honorum*. Αντιθέτως, το υβρίδιο που προέρχεται από το γραμμωτό λαβράκι (*Morone saxatilis*) και το κιτρινολάβρακο (*Morone mississippiensis*) παράγει κατά 100% θηλυκά άτομα.

Θεωρητικά, η παραγωγή στείρων υβριδίων μπορεί να μειώσει την ανεπιθύμητη αναπαραγωγή, ή να βελτιώσει τον ρυθμό ανάπτυξης με την εκτροπή ενέργειας από τη γαμετογένεση ή τη μειούμενη γεννητική συμπεριφορά. Η ανάλυση του καρυότυπου θεωρείται ως ένας γενικός δείκτης πρόγνωσης πιθανής υβριδικής γονιμότητας. Τα υβρίδια κυπρίνων νότιας Ασίας είναι γενικά γόνιμα, λόγω του ότι μοιράζονται παρόμοιους αριθμούς χρωμοσωμάτων ($2N = 50$). Παρ' όλ' αυτά, όταν ζευγαρώνονται με τον κοινό κυπρίνο ($2N = 102$),

τα υβρίδια έχουν αυτό που ισοδυναμεί με έναν $3N$ αριθμό χρωμοσωμάτων και είναι στείρα. Επίσης, εμφανίζεται μία φυσική τριπλοειδία όταν επιχειρείται διασταύρωση ανάμεσα στον χορτοφάγο κυπρίνο (*Ctenopharyngodon idella*) και τον μαρμαροκυπρίνο (*Hypophthalmichthys nobilis*). Ο χορτοφάγος κυπρίνος χρησιμοποιείται συνήθως για τον έλεγχο των υδρόβιων μακρόφυτων στις ΗΠΑ, αλλά υπάρχουν ανησυχίες για την εγκατάστασή του στο φυσικό περιβάλλον, με αποτέλεσμα την πιθανή επίπτωση στην επιθυμητή βλάστηση στο οικοσύστημα. Ο συνδυασμός χρήσης χορτοφάγου κυπρίνου - μαρμαροκυπρίνου δεν είναι μια βιώσιμη επιλογή για τον έλεγχο των ζιζανίων, καθώς, αν και αυτό το τριπλοειδές υβρίδιο έχει μειωμένη γονιμότητα, ορισμένοι απόγονοι του διατηρούν τη διπλοειδία και θα μπορούσαν να είναι γόνιμοι. Μια εξαίρεση από τον κανόνα γονιμότητας αριθμός χρωμοσωμάτων περιλαμβάνει μερικές διασταυρώσεις ειδών οξύρρυγχου με διαφορετικούς αριθμούς χρωμοσωμάτων που παράγουν γόνιμους απογόνους $F1$.

Ο υβριδισμός είναι ένα καλό πρόγραμμα για τη βελτίωση της ανθεκτικότητας των ψαριών στις ασθένειες, όπως στην περίπτωση των υβριδίων του ασημένιου σολομού (*Oncorhynchus kisutch*), τα οποία θεωρούνται ανθεκτικά σε αρκετούς ιούς σολομοειδών. Παρ' όλ' αυτά, η συνολική βιωσιμότητα ήταν φτωχή. Αυξήθηκε η βιωσιμότητα όταν τον υβριδισμό ακολούθησε η δημιουργία τριπλοειδίας. Σε μερικές περιπτώσεις τα υβρίδια σολομού επέδειξαν εξαιρετική ιική αντοχή, αλλά πολύ μικρή ανάπτυξη. Τα τριπλοειδικά υβρίδια σολομού του Ειρηνικού κάποιες φορές επιδεικνύουν συντομότερα εγκλιματισμό στο θαλασσινό νερό. Με παρόμοιο τρόπο, από υβρίδια $F1$ μπορεί να κληρονομηθεί αυξημένη ανθεκτικότητα σε διαφόρους περιβαλλοντικούς παράγοντες, όταν ένα γονεϊκό είδος έχει ευρεία ή συγκεκριμένη φυσιολογική ανθεκτικότητα. Αρκετά υβρίδια τιλάπιας εμφανίζουν αυξημένη ανθεκτικότητα στην αλατότητα. Τα υβρίδια ερυθρού στελέχους της Φλόριντα (διασταύρωση *O. mossambicus* με *O. urolepis honorum*) μπορούν ν' αναπαραχθούν σε αλατότητες έως και 19‰, γεγονός που δεν είναι αναγκαστικά ένα καλό χαρακτηριστικό, όταν υπολογίζονται οι πιθανές περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Ακριβώς όπως στην περίπτωση των ενδοειδι-

Πίνακας 7.6 Σωρευτική θνησιμότητα από έκθεση σε ψύχος για το *Oreochromis aureus* (AA), την κόκκινη αναδιασταύρωση *O. aureus* (AR), το *Oreochromis niloticus* (NN) και την κόκκινη αναδιασταύρωση *O. niloticus* (RN) που απεικονίζει τη σχετική επίδοση της κόκκινης αναδιασταύρωσης και της αντίστοιχης αναδιασταύρωσης του γονεϊκού είδους.

Χρόνος	Γενότυποι	Σωρευτική θνησιμότητα (%)			
		AA	AR	NN	RN
1		0	0	7	1
2		0	0	60	80
3		7	10	100	100
4		27	37	100	100
5		100	100	100	100

κών αντίστροφων F1 διασταυρώσεων, τα F1 διαειδικά αντίστροφα υβρίδια εμφανίζουν συνήθως διαφορετικούς φαινότυπους και απόδοση. Τα αντίστροφα υβρίδια του *O. niloticus* (N) διασταυρωμένα μ' αυτά του *O. mossambicus* (M), παρουσιάζουν διαφορετικές αντοχές στην αλατότητα. Εμφανίστηκε μια μητρική γενετική επίδραση καθώς το υβρίδιο με μητέρα την *O. niloticus* είχε υψηλότερο ποσοστό επιβίωσης σε δοκιμασία αλατότητας, της τάξης του 20%, σε σχέση με το καθαρόαιμο *O. niloticus*, αλλά με χαμηλότερα ποσοστά επιβίωσης απ' αυτά του αντίστροφου υβριδίου. Σε αλατότητα 30%, μια άμεση μεταφορά σκότωσε όλες τις τιλάπιες με μητρική καταγωγή από την *O. niloticus*. Οι ρυθμοί αύξησης των υβριδίων N×M ήταν συγκρίσιμοι μ' εκείνους της τιλάπιας του Νείλου, ενώ τα υβρίδια M×N και *O. mossambicus* ήταν συγκρίσιμα, αλλά σε χαμηλότερο βαθμό, από τις πρώτες δύο ομάδες, γεγονός που αποτελεί ένα επιπλέον παράδειγμα μητρικών γενετικών επιδράσεων.

Οι διασταυρώσεις MN×N, έδειξαν, επίσης, υψηλότερη αντοχή στην αλατότητα (συγκρίσιμη μ' εκείνη του *O. mossambicus*), αλλά δεν βρέθηκαν σημαντικές διαφορές στην αντοχή στην αλατότητα στην υπολειπόμενη αναδιασταύρωση (N×NM, NM×N, N×MN) ή στην καθαρόαιμη *O. niloticus*. Έτσι συνέχισε να μεταδίδεται στη διασταυρούμενη γενιά κάποιος τύπος μητρικής επίδρασης από το μητρικό πυρηνικό γονιδίωμα, το κυτταρόπλασμα ή το μιτοχονδριακό γονιδίωμα. Ωστόσο, η ποσότητα του σφαγίου των διασταυρωμένων υβριδίων, τείνει να είναι υψηλότερη από εκείνη των γονεϊκών ειδών. Η ενδοειδική διασταύρωση έχει, επίσης, χρησιμοποιηθεί για την επιτυχή εισαγωγή

γή γονιδίων που προσφέρουν ανθεκτικότητα στο ψύχος και που επιδρούν στο χρώμα ανάμεσα σε τιλάπιες με πολύ στενή συγγένεια (**Πίνακας 7.6**).

Ο υβριδισμός μεταξύ των θαλάσσιων ειδών και μεταξύ των θαλάσσιων και των ειδών που αναπαράγονται σε γλυκό νερό δεν έχει δημιουργήσει πολλές ελπίδες για την ανάπτυξη βελτιωμένων ψαριών για χρήση τους στις υδατοκαλλιέργειες. Τα αντίστροφα υβρίδια που δημιουργήθηκαν από την τσιπούρα *Sparus aurata* και το Ιαπωνικό φαγγρί *Pagrus major* ανέπτυξαν υπολειπόμενες γονάδες στα δύο ως τρία έτη και ήταν στείρα, και δεν παρατηρήθηκε καμιά υπεροχή στην ανάπτυξη ή την επιβίωση, σε σύγκριση με τα γονεϊκά είδη, μέχρι τη γεννητική ωριμότητα. Ο υβριδισμός μεταξύ των θηλυκών του Ευρωπαϊκού λαβρακιού (*Dicentrarchus labrax*) και του γραμμωτού λαβρακιού (*Morone saxatilis*) οδήγησε σε βιώσιμους απογόνους (γόνο). Μόνο τριπλοειδείς απόγονοι (γόνος) επιβίωσαν ως τον 6^ο μήνα και στους 8 μήνες τα άτομα που επιβίωσαν εμφάνισαν ισχνή ανάπτυξη σε σύγκριση με το διπλοειδές *D. labrax*. Τέτοια υβρίδια θα είχαν εμπορική αξία μόνο όπου απαιτείται αναπαραγωγικός περιορισμός για οικολογικούς λόγους και επιτυγχάνεται μια πολύ επιθυμητή ποιότητα σάρκας.

7.8 Χρωμοσωμικές Τεχνικές

7.8.1 Γυνογένεση, Ανδρογένεση και Κλωνοποίηση

Η γυνογένεση και η ανδρογένεση είναι τεχνικές για την ταχεία δημιουργία ομομικτικών (ενδογαμία) και κλωνοποιημένων πληθυσμών. Τα γυνογε-

νετικά άτομα (“γυνογόνα”) που παράγονται κατά τη διάρκεια της μείωσης (“μειωτικά γυνογόνα”) είναι εξ ορισμού “συγγενικά”, δεδομένου ότι όλη η γενετική πληροφορία είναι μητρική. Τα “μειωτικά γυνογόνα” δεν είναι ομόζυγα, καθώς οι ανταλλαγές και ο ανασυνδυασμός κατά τη διάρκεια της ωογένεσης παράγουν διαφορετικούς συνδυασμούς γονιδίων στα χρωμοσώματα του πυρήνα των ωαρίων και στον πυρήνα του δεύτερου πολικού σώματος, που αποβάλλεται κατά τη διάρκεια της μείωσης. Ο ρυθμός ενδογαμίας μέσω της γυνογένεσης είναι περίπου ισοδύναμος με μια γενιά ζευγαρώματος ατόμων με απόλυτη συγγένεια. Τα μειωτικά γυνογόνα είναι πλήρως ομόζυγα, με ταυτόσημα γονίδια σε κάθε ζεύγος χρωμοσωμάτων. Είναι πιο πιθανό να πεθάνουν κατά τη διάρκεια της εμβρυϊκής ανάπτυξης λόγω της υψηλότερης συχνότητας των επιβλαβών γενότυπων που βρίσκονται σε 100% ομοζυγωτικά άτομα.

Η ανδρογένεση, ή ολο-αρσενική κληρονομικότητα, είναι πιο δύσκολο να επιτευχθεί απ’ ότι η γυνογένεση, καθώς διπλοειδία μπορεί να προκληθεί στην πρώτη κυτταρική διαίρεση μόνο στα ανδρογόνα, φάση κατά την οποία είναι δύσκολο να τροποποιηθεί το έμβρυο. Επίσης, τα ανδρογόνα είναι πλήρως ομόζυγα, έτσι ένα μεγάλο ποσοστό με επιβλαβείς γενότυπους πιθανώς θα πεθάνει.

Η γυνογένεση και η ανδρογένεση μπορούν να χρησιμοποιηθούν ώστε να διασαφηνιστούν οι παράγοντες που καθορίζουν το φύλο στα ψάρια. Αν το αρσενικό είναι το ομογαμετικό φύλο όταν παράγονται τα ανδρογόνα, τα ανδρογόνα θα είναι 100% ZZ (ολο-αρσενικά). Αν το αρσενικό είναι το ετερογαμετικό φύλο, θα παραχθούν ανδρογόνα XX και YY, γεγονός που θα οδηγήσει σε δημιουργία και των δύο φύλων.

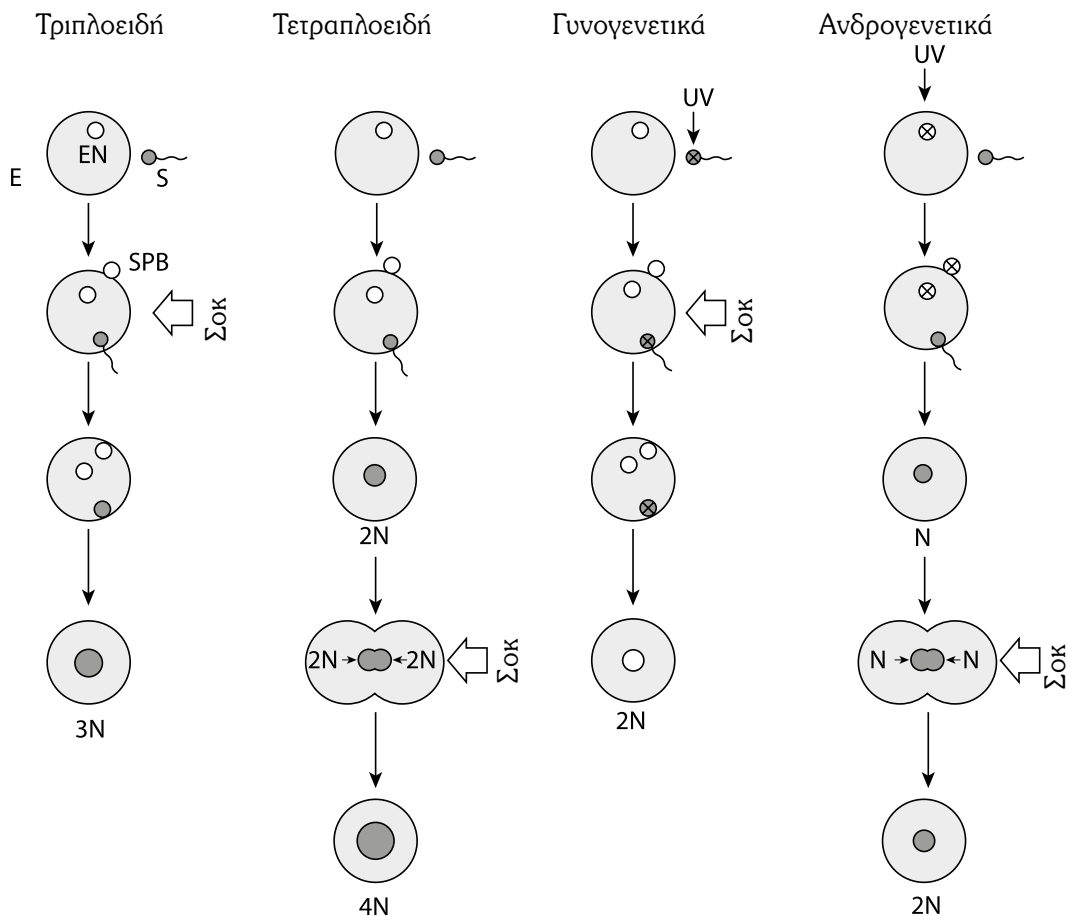
Έχουν παραχθεί κλωνικά στελέχη που προέρχονται από απόλυτη ενδογαμία στο ψάρι ζέβρα (*Danio rerio*), στο αγιού (*Plecoglossus altivelis*), στον κοινό κυπρίνο, στην τιλάπια του Νείλου και στην ιριδίζουσα πέστροφα, χρησιμοποιώντας και γυνογένεση και ανδρογένεση. Δεν έχει ακόμη αποδειχθεί κατά πόσο η τεχνολογία στοχοποιεί άμεσα και κλωνοποιεί ένα μεμονωμένο ψάρι. Ωστόσο, δύο διαδοχικές γενιές μιτωτικής γυνογένεσης ή ανδρογένεσης καταλήγουν σ’ έναν πληθυσμό κλώνο, αν και τυχαία παραγόμενο. Αυτά τα άτομα εντός του πληθυσμού κλώνου θα έπρεπε

να έχουν ταυτόσημους γενότυπους σε όλο τους το γονιδίωμα. Αφού θα είναι ομόζυγοι για το φύλο = καθορισμός γονιδίων, πρέπει να χρησιμοποιηθεί αντιστροφή φύλου για τη διαιώνιση αυτών των πληθυσμών. Οι επιδόσεις ατόμων μέσα σε τέτοιους κλώνους είναι ιδιαιτέρως μεταβλητές. Τα άτομα με εξαιρετική ομοζυγωτικότητα προφανώς χάνουν την ικανότητα ν’ ανταποκρίνονται σε περιβαλλοντικές μεταβλητές με συνεπή, σταθερό τρόπο και ακόμη και οι μικροπεριβαλλοντικές διαφορές επηρεάζουν την απόδοση μεταξύ των ατόμων. Καθώς η γενετική παραλλακτικότητα μειώνεται, η απόκλιση που προκαλείται από το περιβάλλον αυξάνεται, και μάλιστα με ταχύτερο ρυθμό απ’ ότι στους ετεροζυγωτικούς πληθυσμούς.

7.8.2 Πολυπλοειδία

Στην κανονική ανάπτυξη των ψαριών, ο πυρήνας του διπλοειδούς ωαρίου υφίσταται μια μιτωτική διαίρεση μετά τη διείσδυση ενός σπερματοζωαρίου μέσω της εξωτερικής μεμβράνης προκειμένου να γονιμοποιήσει το ωάριο. Ένας από τους δύο 2N πυρήνες που προκύπτουν απ’ αυτή τη μίτωση εξωθείται από το ωάριο ως το πρώτο πολικό σώμα. Στη συνέχεια, ο 2N πυρήνας του ωαρίου υφίσταται μειωτική διαίρεση και ένας από τους προκύπτοντες απλοειδείς (N) πυρήνες εξωθείται ως το δεύτερο πολικό σώμα. Τώρα το ωάριο περιέχει δύο απλοειδείς πυρήνες: έναν από το ωάριο και έναν από το σπερματοζωάριο. Αυτοί συνενώνονται ώστε να δημιουργήσουν έναν διπλοειδή πυρήνα σε έναν ζυγώτη, ο οποίος στη συνέχεια υφίσταται μια αρχική διαίρεση σε δύο κύτταρα ως το πρώτο βήμα της εμβρυϊκής ανάπτυξης.

Τα πολυπλοειδή, γυνογόνα και ανδρογόνα, παράγονται με τη διακοπή των παραπάνω διεργασιών σε διάφορα στάδια, εφαρμόζοντας σοκ (**Εικόνα 7.6**). Χρησιμοποιούνται χημικά, θερμοκρασιακά και σοκ πίεσης λίγο μετά τη γονιμοποίηση για να προκαλέσουν τριπλοειδία, και λίγο πριν την πρώτη κυτταρική διαίρεση για να προκαλέσουν τετραπλοειδία (**Εικόνα 7.6**). Ο συγχρονισμός της διακοπής είναι αποφασιστικής σημασίας, κι αυτός μαζί με το πιο αποτελεσματικό σοκ ποικίλλει ανάλογα με το είδος. Η μείωση στα οστρακοειδή είναι διαφορετική απ’ αυτή στα ψάρια. Στην περίπτωση αυτή, μπορούν να δημιουργηθούν τριπλοειδή



Εικόνα 7.6 Στάδια ανάπτυξης του πυρήνα των ωαρίων όταν εφαρμόζονται σοκ για την παραγωγή τριπλοειδών, τετραπλοειδών, γυνογενετικών και ανδρογενετικών (E= ωάριο, EN = πυρήνας ωαρίου). Πηγή: Tave 1990. Αναδημοσίευση με άδεια της Παγκόσμιας Εταιρείας Υδατοκαλλιέργειας.

μπλοκάροντας είτε την πρώτη είτε τη δεύτερη μειωτική διαίρεση.

Η πολυπλοειδία αξιολογήθηκε διεξοδικά στα ψάρια και τα δίθυρα μαλάκια, ειδικά κατά την περίοδο 1970-2000 (Dunham, 2011). Η αξιολόγηση τριπλοειδών, συνήθως, δίνει έμφαση στα χαρακτηριστικά της ανάπτυξης, της στειρότητας και της ποιότητας της σάρκας. Οι τριπλοειδείς οργανισμοί είναι γενικά στειροί. Τα θηλυκά παράγουν λιγότερες φυλετικές ορμόνες και, αν και τα τριπλοειδή αρσενικά μπορεί ν' αναπτύξουν δευτερογενή φυλετικά χαρακτηριστικά και να επιδείξουν αναπαραγωγική συμπεριφορά, γενικά είναι ανίκανα ν' αναπαραχθούν. Η τριπλοειδία μπορεί, επίσης, να χρησιμοποιηθεί για την αποκατάσταση της βιωσιμότητας σε μη βιώσιμα ενδοειδικά υβρίδια.

Συνήθως, η τριπλοειδία δεν θα βελτιώσει τους ρυθμούς ανάπτυξης των ψαριών μέχρι και μετά τη γεννητική ωρίμανση, η οποία για τα περισσότερα είδη είναι πάνω από το μέγεθος της αγοράς. Υπάρχουν όμως εξαιρέσεις: τα τριπλοειδή του γατόψα-

ρου που μεγάλωσε σε δεξαμενές, ήταν μεγαλύτερα από τα διπλοειδή στην ηλικία περίπου των 9 μηνών (90 g), γεγονός που συμβαίνει λίγο μετά την πρώτη εμφάνιση του φυλετικού διμορφισμού στο βάρος του σώματος. Αυτό δεν είναι επωφελές από εμπορική άποψη, καθώς τα τριπλοειδή του γατόψαρου και τα τριπλοειδή υβρίδια του γατόψαρου δεν αναπτύχθηκαν τόσο γρήγορα όσο τα διπλοειδή σε εμπορικά περιβάλλοντα, όπως οι χωμάτινες λίμνες, και είχαν μειωμένη ανθεκτικότητα σε χαμηλές τιμές διαλυμένου οξυγόνου. Τα υβρίδια τριπλοειδών σολομοειδών παρουσιάζουν παρόμοια ή βραδύτερη ανάπτυξη από τα διπλοειδή υβρίδια, αλλά και πάλι μπορεί ν' αναπτυχθούν ταχύτερα από το δείγμα ελέγχου μόλις φθάσουν στην ωριμότητα. Ο τριπλοειδής βασιλικός σολομός (*Oncorhynchus tshawytscha*) ήταν λιγότερο επιθετικός κατά τη διάρκεια της σίτισης από τα διπλοειδή ψάρια, αλλά αναπτύχθηκε με τον ίδιο ρυθμό όπως τα διπλοειδή.

Στην περίπτωση του κυπρίνου, οι περισσότε-

ροι από τους τριπλοειδείς ενός έτους είχαν υποαναπτυγμένες γονάδες και ήταν στérηροι. Οι τριπλοειδείς κυπρίνοι αναπτύχθηκαν βραδύτερα από τα διπλοειδή αδέρφια τους κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες. Η δυνατότητα για καλλιέργεια τριπλοειδούς κοινού κυπρίνου φαίνεται αμφισβητήσιμη· ωστόσο, αποτελέσματα από την Ινδία δείχνουν ότι ο τριπλοειδής κοινός κυπρίνος είχε υψηλότερο ποσοστό φιλετοποίησης από τον διπλοειδή πληθυσμό των δειγμάτων ελέγχου, αντισταθμίζοντας, τουλάχιστον εν μέρει, τη βραδύτερη ανάπτυξη.

Η απόδοση του τριπλοειδούς μπορεί να επηρεαστεί από την επίδραση της σειράς και της οικογένειας. Ο διπλοειδής αρκτοσαλβελίνος (*Salvelinus alpinus*) αναπτύχθηκε ταχύτερα από τα τριπλοειδή. Ωστόσο, την ανάπτυξη επηρέασαν τόσο το επίπεδο πλοειδίας όσο και η οικογένεια, και η οικογένεια προέβλεψε την επίδοση των τριπλοειδών. Τα τριπλοειδή από ταχέως αναπτυσσόμενες οικογένειες αναπτύχθηκαν ταχύτερα από τα διπλοειδή από οικογένειες με αργούς ρυθμούς ανάπτυξης.

Η τριπλοειδία μπορεί να έχει δυσμενείς επιπτώσεις στην ανθεκτικότητα σε χαμηλές τιμές διαλυμένου οξυγόνου. Τα τριπλοειδή γατόψαρα και τα τριπλοειδή υβρίδια γατόψαρων είχαν μειωμένη ανθεκτικότητα σε χαμηλές τιμές διαλυμένου οξυγόνου. Παρόμοια αποτελέσματα έχουν παρατηρηθεί με τα σολομοειδή.

Η τριπλοειδία, γενικά, έχει ως αποτέλεσμα την καλύτερη ποιότητας σάρκας. Η σάρκα της τριπλοειδούς θηλυκής ιριδιζουσας πέστροφας ήταν ανώτερης ποιότητας από εκείνη των διπλοειδών θηλυκών, διότι εμποδίστηκαν αλλαγές μετά την ωρίμανση. Ο συνδυασμός μονοφυλικής αναπαραγωγής και τριπλοειδίας μπορεί να παράγει ψάρια τόσο με ανώτερο ρυθμό ανάπτυξης όσο και με ποιότητα σάρκας. Το τριπλοειδές γατόψαρο είχε 6% μεγαλύτερη απόδοση σφαγίου στην ηλικία των τριών ετών, γεγονός που συνέβη πολύ μετά την περίοδο γεννητικής ωριμότητας. Ωστόσο, το ποσοστό σφαγίου και η ανθεκτικότητα στην αιμορραγική σηψαιμία (που προκλήθηκε από την *Aeromonas hydrophila*) δεν διέφεραν ανάμεσα στο τριπλοειδές ή το διπλοειδές Ταϊλανδικό βαδιστικό γατόψαρο (*Clarias batrachus*).

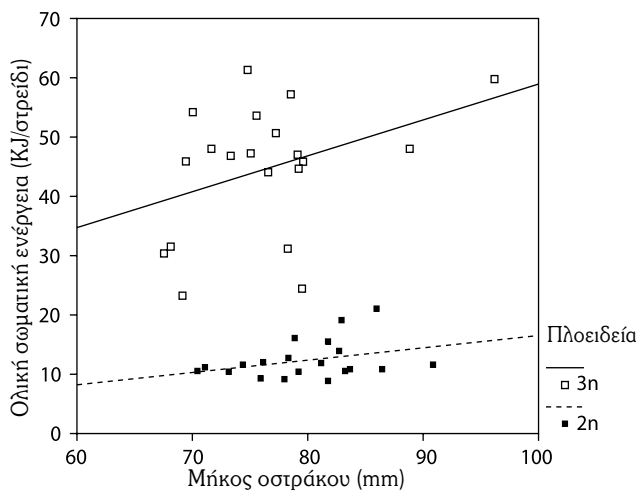
Η τριπλοειδία μπορεί να είναι πολύ ευεργετική όταν εφαρμόζεται σε καλλιέργεια δίθυρων.

Η πρόκληση τριπλοειδίας σε στρείδια, όπως τα *Crassostrea gigas*, αυξάνει το μέγεθος και την ποιότητα της σάρκας (Dunham, 2011). Στα στρείδια βράχων του Σίδνεϋ (*Saccostrea cucullata*) (Εικόνα 7.7), η τριπλοειδία αύξησε την ποσότητα σάρκας του στρειδιού σε σχέση με τα διπλοειδή αδέρφια του (Kesarcodi-Watson et al., 2001) (Εικόνα 7.8). Τα τριπλοειδή στρείδια δεν εμφανίζουν μεγάλες γονάδες, αυξάνοντας την εμπορευσιμότητα και την ποιότητα της σάρκας. Η τεχνική αυτή μπορεί να οδηγήσει, ή και όχι, σε πλήρη γενετική στειρότητα στα στρείδια, καθώς ορισμένα τριπλοειδή μπορούν να αναστρέψουν ένα τμήμα των κυττάρων τους πίσω στην διπλοειδή κατάσταση, δημιουργώντας δυνητικά γόνιμα μωσαϊκά σύνολα (Dunham, 2011). Η αναπτυξιακή συμπεριφορά των αδελφών τριπλοειδών και διπλοειδών στρειδιών συσχετίστηκε θετικά, αλλά όχι και η ικανότητα αναπαραγωγής τους. Όσον αφορά στη καλοκαιρινή θνησιμότητα, η συμπεριφορά των τριπλοειδών στρειδιών του Ειρηνικού ήταν πολύ πιο απρόβλεπτη από εκείνη των διπλοειδών.

Τα οφέλη της τριπλοειδίας δεν είναι τόσο ξεκάθαρα σε άλλα είδη μαλακίων. Η ανάπτυξη και η επιβίωση δεν ήταν διαφορετικές για την Αυστραλιανή μαύρη αλιώτιδα (*Haliotis rubra*) ηλικίας έως 30 μηνών. Ωστόσο, τα τριπλοειδή είχαν πιο επιμηκυσμένο κέλυφος και μεγαλύτερους μύες ποδιών από τα διπλοειδή. Τα τριπλοειδή εμφάνισαν υψηλότερη κατανάλωση τροφής από τα διπλοειδή, αλλά τα διπλοειδή είχαν μεγαλύτερη ικανότητα μετατρεψιμότητας της τροφής. Τα τριπλοειδή της Αυστραλιανής λευκής αλιώτιδας (*Haliotis laevigata*) είχαν μεγάλη θνησιμότητα σε σύγκριση με τα διπλοειδή σε διάφορα στάδια της ζωής τους. Επίσης, τα διπλοειδή αναπτύχθηκαν ταχύτερα από τα τριπλοειδή, αν και η τριπλοειδής αλιώτιδα απέδωσε έως και 30% περισσότερο βάρος μυϊκού ιστού σε σύγκριση με την ίδιου μήκους διπλοειδής αλιώτιδα κατά τις εαρινές-θερινές περιόδους ωρίμανσης στους 36 και 48 μήνες. Η διπλοειδής αλιώτιδα εμφάνισε ισοδύναμο βάρος μυϊκού ιστού με την τριπλοειδή αλιώτιδα ανάμεσα στις περιόδους ωρίμανσης. Η σύνθεση των λιπαρών οξέων του μυϊκού ιστού ήταν η ίδια για τα τριπλοειδή και τα διπλοειδή. Στην πλειονότητα των παραδειγμάτων διαφόρων ειδών μαλακίων, η τριπλοειδία ήταν επωφελής (Dunham, 2011).



Εικόνα 7.7 Στρείδια βράχων του Σίδνεϋ (*Saccostrea cucullata*). Εθνικό Πάρκο Croajingolong, Βικτώρια, Αυστραλία. Πηγή: Stevage 2007. Αναπαραγωγή με την άδεια Αναφοράς Δημιουργού - Παρόμοιας Διανομής Creative Commons, CC-BY-SA 3.0., μέσω του Wikimedia Commons



Εικόνα 7.8 Σχέση μεταξύ συνολικής σωματικής ενέργειας, η οποία σε μεγάλο βαθμό είναι μαλακός ιστός σώματος, και μήκους οστράκου σε ενήλικα και τριπλοειδή στρείδια *Saccostrea cucullata*. Κάθε σημείο δεδομένων είναι μια τιμή για ένα μοναδικό στρείδι. Πηγή: Kesarcodi-Watson et al., 2001. Αναπαράγεται με άδεια από τον Elsevier.

Η τριπλοειδία είναι η μόνη τεχνική που μπορεί να εγγυηθεί ότι οι πληθυσμοί θαλάσσιων γαρίδων κλίνουν προς το ταχύτερα αναπτυσσόμενο φύλο,

το θηλυκό. Η τριπλοειδία χρησιμοποιείται, επίσης, για την πρόληψη της κλοπής των επίλεκτων αποθεμάτων/γενετικού υλικού.

Στις Κινεζικές λευκές γαρίδες (*Fenneropenaeus chinensis*) τα τριπλοειδή είχαν έναν μειωμένο αριθμό αιμοκυττάρων. Αυτό μπορεί να είναι το κλειδί για να εξηγηθεί η τάση της μειωμένης ανθεκτικότητας των ψαριών σε χαμηλές τιμές διαλυμένου οξυγόνου, αλλά μπορεί, επίσης, να έχει επιπτώσεις για τα καρκινοειδή. Η τριπλοειδής γαρίδα αναπτύχθηκε ταχύτερα κατά τη διάρκεια της γεννητικής ωρίμανσης, αλλά όχι νωρίτερα. Η πολυπλοειδία δεν είναι εμπορικά εφικτή για όλα τα είδη, επειδή η αναπαραγωγική βιολογία ορισμένων ειδών θέτει περιορισμούς στην τεχνολογία τεχνητής αναπαραγωγής που απαιτείται για την τριπλοειδική πρόκληση. Παραδείγματος χάριν, η εκκόλαψη εντός της στοματικής κοιλότητας, ο χαμηλός αριθμός αβγών ανά παρτίδα και η ασύγχρονη ωοτοκία στην τιλάπια εμποδίζει, ή θα έπαιζε πολύ ανασταλτικό ρόλο στην εμπορική παραγωγή της τριπλοειδούς τιλάπιας.

Στα ψάρια είναι εξαιρετικά δύσκολο να επιτευχθεί τετραπλοειδία. Τα περισσότερα τετραπλοει-

δή άτομα πεθαίνουν ως έμβρυα. Στις σπάνιες περιπτώσεις κατά τις οποίες κάποια τετραπλοειδή εκκολάφθηκαν, ήταν αδύναμα, είχαν αργή ανάπτυξη και χαμηλή επιβίωση, αλλά ήταν γόνιμα. Τα τετραπλοειδή είναι βιώσιμα για τα δίθυρα μαλάκια. Σ' αυτή την περίπτωση, είναι ένα πολύτιμο εργαλείο για διασταύρωση με διπλοειδή ώστε να δημιουργηθούν τριπλοειδείς πληθυσμοί (βλ. παραπάνω).

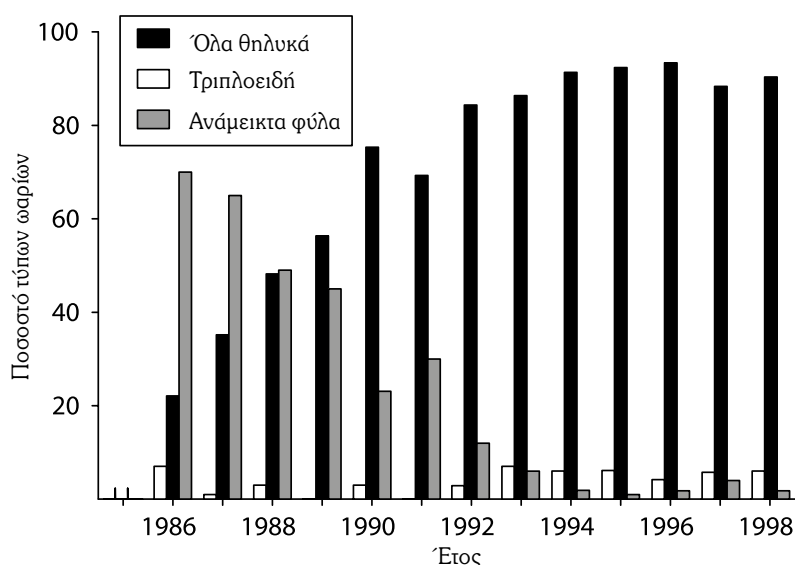
Συνοπτικά, η τριπλοειδία συνήθως δεν είναι αποτελεσματική για την αύξηση του ρυθμού ανάπτυξης, αλλά είναι πολύ αποτελεσματική για τη στειρότητα και τη βελτίωση της ποιότητας της σάρκας. Ωστόσο, η τριπλοειδία μπορεί να είναι αποτελεσματική για την αύξηση της ανάπτυξης μετά τη γεννητική ωρίμανση και, γενικά, είναι αποτελεσματική για την αύξηση του μεγέθους και της ανάπτυξης στα μαλάκια και τις γαρίδες.

7.8.3 Αντιστροφή Φύλου και Αναπαραγωγή

Μια ποικιλία στρατηγικών και σχεδίων που χρησιμοποιούν την αντιστροφή φύλου και την αναπαραγωγή, τον έλεγχο των απογόνων, τη γυνογένεση και την ανδρογένεση, μπορούν να οδηγήσουν στην ανάπτυξη κυρίως, ή εξ ολοκλήρου, αρσενικών ή θηλυκών πληθυσμών (γενετικά και φαινοτυ-

πικά) και πληθυσμών με μοναδικούς συνδυασμούς φυλετικών χρωμοσωμάτων. Οι στόχοι αυτής της στρατηγικής είναι να αξιοποιηθούν τα διμορφικά φυλετικά χαρακτηριστικά, όπως η ανάπτυξη και η ποιότητα της σάρκας, ο έλεγχος της αναπαραγωγής ή η πρόληψη εγκαθίδρυσης ξενικών ειδών. Όλοι οι θηλυκοί πληθυσμοί έχουν αναπτυχθεί επιτυχώς για τα σολομοειδή (**Εικόνα 7.9**), τα κυπρινοειδή και τις τιλάπιες, χρησιμοποιώντας το σύστημα που παρουσιάζεται στο **Εικόνα 7.10**. Σε εμπορική κλίμακα έχουν δημιουργηθεί πληθυσμοί ΥΥ αρσενικών για την τιλάπια του Νείλου και σε πειραματική κλίμακα για το γατόψαρο (Dunham, 2011), διαδικασία που απεικονίζεται στην **Εικόνα 7.11**. Η γενετική παραγωγή μονοφυλετικών πληθυσμών έχει το πλεονέκτημα της μειωμένης χρήσης ορμονών σε σύγκριση με την άμεση αντιστροφή φύλου με τη χρήση ορμονών, γεγονός που φυσικά έχει περιβαλλοντικές και ρυθμιστικές συνέπειες.

Μηχανισμοί καθορισμού του φύλου εξετάστηκαν από τους Devlin and Nagahama (2002) και Dunham (2011). Ενώ πολλές οικογένειες που καλλιεργούνται εμπορικά παρουσιάζουν τον συνηθισμένο XX/XY μηχανισμό προσδιορισμού φύλου (κυπρίνοι, σολομοειδή), όπου XX είναι θηλυκά και XY αρσενικά, άλλες μπορεί να είναι διαδοχικά ερμαφρόδιτες (αλλαγή φύλου καθώς ωριμάζουν), όπως η τσιπούρα και οι ροφοί (σερανίδες) ή έχουν



Εικόνα 7.9 Ποσοστά της ολο-θηλυκής, της τριπλοειδούς και της φυλετικά μικτής ιριδίζουσας πέστροφας (*Oncorhynchus mykiss*) που χρησιμοποιήθηκε από το 1986 έως το 1998, και απεικονίζει την αυξανόμενη και σχεδόν αποκλειστική υιοθέτηση της ολο-θηλυκής τεχνολογίας παραγωγής *Πηγή*: D. Penman. Αναπαράγεται με άδεια από τον Dr Penman. Δεδομένα από το Marine Scotland.

Λήψη δείγματος γόνου και αντιστροφή φύλου σε ολο-αρσενικά άτομα με μεθυλοτεστοστερόνη, που οδηγεί σε XX και XY αρσενικά



Έλεγχος απογόνων με φυσιολογικά XX θηλυκά : XX x XY έχει ως αποτέλεσμα αναλογία φύλου 1:1:
XX x XX δίνει ολο-θηλυκό πληθυσμό



Αντιστροφή φύλου δείγματος XX γόνου σε αρσενικά με μεθυλοτεστοστερόνη για μελλοντικούς γεννήτορες^a

Εικόνα 7.10 Σχεδιάγραμμα για την παραγωγή ολο-θηλυκών XX ιχθυοπληθυσμών. Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από τον Rex Dunham

^aΣ' έναν συνεχή XX πληθυσμό, όλοι οι απόγονοι είναι XX θηλυκά - έτσι εάν δεν πραγματοποιηθεί αντιστροφή φύλου κάποιων σε αρσενικά, τελικά το σύνολο των XX θηλυκών θα αποβιώσει λόγω γήρανσης και δεν θα απομείνει κανένα να ζευγαρώσει με XX αρσενικά και ο XX πληθυσμός θα εξαφανιστεί.

Λήψη δείγματος γόνου και αντιστροφή φύλου σε θηλυκά με βήτα-οιστραδιόλη → XX θηλυκά και XY θηλυκά



Έλεγχος απογόνων με XY αρσενικά:

XX θηλυκά x XY αρσενικά έχει ως αποτέλεσμα αναλογία φύλου 1:1

XY θηλυκά x XY αρσενικά έχει ως αποτέλεσμα 1 XX : 2 XY : 1 YY = 1 θηλυκό : 3 αρσενικά



Λήψη αρσενικών απογόνων XY και YY και έλεγχος απογόνων με XY αρσενικό από τη μητρική γενιά:

XY αρσενικό x XY θηλυκό έχει ως αποτέλεσμα αναλογία φύλου 1 θηλυκό : 3 αρσενικά

YY αρσενικό x XY θηλυκό έχει ως αποτέλεσμα αναλογία φύλου 1 XY : 1 YY = όλα αρσενικά



Λήψη δείγματος από αυτό το γόνο και αντιστροφή φύλου σε θηλυκά με βήτα-οιστραδιόλη → YY και XY θηλυκά



Έλεγχος απογόνων με XY αρσενικά:

XX θηλυκά x XY αρσενικά έχει ως αποτέλεσμα αναλογία φύλου 1 θηλυκό : 3 αρσενικά

YY θηλυκά x XY αρσενικά έχει ως αποτέλεσμα γονοτυπική αναλογία 1 XY : 1 YY = όλα αρσενικά



Διασταύρωση YY αρσενικών με YY θηλυκά για τη δημιουργία όλο YY απογόνων



Αντιστροφή φύλου σε ένα δείγμα αυτών των YY αρσενικών σε θηλυκά με βήτα-οιστραδιόλη ως μελλοντικό απόθεμα γεννητόρων^a

Εικόνα 7.11 Σχεδιάγραμμα για την παραγωγή YY όλο-αρσενικών ιχθυοπληθυσμών. Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από τον Rex Dunham.

^aΣ' έναν συνεχή YY πληθυσμό, όλοι οι απόγονοι είναι YY αρσενικά - έτσι εάν δεν πραγματοποιηθεί αναστροφή φύλου κάποιων σε θηλυκά, τελικά το σύνολο των YY αρσενικών θα αποβιώσει λόγω γήρανσης και δεν θα απομείνει κανένα να ζευγαρώσει με YY θηλυκά και ο YY πληθυσμός θα εξαφανιστεί.

θερμοκρασιακά ελεγχόμενο προσδιορισμό φύλου επιπλέον ενός μηχανισμού XX/XY, όπως η τιλάπια του Νείλου και η ελαιόχρωμη χωματίδα. Σε πολύ συγγενικά είδη μπορούν, επίσης, να βρεθούν διαφορετικοί μηχανισμοί:

- η τιλάπια του Νείλου έχει το μηχανισμό XX/XY με το θηλυκό να είναι ομογαμετικό XX, και το αρσενικό XY
- η μπλε τιλάπια έχει ένα WZ/ZZ μηχανισμό με το αρσενικό να είναι ομογαμετικό ZZ, και το θηλυκό, WZ.

Παρόμοιες διαφορές σε πολύ συγγενικά είδη είναι πιθανόν να υπάρχουν για τα ηλιόψαρα (Centrarchidae), τα γατόψαρα της οικογένειας Ictaluridae και ίσως για άλλα. Επιπροσθέτως, ο προσδιορισμός του φύλου έχει πολυγονιδιακές επιδράσεις σε ορισμένα είδη.

Οι αναλογίες φύλου στην τιλάπια του Νείλου στους 36 °C εξελίσσονται σ' ένα ποσοτικό χαρακτηριστικό. Τρεις γενιές επιλογής για δημιουργία αρσενικών οδήγησαν κατά 93% σε αρσενικούς απογόνους, ενώ η επιλογή για δημιουργία θηλυ-

κών οδήγησε σε μια αναλογία φύλου 1:1. Για τη δημιουργία αρσενικών η κληρονομικότητα ήταν υψηλή. Η απόκριση στην επιλογή για τη δημιουργία θηλυκών ήταν το αποτέλεσμα μιας μικρότερου βαθμού κληρονομικότητας σε συνδυασμό με μητρικές επιδράσεις.

Η αντιστροφή του φύλου και η αναπαραγωγή έχουν επιτρέψει την παραγωγή ΥΥ αρσενικών γατόψαρων που μπορούν να ζευγαρώσουν με φυσιολογικά ΧΧ θηλυκά για να δημιουργήσουν ολο-αρσενικούς ΧΥ απογόνους. Τα αρσενικά που είναι ΧΥ μπορούν να μετατραπούν σε φαινοτυπικά θηλυκά με τη χρήση ορμονών φύλου και μπορούν στη συνέχεια να χρησιμοποιηθούν για αναπαραγωγή. Η αναλογία φύλου των απογόνων από το ζευγάρι ΧΥ θηλυκών και ΧΥ αρσενικών γατόψαρων ήταν 2,8 αρσενικά:1 θηλυκό, γεγονός που δείχνει ότι τα περισσότερα, αν όχι όλα, ΥΥ άτομα είναι βιώσιμα. Οι ολο-αρσενικοί απόγονοι είναι επωφελείς για την εκτροφή γατόψαρων, καθώς αυξάνονται κατά 10-30% ταχύτερα από τους θηλυκούς. Τα ΥΥ αρσενικά είναι, επίσης, βιώσιμα στα σολομοειδή, στην τιλάπια του Νείλου και στα χρυσόψαρα. Ωστόσο, ο μηχανισμός ΥΥ του γατόψαρου έχει καθυστερήσει, επειδή τα ΥΥ θηλυκά έχουν σοβαρά προβλήματα αναπαραγωγής και δεν είναι οικονομικά εφικτό να διεξαχθούν μεγάλης κλίμακας έλεγχοι απογόνων για την ταυτοποίηση ΥΥ αρσενικών. Ένας συνδυασμός αντιστροφής του φύλου και αναπαραγωγής για την παραγωγή ολο-θηλυκής ΧΧ ιριδίζουσας πέστροφας είναι πλέον η βάση του μεγαλύτερου μέρους της υδατοκαλλιέργειας στο Ηνωμένο Βασίλειο, όπως συμβαίνει με την περίπτωση της βιομηχανίας βασιλικού σολομού στον Καναδά. Στην περίπτωση αυτή, οι ολο-θηλυκοί πληθυσμοί είναι επιθυμητοί, επειδή τα αρσενικά ωριμάζουν όταν ακόμη βρίσκονται σε μικρό μέγεθος κι έχουν κατώτερη ποιότητα σάρκας. Έχει, επίσης, παραχθεί μονοφυλετικός βασιλικός σολομός (*O. tshawytscha*), και διασταύρωση ασημένιου σολομού με βασιλικό σολομό.

Οι ΥΥ αρσενικές τιλάπιες του Νείλου ήταν τόσο βιώσιμες και γόνιμες όπως και οι ΧΥ, και ικανές να αποδώσουν κατά 96% αρσενικούς απογόνους. Οι γενετικοί τύποι ΥΥ μπορούν να μετατραπούν σε θηλυκούς προκειμένου να παράξουν μαζικά ΥΥ αρσενικά με ζευγάρι ΥΥ×ΥΥ, εξαλείφοντας έτσι την ανάγκη για χρονοβόρους ελέγχους απο-

γόνων ώστε να ξεχωρίσουν οι ΧΥ και ΥΥ γονότυποι. Αυτό επέτρεψε την παραγωγή ΥΥ αρσενικών και στη συνέχεια ολο-αρσενικών απογόνων ΧΥ, μετά από διασταύρωση με φυσιολογικά ΧΧ θηλυκά. Αυτά τα φυσιολογικά ολο-αρσενικά που προήλθαν από ΥΥ αρσενικά, πωλούνται εμπορικά ως “γενετικά αρσενικές τιλάπιες” [GMT®] για να τα ξεχωρίσουν από τις αρσενικές τιλάπιες που προήλθαν από αντιστροφή φύλου. Η τεχνολογία ΥΥ αρσενικού παρέχει μια αποτελεσματική λύση στα προβλήματα που προκύπτουν στις υδατοκαλλιέργειες, όπως η πρόωρη γεννητική ωρίμανση, η ανεπιθύμητη αναπαραγωγή κι ο υπερπληθυσμός.

Η αναλογία φύλου ποικίλλει σε μεγάλο βαθμό από γενιά σε γενιά στην τιλάπια του Νείλου, αλλά στο πληθυσμιακό επίπεδο διατηρούν μια κανονική αναλογία της τάξης περίπου 1:1 αρσενικών προς θηλυκά. Η αναλογία φύλου ποικίλλει μεταξύ των σειρών της τιλάπιας του Νείλου και παρατηρήθηκε μεγαλύτερη ετερογένεια στην αναλογία φύλου των οικογενειών που συλλέχθηκαν από μία μίξη σειρών, σε μερικές από τις οποίες είχαν διεισδύσει σειρές τιλάπιας της Μοζαμβίκης (*O. mossambicus*). Τα ΥΥ αρσενικά που διασταυρώθηκαν με ΧΧ θηλυκά παράγουν κατά 95-100% αρσενικά και δεν υπήρχαν θηλυκά μεταξύ των 285 απογόνων από το ζευγάρι ενός μόνο αρσενικού ΥΥ που διασταυρώθηκε με 10 διαφορετικά θηλυκά, γεγονός που υποδεικνύει τη δυνατότητα επιλογής σειρών που μπορούν να παράγουν κατά 100% αρσενικά. Για την ακρίβεια, έχουν παραχθεί τρεις γενιές γυνογενετικών τιλαπιών του Νείλου, και τα αρσενικά απ’ αυτή τη σειρά χρησιμοποιήθηκαν για ζευγάρι με θηλυκές τιλάπιες του Νείλου, με αποτέλεσμα τη σταθερή παραγωγή κατά 100% αρσενικών.

Η τεχνολογία ΥΥ-GMT® έχει εμπορική εφαρμογή, δεδομένου ότι οι ΥΥ τιλάπιες του Νείλου, σε αντίθεση με το γατόψαρο, μπορούν να υποστούν αντιστροφή φύλου ώστε να παράξουν λειτουργικά θηλυκά. Οι απόγονοι των ΥΥ-GMT® αρσενικών αυξάνουν τις αποδόσεις έως και 58% σε σύγκριση με τις φυλετικά μικτές τιλάπιες της ίδιας σειράς, και, επίσης, παρουσιάζουν ακόμη μεγαλύτερες αποδόσεις από τις αρσενικές τιλάπιες που προήλθαν από αντιστροφή φύλου. Επιπλέον, τα ΥΥ-GMT® ψάρια έχουν πιο ομοιόμορφο μέγεθος εξαλείψης, μεγαλύτερη επιβίωση και κα-

λύτερους ρυθμούς μετατρεψιμότητας της τροφής. Παρ' όλο που η αναπτυξιακή διαδικασία είναι χρονοβόρα και έντονη, από τη στιγμή που θα επιτευχθεί, μπορεί να διατηρηθεί η παραγωγή μονοφυλετικών αρσενικών μέσω της περιστασιακής θηλυκοποίησης του ΥΥ γονοτύπου και των υπαρχόντων συστημάτων εκκόλαψης, χωρίς ιδιαίτερες εγκαταστάσεις ή εργασιακές απαιτήσεις. Η τεχνολογία ΥΥ αρσενικού έχει διαδοθεί ευρέως στις Φιλιππίνες από το 1995, στην Ταϊλάνδη από το 1997 και, σε μικρότερο βαθμό, σε πολλές άλλες χώρες, όπως το Βιετνάμ, την Κίνα, τα Φίτζι και τις ΗΠΑ. Στις Φιλιππίνες και στην Ταϊλάνδη, οι γεννήτορες διανέμονται από τα κέντρα αναπαραγωγής σε αναγνωρισμένα εκκολαπτήρια ώστε να διατηρηθεί ο ποιοτικός και ιδιοκτησιακός έλεγχος. Η διαθεσιμότητα περαιτέρω βελτιωμένων GMT[®], μαζί με την αυξανόμενη αντίσταση στη χρήση ορμονών στην υδατοκαλλιέργεια, θα επιτρέψει στην τεχνολογία αυτή να επηρεάσει την καλλιέργεια της τιλάπιας σε παγκόσμια κλίμακα.

Στο Ισραήλ, έχουν εγκαθιδρυθεί ολο-θηλυκοί πληθυσμοί κοινών κυπρίνων με τη χρήση φυλετικά αντεστραμμένων ΧΧ γυνογενετικών θηλυκών διασταυρωμένων με φυλετικά αντεστραμμένα ΧΧ αρσενικά. Σε εμπορικές καλλιέργειες απελευθερώθηκαν ολο-θηλυκοί απόγονοι, γεγονός που είχε ως αποτέλεσμα τη βελτίωση της απόδοσης κατά 10-15% σε σχέση με τα υπάρχοντα εμπορικά αποθέματα. Επίσης, έχει προκληθεί με επιτυχία γυνογένεση και αντιστροφή φύλου σε λαβράκια (*Morone spp.*) προκειμένου να δημιουργηθούν μονοφυλετικοί πληθυσμοί, ώστε να αποφευχθούν περιορισμοί στην εισαγωγή σε περιοχές όπου αυτό το είδος είναι ξενικό.

Οι μονοφυλετικές θηλυκές μπριάνες της Ιάβας (*Barbonymus gonionotus*) είναι άλλο ένα παράδειγμα χειρισμού φύλου και ελέγχου απογόνων που χρησιμοποιείται σε εμπορική κλίμακα κατά τη διάρκεια μιας σχετικά σύντομης περιόδου (8 ετών) στην Ταϊλάνδη και στο Μπαγκλαντές. Οι γυνογενετικές μπριάνες της Ιάβας ήταν ολο-θηλυκές και είχαν ανδροποιηθεί ορμονικά για να παράγουν ΧΧ αρσενικά. Το μεγαλύτερο ποσοστό των νεο-αρσενικών που προέκυψε, κατά την αναπαραγωγή παρήγαγαν όλοι, ή σχεδόν όλοι, θηλυκούς απογόνους. Αυτοί έδωσαν μεγαλύτερες αποδόσεις στην καλλιέργεια σε λιμνοδεξαμενές από τις

φυλετικά μικτές σειρές και, ίσως περιέργως, είχαν υψηλότερα ποσοστά επιβίωσης από τα φυλετικά μικτά ψάρια. Αυτή η αυξημένη επιβίωση είναι πιθανό να οφείλεται στο ότι όλοι οι ολο-θηλυκοί απόγονοι ήταν αρκετά μεγάλοι ώστε να αξιοποιούν καλύτερα το ζωοπλαγκτόν όταν εκτρέφονται σε λιμνοδεξαμενές. Τα μονοφυλετικά θηλυκά ιχθύδια των νεο-αρσενικών πλέον διακινούνται στην Ταϊλάνδη σε εμπορική κλίμακα.

7.9 Ξενογένεση

Ξενογενής είναι ο οργανισμός που αποτελείται από στοιχεία που είναι τυπικά ξένα προς το είδος του και ξενογένεση είναι η μέθοδος αναπαραγωγής στην οποία διαδοχικές γενιές διαφέρουν μεταξύ τους. Αυτή η τεχνολογία επετεύχθη για πρώτη φορά σε μικρή κλίμακα από Ιάπωνες επιστήμονες με σολομοειδή κι έχει πολλές πιθανές γενετικές εφαρμογές. Μετά απ' αυτά τα αρχικά πειράματα, ξενογένεση έχει παρουσιαστεί σε μια ποικιλία ειδών, συμπεριλαμβανομένων των ψαριών ζέβρα (*Danio rerio*), γατόψαρων της οικογένειας Ictaluridae, τιλάπιας του Νείλου, της αθερίνας της Αργεντινής (*Odontesthes bonariensis*) και σε ορισμένα άλλα θαλάσσια είδη. Αυτή η διαδικασία αποτελεί ένα ισχυρό εργαλείο της γονιδιωματικής έρευνας, των εφαρμογών αδρανοποίησης γονιδίων, της κλωνοποίησης και της αναγέννησης των εξαφανισμένων σειρών και ειδών.

Η ξενογένεση είναι ένα νέο βιοτεχνολογικό εργαλείο που επιτρέπει τη διαιδική μεταφορά εμβρυϊκών βλαστοκυττάρων (ES, Embryonic Stem). Ολοδύναμα σπερματογόνια από τους όρχεις διπλοειδούς ιριδίζουσας πέστροφας μεταμοσχεύθηκαν ενδοπεριτοναϊκώς σε στείρο τριπλοειδή Ιαπωνικό σολομό (*Oncorhynchus masou*) που μόλις είχε εκκολαφθεί, με αποτέλεσμα την παραγωγή ξενογενών ατόμων. Μόλις έφτασε στην ωριμότητα, αυτός ο τριπλοειδής σολομός παρήγαγε μόνο καθαρόαιμους, προερχόμενους από τη δότρια, απογόνους ιριδίζουσας πέστροφας.

Οι όρχεις περιέχουν πέντε κύριους τύπους κυττάρων: τα σπερματογόνια Α, τα περικλειστά σπερματογόνια Β, τις σπερματίδες, τα ώριμα σπερματοζωάρια και τα σωματικά κύτταρα. Τα σπερματογόνια τύπου Α μπορούν να εξελιχθούν

σε βλαστοκύτταρα. Αυτά τα κύτταρα διαιρούνται κατά τη διάρκεια της σπερματογένεσης, παράγοντας ισογονιδιακά γεννητικά κύτταρα που προορίζονται για τη μείωση. Τα σπερματογόνια Α των ψαριών μοιάζουν με τα βλαστοκύτταρα, κι όταν μεταμοσχευθούν σε αναπτυσσόμενα έμβρυα ιριδίζουσας πέστροφας (*Oncorhynchus mykiss*), αυτά τα έμβρυα παράγουν σπερματοζωάρια ή ωάρια που προέρχεται από τα μεταμοσχευμένα κύτταρα. Παρόμοια αποτελέσματα βρέθηκαν στο παρελθόν για τα αρσενικά στελέχη βλαστικών κυττάρων της *Drosophila*, τα οποία μπορούν ν' αναγεννηθούν με σπερματογονική αποδιαφοροποίηση.

Τόσο τα αρχέγονα γεννητικά κύτταρα (PGCs, Primordial Germ Cells) όσο και τα σπερματογόνια Α (SSCs) έχουν μεταμοσχευθεί από ένα είδος δότη σ' ένα σχετικό είδος ξενιστή, με αποτέλεσμα το είδος-δέκτης να παράγει σπερματοζωάρια και ωάρια (που προέρχονται από τα ορχικά PGCs ή SSCs) του είδους-δότη. Αυτή η διαδικασία μπορεί να είναι επιτυχής χρησιμοποιώντας τόσο κρυοσυντηρημένα όσο και φρέσκα κύτταρα από τον δότη, δίνοντας έτσι ευκαιρίες σε πολλές πιθανές εφαρμογές. Στην περίπτωση των ξενογενών σολομοειδών, η ανάπτυξη των όρχεων ήταν φυσιολογική. Επιτεύχθηκε ένα ποσοστό επιτυχίας της τάξης του 30-70% μεταξύ των εγχυμένων εμβρύων ξενιστών. Τα ξενογονιδιακά άτομα είχαν μειωμένη γονιμότητα (πιθανές ηλικιακές επιδράσεις), αλλά οι F1 απόγονοι ήταν φυσιολογικοί κατά τον γονότυπο, την επίδοση και την εμφάνιση.

Οι εναλλακτικές μέθοδοι έχουν, επίσης, τη δυνατότητα να επιτρέψουν ξενογένεση και αυτογένεση μέσω μεταμόσχευσης PGC. Ένα μόνο PGC από το τροπικό είδος ψαριού (*Danio albolineatus*) μεταμοσχεύθηκε στο βλαστομερίδιο ενός ψαριού ζέβρα (*Danio rerio*) του οποίου η παραγωγή PGC είχε αποκλειστεί από ένα αντιπληροφοριακό μορφολινο-ολιγονουκλεοτίδιο για να αντιμετωπιστεί το αδιέξοδο. Το PGC αυτό σχημάτισε έναν μόνο όρχι που παρήγαγε σπερματοζωάρια στο *Danio albolineatus*. Τα αρσενικά ξενογονιδιακά άτομα του *Danio albolineatus* άρχισαν ν' αντιστρέφουν το φύλο τους και να θηλυκοποιούνται και ζευγάρωσαν με αρσενικά που δεν είχαν υποστεί μεταχείριση για να παράγουν φυσιολογικούς, γόνιμους απογόνους. Ομοίως, ο ξενιστής ψάρι ζέβρα

ήταν σε θέση να αναπτύξει όρχεις χρυσόψαρου (*Carassius auratus*) και ψαριού ντότζο (*Misgurnus anguillicaudatus*), οι οποίοι παρήγαγαν σπέρμα του δότη από την έγχυση ενός μόνο PGC του δότη. Κανονικά, χρειάζονται λίγες δωδεκάδες PGCs για τον σχηματισμό γονάδων που περιέχουν βλαστοκύτταρα. Αυτή η μελέτη έδειξε ότι ένα PGC, και ίσως ένα μόνο SSC, είναι ικανά να παράγουν έναν μόνο όρχι. Το επόμενο βήμα είναι να καθοριστεί εάν η ξενογένεση μπορεί να εφαρμοστεί σε μεγάλη κλίμακα. Ξενογονιδιακά τριπλοειδή γατόψαρα (*Ictalurus punctatus*) που φιλοξενούν διπλοειδές σπερματοζωάριο από μπλε γατόψαρο (*Ictalurus furcatus*), ζευγάρωσαν με φυσιολογικά θηλυκά γατόψαρα οδηγώντας στη δημιουργία κατά 100% υβριδίων θηλυκού γατόψαρου με μπλε γατόψαρο. Αυτό δίνει τη δυνατότητα για πιο φυσική και εύκολη παραγωγή υβριδίων, καθώς και για έναν μηχανισμό για την ευκολότερη παραγωγή ειδών που είναι δύσκολο ν' αναπαραχθούν.

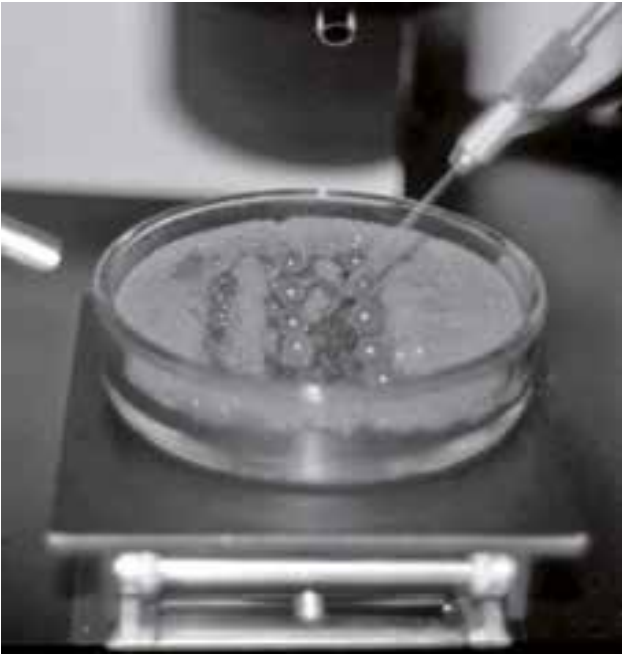
Η δυνατότητα για καινοτόμες εφαρμογές της ξενογένεσης επεκτείνεται καθώς οι συνδυασμοί ξενιστής-δότης έχουν αποδειχθεί αρκετά εύπλαστοι. Τα βλαστοκύτταρα μπορούν να μεταμοσχευθούν με επιτυχία σε οικογένειες και σε τάξεις ψαριών.

7.10 Γενετική Μηχανική

7.10.1 Τρέχουσα Κατάσταση της Γενετικής Μηχανικής στην Υδατοκαλλιέργεια

Έχουν αναπτυχθεί διαγονιδιακά ψάρια που έχουν βελτιωμένη ανάπτυξη, χρώμα, ανθεκτικότητα σε ασθένειες, επιβίωση στο ψύχος και σύνθεση του σώματος και που μπορούν να παράγουν φαρμακευτικές πρωτεΐνες. Τα διαγονίδια προκαλούν πλειοτροπικές δράσεις, κάποιες θετικές και μερικές αρνητικές, αλλά οι περισσότερες από τις αρνητικές φαίνεται να μετριάζουν τα χαρακτηριστικά αρμοστικότητας, γεγονός θετικό για τον βιολογικό περιορισμό. Τα διαγονιδιακά ψάρια φαίνεται να παρουσιάζουν μικρό περιβαλλοντικό κίνδυνο, αλλά αυτή η έρευνα δεν έχει καταλήξει ακόμη σε σαφή συμπεράσματα.

Η πρώτη τους εφαρμογή ήταν στη βιομηχανία των διακοσμητικών ψαριών για ενυδρεία και όχι γενικά στην υδατοκαλλιέργεια. Πλέον διατίθενται



Εικόνα 7.12 Μικροέγχυση DNA σε αβγά σολομού. Πηγή: R. Devlin. Αναπαράγεται με άδεια από τον R. Devlin.

στο εμπόριο τα φθορίζοντα ψάρια (GloFish®) (**Εικόνα 7.12**), ένα διαγονιδιακό είδος του ψαριού ζέβρα (*Danio rerio*) που περιέχει γονίδια φθορίζουσας πρωτεΐνης, GFP, YFP και RFP. Αυτά τα ψάρια ήταν στην πραγματικότητα το αποτέλεσμα πειραμάτων για την ανάπτυξη διαγονιδιακών ψαριών για την παρακολούθηση του περιβάλλοντος, αλλά αποτέλεσαν μια προφανή επιλογή, από πλευράς μάρκετινγκ, για το εμπόριο των διακοσμητικών ψαριών.

Τον Νοέμβριο του 2014, η Καναδική κυβέρνηση ενέκρινε την πώληση τριπλοειδών εμβρύων σολομού με αυξητική ορμόνη (GH, Growth Hormone) για εξαγωγή σε χώρες που θα επέτρεπαν την καλλιέργεια διαγονιδιακών ψαριών (Fisheries and Oceans Canada, 2013). Το γεγονός ότι η σάρκα αυτού του τριπλοειδούς διαγονιδιακού σολομού, που παρήχθη από την AquaBounty Technologies Inc., εγκρίθηκε από την Υπηρεσία Τροφίμων και Φαρμάκων των ΗΠΑ για κατανάλωση αυτών των ψαριών στις ΗΠΑ (U.S. Food and Drug Administration, 2015), θεωρήθηκε ιστορικό γεγονός. Αυτή είναι η πρώτη γνωστή έγκριση για κατανάλωση κρέατος διαγονιδιακών ζώων στον κόσμο. Πολλές ομάδες προσπαθούν ακόμη να εμποδίσουν τη πώληση αυτών των ψαριών, αλλά η αποδοχή του διαγο-

νιδιακού κρέατος από τους καταναλωτές είναι το επόμενο ενδεχόμενο εμπόδιο στην επιτυχή εμπορική εφαρμογή των διαγονιδιακών ψαριών. Ο Καναδάς έχει εγκρίνει, επίσης, την κατανάλωση GH διαγονιδιακού σολομού, AquaAdvantage Salmon. Οι πρώτοι 4 τόνοι εισήλθαν στην καναδική αγορά και πωλήθηκαν γρήγορα. Αυτή είναι η πρώτη κυβερνητικά εγκεκριμένη κατανάλωση οποιουδήποτε γενετικώς τροποποιημένου ζώου. Αναμένεται στο άμεσο μέλλον επέκταση στις ΗΠΑ, καθώς η AquaBounty Technologies Inc. έχει επενδύσει σ' ένα σύστημα υδατοκαλλιέργειας με επανακυκλοφορία του νερού στην πολιτεία της Ιντιάνα.

Οι διαγονιδιακοί κυπρίνοι και οι τιλάπιες με γονίδια αυξητικής ορμόνης είναι τα επόμενα ευρέως εμπορικά είδη σε ορισμένες χώρες. Κάποια στιγμή θεωρήθηκε ότι εντάχθηκαν στον κύκλο εμπορίου ορισμένων χωρών όπως η Κίνα και η Κούβα. Ωστόσο, δεν υπάρχουν επίσημα έγγραφα που να επιβεβαιώνουν κάτι τέτοιο και κυβερνητικά στελέχη αναφέρουν ότι οι εγκρίσεις εκκρεμούν ακόμη.

Για να επιταχυνθεί η εμπορευματοποίηση και να ελαχιστοποιηθεί ο περιβαλλοντικός κίνδυνος, πρέπει ν' αναπτυχθεί η διαγονιδιακή στειρώση. Όταν ξεκίνησε η έρευνα για τα διαγονιδιακά ψάρια, ένα μεγάλο ποσοστό των πειραμάτων στην πραγματικότητα διεξήχθη σε εμπορικά είδη υδατοκαλλιέργειας, όμως πλέον η κύρια έρευνα διεξάγεται σε είδη-μοντέλα. Φαίνεται ότι η επίδραση των διαγονιδιακών ψαριών σε πολλούς τομείς θα είναι θετική.

7.10.2 Διαγονιδιακά με χρήση Αυξητικής Ορμόνης (GH)

Οι Norman Maclean και S. Talawar του Πανεπιστημίου του Σαουθάμπτον στο Ηνωμένο Βασίλειο, ήταν οι πρώτοι ερευνητές που επιχείρησαν έγχυση κλωνοποιημένων γονιδίων (**Εικόνα 7.13**) σε αυγά ψαριών, ιριδίζουσας πέστροφας (Maclean and Talawar, 1984). Ακολούθησε ο Zuoyan Zhu στο Ινστιτούτο Υδροβιολογίας στην Κίνα, αναφέροντας την παραγωγή ενός διαγονιδιακού χρυσόψαρου (Zhu et al., 1985). Τριάντα περίπου χρόνια αργότερα, οι εφαρμογές διαγονιδιακών ψαριών αποτελούν τεχνολογία αιχμής και εμφανίζουν τον πρώτο σημαντικό τους αντίκτυπο.

Όσον αφορά στη δουλειά που έγινε, το μεγα-



Εικόνα 7.13 Φθορίζοντα ψάρια (GloFish®): γενετικά τροποποιημένα μαύρα τέτρα (*Gymnocorymbus ternetzi*). Πηγή: K. Glab 2011. Αναπαραγωγή με την άδεια Αναφοράς Δημιουργού - Παρόμοιας Διανομής Creative Commons, CC-BY-SA 3.0.

λύτερο μέρος της ήταν να εστιάσει στη μεταφορά γονιδίων αυξητικής ορμόνης (GH). Λόγω της έλλειψης διαθέσιμων γονιδιακών αλληλουχιών στα ψάρια, στα μέσα της δεκαετίας του '80 η έρευνα για τα διαγονιδιακά ψάρια χρησιμοποίησε υπάρχουσες δομές γονιδίων αυξητικής ορμόνης (GH) θηλαστικών και υποκινητές από πηγές αναφοράς ιών, βακτηρίων και θηλαστικών. Στις αρχές της δεκαετίας του 1990, το μεγαλύτερο ποσοστό της έρευνας για την αυξητική ορμόνη (GH) αντικαταστάθηκε από τη χρήση GH δομών από ψάρια. Η ανάπτυξη (μέγεθος και ρυθμός αύξησης) υπό ορισμένες συνθήκες κυμάνθηκε από το 0% έως ένα απίστευτο 300% (**Εικόνα 7.14**). Όλες οι δομές GH των ψαριών που εισήχθησαν σε σολομοειδή προκάλεσαν αύξηση των επιπέδων της αυξητικής ορμόνης στο κυκλοφορικό κατά 40 φορές και σε μερικές περιπτώσεις προκάλεσαν 5-11 φορές αύξηση του βάρους μετά από έναν χρόνο ανάπτυξης. Επίσης, εμφανίστηκε μια πρώιμη φυσιολογική προσαρμογή από το γλυκό στο θαλασσινό νερό (smoltification).

7.10.3 Σύνθεση Σώματος

Η διαγονιδιακή μεταβολή των διατροφικών χαρακτηριστικών των ψαριών θα μπορούσε να είναι ευ-

εργετική για τους καταναλωτές, και πλέον είναι δυνατόν να μεταβληθεί άμεσα η σύνθεση του σώματος μέσω διαγονιδίωσης. Ψάρια ζέβρα διαμολυσμένα με γονίδια δεσатуράσης β-ακτίνης του σολομού είχαν αυξημένα επίπεδα ωμέγα-3 λιπαρών οξέων, εικοσιεξανοϊκού οξέος (DHA) και εικοσιπεντανοϊκού οξέος (EPA) στη σάρκα τους. Παρόμοια αποτελέσματα ελήφθησαν όταν τα ίδια διαγονίδια μεταφέρθηκαν σε κοινό κυπρίνο και γατόψαρο, και επιβεβαιώθηκε η γονιδιακή έκφραση αυτών των διαγονιδίων.

7.10.4 Βιοαντιδραστήρες

Διαγονιδιακά θηλαστικά όπως αγελάδες, αίγες, πρόβατα και κουνέλια έχουν χρησιμοποιηθεί ως βιολογικά εργοστάσια παραγωγής φαρμακευτικών χημικών ενώσεων και βιοϊατρικών πρωτεϊνών, όπως παράγοντες πήξης και αραίωσης του αίματος. Η τεχνολογία αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική στον σύγχρονο κόσμο, καθώς αντίστοιχα προϊόντα που προέρχονται από ανθρώπους μπορεί να είναι μολυσμένα από HIV, ηπατίτιδα και άλλα ανθρώπινα παθογόνα. Αυτά τα προϊόντα μπορεί, επίσης, να είναι και αρκετά ακριβά.

Οι διαγονιδιακά παραγόμενες βιοϊατρικές χημικές ενώσεις πρέπει να είναι ασφαλείς από ανθρώπινα παθογόνα, και θα πρέπει τελικά να είναι λιγό-



Εικόνα 7.14 Διαγονιδιακός AquAdvantage σολομός Ατλαντικού σε σύγκριση με μη διαγονιδιακό συγγενή. Πηγή: AquaBounty Technologies. Αναπαράγεται με άδεια από την AquaBounty Technologies.

τερο δαπανηρές και ευρύτερα διαθέσιμες.

Τα ψάρια έχουν πιθανά πλεονεκτήματα ως βιοαντιδραστήρες σε σύγκριση με τα θηλαστικά. Αυτά τα πλεονεκτήματα περιλαμβάνουν το μικρό χρονικό διάστημα παραγωγής απογόνων, το χαμηλό κόστος συντήρησης των ζώων, την εύκολη συντήρηση, τον μεγάλο αριθμό διαθέσιμων ατόμων, την καλλιέργεια σε υψηλή πυκνότητα και το ότι στα ψάρια δεν απαντώνται ιοί θηλαστικών και πρίον. Έχουμε πλέον στη διάθεσή μας διάφορα παραδείγματα που αποδεικνύουν τη δυνατότητα των ψαριών να χρησιμοποιηθούν ως βιοαντιδραστήρες για την παραγωγή ιατρικών προϊόντων και χημικών ενώσεων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην ωτοκία των ψαριών.

Ο CMV-ανθρώπινος παράγοντας πήξης VII παρήχθη σε ωάρια διαγονιδιακών ψαριών ζέβρα, αφρικανικού βαδιστικού γατόψαρου και τιλάπιας του Νείλου. Ανιχνεύθηκε δραστηριότητα πήξης υποδεικνύοντας τις κατάλληλες μετα-μεταφραστικές τροποποιήσεις. Θα μπορούσαν να συλλεχθούν πρωτεΐνες στα αυγά, στον ορό ή πιθανώς διαφορετικές πρωτεΐνες σε διαφορετικούς ιστούς για άλλους τύπους γονιδίων.

Διαπιστώθηκε ότι η διαγονιδιακή τιλάπια του Νείλου εκκρίνει ανθρώπινη ινσουλίνη στα σώματά του Brockmann (οργανίδια σε ορισμένους τελεόστεους ιχθύες που εκκρίνουν ινσουλίνη όπως παράγεται και στα β κύτταρα των παγκρεατικών νησίδων στον άνθρωπο). Έτσι, χρησιμοποιήθη-

κε νησίδα ιστού για ξενομεταμόσχευση και μεταφέρθηκε επιτυχώς σε διαβητικούς άτριχους ποντικούς (με έλλειψη θύμου αδένος) αντιστρέφοντας τις συνέπειες του διαβήτη.

Μια μονή αλυσίδα του γονιδίου ωχρινοτρόπου ορμόνης (LH, Luteinising Hormone) χρυσόψαρου εγχύθηκε σε αυγά ιριδίζουσας πέστροφας. Στην ηλικία των 4 ημερών απομονώθηκε η LH του χρυσόψαρου από τα αυγά και η ανασυνδυασμένη LH εγχύθηκε σε χρυσόψαρα. Μετά από τις ενέσεις, τα επίπεδα τεστοστερόνης αυξήθηκαν σε αρσενικά χρυσόψαρα, αποδεικνύοντας βιολογική δραστηριότητα.

7.10.5 Ανθεκτικότητα σε Ασθένειες

Τα διαγονιδιακά ψάρια με αυξημένη ανθεκτικότητα σε ασθένειες θα μπορούσαν να αυξήσουν την κερδοφορία, την παραγωγή, την αποδοτικότητα και την ευζωία των εκτρεφόμενων ψαριών. Η γενετική βελτίωση είναι, επίσης, δυνατή μέσω της παραδοσιακής επιλεκτικής αναπαραγωγής, αλλά φαίνεται ότι ο ρυθμός και η σταθερότητα της γενετικής βελτίωσης μπορεί να είναι μεγαλύτερα με τη διαγονιδιακή προσέγγιση για ανθεκτικότητα σε ασθένειες. Η επιλεκτική αναπαραγωγή μπορεί να έχει το μειονέκτημα ότι οι οργανισμοί των ασθενειών μπορούν ν' ανταποκριθούν κι αυτοί, επίσης, σε επιλεκτικές δυνάμεις, ακυρώνοντας έτσι ένα μέρος της επιλεκτικής ανταπόκρισης των ψαριών.

Η έκφραση των ιικά επικαλυμμένων γονιδίων πρωτεΐνης ή το αντιπληροφοριακό των πρώιμων ιικών γονιδίων έχουν βελτιώσει την ιική ανθεκτικότητα της ιριδίζουσας πέστροφας. Οι γαρίδες έχουν τροποποιηθεί γενετικά με αντιπληροφοριακό ιικά επικαλυμμένο γονίδιο πρωτεΐνης με σύνδρομο *Taura*, με αποτέλεσμα τον διπλασιασμό της ανθεκτικότητας στην ασθένεια αυτή.

Η ανθεκτικότητα σε βακτηριακές νόσους μπορεί να είναι ευκολότερο να αποκτηθεί με γενετική τροποποίηση από ότι σε ασθένειες που προκαλούνται από άλλα παθογόνα και έχει μελετηθεί περισσότερο. Η ανθεκτικότητα σε βακτηριακές νόσους μπορεί να βελτιωθεί έως και 3 έως 4 φορές μέσω της γονιδιακής μεταφοράς. Μία προσέγγιση που χρησιμοποιήθηκε είναι η μεταφορά αντιβακτηριακών πεπτιδικών γονιδίων.

Η εισαγωγή του λυτικού πεπτιδίου, δομή κεκροπίνης-B, οδηγούμενου από τον προαγωγό CMV, ενίσχυσε την ανθεκτικότητα σε βακτηριακές ασθένειες, όπως η νόσος *columnaris* και η εντερική σηψαιμία του γατόψαρου, 2 έως 4 φορές στο γατόψαρο (*Ictalurus punctatus*) (Πίνακας 7.7). Ένα μεγαλύτερο ποσοστό (100%) διαγονιδιακών ατόμων που περιείχαν δομή προπαρασκευής κεκροπίνης-B επιβίωσε σε σχέση με το μη διαγονιδιακό δείγμα ελέγχου (27,3%) κατά τη διάρκεια μιας επιζωοτίας του *Flavobacterium columnare* σε μια λιμνοδεξαμενή. Σ' αυτή την περίπτωση, το διαγονίδιο φαίνεται να έχει μεταδώσει πλήρη ανθεκτικότητα.

Επίσης, ένα μεγαλύτερο ποσοστό (40,7%) διαγονιδιακών ατόμων που περιείχαν δομή κεκροπίνης-B επιβίωσε σε σχέση με το μη διαγονιδιακό δείγμα ελέγχου (14,8%), όταν προσβλήθηκαν με *Edwardsiella ictaluri*, αιτιολογικό παράγοντα εντερικής σηψαιμίας του γατόψαρου (ESC, Enteric Septicaemia of Catfish), σε δεξαμενές. Δεν υπήρ-

χαν πλειοτροπικές δράσεις κι ο ρυθμός ανάπτυξης των διαγονιδιακών και μη διαγονιδιακών συγγενών δεν ήταν διαφορετικός. Ωστόσο, η διαγονιδιακή με κεκροπίνη ιριδίζουσα πέστροφα έχει εμφανίσει αυξημένη αντίσταση σε βακτήρια και ιούς.

Η μεταφορά γονιδίων κεκροπίνης σε Ιαπωνικό ρυζόψαρο (*Oryzias latipes*) οδήγησε σε αυξημένη ανθεκτικότητα στην *Pseudomonas fluorescens* και το *Vibrio anguillarum*, τα οποία θανάτωσαν περίπου το 40% των ψαριών του δείγματος ελέγχου και στις δύο περιπτώσεις. Ωστόσο, μόνο το 0-10% του F2 διαγονιδιακού ψαριού θανατώθηκε από την *P. fluorescens* και περίπου το 10-30% από το *V. anguillarum*. Παρατηρήθηκε οικογενειακή διακύμανση που μπορεί να είναι ακραία για τα διαγονιδιακά ψάρια, πιθανώς λόγω των διαφορών στο γενετικό υπόβαθρο, της παραλλακτικότητας των ένθετων περιοχών, του αριθμού των αντιγράφων, της επίστασης και άλλων παραγόντων. Αυτό απαιτεί την επιλογή σύζευξης με γονιδιακή μεταφορά, για να επιτευχθεί η μέγιστη γενετική βελτίωση από τη μεταφορά γονιδίων.

Ο χορτοφάγος κυπρίνος (*Ctenopharyngodon idella*) έχει διαμολυνθεί με B-ακτίνη κυπρίνου - γονίδιο ανθρώπινης λακτοφερίνης με αποτέλεσμα τα P1 άτομα που ήταν πιο ανθεκτικά στην *Aeromonas*, να εμφανίσουν αυξημένη φαγοκυττάρωση και περισσότερη ιική ανθεκτικότητα από το δείγμα ελέγχου. Ο υποκινητής της κερατίνης της ελαιόχρωμης χωματίδας που συνδέεται και με το γονίδιο λευκής λυσοζύμης του αβγού της κότας (HEW, Hen Egg White) και με το γονίδιο πράσινης φθορίζουσας πρωτεΐνης (GFP, Green Fluorescent Protein) και μεταφέρθηκε σε ψάρια ζέβρα, κατέληξε σ' ένα F2 διαγονιδιακό ψάρι ζέβρα με λυτική δραστηριότητα των πρωτεϊνικών εκχυλισμάτων από το ήπαρ 1,75 φορές υψηλότερη απ' αυ-

Πίνακας 7.7 Βελτιωμένη ανθεκτικότητα σε βακτηριακή ασθένεια που εμφανίζει διαγονιδιακό γατόψαρο που περιέχει γονίδια κεκροπίνης σε πείραμα επιζωοτίας στη φύση και σε συνθήκες τεχνητής εκτροφής.

Διαγονίδιο	Πείραμα με ασθένεια	Επιβίωση %		
		Περιβάλλον	Διαγονιδιακά	Δείγμα Ελέγχου
Preprocecropin B	<i>Flavobacterium columnare</i>	Λιμνοδεξαμενή	100	27
Cecropin B	<i>Edwardsiella ictaluri</i>	Δεξαμενή	41	15

Πηγή: Προσαρμοσμένη από τον Dunham et al. 2002 με άδεια από το Springer.

τή του άγριου τύπου. Σ' ένα πείραμα, το 65% των F2 διαγονιδιακών ψαριών επιβίωσαν από μόλυνση με *Flavobacterium columnare* και το 60% επιβίωσε από μόλυνση με *Edwardsiella tarda* (πιθανώς *piscida*), ενώ το 100% των ψαριών του δείγματος ελέγχου εξολοθρεύθηκαν και από τα δύο παθογόνα.

7.10.6 Ανθεκτικότητα στο ψύχος

Έχουν γίνει προσπάθειες βελτίωσης της ανθεκτικότητας των ψαριών στο ψύχος. Η πρώτη έρευνα περιελάμβανε τη μεταφορά του γονιδίου της αντιψυκτικής πρωτεΐνης της χωματίδας (*Pseudopleuronectes americanus*). Ο πρωταρχικός σκοπός αυτής της έρευνας ήταν να παραχθεί σολομός που θα μπορούσε να καλλιεργηθεί υπό συνθήκες Αρκτικής, αλλά η ανταπόκριση του ψαριού ήταν ανεπαρκής όσον αφορά στην αύξηση της ανθεκτικότητάς του στο ψύχος. Ωστόσο, κάποια προκαταρκτικά αποτελέσματα με χρυσόψαρο υπόσχονται αρκετά καλά αποτελέσματα ως προς την αύξηση της επιβίωσης εντός του εύρους των φυσιολογικών χαμηλών θερμοκρασιών. Πρόσφατες έρευνες δείχνουν ότι τα GH διαγονιδιακά γατόψαρα εμφανίζουν αυξημένη επιβίωση στους -0,5 °C σε σύγκριση με τα μη διαγονιδιακά συγγενικά τους.

7.10.7 Πλειοτροπικά Αποτελέσματα

Η εισαγωγή ενός διαγονιδίου, ενός μόνο γονιδίου, μπορεί να επηρεάσει περισσότερα από ένα χαρακτηριστικά, γεγονός που είναι γνωστό ως πλειοτροπικό αποτέλεσμα. Εάν ο εκτροφέας είναι τυχερός, αυτά τα πλειοτροπικά αποτελέσματα θα επηρεάσουν θετικά κι άλλα χαρακτηριστικά. Η μεταφορά γονιδίων αυξητικής ορμόνης έχει τεκμηριωθεί ότι επηρεάζει τη σύνθεση και το σχήμα του σώματος, την αποτελεσματικότητα της μετατρεψιμότητας της τροφής, την ανθεκτικότητα σε ασθένειες, την αναπαραγωγή, την ανθεκτικότητα σε χαμηλές συγκεντρώσεις διαλυμένου οξυγόνου, την απόδοση του σφαγίου, την ικανότητα κολύμβησης, ακόμη και την ικανότητα προστασίας από τους θηρευτές.

Ο αυξημένος ρυθμός ανάπτυξης στα διαγονιδιακά άτομα μπορεί ν' αντικατοπτρίζει την αυξημένη κατανάλωση της τροφής, την ικανότητα αφο-

μοίωσης της τροφής (FCE)⁴ ή και τα δύο. Ο ταχέως αναπτυσσόμενος κοινός κυπρίνος που περιέχει το γονίδιο rtGH βρέθηκε ότι έχει καλύτερη ικανότητα μετατρεψιμότητας της τροφής (FCE) από τους μάρτυρες. Περισσότερες διαγονιδιακές οικογένειες κοινών κυπρίνων έδειξαν αυξημένη, μειωμένη ή αμετάβλητη κατανάλωση τροφίμων, αλλά είχαν βελτιωμένη FCE. Ο rtGH διαγονιδιακός κοινός κυπρίνος είχε περισσότερη πρωτεΐνη, λιγότερο λίπος και λιγότερη υγρασία από τα μη διαγονιδιακά συγγενή του (μια αλλαγή της τάξης περίπου του 10%). Η αυξητική ορμόνη προάγει τη σύνθεση της πρωτεΐνης έναντι του λίπους, οπότε η αναλογία πρωτεϊνών/λιπιδίων είναι υψηλότερη στα διαγονιδιακά ψάρια με αυξημένη αυξητική ορμόνη.

Αυξημένα επίπεδα πρωτεϊνών στον μυϊκό ιστό των διαγονιδιακών κοινών κυπρίνων αυξάνουν, επίσης, τα επίπεδα των αμινοξέων, ωστόσο οι αναλογίες αμινοξέων και οι αναλογίες λιπαρών οξέων είναι ουσιαστικά ταυτόσημες σε μη διαγονιδιακούς και διαγονιδιακούς κοινούς κυπρίνους. Η γονιμότητα, ή η πρόωρη γεννητική ανάπτυξη δεν φαίνεται να επηρεάζονται από την εισαγωγή του rtGH στον κοινό κυπρίνο. Ωστόσο, οι διαγονιδιακές αρσενικές τιλάπιες έχουν εμφανίσει μειωμένη παραγωγή σπερματοζωαρίων. Επίσης, το σχήμα του σώματος του κοινού κυπρίνου άλλαξε με την εισαγωγή γονιδίων rtGH. Τα διαγονιδιακά άτομα έχουν σχετικά μεγαλύτερη κεφαλή, βαθύτερο και πλατύτερο σώμα και ουραίο τμήμα σε σύγκριση με το δείγμα ελέγχου. Αυτές οι μορφολογικές αλλαγές δεν επηρεάζουν τη συνολική κατάστασή τους, όμως βελτιώνουν τα σωματικά χαρακτηριστικά τους.

Η ενδοκρινική διέγερση μπορεί να οδηγήσει σε υπερβολική, επιβλαβή εναπόθεση χόνδρου σε κάποιους GH διαγονιδιακούς σολομούς με ρυθμούς υπερ-ανάπτυξης (30 φορές μεγαλύτερους σε σύγκριση με τους μάρτυρες), ανάλογη με την ακρομεγαλία των θηλαστικών. Το αποτέλεσμα μπορεί να είναι αρκετά σοβαρό και να επιδεινώσει τη βιωσιμότητα. Δεν αποτελεί, όμως, τόσο μεγάλο πρόβλημα, καθώς αυτοί οι γονότυποι εξουδετερώνονται με τη φυσική επιλογή και οι σειρές που εμφα-

⁴ FCE (ικανότητα μετατρεψιμότητας της τροφής) (%) = 100 / FCR

νίζουν υπερδεκαπλάσιους ρυθμούς ανάπτυξης δεν εμφανίζουν αυτή την ανωμαλία κι έχουν καλή βιωσιμότητα.

Μέχρι σήμερα, δύο τύποι διαγονιδιακών διεργασιών είχαν επιτυχία ως προς τη βελτίωση της ανθεκτικότητας σε ασθένειες, παρεμποδίζοντας ιούς με αντιπληροφοριακές αντιβακτηριακές ενώσεις από μακρινά τάξα. Αυτό είναι και το σημείο μέχρι το οποίο έχει καταφέρει να φτάσει η προαναφερθείσα έρευνα, που χρησιμοποιεί τη διαγονιδίων για να βελτιώσει άμεσα την ανθεκτικότητα σε ασθένειες. Ωστόσο, η μεταφορά άλλων γονιδίων μπορεί έμμεσα να επηρεάσει την ανθεκτικότητα σε ασθένειες μέσω του πλειοτροπισμού, τόσο με θετικό όσο και με αρνητικό τρόπο. Εάν είναι γνωστά τα πλειοτροπικά αποτελέσματα, μπορούν να υποστούν μια σκόπιμη χειραγώγηση για να υπάρξει γενετική βελτίωση με τρόπο ανάλογο με την έμμεση επιλογή.

Η επιβίωση είναι ένα σημαντικό εμπορικό χαρακτηριστικό και η εισαγωγή του γονιδίου rtGH τροποποίησε την επιβίωση του κοινού κυπρίνου. Οι F2 απόγονοι που κληρονόμησαν αυτό το διαγονιδίο είχαν υψηλότερη επιβίωση από τους μάρτυρες όταν εκτέθηκαν σε μια σειρά στρεσογόνων παραγόντων όπως χαμηλές τιμές διαλυμένου οξυγόνου, και σε παθογόνα, όπως εξωτερικά παρασιτικά κωπήποδα (*Lernaea* spp.), *Aeromonas* και οίδημα ή ασκίτης. Ο GH διαγονιδιακός κοινός κυπρίνος είχε υψηλότερη δραστηριότητα λυσοζύμης στον ορό σε σύγκριση με τα ίδιας ηλικίας μη διαγονιδιακά ψάρια του δείγματος ελέγχου. Η βακτηριοκτόνος δραστηριότητα του ορού στα διαγονιδιακά ήταν 20% υψηλότερη από ότι στο δείγμα ελέγχου. Οι τιμές του λευκοκρίτη και το φαγοκυτταρικό ποσοστό των μακροφάγων στο κύριο νεφρό ήταν υψηλότερα στα διαγονιδιακά απ' ότι στο δείγμα ελέγχου, αλλά οι φαγοκυτταρικοί δείκτες και τα σχετικά βάρη σπλήνας των διαγονιδιακών και των δειγμάτων ελέγχου δεν ήταν διαφορετικά. Η έκφραση του διαγονιδίου GH προφανώς όχι μόνο διέγειρε την ανάπτυξη, αλλά και τις μη ειδικές ανοσολογικές λειτουργίες του κοινού κυπρίνου.

Αντιθέτως, ο GH διαγονιδιακός σολομός ήταν πιο ευαίσθητος στο *Vibrio* σε σύγκριση με το δείγμα ελέγχου, οπότε η μεταφορά γονιδίων GH δεν προσδίδει πάντα αυξημένη ανθεκτικότητα σε ασθένειες. Κάποιες φορές, η επιβίωση μεταξύ οι-

κογενειών του GH σολομού βελτιώθηκε, κάποιες φορές μειώθηκε και κάποιες άλλες παρέμεινε αμετάβλητη σε σχέση με τους μάρτυρες. Αυτές οι διαφορές στον σολομό θα μπορούσαν να σχετίζονται με τροποποιήσεις στην γονιδιακή έκφραση για μυριάδες σχετικά με ασθένειες γονίδια σε σχέση με την τροποποιημένη έκφραση της αυξητικής ορμόνης. Η αυξητική ορμόνη φαίνεται να έχει πλειοτροπικά αποτελέσματα και προκαλεί σωρεία γεγονότων σε πολλές βιοχημικές οδούς:

- οξυγενάση της αίμης
- άκυλο-συνένζυμο A (Acyl-CoA) συνδεδεμένη πρωτεΐνη
- NADH αφυδρογονάση
- λεκτίνη ειδικά προσδεδεμένη σε μαννόζη που βρίσκεται συνδεδεμένη με πρωτεάση σερίνης
- πρωτεΐνη αιμοπηξίνης
- λευκοκύτταρα προερχόμενα από χημειοταξίνη 2 (LECT2).
- και πολλά άλλα γονίδια που ενισχύουν την έκφραση στον ηπατικό ιστό ανώριμου διαγονιδιακού σολομού.

Παρ' όλο που τα παρακάτω είχαν μειωμένη έκφραση σε σύγκριση με μη διαγονιδιακά πρότυπα:

- συμπλήρωμα C3-1
- λεκτίνη
- ραβίνη
- αφυδρογονάση αλκοόλης
- Tc-1 τρανσποζάση
- γονίδια πεντραξίνης.

Το πρότυπο της γονιδιακής έκφρασης μεταβλήθηκε όταν ο διαγονιδιακός σολομός έφτασε σε γεννητική ωριμότητα με την ακόλουθη ενισχυμένη έκφραση:

- πρωτεΐνη αιμοπηξίνης
- οξυγενάση της αίμης
- αναστολέας άλφα-τρυψίνης
- χημειοταξίνη (LECT)
- GTP κυκλοοδρολάση
- ανάδραση ρυθμιστικής πρωτεΐνης (GFRP).

Ενώ εμφάνισαν μειωμένη έκφραση τα παρακάτω:

- Μπικουνίνη
- Λεκτίνη
- Απολιποπρωτεΐνη
- Πεντραξίνη.

Η λεκτίνη βρέθηκε να είναι σε μεγάλο βαθμό κατεσταλμένη σε όλους τους F2 και τους ανώριμους F3 σολομούς. Η δραστηριότητα της λυσοζύμης στον ορό του ανοσοποιητικού συστήματος μειώθηκε και στις δύο γενιές των GH διαγονιδιακών ψαριών. Ο GH διαγονιδιακός Ιαπωνικός σολομός Amago (*Oncorhynchus masou macrostomus*) είχε τροποποιήσει την έκφραση του ηπατικού γονιδίου που σχετίζεται με τον μεταβολισμό του σιδήρου και τη φυσική ανοσία.

Το γονίδιο GH επηρεάζει την αναπνοή, κάτι που με τη σειρά του θα μπορούσε να έχει ένα πλήθος αλληλένδετων σχέσεων και επιδράσεων στην ανάπτυξη, τη χαμηλή ανθεκτικότητα σε χαμηλές τιμές διαλυμένου οξυγόνου, την ανθεκτικότητα στις ασθένειες, την αντοχή και την ικανότητα προστασίας από τους θηρευτές. Η μέση απόλυτη επιβίωση για τον κοινό κυπρίνο του δείγματος ελέγχου και τον διαγονιδιακό rtGH ήταν η ίδια όταν υποβλήθηκαν σε χαμηλές τιμές διαλυμένου οξυγόνου, 0,4 ppm. Ωστόσο, όταν υπολογίστηκε ο μέσος χρόνος επιβίωσης, τα διαγονιδιακά άτομα είχαν μεγαλύτερο μέσο χρόνο επιβίωσης από τα μη διαγονιδιακά συγγενή τους. Ο δείκτης αερισμού θα μπορούσε, επίσης, να είναι μια πιθανή εξήγηση για την ελαφρώς καλύτερη ανθεκτικότητα σε χαμηλές τιμές διαλυμένου οξυγόνου που εμφάνισε ο διαγονιδιακός κοινός κυπρίνος. Το διαγονιδιακό γατόψαρο με ίδια δομή rtGH με τον κοινό κυπρίνο είχε χαμηλότερο δείκτη αερισμού όταν υποβλήθηκε σε χαμηλές τιμές διαλυμένου οξυγόνου σε σύγκριση με το δείγμα ελέγχου.

Η πλειοτροπία του γονιδίου GH ως προς τα χαρακτηριστικά ανθεκτικότητας σε διαλυμένο οξυγόνο ποικίλλει από το ένα είδος στο άλλο. Οι GH τιλάπιες έχουν 58% υψηλότερο μεταβολισμό από το δείγμα ελέγχου, αντισταθμίζουν την κατανάλωση οξυγόνου κι έχουν την ίδια μέγιστη ταχύτητα κολύμβησης με τις μη διαγονιδιακές. Οι GH τιλάπιες αντέχουν εξίσου στην υποξία όπως και το δείγμα ελέγχου παρά την αυξημένη ζήτηση οξυγόνου.

Ωστόσο, ο GH διαγονιδιακός σολομός έχει αυξημένη ανάγκη για διαλυμένο οξυγόνο μετά από 4 ημέρες ασιτίας. Τα GH άτομα είχαν την ίδια πρόσληψη οξυγόνου με το δείγμα ελέγχου. Μετά τη σίτιση, τα GH διαγονιδιακά είχαν 40-70% αυξημένη ανάγκη για οξυγόνο ακόμη κι όταν τα άτομα του

δείγματος ελέγχου κατανάλωναν ισοδύναμες ποσότητες τροφής. Ο ενήλικος διαγονιδιακός σολομός είχε μεγαλύτερη ανάγκη για οξυγόνο, μικρότερη ικανότητα κολύμβησης και μεγαλύτερο χρόνο ανάνηψης σε σχέση με τον πελαγικά εκτρεφόμενο σολομό.

Η GH διαγονιδίωση μπορεί να έχει σημαντικό μεταβολικό κόστος. Η καρδιακή λειτουργία ενισχύθηκε με την GH διαγονιδίωση, αλλά δεν υπήρξε κάποια καθολική ρύθμιση της καρδιοαναπνευστικής φυσιολογίας στον ενήλικο GH διαγονιδιακό σολομό. Διαφορές στην αρτηριακή μεταφορά οξυγόνου, όπως η καρδιακή απόδοση και η ικανότητα μεταφοράς οξυγόνου του αίματος είναι σημαντικά για την αερόβια ικανότητα. Ωστόσο, οι διεργασίες περιορισμένης διάχυσης μπορεί να είναι ανασταλτικές και θα έπρεπε να βελτιωθούν προκειμένου να επιτευχθούν ουσιαστικές βελτιώσεις στις μεταβολικές και κολυμβητικές επιδόσεις. Αυτοί οι σχετικοί με τη διάχυση περιοριστικοί παράγοντες που σχετίζονται με τη λειτουργία και τη μορφολογία των βραγχίων μπορεί να εξηγεί τις διαφορές των αποτελεσμάτων από τη μία μελέτη στην άλλη.

Η μεταφορά του γονιδίου GH τροποποιεί την αναπνοή και τον μεταβολισμό με πολλούς τρόπους που θα μπορούσαν να επηρεάσουν την ικανότητα να ξεπεραστούν ασθένειες είτε με καλύτερο ή με επιζήμιο τρόπο. Τα αποτελέσματα από τον κοινό κυπρίνο δείχνουν ότι η μεταφορά GH θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως μία έμμεση μέθοδος για τη διαγονιδιακή βελτίωση της ανθεκτικότητας σε ασθένειες. Η διαβίωση των σολομών μπορεί να είναι διαφορετική λόγω του διαφορετικού κύκλου ζωής τους, το γεγονός ότι είναι ένα ψάρι ψυχρού και όχι ζεστού νερού και ότι η GH βελτίωσή τους είναι πολύ πιο έντονη. Η έκταση των πλειοτροπικών αποτελεσμάτων είναι πιθανό να είναι προϊόν έκτασης της αλλαγής στο πρωταρχικό χαρακτηριστικό-στόχο και της σχετικής γονιαδιακής έκφρασης του διαγονιδίου.

7.10.8 Διαγονιδιακή Στείρωση

Το απόλυτο μέσο πρόληψης του περιβαλλοντικού ή οικολογικού αντίκτυπου των διαγονιδιακών, αυτόχθονων υβριδίων ή ξενικών ειδών ψαριών είναι η διαγονιδιακή στείρωση ή η γονιδιακή τροποποίηση.

ση, ενέργειες που θα συζητηθούν στην επόμενη ενότητα. Σ' αυτή την περίπτωση, τα ψάρια που διέφυγαν, ή οι απόγονοί τους, είναι ανίκανοι για αναπαραγωγή, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα τον απόλυτο αναπαραγωγικό περιορισμό και την αποτροπή εισαγωγής διαγονιδίων σε φυσικούς πληθυσμούς και όλων των πιθανών σχετικών επιπτώσεων. Έχουν αξιολογηθεί πολλές πιθανές διαγονιδιακές προσεγγίσεις, όπως η αντιπληροφορική, η shRNAi και η υπερ-έκφραση των cDNAs. Κάποιοι μέθοδοι εμφανίζουν πολύ καλές προοπτικές, όμως σε κάποιο στάδιο της διαδικασίας απαιτούν γόνιμα άτομα. Στην περίπτωση αυτή, δεν μπορεί να εξαλειφθεί ο μακροπρόθεσμος περιβαλλοντικός κίνδυνος. Εάν χρησιμοποιούνται ελεγχόμενες μέθοδοι και όλα τα άτομα του πληθυσμού είναι ομοζυγωτικά σε όλα τα στάδια της ζωής τους για την επίτευξη της στειρώσεως, τότε ο περιβαλλοντικός κίνδυνος, στη χειρότερη περίπτωση, θα είναι βραχυπρόθεσμος.

Πολύ καλές προοπτικές, ως ελεγχόμενες μέθοδοι, εμφανίζουν οι μέθοδοι διαγονιδιακής στειρώσεως Tet-off (επαγόμενη από τετρακυκλίνη γονιδιακή έκφραση). Το πρωταρχικό πρόβλημα με αυτές τις μεθόδους είναι ότι το διαγονίδιο περιέχει μικρές ικές αλληλουχίες. Αυτό δεν δημιουργεί κανέναν κίνδυνο βιολογικό ή για την ασφάλεια των τροφίμων. Ωστόσο, η δημόσια αντίληψη και η αρνητική διαφήμιση θα μπορούσαν να εμποδίσουν την εμπορία τέτοιων υδρόβιων οργανισμών. Οι μέθοδοι τύπου Tet-off αναπτύχθηκαν πρόσφατα και δεν εμπεριέχουν ικές αλληλουχίες. Ένα δυνητικό μειονέκτημα της διαγονιδιακής στειρώσεως είναι τα πιθανά αρνητικά πλεiotροπικά αποτελέσματα, αφού ο αποκλεισμός της αναπαραγωγής μπορεί να επηρεάσει άλλα χαρακτηριστικά παρόμοια μ' αυτά που μπορούν να παρατηρηθούν με την τριπλοειδία. Για παράδειγμα, η εξάλειψη ορισμένων αρχέγονων γονιδίων των γεννητικών κυττάρων οδήγησε σε γατόψαρα χωρίς γονάδες κι αυτά τα ψάρια είχαν 25% μείωση στον ρυθμό ανάπτυξης τους.

7.11 Γονιδιακή Τροποποίηση

Γονιδιακή τροποποίηση (gene editing) είναι η στοχευμένη διαγραφή συγκεκριμένων βάσεων αλλη-

λουχιών, με συνηθέστερο στόχο τις μεταλλάξεις και την απενεργοποίηση ενός συγκεκριμένου γονιδίου. Τα γονίδια απενεργοποιούνται χωρίς την εισαγωγή εξωγενούς DNA. Η τεχνολογία σχετικά με τη στοχευμένη γονιδιακή τροποποίηση εξελίσσεται ταχύτατα με αναφορές για καινοτόμες εφαρμογές της σε σχεδόν εβδομαδιαία βάση. Η γονιδιακή τροποποίηση μπορεί, επίσης, να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με τη γενετική μηχανική για τη στοχευμένη εισαγωγή γονιδίων σε γνωστές περιοχές του γονιδιώματος, ώστε να αντικατασταθούν μεμονωμένα ζεύγη βάσεων για τη δημιουργία αλληλόμορφων και τη διόρθωση ελλειμματικών γονιδίων. Η γονιδιακή τροποποίηση έχει χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία βοοειδών χωρίς κέρατα και διπλάσιας μυϊκής μάζας χωρίς την ανάγκη εισαγωγής αυτών των μεταλλαγμένων αλληλομόρφων μέσω διασταυρώσεων.

Η αρχική τεχνολογία της γονιδιακής τροποποίησης περιελάμβανε τη χρήση νουκλεασών δακτυλίων ψευδαργύρου (ZFNs, Zinc Finger Nucleases), μία σημαίνουσα καινοτομία που επιτρέπει τη στοχευμένη γονιδιακή τροποποίηση. Οι νουκλεάσες δακτυλίων ψευδαργύρου αποτελούν πρωτεΐνες σύντηξης μιας αρθρωτής περιοχής δέσμευσης DNA, που προσκολλάται σε μία μονομερή FokI ενδονουκλεάση. Όταν ένα ζεύγος ZFNs προσδένεται στον στόχο τους με τον σωστό προσανατολισμό, τα FokI μονομερή μπορούν να διμεριστούν και να εισάγουν ένα τμήμα μιας διπλής έλικας DNA (Kim et al., 1996), το οποίο μπορεί να επιδιορθωθεί με μη ομόλογη συγκόλληση των άκρων του (NHEJ, Non-Homologous End-Joining). Το αποτέλεσμα είναι μια μικρή ενσωμάτωση ή διαγραφή (INDELs), που προκαλεί μια τμηματική μεταβολή, απενεργοποιώντας έτσι κωδικοποιημένες πρωτεΐνες σε ποσοστό 67% των ελλείψεων (INDELs). Η αδρανιοποίηση των ZFN μπορεί να περιοριστεί από διαθέσιμες περιοχές στόχων.

Οι δραστικές νουκλεάσες τύπου ενεργοποιητή μεταγραφής (TALENs, Transcription Activator-Like Effector Nucleases) αποτέλεσαν την πρώτη σημαντική βελτίωση στην τεχνολογία της γονιδιακής τροποποίησης και είναι νουκλεάσες που ενώνουν την ενδονουκλεάση FokI με την αρθρωτή περιοχή δέσμευσης DNA των TALEs. Οι TALENs βελτιστοποίησαν τόσο την πολυπλοκότητα όσο και τα ποσοστά μετατροπής. Οι TALENs κατασκευάζονται ευ-

κολότερα με σαφείς στρατηγικές σχεδιασμού και συναρμολόγησης, είναι λιγότερο δαπανηρές και μπορούν να οδηγήσουν σε υψηλά ποσοστά αδρανοποίησης (2-75%, συχνά > 50%) πρωτογενών κυττάρων και εμβρύων ζώων και ψαριών. Μπορούν να προκληθούν πολλαπλές διαγραφές (αδρανή αλληλόμορφα) σ' ένα αρχικό άτομο με πάνω από έξι αλληλόμορφα που βρίσκονται σε ένα και μόνο αρχικό άτομο. Η γονιδιακή τροποποίηση μπορεί, επίσης, να οδηγήσει εκτός στόχου, όπως σε μια ανεπιθύμητη μετάλλαξη γονιδίων που δεν αποτελούσαν στόχο, προκαλώντας κυτταροτοξικότητα, θάνατο των μεταλλαγμένων κυττάρων ή άλλες αρνητικές επιπτώσεις στην απόδοση των μεταλλαγμένων ατόμων. Οι TALENs προκαλούν λιγότερες μη-στοχευμένες επιπτώσεις καθώς και μικρότερη κυτταροτοξικότητα σε σύγκριση με τις ZFNs.

Το σύμπλεγμα των συστηματικά διαμοιρασμένων βραχέων παλινδρομικών επαναλήψεων (CRISPR, Clustered Regularly-Interspaced Short Palindromic Repeats) που σχετίζεται με την πρωτεΐνη (Cas9) στα ευβακτήρια και τα αρχαία στοχεύει στο εξωγενές DNA. Η ενδονουκλεάση Cas9 με CRISPR RNA (crRNA) και το συνεργό RNA (tracrRNA, transacting RNA) μπορούν να αποκόψουν το εξωγενές DNA, και ένας χιμαιρικός μεμονωμένος οδηγός RNA (sgRNA, single guide RNA) μιμούμενος το σύμπλοκο crRNA:tracrRNA σε σύνδεση με την Cas9 μπορεί να δημιουργήσει σε συγκεκριμένους τόπους θραύσματα τμημάτων διπλής έλικας DNA στα ψάρια. Ένα τροποποιημένο σύστημα Cas9 που βελτιστοποιήθηκε με κωδικόνια ψαριών ζέβρα φαίνεται ότι είναι μία ακόμη σημαντική πρόοδος συγκρινόμενο με τους TALENs και ως προς την αυξημένη του απλότητα αλλά και ως προς την εμφανή παραγωγή ομόζυγων/διαλληλικών αρχικών ατόμων που εμφανίζουν μεταλλάξεις σε σχεδόν κάθε κύτταρο. Το CRISPR/Cas9 είναι ακόμη πιο αποδοτικό, αποτελεσματικό και λιγότερο ακριβό σε σύγκριση με τα ZFNs και τα TALENs και πλέον αποτελεί την καταλληλότερη επιλογή μεταξύ των διαθέσιμων τεχνικών. Το CRISPR/Cas9 χρησιμοποιεί περισσότερες εν δυνάμει θέσεις αναγνώρισης και μπορεί να τροποποιηθεί ώστε να στοχεύσει οποιαδήποτε αλληλουχία στο γονιδίωμα. Η Cas9 μπορεί να χρησιμοποιηθεί με κάθε οδηγό RNA. Μεταλλάξεις σε πολλαπλά γονίδια μπορεί να δημιουργηθούν ταυτόχρονα σε ένα πειραματικό

βήμα εισάγοντας μία μίξη από sgRNAs.

Στην περίπτωση των ψαριών, το γονίδιο της μυοστατίνης στο κίτρινο γατόψαρο (*Pelteobagrus fulvidraco*) έχει υποστεί τροποποίηση. Στην ιριδίζουσα πέστροφα το κύριο γονίδιο που ελέγχει το φύλο έχει αδρανοποιηθεί χρησιμοποιώντας ZFNs με αποτέλεσμα τη μετατροπή των αρσενικών ατόμων σε θηλυκά συμπεριλαμβάνοντας την ανάπτυξη ωαρίων. Το γονίδιο της ωχρινότροπου ορμόνης (LH) αδρανοποιήθηκε στο γατόψαρο (*Ictalurus punctatus*) χρησιμοποιώντας ZFNs προκειμένου να επιτευχθεί διαγονιδιακή στειρώση. Επιπροσθέτως του συμπλόκου υποκατάστασης διαγραφής ταυτοποιήθηκαν μικρές INDELs, γεγονός που οδήγησε σε ψάρια που δεν είχαν ικανότητα ωοτοκίας. Η αδρανοποίηση του υποδοχέα της ωοθυλακιοτρόπου ορμόνης (FSH) σε ψάρια ζέβρα χρησιμοποιώντας TALENs οδήγησε σε αποτυχημένη ενεργοποίηση των ωοθυλακίων και αντιστροφή του φύλου στα αρσενικά. Η αδρανοποίηση του γονιδίου της μυοστατίνης στο Ιαπωνικό ρυζόψαρο (*Oryzias latipes*) χρησιμοποιώντας TALENs είχε ως αποτέλεσμα ένα μεγαλύτερο σωματικό βάρος της τάξης του 25% σε σύγκριση με το δείγμα ελέγχου. Όπως ήταν αναμενόμενο, η αδρανοποίηση της τυροσινάσης εφαρμόζοντας CRISPR/Cas9 οδήγησε σε αλφισμό στον σολομό.

7.12 Συνδυάζοντας Προγράμματα Γενετικής Βελτίωσης

Οι καλύτεροι γονότυποι για εφαρμογή σε υδατοκαλλιέργειες στο μέλλον θα αναπτυχθούν με τη χρήση ενός συνδυασμού παραδοσιακής επιλεκτικής αναπαραγωγής, νέων βιοτεχνολογιών και μοριακών/γονιδιωματικών προσεγγίσεων. Κάποια αρχικά πειράματα εμφανίζουν καλές προοπτικές γι' αυτή τη συνδυαστική προσέγγιση, με τα διάφορα παραδείγματα να χρησιμοποιούν:

- μαζική επιλογή και διασταύρωση
- γενετική μηχανική και επιλογή
- γενετική μηχανική και διασταύρωση και
- αντιστροφή του φύλου και πολυπλοειδία

με όλα να αποδίδουν πιο αποτελεσματικά συνδυαστικά παρά κατά μόνος για τη βελτίωση χαρακτηριστικών όπως η ανάπτυξη, η στειρότητα και η ποιότητα της σάρκας.

7.13 Αλληλεπιδράσεις Γονότυπου - Περιβάλλοντος

Ο καλύτερος γονότυπος για μια σειρά περιβαλλοντικών συνθηκών δεν είναι αναγκαστικά ο καλύτερος και για μια δεύτερη σειρά περιβαλλοντικών συνθηκών. Οι αλληλεπιδράσεις γονότυπου - περιβάλλοντος συμβαίνουν είτε όταν αλλάζει η συχνότητα των γονότυπων είτε όταν η σχετική συχνότητα δύο γονότυπων μεταβάλλεται ουσιαστικά η μία σε σχέση με την άλλη λόγω της αλλαγής του περιβάλλοντος (Dunham, 2011) (**Εικόνα 7.15 A, B**). Τα γενετικά βελτιωμένα ζώα που λειτουργούν καλά σ' ένα ερευνητικό πειραματικό περιβάλλον δεν είναι βέβαιο ότι θα εμφανίζουν τα καλύτερα αποτελέσματα και υπό εκτροφή σε εμπορικές συνθήκες. Γενικά, οι αλληλεπιδράσεις γονότυπου - περιβάλλοντος αυξάνονται για τα ζώα υδατοκαλλιέργειας με αυξανόμενη γενετική απόσταση και αυξανόμενες περιβαλλοντικές διαφορές, ειδικά σε σχέση με είδη όπως οι κυπρίνοι ή οι τιλάπιες που μπορούν να εκτραφούν με απλό τρόπο και όντας χαμηλά στην τροφική αλυσίδα, ή με πλήρως τεχνητές τροφές.

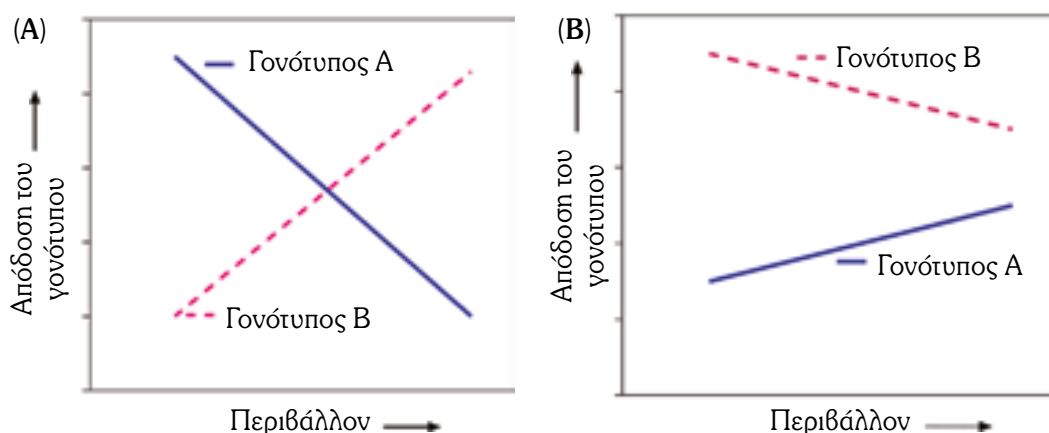
Ο καλύτερος γονότυπος για την υδατοκαλλιέργεια των γατόψαρων στις ΗΠΑ είναι αυτός του θηλυκού γατόψαρου διασταυρωμένου με διαειδικό υβρίδιο αρσενικού μπλε γατόψαρου. Όταν εκτρέφεται σε ενυδρεία ή σε μικρούς κλωβούς, το υβρίδιο αυτό αποδίδει και αναπτύσσεται ελάχιστα σε σύγκριση με το κοινό γατόψαρο. Ωστόσο, στις λιμνοδεξαμενές το υβρίδιο αυτό έχει πολύ μεγαλύ-

τερη παραγωγή από το κοινό γατόψαρο. Εάν οι ερευνητές δεν είχαν κάνει γενετικές αξιολογήσεις σε πολλά διαφορετικά περιβάλλοντα, η αξία αυτών των ψαριών δεν θα είχε ποτέ ανακαλυφθεί.

Η κληρονομικότητα ως προς το σωματικό βάρος ήταν υψηλότερη για τη γαρίδα (*Litopenaeus vannamei*), όταν εκτρέφονταν σε υψηλές πυκνότητες σε σύγκριση με την εκτροφή της σε χαμηλές πυκνότητες. Έτσι, η επιλογή του περιβάλλοντος και η επακόλουθη αλληλεπίδραση γονότυπου - περιβάλλοντος θα μπορούσε να έχει αντίκτυπο στην επιτυχία των προγραμμάτων επιλογής.

Οι αλληλεπιδράσεις γονότυπου - περιβάλλοντος εμφανίζονται στο F2 διαγονιδιακό ψάρι ζέβρα που έχει τροποποιηθεί με λυσοζυμικό διαγονίδιο με προαγωγέα κερατίνης - ασπραδιού αυγού κότας (HEW) από ελαιόχρωμη χωματίδα όταν νοσεί είτε από *Flavobacterium columnare* είτε από *Edwardsiella tarda* (πιθανόν *pisicida*) υπό διάφορες συνθήκες. Επίσης, παρατηρήθηκαν αλληλεπιδράσεις γονότυπου - περιβάλλοντος (διατροφικές) όταν διαγονιδιακά Ευρωπαϊκά λαβράκια (*Dicentrarchus labrax*) ταϊστήκαν με ιχθυάλευρα έναντι σιτηρεσίου βασισμένου σε φυτικές τροφές. Αυτό επηρεάζει, επίσης, τα αποτελέσματα της διαγονιδίωσης της δεσατουράσης προκειμένου να αυξηθούν τα ω-3 λιπαρά οξέα. Εάν η διατροφή δεν περιέχει τις κατάλληλες πρόδρομες ουσίες, δεν θα φανεί η επίδραση του διαγονιδίου.

Στην περίπτωση των οστρακοειδών, δεν παρατηρήθηκαν αλληλεπιδράσεις γονότυπου - περι-



Εικόνα 7.15 (A) Η αλληλεπίδραση γονότυπου - περιβάλλοντος συμβαίνει όταν η συχνότητα των γονότυπων αλλάζει όταν αλλάζει το περιβάλλον. (B) Αλληλεπίδραση γονότυπου - περιβάλλοντος: η συχνότητα των γονοτύπων δεν αλλάζει, αλλά το μέγεθος της διαφοράς της απόδοσης αλλάζει όταν αλλάζει το περιβάλλον. Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από τον Rex Dunham.

βάλλοντος ως προς το συνολικό σωματικό βάρος, το χρώμα του ποδιού και το σχήμα του επιποδίου σε οικογένειες Αυστραλιανής λευκής αλιώτιδας (*Halotis laevigata*) που αναπτύχθηκαν με διαφορετικούς ρυθμούς ροής. Ωστόσο, η γεωγραφική θέση και οι σχετικές διαφορές θερμοκρασίας προκαλούν αλληλεπιδράσεις γονότυπου - περιβάλλοντος μεταξύ σειρών και διασταυρώσεων στρειδιών. Κατά τον ίδιο τρόπο, οι διαφορές θερμοκρασίας και αλατότητας μπορούν να οδηγήσουν σε αλληλεπιδράσεις γονότυπου - περιβάλλοντος στις γενετικές αξιολογήσεις των ψαριών.

7.14 Μελλοντικές Εξελίξεις

Η γενετική βελτίωση των ειδών υδατοκαλλιέργειας είναι μια συνεχής διαδικασία. Καθώς αυξάνονται οι τρέχουσες απαιτήσεις και η υπερεκμετάλλευση των φυσικών αποθέματων συνεχίζεται, θα απαιτούνται περισσότερα διαχειριστικά εργαλεία για την αύξηση της παραγωγής της υδατοκαλλιέργειας. Η γενετική βελτίωση είναι ένα όλο και πιο σημαντικό στοιχείο της διαχείρισης αυτής και, εάν χρησιμοποιηθεί σωστά, έχει μεγάλες πιθανότητες να ενισχύσει την παραγωγή, την αποδοτικότητα και τη βιωσιμότητα της υδατοκαλλιέργειας. Αν και θεωρείται παλιομοδίτικη, η παραδοσιακή επιλεκτική αναπαραγωγή και τα οφέλη της δεν έχουν αξιοποιηθεί ακόμη πλήρως.

Προσφάτως, εγκρίθηκε για δημόσια κατανάλωση ο διαγονιδιακός σολομός. Αυτό μπορεί να επιφέρει σημαντική αύξηση στη γενετική βελτίωση των εκτρεφόμενων οργανισμών εάν υπάρξει δημόσια αποδοχή διαγονιδιακού κρέατος ψαριών στην αγορά. Οι γονιδιωματικές πληροφορίες που έχουν αποκτηθεί δεν έχουν ακόμη χρησιμοποιηθεί για γενετική βελτίωση σε κάποιον σημαντικό βαθμό. Εντούτοις, έχουν υπάρξει μερικά παραδείγματα επιτυχούς υποβοηθούμενης με δείκτη επιλογής. Η γονιδιωματική επιλογή βρίσκεται στα πρόθυρα του να γίνει σύντομα πραγματικότητα και προκαλεί σημαντικές επιπτώσεις στη γενετική βελτίωση των ζώων. Το κόστος αυτής της τεχνολογίας σε συνδυασμό με την τρέχουσα μειωμένη οικονομική ισχύ του κλάδου της υδατοκαλλιέργειας σε σύγκριση με τον τομέα της κτηνοτροφίας, και το γεγονός ότι ένας τόσο μεγάλος αριθμός ει-

δών χρησιμοποιείται στην υδατοκαλλιέργεια, είναι πιθανό να επιβραδύνει την υιοθέτηση της γονιδιωματικής επιλογής για τους υδρόβιους οργανισμούς. Ένας μεγαλύτερος αριθμός φοιτητών στον τομέα της υδατοκαλλιέργειας και νέων επιστημόνων πρέπει να καταρτιστούν τόσο στην ποσοτική όσο και στη μοριακή γενετική για να επωφεληθούν απ' αυτά τα αναδυόμενα προγράμματα γενετικής βελτίωσης. Η πρόσφατη εμφάνιση πολύ αποτελεσματικών εργαλείων επεξεργασίας γονιδίων είναι έτοιμη να φέρει επανάσταση στη γενετική βελτίωση χωρίς διαγονιδισμό. Ωστόσο, οι ρυθμιστικές αρχές εξετάζουν την έκταση της συμμετοχής τους στην εποπτεία αυτής της τεχνολογίας και των προϊόντων της. Σαν έννοια δεν υπάρχει διαφορά από τη δημιουργία μεταλλάξεων με ακτινοβολία και χημική μεταλλαξογένεση, που εμπορευματοποιήθηκε στα φυτά χωρίς σχετική νομοθεσία, αλλά δεν είναι το ίδιο με τα ζώα. Η γενετική βελτίωση των υδρόβιων οργανισμών συνεχίζει να αναπτύσσεται ραγδαία, όπως και η παραγωγή τροφής, η αποδοτικότητα και οι πιθανές θετικές περιβαλλοντικές συνέπειες που μπορεί να προκύψουν από τη χρήση της γενετικής βελτίωσης, δίνουν πολλές υποσχέσεις για το μέλλον.

7.15 Περίληψη

- Υπάρχει ευρεία εφαρμογή της γενετικής βελτίωσης στην υδατοκαλλιέργεια, συμπεριλαμβανομένης της επιλογής, της επιλογής πολλών χαρακτηριστικών, της υποβοηθούμενης από δείκτη επιλογής, του ενδοειδικού υβριδισμού, της πολυπλοειδίας, της γενετικής μονοφυλετικότητας και, προσφάτως, της γενετικής μηχανικής. Τόσο ευρεία είναι η εφαρμογή, ώστε να έχει δημιουργηθεί ισχυρός αντίκτυπος της γενετικής βελτίωσης, ειδικά για τα ήδη υφιστάμενα είδη στην υδατοκαλλιέργεια.
- Η παραδοσιακή επιλογή μπορεί να διπλασιάσει τον ρυθμό ανάπτυξης μετά από αρκετές γενιές επιλογής και συχνά μπορεί να βελτιώσει την ανθεκτικότητα σε ασθένειες και στα αναπαραγωγικά χαρακτηριστικά.
- Η πολυπλοειδία έχει μεγαλύτερη επίδραση στη γενετική βελτίωση των οστρακοειδών σε σύγκριση μ' αυτή των οστεϊχθύων: η τριπλοειδία

καταλήγει σε στειρότητα, σε ταχεία πρόωρη ανάπτυξη και καλύτερη ποιότητα σάρκας στα τριπλοειδή οστρακοειδή σε σύγκριση με τα διπλοειδή.

- Ο συνδυασμός δύο ή περισσότερων προγραμμάτων γενετικής βελτίωσης αποφέρει μεγαλύτερη δυνατότητα γενετικής βελτίωσης, ειδικά για τον ολικό φαινότυπο.
- Οι αλληλεπιδράσεις γονότυπου - περιβάλλοντος είναι σχετικά κοινές στην υδατοκαλλιέργεια. Ο υπολογισμός των αλληλεπιδράσεων γονότυπου - περιβάλλοντος είναι μεγάλης σημασίας, όταν ο στόχος της έρευνας είναι να βελτιωθούν γενετικά υδρόβιοι οργανισμοί για την εφαρμογή στην εκτροφή τους.
- Η γενετική μηχανική έχει αποδειχθεί ότι μεταβάλλει δραστικά την επίδοση των ειδών υδατοκαλλιέργειας και η πρώτη κυβερνητική έγκριση, π.χ. διαγονιδιακού σολομού με γονίδιο αυ-

ξητικής ορμόνης, για κατανάλωση, έχει σημάνει την έναρξη της εμπορευματοποίησης διαγονιδιακών υδρόβιων οργανισμών.

- Η ξενογένεση, μια μέθοδος αναπαραγωγής στην οποία διαδοχικές γενιές διαφέρουν η μία από την άλλη, είναι μια τεχνολογία βλαστοκυτάρων που επιτρέπει σ' ένα είδος ξενιστή να παράγει γαμέτες από ένα είδος δότη. Αυτό αφήνει περιθώρια σε αρκετές νέες γενετικές μεθόδους και για την ενίσχυση της υδατοκαλλιέργειας και για τη διατήρηση του γενετικού υλικού.
- Η γονιδιακή τροποποίηση είναι μια νέα τεχνολογία η οποία έχει εφαρμοστεί επιτυχώς για την παραγωγή φαινοτυπικών αλλαγών σε ψάρια, επιτρέποντας τον αποκλεισμό γονιδίων, την εισαγωγή γονιδίων και τη δημιουργία αλληλόμορφων. Έχει πολλές δυνατότητες για μελλοντική χρήση.

Βιβλιογραφία

- Argue, B. J., Arce, S. M., Lotz, J. M. and Moss, S. M. (2002). Selective breeding of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) for growth and resistance to Taura Syndrome Virus. *Aquaculture*, 204, 447–460.
- Devlin, R. H. and Nagahama, Y. (2002). Sex determination and differentiation in fish: an overview of genetic, physiological and environmental influences. *Aquaculture*, 208, 191–364.
- Dunham, R.A. (2011). *Aquaculture and Fisheries Biotechnology: Genetic Approaches*. 2nd edition. CABI Publishing, Wallingford, UK
- Embry, G.C. and Hayford, C.D. (1925). The advantage of rearing brook trout fingerlings from selected breeders. *Transactions of the American Fisheries Society*, 55, 135–138.
- Fisheries and Oceans Canada. (2013). Electronic version available at http://www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/Publications/ScR-RS/2013/2013_023-eng.pdf (viewed January 2017).
- Gjedrem, T. and Robinson, N. (2014). Advances by selective breeding for aquatic species: a review. *Agricultural Sciences* 5, 1152–1158. http://file.scirp.org/pdf/AS_2014102914262617.pdf (viewed March 2017).
- Gjedrem, T., Robinson, N. and Rye, M. (2012). The importance of selective breeding in aquaculture to meet future demands for animal protein: a review. *Aquaculture*, 350–353, 117–129.
- Kim, Y.G., Cha, J., and Chandrasegaran, S. (1996). Hybrid restriction enzymes: Zinc finger fusions to Fok I cleavage domain. *Proceedings of National Academy of Sciences USA*, 93, 1156–1160.
- Kesarcodi-Watson, A., Klumpp, D.W. and Lucas, J. S. (2001). Physiological energetics of diploid and triploid Sydney rock oysters, *Saccostrea commercialis*. II. Influences of food concentration and tissue energy distribution. *Aquaculture*, 203, 195–216.
- Maclean, N. and Talawar, S. (1984) Injection of cloned genes into rainbow trout. *Journal of Embryology and Experimental Morphology*, 82, 187.
- Okamoto, N., Tayaman, T., Kawanobe, M., Fujiki, N., Yasuda, Y. and Sano, T. (1993). Resistance of a rainbow trout strain to infectious pancreatic necrosis. *Aquaculture*, 117, 71–76.
- Tave, D. (1993). *Genetics for Fish Hatchery Managers*, 2nd edn. Van Nostrand Reinhold, New York.
- U.S. Food and Drug Administration. 2015. *AquAdvantage Salmon*. <http://www.fda.gov/AnimalVeterinary/DevelopmentApprovalProcess/GeneticEngineering/GeneticallyEngineeredAnimals/ucm280853.htm> (viewed January 2017).
- Vallejo, R. L., Leeds, T. D., Fragomeni, B. O., Gao, G., Hernandez, A.G., Misztal, I., Welch, T. J., Wiens, G. D. and Palti, Y. (2016). Evaluation of genome-enabled selection for bacterial cold-water disease resistance using progeny performance data in rainbow trout: insights on genotyping methods and genomic prediction models. *Frontiers in Genetics*, 7, 96.
- Zhu, Z., Xu, H., Li, G., He, L., and Chen, S. (1985). Novel gene transfer into the fertilized eggs of gold fish (*Carassius auratus* L.). *Journal of Applied Ichthyology*, 1, 31–34.

8

Διατροφή και Τροφές

Lou D'Abramo

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

8.1	Εισαγωγή, 229	8.5	Πέψη και Αφομοίωση Τροφής, 248
8.2	Κατανάλωση και Κατανομή της Ενέργειας (Βιοενεργητική), 230	8.6	Σύσταση, Παραγωγή και Πεπτικότητα Τροφών, 250
8.3	Η Σχέση Μεταξύ Αύξησης και Κατανάλωσης Τροφής, 232	8.7	Στρατηγικές Διαχείρισης της Διατροφής, 260
8.4	Απαιτήσεις και Μεταβολικές Λειτουργίες Θρεπτικών Ουσιών, 234	8.8	Διαχείριση Σίτισης, 263
		8.9	Αναδυόμενα Ερευνητικά Πεδία, 264
		8.10	Περίληψη, 265
			Βιβλιογραφία, 266

8.1 Εισαγωγή

Η προβλεπόμενη ζήτηση ζωικών πρωτεϊνών το 2050, όπως προκύπτει από εκτιμήσεις για παγκόσμιο πληθυσμό 9,1 δισεκατομμυρίων, φτάνει τα 470 εκατομμύρια τόνους (t) ζωικής παραγωγής κρέατος, μία αύξηση 200 εκατομμυρίων τόνων σε σχέση με το 2009 (FAO, 2009). Ένα μεγάλο ποσοστό της ζήτησης ζωικών πρωτεϊνών θα προέλθει από τις αναπτυσσόμενες χώρες, όπου αναμένεται να αυξηθεί, λόγω της μετεγκατάστασης πληθυσμών στις πόλεις και της αντίστοιχης αύξησης του κατά κεφαλήν εισοδήματος. Η κάλυψη αυτής της αύξησης της ζήτησης στην κατανάλωση κρέατος πιθανότατα θα απαιτήσει την αύξηση των υδατοκαλλιεργειών στη θάλασσα και τα εσωτερικά νερά, καθώς οι εκφορτώσεις από τη συλλεκτική αλιεία ουσιαστικά παρέμειναν αμετάβλητες για περισσότερο από 20 χρόνια (**Εικόνα 1.5**). Κατά την περίοδο 1994-2004, η ετήσια αύξηση της ζωικής παραγωγής από τις υδατοκαλλιεργείες υπερέβαινε κατά 5% την χερσαία παραγωγή τροφής (Duarte et al., 2009). Τα τελευταία πενήντα χρόνια, η αύξηση της προσφοράς ψαριών υπερέβη την παγκόσμια αύξηση του πληθυσμού και συνεχίζει να αποκτά σημαντικό ρόλο ως πηγή πρωτεϊνών

και άλλων βασικών θρεπτικών συστατικών (FAO, 2014). Η υδατοκαλλιέργεια συνεχίζει να αυξάνει αναλογικά τη συνεισφορά της στη ζήτηση ζωικών πρωτεϊνών, επιτυγχάνοντας ποσοστά πάνω από το 50% του συνόλου (σε όγκο) των διατροφικών προϊόντων από υδάτινα συστήματα. Λόγω των περιορισμένων διαθέσιμων εδαφών και νερού στην ξηρά, οι μεγαλύτερες αυξήσεις της παραγωγής μπορούν να πραγματοποιηθούν μέσω του θαλάσσιου περιβάλλοντος (χρησιμοποιείται μόνο ένα μικρό ποσοστό πιθανών περιοχών), όπου η υδατοκαλλιέργεια θα συνεχίσει να συνεισφέρει στην κάλυψη της παγκόσμιας ζήτησης ζωικών πρωτεϊνών προς κατανάλωση. Στο πλαίσιο της μελλοντικής αξίας και της ανάγκης για εντατικά αλλά και για καταξιωμένα συστήματα αγροτικής παραγωγής ζώων (NRC, 2015), η υδατοκαλλιέργεια είναι έτοιμη να προσφέρει την πιο αποτελεσματική πηγή βιώσιμων πρακτικών διαχείρισης, όπως αυτές καθορίζονται από τα περιβαλλοντικά, οικονομικά και κοινωνιολογικά στοιχεία.

Βασική συνιστώσα της εκπλήρωσης των κριτηρίων περιβαλλοντικής και οικονομικής βιωσιμότητας για την υδατοκαλλιέργεια γλυκών, υφάλμυρων και θαλάσσιων υδάτων είναι η γνώση των

απαιτήσεων σε θρεπτικές ουσίες σε συνδυασμό με την αποτελεσματική παραγωγή και διαχείριση των τροφών και των πρακτικών σίτισης. Στην πλειονότητα των επιχειρήσεων υδατοκαλλιέργειας, το κόστος της τροφής είναι το κύριο λειτουργικό (μεταβλητό) κόστος. Ως εκ τούτου, η γνώση της διατροφής των εκτρεφόμενων οργανισμών, συμπεριλαμβανομένων των αναγκών τους σε θρεπτικά συστατικά, της ευπεψίας των συστατικών των ζωοτροφών, της έντασης και συχνότητας της σίτισης, είναι κρίσιμη για την επιτυχία. Καθώς τα συστήματα παραγωγής συνεχίζουν να εφαρμόζουν πρακτικές βιώσιμης διαχείρισης, η γνώση και η κατανόηση των διατροφικών απαιτήσεων και της φυσιολογίας της θρέψης των εκτρεφόμενων υδρόβιων ειδών είναι καθοριστικής σημασίας για την παραγωγή ζωοτροφών που είναι βιώσιμες από περιβαλλοντική και οικονομική άποψη, ανάλογα με το σύστημα καλλιέργειας. Αναγνωρίζοντας αυτή την ανάγκη, το Εθνικό Συμβούλιο Έρευνας των ΗΠΑ (NRC, National Research Council) δημοσίευσε ειδικές συστάσεις για την έρευνα και συμπληρωματικές ερευνητικές προτεραιότητες στη διατροφή για την κάλυψη των απαιτούμενων επιπέδων παραγωγής ζωικών πρωτεϊνών και της παγκόσμιας επισιτιστικής ασφάλειας δεδομένης της αύξησης του παγκόσμιου πληθυσμού (NRC, 2015). Αυτή η πηγή καθοδήγησης βασίζεται στο τεκμήριο ότι τα συστήματα παραγωγής σε γλυκά νερά, στη θάλασσα και στις εκβολές ποταμών θα πρέπει να γίνουν πιο εντατικά και, στις περισσότερες περιπτώσεις, να απαιτούν ολοκληρωμένη σίτιση.

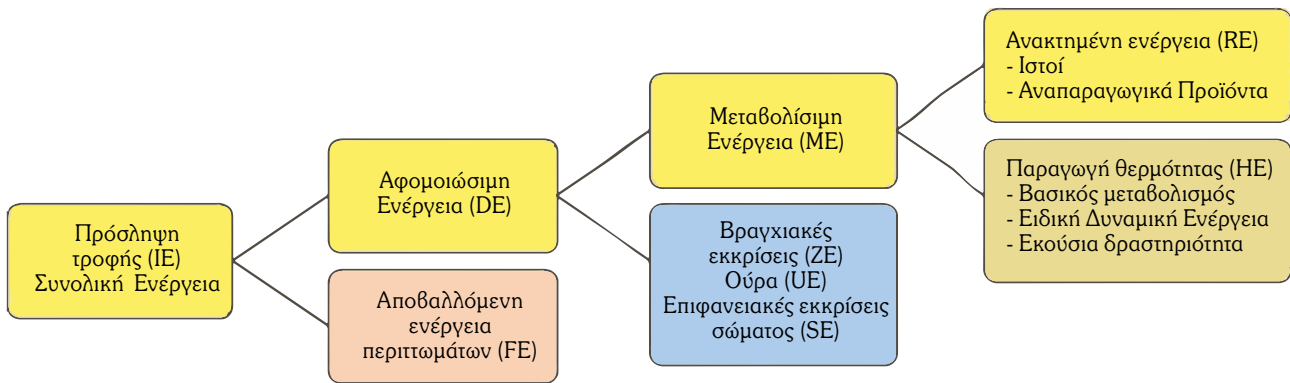
Το επίπεδο γνώσεων για τη διατροφή των υδρόβιων ζώων είναι σημαντικά χαμηλότερο από αυτό των χερσαίων ειδών, όπως τα βοοειδή, οι χοίροι ή τα πουλερικά. Ωστόσο, κατά τη διάρκεια των τελευταίων τριών δεκαετιών, η γνώση της διατροφής για πολλά είδη ψαριών και καρκινοειδών έχει αυξηθεί σημαντικά, όπως αποδεικνύεται από τον αριθμό των ερευνητικών δημοσιεύσεων και επιστημονικών περιοδικών που αφορούν ειδικά ή τονίζουν την παραγωγή υδρόβιων οργανισμών. Ένα μεγάλο μέρος της γνώσης για τη διατροφή των υδρόβιων ζώων βασίζεται κυρίως σε είδη ψαριών, αλλά οι πληροφορίες σχετικά με τα καρκινοειδή, τα μαλάκια και τα εχινόδερμα αυξάνονται σταδιακά. Τα τελευταία 50 χρόνια έχουν γίνει δύο αξιοσημείωτες προσπάθειες για τη σύνθεση της υπάρ-

χουσας γνώσης σχετικά με τις ανάγκες σε θρεπτικά συστατικά των ψαριών και των γαριδών (NRC, 1993, 2011). Δύο άλλες δημοσιεύσεις παρέχουν μια συλλογή γνώσεων σχετικά με τις απαιτήσεις θρεπτικών ουσιών, τη παρασκευή των τροφών και τη σίτιση των ψαριών (Webster and Lim, 2002) και των καρκινοειδών (D'Abramo et al., 1997).

8.2 Κατανάλωση και Κατανομή της Ενέργειας (Βιοενεργητική)

Ο καταμερισμός της ενέργειας που μεταφέρεται μέσω ενός οργανισμού (**Εικόνα 8.1**) περιγράφεται συχνά μέσω ενός διαγράμματος βιοενέργειας που δείχνει τη ροή της ενέργειας με τη μορφή απωλειών και με μέρος της ενέργειας που τελικά παραμένει για την αύξηση. Σε μια επιχείρηση υδατοκαλλιέργειας, η επίτευξη του χαμηλότερου κόστους ανά μονάδα παραγόμενης πρωτεΐνης επιτυγχάνεται μέσω καταμερισμού της μεγαλύτερης ποσότητας καταναλώσιμης ενέργειας στην αύξηση. Η ενέργεια δεν είναι κάποια θρεπτική ουσία αλλά είναι απαραίτητη για την εκτέλεση της φυσιολογικής λειτουργίας και για την αύξηση του οργανισμού. Πηγή ενέργειας είναι η λήψη τροφής (IE, Ingested Food) και οι μονάδες ενέργειας εκφράζονται σε joules (J), ή παραδοσιακά σε θερμίδες (calories). Η ενέργεια που είναι δυνητικά διαθέσιμη σε έναν οργανισμό μέσω της κατανάλωσης τροφής βρίσκεται σε τρία βιολογικά μακρομόρια: πρωτεΐνες, υδατάνθρακες και λιπίδια που περιέχουν 23 kJ, 17 kJ και 38 kJ αντίστοιχα ανά γραμμάριο προσλαμβανόμενης τροφής. Αυτές ονομάζονται φυσιολογικές τιμές καυσίμου. Μετά την κατανάλωση της τροφής (ενέργεια), κάποια ποσότητά της χάνεται με την αποβολή των περιττωμάτων (FE, Faecal Energy), επειδή οι οργανισμοί δεν έχουν την ικανότητα να αφομοιώσουν όλα τα μακροθρεπτικά συστατικά που καταναλώνονται. Κάποια από την ενέργεια που απομένει, που ονομάζεται μεταβολίσιμη ενέργεια (ME, Metabolisable Energy), χρησιμοποιείται για την εκτέλεση τριών ενεργειακά απαιτητικών φυσιολογικών δραστηριοτήτων. Οι δραστηριότητες αυτές περιλαμβάνουν:

- το βασικό μεταβολισμό
- την αύξηση της θερμότητας (HE, Heat Increment)



Εικόνα 8.1 Βιοενεργητικό διάγραμμα των διαδρομών της ενέργειας με τις απώλειες και χρήσεις ενέργειας που προέρχονται από την κατανάλωση τροφής (θρεπτικά συστατικά).

- την εκούσια δραστηριότητα (VE, Voluntary Activity).

Ο βασικός μεταβολισμός, υπολογιζόμενος ως βασικός μεταβολικός ρυθμός (BMR, Basal Metabolic Rate), είναι η ενέργεια που χρησιμοποιείται για τη διατήρηση των βασικών φυσιολογικών δραστηριοτήτων. Η αύξηση της θερμότητας (HE, Heat Increment) είναι η ενέργεια που καταναλώνεται υπερβαίνοντας το βασικό μεταβολικό ρυθμό (BMR) για να ικανοποιήσει τις ανάγκες της πέψης και του μοριακού μετασχηματισμού των καταναλωθέντων μακροθρεπτικών συστατικών. Η ειδική δυναμική ενέργεια (SDA, Specific Dynamic Action) είναι ένας άλλος όρος για την αύξηση της θερμότητας (HE) που χρησιμοποιείται σε διαγράμματα καταμερισμού της ενέργειας. Κάποια από την ενέργεια που καταναλώνεται μπορεί τελικά να χαθεί με τη μορφή εκκρίσεων από τα βράγχια (ZE), από την επιφάνεια του σώματος (SE), όπως και ενέργεια που χρησιμοποιείται για την παραγωγή προστατευτικού στρώματος βλέννας ή για την παραγωγή των ούρων (UE). Το υπόλοιπο της καταναλωθείσας ενέργειας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για εκούσια δραστηριότητα (VE) όπως κολύμβηση, μεταναστεύσεις στη στήλη του νερού και θήρευση.

Όποια και αν είναι η ποσότητα της ενέργειας που παραμένει μετά την απώλεια της εκούσιας δραστηριότητας, συνήθως ονομάζεται ανακτημένη ενέργεια (RE, Recovered Energy) που χρησιμοποιείται στην παραγωγή ζωικής βιομάζας (αύξηση) ή για την ανάπτυξη των αναπαραγωγικών οργάνων και των γαμετών.

Εάν ο στόχος είναι η αύξηση, τότε, η ανακτημέ-

νη ενέργεια (RE) θα μετατραπεί ιδανικά σε πρωτεΐνη ιστού. Σύμφωνα με αυτό το σενάριο, οι ενεργειακές ανάγκες εκτός από αυτές της ανακτημένης ενέργειας (RE) θα μπορούσαν ιδανικά να ικανοποιηθούν μέσω του μεταβολισμού των υδατανθράκων και των λιπιδίων για να χρησιμεύσουν ως πηγές ενέργειας για το βασικό μεταβολικό ρυθμό (BMR), την ειδική δυναμική ενέργεια (SDA) και την εκούσια δραστηριότητα (VE), ώστε να μεγιστοποιηθεί έτσι η διοχέτευση της πρωτεϊνικής ενέργειας στην αύξηση. Αυτή η ιδέα, που βασίζεται στην αποτελεσματική χρήση πρωτεϊνών που καταναλώνονται για αύξηση παρά ως πηγή ενέργειας, συχνά αποκαλείται "πρωτεϊνική εφεδρεία" (protein sparing). Ως αντιστοιχία, στη βιβλιογραφία χρησιμοποιείται ο όρος "οικολογική αποδοτικότητα" για να ορίσει τον λόγο RE/IE, δηλαδή την ποσότητα ενέργειας που μεταφέρεται από ένα τροφικό επίπεδο στο επόμενο υψηλότερο τροφικό επίπεδο διαιρούμενο με την ποσότητα ενέργειας που καταναλώνεται $\times 100$. Οι οικολογικές αποδόσεις είναι περίπου της τάξης του 10%, αλλά μπορεί να κυμαίνονται από 6% έως 37%.

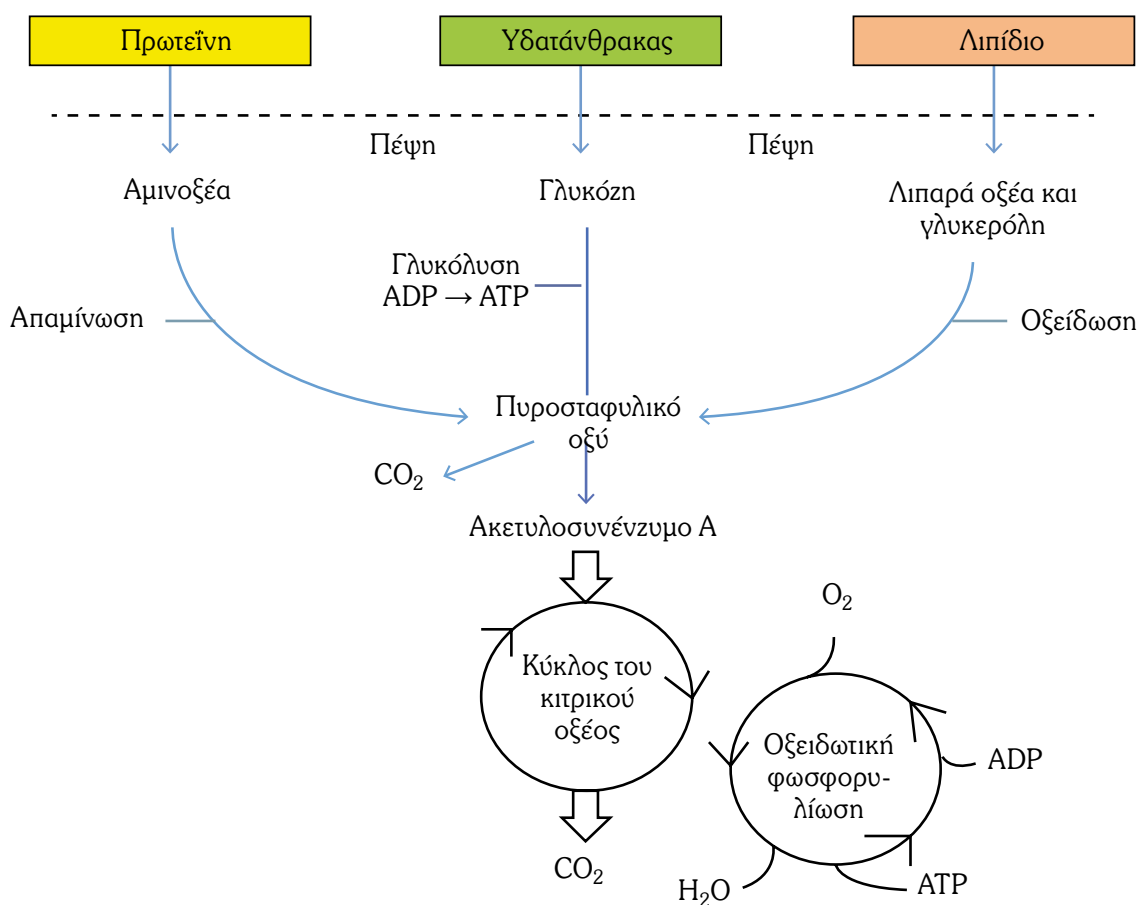
Η συνολική ενέργεια που καταναλώνεται από έναν υδρόβιο οργανισμό στη μονάδα του χρόνου μπορεί να ποικίλει ανάλογα με το μέγεθός του, το ενεργειακό περιεχόμενο της τροφής και τη θερμοκρασία του νερού. Η ποσότητα αυτής της ενέργειας που είναι τελικά διαθέσιμη για αύξηση, εξαρτάται από τον επιμερισμό της ενέργειας που καταναλώνεται για την κάλυψη των φυσιολογικών αναγκών του οργανισμού η οποία καθορίζεται από πολλές μεταβλητές στο περιβάλλον στο οποίο ζει. Για παράδειγμα, σε υψηλότερες θερμοκρασίες, οι απαιτήσεις για το βασικό μεταβολικό ρυθ-

μό (BMR) και την ειδική δυναμική ενέργεια (SDA) αυξάνουν, αλλά ο ρυθμός κατανάλωσης τροφής (ενέργειας) θα αυξηθεί αντίστοιχα και θα αντισταθμίσει επαρκώς τις ανάγκες αυτές. Ως εκ τούτου, υπάρχει ένα εύρος θερμοκρασίας για οργανισμούς όπου η ανάπτυξη αυξάνεται με τη θερμοκρασία μέχρι του σημείου όπου οι μεταβολικές ανάγκες να μην αφήνουν καμία διαθέσιμη ενέργεια για αύξηση. Έτσι, οι βέλτιστες συνθήκες καλλιέργειας για τους υδρόβιους οργανισμούς χαρακτηρίζονται από την αποδοτικότερη χρήση της ενέργειας σε συνδυασμό με την ικανοποίηση των θρεπτικών απαιτήσεων ώστε να επιτυγχάνεται "βέλτιστη" σωματική αύξηση υπό τις υπάρχουσες συνθήκες καλλιέργειας. Οι υψηλότερες ενεργειακές απαιτήσεις για το βασικό μεταβολικό ρυθμό (BMR) και η αύξηση της πρόσληψης τροφής που προκαλείται από την αύξηση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος θα αντισταθμιστούν γενικά από την αύξηση της λήψης τροφής (IE). Το οξυγόνο είναι απαραίτητο για την οξείδωση και την

ενέργεια που απελευθερώνεται από τα μακροθρεπτικά συστατικά που καταναλώνονται (Εικόνα 8.2). Έτσι, η ικανότητα του υδρόβιου οργανισμού να μετατρέπει τα μακροθρεπτικά συστατικά της τροφής του σε ενέργεια επηρεάζεται από τη διαθεσιμότητα του οξυγόνου που επηρεάζεται από τη συγκέντρωσή του στο νερό και την ικανότητα πρόσληψής του από τον υδρόβιο οργανισμό.

8.3 Η Σχέση Μεταξύ Αύξησης και Κατανάλωσης Τροφής

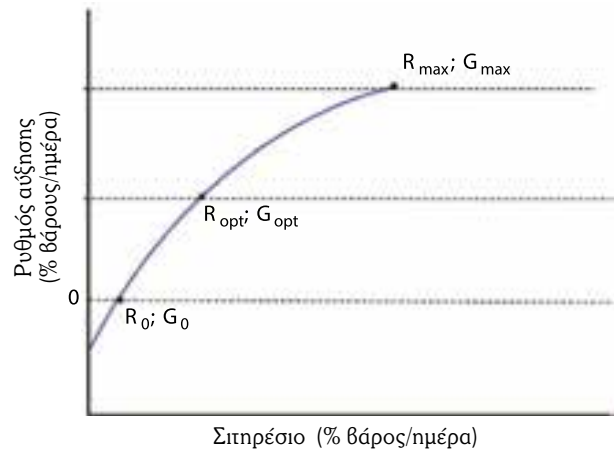
Τρεις κύριοι παράγοντες, η θερμοκρασία, το μέγεθος των οργανισμών και το σιτηρέσιο επηρεάζουν την αύξηση των ψαριών. Το σιτηρέσιο, δηλαδή η ποσότητα της τροφής που καταναλώνεται, εκφράζεται γενικά ως ποσοστό του σωματικού βάρους ανά μονάδα χρόνου και είναι η μόνη "κινητήρια δύναμη". Ως εκ τούτου, η αύξηση περιορίζεται από οποιονδήποτε αβιοτικό ή βιοτικό παράγοντα,



Εικόνα 8.2 Διαδρομές στην παραγωγή ενέργειας που προέρχεται από την πέψη πρωτεϊνών, λιπιδίων και υδατανθράκων μέσω της παραγωγής πυροσταφυλικού οξέως από διαφορετικές διεργασίες.

ή μια σειρά από αυτούς τους παράγοντες που περιορίζουν το ρυθμό κατανάλωσης της τροφής. Ως θερμοκρασία ορίζεται ένας παράγοντας ελέγχου του ρυθμού, καθώς η ποσότητα της τροφής που καταναλώνεται γενικά αυξάνει με την αύξηση της θερμοκρασίας. Το βάρος, που συνήθως σχετίζεται με το μέγεθος και/ή την ηλικία, ορίζεται ως παράγοντας “κλιμάκωσης”, διότι το μέγεθος, σε συνδυασμό με τη θερμοκρασία, επηρεάζει την συνολική ποσότητα τροφής (ενέργειας) που καταναλώνεται. Οι καμπύλες αύξηση/χορηγούμενο σιτηρέσιο (G/R , Growth/Ration) χρησιμοποιούνται συχνά για να περιγράψουν τη σχέση μεταξύ αύξησης και χορηγούμενου σιτηρεσίου που επηρεάζονται τόσο από αβιοτικούς όσο και από βιοτικούς παράγοντες.

Κάτω από μια σειρά περιγραφόμενων συνθηκών καλλιέργειας και ανάλογα με το μέγεθος/ηλικία του οργανισμού, κάποια σιτηρέσια θα έχουν ως αποτέλεσμα διαφορετικές αποκρίσεις αύξησης. Ορισμένα σιτηρέσια θα οδηγήσουν σε αρνητικό ρυθμό αύξησης (R_0), σε μηδενική αύξηση (R_{maint}) όταν όλη η ενέργεια που παράγεται από το σιτηρέσιο χρησιμοποιείται αποκλειστικά για την κάλυψη των μεταβολικών αναγκών, στη βέλτιστη αύξηση (R_{opt}), όπου ο λόγος, δηλαδή η κλίση της αύξησης προς το σιτηρέσιο είναι μέγιστη, και σε μέγιστη αύξηση (R_{max}) (Εικόνα 8.3). Η αφαίρεση του R_{maint} από το R_{max} αποδίδει αυτό που ονομάζεται “εύρος αύξησης” (scope for growth) κάτω από τις παρεχόμενες συνθήκες για την αύξηση. Το “εύρος αύξησης” είναι εκείνο το ποσό του σιτηρεσίου (ενέργειας) που μπορεί ενδεχομένως να εκδηλωθεί στην αύξηση. Το “εύρος αύξησης” ποικίλλει ανάλογα με το επίπεδο του σιτηρεσίου και άλλους παράγοντες όπως η θερμοκρασία, η ηλικία, οι τροφές που χορηγούνται στην υδατοκαλλιέργεια (π.χ. η ποιότητα της τροφής που παρέχεται), η αλατότητα, το φως (φωτοπερίοδος ή ένταση), η συγκέντρωση του οξυγόνου και οι ρυθμοί πρόσληψης της τροφής. Ο αναλογικός διαχωρισμός του σιτηρεσίου σε περισσότερες από μία φορές (ταΐσματα) ανά ημέρα και η πυκνότητα της βιομάζας των εκτρεφόμενων οργανισμών μπορεί επίσης να αλλάξει το “εύρος αύξησης”. Αυτή η σειρά φυσικών, βιολογικών και συμπεριφορικών παραγόντων επηρεάζει τόσο την ποσότητα της τροφής που καταναλώνεται όσο και την ποσότητα της ενέργειας



Εικόνα 8.3 Τυπική καμπύλη αύξησης που δείχνει τη μηδενική αύξηση (G_0), τη βέλτιστη αύξηση (G_{opt}) και τη μέγιστη αύξηση (G_{max}) και το αντίστοιχο σιτηρέσιο. Οποιοδήποτε σιτηρέσιο που είναι κάτω από τη γραμμή μηδενικής αύξησης θα οδηγήσει σε απώλεια βάρους.

που απαιτείται για να ανταποκριθεί στις μεταβολικές ανάγκες που καθορίζουν το “εύρος αύξησης” που μπορεί να πραγματοποιηθεί.

Έτσι, ένα σημαντικό μέλημα για τη διατροφή και τη θρέψη των εκτρεφόμενων υδρόβιων οργανισμών δεν είναι μόνο το σιτηρέσιο αλλά και η σύνθεση (θρεπτική ποιότητα) της χορηγούμενης τροφής. Για παράδειγμα, τα χαμηλά επίπεδα πρωτεϊνών, η ανεπαρκής πέψη της τροφής, κλπ. και η ανάγκη για θρεπτικά συστατικά που ικανοποιούνται οριακά, μπορούν να αλλάξουν το ποσό της ενέργειας που είναι τελικά διαθέσιμο για την αύξηση. Η πλειονότητα των εμπορικών καλλιεργειών έχει ως στόχο τη μεγιστοποίηση του “εύρους αύξησης”, δηλαδή παρέχουν το σιτηρέσιο που θα μεγιστοποιήσει την αύξηση, ώστε να ελαχιστοποιηθεί ο χρόνος παραγωγής του προϊόντος. Οι προσπάθειες για την παροχή ενός σιτηρεσίου που θα επιτύχει τη βέλτιστη αύξηση υπό τις υπάρχουσες συνθήκες καλλιέργειας, το επίπεδο με το οποίο η σίτιση θα χρησιμοποιηθεί πιο αποτελεσματικά, δεν θα πρέπει να οδηγούν σε υψηλότερο κύκλο εργασιών που θα ικανοποιήσουν το επιθυμητό μέγεθος της αγοράς. Ωστόσο, θα μειώσουν το κόστος ανά μονάδα προϊόντος (πρωτεΐνης) που παράγεται, κάτι που αποτελεί ένα παράδειγμα οικονομικής βιωσιμότητας. Η αποτελεσματικότητα του συντελεστή μετατρεψιμότητας της τροφής (FCR, Feed Conversion Rate) είναι ένα μέτρο της

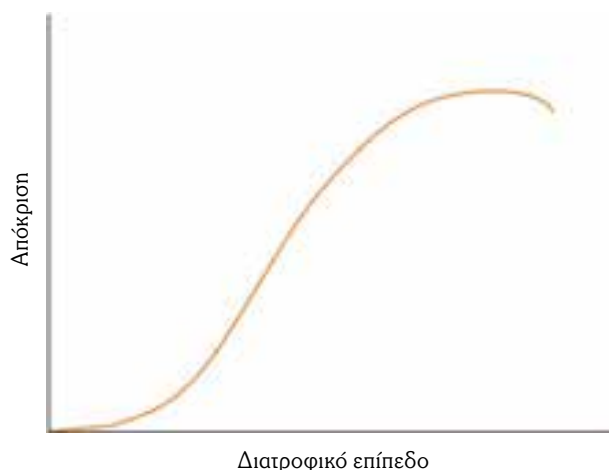
ποσότητας της παρεχόμενης τροφής διαιρούμενης με την αύξησης του βάρους κατά τη διάρκεια ενός καθορισμένου χρόνου χορήγησης τροφής και είναι χαμηλότερη όταν η απόδοση της τροφής, το αντίστροφο του δείκτη $FCR \times 100$, είναι υψηλότερη. Για να μετρηθεί η ανταπόκριση στην αποτελεσματικότητα της τροφής και του σχετικού σιτηρεσίου, τόσο οι ερευνητές στη διατροφή των υδρόβιων ζώων όσο και οι διαχειριστές των καλλιεργειών χρησιμοποιούν συχνά τον δείκτη FCR.

8.4 Απαιτήσεις και Μεταβολικές Λειτουργίες Θρεπτικών Ουσιών

Η γνώση των θρεπτικών απαιτήσεων για οργανισμούς που έχουν βρεθεί στο επίκεντρο των επιχειρήσεων υδατοκαλλιέργειας είναι απαραίτητη για την επίτευξη οικονομικής επιτυχίας. Το μεγαλύτερο μέρος της γνώσης σχετικά με τις απαιτήσεις σε θρεπτικά συστατικά περιορίζεται σε ένα μικρό μόνο σύνολο ειδών ψαριών και καρκινοειδών. Ωστόσο, εκατοντάδες είδη καλλιεργούνται ή έχουν αποτελέσει αντικείμενο αξιολόγησης ως νέα είδη. Από τα θαλάσσια είδη, 449 έχουν αποτελέσει αντικείμενο κάποιου τύπου εκτροφής.

Η έρευνα σχετικά με τις ανάγκες σε θρεπτικά συστατικά βασίζεται συνήθως στη χρήση καθαρών σκευασμάτων τροφών, που περιέχουν καθορισμένα χημικά συστατικά. Η απόκριση σε διαβαθμισμένα επίπεδα θρεπτικών ουσιών σε πειραματική διατροφή ελέγχου, αξιολογείται συνήθως από την αύξηση, από άλλες φυσιολογικές αποκρίσεις και πιθανώς από κλινικές εκδηλώσεις, όπως αυτά καταγράφονται σε μία τυπική καμπύλη απόκρισης δόσης (Εικόνα 8.4). Αυτή η καμπύλη ουσιαστικά αντιπροσωπεύει μια αυξανόμενη αναλογία του πληθυσμού που ανταποκρίνεται σε μια δόση (διαιτητικό επίπεδο) καθώς η δόση αυξάνεται. Επομένως, κάθε σημείο στην καμπύλη είναι μια παρατήρηση για το ποσοστό του πληθυσμού που ανταποκρίνεται στη δόση.

Έχει προταθεί ένας αριθμός μεθόδων εκτίμησης των θρεπτικών απαιτήσεων, ωστόσο, η ευρεία μεταβλητότητα στις αναφερόμενες θρεπτικές απαιτήσεις είναι πιθανώς αποτέλεσμα των ελλείψεων στον πειραματικό σχεδιασμό ή στην επιλο-



Εικόνα 8.4 Τυπική καμπύλη απόκρισης δόσης που δημιουργήθηκε με τη μέτρηση των αποκρίσεων (αύξηση βάρους, επιβίωση, ενζυμική δραστηριότητα, κ.λπ.) σε διάφορα διατροφικά επίπεδα.

γή του μοντέλου για την εκτίμηση της απαίτησης. Τα ποικίλα αποτελέσματα που προκύπτουν από τις διαφορές στην προσέγγιση αναλύθηκαν από τον Shearer (2000), ο οποίος παρείχε ένα "σύνολο πρωτοκόλλων" για την επίτευξη μεγαλύτερης ακρίβειας και συνεπώς συγκριτικής αξίας.

Σε αντίθεση με τα ψάρια, οι βενθικοί οργανισμοί όπως τα καρκινοειδή, τα μαλάκια και τα εχινόδερμα συνήθως δεν καταναλώνουν γρήγορα πειραματικές τροφές. Αντίθετα, οι οργανισμοί αυτοί τείνουν να τις επεξεργάζονται ή να τις διασπούν, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά των εξαρτημάτων που διαθέτουν για τη λήψη τροφής. Έτσι, αντιμετωπίζεται συχνά μια δυσκολία στην επίτευξη μιας πραγματικής εκτίμησης των απαιτήσεων των υδατοδιαλυτών θρεπτικών ουσιών λόγω του ότι σε ορισμένες περιπτώσεις, υπάρχει ταχεία απώλεια που προκαλείται από τη διαφορική έκπλυση (διάλυση) στο νερό. Ως αποτέλεσμα, οι απαιτήσεις υδατοδιαλυτών θρεπτικών ουσιών, όπως κάποιων βιταμινών, υπερεκτιμούνται συχνά για αυτά τα είδη. Σε αντίθεση με τα χερσαία ζώα, οι ανάγκες σε θρεπτικά συστατικά των υδατοκαλλιεργούμενων ειδών εκφράζονται ως ποσοστό επί τοις εκατό του ξηρού βάρους της τροφής και όχι ως mg/g/ημέρα. Οι ανάγκες σε θρεπτικά συστατικά μπορούν να εκφράζονται σε g/kg τροφής (μακροθρεπτικά, όπως πρωτεΐνες, υδατάνθρακες και λιπίδια) ή σε mg/kg τροφής (μικροθρεπτικά συστατικά, όπως βιταμίνες και ανόργανα άλατα). Η γνώση των συγκεκρι-

μένων ειδοειδικών θρεπτικών απαιτήσεων εφαρμόζεται τελικά στη διαμόρφωση διατροφών που αποτελούνται από τροφές που είναι άμεσα διαθέσιμες, ιδιαίτερα εύπεπτες και συλλογικά ικανοποιούν τις απαιτήσεις των οργανισμών.

8.4.1 Πρωτεΐνη

Αν και στη βιβλιογραφία υπάρχουν περιγραφές των πρωτεϊνικών απαιτήσεων των υδατοκαλλιεργούμενων οργανισμών ως ποσοστό της τροφής τους, δεν υπάρχει κάποια συγκεκριμένη απαίτηση σε πρωτεΐνες. Αυτή βασίζεται πιο πολύ στην συνδυαστική ικανοποίηση των απαιτήσεων για τα απαραίτητα αμινοξέα. Υπάρχουν 20 διαφορετικά αμινοξέα (Πίνακας 8.1).

- Δέκα αμινοξέα χαρακτηρίζονται ως απαραίτητα επειδή τα ζώα είτε δεν μπορούν να τα συνθέσουν καθόλου, είτε δεν μπορούν να τα συνθέσουν με επαρκή ρυθμό για να ικανοποιήσουν τη μεταβολική απαίτηση, επομένως υπάρχει εξάρτηση από την παροχή τροφής ώστε να ικανοποιηθούν οι αντίστοιχες απαιτήσεις για αυτά τα αμινοξέα.
- Άλλα 10 αμινοξέα ονομάζονται μη απαραίτητα ή επουσιώδη επειδή οι οργανισμοί έχουν την ικανότητα να τα συνθέτουν, συχνά από τα απαραίτητα αμινοξέα.

Η ανάγκη για ένα απαραίτητο αμινοξύ μπορεί να

επηρεαστεί από αλληλεπιδράσεις με άλλα απαραίτητα αμινοξέα, με μη απαραίτητα αμινοξέα, ή ακόμη και με μη πρωτεϊνικά θρεπτικά συστατικά. Για παράδειγμα, η πιθανή διατροφική ανεπάρκεια ενός μη απαραίτητου αμινοξέος όπως η κυστεΐνη μπορεί να αντισταθμιστεί μέσω της σύνθεσής της από μεθειονίνη, που είναι ένα απαραίτητο αμινοξύ. Υπό αυτές τις συνθήκες, η διατροφική απαίτηση για μεθειονίνη θα είναι υψηλότερη. Μία παρόμοια σχέση υπάρχει μεταξύ του βασικού αμινοξέος φαινυλαλανίνη και του μη απαραίτητου αμινοξέος, τυροσίνη.

Στη βιβλιογραφία, η ταυρίνη συχνά ονομάζεται αμινοξύ, αλλά στην πραγματικότητα είναι ένα οργανικό οξύ που στερείται της καρβοξυλομάδας που είναι χαρακτηριστική όλων των αμινοξέων. Βάσει των αποτελεσμάτων αρκετών δημοσιευμένων ερευνών, υπάρχουν ορισμένα στοιχεία που υποδηλώνουν ότι η ταυρίνη μπορεί να απαιτείται σε κάποια προνυμφικά στάδια ή νεαρά άτομα ιχθύων και γαριδών (NRC, 2011). Για παράδειγμα, βρέθηκε μια διατροφική απαίτηση 1,09% ταυρίνης για τα νεαρά κίτρινα γατόψαρα, *Pelteobagrus fulvidraco*, στα οποία παρέχονταν τροφή που περιείχε μόνο φυτική πρωτεΐνη. Απαιτείται συμπληρωματική έρευνα για να καθοριστεί εάν οι διαφορές στις διατροφικές ανάγκες για ταυρίνη μπορεί να σχετίζονται με το ρυθμό σύνθεσης από άλλο αμινοξύ, όπως η κυστεΐνη ή/και τροφές που περιέχουν πρωτεΐνη που προέρχεται αποκλειστικά από φυτικές πηγές. Αυτές οι καταστάσεις μπορεί να περιπλέκονται περαιτέρω από διαφορικές απαιτήσεις που επηρεάζονται από συγκεκριμένες φυσιολογικές ανάγκες.

Οι απαιτήσεις σε πρωτεΐνες, εκφραζόμενες ως ποσοστό της τροφής, κυμαίνονται συνήθως από 12-25% για τα θηλαστικά και τα πτηνά, σε αντίθεση με τα ψάρια και τα καρκινοειδή, τα οποία απαιτούν υψηλότερα επίπεδα (35-55%). Αυτά τα δεδομένα υποδηλώνουν ότι η αποτελεσματικότητα της χρήσης πρωτεϊνών, που συνήθως ονομάζεται αναλογία πρωτεϊνικής αποτελεσματικότητας (PER, Protein Efficiency Ratio), η οποία εκφράζεται ως αύξηση του σωματικού βάρους ανά ποσότητα πρωτεΐνης που καταναλώνεται x 100, είναι φαινομενικά πολύ χαμηλότερη σε θηλαστικά και πτηνά από ότι στους υδρόβιους οργανισμούς. Ωστόσο, αυτές οι εκατοστιαίες απαιτήσεις που χρησιμο-

Πίνακας 8.1 Απαραίτητα και μη απαραίτητα (επουσιώδη) αμινοξέα.

Απαραίτητα Αμινοξέα (EAAs)	Επουσιώδη Αμινοξέα (NEAAs)
Αργινίνη (Arg)	Αλανίνη (Ala)
Ιστιδίνη (His)	Ασπαράγιν (Asn)
Ισολευκίνη (Ile)	Ασπαρτικό οξύ (Asp)
Λευκίνη (Leu)	Κυστεΐνη (Cys)
Λυσίνη (Lys)	Γλουταμικό οξύ (Glu)
Μεθειονίνη (Met)	Γλουταμίνη (Gln)
Φαινυλαλανίνη (Phe)	Γλυκίνη (Gly)
Θρεονίνη (Thr)	Προλίνη (Pro)
Τρυπτοφάνη (Trp)	Σερίνη (Ser)
Βαλίνη (Val)	Τυροσίνη (Tyr)

ποιούνται για τη διαμόρφωση της διατροφής αντιπροσωπεύουν μια απόλυτη απαίτηση. Εάν υπολογισθεί, για μια σειρά χερσαίων και υδρόβιων ζώων, η σχετική απαίτηση, εκφραζόμενη ως πρόσληψη πρωτεΐνης (στη μέγιστη αύξηση) ανά γραμμάριο σωματικού βάρους που καταναλώνεται ημερησίως, η διάμεσος των τιμών για κάθε ομάδα οργανισμών (ψαριών έναντι των χερσαίων σπονδυλωτών ειδών) είναι παρόμοια. Η εξήγηση αυτής της ομοιότητας είναι ότι τα ψάρια και άλλοι υδρόβιοι οργανισμοί δεν καταναλώνουν τόσο μεγάλη ποσότητα τροφής ώστε να ικανοποιούν τις πρωτεϊνικές απαιτήσεις τους (σε απαραίτητα αμινοξέα) όπως τα χερσαία σπονδυλωτά. Η μείωση στη συνολική κατανάλωση τροφής οφείλεται στις μικρότερες ενεργειακές απαιτήσεις, οι οποίες προέρχονται κυρίως από τα λιπίδια και τους υδατάνθρακες της τροφής. Λιγότερη διατροφική ενέργεια απαιτείται για την πραγματοποίηση μιας ποικιλίας φυσιολογικών και ηθολογικών δραστηριοτήτων. Οι υδρόβιοι οργανισμοί στις υδατοκαλλιέργειες είναι ποικιλόθερμοι και η προσλαμβανόμενη ενέργεια δεν είναι απαραίτητη για τη διατήρηση της θερμοκρασίας του σώματος. Το κύριο πρόβλημα αποβολής από τη διάσπαση της πρωτεΐνης είναι η αμμωνία, η οποία απαιτεί λιγότερη ενέργεια για την παραγωγή ουρίας και ουρικού οξέος (που αποβάλλονται από τα χερσαία ζώα). Η ανάγκη για ενέργεια για τη δραστηριότητα της κίνησης είναι πολύ μικρότερη για τους υδρόβιους οργανισμούς λόγω της φυσικής πλευστότητας που παρέχεται από το υδάτινο περιβάλλον. Ως εκ τούτου, λόγω των μειωμένων αναγκών της διατροφικής ενέργειας, απαιτείται να καταναλωθεί λιγότερη ποσότητα τροφής για την αύξηση του σωματικού βάρους σε οργανισμούς υδατοκαλλιέργειας, όπως αποτυπώνεται από τον συντελεστή μετατρεψιμότητας της τροφής (FCR) των ψαριών που έχει συγκριτικά μικρότερη τιμή από εκείνον για τα βοοειδή, τους χοίρους και τα πουλερικά. Έτσι, οι οργανισμοί στις υδατοκαλλιέργειες είναι πολύ πιο αποτελεσματικοί στη μετατροπή της τροφής που καταναλώνεται η οποία καταλήγει σε εναπόθεση πρωτεΐνης στους μύες κατά την αύξηση. Αυτή η αποτελεσματικότητα της μετατροπής αποτελεί καθοριστική πτυχή μιας εξαιρετικά βιώσιμης καλλιέργειας, παρέχοντας επιχειρήματα για την καλλιέργεια ψαριών, καρκινοειδών, εχινόδερμων και

μαλακίων ώστε να καλυφθούν παγκοσμίως οι μελλοντικές ανάγκες σε ζωικές πρωτεΐνες. Στα διάφορα είδη ψαριών, η ύπαρξη υψηλότερων απόλυτων πρωτεϊνικών απαιτήσεων (% στο σύνολο της τροφής) και η υψηλότερη πρόσληψη πρωτεϊνών (σχετική απαίτηση), είναι γενικά χαρακτηριστικά των σαρκοφάγων ειδών, λόγω της ανάγκης για πρωτεΐνη που θα χρησιμεύσει ως μερική πηγή ενέργειας. Η συγκριτικά χαμηλή ικανότητα πέψης των υδατανθράκων της τροφής από τα σαρκοφάγα ψάρια, περιορίζει την αποτελεσματική χρήση αυτού του μακροθρεπτικού συστατικού ως πηγή διατροφικής ενέργειας.

Για ορισμένα είδη έχουν καθοριστεί οι απαιτήσεις σε αμινοξέα. Για τις περιπτώσεις αυτές, είναι σαφές ότι υπάρχει καλή συσχέτιση μεταξύ των επιπέδων των απαραίτητων αμινοξέων στη παρεχόμενη τροφή και εκείνων στους ιστούς, όπου και αποτίθεται το μεγαλύτερο μέρος της διαιτητικής πρωτεΐνης. Αυτή η συσχέτιση έχει οδηγήσει στην εμφάνιση της έννοιας της Ιδανικής Πρωτεΐνης, δηλαδή της ιδανικής διατροφικής πρωτεΐνης που θα παρείχε τη σωστή αναλογική σχέση (ισορροπία) των απαραίτητων αμινοξέων, ώστε η πρωτεΐνη στην τροφή να χρησιμοποιείται όσο το δυνατόν πιο αποτελεσματικά. Η υψηλή συσχέτιση των αναλογικών σχέσεων μεταξύ των απαραίτητων αμινοξέων στην τροφή και τους ιστούς μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση των διατροφικών απαιτήσεων για άλλα αμινοξέα. Εάν προσδιοριστεί η απαίτηση για λυσίνη και αυτή είναι της τάξεως του 100%, τότε οι απαιτήσεις για τα άλλα απαραίτητα αμινοξέα μπορούν να εκφράζονται ως ποσοστό επί της λυσίνης. Η λυσίνη επιλέγεται επειδή δεν έχει άλλο μεταβολικό ρόλο από το να συμπεριλαμβάνεται στην εναπόθεση των πρωτεϊνών. Επιπλέον, η λυσίνη, γενικά, αναγνωρίζεται ως το πρώτο ή τουλάχιστον το δεύτερο περιοριστικό απαραίτητο αμινοξύ στις τυπικές διαμορφώσεις σιτηρεσίου. Ως εκ τούτου, η σύσταση μιας τροφής με βάση την ικανοποίηση της απαίτησης σε λυσίνη βοηθά να διασφαλιστεί ότι θα παρασχεθούν τα απαιτούμενα επίπεδα και άλλων απαραίτητων αμινοξέων. Σε αντίθεση με τη λυσίνη, ορισμένα απαραίτητα αμινοξέα δεν χρησιμοποιούνται αποκλειστικά για την απόθεση πρωτεϊνών και έχουν και άλλους μεταβολικούς ρόλους. Σε αυτές τις περιπτώσεις, οι τιμές που λαμβάνονται ως ποσοστό

επί της λυσίνης θα αποτελούσαν υποεκτιμήσεις. Ένα καλό παράδειγμα είναι η απαίτηση των καρβονοειδών σε αργινίνη, επειδή η αργινίνη αποτελεί μέρος του αργινο-φωσφορικού μορίου που σχετίζεται με τη σύσπαση των μυών των καρβονοειδών. Όταν οι τροφές παρασκευάζονται για να πληρούν τις απαιτήσεις σε απαραίτητα αμινοξέα, το ποσοστό πεπτικότητας των συστατικών που περιέχουν απαραίτητα αμινοξέα είναι μικρότερο από 100%. Ως εκ τούτου, τα δεδομένα σχετικά με την πεπτικότητα καθορίζουν τις αποφάσεις αναφορικά με τον τρόπο παροχής των συμπληρωματικών ποσοτήτων που απαιτούνται για την επίτευξη των αναγκαίων επιπέδων στη διατροφή. Παρόλα αυτά, η ιδέα μιας Ιδανικής Πρωτεΐνης, βασισμένης στη σχέση της λυσίνης με άλλα απαραίτητα αμινοξέα στους ιστούς, έχει πρακτική αξία στην προσπάθεια επιλογής των συστατικών για την σύσταση χρήσιμων τροφών.

8.4.2 Λιπίδια

Τα λιπίδια είναι οργανικά μόρια αδιάλυτα στο νερό που περιέχουν το υψηλότερο ποσό ενέργειας ανά γραμμάριο μεταξύ των μακροθρεπτικών συστατικών. Εκτός από πηγή ενέργειας, τα διαιτητικά λιπίδια χρησιμοποιούνται ακόμη:

- ως δομικά συστατικά των κυτταρικών μεμβρανών
- για μεταφορά μηνυμάτων ως μέρος των λιποπρωτεϊνικών μορίων
- για να ρυθμίζουν μεταβολικές διεργασίες ως μόρια βιταμινών, ορμονών και προσταγλανδινών
- για την αναπαραγωγή.

Τα λιπίδια του σώματος μπορούν επίσης να προσδώσουν μεγαλύτερη πλευστότητα και να βοηθήσουν στον αποκλεισμό παθογόνων παραγόντων, με το να αποτελούν μέρος μιας προστατευτικής επίστρωσης της εξωτερικής επιφάνειας πολλών υδρόβιων οργανισμών.

Υπάρχουν δύο μεγάλες κατηγορίες λιπιδίων, αυτά που μπορούν να υποστούν σαπωνοποίηση (που περιέχουν λιπαρά οξέα) και αυτά που δεν μπορούν να υποστούν σαπωνοποίηση (που δεν περιέχουν λιπαρά οξέα). Τα λιπαρά οξέα είναι μόρια με μεγάλη ανθρακική αλυσίδα που αποτελού-

νται από αλυσίδες άνθρακα μονού ή διπλού δεσμού που έχουν στο ένα άκρο μία καρβοξυλομάδα (COOH) και στο άλλο άκρο μία μεθυλομάδα (CH_3). Λόγω της φύσης της βιοσυνθετικής διαδικασίας, οι διπλοί δεσμοί, που προσδίδουν την ακόρεστη φύση στα λιπαρά οξέα, βρίσκονται μεταξύ κάθε δεύτερου ατόμου άνθρακα. Χρησιμοποιείται συγκεκριμένη ονοματολογία στην ταυτοποίηση των λιπαρών οξέων. Για παράδειγμα, ένα 16:1n-9 λιπαρό οξύ αποτελείται από 16 άτομα άνθρακα και έναν ακόρεστο δεσμό που βρίσκεται στο 9^ο άτομο άνθρακα (n-9) υπολογιζόμενο από το άκρο που φέρει τη μεθυλομάδα. Τα λιπαρά οξέα που έχουν καθοριστεί ως απαραίτητα (EFAs) αποτελούνται από τουλάχιστον 18 άτομα άνθρακα και δύο ακόρεστους δεσμούς. Τα πιο συνήθη απαραίτητα λιπαρά οξέα (η κοινή ονομασία δίνεται εντός της παρένθεσης) είναι είτε πολυακόρεστα λιπαρά οξέα (PUFAs, Polyunsaturated Fatty Acids), όπως το 18:2n-6 (λινελαϊκό οξύ) και το 18:3n-3 (λινολενικό οξύ), είτε πολυακόρεστα λιπαρά οξέα με μεγάλη ανθρακική αλυσίδα (LC-PUFAs, Long Chain Polyunsaturated Fatty Acids ή HUFAs, Highly Unsaturated Fatty Acids), όπως το 20:4n-6 (αραχιδονικό οξύ, AA, Arachidonic Acid), το 20:5n-3 (εικοσαπεντανοϊκό οξύ, EPA, Eicosapentaenoic Acid) και το 22:6n-3 (εικοσιδιεξαενοϊκό οξύ, DHA, Docosahexaenoic Acid). Οι πηγές των απαραίτητων PUFAs και LC-PUFAs είναι αποκλειστικά οι τροφές. Ορισμένοι υδατοκαλλιεργούμενοι οργανισμοί μπορούν να συνθέσουν LC-PUFAs από PUFAs, μια μεταβολική ικανότητα που περιορίζεται σε λιπαρά οξέα που είναι κοινά στην οικογένεια των ω-6 ή των ω-3 λιπαρών οξέων. Τα LC-PUFAs είναι πολύ σημαντικά ως συστατικά των λιπιδικών μορίων που συνθέτουν μέρος της δομής των κυτταρικών μεμβρανών ή χρησιμοποιούνται στη μεταφορά λιπιδίων, στην αναπαραγωγή, στην εκκώλυση, στη γονιμοποίηση και σε άλλες φυσιολογικές διεργασίες.

Τα τριγλυκερίδια ή τριακυλογλυκερόλες (ουδέτερα λιπίδια) αποτελούνται από ένα μόριο γλυκερόλης και τρία λιπαρά οξέα που συνδέονται στα τρία υδροξύλια του μορίου της γλυκερόλης μέσω εστερικών δεσμών. Τα φωσfolιπίδια (πολικά λιπίδια) είναι παρόμοιας δομής, αλλά μία φωσφορική ομάδα αντικαθιστά ένα λιπαρό οξύ και δεσμεύεται με έναν εστερικό δεσμό με ένα από τα

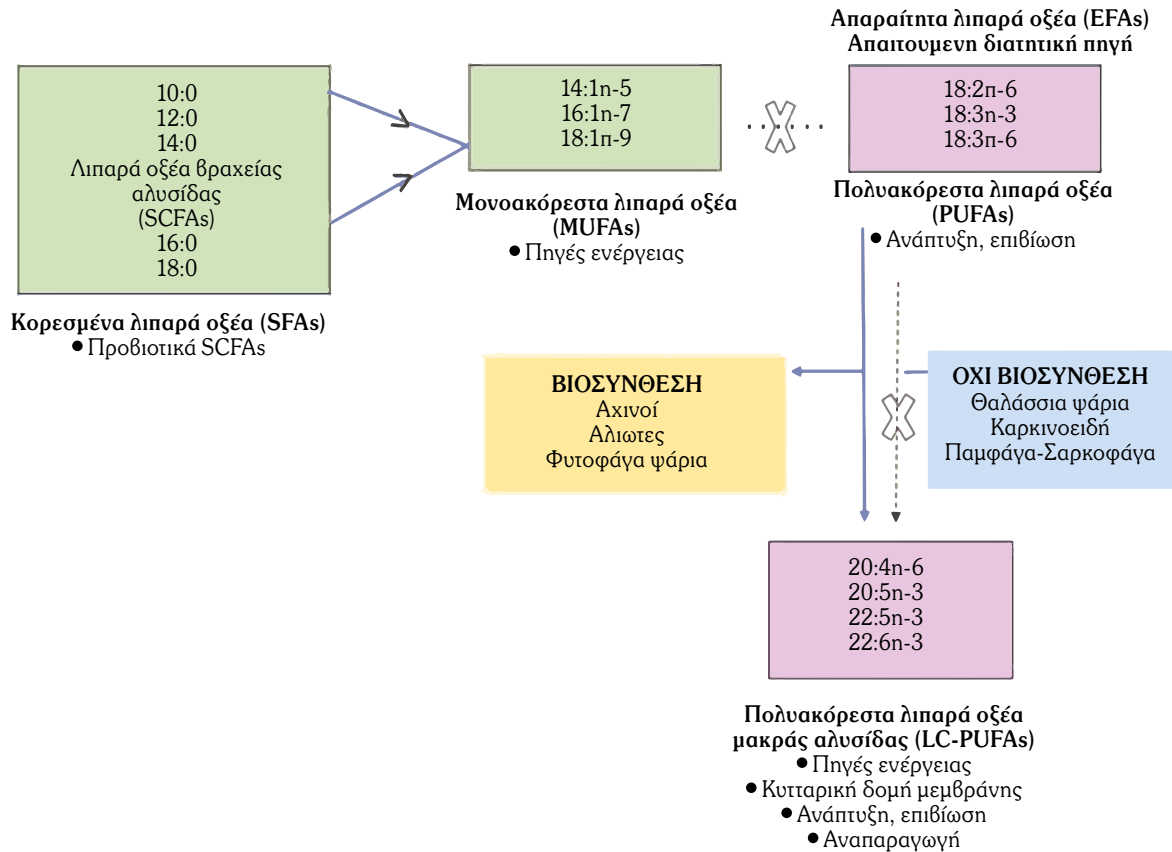
τρία υδροξυλικά μέρη του μορίου της γλυκερόλης. Ένα άλλο οργανικό μόριο συνδέεται με τη σειρά του με έναν εστερικό δεσμό στο φωσφορικό μέρος, προσδίδοντας έτσι μια ορισμένη ταυτότητα στο μόριο του φωσφολιπιδίου. Για παράδειγμα, εάν το συνδεδεμένο μόριο είναι χολίνη, αιθανολαμίνη ή ινοσιτόλη, το αντίστοιχο φωσφολιπίδιο ονομάζεται φωσφατιδυλο-χολίνη, φωσφατιδυλο-αιθανολαμίνη και φωσφατιδυλο-ινοσιτόλη. Τα φωσφολιπίδια είναι σημαντικά μόρια που συνθέτουν τη μεμβράνη του κυττάρου και αποτελούν μέρος των λιποπρωτεϊνικών μορίων που χρησιμοποιούνται στην μεταφορά των λιπιδίων μέσω της κυκλοφορίας του αίματος.

Τα μη σαπωνοποιησίμα λιπίδια προέρχονται από το ισοπρένιο και καλούνται ισοπρενοειδή λιπίδια. Αυτά τα λιπίδια περιλαμβάνουν τη χοληστερόλη, φυλετικές ορμόνες, όπως η τεστοστερόνη και τα οιστρογόνα, ορισμένες βιταμίνες (D, E, A και K) και χρωστικές ουσίες. Τα στεροειδή, όπως η χοληστερόλη και οι φυλετικές ορμόνες, είναι κυκλικές ενώσεις, και οι χρωστικές ουσίες είναι ισοπρενοειδή που είναι υπεύθυνα για το χρώμα στους υδρόβιους οργανισμούς.

Δεν υπάρχει ακριβής απαίτηση σε λιπίδια για ένα υδρόβιο είδος, καθώς οι διατροφικές απαιτήσεις μπορεί να ποικίλλουν, ανάλογα με τους επιθυμητούς στόχους, δηλαδή την παροχή επαρκούς ποσότητας λιπιδίων που θα ελαχιστοποιούν τη χρήση πρωτεϊνών ως πηγής ενέργειας, ενώ θα ικανοποιούνται οι διατροφικές απαιτήσεις σε απαραίτητα λιπαρά οξέα (EFAs), πολικά λιπίδια και ορισμένα ισοπρενοειδή. Γενικά, στην υδατοκαλλιέργεια, η ανάγκη παροχής EFAs και άλλων διαιτητικών λιπιδίων προέρχεται από την εξελικτική απώλεια της ικανότητας πλήρους ή μερικής σύνθεσής τους. Για την απώλεια αυτής της βιοσυνθετικής ικανότητας είναι – είτε άμεσα είτε έμμεσα – υπεύθυνη η φυσική διαθεσιμότητα των ενώσεων αυτών, καθώς και τα σχετικά υψηλά διαιτητικά επίπεδα τους. Η μεγαλύτερη ποσότητα διαιτητικών λιπιδίων που καταναλώνονται φυσικά από υδρόβιους οργανισμούς είναι στη μορφή τριγλυκεριδίων που χρησιμεύουν ως συμπυκνωμένη πηγή ενέργειας. Οι ποιοτικές και ποσοτικές ανάγκες σε λιπαρά οξέα που προέρχονται από την κατανάλωση τριγλυκεριδίων ή άλλων λιπιδικών ενώσεων ποικίλλουν ανάλογα με το τροφικό επίπεδο/τις

διατροφικές συνήθειες, τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, και το ενδιαίτημα (γλυκά, υφάλμυρα ή νερά υψηλής αλατότητας). Μία επισκόπηση των κατηγοριών λιπαρών οξέων, της ονοματολογίας, της μεταβολικής χρήσης και των βιοσυνθετικών μονοπατιών παρουσιάζεται στην **Εικόνα 8.5**. Με βάση δημοσιευμένα δεδομένα για πολλά είδη, μπορούν να προκύψουν ορισμένες κατευθυντήριες γραμμές. Για το γατόψαρο (*Ictalurus punctatus*), ένα ψάρι που ζει σε γλυκά και θερμά νερά και είναι παμφάγο, η απαίτηση σε PUFAs είναι της τάξης του 1%, με τα 18:3n-3 (λινολενικό οξύ) και 18:2n-6 να είναι εξίσου αποτελεσματικά. Ωστόσο, σε επίπεδα κάτω του 1%, τα διαιτητικά LC-PUFAs έχουν την ίδια απόκριση, υποδεικνύοντας ότι τα LC-PUFAs έχουν μεγαλύτερη EFA δραστηριότητα από αυτή των PUFAs. Η ιριδιζουσα πέστροφα έχει μια διαιτητική απαίτηση της τάξεως του 1% σε PUFAs, αλλά σε αντίθεση με το γατόψαρο, το 18:6n-2 παρεχόμενο στο ίδιο επίπεδο δεν εμφανίζει την ίδια δραστηριότητα. Το γεγονός αυτό πιθανώς οφείλεται στο ότι η ιριδιζουσα πέστροφα είναι ένα σαρκοφάγο είδος που ζει σε ψυχρά νερά. Γενικά, η διατροφική απαίτηση θαλάσσιων ειδών ψαριών και καρκινοειδών για EFAs είναι 0,5% έως 2,0% της διατροφής σε 20:5n-3 και 22:6n-3, μεμονωμένα ή σε συνδυασμό, με το 20:4n-6 να παρουσιάζει ορισμένες φορές την ίδια δραστηριότητα. Τα νεαρά άτομα απαιτούν ποσοστό της τάξης του 1%. Αντίθετα, τα νεαρά άτομα της παμφάγου γιγαντογαρίδας του γλυκού νερού, *Macrobrachium rosenbergii*, απαιτούν ποσοστό μόνο 0,05% σε διαιτητικές LC-PUFAs για να επιτύχουν σημαντικά υψηλότερη αύξηση βάρους, ενώ δεν υπάρχει διαφορά στη EFA δραστηριότητα μεταξύ των 20:4n-6, 20:5n-3 και 22:6n-3 λιπαρών οξέων. Αυτή η απαίτηση σε LC-PUFAs, από την οικογένεια των ω-3 ή των ω-6 λιπαρών οξέων, πιθανότατα παραμένει λόγω της παμφάγου διατροφής και των φυλογενετικών προγόνων της που ζούσαν αποκλειστικά σε αλμυρό νερό.

Η ικανότητα των θαλάσσιων αχινών και των αλιωτίδων (γαστερόποδα) να επιμηκύνουν και να πραγματοποιούν αποκορεσμό των PUFAs σε LC-PUFAs έρχεται σε πλήρη αντίθεση με την απουσία αυτής της βιοσυνθετικής ικανότητας στα θαλάσσια ψάρια και τα καρκινοειδή. Οι νεαροί θαλάσσιοι αχινοί, *Strongylocentrotus droebachiensis*, που



Εικόνα 8.5 Κατηγορίες, βιοσυνθετικά μονοπάτια, πηγές και φυσιολογικοί ρόλοι λιπαρών οξέων.

είναι φυτοφάγοι, έχουν την ικανότητα να επιμηκύνουν και να πραγματοποιούν αποκορεσμό των ω -3 και ω -6 PUFAs σε ω -3 και ω -6 LC-PUFAs (20:5n-3 και 20:4n-6), αντίστοιχα. Η αλιώτιδα *Haliotis fulgens* έχει την ίδια ενδογενή βιοσυνθετική ικανότητα, η οποία επιβεβαιώθηκε από την έλλειψη της δυνατότητας σύνθεσης των ενώσεων αυτών από τη εντερική μικροχλωρίδα της. Η σύνθεση των λιπαρών οξέων διαφέρει μεταξύ των διαφορετικών ιστών, καθώς και εντός των διαφόρων κατηγοριών λιπιδίων που συνθέτουν τους ιστούς. Η αύξηση της *Haliotis tuberculata* και της *H. discus hannai* επηρεάζεται θετικά από τα διατροφικά LC-PUFAs, και συγκεκριμένα από τα 20:4n-6, 20:5n-3 και 22:6n-3. Τα επίπεδα (mg λιπαρού οξέος/g ξηρού βάρους) των LC-PUFAs (20:5n-3, 22:6n-3 και 20:4n-6) εντός των πολικών λιπιδίων στον ιστό της *H. fulgens* διατηρούνται επιλεκτικά σε συνθήκες έλλειψης τροφής, γεγονός που υποδηλώνει τη σημασία αυτών των λιπαρών οξέων ως κυτταρικά συστατικά και απαραίτητα θρεπτικά συστατικά. Αντίθετα, τα LC-PUFAs στα ουδέτερα λιπί-

δια του ιστού μειώνονται, πιθανώς λόγω της έλλειψης διατροφικών PUFAs ως πρόδρομων ουσιών για τη σύνθεση.

Ο Takeuchi (1997) ασχολήθηκε με το εύρος των προτύπων αναφορικά με τις απαιτήσεις σε EFAs σε υδρόβια είδη, και ιδιαίτερα σε ψάρια, και τη σχέση τους με το στάδιο της ζωής, τη διατροφή, την αλατότητα και τη θερμοκρασία. Μία λεπτομερή συλλογή των ειδοειδικών απαιτήσεων σε λιπαρά οξέα για ψάρια και γαρίδες δίνεται από το NRC (2011). Ο Glencross (2009) επανεξέτασε τις απαιτήσεις και το μεταβολισμό των EFAs σε ψάρια, καρκινοειδή και άλλα είδη, και εξέτασε τις προοπτικές χρήσης ελαίων που προέρχονται από σιτηρά, ζώα και φύκη ως πηγές EFAs στην παρασκευή τροφών για τις υδατοκαλλιέργειες.

8.4.3 Υδατάνθρακες

Οι υδατάνθρακες συντίθενται από φυτά και αποτελούνται από απλά και σύνθετα μόρια. Έξι απλά σάκχαρα, όπως η γλυκόζη και η φρουκτόζη, ονο-

μάζονται μονοσακχαρίτες και όταν συνδέονται παράγουν ολιγοσακχαρίτες, που διακρίνονται σε τρεις ομάδες, τους δισακχαρίτες, τους τρισακχαρίτες και τους τετρασακχαρίτες. Πολύ μεγαλύτερα, “σύνθετα” μόρια υδατανθράκων, που αποτελούνται από αλυσίδες επαναλαμβανόμενων μονοσακχαριτών, καλούνται πολυσακχαρίτες και αντιπροσωπεύονται από ενώσεις όπως το άμυλο, το γλυκογόνο, η δεξτρίνη, η μαννάνη, οι ίνες και η κυτταρίνη. Αυτοί οι πολυσακχαρίτες υπάρχουν σε φυτά και φυτικά συστατικά, και χρησιμεύουν ως συγκριτικά φθηνές πηγές ενέργειας στις τροφές που παρασκευάζονται για ψάρια, καρκινοειδή, εχινόδερμα και γαστερόποδα. Αυτή η ενέργεια προέρχεται από την οξείδωση του μονοσακχαρίτη γλυκόζη, που είναι το κύριο δομικό στοιχείο του αμύλου, που τελικά προέρχεται από μια ακολουθία ενζυματικών αντιδράσεων του πεπτικού συστήματος. Η γλυκόζη υποβάλλεται σε γλυκόλυση για την παραγωγή ATP από ADP με το συνακόλουθο σχηματισμό του πυροσταφυλικού οξέως. Με την απελευθέρωση διοξειδίου του άνθρακα, το πυροσταφυλικό οξύ μετατρέπεται σε ακετυλο-συνένζυμο A, το οποίο εισέρχεται στον κύκλο του κιτρικού οξέος για την παραγωγή πρόσθετου ATP.

Σε αντίθεση με πολλά χερσαία ομοιόθερμα είδη, τα ψάρια, που είναι ως επί το πλείστον σαρκοφάγα, δεν καταναλώνουν υδατάνθρακες και, κατά συνέπεια, το πεπτικό τους σύστημα έχει εξελιχθεί ώστε να έχει μειωμένη ικανότητα ενζυματικής πέψης των υδατανθράκων. Αυτή η έλλειψη αποτελεσματικής αξιοποίησης των διαιτητικών υδατανθράκων μειώνει τον ενδεχόμενο ρόλο τους ως πηγή ενέργειας σε τυποποιημένες τροφές για ψάρια, καθώς και για σαρκοφάγα καρκινοειδή. Σε εκείνα τα υδρόβια είδη που είναι είτε παμφάγα είτε φυτοφάγα, οι περισσότεροι υδατάνθρακες πέπτονται εύκολα και μπορούν να χρησιμεύσουν ως πηγή ενέργειας, συγκριτικά χαμηλού κόστους, στις τυποποιημένες τροφές. Ωστόσο, για ορισμένα είδη, η διαιτητική κυτταρίνη και οι ίνες στις τροφές, δεν είναι αποτελεσματικές πηγές ενέργειας, λόγω της έλλειψης ενζύμων που θα επέφεραν την αποτελεσματική πέψη τους, και συχνά προκαλούν μειωμένους ρυθμούς αύξησης.

Λόγω αυτών των φυσιολογικών διαφορών που επιβάλλονται από τις διατροφικές συνήθειες, δεν μπορεί να υπάρξει ακριβής απαίτηση σε υδα-

τάνθρακες μεταξύ των υδρόβιων ειδών. Ωστόσο, έχουν θεσπιστεί ορισμένες εμπειρικά καθορισμένες κατευθυντήριες γραμμές για την προσθήκη υδατανθράκων σε σκευάσματα τροφών. Για σαρκοφάγα είδη, η συνολική ποσότητα των διαιτητικών υδατανθράκων δεν πρέπει να υπερβαίνει το 20% περίπου των διαλυτών υδατανθράκων. Στις τυποποιημένες τροφές για φυτοφάγα και παμφάγα είδη τα ποσοστά μπορούν να κυμαίνονται από 25 έως 45% (ξηρό βάρος), τα οποία κατά κάποιο τρόπο επιβάλλονται από την ποσότητα των λιπιδίων που μπορούν να συμπεριληφθούν στη διατροφή. Καθώς οι υδατάνθρακες με τη μορφή ινών δεν είναι εύπεπτοι και ως εκ τούτου μη αξιοποιήσιμοι, το ποσοστό τους στην τροφή συνήθως περιορίζεται στο 5–7%. Τα αποτελέσματα ορισμένων ερευνών έχουν δείξει ότι η παρουσία ινών μπορεί να ενισχύσει την πεπτικότητα άλλων θρεπτικών συστατικών μέσω μείωσης του ρυθμού διέλευσης από το έντερο. Ορισμένοι υδατάνθρακες προστίθενται στις τυποποιημένες τροφές για να λειτουργήσουν ως συνδεδετικά ώστε να διατηρηθεί η συνοχή τους στο νερό ή, εάν παρέχονται σε επαρκή ποσότητα, για να προσδώσουν πλευστότητα στην τροφή υπό συγκεκριμένες συνθήκες παρασκευής (θερμοκρασία και πίεση) η οποία ονομάζεται εξώθηση (βλ. ενότητα 8.6.2).

8.4.4 Σχέσεις Διαιτητικών Μακροθρεπτικών Συστατικών (Αναλογία Πρωτεΐνης: Ενέργειας)

Η αναλογία διαιτητικής πρωτεϊνικής-ενέργειας εκφράζεται ως η αναλογική ποσότητα πρωτεΐνης σε σχέση με τη συνολική ποσότητα ενέργειας μέσω μακροθρεπτικών ουσιών, όπως υπολογίζεται από τα ενεργειακά ισοδύναμα των πρωτεϊνών, των λιπιδίων και των υδατανθράκων. Οι οργανισμοί χρησιμοποιούν κάποια ποσότητα διαιτητικής πρωτεΐνης ως πηγή ενέργειας, αλλά το ποσό αυτό μπορεί να εξοικονομηθεί εάν παρέχονται επαρκείς ποσότητες λιπιδίων και υδατανθράκων. Έτσι, οι απαιτήσεις σε πρωτεΐνες δεν καθορίζονται μόνο από την ανάγκη πρόσληψης των απαραίτητων αμινοξέων, αλλά και από ορισμένες ειδοειδικές ανάγκες για πρωτεΐνες ως πηγή ενέργειας, παρά το γεγονός ότι άλλες πηγές ενέργειας παρέχονται σε επαρκή ποσότητα. Συνεπώς, η παροχή εξαιρετικά εύ-

πεπτων λιπιδίων και υδατανθράκων σε επαρκείς ποσότητες (συνδυαστικά) επιτρέπει την αποτελεσματικότερη χρήση της πρωτεΐνης, δηλαδή την εναπόθεσή της στους ιστούς (αύξηση). Ο στόχος είναι η παρασκευή τροφών στις οποίες η ενέργεια που προέρχεται από πρωτεΐνες είναι ελάχιστη και όλες οι υπόλοιπες ενεργειακές ανάγκες ικανοποιούνται κατά κανόνα από διαιτητικά λιπίδια και υδατάνθρακες. Έτσι, για συγκεκριμένα σκευάσματα τροφών, υπάρχουν αναλογίες πρωτεΐνης-ενέργειας που αποφέρουν την υψηλότερη αύξηση. Εάν είναι γνωστές οι τιμές πεπτικότητας των πρωτεϊνών και των πηγών ενέργειας, τότε μπορούν να εκφραστούν ως αναλογία αφομοιούμενης πρωτεΐνης προς αφομοιούμενη ενέργεια. Έχουν υπάρξει πολυάριθμες μελέτες που έχουν αξιολογήσει τις αναλογίες διαιτητικής πρωτεΐνης-ενέργειας για ψάρια και καρκινοειδή, και γενικά αναφέρονται στην πεπτικότητα των πρωτεϊνών και των πηγών ενέργειας. Ορισμένες αναλογίες εκφράζονται αντιστρόφως ως αναλογίες ενέργειας προς πρωτεΐνη. Τελικά, παρά την ποικιλία πηγών υδατανθράκων, πρωτεϊνών και λιπιδίων που χρησιμοποιούνται, οι αναφερόμενες αναλογίες εμφανίζουν εκπληκτική συνέπεια, και γενικά κυμαίνονται μεταξύ 20 και 30 mg/kJ (33 έως 50 kJ/g) για καρκινοειδή και 23,8 έως 30 mg/kJ (33 έως 42 kJ/g) για ψάρια.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, τα σαρκοφάγα είδη είναι γενικά λιγότερο ικανά να πέψουν τους υδατάνθρακες, με αποτέλεσμα κατά την παρασκευή των τροφών να πρέπει να αντισταθμίζεται αυτό το φυσιολογικό χαρακτηριστικό. Υδατάνθρακες που περιέχουν συστατικά φυτικής προέλευσης και που χρησιμοποιούνται ως πηγές ενέργειας πρέπει να αξιολογούνται προσεκτικά αναφορικά με την ποσότητα και την πεπτικότητα τους. Συνήθως απαιτούνται υψηλότερα επίπεδα λιπιδίων σε σχέση με τα επίπεδα στις τροφές φυτοφάγων και παμφάγων ειδών. Σε μελέτες αξιολόγησης της αναλογίας λιπιδίων προς υδατάνθρακες σε τροφές που περιείχαν τρεις συγκεντρώσεις πρωτεΐνης και που παρέχονταν στο φυτοφάγο είδος αλιώτιδας *Haliotis corrugata*, φαίνεται ότι οι πρωτεΐνες και οι υδατάνθρακες ήταν οι κύριες πηγές ενέργειας. Έτσι, για αυτό το είδος αλιώτιδας, ο στόχος θα μπορούσε να είναι η παροχή εξαιρετικά εύπεπτων υδατανθράκων ως πη-

γή ενέργειας ώστε να μην καταναλώνονται πρωτεϊνών για τον σκοπό αυτό. Συνεπώς, η ποσότητα των διαιτητικών λιπιδίων θα μπορούσε να είναι συγκριτικά χαμηλή, αλλά σε επίπεδο επαρκές για να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις σε απαραίτητα λιπαρά οξέα. Οι αναλογίες πρωτεΐνης-ενέργειας που απέδωσαν την υψηλότερη αύξηση ήταν 23,1 και 24 mg/kJ (41,7 έως 43,5 kJ/g).

Αναμένεται να υπάρχουν αποκλίσεις στις απαιτήσεις σε πρωτεΐνες ή/και ενέργεια μεταξύ των διαφόρων ηλικιών/στρατηγικών ζωής, όπως παρατηρήθηκε σε προνυμφικές μορφές (περισσότερη πρωτεΐνη για την αύξηση) και ενήλικα άτομα πριν την αναπαραγωγή (περισσότερα λιπίδια για αποθήκευση), και οι διαφοροποιήσεις αυτές πρέπει να ληφθούν υπόψη ώστε να παραμένει αποτελεσματικός ο μεταβολισμός των πρωτεϊνών.

8.4.5 Βιταμίνες

Οι βιταμίνες είναι οργανικά μόρια που είναι απαραίτητα για την αύξηση, με τις περισσότερες να χρησιμεύουν ως συστατικά συνενζύμων για την κατάλυση μεταβολικών αντιδράσεων. Δεν μπορούν να συντεθούν και θεωρούνται απαραίτητα μικροθρεπτικά συστατικά επειδή απαιτούνται σε μικρές ποσότητες (mg/kg ή μg/kg). Οι βιταμίνες χωρίζονται σε δύο ομάδες με βάση τη διαλυτότά τους είτε στο νερό είτε σε λιπίδια. Τέσσερις “λιποδιαλυτές” βιταμίνες, οι E, A, D και K, απορροφώνται μαζί με λιπίδια από το έντερο και εισέρχονται στο κυκλοφορικό σύστημα. Μια ομάδα 11 βιταμινών, βιοτίνη, νιασίνη, φολικό οξύ, θειαμίνη, ριβοφλαβίνη, παντοθενικό οξύ, πυριδοξίνη, κυανοκοβαλαμίνη, ασκορβικό οξύ, χολίνη και μυοϊνσιτόλη είναι υδατοδιαλυτές βιταμίνες. Αυτές μεταφέρονται από το έντερο στο κυκλοφορικό σύστημα μέσω του νερού. Η χολίνη, το ασκορβικό οξύ και η μυοϊνσιτόλη απαιτούνται σε σχετικά υψηλότερες συγκεντρώσεις. Ονομάζονται μεγάβιταμίνες και δεν είναι συστατικά των συνενζύμων.

Η περίσσεια των υδατοδιαλυτών βιταμινών δεν αποθηκεύεται, αλλά απεκκρίνεται γρήγορα από τον οργανισμό. Ως εκ τούτου, τυχόν ελλείψεις εμφανίζονται σύντομα, προκαλώντας συχνά μια ποικιλία μεταβολικών προβλημάτων, μερικά από τα οποία εκδηλώνονται ως κλινικές αντιδράσεις. Για παράδειγμα, μια διαιτητική ανεπάρκεια ασκορβι-

κού οξέος στα ψάρια εκδηλώνεται συνήθως ως σύνδρομο “broken back” (σκολίωση/λόρδωση), που προκύπτει από ανεπάρκεια σε κολλαγόνο, το οποίο χρησιμεύει ως η οργανική μήτρα των οστών. Συγκεκριμένα, η απουσία επαρκούς κολλαγόνου προκαλεί απασβέστωση του οστού, που οδηγεί στην έλλειψη “ακαμψίας” της σπονδυλικής στήλης, και συχνά εκδηλώνεται ως σκολίωση. Ελλείψεις άλλων υδατοδιαλυτών βιταμινών που παρουσιάζονται ως κλινικές αντιδράσεις σε υδατοκαλλιεργούμενα είδη περιλαμβάνουν περιορισμένη όρεξη, αιμορραγία, λιπώδες ήπαρ, ευερεθιστότητα, μια σειρά από αποκκλίνουσες αιματολογικές αλλαγές και άλλα (NRC, 2011). Αν και κάθε βιταμίνη υποστηρίζει συγκεκριμένες δομικές ή μεταβο-

λικές λειτουργίες, η κλινική εκδήλωση των ελλείψεων μπορεί να είναι ίδια για διαφορετικές βιταμίνες. Αντίθετα, οι λιποδιαλυτές βιταμίνες αποθηκεύονται και, κατά συνέπεια, οι διαιτητικές απαιτήσεις ως προς αυτές είναι δύσκολο να καθοριστούν. Ωστόσο, όταν η συγκέντρωσή τους στους ιστούς ξεπερνάει ένα ανώτατο όριο, εμφανίζεται μια κατάσταση που ονομάζεται υπερβιταμίνωση και εκδηλώνονται κλινικές αντιδράσεις, όπως μειωμένη όρεξη και εκφυλισμός του ήπατος.

Βιταμίνες προστίθενται συνήθως ως προμείγματα κατά την παρασκευή τροφών για υδατοκαλλιεργούμενα είδη. Ο Πίνακας 8.2 παρουσιάζει τις απαιτήσεις σε βιταμίνες των ειδών ψαριών και γαρίδων που αναφέρθηκαν από το 1980 έως το 2010

Πίνακας 8.2 Μέσος όρος $\pm$ τυπική απόκλιση (SD) για τις απαιτήσεις (mg/kg) σε βιταμίνες (υδατοδιαλυτές και λιποδιαλυτές) σε είδη ψαριών και γαρίδων που δημοσιεύθηκαν από το 1980 έως το 2011 (όπως αναφέρονται από το NRC, 2011). Σε παρένθεση δίνεται ο αριθμός των αναφερόμενων τιμών. Εάν οι εκτιμήσεις περιορίζονταν σε μία ή δύο τιμές, δεν υπολογίζονταν ο μέσος όρος. Εάν η εκτιμώμενη τιμή είχε παρουσιαστεί ως εύρος, στον υπολογισμό χρησιμοποιήθηκε η διάμεση τιμή. Οι τιμές για τις B₁₂ και D παρουσιάζονται σε µg/kg.

Βιταμίνες	Υδατοδιαλυτές		
	Ψάρια	Γαρίδες	Αναλογία Γαρίδας/Ψαριού
Θειαμίνη	1; 11,2 (2)	68,0 $\pm$ 47,0 (3)	X
Ριβοφλαβίνη	6,0 $\pm$ 2,4 (9)	22,5; 80	X
Πυριδοξίνη	6,6 $\pm$ 4,4 (10)	110,1 $\pm$ 31,5	16,7
Παντοθενικό οξύ	20,8 $\pm$ 8,3 (7)	323,3 $\pm$ 369,6 (3)	15,5
Νιασίνη	19,1 $\pm$ 9,6 (7)	219,1 $\pm$ 198,2 (3)	11,5
Βιοτίνη	0,77 $\pm$ 1,1 (8)	2,2; 0,4	X
B ₁₂ (µg)	54,2 $\pm$ 39,3 (3)	200; 10	X
Φολικό οξύ	1,6 $\pm$ 1,1 (7)	1,9; 21	X
Χολίνη	1260,5 $\pm$ 1059,6 (8)	6200; 600	X
Μυοινοσιτόλη	396,0 $\pm$ 153,4 (5)	1351,0 $\pm$ 1659,2 (3)	3,4
Ασκορβικό οξύ	101,4 $\pm$ 133,1 (75)	159,4 $\pm$ 131,8 (20)	1,6
Μέση τιμή=			9,7
Λιποδιαλυτές			
A	7,8 $\pm$ 13,0 (5)	16,3 $\pm$ 24,9 (3)	
E	72,8 $\pm$ 46,3 (18)	87, 99	
D (µg)	22,7 $\pm$ 20,0 (4)	10	
K	1,9, 0,2, <10	35, 185	

και καταρτίστηκε από το NRC (2011). Αν και δημοσιευμένες μελέτες αναφορικά με τις απαιτήσεις σε βιταμίνες υπάρχουν και πριν από το 1980, το εν λόγω έτος επιλέχθηκε αυθαίρετα ως το κατώφλι για αυτές τις μελέτες, επειδή από τότε οι μελέτες ακολούθησαν μια πιο ελεγχόμενη και αυστηρή μεθοδολογία που πιθανότατα παρήγαγε ακριβέστερα αποτελέσματα. Όταν αναφερόταν ένα εύρος, η διάμεση τιμή χρησιμοποιούνταν ως ανεξάρτητη τιμή για τον υπολογισμό του μέσου όρου και του βαθμού διακύμανσης. Εάν υπήρχαν μόνο δύο δημοσιευμένες εκτιμήσεις μιας απαίτησης, παραθέτονταν και οι δύο τιμές, αντί να υπολογιστεί μια μέση τιμή και μια τυπική απόκλιση. Η τιμή της διακύμανσης (τυπική απόκλιση) είναι συνήθως υψηλή και το εύρος των τιμών είναι πιθανότατα το αποτέλεσμα ενός συνδυασμού παραγόντων, που περιλαμβάνουν το είδος, την πειραματική τροφή, τη συμπεριφορά σίτισης, τα κριτήρια απόκρισης που χρησιμοποιούνται για τη διάκριση των ανεπαρκειών, και τη μέθοδο που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση μιας απαίτησης.

Παρά τη διακύμανση, τα επίπεδα των υδατοδιαλυτών βιταμινών που αναφέρονται για έναν αριθμό ειδών του γλυκού νερού είναι συγκρίσιμα. Αυτή η παρατήρηση είναι αναμενόμενη λόγω της ομοιότητας των μεταβολικών ρόλων αυτών των βιταμινών μεταξύ των ειδών. Για τα θαλάσσια ψάρια, λίγες πληροφορίες είναι γνωστές σχετικά με τις απαιτήσεις σε υδατοδιαλυτές βιταμίνες, εκτός από το ασκορβικό οξύ, με τις δηλωμένες απαιτήσεις για αυτή τη βιταμίνη να παρουσιάζουν μεγάλες ομοιότητες μεταξύ πολλών ειδών. Υπάρχουν λίγες πληροφορίες σχετικά με τις απαιτήσεις σε λιποδιαλυτές βιταμίνες, ωστόσο, οι εκτιμήσεις που έχουν αναφερθεί είναι παρόμοιες τόσο για τα θαλάσσια ψάρια, όσο και για αυτά του γλυκού νερού.

Οι μέσοι όροι των απαιτήσεων σε υδατοδιαλυτές βιταμίνες που έχουν αναφερθεί για είδη γαρίδας είναι συνήθως μεγαλύτεροι (κατά 1,6 έως 16,7) από αυτούς των ψαριών. Η διαφορά αυτή πιθανότατα δεν οφείλεται στη φυλογένεση, αλλά μάλλον σε απώλειες λόγω της έκπλυσης κατά τη διάρκεια μιας παρατεταμένης περιόδου κατανάλωσης τροφής που είναι χαρακτηριστικό για τα είδη γαρίδας. Η απώλεια φυσιολογικά οδηγεί σε υπερεκτίμηση της πραγματικής απαίτησης, με τις

μεγαλύτερες απώλειες να αντιστοιχούν στις βιταμίνες με την υψηλότερη διαλυτότητα. Οι απαιτήσεις σε βιταμίνες άλλων πιθανών ειδών υδατοκαλλιέργειας αποτελούν αντικείμενο έρευνας. Η προσθήκη ενός προμείγματος βιταμινών στη διατροφή του θαλάσσιου αχινού, *Lytechinus variegatus*, βρέθηκε ότι αποτελεί απαραίτητο συστατικό για την αύξηση του σωματικού βάρους και την παραγωγή οργάνων.

8.4.6 Μέταλλα

Υπάρχουν περίπου 20 ανόργανα στοιχεία (μέταλλα) που θεωρείται ότι είναι απαραίτητες θρεπτικές ουσίες. Χωρίζονται σε δυο κατηγορίες, τα μακροστοιχεία, που απαιτούνται σε επίπεδα g/kg της δίαιτας, και τα μικροστοιχεία ή ιχνοστοιχεία, που απαιτούνται σε επίπεδα mg/kg της δίαιτας. Τα μακροστοιχεία και τα ιχνοστοιχεία που θεωρούνται απαραίτητα για τα υδρόβια ζώα αναφέρονται στον **Πίνακα 8.3**. Αυτά τα θρεπτικά στοιχεία χρειάζονται για την επιτυχημένη λειτουργία μιας ποικιλίας φυσιολογικών διεργασιών, όπως είναι η μυϊκή συστολή (Mg,P), η παράγωγή σκελετικών δόμων (Ca, P), η ωσμορύθμιση (Na, Cl), ενώ αποτελούν και συστατι-

Πίνακας 8.3 Απαραίτητα μακροστοιχεία και ιχνοστοιχεία για υδατοκαλλιεργούμενους ζωικούς οργανισμούς.

Μακροστοιχεία	Ιχνοστοιχεία
Κατιόνια	
Ασβέστιο (Ca)	Κοβάλτιο (Co)
Μαγνήσιο (Mg)	Χαλκός (Cu)
Κάλιο (K)	Χρώμιο (Cr)
Νάτριο (Na)	Φθόριο (F)
	Ιώδιο (I)
Ανιόνια	Σίδηρος (Fe)
Χλώριο (Cl)	Μαγγάνιο (Mn)
Φώσφορος (P)	Μολυβδαίνιο (Mo)
Θείο (S)	Νικέλιο (Ni)
	Σελήνιο (Se)
	Πυρίτιο (Si)
	Κασσίτερος (Sn)
	Βανάδιο (V)
	Ψευδάργυρος (Zn)

κά των αναπνευστικών χρωστικών ουσιών (Fe, Cu), που περιλαμβάνουν την αιμοσφαιρίνη (ψάρια) και την αιμοκυανίνη (καρκινοειδή). Τα μέταλλα είναι επίσης συστατικά των βιταμινών και των ορμονών, και συμμετέχουν ως συμπαραγόντες (cofactors) που είναι απαραίτητοι για την ενζυμική κατάλυση συγκεκριμένων χημικών αντιδράσεων. Αν και τα μέταλλα υπάρχουν φυσιολογικά στα συστατικά των τυποποιημένων τροφών για υδατοκαλλιεργούμενους οργανισμούς, πρέπει να προστίθενται και μείγματα μετάλλων για να αντισταθμιστούν πιθανές ελλείψεις ή η μειωμένη βιοδιαθεσιμότητα ορισμένων μετάλλων. Διάφορες πηγές φωσφόρου, όπως ιχθυάλευρο, σογιάλευρο και φωσφορικό ασβέστιο είναι διαθέσιμες για παροχή σε καλλιεργούμενους υδρόβιους οργανισμούς. Για παράδειγμα, ο φώσφορος που προέρχεται από μονοβασικό φωσφορικό ασβέστιο, $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, είναι διαθέσιμος για τα ψάρια σε μεγαλύτερο βαθμό από τη διβασική μορφή του, $\text{CaH}_2\text{O}_4\text{P}$.

Ελεγχόμενα πειράματα έχουν επιτύχει καλές εκτιμήσεις αναφορικά με τις απαιτήσεις για ορισμένα μέταλλα. Αυτά τα πειράματα σχεδιάστηκαν, γενικά, λαμβάνοντας υπόψη τους ιδιαίτερους εξωτερικούς παράγοντες που μπορεί να επηρεάσουν τις εκτιμήσεις. Η παροχή διαιτητικών συμπληρωμάτων που περιέχουν μακροστοιχεία και ιχνοστοιχεία βασίζεται σε διάφορους παράγοντες. Σε ορισμένες περιπτώσεις, οι συνθήκες εκτροφής, δηλαδή το αν γίνεται σε γλυκό, θαλάσσιο ή υφάλμυρο περιβάλλον, μπορεί να χρησιμεύσουν ως σημαντική πηγή για την κάλυψη μιας απαίτησης και πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στη συνολική εκτίμηση. Πηγές διαιτητικής πρωτεΐνης που έχουν σημαντική περιεκτικότητα σε μέταλλα μπορούν επίσης να επηρεάσουν τις απαιτήσεις. Επιπλέον, πρέπει να δίνεται προσοχή έτσι ώστε οι πειραματικές τροφές να μην περιλαμβάνουν συστατικά που περιέχουν ενώσεις οι οποίες καθιστούν τα μέταλλα μη διαθέσιμα για τον οργανισμό. Για παράδειγμα, συστατικά που προέρχονται από άλευρα από σπόρους δημητριακών και ελαιάλευρα περιέχουν φυτικό άλας το οποίο συνδέεται (δεσμεύει) με το ασβέστιο, μειώνοντας έτσι τη βιοδιαθεσιμότητά του για την ικανοποίηση των απαιτήσεων του οργανισμού. Οι απαιτήσεις ψαριών και γαρίδων που έχουν αναφερθεί είναι γενικά παρόμοιες (NRC, 2011).

8.4.7 Απαιτήσεις Θρεπτικών Ανά Στάδιο Ανάπτυξης και Αναπαραγωγής

8.4.7.1 Προνύμφες

Οι προνύμφες (larvae) ψαριών και καρκινοειδών τρέφονται συνήθως με εκτρεφόμενους ζωντανούς οργανισμούς όπως φύκη, τροχόζωα, κωπήποδα και ναύπλιους της *Artemia* (ενότητα 9.2). Σε ορισμένες περιπτώσεις, ο εμπλουτισμός της διατροφικής ποιότητας αυτών των ζωντανών οργανισμών, κυρίως με LC-PUFAs, συχνά επιτυγχάνεται με διαφορετικούς τρόπους, γεγονός που παρέχει τη δυνατότητα εντοπισμού των διατροφικών απαιτήσεων καταγράφοντας τους ρυθμούς αύξησης και το βαθμό επιβίωσης. Προνύμφες της γλώσσας *Lepidopsetta polyxystra* έχουν τραφεί με τροχόζωα που είχαν καταναλώσει λιποσώματα εμπλουτισμένα με ταυρίνη.

Η χρήση τυποποιημένων τροφών ως υποκατάστατα της ζωντανής τροφής στην εκτροφή προνυμφών προσφέρει τα πλεονεκτήματα του ελέγχου της σύνθεσης των θρεπτικών συστατικών, της ευκολίας αποθήκευσης και χρήσης, και της μείωσης του κόστους παραγωγής που συνδέεται με την επίπονη προσπάθεια που απαιτείται για τη διατήρηση μιας επιτυχούς μαζικής καλλιέργειας ζωντανών οργανισμών. Επιπλέον, η χρήση τυποποιημένων τροφών εξαλείφει την πιθανή εισαγωγή παθογόνων οργανισμών που προέρχονται από τη ζωντανή τροφή.

Παρά τις αξιοσημείωτες προόδους των τελευταίων 30 ετών, εξακολουθούν να υπάρχουν προκλήσεις για την κατανόηση της διατροφής των προνυμφών ψαριών και καρκινοειδών, και την ανάπτυξη επιτυχημένων τροφών και πρακτικών σίτισης (Hamre et. al., 2013). Ως αποτέλεσμα, υπάρχουν σημαντικοί περιορισμοί στην παραγωγή και τη διαθεσιμότητά τους για πρακτικές εντατικής παραγωγής. Με το πλεονέκτημα του ελέγχου των θρεπτικών συστατικών στις τυποποιημένες τροφές, υπάρχει η δυνατότητα να καθοριστούν οι ποιοτικές και ποσοτικές διατροφικές απαιτήσεις. Αν και ελπιδοφόρα, η γνώση αναφορικά με τις απαιτήσεις των προνυμφών σε θρεπτικές ουσίες είναι ουσιαστικά ελλιπής, και είναι ως επί το πλείστον ποιοτική. Η έλλειψη ειδικών ποσοτικών δεδομένων εξακολουθεί να υφίσταται εξαιτίας της περιορισμένης κατανάλωσης ή/και πέψης, των τυ-

ποποιημένων τροφών, ιδιαίτερα κατά τα πρώιμα προνυμφικά στάδια. Μόνο όταν θα υπάρξει μια τυποποιημένη, μη υδατοδιαλυτή τροφή, που θα καταναλώνεται εύκολα, και που θα πέπτει και θα αφομοιώνεται αντίστοιχα με τις ζωντανές τροφές θα είναι δυνατό να διερευνηθούν οι συγκεκριμένες απαιτήσεις σε θρεπτικά συστατικά με ακρίβεια και σιγουριά. Συγκεκριμένα, η εκτίμηση των απαιτήσεων σε υδατοδιαλυτά θρεπτικά συστατικά παρεμποδίζεται από την έκπλυσή τους, καθώς οι τροφές στερούνται δομικής ακεραιότητας και έχουν πολύ υψηλή αναλογία επιφάνειας προς όγκο.

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων δύο δεκαετιών έχει υπάρξει εξέλιξη σχετικά με την επιτυχή χρήση μικροσωματιδιακών τροφών για την καλλιέργεια των προνυμφικών σταδίων υδατοκαλλιεργούμενων ειδών. Σε ορισμένες περιπτώσεις, η επιτυχία της πλήρους αντικατάστασης της ζωντανής τροφής περιορίζεται σε ορισμένα στάδια ανάπτυξης των προνυμφών. Η παροχή των εμπορικά διαθέσιμων τροφών σε προνύμφες συνήθως προτείνεται συμπληρωματικά και όχι για την πλήρη αντικατάσταση της ζωντανής τροφής (βλ. ενότητα 9.5).

Η επιτυχής εκτροφή προνυμφών μέσω της χρήσης τυποποιημένων τροφών σπάνια έχει οδηγήσει στην τροποποίησή τους και τη χρήση τους για τον προσδιορισμό των διατροφικών απαιτήσεων. Ωστόσο, έχει σημειωθεί κάποια πρόοδος και έχει δειχθεί ότι οι προνύμφες εμφανίζουν μοναδικές διαφορές ως προς τις διατροφικές απαιτήσεις τους. Οι διαφορές αυτές οφείλονται πιθανώς στη μεγαλύτερη ζήτηση που συνδέεται με την πρώιμη αύξηση και ανάπτυξη σε συνδυασμό με τη μειωμένη ικανότητα πέψης και απορρόφησης συγκεκριμένων μακροθρεπτικών συστατικών. Είναι κοινώς αποδεκτό ότι οι προνύμφες ψαριών και καρκινοειδών (γαρίδες της οικογένειας Penaeidae) έχουν μεγαλύτερες απαιτήσεις για διαιτητικό EPA (τουλάχιστον σε % ποσοστό των LC-PUFAs) και παρουσιάζουν επίσης απαίτηση για φωσφολιπίδια, και ειδικά φωσφατιδυλοχολίνη (PC). Δεδομένου ότι αυτά τα είδη συνθέτουν PC, είναι πιθανό ο ρυθμός σύνθεσής της να μην επαρκεί για την κάλυψη της απαίτησης στο συγκεκριμένο στάδιο ανάπτυξης. Έχει αναφερθεί συχνά η διατροφική απαίτηση για τουλάχιστον 2 % σε διαιτητικά φωσφολιπί-

δια για την καλή αύξηση και υψηλό βαθμό επιβίωσης των προνυμφών ψαριών και καρκινοειδών, με τη φωσφατιδυλοχολίνη και τη φωσφατιδυλινοσιτόλη (PI) να έχουν τη μεγαλύτερη θρεπτική αξία (NRC, 2011). Η απαίτηση αυτή δεν σχετίζεται με την πιθανή ανάγκη για πρόσθετη χολίνη ή ινοσιτόλη, οι οποίες είναι δύο απαραίτητες υδατοδιαλυτές βιταμίνες που αποτελούν μέρος μορίων φωσφολιπιδίων. Η ποσότητα και η ποιότητα των διαιτητικών λιπαρών οξέων επηρεάζουν την πρόσληψη τροφής και την αποτελεσματικότητα της απορρόφησης των θρεπτικών ουσιών στις προνύμφες της τσιπούρας, *Sparus aurata*, και της γλώσσας της Σενεγάλης, *Solea senegalensis*.

Τόσο οι προνύμφες όσο και τα νεαρά άτομα ειδικών καρκινοειδών παρουσιάζουν μια μοναδική απαίτηση σε χοληστερόλη. Οι προσπάθειες ολικής ή μερικής αντικατάστασης της διαιτητικής χοληστερόλης με στερόλες φυτικής προέλευσης (φυτοστερόλες) δεν ήταν επιτυχείς. Η χοληστερόλη συντίθεται από διαιτητικές φυτοστερόλες, όπως υποδεικνύεται από την αποκλειστική παρουσία χοληστερόλης στον ιστό του σώματος των προνυμφών/νεαρών ατόμων που τρέφονται με τροφές που περιέχουν φυτοστερόλες. Προφανώς, όμως, ο ρυθμός σύνθεσης είναι ανεπαρκής για να ικανοποιήσει την απαίτηση σε χοληστερόλη. Η ανταπόκριση στην εν λόγω έλλειψη εκδηλώνεται συνήθως με μειώσεις του ρυθμού αύξησης.

8.4.7.2 Γεννήτορες

Μία αξιόπιστη παροχή προνυμφών για την παραγωγή νεαρών ατόμων (μεταπρονύμφες) προκειμένου να εκτραφούν σε συστήματα παραγωγής είναι ζωτικής σημασίας για την επιτυχία μιας επιχείρησης υδατοκαλλιέργειας. Ως εκ τούτου, είναι πολύ σημαντική η παροχή απαραίτητων θρεπτικών συστατικών στους γεννήτορες για την επίτευξη αναπαραγωγικής ωριμότητας και για τη μεταφορά τους στους γαμέτες (ωάριο και σπέρμα) προκειμένου να παραχθούν βιώσιμα αβγά και προνύμφες. Ωστόσο, η διατροφή των γεννητόρων είναι ο τομέας της διατροφής των υδρόβιων ζώων που έχει μελετηθεί λιγότερο, και μαζί με τη διατροφή των προνυμφών αποτελούν σίγουρα ένα εμπόδιο για την επίτευξη μεγαλύτερης αποτελεσματικότητας (βιωσιμότητας) στις επιχειρήσεις υδατοκαλλι-

έργειας. Για παράδειγμα, η διατροφική κατάσταση των θηλυκών επηρεάζει τη διάρκεια της περιόδου μέχρι την αναπαραγωγική τους ωριμότητα, τον αριθμό των αβγών που παράγονται ανά ωοτοκία ή ανά μονάδα σωματικού βάρους (γονιμότητα), το μέγεθος των αβγών, το ποσοστό εκκόλαψης των αβγών και τον βαθμό επιβίωσης των προνυμφών κατά τα πρώιμα αναπτυξιακά στάδια.

Η προφανής έλλειψη μεγάλης έκτασης έρευνας που να επικεντρώνεται στη διατροφή των γεννητόρων φαίνεται να οφείλεται στη διάρκεια και τους αντίστοιχους πόρους, όπως οι μονάδες εκτροφής και ο αριθμός των γεννητόρων, που απαιτούνται για τη διεξαγωγή ενδεδειγμένης και ουσιαστικής έρευνας. Αυτή η έλλειψη πληροφοριών έχει επιβάλει μια εξάρτηση της εκτροφής των γεννητόρων από τη ζωντανή τροφή, που παρέχεται αποκλειστικά ή σε συνδυασμό με τυποποιημένες τροφές. Μια λεπτομερής ανασκόπηση του ρόλου της διατροφής των γεννητόρων στην αναπαραγωγική απόδοση δίνεται από τους Izquierdo et al. (2001) για ψάρια και τους Wouters et al. (2001) για είδη γαρίδων της οικογένειας Penaeidae. Οι σημαντικότερες λεπτομέρειες παρουσιάζονται στη γενική περίληψη που ακολουθεί, αλλά δεν αναφέρονται ειδοειδικές απαιτήσεις.

Απαιτείται αυξημένη ενέργεια τόσο για την παραγωγή βιώσιμων γαμετών όσο και για την έκφραση δευτερογενών φυλετικών χαρακτηριστικών και δραστηριοτήτων που σχετίζονται με την αναπαραγωγική συμπεριφορά. Εάν απαιτείται περισσότερη διαιτητική ενέργεια για να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις της αναπαραγωγικής φάσης, τότε λιγότερη καθαρή ενέργεια θα είναι διαθέσιμη για την αύξηση. Για τα μακροθρεπτικά συστατικά, συνιστάται το επίπεδο των διαιτητικών πρωτεϊνών στη διατροφή των γεννητόρων να είναι αντίστοιχο με τα επίπεδα που χρησιμοποιούνται κατά την πάχυνση των ψαριών. Ωστόσο, έχουν μελετηθεί και χρησιμοποιηθεί και υψηλότερα επίπεδα διαιτητικής πρωτεΐνης. Διαφορετικά επίπεδα διαιτητικών πρωτεϊνών μπορεί να προκαλέσουν διαφορετικές αντιδράσεις στους γεννήτορες. Τα ενδιάμεσα επίπεδα πρωτεΐνης απέδωσαν υψηλότερη σχετική γονιμότητα (αριθμός αβγών ανά 100 g θηλυκού) στην τιλάπια του Νείλου, *Oreochromis niloticus*. Όσον αφορά την τιλάπια, ο συνολικός αριθμός αβγών και ο αριθμός αβγών ανά kg θηλυκού ήταν

υψηλότεροι σε ψάρια που τρέφονταν με μέτρια επίπεδα διαιτητικών πρωτεϊνών (27,6 και 35%) από ότι σε ψάρια που τρέφονταν με υψηλότερα επίπεδα πρωτεΐνης (42,6 και 50,1%). Η πλουσιότερη σε πρωτεΐνες διατροφή παράγει βαρύτερα και μεγαλύτερα αβγά τα οποία αποθέτονται σε πιο αραιά διαστήματα. Τα επίπεδα των διαιτητικών λιπιδίων στις τυποποιημένες τροφές συνήθως αυξάνονται για να καλύψουν την αυξημένη μεταβολική ζήτηση για ενέργεια, και ένα ποσοστό που χρησιμοποιείται συνήθως είναι το 18%. Έχει αποδειχθεί επανειλημμένα ότι ορισμένα θρεπτικά συστατικά απαιτούνται σε υψηλότερα ποσοστά στους γεννήτορες από ότι στα νεαρά άτομα και τα άτομα κοντά στην ενηλικίωση, και μεταξύ αυτών περιλαμβάνονται τα n-3 EFAs, η άλφα-τοκοφερόλη (βιταμίνη E), το ασκορβικό οξύ (βιταμίνη C) και η βιταμίνη B₆ (πυριδοξίνη).

Η περιεκτικότητα των γονάδων σε EFAs αντιστοιχεί στην ποσότητα EFAs, και ω-3 LC-PUFAs που είναι απαραίτητα για τη φυσιολογική ανάπτυξη των αβγών και των εμβρύων, και βελτιώνουν τη συνολική ποιότητα των αβγών. Αυτά τα λιπαρά οξέα μπορούν επίσης να χρησιμεύσουν ως πηγή ενέργειας κατά τη διάρκεια της εμβρυϊκής ανάπτυξης. Τα διαιτητικά εικοσαπεντανοϊκό οξύ (EPA) και αραχιδονικό οξύ (AA) σχετίζονται με υψηλότερους ρυθμούς γονιμοποίησης, πιθανώς λόγω του ρόλου τους στην εξασφάλιση καλής κινητικότητας του σπέρματος. Η ποσοτική περιεκτικότητα των τυποποιημένων τροφών των γεννητόρων σε LC-PUFAs κυμαίνεται γενικά μεταξύ του 1-2%, ενώ υφίστανται ειδοειδικές ποιοτικές ανάγκες. Το εικοσιδιεξαενοϊκό οξύ (22:6n-3) είναι ένα σημαντικό διαιτητικό συστατικό, ειδικά για την ανάπτυξη των προνυμφών. Υψηλότερα επίπεδα βιταμινών E και C είναι σημαντικά για την εξασφάλιση υψηλής γονιμότητας και υψηλών ρυθμών γονιμοποίησης. Η βιταμίνη C διαδραματίζει επίσης έναν ρόλο στη λεκιθογένεση (ποσότητα και ποιότητα αβγών) και στη στεροειδογένεση. Αμφότερες οι βιταμίνες C και E είναι αντιοξειδωτικά και, πιθανώς, έχουν προστατευτικό ρόλο, για τα σπερματοζωάρια κατά τη διάρκεια της στεροειδογένεσης, και συμβάλουν στην εξασφάλιση καλής κινητικότητας του σπέρματος. Ανεπαρκή επίπεδα της διαιτητικής βιταμίνης E έχουν συσχετιστεί με την εμφάνιση ανώριμων γονάδων και τη μείωση των ρυθμών

εκκόλαψης και του βαθμού επιβίωσης των απογόνων. Τα βιώσιμα αβγά, τα γονιμοποιημένα αβγά και η επιβίωση των προνυμφών χρησιμοποιήθηκαν ως δείκτες για την αξιολόγηση των συνδυαστικών ρόλων των LC-PUFAs και της βιταμίνης E στην απόδοση των γεννητόρων της τσιπούρας, *Sparus aurata*. Με βάση τα διαθέσιμα ερευνητικά αποτελέσματα, οι ειδικές συστάσεις για την ποσότητα των θρεπτικών συστατικών στις τροφές γεννητόρων είναι 250 mg/kg βιταμίνης E και 100-250 mg/kg βιταμίνης C. Οι παρατηρούμενες θετικές επιδράσεις των διαιτητικών φωσφολιπιδίων (ποιότητα αβγών), του καροτενοειδούς ασταξανθίνη (επιπλέοντα και εκκολαφθέντα αβγά, αυξημένο ποσοστό φυσιολογικών προνυμφών) και της πυριδοξίνης (σύνθεση στεροειδών ορμονών) έχουν οδηγήσει στην ένταξή τους στη διατροφή. Οι απαιτούμενες ποιοτικές και ποσοτικές διατροφικές βελτιώσεις που απαιτούνται για τους γεννήτορες αυξάνουν το κόστος των τροφών. Ωστόσο, το υψηλότερο κόστος αντισταθμίζεται από την ύπαρξη υγιών γεννητόρων που έχουν υψηλότερη παραγωγή αβγών και ποσοστό επιβίωσης προνυμφών, ιδίως για τα θαλάσσια ψάρια. Η αξιόπιστη διαθεσιμότητα νεαρών ατόμων προς εκτροφή εξακολουθεί να αποτελεί σημαντικότατο κώλυμα για την αύξηση της παραγωγής θαλάσσιων ψαριών και τη συμβολή στην εξασφάλιση ζωικών πρωτεϊνών σε παγκόσμιο επίπεδο.

Κατά τη διάρκεια της ωρίμανσης των αναπαραγωγικών οργάνων των καρκινοειδών, τα θρεπτικά συστατικά μεταφέρονται κυρίως από το ηπατοπάγκρεας (μεσεντέριος αδένας). Ως εκ τούτου, αυτά τα θρεπτικά συστατικά έχουν αναγνωριστεί ως σημαντικά, επειδή παρατηρείται μια χαρακτηριστική συσσώρευσή τους στις ωοθήκες κατά τη διάρκεια της αναπαραγωγικής ωρίμανσης, και βρίσκονται κυρίως σε φυσικούς πληθυσμούς οργανισμών που χρησιμεύουν ως επιτυχείς τροφές γεννητόρων. Με την πρόκληση γοναδογένεσης με την εκτομή του οφθαλμικού μίσχου (βλ. ενότητα 6.2.2), προκύπτει αμέσως απαίτηση για καλής ποιότητας τροφή. Υπάρχει ζήτηση για λιπίδια, τόσο ως πηγή ενέργειας όσο και ως EFAs, ιδιαίτερα για LC-PUFAs, όπως τα 20:5n-3, 22:6n-3 και 20:4n-6, που χαρακτηριστικά συσσωρεύονται σε συγκριτικά υψηλές συγκεντρώσεις στον ιστό των ωοθηκών. Κατά τη διάρκεια της ωρίμανσης των ωοθη-

κών, η περιεκτικότητα σε τριγλυκερίδια αυξάνεται και αυτά τα λιπίδια μεταφέρονται τελικά στα αβγά που παράγονται. Τα τριγλυκερίδια των ωοθηκών χρησιμεύουν κυρίως ως πηγές ενέργειας, αλλά ορισμένα διαιτητικά λιπαρά οξέα, ιδιαίτερα τα 20:5n-3 και 22:6n-3, είναι σημαντικά για την ωρίμανση των ωοθηκών, τη γονιμότητα και την ποιότητα των αβγών. Επιπλέον, το αραχιδονικό οξύ (20:4n-6) και άλλα ω-6 λιπαρά οξέα είναι γνωστό ότι αποτελούν πρόδρομες ουσίες των προσταγλανδινών, που θεωρείται ότι διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο σε αναπαραγωγικές διεργασίες, όπως η λεκιθογένεση. Με βάση την παρουσία και τη συγκέντρωσή τους στις ωοθήκες, τα φωσφολιπίδια, ιδιαίτερα η φωσφατιδυλοχολίνη, η φωσφατιδυλαιθανολαμίνη και η χοληστερόλη θεωρούνται σημαντικά στις διαδικασίες της αναπαραγωγικής ωρίμανσης. Τα καροτενοειδή, ιδιαίτερα η ξανθοφύλλη ασταξανθίνη, συσσωρεύονται στις ωοθήκες ως μέρος της πρωτεΐνης λιπολεκθίνης. Αυτές οι ενώσεις λιπιδίων έχουν σημαντικές αντιοξειδωτικές ιδιότητες και προσδίδουν χρώμα στις ωοθήκες, από όπου η χρωστική μεταφέρεται στα αβγά και τις προνύμφες. Σε γενικές γραμμές, τα συνιστώμενα επίπεδα στις τροφές των γεννητόρων είναι 2% φωσφολιπίδια, 50 mg/kg ασταξανθίνη και συνολικό επίπεδο λιπιδίων 10%, υψηλότερο από αυτό που περιλαμβάνεται στις τροφές πάχυνσης (περίπου 7%). Τα καρκινοειδή δεν είναι σε θέση να συνθέσουν LC-PUFAs και καροτενοειδή *de novo*, οπότε η πηγή αυτών πρέπει να είναι η τροφή τους. Η χοληστερόλη μπορεί να συντεθεί από φυτοστερόλες, αλλά ο ρυθμός σύνθεσης είναι ανεπαρκής για να καλύψει τις διατροφικές απαιτήσεις.

Τα επίπεδα πρωτεϊνών στις ωοθήκες αυξάνονται επίσης κατά την ωρίμανση, και προέρχονται πιθανώς από τη μεταφορά της λεκιθογενίνης από το ηπατοπάγκρεας όπου συντίθεται. Φαίνεται, συνεπώς, ότι σε μια τυποποιημένη τροφή για γεννήτορες θα πρέπει να συμπεριληφθούν υψηλότερα επίπεδα πρωτεϊνών. Η ανάγκη αυτή υποστηρίζεται επίσης από τα υψηλά επίπεδα πρωτεϊνών της νωπής τροφής που παρέχεται ως “τροφή ωρίμανσης”. Δεν υπάρχουν ακόμη αποδείξεις για την αναγκαιότητα συγκεκριμένης ποσότητας ή ποιότητας υδατανθράκων στις τυποποιημένες τροφές για γεννήτορες καρκινοειδών.

Ομοίως με τα ψάρια, έχει βρεθεί ότι οι βιταμίνες, Α, C και Ε απαιτούνται ως διαιτητικά συστατικά για την επίτευξη επιθυμητής αναπαραγωγικής απόδοσης στους γεννήτορες. Ανεπάρκεια σε βιταμίνη Ε έχει οδηγήσει σε ανωμαλίες στο σπέρμα και σε μείωση του ρυθμού εκκόλαψης των αβγών. Υψηλοί ρυθμοί εκκόλαψης έχουν επίσης παρατηρηθεί ως αντίδραση στην αύξηση του διαιτητικού ασκορβικού οξέως (βιταμίνη C), μιας ένωσης με αντιοξειδωτικές ιδιότητες.

8.5 Πέψη και Αφομοίωση Τροφής

Η κατανόηση της πέψης και της αφομοίωσης της τροφής είναι σημαντική, καθώς η επιλογή των πιο εύπεπτων συστατικών, ως πηγών θρεπτικών ουσιών για υδατοκαλλιεργούμενα είδη, είναι απαραίτητη για την επίτευξη χαμηλού δείκτη μετατρεψιμότητας της τροφής ή για την επίτευξη υψηλής αποδοτικότητας της τροφής. Η μεγιστοποίηση της διαθεσιμότητας και της αφομοίωσης των θρεπτικών συστατικών, για την αύξηση και για άλλες βασικές μεταβολικές διεργασίες, οδηγεί σε υψηλό ρυθμό αύξησης, που αποτελεί ένα κρίσιμο συστατικό της βιωσιμότητας της καλλιέργειας. Κατά συνέπεια, μια περίληψη της γνώσης αναφορικά με την επεξεργασία των τροφών που καταναλώνονται από τα ψάρια, τα καρκινοειδή και τα εχινόδερμα/μαλάκια θα χρησιμεύσει ως ένα σημαντικό θεμέλιο για την κατανόηση της διαθεσιμότητας και του μεταβολισμού των θρεπτικών συστατικών. Οι ακόλουθες περιγραφές της πέψης και της αφομοίωσης των θρεπτικών συστατικών προέρχονται από εκτενέστερες περιγραφές του Cuccaldi (1997) για τα καρκινοειδή και του Horn (1998) για τα ψάρια. Οι διαδικασίες της πέψης και της αφομοίωσης των θρεπτικών συστατικών από τα ψάρια και τα καρκινοειδή συνολικά μοιάζουν με αυτές για τα μονογαστρικά (με ένα στομάχι) χερσαία ζώα.

8.5.1 Ψάρια

Τα ψάρια αρχικά εξελίχθηκαν ως σαρκοφάγα και στη συνέχεια ακολούθησε η εξέλιξη των φυτοφάγων, των παμφάγων και των σαπροφάγων ειδών. Όμως, το 85% όλων των ειδών των ψαριών παραμένουν σαρκοφάγα. Τα σαρκοφάγα δεν έχουν τη

δυνατότητα να πέπτουν αποτελεσματικά τους υδατάνθρακες, οπότε ως πηγή ενέργειας χρησιμεύουν οι πρωτεΐνες και τα λιπίδια της τροφής. Αντίθετα, οι υδατάνθρακες μπορούν να χρησιμεύσουν ως μία εξαιρετική πηγή ενέργειας για τα φυτοφάγα, τα παμφάγα και τα σαπροφάγα είδη, και, συνεπώς, οι τυποποιημένες τροφές των ειδών αυτών μπορούν να περιέχουν αναλογικά λιγότερες πρωτεΐνες και λιπίδια, γεγονός που τις καθιστά πιο οικονομικές.

Η μορφολογία του πεπτικού συστήματος διαφέρει μεταξύ των ειδών, ανάλογα με τη στρατηγική τροφοληψίας τους, και το μήκος είναι γενικά ένα καθοριστικό χαρακτηριστικό. Για παράδειγμα, τα σαπροφάγα είδη πρέπει να επεξεργάζονται αποτελεσματικά μεγάλες ποσότητες τροφής που είναι φτωχή σε θρεπτικά συστατικά, ώστε να αντλήσουν τις απαιτούμενες ποσότητες αυτών. Συνεπώς, έχουν μεγάλου μήκους έντερο, εντός του οποίου η τροφή κινείται γρήγορα. Στο έντερο υπάρχει μια λεπτή επένδυση βλεννογόνου για να διευκολύνεται η ταχεία πρόσληψη των θρεπτικών ουσιών. Αντιπροσωπευτικά είδη που ενδιαφέρουν την υδατοκαλλιέργεια είναι ο κυπρίνος, η τιλάπια και το γαλατόψαρο. Τα σαρκοφάγα είδη έχουν γενικά κοντό (σε απόλυτο μήκος) έντερο με παχύ βλεννογόνο και ο ρυθμός μεταφοράς της τροφής διαμέσου του εντέρου είναι συγκριτικά μεγαλύτερος. Ωστόσο, ορισμένα ψάρια, κατά μήκος του εγγύτερου τμήματος του εντέρου, έχουν πυλωρικά τυφλά, τα οποία χαρακτηρίζονται από την ύπαρξη μιας μεγάλης επιφάνειας για την υποβοήθηση της αποτελεσματικής απορρόφησης των διαθέσιμων θρεπτικών συστατικών. Η τροφή περνάει μέσα από τα πυλωρικά τυφλά με τον ίδιο ρυθμό που διέρχεται μέσω του εντέρου. Αντιπροσωπευτικά σαρκοφάγα είδη είναι η πέστροφα, ο τόνος και το υβριδικό γραμμωτό λαβράκι. Πολλά φυτοφάγα είδη έχουν ένα τροποποιημένο στομάχι με παχύ τοίχωμα, που ονομάζεται μυώδης στόμαχος, το οποίο χρησιμοποιείται κυρίως για τη φυσιολογική διάσπαση της τροφής, σε συνδυασμό με τη χημική πέψη που επέρχεται μέσω των ενζύμων. Το μήκος του εντέρου των φυτοφάγων ψαριών είναι συνήθως ενδιάμεσο μεταξύ αυτού των σαπροφάγων και των σαρκοφάγων ειδών.

Το μεγαλύτερο μέρος της πέψης της τροφής που καταναλώνεται από τα ψάρια πραγματοποιεί-

ται στο έντερο, και ακολουθεί η απορρόφηση μέσω των επιθηλιακών κυττάρων που φέρουν πολυάριθμες μικρολάχνες. Λόγω της μορφολογίας τους, οι μικρολάχνες συνεισφέρουν σε ποσοστό περίπου 90% σε σχέση με τη συνολική απορροφητική επιφάνεια του γαστρεντερικού σωλήνα ενός ψαριού.

Πριν από την είσοδο στο στομάχι (αν υπάρχει), μερική φυσική διάσπαση της τροφής μπορεί να επιτευχθεί με τα δόντια, που μπορεί να υπάρχουν στο στόμα ή στο φάρυγγα. Η τροφή τεμαχίζεται σε μικρότερα σωματίδια και αναμιγνύεται με βλέννα που παράγεται από εξειδικευμένα επιθηλιακά κύτταρα του οισοφάγου. Στα είδη ψαριών που έχουν στομάχι, η πέψη της τροφής πραγματοποιείται και χάρη στη λειτουργία του μυϊκού ιστού και μέσω της δράσης πεπτικών ενζύμων. Στα αρχικά στάδια της χημικής πέψης διασπώνται οι πρωτεΐνες σε μικρότερες αλυσίδες αμινοξέων μέσω της δράσης του ενζύμου πεψίνη σε συνδυασμό με το HCl, όπου και τα δύο εκκρίνονται από κύτταρα του βλεννογόνου του στομάχου. Η πεψίνη είναι μια ενδοπεπτιδάση που υδρολύει τους πεπτιδικούς δεσμούς (δεσμοί μεταξύ αμινοξέων) στο εσωτερικό των πρωτεϊνικών μορίων. Με την έκκριση του HCl, το pH του περιεχομένου του στομάχου μειώνεται σε 1-2. Όταν το στομαχικό περιεχόμενο έχει υποστεί μερική πέψη και μετακινηθεί από το στομάχι στο έντερο, το pH του στομάχου επιστρέφει σε τιμές μεταξύ 4 και 7. Στη συνέχεια, εντός του εντέρου, ολοκληρώνεται η πέψη των πρωτεϊνών και άλλων μακροθρεπτικών συστατικών (λιπίδια, υδατάνθρακες). Διττανθρακικά ιόντα από το πάγκρεας εξουδετερώνουν το όξινο μίγμα που προωθήθηκε από το στομάχι και το pH του εντέρου κυμαίνεται μεταξύ 7 και 9. Τα περισσότερα από τα πεπτικά ένζυμα που υπάρχουν στο έντερο εκκρίνονται από τα εξωκρινή κύτταρα του παγκρέατος και τα επιθηλιακά κύτταρα του εντέρου.

Το πάγκρεας εκκρίνει δύο κύριες ενδοπεπτιδάσες, την τρυψίνη και την χυμοτρυψίνη, οι οποίες εμφανίζουν βέλτιστη λειτουργικότητα σε τιμές pH 7-7.5, και συνεχίζουν την πέψη των πρωτεϊνών υδρολύοντας πεπτιδικούς δεσμούς που παραμένουν στο εσωτερικό των πρωτεϊνικών μορίων. Αυτές οι ενδοπεπτιδάσεις είναι ιδιαίτερα ακριβείς, επιτελώντας την υδρόλυση των πεπτιδικών δεσμών στο σημείο όπου η καρβοξυλομάδα της

αργινίνης και λυσινίνης συνδέεται με την αμινομάδα ενός άλλου αμινοξέος. Η τρυψίνη ενεργοποιεί τη χυμοτρυψίνη μέσω της πρωτεόλυσης (διάσπασης) της ανενεργούς μορφής της (χυμοτρυψινογόνο), και συγκεκριμένα η χυμοτρυψίνη Α υδρολύει τους πεπτιδικούς δεσμούς στο καρβοξυλικό άκρο των αμινοξέων όπου υπάρχει μια αρωματική πλευρική αλυσίδα, όπως η τυροσίνη και η φαινυλαλανίνη. Οι καρβοξυπεπτιδάσες Α και Β συνεχίζουν την υδρόλυση των πεπτιδικών δεσμών των πολυπεπτιδικών μορίων που δημιουργούνται από τις ενδοπεπτιδάσες, εστιάζοντας στους πεπτιδικούς δεσμούς που έχουν ελεύθερες καρβοξυλομάδες και αμινομάδες στα άκρα των μορίων. Οι πεπτιδικοί δεσμοί των τριπεπτιδίων και των διπεπτιδίων που προκύπτουν υδρολύονται περαιτέρω στα αμινοξέα από τα οποία αποτελούνται από αμινοπεπτιδάσες προερχόμενες από τα επιθηλιακά κύτταρα του βλεννογόνου του εντέρου.

Άλλα ένζυμα που παράγονται και απελευθερώνονται από το πάγκρεας είναι οι αμυλάσες, οι οποίες υδρολύουν τους γλυκοζιτικούς δεσμούς των πολυσακχαριτών προς παραγωγή ολιγοσακχαριτών και ακολούθως δισακχαριτών. Οι δισακχαρίτες υδρολύονται περαιτέρω σε μονοσακχαρίτες από δισακχαριδάσες που απελευθερώνονται από τα επιθηλιακά κύτταρα του βλεννογόνου. Στο πλαίσιο της προετοιμασίας της πέψης, τα λιπίδια στο έντερο μειώνονται σε μέγεθος και παίρνουν τη μορφή σταγονιδίων που γαλακτωματοποιούνται από ένα μείγμα φωσφολιπιδίων και χολικών αλάτων που παράγονται από το ήπαρ και εκκρίνονται μέσω της χοληδόχου κύστης. Στη συνέχεια, οι εστερικοί δεσμοί των γαλακτωματοποιημένων λιπιδίων υδρολύονται από λιπάσες που εκκρίνονται από το πάγκρεας, και τα τριγλυκερίδια μειώνονται σε διγλυκερίδια και, ακολούθως, σε μονογλυκερίδια, λιπαρά οξέα και σε γλυκερόλη. Οι φωσφολιπάσες συμμετέχουν επίσης στην υδρόλυση του εστερικού δεσμού μεταξύ του φωσφορικού οξέος και της γλυκερόλης που βρίσκεται στα μόρια των φωσφολιπιδίων.

Η απορρόφηση των θρεπτικών συστατικών με τη μορφή των δομικών στοιχείων των μακροθρεπτικών, δηλαδή ως αμινοξέα, λιπαρά οξέα και μονοσακχαρίτες, πραγματοποιείται στο έντερο, είτε ενεργά (μέσω μεταφορικών μορίων) είτε παθητικά (μέσω διάχυσης). Οι κυτταρικές θέσεις απορ-

ρόφησης των θρεπτικών συστατικών ονομάζονται εντεροκύτταρα. Τα λιπαρά οξέα, τα μονογλυκερίδια, οι λιποδιαλυτές βιταμίνες, η χοληστερόλη και άλλα λιποφιλικά θρεπτικά συστατικά συνδυάζονται με χολικά άλατα και φωσφολιπίδια για να σχηματίσουν ένα μικκύλιο, με το οποίο αυτά τα θρεπτικά συστατικά μεταφέρονται στα επιθηλιακά κύτταρα του βλεννογόνου των εντεροκυττάρων εντός του οποίου απελευθερώνονται με παθητική διάχυση. Η γλυκόζη και άλλοι μονοσακχαρίτες, αμινοξέα, μικρά πεπτίδια, αλλά ακόμη και μερικές άθικτες πρωτεΐνες περικλείονται από τα επιθηλιακά κύτταρα του βλεννογόνου των εντεροκυττάρων μέσω μιας διαδικασίας που ονομάζεται πινοκύττωση. Τα αμινοξέα, η γλυκόζη, τα δι- και τριπεπτίδια και οι υδατοδιαλυτές βιταμίνες, όντας σε ευθυγράμμιση με συγκεκριμένα πρωτεϊνικά μόρια μεταφορείς, απορροφώνται ενεργά κατά μήκος των μεμβρανών των επιθηλιακών κυττάρων του βλεννογόνου και εισέρχονται στο κυκλοφορικό σύστημα. Αυτά τα θρεπτικά συστατικά, στη συνέχεια, μεταφέρονται στο ήπαρ για να αποθηκευτούν ή να οξειδωθούν προς παραγωγή ενέργειας.

8.5.2 Καρκινοειδή

Ως μονογαστρικά (με ένα στομάχι) ζώα, η μορφολογία του πεπτικού συστήματος και οι ενζυμικές πεπτικές διεργασίες των καρκινοειδών είναι παρόμοιες με εκείνες των ψαριών. Παρόλα αυτά, υπάρχουν ορισμένες αξιοσημείωτες διαφορές. Πριν από τη μεταφορά στο στόμα, τα καρκινοειδή τροποποιούν και μειώνουν το μέγεθος της τροφής που προσλαμβάνουν χρησιμοποιώντας ειδικά εξωτερικά στοματικά εξαρτήματα, και συγκεκριμένα τις άνω (maxilla) και κάτω (mandible) γνάθους. Μεταξύ του στόματος και του στομάχου υπάρχει ο οισοφάγος, ο οποίος είναι κοντός, ευθύς και με κατακόρυφο προσανατολισμό. Η εσωτερική επιφάνεια του στομάχου είναι επικαλυμμένη με ένα σύμπλεγμα χιτίνης-πρωτεΐνης. Η πρόσθια περιοχή του στομάχου έχει λεπτό επιθήλιο, ενώ η οπίσθια περιοχή, που περιλαμβάνει την καρδιακή και την πυλωρική μοίρα, φέρει ασβεστοποιημένα “δόντια” (γαστρικοί μύλοι) που χρησιμοποιούνται για να διασπάσουν την εισερχόμενη τροφή σε μικρότερα σωματίδια. Τα σωματίδια αυτά, στη συνέχεια, διαχωρίζονται με βάση το μέγεθος, και

είτε μεταφέρονται έξω από το στομάχι είτε διατηρούνται εντός αυτού για περεταίρω διάσπαση. Τα πολύ λεπτά σωματίδια τροφής που εγκαταλείπουν το στομάχι, τελικά, μεταφέρονται σε ένα σημαντικό όργανο, το ηπατοπάγκρεας, το οποίο ονομάζεται και μεσεντέριος αδένας. Αυτός ο ιστός αποτελείται από δύο τμήματα και κάθε τμήμα, αποτελούμενο από 2-3 λοβούς, οδηγεί σε ένα πεπτικό σωλήνα που περιέχει δευτερογενή και τριτογενή σωληνάκια. Αυτά τα σωληνάκια αποτελούν το αδενικό μέρος του μεσεντέριου και παράγουν μια σειρά από ένζυμα για να διευκολύνουν τη χημική πέψη. Η θρυψίνη είναι το κύριο πρωτεολυτικό ένζυμο, ενώ η χυμοθρυψίνη είτε δεν υπάρχει είτε υπάρχει σε πολύ μικρές ποσότητες. Καρβοξυπεπτιδάσες, αμινοπεπτιδάσες και διπεπτιδάσες ολοκληρώνουν την πέψη των πρωτεϊνών. Παρόντα είναι επίσης ένζυμα που επηρεάζουν τη χημική πέψη των υδατανθράκων και των λιπιδίων. Τα αμινοξέα και τα μόρια που είναι προϊόντα της πέψης των λιπιδίων και των υδατανθράκων απορροφώνται από τα επιθηλιακά κύτταρα του βλεννογόνου του εντέρου. Ο μεσεντερικός αδένας επιδεικνύει λειτουργίες παρόμοιες με του ήπατος, αποθηκεύοντας και μεταβολίζοντας οργανικές ενώσεις, και αποθηκεύοντας μέταλλα.

8.6 Σύσταση, Παραγωγή και Πεπτικότητα Τροφών

Μια ποικιλία από συστατικά, προμείγματα και συμπληρώματα συνθέτουν γενικά τις τροφές που χρησιμοποιούνται στις υδατοκαλλιέργειες για ερευνητική ή πρακτική χρήση (**Πίνακας 8.4**). Η ποιοτική και ποσοτική σύνθεση των συστατικών μιας τροφής ονομάζεται σύσταση. Συστατικά που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή τροφών υδρόβιων οργανισμών είναι συνήθως υποπροϊόντα της επεξεργασίας τροφίμων που προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση. Η επιλογή των συστατικών των τροφών πρέπει να διέπεται από πρακτικές παραγωγής που να είναι βιώσιμες, και τα συστατικά αυτά θα πρέπει να μην χρησιμοποιούνται για ανθρώπινη κατανάλωση. Πρωταρχικός στόχος κατά την ανάπτυξη μιας τροφής είναι η ελαχιστοποίηση του αριθμού των συστατικών, διασφαλίζοντας παράλληλα ότι είναι ιδιαίτερα εύπεπτα ώστε να επι-

Πίνακας 8.4 Παραδείγματα συστατικών που βρίσκονται συνήθως σε εργαστηριακές/ερευνητικές τροφές, σε τροφές που παρασκευάζονται εντός της μονάδας υδατοκαλλιέργειας και σε εμπορικές τροφές για υδρόβια ζώα. Οι αναλογικές ποσότητες ποικίλλουν ανάλογα με την επιλογή των συστατικών, των χρησιμοποιούμενων συστημάτων παραγωγής, τον τύπο παρασκευής και τα είδη.

Εργαστηριακή Έρευνα	Τροφές Παρασκευασμένες εντός της Μονάδας Υδατοκαλλιέργειας/ Συμπληρώματα	Εμπορικά Σκευάσματα Εξώθησης/ Σύμπηκτα
Καζεΐνη χωρίς βιταμίνες	Ιχθυάλευρο	Ιχθυάλευρο
Καθαρή πρωτεΐνη σόγιας	Πίτουρο ρυζιού	Σογιάλευρο
Ζελατίνη	Αλεύρι/ελαιόπαστα καρύδας	Αλεύρι παραπροϊόντων πουλερικών
Ραφιναρισμένη λεκιθίνη σόγιας	Σπόροι λούπινου	Πτεράλευρο πουλερικών
Δεξτρίνη	Αλεύρι από φύλλα του φυτού κασάβα	Κόκκοι σιταριού
Φωσφατιδυλοχολίνη	Αλεύρι φυσιτικών	Αλεύρι γλουτένης καλαμποκιού
Άμυλο σιταριού	Σογιάλευρο	Αιματάλευρο
Κυτταρίνη-α	Παραλίεσμα ψαριών	Αλεσμένο σιτάρι
Αλβουμίνη αβγών	Λάδι καρύδας/ξηρών καρπών	Αλεύρι σίτου
Συμπύκνωμα πρωτεΐνης ψαριών	Πτηνοτροφές	Αλεύρι καλαμαριού
Ιχθυέλαια/φυτικά έλαια	Ιχθυέλαια/φυτικά έλαια	Ιχθυέλαια/φυτικά έλαια
Προμείγματα βιταμινών/μετάλλων	Προμείγματα βιταμινών/μετάλλων	Προμείγματα βιταμινών/μετάλλων
Κανθαξανθίνη	Φλοιός σόγιας	Ασταξανθίνη

τυγχάνεται ικανοποίηση των διατροφικών απαιτήσεων. Οι Glencross et. al. (2017) συνέθεσαν ένα σύνολο από στρατηγικές για την αξιολόγηση των συστατικών προς χρήση στις τροφές των υδατοκαλλιεργειών, και η εργασία αυτή αποτελεί μία εξαιρετική βάση για την ανάπτυξη διεθνών προτύπων για την επιλογή και χρήση διαιτητικών συστατικών στις τροφές των υδατοκαλλιεργειών. Ίδανικά, οι κατασκευαστές τέτοιων τροφών θα αναγνωρίσουν τα οφέλη αυτών των προτύπων/πρακτικών και, κατά συνέπεια, θα τα αποδεχθούν και θα τα εφαρμόσουν.

8.6.1 Παρασκευή Τροφών (Τροφές που Παρασκευάζονται Εντός της Μονάδας Υδατοκαλλιέργειας)

Τροφές που παρασκευάζονται εντός της μονάδας υδατοκαλλιέργειας παράγονται ακόμη για χρήση σε καλλιέργειες μικρής κλίμακας σε πολλές χώρες, λόγω της περιορισμένης διαθεσιμότη-

τας ή του απαγορευτικού κόστους των εμπορικών σύμπηκτων. Παραδείγματα συστατικών αυτών των τροφών αποτελούν τα υπολείμματα γαρίδας, τα νωπά φύλλα, το ενσίρωμα καλαμποκιού και το βόειο συκώτι. Η επιλογή των συστατικών βασίζεται στη διαθεσιμότητα και στο κόστος τους. Γενικά, η σύσταση των τροφών αυτών είναι ειδοειδική, αλλά συνιστώμενες συνθέσεις συστατικών δεν υπάρχουν. Η χρήση μη μεταποιημένων ζωικών συστατικών, η εκτεταμένη ποικιλία συμβατικών πρώτων υλών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν, και η έλλειψη σταθερής ποιότητας και διατροφικής σύνθεσης των τοπικά διαθέσιμων συστατικών, διεγείρουν ανησυχίες αναφορικά με την τρέχουσα αξία των τροφών που παρασκευάζονται εντός της μονάδας υδατοκαλλιέργειας. Σε αυτές τις περιπτώσεις, η διασφάλιση της ποιότητας δεν αποτελεί μέρος των πρακτικών παραγωγής. Η χρήση ορισμένων τοπικά διαθέσιμων συστατικών στη σύνθεση των εμπορικών τροφών είναι ελκυστική. Ωστόσο, η συνήθης έλλειψη επαρκών ποσοτήτων

αυτών των τοπικών συστατικών, καθώς και η απρόβλεπτη σύνθεσή τους σε θρεπτικές ουσίες, που προκαλείται από διαφορές στο χρόνο συλλογής ή από διαφοροποιήσεις στις πρακτικές προετοιμασίας τους, προκαλούν επιφυλάξεις σχετικά με την αξιοποίησή τους.

Η χρήση τροφών που παρασκευάζονται εντός της μονάδας υδατοκαλλιέργειας συνεχίζεται σε μικρές μονάδες και η εύρεση μεθόδων παραγωγής που θα βελτιώσουν τη συνέπεια και την αποτελεσματικότητα των τροφών αυτών αποτελεί αντικείμενο έρευνας. Για παράδειγμα, η επιθυμία χρήσης τροφών που επιπλέουν και που δεν απαιτούν εφαρμογή της δαπανηρής τεχνολογίας της εξώθησης (βλ. επόμενη ενότητα), έχει οδηγήσει στη δοκιμή ποικίλων συστατικών για την παραγωγή σύμψηκτων που έχουν χαρακτηριστικά θετικής πλευστότητας. Η χρήση τροφών που παρασκευάζονται εντός της μονάδας υδατοκαλλιέργειας θα συνεχιστεί. Ωστόσο, με τις αναμενόμενες αυξήσεις της κλίμακας παραγωγής σε παγκόσμιο επίπεδο, προκειμένου να καλυφθούν οι μελλοντικές κατά κεφαλήν απαιτήσεις σε πρωτεΐνη, οι εμπορικές τροφές θα αντικαταστήσουν τις τροφές που παρασκευάζονται εντός των μονάδων υδατοκαλλιέργειας στις περιπτώσεις όπου υπάρχουν οικονομικά πλεονεκτήματα. Ο στόχος των περιβαλλοντικά και οικονομικά βιώσιμων πρακτικών παραγωγής θα επιτευχθεί τελικά μέσω της υιοθέτησης μεθόδων που θα μειώσουν δραστικά τα απόβλητα και τη μετάδοση ασθενειών, και που θα περιορίσουν την έλλειψη σταθερότητας στην ετήσια παραγωγή.

8.6.2 Παρασκευή Τροφών (Ξηρά Σύμψηκτα)

Η παρασκευή τροφών με τη μορφή σύμψηκτων περιλαμβάνει μια ακολουθία βημάτων. Τα συστατικά που προορίζονται να χρησιμοποιηθούν για τη σύσταση μιας τροφής μπορεί να υπόκεινται σε προκαταρκτική διαδικασία άλεσης. Στόχος αυτής της διαδικασίας είναι να ενισχυθεί η πεπτικότητα, αλλά και να δημιουργηθεί ένα ομοιογενές μείγμα συστατικών. Μετά τη διαδικασία άλεσης, τα συστατικά είναι ομογενοποιημένα και σε αυτά προστίθενται ξεχωριστά μικροθρεπτικά συστατικά, όπως προμείγματα μετάλλων και βιταμινών. Ακολούθως πραγματοποιείται ανάμειξη και πρόσθετη άλεση

ολόκληρου του μείγματος. Τα σύμψηκτα παράγονται με τη βοήθεια ατμού (15–18%), προκειμένου να ενυδατωθεί το μείγμα, και με ταυτόχρονη θέρμανση μεταξύ 65 και 85 °C. Έπειτα το μείγμα διέρχεται από ειδικό καλούπι, ώστε να αποκτήσει το επιθυμητό μέγεθος ενός συμπιεσμένου, μη επιπλέοντος σύμψηκτου. Τα σύμψηκτα παράγονται επίσης και με μια ελαφρώς διαφορετική διαδικασία, όπου στο τελικό μείγμα προστίθεται υψηλότερο ποσό υγρασίας (~25%) και ακολουθεί η έκθεσή του σε υψηλότερες θερμοκρασίες (90–150 °C) μέσα σε θάλαμο εξώθησης. Στη συνέχεια, το μείγμα αυτό διέρχεται μέσω ειδικού καλουπιού (εξώθηση σύμψηκτου). Καθώς το σύμψηκτο περνά μέσα από το καλούπι, μέρος της υγρασίας εξατμίζεται, προκαλώντας την διόγκωσή του. Τα σύμψηκτα ξηραίνονται ώστε να περιέχουν υγρασία σε ποσοστό μεταξύ 8 έως 10%, και μπορούν είτε να βυθίζονται είτε να επιπλέουν, γεγονός που καθορίζεται από τη σύνθεση των συστατικών τους.

Ο τύπος της διαδικασίας παρασκευής μπορεί να συμβάλλει στην ενίσχυση της θρεπτικής αξίας της τροφής. Με την προσθήκη συγκριτικά υψηλότερων ποσοτήτων νερού, σε συνδυασμό με τη χρήση υψηλότερης θερμοκρασίας πριν από την εξώθηση, το άμυλο που περιέχεται στα συστατικά της παραγόμενης τροφής ζελατινοποιείται. Έχει αποδειχθεί ότι το ζελατινοποιημένο άμυλο είναι πιο εύπεπτο από άλλες μορφές αμύλου για την πέστροφα και τον κυπρίνο, παρέχοντας έτσι μεγαλύτερη ποσότητα διαθέσιμης διαιτητικής ενέργειας. Η διαστολή του σύμψηκτου που πραγματοποιείται κατά τη διάρκεια της εξώθησης παράγει επίσης μια επιφάνεια στην οποία μπορεί να προσκολληθεί μία λιπιδική επίστρωση. Η ικανότητα εισαγωγής λιπιδίων με αυτόν τον τρόπο προσφέρει την δυνατότητα να αυξηθεί το ενεργειακό περιεχόμενο των τροφών, να ενισχυθεί η γευστικότητα, και να μειωθεί σημαντικά η ποσότητα σκόνης που μπορεί να συσσωρευτεί μετά την παρασκευή και κατά την αποθήκευση/μεταφορά, ελαχιστοποιώντας έτσι την ποσότητα των τροφών που δεν είναι διαθέσιμες για χρήση.

Ορισμένα συστατικά ενδέχεται να παρεμβαίνουν στη διαδικασία παραγωγής τροφών ή να υφίστανται απώλειες κατά τη διάρκεια αυτής. Για παράδειγμα, το πίτουρο ρυζιού δεν αποτελεί προτιμώμενο συστατικό τροφών, επειδή μπορεί να είναι

τραχύ για τον εξοπλισμό που χρησιμοποιείται στη διαδικασία παρασκευής τροφών. Η παρασκευή τροφών με εξώθηση προκαλεί απώλεια (εξάλειψη της δραστηριότητας) περίπου του 50% του ασκορβικού οξέος. Για να διατηρηθεί το επιθυμητό διατροφικό επίπεδο, πρέπει να υπάρξει κάποιο αντιστάθμισμα, όπως η προσθήκη μεγαλύτερων ποσοτήτων ή η παρουσία κάποιου μηχανισμού σταθεροποίησης.

Η ποιότητα των τροφών ποικίλλει ανάλογα με τη σύνθεση των συστατικών και την επεξεργασία τους. Η ύπαρξη διαφορών μπορεί να επηρεάσει την αύξηση επιφέροντας αρνητικές συνέπειες στην κατανάλωση και την πεπτικότητα της τροφής. Τα φυσικά (σκληρότητα, ακεραιότητα, πυκνότητα, απορρόφηση ελαίων) και τα θρεπτικά (διαθεσιμότητα και πεπτικότητα των θρεπτικών συστατικών) χαρακτηριστικά έχουν οριστεί ως ποιοτικοί παράμετροι των υψηλής ενέργειας τροφών εξώθησης. Οι διαφορές στη σταθερότητα των τροφών ως προς το νερό μπορούν να προσδώσουν διαφορετικά χαρακτηριστικά πεπτικότητας και πρόσληψης ανάλογα με το μελετώμενο είδος. Για παράδειγμα, έχει βρεθεί ότι σκληρότερα σύμπηκτα μπορούν είτε να μειώσουν είτε και να αυξήσουν την πρόσληψη τροφής, και χαρακτηρίζονται επίσης από υψηλότερους χρόνους παραμονής στο γαστρεντερικό σωλήνα.

Τα κύρια συστατικά μιας τροφής προστίθενται για να χρησιμοποιηθούν ως πηγές πρωτεΐνης και ενέργειας. Παραδείγματα κοινών πηγών πρωτεΐνης που χρησιμοποιούνται στη σύσταση τροφών αποτελούν το ιχθυάλευρο, το σογιάλευρο και το άλευρο από υποπροϊόντα πουλερικών. Χρησιμοποιούνται ποικίλες πηγές ιχθυαλεύρων όπως η φρίσσα, ο γαύρος και η ρέγγα. Η καλύτερη πηγή φυτικών πρωτεϊνών είναι το σογιάλευρο, αλλά χρησιμοποιούνται και άλλες πηγές, όπως αλεύρι από βαμβακόσπορους και αλεύρι από το φυτό κανόλα. Η περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες των συστατικών ζωικής προέλευσης κυμαίνεται από 50 έως 85%, ενώ η περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες των συστατικών φυτικής προέλευσης κυμαίνεται από 20 έως 50%. Μείγματα διαφορετικών πηγών πρωτεΐνης χρησιμοποιούνται συνήθως προκειμένου να παρέχουν επαρκή και ισορροπημένα επίπεδα διαθέσιμων αμινοξέων. Πηγές λιπιδίων για την παροχή ενέργειας και EFAs είναι, γενικά, έλαια θαλάσ-

σιας προέλευσης ή συνδυασμοί ελαίων θαλάσσιας και φυτικής προέλευσης, για τη δημιουργία μείγματος από ω -3 LC-PUFA και PUFA και ω -6 LC-PUFA και PUFA, αντίστοιχα. Μεγαλύτερο ποσοστό συστατικών φυτικής προέλευσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη σύσταση τροφών για φυτοφάγα και παμφάγα είδη, λόγω της ικανότητάς τους να πέπτουν υδατάνθρακες με μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα. Αυτοί οι υδατάνθρακες χρησιμεύουν ως συμπληρωματικές πηγές ενέργειας.

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων 30 ετών, έχουν γίνει σημαντικές προσπάθειες για τη μείωση ή την εξάλειψη από τις τροφές των αλεύρων και ελαίων θαλάσσιας προέλευσης, επειδή η παραγωγή και των δύο αυτών συστατικών δεν είναι βιώσιμη. Επιπλέον, η απρόβλεπτη διαθεσιμότητα αυτών των συστατικών, σε συνδυασμό με το κυμαινόμενο κόστος τους, δεν ευνοεί τη διατήρηση μιας επιτυχημένης επιχείρησης υδατοκαλλιέργειας. Ως εκ τούτου, τα συστατικά που επιλέγονται για τη σύσταση τροφών πρέπει να είναι συνεχώς και άμεσα διαθέσιμα, συμβάλλοντας παράλληλα στη διατήρηση του χαμηλότερου δυνατού κόστους παραγωγής εκφραζόμενο ανά μονάδα πρωτεΐνης. Για να επιτευχθεί ο στόχος του χαμηλότερου δυνατού κόστους, η παρασκευή τροφών μπορεί να περιλαμβάνει τη χρήση λογισμικού. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να γίνει η επιλογή ενός συνδυασμού συστατικών, με βάση μια σειρά περιορισμών για την εκπλήρωση των διατροφικών απαιτήσεων. Οι περιορισμοί αυτοί περιλαμβάνουν ανώτατα και ελάχιστα όρια που επιβάλλονται για την αποφυγή προβλημάτων κατά την παρασκευή ή κατά την εισαγωγή ιδιοτήτων/χαρακτηριστικών που μειώνουν τη διαθεσιμότητα των θρεπτικών συστατικών στα υδρόβια είδη. Έτσι, η διαθεσιμότητα φωσφόρου, ο οποίος υπάρχει συχνά σε συστατικά φυτικής προέλευσης, μπορεί να μειωθεί έως και κατά 33%, εάν υπάρχει επαρκές φυτικό άλας, το οποίο συνδέεται με το φώσφορο.

8.6.3 Πεπτικότητα Συστατικών και Θρεπτικών Ουσιών

Ο καθορισμός της πεπτικότητας μιας τροφής, των διαφόρων συστατικών και των συγκεκριμένων θρεπτικών ουσιών της, για τα περισσότερα καλλιεργούμενα είδη ψαριών και γαριδών, πραγμα-

τοποιείται έμμεσα μέσω της προσθήκης ενός δύσπεπτου δείκτη σε μια πειραματική τροφή. Ο πιο κοινός δείκτης που χρησιμοποιείται είναι το οξείδιο του χρωμίου, ωστόσο χρησιμοποιούνται και άλλοι δείκτες, όπως τέφρα, διοξείδιο του πυριτίου, ακατέργαστες ίνες, πολυαιθυλένιο, σταθερά ισότοπα και οξείδιο του τιτανίου. Για να γίνει ακριβής προσδιορισμός της πεπτικότητας, ο δείκτης πρέπει να μην είναι τοξικός, να είναι αδρανής (να μη μεταβολίζεται) και να μην μεταβάλλει τη διαδικασία της πέψης και το ρυθμό μεταφοράς διαμέσου του πεπτικού συστήματος. Η σχετική αύξηση του δείκτη στα περιττώματα σε σχέση με την ποσότητά του στην τροφή χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό ενός ποσοστού που ονομάζεται συντελεστής φαινομενικής πεπτικότητας (apparent digestibility coefficient). Ο όρος “φαινομενική” χρησιμοποιείται επειδή τα περιττώματα περιέχουν οργανικό υλικό, όπως ένζυμα και επιθηλιακά κύτταρα του εντέρου, που προκύπτει από τη διαδικασία της πέψης και τη διέλευση της τροφής μέσα από τον εντερικό σωλήνα. Αυτές οι μικρές προσθήκες συμβάλλουν σε μια ελαφριά μείωση των υπολογιζόμενων συντελεστών πεπτικότητας. Μεταξύ εννέα διαφορετικών συστατικών θαλάσσιας προέλευσης (ψάρια, καβούρια, χτένια, κεφάλια γαρίδων, και άλευρα καλαμαριού), οι συντελεστές φαινομενικής πεπτικότητας για ξηρά ύλη κυμαίνονταν από 46 έως 102%, και οι συντελεστές πεπτικότητας των πρωτεϊνών κυμαίνονταν από 64 έως 89% για τις θαλάσσιες γαρίδες του είδους *Litopenaeus vannamei*.

8.6.4 Αντιθρεπτικά Συστατικά και Ρύποι

Για την επιλογή των συστατικών που θα συμπεριληφθούν σε τυποποιημένες τροφές πρέπει επίσης να λαμβάνεται υπόψη η παρουσία ενώσεων που εμποδίζουν/αναστέλλουν την αποτελεσματικότητα της πέψης ή την πρόσληψη συγκεκριμένων θρεπτικών ουσιών. Οι ενώσεις που μπορούν να επηρεάσουν αρνητικά τη δραστηριότητα των πεπτικών ενζύμων είναι γενικά πρωτεΐνες, απλές και σύνθετες. Το ανεπιθύμητο χαρακτηριστικό των πρωτεϊνών αυτών μπορεί να εξουδετερωθεί μέσω θέρμανσης, ζύμωσης ή εκχύλισης με αλκοόλ. Ένα καλό παράδειγμα προσπάθειας αποφυγής της εισαγωγής πιθανών αντιθρεπτικών ουσιών στις τρο-

φές αποτελεί η μερική αντικατάσταση των ιχθυαλεύρων με σογιάλευρο που έχει υποστεί ζύμωση.

Μια ομάδα “αντιθρεπτικών” παραγόντων αναστέλλει τη δραστηριότητα των πρωτεϊνών κατά τη διάρκεια της πεπτικής διαδικασίας. Μερικοί από αυτούς τους παράγοντες έχουν ευρεία δράση και επηρεάζουν μια σειρά από πρωτεΐνες, ενώ άλλοι επικεντρώνονται ειδικά στην τρυψίνη και τις καρβοξυπεπτιδάσες. Η δράση των αμυλασών, που απαιτείται για την πέψη των υδατανθράκων, περιορίζεται από την παρουσία σαπωνινών, που συνήθως περιέχονται σε συστατικά που προέρχονται από φασόλια, σπόρους και βολβούς. Προσθήκη 0,2% σαπωνινών από σόγια σε τροφές που περιέχουν φυτικά άλευρα και που παρέχονταν σε σολομούς του Ατλαντικού προκάλεσε φλεγμονή στο παχύ έντερο και μειωμένη πεπτικότητα των λιπιδίων, των λιπαρών οξέων και των μετάλλων. Σε ορισμένες περιπτώσεις, έχουν προταθεί ελάχιστα επίπεδα για αυτούς τους αναστολείς της πέψης στις τροφές. Έτσι, το ποσοστό των φυτικών συστατικών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως εναλλακτικές λύσεις για τα ιχθυάλευρα μπορεί να επηρεαστεί από τα αντίστοιχα επίπεδα σαπωνινών, καθώς και από την παροχή των κατάλληλων ποσοτήτων των απαραίτητων αμινοξέων.

Αναστολείς της πέψης της λιπάσης βρίσκονται συνήθως σε συστατικά που προέρχονται από σπόρους που έχουν χαρακτηριστικά υψηλά επίπεδα λιπιδίων (σόγια, ηλίανθος και φυστίκι/αραχίδα). Επίσης, σε αυτή την ομάδα συστατικών που περιέχουν αναστολείς λιπάσης περιλαμβάνονται δημητριακά όπως το σιτάρι, το κριθάρι και το σόργο. Αυτοί οι αναστολείς παρεμβαίνουν στη διαδικασία της πέψης δεσμεύοντας γαλακτωματοποιημένα λιπιδικά σταγονίδια ή σχηματίζοντας ένα σύμπλεγμα με το ίδιο το ένζυμο. Γενικά, η πέψη των λιπιδίων στα ψάρια είναι πολύ υψηλή, αλλά η υπέρβαση συγκεκριμένων επιπέδων σε δημητριακά ή άλευρα από σπόρους στις τυποποιημένες τροφές είναι επιβλαβής, εκτός εάν εισαχθεί ή εφαρμοσθεί κάποιος ανασταλτικός παράγοντας.

Φυτικά οξέα ή άλατα του φυτικού οξέος βρίσκονται φυσικά στα συστατικά φυτικής προέλευσης που χρησιμοποιούνται συχνά σε τυποποιημένες τροφές. Αυτές οι ενώσεις μειώνουν χαρακτηριστικά τη διαθεσιμότητα των μετάλλων προς

απορρόφηση. Το φυτικό οξύ συνδέεται κυρίως με K^+ και Mg^{2+} και μπορεί να ιζηματοποιείται ως άλας μαζί με άλλα κατιόντα όπως Mn^{2+} και Ca^{2+} . Το σογιάλευρο και το άλευρο από το φυτό κανόλα περιέχουν 10–15 g/kg και 50–75 g/kg φυτικού αλάτος, αντίστοιχα. Τροφή που περιείχε 0,5% (5 g/kg) φυτικού οξέος και δόθηκε σε ιριδίζουσες πέστροφες μείωσε την αύξηση κατά 10%. Τροφή που περιείχε 0,21% (2,1 g/kg) φυτικού οξέος επηρέασε αρνητικά τη δραστηριότητα της τρυψίνης στον εντερικό σωλήνα του σολομού του Ατλαντικού. Η εξάλειψη των δυσμενών επιπτώσεων του φυτικού οξέος και των αλάτων του μπορεί να επιτευχθεί αποτελεσματικά μέσω της εισαγωγής του ενζύμου φυτάση σε τυποποιημένα σύμπληκτα που παρέχονται ως τροφή σε ψάρια και καρκινοειδή (βλ. επόμενη ενότητα).

Η γκοσσυπόλη είναι μια κίτρινη λιποδιαλυτή ένωση που βρίσκεται στους σπόρους του βαμβακιού του γένους *Gossypium*, εκτός από μια ποικιλία που δεν φέρει αδένες, και έχει συνδεθεί με μια ποικιλία τοξικών επιδράσεων σε διάφορα είδη ψαριών. Η ποσότητα της γκοσσυπόλης που υπάρχει στο άλευρο από βαμβακόσπορο ποικίλλει, ανάλογα με το είδος και την αντίστοιχη αύξηση υπό διαφορετικές κλιματικές συνθήκες. Η τοξικότητα ορίζεται μέσω ποικίλων αποκρίσεων που περιλαμβάνουν μειώσεις στην αύξηση, στην κατανάλωση τροφής, στην αναπαραγωγή και στο ποσοστό των ερυθρών αιμοσφαιρίων στο πλάσμα. Οι ιστολογικοί δείκτες της τοξικότητας της γκοσσυπόλης περιλαμβάνουν κακώσεις στο ήπαρ, στο σπλήνα, στα νεφρά και στα αναπαραγωγικά όργανα. Τα τοξικά επίπεδα της γκοσσυπόλης φαίνεται να διαφέρουν μεταξύ των ειδών. Η ηλικία και το μέγεθος των οργανισμών, καθώς και τα συστατικά των παρασκευασμένων τροφών, μπορούν να επηρεάσουν το μέγεθος της δυσμενούς επίδρασης της γκοσσυπόλης. Η πιθανή τοξικότητα της γκοσσυπόλης μπορεί να αποφευχθεί με τη χρήση αναλογικά χαμηλών επιπέδων αλευρων από βαμβακόσπορο ή με τη χρήση των ποικιλιών που δεν περιέχουν γκοσσυπόλη.

Η ανάπτυξη μεθόδων για τον ακριβή εντοπισμό ρύπων στις τροφές είναι ένας σημαντικός τομέας μελλοντικής έρευνας, που μπορεί να επηρεάσει θετικά την αποτελεσματικότητα της παραγωγής. Απώτερος στόχος είναι ο καθορισμός των ορίων

τους, ώστε οι πληροφορίες αυτές να παρέχονται αποτελεσματικά στους κατασκευαστές των τροφών. Οι πληροφορίες αυτές θα χρησιμεύσουν ως βάση της καθολικής (παγκόσμιας) αποδοχής κανονισμών για τον ποιοτικό έλεγχο της παρασκευής τροφών για ιωδατοκαλλιέργειες.

8.6.5 Εναλλακτικά Συστατικά και Πρόσθετα Τροφών

Η βιομηχανία και οι παραγωγοί ζωοτροφών συνεχώς αξιολογούν εναλλακτικά συστατικά και πρόσθετες ύλες που φαίνεται να έχουν τη δυνατότητα να αυξήσουν την αποδοτικότητα της παραγωγής μέσω της μείωσης του κόστους ανά μονάδα ζωικής πρωτεΐνης. Οι Glencross et al. (2007) παρέχουν μία σύνοψη των στρατηγικών αξιολόγησης της καταλληλότητας συστατικών για τροφές που χρησιμοποιούνται στις υδατοκαλλιέργειες, με βάση, κυρίως, την πεπτικότητα, τη γευστικότητα και την αξιοποίηση των θρεπτικών ουσιών, αλλά και το βαθμό παρεμπόδισης της απορρόφησης των θρεπτικών. Η χρησιμότητα ενός εναλλακτικού συστατικού εναπόκειται επίσης στη συνεχή διαθεσιμότητα και στην εύκολη αποθήκευσή του, στο χειρισμό και στη μεταφορά του. Τέλος, η χρήση οποιουδήποτε εναλλακτικού ή/και πρόσθετου συστατικού πρέπει να κρίνεται με βάση το περιβαλλοντικό αποτύπωμα, που συνδέεται με την παρασκευή ή την προμήθειά του, και το εάν είναι συγκριτικά χαμηλό. Οι εκτιμήσεις αυτές συμβάλλουν στην επίτευξη των στόχων της οικονομικής και περιβαλλοντικής βιωσιμότητας. Πρέπει να διεξάγονται εμπεριστατωμένες αξιολογήσεις των επιπτώσεων που μπορεί να επιφέρουν πιθανές αλλαγές στις πηγές των πρωτεϊνών, στην υγεία των καλλιεργούμενων οργανισμών, του καταναλωτή και του περιβάλλοντος. Ένα άλλο κριτήριο που θα μπορούσε να διέπει τη χρήση εναλλακτικών συστατικών είναι η έλλειψη ανταγωνισμού για τη χρήση τους ως πηγών τροφής για τον άνθρωπο. Μια σειρά από πρόσθετες ουσίες στις τροφές που χρησιμοποιούνται στις υδατοκαλλιέργειες, όπως ένζυμα, καροτενοειδή, πρεβιοτικά και προβιοτικά, έχει γίνει αντικείμενο αυξημένου ενδιαφέροντος από κατασκευαστές τέτοιων τροφών και καλλιεργητές, προκειμένου να αυξηθεί η αποτελεσματικότητα της παραγωγής.

γής. Ορισμένες από αυτές τις ουσίες προστίθενται ήδη σε εμπορικά παραγόμενες τροφές, ενώ για άλλες δεν υπάρχει πειστική απόδειξη της αξίας τους ή συχνή αξιοποίησή τους.

8.6.5.1 Εναλλακτικά Συστατικά - Η Αναζήτηση Υποκατάστατων Ιχθυαλεύρων και Ιχθυελαίων

Η ζήτηση για ιχθυάλευρα και ιχθυέλαια μπορεί να αυξηθεί, τουλάχιστον προσωρινά, παρά τις επιτυχείς προσπάθειες για τη μείωση των επιπέδων τους στις τροφές που χρησιμοποιούνται στις υδατοκαλλιέργειες. Η αύξηση αυτή μπορεί να επέλθει λόγω της ανάγκης υιοθέτησης εντατικών συστημάτων παραγωγής με σκοπό τη διατήρησης πόρων, σε συνδυασμό με τη δραματική αύξηση της καλλιέργειας σαρκοφάγων θαλάσσιων ειδών.

Και τα δύο αυτά συστατικά, ιχθυάλευρα και ιχθυέλαια, είναι εξαιρετικές πηγές απαιτούμενων θρεπτικών ουσιών, ειδικά απαραίτητων αμινοξέων και λιπαρών οξέων. Ωστόσο, αμφότερα προκαλούν δραματική πίεση στη βιωσιμότητα κάποιων πελαγικών ειδών, όπως η φρίσσα και ο γαύρος, που χρησιμοποιούνται στην κάλυψη της ζήτησης. Η πρόοδος στη χρήση εναλλακτικών συστατικών, φυτικής και ζωικής προέλευσης, σε συνδυασμό με τα κατάλληλα οικονομικά και ρυθμιστικά κίνητρα, θα βελτιώσει σημαντικά την άποψη για την υδατοκαλλιέργεια, καθώς θα θεωρείται μια ιδιαίτερα ευνοϊκή πρακτική, που υλοποιείται συμπληρωματικά της αλιείας, προκειμένου να καλυφθεί η παγκόσμια ζήτηση σε πρωτεΐνη, και που χρησιμοποιεί τροφές που περιέχουν βιώσιμα συστατικά.

Έχουν αναγνωριστεί διάφορες πιθανές πηγές συστατικών που αποτελούν εναλλακτικές επιλογές έναντι της χρήσης ιχθυαλεύρων. Οι πηγές φυτικής πρωτεΐνης περιλαμβάνουν την κανόλα, σόγια, μπιζέλια, λούπινα και το σιτάρι. Τα συμπυκνώματα πρωτεΐνης από σόγια και σιτάρι είναι δυνητικά καλές επιλογές, αλλά η χρήση τους δεν είναι οικονομικά αποδοτική. Κατά τη διάρκεια των τελευταίων 20 ετών, μια πληθώρα δημοσιευμένων ερευνών, για διάφορα υδρόβια είδη, έχει επικεντρωθεί στη χρήση διαφορετικών σογιάλευρων για την πλήρη ή μερική αντικατάσταση των ιχθυαλεύρων. Αυτές οι μελέτες έχουν αποκαλύψει ότι γενικά η πρωτεΐνη στα σογιάλευρα μπορεί να αντι-

καταστήσει αποτελεσματικά μέχρι και το 50% της πρωτεΐνης των ιχθυαλεύρων. Οι πρωτεΐνες από φυτικές πηγές δεν είναι τόσο εύπεπτες όσο αυτές ζωικής προέλευσης ίσης ποσότητας, επειδή περιέχουν ίνες και αδιάλυτο άμυλο που δεν πέπτονται εύκολα από σαρκοφάγα και ορισμένα παμφάγα είδη, και, ως εκ τούτου, δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πηγή ενέργειας. Η αποκλειστική χρήση πρωτεΐνης από μία φυτική πηγή έχει ως αποτέλεσμα την ανεπάρκεια ενός ή περισσότερων απαραίτητων αμινοξέων για την κάλυψη των διατροφικών απαιτήσεων. Συνεπώς, η επιτυχής χρήση φυτικών πηγών διαιτητικής πρωτεΐνης πιθανότατα θα πραγματοποιηθεί μέσω της συνδυαστικής χρήσης και συμπληρωμάτων διατροφής που περιέχουν μεμονωμένα αμινοξέα για την τελική κάλυψη των ειδοειδικών απαιτήσεων.

Η χρήση φυτικών πρωτεϊνικών πηγών στις τροφές που χρησιμοποιούνται στις υδατοκαλλιέργειες σχετίζεται επίσης και με άλλες επιβλαβείς επιπτώσεις, όπως η απουσία ή τα μειωμένα επίπεδα LC-PUFAs, η μείωση της γευστικότητας και η επακόλουθη μείωση της κατανάλωσης τροφής. Σχετίζεται επίσης και με αλληλεπιδράσεις θρεπτικών συστατικών, μέσω των οποίων, για παράδειγμα, ο διαιτητικός φώσφορος δεν είναι διαθέσιμος στους καλλιεργούμενους οργανισμούς και, κατά συνέπεια, απελευθερώνεται στο περιβάλλον. Η συμπερίληψη του ευρέως χρησιμοποιούμενου σογιάλευρου ως υποκατάστατου θα μπορούσε επίσης να περιορίζεται από την έλλειψη διαθεσιμότητάς του, εξαιτίας των απαιτήσεων για τη χρήση του στην παρασκευή τροφών χερσαίων είδη ζωικής παραγωγής, αλλά και για τη χρήση του για ανθρώπινη κατανάλωση.

Τα άλευρα που προέρχονται από υπολείμματα της επεξεργασίας χερσαίων ζώων, καθώς και τα άλευρα χωρίς λίπος που παρασκευάζονται από έντομα που τρέφονται με υπολείμματα επεξεργασίας ψαριών, καθίστανται ισχυρά υποκατάστατα των ιχθυαλεύρων. Είναι ελκυστικές επιλογές, επειδή διαθέτουν σημαντικά χαρακτηριστικά, όπως υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες, επιθυμητή ισορροπία σε απαραίτητα αμινοξέα, και υψηλή πεπτικότητα. Τα ιχθυάλευρα που προέρχονται από τα υπολείμματα της μεταποίησης καλλιεργούμενων και αλιευμένων ψαριών αποτελούν επίσης ένα μερικό, τουλάχιστον, υποκατάστατο ιχθυ-

αλεύρων που προέρχεται από τη μεταποίηση πελαγικών ψαριών όπως η φρίσσα ή οι σαρδέλες. Η ανακύκλωση των υπολειμμάτων για την παραγωγή αυτών των συστατικών συμβάλλει τόσο στην περιβαλλοντική όσο και στην οικονομική βιωσιμότητα.

Η χρήση φυτικών ελαίων, όπως το σογιέλαιο, ως υποκατάστατα του ιχθυελαίου, σε αναλογία 1:1, δεν είναι δυνατή λόγω της απουσίας απαραίτητων LC-PUFAs, που είναι χαρακτηριστικά των ιχθυελαίων από θαλάσσια είδη. Ένας συνδυασμός φυτικών ελαίων και ιχθυελαίων, με στόχο τη μείωση της χρήσης των ιχθυελαίων, αποτέλεσε τη στρατηγική σύνθεσης αποτελεσματικών τροφών για είδη σολομού. Το ποσοστό ιχθυελαίου στη συνολική περιεκτικότητα σε έλαιο της τροφής αυξάνεται αναλογικά κατά τη διάρκεια μερικών μηνών πριν από την προβλεπόμενη συγκομιδή. Αυτή η πρακτική διαχείρισης των τροφών έχει σχεδιαστεί για να ενισχύσει το περιεχόμενο σε LC-PUFAs στον μυϊκό ιστό, και, έτσι, να ενισχύσει τη θρεπτική αξία των φιλέτων σολομού που αναζητεί ο καταναλωτής. Τέτοιες, τελικές δίαιτες, που περιέχουν ιχθυέλαιο, χρησιμοποιήθηκαν επιτυχώς για την «αποκατάσταση» της σύνθεσης σε λιπαρά οξέα στους ιστούς ψαριών, που είχαν σιτιστεί, για το μεγαλύτερο μέρος της περιόδου πάχυνσης, με τροφές που περιείχαν φυτικό έλαιο. Το ιχθυέλαιο που προέρχεται από τα υπολείμματα της επεξεργασίας καλλιεργούμενων και αλιευμένων ψαριών φαίνεται να είναι, επίσης, μια ελκυστική, οικονομικά αποδοτική πηγή απαιτούμενων LC-PUFAs για να συμπεριληφθεί στη διατροφή.

Ιδιαίτερη προσοχή λαμβάνουν καλλιέργειες μονοκύτταρων οργανισμών ως πηγές πρωτεΐνης και ελαίου, μέσω της παροχής ολόκληρων των οργανισμών ή εκχυλίσματος (λιπίδια). Ελπιδοφόρα αποτελέσματα έχουν επιτευχθεί στο πλαίσιο εργαστηριακής παραγωγής μικρής κλίμακας. Πιθανότατα αυτή η πρακτική θα επεκταθεί στην παραγωγή μεγάλης κλίμακας για οικονομικά αποδοτική χρήση σε τροφές υδατοκαλλιέργειας. Η μελλοντική παροχή διαιτητικών LC-PUFAs θα μπορούσε τελικά να βασίζεται σε γενετικά τροποποιημένα φυτά που θα παράγουν LC-PUFAs.

Τα άλευρα που προέρχονται από την καλλιέργεια εντόμων αποτελούν αντικείμενο ενδιαφέροντος για χρήση ως εναλλακτικό συστατικό

στις τροφές υδρόβιων οργανισμών (βλ. ενότητα 27.3.3.1, **Εικόνα 27.9**). Ελλείψεις σε απαραίτητα αμινοξέα ή LC-PUFAs μπορούν να διορθωθούν μέσω του τύπου της τροφής που παρέχεται στις προνυμφικές μορφές των εντόμων. Όταν, για 21 ημέρες, παρασχέθηκαν εντόσθια ψαριών ως τροφή στις προνύμφες ενός είδους μύγας (soldier fly), σε διαφορετικές αναλογίες, τα επίπεδα των LC-PUFAs στους ιστούς, εκφραζόμενα ως ποσοστό βάρους επί του συνόλου των λιπιδίων, αυξήθηκαν κατά 2,3 έως 2,7%. Αυτή η αξιοσημείωτη αλλαγή επιτεύχθηκε, επίσης, όταν οι προνύμφες τράφηκαν με τον τρόπο αυτό μόνο για 24 ώρες. Αυτό το ειδικό άλευρο από έντομα αντικατέστησε αποτελεσματικά το 15% της πρωτεΐνης από ιχθυάλευρα και το 38% του ιχθυελαίου στην τροφή που δόθηκε στην ιριδίζουσα πέστροφα *Oncorhynchus mykiss*. Το συνολικό ποσοστό των λιπιδίων στα άλευρα από έντομα υπερβαίνει χαρακτηριστικά το αντίστοιχο ποσοστό στα ιχθυάλευρα (~30% έναντι ~10%), και μπορεί να χρειαστεί να μειωθεί, μέσω εκχύλισης, σε περίπτωση που αναπτυχθεί ένα οικονομικά και περιβαλλοντικά αποδεκτό προϊόν για χρήση σε τροφές υδατοκαλλιέργειας.

8.6.5.2. Πρόσθετα Συστατικά Τροφών

Στη βιομηχανία των τροφών που χρησιμοποιούνται στις υδατοκαλλιέργειες χρησιμοποιούνται ορισμένα πρόσθετα συστατικά, με κύριο στόχο την αύξηση της αποδοτικότητας, μέσω βελτίωσης της αύξησης και της παραγωγικότητας, καθώς και της ενίσχυσης της αντοχής σε παθογόνους οργανισμούς. Πρόσθετα συστατικά χρησιμοποιούνται, επίσης, για την επίτευξη χρωματισμού που θα είναι ελκυστικός για τους καταναλωτές. Αυτή η ενότητα θα επικεντρωθεί σε ουσίες, όπως καροτενοειδή, ένζυμα, πρεβιοτικά και προβιοτικά.

Τα καροτενοειδή είναι ενώσεις που ευθύνονται για την απόχρωση που συναντάται σε καλλιεργούμενα είδη. Δεδομένης της έλλειψης της βιοχημικής ικανότητας σύνθεσης αυτών των χρωστικών *de novo*, τα ζώα εξαρτώνται από μία εξωγενή πηγή (τροφή) ώστε να επιτύχουν τον χρωματισμό τους. Η ασταξανθίνη είναι μία ξανθοφύλλη και αποτελεί το βασικό καροτενοειδές που εντοπίζεται στους ιστούς ψαριών και καρκινοειδών. Συνεπώς, για να επιτευχθεί η κατάλληλη απόχρωση που θα είναι

αποδεκτή από τον καταναλωτή, η τροφή πρέπει να περιέχει επαρκή συγκέντρωση καροτενοειδών. Το συνολικό επίπεδο των καροτενοειδών στις τροφές είναι συνήθως ανεπαρκές για την παραγωγή του επιθυμητού χρώματος και της επιθυμητής έντασης αυτού. Ως εκ τούτου, καροτενοειδή προστίθενται, γενικά, στις τροφές. Στις τροφές που χρησιμοποιούνται στις υδατοκαλλιέργειες προστίθενται διάφορα προϊόντα ζωικής προελεύσεως που περιέχουν διαφορετικά επίπεδα ασταξανθίνης (NRC 2011), με τα έλαια από κωπήποδα, γαρίδες, ευφαισεώδη (krill) ή καβούρια να έχουν τις υψηλότερες συγκεντρώσεις, που κυμαίνονται από 50-150 mg/kg.

Η κοκκινο-πορτοκαλί απόχρωση της σάρκας του σολομού οφείλεται στην παρουσία δύο οξυγονωμένων καροτενοειδών, της ασταξανθίνης και της κανθαξανθίνης (ξανθοφύλλες), οι οποίες συχνά προστίθενται σαν συνθετικές μορφές στην τροφή του. Τα συνιστώμενα διαιτητικά επίπεδα των συγκεκριμένων αυτών ξανθοφυλλών κυμαίνονται από 50 έως 150 mg/kg, ώστε να διατηρούνται οι συγκεντρώσεις τους στους ιστούς, και να προσδίδουν ένα αποτέλεσμα αποδεκτό από τον καταναλωτή. Φυσικές πηγές ασταξανθίνης, που μπορεί τελικά να αποδειχθούν οικονομικά αποδοτικές, περιλαμβάνουν την κόκκινη μαγιά, *Phaffia rhodozyma*, και φύκη του γένους *Hematococcus*. Τα διαφορετικά καροτενοειδή που βρίσκονται σε φυτά, όπως η λουτεΐνη και η ζεαξανθίνη, είναι πρόδρομες ουσίες στη σύνθεση της ασταξανθίνης και της κανθαξανθίνης, αλλά η προσθήκη αυτών των ξανθοφυλλών στην τροφή δεν επιφέρει χρωματισμό αντίστοιχο με τα ζωικής προέλευσης καροτενοειδή. Ως εκ τούτου, η πιο αποτελεσματική μέθοδος για την επίτευξη του επιθυμητού χρωματισμού σε ένα καλλιεργούμενο είδος είναι η παροχή του κύριου καροτενοειδούς που βρίσκεται στους ιστούς του. Έχει αποδειχθεί ότι, όταν ξεχωριστές πηγές διαφορετικών καροτενοειδών συμπεριλήφθηκαν στην διατροφή νεαρών αστακών *Homarus* sp., οι οποίοι φέρουν το καροτενοειδές ασταξανθίνη στους ιστούς τους, η ένταση του χρωματισμού του κελύφους και του ιστού τους σχετιζόταν άμεσα με την εγγύτητα του εκάστοτε καροτενοειδούς με την ασταξανθίνη στο μονοπάτι βιοσύνθεσής της. Αυτή η διαβαθμιζόμενη απόκριση των διαφόρων καροτενοειδών πιθανότατα

εκδηλώνεται και σε άλλα είδη υδατοκαλλιέργειας που ανήκουν σε άλλες συνομοταξίες, όπως τα μαλάκια και τα εχινόδερμα. Η ικανότητα των οργανισμών να διατηρούν την επιθυμητή απόχρωση επηρεάζεται από μια σειρά παραγόντων, που περιλαμβάνουν τους ρυθμούς απορρόφησης, μεταφοράς, μεταβολισμού και απέκκρισης. Η διατήρηση συγκεκριμένου χρώματος έντασης αυτού είναι ζωτικής σημασίας για την επίτευξη ενός εμπορεύσιμου προϊόντος.

Η χρήση ενζύμων στις τροφές που χρησιμοποιούνται στις υδατοκαλλιέργειες έχει προσελκύσει το ενδιαφέρον, σε μια προσπάθεια να εξαλειφθούν οι δυσμενείς επιπτώσεις της παραγωγής ορισμένων συστατικών φυτικής προέλευσης. Ο πρωταρχικός περιορισμός στη χρήση εξωγενών ενζύμων στις τροφές που χρησιμοποιούνται στις υδατοκαλλιέργειες είναι το κόστος και η απώλεια δραστηριότητας που γενικά παύει γύρω στους 95°C. Έτσι, τα ένζυμα δεν μπορούν να αντέξουν τις πολύ υψηλότερες θερμοκρασίες που χρησιμοποιούνται στην προετοιμασία των μειγμάτων των συστατικών των τροφών, πριν από τις διαδικασίες συμπίεσης ή εξώθησης των σύμπηκτων. Η κεφαλοποίηση του δυνητικού οφέλους της χρήσης των ενζύμων ως πρόσθετες ουσίες έγκειται στην εφαρμογή τεχνολογίας, που θα τα προστατεύσει επιτυχώς από τις υψηλές θερμοκρασίες, ή στην προσθήκη τους στην επιφάνεια της τροφής μετά την παρασκευή της.

Η φυτάση είναι ένζυμο μικροβιακής προέλευσης και έχει χρησιμοποιηθεί για τη βελτίωση της διαθεσιμότητας του φωσφόρου που αποτελεί μέρος αλάτων του φυτικού οξέος που βρίσκεται στα φυτά. Εξαλείφει την ικανότητα των αλάτων του φυτικού οξέος να δεσμεύουν μικροστοιχεία (βλ. ενότητα 8.4.6) καθιστώντας τα, έτσι, μη διαθέσιμα για πρόσληψη. Καθώς το φωσφορικό μέρος απομακρύνεται από το μόριο του άλατος του φυτικού οξέος με τη δράση ενζύμων, η ικανότητα σύνδεσής του με μικροστοιχεία εξαλείφεται. Η απελευθέρωση του φωσφόρου παρέχει βελτιωμένη διαθεσιμότητα, που εκδηλώνεται με αυξημένες ποσότητες φωσφόρου στα οστά και μικρότερες ποσότητες στα περιττώματα. Το συνδυαστικό αυτό αποτέλεσμα έχει αποδειχθεί επανειλημμένα για διάφορα είδη ψαριών που τράφηκαν με τροφή που περιείχε φυτάση. Η ιδανική φυτάση θα πρέ-

πει να είναι θερμοσταθερή, αποτελεσματική σε χαμηλό pH και σε χαμηλές συγκεντρώσεις αλάτων του φυτικού οξέος, και να επιδεικνύει σταθερή δραστηριότητα εντός του πεπτικού συστήματος. Υπάρχουν ορισμένα στοιχεία για την ευεργετική επίδραση της προσθήκης καρβοξυδράσης (carboxyhydrases) σε τροφές που περιέχουν υδατάνθρακες, καθώς έχει καταγραφεί αυξημένη πεπτικότητα, αλλά ακόμη απουσιάζουν πειστικά δεδομένα αντίστοιχα με αυτά που βρέθηκαν σε μελέτες σε χοίρους και πουλερικά. Ένα μείγμα ζωντανών μικροβίων (DFM, Directly Fed Microbials) και ενζύμων, δηλαδή, μείγμα από σπόρους από τρία στελέχη *Bacillus*, και από ξυλανάση, αμυλάση και πρωτεάση βελτίωσε την υγεία του εντέρου, την απόδοση (αύξηση σωματικού βάρους σχετιζόμενη με τη βελτίωση της αποδοτικότητας της τροφής) και την ευημερία των πουλερικών. Οι συνεργατικές δράσεις μεταξύ των DFM και των ενζύμων αύξησαν την πέψη των θρεπτικών ουσιών, μειώνοντας έτσι τον FCR. Με την προσθήκη αυτού του μείγματος μικροβίων και ενζύμων, η αξιοποίηση της ενέργειας από τροφές πλούσιες σε φυτικές ίνες βρέθηκε να είναι το ίδιο καλή με αυτή από τροφές χαμηλότερης περιεκτικότητας σε φυτικές ίνες. Τα αποτελέσματα αυτά ενδέχεται να έχουν εφαρμοσιμότητα και σε υδρόβιους οργανισμούς.

Η χρήση προβιοτικών και πρεβιοτικών στην υδατοκαλλιέργεια συνεχίζει να προκαλεί το ενδιαφέρον, και η ευρεία εφαρμογή τους στις επιχειρήσεις υδατοκαλλιέργειών μπορεί τελικά να υλοποιηθεί. Τα προβιοτικά είναι ζωντανά μικρόβια που προστίθενται, γενικά, στη διατροφή ενός οργανισμού προκειμένου να τροποποιήσουν τη μικροβιακή σύνθεση (μικροβίωμα) του γαστρεντερικού σωλήνα. Γνωστά προβιοτικά περιλαμβάνουν βακτήρια του γένους *Bacillus* και διαφορετικά βακτήρια γαλακτικού οξέος, όπως τα *Lactobacillus* sp. και τα *Streptococcus* sp. Διαιτητικά προβιοτικά έχουν βρεθεί να προσδίδουν αντοχή στις ασθένειες σε καλλιέργειες γαρίδας. Η πραγματοποίηση και διατήρηση αυτών των αλλαγών στο μικροβίωμα του εντέρου οδήγησαν στην επίτευξη ενισχυμένης αύξησης, μεγαλύτερης αποδοτικότητας της πέψης, και αυξημένης ανοσοαπόκρισης/αντοχής στις ασθένειες. Η επιτυχής χρήση των προβιοτικών εξαρτάται από την ικανότητα διατήρησης της βιωσιμότητας των ζωντανών οργανισμών υπό

τις συνθήκες παρασκευής των τροφών. Παρόλα αυτά, ορισμένα στοιχεία δείχνουν ότι νεκρά κύτταρα, λυοφιλιωμένα κύτταρα ή εκχυλίσματα μπορούν να προστεθούν σε τροφές για τον έλεγχο της παθογένειας. Μερικά προβιοτικά έχουν παραχθεί με σκοπό την εισαγωγή τους στο περιβάλλον της καλλιέργειας, αλλά οι ισχυρισμοί περί επιτυχίας της πρακτικής αυτής στερούνται τεκμηρίωσης αναφορικά με τη συνέπεια και την αξιοπιστία της.

Σε αντίθεση με τα προβιοτικά, τα πρεβιοτικά είναι ενώσεις που, όταν προστίθενται στη τροφή ενός οργανισμού, προωθούν την αύξηση των βακτηριακών ειδών ή/και ενισχύουν τη μεταβολική δραστηριότητα των υπαρχόντων εντερικών βακτηρίων, προκειμένου να βελτιώσουν την αποδοτικότητα της τροφής. Η ολιγοφρουκτόζη και η ινουλίνη είναι δύο αδρανείς/δύσπεπτες ενώσεις και έχει αποδειχθεί ότι μεταβάλλουν το εντερικό μικροβίωμα και ενισχύουν τη μεταφορά θρεπτικών συστατικών στο λεπτό έντερο ποντικών που είχαν τραφεί με τροφές που τις περιείχαν. Η παρατήρηση αυτή έθεσε τη βάση για το δυνητικό όφελος της χρήσης τους ως πρόσθετα σε τροφές για μονογαστρικά υδρόβια ζώα. Άλλα δυνητικώς αποτελεσματικά πρεβιοτικά περιλαμβάνουν ολιγοσακχαρίτες, όπως μανο-ολισακχαρίτες, φρουκτο-ολιγοσακχαρίτες και γαλακτο-ολιγοσακχαρίτες (βλ. ενότητα 8.4.3). Ακόμη και ορισμένα διαιτητικά λιπαρά οξέα και υδατάνθρακες μπορούν να μεταβάλουν τη σύνθεση των μικροβιακών πληθυσμών στο γαστρεντερικό σωλήνα των ψαριών. Αυτά τα αποτελέσματα αποτελούν καλές ενδείξεις ότι τα διαιτητικά πρεβιοτικά θα συνεχίσουν να προκαλούν το ενδιαφέρον και ότι θα συνεχιστούν οι δοκιμές σε τροφές που παρέχονται σε υδατοκαλλιέργειες, προκειμένου το τροποποιημένο εντερικό μικροβίωμα να προσδίδει υψηλότερη αντοχή στις ασθένειες. Ένα τέτοιο επίτευγμα θα συμβάλει θετικά στην εξάλειψη της χρήσης χαμηλών δόσεων αντιβιοτικών ως μέρος της διαχείρισης των συστημάτων παραγωγής και, ως εκ τούτου, θα εμποδίσει την εμφάνιση ανεπιθύμητων στελεχών παθογόνων που είναι ανθεκτικά στα αντιβιοτικά.

Επί του παρόντος, η τεκμηρίωση των ευεργετικών επιδράσεων των προβιοτικών και πρεβιοτικών πρόσθετων στην τροφή, για τη βελτίωση του ρυθμού αύξησης, της πέψης, της ανοσίας και της αντίστασης σε παθογόνες λοιμώξεις, είναι ενθαρ-

ρυντική. Ωστόσο, πριν η προσθήκη τους στις τροφές που χρησιμοποιούνται στις υδατοκαλλιέργειες γίνει συνήθης πρακτική, απαιτείται εκτεταμένη αξιολόγηση της απόκρισης και της σχέσης κόστους-αποτελεσματικότητας, προκειμένου να γίνει εφαρμογή τους στο ευρύ φάσμα των υδατοκαλλιεργούμενων ειδών.

Πρόσφατες έρευνες κατέδειξαν την αποτελεσματικότητα της προσθήκης λιπαρών οξέων βραχείας αλυσίδας (SCFA, Short Chain Fatty Acids), που συχνά χαρακτηρίζονται οργανικά οξέα, ως διαιτητικά πρόσθετα που προσδίδουν αντιβιοτική δραστηριότητα. Χαμηλές συγκεντρώσεις μυρμηγκικού οξέος ήταν αποτελεσματικές στην αναστολή της ανάπτυξης πέντε διαφορετικών ειδών *Vibrio* σε υγρά μέσα. Ως αντίδραση σε συγκεκριμένα SCFAs, έχουν παρατηρηθεί ενισχυμένες ανοσολογικές αποκρίσεις έναντι του *Streptococcus galactiae* στο κόκκινο υβρίδιο της τιλάπια και έναντι του *Vibrio harveyi* στη γαρίδα τίγρης *Penaeus monodon*.

8.7 Στρατηγικές Διαχείρισης της Διατροφής

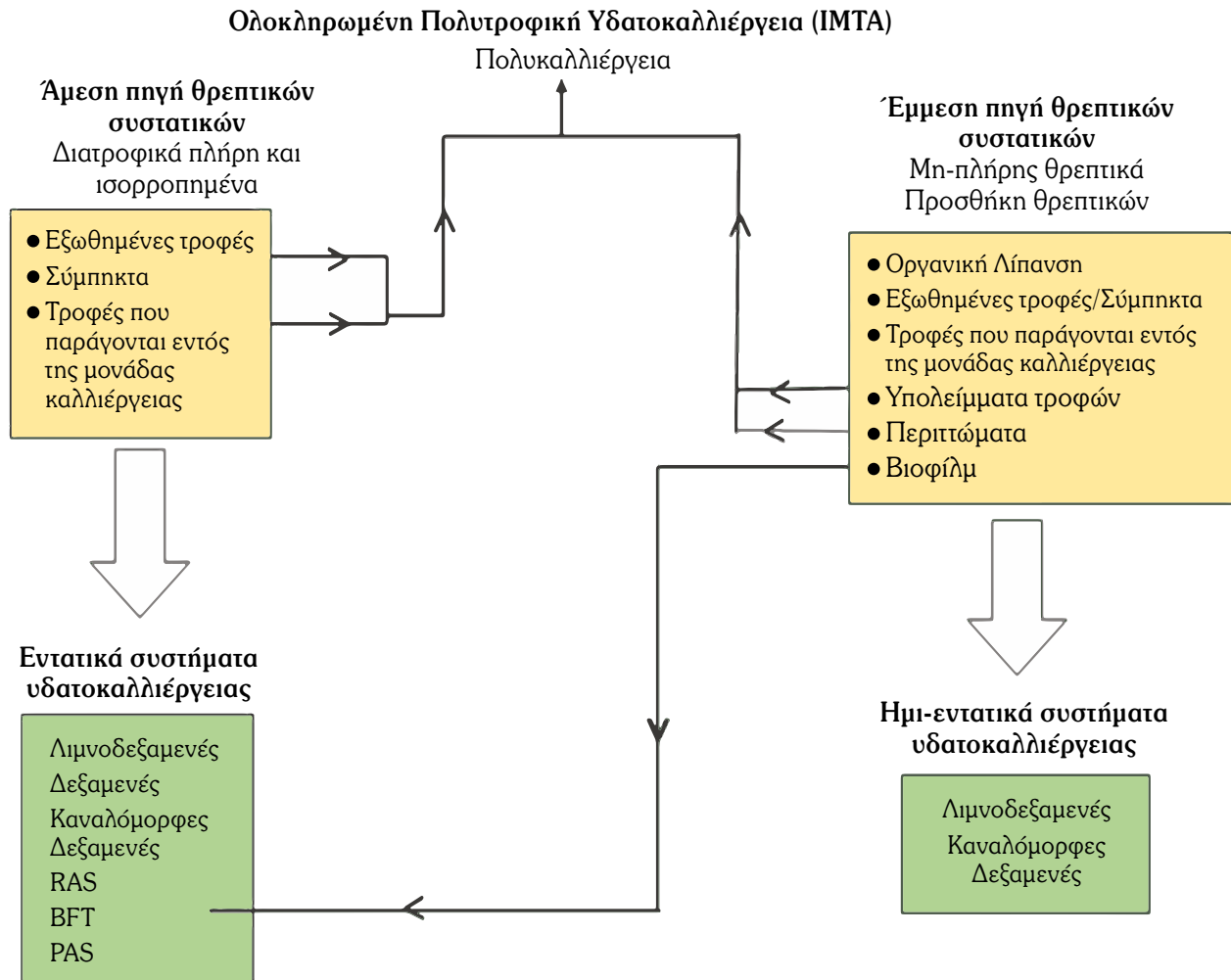
Η εφαρμογή της γνώσης, σχετικά με τις διατροφικές απαιτήσεις, στη σύνθεση και παρασκευή των τροφών, συμπληρώνεται από την αποτελεσματική παροχή αυτών των θρεπτικών συστατικών, σε συνδυασμό με τον έλεγχο των αντι-θρεπτικών ενώσεων, τη διαχείριση των συστατικών και τη χρήση πρόσθετων ουσιών. Επιπλέον, η φυσική τροφή, η ανάπτυξη της οποίας μπορεί να ενισχυθεί και να διατηρηθεί σε λιμνοδεξαμενές, μπορεί επίσης να διαδραματίσει αξιοσημείωτο ρόλο στην ικανοποίηση των απαιτήσεων σε θρεπτικές ουσίες και στη μείωση του κόστους παραγωγής. Κοινός στόχος αυτών των στρατηγικών είναι η επίτευξη της υψηλότερης αποδοτικότητας της τροφής (χαμηλότερος δείκτης FCR).

Η αναμενόμενη αύξηση της παγκόσμιας ζήτησης για πρωτεΐνες ζωικής προέλευσης, και κυρίως η ζήτηση για καλλιεργούμενα θαλάσσια είδη, σε συνδυασμό με τους περιορισμένους πόρους (νερό, γη, ενέργεια και κεφάλαιο) και την παγκόσμια περιβαλλοντική αλλαγή, θα έχει αναμφίβολα αντίκτυπο στον τρόπο καλλιέργειας των

υδροβίων ζώων. Τα χαρακτηριστικά των διαφόρων στρατηγικών παραγωγής και οι συσχετίσεις τους, προκειμένου να αντιμετωπιστούν οι προκύπτουσες προκλήσεις, παρουσιάζονται στην **Εικόνα 8.6**. Σύμφωνα με τα περισσότερα σενάρια, θα απαιτηθεί μετάβαση σε εξαιρετικά εντατικά συστήματα καλλιέργειας (NRC, 2011), που διατηρούν τη βιωσιμότητα, με στόχο την επίτευξη της υψηλότερης παραγωγής ανά μονάδα έκτασης (χώρου) και άλλων χρησιμοποιούμενων πόρων. Στις περισσότερες περιπτώσεις, μεγάλο μέρος του μεταβλητού κόστους που συνδέεται με εντατικά συστήματα παραγωγής αφορά την αγορά, την αποθήκευση και την παροχή μιας θρεπτικά πλήρους και ισορροπημένης τροφής. Η ανάπτυξη πρακτικών σίτισης με τυποποιημένες τροφές και, σε ορισμένες περιπτώσεις, η αξιοποίηση φυσικών πληθυσμών ως συμπληρωματικών πόρων εντός της ίδιας της μονάδας παραγωγής, θα είναι αναγκαίες, ώστε να εξασφαλιστεί οικονομική και περιβαλλοντική βιωσιμότητα. Το δυνητικό ενδιαφέρον για συστήματα παραγωγής που εφαρμόζουν πρακτικές ταυτόχρονης σίτισης δύο ή περισσότερων ειδών συνεχίζει να κεντρίζει το ενδιαφέρον για την αξιολόγηση και εφαρμογή τους. Τα συστήματα αυτά καλούνται Ολοκληρωμένη Πολυτροφική Υδατοκαλλιέργεια (IMTA, Integrated Multi-Trophic Aquaculture) και χρησιμεύουν για την επίτευξη του σημαντικού στόχου της διοχέτευσης της περίσσειας των θρεπτικών συστατικών, τα οποία μπορεί να είναι χαρακτηριστικό των συστημάτων εντατικής μονοκαλλιέργειας, στην παραγωγή ενός άλλου είδους.

8.7.1 Χρήση Φυσικής Τροφής ως Συμπληρωματική Πηγή Θρεπτικών Συστατικών

Προκειμένου να μειωθεί το κόστος της τροφής και να εξασφαλιστεί καλή ποιότητα νερού στην καλλιέργεια, έχουν εξελιχθεί πρακτικές που χρησιμοποιούν από κοινού τυποποιημένες τροφές, οργανικά λιπάσματα και ζωντανή τροφή που προέρχεται από λιμνοδεξαμενές παραγωγής. Αξιοσημείωτη πρόοδο αποτελεί η λεγόμενη “τεχνολογία οργανικού φίλμ” ή “τεχνολογία Βιονιφάδων” (BFT, Biofloc Technology), η οποία έχει βελτιώσει την καλλιέργεια σε παραδοσιακές λιμνοδεξαμενές γλυκού και αλμυρού νερού, μέσω της διατήρησης των υδάτι-



Εικόνα 8.6 Πηγές θρεπτικών ουσιών και τα αντίστοιχα συστήματα υδατοκαλλιέργειας. RAS (Recirculating Aquaculture Systems) – Συστήματα Υδατοκαλλιέργειας με Επανακυκλοφορία, BFT (Biofloc Technology) – Τεχνολογία Βιονιφάδων, PAS (Partitioned Aquaculture Systems) – Συστήματα Τμηματικής Υδατοκαλλιέργειας.

νων και χερσαίων πόρων, λαμβάνοντας υπόψη και τη βιοασφάλεια και την υψηλότερη αποδοτικότητα της τροφής.

Η τεχνολογία προωθεί την παραγωγή “βιοφίλμ”, τα οποία είναι συσσωματώματα φυκών, πρωτοζώων, βακτηρίων και σωματιδιακής οργανικής ύλης, που συμβάλλουν στη διατήρηση της καλής ποιότητας του νερού στις καλλιέργειες, μέσω της πρόσληψης αζώτου και φωσφόρου. Επιπλέον, η κατανάλωση του “βιοφίλμ” από τα καλλιεργούμενα ζώα είναι μια καλή πηγή θρεπτικών συστατικών (αζώτου) και επιτρέπει συνήθως τη μείωση της περιεκτικότητας των τροφών σε πρωτεΐνες, γεγονός που μεταφράζεται σε αντίστοιχη μείωση του κόστους της τροφής. Τα συστήματα τεχνολογίας “βιοφίλμ” (BFT) αποτελούν καλό παράδειγμα αντιμετώπισης των ειδικών προκλήσεων της εντατικής υδατοκαλλιέργειας, μέσω τεχνικών διαχεί-

ρισης που δημιουργούν οικολογική σταθερότητα. Τα συστήματα αυτά είναι εντυπωσιακά και πιστοποιημένα, έχοντας τεθεί σε λειτουργία σε εμπορικό επίπεδο για είδη γαρίδας και τιλάπιας από τις αρχές του 21ου αιώνα. Παραλλαγές αυτής της βιοτεχνολογίας υπάρχουν και δικαιολογούν την ανάγκη κατανόησης και θέσπισης κοινών αρχών, σύμφωνα με τις οποίες μπορεί να πραγματοποιηθεί επιτυχής μετάβαση και εφαρμογή της και σε άλλα είδη.

Η βιολογία ορισμένων καλλιεργούμενων ειδών υπαγορεύει ότι η καλύτερη προσέγγιση για αυτά είναι τα ημιεντατικά συστήματα παραγωγής, όπου δεν είναι αναγκαία η χρήση τροφών που είναι πλήρης και ισορροπημένες. Δύο καλά παραδείγματα αποτελούν οι καραβίδες και οι γαρίδες του γλυκού νερού. Στις ΗΠΑ, οι καραβίδες *Procambarus clarkii* και *P. acutus*, καλλιεργούνται συχνά σε ρηχές χω-

μάτινες λεκάνες, όπου αναπτύσσονται γεωργικές καλλιέργειες (ενότητα 23.4.5.2), συνήθως συγκεκριμένης ποικιλίας ρυζιού. Στις περιπτώσεις αυτές, μετά τη σπορά, οι λιμνοδεξαμενές γεμίζουν με νερό το οποίο έχει μικρό βάθος. Μετά την πλήρωση της λιμνοδεξαμενής με νερό, οι καραβίδες αναδύονται από λαγούμια όπου είχαν, προηγουμένως, υποχωρήσει όταν το νερό είχε αποστραγγιστεί. Τα φυτά, τα οποία μπορεί να συλλεχθούν ή όχι, δεν αποτελούν την κύρια πηγή θρεπτικών συστατικών, αλλά μία έμμεση πηγή, λειτουργώντας ως υπόστρωμα (νεκρή οργανική ύλη) με το οποίο ενισχύεται η δευτερογενής παραγωγικότητα η οποία και καταναλώνεται από τις καραβίδες. Στις περιπτώσεις αυτές στις καραβίδες δεν παρέχονται τυποποιημένες τροφές.

Εξαιρετικά αποδοτική, με άλλα λόγια βιώσιμη, καλλιέργεια της γιγαντογαρίδας του γλυκού νερού, *Macrobrachium rosenbergii*, υλοποιείται εντός ημιεντατικών συστημάτων, για την όσο το δυνατόν καλύτερη διαχείριση των ρυθμών αύξησης, οι οποίοι εξαρτώνται από την πυκνότητα, αλλά και τη διαχείριση της ενδοειδικής επιθετικής και ανταγωνιστικής συμπεριφοράς. Στο ημιεντατικό σύστημα καλλιέργειας, η κατανάλωση βενθικών πληθυσμών που βρίσκονται φυσικά εντός των λιμνοδεξαμενών (μακροασπόνδυλα) συμβάλλει στην ικανοποίηση των απαιτήσεων σε θρεπτικά συστατικά. Η χρήση αποξηραμένων σιτηρών και διαλυτών συστατικών από αποστακτήρια (DDGS, Distiller's Dried Grains and Solubles), που είτε αξιοποιούνται ως λίπασμα είτε παρέχονται ως τροφή με τη μορφή σύμπηκτων, είχε ως αποτέλεσμα οι υπάρχοντες πληθυσμοί μακροασπονδύλων στις λιμνοδεξαμενές παραγωγής γαρίδας να είναι σημαντικά μεγαλύτεροι από τους αντίστοιχους πληθυσμούς στις λιμνοδεξαμενές όπου δεν είχαν χρησιμοποιηθεί ούτε τροφές ούτε λιπάσματα. Παρατηρήθηκε κατανάλωση βενθικών μακροασπονδύλων, αλλά και προτίμηση για ορισμένες ταξινομικές ομάδες. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι, σε ημιεντατικές πυκνότητες εκτροφής, θα μπορούσαν να χρησιμοποιούνται φθηνότερες και διατροφικά ελλιπείς τροφές, για την κάλυψη των αναγκών σε θρεπτικά συστατικά, σε όλη τη διάρκεια της περιόδου πάχυνσης σε λιμνοδεξαμενές, εφόσον οι φυσικοί πληθυσμοί σε αυτές διατηρούνται και καταναλώνονται από τις γαρίδες ως μέρος της

διατροφής τους. Ως εκ τούτου, έχει παρατηρηθεί ότι τα εμπορικά σύμπηκτα τροφών, με περιεκτικότητα κατ' ελάχιστο 18% σε ακατέργαστες πρωτεΐνες, όπως τα σύμπηκτα γλουτένης καλαμποκιού ή το αλεσμένο σιτάρι, είναι επαρκή για την επίτευξη της ίδιας αύξησης που επιτυγχάνεται και με τυποποιημένες τροφές για γαρίδες, που είναι πλήρης σε θρεπτικά και που περιέχουν συνήθως ακατέργαστη πρωτεΐνη σε ποσοστό περίπου 30%. Τα επίπεδα μακροθρεπτικών ή μικροθρεπτικών συστατικών εντός των σύμπηκτων δεν επαρκούσαν για να καλύψουν τις διατροφικές απαιτήσεις, οι οποίες, ωστόσο, καλύφθηκαν μέσω της κατανάλωσης της δευτερογενούς παραγωγικότητας στη λιμνοδεξαμενή. Η σύγκριση της σύνθεσης σε θρεπτικά (λιπαρά οξέα) των σύμπηκτων έναντι αυτής στους ιστούς στηρίζει αυτή την υπόθεση. Η ανάλυση ιστών αποκάλυψε ότι τα EFAs ήταν εντελώς απόντα στα σύμπηκτα, αλλά οι απαιτήσεις μπορούσαν να ικανοποιηθούν μέσω της κατανάλωσης των φυσικών πληθυσμών. Αυτή η στρατηγική διαχείρισης επέτρεψε, επίσης, τη χρήση τροφής που δεν περιείχε ιχθυάλευρο ή ιχθυέλαιο.

Τα ημιεντατικά συστήματα που περιγράφονται για την καλλιέργεια καραβίδων και γαρίδων του γλυκού νερού είναι ιδιαίτερα βιώσιμα, αποτελώντας ένα αντιστάθμισμα της εντατικής παραγωγής, μειώνοντας τον κίνδυνο εμφάνισης οικονομικών απωλειών. Με βάση τις διαφορετικές στρατηγικές σίτισης, που είναι χαρακτηριστικές των εντατικών και ημιεντατικών συστημάτων, το κόστος παραγωγής ανά μονάδα πρωτεΐνης μπορεί να είναι συγκρίσιμο μεταξύ των δύο συστημάτων.

8.7.2 Ολοκληρωμένη Πολυτροφική Υδατοκαλλιέργεια (IMTA)

Τα συστήματα Ολοκληρωμένης Πολυτροφικής Υδατοκαλλιέργειας (IMTA, Integrated Multi Trophic Aquaculture) έχουν σχεδιαστεί για να βελτιώσουν την αποτελεσματικότητα της παραγωγής συνδυάζοντας την καλλιέργεια ένα είδος, που λαμβάνει μια τυποποιημένη τροφή, με την καλλιέργεια ενός δεύτερου είδους, που προσλαμβάνει θρεπτικά συστατικά από τα περιττώματα του πρώτου, αλλά και από την περίσσεια (μη καταναλωθείσας) τροφής ή άλλων θρεπτικών που παρέχονται στο πρώτο είδος. Για παράδειγμα, ψάρια ή γαρί-

δες μπορούν να αποτελούν τα είδη που σιτίζονται, ενώ τα δεύτερα είδη θα μπορούσαν να είναι άλλα ψάρια ή γαρίδες, εχινόδερμα (ολοθούρια, αχινοί) ή μαλάκια (μύδια, αχιβάδες και στρείδια). Η προσέγγιση αυτή συμβάλλει στην επίτευξη των σημαντικών στόχων της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας, μέσω αποτελεσματικής ανακύκλωσης θρεπτικών συστατικών, ενώ ταυτόχρονα είναι και οικονομικά βιώσιμη.

Για παράδειγμα, η εντατική καλλιέργεια ειδών ψαριών σε κλωβούς που τοποθετούνται σε γλυκό νερό ή στην ανοικτή θάλασσα προσφέρει τη δυνατότητα αύξησης της απόδοσης, μέσω της ενσωμάτωσης ενός είδους που είναι κάτοικος του βένθους, ως μέρος ενός συστήματος πολυκαλλιέργειας. Τροφή που δεν καταναλώθηκε και περιττώματα πέφτουν μέσα από τους κλωβούς και ουσιαστικά γίνονται υποστρώματα για τον αποικισμό από μικροοργανισμούς, οι οποίοι είναι πλούσιοι σε θρεπτικά συστατικά. Κάτω από τους κλωβούς, βενθικές κοινότητες πολλαπλασιάζονται και γίνονται πηγή τροφής για ένα καλλιεργούμενο βενθικό είδος. Στην Ιαπωνία έχουν πραγματοποιηθεί προκαταρκτικές αξιολογήσεις της δυνατότητας καλλιέργειας του ολοθούριου, *Apostichopus japonicus*, στη στήλη του νερού κάτω από κλωβούς ψαριών. Τα συστήματα αυτά προσφέρουν τη δυνατότητα επίτευξης τόσο περιβαλλοντικής όσο και οικονομικής βιωσιμότητας. Οι τεχνολογικές εξελίξεις στην Ολοκληρωμένη Πολυτροφική Υδατοκαλλιέργεια (IMTA) μπορούν επίσης να εφαρμοστούν στα συστήματα επανακυκλοφορίας του νερού (RAS), όπου η ποιότητα του νερού της καλλιέργειας ενός είδους μπορεί να βελτιωθεί μέσω της προσθήκης ενός δεύτερου καλλιεργούμενου είδους.

8.8 Διαχείριση Σίτισης

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η αποδοτικότητα μιας τροφής βασίζεται στη σύσταση, την διαδικασία παρασκευής, τη μεταφορά και την αποθήκευσή της. Οι καμπύλες αύξησης/χορηγούμενου σιτηρεσίου (G/R, Growth/Ration) που εξετάζονται στην ενότητα 8.3 επιβεβαιώνουν ότι η μέγιστη αύξηση και η υψηλή αποδοτικότητα μιας τροφής δεν συμβαδίζουν με το ρυθμό σίτισης. Η ποσότητα της τυποποιημένης τροφής που καταναλώνεται ανά

υδρόβιο οργανισμό ανά ημέρα εξαρτάται από μια σειρά παραγόντων, τόσο αβιοτικών όσο και βιοτικών. Οι αβιοτικοί παράγοντες περιλαμβάνουν τη θερμοκρασία του νερού, τη συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου, την αλατότητα, τη φωτοπερίοδο και τη βαρομετρική πίεση, ενώ οι αβιοτικοί περιλαμβάνουν το βάρος, την ενδοειδική συμπεριφορά, την υγεία, την ηλικία, τη στρατηγική ζωής, το στάδιο εντός της περιόδου έκδυσης (στα καρκινοειδή), τη φυσική διαθεσιμότητα τροφής και το εάν ο καλλιεργούμενος οργανισμός αποτελεί υβρίδιο. Η ώρα της ημέρας που παρέχεται η τροφή μπορεί, επίσης, να επηρεάζει την κατανάλωση, την αύξηση και την αποδοτικότητα της τροφής. Ωστόσο, ένα πλάνο παροχής τροφής σε συγκεκριμένη ώρα της ημέρας μπορεί να είναι ανέφικτο, λόγω του μεγάλου φόρτου εργασιών, με αποτέλεσμα η σίτιση να γίνεται εντός ενός μεγάλου διαστήματος κατά τη διάρκεια της ημέρας.

Επειδή η ποσότητα της τροφής που καταναλώνεται επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες, πολλές επιχειρήσεις προσφέρουν τροφή μέχρι κορεσμού. Αυτή η μέθοδος διαχείρισης της τροφής προσφέρει τη δυνατότητα αντιμετώπισης όλων των συνδυαστικών παραγόντων που επηρεάζουν την κατανάλωση τροφής και, πιθανότατα, ελαχιστοποιεί την απώλεια τροφής που δεν καταναλώνεται και που συμβάλλει στη διαμόρφωση δυσμενών περιβαλλοντικών συνθηκών, όπως η χαμηλή συγκέντρωση οξυγόνου και τα αυξημένα επίπεδα φωσφόρου. Για την καλλιέργεια ορισμένων ειδών ψαριών, αυτή η δυνατότητα παρέχεται με τη χρήση επιπλέουσας ή αργά βυθιζόμενης τροφής, γεγονός που επιτρέπει και την παρατήρηση της τροφοληπτικής συμπεριφορά. Προκειμένου να επιτευχθεί κορεσμός, η διαδικασία σίτισης και το σημείο κορεσμού πρέπει να καταγράφονται, και αυτή η μέθοδος μπορεί να αυξήσει πραγματικά τους δείκτες FCR, επειδή ο προσδιορισμός του κορεσμού μπορεί να είναι ιδιαίτερα υποκειμενικός. Με τον τρόπο αυτό παρέχονται αναλογικά μεγαλύτερες ποσότητες τροφής, η αύξηση του σωματικού βάρους είναι η ύψιστη, αλλά και οι δείκτες FCR είναι επίσης υψηλότεροι. Για βενθικά υδρόβια είδη, όπως για παράδειγμα γαρίδες, αχινοί και αλιώτιδες, η ποσότητα της μη φαγωμένης τροφής πρέπει να καταγράφεται, ώστε να προσαρμόζονται οι ρυθμοί σίτισης, ιδίως καθώς αυξάνονται η βιομάζα και η ηλικία. Σε

εντατικές καλλιέργειες θαλάσσιων γαρίδων, δίσκοι σίτισης, τοποθετημένοι σε διαφορετικές θέσεις σε μια λιμνοδεξαμενή, χρησιμοποιούνται για να ελέγχεται η κατανάλωση τροφής (**Εικόνα 22.17**). Μια ορισμένη ποσότητα τροφής τοποθετείται σε έναν δίσκο σίτισης με βάση τη θερμοκρασία και το μέγεθος των γαρίδων. Προσαρμογές στο ρυθμό σίτισης πραγματοποιούνται με βάση το σωματικό βάρος. Το μέσο βάρος και ποσοστό επιβίωσης εκτιμώνται με βάση την απουσία τροφής ή το πλεόνασμα τροφής στο δίσκο σίτισης μετά από μια ορισμένη περίοδο. Για το εκάστοτε βάρος, ή, γενικότερα, την ηλικία, ενός υδρόβιου είδους υπάρχει ένας ειδικός ρυθμός σίτισης (% του σωματικού βάρους ανά ημέρα) μέσω του οποίου θα επιτευχθεί ο χαμηλότερος δείκτης FCR, και αυτός ο ρυθμός σίτισης μπορεί να διαιρείται μεταξύ πολλών συμβάντων σίτισης. Έχουν αναπτυχθεί και εφαρμοστεί ρυθμοί σίτισης της λευκής γαρίδας του Ειρηνικού, *Litopenaeus vannamei*, με βάση τη θερμοκρασία και το ατομικό σωματικό βάρος.

Η κατανάλωση τροφής, η αύξηση και η αντίστοιχη αποδοτικότητα της μετατρεψιμότητας της τροφής μπορούν να επηρεαστούν από τη συχνότητα σίτισης ή την ώρα της ημέρας. Γενικά, η σίτιση των προνυμφών περιλαμβάνει πολλές σίτισεις ανά ημέρα, λόγω των υψηλών ενεργειακών απαιτήσεων. Όσον αφορά τη διατροφή των νεαρών ατόμων, των υπο-ενήλικων ή ενήλικων υδρόβιων οργανισμών, έχει μελετηθεί η επίδραση της σίτισης μία ή δύο φορές την ημέρα, ή εντός ορισμένων μεσοδιαστημάτων (κάθε δύο ημέρες). Μία αύξηση της ημερήσιας κατανάλωσης συνδέεται συνήθως με αύξηση της συχνότητας σίτισης. Εάν αυτά τα συστήματα σίτισης έχουν θετική επίδραση στην αποδοτικότητα της τροφής, η επίδραση αυτή θα πρέπει να αντιπαραβάλλεται με το οικονομικό κόστος. Όταν νεαρά γατόψαρα σιτίζονταν μέχρι κορεσμού μία φορά την ημέρα, είτε το πρωί είτε το απόγευμα, ή δύο φορές την ημέρα, πρωί και απόγευμα, δεν βρέθηκαν σημαντικές διαφορές στην ποσότητα της παρεχόμενης τροφής, στην αύξηση του σωματικού βάρους ή στην εκτιμώμενη επιβίωση. Η σίτιση μέχρι κορεσμού κάθε δεύτερη ημέρα μείωσε την αύξηση του σωματικού βάρους, αλλά βελτίωσε τον δείκτη FCR, αποτέλεσμα που παρατηρήθηκε και σε υβρίδια γατόψαρου. Περιορισμένοι ρυθμοί σίτισης (μέγιστη σί-

τιση/έκταση λιμνοδεξαμενής/ημέρα) επίσης μείωσαν την αύξηση του σωματικού βάρους και την καθαρή απόδοση, ενώ ο δείκτης FCR μειώθηκε αντίστοιχα. Όταν χορηγήθηκε περισσότερη τροφή υπο συνθήκες σίτισης μέχρι κορεσμού, η προσθήκη βάρους και η απόδοση ήταν υψηλότερες, αλλά ο δείκτης FCR αυξήθηκε επίσης. Το πλεονέκτημα της βέλτιστης αύξησης του σωματικού βάρους έναντι της μέγιστης αύξησης του σωματικού βάρους δεν μπορούν να το αντιληφθούν πολλοί καλλιεργητές, παρά το γεγονός ότι η βέλτιστη αύξηση του σωματικού βάρους είναι η προφανής επιλογή για την επίτευξη οικονομικής βιωσιμότητας. Μια συνολική ανασκόπηση των στρατηγικών διαχείρισης της τροφής που εφαρμόζονται παγκοσμίως στην υδατοκαλλιέργεια είναι διαθέσιμη από τους Shipton and Hasan (2013).

Η χρήση συσκευών (ταΐστρες) χορήγησης τροφής κατ' απαίτηση (demand feeders) έχει αποκτήσει δημοτικότητα για τη σίτιση της ιριδιζουσας πέστροφας. Οι συγκεκριμένες ταΐστρες κατ' απαίτηση είναι κωνικές και σε αυτές είναι προσαρμοσμένη μια ράβδος που εκτείνεται εντός της στήλης του νερού. Μέσα στον κώνο υπάρχει ένας δίσκος με διάμετρο ελαφρώς μικρότερη από τη διάμετρο του κώνου σε εκείνο το σημείο. Ο δίσκος συγκρατεί την τροφή για να μην πέσει στο νερό. Ωστόσο, όταν η ράβδος "ωθείται" από ένα ψάρι, ο δίσκος κινείται και επιτρέπει στην τροφή να πέσει στο νερό. Η θέση του δίσκου μπορεί να αλλάξει για να αυξηθεί η ποσότητα της τροφής που απελευθερώνεται όταν "ωθείται" η ράβδος από τα ψάρια. Αυτή η μέθοδος σίτισης ελαχιστοποιεί τη συχνότητα εμφάνισης κακής ποιότητας νερού και μειώνει τις επιζήμιες επιπτώσεις στην αύξηση των ψαριών, που θα προέκυπταν από την επιθετική συμπεριφορά μεταξύ ψαριών διαφορετικού μεγέθους ή από κάποιου άλλου τύπου ιεραρχίας. Μέθοδοι παροχής τροφής σε καλλιεργούμενα ψάρια και γαρίδες περιγράφονται σε επόμενα κεφάλαια (βλ. **Εικόνες 17.14, 17.15, 22.15 και 22.16**).

8.9 Αναδυόμενα Ερευνητικά Πεδία

Διατροφολογική (nutrigenomics) είναι η μελέτη των επιπτώσεων των τροφών και των συστατικών των τροφών στη γονιδιακή έκφραση, και μετα-

βολομική (metabolomics) είναι η μελέτη της παραγωγής και ταυτοποίησης χημικών βιοδεικτών που επηρεάζονται από γενετικούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες. Και οι δύο αυτοί τομείς έρευνας εμφανίζουν μεγάλες δυνατότητες εφαρμογής στην ανάπτυξη τροφών με χαρακτηριστικά περιβαλλοντικής και οικονομικής βιωσιμότητας. Η μεταβολομική αντιπροσωπεύει τον μοριακό φαινότυπο και μπορεί να επικεντρωθεί στα μεταβολικά προϊόντα ολόκληρου του οργανισμού ή του ιστού, του κυττάρου ή των κυτταρικών οργανιδίων. Στόχος είναι η κατανόηση του τρόπου με τον οποίο εναλλακτικές τροφές ή διαφορετικά θρεπτικά συστατικά μπορούν να επηρεάσουν και να ρυθμίσουν την έκφραση των γονιδίων και τελικά να επηρεάσουν συγκεκριμένα προϊόντα του μεταβολισμού. Γνωρίζοντας την πλήρη γονιδιακή ακολουθία των υδατοκαλλιεργούμενων οργανισμών, ο έλεγχος της γονιδιακής έκφρασης μέσω της διατροφής και της αναπαραγωγής των οργανισμών μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη βελτιστοποίηση των αποκρίσεων σε αλλαγές στο περιβάλλον και στη διαθεσιμότητα των πόρων. Ιδιαίτερη σημασία έχει ο τρόπος με τον οποίο οι αλλαγές στα θρεπτικά συστατικά και στη διαχείριση της τροφής μπορούν να αντιμετωπίσουν τοπικές αλλαγές στο περιβάλλον και στη διαθεσιμότητα των πόρων, προκαλούμενες από το φαινόμενο της υπερθέρμανσης του πλανήτη.

Ορισμένα πρόσφατα ερευνητικά αποτελέσματα βασίζονται σε μια διαφορετική προσέγγιση, σε ένα γεωμετρικό πλαίσιο (GF, Geometric Framework) που έρχεται σε αντίθεση με την παραδοσιακή αξιολόγηση των διατροφικών απαιτήσεων. Η μεθοδολογία GF εξετάζει εάν τα ζώα θα εμφανίζουν αυτοέλεγχο στην πρόσληψη συγκεκριμένων θρεπτικών συστατικών για να ικανοποιήσουν τελικά τις απαιτήσεις τους, στην περίπτωση που τους παρέχεται μια σειρά από διατροφικές επιλογές. Για παράδειγμα, έχει παρατηρηθεί ότι η κατανάλωση διαιτητικής πρωτεΐνης από ενήλικα άτομα αχινού του είδους *Lytechinus variegatus* ρυθμίζεται και δεν επηρεάζεται ούτε από τις αναλογίες ούτε από τα επίπεδα άλλων διαιτητικών μακροθρεπτικών συστατικών, ενώ αντίθετα η κατανάλωση υδατανθράκων δεν ρυθμίζεται. Η γνώση αναφορικά με αυτή την επιλεκτικότητα και το ενδεχόμενο να αποτελεί μία στρατηγική που ακο-

λουθείται από άλλα καλλιεργούμενα υδρόβια ζώα θα μπορούσε να εφαρμοστεί σε διάφορα είδη και στην σύνθεση τυποποιημένων τροφών.

8.10 Περίληψη

- Σημαντική γνώση πάνω στη διατροφή, την παραγωγή και τη διαχείρισή των τροφών στην καλλιέργεια υδρόβιων ζώων έχει παραχθεί κατά τα προηγούμενα 50 χρόνια και είχε σημαντική επίδραση στις τεράστιες αυξήσεις του όγκου και της αξίας της παγκόσμιας παραγωγής από την υδατοκαλλιέργεια.
- Λόγω των μειωμένων αναγκών των υδρόβιων οργανισμών σε ενέργεια, οι υδατοκαλλιεργούμενοι οργανισμοί είναι πιο αποδοτικοί, διότι χρειάζεται να καταναλώνουν λιγότερη τροφή για τη σωματική αύξηση (εναπόθεση πρωτεϊνών) σε σχέση με τα χερσαία ζώα. Συνεπώς, αυτή η πτυχή της παραγωγής υδρόβιων ζώων αποτελεί καθοριστικό χαρακτηριστικό μιας βιώσιμης καλλιέργειας με στόχο την ικανοποίηση των μελλοντικών αναγκών σε ζωικές πρωτεΐνες σε παγκόσμιο επίπεδο.
- Πρόσθετη αξιοσημείωτη πρόοδος στη διατροφή των καλλιεργούμενων υδρόβιων ζώων μπορεί να επιτευχθεί ευκολότερα υιοθετώντας μια ολιστική προσέγγιση βασισμένη στον προσδιορισμό των διατροφικών απαιτήσεων και στην κατανόηση του μεταβολισμού και της αξιοποίησης των θρεπτικών συστατικών, αλλά και των πιθανών αλληλεπιδράσεων μεταξύ αυτών.
- Ο μεγάλος αριθμός των υδρόβιων ειδών που καλλιεργούνται δικαιολογεί τον στόχο της καθιέρωσης τροφών και πρακτικών σίτισης που θα έχουν κοινή εφαρμογή, και που θα βασίζονται σε ομοιότητες ως προς τη φυλογένεση, τις διατροφικές συνήθειες, τη στρατηγική ζωής και το αβιοτικό περιβάλλον (θερμοκρασία, αλατότητα κλπ.).
- Η επιλογή νέων και εναλλακτικών συστατικών των τροφών που χρησιμοποιούνται στην υδατοκαλλιέργεια, ιδίως πηγών πρωτεϊνών και υποκατάστατων ιχθυαλεύρων και ιχθυελαίου, πρέπει να είναι συνεπής με την τήρηση των προτύπων περιβαλλοντικής και οικονομικής βιωσιμότητας. Η επιλογή των συστατικών θα πρέ-

πει επίσης να επικεντρώνεται σε εναλλακτικές λύσεις που θα επιτύχουν ισοδύναμα ή μεγαλύτερα οφέλη, για την υγεία των ζώων (πρόληψη ασθενειών), και αύξηση της αποδοτικότητας των τροφών και, ως εκ τούτου, θα συμβάλλουν στην παγκόσμια επισιτιστική ασφάλεια.

- Η χρήση περιβαλλοντικά και οικονομικά βιώσιμων προβιοτικών και πρεβιοτικών προσθέτων στις τροφές, μέσω των οποίων τα εντερικά μικροβιώματα τροποποιούνται για να επιτύχουν μεγαλύτερη αποδοτικότητα της παραγωγής και αντίσταση σε παθογόνους παράγοντες, πρέπει να αποτελέσει μελλοντικά το επίκεντρο της διατροφής στις υδατοκαλλιέργειες.
- Η παροχή θρεπτικών συστατικών για την κάλυψη των απαιτήσεων σε συνδυασμό με τη βιώσιμη υδατοκαλλιέργεια θα πρέπει να υλοποιείται μέσα από διάφορες ειδοειδικές στρατηγικές, οι οποίες θα περιλαμβάνουν, όχι μόνο την άμεση παροχή τροφής, αλλά και την έμμεση κατανάλωση θρεπτικών ουσιών μέσω της ενίσχυσης της πρωτογενούς και δευτερογενούς παραγωγικότητας στα συστήματα παραγωγής σε λιμνοδεξαμενές, καθώς και την εφαρμογή επιτυ-

χούς Ολοκληρωμένης Πολυτροφικής Υδατοκαλλιέργειας (IMTA).

- Με τη γνώση της πλήρους γονιδιακής ακολουθίας των υδατοκαλλιεργούμενων οργανισμών, είναι δυνατή και η αύξηση της υπάρχουσας γνώσης επί των επιπτώσεων των θρεπτικών συστατικών στην έκφραση των γονιδίων (διατροφολογική). Οι πληροφορίες αυτές προσφέρουν τη δυνατότητα να υπάρξει κατανόηση της αλληλεπίδρασης της διατροφής με αντιδράσεις όπως η ευαισθησία στις ασθένειες και η αποδοτικότητα της σίτισης. Επιπλέον, ο προσδιορισμός των βιοδεικτών, των μεταβολικών προϊόντων που αντανakλούν τις μεταβολές στη φυσιολογική απόκριση (μεταβολομική), μπορεί να οδηγήσει σε ένα επιτυχημένο πρόγραμμα αναπαραγωγής που θα προωθούσε την αποτελεσματική απόκριση υπό συγκεκριμένες συνθήκες καλλιέργειας. Η γνώση αυτή θα είναι χρήσιμη στην πραγματοποίηση αλλαγών σε μοριακό επίπεδο για την αντιμετώπιση τοπικών αλλαγών στο περιβάλλον και στη διαθεσιμότητα των πόρων, οι οποίες θα προκύψουν στα πλαίσια της υπερθέρμανσης του πλανήτη.

Βιβλιογραφία

- Ceccaldi, H. J. (1997). Anatomy and physiology of the digestive system. In: D'Abramo, L. R., Conklin, D. E., and Akiyama, D. M. (Eds.) *Crustacean Nutrition*, pp. 261–291. The World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA, USA.
- D'Abramo, L. R., Conklin, D. E. and Akiyama, D. M. (Eds.) (1997) *Crustacean Nutrition. Advances in World Aquaculture Volume 6*. The World Aquaculture Society Baton Rouge, LA, USA.
- Duarte, C. M., Holmer, M., Olsen, Y., Soto, D., Marbá, N., Guiu J., Black, K. and Karakassis, I. (2009). Will the oceans help feed humanity? *BioScience*, 59(11), 967–976.
- FAO, (2014). *The State of World Fisheries and Aquaculture: Opportunities and Challenges*. Rome: FAO.
- FAO. (2009). *How to Feed the World in 2050*. FAO: Rome http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert_paper/How_to_Feed_the_World_in_2050.pdf [Website accessed January 2017]
- Glencross, B. D. (2009). Exploring the nutritional demand for essential fatty acids by aquaculture species. *Reviews in Aquaculture*, 1, 71–124.
- Glencross, B. D., Booth, M. and Allan, G. L. (2007). A feed is only as good as its ingredients – a review of ingredient evaluation strategies for aquaculture feeds. *Aquaculture Nutrition*, 13, 17–34.
- Hamre, K., Yufera, M., Ronnerstad, I., Boglione, C., Conceicao, L. E. C. and Izquierdo, M. (2013). Fish larval nutrition and feed formulation: knowledge gaps and bottlenecks for advances in larval rearing. *Reviews in Aquaculture*, 5 (Suppl 1), 26–58.
- Horn, M. H. (1998). Feeding and digestion. In: D. H. Evans (Ed.) *The Physiology of Fishes*, 2nd edition. pp. 43–64. CRC Press LLC
- Izquierdo, M. S., Fernandez-Palacios, H. and Tacon, A. G. J. (2001). Effect of broodstock nutrition on reproductive performance of fish. *Aquaculture*, 197, 25–42.
- NRC (National Research Council of the National Academies) (2015). *Critical Role of Animal Science Research in Food Security and Sustainability*. The National Academies Press, Washington, D.C.
- NRC (2011). *Nutrient Requirements of Fish and Shrimp*. The National Academies Press, Washington, D.C.
- NRC. (1993). *Nutrient Requirements of Fish and Shrimp*. The National Academies Press, Washington, D.C.
- Shearer, K. D. (2000). Experimental design, statistical analysis and modelling of dietary nutrient requirement studies for fish: a critical review. *Aquaculture Nutrition*, 6, 91–102.
- Shipton, T. A. and Hasan, M.R. (2013). An overview of the current status of feed management practices. In Hasan,

- M. R. and New, M. B. (Eds.) *On-farm Feeding and Feed Management in Aquaculture*. pp. 3–20. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 583. Rome, FAO. <http://www.fao.org/3/a-i3481e.pdf> [accessed January, 2017].
- Takeuchi, T. (1997). Essential fatty acid requirements of aquatic animals with emphasis on fish larvae and fingerlings. *Reviews in Fisheries Science*, 5, 1–25.
- Webster, C. D. and Lim, C. E. (Eds.) (2002). *Nutrient Requirements and Feeding of Finfish for Aquaculture*. CABI Publishing, New York, NY.
- Wouters, R., Lavens, P., Nieto, J. and Sorgeloos, P. (2001). Penaeid shrimp broodstock nutrition: an updated review on research and development. *Aquaculture*, 202, 1–21.

9

Εκκολαπτήρια και Τροφές Προνυμφών

Paul C. Southgate

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

9.1	Εισαγωγή, 269	9.5	Ανάπτυξη Μικροδιαπών για Προνύμφες Ψαριών, 291
9.2	Τροφές για Συστήματα Καλλιέργειας σε Εκκολαπτήρια, 269	9.6	Συγκομιδή Φυσικού Πλαγκτού, 293
9.3	Στρατηγική Σίτισης για Καλλιέργειες Προνυμφών, 288	9.7	Λίπανση Λιμνοδεξαμενών ως Πηγή Τροφής για Υδατοκαλλιέργειες, 294
9.4	Σύνθετες Τροφές Εκκολαπτηρίων, 290	9.8	Περίληψη, 296
			Βιβλιογραφία, 297

9.1 Εισαγωγή

Τα εκκολαπτήρια είναι εκείνες οι εγκαταστάσεις υδατοκαλλιέργειας που ασχολούνται με τη διατήρηση και τον εγκλιματισμό των γεννητόρων, την πρόκληση γεννοβολίας, την εκτροφή προνυμφών, και την καλλιέργεια ατόμων νηπιακού σταδίου ή νεαρών ιχθυιδίων. Συνεπώς, το εύρος των τροφών που χρησιμοποιούνται στα εκκολαπτήρια πρέπει να είναι κατάλληλο για να καλύπτει τις ανάγκες των ενήλικων ατόμων, των προνυμφών και των νεαρών ατόμων των ειδών-στόχων. Η εντατική εκτροφή των προνυμφικών σταδίων ψαριών και οστρακοειδών βασίζεται, επί του παρόντος, στη διαθεσιμότητα ζωντανών οργανισμών που χρησιμοποιούνται ως τροφή, οι οποίοι καλλιεργούνται συνήθως στο χώρο του εκκολαπτηρίου, και περιλαμβάνουν μικροφύκη, τροχόζωα, γαρίδες της άλμης (*Artemia*) και κωπήποδα.

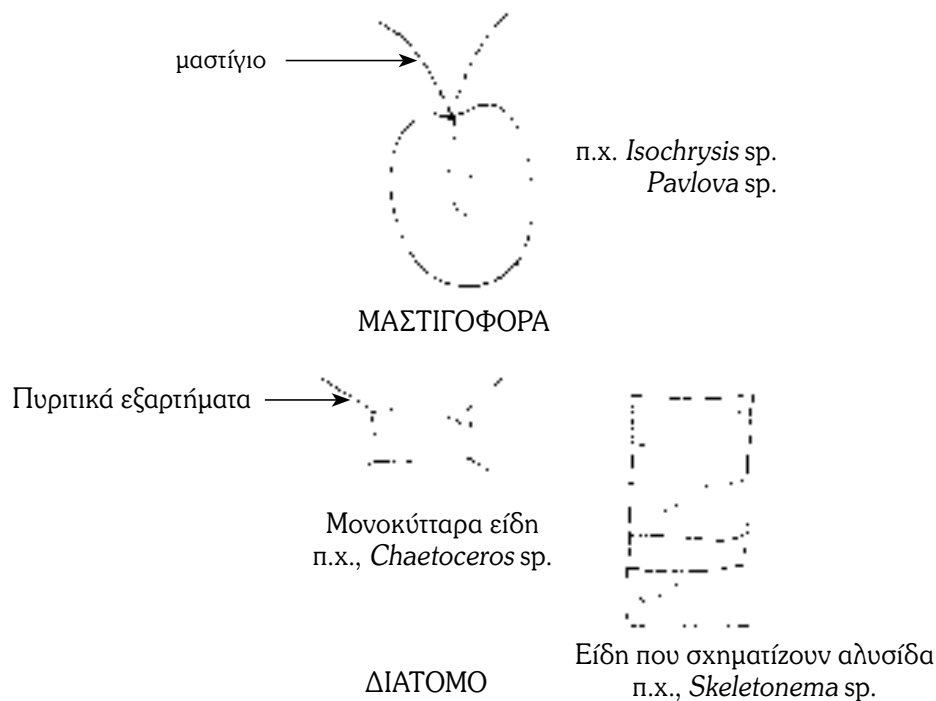
9.2 Τροφές για Συστήματα Καλλιέργειας σε Εκκολαπτήρια

9.2.1 Μικροφύκη

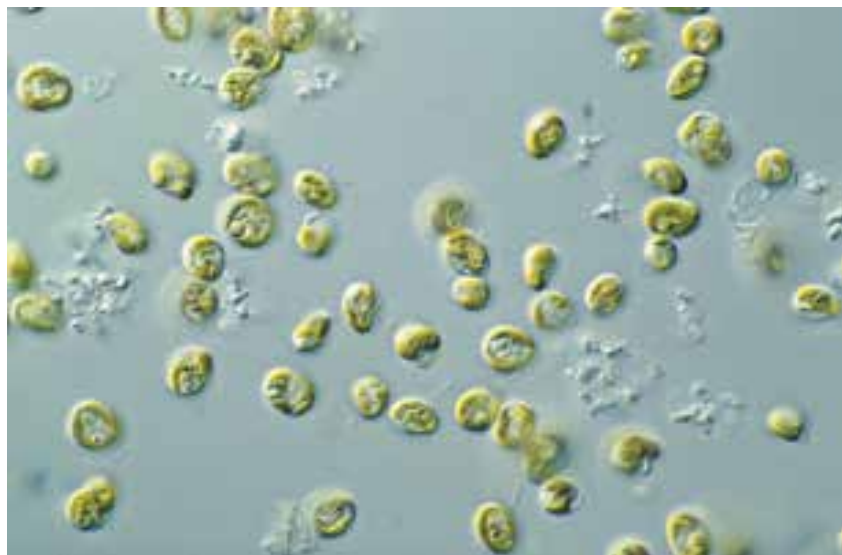
Τα καλλιεργούμενα μικροφύκη έχουν κεντρικό ρό-

λο ως πηγή τροφής στην υδατοκαλλιέργεια. Τα μικροφύκη χρησιμοποιούνται απευθείας ως τροφή για προνύμφες, νεαρά άτομα και ενήλικα δίθυρα μαλάκια, και για πρώιμα προνυμφικά στάδια μερικών καρκινοειδών και ψαριών. Είναι επίσης πολύ σημαντικά ως πηγή τροφής για την εκτροφή ζωοπλαγκτού, όπως τροχόζωα και γαρίδες της άλμης (*Artemia*), που, με τη σειρά τους, χρησιμοποιούνται για τη σίτιση προνυμφών καρκινοειδών και ψαριών.

Καστανόχρυστα μαστιγοφόρα Πρυμνεσιοφύκη (*Prymnesiophyceae*) και Χρυσοφύκη (*Chrysophyceae*), μαστιγοφόρα Πρασινοφύκη (*Prasinophyceae*) και Χλωροφύκη (*Chlorophyceae*) και διάτομα (*Bacillariophyceae*) (**Εικόνα 9.1**) είναι τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα μικροφύκη στην υδατοκαλλιέργεια. Όπως υποδηλώνει το όνομά τους, τα κύτταρα των μαστιγοφόρων έχουν ένα ή περισσότερα μαστίγια, με τα οποία κινούνται (**Εικόνα 9.2**), ενώ τα διάτομα στερούνται μαστιγίων και δεν κινούνται. Τα διάτομα περιέχουν διοξείδιο του πυριτίου στα κυτταρικά τους τοιχώματα και μπορεί να έχουν πυριτικές άκανθες. Ορισμένα είδη διατόμων ζουν ως μεμονωμένα κύτταρα (π.χ., *Chaetoceros gracilis*), ενώ άλλα είδη έχουν κύτταρα που ενώνονται μεταξύ τους σχηματίζοντας



Εικόνα 9.1 Διαγραμματική απεικόνιση της γενικής μορφολογίας ενός μαστιγοφόρου και ενός διατόμου.



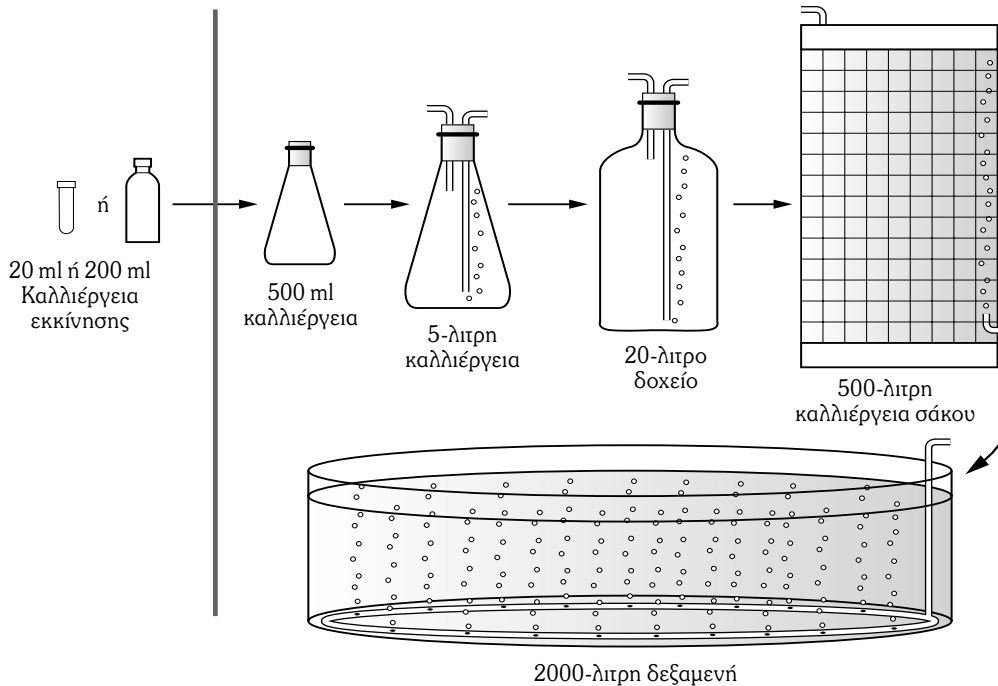
Εικόνα 9.2 Κύτταρα *Pavlova* sp. (Πρυμνεσιοφύκη - Prymnesiophyceae) όπως διακρίνονται στο μικροσκόπιο. Αυτό το είδος μαστιγοφόρων έχει χρώμα καστανόχρυσο και τα μαστίγια του είναι ορατά στη φωτογραφία. Πηγή: Φωτογραφία από CSIRO. Αναπαραγωγή με την άδεια Αναφοράς Δημιουργού - Παρόμοιας Διανομής Creative Commons, CC-BY-SA 3.0.

αλυσίδες (π.χ., *Skeletonema costatum*). Η γενικευμένη μορφολογία των μικροφυκών που χρησιμοποιούνται στην υδατοκαλλιέργεια παρουσιάζεται στην **Εικόνα 9.1**.

9.2.2 Μέθοδοι Καλλιέργειας

Η απλούστερη μέθοδος παραγωγής μικροφυκών

είναι η πρόκληση άνθισης τοπικών ειδών φυτοπλαγκτού σε μικρές λιμνοδεξαμενές. Αυτό επιτυγχάνεται γεμίζοντας μια λιμνούλα ή μια λιμνοδεξαμενή με νερό από την γύρω περιοχή, το οποίο φιλτράρεται για την απομάκρυνση του ζωοπλαγκτού, νεκρής οργανικής ύλης και άλλων ανεπιθύμητων σωματιδίων, διατηρώντας ταυτόχρονα το μικρότερου μεγέθους φυτοπλαγκτό. Με την προ-



Εικόνα 9.3 Τυπική πολλαπλασιαστική διαδικασία (κλιμάκωση) καλλιέργειών μικροφυκών από μια καλλιέργεια εκκίνησης. Πηγή: Αναπαραγωγή από τους Brown et al. (1989) CSIRO Marine Laboratories Report 205 *Nutritional Aspects of Microalgae Used in Mariculture: A Literature Review*, με άδεια από CSIRO Publishing.

σθήκη λιπάσματος (συνήθως ανόργανου λιπάσματος), επαρκούς φωτισμού και αερισμού, προκαλείται άνθιση του υπάρχοντος φυτοπλαγκτού. Αν και φθηνή, αυτή η μέθοδος μπορεί να είναι αναξιόπιστη, επειδή η άνθιση του φυτοπλαγκτού δεν είναι εγγυημένη και επειδή υπάρχει περιορισμένος έλεγχος επί της σύνθεσης των ειδών αυτού. Ως εκ τούτου, η θρεπτική αξία των μικροφυκών που παράγονται με αυτόν τον τρόπο είναι απρόβλεπτη.

Συνήθως στις υδατοκαλλιέργειες, οι μονοειδικές καλλιέργειες μικροφυκών εκτρέφονται εντατικά σε συστήματα όπου έχουν καταβληθεί προσπάθειες για την ελαχιστοποίηση ή την εξάλειψη βακτηριακής μόλυνσης. Μονοειδικές καλλιέργειες εκκίνησης που έχουν δημιουργηθεί υπό ασηπτικές συνθήκες (απαλλαγμένες από βακτήρια) διατίθενται στη βιομηχανία υδατοκαλλιέργειας από εξειδικευμένα εργαστήρια για πολλά είδη μικροφυκών. Αυτές είναι η βάση για την παραγωγή μικροφυκών, η οποία περιλαμβάνει τον πολλαπλασιασμό του όγκου της καλλιέργειας και της πυκνότητας των φυκών, διατηρώντας ευνοϊκές συνθήκες για την αύξησή τους. Ένα παράδειγμα κατάλληλης πολλαπλασιαστικής διαδικασίας παρουσι-

άζεται στην **Εικόνα 9.3**. Οι αρχικές καλλιέργειες διατηρούνται υπό ελεγχόμενες συνθήκες θερμοκρασίας και φωτισμού. Κατά τη διάρκεια της κλιμάκωσης (scaling-up) ή αλλιώς πολλαπλασιαστικής διαδικασίας, όπου γίνεται μετάβαση από μικρότερου σε μεγαλύτερου όγκου καλλιέργειες, τα μικροφύκη μεταφέρονται συνήθως από δοχείο σε δοχείο υπό ασηπτικές συνθήκες χρησιμοποιώντας θάλαμο νηματικής ροής (laminar flow) ή αποστειρωμένα δοχεία μεταφοράς. Τα δοχεία καλλιέργειας που λαμβάνουν το ενοφθάλμισμα περιέχουν θαλασσινό νερό που έχει υποστεί διήθηση (συνήθως με ηθμούς 0,20-0,45 μm) και έχουν αποστειρωθεί σε αυτόκαυστο (**Εικόνα 9.4**). Ο εμβολιασμός (ενοφθαλμισμός) των καλλιεργείων μικροφυκών υπό αυτές τις συνθήκες μειώνει την πιθανότητα βακτηριακής μόλυνσης. Ωστόσο, δεν είναι πρακτική η εφαρμογή αυτής της μεθόδου για δοχεία καλλιέργειας με όγκους μεγαλύτερους από περίπου 20 L. Σε μεγαλύτερες καλλιέργειες σε σάκους και δεξαμενές, καταβάλλονται προσπάθειες για τη μείωση του βακτηριακού πληθυσμού του νερού της καλλιέργειας με διήθηση (0,20-0,45 μm), η οποία μπορεί να ακολουθείται από διέλευση του νερού από μηχανισμό αποστείρωσης μέσω



Εικόνα 9.4 Αποστειρωμένη καλλιέργεια μικροφυκών σε κωνική φιάλη. Τέτοιες καλλιέργειες θα πολλαπλασιαστούν φτάνοντας σε αξιοποιήσιμους όγκους σε μεγαλύτερες φιάλες, σάκους και δεξαμενές (βλ. Εικόνα 9.3). Πηγή: Φωτογραφία από CSIRO. Αναπαραγωγή με την άδεια Αναφοράς Δημιουργού - Παρόμοιας Διανομής Creative Commons, CC-BY-SA 3.0.

υπεριώδους ακτινοβολίας (UV, Ultraviolet). Οι κωνικές φιάλες, οι σάκοι ή οι κύλινδροι με τα μικροφύκη μπορούν τελικά να μεταφερθούν σε εσωτερικές ή εξωτερικές λιμνοδεξαμενές ή λιμνούλες, καθώς η υδατοκαλλιέργεια μεγάλης κλίμακας απαιτεί μεγάλους όγκους μικροφυκών.

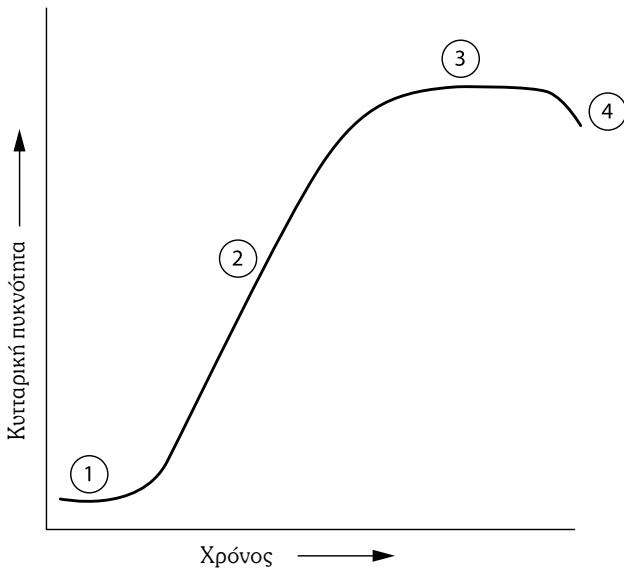
Για την αύξησή τους οι καλλιέργειες μικροφυκών απαιτούν:

- αερισμό,
- ένα κατάλληλο θρεπτικό μέσο,
- φωτισμό.

Σε κάθε μεταφορά, ένα καθαρό δοχείο που περιέχει φιλτραρισμένο (κατά προτίμηση αποστειρωμένο) θαλασσινό νερό, στο οποίο έχει προστεθεί ένα μέσο καλλιέργειας, εμβολιάζεται με μικροφύκη. Στο δοχείο αυτό παρέχεται φιλτραρισμένος (0,20-0,45 μm) αέρας για τη διατήρηση των κυττάρων των μικροφυκών σε εναιώρηση και την παροχή επαρκούς ποσότητας διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) για την αύξησή τους. Η παροχή αέρα μπορεί επίσης να συμπληρωθεί άμεσα με αέριο CO₂ για περαιτέρω διέγερση της αύξησης. Οι καλλιέργειες μικροφυκών διατηρούνται υπό ελεγχόμενες

συνθήκες φωτισμού και θερμοκρασίας, π.χ., οι κατάλληλες συνθήκες για τα περισσότερα είδη μικροφυκών αντιστοιχούν σε φωτοπερίοδο διάρκειας 12-16 ωρών, που παρέχει ακτινοβολία έντασης 70-80 mE/m²/s στους 20-25 °C. Η αύξηση των μικροφυκών ακολουθεί ένα συγκεκριμένο πρότυπο και αποτελείται από μια σειρά διαφορετικών φάσεων (**Εικόνα 9.5**).

- 1) Μια φάση υστέρησης (lag phase) λαμβάνει χώρα μετά τον εμβολιασμό και χαρακτηρίζεται από σταθερή πυκνότητα κυττάρων.
- 2) Η εκθετική ή λογαριθμική φάση (log phase) χαρακτηρίζεται από μία ταχεία αύξηση της πυκνότητας των κυττάρων εντός της καλλιέργειας. Αυτή είναι η περίοδος κατά την οποία τα μικροφύκη, γενικά, έχουν τη βέλτιστη θρεπτική αξία.
- 3) Η στατική φάση (stationery phase) επέρχεται καθώς οι θρεπτικές ουσίες στο μέσο καλλιέργειας αρχίζουν να ελαττώνονται, και η αυξανόμενη πυκνότητα των κυττάρων οδηγεί σε μειωμένη ένταση φωτός μέσα στην καλλιέργεια. Ο ρυθμός της κυτταρικής διαίρεσης επιβραδύνεται και η πυκνότητα των κυττάρων φτάνει σε ένα μέγιστο όπου σταθεροποιείται.



Εικόνα 9.5 Γενικό πρότυπο των μεταβολών στην πυκνότητα των κυττάρων των μικροφυκών με την πάροδο του χρόνου σε ασυνεχείς καλλιέργειες (batch cultures). 1) φάση υστέρησης, 2) εκθετική ή λογαριθμική φάση, 3) στατική φάση, και 4) φάση θνησιμότητας.

4) Η φάση θνησιμότητας (death phase) επέρχεται όταν, τελικά, τα κύτταρα αρχίζουν να πεθαίνουν, καθώς εξαντλούνται οι θρεπτικές ουσίες στο μέσο καλλιέργειας, και η καλλιέργεια εισέρχεται στη φάση που χαρακτηρίζεται από πτώση της πυκνότητας των κυττάρων.

Η πυκνότητα των κυττάρων μίας καλλιέργειας μικροφυκών, συνήθως, προσδιορίζεται με καταμέτρηση των κυττάρων σε πλέγμα αιμοκυτταρόμετρου χρησιμοποιώντας ένα μικροσκόπιο, ή με τη χρήση υψηλής ταχύτητας ηλεκτρονικών μετρητών σωματιδίων.

Υπάρχουν τρεις κύριες μέθοδοι καλλιέργειας μικροφυκών:

- 1) Η ασυνεχής καλλιέργεια (batch culture) περιλαμβάνει την καλλιέργεια μικροφυκών μέχρι του σημείου της πλήρους συγκομιδής τους.
- 2) Η ημι-συνεχής καλλιέργεια (semi-continuous culture) περιλαμβάνει μερική περιοδική συγκομιδή από δοχεία καλλιέργειας τα οποία γεμίζουν με καθαρό νερό και φρέσκο θρεπτικό μέσο.
- 3) Η συνεχής καλλιέργεια (continuous culture) περιλαμβάνει τη συγκομιδή καλλιεργούμενων μικροφυκών σε συνεχή βάση, με τον όγκο που

Πίνακας 9.1 Η σύνθεση του θρεπτικού μέσου f/2 για την καλλιέργεια μικροφυκών.

Θρεπτικό Συστατικό	Συγκέντρωση (L)
NaNO ₃	75 mg
NaH ₂ PO ₄	5 mg
*Na ₂ SiO ₃	15–30 mg
Μέταλλα-Ιχνοστοιχεία	
Na ₂ EDTA	4,36 mg
FeCl ₃ ·6H ₂ O	3,15 mg
CuSO ₄ ·5H ₂ O	0,01 mg
ZnSO ₄ ·7H ₂ O	0,022 mg
CoCl ₂ ·6H ₂ O	0,01 mg
MnCl ₂ ·4H ₂ O	0,18 mg
Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O	0,006 mg
Βιταμίνες	
Κυανοκοβαλαμίνη	0,5 μg
Βιοτίνη	0,5 μg
Υδροχλωρίδιο θειαμίνης	100 μg

*Απαιτείται μόνο σε καλλιέργειες διατόμων.

αφαιρείται από το δοχείο καλλιέργειας να αντικαθίσταται συνεχώς με καθαρό νερό και φρέσκο θρεπτικό μέσο.

Ο στόχος των συνεχών και ημι-συνεχών καλλιεργειών είναι να διατηρηθεί ο μέγιστος ρυθμός αύξησης (εκθετική φάση) για να μεγιστοποιηθεί η παραγωγή και να μειωθεί η μεταβλητότητα στη βιοχημική σύνθεση (και θρεπτική αξία) των παραγόμενων μικροφυκών. Στις ασυνεχείς καλλιέργειες, η σύνθεση των θρεπτικών ουσιών μπορεί να ποικίλει ευρέως ανάλογα με τη φάση αύξησης και την ηλικία της καλλιέργειας.

9.2.3 Θρεπτικά Μέσα

Πολλά θρεπτικά μέσα έχουν αναπτυχθεί για τις καλλιέργειες μικροφυκών. Σε γενικές γραμμές, περιέχουν μακροθρεπτικά συστατικά για την παροχή αζώτου και φωσφόρου (π.χ., νιτρικό νάτριο, γλυκεροφωσφορικό νάτριο), ιχνοστοιχείων και βιταμινών. Κοινά χρησιμοποιούμενο είναι το θρεπτικό μέσο f/2 του Guillard (1972), του οποίου η σύνθεση παρουσιάζεται στον Πίνακα 9.1. Τα θρεπτικά μέσα παρασκευάζονται από απεσταγμένο νερό στο οποίο προστίθενται θρεπτικά συστατικά. Είναι βο-

Πίνακας 9.2 Η συνολική σύνθεση θρεπτικών ουσιών των μικροφυκών που χρησιμοποιούνται συνήθως στην υδατοκαλλιέργεια.

Είδος	Σύνθεση (%)		
	Πρωτεΐνες	Υδατάνθρακες	Λιπίδια
Καστανόχρυσια μαστιγοφόρα			
<i>Isochrysis κλώνος T-ISO</i>	44	9	25
<i>Isochrysis galbana</i>	41	5	21
<i>Pavlova lutheri</i>	49	31	12
Διάτομα			
<i>Chaetoceros calcitrans</i>	33	17	10
<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	33	24	10
<i>Skeletonema costatum</i>	37	21	7
Πράσινα μαστιγοφόρα			
<i>Dunaliella salina</i>	57	32	9
<i>Tetraselmis suecica</i>	39	8	7

Πηγή: Τα δεδομένα προέρχονται από τους Parsons et al. (1961), Utting (1986) και Whyte (1987).

λικό να παρασκευάζονται αποθέματα συμπυκνωμένων διαλυμάτων θρεπτικών μέσων, τα οποία στη συνέχεια προστίθενται σε δοχεία καλλιέργειας μικροφυκών για να παρέχουν τα κατάλληλα επίπεδα θρεπτικών ουσιών. Γενικά, σε κάθε λίτρο νερού καλλιέργειας προστίθενται 1-3 mL αποθεματικού (stock) διαλύματος θρεπτικού μέσου. Δεδομένης της σημασίας του διοξειδίου του πυριτίου για τη δομή των διατόμων, μια πηγή διοξειδίου του πυριτίου (συνήθως μεταπυριτικό νάτριο) πρέπει να συμπεριλαμβάνεται στα θρεπτικά μέσα που χρησιμοποιούνται για την καλλιέργεια διατόμων. Ένα αποθεματικό διάλυμα παρασκευάζεται διαλύοντας μεταπυριτικό νάτριο (40 g) σε 1 L απεσταγμένου νερού, και 0,2-0,4 mL του προκύπτοντος διαλύματος προστίθενται σε κάθε λίτρο νερού καλλιέργειας. Γενικά, τα θρεπτικά μέσα προστίθενται σε μικρότερα δοχεία καλλιέργειας (π.χ., γυάλινες κωνικές φιάλες) προτού αποστειρωθούν σε αυτόκαυστο. Μόλις ψυχθούν, τα δοχεία εμβολιάζονται για να ξεκινήσουν νέες καλλιέργειες μικροφυκών.

- το μέγεθος του κυττάρου
- το πάχος του κυτταρικού τοιχώματος
- η ευπεψία του κυττάρου
- η παρουσία ακανθωδών σχηματισμών,
- ο σχηματισμός αλυσίδων (π.χ., στα διάτομα)

επηρεάζουν τη θρεπτική αξία ενός είδους. Σαφώς, τα μικροφύκη πρέπει να έχουν τα κατάλληλα φυσικά χαρακτηριστικά που να επιτρέψουν την κατάρτησή τους και, αφού προσληφθούν, πρέπει να είναι ευκολοχώνευτα. Οι καλλιεργούμενες προνύμφες ασπόνδυλων ποικίλουν ως προς τους μηχανισμούς τροφοληψίας και πέψης της τροφής τους, και αυτό επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τα μεγέθη και τα είδη των μικροφυκών που μπορούν να προσλάβουν και να πέψουν. Για παράδειγμα, οι προνύμφες γαρίδας έχουν ένα πλήρες σύνολο στοματικών εξαρτημάτων με σμήριγγες, προσαρμοσμένων για κατανάλωση αλυσίδων διατόμων. Ωστόσο, τέτοια διάτομα δεν μπορούν να συλληφθούν και να προσληφθούν από τα βλεφαριδοφόρα τροφοληπτικά εξαρτήματα που φέρουν οι προνύμφες των δίθυρων μαλακίων.

Υπό την προϋπόθεση ύπαρξης φυσικών χαρακτηριστικών κατάλληλων για την κατάποση και την επακόλουθη πέψη, η θρεπτική αξία ενός δεδομένου μικροφύκου καθορίζεται από τη βιοχημική του σύνθεση, ή τη σύνθεση των θρεπτικών ουσιών του. Η βιοχημική σύνθεση ποικίλλει σημαντικά με-

9.2.4 Διατροφική Αξία Μικροφυκών

Όταν εξετάζεται η καταλληλότητα διαφόρων ειδών μικροφυκών ως πηγή τροφής, το πρώτο που ενδιαφέρει είναι τα φυσικά χαρακτηριστικά τους. Παράγοντες όπως:

ταξύ των ειδών (**Πίνακας 9.2**). Επηρεάζεται επίσης, από τη φάση αύξησης κατά την οποία έγινε η συγκομιδή των κυττάρων των μικροφυκών, και από αβιοτικούς παράγοντες, όπως:

- ο φωτισμός (φωτοπερίοδος, ένταση και μήκος κύματος),
- η θερμοκρασία,
- το θρεπτικό μέσο (σύνθεση και συγκέντρωση),
- η αλατότητα,
- η διαθεσιμότητα αζώτου,
- η διαθεσιμότητα CO₂.

Για παράδειγμα, κατά τη διάρκεια της στατικής φάσης της καλλιέργειας τα επίπεδα των πρωτεϊνών μειώνονται, ενώ τα επίπεδα λιπιδίων και υδανθράκων αυξάνονται. Παρομοίως, η περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη των μικροφυκών επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από την περιεκτικότητα του μέσου καλλιέργειας σε άζωτο. Οι συνθήκες της καλλιέργειας επίσης επηρεάζουν τα επίπεδα μικροθρεπτικών συστατικών, όπως είναι τα λιπαρά οξέα και οι βιταμίνες, στα καλλιεργούμενα μικροφύκη. Ως εκ τούτου, οι συνθήκες κάτω από τις οποίες καλλιεργούνται τα μικροφύκη, και το στάδιο συγκομιδής τους, μπορεί να επηρεάσουν σημαντικά τη διατροφική τους αξία. Περισσότερες πληροφορίες σχετικά με τους παράγοντες που επηρεάζουν το θρεπτικό περιεχόμενο των καλ-

λιεργούμενων μικροφυκών παρέχονται από τους Brown et al. (2013).

Οι διατροφικές απαιτήσεις των καλλιεργούμενων υδρόβιων οργανισμών αναλύονται στο Κεφάλαιο 8. Πολλές δοκιμαστικές καλλιέργειες, χρησιμοποιώντας διαφορετικά είδη μικροφυκών ως τροφή, έχουν δείξει ότι οι διαφορές στη διατροφική αξία των μικροφυκών σχετίζονται κυρίως με τη σύνθεσή τους σε λιπαρά οξέα και υδαάνθρακες. Όπως περιγράφεται λεπτομερώς στην ενότητα 8.4.2, οι προνύμφες θαλάσσιων ψαριών και οστρακοειδών έχουν μία ουσιώδη διατροφική απαίτηση για ω-3 πολυακόρεστα λιπαρά οξέα (HUFAs, Highly Unsaturated Fatty Acids,). Ως εκ τούτου, η περιεκτικότητα σε ω-3 HUFA αποτελεί σημαντικό παράγοντα για τον καθορισμό της θρεπτικής αξίας των μικροφυκών, και είναι γενικά αποδεκτό ότι τα είδη που περιέχουν τα απαραίτητα λιπαρά οξέα εικοσαπενταενοϊκό οξύ (EPA, Eicosapentaenoic Acid, 20:5n-3) και εικοσιδιεξαινοϊκό οξύ (DHA, Docosahexaenoic Acid, 22:6n-3) θα έχουν υψηλή θρεπτική αξία για τα εκτρεφόμενα ζώα. Ο **Πίνακας 9.3** δείχνει τις συνθέσεις σε ω-3 λιπαρά οξέα διαφόρων ειδών μικροφυκών, οι οποίες ποικίλλουν ευρέως μεταξύ τους. Γενικά, τα καστανόχρυσα μαστιγοφόρα και τα διάτομα περιέχουν σχετικά υψηλά επίπεδα απαραίτητων λιπαρών οξέων (EFA, Essential Fatty Acid), ενώ άλλα,

Πίνακας 9.3 Οι συνθέσεις σε ω-3 λιπαρά οξέα (% ολικών λιπαρών οξέων) επιλεγμένων ειδών μικροφυκών που χρησιμοποιούνται στην υδατοκαλλιέργεια.

Είδος	Λιπαρό οξύ		
	18:3n-3	20:5n-3	22:6n-3
Καστανόχρυσα μαστιγοφόρα			
<i>Isochrysis</i> κλώνος T-ISO	3,6	0,2	8,3
<i>Pavlova lutheri</i>	1,8	19,7	9,4
Διάτομα			
<i>Chaetoceros gracilis</i>		5,7	0,4
<i>Chaetoceros calcitrans</i>	Ίxvn	11,1	0,8
<i>Thalassiosira pseudonana</i>	0,1	19,3	3,9
Πράσινα μαστιγοφόρα			
<i>Tetraselmis suecica</i>	11,1	4,3	Ίxvn
<i>Dunaliella tertiolecta</i>	43,5		
<i>Nannochloris atomus</i>	21,7	3,2	Ίxvn

Πηγή: Δεδομένα από τους Volkman et al. (1989).

κυρίως είδη χλωροφυκών, περιέχουν χαμηλά επίπεδα EFAs ή καθόλου.

Η περιεκτικότητα των μικροφυκών σε υδατάνθρακες είναι άλλος ένας σημαντικός παράγοντας για τον προσδιορισμό της θρεπτικής τους αξίας. Υπο την προϋπόθεση ότι πληρούνται οι διαιτητικές απαιτήσεις σε EFAs, η έρευνα έχει δείξει ότι η αύξηση και η φυσική κατάσταση των προνυμφών διθύρων σχετίζονται με την περιεκτικότητα σε υδατάνθρακες της τροφής τους. Διατροφικοί υδατάνθρακες χρησιμοποιούνται κυρίως ως πηγή ενέργειας έναντι των πρωτεϊνών και των λιπιδίων, οι/τα οποίες/οποία μπορεί στη συνέχεια να χρησιμοποιηθούν για την ανάπτυξη των ιστών (ενότητα 8.2). Δίαιτες που περιέχουν περισσότερα του ενός είδη μικροφυκών θεωρούνται, γενικά, διατροφικά ανώτερες από μονοειδικές δίαιτες. Θεωρείται ότι παρέχουν καλύτερη ισορροπία θρεπτικών συστατικών ελαχιστοποιώντας τυχόν διατροφικές ανεπάρκειες που υπάρχουν σε κάποιο από τα χρησιμοποιούμενα είδη.

Η επιλογή του κατάλληλου είδους μικροφύκου για χρήση σε ένα εκκολαπτήριο υδατοκαλλιέργειας απαιτεί προσεκτική εξέταση της καταλληλότητάς του για καλλιέργεια και χρήση στις τοπικές συνθήκες που επικρατούν. Αυτό είναι ιδιαίτερα ση-

μαντικό όταν καλλιεργούνται μικροφύκη σε υπαίθριες δεξαμενές. Οι τρεις πιο σημαντικοί παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη για την καλλιέργεια σε εξωτερικές συνθήκες είναι η θερμοκρασία, η αλατότητα και η ένταση του φωτός. Για παράδειγμα, στις τροπικές περιοχές, η ικανότητα των μικροφυκών να ανέχονται κυμαινόμενες τιμές αλατότητας και θερμοκρασίας είναι ιδιαίτερα σημαντική σε περιοχές όπου οι καλλιέργειες μπορεί να διάγουν περιόδους έντονων βροχοπτώσεων και υψηλών θερμοκρασιών. Τα διάφορα είδη μικροφυκών έχουν διαφορετικά βέλτιστα όρια θερμοκρασίας και αλατότητας (**Πίνακας 9.4**). Επίσης, η ένταση του φωτός επηρεάζει τους ρυθμούς αύξησης των μικροφυκών και μπορεί να μεταβάλει τη βιοχημική τους σύνθεση, και ως εκ τούτου τη διατροφική τους αξία. Όπως προαναφέρθηκε, αυτό έχει ιδιαίτερη σημασία σε περιοχές υψηλής έντασης φυσικού φωτός, όπως οι τροπικές περιοχές.

Με βάση τα γνωστά όρια ανοχής σε αυτές τις παραμέτρους, τα μικροφύκη μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σύμφωνα με την καταλληλότητά τους για καλλιέργεια και χρήση σε διαφορετικά περιβάλλοντα. Για παράδειγμα, οι Jeffrey et al. (1992) κατατάσσουν διάφορα είδη μικροφυκών ανάλογα με τις ανοχές τους στη θερμοκρασία σε:

Πίνακας 9.4 Όρια ανοχής της αλατότητας και της θερμοκρασίας των μικροφυκών που χρησιμοποιούνται συνήθως στις υδατοκαλλιέργειες.

Είδος	Όρια ανοχής Αλατότητας (‰)	Όρια ανοχής Θερμοκρασίας (°C)
Καστανόχρυσα μαστιγοφόρα		
<i>Isochrysis sp.</i> (T-ISO)	7–35	15–30
<i>Pavlova salina</i>	21–35	15–30
<i>Pavlova lutheri</i>	7–35	10–25
Διάτομα		
<i>Chaetoceros calcitrans</i>	7–35	10–30
<i>Chaetoceros gracilis</i>	7–35	15–30
<i>Thalassiosira pseudonana</i>		10–20
<i>Skeletonema costatum</i>	14–35	10–20
Πράσινα μαστιγοφόρα		
<i>Tetraselmis suecica</i>	7–35	10–30
<i>Dunaliella tertiolecta</i>	7–35	10–30
<i>Nannochloris atomus</i>	7–35	10–30
<i>Nanochloropsis oculata</i>	7–35	10–30

Πηγή: Δεδομένα από τους Jeffrey et al. (1992).

- 1) εξαιρετικά παγκόσμια είδη, τα οποία εμφανίζουν καλή αύξηση στους 10-30 °C (π.χ., *Tetraselmis suecica*, *T. chuii*, *Nannochloris atomus*)
- 2) εξαιρετικά τροπικά και υποτροπικά είδη, τα οποία εμφανίζουν καλή αύξηση στους 15-30 °C (π.χ., *Isochrysis* κλώνος T-ISO, *Chaetoceros gracilis*, *Pavlova salina*)
- 3) καλά εύκρατα είδη, τα οποία εμφανίζουν καλή αύξηση στους 10-20 °C (π.χ., *Chroomonas salina*, *Skeletonema costatum*, *Thalassiosira pseudonana*).

9.2.5 Πρόσφατες Εξελίξεις στην Παραγωγή Μικροφυκών

Παρά τον κεντρικό διατροφικό της ρόλο στα εκκολαπτήρια υδατοκαλλιεργειών, η παραγωγή και χρήση καλλιεργούμενων ζωντανών μικροφυκών παρουσιάζει ορισμένα πιθανά προβλήματα:

- 1) Η επιτόπια παραγωγή μικροφυκών είναι επίπονη και έχει υψηλό κόστος (30% έως 50% των λειτουργικών δαπανών του εκκολαπτηρίου).
- 2) Η επιτόπια παραγωγή μικροφυκών απαιτεί εξειδικευμένες εγκαταστάσεις και προσωπικό. Το κόστος των εγκαταστάσεων είναι σημαντικό, και η καλλιέργεια μικροφυκών απαιτεί χώρο, ο οποίος θα μπορούσε διαφορετικά να χρησιμοποιείται για την παραγωγή του είδους-στόχου.
- 3) Οι καλλιέργειες μικροφυκών μπορούν να αποτύχουν εξαιτίας δυσλειτουργίας του συστήματος καλλιέργειας ή λόγω ρύπων ή μόλυνσης από παθογόνους οργανισμούς. Κάθε μία από αυτές τις περιπτώσεις μπορεί να οδηγήσει σε έλλειψη τροφής για τους εκτρεφόμενους οργανισμούς.

Η έρευνα για την αντιμετώπιση ορισμένων από αυτά τα προβλήματα έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη προϊόντων μικροφυκών, που είναι διαθέσιμα στο εμπόριο για χρήση σε εκκολαπτήρια, τα οποία περιλαμβάνουν:

- συμπυκνώματα μικροφυκών,
- αποξηραμένα μικροφύκη.

Και οι δύο κατηγορίες προϊόντων επιτρέπουν την αποθήκευση μικροφυκών σε συμπυκνωμένη μορφή έως ότου απαιτηθούν. Το κύριο πλεονέκτημα της χρήσης συμπυκνωμένων ή αποξηραμένων μι-

κροφυκών είναι ότι τα μικροφύκη καλλιεργούνται σε κεντρική εγκατάσταση και στη συνέχεια διανέμονται στα εκκολαπτήρια. Αυτό εξαλείφει την ανάγκη ύπαρξης εγκαταστάσεων καλλιέργειας μικροφυκών μέσα στα εκκολαπτήρια, γεγονός που θα μπορούσε να οδηγήσει σε σημαντική εξοικονόμηση σε υποδομές και στο κόστος λειτουργίας.

9.2.5.1 Συμπυκνώματα Μικροφυκών

Τα συμπυκνώματα μικροφυκών παρασκευάζονται με την αφαίρεση του μέσου καλλιέργειας από την καλλιέργεια των μικροφυκών προκειμένου να παραχθεί μια παχιά πάστα συγκεντρωμένων κυττάρων μικροφυκών. Τα προκύπτοντα κύτταρα μικροφυκών είναι άθικτα και παραμένουν σε εναιώρηση με ελάχιστη ανάδευση του νερού καλλιέργειας στο οποίο έχουν προστεθεί. Τα συμπυκνώματα μικροφυκών έχουν πολύ υψηλή πυκνότητα κυττάρων (δισεκατομμύρια κύτταρα/mL) και μπορούν να αποθηκευτούν για μήνες ή χρόνια σε ψυγείο ή να καταψυχθούν. Ένας αριθμός ειδών μικροφυκών είναι πλέον διαθέσιμος σε συμπυκνωμένη μορφή στο εμπόριο. Περιλαμβάνονται είδη από γένη που χρησιμοποιούνται συνήθως στην υδατοκαλλιέργεια, όπως τα *Tetraselmis*, *Isochrysis*, *Pavlova* και τα διάτομα *Thalassiosira*. Συμπυκνώματα μικροφυκών που αποτελούνται από μείγμα ειδών είναι επίσης διαθέσιμα στο εμπόριο και έχουν ιδιαίτερη εφαρμογή ως τροφή σε καλλιέργειες οστρακοειδών και ζωοπλαγκτού. Τα συμπυκνώματα μικροφυκών χρησιμοποιούνται ευρέως στα εκκολαπτήρια υδατοκαλλιεργειών τα τελευταία χρόνια (Reed and Henry, 2014) και έχουν χρησιμοποιηθεί επιτυχώς ως τροφή για προνύμφες και νεαρά άτομα διαφόρων ειδών ασπονδύλων, αντικαθιστώντας πλήρως τα ζωντανά καλλιεργούμενα μικροφύκη (Southgate et al., 2016; Duy et al., 2017).

9.2.5.2 Αποξηραμένα Μικροφύκη

Τα αποξηραμένα παρασκευάσματα μικροφυκών παράγονται από μικροφύκη που έχουν καλλιεργηθεί ετεροτροφικά. Αυτή η τεχνική περιλαμβάνει την καλλιέργεια μικροφυκών στο σκοτάδι, χρησιμοποιώντας ως πηγή ενέργειας σάκχαρα αντί του φωτός (ενότητα 15.3.4). Η καλλιέργεια υπό αυτές τις συνθήκες παράγει μικροφύκη με πολύ διαφο-

ρετική θρεπτική σύσταση από εκείνη που έχουν μικροφύκη του ίδιου είδους που καλλιεργούνται χρησιμοποιώντας συμβατικές μεθόδους καλλιέργειας με φωτισμό. Αν και ο αριθμός των ειδών μικροφυκών που μπορούν να παραχθούν με αυτόν τον τρόπο είναι περιορισμένος, ορισμένα από αυτά έχουν παραχθεί για εμπορικούς σκοπούς. Ορισμένες μελέτες έχουν δείξει την αξία των αποξηραμένων μικροφυκών ως πηγή τροφής για προνύμφες καρκινοειδών και ψαριών, καθώς και για προνύμφες και νεαρά άτομα δίθυρων μαλακίων (Knauer and Southgate, 1999). Αν και η διαδικασία αποξήρανσης των μικροφυκών προσφέρει παρατεταμένη διάρκεια ζωής, μπορεί να προκαλέσει σημαντική δομική βλάβη στο κύτταρο.

9.2.6 Ζωοπλαγκτό

Εκτός από τα καλλιεργούμενα μικροφύκη, τα εκκολαπτήρια προνυμφών ψαριών και καρκινοειδών βασίζονται επίσης στο ζωοπλαγκτό ως πηγή τροφής των προνυμφών. Οι δύο κύριοι οργανισμοί που καλλιεργούνται για το σκοπό αυτό είναι τα τροχόζωα και οι γαρίδες της άλμης (*Artemia*). Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια, έχει πραγματοποιηθεί σημαντική ερευνητική προσπάθεια στοχευμένη στην ανάπτυξη τεχνικών μαζικής καλλιέργειας για κωπήποδα και τη χρήση τους ως ζωντανές τροφές στις υδατοκαλλιέργειες.

9.2.7 Τροχόζωα

Τα τροχόζωα (είδη του γένους *Brachionus*) χρησιμοποιούνται ευρέως στις υδατοκαλλιέργειες ως τροφή για τις προνύμφες ψαριών και καρκινοειδών, και η χρήση τους αυτή συνοψίζεται από τους Dhont and Dierckens (2013). Τα τροχόζωα έχουν ορισμένα χαρακτηριστικά που τα καθιστούν κατάλληλα για αξιοποίηση ως ζωντανή τροφή στα εκκολαπτήρια, και περιλαμβάνουν τα εξής:

- 1) έχουν το κατάλληλο εύρος μεγέθους για πρόσληψη από τις προνύμφες ψαριών,
- 2) είναι κατάλληλα για μαζική καλλιέργεια σε υψηλές πυκνότητες,
- 3) έχουν υψηλό ρυθμό αναπαραγωγής υπό ευνοϊκές συνθήκες,
- 4) έχουν μεγάλα εύρη ανοχής θερμοκρασίας και αλατότητας,

- 5) έχουν χαμηλή ταχύτητα κολύμβησης που ευνοεί τη σύλληψή τους.

Τα είδη που χρησιμοποιούνται συνήθως σε εκκολαπτήρια θαλάσσιων ειδών είναι τα:

- *Brachionus plicatilis* (γνωστό ως μεγάλο ή τύπου L), το οποίο έχει μήκος περίπου 130-340 μm,
- *B. ibericus* (γνωστό ως μικρό ή τύπου S), το οποίο έχει μήκος περίπου 100-230 μm,
- *B. rotundiformis* (γνωστό ως σούπερ μικρό ή τύπου SS), που έχει μήκος περίπου 90-190 μm.

Ωστόσο, υπάρχει κάποια σύγχυση σχετικά με την ταξινόμηση των τροχοζώων και έχει προταθεί, για παράδειγμα, ότι το σύμπλεγμα *B. plicatilis* μπορεί να αποτελείται από τουλάχιστον 14 είδη. Τα θαλάσσια τροχόζωα είναι γενικά ακατάλληλα ως τροφή για προνύμφες ψαριών γλυκού νερού λόγω της περιορισμένης ανοχής τους στο γλυκό νερό. Ωστόσο, το τροχόζωο του γλυκού νερού *Brachionus calyciflorus* έχει προοπτική να χρησιμοποιηθεί ως τροφή προνυμφών ψαριών γλυκού νερού, γεγονός που αναλύεται από τον Arimoro (2006). Μεγάλη σημασία για την καλλιέργεια τροχοζώων είναι η επιλογή του στελέχους που ταιριάζει καλύτερα στο μέγεθος του στόματος του είδους στόχου.

Τα τροχόζωα καλύπτονται από εφυμενίδα (*lorica*) ή αλλιώς σωματικό κέλυφος, από το οποίο εκτείνεται κοιλιακά το πόδι και ραχιαία το κεφάλι (**Εικόνα 9.6**). Το κεφάλι έχει δύο ζώνες βλεφαρίδων που χρησιμοποιούνται για τη σύλληψη σωματιδίων τροφής και για την κίνηση. Ο κύκλος ζωής του τροχοζώου (αβγό - νεαρό άτομο - ενήλικο άτομο) διαρκεί 7-10 ημέρες. Οι καλλιέργειες μπορεί να περιέχουν αρσενικά και θηλυκά άτομα, αλλά τα αρσενικά είναι σπάνια και σημαντικά μικρότερα σε μέγεθος από τα θηλυκά. Τα τροχόζωα αναπαράγονται φυλετικά ή αφυλετικά ανάλογα με τις συνθήκες καλλιέργειας. Υπό ευνοϊκές συνθήκες, η αναπαραγωγή είναι αφυλετική και το θηλυκό παράγει διπλοειδή αμικτικά (*amictic*) αβγά, τα οποία μεταφέρει μέχρι να εκκολαφθούν δίνοντας νέα θηλυκά άτομα:

Θηλυκό τροχόζωο → αμικτικό αβγό (2n) → θηλυκό τροχόζωο → αμικτικό αβγό (2n) → θηλυκό τροχόζωο, κλπ.



Εικόνα 9.6 Ένα θηλυκό τροχοζώο, *Brachionus plicatilis*, με ένα μόνο αυγό (στο κάτω μέρος του σώματος). Το σώμα περιβάλλεται από κέλυφος ή εφυμενίδα και το βλεφαριδοφόρο κεφάλι είναι ορατό στο επάνω μέρος του σώματος. Το εύκαμπτο πόδι εκτείνεται προς τη δεξιά πλευρά της φωτογραφίας. Πηγή: Φωτογραφία από τον Sofdrakou. Αναπαραγωγή με την άδεια Αναφοράς Δημιουργού - Παρόμοιας Διανομής Creative Commons, CC-BY-SA 4.0.

Η αναπαραγωγή σε καλλιεργούμενους πληθυσμούς τροχοζών πραγματοποιείται, κατά κύριο λόγο, με αυτή τη μέθοδο. Ωστόσο, σε δυσμενείς συνθήκες καλλιέργειας, η αναπαραγωγή γίνεται φυλετικά και τα θηλυκά παράγουν μικρότερα απλοειδή μικτικά (mictic) αυγά (η), που αν δεν γονιμοποιηθούν δίνουν αρσενικά άτομα. Εάν γονιμοποιηθούν, μετατρέπονται σε αυγά διαπαύσης (resting eggs) τα οποία έχουν ένα εξωτερικό κέλυφος ανθεκτικό στην αφυδάτωση. Αυτά τα αυγά μπορούν να παραμείνουν αδρανή για αρκετά χρόνια και να εκκολαφθούν θηλυκά άτομα όταν οι συνθήκες γίνουν ευνοϊκές. Συνεπώς, η παρουσία αρσενικών ατόμων σε καλλιέργειες τροχοζών υποδεικνύουν δυσμενείς συνθήκες καλλιέργειας.

9.2.8 Καλλιέργεια Τροχοζών

9.2.8.1 Μέθοδοι Καλλιέργειας Τροχοζών

Τα είδη *Brachionus plicatilis*, *B. ibericus* και *B. rotundiformis* είναι ευρύαλα και παραγωγικά σε συγκεντρώσεις αλατότητας μεταξύ 4‰ και 35‰.

Η βέλτιστη θερμοκρασία νερού ποικίλλει μεταξύ των ειδών, με τα *B. rotundiformis* και *B. plicatilis* να είναι πιο παραγωγικά σε υψηλές (30-35 °C) και χαμηλές (15-25 °C) θερμοκρασίες νερού, αντίστοιχα. Οι καλλιέργειες τροχοζών γενικά διατηρούνται σε συγκεντρώσεις αλατότητας 20-35‰, σε ένα θερμοκρασιακό εύρος 20-30 °C και με ήπιο αερισμό. Μία επιτυχημένη καλλιέργεια τροχοζών απαιτεί τη διατήρηση σταθερών συνθηκών. Η ποιότητα του νερού πρέπει να διατηρείται μέσω τακτικού καθαρισμού για να αποφεύγεται η συσσώρευση νεκρής οργανικής ύλης και περιττωμάτων. Οι συμβατικές καλλιέργειες τροχοζών μπορούν να είναι πολύ παραγωγικές και να φθάσουν σε πυκνότητες τα 700-1000 τροχοζώα/mL, ενώ έχουν αναπτυχθεί ακόμη και μέθοδοι εξαιρετικά υψηλής πυκνότητας καλλιέργειας με 10.000-30.000 τροχοζώα/mL.

Τα τροχοζώα καλλιεργούνται συνήθως χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της ασυνεχούς, της ημι-συνεχούς ή της συνεχούς καλλιέργειας. Η ασυνεχής καλλιέργεια είναι η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος και πραγματοποιείται διατηρώντας σταθερό τον όγκο της καλλιέργειας με αυξα-

νόμενη την πυκνότητα των τροχοζώων, ή με σταθερή πυκνότητα τροχοζώων και με αυξανόμενο όγκο καλλιέργειας. Όταν η πυκνότητα στην καλλιέργεια παραμένει σταθερή, νέο καθαρό νερό προστίθεται στο δοχείο καλλιέργειας καθώς αυξάνεται η πυκνότητα των τροχοζώων, και αυτό βοηθά στη διατήρηση της κατάλληλης ποιότητας νερού και συντελεί σε βελτιωμένη παραγωγή. Στις ασυνεχείς καλλιέργειες η συγκομιδή πραγματοποιείται μετά από δύο έως τέσσερις ημέρες, με ένα μικρό μέρος της καλλιέργειας να διατηρείται προκειμένου να χρησιμοποιηθεί για να ξεκινήσει μια νέα ασυνεχής καλλιέργεια. Στη διάρκεια της συγκομιδής τα τροχόζωα διαχωρίζονται από το νερό της καλλιέργειας και από συσσωματώματα υπολειμμάτων τροφής και άλλων σωματιδίων χρησιμοποιώντας κατάλληλους ηθμούς. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν αμέσως μετά τη συγκομιδή ή να αποθηκευτούν σε χαμηλή θερμοκρασία (4 °C) για έως και πέντε ημέρες για μεταγενέστερη χρήση.

Η χρήση συστημάτων επανακυκλοφορίας νερού υδατοκαλλιέργειας (RAS, Recirculating Aquaculture Systems,) στην καλλιέργεια τροχοζώων υποστηρίζει υψηλότερες πυκνότητες και υψηλότερους ρυθμούς παραγωγής, και επιτρέπει τη διατήρηση των καλλιεργειών για αρκετές εβδομάδες. Η πυκνότητα των τροχοζώων σε τέτοια συστήματα μπορεί να ξεπεράσει τα 10.000 τροχόζωα/mL και, συνεπώς, υπάρχουν μεγαλύτερες τεχνικές απαιτήσεις, συμπεριλαμβανομένης της παροχής οξυγόνου ή όζοντος για να διατηρηθούν τα επίπεδα διαλυμένου οξυγόνου πάνω από τα 4ppm.

Η υγεία των καλλιεργειών τροχοζώων μπορεί να αξιολογηθεί παρατηρώντας την κολυμβητική τους δραστηριότητα και τον αριθμό των αβγών που παράγονται. Τα τροχόζωα πρέπει να κολυμπούν ελεύθερα (να μην προσκολλώνται στις επιφάνειες των δοχείων καλλιέργειας), και οι υγιείς καλλιέργειες περιέχουν θηλυκά που κολυμπούν ενεργητικά, με πολλά από αυτά να φέρουν περισσότερα από ένα αβγά (Εικόνα 9.6). Οι καλλιέργειες τροχοζώων πρέπει να ελέγχονται τακτικά για την αξιολόγηση της υγείας τους. Ο προσδιορισμός του λόγου του αριθμού των αβγών προς το συνολικό αριθμό των θηλυκών επιτρέπει μια εκτίμηση τόσο της υγείας όσο και της επικείμενης παραγωγικότητας της καλλιέργειας. Η αναλογία των αβγών δεν πρέπει να είναι μικρότερη από 10%,

ενώ η παρουσία αρσενικών ατόμων υποδεικνύει την ύπαρξη προβλημάτων στην καλλιέργεια, επειδή η αναπαραγωγή γίνεται φυλετικά μόνο όταν οι περιβαλλοντικές συνθήκες γίνονται δυσμενείς.

9.2.8.2 Τροφές για Καλλιέργειες Τροχοζώων

Οι τροχόζωα είναι ανθεκτικοί οργανισμοί και εύκολα καλλιεργούνται μαζικά χρησιμοποιώντας μεγάλη ποικιλία τροφών. Η μαζική καλλιέργεια τροχοζώων αρχίζει συνήθως με εμβολιασμό μίας καλλιέργειας μικροφυκών με τροχόζωα. Υπό κατάλληλες συνθήκες, τα τροχόζωα καταναλώνουν τα μικροφύκη και ο πληθυσμός τους αυξάνεται ραγδαία. Η κατανάλωση των μικροφυκών πρέπει να παρακολουθείται τακτικά και να προστίθενται περισσότερα μικροφύκη όταν απαιτείται, καθώς είναι σημαντικό να εξασφαλίζεται συνεχής διαθεσιμότητα τροφής. Ένα μέρος του νερού της καλλιέργειας συνήθως αφαιρείται από τα δοχεία εκτροφής σε καθημερινή βάση και αντικαθίσταται με καλλιέργεια μικροφυκών παρόμοιου όγκου. Το νερό μπορεί να αφαιρεθεί με σιφονισμό μέσω ενός ηθμού 60 μm, ο οποίος εμποδίζει την απομάκρυνση των τροχοζώων. Μαγιά αρτοποιίας (*Saccharomyces cerevisiae*) και εμπορικά παραγόμενοι τροποποιημένοι ζυμομύκητες χρησιμοποιούνται, επίσης, συχνά ως τροφή για τα τροχόζωα, είτε μεμονωμένα είτε σε συνδυασμό με μικροφύκη. Τα τροχόζωα προσλαμβάνουν σωματίδια τροφής με μέγεθος από 0,3 μm έως 21 μm. Διάφορα είδη μικροφυκών χρησιμοποιούνται στην καλλιέργεια τροχοζώων, συμπεριλαμβανομένων ειδών από τα γένη *Nannochloropsis*, *Tetraselmis*, *Isochrysis* και *Pavlova*, ενώ εμπορικά διαθέσιμα συμπυκνώματα μικροφυκών (ενότητα 9.3.4.1) χρησιμοποιούνται ολοένα και περισσότερο ως τροφή σε καλλιέργειες τροχοζώων. Τα μικροφύκη *Nannochloropsis oculata* και η μαγιά αρτοποιίας θεωρούνται εξαιρετικές τροφές για τη διατήρηση των καλλιεργειών τροχοζώων. Η τροφή πρέπει να παρέχεται στα τροχόζωα αρκετές φορές την ημέρα και είναι σύνηθες για τις καλλιέργειές τους να υφίσταται συνεχής παροχή τροφής.

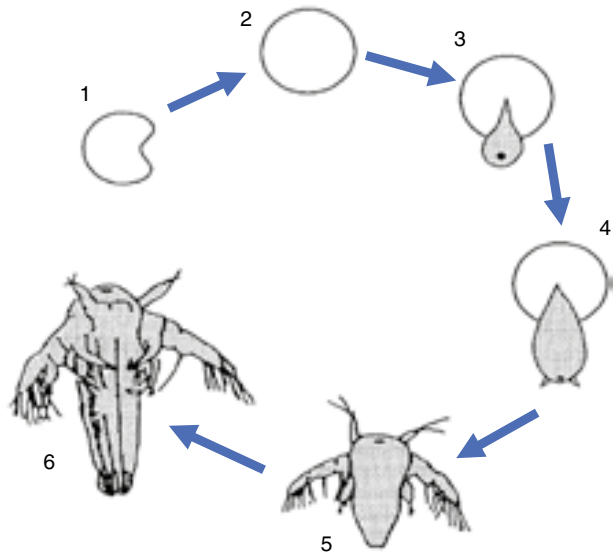
Η θρεπτική αξία των καλλιεργούμενων τροχοζώων καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από την τροφή τους. Για παράδειγμα, τροχόζωα που έχουν εκτραφεί με ζύμη αρτοποιίας, η οποία είναι ελλι-

πής σε ουσιώδη λιπαρά οξέα (EFA, Essential Fatty Acids.), εμφανίζουν επίσης ανεπάρκεια σε αυτά τα λιπαρά οξέα. Για αυτό το λόγο, σε τροχόζωα που εκτρέφονται με ζυμομύκητες ή άλλες τροφές με χαμηλά επίπεδα EFA παρέχονται συνήθως μικροφύκη (φρέσκα ή σε συμπυκνωμένη μορφή), ή τεχνητές τροφές που έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε EFA, πριν από τη χρήση τους ως πηγή τροφής για προνύμφες. Αυτή η διαδικασία είναι γενικά γνωστή ως εμπλουτισμός (enrichment) και περιγράφεται στην ενότητα 9.2.14.

9.2.9 Γαρίδες Άλμης

Οι γαρίδες άλμης (είδη του γένους *Artemia*) συναντώνται παγκοσμίως σε αλμυρές λίμνες και παρόμοια ενδιαιτήματα, σε περιβάλλοντα με συγκεκριμένες αλατότητας που κυμαίνονται από περίπου 10 έως 340‰. Οι ανενεργές αποξηραμένες κύστεις τους μπορούν να συλλεχθούν σε μεγάλες ποσότητες και να αποθηκευτούν σε ξηρή κατάσταση για πολλά χρόνια. Όταν βυθιστούν σε αλμυρό νερό, οι κύστεις ενυδατώνονται εκ νέου και γίνονται σφαιρικές, και το έμβρυο στο εσωτερικό αρχίζει να μεταβολίζεται. Η κύστη διαρρηγνύεται μετά από περίπου 24 ώρες και εμφανίζεται ένας ναύπλιος (nauplius) που μπορεί να κολυμπάει ελεύθερα (**Εικόνα 9.7**). Αυτό το πρώτο προνυμφικό στάδιο (ναύπλιος σταδίου I - instar I) έχει συνήθως μήκος 400-500 μm και καφέ-πορτοκαλί χρώμα. Έχει ένα μόνο κόκκινο μάτι και τρία ζεύγη εξαρτημάτων, που έχουν αισθητικές, κινητικές και τροφοληπτικές λειτουργίες. Οι ναύπλιοι σταδίου I δεν τρέφονται, καθώς το πεπτικό τους σύστημα δεν είναι ακόμη λειτουργικό. Μετά από περίπου 12 ώρες ο ναύπλιος εκδύεται στο στάδιο II (instar II), κατά το οποίο έχει λειτουργικό έντερο και αρχίζει να καταναλώνει μικρά σωματίδια, όπως μικροφύκη.

Οι γαρίδες της άλμης υφίστανται περίπου 15 εκδύσεις σε διάστημα 8-14 ημερών μέχρι να παραχθούν ώριμα ενήλικα άτομα με μήκος 10-20 mm. Το σώμα τους καλύπτεται από ένα λεπτό εξωσκελετό από χιτίνη που εκδύεται περιοδικά. Ωστόσο, τα θηλυκά πρέπει να υποστούν έκδυση πριν την ωορρηξία. Όπως και τα τροχόζωα, οι γαρίδες της άλμης μπορούν να αναπαραχθούν φυλετικά ή αφυλετικά (**Εικόνα 9.8**). Υπό ευνοϊκές συν-



Εικόνα 9.7 Εκκόλαψη και ανάπτυξη γαρίδας της άλμης (είδη του γένους *Artemia*). 1: αποξηραμένη κύστη, 2: ενυδατωμένη κύστη, 3: διάρρηξη της κύστης, 4: εκκόλαψη, 5: ναύπλιος, 6: μεγαλύτερος μεταναύπλιος.



Εικόνα 9.8 Ενήλικο αρσενικό και θηλυκό άτομο *Artemia* sp. Το αρσενικό (επάνω) κρατάει το θηλυκό χρησιμοποιώντας όργανα συγκράτησης, ενώ τα αυγά διακρίνονται στον ωόσακο του θηλυκού. Πηγή: Φωτογραφία από τον Hans Hillewaert. Αναπαραγωγή με την άδεια Αναφοράς Δημιουργού - Παρόμοιας Διανομής Creative Commons, CC-BY-SA 4.0.

θήκες, τα θηλυκά παράγουν ναύπλιους που κολυμπούν ελεύθερα (ωοζωοτόκος αναπαραγωγή), και, υπό άριστες συνθήκες, οι γαρίδες της άλμης μπορούν να αναπαραχθούν με ρυθμό παραγωγής 300 ναυπλίων κάθε 4 ημέρες. Ωστόσο, υπό δυσμενείς συνθήκες, όπως η υψηλή αλατότητα και το χαμηλό οξυγόνο, οι κελυφικοί αδένες του θηλυκού ενεργοποιούνται και εκκρίνουν ένα παχύ χορινικό περίβλημα γύρω από το αναπτυσσόμενο έμ-

βρυο, που βρίσκεται στο στάδιο του γαστριδίου, το οποίο εισέρχεται σε μια αδρανή κατάσταση (διάπαυση). Αυτά τα έμβρυα απελευθερώνονται από το θηλυκό ως κύστες (ωοτοκία). Τα θηλυκά μπορούν να μεταβάλλουν τον τρόπο αναπαραγωγής τους ανάλογα με τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Η παραγωγή κύστεων έχει προφανή πλεονεκτήματα στην υδατοκαλλιέργεια. Οι αποξηραμένες κύστες μπορούν εύκολα να αποθηκευτούν και, όταν απαιτείται, να παραχθεί από αυτές ζωντανή τροφή (υπό τη μορφή ναυπλίων).

9.2.10 Παραγωγή και Πηγές Κύστεων Γαρίδων Άλμης

Οι δύο πρωταρχικές και παραδοσιακές πηγές κύστεων *Artemia* για την υδατοκαλλιέργεια είναι οι παραλιακές αλυκές στο Κόλπο του Σαν Φρανσίσκο στην Καλιφόρνια (ΗΠΑ) και η Μεγάλη Αλμυρή Λίμνη (GSL, Great Salt Lake) στη Γιούτα (ΗΠΑ) (**Εικόνα 9.9**). Η Μεγάλη Αλμυρή Λίμνη (GSL) έχει γίνει η κύρια πηγή κύστεων της *Artemia* που χρησι-

μοποιούνται στην υδατοκαλλιέργεια. Στο αποκορύφωμά της η βιομηχανία της GSL αποτελούνταν από περίπου 40 εταιρείες που χρησιμοποιούσαν στόλο άνω των 200 σκαφών για τη συγκομιδή κύστεων από τη λίμνη. Αλλά, η GSL είναι ένα φυσικό οικοσύστημα που επηρεάζεται από τις κλιματικές συνθήκες, που οδηγούν σε περιοδικές διακυμάνσεις της παραγωγής και σε απρόβλεπτη παροχή κύστεων για τη βιομηχανία των υδατοκαλλιεργειών. Στην “κρίση της *Artemia*” της δεκαετίας του 1990, οι συγκομιδές κύστεων από την GSL μειώθηκαν σημαντικά εξαιτίας της μείωσης της αλατότητας (Leger, 1999). Η παραγωγή στη GSL έχει τώρα επανέλθει και καλύπτει περισσότερο από το 90% της παγκόσμιας ζήτησης, αλλά έχει κυμανθεί μεταξύ 2.000-12.000 τόνων/έτος κατά την τελευταία δεκαετία. Η κρίση της *Artemia* της δεκαετίας του 1990 ανέδειξε την ανάγκη διαφοροποίησης αναφορικά με την προσφορά κύστεων *Artemia* στη βιομηχανία υδατοκαλλιέργειας. Έτσι, καθιερώθηκαν και άλλα σημεία παραγωγής μέσω της εισαγωγής της *Artemia* σε περιο-



Εικόνα 9.9 Αλοπήγια (τηγάνια) αλυκών που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή κύστεων *Artemia* στη δυτική όχθη του Κόλπου του Σαν Φρανσίσκο στην Καλιφόρνια. Πηγή: Φωτογραφία από τον Doc Searls. Αναπαραγωγή με την άδεια Αναφοράς Δημιουργού - Παρόμοιας Διανομής Creative Commons, CC-BY-SA 2.0.

χές όπου δεν υπήρχε προηγουμένως. Παραγωγή κύστεων της *Artemia* για τις ανάγκες της υδατοκαλλιέργειας πραγματοποιείται, σήμερα, σε χώρες όπως η Αυστραλία, η Κίνα, το Βιετνάμ, η Ρωσία και το Καζακστάν. Η τρέχουσα παγκόσμια ζήτηση για κύστες *Artemia* είναι περίπου 3000 τόνοι/έτος, με τη μέγιστη ετήσια κατανάλωση να εντοπίζεται στην Κίνα και να φτάνει περίπου τους 1500 τόνους.

Η πλειονότητα των κύστεων της *Artemia* που παρέχονται στην παγκόσμια βιομηχανία υδατοκαλλιέργειας παράγεται από το είδος *Artemia franciscana* και προέρχεται από την Μεγάλη Αλμυρή Λίμνη (GSL). Αυτό το είδος έχει επίσης εισαχθεί σε άλλες περιοχές είτε σκόπιμα (π.χ., στο Βιετνάμ) είτε ως αποτέλεσμα της σταδιακής διασποράς και της υπερίσχυσης έναντι τοπικών πληθυσμών (π.χ., στην Ινδία, τη Σρι Λάνκα, την Αυστραλία και σε παράκτιες περιοχές της Μεσογείου και της Κίνας). Οι κύστες, σήμερα, εμπορεύονται με έμφαση σε ποιοτικά κριτήρια που σχετίζονται με την απόδοση (π.χ., το ρυθμό εκκόλαψης και το μέγεθος των κύστεων) και την θρεπτική τους σύνθεση (π.χ., λιπαρά οξέα και περιεκτικότητα σε βιταμίνες). Η ανάπτυξη πηγών παροχής *Artemia* εκτός της Μεγάλης Αλμυρής Λίμνης (GSL) ενδέχεται να οδηγήσει σε μεγαλύτερη επιλεκτικότητα από πλευράς διαχειριστών των εκκολαπτηρίων.

9.2.11 Εκκόλαψη Κύστεων Γαρίδων Άλμης

Αν και οι κύστες μπορούν να επωαστούν επιτυχώς σε πλήρως (35‰) θαλασσινό νερό, ο ρυθμός εκκόλαψης είναι γενικά υψηλότερος σε χαμηλές αλατότητες, με τη συγκέντρωση αλατότητας 5‰ να είναι η βέλτιστη. Οι κύστες επωάζονται σε πυκνότητες έως 5 g/L μέσου καλλιέργειας, το οποίο διατηρείται στους 25-30 °C και υπό έντονο αερισμό. Η περιεκτικότητα σε διαλυμένο οξυγόνο πρέπει να διατηρείται πάνω από τα 2 mg/L και, για να διευκολύνεται ο καλός αερισμός και η κίνηση του νερού, τα δοχεία καλλιέργειας συνήθως έχουν σχήμα V ή είναι κωνικά. Οι καλλιέργειες απαιτούν τιμές pH 8-9 και συνεχή φωτισμό της επιφάνειας του νερού. Οι συνθήκες καλλιέργειας πρέπει να είναι σταθερές κατά τη διάρκεια της επώασης. Μέσα σε 24 ώρες, η πλειοψηφία των κύστεων θα έχει εκκολαφθεί.

Για τη συγκομιδή των εκκολαφθέντων ναυπλίων, ο αερισμός σταματάει, έχοντας ως αποτέλεσμα τα κελύφη των κύστεων να επιπλέουν στην επιφάνεια του δοχείου καλλιέργειας. Οι ναύπλιοι είναι θετικά φωτοτακτικοί, και αυτή η συμπεριφορά μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να συγκεντρωθούν πριν από τη συγκομιδή τους με σιφωνισμό. Είναι σημαντικό ο αριθμός των κελυφών των κύστεων που συλλέγονται μαζί με τους ναύπλιους να είναι περιορισμένος. Τα κελύφη των κύστεων ενδέχεται να μεταφέρουν ασθένειες και βακτήρια σε καλλιέργειες προνυμφών και να προκαλέσουν πεπτικές διαταραχές σε προνύμφες ψαριών. Η μόλυνση με κελύφη κύστεων μπορεί να ελαχιστοποιηθεί εάν εφαρμοσθεί η αποχορίωση ή αποκελυφοποίηση (decapsulation) πριν από την επώαση.

9.2.12 Αποχορίωση των Κύστεων

Η διαδικασία κατά την οποία το εξωτερικό κέλυφος ή χόριο απομακρύνεται από τις ενυδατωμένες κύστες των γαρίδων της άλμης καλείται αποχορίωση (αποκελυφοποίηση). Επιτυγχάνεται με την εμβάπτιση των ενυδατωμένων κύστεων σε υποχλωριώδες διάλυμα, το οποίο διαλύει το χόριο χωρίς να βλάπτει το έμβρυο στο εσωτερικό του. Πριν από την αποχορίωση, οι αποξηραμένες κύστες ενυδατώνονται σε γλυκό νερό για 60-90 λεπτά με αναλογία 1 g κύστεων ανά 30 ml νερού. Κατά προσέγγιση, 20-30 mL υποχλωριώδους διαλύματος (υποχλωριώδες νάτριο, NaOCl) προστίθεται ανά γραμμάριο κύστεων, και το διάλυμα αναδεύεται συνεχώς. Το χρώμα του διαλύματος αλλάζει καθώς διαλύεται το χόριο, και η αποχορίωση ολοκληρώνεται σε 24 λεπτά, όταν το διάλυμα πάρει πορτοκαλί χρώμα. Το διάλυμα, κατόπιν, διοχετεύεται μέσω ηθμού για να αφαιρεθεί το διάλυμα χλωρίου. Οι αποχοριωμένες κύστες που διατηρούνται στον ηθμό πλένονται διεξοδικά με θαλασσινό ή γλυκό νερό μέχρις ότου η οσμή του χλωρίου να μην μπορεί να ανιχνευθεί. Τυχόν υπολειπόμενο χλώριο μπορεί να απομακρυνθεί από τις αποχοριωμένες κύστες με πλύση σε διάλυμα θειϊκού νατρίου συγκέντρωσης 0,1% για 1 λεπτό. Οι αποχοριωμένες κύστες, στη συνέχεια, πλένονται και τοποθετούνται σε ένα μέσο εκκόλαψης, ή μπορούν να αποθηκευτούν στους 4 °C για μια μικρό χρονικό διάστημα πριν την εκκόλαψη. Η απο-

χορίωση προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα ως προς τον περιορισμό πιθανών ασθενειών και πεπτικών προβλημάτων που προκαλούνται από τα κελύφη των κύστεων, καθώς απολυμαίνει τα έμβρυα της γαρίδας της άλμης και βελτιώνει τον ρυθμό εκκόλαψης. Αποχοριωμένες κύστεις μπορούν επίσης να προσφερθούν άμεσα ως τροφή προνυμφών, έχοντας ως σημαντικό πλεονέκτημα το γεγονός ότι, πριν από την εκκόλαψη, τα έμβρυα έχουν το μέγιστο ενεργειακό περιεχόμενο. Περισσότερες πληροφορίες σχετικά με την εκκόλαψη και την αποχορίωση της *Artemia* παρέχονται από τους Dhont and Van Stappen (2003).

9.2.13 Καλλιέργεια Γαρίδων Άλμης

Για την παραγωγή μεγάλων ή ενήλικων γαρίδων άλμης, εκτρέφονται ναύπλιοι σε δεξαμενές με αρχική πυκνότητα εκτροφής περίπου 1000-3000 άτομα/L. Οι ναύπλιοι αρχικά τρέφονται με μικροφύκη σε πυκνότητα περίπου 5×10^5 έως 1×10^6 κύτταρα/ml. Ο ρυθμός σίτισης ρυθμίζεται καθώς αυξάνεται η γαρίδα της άλμης και απαιτείται περισσότερη τροφή. Βέλτιστη αύξηση σε καλλιέργειες γαρίδων της άλμης επιτυγχάνεται με:

- καλό αερισμό,
- καλή ποιότητα νερού,
- άμεσα διαθέσιμη παροχή τροφής,
- συνθήκες χαμηλού φωτισμού,
- θερμοκρασία 25-30 °C,
- αλατότητα 30-35‰.

Οι δεξαμενές καλλιέργειας πρέπει να καθαρίζονται τακτικά για να αφαιρούνται νεκρή οργανική ύλη και περιττώματα, ώστε να διατηρείται η ποιότητα του νερού. Υπό κατάλληλες συνθήκες, μπορούν να επιτευχθούν ρυθμοί παραγωγής της τάξης των 57 kg (νωπό βάρος) γαρίδας της άλμης ανά κυβικό μέτρο χρησιμοποιώντας τεχνικές της ασυνεχούς καλλιέργειας.

Οι ναύπλιοι των γαρίδων της άλμης (*Artemia*) έχουν το μεγαλύτερο ενεργειακό περιεχόμενο κατά την εκκόλαψη. Επειδή οι ναύπλιοι σταδίου I δεν τρέφονται, υπάρχει μείωση του οργανικού περιεχομένου κατά 24% και μείωση της περιεκτικότητας σε λιπίδια κατά 27% μεταξύ του σταδίου I και του σταδίου II. Αν και η περιεκτικότητα σε λιπίδια και λιπαρά οξέα στις γαρίδες της άλμης ποικίλ-

λει ανάλογα με τη γεωγραφική προέλευση των κύστεων, γενικά, θεωρούνται ελλιπείς σε βασικά λιπαρά οξέα (EFA). Η θρεπτική αξία των ναυπλίων σταδίου II, και ιδιαίτερα η περιεκτικότητά τους σε λιπαρά οξέα, μπορεί να βελτιωθεί σημαντικά χρησιμοποιώντας κατάλληλη διαδικασία εμπλουτισμού.

9.2.14 Εμπλουτισμός Τροχοζών και Γαρίδων Άλμης

Τα τροχοζωα και οι γαρίδες της άλμης χρησιμοποιούνται ευρέως στην υδατοκαλλιέργεια, κυρίως επειδή μπορούν να καλλιεργηθούν μαζικά, και όχι επειδή αποτελούν μια ιδανική πηγή τροφής (Πίνακας 9.5). Τα τροχοζωα και πολλά στελέχη της γαρίδας της άλμης εμφανίζουν πολύ χαμηλά επίπεδα (ή πλήρη έλλειψη) ορισμένων απαραίτητων λιπαρών οξέων (EFA) που απαιτούνται για τη φυσιολογική αύξηση και ανάπτυξη θαλάσσιων προνυμφών (ενότητα 8.4.2).

Για να ξεπεραστούν αυτές οι ανεπάρκειες, το περιεχόμενο των τροχοζών και των γαρίδων της άλμης σε EFA πρέπει να τροποποιηθεί χρησιμοποιώντας τεχνικές εμπλουτισμού με λιπαρά οξέα. Αυτή η διαδικασία περιλαμβάνει τη σίτιση των τροχοζών και των γαρίδων της άλμης με τροφή πλούσια σε EFA, πριν από τη χρησιμοποίησή τους ως τροφή καλλιεργούμενων προνυμφών. Διάφορα υλικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον εμπλουτισμό, όπως μικροφύκη, αιωρήματα ελαίου και συμπυκνώματα που αυτογαλακτοποιούνται, μικροενθυλακωμένα και μικροσωματιδιακά προϊόντα και ζυμομύκητες, ενώ ποικίλα παρασκευάσματα εμπλουτισμού διατίθενται στο εμπόριο. Ο εμπλουτισμός έχει ως αποτέλεσμα μια αύξηση της περιεκτικότητας σε EFA του ζωντανού οργανισμού που χρησιμοποιείται ως τροφή, γεγονός που αυξάνει τη διατροφική πρόσληψη σε EFA από τα είδη-στόχους, βελτιώνοντας την επιβίωσή τους.

Ο βαθμός αφομίωσης των EFA στα τροχοζωα και στις γαρίδες της άλμης κατά τον εμπλουτισμό επηρεάζεται από παράγοντες όπως:

- η διάρκεια της διαδικασίας εμπλουτισμού,
- η πυκνότητα των τροχοζών ή των γαρίδων άλμης,
- η πυκνότητα και η περιεκτικότητα σε EFA του υλικού εμπλουτισμού.

Πίνακας 9.5 Μερικά πιθανά προβλήματα που σχετίζονται με τη χρήση τροχοζώων και γαρίδων άλμης.

Μειονέκτημα	Σχόλια
Θρεπτική ανεπάρκεια	Οι γαρίδες της άλμης και τα τροχόζωα, ως τροφή για θαλάσσιες προνύμφες, έχουν ανεπαρκή σύσταση σε λιπαρά οξέα. Πρέπει να εμπλουτιστούν τεχνητά πριν από τη χρήση τους ως τροφή, γεγονός που αυξάνει το κόστος παραγωγής τροφής.
Θρεπτική ασυνέπεια	Οι ζωντανοί οργανισμοί που χρησιμοποιούνται ως τροφή μπορεί να διαφέρουν στη θρεπτική τους σύνθεση, ανάλογα με την προέλευση των αποθεμάτων (δηλ., την πηγή των κύστεων <i>Artemia</i>) και τη θρεπτική σύνθεση των τροφών τους
Αξιοπιστία παροχής	Τα εκκολαπτήρια στα περισσότερα μέρη του κόσμου βασίζονται στην προμήθεια κύστεων γαρίδας της άλμης από τη Βόρεια Αμερική. Η διαθεσιμότητα μπορεί να κυμαίνεται από έτος σε έτος και οι εισαγωγές ενδέχεται να υποβάλλονται σε καραντίνα
Μόλυνση	Οι ζωντανές τροφές μπορεί να είναι ακούσιοι φορείς ασθενειών και μολύνσεων σε καλλιέργειες προνυμφών

Παρόλο που οι διαδικασίες εμπλουτισμού αναπτύχθηκαν για να βελτιώσουν τη σύνθεση σε EFA των ζωντανών οργανισμών που χρησιμοποιούνται ως τροφή, όπως τα τροχόζωα και η *Artemia*, η διαδικασία αυτή χρησιμοποιείται επίσης για την βελτίωση της πρόσληψης διατροφικής ενέργειας και της κατανάλωσης άλλων σημαντικών θρεπτικών ουσιών, όπως πρωτεΐνες, φωσφολιπίδια, στερόλες και βιταμίνες. Ο εμπλουτισμός χρησιμοποιείται επίσης ως μέσο εισαγωγής θεραπευτικών ενώσεων, χρωστικών, αντιοξειδωτικών και ενζύμων στις προνύμφες των ειδών-στόχων μέσω των τροφών τους.

Το οργανικό φορτίο του μέσου καλλιέργειας και οι οργανισμοί που θα χρησιμοποιηθούν ως ζωντανή τροφή μπορούν να αυξηθούν πολύ κατά τη διάρκεια του εμπλουτισμού, όπως και το βακτηριακό φορτίο. Συνεπώς, το σχολαστικό ξέπλυμα των εμπλουτισμένων ζωντανών οργανισμών είναι αναγκαίο μετά τη συγκομιδή τους και πριν εισαχθούν στις δεξαμενές καλλιέργειας προνυμφών. Γενικά, η διαδικασία εμπλουτισμού είναι κατά το δυνατό σύντομη, για να ελαχιστοποιηθεί το βακτηριακό φορτίο εντός των δοχείων εμπλουτισμού.

9.2.15 Κωπήποδα

Τα κωπήποδα απαντώνται σε όλα τα υδάτινα συστήματα και αποτελούν φυσική λεία για σχεδόν όλες τις προνύμφες των ψαριών. Υπάρχουν πάνω από 10.000 γνωστά είδη, με τις περισσότερες πλαγκτονικές μορφές να κυμαίνονται σε μέγεθος μεταξύ 0,5 mm και 2,5 mm. Δεδομένης της σημασί-



Εικόνα 9.10 Αρπακτικοειδές ενήλικο θηλυκό κωπήποδο με αβγά (δεξιά) και ναύπλιος (αριστερά). Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από τον Dr T. Camus.

ας τους ως λεία για τις προνύμφες άγριων ψαριών, υπάρχει σαφής δυνατότητα αξιοποίησης των κωπήποδων στην υδατοκαλλιέργεια. Έρευνες σε ψάρια έχουν δείξει ότι η παρουσία κωπήποδων στη διατροφή των προνυμφών βελτιώνει το ποσοστό επιβίωσης, τους ρυθμούς αύξησης, τον χρωματισμό και την ανάπτυξη του πεπτικού συστήματος.

Οι εξελίξεις σε αυτό το πεδίο συνοψίστηκαν πρόσφατα από τους Dhont and Dierckens (2013). Η έρευνα έχει επικεντρωθεί κατά κύριο λόγο στα αρπακτικοειδή και καλανοειδή κωπήποδα:

- Τα αρπακτικοειδή κωπήποδα (**Εικόνα 9.10**) διακρίνονται από το πολύ κοντό 1^ο ζεύγος κεραίων, τις δίκλαδες κεραίες του 2^{ου} ζεύγους και μια άρθρωση μεταξύ του 4^{ου} και 5^{ου} σωμίτη. Είναι γενικά επιβενθικά.



Εικόνα 9.11 Καλανοειδές θηλυκό κωπήποδο (*Parvocalanus* sp.). Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από τον Dr T. Camus.

- Τα καλανοειδή κωπήποδα (**Εικόνα 9.11**) διακρίνονται από τις κεραίες του 1^{ου} ζεύγους που έχουν μήκος τουλάχιστον ίσο με το μισό μήκος σώματος, τις δίκλαδρες κεραίες του 2^{ου} ζεύγους και μια άρθρωση μεταξύ του 5^{ου} και 6^{ου} σωματίτη. Είναι γενικά πελαγικά.

Τα περισσότερα κωπήποδα αναπαράγονται φυλετικά. Τα αβγά απελευθερώνονται απευθείας στη στήλη του νερού (καλανοειδή) ή οι ναύπλιοι εκκολάπτονται απευθείας από τους ωόσακους (αρπακτικοειδή και κυκλωποειδή). Κατά την ανάπτυξή τους οι ναύπλιοι περνούν από έξι στάδια, διαχωριζόμενα από εκδύσεις, προτού φθάσουν στο στάδιο του κωπηποδίτη όπου μοιάζουν με τα ενήλικα άτομα. Οι κωπηποδίτες υφίστανται ακόμη έξι εκδύσεις πριν την ενηλικίωση. Το μικρό μέγεθος των νεοεκκολαπτόμενων ναυπλίων είναι κατάλληλο για τις προνύμφες των ψαριών που έχουν μικρό στοματικό άνοιγμα (**Εικόνα 26.9**). Ωστόσο, τα κωπήποδα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ζωντανή τροφή σε εκκολαπτήρια κατά το στάδιο του ναυπλίου, του κωπηποδίτη και του ενηλικίου κωπηπόδου, ανάλογα με το μέγεθος του στοματικού ανοίγματος των προνυμφών-στόχων.

Τα κωπήποδα χωνεύονται εύκολα από τις προνύμφες των ψαριών και έχουν ανώτερη διατροφική αξία από τα τροχόζωα και τις γαρίδες της άλμης. Συγκεκριμένα, περιέχουν υψηλά επίπεδα ω-3 HUFA. Πολλά είδη κωπηπόδων έχουν χρησιμοποι-

ηθεί ως τροφή για προνύμφες θαλάσσιων ψαριών (βλέπε ενότητα 20.3.1.4, **Πίνακας 9.6**). Οι ναύπλιοι και οι κωπηποδίτες των καλανοειδών κωπηπόδων αποτελούν σημαντικά διατροφικά συστατικά για ένα ευρύ φάσμα θαλάσσιων ψαριών. Σε αυτά συμπεριλαμβάνονται τα πλατύψαρα, όπως ο ιππόγλωσσος και το καλκάνι, για τις προνύμφες των οποίων οι ναύπλιοι και οι κωπηποδίτες των καλανοειδών κωπηπόδων αποτελούν την προτιμώμενη πρώτη τροφή, η οποία ενισχύει την ανάπτυξη και το χρωματισμό, και βελτιώνει το ποσοστό επιβίωσης (ενότητα 20.13). Ωστόσο, μεγάλο μέρος της υπάρχουσας γνώσης αναφορικά με τη θρεπτική αξία των κωπηπόδων βασίζεται σε καλλιέργειες μικρής κλίμακας (πειραματικές). Όπου τα κωπήποδα χρησιμοποιούνται ως τροφή προνυμφών σε μεγαλύτερη κλίμακα, συχνά συλλέγονται συγκυριακά, όταν εμφανίζουν ανθίσεις σε τοπικές υδάτινες μάζες ή σε ειδικές λιμνοδεξαμενές που έχουν υποστεί τεχνητή λίπανση (ενότητα 9.7).

Πίνακας 9.6 Ορισμένα είδη κωπηπόδων που χρησιμοποιούνται ως τροφή ιχθυοπρονυμφών.

Τύπος	Είδος
Καλανοειδή	<i>Acartia clausi</i>
	<i>Acartia tonsa</i>
	<i>Acartia sinjiensis</i>
	<i>Acartia tsuensis</i>
	<i>Acartia tranteri</i>
	<i>Centropages</i> spp.
	<i>Eurytemora affinis</i>
	<i>Gladioferens imparipes</i>
	<i>Paracalanus</i> sp.
	<i>Parvocalanus</i> sp.
	<i>Pseudocalanus</i> sp.
	<i>Pseudodiaptomus</i> spp.
	<i>Temora</i> spp.
Αρπακτικοειδή	<i>Euterpina acutifrons</i>
	<i>Nitokra lacustris</i>
	<i>Tigriopus japonicus</i>
	<i>Tigriopus californicus</i>
	<i>Tigriopus brevicornis</i>
	<i>Tisbe furcata</i>
	<i>Tisbe holothuriae</i>
	<i>Amphiascoides atopus</i>

9.2.15.1 Καλλιέργεια Κωπηπόδων

Η καλλιέργεια κωπηπόδων και η χρήση τους ως ζωντανά θηράματα στην υδατοκαλλιέργεια συνοψίζεται από τους Lee et al. (2005). Τα κωπήποδα που χρησιμοποιούνται ως ζωντανή τροφή στην υδατοκαλλιέργεια συνήθως παράγονται σε εκτατικά ή ημι-εκτατικά εξωτερικά συστήματα καλλιέργειας, όπως λιμνοδεξαμενές ή λιμνοθάλασσες. Οι λιμνοδεξαμενές γεμίζουν με θαλασσινό νερό που φιλτράρεται (φίλτρα 40 μm), και στο οποίο προστίθενται λιπάσματα για να προκληθεί άνθιση των ήδη υπάρχοντων ειδών μικροφυκών. Μετά την άνθιση των μικροφυκών, στις λιμνοδεξαμενές προστίθενται κωπήποδα που συλλέχθηκαν με διήθηση θαλάσσιου νερού από τη γύρω περιοχή. Με τον τρόπο αυτό παρέχεται ένα μείγμα ειδών (και μεγεθών) που θα πολλαπλασιαστούν εντός των λιμνοδεξαμενών. Πυκνότητες κωπηπόδων της τάξης των 300 ναυπλίων/L έως και μεγαλύτερες των 1000 ναυπλίων/L είναι δυνατό να επιτευχθούν σε τέτοια συστήματα. Αφότου επιτευχθεί η κατάλληλη πυκνότητα κωπηπόδων, ιχθυοπρονύμφες εκτρέφονται στις λιμνοδεξαμενές συνήθως σε σχετικά χαμηλές πυκνότητες. Για περισσότερες πληροφορίες σχετικά με τη λίπανση των λιμνοδεξαμενών ως μέσο παραγωγής ζωντανής τροφής, παρέχονται στην ενότητα 9.7.

Γενικά, η μαζική καλλιέργεια κωπηπόδων είναι δύσκολο να επιτευχθεί σε εντατικά συστήματα, τα οποία χαρακτηρίζονται από μεταβλητή και αναξιόπιστη παραγωγή. Η παραγωγικότητα τέτοιων συστημάτων επηρεάζεται από παράγοντες, όπως ο κανιβαλισμός (π.χ., *Acartia* spp.) και ο σχεδιασμός συστημάτων που να είναι κατάλληλα για επιβενθικά είδη. Σταθερή πρόκληση αποτελεί η ανάπτυξη μεθόδων παραγωγής κωπηπόδων σε μεγάλη κλίμακα, οι οποίες είναι οικονομικά αποδοτικές και που μπορούν να ανταγωνιστούν τις μεθόδους παραγωγής παραδοσιακών ζωντανών θηραμάτων (τροχόζωα και *Artemia*). Περίπου 60 είδη κωπηπόδων έχουν καλλιεργηθεί με επιτυχία. Οι μέγιστες πυκνότητες καλλιεργούμενων καλανοειδών κωπηπόδων, με στόχο τη χρήση τους σε υδατοκαλλιέργειες, φτάνουν περίπου τα 100-2000 ενήλικα/L, ενώ τα κυκλωποειδή κωπήποδα μπορούν να επιτύχουν πυκνότητες περίπου 5000 ατόμων/L. Τα περισσότερα αρπακτικοειδή κωπήποδα μπορούν να καλλιεργηθούν σε σχετικά υψηλές πυκνότη-

τες (περίπου 10.000 έως 400.000 άτομα/L) σε συστήματα μεγάλου όγκου. Σε ένα σύστημα 266 L έχει καταγραφεί παραγωγή έως 8,2 εκατομμυρίων ναυπλίων/ημέρα για το είδος *Nitokra lacustris*.

Καλλιέργεια Καλανοειδών

Τα καλανοειδή έχουν περιορισμένη ανοχή στην καλλιέργεια υψηλής πυκνότητας, εξαιτίας του κανιβαλισμού που προκύπτει σε τέτοιες συνθήκες. Το φαινόμενο αυτό μπορεί να ελαχιστοποιηθεί με το διαχωρισμό των ναυπλίων από τα ενήλικα άτομα κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας. Οι βασικές παράμετροι της καλλιέργειας για το είδος *Acartia tonsa* παρουσιάζονται στον Πίνακα 9.7. Αυτές βασίζονται σε ένα σύστημα συνεχούς παραγωγής που αποτελείται από τρεις μονάδες καλλιέργειας: τις αρχικές δεξαμενές, τις δεξαμενές αύξησης και τις δεξαμενές συγκομιδής. Οι παράμετροι που παρουσιάζονται είναι εκείνες των αρχικών δεξαμενών. Σε αυτό το σύστημα, 10 L νερού καλλιέργειας (που περιέχει αβγά) απομακρύνεται με σιφωνισμό από το κάτω μέρος της αρχικής δεξαμενής και αντικαθίσταται από καθαρό φιλτραρισμένο θαλασσινό νερό. Τα αβγά που περιέχονται στο νερό που έχει απομακρυνθεί με σιφωνισμό κατακρατούνται σε ηθμό 40 μm και μεταφέρονται στη δεξαμενή αύξησης, όπου η μέγιστη πυκνότητα μπορεί να φτάσει τα 6000 αβγά/L. Οι ναύπλιοι εκκολάπτονται μετά από 24 ώρες και τους παρέχονται μικροφύκη του γένους *Isochrysis* σε πυκνότητα 1000 κύτταρα/mL, που αυξάνεται σε 1500 κύτταρα/mL μετά από 10 ημέρες, με την προσθήκη ενός δεύτερου μικροφύκου του γένους *Rhodomonas*. Ο χρόνος που απαιτείται για τη γονιμοποίηση του 50% των θηλυκών κωπηπόδων στη δεξαμενή αύξησης (χρόνος γενεάς) είναι περίπου 20 ημέρες. Ενήλικα άτομα συλλέγονται με χρήση ηθμού 180 μm και μεταφέρονται είτε σε καινούριες αρχικές δεξαμενές, για να ξεκινήσει εκ νέου ο κύκλος παραγωγής, είτε σε δεξαμενές συγκομιδής για χρήση ως τροφή προνυμφών. Η παραγωγή από αρχικές δεξαμενές μπορεί να φτάνει περίπου τα 95.000 αβγά/ημέρα ή τα 25 αβγά/θηλυκό/ημέρα. Οι αρχικές δεξαμενές αδειάζουν και καθαρίζονται 2-3 φορές το χρόνο.

Καλλιέργεια Αρπακτικοειδών

Τα αρπακτικοειδή κωπήποδα γενικά θεωρείται ότι

Πίνακας 9.7 Παράμετροι καλλιέργειας που εφαρμόζονται για το καλανοειδές κωπήποδο *Acartia tonsa* και τα αρπακτικοειδή *Tigriopus* sp.

Παράμετρος Καλλιέργειας	Καλανοειδές	Αρπακτικοειδή
Δεξαμενή:	200 L (1500 × 50 cm)	500 L
Νερό:	φιλτραρισμένο σε 1 μm, 35‰	Φιλτραρισμένο σε 1 μm, 35‰
Σύστημα παροχής νερού:	Ασυνεχές (5% αλλαγή/ημέρα)	Ημι-συνεχής ροή
Θερμοκρασία:	16-18 °C	24-26 °C
Πυκνότητα εκτροφής	<100/L	20-70/mL
Αναλογία φύλου (Θηλυκά:Αρσενικά):	1:1	Εκτροφή με αβγωμένα θηλυκά
Αερισμός:	Ήπιος	Ήπιος
Τύπος τροφής:	Μικροφύκη (<i>Rhodomonas</i>)	<i>Chaetoceros gracilis</i> ή πράσινα μαστιγοφόρα
Αναλογία τροφής:	8×10^8 κύτταρα/ημέρα	$5 \times 10^4 - 2 \times 10^5$ κύτταρα/mL

Πηγή: Δεδομένα από Lavens and Sorgeloos (1996).

έχουν ορισμένα χαρακτηριστικά που είναι κατάλληλα για την καλλιέργειά τους, όπως:

- υψηλή γονιμότητα και μικρό χρόνο γενεάς,
- αποδοχή μιας ευρείας ποικιλίας τροφών, συμπεριλαμβανομένων του πίτουρου ρυζιού, ζυμομυκήτων και μικροφυκών,
- ικανότητα επίτευξης υψηλής πυκνότητας στην καλλιέργεια (π.χ., σε είδη του γένους *Tigriopus*, που τρέφονται με πίτουρο ρυζιού, η πυκνότητα αυξάνεται από 0,5/mL σε 9,5/mL σε 12 ημέρες),
- ευρεία ανοχή σε περιβαλλοντικούς παράγοντες, όπως η αλατότητα (εύρος ανοχής 15-70 mg/L) και η θερμοκρασία (εύρος ανοχής 17-30 °C).

Οι βασικές παράμετροι καλλιέργειας των *Tigriopus* sp. παρουσιάζονται στον **Πίνακα 9.7**. Η καλλιέργεια βασίζεται σε 10-100 αβγωμένα θηλυκά που χρησιμοποιούνται για τον εμβολιασμό δεξαμενών καλλιέργειας και που θα υποστηρίξουν έναν ρυθμό πληθυσμιακής αύξησης περίπου 15% ημερησίως προς επίτευξη βέλτιστης πυκνότητας εκτροφής της τάξεως των 20-70 κωπηπόδων/mL. Ο χρόνος γενεάς είναι περίπου 8-11 ημέρες. Οι νεαροί ναύπλιοι μπορούν να συλλεχθούν από τη δεξαμενή καλλιέργειας με χρήση ηθμού 37 μm και οι κωπηποδίτες με ηθμό 100 μm.

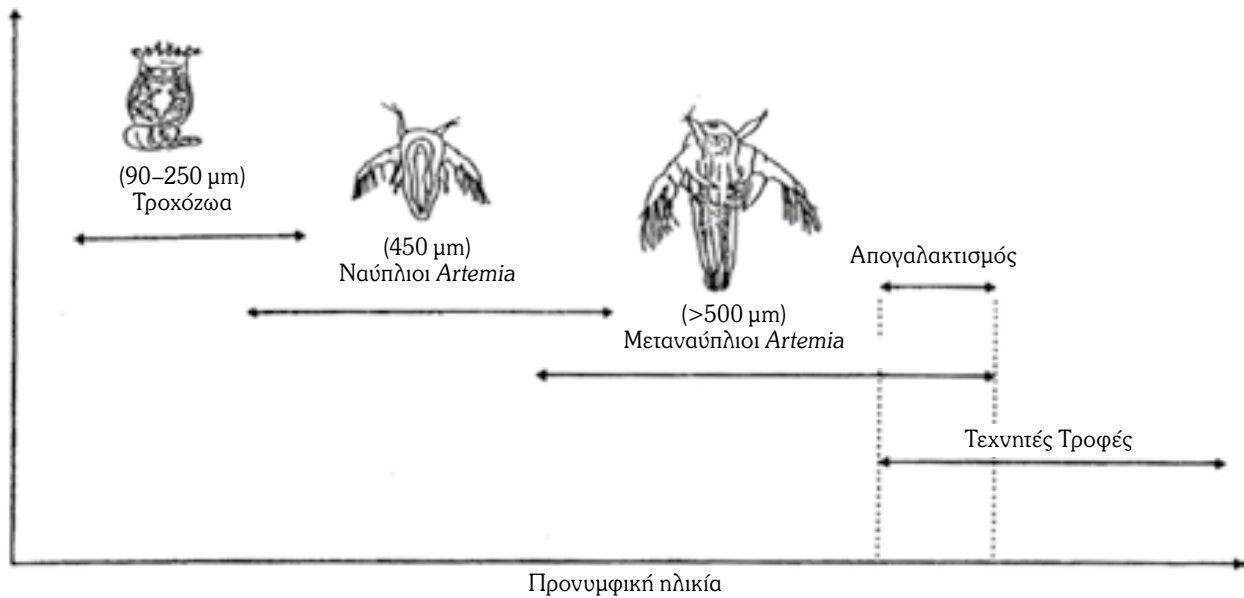
Είναι πιθανό ότι θα αυξηθεί η χρήση των κωπηπόδων ως τροφή στα εκκολαπτήρια, καθώς θα αναπτύσσονται πιο αξιόπιστες τεχνικές μαζικής

καλλιέργειάς τους, και καθώς διερευνάται η δυνατότητα καλλιέργειας περισσότερων ειδών.

9.3 Στρατηγική Σίτισης για Καλλιέργειες Προνυμφών

9.3.1 Πρωτόκολλα Σίτισης

Ένα γενικευμένο πρωτόκολλο σίτισης για τις προνύμφες θαλάσσιων ψαριών αρχίζει με την παροχή τροχοζών στην πρώτη σίτιση και ακολούθως, καθώς οι προνύμφες αυξάνονται σε μέγεθος, παρέχονται ναύπλιοι και μεγαλύτερα άτομα γαρίδας της άλμης (**Εικόνες 9.12** και **26.10**). Στη συνέχεια, παρέχονται τυποποιημένες τροφές, και οι προνύμφες απογαλακτίζονται από τη σίτιση με ζωντανούς οργανισμούς. Στα εκκολαπτήρια ιχθύων καλλιεργούνται επίσης, μικροφύκη ως πηγή τροφής για τροχόζωα και γαρίδες της άλμης. Συνεπώς, στα εκκολαπτήρια αυτά καλλιεργούνται γενικά τρεις διαφορετικοί τύποι οργανισμών για να τραφούν οι προνύμφες ενός μόνο είδους στόχου. Η χρήση των ζωντανών τροφών στα εκκολαπτήρια θαλάσσιων ψαριών αναλύεται εξαιρετικά στο Κεφάλαιο 20. Στα εκκολαπτήρια γαρίδων η σίτιση, γενικά, ξεκινάει με μικροφύκη (συνήθως διάτομο, όπως είδη του γένους *Chaetoceros*), και, καθώς μεγαλώνουν οι προνύμφες, παρέχονται, συνήθως, τροχόζωα και γαρίδες της άλμης, ή μόνο



Εικόνα 9.12 Ένα γενικευμένο πρωτόκολλο σίτισης για προνύμφες θαλάσσιων ψαριών ξεκινάει με τροχόζωα στην πρώτη σίτιση, και, καθώς οι προνύμφες αυξάνονται σε μέγεθος, ακολουθούν ναύπλιοι γαρίδων της άλμης και μεγαλύτερες γαρίδες της άλμης. Οι προνύμφες, στη συνέχεια, απογαλακτίζονται και τους παρέχονται τεχνητές τροφές. Πηγή: Southgate and Partridge 1998. Αναπαράγεται με την άδεια του Elsevier.

γαρίδες της άλμης. Τα εκκολαπτήρια δίθυρων μαλακίων βασίζονται αποκλειστικά σε καλλιεργούμενα μικροφύκη ως πηγή τροφής των προνυμφών.

Ο όγκος καλλιέργειας ενός μικροφύκου, τροχοζώου, ή γαρίδας της άλμης που πρέπει να προστεθεί στις δεξαμενές εκτροφής προνυμφών για να επιτευχθεί η επιθυμητή πυκνότητα της καλλιεργούμενης ζωντανής τροφής υπολογίζεται ως εξής:

$$A = (B \times C) / D$$

όπου A είναι ο απαιτούμενος όγκος (L) της καλλιέργειας ζωντανής τροφής, D είναι η πυκνότητα της καλλιέργειας ζωντανής τροφής (αριθμός/mL), B είναι η απαιτούμενη πυκνότητα μικροφυκών, τροχοζώων ή γαρίδων άλμης στη δεξαμενή των προνυμφών (αριθμός/mL), και C είναι ο όγκος (L) της δεξαμενής των προνυμφών.

Το πρόγραμμα της σίτισης είναι μια σημαντική πτυχή της διαχείρισης ενός εκκολαπτηρίου. Η υπερβολική παροχή τροφής είναι σπατάλη και κοστίζει. Επίσης, θέτει σε κίνδυνο την ποιότητα του νερού, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε εμφάνιση ασθενειών και μπορεί να επηρεάσει τη συμπεριφορά των προνυμφών. Αντίθετα, ο υποσιτισμός μειώνει τους ρυθμούς αύξησης, αυξάνοντας έτσι, το κόστος λειτουργίας του εκκολαπτηρίου. Είναι

σημαντικό να παρακολουθείται η παρουσία τροφής στις δεξαμενές των προνυμφών για να αποφευχθούν αυτά τα προβλήματα.

9.3.2 Μειονεκτήματα της Σίτισης με Ζωντανή Τροφή

Οι εντατικές καλλιέργειες μικροφυκών, τροχοζώων και γαρίδων της άλμης εμφανίζουν ορισμένα κοινά μειονεκτήματα. Μερικά από αυτά, αναφορικά με την καλλιέργεια μικροφυκών, έχουν περιγραφεί στην ενότητα 9.2.5, αλλά ισχύουν και για τα τροχόζωα και τις γαρίδες της άλμης. Άλλα πιθανά προβλήματα που σχετίζονται ειδικά με τα τροχόζωα και τις γαρίδες της άλμης απαριθμούνται στον **Πίνακα 9.5**. Ως απάντηση σε αυτά τα δυνητικά προβλήματα, ιδιαίτερα όσον αφορά το υψηλό κόστος καλλιέργειας ζωντανής τροφής, έχει γίνει σημαντική έρευνα και έχει υπάρξει έντονο εμπορικό ενδιαφέρον για την ανάπτυξη σύνθετων ή τυποποιημένων τροφών για τα εκκολαπτήρια, τις αποκαλούμενες μικροδιαίτες (microdiets), μικροτροφές (microfeeds) ή δίαιτες απογαλακτισμού, ως εναλλακτικές λύσεις της ζωντανής τροφής. Τα χαρακτηριστικά και οι δυνατότητες των τροφών αυτών που χρησιμοποιήθηκαν για σίτιση ιχθυοπρονυμφών συνοψίστηκαν από τον Kolkovski (2013).

9.4 Σύνθετες Τροφές Εκκολαπτηρίων

9.4.1 Πλεονεκτήματα

Το υψηλό κόστος παραγωγής ζωντανής τροφής στα εκκολαπτήρια θα μπορούσε να μειωθεί μέσω της παραγωγής φθηνότερης ζωντανής τροφής και του πιο πρώιμου (γρηγορότερου χρονικά) απογαλακτισμού με χρήση τυποποιημένων τροφών στην περίπτωση των καρκινοειδών και των ψαριών. Η πλήρης ή σημαντική αντικατάσταση των ζωντανών τροφών θα μείωνε σημαντικά τις λειτουργικές δαπάνες του εκκολαπτηρίου και θα παρείχε, μέσω προπαρασκευασμένων τροφών, ευκολία και σταθερότητα ως προς τη διατροφική σύνθεση. Ίσως το μεγαλύτερο πλεονέκτημα των σύνθετων τροφών προνυμφών είναι ότι, σε αντίθεση με τις ζωντανές τροφές, το μέγεθος των σωματιδίων τροφής και η διατροφική σύνθεση μπορούν να προσαρμοστούν ώστε να ταιριάζουν απόλυτα με τις διατροφικές απαιτήσεις των προνυμφών. Ωστόσο, θα πρέπει να ικανοποιούν ορισμένα κριτήρια (Πίνακας 9.8).

Έχει αξιολογηθεί η δυνατότητα διαφόρων υλικών προκειμένου να αντικαταστήσουν τα ζωντανά μικροφύκη ως τροφή στα δίθυρα μαλάκια. Μεταξύ αυτών των υλικών περιλαμβάνο-

νται αποξηραμένα και συμπυκνωμένα μικροφύκη (ενότητα 9.2.5), αποξηραμένα και κονιορτοποιημένα μακροφύκη, ζυμομύκητες και προϊόντα δημητριακών (Knauer and Southgate, 1999). Περιλαμβάνονται επίσης σύνθετες ή τυποποιημένες τροφές, γνωστές, γενικά, ως μικροδίαιτες (microdiets), που περιλαμβάνουν τους εξής τύπους: μικροδεσμευμένες δίαιτες (MBD, Microbound Diets), μικροενθυλακωμένες δίαιτες (MED, Microencapsulated Diets), μικροεπικαλυμμένες δίαιτες (MCD, Microcoated Diets) και σφαιροποιημένες με μικροεξώθηση δίαιτες (MEM, Microextrusion Marumerisation Diets) (Knauer and Southgate, 1999, Kolkovski, 2013). Αν και έχουν χρησιμοποιηθεί, επίσης, αποξηραμένα μικροφύκη στην καλλιέργεια προνυμφών καρκινοειδών και ψαριών, μεγάλο μέρος της έρευνας για την ανάπτυξη εναλλακτικών λύσεων στις ζωντανές τροφές έχει επικεντρωθεί στις μικροδίαιτες.

9.4.2 Μικροδεσμευμένες Δίαιτες (MBD)

Στις μικροδεσμευμένες δίαιτες (MBD) τα θρεπτικά συστατικά (σωματιδιακά και διαλυμένα) δεσμεύονται σε μία μήτρα συνδετικού υλικού όπως άγαρ, ζελατίνη, αλγινικό άλας οξέων, ή καραγενάνη. Τα διατροφικά συστατικά αναμειγνύονται με τη συνδετική ουσία για να σχηματιστεί ένας πολτός, ο

Πίνακας 9.8 Επιθυμητά χαρακτηριστικά των σύνθετων τροφών για υδρόβιες προνύμφες.

Χαρακτηριστικό	Σχόλια
Αποδεκτότητα	Πρέπει να είναι ελκυστική και να προσλαμβάνεται εύκολα. Τα σωματίδια τροφής πρέπει να είναι κατάλληλου μεγέθους για κατάποση, και πρέπει να προκαλούν τη σίτιση των προνυμφών. Τα σωματίδια τροφής πρέπει να παραμένουν διαθέσιμα στη στήλη του νερού.
Σταθερότητα	Τα σωματίδια τροφής πρέπει να διατηρούν την ακεραιότητά τους σε υδατικό αιώρημα και η έκπλυση των θρεπτικών ουσιών πρέπει να είναι ελάχιστη. Περιορισμένη έκπλυση μπορεί να είναι ευεργετική για την ενίσχυση της ελκυστικότητας της τροφής.
Ευκολία στη πέψη	Τα σωματίδια τροφής πρέπει να είναι εύπεπτα και τα θρεπτικά συστατικά τους να αφομοιώνονται εύκολα.
Διατροφική σύνθεση	Οι τροφές πρέπει να έχουν κατάλληλη διατροφική σύνθεση. Στοιχεία που προστίθενται στην τροφή ως συνδετικά υλικά ή συστατικά του περιβλήματος της μικροκάψουλας θα πρέπει να έχουν κάποια θρεπτική αξία.
Αποθήκευση	Οι τροφές πρέπει να είναι κατάλληλες για μακροχρόνια αποθήκευση (6-12 μήνες) στη διάρκεια της οποίας η διατροφική σύνθεση και η ακεραιότητα των σωματιδίων τροφής θα παραμένει σταθερή.

οποίος έπειτα αποξηραίνεται, αλέθεται και κοσκινίζεται για να παραχθούν σωματίδια τροφής στο επιθυμητό μέγεθος. Οι μικροδίσαιτες MBD επιτρέπουν τον ακριβή χειρισμό των περιεχομένων των τροφών και, για αυτό το λόγο, έχουν χρησιμοποιηθεί εκτενώς στην έρευνα για τον προσδιορισμό των θρεπτικών απαιτήσεων των προνυμφών, ιδιαίτερα των προνυμφών καρκινοειδών (π.χ., Holme et al., 2009). Ωστόσο, επειδή τα σωματίδια των MBD δεν έχουν κανένα διαχωριστικό περίβλημα μεταξύ των διατροφικών συστατικών και του νερού καλλιέργειας, υπάρχει πιθανότητα έκπλυσης των θρεπτικών συστατικών, και ταυτόχρονα είναι επιρρεπή σε άμεση βακτηριακή προσβολή.

9.4.3 Μικροενθυλακωμένες Δίσαιτες (MED)

Οι μικροενθυλακωμένες δίσαιτες (MED) αποτελούνται από διατροφικά υλικά που περικλείονται εντός μεμβράνης ή μικροκάψουλας. Η μέθοδος αυτή μειώνει σημαντικά την έκπλυση θρεπτικών συστατικών και την ευαισθησία της τροφής σε βακτηριακή προσβολή. Οι μικροδίσαιτες MED έχουν χρησιμοποιηθεί με μερική επιτυχία ως υποκατάστατο των μικροφυκών στην εκτροφή προνυμφών και νεαρών ατόμων δίθυρων (Knauer and Southgate, 1999). Οι μικροδίσαιτες MED, και άλλου τύπου μικροδίσαιτες, διατίθενται στο εμπόριο, για αρκετά χρόνια, για την καλλιέργεια προνυμφών γαρίδας και χρησιμοποιούνται ευρέως σε αντίστοιχα εκκολαπτήρια (ενότητα 22.6.3). Είναι γενικά αποδεκτό ότι ένας συνδυασμός μικροδίσαιτας και ζωντανής τροφής, μια πρακτική γνώστη ως συν-διατροφή, έχει ως αποτέλεσμα μεγαλύτερη αύξηση και καλύτερο ποσοστό επιβίωσης των προνυμφών γαρίδας σε σχέση με τις δύο τροφές όταν αυτές χορηγούνται ξεχωριστά. Ωστόσο, είναι πλέον δυνατό να αντικατασταθούν πλήρως οι ζωντανές τροφές με μικροδίσαιτες σε εκκολαπτήρια γαρίδων της οικογένειας Penaeidae. Η ανάπτυξη και χρήση τυποποιημένων τροφών για προνύμφες καρκινοειδών συνοψίζεται από τους Holme et al. (2009). Παρά την επιτυχημένη ανάπτυξη τεχνητών τροφών για προνύμφες γαρίδας και τη συστηματική χρήση τους στα αντίστοιχα εκκολαπτήρια, δεν έχει επιτευχθεί παρόμοια επιτυχία στην περίπτωση των προνυμφών ψαριών.

9.4.4 Μικροεπικαλυμμένες Δίσαιτες (MCD)

Οι μικροεπικαλυμμένες δίσαιτες (MCD) αποτελούνται κυρίως από σωματίδια MBD που είναι επικαλυμμένα με λιπίδια ή λιποπρωτεΐνες για τη μείωση της έκπλυσης των θρεπτικών ουσιών από τα σωματίδια της τροφής.

9.4.5 Σφαιροποιημένες με Μικροεξώθηση Δίσαιτες (MEM)

Οι σφαιροποιημένες με μικροεξώθηση δίσαιτες (MEM) παρασκευάζονται με μεθόδους όπως ξήρανση με ψεκασμό, με αφύγρανση (fluidised bed drying) και συσσωμάτωση με περιστροφική κίνηση. Διάφορα εμπορικά διαθέσιμα διατροφικά προϊόντα εκκολαπτηρίων παράγονται με αυτές τις μεθόδους. Αυτές οι διεργασίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρασκευή σωματιδίων τροφής με μεγέθη 50-1000 μm και οι οποίες περιέχουν μία μεγάλη ποικιλία θρεπτικών ουσιών.

9.5 Ανάπτυξη Μικροδισαίων για Προνύμφες Ψαριών

9.5.1 Περιορισμένη Επιτυχία

Έχουν διεξαχθεί πολυάριθμες μελέτες για την αξιολόγηση της θρεπτικής αξίας των μικροδισαίων για προνύμφες θαλάσσιων ψαριών. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι, γενικά, οι σιτιζόμενες με μικροδίσαιτες προνύμφες εμφάνιζαν μικρότερα ποσοστά επιβίωσης και πιο περιορισμένη αύξηση από εκείνες που σιτίζονταν με ζωντανές τροφές, και επίσης εμφάνιζαν παραμορφώσεις σε μεγαλύτερη συχνότητα. Τα αποτελέσματα αυτά δείχνουν ότι η πλήρης αντικατάσταση της ζωντανής τροφής με τεχνητή δεν είναι ακόμα εφικτή για τις προνύμφες των περισσότερων θαλάσσιων ψαριών (Kolkovski, 2013). Παρόλα αυτά, μερική αντικατάσταση των ζωντανών τροφών μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την εξοικονόμηση χρημάτων, και μερικές μελέτες έχουν δείξει ότι η ζωντανή τροφή μπορεί να αντικατασταθεί σε ποσοστό μεταξύ 50% και 80% με μικροδίσαιτες χωρίς να επηρεαστεί η αύξηση των προνυμφών. Ο απογαλακτισμός των ιχθυοπρονυμφών από τη ζωντανή τροφή σε όσο

το δυνατό νεαρότερη ηλικία αποτελεί ένα ακόμη μέσο μείωσης του κόστους σίτισης και αποτελεί βασικό στόχο των εμπορικών εκκολαπτηρίων ψαριών (ενότητα 20.3.1.5). Έχει υπολογιστεί ότι ο πιο πρώιμος, κατά 15 ημέρες, απογαλακτισμός του λαυρακιού επιτρέπει εξοικονόμηση στην παραγωγή γαρίδας της άλμης σε ποσοστό έως και 80%.

9.5.2 Περιορισμοί στην Ανάπτυξη Μικροδαιτών για Προνύμφες Θαλάσσιων Ψαριών

Η σχετικά χαμηλή απόδοση των τυποποιημένων τροφών σε μελέτες με προνύμφες θαλάσσιων ψαριών θεωρείται ότι οφείλεται κυρίως στους μειωμένους ρυθμούς πρόσληψης τροφής και στην ανεπαρκή πέψη αυτής.

Για να είναι επιτυχημένη μία τυποποιημένη τροφή θα πρέπει να προσλαμβάνεται με ρυθμό παρόμοιο με αυτόν των ζωντανών τροφών. Αυτό είναι πρόβλημα ιδιαίτερα για τις σαρκοφάγες ιχθυοπρονύμφες, οι οποίες απαιτούν το οπτικό ερέθισμα της κινούμενης λείας για να ξεκινήσει η θηρευτική αντίδραση. Οι προσπάθειες για να ξεπεραστεί ή να μειωθεί αυτό το πρόβλημα περιλαμβάνουν:

- την προσθήκη διαφόρων χημικών ουσιών (που χρησιμοποιούν τη διάθλαση του φωτός) σε σωματίδια τροφής, για να προσδώσουν μια αίσθηση κίνησης,
- την ενσωμάτωση χρωστικών σε τροφές, για την προσομοίωση του χρώματος των ναυπλίων της γαρίδας της άλμης,
- τη χρήση αμινοξέων που εκλύονται φυσικά από ζωντανούς οργανισμούς, για την ενίσχυση της απόκρισης των προνυμφών. Αυτά λειτουργούν προσελκύοντας τις προνύμφες και μπορούν να ενσωματωθούν σε τεχνητές τροφές για τη βελτίωση της ελκυστικότητάς τους.

Οι περισσότερες προνύμφες θαλάσσιων ψαριών δεν αναπτύσσονται επαρκώς κατά την εκκόλαψη, και σε πολλά είδη το πεπτικό σύστημα δεν αναπτύσσεται πλήρως μέχρι να γίνουν νεαρά άτομα. Οι προνύμφες των θαλάσσιων ψαριών έχουν, επίσης, χαμηλή ενζυμική δραστηριότητα του πεπτικού τους συστήματος σε σύγκριση με τα ενήλικα ψάρια. Η έκκριση ορισμένων ενζύμων ξεκινάει στα νεαρά άτομα και αφού έχει αναπτυχθεί ένα

λειτουργικό στομάχι. Οι προνύμφες των θαλάσσιων ψαριών, γενικά, βελτιώνουν την ικανότητά τους να πέπτουν τεχνητή τροφή όσο αυξάνεται η ηλικία τους. Οι ζωντανοί οργανισμοί που καταναλώνονται από τις προνύμφες βοηθούν την πέψη παρέχοντας τα πεπτικά τους ένζυμα είτε με αυτόλυση, είτε ως ζυμογόνα, τα οποία ενεργοποιούν τα ενδογενή πεπτικά ένζυμα εντός του πεπτικού συστήματος των προνυμφών. Έχει αποδειχθεί ότι η προσθήκη πεπτικών ενζύμων (ιδιαίτερα πρωτεασών) σε τεχνητές τροφές βελτιώνει την απορρόφηση των θρεπτικών συστατικών έως και 30%, με αποτέλεσμα την καλύτερη αύξηση των προνυμφών. Ομοίως, και η προσθήκη νευροπεπτιδίων του πεπτικού συστήματος στις μικροδίαιτες μπορεί να βελτιώσει την απορρόφηση των θρεπτικών ουσιών και την αύξηση.

9.5.3 Δίαιτες Απογαλακτισμού

Οι προνύμφες που σιτίζονται με ζωντανές τροφές κατά τη διάρκεια της φάσης του εκκολαπτηρίου απαιτούν τον απογαλακτισμό τους από αυτές και στροφή σε τυποποιημένες τροφές προς το τέλος της προνυμφικής περιόδου (**Εικόνα 9.12**, ενότητα 20.3.1.5). Η διαδικασία απογαλακτισμού συνήθως περιλαμβάνει την παροχή ζωντανών τροφών παράλληλα με τις τυποποιημένες τροφές για μια περίοδο, με τη ζωντανή τροφή να μειώνεται βαθμιαία και την τυποποιημένη τροφή να αυξάνεται. Η διάρκεια του απογαλακτισμού ποικίλλει, αλλά συνήθως ολοκληρώνεται εντός 30 ημερών. Μια μεγάλη ποικιλία από δίαιτες απογαλακτισμού διατίθεται στο εμπόριο με τη μορφή MBD, MED, MEM, νιφάδων, θρυμματισμένων σύμπτηκτων και τροφών με βάση ζυμομύκητες. Η επιτυχής ανάπτυξη τυποποιημένων τροφών για τις ιχθυοπρονύμφες θα εξαλείψει την ανάγκη απογαλακτισμού τους από τη ζωντανή τροφή και στροφή στην τυποποιημένη, επειδή οι προνύμφες θα μπορούσαν απλώς να σιτίζονται με μεγαλύτερα σωματίδια τροφής καθώς μεγαλώνουν.

9.5.4 Χρήση Μικροδαιτών στα Εκκολαπτήρια

Τα σωματίδια τροφής τυποποιημένων μικροδαιτών έχουν την τάση να καθιζάνουν, φαινόμενο που καθιστά προβληματική τη διατήρησή τους σε εναιώρη-

ση. Το γεγονός αυτό μπορεί να μειώσει τη διαθεσιμότητα της τροφής για τις προνύμφες, και τα σωματίδια τροφής που καθιζάνουν στον πυθμένα των δεξαμενών καλλιέργειας ενδέχεται να μολύνουν το νερό και να ενισχύσουν τη βακτηριακή δραστηριότητα. Σε αντίθεση, οι ζωντανές τροφές, γενικά, παραμένουν σε κίνηση στις δεξαμενές καλλιέργειας προνυμφών και αυτό μεγιστοποιεί τη διαθεσιμότητά τους για τις προνύμφες, ενώ ταυτόχρονα μειώνεται η μόλυνση του νερού καλλιέργειας από κατάλοιπα τροφής. Η σχεδίαση των δεξαμενών και τα συστήματα αερισμού είναι σημαντικά για τη μεγιστοποίηση της πλευστότητας των σωματιδίων τροφής και για τη διατήρηση της κινητικότητάς τους. Η χρήση μικροδαιτών απαιτεί προσεκτική εξέταση του σχεδιασμού των δεξαμενών και του αερισμού, και τακτική παρακολούθηση των ρυθμών σίτισης. Η προσθήκη μικρών ποσοτήτων τροφής αρκετές φορές την ημέρα βελτιστοποιεί την ποιότητα του νερού και μεγιστοποιεί τη διαθεσιμότητα της τροφής για τις προνύμφες.

9.5.5 Περαιτέρω Ανάπτυξη Τυποποιημένων Τροφών για Εκκολαπτήρια

Όπως περιεγράφηκε παραπάνω, η χρήση εμπορικών παραγόμενων μικροδαιτών είναι συνήθης στα εκκολαπτήρια γαρίδας (ενότητα 22.6.3). Ωστόσο, η κατάσταση δεν είναι το ίδιο καλή στην περίπτωση εκκολαπτηρίων θαλάσσιων ψαριών και διθύρων. Παρά το γεγονός ότι προνύμφες ψαριών και δίθυρων έχουν αναπτυχθεί έως το στάδιο των νεαρών ατόμων έπειτα από σίτιση με μικροδαιτές υπό εργαστηριακές συνθήκες, τα εμπορικά εκκολαπτήρια ψαριών και δίθυρων εξακολουθούν να βασίζονται στην παραγωγή ζωντανών τροφών για το μεγαλύτερο μέρος, ή και το σύνολο, της περιόδου της καλλιέργειας προνυμφών. Αυτή η κατάσταση πλέον αλλάζει για τα δίθυρα, όπου στα εκκολαπτήρια γίνεται αυξημένη χρήση εμπορικά διαθεσίμων συμπυκνωμάτων μικροφυκών (ενότητα 9.2.5.1). Ωστόσο, η ανάπτυξη τυποποιημένων τροφών για εκκολαπτήρια ή μικροδαιτών για ψάρια και δίθυρα έχει καθυστερήσει, λόγω της έλλειψης γνώσης ως προς τις διατροφικές τους ανάγκες, και εξαιτίας προβλημάτων που σχετίζονται με την ελκυστικότητα και την πέψη των τυποποιη-

μένων τροφών, αλλά και τη χρήση τους σε συστήματα καλλιέργειας. Η ανάπτυξη καταλληλότερων τυποποιημένων τροφών για προνύμφες θαλάσσιων ψαριών απαιτεί περαιτέρω έρευνα ώστε να επιτευχθεί:

- βελτιωμένη πρόσληψη και πέψη τεχνητών τροφών,
- μεγαλύτερη κατανόηση των διατροφικών απαιτήσεων των προνυμφικών σταδίων, σχεδίαση καταλληλότερων συστημάτων καλλιέργειας.

Η πιθανή εξοικονόμηση χρημάτων από τη χρήση κατάλληλων τυποποιημένων τροφών θα διασφαλίσει ότι η έρευνα στον τομέα αυτό θα συνεχιστεί.

9.6 Συγκομιδή Φυσικού Πλαγκτού

Οι φυσικές πηγές ζωοπλαγκτού αποτελούν μια μεγάλη, σχετικά ανεκμετάλλευτη, δυνητική πηγή τροφής για τα εκκολαπτήρια. Ένα μεγάλο μέρος αυτού του πλαγκτού αποτελείται από κωπήποδα, τα οποία μπορούν να υπάρχουν φυσικά σε πυκνότητες έως και 10.000 ατόμων ανά κυβικό μέτρο. Η αξιοποίηση αυτής της δυνητικής πηγής τροφής απαιτεί αποτελεσματική συλλογή ζωοπλαγκτού από πολύ μεγάλους όγκους νερού. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί αντλώντας νερό μέσω ηθμών που κατακρατούν το ζωοπλαγκτό. Έχουν κατασκευασθεί συσκευές συλλογής πλαγκτού που έχουν την ικανότητα διαλογής του πλαγκτού με βάση το μέγεθος. Ένα από τα μειονεκτήματα της συγκομιδής από φυσικές υδατοσυλλογές αποτελεί το γεγονός ότι οι πυκνότητες του πλαγκτού μπορεί να διαφέρουν μεταξύ διαφορετικών τοποθεσιών και, ως εκ τούτου, η αξιοπιστία του εφοδιασμού είναι αμφισβητήσιμη. Ωστόσο, το πρόβλημα αυτό μπορεί να ξεπεραστεί με συγκομιδή από ειδικά διαμορφωμένες λιμνοδεξαμενές στις οποίες η τεχνητή λίπανση μπορεί να οδηγήσει σε υψηλά φορτία πλαγκτού. Η χρήση φυσικού ζωοπλαγκτού ως πηγή τροφής για την υδατοκαλλιέργεια δεν είναι διαδεδομένη. Ωστόσο, η ποικιλία των οργανισμών που συνθέτουν το φυσικό ζωοπλαγκτό θα μπορούσε αναμφισβήτητα να παρέχει μία διατροφικά ανώτερη τροφή σε σχέση με τις τυπικές τροφές αποτελούμενες από τροχόζωα/γαρίδες της άλμης που χρησιμοποιούνται συνήθως στα εκκολαπτήρια.

9.7 Λίπανση Λιμνοδεξαμενών ως Πηγή Τροφής για Υδατοκαλλιέργειες

Η εντατική και ημιεντατική καλλιέργεια φυτοφάγων και παμφάγων ειδών σε λιμνοδεξαμενές βασίζεται συνήθως στην παραγωγή τροφής μέσω της λίπανσης των λιμνοδεξαμενών (ενότητα 2.3). Η λίπανση των λιμνοδεξαμενών στην ημιεντατική καλλιέργεια τιλάπιας, για παράδειγμα, περιγράφεται λεπτομερώς στην ενότητα 18.7.3. Αν και το σύστημα αυτό χρησιμοποιείται πιο συχνά για πάχυνση, η λίπανση των λιμνοδεξαμενών έχει επίσης χρησιμοποιηθεί επιτυχώς για την καλλιέργεια ιχθυοπρονομφών (ενότητα 9.7.3 και Κεφάλαιο 20). Τα λιπάσματα που χρησιμοποιούνται για το σκοπό αυτό μπορεί να είναι ανόργανα ή οργανικά, ή συνδυασμός και των δύο.

9.7.1 Λιπάσματα

Τα ανόργανα λιπάσματα είναι χημικά λιπάσματα που περιέχουν τουλάχιστον ένα από τα κύρια θρεπτικά συστατικά, άζωτο (N), φωσφόρο (P) και κάλιο (K). Τα εμπορικά διαθέσιμα γεωργικά λιπάσματα, όπως το θειϊκό αμμώνιο και το υπερφωσφορικό, χρησιμοποιούνται ευρέως στην υδατοκαλλιέργεια. Οι κοπριές ζώων είναι πιθανώς τα πιο κοινά οργανικά λιπάσματα που χρησιμοποιούνται στην υδατοκαλλιέργεια, αν και αποσυντιθέμενα φυτικά υλικά χρησιμοποιούνται, επίσης, ευρέως. Η χρήση οργανικών λιπασμάτων στην υδατοκαλλιέργεια είναι μια αρχαία πρακτική και είναι ένα οικονομικό μέσο για την αύξηση της παραγωγής σε λιμνοδεξαμενές υδατοκαλλιέργειας. Στις αναπτυσσόμενες χώρες υπάρχει μεγαλύτερη εξάρτηση από τα οργανικά λιπάσματα, καθώς είναι πιο εύκολα διαθέσιμα σε σχέση με τα χημικά. Είναι, επίσης, πιο οικονομικά και πιο αποδοτικά σε περιπτώσεις που η υδατοκαλλιέργεια σε λιμνοδεξαμενές συνδυάζεται με γεωργική ή ζωική παραγωγή. Στις αναπτυσσόμενες χώρες, χερσαία και υδρόβια ζώα (συνήθως ψάρια) συχνά εκτρέφονται μαζί σε ολοκληρωμένα συστήματα (ενότητα 2.4). Περισσότερες πληροφορίες σχετικά με τα χημικά λιπάσματα που χρησιμοποιούνται στην υδατοκαλλιέργεια παρέχονται στο Κεφάλαιο 4 (ενότητα 4.4.2).

9.7.2 Παραγωγή σε Λιπασμένες Λιμνοδεξαμενές

Η λίπανση αυξάνει την πρωτογενή παραγωγικότητα και προκαλεί μια αλληλουχία των οργανισμών μέσα στη λιμνοδεξαμενή. Αρχικά, η λίπανση έχει ως αποτέλεσμα την άνθιση πρωτόζωων και βακτηρίων, που, γενικά, ακολουθείται από άνθιση φυκών και, έπειτα, ζωοπλαγκτού. Τυπικοί οργανισμοί που υπάρχουν φυσικά στις λιμνοδεξαμενές και μπορούν να αποτελέσουν τροφή είναι:

- βακτήρια και πρωτόζωα
- φυτά (φυτοπλαγκτό, περίφυτο, μακρόφυτα)
- ζώα (κυρίως ασπόνδυλα: ζωοπλαγκτό, ζωοβένθος, νηκτό μικρού μεγέθους)
- ψάρια.

Η λίπανση αυξάνει τη βιομάζα οργανισμών που αποτελούν δυνητική τροφή και υπάρχουν σε μια λιμνοδεξαμενή. Για παράδειγμα, για το ζωοπλαγκτό έχουν αναφερθεί συγκεντρώσεις $<0,055 \text{ g/m}^3$ και $3,3424 \text{ g/m}^3$ σε μη λιπασμένες και λιπασμένες λιμνοδεξαμενές, αντίστοιχα.

Οι οικολογικές συνθήκες μέσα σε μια λιμνοδεξαμενή καθορίζουν ποιοι οργανισμοί θα είναι παρόντες, την αναλογία τους και την αφθονία τους. Το σύνολο των οργανισμών στη λιμνοδεξαμενή σχηματίζουν τη βιοκένωση (αυτορυθμιζόμενη οικολογική κοινότητα) της λιμνοδεξαμενής, η οποία περιέχει όλες τις πιθανές πηγές τροφής για τους καλλιεργημένους οργανισμούς. Ωστόσο, το κάθε είδος τρέφεται μόνο με ένα συγκεκριμένο μέρος της βιοκένωσης, και αυτό υπαγορεύεται από τις διατροφικές του συνήθειες (π.χ., τα κυπρινοειδή, **Εικόνα 2.4**). Το συγκεκριμένο τμήμα της βιοκένωσης που καταναλώνεται από έναν οργανισμό αποτελεί τη βάση της διατροφής του, και αυτή μπορεί να διαφοροποιείται κατά τη διάρκεια της ζωής του, π.χ., οι προνύμφες πολλών φυτοφάγων ψαριών καταναλώνουν ζωοπλαγκτό.

Η πεπερασμένη βιομάζα σε μια φυσική λιμνοδεξαμενή μπορεί να υποστηρίξει μόνο μια πεπερασμένη ποσότητα εκτρεφόμενων ζώων. Όταν τα επίπεδα καλλιέργειας είναι χαμηλά, η διαθέσιμη τροφή υπερβαίνει τις απαιτήσεις του πληθυσμού της καλλιέργειας, και έτσι κάθε ζώο μπορεί να βρει επαρκή τροφή ώστε να υποστηρίξει την ενεργειακή του απαίτηση για συντήρηση και μέγιστη αύξηση. Ωστόσο, μια αύξηση του πληθυσ-

Πίνακας 9.9 Η επίδραση της λίπανσης και της συμπληρωματικής σίτισης στην κρίσιμη πυραμίδα βιομάζας και τη φέρουσα ικανότητα λιμνοδεξαμενών γλυκού νερού.

Μεταχείριση	Κρίσιμη Πυραμίδα Βιομάζας (kg/ha)	Φέρουσα ικανότητα (kg/ha)
Έλλειψη σίτισης, έλλειψη λίπανσης	65	130
Έλλειψη σίτισης, λίπανση	140	480
Σίτιση και λίπανση	550	2500

Πηγή: Αναπαράγεται από τον Hepher (1988) με άδεια από την Cambridge University Press.

σμού της καλλιέργειας προκαλεί αύξηση των διατροφικών απαιτήσεων. Σε μια ορισμένη πληθυσμιακή πυκνότητα, η ποσότητα τροφής που απαιτείται για τη συντήρηση και αύξηση του καλλιεργούμενου πληθυσμού υπερβαίνει τη διαθέσιμη τροφή στη λιμνοδεξαμενή. Δεδομένου ότι οι απαιτήσεις συντήρησης της καλλιέργειας πρέπει να ικανοποιηθούν, το ποσό της ενέργειας της τροφής που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αύξηση μειώνεται και, κατά συνέπεια, μειώνονται και οι ρυθμοί αύξησης. Στο στάδιο αυτό η καλλιέργεια ονομάζεται κρίσιμη πυραμίδα βιομάζας (CSC, Critical Standing Crop). Περαιτέρω αύξηση της καλλιέργειας περιορίζει ακόμη περισσότερο την ποσότητα τροφής που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αύξηση. Το σημείο στο οποίο η ποσότητα της διαθέσιμης φυσικής τροφής στη λιμνοδεξαμενή είναι επαρκής για να καλύψει μόνο τις ενεργειακές απαιτήσεις για τη συντήρηση της καλλιέργειας είναι γνωστό ως φέρουσα ικανότητα (carrying capacity) της λιμνοδεξαμενής. Η λίπανση αυξάνει την κρίσιμη πυραμίδα βιομάζας (CSC) και την φέρουσα ικανότητα της λιμνοδεξαμενής, και οι ρυθμοί αύξησης του καλλιεργούμενου πληθυσμού μπορούν να αυξηθούν πάνω από αυτά τα επίπεδα μόνο όταν προστίθεται συμπληρωματική τροφή στη λιμνοδεξαμενή (Πίνακας 9.9).

Οι συμπληρωματικές τροφές ταξινομούνται, γενικά, σε απλές και σύνθετες. Οι απλές τροφές μπορεί να είναι ζωικής προέλευσης (π.χ., παραλιεύματα, υπολείμματα σφαγίων και ιχθυάλευρα), ή φυτικής προέλευσης (π.χ., χορτονομές, ελαιάλευρα, πίτουρο ρυζιού και σόργο). Πολλές απλές τροφές είναι σχετικά φθηνά γεωργικά υποπροϊόντα. Οι απλές τροφές που χρησιμοποιούνται σε

μια μονάδα υδατοκαλλιέργειας προέρχονται από υλικά που είναι τοπικά διαθέσιμα. Όπως θα ήταν αναμενόμενο, η θρεπτική σύνθεση των απλών τροφών ποικίλλει σημαντικά. Όσες έχουν φυτική προέλευση είναι συνήθως πλούσιες σε υδατάνθρακες, ενώ άλλες, όπως τα ελαιάλευρα και τα ζωικά προϊόντα, είναι πλούσιες σε πρωτεΐνες. Οι σύνθετες τροφές αποτελούνται από μείγματα συστατικών τα οποία συνήθως συνενώνονται για να σχηματίσουν ζύμες ή σύμπηκτα.

Ένα σύστημα υδατοκαλλιέργειας που χρησιμοποιεί συμπληρωματικές τροφές χαρακτηρίζεται ως ημιεντατικό (ενότητα 2.2), και οι πυκνότητες των καλλιεργούμενων ζώων είναι υψηλότερες από αντίστοιχα εκτατικά συστήματα που βασίζονται αποκλειστικά σε φυσικές τροφές. Ωστόσο, σε πολλές αναπτυσσόμενες χώρες, η χρήση συμπληρωματικών τροφών ενδέχεται να μην είναι εφικτή, διότι αυξάνει το κόστος παραγωγής. Αυτές οι χώρες μπορεί επίσης να έχουν περιορισμένη δυνατότητα παραγωγής ή εισαγωγής σύνθετων τροφών.

9.7.3 Καλλιέργεια Ιχθυοπρονυμφών σε Λιμνοδεξαμενές

Είδη ψαριών του γλυκού νερού και είδη από θαλάσσια/υφάλμυρα συστήματα μπορούν να εκτραφούν εκτατικά σε χωμάτινες λιμνοδεξαμενές αξιοποιώντας τις ανθίσεις του υπάρχοντος πλαγκτού ως πηγή τροφής. Οι προνύμφες της γιγαντόπερκας (*Lates calcarifer*) είναι ένα καλό παράδειγμα εκτροφής με τον τρόπο αυτό. Αυτή η μέθοδος έχει αποδειχθεί πολύ επιτυχημένη, με ποσοστά επιβίωσης προνυμφών της τάξεως του 50% και ρυθμούς

αύξησης μεγαλύτερους από εκείνους που επιτυγχάνονται χρησιμοποιώντας συστήματα εντατικής καλλιέργειας. Άλλα παραδείγματα καλλιέργειας ψαριών σε λιμνοδεξαμενές παρέχονται στο Κεφάλαιο 20. Περαιτέρω πληροφορίες σχετικά με την ανάπτυξη καλλιέργειας κωπηπόδων που θα αποτελέσει τη βάση για την καλλιέργεια προνυμφών θαλάσσιων ψαριών σε λιμνοδεξαμενές παρέχονται στην ενότητα 9.2.15.

9.8 Περίληψη

- Τα καλλιεργούμενα ζωντανά μικροφύκη διαδραματίζουν κεντρικό ρόλο στα εκκολαπτήρια, όπου χρησιμοποιούνται ως τροφή για όλα τα στάδια των δίθυρων μαλακίων, για ορισμένες προνύμφες καρκινοειδών και ψαριών, καθώς και για τροχόζωα και την *Artemia*, που, με τη σειρά τους, χρησιμοποιούνται ως ζωντανή τροφή για προνύμφες ψαριών και καρκινοειδών. Πρόσφατες εξελίξεις περιλαμβάνουν τη δυνατότητα αντικατάστασης των ζωντανών μικροφυκών με εμπορικά διαθέσιμα συμπυκνώματα μικροφυκών.
- Τα τροχόζωα και η *Artemia* είναι οι κύριες ζωντανές τροφές που χρησιμοποιούνται στα εκκολαπτήρια προνυμφών καρκινοειδών και ψαριών. Και οι δύο αυτές τροφές είναι ελλιπείς σε περιεκτικότητα σε απαραίτητα λιπαρά οξέα, γεγονός που αντιμετωπίζεται με εμπλουτισμό, πριν από την παροχή τους στις προνύμφες.
- Τα κωπήποδα έχουν υψηλότερη θρεπτική αξία έναντι των τροχοζώων και της *Artemia* και ενδεύκνυνται ως τροφή για προνύμφες ψαριών με μικρό στοματικό άνοιγμα. Η ευρύτερη χρήση των κωπηπόδων ως ζωντανή τροφή στα εκκολαπτήρια δυσχεραίνεται από προβλήματα των συστημάτων εντατικής καλλιέργειας, καθώς αυτά χαρακτηρίζονται από μεταβλητή και αναξιόπιστη παραγωγή. Είναι πιθανό τα κωπήποδα να αποκτήσουν αυξημένη σημασία ως τροφή, καθώς αναπτύσσονται πιο αξιόπιστες τεχνικές μαζικής καλλιέργειας και καθώς διερευνάται η δυνατότητα καλλιέργειας περισσότερων ειδών.
- Στα πιθανά προβλήματα της παραγωγής και της χρήσης ζωντανών τροφών σε εκκολαπτήρια (μικροφύκη, τροχόζωα, *Artemia* και κωπήποδα) περιλαμβάνονται το υψηλό κόστος, οι τεχνικές απαιτήσεις και οι απαιτήσεις σε υποδομές, η διατροφική ασυνέπεια και ανεπάρκεια, καθώς και η πιθανότητα μόλυνσης και εισαγωγής ασθενειών στις καλλιέργειες προνυμφών.
- Στις πιθανές εναλλακτικές λύσεις, για την βασιζόμενη σε εκκολαπτήρια καλλιέργεια οργανισμών που χρησιμοποιούνται ως ζωντανή τροφή, περιλαμβάνονται, αποξηραμένα και συμπυκνωμένα μικροφύκη, σωματίδια τροφής με βάση ζυμομύκητες και ποικίλες τυποποιημένες μικροδίαιτες. Έχει σημειωθεί πρόοδος στην περίπτωση των προνυμφών γαρίδας που μπορούν να καλλιεργηθούν με τη χρήση μικροδιαιτών και χωρίς την παροχή ζωντανής τροφής, αλλά και στην περίπτωση των προνυμφών δίθυρων μαλακίων που μπορούν να καλλιεργηθούν χρησιμοποιώντας συμπυκνώματα μικροφυκών. Ωστόσο, η καλλιέργεια ιχθυοπρονυμφών εξακολουθεί να βασίζεται σε ζωντανές τροφές. Η ανάπτυξη τυποποιημένων μικροδιαιτών για τις ιχθυοπρονύμφες δυσχεραίνεται από την έλλειψη γνώσεων σχετικά με τις διατροφικές τους ανάγκες, αλλά και από τους χαμηλούς ρυθμούς πρόσληψης και πέψης των σωματιδίων των μικροδιαιτών.
- Οργανισμοί που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ζωντανή τροφή για καλλιέργεια προνυμφών μπορούν να συλλεχθούν από φυσικές υδάτινες μάζες ή να ενισχυθεί η ανάπτυξή τους με λίπανση ειδικών λιμνοδεξαμενών. Η εκτατική καλλιέργεια κωπηπόδων και άλλων οργανισμών σε λιμνοδεξαμενές που χρησιμοποιούνται ως ζωντανή τροφή για την καλλιέργεια προνυμφών ψαριών χρησιμοποιείται ευρέως, και μπορεί να είναι πολύ επιτυχής με προσεκτική διαχείριση των πληθυσμών του πλαγκτού και της πυκνότητας εκτροφής των ειδών-στόχων.

Βιβλιογραφία

- Arimoro, F. O., 2006. Culture of the freshwater rotifer, *Brachionus calicyflorus*, and its application in fish larviculture technology. *African Journal of Biotechnology*, 5(7): 536–541.
- Brown, M. R., Jeffrey, S. W. & Garland, C. D. (1989). *Nutritional Aspects of Microalgae Used in Mariculture: A Literature Review*. CSIRO Marine Laboratories report 205. CSIRO, Hobart.
- Brown, M.R., Blackburn, S.I. 2013. Live microalgae as feeds in aquaculture hatcheries. In: Allan, G. and Burnell, G. (Eds). *Advances in aquaculture hatchery technology*. Woodhead Publishing, Oxford. 117–156.
- Dhont, J. & Dierckens, K. 2013. Rotifers, *Artemia* and copepods as live feeds for fish larvae in aquaculture. In: Allan, G. & Burnell, G. (Eds), *Advances in aquaculture hatchery technology*, Woodhead Publishing, Oxford. pp. 157–202.
- Dhont, J. & Van Stappen, G. 2003. Biology, tank production and nutritional value of *Artemia*. In: Stotttrup, J.G. & McEvoy, L.A. (Eds), *Live Feeds in Marine Aquaculture*. Blackwell Science, Oxford. pp. 65–121.
- Duy, N.D.Q., Francis, D.S., Southgate, P.C. 2017. The nutritional value of live and concentrated micro-algae for early juveniles of sandfish, *Holothuria scabra*. *Aquaculture*, 473, 97–104.
- Hepher, B. (1988). *Nutrition of Pond Fishes*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Holme, M., Zeng, C. and Southgate, P.C. 2009. A review of recent progress towards development of formulated microbound diet for mud crab, *Scylla serrata*, larvae and their nutritional requirements. *Aquaculture*, 286, 164–175.
- Jeffrey, S. W., Leroi, J. M. & Brown, M. R. (1992). Characteristics of microalgal species needed for Australian mariculture. In: *Proceedings of the Aquaculture Nutrition Workshop* (Ed. by G. L. Allan & W. Dall), pp. 164–173. NSW Fisheries, Australia.
- Knauer, J. & Southgate, P. C. (1999) A review of the nutritional requirements of bivalves and the development of alternative and artificial diets for bivalve aquaculture. *Reviews in Fisheries Science*, 7, 241–280.
- Kolkovski, S. 2013. Microdiets as alternatives to live feeds for fish larvae in aquaculture: improving the efficiency of feed particle utilization. In: Allan, G. and Burnell, G. (Eds). *Advances in aquaculture hatchery technology*. Woodhead Publishing, Oxford. 203–245.
- Lavens, P., Sorgeloos, P. (Editors) 1996. *Manual on the production and use of live food for Aquaculture*. FAO Fisheries technical paper 361. FAO, Rome. 295pp.
- Leger, P. (1999). The *Artemia* crisis and solutions, poor yields at the Great Salt Lake. *The Advocate*, December 1999, 79–82.
- Lee, C.S., OBryen, P.J., Marcus, N.H. 2005. *Copepods in Aquaculture*. Blackwell Publishing, Oxford.
- Parsons, T. R., Stephens, K. & Strickland, J. D. H. (1961). On the chemical composition of eleven species of marine phytoplankters. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 18, 1001–1016.
- Reed, T. & Henry, E. (2014). The case for concentrates. *Hatchery International*, 15(4), 24–25.
- Southgate, P. C. & Partridge, G. J. (1998). Development of artificial diets for marine finfish larvae: problems and prospects. In: *Tropical Mariculture* (Ed. by S. DeSilva), Academic Press, London. pp. 151–169.
- Southgate, P.C., Beer, A.C. & Ngulafe, P. (2016). Hatchery culture of the winged pearl oyster, *Pteria penguin*, without living micro-algae. *Aquaculture*, 451, 121–124.
- Utting, S. D. (1986). A preliminary study on growth of *Crassostrea gigas* larvae and spat in relation to dietary protein. *Aquaculture*, 58, 123–138.
- Whyte, J. N. C. (1987). Biochemical composition and energy content of six species of Phytoplankton used in mariculture of bivalves. *Aquaculture*, 60, 231–241.
- Volkman, J. K., Jeffrey, S. W., Nichols, P. D., Rogers, G. I. & Garland, C. D. (1989). Fatty acid and lipid composition of 10 species of microalgae used in mariculture. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 128, 21940.

10

Θεμελιώδεις Αρχές Ασθενειών

Leigh Owens

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

10.1	Εισαγωγή στις Ασθένειες, 299	10.4	Τεχνικές Γενικευμένης Διαχείρισης Ασθενειών, 304
10.2	Γενικές Αρχές Μολυσματικών Ασθενειών στην Υδατοκαλλιέργεια, 300	10.5	Κύριες Ασθένειες, 307
10.3	Η Φιλοσοφία Ελέγχου των Ασθενειών, 302	10.6	Περίληψη, 320 Βιβλιογραφία, 320

10.1 Εισαγωγή στις Ασθένειες

Προκειμένου να τεθεί σε προοπτική η επίπτωση μιας νόσου, είναι ενδιαφέρον να αξιολογηθεί το μέλλον της ανθρωπότητας και των αναγκών της. Εκτιμάται ότι για να μπορεί η ανθρωπότητα να διατηρήσει την κατανάλωση θαλασσινών στα τρέχοντα επίπεδα, η υδατοκαλλιέργεια θα πρέπει να παράγει πάνω από 80 εκατομμύρια τόνους μέχρι το 2030 προκειμένου να διατηρηθεί η τρέχουσα κατά κεφαλή κατανάλωση (Κεφάλαιο 27). Συνεπώς, η υδατοκαλλιέργεια θα πρέπει να παράγει επιπλέον 30 εκατομμύρια τόνους θαλασσινών σε λιγότερο από μιάμιση δεκαετία. Πιθανόν δεν υπάρχουν αρκετά εδάφη ή κατάλληλες θαλάσσιες περιοχές για να συμβεί αυτό χωρίς τεράστιες διαταραχές σε πολλαπλά οικοσυστήματα. Ωστόσο, περίπου το 40% της συνολικής παραγωγής από την υδατοκαλλιέργεια χάνεται από ασθένειες, όπως ορίζεται ευρέως ακολούθως. Έτσι, απλώς αφαιρώντας ή περιορίζοντας τις επιπτώσεις των ασθενειών, η ανθρωπότητα θα μπορούσε σχεδόν να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις σε τρόφιμα από τη θάλασσα χωρίς να αλλάξει τις πρακτικές αξιοποίησης της γης.

Η ασθένεια μπορεί να οριστεί ως 'κάθε διαδικασία που περιορίζει την παραγωγικότητα ενός συστήματος' και αποτελεί έναν από τους πιο σημαντικούς παράγοντες σε μία υδατοκαλλιέργεια

(Kabata, 1985). Οι εκτιμήσεις του κόστους από το ξέσπασμα μίας νόσου περιπλέκονται από την πολύπλοκη αλληλεπίδραση πολυάριθμων παραγόντων που συνδέονται με ένα συγκεκριμένο περιστατικό, το οποίο μπορεί να κυμαίνεται από τις άμεσες απώλειες στην παραγωγή έως τις κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις ως προς το ζην και τις βιομηχανίες που συνδέονται με τον πρωτογενή παραγωγό. Μία πρόσφατη ανασκόπηση του οικονομικού αντίκτυπου που οφείλεται σε βασικά παθογόνα παράσιτα στις σημαντικότερες βιομηχανίες υδατοκαλλιέργειας σε θαλάσσια και υφάλμυρα νερά παγκοσμίως, παρουσιάστηκε από τους Shinn et al. (2005). Εκτιμάται, για παράδειγμα, ότι η Ασιατική βιομηχανία γαρίδας έχασε τουλάχιστον 20 δισεκατομμύρια δολάρια την τελευταία δεκαετία ως αποτέλεσμα ασθενειών. Ένας από τους σοβαρότερους παθογόνους παράγοντες είναι ο ιός του συνδρόμου λευκής κηλίδας που συνήθως έχει ως αποτέλεσμα την απώλεια 80-100% του αποθέματος. Οι μολύνσεις σε 3907 εκτάρια λιμνοδεξαμενών εκτροφής γαρίδας στο δέλτα του ποταμού Μεκόνγκ στο Βιετνάμ το 2015, προκάλεσαν εκτιμώμενες απώλειες άνω των 8 εκατομμυρίων δολαρίων.

Οι ασθένειες περιλαμβάνουν τόσο μολυσματικά (βλ. **Πίνακα 10.1**) όσο και μη μολυσματικά (πε-

Πίνακας 10.1 Ορισμένα κύρια παθογόνα των εκτρεφόμενων υδρόβιων ειδών.

Ομάδες	Γένη, κτλ
Ιοί	Βακιλλόμορφοι-ιοί, Herpesvirus, Iridovirus, Nodavirus, Rhabdovirus, Coronavirus, Birnavirus
Βακτήρια	Rickettsiales, <i>Aeromonas</i> , <i>Enterococcus</i> , <i>Flavobacterium</i> , <i>Flexibacter</i> , <i>Pseudoalteromonas</i> , <i>Pseudomonas</i> , <i>Streptococcus</i> , <i>Vibrio</i>
Μύκητες	<i>Aphanomyces</i> , <i>Branchiomyces</i> , <i>Lagenidium</i> , <i>Saprolegnia</i> , <i>Sirolopidium</i>
Πρωτόζωα	Αμοιβάδες: <i>Neoparamoeba</i> Μαστιγοφόρα: <i>Hexamita</i> , <i>Ichthyobodo</i> Βλεφαριδοφόρα: <i>Ichthyophthirius</i> , <i>Trichodina</i> Σπορόζωα: <i>Bonamia</i> , <i>Loma</i> , <i>Marteila</i> , <i>Perkinsus</i>
Έλμινθες	<i>Dactylogyrus</i>
Νηματώδεις	
Δακτυλιοσκώληκες	<i>Polydora</i>
Καρκινοειδή	Ψείρες των ψαριών: Ισόποδα Ψείρες των ψαριών: Βραχύουρα: <i>Argulus</i> Κωπήποδα: <i>Lernaea</i> , <i>Ergasilus</i> , <i>Mytilicola</i> Καβούρια: Pinnotherids
Γαστερόποδα	<i>Pyramidellidae</i>

ριβαλλοντικά, διατροφικά και γονιδιακά) προβλήματα. Οι μη μολυσματικές ασθένειες οφείλονται αποκλειστικά σε πρακτικές διαχείρισης και συχνά περιορίζονται σε συγκεκριμένες εκτροφές. Ωστόσο, οι μολυσματικές ασθένειες έχουν τη δυνατότητα να απειλήσουν ολόκληρες βιομηχανίες και συνεπώς θα αποτελέσουν τη βάση του συγκεκριμένου κεφαλαίου.

10.2 Γενικές Αρχές των Μολυσματικών Ασθενειών στην Υδατοκαλλιέργεια

10.2.1 Αλληλεπίδραση μεταξύ Ξενιστή, Παθογόνου και Περιβάλλοντος

Το διάγραμμα Venn των τριών κύκλων του Snejzko, των αλληλεπιδράσεων μεταξύ του ξενιστή (το εκτρεφόμενο υδρόβιο είδος στην υδατοκαλλιέργεια), του παθογόνου και του περιβάλλοντος είναι ευρέως γνωστό (**Εικόνα 10.1**). Απεικονίζει το γεγονός ότι, για να προκληθούν οι περισσότερες μολυσματικές ασθένειες απαιτείται μια αλληλεπίδραση τριών-παραγόντων, αποτελούμενοι από τις ακόλουθες συνιστώσες:

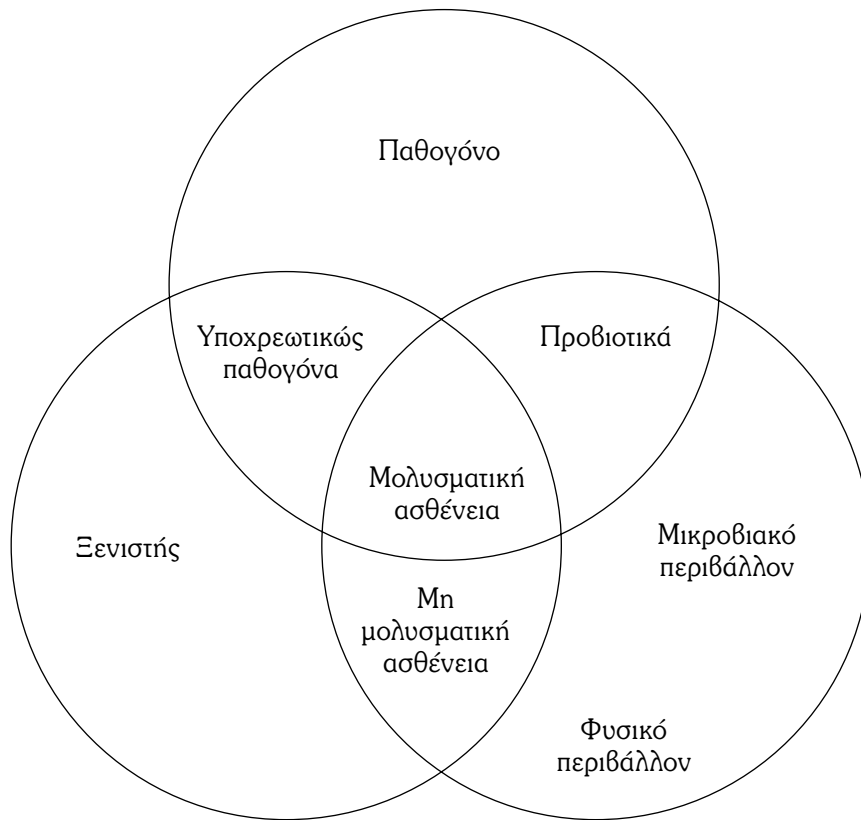
- Το Παθογόνο,
- Τον Ξενιστή,
- Το Περιβάλλον.

Έχουν γίνει διάφορες τροποποιήσεις αυτού του μοντέλου για να απεικονίσουν συγκεκριμένα σημεία. Η μη μολυσματική ασθένεια προκαλείται από την αλληλεπίδραση μόνο μεταξύ του ξενιστή και του περιβάλλοντος. Η περιοχή επικάλυψης μεταξύ του παθογόνου και του ξενιστή αντιπροσωπεύει τους υποχρεωτικά παθογόνους οργανισμούς. Αυτοί αποτελούν την πιο απειλητική ομάδα καθώς δεν χρειάζονται περιβαλλοντική καταπόνηση (στρες) για να προκαλέσουν κλινική ασθένεια. Ο ιός της αιμοποιητικής νέκρωσης στην κοκκινόπτερη πέρκα και η πανώλη των καραβίδων (*Aphanomyces astaci*) αποτελούν δύο τέτοια παραδείγματα υποχρεωτικών παθογόνων που προκαλούν ασθένεια στις πιο άσφογες συνθήκες.

Για συγκεκριμένες ασθένειες καλλιεργούμενων ειδών, το μοντέλο τριών δακτυλίων μπορεί να τροποποιηθεί αλλάζοντας το μέγεθος των δακτυλίων ώστε να αντικατοπτρίζεται η σχετική σημασία των διαφόρων συνιστωσών.

10.2.2 Πυκνότητα Εκτρεφόμενων Οργανισμών και Ασθένεια

Η εξάπλωση των παθογόνων παραγόντων είναι μία διαδικασία που εξαρτάται από την πυκνότητα των εκτρεφόμενων οργανισμών και ως εκ τούτου επηρεάζεται από το επίπεδο της πυκνότητας



Εικόνα 10.1 Τροποποιημένο μοντέλο Sneizko τριών δακτυλίων που απεικονίζει την αλληλεπίδραση μεταξύ του ξενιστή, του παθογόνου και του περιβάλλοντος.

εκτροφής. Υπάρχει μία σχέση τέτοια ώστε όσο μεγαλύτερη είναι η πυκνότητα, τόσο μικρότερη είναι η απόσταση μεταξύ των εκτρεφόμενων ατόμων. Αυτό οδηγεί σε μεγαλύτερη πιθανότητα τα παθογόνα να διασχίζουν την απόσταση μεταξύ των ξενιστών παραμένοντας σε βιώσιμη κατάσταση.

Τα ακίνητα παθογόνα, όπως οι ιοί, τα ακίνητα βακτήρια, τα σπορόζωα και τα αβγά των παρασίτων, ακολουθούν βασικά τους νόμους της διάχυσης και επομένως σε συνθήκες στάσιμου νερού θα διαμορφωθεί μία κλίση συγκέντρωσης των παθογόνων γύρω από ένα μολυσμένο άτομο. Άλλα παθογόνα όπως τα βακτήρια, τα μυκητιακά ζωοσπόρια, τα πρωτόζωα και τα μετάρια, γενικά έχουν ενεργητικές αλλά ποικίλλουσες δυνατότητες διασποράς. Καθώς η απόσταση αυξάνεται, λιγότερα παθογόνα θα είναι σε θέση να φθάσουν σε ευπαθείς ξενιστές ώστε να εγκατασταθούν ή να συνεχίσουν μία επιδημία (ξέσπασμα ασθένειας). Καθώς υπάρχει φυσική φθορά των παθογόνων στο περιβάλλον, εάν το παθογόνο δεν φθάσει σε έναν ευπαθή ξενιστή εντός συγκεκριμένης χρονικής περιόδου, η πιθανότητα δημιουργίας μίας νέας λοίμωξης είναι σχεδόν μηδενική.

Οι υψηλές πυκνότητες εκτροφής οδηγούν σε γενετική επιλογή μεταλλαγμένων παθογόνων που είναι λοιμογόνα:

- 1) Στο φυσικό περιβάλλον ένα νέο μεταλλαγμένο παθογόνο δεν 'γνωρίζει' που θα συναντήσει τον επόμενο ευαίσθητο ξενιστή. Σε μία τέτοια περίπτωση, επιλέγονται παθογόνα που απελευθερώνουν βραδέως απογόνους, διότι αυτό θα δώσει σε έναν τυχαία μετακινούμενο, μολυσμένο ξενιστή την ευκαιρία να μεταδώσει τον παθογόνο στο περιβάλλον και στον επόμενο ξενιστή. Δηλαδή, ο παθογόνος δεν 'θέλει' να καταστρέψει τον τρέχοντα ξενιστή του, αλλά να του επιτρέψει να λειτουργήσει όσο το δυνατόν πιο φυσιολογικά, αυξάνοντας έτσι την πιθανότητα συνάντησης με έναν άλλο ευαίσθητο ξενιστή.
- 2) Υπό συνθήκες υδατοκαλλιέργειας ο επόμενος ξενιστής είναι πολύ κοντά. Θα επιλεγθεί λοιπόν, ένα μεταλλαγμένο στέλεχος που χρησιμοποιεί όλους τους διαθέσιμους πόρους ενός ξενιστή για να παράξει παθογόνους απογόνους, ανεξάρτητα από τις συνέπειες για τον ξενιστή, (δηλαδή, ένας λοιμογόνος οργανισμός). Ένας από τους μεγάλους αριθμούς των απογόνων του εί-

κής εξάλειψης των παθογόνων παραγόντων' αποτελεί τη κλασσική προσέγγιση για τον έλεγχο των ασθενειών: δηλαδή, η παθογονοκεντρική προσέγγιση. Αυτή όμως μπορεί να μην είναι πάντα η καλύτερη στρατηγική. Εάν, για παράδειγμα, η πιθανότητα επαναμόλυνσης από το τοπικό περιβάλλον είναι πολύ υψηλή, η μόλυνση αρχίζει να επανεγκαθίσταται αμέσως μετά την ολοκλήρωση του ελέγχου. Είναι ξεκάθαρο, ότι η φιλοσοφία εξάλειψης είναι μη εφικτή σε τέτοιες περιπτώσεις.

Υπάρχουν διάφοροι παράγοντες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τη λήψη αποφάσεων σχετικά με τα μέτρα ελέγχου:

- 1) Το κόστος του μέτρου ελέγχου. Μερικά παθογόνα καθιστούν την καλλιέργεια μη οικονομικά βιώσιμη με την παρουσία τους και πρέπει να απομακρύνονται πλήρως από το σύστημα καλλιέργειας (π.χ., εξαιρετικά παθογόνοι οργανισμοί όπως η πανώλη των καραβίδων). Άλλοι μπορεί να είναι αυτό-περιοριζόμενοι και επηρεάζουν (μειώνουν) το ζωικό κεφάλαιο κατά ένα μικρό ποσοστό (π.χ., περίτριχα βλεφαριδοφόρα σε καρκινοειδή). Στη τελευταία αυτή περίπτωση, η διαβίωση με τον παθογόνο οργανισμό είναι οικονομικά πιο αποδοτική από την προσπάθεια εξάλειψής του. Στις περισσότερες περιπτώσεις ωστόσο, δεν υπάρχουν ακριβείς εκτιμήσεις του κόστους των απωλειών που οφείλονται σε έναν παθογόνο παράγοντα. Αντιθέτως, μία γενική και συχνά πολύ ανακριβής 'αίσθηση' για το κόστος που συνδέεται με έναν παθογόνο παράγοντα, είναι η καλύτερη διαθέσιμη εκτίμηση. Ωστόσο, αυτό δεν θα πρέπει να σταματάει τον επιχειρηματία από το να προσπαθεί να αξιολογήσει το κόστος της μεθόδου ελέγχου και τα επερχόμενα οφέλη. Ένα κλασικό παράδειγμα της ανακρίβειας της 'αίσθησης' του αντίκτυπου των παθογόνων, παρατηρείται στη βιομηχανία παραγωγής καραβίδων του γλυκού νερού στην Αυστραλία. Αυτή η βιομηχανία έχει τρεις 'ορφανούς ιούς' (ιοί που δεν προκαλούν εμφανή, σημαντική θνησιμότητα επομένως δεν θεωρούνται σημαντικοί). Αυτοί είναι ο βακιλλόμορφος ιός *Cherax*, ο γιανρντιοός *Cherax* και ο ρεοϊός *Cherax*. Τυπικά, οι καραβίδες με αυτούς τους ιούς αυξάνονται στα 35 σε 7 μήνες, που αποτελεί συνήθη πρακτική. Παρόλα αυτά, όταν αυτοί οι ιοί απομακρυνθούν από τα γονιμοποιημένα
- αβγά κατόπιν επιφανειακής απολύμανσης στο εκκολαπτήριο, το μέσο βάρος των καραβίδων ηλικίας 6 μηνών ήταν 70 g!
- 2) Η πιθανότητα επαναμόλυνσης. Στην ιδανική περίπτωση, δεν θα πρέπει να υπάρχει σχεδόν καμία πιθανότητα να επανακτηθεί ο παθογόνος οργανισμός από το περιβάλλον ή από τα άγρια αποθέματα στην γύρω περιοχή. Εναλλακτικά, η μόλυνση με ένα παθογόνο και η επακόλουθη θεραπεία συχνά θα επιτρέψουν στο ανοσοποιητικό σύστημα των σπονδυλωτών να προετοιμαστεί και συνεπώς να περιοριστούν περαιτέρω λοιμώξεις, π.χ. νόσος λευκής κηλίδας (*Ichthyophthirius multifiliis*) στα ψάρια. Ωστόσο, μερικές φορές, το περιβάλλον είναι υπερκορεσμένο με το παθογόνο από παρακείμενες καλλιέργειες που υποφέρουν από το ίδιο πρόβλημα και εκτός εάν η καλλιέργεια μπορεί να απομονωθεί, η θεραπεία μπορεί να είναι σχεδόν άχρηστη (π.χ., δονακίωση σε εκτροφές γαρίδας στην Νοτιοανατολική Ασία). Στη περίπτωση των θαλάσσιων κλωβών, πληθυσμοί άγριων υδρόβιων ζώων συχνά συγκεντρώνονται έξω από τα κλουβιά όπου μπορούν εύκολα να επαναμολύνουν το ζωικό κεφάλαιο που είναι περιορισμένο στον κλωβό και το οποίο έχει υποστεί θεραπεία. Ως εκ τούτου, είναι απαραίτητη η κατανόηση της πιθανότητας επαναμόλυνσης προκειμένου να αξιολογηθεί σωστά η στρατηγική ελέγχου. Και πάλι αυτές οι πληροφορίες συνήθως λείπουν.
- 3) Μια κατάλληλη δοκιμή για τον παθογόνο οργανισμό. Θα πρέπει να είναι δυνατόν να ταυτοποιηθεί με ακρίβεια ο παθογόνος παράγοντας ώστε να είναι εφικτή η αξιολόγηση της επίδρασης των μέτρων ελέγχου επί του παθογόνου. Αρχικά, αυτό βασίζεται σε μία ακριβή διάγνωση και στη συνέχεια σε ένα πρόγραμμα δειγματοληψιών που θα καθορίσει τα αληθώς θετικά (ευαισθησία της δοκιμής) και τα αληθώς αρνητικά (εξειδίκευση) (Πίνακας 10.2). Το πρόγραμμα δειγματοληψίας δομείται με την παραδοχή μιας συγκεκριμένης επικράτησης, η οποία είναι το μέγιστο επιτρεπτό για αυτόν τον παθογόνο παράγοντα και το επίπεδο εμπιστοσύνης που είναι αποδεκτό από τον καλλιεργητή. Εάν η δοκιμή δεν είναι ευαίσθητη, το μέγεθος του δείγματος ή η συχνότητα δειγματοληψίας πρέπει να αυξηθεί για να αντισταθμιστεί η χαμηλή διακριτική ικανότητα της δοκι-

Πίνακας 10.2 Σχέση μεταξύ μίας διαγνωστικής δοκιμής και της πραγματικής παρουσίας ενός παθογόνου.

Αποτελέσματα δοκιμής	Παρουσία παθογόνου	Απουσία παθογόνου
Θετικό	A	B
Αρνητικό	Γ	Δ
	A+Γ	B+Δ

Ευαισθησία (%) = $A/(A+Γ) \times 100$

Εξειδίκευση (%) = $B/(B+Δ) \times 100$

μής. Αν η δοκιμή δεν είναι ειδική για το παθογόνο, τότε το ζωικό κεφάλαιο θα εκτιμηθεί ως μολυσμένο όταν δεν είναι και το καθεστώς ελέγχου ή θεραπείας μπορεί να μειωθεί ενώ είχε πετύχει στο απαιτούμενο επίπεδο. Οι αριθμοί που απαιτούνται για ακριβή δειγματοληψία σε χαμηλή επικράτηση του παθογόνου είναι μεγάλοι και έτσι λίγες εμπορικές επιχειρήσεις συμμετέχουν πρόθυμα με τους απαιτούμενους αριθμούς δειγμάτων χωρίς χρηματική αποζημίωση ή με υποχρεωτική συμμόρφωση με τη νομοθεσία.

10.4 Τεχνικές Γενικευμένης Διαχείρισης Ασθενειών

Ο σημαντικότερος παράγοντας για την κυκλοφορία και την εισαγωγή παθογόνων στις εκτροφές σε οποιαδήποτε γεωγραφική κλίμακα είναι η μετακίνηση των ζώων. Αυτό περιλαμβάνει:

- Ιδιαίτερως, ζωντανούς γεννήτορες,
- ζωντανές προνυμφικές μορφές για δημιουργία αποθέματος καλλιέργειας,
- ζωντανούς εναλλακτικούς ξενιστές,
- κατεψυγμένα σφάγια για ανθρώπινη κατανάλωση,
- τροφές υδατοκαλλιέργειας,
- δόλωμα

Η πλειονότητα των νέων εισαγωγών παθογόνων σε μη μολυσμένα συστήματα οφείλεται στην ανεξέλεγκτη μετακίνηση μολυσμένων ζώων. Μερικές φορές αυτό είναι αναπόφευκτο, καθώς η υδατοκαλλιέργεια δεν μπορεί να υπάρξει χωρίς γεννήτορες ή ζωντανά νεαρά άτομα για την δημιουργία του ζωικού αποθέματος. Ωστόσο, η βιοασφάλεια των γεννητόρων, ο νούμερο ένα μολυντής, έχει συχνά παραμεληθεί και πρέπει να είναι το πρώτο σημείο που εξετάζεται. Έτσι, στην Ευρώπη είναι

υποχρεωτικό να ελέγχονται οι γεννήτορες για ένα ευρύ φάσμα ασθενειών που πρέπει υποχρεωτικά να δηλώνονται (βακτηριακές και ιογενείς) πριν επιτραπεί η μεταφορά.

Εάν δεν είναι διαθέσιμοι γεννήτορες ελεύθεροι παθογόνων, τότε ποια παθογόνα φέρουν οι γεννήτορες που χρησιμοποιούνται; Για παράδειγμα, στη θαλάσσια ιχθυοκαλλιέργεια και στην υδατοκαλλιέργεια γαρίδας, η ιογενής εγκεφαλοπάθεια και αμφιβληστροειδοπάθεια και ο ιός του συνδρόμου της λευκής κηλίδας, αντίστοιχα, εξαπλώνονται κάθετα από τους γεννήτορες στις νύμφες και στη συνέχεια, διανέμονται μέσω των μολυσμένων μετανυμφών και των νεαρών ατόμων στις διάφορες καλλιέργειες.

Ενώ είναι αδύνατον να υπάρξουν στρατηγικές που θα λειτουργήσουν για όλα τα παθογόνα, υπάρχει μια σειρά διαδικασιών που μπορούν να συμβάλλουν στον περιορισμό της διασποράς των παθογόνων μέσα στα συστήματα εκτροφής.

10.4.1 Ασυνεχής Καλλιέργεια

Η ασυνεχής καλλιέργεια ή καλλιέργεια δέσμης ή εκτροφή κατά παρτίδες - κύκλους (batch culture) λειτουργεί με βάση την αρχή 'όλα μέσα, όλα έξω'. Η συνεχής καλλιέργεια τελικά πάσχει από τις αρχικές δέσμες (παρτίδες) να δρουν ως 'εργοστάσια' παθογόνων που μολύνουν το περιβάλλον σε επίπεδα όπου οι μετέπειτα δέσμες (παρτίδες) δεν μπορούν να καλλιεργηθούν (π.χ. ιογενής εγκεφαλοπάθεια και αμφιβληστροειδοπάθεια). Επιπλέον, τα νεαρά άτομα είναι συχνά ευαίσθητα σε επίπεδα κάποιου παθογόνου που επηρεάζουν, μόνο ήπια, τα μεγαλύτερης ηλικίας άτομα. Αυτό οφείλεται σε μια ανεπαρκή ανοσοαπόκριση στα νεαρά άτομα τα οποία, έχοντας λιγότερα κύτταρα στο όργανο-στόχο του παθογόνου, είναι περισσότε-

ρο ευάλωτα όταν τα κύτταρα αυτά χάνουν την λειτουργία τους εξαιτίας του. Η αποξήρανση και αποστείρωση του συστήματος καλλιέργειας και των συναφών αντικειμένων μεταξύ των δεσμών (παρτίδων) σταματά την ενίσχυση του αριθμού των παθογόνων για τις επόμενες δέσμες (παρτίδες). Αυτό εφαρμόζεται ευρέως στα εκκολαπτήρια, αλλά συχνά δεν χρησιμοποιείται στα συστήματα πάχυνσης, όπου άτομα από διάφορες ωτοκίες και διαφορετικές ηλικίες μπορεί να αναμειχθούν για να δημιουργηθεί απόθεμα εκτροφής στη βέλτιστη πυκνότητα. Εντούτοις, η καλλιέργεια κατά δέσμες κατά την διάρκεια της πάχυνσης (πρακτική μονοετών τάξεων) και οι τεχνικές για τη μείωση των παθογόνων μεταξύ των δεσμών, όπως η αποξήρανση των λιμνοδεξαμενών και αφήνοντας σε αδράνεια τις εκτάσεις των λιμνοδεξαμενών ή των θαλάσσιων κλωβών, χρησιμοποιούνται από τις βιομηχανίες παραγωγής θαλάσσιων γαρίδων και σολομού σε θαλάσσιους ιχθυοκλωβούς (βλέπε Κεφάλαιο 22 και 17, αντίστοιχα).

10.4.2 Επεξεργασία Εισερχόμενου Νερού

Η επεξεργασία του εισερχόμενου νερού είναι απαραίτητη στα συστήματα εκτροφής με επανακυκλοφορία του νερού και πιο χρήσιμη στα εκκολαπτήρια από ότι στην πάχυνση, λόγω του μεγάλου όγκου νερού που χρησιμοποιείται στην τελευταία. Η επεξεργασία του νερού περιλαμβάνει χημική αποστείρωση (χλώριο, ιωδοφόρα, όζον) και φυσική αποστείρωση (υπεριώδης ακτινοβολία, UV) (βλέπε Κεφάλαιο 4). Όλα ενισχύονται σε μεγάλο βαθμό από την συμπερίληψη υδατοσυλλογών ή δεξαμενών καθίζησης πριν από την επεξεργασία. Το σωματιδιακό υλικό στο νερό που παράγει υψηλή θολερότητα, προσφέρει υπόστρωμα, διατροφή και προστασία στους παθογόνους παράγοντες, ιδιαίτερα στα βακτήρια, τα οποία προτιμούν να προσκολλώνται σε υποστρώματα. Έχει αποδειχθεί ότι αυτή η καθίζηση για εννέα ημέρες προκαλεί την εξάλειψη των βακτηρίων *Vibrio* και την αντικατάστασή τους από ολιγοτροφικά, λιγότερο παθογόνα, είδη (ενότητα 11.3.6).

Τα σώματα κάθε γενιάς βακτηρίων χρησιμοποιούνται ως θρεπτικά συστατικά για μια προοδευτικά μικρότερη βιομάζα βακτηρίων, έτσι ώστε οι αριθμοί και η βιομάζα να μειώνονται συνέχεια. Αυ-

τό το φαινόμενο ονομάζεται 'αυτοθεραπεία'. Οι δεξαμενές καθίζησης μειώνουν το σωματιδιακό φορτίο του εισερχόμενου νερού. Η αποστείρωση είναι πιο αποτελεσματική έναντι των υποχρεωτικών παθογόνων που δεν μπορούν να χρησιμοποιήσουν έναν εναλλακτικό βιολογικό κύκλο για να αυξήσουν τον αριθμό τους (π.χ. ιοί, ρικέτσιες, χλαμύδια, σπορόζωα). Ωστόσο, τα αερολύματα που προέρχονται από τον έντονο αερισμό είναι πολύ συχνά στα εκκολαπτήρια. Αυτά επιτρέπουν στους δυνητικά παθογόνους παράγοντες να παρακάμψουν τις διαδικασίες αποστείρωσης, να φτάσουν σε ένα κατώφλι αριθμών και, στη συνέχεια, να προκαλέσουν προβλήματα. Για παράδειγμα, βακτηρίδια στα εκκολαπτήρια γαρίδας έχει αποδειχθεί ότι ταξιθεύουν 8 m ως αερολύματα για να μολύνουν άλλες δεξαμενές.

Το χλώριο είναι πολύ επικίνδυνο να χρησιμοποιηθεί ως χημικός παράγοντας αποστείρωσης σε οργανικά ρυπασμένα ύδατα εξαιτίας του σχηματισμού χλωραμινών. Αυτές είναι εξαιρετικά δραστικές, έχουν μεγάλο χρόνο ημιζωής και δεν εξουδετερώνονται από χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται για την απομάκρυνση του ελεύθερου χλωρίου. Πολλοί καλλιεργητές ενώ είχαν εξουδετερώσει το ελεύθερο χλώριο, στη συνέχεια παρακολούθησαν με τρόπο τα νερά τους να ετοιμάζονται να πεθάνουν από τοξικότητα χλωραμίνης όταν χρησιμοποιήθηκε το νερό.

Το όζον είναι μια ιδιαίτερα χρήσιμη χημική ουσία αποστείρωσης, ειδικά για το ανακυκλούμενο νερό, όπου η εφαρμογή του μπορεί να συνδεθεί με συσκευές μέτρησης αναγωγής-οξειδωσης (οξειδοαναγωγή). Όταν το δυναμικό αναγωγής είναι υψηλό, τα αναερόβια βακτήρια παράγουν εύκολα ηλεκτρόνια από ουσίες δότες ηλεκτρονίων και οι δέκτες ηλεκτρονίων είναι σχετικά σπάνιοι. Αυτά τα ηλεκτρόνια είναι πολύ δραστικά και μπορούν να προκαλέσουν κυτταρικές βλάβες ως μέσο σταθεροποίησης. Σε υψηλό δυναμικό οξειδωσης, οι δέκτες ηλεκτρονίων είναι άφθονοι και η βλάβη από τα ελεύθερα ηλεκτρόνια είναι χαμηλή. Για τους υδατοκαλλιεργητές προτιμώνται οι οξειδωτικές συνθήκες και το όζον παράγει τέτοιες συνθήκες. Το όζον είναι επίσης ασφαλές δεδομένου ότι αυτό και τα παράγωγά του έχουν πολύ μικρό χρόνο ημιζωής και το τελικό προϊόν, το οξυγόνο, είναι πολύ χρήσιμο.

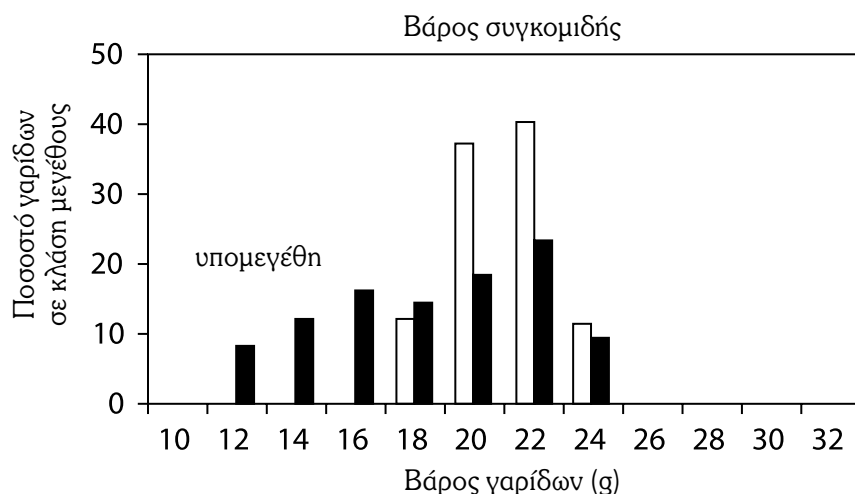
10.4.3 Χαμηλότερη Πυκνότητα Εκτροφής

Με την μείωση της πυκνότητας εκτροφής, η μέση απόσταση μεταξύ των ψαριών αυξάνεται και η πιθανότητα ενός παθογόνου να φτάσει στον επόμενο ξενιστή μειώνεται εκθετικά. Θεωρητικά, οι επιδημίες ασθενειών θα τεθούν υπό εξαφάνιση, εκτός εάν υπάρχει ένας ελάχιστος αριθμός ξενιστών σε μια δεδομένη περιοχή. Απλούστερα, κάθε μολυσμένος ξενιστής πρέπει να μολύνει τουλάχιστον δύο άλλους ξενιστές καθώς υποκύπτει στην ασθένεια, αλλιώς η επιδημία δεν θα εξελιχθεί. Επιπλέον, η μείωση της πυκνότητας εκτροφής θα μειώσει, επίσης, το επίπεδο της καταπόνησης που επάγεται από την αλληλεπίδραση μεταξύ των ατόμων και τον ανταγωνισμό για χώρο και τροφή.

10.4.4 Αποθεματοποίηση Μοναδιαίας Ωοτοκίας

Η διαφοροποιημένη ανάπτυξη είναι ένας καλός δείκτης της κακής υγείας σε έναν εκτρεφόμενο πληθυσμό. Τα μικρόσωμα ζώα είναι πολύ χρήσιμα για την ανίχνευση ασθενειών, καθώς είτε παρεμποδίζεται η ανάπτυξή τους από παθογόνα, είτε βιώνουν συμπεριφορική και διατροφική καταπόνηση με το να βρίσκονται στο κατώτερο επίπεδο της ιεραρχίας (Εικόνα 10.3). Τέτοια καταπονημένα

ζώα θα εκδηλώσουν επίσης παθογόνους παράγοντες. Εάν χρησιμοποιείται πληθυσμός από μικτές ωοτοκίες για την δημιουργία αποθέματος σε ένα σύστημα καλλιέργειας, η διαφοροποιημένη ανάπτυξη λόγω ηλικίας, γενετικών διαφορών ή λόγω διακυμάνσεων στις συνθήκες εκκόλαψης, θα αποκρύψουν την προκαλούμενη από παθογόνα διαφορά στην αύξηση. Έτσι, η δημιουργία αποθέματος από μια μόνο ωοτοκία είναι ιδιαίτερα ωφέλιμη για έναν υδροπαθολόγο. Αυτή η τεχνική δεν είναι πολύ χρήσιμη σε πολλά είδη οστεϊχθύων όπου η διαιαγωγή βάση μεγέθους αποτελεί διαδικασία ρουτίνας του συστήματος εκτροφής (π.χ. χέλια, σολομός και πέστροφα), αλλά λειτουργεί καλά για ασπόνδυλα (π.χ., καραβίδες γλυκού νερού). Αυτή η τεχνική επισημαίνει επίσης το πρόβλημα μιας πολύ συνηθισμένης πρακτικής μεταξύ των ιχθυοκαλλιεργητών. Κατά τη συγκομιδή, οι περισσότεροι ιχθυοκαλλιεργητές θα τοποθετήσουν τα υπομεγέθη άτομα (που είναι πολύ μικρά για τα πρότυπα της αγοράς) σε μια υδατοσυλλογή για να τους επιτραπεί να αυξήσουν το μέγεθός τους στα πρότυπα της αγοράς. Αυτό αγνοεί τους πιο πιθανούς λόγους για την αποτυχία τους να φτάσουν σε εμπορικό μέγεθος: η ανάπτυξή τους έχει υπονομευθεί γιατί είναι φορείς κάποιας ασθένειας. Ως εκ τούτου, στην πραγματικότητα, ο εκτροφέας διατηρεί μια δεξαμενή ασθενών ατόμων στην εκτροφή του για να μολύνει την επόμενη παραγωγή.



Εικόνα 10.3 Μία τυπική αναλογία των υπομεγεθών ατόμων σε ένα πληθυσμό γαρίδας που φέρει μια σειρά ασθενειών. Παρατηρήστε την κατανομή των μεγεθών των μολυσμένων γαρίδων (■) σε περισσότερες κλάσεις μεγέθους, σε σύγκριση με τις μη μολυσμένες γαρίδες (□).

10.4.5 Γεννήτορες Απαλλαγμένοι από Ειδικά Παθογόνα

Τα περισσότερα παθογόνα είναι πιο λοιμογόνα στα νεαρότερα αναπτυξιακά στάδια ενός ξενιστή. Παράγοντας απογόνους από γεννήτορες απαλλαγμένους από συγκεκριμένα παθογόνα, οι απόγονοι αυτοί έχουν μια καλή πιθανότητα να φτάσουν σε ένα μη-ευαίσθητο μέγεθος πριν μολυνθούν και έτσι μια εκτροφή μπορεί να γίνει ακόμη και σε μια περιοχή όπου οι ασθένειες επηρεάζουν τακτικά τα ζώα. Αυτό μπορεί επίσης να λειτουργήσει εάν όλα τα στάδια της ζωής είναι εξίσου ευαίσθητα, αλλά με μια καθυστερημένη μόλυνση του ξενιστή, το απόθεμα μπορεί να εκτραφεί μέχρι τη συγκομιδή πριν η ασθένεια να έχει την ευκαιρία να εγκατασταθεί. Αυτή είναι η προσέγγιση που υιοθετήθηκε για τον ιό της Μολυσματικής Υποδερμικής και Αιμοποιητικής νέκρωσης σε καλλιέργειες θαλάσσιας γαρίδας (*Litopenaeus vannamei*).

Η χρήση των λέξεων 'απαλλαγμένοι από ειδικά παθογόνα' (SPF, Specific Pathogen-Free) είναι πολύ παρεξηγημένη από τους εκτροφείς και τους επιστήμονες, οι οποίοι, στο μυαλό τους, ακούν τις λέξεις 'απαλλαγμένοι από όλες τις ασθένειες'. Ο όρος SPF θα πρέπει να ακολουθείται από τα παθογόνα για τα οποία έχει δοκιμαστεί ο ξενιστής και βρέθηκε ότι είναι απαλλαγμένος, ως μέρος του ορισμού, ώστε να αποκλείονται παρερμηνείες.

10.4.6 Μείωση της Καταπόνησης

Η καταπόνηση (στρες) χρησιμοποιείται συχνά ως δικαιολογία για προβλήματα όταν δεν υπάρχει άλλη λογική εξήγηση. Παρά την ασαφή χρήση της έννοιας της καταπόνησης, η τελευταία έχει πραγματική φυσιολογική βάση και συνέπειες (Pickering, 1981). Οι δυσμενείς συνθήκες οδηγούν σε μια προσαρμοστική απόκριση και έτσι επιτυγχάνεται ένα νέο επίπεδο ομοιοστασίας. Εάν αυτό δεν επιτευχθεί, ακολουθεί εξάντληση μαζί με υπερβολική παραγωγή ορμονών που σχετίζονται με την καταπόνηση (συμπεριλαμβανομένων, στα ψάρια, των κορτικοστεροειδών κορτιζόλης, κορτιζόνης, κορτικοστερόνης, 11-δεσοξυκορτιζόλης και αδρενοκορτικοτρόπων ορμονών).

Υψηλά επίπεδα κορτικοστεροειδών στο πλάσμα:

- επάγουν τη λεμφοπενία,
- μειώνουν την φαγοκυττάρωση,
- μειώνουν την πρόσβαση των λεμφοκυττάρων σε φλεγμονώδεις θέσεις,
- εξαντλούν τα αποθέματα βιταμίνης C και επακόλουθως επηρεάζουν την επιδιόρθωση των τραυμάτων,
- αυξάνουν τον καταβολισμό των πρωτεϊνών (γλυκονογένεση) οδηγώντας σε απώλεια μυϊκού ιστού, χαμηλή σύνθεση αντισωμάτων και κολαγόνου, η οποία περιορίζει και πάλι την επιδιόρθωση των τραυμάτων.

Τα επίπεδα των ορμονών καταπόνησης δεν συσχετίζονται καλά με τα επίπεδα καταπόνησης καθώς μερικά ψάρια περνούν μέσα από τα υψηλά επίπεδα έκκρισης σε μια νέα κατάσταση υψηλής καταπόνησης χωρίς έκκριση των ορμονών. Οι δύο πιο πρακτικοί τρόποι περιορισμού της καταπόνησης είναι ο διπλασιασμός του αερισμού, ελαχιστοποιώντας έτσι οποιαδήποτε καταπόνηση λόγω οξυγόνου που μπορεί να συμβεί, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια θερμών καλοκαιριών, και η μείωση της πυκνότητας εκτροφής, όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Σε υδατοσυλλογές με θαλάσσιες γαρίδες, έχει βρεθεί ότι η διατήρηση του διαλυμένου οξυγόνου το πρωί σε επίπεδα (DO) > 4,5 ppm είναι ο μοναδικός μεγαλύτερος παράγοντας που είναι σε θέση να περιορίσει τη θνησιμότητα που προκαλείται από ιούς και να διατηρήσει την επιβίωση στο 85%.

10.4.7 Εμβολιασμός

Ο εμβολιασμός βασικά λειτουργεί με την προϋπόθεση ότι υπάρχει ανοσολογική μνήμη και ότι η προηγούμενη έκθεση σε ένα παθογόνο θα επιτρέψει μια ισχυρότερη και ταχύτερη ανοσολογική απόκριση. Αυτή η τεχνολογία εξετάζεται λεπτομερώς στο Κεφάλαιο 12.

10.5 Κύριες Ασθένειες

Το κείμενο που ακολουθεί κάνει μια ευρεία ανασκόπηση των κοινά απαντώμενων προβλημάτων από ασθένειες που εμφανίζονται στις μεγάλες βιομηχανίες υδατοκαλλιέργειας. Η ποικιλία των μο-

λυσματικών βιολογικών παραγόντων στην υδατοκαλλιέργεια εξετάζεται λεπτομερώς στο Κεφάλαιο 11.

10.5.1 Μαλάκια

10.5.1.1 Δίθυρα

Σε παγκόσμιο επίπεδο, τα πρωτόζωα παράσιτα αποτελούν τη σημαντικότερη αιτία απωλειών για τη βιομηχανία παραγωγής διθύρων. Αυτή η επικράτηση των πρωτόζωων παρασίτων αντικατοπτρίζεται σε έναν οδηγό για τις ασθένειες για τους καλλιεργητές μαλακίων (Elston, 1990). Από τις 11 'Αξιοσημείωτες Ασθένειες των Στρείδιών' που περιγράφονται σε αυτόν τον οδηγό, επτά προκαλούνται από πρωτόζωα:

- *Perkinsus marina*
- *Haplosporidium nelson*
- *Haplosporidium costalis*
- *Bonamia mackini*
- *Bonamia ostrea*
- *Marteilia refringens*
- *Hexamita nelson*

Παρόλο που αυτός ο οδηγός ασθενειών βασίζεται κυρίως στις εμπειρίες των βιομηχανιών παραγωγής διθύρων της Β. Αμερικής και της Ευρώπης, παρόμοιες ασθένειες επηρεάζουν τις βιομηχανίες διθύρων σε όλο τον κόσμο.

Για παράδειγμα, το απλοσπορίδιο παράσιτο *Marteilia sydneyi* προκαλεί την ασθένεια QX στα στρείδια του είδους *Saccostrea glomerata* στην Αυστραλία. Μια ξαφνική είσοδος γλυκού νερού από τα ποτάμια συνήθως προκαλεί την εκδήλωση των ασθενειών (επιζωοτία) με θανάτους σε περίπου έξι εβδομάδες. Προσβάλλεται ο πεπτικός αδένας, πρώτα στον ιστό του *Leidig* και αργότερα στο επιθήλιο. Ο αδένας γίνεται ωχρός κίτρινος και υδαρής και η φυσιολογική κατάσταση των γονάδων μπορεί να μειωθεί σημαντικά. Δεν υπάρχει γνωστός τρόπος ελέγχου, αλλά οι εκτροφείς προσπαθούν να μην έχουν στρείδια στις μισθωμένες τοποθεσίες τους κατά τους υγρούς καλοκαιρινούς μήνες. Ένας ενδιάμεσος ξενιστής φαίνεται να είναι ένας πολύχαιτος που τρέφεται από τους ιστούς νεκρών και ετοιμοθάνατων στρειδιών, αν και δεν μπορούν να αποκλειστούν και άλλοι

ενδιάμεσοι ξενιστές. Το απλοσπορίδιο *Marteilia refringens* προκαλεί παρόμοια προβλήματα στο στρείδι *Ostrea edulis* στη Γαλλία και στην Ισπανία, με την λοίμωξη να εμφανίζεται πρώτα το καλοκαίρι και οι περισσότεροι θάνατοι τον χειμώνα. Έχει εμπλακεί τουλάχιστον ένας ενδιάμεσος ξενιστής, το κωπήποδο *Paracartia grani*. Καθώς το παράσιτο μπορεί να μεταδοθεί από τα στρείδια στο *P. grani*, αλλά όχι αντίστροφα, είναι πιθανό να υπάρχουν και άλλοι ξενιστές και τουλάχιστον πέντε είδη κωπήποδων έχει αναφερθεί ότι παρασιτούνται από τον *M. refringens*.

Η ομάδα των ενδοκυτταρικών παρασίτων του γένους *Bonamia* προκαλεί προβλήματα παγκοσμίως μολύνοντας τόσο τα στρείδια του Ειρηνικού όσο και τα κοινά στρείδια (ενότητα 11.5.2). Χαρακτηρίζονται από την πρόκληση θνησιμότητας σε στρείδια ηλικίας 3 ετών και άνω όταν τα στρείδια εισέρχονται στο θηλυκό στάδιο του κύκλου ζωής τους. Το *Bonamia roughleyi* προκαλεί χειμερινή θνησιμότητα στα στρείδια του είδους *Saccostrea glomerata* και απαιτεί υψηλή αλατότητα (30-35 ‰). Εμφανίζονται μικρές κίτρινες έως καφετιές φλύκταινες στα βράγχια, τα όργανα κατεύθυνσης τροφής προς το στόμα και τον μανδύα. Το *Bonamia mackini* απαντάται στη Β. Αμερική και προκαλεί παρόμοια προβλήματα στο στρείδι του Ειρηνικού (*Crassostrea gigas*).

Το *Bonamia ostreae* αποτελεί μείζον πρόβλημα στα καλλιεργούμενα κοινά στρείδια (*Ostrea edulis*) της Δυτικής Ευρώπης. Φαίνεται ότι αρχικά μεταφέρθηκε στη Γαλλία μέσω αποστολών στρειδιών από τις δυτικές ΗΠΑ, παρόμοια με τη διαδρομή του ιριδοϊού, της ιογενούς νόσου του βέλους των στρειδιών (OVVD, Oyster Velum Viral Disease). Το *Bonamia exitiosa* προκάλεσε επίσης τοπικά προβλήματα στα στρείδια της Νέας Ζηλανδίας του είδους *Ostrea chilensis*, όπου κατέστρεψε πάνω από το 80% της βιομηχανίας σε περίοδο έξι ετών. Στην Αυστραλία το 1991, η βιομηχανία κοινών στρειδιών της Βικτώρια απώλεσε επίσης το 90% της παραγωγής της από το παράσιτο *Bonamia*. Στις αρχές του αιώνα, μεταφέρθηκαν με βάρκες ζωντανά στρείδια του είδους *Ostrea chilensis* από τη Νέα Ζηλανδία στο Χόμπαρτ και έπειτα στη Μελβούρνη της Αυστραλίας, επειδή η τοπική αλιεία είχε καταρρεύσει. Εικάζεται ότι αυτή η μετατόπιση διέδωσε το *Bonamia* από τη Νέα Ζηλανδία στην Α-

στραλία, αλλά το ερώτημα του τι προκάλεσε πρώτο την κατάρρευση αυτών των βιομηχανιών παραγωγής στρειδιών παραμένει ασαφές. Η εμφάνιση του *Bonamia* στη Δυτική Αυστραλία υποδηλώνει ότι το παράσιτο είναι εγγενές (αυτόχθονο) στην Αυστραλία.

Το *Bonamia* πρώτα μολύνει τους ιστούς κάτω από το έντερο και αργότερα εισβάλλει στα αιμοκύτταρα που εμπλέκονται στην απορρόφηση του μη χρησιμοποιημένου υλικού των γονάδων, ιδιαίτερα των ωοθηκών. Η ασθένεια από το *Bonamia* είναι μια ασθένεια που εξαρτάται από την πυκνότητα του αποθέματος. Μειώνοντας την πυκνότητα εκτροφής και εκτρέφοντας τα στρείδια σε ανάρτηση στην στήλη του νερού με σκοπό την απομάκρυνσή τους από το βυθό μπορούν να επιτρέψουν την παραγωγή στρειδιών εμπορεύσιμου μεγέθους σε περιοχές όπου το *Bonamia* είναι ενδημικό.

Δεν είναι μόνο τα πρωτόζωα που προκαλούν ασθένεια στα μαλάκια, αλλά εμπλέκονται επίσης ιοί και βακτήρια.

Ένας ερπητοϊός (διαμέτρου 131 nm) έχει συσχετιστεί με θνησιμότητα προνυμφών στα στρείδια του Ειρηνικού στη βόρεια Νέα Ζηλανδία. Η λήψη τροφής σταμάτησε μεταξύ των ημερών 3 και 4 και εμφανίστηκε θνησιμότητα από 60 έως 100% στις ημέρες 7-11. Τα κύτταρα που μολύνθηκαν ήταν ινοβλάστες και υποτιθέμενοι πρόδρομοι φαγοκυττάρων, τα οποία παρουσίαζαν διογκωμένους, περιθωριοποιημένους πυρήνες τόσο με ενδοπυρηνικά όσο και με κυτταροπλασματικά έγκλειστα. Ερπητοϊοί έχουν αναφερθεί από στρείδια στις βορειοανατολικές ΗΠΑ, τη βόρεια Ουαλία και τη βόρεια Γαλλία, με τον ερπητοϊό των στρειδιών *Ostreid herpesvirus 1* (OsHV-1) να είναι μια από τις πιο διαδεδομένες και καταστροφικές ασθένειες των στρειδιών στην Ευρώπη. Οι προδιαθέτουσες συνθήκες για όλες τις ασθένειες που σχετίζονται με τον ερπητοϊό συμπεριλάμβαναν αυξημένες θερμοκρασίες και συνωστισμό.

Οι ιριδοϊκές μολύνσεις προκαλούν ασθένεια του βέλους της προνύμφης στα στρείδια του Ειρηνικού στις δυτικές ΗΠΑ (OVVD) και νεκρώσεις βραγχίων και αιμοκυτταρικές ασθένειες σε ενήλικα στρείδια του είδους *Crassostrea angulata* και, πρόσφατα, σε στρείδια του Ειρηνικού στη Γαλλία. Έχουν υπάρξει εικασίες ότι ο ίδιος ιριδοϊός είναι υπεύθυνος για όλες τις ασθένειες και ότι εισή-

χθη στη Γαλλία από τις ΗΠΑ με στρείδια του Ειρηνικού.

Οι βακτηριακές μολύνσεις έχουν προκαλέσει από καιρό σε καιρό θνησιμότητα σε εκκολαπτήρια στρειδιών της Τασμανίας. Είχαν εμπλακεί είδη των γενών *Vibrio* (13 στελέχη), *Alteromonas* (10 στελέχη), *Pseudomonas* (8 στελέχη) και *Flavobacterium* (3 στελέχη). Πέντε από τα στελέχη *Vibrio* και δύο από τα στελέχη *Alteromonas* προκάλεσαν θνησιμότητα στη δόση των 10^7 και 10^5 βακτήρια/mL, αντίστοιχα, με τις χαμηλότερες δόσεις να διαρκούν περισσότερο για την εκδήλωσή της. Όλα τα στελέχη ήταν θανατηφόρα στη δόση των 10^8 βακτήρια/mL. Η λοιμογόνος δύναμη των βακτηρίων για τα στρείδια έχει συσχετισθεί έντονα με μια θερμοανθεκτική τοξίνη χαμηλού μοριακού βάρους (500-1000 kDa). Η τοξίνη σταματά την κίνηση των βλεφαρίδων (βλεφαριδόσταση), η οποία με τη σειρά της μειώνει τη λήψη τροφής και την κολύμβηση των προνυμφών και εμποδίζει τη λειτουργία καθαρισμού των βραγχίων στα μεγαλύτερα στρείδια.

Ορισμένες ασθένειες επηρεάζουν το όστρακο των στρειδιών και όχι τους μαλακούς ιστούς. Το όστρακο μπορεί δομικά να αποδυναμωθεί πολύ σε ακραίες περιπτώσεις, εκθέτοντας έτσι το στρείδι σε θηρευτές. Σε μικρότερες μολύνσεις υπάρχει δυσπλασία του οστράκου, καθιστώντας το στρείδι λιγότερο ευπαρουσίαστο ή με εμπορικά αποδεκτό, το οποίο είναι το ίδιο με το να το σκοτώνει από την άποψη της βιομηχανίας.

Υπάρχει μια ασθένεια του οστράκου που προκαλείται από ένα μύκητα που αναπτύσσεται ως νημάτια μέσω του οστράκου, εξασθενίζοντάς το και προκαλώντας σκούρα ανυψωμένα 'κονδυλώματα' στην εσωτερική επιφάνεια του οστράκου. Εμφανίζεται στο κοινό Ευρωπαϊκό στρείδι (*Ostrea edulis*), στο οποίο έχει προκαλέσει υψηλές θνησιμότητες σε ορισμένες περιοχές. Ομοίως, διατροφικοί σπόγγοι, όπως είδη του γένους *Cliona* που διανοίγουν πόρους πάνω σε ασβεστολιθικά υλικά, επηρεάζουν τα όστρακα ορισμένων δίθυρων, συμπεριλαμβανομένων των αχιβάδων και των μαργαριτοφόρων στρειδιών, με πολύ επιβλαβείς επιδράσεις στην εμπορευσιμότητα. Ωστόσο, τα είδη του γένους *Cliona* δεν φαίνεται να αποτελούν πρόβλημα για τα επιτραπέζια στρείδια.

Διατροφικοί πολύχαιτοι σκώληκες (είδη του

γένους *Polydora*) εισβάλλουν στα όστρακα των στρειδιών, σε μερικά άλλα βενθικά δίθυρα (π.χ., χτένια) και ακόμη και στις αλιώτιδες (abalone). Έχουν ευρεία γεωγραφική εξάπλωση, συμπεριλαμβανομένης της Νορβηγίας, της Γαλλίας και της Αυστραλίας. Τα είδη του γένους *Polydora* είναι υπεύθυνα για τη χρήση της διαπαλιρροιακής καλλιέργειας σε πασσάλους των στρειδιών του είδους *Saccostrea glomerata* στη Βόρεια και Νέα Νότια Ουαλία. Αυτά τα 'σκουλήκια της λάσπης' διεισδύουν στο όστρακο, προκαλώντας φλύκταινες στην εσωτερική επιφάνεια. Καλλιεργώντας στρείδια στην διαπαλιρροιακή ζώνη, τα πασσαλωτά με τα στρείδια στεγνώνουν κατά τη διάρκεια της άμπωτης με αποτέλεσμα να θανατώνονται οι νεοπροσκολλημένες προνύμφες των πολύχαιτων. Τα είδη του γένους *Polydora* επηρεάζουν επίσης τις καλλιέργειες των αλιωτιδων (abalone) και των βενθικών μυδιών, ωστόσο, τα μύδια που εκτρέφονται με το σύστημα των σχεδίων που επιπλέουν είναι σχεδόν απαλλαγμένα από τη μόλυνση.

10.5.1.2 Άλλα Μαλάκια

Υπάρχει μια μεγάλη οικογένεια εξωπαρασιτικών γαστερόποδων, η Pyramidellidae και κάποια παρασιτούν τα στρείδια και άλλα δίθυρα. Τα είδη της οικογένειας Pyramidellidae είναι μικρά γαστερόποδα τα οποία απομυζούν το αίμα ή άλλα υγρά ιστών του ξενιστή, χρησιμοποιώντας μια μακριά διεισδυτική προβοσκίδα. Ο ξενιστής έχει λιγότερη ενέργεια για ανάπτυξη σε ήπιες λοιμώξεις. Σε βαριές μολύνσεις, ο ξενιστής μπορεί να πεθάνει από απώλεια ιστών και υγρών. Το είδος *Boonea impressa*, είναι ένα σημαντικό παράσιτο του Αμερικό-Αμερικού στρειδιού.

Έχουν παρατηρηθεί επιζωοτίες σε βιομηχανίες εκτροφόμενων στρειδιών για τη παραγωγή μαργαριταριών. Υπήρξαν σημαντικές μακροχρόνιες θνησιμότητες στα μαργαριτοφόρα στρείδια *Pinctada margaritifera* στη Γαλλική Πολυνησία στα τέλη της δεκαετίας του 1980, αλλά δεν αναγνωρίστηκε κανένας αιτιολογικός παράγοντας. Στη βιομηχανία των μαργαριτοφόρων στρειδιών *P. maxima* στην Αυστραλία, ένα βακτήριο, το *Vibrio harveyi*, απομονώθηκε από την αιμολémie ετοιμοθάνατων στρειδιών. Οι χαμηλές θερμοκρασίες του νερού (19 °C) φαίνεται να έδρασαν προδι-



Εικόνα 10.4 Το παράσιτο *Turbonilla* sp. της οικογένειας Pyramidellidae πάνω σε μια νεαρή γιγάντια αχιβάδα *Tridacna gigas* κατά τη διάρκεια εκτροφής νεανικών σταδίων στον ωκεανό. Παρατηρήστε την μακριά λευκή προβοσκίδα του παρασιτικού γαστερόποδου που χρησιμοποιείται για να τρυπήσει και να απομυζήσει υγρό από το άκρο του μανδύα της αχιβάδας. Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από τον John Lucas.

αθετικά στη μόλυνση των στρειδιών και η μεταφορά τους με συνωστισμό και με πολύ μικρή κυκλοφορία του νερού, επέτρεψε στα βακτήρια να εγκατασταθούν. Πιο πρόσφατα, η ταχεία θνησιμότητα του γόνου των διθύρων (spat) λόγω μιας άγνωστης ασθένειας, πιθανά ιογενούς αιτιολογίας, έχει προκαλέσει σοβαρές ανησυχίες στην βιομηχανία μαργαριτοφόρων στρειδιών στην Αυστραλία. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η συσχέτιση του *V. harveyi* με θνησιμότητες γόνου χτενιών στην εύκρατη, κεντρική Νέα Νότια Ουαλία.

Ένα παρασιτικό πρωτόζωο, είδος του γένους *Perkinsus*, έχει συσχετιστεί με θανάτους μαργαριτοφόρων στρειδιών και αλιωτιδων (ενότητα 11.5.3). Όταν οι θερμοκρασίες του νερού είναι αυξημένες, το κυτταρικό ανοσοποιητικό σύστημα της αλιωτιδας δεν μπορεί να εγκολπώσει

και να καταστρέψει τα *Perkinsus*. Η θεραπεία συνίσταται στη μείωση της θερμοκρασίας του νερού κατά 8 °C στη δεξαμενή των στρειδιών. Αυτό θα σταματήσει ακόμη και μία εξελισσόμενη επιδημία της νόσου σε δύο ημέρες. Ένα σχετικό είδος, το *Perkinsus marinus*, έχει προκαλέσει θανάτους του επιτραπέζιου στρειδιού στις νοτιοανατολικές ΗΠΑ κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού. Σημαντικότερα, ένας ερπητοϊός που προκαλεί γαγγλιονευρίτιδα είναι επίσης ένα μείζον πρόβλημα στην αλιεία αλιώτιδας στην Ταϊβάν (*Haliotis diversicolor supertexta*) και στην πολιτεία της Βικτώριας (*Haliotis laevigata* και *H. rubra*) στη νότια ακτή της Αυστραλίας. Ο ιός μπορεί να προκαλέσει θνησιμότητα πάνω από 90% εντός δύο εβδομάδων και προκαλεί μεγάλη ανησυχία για τα άγρια αποθέματα και την αλιεία, όπως και την υδατοκαλλιέργεια. Οι κύριες ασθένειες της αλιώτιδας καλύπτονται λεπτομερώς στην ενότητα 25.7.

Υπάρχουν αρκετές οικογένειες δεκάποδων καρκινοειδών τα οποία περιλαμβάνουν είδη που ζουν μέσα στις κοιλότητες του μανδύα μεγάλων δίθυρων, όπως τα μεγάλα χτένια, τα μύδια και τα στρείδια. Αυτά είναι είδη της οικογένειας των γαρίδων Pontoniidae και της οικογένειας των καβουριών Pinnotheridae (ενότητα 11.11.4). Αυτά τα καρκινοειδή συχνά ζουν σε ζευγάρια μέσα στον ξενιστή. Συνήθως απαντώνται στα βράγχια όπου τρέφονται από τις αυλακώσεις κατακράτησης τροφής του ξενιστή. Προκαλούν μηχανικές βλάβες στους ιστούς του βραγχίου του ξενιστή. Δεν υπάρχουν αποδείξεις ότι αυτά τα παράσιτα προκαλούν θνησιμότητα, αλλά έχουν κάποια μικρή δυσμενή επίδραση στον ξενιστή.

10.5.2 Καρκινοειδή

10.5.2.1 Θαλάσσια Γαρίδα

Οι ιοί έχουν προκαλέσει θνησιμότητες στα εκκολαπτήρια και σημαντικά προβλήματα κατά την πάχυνση στην καλλιέργεια θαλάσσιας γαρίδας. Ο πιο καταστροφικός ιός που είναι γνωστός μέχρι σήμερα είναι ο ιός του συνδρόμου της λευκής κηλίδας (WSSV, WhiteSpot Syndrome Virus). Ξεκίνησε το 1993 στην Κίνα όπου κατάστρεψε το είδος *Fenneropenaeus chinensis* αξίας σχεδόν ενός δισεκατομμυρίου δολαρίων. Όταν μολυσμένες γα-

ρίδες του είδους *Marsupenaeus japonicus* εισήχθησαν από την Κίνα και την Κορέα στην Ιαπωνία, ο ιός εξαπλώθηκε με καταστροφικές συνέπειες. Κατόπιν συνέβη περαιτέρω διάδοση του WSSV στην Ταϊβάν, στη συνέχεια στην Ταϊλάνδη και στην υπόλοιπη νοτιοανατολική και κεντρική Ασία. Αργότερα ο ιός μεταφέρθηκε στο Τέξας, των ΗΠΑ, πιθανώς μέσω κατεψυγμένων γαρίδων. Ακολούθησαν η Κεντρική και Νότια Αμερική, ώστε μέχρι το 1990 μόνο οι Φιλιππίνες, η Αυστραλία και η Ωκεανία ήταν γνωστό ότι ήταν απαλλαγμένες από τον ιό. Δυστυχώς, η παράνομη μετακίνηση γεννητόρων από το αρχιπέλαγος της Ινδο-Μαλαισίας στις Φιλιππίνες μόλυνε τη χώρα αυτή. Στα τέλη του 2016, υπήρξε μια επιδημία στο νοτιοανατολικό Κουίνσλαντ (Queensland) της Αυστραλίας, όπου η ασθένεια εντοπίστηκε σε επτά εκτροφές γαρίδων καθώς και σε άγριες γαρίδες στην περιοχή. Σε περιφερειακή κλίμακα, η εξάπλωση αυτού του ιού ήταν πάντα με ζωντανά ζώα ή κατεψυγμένες γαρίδες του εμπορίου. Είναι ενδιαφέρον ότι άλλοι ραβδόμορφοι ιοί έχουν περιγραφεί από καβούρια, όμως δεν φαίνεται να είναι τόσο ευαίσθητα στον ιό όσο οι γαρίδες. Η αρχική επιδημία αυτού του ιού συνέπεσε με την διάδοση της πρακτικής ταΐσματος ωμών καρκινοειδών, ειδικότερα καβουριών λάσπης (είδη *Scylla*), σε γεννήτορες γαρίδων ως διατροφή για την πρόκληση γεννητικής ωρίμανσης.

Τα αποθέματα γαρίδας έχουν γίνει μερικώς ανθεκτικά στο WSSV έτσι ώστε ζώα φορείς να είναι κάτι κοινό. Οι φορείς μπορούν να ανιχνευθούν βιοχημικά χρησιμοποιώντας αλυσωτές αντιδράσεις πολυμεράσης. Τα πλέον μολυσμένα ζώα ανιχνεύονται στο πρώτο στάδιο της αντίδρασης και απορρίπτονται. Εάν αυτοί οι μολυσμένοι απόγονοι αποτελέσουν το ζωικό κεφάλαιο της εκτροφής, ο κίνδυνος αποτυχίας της μπορεί να είναι 95%. Οι απόγονοι των γεννητόρων που είναι θετικοί στο δεύτερο στάδιο της αντίδρασης και αυτοί που είναι αρνητικοί (ιδανικά) χρησιμοποιούνται για την δημιουργία αποθέματος στις υδατοσυλλογές εκτροφής γαρίδας. Ο κίνδυνος αποτυχίας της εκτροφής αυτών των γαρίδων είναι 31%. Ο κίνδυνος αποτυχίας ενισχύεται από καταπονήσεις (οσμωτική, pH, οξυγόνο) που σχετίζονται με την περίοδο των βροχών. Το ποσοστό αποτυχίας της καλλιέργειας μπορεί να είναι περίπου 19% κατά την διάρκεια της περιόδου ξηρασίας, αλλά μπορεί να ανέλθει

στο 70% με την έναρξη της περιόδου των βροχών. Οι ίδιες αποτυχίες εκτροφών, οι οποίες ενισχύονται από την περίοδο των βροχών, σημειώθηκαν στην Αυστραλία, όπου ονομάστηκαν Σύνδρομο Θνησιμότητας κατά το μέσο της εκτροφής (MCMS, Midcrop Mortality Syndrome). Οι καταπονήσεις από μολύνσεις με άλλα παθογόνα επηρεάζουν επίσης σημαντικά την έκβαση μιας μόλυνσης με WSSV.

Ο ιός του συνδρόμου Taura ήταν υπεύθυνος για τις εκτεταμένες θνησιμότητες του είδους *Litopenaeus vannamei* στην Αμερική μετά από αρχικές εξάρσεις επιδημίας κοντά στον ποταμό Taura του Ισημερινού. Το σύνδρομο Taura θεωρήθηκε αρχικά ότι οφείλεται στην τοξικότητα των μυκητοκτόνων που χρησιμοποιήθηκαν για τον έλεγχο της ασθένειας της μαύρης sigatoka στις καλλιέργειες μπανάνας. Η έκπλυση των μυκητοκτόνων στους υδάτινους αποδέκτες επέτρεψε τη συσσώρευσή τους στις λιμνοδεξαμενές εκτροφής γαρίδας. Τα μυκητοκτόνα ήταν παρόμοια με τους αναστολείς έκδυσης του εξωσκελετού των καρκινοειδών και αυτός πιστεύεται ότι είναι ο τρόπος δράσης. Για αποζημίωση, ξεκίνησε μια μαζική μήνυση εναντίον των Ευρωπαϊκών χημικών εταιρειών που παρήγαγαν τα μυκητοκτόνα. Ακολούθως, βιομέθοδοι χωρίς τη χρήση κυττάρων και η ηλεκτρονική μικροσκοπία έδειξαν αδιαμφισβήτητη την παρουσία ενός πικορναϊού (picornavirus) που παρήγαγε τις χαρακτηριστικές υποδερμικές βλάβες και θνησιμότητες. Η ασθένεια φαίνεται να είναι πιο επιθετική στο *L. vannamei* και έτσι το *L. stylirostris* αποτέλεσε εναλλακτική εκτροφή για τις μολυσμένες περιοχές. Δυστυχώς, οι επιζώντες της επιζωοτίας είναι χρόνιοι φορείς και μολυσμένα άτομα *L. vannamei* εισήχθησαν στην Ταϊβάν, στην Κίνα και στην Ινδονησία.

Οι βακουλοϊοί τύπου *Monodon* (MBV, Monodontology BaculoViruses) μπορούν να μολύνουν όλα τα είδη γαρίδων, αν και η ικανότητα τους να παράγουν ασθένεια διαφέρει ανάμεσα στα είδη γαρίδων. Οι MBV έχουν εμπλακεί ως ένας από τους παράγοντες της μαζικής θνησιμότητας που έπληξε τις εκτροφές γαρίδας στην Ταϊβάν το 1987/88 και οδήγησαν στην κατάρρευση αυτού του κλάδου. Αυτό μπορεί να μην είναι σωστό, καθώς φαίνεται ότι ο ρινοϊός (ronivirus) της κίτρινης κεφαλής (YHV, Yellow Head Ronivirus) (στη βιβλιογραφία

φία αρχικά ονομάστηκε βακουλοϊός και στη συνέχεια ραβδοϊός), ο οποίος δεν είχε διαγνωστεί εκείνη την εποχή, φαίνεται να είχε πολύ σημαντικό ρόλο. Ευαίσθητα στον MBV είναι όλα τα στάδια ζωής του ξενιστή μετά το στάδιο της μύσιδας 1 (mysis 1), αλλά είναι περισσότερο μια ασθένεια των εκκολαπτηρίων παρά των μεταγενέστερων σταδίων, τα οποία είναι σε μεγάλο βαθμό ασυμπτωματικά όταν μολύνονται. Σε μια Αυστραλιανή μελέτη, ο MBV βρέθηκε σε 8 από 13 συνολικά εκκολαπτήρια για *P. monodon* που παρακολουθήθηκαν. Ωστόσο, η ύπαρξή του έχει μειωθεί σε μεγάλο βαθμό από το *P. monodon*, αλλά υπήρξε μείζον πρόβλημα με την εγκαθίδρυση της υδατοκαλλιέργειας *Fenneropenaeus merguensis*. Τα μέτρα ελέγχου, που αναπτύχθηκαν στην Ταϊτή, περιλαμβάνουν το διαχωρισμό των αβγών που επιπλέουν από τον θηλυκό γεννήτορα, την επιφανειακή αποστείρωσή τους και στη συνέχεια τη χρήση της φωτοτακτικής απόκρισης των ναύπλιων για τον διαχωρισμό των προνυμφών από τα κελύφη των αβγών και τις ετοιμοθάνατες προνύμφες.

Ο λοιμώδης ιός της υποδερμικής και αιματοποιητικής νέκρωσης (IHHNV, Infectious Hypodermal and Haematopoietic Necrosis) έχει καταστρέψει εντελώς τη βιομηχανία υδατοκαλλιέργειας που στηρίζονταν στο *Litopenaeus stylirostris* στην Αμερική. Είναι ενδιαφέρον το γεγονός ότι, καθώς το *L. stylirostris* δεν ήταν ευαίσθητο στον ιό Taura, στελέχη του που ήταν ανθεκτικά στον IHHNV επέτρεψαν μια προσωρινή επιστροφή της βιομηχανίας ως εναλλακτική της εκτροφής του *L. vannamei* πριν ο ιός μεταλλαχθεί και ξεκινήσουν οι θάνατοι του *L. stylirostris*. Τα ενδοπυρηνικά έγκλειστα ήταν εμφανή σε όλους τους ιστούς εκτός από τα ηπατοκύτταρα. Ωστόσο, τα έγκλειστα από Αυστραλιανές γαρίδες δεν υβριδοποιήθηκαν με έναν ανιχνευτή γονιδίου για το IHHNV που ήταν 90% ειδικός για το Αμερικανικό στέλεχος IHHNV. Ένα στέλεχος IHHNV των Φιλιππίνων υβριδοποιήθηκε με τον Αμερικανικό ανιχνευτή γονιδίου υποδεικνύοντας ότι το Αυστραλιανό IHHNV είναι διαφορετικό στέλεχος. Ο ανιχνευτής γονιδίου δεν αντιδρά ούτε με τον λεμφοειδή παρβοϊό (parnovirus) που μπορεί να είναι μια παραλλαγή στην έκφραση του IHHNV. Παρομοίως, ένας ανιχνευτής γονιδίου ηπατοπαγκρεατικού παρβοϊού (HPV, Hepatopancreatic ParvoVirus), Αμερικανικά

νικής παραγωγής, που βασίστηκε σε ιό από το Κορεατικό είδος γαρίδας *Fenneropenaeus chinensis*, δεν αντέδρασε ικανοποιητικά με τα στελέχη που απομονώθηκαν από γαρίδες της Ινδονησίας και της Αυστραλίας ούτε με τον HPV από τις Μαλαισιανές γαρίδες γλυκού νερού (*Macrobrachium rosenbergii*). Ο HPV δεν αποτελεί πρόβλημα στην υδατοκαλλιέργεια του Αυστραλιανού *Penaeus monodon*, αν και είναι κοινός σε άγρια αποθέματα της Αυστραλιανής γαρίδας του είδους *Penaeus merguensis* και προκαλεί απώλειες της τάξης του 28% στην εκτρεφόμενη γαρίδα *P. merguensis*. Ωστόσο, πρόσφατες πληροφορίες σχετικά με το είδος γαρίδας *Penaeus monodon* στην Ταϊλάνδη κατέδειξαν ο ιός HPV να προκαλεί σοβαρή απώλεια βάρους και συνεπώς σημαντική απώλεια εισοδήματος για τους καλλιεργητές.

Ο ιός θνησιμότητας γεννητόρων (SMV, Spawner Mortality Virus) (ένας ιός τύπου παρβοϊού) σε συνδυασμό με τον ιό που σχετίζεται με τα βράγχια (ronivirus) έχει προκαλέσει μεγάλες απώλειες σε γεννήτορες του είδους *P. monodon* και στην πάχυνση του. Αυτό το Σύνδρομο Θνησιμότητας στο μέσο της εκτροφής (MCMS, MidCrop Mortality Syndrome) έχει γίνει ένα σημαντικό πρόβλημα κατά την πάχυνση στη βόρεια Αυστραλία, με τις περισσότερες καλλιέργειες να χάνουν το 50% του ζωικού κεφαλαίου τους. Εκτιμάται ότι κατά τα έτη 1995-97 χάθηκαν περίπου 44 εκατομμύρια δολάρια. Η επιδημία της νόσου είναι αργή στην αρχή και οι γαρίδες μεγαλώνουν περίπου στα 12-15 g πριν πεθάνουν. Έτσι έχει επενδυθεί πολύς χρόνος, εργασία, τροφές και χρήματα σε μια εκτροφή που θα καταστραφεί αν δεν προλάβει να γίνει συγκομιδή. Ένα σύμπτωμα του MCMS είναι η παρουσία άρρωστων, αδύναμων και κοκκινισμένων γαρίδων στην άκρη των υδατοσυλλογών πάχυνσης. Ο αριθμός των ημερών που το απόθεμα βρίσκεται στις υδατοσυλλογές είναι ένας σημαντικός παράγοντας επικινδυνότητας, με την πιθανότητα των επιζωοτιών να αυξάνεται δραματικά μετά από τις 120 ημέρες. Οι τμηματικές συγκομιδές προκειμένου να μειωθεί η πυκνότητα του ζωικού κεφαλαίου επιτρέπουν σε ορισμένα ζώα να εκτραφούν πέρα από τις 120 ημέρες.

Τα βακτήρια αποτελούν ακόμη έναν μεγάλο περιορισμό στην παραγωγή του εκκολαπτηρίου, με πολύ λίγες παρτίδες μετανυμφών να μπορούν να

παραχθούν χωρίς την χορήγηση αντιβιοτικών. Η στρατηγική χρήση αντιβιοτικών κατά τη διάρκεια της νυμφικής και της πρώιμης μετα-νυμφικής ανάπτυξης (ναύπλιοι VI έως την πρωτοζώη I και πάλι στη μύσιδα III έως την μετανύμφη I) είναι συνηθισμένη. Τα *Vibrionaceae* κυριαρχούν σε απομονώσεις από εκκολαπτήρια γαρίδων με 8 από 37 στελέχη να παράγουν σημαντική θνησιμότητα σε βιοδοκιμασίες με προνύμφες. Εμπλέκονται είδη του γένους *Vibrio*, συμπεριλαμβανομένων των *V. harveyi* και *V. tubiashi* και *Photobacterium damsela*. Σε παγκόσμια βάση, τα βακτήρια που δεν χρησιμοποιούν σακχαρόζη (εκείνα που παράγουν πράσινες αποικίες σε άγαρ σακχαρόζης θειοθειικών κιτρικών χολικών αλάτων, TCBS) εμπλέκονται συχνά σε ασθένεια στα καρκινοειδή. Η χρήση σακχαρόζης μπορεί να μεταβάλει την βακτηριακή ισορροπία ευνοώντας τα λιγότερο παθογόνα βακτήρια και κατά συνέπεια μειώνοντας τις απώλειες.

Το είδος *V. harveyi* έχει εμπλακεί σε μαζικές θνησιμότητες στον Ισημερινό και σε σημαντικές θνησιμότητες σε 2 εκτροφές πάχυνσης στην Αυστραλία. Σε μια μελέτη στην Αυστραλία, σχεδόν το 50% των βακτηρίων κατά την ολοκλήρωση της πάχυνσης ήταν *V. harveyi* και *V. alginolyticus*. Τα στελέχη του *V. harveyi* στην Αυστραλία και στις Φιλιππίνες έχειδειχθεί ότι έχουν πολύ ισχυρή ανοθεκτικότητα στα αντιβιοτικά, με ένα λοιμογόνο Αυστραλιανό στέλεχος να φέρει ένα πλασμίδιο που κωδικοποιεί για τέσσερις διαφορετικές ανοθεκτικότητες σε αντιβιοτικά. Το *V. penaeicida* έχει συσχετιστεί με θνησιμότητες σε υδατοσυλλογές στην Ιαπωνία (*Marsupenaeus japonicus*) και στη Νέα Καληδονία (*Litopenaeus stylirostris*) και το *V. nigripulchritudo* έχει συσχετιστεί με θνησιμότητες σε υδατοσυλλογές στη Νέα Καληδονία.

Στα πρώτα χρόνια της καλλιέργειας της γαρίδας, οι μύκητες *Lagenidium callinectes* και *Sirolipidium* εμπλέκονταν συχνά στην πρόκληση θανάτων των προνυμφών, ιδιαίτερα στα εκκολαπτήρια όπου υπήρχε υπερβολική χρήση αντιβιοτικών. Έχειδειχθεί ότι τα αβγά των αστακών φέρουν στην επιφάνειά τους ένα συμβιωτικό βακτήριο του γένους *Pseudoalteromonas*, το οποίο προστατεύει από τους μύκητες. Τα αντιβιοτικά αναστέλλουν την συμβίωση επιτρέποντας στους μύκητες να αναπτυχθούν. Ένα είδος *Pseudoalteromonas* βρέ-

θηκε επίσης να σχετίζεται με αβγά γαρίδας και έτσι ο μηχανισμός θεωρείται ότι είναι παρόμοιος. Η χρήση ζιζανιοκτόνων με βάση τον πορτοκαλί παράγοντα (agent orange) έχει ελέγξει αποτελεσματικά τους μύκητες στο εκκολαπτήριο.

Ενώ ο μύκητας *Fusarium solangi* είναι παρών σε λιμνοδεξαμενές πάχυνσης στην Αυστραλία, παρατηρείται μόνο όταν η συχνότητα έκδυσης (αλλαγής του εξωσκελετού) επιβραδύνεται λόγω χαμηλών θερμοκρασιών του νερού ή άλλου προβλήματος ασθενειών. Είναι επομένως ένας καλός δείκτης καθυστερημένης ανάπτυξης. Παρομοίως, τα περίτριχα βλεφαριδοφόρα πρωτόζωα υποδεικνύουν υπο-ιδανικές συνθήκες και όταν φτάσουν στα υψηλότερα ποσοστά εμφάνισης τους στα βράγχια των γαρίδων, μπορεί να προκαλέσουν θάνατο από ασφυξία εάν προστεθεί κάποια επιπλέον καταπόνηση. Τα περίτριχα βλεφαριδοφόρα χρειάζονται υψηλά οργανικά φορτία για να τραφούν. Έτσι, μειώνοντας την ποσότητα της τροφής που δεν καταναλώνεται με συχνότερες αλλαγές νερού ή περιορίζοντας τη συμπληρωματική χορήγηση τροφής, οι αριθμοί των περίτριχων μπορούν να μειωθούν μέσα σε μια εβδομάδα.

10.5.2.2 Καραβίδα γλυκού νερού

Η Ευρωπαϊκή βιομηχανία 'ευγενών' καραβίδων (*Astacus astacus*), η οποία ήταν μια μεγάλη βιομηχανία υδατοκαλλιέργειας, αποδεκατίστηκε από έναν μύκητα, τον *Aphanomyces astaci*. Επιπλέον, το 1986/87 η βιομηχανία καραβίδων στην Τουρκία καταστράφηκε, επίσης, από την εισαγωγή αυτού του μύκητα κατά μήκος του φυσικού φράγματος των στενών του Βοσπόρου. Αυτό οδήγησε στην εισαγωγή στην Ευρώπη της καραβίδας του είδους *Pacifastacus leniusculus* από τις ΗΠΑ, μια καραβίδα γλυκού νερού που είναι ιδιαίτερα ανθεκτική στον μύκητα.

Η ιογενής ασθένεια του συνδρόμου της λευκής κηλίδας (WSSV, WhiteSpot Syndrome Virus) εντοπίστηκε πρόσφατα στη βιομηχανία παραγωγής καραβίδων ελευθέρας εκτροφής της Λουϊζιάνας μολύνοντας τις κόκκινες καραβίδες των ελών (*Procambarus clarkii*). Ενώ η οδός εισαγωγής της ασθένειας WSSV είναι άγνωστη και δεδομένου ότι τα καρκινοειδή στις πλωτές οδούς του Κόλπου του Μεξικού δεν είναι γνωστό ότι έχουν μολυνθεί

από τον ιό, υπάρχουν υπόνοιες για τα εμπορεύματα γαρίδων.

Με εξαίρεση την καταστροφική 'πανώλη' των καραβίδων στην Ευρώπη και του συνδρόμου της λευκής κηλίδας WSSV στις ΗΠΑ, οι καραβίδες του γλυκού νερού θεωρούνται γενικά ότι είναι σχετικά ελεύθερες από ασθένειες. Αυτό αντανakλά τις εκτατικού τύπου μεθόδους καλλιέργειας που χρησιμοποιούνται για την καραβίδα, όπου χρησιμοποιούνται μόνο πολύ χαμηλές πυκνότητες εκτροφής (5 άτομα/m²). Με την ανάπτυξη πιο εντατικών μεθόδων εκτροφής, η ασθένειες θα αποτελέσουν μεγαλύτερο πρόβλημα. Μια λίστα με παθογόνα που έχουν ήδη καταγραφεί από εκτρεφόμενες καραβίδες στην Αυστραλία παρουσιάζεται στον Πίνακα 10.3. Οι σημαντικότεροι παράγοντες που προκαλούν θνησιμότητα μέχρι στιγμής είναι:

- Η ρικέτσια *Coxiella cheraxi*,
- Ο βακουλοϊός *Cherax* / βακτηριαίμια
- Η βακτηριακή διάβρωση των ματιών που σχετίζεται με τα βακτήρια *Aeromonas hydrophila* και *A. sobria*

Η ρικέτσια και ο βακουλοϊός εισήχθησαν τουλάχιστον στον Ισημερινό και ο βακουλοϊός στις ΗΠΑ με μεταφορτώσεις καραβίδων από την Αυστρα-

Πίνακας 10.3 Παθογόνα που βρέθηκαν σε εκτρεφόμενες Αυστραλιανές καραβίδες του γλυκού νερού.

Τύπος	Παθογόνο
Ιοί	Ο βακιλλόμορφος ιός <i>Cherax</i> , ο γιαρντιοϊός <i>Cherax</i> , ο παρβοϊός, ο ρεοϊός, ο πικορναιός.
Βακτήρια	<i>Coxiella cheraxi</i> , <i>Aeromonas hydrophila</i> , <i>A. sobria</i> , <i>Citrobacter freundii</i> , <i>Klebsiella pneumoniae</i> , <i>Plesiomonas shigelloides</i> , <i>Pseudomonas</i> , <i>Shewanella putrifaciens</i> , <i>Streptococcus</i> .
Μικροσπορίδια	<i>Agmasoma</i> (= <i>Thelohania</i>), <i>Vavraia parastacida</i> .
Μύκητες	<i>Achlya</i> , <i>Mucor</i> , <i>Psorospermium</i> .
Τεμνοκεφαλίδες	<i>Craspedella spenceri</i> , <i>Diceratocephala</i> , <i>Didymorchis</i> , <i>Notadactylus</i> , <i>Temnocephala dendyi</i> , <i>T. minor</i> .
Βλεφαριδοφόρα	<i>Corthunia</i> , <i>Epistylus</i> , <i>Lagenophrys</i> , <i>Tetrahymena</i> , <i>Vorticella</i> , <i>Zoothamnium</i>

λία. Τα νεοεμφανιζόμενα παθογόνα περιλαμβάνουν την μικροσποριδίαση στη Δυτική Αυστραλία και έναν συστηματικό παρβοϊό στην καραβίδα του είδους *Cherax quadricarinatus*.

10.5.3 Οστεϊχθύες

10.5.3.1 Κυπρίνος

Όπως περιγράφεται στο Κεφάλαιο 16, οι κυπρίνοι και τα συγγενικά τους είδη αποτελούν τη μεγαλύτερη ομάδα μεταξύ των ψαριών ή οστρακοειδών που παράγονται από την υδατοκαλλιέργεια. Αποτελούσαν περίπου το 30% της παγκόσμιας παραγωγής ψαριών και οστρακοειδών το 2015 και τα δύο τρίτα όλων των ψαριών και των οστρακοειδών από τα γλυκά νερά. Η ενότητα των ασθενειών στο Κεφάλαιο 16 (ενότητα 16.6) αναφέρει στον αναγνώστη μια μονογραφία σχετική με την αντιμετώπιση ασθενειών στους κυπρίνους και τα συγγενικά είδη από τους Hoole et al. (2001).

10.5.3.2 Σολομοειδή

Η ομάδα ψαριών που κυριαρχεί στη βιβλιογραφία για την υδατοκαλλιέργεια σε παγκόσμια βάση είναι τα σολομοειδή, διότι, σε αντίθεση με τον κυπρίνο, εκτρέφονται σε πολλές χώρες σε όλο τον κόσμο. Στα σολομοειδή αναγνωρίζονται πάνω από 20 ιογενείς ασθένειες και περίπου οι μισές θεωρείται ότι έχουν μέτρια έως υψηλή λοιμογόνο δύναμη.

Ο ιός της λοιμώδους αναιμίας του σολομού, (ISAV, Infectious Salmon Anaemia Virus), είναι σήμερα η πιο καταστροφική, από οικονομική άποψη, ασθένεια στην υδατοκαλλιέργεια του σολομού του Ατλαντικού παγκοσμίως και αποτελεί την πρώτη από τις ασθένειες που κατατάσσονται στον Πρώτο Κατάλογο (List One) του προγράμματος ελέγχου της υγείας των ψαριών της Ευρωπαϊκής Επιτροπής. Για τις ασθένειες του πρώτου καταλόγου απαιτείται την εκρίζωση όλου του μολυσμένου ζωικού κεφαλαίου ως μέρος των μέτρων ελέγχου. Ο ιός της λοιμώδους αναιμίας του σολομού (ISAV), μέλος της οικογένειας Orthomyxoviridae, είναι ένας μονόκλωνος RNA ιός που μολύνει τα κύτταρα του αίματος προκαλώντας αναιμία. Τα συμπτώματα περιλαμβάνουν ωχρά βράγχια,

φλεγμονή και νέκρωση του ήπατος και του σπλήνα και ανεπάρκεια του κυκλοφορικού συστήματος καθώς φράσσεται από τα νεκρά κύτταρα. Ενώ αρχικά ανακαλύφθηκε στη Νορβηγία κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1980, ο ISAV τώρα βρίσκεται στη Σκωτία, τον Καναδά, στις Νήσους Φερόες και καταστρέφει την βιομηχανία υδατοκαλλιέργειας της Χιλής (για περισσότερες πληροφορίες βλέπε ενότητα 11.2.5).

Η νόσος του παγκρέατος (PD, Pancreas Disease) που προκαλείται από τον αλφαϊό των σολομοειδών (SAV, Salmonid AlphaVirus), ανακαλύφθηκε για πρώτη φορά στη Σκωτία το 1976. Ενώ αρχικά συσχετίστηκε με κακή αναπτυξιακή απόδοση, που αποδόθηκε στην απώλεια των κυψελοειδών κυττάρων στο πάγκρεας παρά την εμφανή θνησιμότητα, η τελευταία δεκαετία έχει δει αναζωπύρωση μιας πιο οξείας μορφής της νόσου. Υπάρχουν τουλάχιστον εννέα υποτύποι του SAV που μπορούν να προκαλέσουν θνησιμότητα. Με σημαντικές απώλειες στη Νορβηγία, τη Σκωτία και την Ιρλανδία, η κυβέρνηση της Χιλής προχώρησε σε απαγόρευση εισαγωγής αβγών σολομοειδών το Νοέμβριο του 2009 για την πρόληψη εισαγωγής της νόσου.

Ο *Aquabirnavirus*, π.χ. ο ιός της λοιμώδους παγκρεατικής νέκρωσης (IPNV) και παρόμοιοι ιοί απαντώνται παγκοσμίως (βλ. ενότητα 11.2.2). Αυτοί οι ιοί έχουν μεγάλη τάση να αναπαράγονται ή να επιβιώνουν και σε άλλους ξενιστές εκτός από τα ψάρια. Στους ξενιστές περιλαμβάνονται δίθυρα, καραβίδες, θαλάσσιες γαρίδες, βδέλλες και σπλάχνα ιχθυοφάγων πουλιών. Ως εκ τούτου είναι πολύ δύσκολο να εκριζωθούν. Ενώ αρχικά ήταν μια ασθένεια των νεαρών σολομοειδών του γλυκού νερού, ο IPNV τώρα προκαλεί όλο και περισσότερο σημαντικές θνησιμότητες στα εκτρεφόμενα σολομοειδή στη θάλασσα μετά το στάδιο αλλαγής τους για διαβίωση σε αυτήν, με επιδημίες να συμβαίνουν συνήθως μέσα σε 8 εβδομάδες μετά τη μεταφορά τους στο θαλασσινό νερό. Ο έλεγχος της νόσου σε αυτό το στάδιο της ζωής των ψαριών με την εφαρμογή πρώιμου εμβολιασμού είχε κάποιο αποτέλεσμα, αλλά ο έλεγχος στα νεαρά ψάρια του γλυκού νερού με αυτή τη μέθοδο δεν είναι πρακτικά αποδεκτός. Είναι τέτοια η οικονομική σημασία αυτής της ασθένειας, που οι πρώτες γενετικά επιλεγμένες σειρές σολομού του Ατλαντικού με γενε-

τικούς δείκτες για αντοχή στην IPNV διατίθενται ήδη στο εμπόριο στη Νορβηγία.

Ο ιός της μολυσματικής αιματοποιητικής νέκρωσης είναι ένας από τους πλέον μελετημένους καθώς μολύνει μια σειρά ειδών σολομού, συμπεριλαμβανομένου του σολομού του Ατλαντικού, της ιριδίζουσας πέστροφας, του κόκκινου σολομού (sockeye salmon), του βασιλικού σολομού του Ειρηνικού (chinook salmon) και του ασημένιου σολομού (coho salmon). Ενώ αυτός ο ραβδοϊός είναι ενδημικός στον βορειοανατολικό Ειρηνικό, έχει εξαπλωθεί σε ολόκληρο τον βόρειο Ειρηνικό, νότια μέχρι την Κίνα και την Ταϊβάν, τις ανατολικές ΗΠΑ, τη Γαλλία και την Ιταλία. Επηρεάζει κυρίως ψάρια ηλικίας λιγότερο των 6 μηνών και καθώς βρίσκεται στις γεννητικές εκκρίσεις τόσο των αρσενικών όσο και των θηλυκών γεννητόρων, έχει εύκολη πρόσβαση στα νεαρά ψάρια για να προκληθεί μόλυνση.

Η ιογενής αιμορραγική σηψαιμία (VHS, Viral Haemorrhagic Septicaemia) έχει ευρεία κατανομή τόσο Ξενιστών όσο και γεωγραφικών περιοχών και έχουν περιγραφεί πολλαπλά στελέχη αυτού του ιού (βλ. ενότητα 11.2.6). Αυξάνεται μόνο σε θερμοκρασίες κάτω από τους 16 °C, επομένως η γεωγραφική κατανομή της είναι περιορισμένη και οι απώλειες μπορούν να μειωθούν με την αύξηση της θερμοκρασίας. Πρόσφατα, η VHS βρέθηκε σε άγριες σαρδέλες και σκουμπριά στην Νότια Καλιφόρνια που χρησιμοποιούνται εκτενώς ως δόλωμα και τροφή για άλλες βιομηχανίες υδατοκαλλιέργειας όπως του ερυθρού τόνου.

Τα βακτήρια αποτελούν μείζονα παθογόνα των εκτρεφόμενων σολομοειδών. Τα αντιβιοτικά έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως για τον έλεγχο των επιδημιών, αλλά γίνονται όλο και λιγότερο αποδεκτά για ζώα που προορίζονται για τη διατροφή του ανθρώπου λόγω ανησυχιών σχετικά με την μετάδοση της ανθεκτικότητας στα αντιβιοτικά στα παθογόνα βακτήρια των ανθρώπων. Βακτήρια σε ιζήματα εγκαταλελειμμένων περιοχών υδατοκαλλιέργειας έχουν δοκιμαστεί για αντοχή στα αντιβιοτικά 10 χρόνια μετά τη διακοπή της λειτουργίας της καλλιέργειας και διαπιστώθηκε ότι εξακολουθούν να έχουν σημαντική ανθεκτικότητα στην οξυτετρακυκλίνη. Αυτό το είδος προβλήματος οδήγησε στην παραγωγή αποτελεσματικών εμβολίων. Η αύξηση κατά 30% της παραγω-

γής σολομού του Ατλαντικού στη Νορβηγία οφείλεται στον έλεγχο της δοθήνωσης (furunculosis) που προκαλείται από το *Aeromonas salmonicida* subsp. *salmonicida* και το χειμερινό σύνδρομο ή χειμερινή νόσος (winter disease) που προκαλείται από το *Vibrio salmonicida*. Στην πραγματικότητα, η *A. salmonicida* είναι ίσως ο σημαντικότερος παθογόνος μικροοργανισμός σε όλες τις βιομηχανίες θαλάσσιας υδατοκαλλιέργειας (βλ. ενότητα 11.3.1). Ενώ πολλές από τις αρχικές αιτίες γενικευμένων σηψαιμιών στα σολομοειδή ελέγχθηκαν με επιτυχία μέσω του εμβολιασμού, οι αναδυόμενες λοιμώξεις με ενδοκυτταρικά βακτήρια αποδεικνύονται πιο δύσκολες στον έλεγχο. Η βακτηριακή ασθένεια των νεφρών (BKD, Bacterial Kidney Disease) που προκαλείται από το *Renibacterium salmoninarum*, υπήρξε μια αξιοσημείωτη ασθένεια από ενδοκυτταρικό παθογόνο για όλη την βιομηχανία παραγωγής σολομοειδών για δεκαετίες (βλ. ενότητα 11.3.8). Τα τελευταία 15 χρόνια, οι μολύνσεις από ρικετσιόμορφα που προκαλούνται κυρίως από το *Piscirickettsia salmonis*, έχουν επίσης επικρατήσει στις μεγάλες παραγωγούς χώρες σολομού του Ατλαντικού (βλ. ενότητα 11.3.5). Πιο πρόσφατα, έχουν καταγραφεί σημαντικές θνησιμότητες σχετιζόμενες με μέλη του βακτηριακού γένους *Francisella* στην υδατοκαλλιέργεια σολομοειδών στη Νορβηγία, τον Καναδά και την Χιλή. Ενώ οι απομονώσεις από τα ψάρια (*F. noatunensis* και *F. asiatica*) δεν φαίνεται να είναι παθογόνες για τον άνθρωπο, το ενδιαφέρον ήταν υψηλό, καθώς το στενά συνδεδεμένο *F. tularensis* προκαλεί σχεδόν πάντοτε μοιραίες ασθένειες στους ανθρώπους.

Η σηψαιμία που προκαλείται από το βακτήριο *Lactococcus garvieae* είναι ένα σημαντικό πρόβλημα στην ιριδίζουσα πέστροφα στην Ευρώπη, την Ασία, τη Νότια Αφρική και τη νότια Αυστραλία. Αυτά τα παθογόνα φαίνεται να αποφεύγουν τα μακροφάγα των Ξενιστών τους ως μέρος της στρατηγικής αποικισμού τους. Το *L. garvieae* είναι περικλειστο σε κάψουλα (επικαλυμμένο με πολυσακχαρίτη) μειώνοντας την ικανότητα της λυτικής οδού του συμπληρώματος να λύσει τα βακτηριακά κύτταρα και έτσι εμποδίζει τη φαγοκυττάρωση. Ως εκ τούτου, η εγκόλπωση από τα μακροφάγα διακυβεύεται και η παραγωγή αντισώματος από τον Ξενιστή επιβραδύνεται.

Από τις παρασιτικές λοιμώξεις των εκτρεφόμενων σολομοειδών, ίσως οι δύο πιο σημαντικές είναι οι θαλάσσιες ψείρες (βλ. ενότητα 11.11.3) και η πολλαπλασιαστική νεφρική νόσος (PKD, Proliferative Kidney Disease) (βλ. ενότητα 11.6). Οι μολύνσεις από τα κωπήποδα των γένων *Lepeophtheirus* και *Caligus* αποτελούν ίσως τα πιο κυρίαρχα παθολογικά και περιβαλλοντικά προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι εκτροφείς σολομού του Ατλαντικού στις κύριες χώρες παραγωγής. Η θεραπεία γίνεται γενικά με τη χρήση χημικών ουσιών. Η θεραπεία με εμβάπτιση σε οργανοφωσφορικά σταδιακά εξαλείφθηκε στις αρχές της δεκαετίας του 1990 με την αδειοδότηση των πυρεθροειδών ως αντικαταστατών. Τελευταία, η θεραπεία πραγματοποιείται μέσω της τροφής χρησιμοποιώντας την βενζοϊκή εμαμεκτίνη, αν και εμφανίζεται ανθεκτικότητα και αναζητούνται βιολογικές λύσεις. Ο αιτιολογικός παράγοντας της πολλαπλασιαστικής νεφρικής νόσου (PKD) αναγνωρίστηκε για πρώτη φορά ως ένα παρασιτικό μυξόζωο, το *Tetracapsuloides bryosalmonae* και είναι πιθανώς η πιο σημαντική παρασιτική ασθένεια των σολομοειδών (κυρίως της πέστροφας) στην Ευρώπη και την Βόρεια Αμερική προκαλώντας μέχρι και 90% θνησιμότητα στο μολυσμένο ζωικό κεφάλαιο. Έχουν αναφερθεί επίσης σοβαρές θνησιμότητες άγριων ψαριών. Η θεραπεία με πράσινο του μαλαχίτη προτιμούνταν μέχρι που η χρήση του απαγορεύτηκε. Στις ΗΠΑ και το Ηνωμένο Βασίλειο έχει δοκιμαστεί το μυκητοκτόνο fumagillin με μερικά θετικά αποτελέσματα. Οι επιζήσαντες της μόλυνσης τείνουν να είναι ανθεκτικοί στην επαναμόλυνση και έτσι, ο έλεγχος μέσω εμβολιασμού μπορεί να είναι πιθανός στο μέλλον.

Οι Kent and Margolis (1995) περιέγραψαν τις ασθένειες που προκαλούνται στα σολομοειδή που εκτρέφονται στο θαλασσινό νερό από παρασιτικά πρωτόζωα. Υπάρχουν πολλά και ποικίλα πρωτόζωα που παρασιτούν σε υδρόβια σπονδυλωτά σε γλυκά νερά και θαλάσσια ενδιαιτήματα και αυτά προκαλούν διάφορα επίπεδα εξασθένησης (βλ. ενότητα 11.5). Για παράδειγμα, το αμοιβαδοειδές πρωτόζωο, του γένους *Neoparamoeba*, είναι ένα ευκαιριακό παθογόνο που μολύνει τα βράγχια των ψαριών υπό ορισμένες συνθήκες (βλ. ενότητα 11.5.2). Σε μια εκτροφή ασημένιου σολομού (coho salmon) στην πολιτεία της Ουά-

σινγκτον, οι Kent and Margolis (1995) παρατήρησαν 25% θνησιμότητα που αποδόθηκε σε είδη *Neoparamoeba*. Οι αμοιβάδες εμφανίστηκαν σε θαλάσσιες εκτροφές και εξαλείφθηκαν γρήγορα από τα βράγχια των ψαριών, εκθέτοντάς τα σε γλυκά νερά, π.χ. ρυμουλκώντας τους ιχθυοκλωβούς από το θαλασσινό νερό σε γλυκά νερά ή εμβαπτίζοντας τα ψάρια σε γλυκό νερό. Ωστόσο, το *Neoparamoeba* αναπτύσσει ανθεκτικότητα στη θεραπεία με γλυκό νερό και είναι πλέον αποτελεσματική μόνο για περίπου 30 ημέρες. Μια παρασιτική αμοιβάδα, η *Neoparamoeba perurans* προκάλεσε προβλήματα στην έναρξη της βιομηχανίας παραγωγής σολομοειδών σε ιχθυοκλωβούς στην Τασμανία της Αυστραλίας. Τα ψάρια κατά το πρώτο έτος τους στο θαλασσινό νερό αναπτύσσουν μια πολλαπλασιαστική ασθένεια των βραγχίων, ιδιαίτερα εάν οι ιχθυοκλωβοί έχουν βιοεποικιστεί από θαλάσσιους οργανισμούς ή η θερμοκρασία του νερού είναι πάνω από 15 °C. Η αμοιβαδοειδής ασθένεια των βραγχίων (AGD, Amoebic Gill Disease) μπορεί να σκοτώσει έως και το 2% των ψαριών ημερησίως αν παραμείνει χωρίς θεραπεία και αντιπροσωπεύει το κύριο πρόβλημα ασθενειών του εκτρεφόμενου σολομού της Τασμανίας. Τα μπάνια με χημικά είναι σε μεγάλο βαθμό αναποτελεσματικά, αλλά τα μπάνια σε γλυκό νερό για μερικές ώρες ή η μετακίνηση ολόκληρου του ιχθυοκλωβού σε γλυκά νερά είναι αποτελεσματικά σε ρεαλιστικό βαθμό. Μόλις σπάσει ο κύκλος, το ανοσοποιητικό σύστημα μπορεί να αποτρέψει περαιτέρω βαριές προσβολές. Δυστυχώς, υπάρχουν ισχυρές ενδείξεις ότι η θεραπεία με γλυκό νερό γίνεται λιγότερο αποτελεσματική. Αντί για ένα μοναδικό μπάνιο, η συχνότητα των μπάνιων έχει αυξηθεί σε κάθε λίγες εβδομάδες κατά τη διάρκεια των θερμότερων καιρικών συνθηκών, προκαλώντας τεράστιο κόστος στη βιομηχανία. Η έρευνα για τον εμβολιασμό ενάντια σε αυτό το παράσιτο βρίσκεται σε εξέλιξη.

Η βιομηχανία υδατοκαλλιέργειας σολομοειδών στην Αυστραλία αξίζει ιδιαίτερης προσοχής καθώς τα ζώα αυτά εκτρέφονται στο ακραίο άνωτατο όριο της ανοχής τους στη θερμοκρασία. Οι περισσότεροι ειδικοί μαγειρικής προτιμούν την ιριδίζουσα πέστροφα αντί του σολομού του Ατλαντικού και κατά συνέπεια η Αυστραλιανή βιομηχανία παραγωγής σε θαλάσσιους κλωβούς ξεκίνησε

με την ιριδίζουσα πέστροφα. Το είδος του γένους *Enterococcus* (παλαιότερα *Streptococcus*), βιότοπος Ι σκότωσε το 30% της ιριδίζουσας πέστροφας σε γλυκά νερά και έως το 60% στα θαλασσινά νερά σχετιζόμενο με την καταπόνηση του εγκλιματισμού. Ως εκ τούτου, ο κλάδος άλλαξε μαζικά στον σολομό του Ατλαντικού, ο οποίος είναι ιδιαίτερα ανθεκτικός σε αυτό το βακτήριο.

Το *Yersinia ruckeri* ορότυπος III (το Αυστραλιανό στέλεχος) προκαλεί ορισμένα προβλήματα κυρίως στον νεαρό σολομό του Ατλαντικού, ιδιαίτερα όταν η θερμοκρασία του νερού υπερβαίνει τους 15 °C. Ορισμένα ψάρια μπορούν να αναπτύξουν το παθογόνιμο 'κόκκινο στόμα' εξαιτίας αιμορραγικών αλλοιώσεων, και σε χρόνιες περιπτώσεις, μπορεί να κυριαρχούν ο αμφοτερόπλευρος εξόφθαλμος και η ανορεξία. Τα βακτήρια μπορούν να εξαπλωθούν με τα κόπρανα των αρπακτικών που τρέφονται με νεκρά ψάρια. Το *Vibrio anguillarum* ορότυπος C ή 01 έχει απομονωθεί από την ιριδίζουσα πέστροφα και τον σολομό του Ατλαντικού της Τασμανίας. Τα κλινικά συμπτώματα περιλαμβάνουν υπεραιμικό ορθό με πρόπτωση, συμφόρηση στις βάσεις των πτερυγίων και ερυθρά έλκη στα πλευρά του σώματος. Οι μύες ενδέχεται να περιέχουν εγκλεισμένες αλλοιώσεις και μπορεί να εμφανιστεί σοβαρή περιτονιτιδα. Στις χώρες του εξωτερικού, η λοιμογόνος δύναμη στο *V. anguillarum* έχει συνδεθεί με σύστημα σιδηροφόρου (δέσμευσης σιδήρου) που κυρίως κωδικοποιείται από πλασμίδιο, με το πιο γνωστό λοιμογόνο στέλεχος να έχει τέσσερα ξεχωριστά σιδηροφόρα. Και οι δύο αυτές καταστάσεις μπορούν να ελεγχθούν με αποτελεσματικά εμβόλια.

Το τυπικό, μη κινητό στέλεχος του *Aeromonas almonica* (subsp. *salmonicida*) συνήθως σχηματίζει μεγάλα εξανθήματα ή δοθιήνες στα σολομοειδή. Αυτό το υποχρεωτικό παθογόνο υπάρχει στη πολιτεία Victoria ως το άτυπο, μη μολυσματικό για τα σολομοειδή, κινητό στέλεχος στο χρυσόψαρο *Carassius auratus*. Το βακτήριο φαίνεται ότι εισήχθη στη Victoria από την Ιαπωνία το 1974. Παρά την ύπαρξη περιορισμού στη μετακίνηση χρυσόψαρων από τη Victoria στη Δυτική Αυστραλία και την Τασμανία, υπήρξε απομόνωση ενός τυπικού στελέχους του *A. salmonicida* από πλατύψαρο στην Τασμανία. Ομοίως, μία εκτροφή ασημένιας πέρκας (*Bidyanus bidyanus*) στη Νέα Νότια

Ουαλία τέθηκε σε καραντίνα εξαιτίας αυτού του βακτηρίου.

Από την εξάλειψη του ιού της μολυσματικής αιματοποιητικής νέκρωσης κατά την αρχική επιδημία, μόνο τρεις ιοί έχουν βρεθεί στον Αυστραλιανό σολομό. Ο ιός *Aquareovirus* του σολομού κέτα (chum salmon) απομονώθηκε από ωοθηκικό υγρό του σολομού του Ατλαντικού και φαίνεται να προκαλεί ασθένεια μόνο σε νεαρά στον σολομό κέτα και τον βασιλικό σολομό του Ειρηνικού (chinook salmon). Αυτός ο ιός έχει μεγαλύτερη σημασία ως εμπορικό εμπόδιο για τον αποκλεισμό ανταγωνιστικών προϊόντων της Αυστραλίας από τις χώρες εισαγωγής παρά ως απειλή για ασθένειες. Ο ιός της λοιμώδους παγκρεατικής νέκρωσης (IPN) απομονώθηκε από σολομό Ατλαντικού εκτρεφόμενο σε κλωβούς στη θάλασσα.

10.5.3.3 Τροπικοί και Υποτροπικοί Οστειχθύες

Μεταξύ των εκτρεφόμενων ψαριών που έχουν δείξει σημαντικές αυξήσεις στην παραγωγή τα τελευταία έτη σε τροπικά και υποτροπικά γλυκά νερά είναι διάφορα είδη τιλάπιας και γατόψαρων. Οι ασθένειες της τιλάπιας και η διαχείρισή τους περιγράφονται στην ενότητα 18.9. Οι ασθένειες του γατόψαρου, *Ictalurus punctatus*, στις Νότιες ΗΠΑ περιγράφονται στην ενότητα 19.3.4. Οι ασθένειες των γατόψαρων παγκάσιους (*Pangasius*) αντικατοπτρίζουν σε μεγάλο βαθμό εκείνες που απαντώνται στα γατόψαρα του γλυκού νερού της Βορείου Αμερικής (*Ictaluridae*), συμπεριλαμβανομένων των εντερικών σηψαιμιών που προκαλούνται από το *Edwardsiella ictaluri* και κινητές αερομονάδες ιδιαίτερα της ομάδας της *A. hydrophila*. Στο Βιετνάμ η βιομηχανία των εκκολαπτηρίων του παγκάσιους γίνεται όλο και πιο προηγμένη. Ο έλεγχος των μολύνσεων γίνεται σε μεγάλο βαθμό με αντιβιοτικά, αλλά δεν είναι ασυνήθιστη η εμφάνιση ανθεκτικότητας και στις δύο αυτές ασθένειες. Ο εμβολιασμός με ζωντανό εξασθενημένο *E. ictaluri* έχει αποδειχθεί αποτελεσματικός στις ΗΠΑ, αλλά η εισαγωγή ενός ζωντανού παράγοντα γενικώς είναι ανεπαρκώς αποδεκτή από τους εκτροφείς λόγω ανησυχιών σχετικά με την αναστροφή στη λοιμογόνο δύναμη υπό συνθήκες εκτροφής. Η ομάδα οργανισμών του *A. hydrophila* παρουσιάζει μια ιδι-

αίτερα ενδιαφέρουσα πρόκληση για τον εμβολιασμό λόγω της υψηλής ενδο-ειδικής ποικιλομορφίας τους και της ποικιλίας διαφορετικών ειδών, υποειδών και υποομάδων που προκαλούν ασθένεια. Με τη ζήτηση άνω των 100 εκατομμυρίων δόσεων αποτελεσματικού εμβολίου στο Βιετνάμ μόνο, η έρευνα για αυτές τις ασθένειες είναι έντονη.

Το Επιζωοτικό Ελκωτικό Σύνδρομο (EUS, Epizootic Ulcerative Syndrome) προκαλείται από τον μύκητα *Aphanamycetes invadans*. Το Επιζωοτικό Ελκωτικό Σύνδρομο (EUS) πρωτοεμφανίστηκε στη δεκαετία του '80 ως ένα καταστροφικό παθογόνο του οφιοκέφαλου και άλλων ψαριών της νοτιοανατολικής και της κεντρικής Ασίας. Οι οφιοκέφαλοι χρησιμοποιούνται για τη συμπλήρωση πρωτεϊνών στις δίαιτες των φτωχών αγροτικών περιοχών. Η καταστροφή αυτών των ψαριών οδήγησε σε εκτεταμένο υποσιτισμό, λιμοκτονία και κοινωνικοοικονομική διατάραξη του τρόπου διαβίωσης. Μετά από πολλές ανταγωνιζόμενες υποθέσεις σχετικά με τον αιτιολογικό παράγοντα, συμπεριλαμβανομένων των ραβδοϊών και των βακτηρίων *Aeromonas hydrophila*, μία ομάδα ερευνητών στην Αυστραλία ταυτοποίησε το βακτήριο *A. invadans*. Περαιτέρω, το Επιζωοτικό Ελκωτικό Σύνδρομο (EUS) ανιχνεύτηκε μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του 1970 στην Αυστραλία και την Παπούα-Νέα Γουινέα. Το πρώτο ξέσπασμα ήταν στην Ιαπωνία το 1970. Μία ενδιαφέρουσα εστία καταγράφηκε μόνο στην υδατοσυλλογή του διεθνούς αεροδρομίου της Σρι Λάνκα, όπου πιθανώς ένας επιβάτης έριξε κάποια υπολείμματα ψα-

ριών από ένα γεύμα στη λιμνούλα. Τελευταία, το EUS έχει καταστεί πρόβλημα στην εγκατάσταση της πέρκας *Scortum barcoo* ως είδος υδατοκαλλιέργειας.

Η γιγαντόπερκα *Lates calcarifer* καλλιεργείται σε όλη την τροπική Ασία και είναι το μοναδικό ψάρι που καλλιεργείται σοβαρά στις τροπικές περιοχές της Αυστραλίας. Ενώ οι περισσότερες εκτροφές παρουσιάζουν διαλείποντα προβλήματα, τα πιο συνηθισμένα παθογόνα είναι το βακτήριο *Cytophaga johnsonae* που προκαλεί αλλοιώσεις στην περιοχή της ράχης, που μπορεί να εξελιχθούν σε βρώμικα κίτρινα έλκη και η λευκή κηλίδα που προκαλείται από το *Cryptocaryon irritans* σε θαλάσσιους ιχθυοκλωβούς (βλ. ενότητα 11.5.6, **Εικόνα 10.5**). Τα προβλήματα σχετίζονται με την εμφάνιση χαμηλότερων θερμοκρασιών, συνήθως το Μάιο. Το *Streptococcus iniae* αναδύεται ως η σημαντικότερη ασθένεια της γιγαντόπερκας *Lates calcarifer* σε εκμεταλλεύσεις με κλωβούς σε εκβολές ποταμών, λιμνοδεξαμενές γλυκού νερού και σε συστήματα επανακυκλοφορίας του νερού (βλ. ενότητα 11.3.9). Το αρχικό επεισόδιο ξεκινά μετά την μετατόπιση χώματος στη λεκάνη απορροής όπου καλλιεργούνται τα *Lates calcarifer*. Οι απώλειες πλησιάζουν το 30% και δεν βελτιώνονται από τις θερμοκρασίες του χειμώνα. Επίσης, το *Vibrio harveyi* εξελίσσεται ως κύρια εντερική ασθένεια στα εκκολαπτήρια του *Lates calcarifer*.

Από πολιτική άποψη, υπήρξαν σημαντικά προβλήματα που σχετίζονται με νονταϊούς (nodaviruses) που προκαλούν ιογενή εγκεφα-



Εικόνα. 10.5 Γιγαντόπερκα *Lates calcarifer* μολυσμένη με τη νόσο της 'λευκής κηλίδας' (*Cryptocaryon irritans*). Πηγή: αναπαραγόμενη με άδεια από τον Καθηγητή Bob Lester.

λοπάθεια και αμφιβληστροειδοπάθεια των προνυμφών του *Lates calcarifer*, και σκοτώνουν νεαρές, συνωστισμένες προνύμφες, ιδιαίτερα σε όψιμες παρτίδες του εκκολαπτηρίου. Η εκτροφή του *Lates calcarifer* έξω από το φυσική του γεωγραφική κατανομή στην λεκάνη απορροής Murray-Darling, στην νοτιοανατολική Αυστραλία, και έχει συζητηθεί έντονα η πιθανή επίδραση του νονταϊού στα ενδημικά ψάρια του γλυκού νερού. Ένας παρόμοιος, αν όχι ταυτόσημος ιός, βρέθηκε στο *Lates calcarifer* στην Ταϊτή και τη Σιγκαπούρη, και στα περισσότερα είδη ψαριών (περίπου 30 είδη σήμερα) σε όλο τον κόσμο. Σχεδόν όλα τα ψάρια που αναπτύχθηκαν σε θαλάσσια εκκολαπτήρια καταλήγουν να μολύνονται με αυτόν τον ιό, που ταυτοποιείται μόλις χρησιμοποιηθούν τα σωστά εργαλεία για την ανίχνευσή του.

Άλλα παθογόνα που παρατηρούνται από καιρό σε καιρό περιλαμβάνουν τον ιό της λεμφοκύστης που σχετίζεται με βιοεποικισμένους ιχθυοκλωβούς στη θάλασσα, τη δονακίωση, την επιθηλιοκύστη και την *Epieimeria*. Οι πειραματικές μολύνσεις με τον ιριδιοό του Bohle, έναν *Ranavirus*, έδειξαν ότι η γιγαντόπερκα *Lates calcarifer* είναι εξαιρετικά ευαίσθητη τόσο στα γλυκά όσο και στα θαλασσινά νερά. Η συνολική θνησιμότητα συνήθως συμβαίνει εντός 10 ημερών.

Άλλα αξιοσημείωτα θερμόφιλα είδη περιλαμβάνουν τα διάφορα είδη ροφών που καλλιεργούνται σε όλη την Ασία. Οι νονταϊοί αποτελούν το κυριότερο θέμα στις προνύμφες, και τα νεαρά ψάρια με τον έλεγχο των γεννητόρων και την εφαρμογή μέτρων βιοασφάλειας στο εκκολαπτήριο, να είναι τα πιο υποσχόμενα μέτρα ελέγχου επί του παρόντος. Παρόλο που τα πειραματικά εμβόλια φαίνεται να είναι υποσχόμενα σε μεγαλύτερου μεγέθους ψάρια (Κεφάλαιο 12), η προστα-

σία του γόνου είναι πιο προβληματική. Ένας συνδυασμός εμβολιασμού νεαρών ατόμων και γεννητόρων, και μέτρων βιοασφάλειας στο εκκολαπτήριο φαίνεται να είναι το πιο ελπιδοφόρο μέσο ελέγχου στο μέλλον. Οι βακτηριακές ασθένειες των θερμόφιλων θαλάσσιων ψαριών περιλαμβάνουν το *Photobacterium damsela* subsp. *piscicida*, τη δονακίωση που προκαλείται από διάφορα είδη *Vibrio* και την στρεπτοκόκκωση που προκαλείται από το *Streptococcus iniae* και το *S. agalactiae*. Δεδομένου ότι το μεγαλύτερο μέρος των εξελίξεων της υδατοκαλλιέργειας λαμβάνει χώρα σε ζεστά νερά, είναι εδώ που καινούργιες ασθένειες είναι πιθανότερο να προκύψουν ως σημαντικά προβλήματα για το μέλλον.

10.6 Περίληψη

- Η φύση της υδατοκαλλιέργειας και οι καλύτερες τεχνολογίες καταπολέμησης των ασθενειών είναι οι άμεσοι εχθροί για το καθένα τους.
- Η υδατοκαλλιέργεια στοχεύει στη μεγιστοποίηση του κέρδους, αναπτύσσοντας όσο το δυνατόν περισσότερους οργανισμούς στον μικρότερο δυνατό όγκο νερού, ενώ οι μεθοδολογίες κατά της ασθένειας περιλαμβάνουν τη διατήρηση της πυκνότητας των εκτροφών όσο το δυνατόν χαμηλότερα.
- Καθώς το κέρδος είναι ο κύριος στόχος της υδατοκαλλιέργειας και οι πυκνότητες εκτροφής μεγιστοποιούνται εξαιτίας του, τα προβλήματα της νόσου ενισχύονται.
- Λόγω των παραπάνω, οι υδροβιοπαθολόγοι θα είναι πάντα σε ζήτηση και οι προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν, καθιστούν την ειδικότητα μια πολύ ενδιαφέρουσα και ικανοποιητική καριέρα για τους σπουδαστές.

Βιβλιογραφία

- Elston, R.A. 1990. *Mollusc Diseases: Guide for the Shellfish Farmer*. Washington Sea Grant Program, University of Washington Press, Seattle.
- Hoole, D., Bucke, D., Burgess, P., Wellby, I. 2001. *Diseases of Carp and Other Cyprinid Fishes*. Fishing News Books, Oxford.
- Kabata, Z. 1985. *Parasites and Diseases of Fish Cultured in the Tropics*. Taylor and Francis, London.

- Kent, M.L., Margolis, L. 1995. Parasitic protozoa of seawater-reared salmonids. *Aquaculture Magazine*, 21, 64–74.
- Pickering, A.D. (Ed.) 1981. *Stress and Fish*. Academic Press, London.
- Shinn, A.P., Pratoomyot, J., Bron, J.E., Paladini, D., Brooker, E.E., Brooker, A.J. 2015. Economic costs of protistan and metazoan parasites to global mariculture. *Parasitology*, 142, 196–270.

11

Παθογόνα και Παράσιτα

Kate S. Hutson και Kenneth D. Cain

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

11.1	Εισαγωγή, 321	11.9	Ακανθοκέφαλα, 358
11.2	Ιοί, 322	11.10	Βδέλλες, 358
11.3	Βακτήρια, 330	11.11	Καρκινοειδή, 360
11.4	Μύκητες, 340	11.12	Ιχθυογενείς Ζωονοσογόνοι Παράγοντες και Υδατοκαλλιέργεια 364
11.5	Πρωτόζωα, 342	11.13	Υδροπονία, 367
11.6	Μυξόζωα, 348	11.14	Περίληψη, 367
11.7	Πλατυέλμινθες, 350		Βιβλιογραφία, 368
11.8	Νηματώδεις, 356		

11.1 Εισαγωγή

Υπάρχει μια τεράστια ποικιλία παθογόνων και παρασίτων που μπορεί να μολύνει τους υδρόβιους οργανισμούς. Τα παθογόνα, όπως περιγράφονται στο παρών κεφάλαιο, είναι οι μολυσματικοί οργανισμοί (ιοί, βακτήρια και μύκητες) που προκαλούν ασθένεια και θα βλάψουν τον ξενιστή ή το κύτταρο. Τα παράσιτα μπορεί να θεωρηθούν ως παθογόνα αν αυτά προκαλούν ασθένεια σε ένα είδος ξενιστή, αλλά ένα παράσιτο μπορεί να ζει πάνω ή εντός ενός ξενιστή για το σύνολο ή ένα μέρος της ζωής του, αλλά να μην προκαλεί κλινική ασθένεια. Οι συνθήκες που σχετίζονται με την εντατική μονοκαλλιέργεια των υδρόβιων ζώων σημαίνουν ότι, μόνο μια περιορισμένη ποικιλία νοσογόνων παραγόντων μπορεί να αναπτυχθεί και να βλάψει το εκτρεφόμενο ζωικό κεφάλαιο. Η εξειδίκευση στον ξενιστή είναι αδιαμφισβήτητη η σημαντικότερη ιδιότητα ενός παθογόνου ή παρασίτου, διότι μπορεί να καθορίσει εάν έχει τη δυνατότητα να εγκατασταθεί στην υδατοκαλλιέργεια, αν και υπάρχει η δυνατότητα εμφάνισης νέων παθογόνων και παρασιτικών ασθενειών ή ελεύθερα διαβιούντες ορ-

γανισμοί να μεταβούν σε έναν παρασιτικό τρόπο ζωής. Τα συστήματα υδατοκαλλιέργειας και οι πρακτικές βιοασφάλειας έχουν αντίκτυπο πάνω στην ποικιλότητα και την λοιμογόνο δύναμη των παθογόνων και των παρασίτων, είτε προάγοντας την εκθετική ανάπτυξη ή πιθανώς εξαλείφοντας τις συνθήκες που είναι απαραίτητες για να επιβιώσουν κάποια είδη. Οι στρατηγικές διαχείρισης των ασθενειών είναι πιο αποτελεσματικές εάν μπορεί να αποφευχθεί η επαφή του ξενιστή με τα παθογόνα. Ωστόσο, σε πολλά συστήματα υδατοκαλλιέργειας τα ψάρια εκτίθενται φυσικά σε ενδημικά παθογόνα και έτσι απαιτούνται άλλες στρατηγικές με στόχο την πρόληψη των ασθενειών (π.χ., εμβολιασμός) ή συμπτωματικές μέθοδοι (δηλ., θεραπείες) για να ελαχιστοποιηθούν οι επιπτώσεις συγκεκριμένων παθογόνων.

Αυτό το κεφάλαιο παρέχει μια εισαγωγή στην ποικιλομορφία των μολυσματικών βιολογικών παραγόντων που απαντώνται συνήθως όταν καλλιεργούνται υδρόβια ζώα και επισημαίνει συγκεκριμένες και ευρύτερες επιπτώσεις από την κάθε ομάδα. Αναπτύσσονται ειδικές μελέτες περιπτώσεων για ιδιαίτερα επιβλαβή παθογόνα και παρά-

σιτα στα υδρόβια ψάρια και ασπόνδυλα. Περιγράφονται οι τρέχουσες προσεγγίσεις για τη μείωση της έντασης της μόλυνσης για κάθε ομάδα και εξετάζονται επίσης πιθανές ασθένειες του ανθρώπου που σχετίζονται με την παραγωγή υδρόβιων ζώων. Τα φυτά που καλλιεργούνται σε συστήματα υδροπονίας υπόκεινται σε πολλά από τα ίδια παράσιτα και ασθένειες που επηρεάζουν τα τρόφιμα από υδατοκαλλιέργειες, τα οποία έχουν τεκμηριωθεί καλά σε άλλες πηγές, και έτσι, επισημαίνονται εδώ και οι στρατηγικές για τη διαχείριση αυτών των ασθενειών. Ο Παγκόσμιος Οργανισμός για την Υγεία των Ζώων (OIE, World Organisation for Animal Health) παρέχει στην ιστοσελίδα του έναν τρέχοντα κατάλογο ασθενειών που πρέπει να δηλώνονται (ασθένειες που απαιτείται από το νόμο να δηλώνονται στις κυβερνητικές αρχές) για μαλάκια, καρκινοειδή και ψάρια και υπάρχουν σημαντικά οικονομικά κόστη, που αποδίδονται σε μια σειρά βασικών παρασίτων και παθογόνων στις μεγαλύτερες βιομηχανίες υδατοκαλλιέργειας του κόσμου σε θαλασσινό και υφάλμυρο νερό (π.χ., Shinn et al., 2015). Υπάρχουν πολλά βιβλία που αφιερώνονται ειδικά σε ασθένειες και διαταραχές των υδρόβιων ζώων, από όπου μπορούν να αντληθούν περαιτέρω πληροφορίες.

11.2 Ιοί

Οι ιοί είναι μικρά σωματίδια που είναι μολυσματικά και απαιτούν ένα κύτταρο ξενιστή για να αναπαραχθούν. Τα ιικά σωματίδια αναφέρεται ως ιοσωμάτιο ή βίριο (virion) και το γενετικό του υλικό μπορεί να είναι είτε DNA είτε RNA που περιβάλλεται από ένα πρωτεϊνικό περίβλημα ή καψίδιο που παρέχει προστασία στο γενετικό υλικό. Σε ορισμένες περιπτώσεις, οι ιοί ενδέχεται να φέρουν φάκελο, που σημαίνει ότι το ιοσωμάτιο έχει εξωτερικά έναν λιπιδικό φάκελο που συνήθως αποκτάται από τη μεμβράνη του κυττάρου-ξενιστή καθώς πολλαπλασιάζεται και στη συνέχεια εξέρχεται από το κύτταρο ξενιστή, για να σχηματίσει ένα νέο σωματίδιο ιού (βίριο). Τα σχήματα των ιών μπορεί να είναι σύνθετα και κυμαίνονται από απλές ελικοειδείς μορφές έως εικοσαεδρικές μορφές. Οι περισσότεροι ιοί μπορούν να παρατηρηθούν μόνο με τη χρήση ηλεκτρονικού μικροσκοπίου. Εάν χρησιμοποιούνται ειδικές χρωστικές και δεί-

κτες, είναι δυνατή η απεικόνιση μολυσμένων κυττάρων με ιό χρησιμοποιώντας οπτική μικροσκοπία, αλλά τα ίδια τα ιικά σωματίδια είναι πολύ μικρά για να γίνουν ορατά. Για τη διάγνωση ή τον εντοπισμό των ιών, πρέπει να ανιχνευθούν σε κυτταροκαλλιέργεια μολύνοντας κυτταρικές σειρές στις οποίες μπορούν να αναπαραχθούν. Αυτές οι κυτταρικές σειρές καλλιεργούνται στο εργαστήριο σε θρεπτικά υλικά και όταν εφαρμόζεται ένα δείγμα που περιέχει ιό, ο ειδικός που κάνει την διάγνωση θα παρατηρήσει με το μικροσκόπιο την καταστροφή των κυττάρων και τη λύση τους. Αυτό συνήθως αναφέρεται ως κυτταροπαθολογική επίδραση (CPE, CytoPathic Effect) του ιού. Οι ιοί μπορούν να μολύνουν πολλούς οργανισμούς και μια σειρά από κυτταρικές σειρές έχουν αναπτυχθεί από φυτά, έντομα, θηλαστικά και ψάρια. Ορισμένοι ιοί (π.χ., βακτηριοφάγοι) μπορούν να μολύνουν ακόμη και βακτηριακά κύτταρα και μπορεί να έχουν εξειδίκευση σε συγκεκριμένους τύπους βακτηρίων.

Στην υδατοκαλλιέργεια, οι ιοί μπορούν να εξαπλωθούν μέσω συγκεκριμένων φορέων (π.χ., παράσιτα που απομυζούν αίμα), μέσω της οδού κοπράνων-στόματος, φυσική επαφή ή/και είσοδος στο σώμα μέσω της τροφής ή του νερού. Οι ιογενείς λοιμώξεις στα ζώα μπορεί να προκαλέσουν μία ανοσοαπόκριση που μπορεί να εξαλείψει τον μολυσματικό ιό. Ωστόσο, μερικοί ιοί είναι αποτελεσματικοί στην αποφυγή του ανοσοποιητικού συστήματος του ξενιστή και μπορεί ακόμη να χρησιμοποιήσουν τμήμα του κυττάρου του ξενιστή για να σχηματίσουν έναν ιικό φάκελο καθώς πολλαπλασιάζονται και αναδύονται από ένα κύτταρο. Αυτό το καθιστά δύσκολο για τον ξενιστή να αναγνωρίσει το σωματίδιο του ιού ως ξένο σώμα και να αναπτύξει μια ανοσολογική απόκριση για να το εξουδετερώσει. Έχουν αναπτυχθεί εμβόλια για μερικές επιλεγμένες ιογενείς ασθένειες που επηρεάζουν την υδατοκαλλιέργεια, αλλά η χρήση τους δεν είναι επί του παρόντος ευρέως διαδεδομένη. Αυτά που είναι διαθέσιμα συνήθως αποτελούνται από ένα μη-λοιμογόνο ή νεκρό ιό ή κάποιο συστατικό του ιού που ενδιαφέρει (π.χ., πρωτεΐνη ή DNA) και χορηγούνται στο ζώο με ένεση, εμβάπτιση ή δια του στόματος με τη τροφή. Μετά από μια χρονική περίοδο (συνήθως εξαρτώμενη από την θερμοκρασία) το ανοσοποιητικό σύστημα του ξε-

νιστή ανταποκρίνεται στα ιϊκά 'αντιγόνα' και προσδίδει ένα επίπεδο επίκτητης ανοσίας που θα καταλήξει στην παραγωγή αντισωμάτων έναντι του ιού. Αυτά τα αντισώματα στη συνέχεια παρέχουν ειδική προστασία και εξουδετέρωση του παθογόνου ιού-στόχου εάν το ζώο έλθει σε επαφή με αυτόν σε μεταγενέστερο χρόνο.

Τα ιϊκά παθογόνα αποτελούν σημαντική πρόκληση για την υδατοκαλλιέργεια και μπορεί να είναι καταστροφικά σε εκκολαπτήρια ή όταν συμβεί κάποιο ξέσπασμα ασθένειας σε εγκαταστάσεις πάχυνσης. Για τις περισσότερες ιογενείς ασθένειες, υπάρχουν περιορισμένες επιλογές ελέγχου ή πρόληψης. Έχουν απομονωθεί εκατοντάδες διαφορετικοί ιοί από μολυσμένα ψάρια, αλλά μόνο ένα μικρό ποσοστό προκαλεί σημαντικές επιπτώσεις στην υδατοκαλλιέργεια ή θεωρούνται ότι είναι ρυθμιστικής σημασίας και παράγοντες ασθένειας που πρέπει να δηλωθούν, όπως ορίζεται από τον Παγκόσμιος Οργανισμός για την Υγεία των Ζώων (OIE). Καθώς η υδατοκαλλιέργεια σε γλυκά και θαλάσσια νερά επεκτείνεται παγκοσμίως, υπάρχουν μεγαλύτερες ευκαιρίες για τη μετάδοση και την εξάπλωση υδρόβιων ιών, και οι ιογενείς ασθένειες θα συνεχίσουν να προκαλούν σημαντικές επιπτώσεις στην παραγωγή της υδατοκαλλιέργειας. Νέα και αναδυόμενα ιογενή παθογόνα που επηρεάζουν την υδατοκαλλιέργεια ανακαλύπτονται συνεχώς. Ένα παράδειγμα είναι η πρόσφατη ανακάλυψη του ιού της λίμνης της τιλάπιας (TiLV, Tilapia Lake Virus) που διαπιστώθηκε ότι ήταν η αιτία σημαντικής θνησιμότητας σε εκτροφές τιλάπιας στο Ισραήλ και τον Ισημερινό. Σε αυτό το κεφάλαιο, παρουσιάζονται μια σειρά από ιϊκές ομάδες και ειδικούς ιϊκούς παράγοντες που επηρεάζουν τόσο εκτρεφόμενα όσο και άγρια ψάρια. Οι γαριδοκαλλιέργειες έχουν επίσης επηρεαστεί σε πολύ μεγάλο βαθμό από ιϊκές ασθένειες (βλ. ενότητες 10.5.2.1 και 22.10). Για παράδειγμα, ο ιός του συνδρόμου της λευκής κηλίδας (WSSV, White Spot Syndrome Virus) έχει αποδεκατίσει την παραγωγή γαρίδας σε πολλές περιοχές λόγω της ταχείας εξάπλωσής του και της υψηλής θνησιμότητας. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι σε αυτό το κεφάλαιο δεν εκπροσωπούνται όλες οι ιϊκές ομάδες και οικογένειες και ότι περιγράφεται μόνο ένα τμήμα των πολλών ιϊκών παθογόνων που επηρεάζουν την υδατοκαλλιέργεια. Υπάρχουν πολλά

διαθέσιμα βιβλία και εργασίες ανασκόπησης που παρέχουν σε βάθος κάλυψη αυτών και άλλων σημαντικών ιϊκών παθογόνων των ψαριών, των καρκινωειδών και των μαλακίων.

11.2.1 Βητανονταϊοί

Το γένος *Betanodavirus* ανήκει στην οικογένεια *Nodaviridae*. Οι ιοί αυτού του γένους συνδέονται με ξεσπάσματα ασθενειών σε άγρια και εκτρεφόμενα είδη ψαριών, ενώ το άλλο γένος της οικογένειας, το *Alphanodavirus* προκαλεί ασθένεια στα έντομα. Πολλά διαφορετικά είδη ψαριών σε θαλάσσια και γλυκά νερά είναι ευαίσθητα στη μόλυνση από ιούς *Betanoda* και η ασθένεια αναφέρεται συχνά ως ιογενής νευρική νέκρωση (VNN, Viral Nervous Necrosis), αλλά τώρα έχει αναγνωριστεί και μετονομαστεί σε ιογενή εγκεφαλοπάθεια και αμφιβληστροειδοπάθεια (VER, Viral Encephalopathy and Retinopathy) από τον Παγκόσμιο Οργανισμό για την Υγεία των Ζώων (OIE). Αυτός ο ιός VER έχει απομονωθεί από ψάρια σε όλες τις ηπείρους εκτός από τη Νότια Αμερική. Ωστόσο, υπήρξε μία αναφορά για την ταυτοποίηση θετικών σε *Nodavirus* δειγμάτων από τους εγκεφάλους δύο ενυδρειακών ειδών του γλυκού νερού που εισήχθησαν στην Νότια Κορέα από τον Αμαζόνιο. Οι μολύνσεις από *Nodavirus* φαίνεται να επικρατούν σε περιοχές όπου είναι ευρέως διαδεδομένη η εκτροφή θαλάσσιων ψαριών και έχουν συνδεθεί με σοβαρές επιδημίες ασθένειας κυρίως σε προνύμφες και νεαρά θαλασσινά ψάρια καθώς και σε ψάρια του γλυκού νερού. Στην Αυστραλία, η ιογενής εγκεφαλοπάθεια και αμφιβληστροειδοπάθεια (VER) εντοπίστηκε για πρώτη φορά στην γιγαντόπερκα (*Lates calcarifer*), και ο ιός έχει απομονωθεί από 40 είδη ψαριών παγκοσμίως (Colorni and Diamant, 2014).

Τα είδη του ιού της νευρικής νέκρωσης (NNV, Nervous Necrosis Virus) είναι μικροί (25-30 nm), διαθέτουν μονόκλωνο RNA, δεν φέρουν φάκελο και διαθέτουν ένα καψίδιο εικοσαεδρικής συμμετρίας (Colorni and Diamant, 2014). Μια σημαντική πτυχή των λοιμώξεων από τον ιό *Nodavirus* είναι ότι μεταδίδεται κάθετα (από τα ενήλικα άτομα στους απογόνους τους) και οριζόντια (μεταξύ των ατόμων). Είναι πιθανό ότι οι μολυσμένοι γεννητόρες μεταδίδουν τον ιό που προκαλεί την ιο-

γενή εγκεφαλοπάθεια και αμφιβληστροειδοπάθεια (VER) στους απογόνους κατά τη διάρκεια της γενεολογίας ή την εκτροφή. Τα κλινικά συμπτώματα ποικίλλουν αλλά ο ιός είναι γνωστό ότι επηρεάζει τους νευρικούς ιστούς και μπορεί να προκαλέσει ακανόνιστη κολύμβηση, περιστροφή, απώλεια ισορροπίας και τύφλωση, πιθανώς λόγω του τροπισμού του για τον ιστό του αμφιβληστροειδούς, ο οποίος αποτελεί κύριο σημείο της αναπαραγωγής του ιού (Colorni and Diamant, 2014). Επειδή τα ψάρια που επιβιώνουν συχνά γίνονται ασυμπτωματικοί φορείς και ο ιός επηρεάζει τις προνύμφες και τα νεαρής ηλικίας ψάρια, η βιοασφάλεια είναι σημαντική. Επιδημίες έχουν αναφερθεί στο Ευρωπαϊκό λαβράκι (*Dicentrarchus labrax*) στη δεκαετία του 1990, και η πρώτη αναφορά του ιού VER στην Βόρεια Αμερική συνέβη στην Καλιφόρνια σε νεαρά άτομα στο λευκό λαβράκι (*Atractoscion nobilis*) που εκτρέφονταν στα πλαίσια της προσπάθειας ανάκαμψης του τοπικού πληθυσμού. Τα μέτρα ελέγχου για την ιογενή εγκεφαλοπάθεια και αμφιβληστροειδοπάθεια (VER) είναι περιορισμένα και δεν υπάρχει διαθέσιμο εμπορικό εμβόλιο. Επειδή τα ψάρια που επιβιώνουν των επιδημιών μπορεί να γίνουν φορείς, η καλύτερη μέθοδος για τη μείωση των επιπτώσεων από την VER είναι η εξάλειψη της παρουσίας της μέσω αυστηρών μέτρων βιοασφάλειας και υγιεινής. Τα μολυσμένα ψάρια μπορεί να χρειαστεί να απομακρυνθούν από τον πληθυσμό και τα νέα ψάρια θα πρέπει να τίθενται σε καραντίνα και να ελέγχονται πριν από την ανάμειξή τους με τον γενικό πληθυσμό.

11.2.2 Ιοί Birna

Οι ιοί της οικογένειας Birnaviridae είναι ιοί χωρίς φάκελο, με δίκλωνο RNA (dsRNA), με εικοσαεδρικό σχήμα, που μολύνουν ψάρια και οστρακοειδή. Το γένος *Aquabirnavirus* περιλαμβάνει τρία είδη, με το πρώτο να είναι το τυπικό είδος του ιού της Λοιμώδους Παγκρεατικής Νέκρωσης (IPNV, Infectious Pancreatic Necrosis Virus), το δεύτερο είναι ο θαλάσσιος ιός *Aquabirnavirus* (MABV, Marine AquaBirnaVirus) που μολύνει το Ιαπωνικό μαγιάτικο (*Seriola quinqueradiata*) και αναφέρεται ως ο ιός του ασκίτη του Ιαπωνικού μαγιάτικου (YAV, Yellowtail Ascites Virus), και το τρίτο είναι ο ιός *Tellina* (TV-1, *Tellina Virus*) που έχει απομονωθεί

από το θαλάσσιο μαλάκιο *Tellina tenuis*. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ο ιός YAV έχει έκτοτε αποδειχθεί ότι μολύνει μια ποικιλία θαλάσσιων ξενιστών.

Ο ιός IPNV είναι ένας από τους σημαντικότερους ιούς των ψαριών σε αυτή την οικογένεια και προκαλεί την ασθένεια της Λοιμώδους Παγκρεατικής Νέκρωσης (IPN, Infectious Pancreatic Necrosis). Αν και υπήρχαν υποψίες για ιογενείς ασθένειες σε εκκολαπτήρια στις αρχές έως τα μέσα της δεκαετίας του 1900, ο IPNV και άλλοι ιοί ψαριών κατέστη δυνατό να ταυτοποιηθούν μετά τη δημιουργία κυτταρικών σειρών από συγκεκριμένα είδη ψαριών. Ο IPNV προκαλεί οξεία νόσο και είναι εξαιρετικά μεταδοτικός, επηρεάζοντας συχνότερα τα πιο νεαρά άτομα των σολομοειδών. Σε ορισμένες περιπτώσεις, η θνησιμότητα στο εκκολαπτήριο φτάνει έως και 100% (Crane and Hyatt, 2011). Ο IPNV χαρακτηρίζεται ως ένας υδρόβιος ιός Birna και από τη στιγμή της ανακάλυψής του παρόμοιοι ιοί που μοιάζουν με τον IPN (συχνά μη-λοιμογόνους) έχουν βρεθεί σε πολλά είδη (ξενιστές) σολομοειδών και μη, τόσο στο γλυκό όσο και στο θαλάσσιο νερό.

Ενδιαφέρουσες εκθέσεις περιπτώσεων έχουν ταυτοποιήσει τόσο μη λοιμογόνες μορφές υδρόβιων Βιρναϊών όσο και λοιμογόνες μορφές του IPNV που έχουν επηρεάσει εγκαταστάσεις υδατοκαλλιέργειας. Στην Αυστραλία, η πρώτη αναφορά ενός υδρόβιου Βιρναϊού ήταν από συνήθη δειγματοληψία σε εγκαταστάσεις καλλιέργειας σολομού του Ατλαντικού. Αυτός ο ιός αναπτύχθηκε σε μια σειρά από κυτταρικές σειρές ψαριών και αντέδρασε με εμπορικούς αντι-ορούς IPNV. Ωστόσο, δεν παρατηρήθηκε ποτέ κλινική ασθένεια που να σχετιζόταν με αυτή την απομόνωση και στη συνέχεια απομονώθηκε από μια σειρά άλλων ειδών στο θαλάσσιο περιβάλλον. Η πρώτη αναφορά του IPNV στο Μεξικό προήλθε από μια επιδημία σε εκτρεφόμενη ιριδιζούσα πέστροφα (*Oncorhynchus mykiss*) όπου η μακροσκοπική και μικροσκοπική παθολογία ήταν σύμφωνη με την IPN. Περαιτέρω χαρακτηρισμός ταυτοποίησε αυτό το στέλεχος ως το στέλεχος Buhl του IPNV.

Η μεταδοτική φύση του IPNV προκαλεί προβληματισμό και τα ψάρια που επιβιώνουν από μια επιδημία της νόσου συχνά γίνονται ασυμπτωματικοί φορείς που είναι σε θέση να μεταδώσουν οριζόντια τον IPNV χωρίς να παρουσιάζουν κλινικά

συμπτώματα της νόσου. Η καλύτερη στρατηγική ελέγχου για την IPN ή οποιαδήποτε ιογενή νόσο που επηρεάζει τα ψάρια είναι η αποφυγή της επαφής μέσω της κατάλληλης βιοασφάλειας. Δεν είναι όμως πάντα δυνατό να αποφεύγεται η επαφή. Επομένως, άλλες επιλογές διαχείρισης, όπως ο εμβολιασμός, είναι διαθέσιμος σε ορισμένες χώρες.

11.2.3 Ερπητοϊοί

Δύο σημαντικοί ιοί των ψαριών στη τάξη Herpesvirales και της οικογένειας των Alloherpesviridae είναι ο ιός του γατόψαρου (CCV, Channel Catfish Virus) και ο ερπητοϊός του κόι (KHV, Koι HerpesVirus). Αυτοί οι ιοί είναι εξαιρετικά μεταδοτικοί. Ο CCV και ο KHV έχουν οδηγήσει σε σημαντικό οικονομικό αντίκτυπο στην βιομηχανία υδατοκαλλιέργειας των γατόψαρων των ΗΠΑ και των παραγωγών διακοσμητικών κόι, αντίστοιχα.

Ο ιός του γατόψαρου (CCV) θεωρείται ενδημικός στις ΗΠΑ και η ιογενής ασθένεια του γατόψαρου (CCVD, Channel Catfish Virus Disease) προέκυψε ως πρόβλημα κατά τα πρώτα χρόνια της εμπορικής καλλιέργειας γατόψαρων. Στη δεκαετία του 1960, αναφέρθηκαν υψηλές θνησιμότητες στο γατόψαρο *Ictalurus punctatus* κυρίως στο γόνιο και τα νεαρά άτομα μετά από την εισαγωγή τους από το εκκολαπτήριο στις λιμνοδεξαμενές προανάπτυξης και το 1971, ο ιός του γατόψαρου (CCV) αναγνωρίστηκε ως ένας ερπητοϊός. Σήμερα υπάρχει σε όλες σχεδόν τις περιφέρειες των ΗΠΑ που παράγουν γατόψαρο. Δεν υπάρχει πρόληψη ή θεραπευτικές επιλογές για την ιογενή ασθένεια του γατόψαρου (CCVD), αλλά υπήρξαν προσπάθειες ανάπτυξης εμβολίων γι αυτή. Αποδείχθηκε ότι ένα εμβόλιο DNA μπορούσε να προσφέρει προστασία έναντι της CCVD. Ωστόσο, η χρήση του στην πράξη περιορίζεται από την ανάγκη χορήγησης με ένεση. Στα ψάρια, ο ιός του γατόψαρου (CCV) μπορεί να παραμείνει σε κατάσταση φορέα και η μετάδοση του ιού θεωρείται ότι γίνεται τόσο κάθετα από τους γεννήτορες όσο και οριζόντια μέσω του νερού. Στις υδατοσυλλογές εκτροφής γατόψαρων, η θερμοκρασία του νερού και άλλοι περιβαλλοντικοί παράγοντες καταπόνησης φαίνεται να διαδραματίζουν κάποιο ρόλο στην εμφάνιση της νόσου και τη σοβαρότητά της.

Ο ιός KHV, επίσης γνωστός ως ερπητοϊός των κυπρινοειδών 3, (CyHV-3, Cyprinid HerpesVirus 3) έχει πιο πρόσφατη ιστορία σε σύγκριση με τον ιό CCV αφού αναφέρθηκε για πρώτη φορά στο Ηνωμένο Βασίλειο το 1996. Έκτοτε έχει αναφερθεί και επιβεβαιώθηκε σε σχεδόν όλες τις χώρες που παράγουν κόι ή άλλους κοινούς κυπρίνους, εκτός από την Αυστραλία και τη Νέα Ζηλανδία. Είναι ενδιαφέρον ότι η Αυστραλία διερευνά την πιθανότητα ο ιός KHV να χρησιμοποιηθεί ως δυνητικός παράγοντας βιολογικού ελέγχου έναντι των εισβολικών κοινών κυπρίνων σε περιοχές όπου οι πληθυσμοί τους έχουν επεκταθεί. Ο ιός KHV είναι στην λίστα του Παγκόσμιου Οργανισμού για την Υγεία των Ζώων (OIE) ως δηλούμενη ασθένεια και αυτό δημιουργεί ρυθμιστική ανησυχία για τους παραγωγούς υδατοκαλλιέργειας και τους εκτροφείς κόι. Μόλις ένα ψάρι μολύνεται ή επιβιώνει από την νόσο του ερπητοϊού του κόι (KHVD, Koι HerpesVirus Disease) είναι δυνητικοί φορείς του ιού.

Δεν υπάρχει αποτελεσματική θεραπεία για την νόσο του ερπητοϊού του κόι (KHVD), ωστόσο, έχει εγκριθεί ένα εμβόλιο από εξασθενημένο ζωντανό ιό για την πρόληψη της νόσου. Έχει αποδειχθεί ότι παράγει υψηλούς τίτλους αντισωμάτων ειδικούς για τον ιό KHV και ότι προστατεύει τον κοινό κυπρίνο ή το κόι. Ένα σημαντικό ζήτημα είναι ότι οι κανονισμοί ελέγχου εισαγωγών και εξαγωγών ενδέχεται να μην επιτρέπουν την μετακίνηση των εμβολιασμένων ψαριών έναντι του ιού KHV. Αυτό αφορά τη ζωντανή φύση του εμβολίου και την αδυναμία των διαγνωστικών δοκιμών να διαφοροποιήσουν μεταξύ φυσικά μολυσμένων ή εμβολιασμένων ψαριών. Για τον ερασιτέχνη χομπίστα που εκτρέφει κόι ή τον παραγωγό κυπρίνων είναι σημαντικό να διατηρείται αυστηρή βιοασφάλεια και να αποφευχθεί η έκθεση των ψαριών στον ιό KHV.

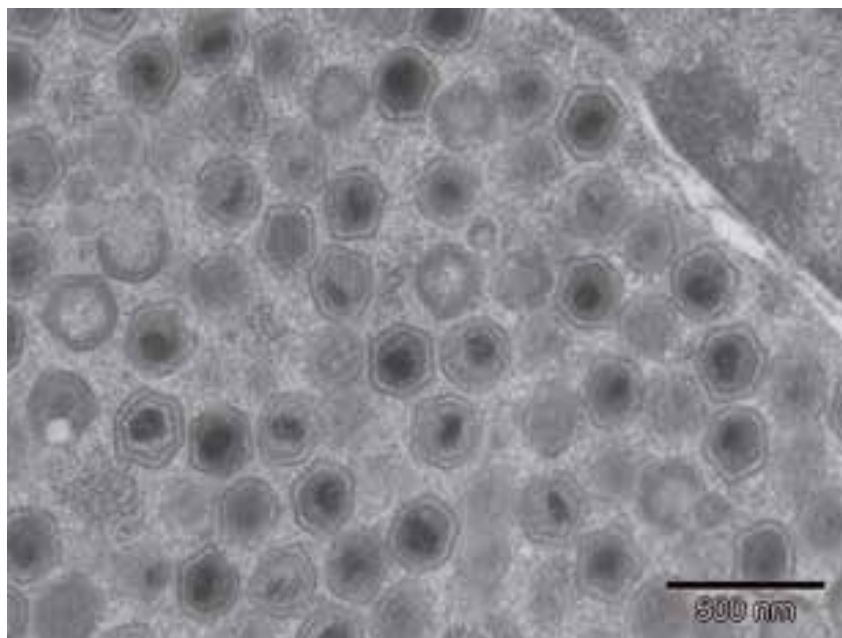
11.2.4 Ιριδοϊοί

Υπάρχουν ορισμένοι ιοί στην οικογένεια των ιριδοϊών (Iridoviridae) που μολύνουν τα ψάρια. Εδώ παρέχεται μια σύντομη επισκόπηση των πιο σημαντικών ειδών, αλλά είναι διαθέσιμη στη βιβλιογραφία μια σημαντική ανασκόπηση των ιριδοϊών των ψαριών (Whittington et al., 2010). Οι ιριδοϊοί των ψαριών εμπίπτουν σε τρία γένη μέσα σε αυτή την οι-

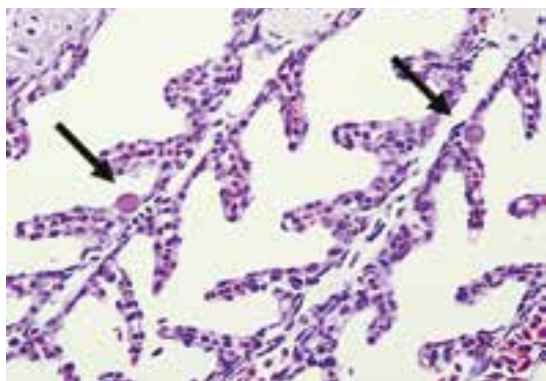
κογένεια, Μεγαλοκυτταροϊός (Megalocytivirus), Ραναϊός (Ranavirus) και ιός της Λεμφοκύστης (Lymphocystivirus). Υπάρχουν επίσης ιριδοϊοί ψαριών που δεν έχουν ακόμη καταταχθεί σε ένα γένος, όπως ο ιριδοϊός του λευκού οξύρρυγχου (WSIV, White Sturgeon Iridovirus) και ο ιός της ερυθροκυτταρικής νέκρωσης (Erythrocytic Necrosis Virus) (Whittington et al., 2010). Οι ιριδοϊοί είναι εικοσαεδρικοί σε σχήμα (**Εικόνα 11.1**), μεγάλοι σε μέγεθος (120-300 nm) και μπορεί να εμφανίζονται με φάκελο ή μη σε ορισμένες περιπτώσεις. Αποτελούνται από ένα γονιδίωμα δίκλωνου DNA που είναι μεθυλιωμένο κατά παρόμοιο τρόπο με αυτό των ιών που επηρεάζουν τα σπονδυλωτά.

Σε γενικές γραμμές, οι ραναϊοί και οι μεγαλοκυτταροϊοί είναι σημαντικά αναδυόμενα παθογόνα για τα καλλιεργούμενα και τα άγρια ψάρια και επηρεάζουν τα ψάρια τόσο στα θαλάσσια όσο και στα γλυκά νερά. Η ασθένεια του ιού της λεμφοκύστης (LVD, Lymphocystis Virus Disease) επηρεάζει τα ινοβλαστικά κύτταρα στο δέρμα και στον συνδετικό ιστό με αποτέλεσμα επιφανειακές αλλοιώσεις στα ψάρια. Η ασθένεια του ιού της λεμφοκύστης (LVD) είναι γνωστό ότι επηρεάζει περισσότερο από 125 είδη άγριων και εκτρεφόμενων ειδών ιχθύων σε θαλάσσια και γλυκά νερά και είναι

ευρέως διαδεδομένη. Η μετάδοση είναι οριζόντια και τα ποσοστά περιστατικών για αυτή την ασθένεια μπορεί να είναι έως και 70%. Έχει υποτεθεί ότι ένας άλλος ιριδοϊός (WSIV) μπορεί να μεταδίδεται κάθετα καθώς επιδημίες της νόσου έχουν παρατηρηθεί σε απογόνους ενηλίκων του λευκού οξύρρυγχου (*Acipenser transmontanus*) που συλλέχθηκαν από το φυσικό περιβάλλον και αναπαράχθηκαν για τη διατήρηση των φυσικών αποθεμάτων ή μέσω προγραμμάτων για εμπορική υδατοκαλλιέργεια. Η δυνατότητα ο ιριδοϊός WSIV να μπορεί να μεταδοθεί κάθετα διερευνήθηκε μετά από συλλογή και απολύμανση γαμετών από άγριους οξύρρυγχους. Η κάθετη μετάδοση δεν συνέβη αλλά μολύνθηκαν όλοι οι απόγονοι των αβγών που επωάστηκαν χρησιμοποιώντας νερό ποταμού. Αυτό και άλλα πειράματα συμβίωσης έδειξαν σαφώς ότι ο ιριδοϊός WSIV μεταδόθηκε οριζόντια και ότι ήταν εξαιρετικά μολυσματικός. Ο WSIV δεν προκαλεί συστημική λοίμωξη και φαίνεται να είναι κατά κύριο λόγο εντοπισμένος στην επιδερμίδα του δέρματος, στους μύστακες, στον στοματοφάρυγγα και στα βράγχια του οξύρρυγχου. Αν και τα κλινικά συμπτώματα ποικίλλουν και παρατηρείται περιορισμένη παθολογία ή ιστική κατανομή, μπορεί να εμφανιστεί αιμορραγία, και η θνησιμότητα



Εικόνα 11.1 Ηλεκτρονική μικρογραφία σωματιδίων του ιριδοϊού του λευκού οξύρρυγχου, *Acipenser transmontanus*, (WSIV), που εμφανίζουν το χαρακτηριστικό εικοσαεδρικό σχήμα. Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από τον Dr J. Drennan, Colorado Parks & Wildlife.



(A)



(B)

Εικόνα 11.2 (A) Κύτταρα από βραγχιακά νημάτια λευκού οξύρρυγχου μολυσμένα από τον ιριδοϊό WSIV. Τα βέλη δείχνουν μολυσμένα κύτταρα. (B) Νεαρό άτομο λευκού οξύρρυγχου με σημάδια απίσχνασης λόγω έλλειψης πρόσληψης τροφής μετά από μόλυνση από τον ιριδοϊό WSIV. Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από τον Dr. J. Drennan, Colorado Parks & Wildlife.

μπορεί να είναι υψηλή στα βαριά μολυσμένα ψάρια λόγω δευτερογενούς βακτηριακής μόλυνσης ή πιθανώς ενός συνδρόμου οργανικής καταπόνησης με αποτέλεσμα την απίσχναση (emaciation) και τελικά τον θάνατο (**Εικόνα 11.2**).

Ο ιός της επιζωοτικής αιματοποιητικής νέκρωσης (EHNV, Epizootic Haematopoietic Necrosis Virus) απομονώθηκε το 1985 στην Αυστραλία και αντιπροσωπεύει τον πρώτο γνωστό ιριδοϊό που προκαλεί συστηματική μόλυνση και υψηλή θνησιμότητα στα ψάρια. Φαίνεται ότι περιορίζεται στην Αυστραλία, όπου σημειώνονται μεγάλα γεγονότα θνησιμότητας στην άγρια Ευρωπαϊκή πέρκα (*Perca fluviatilis*) και σοβαρές επιδημίες σε εκτρεφόμενη ιριδίζουσα πέστροφα (*Oncorhynchus mykiss*). Λόγω της λοιμογόνου δύναμης του και του εντοπισμού της, η ασθένεια της επιζωοτικής αιματοποιητικής νέκρωσης (EHN, Epizootic Haematopoietic Necrosis) είναι υποχρεωτικά δηλούμενη στον Παγκόσμιο Οργανισμό για την Υγεία των Ζώων (ΟΙΕ). Σε γενικές γραμμές, η Ευρωπαϊκή πέρκα είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη και θεωρείται ότι είναι σημαντικός φορέας του ιού. Ωστόσο, η εμφάνιση θνησιμότητας στις εκτρεφόμενες ιριδίζουσες πέστροφες υπογραμμίζει τον πιθανό κίνδυνο που υπάρχει σε περίπτωση εξάπλωσης αυτού του ιού εκτός ενδημικών περιοχών.

11.2.5 Ορθομυξοϊοί

Οι ιοί στην οικογένεια των Ορθομυξοϊών (Orthomixoviridae) αποτελούνται από έξι γένη. Περιλαμ-

βάνουν τον ιό της γρίπης A, B και C, οι οποίοι μολύνουν τον άνθρωπο, άλλα θηλαστικά και τα πτηνά, τον Ισαϊό (Isavirus), που μολύνει τον σολομό, τον Θογοκοϊό (Thogotovirus) που μολύνει έντομα και θηλαστικά, συμπεριλαμβανομένου του ανθρώπου, και τον Κουαρανζαϊό (Quararjavirus), ένα νέο γένος που μολύνει κυρίως αρθρόποδα και πτηνά. Ο ιός της λοιμώδους αναιμίας του σολομού (ISAV, Infectious Salmon Anaemia Virus) είναι ένας ορθομυξοϊός σε αυτή την οικογένεια και θεωρείται ο βασικός τύπος ιού στο γένος *Isavirus*. Ο ιός ISAV είναι ο αιτιολογικός παράγοντας της λοιμώδους αναιμίας του σολομού (ISA, Infectious Salmon Anaemia), μια ασθένεια του σολομού του Ατλαντικού (*Salmo salar*). Αυτή η ασθένεια που αρχικά επηρέαζε τον εκτρεφόμενο σολομό του Ατλαντικού στη Νορβηγία, προκαλεί μια συστηματική κατάσταση που καταλήγει σε σοβαρή αναιμία στα ψάρια και συχνά συνδέεται με νέκρωση και αιμορραγία εσωτερικών οργάνων. Μια επιδημία μπορεί να οδηγήσει σε υψηλή αθροιστική θνησιμότητα με την πάροδο του χρόνου, αλλά η ασθένεια μπορεί να είναι πιο χρόνια στη φύση με χαμηλή ημερήσια θνησιμότητα σε επίπεδα 0,05–0,1%. Η λοιμώδης αναιμία του σολομού (ISA) θεωρείται μια σημαντική ασθένεια που επηρεάζει την υδατοκαλλιέργεια του σολομού του Ατλαντικού και έχει απομονωθεί από ψάρια στον Ανατολικό Καναδά, το Ηνωμένο Βασίλειο, τις Νήσους Φάροε και τη Χιλή. Υπάρχουν επίσης αναφορές για τον ιό ISAV να ανακαλύπτεται σε ιστούς εκτρεφόμενου σολομού του Ατλαντικού στην ακτή της Βρετανικής Κολομ-

βίας στον Καναδά. Ωστόσο, μόνο ακολουθίες από την ιδιαίτερα πολυμορφική περιοχή (HPR, Highly Polymorphic Region) των παραλλαγών του ISAV έχουν αναγνωριστεί χρησιμοποιώντας την μέθοδο της αλυσιδωτής αντίδρασης της πολυμεράσης (PCR) και μέχρι σήμερα ο ιός ISAV δεν έχει απομονωθεί σε κυτταροκαλλιέργεια. Η έλλειψη επιδημιών της ασθένειας και οι περιορισμοί στην ερμηνεία θετικών αποτελεσμάτων με τις μοριακές μεθόδους ανίχνευσης θέτει υπό αμφισβήτηση την παρουσία αυτού του ιού σε αυτή την περιοχή. Είναι σαφές ότι η ταυτοποίηση του ιού ISAV στις καλλιέργειες σολομού της Βρετανικής Κολομβίας θα ήταν ιδιαίτερα ανησυχητική δεδομένου ότι μπορεί να μολυνθούν άλλα σαλμονοειδή συμπεριλαμβανομένου του σολομού του Ειρηνικού (*Oncorhynchus tshawytscha*). Ωστόσο, επί του παρόντος, δεν φαίνεται ότι αναπτύσσεται κλινική ασθένεια σε άλλα είδη σολομών εκτός από τον σολομό του Ατλαντικού, αλλά μπορεί να υποτεθεί ότι λοιμογόνα στελέχη του ιού ISAV θα μπορούσαν να προκύψουν σε είδη σολομού του Ειρηνικού εάν επρόκειτο τα είδη αυτά να παραμείνουν σε μια κατάσταση φορέα του ιού.

Μετά τη μόλυνση από τον ιό ISAV, τα ψάρια έχει αποδειχθεί ότι είναι ανθεκτικά στην εκ νέου μόλυνση και αναπτύσσουν προστατευτική ανοσολογική απόκριση. Αυτό έχει οδηγήσει σε έρευνα σχετικά με την ανάπτυξη εμβολίων και παρόλο που η αποτελεσματικότητα τέτοιων εμβολίων δεν είναι απολύτως σαφής, υπάρχουν διαθέσιμα εμβόλια και αυτά έχουν χρησιμοποιηθεί στη Βόρεια Αμερική.

11.2.6 Ραβδοϊοί

Η οικογένεια των Ραβδοϊών (Rhabdoviridae) συνίσταται από έξι γένη. Ωστόσο, εκείνοι που μολύνουν τα ψάρια προέρχονται κυρίως από το γένος *Novirhabdovirus*. Οι ιοί σε αυτό το γένος είναι γενικά καλά χαρακτηρισμένοι και ο ιός της λοιμώδους αιματοποιητικής νέκρωσης (IHNV, Infectious Haematopoietic Necrosis) είναι ο αντιπροσωπευτικός τύπος του είδους. Άλλοι ραβδοϊοί ψαριών τοποθετήθηκαν προσωρινά στο γένος *Vesiculovirus*, αλλά δύο νέα γένη έχουν πρόσφατα προταθεί ως ραβδοϊοί που δεν συμφωνούν με το γένος *Novirhabdovirus* (Kurath, 2012). Αυτά περιλαμβάνουν

το γένος *Sprinvivirus* στο οποίο ο ιός της εαρινής ιαιμίας του κυπρίνου (SVCV, Spring Viremia Carp Virus) είναι το τυπικό στέλεχος, και το γένος *Perhavivirus* στο οποίο ο ραβδοϊός της πέρκας είναι το τυπικό είδος. Οι Ραβδοϊοί των ψαριών μολύνουν ένα ευρύ φάσμα ειδών ξενιστών και μπορεί να έχουν ευρεία γεωγραφική εξάπλωση, συμπεριλαμβανομένων του περιβάλλοντος των γλυκών νερών και του θαλάσσιου περιβάλλοντος. Μερικοί από τους πιο σοβαρούς και μεταδοτικούς ιούς επηρεάζουν την υδατοκαλλιέργεια συμπεριλαμβανομένων και των άγριων ψαριών. Νέοι ραβδοϊοί των ψαριών συνεχίζουν να ανακαλύπτονται και λόγω της σημασίας τους, υπάρχει συνεχής εργασία στους τομείς της διάγνωσης και της ανάπτυξης νέων και καλύτερων μεθόδων ελέγχου/πρόληψης.

Οι ραβδοϊοί που μολύνουν τα ψάρια έχουν συνήθως σχήμα σφαιρικό, φέρουν φάκελο, τα ιοσωμάτια (βίρια) τυπικά έχουν μέγεθος περίπου 75 nm πλάτος και 180 nm μήκος, αναπαράγονται στο κυτταρόπλασμα των κυττάρων και περιέχουν μονόκλωνο RNA που κωδικοποιεί πέντε έως έξι πρωτεΐνες. Μερικοί ραβδοϊοί προκαλούν ιδιαίτερη ανησυχία στα άγρια και καλλιεργούμενα ψάρια, προκαλούν ασθένειες που θεωρούνται υποχρεωτικής δήλωσης από τον ΟΙΕ, και περιλαμβάνουν τον SVCV, τον IHNV, και τον ιό της ιογενούς αιμορραγικής σηψαιμίας (VHSV, Viral Haemorrhagic Septicaemia). Από αυτούς, έχουν χαρακτηριστεί εκτενώς ο IHNV και η VHSV και υπάρχουν πολλές πηγές διαθέσιμες στην βιβλιογραφία, οι οποίες προσφέρουν εκτεταμένες περιγραφές και ανασκοπήσεις (Kurath, 2012).

Ο IHNV προκαλεί λοιμώδη αιμοποιητική νέκρωση (IHNV, Infectious Haematopoietic Necrosis) και αρχικά περιγράφηκε έπειτα από εξάρσεις ασθενειών σε κόκκινο σολομό (*Oncorhynchus nerka*) και βασιλικό σολομό του Ειρηνικού (*Oncorhynchus tshawytsch*) στον Ειρηνικό στις Β.Δ. Η.Π.Α. στη δεκαετία του '50. Από τότε αποτελεί μια ιδιαίτερη ανησυχία για την υδατοκαλλιέργεια των σολομοειδών στο γλυκό νερό, (**Εικόνα 11.3**), όμως μπορεί να μολύνει ψάρια τόσο σε γλυκά όσο και σε θαλάσσια νερά. Εξάρσεις έχουν σημειωθεί σε εκτροφές Ατλαντικού σολομού στον Καναδά, όμως η λοιμώδης αιμοποιητική νέκρωση (IHNV) παραμένει κύρια ανησυχία για τα άγρια ψάρια ή για τους



Εικόνα 11.3 Σοβαρός εξόφθαλμος σε νεαρό άτομο ιριδίζουσας πέστροφας προσβεβλημένης με τον ιό IHNV. Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από τον G. Kurath.

εκτρεφόμενους σολομούς του Ειρηνικού στα εκκολαπτήρια στην Βόρεια Αμερική, καθώς και στις εκτροφές ιριδίζουσας πέστροφας στις Η.Π.Α. και αλλού. Ενώ αρχικά θεωρήθηκε μια ιογενής ασθένεια περιορισμένη στην Βόρεια Αμερική, από τότε έχει εξαπλωθεί σε Ευρωπαϊκές και Ασιατικές χώρες όπου εκτρέφονται σολομοειδή. Η ασθένεια επηρεάζει νεαρά άτομα σολομοειδών και μια έντονη έξαρση της μπορεί να επιφέρει θνησιμότητα ακόμα και 100%. Ωστόσο, οι περισσότερες εξάρσεις είναι λιγότερο σοβαρές και τα ψάρια που επιβιώνουν μπορεί να εμφανίσουν ανοσία στην επαναμόλυνση. Ο καλύτερος τρόπος αντιμετώπισης της λοιμώδους αιμοποιητικής νέκρωσης (IHN) είναι να αποφεύγεται η επαφή, αλλά σε περιοχές που η IHN είναι ενδημική, αυτό είναι πολύ δύσκολο. Όπως με τις περισσότερες ασθένειες στα ψάρια, το περιβάλλον και η καταπόνηση κατά τη διάρκεια της εκτροφής μπορεί να επηρεάσει την σοβαρότητα μιας επιδημίας. Αναγνωρίζεται ότι υπάρχουν πέντε γενο-ομάδες του ιού IHNV και αυτές έχουν συνδεθεί με τη σοβαρότητα της επιδημίας σε διάφορα είδη ξενιστών. Η ικανότητα των

ψαριών να αναπτύσσουν ανοσία στον ιό IHNV είναι καλά τεκμηριωμένη και έχει υπάρξει σημαντική έρευνα στον τομέα της ανάπτυξης εμβολίων. Τα πιο αποτελεσματικά εμβόλια κατά της λοιμώδους αιμοποιητικής νέκρωσης (IHN) είναι τα εμβόλια DNA τα οποία πρέπει να χορηγηθούν ενέσιμα στα ψάρια. Το πρώτο εμπορικό εμβόλιο DNA αναπτύχθηκε και αδειοδοτήθηκε από την Καναδική Υπηρεσία Επιθεώρησης Τροφίμων (CFIA, Canadian Food Inspection Agency) το 2005 και είναι διαθέσιμο ως ένα πλασμιδιακό βασισμένο σε DNA εμβόλιο (Apex®-IHN).

Ένας άλλος σημαντικός ραβδοϊός των ψαριών είναι ο VHSV. Αυτός ο ιός προκαλεί ιογενή αιμορραγική σηψαιμία (VHS) και θεωρείται το μεγαλύτερο πρόβλημα ασθένειας στην Ευρωπαϊκή βιομηχανία εκτροφής πέστροφας. Ο ιός θεωρήθηκε αρχικά ότι περιοριζόταν στην Ευρώπη, αλλά τώρα είναι σαφές ότι έχει ευρύ φάσμα φορέων και μεγάλη γεωγραφική κατανομή και έχουν περιγραφεί πολλαπλά στελέχη του ιού. Το 1988 εμφανίστηκε μια ενδιαφέρουσα περίπτωση στην πολιτεία της Ουάσιγκτον, όπου για πρώτη φορά ο VHSV ανακαλύφθηκε σε ανάδρομους ενήλικες σολομούς του Ειρηνικού. Η ανακάλυψη και η απομόνωση του VHSV οδήγησε στην υποχρεωτική ευθανασία εκατομμυρίων εκτρεφόμενων ψαριών στα εκκολαπτήρια τα οποία ήταν απόγονοι μολυσμένων ενηλίκων. Αυτό συνέβη αν και δεν υπήρχε κάποια έξαρση της ασθένειας και αργότερα βρέθηκε ότι αυτό το στέλεχος του VHSV ήταν διαφορετικό από το Ευρωπαϊκό στέλεχος και φάνηκε να συνδέεται με διάφορα θαλάσσια είδη όπως η ρέγγα (*Clupea pallasii*) και ο γάδος (*Gadus macrocephalus*). Είναι λοιμογόνος για τη ρέγγα, αλλά σε αντίθεση με το Ευρωπαϊκό στέλεχος, δεν είναι μολυσματικός για την ιριδίζουσα πέστροφα. Το 2003, ο VHSV εμφανίστηκε σε άγρια ψάρια στις Λαυρεντιανές Μεγάλες Λίμνες στη Βόρεια Αμερική. Τα ψάρια που επηρεάστηκαν από την VHS πέθαιναν σε μεγάλους αριθμούς και ξεβράζονταν στην ακτή σε πολλές περιοχές. Ο αριθμός των ψαριών και των ειδών που επηρεάστηκαν ήταν ανησυχητικός, με πάνω από 1823 περιπτώσεις και 19 είδη ψαριών τα οποία βρέθηκαν να είναι θετικά στον VHSV. Αυτό έχει οδηγήσει σε επιπλέον χαρακτηρισμό των στελεχών του VHSV και τώρα υπάρχει μια σειρά από τέσσερις γενο-ομάδες και άλλες πρόσθετες

υποομάδες, με το στέλεχος των Μεγάλων Λιμνών να χαρακτηρίζεται ως γενότυπος IVb.

11.3 Βακτήρια

Τα βακτήρια κατηγοριοποιούνται στην μεγάλη ομάδα των προκαρυωτικών μικροοργανισμών. Είναι μεγαλύτερα από τους ιούς, μπορούν να παρατηρηθούν συνήθως χρησιμοποιώντας οπτική μικροσκοπία και μπορεί να έχουν σχήμα ράβδου, σφαιρικό ή σπειροειδές. Πολλά βακτήρια είναι αβλαβή ή μπορεί να είναι ωφέλιμα για τον ξενιστή τους. Μπορούν να βρεθούν στο περιβάλλον, μπορεί να αποτελούν μέρος της εντερικής μικροχλωρίδας πολλών ζώων ή σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να εισβάλλουν σε έναν οργανισμό και να προκαλέσουν ασθένεια. Τα κρούσματα βακτηριακών νόσων στις επιχειρήσεις υδατοκαλλιέργειας έχουν ως αποτέλεσμα σημαντικές οικονομικές απώλειες τόσο στον δημόσιο (με σκοπό τη βελτίωση των αποθεμάτων και αποθεματοποίηση) όσο και στον ιδιωτικό τομέα. Σε ορισμένες περιπτώσεις, υπάρχουν εμβόλια που χρησιμοποιούνται για την πρόληψη εκδήλωσης βακτηριακών νόσων και τα αντιβιοτικά που χορηγούνται σε τροφές έχουν χρησιμοποιηθεί για τη θεραπεία βακτηριακών λοιμώξεων σε ψάρια και άλλα ζώα. Τέτοιες θεραπείες έχουν υπάρξει σημαντικοί παράγοντες στη διαχείριση της ασθένειας αλλά αντιπροσωπεύουν κινδύνους, επειδή τα βακτήρια έχουν την ικανότητα να αναπτύσσουν ανθεκτικότητα στις συνήθεις θεραπείες με αντιβιοτικά. Οι μολύνσεις του ανθρώπου από υδρόβια παθογόνα είναι σχετικά σπάνια. Ωστόσο, τα βακτήρια είναι τα πιο κοινά υδρόβια παθογόνα που έχουν βρεθεί ότι προκαλούν ζωνόσους με τη μετάδοση από ψάρια ή το νερό εκτροφής σε ανθρώπους (βλ. ενότητα 11.12).

Σε αυτή την ενότητα, παρέχεται μια επισκόπηση επιλεγμένων βακτηριακών παθογόνων που είναι γνωστό ότι μολύνουν τα ψάρια και προκαλούν σημαντικές οικονομικές επιπτώσεις στην υδατοκαλλιέργεια. Δεν είναι δυνατόν να καλυφθούν εδώ, όλα τα νέα και αναδυόμενα βακτηριακά παθογόνα των ψαριών, καρκινοειδών και οστρακοειδών, αλλά θα πρέπει να σημειωθεί ότι αυτή τη στιγμή υπάρχουν 13 γένη βακτηρίων που αναφέρονται ως παθογόνα για τα υδρόβια ζώα. Αυτά περιλαμβάνουν Gram-αρνητικά παθογόνα

όπως: *Aeromonas*, *Edwardsiella*, *Flavobacterium*, *Francisella*, *Photobacterium*, *Piscirickettsia*, *Pseudomonas*, *Tenacibaculum*, *Vibrio* και *Yersinia* και Gram-θετικά βακτηριακά παθογόνα εντός των γενών *Lactococcus*, *Renibacterium* και *Streptococcus*.

11.3.1 *Aeromonas salmonicida*

Η ασθένεια δοθιήνωση (*furunculosis*), που προκλήθηκε από τα Gram-αρνητικά βακτήρια *Aeromonas salmonicida*, ήταν μια από τις παλαιότερες ασθένειες των ψαριών που έχει περιγραφεί και ονομάστηκε έτσι λόγω του σχηματισμού μεγάλων αποστημάτων (δοθιήνων - *furuncles*) ακριβώς κάτω από το δέρμα σε κλινικά άρρωστα ψάρια. Αφού πρωτοπεριγράφηκε στα τέλη του 18^{ου} αιώνα σε εκτρεφόμενα και άγρια ψάρια στην Ευρώπη, είναι τώρα ευρέως διαδεδομένη και μολύνει πολλά είδη σολομοειδών και μη σε θαλάσσια και γλυκά νερά παγκοσμίως. Αν και η ταξινόμηση των *Aeromonas* δεν είναι πάντοτε αποδεκτή, υπάρχουν τέσσερα κύρια υποείδη του *A. salmonicida* που θεωρούνται μολυσματικά. Ως 'τυπικό' στέλεχος θεωρείται η *A. salmonicida salmonicida* που επηρεάζει κυρίως τα σολομοειδή, ενώ τα υποείδη *masoucida*, *achromogenes* και *smithia* είναι 'άτυπα' στελέχη που προσβάλλουν σολομοειδή, ενώ η *A. salmonicida nova* είναι ένα 'άτυπο' στέλεχος που είναι μολυσματικό για τα μη σολομοειδή ψάρια.

Η δοθιήνωση έχει ευρέως αναφερθεί στα εμπορικά εκκολαπτήρια και στα εκκολαπτήρια 'εμπλουτισμού' στις Η.Π.Α. που αποθέτουν ψάρια σε δημόσια νερά (αποθεματοποίηση), γεγονός που είναι γνωστό ότι επηρεάζει τα άγρια ψάρια. Αυτή η ασθένεια αποτέλεσε πρόβλημα στη βιομηχανία σολομού του Ατλαντικού, λόγω εκδηλώσεων σε νεαρά άτομα σολομού όταν μεταφέρθηκαν από το γλυκό στο θαλασσινό νερό. Όταν η νόσος επηρεάζει τα νεαρά ψάρια, η θνησιμότητα μπορεί να είναι οξεία και τα κλινικά συμπτώματα μπορεί να περιορίζονται στην σκουροχρωμία, στον λήθαργο και στην ανορεξία. Ο σχηματισμός αιμορραγικών αποστημάτων ή δοθιήνων μπορεί να εμφανίζεται συχνότερα σε χρόνια επηρεαζόμενα ψάρια. Εάν οι δοθιήνες σκάσουν και απελευθερώσουν βακτήρια, τοξίνες ή νεκρωτικά κύττα-

ρα, μπορεί να εμφανιστεί αύξηση του βακτηριακού φορτίου και συνεπώς αύξηση του κινδύνου οριζόντιας μετάδοσης σε άλλα ψάρια. Όπως και με άλλες βακτηριακές ασθένειες των υδρόβιων οργανισμών, η *A. salmonicida* δεν θεωρείται από τον Παγκόσμιο Οργανισμό για την Υγεία των Ζώων (ΟΙΕ) ως δηλούμενη ασθένεια. Ωστόσο, άλλες ρυθμιστικές αρχές ενδέχεται να περιορίσουν τη μετακίνηση των ψαριών σε μη-ενδημικές περιοχές (π.χ., πολιτειακές ή ομοσπονδιακές υπηρεσίες των ΗΠΑ που ενεργούν στο πλαίσιο του Προγράμματος U.S. Fish and Wildlife Service Aquatic Animal Health (FWS-AAHP) Title 50 act).

Ο έλεγχος της λοίμωξης από την *A. salmonicida* είναι πιο αποτελεσματικός με την πρόληψη της έκθεσης στο παθογόνο. Στις περιοχές όπου το παθογόνο αυτό βρίσκεται στο περιβάλλον, θα πρέπει να χρησιμοποιούνται νερά πηγής ή υπόγεια νερά για τις εγκαταστάσεις υδατοκαλλιέργειας, επειδή είναι συνήθως απαλλαγμένα από τα περισσότερα παθογόνα. Εάν χρησιμοποιείται μια ανοιχτή πηγή νερού όπως ένα ποτάμι, μια λίμνη ή το θαλάσσιο περιβάλλον, τότε θα πρέπει να ενσωματωθούν προληπτικά μέτρα όπως ο εμβολιασμός, εάν είναι δυνατόν. Λόγω του μακρού ιστορικού της Δοθιήνωσης, μερικές από τις πρώτες προσπάθειες εμβολιασμού ψαριών, ήταν με εμβόλια με το *A. salmonicida*. Επί του παρόντος, υπάρχει μια σειρά εμβολίων κατά της δοθιήνωσης που διατίθενται στο εμπόριο. Η χρήση αυτών και άλλων εμβολίων κατά βακτηρίων έχει σχεδόν εξαλείψει την ανάγκη θεραπείας με αντιβιοτικά στη βιομηχανία σολομού του Ατλαντικού της Νορβηγίας. Αυτό δεν συμβαίνει παντού και για ορισμένα είδη και περιοχές, οι θεραπείες με αντιβιοτικά χορηγούνται όταν τα ψάρια παρουσιάζουν κλινικά συμπτώματα δοθιήνωσης. Λόγω των ανησυχιών σχετικά με τη χρήση αντιβιοτικών, θα πρέπει να χρησιμοποιούνται ως έσχατη λύση.

11.3.2 *Edwardsiella ictaluri*

Η εντερική σηψαιμία του γατόψαρου (ESC, Enteric Septicaemia of Catfish) προκαλείται από το Gram-αρνητικό βακτήριο *Edwardsiella ictaluri*. Θεωρείται μία από τις πιο σοβαρές βακτηριακές ασθένειες στη βιομηχανία γατόψαρου στις ΗΠΑ και μπορεί να ευθύνεται για το 30% των απωλειών ή πε-

ρισσότερο. Περιστατικά εντερικής σηψαιμίας του γατόψαρου (ESC) παρατηρούνται συχνότερα την άνοιξη γύρω στο Μάιο και τον Ιούνιο και επίσης το φθινόπωρο τον Σεπτέμβριο και τον Οκτώβριο λόγω της προτίμησης του βακτηρίου για θερμοκρασίες μεταξύ 22 και 28 °C. Σε γενικές γραμμές, το γατόψαρο (*Ictaluri punctatus*) είναι το κύριο ζώο που είναι ευαίσθητο στην ESC, αλλά μόλυνση με *E. ictaluri* μαζί με ελαφρά παθολογία, έχει αναφερθεί σε άλλα είδη γατόψαρων και σε μη ικταλουροειδή ψάρια. Είναι ένα πρωταρχικό πρόβλημα στις ΗΠΑ, αλλά έχουν αναφερθεί επιδημίες, μερικές φορές σοβαρές, στην Αυστραλία, την Ινδονησία, την Ιαπωνία, την Ταϊλάνδη και το Βιετνάμ.

Οι μολύνσεις από *Edwardsiella ictaluri* μπορούν να οδηγήσουν σε οξείες ή χρόνιες μορφές της ESC. Στην οξεία μορφή η λοίμωξη είναι συστηματική με τα βακτήρια να μετακινούνται μέσα στο αίμα. Αυτό προκαλεί σηψαιμία και έχει ως αποτέλεσμα εξελκώσεις και νέκρωση σε πολλαπλά όργανα. Μπορεί να εμφανιστεί αιμορραγία γύρω από το στόμα, το βραγχιακό επικάλυμμα και κατά μήκος της βάσης των πτερυγίων (**Εικόνα 11.4**). Είναι ενδιαφέρον ότι στη χρόνια μορφή, η *E. ictaluri* μπορεί να εισέλθει στο οσφρητικό όργανο ή τη δίοδο των ρωθώνων και να μετακινηθεί στο κρανίο και το δέρμα της κεφαλής για να σχηματίσει μια κάκωση, οδηγώντας σε μια κατάσταση γνωστή ως 'τρύπα στην κεφαλή'.

Ο έλεγχος της ESC σε εμπορικές επιχειρήσεις γατόψαρων έχει βασιστεί στην θεραπεία με αντιβιοτικά, και αυτές οι θεραπείες εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο των απωλειών λόγω αυτής της ασθένειας. Στις Η.Π.Α. διατίθεται ένα εμπορικό εμβόλιο εμβάπτισης που αποτελείται από ένα ζωντανό, εξασθενημένο στέλεχος της *E. ictaluri*. Η δυνατότητα πρόληψης των σημαντικών επιπτώσεων λόγω της ESC μέσω του εμβολιασμού είναι υψηλή, αλλά υπάρχουν ορισμένες πρακτικές δυσκολίες, επειδή συχνά δεν είναι δυνατή η εφαρμογή του εμβολίου σε ψάρια που είναι πλήρως ανοσοεπαρκή. Η παραγωγή γατόψαρων σε πολλές περιπτώσεις είναι σε μεγάλη κλίμακα και οι υδατοσυλλογές ανεφοδιάζονται συχνά λίγο μετά την εκκόλαψη, η οποία είναι συνήθως η μόνη στιγμή που τα ψάρια χειρίζονται μέχρι τη συγκομιδή και συνεπώς η μόνη χρονική στιγμή που μπορεί να χορηγηθεί το εμβόλιο.



Εικόνα 11.4 Γατόψαρο (*Ictalurus punctatus*) που παρουσιάζει εξωτερικά κλινικά συμπτώματα αιμορραγίας κοντά στο στόμα και στη βάση των πτερυγίων, μετά από εργαστηριακή πρόκληση με *E. ictaluri*. Πηγή: Αναπαράγεται με την άδεια από τον Dr. B. LaFrentz.

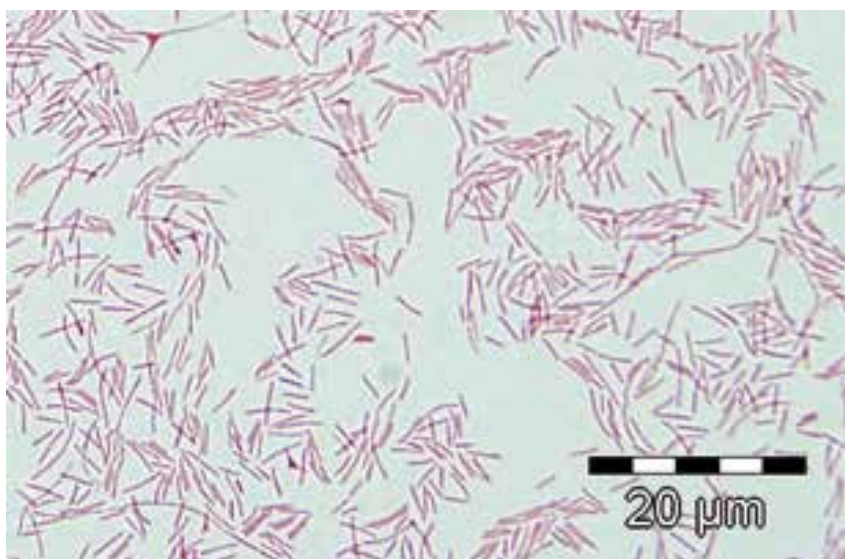
11.3.3 *Flavobacterium psychrophilum*

Η βακτηριακή ασθένεια των κρύων νερών (BCWD, Bacterial Cold Water Disease) και το σύνδρομο του γόνου της ιριδίζουσας πέστροφας (RTFS, Rainbow Trout Fry Syndrome) προκαλούνται από το *Flavobacterium psychrophilum*. Αυτό το βακτηριακό παθογόνο και ορισμένα άλλα βακτήρια στην οικογένεια Flavobacteriaceae μπορούν να προκαλέσουν ασθένεια σε εκτρεφόμενα και άγρια ψάρια. Το *Flavobacterium psychrophilum* είναι ένα από τα πιο γνωστά παθογόνα σε αυτό το γένος (μαζί με το *F. columnare*) λόγω της σημαντικής επίδρασης που έχει η βακτηριακή ασθένεια των κρύων νερών (BCWD) στην υδατοκαλλιέργεια σολομοειδών παγκοσμίως. Σχεδόν όλα τα σολομοειδή είναι ευαίσθητα στο *F. psychrophilum* και έχει αναφερθεί ότι προκαλεί ασθένεια και σε πολλά άλλα μη σολομοειδή. Επηρεάζονται κυρίως τα νεαρά ψάρια, αλλά όταν μολυνθεί γόνος που πρόσφατα εκκολάφθηκε, η θνησιμότητα μπορεί να είναι μεγαλύτερη του 50%. Αν και θεωρείται ευρέως διαδεδομένο στο υδάτινο περιβάλλον, φαίνεται ότι το *F. psychrophilum* μπορεί να μεταδοθεί, τόσο οριζόντια όσο και σε ορισμένες περιπτώσεις κάθετα από τον γονέα στον απόγονο (Cain and Polinski, 2014). Έχει απομονωθεί από αβγά σολομοειδών και τα περιεχόμενα τους, και έχει απο-

δειχθεί ότι το *F. psychrophilum* μπορεί να επιβιώσει μέσα στα γονιμοποιημένα αβγά έπειτα από να νο-έγχυσή του, η οποία οδήγησε σε υψηλή θνησιμότητα στα αβγά στο στάδιο εμφάνισης του ματιού και σε γόνος που πρόσφατα εκκολάφθηκε που οφειλόταν στο *F. psychrophilum*. Τέτοια ευρήματα καθιστούν την επιλογή των γεννητόρων πολύ σημαντική και επισημαίνουν τη δυνατότητα αυτού του βακτηρίου να επιμένει έντονα στο περιβάλλον εκκολαπτηρίου.

Το *Flavobacterium psychrophilum* είναι ένα Gram-αρνητικό βακτήριο με κυτταρική μορφολογία συμβατή με άλλα είδη *Flavobacterium*. Αν και υπάρχουν διαφορές στα στελέχη, τα περισσότερα βακτηριακά κύτταρα έχουν σχήμα ράβδου (**Εικόνα 11.5**) και κυμαίνονται σε μέγεθος από 0,2-0,75 × 2-7 μm. Αυτό το βακτήριο έχει κινητικότητα ολίσθησης και μια πρωτεΐνη κινητικότητας ολίσθησης (GldN), μπορεί να επηρεάσει την ικανότητα του βακτηρίου να εισέλθει και να μολύνει κύτταρα.

Περιστατικά της βακτηριακής ασθένειας των κρύων νερών (BCWD) και/ή του συνδρόμου του γόνου της ιριδίζουσας πέστροφας (RTFS) είναι ευρέως διαδεδομένα και περιλαμβάνουν τις περισσότερες χώρες παραγωγής σολομοειδών. Είναι ευρέως διαδεδομένη στη βιομηχανία εκτροφής πέστροφας των ΗΠΑ και της Ευρώπης, και το *F.*



Εικόνα 11.5 Μικροφωτογραφία οπτικού μικροσκοπίου κυττάρων του *Flavobacterium psychrophilum* που δείχνουν λεπτά ραβδόμορφα βακτήρια. Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από τον Dr. B. LaFrentz.

psychrophilum έχει αναφερθεί σε πέστροφες και άλλα είδη σε αρκετές χώρες, συμπεριλαμβανομένης της Αυστραλίας όπου εντοπίστηκε σε σολομό του Ατλαντικού, κατά τη διάρκεια των σταδίων παραγωγής στο γλυκό νερό. Έχει απομονωθεί μεγάλος αριθμός στελεχών του *F. psychrophilum* και αυτά τα στελέχη μπορούν να εμφανίζουν ποικίλα επίπεδα λοιμογόνου δύναμης. Αν και η θνησιμότητα από την BCWD ή την RTFS μπορεί να είναι υψηλή, η εμπορική υδατοκαλλιέργεια εμφανίζει επίσης απώλειες λόγω των επιδράσεων στην ανάπτυξη και την απόδοση καθώς και στα αυξημένα επίπεδα παραμορφώσεων (που οδηγούν σε προϊόντα χαμηλότερης ποιότητας) μετά από μια έξαρση των ασθενειών. Στις Η.Π.Α, τα δημόσια εκκολαπτήρια που εκτρέφουν ιριδίζουσα πέστροφα και σολομό, για τον εμπλουτισμό φυσικών υδατοσυλλογών, επηρεάζονται επίσης σημαντικά από την BCWD και η ασθένεια αυτή προκαλεί μεγαλύτερες συνολικές απώλειες σε αυτές τις εγκαταστάσεις από οποιαδήποτε άλλη ασθένεια των ψαριών (Cain and Polinski, 2014).

Τα κλινικά συμπτώματα των BCWD/RTFS ποικίλουν ανάλογα με το είδος και την ηλικία των μολυσμένων ψαριών. Υπάρχουν οξείες μορφές της νόσου που προκαλούν σηψαιμία και υψηλή θνησιμότητα, αλλά μπορεί να εμφανιστούν και επίμονες χρόνιες λοιμώξεις. Τα ψάρια που μολύνονται με το *F. psychrophilum* παρουσιάζουν αλλαγές

στην συμπεριφορά, όπως σπειροειδή κολύμβηση ή απουσία απόκρισης στην τροφή. Εσωτερικά, αυτό το βακτήριο έχει μια προτίμηση για την σπλήνα, αλλά μπορεί να απομονωθεί από πολλά όργανα και ιστούς, ανάλογα από τη σοβαρότητα της μόλυνσης. Εξωτερικά, μπορεί να εμφανιστεί μια σειρά κλινικών συμπτωμάτων, συμπεριλαμβανομένων των φθαρμένων πτερυγίων, του εξόφθαλμου, του σκούρου χρωματισμού ή της αιμορραγίας στο δέρμα ή στις βάσεις των πτερυγίων. Σε μερικές περιπτώσεις, η βάση του ουραίου πτερυγίου μπορεί να διαβρωθεί σοβαρά (**Εικόνα 11.6**), το οποίο σχετίζεται με την αναφορά της ασθένειας αρχικά ως 'ασθένεια της βάσης του ουραίου πτερυγίου'.

Επί του παρόντος, ο έλεγχος των BCWD/RTFS βασίζεται στις καλές πρακτικές ιχθυοκαλλιέργειας και την θεραπεία με αντιβιοτικά μετά από επιβεβαίωση ενός κρούσματος. Ωστόσο, έχουν γίνει εκτεταμένες προσπάθειες με στόχο την ανάπτυξη αποτελεσματικού εμβολίου για την πρόληψη ή/και τον περιορισμό των επιπτώσεων των ασθενειών. Λόγω του μικρού μεγέθους και των απαιτήσεων παραγωγής για τα είδη όπως η ιριδίζουσα πέστροφα, το κλειδί για ένα επιτυχημένο εμβόλιο είναι αυτό που μπορεί να εφαρμοσθεί μαζικά σε πολύ νεαρά ψάρια. Πρόσφατα, έχει αναπτυχθεί ένα ζωντανό εξασθενημένο στέλεχος του *F. psychrophilum*, που παρέχει προστασία μετά από εμβολιασμό με εμβάπτιση. Αυτό δείχνει με-



Εικόνα 11.6 Εργαστηριακή μόλυνση ιριδίζουσας πέστροφας που εμφανίζει σοβαρή διάβρωση στο ραχιαίο μυϊκό σύστημα στη θέση της έγχυσης του βακτηρίου *Flavobacterium psychrophilum*. Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από τον Dr. B. LaFrentz.

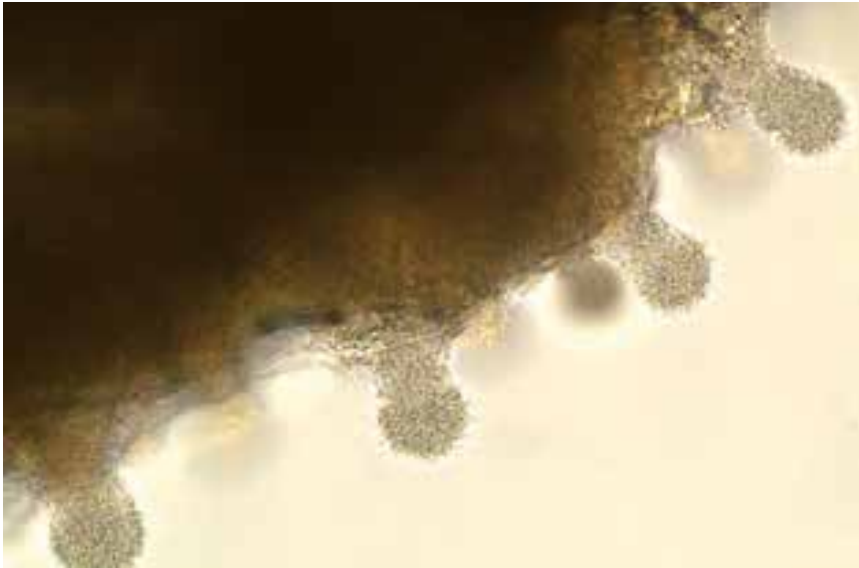
γάλη προοπτική για εμπορική ανάπτυξη και πιο πρόσφατες βελτιώσεις στη σύνθεση του εμβολίου, έχουν βελτιώσει την αποτελεσματικότητα στο εργαστήριο και στο πεδίο. Άλλες εναλλακτικές στρατηγικές ελέγχου μπορεί να περιλαμβάνουν, τη χρήση φυσικών εντερικών βακτηρίων που μπορούν να ενσωματωθούν στη τροφή ως προβιοτικά. Αυτό έχει δείξει ότι μειώνει τη θνησιμότητα από την BCWD μετά από σίτιση με δύο βακτηριακά στελέχη (*Enterobacter* C6-6 και C6-8) που έχουν απομονωθεί από το έντερο μιας υγιούς ιριδίζουσας πέστροφας. Περαιτέρω προσπάθειες κατέδειξαν, ότι η μειωμένη θνησιμότητα οφείλεται στην έκφραση ενός αντιμικροβιακού πεπτιδίου από το *Enterobacter*.

11.3.4 *Flavobacterium columnare*

Το *Flavobacterium columnare* είναι ο αιτιολογικός παράγοντας της στηλώδους νόσου (columnaris) και ιστορικά υπήρξε μια σημαντική ασθένεια στην υδατοκαλλιέργεια ζεστών νερών. Ωστόσο, η στηλώδης νόσος αναδύεται ως ένα σημαντικό πρόβλημα στην υδατοκαλλιέργεια σολομοειδών με αυξημένες λοιμώξεις τα τελευταία χρόνια. Η στηλώδης νόσος επηρεάζει μεγάλο αριθμό ειδών, και

στη βιομηχανία παραγωγής γατόψαρου, εκτιμάται ότι η μόλυνση από το *F. columnare* είχε ως αποτέλεσμα αρκετές θνησιμότητες και απώλειες 39% το 2009. Η κλινική νόσος εμφανίζεται συχνότερα στα νεαρά ψάρια και η μετάδοση του παθογόνου θεωρείται ότι είναι οριζόντια. Η καλή ποιότητα του νερού είναι σημαντική, καθώς οι επιδημίες μπορούν να συνδεθούν με την καταπόνηση που σχετίζεται με κακές περιβαλλοντικές συνθήκες. Η θερμοκρασία διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη μόλυνση, με την εμφάνισή της στα γατόψαρα να συμβαίνει περισσότερο σε θερμοκρασίες μεταξύ 25-32 °C (Lio-Po and Lim, 2014). Στον άγριο ενήλικο σολομό του βορειοδυτικού Ειρηνικού των Η.Π.Α, η στηλώδης νόσος αποτέλεσε ζήτημα κατά τη μετανάστευσή του από τον ωκεανό στους χώρους ωτοκίας, καθώς πολλές από τις υδατοσυλλογές που έπρεπε να περάσει, έχουν αυξημένες θερμοκρασίες νερού την άνοιξη και τους καλοκαιρινούς μήνες.

Παρομοίως με άλλα *Flavobacteria*, το *F. columnare* είναι Gram-αρνητικό βακτήριο με σχήμα μακρύ και ραβδόμορφο. Ένα χαρακτηριστικό που δίνει στη στηλώδη νόσο το όνομά της, συσχετίζεται με την τάση αυτών των βακτηρίων να σχηματίζουν 'αχυρόμπαλες' ή στήλες σε νωπά επι-



Εικόνα 11.7 Στήλες ή “αχυρόμπαλες” που σχηματίζονται από το *Flavobacterium columnare* ορατές σε ένα νωπό επίχρισμα μολυσμένου ιστού βράγχιου. Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από τον Dr. A. E. Goodwin.



Εικόνα 11.8 Αποχρωματισμένες αλλοιώσεις μετά από εργαστηριακή μόλυνση σε μια τιλάπια *Oreochromis* sp. με *Flavobacterium columnare*. Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από τον Dr. B. LaFrentz.

χρίσματα βραγχίων ή άλλων μολυσμένων ιστών (Εικόνα 11.7). Τα κλινικά συμπτώματα της νόσου περιλαμβάνουν συχνά φθαρμένα πτερύγια, αλλοιώσεις του δέρματος που μπορεί να φαίνεται κιτρινωπές ή σε μερικές περιπτώσεις αποχρωματισμένες (Εικόνα 11.8) ή βλάβη στα βράγχια λόγω αποικισμού των βακτηρίων (Εικόνα 11.9). Έχει προταθεί ότι η οξεία θνησιμότητα προκύπτει συχνότερα όταν το *F. columnare* συνδέεται με τα βράγχια

(Lio-Po and Lim, 2014), αλλά οι μολύνσεις μπορεί να γίνουν συστημικές και να οδηγήσουν σε υψηλή θνησιμότητα και σε μερικές περιπτώσεις ελάχιστη παθολογία στα μολυσμένα όργανα.

Για να προληφθεί ή να ελεγχθεί η στηλώδης νόσος, είναι πολύ σημαντικό να διατηρηθούν τα ψάρια σε βέλτιστες συνθήκες. Εάν εμφανιστεί ένα ξέσπασμα και αντιπροσωπεύει κυρίως μια συστηματική μόλυνση, τότε η θεραπεία με αντιβιοτικά εν-



Εικόνα 11.9 Νέκρωση στα βράγχια μετά από εργαστηριακή μόλυνση ιριδίζουσας πέστροφας με *Flavobacterium columnare*. Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από τον Dr. B. LaFrentz.

σωματωμένα στην τροφή μπορεί να είναι επωφελής. Οι εξωτερικές μολύνσεις και οι λοιμώξεις των βράγχιων μπορεί να απαιτούν την εφαρμογή χημικών θεραπευτικών, όπως το υπερμαγγανικό κάλιο στο νερό (Lio-Po and Lim, 2014). Επί του παρόντος, στις Η.Π.Α υπάρχει ένα εμπορικώς διαθέσιμο εμβόλιο που στοχεύει στην πρόληψη της στηλώδους νόσου στο γατόψαρο. Ωστόσο, δεν είναι σαφές πόσο διαδεδομένη είναι η χρήση του ή αν αυτό το εξασθενημένο εμβόλιο είναι αποτελεσματικό σε άλλα είδη ψαριών.

11.3.5 *Piscirickettsia salmonis*

Η ρικετσιακή σηψαιμία των σολομοειδών (ιχθυορickettsiosis - piscirickettsiosis) που προκαλείται από τα ενδοκυτταρικά Gram-αρνητικά βακτήρια *Piscirickettsia salmonis*, είναι μια ασθένεια που προσβάλλει τα ψάρια κυρίως στο θαλασσινό νερό. Μολύνει τα σολομοειδή και εντοπίστηκε για πρώτη φορά σε ασημένιο σολομό (*Oncorhynchus kisutch*) στη Χιλή. Αυτή η ασθένεια είχε τον μεγαλύτερο αντίκτυπο στην υδατοκαλλιέργεια των σολομοειδών στη Χιλή, αλλά η *P. salmonis* έχει βρεθεί σε αρκετές χώρες, συμπεριλαμβανομένης της Ευρώπης, της Βόρειας Αμερικής και της Αυστραλίας, όπου ένας οργανισμός τύπου ρικέτσια απο-

μονώθηκε στην Τασμανία. Στη Χιλή, αναφέρθηκαν περιστατικά όπου η θνησιμότητα του ασημένιου σολομού έφτασε έως και το 90% κατά τη δεκαετία του '80, με την κλινική ασθένεια να εμφανίζεται μεταξύ 6-8 εβδομάδων μετά τη μεταφορά των ψαριών σε θαλάσσιους ιχθυοκλωβούς. Η μετάδοση του *P. salmonis* φαίνεται να είναι κυρίως οριζόντια, αλλά έχει προταθεί ότι μπορεί να προκύψει και η κάθετη μετάδοση.

Η ενδοκυτταρική φύση του *P. salmonis* καθιστά πιο δύσκολη την απομόνωση και την επιβεβαίωση της νόσου γενικότερα. Τυπικά, η διάγνωση της ασθένειας στα ψάρια γίνεται μετά από ιστολογική εξέταση και ανοσοϊστοχημεία των κυττάρων που έχουν μολυνθεί από *P. salmonis*. Εντούτοις, μπορεί να απομονωθεί χρησιμοποιώντας κυτταρικές σειρές ιχθύων με παρόμοιο τρόπο με τις απομονώσεις των ιών. Το κυτταροπαθολογικό αποτέλεσμα που οφείλεται στο *P. salmonis* είναι εμφανές στα κύτταρα CHSE-214 όταν επωάζονται για έως δύο εβδομάδες σε θερμοκρασίες 15-18 °C. Άλλες ορολογικές και μοριακές μέθοδοι όπως η PCR είναι διαθέσιμες για να επιβεβαιώσουν τη μόλυνση.

Τα ψάρια που έχουν προσβληθεί από *P. salmonis* μπορεί να είναι ληθαργικά, να μην τρέφονται, να έχουν σκούρο χρώμα και ωχρά βράγχια. Εσωτερικά, ο οπίσθιος νεφρός και η σπλήνα μπορεί να

είναι διογκωμένα και το ήπαρ μπορεί να αναπτύξει οζίδια, τα οποία αν σπάσουν, θα έχουν ως αποτέλεσμα αλλοιώσεις που μοιάζουν με κρατήρες. Σε ορισμένα είδη, μπορεί να επηρεαστεί το νευρικό σύστημα και τα ψάρια κολυμπούν με ακανόνιστο τρόπο.

Οι επιλογές πρόληψης και ελέγχου για τη ιχθυορickettsίωση ήταν περιορισμένες στο παρελθόν και η χρήση αντιβιοτικών φαίνεται να ήταν λιγότερο επιτυχημένη λόγω της ενδοκυτταρικής φύσης του *P. salmonis*. Ο εμβολιασμός υπήρξε υποσχόμενος και πρόσφατα έχουν κυκλοφορήσει εμπορικά εμβόλια. Παρόλο που η αποτελεσματικότητα αυτών των εμβολίων εξακολουθεί να είναι υπό αμφισβήτηση, είναι σαφές ότι η πρόληψη ενός ξεσπάσματος μέσω μεθόδων όπως ο εμβολιασμός, προσφέρει τις πιο πολλές πιθανότητες για να διαχειριστεί αυτή η ασθένεια στην υδατοκαλλιέργεια. Είναι σημαντικές οι σωστές πρακτικές διαχείρισης, συμπεριλαμβανομένων την χαμηλή πυκνότητα εκτροφής και την απομάκρυνση των νεκρών ψαριών κατά τα πρώτα στάδια μιας έξαρσης της ασθένειας. Άλλες ενέργειες περιλαμβάνουν την πιθανότητα ελέγχου των γεννητόρων και την απόρριψη των αβγών από ψάρια που είναι θετικά στη μόλυνση.

11.3.6 *Vibrio* spp.

Η Δονακίωση προκαλείται από μια σειρά βακτηριακών ειδών στην οικογένεια Vibrionaceae και επηρεάζει τόσο ψυχρόφιλα όσο και μερικά θερμόφιλα είδη ψαριών, καρκινοειδή και μαλάκια στο θαλασσινό ή υφάλμυρο νερό. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι πολλά είδη *Vibrio* προκαλούν ασθένειες σε υδρόβιους οργανισμούς, αλλά εδώ η εστίαση θα αφορά κυρίως στα πιο κοινά είδη που προκαλούν δονακίωση και περιλαμβάνουν τα *Vibrio anguillarum* (αναφέρεται επίσης ως *Listonella anguillarum*), *V. ordalii* και *V. salmonicida* (αναφέρεται επίσης ως *Aliivibrio salmonicida*). Το *Vibrio anguillarum* επέφερε σημαντικές οικονομικές επιπτώσεις στην υδατοκαλλιέργεια σολομοειδών πριν από την εφαρμογή εμπορικών εμβολίων, τα οποία μπορούν να είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικά κατά της δονακίωσης. Έχει επίσης αναφερθεί θνησιμότητα στον εκτρεφόμενο γάδο του Ατλαντικού (*G. morhua*) λόγω *V. anguillarum*, και οι

πρώτες αναφορές από τη Χιλή έδειξαν εστίες με μέτρια θνησιμότητα έως και 8% λόγω *V. ordalii*. Το *Vibrio salmonicida* έχει αποδειχθεί ότι συσσωρεύεται γρήγορα στο αίμα και αποικίζει το έντερο, το οποίο πιστεύεται ότι έχει ως αποτέλεσμα την απελευθέρωση και την εξάπλωση του παθογόνου στο περιβάλλον. Ωστόσο, οι συνολικές απώλειες και ο αντίκτυπος στην εμπορική υδατοκαλλιέργεια μπορούν να διατηρηθούν σε χαμηλά επίπεδα εάν εφαρμοστούν αποτελεσματικά οι διαδικασίες εμβολιασμού.

Τα είδη *Vibrio* μπορούν να διαγνωστούν εύκολα καθώς αναπτύσσονται γρήγορα σε τυποποιημένα μέσα καλλιέργειας. Η διαφοροποίηση σε επίπεδο είδους είναι πιο δύσκολη, αλλά υπάρχουν διαθέσιμες βιοχημικές δοκιμές και μέθοδοι βασιζόμενοι στη διαδικασία PCR. Όταν τα ψάρια υποκύπτουν σε *Vibrio* μπορούν να παρατηρηθούν μια σειρά εξωτερικών και εσωτερικών κλινικών συμπτωμάτων. Η θνησιμότητα στα μη εμβολιασμένα ψάρια είναι συνήθως υψηλή και η μόλυνση οδηγεί σε βακτηριαιμία με τα ψάρια να παρουσιάζουν συμπτώματα λήθαργου, σκουροχρωμία, μειωμένη ανταπόκριση στη λήψη τροφής και πιθανή πετεχειακή αιμορραγία κοντά στην κοιλιά και στη βάση των πτερυγίων. Η αναιμία είναι κοινή και μπορούν να επηρεαστούν πολλαπλά όργανα.

Όπως αναφέρθηκε, ο εμβολιασμός είναι η προτιμώμενη μέθοδος πρόληψης της δονακίωσης. Ωστόσο, εάν εμφανιστούν κρούσματα, είναι σημαντικό να απομακρυνθούν γρήγορα τα ετοιμοθάνατα και νεκρά ψάρια και να γίνει έγκαιρη διάγνωση σε περίπτωση που απαιτείται θεραπεία με αντιβιοτικά. Καθώς περισσότερα είδη εκτρέφονται σε θαλάσσια περιβάλλοντα, υπάρχει ανησυχία ότι θα αναπτυχθούν νέα προβλήματα που αφορούν την δονακίωση, τα οποία θα απαιτήσουν πρόσθετες στρατηγικές για τον έλεγχο και πρόληψη.

11.3.7 *Yersinia ruckeri*

Το Εντερικό κοκκινόστομα (ERM, Enteric Red Mouth) που προκαλείται από το Gram-αρνητικό βακτηρίδιο, *Yersinia ruckeri* είναι μια σημαντική αιτία ασθένειας στην υδατοκαλλιέργεια παγκοσμίως. Το ERM περιγράφηκε για πρώτη φορά στην ιριδίζουσα πέστροφα στη δεκαετία του 1950 στην κοιλάδα Hagerman του Αϊντάχο, στις

ΗΠΑ και αναφέρεται ως κοκκινostroματική νόσος του Hagerman. Αυτή η ασθένεια μπορεί επίσης να αναφέρεται ως υερσινίωση σε περιοχές εκτός των ΗΠΑ και επηρεάζει κυρίως την ιριδίζουσα πέστροφα. Πιστεύεται ότι οι μεταφορές ψαριών και αβγών συνέβαλαν στην αρχική εξάπλωση της *Y. ruckeri*, και το παθογόνο βρέθηκε στον Καναδά λίγο μετά την αρχική απομόνωση στον Αϊντάχο. Στα μέσα της δεκαετίας του 1980 αναφέρθηκε στην Ευρώπη και έκτοτε έχει βρεθεί στη Νορβηγία, τη Δανία, το Ηνωμένο Βασίλειο, τη Γαλλία, τη Γερμανία, την Ιταλία, τη Νότια Αφρική και την Αυστραλία. Μια δυσκολία που συνδέεται με το εντερικό κοκκινόστομα (ERM) είναι ότι υπάρχουν πολλές ποικιλίες στελεχών ή βιοτύπων της *Y. ruckeri* που μπορούν να συνδεθούν με τη σοβαρότητα της νόσου στα σολομοειδή. Οι επιδημίες μπορούν να προκαλέσουν σημαντικές επιπτώσεις και τα ψάρια που επιβιώνουν μπορούν να γίνουν ασυμπτωματικοί φορείς. Ωστόσο, παρομοίως με την δονακίωση, το εντερικό κοκκινόστομα (ERM) μπορεί γενικά να προληφθεί με τη χρήση εμπορικών εμβολίων. Πριν από την ανάπτυξη εμβολίων, το ERM θεωρήθηκε ότι προκάλεσε έως και 35% απώλειες και έναν οικονομικό αντίκτυπο ύψους περίπου 2,5 εκατομμυρίων δολαρίων ΗΠΑ στην κοιλίδα Hagerman του Αϊντάχο.

Το εντερικό κοκκινόστομα (ERM) επιβεβαιώνεται εύκολα μέσω καλλιέργειας της *Y. ruckeri* σε γενικά θρεπτικά μέσα που ακολουθούνται από βιοχημικές δοκιμές και/ή άλλες επιβεβαιωτικές ορολογικές μεθόδους ή PCR. Αυτό το βακτήριο είναι κινητό με μέγεθος $0,5-0,8 \times 1,0-3,0 \mu\text{m}$. Αν και επηρεάζει την ιριδίζουσα πέστροφα και άλλα σολομοειδή σε ψυχρότερες θερμοκρασίες (γενικά 15°C ή χαμηλότερες), η ανάπτυξη είναι βέλτιστη μεταξύ $22-25^\circ\text{C}$. Όπως αναφέρθηκε, υπάρχουν διαφορετικά στελέχη ή βιότυποι. Ο τύπος I (στέλεχος Hagerman) θεωρείται συνήθως το πιο λοιμογόνο. Έχει διαπιστωθεί ότι ο βιότυπος της *Y. ruckeri* μπορεί να συνδεθεί με την αποτελεσματικότητα του εμβολίου και η κατανόηση αυτού είναι σημαντική για την ανάπτυξη προγραμμάτων εμβολιασμού. Έχουν βρεθεί ξεχωριστοί βιότυποι στην Ευρώπη και τη Βόρεια Αμερική, και οι πρόσφατοι άτυποι βιότυποι που βρέθηκαν στην Αυστραλία συνδέονταν με υψηλή θνησιμότητα στον σολομό του Ατλαντικού (Bridle et al., 2012).

Οι οξείες λοιμώξεις με *Y. ruckeri* σε νεαρά ψάρια έχουν ως αποτέλεσμα σοβαρές απώλειες, καθώς προκαλεί σηψαιμική λοίμωξη. Μπορεί να εμφανιστούν περισσότερο χρόνιες λοιμώξεις σε μεγαλύτερα ψάρια, όπου τα κλινικά συμπτώματα μπορεί να περιλαμβάνουν σκουροχρωμία, τύφλωση, και λήθαργο. Η εξέλκωση και η αιμορραγία στο στόμα είναι κλασικά συμπτώματα και αντικατοπτρίζουν το όνομα 'κόκκινο στόμα' (red mouth). Αυτό παρατηρείται τακτικά στην ιριδίζουσα πέστροφα, αλλά οι μολύνσεις στον σολομό του Ατλαντικού μπορεί να μην προκαλούν αυτό το κλασικό σύμπτωμα. Συχνά, το εντερικό κοκκινόστομα (ERM) οδηγεί σε μια σηψαιμική κατάσταση όπου τα εσωτερικά κλινικά συμπτώματα μπορεί να περιλαμβάνουν αιματηρό ασκίτη, διογκωμένη σπλήνα, καθώς και εντερική και μυϊκή αιμορραγία.

Για τον έλεγχο της θνησιμότητας μετά από επιδημίες από εντερικό κοκκινόστομα (ERM) έχουν χρησιμοποιηθεί κάποια αντιβιοτικά. Ωστόσο, το αποτελεσματικότερο μέσο πρόληψης και ελέγχου του ERM είναι μέσω της χρήσης εμπορικά διαθέσιμων εμβολίων. Η ανάπτυξη εμπορικών εμβολίων για το ERM με εμβάπτιση θεωρήθηκε το μοναδικό σημαντικότερο εργαλείο διαχείρισης για τη βιομηχανία πέστροφας στο Αϊντάχο όταν χρησιμοποιήθηκαν, και περιόρισαν σαφώς τον πιθανό αντίκτυπο του ERM νωρίς. Αν και τα εμβόλια είναι αποτελεσματικά, είναι σημαντικό να εφαρμοστούν ορθές πρακτικές εκτροφής και να ελαχιστοποιηθούν οι περιβαλλοντικοί παράγοντες καταπόνησης που συμβάλουν στη μείωση της αντοχής στις ασθένειες σε οποιαδήποτε φάση της υδατοκαλλιέργειας.

11.3.8 *Renibacterium salmoninarum*

Το *Renibacterium salmoninarum* είναι ένα Gram-θετικό παθογόνο βακτήριο που προκαλεί βακτηριακή νεφρική νόσο (BKD, Bacterial Kidney Disease), η οποία περιγράφηκε για πρώτη φορά στη Σκωτία το 1930. Αυτή η ασθένεια θεωρείται πρόβλημα στα σολομοειδή, αλλά έχει αναφερθεί και σε μη σολομοειδή όπως στο είδος *Plecoglossus altivelis* και τον μπακαλιάρο του Ειρηνικού (*Merluccius productus*), και διαπιστώθηκε ότι το είδος *Anoplopoma fimbria* ανέπτυξε κλινική νόσο όταν μολύνθηκε πειραματικά με *R.*

salmoninarum. Οι περισσότερες χώρες παραγωγής σολομοειδών στην Ευρώπη, την Ασία, καθώς και τη Βόρεια και Νότια Αμερική έχουν αναφέρει κρούσματα βακτηριακής νεφρικής νόσου (BKD) σε εκτρεφόμενα ή/και άγρια ψάρια. Αυτή τη στιγμή η Ιρλανδία, η Αυστραλία και η Νέα Ζηλανδία θεωρούνται ελεύθερες από BKD. Το *Renibacterium salmoninarum* μεταδίδεται τόσο οριζόντια όσο και κάθετα. Αυτό δημιουργεί σοβαρά προβλήματα στα προγράμματα υδατοκαλλιέργειας, όπου οι γεννήτορες είναι ιδιαίτερα πολύτιμοι. Για τη διαχείριση του προβλήματος της κάθετης μετάδοσης, τα εκκολαπτήρια εμπλουτισμού του φυσικού αποθέματος στον Βορειοδυτικό Ειρηνικό στις ΗΠΑ, έχουν εφαρμόσει ένα αποτελεσματικό πρόγραμμα ελέγχου για τους μεταναστευτικούς ενήλικες σολομούς του Ειρηνικού που συλλέγονται για την παραγωγή στα εκκολαπτήρια. Λαμβάνονται δείγματα νεφρών από κάθε θηλυκό γεννήτορα κατά τη στιγμή της αναπαραγωγής και τα επίπεδα μόλυνσης ποσοτικοποιούνται με τη χρήση τυποποιημένης ανοσοπροσοφθητικής δοκιμασίας που συνδέεται με ένζυμο (ELISA). Εάν τα ψάρια είναι θετικά με μέτρια ή υψηλά επίπεδα *R. salmoninarum* τα γονιμοποιημένα αβγά από το θηλυκό αυτό απομακρύνονται από τον πληθυσμό. Αυτό έχει οδηγήσει σε σημαντική μείωση της συνολικής επίπτωσης της BKD σε αυτά τα προγράμματα εκκολαπτηρίων.

Το *Renibacterium salmoninarum* είναι ένα κορινόμορφο βακτήριο δηλαδή ένα μη-κινητό μικρό δονάκιο με διαστάσεις $0,3-1,0 \times 1,0-1,5 \mu\text{m}$. Είναι ένα ενδοκυτταρικό βακτήριο και οι τυποποιημένες μέθοδοι καλλιέργειας για την ταυτοποίησή του είναι προβληματικές καθώς αναπτύσσεται αργά υπό τις περισσότερες συνθήκες, θέλοντας από 8-12 εβδομάδες για την παραγωγή αποικιών στους 15°C . Οι βελτιωμένες μέθοδοι καλλιέργειας μπορούν να μειώσουν τον χρόνο σε 5-7 ημέρες. Αυτό μπορεί να βελτιώσει τη διάγνωση του *R. salmoninarum* στο μέλλον. Ωστόσο, η τρέχουσα επιβεβαίωση των λοιμώξεων βασίζεται σε ορολογικές ή μοριακές μεθόδους.

Τα περιστατικά και οι αναφορές της βακτηριακής νεφρικής νόσου (BKD) είναι ευρέως διαδεδομένα και γενικά τα νεαρά σολομοειδή επηρεάζονται σοβαρά από τη BKD. Ωστόσο, τα ενήλικα ψάρια μπορούν να αναπτύξουν κλινική ασθένεια

τόσο στα περιβάλλοντα του γλυκού όσο και του θαλασσινού νερού. Από το *R. salmoninarum* μπορούν να επηρεαστούν τόσο άγρια όσο και παραγόμενα στα εκκολαπτήρια σολομοειδή του Ειρηνικού και ο σολομός του Ατλαντικού. Η σοβαρότητα της νόσου αυξάνεται όταν τα νεαρά μεταφέρονται από το γλυκό στο θαλασσινό νερό πιθανότατα λόγω της καταπόνησης της φυσιολογίας μέσω της διαδικασίας προσαρμογής στο θαλασσινό νερό. Όταν νεαρά του ασημένιου σολομού μολύνθηκαν με *R. salmoninarum* εμφάνισαν πολύ υψηλότερη θνησιμότητα όταν διατηρήθηκαν στο θαλασσινό νερό σε σύγκριση με τα αδέρφια τους που διατηρήθηκαν στο γλυκό νερό.

Η κλινική εικόνα της βακτηριακής νεφρικής νόσου (BKD) μπορεί να περιλαμβάνει μια σειρά από συμπτώματα, συμπεριλαμβανομένων σκουροχρωμία του δέρματος, λήθαργος, εξόφθαλμος και κοιλιακή διάταση. Γεννήτορες με βαριές μολύνσεις μπορεί να εμφανίσουν αιμορραγία στη βάση των πτερυγίων τους και εσωτερικά μπορεί να παρουσιάζουν κλασικές λευκο-φαιές κοκκιωμάτεις αλλοιώσεις στο νεφρό. Το βακτήριο μπορεί να απομονωθεί και από άλλα όργανα και σε ορισμένες περιπτώσεις η μόλυνση μπορεί να μετακινηθεί στο μυϊκό σύστημα όπου μπορεί να συμβεί καταστροφή των ιστών και νέκρωση.

Η πρόληψη της βακτηριακής νεφρικής νόσου (BKD) επιτυγχάνεται καλύτερα μέσω της αποφυγής της έκθεσης στο *R. salmoninarum*. Για τους γεννήτορες που μπορεί να είναι δυνητικοί φορείς, είναι σημαντικό να υιοθετηθούν οι μέθοδοι ελέγχου, διαλογής και απομάκρυνσης των αβγών που περιγράφονται παραπάνω. Η μεταφορά ψαριών ή αβγών σε εγκαταστάσεις θα πρέπει να απαιτεί προηγούμενη εξέταση των ψαριών ή των αβγών για τον προσδιορισμό της κατάστασης της νόσου. Εάν το *R. salmoninarum* είναι ενδημικό σε μια περιοχή, είναι πιθανό να εκδηλωθούν εξάρσεις κρουσμάτων. Αυτό μπορεί να απαιτεί θεραπεία με αντιβιοτικά των μολυσμένων ψαριών. Ωστόσο, λίγα αντιβιοτικά υπήρξαν επιτυχή. Η χρήση της ερυθρομυκίνης είναι κοινή, αλλά συνολικά ήταν σχετικά αναποτελεσματική σε νεαρά ψάρια. Ένα εμβόλιο για την BKD είναι εμπορικά διαθέσιμο και αναπτύχθηκε για τον σολομό του Ατλαντικού. Αυτό είναι ένα ζωντανό εμβόλιο, αλλά είναι ενδιαφέρον ότι αποτελείται από το βακτήριο *Arthrobacter*

davidanieli, το οποίο συγγενεύει πολύ με βακτήρια του εδάφους και παρέχει διασταυρούμενη προστασία όταν τα ψάρια εμβολιάζονται με έγχυση.

11.3.9 *Streptococcus* spp.

Με την επέκταση της ιχθυοκαλλιέργειας τιλάπιας (*Oreochromis* spp.) παγκοσμίως, ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα ασθένειας αφορά τις στρεπτοκοκκικές σηψαιμικές μολύνσεις. Αν και είναι πιο διαδεδομένες στα ψάρια του γλυκού νερού, μολύνσεις έχουν επίσης αναφερθεί τόσο σε άγρια όσο και σε εκτρεφόμενα θαλάσσια ψάρια. Στα γλυκά νερά, τα ακόλουθα βακτηριακά είδη φαίνεται να είναι τα πιο προβληματικά: *Streptococcus agalactiae*, *S. iniae*, *S. ictaluri*, *S. difficile*, και *S. shiloi*.

Οι στρεπτόκοκκοι είναι μικρού μεγέθους Gram-θετικά βακτήρια που μπορεί να εμφανιστούν σε αλυσίδες αποτελούμενες από κόκκους διαμέτρου 0,3–0,5 μm. Μπορούν να απομονωθούν από διάφορα όργανα και να καλλιεργηθούν σε διαφορετικά θρεπτικά υλικά. Θεωρούνται μη κινητικοί και εκείνοι που σχετίζονται με μολύνσεις στα ψάρια έχουν διαχωριστεί σε τέσσερις κύριες ομάδες βάσει ειδικών χαρακτηριστικών.

Έχουν αναφερθεί εξάρσεις με κρούσματα σε πολλά είδη ψαριών, αλλά έχουν αναφερθεί σωρευτικές θνησιμότητες στην τιλάπια μέχρι 50–60%. Η κλινική μόλυνση έχει ως αποτέλεσμα μια ποικιλία εξωτερικών συμπτωμάτων, συμπεριλαμβανομένων, ενδεικτικά, του εξόφθαλμου και της πετεχειακής αιμορραγίας κοντά στο βραγχιακό επικάλυμμα, την έδρα, το στόμα και τα πτερύγια. Εσωτερικά, ο εντερικός σωλήνας, τα πυλωρικά τυφλά, και το ήπαρ μπορεί να εμφανίζουν πετεχειακή αιμορραγία. Όταν είναι συστημική, τα βακτήρια μπορούν να μετακινηθούν σε διάφορα όργανα, συμπεριλαμβανομένων του ήπατος, καρδιάς, νεφρού, στομάχου, εντέρου, εγκεφάλου, ματιών, και του μυϊκού συστήματος. Εξάρσεις με κρούσματα με *S. agalactiae* έχει αναφερθεί ότι προκαλούν μαζική θνησιμότητα στην τιλάπια. Οι στρεπτοκοκκικές λοιμώξεις μπορεί επίσης να είναι ένα πρόβλημα στην καλλιέργεια γατόψαρου, και η ιριδίζουσα πέστροφα έχει μολυνθεί πειραματικά.

Η πρόληψη και ο έλεγχος των στρεπτοκοκκικών λοιμώξεων είναι δύσκολη. Ωστόσο, είναι ση-

μαντικό να διατηρείται η καλή ποιότητα του νερού και να ελαχιστοποιηθεί η καταπόνηση στο περιβάλλον της υδατοκαλλιέργειας. Η απομάκρυνση ετοιμοθάνατων ή νεκρών ψαριών είναι σημαντική και σε περίπτωση εμφάνισης κρούσματος, έχουν υπάρξει αναφορές ότι αντιβιοτικά όπως η εντεροφλαξίνη και η ερυθρομυκίνη-δοξυκυκλίνη να είναι αποτελεσματικά (Tung et al., 1985). Τα τελευταία χρόνια, έχουν πραγματοποιηθεί έρευνες για την ανάπτυξη εμβολίων για την προστασία των ψαριών από τις σημαντικές επιπτώσεις των ασθενειών. Στην τιλάπια, τα εμβόλια έχουν αποδειχθεί αποτελεσματικά όταν χορηγούνται με έγχυση και η προστασία με τη μεσολάβηση αντισωμάτων φαίνεται να είναι σημαντική. Ένα εμβόλιο που αποτελείται από αδρανοποιημένα *S. agalactiae* (Βιότυπος 2) είναι εμπορικά διαθέσιμο για τα εκτρεφόμενα ψάρια, αλλά πρέπει να χορηγηθεί ενέσιμα. Θα πρέπει να δίνεται προσοχή κατά το χειρισμό ψαριών που πάσχουν από στρεπτοκοκκικές λοιμώξεις, καθώς ορισμένα είδη *Streptococcus* θεωρούνται ζωνοσογόνα και μπορούν να προκαλέσουν μολύνσεις στον άνθρωπο, κάτι που συμβαίνει συνήθως λόγω τραυματισμών του δέρματος κατά το χειρισμό ή την προετοιμασία ψαριών για μαγείρεμα (βλ. ενότητα 11.12).

11.4 Μύκητες

Οι μύκητες θεωρούνται ευκαρυωτικοί οργανισμοί και συχνά αναφέρονται ως μούχλα του νερού (water molds) ή ωομύκητες (oomycetes). Είναι μικροσκοπικοί, νηματοειδείς, προσροφητικοί οργανισμοί που εμπλέκονται στην αποσύνθεση σε οικολογικά συστήματα. Αναπαράγονται τόσο φυλετικά όσο και αφυλετικά και μπορούν να παράξουν τοξίνες που μπορεί να είναι επιβλαβείς για τα ζώα. Αυτές οι μούχλες του νερού (water molds) μπορεί να αναφέρονται ως ψευδο-μυκητιακοί οργανισμοί και να προκαλούν ασθένειες όπως η σαπρολεγνίαση και η βραγχιομύκωση, οι οποίες συζητούνται σε αυτή την ενότητα.

11.4.1 Σαπρολεγνίαση

Η Σαπρολεγνίαση (saprolegniasis) μπορεί να αναπτυχθεί και να επηρεάσει εκτρεφόμενα και άγρια ψάρια ή τα αβγά/έμβρυα τους. Γενικά, η

Saprolegnia θεωρείται ευκαιριακό παθογόνο που τρέφεται με νεκρωτικό ιστό ή οργανικά υπολείμματα. Όταν οι συνθήκες είναι βέλτιστες η *Saprolegnia* μπορεί να προκαλέσει μόλυνση σε σχεδόν οποιοδήποτε είδος ψαριών σε οποιοδήποτε αναπτυξιακό στάδιο. Ωστόσο, οι λοιμώξεις είναι πιο διαδεδομένες στις εγκαταστάσεις υδατοκαλλιέργειας κατά την επώαση των αβγών ή την εκτροφή προνυμφών στα πρώιμα στάδια ή μπορεί να αποτελέσουν πρόβλημα πριν ή μετά την αναπαραγωγή γεννητόρων των σολομοειδών.

Η *Saprolegnia* ταξινομείται ως ομοιάζοντες με μύκητες οργανισμός, με νηματοειδείς υφές, σπορογένεση και κλασική εμφάνιση 'τούφας βαμβακιού'. Ωστόσο, ορισμένες διαφορές τους διαχωρίζουν από τους αληθινούς μύκητες και τους τοποθετούν πιο προσεκτικά ταξινομικά στα ετερόκοντα (heterokonts), τα οποία περιλαμβάνουν οργανισμούς όπως τα διάτομα και τα φαιοφύκη. Η υποθετική διάγνωση μπορεί να βασιστεί στην παρατήρηση των 'τουφών βαμβακιού' και στην ταυτοποίηση των νηματοειδών υφών χωρίς διαφράγματα. Η επιβεβαίωση σε επίπεδο είδους είναι δύσκολη με μικροσκοπία, αλλά η αλληλούχιση του γενετικού υλικού και η ταυτοποίηση με βάση την PCR γίνεται όλο και πιο συχνή. Στις περισσότερες περιπτώσεις η *Saprolegnia* σπάνια διαγιγνώσκεται σε επίπεδο είδους, καθώς οι διαδικασίες θεραπείας είναι ίδιες για όλα τα είδη. Ωστόσο, τα κοινά είδη που είναι γνωστό ότι μολύνουν τα ψάρια ή τα αβγά των ψαριών είναι τα *S. parasitica*, *S. diclina*, και *S. ferax* (βλέπε Cain and Polinski, 2014).

Σε γενικές γραμμές, η *Saprolegnia* είναι ευκαιριακή και μπορεί να παρασιτήσει σε θερμοκρασίες που κυμαίνονται από 2-35 °C. Το *S. parasitica* θεωρείται το πιο διαδεδομένο και ανησυχητικό είδος στις περισσότερες δραστηριότητες υδατοκαλλιέργειας. Το κόστος που συνδέεται με αυτό το παθογόνο εκτιμάται ότι είναι σε δεκάδες εκατομμύρια δολάρια σε εγκαταστάσεις καλλιέργειας σολομού και γατόψαρου ετησίως. Αν και το *S. parasitica* είναι πιο κοινό, τα *S. diclina* και *S. ferax* θεωρούνται πιο παθογόνα από το *S. parasitica* για τα αβγά του σολομού του Ατλαντικού κατά την επώαση. Τα νέα είδη υδατοκαλλιέργειας, όπως το είδος *Lota lota*, τα οποία απαιτούν θερμοκρασίες κάτω των 4 °C για την επώαση των αβγών είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα στη *Saprolegnia* (Εικόνα 11.10).



Εικόνα 11.10 Χαρακτηριστικές υφές που φαίνονται προσκολλημένες σε επωαζόμενα αβγά του είδους *Lota lota*. Τα αβγά που έχουν μολυνθεί σαφώς με τη *Saprolegnia* εμφανίζονται νεφελώδη και είναι νεκρά, ενώ τα εμφανώς μη μολυσμένα αβγά φαίνονται υγιή με τα αναπτυσσόμενα εμβρύων στο εσωτερικό. Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από τον Dr M. Polinski.

Αποδείχθηκε ότι χωρίς χορήγηση χημειοθεραπευτικών, η θνησιμότητα τόσο των αβγών όσο και των προνυμφών λόγω της *Saprolegnia* ήταν κοντά στο 100%.

Η μόλυνση με *Saprolegnia* στα ψάρια θα ξεκινήσει συχνά στο σημείο ενός προηγούμενου τραυματισμού ή μίας βλάβης που προέκυψε από άλλες μολύνσεις. Η *Saprolegnia* θα εκδηλωθεί και θα εμφανιστεί ως 'τούφες βαμβακιού' στην εξωτερική επιφάνεια της βλάβης ενός ψαριού ή θα εξαπλωθεί γρήγορα μόλις μια μόλυνση εγκατασταθεί στην επιφάνεια των αβγών. Εάν τα ψάρια είναι ανοσοκατεσταλμένα καθ' οιονδήποτε τρόπο ως αποτέλεσμα προδιαθέτουσας καταπόνησης ή άλλων παραγόντων, η μόλυνση από *Saprolegnia* μπορεί να ενισχυθεί (Cain and Polinski, 2014).

Οι οργανισμοί της *Saprolegnia* θεωρούνται παρόντες στα περισσότερα περιβάλλοντα γλυκού νερού και, ως εκ τούτου, τα ψάρια ή τα αβγά πιθανότατα θα εκτεθούν σε μια εγκατάσταση υδατοκαλλιέργειας. Οι μολύνσεις μπορούν να περιοριστούν στα ψάρια με την ελαχιστοποίηση της καταπόνησης και τη διατήρηση βέλτιστων συνθηκών καλλιέργειας. Ο χειρισμός μπορεί να προκαλέσει τραυματισμούς, οι οποίοι προδιαθέτουν τα ψάρια σε μυκητιακού τύπου λοίμωξη σε αυτά τα σημεία.

Στα επωαζόμενα αβγά ή στις νεοεκκολαμμένες προνύμφες, μπορεί να αναπτυχθεί *Saprolegnia* εάν είναι διαθέσιμα θρεπτικά συστατικά. Ως εκ τούτου, είναι σημαντικό να καθαρίζονται όλα τα οργανικά υλικά, συμπεριλαμβανομένων των νεκρών αβγών ή τα κελύφη των αβγών όσο το δυνατόν συχνότερα. Οι τυποποιημένες διαδικασίες στις περισσότερες εγκαταστάσεις εφαρμόζουν επεξεργασίες ρουτίνας στα αβγά (και ενδεχομένως στις προνύμφες) με εγκεκριμένες χημικές ουσίες όπως υπεροξειδίο του υδρογόνου, φορμόλη, ή σε μερικές περιπτώσεις χλωριούχο νάτριο. Για τα ψάρια, όπως ο ενήλικος σολομός, που μπορεί να είναι βαριά μολυσμένα στα σημεία του σώματος όπου παρατηρούνται εκδορές στο δέρμα και εμφανίζονται βλάβες (κοινές εάν χρησιμοποιούνται άγριοι γεννήτορες που επιστρέφουν στις τοποθεσίες αναπαραγωγής), είναι σημαντικό να χορηγηθούν θεραπείες το συντομότερο δυνατόν. Το πράσινο του μαλαχίτη ήταν μια πρώιμη ιστορικά θεραπεία και ήταν αρκετά αποτελεσματικό. Ωστόσο, δεν επιτρέπεται πλέον, καθώς διαπιστώθηκε ότι έχει καρκινογόνες και τοξικές επιδράσεις. Στις ΗΠΑ, η φορμόλη και το υπεροξειδίο του υδρογόνου αποτελούν τις πιο κοινές χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται για τη θεραπεία της σαπρολεγγίας.

11.4.2 Βραγχιομύκωση

Οι μολύνσεις από *Branchiomyces sanguinis* και *B. demigrans* προκαλούν μια κατάσταση γνωστή ως 'σήψη των βραγχίων'. Η Βραγχιομύκωση (branchiomycosis) είναι γνωστό ότι επηρεάζει τα εκτρεφόμενα ψάρια και έχει συνδεθεί με σοβαρές απώλειες τιλάπιας στο Ισραήλ και εκτρεφόμενου γατόψαρου. Αυτή η κατάσταση μπορεί να συνδεθεί με κακές περιβαλλοντικές συνθήκες που επηρεάζουν την υγεία των βραγχίων και παρέχουν ένα περιβάλλον που ευνοεί τον αποικισμό των *Branchiomyces* στα βράγχια. Η κατάσταση εμφανίζεται σε θερμοκρασίες μεταξύ 25–32 °C και μπορεί να εκδηλωθεί εντός 2-4 ημερών μετά την έκθεση, εάν υπάρχουν προδιαθέτοντες παράγοντες καταπόνησης.

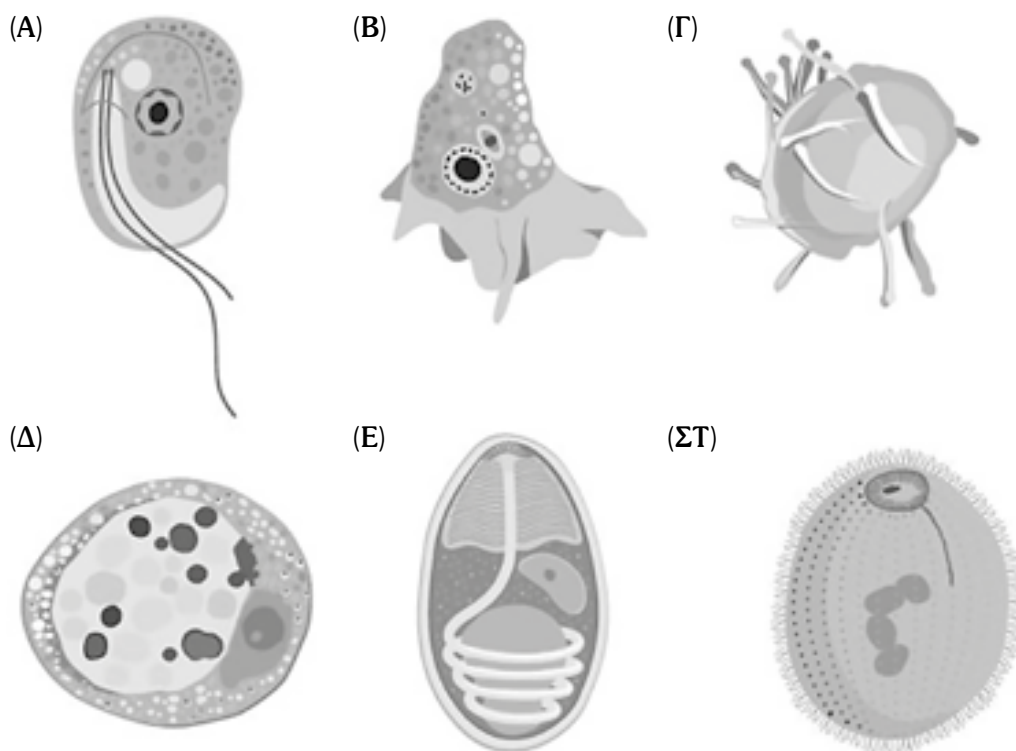
Για τη διάγνωση και τη διάκριση μεταξύ *B. sanguinis* και *B. demigrans*, πρέπει να εξετάζονται στο μικροσκόπιο παρασκευάσματα βραγχί-

ων. Το *B. sanguinis* μολύνει τα τριχοειδή των βραγχιακών νηματίων και χαρακτηρίζεται από λεπτό τοίχωμα (0,2 μm) υφών και σπόρια διαμέτρου 5-9 μm, ενώ το *B. demigrans* βρίσκεται στο παρέγχυμα των βραγχίων και είναι παχύτερο με τοιχώματα 0,5-0,7 μm με σπόρια μεγέθους 12-17 μm. Η σήψη των βραγχίων μπορεί να οδηγήσει σε υψηλή θνησιμότητα και τα κλινικά συμπτώματα της νόσου περιλαμβάνουν τα τυπικά συμπτώματα των νοσηρών καταστάσεων των βραγχίων. Αυτά περιλαμβάνουν λήθαργο και κατάποση αέρα στην επιφάνεια του νερού. Κατά την εξέταση τα ψάρια μπορεί να παρουσιάζουν ραβδώσεις στα βράγχια με χλωμές περιοχές νέκρωσης λόγω της μόλυνσης.

Σε αντίθεση με τη *Saprolegnia*, οι *Branchiomyces* δεν φαίνεται ότι είναι πανταχού παρούσες στο περιβάλλον και έτσι η μεταφορά μολυσμένων ψαριών θα πρέπει να αποφεύγεται. Η πρόληψη της ασθένειας συνδέεται άμεσα με ορθές πρακτικές διαχείρισης που διατηρούν υψηλή ποιότητα νερού και ελαχιστοποιούν άλλους παράγοντες καταπόνησης σε ένα περιβάλλον υδατοκαλλιέργειας. Τα μολυσμένα ψάρια θεωρούνται φορείς αυτών των παθογόνων και θα πρέπει να διαχωρίζονται από τα μη μολυσμένα ψάρια. Η θεραπεία με φορμόλη ή θειικό χαλκό μπορεί να είναι αποτελεσματική στον έλεγχο της θνησιμότητας λόγω βραγχιομύκωσης, αλλά για να περιοριστεί η εξάπλωση αυτών των παθογόνων όλα τα νεκρά ψάρια θα πρέπει να απορρίπτονται κατάλληλα και οι υδατοσυλλογές εκτροφής να αποξηραίνονται και να απολυμαίνονται.

11.5 Πρωτόζωα

Τα πρωτόζωα είναι από τα σημαντικότερα προβλήματα παρασίτων στις βιομηχανίες υδατοκαλλιέργειας δίθυρων και ιχθύων όπου χρησιμοποιούνται ανοικτές πηγές νερού. Αποτελούν μια ποικιλόμορφη ομάδα μονοκυτταρικών ευκαρυωτικών οργανισμών, πολλοί από τους οποίους είναι κινητικοί. Τα πρωτόζωα κυμαίνονται σε μέγεθος από 10 έως 52 μm, αλλά μπορούν να αυξηθούν μέχρι το 1 mm, και μπορούν να παρατηρηθούν χρησιμοποιώντας μικροσκόπιο. Το κύτταρο ενός πρωτόζωου έχει έναν ή περισσότερους πυρήνες, ένα σύνολο κυτταρικών οργανιδίων και ειδικών οργανιδίων που εξυπηρετούν ζωτικές λειτουργίες όπως η



Εικόνα 11.11 Σχηματικό διάγραμμα αντιπροσωπευτικών πρωτοζώων που μπορεί να απαντώνται στην ιχθυοκαλλιέργεια ασπόνδυλων και ιχθύων. (Α) μαστιγοφόρα (π.χ., *Ichthyobodo*), (Β) αμοιβάδα (π.χ., *Paramoeba*), (Γ) απλοσπορίδια (π.χ., *Bonamia*), (Δ) απικόμπλεξα (π.χ., *Perkinsus*), (Ε) μικροσπορίδια (π.χ., *Thelohania*) και (ΣΤ) βλεφαριδοφόρα (π.χ., *Cryptocaryon*). Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από τον Dr Kate Hutson, γραφικά από τον Eden Cartwright, Bud Design.

κίνηση, η πρόσληψη τροφής ή η εισβολή στον ξενιστή. Μερικά παρασιτικά πρωτόζωα έχουν στάδια ζωής που εναλλάσσονται μεταξύ πολλαπλασιαστικών σταδίων και αδρανών κύστεων. Ως κύστες, τα πρωτόζωα μπορούν να επιβιώσουν σε ακραίες συνθήκες, συμπεριλαμβανομένης της έκθεσης σε ακραίες θερμοκρασίες ή επιβλαβείς χημικές ουσίες, ή μεγάλες περιόδους χωρίς πρόσβαση σε θρεπτικά συστατικά, νερό, ή οξυγόνο. Επί του παρόντος δεν υπάρχουν εμπορικά διαθέσιμα εμβόλια για οποιοδήποτε από τα παρασιτικά πρωτόζωα των ψαριών. Αυτή η ενότητα παρέχει μια επισκόπηση των πιο κοινών ομάδων που απαντούν σε υδρόβια ζώα, συμπεριλαμβανομένων των μαστιγοφόρων, αμοιβάδων, απλοσποριδίων, ακροσυμπλεγματοειδών (Apicomplexa - αποικόμπλεξα), μικροσποριδίων και βλεφαριδοφόρων (**Εικόνα 11.11**).

11.5.1 Μαστιγοφόρα (Flagellates)

Το υποφύλο Μαστιγοφόρα περιλαμβάνει τα δινωμαστιγωτά, τις αιμοπαρασιτικές τρυπανοσώμα-

τίδες και τις εξωπαρασιτικές μποντονίδες (**Εικόνα 11.11Α**). Αυτή η ομάδα χαρακτηρίζεται από επιμηκυμένα μαστίγια τα οποία κινούνται για να ωθήσουν το κύτταρο μέσω υγρών περιβαλλόντων. Τα μαστίγια είναι επεκτάσεις της κυτταρικής μεμβράνης με έναν εσωτερικό πυρήνα από μικροσωληνίσκους και έχουν την μορφή κανονικού μαστίγιου. Τα περισσότερα παρασιτικά μαστιγοφόρα έχουν ένα απλό, με έναν ξενιστή κύκλο ζωής και αναπαράγονται μέσω διαμήκους διχοτόμησης.

Το δινωμαστιγωτό *Amyloodinium ocellatum* είναι ένας επικίνδυνος παράγοντας στην υδατοκαλλιέργεια θαλάσσιων ψαριών, που προκαλεί θανατηφόρες επιδημίες σε όλο τον κόσμο. Οι επιδημίες μπορεί να εμφανιστούν γρήγορα και έχουν ως αποτέλεσμα έως και 100% θνησιμότητα μέσα σε λίγες ημέρες. Το *Amyloodinium* έχει άμεσο αλλά τρι-φασικό κύκλο ζωής. Τα παράσιτα τρέφονται ως στάσιμοι τροφόντες (trophonts) στις επιθηλιακές επιφάνειες του δέρματος και των βράγχων. Οι τροφόντες προσκολλώνται στα ψάρια με έναν δίσκο προσκόλλησης που έχει νηματοειδείς προεκβολές (ριζοειδή) που βυθίζονται βαθιά

στον επιθηλιακό ιστό του ξενιστή. Μετά την ωρίμανση, ο τροφόντης αποσυνδέεται από το δέρμα των ψαριών και σχηματίζει μια αναπαραγωγική κύστη, τον τομόντη (tomont), στο περιβάλλον υπόστρωμα. Ο τομόντης διαιρείται παράγοντας πολλαπλά άτομα που κολυμπούν ελεύθερα (δινωσπόρια) που μπορούν να μολύνουν έναν νέο ξενιστή. Υπό βέλτιστες συνθήκες, το παράσιτο μπορεί να ολοκληρώσει τον κύκλο ζωής του σε λιγότερο από μία εβδομάδα. Η σοβαρή διαταραχή που προκαλείται από το παράσιτο στα επιθήλια μπορεί να οδηγήσει τα μολυσμένα ψάρια να τρίβουν το σώμα τους πάνω σε αντικείμενα ή σκληρές επιφάνειες και σε προβλήματα οσμορύθμισης. Η μόλυνση μπορεί να οδηγήσει σε υπεραερισμό, ανορεξία και μαζική θνησιμότητα. Το ελεύθερα κολυμβητικό δινωσπόριο είναι ευαίσθητο σε ορισμένα φάρμακα, αλλά οι τροφόντες και οι τομόντες είναι σχετικά ανθεκτικοί, καθιστώντας την εξάλειψή τους μια σοβαρή πρόκληση. Η μόλυνση μπορεί να διαγνωστεί παρατηρώντας τα παράσιτα μέσω οπτικής μικροσκοπίας και έχουν αναπτυχθεί και μοριακά διαγνωστικά εργαλεία.

Η ιχθυομπόδοση (ichthyobodosis) είναι μια σημαντική παρασιτική ασθένεια που έχει προκαλέσει σοβαρές απώλειες μεταξύ των διακοσμητικών και των εκτρεφόμενων ψαριών παγκοσμίως. Λοιμώξεις από μέλη του γένους *Ichthyobodo* (**Εικόνα 11.11Α**) έχουν αναφερθεί από περισσότερα από 60 διαφορετικά είδη ξενιστών σε γλυκό και θαλασσινό νερό. Η ασθένεια προκαλείται από σοβαρές μολύνσεις στο δέρμα και τα βράγχια. Στο παρελθόν, οι μολύνσεις έχουν συνήθως συσχετιστεί με ένα μόνο μεταβλητό είδος, το *Ichthyobodo necator*. Ωστόσο, μοριακές μελέτες έχουν αποκαλύψει ότι το γένος *Ichthyobodo* αποτελείται από πολλά διαφορετικά είδη. Είναι γνωστά δύο βιολογικά στάδια, ένα νεφροειδούς σχήματος ελεύθερα κολυμβητικό στάδιο και μια σταθερή πυριφορμική (pyriform) κατάσταση που διαπερνά την επένδυση των επιθηλιακών κυττάρων. Τα μολυσμένα ψάρια μπορεί να εμφανίσουν αποχρωματισμό του δέρματος και υπεραερισμό. Η οσμορύθμιση των ψαριών ξενιστών μπορεί να προσβληθεί λόγω καταστροφής και σύντηξης των βραγχιακών νηματίων και μπορεί να προκληθεί σημαντική νοσηρότητα και πιθανώς θνησιμότητα. Και τα δύο βιολογικά στάδια είναι ευαίσθητα στην φορμόλη και σε οξει-

δωτικούς παράγοντες.

Τα τρυπανοσώματα είναι παράσιτα ασπόνδυλων και ψαριών σε όλο τον κόσμο σε γλυκά νερά και θαλάσσια περιβάλλοντα. Βρίσκονται συνήθως στο αίμα, στα βράγχια ή στο πεπτικό σύστημα. Αυτά τα παράσιτα έχουν πολύπλοκο βιολογικό κύκλο, με πολλά αναπτυξιακά στάδια να συμβαίνουν εντός των εντερικών τυφλών ενός ενδιάμεσου ξενιστή βδέλλας. Οι βδέλλες μπορούν να μεταφέρουν τρυπανοσώματα του αίματος (π.χ. *Cryptobia* spp.) όταν δαγκώνουν τα ψάρια, αν και ορισμένα είδη μπορούν να μεταδοθούν απευθείας μεταξύ των ξενιστών. Στα χρωσμένα επιχρίσματα αίματος μπορεί να γίνει αντιληπτή η παρουσία αυτών των παρασίτων χρησιμοποιώντας οπτική μικροσκοπία. Μπορεί να προκληθεί αναιμία από τις αιμολυσίνες που απελευθερώνονται από τα παράσιτα, καθώς και από λιπίδια και πρωτεΐνες που προκαλούν διάλυση των ερυθρών αιμοσφαιρίων καταστρέφοντας την κυτταρική μεμβράνη τους. Τα νεαρά ιχθύδια τείνουν να είναι πιο ευάλωτα και μπορεί να προκύψει θνησιμότητα μετά από μια μόλυνση.

Για να αποφευχθεί η μόλυνση από παρασιτικά μαστιγοφόρα θα πρέπει να υπάρχει υψηλή διήθηση και επεξεργασία του νερού της παροχής. Οι βδέλλες και άλλα παράσιτα που απομυζούν αίμα, όπως τα γναθοειδή ισόποδα, μπορούν να χρησιμεύσουν ως φορείς μαστιγοφόρων που μολύνουν το αίμα και θα πρέπει να εξαλείφονται για να μειωθεί η μετάδοση. Τα εξωτερικά μαστιγοφόρα μπορούν να αντιμετωπιστούν με φορμόλη, υπεροξείδιο του υδρογόνου ή υφαλμύριση (για θαλάσσια είδη) και ορισμένα αναισθητικά μπορεί να προκαλέσουν την αποκόλλησή τους. Οι υψηλές ή οι χαμηλές θερμοκρασίες ή η αλατότητα μπορεί να αναστείλουν τον πολλαπλασιασμό των μαστιγοφόρων, αλλά αυτά μπορεί να μην είναι εφαρμόσιμα λόγω του ξενιστή.

11.5.2 Sarcodina (Αμοιβάδες)

Τα περισσότερα είδη αμοιβάδων (amoebae) διαβιώνουν ελεύθερα, ωστόσο, ένας μικρός αριθμός είναι παρασιτικός στα ζώα. Στην υδατοκαλλιέργεια οι αμοιβάδες μπορεί να είναι πρόβλημα για τα καρκινοειδή, τα εχινόδερμα και τα ψάρια. Οι αμοιβάδες μετακινούνται με τον σχηματισμό ψευδο-

ποδίων ή με διακριτή πρωτοπλασματική ροή. Η κίνηση χρησιμοποιείται επίσης από πολλά είδη για την εγκόλπωση και πέψη τροφής μέσω φαγοκυττάρωσης. Οι αμοιβάδες είναι εξαιρετικά ανθεκτικές και επιβιώνουν κάτω από ένα ευρύ φάσμα περιβαλλόντων. Αναπαράγονται με διχοτόμηση ή πολλαπλή σύντηξη.

Η *Paramoebae perurans* (ο αιτιολογικός παράγοντας της αμοιβαδοειδούς ασθένειας των βραγχίων) έχει καταστεί πρόβλημα για την καλλιέργεια του σολομού του Ατλαντικού παγκοσμίως και επηρεάζει μια σειρά από εκτρεφόμενα είδη θαλάσσιων ψαριών. Επί του παρόντος, η αμοιβαδοειδής ασθένεια των βραγχίων αποτελεί σημαντικό ζήτημα για την υδατοκαλλιέργεια σολομοειδών στην Αυστραλία, την Ιρλανδία, τη Σκωτία, τη Νορβηγία και τις ΗΠΑ με ποσοστό θνησιμότητας 10% έως 82% (βλ. ενότητα 17.8). Η σοβαρότητα της ασθένειας επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από την υψηλή αλατότητα και τη υψηλή θερμοκρασία. Τα κλινικά συμπτώματα περιλαμβάνουν αναπνευστική δυσφορία και λήθαργο, τα οποία σχετίζονται με μακροσκοπικά ορατές βλάβες των βραγχίων. Ο ορισμός της περιπτώσεως της αμοιβαδοειδούς ασθένειας των βραγχίων βασίζεται στην ιστολογία, στην παρουσία υπερπλαστικών αλλοιώσεων και των σχετιζόμενων αμοιβάδων. Η ασθένεια προκαλεί χαρακτηριστικές αλλαγές στον ιστό των βραγχίων, συμπεριλαμβανομένης της σοβαρής υπερπλασίας του επιθηλίου των βραγχιακών νημάτων και μιας φλεγμονώδους απόκρισης η οποία οδηγεί σε θνησιμότητα αν αφεθεί χωρίς θεραπεία.

Η πιο αποτελεσματική θεραπεία για την *P. perurans* είναι ένα μπάνιο σε γλυκό νερό για δύο ώρες που μειώνει τα παθολογικά σημάδια της μόλυνσης. Τα βράγχια συνήθως βαθμολογούνται βάσει μακροσκοπικής εξέτασης για να αποφασιστεί η αναγκαιότητα για θεραπεία με μπάνιο, αλλά υπάρχουν περιορισμοί με αυτήν τη μέθοδο επειδή βασίζεται σε υποκειμενική ερμηνεία και εμπειρία. Τα μπάνια προκαλούν καταπόνηση στα ψάρια και επηρεάζουν την παραγωγή, επειδή τα ψάρια πρέπει να νηστεύσουν πριν από την θεραπεία. Υπάρχουν ενδείξεις ότι ένα ποσοστό αμοιβάδων μπορεί να επιβιώσει και να ανακάμψει από ένα μπάνιο σε γλυκό νερό καθώς είναι σε θέση να σχηματίσουν κενोटόπια για να διαχωρίσουν και στη συνέχεια να

αποβάλλουν το εισερχόμενο γλυκό νερό (Lima et al. 2015). Εξαιρώντας τον εκτρεφόμενο σολομό σε κλωβούς από τα ανώτερα βάθη των κλωβών όπου οι ελεύθερα διαβιώσες *P. perurans* τείνουν να είναι πιο άφθονες θα μπορούσε να είναι μια αποτελεσματική στρατηγική διαχείρισης για τη μείωση της ταχύτητας με την οποία ξεκινούν οι αρχικές μολύνσεις. Η χρήση ψαριών-καθαριστών ως μέσο βιολογικού ελέγχου μπορεί να είναι περιορισμένη, καθώς πολλά είδη είναι ευαίσθητα στην αμοιβαδοειδή ασθένεια των βραγχίων.

11.5.3 Απλοσπορίδια

Το φύλο απλοσπορίδια (Haplosporidia) των πρωτίστων περιλαμβάνει περισσότερα από 40 είδη με εκπροσώπους που μολύνουν μια σειρά θαλάσσιων μαλακίων ξενιστών με κάποια να απαντώνται στα γλυκά ύδατα. Παράγουν σπόρια χωρίς τις σύνθετες δομές που απαντώνται σε παρόμοιες ομάδες (όπως πολικά νημάτια ή σωληνάρια), αλλά το στάδιο των σπορίων κοσμείται από ουρές ή περιτυλίγματα (**Εικόνα 11.11Γ**). Τα σπόρια των απλοσποριδίων έχουν έναν πυρήνα και ένα άνοιγμα στο ένα άκρο, που καλύπτεται με ένα εσωτερικό διάφραγμα ή ένα ξεχωριστό αρθρωτό καπάκι. Μετά την ανάδυσή του από το σπόριο, αναπτύσσεται μέσα στα κύτταρα του ξενιστή του, συνήθως ένα θαλάσσιο μαλάκιο ή ένα είδος των δακτυλιοσκόληκων (Annelidae). Αναπτύσσονται μέσα στο πεπτικό σύστημα και υφίστανται εσωτερική ανάπτυξη για την παραγωγή πολυκυτταρικών σπορίων. Η δυναμική των απλοσποριδίων στους ξενιστές τους είναι εποχιακή και εξαρτάται από περιβαλλοντικές παραμέτρους.

Η Μποναμίωση (bonamiosis) είναι μια θανατηφόρα μόλυνση των αιμοκυττάρων στα κοινά στρείδια (*Ostrea edulis*) που προκαλείται από τα απλοσπορίδια του γένους *Bonamia* (βλ. ενότητα 10.5.1.1). Αυτό το ενδοαιμοκυτταρικό πρωτόζωο γίνεται γρήγορα συστηματικό με συντριπτικό αριθμό παρασίτων που συμπίπτει με το θάνατο των στρειδιών. Η μόλυνση στα στρείδια σπάνια οδηγεί σε κλινική εικόνα ασθένειας και συχνά η μόνη ένδειξη της μόλυνσης είναι η αυξημένη θνησιμότητα. Σε μερικές περιπτώσεις, η ασθένεια συνοδεύεται από κίτρινο αποχρωματισμό και αλλοιώσεις στα βράγχια και το μανδύα, αλλά στις περισσό-

τερες περιπτώσεις τα μολυσμένα στρείδια εμφανίζονται φυσιολογικά. Οι βλάβες μπορούν να ανιχνευθούν με ιστολογία και μπορεί να εμφανιστούν στον συνδετικό ιστό των βραγχίων, στον μανδύα και στον πεπτικό αδέν. Αν και ο βιολογικός κύκλος είναι άγνωστος, κατέστη δυνατό να μεταδοθεί η ασθένεια πειραματικά στο εργαστήριο με συμβίωση ή ενοφθαλμισμό με καθαρά παράσιτα. Η *Bonamia ostreae* έχει συσχετιστεί με σημαντικές καταστροφές πληθυσμών στρειδιών. Παρατηρήθηκε για πρώτη φορά στη Γαλλία το 1979 και προκάλεσε σημαντική καταστροφή των πληθυσμών του Ευρωπαϊκού στρειδιού (*Ostrea edulis*) πριν εξαπλωθεί στο μεγαλύτερο μέρος της παράκτιας Ευρωπαϊκής ζώνης στον Ατλαντικό ωκεανό.

Παρομοίως, οι επιδημίες από το *Haplosporidium nelsoni* κατά μήκος της μεσο-Ατλαντικής ακτής των ΗΠΑ έχουν καταστρέψει πληθυσμούς στρειδιών και προκάλεσαν σημαντική οικονομική αναστάτωση στις παράκτιες κοινότητες. Η θνησιμότητα των στρειδιών που σχετίζεται με επιδημίες μπορεί να υπερβεί το 90%, προκαλώντας σημαντικές οικονομικές απώλειες για τις βιομηχανίες στρειδιών. Το *Haplosporidium nelsoni* πιστεύεται ότι εισήχθη στις ΗΠΑ από την Ασία. Μολύνει το στρείδι του Ειρηνικού (*Crassostrea gigas*) στην Ασία, την Ευρώπη και τη δυτική ακτή των ΗΠΑ και το ανατολικό στρείδι (*C. virginica*) κατά μήκος της ανατολικής ακτής της Βόρειας Αμερικής και του Καναδά. Οι θνησιμότητες είναι συνήθως υψηλότερες κατά τους καλοκαιρινούς μήνες και επίσης αυξάνονται σε νερά υψηλότερης αλατότητας. Η ασθένεια μειώνει τους ρυθμούς λήψης τροφής των μολυσμένων στρειδιών και η μείωση των αποθηκευμένων υδατανθράκων εμποδίζει την κανονική γαμετογένεση την άνοιξη, με αποτέλεσμα τη μείωση της γονιμότητας.

11.5.4 Αποϊκόπλεξα (Σπορόζωα)

Το φύλο Apicomplexa είναι μια μεγάλη ομάδα πρωτόζωων παρασίτων με πάνω από 8000 είδη που περιγράφονται ως παράσιτα ασπόνδυλων και σπονδυλωτών ξενιστών. Τα αποϊκόπλεξα έχουν ένα ειδικό κυτταρικό οργάνο, το κορυφαίο σύμπλοκο (apical complex), το οποίο διευκολύνει την εισβολή στο κύτταρο του ξενιστή (Εικόνα 11.11Δ). Υφίσταται κυκλική ανάπτυξη που περιλαμβάνει τρεις δι-

αιρετικές διεργασίες: μερογονία, γαμογονία και σπορογονία. Η κυτταρική διαίρεση μπορεί να γίνει με διχοτόμηση ή ενδογενώς. Τα αποϊκόπλεξα των ψαριών διαχωρίζονται σε δύο μεγάλες ομάδες: τα κοκκίδια (coccidia) είναι κυρίως εντερικά παράσιτα, ενώ τα αιματοζωα (haematozoa) είναι παράσιτα του αίματος τα οποία έχουν στάδια στα ψάρια με σχηματισμό σπορίων σε βδέλλες ή σε γναθοειδή ισόποδα. Τα είδη συνήθως διαφοροποιούνται με βάση τη μορφολογία του σπορίου, που ονομάζεται επίσης ωκύστη.

Αρκετά είδη του γένους *Perkinsus* είναι υπεύθυνα για την πρόκληση ασθενειών στα μαλάκια, συμπεριλαμβανομένων των στρειδιών, των μυδιών, των αχιβάδων και της αλιώτιδας παγκοσμίως. Το *Perkinsus olseni* είναι το μόνο είδος που είναι γνωστό ότι προκαλεί ασθένειες στην περιοχή της Ασίας-Ειρηνικού και εμφανίζεται σε αλιώτιδες, αχιβάδες και μαργαριτοφόρα στρείδια. Περιγράφηκε για πρώτη φορά από την αλιώτιδα, *Halotis rubra*, στη νότια Αυστραλία. Το *Perkinsus olseni* περιλαμβάνεται στον κατάλογο των κοινοποιούμενων ασθενειών του Παγκόσμιου Οργανισμού για την Υγεία των Ζώων (OIE), διότι η μόλυνση μπορεί να προκαλέσει εκτεταμένη μαζική θνησιμότητα. Οι συστάδες κυττάρων του *Perkinsus* κοντά στην επιφάνεια της αλιώτιδας εμφανίζονται ως λευκό οζίδιο ή μικρο-αποστήματα στο πόδι και στους μυς. Αυτό αναπτύσσεται για να σχηματίσει μια καφέ σφαιρική φλύκταινα με διάμετρο έως 8 mm ή μεγαλύτερη. Η μετάδοση είναι άμεση από ξενιστή σε ξενιστή και όλα τα βιολογικά στάδια είναι μολυσματικά, με τα κύτταρα του παρασίτου να απελευθερώνονται από τον ξενιστή μετά το θάνατο και την αποσύνθεσή του. Η επικράτηση του παρασίτου ποικίλλει σε μεγάλο βαθμό ανάλογα με τον ξενιστή και τις συνθήκες του περιβάλλοντος, αλλά συχνά είναι 100%, όπως προσδιορίζεται ιστολογικά ή με τεχνική PCR. Οι μολύνσεις μπορεί να παρεμποδίσουν την αναπνοή και άλλες φυσιολογικές διεργασίες, συμπεριλαμβανομένης της ανάπτυξης και της αναπαραγωγής, και πιστεύεται ότι η καταπόνηση από υψηλές θερμοκρασίες επιδεινώνει την ασθένεια. Η προσαρμοστική ανοσία δεν είναι γνωστή στα στρείδια ή σε άλλα μαλάκια, επομένως δεν μπορούν να ανοσοποιηθούν κατά των ειδών του γένους *Perkinsus*. Η επιλεκτική αναπαραγωγή ανθεκτικών σε ασθένειες στελε-

χών μπορεί να παρέχει κάποια προστασία από τη μόλυνση.

11.5.5 Μικροσπορίδια (Microsporans)

Τα Μικροσπορίδια είναι υποχρεωτικώς ενδοκυτταρικά παράσιτα που στερούνται μιτοχονδρίων και σχηματίζουν μικρούς μονοκύτταρους σπόρους. Τα Μικροσπορίδια πολλαπλασιάζονται στους ιστούς του ξενιστή με μερογονία (μηφυλετική διαίρεση) που ακολουθείται από σποροβλαστογένεση και σπορογονία (σχηματισμός σπορίου). Τα ώριμα σπόρια περιέχουν ένα μοναδικό σπειροειδή πολικό σωλήνα ο οποίος ωθεί με βίαιο τρόπο το μολυσματικό σπορόπλασμα στα κύτταρα του ξενιστή (**Εικόνα 11.11Ε**). Οι μολύνσεις μπορεί να διαδοθούν σε όλους τους ιστούς ή μπορεί να προκαλέσουν εστιακές βλάβες, φλεγμονή και κοκκιώματα.

Τα είδη των μικροσπορίων στο γένος *Thelohania* (οικογένεια Thelohaniidae) προκαλούν την ασθένεια της 'βαμβακερής ουράς' (cotton-tail) στα υδρόβια καρκινοειδή. Μολύνσεις έχουν ανιχνευθεί στα περισσότερα είδη καραβίδων του γλυκού νερού, συμπεριλαμβανομένων άγριων και καλλιεργημένων ατόμων των ειδών *Cherax tenuimanus*, *Cherax destructor* και *Cherax quadricarinatus*. Οι σοβαρά μολυσμένοι μύες γίνονται λευκοί στην εμφάνιση και είναι μη εμπορεύσιμοι. Τα ήπια μολυσμένα καρκινοειδή μπορεί να αργήσουν στην ανάπτυξη, ενώ οι σοβαρές μολύνσεις μπορεί να είναι θανατηφόρες. Η μετάδοση θεωρείται ότι είναι άμεση, μέσω μεταφοράς μολυσματικών σπορίων με το νερό ή/και με κατάποση. Στα μολυσμένα άτομα, τα ώριμα σπόρια μπορούν να διεισδύσουν σε γειτονικά κύτταρα, ενίοντας το μολυσματικό σπορόπλασμα το οποίο στη συνέχεια διαιρείται και τελικά σχηματίζει νέα σπόρια. Οι σοβαρές μολύνσεις μπορούν να ανιχνευθούν μακροσκοπικά με οπτική εξέταση της ουράς των καραβίδων οι οποίες είναι αδιαφανείς στην εμφάνιση, αντί για ημιδιαφανείς και καθαρές. Εναλλακτικά, οι μολύνσεις μπορούν να διαγνωσθούν με μικροσκοπική ανίχνευση κύστεων και σπορίων σε πιεσμένα παρασκευάσματα ή με ιστολογία του μυός. Η πιο επιτυχημένη πρόληψη της μόλυνσης είναι η αποστράγγιση των υδατοσυλλογών εκτροφής, η ασβέστωση τους και η ξήρανσή τους πριν από την επανατο-

ποθέτηση νέου ζωικού κεφαλαίου. Δεν υπάρχουν επί του παρόντος διαθέσιμα φάρμακα για τη θεραπεία των παρασιτώσεων.

11.5.6 Φύλο Βλεφαριδοφόρα

Τα Βλεφαριδοφόρα πρωτόζωα συγκαταλέγονται στα πιο συνηθισμένα εξωτερικά παράσιτα των ψαριών αλλά μπορούν επίσης να μολύνουν ασπόνδυλα. Τα περισσότερα βλεφαριδοφόρα έχουν απλό βιολογικό κύκλο και διαιρούνται με διχοτόμηση. Τα βλεφαριδοφόρα μπορεί να είναι κινητικά, προσκολλημένα ή να βρεθούν μέσα στο επιθήλιο. Τα βλεφαριδοφόρα που ζουν εντός ή πάνω στα ψάρια κυμαίνονται από αβλαβή εξωπανίδα μέχρι επικίνδυνα παράσιτα στην ιχθυοκαλλιέργεια. Με λίγες εξαιρέσεις, τα βλεφαριδοφόρα διαθέτουν βλεφαρίδες σε κάποιο στάδιο του βιολογικού τους κύκλου. Η αφυλετική αναπαραγωγή γίνεται με εγκάρσια διχοτόμηση. Στα ψάρια απαντώνται περίπου 150 είδη, τα περισσότερα ως εξωπαράσιτα που προκαλούν βιορύπανση, ερεθισμό και τοπικές βλάβες και μερικές φορές διεισδυτικές πληγές. Μερικά είναι ενδοπαράσιτα και μπορεί να βλάψουν ιστούς ή όργανα. Τα βλεφαριδοφόρα μπορούν να ερεθίσουν τα επιφανειακά κύτταρα, να διεισδύσουν σε βαθιά στρώματα ιστού και να αφομοιώσουν τα κυτταρικά συντρίμματα που παράγονται.

Μερικά από τα σημαντικότερα βλεφαριδοφόρα ψαριών του γλυκού νερού σε αιχμαλωσία περιλαμβάνουν το *Ichthyophthirius multifiliis*, είδη του γένους *Chilodonella*, είδη των γενών *Trichodina*, *Trichodinella*, *Tripartiella* και *Vauchomia* και είδη του γένους *Tetrahymena*. Σε ψάρια που περιορίζονται σε λιμνοδεξαμενές, δεξαμενές ή ενυδρεία, τα βλεφαριδοφόρα που ζουν ελεύθερα στη στήλη του νερού, όπως είδη των γενών *Trichodina* και *Chilodonella*, μπορούν να σχηματίσουν πυκνούς πληθυσμούς στα ψάρια με αποτέλεσμα νοσηρότητα και θνησιμότητα. Τα είδη του γένους *Chilodonella* έχουν μια ακόρεστη όρεξη για ζωντανά κύτταρα και χρησιμοποιούν ένα εξειδικευμένο στοματικό όργανο, το κυτταρόστομα ή κυτόστομα (cytostome), για να τραφούν με βακτήρια, διάτομα, νηματοειδή χλωροφύκη και κυανοβακτήρια που υπάρχουν στα υποστρώματα της βιομεμβράνης στα βράγχια των ψαριών και στο δέρμα.

Στα θαλάσσια περιβάλλοντα, το *Cryptocaryon irritans* και άλλα βλεφαριδοφόρα θεωρούνται από τα πιο προβληματικά παράσιτα αυτού του φύλου. Το *Cryptocaryon irritans* προκαλεί τη νόσο της λευκής κηλίδας σε τροπικούς και υποτροπικούς θαλάσσιους τελεόστεους ιχθύες (Εικ. 11.11ΣΤ). Παρατηρείται συνήθως σε δημόσια ενυδρεία και στις ιχθυοκαλλιέργειες και μπορεί να πολλαπλασιαστεί γρήγορα και να βλάψει σοβαρά τις φυσιολογικές λειτουργίες του δέρματος, των ματιών και των βραγχίων του ξενιστή. Το *Cryptocaryon irritans* έχει έναν τετραφασικό βιολογικό κύκλο ο οποίος περιλαμβάνει τέσσερα αναπτυξιακά στάδια: τον θηρόντη (theront), τον τροφόντη (trophont), τον προτομόντη (protomont) και τον τομόντη (tomont). Ο τροφόντης διαπερνά την επιδερμίδα του ξενιστή και τρέφεται με τα αποπτώμενα κύτταρα. Στη συνέχεια, το παράσιτο αφήνει ένα μικρό τραύμα και μία ορατή λευκή κηλίδα ή οζίδιο όπου κάθε παράσιτο εγκυστώνεται. Μεταπίπτει σε ελεύθερο κολυμβητικό προτομόντη όταν εξέρχεται από τον ξενιστή και κινείται κατά μήκος του υποστρώματος για λίγες ώρες. Ο προτομόντης προσκολλάται στη σκληρή επιφάνεια, απορρίπτει τις βλεφαρίδες και εγκυστώνεται σχηματίζοντας το αναπαραγωγικό στάδιο του τομόντη, το οποίο διαιρείται για ένα διάστημα 3-28 ημερών. Μετά από αρκετές διαιρέσεις, ο τομόντης διαρρηγνύεται, απελευθερώνοντας περίπου 300 ελεύθερα κολυμβητικούς θηρόντες οι οποίοι πρέπει να βρουν έναν κατάλληλο ξενιστή μέσα σε 48 ώρες ή αλλιώς θα πεθάνουν.

Τα βλεφαριδοφόρα Scuticociliates είναι επιθετικά και εισβολικά μικρά βλεφαριδοφόρα τα οποία είναι γνωστό ότι προκαλούν ασθένεια σε θαλάσσια ψάρια, συμπεριλαμβανομένων των ιππόκαμπων, των καλκανιών, των χωματίδων, των λαβρακιών, των τόνων και των καρκινοειδών. Στην καλλιέργεια του νότιου ερυθρού τόνου (*Thunnus maccoyii*) σε θαλάσσιους κλωβούς στην Αυστραλία, τα ψάρια που έχουν μολυνθεί με τα βλεφαριδοφόρα Scuticociliates παρουσίασαν άτυπη συμπεριφορά κολύμβησης ακολουθούμενη από γρήγορο θάνατο κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Υπάρχει η υπόθεση ότι τα παράσιτα αρχικά αποικίζουν τις οσφρητικές ροζέτες και έπειτα ανεβαίνουν στα οσφρητικά νεύρα για να εισβάλλουν τελικά στον εγκέφαλο όπου προκαλούν εγκεφαλίτιδα. Τα είδη

του γένους *Mesanothryx*, των βλεφαριδοφόρων Scuticociliates, διαβιούν ως σαπροφάγα στους εξωσκελετούς των καβουριών και των αστακών, αλλά αν βρουν ένα σπάσιμο ή άνοιγμα στο εξωσκελετό εισβάλλουν στο αιμοκοίλες, πολλαπλασιάζονται και σκοτώνουν τον ξενιστή.

11.6 Μυξόζωα

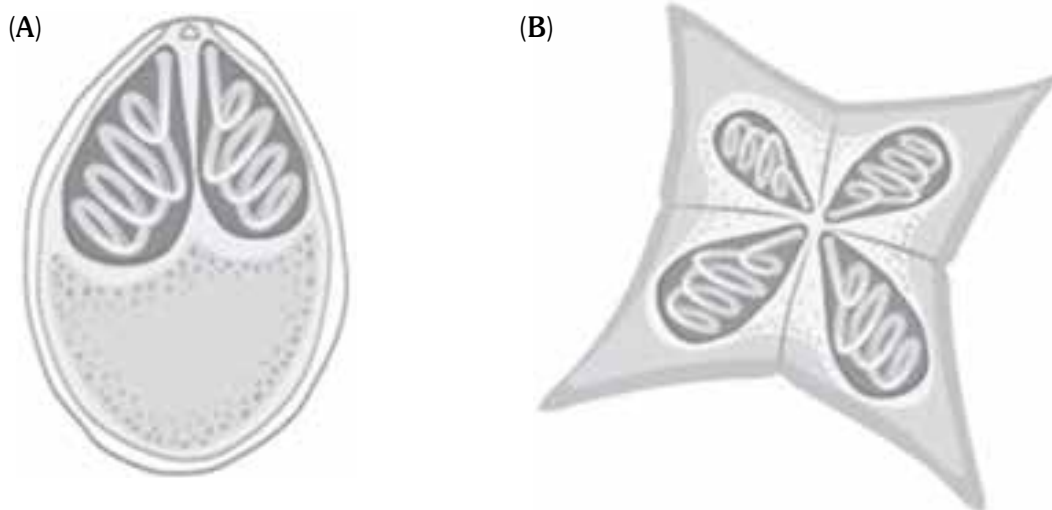
Τα Μυξόζωα είναι υποχρεωτικά παράσιτα που χρησιμοποιούν ως ξενιστές ασπόνδυλα και σπονδυλωτά ως μέρος του βιολογικού τους κύκλου και απαντώνται σε θαλάσσια περιβάλλοντα και σε γλυκά νερά. Εντοπίζονται κυρίως στους μύες, τον εγκέφαλο και τη χοληδόχο κύστη των ψαριών. Τα Μυξόζωα σχηματίζουν πολύπλοκα σπόρια με βαλβίδες, με πολικές κάψες που περιέχουν εξωθήσιμα νημάτια τα οποία χρησιμοποιούνται για την προσκόλληση σε κύτταρα ξενιστές (Εικόνα 11.12Α,Β). Η ανάπτυξή τους εμπεριέχει πολυκύτταρη διαφοροποίηση, η οποία δεν συμμορφώνεται με τον μονοκύτταρο ορισμό των πρωτόζωων, και πρόσφατες μοριακές μελέτες επιβεβαιώνουν ότι τα μυξόζωα είναι κνιδόζωα (Chang et al., 2015). Η μετάδοσή τους απαιτεί μια αναπτυξιακή φάση σε έναν ασπόνδυλο ξενιστή, ωστόσο έχουν αναφερθεί σπάνιες περιπτώσεις άμεσης μετάδοσης από ψάρι σε ψάρι. Τα Μυξοσπόρια που απελευθερώνονται από τα ψάρια μπορούν να επιβιώσουν στο υδάτινο περιβάλλον για περισσότερο από ένα χρόνο. Όταν καταποθούν από ένα ολιγόχαιτο (σε γλυκά νερά) ή έναν πολύχαιτο (στη θάλασσα), εισβάλλουν στους εντερικούς ιστούς του σκώληκα όπου πολλαπλασιάζονται. Οι μολυσμένοι σκώληκες (annelids) απελευθερώνουν τρι-ακτινοειδή ακτινοσπόρια που επιπλέουν στο νερό. Τα ακτινοσπόρια διεισδύουν στην επιφάνεια του ψαριού κατά την επαφή και μεταναστεύουν στη θέση όπου αναπτύσσεται το σπορογονικό πλασμάδιο. Οι μολύνσεις από μυξόζωα μπορεί να είναι ασυμπτωματικές, αλλά μερικά μπορεί να προκαλέσουν υπερπλασία του ιστού, αντισταθμητικές κύστες, διαβρωτικές και νεκρωτικές βλάβες, ενζυματική λύση ιστών των ψαριών (π.χ. υγροποίηση μυών), παραμορφώσεις και ακόμη και θάνατο. Τα πιο περιβόητα είδη είναι από τα γένη *Myxobolus*, *Sphaerospora*, *Ceratomyxa*,

Hexacapsula, *Kudoa*, *Unicapsula*, *Henneguya*, *Enteromyxum* και *Tetracapsuloides*. Ορισμένα είδη μυξόζων των ψαριών (π.χ *Kudoa* spp.) μπορούν να προκαλέσουν τροφική δηλητηρίαση στους ανθρώπους (βλ. ενότητα 11.12).

Η “νόσος της περιστροφής” (whirling disease) είναι μια οικολογικά και οικονομικά εξουθενωτική ασθένεια προκαλούμενη από το *Myxobolus cerebralis* σε εμπορικά εκτρεφόμενα σολομοειδή. Η ‘νόσος της περιστροφής’ προσβάλλει νεαρά ιχθύδια και προκαλεί σκελετική παραμόρφωση και νευρολογική βλάβη. Τα ψάρια “στροβιλίζονται” προς τα εμπρός με έναν περίεργο τρόπο, σαν τιρμπουσόν αντί να κολυμπούν κανονικά, η λήψη τροφής είναι δύσκολη και είναι πιο ευάλωτα στα αρπακτικά ζώα. Το παράσιτο έχει έναν πολύπλοκο βιολογικό κύκλο, που εναλλάσσεται μεταξύ σολομοειδών και του ολιγόχαιτου ξενιστή, *Tubifex tubifex*. Το παράσιτο μολύνει τους ξενιστές του κατά τη διάρκεια του ελεύθερου κολυμβητικού σταδίου της τριακτινομυξόνης (*triactinomyxon*) όταν εξαρτήματα πάνω στο παράσιτο τρυπούν το δέρμα των σολομοειδών και το σπορόπλασμα εγχέεται στον ξενιστή, το οποίο κατόπιν μεταναστεύει μέσω νευρικών ιστών σε χόνδρινες περιοχές γύρω από τον εγκέφαλο. Εκεί ωριμάζει σε ένα σπόριο του *M. cerebralis* που περιέχει τα κλασσικά πολικά νημάτια που βρίσκονται στα μυξόζωα (**Εικόνα 11.12Α**). Τα ποσοστά θνησιμότητας μπορεί να φτάσουν έως και 90% στους μολυσμένους πληθυ-

σμούς, και τα άτομα που επιβιώνουν μπορούν να αναπτύξουν παραμορφώσεις λόγω των σπορίων που εδρεύουν στους χόνδρους τους. Τα νεκρά ψάρια λειτουργούν ως δεξαμενή για το παράσιτο, το οποίο μπορεί να απελευθερωθεί στο νερό και να καταναλωθεί από ευαίσθητα *T. tubifex*, έτσι, η άμεση απομάκρυνση των νεκρών ψαριών είναι σημαντική για τη διαχείριση της υγείας των ψαριών.

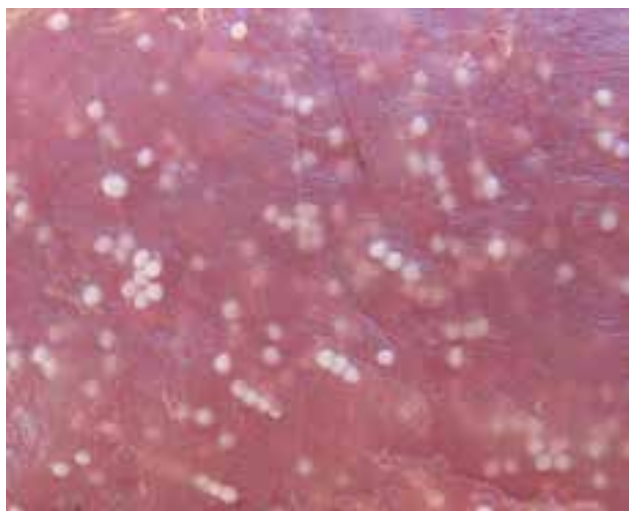
Η πολλαπλασιαστική νόσος των νεφρών (PKD, Proliferative Kidney Disease) προκαλεί επίσης σημαντικές απώλειες μεταξύ των πληθυσμών των σολομοειδών (σολομού του Ειρηνικού και ιριδίζουσας πέστροφας) στη Ευρώπη και τη δυτική Βόρεια Αμερική. Το παράσιτο, *Tetracapsuloides bryosalmonae*, που προκαλεί την PKD ονομάστηκε αναφορικά με τους δυο γνωστούς του ξενιστές, τα βρυόζωα και τα σολομοειδή. Διάφορα βρυόζωα του γλυκού νερού είναι ευαίσθητα στη μόλυνση και απελευθερώνουν σπόρια στο περιβάλλον νερό τα οποία μπορούν να μολύνουν τα ψάρια. Μπορεί να παραχθεί τεράστιος αριθμός σπορίων από σχετικά μικρούς αριθμούς βρυοζώων. Η ασθένεια συχνά εξαρτάται από την εποχή του έτους και εμφανίζεται σε θερμοκρασίες νερού άνω των 15 °C. Τα παράσιτα αρχικά εμφανίζονται στους αιματικούς κόλπους των νεφρών και προκαλούν μια ισχυρή φλεγμονώδη αντίδραση. Η θνησιμότητα στις απλές περιπτώσεις της πολλαπλασιαστικής νόσου των νεφρών (PKD) είναι γενικά 20% ή λιγότερο, αλλά συχνά δευτερογενή παθολό-



Εικόνα 11.12 Σχηματικά διαγράμματα αντιπροσωπευτικών μυξόζων που μπορεί να υπάρχουν σε ιχθυοκαλλιέργεια. (Α) *Myxobolus* sp., (Β) *Kudoa* sp. Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από την Dr Kate Hutson, γραφικά της Eden Cartwright, Bud Design.

να ή δυσμενείς περιβαλλοντικές συνθήκες συμπίπτουν με περιόδους αιχμής της PKD και οι θνησιμότητες μπορεί να φτάσουν το 95-100%. Στα ψάρια που έχουν υποστεί ένα πλήρες κλινικό επεισόδιο της νόσου, αναπτύσσεται μια ισχυρή επίκτητη ανοσία. Δεν έχουν αναπτυχθεί εμβόλια για τον έλεγχο της PKD.

Τα είδη του γένους *Kudoa* μπορούν να εμφανιστούν στους μυς, στα νεφρά, στις ωθήκες και στον εγκέφαλο μιας ποικιλίας θαλάσσιων ψαριών της υδατοκαλλιέργειας (**Εικόνα 11.12B**). Οι μολύνσεις των σκελετικών μυών είναι οι συχνότερες. Στη Βρετανική Κολομβία, του Καναδά, το ετήσιο κόστος για τη βιομηχανία υδατοκαλλιέργειας σολομού του Ατλαντικού που οφείλεται στις λοιμώξεις από το *K. thyrsites* στον μύες μπορεί να φτάσει σε εκατομμύρια δολάρια. Η μόλυνση μπορεί να χαρακτηρίζεται από ορατές κύστες, οι οποίες μπορούν να καταστήσουν τα φιλέτα αποκρουστικά και επομένως μη εμπορεύσιμα (**Εικόνα 11.13**), ή εναλλακτικά μπορεί να υπάρχουν μικροσκοπικές ενδοκυτταρικές ψευδοκύστες. Ένζυμα που προέρχονται από τα παράσιτα αποδομούν τη σάρκα μεταθανάτια, καθιστώντας τα φιλέτα μαλακά και υδαρή. Πρόσφατα στοιχεία δείχνουν ότι η ανθρώπινη κατανάλωση σάρκας ψαριών που μολύνθηκε με *Kudoa* μπορεί να προκαλέσει τροφική δηλητηρίαση (βλ. ενότητα 11.12). Η επικράτηση της μόλυνσης μπορεί να παρακολουθηθεί εντός των

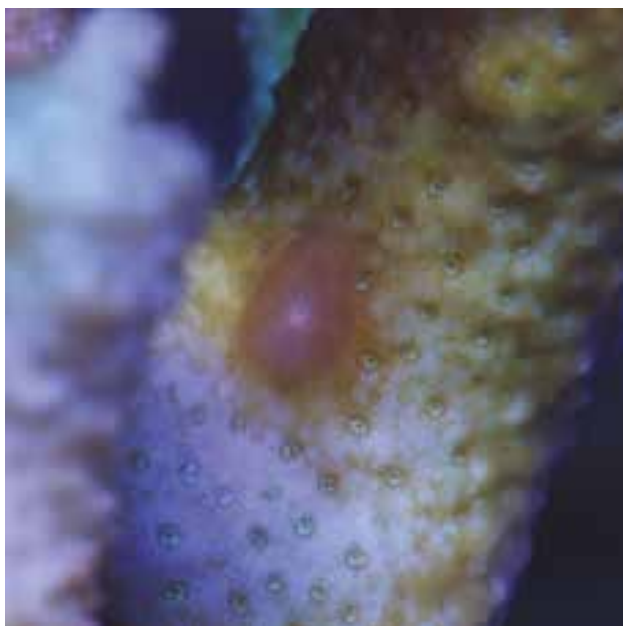


Εικόνα 11.13 Ένας άγριος αλιευμένος τόνος, με εμφανείς λευκές κύστες στο μυ, σε αυτή την περίπτωση ένδειξη μόλυνσης με το παράσιτο *Kudoa*. Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από τον Dr R.D. Adlard.

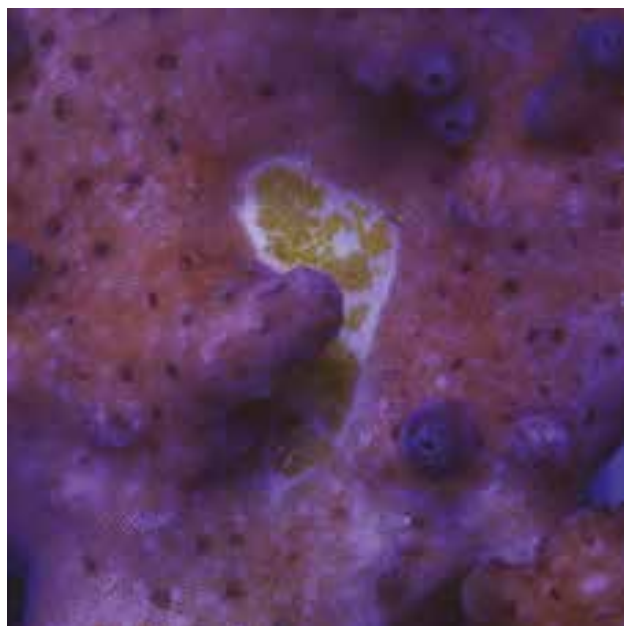
επηρεαζόμενων εκμεταλλεύσεων με την χρήση PCR ή με εξέταση των φιλέτων ως προς την εμφάνιση μαλακής σάρκας, αλλά δεν υπάρχουν εξωτερικές κλινικές ενδείξεις για τον εντοπισμό και την εξόντωση μολυσμένων ιχθύων με *Kudoa* στον σκελετικό τους μυ. Η *Kudoa yasunagai* μολύνει τον εγκέφαλο διάφορων σημαντικών θαλάσσιων ψαριών υδατοκαλλιέργειας συμπεριλαμβανομένου του Ιαπωνικού λαβρακιού (*Lateolabrax japonicus*), του Ιαπωνικού φαγγριού (*Pagrus major*), της ελαιόχρωμης χωματίδας (*Paralichthys olivaceus*), του λαγοκέφαλου (*Takifugu rubripes*), του Ιαπωνικού μαγιάτικου (*Seriola spp.*), και του ερυθρού τόνου του Ειρηνικού (*Thunnus orientalis*). Τα κλινικά συμπτώματα της μόλυνσης περιλαμβάνουν μη φυσιολογική συμπεριφορά κολύμβησης και σκελετική κύρτωση. Στη Ιαπωνία, οι θνησιμότητες νεαρών ιχθύων του είδους *Seriola lalandi* σε ιχθυοκλωβούς συνέβησαν περίπου δύο μήνες μετά τη μεταφορά τους από το εκκολαπτήριο, με περισσότερο από το 50% των ψαριών να αναπτύσσουν σκολίωση και ανώμαλη συμπεριφορά κολύμβησης, συμπεριλαμβανομένης της περιστροφής ή της αδρανοποίησής στον πυθμένα των κλωβών. Τα ψάρια με συμπτώματα είχαν δυσκολία στη λήψη τροφής και υπέφεραν από βλάβες στο δέρμα που υπέστησαν λόγω κολύμβησης μέσα στο δίχτυ του κλωβού. Μέχρι σήμερα δεν υπάρχει αποτελεσματική μέθοδος ελέγχου για τα είδη του γένους *Kudoa* στην υδατοκαλλιέργεια. Η διαχείριση του χρονοδιαγράμματος παραγωγής για να αποφευχθεί η εποχιακή αφθονία μολυσματικών παρασίτων μπορεί να είναι πιθανή, αλλά χρειάζονται περαιτέρω πληροφορίες για τον βιολογικό κύκλο (π.χ. ταυτοποίηση του ασπόνδυλου ξενιστή), την εποχικότητα και τη δυναμική της μόλυνσης.

11.7 Πλατυέλμινθες

Αν και ορισμένοι στροβιλιστικοί (Turbellaria), σκώληκες έχουν υιοθετήσει έναν παρασιτικό τρόπο ζωής, υπάρχουν τρεις μεγάλες κλάσεις πλατυέλμινθων που είναι εντελώς παρασιτικές. Δύο από αυτές, τα Κεστώδη (Cestoda) και τα Διγενή (Digenea), είναι ενδοπαράσιτα και η τρίτη ομάδα τα Μονογενή, αποτελούνται από παράσιτα του δέρματος και των βραγχίων των ψαριών.



(A)



(B)

Εικόνα 11.14 (A) Η πλατυέλμινθα *Amakusaplana acroporae*, που τρέφεται με κοράλλια του γένους *Acropora*, μπορεί να καταναλώσει ολόκληρες αποικίες εκτρεφόμενων κοραλλιών. (B) Οι σκώληκες εναποθέτουν πολλαπλές παρτίδες από μικρές κάψες καφέ χρώματος στον σκελετό των κοραλλιών, με κάθε κάψα να περιέχει έως και επτά έμβρυα. Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από τους Kat Dybala, Kate Rawlinson και Jonathon Barton.

11.7.1 Στροβιλιστικοί

Οι στροβιλιστικοί σκώληκες (Turbellaria) είναι κυρίως ελεύθερα διαβιώντα μέλη των Πλατυέλμινθων αλλά περιλαμβάνουν αρκετά παρασιτικά ή αρπακτικά είδη, μερικά από τα οποία σχετίζονται με την υδατοκαλλιέργεια. Οι περισσότεροι στροβιλιστικοί σκώληκες διαφέρουν από όλους τους άλλους πλατυέλμινθες στο ότι δεν διαθέτουν έναν στοματικό μυζητήρα, κινούνται με ολισθηρό τρόπο χρησιμοποιώντας πολυ-βλεφαριδωτά επιθηλιακά κύτταρα, και έχουν άμεσο βιολογικό κύκλο. Οι περισσότερες μορφές αναπαράγονται φυλετικά, και με λίγες εξαιρέσεις, όλες είναι σύγχρονες ερμαφρόδιτες.

Τα είδη του γένους *Paravortex* είναι ζωοτόκοι στροβιλιστικοί σκώληκες γνωστοί από μαλάκια και ψάρια και μπορούν να προκαλέσουν ασθένειες που χαρακτηρίζονται από το θάνατο του ξενιστή, οξεία εστιακή δερματίτιδα και δευτερογενείς μολύνσεις από είδη του γένους *Vibrio*. Μολύνσεις από *Paravortex* έχουν παρατηρηθεί σε πετρόψαρα (*Inimicus japonicus*) από εκκλαπτήριο, σε γόνο και σε εκτρεφόμενες σε κλωβούς θαλάσσιες πέγκες (*Lateolabrax* spp.), στο μαγιάτικο (*Seriola dumerili*) και στο Ιαπωνικό φαγγρί (*Pagrus*

major) στην Ιαπωνία και σε εμπορικές αχιβάδες *Ruditapes decussatus*.

Οι πλατυέλμινθες της τάξης των Polycladida είναι σαρκοφάγα μικροαρπακτικά που αποτελούν σοβαρή απειλή για τα εκτρεφόμενα ασπόνδυλα συμπεριλαμβανομένων των σπόγγων, των κοραλλιών, των μυδιών, των βρώσιμων και μαργαριτοφόρων στρειδιών, των χτενιών και των γιγαντιαίων αχιβάδων. Οι προσπάθειες για την καλλιέργεια κοραλλιών του γένους *Acropora* στα ενυδρεία μπορούν να υπονομευθούν σοβαρά από πλατυέλμινθες σκώληκες Polycladida οι οποίοι, αν δεν απομακρυνθούν, μπορούν να καταναλώσουν ολόκληρες αποικίες (Εικόνα 11.14A). Η εμφάνισή τους σε εγκαταστάσεις καλλιέργειας απαιτεί προσεκτική εξέταση, διότι οι ζωντανοί πλατυέλμινθες είναι καμουφλαρισμένες στο χρωματικό υπόβαθρο του ζωντανού ιστού. Η πλατυέλμινθα *Amakusaplana acroporae* που τρέφεται με κοράλλια του γένους *Acropora*, παρουσιάζει σχετικά υψηλή γονιμότητα και τοποθετεί πολλαπλές παρτίδες από κάψες στον σκελετό των κοραλλιών (Εικόνα 11.14B), με κάθε κάψα να περιέχει έως και επτά έμβρυα. Η πλατυέλμινθα *Stylochus matatasi* της τάξης Polycladida μπορεί να φτάσει σχεδόν τα

6 cm και έχει συσχετιστεί με το θάνατο γιγαντιαίων αχιβάδων, *Tridacna gigas*. Παρόλο που μερικές φορές μπορούν να παρατηρηθούν στο μανδύα των αχιβάδων, μπορούν επίσης να προκαλέσουν βλάβη στο εσωτερικό της κοιλότητας του μανδύα και μπορεί να μην ανιχνευθούν παρά μόνο σε νεκρές αχιβάδες.

Οι πλατυέλμυνθες της τάξης των Temnocephalida θεωρούνται γενικά ως εξωσυμβιωτικά παρά ως παράσιτα. Είναι σχετικά μικροί πλατυέλμυνθες (0,5-1 mm.) και εναποθέτουν τα αβγά τους στα βράγχια και στο κέλυφος καρκινοειδών του γλυκού νερού. Οι ενήλικες σκώληκες κινούνται πάνω στην επιφάνεια των καραβίδων, τρεφόμενοι με τα μικροφύκη και άλλου είδους μικροπανίδα. Αν και είναι πολύ συχνά στις καραβίδες του γλυκού νερού, δεν θέτουν κάποιον σημαντικό κίνδυνο για την υγεία του ζώου, ωστόσο, ο μεγάλος αριθμός προσκολλημένων αβγών στην επιφάνεια καρκινοειδών μπορεί να οδηγήσει σε απόρριψη ή σε χαμηλές τιμές στην αγορά.

11.7.2 Κεστώδη

Πολυάριθμα είδη κεστωδών μπορούν να προκαλέσουν ασθένεια στα ψάρια, ενώ τα κεστώδη των ψαριών του γένους *Diphyllbothrium* μπορούν να προκαλέσουν ασθένεια στους ανθρώπους (βλ. ενότητα 11.12). Τα Κεστώδη, κοινά αναφερόμενα ως ταινίες ή ταινιοσκώληκες (tapeworms), είναι ερμαφρόδιτοι ενδοπαρασιτικοί πλατυέλμυνθες που χαρακτηρίζονται από την παρουσία της σκωληκοκεφαλής - scolex (η κεφαλή μετά του αυχένα του κεστώδους) ο οποίος αγκιστρώνει τον σκώληκα στον ξενιστή. Μια σειρά τμημάτων (προγλωττίδες) με όργανα του φύλου βρίσκεται κάτω από τον σκώληκα. Τα κεστώδη τρέφονται απορροφώντας θρεπτικές ουσίες μέσω του δέρματός τους διότι δεν έχουν στόμα ή έντερο. Τα κεστώδη είναι ωτόκα και έχουν σύνθετους βιολογικούς κύκλους (π.χ., απαιτούν περισσότερους από έναν ξενιστή για να ολοκληρώσουν τον βιολογικό τους κύκλο). Οι ενήλικοι σκώληκες παράγουν αβγά τα οποία αφήνονται στο περιβάλλον με τα κόπρανα του ξενιστή. Ένας ενδιάμεσος ξενιστής (συνήθως ένα καρκινοειδές) καταπίνει το αβγό ή τις ελεύθερες κολυμβητικές προνύμφες (κορακίδια-coracidica) και μολύνεται. Μερικές ταινίες παρουσιάζουν έναν βιολογι-

κό κύκλο δύο ξενιστών, ενώ άλλες μπορεί να έχουν τρεις ξενιστές, όπου ο δεύτερος ενδιάμεσος ξενιστής είναι συνήθως ένα ψάρι.

Η Ασιατική ταινία, *Schyzocotyle acheilognathi* είναι ένα σημαντικό παθογόνο κεστώδες της υδατοκαλλιέργειας κυπρινοειδών της Ασίας. Το παράσιτο είναι ενδημικό στην Ανατολική Ασία, αλλά έχει εξαπλωθεί γρήγορα σε όλο τον κόσμο μέσω του εμπορίου διακοσμητικών ψαριών. Έχει έναν απλό βιολογικό κύκλο δύο-ξενιστών που περιλαμβάνει κοινά είδη κωπήποδων ως ενδιάμεσο ξενιστή. Από τη στιγμή που θα εδραιωθεί αποτελεί κίνδυνο για τους ντόπιους πληθυσμούς ψαριών. Το παράσιτο προσκολλάται στο τοίχωμα του εντέρου χρησιμοποιώντας τη σκωληκοκεφαλή (scolex) του, όπου μπορεί να προκαλέσει σοβαρή βλάβη στον εντερικό σωλήνα, συμπεριλαμβανομένης της νέκρωσης λόγω πίεσης και αιμορραγία. Τα σοβαρά μολυσμένα ψάρια παρουσιάζουν μειωμένη ανάπτυξη, απώλεια της φυσικής τους κατάστασης και θνησιμότητα. Πράγματι, μπορεί να συμβεί 100% θνησιμότητα σε μολυσμένους κυπρίνους από εκκολαπτήρια. Τα είδη του γένους *Triaenophorus* περιλαμβάνουν άλλα παθογόνα είδη κεστωδών στην Ευρασία, που προκαλούν επιδημίες και θνησιμότητα σε νεαρές ιριδιζουσες πέστροφες σε εκκολαπτήρια και σε υδατοσυλλογές εκτροφής. Αυτό το παράσιτο προκαλεί αντιαισθητική προσβολή στους μύες των ψαριών και μπορεί να επηρεάσει την εμπορευσιμότητά τους.

Οι περισσότερες εγκαταστάσεις υδατοκαλλιέργειας χρησιμοποιούν τοπικές φυσικές υδάτινες μάζες ως πηγή νερού, και αυτά μπορούν να μολυνθούν φυσικά με ταινίες. Για να μειωθεί η μόλυνση από τα κεστώδη, το νερό πρέπει να διηθείται (π.χ. μηχανικά φίλτρα ή άμμου) ή εναλλακτικά θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν υπόγεια νερά, εάν είναι διαθέσιμα. Η χρήση ψαριών χαμηλής αξίας στη διατροφή μπορεί δυνητικά να εισάγει έναν δεύτερο ενδιάμεσο ξενιστή, ένα μολυσμένο ψάρι, έτσι θα πρέπει να χρησιμοποιούνται εναλλακτικές τροφές όπως τα εξωθημένα σύμπηκτα (pellet). Ένα ανθελμινθικό, το praziquantel, που αρχικά συντέθηκε για τη θεραπεία μολύνσεων από ενδοπαρασιτικούς πλατυέλμυνθες στα θηλαστικά μπορεί να έχει επίδραση στα κεστώδη των ψαριών, αλλά δεν θα σκοτώσει αναγκαστικά τα αβγά ή τις ελεύθερα κολυμβητικές προνύμφες.

11.7.3 Τρηματώδη

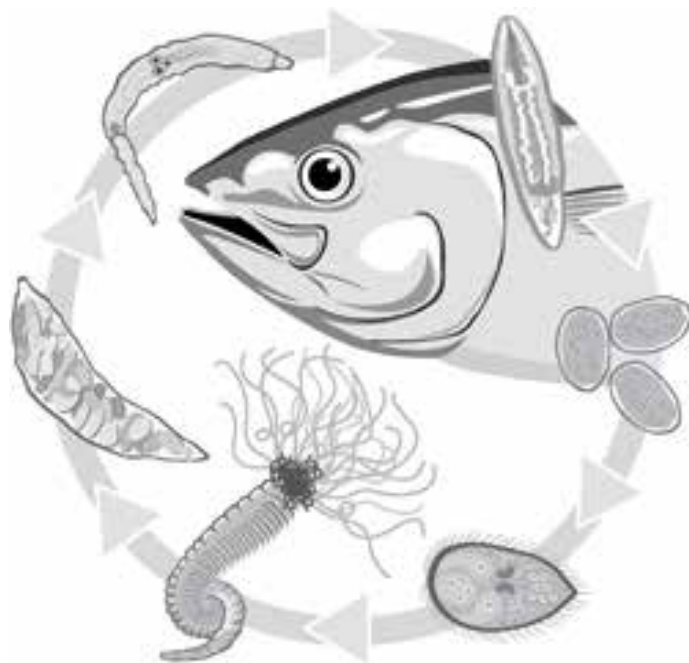
Τα Τρηματώδη παρουσιάζουν πολύπλοκους βιολογικούς κύκλους και στο στάδιο των ενηλίκων είναι παρασιτικό σε σπονδυλωτά. Λίγα είδη ενηλίκων τρηματωδών είναι γνωστό ότι προκαλούν σημαντική βλάβη στον καθοριστικό ψάρι ξενιστή τους με τις πιο αξιοσημείωτες εξαιρέσεις να είναι ως επί το πλείστον εξω-εντερικά παράσιτα όπως τα αποροκοτυλήδονα αιματικά τρηματώδη και τα διδυμοζωΐδια που σχηματίζουν κύστες. Η μόλυνση από μετακερκάρια (εγκυστωμένες προνύμφες) μπορεί να προκαλέσει θνησιμότητα σε εκτρεφόμενα ψάρια με επακόλουθη οικονομική απώλεια (π.χ. *Bolbophorus damnificus*, βλ. ενότητα 19.3.4) και οφθαλμική διπλοστομίαση (μόλυνση του οφθαλμού από μετακερκάρια ειδών του γένους *Diplostomum*) μπορεί να προκαλέσει τύφλωση σε εκτρεφόμενα σολομοειδή και γατόψαρα. Ορισμένα μετακερκάρια σε προϊόντα αλιείας και υδατοκαλλιέργειας (ψάρια και οστρακοειδή) αποτελούν πηγή μόλυνσεων στον άνθρωπο και στα κατοικίδια ζώα (βλ. ενότητα 11.12).

Τα Τρηματώδη είναι ερμαφρόδιτα και τα περισσότερα ενήλικα είναι ραχαιοκοιλιακά πεπλατυσμένα με μυζητήρα γύρω από το στόμα και έναν επιπλέον κοιλιακό μυζητήρα. Τα γαστρεντερικά τρηματώδη απελευθερώνουν αβγά με τα περιττώματα του ξενιστή τα οποία εκκολάπτονται σε ελεύθερα κολυμβητικά, μερικές φορές βλεφαριδοφόρα, μिरακΐδια (miracidia). Τα μिरακΐδια εισβάλλουν σε ένα κατάλληλο μαλάκιο ξενιστή, όπου λαμβάνει χώρα φυλετική αναπαραγωγή. Η εξειδίκευση μεμονωμένων ειδών τρηματωδών στο μαλάκιο ξενιστή φαίνεται να είναι αρκετά περιορισμένη, συνήθως σε ένα μόνο είδος. Τα Τρηματώδη υφίστανται μέρος ή το σύνολο της ανάπτυξης των προνυμφών τους μέσα στα μαλάκια με εξαίρεση τα θαλάσσια αιματικά τρηματώδη (αποροκοτυλήδονα) τα οποία ολοκληρώνουν την ανάπτυξη των προνυμφών τους σε πολύχαιτους δακτυλιοσκάληκες της οικογένειας Terebellidae. Σε ορισμένες περιπτώσεις, οι σποροκύστες των τρηματωδών καταλαμβάνουν τις γονάδες και προκαλούν μερικό ή πλήρη ευνουχισμό του ενδιάμεσου ξενιστή. Τα κερκάρια (cercariae) εμφανίζονται και μπορεί να έχουν ουρά ή κάποια άλλη συσκευή κίνησης για να βοηθήσει στη μόλυνση του δεύτερου

ενδιάμεσου ξενιστή, όπου εγκυστώνονται ως μετακερκάρια. Οι βιολογικοί κύκλοι των τρηματωδών μπορούν να διασπαστούν στην υδατοκαλλιέργεια όπου είναι εφικτό να αποκλειστούν τα μαλάκια ενδιάμεσοι ξενιστές ή οι πολύχαιτοι.

Τα τρηματώδη της οικογένειας Aporocotilidae ή κοινώς 'τρηματώδη του αίματος' (blood flukes), προκαλούν θανατηφόρες μολύνσεις σε εκτρεφόμενα σολομοειδή και κυπρινοειδή στο γλυκό νερό και σε σκομβροειδή, καραγκίδες, σπαροειδή και τετραοδοντίδες σε θαλάσσια περιβάλλοντα. Η ανίχνευση των ενηλίκων τρηματωδών μπορεί να γίνει στα αιμοφόρα αγγεία, ενώ τα αβγά με λεπτό κέλυφος μπορούν να ανιχνευθούν στα βράγχια χρησιμοποιώντας μικροσκόπιο ή ιστολογία. Τα ενήλικα παράσιτα απελευθερώνουν τα αβγά τους στο κυκλοφορικό σύστημα του ψαριού, τα οποία μπορούν να καταλήξουν στα βράγχια, την καρδιά, το νεφρό, το ήπαρ, τη σπλήνα, το πάγκρεας ή άλλα όργανα, όπου προκαλούν φλεγμονή και μειώνουν τη φυσιολογική και μηχανική αποτελεσματικότητα αυτών των οργάνων. Τα τρηματώδη του γλυκού και του θαλασσινού νερού χρησιμοποιούν είτε γαστερόποδα είτε πολύχαιτους της οικογένειας Terebellidae ως ενδιάμεσο ξενιστή, αντίστοιχα (**Εικόνα 11.15**). Τα αιματικά τρηματώδη είναι ασυνήθιστα επειδή ο βιολογικός τους κύκλος στερείται δεύτερου ενδιάμεσου ξενιστή και ενός εγκυστωμένου μετακερκαρίου. Έτσι, ο βιολογικός κύκλος εξαρτάται από την εγγύτητα των τελικών και ενδιάμεσων ξενιστών με τα ελεύθερα κολυμβητικά μολυσματικά στάδια του παρασίτου. Τα σαλιγκάρια του γλυκού νερού εγκαθίστανται εύκολα σε συστήματα καλλιέργειας και σε εκμεταλλεύσεις που χρησιμοποιούν λιμνοδεξαμενές, ενώ οι πολύχαιτοι μπορούν να πολλαπλασιαστούν σε υποστηρικτικά υλικά των θαλάσσιων ιχθυοκλωβών (π.χ. στους επιβιωτικούς οργανισμούς) ή στο ίζημα. Η διαχείριση της εγγύτητας του ψαριού ξενιστή με τον ενδιάμεσο ξενιστή του τρηματωδούς σκώληκα είναι επιθυμητή, και πρόσφατα έχουν επιλυθεί αρκετοί βιολογικοί κύκλοι θαλάσσιων αιματικών τρηματωδών του τόνου, κάτι που θα βοηθήσει στην ανάπτυξη κατάλληλων μεθόδων διαχείρισης (π.χ. Cribb et al., 2011; **Εικόνα 11.15**).

Η μόλυνση των εκτρεφόμενων ψαριών από τρηματώδη μπορεί να αντιμετωπιστεί ελαχιστοποιώντας τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των εκτρεφόμε-



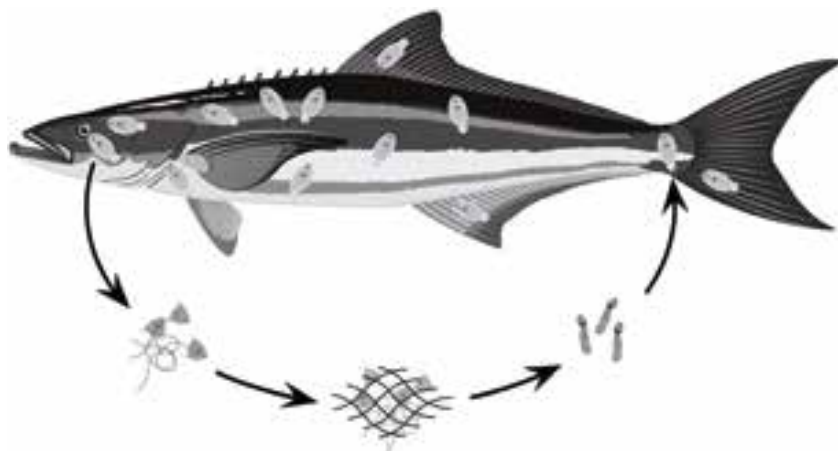
Εικόνα 11.15 Σχηματικό διάγραμμα που απεικονίζει τον βιολογικό κύκλο του *Cardicola forsteri* που μολύνει τον εκτρεφόμενο νότιο ερυθρό τόνο, *Thunnus maccoyii*. Τα ενήλικα αιματικά τρηματώδη γεννούν τα αυγά τους στο κυκλοφορικό σύστημα που εν τέλη καταλήγουν στα βράγχια. Τα αυγά εμβρυοποιούνται και εκκολάπτονται απελευθερώνοντας μικρακίδια που αναζητούν το δεύτερο ενδιάμεσο ξενιστή (πολύχαιτους της οικογένειας Terebellidae). Η αφυλετική αναπαραγωγή λαμβάνει χώρα σε πολύχαιτους της οικογένειας Terebellidae, όπου τα μολυσματικά κερκάρια αναπτύσσονται σε σποροκύστες. Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από την Dr. Kate Hutson, γραφικά από Eden Cartwright, Bud Design.

νων ζώων και της άγριας πανίδας (μαλάκια ή πολύχαιτοι σκώληκες). Για παράδειγμα, οι μολύνσεις από μετακερκάρια μπορούν να προληφθούν όταν τα ιχθυοφάγα πτηνά αποκλείονται με τη χρήση διχτυών ή/και η διήθηση του νερού εξαλείφει τους πληθυσμούς των σαλιγκαριών. Ο συχνός καθαρισμός των κλωβών από τους επιβιώτες ή η εκτροφή θαλάσσιων ψαριών σε βαθύτερο νερό πιθανόν να μειώνει τις αλληλεπιδράσεις με ενδιάμεσους ξενιστές που ζουν πάνω ή εντός του ιζήματος. Η χορήγηση praziquantel από το στόμα είναι αποτελεσματική κατά των μολύνσεων από αιματικά τρηματώδη στον τόνο, αν και δεν φαίνεται να επηρεάζει τα αυγά τους.

11.7.3 Μονογενή

Τα μονογενή είναι ευρέως διαδεδομένα στην ιχθυοκαλλιέργεια. Μολύνουν διακοσμητικά ψάρια σε αιχμαλωσία και ψάρια που προορίζονται για τροφή του ανθρώπου σε γλυκά νερά ή θαλάσσια περιβάλλοντα και μπορούν επίσης να μολύνουν τα ελασμοβράγχια και τις υδρόβιες χελώνες. Κοινώς

ονομαζόμενα 'τρηματώδη' (flukes), είναι κυρίως εξωπαράσιτα και φέρουν ένα χαρακτηριστικό οπίσθιο όργανο προσκόλλησης σαν αγκίστρι που ονομάζεται άπτορας (haptor). Τα μονογενή μπορούν γενικά να χωριστούν σε δύο υποκλάσεις βασισμένες στην πολυπλοκότητα του άπτορα: Τα Μονοπισθοκοτυλήδονα (Monopisthocotylea) έχουν ένα κύριο τμήμα στον άπτορα, συχνά με άγκιστρα ή έναν μεγάλο δίσκο προσκόλλησης, ενώ τα Πολυοπισθοκοτυλήδονα (Polyplisthocotylea) έχουν πολλά τμήματα στον άπτορα, χαρακτηριστικά σφιγκτήρες. Τα Μονοπισθοκοτυλήδονα συνήθως ζουν στα βράγχια, το δέρμα και τα πτερύγια, όπου τρέφονται με επιθηλιακό ιστό και περιλαμβάνουν είδη που προκαλούν επιβλαβείς μολύνσεις στην υδατοκαλλιέργεια (π.χ. είδη από τα γένη *Gyrodactylus*, *Pseudodactylogyrus*, *Dactylogyrus*, *Neobenedenia* και *Benedenia*). Τα Πολυοπισθοκοτυλήδονα βρίσκονται σχεδόν αποκλειστικά στα βράγχια τρεφόμενα με αίμα και τα βαριά μολυσμένα ψάρια πάσχουν από αναιμία (π.χ., μολύνσεις από είδη των γενών *Discocotyle*, *Heterobothrium* και *Zeuxapta*).



Εικόνα 11.16 Σχηματικό διάγραμμα που απεικονίζει τον βιολογικό κύκλο του *Neobenedenia girellae* που μολύνει το εκτρεφόμενο είδος, κόμπια *Rachycentron canadum*. Ενήλικα του γένους *Neobenedenia* προσκολλώνται στην επιφάνεια του σώματος των ψαριών, γεννούν τα αυγά τους στη στήλη του νερού τα οποία μπορεί να μπλεχτούν σε δίκτυα των ιχθυοκλωβών στη θάλασσα. Μετά από σύντομη περίοδο εμβρυογένεσης (συνήθως 5-8 ημέρες στους 25 °C), τα αυγά εκκολάπτονται σε κοντινή απόσταση από τα ψάρια. Τα βλεφαριδοφόρα ογκομιρακίδια μπορούν να κολυμπήσουν και να προσκολληθούν σε ψάρια όπου τρέφονται με επιθηλιακό ιστό και φτάνουν σε γεννητική ωριμότητα. Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από τον Dr Kate Hutson, γραφικά από Eden Cartwright, Bud Design.

Τα μονογενή έχουν άμεσο βιολογικό κύκλο (απαιτούν μόνο έναν ξενιστή για να ολοκληρώσουν τον βιολογικό τους κύκλο) και τα περισσότερα είναι ωτόκα, όπου παράγουν αυγά που απελευθερώνονται και εκκολάπτονται στο υδάτινο περιβάλλον (**Εικόνα 11.16**). Τα μονογενή είναι ερμαφρόδιτα και είναι ικανά να αναπαραχθούν σε απομόνωση. Τα αυγά που απελευθερώνονται από τα παράσιτα μπορούν να φέρουν μεγάλες νηματειδείς ταινίες που πιάνονται σε υποδομές της υδατοκαλλιέργειας (δίκτυα, φίλτρα και υπόστρωμα) έτσι ώστε οι μολυσματικές προνύμφες ή ογκομιρακίδια να εκκολάπτονται κοντά στα ψάρια. Το περιβάλλον του αυγού είναι ανθεκτικό, αλλά ένα αποσπώμενο καπάκι ή επικάλυμμα επιτρέπει τη διαφυγή του ογκομιρακιδίου. Τα περισσότερα είδη έχουν ογκομιρακίδια που είναι εξοπλισμένα με σειρές βλεφαρίδων, οι οποίες τους επιτρέπουν να κολυμπούν και να προσκολλώνται απευθείας σε ένα νέο ξενιστή. Μόλις συνδεθούν, συνήθως μεταναστεύουν μέσω της επιφάνειας του σώματος στην τελική θέση προσκόλλησης. Σε υψηλές θερμοκρασίες νερού ο χρόνος αναπαραγωγής των παρασίτων μειώνεται, προκαλώντας γρήγορα αύξηση του αριθμού τους και εάν παραμείνουν χωρίς αντιμετώπιση, οι λοιμώξεις μπορεί να σκοτώσουν τα ψάρια σε αιχμαλωσία.

Οι επιδημίες που προκαλούνται από είδη του

γένους *Neobenedenia* προκάλεσαν ιδιαίτερη καταστροφή στην υδατοκαλλιέργεια θαλάσσιων ψαριών. Τα είδη του γένους *Neobenedenia* (θεωρούνται ως μια συλλογή δυνητικά μη διαφοροποιημένων ειδών) έχει αναφερθεί σε όλο τον κόσμο σε διάφορες βιομηχανίες υδατοκαλλιέργειας συμπεριλαμβανομένων της τιλάπιας (*Oreochromis* spp.), ροφοειδών (*Epinephelus* spp.), μαγιάτικων (*Seriola* spp.), τετραοδοντίδων (*Takifugu rubripes*), της γιγαντόπερκας (*Lates calcarifer*) και του κόμπια (*Rachycentron canadum*) (**Εικόνα 11.16**). Τα *Neobenedenia* είναι ραχαιοκοιλιακά πεπλατυσμένα, με οβάλ σχήμα και τα ενήλικα κυμαίνονται από 2-7 mm. Ένας μόνο σκώληκας είναι ικανός να παράξει ~3.300 αυγά στη διάρκεια της ζωής του. Οι ζωντανοί σκώληκες είναι σχεδόν εξ ολοκλήρου διαφανείς, αλλά η εμφάνιση σε αποχλωρωμένο γλυκό νερό τους σκοτώνει και τους χρωματίζει λευκούς. Οι σκληρίτες του άπτορα (σκληρυμένες δομές αγκίστρων) διεισδύουν στην επιδερμίδα των ξενιστών και τραυματίζουν το δέρμα των ψαριών και έτσι οι μεγάλοι πληθυσμοί σκωλήκων που τρέφονται πάνω στα ψάρια μπορούν να διαβρώσουν το επιθήλιο. Σε ορισμένες περιπτώσεις, τα ογκομιρακίδια εντοπίζονται κυρίως στον οφθαλμό και μπορεί να προκαλέσουν τύφλωση. Οι παρασιτώσεις φαίνεται να ερεθίζουν τα ψάρια έτσι ώστε να τρίβουν το σώμα τους σε δομές της

εκτροφής ή σε άλλα ψάρια, πιθανώς σε μια προσπάθεια να απομακρύνουν τα προσκολλημένα παράσιτα. Οι βλάβες μπορεί να επιδεινωθούν από δευτερογενή μόλυνση (βακτήρια, ιοί και μύκητες) των πληγών που προκληθήκαν εξαιτίας των παράσιτων.

Μερικά μονογενή είναι ζωοτόκα (π.χ. *Gyrodactylus*), όπου αναπτύσσουν το έμβρυο στη μήτρα τους, γεννούν την κόρη η οποία είναι πλήρως ανεπτυγμένη και ήδη μεταφέρει την επόμενη γενιά στη μήτρα της. Αυτός ο τρόπος αναπαραγωγής, η υπερζωοτοκία (*hyperviviparity*), έχει ονομαστεί στην καθομιλουμένη "ρωσική κούκλα" ή 'ματριόσκα' και επιτρέπει την εκθετική αύξηση του πληθυσμού σε ευπαθείς ξενιστές. Τα παράσιτα διασπείρονται μέσω άμεσης φυσικής επαφής μεταξύ των ξενιστών ή εναλλακτικά μπορούν να αποσπαστούν και να επιβιώσουν για λίγες ημέρες πριν μολύνουν έναν νέο ξενιστή. Η μετάδοση μπορεί επίσης να συμβεί από νεκρούς σε ζωντανούς ξενιστές. Το *Gyrodactylus salaris*, ένα παράσιτο του γλυκού νερού των σολομοειδών πιστεύεται ότι έχει εισαχθεί με μολυσμένο σολομό από τη Σουηδία στη Νορβηγία λόγω της υψηλής ζήτησης σολομού για την δημιουργία αποθέματος σε μονάδες πάχυνσης και για πειραματικούς σκοπούς (Johnson and Jensen, 1991). Το παράσιτο ήταν νέο για τα Νορβηγικά αποθέματα ψαριών και τα ψάρια ήταν απίστευτα ευαίσθητα, με το παράσιτο να εξαπλώνεται σε τουλάχιστον 46 ποταμούς στη Νορβηγία και αυτό είχε ως αποτέλεσμα οικολογική καταστροφή και οικονομικά προβλήματα. Οι οικονομικές απώλειες αφορούσαν τη μείωση των αλιευτικών αποθεμάτων, την απώλεια της τουριστικής ερασιτεχνικής αλιείας και τις επιπτώσεις πάνω σε τρέχουσες έρευνες και μέτρα διαχείρισης. Οι μολυσμένοι με *Gyrodactylus* ποταμοί υποβάλλονται περιοδικά σε 'θεραπεία' με το αδιάκριτο στη δράση του φυτοκτόνο/ιχθυοκτόνο ροτενόνη πριν την ανάδρομη μετανάστευση του σολομού για να αυξηθεί η επιτυχία της ωοτοκίας του, αλλά αυτή η 'θεραπεία' είναι δυνατή μόνο σε μικρούς ποταμούς με ευνοϊκές βιολογικές και γεωγραφικές συνθήκες.

Η προσεκτική διαχείριση των καλλιεργειών μπορεί να μειώσει τις μολύνσεις από τα μονογενή στο ζωικό κεφάλαιο. Στις εκμεταλλεύσεις θαλάσσιων κλωβών τα αβγά που αναποτίθενται από ωο-

τόκα είδη μπορούν να μπλεχτούν σε δίκτυα και άλλο υλικό βιοαπόθεσης (**Εικόνα 11.16**), έτσι ο τακτικός καθαρισμός ή η αλλαγή των δικτύων μπορεί να μειώσει το φορτίο των αβγών. Η συχνότητα των αλλαγών των δικτύων θα πρέπει να αυξάνεται στις καλοκαιρινές θερμοκρασίες όταν τα αβγά εκκολάπτονται γρήγορα. Η θεραπεία των παρασιτώσεων από μονογενή περιλαμβάνει συνήθως γλυκό νερό, υπεροξείδιο του υδρογόνου ή μπάνια φορμόλης. Τα αβγά είναι γενικά ανθεκτικά στη σύντομη έκθεση σε αυτές τις χημικές ουσίες λόγω του πρωτεϊνικού κελύφους τους, αλλά είναι ευαίσθητα στην αποξήρανση. Το praziquantel έχει δοκιμαστεί ενάντια σε μια σειρά από μονογενή που μολύνουν τα ψάρια με ελπιδοφόρα αποτελέσματα, ωστόσο αν χορηγείται από το στόμα, οι υψηλές ποσότητες φαρμάκου στις τροφές μπορεί να είναι δυσάρεστο στη γεύση σε ορισμένα ψάρια. Η χορήγηση με μπάνιο ή με την τροφή απαιτεί στρατηγικά χρονομετρημένη διπλή χορήγηση για βέλτιστα αποτελέσματα ώστε να σκοτώσει τους πληθυσμούς των ενηλίκων παρασίτων στα ψάρια, ακολουθούμενη από μια δεύτερη θεραπεία για να σκοτώσει τα ανώριμα παράσιτα που έχουν προκύψει ως προνύμφες από τα αβγά που εκκολάφθηκαν γύρω από την εκμετάλλευση. Οι βιολογικοί καθαριστές (ψάρια, γαρίδες) είναι αρκετά υποσχόμενοι για τη μείωση της έντασης των μολύνσεων από μονογενή, αλλά οι κίνδυνοι συν-καλλιέργειας χρειάζονται ενδελεχή εξέταση.

11.8 Νηματοώδεις

Οι νηματοώδεις σκώληκες, είναι μακρά, λεπτά και κυλινδρικά χωρίς τμηματοποίηση ενδοπαρασίτα με κωνικό σχήμα σε κάθε άκρο. Μολύνουν είδη ψαριών του γλυκού, θαλάσσιου και υφάλμυρου νερού. Μερικά γένη νηματοδών περιλαμβάνουν είδη που μπορούν να εξαπλωθούν μεταξύ ζώων και ανθρώπων, π.χ., *Anguillicola*, *Philometra*, *Skrjabillanus* και *Anisakis*. Η παθολογία στα ψάρια εμφανίζεται συνήθως εντός των εντέρων, αλλά οι νηματοώδεις μπορούν να βρεθούν σε όλα τα όργανα. Οι νηματοώδεις έχουν ξεχωριστά φύλα και παρουσιάζουν πολύπλοκους βιολογικούς κύκλους. Τα ενήλικα πρέπει να ολοκληρώσουν τον βιολογικό τους κύκλο σε ένα συγκεκριμένο είδος πτηνού,

ψαριού ή θηλαστικού, ενώ τα προνυμφικά τους στάδια μπορεί να είναι σε θέση να επιβιώσουν σε μια μεγάλη ποικιλία ενδιάμεσων ξενιστών. Οποιαδήποτε διάσπαση αυτών των βιολογικών κύκλων εμποδίζει την ανάπτυξη των ενηλίκων νηματωδών, επομένως εκτρεφόμενα ψάρια με χαμηλή επαφή με το φυσικό τους περιβάλλον (όπως τα χερσαία συστήματα επανακυκλοφορίας του νερού) είναι λιγότερο πιθανό να αναπτύξουν λοιμώξεις από νηματώδη. Λίγες μελέτες έχουν εξετάσει τις πιθανές επιπτώσεις των νηματωδών στην κατάσταση της υγείας ή στην φυσική κατάσταση των ψαριών ξενιστών, αλλά οι άνθρωποι μπορεί να μολυνθούν από νηματώδεις εάν καταναλώσουν ωμά ή όχι καλά μαγειρεμένα θαλασσινά (βλ. ενότητα 11.12). Τα νηματώδη έχουν τη δυνατότητα να περιορίσουν την αγοραστική αξία των ψαριών εξαιτίας της άποψης των καταναλωτών.

Ένα από τα πιο χωροκατακτητικά είδη νηματωδών είναι το *Anguillicoloides crassus*, το οποίο είναι αυστηρά παρασιτικό για τα είδη χελιού του γένους *Anguilla*. Αυτό το παράσιτο είναι γνωστό ότι μολύνει έξι είδη χελιών και έχει καταγραφεί σε 46 χώρες και τέσσερις ηπείρους (Lefebvre et al., 2012). Οι ανθρωπογενείς μεταφορές χελιών για υδατοκαλλιέργεια έχουν θεωρηθεί ύποπτες για την ταχεία εισβολή αυτού του είδους σε όλο τον κόσμο. Έχουν αναφερθεί απώλειες σε άγρια και εκτρεφόμενα χέλια και το παράσιτο θεωρείται μεταξύ των κύριων απειλών για την επιβίωση των Ευρωπαϊκών και Αμερικανικών ειδών χελιού. Έχει αναφερθεί στη Νοτιοανατολική Ασία, την Ευρώπη, τις ΗΠΑ και την Αφρική, αλλά μέχρι στιγμής δεν έχει αναφερθεί στα Αυστραλιανά χέλια, πιθανώς ως αποτέλεσμα της αυστηρής νομοθεσίας για τις εισαγωγές. Το παράσιτο προκαλεί σοβαρή παθολογία στη νηκτική κύστη των ξενιστών, συμπεριλαμβανομένων αλλοιώσεων, φλεγμονής, αιμορραγίας και ίνωσης (**Εικόνα 11.17**). Τα μολυσμένα χέλια με νηματώδη συνήθως παρουσιάζουν μειωμένη απόδοση κολύμβησης, κολυμπούν κοντά στην επιφάνεια και αδυνατίζουν.

Το *Anguillicoloides crassus* μεταδίδεται μέσω της τροφικής αλυσίδας, εξαρτάται από τις αλληλεπιδράσεις αρπακτικού-θηράματος για να ολοκληρώσει τον βιολογικό του κύκλο. Τα αβγά αφήνουν τη νηκτική κύστη μέσω του πνευματικού πόρου και περνούν μέσα από το έντερο και εκκολά-



Εικόνα 11.17 Ένα από τα πιο χωροκατακτητικά είδη νηματωδών είναι το *Anguillicoloides crassus* το οποίο παρασιτεί στη νηκτική κύστη ειδών χελιού του γένους *Anguilla*. Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από τον Dr S. Klimpel και τον Dr S. Emde.

πτούνται στο νερό. Εναλλακτικά, μπορούν να εκκολαφθούν εσωτερικά. Οι νέο-εκκολαμμένες προνύμφες δευτέρου σταδίου προσκολλώνται στο υπόστρωμα με το ουραίο άκρο τους και κινούνται έντονα, πιθανώς για να διεγείρουν τη θήρευση από υδρόβια ασπόνδυλα. Μπορούν να επιβιώσουν και να παραμείνουν μολυσματικές για μέρες. Ως ενδιάμεσοι ξενιστές μπορεί να χρησιμεύσει μια σειρά ειδών καρκινοειδών, συμπεριλαμβανομένων των κωπήποδων και οστρακωδών. Μόλις καταποθούν, οι προνύμφες εισβάλλουν στη σωματική κοιλότητα (αιμόκοιλο) όπου μεγαλώνουν και εκδύονται. Τα χέλια μολύνονται όταν καταναλώνουν μολυσμένους υδρόβιους οργανισμούς, συμπεριλαμβανομένων των μη-ειδικών ψαριών ξενιστών (ο ξενιστής δεν είναι απαραίτητος για την ανάπτυξη ενός συγκεκριμένου είδους παρασίτου, αλλά χρησιμεύει για τη διατήρηση του βιολογικού του κύκλου και μπορεί να προωθήσει τη διασπορά). Μόλις καταποθεί από το χέλι, το παράσιτο περνά μέσω του εντερικού τοιχώματος και μεταναστεύει για να φτάσει στο τοίχωμα της νηκτικής κύστης μέσα σε μία εβδομάδα (**Εικόνα 11.17**).

Η διάσπαση του βιολογικού κύκλου είναι μία από τις καλύτερες στρατηγικές πρόληψης για τη μείωση των μολύνσεων από νηματώδη στα συστήματα υδατοκαλλιέργειας. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την διήθηση του νερού που εισάγεται στην

καλλιέργεια ή την προσθήκη χημικών ουσιών για την εξάλειψη των ενδιάμεσων καρκινοειδών ξενιστών. Πρέπει να χρησιμοποιούνται καθαρές πηγές τροφών, όπως οι εξωθημένη δίαιτα με σύμπηκτα (η διαδικασία παραγωγής τους σκοτώνει τα παράσιτα). Δεν υπάρχει αποτελεσματικό φάρμακο κατά των νηματωδών των ψαριών, αλλά φάρμακα όπως τα flubendazole, levamisole, mebendazole, trichlorophon και triclabendazole έχουν δοκιμαστεί με ποικίλα αποτελέσματα.

11.9 Ακανθοκέφαλα

Τα Ακανθοκέφαλα ή 'σκώληκες με ακανθώδες κεφάλι' περιλαμβάνουν τουλάχιστον 500 είδη ενδοπαρασίτων των ψαριών του γλυκού και θαλασσινού νερού, αν και μόνο λίγα είδη αναφέρονται ως πρόβλημα για την υδατοκαλλιέργεια. Ζουν στο έντερο του ξενιστή όπου προσκολλώνται χρησιμοποιώντας μια αναδιπλούμενη προβοσκίδα που καλύπτεται από πολυάριθμα άγκιστρα. Δεν έχουν στόμα ή έντερο και απορροφούν θρεπτικά συστατικά από τον αυλό του εντέρου. Οι σκώληκες είναι γονοχωριστικοί και έχουν πολύπλοκο βιολογικό κύκλο. Τα ενήλικα θηλυκά που ζουν στο έντερο των ψαριών ζευγαρώνουν και τα αβγά περνούν με τα κόπρανα των ξενιστών στο υδάτινο περιβάλλον. Τα αβγά προσλαμβάνονται με κατάποση από ένα ενδιάμεσο καρκινοειδές ξενιστή που ζει ελεύθερα (π.χ. αμφίποδο ή ισόποδο) το οποίο μολύνεται. Όταν το ψάρι τελικός ξενιστής καταναλώσει το καρκινοειδές, το παράσιτο αναπτύσσεται μέχρι το στάδιο του ενηλίκου στο έντερο του ψαριού.

Επιδημίες που προκαλούνται από ακανθοκέφαλα έχουν αναφερθεί σε εκκολαπτήρια ψαριών, ιδίως σε σολομοειδή και χέλια. Τα πιο γνωστά γένη περιλαμβάνουν τα *Acanthocephalus*, *Echinorhynchus*, *Pomphorhynchus* και *Neoechinorhynchus*. Η προσκόλληση της προβοσκίδας στον βλεννογόνο προκαλεί φλεγμονώδη αντίδραση στο σημείο προσκόλλησης. Οι βαριές προσβολές μπορεί να προκαλέσουν λήθαργο, νοσηρότητα και παραμόρφωση της σπονδυλικής στήλης και μπορεί να οδηγήσουν σε μειωμένη απορρόφηση των θρεπτικών συστατικών από το έντερο. Η αποφυγή εισόδου των ενδιάμεσων ξενιστών στα συστήματα υδατοκαλλιέργειας θα σπάσει τον βιολογικό κύκλο.

11.10 Βδέλλες

Οι βδέλλες (Φύλο Annelida) είναι σκώληκες με μεταμέρεια (διαίρεση σώματος σε μια σειρά όμοιων τμημάτων) που ανήκουν στην Υποκλάση Hirudinea. Ορισμένα είδη εκτρέφονται για χρήση στην ιατρική σε μια ιδιόμορφη βιομηχανία υδατοκαλλιέργειας που ονομάζεται Hirudiculture. Δεν αναρροφούν αίμα όλες οι βδέλλες και πολλές που ζουν ελεύθερα σε λίμνες και ποτάμια είναι θηρευτές. Οι βδέλλες μπορούν να μολύνουν μια ποικιλία οργανισμών υδατοκαλλιέργειας, συμπεριλαμβανομένων των καρκινοειδών, των μαλακίων, των ψαριών, των βατράχων και των χελωνών με μαλακό κέλυφος [σημείωση: οι 'βδέλλες στρειδιών' είναι στροβιλιστικοί (*Turbellaria*) σκώληκες] και εμφανίζονται σε περιβάλλοντα γλυκού νερού, σε υφάλμυρα και σε θαλάσσια περιβάλλοντα (Kearn, 2004). Ως μικρο-θηρευτές, ή προσωρινά παράσιτα, μπορούν να εγκαταλείψουν τον ξενιστή τους μετά τη λήψη τροφής και να μην επαναπροσκολληθούν σε έναν νέο ξενιστή μέχρι να αφομοιωθεί το τελευταίο τους γεύμα. Επιπλέον της σύρσης, όπου οι πρόσθιοι και οπίσθιοι μυζητήρες χρησιμοποιούνται για στην κίνηση, μερικές βδέλλες μπορεί να κολυμπήσουν. Οι βδέλλες είναι αρνητικά φωτοτακτικές, γεγονός που τις προτρέπει να αναζητήσουν τον πυθμένα όπου αναπαύονται προσκολλημένες στη βλάστηση ή σε βυθισμένη υποδομή. Όταν πεινάνε, γίνονται ευαίσθητες στις αναταράξεις του νερού και στις σκιές που δημιουργούνται από τα διερχόμενα ψάρια. Η βδέλλα απλώνεται έπειτα όπως μια ράβδος και εκτελεί κινήσεις 'αναζήτησης' ταλαντεύοντας το σώμα της. Αισθητηριακές δομές, συμπεριλαμβανομένων απλών ματιών, θηλών και αισθητήρων, τους επιτρέπουν επίσης να βρουν θήραμα ή ξενιστές.

Όταν γίνεται επαφή με έναν πιθανό ξενιστή η μυζητήρας του στόματος προσκολλάται και η οπίσθια μυζητήρας απελευθερώνεται από το υπόστρωμα. Μερικές βδέλλες έχουν επίσης συγκολλητικές εκκρίσεις που παίζουν ρόλο στην εδραίωση τους στην επιφάνεια του ξενιστή. Οι βδέλλες είναι σύγχρονες ερμαφρόδιτες και οι ενήλικες θα αποκολληθούν από τον ξενιστή προκειμένου να τοποθετήσουν βομβύκια (κουκούλια) σε ένα επιλεγμένο υπόστρωμα, συμπεριλαμβανομένων των δομών υδατοκαλλιέργειας, όπως αγκυρο-

βόλια και δίχτυα. Τα βομβύκια (κουκούλια) περιέχουν έναν δακτυλιοειδή θάλαμο που σφραγίζεται αποτελεσματικά από το περιβάλλον που προστατεύει το αναπτυσσόμενο έμβρυο (Kearn, 2004). Τα βομβύκια (κουκούλια) συνήθως προσκολλώνται στο υπόστρωμα και το καθένα συνήθως περιέχει ένα μόνο αβγό. Η εκκόλαψη εξαρτάται από τη θερμοκρασία και οι νεαρές βδέλλες μπορούν να επιβιώσουν για μια εβδομάδα ή περισσότερο πριν από το πρώτο τους γεύμα αίματος.

Οι βδέλλες προσκολλώνται στον ξενιστή τους χρησιμοποιώντας τον πρόσθιο και οπίσθιο μυκτήρη τους και χρησιμοποιούν τις σιαγώνες τους για να αποκτήσουν πρόσβαση στο αίμα. Μπορούν να αποτρέψουν την αιμόσταση (πήξη του αίματος) κατά τη σίτιση τους από τον ξενιστή με την έγχυση σιέλου που αναστέλλει την θρομβίνη, το ένζυμο που προκαλεί πήξη του αίματος του ξενιστή. Οι βδέλλες μπορούν να προσλάβουν αρκετές φορές το βάρος τους σε αίμα σε ένα μόνο γεύμα και η πέψη είναι αργή, η οποία επιτρέπει στην βδέλλα να επιβιώσει για έως και αρκετούς μήνες χωρίς τον ξενιστή. Ορισμένα είδη βδέλλας τρέφονται κυρίως από τα πτερύγια, αλλά η διατροφή τους έχει αναφερθεί να συμβαίνει σε όλη την επιφάνεια του σώματος του ψαριού, συμπεριλαμβανομένης της βραγχιακής κοιλότητας. Τα κλινικά συμπτώματα της μόλυνσης από βδέλλα περιλαμβάνουν την αναιμία, το λήθαργο, τον αποχρωματισμό του σώματος, την απώλεια των λεπιών, τα διαβρωμέ-

να πτερύγια και την ανήσυχη κολύμβηση. Οι σοβαρές παρασιτώσεις από βδέλλες καθιστούν τα υδρόβια ζώα μη εμπορεύσιμα λόγω της ύπαρξης αντιαισθητικών συμπλεγμάτων από παράσιτα που μοιάζουν με σκουλήκια, διαβρωμένων πτερυγίων, αιμορραγιών και οιδήματος στα σημεία προσκόλλησης και σίτισης της βδέλλας (Εικόνα 11.18). Η υπερβολική απώλεια αίματος εμφανίζεται πιθανώς σε έντονες και παρατεταμένες προσβολές και μπορεί να οδηγήσει σε θνησιμότητα του ζωικού κεφαλαίου στις υδατοκαλλιέργειες. Επιπλέον, οι βδέλλες μπορούν να χρησιμεύσουν ως φορείς για άλλα παράσιτα και παθογόνα, συμπεριλαμβανομένων βακτηρίων, ιών, μαστιγοφόρων τρυπανοσωμάτων και διγενών.

Η θαλάσσια βδέλλα, *Zeylanicobdella arugamensis*, έχει συσχετιστεί με θνησιμότητα νεαρών και ενηλίκων ροφοειδών (*Epinephelus coioides*) στις Φιλιππίνες και νεαρών ροφοειδών και γιγαντόπερκων *Lates calcarifer* που εκτρέφονταν σε θαλάσσιους κλωβούς στη Μαλαισία. Σε ορισμένες περιπτώσεις, μπορεί να έχουν μολυνθεί μεταξύ 80-100% των ψαριών σε θαλάσσιους κλωβούς (Kua et al., 2014). Οι θεραπείες με μπάνιο σε φόρμολη (50 ppm) είναι αποτελεσματικές για τη διαχείριση των βδελλών που προσκολλώνται στα ψάρια, ενώ η αποστράγγιση και η αποξήρανση των λιμνοδεξαμενών εκτροφής αφυδατώνει τα βομβύκια (κουκούλια) των βδελλών και τα καθιστά μη βιώσιμα. Εναλλακτικά, μπορούν να τοποθετούνται



Εικόνα 11.18 Η θαλάσσια βδέλλα, *Zeylanicobdella arugamensis*, έχει συσχετιστεί με την θνησιμότητα της νεαρής γιγαντόπερκας *Lates calcarifer*. Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από τον D. B. Vaughan.

αφαιρούμενα σκληρά υποστρώματα και να αποσύρονται περιοδικά, έτσι ώστε τα βομβύκια (κουκούλια) που εγκαθίστανται σε αυτά να μπορούν να καταστραφούν. Οι βιολογικοί έλεγχοι, όπως τα ψάρια καθαριστές, μπορεί να είναι εφικτοί.

11.11 Καρκινοειδή

Τα παρασιτικά καρκινοειδή έχουν μεγάλη οικονομική σημασία ως νοσογόνος παράγοντας σε άγριους και εκτρεφόμενους πληθυσμούς ψαριών. Αυτά τα παράσιτα μπορούν να επηρεάσουν την επιβίωση του ξενιστή και να προκαλέσουν αντιαισθητικές αλλαγές στη σάρκα. Μεταξύ αυτών, τα κωπήποδα είναι τα πιο κυρίαρχα στην υδατοκαλλιέργεια.

11.11.1 Βραχύουρα

Τα Βραχύουρα, που συνήθως ονομάζονται ψείρες των ψαριών, είναι προσωρινά εξωπαράσιτα. Τα περισσότερα Βραχύουρα απαντώνται στο γλυκό νερό, αλλά μερικά είδη μολύνουν το δέρμα των θαλάσσιων ψαριών. Από τα 150 περίπου είδη, περίπου 125 ανήκουν στο γένος *Argulus*. Τα είδη σε αυτό το γένος κυμαίνονται από 2 έως 30 mm σε μήκος, με τα θηλυκά να είναι συνήθως μεγαλύτερα από τα αρσενικά, και τα περισσότερα

μπορούν να παρατηρηθούν με γυμνό οφθαλμό στην επιφάνεια των ψαριών (**Εικόνα 11.19**). Παρουσιάζουν ένα πεπλατυσμένο, δισκοειδές σώμα με ένα προεξέχον ζεύγος σύνθετων οφθαλμών. Φέρουν ένα ζεύγος εμφανών κοιλιακά κατευθυνόμενων μυζητήρων (τροποποιημένο πρώτο ζεύγος κάτω γνάθων), οι οποίες είναι ο βασικός μηχανισμός προσκόλλησής τους. Κάθε μυζητήρας είναι σε θέση να κινηθεί ανεξάρτητα από τον άλλο και το παράσιτο είναι σε θέση να μετακινηθεί με μια κίνηση γρήγορου 'βαδίσματος' πάνω στο σώμα του ξενιστή. Τα παράσιτα συνήθως προσκολλώνται στον ουραίο μίσχο, τα πλευρικά μέρη του σώματος, το ουραίο και τα θωρακικά πτερύγια με λίγα να παρατηρούνται στην στοματική ή βραγχιακή κοιλότητα.

Η διάδοση τους είναι άμεση, δεδομένου ότι είναι εξαιρετικοί κολυμβητές και θα αναζητήσουν ενεργητικά τα ψάρια για να προσκολληθούν σε αυτά. Κατά τη διάρκεια της ημέρας, τα *Argulus* έχουν αποδειχθεί ότι αιωρούνται, σχεδόν ακίνητα σε ενυδρεία πριν από την προώθησή τους προς την κατεύθυνση των δυνητικών ξενιστών. Τη νύχτα, το παράσιτο μεταβαίνει σε μια ενεργή στρατηγική ευρείας αναζήτησης κολυμπώντας ενεργά σε μεγάλες ευθείες γραμμές. Τα ψάρια που έχουν μολυνθεί με *Argulus* έχουν περισσότερες πιθανότητες να αποκτήσουν επιπλέον ψείρες επειδή κολυμπούν σπασμωδικά, προσφέροντας μεγαλύτε-



Εικόνα 11.19 Μια ιριδίζουσα πέστροφα με σοβαρή προσβολή από *Argulus* στην επιφάνεια του σώματος. Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από τον Dr C. Williams, Environmental Agency, UK.

ρη ελκυστικότητα για τα αιωρούμενα παράσιτα. Οι μυζητήρες που χρησιμοποιούνται για την πρωταρχική προσκόλληση ενισχύονται από μια ποικιλία αγκίστρων και ακάνθων. Πράγματι, τα κοιλιακά άκρα των *Argulus* τυπικά καλύπτονται με άκανθες με κατεύθυνση προς τα πίσω. Το *Argulus* προσκολλάται στον ξενιστή ανάντη στο ρεύμα του νερού έτσι ώστε αυτές οι άκανθες και τα άγκιστρα να μπλέκονται στο δέρμα του ξενιστή και να αποτρέπεται με αυτό τον τρόπο η ολίσθηση προς τα πίσω ή η αποκόλληση. Σε αντίθεση με τα κωπήποδα, τα *Argulus* δεν διατηρούν τα γονιμοποιημένα αβγά σε σειρές ή σάκους, αλλά αφήνουν τον ξενιστή και προσκολλούν τα αβγά τους σε σκληρές επιφάνειες, όπως πέτρες ή υποδομές υδατοκαλλιέργειας. Τα αβγά τοποθετούνται ένα-ένα, δίπλα-δίπλα, σε στήλες. Το στάδιο που εκκολάπτεται από το αβγό είναι αμέσως παρασιτικό και αναζητά έναν ξενιστή στον οποίο θα ωριμάσει.

Μόλις προσκολληθούν στον ξενιστή, πιστεύεται ότι είτε διαπερνούν το δέρμα του ξενιστή και ρουφάνε αίμα και άλλα εσωτερικά υγρά, ή ότι τρέφονται με βλέννα και δέρμα που αποκολλάται από τον ξενιστή. Τα μολυσμένα ψάρια καθίστανται ληθαργικά, σταματούν να τρέφονται, χάνουν την φυσιολογική τους κατάσταση και μπορεί να προσπαθούν να απομακρύνουν τα παράσιτα τρίβοντας το σώμα τους σε επιφάνειες. Σε χρόνιες μολύνσεις το δέρμα γίνεται αδιαφανές, αναπτύσσονται ελκώδεις αλλοιώσεις και τα πτερύγια διαβρώνονται. Οι θνησιμότητες συνδέονται συνήθως με εκατοντάδες παράσιτα *Argulus* ανά ψάρι, πιθανώς ως αποτέλεσμα διάσπασης της ακεραιότητας του επιθηλίου. Τα *Argulus* έχουν εμπλακεί στη μεταφορά ιών και άλλων παρασιτικών οργανισμών.

Τα είδη του γένους *Argulus* έχουν αναγνωριστεί ως παράσιτα της εκτρεφόμενης πέστροφας στην Ευρώπη και των κυπρίνων στην Κίνα εδώ και αιώνες. Τα πιο διαβόητα είδη περιλαμβάνουν τα *A. coregoni* και *A. japonicus*. Το *Argulus japonicus* πιστεύεται ότι έχει εισαχθεί από την Ασία με ψάρια που προορίζονται για ενυδρεία και τώρα έχει εισβάλλει σε όλο τον κόσμο. Κατά κύριο λόγο παρσιτεεί στο χρυσόψαρο και σε άλλα κυπρινοειδή, αλλά έχει βρεθεί και σε άλλα είδη ψαριών ξενιστών. Το *Argulus coregoni* μολύνει κυρίως σολομοειδή, αλλά μπορεί επίσης να βρεθεί σε κυπρίνους και άλλους ξενιστές. Η ιριδίζουσα πέστρο-

φα *Onchorhynchus mykiss*, που συλλέχθηκε απο εμπορικό ιχθυοτροφείο στην Κεντρική Φινλανδία το 2002, εμφάνισε ποσοστό μόλυνσης 100% με εύρος μεταξύ 4 και 1309 άτομα *A. coregoni* ανά ψάρι (Bandilla et al., 2005).

Προκειμένου να αποτραπεί η εισαγωγή των *Argulus* στην υδατοκαλλιέργεια, το εισερχόμενο νερό μπορεί να διηθηθεί και τα εισαγόμενα ψάρια να μπαίνουν σε καραντίνα. Στις λιμνοδεξαμενές, μπορούν να τοποθετηθούν αφαιρούμενα σκληρά υποστρώματα όπως ξύλινες σχάρες και να απομακρύνονται περιοδικά έτσι ώστε τα αβγά που έχουν εναποθέσει πάνω τους τα παράσιτα να μπορούν να καταστραφούν. Ουσίες κατά των καρκινοειδών ή εντομοκτόνα χρησιμοποιούνται κοινώς για τη θεραπεία των ψαριών, αλλά τα *Argulus* αναπτύσσουν γρήγορα αντίσταση στις θεραπείες με χημικά. Ο προσωρινός παρασιτικός τρόπος ζωής τους θα μπορούσε ενδεχομένως να τους επιτρέψει να αποφύγουν την θήρευση από τα ψάρια καθαριστές, αν και τα μικρά ψάρια είναι γνωστό ότι καταναλώνουν τα *Argulus*.

11.11.2 Ισόποδα

Τα παρασιτικά ισόποδα περιλαμβάνουν τρεις κύριες ομάδες, συμπεριλαμβανομένων των κυμοθοειδών (*Cymothoidae*), επικαριδίων (*Epicaridea*) και των γναθιδών (*Gnathiidea*). Τα περισσότερα ισόποδα που παρατηρούνται στα ψάρια της υδατοκαλλιέργειας είναι τα κυμοθοειδή (*Οικογένεια Cymothoidae*). Τα κυμοθοειδή είναι κυρίως εξωπαρασιτικά σε θαλάσσια ψάρια σε θερμά νερά, αλλά περιστασιακά εμφανίζονται και σε εύκρατα συστήματα. Τα άκρα τους σχηματίζουν γάντζους προσκόλλησης στις εξωτερικές επιφάνειες ή στην στοματική κοιλότητα των ξενιστών τους. Το θηλυκό συνδέεται μόνιμα με τον ξενιστή και απελευθερώνει αβγά σε μια κοιλιακή θήκη επώασης ειδικό ωόσακκο (*marsupium*-μάρσιπος) όπου συμβαίνει η εμβρυογένεση, η εκκόλαψη και δύο εκδύσεις, πριν απελευθερωθούν. Μετά από μια σύντομη κολυμβητική περίοδο πρέπει να βρουν ένα ψάρι ξενιστή ή αλλιώς θα πεθάνουν. Τα προσκολλημένα παράσιτα χρησιμοποιούν έναν στοματικό κώνο για να σχίσουν τη σάρκα του ψαριού και να τρυπήσουν τον ιστό για να διεισδύσουν στα αιμοφόρα αγγεία ή σε κοιλότητες. Πιστεύεται ότι τα κυμοθοειδή

μπορεί να μεταδώσουν ιογενείς ασθένειες ή να επιτρέψουν στους ιούς να εισέλθουν μέσω του κατεστραμμένου ιστού από τη δραστηριότητα της προσκόλλησης ή της λήψης τροφής τους. Οι θνησιμότητες που προκαλούνται από τα κυμοθοειδή ισόποδα στις εγκαταστάσεις θαλασσοκαλλιέργειας είναι συχνές και έχουν αναφερθεί σε σημαντικά εκτρεφόμενα ψάρια, συμπεριλαμβανομένων, μεταξύ άλλων, στο λαβράκι (*Dicentrarchus labrax*), στη τσιπούρα (*Sparus aurata*), στη γιγαντόπερκα (*Lates calcarifer*), στο γατόψαρο (*Mystus gulio*) και στο γοβιό (*Oxyurichthys microlepis*). Οι μολύνσεις στην γιγαντόπερκα (*Lates calcarifer*) που προέρχεται από εκκολαπτήριο στις βραγχιακές και στις προσθιοραχιαίες περιοχές από το *Cymothoa indica* είχαν ως αποτέλεσμα δερματικές αλλοιώσεις και έχουν συσχετιστεί με μειωμένους ρυθμούς ανάπτυξης και θνησιμότητα. Τα παράσιτα μπορούν να εισαχθούν στα ψάρια μέσω του άγριου ζωοπλαγκτού που χρησιμοποιείται ως τροφή, και κατά συνέπεια, η μόλυνση θα μπορούσε να μειωθεί με διήθηση του άγριου ζωοπλαγκτού για την απομάκρυνση των μολυσματικών κολυμβητικών προνυμφών του *C. indica*, ή με τη χρήση εναλλακτικών ζωντανών τροφών.

Τα παρασιτικά ισόποδα των Boryoidea και Cryptoniscoidea (κοινά αναφερόμενα ως επικαρίδια) είναι μοναδικά στο ότι χρησιμοποιούν καρκινοειδή τόσο ως ενδιάμεσους (πελαγικά κωπήποδα) όσο και ως τελικούς ξενιστές (τόσο βενθικά όσο και πελαγικά είδη). Μεταξύ των επικαριδίων σχεδόν όλα τα είδη των Boryoidea είναι εξωπαρασιτικά σε δεκάποδα ξενιστές. Η ενεργειακή επιβάρυνση που προκαλούν στον ξενιστή τους μπορεί να έχει δραματικές επιδράσεις στην αναπαραγωγική του ικανότητα. Πράγματι, οι θηλυκές εκτρεφόμενες γιγαντιαίες γαρίδες του γλυκού νερού *Macrobrachium malcolmsonii*, με μόλυνση από το *Probopyrus buitendijkibut* στην βραγχιακή κοιλότητα δεν παράγουν αυγά. Όταν τα παράσιτα αφαιρούνται, τα θηλυκά ανανήπτουν.

Εμπορικά σημαντικές θνησιμότητες χελιών και κέφαλων έχουν συσχετιστεί με τη μόλυνση από ισόποδα γναθίδες (Gnathiidae). Οι γναθίδες είναι προσωρινά παράσιτα των ψαριών. Μόνο το προνυμφικό στάδιο, 'praniza', παρασιτεί στα βράγχια και στο σώμα των ψαριών, ενώ τα ενήλικα ζουν ελεύθερα. Τα ψάρια που περιορίζονται

σε κλωβούς μπορούν να δεχθούν επίθεση από μεγάλο αριθμό 'pranizae' τη νύχτα. Μέσα σε 2 έως 4 ώρες, το τροποποιημένο ενδιάμεσο έντερο της προνύμφης γεμίζει με υγρό από τον ξενιστή και το ισόποδο αφήνει το θύμα του. Κατά συνέπεια, ορισμένες εκμεταλλεύσεις υδατοκαλλιέργειας ενδέχεται να αγνοούν τις επιπτώσεις των μολύνσεων. Οι μολύνσεις από γναθίδες δεν πρέπει να υποτιμούνται διότι χρησιμεύουν ως φορείς ορισμένων πρωτόζωων που παρασιτούν στο αίμα των ψαριών και μπορεί επίσης να διαδώσουν και νηματώδεις φιλάρια.

Κιρολανοειδή ισόποδα (Οικογένεια Cirolanidae) έχει επίσης αναφερθεί ότι μπορούν να προκαλέσουν θνησιμότητα σε ορισμένα ψάρια σε αιχμαλωσία, συμπεριλαμβανομένων των γιγαντόπερκων (*Lates calcacifer*) σε θαλάσσιους κλωβούς. Τα κιρολανοειδή δεν είναι παρασιτικά, επομένως οι μολύνσεις είναι πιθανό να προκύψουν μόνο όταν τα ψάρια έχουν υποστεί βλάβη από άλλους τραυματισμούς ή ασθένειες.

11.11.3 Κωπήποδα

Τα κωπήποδα, που και αυτά συνήθως ονομάζονται ψείρες των ψαριών, έχουν σημαντική οικονομική σημασία στην ιχθυοκαλλιέργεια θαλάσσιων και ψαριών γλυκού νερού. Τα κωπήποδα είναι μία από τις πιο ποικιλόμορφες ομάδες μεταζώων εξωπαρασίτων των ψαριών και επίσης μολύνουν ένα ευρύ φάσμα ασπόνδυλων. Είναι χαρακτηριστικά μικρού μεγέθους και δυσδιάκριτα αλλά είναι εξαιρετικά άφθονα. Μερικά κωπήποδα είναι μεσοπαράσιτα (εν μέρει βυθισμένα στον ξενιστή τους) με ειδικά τροποποιημένες δομές αγκίστρωσης (π.χ *Lernaea cyprinacea*), ενώ τα καλιγοειδή κωπήποδα έχουν έναν κεφαλοθώρακα που σχηματίζει μια ευρεία ασπίδα που ενεργεί όπως ένα καπάκι αναρρόφησης για να κρατηθεί η ψείρα επάνω στα ψάρια. Τα κωπήποδα έχουν ελεύθερα κολυμβητικά και παρασιτικά βιολογικά στάδια. Όταν συνδέονται με ψάρια ξενιστές τρέφονται με βλέννα, επιδερμικό ιστό και αίμα, και οι μολύνσεις που δεν αντιμετωπίζονται μπορεί να οδηγήσουν σε θάνατο τον ξενιστή, αυξημένη καταπόνηση, ανοσοκαταστολή, δευτερογενείς λοιμώξεις και αυξημένο κίνδυνο θήρευσης. Τα κωπήποδα μπορεί επίσης να είναι φορείς βακτηρίων και ιών, που πιθανώς

προέρχονται από την προσκόλληση και τη διατροφή τους από μολυσμένα ψάρια.

Η ψείρα της θάλασσας προκαλεί απώλειες πολλών εκατομμυρίων δολαρίων στη βιομηχανία εκτροφής σολομού παγκοσμίως. Είναι καλά προσαρμοσμένη σε δυνητικά χαμηλές πυκνότητες ξενιστών σε άγρια περιβάλλοντα και παρουσιάζουν υψηλή γονιμότητα και εξειδικευμένα στάδια διασποράς, σε περιοριστικά περιβάλλοντα αιχμαλωσίας με υψηλές ιχθυοπυκνότητες, όπου μπορούν να προκαλέσουν σοβαρές επιδημίες. Το πιο διαβόητο είδος, *Lepeophtheirus salmonis* έχει δύο μολυσματικά προνυμφικά στάδια (τα στάδια chalimus) τα οποία συνδέονται στα ψάρια χρησιμοποιώντας ένα μετωπικό νημάτιο. Αυτός ο τρόπος προσκόλλησης είναι απαραίτητος για τη διατήρηση της σύνδεσης με τον ξενιστή, διαφορετικά θα έπεφταν κατά τη διάρκεια των επόμενων εκδύσεων που θα οδηγήσουν στα στάδια των προ-ενηλίκων. Τα ενήλικα θηλυκά μπορούν να κάνουν έξι έως ένδεκα γεννιές σειρών αβγών σε ζεύγη που περιέχουν 300 έως 1000 αβγά, με δυνατότητα πολλαπλής πατρότητας σε έναν ενιαίο σάκο αβγών. Η ανάπτυξη των αβγών σχετίζεται στενά με τη θερμοκρασία του θαλάσσιου νερού, και είναι μεγαλύτερης διάρκειας σε ψυχρότερες θερμοκρασίες. Τα αβγά εκκολάπτονται ενώ είναι ακόμα συνδεδεμένα με το θηλυκό, απελευθερώνοντας ένα πλακτονικό στάδιο του κωπηποδίτη που τίθεται υπό την επήρεια της ταχύτητας και της κατεύθυνσης των ρευμάτων. Οι τοπικές επικρατούσες συνθήκες έχουν αντίκτυπο στο αν θα υπάρξει επαναμόλυνση της τοποθεσίας ή μόλυνση από γειτονικές εκμεταλλεύσεις. Στη Χιλή, ο σολομός του Ατλαντικού (*Salmo salar*) και η πέστροφα (*Oncorhynchus mykiss*) είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα στις μολύνσεις από καλιγοειδή κωπήποδα *Caligus rogercressyi* που εμφανίζονται φυσικά σε διάφορα αυτόχθονα θαλάσσια ψάρια που βρίσκονται κοντά στην εκτροφή. Τα θηλυκά παράσιτα παράγουν δύο σειρές αβγών που περιέχουν 29 αβγά το καθένα αλλά μπορούν να παράγουν μέχρι και 11 ζεύγη σειρών στη σύντομη διάρκεια ζωής τους που διαρκεί περίπου επτά μήνες.

Στις περισσότερες χώρες θεσπίστηκαν αυστηρά πρωτόκολλα ελέγχου των ψειρών για να μειωθεί η απελευθέρωση των προνυμφών της ψείρας του σολομού από τις εγκαταστάσεις υδατο-

καλλιέργειας στο περιβάλλον για την αποτροπή των αρνητικών επιπτώσεων στα άγρια μεταναστευτικά σολομοειδή και σε άλλες εκτροφές. Αυτό συνήθως περιλαμβάνει 'έναυσμα θεραπείας', όταν ένας ορισμένος αριθμός θηλυκών ψειρών σε ψάρια δικαιολογεί συγχρονισμένη αποψείρωση στην περιοχή. Το κόστος διαχείρισης των θαλάσσιων ψειρών στα σολομοειδή το 2013 ήταν 80 εκατομμύρια δολάρια σε φάρμακα. Ωστόσο, τα παράσιτα παρουσιάζουν αντοχή ή αναπτύσσουν ανθεκτικότητα ενάντια στις περισσότερες χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται. Αυτό συμβαίνει κυρίως λόγω περιορισμών στην αποτελεσματική δόση, επειδή οι θεραπείες δεν οδηγούν στο θάνατο του 100% των παρασίτων. Τα παράσιτα που επιβιώνουν των θεραπειών ανανήπτουν γρήγορα, δεδομένης της υψηλής γονιμότητας, των μικρών χρόνων γενεάς και της αποτελεσματικής διασποράς τους. Η βιομηχανία αρχίζει να αποδέχεται ότι η μάχη κατά της ανθεκτικότητας στα φάρμακα δεν μπορεί να κερδηθεί επειδή η ανάπτυξη φαρμάκων απαιτεί χρόνο και οι πληθυσμοί των παρασίτων ανανήπτουν πολύ γρήγορα. Υπάρχει πλέον έμφαση στην έρευνα για τον προσδιορισμό της εφικτότητας της ανάπτυξης εμβολίου κατά των θαλάσσιων ψειρών, μετά την ανάλυση του γονιδιώματος της ψείρας του σολομού (Torrisen et al., 2013). Εν τω μεταξύ, ορισμένες εκτροφές στη Σκωτία, στη Νορβηγία και στην Ιρλανδία χρησιμοποιούν ψάρια καθαριστές (Labridae και Cyclopteridae) ως μέσο βιολογικού ελέγχου, καθώς θα αφαιρέσουν και θα καταναλώνουν τις θαλάσσιες ψείρες από τους μολυσμένους σολομούς. Η επιτυχής χρήση ψαριών καθαριστών εξαρτάται από την παροχή άφθονων καταφυγίων και καθαρών κλωβών, καθώς τα ψάρια καθαριστές αναζητούν άμεσα εναλλακτικές πηγές τροφής εάν οι βιοαποθέσεις στα δίχτυα έχουν υπεραναπτυχθεί. Αρκετά εκατομμύρια άγριων ψαριών καθαριστών χρησιμοποιούνται ως συνήθης ρουτίνα στη Νορβηγία, αλλά τώρα υπάρχουν ερευνητικά προγράμματα πολλών εκατομμυρίων δολαρίων για την παραγωγή πιστοποιημένα ελευθέρων από ασθένειες Labridae για την προμήθεια των εκτροφών. Η χρήση ψαριών καθαριστών μειώνει ή αποτρέπει την ανάγκη χρήσης παρασιτοκτόνων και τα εκτρεφόμενα ψάρια μπορούν να συγκομιστούν χωρίς υπολείμματα φαρμάκων.

11.11.4 Ενδοβιοτικά Καβούρια

Τα ενδοβιοτικά καβούρια (pea crabs) είναι μικρά παρασιτικά καβούρια (Malacostraca: Pinnotheridae) που ζουν ως παράσιτα στην κοιλότητα του μανδύα των δίθυρων (π.χ. στρείδια, μύδια, αχιβάδες), στις αλιώτιδες, στο εσωτερικό των θαλάσσιων αχιών και στο ορθό των ολοθούριων (αγγούρι της θάλασσας). Τα ενδοβιοτικά καβούρια εξαρτώνται πλήρως από τον ξενιστή τους για καταφύγιο και τροφή. Τα ενήλικα θηλυκά ενδοβιοτικά καβούρια έχουν μαλακό εξωσκελετό και ωοειδές σχήμα με τα αβγά τους να είναι τοποθετημένα κάτω από τις κοιλίες τους, δίνοντάς τους μια σχεδόν σφαιρική, μπιζελομορφή εικόνα (γι αυτό καλούνται στα Αγγλικά pea crabs, μπιζελοειδή καβούρια). Τα ενήλικα αρσενικά έχουν έναν σκληρό, χιτινώδη εξωσκελετό και γενικά είναι μικρότερα από τα θηλυκά. Τα θηλυκά ενδοβιοτικά καβούρια περνούν ολόκληρη την ενήλικη ζωή τους σε ένα μόνο ξενιστή, ενώ τα ενήλικα αρσενικά θα εγκαταλείψουν τον ξενιστή τους προκειμένου να βρουν σύντροφο. Τα ενδοβιοτικά καβούρια πιθανώς χρησιμοποιούν ένα σύστημα εντοπισμού βασιζόμενο σε φερομόνες για τη μείωση των κινδύνων που σχετίζονται με την εύρεση της θέσης των θηλυκών. Τα αρσενικά ενδοβιοτικά καβούρια προσπαθούν να εισέλθουν σε ένα μύδι που φιλοξενεί ένα θηλυκό καβούρι χτυπώντας τον μανδύα του για να αυξηθεί το άνοιγμα των θυρών του οστράκου.

Τα ενδοβιοτικά καβούρια μπορούν να προκαλέ-

σουν προβλήματα στην οστρακοκαλλιέργεια μέσω μειωμένων ρυθμών ανάπτυξης και παραπόνων από τους καταναλωτές. Είναι ενδιαφέρον ότι η επικράτηση των στρογγυλών καβουριών στα μαργαριτοφόρα στρείδια μπορεί να φθάσει το 85%, χωρίς προφανή βλάβη στον ξενιστή. Αντίθετα, το ενδοβιοτικό καβούρι *Nepinnotheres novaezelandiae* μολύνει περίπου το 5% των εκτρεφόμενων μυδιών του είδους *Perna canaliculus*, στη Νέα Ζηλανδία, και προκαλεί μείωση κατά 30% της απόδοσης της σάρκας στα μολυσμένα άτομα που ισοδυναμεί σε εκτιμώμενη απώλεια 2,16 εκατομμυρίων δολαρίων ΗΠΑ ετησίως (Trottier et. al., 2012; **Εικόνα 11.20**). Δεν υπάρχουν γνωστές μέθοδοι πρόληψης για παρασιτώσεις από ενδοβιοτικά καβούρια, αν και η επικράτηση της μόλυνσης είναι υψηλότερη σε ρηχά νερά, γεγονός που υποδηλώνει ότι η μετακίνηση των οστρακοκαλλιεργειών σε βαθύτερα νερά θα μπορούσε να μειώσει τα περιστατικά μόλυνσης.

11.12 Ιχθυογενείς Ζωονοσογόνοι Παράγοντες και Υδατοκαλλιέργεια

Η ανθρώπινη επαφή και η κατανάλωση ψαριών και οστρακοειδών παρουσιάζει πιθανό κίνδυνο ασθενειών από βακτηριακά παθογόνα και μετάζωα παράσιτα. Από τον μεγάλο αριθμό παθογόνων και παρασίτων που μολύνουν τους οργανισμούς της



Εικόνα 11.20 Το ενδοβιοτικό καβούρι, *Nepinnotheres novaezelandiae*, μολύνει περίπου το 5% των εκτρεφόμενων μυδιών, *Perna canaliculus*, στη Νέα Ζηλανδία. Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από τον Dr. O. Trottier.

υδατοκαλλιέργειας, μόνο ορισμένα προκαλούν ασθένειες στον άνθρωπο. Παρόλα αυτά, η συχνότητα εμφάνισης των ιχθυογενών ζωνοδόσων αυξήθηκε τα τελευταία χρόνια λόγω της αυξημένης κατανάλωσης ωμών ή ημιψημένων ψαριών (π.χ. 'σούσι' και 'σασίμι'), της βελτίωσης της διάγνωσης, της ανάπτυξης της υδατοκαλλιέργειας και του διεθνούς εμπορίου θαλασσινών. Οι αρνητικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία από την κατάποση παθογόνων και παρασίτων μπορούν να προληφθούν με την κατάψυξη ή τη θέρμανση του μολυσμένου νωπού κρέατος. Πράγματι, η ισχύουσα νομοθεσία της Ευρωπαϊκής Ένωσης απαιτεί όλα τα αλιευτικά προϊόντα ψαριών ή κεφαλόποδων που προορίζονται να καταναλωθούν ακατέργαστα, πρέπει να καταψυχθούν πριν από την κατανάλωση. Αυτό περιλαμβάνει τα εν ψυχρώ καπνισμένα ψάρια όπου η διαδικασία κάπνισης δεν επιτυγχάνει θερμοκρασία στον πυρήνα του τροφίμου 60 °C για τουλάχιστον ένα λεπτό. Αυτή η ενότητα παρέχει μια σύντομη επισκόπηση των κύριων ζωνοδόσων του ανθρώπου, συμπεριλαμβανομένων των βακτηριακών και των μεταζωικών παρασίτων που συνδέονται με την αλιεία, την υδατοκαλλιέργεια και τα διακοσμητικά ενυδρεία. Για περισσότερες πληροφορίες, συμβουλευτείτε τις ανασκοπήσεις από τους Lima dos Santos and Howgate (2011) και από τον Gauthier (2015).

Υπάρχουν σημαντικά επιδημιολογικά και μοριακά δεδομένα που υποστηρίζουν την ταξινόμηση των βακτηριακών ειδών, *Clostridium botulinum* μέσω κατάποσης, και *Streptococcus iniae*, *Mycobacterium* spp. και *Vibrio vulnificus* μέσω ενοφθαλμισμού, ως ιχθυογενείς ζωνοδόσους (Gauthier, 2015). Μια ποικιλία άλλων βακτηρίων έχουν αναφερθεί ως δυνητικά ιχθυογενείς ζωνοτοικοί παράγοντες, αλλά τα δεδομένα είναι περιορισμένα και έχουν γίνει μόνο λίγες μοριακές γενετικές αναλύσεις για να συνδέσουν τα στελέχη από τα ψάρια και τον άνθρωπο. Το *Clostridium botulinum* που απαντάται στο έντερο θαλάσσιων και ψαριών γλυκού νερού σε διάφορα είδη παγκοσμίως, έχει μια ισχυρή παραλυτική νευροτοξίνη η οποία προκαλεί παράλυση στους ανθρώπους. Η νόσος στα ψάρια από το *C. botulinum* έχει αναφερθεί σε χωμάτινες λιμνοδεξαμενές καλλιέργειας σολομοειδών και γατόψαρων και η ανθρώπινη αλλαντίαση έχει συσχετιστεί με την κατανάλωση μο-

λυσμένων αλιευτικών προϊόντων, ιδιαίτερα τα καπνιστά ψάρια στις βόρειες εύκρατες περιοχές του κόσμου. Ο *Streptococcus iniae* έχει αναφερθεί σε μια ποικιλία ψαριών ξενιστών και έχει εμπλακεί σε κρούσματα με τη δερματική ασθένεια κυτταρίτιδα (cellulitis) που σχετίζονται με την επεξεργασία και το χειρισμό ωμών ή ζωντανών ψαριών στις Ηνωμένες Πολιτείες, τη Νοτιοανατολική Ασία, τον Καναδά και το Χονγκ Κονγκ. Παρομοίως τα είδη τους γένους *Mycobacterium* προκαλούν κοκκιωματώδη φλεγμονή του ανθρώπινου δέρματος, επίσης γνωστή ως 'δάκτυλο του ψαρά'. Η θεραπεία με αντιβιοτικά είναι γενικά αποτελεσματική για τα μυκοβακτήρια, αν και μπορεί να απαιτηθεί χειρουργική εκτομή των δερματικών αλλοιώσεων. Τα είδη του γένους *Vibrio* έχουν ευρεία κατανομή σε θαλάσσια περιβάλλοντα και σε περιβάλλοντα των εκβολών ποταμών και μπορούν να προκαλέσουν σοβαρές ασθένειες στα ψάρια. Το *Vibrio vulnificus* έχει αναφερθεί σε ανθρώπους που έχουν διαχειριστεί ψάρια, συμπεριλαμβανομένων των χελιών. Η μόλυνση συνδέεται με γαστρεντερίτιδα, σηψαιμία και λοιμώξεις πληγών και προκαλεί ιδιαίτερη ανησυχία λόγω των υψηλών ποσοστών θνησιμότητας (3,6%). Το *Vibrio cholera*, το οποίο παράγει την τοξίνη της χολέρας, έχει επίσης εμπλακεί σε κρούσματα ασθενειών στον άνθρωπο που σχετίζονται με την κατανάλωση οστρακοειδών και έχει αναφερθεί σε νερό που χρησιμοποιείται για τη διατήρηση ή τη μεταφορά διακοσμητικών ψαριών.

Τα πρωτόζωα των ψαριών δεν είναι γνωστό ότι είναι μολυσματικά για τον άνθρωπο, αλλά υπάρχουν αναδυόμενες ενδείξεις ότι τα είδη των μυξοζώων μπορούν να προκαλέσουν τροφική δηλητηρίαση. Από το έτος 2000, οι δυτικές περιοχές της Ιαπωνίας ανέφεραν μια τροφογενή ασθένεια που προκαλεί εμετό και διάρροια μέσα σε αρκετές ώρες μετά την κατανάλωση της ελαιόχρωμης χωματίδας (*Paralichthys olivaceus*), του τόνου (*Thunnus* spp.), ή του μαγιάτικου (*Seriola dumerili*). Τον Οκτώβριο του 2010, αναφέρθηκε μια ιδιαίτερα μεγάλη επιδημία σε άτομα που κατανάλωσαν σασίμι (λεπτές φέτες ωμού ψαριού) ελαιόχρωμης χωματίδας *Paralichthys olivaceus* που είχε εκτραφεί σε συστήματα υδατοκαλλιέργειας. Μικροσκοπική εξέταση αποκάλυψε ότι τα ψάρια είχαν μολυνθεί με *Kudoa septempunctata* στον μυ. Έκτοτε, άλλα άγρια και εκτρεφόμενα ψάρια που σχε-

τίζονται με περιπτώσεις τροφικής δηλητηρίασης εξετάστηκαν και επιβεβαιώθηκαν θετικά για είδη *Kudoa* παρέχοντας επιπρόσθετα στοιχεία ότι αυτά τα παράσιτα είναι η πιο πιθανή αιτία των επιδημιών της διάρροιας.

Η μόλυνση από κεστώδη που ανήκουν στο γένος *Diphyllobothrium* μπορεί να μεταδοθεί στους ανθρώπους με την κατανάλωση ωμών ή που δεν έχουν μαγειρευτεί αρκετά ψαριών γλυκού και θαλασσινού νερού. Τα περιστατικά ανθρώπινης μόλυνσης με *Diphyllobothrium* αυξάνονται σε αστικές περιοχές της Ιαπωνίας και Ευρωπαϊκών χωρών και πρόσφατες εκτιμήσεις δείχνουν ότι περίπου 20 εκατομμύρια άτομα μπορεί να επηρεαστούν. Τα άγρια σολομοειδή που φιλοξενούν την πληροκερκοειδή (plerocercoid) προνύμφη, φαίνεται να είναι οι κύριοι μεταδότες της ασθένειας, αν και προνύμφες των *Diphyllobothrium* έχουν επίσης αναφερθεί σε εκτρεφόμενα σολομοειδή σε διάφορες χώρες. Τα *Diphyllobothrium* χρησιμοποιούν τα ψάρια ως τον δεύτερο ενδιάμεσο ξενιστή τους και η μόλυνση του ανθρώπου είναι τυχαία, με τους φυσικούς τελικούς ξενιστές, να είναι τα πτηνά, οι αρκούδες, οι φώκιες, οι γάτες και οι σκύλοι. Το ενήλικο σκουλήκι προσκολλάται στον βλεννογόνο του ειλεού. Οι περισσότερες μολύνσεις είναι ασυμπτωματικές, αλλά κάποιες φορές συνδέονται με ναυτία, έμετο, κοιλιακό άλγος, διάρροια και απόρριψη του κύριου σώματος του παρασίτου, που μπορεί να είναι μέχρι και 12 μέτρα! Μια πρόσφατη αύξηση των κλινικών περιπτώσεων υπογραμμίζει μια μεταβολή στην επιδημιολογική τάση αυτής της ασθένειας από μια ασθένεια αγροτικών πληθυσμών σε μια ασθένεια αστικών πληθυσμών παγκοσμίως που καταναλώνουν θαλασσινά ως τμήμα μιας υγιεινής διατροφής.

Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (WHO) και ο Οργανισμός Τροφίμων και Γεωργίας των Ηνωμένων Εθνών (FAO) εκτιμούν ότι περισσότερα από 18 εκατομμύρια άτομα μολύνθηκαν με ιχθυογενή ζωνοτικά τρηματώδη το 2002. Η μόλυνση του ανθρώπου από τρηματώδη είναι ιδιαίτερα σημαντική στα αναπτυσσόμενα κράτη, όπου πολλοί άνθρωποι εξαρτώνται από τα ψάρια του γλυκού νερού ως κύρια πηγή πρωτεϊνών. Οι νηματώδεις σκώληκες του συκωτιού περιλαμβάνουν τρία παθογόνα είδη στην οικογένεια *Opisthorchiidae* συμπεριλαμβανομένου του *Clonorchis sinensis*, (ενδη-

μικό στην Ιαπωνία, την Κίνα, την Ταϊβάν και τη Νοτιοανατολική Ασία), του *Opisthorchis viverrini* (ενδημικό σε όλη την Ταϊλάνδη, τη Λαϊκή Δημοκρατία του Λάος, το Βιετνάμ και την Καμπότζη), και του *O. felineus* (κατανομή σε όλη την Ευρώπη). Ο βιολογικός κύκλος περιλαμβάνει ένα σαλιγκάρι του γλυκού νερού στο οποίο πραγματοποιείται αφυλετική αναπαραγωγή και ψάρια του γλυκού νερού (ιδιαίτερα οι κυπρίνοι) είναι οι ενδιάμεσοι ξενιστές. Τα ιχθυοφάγα θηλαστικά, συμπεριλαμβανομένων των ανθρώπων, των σκύλων και των γατών, δρουν ως τελικοί ξενιστές, στους οποίους λαμβάνει χώρα φυλετική αναπαραγωγή. Τα ενήλικα παράσιτα προσκολλώνται στον χολαγωγό στον άνθρωπο και μπορούν να οδηγήσουν σε απόφραξη όταν υπάρχουν υψηλοί αριθμοί τους. Το *O. viverrini* και το *C. sinensis* είναι ικανά να προκαλέσουν καρκίνο της χοληδόχου κύστης ή και των αγωγών της. Οι κακές πρακτικές υγιεινής και η ανεπαρκής υποδομή αποχέτευσης μπορούν να διευκολύνουν τη διάδοση των παρασιτικών αβγών με τα ανθρώπινα κόπρανα στις υδάτινες μάζες γλυκού νερού.

Η Ανισακίαση είναι μια ασθένεια που προκαλείται από τη μόλυνση με τις προνύμφες των ασκαριδοειδών νηματωδών των οποίων οι κανονικοί τελικοί ξενιστές είναι τα θαλάσσια θηλαστικά. Ψάρια του γλυκού και του θαλάσσιου νερού είναι οι δεύτεροι ενδιάμεσοι ξενιστές και για να αποκτήσουν τη μόλυνση πρέπει να καταναλώσουν μολυσμένο θήραμα. Ο κίνδυνος μόλυνσης από εκτρεφόμενα ψάρια μπορεί να μειωθεί ουσιαστικά με τη χρήση τροφής εξωθημένων συμπήκτων (pellet). Επιπλέον, ο εκσπλαγχνισμός των ψαριών αμέσως μετά τη σύλληψή τους φέρεται ότι προλαμβάνει τη μετανάστευση των νηματωδών παρασίτων στους μύες. Η ασθένεια αυτή τη στιγμή επηρεάζει πάνω από 2000 ανθρώπους ετησίως παγκοσμίως, με τις περισσότερες περιπτώσεις να σημειώνονται στην Ιαπωνία και σποραδικές περιπτώσεις στα περισσότερα άλλα μέρη του κόσμου. Τα σκουλήκια μπορούν να επιβιώσουν μόνο για περιορισμένο χρονικό διάστημα στον γαστρεντερική αυλό των ανθρώπων μετά από την κατάποση. Οι οξείες γαστρικές μολύνσεις εκδηλώνονται με γαστρικό πόνο, ναυτία και έμετο μέσα σε λίγες ώρες από την κατανάλωση ακατέργαστων μολυσμένων θαλασσινών. Σε χρόνιες περιπτώσεις αυτό μπορεί να διαρκέσει από αρκετές εβδομάδες έως δύο έτη. Η

εμφάνιση της εντερικής ανισακίας εμφανίζεται εντός επτά ημερών μετά την κατάποση με έντονο πόνο στην κάτω κοιλία, ναυτία και έμετο. Η απομάκρυνση των σκουληκιών με γαστροσκόπιο χρησιμοποιείται για οξείες λοιμώξεις, αλλά μπορεί να απαιτηθεί και μερική εκτομή σε χρόνιες λοιμώξεις.

11.13 Υδροπονία

Τα φυτά που αναπτύσσονται στο πλαίσιο συστημάτων υδροπονίας υπόκεινται στα ίδια παράσιτα και ασθένειες που πλήττουν τα κλασικά καλλιεργούμενα φυτά, παρόλο που είναι λιγότερο ευαίσθητα σε παράγοντες που προέρχονται από το έδαφος. Τα φυτά μπορούν να απορροφήσουν και να συγκεντρώσουν τις χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται για τη θεραπεία των παρασίτων και των μολυσματικών ασθενειών των ψαριών και των ασπόνδυλων που διατηρούνται σε συστήματα επανακυκλοφορίας του νερού, και έτσι θα πρέπει να αποφεύγονται. Θα πρέπει επίσης να ληφθεί υπόψη ότι το αλμυρό νερό, το οποίο χρησιμοποιείται συνήθως για τη θεραπεία των παρασιτικών ασθενειών των ψαριών του γλυκού νερού, είναι θανατηφόρο για τα φυτά. Υπάρχουν διάφορες εναλλακτικές προσεγγίσεις για τη μείωση των παρασίτων και των ασθενειών των φυτών, συμπεριλαμβανομένων των βιολογικών ελέγχων, των ποικιλιών που είναι ανθεκτικές στις ασθένειες, των φραγμών, των παγίδων και της διαχείρισης του περιβάλλοντος.

11.14 Περίληψη

- Οι ιογενείς επιδημίες προκαλούν σημαντική θνησιμότητα και σημαντικές οικονομικές επιπτώσεις στις επιχειρήσεις υδατοκαλλιέργειας. Οι επιδημίες έχουν επηρεάσει δραματικά την υδατοκαλλιέργεια για εμπορικούς σκοπούς και για την ενίσχυση των φυσικών αποθεμάτων λόγω των μεγάλων απωλειών και/ή των κανονιστικών απαιτήσεων που επιβάλλουν την εξολόθρευση των ιχθύων που έχουν μολυνθεί από συγκεκριμένους ιούς που μας αφορούν. Ανακαλύπτονται και χαρακτηρίζονται συνεχώς νέα και αναδυόμενα ιικά παθογόνα των υδρόβιων ειδών και είναι κρίσιμο οι επιχειρήσεις υδατοκαλλιέργειας να αναπτύσσουν και να τηρούν αυστηρές πρακτικές βιοασφάλειας προκειμένου να ελαχιστοποιήσουν τον κίνδυνο εμφάνισης των ιογενών επιδημιών.
- Οι βακτηριακές ασθένειες προκαλούν σημαντικές οικονομικές επιπτώσεις λόγω της θνησιμότητας ή των αποδόσεων των ψαριών που επιβιώνουν από ένα ξέσπασμα. Η πλειονότητα των βακτηριακών ασθενειών στην υδατοκαλλιέργεια προκαλείται από Gram-αρνητικά βακτήρια. Ωστόσο, ορισμένες μολύνσεις με Gram-θετικά βακτήρια έχουν σημαντικό αντίκτυπο. Οι μελλοντικές μέθοδοι ελέγχου θα πρέπει να βασίζονται σε εμβόλια και άλλες μη αντιβιοτικές μεθόδους, οι οποίες θα απαιτήσουν σημαντικές ερευνητικές επενδύσεις για την αντιμετώπιση των προκλήσεων που σχετίζονται με την ανάπτυξη εμβολίων στην υδατοκαλλιέργεια.
- Τα πρωτόζωα είναι από τα σημαντικότερα παρασιτικά προβλήματα στις βιομηχανίες υδατοκαλλιέργειας διθύρων και ψαριών. Αποτελούν μια ποικιλόμορφη ομάδα μονοκύτταρων ευκαρυωτικών οργανισμών, πολλοί από τους οποίους είναι κινητικοί. Ορισμένα παρασιτικά πρωτόζωα έχουν βιολογικούς κύκλους που εναλλάσσονται μεταξύ πολλαπλασιαστικών σταδίων και αδρανοποιημένων κύστεων, οι οποίες μπορούν να επιβιώσουν σε αντίξοες συνθήκες. Προς το παρόν δεν υπάρχουν εμπορικά διαθέσιμα εμβόλια για κανένα παρασιτικό πρωτόζωο των ψαριών.
- Τα παρασιτικά μετάζωα είναι εξαιρετικά ποικιλόμορφα, χρησιμοποιώντας διάφορες οδούς εισβολής. Τα είδη με άμεσους βιολογικούς κύκλους παρατηρούνται συχνότερα στην υδατοκαλλιέργεια αν και όπου τα περιβάλλοντα εκτροφής παρέχουν κατάλληλο περιβάλλον για τους ενδιάμεσους ξενιστές, τα παράσιτα με σύνθετους βιολογικούς κύκλους μπορεί να είναι κοινά. Η πιο επιτυχημένη στρατηγική για τη μείωση των παρασιτικών μολύνσεων από μετάζωα είναι να σπάσει ο βιολογικός τους κύκλος μέσω στρατηγικά χρονομετρημένων θεραπειών.
- Τα παράσιτα μπορούν να χρησιμεύσουν ως φορέας για άλλα παθογόνα και παράσιτα όπως τα

βακτήρια και οι ιοί. Αυτό συμβαίνει συνήθως στα παράσιτα που τρέφονται με αίμα, όπως οι βδέλλες και τα καρκινοειδή, τα οποία μπορεί να έχουν την ικανότητα να μολύνουν πολλούς μεμονωμένους ξενιστές κατά τη διάρκεια της ζωής τους και να διευκολύνουν τη διάδοση της νόσου.

- Η ανθρώπινη επαφή και η κατανάλωση ψαριών

και οστρακοειδών παρουσιάζει πιθανό κίνδυνο εμφάνισης ασθενειών από βακτηριακά παθογόνα και παρασιτικά μετάζωα. Τα περιστατικά ιχθυογενών ζωνόσων έχουν αυξηθεί τα τελευταία χρόνια. Οι αρνητικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία από την κατάποση μπορούν να προληφθούν με την κατάψυξη ή τη θέρμανση μολυσμένου νωπού κρέατος.

Βιβλιογραφία

- Bandilla, M., Hakalahti, T., Hudson, P.J. and Valtonen, E.T. (2005). Aggregation of *Argulus coregoni* (Crustacea: Branchiura) on rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): a consequence of host susceptibility or exposure? *Parasitology*, **130**, 169–76.
- Bridle, A.R., Koop, B.F. and Nowak, B.F. (2012). Identification of surrogates of protection against yersiniosis in immersion vaccinated Atlantic salmon. *PLoS ONE*, **7**, e40841. doi: 10.1371/journal.pone.0040841. Epub.
- Cain, K.D. and Polinski, M.P. (2014). Infectious diseases of Cain, K.D. and Polinski, M.P. coldwater fish in fresh water. In: *Diseases and Disorders of Finfish in Cage Culture*. 2nd ed. Eds Woo and Bruno CABI, Boston, MA 342 pp.
- Colorni, A., and Diamant, A. (2014). Infectious diseases of warmwater fish in marine and brackish waters. In: *Diseases and Disorders of Finfish in Cage Culture*. 2nd ed. Eds. Woo and Bruno. CABI, Boston, MA 342 pp.
- Crane, M. and Hyatt, A. (2011). Viruses of Fish: An Overview of Significant Pathogens. *Viruses*, **3**, 2025–463.
- Cribb, T.H., Adlard, R.D., Hayward, C.J., Bott, N.J., Ellis, D., Evans, D. and Nowak, B.F. (2011). The life cycle of *Cardicola forsteri* (Trematoda: Aporocotylidae), a pathogen of ranches southern bluefin tuna, *Thunnus maccoyi*. *International Journal for Parasitology*, **41**, 861–870.
- Gauthier, D.T. (2015). Bacterial zoonoses of fishes: a review and appraisal of evidence for linkages between fish and human infections. *The Veterinary Journal*, **203**, 27–35.
- Johnson, B.O. and Jensen, A.J. (1991). The Gyrodactylus story in Norway. *Aquaculture*, **98**, 289–302.
- Kearn, G.C. (2004). *Leeches, live and lampreys*. Springer Publishing, The Netherlands 423 pp.
- Kurath G. (2012). Fish novirhabdoviruses. In: Dietzgen RG, Kuzmin IV (eds) *Rhabdoviruses: molecular taxonomy, evolution, genomics, ecology, host-vector interactions cytopathology and control*. Caister Academic Press, Wymondham, p. 89–116.
- Lefebvre, F., Wielgoss, S., Nagasawa, K. and Moravec, F. (2012). On the origin of *Anguillicoloides crassus*, the invasive nematode of anguillid eels. *Aquatic Invasions*, **7**, 443–453.
- Lima dos Santos, C.A.M. and Howgate, P. (2011). Fish-borne zoonotic parasites and aquaculture: a review. *Aquaculture*, **318**, 253–261.
- Lima, P.C., Taylor, R.S. and Cook, M. (2015). Involvement of contractile vacuoles in the osmoregulation process of the marine parasitic amoeba *Neoparamoeba perurans*. *Journal of Fish Diseases*, **39**, 629–637.
- Shinn, A.P., Pratoomyot, J., Bron, J.E., Paladini, G., Brooker, E.E. and Brooker, A.J. (2015). Economic costs of protistan and metazoan parasites to global mariculture. *Parasitology*, **142**, 196–270.
- Torrisen, O., Jones, S., Asche, F., Guttormsen, A., Skilbrei, O.T., Nilsen, F., Horsberg, T.E. and Jackson, D. (2013). Salmon lice – impact on wild salmonids and salmon aquaculture. *Journal of Fish Diseases*, **36**, 171–194.
- Trottier, O., Walker, D. and Jeffs, A.G. (2012). Impact of the parasitic pea crab *Pinnotheres novaezealandiae* on aquacultured New Zealand green-lipped mussels, *Perna canaliculus*. *Aquaculture*, **344–349**, 23–28.
- Whittington, R.J., Becker, J.A. and Dennis, M.M. (2010). Iridovirus infections in finfish – critical review with emphasis on ranaviruses. *Journal of Fish Diseases*, **33**, 95–122.

12

Πρόληψη Ασθενειών με Εμβολιασμό

Andrew Barnes

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

12.1	Εισαγωγή, 369	12.8	Διαδικασία Έρευνας και Ανάπτυξης Εμπορικών Εμβολίων Ψαριών, 396
12.2	Οδηγός για Αρχάριους στην Ανοσολογία Ψαριών, 371	12.9	Μελλοντικές Τάσεις: Ο Εμβολιασμός στην Εποχή της Γονιδιωματικής, 398
12.3	Εμβολιασμός των Ψαριών, 385	12.10	Συμπεράσματα, 399
12.4	Τύποι Εμβολίων, 386	12.11	Περίληψη, 400
12.5	Οδοί Χορήγησης, 391		Βιβλιογραφία, 401
12.6	Ανοσοενισχυτικά, 394		
12.7	Εμβολιασμός στην Πράξη, 395		

12.1 Εισαγωγή

12.1.1 Πρόλογος

Είναι δύσκολο να γράψει κανείς για έναν τομέα τόσο περίπλοκο όσο η ανοσολογία και η μολυσματική νόσος, με έναν τρόπο που να είναι κατανοητός για ένα πολύ διαφορετικό, γενικά μορφωμένο κοινό, όπως οι αναγνώστες αυτού του βιβλίου υδατοκαλλιέργειας. Το 1950, ο συνθέτης Roger Sessions έγραψε στους *New York Times* «Θυμάμαι μια παρατήρηση του Albert Einstein, η οποία σίγουρα ισχύει για τη μουσική. Είπε, στην πραγματικότητα, όλα θα πρέπει να είναι όσο πιο απλά μπορούν, αλλά όχι απλούστερα». Νομίζω ότι αυτή η φράση ισχύει εξίσου καλά σε αυτό το κεφάλαιο και σχεδόν σίγουρα έκανα την προηγούμενη έκδοση απλούστερη σε βάρος της συνολικής ακρίβειας. Προσπάθησα να το διορθώσω σε αυτήν την αναθεωρημένη έκδοση βελτιώνοντας την συνολική ακρίβεια μέσω της αύξησης των σημαντικών λεπτομερειών χωρίς να θυσιάσω τη σαφήνεια. Για το σκοπό αυτό, το δόμησα ως συνοπτική αφήγηση στο κύριο σώμα του κειμένου, με σημαντικές λεπτομέρειες να εξηγούνται περαιτέρω σε ξεχωρι-

στά πλαίσια και εικόνες. Με αυτό τον τρόπο, ο αναγνώστης θα πρέπει να είναι σε θέση να παρακολουθεί τη λογική ροή της απόκρισης στο εμβόλιο, ενώ θα συμπληρώνει τις απαραίτητες λεπτομέρειες από τα πλαίσια και από τις παραπομπές σε πιο αναλυτικές ανασκοπήσεις. Έχουν σημειωθεί πολλές σημαντικές πρόοδοι στην ανοσολογία των ψαριών και στον εμβολιασμό τους από την προηγούμενη έκδοση αυτού του βιβλίου. Ελπίζω ότι αυτό το αναθεωρημένο κεφάλαιο θα εμπνεύσει τους αναγνώστες να μελετήσουν περαιτέρω αυτόν τον ταχέως αναπτυσσόμενο εφαρμοσμένο τομέα που έχει συμβάλει στην επίτευξη της βιώσιμης ανάπτυξης της υδατοκαλλιέργειας.

12.1.2 Ορισμός του Εμβολίου

Όλοι γνωρίζουμε την έννοια της ανοσοποίησης μέσω των εμβολίων που λαμβάνουμε στην παιδική μας ηλικία. Μας προστατεύουν από μια σειρά μολυσματικών ασθενειών που κάποτε ήταν δεδομένες και συχνά θανατηφόρες πριν από την εισαγωγή μαζικών προγραμμάτων εμβολιασμού. Πράγματι, οι μόνες ασθένειες που εξαλείφθηκαν

πλήρως στην ανθρώπινη ιστορία, η ευλογία και η πανώλη των βοοειδών, παρεμποδίστηκαν μέσω αυστηρών προγραμμάτων εμβολιασμού στον άνθρωπο και στα βοοειδή, αντίστοιχα. Υπάρχει ένας συγκεκριμένος λυρισμός για την εξάλειψη μιας νόσου στα βοοειδή με τον εμβολιασμό: Η Αγγλική λέξη για το εμβόλιο (vaccine) προέρχεται από το λατινικό *vacca*, που σημαίνει αγελάδα, και ένα εμβόλιο, αυστηρά γλωσσολογικά, είναι ένας ιός της ευλογιάς των βοοειδών ή η λέμφος που το περιέχει. Αυτό βασίζεται στις επιτυχείς προσπάθειες του Edward Jenner για την πρόληψη της μόλυνσης του ανθρώπου από την ευλογία με τη χορήγηση του στενά συνδεδεμένου ιού της ευλογιάς των βοοειδών. Ο όρος εμβόλιο (vaccine) χρησιμοποιείται πλέον γενικότερα για να ορίσει οποιοδήποτε παρασκεύασμα χρησιμοποιείται για να προσδώσει ανοσία σε μια ασθένεια, με εμβολιασμό, και η αρχή βασίζεται στον αποδέκτη που έχει ένα προσαρμοστικό ανοσοποιητικό σύστημα, το οποίο προκαλεί μια απόκριση στα συστατικά του εμβολίου που έχει ως αποτέλεσμα τη μνήμη αυτών των συστατικών. Το ανοσοποιητικό σύστημα του εμβολιασμένου ατόμου, είναι στη συνέχεια σε θέση να ανταποκρίνεται πιο γρήγορα και να ενεργοποιεί προστατευτικά δραστικά συστήματα με μεγαλύτερη έκταση σε επακόλουθες επαφές με συστατικά με τα ίδια μοτίβα ή δομές.

12.1.3 Ιστορία των Εμβολίων των Ψαριών

Ο εμβολιασμός των ψαριών έχει μια εκπληκτικά μεγάλη ιστορία, με την αναφορά επιτυχούς ειδικής προστατευτικής ανοσίας στην πέστροφα κατά της δοθιήνωσης στις ΗΠΑ που προκαλείται από το '*Bacterium salmonicida*' (*Aeromonas salmonicida*) ήδη από το 1942 (Duff, 1942). Περαιτέρω πρώιμες πρόοδοι με εμβόλια κατά των βακτηριακών ασθενειών σε ψάρια έγιναν στη δεκαετία του 1960 και του 1970 όταν χρησιμοποιήθηκαν αδρανοποιημένα βακτηριακά παρασκευάσματα για τον έλεγχο της Υερσινίωσης στην εκτρεφόμενη πέστροφα στις ΗΠΑ για την ενίσχυση της ερασιτεχνικής αλιείας (Busch, 1978; Ross and Klontz, 1965; Stevenson, 1997). Πράγματι, το πρώτο εμπορικό εμβόλιο για ψάρια παρουσιάστηκε το 1976 από την εταιρεία Wildlife Vaccines Inc, με έδρα το Κολοράντο, με άδεια του Οργανισμού Φαρμά-

κων των Η.Π.Α. (USDA) για τη χρήση εμβολίων κατά του *Y. ruckeri* και του *Vibrio anguillarum*. Τα προγράμματα μαζικών εμβολιασμών κατά των βακτηριακών ασθενειών ακολούθησαν την ταχεία επέκταση της εντατικής βιομηχανίας εκτροφής του σολομού του Ατλαντικού στη Νορβηγία και τη Σκωτία. Τα εμβόλια κατά της δονακίωσης στα τέλη της δεκαετίας του 1980 και στις αρχές της δεκαετίας του 1990 στη Νορβηγία και τη Σκωτία ακολούθηθηκαν στα μέσα της δεκαετίας του '90 από αποτελεσματικά εμβόλια κατά της δοθιήνωσης που προκαλείται από το *A. salmonicida* και της χειμερινής θνησιμότητας που προκαλείται από το *Moritella viscosa*. Ο επιτυχημένος έλεγχος αυτών των βακτηριακών ασθενειών μέσω του εμβολιασμού έφερε επανάσταση στον τομέα εκτροφής του σολομού του Ατλαντικού και ανέδειξε έναν πλούτο έρευνας και ανάπτυξης στον τομέα της ανοσολογίας των ψαριών, της παθολογίας και του εμβολιασμού.

Ίσως η πιο σημαντική ένδειξη της επιτυχίας του προγράμματος εμβολιασμού είναι η μείωση της χρήσης χημικών στη βιομηχανία του σολομού του Ατλαντικού: Το Νορβηγικό Γραφείο Στατιστικής (Statistisk Sentralbyrå) διατηρεί άριστα αρχεία για τη χρήση αντιβιοτικών που καταδεικνύουν την αξιοσημείωτη επίδραση της έλευσης των βακτηριακών εμβολίων στη χρήση χημικών στη υδατοκαλλιέργεια σολομοειδών στη Νορβηγία. Κατά την περίοδο μεταξύ της κορύφωσης της εποχής της δοθιήνωσης το 1987 και των στατιστικών που κυκλοφόρησαν για το 2003, η κατανάλωση αντιβιοτικών από τη βιομηχανία μειώθηκε κατά 98%. Επί του παρόντος, η μέση χρήση αντιβιοτικών είναι μικρότερη από 0,001 g/kg παραγόμενου σολομού, έναντι 0,9 g/kg το 1987. Το μεγαλύτερο μέρος αυτής της μείωσης σημειώθηκε μεταξύ του 1987 και του 1994 και αντικατοπτρίζει ευθέως την εισαγωγή γαλακτοποιημένων ενέσιμων εμβολίων κατά της χειμερινής θνησιμότητας και της δοθιήνωσης, σε συνδυασμό με τις βελτιωμένες τεχνικές εκτροφής που εφαρμόζουν οι καλλιεργητές για να εξασφαλίσουν την επιτυχία των προγραμμάτων εμβολιασμού (Grave et al., 1999; Sommerset et al., 2005). Αυτό αντιπροσωπεύει όχι μόνο μια εκπληκτική μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και έναν πολύ μειωμένο δυνητικό κίνδυνο για τη δημόσια υγεία, που οφείλεται στη διατήρηση των

καθοριστικών παραγόντων της αντιβιοτικής αντοχής στο υδάτινο περιβάλλον (Gordon et al., 2006), αλλά και μια πιο οικονομικά βιώσιμη βιομηχανία. Πολλές βακτηριακές ασθένειες των ψαριών προλαμβάνονται πλέον επιτυχώς μέσω του εμβολιασμού.

Το πρώτο ερώτημα που μου τίθεται όταν οι άνθρωποι ανακαλύπτουν ότι έχω εργαστεί στην βιομηχανία εμβολίων υδατοκαλλιέργειας εδώ και σχεδόν 30 χρόνια είναι: «Κάνεις πραγματικά ένεση σε κάθε ψάρι;». Η απάντηση είναι ναι, αλλά για να κατανοήσουμε γιατί τα ενέσιμα εμβόλια είναι τόσο αποτελεσματικά, ενώ άλλοι τρόποι χορήγησης είναι γενικά λιγότερο αποτελεσματικοί, πρέπει να εξετάσουμε τις διαδικασίες που εμπλέκονται σε μια αποτελεσματική, μακροπρόθεσμη (διάρκεια ζωής του ψαριού) αντίδραση στον εμβολιασμό από τα ψάρια. Με άλλα λόγια, χρειαζόμαστε μια κατανόηση της ανοσολογίας των ψαριών.

12.2 Οδηγός για Αρχάριους στην Ανοσολογία Ψαριών

Η ανοσολογία είναι ένα συναρπαστικό και πολύπλοκο πεδίο μελέτης και υπάρχουν εξαιρετικά εγχειρίδια που καλύπτουν λεπτομερώς την ανοσολογία των θηλαστικών και του ανθρώπου (Murphy, 2011; Roitt et al., 2001). Η ανοσολογία των ψαριών είναι λίγο διαφορετική από την ανοσολογία του ανθρώπου και των θηλαστικών και περιπλέκεται περαιτέρω από τη μεγάλη ποικιλία των τελεόστων ιχθύων. Στην πραγματικότητα, τα ψάρια είναι η πιο ποικιλόμορφη υφιστάμενη υπερκλάση των σπονδυλωτών με περισσότερα από 26.000 αρτίγονα είδη (σε σύγκριση με περίπου 5000 είδη θηλαστικών) και, ενώ τα ψάρια μοιράζονται πολλές από τις βασικές ανοσολογικές διεργασίες και πολλούς υποδοχείς, κοινές/κοινοί σε όλα τα γναθοστόματα (σπονδυλωτά που φέρουν γνάθους) (Flajnik and Du Pasquier, 2004), υπάρχουν κρίσιμες διαφορές που συνάδουν με την απόκλιση των ψαριών από άλλες γενεαλογικές σειρές σπονδυλωτών πριν από περισσότερα από 400 εκατομμύρια έτη (Magadan et al., 2015). Τα ψάρια είναι η πιο πρωτόγονη υπερκλάση ζώων που έχουν αναπτύξει ειδική προσαρμοστική ανοσολογική μνήμη που βασίζεται σε υποδοχείς ανοσοσφαιρίνης (μοιάζει με

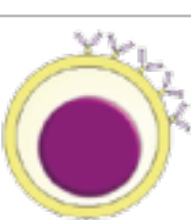
αντίσωμα) και εξειδικευμένους πληθυσμούς κυττάρων που ονομάζονται λευκοκύτταρα (**Πίνακας 12.1**). Υπάρχουν μερικές εξαιρετικές πρόσφατες ανασκοπήσεις που περιγράφουν τα βασικά χαρακτηριστικά της ανοσίας στα ψάρια και πως αυτά ταιριάζουν σε ένα εξελικτικό γενικό πλαίσιο (Fillatreau et al., 2013; Magadan et al., 2015; Sunyer, 2012; 2013). Για τους σκοπούς του παρόντος κεφαλαίου, ωστόσο, θα επικεντρωθούμε στις πτυχές του ανοσοποιητικού συστήματος που μπορούμε να εκμεταλλευτούμε μέσω του εμβολιασμού και σε αυτό που κάνει το ανοσοποιητικό σύστημα των ψαριών διαφορετικό από τα θηλαστικά, καθώς σχετίζεται με την επιτυχή εφαρμογή του εμβολιασμού στα εκτρεφόμενα ψάρια. Η ανοσολογία σε αυτό το κεφάλαιο πρέπει επομένως να θεωρηθεί ως εισαγωγή (δηλ. ατελής) και έχει γραφτεί ως μία επισκόπηση για όσους εργάζονται στον ευρύτερο τομέα της υγείας των ψαριών και ως βάση για περαιτέρω ανάγνωση για όσους επιθυμούν να μελετήσουν το πεδίο σε βάθος. Για να μπορέσουμε να αξιοποιήσουμε στο έπακρο αυτό το εισαγωγικό εφαρμοσμένο ανοσολογικό κείμενο, έχω δώσει έναν πίνακα ορισμών για ορισμένους από τους ειδικούς όρους που χρησιμοποιούνται σε αυτό το κεφάλαιο (**Πίνακας 12.1**) και για τα κύτταρα του ανοσοποιητικού συστήματος στα οποία θα επικεντρωθούμε (**Εικόνα 12.1**).

12.2.1 Ποιες είναι οι Κυτταρικές Διεργασίες που Εμπλέκονται στην Αντίδραση στον Εμβολιασμό;

Στις φωτογραφίες στις **Εικόνες 12.2** και **12.3**, οι γιγαντόπερκες (*Lates calcarifer*), εμβολιάζονται με ενδοπεριτοναϊκή έγχυση (IP) μιας μικρής δόσης (συνήθως 50-100 μ L) αδρανοποιημένων βακτηριών που έχουν γαλακτωματοποιηθεί σε έλαιο. Τι συμβαίνει όταν το γαλάκτωμα των αδρανοποιημένων βακτηριακών κυττάρων φτάνει στο περιτόναιο των ψαριών; Ας το μελετήσουμε σε ένα μοντέλο στην **Εικόνα 12.4**, στην οποία παρατηρούμε μια σχηματική αναπαράσταση ενός ψαριού (ενός νεαρού σολομού σε αυτή τη περίπτωση) που απεικονίζει τους κύριους ιστούς του ανοσοποιητικού και την ανάπτυξη προσαρμοστικής ανοσίας (adaptive immunity) μετά τον εμβολιασμό. Τα πρώτα κύτταρα που ανταποκρίνονται εί-

Πίνακας 12.1 Οδηγός γρήγορης αναφοράς στους ανοσολογικούς όρους.

ΟΡΟΣ	ΟΡΙΣΜΟΣ
Αντίσωμα	Διαλυτό μόριο ανοσοσφαιρίνης σχήματος Y με μία υπερμεταβλητή περιοχή σύνδεσης με το αντιγόνο (F_{ab}) και μία σταθερή (F_c) περιοχή που διατηρείται εντός, αλλά είναι διαφορετική, μεταξύ ισοτύπων (Βλ. Πλαίσιο 12.3).
Αντιγόνο	Οποιοδήποτε μόριο ή τμήμα μορίου που μπορεί να συνδεθεί με αντίσωμα ή με Κύριο Σύμπλεγμα Ιστοσυμβατότητας (MHC).
Εκθεση αντιγόνου	Μετατόπιση αντιγόνων στην κυτταρική επιφάνεια για αξιολόγηση μέσω των T-λεμφοκυττάρων που περιπολούν.
Χημοκίνη	Χημικό σήμα που απελευθερώνεται κατά τη διάρκεια της φλεγμονής , το οποίο δρα για την προσέλκυση βασικών κυττάρων του ανοσοποιητικού συστήματος στο σημείο της μόλυνσης με χημειοταξία τα οποία ακολουθούν την αύξηση της συγκέντρωσης της χημοκίνης.
Κυτοκίνη	Χημικό σήμα που απελευθερώνεται από τα κύτταρα κατά τη διάρκεια της φλεγμονής και επιδρά σε άλλα κύτταρα (ή μπορεί να είναι αυτοδραστικό) προκαλώντας τα να ανταποκριθούν. Η σηματοδότηση μέσω κυτοκίνης είναι κρίσιμη για την έναρξη, τη συστηματική διασπορά και την ενίσχυση της ανοσοαπόκρισης.
Επίτοπος	Τα αντιγόνα αποτελούνται από έναν ή περισσότερους επίτοπους. Αυτά είναι μοριακά πρότυπα που αναγνωρίζονται από συμπληρωματικούς παράτοπους στο μόριο του Κύριου Συμπλέγματος Ιστοσυμβατότητας (MHC), στους Υποδοχείς Κυττάρων (TCR) ή στο μόριο του αντισώματος.
Ανοσογόνο	Οποιοδήποτε μόριο μπορεί να προκαλέσει μια προσαρμοστική ανοσοαπόκριση από μόνο του και έχει χρησιμοποιηθεί εναλλακτικά με τον όρο αντιγόνο σε όλη τη βιβλιογραφία. Ωστόσο, ένα ανοσογόνο είναι πάντα ένα αντιγόνο , αλλά ένα αντιγόνο μπορεί να μην είναι αναγκαστικά ανοσογόνο, καθώς είναι δυνατόν για τα αντιγόνα να μην επάγουν προσαρμοστική ανοσία.
Ανοσοσφαιρίνη (Ig)	Εξελικτικά διατηρημένη υπεροικογένεια πρωτεϊνών που περιέχουν τουλάχιστον μία πτυχή ή περιοχή ανοσοσφαιρίνης. Η αναδιπλωμένη δομή σταθεροποιείται με δισουλφιδικές γέφυρες και είναι κεντρική στην ικανότητα των μορίων οικογένειας Ig να συνδέεται ειδικά με αντιγόνα και υποδοχείς.
Φλεγμονή	Είναι κρίσιμη για την έμφυτη ανοσοαπόκριση, μια διαδικασία που έλκει τα υγρά και τα ανοσοκύτταρα στο σημείο της μόλυνσης (βλ. Πλαίσιο 12.2).
Λευκοκύτταρα	Κοινώς γνωστά ως 'λευκά αιμοσφαίρια'. Αυτά τα κύτταρα του ανοσοποιητικού συστήματος προέρχονται από τις μυελοειδείς και λεμφοειδείς κυτταρικές σειρές. Οι λεμφοειδείς περιλαμβάνουν B-κύτταρα, T-κύτταρα και φυσικά κύτταρα δολοφόνους (NK). Η μυελοειδής σειρά περιλαμβάνει τα κοκκιοκύτταρα που περιλαμβάνουν τα ουδετερόφιλα (φαγοκυτταρικά), τα βασεόφιλα και τα ηωσινόφιλα που ρυθμίζουν τη φλεγμονή. Τα μυελοειδή κύτταρα χωρίς κοκκία περιλαμβάνουν τα μονοκύτταρα και τα παράγωγά τους, μακροφάγα και δενδριτικά κύτταρα.
Κύριο Σύμπλεγμα Ιστοσυμβατότητας (MHC)	Τύπου ανοσοσφαιρίνης Ig υπεροικογένεια πρωτεϊνών κρίσιμες για την παρουσίαση του αντιγόνου . Η τάξη I του MHC βρίσκεται σε σχεδόν κάθε κύτταρο και παρουσιάζει επίτοπους πρωτεΐνης, που συντίθενται εντός του κυττάρου, στην επιφάνεια, όπου αυτά αξιολογούνται από $CD8+$ T-λεμφοκύτταρα. Οι 'κανονικές' πρωτεΐνες αγνοούνται. Οι μη φυσιολογικές πρωτεΐνες (π.χ. από ιούς) ενεργοποιούν το λεμφοκύτταρο και σκοτώνουν το μη φυσιολογικό κύτταρο. Η τάξη II του MHC βρίσκεται μόνο σε κύτταρα που παρουσιάζουν αντιγόνο (δενδριτικά κύτταρα, B-λεμφοκύτταρα και πιθανώς μακροφάγα). Τα αντιγόνα που παρουσιάζονται από το MHC II επιτρέπουν την ωρίμανση των $CD4+$ T-βοηθητικών λεμφοκυττάρων.
Παράτοπος	Μοριακό μοτίβο που είναι ακριβώς συμπληρωματικό ως προς έναν επίτοπο . Αυτό επιτρέπει πολύ ειδική δέσμευση. Οι παράτοποι βρίσκονται σε μέλη της υπεροικογένειας των Ig όπως είναι η αυλάκωση των μορίων MHC , η περιοχή F_{ab} του αντισώματος και η περιοχή αναγνώρισης των επιτόπων των υποδοχέων των T λεμφοκυττάρων .
Σωματικός ανασυνδυασμός	Η διαδικασία επιλογής και ανάμιξης (ανασυνδυασμού) διαφορετικών γονδιακών τμημάτων κατά την πρώιμη κυτταρική (σωματική) ανάπτυξη. Αυτό επιτρέπει στην υπεροικογένεια της Ig, για παράδειγμα, να εισάγει άνευ προηγουμένου ποικιλομορφία στους παράτοπους σύνδεσης του αντιγόνου . Αυτές οι περιοχές μπορούν να σχηματίσουν δομές ικανές να δεσμεύουν μοριακό σχήμα στη φύση.
Υποδοχείς T-κυττάρων (TCR)	Ένα άλλο μέλος της υπεροικογένειας της ανοσοσφαιρίνης που βρίσκεται στην επιφάνεια των T-λεμφοκυττάρων που αναγνωρίζει και δεσμεύει το αντιγόνο που παρουσιάζεται μέσω μορίων MHC τάξης I ή II σε κύτταρα ιστού και B-λεμφοκύτταρα, αντίστοιχα.

	Κυτταρικός τύπος	Σημειώσεις
	Δενδριτικό κύτταρο (DC)	Έπαγγελματικά αντιγόνο-παρουσιαστικά κύτταρα, μπορούν να εμφανίσουν εξωγενή αντιγόνα μέσω του MHC II. Πολλές υποκατηγορίες των δενδρικών κυττάρων (DC) στα θηλαστικά και πιθανά και στα ψάρια. Εμπλέκονται στον έλεγχο των T-λεμφοκυττάρων στον θύμο κατά την ανάπτυξη ώστε να κάνουν αρνητική επιλογή πρώιμων T-λεμφοκυττάρων με υποδοχείς που αναγνωρίζουν αυτο-αντιγόνα.
	Μακροφάγο	Τα κύρια φαγοκύτταρα φρουροί που σταθμεύουν στους ιστούς. Αυτά τα κύτταρα εγκολπώνουν πιθανά παθογόνα και τα καταστρέφουν με μία σειρά τοξικών δραστικών παραγόντων. Είναι επίσης MHC II+ και έτσι μπορούν να κάνουν αντιγόνο-παρουσίαση. Υποδοχείς για το Fc τμήμα των ανοσοσφαιρινών επιτρέπουν γρήγορο εντοπισμό και καταστροφή παθογόνων που είναι συνδεδεμένα με αντίσωμα.
	Ουδετερόφιλο	Τα κύρια φαγοκύτταρα φρουροί στο αίμα. Παρόμοια με τα μακροφάγα, αυτά τα κύτταρα καταστρέφουν παθογόνα με μία σειρά τοξικών δραστικών παραγόντων. Με μικρή διάρκεια ζωής (μία έως αρκετές ημέρες), τα κύτταρα αυτά αναπληρώνονται από τον πρόνεφρο.
	Μονοκύτταρο	Πρώιμα κύτταρα της μυελοειδούς σειράς. Παράγονται στον πρόνεφρο και μπορεί να ωριμάσουν σε μακροφάγα και δενδριτικά κύτταρα (DC). Κατά τη διάρκεια της φλεγμονής τα μονοκύτταρα μετακινούνται στην εστία της μόλυνσης και μπορεί να συμπληρώσουν τα ιστικά μακροφάγα και τα δενδριτικά κύτταρα (DC).
	CD4+ T-λεμφοκύτταρο	Τα πρώιμα κύτταρα παράγονται στον πρόνεφρο, αλλά διασπείρονται στον θύμο όπου επιλέγονται για την απομάκρυνση κλώνων που αναγνωρίζουν αυτο-αντιγόνα. Τα CD4+ T-λεμφοκύτταρα αντιδρούν σε αντιγόνα που παρουσιάζονται με το MHC II και ενορχηστρώνουν την προσαρμοστική ανοσία διευκολύνοντας την ωρίμανση των B- και CD8+ T-λεμφοκυττάρων.
	CD8+ T-λεμφοκύτταρο	Ο υποδοχέας των T-λεμφοκυττάρων των κυτταροτοξικών ή δολοφόνων T-λεμφοκυττάρων συνδέεται με αντιγόνα που συνδέονται με το MHCI σε οποιοδήποτε κύτταρο. Επειδή το MHCI παρουσιάζει αντιγόνα ενδοκυτταρικής προέλευσης, αυτά τα κύτταρα είναι οι κύριοι αντιικοί ρυθμιστές. Κατά την ενεργοποίησή τους, τα CD8+ T-λεμφοκύτταρα μεταφέρουν κυτταροτοξικά κοκκία στα μολυσμένα κύτταρα του ξενιστή προκαλώντας την εκκίνηση προγραμματισμένου κυτταρικού θανάτου.
	B-Λεμφοκύτταρο	Τα B-λεμφοκύτταρα έχουν ανοσοσφαιρίνη Ig στην επιφάνειά τους που συνδέεται με εξωγενή αντιγόνα. Στα ψάρια, τα B-λεμφοκύτταρα είναι φαγοκυτταρικά και εκφράζουν MHCII, άρα είναι και αντιγόνο-παρουσιαστικά. Όταν ωριμάσουν υπό την καθοδήγηση των CD4+ T-λεμφοκυττάρων, πολλαπλασιάζονται και διαφοροποιούνται στα μικρής διάρκειας ζωής πλασμοκύτταρα που παράγουν αντισώματα και στα μακρά διάρκειας ζωής κύτταρα μνήμης. Υψηλοί αριθμοί τους στον πρόνεφρο μετά από την έγχυση εμβολίων.

Εικόνα 12.1 Γρήγορος οδηγός αναφοράς για ορισμένα κύτταρα του προσαρμοστικού ανοσοποιητικού συστήματος. Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από τον Andy Barnes, 2017.

ναι οι κύριοι φρουροί του ανοσοποιητικού, τα μακροφάγα που εδρεύουν στους ιστούς και τα δενδριτικά κύτταρα (DC, Dendritic Cells) μαζί με λεμφοκύτταρα που αποτελούν έναν μικρό πληθυσμό λευκοκυττάρων που εδρεύουν στην περιτοναϊκή κοιλότητα του ψαριού (Afonso et al., 1997) (Ει-

κόνα 12.1 και Εικόνα 12.4, Αντικείμενο 2). Αυτά θα ξεκινήσουν την επεξεργασία του εμβολίου μέσω έμφυτων ανοσολογικών μηχανισμών (βλ. Πλαίσιο 12.1), οδηγώντας σε ήπια φλεγμονή στο περιτόναιο στη θέση του εμβολιασμού (βλ. Πλαίσιο 12.2) (Εικόνα 12.4, Αντικείμενα 2 και 3). Τα ουδετερόφι-



Εικόνα 12.2 Εμβολιασμός ψαριών με ένεση: Τα ψάρια εμβολιάζονται με ενδοπεριτοναϊκή έγχυση. Στις συγκεκριμένες γιγαντόπερκες (*Lates calcarifer*), το εμβόλιο χορηγείται χειρωνακτικά με συσκευές επαναλαμβανόμενης έγχυσης που μπορούν να ρυθμιστούν για να δώσουν ακριβή δόση εμβολίου. Έχει ληφθεί μέριμνα ώστε οι βελόνες να έχουν το κατάλληλο μέγεθος για να εμβολιαστούν τα ψάρια, και αλλάζουν πριν στομώσουν. Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από τον Andy Barnes, 2017.



Εικόνα 12.3 Εμβολιασμός των ψαριών με έγχυση (ένεση). Μια συνήθης μικρής κλίμακας εγκατάσταση εμβολιασμού σε μια υδατοκαλλιέργεια γιγαντόπερκας στο Κουήνσλαντ της Αυστραλίας. Η τράπεζα εμβολιασμού έχει ανακυκλούμενο νερό που περιέχει αναισθητικό στην κεντρική δεξαμενή, ενώ τα κανάλια σε κάθε πλευρά της κεντρικής δεξαμενής έχουν τρεχούμενο καθαρό νερό που διέρχεται από αυτά. Τα αναισθητοποιημένα ψάρια ανυψώνονται απαλά από την κεντρική δεξαμενή, τους ενίεται το εμβόλιο και στη συνέχεια απελευθερώνονται στο κανάλι όπου η ροή καθαρού νερού τα μεταφέρει πίσω σε μια δεξαμενή ανάνηψης που φαίνεται στο προσκήνιο της φωτογραφίας. Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από τον Andy Barnes, 2017.

Πλαίσιο 12.1 Φυσική Ανοσία

Τα σπονδυλωτά έχουν τόσο ένα φυσικό (εγγενές) όσο και ένα επίκτητο (ειδικό) ανοσοποιητικό σύστημα που δρουν από κοινού σε μια ταχεία 'μη ειδική' άμυνα (φυσική ανοσία) ακολουθούμενη από πιο μακροπρόθεσμη ειδική ανοσολογική "μνήμη" (επίκτητη ανοσία). Το εγγενές σύστημα είναι 'πάντα ενεργοποιημένο', κωδικοποιημένο στη βλαστική γραμμή και περιλαμβάνει τόσο κυτταρικά όσο και μη κυτταρικά (χυμικά) συστατικά που ανταποκρίνονται αμέσως με την προσβολή (όπως μόλυνση, εμβολιασμό ή έγχυση δηλητηρίου). Στο πιο βασικό του επίπεδο, το ανοσοποιητικό σύστημα λειτουργεί γύρω από τρεις δραστηριότητες:

Αναγνώριση προτύπου - αναγνωρίζοντας ότι υπάρχει πρόβλημα,

Σηματοδότηση - διασφάλιση της ενημέρωσης των σωστών συστημάτων και πως οι πληροφορίες γίνονται συστημικές καθώς και τοπικές,

Τελεστικός - κάνοντας κάτι για το πρόβλημα (π.χ. θανάτωση του εισβολικού οργανισμού) και εκκαθάριση στη συνέχεια.

Μέσα από εκατομμύρια χρόνια εξέλιξης, η λειτουργία της φυσικής (εγγενούς) ανοσίας των ζώων έχει εξελιχθεί για να αναγνωρίζει και να ανταποκρίνεται σε συντηρημένα (conserved) μοριακά πρότυπα που συνήθως δεν απαντώνται σε υγιή ανώτερα ζώα. Αυτά περιλαμβάνουν συστατικά του κυτταρικού τοιχώματος των βακτηρίων, όπως η πεπτιδογλυκάνη και ο λιποπολυσακχαρίτης (LPS) (αν και πολλά είδη ψαριών δεν είναι ευαίσθητα στον LPS, ένα χαρακτηριστικό που διαφοροποιεί το εγγενές ανοσοποιητικό τους σύστημα από αυτό των θηλαστικών), οι γλυκάνες και τα γενικά σημεία μιας ιογενούς λοίμωξης, όπως τις διπλές αλυσίδες RNA. Τα πρότυπα αυτά αναγνωρίζονται από μια σειρά υποδοχέων που είναι διατηρημένοι σε μεγάλο βαθμό τόσο στη

δομή όσο και στη λειτουργία σε όλο το ζωικό βασίλειο και περιλαμβάνουν τους υποδοχείς τύπου Toll (TLR, Toll-like Receptors), τους υποδοχείς λεκτίνης τύπου C (CLR, C-type Lectin Receptors) και τους υποδοχείς τύπου NOD (NLR, NOD-like Receptors). Η απόκριση σε κάθε πρότυπο που μεσολαβεί μέσω αυτών των υποδοχέων είναι η ίδια κάθε φορά και συχνά οδηγεί σε φλεγμονή (βλ. **Πλαίσιο 12.2**). Η αρχική αναγνώριση (και συνήθως καταστροφή) των εισβολικών μικροοργανισμών ενορχηστρώνεται κυρίως από τα 'επαγγελματικά' φαγοκυτταρικά κύτταρα, τα ουδετερόφιλα στο αίμα και τα ώριμα μακροφάγα που εδρεύουν στους ιστούς και εντοπίζονται στην περιοχή της μόλυνσης (**Πίνακας 12.2**). Αυτά τα κύτταρα απελευθερώνουν μια σειρά από κυτοκίνες (μόρια σηματοδότησης που δρουν σε κοντινά κύτταρα με κατάλληλους υποδοχείς) και χυμοκίνες (διαλυτά μόρια που σχηματίζουν μια χημική κλίση συγκέντρωσης που τα κύτταρα του ανοσοποιητικού συστήματος μπορούν να ακολουθήσουν με χημειοταξία (χημειοτακτισμός) στην πηγή της προσβολής), και να ξεκινήσουν την φλεγμονή. Είναι επίσης τα σημαντικότερα ανοσοδραστικά κύτταρα και θα παράξουν μια σειρά τοξικών μεταβολιτών που σκοτώνουν τα μικρόβια που εισβάλλουν. Η καθοριστική αρχή της φυσικής ανοσίας είναι ότι είναι εγγενής, κωδικοποιημένη στην βλαστική γραμμή και η απόκριση σε ένα συγκεκριμένο πρότυπο είναι πάντα η ίδια. Κάποιος μπορεί να εξετάσει πόσο γρήγορα ένα παθογόνο με χρόνο γενιάς μερικών δεκάδων λεπτών, μπορεί να προσαρμοστεί μέσω της εξέλιξης σε μια τόσο ισχυρή, συνεχή επιλεκτική πίεση. Η προσαρμοστική εξέλιξη της κωδικοποιημένης στη βλαστική γραμμή απόκρισης του ξενιστή περιορίζεται επίσης από το χρόνο γενεάς, αλλά αυτό είναι πιθανό να μετριέται σε έτη. Ο εξελικτικός ανταγωνισμός, από πλευράς της φυσικής ανοσίας εναντίον του παθογόνου, δεν είναι ισορροπημένος!

λα, οι κύριοι φρουροί του ανοσοποιητικού συστήματος στο αίμα (λευκά αιμοσφαίρια), που εξέρχονται από τα τοπικά διαπερατά αγγειακά τοιχώματα, θα ενισχύσουν τη φλεγμονή οδηγώντας σε πε-

ραιτέρω συσσώρευση υγρών και κυττάρων στο σημείο του εμβολιασμού (**Εικόνα 12.4**, Αντικείμενο 3). Είναι αυτή η εισροή κυττάρων που θα αρχίσει να επεξεργάζεται το εμβόλιο για την ανάπτυ-

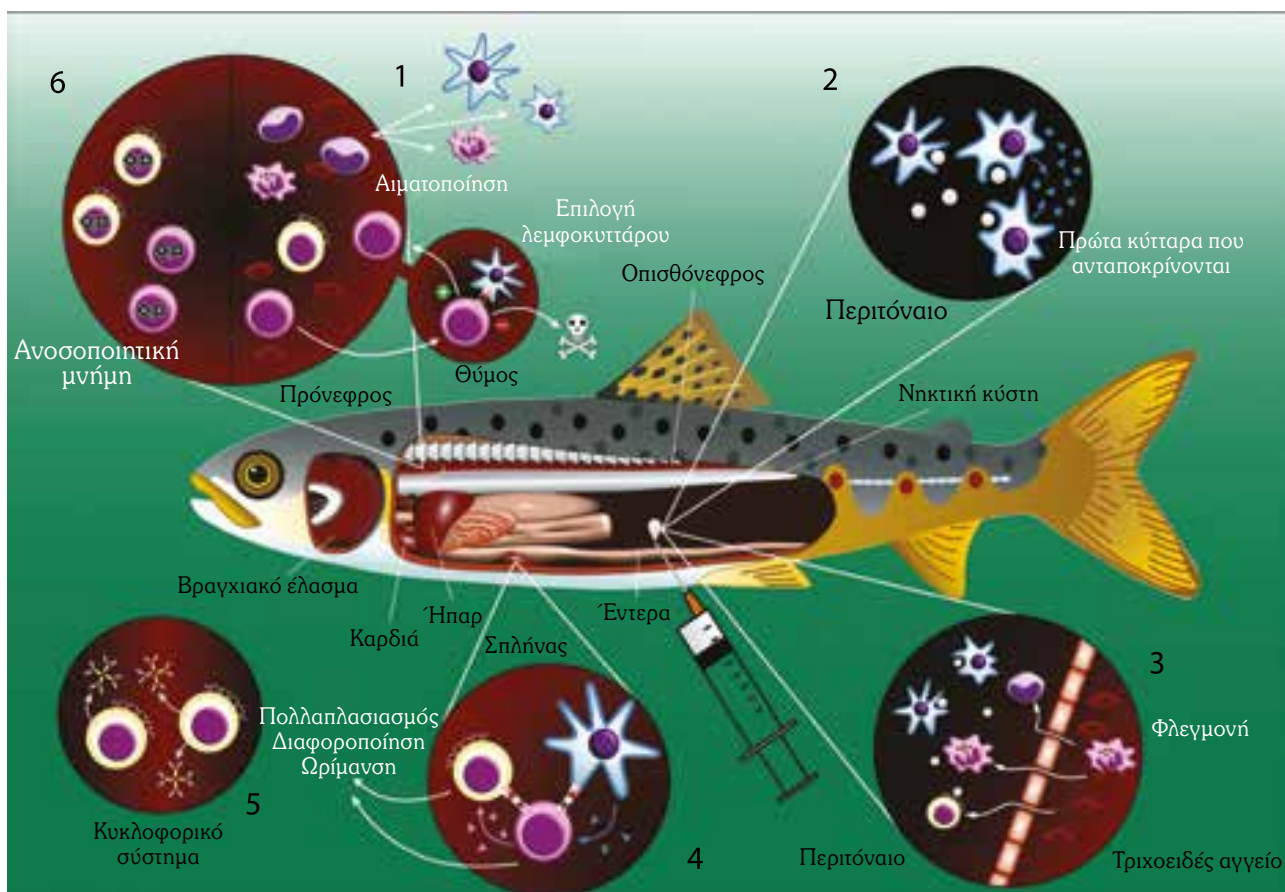
Πλαίσιο 12.2 Φλεγμονή

Η προ-φλεγμονώδης αντίδραση έχει ως αποτέλεσμα την εισροή υγρών και κυττάρων στο σημείο του εμβολιασμού: τα μόρια σηματοδότησης που ονομάζονται κυτοκίνες (**Πίνακας 12.2**) απελευθερώνονται από μακροφάγα ως απάντηση στα συστατικά του εμβολίου. Διαφορετικές κυτοκίνες δρουν σε διαφορετικά κύτταρα, αλλά μερικές δρουν στο αγγειακό ενδοθήλιο (κύτταρα που επενδύουν τα αιμοφόρα αγγεία), αναγκάζοντας τα αιμοφόρα αγγεία να διασταλούν, να γίνουν πιο διαπερατά, και τα κύτταρα του ενδοθηλίου να γίνονται κολλώδη, επιτρέποντας στα κυκλοφορούντα λευκοκύτταρα να συνδεθούν και να μεταναστεύσουν ενδιάμεσως των κυττάρων του ενδοθηλίου στο σημείο του εμβολίου (ή της μόλυνσης). Τα υγρά που διαρρέουν από τα αιμοφόρα αγγεία κοντά στο σημείο του εμβολιασμού ή της μόλυνσης προκαλούν το χαρακτηριστικό πρήξιμο που σχετίζεται με τη φλεγμονή και περιέχουν πρωτεΐνες που είναι χρήσιμες για την αντιμετώπιση της μόλυνσης ή του εμβολίου. Αυτές περιλαμβάνουν ανοσοσφαιρίνη (Ig), πρωτεΐνες του καταρράκτη

του συμπληρώματος (complement cascade), έναν αρχαίο, αντιβακτηριδιακό μηχανισμό άμυνας του εγγενούς ανοσοποιητικού συστήματος και βασικό συμμετέχοντα στην αποτελεσματική ανοσία και την αποκατάσταση τραυμάτων, μαζί με πρωτεΐνες αμυλοειδούς του ορού που δεσμεύουν παθογόνα, παράγοντες πήξης και παράγοντες που περιορίζουν τη διαθεσιμότητα σιδήρου στα παθογόνα, όπως η φερριτίνη και οι επιιδίνες. Υπάρχει επίσης αυξημένη απελευθέρωση των σερπινών (αναστολέων πρωτεασών που ρυθμίζουν αρνητικά τη φλεγμονή) και η φλεγμονώδης αντίδραση πρέπει να ρυθμιστεί αυστηρά για την πρόληψη πρόκλησης βλάβης στον ξενιστή και εκφυλιστικών ασθενειών. Έτσι, η συνολική επίδραση της φλεγμονής είναι τόσο τοπική (παροχή λευκοκυττάρων και υγρών στο σημείο της μόλυνσης) όσο και συστημική στην θετικά ρυθμιζόμενη παραγωγή πρωτεϊνών οξείας φάσης σε όργανα, όπως το ήπαρ, και στην απελευθέρωσή τους στην κυκλοφορία, μαζί με την κινητοποίηση λευκοκυττάρων στην κυκλοφορία από τον πρόνεφρο.

ξη ειδικής ανοσολογικής μνήμης. Τα ιστικά μακροφάγα και τα δενδριτικά κύτταρα (DC) μπορούν να συμπληρωθούν από μονοκύτταρα, που έλκονται στην περιοχή από το κυκλοφορικό σύστημα, και αυτά θα ωριμάσουν λειτουργικά κατευθυνόμενα από κυτοκίνες που εκφράζονται από μακροφάγα, ουδετερόφιλα και μερικούς ιστούς ως μέρος της φλεγμονώδους αντίδρασης (**Εικόνα 12.4**, Αντικείμενο 3). Θα καταφτάσουν επίσης λεμφοκύτταρα μέσω του κυκλοφορικού συστήματος, που θα κατευθυνθούν στο σημείο με χημειοταξία κατά μήκος διαβαθμίσεων της συγκέντρωσης χημοκινών (chemokine). Οι χημοκίνες απελευθερώνονται επίσης από μακροφάγα και ουδετερόφιλα κατά τη διάρκεια της φλεγμονώδους απόκρισης και επιτρέπουν σε άλλα κύτταρα του ανοσοποιητικού συστήματος να εντοπίσουν με ακρίβεια την πηγή του προβλήματος (**Εικόνα 12.4**, Αντικείμενο 3). Θα ακολουθήσει φαγοκυττάρωση (κατάποση) των συστατικών του εμβολίου από μακροφάγα, ουδετερόφιλα, B-λεμφοκύτταρα και δενδριτι-

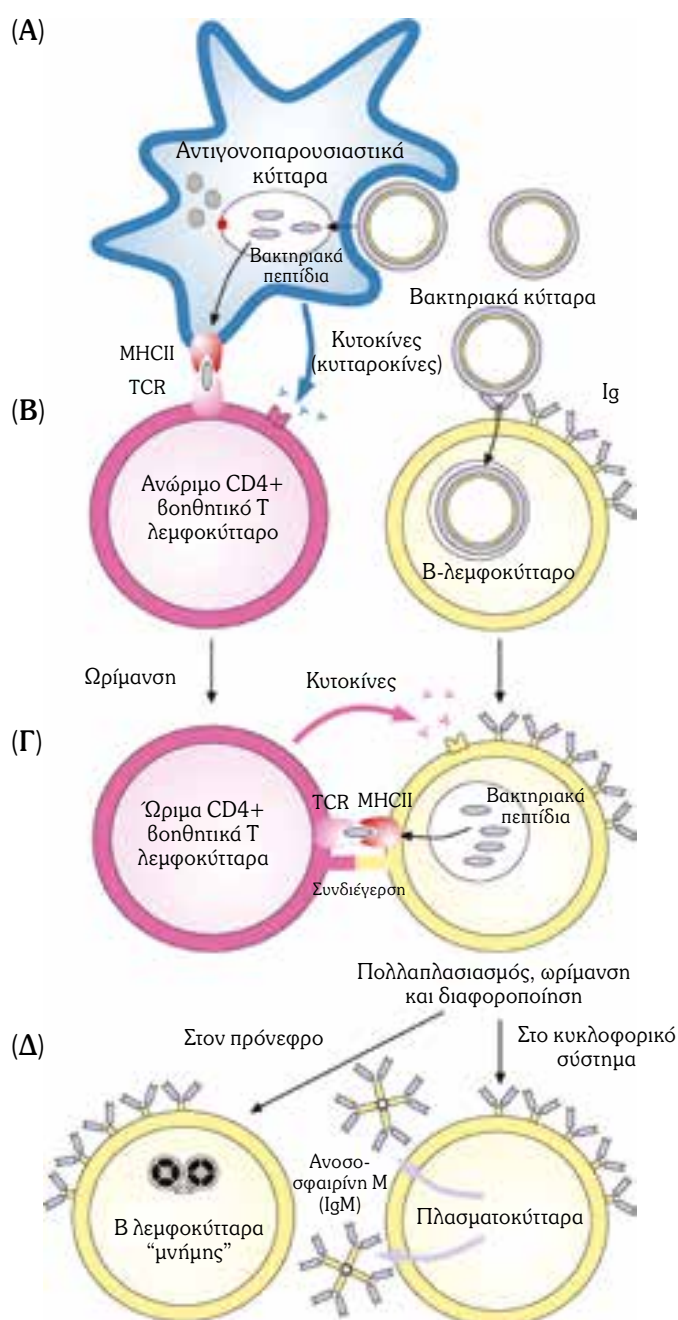
κά κύτταρα (DC). Αλλά η μοίρα αυτών των συστατικών που έχουν προσληφθεί θα διαφέρει ανάλογα με το κύτταρο που εμπλέκεται. Τα μακροφάγα και τα ουδετερόφιλα είναι τα κύρια πρωτο-ανοσοδραστικά κύτταρα του ανοσοποιητικού συστήματος και, τελικά, οι περισσότεροι εισβολικοί οργανισμοί καταστρέφονται από αυτά τα κύτταρα. Θα επιστρέψουμε σε αυτά αργότερα. Τα δενδριτικά κύτταρα (DC) είναι ειδικά στην παρουσίαση αντιγόνων (*antigen presentation*), μια καθοριστική διαδικασία στην ανάπτυξη της ανοσολογικής μνήμης έναντι του αντιγόνου, που απαιτεί συνεργασία μεταξύ πολλαπλών τύπων κυττάρων (**Εικόνα 12.4**, Αντικείμενο 4). Είναι πιθανό ότι αυτό συμβαίνει στον δευτερογενή λεμφοειδή ιστό των ψαριών, τη σπλήνα, όπου τα φορτωμένα με αντιγόνα δενδριτικά κύτταρα (DC) μεταναστεύουν εκεί μέσω του κυκλοφορικού συστήματος. Αυτό παίρνει κάποιο χρόνο. Στη γιγαντόπερκα στους 28 °C, ανιχνεύεται σημαντική αύξηση των δεικτών των δενδριτικών κυττάρων (DC) στη σπλήνα περίπου μία εβδο-



Εικόνα 12.4 Σχηματική αναπαράσταση νεαρού σολομού του Ατλαντικού που δείχνει τους κύριους ανοσολογικούς ιστούς και την εξέλιξη της απόκρισης στον εμβολιασμό με ενδοπεριτοναϊκή (IP) έγχυση. Ο πρόνεφρος είναι το κύριο αιμοποιητικό όργανο στους τελεόστεους (1) καθώς δεν έχουν μυελό των οστών. Όλα τα κύρια κύτταρα του ανοσοποιητικού συστήματος προέρχονται από τον πρόνεφρο κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης και στη διάρκεια της ζωής των ψαριών. Οι πρόδρομοι των λεμφοκυττάρων επιλέγονται στον θύμο αδέν, ο οποίος βρίσκεται προσθίως του πρόνεφρου και συνδέεται, για να αφαιρεθούν εκείνοι που δίνουν διασταυρούμενες αντιδράσεις με αυτοεπίτοπους. Τα μακροφάγα και τα δενδριτικά κύτταρα προέρχονται από τη κυτταρική σειρά των μονοκυττάρων και αυτοί οι φρουροί που εδρεύουν στους ιστούς και που τοποθετούνται κατά την πρώιμη ανάπτυξη, είναι τα πρώτα κύτταρα που ανταποκρίνονται (άμεση επέμβαση) στη μόλυνση ή στα μικροσφαιρίδια (λευκές σφαίρες στην Εικόνα) του γαλακτώματος του εμβολίου στο περιτόναιο (2). Η αλληλεπίδραση με τα μοριακά πρότυπα στα σταγονίδια του εμβολίου έχει ως αποτέλεσμα τη φαγοκυττάρωση και την απελευθέρωση κυτοκινών (τρίγωνα στην Εικόνα) και χημοκινών (μπλε στην Εικόνα) (2), με αποτέλεσμα τη φλεγμονή (3). Κατά τη διάρκεια της φλεγμονώδους αντίδρασης, οι στενές διασταυρώσεις του αγγειακού ενδοθηλίου στα τοπικά τριχοειδή αγγεία χαλαρώνουν και τα κύτταρα γίνονται κολλώδη επιτρέποντας στα λευκοκύτταρα να προσκολληθούν και να μεταναστεύσουν μέσω των κυτταρικών κόμβων, ακολουθώντας την κλίση συγκέντρωσης της χημοκίνης στο σημείο του εμβολίου (3). Τα μονοκύτταρα μπορεί να ωριμάσουν για να συμπληρώσουν τα δενδριτικά κύτταρα (DC), και τα μακροφάγα που εδρεύουν στους ιστούς, ενώ τα ουδετερόφιλα φαγοκυτταρώνουν σωματίδια του εμβολίου, απελευθερώνοντας κυτοκίνες και χυμοκίνες για τη ρύθμιση της φλεγμονώδους αντίδρασης. Τα δενδριτικά κύτταρα (DC), και τα Β-λεμφοκύτταρα, φορτωμένα με αντιγόνα του εμβολίου, μεταναστεύουν στον σπλήνα (4), όπου γίνεται παρουσίαση αντιγόνων με βοηθητικά Τ-λεμφοκύτταρα μέσω του MCHII και των υποδοχέων των Τ-κυττάρων, προάγοντας τον πολλαπλασιασμό και την ωρίμανση των βοηθητικών Τ-κυττάρων και στη συνέχεια τον πολλαπλασιασμό και την ωρίμανση των Β-λεμφοκυττάρων. Τα ώριμα βραχύβια Β-λεμφοκύτταρα του πλάσματος εισέρχονται στο κυκλοφορικό σύστημα και εκκρίνουν αντίσωμα (IgM) που είναι ειδικό για επίτοπους του εμβολίου καταλήγοντας στην κύρια απόκριση αντισωμάτων στον ορό. Τα Β- και Τ-κύτταρα μνήμης μεταναστεύουν στον πρόνεφρο και μπορούν να εδραιωθούν εκεί για τις μεγάλες περιόδους (6). Αυτά μπορούν να ξεκινήσουν τον πολλαπλασιασμό και την ωρίμανση σε περαιτέρω επαφές με τα αντιγόνα του εμβολίου (π.χ., κατά τη διάρκεια της μόλυνσης) και να προκαλέσουν μια ταχεία και συντριπτική δευτερογενή απόκριση αντισωμάτων ειδική για αυτά τα πρότυπα. Αυτή είναι η βάση της ανοσολογικής μνήμης (6). *Πηγή:* Αναπαράγεται με άδεια από τον Andy Barnes, 2017.

μάδα μετά τον εμβολιασμό (Zoccola et al., 2015). Στη σπλήνα, αυτά τα αντιγονοπαρουσιαστικά κύτταρα (APC, Antigen Presenting Cells) πέπτουν τα συστατικά του εμβολίου και παρουσιάζουν αντιγονικούς επίτοπους ως κοντά πεπτιδία σε ανώριμα βοηθητικά T-λεμφοκύτταρα με τη μετατόπιση των θραυσμάτων αντιγόνου στην επιφάνεια των κυττάρων μέσω του μορίου Μείζονος Συμπλέγματος Ιστοσυμβατότητας κατηγορίας II (MHCII, Major Histocompatibility Complex class II) (**Εικόνα 12.4**, Αντικείμενο 4) (**Εικόνα 12.5A**). Μόλις βρεθούν στην επιφάνεια των κυττάρων, οι επίτοποι στην αυλάκωση του μορίου MHCII αναγνωρίζονται ει-

δικά από τους υποδοχείς των T-λεμφοκυττάρων (TCR, T-Cell Receptors) στα T-λεμφοκύτταρα. Αυτό, μαζί με την αυστηρή ρύθμιση από συνδιεγερτικούς παράγοντες στα αντιγονοπαρουσιαστικά κύτταρα (APC), ξεκινά κλωνική επέκταση (ταχεία κυτταρική διαίρεση) αυτής της γενεαλογίας των T-κυττάρων, που εκφράζει τον υποδοχέα των T-λεμφοκυττάρων (TCR, T-Cell Receptors) που ταιριάζει μόνο με το αντιγονικό πεπτιδίδιο που παρουσιάζεται από το MHCII αυτού του αντιγονοπαρουσιαστικού κυττάρου (APC). Αυτός ο γρήγορος πολλαπλασιασμός ακολουθείται μετά από αρκετές γενιές με ωρίμανση σε CD4+ βοηθητικά T λεμ-



Εικόνα 12.5 Απλοποιημένη σχηματική απεικόνιση των ανοσοαποκρίσεων που διαμεσολαβούνται από το μόριο Μείζονος Συμπλέγματος Ιστοσυμβατότητας κατηγορίας II (MHCII) (για εξωτερικά αντιγόνα). Η παρουσίαση του αντιγόνου από το MHCII μπορεί να συμβεί μόνο από ειδικά φαγοκυτταρικά αντιγονοπαρουσιαστικά κύτταρα (APC) όπως τα δενδριτικά κύτταρα, μερικά μακροφάγα και τα B-λεμφοκύτταρα σε ψάρια. Αυτά τα κύτταρα εγκολπώνουν σωματίδια όπως τα βακτήρια και οι ιοί όταν βρίσκονται εξωτερικά των κυττάρων ξενιστών και, παρουσιάζουν στοιχεία τους στην επιφάνεια μέσω του MHCII (A). Παρουσίαση από φαγοκυτταρικά αντιγονοπαρουσιαστικά κύτταρα (APC) μέσω του MHCII στους υποδοχείς των T-κυττάρων σε ανώριμα βοηθητικά T-κύτταρα (B) έχει ως αποτέλεσμα την ωρίμανσή τους. Τα ώριμα βοηθητικά T-λεμφοκύτταρα μπορούν τότε να ενεργοποιήσουν B-κύτταρα που αναγνωρίζουν ταυτόχρονα το ίδιο αντιγόνο (Γ) με αποτέλεσμα την διαφοροποίηση και τον πολλαπλασιασμό τους αυξάνοντας τον αριθμό των B κυττάρων που αναγνωρίζουν το πρωτότυπο (αρχικό) αντιγόνο. Τα ανοσοδραστικά B κύτταρα ή πλασματοκύτταρα εκκρίνουν αντίσωμα και έτσι ανιχνεύουμε την αύξηση της ειδικής αντισωμικής αντίδρασης σε ένα συγκεκριμένο αντιγόνο μετά τον εμβολιασμό (Δ). Επειδή τα ανοσοδραστικά B κύτταρα είναι βραχύβια, η ειδική αντισωμική απόκριση μειώνεται με την πάροδο του χρόνου, αλλά τα B-κύτταρα μνήμης ζουν πολύ και μπορούν να ανταποκριθούν ταχέως, παράγοντας περισσότερο αντίσωμα σε επακόλουθες επαφές με το ίδιο αντιγόνο (Δ). *MHCII*: Μόριο Μείζονος Συμπλέγματος Ιστοσυμβατότητας κατηγορίας II. *TCR*: Υποδοχείς T-λεμφοκυττάρων *Πηγή*: Αναπαράγεται με άδεια από τον Andy Barnes, 2017.

φοκύτταρα που μπορεί να είναι ανοσοδραστικά, μνήμης ή ρυθμιστικά κύτταρα (**Εικόνα 12.4**, Αντικείμενο 4) (**Εικόνα 12.5A**).

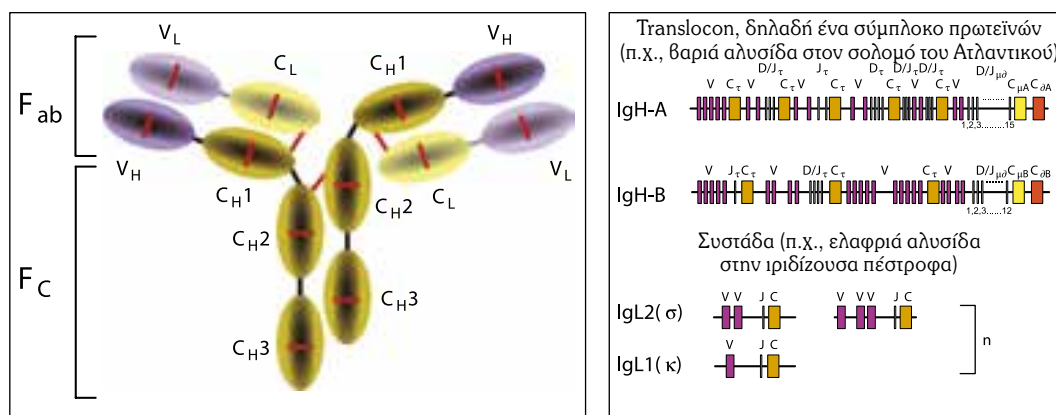
Έτσι, μετά από μια ή δύο εβδομάδες (ανάλογα με τη θερμοκρασία του νερού), τα εμβολιασμένα ψάρια μας έχουν ένα διευρυμένο πληθυσμό ώριμων βοηθητικών Τ-λεμφοκυττάρων που έχουν υποδοχείς Τ-λεμφοκυττάρων ειδικών για τα πρότυπα που περιέχονται μεταξύ των συστατικών του εμβολίου. Αλλά πώς αυτό βοηθά στην προστασία των ψαριών από την επαναμόλυνση; Αυτά τα βοηθητικά Τ-λεμφοκύτταρα είναι τώρα σε θέση να 'βοηθήσουν' με την ωρίμανση των Β-λεμφοκυττάρων (**Εικόνα 12.1**). Τα Β-λεμφοκύτταρα χαρακτηρίζονται από την έκφραση ανοσοσφαιρίνης (Ig) ή αντισώματος στην επιφάνειά τους (**Πλαίσιο 12.3** Ανοσοσφαιρίνες και αντίσωμα). Κάθε ανώριμο Β-λεμφοκύτταρο θα εκφράσει ένα μόριο ανοσοσφαιρίνης που είναι συγκεκριμένο για (και μπορεί να συνδεθεί με) ένα μοναδικό πρότυπο. Έτσι, σε έναν μεγάλο πληθυσμό Β-λεμφοκυττάρων, υπάρχει ικανότητα αναγνώρισης και σύνδεσης με μια ποικιλία μοριακών προτύπων. Συνεπώς, μεταξύ του ρεπερτορίου των Β-λεμφοκυττάρων που καταφθάνουν στο περιτόναιο με φλεγμονή μετά τον εμβολιασμό, θα υπάρχει μια σημαντική ομάδα κυττάρων που έχουν ανοσοσφαιρίνη που μπορεί να συνδεθεί με διαφορετικά συστατικά του εμβολίου. Στα ψάρια, τα Β-λεμφοκύτταρα είναι φαγοκυτταρικά και μπορούν να προσλάβουν με κατάποση δεσμευμένο άθικτο αντιγόνο και να το παρουσιάσουν μέσω του μορίου Μείζονος Συμπλέγματος Ιστοσυμβατότητας κατηγορίας II -MHCII (Li et al., 2006). Από αυτή την ανακάλυψη στα ψάρια έχει βρεθεί ότι και τα Β-κύτταρα στα θηλαστικά μπορεί επίσης να είναι φαγοκυτταρικά, και έτσι τα μοντέλα παρουσίασης αντιγόνων είναι επί του παρόντος υπό αναθεώρηση. Στα ψάρια, είναι πιθανό ότι, όπως και τα δενδριτικά κύτταρα (DC), τα φορτωμένα Β-κύτταρα μεταναστεύουν μέσω του κυκλοφορικού συστήματος στην σπλήνα και έχουν ανιχνευθεί αυξημένοι αριθμοί κυττάρων ανοσοσφαιρίνης Ig+ στο σπλήνα περίπου μια εβδομάδα μετά τον εμβολιασμό (Dos Santos et al., 2001).

Μόλις εισέλθουν στον σπλήνα, τα φορτωμένα Β-λεμφοκύτταρα μπορούν να ξεκινήσουν μια επικοινωνία με τα ώριμα βοηθητικά Τ-λεμφοκύτταρα (**Εικόνα 12.4**, Αντικείμενο 4). Η υποκίνηση αυτών

των επικοινωνιών υπαγορεύεται από μια αμοιβαία αναγνώριση των ίδιων μοριακών προτύπων από την ανοσοσφαιρίνη (Ig) του Β-κυττάρου και τον υποδοχέα των Τ κυττάρων (TCR) στο ώριμο βοηθητικό Τ- λεμφοκύτταρο. Ο υποδοχέας των Τ κυττάρων (TCR) στο Τ-λεμφοκύτταρο θα είναι σε θέση να αναγνωρίσει και να δεσμευθεί με το αντιγόνο που παρουσιάζεται από το Β-λεμφοκύτταρο στην αυλάκωση του μορίου Μείζονος Συμπλέγματος Ιστοσυμβατότητας κατηγορίας II (MHCII) του, αντιγόνο που αρχικά δεσμεύτηκε από την ανοσοσφαιρίνη (Ig) στην επιφάνεια του Β-κυττάρου και ενσωματώθηκε στο εσωτερικό. Έτσι, μπορούμε να δούμε ότι υπάρχει μια στενά χορογραφημένη κυτταρική επικοινωνία μεταξύ των δενδριτικών κυττάρων (DC) (APCs, αντιγονοπαρουσιαστικά κύτταρα), των Τ-λεμφοκυττάρων και των Β-λεμφοκυττάρων με βάση την αμοιβαία αναγνώριση των ίδιων μοριακών προτύπων που υπήρχαν στο εμβόλιο, από την ανοσοσφαιρίνη (Ig) στα Β-κύτταρα, την παρουσίαση από το MHCII από τα Β-κύτταρα και από τα δενδριτικά κύτταρα (DC), και την αναγνώριση σε αυτό το πλαίσιο από τον υποδοχέα των Τ κυττάρων (TCR) των ώριμων βοηθητικών Τ-λεμφοκυττάρων (που ωριμάζουν μόνο επειδή ο υποδοχέας των Τ κυττάρων τους αναγνώρισε αυτό το πρότυπο όταν παρουσιάστηκε από τα δενδριτικά κύτταρα (DC) και τώρα είναι σε θέση να δεσμεύσουν το ίδιο πρότυπο που παρουσιάζεται από τα Β-κύτταρα). Έτσι ρυθμίζεται το ειδικό ανοσοποιητικό σύστημα (επίκτητη ανοσία) ώστε να είναι εξειδικευμένο για την συγκεκριμένη πρόκληση.

Μόλις τα Β- και Τ-λεμφοκύτταρα συνδεθούν μέσω του μορίου μείζονος συμπλέγματος ιστοσυμβατότητας κατηγορίας II (MHCII) – αντιγόνου - υποδοχέα των Τ κυττάρων (TCR), τα μόρια σηματοδότησης (κυτοκίνες) που εκκρίνονται από τα Τ-λεμφοκύτταρα προκαλούν τα Β-λεμφοκύτταρα να πολλαπλασιαστούν, να ωριμάσουν και να διαφοροποιηθούν. Ο πολλαπλασιασμός των Β-λεμφοκυττάρων, όπως και των Τ λεμφοκυττάρων, είναι κλωνικός, έτσι κάθε νέο Β-λεμφοκύτταρο θα φέρει επίσης τον παράτοπο (paratope) της ανοσοσφαιρίνης (Ig) στην επιφάνειά του που είναι συγκεκριμένος για το αντίγονο που προκάλεσε την αρχική αντίδραση. Τα περισσότερα από τα νέα Β-λεμφοκύτταρα θα είναι σχε-

Πλαίσιο 12.3. Αντίσωμα και Ανοσοσφαιρίνες



Το αντίσωμα είναι το πιο γνωστό μέλος της υπερικογένειας των πρωτεϊνών των ανοσοσφαιρινών (Ig), που περιλαμβάνει επίσης υποδοχείς T-κυττάρων, τις Κλάσεις I και II του Κύριου Συμπλέγματος Ιστοσυμβατότητας και συν-υποδοχείς λεμφοκυττάρων, όπως τα CD4 και CD8, μαζί με μια ποικιλία άλλων υποδοχέων που βρίσκονται σε πολλά είδη, από απλούς σπόγγους μέχρι τον άνθρωπο. Όλα τα μέλη έχουν τουλάχιστον μία δομική περιοχή που ονομάζεται ανοσοσφαιρινική περιοχή ή Ig περιοχή, μια εξαιρετικά σταθερή αυλάκωση που είναι κύριας σημασίας για τη δυνατότητα ειδικής σύνδεσής τους. Τα αντισώματα είναι διαλυτές γλυκοπρωτεΐνες ανοσοσφαιρίνης που παράγονται από τα B-λεμφοκύτταρα. Αναλυτική ανασκόπηση των ανοσοσφαιρινών των ψυχρόαιμων σπονδυλωτών έχει πραγματοποιηθεί από τους Pettinello and Dooley (2014). Το μονομερές του αντισώματος έχει σχήμα Y και περιλαμβάνει δύο βαριές και δύο ελαφρές αλυσίδες ανοσοσφαιρίνης ενωμένες με δισουλφιδικές γέφυρες (βλέπε ένθετο, όπου σημειώνονται με κόκκινο χρώμα). Οι μεταβλητές περιοχές της βαριάς και της ελαφριάς αλυσίδας περιλαμβάνουν μία μονή ανοσοσφαιρινική περιοχή η καθεμία (V_L και V_H , αντίστοιχα) και είναι εξαιρετικά ποικιλόμορφες όσον αφορά την αλληλουχία των αμινοξέων. Ο συνδυασμός των μεταβλητών περιοχών της ελαφριάς και της βαριάς αλυσίδας δημιουργεί τον παράτοπο σύνδεσης με το αντιγόνο ή περιοχή F_{ab} του αντισώματος. Η εξαιρετική ποικιλομορφία της δομής της περιοχής F_{ab} , που επιτρέπει την αναγνώριση σχεδόν όλων

των πιθανών μοριακών προτύπων, δημιουργείται επειδή οι μεταβλητές περιοχές της βαριάς αλυσίδας κωδικοποιούνται από πολλαπλά γονίδια από τις μεταβλητές (V), τις ποικιλόμορφες (D) και τις συνδετικές (J) θέσεις της γενετικής θέσης IgH (υπάρχουν δύο στον σολομό). Οι μεταβλητές περιοχές της ελαφριάς αλυσίδας προκύπτουν από συνδυασμούς των μεταβλητών (V) και των συνδετικών (J) θέσεων της γενετικής θέσης IgL (βλέπε ένθετο και Edholm et al., 2011; Fillatreau et al., 2013; Hikima et al., 2011; Pettinello and Dooley, 2014; Yasuike et al., 2010). Αυτές οι γενετικές θέσεις (τόποι) αναδιαμορφώνονται με σωματικό ανασυνδυασμό κατά την πρώιμη ανάπτυξη των B-λεμφοκυττάρων, έτσι ώστε κάθε γενεαλογική σειρά να φέρει έναν παράτοπο F_{ab} που προκύπτει από διαφορετικούς συνδυασμούς βαρέων V, D και J και ελαφρών V και J γενετικών θέσεων. Πρόσθετη ποικιλομορφία προκύπτει από διαφορετικούς συνδυασμούς ελαφρών και βαρέων αλυσίδων στην περιοχή F_{ab} του πλήρους μορίου του αντισώματος. Αν και το διάγραμμα των γονιδιακών τόπων στον σολομό και στην πέστροφα που εμφανίζεται παραπάνω είναι ιδιαίτερα απλουστευμένο, μπορείτε να δείτε ότι ο αριθμός των πιθανών συνδυασμών είναι συγκλονιστικός! Η περιοχή F_C του μορίου εκπληρώνει επίσης έναν κρίσιμο λειτουργικό ρόλο. Η σταθερή περιοχή της βαριάς αλυσίδας περιλαμβάνει τρεις ανοσοσφαιρινικές (Ig) περιοχές (C_H1 , 2 και 3, ένθετο) και μια άρθρωση και διατηρείται εντός, αλλά διαφέρει μεταξύ, του ισότυπου του αντισώματος. Στα ψάρια υπάρχουν τρεις ισότυποι βαριάς αλυσίδας, IgM (C_μ), IgD

Πλαίσιο 12.3 Αντίσωμα και Ανοσοσφαιρίνες

(C_δ) και IgT (C_T) και αυτό καθορίζει την επίδραση του αντισώματος έπειτα από την πρόσδεσή του στο αντιγόνο και το σχηματισμό ενός συμπλέγματος, επειδή οι διαφορετικές περιοχές F_C του ισότυπου αλληλεπιδρούν με υποδοχείς F_C ειδικούς για κάθε ισότυπο. Μονομερείς μορφές IgD και IgM βρίσκονται στην επιφάνεια των B-λεμφοκυττάρων. Τα ώριμα B-κύτταρα του πλάσματος εκκρίνουν IgM ως τετραμερές (τέσσερα μονομερή IgM συνδεδεμένα στην περιοχή F_C) και αυτό αποτελεί την συστηματική απόκριση αντισώματος στον ορό μετά τον εμβολιασμό. Η τετραμερής μορφή της IgM είναι επίπεδη, όταν είναι σε κυκλοφορία και μη συνδεδεμένη με το αντιγόνο. Κατά τη διάρκεια της σύνδεσης με το

αντιγόνο, οι περιοχές F_{ab} έλκονται προς το αντιγόνο, με αποτέλεσμα μια μεταβολή της διαμόρφωσης στη μορφή «συνδετήρα». Αυτό εκθέτει την περιοχή F_C της IgM, επιτρέποντας τη σύνδεση μέσω συγκεκριμένων υποδοχέων F_C σε μακροφάγα και ουδετερόφιλα. Η IgT βρίσκεται σε εξειδικευμένα B-λεμφοκύτταρα στο βλεννογόνο επιθήλιο των βραγχιών, του δέρματος και του εντέρου, και πιθανώς εκπληρώνει έναν ρόλο παρόμοιο με την IgA του βλεννογόνου στα θηλαστικά. Αυτό εξηγεί το διαχωρισμό μεταξύ της βλεννογονίας και της συστηματικής απόκρισης (ανατρέξτε στο κυρίως κείμενο και στην **Εικόνα 12.8**).

Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από τον Andy Barnes.

τικά βραχύβια ανοσοδραστικά B-λεμφοκύτταρα ή πλασματοκύτταρα. Τα κύτταρα αυτά εισέρχονται στην κυκλοφορία και εκκρίνουν αντίσωμα με την περιοχή αναγνώρισης αντιγόνου να είναι πανομοιότυπη με εκείνη της ανοσοσφαιρίνης (Ig) στην επιφάνεια αυτής της B-κυτταρικής σειράς και είναι συνεπώς ειδική για το αντίγονο που συνδέθηκε με τον αρχικό παράτοπο στην επιφάνεια (**Εικόνα 12.4**, Αντικείμενο 5). Αυτός είναι ο τρόπος που παράγουμε το ειδικό αντίσωμα που μπορούμε να ανιχνεύσουμε στον ορό του αίματος ως την αρχική ανοσολογική αντίδραση μετά τον εμβολιασμό. Η μνήμη προκαλείται επειδή μερικά από τα νέα B-λεμφοκύτταρα διαφοροποιούνται σε μεγάλης διάρκειας κύτταρα «μνήμης» (στα ψάρια αυτά μπορεί να είναι μακροχρόνια πλασματοκύτταρα που έχουν ενοφθαλμιστεί στον πρόνεφρο και διαμένουν εκεί για κάποιο χρονικό διάστημα) (**Εικόνα 12.4**, Αντικείμενο 6). Ένα απλοποιημένο διάγραμμα αυτής της κυτταρικής διαδικασίας δίνεται στην **Εικόνα 12.5 A, B** και Γ. Αυτά τα B-κύτταρα μνήμης μπορούν να ανταποκριθούν ταχέως σε επακόλουθη πρόκληση από το ίδιο αντιγόνο υπό την προϋπόθεση ότι υπάρχει επίσης ένας μόνιμος πληθυσμός ώριμων T-βοηθητικών κυττάρων με τον σωστό υποδοχέα T-λεμφοκυττάρων για να ξεκινήσει ο περαιτέρω πολλαπλασιασμός, πράγμα που φυσικά θα υπάρξει μετά τον εμβολιασμό, όπως εξηγείται παραπάνω. Αυτό οδηγεί σε ταχεία αύξηση

του αντισώματος στον ορό σε επακόλουθες επαφές με το παθογόνο(α) που περιέχεται στο εμβόλιο επειδή υπάρχει ήδη ένας αυξημένος πληθυσμός ώριμων βοηθητικών T-λεμφοκυττάρων και B-κυττάρων ειδικά για τα πρότυπα ή τους επίτοπους του παθογόνου. Η εξειδίκευση της αρχικής αντισωματικής απόκρισης, η επακόλουθη μνήμη και η ταχεία δευτερογενή απόκριση σε επακόλουθη πρόκληση οφείλεται στην κλωνική διαφοροποίηση και τον πολλαπλασιασμό των T και των B λεμφοκυττάρων, δηλαδή όλα τα νέα T-βοηθητικά και B-λεμφοκύτταρα αναγνωρίζουν το αρχικό αντίγονο.

Ενώ εξετάσαμε εδώ τη μοίρα ενός μοναδικού μοριακού προτύπου, πρέπει να έχουμε επίγνωση ότι το εμβόλιο (και ο παθογόνος παράγοντας από τον οποίο προέρχεται) περιλαμβάνει πολλά πιθανά αντιγόνα και ότι πολλά από αυτά θα αναγνωριστούν από την ανοσοσφαιρίνη (Ig) στα B-κύτταρα, θα παρουσιαστούν μέσω του μορίου Μείζονος Συμπλέγματος Ιστοσυμβατότητας κατηγορίας II (MHCII) πάνω στα αντιγονοπαρουσιαστικά κύτταρα (APC) και θα αναγνωριστούν από υποδοχείς T-λεμφοκυττάρων (TCRs), με κάθε γενεαλογική σειρά B-κυττάρων και T-κυττάρων να αναγνωρίζουν ειδικά ένα διαφορετικό επίτοπο ή πρότυπο. Έτσι, η απόκριση που περιγράφηκε παραπάνω θα συμβεί σε πολλές γενεαλογικές σειρές των λεμφοκυττάρων που κάθε μία αναγνωρίζει έναν δια-

φορετικό επίτοπο στο παθογόνο: Η απόκριση θα είναι *πολυκλωνική*, όπου πολλαπλές γενεαλογικές σειρές λεμφοκυττάρων πολλαπλασιάζονται με κλωνικό τρόπο. Επομένως, τα αντισώματα που προκύπτουν από αυτή την απόκριση θα είναι επίσης πολυκλωνικά, με την ανοσοσφαιρίνη (Ig) που εκκρίνεται από κάθε σειρά B-κυττάρων να είναι ειδική για έναν διαφορετικό επίτοπο, έναν ανά σειρά. Το μίγμα αντισωμάτων στην κυκλοφορία μετά την απόκριση θα αναγνωρίσει διαδοχικά ένα ευρύ φάσμα προτύπων στο εμβόλιο και το παθογόνο από το οποίο παρασκευάστηκε.

12.2.2 Πώς το Αντίσωμα Προστατεύει το Ψάρι;

Ως συνέπεια του εμβολιασμού, το ψάρι έχει αυξημένο επίπεδο αντισωμάτων στο κυκλοφορικό του σύστημα, που θα διατηρηθεί για όσο χρονικό διάστημα τα βραχύβια B πλασματοκύτταρα συνεχίσουν να κυκλοφορούν και να τα εκκρίνουν (πρωτογενής ανοσολογική απόκριση). Το ψάρι έχει επίσης έναν πληθυσμό από πολλαπλές γενεαλογικές σειρές B κυττάρων μνήμης και βοηθητικών T λεμφοκυττάρων που είναι ειδικά για 'επιτόπους' (epitopes) του παθογόνου και μπορούν να εκκινήσουν επιπλέον κλωνική επέκταση της δράσης των B-κυττάρων στην περίπτωση που συναντήσουν το παθογόνο εντός του εμβολίου, οδηγώντας σε ταχύτατη αύξηση του επιπέδου των αντισωμάτων (δευτερογενής ανοσολογική απόκριση). Τι κάνει όμως το αντίσωμα; Καθώς η απόκριση είναι πολυκλωνική, το μίγμα των αντισωμάτων θα αναγνωρίσει πολλούς 'επιτόπους'. Η δραστική λειτουργία του αντισώματος θα διαφέρει, ανάλογα με τον 'επίτοπο' που είναι δεσμευμένος, αλλά μπορεί γενικά να χωριστεί σε δύο κατηγορίες, στη λειτουργία της *εξουδετέρωσης* (neutralizing) και αυτή της *οψωνινοποίησης* (opsonising). Τα 'εξουδετερωτικά' αντισώματα συνδέονται με 'επιτόπους', που αποτελούν τμήματα μορίων που παρέχουν ζωτικής σημασίας λειτουργίες στο παθογόνο, με τρόπο που τα εμποδίζει να λειτουργήσουν, έχοντας ως αποτέλεσμα την αναστολή ή το θάνατο του παθογόνου. Για παράδειγμα, μπορούν να δεσμευθούν και να αναστείλουν τη δράση μορίων που εμπλέκονται στην πρόσληψη κρίσιμων θρεπτικών ουσιών ή μετάλλων, όπως οι πρωτεΐνες πρό-

σληψης σιδήρου στην εξωτερική μεμβράνη του *Aeromonas salmonicida* (Hirst and Ellis, 1994). Τα 'οψωνινοποιητικά' αντισώματα συνδέονται με 'επιτόπους' σε επιφανειακές δομές του παθογόνου και δίνουν τη δυνατότητα στα μακροφάγα και στα ουδετερόφιλα να ανιχνεύσουν εύκολα και να φαγοκυτταρώσουν το παθογόνο, μέσω επιφανειακών υποδοχέων του κυττάρου, οι οποίοι είναι ειδικοί και εμφανίζουν ιδιαίτερη προτίμηση για το συντηρημένο τμήμα F_c του μορίου της ανοσοσφαιρίνης (βλέπε **Πλαίσιο 12.3**). Η F_c περιοχή του μορίου IgM, που αποτελεί τα κυκλοφορούντα αντισώματα στα ψάρια, δεν είναι προσβάσιμη στους υποδοχείς των μακροφάγων και των ουδετερόφιλων μέχρις ότου το αντίσωμα συνδεθεί στον στόχο του, αναγκάζοντας το να αλλάξει σχήμα εκθέτοντας την F_c περιοχή. Αυτό εμποδίζει την μη ειδική ενεργοποίηση των μακροφάγων και των ουδετερόφιλων από μη συνδεδεμένα αντισώματα που κυκλοφορούν μέσα στο ψάρι (**Πλαίσιο 12.3**). Όταν το παθογόνο έχει φαγοκυτταρωθεί σε ένα κενοτόπιο (το φαγόσωμα) θανατώνεται και διασπάται από μικροβιοκτόνες ενώσεις που παράγονται από τα κύτταρα. Στα μακροφάγα και ουδετερόφιλα, οι οξειδάσες στη μεμβράνη του φαγοσώματος που περιβάλλει το εγκλωπωμένο παθογόνο ενεργοποιούνται και παράγουν υπεροξειδίο (μια ελεύθερη ρίζα οξυγόνου) ως πρόδρομο του απλού μορίου οξυγόνου, υπεροξειδίου του υδρογόνου, ρίζα υδροξυλίου και περοξυνιτρίτη. Τα ουδετερόφιλα παράγουν υποχλωριώδες οξύ από υπεροξειδίο του υδρογόνου χρησιμοποιώντας μυελοϋπεροξειδάση (MPO). Η MPO αποθηκεύεται με ασφάλεια σε κοκκία εντός του κυτταροπλάσματος, τα οποία αποκοκκιώνονται απελευθερώνοντας το ένζυμο κατά την ενεργοποίησή τους μετά από φαγοκυττάρωση. Συνεργασία μεταξύ μακροφάγων και ουδετερόφιλων, στα οποία υπάρχουν κοκκία MPO, κατά τη διάρκεια της φλεγμονώδους απόκρισης έχει παρατηρηθεί στην πέστροφα (Afonso et al., 1998), υποδηλώνοντας ότι το υποχλωριώδες οξύ μπορεί να προστεθεί στη λίστα των μικροβιοκτόνων ενώσεων που είναι διαθέσιμες στα μακροφάγα. Η ταχεία στόχευση παθογόνων για εκκαθάριση με αυτόν τον τρόπο από τα μακροφάγα και τα ουδετερόφιλα, σε συνδυασμό με εξουδετέρωση ή αναστολή βασικών διεργασιών στα βακτήρια, δείχνει πώς μια έντονη κυκλοφορία του ειδικού αντισώματος κατά ενός

παθογόνου είναι πολύ αποτελεσματική στην εκκαθάρισή του από τον ξενιστή.

12.2.3 Ανοσία σε Ιούς και Άλλα Ενδοκυτταρικά Παθογόνα

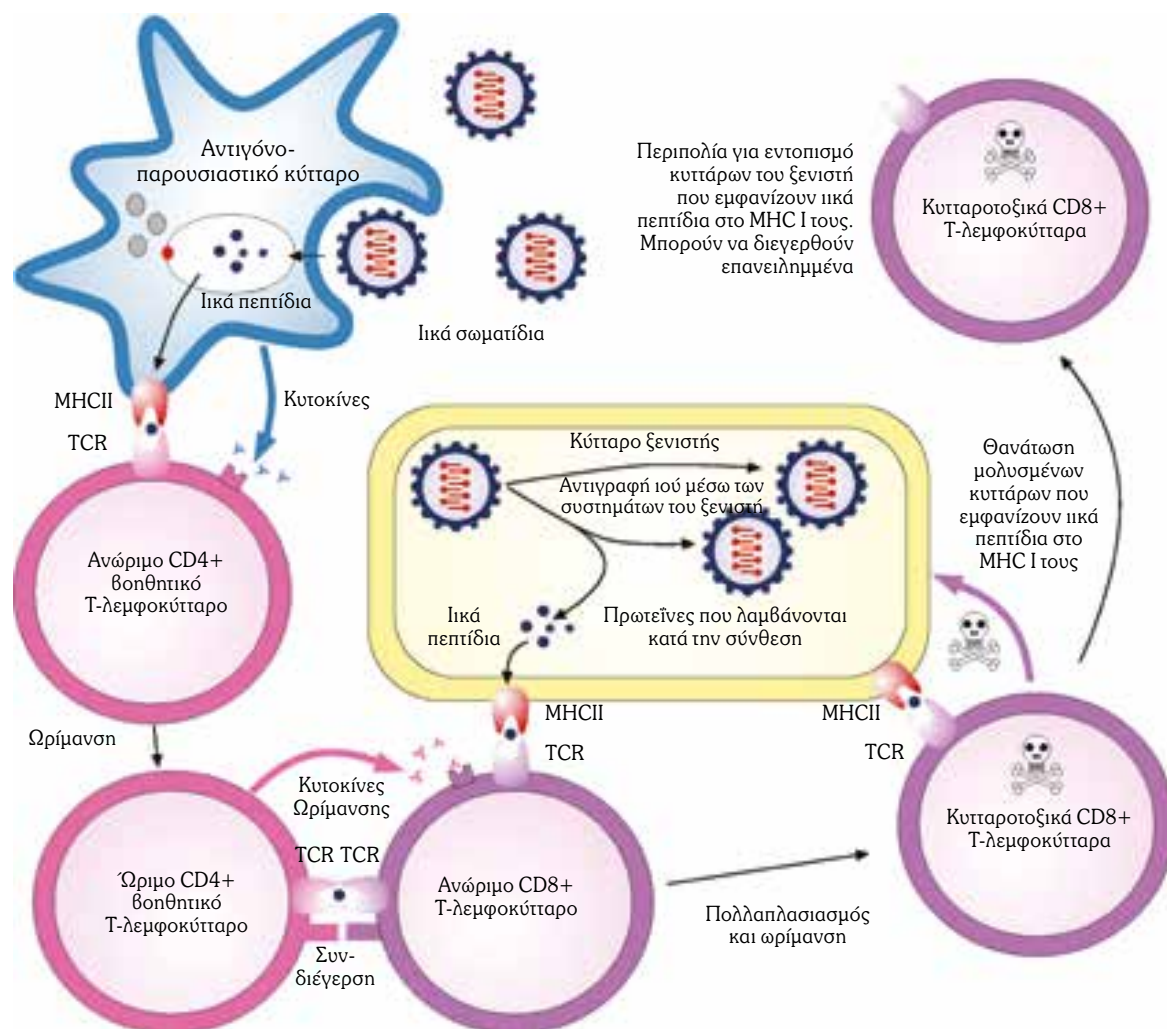
Μέχρι στιγμής έχουμε εξετάσει πώς το ανοσοποιητικό σύστημα των ψαριών επεξεργάζεται ένα εμβόλιο που χορηγείται στο εξωκυτταρικό περιβάλλον του περιτοναίου. Αυτό είναι πολύ αποτελεσματικό εναντίον πολλών ειδών παθογόνων βακτηρίων που επίσης εισβάλλουν στο εξωκυτταρικό περιβάλλον του ξενιστή. Σε αντίθεση, μερικά βακτηριακά παθογόνα και όλοι οι ιοί εισέρχονται στα κύτταρα ξενιστές και επιβιώνουν και πολλαπλασιάζονται εντός αυτών. Αυτά τα ενδοκυτταρικά παθογόνα απαιτούν διαφορετική ανοσολογική απόκριση, επειδή τα κυριότερα αντιγονοπαρουσιαστικά κύτταρα (APC), τα λεμφοκύτταρα και τα ισχυρά ανοσοπροστατευτικά/ανοσοδραστικά κύτταρα των μακροφάγων και των ουδετερόφιλων δεν μπορούν να εισέλθουν στα κύτταρα ξενιστές για να εκτελέσουν τη λειτουργία τους. Σχεδόν όλα τα κύτταρα των ιστών του ξενιστή που δεν έχουν ανοσολογική δράση εκφράζουν την πρωτεΐνη του MHC I. Αυτή, μαζί με την ουβικουιτίνη (ονομάστηκε έτσι επειδή είναι ευρέως διαδεδομένη “ubiquitously” σε όλα τα ευκαρυωτικά κύτταρα), αποτελεί μέρος του μηχανισμού αυτοελέγχου των κυττάρων κατά τη διάρκεια της πρωτεϊνοσύνθεσης, ως μέρος της φυσιολογικής κυτταρικής ανανέωσης. Ένα υποσύνολο πρωτεϊνών, που συνθέτονται στο κυτταρόπλασμα χρησιμοποιώντας τα φυσιολογικά συστήματα πρωτεϊνικής σύνθεσης σε κάθε κύτταρο, ελέγχονται και συνδέονται με ουβικουιτίνη. Στη συνέχεια αποικοδομούνται από μία πρωτεάση, που ονομάζεται πρωτεάσωμα, και τα πεπτίδια που προκύπτουν φορτώνονται στην αύλακα του μορίου MHC I, για να γίνει η μεταφορά τους μέσω του ενδοπλασματικού δικτύου και παρουσιάσή τους στην επιφάνεια του κυττάρου ξενιστή. Τα κύτταρα που παρουσιάζουν φυσιολογικές κυτταρικές πρωτεΐνες στο κύριο σύμπλεγμα ιστοσυμβατότητας (MHC) τους αγνοούνται από τα κυτταροτοξικά (CD8+) Τ-λεμφοκύτταρα, καθώς θεωρούνται ‘φυσιολογικά’. Εντούτοις, εάν ένα πεπτίδιο που προέρχεται από μια εξωγενή πηγή (για παράδειγμα μία ιική πρωτεΐνη, καθώς όλες οι ιικές πρωτεΐνες συντί-

θενται από τον μηχανισμό παραγωγής του κυττάρου ξενιστή) παρουσιαστεί από το MHC I στην επιφάνεια του κυττάρου, μπορεί να αναγνωριστεί από τον υποδοχέα των Τ-κυττάρων που είναι ειδικός για αυτό το σύμπλεγμα πεπτιδίου-MHC I, ως κύτταρο αποκλίνον από τη φυσιολογική λειτουργία. Αυτή η αλληλεπίδραση, μαζί με συν-δεδειγμένους παράγοντες στα αντιγόνο-παρουσιαστικά κύτταρα, θα ενεργοποιήσει το Τ-κύτταρο καθιστώντας το κυτταροτοξικό. Σε αυτή την κατάσταση το κυτταροτοξικό Τ-κύτταρο μπορεί να περάσει ένζυμα (κοκκιοένζυμα) στο κυτταρόπλασμα του μολυσμένου κυττάρου προκαλώντας τον προγραμματισμένο κυτταρικό θάνατο ή απόπτωση. Η διαδικασία αυτή συνοψίζεται στην **Εικόνα 12.6**. Το προκύπτον νεκρό κύτταρο και υπολείμματα αυτού, συμπεριλαμβανομένων τυχόν μολυσματικών σωματιδίων ιού, καθαρίζονται από μακροφάγα.

Η ανοσολογική μνήμη σε αυτή την “κυτταρομεσολαβούμενη” απόκριση απαιτεί την αλληλεπίδραση μεταξύ των ενεργοποιημένων βοηθητικών Τ λεμφοκυττάρων και των DC κυττάρων με τα CD8+ κυτταροτοξικά Τ-κύτταρα. Η ενεργοποίηση των CD8+ κυττάρων με αυτόν τον τρόπο οδηγεί στον κλωνικό πολλαπλασιασμό των CD8+ Τ-λεμφοκυττάρων, με αποτέλεσμα την παραγωγή υψηλού αριθμού μακρόβιων κυτταροτοξικών Τ-κυττάρων που περιπολούν εντός του ξενιστή φέροντας υποδοχέα Τ-κυττάρων που είναι ειδικός για τον αρχικό ‘επίτοπο’. Αυτά τα πλήρως ώριμα CD8+ Τ-λεμφοκύτταρα μπορούν να διεγερθούν επανειλημμένα όταν συναντήσουν κύτταρα του ξενιστή που εμφανίζουν τον ‘επίτοπο’ σε κάποια από τα επιφανειακά τους μόρια MHC I και είναι πολύ αποτελεσματικά στην εκκαθάριση αυτών των μολυσμένων κυττάρων του ξενιστή. Μια σχηματική αναπαράσταση του τρόπου με τον οποίο διάφορα κύτταρα του ανοσοποιητικού συστήματος θα μπορούσαν να ενεργοποιηθούν από έναν ιό παρουσιάζεται στην **Εικόνα 12.6**.

12.2.4 Πως η Κατανόηση των Ανοσολογικών Διαδικασιών Βοηθάει στη Διαχείριση της Υγείας των Ψαριών;

Από την εξήγηση που δίδεται στο παρόν κεφάλαιο, θα πρέπει να γίνονται αμέσως αντιληπτά τουλάχιστον τρία βασικά σημεία:



Εικόνα 12.6 Απλοποιημένη σχηματική απεικόνιση της ανοσολογικής απόκρισης διαμεσολαβούμενης από το MHC I (εσωτερικά παραχθέντα αντιγόνα, όπως ιικές πρωτεΐνες). Η παρουσίαση του αντιγόνου από το MHC I μπορεί να συμβεί σχεδόν σε οποιοδήποτε κύτταρο, αλλά μπορούν να εκτεθούν μόνο αντιγόνα που προέρχονται από το εσωτερικό του κυττάρου. Κύτταρα μολυσμένα από ιούς ή ενδοκυτταρικά βακτήρια θα παρουσιάσουν επεξεργασμένα αντιγόνα από τον μολυσματικό παράγοντα μέσω του MHC I. Η έκθεση στα Τ-κύτταρα μέσω του MHC I θα οδηγήσει στην ωρίμανση CD8+ κυταροτοξικών Τ-κυττάρων που θα θανατώσουν το μολυσμένο κύτταρο, προλαμβάνοντας περαιτέρω πολλαπλασιασμό του ιού. Ωστόσο, η πλήρης ωρίμανση, που επιτρέπει επαναλαμβανόμενη διέγερση της κυταροτοξικότητας, απαιτεί αλληλεπίδραση με ώριμο CD4+ βοηθητικό Τ-κύτταρο. Αυτά θα πρέπει να έχουν εκτεθεί σε ιικό αντιγόνο μέσω του MHC II για να ωριμάσουν. *MHCII*: Μόριο Μείζονος Συμπλέγματος Ιστοσυμβατότητας κατηγορίας II. *TCR*: Υποδοχείς Τ-λεμφοκυττάρων *Πηγή*: Αναπαράγεται με άδεια από τον Andy Barnes, 2017.

- 1) Η ανάπτυξη της προσαρμοστικής ανοσίας απαιτεί **χρόνο**. Δεν έχει νόημα η ανοσοποίηση μιας ομάδας ψαριών με εμβολιασμό και η άμεση έκθεσή τους σε μια ασθένεια. Επομένως, ο εμβολιασμός πρέπει να γίνεται πριν από μία εποχική ασθένεια ή σε ένα περιβάλλον εκτροφής το οποίο είναι καλά προστατευμένο από την έκθεση σε νοσογόνους παράγοντες, προκειμένου να παρασχεθεί επαρκής χρόνος για τον πολλαπλασιασμό και την ωρίμανση των ειδικών λεμφοκυττάρων.
- 2) Η ανάπτυξη μιας προστατευτικής προσαρμοστικής ανοσοαπόκρισης βασίζεται στον **μαζικό πολλαπλασιασμό** πολλαπλών γενεαλογικών σειρών ειδικών κυττάρων (Τ και Β-λεμφοκύτταρα) και, ως εκ τούτου, είναι ιδιαίτερα εξαρτημένη από την παροχή **ενέργειας**. Προκειμένου να παραχθούν τα νέα αυτά κύτταρα θα απαιτηθεί σύνθεση κάθε συστατικού των διπλών στοιβάδων λιπιδίων του κυτταρικού τοιχώματος, των νουκλεϊκών οξέων για το γενετικό υλικό, των πρωτεϊνών για τα ένζυμα και τα δομι-

κά συστατικά, καθώς και καύσιμα για να ζήσουν και να εκτελέσουν τη λειτουργία τους. Η ενέργεια για αυτή τη διαδικασία, αλλά και για όλες τις άλλες, στα ψάρια, συμπεριλαμβανομένης της αύξησης, προέρχεται εξ ολοκλήρου από την τροφή. Συνεπώς, θα ήταν αναμενόμενη μία μικρή καθυστέρηση της αύξησης κατά την πρώτη ή και κατά τη δεύτερη εβδομάδα μετά τον εμβολιασμό. Η καθυστέρηση αυτή αντισταθμίζεται γρήγορα μέσα στους επόμενους μήνες. Το πιο σημαντικό όμως είναι ότι τα ψάρια, κατά τη διάρκεια των εβδομάδων που έπονται του εμβολιασμού, χρειάζονται σταθερούς ρυθμούς σίτισης με κατάλληλης ποιότητας τροφές, ώστε να εξασφαλιστεί η κατάλληλη ανάπτυξη της ανοσίας.

Στη φάση αυτή δεν πρέπει να γίνεται χρήση φθηνών, ληγμένων ή αλλοιωμένων τροφών σε μία προσπάθεια εξοικονόμησης χρημάτων, αλλά ούτε και δοκιμές διαφορετικών προγραμμάτων διατροφής ή νέας δίαιτας. Πρέπει να εξετασθεί προσεκτικά ο χρόνος του εμβολιασμού σε ψάρια που σταματούν να τρέφονται σε ορισμένες περιόδους του έτους. Για παράδειγμα, η γιγαντόπερκα (*Lates calcarifer*) και το μαγιάτικο (*Seriola lalandi*) στην Αυστραλία τρέφονται ελάχιστα στα μέσα του χειμώνα όταν οι θερμοκρασίες του νερού είναι χαμηλές. Αντίθετα, ο σολομός του Ατλαντικού (*Salmo salar*) στην Τασμανία δεν τρέφεται καλά κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού όταν οι θερμοκρασίες είναι υψηλές. Δεν είναι φρόνιμο να γίνονται εμβολιασμοί τις περιόδους αυτές για τα εν λόγω είδη. Οι γνώσεις των τοπικών καλλιεργητών και κτηνιάτρων πρέπει να εφαρμόζονται.

- 3) Οι κύριοι ρυθμιστές του ανοσοποιητικού συστήματος, τα επαγγελματικά φαγοκύτταρα (μακροφάγα και ουδετερόφιλα) παράγουν μικροβιοκτόνα μόρια που είναι πολύ τοξικά, ακόμη και για τον ξενιστή. Το ανοσοποιητικό σύστημα λειτουργεί φυσιολογικά σε μια κατάσταση ομοιόστασης, με τα προ-φλεγμονώδη σήματα να είναι σε ισορροπία και να ρυθμίζονται από συμπληρωματικά αντιφλεγμονώδη σήματα. Το μικροβιοκτόνο δραστικό οξυγόνο εξουδετερώνεται από τα συστήματα αντιοξειδωτικών ενζύμων του ξενιστή. Η υποθετική “ένισχυση” του ανοσοποιητικού συστήματος με την προσθήκη

ενός προ-φλεγμονώδους ερεθίσματος στη διατροφή ή με άλλο τρόπο, θα πρέπει να αντιμετωπίζεται με σκεπτικισμό. Οι μόνοι τρόποι με τους οποίους το ανοσοποιητικό σύστημα μπορεί να ‘ενισχυθεί’ είναι με την παροχή της καλύτερης δυνατής διατροφής και ενός περιβάλλοντος χαμηλής καταπόνησης. Η επιλεκτική αναπαραγωγή εξημερωμένων σειρών ψαριών που καταπονούνται λιγότερο από το περιβάλλον καλλιέργειας μπορεί επίσης να βοηθήσει στην ομοιογένεια της απόκρισης στον εμβολιασμό σε ολόκληρη την ομάδα των ψαριών.

Φυσικά, η κατανόηση του ανοσοποιητικού συστήματος των ψαριών συνεισφέρει θεμελιωδώς στο σχεδιασμό, στη διαμόρφωση και στη χορήγηση εμβολίων στην υδατοκαλλιέργεια.

12.3 Εμβολιασμός των Ψαριών

Κατά τον εμβολιασμό απλώς εισάγεται ένα ανοσογόνο και αναμένεται σχηματισμός ανοσολογικής μνήμης, όπως περιγράφηκε στις προηγούμενες σελίδες. Η κινητική της ανοσοαπόκρισης είναι πολύ σημαντική, καθώς καθορίζει τον χρόνο που χρειάζεται μετά τον εμβολιασμό μέχρι να προστατευθούν τα ψάρια. Καθορίζει, επίσης, πόσο χρόνο θα παραμείνουν προστατευμένα τα ψάρια (διάρκεια ανοσίας ή DOI). Επειδή τα περισσότερα καλλιεργούμενα ψάρια είναι ποικιλόθερμα ζώα (οι τόνοι αποτελούν μία από τις διάφορες εξαιρέσεις), η κινητική των φυσιολογικών διεργασιών καθορίζεται εν μέρει από τη θερμοκρασία του νερού. Το γεγονός αυτό πρέπει να λαμβάνεται υπόψη όταν εκτιμάται η ανοσολογική κινητική στα ψάρια. Ο τρόπος για να επιτευχθεί αυτό είναι μέσω της μέτρησης της ανοσολογικής κινητικής σε βαθμοημέρες ($^{\circ}\text{d}$), που αντιστοιχούν απλά στο χρόνο σε ημέρες πολλαπλασιαζόμενο με τη θερμοκρασία του νερού σε βαθμούς Κελσίου ($^{\circ}\text{C}$). Έτσι, εάν η πρωταρχική απόκριση στον εμβολιασμό απαιτεί 600 $^{\circ}\text{d}$ για να επιτευχθούν τα μέγιστα επίπεδα αντισώματος στον ορό, το διάστημα αυτό αντιστοιχεί σε 20 ημέρες αν τα ψάρια βρίσκονται σε νερό θερμοκρασίας 30 $^{\circ}\text{C}$, αλλά σε 60 ημέρες σε ένα ψυχρόφιλο είδος στους 10 $^{\circ}\text{C}$. Ο τύπος της ανοσοαπόκρισης που ενεργοποιείται και η κι-

νητική αυτής της απόκρισης, και συνεπώς και η επιτυχία του εμβολιασμού, εξαρτώνται από έναν αριθμό παραγόντων, πέραν της θερμοκρασίας, οι οποίοι και εξετάζονται σε αυτή την ενότητα. Μερικά βασικά στοιχεία της ανοσολογικής κινητικής συνοψίζονται στον **Πίνακα 12.2**.

12.4 Τύποι Εμβολίων

12.4.1 Νεκρά ή Αδρανοποιημένα Εμβόλια

Στην απλούστερη μορφή τους, τα εμβόλια μπορεί να είναι μια νεκρή ή αδρανοποιημένη εκδοχή ενός μολυσματικού παράγοντα. Ο παράγοντας αναπτύσσεται σε καλλιέργεια σε κατάλληλο θρεπτικό υλικό για βακτήρια ή σε ιστολογική καλλιέργεια χρησιμοποιώντας μια κατάλληλη κυτταρική σειρά στην περίπτωση των ιών, και, στη συνέχεια, θανατώνεται ή αδρανοποιείται με μία από τις πολλές διαθέσιμες διαδικασίες. Η χρήση φορμόλης είναι πολύ συχνή και αρκετά αποτελεσματική για πολλά εμβόλια με αδρανοποιημένα βακτήρια, και τα εμβόλια αυτά εξακολουθούν να αποτελούν την πλειονότητα των αποτελεσματικών βακτηριακών εμβολίων που χρησιμοποιούνται στην υδατοκαλλιέργεια. Τα αδρανοποιημένα εμβόλια συνιστούν εξωγενή αντιγόνα, και, συνεπώς, επεξεργάζονται και παρουσιάζονται μέσω του MHC II, προκαλώ-

ντας μια ισχυρή χυμική ανοσοαπόκριση που χαρακτηρίζεται από αύξηση του ειδικού αντισώματος στην κυκλοφορία και επακόλουθη ανοσολογική μνήμη μέσω επαγωγής των Β-λεμφοκυττάρων μνήμης. Δεν έχουν την τάση να προκαλούν ισχυρή κυτταρική ανοσοαπόκριση, και αυτό εξηγεί το γεγονός ότι η πλειοψηφία των αδρανοποιημένων εμβολίων κατά των ιών και των ενδοκυτταρικών βακτηρίων έχει χαμηλή αποτελεσματικότητα στην πράξη.

12.4.2 Ζωντανά, Εξασθενημένα Εμβόλια

Τα ζωντανά, εξασθενημένα εμβόλια είναι απλώς ζωντανοί παράγοντες των οποίων η λοιμογόνος ικανότητα (ικανότητα πρόκλησης ασθένειας) έχει εξασθενήσει ή μειωθεί. Αυτό μπορεί να γίνει με διαδοχική καλλιέργεια *in vitro*, με ή χωρίς χημικούς παράγοντες, όπως το αντιβιοτικό ριφαμπικίνη που προστίθεται στο υλικό καλλιέργειας. Για παράδειγμα, ένα ζωντανό εξασθενημένο βακτηριακό εμβόλιο παρασκευάζεται μετά από πολλές (>16) διαδοχικές καλλιέργειες σε υλικό καλλιέργειας που περιέχει το αντιβιοτικό ριφαμπικίνη. Σε άλλα υποψήφια εμβόλια βασικά γονίδια που είναι απαραίτητα για τη λοιμογόνο ικανότητα μπορούν να 'εξουδετερωθούν' με τοποκατευθυνό-

Πίνακας 12.2 Κινητική της ανοσολογικής απόκρισης στον εμβολιασμό στα ψάρια. Η κινητική της ανοσίας στα ψάρια είναι πολύ σημαντική όταν εξετάζεται ο τρόπος και ο χρόνος του εμβολιασμού. Η διαδικασία εξαρτάται από τη θερμοκρασία, επομένως η θερμοκρασία του νερού πρέπει να λαμβάνεται υπόψη σε οποιονδήποτε υπολογισμό. Η κινητική μετρείται σε βαθμομέρες ($^{\circ}\text{d}$), οι οποίες αντιστοιχούν στη θερμοκρασία του νερού σε $^{\circ}\text{C}$ επί τον χρόνο σε ημέρες. Βασικοί παράγοντες που πρέπει να γνωρίζουμε είναι ο χρόνος που απαιτείται μετά τον εμβολιασμό για να προστατευτούν τα ψάρια (ο χρόνος απόκρισης) και η χρονική διάρκεια της προστασίας (η διάρκεια της ανοσίας DOI, Duration of Immunity). Αυτό εξαρτάται από το είδος του εμβολίου, τον τρόπο χορήγησής του και από το εάν χρησιμοποιείται αναμνηστική δόση του εμβολίου. Ο πίνακας παρουσιάζει ορισμένα ενδεικτικά παραδείγματα απόκρισης και διάρκειας ανοσίας. Αυτές είναι μόνο γενικές ενδείξεις και πρέπει να προσδιορίζονται πειραματικά για κάθε εμβόλιο.

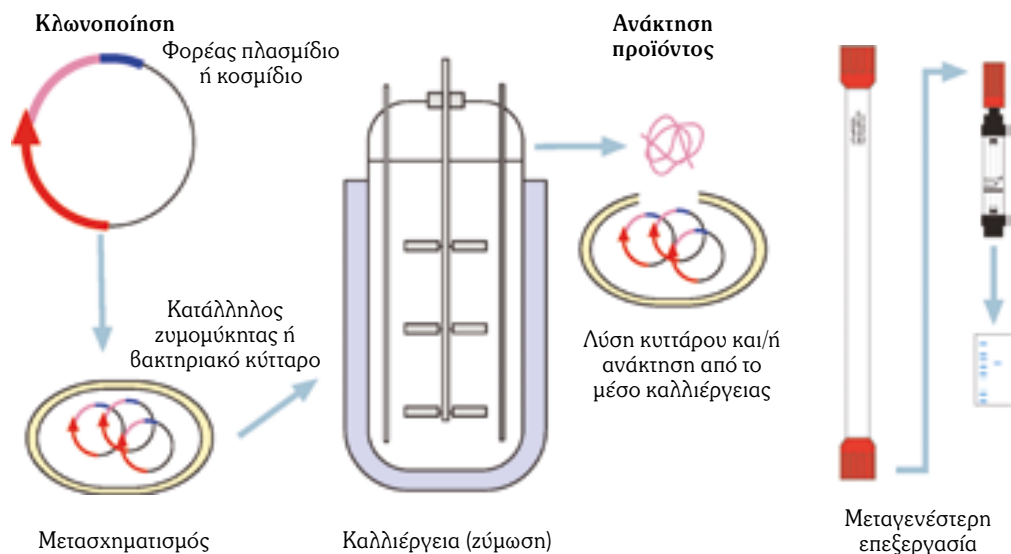
	Εμβάπτιση (υδατικό εμβόλιο)	Έγχυση (υδατικό εμβόλιο)	Έγχυση (γαλάκτωμα ελαίου)
Χρόνος απόκρισης			
Χρονική διάρκεια από την χορήγηση έως την πλήρη προστασία	Πρωταρχική ~500 $^{\circ}\text{d}$ Αναμνηστική ~150 $^{\circ}\text{d}$	Πρωταρχική ~500 $^{\circ}\text{d}$ Αναμνηστική ~150 $^{\circ}\text{d}$	Πρωταρχική ~1000 $^{\circ}\text{d}$ Δεν είναι απαραίτητη αναμνηστική δόση
Διάρκεια ανοσίας			
Χρονική διάρκεια προστασίας	Πρωταρχική ~1000 $^{\circ}\text{d}$ Αναμνηστική ~2000-3000 $^{\circ}\text{d}$	Πρωταρχική ~1500-3000 $^{\circ}\text{d}$ Αναμνηστική ~3000+ $^{\circ}\text{d}$	>8000 $^{\circ}\text{d}$

μενη μεταλλαξιγένεση – χρησιμοποιώντας έναν φορέα νουκλεϊκού οξέος για να εισαχθεί ειδικό επιπλέον DNA (μερικές φορές ένα γονίδιο αντοχής σε αντιβιοτικό) στη μέση του γονιδίου στόχου, έτσι ώστε να μην μπορεί πλέον να εκφραστεί από το παθογόνο. Αυτά τα εξασθενημένα στελέχη δεν προκαλούν πλέον ασθένεια ή προκαλούν πολύ ήπιας μορφής ασθένεια, και εκκαθαρίζονται γρήγορα από το ανοσοποιητικό σύστημα. Καθώς μολύνουν με τον ίδιο τρόπο όπως ο αρχικός οργανισμός, και αναπαράγονται εντός του ξενιστή, τείνουν να ενεργοποιούν τις ίδιες ανοσολογικές οδούς. Έτσι, καθώς ένας ζωντανός ιός ή ένα ενδοκυτταρικό βακτήριο αναπαράγεται μέσα στο κύτταρο ξενιστή, θα παρουσιαστούν συστατικά σε αυτό το κύτταρο από το MHC I, και έτσι θα ξεκινήσει η κυτταρική ανοσία. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να ξεπεραστεί το πρόβλημα της ενεργοποίησης μόνο της χυμικής ανοσολογικής μνήμης που απαντάται όταν χρησιμοποιούνται αδρανοποιημένα εμβόλια. Ωστόσο, υπάρχουν κάποιες ανησυχίες σχετικά με την πιθανή αναστροφή στη λοιμογόνο ικανότητα στο πεδίο, την πιθανότητα υπερβολικής εξασθένησης (έτσι ώστε τα εξασθενημένα στελέχη να εκκαθαρίζονται πολύ γρήγορα χωρίς να προκαλούν ανοσολογική μνήμη) και, στην περίπτωση της στοχευμένης μεταλλαξιγένεσης, την απελευθέρωση ζώντων γενετικώς τροποποιημένων οργανισμών (GMOs) στο περιβάλλον. Παρόλο που υπάρχει μεγάλο προηγούμενο στη χρήση ζωντανών, εξασθενημένων εμβολίων, ιδιαίτερα κατά των ιών, στην ανθρώπινη ιατρική, οι προαναφερθείσες ανησυχίες είχαν ως αποτέλεσμα την πολύ περιορισμένη αποδοχή τους στον τομέα της υδατοκαλλιέργειας.

12.4.3 Ανασυνδυασμένα ή Εμβόλια Υπομονάδων

Αμφότερες οι παραπάνω τεχνολογίες βασίζονται στην χορήγηση ολόκληρων κυττάρων ή ιικών σωματιδίων στο ζώο προκειμένου να αποκτήσουν ανοσολογική προστασία. Αυτό μπορεί να είναι προβληματικό εάν ο οργανισμός είναι πολύ δύσκολο να αναπτυχθεί *in vitro*. Για παράδειγμα, καθώς οι ιοί πρέπει να πολλαπλασιαστούν εντός των κυττάρων ξενιστών, τα ιικά εμβόλια πρέπει να παραχθούν σε κυτταροκαλλιέργεια. Ωστόσο, για

ορισμένους ιούς ψαριών, δεν υπάρχουν συμβατές κυτταρικές σειρές στις οποίες μπορούν να αναπτυχθούν επιτυχώς ή μπορεί η παραγωγή τους να είναι τόσο χαμηλή ώστε να μην είναι οικονομικά βιώσιμη για την παραγωγή εμβολίων. Επιπλέον, ορισμένα παρασκευάσματα που βασίζονται σε ολόκληρα κύτταρα μπορεί να περιέχουν πολύ τοξικά συστατικά τα οποία δεν αδρανοποιούνται από την επεξεργασία που χρησιμοποιείται για τη θανάτωση του εμβολίου, ή μπορεί να περιέχουν εξαιρετικά αντιγονικά συστατικά τα οποία δεν προκαλούν προστατευτική ανοσία, αλλά καταπνίγουν οποιαδήποτε απόκριση σε πιθανά προστατευτικά συστατικά που μπορεί να συνιστούν ένα πολύ μικρό ποσοστό των συνολικών συστατικών του εμβολίου. Η πρόοδος των μοριακών τεχνολογιών οδήγησε στην ανάπτυξη εμβολίων υπομονάδων ή ανασυνδυασμένων εμβολίων, στα οποία χρησιμοποιούνται μόνο τα προστατευτικά μόρια ή τα τμήματα αυτών που περιέχουν τους προστατευτικούς 'επιτόπους'. Αυτό απαιτεί, σαφώς, εκτεταμένη γνώση της διαδικασίας της μόλυνσης από το συγκεκριμένο παθογόνο, και των συστατικών που είναι κρίσιμα για τη διαδικασία, αλλά και προσβάσιμα από το ανοσοποιητικό σύστημα. Μόλις προσδιοριστεί μια υποψήφια πρωτεΐνη ή τμήμα αυτής, ο απλούστερος τρόπος παραγωγής της σε σημαντικές ποσότητες είναι με κλωνοποίηση του γονιδίου σε ένα πλασμίδιο έκφρασης και έκφραση της πρωτεΐνης σε *E. coli* ή σε ζυμομύκητα. Γενικά, πρωτεΐνες προερχόμενες από βακτηριακά παθογόνα θα εκφραστούν σε *E. coli*, ενώ εκείνες από ιούς μπορούν να εκφραστούν σε ζυμομύκητες για να εκμεταλλευτούν τις διαφορές στην ευκαρυωτική μετα-μεταφραστική τροποποίηση. Οι ιικές πρωτεΐνες συνθέτονται από τον μηχανισμό των κυττάρων ξενιστών κατά τη διάρκεια της μόλυνσης και τα ψάρια φέρουν ευκαρυωτικά κύτταρα. Η διαδικασία έκφρασης απεικονίζεται σχηματικά στην **Εικόνα 12.7**. Ουσιαστικά, η έκφραση της πρωτεΐνης σε βακτήρια ή ζυμομύκητες και η ανάπτυξη μεγάλου όγκου καλλιέργειας από αυτά/αυτούς είναι το απλούστερο μέρος της διαδικασίας, αν και εμφανίζει κάποιες δυσκολίες. Ο καθαρισμός της ανασυνδυασμένης πρωτεΐνης από την τελική καλλιέργεια και η πιθανή περαιτέρω επεξεργασία της (downstream processing), όπως επαναδίπλωση ή σύζευξη, για να γίνει πιο ορατή στο ανοσοποι-



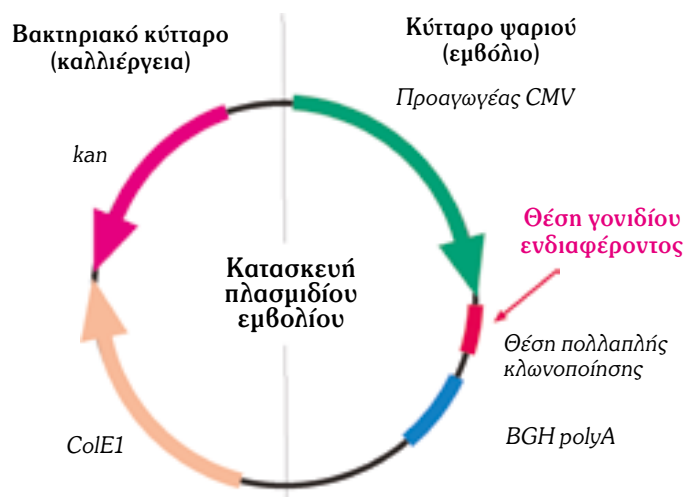
Εικόνα 12.7 Διαδικασία παραγωγής ανασυνδυασμένου εμβολίου. Το γονίδιο που κωδικοποιεί το αντιγονικό πεπτίδιο ή πρωτεΐνη κλωνοποιείται σε έναν φορέα έκφρασης – ένα πλασμίδιο με έναν πολύ αποτελεσματικό προαγωγέα που οδηγεί την έκφραση του γονιδίου στο βακτήριο ξενιστή ή το ζυμομύκητα κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας. Στη συνέχεια, η εκφρασμένη πρωτεΐνη ανακτάται από την καλλιέργεια. Αυτή η διαδικασία μπορεί να είναι δύσκολη, καθώς η πρωτεΐνη μπορεί να εκκρίνεται στο μέσο καλλιέργειας ή να διαμερισματοποιείται εντός του κυττάρου ξενιστή στο κυτταρόπλασμα, στο περίπλασμα (χώρος μεταξύ του κυττάρου και των εξωτερικών μεμβρανών), ή να ενσωματώνεται σε κοκκία που μπορεί να είναι πολύ δύσκολο να διαλυθούν. Όλα αυτά πρέπει να καθοριστούν πειραματικά πριν από την κλιμάκωση της παραγωγής. Το εύρος της μεταγενέστερης επεξεργασίας που απαιτείται για την απόκτηση του αντιγόνου σε μια αποτελεσματική μορφή θα καθορίσει το κόστος, και, επομένως, την βιωσιμότητα του εμβολίου στην αγορά. *Πηγή:* Αναπαράγεται με άδεια από τον Andy Barnes, 2017.

ητικό σύστημα, μπορεί να επιφέρει επιπλέον δυσκολία, και, συνεπώς, κόστος στη διαδικασία. Αυτό μπορεί να καταστήσει το κόστος των εμβολίων ανασυνδυασμένων υπομονάδων απαγορευτικό για χρήση σε ψάρια, τα οποία είναι ζώα σχετικά χαμηλής αξίας. Ένα περαιτέρω μειονέκτημα των ανασυνδυασμένων εμβολίων αποτελεί το γεγονός ότι, όπως και τα αδρανοποιημένα εμβόλια, επεξεργάζονται ως εξωγενή αντιγόνα (που παρουσιάζονται από το MHC II) και, επομένως, τείνουν να ενεργοποιούν μόνο την χυμική ανοσολογική μνήμη, με αποτέλεσμα να καθίστανται λιγότερο αποτελεσματικά έναντι ιών και ενδοκυτταρικών βακτηρίων. Υπάρχει, ωστόσο, ένα εμπορικό εμβόλιο που βασίζεται σε μια ανασυνδυασμένη υπομονάδα του ιού της μολυσματικής παγκρεατικής νέκρωσης (IPNV) στον σολομό του Ατλαντικού. Μία ανασυνδυασμένη πρωτεΐνη VP2 από την επιφάνεια του ιού συμπεριλήφθηκε ως συστατικό ενός πολυδύναμου εμβολίου που πωλούνταν για χρήση στη Νορβηγία κατά τα τέλη της δεκαετίας του 1990/αρχές της δεκαετίας του 2000, αν και το επίπεδο προστασίας που παρεχόταν από το IPNV συ-

στατικό αυτού του εμβολίου δεν είναι σαφές.

12.4.4 Εμβόλια DNA

Το εμβόλιο DNA, που μερικές φορές ονομάζεται εμβόλιο νουκλεϊκού οξέος ή πλασμιδίου, είναι η πιο πρόσφατη εξέλιξη στην τεχνολογία των εμβολίων και έχει πραγματικά πρωτοπορήσει εμπορικά στα ψάρια. Όπως τα ανασυνδυασμένα εμβόλια, αυτά τα εμβόλια απαιτούν σε βάθος γνώση της δομής, της λοιμογόνου ικανότητας και των εισβολικών διεργασιών του παθογόνου στόχου. Μόλις αναγνωριστεί μια υποψήφια πρωτεΐνη (όπως μια πρωτεΐνη της ιικής κάψας), το γονίδιο για αυτή την πρωτεΐνη κλωνοποιείται σε έναν φορέα πλασμιδίου εμβολίου DNA (**Εικόνα 12.8**). Στην ουσία, η διαδικασία αυτή είναι παρόμοια με την κατασκευή των φορέων ανασυνδυασμένης πρωτεΐνης. Ωστόσο, η κρίσιμη διαφορά μεταξύ ανασυνδυασμένων και εμβολίων DNA είναι ότι ο προαγωγέας (ο “κινητήρας” που οδηγεί στην έκφραση του επιθυμητού γονιδίου) στο εμβόλιο DNA είναι ενεργός στα κύτταρα του ξενιστή (ψαριών ή θηλαστικών), και όχι



Εικόνα 12.8 Ένας τυπικός φορέας εμβολίου DNA που παρουσιάζει τα πιο σημαντικά στοιχεία ενός κατασκευασμένου πλασμιδίου. Τα στοιχεία στα αριστερά του διαγράμματος είναι ενεργά στο βακτηριακό κύτταρο κατά την καλλιέργεια και σχετίζονται με την αντιγραφή και τη συντήρηση του πλασμιδίου. Το *colE1* είναι ένα, σχεδόν ολόκληρο, πολύ μικρό βακτηριακό πλασμίδιο που αναγνωρίστηκε στο *E. coli* τη δεκαετία του 1970 και περιέχει όλο τον απαραίτητο ‘μηχανισμό’ για να αντιγραφεί το πλασμίδιο και να κινητοποιηθεί στα θυγατρικά κύτταρα *E. coli* όταν τα βακτήρια διαιρεθούν. Το *kan* είναι ένα γονίδιο ανθεκτικότητας στην καναμυκίνη (αντιβιοτικό) που επιτρέπει την επιλογή κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας. Τα μετασχηματισμένα βακτήρια αναπτύσσονται σε υλικό που περιέχει καναμυκίνη κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας, έτσι ώστε οποιαδήποτε θυγατρικά κύτταρα που δεν έχουν το πλασμίδιο να ‘θανατώνονται’ και να μην συσσωρεύονται στην καλλιέργεια. Τα στοιχεία στα δεξιά του διαγράμματος είναι αυτά που εκφράζονται στα μυϊκά κύτταρα των ψαριών όταν το πλασμίδιο εγχέεται σε αυτά. Ο προαγωγέας CMV οδηγεί στην έκφραση οποιωνδήποτε γονιδίων βρίσκονται μετά από αυτόν, με τρόπο πολύ αποτελεσματικό σε κύτταρα σπονδυλωτών. Η θέση πολλαπλής κλωνοποίησης αμέσως μετά τον προαγωγέα περιέχει πολλές θέσεις κοπής ενζύμων περιορισμού, έτσι ώστε να μπορεί ο φορέας να κοπεί με διαφορετικά ένζυμα περιορισμού, για να επιτραπεί κατευθυνόμενη κλωνοποίηση του γονιδίου του αντιγόνου ενδιαφέροντος. Είναι σημαντικό το γονίδιο να κλωνοποιείται στον φορέα με τον σωστό προσανατολισμό και πλαίσιο, έτσι ώστε να εκφραστεί σωστά και να μεταφραστεί στα ψάρια. Στα ευκαρυωτικά κύτταρα, τα αγγελιοφόρα RNA είναι πολυαδενυλιωμένα (έχουν ουρά από αδερίνες), αλλά όχι στα βακτήρια. Το σήμα πολυαδενυλίωσης της αυξητικής ορμόνης των βοοειδών (BGH polyA) μετά την θέση πολλαπλής κλωνοποίησης εξασφαλίζει ότι το γονίδιο που εκφράζεται έχει μία polyA ουρά και θα μεταφραστεί σωστά στα ψάρια. *Πηγή:* Αναπαράγεται με άδεια από τον Andy Barnes, 2017.

σε βακτηριακά ή κύτταρα ζυμομύκητα. Σε εμπορικά εμβόλια DNA αυτός ο προαγωγέας προέρχεται από τον ανθρώπινο κυτταρομεγαλοϊό (CMV) και είναι απίστευτα αποτελεσματικός για την έκφραση γονιδίων σε ευκαρυωτικά κύτταρα. Στην περίπτωση εμβολίων DNA, το πλασμίδιο φορέας συνιστά, στην πραγματικότητα, το εμβόλιο, και όχι η εκφρασμένη πρωτεΐνη. Έτσι, το πλασμίδιο φορέας εγχέεται στον μυ του ψαριού και ορισμένα μυϊκά κύτταρα επιμολύνονται από το πλασμίδιο. Έπειτα, ο προαγωγέας CMV οδηγεί την έκφραση της πρωτεΐνης στόχου μέσα στο κύτταρο ξενιστή, καθιστώντας τη ένα ενδογενές αντιγόνο. Έτσι, παρουσιάζεται από το MHC I και ενεργοποιεί το κυτταρικό ανοσοποιητικό σύστημα για την ωρίμανση των CD8+ T-λεμφοκυττάρων που είναι κρίσιμα για την καλή προστασία έναντι πολλών ιών και εν-

δοκυτταρικών βακτηρίων. Μία απλοποιημένη θεωρητική απόκριση σε ένα εμβόλιο DNA παρουσιάζεται στην **Εικόνα 12.9**. Το πρώτο εμπορικό εμβόλιο DNA σε οποιοδήποτε ζώο, το ArpeX IHN, αδειοδοτήθηκε από την Novartis Animal Health το 2005 για την πρόληψη της ασθένειας του ιού της λοιμώδους αιμοποιητικής νέκρωσης (IHNV) στο σολομό στον Δυτικό Καναδά. Το εμβόλιο αποτελούνταν από ένα πλασμίδιο που εξέφραζε μία κύρια επιφανειακή γλυκοπρωτεΐνη από τον ραβδοϊό IHNV και ήταν εξαιρετικά αποτελεσματικό. Το 2016, το πρώτο εμβόλιο DNA που έλαβε άδεια για χρήση σε ψάρια στην Ευρώπη παρουσιάστηκε στη Νορβηγία. Αυτό το εμβόλιο κατά του ιού άλφα των σαλμονιδών, που προκαλεί την ασθένεια του παγκρέατος στο σολομό του Ατλαντικού, αναπτύχθηκε, αρχικά, από την Aqua Health/Novartis στα τέλη της δε-

ξένο DNA εκφράζεται ενεργά από μερικά κύτταρα των ψαριών, αυτό δεν ενσωματώνεται ποτέ στο γενετικό υλικό των ψαριών ή στη βλαστική σειρά, και επομένως δεν μεταφέρεται ποτέ στους απογόνους. Το εμβολιασμένο ψάρι είναι γενετικά ταυτόσημο με το μη εμβολιασμένο ψάρι, επειδή τα χρωμοσώματά του παραμένουν αναλλοίωτα.

Η παραγωγή πλασμιδίου σε μεγάλες ποσότητες και με επαρκή καθαρότητα για τον εμβολιασμό εκατοντάδων χιλιάδων ψαριών απαιτεί ουσιαστική κλιμάκωση για εμπορική χρήση σε τιμή που να είναι οικονομικά αποδοτική για τους καλλιεργητές. Ουσιαστικά, ο φορέας του εμβολίου DNA παράγεται σε *E. coli* σε μια τυπική καλλιέργεια. Ο μηχανισμός αντιγραφής του φορέα είναι βακτηριακής προέλευσης. Επίσης, ο φορέας περιέχει είτε ένα γονίδιο αντοχής σε αντιβιοτικό είτε ένα συμπληρωματικό γονίδιο για ένα αυξοτροφικό μεταλλαγμένο, ώστε να επιτραπεί η θετική επιλογή του στην καλλιέργεια (**Εικόνα 12.8**). Ο κατασκευασμένος πλασμιδικός φορέας εισάγεται σε ικανά κύτταρα *E. coli* με κοινό μετασχηματισμό. Ακολούθως, το *E. coli* αναπτύσσεται υπό κατάλληλες επιλεκτικές συνθήκες, για να διατηρηθεί το πλασμίδιο σε βιομηχανικό δοχείο καλλιέργειας, όπου το πλασμίδιο αντιγράφεται σε κάθε κυτταρική διαίρεση του *E. coli*. Στο τέλος της καλλιέργειας, τα βακτηριακά κύτταρα λύονται και τα απελευθερωμένα πλασμίδια καθαρίζονται από τα προϊόντα λύσης σε βιομηχανικής κλίμακας στήλες χρωματογραφίας πηκτής.

12.5 Οδοί Χορήγησης

Η χορήγηση εμβολίων στα ψάρια παρουσιάζει μια σειρά προβλημάτων, εξαιτίας του αριθμού των ατόμων που καλλιεργούνται και της χαμηλής χρηματικής αξίας του κάθε ζώου. Αυτό καθιστά τα εμβόλια των ψαριών παρόμοια με τα εμβόλια των πτηνών ως προς την οικονομική πλευρά της χρήσης τους. Έτσι, θα φαινόταν λογικό να χρησιμοποιείται ο ευκολότερος και λιγότερο δαπανηρός τρόπος χορήγησης. Δυστυχώς, υπάρχει αρνητική συσχέτιση μεταξύ χαμηλού κόστους/ευκολίας χρήσης του εμβολίου και πραγματικής αποτελεσματικότητας στα ψάρια. Με άλλα λόγια, η απλούστερη και φθηνότερη οδός χορήγησης μπορεί να

μην προκαλέσει την καταλληλότερη ανοσολογική απόκριση ή και οποιαδήποτε απόκριση. Στην πράξη, τα εμβόλια μπορούν να χορηγηθούν στα ψάρια μέσω έγχυσης (ενέσιμα), με εμβάπτιση, δια του στόματος (μέσω της τροφής) και, περιστασιακά, με ψεκασμό ελαιώδους γαλακτώματος πάνω στην επιφάνεια του νερού.

12.5.1 Ενέσιμα Εμβόλια

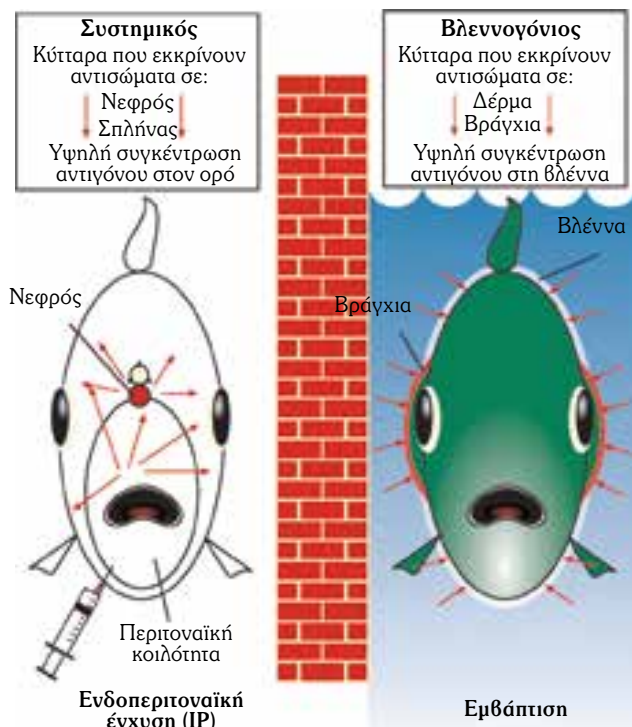
Η συντριπτική πλειονότητα των ανοσοποιημένων ψαριών εμβολιάζονται με έγχυση (ένεση) στην περιτοναϊκή κοιλότητα (ενδοπεριτοναϊκή (IP) ή ενδοκοιλιακή έγχυση. Αυτό μπορεί να φαίνεται αδύνατο, από την άποψη της απαιτούμενης σωματικής εργασίας, όταν αναλογιστεί κανείς τους υψηλούς αριθμούς των ψαριών, ωστόσο έχει υιοθετηθεί στη ρουτίνα του κύκλου διαχείρισης της καλλιέργειας. Η χρήση συσκευών επαναληπτικής έγχυσης, που ελέγχουν τη δόση, και τραπεζιών εμβολιασμού, που επιτρέπουν στα μη εμβολιασμένα ψάρια να παραμείνουν αναισθητοποιημένα, ενώ τα εμβολιασμένα ψάρια μεταφέρονται απαλά στις δεξαμενές ανάνηψης, καθιστούν εφικτό τον εμβολιασμό πολλών δεκάδων χιλιάδων ψαριών την ημέρα από μερικά εξειδικευμένα άτομα. Μια χαρακτηριστική εγκατάσταση εμβολιασμού μικρής κλίμακας σε ένα ιχθυοτροφείο γιγαντόπερκας στο Κουίνσλαντ (Αυστραλία) παρουσιάζεται στην **Εικόνα 12.2**. Περιστασιακά, τα εμβόλια μπορούν να χορηγηθούν μέσω ενδομυϊκής (IM) έγχυσης. Αυτό είναι υποχρεωτικό για τα εμβόλια DNA, καθώς τα κύτταρα ξενιστές χρειάζεται να επιμολυνθούν από το πλασμίδιο. Η έγχυση εμβολίων DNA στην περιτοναϊκή κοιλότητα φαίνεται να είναι αναποτελεσματική. Το Apex IHN γενικά χορηγείται στα ψάρια με ξεχωριστή ενδομυϊκή έγχυση ταυτόχρονα με την έγχυση του συνηθισμένου πολυδύναμου IP ενέσιμου εμβολίου έναντι σε μια σειρά άλλων ασθενειών.

Ο λόγος για τον οποίο οι καλλιεργητές υιοθέτησαν την φαινομενικά επίπονη πρακτική της ενδοπεριτοναϊκής (IP) έγχυσης είναι η αποτελεσματικότητά της. Τα καλά εμβόλια, που χορηγούνται ενδοπεριτοναϊκά σε υγιή ψάρια με ελάχιστη καταπόνηση, γενικά, προστατεύσουν τα ψάρια καθ' όλη τη διάρκεια της ζωής τους, και οποιοδήποτε σύγχρονο εμβόλιο παρέχει προστασία έναντι πέντε ή και

περισσότερων διαφορετικών ασθενειών μετά από μία μόνο έγχυση. Αυτό τα καθιστά πολύ αποδοτικά από οικονομικής άποψης κατά τη διάρκεια του κύκλου καλλιέργειας.

12.5.2 Εμβόλια Εμβάπτισης

Είναι πολύ δύσκολο να εμβολιαστούν μικρά ψάρια με έγχυση. Συνεπώς, τα νεαρά ψάρια βάρους <10 g μπορούν να εμβολιαστούν με εμβάπτιση σε καθαρό νερό από το εκκολαπτήριο στο οποίο έχει αραιωθεί το εμβόλιο. Γενικά, οι εμβαπτίσεις είναι πολύ σύντομες, με τη συνήθη πρακτική να διαρκεί 60 δευτερόλεπτα, καθώς δεν παρατηρείται βελτίωση στο αποτέλεσμα με εμβαπτίσεις μεγαλύτερης διάρκειας. Αντιθέτως, μπορεί να παρουσιαστεί ερεθισμός των βραγχίων με εμβαπτίσεις μεγαλύτερης διάρκειας. Τα ψάρια μπορούν να αναισθητοποιηθούν ελαφρά και να τοποθετηθούν σε δοχείο με το αραιωμένο εμβόλιο. Μετά από 60 δευτερόλεπτα, τα ψάρια αφαιρούνται και επιστρέφονται στις δεξαμενές για ανάκαμψη. Μόνο μία καθορισμένη βιομάζα ψαριών μπορεί να εμβολιασθεί ανά λίτρο εμβολίου, επειδή το αντιγόνο μπορεί να εξαντληθεί, καθώς παρτίδες ψαριών εμβολιάζονται στο ίδιο διάλυμα εμβολίου. Η βιομάζα αυτή πρέπει να προσδιορίζεται εμπειρικά από τον παρασκευαστή και να περιλαμβάνεται στις ενδείξεις σήμανσης για την αδειοδότηση του εμβολίου. Ενώ η εμβάπτιση των ψαριών μπορεί να φαίνεται πολύ πιο 'ελκυστική' από την ενδοπεριτοναϊκή έγχυση, εν τούτοις έχει ορισμένα μειονεκτήματα. Πρώτον, η εμβάπτιση τείνει να διεγείρει μόνο το βλεννογόνο ανοσοποιητικό σύστημα, με ειδικά κύτταρα που εκκρίνουν αντισώματα (B-κύτταρα) να ανιχνεύονται, μετά τον εμβολιασμό με εμβάπτιση, μόνο στο επιθήλιο του δέρματος και στα βράγχια. Αυτά τα B-κύτταρα εκφράζουν μια μοναδική κλάση ανοσοσφαιρίνης (IgT) ανάλογη με την IgA των βλεννογόνιων επιφανειών στα θηλαστικά (Zhang et al., 2010). Η αντίθεση μεταξύ των ανοσοαποκρίσεων στην έγχυση και στην εμβάπτιση απεικονίζεται στο διάγραμμα της **Εικόνας 12.10**. Χωρίς ενεργοποίηση της συστημικής ανοσίας, η διάρκεια της ανοσίας μπορεί να είναι πολύ σύντομη, και είναι πιθανό να απαιτείται συχνός επανεμβολιασμός. Καθώς τα ψάρια μεγαλώνουν, αυτό καθίσταται προβληματικό, επειδή απαιτείται



Εικόνα 12.10 Διαχωρισμός της βλεννογόνιου και της συστημικής ανοσοαπόκρισης στα ψάρια. Τα ενέσιμα εμβόλια διεγείρουν τη συστημική ανοσία με βάση την IgM, ενώ τα εμβόλια μέσω εμβάπτισης διεγείρουν τη βλεννογόνο ανοσία με βάση την IgT. Ο φαινομενικός διαχωρισμός αυτών των δύο συστημάτων σημαίνει ότι τα εμβόλια μέσω εμβάπτισης προσφέρουν βραχείας διάρκειας ανοσία και είναι ακατάλληλα για κάποιες μολύνσεις. Ο 'τοιχος από τούβλα' της εικόνας δείχνει ότι είναι δύσκολο να ενεργοποιηθεί η συστημική ανοσία με εμβάπτιση ή η βλεννογόνια ανοσία με έγχυση – ο διαχωρισμός μεταξύ των συστημάτων φαίνεται να είναι αρκετά αυστηρός. Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από τον Andy Barnes, 2017.

ται μεγαλύτερος όγκος νερού και, επομένως, πολύ μεγαλύτερος όγκος εμβολίου, γεγονός που αυξάνει και το κόστος. Επιπλέον, το βλεννογόνο ανοσοποιητικό σύστημα δεν φαίνεται να προστατεύει καθόλου από ορισμένα παθογόνα, όπως το *Lactococcus garvieae* και το *Streptococcus iniae*. Αυτό φαίνεται σαφέστατα στα πειραματικά δεδομένα που παρουσιάζονται στον **Πίνακα 12.3**. Ιριδίζουσες πέστροφες που εμβολιάστηκαν κατά του *L. garvieae* με έγχυση ήταν εξαιρετικά προστατευμένες σε μεταγενέστερες προκλήσεις (96-100% σχετική επιβίωση - RPS). Αντίθετα, όταν το ίδιο εμβόλιο χορηγήθηκε με εμβάπτιση, δεν επιτεύχθηκε καμία προστασία (**Πίνακας 12.3**). Κατά συνέπεια, η εμβάπτιση τείνει να χρησιμοποιείται

Πίνακας 12.3 Διαφορά στην προστασία από τη μόλυνση με *Lactococcus garvieae* στην ιριδίζουσα πέστροφα όταν ο εμβολιασμός υλοποιείται με έγχυση ή με εμβάπτιση. Το σχετικό ποσοστό επιβίωσης (RPS) αντιστοιχεί στο ποσοστό των εμβολιασμένων ψαριών που επιβιώνουν σε σχέση με τα μολυσμένα, μη εμβολιασμένα ψάρια ελέγχου. Αρνητικό πρόσημο δείχνει ότι πέθαναν περισσότερα εμβολιασμένα ψάρια από ότι ψάρια της ομάδας ελέγχου! Σημειώστε πως ο εμβολιασμός με εμβάπτιση (Imm) αποτυγχάνει να προστατεύσει τα ψάρια από αυτό το συστηματικό παθογόνο, ενώ κατά την ενδοπεριτοναϊκή έγχυση (IP) με το ίδιο εμβόλιο παρέχει πολύ υψηλή προστασία. Αυτό είναι ενδεικτικό του διαμερισμού του ανοσοποιητικού συστήματος (βλεννογόνιου και συστηματικού), με κάθε κομμάτι του να ενεργοποιείται από διαφορετικές οδούς εμβολιασμού.

Παρτίδα Εμβολίου	Ανοσοενισχυτικό	Οδός Χορήγησης	RPS (%)
001/021	–	IP	100,00
001/036	–	Imm	3,05
001/048	M1	Imm	-6,35
001/048	M2	Imm	-23,83
001/048	P1	Imm	-20,63
001/048	–	Imm	3,07
001/048	–	IP	96,40

Πηγή: Στοιχεία από αδημοσίευτη έρευνα του συγγραφέα, 2001.

ως αρχικός εμβολιασμός για την προστασία ψαριών που είναι πολύ μικρά για εμβολιασμό με έγχυση, με την έγχυση να χρησιμοποιείται στη συνέχεια ως οδός χορήγησης αναμνηστικής δόσης, πριν τη μεταφορά στις εγκαταστάσεις πάχυνσης.

12.5.3 Εμβολιασμός Δια του Στόματος

Η δυνατότητα χορήγησης εμβολίων με τη τροφή φαίνεται να είναι η ιδανική λύση και θεωρείται από πολλούς το ‘Άγιο Δισκοπότηρο’ του εμβολιασμού των ψαριών. Ο καλλιεργητής πρέπει να ταΐζει τα ψάρια καθημερινά, και υπάρχουν περίπλοκα αυτοματοποιημένα συστήματα που χρησιμοποιούνται εμπορικά για την παροχή συγκεκριμένης ποσότητας τροφής ανάλογα με την όρεξη των ψαριών. Γιατί, λοιπόν, να μην συμπεριληφθούν απλώς τα εμβόλια σε μια παρτίδα τροφής; Η απάντηση είναι ότι η πρακτική αυτή δεν έχει αποτέλεσμα. Παρά την πολυετή έρευνα κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1990 και του 2000, υπάρχουν ελάχιστα στοιχεία που να υποδηλώνουν ότι η προστατευτική ανοσία μπορεί να προκληθεί στα ψάρια μέσω της στοματικής οδού με πρακτικό τρόπο. Εν μέρει, αυτό οφείλεται στην ανοσολογική “ανοχή” στα αντιγόνα που εισέρχονται στον οργανισμό μέσω κατάποσης, η οποία αποτρέπει την πρόκληση υψηλής συστηματικής ανοσοαπόκρισης και πιθανής αλλεργίας από την τροφή. Εν μέ-

ρει οφείλεται και στο εχθρικό περιβάλλον του γαστρεντερικού σωλήνα, εντός του οποίου περιέχονται πεπτικά ένζυμα και επικρατούν ακραίες τιμές pH. Ακόμη και τα πιο ανθεκτικά αντιγόνα είναι πιθανόν να υποστούν πέψη πολύ πριν συναντήσουν οποιαδήποτε αντιγόνο-παρουσιαστικό κύτταρο. Επιπλέον, οι πλάκες Peyer, που σχετίζονται με την ανοσολογική επεξεργασία στο έντερο των θηλαστικών, δεν έχουν ταυτοποιηθεί επακριβώς στους τελεόστεους ιχθύες, αν και υπάρχει λεμφοειδούς-τύπου ιστός στο οπίσθιο τμήμα του εντέρου κάποιων ειδών ψαριών. Αυτό δεν σημαίνει ότι η ανοσοπροστασία μέσω της στοματικής οδού είναι αδύνατη στα ψάρια. Ωστόσο, δεν είναι ούτε εύκολη ούτε βέβαιη, και είναι πιθανό να εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το παθογόνο. Οι περισσότερες έρευνες στον τομέα των εμβολίων χορηγούμενων δια του στόματος έχουν επικεντρωθεί στην προστασία του αντιγόνου έναντι των πεπτικών διεργασιών του πρόσθιου και του μέσου τμήματος του εντέρου, με την ελπίδα ότι, εάν το αντιγόνο φθάσει άθικτο στο πιο απορροφητικό οπίσθιο τμήμα, θα προσληφθεί και θα υποβληθεί σε επεξεργασία. Από τον μεγάλο αριθμό δυνητικών ‘φορέων’ που χρησιμοποιήθηκαν στην προσπάθεια να προκληθεί ανοσία μέσω εμβολίων χορηγούμενων με την τροφή, μόνο μερικοί αξίζει να αναφερθούν. Πρώτον, αντιγόνα μεταφέρθηκαν με επιτυχία διαμέσου του τοιχώματος της οπίσθιου

τμήματος του εντέρου στη πέστροφα και τον σολομό με ενθουλάκωση σε μικροσφαιρίδια συμπολυμερούς λακτιδίου και γλυκολιδίου, καλούμενο πολυλακτίδιο συν-γλυκολίδιο (PLGA), ενώ σωματίδια PLGA έχουν βρεθεί στον πρόνεφρο (ο κύριος αιματοποιητικός ιστός) ψαριών μετά τη χορήγηση εμβολίου δια του στόματος. Ωστόσο, δεν υπάρχουν αποδείξεις για την εμφάνιση προστατευτικής ανοσίας μέσω αυτής της πρακτικής. Στο εμπόριο έχει διατεθεί, επίσης, ένα σύστημα βασιζόμενο σε έλαιο για την προστασία των αντιγόνων κατά τη διέλευση από το έντερο. Πρόκειται, ουσιαστικά, για έλαιο και μία επιφανειοδραστική ουσία που χρησιμοποιείται για να δημιουργήσει ένα γαλάκτωμα που περιέχει το αντιγόνο, το οποίο στη συνέχεια τοποθετείται πάνω στην τροφή και χορηγείται στα ψάρια. Και για αυτή την πρακτική οι αποδείξεις για πρόκληση αποτελεσματικής προστασίας είναι περιορισμένες, και ο παρασκευαστής συνιστά να χρησιμοποιούνται αυτά τα σκευάσματα ως αναμνηστικά παρά ως κύρια εμβόλια. Πιο πρόσφατα, έχει αναπτυχθεί ένα σύστημα που καθιστά το έντερο πιο δεκτικό στον εμβολιασμό. Σε αυτό το πατενταρισμένο σύστημα χορηγείται ένα πρόσθετο της τροφής πριν από τον εμβολιασμό, το οποίο καθιστά το pH του εντέρου ουδέτερο, αδρανοποιεί τις πρωτεάσες του εντέρου και αυξάνει τη διαπερατότητα των τοιχωμάτων του εντέρου για να επιτραπεί η πρόσληψη του αντιγόνου. Πρόκειται για μια καινοτόμα προσέγγιση, αλλά, και πάλι, δεν υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία που να αποδεικνύουν σταθερή και αξιόπιστη αποτελεσματικότητα, με αποτέλεσμα να μην έχει υιοθετηθεί από την εμπορική ιχθυοκαλλιέργεια κατά τη δεκαετία μετά την αρχική έκθεση. Για ορισμένα είδη ψαριών, όπως το γατόψαρο, ο εμβολιασμός με έγχυση είναι αρκετά δύσκολος. Με την ταχεία ανάπτυξη της υδατοκαλλιέργειας ειδών *Pangasius* στην Ασία και την αύξηση της ζήτησης για εμβόλια (περισσότερες από 100 εκατομμύρια δόσεις εμβολίων μόνο στο Βιετνάμ), η έρευνα για τη χορήγηση εμβολίων δια του στόματος μπορεί να αναθερμανθεί. Ωστόσο, καθώς η τεχνολογία και οι πρακτικές των εκκολαπτηρίων συνεχίζουν να βελτιώνονται στο Βιετνάμ, αυξάνεται επίσης και η δυνατότητα για αξιόπιστο εμβολιασμό με έγχυση χρησιμοποιώντας δοκιμασμένη τεχνολογία.

12.6 Ανοσοενισχυτικά

Ο όρος ‘ανοσοενισχυτικός’ μεταφράζεται γενικά ως ‘βοηθός’. Τα ανοσοενισχυτικά, λοιπόν, είναι ουσίες που προστίθενται στα εμβόλια για τη βελτίωση της ανοσοαπόκρισης.

12.6.1 Ανοσοενισχυτικά για Αδρανοποιημένα Ενέσιμα Εμβόλια

Αρχικά υπήρχε προτίμηση προς ανοσοενισχυτικά βασισμένα στο αλουμίνιο τα οποία και ενίσχυσαν σημαντικά την ανοσία στα απλά εμβόλια αδρανοποιημένων βακτηρίων. Ωστόσο, η έλευση των ελαιωδών ανοσοενισχυτικών έφερε την επανάσταση στην υδατοκαλλιέργεια σολομού. Τα ανοσοενισχυμένα με έλαιο εμβόλια είναι σταθερά γαλακτώματα διαφόρων τύπων που παρήχθησαν χρησιμοποιώντας το υδατικό εμβόλιο, ένα μεταλλικό ή μη-μεταλλικό έλαιο και, συνήθως, μια μικρή ποσότητα επιφανειοδραστικής ουσίας, για να βοηθήσει στην δημιουργία του γαλακτώματος και στη σταθεροποίησή του. Τα περισσότερα είναι σχηματισμένα ως γαλακτώματα νερού-σε-έλαιο, με το υδατικό συστατικό (συνήθως τα αντιγόνα) να ενθυλακώνεται στον ελαιώδη φορέα με τη μορφή μικροσταγονιδίων. Το επίπεδο προστασίας και η διάρκεια της ανοσίας που προσφέρεται από τα ανοσοενισχυμένα με έλαιο αδρανοποιημένα βακτηριακά εμβόλια ενάντια σε μια ποικιλία βακτηριακών ασθενειών στον σολομό δεν έχουν προηγούμενο, αλλά ο τρόπος με τον οποίο λειτουργούν τα ελαιώδη ανοσοενισχυτικά δεν είναι ξεκάθαρος. Μπορεί να βελτιώνουν την παρουσίαση των αντιγόνων ή να διεγείρουν καλύτερα την κυτταρική ανοσία, αλλά ένας από τους κυριότερους τρόπους δράσης φαίνεται να είναι η αργή απελευθέρωση του αντιγόνου – το ελαιώδες γαλάκτωμα παραμένει στο περιτόναιο και επιμηκύνει την απελευθέρωση του αντιγόνου. Όντως μικροποσότητες ελαιώδους γαλακτώματος μπορούν να βρεθούν περιστασιακά μέσα στο περιτόναιο του σολομού κατά τη διάρκεια της συγκομιδής. Αυτό θεωρείται αποδεκτό στον σολομό, καθώς, γενικά, πωλείται με τη μορφή φιλέτου. Ωστόσο, σε ψάρια που πωλούνται ολόκληρα, η αποδοχή των ανοσοενισχυμένων με έλαιο εμβολίων είναι πιο περιορισμένη.

Οι παρενέργειες των ανοσοενισχυμένων με έλαιο εμβολίων έχουν συγκεντρώσει μεγάλη προσοχή. Σε κάποιες περιπτώσεις, μπορεί να συμβεί στο περιτόναιο μια τοπική ανοσολογική απόκριση γύρω από το έλαιο, οδηγώντας σε μελανές συμφύσεις που υποβαθμίζουν την αξία του φιλέτου ή το καθιστούν ακόμη και μη-εμπορεύσιμο. Έχουν γίνει πολλές συγκριτικές έρευνες για να καθοριστεί ο λόγος που οι συμφύσεις αυτές συμβαίνουν μόνο σε κάποια ψάρια, και με ορισμένα μόνο εμβόλια. Έχουν διατυπωθεί πολλές υποθέσεις, με τις πιθανές εξηγήσεις να κυμαίνονται από την τοξικότητα των βακτηριακών συστατικών (τα ανοσοενισχυτικά όντας μεμονωμένα δεν φαίνεται να προκαλούν συμφύσεις) ως την κακή πρακτική κατά την διάρκεια της έγχυσης (όπως η χρήση στοματικής ή υπερμεγέθους βελόνας) και την επακόλουθη μόλυνση στον πόρο της έγχυσης. Ανεξάρτητα από την αιτία, η δυσαρέσκεια των καταναλωτών έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη εμβολίων σε μικροδόσεις (που χορηγούνται σε πολύ μικρούς όγκους) από κάποιες εταιρίες, και αυτή η πρακτική δείχνει να μειώνει το πρόβλημα.

12.6.2 Ανοσοενισχυτικά για Άλλους Τύπους Εμβολίων

Ανοσοενισχυτικά τα οποία, έπειτα από εμβολιασμό με εμβάπτιση, διεγείρουν τη συστηματική και τη βλεννογόνο ανοσία θα ήταν εξαιρετικά χρήσιμα ενάντια σε κάποιες ασθένειες. Ωστόσο, επί του παρόντος, δεν υπάρχουν ανοσοενισχυτικά που χρησιμοποιούνται συστηματικά για τα εμβόλια μέσω εμβάπτισης. Με τον ερχομό των εμβολίων DNA, η ενσωμάτωση των κυτοκινών του ξενιστή στον φορέα, έτσι ώστε να εκφραστούν μαζί με το αντιγόνο στόχο, είναι μία ενδιαφέρουσα σκέψη. Οι κυτοκίνες είναι σηματοδοτικά μόρια που εκκρίνονται από τα κύτταρα του ανοσοποιητικού συστήματος για να ενεργοποιήσουν ανοσολογικές διαδικασίες, όπως την ωρίμανση των T-κυττάρων και την ενεργοποίηση των μακροφάγων (**Πίνακας 12.1**). Η λεπτομερής γνώση των μηχανισμών δράσης της κυτοκίνης και η ανακάλυψη των γονιδίων στα είδη στόχους είναι ένας τομέας έρευνας που προοδεύει ταχύτατα στα ψάρια, με την σχετική ανασκόπηση να έχει γίνει από τον Secombes (2008).

12.7 Εμβολιασμός στην Πράξη

Ο τύπος του εμβολίου, η παρουσία ή απουσία ανοσοενισχυτικού, και η οδός χορήγησης μπορούν να προταθούν μόνο από τους παρασκευαστές των εμβολίων έπειτα από εκτενή πειραματική και σε πραγματικές συνθήκες χρήση του προϊόντος. Κάποιοι δείκτες του μηχανισμού αλληλεπίδρασης όλων αυτών των παραγόντων και του τρόπου με τον οποίο επηρεάζουν τον χρόνο μέχρι την επίτευξη προστασίας και τη διάρκεια της ανοσίας παρουσιάζονται στον **Πίνακα 12.4**.

Η ανάπτυξη αξιόπιστων εμβολίων, η ενσωμάτωση ανοσοενισχυτικών και μία πληθώρα υποστηρικτικών ερευνών αναφορικά με την λοιμογόνο ικανότητα των παθογόνων των ψαριών και την ανοσία στα είδη τελεόστεων έχουν συμβάλλει σημαντικά στην οικονομική επιτυχία και τη βελτιωμένη περιβαλλοντική επίδραση της ιχθυοκαλλιέργειας.

Ωστόσο, η τεχνολογία δεν θα δούλευε χωρίς προσεκτικά ανεπτυγμένες πρακτικές καλλιέργειας, οι οποίες έχουν μεγιστοποιήσει την επίδοση των προϊόντων. Είναι επιτακτική ανάγκη να εμβολιάσουμε υγιή ψάρια. Στα άρρωστα ή καταπονημένα ψάρια, στην καλύτερη περίπτωση, δεν θα αναπτυχθεί ανοσία, ενώ στη χειρότερη περίπτωση η διαδικασία εμβολιασμού θα σκοτώσει τα ψάρια. Η ανάγκη για υγιή ψάρια για εμβολιασμό συνέπεσε με σημαντικές βελτιώσεις στη διαχείριση και στη βιοασφάλεια των εκκολαπτηρίων. Τα εκκολαπτήρια είναι απόλυτα καθαρά, οι γεννήτορες μπορεί να ελέγχονται συστηματικά για ασθένειες, τα αυγά απολυμαίνονται με όζον ή αδειοδοτημένα βιοκτόνα πριν εισαχθούν στο εκκολαπτήριο, το νερό επεξεργάζεται πριν να εισέλθει στο εκκολαπτήριο και το προσωπικό ακολουθεί αυστηρές διαδικασίες βιοασφάλειας για την είσοδο και την εισαγωγή εξοπλισμού. Με αυτόν τον τρόπο, οι ασθένειες αποκλείονται από το εκκολαπτήριο μέχρι τα νεαρά άτομα (που είναι απαλλαγμένα από ειδικά παθογόνα, SPF) να είναι αρκετά μεγάλα ώστε να εμβολιαστούν.

Η υποβολή των ζώων σε καταπόνηση κατά την διάρκεια του εμβολιασμού εξαλείφεται με τον προσεκτικό χειρισμό των ψαριών και την έγχυση υπό συνθήκες γενικής αναισθησίας. Η έλευση αυστηρά επιλεγμένων, εξημερωμένων γενεών ψαριών είχε σημαντική επίδραση στη πρακτι-

Πίνακας 12.4 Επίδραση του τύπου εμβολίου και της οδού χορήγησης στη ανοσολογική απόκριση και στη διάρκεια της ανοσίας (DOI, Duration of Immunity) στα ψάρια.

	Ανοσοεπι- σχυτικό	Συστημική Ανοσία	Κυτταρομεσολα- βούμενη Ανοσία	Βλεννογόνιος Ανοσία	Διάρκεια της Ανοσίας (DOI)
Αδρανοποιημένο					
IP έγχυση	Έλαιο	Ναι	Όχι	Όχι	Μεγάλη
IM έγχυση	Όχι	Ναι	Όχι	Όχι	Μέτρια
Εμβάπτιση	Όχι	Όχι	Όχι	Ναι	Μικρή
Ανασυνδυασμένο					
IP έγχυση	Έλαιο	Ναι	Όχι	Όχι	Μεγάλη
IM έγχυση	Όχι	Ναι	Όχι	Όχι	Μέτρια
Ζωντανό Εξασθενημένο					
IP έγχυση	Όχι	Ναι	Ναι	Όχι	Μεγάλη
Εμβάπτιση	Όχι	Ναι	Ναι	Ναι	Μέτρια
DNA					
IM έγχυση	Κυτοκίνες	Ναι	Ναι	Όχι	Μεγάλη

IP = Ενδοπεριτοναϊκή ένεση, IM = Ενδομυϊκή ένεση

κή χρήση των εμβολίων. Οι εξημερωμένες σειρές σολομοειδών είναι πολύ δυσκολότερο να καταπονηθούν σε σύγκριση με τους άγριους ομολόγους τους, γεγονός που αποδεικνύεται από τα χαμηλότερα επίπεδα κορτιζόλης στο πλάσμα τους. Επίσης, σε συνδυασμό με την χαμηλότερη ατομική ποικιλοότητα μεταξύ των εξημερωμένων σολομών, επιτυγχάνεται γενικά μια πιο ενιαία απόκριση στον εμβολιασμό με λιγότερα μη-αποκρινόμενα άτομα. Η θερμοκρασία του νερού και το μέγεθος των ψαριών κατά τον εμβολιασμό επίσης λαμβάνονται υπόψη για να μεγιστοποιηθεί η αποτελεσματικότητα του εμβολίου.

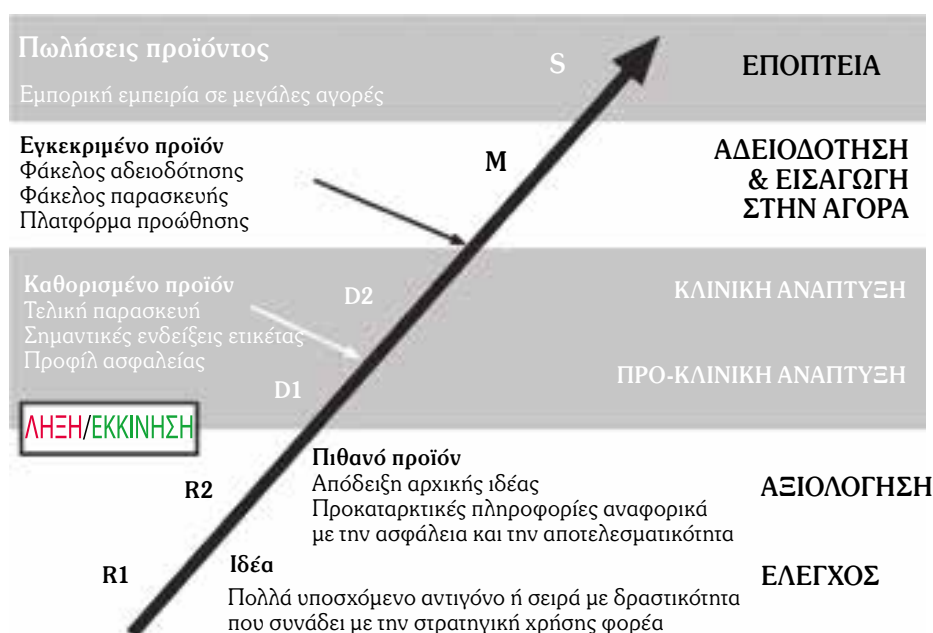
Γενικά, το ιδανικό εύρος μεγέθους ψαριών και το ιδανικό εύρος θερμοκρασίας του νερού για ασφαλή εμβολιασμό συστήνεται από τις τεχνικές ομάδες των παρασκευαστών του εκάστοτε εμβολίου ή από έμπειρους κτηνίατρους έπειτα από προσεκτική πειραματική εργαστηριακή και υπό πραγματικές συνθήκες επιβεβαίωση. Δεδομένου ότι ακολουθούνται οι διαδικασίες του εκκολαπτηρίου, τηρούνται οι ενδείξεις της ετικέτας του εμβολίου και τα ψάρια χειρίζονται προσεκτικά τόσο κατά την διάρκεια όσο και μετά το πέρας της διαδικασίας, το εμβόλιο θα παρέχει προστασία ενάντια στους μολυσματικούς παράγοντες που περιέχει.

12.8 Διαδικασία Έρευνας και Ανάπτυξης Εμπορικών Εμβολίων Ψαριών

Τα προγράμματα για την ανάπτυξη και αδειοδότηση νέων εμβολίων πρέπει να διαχειρίζονται προσεκτικά για να συνεχίζουν να προοδεύουν και για να εξασφαλίζεται ότι το κόστος τους δεν υπερβαίνει την αξία του τελικού προϊόντος. Τα στάδια έρευνας και ανάπτυξης για ένα τυπικό πρόγραμμα ανάπτυξης εμπορικού εμβολίου παρουσιάζεται στην **Εικόνα 12.11**.

12.8.1 Φάση Έρευνας

Η πρώτη φάση της έρευνας ή φάση ανακάλυψης αφορά ουσιαστικά τον έλεγχο και τον πειραματισμό προκειμένου να βρεθούν αντιγόνα-κλειδιά, στελέχη με συγκεκριμένες ιδιότητες ή συνθήκες καλλιέργειας που υπόσχονται λύση για ένα καθορισμένο πρόβλημα μιας αγορά στόχου. Οι πιο ελπιδοφόρες έρευνες θα συνεχίσουν και θα διεξαχθεί περαιτέρω έρευνα και αξιολόγηση προκειμένου να αποδειχθεί η αρχική ιδέα, να προκύψουν προκαταρκτικές πληροφορίες αναφορικά με την ασφάλεια και την αποτελεσματικότητα, και να υπάρξουν



Εικόνα 12.11 Πορεία της έρευνας και ανάπτυξης (R&D) εμπορικού εμβολίου. Διάγραμμα ροής που δείχνει την τυπική πορεία έρευνας και ανάπτυξης για ένα νέο εμπορικό εμβόλιο για την υδατοκαλλιέργεια. Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από τον Andy Barnes, 2017.

βελτιώσεις σχετικά με τις συνθήκες ανάπτυξης και χορήγησης του σκευάσματος. Σε αυτό το στάδιο, μπορεί να συνταχθεί μια προσωρινή περιγραφή της παραγωγής για να επιτρέψει την εκτίμηση του πιθανού κόστους του προϊόντος. Αυτό είναι απαραίτητο ακόμα και σε αυτό το πρώιμο στάδιο, καθώς η απόφαση σχετικά με το αν θα συνεχίσει η ανάπτυξη του προϊόντος πρέπει να παρθεί σε αυτό το σημείο του προγράμματος. Η έρευνα μπορεί να φαίνεται ακριβή, αλλά το κόστος αρχίζει να κλιμακώνεται σημαντικά μετά την είσοδο στη φάση ανάπτυξης. Επιπλέον, οι ερευνητές τείνουν να είναι ιδιαίτερα προσκολλημένοι στα προγράμματα, και μια αντικειμενική απόφαση για τη λήξη ενός προγράμματος είναι κρίσιμη. Επομένως, η δυναμική του προϊόντος στη αγορά πρέπει να καθορισθεί, η πιθανότητα για υψηλή αποτελεσματικότητα/ευκολία στη χρήση πρέπει να είναι ξεκάθαρη, και η εφαρμοσιμότητα μιας παραγωγής υψηλής κλίμακας, αλλά και της αδειοδότησης του προϊόντος, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη.

12.8.2 Φάση Ανάπτυξης

Η προ-κλινική ανάπτυξη περιλαμβάνει την κατάθεση των καταγεγραμμένων αποθεμάτων των κύριων μικροοργανισμών (Master Seed stocks)

από κάθε οργανισμό που περιέχεται στο προϊόν. Η σύνθεση του τελικού προϊόντος πρέπει να οριστικοποιηθεί (π.χ., η συγκέντρωση, τα ανοσοενισχυτικά, κτλ.). Η γενική περιγραφή της παραγωγής (Production Outlines) οριστικοποιείται και κλιμακώνεται η παραγωγή υπό καλές συνθήκες (GMP – Good Manufacturing Practice). Οι μέθοδοι και οι παράμετροι ελέγχου και εξασφάλισης ποιότητας πρέπει να οριστούν. Οι ενδείξεις της ετικέτας πρέπει να προσδιοριστούν, καθώς και τυχόν ισχυρισμοί που έχουν αποδειχθεί πειραματικά υπό ελεγχόμενες εργαστηριακές συνθήκες χρησιμοποιώντας παρτίδες παραγωγής με GMP. Στις ενδείξεις αυτές περιλαμβάνονται η διάρκεια της ανοσίας, ο χρόνος έναρξης της και η διάρκεια ζωής του σκευάσματος (είναι σημαντικό να αποθηκεύονται καταγεγραμμένες παρτίδες του εμβολίου χωρίς σε αυτή τη φάση, καθώς, για να προσδιοριστεί η διάρκεια ζωής, πρέπει να αποδειχθεί ότι δεν υπάρχει απώλεια αποτελεσματικότητας κατά την αποθήκευση – μπορεί να χρειαστούν ακόμη και 18 μήνες για να επιβεβαιωθεί ο ισχυρισμός της 12μηνιας διάρκειας ζωής για ένα προϊόν). Το προφίλ ασφαλείας πρέπει επίσης να καθοριστεί και να εξειδικευτεί. Ουσιαστικά, στο τέλος της προ-κλινικής φάσης ανάπτυξης πρέπει να υπάρχει ένα πλήρως καθορισμένο προϊόν.

Η κλινική ανάπτυξη αναφέρεται στη δημιουργία όλων των απαραίτητων εγγράφων για την αδειοδότηση στις χώρες στόχους, αναπτύσσοντας έναν φάκελο παραγωγής και δημιουργώντας μια πλατφόρμα προώθησης εν αναμονή της κυκλοφορίας του προϊόντος. Ο φάκελος αδειοδότησης περιλαμβάνει δεδομένα ασφάλειας και αποτελεσματικότητας καθορισμένα υπό εργαστηριακές συνθήκες (συνήθως υπό τη μορφή ενός σχεδίου εγγύησης ποιότητας, όπως Good Laboratory Practice ή ISO). Περιέχει, επίσης, πιστοποιητικά κλινικής αποτελεσματικότητας και ασφάλειας υπό πραγματικές συνθήκες που προκύπτουν μετά από διενέργεια των αναγκαιών ελέγχων σε ζώα, που συχνά διεξάγονται υπό τις συνθήκες της Good Clinical Practice. Μια πλατφόρμα προώθησης θα καθιερωθεί για την υποστήριξη του προϊόντος, χρησιμοποιώντας δεδομένα για την αποτελεσματικότητα αυτού στο εργαστήριο και υπό πραγματικές συνθήκες. Η αποκορύφωση αυτής της φάσης είναι η πλήρης αδειοδότηση και η διάθεση του προϊόντος.

12.8.3 Εποπτεία

Το σχέδιο διαχείρισης του προγράμματος δεν σταματά με την εμπορική διάθεση του προϊόντος. Οι περισσότερες εταιρείες παραγωγής εμβολίων διαθέτουν ικανές τεχνικές ομάδες που αποτελούνται από επιστήμονες και κτηνιάτρους που θα επιβλέπουν το προϊόν κατά την διάρκεια παραμονής του στην αγορά. Μόνο η εκτεταμένη εμπειρία από σημαντικές αγορές επιτρέπει την ταυτοποίηση και λύση πιθανών προβλημάτων. Αυτή είναι μια συνεχιζόμενη διαδικασία που απαιτεί μια καλή σχέση εργασίας και ροή πληροφοριών μεταξύ της εταιρείας παραγωγής του εκάστοτε εμβολίου και των καλλιεργητών, μέσω των κτηνιάτρων και της τεχνικής ομάδας. Η συμμετοχή ρυθμιστικών φορέων είναι υποχρεωτική στην περίπτωση που χρειαστούν τροποποιήσεις στο αδειοδοτημένο προϊόν.

12.9 Μελλοντικές Τάσεις: Ο Εμβολιασμός στην Εποχή της Γονιδιωματικής

Η ταχεία εξέλιξη στη τεχνολογία της αλληλούχισης γονιδίων σε συνδυασμό με την εξίσου τα-

χεία εξέλιξη των εργαλείων της βιοπληροφορικής για την σύσταση και ανάλυση γονιδιωμάτων, είχε σημαντική επίδραση στο πεδίο των βιοιατρικών επιστημών και, οδήγησε σε επανάσταση στην ανθρώπινη ιατρική. Το συνεχώς φθίνον κόστος της αλληλούχισης καθιστά πλέον τη γονιδιωματική αποδοτική από οικονομικής πλευράς, ώστε να εφαρμοστεί στην υδατοκαλλιέργεια. Όσον αφορά τον εμβολιασμό, υπάρχουν διάφοροι τρόποι με τους οποίους η επανάσταση στη γονιδιωματική μπορεί να αξιοποιηθεί. Ο πρώτος εξ αυτών είναι η εφαρμογή αλληλούχισης γονιδιωμάτων σε μεγάλη κλίμακα στα παθογόνα βακτήρια και ιούς των ψαριών. Χρησιμοποιώντας μια προσέγγιση που καλείται αντίστροφη εμβολιολογία (Tettelin et al., 2006) είναι πλέον δυνατό να χρησιμοποιηθούν εργαλεία βιοπληροφορικής για να ταυτοποιηθούν, πολύ γρήγορα, επιφανειακά και εκκρινόμενα αντιγόνα σε παθογόνα, που μπορεί να χρησιμοποιηθούν σε εμβόλια. Συνδέοντας το γεγονός αυτό με την μεγάλης κλίμακας και υψηλής απόδοσης αλληλούχιση του γονιδιώματος και την ανάλυση πολλαπλών (πιθανώς εκατοντάδων) στελεχών του ίδιου παθογόνου, οι συντηρημένοι 'επίτοποι' σε πολλαπλά στελέχη μπορούν να αναγνωριστούν *in silico* ως υποψήφια αντιγόνα που θα προστατεύουν έναντι διαφορετικών ορότυπων. Η δυνατότητα σημαντικής βελτίωσης των εμβολίων είναι πολύ μεγάλη, ειδικά ενάντια σε βακτήρια που εμφανίζουν έντονη ποικιλομορφία αναφορικά με τα αντιγόνα, όπως μέλη του γένους *Streptococcus*, που προκαλούν εκτεταμένες απώλειες στην ιχθυοκαλλιέργεια. Η γονιδιωματική ανάλυση του παθογόνου των σολομοειδών *Yersinia ruckeri* έχει ήδη αποκαλύψει καινοτόμα ποικιλομορφία, με ενδεχόμενη εφαρμογή στην ανάπτυξη εμβολίων (Barnes et al., 2016). Υπάρχει ένας περιορισμός: ενώ ο χρόνος και το κόστος που απαιτούνται για να ταυτοποιηθούν υποψήφια αντιγόνα για ανασυνδυασμένα και εμβόλια DNA έχει μειωθεί δραματικά, δεν συμβαίνει το ίδιο με τον χρόνο και το κόστος που απαιτούνται για τον έλεγχο αυτών ως προς την αποτελεσματικότητά τους στα ψάρια! Αυτό είναι ένα κρίσιμο πρόβλημα που περιορίζει την θετική αξιολόγηση της όλης μεθόδου. Ωστόσο, υπάρχει ενδεχομένως ένας τρόπος με τον οποίο η γονιδιωματική μπορεί να συνεισφέρει. Πλήρη μεταγραφώ-

ματα (transcriptomes - συναθροίσεις από όλα τα αντιγραμμένα mRNA από όργανα στόχους) καθίστανται διαθέσιμα για όλο και περισσότερα είδη ψαριών. Συνεπώς, η χρήση της μεταγραφωμικής (transcriptomics) για την ανάλυση της πρώιμης προσαρμοστικής ανοσίας στα ψάρια αμέσως μετά τον εμβολιασμό, παράλληλα με την ανάλυση της μακροπρόθεσμης μοίρας αυτών των ψαριών μετά την μολυσματική πρόκληση, μπορεί να ταυτοποιήσει συσχετίσεις της διαδικασίας πρόκλησης προστασίας, που μπορούν να εντοπισθούν στο μεταγράφημα (transcriptome) πολύ σύντομα μετά τον εμβολιασμό. Η μεταγραφωμική μας επιτρέπει να αναρωτηθούμε «τι αλλάζει;» όσον αφορά την έκφραση γονιδίων, επειδή μπορούμε να αναλύσουμε ποσοτικά την έκφραση των πάντων σε έναν συγκεκριμένο ιστό, όπως το αίμα, τον πρήνιο ή τον σπλήνα, ενώ προηγουμένως γνωρίζαμε την αλληλουχία ορισμένων μόνο γονιδίων. Η πρακτική αυτή έχει τη δυνατότητα να μειώσει σημαντικά τον χρόνο που απαιτείται για τον έλεγχο των επιδράσεων των αντιγόνων.

12.10 Συμπεράσματα

Ένας πρώην συνάδελφος στην Aqua Health Ltd (μία από τις πρωτοπόρες εταιρείες παραγωγής εμβολίων ψαριών στη δεκαετία του 1980 και του 1990) κάποτε μου εξήγησε ότι ο εμβολιασμός ψαριών είναι σαν την αγορά ενός ασφαλιστήριου συμβολαίου: ο καλλιεργητής εξασφαλιζόταν σε περίπτωση που ξεσπούσε μία ασθένεια κατά τον κύκλο παραγωγής. Στο μυαλό μου, τα εμβόλια ψαριών είναι πολύ καλύτερα από αυτό. Ένα ασφαλιστήριο συμβόλαιο είναι σχεδιασμένο να ελαχιστοποιήσει το ρίσκο που πρέπει πραγματικά να πληρωθεί. Αντιθέτως ένα εμβόλιο είναι σχεδιασμένο (και επιμελώς ελεγμένο) για να εγγραφεί πως θα είναι αποδοτικό κάθε φορά και πάντοτε αποζημιώνει. Επομένως, η ποιότητα της επιστήμης πίσω από τα εμπορικά εμβόλια ψαριών πρέπει να είναι άψογη, καθώς η εγκυρότητά της θα μελετηθεί προσεκτικά από τους καλλιεργητές, τους διαχειριστές υγείας και τους κτηνιάτρους ξανά και ξανά μέσα από την απόδοση των εμβολίων υπό πραγματικές συνθήκες. Συγκριτικά, η αξιολόγηση μιας ακαδημαϊκής επιστημονικής δημοσίευσης απέχει

κατά πολύ όσον αφορά την επανάληψη και την αυστηρότητα.

Η ιστορία δείχνει πως η έλευση αξιόπιστων ενέσιμων εμβολίων ελαιωδών γαλακτωμάτων ήταν μια από τις βασικές τεχνολογίες που επέτρεψαν την ανάπτυξη της ιχθυοκαλλιέργειας σολομοειδών. Η ανάπτυξή τους επέτρεψε την επέκταση της εν λόγω ιχθυοκαλλιέργειας, κάτι που ήταν ανέφικτο στο παρελθόν λόγω ασθενειών, και μείωσε την χρήση χημικών για τον έλεγχο ασθενειών σε αμελητέα επίπεδα, μέσω της εκμετάλλευσης της φυσικής προσαρμοστικότητας του ανοσοποιητικού συστήματος των ψαριών. Τα εμβόλια για τους σολομούς αντιπροσωπεύουν, επί του παρόντος, κάποιες από τις πιο ανεπτυγμένες τεχνολογίες και ορισμένα από τα πιο οικονομικά αποδοτικά εμβόλια που υπάρχουν. Η επιμονή και το ρίσκο στην έρευνα και την ανάπτυξη από τις (τότε) πολύ μικρές εταιρείες βιοτεχνολογίας, η ευρύτητα πνεύματος των ρυθμιστικών φορέων και, κυρίως, η θέληση των καλλιεργητών σολομού να αλλάξουν πρακτικές και να υιοθετήσουν την νέα τεχνολογία ήταν ουσιαστικής σημασίας για αυτή την επιτυχία. Η χρήση και η ανάπτυξη εμβολίων έχει εξαπλωθεί στις περισσότερες περιοχές που υπάρχει υδατοκαλλιέργεια και στα περισσότερα καλλιεργούμενα είδη ιχθύων κατά την τελευταία δεκαετία. Υπάρχουν κάποιες σημαντικές προκλήσεις μπροστά μας: Στην υδατοκαλλιέργεια στα ζεστά νερά η ποικιλομορφία των στελεχών των παθογόνων και ο ρυθμός απελευθέρωσης των αντιγόνων από γαλακτώματα ανεπτυγμένα για τους, μεγαλύτερης διάρκειας, κύκλους καλλιέργειας ειδών ψυχρού νερού, μειώνουν την αξιοπιστία των εμβολίων. Παράσιτα, όπως οι αμοιβάδες στα βράγχια, οι θαλάσσιες ψείρες, και τα τρηματώδη, αποτελούν σημαντικό πρόβλημα. Τα εμβόλια έναντι παρασίτων αποτελούν, από τεχνική άποψη, μεγάλη πρόκληση και θα χρειαστούν καινοτόμες λύσεις. Οι γονιδιωματικές και μεταγραφωμικές έρευνες για τα παράσιτα και τους ξενιστές θα παίξουν ρόλο στην κατανόηση των προκλήσεων που παρουσιάζονται από τα εμβόλια έναντι των παράσιτων. Αλλά αυτές οι προκλήσεις θα αντιμετωπιστούν και οι τεχνολογίες που θα αναπτυχθούν θα υιοθετηθούν από τους καλλιεργητές, επειδή, όπως έχει δείξει η ιστορία, η επιστήμη θα είναι άψογη και η τιμή θα είναι σωστή.

12.11 Περίληψη

- Οι τελεόστοι ιχθύες έχουν ένα εξαιρετικά εξελιγμένο προσαρμοστικό ανοσοποιητικό σύστημα ικανό να προγραμματιστεί για να θυμάται και να αποκρίνεται σε απειλές από βακτήρια, ιούς και παράσιτα που έχει αντιμετωπίσει στο παρελθόν. Ο εμβολιασμός των ψαριών αξιοποιεί αυτή την προσαρμοστική ανοσία εγκαθιστώντας ανοσολογική μνήμη για ένα συγκεκριμένο παθογόνο πριν την έκθεση στην ασθένεια στο περιβάλλον της καλλιέργειας.
- Η ανοσολογική μνήμη ενεργοποιείται από αυστηρά ρυθμιζόμενη κλωνική επέκταση ειδικών κυττάρων που βασίζεται στην αμοιβαία αναγνώριση προτύπων στο παθογόνο ή στο εμβόλιο. Κάποια από αυτά τα κύτταρα είναι μακρόβια και αποθηκεύονται σε ειδικούς ανοσολογικούς ιστούς από όπου μπορούν να ξεκινήσουν μια απόκριση που είναι πολύ πιο γρήγορη και εντονότερη από την απόκριση κατά την αρχική συνάντηση με αυτά τα πρότυπα.
- Ο εμβολιασμός εγκαθιστά μια πρωταρχική αντισωμική απόκριση μέσα σε κάποιες εβδομάδες, και έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία πληθυσμών Β και Τ-λεμφοκυττάρων, εξειδικευμένων για τα πρότυπα στο εμβόλιο, που μπορούν να παράγουν μια πολύ ταχεία και έντονη αντισωμική απόκριση στο αίμα σε επακόλουθη έκθεση στο ίδιο παθογόνο. Τα αντισώματα μπορούν να σκοτώσουν ή να καταστείλουν τα παθογόνα άμεσα ή μπορούν να τα επισημάνουν για εύκολη ανίχνευση και καταστροφή από περιπολούντα φαγοκύτταρα του ανοσοποιητικού συστήματος, προστατεύοντας τα ψάρια από την εμφάνιση της ασθένειας.
- Επειδή η επιτυχής εγκαθίδρυση ανοσολογικής μνήμης απαιτεί διαίρεση των κυττάρων σε μεγάλη κλίμακα, ο αποτελεσματικός εμβολιασμός εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την διαθέσιμη ενέργεια και, επομένως, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη η σίτιση και η αύξηση κατά τη περίοδο του εμβολιασμού. Επειδή τα περισσότερα ψάρια είναι ποικιλόθερμα, η ταχύτητα με την οποία ο εμβολιασμός γίνεται αποτελεσματικός (ο χρόνος που χρειάζεται για να δημιουργηθεί η αντισωμική απόκριση και η ανοσολογική μνήμη) εξαρτάται από τη θερμοκρασία. Για το λόγο αυτό η κινητική του εμβολίου μετριέται σε βαθμομέρες (χρόνος σε ημέρες $\times$ θερμοκρασία σε βαθμούς C).
- Οι διαφορετικοί τύποι μολυσματικών παραγόντων απαιτούν διαφορετικούς τύπους εμβολίων και διαφορετικές οδούς χορήγησης αυτών, αντικατοπτρίζοντας τα διαφορετικά τμήματα του ανοσοποιητικού συστήματος που πρέπει να ενεργοποιηθούν. Αυτό σημαίνει ότι η πιο απλή οδός χορήγησης ή ο πιο απλός τύπος εμβολίου είναι απίθανο να επιφέρει τη μέγιστη αποτελεσματικότητα, καθώς μπορεί να μην ενεργοποιούν αποτελεσματικά τα σωστά τμήματα του ανοσοποιητικού συστήματος.
- Οι περισσότερες βακτηριακές ασθένειες μπορούν να ελεγχθούν αποτελεσματικά χρησιμοποιώντας ενέσιμα εμβόλια. Προηγμένα εμβόλια DNA που μπορούν να ενεργοποιήσουν την κυτταροτοξική διαμεσολαβούμενη από Τ-κύτταρα ανοσολογική μνήμη, που είναι κρίσιμη για την προστασία έναντι ορισμένων ιών, έχουν πλέον καθιερωθεί στην υδατοκαλλιέργεια. Η βλεννογόνιος ανοσία, η οποία μπορεί να απαιτείται για βελτιωμένη ανθεκτικότητα σε εξωπαράσιτα, όπως η αμοιβάδα των βραγχίων και οι θαλάσσιες ψείρες, μπορεί να παραχθεί με εμβολιασμό μέσω εμβάπτισης, αλλά η διάρκεια της ανοσίας είναι πολύ μικρή. Περισσότερη έρευνα απαιτείται σχετικά με την βλεννογόνια ανοσία.
- Η ταχεία πρόοδος στη γονιδιωματική επιταχύνει την ανακάλυψη προστατευτικών αντιγόνων ενάντια σε βακτήρια και ιούς, αλλά η δοκιμή των υποψηφίων εμβολίων στα ψάρια είναι ακόμα επίπονη και αποτελεί περιοριστικό παράγοντα για την εξέλιξη της εν λόγω πρακτικής. Η γονιδιωματική μπορεί να βοηθήσει στην ταυτοποίηση πρώιμων συσχετίσεων της διαδικασίας πρόκλησης προστασίας, με αποτέλεσμα να μειωθούν τόσο ο χρόνος δοκιμής (και το κόστος) όσο και οι επιπλοκές στην ευζωία των ζώων λόγω της δοκιμής των εμβολίων.
- Η πρόληψη των ασθενειών με εμβολιασμό είναι ο πιο οικονομικά αποδοτικός, φιλικός προς το περιβάλλον, ασφαλής και ηθικός τρόπος μείωσης των απωλειών στην υδατοκαλλιέργεια και μια κρίσιμη βάση για την μελλοντική ασφάλεια της τροφής μας.

Βιβλιογραφία

- Afonso, A., Ellis, A.E. and Silva, M.T., 1997. The leucocyte population of the unstimulated peritoneal cavity of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Fish & Shellfish Immunology*, **7**, 335–348.
- Afonso, A., Silva, J., Lousada, S. et al. 1998. Uptake of neutrophils and neutrophilic components by macrophages in the inflamed peritoneal cavity of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Fish & Shellfish Immunology*, **8**, 319–338.
- Barnes, A.C., Delamare-Deboutteville, J., Brosnahan, C. et al. 2016. Whole genome analysis of *Yersinia ruckeri* isolated over 27 years in Australia and New Zealand reveals geographical endemism over multiple lineages and recent evolution under host selection. *Microbial Genomics*, **2**. DOI: 10.1099/mgen.0.000095
- Busch, R.A., 1978. Protective vaccines for mass immunization of trout. *Salmonid*, **1**, 10–22.
- Dos Santos, N.M.S., Taverne-Thiele, J.J., Barnes, A.C. et al. 2001. Kinetics of juvenile sea bass (*Dicentrarchus labrax*, L.) systemic and mucosal antibody secreting cell response to different antigens (*Photobacterium damsela* spp. *piscicida*, *Vibrio anguillarum* and DNP). *Fish & Shellfish Immunology*, **11**, 317–331.
- Duff, D.C.B., 1942. The oral immunization of trout against *Bacterium salmonicida*. *Journal of Immunology*, **44**, 87–94.
- Edholm, E.S., Wilson, M. and Bengten, E., 2011. Immunoglobulin light (IgL) chains in ectothermic vertebrates. *Developmental & Comparative Immunology*, **35**, 906–915.
- Fillatreau, S., Six, A., Magadan, S. et al. 2013. The astonishing diversity of Ig classes and B cell repertoires in teleost fish. *Frontiers in Immunology*, **4**, 28.
- Flajnik, M.F., Du Pasquier, L., 2004. Evolution of innate and adaptive immunity: can we draw a line? *Trends in Immunology*, **25**, 640–644.
- Grave, K., Lingaas, E., Bangen, M. et al. 1999. Surveillance of the overall consumption of antibacterial drugs in humans, domestic animals and farmed fish in Norway in 1992 and 1996. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, **43**, 243–252.
- Hikima, J., Jung, T.S. and Aoki, T., 2011. Immunoglobulin genes and their transcriptional control in teleosts. *Developmental & Comparative Immunology*, **35**, 924–936.
- Hirst, I.D., Ellis, A.E., 1994. Iron-regulated outer membrane proteins of *Aeromonas salmonicida* are important protective antigens in Atlantic salmon against furunculosis. *Fish & Shellfish Immunology*, **4**, 29–45.
- Li, J., Barreda, D.R., Zhang, Y.A., Boshra, H. et al. 2006. B lymphocytes from early vertebrates have potent phagocytic and microbicidal abilities. *Nature Immunology*, **7**, 1116–1124.
- Magadan, S., Sunyer, O.J. and Boudinot, P., 2015. Unique features of fish immune repertoires: particularities of adaptive immunity within the largest group of vertebrates. *Results and Problems in Cell Differentiation*, **57**, 235–264.
- Murphy, K.P., 2011. *Janeway's Immunobiology*, 8th Edition. Garland Science, New York.
- Pettinello, R., Dooley, H., 2014. The immunoglobulins of cold-blooded vertebrates. *Biomolecules*, **4**, 1045–1069.
- Roitt, I.M., Brostoff, J. and Male, D., 2001. *Immunology*, Vol 480, 6th Edition. Mosby, Edinburgh.
- Ross, A.J., Klontz, G.W., 1965. Oral immunization of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) against an etiologic agent of redmouth disease. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, **22**, 713–719.
- Secombes, C., 2008. Will advances in fish immunology change vaccination strategies? *Fish & Shellfish Immunology*, **25**, 409–416.
- Sommerset, I., Krossoy, B., Biering, E. et al. 2005. Vaccines for fish in aquaculture. *Expert Review of Vaccines*, **4**, 89–101.
- Stevenson, R.M.W. 1997. Immunization with bacterial antigens: Yersiniosis. *Fish Vaccinology*, **90**, 117–124.
- Sunyer, J.O., 2012. Evolutionary and functional relationships of B cells from fish and mammals: insights into their novel roles in phagocytosis and presentation of particulate antigen. *Infectious Disorders Drug Targets*, **12**, 200–212.
- Sunyer, J.O., 2013. Fishing for mammalian paradigms in the teleost immune system. *Nature Immunology*, **14**, 320–326.
- Tettelin, H., Medini, D., Donati, C. et al. 2006. Towards a universal group B *Streptococcus* vaccine using multistrain genome analysis. *Expert Review of Vaccines*, **5**, 687–694.
- Yasuike, M., de Boer, J., von Schalburg, K.R. et al. 2010. Evolution of duplicated IgH loci in Atlantic salmon, *Salmo salar*. *BMC Genomics*, **11**, 486.
- Zhang, Y.A., Salinas, I., Li, J. et al. 2010. IgT, a primitive immunoglobulin class specialized in mucosal immunity. *Nature Immunology*, **11**, 827–835.
- Zoccola, E., Delamare-Deboutteville, J. and Barnes, A.C., 2015. Identification of barramundi (*Lates calcarifer*) DC-SCRIPT, a specific molecular marker for dendritic cells in fish. *PLoS One*, **10**, e0132687.

13

Τεχνολογία και Επεξεργασία μετά τη Συγκομιδή

Allan Bremner

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

13.1	Εισαγωγή, 403	13.15	Έννοιες: Ποιότητα, Φρεσκότητα, Διάρκεια Ζωής Προϊόντος και Δείκτης Ποιότητας, 422
13.2	Βασικά Χαρακτηριστικά, 404	13.16	Μικροβιολογία, Ειδικοί Αλλοιογόνοι Μικροοργανισμοί (SSO) και Λοιπές Διαδικασίες Αλλοίωσης, 425
13.3	Ασφάλεια και Υγεία, 404	13.17	Κατάψυξη και Αποθήκευση, 426
13.4	Πτυχές της Διατροφής, 406	13.18	Συσκευασία, 430
13.5	Ισορροπία μεταξύ Ασφάλειας και Διατροφής, 407	13.19	Ποιοτικός Έλεγχος, Διασφάλιση Ποιότητας, HACCP και Αξιολόγηση Κινδύνου, 433
13.6	Προϊόντα Υδατοκαλλιέργειας και Αλιείας, 407	13.20	Ιχθυησιμότητα, Ταυτοποίηση και Προέλευση, 436
13.7	Συγκομιδή, 408	13.21	Κονσερβοποίηση, 437
13.8	Μεταφορά Ζωντανών Οργανισμών, 408	13.22	Κάπνισμα, 438
13.9	Μυϊκή Δομή: Ακαμψία και Υφή, 411	13.23	Περίληψη, 439
13.10	Αναισθητοποίηση και Επεξεργασία Μετά τη Θανάτωση, 413		Βιβλιογραφία, 439
13.11	Επιδράσεις της Διατροφής στο Προϊόν, 419		
13.12	Προϊόντα για Εξειδικευμένες Αγορές, 420		
13.13	Γεύσεις και Αλλοιώσεις, 420		
13.14	Υφή, 422		

13.1 Εισαγωγή

Η τεχνολογία που χρησιμοποιείται μετά τη συγκομιδή αφορά τομείς της συγκομιδής, του χειρισμού, της θανάτωσης, της επεξεργασίας, της συσκευασίας, της παραγωγής, της αποθήκευσης, της μεταφοράς, της διανομής και της εμφάνισης, μέχρι και το σημείο της πώλησης ή την στιγμή της κατανάλωσης. Αυτό το κεφάλαιο, επομένως, μπορεί να θεωρηθεί μόνο ως μία εισαγωγή στο εν λόγω θέμα, και ο αναγνώστης πρέπει να ανατρέξει στη βιβλιογραφία που παρατίθεται για περισσότερες λεπτομέρειες (Sikorski et al., 1994; Sato et al., 1999; Kestin and Warriss, 2001; Bremner, 2002; Nesheim and Yaktine, 2007; Alasalvar et al., 2010; Bozatis, 2013; WHO/FAO, 2012).

Το πεδίο εφαρμογής της τεχνολογίας που χρησιμοποιείται μετά τη συγκομιδή είναι ευρύτερο στην υδατοκαλλιέργεια από ότι στην συλλεκτική

αλιεία, δεδομένου ότι οι συνθήκες επιλογής, αναπαραγωγής, εκτροφής, σίτισης και καλλιέργειας μπορούν να ρυθμιστούν, ώστε να επηρεάσουν τις ιδιότητες του προϊόντος, και πρέπει να καταγράφονται σε βάσεις δεδομένων με παραπομπές. Η εμφάνιση, η οσμή, η γεύση και η υφή των προϊόντων υδατοκαλλιέργειας έχουν σημαντικό αντίκτυπο στην εμπορευσιμότητά τους και στην αποδοχή τους από τον καταναλωτή. Η οσμή και η γεύση είτε του ωμού είτε του μαγειρεμένου προϊόντος είναι αποτέλεσμα της εγγενούς βιοχημικής σύνθεσής του, της συσσωρευμένης δράσης βακτηρίων και ενζύμων, και της διαδικασίας της επεξεργασίας:

- οι χαρακτηριστικές οσμές ενός προϊόντος είναι αποτέλεσμα πτητικών ενώσεων,
- η γεύση οφείλεται τόσο σε πτητικές όσο και σε μη πτητικές ενώσεις.

Οι εγγενείς μη πτητικές ενώσεις που είναι σημαντικές από την άποψη αυτή είναι τα άλατα, τα αμινοξέα και άλλες μη πρωτεϊνικές αζωτούχες ενώσεις και, ειδικότερα, προϊόντα διάσπασης των νουκλεοτιδίων πουρίνης. Τα επίπεδα αυτών των παραγόντων σε προϊόντα υδατοκαλλιέργειας μπορούν να επηρεαστούν από τις διεργασίες της συγκομιδής και της επεξεργασίας. Τα πτητικά συστατικά προέρχονται από τις τροφές. Πολλά από αυτά είναι λιπιδικής προέλευσης και είναι προϊόντα είτε ενζυμικής είτε χημικής οξειδωσης (Haard and Simpson, 2000; Lindsay, 1990). Επομένως, τόσο οι διατροφικές πρακτικές όσο και η επεξεργασία και η αποθήκευση μπορούν να έχουν ισχυρές επιδράσεις στη γεύση και τη σταθερότητα του προϊόντος.

Η υφή του προϊόντος είναι επίσης πολύ σημαντική. Οι καταπονήσεις κατά τη συγκομιδή και οι πρακτικές μετά το πέρας αυτής είναι παράγοντες που συνδυαστικά επηρεάζουν τα χαρακτηριστικά της υφής.

Στο κεφάλαιο αυτό δίδεται έμφαση στην αλληλεπίδραση μεταξύ των πρακτικών πριν τη συγκομιδή και του προϊόντος μετά τη συγκομιδή, καθώς πρόκειται για στάδιο ζωτικής σημασίας για την υδατοκαλλιέργεια για το οποίο απαιτείται σημαντική έρευνα. Το υλικό που παρουσιάζεται αφορά κυρίως προϊόντα υδατοκαλλιέργειας που προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση. Ωστόσο, οι πρακτικές συγκομιδής που επιφέρουν χαμηλή καταπόνηση αφορούν και είδη που εκτρέφονται για άλλους σκοπούς, όπως ο εμπλουτισμός υδατοσυλλογών για οικολογικούς, αισθητικούς ή ψυχαγωγικούς σκοπούς.

13.2 Βασικά Χαρακτηριστικά

Υπάρχουν διάφορα βασικά χαρακτηριστικά που επηρεάζουν την τεχνολογία που χρησιμοποιείται μετά τη συγκομιδή, αλλά και την επεξεργασία, και αυτά πρέπει να καθοριστούν για κάθε είδος καλλιέργειας. Τα χαρακτηριστικά αυτά είναι:

- η συνολική, κατά προσέγγιση σύσταση (νερό, ακατέργαστη πρωτεΐνη, λίπος, ακατέργαστες φυτικές ίνες, τέφρα, εκχύλισμα άνευ αζώτου), συμπεριλαμβανομένων των εποχιακών μεταβολών.

- οι αποδόσεις σε βρώσιμο προϊόν.
- η σύσταση του βρώσιμου προϊόντος.
- η συνολική μορφολογία των εδωδιμων τμημάτων.
- οι εναλλακτικές μορφές επεξεργασίας.
- η κατανομή των υποπροϊόντων και των υπολειμμάτων και η σύνθεση αυτών.
- η διάρκεια ζωής του προϊόντος υπό ψύξη (0 °C).
- τα χαρακτηριστικά του αποθηκευμένου σε συνθήκες κατάψυξης προϊόντος.
- το πρότυπο της νεκρικής ακαμψίας.
- η εγγενής βακτηριακή χλωρίδα.
- η φύση της βακτηριακής αλλοιογόνου χλωρίδας.
- η εγγενής νουκλεοτιδική σύνθεση και ο ρυθμός μεταβολής της κατά την αποθήκευση.

Αν και όλα αυτά τα χαρακτηριστικά επηρεάζονται σε κάποιο βαθμό από τα πρωτόκολλα συγκομιδής, την επιλογή, τις πρακτικές εκτροφής, τις τροφές και από πλήθος άλλων παραγόντων, είναι σημαντικό να καθοριστούν. Είναι επίσης σημαντικό σε ένα είδος ψαριού να καθοριστούν οι αναλογίες του ερυθρού προς τον λευκό μυ, η θέση απόθεσης των λιπιδίων, η δομή του μυός και η σκελετική δομή.

13.3 Ασφάλεια και Υγεία

Τα προϊόντα υδατοκαλλιέργειας παρουσιάζουν, γενικά, θετική εικόνα όσον αφορά την ασφάλεια κατανάλωσής τους (Nesheim and Yaktine, 2007; Alasalvar et al., 2010). Οι περισσότεροι από τους κύριους οργανισμούς που μπορούν να επιφέρουν τροφική δηλητηρίαση, και άρα είναι σημαντικοί για τη δημόσια υγεία, δεν εμφανίζονται στο υδάτινο περιβάλλον, τουλάχιστον στις ανεπτυγμένες χώρες, εκτός εάν αυτό έχει ρυπανθεί από ανθρώπινη δραστηριότητα. Τα απορρέοντα νερά των καλλιέργειών, τα ζωικά περιττώματα, τα ανθρώπινα λύματα και τα απόβλητα είναι οι κύριες πηγές μόλυνσης από ιούς και βακτήρια, ενώ η βιομηχανική ρύπανση συνεισφέρει με μεταλλικούς και χημικούς ρύπους. Δεδομένου ότι το περιβάλλον του κύκλου παραγωγής των υδατοκαλλιεργειών ελέγχεται, στο μεγαλύτερο μέρος του, αναμένεται ότι το προϊόν θα είναι απαλλαγμένο από επι-

βλαβείς οργανισμούς. Αποτελεί καθήκον της βιομηχανίας να εξασφαλίσει ότι αυτή η δυνητικά ευνοϊκή συνθήκη δεν θα υπονομευθεί. Ωστόσο, ακόμη και στο σχετικά ελεγχόμενο περιβάλλον των λιμνοδεξαμενών με υφάλμυρο νερό, οι καλλιεργούμενες γαρίδες μπορούν να μολυνθούν από βακτήρια, όπως διάφορα είδη *Salmonella* και το είδος *Vibrio cholerae*. Για παράδειγμα, από 304 δείγματα γαρίδων αλλά και δείγματα λάσπης και νερού, από 131 λιμνοδεξαμενές καλλιέργειας, είδη του γένους *Salmonella* εντοπίστηκαν στο 16% των γαρίδων και στο 22% των δειγμάτων λάσπης και νερού, ενώ το είδος *V. cholerae* εντοπίστηκε στο 1,5% των γαρίδων και στο 3,1% των δειγμάτων λάσπης και νερού.

Σε ορισμένες περιπτώσεις, η υδατοκαλλιέργεια αποτελεί μέρος μιας υπάρχουσας καλλιεργητικής δραστηριότητας. Στις περιπτώσεις αυτές η απορροή που περιέχει υλικό περιττωμάτων από χερσαία εκτρεφόμενα ζώα και η μόλυνση από υδρόβια πτηνά μπορεί να εισάγει ανεπιθύμητους οργανισμούς στην υδατοκαλλιέργεια. Η πρακτική της λίπανσης των λιμνοδεξαμενών με κοπριά και άλλα οργανικά υλικά (Κεφάλαια 2, 4, 9 και 18) μπορεί επίσης να εισάγει ανεπιθύμητους οργανισμούς. Οι περισσότερες βιομηχανικά παρασκευασμένες τροφές πιθανότατα δεν φέρουν παθογόνους οργανισμούς, αλλά οι εντατικές πρακτικές καλλιέργειας, που οδηγούν σε σπατάλη τροφής και σε υψηλά φορτία περιττωμάτων, παρέχουν ένα εξαιρετικό περιβάλλον για τον πολλαπλασιασμό ανεπιθύμητων βακτηρίων.

Η ανεπιτυχής απομάκρυνση των νεκρών ζώων μπορεί να οδηγήσει ακόμη και σε κρούσματα αλλαντίασης στα ψάρια, ως αποτέλεσμα του κανιβαλισμού. Αυτές οι λιμνοδεξαμενές πρέπει να αποστραγγιστούν εντελώς και το χώμα πρέπει να αφαιρεθεί πλήρως προκειμένου να γίνουν εκ νέου κατάλληλες για χρήση.

Τα προβλήματα λόγω επιβλαβών μικροοργανισμών είναι, σχετικά, λιγότερο σημαντικά με συστήματα εκτατικής καλλιέργειας ή σε καλλιέργειες με υψηλό ποσοστό ανανέωσης του νερού. Ωστόσο, ένας αριθμός προβλημάτων μπορεί να προκύψει με θαλασσινά που προέρχονται από εκβολικά συστήματα, τα οποία οφείλονται εν μέρει στην ίδια τη φύση των ζώων αυτών. Για παράδειγμα, τα δίθυρα μαλάκια, όπως τα στρείδια και

τα μύδια, όντας διηθηματοφάγοι οργανισμοί, προσλαμβάνουν βακτηριακά και ιικά σωματίδια από το νερό που διηθούν. Το πρόβλημα επιδεινώνεται επειδή τα δίθυρα συχνά καταναλώνονται ωμά και ολόκληρα. Τα δίθυρα μολύνονται εύκολα από μικροοργανισμούς που προέρχονται από περιττώματα από ακατέργαστα ή ακατάλληλα επεξεργασμένα λύματα (ενότητα 24.5.3.2). Οι πρωταρχικοί μολυσματικοί παράγοντες φαίνεται να είναι οι ιοί Norwalk ή ιοί που μοιάζουν με Norwalk που προκαλούν ιική γαστρεντερίτιδα. Παρομοίως και είδη του γένους *Vibrio*, με ένα είδος, το *Vibrio vulnificus*, να είναι ιδιαίτερα μολυσματικό. Εξάρσεις εμφανίζονται συχνά μετά από βροχοπτώσεις, καθώς η προκύπτουσα μείωση της αλατότητας οδηγεί στην απελευθέρωση οργανισμών από τα ιζήματα στη στήλη του νερού, όπου μπορούν πλέον να προσληφθούν από τα ζώα. Επιπρόσθετα, οι βροχοπτώσεις παρέχουν επιπλέον νερό το οποίο διοχετεύεται στα αποχετευτικά συστήματα με αποτέλεσμα να συμπαρασύρονται μη επεξεργασμένα λύματα.

Μία ακόμη σημαντική αιτία ανησυχίας αποτελεί η φυσική άνθιση μικροφυκών. Στα γλυκά νερά, ανθίσσεις κυανοπράσινων φυκών (κυανοβακτήρια) μπορούν να δημιουργήσουν τοξίνες, οι οποίες μπορούν να περάσουν στην τροφική αλυσίδα. Σε υφάλμυρα και θαλάσσια περιβάλλοντα, μπορεί να προκύψει Παραλυτική Δηλητηρίαση από Οστρακοειδή (PSP, Paralytic Shellfish Poisoning), Διαρροϊκή Δηλητηρίαση από Οστρακοειδή (DSP, Diarrhoeic Shellfish Poisoning) και Αμνησιακή Δηλητηρίαση από Οστρακοειδή (ASP, Amnesic Shellfish Poisoning) με την κατανάλωση μολυσμένων οστρακοειδών ως αποτέλεσμα τέτοιων ανθίσεων (Nesheim and Yaktine, 2007, ενότητα 24.5.3.1). Όταν συμβαίνουν τέτοιες ανθίσσεις, δεν υπάρχει άλλη επιλογή από τη διακοπή της συγκομιδής στις περιοχές αυτές. Τα προγράμματα παρακολούθησης και οι διακοπές συγκομιδής αποτελούν πρακτικές που χρησιμοποιούνται σήμερα παγκοσμίως για την πρόληψη ασθενειών από ανθίσσεις φυκών. Παρόλο που τέτοιες τοξικές ανθίσσεις φυκών θεωρούνται 'φυσικές', προκύπτουν δι-αρκώς στοιχεία που υποδεικνύουν την εξάπλωση αυτών των ειδών με το έρμα των εμπορικών πλοίων.

Άλλα 'φυσικά' βακτήρια που προκαλούν υδα-

τογενείς λοιμώξεις, όπως τα είδη του γένους *Aeromonas*, το είδος *Vibrio vulnificus* και το είδος *Vibrio parahaemolyticus*, έχουν συσχετιστεί με δηλητηρίαση, ιδιαίτερα τους καλοκαιρινούς μήνες σε εύκρατες περιοχές. Οι μολυσματικές δόσεις δεν είναι γνωστές για κάθε οργανισμό, αλλά είναι μικρές. Η κατανάλωση ωμών οστρακοειδών πρέπει πάντα να γίνεται με προσοχή.

Η διαδικασία εξυγίανσης, κατά την οποία τα οστρακοειδή τοποθετούνται για αρκετές ημέρες σε δεξαμενές με καθαρό, τρεχούμενο νερό, έχει υιοθετηθεί σε ορισμένες περιοχές (ενότητα 24.5.3.2). Αυτή η διαδικασία είναι μερικώς αποτελεσματική στη μείωση του αριθμού των βακτηρίων, αλλά δεν ισχύει το ίδιο για τους ιούς, οι οποίοι δεν απομακρύνονται εύκολα. Ένα σωστά σχεδιασμένο και εφαρμοσμένο σύστημα διασφάλισης ποιότητας, στο οποίο επιλέγονται εξαρχής κατάλληλες περιοχές καλλιέργειας και στις οποίες παρακολουθείται συνεχώς η ποιότητα του νερού, ώστε να αποφευχθούν επιβλαβείς αλλαγές, είναι πολύ πιο αποτελεσματική πρακτική.

Αυτά τα προγράμματα 'εξυγίανσης οστρακοειδών' μπορούν να ενσωματωθούν σε ευρύτερα βιομηχανικά προγράμματα που αφορούν τη συνολική διαχείριση της ποιότητας (TQM, Total Quality Management) και στα συστήματα αξιολόγησης κινδύνων και κρίσιμων σημείων ελέγχου (HACCP, Hazard Analysis Critical Control Points) (Nesheim and Yaktine, 2007). Τέτοια συστήματα απαιτούνται, γενικά, για την εξαγωγή προϊόντων. Ο γενικός Κώδικας Ορθής Πρακτικής για την Υδατοκαλλιέργεια (Code of Practice for Aquaculture), που καταρτίστηκε από την επιτροπή του Κώδικα Τροφίμων 'Codex Alimentarius' του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (WHO) και τον Διεθνή Οργανισμό Τροφίμων και Γεωργίας (FAO), αποτελεί έναν πολύ καλό οδηγό για τις πρακτικές που απαιτούνται για την εξασφάλιση ενός ασφαλούς προϊόντος (FAO, 1995). Προσφάτως διερευνάται η διαδικασία υποβολής των οστρακοειδών σε θάλαμο υψηλής πίεσης ως πιθανός τρόπος σημαντικής μείωσης των βακτηρίων, όπως του *V. vulnificus*, και ευκολότερης αποκόλλησης της σάρκας από το κέλυφος. Η επίδραση της υψηλής πίεσης στους ιούς είναι λιγότερο γνωστή μέχρι στιγμής.

Η χημική ρύπανση συμβαίνει πάντοτε με την έκθεση σε τοξικά απόβλητα που απορρίπτονται ή δι-

οχετεύονται στο υδάτινο περιβάλλον. Το ενδεχόμενο ρύπανσης από προηγούμενες ή παρακείμενες δραστηριότητες στην περιοχή πρέπει επίσης να λαμβάνεται υπόψη. Ωστόσο, φυσική συσσώρευση βαρέων μετάλλων, όπως ο υδράργυρος, μπορεί να συμβεί εάν στην περιοχή υπάρχουν μεταλλεύματα υδραργύρου (π.χ. κινναβαρίτης). Συνεπώς, πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στην σωστή επιλογή της τοποθεσίας μιας επιχείρησης υδατοκαλλιέργειας. Η εφαρμογή πιο προηγμένων μεθόδων ανάλυσης για βαρέα μέταλλα έχει δείξει ότι πολλές τιμές που αναφέρονται σε ψάρια σε παλαιότερη βιβλιογραφία είναι λανθασμένες και πολύ υψηλότερες από τις τιμές που καταγράφηκαν με τις προηγμένες αυτές μεθόδους.

Σε γενικές γραμμές, τα καλλιεργούμενα ψάρια είναι λιγότερο πιθανό να μολυνθούν από παράσιτα, αλλά αυτό δεν μπορεί να θεωρείται ως δεδομένο. Πολλά παράσιτα εντοπίζονται σε διάφορα μέρη των ψαριών, όπως το κεφάλι, τα εντόσθια και την κοιλιακή περιοχή, τα οποία απορρίπτονται κατά την επεξεργασία. Ωστόσο, άλλα παράσιτα, όπως του γένους *Anisakis*, εντοπίζονται στη σάρκα. Αυτοί οι παρασιτικοί νηματώδεις είναι ιδιαίτερα μολυσματικοί για τον άνθρωπο, αλλά καταστρέφονται με επιμελές μαγείρεμα και με κατάψυξη. Προσφάτως, η πρακτική της κατανάλωσης ωμών ψαριών ή μερικώς συντηρημένων ψαριών ή ψαριών τουρσί, όπως στη μέθοδο μαγειρικής 'σε-βίτσε' (ceviche), έχει γίνει αρκετά συνηθισμένη στις δυτικές κοινωνίες. Επομένως, είναι πολύ σημαντικό το προϊόν να ελέγχεται για την παρουσία παρασίτων.

13.4 Πτυχές της Διατροφής

Τα προϊόντα της υδατοκαλλιέργειας είναι υγιεινά και θρεπτικά, αποτελούν καλές πηγές βιταμινών, μετάλλων και πρωτεϊνών, με χαμηλή περιεκτικότητα σε λιπαρά και χαμηλό γλυκαιμικό δείκτη. Τα θαλασσινά προϊόντα αποτελούν μακράν την καλύτερη φυσική πηγή των πολυακόρεστων λιπαρών οξέων (HUFAs, Highly Unsaturated Fatty Acids) εικοσαπεντανοϊκό οξύ (EPA, Eicosapentaenoic Acid) και εικοσιδιεξαενοϊκό οξύ (DHA, Docosahexaenoic Acid). Αυτά τα λιπαρά οξέα επιτελούν σημαντικούς ρόλους στη λειτουργία των μεμβρανών και

ως πρόδρομες ενώσεις άλλων βιολογικά δραστηκών ενώσεων. Θεωρούνται ωφέλιμα στην ανθρώπινη διατροφή για τη μείωση των επιπέδων χοληστερόλης και τριγλυκεριδίων στο πλάσμα του αίματος, και για τη μείωση του κινδύνου καρδιαγγειακών παθήσεων. Χρησιμοποιούνται σε θεραπείες για την αρθρίτιδα και για άλλες παθήσεις (Nesheim and Yaktine 2007; FAO/WHO, 2010). Είναι απαραίτητες για την ανάπτυξη του εγκεφάλου και του νευρικού συστήματος στα βρέφη, καθώς υψηλή περιεκτικότητα σε DHA εντοπίζεται στη φαιά ουσία και στους νευρικούς ιστούς.

Δεδομένου ότι λαμβάνονται μέτρα για τη μείωση της αναλογίας του ιχθυαλεύρου και του ιχθυελαίου στις τροφές που χρησιμοποιούνται στις υδατοκαλλιέργειες (ενότητα 8.6.5.1), τα επίπεδα των EPA και DHA στα καλλιεργούμενα ψάρια θα μειωθούν εάν δεν βρεθούν εναλλακτικές πηγές. Ένας πιθανός τρόπος αντιμετώπισης του εν λόγω ζητήματος είναι η προσθήκη των γονιδίων των EPA και DHA σε καλλιεργούμενα φυτά. Τα επίπεδα των λιπαρών αυτών οξέων αποτελούν ένα από τα κυριότερα επιθυμητά εμπορικά πλεονεκτήματα. Είναι σαφές ότι πρέπει να επιτευχθεί ισορροπία μεταξύ της διατήρησης υψηλών επιπέδων EPA και DHA και της μείωσης του κόστους των προϊόντων, μεταβάλλοντας τη σύσταση των τροφών.

Τα προϊόντα θαλάσσιας υδατοκαλλιέργειας είναι μια καλή πηγή σεληνίου, ενός απαραίτητου στοιχείου, το οποίο είναι συν-παράγοντας για το αντιοξειδωτικό ένζυμο υπεροξειδάση της γλουταθειόνης. Τα στρείδια και άλλα οστρακοειδή είναι επίσης καλές πηγές ιωδίου.

13.5 Ισορροπία μεταξύ Ασφάλειας και Διατροφής

Η γενική αντίληψη του ιατρικού και τεχνικού κλάδου είναι ότι, γενικά, τα οφέλη από την κατανάλωση προϊόντων υδατοκαλλιέργειας είναι πολύ περισσότερα από τους πιθανούς κινδύνους (Nesheim and Yaktine, 2007; FAO/WHO, 2010). Το ευρύ φάσμα θρεπτικών ουσιών και ιχνοστοιχείων, η περιεκτικότητα σε απαραίτητα HUFAs, ο χαμηλός γλυκαιμικός δείκτης, η πρωτεΐνη υψηλής ποιότητας, και τα υψηλά επίπεδα ελεύθερων αμινοξέων και των σχετικών μη πρωτεϊνικών προϊόντων

αζώτου, σε συνδυασμό με την εύκολη πέψη τους, καθιστούν τα προϊόντα υδατοκαλλιέργειας πολύ θρεπτικές φυσικές τροφές.

13.6 Προϊόντα Υδατοκαλλιέργειας και Αλιείας

Είναι δύσκολη η άμεση σύγκριση μεταξύ των προϊόντων υδατοκαλλιέργειας και των άγριων αλιευμάτων. Η γενετική ποικιλότητα, καθώς και διαφορές στην σύνθεση της τροφής και στις συνθήκες αύξησης, καθιστούν δύσκολη την ερμηνεία σχετικών συγκρίσεων. Η προτίμηση των καταναλωτών σε άγρια ή καλλιεργούμενα ψάρια ποικίλλει σημαντικά ανάλογα με την εποχή και την περιοχή αλιείας. Γενικά, τα προϊόντα υδατοκαλλιέργειας τείνουν να παρέχουν σάρκα που, σε σύγκριση με τα άγρια αλιεύματα, έχει:

- πιο μαλακή υφή,
- λιγότερο έντονη γεύση,
- συχνά διαφορετική απόχρωση,
- μεγαλύτερη, αλλά πιο ομοιόμορφη, περιεκτικότητα σε λιπαρά.

Αυτές οι διαφορές οφείλονται, εν μέρει, στο γεγονός ότι τα ψάρια αυτά είναι νεαρότερης ηλικίας.

Ο μπακαλιάρος του Ατλαντικού που εκτρέφεται σε κλωβούς έχει υψηλότερη περιεκτικότητα σε σαρκοπλασματικές πρωτεΐνες και διαφορετικές ικανότητες δέσμευσης του νερού σε σύγκριση με τον άγριο μπακαλιάρο. Και οι δύο αυτοί παράγοντες επηρεάζουν την υφή της μαγειρεμένης σάρκας. Τα άγρια ψάρια πρέπει να κολυμπήσουν περισσότερο από τα ψάρια υδατοκαλλιέργειας, και η περιεκτικότητα σε μυοσφαιρίνη του ερυθρού μυός τους είναι συχνά υψηλότερη. Χαμηλότερα επίπεδα ελεύθερων αμινοξέων έχουν βρεθεί στον καλλιεργούμενο ασημένιο σολομό (*Oncorhynchus kisutch*), στα λυθρίνια (*Pagellus* spp.) και στο αγιού (*Plecoglossus altivelis*) σε σχέση με τα αντίστοιχα προερχόμενα από συλλεκτική αλιεία. Παρομοίως, άλλες μη πρωτεϊνικές ενώσεις αζώτου φαίνεται να εμφανίζονται σε χαμηλότερες συγκεντρώσεις στα καλλιεργούμενα είδη. Οι μεταβολές στη σύνθεση και τη κατανομή των συστατικών των ιστών συμβαίνουν τόσο εποχιακά όσο και με την γεννητική ωρίμανση. Υπάρχουν επίσης

σημαντικές εποχιακές διακυμάνσεις στο περιεχόμενο των μεταλλικών στοιχείων τόσο των άγριων όσο και των καλλιεργούμενων ψαριών, ενώ παρατηρούνται και αλλαγές στην υφή.

13.7 Συγκομιδή

Κατά τη συγκομιδή τα ψάρια υπόκεινται σε καταπονήσεις που μπορεί να επηρεάσουν το τελικό προϊόν. Ο συνωστισμός των ψαριών σε ένα δίχτυ ή σε δεξαμενές κατά τη συγκομιδή οδηγεί σε:

- αύξηση της κορτιζόλης στο αίμα,
- αύξηση του μεταβολικού ρυθμού,
- κατανάλωση γλυκογόνου με αποτέλεσμα:
 - την αύξηση των επιπέδων γαλακτικού οξέος.
 - τη μείωση του pH στους ιστούς.

Ο καλός αερισμός μπορεί να βοηθήσει στην αντιμετώπιση των ανωτέρω προβλημάτων, αλλά ο κύριος στόχος πρέπει να είναι η μείωση των προφανών παραγόντων που προκαλούν καταπόνηση κατά τη συγκομιδή (Robb, 2001). Σε μη καταπονημένα (σε ηρεμία) ψάρια, τα επίπεδα κορτιζόλης στο αίμα είναι, γενικά, κάτω από 10 ng/mL, ενώ στα καταπονημένα ψάρια απαντώνται συχνά τιμές έως και 10 φορές υψηλότερες. Ομοίως, τα επίπεδα γαλακτικού οξέος στο αίμα και στους μύες μη καταπονημένων ψαριών είναι πολύ χαμηλότερα σε σχέση με ψάρια που έχουν υποστεί καταπόνηση. Υπάρχουν ενδείξεις ότι οι χρόνιες καταπονήσεις, όπως αυτές που παρατηρούνται κατά τη συγκομιδή λόγω συνωστισμού ή κακής ποιότητας του νερού, οδηγούν στην εμφάνιση διαφορετικών βιοχημικών δεικτών από εκείνους που παρατηρούνται σε συνθήκες ξαφνικής καταπόνησης, όπως είναι η σωματική κόπωση κατά τη σύλληψη.

Στα καρκινοειδή και τα μαλάκια, η ενέργεια που καταναλώνεται για την επιβίωση των ζώων αυτών προέρχεται από τη φωσφορική αργινίνη και από το γλυκογόνο. Στα καρκινοειδή, το κύριο τελικό προϊόν είναι, γενικά, το γαλακτικό οξύ, αλλά, σε πολλά δίθυρα και γαστερόποδα, σχηματίζεται οκτοπίνη από την αντίδραση πυροσταφυλικού οξέος με αργινίνη. Παρομοίως, στα γαστερόποδα σχηματίζονται ταυροπίνη, αλανοπίνη και στρομπίνη. Η ταυροπίνη σχηματίζεται στις αλιώτιδες (abalone), και τα επίπεδα των ενώσεων αυτών

έχουν προταθεί ως δείκτες μέτρησης της καταπόνησης κατά τη συγκομιδή και τη μεταφορά αυτών των ζώων.

13.8 Μεταφορά Ζωντανών Οργανισμών

Πολλές αγορές προτιμούν τα προϊόντα να φθάνουν ζωντανά για να εξασφαλίσουν τη φρεσκάδα και για να δώσουν στους καταναλωτές τη δυνατότητα να επιλέξουν το δικό τους πιάτο, η σε ορισμένες περιπτώσεις, να καταναλώνονται τα προϊόντα άμεσα μετά από τη θανάτωση του ζώου ή, όπως στην περίπτωση των οστρακοειδών, που καταναλώνονται ζωντανά (**Εικόνα 13.1**). Οι αποδόσεις των αγορών αυτών είναι συχνά υψηλότερες, αλλά και τα έξοδα μεταφοράς των ζώων από το φυσικό τους περιβάλλον μπορεί να είναι επίσης σημαντικά.

Η τιμή ζωντανών γαρίδων της Ιαπωνίας (*Marsupenaeus japonicus*) φτάνει στην αγορά Tsukiji του Τόκιο περίπου τα 13.500 € ανά κιλό (περίπου 120 δολάρια ΗΠΑ) (**Εικόνα 13.2**). Η αγορά αυτή προμηθεύεται από εγχώριες πηγές, καθώς και από την Ταϊβάν, τη Γαλλία και την Ισπανία. Ωστόσο, η συντριπτικά κυριότερη πηγή είναι η Κίνα. Η μεταφορά ζωντανών οργανισμών στην αγορά απαιτεί κατάλληλες πρακτικές συγκομιδής. Οι γαρίδες είναι ενεργές μόνο τη νύχτα, κατά τη διάρκεια της οποίας και πρέπει να συλλέγονται με τη μικρότερη δυνατή καταπόνηση. Κατάλληλα αλιευτικά εργαλεία για το σκοπό αυτό είναι απλά, δια δίχτυα ή βολκοί που έχουν τοποθετηθεί κοντά σε τροχήλατους αεριστήρες. Οι γαρίδες τοποθετούνται προσεκτικά σε επιπλέοντες ξύλινους δίσκους, που στοιβάζονται ο ένας πάνω στον άλλο και μεταφέρονται σε θάλαμο ψύξης για να μειωθεί η θερμοκρασία τους στους ~16 °C. Οι θάλαμοι μεταφέρονται στο εργοστάσιο, όπου η θερμοκρασία μειώνεται περαιτέρω κοντά στους 12 °C. Σε αυτή τη θερμοκρασία οι γαρίδες καθίστανται αδρανείς και μπορεί ο χειρισμός τους να είναι εύκολος χωρίς να υποστούν καταπόνηση. Στη συνέχεια, γίνεται διαλογή ως προς το μέγεθος τους και τοποθετούνται σε χαρτοκιβώτια από κυματοειδές χαρτόνι που περιέχουν ψυχρό υγρό πριονίδι. Περίπου 10 χαρτοκιβώτια τοποθετούνται σε ένα ειδικό



Εικόνα 13.1 Ζωντανά μύδια (*Perna canaliculata*) διατηρημένα υπό ψύξη, τα οποία ψεκάζονται με ψυχρό θαλασσινό νερό, σε ένα σούπερ μάρκετ αυτοεξυπηρέτησης πελατών. Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από τον Allan Bremner.

κά μονωμένο χαρτοκιβώτιο, με τρόπο που να επιτρέπεται η ροή αέρα μεταξύ τους. Παγωμένες παγοκύστες τοποθετούνται με συγκεκριμένο τρόπο μέσα στο χαρτοκιβώτιο για να απορροφήσουν την εισερχόμενη θερμότητα και να διατηρήσουν μια ομοιόμορφη θερμοκρασία στο χαρτοκιβώτιο κατά τη μεταφορά. Τα βάρη και οι θέσεις των ψυκτικών μέσων υπολογίζονται προσεκτικά, έτσι ώστε η θερμοκρασία να είναι σταθερή κατά τη μεταφορά από την εγκατάσταση καλλιέργειας στο αεροδρόμιο, αλλά και κατά τη διάρκεια της πτήσης. Οι υπολογισμοί γίνονται με τρόπο ώστε η θερμοκρασία των γαρίδων να είναι περίπου 16 °C όταν τα κουτιά ανοιχθούν για επιθεώρηση κατά τον πλειστηριασμό. Στο σημείο αυτό οι γαρίδες θα έχουν επανέλθει από την αδρανή τους κατάσταση και θα είναι σε θέση να πηδήξουν έξω από το κουτί όταν ανοιχτεί το καπάκι. Επομένως, πρέπει να γίνονται προσαρμογές αναφορικά με τους χρόνους πτήσης, τις θερμοκρασίες διατήρησης του φορτίου

και εποχιακούς παράγοντες. Σε κάθε φορτίο περιέχονται χαμηλού κόστους καταγραφείς θερμοκρασίας μίας χρήσης. Με την εφαρμογή των μεθόδων αυτών έχουν επιτευχθεί υψηλά ποσοστά επιβίωσης, άνω του 95%.

Τα καρκινοειδή, όπως οι караβίδες με τις κόκκινες δαγκάνες (*Cherax quadricarinatus*) μπορούν να μεταφερθούν με παρόμοιες μεθόδους. Άλλα είδη γαρίδας μπορούν επίσης να μεταφερθούν με αυτόν τον τρόπο σε μικρές αποστάσεις, αλλά κανένα άλλο είδος δεν φαίνεται να παρουσιάζει τα ίδια χαρακτηριστικά με την Ιαπωνική γαρίδα. Η γαρίδα-τίγρης (*Penaeus monodon*) είναι ευαίσθητη σε θερμοκρασία 12 °C και δεν είναι εύκολη στο χειρισμό. Στις ζωντανές Ιαπωνικές γαρίδες που αποθηκεύονται μέσα σε πριονίδι στους 12 °C, τα επίπεδα τριφωσφορικής αδενοσίνης (ATP) διατηρούνται (πιθανώς από την φωσφορική αργινίνη), ενώ σε άλλα καλλιεργούμενα είδη, όπως το *P. monodon*, το ATP εξαντλείται γρήγορα.



Εικόνα 13.2 Αδρανείς Ιαπωνικές γαρίδες (*Marsupenaeus japonicus*) που εξετάζονται στην αγορά. Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από τον Paul Exley (Τμήμα Γεωργίας και Αλιείας, Queensland, Αυστραλία).

Παρομοίως, υπάρχουν επικερδείς αγορές για ζωντανά ψάρια, αλλά σε αυτές τις περιπτώσεις απαιτείται μία ελάχιστη ποσότητα νερού προκειμένου τα ψάρια να παραμείνουν ζωντανά κατά τη μεταφορά. Τα συστήματα που απαιτούνται για τη μεταφορά ζωντανών ψαριών πρέπει να περιλαμβάνουν χαρακτηριστικά για να:

- αποφεύγεται ο τραυματισμός των ψαριών,
- αποτρέπεται η ρύπανση του νερού,
- διατηρείται ομοιόμορφη (γενικά δροσερή) θερμοκρασία,
- επιτρέπεται επαρκής αερισμός, προκειμένου να επιτυγχάνεται κορεσμός του οξυγόνου τουλάχιστον 80% και απομάκρυνση του CO_2 που παράγεται από τα ψάρια.

Για να επιτευχθούν τα παραπάνω πρέπει να υπάρχει κυκλοφορία του νερού.

Η οξυγόνωση επιτυγχάνεται καλύτερα με άμεση παροχή αέρα ή ακόμη και οξυγόνου στο νερό, για να διατηρούνται επαρκώς υψηλά επίπεδα. Αυτή η πρακτική χρησιμεύει επίσης για την απομά-

κρυνση του CO₂ από το νερό. Το CO₂ πρέπει, στη συνέχεια, να εξαεριστεί, για να αποτραπεί η επαναδιάλυση του. Ο υπερκορεσμός με οξυγόνο πρέπει να αποφεύγεται για να αποτραπεί η υψηλή συγκέντρωση CO₂ στο αίμα, η οποία προκαλεί όξινο pH. Η οξέωση είναι θανατηφόρος, καθώς η ικανότητα του αίματος να μεταφέρει οξυγόνο είναι πολύ χαμηλότερη σε χαμηλές τιμές pH.

Χαμηλές (ψυχρές) θερμοκρασίες χρησιμοποιούνται, συνήθως, για να μειωθεί η μεταβολική δραστηριότητα, η αναπνοή και, κατά συνέπεια, η παραγωγή αμμωνίας. Η βέλτιστη θερμοκρασία ποικίλει ανάλογα με το είδος και τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Για παράδειγμα, ορισμένα είδη πλατύψαρων καθίστανται τόσο ανενεργά ώστε να μπορούν να μεταφέρονται σε ελάχιστη ποσότητα νερού η οποία απλώς διατηρήσει το σώμα τους υγρό. Τα εμπορευματοκιβώτια για τις αερομεταφορές ποικίλουν, από σχετικά απλού τύπου συσκευασίες ασκού (bag-in-box) έως και εξαιρετικά εξειδικευμένα δοχεία με συστήματα ανακύκλωσης που λειτουργούν με αντλία που χρησιμοποιούν οξυγόνο που παράγεται από στερεά χημικά δισκία. Τα δοχεία μπορεί, επίσης, να περιλαμβάνουν εσωτερικά συστήματα ψεκασμού, ώστε να διατηρούνται τα ψάρια υγρά. Λόγω της υψηλής διαβρωτικής ικανότητας του θαλασσινού νερού, οι αεροπορικές εταιρείες είναι πολύ αυστηρές ως προς τη φύση των εμπορευματοκιβωτίων που δέχονται. Σαφώς, η συσκευασία δεν πρέπει να έχει διαρροές.

Για να διατηρηθούν τα ψάρια σε κατάσταση ηρεμίας και αδράνειας, και για να μειωθεί η αναπνοή και η παραγωγή παραπροϊόντων του μεταβολισμού, μπορούν να χρησιμοποιηθούν αναισθητικές ουσίες κατά τη μεταφορά. Στις περιπτώσεις που τα ψάρια προορίζονται για κατανάλωση από τον άνθρωπο, η χρήση αναισθητικών είναι αμφισβητήσιμη. Η αναζήτηση αναισθητικών κατάλληλων για χρήση σε τρόφιμα οδήγησε στη χρήση της ισο-ευγενόλης, η οποία αποτελεί το κύριο συστατικό των ελαίων των γαρίφαλων. Η δραστική συγκέντρωση αυτού του συστατικού είναι χαμηλή, περίπου 20 ppm. Ωστόσο, παρά το γεγονός ότι τα χημικά κατάλοιπα της ένωσης αυτής είναι αμελητέα, η αμυδρή οσμή γαρίφαλου παραμένει και μεταβάλλει τη χαρακτηριστική μυρωδιά του προϊόντος. Πριν από τη μεταφορά, συνιστάται η διακο-

πή σίτισης των ψαριών, για να επιτραπεί το άδειασμα του εντέρου, και, συνεπώς, να μειωθεί η επιβάρυνση του συστήματος μεταφοράς.

Παρά το γεγονός ότι θα υπάρξει καταπόνηση κατά τη μεταφορά των ζώων από το φυσικό τους περιβάλλον, όλες οι διαδικασίες του χειρισμού και της μεταφοράς πρέπει να σχεδιάζονται έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται η καταπόνηση αυτή. Οι χειρισμοί που οδηγούν σε ξαφνική καταπόνηση πρέπει να αποφεύγονται, εάν είναι δυνατόν, καθώς τα ψάρια αναρρώνουν, γενικά, αργά, αν και αυτό ποικίλλει ανάλογα με το είδος. Μόλις οι τεχνικές δυσκολίες ξεπεραστούν, η επιμελητεία της μεταφοράς, και η οργάνωση των χερσαίων και αεροπορικών δρομολογίων, και του εκτελωνισμού πρέπει να οργανωθούν προσεκτικά.

13.9 Μυϊκή Δομή: Ακαμψία και Υφή

13.9.1 Μυϊκή Δομή

Οι μύες αποτελούν τα κύρια βρώσιμα τμήματα των προϊόντων υδατοκαλλιέργειας. Οι μύες των ψαριών και άλλων θαλάσσιων ζώων έχουν παρόμοια βασική δομή με άλλα ζώα. Οι μύες είναι ινώδεις, συσταλτοί και προσκολλημένοι στο κέλυφος ή στο σκελετό μέσω συνδετικού ιστού. Αυτός ο συνδετικός ιστός, σε διαφοροποιημένη μορφή, περιβάλλει επίσης κάθε μεμονωμένη μυϊκή ίνα προκειμένου να σχηματίσει ένα διασυνδεδεμένο δίκτυο (Bremner, 1999).

Οι μυϊκές ίνες στα ψάρια είναι διατεταγμένες μεταξύ φύλλων (δέσμες) συνδετικού ιστού (μυοδιαφράγματα) σε σχεδόν παράλληλη διάταξη. Οι ρυθμικές συσπάσεις των τμημάτων του μυϊκού συστήματος μεταδίδονται μέσω των μυοδιαφραγμάτων (myocommata), προκαλώντας την κίνηση του σκελετικού συστήματος, και συνεπώς την κολύμβηση. Κάθε μεμονωμένη ίνα περιβάλλεται από ένα δίκτυο συνδετικού ιστού συνδεδεμένου στα μυοδιαφράγματα. Εντός της ίνας, τα κύρια συστατικά στοιχεία αποτελούν ένα σύστημα μυικών ινών, στο οποίο δύο κύριες πρωτεΐνες, η ακτίνη και η μυοσίνη, σχηματίζουν τη μυϊκή μάζα. Η σύσπαση κάθε μυϊκού τμήματος συντελείται όταν ένα νευρικό ερέθισμα οδηγήσει στην απελευθέρωση ιόντων ασβεστίου εντός του κυττάρου από το περιβάλλον σαρκοπλασματικό δί-

κτυο. Η χαλάρωση επέρχεται όταν το ασβέστιο αντλείται πίσω στο σαρκοπλασματικό δίκτυο· μια διαδικασία που τροφοδοτείται από το ATP. Μετά τη θανάτωση, δεν υπάρχει πλέον διαθέσιμο ATP για να αντληθούν τα ιόντα ασβεστίου πίσω στο σαρκοπλασματικό δίκτυο, με αποτέλεσμα οι μύες να παραμένουν σε κατάσταση συστολής, με την κατάσταση αυτή να ονομάζεται νεκρική ακαμψία. Η συμμετοχή των ινών στη νεκρική ακαμψία δεν είναι καθολική, και πολλές ίνες υφίστανται παθητική συστολή. Ο συσταλμένος μυς κατά τη νεκρική ακαμψία είναι πολύ πιο σκληρός από ότι πριν ή μετά την κατάσταση αυτή.

Ο μυς μαλακώνει μετά τη νεκρική ακαμψία, αλλά οι διαδικασίες μέσω των οποίων επέρχεται αυτή η χαλάρωση δεν είναι απόλυτα κατανοητές. Πρωτεύουσες θεωρείται ότι δρουν στις περιοχές συναρμογής εντός κάθε ινιδίου. Το σύμπλοκο ακτίνης-μυοσίνης παραμένει άθικτο. Με τη χρήση ηλεκτρονικού μικροσκοπίου μπορούν να εντοπισθούν ενδείξεις αποδόμησης. Επιπλέον, είναι πλέον σαφές ότι αλλαγές στον ενδιάμεσο συνδετικό ιστό στους μυς ορισμένων ειδών μπορούν να προηγηθούν της νεκρικής ακαμψίας. Περαιτέρω διάσπαση των λεπτών συνδετικών ιστών του εξωκυτταρικού πλέγματος οδηγεί προοδευτικά σε πιο μαλακή υφή, αλλά ακόμη και στη δημιουργία κενών μεταξύ των μυοδιαφραγμάτων (Bremner, 1999).

13.9.2 Νεκρική Ακαμψία και Νουκλεοτίδια

Η έκταση της νεκρικής ακαμψίας, η διάρκεια αυτής και η ταχύτητα εκκίνησής της αποτελούν σημαντικούς παράγοντες για τον προσδιορισμό του διαθέσιμου χρόνου για την επεξεργασία. Ωστόσο, αυτοί οι παράγοντες καθορίζονται, σε μεγάλο βαθμό, από τις συνθήκες που επικρατούσαν πριν, κατά τη διάρκεια και μετά τη συγκομιδή, και, συνεπώς, βρίσκονται υπό τον έλεγχο του χειριστή. Η ταχύτητα εκκίνησης και η διάρκεια της νεκρικής ακαμψίας, σε δεδομένη θερμοκρασία, καθορίζονται από τις ποσότητες ATP και φωσφορικής κρεατίνης ή φωσφορικής αργινίνης στον μυ. Αυτό εξαρτάται από τη διατροφή και την καταπόνηση πριν τη συγκομιδή, αλλά κυρίως από το βαθμό καταπόνησης κατά τη διάρκεια της συγκομιδής. Όπως περιγράφηκε προηγουμένως, όταν τα ψάρια καταπονούνται έντονα, το ATP εξαντλείται

και τα επίπεδα γαλακτικού οξέος στους μυς αυξάνονται. Η νεκρική ακαμψία επέρχεται γρήγορα και έχει μικρότερη διάρκεια.

Τα ψάρια σε νεκρική ακαμψία είναι δύσκολο να επεξεργαστούν. Ουσιαστικά, δεν θα πρέπει να επεξεργάζονται κατά τη διάρκεια της νεκρικής ακαμψίας, καθώς μπορεί να προκληθεί σχίσιμο του μυός, και, συνεπώς, υποβάθμιση της σάρκας. Αυτό αποτελεί σοβαρό πρόβλημα για ζώα υψηλής αξίας, όπως ο σολομός, τα οποία φιλετάρονται προκειμένου να καπνιστούν ή χρησιμοποιούνται για την παραγωγή του πιάτου “gravad lax” (Σκανδιναβικό πιάτο, στο οποίο η ωμή σάρκα σολομού αλατίζεται και μαρινάρεται ελαφρώς με τη δράση φυσικών λακτοβάκιλλων), όπου απαιτείται τέλεια σάρκα. Τα ψάρια μπορούν να συλλεχθούν και να υποβληθούν σε αφαίμαξη, στη συνέχεια να ψυχθούν και να αποθηκευτούν σε πάγο για τουλάχιστον μία ημέρα, έως ότου παρέλθει η ακαμψία. Κατόπιν η σάρκα θα έχει μαλακώσει και θα μπορεί να επεξεργαστεί χωρίς να σκιστεί. Νεότερες μέθοδοι συγκομιδής δίχως καταπόνηση και η χρήση μηχανημάτων ταχείας αναισθητοποίησης, σε συνδυασμό με την αφαίμαξη, παρέχουν ευκαιρίες για επεξεργασία πριν από να επέλθει ακαμψία.

Η μέθοδος θανάτωσης επίσης επηρεάζει τη νεκρική ακαμψία. Για παράδειγμα, η χρήση CO₂ ως αναισθητικού για τον σολομό έχει ως αποτέλεσμα ταχύτερη εμφάνιση και μικρότερη διάρκεια νεκρικής ακαμψίας, γεγονός που πιθανώς να ισχύει και για άλλα είδη. Η αναισθητοποίηση με CO₂ είναι συνήθης πρακτική, αλλά δεν είναι ιδανική, καθώς τα ψάρια υφίστανται έντονη καταπόνηση στις δεξαμενές αναισθητοποίησης, ενώ ταυτόχρονα θεωρείται λιγότερο ανθρωπιστική πρακτική. Όποια και αν είναι η μέθοδος θανάτωσης, είναι σημαντικό η διαδικασία να επιτυγχάνεται με τρόπο ώστε να ελαχιστοποιείται η καταπόνηση και το ψάρι να ψύχεται όσο το δυνατόν συντομότερα (Robb, 2001).

Μετά τη θανάτωση, το οξυγόνο δεν είναι πλέον διαθέσιμο στον ιστό για να δημιουργηθεί ATP από τον φυσιολογικό κύκλο, το οποίο και διασπάται σε σειρά ενώσεων, συμπεριλαμβανομένων της μονοφωσφορικής ινositίνης (IMP), της ινositίνης (INO), της αδενοσίνης (ADO) και της υποξανθίνης (HX). Η αναερόβια γλυκόλυση χρησιμοποιείται για την αναδημιουργία του ATP, οδηγώντας στην παρα-

γωγή γαλακτικού οξέος, γεγονός που μειώνει το pH του ιστού. Σε διαφορετικά γένη και είδη ψαριών, αυτές οι διαδικασίες συμβαίνουν με διαφορετικούς ρυθμούς και μέσω διαφόρων διαμεσολαβητικών ενώσεων.

Το πρότυπο της διάσπασης των νουκλεοτιδίων φαίνεται να είναι σταθερό για κάθε είδος, και οι σχετικές συγκεντρώσεις των διαμεσολαβητικών ενώσεων ελέγχονται από τις δραστηριότητες διάφορων ενζύμων. Μη καταπονημένα θαλάσσια ζώα έχουν ολική συγκέντρωση αδενυλιωμένων νουκλεοτιδίων περί τα 10 $\mu\text{mol/g}$, εκ των οποίων πάνω από 90% υπάρχει ως ATP. Μετά τη θανάτωση, η συνολική συγκέντρωση αδενυλιωμένων νουκλεοτιδίων παραμένει, γενικά, κοντά σε αυτό το επίπεδο, ακόμη και για 15-20 ημέρες, στην περίπτωση που τα προϊόντα έχουν ψυχθεί στους 0 °C. Αυτό συμβαίνει μέχρις ότου η υποξανθίνη μετατραπεί ενζυμικά σε ξανθίνη (XA) και ουρικό οξύ (U) ή έως ότου βακτήρια μεταβολίσουν την ινοσίνη ή την υποξανθίνη.

Γενικά, οι ενέργειες που οδηγούν στο σχηματισμό της μονοφωσφορικής ινοσίνης IMP (που ονομάζεται επίσης 5'-ινοσινικό οξύ) συμβαίνουν πολύ γρήγορα. Αυτό αποτελεί σημαντικό φαινόμενο όσον αφορά το προϊόν, δεδομένου ότι η IMP ανήκει σε μια ομάδα ενώσεων που είναι γνωστό ότι ενισχύουν τη γεύση. Συνεπώς, υψηλές συγκεντρώσεις IMP είναι επιθυμητές. Τα επόμενα κύρια προϊόντα διάσπασης είναι η ινοσίνη (INO) και η υποξανθίνη (HX). Η ινοσίνη θεωρείται πως δεν έχει επίδραση στη γεύση, ενώ η υποξανθίνη δίνει πικρή γεύση. Έχει προταθεί ότι η ισορροπία μεταξύ των σχετικών επιπέδων της IMP και της υποξανθίνης στον ιστό παίζει μεγάλο ρόλο στη γεύση του προϊόντος. Τα ψάρια έχουν ταξινομηθεί ανάλογα με το αν είναι παραγωγοί ινοσίνης ή υποξανθίνης.

Η αναλογία των μη φωσφορυλιωμένων προς τα φωσφορυλιωμένα νουκλεοτίδια είναι γνωστή ως τιμή K.

$$\text{Τιμή } K = \frac{\text{INO} + \text{HX}}{(\text{ATP} + \text{ADP} + \text{AMP} + \text{IMP} + \text{INO} + \text{HX})} \times 100$$

όπου το ADP είναι η διφωσφορική αδενοσίνη και το AMP είναι η μονοφωσφορική αδενοσίνη (οι υπόλοιπες συντμήσεις έχουν οριστεί νωρίτερα).

Σε πολλά είδη η τιμή K έχει βρεθεί ότι είναι χρή-

σιμη ως δείκτης χρόνου-θερμοκρασίας, που ενσωματώνει τη διάρκεια ζωής του προϊόντος και αποτελεί δείκτη της κατάστασής του. Τα προϊόντα τύπου σασίμι (sashimi) έχουν χαμηλή τιμή K (κάτω από 20%), με τις υψηλές τιμές K να υποδεικνύουν ότι το προϊόν είτε έχει αποθηκευτεί για μεγάλο χρονικό διάστημα είτε έχει εκτεθεί σε υψηλή θερμοκρασία. Αυτός ο κανόνας δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε όλα τα είδη, και είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε το πρότυπο και τους ρυθμούς αλλαγής της τιμής K για το εκάστοτε είδος, καθώς και εάν πρόκειται για παραγωγό υποξανθίνης (HX) ή ινοσίνης (INO).

Ένα ψάρι που διατηρεί υψηλά επίπεδα μονοφωσφορικής ινοσίνης (IMP) στους ιστούς του είναι πιθανό να έχει καλύτερη γεύση για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, ενώ ένα ψάρι που μετατρέπει την IMP σε υποξανθίνη (HX) είναι πιθανό να χάσει την αποδοχή του καταναλωτή αρκετά γρήγορα.

Σε ζωντανά ψάρια, το φορτίο της αδενυλικής ενέργειας (AEC, Adenylate Energy Change) ενός ζώου αποτελεί ένδειξη της ζωτικής του κατάστασης.

$$\text{AEC} = (\text{ATP} + 1/2\text{ADP}) / (\text{ATP} + \text{ADP} + \text{AMP})$$

Η καταπόνηση κατά τη συγκομιδή μπορεί να αναγκάσει τους ιστούς της γαρίδας σε τόσο χαμηλά επίπεδα AEC (~0,5) ώστε να θεωρούνται νεκρές με βάση αυτό το κριτήριο. Παρόλα αυτά, οι γαρίδες μπορούν να επιβιώσουν εάν επανατοποθετηθούν σε οξυγονωμένο νερό. Εάν, στη συνέχεια, αυτά τα ζώα θανατωθούν, θα έχουν υψηλά επίπεδα IMP και υψηλές τιμές K κατά την πρώτη περίοδο αποθήκευσής τους, και, επομένως, οι δείκτες αυτοί έχουν μικρή αξία για την εκτίμηση της διάρκειας ζωής του προϊόντος μετά τη θανάτωση του ζώου.

13.10 Αναισθητοποίηση και Επεξεργασία Μετά τη Θανάτωση

Στη συντριπτική πλειονότητα των χωρών υπάρχει νομοθετικό πλαίσιο για την ευζωία των ζώων, το οποίο απαιτεί ανθρωπιστικές μεθόδους θανάτωσης των καλλιεργούμενων ψαριών. Διεθνείς ορ-

γανισμοί και οι κοινωνικές ομάδες για την ευζωία των ζώων αναφέρουν ότι σε πολλές περιπτώσεις καλλιεργούμενα ψάρια δεν θανατώνονται με τέτοιες μεθόδους. Οι βιομηχανίες σολομού και πέστροφας έχουν πρωτοστατήσει στην έρευνα για την εύρεση τέτοιων μεθόδων θανάτωσης και στην καθιέρωση σημαντικών νέων κανονισμών από το 2007, καθώς υπόκεινται σε πιέσεις από πλευράς καταναλωτών, λιανικού εμπορίου και κοινωνικών ομάδων. Παραδοσιακές και συνήθεις μέθοδοι όπως η ψύξη, η ασφυξία ή η νάρκωση με CO₂ έχει αποδειχθεί ότι προκαλούν καταπόνηση στα ψάρια, με αποτέλεσμα να υποβαθμίζεται η σάρκα τους. Αυτές οι μέθοδοι δεν είναι πλέον αποδεκτές. Επιπρόσθετα, απαιτείται πλέον αυτοματοποίηση και εκμηχανισμός, καθώς οι όγκοι των ψαριών προς συγκομιδή σε μεγάλες μονάδες καλλιέργειας έχουν δεκαπλασιαστεί, από 2 σε 200-300 τόνους την ημέρα κατά την τελευταία δεκαετία.

Τόσο η αναισθητοποίηση με χτύπημα στο κεφάλι του ζώου (μηχανική αναισθητοποίηση) όσο και η αναισθητοποίηση με τη χρήση ηλεκτρικού ρεύματος (ηλεκτρική αναισθητοποίηση) έχουν βελτιωθεί σημαντικά και θεωρούνται ως ανθρωπιστικές μέθοδοι, από οργανώσεις όπως η HSA (Humane Slaughter Association) και πολλές άλλες. Η επιλογή μηχανικής ή ηλεκτρικής αναισθητοποίησης μπορεί να εξαρτηθεί από το είδος, τις συνθήκες και την επιμελητεία. Οι συνθήκες που ταιριάζουν σε ένα είδος ενδέχεται να μην ταιριάζουν σε ένα άλλο, ακόμη και αν πρόκειται για στενά συγγενικά είδη. Η βελτίωση της ευζωίας των ψαριών ξεκινά με τη διατήρησή τους στο νερό για όσο το δυνατόν μεγαλύτερο διάστημα, και κάθε βήμα πρέπει να σχεδιάζεται ώστε να προκαλεί ελάχιστη καταπόνηση στα ψάρια. Οποιαδήποτε μορφή καταπόνησης, όπως ο συνωστισμός και η επακόλουθη χαμηλή συγκέντρωση O₂ στο νερό, αλλάζει δραστικά τη χημεία του αίματος, αυξάνει τη συγκέντρωση κορτιζόλης και γαλακτικού οξέος, μειώνει το pH, αλλάζει το πρωτέωμα, οδηγεί σε αναερόβιες μεταβολικές διεργασίες, και προκαλεί ταχύτερη και ισχυρότερη εκκίνηση της νεκρικής ακαμψίας. Οι διαδικασίες μεταφοράς ψαριών από τις εγκαταστάσεις εκτροφής σε μέσα μεταφοράς υπό συνθήκες συνωστισμού και, ακολούθως, σε σημεία επεξεργασίας προκαλούν, επίσης, παρόμοιες αποκρίσεις στην καταπόνηση. Παράδειγμα

αποτελεί η μεταφορά ψαριών μέσω αντλίας υψηλής πίεσης/κενού, ακόμη και σε μεγάλες αποστάσεις, μετά το πέρας της οποίας απαιτείται περίοδος ανάρρωσης για τα ψάρια.

Η μεταφορά ζωντανών ψαριών μέσα σε δεξαμενές θαλασσινού νερού πάνω σε σκάφος ενέχει κινδύνους για τη βιοασφάλεια, λόγω διασταυρούμενης μόλυνσης σε σκάφη με ανοιχτό σύστημα νερού όπου η εναλλαγή του νερού συμβαίνει καθώς το σκάφος μετακινείται μεταξύ άλλων κλωβών. Η αναγνώριση του εν λόγω παράγοντα καταπόνησης προτού τα ψάρια αναισθητοποιηθούν και υποβληθούν σε αφαίμαξη οδήγησε στην πρακτική της συγκομιδής και θανάτωσης στο νερό και ακολούθως στη μεταφοράς τους υπό συνθήκες ψύξης για περαιτέρω επεξεργασία (η λεγόμενη 'νεκρή ψαριά' σε μικρότερα σκάφη). Η μεταφορά της 'νεκρής ψαριάς' με μικρά σκάφη μπορεί να είναι πιο οικονομική για ορισμένες επιχειρήσεις, αλλά μεγαλύτερου μεγέθους σκάφη που φέρουν δεξαμενές (well boats) έχουν υψηλό λειτουργικό κόστος, το οποίο ωστόσο μπορεί να αντισταθμιστεί μέσω συνεχούς λειτουργίας και αξιοποίησής τους στην μεταφορά νεαρών σολομών (smolt) για θεραπεία της θαλάσσιας ψείρας και της αμοιβαδοειδούς νόσου των βραγχίων. Έχουν αρχίσει να αναπτύσσονται νέες πρακτικές όπου θα χρησιμοποιούνται επενδύσεις για κλειστές περιορισμένες κατασκευές για να αντικαταστήσουν τα ανοιχτά μέσα εκτροφής. Αυτά περιλαμβάνουν τη χρήση συστημάτων υαλοβάμβακα/μουσαμά τόσο στη θάλασσα όσο και σε χερσαίες δεξαμενές.

Εξοπλισμός αυτοματοποιημένης αναισθητοποίησης και αφαίμαξης διατίθεται στο εμπόριο για πάνω από μια δεκαετία και έχει πολλά πλεονεκτήματα για τα ψάρια, τους χειριστές και το προϊόν. Απαιτείται απασχόληση λιγότερου προσωπικού, ελαχιστοποιούνται οι τραυματισμοί και οι αλλοιώσεις στο προϊόν από κακούς χειρισμούς, και τα ψάρια δεν χειρίζονται πλέον από το προσωπικό. Συνεπώς, τα ψάρια δεν μελανιάζουν λόγω χτυπημάτων, τα επίπεδα ATP παραμένουν υψηλά, η αφαίμαξη είναι γρήγορη και πλήρης, οι πετέχειες είναι λιγότερες, η νεκρική ακαμψία επέρχεται πιο αργά (σε πάνω από 20 ώρες) και οι μυϊκές συσπάσεις είναι λιγότερο έντονες. Η σάρκα έχει ανώτερα χαρακτηριστικά και υπάρχει δυνατότητα για μεταποίηση (αποβραγχίωση, απεντέρωση, φιλετοποίηση

ηση) πριν την εμφάνιση νεκρικής ακαμψίας ή για διάθεση ενός πολύ φρέσκου ψαριού στην αγορά.

13.10.1 Ηλεκτρική Αναισθητοποίηση

Το ηλεκτρικό ρεύμα αναισθητοποιεί τα ψάρια, τα οποία, ωστόσο, μπορούν να ανακάμψουν εάν δεν θανατωθούν. Αρχικοί πειραματισμοί με την ηλεκτρική αναισθητοποίηση αποκάλυψαν την αποτελεσματικότητα της συγκεκριμένης μεθόδου, αλλά το ηλεκτρικό ρεύμα και η συχνότητα απαιτούσαν προσεκτικό έλεγχο για την αποφυγή καταγμάτων και αιμορραγίας, που θα είχαν σαν αποτέλεσμα μη αποδεκτές βλάβες, απώλειες και πετέχειες στη σάρκα. Οι βέλτιστες ρυθμίσεις στην παροχή ρεύματος για αναισθητοποίηση μέσω του κεφαλιού έχουν καθοριστεί για διάφορα είδη, όπως η ιριδίζουσα πέστροφα (500 mA), το χέλι (600 mA), το Αφρικάνικο γατόψαρο (629 mA) και ο κυπρίνος (240 mA). Έχουν αναπτυχθεί διάφορα συστήματα, με το HSU (Humane Stunning Unit) της εταιρίας Ace Aquatec Ltd να χρησιμοποιείται ευρέως στο Ηνωμένο Βασίλειο και την Ευρώπη για την πέστροφα και για άλλα είδη, όπως το λαβράκι, η τσιπούρα, ο σολομός, ο μπακαλιάρος, το καλκάνι, η χωματίδα και το μαγιάτικο. Σε αυτό το σύστημα τα ψάρια αντλούνται από το νερό εκτροφής μέσω ενός σωλήνα στον οποίο ηλεκτρόδια είναι τοποθετημένα σε συγκεκριμένο σημείο. Το σύστημα αυτό μπορεί να προσαρμοστεί σε υπάρχοντα συστήματα και να εγκατασταθεί στην ξηρά και σε βάρκες ή φορτηγίδες για συγκομιδές ζωντανών ή νεκρών ψαριών. Πιο πρόσφατες έρευνες έχουν επικεντρωθεί στην 'ξηρή' αναισθητοποίηση ολόκληρου του σώματος, και έχει αναπτυχθεί σχετικός εξοπλισμός (Stansas™, Seaside A/S, Stranda). Ο εξοπλισμός αυτός συνδυάζει τα αποτελέσματα και των δύο τύπων ρεύματος, του εναλλασσόμενου ρεύματος (AC) για την αναισθητοποίηση και του συνεχούς ρεύματος (DC) για τη διατήρηση των χαρακτηριστικών της σάρκας. Το σώμα των ψαριών (π.χ. σολομού) περνά πάνω από μία πλάκα που είναι συνδεδεμένη με συνεχές ρεύμα (DC), και ένα ηλεκτρόδιο εναλλασσόμενου ρεύματος έρχεται σε επαφή με το κεφάλι του ψαριού διοχετεύοντας ρεύμα σε ολόκληρο το σώμα. Η συνδυαστική αυτή πρακτική διαρκεί κατ' ελάχιστο 0,5 δευτερόλεπτα, και ακολούθως

το ψάρι πρέπει να θανατωθεί. Για την εν λόγω πρακτική απαιτείται περαιτέρω έρευνα.

13.10.2 Μηχανική Αναισθητοποίηση, Ενεργή Μεταφορά και 'Νεκρή Ψαριά': Μια Επανάσταση στη Συγκομιδή

Τα απλούστερα συστήματα μηχανικής αναισθητοποίησης είναι ανεξάρτητες μονάδες στις οποίες κάθε ψάρι διοχετεύεται χειροκίνητα (**Εικόνα 13.3**). Αρχικά, το ρύγχος του ψαριού ενεργοποιεί ένα έμβολο πεπιεσμένου αέρα και υψηλής ταχύτητας το οποίο χτυπάει το κεφάλι του ψαριού και το αναισθητοποιεί. Αμέσως μετά, το ψάρι υπόκειται σε αφαίμαξη μέσω αυτόματου συστήματος ή χειροκίνητα. Αυτές οι μονάδες χειροκίνητης τροφοδοσίας είναι χρήσιμες για μικρές επιχειρήσεις με χαμηλή απόδοση. Μεγαλύτερα συστήματα τροφοδοτούν αποτελεσματικά τα ψάρια μέσω καναλιού (ή καναλιών) (**Εικόνα 13.4**), όπου τοποθετούνται με το κεφάλι να κοιτάει εμπρός, και ακολούθως, καθώς κολυμπούν εισέρχονται στις μονάδες αναισθητοποίησης/αφαίμαξης. Εκεί, η λεπίδα αφαίμαξης αποκόπτει τα κύρια αιμοφόρα αγγεία μεταξύ της καρδιάς και των βραγχίων. Έπειτα, τα ψάρια μεταφέρονται σε ένα τραπέζι ελέγχου/αφαίμαξης πριν καταλήξουν σε μια ψυκτική δεξαμενή διατήρησης όπου γίνεται η αφαίμαξη και η ψύξη.

Τα ψάρια αποστραγγίζονται πριν εισέλθουν στις μονάδες αναισθητοποίησης/αφαίμαξης, για να εξασφαλιστεί πως ροή του νερού επεξεργασίας θα διατηρηθεί ξεχωριστά από το νερό με αίμα. Η καταμέτρηση και ο ρυθμός επεξεργασίας των ψαριών παρακολουθείται αυτόματα, καταγράφεται και μπορεί να μεταδοθεί μέσω ασύρματου δικτύου οπουδήποτε (γραφείο ή εργοστάσιο επεξεργασίας). Αυτές οι μονάδες μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε χερσαίες εγκαταστάσεις, αλλά και για συγκομιδή απευθείας από κλωβούς μέσα σε σκάφη 'νεκρής ψαριάς' (**Εικόνα 13.5**), και αποτελούν μέρος μιας επαναστατικής προσέγγισης στη συγκομιδή, δεδομένου ότι η όλη διαδικασία είναι εξαιρετικά γρήγορη.

Το γεγονός ότι προκαλείται μικρότερη καταπόνηση των ψαριών κατά την άντλησή τους (χαμηλό ύψος άντλησης και μικρή διανυόμενη απόσταση εντός της αντλίας), σε συνδυασμό με τις ταχύ-



Σχήμα 13.3 Σολομοί ανυψώνονται με τη χρήση ενός μικρού δικτυού, μεταφέρονται σε δεξαμενές για σύντομο χρονικό διάστημα και στη συνέχεια τοποθετούνται χειροκίνητα σε συστήματα αναισθητοποίησης/αφαίμαξης τύπου Baader BA 101 τοποθετημένα παράλληλα. Πηγή: Baader, SI. Αναπαράγεται με άδεια από τον S. Willoughby.



Σχήμα 13.4 Σολομοί κολυμπούν διαρκώς εντός δύο καναλιών των πλήρως αυτοματοποιημένων συστημάτων αναισθητοποίησης/αφαίμαξης Baader SI7C. Πηγή: Baader, SI. Αναπαράγεται με άδεια από τον S. Willoughby.



Σχήμα 13.5 Προηγμένα συστήματα αναισθητοποίησης/αφαίμαξης (2×4 κανάλια) τοποθετημένα επάνω σε βάρκα (με σφραγισμένο κανάλι απορροής για αποφυγή προβλημάτων λόγω ρύπανσης), για τη μεταφορά στην ξηρά μέσα σε πάγο ψαριών που έχουν αναισθητοποιηθεί και έχουν υποστεί αφαίμαξη για περαιτέρω επεξεργασία. Πηγή: Baader, SI. Αναπαράγεται με άδεια από τον S. Willoughby.

τατες διεργασίες αναισθητοποίησης, αφαίμαξης και θανάτωσης, συνάδει με την εφαρμογή ανθρωπιστικών μεθόδων θανάτωσης. Οι μέθοδοι αυτές οδηγούν, επίσης, σε αργή εμφάνιση της νεκρικής ακαμψίας, έως και 20 ώρες αργότερα, ενώ κατά τη νεκρική ακαμψία το σώμα εμφανίζεται λιγότερο άκαμπτο από το συνηθισμένο, επιτρέποντας έτσι την αφαίρεση των εντοσθίων και το φιλετάρισμα κατά τη διάρκεια αυτής, υπό την προϋπόθεση ότι όλες οι προηγούμενες διαδικασίες έχουν υλοποιηθεί σωστά. Ως αποτέλεσμα, η σάρκα παραδίδεται στην καλύτερη δυνατή κατάσταση με μια τιμή pH κοντά σε εκείνη των ζωντανών ψαριών (7,4-7,5 αντί για 6,7-7,8 για τα καταπονημένα ψάρια), καθιστώντας έτσι τις προαναφερθείσες πρακτικές περισσότερο αποτελεσματικές από την ηλεκτρική αναισθησία.

Τα ψάρια ψύχονται, γενικά, αμέσως μετά την αναισθητοποίηση και την αφαίμαξη είτε με ψυχόμενο θαλασσινό νερό (RSW, Refrigerated

Seawater) είτε με πολύ πάγου, και μεταφέρονται στο εργοστάσιο για περαιτέρω επεξεργασία, η οποία μπορεί να περιλαμβάνει μηχανική αφαίρεση των θηλυκών γονάδων με αβγά (αβγοτάραχο). Στη σύγχρονη μεταποίηση του σολομού, η μεγάλη πλειοψηφία των ψαριών υφίστανται επεξεργασία πριν τη νεκρική ακαμψία, επιτυγχάνοντας έτσι καλύτερη ποιότητα προϊόντος από ότι στο παρελθόν, όπου τα ψάρια διατηρούνταν υπό ψύξη έως ότου παρέλθει η νεκρική ακαμψία.

Η επεξεργασία συνεχίζεται με πλύσιμο και διαλογή των ψαριών κατά μέγεθος. Ακολουθεί προκαταρκτικός διαχωρισμός των κύριων εδωδίων τμημάτων, δηλαδή της σάρκας, από τα μη βρώσιμα τμήματα, όπως το κεφάλι, τα βράγχια, και άλλα υποπροϊόντα, όπως τα εντόσθια, μέρος των οποίων μπορούν να υποστούν περαιτέρω επεξεργασία.

Το πλύσιμο μπορεί να γίνει σε κατακόρυφες ή οριζόντιες μηχανές που χρησιμοποιούν την τριβή

από την πίεση του νερού, την απόξεση των ψαριών μεταξύ τους και την κίνηση των ιδίων των μηχανών για να απομακρυνθούν εξωτερικοί ρύποι και, ενίοτε, λέπια. Η χειροκίνητη απολέπιση ή μέσω μηχανήματος που φέρει αμβλείς, περιστρεφόμενες λεπίδες είναι το επόμενο βήμα πριν από τον αφαίρεση των εντοσθίων και τη φιλετοποίηση. Αυτό γίνεται συνήθως χειροκίνητα σε μικρές μονάδες, αλλά υπάρχουν διαθέσιμες και μηχανές για μαζική επεξεργασία.

Ορισμένα μηχανήματα μπορούν να εκτελέσουν και αποβραγχίωση και αποκεφαλισμό των ψαριών. Τα εντόσθια μικρών ψαριών μπορούν, στη συνέχεια, να αφαιρεθούν με αναρρόφηση. Η φιλετοποίηση μπορεί να γίνει χειροκίνητα ή με μηχανές, στις οποίες το ψάρι προωθείται ανάμεσα από περιστρεφόμενα κυκλικά μαχαίρια που αφαιρούν τη σάρκα από τη σπονδυλική στήλη. Οι μηχανές διαφέρουν ως προς τις ρυθμίσεις τους καθώς ορισμένα είδη ψαριών φιλετάρονται καλύτερα από το κεφάλι προς την ουρά, ενώ άλλα φιλετάρονται βέλτιστα προς την αντίθετη κατεύθυνση. Διάφοροι τύποι μηχανών αφαίρεσης του δέρματος είναι διαθέσιμοι. Σε έναν εξ αυτών, το φιλέτο περνά πάνω από ψυχόμενη επιφάνεια με αποτέλεσμα να παγώνει το δέρμα, επιτρέποντας του να αποκοπεί εύκολα με πριονοκορδέλα. Σε έναν άλλο τύπο, η πλευρά του φιλέτου που φέρει το δέρμα μεταφέρεται σε έναν ιμάντα και πιέζεται από έναν κύλινδρο επάνω σε ένα σταθερό μαχαίρι.

Κατά τον προγραμματισμό μιας διεργασίας μεταποίησης, πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στην κατάλληλη οργάνωση και ροή της γραμμής επεξεργασίας, ώστε να αποφευχθεί η συσσώρευση μερικώς μεταποιημένων προϊόντων σε οποιοδήποτε στάδιο. Πρέπει να υπάρχει μία λογική ακολουθία διαδικασιών που να επιτρέπει τη σταθερή ροή του προϊόντος. Πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα ώστε να αποφεύγεται η διασταυρούμενη μόλυνση και να διατηρείται το προϊόν ψυχόμενο.

Από τα ψάρια αφαιρούνται, γενικά, τα βράγχια και τα εντόσθια, και η σπλαχνική κοιλότητα καθαρίζεται επιμελώς και επιθεωρείται για παράσιτα ή ατέλειες. Οι εν λόγω διεργασίες μπορούν να υλοποιηθούν πριν από τη νεκρική ακαμψία, στις περιπτώσεις που η μεταποίηση λαμβάνει χώρα κοντά στη μονάδα καλλιέργειας. Το καθαρισμένο ψάρι είναι πλέον έτοιμο για διάθεση στην αγορά, για

επεξεργασία ή για κατάψυξη και περαιτέρω μεταποίηση σε μεταγενέστερο στάδιο. Για πολλά ψάρια, όπως τα σολομοειδή, η μεταποίηση περιλαμβάνει φιλετάρισμα, απομάκρυνση των μικρών οστών και μορφοποίηση του φιλέτου πριν από το ξηρό αλάτισμα ή τη διατήρηση σε άλμη. Το αλάτι τοποθετείται για μία ημέρα και μετά απομακρύνεται από τις πλευρές του φιλέτου, το οποίο και υποβάλλεται σε ψυχρό κάπνισμα για να παραχθεί ο ιδιαίτερα επιθυμητός καπνιστός σολομός. Το ψυχρό κάπνισμα διεξάγεται σε θερμοκρασία κοντά στους 22 °C. Πάνω από 25 °C η δομή του κολλαγόνου του συνδετικού ιστού επηρεάζεται, και το προκύπτον προϊόν δεν έχει επαρκή συνοχή ώστε να κοπεί σε λεπτές φέτες. Ο καπνιστός σολομός πωλείται είτε ως ολόκληρες πλευρές του ψαριού ή σε φέτες, σε συσκευασίες από τις οποίες έχει αφαιρεθεί ο αέρας, και διανέμεται και πωλείται υπό ψύξη ή κατεψυγμένος. Άλλα προϊόντα, όπως η 'τερρίνα' (terrīne) και το 'πατέ' (râté), παρασκευάζονται από τα υπολείμματα των διεργασιών της φιλετοποίησης και του καπνίσματος.

Ο συνδυασμός της γνώσης περί της φυσιολογίας κατά τη συγκομιδή και της βιοχημείας μετά τη θανάτωση αποτέλεσε τη βάση για τον σχεδιασμό του μηχανοποιημένου χειρισμού και του αποδοτικού αυτοματοποιημένου εξοπλισμού επεξεργασίας, καθώς και για νέα πρωτόκολλα μεταφοράς στη βιομηχανία σολομοειδών, που έχουν φέρει επανάσταση στη συγκομιδή και την επεξεργασία, οδηγώντας στην παραγωγή προϊόντος εξαιρετικής ποιότητας. Οι αρχές αυτές αποτελούν παράδειγμα προς μίμηση και για άλλα είδη.

13.10.3 Συγκομιδή Γαρίδας

Οι θαλάσσιες γαρίδες συλλέγονται με δίχτυ ή με αποστράγγιση της λιμνοδεξαμενής εκτροφής (ενότητα 22.8.5). Στη συνέχεια, ψύχονται σε πάγο ή πολύ πάγο και μεταφέρονται προς επεξεργασία. Είτε στην μονάδα καλλιέργειας είτε κατά την παραλαβή, συνήθως, εμβαπτίζονται σε ενώσεις για την πρόληψη της μελάνωσης (εμφάνιση μαύρου στίγματος που προκαλείται από την οξειδωση της τυροσίνης) που εμφανίζεται στο κέλυφος. Η πιο συνηθισμένη πρακτική είναι η εμβάπτιση σε μιας μορφής διοξείδιο του θείου (SO₂), που παρέχεται είτε από μεταδιθειώδες νάτριο είτε από διά-

λυμα θειώδους νατρίου. Οι χρόνοι διάρκειας της εμφάνισης και οι συγκεντρώσεις του διαλύματος υπολογίζονται ώστε να έχουν αποτέλεσμα, αλλά ταυτόχρονα οι υπολειμματικές συγκεντρώσεις να συμμορφώνονται με τους εγχώριους κανονισμούς και τους κανονισμούς που διέπουν τις εξαγωγές/εισαγωγές. Στις περισσότερες χώρες η επιτρεπτή συγκέντρωση είναι 30 mg SO₂/kg γαρίδας, υπολογιζόμενο με βάση το ολικό βάρος της γαρίδας. Το SO₂ είναι αποτελεσματικό, καθώς αναστέλλει το ένζυμο της πολυφαινολοξειδάσης, που ευθύνεται για τη μελάνωση. Άλλοι τύποι διαλυμάτων εμφάνισης, που αποτελούνται από παράγοντες οξίνισης, όπως το πυροφωσφορικό οξύ του νατρίου, δρουν μέσω οξίνισης του ιστού εκτός των ορίων pH που δρα το ένζυμο της πολυφαινολοξειδάσης. Ενώσεις, όπως η 4-εξυλορεσορκινόλη, είναι εμπορικά διαθέσιμες και δρουν σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις (π.χ., 4 mg/kg γαρίδας) ως ανάλογα υποστρώματος για την τυροσίνη για την απενεργοποίηση του ενζύμου οξειδωσής της. Άλλα ανάλογα, όπως η υδροξυτυροσώλη από ελιές και εκχυλίσματα από σπόρους σταφυλιών, διερευνώνται για πιθανή αξιοποίησή τους για πρόληψη της μελάνωσης.

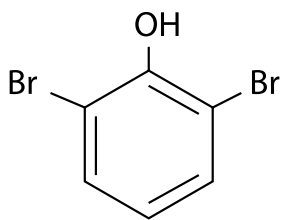
Οι γαρίδες μπορούν να πωληθούν νωπές, είτε ολόκληρες είτε ξεφλουδισμένες, διατηρημένες υπό ψύξη είτε κατεψυγμένες είτε μαγειρεμένες. Συνήθως, μαγειρεύονται σε βραστό νερό, είτε πόσιμο, είτε θαλασσινό είτε αλατόνερο, για έως και 5 λεπτά, για να διασφαλιστεί ότι τα ένζυμα του πεπτικού αδένος θα μετουσιωθούν πλήρως από τη θερμότητα. Εάν η μετουσίωση δεν είναι πλήρης, τα ένζυμα που παραμένουν στο έντερο μπορούν να αποδομήσουν την σάρκα της ουράς, οδηγώντας σε χρωματισμό αυτής και σε αλλοίωση της γεύσης σε γαρίδες αποθηκευμένες υπό ψύξη ή υπό συνθήκες κατάψυξης. Μετά το μαγείρεμα, οι γαρίδες ψύχονται σε κρύο γλυκό νερό, κατόπιν σε πολτό πάγου, και στη συνέχεια τοποθετούνται σε πάγο, πριν από την διαλογή τους κατά μέγεθος και την τοποθέτησή τους σε δοχεία για διάθεση στην αγορά, ή για περαιτέρω αποθήκευση ή κατάψυξη. Η διαλογή κατά μέγεθος γίνεται είτε χειροκίνητα είτε με μηχανικά συστήματα. Οι μηχανές διαλογής αποτελούνται από κυλίνδρους ή κεκλιμένες ράβδους με διάκενα μεταξύ τους. Τα κενά αυξάνονται σε μέγεθος κατά μήκος του μηχανήματος.

13.11 Επιδράσεις της Διατροφής στο Προϊόν

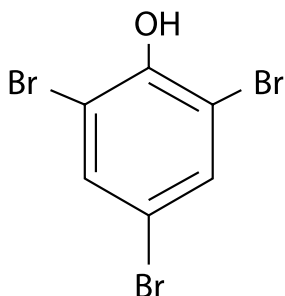
Οι υδατοκαλλιεργητές μπορούν να βελτιώσουν τα χαρακτηριστικά γεύσης του τελικού προϊόντος μέσω των συστατικών των τροφών που παρέχουν στα καλλιεργούμενα ζώα. Για να γίνει αυτό, είναι απαραίτητο να γνωρίζει η βιομηχανία τα χαρακτηριστικά γεύσης που απαιτεί η αγορά. Σε γενικές γραμμές, οι καλές πρακτικές εκτροφής και η επιμέλεια της διατροφής οδηγούν σε καλύτερα προϊόντα. Οι περισσότερες τροφές έχουν σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις σε λιπίδια τα οποία οξειδώνονται πολύ γρήγορα όταν εκτίθενται σε θερμότητα, φως και οξυγόνο. Αυτή η έκθεση υποβαθμίζει τη θρεπτική αξία του προϊόντος, ενώ τα λιπαρά οξέα μακράς αλυσίδας μπορούν να διασπαστούν σε ενώσεις που προσδίδουν ανεπιθύμητα χαρακτηριστικά. Έτσι, τα επίπεδα των αντιοξειδωτικών στην τροφή, και συνεπώς το αντιοξειδωτικό επίπεδο των ψαριών, αποτελούν σημαντικούς παράγοντες.

Οι περισσότερες από τις επιδράσεις της διατροφής στη γεύση, που αναφέρονται βιβλιογραφικά, οφείλονται σε αλλαγές στη σύνθεση των τροφών, από συνήθη συστατικά, όπως το ιχθυάλευρο, σε πηγές πρωτεΐνης από σπόρους και όσπρια, τα οποία είναι φθηνότερα και με μικρότερο αντίκτυπο στο περιβάλλον (ενότητα 8.6.5.1). Η προκύπτουσα αλλαγή στη γεύση μπορεί να είναι αμυδρή, αλλά σημαντική για τον καταναλωτή. Από αυτή την άποψη, τα ψάρια είναι ανάλογα των κρασιών, όπου η παρουσία ή η απουσία μικρών ποσοτήτων πτητικών ενώσεων οδηγεί σε χαμηλότερη ποιότητα, τιμή και εμπορευσιμότητα.

Πρόσφατα, έχει αναγνωρισθεί η σημασία των βρωμοφαινολών στην ανάδειξη της γεύσης των θαλασσινών (Εικόνα 13.6). Αυτές οι ενώσεις απαντώνται φυσικά στα θαλάσσια ασπόνδυλα, όπως τα βρυόζωα, και έχει διαπιστωθεί ότι, ακόμη και μικρές ποσότητες 2,6-διβρωμοφαινόλης, σε συγκεντρώσεις της τάξεως των mg/kg, μπορούν να έχουν σημαντική επίδραση στη γεύση των θαλασσινών (Whitfield, 1990). Η οριακή συγκέντρωση στην οποία μπορεί να γίνει αντιληπτή η γεύση της 2,6-διβρωμοφαινόλης στο νερό είναι εξαιρετικά χαμηλή, στα 0,00005 mg/kg, ενώ στη σάρκα της γαρίδας είναι 0,06 mg/kg. Αντίστοιχα, η οριακή συ-



2,6-διβρωμοφαινόλη



2,4,6-τριβρωμοφαινόλη

Εικόνα 13.6 Χημικοί τύποι των δύο κύριων βρωμοφαινόλων που αναδεικνύουν τη γεύση στα θαλασσινά.

γκέντρωση της 2,4,6-τριβρωμοφαινόλης στο νερό είναι τα 0,6 μg/kg.

Παρομοίως, ενώσεις τερπενίου, που εντοπίζονται σε σπόρους, χόρτα και φύκη, προσδίδουν, επίσης, γεύση στα άγρια αλιεύματα. Φαίνεται ότι υπάρχουν σημαντικά περιθώρια ενσωμάτωσης προμειγμάτων ή συστατικών πλούσιων σε αυτές τις ενώσεις (συνθετικής ή φυσικής προέλευσης) στις τροφές που χρησιμοποιούνται στην υδατοκαλλιέργεια προκειμένου να ξεπεραστούν προβλήματα αναφορικά με τη γεύση του προϊόντος.

13.12 Προϊόντα για Εξειδικευμένες Αγορές

Μία πρόσφατη έρευνα σχετικά με την ενσωμάτωση σεληνίου (Se) στο σκόρδο, για να παρασκευαστεί ένα προϊόν εμπλουτισμένο με σελήνιο, το οποίο με τη σειρά του προστέθηκε στις ιχθυοτροφές, έδειξε ότι το σελήνιο μπορεί να απορροφηθεί από τα ψάρια. Ξεκίνησε, έτσι, η ιδέα χρήσης εμπλουτισμένων ψαριών υδατοκαλλιέργειας ως ειδικά 'φυσικά' συμπληρώματα διατροφής.

Υπάρχουν απαιτήσεις για προϊόντα υδατοκαλλιέργειών που έχουν εκτραφεί 'οργανικά' στα οποία

οι τροφές προέρχονται από 'οργανικές' καλλιέργειες και στα οποία χρησιμοποιούνται εγκεκριμένες φαρμακευτικές ουσίες μόνο για την αντιμετώπιση ασθενειών. Οι απαιτήσεις για τέτοια προϊόντα εμφανίζουν αυξανόμενη τάση σε ορισμένες κοινωνίες, με τους καταναλωτές να είναι διατεθειμένοι να τα αγοράσουν σε υψηλότερη τιμή.

Παρομοίως, αναπτύσσονται πρωτόκολλα δεοντολογίας και πρακτικών που οδηγούν σε προϊόντα τα οποία μπορούν να χαρακτηριστούν ως ηθικά παραγόμενα καθ' όλα τα στάδια παραγωγής, από την εκκόλαψη έως την τελική επεξεργασία τους. Προκειμένου να διερευνηθεί αυτή η νέα αγορά, έχουν διεξαχθεί έρευνες για τη στάση των καταναλωτών προς ηθικά παραγόμενα προϊόντα και προϊόντα υδατοκαλλιέργειας.

13.13 Γεύσεις και Αλλοιώσεις

Οι γεύσεις προκύπτουν από τα σύμπλοκα των ενώσεων που υπάρχουν στον ιστό, οι οποίες καθορίζονται για κάθε είδος, από το περιβάλλον και τα συστατικά της τροφής αυτού (Lindsay, 1990). Τα άγρια αλιευμένα ψάρια και γαρίδες έχουν εντονότερες 'φυσικές' γεύσεις από τα αντίστοιχα καλλιεργούμενα, λόγω μεγαλύτερης ποικιλίας στη διατροφή τους. Η αντικατάσταση, στις υδατοκαλλιέργειες, των φυσικών τροφών των ψαριών με τις άγευστες, τεχνητές τροφές που βασίζονται σε δημητριακά και όσπρια συντηρεί αυτή την έλλειψη ποικιλίας στη διατροφής τους.

Ένα μείζον πρόβλημα που παρουσιάζεται στην υδατοκαλλιέργεια σε γλυκά νερά είναι η εμφάνιση αλλοιώσεων από κυανοπράσινα φύκη (κυανοβακτήρια) και ακτινομύκητες, που οδηγούν στη συσσώρευση γεωσμίνης και 2-μεθυλ-ισοβορνεόλης στα λιπώδη τμήματα του ιστού. Οι αλλοιώσεις αυτές περιγράφεται ότι προσδίδουν γεύση λασπώδη, χωμάτινη ή μούχλας. Οι περισσότερες σχετικές έρευνες έχουν διεξαχθεί στις ΗΠΑ στο γατόψαρο *Ictalurus punctatus*. Αυτές οι αλλοιώσεις μπορούν να απομακρυνθούν με παραμονή των ψαριών σε καθαρό νερό για αρκετές ημέρες. Η διάρκεια της εν λόγω διαδικασίας εξαρτάται από την έκταση της μόλυνσης. Η έκθεση των γατόψαρων σε μεθυλ-ισοβορνεόλη συγκέντρωσης 0,5 μg/kg στο νερό προσδίδει άμεσα λασπώδη γεύση

στη σάρκα μέσα σε 1-2 ώρες. Αυτή η γευστική αλλοίωση εξακολούθησε να υφίσταται ακόμη και μετά από 48 ώρες παραμονής των ψαριών σε καθαρό, φιλτραρισμένο, με ενεργό άνθρακα, νερό. Ο συγκεκριμένος τρόπος καθαρισμού αποτελεί, επί του παρόντος, το μόνο μέσο αντιμετώπισης, δεδομένου ότι οι ανθίσεις φυκών θα συμβαίνουν πάντοτε σε εντατικά συστήματα καλλιέργειας. Το προ-μαγείρεμα με ατμό, για την εξάτμιση των πτητικών ουσιών, ακολουθούμενο από κονσερβοποίηση, έχει βρεθεί ότι εξουδετερώνει αυτές τις γεύσεις σε κάποιο βαθμό στην πέστροφα.

Ρύπανση του νερού καλλιέργειας μπορεί επίσης να συμβεί από διάφορες οικιακές και βιομηχανικές πηγές. Ίχνη των εξαιρετικά δύσσομων ξυλολών που χρησιμοποιούνται ως αρωματικές ουσίες σε απορρυπαντικά του εμπορίου έχουν επίσης ανιχνευθεί σε είδη εσωτερικών νερών στην Ευρώπη, ενώ και τα προϊόντα διάσπασης του πετρελαίου μπορούν να αλλοιώσουν τόσο τα θαλασσινά όσο και τα είδη των εσωτερικών νερών. Άλλες αλλοιώσεις μπορούν να προκληθούν από οξειδωμένες ή μουχλιασμένες τροφές, αλλά αυτές οφείλονται σε κακές πρακτικές διαχείρισης και δεν θα εξεταστούν περαιτέρω.

Μεγάλο μέρος της γεύσης των υδρόβιων, τροφίμων και επομένως και των καλλιεργούμενων, θαλασσινών προϊόντων προέρχεται από τις μη πτητικές, μη πρωτεϊνικές ενώσεις αζώτου, που περιλαμβάνουν:

- ελεύθερα αμινοξέα.
- ουρία.
- βεταΐνες.
- πεπτίδια.
- νουκλεϊκά οξέα.
- νουκλεοτίδια.
- οξειδίο τριμεθυλαμίνης.
- άλλες αμίνες.
- άλατα και μέταλλα.

Οι συγκεντρώσεις των ελεύθερων αμινοξέων, γλυκίνη, ταυρίνη και αλανίνη, είναι σημαντικές για τον προσδιορισμό της γεύσης των αλιωτίδων. Η γλυκίνη, η προλίνη, η αργινίνη, η σερίνη, η θρεονίνη και η αλανίνη είναι ιδιαίτερα σημαντικές για τον καθορισμό της γεύσης της γαρίδας, και η σχετική περιεκτικότητά τους επηρεάζεται από την αλατότητα των λιμνοδεξαμενών καθώς υψηλότερες συγκε-

ντρώσεις των αμινοξέων αυτών εμφανίζονται σε υψηλότερες συγκεντρώσεις αλατότητας. Η γλυκίνη είναι αρκετά γλυκιά και σε αυτή οφείλεται κατά κύριο λόγο η γλυκιά γεύση των γαρίδων και των χτενιών. Είναι επίσης ευδιάλυτη στο νερό και μπορεί να εκπλυθεί κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας. Οι ωμές γαρίδες έχουν διαφορετική, πολύ πιο γλυκιά γεύση από εκείνες που έχουν υποβληθεί σε βρασμό. Το μαγείρεμα με διαφορετικές μεθόδους μπορεί, επίσης, να οδηγήσει σε διαφορετικές πτητικές ουσίες που δημιουργούνται από τη θερμότητα.

Ο κύριος αποθηκευτικός υδατάνθρακας στα θαλασσινά είναι το γλυκογόνο, το οποίο από μόνο του δεν συμβάλλει στη γεύση, αλλά τα προϊόντα διάσπασής του, γλυκόζη και 6-φωσφορική γλυκόζη, είναι σημαντικά. Λόγω της υψηλότερης περιεκτικότητας των τεχνητών τροφών σε υδατάνθρακες, τα περισσότερα καλλιεργούμενα ζώα τείνουν να έχουν υψηλότερα επίπεδα γλυκογόνου από ότι τα άγρια. Η άσκηση αυξάνει τα επίπεδα γλυκογόνου στο μυ. Η σημασία του γλυκογόνου για τον καθορισμό των ιδιοτήτων της σάρκας έγκειται στη λειτουργία του ως απόθεμα ενέργειας για την αναερόβια γλυκόλυση, όταν το ψάρι είναι καταπονημένο ή έπειτα από τη θανάτωσή του.

Οι πτητικές ενώσεις στη σάρκα των νωπών ψαριών είναι κυρίως ενώσεις αλκοόλης και καρβονυλίου, οι οποίες προκύπτουν από τη δράση συγκεκριμένων ενζύμων επί μεμονωμένων λιπαρών οξέων μακράς αλυσίδας. Αυτά τα ένζυμα λιποξυγενάσης εμπλέκονται στην παραγωγή λευκοτριενίων και στην οσμωρύθμιση σε κυτταρικό επίπεδο. Παρόλο που υπάρχουν διαφορές μεταξύ των θαλασσινών ψαριών και των ψαριών των εσωτερικών νερών, γενικώς, τα φρέσκα ψάρια έχουν ήπιες οσμές που μοιάζουν με τις οσμές των πράσινων λαχανικών. Αυτές αντικαθίστανται μέσα σε λίγες μέρες με ενζυμικά οξειδωτικά προϊόντα τα οποία προσδίδουν πιο χαρακτηριστική οσμή ψαριού. Μετά τη θανάτωση, τα ένζυμα στους ιστούς, που επιτίθενται ειδικά στα λιπαρά οξέα, παράγουν μια ολόκληρη σειρά οσμηρών ενώσεων (**Πίνακας 13.1**) (Haard and Simpson, 2000).

Συνεπώς, υπάρχουν δυνατότητες τροποποίησης της γεύσης μέσω της τροφής, της καλλιέργειας και μέσω πρακτικών που εφαρμόζονται μετά τη συγκομιδή.

Πίνακας 13.1 Τυπικές ενώσεις που προέρχονται ενζυμικά από πολυακόρεστα λιπαρά οξέα.

Ένωση	Άρωμα
Εξανάλη	Έντονο, άρωμα χορταριού*, παρόμοιο με αλδεΐδη
t2-Εξανάλη	Άρωμα χορταριού, παρόμοιο με του εντόμου βρωμούσα
c3-Εξανάλη	Άρωμα χορταριού, φυλλώδες
1-Οκτεν-3-όλη	Ωμών μανιταριών
1-Οκτεν-3-όνη	Μαγειρεμένων μανιταριών
1,c5-Οκταδιεν-3-όλη	Έντονο, γήινο, άρωμα χορταριού, μανιταριού
1,c5-Οκταδιεν-3-όνη	Θρυμματισμένων φύλλων γερανιού
t2,c6-Νοναδιενάλη	Αγγουριού
t2,c6-Νοναδιενόλη	Αγγουριού, πεπονιού
(2Z)-Οκτεν-1-όλη	Ήπιο άρωμα χορταριού, ψαριού
2,5-Οκταδιεν-1-όλη	Τηγανητών ψαριών
(2E)-Πεντανάλη	Πράσινου μήλου
(1,5Z)-Οκταδιενάλη	Φύλλων γερανιού
(1,3E,5Z)-Ενδεκατριένιο	Ξυδιού βαλσάμικου
(1,3E,5Z,8Z)-Ενδεκατετραένιο	Φυκών

*Το άρωμα χορταριού υποδηλώνει άρωμα κομμένου γρασιδιού ή βοτάνων.

13.14 Υφή

Μετά το θάνατο, το γλυκογόνο στους μυς μπορεί να διασπαστεί μέσω φωσφορολυτικών ή υδρολυτικών οδών, για την παραγωγή γαλακτικού οξέος, το οποίο, με τη σειρά του, καθορίζει το τελικό pH της σάρκας. Το pH είναι ο κύριος καθοριστικός παράγοντας της υφής της σάρκας, με την εγγενή ρυθμιστική ικανότητα των αμινοξέων και των πεπτιδίων να παίζουν ρόλο στον έλεγχο του. Το χαμηλό pH οδηγεί, συνήθως, σε σκληρή υφή, αλλά μια πολύ γρήγορη μείωσή του οδηγεί σε μαλακή υφή. Έτσι, οι βιολογικές συνθήκες, όπως αντανάκλονται στα επίπεδα γλυκογόνου και στην ικανότητα ρύθμισής του, καθορίζουν την υφή της σάρκας σε ένα είδος.

Η υφή της σάρκας σε διάφορα είδη οφείλεται στη δομή της. Σε ωμή κατάσταση, η σχετική αναλογία κολλαγόνου καθορίζει την αντίσταση του μυός στην κατάτμησή του, καθώς τα συστατικά των μυοϊνιδίων είναι υπό μορφή μαλακής γέλης. Τα είδη με χαμηλά επίπεδα συνδετικού ιστού έχουν υπερβολικά μαλακή σάρκα για την παραγωγή σασίμι, ενώ αυτά με πολύ υψηλά επίπεδα έχουν υπερβολικά σκληρή σάρκα. Η κατάσταση αναστρέφεται στους μαγειρεμένους μυς, καθώς

τα συστατικά των μυοϊνιδίων σκληραίνουν, ενώ τα μόρια κολλαγόνου συρρικνώνονται, ξετυλίγονται, ζελατινοποιούνται και μαλακώνουν. Ως αποτέλεσμα, η σάρκα διαχωρίζεται εύκολα σε κομμάτια, καθένα από τα οποία είναι ένα κομμάτι του μυ. Έτσι, η υφή των μαγειρεμένων ψαριών εξαρτάται από την κατάσταση των πρωτεϊνών των μυοϊνιδίων. Αν οι πρωτεΐνες έχουν μετουσιωθεί και έχουν χάσει την ικανότητά τους να διατηρούν υγρασία, τότε το μαγειρεμένο προϊόν μπορεί να είναι γευστικά ξηρό και ινώδες. Η περιεκτικότητα σε έλαια και η ποσότητα ζελατινοποιημένου συνδετικού ιστού συμβάλλουν στην αίσθηση κατά το μάσημα.

13.15 Έννοιες: Ποιότητα, Φρεσκότητα, Διάρκεια Ζωής Προϊόντος και Δείκτης Ποιότητας

Η ποιότητα και η φρεσκότητα είναι έννοιες που χρησιμοποιούνται στις πωλήσεις και στο μάρκετινγκ. Δυστυχώς, οι όροι χρησιμοποιούνται συχνά και στην τεχνολογία, με τρόπο διφορούμενο, ακόμη και μέσα στην ίδια πρόταση ή παράγραφο, για να περιγράψουν τόσο την έννοια αυτή καθαυτή όσο και μια συγκεκριμένη ιδιότητα ή ένα σύ-

Πίνακας 13.2 Σχετικός ρυθμός αλλοίωσης και πιθανή μεταβολή της διάρκειας ζωής του προϊόντος σε διάφορες θερμοκρασίες σε σχέση με την αποθήκευσή του στους 0 °C.

Θερμοκρασία αποθήκευσης (°C)	Ρυθμός αλλοίωσης σε σχέση με τους 0 °C	Διάρκεια ζωής του προϊόντος (%) σε σχέση με τους 0 °C
-1,5	0,7	130
0	1,0	100
4	2,0	50
10	4,0	25
15	5,25	19

νολο ιδιοτήτων. Προκειμένου οι έννοιες αυτές να χρησιμοποιούνται με ουσιαστικό τρόπο, είναι απαραίτητο να οριστούν ως μετρήσιμες ποσότητες (Bremner, 2002).

Η φρεσκότητα αφορά συχνά σε μη κατεψυγμένο προϊόν και αναφέρεται στο ιστορικό μεταβολής της θερμοκρασίας διατήρησής του, από τη συγκομιδή και εφεξής. Συνήθως χρησιμοποιείται η θερμοκρασία τήξης του πάγου (0 °C) ως θερμοκρασία αναφοράς για τη διατήρηση υπό ψύξη. Η θερμοκρασία αυτή επιλέχθηκε, καθώς μπορεί να εκτιμηθεί απλώς με την παρουσία πάγου και, συνεπώς, δεν απαιτούνται μηχανικές ή ηλεκτρικές συσκευές. Επίσης, ρυθμός αλλοίωσης στη θερμοκρασία αυτή μπορεί εύκολα να συγκριθεί με τους αντίστοιχους ρυθμούς σε διάφορες άλλες θερμοκρασίες (Πίνακας 13.2) μέσω της εξίσωσης:

$$r = (1 + 0,1t)^2$$

όπου r είναι ο σχετικός ρυθμός αλλοίωσης και t είναι η θερμοκρασία σε °C.

Συνεπώς, σε σύγκριση με την αποθήκευση σε θερμοκρασία 0 °C, η αλλοίωση στους -1,5 °C εμφανίζεται 30% πιο αργά, οδηγώντας σε αύξηση της διάρκειας ζωής του προϊόντος κατά 40%. Συγκριτικά, σε θερμοκρασίες 4, 10 και 15 °C παρατηρείται αύξηση του ρυθμού αλλοίωσης κατά δύο, τέσσερις και πάνω από πέντε φορές, αντίστοιχα, και, συνεπώς, σημαντική μείωση της διάρκειας ζωής του προϊόντος (Bremner et al., 1986). Τα αποτελέσματα αυτά υποδεικνύουν χαρακτηριστικά την ανάγκη ψύξης του προϊόντος στους 0 °C και διατήρησης της θερμοκρασίας του σε αυτό το επίπεδο. Η παραπάνω σχέση ισχύει μέχρι τους περίπου 16 °C. Συνεπώς, οποιοσδήποτε συνδυασμός χρόνου και θερμοκρασίας στο εύρος αυτό μπο-

ρεί να υπολογιστεί σε ημέρες σε 0 °C (ημέρες πάγου ή ώρες πάγου) πολλαπλασιάζοντας την χρονική περίοδο σε μια συγκεκριμένη θερμοκρασία με το σχετικό ρυθμό. Οι μεμονωμένες μετρήσεις ημερών πάγου μπορούν στη συνέχεια να αθροιστούν για να δώσουν τις συνολικές ημέρες πάγου ή ώρες πάγου. Η τελική αυτή μέτρηση είναι σαφής και κατανοητή καθ' όλη τη διαδικασία παραγωγής και διάθεσης του προϊόντος, και δεν αποτελεί μία αόριστη προσέγγιση της φρεσκότητας.

Η έννοια της ποιότητας ενός προϊόντος περιλαμβάνει πολλές άλλες πτυχές πέραν του χρόνου και της θερμοκρασίας, και είναι απαραίτητο να ορισθεί προκειμένου να μην υπάρχουν παρερμηνείες.

Η διάρκεια ζωής και η διάρκεια αποθήκευσης ενός προϊόντος εξαρτώνται αποκλειστικά από τα κριτήρια που χρησιμοποιούνται για την εκτίμησή τους. Είναι σημαντικό να υπάρχει μια καλή εκτίμηση της διάρκειας ζωής ενός προϊόντος υδατοκαλλιέργειας υπό ψύξη, προκειμένου να προσδιοριστούν οι δυνατότητες διανομής του. Προϊόντα που παραμένουν εμπορεύσιμα όντας στον πάγο για περισσότερο από δύο εβδομάδες μπορούν, προφανώς, να διανεμηθούν ευρύτερα από προϊόντα που εμφανίζουν ανεπιθύμητες αλλαγές εντός μίας εβδομάδας. Τα κριτήρια για τη εκτίμηση της διάρκειας ζωής ενός προϊόντος καθορίζονται από:

- την αγορά.
- τους προμηθευτές.
- κάποιον τομέα της βιομηχανίας.

Υπάρχουν αγορές για προϊόντα που δεν είναι σε βέλτιστη κατάσταση ή που έχουν υψηλές τιμές ημερών πάγου (ice days). Γενικά, ο καλλιεργητής στοχεύει σε καταναλωτές που αναζητούν το φρεσκότερο προϊόν (με λίγες ημέρες πάγου), του

οποίου η εμπορική τιμή είναι υψηλότερη. Επομένως, η διατήρηση της ποιότητας του προϊόντος στις πρώτες ημέρες διάθεσης αυτού μπορεί να είναι σημαντικότερη από τη συνολική διάρκεια ζωής του στην επιλογή της αγοράς στην οποία θα διατεθεί, αλλά και στον καθορισμό της διανομής του.

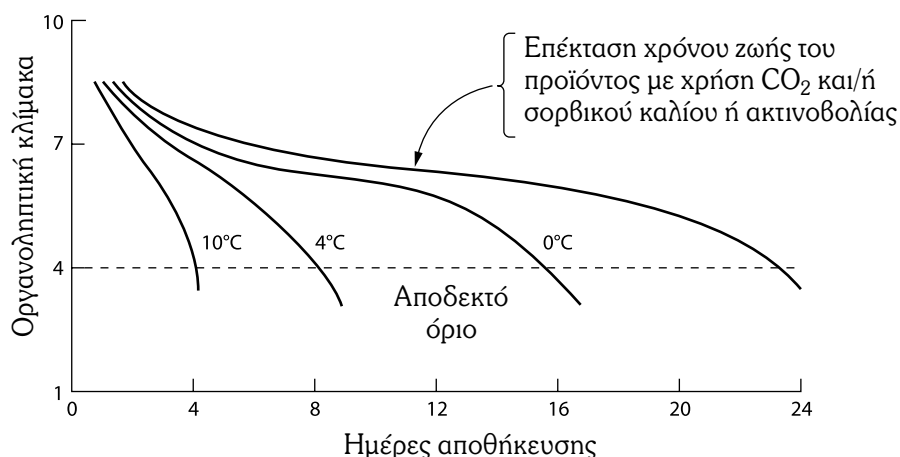
Οι τυπικοί ρυθμοί μεταβολής που παρατηρούνται στα προϊόντα παρουσιάζονται στην **Εικόνα 13.7**. Γενικά, το καλύτερο προϊόν είναι διαθέσιμο για σχετικά μικρό χρονικό διάστημα (συχνά μόνο 3-4 ημέρες), μετά το πέρας του οποίου η ποιότητα του προϊόντος μειώνεται αργά. Κατά τη διάρκεια των πρώτων αυτών ημερών το προϊόν μπορεί να θεωρηθεί κατάλληλο για 'σασίμι', δηλαδή, για να καταναλωθεί ωμό. Ο σχηματισμός αλλοιογόνων ουσιών είναι συνέπεια της ανάπτυξης βακτηρίων. Μια τυπική κατάσταση παρουσιάζεται στον **Πίνακα 13.3**. Αρχικά, θεωρείται ότι υπάρχουν 10^3 βακτήρια/cm² στην επιφάνεια του προϊόντος, με τον αριθμό τους να διπλασιάζεται ημερησίως, γεγονός που αποτελεί μία λογική παραδοχή. Ο αριθμός των βακτηρίων είναι χαμηλός στα αρχικά στάδια καθώς στις πρώτες 4 ημέρες, ο αριθμός αυξάνεται μόνο κατά $\sim 20.000/\text{cm}^2$ επιφάνειας. Ωστόσο, ανάμεσα στη 12^η έως την 13^η ημέρα η αύξηση είναι της τάξεως των 12 εκατομμυρίων/cm²! Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό του χρόνου ζωής ενός προϊόντος μπορούν να είναι είτε άμεσες είτε έμμεσες. Οι άμεσες μέθοδοι μπορεί να περιλαμβάνουν τη χρήση συστημάτων βαθμολόγησης ή οργανοληπτικής εκτίμησης του μαγειρεμένου ή του ωμού προϊόντος από εκπαιδευμένους αξιολογητές.

Ένα σύστημα βαθμολόγησης που είναι απλό, άμεσο και μη καταστρεπτικό, και έχει αποδειχθεί ικανό να ενσωματώνει τις επιπτώσεις του χρόνου και της θερμοκρασίας (Bremner et al., 1986) χρησιμοποιείται σήμερα ευρέως στην έρευνα και τη βιομηχανία. Είναι γνωστό ως Μέθοδος Δείκτη Ποιότητας (QIM, Quality Index Method) και οι κοινές παράμετροι, που σχετίζονται με την εμφάνιση, την οσμή και την υφή, καταγράφονται σε συστηματική βάση ως αρνητικό σκορ που, στη συνέχεια, αθροίζεται. Το άθροισμα αυτό παρέχει μια ευθεία συσχέτιση με τις ημέρες πάγου (ice days) και μια αντίστροφη συσχέτιση με την αισθητηριακή αξιολόγηση της μαγειρεμένης σάρκας από εκπαιδευμένους αξιολογητές. Επομένως, η Μέθοδος Δείκτη Ποιότητας (QIM) είναι μία πολύ γρήγορη και πολύτιμη τεχνική για την εκτίμηση των ημερών πάγου που παρήλθαν και της υπολειπόμενης διάρκειας ζωής του προϊόντος και για την αξιολόγηση της οργανοληπτικής βαθμολογίας του.

Η οργανοληπτική αξιολόγηση από εκπαιδευμένους αξιολογητές είναι πολύ αποτελεσματική, αλλά απαιτεί σημαντική ικανότητα και οργάνωση και κατάλληλες εγκαταστάσεις. Κατά τη διενέργεια του ελέγχου αυτού, ο αξιολογητής περιγράφει το προϊόν κατά την κατανάλωσή του και, συνεπώς, η πρακτική αυτή σχετίζεται άμεσα με την εκτίμηση του καταναλωτή για το προϊόν. Πρέπει να διεξαχθούν πλήρεις δοκιμές καταναλωτών για να συσχετιστούν τα αποτελέσματα των εκπαιδευμένων αξιολογητών με την 'αξιολόγηση της αγοράς'.

Οι έμμεσες μέθοδοι περιλαμβάνουν:

- μικροβιολογικές μετρήσεις.



Εικόνα 13.7 Τυπικό πρότυπο αλλοίωσης σε φρέσκο θαλασσινό προϊόν υπό ψύξη. Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από τον Allan Bremner.

- μέτρηση των μεταβολιτών της σάρκας, όπως τα νουκλεοτίδια.
- μέτρηση μικροβιακών μεταβολιτών, όπως η τριμεθυλαμίνη ή προϊόντα οξειδωσης.

13.16 Μικροβιολογία, Ειδικοί Αλλοιογόνοι Μικροοργανισμοί (SSO) και Λοιπές Διαδικασίες Αλλοίωσης

Η μικροβιολογία κατά την αποθήκευση προϊόντων σάρκας υπό ψύξη κυριαρχείται από την ομάδα των βακτηρίων του γένους των ψευδομονάδων. Σε εύκρατες θαλάσσιες περιοχές, ο κύριος αλλοιογόνος οργανισμός είναι ένα ετερότροφο προαιρετικά Gram-αρνητικό βακτήριο, το *Shewanella putrefaciens* (πρώην *Alteromonas putrefaciens*). Ο οργανισμός αυτός μπορεί να μεταβολίσει έναν αριθμό ελεύθερων αμινοξέων και σακχάρων για να παράξει μια σειρά από δύσοσμες ενώσεις, συμπεριλαμβανομένου του υδρόθειου (H_2S). Ο αριθμός των βακτηρίων που παράγουν H_2S συσχετίζεται άμεσα με την αλλοίωση, παρά το γεγονός ότι τα εν λόγω βακτήρια μπορεί να αντιπροσωπεύουν μόνο ένα ποσοστό της συνολικής βακτηριακής

χλωρίδας. Άλλα βακτήρια του γένους των ψευδομονάδων συμβάλλουν επίσης στην αλλοίωση και, σε τροπικές και υποτροπικές περιοχές, το είδος *Pseudomonas fragi* συχνά προκαλεί δυσσομία και αλλοιώσεις στη γεύση, η οποία μοιάζει με τη γεύση σάπιων τροπικών φρούτων.

Είναι σημαντικό, για κάθε δεδομένη κατάσταση, να γίνεται κατανοητή η φύση της μικροχλωρίδας που προκαλεί αλλοιώσεις και να είναι γνωστός ο εκάστοτε αλλοιογόνος οργανισμός. Για κάθε διαφορετικό συνδυασμό παραγόντων (θερμοκρασία, είδος, νερό, pH, ατμόσφαιρα), ένας ειδικός αλλοιογόνος μικροοργανισμός (SSO, Specific Spoilage Organism) είναι ο οργανισμός που κυριαρχεί στην μικροχλωρίδα και προκαλεί την αλλοίωση. Επομένως, ο εκάστοτε ειδικός αλλοιογόνος μικροοργανισμός (SSO) πρέπει να καθορίζεται προκειμένου να αναστέλλεται η ανάπτυξη του με κατάλληλα μέτρα. Οι γνωστοί ειδικοί αλλοιογόνοι μικροοργανισμοί (SSO) και τα μέτρα αναστολής της ανάπτυξης τους παρουσιάζονται στην ιστοσελίδα <http://fssp.food.dtu.dk> (Πίνακας 13.5). Συχνά, ο εκάστοτε ειδικός αλλοιογόνος μικροοργανισμός (SSO) υπάρχει αρχικά σε πολύ μικρούς αριθμούς, όπως στο παράδειγμα του Πίνακα 13.3, και μπορεί να μην είναι ανιχνεύσιμος κατά την συγκομιδή.

Πίνακας 13.3 Υποθετικά παραδείγματα πλήθους βακτηρίων στην επιφάνεια της σάρκας ψαριού, στην περίπτωση που τα βακτήρια διπλασιάζονταν σε αριθμό κάθε ημέρα. Οι αριθμοί και τα ποσοστά των βακτηρίων μπορούν να θεωρηθούν ισοδύναμα με τη σχετική συγκέντρωση των αλλοιογόνων ενώσεων, υποθέτοντας ότι ο αρχικός οργανισμός δύναται να αλλοιωθεί.

Χρόνος αποθήκευσης σε πάγο (ημέρες)	Υπολογισθέν πλήθος βακτηρίων (χιλιάδες βακτήρια/cm ²)	Πλήθος βακτηρίων ως ποσοστό (%) του πλήθους τους στις 13 πρώτες ημέρες ¹
0	3	0,01
1	6	0,025
2	12	0,05
3	24	0,10
4	48	0,20
5	96	0,39
6	192	0,78
7	384	1,56
8	768	3,13
9	1536	6,25
10	3072	12,5
11	6134	25
12	12288	50
13	24576	100

¹ Λήξη αποδεκτής διάρκειας ζωής προϊόντος.

Συνήθως, ο αριθμός των βακτηρίων μειώνεται όταν είδη που διαβιούν σε θερμά κλίματα τοποθετούνται σε πάγο. Για παράδειγμα, η τροπική γαρίδα, που εμφανίζει συνολικό αριθμό βακτηρίων της τάξης των 10^6 βακτηρίων/g κατά την πρώτη συγκομιδή, μπορεί να φέρει μόνο 10^4 βακτήρια/g μετά την αποθήκευση σε πάγο για μία ή δύο ημέρες (**Εικόνα 13.8**). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι οργανισμοί της μικροχλωρίδας (βακτήρια) που είναι ικανοί να αναπτύσσονται σε ψυχρές θερμοκρασίες (κυρίως ψυχρότροφοι οργανισμοί) αρχικά υπάρχουν μόνο σε πολύ μικρούς αριθμούς και συχνά εισάγονται με τον πάγο ή με ένα εναλλακτικό μέσο ψύξης. Αντίθετα, οι οργανισμοί της μικροχλωρίδας που αναπτύσσονται σε θερμά κλίματα (μεσόφιλοι) δεν μπορούν να επιβιώσουν στις ψυχρές συνθήκες και πεθαίνουν. Για αυτόν, αλλά και για άλλους λόγους, τα τροπικά προϊόντα υδατοκαλλιέργειας μπορούν να έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής υπό ψύξη σε σύγκριση με προϊόντα από είδη που προέρχονται από ψυχρότερα περιβάλλοντα, στα οποία η ψυχρόφιλη μικροχλωρίδα είναι ήδη σε αφθονία.

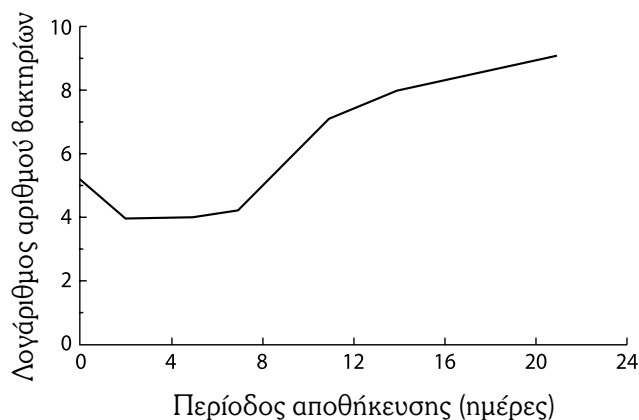
13.17 Κατάψυξη και Αποθήκευση

Αν και πολλά προϊόντα υδατοκαλλιέργειας πωλούνται φρέσκα, ένα μεγάλο ποσοστό τους καταψύχεται για περαιτέρω μεταποίηση ή ως τελικό προϊόν.

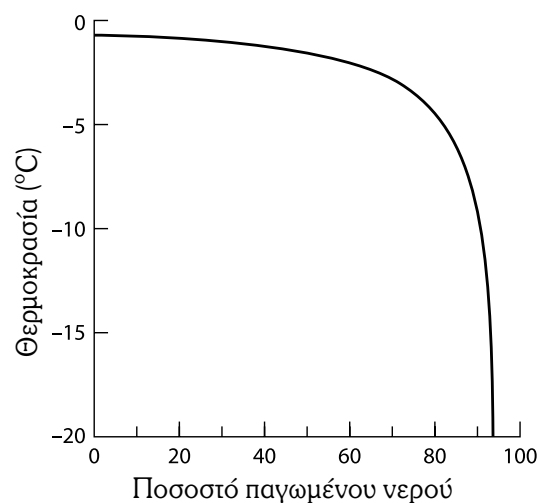
Ουσιαστικά, κατά τη διαδικασία της κατάψυξης μεταφέρεται θερμότητα από το προϊόν στο περιβάλλον του, με αποτέλεσμα να μειώνεται σημαντικά η θερμοκρασία του και το περιεχόμενο νερό να μετατρέπεται σε πάγο. Η κατάψυξη ενός προϊόντος έχει θετική επίδραση στη συντήρησή του, και αυτό οφείλεται σε τρεις παράγοντες:

- 1) Η μειωμένη θερμοκρασία επιβραδύνει τις χημικές και βιοχημικές αντιδράσεις, ακόμη και σε ανεπαίσθητους ρυθμούς σε ορισμένες περιπτώσεις.
- 2) Η χαμηλή θερμοκρασία επιβραδύνει πλήρως την ανάπτυξη βακτηρίων και μυκήτων.
- 3) Η ενεργότητα του νερού a_w είναι πολύ χαμηλή.

Η μείωση του διαθέσιμου νερού σε υγρή μορφή μέσω της διαδικασίας της κατάψυξης ελαττώνει



Εικόνα 13.8 Ο συνολικός αριθμός βακτηρίων σε τροπικά προϊόντα (π.χ., γαρίδα) συχνά μειώνεται κατά την αρχική περίοδο αποθήκευσης υπό ψύξη. Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από τον Allan Bremner.



Εικόνα 13.9 Το ποσοστό νερού σε κατεψυγμένο ιστό ψαριού σε διαφορετικές θερμοκρασίες. Σημειώστε ότι, ακόμα και στους $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ δεν έχει παγώσει όλο το νερό. Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από τον Allan Bremner.

την ενεργότητα του και επιβραδύνει τις ενζυμικές και χημικές αντιδράσεις. Ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι δεν παγώνει όλο το νερό στις θερμοκρασίες που χρησιμοποιούνται συνήθως για εμπορική αποθήκευση ($-20\text{ }^{\circ}\text{C}$). Ένα συμπυκνωμένο διάλυμα αλάτων, αμινοξέων και άλλων διαλυτών συστατικών εξακολουθεί να υφίσταται σε υγρή μορφή και κατανέμεται σε όλο τον ιστό (**Εικόνα 13.9**), και πολλές βιοχημικές και χημικές αντιδράσεις εξακολουθούν να είναι πραγματοποιούνται, αν και με μειωμένους ρυθμούς. Ο τρόπος κατάψυξης εξαρτάται από την ίδια τη φύση του προϊόντος.

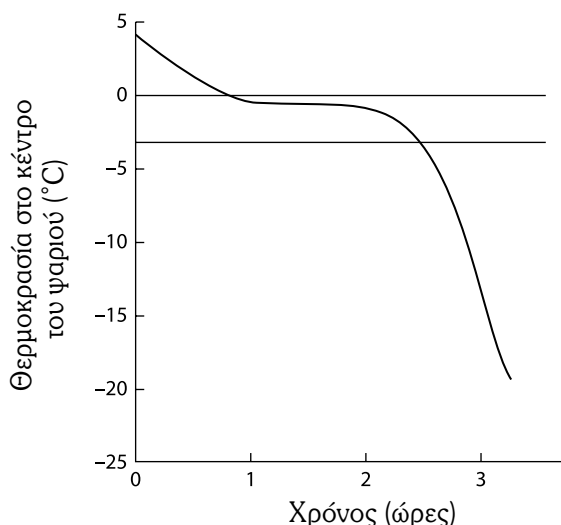
- 1) **Κατάψυξη με ριπή αέρα (blast freezing).** Η κατάψυξη με χρήση ψυχρού αέρα είναι η πιο συνηθισμένη και ευέλικτη μέθοδος που χρησιμοποιείται, καθώς ο ίδιος εξοπλισμός μπορεί να επεξεργαστεί προϊόντα διαφόρων όγκων, σχημάτων και μεγεθών. Επιπλέον, οι καταψύκτες συνεχούς ρεύματος αέρα έχουν αναπτυχθεί ώστε να καταψύχουν γρήγορα μεμονωμένα προϊόντα (IQF, Individually Quick Frozen). Σε αυτόν το τύπο κατάψυξης, ο ψυχρός αέρας διοχετεύεται με μεγάλη ταχύτητα γύρω από το προϊόν. Ο αέρας ακολουθεί, γενικά, τη διαδρομή στην οποία αντιμετωπίζει την ελάχιστη αντίσταση. Συνεπώς, είναι σημαντικό ο ψυχρός αέρας να περάσει πάνω από τις επιφάνειες του προϊόντος και όχι γύρω από αυτό. Η ταχύτητα πρέπει επίσης να είναι επαρκής, για να δημιουργήσει μια έντονη ροή αέρα στην επιφάνεια του προϊόντος. Σε αντίθετη περίπτωση, η μεταφορά θερμότητας από το προϊόν προς το περιβάλλον δεν θα είναι αποτελεσματική. Ανεμιστήρες με αεροτομές πρέπει να χρησιμοποιούνται για την επίτευξη επαρκούς ταχύτητας αέρα.
- 2) **Κατάψυξη δια επαφής με ψυχρή επιφάνεια (Plate Freezing).** Η κατάψυξη δια επαφής με οριζόντια επιφάνεια, κατά την οποία το προϊόν καταψύχεται όντας τοποθετημένο μεταξύ παράλληλων πλακών, είναι ένας αρκετά αποτελεσματικός τρόπος κατάψυξης και χρησιμοποιείται για την παρασκευή τελικών προϊόντων, όπως φιλέτα ψαριών, χτένια και γαρίδες. Η κατάψυξη δια επαφής με κατακόρυφη επιφάνεια χρησιμοποιείται κυρίως σε αλιεύματα και όχι σε προϊόντα υδατοκαλλιέργειας, και κυρίως για ολόκληρα ψάρια ή για ταυτόχρονη κατάψυξη πολυάριθμων γαρίδων (π.χ., 10-30 kg), που συνήθως προορίζονται για περαιτέρω μεταποίηση.
- 3) **Κατάψυξη με εμβάπτιση (Immersion freezing).** Η κατάψυξη με εμβάπτιση σε ψυγμένη άλμη παρέχει αποτελεσματική μεταφορά θερμότητας, με αποτέλεσμα την ταχεία κατάψυξη. Αυτός ο τρόπος κατάψυξης ταιριάζει καλύτερα σε μικρά μεμονωμένα προϊόντα, όπως γαρίδες ή χτένια. Αυτά τα προϊόντα μπορούν, στη συνέχεια, να συσκευαστούν ως IQF προϊόντα.
- 4) **Κατάψυξη με κρυογενή μέσα (Cryogenic freezing).** Η κατάψυξη με υγρό άζωτο ή ξηρό πάγο CO₂ χρησιμοποιείται, επίσης, για τη παρα-

γωγή IQF προϊόντων. Αυτές οι τεχνικές έχουν το πλεονέκτημα του χαμηλού κόστους επένδυσης (ο εξοπλισμός μπορεί να ενοικιαστεί), αλλά έχουν το μειονέκτημα του υψηλού λειτουργικού κόστους.

Υπάρχουν νεότερες ερευνητικές μέθοδοι στις οποίες η κατάψυξη επέρχεται υπό συνθήκες πίεσης. Αυτή η προσέγγιση, σε πιέσεις περίπου 200 MPa και θερμοκρασίες -20 °C, θεωρείται ότι παράγει μικρότερους κρυστάλλους πάγου, οι οποίοι προκαλούν λιγότερη φυσική φθορά στο προϊόν, γεγονός που συνεπάγεται μικρότερη απώλεια υγρών κατά τη διάρκεια της απόψυξης. Στην κρυομαγνητική κατάψυξη (σύστημα ζωντανών κυττάρων) θεωρείται ότι δονούνται τα μόρια του νερού υπό την επίδραση ενός μαγνητικού πεδίου, με αποτέλεσμα να μειώνεται η θερμοκρασία και να υπερψύχεται το νερό στα κύτταρα. Όταν το μαγνητικό πεδίο απενεργοποιείται, το υπερψυγμένο νερό παγώνει ακαριαία σχηματίζοντας μικροσκοπικούς κρυστάλλους πάγου, που δεν διαταράσσουν τη δομή του προϊόντος. Η μεθοδολογία αυτή είναι σε πρώτα στάδια ανάπτυξης.

Τα προϊόντα συνήθως καταψύχονται περίπου στους -20 °C, αλλά είναι προτιμότερο να χρησιμοποιούνται θερμοκρασίες κοντά στους -30 °C. Ο ρυθμός με τον οποίο το προϊόν φθάνει σε αυτή τη θερμοκρασία είναι σημαντικός, δεδομένου ότι ο στόχος είναι να παράγονται μικροί κρύσταλλοι πάγου εντός της κυτταρικής δομής και όχι μεγάλοι κρύσταλλοι, οι οποίοι διαρρηγνύουν και διαταράσσουν την κυτταρική μεμβράνη. Όλα τα κατεψυγμένα προϊόντα τελικά αποψύχονται με σκοπό την κατανάλωσή τους. Το προϊόν του οποίου η δομή έχει διαταραχθεί θα έχει χειρότερη υφή και, κατά την απόψυξή του, θα απελευθερωθούν περισσότερα από τα υγρά του ιστού. Αυτά τα υγρά συνεισφέρουν σημαντικά στη γεύση του τελικού προϊόντος, στο πόσο ζουμερό είναι και στη θρεπτική του αξία. Η απόρριψη πολύτιμου προϊόντος λόγω τέτοιων φαινομένων αποτελεί σημαντική οικονομική απώλεια.

Μεγάλο μέρος του θερμικού φορτίου στο σύστημα ψύξης οφείλεται στην λανθάνουσα θερμότητα κατά το πάγωμα του νερού. Σε ένα γράφημα χρόνου-θερμοκρασίας κατά την κατάψυξη εμφανίζεται ένα σημείο σταθεροποίησης της καμπύλης



Εικόνα 13.10 Ο ρυθμός κατάψυξης του ιστού είναι αργός όσο η θερμοκρασία του είναι εντός της 'ζώνης θερμικής ανάσχεσης', η οποία προσδιορίζεται από τις δύο οριζόντιες γραμμές. Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από τον Allan Bremner.

της θερμοκρασίας, η οποία είναι γνωστή ως 'ζώνη θερμικής ανάσχεσης' (zone of thermal arrest) (**Εικόνα 13.10**). Γενικά, η ζώνη αυτή περιλαμβάνει τις θερμοκρασίες από $-1,5^{\circ}\text{C}$ έως περίπου -5°C , αλλά οι ακριβείς τιμές εξαρτώνται από τα υδατοδιαλυτά άλατα και μέταλλα που υπάρχουν στο προϊόν, τα οποία ποικίλλουν ανάλογα με τις εποχικές και τις διατροφικές συνθήκες. Ο στόχος είναι η θερμοκρασία του προϊόντος να ξεπεράσει τη 'ζώνη θερμικής ανάσχεσης' και να μειωθεί περαιτέρω όσο το δυνατόν γρηγορότερα.

Η θερμοκρασία αποθήκευσης του κατεψυγμένου προϊόντος είναι επίσης πολύ σημαντική. Όλα τα προϊόντα έχουν πεπερασμένη διάρκεια ζωής, που καθορίζεται από τη θερμοκρασία αποθήκευσης και τη σταθερότητα αυτής της θερμοκρασίας. Ως ένας πολύ γενικός κανόνας, θερμοκρασία αποθήκευσης της τάξεως των -20°C παρέχει διπλάσια διάρκεια ζωής στο προϊόν σε σχέση με τους -10°C , ενώ αποθήκευση στους -40°C παρέχει διπλάσια (ή και μεγαλύτερη) διάρκεια ζωής στο προϊόν σε σχέση με τους -20°C . Εξίσου σημαντική είναι η σταθερότητα της θερμοκρασίας. Εάν η θερμοκρασία αυξηθεί από -20°C στους -10°C , ένα μέρος του πάγου στον ιστό θα λιώσει. Στην περίπτωση που το προϊόν ψυχθεί ξανά, το νερό θα παγώσει εκ νέου και θα σχηματισθούν ακόμη μεγαλύτεροι κρύσταλλοι πάγου. Η συνε-

χής αυξομείωση της θερμοκρασίας επιδεινώνει το φαινόμενο αυτό, με επακόλουθες καταστροφικές επιπτώσεις στο προϊόν.

Αν και κανένα βακτήριο δεν θα αναπτυχθεί σε θερμοκρασίες χαμηλότερες από περίπου -7°C , τα ένζυμα που είχαν προηγουμένως απελευθερωθεί από αυτά μπορεί να είναι ακόμα δραστικά, εάν μεγάλοι αριθμοί βακτηρίων αφέθηκαν να πολλαπλασιαστούν στο προϊόν πριν από την κατάψυξή του. Έτσι, ένα προϊόν που ήταν ήδη υποβαθμισμένο λόγω ανάπτυξης βακτηρίων ενδέχεται να αλλοιωθεί ακόμα περισσότερο κατά την αποθήκευση ως κατεψυγμένο, καθώς ανεπιθύμητα προϊόντα του βακτηριακού μεταβολισμού διαχέονται σε ολόκληρο το προϊόν από τις επιφάνειες όπου είχαν αναπτυχθεί τα βακτήρια. Η εγγενής ενζυμική δραστηριότητα λαμβάνει, επίσης, χώρα κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης υπό συνθήκες κατάψυξης. Οι λιπασες είναι δραστικές προς παραγωγή ελεύθερων λιπαρών οξέων, τα οποία είναι επιρρεπή σε οξείδωση. Στα θαλάσσια είδη, η οξειδάση της τριμεθυλαμίνης μπορεί να διασπάσει την οσμωρυθμιστική ένωση οξειδίου της τριμεθυλαμίνης (TMAO, Trimethylamine Oxidase) σε διμεθυλαμίνη και φορμαλδεϋδη. Η φορμαλδεϋδη είναι άκρως δραστική και μεταναστεύει στην υδάτινη φάση είτε να αντιδράσει με πρωτεΐνες είτε να αποσταθεροποιήσει το στρώμα των μορίων του νερού που εντοπίζεται γύρω από τις πρωτεΐνες. Το γεγονός αυτό οδηγεί στη μετουσίωση των πρωτεϊνών, οι οποίες είναι λιγότερο ικανές να ενυδατωθούν εκ νέου όταν ο ιστός αποψυχθεί. Ως αποτέλεσμα, το προϊόν αποκτά ινώδη και συχνά ξηρή υφή.

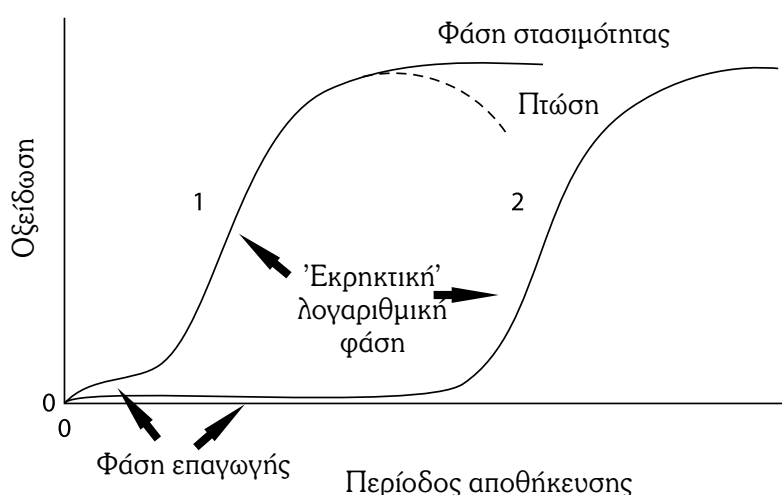
Η πιο συνηθισμένη αιτία υποβάθμισης ενός κατεψυγμένου προϊόντος είναι η οξείδωση των λιπιδίων με το οξυγόνο του αέρα (**Πίνακας 13.4**). Τα οξειδωμένα λιπίδια αντιδρούν με πρωτεΐνες, οδηγώντας σε μετουσίωση αυτών και αλλαγή της υφής του προϊόντος. Ακόμη σημαντικότερη συνέπεια της οξείδωσης είναι η πρόκληση δυσοσμίας και αλλοιωμένων γεύσεων, όπως γεύση σαν άχυρο ή παρόμοια με τη γεύση ξηρών καρπών ή μπαγιάτικη. Τα μικρού μεγέθους, λιπαρά ψάρια είναι πολύ επιρρεπή στην οξείδωση, αλλά για κάθε είδος η αντιοξειδωτική κατάσταση της σάρκας του και η λιπιδική του σύνθεση είναι κρίσιμοι παράγοντες.

Τα ιχθυέλαια που περιέχουν πολυακόρεστα λιπαρά οξέα (HUFAs) αντιδρούν εύκολα με οποιο-

Πίνακας 13.4 Γενική περιγραφή της διαδικασίας οξείδωσης.

Φάση	Αντιδράσεις	Αποτελέσματα
Βήμα έναρξης	$-RH \rightarrow R + H^+$	Δημιουργία ελεύθερων ριζών
Διάδοση	$-O_2 + RH \rightarrow R + OOH$ $-R + O_2 \rightarrow RO_2$	Σχηματισμός υπεροξειδίου και υδροϋπεροξειδίου
Λήξη	$-RO_2 + RH \rightarrow ROOH + R$ $-2R \rightarrow R-R$ $-R + RO_2 \rightarrow ROOR$	Τελικά, μη αναπαραγόμενα προϊόντα

Το R είναι ένα πολυακόρεστο λιπαρό οξύ (HUFA) που μπορεί να είναι ένα ελεύθερο λιπαρό οξύ (FFA, Free Fatty Acid) ή προσκολλημένο ως μέρος ενός φωσφολιπιδίου ή ενός τριγλυκεριδίου. Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από τον Allan Bremner.



Εικόνα 13.11 Τυπικά πρότυπα οξείδωσης σε αποθηκευμένα λιπαρά ψάρια: το 1 αντιπροσωπεύει την κατάσταση ενός προϊόντος με μικρή αντιοξειδωτική προστασία, και το 2 αντιπροσωπεύει ένα προϊόν με σημαντική αντιοξειδωτική προστασία. Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από τον Allan Bremner.

δήποτε διαθέσιμο οξυγόνο. Η αντίδραση ξεκινά με μια φάση επαγωγής, κατά την οποία απορροφάται οξυγόνο και δημιουργούνται ελεύθερες ρίζες, αλλά, σε πρώτη φάση, παρατηρείται μικρή αλλαγή. Ακολουθεί η φάση αυτοκατάλυσης, γνωστή ως αυτοοξείδωση, στην οποία οι αντιδράσεις είναι γρήγορες και αυτοσυντηρούμενες.

Στα λιπίδια και τα έλαια με χαμηλά επίπεδα αντιοξειδωτικών, όπως η βιταμίνη E, η περίοδος επαγωγής μπορεί να είναι μικρή και η αυτο-οξειδωτική φάση αρχίζει σχεδόν αμέσως (**Εικόνα 13.11**). Όπως φαίνεται στον **Πίνακα 13.4**, τα υπεροξειδία είναι ενδιάμεσα προϊόντα της οξείδωσης των λιπιδίων. Μία κοινή μέθοδος προσδιορισμού της οξείδωσης στα προϊόντα υδατοκαλλιέργειας είναι η μέτρηση της περιεκτικότητας σε υπεροξείδιο ή, αλλιώς, της 'τιμής υπεροξειδίου'.

Τα ίδια τα υδροϋπεροξειδία έχουν ελάχιστη οσμή ή γεύση, αλλά διασπώνται προς ένα ευρύ φάσμα ενώσεων, που έχουν πολύ ισχυρές οσμές και γεύσεις. Για παράδειγμα, η ένωση cis-4-επτενάλη έχει αποδειχθεί ότι είναι η κύρια αιτία της οσμής και της γεύσης προϊόντων αποθηκευμένων υπό ψύξη σε ορισμένα είδη, και συμβάλλει, επίσης, στην αλλοιωμένη γεύση που μοιάζει με τη γεύση του χαρτονιού.

Τα προϊόντα οξείδωσης, σε συνδυασμό με τριμεθυλαμίνη (που παράγεται από βακτήρια σε θαλάσσια είδη από το οξείδιο της τριμεθυλαμίνης), θεωρούνται υπεύθυνα για την παραγωγή περιέργων οσμών που εμφανίζονται κατά την αποθήκευση.

Συνεπώς, η οξείδωση στα αποθηκευμένα προϊόντα αποτελεί πρόβλημα που προκαλεί:

- υποβάθμιση του προϊόντος.

- χαμηλότερη αποδοχή από τον καταναλωτή.
- χαμηλότερη τιμή.
- μείωση της θρεπτικής αξίας του προϊόντος.

Η οξειδωση μπορεί να ελαχιστοποιηθεί εξασφαλίζοντας ότι το προϊόν είναι φρέσκο κατά την κατάψυξή του, και ότι οι πρόδρομες ενώσεις της οξειδωσης, προερχόμενες από τη δράση των οξειδασών ή από την έκθεση στον αέρα, στο φως ή σε θερμότητα, δεν έχουν σχηματισθεί εξ' αρχής. Έτσι, το κατεψυγμένο προϊόν μπορεί να προστατευθεί είτε με επίπαγο (που μπορεί να περιέχει αντιοξειδωτικά, όπως ασκορβικό οξύ) είτε με συσκευασία του σε πλαστική μεμβράνη χαμηλής διαπερατότητας σε οξυγόνο. Η συσκευασία σε κενό αέρος είναι πολύ αποτελεσματική και η εισαγωγή παραγόντων απορρόφησης οξυγόνου στις συσκευασίες, για την εξάλειψη οποιουδήποτε υπολειμματικού οξυγόνου, παρέχει ακόμα μεγαλύτερη προστασία.

Το προϊόν μπορεί, επίσης, να αφυδατωθεί κατά την κατάψυξη, καθώς το νερό εξατμίζεται από την επιφάνειά του σε συνθήκες χαμηλής υγρασίας εντός του ψυκτικού θαλάμου. Σε εκτεθειμένο προϊόν, αυτό οδηγεί στην εμφάνιση σημείων λευκού, αλλοιωμένου ιστού, τα οποία είναι γνωστά ως 'εγκαύματα κατάψυξης'. Τέτοιες αλλοιώσεις είναι μη αναστρέψιμες και προκαλούν υποβάθμιση του προϊόντος.

Στα συσκευασμένα προϊόντα, οι αυξομειώσεις της θερμοκρασίας οδηγούν στη συμπίκνωση υδρατμών στο εσωτερικό των συσκευασιών και στον επακόλουθο επανασχηματισμό κρυστάλλων πάγου μέσα στη συσκευασία. Το φαινόμενο αυτό προκαλεί απώλεια απόδοσης και αποτελεί δείκτη κακών συνθηκών αποθήκευσης και ποιοτικά κατώτερου προϊόντος.

13.18 Συσκευασία

Η συσκευασία του τελικού προϊόντος είναι σημαντική για τη διατήρηση και την παρουσίασή του. Οι τεχνικές απαιτήσεις μιας συσκευασίας ενός κατεψυγμένου προϊόντος περιλαμβάνουν:

- την ελαχιστοποίηση της οξειδωσης.
- την αποτροπή αφυδάτωσης από την επιφάνεια του προϊόντος.

Υπάρχουν διάφορες επιλογές για τη συσκευασία

ενός προϊόντος υπό ψύξη, οι οποίες προέκυψαν από τη συνεχή βελτίωση των υλικών συσκευασίας και του εξοπλισμού.

Τα προϊόντα συσκευασίας σε κενό αέρος είναι πλέον κοινά. Το προϊόν τοποθετείται σε αυτές τις συσκευασίες σε δίσκο ή σε σακούλα (ή ο δίσκος τοποθετείται μέσα στη σακούλα), δημιουργείται κενό αέρος και, στη συνέχεια, η σακούλα σφραγίζεται με εφαρμογή θερμότητας ή με ένα κλιπ ή, εναλλακτικά, μια μεμβράνη καλύπτει τον δίσκο. Αυτός ο τύπος συσκευασίας παρέχει εξαιρετική παρουσίαση, καθώς το προϊόν συσκευάζεται μαζί με τα υγρά του και ο καταναλωτής μπορεί να το εξετάσει, ενώ η συσκευασία μπορεί να φέρει με την εταιρική φίρμα, διαφημιστικά μηνύματα και πληροφορίες για το προϊόν.

Η συσκευασία σε κενό αέρος με φιλμ που είναι αδιαπέραστο από το οξυγόνο χρησιμοποιείται συχνά για μεταποιημένα υλικά, όπως καπνιστά και αλατισμένα χέλια και σολομοειδή. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να επιτευχθεί σημαντική διάρκεια ζωής του προϊόντος, καθώς οι συνθήκες εντός της συσκευασίας επιβραδύνουν την ανάπτυξη αλλοιογόνων βακτηρίων. Οι συνθήκες αυτές, που αντιστοιχούν σε χαμηλό pH, χαμηλό επίπεδο οξυγόνου, χαμηλή ενεργότητα νερού (λόγω της παρουσίας του αλατιού και άλλων υλικών) και χαμηλή αρχική μικροχλωρίδα (ο καπνός έχει αντιβακτηριακή δράση), βοηθούν συνδυαστικά στην επικράτηση μιας μικροβιακής χλωρίδας που δεν αλλοιώνει τη φύση του προϊόντος και, γενικά, αποτελείται από λακτοβακίλλους.

Η συσκευασία φρέσκων προϊόντων σε κενό αέρος με φιλμ αδιαπέραστα από οξυγόνο δεν βελτιώνει αξιοσημείωτα τη διάρκεια ζωής του προϊόντος, καθώς δεν παρεμποδίζονται, με τον τρόπο αυτό, οι κύριοι αλλοιογόνοι μικροοργανισμοί. Παρέχει, ωστόσο, πιο ευπαρουσίαστες συσκευασίες, αλλά αυτό μπορεί να επιτευχθεί, επίσης, χρησιμοποιώντας λιγότερο ακριβές μεμβράνες που είναι διαπερατές από το οξυγόνο. Η συσκευασία σε κενό αέρος με φιλμ χαμηλής διαπερατότητας από οξυγόνο δεν είναι απαραίτητη για φρέσκα ψυγμένα προϊόντα.

Σε συσκευασίες τροποποιημένης ατμόσφαιρας (MAP, Modified Atmosphere Packing) το προϊόν τοποθετείται σε δίσκο ή σακούλα, παράγεται κενό αέρος και, στη συνέχεια, εισέρχεται αέριο ή

Πίνακας 13.5 Ορισμένες σημαντικές διεθνείς ιστοσελίδες για την τεχνολογία και τη μεταποίηση μετά τη συγκομιδή.

Ιστοσελίδα	Περιεχόμενο
http://fssp.food.dtu.dk/	Αλλοίωση Τροφών και Δείκτης Πρόβλεψης Ασφάλειας Θαλασσινών. Ένα ελεύθερα προσβάσιμο πρόγραμμα που αναλύει την υπάρχουσα γνώση για τη μικροβιολογία θαλασσινών, ειδικών αλλοιογόνων μικροοργανισμών
http://www.fda.gov/Food/GuidanceRegulation/HACCP/2006764.htm	Οργανισμός Τροφίμων & Φαρμάκων (FDA) των ΗΠΑ. Οδηγίες HACCP για τα θαλασσινά
http://ec.europa.eu/food/animal/animalproducts/aquaculture/index_en.htm	Ευρωπαϊκή νομοθεσία για την προώθηση προϊόντων υδατοκαλλιέργειας στην αγορά
www.scottishsalmon.org	Ένωση Παραγωγών Σολομού Σκωτίας, 2006. Κώδικας Ορθής Πρακτικής Σκωτσέζικων Προϊόντων Υδατοκαλλιέργειας
www.codexalimentarius.net/web/standard_list.jsp	CAC/RCP 2005 διορθώσεις και τροποποιήσεις έως το 2013. Ελεύθερα προσβάσιμος Κώδικας για πρακτικές σε ψάρια και αλιεύματα. Διεθνής Οργανισμός Τροφίμων & Γεωργίας (Ρώμη)
www.gs1.org	Ο GS1 είναι ένας ουδέτερος, μη κερδοσκοπικός οργανισμός που αναπτύσσει και διατηρεί πρότυπα για εφοδιαστικές αλυσίδες σε διάφορους τομείς, συμπεριλαμβανομένων των γραμμωτών κωδικών (barcodes) και των ετικετών ταυτοποίησης μέσω ραδιοσυχνοτήτων (RFID). Ιδρύθηκε το 1997. Τα κεντρικά γραφεία βρίσκονται στις Βρυξέλλες
https://www.globalgap.org/uk_en/for-producers/aquaculture	Καλή Πρακτική για Υδατοκαλλιέργειες
www.tracefood.org	Διατηρεί τη βάση δεδομένων για την ιχνηλασιμότητα, συμπεριλαμβανομένου του εγγράφου προδιαγραφών Tracefood - Tracore XMLv2rc1.doc, καθώς και πληροφορίες περί ιχνηλασιμότητας, βασικών αρχών καλής πρακτικής ιχνηλασιμότητας και εργαλείων προς χρήση
www.fishbol.org	Η πρωτοβουλία για την ένδειξη της διάρκειας ζωής προϊόντων ψαριών [Fish Bol]. Τον Νοέμβριο του 2015 περιείχε πληροφορίες για 11.063 είδη και 110.888 δείγματα, και 2387 ομαδοποιήσεις γραμμωτού κώδικα που αντιστοιχούν σε τμήματα mt DNA, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ταυτοποίηση ενός προϊόντος

μείγμα αερίων που περιέχει τουλάχιστον 40% CO₂ κατ' όγκο. Ακολούθως, ο δίσκος καλύπτεται με μια αδιαπέραστη από αέρια μεμβράνη ή η σακούλα σφραγίζεται (**Εικόνα 13.12**). Η αναλογία αερίου προς προϊόν κυμαίνεται μεταξύ του 2 ή 3 προς 1. Στις συσκευασίες αυτές, το CO₂ διαλύεται στο υδατικό τμήμα της σάρκας των ψαριών, με αποτέλεσμα τη μείωση του pH, λόγω του σχηματισμού ανθρακικού οξέος. Η συντήρηση του προϊόντος θεωρείται ότι οφείλεται στη συνδυαστική δράση του μειωμένου pH και της ποσότητας του υφιστάμενου ανθρακικού οξέος. Το οξύ αυτό μπορεί εύκολα να διαπεράσει τις βακτηριακές κυτταρικές μεμβράνες, και, ακολούθως, να απελευθερώσει ιόντα H⁺. Η μείωση του pH και η διακοπή του μεταβολισμού των κυττάρων οδηγούν σε αναστο-

λή και θάνατο των βακτηρίων. Έτσι, οι αλλοιογόνοι οργανισμοί καταστρέφονται ή αναστέλλεται η δράση τους, με αποτέλεσμα να αναπτύσσονται βραδέως εντός αυτών των συσκευασιών. Το μειωμένο pH και η χαμηλή συγκέντρωση οξυγόνου ενθαρρύνουν την ανάπτυξη λακτοβάκιλλων, που είναι αναστολείς των Gram-αρνητικών αλλοιογόνων βακτηρίων. Ο διπλασιασμός της κανονικής διάρκειας ζωής είναι αναμενόμενος σε τέτοια προϊόντα, αλλά είναι αξιοσημείωτο ότι τα ενδογενή ένζυμα εξακολουθούν να είναι λειτουργικά εντός της σάρκας και ότι οι βλαβερές αλλοιώσεις εξακολουθούν να συμβαίνουν με αργό ρυθμό. Επίσης, ο ειδικός αλλοιογόνος μικροοργανισμός (SSO) *Photobacterium phosphoreum*, ένα βακτήριο με μεγάλη ικανότητα να σχηματίζει τριμεθυλαμίνη,



Εικόνα 13.12 Καπνιστός σολομός του Ατλαντικού συσκευασμένος σε κενό αέρος. Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από τον John Lucas.

ευδοκιμεί και αλλοιώνει θαλάσσια προϊόντα, ειδικά στο Βόρειο ημισφαίριο. Εάν είναι παρόν το *P. phosphoreum*, πρέπει να λαμβάνονται άλλα μέτρα, όπως σύντομη περίοδος κατάψυξης της σάρκας ή προσθήκη χαμηλών επιπέδων αντιβακτηριακών ουσιών, όπως το σορβικό κάλιο.

Ο βαθμός λειτουργικότητας της πρακτικής των συσκευασιών τροποποιημένης ατμόσφαιρας (MAP) για ένα συγκεκριμένο προϊόν είναι συνάρτηση της μερικής πίεσης του CO₂ στη συσκευασία και των σχετικών αναλογιών όγκου του προϊόντος προς το αέριο. Η σάρκα των ψαριών απορροφά όγκο CO₂ που είναι μεγαλύτερος από το δικό της όγκο. Συνεπώς, για να συμβεί αυτό, η αρχική συσκευασία πρέπει να υπερπληρωθεί με CO₂.

Τα μειονεκτήματα της πρακτικής των συσκευασιών τροποποιημένης ατμόσφαιρας (MAP) είναι:

- ο όγκος των συσκευασιών.
- το γεγονός ότι το προϊόν είναι χαλαρό εντός της συσκευασίας (εκτός αν συγκρατείται από κάποια εσωτερική μεμβράνη).
- η θολερότητα της συσκευασίας, ως αποτέλεσμα της συμπύκνωσης αερίων, και, για το λόγο αυτό, χρειάζονται ειδικές επιστρώσεις αντιστάθμισης του εν λόγω φαινομένου (πρόσθετο κόστος),
- η διαρροή νερού από το προϊόν, που μπορεί να είναι υψηλή (λόγω του χαμηλού pH), καθιστώντας το προϊόν λιγότερο ελκυστικό, και, για το λόγο αυτό, απαιτούνται απορροφητικά μαξιλάκια ή απορροφητικοί δίσκοι.
- η πιθανότητα εμφάνισης αλλαντίασης, εάν δεν διατηρείται χαμηλή θερμοκρασία και εάν το προϊόν δεν είναι αλατισμένο ή μαριναρισμένο.

Η πρακτική των συσκευασιών τροποποιημένης ατμόσφαιρας (MAP) έχει χρησιμοποιηθεί σε μερικούς μαγειρεμένα προϊόντα και προϊόντα επικαλυμμένα με κουρκούτι, για να αποφευχθούν μερικά από τα ανωτέρω προβλήματα.

Μία από τις πιο σοβαρές παραμέτρους που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στη χρήση της πρακτικής των MAP αφορά το γεγονός ότι οι συνθήκες εντός των συσκευασιών μπορούν να οδηγήσουν στην ανάπτυξη και την παραγωγή τοξίνης από το βακτήριο της αλλαντίασης (*Clostridium botulinum* τύπου E), εάν η θερμοκρασία δεν κρατηθεί αυστηρά στους 3 °C ή κάτω από την τιμή αυτή. Το βακτήριο αυτό παράγει την πιο θανατηφόρα φυσική τοξίνη που είναι γνωστή. Ανησυχία εγείρεται από το γεγονός ότι η μεγαλύτερη διάρκεια ζωής που επιτυγχάνεται με την πρακτική των συσκευασιών τροποποιημένης ατμόσφαιρας (MAP) δίνει στο εν λόγω βακτήριο τη δυνατότητα να παράξει την τοξίνη του προτού υπάρξουν οποιεσδήποτε εμφανείς ενδείξεις αλλοίωσης του προϊόντος, που θα προειδοποιούσαν τον καταναλωτή να μην το χρησιμοποιήσει. Το μαγείρεμα καταστρέφει εύκολα την τοξίνη, αλλά μπορεί να εισπνευστεί ως αερόλυμα όταν το πακέτο ανοίξει. Επίσης, θα μπορούσε να μολύνει μαχαίρια, δίσκους και σκεύη, και να μεταφερθεί σε άλλα προϊ-

όντα που μπορεί να μην μαγειρευτούν ή σε τρόφιμα που έχουν ήδη μαγειρευτεί.

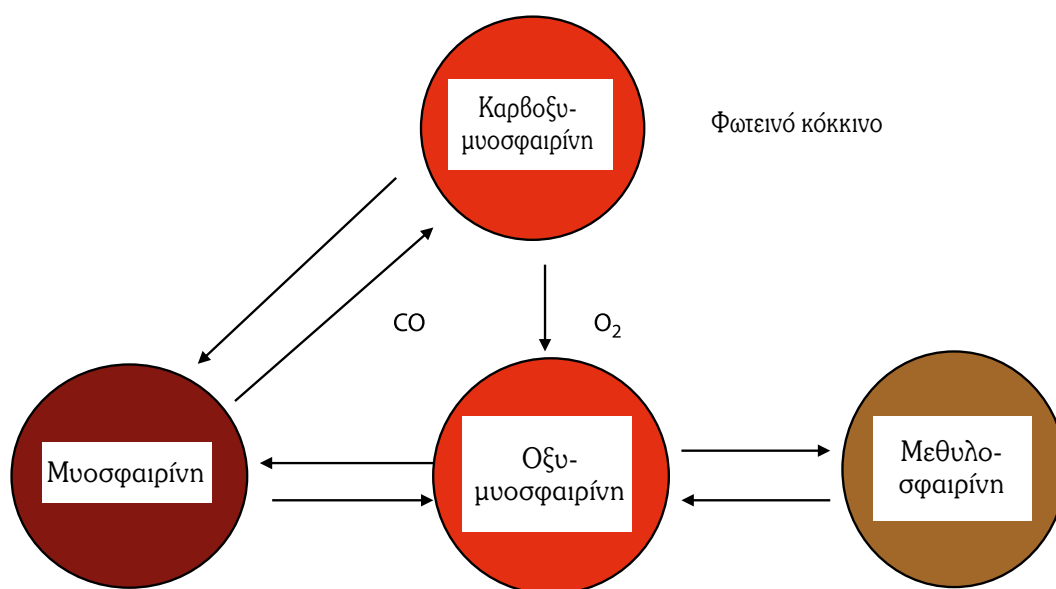
Οι συσκευασίες τροποποιημένης ατμόσφαιρας (MAP) έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως στην Ευρώπη, με την παραγωγή εκατομμυρίων πακέτων, αλλά έχουν θεωρηθεί ως υπερβολικά επικίνδυνες στις ΗΠΑ. Αυτό πιθανότατα αντανakλά διαφορές στην κουλτούρα και στη προσέγγιση θεμάτων υγιεινής και ασφαλείας τροφίμων και όχι πραγματικό κίνδυνο από τη χρήση των MAP. Το κλειδί για την ασφάλεια είναι να εξασφαλιστούν χαμηλές θερμοκρασίες καθ' όλη τη διαδικασία διανομής του προϊόντος. Υπάρχουν ορισμένοι φόβοι, ότι ακόμη και η συσκευασία σε κενό αέρος θα μπορούσε να προσφέρει συνθήκες κατάλληλες για εμφάνιση της αλλαντίασης. Ωστόσο, αυτό δεν θα μπορούσε συμβεί αν η μεμβράνη που χρησιμοποιείται είναι διαπερατή από το οξυγόνο. Στη πραγματικότητα, δεν υφίσταται ανάγκη χρήσης μεμβρανών αδιαπέραστων από οξυγόνο σε προϊόντα υπό ψύξη, αν και είναι εξαιρετικές για χρήση σε κατεψυγμένα προϊόντα.

Στα καπνισμένα αλίπαστα προϊόντα, όπως αυτά που παρασκευάζονται από πέστροφα και σολομό, το *C. botulinum* δεν μπορεί να αναπτυχθεί, εάν η συγκέντρωση του αλάτος στην υδατική φάση του προϊόντος είναι 3%. Αυτό το επίπεδο παρέχει ένα κρίσιμο σημείο ελέγχου και η μέτρησή του πρέπει να αποτελεί συνήθη πρακτική κατά τον ποιοτικό έλεγχο.

Πιο πρόσφατα, η χρήση μονοξειδίου του άνθρακα (CO) σε μείγματα συσκευασιών τροποποιημένης ατμόσφαιρας (MAP) έχει χρησιμοποιηθεί για τη 'σταθεροποίηση' της μυοσφαιρίνης στη σάρκα, με αποτέλεσμα να διατηρεί το χρώμα της μέσω του σχηματισμού της σταθερής καρβοξυμυοσφαιρίνης. Το γεγονός αυτό εμποδίζει την οξείδωση προς το σχηματισμό της γκρι/καφέ μεταμυοσφαιρίνης (**Εικόνα 13.13**). Αυτή η πρακτική είναι πολύ αποτελεσματική τόσο για τα είδη με έντονο χρωματισμό σάρκας, όπως οι τόνοι, όσο και για τα είδη με ήπιο χρωματισμό σάρκας. Αντί για αέριο CO, έχει χρησιμοποιηθεί 'άγευστος καπνός' για να επιτευχθεί το ίδιο αποτέλεσμα. Ο καπνός αυτός έχει παραχθεί από συμπυκνωμένο καπνό, από τον οποίο έχουν αφαιρεθεί πολλά συστατικά, αλλά που διατηρεί το διαλυμένο CO. Αυτές οι τεχνικές χρησιμοποιούνται συχνά σε κατεψυγμένα τεμάχια παρά σε προϊόντα υπό ψύξη.

13.19 Ποιοτικός Έλεγχος, Διασφάλιση Ποιότητας, HACCP και Αξιολόγηση Κινδύνου

Ο έλεγχος ποιότητας (QC, Quality Control) είναι η εφαρμογή του προσδιορισμού των ιδιοτήτων των προϊόντων, για να εξασφαλιστεί ότι βρίσκονται



Εικόνα 13.13 Διαγραμματική αναπαράσταση των διαφόρων σταδίων χρωματισμού της μυοσφαιρίνης. Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από τον Allan Bremner.

εντός συμφωνημένων ορίων. Η διασφάλιση ποιότητας (QA, Quality Assurance) είναι η υιοθέτηση πρακτικών που θα εγγυώνται ότι τα χαρακτηριστικά ποιότητας του προϊόντος βρίσκονται μέσα σε αυτά τα όρια. Έτσι, η διασφάλιση ποιότητας (QA) επικεντρώνεται στη διαδικασία, ενώ ο έλεγχος ποιότητας (QC) επικεντρώνεται στο προϊόν. Τα QA και QC δρουν συμπληρωματικά, με την QA να προκύπτει από την κατανόηση του QC και να είναι ανώτερη από αυτόν.

Για την επεξεργασία του προϊόντος, η QA ξεκινάει με την επιλογή της σωστής τοποθεσίας του

εργοστασίου και τη διάταξη αυτού, καθώς και των τεχνικών επεξεργασίας που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν. Ένα κατάλληλο πρόγραμμα διασφάλισης ποιότητας (QA) περιλαμβάνει χρονοδιαγράμματα για τον καθαρισμό του εξοπλισμού και των εγκαταστάσεων, την καθοδήγηση του προσωπικού σχετικά με τη χρήση απορρυπαντικών και απολυμαντικών ουσιών, καθώς και για τις πρακτικές προσωπικής υγιεινής και του χειρισμού των τροφίμων (**Εικόνα 13.14**). Πρέπει να υπάρχει γενικό σχέδιο συντήρησης και πρωτόκολλα για ένα πλήρες πρόγραμμα υγειονομικού ελέγχου.



Εικόνα 13.14 Εκπαίδευση στην υγιεινή επεξεργασία θαλάσσιων γαρίδων. Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από τον Darryl Jory.



Εικόνα 13.15 Εργαζόμενοι κατά τη φιλετοποίηση του γατόψαρου παγκάσιους (*Pangasius bocourti*). Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από την Vihn Hoan Corp.

Οι διαδικασίες ελέγχου ποιότητας (QC), γενικά, περιστρέφονται γύρω από τις μετρήσεις που λαμβάνονται από τις πρώτες ύλες, από εισερχόμενα υλικά, από τις διαδικασίες επεξεργασίας και από το τελικό προϊόν. Στην υδατοκαλλιέργεια:

- 1) Η πρώτη ύλη πρέπει πάντα να είναι σταθερή ποιότητας, δεδομένου ότι αυτό το χαρακτηριστικό μπορεί να ρυθμιστεί.
- 2) Τα εισερχόμενα υλικά, όπως τα πακέτα και οι κονσέρβες, πρέπει να επιθεωρούνται, ώστε να εξασφαλίζεται ότι έχουν τις σωστές προδιαγραφές.

- 3) Οι παράμετροι της επεξεργασίας, όπως οι θερμοκρασίες και οι χρόνοι, πρέπει να μετρώνται και να διατηρούνται αρχεία καταγραφής.
- 4) Τα τελικά προϊόντα πρέπει να επιθεωρούνται, ώστε να διασφαλίζεται ότι πληρούν τα πρότυπα της εταιρείας, και να διατηρούνται πλήρη αρχεία καταγραφής.

Τα πρότυπα αυτά πρέπει να καθορίζονται με σαφήνεια. Σε μεγάλες μονάδες επεξεργασίας (**Εικόνα 13.15**), το προσωπικό που είναι υπεύθυνο για τον έλεγχο ποιότητας (QC), ανεξάρτητα από τις δια-

δικασίες παραγωγής, πρέπει να εκπαιδεύεται στις κατάλληλες διαδικασίες ελέγχου.

Τα συστήματα διαχείρισης ασφάλειας τροφίμων (HACCP) είναι υποχρεωτικά στις περισσότερες χώρες και απαιτούνται από τις χώρες που πραγματοποιούν εισαγωγές. Αυτά τα συστήματα είναι βασισμένα στην:

- εκτίμηση των πιθανών κινδύνων.
- αναγνώριση των κρίσιμων σημείων κατά τη διαδικασία ελέγχου των κινδύνων αυτών.
- υιοθέτηση διαδικασιών για τον έλεγχο των κινδύνων αυτών.
- καταγραφή και επαλήθευση της σωστής εφαρμογής των διαδικασιών αυτών (Nesheim and Yaktine, 2007; FAO, 1994).

Η αξιολόγηση κινδύνου είναι ένας νέος κλάδος, που καθίσταται δυνατός χάρη στη δύναμη των υπολογιστών τελευταίας γενιάς, την ανάπτυξη χειριστικού λογισμικού και την κατασκευή βάσεων δεδομένων για πληροφορίες αναφορικά με τα προϊόντα, την ασφάλεια και τη μικροβιακή ανάπτυξη. Μοντέλα αξιολόγησης κινδύνου χρησιμοποιούνται από ρυθμιστικές αρχές εισαγωγών/εξαγωγών και υγειονομικές αρχές, ώστε να εκτιμώνται οι πιθανοί κίνδυνοι μόλυνσης των τροφίμων κατά την επεξεργασία, αποθήκευση και μεταφορά. Η ανάλυση των κινδύνων αποτελεί εξελισσόμενο τομέα που καλύπτει την εκτίμηση του βαθμού επικινδυνότητας συγκεκριμένων απειλών. Ταιριάζει με τις έννοιες που είναι ενσωματωμένες στα συστήματα διαχείρισης ασφάλειας τροφίμων (HACCP), προκειμένου να υποστηρίζεται ο καθορισμός του κινδύνου που σχετίζεται με συγκεκριμένους κινδύνους και να παρέχεται ευρεία εκτίμηση του γενικού κινδύνου προς τους καταναλωτές από παράγοντες όπως είδη από τα γένη *Listeria* και *Salmonella*. Πρόκειται κυρίως για εργαλείο των Εθνικών Αρχών Ασφάλειας Τροφίμων, για τη λήψη αποφάσεων, και περιλαμβάνει την ανάλυση κινδύνου, την αξιολόγηση του κινδύνου και την ενημέρωση για την ύπαρξη κινδύνου. Το έγγραφο της Ανάλυσης Κινδύνου Ασφάλειας Τροφίμων (WHO/FAO, 2006) καλύπτει με μεγάλη λεπτομέρεια αυτά τα θέματα.

Η ανάλυση κινδύνου δεν υποκαθιστά τα συστήματα διαχείρισης ασφάλειας τροφίμων (HACCP) ή της ορθής υγιεινής πρακτικής (GHP, Good

Hygiene Practice), αλλά χρησιμοποιείται για να καλύψει εκείνες τις καταστάσεις, όπου απαιτούνται περισσότερο λεπτομερείς πληροφορίες του μικροβιολογικού κινδύνου. Ενδέχεται να προκύψουν ζητήματα με διάφορους τρόπους, όπως κίνδυνος για συγκεκριμένες ομάδες στόχους, για τον γενικό πληθυσμό, στην θέσπιση προτεραιοτήτων μεταξύ διαφορετικών προβλημάτων ασφάλειας, για ένα συγκεκριμένο θέμα δημόσιας υγείας, για την αιτιολόγηση μιας νέας τεχνολογίας ή συστήματος επιθεώρησης.

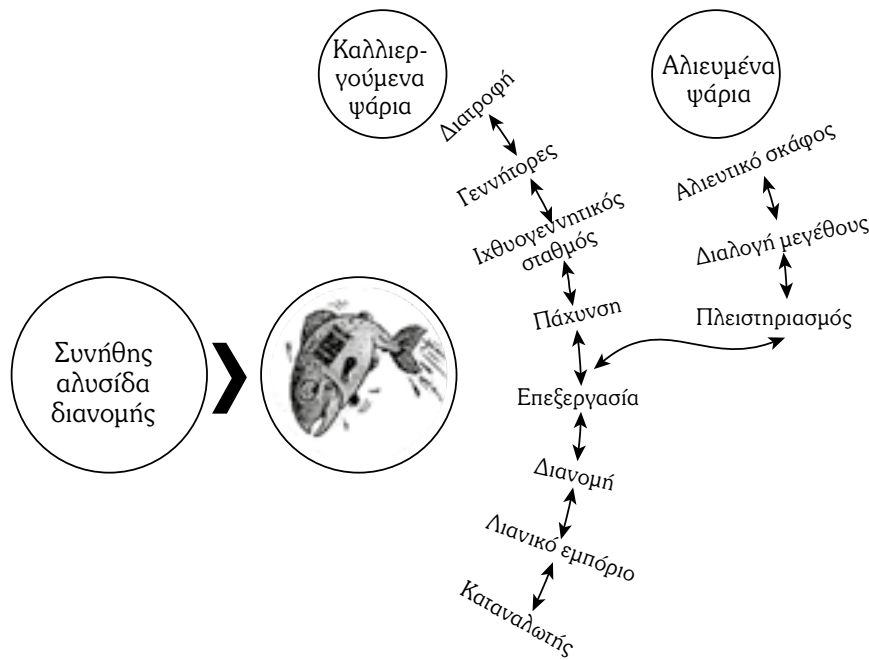
13.20 Ιχνηλασιμότητα, Ταυτοποίηση και Προέλευση

Η ιχνηλασιμότητα των προϊόντων υδατοκαλλιέργειας είναι πλέον αυξημένης σημασίας στο παγκόσμιο εμπόριο. Η ικανότητα ιχνηλάτησης της διανομής και επεξεργασίας ενός προϊόντος, ακόμη και του αρχικού ζώου, του ιστορικού εκτροφής του, του περιβάλλοντος καλλιέργειάς του, των θεραπειών στις οποίες υποβλήθηκε, του εκκολαπτηρίου και της γενεαλογικής του προέλευσης, είναι δυνατή με τη χρήση ειδικών λογισμικών, όπως το TraceTracker (**Εικόνα 13.16**). Διάφορα ολοκληρωμένα ερευνητικά προγράμματα, με πρωτοπόρο το TraceFish, έχουν χαρτογραφήσει τη βιομηχανία και τους καλλιεργητές, και έχουν καθορίσει ποιες παράμετροι:

- θα πρέπει να καταγράφονται.
- θα ήταν χρήσιμο να καταγράφονται, καθώς παρέχουν περαιτέρω πληροφορίες.
- θα μπορούσαν να καταγράφονται, προκειμένου, για παράδειγμα, να μοιραστούν με τους εμπορικούς εταίρους, και οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για διαφήμιση, προώθηση και ενημέρωση των καταναλωτών.

Αυτή η πληροφορία είχε ενσωματωθεί σε ένα Ευρωπαϊκό πρότυπο, από το οποίο προέκυψε ένα βασικό λογισμικό για όλα τα τρόφιμα (Trace Core XML).

Το όφελος της εγκατάστασης συστημάτων ηλεκτρονικής ιχνηλασιμότητας είναι η σημαντική αύξηση της αποδοτικότητας της ιχνηλασιμότητας τόσο ενδοεταιρικά όσο και μεταξύ των εμπορικών συνεργατών. Το σύστημα πρέπει να είναι μέ-



Εικόνα 13.16 Κύρια βήματα στην αλυσίδα διανομής στα οποία πρέπει να διατηρείται η ιχνηλασιμότητα. Καθώς το προϊόν μεταφέρεται από τη μονάδα ιχθυοκαλλιέργειας ή το αλιευτικό πεδίο προς τον καταναλωτή, μπορεί να ιχνηλατηθεί μέσω διαδοχικών ενδιάμεσων πηγών. Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από τον Allan Bremner.

ρος, ή να σχετίζεται με το Επιχειρησιακό Εργαλείο Ελέγχου (ERP, Enterprise Resource Planning), ένα υπολογιστικό επιχειρησιακό σύστημα της εκάστοτε εταιρίας. Εταιρίες με αναγνωρισμένα συστήματα ιχνηλασιμότητας αποκομίζουν μειώσεις σε ασφάλιστρα.

Η ταυτοποίηση είναι η επιστήμη της αναγνώρισης των συγκεκριμένων ειδών που περιέχονται σε ένα προϊόν ή σε ένα μείγμα προϊόντων. Ξεκινά με κλασσική ταξινόμηση, αλλά έχει εξελιχθεί με την τοποθέτηση φωτογραφιών, σχεδίων, δεικτών, ακτινογραφιών, μετρήσεων, περιγραφών και ολοκληρωμένων καταλόγων που είναι διαθέσιμοι διαδικτυακά και είναι συνδεδεμένοι διαδραστικά. Αυτό διευκολύνει την ταυτοποίηση, καθώς η πρόσβαση στις εν λόγω συλλογές πληροφοριών μπορεί να γίνει απομακρυσμένα. Η διαδικασία της ταυτοποίησης υποστηρίζεται με μια βάση δεδομένων γενετικών ελέγχων για την ταυτότητα του κάθε είδους, συχνά χρησιμοποιώντας τμήματα μιτοχονδριακού DNA. Η μεγαλύτερη βάση δεδομένων υπάρχει στη διεύθυνση www.fishbol.org, της οποίας ο στόχος είναι να καλύπτει τις πηγές ψαριών σε παγκόσμιο επίπεδο.

Η αυθεντικοποίηση είναι η επιστήμη του καθορισμού της περιοχής προέλευσης ή παραγωγής των προϊόντων, κυρίως με ταυτοποίηση των ειδών

μέσω προφίλ μικροχημικών, ιχνοστοιχείων και ραδιοϊσοτοπικών υπογραφών, για να ελεγχθεί εάν ταιριάζουν με τα γνωστά πρότυπα. Η τεχνολογία αυτή βρίσκεται σε πρώιμο στάδιο για τα περισσότερα προϊόντα ιχθυοκαλλιέργειας, καθώς η βάση δεδομένων που απαιτείται μπορεί να είναι τεράστια.

Η διαδικασία εξακρίβωσης της προέλευσης, που περιλαμβάνει προσδιορισμό της χώρας προέλευσης, είναι παρόμοια με αυτή της αυθεντικοποίησης και περιλαμβάνει παρόμοιες τεχνικές, αλλά ενδέχεται να μην οδηγεί σε σφάλματα λόγω της επεξεργασίας ή της ωρίμανσης.

13.21 Κονσερβοποίηση

Η κονσερβοποίηση των προϊόντων θαλασσινών είναι ευρέως γνωστή, και χρησιμοποιείται κυρίως σε αλιεύματα και όχι για προϊόντα υδατοκαλλιέργειας. Η διαδικασία αφορά το ερμητικό κλείσιμο του προϊόντος σε μία άκαμπτη κονσέρβα από την οποία αφαιρείται μέρος του αέρα και η οποία υποβάλλεται σε επαρκή θέρμανση του περιεχομένου, ώστε να επιτευχθεί καταστροφή των μικροοργανισμών (FAO, 1988). Η διαδικασία της θέρμανσης που απαιτείται έχει υπολογιστεί έτσι ώστε να κα-

ταστρέφονται τυχόν σπόρια του βακτηρίου της αλλαντίασης, και ο χρόνος θέρμανσης και η θερμοκρασία εξαρτώνται από το μέγεθος και τη φύση της κονσέρβας. Για παράδειγμα, μια στερεή κονσέρβα τόνου απαιτεί θέρμανση για περισσότερο από 60 λεπτά στους 121 °C, ενώ γαρίδες σε άλμη απαιτούν μόνο 16 λεπτά θέρμανσης, εξαιτίας της γρηγορότερης μεταφοράς θερμότητας μέσα στο ρευστό περιεχόμενο της κονσέρβας και της μεγαλύτερης θερμικής αγωγιμότητας.

Η βασική διαδικασία κονσερβοποίησης περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια:

1. Προ-επεξεργασία, όπως κόψιμο σε κύβους ή σε φέτες.
2. Προ-μαγείρεμα, για ορισμένα είδη, τα οποία, στη συνέχεια, διαλέγονται ή διαχωρίζονται πριν την κονσερβοποίηση.
3. Τοποθέτηση μέσα στις κονσέρβες και ζύγισμα.
4. Αφαίρεση του αέρα, είτε περνώντας την κονσέρβα από θάλαμο κενού αέρος είτε εφαρμόζοντας καυτό ατμό στο χείλος της κονσέρβας προτού σφραγιστεί το καπάκι της.
5. Φόρτωση των γεμάτων κονσερβών σε τρόλεϊ ή καλάθια τα οποία τοποθετούνται σε θάλαμο θερμαινόμενο με ατμό για επεξεργασία.
6. Καθαρισμό του αέρα από τον αποστακτήρα (ένας θερμαινόμενος με ατμό οριζόντιος ή κάθετος κύλινδρος) και αύξηση της θερμοκρασίας με παροχή ατμού.
7. Στενή παρακολούθηση της θερμοκρασίας για κάθε παρτίδα προϊόντων.
8. Ψύξη των κονσερβών με τη χρήση καθαρού νερού.
9. Απομάκρυνση των κονσερβών από τον αποστακτήρα προκειμένου να στεγνώσουν οι επιφάνειές τους.
10. Τοποθέτηση των ετικετών στις κονσέρβες αρκετές ώρες αργότερα.

13.22 Κάπνισμα

Η διαδικασία του καπνίσματος έχει χρησιμοποιηθεί για πολλούς αιώνες για τη διατήρηση και ανάδειξη του χαρακτηριστικού καπνιστού αρώματος, γεύσης και υφής στα προϊόντα των ψαριών (Doe, 1998). Ο καπνός παράγεται πάντα με άμεση καύση ξύλου διαφόρων μορφών, όπως κούτσουρα,

κλαδιά ή πριονίδι, ή μέσω τριβής του κοπτικού μηχανήματος πάνω σε κούτσουρα. Μια μεγάλη ποικιλία από οργανικές ενώσεις έχουν ταυτοποιηθεί στον καπνό, συμπεριλαμβανομένων:

- φαινολών (>80),
- οξέων (>30),
- αλκοολών (>10),
- εστέρων (10),
- αλδεϋδών (>20),
- κετονών (>60),
- υδρογονανθράκων (>20),
- αρωματικών υδρογονανθράκων (>60), και
- λακτονών, αιθέρων, φουρανίων και αζωτούχων ενώσεων.

Όλα αυτά τα συστατικά είναι πτητικά, μεταφέρονται με τον αέρα και εναποτίθενται στην επιφάνεια του προϊόντος.

Οι φαινόλες παρέχουν τη κύρια χαρακτηριστική γεύση στο καπνιστό ψάρι, και οι ενώσεις συριγκόλη, γουαϊακόλη, 4-μεθυλ-γουαϊκόλη, ευγενόλη, 4-μεθυλ-συριγκόλη και 4-αλληλσυριγκόλη έχουν αναγνωρισθεί ως ιδιαίτερα σημαντικές (Miller and Sikorski, 1991). Αυτές οι φαινόλες και τα υπόλοιπα συστατικά του καπνού έχουν αντιβακτηριακή δράση, με αποτέλεσμα η επιφάνεια του προϊόντος κατά την έξοδο από το καπνιστήριο να είναι σχεδόν αποστειρωμένη.

Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι καπνίσματος, το ψυχρό κάπνισμα και το θερμό κάπνισμα. Το ψυχρό κάπνισμα χρησιμοποιείται κυρίως για φιλέτα, ενώ το θερμό κάπνισμα για ολόκληρα ψάρια που είναι αποβραγχισμένα και δίχως εντόσθια. Στο ψυχρό κάπνισμα, το προϊόν δεν μαγειρεύεται και η θερμοκρασία του αέρα που έρχεται σε επαφή με το προϊόν σπάνια αγγίζει τους 30 °C. Θερμοκρασίες στους 22-25 °C για 6-8 ώρες είναι η συχνή πρακτική. Το αλάτι (φυσικό και προστιθέμενο) που υπάρχει στο ψάρι, η δράση του καπνού ως συντηρητικό και η ελαφρά ξήρανση που συμβαίνει προσδίδουν στο προϊόν μικροβιακή σταθερότητα. Πλέον το προϊόν είναι έτοιμο για κατανάλωση χωρίς να χρειαστεί να μαγειρευτεί. Στο θερμό κάπνισμα το προϊόν μαγειρεύεται κατά τη διάρκεια του καπνίσματος. Η διαδικασία διαρκεί μόνο 1-2 ώρες και η θερμοκρασία ανέρχεται πάνω από τους 65 °C. Το προϊόν καταναλώνεται είτε κρύο είτε ξαναζεσταμένο.

Είναι πολύ σημαντικό το προϊόν να μην είναι κα-

πνισμένο σε ενδιάμεση θερμοκρασία, που δεν επαρκεί για την παστερίωσή του, επειδή κατά τη διαδικασία θέρμανσης και ψύξης, βακτήρια στο εσωτερικό του προϊόντος μπορεί να αναπτυχθούν και να καταστήσουν το προϊόν επικίνδυνο.

Η χρόνος διατήρησης υπό ψύξη ψαριού θερμού καπνίσματος μπορεί να φτάσει έως και τις 2 εβδομάδες. Στο κρύο κάπνισμα το ψάρι καπνίζεται και αλατίζεται περισσότερο και μπορεί να διατηρηθεί υπό ψύξη έως 6-8 εβδομάδες. Ο χρόνος διατήρησης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την περιεκτικότητα σε αλάτι και την ένταση του καπνίσματος, και προτείνεται σε κάθε παρασκευαστή τέτοιων προϊόντων να διενεργεί ελέγχους πριν τα διαθέσει στην αγορά και πριν ορίσει την καταληκτική ημερομηνία κατανάλωσης.

13.23 Περίληψη

- Ο κύριος στόχος της υδατοκαλλιέργειας είναι η παραγωγή τροφής για κατανάλωση από τον άνθρωπο, και όλα τα στάδια παραγωγής, από την εκτροφή και την αύξηση έως το τελικό προϊόν και την πώληση αυτού μπορούν δυνητικά να ρυθμιστούν. Θα πρέπει να στοχεύουν στην παροχή της καλύτερης δυνατής τροφής, η οποία θα είναι θρεπτική, επιθυμητή, απαλλαγμένη από παράσιτα και παθογόνους παράγοντες, και με χαρακτηριστικό χρώμα, γεύση και υφή.
- Πολλοί παράγοντες επηρεάζουν τις ιδιότητες της πρώτης ύλης και των τελικών προϊόντων υδατοκαλλιέργειας, και πολλές φορές αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Συνεπώς, η διεξοδική κατανόηση των ιδιοτήτων αυτών και του τρόπου με τον οποίο αλλάζουν είναι ουσιώδης για την ανάπτυξη κατάλληλων τεχνολογιών πριν και μετά τη συγκομιδή, για την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων των αλλαγών αυτών και για τη διατήρηση των επιθυμητών ιδιοτήτων του προϊόντος.
- Σε συνδυασμό με παραδοσιακές τεχνικές, όπως το αλάτισμα και το κάπνισμα, έχουν χρησιμοποιηθεί με επιτυχία νεότερες τεχνολογίες, όπως η συγκομιδή άνευ καταπόνησης, η ταχεία κατάψυξη, η συσκευασία σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα και η χρήση φυσικών αντιοξειδωτικών. Η πρόσφατη κατανόηση της σημασίας του ελέγχου της θερμοκρασίας και του ρόλου των Ειδικών Αλλοιογόνων Μικροοργανισμών (SSO), σε συνδυασμό με την προγνωστική μικροβιολογία, έχουν οδηγήσει σε ασφαλέστερα και πιο σταθερά προϊόντα.
- Το κεφάλαιο αυτό αποτέλεσε μια σύντομη εισαγωγή στην τεχνολογία που χρησιμοποιείται μετά τη συγκομιδή προϊόντων υδατοκαλλιέργειας. Υπάρχουν πολλά άλλα ζητήματα που δεν καλύπτονται και τα οποία θα μπορούσαν να εξεταστούν, αλλά δεν εμπίπτουν στα πλαίσια του παρόντος κεφαλαίου. Παραδείγματα τέτοιων ζητημάτων αποτελούν η ιχθυλασιμότητα από τη συγκομιδή μέχρι τη λιανική πώληση, η διαχείριση της ποιότητας, η εκτεταμένη χρήση της τεχνολογίας των πληροφοριών, η τεχνολογία ανάπτυξης προϊόντων, η πλήρης αξιοποίηση των προϊόντων, οι γενετικές και εποχιακές επιδράσεις στις ιδιότητες του προϊόντος, και η παραγωγή υποπροϊόντων και βιοενεργών υλικών από προϊόντα υδατοκαλλιέργειας.

Βιβλιογραφία

Υπάρχουν πολλά άρθρα ειδικά για την τεχνολογία που χρησιμοποιείται μετά τη συγκομιδή για προϊόντα υδατοκαλλιέργειας σε περιοδικά, όπως το *Journal of Food Science*, *Journal of Aquatic Food Product Technology*, *International Journal of Food Science*, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, *Journal of Food Science*, *Food Biochemistry* και *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*. Υπάρχουν, ωστόσο, λίγα συγγράμματα αφιερωμένα αποκλειστικά σε προϊόντα υδατοκαλλιέργειας. Κατά συνέπεια, οι περισσότερες από αυτές τις βιβλιογραφικές αναφορές

προέρχονται από τα συγγράμματα αυτά που αφορούν τόσο αλιεύματα όσο και καλλιεργούμενα είδη.

Alasalvar, C., Miyashita, K., Ahahidi, F. and Wanasundara, U. (Eds.) (2010). *Handbook of Seafood Quality, Safety and Health Applications*. Wiley Blackwell. 576 pages.

Bozariis, I.S. (Ed.) (2013). *Seafood Processing: Technology, Quality and Safety*. Wiley Blackwell (UK). 508 pages.

Bremner, H. A. (1999). Gaping in fish flesh. In:

- Extracellular Matrix of Fish and Shellfish* (Ed. by K. Sato, M. Sakaguchi and H. A. Bremner), pp. 81–94. Research SignPost, Trivandrum, India.
- Bremner, H. A. (Ed.) (2002). *Safety and Quality Issues in Fish Processing*. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, UK.
- Bremner, H. A., Olley, J. and Vail A. M. A. (1986). Estimating time–temperature effects by a rapid systematic sensory method. In: *Seafood Quality Determination* (Ed. by D. E. Kramer and J. Liston), pp. 413–35. Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- Doe, P. E. (Ed.) (1998). *Fish Drying and Smoking*. Technomic Publishing, Lancaster, PA.
- FAO (1988). *Manual on Fish Canning*. FAO Fisheries Technical Paper, No. 285. FAO, Rome.
- Haard, N. F. and Simpson, B. K. (Eds.) (2000). *Seafood Enzymes*. Marcel Dekker, New York.
- Kestin, S. C. and Warriss, P. D. (2001). *Farmed Fish Quality*. Fishing News Books, Oxford.
- Lindsay, R. C. (1990). Fish flavours. *Food Reviews International* 6(4), 437–455.
- Miler, K. B. M. and Sikorski, Z. E. (1991). Smoking. In: *Seafood: Resources, Nutritional Composition, and Preservation* (Ed. by Z. E. Sikorski), pp. 163–80. CRC Publishers, Boca Raton, FL.
- Nesheim, M. C. and Yaktine A. L. (Eds) (2007). *Seafood Choices: Balancing Benefits and Risk*. National Academies Press, Washington DC, USA.
- Robb, D. (2001). The relationship between killing methods and quality. In: *Farmed Fish Quality* (Ed. by S. C. Kestin and P. D. Wariss), pp. 220–33. Fishing News Books, Oxford.
- Sato, K., Sakaguchi, M. and Bremner, H. A. (Eds) (1999). *Extracellular Matrix of Fish and Shellfish*. Research SignPost, Trivandrum, India.
- Sikorski, Z. E., Pan, B. S. and Shahidi, F. (Eds) (1994). *Seafood Proteins*. Chapman and Hall, New York.
- Whitfield, F. B. (1990). Flavour of prawns and lobsters. *Food Reviews International (Special issue on Seafoods: Quality and Evaluation)* 6, 505–20.
- WHO/FAO (2006). *Food Safety Risk Analysis. A Guide for National Food Safety Authorities*. FAO Food and Nutrition Paper, 87, WHO/FAO, Rome.
- WHO/FAO (2012). *Codex Alimentarius Code of practice for fish and fishery products*. World Health Organisation/Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome.