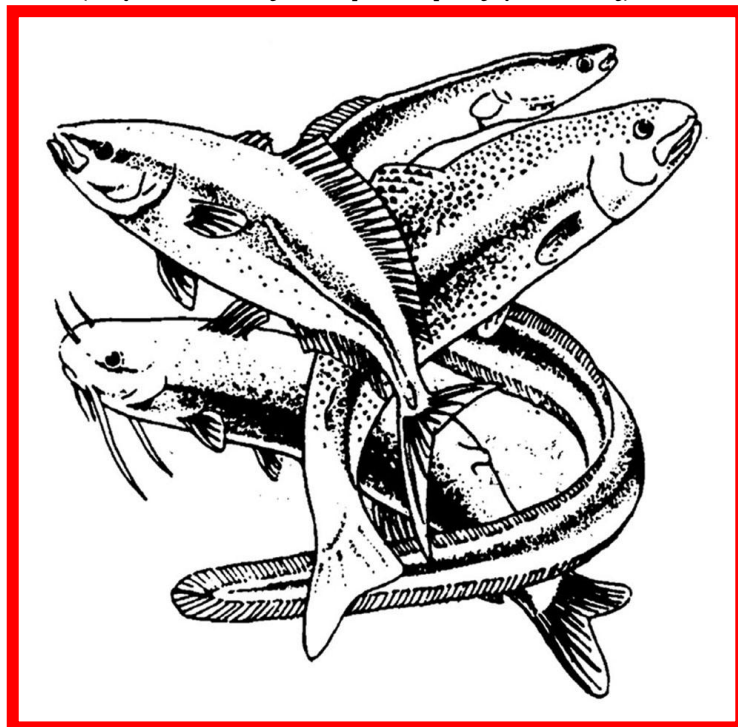


**Τ.Ε.Ι. ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΑΛΙΕΙΑΣ-ΥΔΑΤΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΔΑΤΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ**

**ΥΔΑΤΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ ΝΕΡΟ ΚΑΙ ΨΑΡΙΑ
(θεμελιώδεις απαραίτητες γνώσεις)**



**Γεώργιος Χώτος
Καθηγητής**

ΜΕΣΟΛΟΓΓΙ 2015

ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΓΕΝΙΚΗ ΘΕΩΡΗΣΗ

Οι υδατοκαλλιέργειες, ή ιχθυοκαλλιέργειες στην περίπτωση ειδικότερα της παραγωγής ψαριών, έχουν ως αντικείμενο φροντίδας το εκτρεφόμενο ψάρι. Για να μπορέσουν να καταλήξουν στην αύξηση του ψαριού σε μέγεθος τέτοιο που να βγει στο εμπόριο, πρέπει για μια εκτεταμένη περίοδο χρόνου να το διατηρήσουν σε ακμαία φυσιολογική κατάσταση. Μόνο ένα ψάρι υγιές θα έχει όρεξη να τρέφεται, να μεταβολίζει σωστά την τροφή, να κερδίζει βάρος με τον αποδοτικότερο τρόπο και πάνω απ' όλα να μην ψοφήσει εξ' αιτίας των πολλών κινδύνων που ελλοχεύουν καθ' όλη τη διάρκεια της εκτροφής και μπορούν να το εξοντώσουν.

Οι κίνδυνοι αυτοί, που μόνο αν μπορέσει να τους αποφύγει ο καλλιεργητής μπορεί να προσβλέπει σε επιτυχημένη εκτροφή, είναι πολλοί. Κάποιοι από αυτούς είναι μόνιμοι καθ' όλη τη διάρκεια της εκτροφής και κάποιοι περιστασιακοί.

Στους **μόνιμους**, και καλό είναι να εντυπωθεί αυτό καλά στο μυαλό του εκπαιδευόμενου, περιλαμβάνεται το **διαλυμένο οξυγόνο** και η **αμμωνία**. Το οξυγόνο επειδή το έχουν ανάγκη συνεχώς για να αναπνέουν και η αμμωνία επειδή είναι δηλητήριο που παράγεται από τα ίδια τα ψάρια (και από σαπίζουσα οργανική ύλη) και το οποίο δηλητήριο πρέπει να μην του επιτραπεί να φθάσει σε ορισμένη τοξική συγκέντρωση. Αρα η αμμωνία πρέπει συνεχώς να απομακρύνεται από το νερό της εκτροφής. Για το οξυγόνο εξυπακούεται ότι καθώς τα ψάρια αναπνέουν και το καταναλώνουν, πρέπει συνεχώς να αναπληρώνεται με καινούργιο.

Στους **περιστασιακούς** περιλαμβάνονται πολλοί άλλοι και ποικίλοι όπως ασθένειες, τοξικά στοιχεία, απότομες μεταβολές θερμοκρασίας, χάσιμο νερού κ.ά. Όλα τα παραπάνω μπορούν να συμβούν και να δυσκολέψουν ή ακόμα και να καταστρέψουν την καλλιέργεια, όμως με την επιμέλεια και το σωστό σύστημα διαχείρισης του καλλιεργητή η πιθανότητα να επέλθουν διατηρείται ελάχιστη.

Ένα κοινό στοιχείο που συνδέει όλους τους παραπάνω κινδύνους (μόνιμους και περιστασιακούς) είναι η δράση τους στα ψάρια. Αμεσα ή έμμεσα, έντονα ή ελαφρά, εξωτερικά ή εσωτερικά, επιδρούν στο σώμα του ψαριού διά των οργάνων και των φυσιολογικών και μεταβολικών διεργασιών του, το καταπονούν και τελικά το σκοτώνουν. Το αποτέλεσμα, αν η κατάσταση αφεθεί να γίνει ακραία, είναι το ίδιο. Μια καλλιεργούμενη βιομάζα ψαριών που δεν αυξάνεται σωστά, άρα χάσιμο πρώτων υλών και ενέργειας που τους παρέχουμε, ή ακόμα χειρότερα και καταστροφικά, θάνατος ψαριών που σημαίνει οριστικό χάσιμο κάθε παροχής (τροφή, ενέργεια, ενισχυτικά) που τους είχε όλον αυτόν τον καιρό δώσει ο καλλιεργητής.

Οποιος λοιπόν νομίζει ότι μπορεί να εκπαιδεύσει ανθρώπους στις ιχθυοκαλλιέργειες μόνο με διδασκαλία ειδικών τεχνικών για το κάθε είδος, χωρίς πρώτα να διασφαλίσει ότι ο εκπαιδευόμενος έχει καταλάβει

καλά τα βασικά της βιολογίας-φυσιολογίας των ψαριών και τα βασικά του μεταβολισμού των, καθώς και τις φυσικο-χημικές ιδιότητες και διεργασίες του νερού, **ή απατάται ή απατά.**

Στο παρόν σύγγραμμα θα δοθούν με περιεκτική μορφή τα βασικά στοιχεία που χαρακτηρίζουν τη διατήρηση της υγείας των ψαριών δηλαδή η κατασκευή του σώματος του ψαριού και η λειτουργία των οργάνων του, τα χαρακτηριστικά του νερού που αφορούν άμεσα τα ψάρια και τέλος, χαρακτηριστικά περιγραφικά στοιχεία υπολογισμών και χειρισμών στην εκτροφή που αφορούν την καταγραφή της αύξησης και των μέτρων διασφάλισης παροχής επαρκούς οξυγόνου και ελέγχου της αμμωνίας για να παραμένει σε ασφαλείς χαμηλές συγκεντρώσεις.

Το παρόν είναι κατά το μεγαλύτερο μέρος του βασισμένο στη δομή της ύλης του βιβλίου: «The Manual of Fish Health» των Chris Andrews, Adrian Exell & Neville Carrington, εκδόσεις Salamander Book, 1988, με ελεύθερη μετάφραση των επιμέρους εδαφίου των (αναφέρονται οι παραπάνω συγγραφείς εντός παρενθέσεως) σε διαφορετική έκταση ανά περίπτωση και προορίζεται για διδακτική και μόνο χρήση χωρίς εμπορική αξιοποίηση εκ μέρους μου.

Πρέπει σε αυτό το σημείο να ξεκαθαριστεί και κάτι πολύ σημαντικό. Τα ψάρια πρέπει να παραμένουν υγιή καθ' όλη τη διάρκεια της εκτροφής. Οι ασθένειες που μπορεί και να τα σκοτώσουν επισυμβαίνουν σε ψάρια εξασθενημένα και ταλαιπωρημένα εξαιτίας κακών συνθηκών καλλιέργειας. Κακές συνθήκες καλλιέργειας νοούνται πρωτίστως κακές συνθήκες ποιότητας νερού. Χαμηλή περιεκτικότητα οξυγόνου, υψηλές συγκεντρώσεις αμμωνίας ή και τα δύο μαζί (ακόμα χειρότερα), σημαίνει ψάρια αδύνατα έτοιμα να αρρωστήσουν εξαιτίας παθογόνων οργανισμών οι οποίοι σε άλλες συνθήκες (πολύ οξυγόνο, χαμηλή αμμωνία) δεν θα μπορούσαν πιθανότατα να τα προσβάλλουν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. Η ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ ΤΗΣ ΥΓΕΙΑΣ ΤΩΝ ΨΑΡΙΩΝ

Ο ιχθυοκαλλιεργητής είναι υποχρεωμένος να φροντίζει για τα πλήρως εξαρτώμενα από αυτόν «αιχμαλωτισμένα» ψάρια. Πρώτη του προτεραιότητα πρέπει να είναι η δημιουργία των καλύτερων δυνατών συνθηκών που θα διαφυλάξουν την υγεία των ψαριών και την απρόσκοπτη και γρήγορη ανάπτυξή τους. Αυτό φυσικά προϋποθέτει μεγίστη υπευθυνότητα εκ μέρους του. Αυτή όμως η υπευθυνότητα που θα επιδείξει θα του αποδώσει τρία σημαντικά οφέλη:

1. Θα ελαχιστοποιήσει το στρες στα ψάρια, κατάσταση που αναπόφευκτα παρουσιάζεται στο αφύσικο για αυτά περιβάλλον εκτροφής-αιχμαλωσίας.
2. Θα του διασφαλίσει μια εκτροφή χωρίς ατυχήματα, και,
3. Θα του δώσει την ικανοποίηση να παρακολουθεί μια γρήγορη και συνεχή αύξηση των ψαριών.

1.1. Ψάρι, παθογόνα και περιβάλλον (Andrews, Exell & Carrington, 1988).

Καθώς τα ψάρια αποτελούνται κατά 80% από νερό και το νερό αποτελεί το περιβάλλον διαβίωσής των και καθώς μόνο μια «μεμβράνη» αποτελεί το σύνορο του σώματός των από το νερό, είναι προφανές ότι επηρεάζονται άμεσα από τις αλλαγές στο υδάτινο περιβάλλον και οι διακυμάνσεις του περιβάλλοντος αυτού έχουν άμεση επίδραση στην υγεία τους.

Πολλοί δυνητικός παθογόνοι οργανισμοί αποτελούν φυσικούς και σταθερούς γείτονές τους στο νερό οι οποίοι όμως συνήθως δεν προκαλούν ασθένεια και θνησιμότητα. Για παράδειγμα. Τα ψάρια συνήθως έχουν στο σώμα τους μικρούς πληθυσμούς από πρωτόζωα τα οποία τρέφονται με την περίσσεια των σωματικών υγρών και ιστών τους και των οποίων ο πληθυσμός διατηρείται ελεγχόμενα χαμηλός από το ανοσοποιητικό σύστημα των ψαριών. Αλλωστε η φυσική εξέλιξη έχει προσαρμόσει το σύστημα αυτό έτσι που να μην είναι συμφέρον στο παράσιτο να σκοτώσει τον ξενιστή από τον οποίο εξαρτάται η επιβίωσή του.

Η συγκεκριμένη σχέση μεταξύ των ψαριών, των παθογόνων τους και του περιβάλλοντος στο οποίο ζουν, σημαίνει ότι σε φυσιολογικές περιβαλλοντικές συνθήκες υπάρχει μια ισορροπία μεταξύ των ψαριών και των παθογόνων οργανισμών. Σε μια τέτοια κατάσταση το ανοσοποιητικό σύστημα του ψαριού διατηρεί το δυνητικό πρόβλημα υπό έλεγχο. Αν όμως το περιβάλλον αλλάξει τότε η ισορροπία χαλάει υπέρ ή σε βάρος είτε του ψαριού είτε του παθογόνου.

Για παράδειγμα, μια μείωση της θερμοκρασίας του νερού μειώνει την επικινδυνότητα του παθογόνου οργανισμού επειδή μειώνει την ένταση του μεταβολισμού του ή ακόμα και την αναπαραγωγή του. Αν όμως αυτή

η μείωση ή μια αύξηση της θερμοκρασίας είναι έξω από το βέλτιστο εύρος διαβίωσης του ψαριού, τότε πέραν του γεγονότος ότι έχει δυσμενή επίδραση και μάλιστα άμεση στη φυσιολογία του ψαριού, το ψάρι στρεσάρεται, το ανοσοποιητικό του καταπιέζεται με αποτέλεσμα το ψάρι να είναι επιρρεπές σε ασθένεια και μάλιστα τόσο περισσότερο, όσο αυτή η αλλαγή της θερμοκρασίας είναι ευνοϊκή για τον παθογόνο οργανισμό. Για παράδειγμα. Τα μυξοβακτήρια είναι συνεχώς παρόντα στις δεξαμενές εκτροφής αλλά το ανοσοποιητικό σύστημα των ψαριών τα κρατά υπό έλεγχο. Αν όμως λόγω ελλιπούς φροντίδας συσσωρεύονται στη δεξαμενή περιττώματα και αφάγωτη τροφή που σαπίζουν, τα μυξοβακτήρια πληθαίνουν, διασπούν τα περιττώματα και την τροφή και παράγουν ως προϊόν μεταβολισμού υπερβολική αμμωνία. Η αμμωνία είναι τοξίνη που ερεθίζει τα βράγχια των ψαριών και τα προκαλεί να παράγουν σε μεγάλο βαθμό ένα στρώμα κυττάρων στην λεπτεπίλεπτη επιφάνεια των βραγχίων. Καθώς αυτά τα κύτταρα είναι επιρρεπή σε βακτηριακές μολύνσεις, γίνεται κατανοητό το πως ο συνδυασμός των παραπάνω συμβάντων μπορεί να προκαλέσει βακτηριακή ασθένεια των βραγχίων των ψαριών.

1.2. Το στρες και οι ασθένειες (Andrews, Exell & Carrington, 1988).

Το *στρες* αποτελεί ένα ουσιαστικό παράγοντα στην υγεία των ψαριών. Υπάρχουν διάφοροι παράγοντες που είναι *στρεσογόνοι* και έχουν αρνητική επίδραση στα ψάρια. Η σύλληψη των ψαριών, ο υπερπληθυσμός στη δεξαμενή, μεγάλα επιθετικά ψάρια μαζί με μικρά και δυσμενείς περιβαλλοντικές συνθήκες αποτελούν χαρακτηριστικά παραδείγματα. Η αντίδραση στο στρες που προκαλούν οι στρεσογόνοι παράγοντες, ορίζεται ως το σύνολο των φυσιολογικών αντιδράσεων που παρουσιάζει το ψάρι προσπαθώντας να διατηρήσει ή να επανέλθει στη φυσιολογική του ισορροπία. Κάποιες από αυτές τις αντιδράσεις του ψαριού είναι κοινές για όλους τους στρεσογόνους, άλλες είναι μοναδικές για κάποιο συγκεκριμένο στρεσογόνο παράγοντα.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα: Ο ιχθυοκαλλιεργητής που προσπαθεί να συλλάβει με την απόχη ψάρια μέσα από μια δεξαμενή είτε για να τα μεταφέρει αλλού, είτε για να τα ζυγίσει, είτε για άλλο σκοπό, τα στρεσάρει και η πρώτη αντίδραση των ψαριών είναι να προσπαθήσουν να ξεφύγουν από τον κίνδυνο (όπως τον αντιλαμβάνονται).

Έτσι ως πρώτη αντίδραση είναι η ένταση στο σώμα τους για να διαφύγουν. Αυτό γίνεται μέσω της απελευθέρωσης ορμονών με αποτέλεσμα να διοχετευθεί όλη η ενέργεια του ψαριού στους κινητικούς μυς του. Όμως αυτή η κατάσταση «συναγερμού» που επιβάλλεται στο ψάρι έχει αρνητικά αποτελέσματα που διαρκούν και μετά τη λήξη της. Για παράδειγμα, μια από τις ορμόνες που απελευθερώνονται είναι η *αδρεναλίνη* η οποία εκτός από την ετοιμότητα που προσδίδει στο ψάρι

για να αντιδράσει άμεσα, διαταράσσει επίσης την ωσμωρυθμιστική του ικανότητα (τον έλεγχο δηλαδή της ισορροπίας αλάτων/νερού στα σωματικά του υγρά). Μια άλλη ορμόνη που εμπλέκεται είναι η *κορτιζόνη* η οποία επηρεάζει τα λευκοκύτταρα του αίματος μειώνοντας έτσι την αποτελεσματικότητα του ανοσοποιητικού συστήματος.

Η δεύτερη αντίδραση του ψαριού αφού περάσει η ένταση, είναι η επαναφορά της κατάστασης ισορροπίας στη φυσιολογία του.

Συνολικώς λοιπόν, μπορούμε να φανταστούμε ότι η αντίδραση στο στρες που επιβάλλεται σε ένα ψάρι, αποτελεί ένα συμβιβασμό μεταξύ της σύντομης και έντονης αντίδρασής του να αποφύγει τον κίνδυνο και της μακράς και με παράπλευρες επιπτώσεις φυσιολογικής του επαναφοράς στην ηρεμία. Πρόκειται όμως για έναν μη ισορροπημένο συμβιβασμό καθώς ένα στρες που συμβαίνει στο ψάρι ακόμα και για μικρό χρονικό διάστημα θα πάρει ώρες ή ακόμα και μέρες για να μπορέσει το ψάρι να επανέλθει σε φυσιολογική ισορροπία.

Γενικώς, στα ψάρια, η αντίδραση στο στρες θεωρείται ως όχι και τόσο αποτελεσματικά προσαρμοσμένη για να ανταποκρίνεται σε χρόνιες περιβαλλοντικές αναστατώσεις. Αυτό επειδή τα ψάρια έχουν εξελιχθεί-προσαρμοστεί σε ένα σχετικά σταθερό φυσικό περιβάλλον και ως εκ τούτου δεν έχουν αναπτύξει κάποιο αποτελεσματικό μηχανισμό για να αντιμετωπίζει περιβαλλοντικές αλλαγές ή στρεσογόνους παράγοντες.

Σε περίπτωση δυσμενούς περιβαλλοντικής αλλαγής, η πρώτη αντίδραση του ψαριού είναι το στάδιο συναγερμού, το οποίο οδηγεί το ψάρι στο να φύγει μακριά από το πρόβλημα. Αν δεν το κατορθώσει, ακολουθεί ένα στάδιο αναγκαστικής προσαρμογής κατά την οποία το σώμα του επιχειρεί να αντιδράσει στην περιβαλλοντική αλλαγή. Αρχικά το κάνει με τρόπο υπερδραστήριο. Κατόπιν και για μακρό χρονικό διάστημα, επέρχεται μια νέα ισορροπία κατά την οποία το ψάρι ακριβώς για να επιβιώσει στη νέα κατάσταση, φθάνει στην καλύτερη δυνατή προσαρμογή τόσο στη φυσιολογία του όσο και στη συμπεριφορά του. Κατά την περίοδο αυτή της προσαρμογής, πρώτη προτεραιότητα του ψαριού είναι η αντιμετώπιση του στρεσογόνου παράγοντα και καθώς το ανοσοποιητικό του έχει καταβληθεί, το ψάρι παρουσιάζει τη μικρότερη ανθεκτικότητα σε ασθένειες.

Παρόλο που το ψάρι μπορεί τελικά να επιτύχει προσαρμογή στις νέες συνθήκες του περιβάλλοντος, η ικανότητά του για αύξηση ή και για αναπαραγωγή καθώς και η ανοσία του σε ασθένειες θα έχουν σημαντικά μειωθεί. Το στάδιο προσαρμογής εξάλλου όπως προαναφέρθηκε μπορεί να διαρκέσει από μερικές ώρες έως και εβδομάδες.

Αν όμως το ψάρι υφίσταται συνεχώς στρες, π.χ. σταθερή υποβάθμιση ποιότητας νερού, επιθετικότητα από μεγαλύτερα ψάρια, κ.λπ., η προσπάθεια προσαρμογής του μπορεί να είναι τόσο παρατεταμένη και οι

φυσιολογικές του δραστηριότητες τόσο αναστατωμένες που τελικά οι πιθανότητες του για επιβίωση να ελαχιστοποιούνται.

Αν η περιβαλλοντική αλλαγή είναι τόσο έντονη και ακραία π.χ. μεταφορά ενός θαλασσινού ψαριού σε γλυκό νερό, τότε η αντίδραση του ψαριού στο στρες είναι τόσο έντονη που διά της εξαντλήσεως το οδηγεί στο θάνατο.

Από τα παραπάνω ο αναγνώστης μπορεί να καταλάβει τη σημασία του σταθερά καλού περιβάλλοντος για την υγεία και την γρήγορη ανάπτυξη του ψαριού. Αρα προτεραιότητα του καλλιεργητή πρέπει να είναι η πρόληψη του κακού και όχι η θεραπεία στην οποία όμως θα καταφύγουμε υποχρεωτικά αν επέλθει η ασθένεια.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. Η ΖΩΗ ΤΟΥ ΨΑΡΙΟΥ ΣΤΟ ΝΕΡΟ

Το νερό καλύπτει το 70% της Γήινης επιφάνειας και φιλοξενεί περί τα 20.000 είδη ψαριών με εντυπωσιακή ποικιλία μεγεθών, σχημάτων, χρώματος και συμπεριφοράς. Όλα αυτά τα είδη έχουν εξελιχθεί διά μέσου εκατομμυρίων ετών στον ιδιαίτερο οικολογικό τους θώκο σε κάθε είδους νερό (Andrews, Exell & Carrington, 1988).

Παρόλο που το νερό είναι η πηγή της ζωής, αποτελεί συγκριτικά με τη χέρσο ένα πολύ πιο απαιτητικό περιβάλλον για να καταφέρεις να ζήσεις σε αυτό. Τα ψάρια το έχουν καταφέρει με την κατάλληλη προσαρμογή η οποία έχει προέλθει τόσο από την κατασκευή του σώματός των, όσο και από τη λειτουργία των οργάνων τους και τη βιοχημική τους δραστηριότητα.

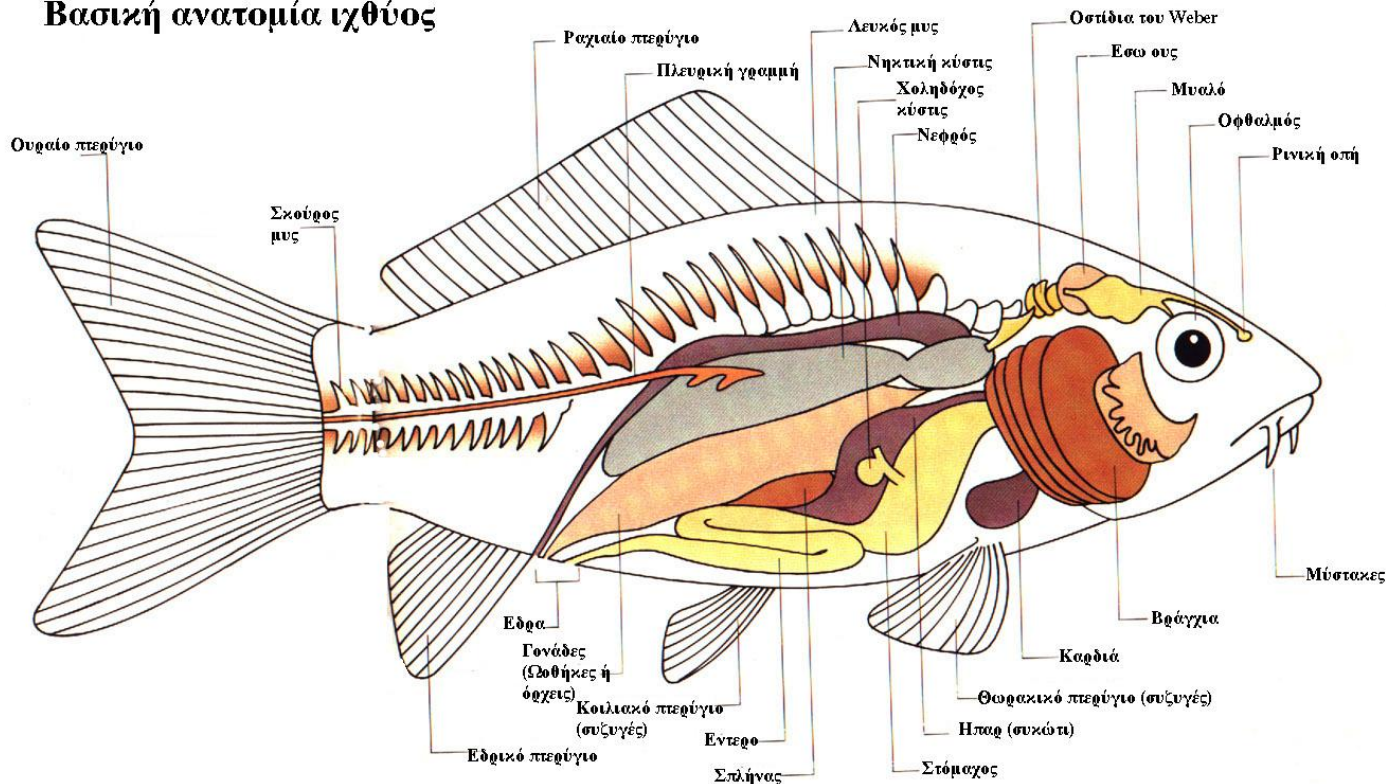
2.1. Η ανατομία του ψαριού.

Στο Σχήμα 1 φαίνεται η βασική ανατομία ενός οστεϊχθύος. Τα ιδιαίτερα στοιχεία της ανατομίας αναπτύσσονται σε ιχθυολογικά βιβλία και εδώ θα δοθεί μόνο η επισήμανση ότι ανοίγοντας ένα ψάρι για να το μελετήσουμε διακρίνουμε από τη ράχη προς την κοιλιά τις εξής κατασκευές.

1. Η σπονδυλική στήλη βρίσκεται στο ανώτατο μέρος.
2. Κάτω και παράλληλα προς τη σπονδυλική στήλη βρίσκονται οι επιμήκεις νεφροί.
3. Κάτω από τα νεφρά υπάρχει η αεροφόρος (νηκτική) κύστη.
4. Κάτω από την αεροφόρο κύστη υπάρχουν οι επιμήκεις γονάδες (όρχεις ή ωοθήκες).
5. Από κάτω των γονάδων υπάρχει το ευμεγέθες συκώτι και η σπλήνα.
6. Από κάτω αυτών και σε άμεση επαφή βρίσκεται ο πεπτικός σωλήνας που συμπεριλαμβάνει τον στόμαχο (σε όσα ψάρια έχουν στομάχι) και το ακολουθούν ποικίλης έκτασης έντερο.

Όπως γίνεται εύκολα κατανοητό από το σχήμα, υπάρχουν δύο ανοίγματα (οπές) διά των οποίων το ψάρι αποβάλλει στο περιβάλλον τα προϊόντα του (περιττώματα, σπέρμα ή ωά και ούρα). Η πρώτη στη σειρά (από το κεφάλι προς την ουρά) οπή είναι ο *πρωκτός*, η δεύτερη ο *ουρογεννητικός πόρος*, μαζί αποτελούν την «έδρα».

Βασική ανατομία ιχθύος



Σχήμα 1. Βασικά στοιχεία ανατομίας του ψαριού. (Από Andrews, Exell & Carrington, τροποποιημένο από Χότος).

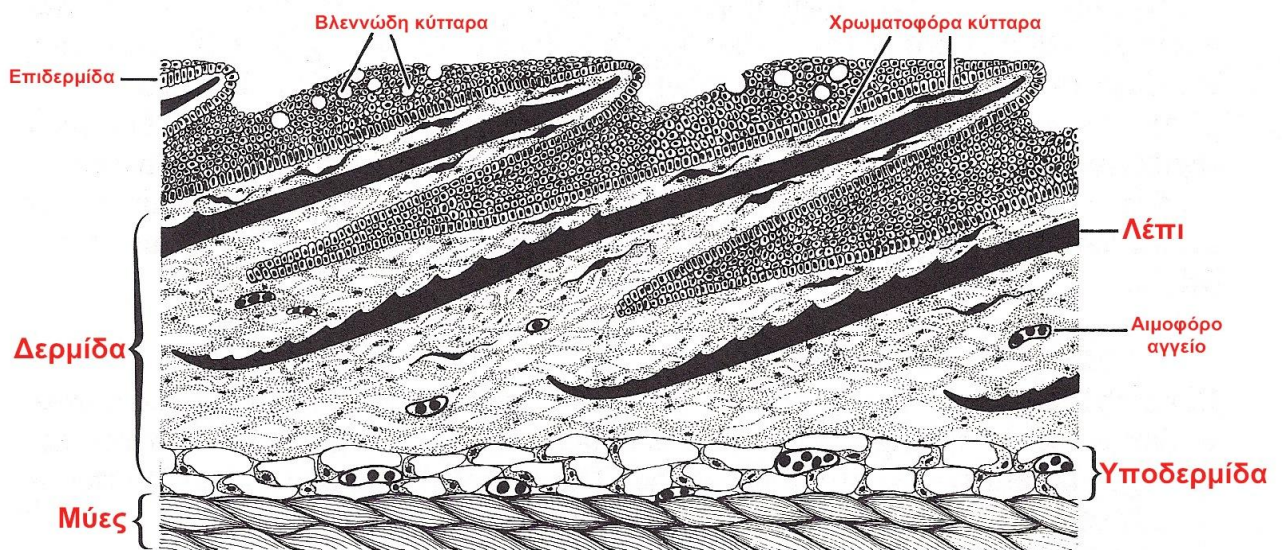
2.1.1. Πτερύγια, στόμα και επιδερμίδα.

Υπάρχουν δύο κατηγορίες *περυγίων*. Τα *αζυγή* και τα *συζυγή*. Τα αζυγή (ραχιαίο-α, εδρικό, ουραίο) είναι πτερύγια που βρίσκονται στο μέσον του νοητού επιμήκους επιπέδου που χωρίζει το σώμα, δεν έχουν δηλαδή «ταίρι». Τα συζυγή (θωρακικά, κοιλιακά) βρίσκονται τοποθετημένα ένα από τη μια μεριά του σώματος και το ταίρι του στην άλλη. Όλα τα πτερύγια υποστηρίζονται από *οστέινες ακτίνες* οι οποίες αποτελούνται από διακλαδισμένες στήλες μικρών οστιδίων ενωμένων με τένοντες. Ειδικοί μύες στη βάση των περυγίων μπορούν να κινούν τις ακτίνες ανασηκώνοντας (τεντώνοντας) τα πτερύγια και να υποβοηθούν δι' αυτού του τρόπου τους ελιγμούς του ψαριού κατά την κολύμβηση. Τα πτερύγια πολλές φορές κατά τους χειρισμούς που γίνονται στα ψάρια (π.χ. απόχιασμα), ή λόγω τσιμπημάτων από άλλα ψάρια, ή και λόγω ασθενειών, μπορεί και να παρουσιάσουν σχισίματα ή τραυματισμούς,

όμως αν το ψάρι αφεθεί ήσυχο θα επουλώσουν τα τραύματα και θα ξαναμεγαλώσουν στην κανονική πτερυγιακή τους κατάσταση. Το *ουραίο πτερύγιο* με τον ουραίο μίσχο αποτελούν κυριολεκτικά την «προπέλα» του σώματος που κινεί το ψάρι.

Το *στόμα* του ψαριού (με τη μεγάλη ποικιλομορφία του που χαρακτηρίζει τα χιλιάδες είδη ψαριών), χρησιμεύει για τη λήψη τροφής και την συγχρονισμένη είσοδο νερού για την αναπνοή και την ωσμωρύθμιση. Όταν το στόμα ανοίγει, η *άνω σιαγόνα* (maxilla) εκτείνεται προς τα κάτω κλείνοντας τα πλαϊνά ανοίγματα του στόματος. Αυτή η κατάσταση δημιουργεί και κάποια δυνατότητα αναρρόφησης (ρουφήγματος) στο στόμα, η οποία υποβοηθεί στη λήψη της τροφής αφενός και της εισόδου του νερού για να διέλθει από τα βράγχια και να τα οξυγονώσει αφετέρου (Σχήμα 16).

Το *δέρμα* του ψαριού είναι μια πολύ εξειδικευμένη κατασκευή. Σε αντίθεση με τους ανθρώπους, το εξώτατο – επιφανειακό στρώμα του δέρματος του ψαριού δεν είναι ένα νεκρό κερατινοειδές στρώμα. Το εξωτερικό στρώμα η *επιδερμίδα* είναι ένα πολύ λεπτό και διαφανές στρώμα από ζωντανά κύτταρα. Η επιδερμίδα καλύπτει όλο το σώμα του ψαριού και με «κυματοειδή» τρόπο καλύπτει και τα λέπια τα οποία είναι «σφηνωμένα» κάτω από αυτό το στρώμα (Σχήμα 2).



Σχήμα 2. Διαγραμματική απεικόνιση τομής δέρματος ψαριού. Τα λέπια κείνται κάτω από την επιδερμίδα στερεωμένα σε θύλακες μέσα στη δερμίδα. Τα λέπια ως εξ' αυτού, δεν είναι απλά επιφανειακά-επιπόλαια κατασκευάσματα αλλά οργανικά κομμάτια των οποίων η απώλεια διαρρηγνύει το «φράγμα» που δημιουργεί η επιδερμίδα στο εξωτερικό περιβάλλον. (Από Laird & Needham., τροποποιημένο από Χώτος).

Η επιδερμίδα είναι το πρώτο στρώμα-φράγμα και άμυνα του ψαριού ενάντια στο εξωτερικό περιβάλλον. Κρατά έξω από το εσωτερικό του ψαριού βακτήρια, μύκητες και ιούς και αν καταστραφεί το ψάρι γίνεται ευπρόσβλητο σε ασθένειες. Οι όποιες πληγές στην επιδερμίδα, εφόσον το ψάρι ανακάμπτει, κλείνουν γρήγορα από νέα στρώματα κυττάρων που πολλαπλασιάζονται γρήγορα. Η επιδερμίδα επίσης διατηρεί το νερό έξω από το ψάρι καθώς και τα άλατα από το να διαχυθούν μέσω αυτής είτε έξω από το ψάρι είτε μέσα στο ψάρι. Ολα αυτά υποβοηθούνται τα μέγιστα από τη βλέννα που περιβάλλει το σώμα του ψαριού και η οποία παράγεται από τα βλεννώδη κύτταρα που βρίσκονται στην επιδερμίδα.

Το δέρμα του ψαριού ευθύνεται επίσης για τον χρωματισμό του και γενικά την εμφάνισή του. Κάτω από την επιδερμίδα υπάρχει ένα λεπτό ασημί στρώμα από κρυστάλλους γουανίνης και είναι αυτό που δίδει σε πολλά είδη ψαριών την ασημένια απόχρωσή τους. Πάνω από το στρώμα γουανίνης υπάρχουν κύτταρα με χρωστικές τα οποία ονομάζονται χρωματοφόρα κύτταρα. Τα κύτταρα αυτά μπορούν να διαστέλλονται πολύ και τότε λόγω των σκούρων χρωστικών τους καλύπτουν το στρώμα γουανίνης και το ψάρι εμφανίζεται σκούρο. Όταν τα χρωματοφόρα επανέρχονται στο κανονικό τους ελάχιστο μέγεθος, το ψάρι ξαναεμφανίζει τον νορμάλ ασημί του χρωματισμό. Εκτός και αν το ψάρι έχει την ικανότητα να ταιριάζει με το περιβάλλον διά της τεχνικής του καμουφλάζ (π.χ. γλώσσες, πετρόψαρα κ.ά.), τα φυσιολογικά και ήρεμα ψάρια εμφανίζονται ανοικτού χρώματος και όχι σκούρου (μαυριδερού). Αλλαγή του χρώματος από ανοικτό σε σκούρο σημαίνει ότι το ψάρι βρίσκεται σε στρες (π.χ. κατά την αναισθησία, μετά από χειρισμούς κ.λπ.), ή υποφέρει από κάποια παθολόγο αιτία.

2.1.2. Ο σκελετός και οι μύες.

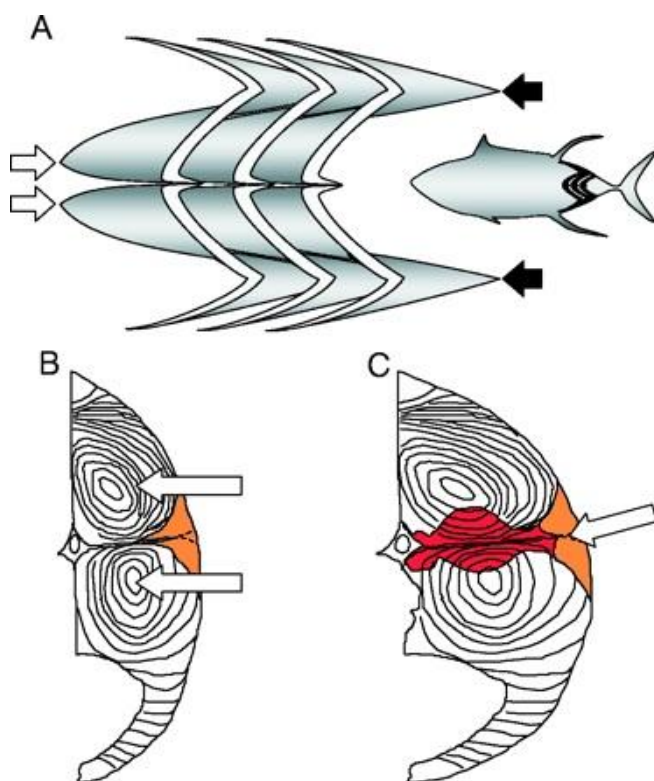
Κάτω από το δέρμα το πιο χαρακτηριστικό μέρος του σώματος το αποτελούν οι *κολυμβητικοί μύες* οι οποίοι και αναλογούν για περισσότερο από 50 % περίπου του συνολικού νεπού βάρους του ψαριού. Είναι οργανωμένοι σε δεσμίδες *μυομεριδίων* (myotomes) τα οποία έχουν χαρακτηριστική διάταξη «ζικ-ζακ» (Σχήμα 3). Μας ενδιαφέρουν πολύ στην ιχθυοκαλλιέργεια διότι αυτοί αποτελούν το βρώσιμο μέρος για τον καταναλωτή.

Σε κάθε μυομερίδιο οι *μυικές του ίνες* βρίσκονται σφιχτοδεμένες κατά παράλληλη διεύθυνση προς τη σπονδυλική στήλη, καλυπτόμενες από ίνες συνδετικού ιστού τα *μύοσεπτα* τα οποία δρουν ως *τένοντες* και επάνω στα οποία στερεώνονται οι μυικές ίνες.

Όταν το κρέας του ψαριού μαγειρευτεί, τα μύοσεπτα διαλύονται στην προκύπτουσα «σούπα», αφήνοντας τα μυομερίδια χαλαρωμένα πλέον να μεταπέσουν στη χαρακτηριστική κατάσταση των «νιφάδων» του μαγειρεμένου ψαρικού κρέατος.

Σε μικροσκοπική παρατήρηση οι μύες του ψαριού είναι ακριβώς όπως οι μύες των άλλων σπονδυλωτών, δηλαδή *γραμμωτού τύπου* (σε αντίθεση με αυτούς οι *λείοι μύες* του πεπτικού σωλήνα ή των αρτηριών είναι η άλλη κατηγορία μυών).

Ομως οι γραμμωτοί μύες των ψαριών διαφέρουν από αυτούς των περισσότερων σπονδυλωτών (και ιδιαίτερα των θηλαστικών), στο ότι η μεγαλύτερη μάζα εξ' αυτών έχει πολύ μικρή παρουσία αιμοφόρων αγγείων και απουσία *μυοσφαιρίνης* μιας χρωστικής που δεσμεύει οξυγόνο. Αυτή η μορφολογία τους δίδει στο κρέας του ψαριού το χαρακτηριστικό του ασπρουδερό χρώμα. Οι μύες αυτοί είναι γνωστοί ως *λευκοί μύες* και χρησιμοποιούνται από το ψάρι μόνο για δραστηριότητα σύντομης έντονης κολύμβησης. Την ενέργεια που χρειάζονται για μια τέτοια δραστηριότητα την παίρνουν *αναεροβίως* μετατρέποντας το σάκχαρο *γλυκογόνο* σε *γαλακτικό οξύ*. Το γαλακτικό οξύ που είναι τοξικό, συσσωρεύεται *τάχιστα* στις μυικές ίνες και το «κόστος» απαλλαγής από αυτό, είναι το λεγόμενο «*έλλειμμα οξυγόνου*» (oxygen debt) που το ψάρι πρέπει να πληρώσει με ενέργεια (και κατανάλωση οξυγόνου) μετά από τέτοιο «*λαχάνιασμα*». Αυτή η δυσμενής κατάσταση στα εκτρεφόμενα ψάρια δημιουργείται όταν το ψάρι «*παλεύει*» κατά τη διαλογή ή το δίχτυασμα και μπορεί να πάρει ακόμα και 24 ώρες για να επανέλθει στην ηρεμία ή μπορεί ακόμα και να *ψοφήσει* από *οξεία οξίνιση* αν μετά από έντονη άσκηση ή στρες δεν αφηθεί να *συνέλθει* καταλλήλως (ηρεμία, πολύ οξυγόνο κ.λπ.).



Σχήμα 3. Στα Α σχηματική κάτοψη των μυών του ψαριού με τη χαρακτηριστική ζικ-ζακ διάταξη των μυομεριδίων (στην εικόνα επίτηδες μεμονωμένα). Στο Β εγκάρσια τομή στο σώμα του ψαριού με τα μυομερίδια από λευκούς μύες στο μεγαλύτερο μέρος και μια στενή περιοχή κόκκινων μυών στο μέσον. Στο C η ίδια διάταξη στον πολύ κολυμβητικό τόννο όπου οι κόκκινοι μύες είναι περισσότεροι. Το βέλος δείχνει το διάφραγμα (κατά μήκος του σώματος του ψαριού) που χωρίζει την άνω και κάτω περιοχή των μυών.

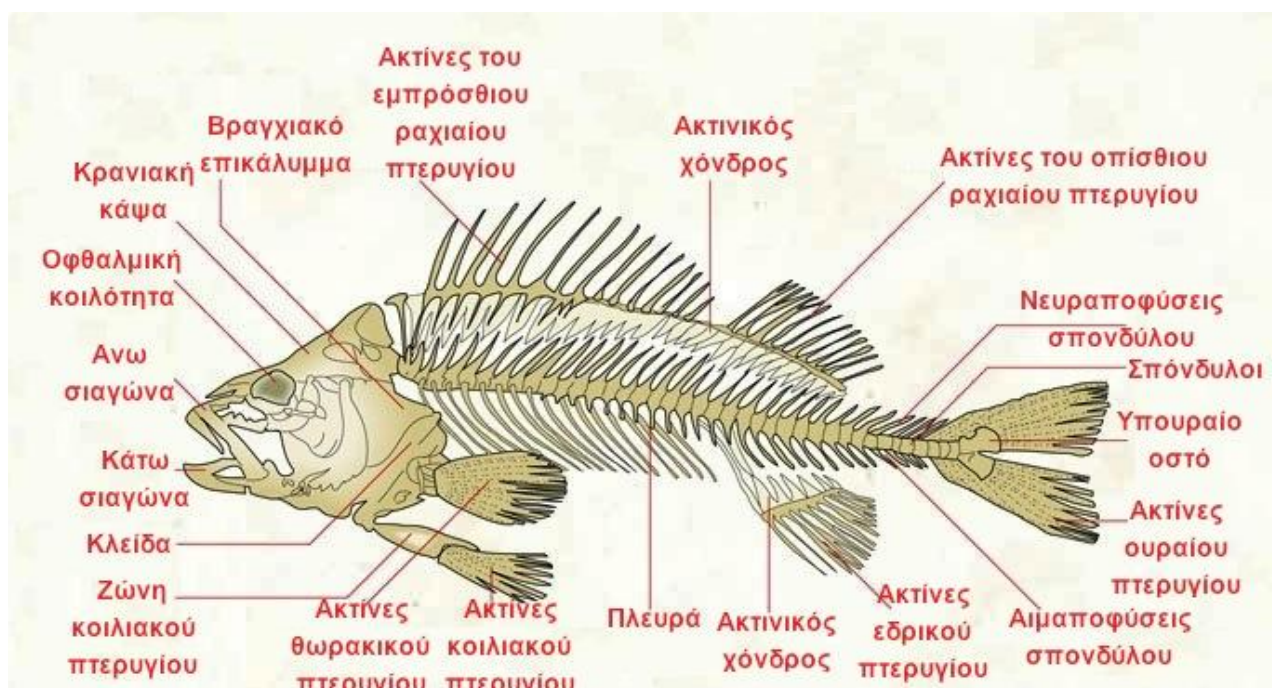
Τα ψάρια βεβαίως μπορούν να κολυμπούν με τους μύες τους να εργάζονται και *αεροβίως*. Όμως αυτή η ικανότητα (του αερόβιου μεταβολισμού στους μύες), περιορίζεται μόνο σε μια μικρή περιοχή με τους λεγόμενους *κόκκινους μύες* οι οποίοι λόγω της έντονης παρουσίας αιμοφόρων αγγείων εμφανίζονται κοκκινωποί στο χρώμα και είναι περιορισμένοι σε μια λεπτή λωρίδα σάρκας κατά μήκος του μέσου του σώματος (Σχήμα 3-C). Οι κόκκινοι μύες είναι πλούσιοι σε μυοσφαιρίνη και λόγω της καλής τους αιμάτωσης τροφοδοτούνται με πολύ οξυγόνο. Αυτοί είναι οι μύες που χρησιμοποιούνται τον περισσότερο καιρό από τα ψάρια για τη συνήθη κολύμβηση καθώς και για σταθερή συνεχή κολύμβηση σε ψάρια που διανύουν μεγάλες αποστάσεις όπως ο τόννος (π.χ. *Thunnus albacares*). Ενώ λοιπόν στα περισσότερα ζώα οι γραμμωτοί μύες τους μπορούν να δρουν συνήθως αεροβίως αλλά οι ίδιοι μύες σε συνθήκες καταπόνησης και αναεροβίως, στα ψάρια αυτοί οι δύο τρόποι αναπνοής είναι περιορισμένοι σε διαφορετικούς μύες.

Οι λευκοί μύες λοιπόν χρησιμοποιούνται ελάχιστα στη συνήθη και ήρεμη ζωή του ψαριού και για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται ως η κύρια «*αποθήκη ενέργειας*». Έτσι αντί το ψάρι να αποθηκεύει μάζες λίπους, αποθηκεύει την περισσευούμενη ενέργειά του ως περισσότερη μάζα μυών (να ένα από τα πλεονεκτήματα της ιχθυοκαλλιέργειας), η οποία μπορεί να του φανεί χρήσιμη σε επείγουσες καταστάσεις. Στην πραγματικότητα εάν το ψάρι τραφεί με μια δίαιτα πλούσια σε λίπη, θα αποθηκεύσει το πλεονάζον λίπος σε μάζες γύρω από τον πεπτικό του σωλήνα. Όμως στη φύση, η δίαιτα του ψαριού είναι υψηλής πρωτεϊνικής φύσεως και οι πρωτεΐνες αποθηκεύονται αποτελεσματικότερα στους μύες.

Επειδή λοιπόν οι λευκοί μύες είναι και «*αποθήκη*» των θρεπτικών υλικών της τροφής, η βιοχημική τους σύνθεση ποικίλλει. Αποτελούνται κυρίως από πρωτεΐνες, λίπη και νερό. Το όποιο λίπος τους όμως, αποθηκεύεται ανάμεσά στις μυικές ίνες υπό τη μορφή *σταγονιδίων ελαίου* και αυτό είναι που δίδει και την ιδιαίτερη νοστιμιά στο μαγειρεμένο ψάρι ιδιαίτερα στα καπνιστά. Ένα καλώς τραφέν ψάρι θα έχει υψηλά ποσοστά πρωτεΐνης και λίπους και σχετικά χαμηλά νερού. Εάν το ψάρι λιμοκτονήσει, τότε το λίπος θα χρησιμοποιηθεί πρώτο και θα αντικατασταθεί από νερό. Σάρκα από τέτοιο ψάρι θα δώσει πολύ μικρότερο βάρος μετά από μαγείρεμα ή κάπνισμα. Μετά από τα λίπη εφόσον το ψάρι εξακολουθεί να μην τρέφεται, χρησιμοποιεί για ενέργεια τις πρωτεΐνες του και το βάρος του αρχίζει να μειώνεται γρήγορα. Παρόμοια περίπτωση απαντάται κατά τη σεξουαλική ωρίμανση στους σολομούς, όπου το ψάρι σταματά να τρέφεται και μετατρέπει τα λίπη και τις πρωτεΐνες του σε αυγά και σπέρμα. Ψάρια σε αυτό το στάδιο δεν έχουν εμπορική αξία και η σάρκα τους είναι υδαρής, σκληρή, δυσάρεστη.

2.1.3. Σκελετός και οστά.

Το *κρανίο* των ψαριών είναι πολύ πολύπλοκο αποτελούμενο από πλήθος οστών συνδεδεμένων μεταξύ τους με εύκαμπτους συνδέσμους οι οποίοι διαλύονται όταν το ψάρι μαγειρευτεί. Μόνο η *κρανιακή κάψα* που περικλείει τον εγκέφαλο είναι ενιαία συμπαγής. Η εύκαμπτη κατασκευή του κρανίου επιτρέπει να εκτελούνται οι κινήσεις για την αναπνοή και την κατάποση της τροφής.



Σχήμα. 4. Το κρανίο, η σπονδυλική στήλη και τα διάφορα οστά και εξαρτήματά τους σε ένα τυπικό οστειθύ.

Το «ψαροκόκαλο» αποτελείται από τους πολυάριθμους σπονδύλους της σπονδυλικής στήλης με τις ραχιαίες και κοιλιακές αποφύσεις του καθενός (νευραποφύσεις και αιματοποφύσεις αντίστοιχα) (Σχήμα 4). Το εδρικό πτερύγιο στηρίζεται στο *υπουραίο οστό* που αποτελεί προϊόν σύμπτυξης των τελευταίων σπονδύλων και επάνω στο οποίο στηρίζονται οι ακτίνες του ουραίου.

Τα συζυγή πτερύγια (θωρακικά, κοιλιακά) στηρίζονται σε ειδικές *οστέινες ζώνες* (girdles) οι οποίες για μεν τα θωρακικά είναι προσκολλημένες στο κρανίο, για δε τα κοιλιακά χαλαρά στους κοιλιακούς μύες.

Σε αντίθεση με τα θηλαστικά, τα οστά του ψαριού δεν είναι «κούφια» και δεν έχουν *μυελό* (μεδούλι). Η *αιμοποιητική* λειτουργία του μυελού (ικανότητα των θηλαστικών) στα ψάρια γίνεται σε άλλα όργανα και κυρίως στα νεφρά του. Τα οστά του ψαριού επίσης έχουν την τάση να συμπήγουν τα οστικά τους κύτταρα κάτι που έχει ως συνέπεια το ότι άπαξ και το οστό σχηματιστεί κατά την ενήλικη ζωή του, είναι πλέον

μόνιμο και το ασβέστιό του δεν μπορεί να επαναπορροφηθεί όπως συμβαίνει στα λιμοκτονούντα θηλαστικά (ή και στους σε μηδενική βαρύτητα ευρισκόμενους αστροναύτες!!). Για το λόγο αυτό σπασίματα οστών ή παραμορφώσεις τους είναι δύσκολο να αποκατασταθούν στα ψάρια.

2.1.4. Τα όργανα της σπλαγγικής κοιλότητας - πεπτικό σύστημα.

Η μορφολογία του πεπτικού συστήματος διαφέρει ανάμεσα στα είδη των ψαριών αλλά σε γενικές γραμμές αποτελείται από τον *οισοφάγο*, τον *στόμαχο* και το *έντερο* που αποτελούν ένα ενιαίο σωλήνα με διάφορες εξογκώσεις και στενέματα και τα άλλα όργανα συνδεδεμένα με αυτόν, *συκώτι*, *σπλήνα*, *πάγκρεας*, *χοληδόχος κύστη*. Κατά μήκος του πεπτικού σωλήνα και στο άνω μέρος αυτού, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 1, υπάρχουν οι *γονάδες*, η *νηκτική κύστη* και τα *νεφρά*.

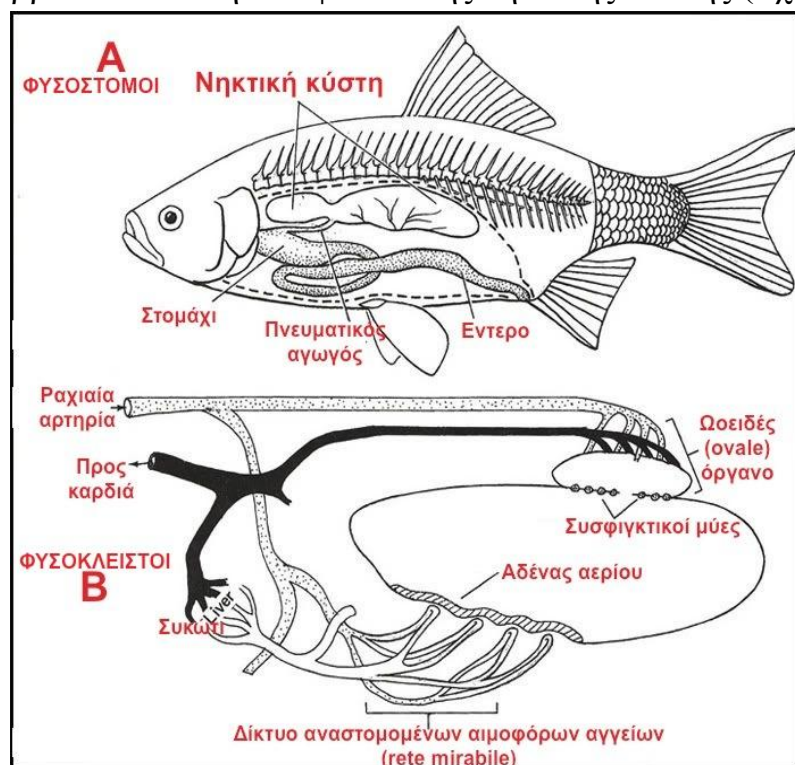
Ο *στόμαχος* είναι το πρώτο τμήμα του πεπτικού σωλήνα που συναντάμε αμέσως μετά τον οισοφάγο και συνήθως έχει σχήμα διογκωμένου «J» και ένα σφιγκτήρα (*πυλωρικός σφιγκτήρας*) στο τμήμα του εκείνο μετά το οποίο ακολουθεί το έντερο. Η τροφή περνά από τον πυλωρικό σφιγκτήρα ο οποίος περιβάλλεται από συσταλτό μυ μέσω του οποίου ελέγχεται το άδειασμα του στομαχικού περιεχομένου στο έντερο. Το πρώτο τμήμα του εντέρου σε πολλά είδη ψαριών (*σαλμονοειδή*, *κέφαλοι* κ.ά.) έχει διάφορες ποικίλες τον αριθμό τυφλές αποφύσεις τα *πυλωρικά τυφλά*. Στο εσωτερικό των πυλωρικών τυφλών γίνεται πέψη των πρωτεϊνών. Τα πεπτικά ένζυμα εκκρίνονται από το *πάγκρεας* το οποίο είναι ένας χαλαρός άσπρος ιστός γύρω από τα πυλωρικά τυφλά. Ενίοτε σε ψάρια τρεφόμενα στον κορεσμό υπάρχουν εναποθέσεις λίπους στην περιοχή αυτή.

Θα πρέπει να σημειωθεί εδώ ότι όλα τα είδη ψαριών δεν έχουν ένα διακριτό στόμαχο και γενικά μπορούμε να κατηγοριοποιήσουμε τα ψάρια σε *έχοντα στόμαχο* και σε *αστόμαχα*. Τα πρώτα είναι τα *σαρκοφάγα* ή γενικώς τα *ζωοφάγα* (*λαβράκι*, *τσιπούρα*, κ.λπ.) τα δεύτερα *φυτοφάγα* ή *παμφάγα* μικροσκοπικών πλαγκτονικών και παρόμοιων οργανισμών (π.χ. *κυπρίνος*). Αξιοσημείωτη περίπτωση αποτελούν τα *κεφαλοειδή*, τα οποία παρόλο που δεν μπορούν να καταταγούν στα *σαρκοφάγα*, έχουν *στόμαχο* και *μάλιστα μυώδη*, αλλά το όργανο αυτό δεν έχει πεπτική ικανότητα με την αυστηρή έννοια του όρου, παρά μόνο αποθηκευτική και θρυμματιστική, επειδή τα ψάρια αυτά καταπίνουν και πολλή άμμο από τον πυθμένα όπου ψάχνουν για τροφή και συνεπώς χρειάζονται ένα στιβαρό ανθεκτικό όργανο για να αντέχουν αυτά τα υλικά που καταπίνουν.

Το έντερο που ακολουθεί μετά τον στόμαχο έχει μορφή σωλήνα, ποικίλου μήκους ανάμεσα στα είδη των ψαριών (*κοντούτερος* στα *σαρκοφάγα*, *πολύ μακρύτερος* στα *φυτοφάγα*) και ο οποίος καταλήγει

στον πρωκτό. Προς το εμπρόσθιο μέρος του εντέρου χαλαρά συνδεδεμένος με το έντερο βρίσκεται η *σπλήνα* ένα κοκκινωπό όργανο υπεύθυνο και αυτό (μαζί με τα νεφρά) για την παραγωγή αιμοσφαιρίων. Ένα από τα πλέον εμφανή όργανα που συναντάμε όταν ανοίγουμε ένα ψάρι, είναι το *συκώτι* στο εμπρόσθιο μέρος της σπλαγχνικής κοιλότητας. Σε υγιή ψάρια έχει εμφάνιση σκουροκόκκινη ή καφέ. Κάπου στη μάζα του συκωτιού ένα έμπειρο μάτι θα διακρίνει τη μικρή *χοληδόχο κύστη*. Αυτή αποθηκεύει την πρασινωπού χρώματος *χολή* η οποία απελευθερώνεται μέσω ενός αγωγού στο έντερο για να εξουδετερώνει τα στομαχικά οξέα που υπάρχουν στην τροφή που περνά από τον στόμαχο στο έντερο. Σε ένα ψάρι που τρέφεται κανονικά η χοληδόχος κύστη αδειάζει κατά τακτικά διαστήματα. Αν η χοληδόχος κύστη είναι διεσταλμένη-φουσκωμένη, αυτό σημαίνει ότι το ψάρι δεν έχει τραφεί για αρκετές ημέρες.

Η *νηκτική κύστη* βρίσκεται στο άνω μέρος της σπλαγχνικής κοιλότητας και αποτελεί ένα «μπαλόνη» με λεπτό ημιδιαφανές «τοιχώμα» που περιέχει αέρα ποικίλου όγκου ανάλογα με την πλευστότητα που επιθυμεί να έχει το ψάρι. Το πόσο αέρα το ψάρι θα βάζει μέσα της ή θα απελευθερώνει, ρυθμίζεται από τον τρόπο με τον οποίο εισέρχεται ο αέρας σε αυτή. Στα *φυσόστομα* ψάρια (σαλμονιδή, στουργιόνια κ.ά.) υπάρχει ο *πνευματικός αγωγός* που ενώνει την νηκτική κύστη με τον οισοφάγο και το ψάρι μπορεί να «καταπιεί» αέρα από την επιφάνεια, ενώ στα *φυσόκλειστα* ψάρια (η πλειονότητα) δεν υπάρχει τέτοιος αγωγός και η είσοδος και έξοδος του αέρα στην κύστη γίνεται με βιοχημικές διαδικασίες στις ειδικές κατασκευές των αιμοφόρων αγγείων που βρίσκονται στην επιφάνεια της νηκτικής κύστης (Σχήμα 5).



Σχήμα. 5.

A φυσόστομοι ιχθύες.
B φυσόκλειστοι (δείχνεται μόνο η νηκτική κύστη).
Ο αέρας, (κυρίως οξυγόνο), απελευθερώνεται από τη rete mirabile στην κύστη και τη φουσκώνει, ενώ με την ενεργοποίηση (κατά βούληση) του ωοειδούς οργάνου διοχετεύεται το αέριο πίσω στα αιμοφόρα αγγεία και η κύστη ξεφουσκώνει.

Πάνω ακριβώς από τη νηκτική κύστη ένθεν και ένθεν της σπονδυλικής στήλης, υπάρχουν δύο μακριές «λωρίδες» μαυροκόκκινου χρώματος (Σχήμα 6) που διατρέχουν όλο το μήκος από το πίσω μέρος του κεφαλιού μέχρι το τέλος της σπλαγχνικής κοιλότητας, όπου ενώνονται σε ένα λεπτότατο αγωγό τον *ουρητήρα*. Συχνά ο κοινός άνθρωπος που καθαρίζει τα ψάρια για ετοιμασία μαγειρέματος, νομίζει ότι πρόκειται για θρόμβους αίματος, αλλά φυσικά πρόκειται για τα *νεφρά* (kidneys).



Σχήμα 6. Τα νεφρά του ψαριού όπως φαίνονται (δείχνονται με τα βελάκια) όταν ανοίξουμε το ψάρι και αφού έχει αφαιρεθεί η νηκτική κύστη. Τα δύο ασπρουδερά όργανα είναι οι γονάδες. Ανάμεσα στα νεφρά οι σπόνδυλοι της σπονδυλικής στήλης.

Τα νεφρά του ψαριού είναι *πολυλειτουργικά* όργανα. Εκεί παράγονται τα ούρα τα οποία διοχετεύονται διά ενός ουρητήρα από κάθε νεφρό στην ουροδόχο κύστη που βρίσκεται στο τέλος της σπλαγχνικής κοιλότητας. Τα ούρα δημιουργούνται σε ειδικά νεφρικά σωληνάκια που βρίσκονται διεσπαρμένα στο μεγαλύτερο μέρος της μάζας των νεφρών. Στα νεφρά επιτελείται η σημαντικότερη διεργασία της *ωσμωρύθμισης* για την οποία θα αναφερθούμε εκτενέστερα σε ειδική παράγραφο. Το πλεονάζον άζωτο στα ψάρια, σε αντίθεση με τα θηλαστικά, δεν αποβάλλεται ως ουρία από τα νεφρά αλλά ως *αμμωνία* από τα βράγχια απευθείας στο νερό (*αμμωνιοτελικά ζώα*).

Τα νεφρά έχουν επίσης και *αιμοποιητική* ικανότητα καθώς και *ορμονοεκκριτική* ικανότητα από ειδικό αιμοποιητικό και εκκριτικό ιστό

που βρίσκεται ανάμεσα στα νεφρικά σωληνάκια στο εμπρόσθιο τμήμα τους (αυτό πίσω από το κεφάλι). Δηλαδή ο αιμοποιητικός ιστός των νεφρών είναι το αντίστοιχο του μυελού των οστών των θηλαστικών στην παραγωγή αιμοσφαιρίων. Τα κύτταρα που εκκρίνουν ορμόνες είναι αυτά του λεγόμενου *χρωμοφιλικού* (chromaffin) ιστού ο οποίος εκκρίνει *αδρεναλίνη* και *νοραδρεναλίνη* (επινεφρίνη και νορεπινεφρίνη) και αυτά που εκκρίνουν *κορτιζόνη*. Είναι ανάλογα των επινεφριδίων των θηλαστικών και οι παραγόμενες ουσίες εμπλέκονται στις καταστάσεις στρες, προετοιμάζοντας το ψάρι είτε για διαφυγή είτε για «μάχη».

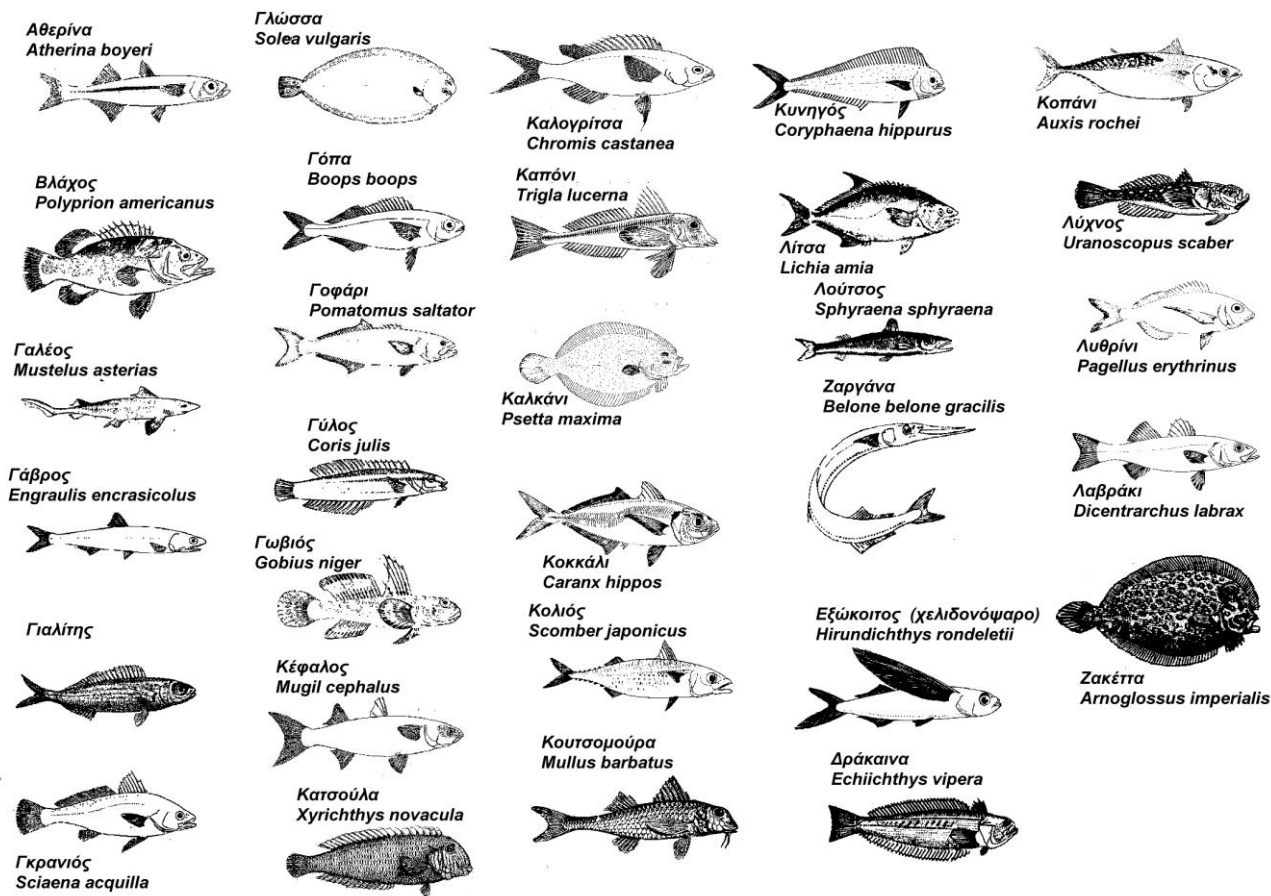
2.2. Μετακίνηση μέσα στο νερό (Andrews, Exell & Carrington, 1988).

Καθώς το νερό είναι 800 φορές πυκνότερο από τον αέρα, η μετακίνηση του ψαριού μέσα σε αυτό είναι προβληματική έχοντας να αντιμετωπίσει την τριβή, τη βύθιση και την προσπάθεια για να εκτοπίζει το σώμα του ένα τέτοιο πυκνό μέσο. Συνεπώς το σχήμα του σώματος και η προσαρμογή σε αποτελεσματική κολύμβηση είναι άρρηκτα συνδεδεμένα με τον τρόπο ζωής του ψαριού και των αναγκών του για μετακίνηση.

Στο Σχήμα 7 φαίνονται χαρακτηριστικά παραδείγματα της ποικιλίας των σωμάτων των ψαριών.

Τρία χαρακτηριστικά είδη ψαριών δίδουν ένα καλό παράδειγμα της μεγάλης ποικιλίας στην κατασκευή του σώματος, όπως αυτή εξυπηρετεί την προσαρμογή στο τρόπο ζωής τους.

Το πρώτο είναι το *λυθρίνι*. Δεν έχει σώμα ατρακτοειδές καθώς δεν απαιτείται να κολυμπά με μεγάλη ταχύτητα. Έχει νηκτική κύστη που το βοηθά να διατηρεί το σώμα του στο επιθυμητό βάθος και επικράτηση μυών λευκού τύπου κατάλληλων για σύντομα ξεσπάσματα ταχύτητας.



Σχήμα 7. Χαρακτηριστικά είδη ψαριών ποικίλων σωματικών διαμορφώσεων.

Το δεύτερο είναι το κοπάνι. Ένα τοννοειδές ψάρι με ατρακτοειδές σχήμα που μαρτυρά την έντονη κολυμβητική του ικανότητα και ταχύτητα που μπορεί να αναπτύξει. Οι μύες του αποτελούνται σε μεγάλο βαθμό από κόκκινου τύπου και τροφοδοτούνται συνεχώς από καλά οξυγονωμένο αίμα. Το σχήμα του σώματός του σε συνδυασμό με την απουσία νηκτικής κύστης το βοηθούν να μειώνει την αρνητική επίδραση της τριβής καθώς «σχίζει» το νερό.

Το τρίτο είναι η γλώσσα και τα συγγενή της είδη (καλκάνι, ζακέτα κ.ά.) τα οποία είναι βενθικά. Ζώντας στον πυθμένα δεν έχουν ιδιαίτερες κολυμβητικές απαιτήσεις, δεν χρειάζονται τη νηκτική κύστη ούτε κόκκινους μύες (η σάρκα τους είναι λευκή ως γνωστόν) και το μόνο που έχουν ανάγκη είναι η προσαρμογή στο επίπεδο του βυθού. Για το λόγο αυτό έχουν πεπλατυσμένο σχήμα, ικανότητα καμουφλάζ με την κατάλληλη ενεργοποίηση των χρωματοφόρων κυττάρων της επιδερμίδας των και μάτια τοποθετημένα να κοιτούν προς τα πάνω προς ανίχνευση των εχθρών τους.

2.3. Αισθητήρια όργανα και συντονισμός (Andrews, Exell & Carrington, 1988).

Όπως όλα τα ζώα, το ψάρι χρειάζεται να αισθάνεται το τι συμβαίνει γύρω του. Χρειάζεται αισθητήρια όργανα για να εκτελούν και να ελέγχουν τις

ζωικές λειτουργίες της ζωής, όπως τον προσανατολισμό τους, την επικοινωνία, την επίθεση, την άμυνα και τον εντοπισμό της τροφής.

Ως αντιληπτό από τις αισθήσεις περιβάλλον, το νερό διαφέρει από τον αέρα σε σημαντικές ιδιότητες. Το φως απορροφάται έντονα από το νερό όμως η όποια θολερότητα μειώνει την ορατότητα. Ο ήχος ταξιδεύει πολύ πιο γρήγορα στο νερό απ' ότι στον αέρα επειδή το νερό είναι πυκνότερο από τον αέρα. Όλες οι χημικές ενώσεις συμπεριλαμβανομένων αυτών που προκύπτουν από την τροφή, διαλυόμενες στο νερό και διαχεόμενες εύκολα σε αυτό, καθιστούν τις αισθήσεις της όσφρησης και της γεύσης ιδιαίτερα χρηστικές και σημαντικές.

Ο συντονισμός και ο έλεγχος των σωματικών διεργασιών που προκύπτουν από εξωτερικά και εσωτερικά ερεθίσματα, επιτυγχάνεται από τον εγκέφαλο σε συνεργασία με το νευρικό και ενδοκρινικό σύστημα (Σχήμα 13 για τους ενδοκρινείς αδένες).

Ο εγκέφαλος λαμβάνει και αποκωδικοποιεί πληροφορίες από τα αισθητήρια όργανα (μάτια, πλευρική γραμμή κ.ά.) και κατόπιν συντονίζει και προκαλεί τη σωστή δραστηριοποίηση του κατάλληλου οργάνου του σώματος.

Ο εγκέφαλος πέραν του ότι είναι η θέση για εκμάθηση και μνήμη, είναι και το συντονιστικό όργανο των αυτόματων δράσεων της αναπνοής και της καρδιακής λειτουργίας τα οποία μεταβάλλουν ρυθμό ανάλογα με τις απαιτήσεις και αυτόματα ως αντίδραση (ρεφλέξ) σε αλλαγές που συμβαίνουν στο νερό.

Το νευρικό σύστημα είναι υπεύθυνο για ταχείες αλλαγές στη φυσιολογική κατάσταση του ψαριού. Τα νευρικά μηνύματα είναι ηλεκτρικοί παλμοί οι οποίοι ταξιδεύουν ιλιγγιωδώς γρήγορα κατά μήκος των δικτύων που αποτελούνται από μονωμένες νευρικές ίνες. Οι αισθητήριες νευρικές ίνες μεταφέρουν μηνύματα στον εγκέφαλο ενώ οι μηχανικές (motor) νευρικές ίνες μεταφέρουν μηνύματα από τον εγκέφαλο στο όργανο προς ενεργοποίηση.

Το ενδοκρινικό σύστημα αντιδρά λιγότερο γρήγορα απ' ότι το νευρικό και αποστολή του είναι να ελέγχει τα ζωτικά όργανα με σκοπό τη διατήρηση σταθερού εσωτερικού περιβάλλοντος. Το σύστημα αποτελείται από ορισμένους ενδοκρινείς αδένες (δηλαδή αδένες οι οποίοι χύνουν το προϊόν τους απευθείας στο αίμα) οι οποίοι παράγουν χημικούς «αγγελιαφόρους», τις γνωστές *ορμόνες*, οι οποίες διά του αίματος μεταφέρονται στο όργανο στόχο (Σχήμα 13).

2.3.1. Οραση (Andrews, Exell & Carrington, 1988).

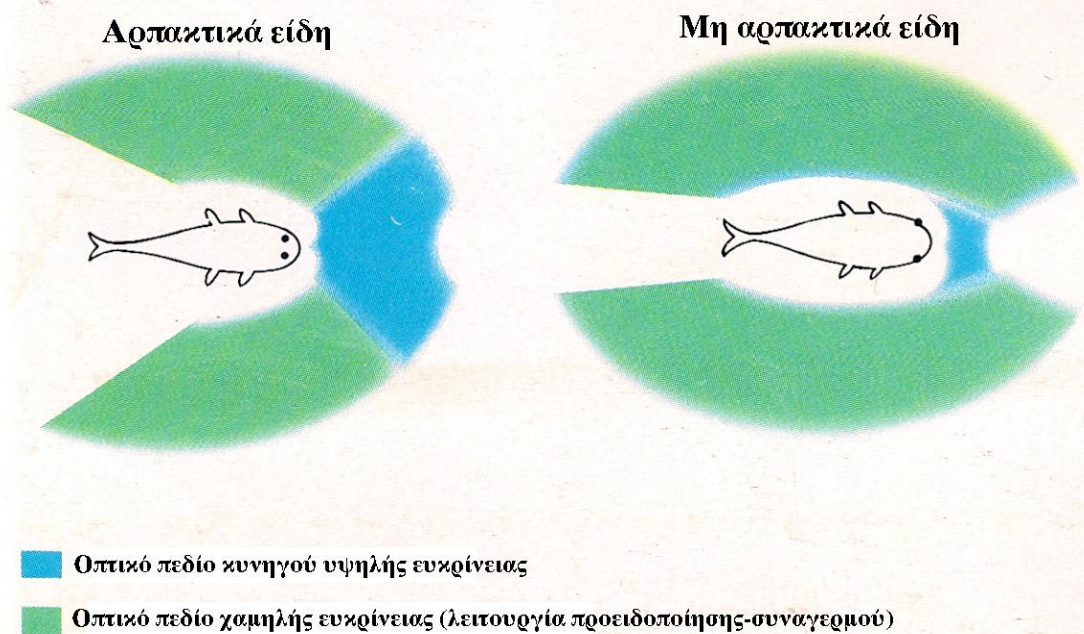
Το μάτι του ψαριού στη βασική του δομή είναι παρόμοιο με των άλλων σπονδυλωτών. Διαφέρει μόνο στο διά της εξελικτικής προσαρμογής του σφαιρικό σχήμα του φακού του (το άσπρο σκληρό σφαιρίδιο που βρίσκουμε στο μαγειρεμένο κεφάλι του ψαριού). Το ψάρι μπορεί να

εστιάζει επιλεκτικά σε αμφότερα κοντινά και μακρινά αντικείμενα και το πεδίο ορατότητάς του εξαρτάται από τη θέση που είναι τοποθετημένα τα μάτια στο κεφάλι (Σχήμα 8).

Τα αρπακτικά ψάρια όπως το λαβράκι έχουν τα μάτια τοποθετημένα αρκετά μπροστά στο κεφάλι έτσι ώστε να έχουν ένα μεγάλο εύρος πεδίου με καλή εστίαση για να εξυπηρετείται η επίθεσή τους στο υποψήφιο θύμα. Αντιθέτως, τα μη αρπακτικά είδη (π.χ. γαύρος) τα έχουν τοποθετημένα πλευρικώς στο κεφάλι, επειδή για αυτά είναι σημαντικότερο ένα ευρύ εύρος πεδίου περιφερειακής όρασης για να προστατεύονται από τους πανταχού ερχόμενους θηρευτές.

Από μελέτη της ανατομίας του ματιού των ψαριών και από διάφορα πειράματα προκύπτει ότι τα ψάρια βλέπουν τον κόσμο έγχρωμα.

Η θέση των ματιών στα ψάρια και το οπτικό τους πεδίο



Σχήμα 8. Η θέση των ματιών στα ψάρια και το οπτικό τους πεδίο. (Από Andrews, Exell & Carrington, τροποποιημένο από Χώτος).

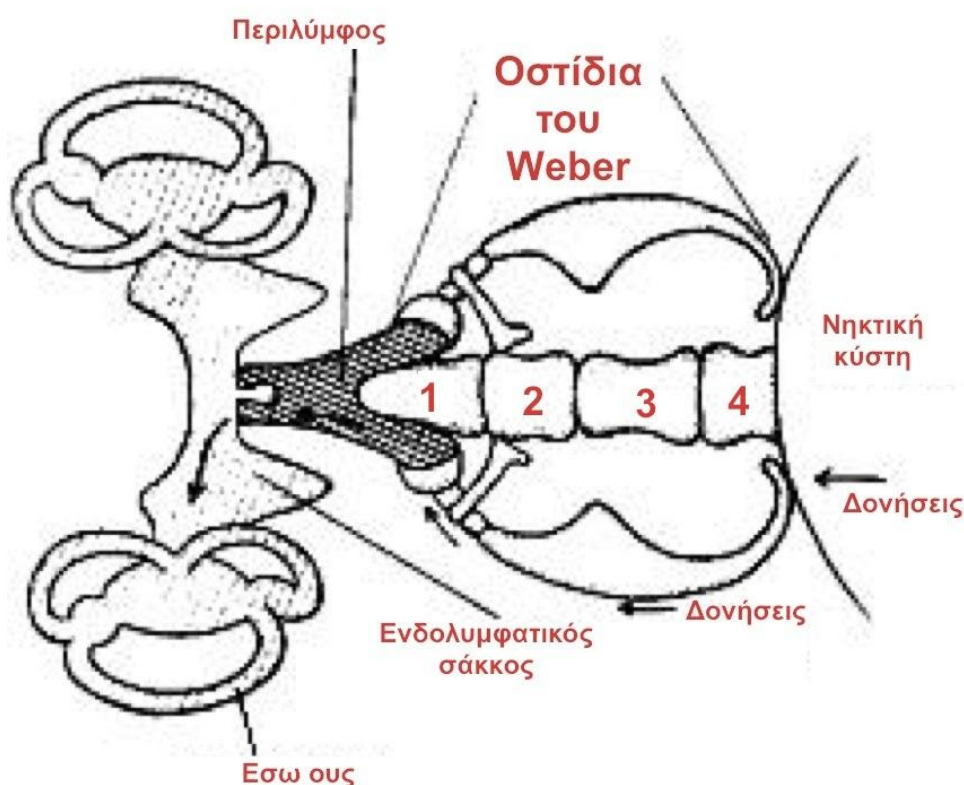
2.3.2. Ηχος, πίεση και προσανατολισμός (Andrews, Exell & Carrington, 1988).

Τα ψάρια μπορούν να αισθάνονται τους ήχους οι οποίοι στο νερό εμφανίζονται ως κύματα πίεσης. Διαθέτουν ένα μοναδικό στο είδος του σύστημα, αυτό της *πλευρικής γραμμής*, το οποίο αποτελείται από σειρές καναλιών και μικροσκοπικών οπών (μέσα στις οποίες βρίσκονται νευρικές απολήξεις) τοποθετημένα κάτω ακριβώς από την επιδερμίδα. Τα κύρια κανάλια του συστήματος της πλευρικής γραμμής βρίσκονται ανά ένα σε κάθε πλευρά του σώματος στο μέσο επίπεδο αυτής, διατρέχοντας κατά μήκος το σώμα από το κεφάλι έως τον ουραίο μίσχο.

Το σύστημα της πλευρικής γραμμής είναι από τη φύση του προσαρμοσμένο να αγνοεί το «θόρυβο υποστρώματος» και συλλαμβάνει ήχους που δονούνται με συχνότητα $1/10 - 200$ Hz (κύκλους ανά sec).

Τα ψάρια διαθέτουν επίσης ένα έσω ους το οποίο συλλαμβάνει ήχους υψηλότερης συχνότητας μέχρι περίπου τα 8.000 Hz.

Σε ορισμένα είδη όπως ο κυπρίνος, το σύστημα του έσω ωτός παρουσιάζει ειδική διαμόρφωση και βρίσκεται σε επαφή με τη νηκτική κύστη. Η νηκτική κύστη δρα ως συλλέκτης και ενισχυτής των ήχων τους οποίους μεταβιβάζει στο έσω ους διά μέσου μιας σειράς ενωμένων οστίδιων (μικρά οστά) τα επιλεγόμενα *οστίδια του Weber* (Σχήμα 9).



Σχήμα 9. Το σύστημα πρόσληψης ήχων του κυπρίνου. Τα ημικύκλια αριστερά αποτελούν το έσω ους. Τα οστίδια του Weber (Weberian ossicles) είναι τα 4 λευκά οστίδια τα οποία εφάπτονται στο εμπρόσθιο μέρος της νηκτικής κύστης (swim bladder). Οι δονήσεις από τη νηκτική κύστη μεταβιβάζονται από τα οστίδια διά του περιλυμφατικού υγρού (perilymph) στον ενδολυμφατικό σάκο (endolymphatic sac) και τελικά φθάνουν στο έσω ους (internal ear) και διά νευρών τελικά στον εγκέφαλο όπου αποκωδικοποιούνται ως ήχος.

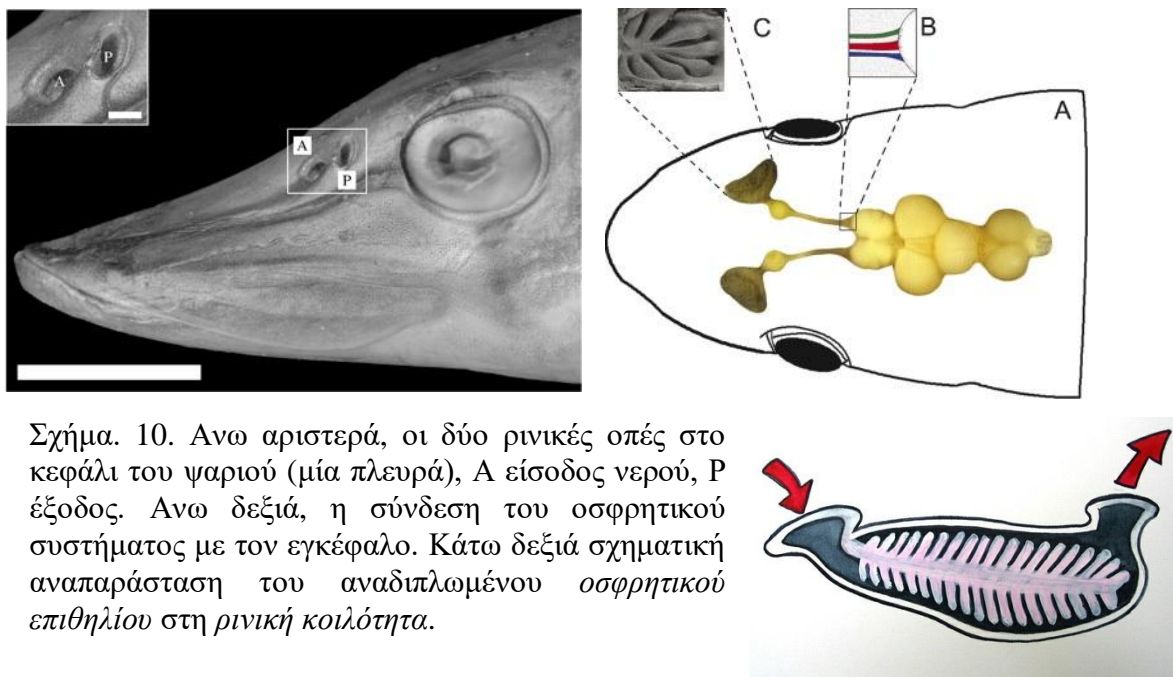
Το έσω ους διαθέτει επίσης αισθητήριες ικανότητες που εξυπηρετούν την ισορροπία στάσης του σώματος στον τρισδιάστατο χώρο μέσα στο νερό. Οι *ωτόλιθοι*, μικρές ασβεστολιθικές «πέτρες» μέσα στα *ημικυκλικά κανάλια* του ωτός (οι ημικυκλικές κατασκευές άκρη αριστερά στο Σχήμα 9), αισθάνονται την κλίση του κεφαλιού καθώς επίσης και την επιτάχυνση. Επίσης η *λύμφος* στα ημικυκλικά κανάλια με την κίνηση του

ψαριού κινείται και αυτή ερεθίζοντας αισθητήριους νευροαποδοχείς και τελικώς η συνδυασμένη αίσθηση από τους ωτόλιθους και τη λύμφο δίδει στο ψάρι την ικανότητα να αντιλαμβάνεται κάθε είδους κίνηση και να ισορροπεί κατά βούληση στο νερό.

2.3.3. Οσφρηση και γεύση (Andrews, Exell & Carrington, 1988).

Από τις πιο σημαντικές αισθητήριες ικανότητες του ψαριού είναι η υψηλώς αναπτυγμένη ικανότητά του να αντιδρά σε χημικές ουσίες διαλυμένες στο νερό, κάτι που είναι ζωτικότατης σημασίας για την επικοινωνία με άλλα άτομα και για την ανεύρεση της τροφής. Η διάκριση μεταξύ όσφρησης και γεύσης δεν είναι εύκολο να γίνει και είναι προτιμότερο και για τις δύο αυτές αισθήσεις να χρησιμοποιείται ο όρος *χημειοαποδέκτες* (chemoreceptors). Υπάρχουν ειδικές θέσεις χημειοαποδεκτών συγκεντρωμένων μέσα στις ρινικές οπές (Σχήμα 10), διασκορπισμένων στη στοματική κοιλότητα, εξωτερικά στο κεφάλι και σε ορισμένα είδη ψαριών ακόμα και στο υπόλοιπο σώμα.

Σε ορισμένα ψάρια όπως τα γατόψαρα, οι χημειοαποδέκτες από κοινού με αισθητήρες αφής βρίσκονται συγκεντρωμένοι στους *μύστακες* που διαθέτουν και οι οποίοι χρησιμοποιούν για την ανεύρεση τροφής ακόμα και σε θολά νερά ακόμα και στο σκοτάδι, καθώς τέτοια είδη ψαριών είναι νυκτόβια.



Σχήμα. 10. Ανω αριστερά, οι δύο ρινικές οπές στο κεφάλι του ψαριού (μία πλευρά), Α είσοδος νερού, Ρ έξοδος. Ανω δεξιά, η σύνδεση του οσφρητικού συστήματος με τον εγκέφαλο. Κάτω δεξιά σχηματική αναπαράσταση του αναδιπλωμένου οσφρητικού επιθηλίου στη ρινική κοιλότητα.

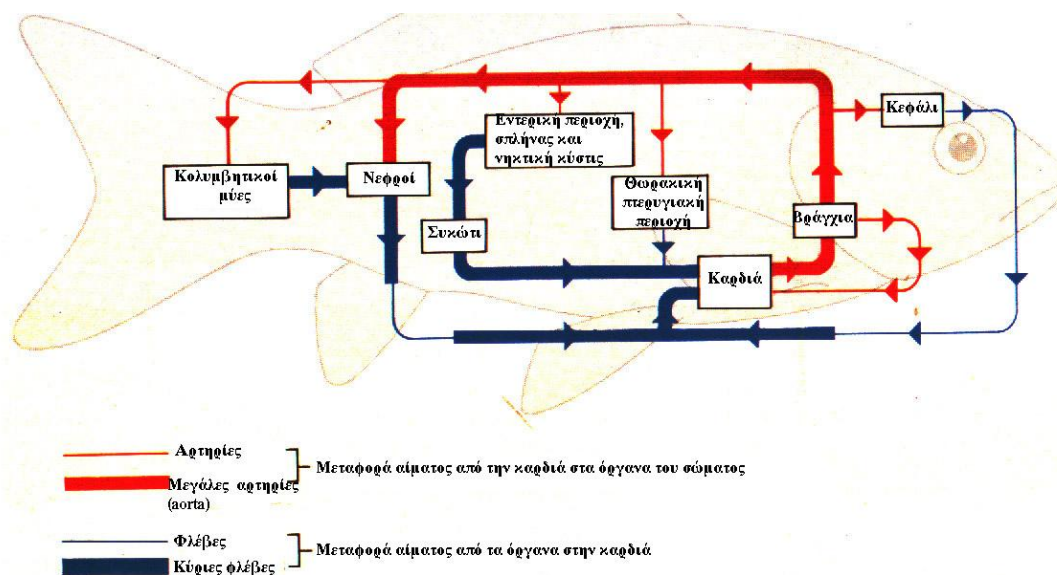
2.4. Το καρδιαγγειακό σύστημα (Andrews, Exell & Carrington, 1988).

Το καρδιαγγειακό σύστημα είναι ένα εσωτερικό σύστημα μεταφοράς, που συνενώνει κάθε όργανο και κύτταρο του σώματος και συνάμα επιτελεί διάφορες λειτουργίες. Αποτελείται από μια αντλία –την *καρδιά*– η οποία κυκλοφορεί το υγρό μέσο μεταφοράς ποικίλων ουσιών –το *αίμα*– μέσα από ένα εκτεταμένο δίκτυο συστήματος «σωληνώσεων», δηλαδή

των αρτηριών, των φλεβών και των μικρών αγγείων (Σχήμα 11). Στα ψάρια η καρδιά είναι μια απλή τετραθάλαμη κατασκευή με μόνο δύο βαλβίδες. Δεν είναι μια πολύ δυνατή αντλία, πράγμα που σημαίνει ότι η κυκλοφορία του αίματος είναι αργή και ως εκ τούτου οι ιστοί του σώματος οι πλέον απομακρυσμένοι από την καρδιά βρίσκονται σε «μειονεκτική» θέση καθώς δέχονται «ασθμαίνοντας» οξυγόνο και θρεπτικά και επιπλέον δεν μπορούν να απαλλαγούν εύκολα από τα υποπροϊόντα του μεταβολισμού των.

Ο ρυθμός της κυκλοφορίας του αίματος μπορεί να αυξηθεί εξαιτίας περιβαλλοντικών απαιτήσεων και επίσης, ορμόνες που εκκρίνονται από το ενδοκρινικό σύστημα μπορεί να προκαλέσουν αύξηση του καρδιακού ρυθμού και ως εκ τούτου αύξηση στον όγκο του αίματος που κυκλοφορεί στη μονάδα του χρόνου. Επιπρόσθετα οι μικρότερες αρτηρίες μπορούν και να διασταλούν μειώνοντας έτσι την αντίσταση στην κυκλοφορία του αίματος.

Το αίμα είναι ένα σύνθετο μέσο, με 30-50 % της μάζας του αποτελούμενο από αιματοκύτταρα. Τα περισσότερα από αυτά είναι ερυθρά αιμοσφαίρια τα οποία μεταφέρουν οξυγόνο (και διοξείδιο του άνθρακα) και τα υπόλοιπα λευκά αιμοσφαίρια τα οποία σχετίζονται με το ανοσοποιητικό σύστημα. Το υπόλοιπο του αίματος (πέραν των αιμοσφαιρίων) είναι το πλάσμα και αποτελείται κυρίως από νερό, άλατα και ουσίες προς μεταφορά όπως η γλυκόζη, που χρησιμεύει ως ενεργειακό «καύσιμο» του οργανισμού και επιπλέον με όλες εκείνες τις ουσίες που αποτελούν προϊόντα καταβολισμού από όλους τους ιστούς του σώματος.



Σχήμα 11. Το καρδιαγγειακό σύστημα του ψαριού σε απλοποιημένη μορφή. (Από Andrews, Exell & Carrington, τροποποιημένο από Χότος).

2.5. Το ανοσοποιητικό σύστημα του ψαριού (Andrews, Exell & Carrington, 1988).

Αν και λιγότερο ικανό από το αντίστοιχο των θηλαστικών, τα ψάρια διαθέτουν *ανοσοποιητικό σύστημα* που τα προστατεύει από τις ασθένειες. Η πρώτη γραμμή άμυνας συνίσταται στην παρεμπόδιση των παθογόνων οργανισμών να εισβάλλουν διά φυσικών τρόπων στο σώμα του ψαριού. Τα ψάρια έχουν ένα πρώτο φράγμα σε αυτά τα παθογόνα υπό τη μορφή των λεπιών, και των στρωμάτων της επιδερμίδας και της δερμίδας, τα οποία παρέχουν κάποια προστασία, όχι μόνο στην εισβολή των παθογόνων αλλά και στη δημιουργία πληγών οι οποίες αν συμβούν αποτελούν πύλη αθρόας εισόδου για τους παθογόνους οργανισμούς. Αυτό λοιπόν το πρώτο φράγμα-στρώμα, ενισχύεται επιπροσθέτως από μια κάλυψη με βλέννα η οποία έχει και αντιμικροβιακή και αντιμυκητιακή ικανότητα. Η *μεμβράνη βλέννας* που καλύπτει το σώμα, συνεχώς ανανεώνεται υποβοηθώντας και την αναγεννητική δραστηριότητα της επιδερμίδας, τα απορριπτόμενα κομμάτια της οποίας συμπαρασύρουν μαζί τους και ορισμένα τυχόν εκτοπαράσιτα.

Στο εσωτερικό του ψαριού ένα άλλο πεδίο άμυνας στα παθογόνα είναι ο πεπτικός σωλήνας, όπου η δράση των πεπτικών ενζύμων και το ακραίο pH των υγρών του, δρουν ανασταλτικά στον πολλαπλασιασμό των παθογόνων.

Στο αίμα υπάρχουν ουσίες οι οποίες βοηθούν την *ανοσία* καθώς μπορούν να επιτίθενται άμεσα στους παθογόνους οργανισμούς. Τέτοιες ουσίες είναι η *ιντερφερόνη* και η *C-αντιδρώσα πρωτεΐνη* που δρουν ενάντια στα βακτήρια και τους ιούς.

Η πρώτη συντονισμένη αντίδραση του σώματος στους εισβολείς οι οποίοι κυκλοφορούν στο αίμα, είναι το σφράγισμα του «σωματικού ρήγματος» από το οποίο εισήλθαν, αφενός για να εμποδίσει την είσοδο περισσότερων και αφετέρου για να αποφύγει ωσμωρυθμιστικά προβλήματα. Η *φλεγμονή* σε οποιοδήποτε μέρος του σώματος προκαλεί την έκκριση *ισταμίνης* και άλλων συναφών ουσιών από τα τραυματισμένα κύτταρα στην φλεγμονή με σκοπό το σφράγισμα των αιμοφόρων αγγείων. Συγχρόνως η πρωτεΐνη του αίματος *ινωδογόνο* και πηκτικές ουσίες σφραγίζουν την περιοχή με ινώδες «τείχος». Επιπρόσθετα στην περιοχή προσελκύνονται λευκά αιμοσφαίρια και αφού καταπιούν τους παθογόνους εισβολείς τους μεταφέρουν στα νεφρά και στον σπλήνα. Ομως και δυστυχώς, πολλά από τα βακτήρια έχουν την ικανότητα να γλιτώνουν από αυτή την «μάχη» που δίδει ο οργανισμός στη φλεγμονή, είτε διά της απελευθέρωσης τοξινών που καταστρέφουν τα λευκά αιμοσφαίρια, είτε παράγοντας ουσίες που διαλύουν το ινώδες τείχος, καταφέρνοντας έτσι να εξαπλωθούν σε όλο το σώμα.

Στα νεφρά και στον σπλήνα παράγονται *αντισώματα* τα οποία θα δράσουν ειδικά εναντίον των εισβολέων οι οποίοι αποτελούν τα *αντιγόνα*.

Η διαδικασία παραγωγής αντισωμάτων διαρκεί μέχρι και δύο εβδομάδες. Κάθε αντίσωμα προσκολλάται στο ειδικό του αντιγόνο και δρα εναντίον του με ποικίλους τρόπους. Μπορεί να αποτοξινώνει το αντιγόνο έτσι που να μπορεί πλέον να «φαγωθεί» από τα λευκά αιμοσφαίρια, μπορεί να αδρανοποιεί την αναπαραγωγική του ικανότητα εμποδίζοντας τον πολλαπλασιασμό του ή μπορεί και να εκλύει ένα ειδικό συστατικό του αίματος (τον λεγόμενο συμπληρωματικό παράγοντα) το οποίο καταστρέφει το αντιγονικό κύτταρο.

Εάν το ειδικό αντιγόνο έχει αντιμετωπισθεί από το ψάρι και στο παρελθόν, το ανοσοποιητικό σύστημα θα αντιδράσει πιο γρήγορα, καθώς τα ειδικά αντισώματα ήδη υπάρχουν και θα πολλαπλασιαστούν ταχύτατα με το που έλθουν σε επαφή με το αντιγόνο. Αυτό ακριβώς συνιστά την ουσία του *εμβολιασμού* που ευρέως πλέον αποτελεί συνήθη πρακτική στις ιχθυοκαλλιέργειες. Ο εμβολιασμός συνίσταται στην εισαγωγή στο ψάρι εξασθενημένων παθογόνων οργανισμών (δηλαδή εξασθενημένων αντιγόνων), με αποτέλεσμα να προκαλείται στο ψάρι η παραγωγή ικανής ποσότητας αντισωμάτων για το ειδικό αντιγόνο. Τα αντισώματα αυτά θα κυκλοφορούν στο αίμα ως εφεδρεία άμυνας, αυξάνοντας έτσι τις πιθανότητες επιβίωσης του ψαριού, αν και όταν προσβληθεί από τον συγκεκριμένο παθογόνο οργανισμό.

Η αποτελεσματικότητα του ανοσοποιητικού συστήματος του ψαριού είναι άμεσα σχετιζόμενη με το περιβάλλον του. Το ρυπασμένο νερό μειώνει την ικανότητα του ανοσοποιητικού. Επιπλέον σε χαμηλές θερμοκρασίες το ανοσοποιητικό υπολειτουργεί και αν αυτό συνδυαστεί με προσβολή παθογόνων τα οποία αντέχουν σε αυτές τις συνθήκες, τότε ο θάνατος του ψαριού είναι αναπόφευκτος. Πρέπει επίσης να αναφερθεί ότι τα ψάρια όταν ασθενούν παρουσιάζουν «συμπτώματα πυρετού» με προτίμηση για θερμότερο νερό.

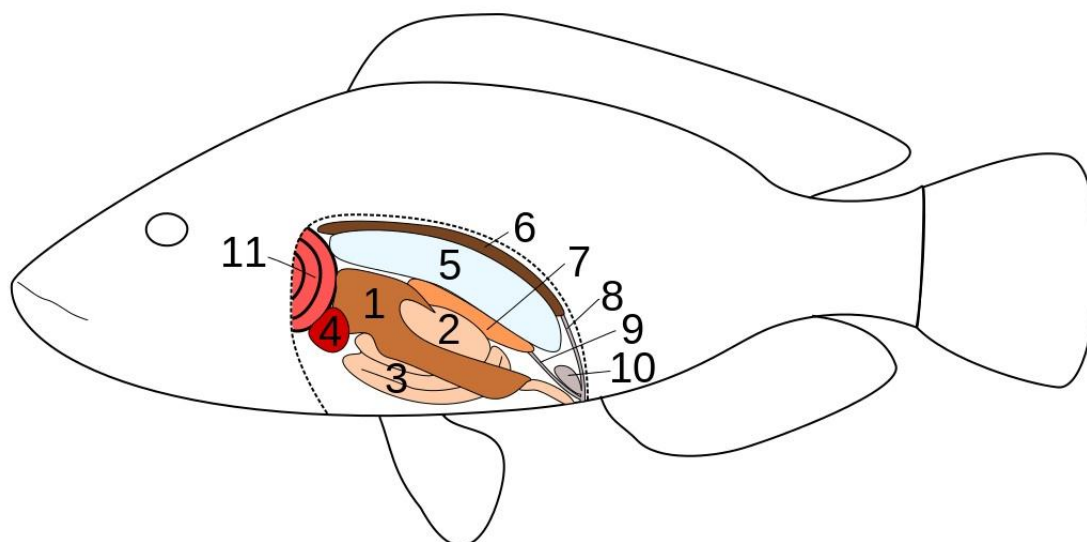
2.6. Αναπαραγωγή (Andrews, Exell & Carrington, 1988).

Η επιβίωση ενός είδους εξαρτάται από την ικανότητά του να αναπαράγει τον εαυτό του και ως προς αυτό, τα ψάρια έχουν αναπτύξει ποικιλία επιτυχημένων «στρατηγικών». Κοινό σημείο όλων αυτών των στρατηγικών είναι η χρησιμοποίηση με τον πλέον αποδοτικό τρόπο της μεταβολικής ενέργειας που είναι προορισμένη για την παραγωγή απογόνων. Αποδοτικός τρόπος σημαίνει ισορροπία μεταξύ του αριθμού και του μεγέθους των αυγών που παράγονται, με την προσπάθεια που καταβάλλεται για γονική προστασία.

Κάποια είδη ψαριών αναπαράγονται μόνο όταν υπάρχει περίσσεια τροφής (ενέργειας), ενώ άλλα αναπαράγονται με ένταση ανάλογη με την διαθέσιμη τροφή. Κάποια άλλα είδη αναπαράγονται ανεξάρτητα από το αν υπάρχει τροφή ή όχι ακόμα και σε βάρος κάθε διαθέσιμης ενέργειας από το σώμα τους, ακόμα και με τίμημα τη ζωή τους.

Στους οστειχθύες τα αναπαραγωγικά όργανα (γονάδες) μορφοποιούνται σε *όρχεις* (αρσενικά) ή *ωοθήκες* (θηλυκά), σύμφωνα με τις οδηγίες για το φύλο τους που έχουν δοθεί από τα γονίδια τους. Παρόλα αυτά κάποια είδη ψαριών παρουσιάζουν το εκπληκτικό φαινόμενο *αλλαγής φύλου* είτε λόγω περιβαλλοντικών ή κοινωνικών συνθηκών είτε λόγω γονιδιακών εντολών (π.χ. τσιπούρα).

Υπάρχουν πάντοτε δύο γονάδες σε κάθε ψάρι οι οποίες καταλήγουν σε ένα κοινό γεννητικό πόρο (που μαζί με τον ουρητικό αποτελούν τον κοινό ουρογεννητικό πόρο). Βρίσκονται κάτω ακριβώς από τη νηκτική κύστη (Σχήμα 12) και στα ετοιμόγεννα ψάρια καταλαμβάνουν μεγάλο μέρος της σπλαγγνικής κοιλότητας και πάνω από 10 % του βάρους του ψαριού.



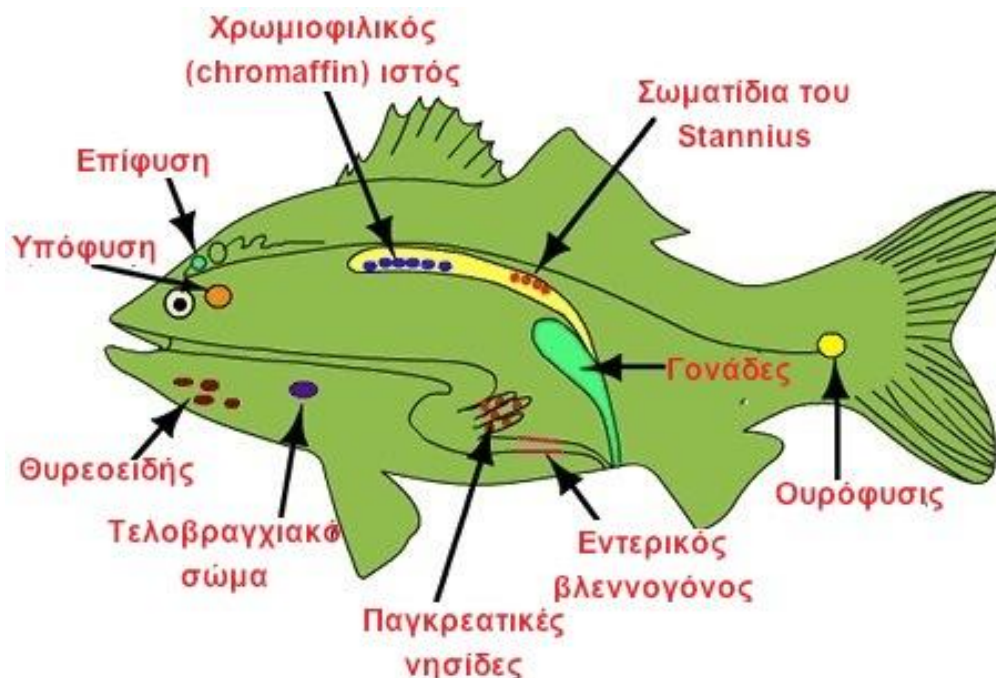
Σχήμα 12. 1-συκώτι, 2-στόμαχος, 3-έντερο, 4-καρδιά, 5-νηκτική κύστη, 6-νεφρά, 7-γονάδες, 8-ουρητήρας, 9-ωαγωγός, 10-ουροδόχος κύστη.

Στα γεννητικώς ανώριμα ψάρια, οι γονάδες έχουν μορφή «νήματος» και τα δύο φύλα δεν μπορούν να διακριθούν με γυμνό μάτι (ωοθήκες και όρχεις μοιάζουν) παρά μόνο μικροσκοπικώς. Με το πέρασμα του χρόνου και πριν την πρώτη «γέννα», οι γονάδες μεγαλώνουν και αρχίζουν να διαφέρουν. Οι μεν ωοθήκες αποκτούν πορτοκαλί κοκκώδη εμφάνιση οι δε όρχεις λεία και γκρι-υπόλευκη.

Η ανάπτυξη των γονάδων ρυθμίζεται από γοναδοτροπίνες ορμόνες που απελευθερώνονται από την *υπόφυση* (pituitary gland), αδένας που βρίσκεται στη βάση του εγκεφάλου. Οι ορμόνες φθάνουν μέσω του αίματος στις γονάδες. Η απελευθέρωση των γοναδοτροπινών ελέγχεται κυρίως από την *επίφυση* (pineal gland), αδένας ο οποίος είναι φωτοευαίσθητος και βρίσκεται στο άνω εμπρόσθιο μέρος του εγκεφάλου (Σχήμα 13). Η επίφυση αντιδρά στις εποχιακές αλλαγές της διάρκειας

της ημέρας και κανονίζει το συγχρονισμό της ωοτοκίας σε συγκεκριμένες εποχές για το κάθε είδος ψαριού.

Η ελευθέρωση των γοναδοτροπινών με σκοπό την *πρόκληση ωοτοκίας* μπορεί να γίνει και τεχνητά-βεβιασμένα με την τεχνική της αφαίρεσης της υπόφυσης από «θυσιασμένα» ψάρια, του αλέσματός της και κατόπιν από το εκχύλισμα που θα προκύψει να γίνει *ένεση γοναδοτροπίνης* σε άλλα ζωντανά ψάρια (π.χ. κινέζικοι κυπρίνοι, γατόψαρα κ.ά.).



Σχήμα 13. Η θέση των ενδοκρινών αδένων στο ψάρι. *Ενδοκρινής αδένας* = αυτός που χύνει το περιεχόμενό του (ορμόνες) στο αίμα.

Οι ίδιες οι γονάδες επίσης έχουν ειδικά *εκκριτικά κύτταρα* που απελευθερώνουν *στεροειδείς* ορμόνες, *ανδρογόνα* οι όρχεις, *οιστρογόνα* οι ωοθήκες. Αυτά τα στεροειδή βοηθούν στον έλεγχο της ανάπτυξης των γονάδων και είναι υπεύθυνα για την ανάπτυξη των χαρακτηριστικών του φύλου του ψαριού καθώς η γεννητική ωρίμανση προχωρά. Με την κατάλληλη χρήση των στεροειδών μπορεί να επιτευχθεί η με τεχνητό τρόπο *αλλαγή του φύλου* σε ορισμένα είδη (π.χ. σαλμονιδή) προς όφελος της καλλιέργειας. Στα σαλμονιδή για παράδειγμα, μπορούμε με τη χρήση στεροειδών στην τροφή να προκαλέσουμε τα γενετικώς θηλυκά άτομα να παράγουν σπέρμα, το οποίο όταν γονιμοποιήσει τα αυγά των κανονικών θηλυκών θα δώσει μόνο θηλυκούς απογόνους, οι οποίοι έχοντας καλύτερη ανάπτυξη συμφέρουν από εμπορική άποψη.

Κατά την πορεία ωρίμανσης των γονάδων αυτές διογκώνονται (φουσκώνουν) στη σπλαγγχική κοιλότητα. Τα αυγά στις ωοθήκες αρχίζουν να κιτρινίζουν με τη λέκιθο που συσσωρεύουν και οι όρχεις στα αρσενικά γίνονται γαλακτοειδώς λευκοί.

Ειδικά στα σαλμονιδή, λίγο πριν την ωοτοκία τα αυγά απελευθερώνονται στην σπλαγγνική κοιλότητα (Σχήμα 14) και γι' αυτό το λόγο αν ανοιχτεί η κοιλιά μιας θηλυκής πέστροφας ή σολομού, τα αυγά θα χυθούν ομαδικά έξω από το σώμα.



Σχήμα 14. Οι διαφορές στην απελευθέρωση των αυγών στα σαλμονιδή ψάρια και στους υπόλοιπους τελεόστεους (στην πλειονότητα).

Στις εκτροφές των σαλμονιδών την εποχή που οι γονάδες είναι ώριμες, επιλεγμένα ψάρια αφαιρούνται από τις δεξαμενές και με κατάλληλο «ζούληγμα-άρμεγμα» της κοιλιάς τους θα απελευθερώσουν εύκολα μέσα σε ένα δοχείο πρώτα τα αυγά και κατόπιν με τον ίδιο τρόπο, θα διαβρέξουμε τη μάζα των αυγών με σπέρμα και με αυτή τη μέθοδο θα έχουμε την τεχνητή γονιμοποίηση.

2.7. Ωσμωρύθμιση, ο έλεγχος της ισορροπίας αλάτων/νερού (Andrews, Exell & Carrington, 1988).

Τα ψάρια μπορούμε να τα φανταστούμε ως «σακούλες υγρών» μέσα σε ένα δοχείο με υγρά.

Τόσο στα ψάρια της θάλασσας όσο και στα ψάρια των γλυκών νερών υπάρχει διαφορά μεταξύ της συγκέντρωσης των αλάτων στα σωματικά υγρά τους και στη συγκέντρωση των αλάτων στο περιβάλλον νερό. Επειδή ψάρι και νερό διαχωρίζονται ειδικά στα βράγχια, από πολύ λεπτές μεμβράνες, εύκολα γίνεται κατανοητό γιατί υπάρχει μια διαρκής τάση για είσοδο και έξοδο νερού και αλάτων στα σημεία αυτά του σώματος.

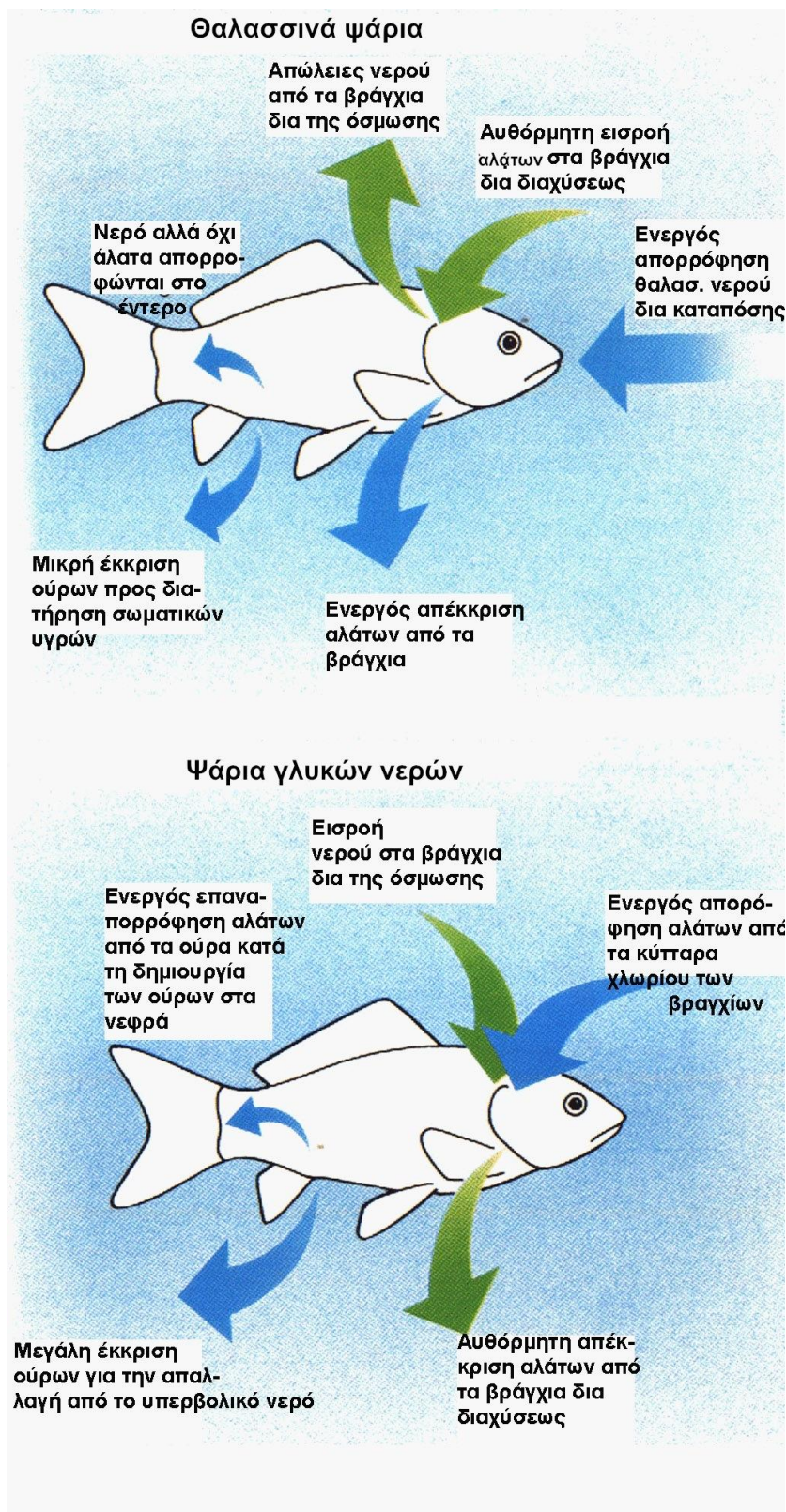
Ο μηχανισμός με τον οποίο γίνεται αυτό εμπλέκει τις διαδικασίες της *διάχυσης* και της *ώσμωσης*. Τι σημαίνει αυτό:

Εάν δύο διαλύματα διαφορετικής συγκέντρωσης αλάτων διαχωρίζονται από μια ημι-διαπερατή μεμβράνη σαν κι' αυτή που αποτελεί το «βιολογικό σύνορο» του ψαριού, δηλαδή τη μεμβράνη των βραγχίων, τα ιόντα του άλατος θα κινηθούν με διαδικασία διάχυσης και θα

διαπεράσουν τη μεμβράνη, με κατεύθυνση από το πιο πυκνό διάλυμα προς το πιο αραιό. Συγχρόνως το νερό με διαδικασία ώσμωσης θα κινηθεί αντίθετα, δηλαδή από το πιο αραιό διάλυμα προς το πιο πυκνό. Η όλη διαδικασία όπως συμβαίνει στα φυσικά συστήματα συντείνει στην επίτευξη ισορροπίας μεταξύ των δύο πλευρών.

Για το ψάρι είναι υψίστης σημασίας το σώμα του να λειτουργεί σωστά και αυτό σημαίνει τη διατήρηση σταθερού ισοζυγίου αλάτων/νερού στα σωματικά του υγρά, όποια συγκέντρωση αλάτων κι αν έχει το περιβάλλον νερό. Τα ψάρια έχουν την ικανότητα με τη διαδικασία της ωσμωρύθμισης, να αντιμετωπίσουν τις φυσικές δυνάμεις της διάχυσης και ώσμωσης που τείνουν συνεχώς να ανατρέψουν τη φυσική του κατάσταση (ισοζύγιο αλάτων/νερού).

Η διαδικασία της ωσμωρύθμισης στα ψάρια της θάλασσας (Σχήμα 15) συνίσταται στο εξής: Το θαλασσινό νερό έχει μεγαλύτερη συγκέντρωση αλάτων από αυτή στα σωματικά υγρά των θαλασσιών ψαριών. Ως εκ τούτου υπάρχει η τάση να εξέρχεται νερό από το σώμα του ψαριού και συγχρόνως άλατα από το νερό να εισέλθουν στο ψάρι. Τα **θαλασσινά ψάρια** για να αποφύγουν την αφυδάτωση **πίνουν συνεχώς θαλασσινό νερό** (αναπληρώνοντας έτσι αυτό που χάνουν) ενώ τα νεφρά μειώνουν πολύ την παραγωγή ούρων. Το άλλο πρόβλημα, αυτό της εισροής αλάτων, το αντιμετωπίζουν με το να μην απορροφούν τα άλατα που μεταφέρονται με το θαλασσινό νερό που πίνουν, αλλά αντίθετα να τα συμπυκνώνουν και να τα αποβάλλουν με τη βοήθεια ειδικώς διαμορφωμένων κυττάρων που βρίσκονται στα βράγχια των λεγόμενων *κυττάρων χλωρίου* (chloride cells).



Σχήμα 15. Η ωσμωρύθμιση στα θαλασσινά ψάρια και σε αυτά των γλυκών νερών. (Από Andrews, Exell & Carrington, τροποποιημένο από Χώτος).

Η κατάσταση στα ψάρια των γλυκών νερών (Σχήμα 15) είναι αντίθετη από αυτή των θαλασσινών, επειδή η συγκέντρωση αλάτων στα σωματικά υγρά των ψαριών αυτών είναι μεγαλύτερη από τη συγκέντρωση των αλάτων στο περιβάλλον γλυκό νερό.

Για αυτόν το λόγο, η τάση είναι για το νερό να εισέλθει στο σώμα του ψαριού και των αλάτων να εξέλθουν από το σώμα προς το περιβάλλον νερό.

Τα **ψάρια των γλυκών νερών** για να αντιμετωπίσουν την συνεχή είσοδο του νερού στο σώμα τους διαθέτουν πολύ δραστήρια νεφρά τα οποία εργαζόμενα συνεχώς μπορούν και **εκκρίνουν γρήγορα και συνεχώς μεγάλες ποσότητες νερού (πολύ αραιωμένα ούρα)**.

Το χάσιμο των αλάτων από το σώμα τους αντιμετωπίζεται, αφενός με την επαναπορρόφηση των αλάτων από τα ούρα πριν αυτά απελευθερωθούν στο περιβάλλον και αφετέρου με ενεργό απορρόφηση αλάτων από τα ειδικά κύτταρα χλωρίου των βραγχίων.

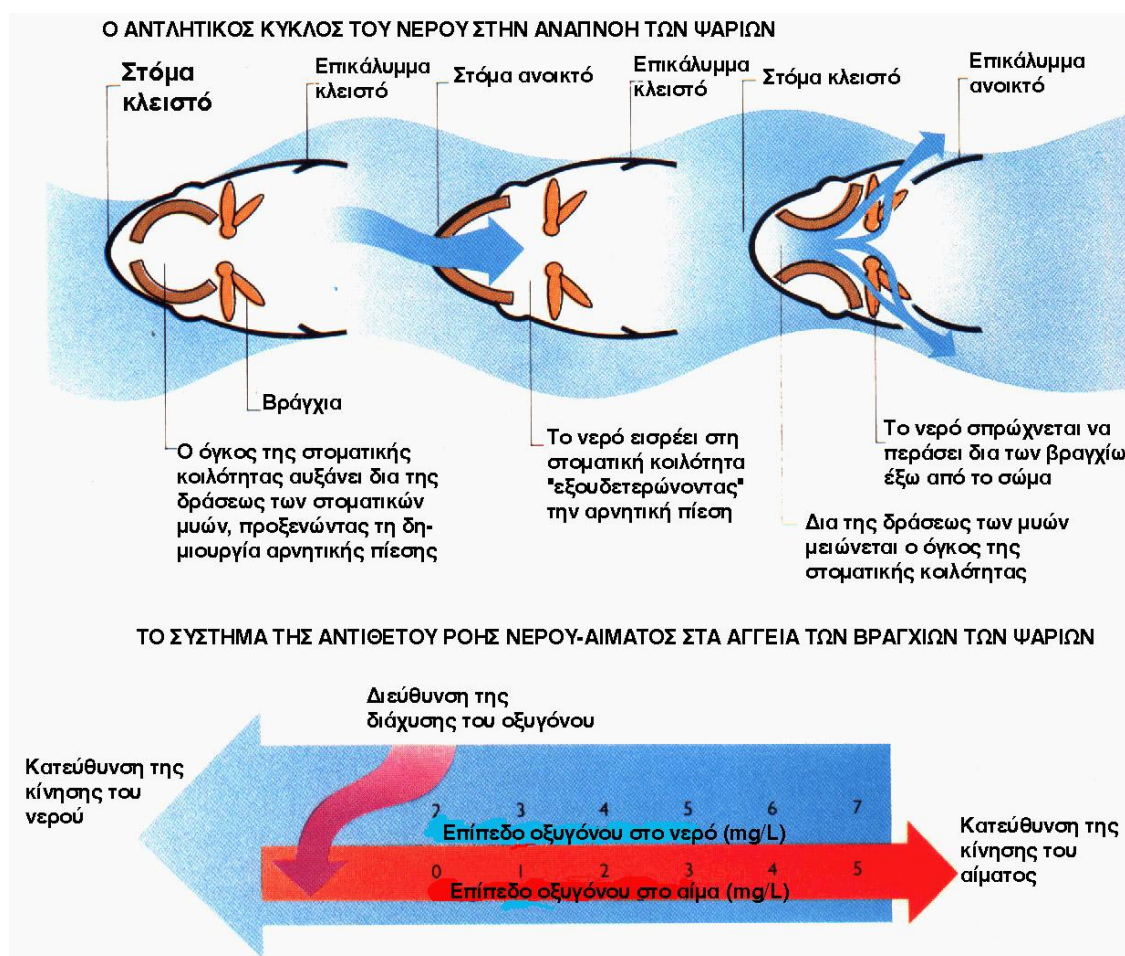
2.8. Η αναπνοή των ψαριών (Andrews, Exell & Carrington, 1988).

Τα ψάρια έχουν ανάγκη από το οξυγόνο για να ζήσουν. Η ζωική διεργασία με την οποία το αποσπών από το περιβάλλον νερό και το μεταφέρουν στα κύτταρά τους καλείται *αναπνοή*.

Επειδή το νερό περιέχει μόνο το 5 % του οξυγόνου που υπάρχει στον αέρα, το σύστημα αναπνοής του ψαριού απαιτείται να είναι πολύ ικανό. Είναι υποχρεωμένο να μετακινεί συνεχώς μεγάλους όγκους νερού, στην ουσία με φτωχή περιεκτικότητα οξυγόνου συγκριτικά με τον αέρα, έτσι ώστε να τους φέρει σε επαφή με τις *απορροφητικές επιφάνειες* (τα βράγχια) και να μπορέσει εκεί να απορροφήσει τη μέγιστη δυνατή ποσότητα οξυγόνου. Επειδή όπως έχει ήδη αναφερθεί το νερό είναι περί τις 800 φορές πυκνότερο από τον αέρα, το όλο σύστημα μεταφοράς πρέπει να είναι ενεργειακά δυνατό και αποδοτικό.

Το ψάρι για να μπορέσει να επιτύχει αυτή τη ροή νερού χρησιμοποιεί το στόμα, τη στοματική κοιλότητα και το βραγχιακό κάλυμμα (Σχήμα 16). Το όλο σύστημα που λειτουργεί συγχρονισμένα, δημιουργεί μια σταθερή ροή νερού που διαβρέχει τις επιφάνειες απορρόφησης του συστήματος των βραγχίων.

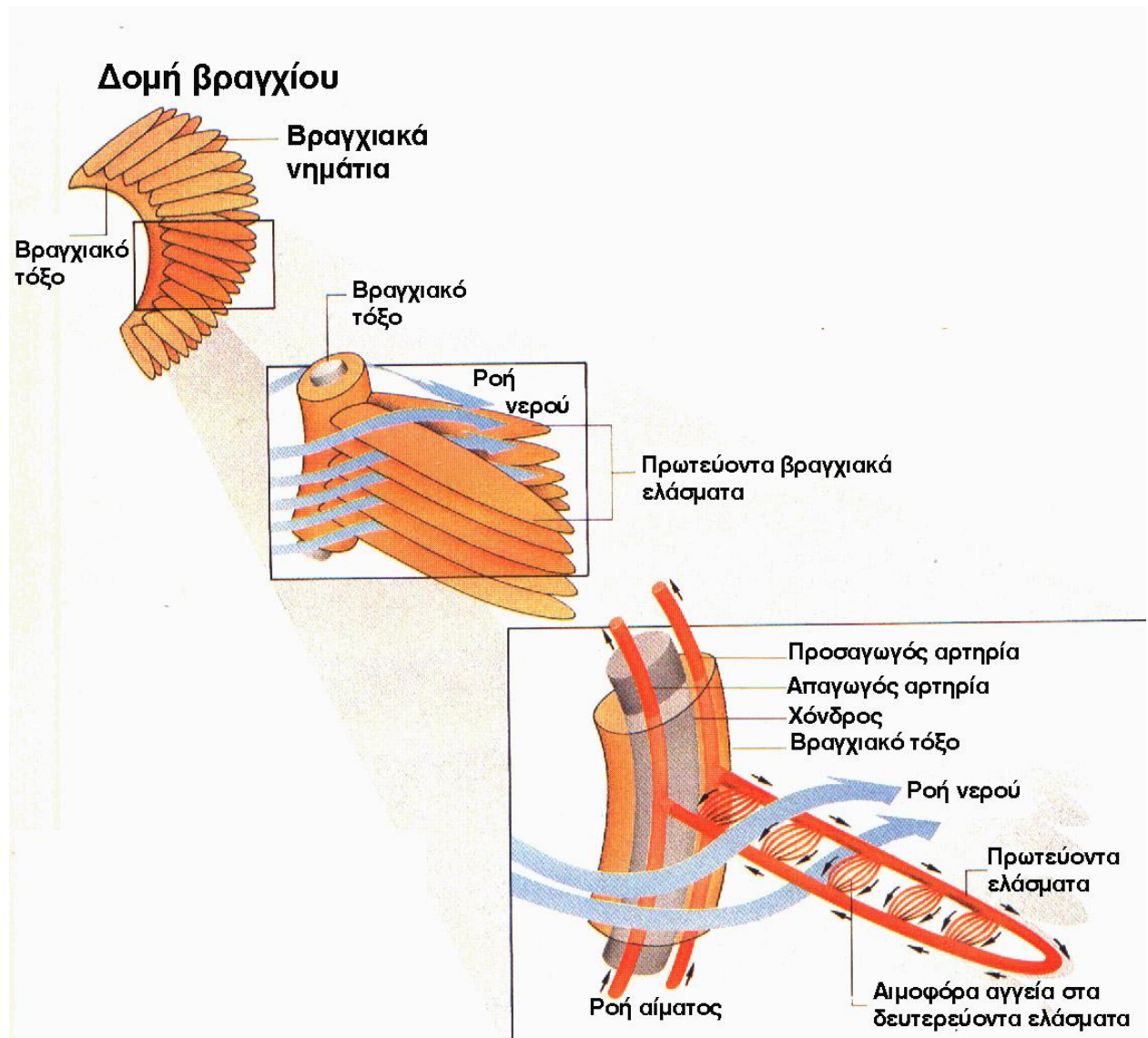
Για να μπορούν να απορροφούν το οξυγόνο με αποδοτικό τρόπο, τα βράγχια πρέπει να προσφέρουν μια μεγάλη επιφάνεια και συνάμα μια λεπτή επιφάνεια διαχωρισμού του αίματος που κυκλοφορεί στα βράγχια και του οξυγονωμένου νερού που τα διαβρέχει. Ομως η ικανοποίηση των παραπάνω προϋποθέσεων δεν μπορεί να γίνει παρά μόνο οριακά, επειδή μεγάλη επιφάνεια βραγχίων και λεπτή μεμβράνη διαχωρισμού μπορεί μεν να ευνοεί την μεταφορά του οξυγόνου όμως από την άλλη δυσκολεύει τον ωσμωρυθμιστικό μηχανισμό καθώς δημιουργεί ιδανικό μέρος για είσοδο ή έξοδο νερού. Για τον λόγο αυτό η όλη κατασκευή των βραγχίων (Σχήμα 18) αντιπροσωπεύει ένα σοφό συμβιβασμό μεταξύ των αναγκών της αναπνοής και αυτών της ωσμωρύθμισης.



Σχήμα 16. Το σύστημα της ροής νερού στα βράγχια και της αποδοτικής πρόσληψης από το αίμα του οξυγόνου. (Από Andrews, Exell & Carrington, τροποποιημένο από Χότος).

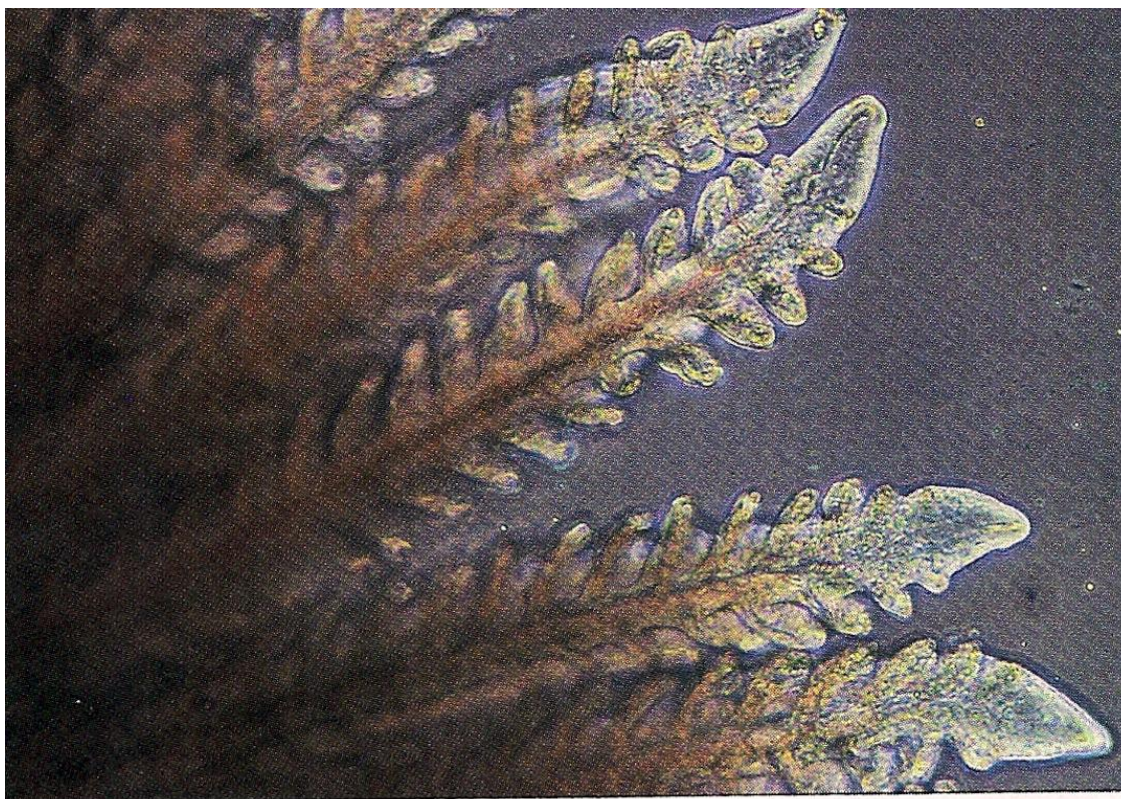
Το οξυγόνο απορροφάται από το αίμα με απλή διάχυση. Το αίμα που εισέρχεται στα βράγχια έχει χαμηλότερη συγκέντρωση οξυγόνου απ' ό τι το περιβάλλον νερό, έτσι το οξυγόνο από το νερό αυθόρμητα εισέρχεται στο αίμα για να αποκατασταθεί η ισορροπία. Η διαδικασία αυτή ενισχύεται από το γεγονός ότι το αίμα ρέει στα αιμοφόρα αγγεία των βραγχίων κατά φορά αντίθετη με τη φορά του νερού που ρέει στα βράγχια (Σχήματα 16 και 17). Αυτό το σύστημα αντιθέτου ροής διασφαλίζει ότι το επίπεδο του οξυγόνου στο αίμα παραμένει μικρότερο από αυτό του νερού που τρέχει κατά μήκος των βραγχίων και έτσι γίνεται δυνατό από τα περισσότερα είδη ψαριών να αποσπούν μέχρι και το 80%

του οξυγόνου που μεταφέρει το νερό.



Σχήμα 17. Η δομή των βραγχίων, η ροή του νερού και η ροή του αίματος στα βράγχια, απεικονισμένη σε 3 επίπεδα μεγέθυνσης των βραγχίων. (Από Andrews, Exell & Carrington, τροποποιημένο από Χώτος).

Το οξυγόνο δεσμεύεται ενεργητικώς από την *αιμογλοβίνη* των ερυθρών αιμοσφαιρίων και μεταφέρεται σε όλα τα κύτταρα του σώματος, εκεί όπου η συσσωρευμένη σχετικά μεγάλη, λόγω του μεταβολισμού, ποσότητα του CO_2 προκαλεί την απελευθέρωση του οξυγόνου από την αιμογλοβίνη για να χρησιμοποιηθεί από τα κύτταρα, ενώ συγχρόνως το CO_2 καταλαμβάνει τη θέση του οξυγόνου στο αίμα το οποίο επιστρέφει στα βράγχια, όπου το CO_2 διαχέεται εύκολα στο νερό και έτσι το ψάρι απαλλάσσεται από αυτό.



Σχήμα 18. Μεγέθυνση βραγχίων. Παρατηρείστε τη λεπτή μεμβράνη που τα καλύπτει και τα αιμοφόρα αγγεία στο εσωτερικό. (Από Andrews, Exell & Carrington).

2.9. Τροφή και μεταβολισμός (Andrews, Exell & Carrington, 1988).

Τα ψάρια έχουν εξελιχθεί για να εκμεταλλεύονται ποικίλες πηγές τροφής. Υπάρχουν είδη που είναι αποκλειστικώς σαρκοφάγα, αποκλειστικώς φυτοφάγα και άλλα παμφάγα. Τα διάφορα είδη έχουν αναπτύξει ειδικώς διαμορφωμένα στόματα και πεπτικούς σωλήνες που να εξυπηρετούν την διαίτά τους. Τα φυτοφάγα είδη για παράδειγμα, έχουν ένα μακρύ πεπτικό σωλήνα χωρίς στομάχι, έτσι που να επιτρέπουν στα πεπτικά ένζυμα να δρουν στην τροφή για περισσότερο χρόνο, για να μπορέσουν να διασπάσουν στο μέγιστο δυνατό βαθμό την δυσκολοχώνευτη φυτική ύλη. Αντιθέτως τα σαρκοφάγα είδη έχουν ένα πολύ κοντότερο πεπτικό σωλήνα, με στομάχι, στο οποίο η τροφή μένει αρκετό χρόνο, σε πολύ όξινο περιβάλλον με σκοπό τη διάσπαση των πρωτεϊνών από τις οποίες κυρίως αποτελείται η ζωικής φύσεως τροφή τους.

Αν και υπάρχει μεγάλη ποικιλία διαιτών και πεπτικών συστημάτων μεταξύ των ειδών, οι βασικές διαδικασίες της θρέψης παραμένουν ίδιες. Η τροφή καταπίνεται, μεταφέρεται στο στομάχι και αρχίζει η πέψη. Η διαδικασία της πέψης κατά το πρώτο της στάδιο στο στομάχι αφορά τη δράση ορισμένων ενζύμων τα οποία διασπών τα μακρομόρια της τροφής στα απλούστερα συνθετικά της (π.χ. τις πρωτεΐνες σε αμινοξέα). Αυτό το στάδιο της διάσπασης συνεχίζεται και αφού η συνεχώς πεπτόμενη τροφή

συνεχίσει την πορεία της στο έντερο. Στη συνέχεια σε πιο προχωρημένα τμήματα του εντέρου, τα χρήσιμα συστατικά της τροφής που έχουν μορφή απλούστερων χημικών μορίων, απορροφώνται από το αίμα και μέσω αυτού μεταφέρονται όπου το σώμα τα χρειάζεται.

Στο τελευταίο τμήμα του εντέρου, ότι υλικά της τροφής δεν έχουν χρησιμοποιηθεί, συμπυκνώνονται και αποβάλλονται ως περιττώματα. Γενικώς το 80% της τροφής που έχει πεφθεί χρησιμοποιείται και το 20% περίπου αποβάλλεται ως περιττώματα.

Ολες οι τροφές αποτελούνται από *πρωτεΐνες, υδατάνθρακες, λίπη, ανόργανα στοιχεία και βιταμίνες* και το ποσοστό καθενός από αυτά στην τροφή καθορίζει τη σύνθεσή της, η οποία από ιχθυοκαλλιεργητική άποψη θα πρέπει να είναι ισορροπημένα φτιαγμένη για να ικανοποιεί τις διατροφικές ανάγκες του κάθε είδους ψαριού.

Οι *πρωτεΐνες* είναι φτιαγμένες από διαφορετικούς συνδυασμούς 21 αμινοξέων. Τα *αμινοξέα* μπορούμε να τα θεωρήσουμε ως τα «οικοδομικά υλικά» των ιστών του σώματος και εξ' αυτού οι πρωτεΐνες χρησιμοποιούνται κυρίως στην αύξηση του ψαριού και στη συντήρηση των ιστών του. Τα ψάρια διαθέτουν επίσης την ικανότητα να διασπούν τα αμινοξέα και να παράγουν ενέργεια, κάτι που γίνεται όταν υπάρχει περίσσεια αμινοξέων ή όταν δεν υπάρχει διαθέσιμο κάποιο άλλο συστατικό της τροφής για να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή ενέργειας. Η διάσπαση των αμινοξέων καταλήγει στην παραγωγή του τοξικού υποπροϊόντος που καλείται *αμμωνία*.

Οι *υδατάνθρακες* οι οποίοι κυρίως προέρχονται από φυτική ύλη, αποτελούνται από μακριές αλυσίδες μορίων που καλούνται *σάκχαρα*. Η διαδικασία της πέψης τους συνίσταται στη διάσπαση των υδατανθράκων στο απλό σάκχαρο *γλυκόζη* η οποία μπορεί να απορροφηθεί από το αίμα. Η γλυκόζη μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε άμεσα με τη διαδικασία της *κυτταρικής αναπνοής* και να δώσει ενέργεια, είτε να μετατραπεί σε μια ένωση που ονομάζεται *γλυκογόνο* και το οποίο αποθηκεύεται στο συκώτι και στους μυς για να χρησιμοποιηθεί ως παραγωγός ενέργειας όταν απαιτηθεί.

Τα *λίπη* είναι αλυσίδες *λιπαρών οξέων* στα οποία καταλήγει η διαδικασία της διάσπασής των κατά την πέψη. Τα λιπαρά οξέα απορροφούμενα από τον οργανισμό αποθηκεύονται ως λίπος μέχρι να χρειαστεί η χρησιμοποίησή του. Όταν κινητοποιηθεί ο μηχανισμός για τη χρησιμοποίηση του αποθηκευμένου λίπους, τότε αυτό είτε οξειδώνεται στους μυς για να παράγει ενέργεια είτε μετατρέπεται σε φωσφολιπίδια τα οποία είναι πολύπλοκες οργανικές ενώσεις που χρησιμοποιούνται σε ζωτικές κυτταρικές κατασκευές.

Οι βιταμίνες και τα ανόργανα στοιχεία είναι ουσιαστικής σημασίας για την υγεία του ψαριού. Χρησιμοποιούνται είτε ως δομικά στοιχεία των ιστών είτε ως απαραίτητα στοιχεία στη διαδικασία του μεταβολισμού.

Ως *μεταβολισμό* ορίζουμε όλες τις χημικές διεργασίες που δίδουν ζωή στο ψάρι. Αυτές οι χημικές διεργασίες χρησιμοποιούν υλικά που καλούνται *μεταβολίτες*, στα οποία περιλαμβάνονται τόσο οργανικές ουσίες προερχόμενες από την πέψη της τροφής όσο και ανόργανες όπως το οξυγόνο από την αναπνοή (Σχήμα 19).

Διακρίνονται δύο μεταβολικές διαδικασίες, ο καταβολισμός και ο αναβολισμός.

Ο *καταβολισμός* είναι η διαδικασία με την οποία διασπώνται οι μεταβολίτες για να παραχθεί ενέργεια για τη δραστηριότητα του ψαριού.

Ο *αναβολισμός* είναι η διαδικασία με την οποία χρησιμοποιούνται οι μεταβολίτες για να κατασκευαστεί νέος ιστός για αύξηση, για αναπαραγωγή και για αντικατάσταση φθαρμένων-γηρασμένων μερών.

Ο μεταβολισμός συνδέεται άρρηκτα με όλες τις σωματικές διεργασίες είτε για να τους παρέχει την απαιτούμενη ενέργεια είτε για να τους παρέχει τα απαραίτητα δομικά στοιχεία που χρειάζονται για να κατασκευάσουν και συντηρήσουν τις δομές τους.

Ο μεταβολισμός εξαρτάται από τη θρέψη και την αναπνοή για την παροχή μεταβολιτών, από την ωσμωρύθμιση για τη διασφάλιση σταθερού περιβάλλοντος εργασίας και από την απέκκριση για να απομακρύνονται τα άχρηστα τοξικά προϊόντα του.

Ο ρυθμός και η ένταση του μεταβολισμού ελέγχεται από τις ορμόνες και επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες. Ως τέτοιους παράγοντες διακρίνουμε:

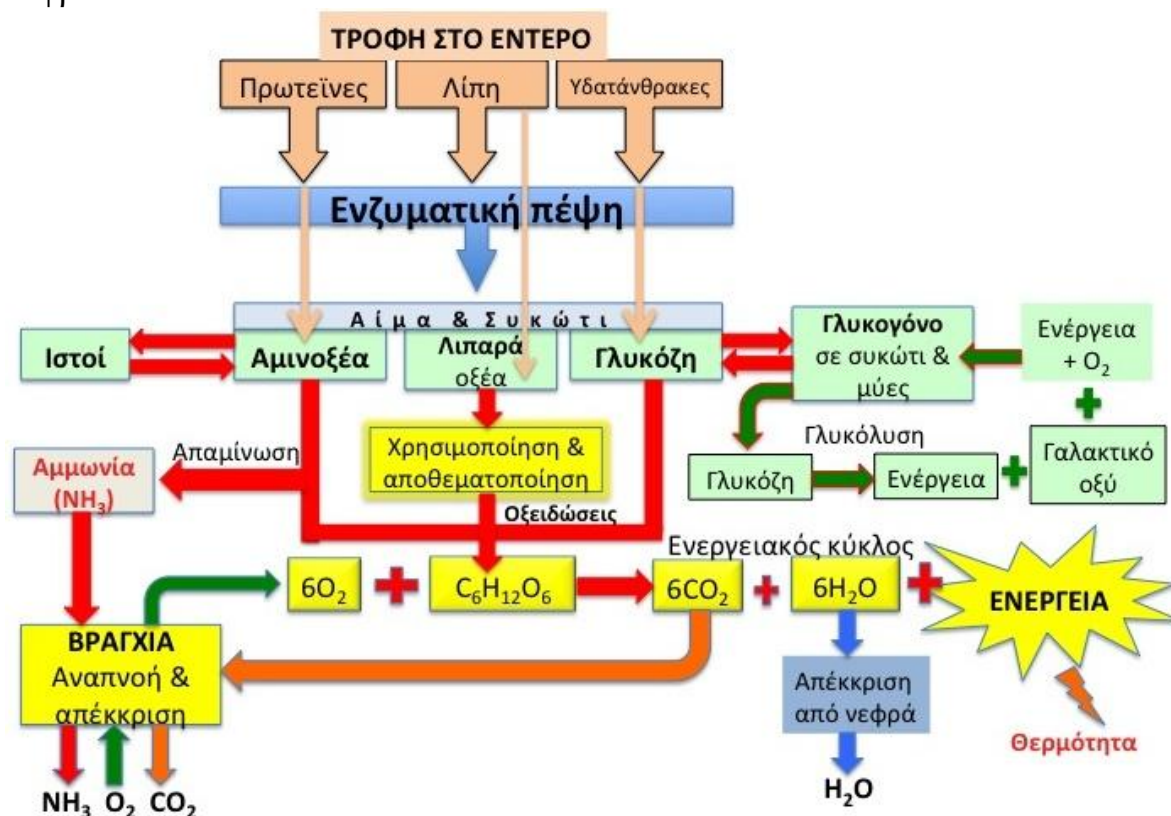
- Τις περιβαλλοντικές συνθήκες (θερμοκρασία, αλατότητα, οξυγόνο).
- Τη δραστηριότητα του ψαριού.
- Το μέγεθος του ψαριού (μεγαλύτερα ψάρια έχουν μικρότερο μεταβολικό ρυθμό ανά μονάδα βάρους).
- Την ηλικία του ψαριού (τα νεαρότερα ψάρια αυξάνονται ταχύτερα από τα ενήλικα αλλά έχουν λιγότερες ανάγκες για γεννητικά προϊόντα).
- Την κατάσταση του ψαριού (ψάρια που υποφέρουν έχουν μεγάλες ανάγκες για αποκατάσταση τραυματισμένων ιστών).

Πρέπει να γίνει κατανοητό ότι πρώτα από όλα η ενέργεια του μεταβολισμού θα χρησιμοποιηθεί για να καλύψει τη *συντήρηση* του ψαριού συμπεριλαμβανομένης της ενέργειας που απαιτούν το όποιο στρες ή ασθένεια επισυμβούν. Οτι περισσεύει μετά τα παραπάνω, αποτελεί το κομμάτι εκείνο του μεταβολισμού που θα χρησιμοποιηθεί για *αύξηση* και *αναπαραγωγή*. Ετσι λοιπόν όταν παρατηρούμε μια καλή αύξηση ή και ενεργό αναπαραγωγική δραστηριότητα στα εκτρεφόμενα ψάρια, αυτό αποτελεί ένδειξη καλών συνθηκών διαβίωσης.

Σε φυσιολογικές συνθήκες, η ενέργεια παράγεται με τη διαδικασία της οξείδωσης η οποία απαιτεί τη σταθερή παροχή οξυγόνου. Σε επείγουσες συνθήκες η ενέργεια μπορεί να παραχθεί γρήγορα στους μυς του ψαριού

μέσω μιας διαδικασίας που καλείται *γλυκόλυση*, κατά την οποία η έκκριση της ορμόνης αδρεναλίνη προκαλεί το γλυκογόνο να μετατραπεί σε γλυκόζη και ενέργεια χωρίς να απαιτείται η παρουσία οξυγόνου. Κατά τη γλυκόλυση παράγεται γαλακτικό οξύ (lactate). Επειδή το γαλακτικό οξύ είναι τοξικό σε υψηλές συγκεντρώσεις, η γλυκόλυση μπορεί να γίνει ανεκτή μόνο για σύντομο διάστημα. Επιπροσθέτως, το όπιο συσσωρευθέν γαλακτικό οξύ αποτελεί και «χρέος οξυγόνου» καθώς τελικά απαιτείται οξυγόνο και ενέργεια για να διασπαστεί και απομακρυνθεί από τον οργανισμό.

Υποπροϊόντα του μεταβολισμού παράγονται και κατά την παραγωγή ενέργειας και κατά την συντήρηση ή παραγωγή ιστού. Αυτά τα υποπροϊόντα αποτελούνται κυρίως από CO_2 , νερό, αμμωνία και ορισμένα μεγάλα μόρια όπως η πουρίνη. Όλα (εκτός από το νερό), είναι τοξικά και πρέπει να αποβάλλονται. Το ***CO_2 και η αμμωνία αποβάλλονται από τα βράγχια με διάχυση*** ενώ το νερό και η πουρίνη (τελικά ουρία) από τα νεφρά.



Σχήμα 19. Σχηματοποίηση διεργασιών θρέψης και μεταβολισμού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. Η ΚΑΤΑΝΟΗΣΗ ΤΗΣ ΧΗΜΕΙΑΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ

Επειδή τα ψάρια περιβάλλονται από το νερό, κάθε αλλαγή στις ιδιότητες ή την κατάσταση του νερού έχει άμεση και σημαντική επίδραση στη φυσιολογία των ψαριών. Τα ψάρια είναι πολύ πιο ευάλωτα στις περιβαλλοντικές αλλαγές απ' ό,τι τα χερσαία ζώα. Παρόλα αυτά, αυτή τους η ευαισθησία αντισταθμίζεται από δύο παράγοντες. Ο πρώτος είναι το γεγονός ότι τα ψάρια διά της εξέλιξης μέσω εκατομμυρίων ετών έχουν προσαρμοστεί έξοχα στο να ζουν στο ιδιαίτερο για κάθε είδος περιβάλλον και σε κάποιο βαθμό μπορούν να προσαρμόζονται και σε αλλαγμένες συνθήκες. Ο δεύτερος είναι το γεγονός ότι το υδάτινο περιβάλλον είναι αρκετά σταθερό. Το νερό έχει ορισμένες ιδιότητες που γενικώς διασφαλίζουν ότι οι όποιες αλλαγές των χαρακτηριστικών του γίνονται με αργό ρυθμό, δίδοντας έτσι χρόνο στα ψάρια να προσαρμόσουν τις φυσιολογικές τους δραστηριότητες στις νέες συνθήκες.

3.1. Η φύση του νερού (Andrews, Exell & Carrington, 1988).

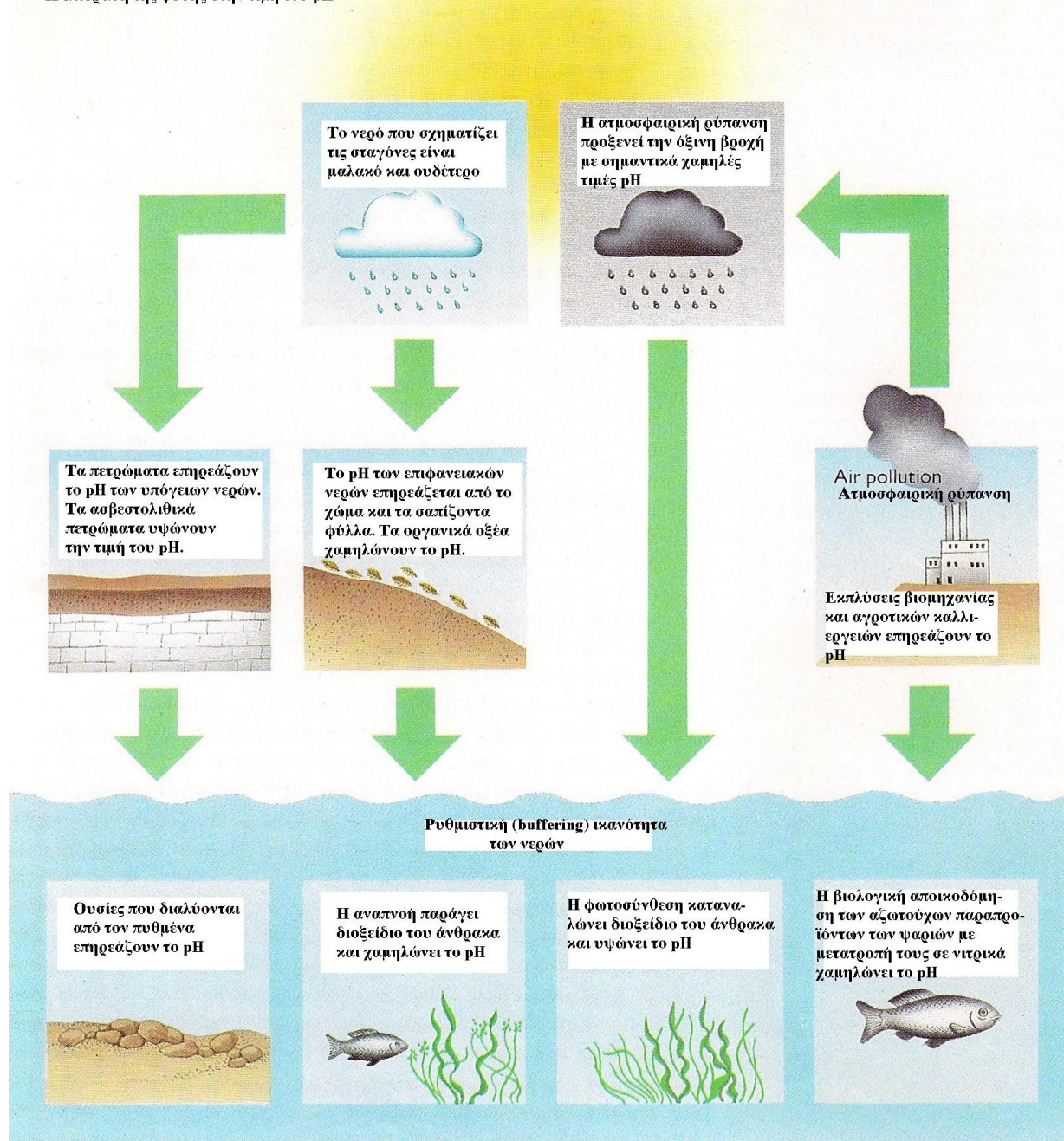
Το καθαρό νερό αποτελείται από δύο άτομα υδρογόνου και ένα άτομο οξυγόνου (H_2O). Αποκτά όμως ποικίλα χαρακτηριστικά επειδή είναι εξαιρετικός διαλύτης για πολλές ουσίες. Το νερό επηρεάζεται από την ατμόσφαιρα διά μέσου της οποίας πίπτει ως βροχή, καθώς επίσης και από τη γήινη επιφάνεια και τα υπόγεια πετρώματα με τα οποία έρχεται σε επαφή καθόλη την πορεία του στη γη μέχρι να καταλήξει στη θάλασσα. Επιπλέον η εξάτμιση, η διάλυση από τη βροχή, οι βιολογικοί παράγοντες και η δραστηριότητα του ανθρώπου επηρεάζουν τα τελικά χαρακτηριστικά του σε ένα ορισμένο τόπο (Σχήμα 20).

Η αλληλεπίδραση όλων των παραπάνω παραμέτρων σημαίνει ότι υπάρχει μια καταπληκτική ποικιλία υδρόβιων περιβαλλόντων στη γη, το καθένα με τα διαφορετικά φυσικο-χημικά του γνωρίσματα. Τα ψάρια όπως και οι άλλοι υδρόβιοι οργανισμοί έχουν προσαρμοστεί κατάλληλα τη φυσιολογία τους για να επιβιώνουν σε κάθε διαφορετικό υδρόβιο οικοτόπο.

Τα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά του νερού που έχουν την πλέον έντονη επίδραση στην υδρόβια ζωή είναι το pH (οξύτητα και αλκαλικότητα), η σκληρότητα και η αλατότητα (αμφότερα ως έκφραση της ποσότητας των διαλυμένων αλάτων), η θερμοκρασία, το διαλυμένο οξυγόνο και το διαλυμένο διοξείδιο του άνθρακα και οι διαλυμένες τοξικές ενώσεις οργανικής (π.χ. αμμωνία, νιτρώδη) ή άλλης (π.χ. βαρέα μέταλλα) προέλευσης.

Είναι προφανές λοιπόν ότι ο ιχθυοκαλλιεργητής πρέπει να κατανοήσει τη φύση του νερού, να μπορεί να επεμβαίνει όταν πρέπει και να το επαναφέρει όταν διαπιστώσει αποκλίσεις, στην κατάλληλη ποιότητα για να μπορέσουν τα ψάρια του και να επιβιώσουν και να μεγαλώσουν.

Η επίδραση της φύσης στην τιμή του pH



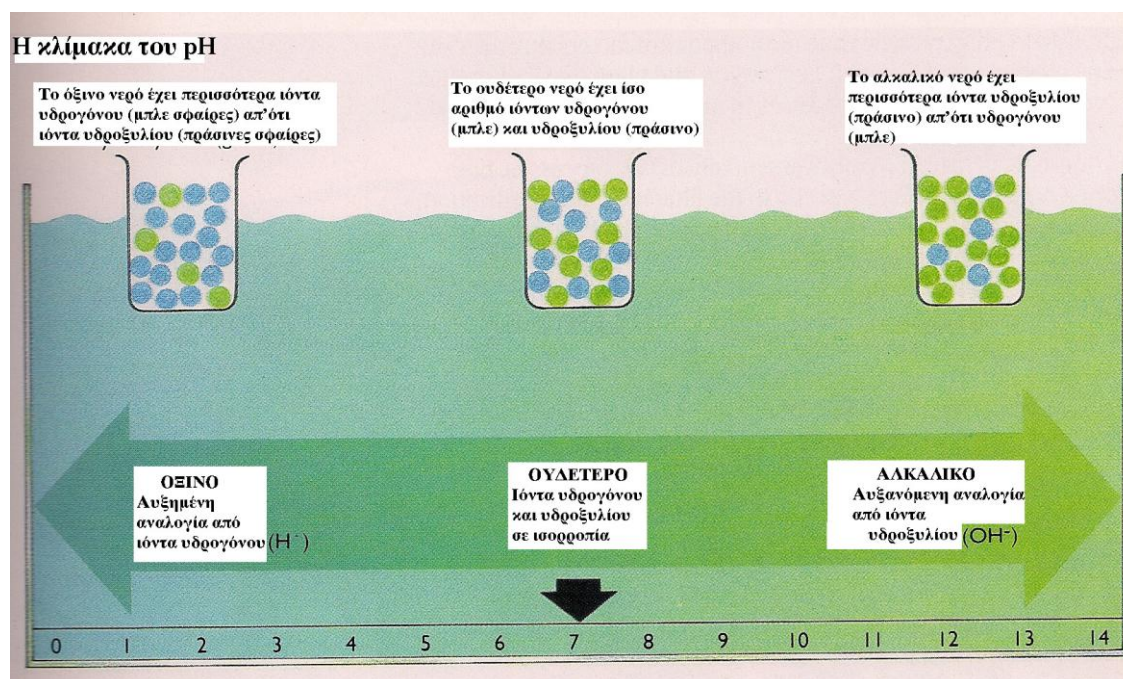
Σχήμα 20. Η επίδραση του φυσικού περιβάλλοντος στο pH του νερού. (Από Andrews, Exell & Carrington, τροποποιημένο από Χότος).

3.1.1. Το pH του νερού (Andrews, Exell & Carrington, 1988).

Κατά απλοποιημένη επεξήγηση, η τιμή του pH δείχνει κατά πόσο μια μάζα νερού είναι όξινη, αλκαλική ή ουδέτερη. Για να κατανοηθεί τι σημαίνει αυτό με χημικούς όρους, πρέπει να επαναπροσδιορίσουμε το

απλό μοντέλο του νερού που έχουμε στο μυαλό μας σαν δύο άτομα υδρογόνου συν ένα άτομο οξυγόνου (H_2O). Το νερό στην πραγματικότητα υπάρχει ως μείγμα ουδέτερων μορίων (H_2O) με ελεύθερα θετικώς φορτισμένα ιόντα υδρογόνου (H^+) και αρνητικώς φορτισμένα ιόντα υδροξυλίου (HO^-) σε ποικίλες αναλογίες. Η τιμή του pH σε ένα εξεταζόμενο δείγμα νερού αντιπροσωπεύει την αναλογία των ιόντων υδρογόνου προς τα ιόντα υδροξυλίου. Αν αυτά τα ιόντα είναι παρόντα σε ίσους αριθμούς, τότε το νερό είναι ουδέτερο και έχει $\text{pH} = 7$. Όσο αυξάνονται τα ιόντα του υδρογόνου συγκριτικά με τα ιόντα υδροξυλίου, τόσο το νερό γίνεται όξινο και τόσο η τιμή του pH λαμβάνει τιμές χαμηλότερες του 7. Αν συμβαίνει το αντίθετο και τα ιόντα υδροξυλίου επικρατούν σε αριθμό των ιόντων υδρογόνου, τόσο το νερό γίνεται αλκαλικό και τόσο το pH λαμβάνει τιμές ανώτερες του 7 μέχρι το μέγιστο της τιμής 14 (Σχήμα 21).

Η κλίμακα των τιμών του pH είναι λογαριθμική και αυτό σημαίνει ότι μεταβολή του pH κατά μία ακεραία μονάδα (μέσα στο εύρος 0-14), σημαίνει 10πλάσια μεταβολή (αύξηση ή μείωση) στη συγκέντρωση του αριθμού των ιόντων υδρογόνου. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι ακόμα και σχετικά μικρές αυξήσεις ή μειώσεις στις τιμές του pH, στην ουσία αντανακλούν μια σημαντική μεταβολή στη συγκέντρωση των ιόντων υδρογόνου (και κατ'αναλογία και των ιόντων υδροξυλίου).



Σχήμα 21. Σχηματοποιημένη αναπαράσταση της κατάστασης των ιόντων του νερού που καθορίζουν το pH του, και της κλίμακας μέτρησης του pH. (Από Andrews, Exell & Carrington, τροποποιημένο από Χώτος).

Πολλές ουσίες όταν διαλύονται στο νερό διασπώνται (ιονίζονται) στα συστατικά τους ιόντα και προσθέτουν στο νερό είτε ιόντα υδρογόνου είτε

υδροξυλίου, αλλάζοντας έτσι το pH του νερού που υπήρχε πριν τη διάλυσή τους.

Στη φύση υπάρχουν συλλογές νερού που υφίστανται οξίνιση από έκπλυση νερού που καταλήγει σε αυτές, αφού πρώτα έχει διαβρέξει ανόργανα άλατα ή ανόργανα ή οργανικά οξέα που βρίσκονται στο έδαφος μέσα από το οποίο έχει περάσει. Επίσης το διοξείδιο του άνθρακα της ατμόσφαιρας οξονοποιεί το νερό όταν διαλυθεί σε αυτό καθώς παράγει *ανθρακικό οξύ* (H_2CO_3). Όπως θα αναλυθεί παρακάτω, διαδικασίες όπως η αναπνοή, η φωτοσύνθεση, η ανάδευση και ο αερισμός επειδή μεταβάλλουν τα επίπεδα του διοξειδίου του άνθρακα μεταβάλλουν επίσης και το pH.

Η ρύπανση επίσης επηρεάζει τα μέγιστα την τιμή του pH. Τα βιομηχανικά απόβλητα που περιέχουν οξέα και μεταλλικά ιόντα χαμηλώνουν το pH, ενώ τα λύματα και οι εκπλύσεις από αγροτικές καλλιέργειες επειδή προκαλούν ευτροφισμό, αυξάνουν τη μάζα των υδρόβιων φυτών και φυκών τα οποία φωτοσυνθέτουν αφαιρώντας διοξείδιο του άνθρακα από το νερό και έτσι αυξάνουν το pH.

Σε μια ελεγχόμενη ιχθυοκαλλιέργεια οι κύριοι παράγοντες μεταβολής της τιμής του pH είναι η *αναπνοή*, ο *μεταβολισμός των φυτών* και το *βιολογικό φίλτράρισμα* (εάν και εφόσον γίνεται μερική ή ολική ανακύκλωση του νερού).

Η διαδικασία της αναπνοής οξονοποιεί το νερό (χαμήλωμα του pH) επειδή κατά την ανταλλαγή των αερίων που γίνεται στα βράγχια, απελευθερώνεται διοξείδιο του άνθρακα. Με την ανάδευση του νερού ή και το βίαιο ανακάτωμά του, μπορεί να υποβοηθηθεί η αποβολή του CO_2 από το νερό στην ατμόσφαιρα και να αποφευχθεί έτσι η οξίνιση.

Ο μεταβολισμός των φυτών καταναλώνει διοξείδιο του άνθρακα κατά τη φωτοσύνθεση και νιτρικά ιόντα (NO_3^-) κατά την αύξηση, διαδικασίες που αλκαλοποιούν το νερό (ανύψωση του pH). Εάν δεν υπάρχει αρκετό διοξείδιο του άνθρακα στο νερό, τότε η φωτοσύνθεση καταφεύγει στη χρησιμοποίηση των *διττανθρακικών ιόντων* (HCO_3^-) για να πάρει από εκεί το διοξείδιο, όμως αυτό μειώνει τη ρυθμιστική (buffering) ικανότητα του νερού η οποία βασίζεται κυρίως στα διττανθρακικά.

Σημείωση: Ρυθμιστής - buffer = ουσία που αποτρέπει την αλλαγή του pH.
Ως *βιολογικό φίλτράρισμα* (για το οποίο θα ειπωθούν αρκετά παρακάτω), ορίζουμε και τις δύο διαδικασίες που μπορούν να εφαρμοστούν σε μία εκτροφή ψαριών και οι οποίες υλοποιούνται από αποικίες βακτηριδίων που αναπτύσσονται στα υλικά του φίλτρου. Οι διαδικασίες αυτές είναι η *νιτροποίηση* και η *απονιτροποίηση*. Κατά τη νιτροποίηση η τοξική αμμωνία (NH_3) που προκύπτει από τον μεταβολισμό των ψαριών, οξειδώνεται πρώτα σε νιτρώδη (NO_2^-) και κατόπιν στα σχετικά ακίνδυνα νιτρικά (NO_3^-) ιόντα. Κατά την *απονιτροποίηση* (που συμβαίνει σε ειδικά φίλτρα σε ορισμένες καλλιέργειες), τα νιτρικά μετατρέπονται τελικά σε

αέριο άζωτο (N_2) και οξυγόνο. Οι δύο διαδικασίες (νιτροποίηση και απονιτροποίηση) έχουν αντίθετα αποτελέσματα στο pH του νερού. Τα νιτρικά (NO_3^-) και το υδρογόνο (H^+) που παράγονται κατά τη νιτροποίηση δημιουργούν νιτρικό οξύ (HNO_3) και ως εξ' αυτού οξονοποιούν το νερό (χαμηλώμα του pH). Αντιθέτως, επειδή με την απονιτροποίηση απομακρύνονται τα οξεοποιητικά νιτρικά ιόντα, το pH του νερού υψώνεται.

Το νερό διαθέτει ως εξισορροπητικό μέσο για να αντιμετωπίσει τις αλλαγές του pH που επιφέρουν οι τρεις παραπάνω διαδικασίες (αναπνοή-μεταβολισμός φυτών-βιολογικό φιλτράρισμα), ουσίες οι οποίες ονομάζονται *ρυθμιστές* (buffers).

Τα buffers καταστέλλουν τις διακυμάνσεις στη συγκέντρωση των ιόντων του υδρογόνου (H^+) και έτσι διατηρούν το pH σχετικά σταθερό. Η ρυθμιστική (buffering) ικανότητα του νερού βασίζεται στη λεγόμενη *αλκαλικότητα* ήτοι, το συνολικό περιεχόμενό του σε ρυθμιστικές ουσίες οι οποίες θα εξουδετερώσουν την οξίνιση που προκύπτει από την αύξηση των ιόντων υδρογόνου (H^+). Η αλκαλικότητα του νερού βασίζεται στην παρουσία σε αυτό ιόντων, κυρίως ανθρακικών (CO_3^{2-}) και διττανθρακικών (HCO_3^-). Υψηλή αλκαλικότητα σημαίνει και σχετικά υψηλότερο της ουδέτερης τιμής (pH=7) pH. Το θαλασσινό νερό είναι καλύτερα «εξοπλισμένο» συγκριτικά με το γλυκό σε ρυθμιστικές ουσίες (buffers), εξαιτίας της υψηλής περιεκτικότητάς του σε άλατα και γι' αυτό το pH του κυμαίνεται σε τιμές 7,9-8,3.

3.1.2. Η σημασία του pH για τα ψάρια (Andrews, Exell & Carrington, 1988).

Τα διάφορα είδη ψαριών έχουν εξελιχθεί να ζουν σε νερά ποικίλων τιμών pH στο εύρος 5,0 – 9,5. Πάντως η πλειονότητα των ψαριών ζει σε νερά με pH μεταξύ 6 και 8. Σε γενικές γραμμές, το pH του νερού σε κάποιο περιβάλλον παραμένει αρκετά σταθερό, με μέγιστες ημερήσιες διακυμάνσεις το πολύ δεκαδικού επιπέδου της επικρατούσας τιμής του pH.

Η σημασία του pH στη φυσιολογία του ψαριού έγκειται στην ανάγκη των ψαριών να διατηρήσουν ένα σταθερό εσωτερικό περιβάλλον pH και μια ισορροπημένη αναλογία οξέως/βάσεως στο αίμα τους. Τα ψάρια αντιμετωπίζουν τις αλλαγές του pH χρησιμοποιώντας είτε αλκαλικά διττανθρακικά ιόντα (HCO_3^-) είτε το όξινο διοξείδιο του άνθρακα (CO_2). Εάν το αίμα πάει να γίνει πολύ όξινο (μείωση pH) λόγω αύξησης του διοξειδίου του άνθρακα σε αυτό (λόγω περιβάλλοντος ή ως αποτέλεσμα μεταβολισμού), τότε αυξάνεται η συγκέντρωση των διττανθρακικών στο πλάσμα του αίματος με σκοπό να ρυθμίσουν (buffer-επαναφέρουν) το pH στην κανονική του τιμή. Αντιθέτως, αν το αίμα πάει να γίνει αλκαλικό, τότε η πρόσθεση διοξειδίου του άνθρακα ή η απομάκρυνση διττανθρακικών θα χαμηλώσουν το pH του. Όλες οι παραπάνω χημικές

διεργασίες επιταχύνονται από την ορμόνη *ανθρακική ανυδράση* η οποία δρα στο αίμα και στις μεμβράνες των βραγχίων.

Τα διάφορα είδη ψαριών παρουσιάζουν διαφορές στην ικανότητά τους να αντιμετωπίζουν τις αλλαγές του pH και τα ενήλικα ψάρια τα καταφέρνουν καλύτερα συγκριτικά με το γόνο ή τα αυγά.

Ως είναι προφανές, οι διαδικασίες για τη διατήρηση στο αίμα σταθερού pH και ισοζυγίου οξέως/βάσεως είναι περισσότερο αναπτυγμένες στα είδη που ζουν σε ακραίες συνθήκες pH καθώς και στα είδη εκείνα που είναι λιγότερο ευαίσθητα στις αλλαγές του pH. Εάν το pH του νερού ξεπερνά για μακρύ χρονικό διάστημα το φυσιολογικό και ανεκτό για το είδος εύρος, ή αυξομειώνεται έντονα, τότε το ψάρι παρουσιάζει συμπτώματα *οξέωσης* ή *αλκάλωσης*.

Η οξέωση συνήθως συμβαίνει σε pH χαμηλότερο του 5,5 παρόλο που αυτό εξαρτάται από το είδος του ψαριού και το pH του φυσικού του περιβάλλοντος. Η συμπεριφορική αντίδραση του ψαριού σε τέτοιες όξινες συνθήκες ποικίλλει ανάλογα με το αν η μεταβολή του pH είναι γρήγορη και έντονη, ή αργή και χρόνια. Στην πρώτη περίπτωση το ψάρι γίνεται υπερευαίσθητο, κολυμπά νευρικά και γρήγορα, ασθμαίνει (λαχανιάζει) και θέλει να πηδά έξω από το νερό και ο θάνατος επέρχεται σχετικά γρήγορα. Στη δεύτερη περίπτωση τα συμπτώματα είναι πιο ήπια-ύπουλα και καταλήγουν σε αργό θάνατο χωρίς εμφανείς συμπεριφορικές αλλαγές.

Τα ψάρια ασθμαίνουν λόγω της μειωμένης ικανότητας της αιμογλοβίνης του αίματος να μεταφέρει οξυγόνο σε όξινες συνθήκες και λόγω της υπερβολικής βλέννας που παράγουν τα βράγχια στο όξινο περιβάλλον.

Σε pH κάτω του 5, κολλοειδής σίδηρος (δηλαδή σίδηρος ενωμένος με σύνθετα οργανικά μόρια) εναποτίθεται στα βράγχια, δημιουργώντας σκούρες γκρι εναποθέσεις, μειώνοντας έτσι ακόμα περισσότερο την ανταλλαγή των αερίων (πρόσληψη οξυγόνου-απελευθέρωση CO₂).

Η οξέωση δεν ερεθίζει μόνο τα βράγχια αλλά και την επιδερμίδα και όλες τις εξωτερικές επιφάνειες του σώματος, προκαλώντας έτσι υπερβολική παραγωγή βλέννας (η επιφάνεια του σώματος μοιάζει “γαλακτερή”) και κοκκίνισμα περιοχών της επιδερμίδας ειδικά στην κοιλιακή περιοχή.

Η οξέωση επίσης συμβάλλει στην ευκολότερη προσβολή των ψαριών από παθογόνα βακτήρια.

Η αλκάλωση γενικώς συμβαίνει σε pH άνω του 8 ή 9 εξαρτώμενη από το είδος του ψαριού. Τα οξεόφιλα είδη ψαριών υποφέρουν από αλκάλωση σε pH 8, ενώ τα θαλασσινά είδη δεν παρουσιάζουν συμπτώματα μέχρι το pH να ξεπεράσει το 9. Τα συμπεριφορικά και φυσιολογικά συμπτώματα της αλκάλωσης είναι παρόμοια με αυτά της οξέωσης. Επιπρόσθετα τα βράγχια και τα πτερύγια καταστρέφονται. Ένα σημαντικό πρόβλημα που επιφέρει επίσης η αλκάλωση, είναι η δραματική αύξηση της τοξικότητας

της αμμωνίας η οποία γίνεται εξαιρετικά επικίνδυνη σε αλκαλικό περιβάλλον (λεπτομέρειες παρακάτω).

3.1.3. Η μέτρηση και ο έλεγχος του pH του νερού (Andrews, Exell & Carrington, 1988).

Είναι ζωτικής σημασίας να παρέχουμε στο ψάρι το σταθερό περιβάλλον pH στο οποίο η φυσιολογία του να αισθάνεται άνετα. Μπορούμε να παρακολουθούμε την τιμή του pH του νερού με απλό και αρκετά ακριβή τρόπο χρησιμοποιώντας εμπορικά προϊόντα μέτρησης π.χ. ειδικό χαρτί, ειδικό υγρό, όλα συσκευασμένα σε ειδικά κιτ (με τις οδηγίες χρήσης των) (Σχήμα 22) ή ακόμα και με τη χρήση μεγαλύτερης ακρίβειας ηλεκτρονικά όργανα σαν το ηλεκτρονικό πεχάμετρο.



Σχήμα 22. Η μέτρηση του pH του νερού. (Από Andrews, Exell & Carrington).

Αν χρειάζεται να τροποποιηθεί το pH του νερού τότε αυτό πρέπει να γίνει σταδιακά και σε βήματα όχι άνω των 0,3 μονάδων pH ανά ημέρα. Με αυτή την αργή διαδικασία δίνουμε χρόνο στα ψάρια για να προσαρμόσουν τη φυσιολογία τους στο νέο pH.

Η δημιουργία σταθερού επιπέδου pH για τα ψάρια εκείνα που από τη φύση τους είναι προσαρμοσμένα σε ουδέτερο ή αλκαλικό περιβάλλον, επιτυγχάνεται αρκετά εύκολα απλώς δημιουργώντας περίσσεια αλκαλικότητας στο νερό. Αλλά για σταθερό περιβάλλον pH σε ψάρια οξεόφιλα, εκεί δηλαδή που απαιτείται μαλακό-όξινο νερό, η κατάσταση είναι πιο δύσκολη. Σε αυτή την περίπτωση απαιτείται ιδιαίτερα έντονος αερισμός έτσι που το παραγόμενο από την αναπνοή των ψαριών CO₂ να μπορεί να διαφύγει γρήγορα στην ατμόσφαιρα χωρίς να προλάβει να δημιουργήσει επιπρόσθετη οξίνιση του νερού.

Επίσης πρέπει να προσεχθεί η οξίνιση του νερού κατά τη νιτροποίηση (εφόσον λειτουργεί κάποιο βιολογικό φίλτρο), επειδή παράγονται νιτρικά ιόντα και εξ' αυτών νιτρικό οξύ με αποτέλεσμα οξίνιση (χαμήλωμα του pH) του νερού. Αυτό αντιμετωπίζεται είτε με τοποθέτηση φίλτρου απονιτροποίησης που θα απομακρύνει τα νιτρικά, είτε με τακτικές αλλαγές ορισμένης ποσότητας του νερού με φρέσκο, έτσι που τα νιτρικά να διατηρούνται σε ελάχιστες συγκεντρώσεις.

Παρόλο που η νιτροποίηση με τα νιτρικά που παράγει κάνει το νερό πιο όξινο, όσο παράδοξο και αν ακούγεται, το βέλτιστο pH για να προχωρά καλά η νιτροποίηση (κάτι που το επιδιώκουμε διότι με αυτή καταπολεμάμε την τοξική αμμωνία) είναι η τιμή 8. Τιμές pH μικρότερες του 7 αναστέλλουν σε αναλογικώς αυξανόμενο βαθμό την ένταση και την αποτελεσματικότητα της νιτροποίησης.

Αρα κατανοούμε γιατί ο καλλιεργητής θα πρέπει πάντα με μαεστρία να συμβιβάζει και αντίθετες ακόμα καταστάσεις για το καλό των ψαριών.

Για να δημιουργήσουμε όξινες συνθήκες σε ενυδρεία ή σε κλειστά συστήματα, χρησιμοποιούμε *τύρφη* (μια κουταλιά τύρφη σε 5 λίτρα νερού σε ξεχωριστό δοχείο για 2 περίπου εβδομάδες και μετά χρησιμοποίηση αυτού του νερού στο σύστημα). Η τύρφη ποικίλλει ως προς τις οξονοποιητικές της δυνατότητες καθώς εάν χρησιμοποιηθεί σε μαλακά νερά τα οποία έχουν χαμηλή περιεκτικότητα σε ρυθμιστές (buffers), τα οξονοποιεί πολύ πιο εύκολα απ' ό,τι τα σκληρά νερά τα οποία έχουν κατά κανόνα μεγαλύτερη συγκέντρωση ρυθμιστών.

Για να δημιουργήσουμε αλκαλικές συνθήκες η κατάσταση είναι πιο εύκολη και απλή. Χρησιμοποιούμε ως υπόστρωμα στο βιολογικό φίλτρο ασβεστολιθικό υλικό, όπως σπασμένα κελύφη οστράκων, κοραλλιογενή άμμο, κ.ά. Αυτά τα ασβεστούχα υλικά απελευθερώνουν με αργό και σταθερό ρυθμό ρυθμιστές, που εξουδετερώνουν την όποια τάση για οξίνιση του νερού. Υπάρχει όμως και ένα αρνητικό γεγονός, ότι δηλαδή με την πάροδο του χρόνου χάνουν σταδιακά τη ρυθμιστική τους

ικανότητα καθώς καλύπτονται σιγά – σιγά με οργανικές και ανόργανες εναποθέσεις.

Εναλλακτικώς, υπάρχουν στο εμπόριο χημικά ρυθμιστικά πρόσθετα που προσφέρουν μακροχρόνια αλκαλική (και ρυθμιστική) δράση. Αυτά τα προϊόντα με βάση το όξινο ανθρακικό νάτριο (NaHCO_3) διασφαλίζουν την ισορροπία των ιόντων στο νερό και είναι χρήσιμα ιδιαίτερα στα θαλασσινά συστήματα.

3.2. Η θερμοκρασία και η επίδρασή της στην υδρόβια ζωή (Andrews, Exell & Carrington, 1988).

Το νερό έχει μεγάλη *θερμοχωρητικότητα* κάτι που σημαίνει ότι «αντιστέκεται» στη θερμοκρασιακή μεταβολή και η θερμοκρασία του μεταβάλλεται αργά. Ενώ στο χερσαίο περιβάλλον οι ημερήσιες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας λόγω της θερμότητας από τον ήλιο είναι ακόμα και $15\text{ }^\circ\text{C}$, στα περισσότερα υδρόβια περιβάλλοντα δεν ξεπερνούν τους $3\text{-}4\text{ }^\circ\text{C}$. Οι εποχιακές διακυμάνσεις (από το ελάχιστο έως το μέγιστο) της θερμοκρασίας στο υδάτινο περιβάλλον συμβαίνουν αργά σε περίοδο μηνών. Ως είναι φυσικό τα ψάρια έχουν προσαρμοστεί σε περιβάλλοντα σχετικά σταθερά ως προς τη θερμοκρασία και με τις όποιες θερμοκρασιακές αλλαγές να επέρχονται με βραδύ ρυθμό.

Η πυκνότητα του νερού (όπως και άλλα φυσικά υλικά), αλλάζει ανάλογα με τη θερμοκρασία του, έτσι το κρύο νερό είναι πυκνότερο από το θερμό και γι' αυτό παρουσιάζει την τάση να βυθίζεται. Ως εκ τούτου το θερμότερο νερό βρίσκεται στην επιφάνεια, με τη θερμοκρασία να χαμηλώνει όσο το βάθος μεγαλώνει.

Ομως το πυκνότερο νερό παρουσιάζει τη *μέγιστη πυκνότητα* στους $4\text{ }^\circ\text{C}$ και στις χαμηλότερες των $4\text{ }^\circ\text{C}$ θερμοκρασίες, η πυκνότητα ολοένα και μικραίνει μέχρι που στους $0\text{ }^\circ\text{C}$ σχηματίζεται πάγος ο οποίος επιπλέει. Αυτή η θαυμαστή και μοναδική ιδιότητα του νερού επιτρέπει στην υδρόβια ζωή των λιμνών (με κάποιο βάθος) να επιβιώνει κατά τους παγετούς, επειδή ακόμα και αν καλυφθεί με πάγο η επιφάνεια, τα αποκάτω στρώματα του νερού που μπορούν να διατηρήσουν θερμοκρασία $4\text{ }^\circ\text{C}$ παραμένουν “υγρά”, δρώντας ως καταφύγιο για τα υδρόβια ζώα.

Τα ψάρια είναι *ποικιλόθερμα* ή άλλως *εκτόθερμα*, δηλαδή έχουν μειωμένη φυσιολογική ικανότητα να διατηρήσουν σταθερή θερμοκρασία σώματος (όπως τα θηλαστικά). Στα περισσότερα είδη ψαριών η σωματική τους θερμοκρασία είναι ίδια με την επικρατούσα στο νερό.

Τα ψάρια έχουν προσαρμοστεί και εγκλιματιστεί σε ακραία θερμοκρασιακά περιβάλλοντα. Ορισμένα είδη ζουν κάτω από τους αρκτικούς πάγους βοηθούμενα από την παρουσία «αντιπηκτικών» γλυκοπρωτεϊνών στο αίμα τους. Στο άλλο άκρο υπάρχουν είδη τιλάπιας

των ζεστών πηγών στην Ανατολική Αφρική που επιβιώνουν σε θερμοκρασία 38 °C.

Κατά γενική θεώρηση, τα ψάρια διακρίνονται σε *ψάρια των θερμών νερών* που ζουν σε θερμοκρασίες άνω των 24 °C και *ψάρια των ψυχρών νερών* όπου η εποχιακές θερμοκρασίες είναι αρκετά πιο χαμηλές.

Σε κάθε ορισμένο περιβάλλον, τα ψάρια είναι εγκλιματισμένα σε ένα σχετικά μικρό θερμοκρασιακό εύρος. Εάν η θερμοκρασία του νερού μεταβληθεί έξω από αυτό το εύρος για αρκετό χρόνο ή μεταβληθεί απότομα ακόμα και μέσα στο εύρος αυτό, τότε προκαλεί στρες στα ψάρια. Παρόλο που αυτό είναι ο κανόνας, τα διάφορα είδη ψαριών ποικίλουν ως προς την ικανότητά τους να αντέχουν τις θερμοκρασιακές αλλαγές. Τα λεγόμενα *ευρύθερμα* είδη όπως οι γωβιοί (*Gobius* sp.) μπορούν να αντέξουν αποτελεσματικότερα τη μεταβολή της θερμοκρασίας απ'ότι τα *στενόθερμα* όπως τα θαλάσσια αγγελόψαρα (οικογ. Pomacanthidae).

Σε γενικές γραμμές οι φυσιολογικές επιπτώσεις στο ψάρι από την αλλαγή της θερμοκρασίας είναι:

- Ο μεταβολικός τους ρυθμός (ένταση) διπλασιάζεται με ύψωση της θερμοκρασίας κατά 10 °C.
- Διαταράσσεται η αναπνοή τους (το θερμότερο νερό “κρατά” λιγότερο οξυγόνο απ’ ότι το ψυχρότερο).
- Διαταραχή στην ισορροπία των ιόντων (δηλαδή του pH) στο αίμα.
- Διαταράσσεται η ωσμωρυθμιστική τους λειτουργία.
- Απότομη αλλαγή θερμοκρασίας κάνει τη νηκτική τους κύστη να λειτουργεί προβληματικά.
- Σε ακατάλληλες θερμοκρασίες οι λάρβες των ψαριών δεν μπορούν να τραφούν σωστά.
- Σε ακατάλληλες θερμοκρασίες τα αυγά τους δεν εκκολάπτονται.
- Σε ακατάλληλες θερμοκρασίες η αύξηση μπορεί και να σταματήσει.
- Γενικά τα ενήλικα ψάρια μπορούν να αντιμετωπίσουν καλύτερα τις απότομες αλλαγές συγκριτικά με τις λάρβες και τα αυγά.

Τα ψάρια προσπαθούν να αντιμετωπίσουν διά της ρύθμισης της φυσιολογίας τους, τις αλλαγές στη θερμοκρασία του νερού κατά ένα παρόμοιο για όλα πρότυπο. Στην αρχή υφίστανται σοκ και ο μεταβολικός τους ρυθμός αρχικά «εξακοντίζεται» (δηλαδή είτε πολύ εντονότερα είτε πολύ υποτονικότερα από το φυσιολογικό) και κατόπιν μετά από κάποιες ώρες σταθεροποιείται σε κάποιο νέο επίπεδο. Οι φυσιολογικές λειτουργίες του ψαριού κατόπιν προσαρμόζονται αργά μέσα σε περίοδο που κυμαίνεται από ημέρες έως εβδομάδες, χρονικό διάστημα που εξαρτάται από την ένταση της θερμοκρασιακής μεταβολής. Ο βαθμός και

ο ρυθμός αυτής της προσαρμογής εξαρτάται από το είδος του ψαριού, το φύλο του, την κατάσταση της θρέψης του, την αλατότητα του νερού και το επίπεδο του διαλυμένου στο νερό οξυγόνου. Εάν πρόκειται για στενόθερμο ψάρι ή αν η μεταβολή της θερμοκρασίας είναι υπερβολική, το αποτέλεσμα μπορεί να είναι θάνατος και αν όχι θάνατος τότε στρες που επιφέρει μείωση της ανθεκτικότητάς του σε ασθένειες. Ψάρια που είναι φορείς μιας ασθένειας χωρίς να έχουν νοσήσει, ή ψάρια που μόλις έχουν νοσήσει, είναι πολύ πιο ασθενή στην αντιμετώπιση μιας θερμοκρασιακής αλλαγής απ' ό,τι τα υγιή ψάρια.

Η ακατάλληλη θερμοκρασία ή οι απότομες και μεγάλες μεταβολές της, καταλήγουν επίσης στη μείωση της αποτελεσματικότητας του ανοσοποιητικού τους συστήματος. Για παράδειγμα, η παραγωγή αντισωμάτων παίρνει πολύ περισσότερο χρόνο στις χαμηλές θερμοκρασίες. Τα ψάρια που ασθενούν παρουσιάζουν ως «σύμπτωμα πυρετού» την τάση να βρουν θερμότερο νερό (π.χ. σε ένα ενυδρείο πλησιάζουν το θερμαντικό σώμα-θερμοστάτη). Πολλές ασθένειες εξαρτώνται από τη θερμοκρασία όχι μόνο έμμεσα εξαιτίας της επίδρασης της θερμοκρασίας στο ανοσοποιητικό σύστημα του ψαριού, αλλά και άμεσα καθώς η θερμοκρασία επηρεάζει την τοξικότητα των παθογόνων μικροοργανισμών. Για παράδειγμα, η ασθένεια που προκαλούν τα βακτήρια του γένους *Aeromonas* στους 4 °C καταλήγει σε θνησιμότητα 14 % του νοσούντος πληθυσμού πέστροφων, ενώ στους 21 °C η θνησιμότητα εκτοξεύεται στο 100 %.

Τα αποτελέσματα στη φυσιολογία του ψαριού είναι ελαφρώς διαφορετικά στις μεταβολές της θερμοκρασίας όταν πρόκειται για αύξησή της ή για μείωσή της. Γενικά τα ψάρια τα καταφέρνουν καλύτερα όταν αντιμετωπίζουν αύξηση της θερμοκρασίας απ' ό,τι μείωση ιδίου μεγέθους.

3.2.1. Αύξηση της θερμοκρασίας (Andrews, Exell & Carrington, 1988).

Η αύξηση της θερμοκρασίας δημιουργεί ένα «φαύλο κύκλο» καθώς προκαλεί αύξηση του μεταβολισμού των ψαριών, η αύξηση του μεταβολισμού απαιτεί περισσότερο οξυγόνο, ενώ η περιεκτικότητα του νερού σε οξυγόνο μειώνεται. Για παράδειγμα η αύξηση από 5 σε 25 °C στο χρυσόψαρο, προκαλεί ανάγκη εννεαπλασιασμού (Σχήμα 23) του απαιτούμενου για την αναπνοή του οξυγόνου. Από φυσιολογική άποψη, το έλλειμμα οξυγόνου που προκύπτει από τις αυξημένες θερμοκρασίες, προκαλεί αύξηση στην παραγωγή της ορμόνης αδρεναλίνη και ο καρδιακός ρυθμός αυξάνει. Το πρόβλημα επιπλέον μεγεθύνεται από τη μείωση της ικανότητας του αίματος να μεταφέρει οξυγόνο.

Τα συμπτώματα των ψαριών που υφίστανται θερμικό στρες χαρακτηρίζονται από *υπερδραστηριότητα*, αύξηση του ρυθμού αναπνοής και *απώλεια ισορροπίας*.

Οι υψηλές θερμοκρασίες προκαλούν μετουσίωση (καταστροφή) των πρωτεϊνών του σώματος με συνέπεια, τα εξ' αυτού του γεγονότος βλαφθέντα κύτταρα να παράγουν τοξικούς μεταβολίτες. Οι υψηλές θερμοκρασίες προκαλούν επίσης αύξηση της τοξικότητας των όποιων βαρέων μετάλλων υπάρχουν στο νερό, καθώς και της τοξικότητας της όποιας συγκέντρωσης αμμωνίας υπάρχει κάθε φορά διαλυμένη. Και προβλήματα στην ωσμωρυθμιστική ικανότητα του ψαριού μπορεί να συμβούν, καθώς οι υψηλές θερμοκρασίες αλλοιώνουν τα λίπη των κυτταρικών μεμβρανών του επιθηλίου των βραγχίων, προκαλώντας έτσι αύξηση της διαπερατότητας (σε ιόντα) των βραγχιακών κυττάρων.

Σε συνθήκες έντονου θερμικού στρες, το ψάρι πέφτει σε κώμα καθώς το κεντρικό νευρικό του σύστημα «μπλοκάρει». Η υψηλότερη θερμοκρασία την οποία μπορεί να αντέξει ένα ψάρι εξαρτάται από το είδος, τη θερμοκρασία στην οποία είναι εγκλιματισμένο, τη συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου στο νερό και το επίπεδο των διαλυμένων τοξικών ουσιών που είναι παρόντα.

3.2.2. Μείωση της θερμοκρασίας (Andrews, Exell & Carrington, 1988).

Η μείωση της θερμοκρασίας προκαλεί και αυτή μεταβολικά προβλήματα. Κατά κανόνα σε θερμοκρασίες χαμηλότερες των 15 °C, ο μεταβολισμός μειώνεται και είναι πιθανό η παραγωγή ενέργειας να πέσει κάτω από το επίπεδο εκείνο που απαιτείται για τις σωματικές λειτουργίες, ιδιαίτερα σε ψάρια που δεν είναι φυσιολογικώς προσαρμοσμένα σε χαμηλές θερμοκρασίες.

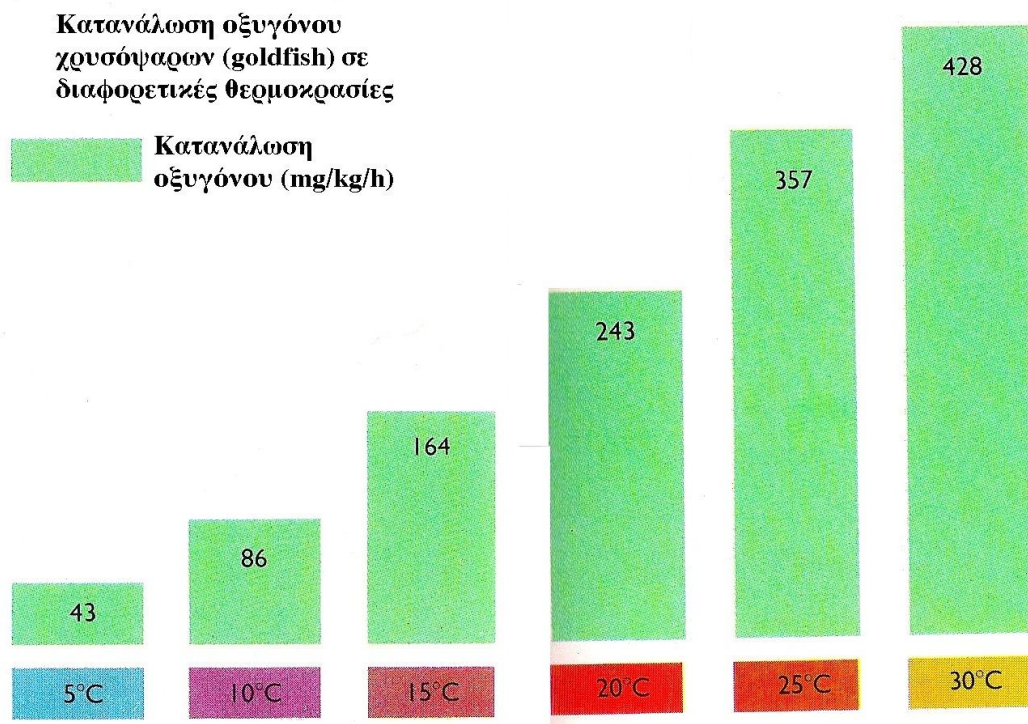
Οι χαμηλές θερμοκρασίες μπορεί επίσης να οδηγήσουν σε ανεπαρκή πρόσληψη οξυγόνου, κατάσταση που χαρακτηρίζεται ως «υποξία», παρά το γεγονός ότι το ψυχρότερο νερό μπορεί να «κρατήσει» περισσότερο διαλυμένο οξυγόνο συγκριτικά με το θερμότερο. Η υποξία οφείλεται στο ότι παρόλο που το νερό μπορεί να έχει πολύ οξυγόνο, το ψάρι λόγω της μείωσης του αναπνευστικού του και του καρδιακού του ρυθμού δεν προσλαμβάνει όλη την ποσότητα οξυγόνου που χρειάζεται.

Μιλώντας για την πρόσληψη του οξυγόνου, πρέπει επίσης να επισημανθεί το γεγονός ότι η απότομη μείωση της θερμοκρασίας μπορεί να προκαλέσει εκφυλισμό των ερυθρών αιμοσφαιρίων, με συνέπεια τη μείωση της ποσότητας της διαθέσιμης αιμογλοβίνης, η οποία ως γνωστόν μεταφέρει το οξυγόνο, με προφανή αρνητικά αποτελέσματα στην αναπνευστική ικανότητα του ψαριού.

Οι μειωμένες θερμοκρασίες προκαλούν χρονίας μορφής ωσμωρυθμιστικά προβλήματα, καθώς οι κυτταρικές μεμβράνες γίνονται περισσότερο διαπερατές, η «αντλία αλάτων» στα βραγχιακά κύτταρα σταματά να λειτουργεί και τα νεφρά δεν μπορούν να αντεπεξέλθουν.

Τα ψάρια με θερμικό στρες από χαμηλές θερμοκρασίες παρουσιάζουν απώλεια ισορροπίας και ξαφνικούς βίαιους σπασμούς. Σε ακραίο θερμικό σοκ τα ψάρια πέφτουν σε κώμα καθώς το κεντρικό νευρικό σύστημα

σταματά να λειτουργεί. Αν προλάβουμε και σύντομα διορθώσουμε τη θερμοκρασία, η κατάσταση μπορεί να είναι αναστρέψιμη.



Σχήμα 23. Η μεταβολή της κατανάλωσης του οξυγόνου (ως mg O₂ / kg βάρους ψαριών /h) στο χρυσόψαρο σε διάφορες θερμοκρασίες νερού. (Από Andrews, Exell & Carrington, τροποποιημένο από Χώτος).

3.3. Τα διαλυμένα άλατα στο νερό, σκληρότητα νερού (Andrews, Exell & Carrington, 1988).

Επειδή το νερό είναι εξαιρετικός διαλύτης, περιέχει μια μεγάλη ποικιλία διαλυμένων ουσιών. Ο τύπος και η ποσότητα των διαλυμένων αλάτων στο γλυκό νερό, εξαρτώνται από την πηγή προέλευσής του και από τη «χημεία» των πετρωμάτων και του εδάφους μέσα και επάνω από τα οποία έχει περάσει πριν φθάσει στον τελικό του ρου. Ανω του 95 % των συνολικώς διαλυμένων ουσιών στα φυσικά νερά αποτελείται από 8 ιόντα. Τέσσερα φορτισμένα αρνητικά: χλωροϊόντα (Cl⁻), θειικά (SO₄⁻), ανθρακικά (CO₃⁻) και διττανθρακικά (HCO₃⁻) και τέσσερα θετικά: ασβεστίου (Ca⁺⁺), μαγνησίου (Mg⁺⁺), νατρίου (Na⁺) και καλίου (K⁺). Το υπόλοιπο 5 % περίπου το αποτελούν ίχνη ουσιών όπως ιόντα φωσφορικά, νιτρικά, πυριτικά και μεταλλικά στοιχεία όπως ιώδιο, χαλκός, ψευδάργυρος κ.ά. Οι σχετικές αναλογίες των συγκεντρώσεων όλων των παραπάνω ιόντων στο νερό καθορίζει δύο σημαντικές παραμέτρους του, τη *σκληρότητά* του και την *αλατότητά* του.

3.3.1. Σκληρότητα (Andrews, Exell & Carrington, 1988).

Ως σκληρότητα αναφερόμαστε κυρίως στη μέτρηση που γίνεται στα γλυκά νερά και αφορά μόνο σε μέρος των ολικών διαλυμένων στερεών.

Αφορά τη μέτρηση της ποσότητας ορισμένων από τα διαλυμένα ιόντα στο νερό και συγκεκριμένα και κυρίως του ασβεστίου (Ca^{++}) και του μαγνησίου (Mg^{++}). Από τα δύο, το ασβέστιο είναι το πιο σημαντικό καθώς ξεπερνά τη συγκέντρωση του μαγνησίου κατά 3 έως 10 φορές. Και άλλα μεταλλικά στοιχεία συμμετέχουν στη σκληρότητα του νερού (αλλά σε πολύ μικρότερο βαθμό) όπως ιόντα βαρίου, στροντίου, σιδήρου, χαλκού, ψευδαργύρου, κ.ά. Τα ιόντα αυτά είναι γενικώς του τύπου υδροξειδίου, ανθρακικών και διττανθρακικών, ενώ απαντώνται σε ακόμα μικρότερες συγκεντρώσεις και θειικά, χλωριούχα, πυριτικά, φωσφορικά και βορικά ιόντα.

Ο όρος *ολική σκληρότητα νερού* (ή *γενική σκληρότητα*) και συμβολιζόμενος ως GH (General Hardness) αναφέρεται στη συνολική ποσότητα όλων των παραπάνω ιόντων-αλάτων και μπορεί να υποδιαιρεθεί σε *παροδική σκληρότητα* και σε *μόνιμη σκληρότητα*. Η παροδική σκληρότητα μπορεί να εξαφανιστεί διά της κατακρήμνισης αλάτων μετά από βρασμό, ενώ η μόνιμη σκληρότητα παραμένει επειδή τα άλατα που την καθορίζουν παραμένουν και μετά από το βρασμό.

Η παροδική σκληρότητα (γνωστή και ως *ανθρακική σκληρότητα* συμβολιζόμενη με KH), συνήθως αποτελεί το μεγαλύτερο κομμάτι της ολικής σκληρότητας.

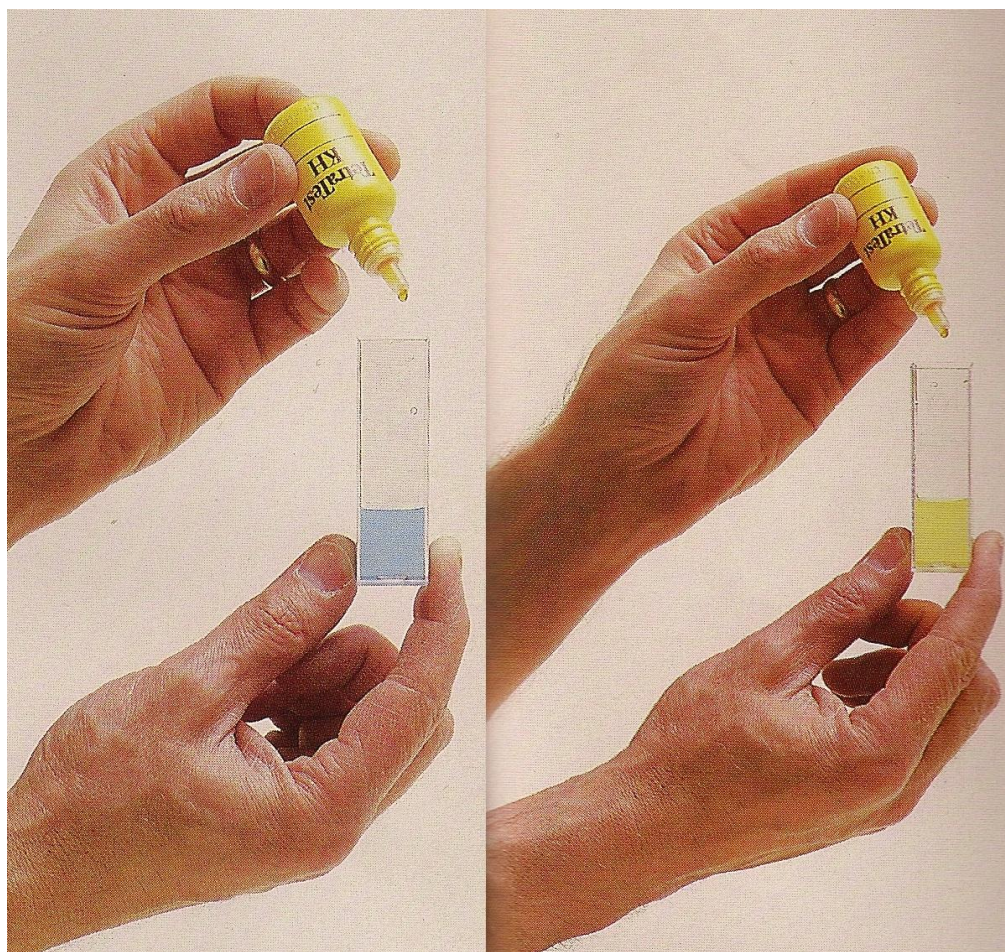
Στο σημείο αυτό θα πρέπει να επισημανθεί ότι ορισμένα άλατα ασβεστίου και μαγνησίου καθορίζουν όχι μόνο τη σκληρότητα αλλά και την *αλκαλικότητα* του νερού. Η αλκαλικότητα και η σκληρότητα του νερού έχουν μια μάλλον πολύπλοκη σχέση αλλά με απλούς όρους, η αλκαλικότητα αντιπροσωπεύει κατά κάποιο τρόπο την παροδική σκληρότητα (ή ανθρακική σκληρότητα). Ο λόγος για αυτό είναι ότι η παροδική σκληρότητα προκαλείται κυρίως από διττανθρακικά ιόντα τα οποία κυρίως είναι υπεύθυνα για την αλκαλικότητα. Το μέρος εκείνο της ολικής σκληρότητας που αποτελεί τη μόνιμη σκληρότητα αποτελείται από νιτρικά, χλωριούχα, θειικά, φωσφορικά, πυριτικά και χουμικά άλατα.

Η μέτρηση της σκληρότητας (αλλά και της αλκαλικότητας) γίνεται με ποικίλους τρόπους. Ο πλέον κοινός είναι αυτός της χημικής τιτλοδότησης κατά τον οποίο σε ένα προς μέτρηση δείγμα νερού προστίθενται δύο χημικά παρασκευάσματα μέχρι να αναπτυχθεί ένα ορισμένο χρώμα, το οποίο συγκρίνεται με κάποια κλίμακα τα χρώματα της οποίας αντιπροσωπεύουν τιμές σκληρότητας (ή αλκαλικότητας).

Αν τώρα θέλουμε να μετρήσουμε ξεχωριστά την παροδική και τη μόνιμη σκληρότητα η κατάσταση γίνεται λίγο πολύπλοκη. Μια καλή πρακτική είναι η μέτρηση της ολικής σκληρότητας κατά τα παραπάνω με ένα ειδικό κιτ ανάλυσης (Σχήμα 24) και συγχρόνως με ένα άλλο παρεμφερές ειδικό κιτ (για αλκαλικότητα) μετράμε την αλκαλικότητα. Επειδή η αλκαλικότητα αντιπροσωπεύει όπως προαναφέρθηκε την παροδική

σκληρότητα, αφαιρώντας από την τιμή της ολικής σκληρότητας που βρήκαμε την τιμή της αλκαλικότητας έχουμε την τιμή και της μόνιμης σκληρότητας.

Η σκληρότητα μπορεί να μετρηθεί έμμεσα και με μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του νερού η οποία δίνει και μια καλή προσέγγιση της σκληρότητας, με τη χρήση ειδικών ηλεκτρονικών οργάνων των αγωγιμόμετρων. Με τη βύθιση στο νερό του ειδικού ηλεκτροδίου του αγωγιμόμετρου, δίδεται η ένδειξη της αγωγιμότητας σε μονάδες *micro Siemens* (μS) στην οθόνη του οργάνου. Όμως παρόλο που η μέθοδος αυτή είναι γρήγορη, δεν μπορεί να διαχωρίσει την ολική από την παροδική σκληρότητα του δείγματος του νερού που μετρήσε.



Σχήμα 24. Η μέτρηση της ανθρακικής σκληρότητας (KH). Με την πρώτη σταγόνα του ειδικού διαλύματος στο δείγμα του νερού, αυτό γίνεται μπλε. Εξακολουθούμε να ρίχνουμε σταγόνες (μετρώντας τες) μέχρι το δείγμα να γίνει κίτρινο. Ο αριθμός των σταγόνων που χρειάστηκαν βάσει οδηγιών του κιτ αντιστοιχεί στη σκληρότητα σε βαθμούς $^{\circ}\text{dH}$. (Από *Andrews, Exell & Carrington*, τροποποιημένο από *Χώτος*).

Η σκληρότητα του νερού εκφράζεται με συχνά διαφορετικούς όρους και μπορεί να δημιουργηθεί σύγχυση από τη χρησιμοποίηση αυτών των όρων στη βιβλιογραφία. Ως στάνταρντ όμως έκφραση μπορούμε να

εκφράσουμε τη σκληρότητα σε mg/L ή ppm ανθρακικού ασβεστίου (CaCO₃) (Πίνακας 1).

Πίνακας 1. Οι διάφορες εκφράσεις της σκληρότητας του νερού.

Κλίμακα	Καταγωγή	Ισοδύναμα σε mg/L CaCO₃	Συντελεστής μετατροπής σε mg/L CaCO₃
° σκληρότητα	ΗΠΑ	1 mg/L CaCO₃	-
° Clark	M.B.	14,3 mg/L CaCO₃	14,3
° dH	Γερμανία	17,9 mg/L CaCO₃	17,9
° fH	Γαλλία	20 mg/L CaCO₃	20

Πίνακας 2. Χαρακτηρισμός των νερών ανάλογα με τη σκληρότητά τους.

mg/L CaCO₃	° dH	Κατάσταση νερού
0-50	3	Μαλακό
50-100	3-6	Μετρίως μαλακό
100-200	6-12	Ελαφρά σκληρό
200-300	12-18	Μετρίως σκληρό
300-450	18-25	Σκληρό
Άνω του 450	Άνω του 25	Πολύ σκληρό

3.3.2. Πως η σκληρότητα επηρεάζει τα ψάρια (Andrews, Exell & Carrington, 1988).

Η σκληρότητα του νερού (Πίνακας 2) επηρεάζει τα ψάρια των γλυκών νερών επηρεάζοντας την ωσμωρύθμισή τους. Καθώς το σκληρό νερό έχει μεγαλύτερη περιεκτικότητα αλάτων απ' ότι το μαλακό, η ωσμωτική διαφορά μεταξύ των σωματικών υγρών του ψαριού και του εξωτερικού περιβάλλοντος είναι μικρότερη (απ' ότι αν βρίσκονταν σε μαλακό νερό). Για το λόγο αυτό το ωσμωρυθμιστικό σύστημα έχει να αντιμετωπίσει μικρότερη ένταση αντικατάστασης των αλάτων που χάνονται από το αίμα (κοιτάξτε για υπενθύμιση το σχετικό κεφάλαιο για την ωσμωρύθμιση). Επιπρόσθετα, η παρουσία ασβεστίου στο σκληρό νερό μειώνει τη διαπερατότητα των βραγχίων και έτσι μειώνεται το χάσιμο των αλάτων και η εισροή νερού από τα βράγχια. Στο μαλακό νερό τα ψάρια έχουν μεγαλύτερες απαιτήσεις από το ωσμωρυθμιστικό τους σύστημα και χρειάζεται μεγαλύτερη προσπάθεια για να διατηρήσουν την εσωτερική τους ισορροπία αλάτων/νερού.

Η σκληρότητα επηρεάζει επίσης τη ρύθμιση του επιπέδου του ασβεστίου στο αίμα, το οποίο επίπεδο εξαρτάται επίσης από την τροφή. Τα ψάρια των σκληρών νερών αγωνίζονται ενάντια στην υψηλή συγκέντρωση ασβεστίου στο αίμα, χρησιμοποιώντας ένα αποδοτικό σύστημα αποβολής του ασβεστίου, σύστημα το οποίο «κυβερνάται» από την ορμόνη *καλσιτονίνη*. Τα ψάρια των μαλακών νερών αντίθετα, χρειάζονται να

πάρουν περισσότερο ασβέστιο από την τροφή τους και επίσης χρησιμοποιούν τα οστά τους ως «αποθήκη» ασβεστίου το οποίο συμβάλλει στο να διατηρούνται σταθερά τα επίπεδα ασβεστίου στο αίμα. Τα ψάρια του γλυκού νερού έχουν προσαρμοστεί να ζουν σε μια ευρύτατη ποικιλία σκληρότητας νερού από τα πολύ μαλακά και όξινα του Αμαζονίου (50 mg/L CaCO₃), έως τα σκληρά αλκαλικά νερά της Ανατολικής Αφρικής (330 mg/L CaCO₃). Όμως στο ιδιαίτερο περιβάλλον που έχει προσαρμοστεί το κάθε είδος, τα ψάρια έχουν ρυθμίσει τις φυσιολογικές τους δραστηριότητες σε ένα μάλλον στενό εύρος σκληρότητας και ωσμωρυθμιστικής έντασης. Αλλάζοντας την τιμή της σκληρότητας έξω από αυτό το εύρος ή διαταράσσοντας την κύρια σύνθεση των ιόντων της σκληρότητας του νερού, θα οδηγήσει σε ακραίο ωσμωτικό στρες και δυσλειτουργία της φυσιολογίας των. Για παράδειγμα, αν τα διττανθρακικά ιόντα υπερβούν τα κανονικά επίπεδα, τότε θα αποτύχει η απέκκριση των διττανθρακικών από τα βράγχια, κάτι που θα οδηγήσει σε αλκαλοποίηση με αύξηση του pH στο αίμα και συνεπώς παρουσίαση συμπτωμάτων αλκάλωσης (βλέπε προηγούμενα). Υψηλή συγκέντρωση διττανθρακικών επηρεάζουν επίσης τη λειτουργία των νεφρών, με κατάληψη τις ασβεστούχες εναποθέσεις στα νεφρικά σωληνάκια (κάτι ανάλογο με τις «πέτρες στα νεφρά»).

Τα αυγά των ψαριών επίσης επηρεάζονται εάν έχουν τοποθετηθεί σε ασύνηθες σκληρό νερό, επειδή αποτυγχάνουν να «σκληρυνθούν» (διογκωθούν). Αυτό μπορεί να ακούγεται παράδοξο, αλλά γίνεται κατανοητό αν κατανοήσουμε ότι η διαδικασία της σκλήρυνσης (διόγκωση των αυγών) γίνεται μόνο την πρόσληψη νερού από το περιβάλλον έτσι που τα αυγά να «πρηστούν». Μια μεγαλύτερη από το κανονικό σκληρότητα του νερού, μειώνει την ωσμωτική διαφορά μεταξύ του εσωτερικού του αυγού και του εξωτερικού νερού, με αποτέλεσμα η είσοδος του νερού στο εσωτερικό τους για να τα διογκώσει να δυσκολεύεται.

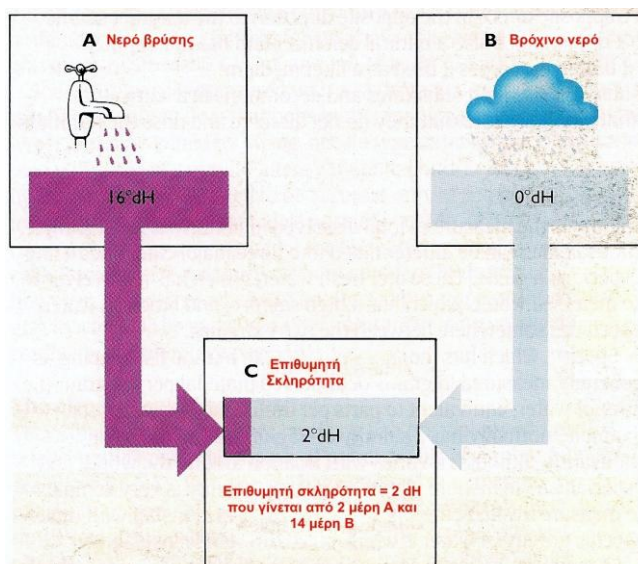
Τα διάφορα είδη ψαριών παρουσιάζουν ποικίλη ανθεκτικότητα σε αλλαγές της σκληρότητας, ανάλογα με τη δυναμικότητα προσαρμογής του ωσμωρυθμιστικού τους συστήματος στις αλλαγές αυτές. Γενικώς μιλώντας, σε τέτοιες καταστάσεις υφίστανται στρες και δεν κατορθώνουν να επιτύχουν βέλτιστες επιδόσεις ως προς την αύξησή τους, την αναπαραγωγή τους και την αντίσταση σε ασθένειες.

Η σκληρότητα του νερού σχετίζεται με, και επηρεάζει, την τοξικότητα ορισμένων μετάλλων και φυτοφαρμάκων που μπορεί να βρίσκονται στο νερό. Κατά γενική θεώρηση τα σκληρότερα νερά με υψηλά επίπεδα ασβεστίου μειώνουν την τοξικότητα αυτών των ουσιών. Όμως από την άλλη μεριά, επειδή τα σκληρά νερά παρουσιάζουν και υψηλότερη αλκαλικότητα και συνεπώς υψηλότερο pH, η τοξικότητα της όποιας συγκέντρωσης αμμωνίας στο νερό αυξάνει (λεπτομέρειες παρακάτω).

3.3.3. Η τεχνητή μεταβολή της σκληρότητας του νερού (Andrews, Exell & Carrington, 1988).

Προσπαθώντας να επιτύχει την κατάλληλη σκληρότητα για το κάθε είδους ψαριού γλυκού νερού που διατηρεί, ο εκτροφέας έχει στη διάθεσή του διάφορες τεχνικές ποικίλης αποτελεσματικότητας. Το να επιτύχει όμως το τέλειο θεωρητικώς αποτέλεσμα ίσως είναι δύσκολο και εργοβόρο. Ολα κρίνονται από την πρακτικότητα και την επίτευξη επωφελών συμβιβασμών. Για να γίνει το νερό σκληρότερο απ' ότι είναι στην κατάσταση που προσφέρεται για να γεμίσουν οι δεξαμενές (ή τα ενυδρεία), η λύση είναι απλή. Προστίθενται στο νερό ανθρακικά άλατα μέχρι που να επιτευχθεί η επιθυμητή σκληρότητα. Μια άλλη λύση όπως προαναφέρθηκε, είναι και η τοποθέτηση ασβεστολιθικής φύσεως υλικών (π.χ. σπασμένα κελύφη οστράκων) στο βιολογικό φίλτρο (αν υπάρχει), υλικά τα οποία διά της συνεχούς απελευθέρωσης ιόντων ασβεστίου θα διατηρούν το νερό σκληρό.

Για να γίνει το νερό μαλακότερο δεν είναι το ίδιο απλό. Η καλύτερη πηγή απόλυτα μαλακού νερού είναι το βρόχινο, το οποίο αν συλλέγεται μπορεί να χρησιμοποιηθεί με ανάμιξη με το όποιο διατιθέμενο σκληρό νερό (βρύσης ή πηγής) για να επιτευχθεί η επιθυμητή χαμηλή σκληρότητα (Σχήμα 25). Ομως, η μέθοδος αυτή έχει αρκετά μειονεκτήματα που συνίστανται στο ότι το βρόχινο νερό στερείται εντελώς ορισμένων ιχνοστοιχείων απαραίτητων για «ντελικάτα» ψάρια, αλλά και αυτό να μην είναι το πρόβλημα, το γεγονός ότι δεν μπορούν να είναι διαθέσιμες μεγάλες ποσότητες βρόχινου νερού συνεχώς, δρα οπωσδήποτε περιοριστικά.



Σχήμα 25. Ανάμιξη νερών φτιάχνοντας την επιθυμητή σκληρότητα. (Από Andrews, Exell & Carrington, τροποποιημένο από Χώτος).

Υπάρχουν και πιο εξελιγμένες-ραφινάρισμαμένες μέθοδοι για να αφαιρεθεί η σκληρότητα του νερού. Όμως δεν έχουν μεγάλη αποδοτικότητα, είναι εργοβόρες και είναι κατάλληλες μόνο για μικρούς όγκους νερού όπως τα ενυδρεία.

Οι μέθοδοι αυτοί είναι η *ιοντοανταλλαγή* ή *απιονισμός* και η *αντίστροφη ώσμωση*. Με τη χρήση συνήθων ιοντοανταλλακτικών στηλών γεμάτες με ειδικές ρητίνες, το νερό που περνά μέσα τους «ανταλλάσσει» τα ιόντα ασβεστίου που περιέχει με ιόντα νατρίου από τις ρητίνες. Όμως η προκύπτουσα υπερσυγκέντρωση ιόντων νατρίου στο νερό, δεν είναι και ότι το καλύτερο για τα περισσότερα είδη ψαριών των μαλακών νερών.

Το πιο εξελιγμένο σύστημα ιοντοανταλλακτών χρησιμοποιεί δύο στήλες με ρητίνες και επιτυγχάνει την ανταλλαγή των θετικά φορτισμένων ιόντων ασβεστίου (Ca^{++}) και μαγνησίου (Mg^{++}), με υδρογονοϊόντα (H^+). Επιπλέον επιτυγχάνει την ανταλλαγή των αρνητικά φορτισμένων ιόντων ανθρακικών (CO_3^-) και διττανθρακικών (HCO_3^-) με υδροξύλια (OH^-). Το μειονέκτημα όμως αυτής της τεχνικής είναι ότι, αφενός μερικές φορές παράγουν εν δυνάμει τοξικές αμίνες και αφετέρου το νερό που βγαίνει από τις στήλες είναι τόσο καθαρό-μαλακό που για να έχει τα απαραίτητα ιχνοστοιχεία πρέπει να του διαλύσουμε και κάποια ποσότητα σκληρού νερού.

Σήμερα διατίθενται και ειδικά συστήματα μερικού απιονισμού που αφαιρούν μόνο την *διττανθρακική σκληρότητα*, η οποία αποτελεί και το μεγαλύτερο ποσοστό της ολικής σκληρότητας του νερού. Η μέθοδος αυτή έχει το πλεονέκτημα ότι στο προκύπτον απιονισμένο νερό υπάρχουν τα ιχνοστοιχεία. Το μερικώς απιονισμένο νερό δεν ξεπερνά σε σκληρότητα τα 50 mg/L CaCO_3 . Το σύστημα μερικού απιονισμού του νερού εργάζεται στη βάση της αντικατάστασης των θετικά φορτισμένων ιόντων όπως το νάτριο (Na^+) που είναι συνδεδεμένα με τα διττανθρακικά (π.χ. NaHCO_3^-), με ιόντα υδρογόνου (H^+). Παρόλο που με αυτή τη διαδικασία παράγεται ανθρακικό οξύ (H_2CO_3) (που οξονοποιεί το νερό) και τελικά διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), το τελευταίο θα διαφύγει στην ατμόσφαιρα με έντονο αερισμό του νερού.

Η αντίστροφη ώσμωση είναι μια άλλη αποτελεσματική μέθοδος μαλακώματος του νερού, αλλά είναι αργή και κοστίζει αρκετά. Σε αδρή περιγραφή συνίσταται στη συμπίεση του νερού σε ειδικό θάλαμο, για να περάσει μέσα από μια ειδική ημιδιαπερατή μεμβράνη αντίθετα με τη φυσική κατεύθυνση της ώσμωσης. Έτσι θα δημιουργηθεί μια ροή καθαρού νερού διαμέσου της μεμβράνης το οποίο θα συλλέγεται κάπου, αφήνοντας πίσω από τη μεμβράνη το νερό με τα άλατα που συγκεντρώνονται εκεί. Για το σύστημα αυτό απαιτείται συχνή αλλαγή των μεμβρανών, συνεχής ηλεκτρική ενέργεια για να δουλεύει η αντλία που δημιουργεί την πίεση κ.λπ.

3.4. Αλατότητα (Andrews, Exell & Carrington, 1988).

Ως αλατότητα (*salinity*) ορίζουμε την ποσότητα όλων των διαλυμένων υλικών σε ένα δείγμα νερού. Ως προς την αλατότητά τους οι μάζες του νερού διακρίνονται σε *γλυκό* νερό που έχει μηδαμινή ή ελάχιστη αλατότητα, σε *θαλασσινό* που έχει μεγάλη και σε *υφάλμυρο* που έχει ενδιάμεση.

Η αλατότητα μετριέται σε g διαλυμένων ουσιών / kg νερού και συμβολίζεται με “ppt” (parts per thousand) δηλαδή «μέρη στα χίλια» ή και ως (‰) συμβολισμός που τείνει όμως να εγκαταλειφθεί. Το θαλασσινό νερό για παράδειγμα κατά μέσο όρο έχει αλατότητα 35 ppt κάτι που το διαπιστώνουμε από το απλό πείραμα του βρασμού 1 L θαλασσινού νερού (1 L νερού ζυγίζει περί το 1 kg), το οποίο μετά την εξάτμιση όλου του νερού θα αφήσει ίζημα αλάτων τα οποία ζυγιζόμενα δίδουν βάρος περί τα 35 g.

Παρόλο που στην πραγματικότητα η ακριβής μέτρηση της αλατότητας δεν είναι κάτι το απλό για να μετρηθεί με άμεσες μεθόδους, η άμεση σχέση-αναλογία της με την *ειδική βαρύτητα* του νερού δίνει τη δυνατότητα για αποτελεσματική μέτρησή της.

Η τιμή της ειδικής βαρύτητας προκύπτει από τη σύγκριση του βάρους ενός δείγματος νερού με το βάρος ενός παρόμοιου με του δείγματος όγκου αποσταγμένου νερού στους 4 °C, θερμοκρασία κατά την οποία το αποσταγμένο νερό παρουσιάζει τη μέγιστη πυκνότητα, δηλαδή πρόκειται για το λόγο τιμής/τιμής. Το καθαρό νερό έχει ειδική βαρύτητα 1,000 (*προσοχή !, όχι χίλια πρόκειται για δεκαδικό, αν και στη βιβλιογραφία πολλές φορές αντί για κόμμα (,) χρησιμοποιούν τελεία (.) δηλαδή 1.000*).

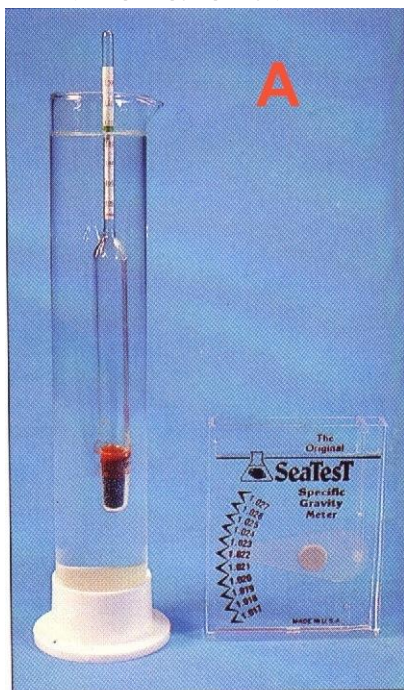
Αν προσθέσουμε διαλυόμενα άλατα στο καθαρό νερό, δεν θα αυξηθεί μόνο η αλατότητά του αλλά και το βάρος του, έτσι η ειδική βαρύτητά του μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως άμεσος δείκτης της αλατότητάς του. Το θαλασσινό νερό έχει ειδική βαρύτητα μεταξύ 1,023 και 1,027 ανάλογα με τη θαλάσσια περιοχή (Σχήμα 26-B). Σημειώνεται ότι η τυπική αλατότητα των 35 ppt του θαλασσινού νερού που προαναφέρθηκε, αντιστοιχεί σε ειδική βαρύτητα 1,026 στους 15 °C και 1,024 στους 24 °C.

Η ειδική βαρύτητα μετράται με το *υδρόμετρο* (hydrometer) (Σχήμα 26-A), στην ουσία ένα γυάλινο επίμηκες φλοτέρ που ισορροπεί σε ένα δείγμα νερού σε όλο και υψηλότερο σημείο όσο αυξάνεται η αλατότητα. Είναι βαθμονομημένο όργανο και η ένδειξη στο σημείο της ισορροπίας του με την επιφάνεια του νερού δίνει την ένδειξη της ειδικής βαρύτητας, η ένδειξη αυτή βάσει πινάκων αντιστοιχεί σε ορισμένη αλατότητα (Σχήμα 26, B). Υπάρχουν και πιο πρακτικά υγρόμετρα όπως αυτά του τύπου *αιωρούμενης βελόνας* με λίγο μικρότερη ακρίβεια (Σχήμα 26-A).

Βέβαια πρέπει εδώ να σημειωθεί ότι τα υδρόμετρα είναι ρυθμισμένα να έχουν τη μέγιστη ακρίβεια σε ορισμένη θερμοκρασία συνήθως, στους 24 °C, και αν διαφέρει η θερμοκρασία του δείγματος από αυτή, χρειάζεται

να πολλαπλασιαστεί η ευρεθείσα τιμή με κάποιο συντελεστή διόρθωσης, όμως επειδή η διαφορά δεν θεωρείται σημαντική για πρακτικούς λόγους μπορεί να παραβλεφθεί.

Η αλατότητα μπορεί επίσης να μετρηθεί με ηλεκτρονικά αγωγιμόμετρα-αλατόμετρα χειρός με πολύ καλή ακρίβεια.



Σχήμα 26. Στο A φαίνονται το υδρόμετρο που ισορροπεί σε προς μέτρηση δείγμα νερού στον ογκομετρικό κύλινδρο (αριστερά) και ένα υδρόμετρο τύπου αιωρούμενης βελόνας δεξιά. Στο B φαίνεται ένας συνοπτικός πίνακας με τις τιμές της ειδικής βαρύτητας που μας δίδει το υδρόμετρο και τις τιμές της αλατότητας που αντιστοιχούν σε g/L ή ppt. Η θάλασσα έχει ειδική βαρύτητα 1,026 και άνω. (Από Andrews, Exell & Carrington, τροποποιημένο από Χότος).

Ειδική Βαρύτητα	Αλατότητα (g/L)
1.015	20.6
1.016	22.0
1.017	23.3
1.018	24.6
1.019	25.9
1.020	27.2
1.021	28.5
1.022	29.8
1.023	31.1
1.024	32.4
1.025	33.7
Θαλασσα 1.026	35.0
1.027	36.3
1.028	37.6
1.029	38.9
1.030	40.2

3.4.1. Η επίδραση της αλατότητας στα ψάρια (Andrews, Exell & Carrington, 1988).

Η κυριότερη και αμεσότερη επίδραση της αλατότητας στη φυσιολογία του ψαριού, είναι στην οσμωρυθμιστική του λειτουργία. Παρόλο που

πολλά είδη ψαριών παρουσιάζουν την ιδιότητα να είναι *ευρύαλα*, η πλειονότητά τους έχει προσαρμοστεί να ζει και να αντέχει σε ένα σχετικά μικρό εύρος αλατοτήτων. Η αλλαγή της αλατότητας έξω από αυτό το εύρος καταλήγει σε ωσμωρυθμιστικούς “μπελάδες”, αλλαγές στη φυσιολογία των κυττάρων και σε ένα γενικό στρες του ψαριού που αντανακλά στο χάσιμο της όρεξής του και σε ευπάθεια σε ασθένειες. Οποσδήποτε βέβαια, αυτές οι επιδράσεις ποικίλουν από είδος σε είδος ανάλογα με το αν αυτά είναι *ευρύαλα* ή *στενόαλα*. Σε γενικές γραμμές, ψάρια των υφάλμυρων νερών όπως το χέλι, τα κεφαλόπουλα, το λαβράκι ή ακόμα και είδη των σκληρών γλυκών νερών, μπορούν να αντεπεξέλθουν πιο καλά σε αλλαγές της αλατότητας από τα είδη που έχουν προσαρμοστεί να ζουν είτε σε μαλακό γλυκό νερό είτε σε θαλασσινό νερό. Οι τιμές αλατότητας στις οποίες κανονικά ζει το κάθε είδος ψαριού, βρίσκονται σε ειδικά βιβλία και δεν είναι του παρόντος να αναλυθεί εδώ.

Από πρακτική άποψη τέλος, θα πρέπει να επισημανθεί ότι σε οποιαδήποτε διατήρηση ψαριών σε νερό ορισμένης αλατότητας (ενυδρεία, δεξαμενές, κ.λπ.), η εξάτμιση του νερού αυξάνει την αλατότητα και απαιτείται η συνεχής προσοχή μας, ώστε να την επαναφέρουμε στο επιθυμητό επίπεδο με κατάλληλη πρόσθεση γλυκού νερού.

3.5. Διαλυμένο οξυγόνο και διοξείδιο του άνθρακα στο νερό (Andrews, Exell & Carrington, 1988).

Τα κύρια αέρια διαλυμένα στο νερό είναι το οξυγόνο (O_2), το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) και το άζωτο (N_2). Το διοξείδιο του άνθρακα είναι το πιο εύκολα διαλυτό, ακολουθούμενο από το οξυγόνο που είναι με τη σειρά του πιο εύκολα διαλυτό από το άζωτο. Με όρους αναλογίας διαλυτότητας στο νερό διοξειδίου του άνθρακα/οξυγόνου/αζώτου έχουμε: 70/2/1.

Το αέριο άζωτο είναι ασήμαντο για την υδρόβια ζωή, αλλά τα επίπεδα των συγκεντρώσεων των διαλυμένων στο νερό διοξειδίου του άνθρακα και οξυγόνου είναι θεμελιώδους σημασίας για τους οργανισμούς. Και τα δύο διασυνδέονται στενά με τις ζωοδοτικές διαδικασίες της φωτοσύνθεσης και της ζωικής αναπνοής.

Η αερόβια αναπνοή των ζώων απαιτεί την παρουσία του οξυγόνου παράγοντας διοξείδιο του άνθρακα ως απόβλητο, ενώ η φωτοσύνθεση στα φυτά απαιτεί ως πρώτη ύλη διοξείδιο του άνθρακα παράγοντας οξυγόνο ως «απόβλητο». Σχετικά με την αναπνοή των ψαριών ισχύει το εξής που πρέπει να θυμόμαστε: για κάθε 1 g O_2 που καταναλώνουν παράγονται 1,37 g CO_2 .

Υπερβολικές συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα είναι τοξικές για τα ψάρια και τα άλλα υδρόβια ζώα. Το περιεχόμενο του νερού σε διοξείδιο του άνθρακα, θεωρείται μια μάλλον περιπλεγμένη κατάσταση, καθώς

πολύ από αυτό είναι δεσμευμένο σε άλλες ενώσεις όπως π.χ. τα διττανθρακικά (HCO_3^-).

Σε σύγκριση με ένα όμοιο όγκο αέρα, ένας όγκος νερού περιέχει 20-30 φορές λιγότερο οξυγόνο, γεγονός που καθιστά το νερό ένα ιδιαίτερα απαιτητικό μέσο για να ζήσουν οι αερόβιοι οργανισμοί.

Σημείωση: αερόβιοι καλούνται οι οργανισμοί που αναπνέουν υποχρεωτικά οξυγόνο, σε αντίθεση με τους αναερόβιους (συνήθως ορισμένα βακτήρια) που δεν έχουν ανάγκη το οξυγόνο για να προσλάβουν την ενέργειά τους.

Η διαλυτότητα του οξυγόνου στο νερό μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας και της αλατότητας. Για παράδειγμα, στους $10\text{ }^\circ\text{C}$ το επίπεδο κορεσμού (το μέγιστο) σε οξυγόνο του γλυκού νερού αντιστοιχεί σε $11,3\text{ mg/L}$, στους $25\text{ }^\circ\text{C}$ μειώνεται κατά 27% σε $8,2\text{ mg/L}$ και σε θαλασσίνο νερό αυτής της θερμοκρασίας, μειώνεται κατά ακόμα 30% σε $4,8\text{ mg/L}$.

Οι περισσότερες ανταλλαγές αερίων πραγματοποιούνται στην επιφάνεια του νερού που διαχωρίζει τον όγκο του νερού από τον υπερκείμενο αέρα (διεπιφάνεια αέρα/νερού) και επηρεάζονται από το πάχος της «επιφανειακής υδάτινης μεμβράνης» ή «ελασματοειδούς στρώματος» (laminar layer). Η αναταραχή του νερού (π.χ. κυματισμός, άφρισμα) που προκαλείται από τον άνεμο ή άλλες κινήσεις του νερού (π.χ. υδατόπτωση), «σπάει»-διαλύει το επιφανειακό ελασματοειδές στρώμα κάνοντάς το λεπτότερο, διευκολύνοντας έτσι την ανταλλαγή των αερίων. Επειδή υπάρχει περισσότερο οξυγόνο στον αέρα απ' ό τι στο νερό και περισσότερο διοξείδιο του άνθρακα στο νερό απ' ό τι στον αέρα, η παραπάνω ανταλλαγή των αερίων καταλήγει το νερό να προσλαμβάνει οξυγόνο από τον αέρα και να αποδίδει σε αυτόν διοξείδιο του άνθρακα, μέσω απλής διάχυσης. Γίνεται κατανοητό λοιπόν το πόσο σημαντική είναι σε μια δεξαμενή η κυκλοφορία του νερού (και το ανακάτεμά του εξ' αυτής), επειδή με τον τρόπο αυτό όλος ο όγκος του νερού έρχεται σε επαφή με την ατμόσφαιρα.

3.5.1. Το ισοζύγιο του οξυγόνου (Andrews, Exell & Carrington, 1988).

Το περιεχόμενο του νερού σε οξυγόνο εξαρτάται από τη βιολογική ισορροπία μεταξύ της κατανάλωσης του οξυγόνου (από την αναπνοή των ζώων και κατά τις βραδινές ώρες και των φυτών και από άλλες οξειδωτικές διεργασίες) και του ρυθμού με τον οποίο αυτό αναπληρώνεται από τη φωτοσύνθεση και τη διάχυση από τον αέρα στο νερό που συμβαίνει στην επιφάνεια (Σχήμα 27). Αυτή η βιολογική ισορροπία καλείται *ισοζύγιο του οξυγόνου*. Κατανοητό λοιπόν το γεγονός ότι αν η απαίτηση για οξυγόνο ξεπερνά την αναπλήρωσή του, τότε η συγκέντρωσή του στο νερό πέφτει, το ισοζύγιο γίνεται αρνητικό.

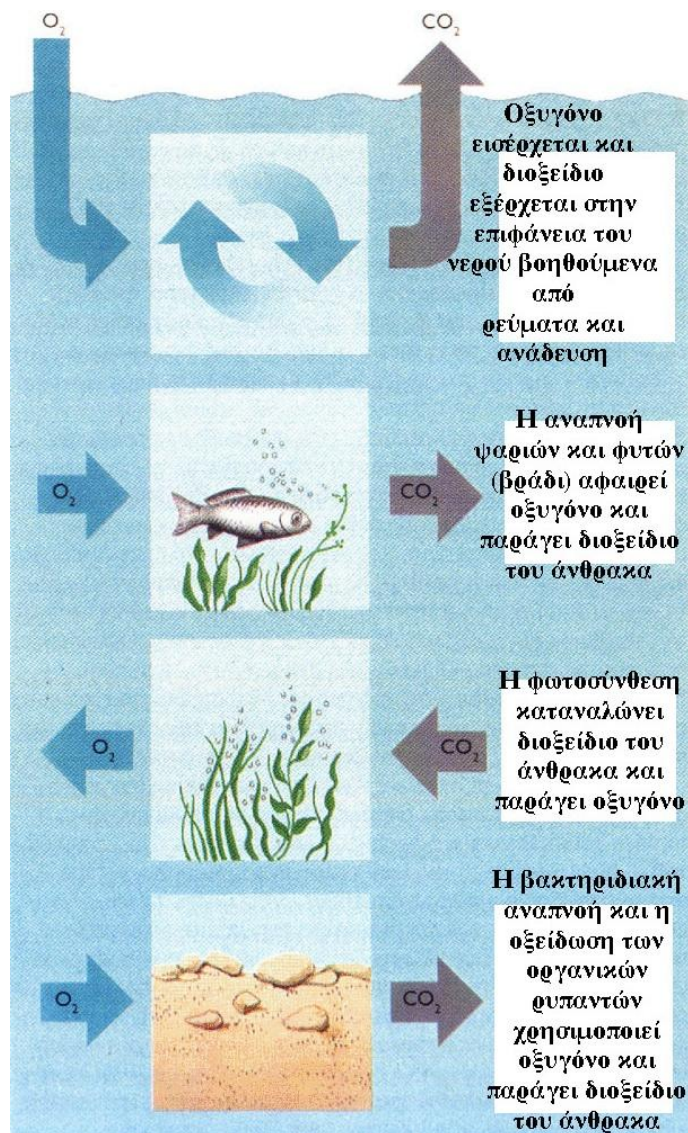
Η κατανάλωση του οξυγόνου σχετίζεται με το πλήθος των αερόβιων οργανισμών που απαιτούν οξυγόνο για την αναπνοή τους, δηλαδή οργανισμών όπως τα ψάρια, τα ασπόνδυλα και τα φυτά κατά τη νύκτα. Η

κατανάλωση επίσης του οξυγόνου από τα βακτήρια μπορεί να είναι σημαντική και εξαρτάται από το βαθμό *φόρτισης* του νερού με οργανικές ουσίες τις οποίες αποικοδομούν τα βακτήρια. Όσο μεγαλύτερο οργανικό φορτίο περιέχει το νερό, τόσο αυξάνει ο πληθυσμός και η δραστηριότητα των βακτηρίων και τόσο περισσότερο οξυγόνο χρειάζονται για την *αποικοδόμηση* των οργανικών ουσιών. Αυτός είναι και ο λόγος που τα διάφορα λύματα ή οργανικά απόβλητα που καταλήγουν σε φυσικά νερά, καταναλώνουν οξυγόνο ή προκαλούν *ευτροφισμό* και «ανθήσεις» φυτοπλαγκτού, το οποίο όταν «πεθάνει» καταναλώνει οξυγόνο για την αποικοδόμησή του. Η σαπίζουσα οργανική ύλη δημιουργεί επίσης *υδρόθειο* (H_2S), ουσία τοξική για τα ζώα, η οποία επίσης οξειδώνεται «τραβώντας» και αυτή οξυγόνο από το νερό. Φαύλος κύκλος λοιπόν, που σαν τελικό αποτέλεσμα έχει τη δημιουργία *ανοξικών* συνθηκών σε λίμνες και υδατοσυλλογές στις οποίες τα παραπάνω συμβαίνουν έντονα.

Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί, ότι στις φυσικές υδατοσυλλογές – δεξαμενές η υπερβολική ανάπτυξη του φυτοπλαγκτού, προκαλεί κατά τις ιδιαίτερα ζεστές και μακρές ημέρες του έτους, μεγάλη παραγωγή οξυγόνου λόγω της έντονης και διαρκούς φωτοσύνθεσης. Αυτό μπορεί να οδηγήσει και σε συγκεντρώσεις οξυγόνου και πολύ πιο πάνω (π.χ. 140 %) από το επίπεδο κορεσμού του για τη δεδομένη θερμοκρασία. Μια τέτοια κατάσταση θα πρέπει να σημάνει συναγερμό, διότι κατά τη νύκτα που όλη αυτή η μάζα φυτοπλαγκτού θα αναπνέει καταναλώνοντας οξυγόνο (και μαζί βέβαια θα αναπνέουν και τα ψάρια και τα βακτήρια της δεξαμενής), μπορεί κατά το χάραμα να δημιουργήσει συνθήκες μηδενικής συγκέντρωσης οξυγόνου, με αποτέλεσμα θνησιμότητα λόγω ασφυξίας των ψαριών.

Τη συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου στο νερό τη μετράμε με ηλεκτρονικά όργανα (οξυγονόμετρα), τα οποία διαθέτουν ένα ειδικό ηλεκτρόδιο το οποίο βυθιζόμενο στο νερό ανιχνεύει τα μόρια οξυγόνου, ο αριθμός των οποίων μετατρέπεται σε ηλεκτρικό ρεύμα το οποίο «μεταφράζεται» από το όργανο σε ένδειξη στην οθόνη είτε ως mg/L είτε ως κορεσμός %. Για τα όργανα αυτά θα δοθούν επεξηγήσεις σε άλλα συγγράμματα. Με την ευκαιρία όμως θα πρέπει να σημειωθεί ότι στη βιβλιογραφία υπάρχουν τιμές συγκεντρώσεων οξυγόνου που δίδονται υπό μορφή όγκου (ml) αντί μάζας (mg). Η μετατροπή μεταξύ των δύο γίνεται εύκολα από τη σχέση: $1 \text{ mg } O_2 = 0,7 \text{ ml } O_2$.

Μια από τις σπουδαιότερες αναλύσεις για την ποιότητα του νερού, είναι η του *Βιοχημικώς Απαιτούμενου Οξυγόνου* ή *BOD* (Biochemical Oxygen Demand) κατά την οποία υπολογίζεται με έμμεσο τρόπο (από την κατανάλωση του οξυγόνου που επιφέρει), η ποσότητα όλης της οργανικής και ανόργανης ύλης στο νερό, η οποία απαιτεί οξυγόνο για την αποικοδόμησή της.



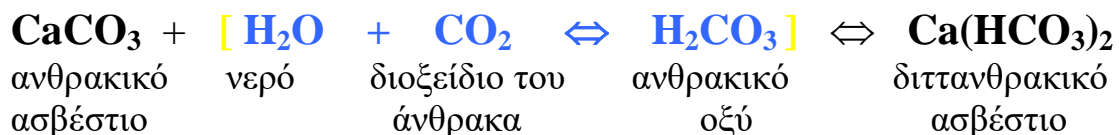
Σχήμα 27. Το «ισοζύγιο» οξυγόνου και διοξειδίου του άνθρακα στο νερό. (Από Andrews, Exell & Carrington, τροποποιημένο από Χότος).

3.5.2. Το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) στο νερό (Andrews, Exell & Carrington, 1988).

Η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα στο νερό αυξάνεται με την αναπνοή και μειώνεται με τον αερισμό, την αναταραχή, την υδατόπτωση και φυσικά με τη φωτοσύνθεση των φυτών (αν υπάρχουν).

Το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) έχει μια περίπλοκη σχέση με τα διττανθρακικά (HCO_3^-) και σε συνθήκες ισορροπίας τα διττανθρακικά ιόντα και το διοξείδιο μεταβάλλονται ελεύθερα το ένα στο άλλο.

Η εξίσωση παρακάτω δείχνει τη διεργασία ισορροπίας μεταξύ του διοξειδίου του άνθρακα και του διττανθρακικού ασβεστίου (το οποίο είναι «αποθήκη» διττανθρακικών).



Όταν υπάρχει πολύ διοξείδιο του άνθρακα, η παραπάνω αντίδραση “προχωρά” από τα αριστερά προς τα δεξιά. Σε συνθήκες απουσίας διοξειδίου του άνθρακα η αντίδραση αλλάζει κατεύθυνση και προχωρά από τα δεξιά προς τα αριστερά και τα διττανθρακικά διασπώνται σε νερό και διοξείδιο του άνθρακα.

Σε συνθήκες παρουσίας υπερβολικής ποσότητας διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) στο σκληρό νερό, η περίσσειά του, «απορροφάται» από τους ρυθμιστές της αλκαλικότητας (buffers), στην προκειμένη περίπτωση στην παραπάνω εξίσωση από τα “ανθρακικά” του νερού που είναι δεσμευμένα στο ανθρακικό ασβέστιο, “έτοιμα” να απελευθερωθούν και να αντιδράσουν με το διοξείδιο του άνθρακα. Σε συνθήκες όμως μαλακών νερών, αυτό δεν μπορεί να γίνει και απαιτείται προσοχή, διότι το διοξείδιο μπορεί να φθάσει σε υψηλές τοξικές για τα ψάρια συγκεντρώσεις. Για αυτό και όπως προαναφέρθηκε, η τοποθέτηση σπασμένων κελυφών ή τριμμένων κοραλλιών, ιδίως στο μαλακό νερό, λειτουργεί ως “αποθήκη αλκαλικότητας” μια και τα υλικά αυτά αποτελούνται από ανθρακικό ασβέστιο (CaCO₃).

3.5.3. Τα ψάρια, το οξυγόνο και το διοξείδιο του άνθρακα (Andrews, Exell & Carrington, 1988).

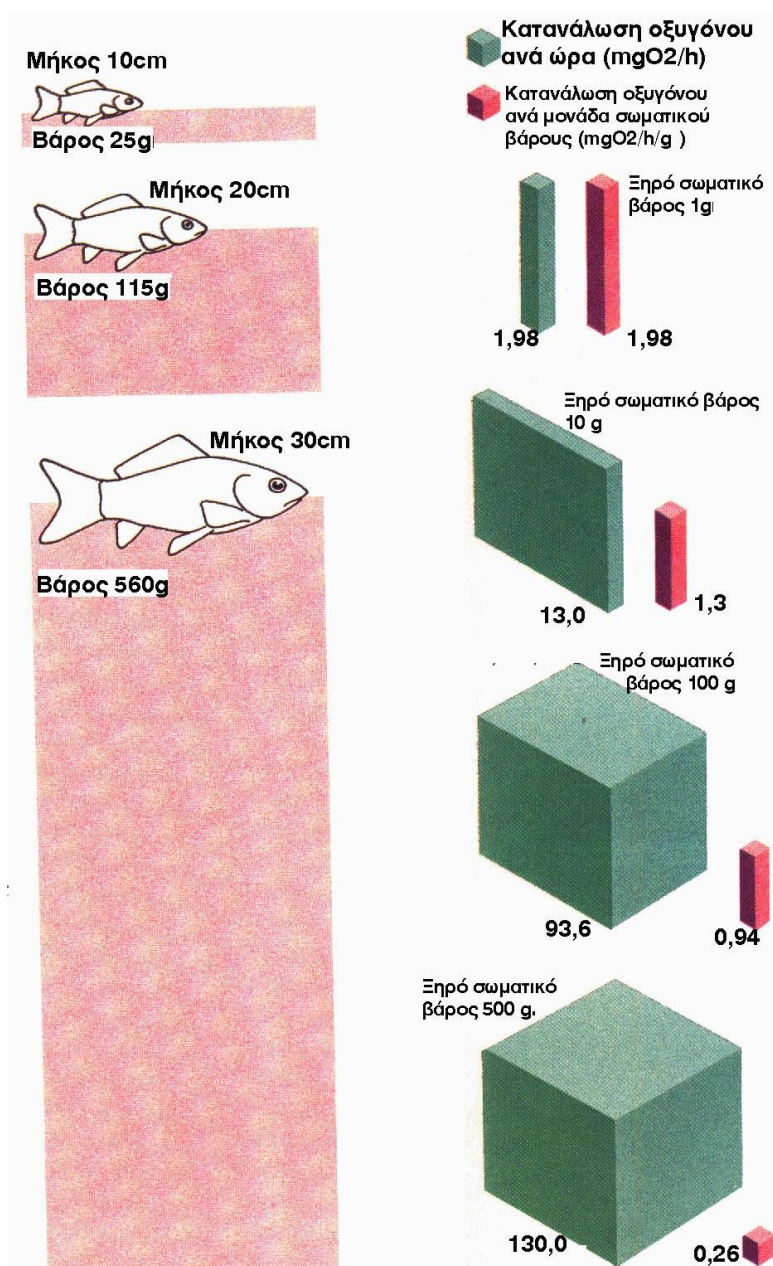
Η ελάχιστη συγκέντρωση οξυγόνου που χρειάζεται για να λειτουργήσει το ψάρι κανονικά, διαφέρει ανάλογα με το είδος και εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως το μέγεθος (Σχήμα 28) του ψαριού (τα μεγαλύτερα άτομα χρειάζονται περισσότερο οξυγόνο απ’ ότι τα μικρότερα), την ηλικία του ψαριού (ο μεταβολικός ρυθμός ποικίλλει με την ηλικία), τη φυσιολογική κατάσταση του ψαριού και την υγεία, ιδιαίτερα των βραγχίων του.

Οι απαιτήσεις σε οξυγόνο είναι μεγαλύτερες για τα πιο δραστήρια και συνεχώς κινητικά ψάρια όπως ο σολομός (*Salmo salar*) που χρειάζονται τουλάχιστον ένα ελάχιστο 5 mg/L οξυγόνου, ενώ άλλα πιο νωθρά ψάρια των θερμών νερών όπως η τιλάπια, το γατόψαρο ή ο κυπρίνος μπορούν να επιβιώσουν και σε 1-2 mg/L οξυγόνου (κατάσταση ανάγκης φυσικά).

Επειδή ο μεταβολικός ρυθμός εξαρτάται από τη θερμοκρασία, η κατανάλωση οξυγόνου αυξάνει με την αύξηση της θερμοκρασίας. Στο Σχήμα 23 βλέπουμε ότι το χρυσόψαρο στους 5 °C καταναλώνει 43 mg O₂ ανά kg σωματικού βάρους ανά ώρα, ενώ στους 20 °C καταναλώνει 243 mg/kg/h.

Τα ψάρια έχουν προσαρμοστεί κατά τον τρόπο ζωής τους και της φυσιολογίας τους, να επιβιώνουν σε ένα μεγάλο εύρος συγκεντρώσεων

οξυγόνου. Οι πιο αξιοπρόσεκτες προσαρμογές αφορούν βεβαίως αυτές για τις χαμηλότερες συγκεντρώσεις οξυγόνου στις οποίες είναι προσαρμοσμένα τα πιο «νωθρά» είδη ψαριών. Ένα παράδειγμα είναι η γλώσσα (*Solea solea*) η οποία κατορθώνει και αποσπά το 80 % του οξυγόνου του νερού που περνά από τα βράγχιά της. Αυτή της η ικανότητα σχετίζεται με την άλλη της ικανότητα να αντέχει χαμηλά επίπεδα οξυγόνου στο αίμα που τροφοδοτεί τους ιστούς της. Καθώς το αίμα της έχει χαμηλή περιεκτικότητα σε οξυγόνο και επειδή η διάχυση του οξυγόνου από το νερό στο αίμα γίνεται τόσο πιο έντονη όσο μεγαλύτερη η διαφορά της συγκέντρωσης μεταξύ νερού και αίματος, εξ' αυτού και το υψηλό ποσοστό του 80 % που αναφέρθηκε παραπάνω.



Σχήμα 28. Αριστερά αποτυπώνεται το πως το βάρος του ψαριού αυξάνεται δυσανάλογα με το μήκος του. Ανάλογα με το βάρος του αυξάνεται ο μεταβολισμός του.

Δεξιά αποτυπώνεται το πως η κατανάλωση οξυγόνου αλλάζει με την αύξηση του βάρους. Παρόλο που η συνολική κατανάλωση οξυγόνου αυξάνεται, η κατανάλωση ανά μονάδα βάρους μειώνεται.

(Από Andrews, Exell & Carrington, τροποποιημένο από Χώτος).

Κάθε είδος ψαριού παρουσιάζει ένα βέλτιστο επίπεδο συγκέντρωσης διαλυμένου οξυγόνου, στο οποίο (φυσικά και για συγκεντρώσεις άνω αυτού), μπορεί να έχει το απαραίτητο οξυγόνο για να υποστηρίξει τον κανονικό τρόπο ζωής του.

Όταν η δραστηριότητα των ψαριών είναι μικρή και η απαίτηση για οξυγόνο είναι χαμηλή, τα ψάρια μπορούν να περιορίζουν την ποσότητα του αίματος που περνά διά μέσου των βραγχίων τους και με τον τρόπο αυτό μειώνουν το χρόνο επαφής του αίματος με το νερό που διαβρέχει τα βράγχια. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω ελέγχου από ορμόνες, διά της μεταβολής της ροής του αίματος με κατάληξη να μην κυκλοφορεί το αίμα μέσα από όλα τα βραγχιακά ελάσματα (βλέπε Σχήμα 17 για την ανατομία των βραγχίων). Η όλη διαδικασία μειώνει τις ενεργειακές ανάγκες του ψαριού για την ωσμωρύθμιση, επειδή μειώνει τη συνολικά προσφερόμενη βραγχιακή επιφάνεια για ωσμωτικό «χάσιμο» ή «κέρδος» αλάτων ή νερού.

Όταν όμως η δραστηριότητα του ψαριού αυξηθεί και η απαίτηση για οξυγόνο μεγαλώσει, το αίμα θα ξανακυκλοφορήσει σε όλα τα βραγχιακά ελάσματα και η συνολική βραγχιακή επιφάνεια για την ανταλλαγή των αερίων (και την ωσμωρύθμιση) θα μεγιστοποιηθεί ξανά.

Εάν η συγκέντρωση του οξυγόνου στο νερό πέσει κάτω από το βέλτιστο επίπεδο για ένα ορισμένο είδος ψαριού, θα επηρεάσει αρνητικά την αύξηση, την δραστηριότητά του και τη φυσιολογία του, την αναπαραγωγή του (αναστολή της ανάπτυξης των εμβρύων, παραμορφώσεις και θνησιμότητα στις λάρβες) και αναπόφευκτα θα κάνει το ψάρι περισσότερο ευαίσθητο σε προσβολές ασθενειών.

Εάν η συγκέντρωση οξυγόνου μειωθεί κι' άλλο, μέχρι του σημείου που η αναπνοή να είναι μεν ακόμα δυνατή αλλά γενικά το οξυγόνο ανεπαρκές για να καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες του ψαριού, τότε η κατάσταση χαρακτηρίζεται ως *υποξία*.

Κατά την υποξία, από συμπεριφορική άποψη, το ψάρι ασθμαίνει στην επιφάνεια, σαν να προσπαθεί να πάρει αέρα από την ατμόσφαιρα. Από φυσιολογική άποψη, οι λειτουργίες του ψαριού ρυθμίζονται στο χαμηλό επίπεδο οξυγόνου με τη μείωση των καρδιακών παλμών, αλλά με παράλληλη αύξηση του όγκου του παλμού, έτσι που, να διασφαλίζεται μεν η σταθερή ροή του αίματος, αλλά με μικρότερη κατανάλωση ενέργειας. Συγχρόνως αυξάνει ο ρυθμός της αναπνοής (ανοιγόκλεισμα στόματος-βραγχιακών επικαλυμμάτων), με αύξηση του όγκου του νερού που διέρχεται από τα βράγχια. Για παράδειγμα, η πέστροφα «αναπνέει» με ρυθμό 70 το λεπτό σε συγκέντρωση οξυγόνου 11 mg/L, ενώ αν το οξυγόνο πέσει στα 3 mg/L, ο αναπνευστικός ρυθμός διπλασιάζεται σε 140 ανά λεπτό.

Εάν η συγκέντρωση οξυγόνου μειωθεί κι' άλλο, μέχρι ένα κρίσιμο ελάχιστο επίπεδο, ο αναπνευστικός ρυθμός και η πρόσληψη οξυγόνου

μειώνονται, επειδή ο αντισταθμιστικός μηχανισμός του ψαριού φθάνει σε σημείο κατάρρευσης (breaking point), με αποτέλεσμα δηλητηρίαση από το διοξείδιο του άνθρακα που θα συσσωρευτεί στο αίμα. Σε μια τέτοια κατάσταση το ψάρι παρουσιάζει «σύνδρομο απόδρασης» σε μια προσπάθεια να βρει περιοχή με υψηλότερη συγκέντρωση οξυγόνου. Εάν αυτό δεν πετύχει το ψάρι πέφτει σε κώμα, χάνοντας την ισορροπία του και αναποδογυρίζει με την κοιλιά προς τα πάνω.

Ψάρια που έχουν πεθάνει από ασφυξία έχουν ανοιγμένα-φουσκωμένα βραγχιακά επικαλύμματα, ορθάνοιχτο στόμα και «άτονου» χρώματος βράγχια (τα υγιή είναι κατακόκκινα). Θα πρέπει βέβαια να σημειωθεί ότι αυτή η εικόνα της νεκρικής ακαμψίας (*rigor mortis*) παρουσιάζεται και σε νεκρά ψάρια και από άλλες αιτίες εκτός της ασφυξίας, αλλά μόνο ο έλεγχος του περιβάλλοντος ως προς το οξυγόνο (έστω και «κατόπιν εορτής») μπορεί να δώσει απαντήσεις για το αν όντως η ασφυξία ήταν η αιτία.

Και ο υπερκορεσμός όμως του νερού με οξυγόνο μπορεί να προκαλέσει πρόβλημα στα ψάρια (ιδίως στα μικρότερα) και συγκεκριμένα την ασθένεια της φυσαλίδας (*gas bubble disease*). Όταν, λόγω της πολύ μεγάλης συγκέντρωσης οξυγόνου σε επίπεδα άνω του κορεσμού του για την κάθε δεδομένη θερμοκρασία (π.χ. κορεσμός άνω του 140 %), το αίμα προσλαμβάνει και μεταφέρει υπερβολικά μεγάλη ποσότητα οξυγόνου πέρα από αυτή που χρειάζονται και καταναλώνουν οι ιστοί, το πλεονάζον από το διαλυμένο στο αίμα οξυγόνο, σχηματίζει φυσαλίδες στα βράγχια, στο μάτι αλλά ακόμα και στα πτερύγια (Σχήμα 29) και τελικά μπορεί να προκαλέσει θνησιμότητα.

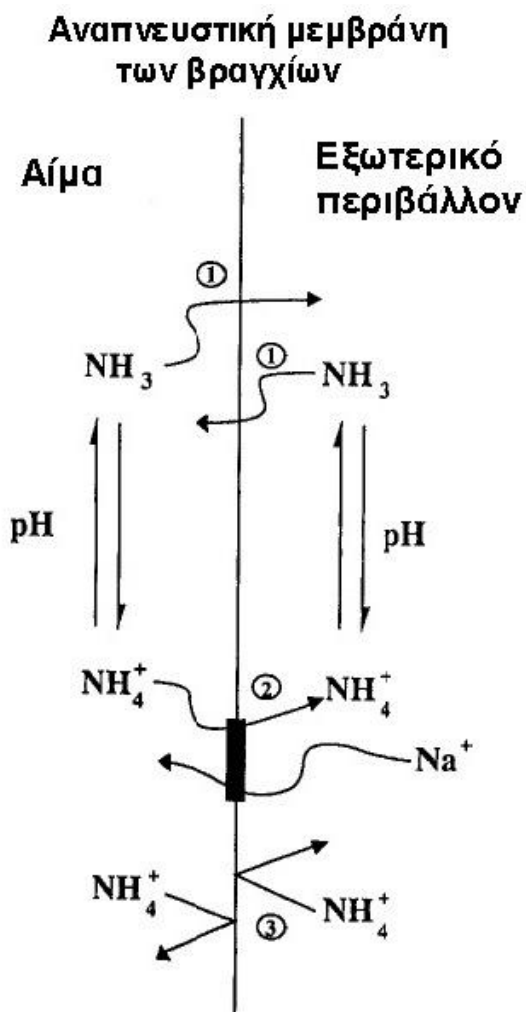
Η ασθένεια της φυσαλίδας χαρακτηρίζει με παρόμοιο τρόπο και την συγκέντρωση στο νερό υπερβολικής ποσότητας αερίου αζώτου (N_2). Μάλιστα η κατάσταση για το άζωτο είναι πιο δραματική, καθώς αν συσσωρευτεί σε μεγάλο βαθμό στο αίμα, επειδή δεν χρησιμοποιείται καθόλου από τους ιστούς θα δημιουργήσει άμεσα φυσαλίδες. Ευτυχώς ο υπερκορεσμός από άζωτο δεν συμβαίνει σε κανονικές συνθήκες υδατοκαλλιέργειών, καθώς μόνο αν γίνεται άμεση χρήση υπόγειων νερών ή λειτουργεί ελαττωματική αντλία νερού (η οποία ρουφάει και αέρα και τον υπερκοραίνει) παρουσιάζεται το πρόβλημα. Η λύση είναι έντονος αερισμός ή υδατόπτωση για να διαφύγει το πλεονάζον άζωτο στην ατμόσφαιρα.

Σχήμα 29. Ξεκάθαρο σημάδι ασθένειας της φυσαλίδας. Στη φωτογραφία φυσαλίδες αερίου έχουν σχηματιστεί στο ραχιαίο πτερύγιο του ψαριού. (Από Andrews, Exell & Carrington).



3.6. Η αμμωνία (Andrews, Exell & Carrington, 1988).

Η αμμωνία προέρχεται από τον καταβολισμό (διάσπαση) των πρωτεϊνών σε αμινοξέα και κατόπιν σε αμμωνία, που γίνεται για ενεργειακούς λόγους και εκκρίνεται από τα βράγχια των ψαριών με διαδικασία ανταλλαγής με ιόντα νατρίου (ένα Na^+ για ένα NH_4^+), ως μέρος του όλου φυσιολογικού μηχανισμού ελέγχου των ιόντων στο αίμα (Σχήμα 30).



Σχήμα 30. Διαγραμματική απεικόνιση της κίνησης της αμμωνίας προς και από το σύστημα αίμα – νερό που διαχωρίζονται από την μεμβράνη των κυττάρων στα βράγχια. Η αμμωνία στη μη ιονισμένη μορφή (NH_3) περνά ελεύθερα με διάχυση από τη μεμβράνη (1). Αντίθετα η ιονισμένη μορφή της το αμμώνιο (NH_4^+), δεν μπορεί να περάσει τη μεμβράνη (3). Η μεταφορά του έξω από το κύτταρο μπορεί να γίνει μόνο με ενεργό μεταφορά (2) διά της ανταλλαγής του με το ομοσθενές και ακίνδυνο νάτριο (Na^+). Η μετατροπή (και ισορροπία) μεταξύ των δύο μορφών της αμμωνίας εξαρτάται από το pH.

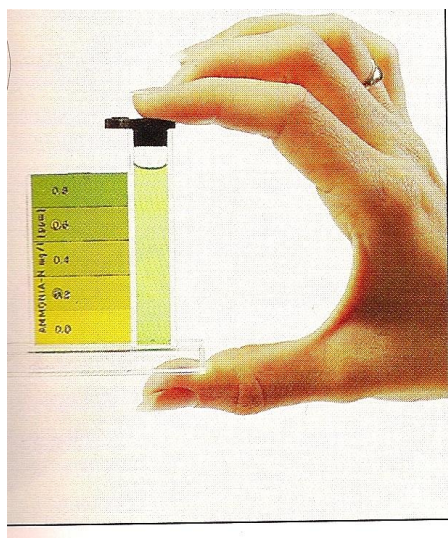
Η αμμωνία αντιδρώντας με το νερό παράγει ιόντα αμμωνίου (NH_4^+) και ιόντα υδροξυλίου (OH^-). Οσο όμως αυξάνεται το pH και το νερό γίνεται αλκαλικότερο και μάλιστα αν αυξάνεται και η θερμοκρασία, τόσο περισσότερο έντονα τα ιόντα αυτά αντιδρούν μεταξύ τους σχηματίζοντας ξανά μη ιονισμένη αμμωνία (NH_3) και νερό (H_2O).

Η ελεύθερη αμμωνία (η μη ιονισμένη αμμωνία- NH_3) είναι πολύ περισσότερο τοξική για τα ψάρια απ' ό τι η ιονισμένη μορφή της (το αμμώνιο- NH_4^+). Το άθροισμα της ιονισμένης και της μη ιονισμένης μορφής της αμμωνίας αποτελεί την ολική αμμωνία – TAN (Total Ammonia Nitrogen). Το ποια μορφή αμμωνίας επικρατεί ποσοστιαία της άλλης σε κάποια δεδομένη TAN, εξαρτάται πρωτίστως από το pH

(Σχήμα 31). Εξ' αυτού του λόγου, οι όποιες συγκεντρώσεις της ολικής αμμωνίας (TAN) γίνονται κρίσιμες για τα ψάρια σε υψηλότερες τιμές pH. Για παράδειγμα, σε pH 8 μόνο το 5 % της TAN βρίσκεται στη μορφή της ελεύθερης αμμωνίας (NH_3), όμως σε pH 9 το ποσοστό «εκτοξεύεται» στο 20 %.

Αν παράλληλα με το pH αυξηθεί και η θερμοκρασία, το ποσοστό της NH_3 μεγαλώνει ακόμα περισσότερο. Χαρακτηριστικά αναφέρουμε ότι μεταξύ 5 °C και 25 °C, το νερό περιέχει πέντε φορές περισσότερη ελεύθερη αμμωνία στην υψηλότερη θερμοκρασία (Σχήματα 31 & 32).

Η αύξηση της αλατότητας του νερού έχει αντιθέτως «ευεργετικά» αποτελέσματα, καθώς η τοξικότητα της αμμωνίας μειώνεται στις υψηλότερες αλατότητες. Για το ίδιο pH η TAN είναι 30 % λιγότερο τοξική για τα ψάρια στο θαλασσινό απ' ότι στο γλυκό νερό.



Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές ολικής αμμωνίας (TAN) σε mg/L για διαφορετικούς συνδυασμούς pH και θερμοκρασίας

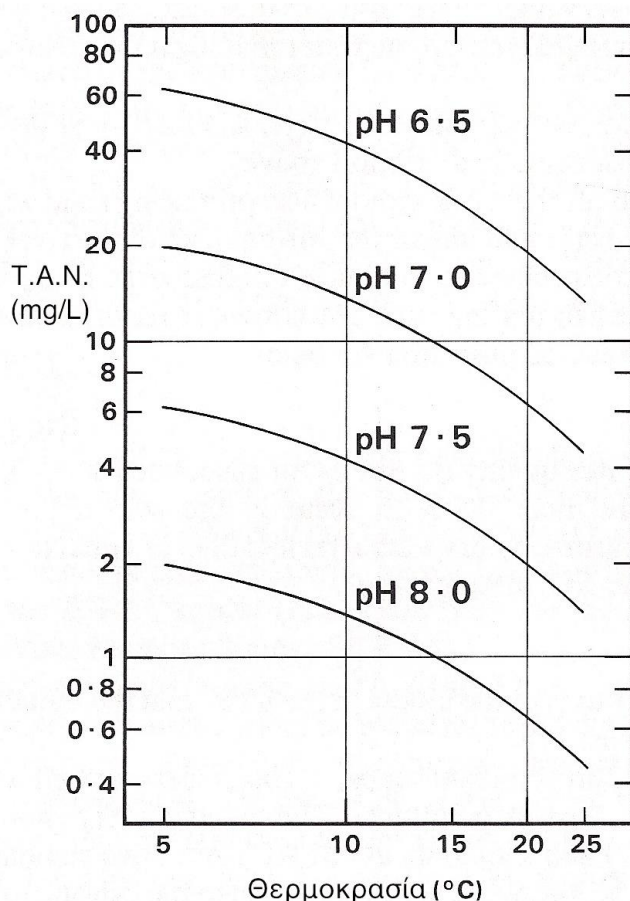
pH	Θερμοκρασία νερού				
	5°C	10°C	15°C	20°C	25°C
6.5	50	33.3	22.2	15.4	11.1
7.0	16.7	10.5	7.4	5.0	3.6
7.5	5.1	3.4	2.3	1.6	1.2
8.0	1.6	1.1	0.7	0.5	0.4
8.5	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1
9.0	0.2	0.1	0.09	0.07	0.05

Σχήμα 31. Αριστερά, κιτ μέτρησης της ολικής αμμωνίας με χρωματομετρική μέθοδο. Στο σωληνάκι με το καπάκι έχει τοποθετηθεί δείγμα του προς μέτρηση νερού και μετά την προσθήκη ειδικών αντιδραστηρίων αναπτύσσεται χρώμα το οποίο συγκρίνεται με μια κλίμακα βαθμονομημένων χρωμάτων. Δεξιά, ένας συνοπτικός πίνακας μέγιστων επιτρεπτών (ασφαλών) τιμών της TAN σε διαφορετικές τιμές pH και θερμοκρασίας. (Από Andrews, Exell & Carrington, τροποποιημένο από Χώτος).

Από τα παραπάνω συνάγεται ότι η όποια μετρούμενη συγκέντρωση ολικής αμμωνίας-TAN σε κάποιο δείγμα νερού (και αυτή μετράμε με τα χρωματομετρικά τεστ-κιτ), μπορεί να αξιολογηθεί ως προς την τοξικότητά της μόνο αφού μετρηθούν και το pH και η θερμοκρασία και η αλατότητα του νερού.

Η αμμωνία είναι η πλέον τοξική μορφή αζωτούχων ενώσεων για τα ψάρια. Πρακτικά αποτελεί το *μόνιμο δηλητήριο τους στο νερό* και μάλιστα τόσο πιο επικίνδυνο όσο πιο περιορισμένο και «ασφυκτικό» το «περιβάλλον αιχμαλωσίας» τους (στα φυσικά νερά ο απέραντος όγκος τους δεν επιτρέπει τοξικές συγκεντρώσεις αμμωνίας).

Η ελεύθερη αμμωνία (NH_3) είναι τοξική στην ελάχιστη συγκέντρωση των 0,2 – 0,5 mg/L, επίπεδο κατά το οποίο τα ψάρια ψοφούν γρήγορα ως αποτέλεσμα οξείας αμμωνιακής δηλητηρίασης. Το μέγιστο επίπεδο συγκέντρωσης της NH_3 , το οποίο τα ψάρια μπορούν να αντέξουν για μακρό χρονικό διάστημα, χωρίς χρόνιες αρνητικές επιπτώσεις όπως ευαισθησία σε ασθένειες, είναι: 0,01 – 0,02 mg/L (Σχήμα 32). Και αυτό όμως το επίπεδο ποικίλει ανάμεσα στα είδη και πολλοί επιστήμονες συνιστούν για τα πιο ευαίσθητα είδη όπως τα σαλμονιδή, τιμές ακόμα μικρότερες, της τάξης του 0,005 mg/L. Σε τιμές NH_3 ελαφρά ανώτερες του 0,005 mg/L, οι σολομοί και άλλα σαλμονιδή που διατηρήθηκαν για μακρύ χρόνο σε τέτοιο περιβάλλον, παρουσίασαν χρονία τοξική αντίδραση παρουσιάζομενη ως ερεθισμένα βράγχια. Επίσης πρέπει να σημειωθεί ότι τα αυγά και ο γόνος των ψαριών είναι πιο ευαίσθητα στην τοξικότητα της αμμωνίας απ' ότι τα ενήλικα ψάρια.

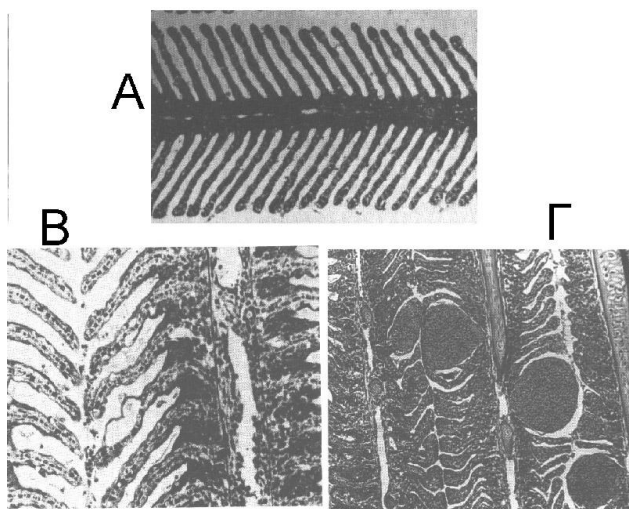


Σχήμα 32.

Καμπύλες συγκεντρώσεων ολικής αμμωνίας (TAN), για διάφορα pH και θερμοκρασίες, που δεν ξεπερνούν το όριο των 0,025 mg/L της τοξικής μορφής NH_3 σύμφωνα με τα πρότυπα του οργανισμού EIFAC.

Η τοξική δράση της αμμωνίας έγκειται στην επιβλαβή επίδρασή της στη φυσιολογία του ψαριού διά διαφόρων τρόπων. Διαταράσσει το οσμωρυθμιστικό σύστημα αυξάνοντας την όλη «διαπερατότητα» του ψαριού. Αυτό, στα μεν ψάρια του γλυκού νερού προκαλεί αυξημένη παραγωγή ούρων, στα δε θαλασσινά ψάρια αύξηση του ρυθμού κατάποσης νερού. Η αμμωνία προκαλεί καταστροφή της προστατευτικής

βλέννας των βραγχίων, τα βράγχια «πρήζονται» και η αναπνευστική λειτουργία δυσκολεύει. Η κατάσταση αυτή χειροτερεύει ακόμα περισσότερο, καθώς προκαλεί παραγωγή νέων κυττάρων στην επιφάνεια των βραγχιακών ελασμάτων, κατάσταση γνωστή ως *βραγχιακή υπερπλασία* (Σχήμα 33), με αποτέλεσμα παρεμπόδιση της ροής του νερού στα βράγχια και συνεπώς μείωση της πρόσληψης οξυγόνου. Περαιτέρω, η αμμωνία βλάπτει και την ικανότητα της αιμογλοβίνης του αίματος να μεταφέρει οξυγόνο.



Σχήμα 33. Στο Α τυπική υγιής «εικόνα» βραγχίων. Στα Β και Γ υπερπλασία των βραγχίων λόγω χρόνιας παρουσίας αμμωνίας στο νερό.

Οι υποθνησιγόνες - θνησιγόνες συγκεντρώσεις της αμμωνίας έχουν μια γενική επιβλαβή επίδραση στα ψάρια η οποία συνίσταται στα εξής συμπτώματα που γίνονται όλο και πιο έντονα, όσο πάμε από τις υποθνησιγόνες συγκεντρώσεις προς τις θνησιγόνες:

- Καταστροφή των επικαλύψεων βλέννας της επιδερμίδας και του εντέρου.
- Αιμορραγίες τόσο της επιφάνειας του σώματος όσο και των εσωτερικών οργάνων.
- Βλάβη του εγκεφάλου και του κεντρικού νευρικού συστήματος.
- Υδρωπικία.
- Σάπισμα των πτερυγίων.
- Βακτηριακή ασθένεια των βραγχίων (η οποία υποβοηθείται από το «φούσκωμα» των βραγχίων κατά την υπερπλασία που προαναφέρθηκε).

3.7. Τα νιτρώδη (Nitrite) ιόντα (NO_2^-) (Andrews, Exell & Carrington, 1988).

Με παρουσία οξυγόνου η αμμωνία μετατρέπεται (οξειδώνεται) σε νιτρώδη (NO_2^-), σε μία από τις φάσεις (την πρώτη) της διαδικασίας της νιτροποίησης την οποία επιτελούν βακτήρια του γένους *Nitrosomonas*. Τα νιτρώδη είναι λιγότερο τοξικά από την αμμωνία και γίνονται θανατηφόρα σε συγκεντρώσεις 5 – 10 mg/L. Όμως και αυτό το επίπεδο τοξικότητας διαφέρει πολύ ανάμεσα στα είδη ψαριών. Τα γκάπι, για

παράδειγμα μπορούν να αντέξουν και συγκεντρώσεις 100 mg/L ενώ οι δίσκοι (*Symphysodon discus*) υποφέρουν σε 0,5 mg/L.

Τα νιτρώδη είναι τοξικά επειδή στα ερυθρά αιμοσφαίρια οξειδώνουν το σίδηρο της αιμογλοβίνης τους η οποία μετατρέπεται σε *μεθαιμογλοβίνη* και δεν μπορεί πλέον να μεταφέρει οξυγόνο. Μακροσκοπικά, αυτή η αλλαγή στην αιμοσφαιρίνη δημιουργεί καφετί χρωματισμό στο αίμα και τα βράγχια αποκτούν «σοκολατί» χρώμα. Η κατάσταση πάντως είναι αναστρέψιμη αν εξαλειφθούν τα νιτρώδη και η μεθαιμογλοβίνη μετατρέπεται ξανά σε αιμογλοβίνη. Η ικανότητα αυτή της αναστροφής ως προς την έντασή της, ποικίλει ανάμεσα στα είδη με πιο ικανά αυτά που αντέχουν τις υψηλότερες συγκεντρώσεις νιτρωδών.

Τα συμπτώματα της δηλητηρίασης από νιτρώδη είναι η νωθρότητα, η *ανοξία* (ανικανότητα συνέχισης της αναπνοής λόγω αδυναμίας πρόσληψης οξυγόνου, ακόμα χειρότερη κατάσταση από την *υποξία*) και μαύρες κηλίδες στο συκώτι, σπλήνα και νεφρά.

Η αύξηση της συγκέντρωσης των διαλυμένων αλάτων στο νερό, μειώνει κατά πολύ την τοξικότητα των νιτρωδών στα ψάρια. Δηλαδή τα νιτρώδη έχουν μικρότερη τοξικότητα στο σκληρό νερό και πολύ πιο μικρή στο θαλασσινό νερό. Για παράδειγμα, εκεί που για ένα είδος ψαριού η τοξική συγκέντρωση νιτρωδών στο μαλακό νερό θα ήταν π.χ. 10 mg/L, στο σκληρό νερό το όριο μεγαλώνει και γίνεται 20 mg/L.

Ο μηχανισμός για αυτή την προστασία που προσφέρουν τα άλατα στην τοξικότητα των νιτρωδών δεν έχει πλήρως ξεκαθαριστεί και υπάρχουν διάφορες θεωρίες. Μία από αυτές ορίζει ότι τα ιόντα ασβεστίου (Ca^{++}) στο νερό κάνουν το ψάρι λιγότερο διαπερατό στα ιόντα και στο νερό και συνεπώς, τα ιόντα των νιτρωδών αποτρέπονται από το να εισέλθουν στο ψάρι (κυρίως από τα βράγχια). Μια άλλη θεωρία ορίζει ότι τα θετικά ιόντα νατρίου (Na^+) και μαγνησίου (Mg^{++}), μπορούν να συνδυαστούν με τα αρνητικά ιόντα των νιτρωδών (NO_2^-), εμποδίζοντας έτσι την ενεργό μεταφορά τους από το νερό διά των βραγχίων στο αίμα του ψαριού, κάνοντάς τα δι' αυτού του τρόπου λιγότερο τοξικά. Τέλος, μια άλλη θεωρία ορίζει ότι τα ιόντα χλωρίου (Cl^-) ανταγωνίζονται άμεσα με τα ιόντα των νιτρωδών κατά την ενεργό μεταφορά ιόντων στο αίμα που συμβαίνει στα βράγχια, με συνέπεια όσο πιο πολλά ιόντα χλωρίου στο αίμα, τόσο λιγότερες οι πιθανότητες και οι ευκαιρίες για τα ιόντα των νιτρωδών να «καταλάβουν» τις θέσεις της μεταφοράς από το νερό στο αίμα.

Οποια θεωρία όμως και αν εξηγεί την ευεργετική επίδραση των ιόντων του χλωρίου στην τοξικότητα των νιτρωδών, αποτελεί μια πολύ καλή (και προληπτική) τακτική το να προστίθεται στο γλυκό νερό λίγο θαλασσινό αλάτι της τάξεως του 3 ‰ (δηλαδή 3 g NaCl / L). Αυτό θα μειώσει το στρες που προκαλεί στα ψάρια η όποια υψηλή συγκέντρωση νιτρωδών στο γλυκό νερό.

3.8. Τα νιτρικά (Nitrate) ιόντα (NO_3^-) (Andrews, Exell & Carrington, 1988).

Κατά τη δεύτερη φάση της νιτροποίησης, βακτήρια του γένους *Nitrobacter* οξειδώνουν τα νιτρώδη ιόντα στα πολύ λιγότερο τοξικά για τα ψάρια νιτρικά ιόντα (NO_3^-). Τα νιτρικά παρουσιάζουν πολύ υψηλότερα επίπεδα συγκέντρωσης θανατηφόρου τοξικότητας για τα ψάρια, συγκριτικά με την αμμωνία και τα νιτρώδη. Για τα πολύ ευαίσθητα ψάρια, το εύρος της τοξικής συγκέντρωσης των νιτρικών, είναι στην περιοχή των 50 – 300 mg/L.

Η πέστροφα, μεταξύ και άλλων ειδών, είναι ανθεκτική στα νιτρικά καθώς αυτά είναι περί τις 2000 φορές λιγότερα τοξικά από τα νιτρώδη για το είδος αυτό.

Τα αυγά και ο γόνος των ψαριών είναι πιο ευαίσθητα στα νιτρικά απ' ό τι τα ενήλικα ψάρια.

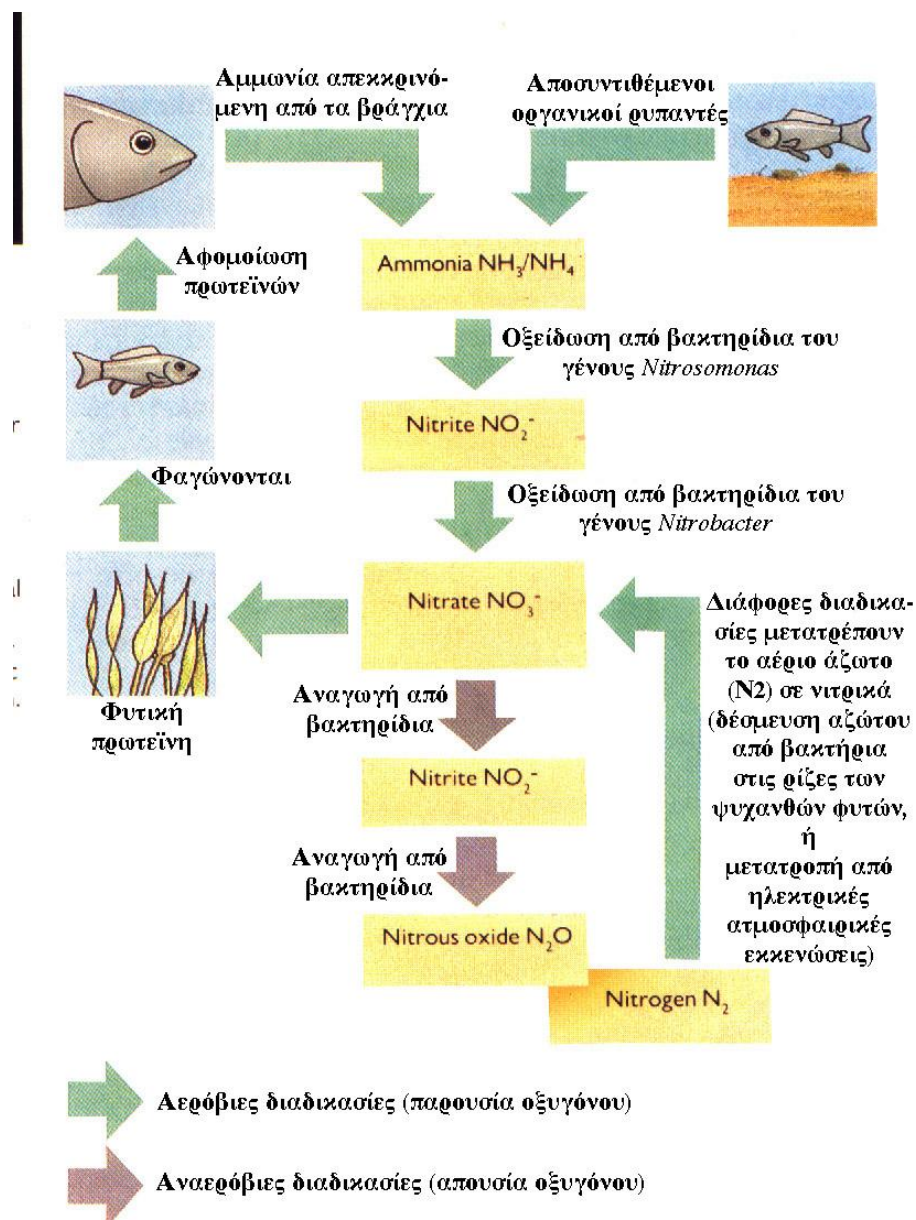
Τα νιτρικά έχουν βρεθεί να είναι πιο τοξικά στο θαλασσινό νερό απ' ό τι στο γλυκό (το αντίθετο απ' ό τι με τα νιτρώδη). Αυτό δεν πρέπει να μας εκπλήσσει διότι, τα θαλασσινά ψάρια έχοντας προσαρμοστεί να ζουν σε περιβάλλον μηδενικών νιτρικών (οι θάλασσες παρουσιάζουν μηδενική σχεδόν συγκέντρωση νιτρικών), παρουσιάζουν και μεγάλη ευαισθησία στα νιτρικά, διά του στρες που τους προκαλείται και συνεπώς της πιθανότητας να υποστούν και ασθένεια.

3.9. Ελέγχοντας τα επίπεδα της αμμωνίας, νιτρωδών και νιτρικών.

Επειδή και οι τρεις αυτές αζωτούχες ενώσεις αποτελούν το σημαντικό μέρος του κύκλου του αζώτου στη φύση, αξίζει να μελετηθεί αυτός ο κύκλος όπως διαγραμματικά αποτυπώνεται στο Σχήμα 34.

Στο περιορισμένο περιβάλλον («αιχμαλωσίας») ενός ενυδρείου ή μιας δεξαμενής ιχθυοκαλλιέργειας, τα αζωτούχα απόβλητα του μεταβολισμού υπό μορφή αμμωνίας, θα συσσωρεύονται και πολύ εύκολα θα γίνουν τοξικά αν δεν επέμβουμε. Και ναι μεν στα ανοιχτά συστήματα εκτροφής, εκεί δηλαδή που υπάρχει συνεχής ανανέωση του νερού με φρέσκο (χωρίς αμμωνία), δεν υπάρχει κανονικά πρόβλημα μια και η αμμωνία συνεχώς αραιώνεται, όμως, στα κλειστά συστήματα (και στα ενυδρεία) όπου το νερό συνεχώς ανακυκλώνεται (επαναχρησιμοποιείται), απαιτείται άλλη λύση. Η λύση είναι η χρησιμοποίηση ενός βιολογικού φίλτρου για να επιτελείται συνεχώς το βιολογικό φίλτράρισμα.

Αν και υπάρχουν διάφοροι τύποι βιολογικών φίλτρων, η γενική αρχή λειτουργίας των είναι ίδια. Το βιολογικό φίλτράρισμα παρέχει τις καλύτερες δυνατές συνθήκες για να συντηρεί στο μέγιστο δυνατό ρυθμό τη διαδικασία της νιτροποίησης με την οποία, τα ειδικά βακτήρια του γένους *Nitrosomonas* και του γένους *Nitrobacter* αποικοδομούν την αμμωνία σε δύο στάδια αντίστοιχα, το πρώτο τη μετατρέπει στα λιγότερο τοξικά νιτρώδη και το δεύτερο στα σχετικά ακίνδυνα νιτρικά.

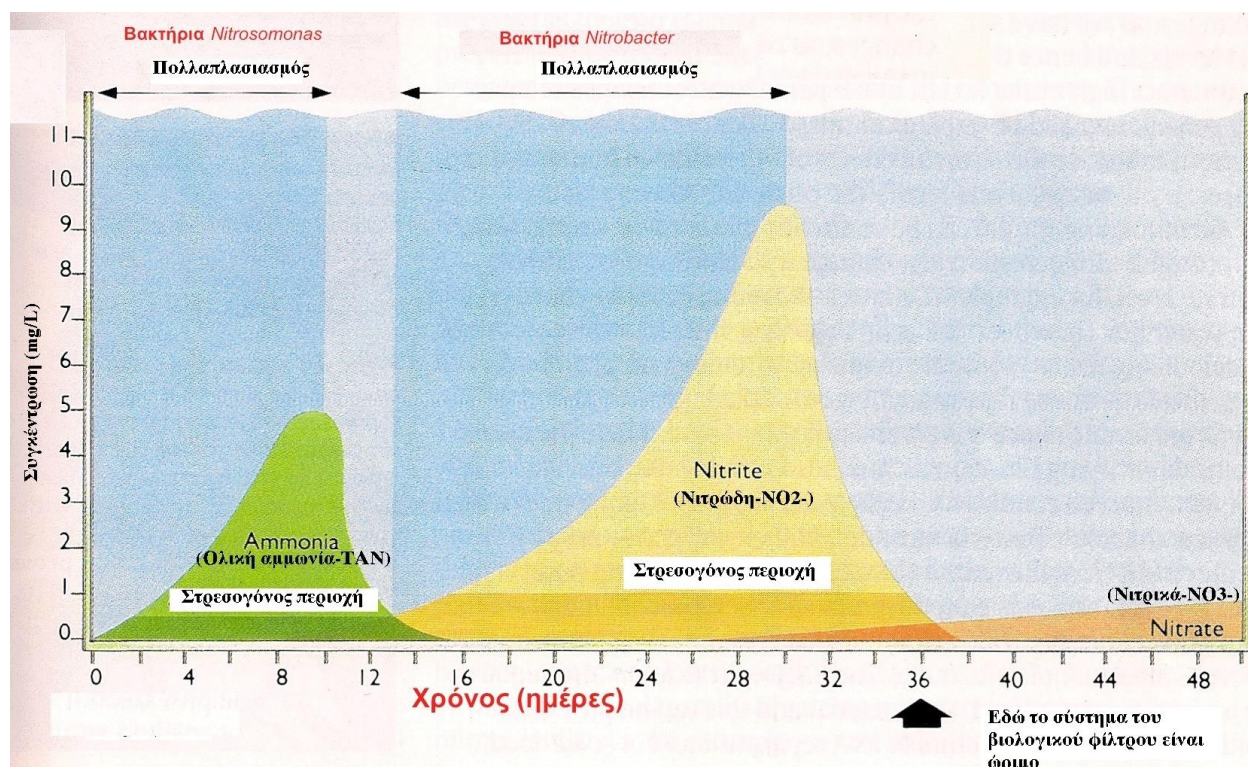


Σχήμα 34. Ο κύκλος του αζώτου. Απλοποιημένη απεικόνιση του τρόπου με τον οποίο το άζωτο ανακυκλώνεται στα φυσικά νερά και στα βιολογικά φίλτρα (όπου υπάρχουν) των ιχθυοκαλλιεργειών και ενυδρείων. (Από Andrews, Exell & Carrington, τροποποιημένο από Χώτος).

Όλα τα βιολογικά φίλτρα περιέχουν ειδικά αδρανή μέσα (από πλαστικό, κεραμικά, πέτρες, κ.ά.) με τη μεγαλύτερη δυνατή συνολική επιφάνεια που προσφέρεται για να αποικισθεί από τα βακτήρια. Καθώς τα βακτήρια αυτά είναι αερόβια, απαιτούν, αφενός μεν μια σταθερή επαρκή συγκέντρωση οξυγόνου και αφετέρου μια σταθερή παροχή αμμωνίας για να επιτελέσουν την οξειδωτική διαδικασία της νιτροποίησης. Και οι δύο αυτές απαιτήσεις ικανοποιούνται με την ανακυκλοφορία διά μέσου των

υλικών μέσων πλήρωσης του φίλτρου, καλά οξυγονωμένου νερού με επαρκή συγκέντρωση αμμωνίας.

Η διαδικασία της νιτροποίησης εξαρτάται επίσης από το pH και τη θερμοκρασία και αποδίδει τα μέγιστα σε $\text{pH} > 7,5$ και σε σχετικά υψηλές θερμοκρασίες $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ στο γλυκό νερό, $30 - 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ στο θαλασσινό. Βέβαια οι θερμοκρασίες αυτές είναι πολύ υψηλές και από βιολογική και από οικονομική άποψη για να τις διατηρούμε στα συστήματα ιχθυοκαλλιέργειας, όμως αναφέρονται εδώ για να αναδειχθεί η μέγιστη αποτελεσματικότητα της νιτροποίησης στις υψηλότερες θερμοκρασίες. Η πραγματικότητα μας οδηγεί στο να συμβιβαστούμε, προσπαθώντας και να επιτύχουμε την καλύτερη υψηλότερη θερμοκρασία που ανέχονται τα ψάρια μας και της μέγιστης δυνατής για τη νιτροποίηση. Η μέτρηση της αμμωνίας, των νιτρωδών και των νιτρικών του νερού γίνεται εύκολα με τη χρήση ειδικών κιτ ανάλυσης. Ο σκοπός των μετρήσεων είναι να ελέγχουμε συνέχεια το επίπεδο της συγκέντρωσης αυτών των αζωτούχων ενώσεων και να προσπαθούμε διά των κατάλληλων χειρισμών να κρατάμε τα επίπεδα της ολικής αμμωνίας (TAN) χαμηλότερα των $0,5\text{ mg/L}$ και των νιτρωδών χαμηλότερα των 1 mg/L κατά μια γενική οδηγία. Τα νούμερα αυτά δεν είναι τα ίδια για όλα τα ψάρια καθώς άλλα είδη αντέχουν και σε μεγαλύτερα επίπεδα και άλλα όχι. Πάντως ένα σωστά λειτουργούν βιολογικό φίλτρο όταν ισορροπήσει και λειτουργεί στο μέγιστο της δυναμικότητάς του, θα διατηρεί τα επίπεδα αμμωνίας και νιτρωδών σχεδόν μηδενικά και τα νιτρικά σε λιγότερο από 20 mg/L . Αν παρόλα αυτά οι συγκεντρώσεις αμμωνίας και νιτρωδών ξεπεράσουν αυτά τα νούμερα (θα μας το δείχνουν οι μετρήσεις μας), αυτό μπορεί να οφείλεται σε διάφορους λόγους. Ένας από τους πιο κοινούς και προφανείς είναι ότι το βιολογικό φίλτρο δεν έχει ακόμα ωριμάσει ή ρυθμιστεί (Σχήμα 35). Αυτό συμβαίνει σε καινούργια συστήματα που μόλις μπήκαν σε λειτουργία και είναι γνωστό με τον όρο «*σύνδρομο της καινούργιας δεξαμενής*». Στους $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ένα βιολογικό φίλτρο θα χρειαστεί 2-6 εβδομάδες για να δημιουργήσει τη μεγαλύτερη δυνατή αποικία από νιτροποιητικά βακτήρια οπότε θεωρείται πλέον ώριμο ή ρυθμισμένο. Στους $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ η διαδικασία ωρίμανσης θα διαρκέσει περισσότερο, μέχρι και 10 εβδομάδες, μερικές φορές και περισσότερο (Andrews, Exell & Carrington, 1988).



Σχήμα 35. Η διαδικασία ωρίμανσης – ρύθμισης ενός βιολογικού φίλτρου. Εκεί που δείχνει το βέλος αμμωνία και νιτρώδη διατηρούνται πλέον σε σχεδόν μηδενικά επίπεδα (ενώ τα νιτρικά όλο και θα συσσωρεύονται) και το φίλτρο θεωρείται ώριμο. (Από Andrews, Exell & Carrington, τροποποιημένο από Χότος).

Κατά τη χρονική περίοδο της ωρίμανσης δεν επιχειρούμε να εκθρέψουμε τα ψάρια για τα οποία φτιάχτηκε το σύστημα, αλλά αντίθετα, βάζουμε στο νερό μικρό αριθμό (προοδευτικά αυξανόμενο) από ανθεκτικά στην αμμωνία και τα νιτρώδη είδη, όπως χρυσόψαρα (*Carassius auratus*) ή άλλα κυπρινοειδή. Οι εκκρίσεις αμμωνίας από αυτά τα ψάρια θα παρέχουν με σταθερό τρόπο και συνεχώς την απαραίτητη «τροφή»-αμμωνία για τα νιτροποιητικά βακτήρια του φίλτρου, τα οποία οξειδώνοντάς τη (μεταβολίζοντάς τη) θα πολλαπλασιάζονται όλο και πιο πολύ. Μπορούμε επίσης να επιταχύνουμε τη διαδικασία ανάπτυξης μεγάλης μάζας νιτροποιητικών βακτηρίων στο καινούργιο φίλτρο, είτε χρησιμοποιώντας ειδικά σκευάσματα με υγρό που περιέχει πυκνό ζωντανό πληθυσμό νιτροποιητικών βακτηρίων, είτε παίρνοντας μια ποσότητα από υλικό φίλτρου ενός άλλου ώριμου φίλτρου και εισάγοντάς τη στο καινούργιο.

Στην πραγματικότητα ένα φίλτρο μπορεί να πάρει και έξι μήνες για να σταθεροποιηθεί η ωριμάσει πλήρως, δηλαδή να φθάσει σε μια κατάσταση που να περιέχει μια απόλυτα υγιή-ισορροπημένη-δυναμική-πλήρους αναπαραγωγικού δυναμικού βακτηριακή χλωρίδα που καλύπτει όλες τις στερεές επιφάνειες στο φίλτρο και στο σύστημα. Για το λόγο

αυτό και για να είμαστε ασφαλείς, συνιστάται να μην τοποθετούνται στο σύστημα, παρά μόνο μετά από έξι μήνες, το μέγιστο του αριθμού των ψαριών που έχουμε υπολογίσει ότι μπορεί να κρατήσει το σύστημα.

Πρέπει πάντα να έχουμε υπ' όψη, ότι το μέγεθος του πληθυσμού της νιτροποιητικής βακτηριακής χλωρίδας σε ένα ρυθμισμένο βιολογικό φίλτρο, βρίσκεται σε σχέση άμεσης αναλογίας με την ποσότητα της «αζωτούχας τροφής» των, η οποία παρέχεται υπό μορφή αμμωνίας από τον πληθυσμό των παρόντων ψαριών. Έτσι λοιπόν, ο αριθμός των ψαριών στο σύστημα θα πρέπει να αυξάνεται σταδιακά στην πορεία του χρόνου, για να δίδεται η ευκαιρία στα βακτήρια να πολλαπλασιάζονται κατά στάδια, έτσι που να μπορούν προοδευτικά να αντεπεξέρχονται στην αυξανόμενη ποσότητα αμμωνίας που θα υπάρχει.

Αν κατά τη λειτουργία ενός ρυθμισμένου φίλτρου παρουσιάζονται επίμονα υψηλές συγκεντρώσεις αμμωνίας και νιτρωδών, τότε αυτό μπορεί να σημαίνει ότι το φίλτρο υπερφορτώνεται, είτε επειδή ο πληθυσμός των ψαριών είναι πολύ μεγάλος, είτε επειδή το βιολογικό φίλτρο είναι πολύ μικρό για το σύνολο των ψαριών και της τροφής που δίδουμε. Και στις δύο περιπτώσεις δεν υπάρχουν αρκετά βακτήρια στο βιολογικό φίλτρο για να τα βγάλουν πέρα με το αμμωνιακό φορτίο του συστήματος. Η υπερβολική και «σπάταλη» παροχή τροφής στα ψάρια, είναι συνήθως η αιτία, καθώς η περισσευούμενη τροφή αποσυντιθέμενη και σαπίζοντας θα παράγει και αυτή αμμωνία η οποία θα προστίθεται στην ποσότητα αμμωνίας που παράγουν τα ψάρια.

Υπάρχουν όμως και άλλες αιτίες που μπορούν να προκαλέσουν ανύψωση των επιπέδων αμμωνίας και νιτρωδών. Αν αποκλειστεί η περίπτωση του να υπάρχουν περισσότερα ψάρια από το κανονικό ή να έχει γίνει σπατάλη τροφής, τότε δεν μένει παρά να υποθέσουμε ότι είτε έχει παρεμποδιστεί η λειτουργία των νιτροποιητικών βακτηρίων, είτε αυτά έχουν ψοφήσει λόγω κάποιας τοξίνης. Και υπάρχουν αρκετές τοξίνες συνθετικά χημικά οι οποίες σκοτώνουν τα βακτήρια αυτά. Τέτοιες ουσίες είναι τα εντομοκτόνα, τα φυτοφάρμακα, διάφορα απολυμαντικά των ψαριών όπως μπλε του μεθυλενίου, πράσινο του μαλαχίτη, φορμόλη και τέλος τα όποια αντιβιοτικά χρησιμοποιηθούν. Για το λόγο αυτό, η όποια θεραπεία των ψαριών με τέτοιες ουσίες θα πρέπει να γίνεται εκτός του νερού του συστήματος των δεξαμενών το οποίο περνά συνεχώς μέσα από το φίλτρο. Τα προς θεραπεία ψάρια πρέπει να μεταφέρονται σε ξεχωριστή δεξαμενή ή δοχείο όπου θα γίνεται η όποια θεραπεία τους με τις παραπάνω απολυμαντικές ουσίες και κατόπιν το νερό αυτό θα πεταχτεί και δεν θα επιστρέψει στο σύστημα.

Αν παρόλα αυτά, από αμέλεια, τέτοιες ουσίες διαλυθούν στο νερό του συστήματος, τότε το νερό θα πρέπει γρήγορα να φιλτραριστεί μέσα από ένα σύστημα χημικής φίλτρανσης το οποίο περιέχει ενεργό άνθρακα, υλικό το οποίο μπορεί με τη διαδικασία της προσρόφησης (σημ

adsorption όχι absorption) να κατακρατήσει αυτά τα τοξικά και να μειώσει ή εξαφανίσει την παρουσία τους στο νερό.

Ο ενεργός άνθρακας αποτελεί επίσης και ένα πολύ καλό μέσο κατακράτησης της αμμωνίας με τη διαδικασία της προσρόφησης που προαναφέρθηκε. Πρόκειται για εξαιρετικά πορώδες κάρβουνο όπου τα διάφορα διαλυμένα στο νερό ιόντα εγκλωβίζονται. Αποτελεί το βασικό υλικό των χρησιμοποιούμενων ενίοτε χημικών φίλτρων με τα οποία το νερό μπορεί να απαλλαγεί από την αμμωνία, αλλά παρουσιάζει το μειονέκτημα ότι γρήγορα η απόδοσή του πέφτει καθώς «μπουκώνει» κάποια στιγμή με την αμμωνία που απορρόφησε και πλέον καθίσταται άχρηστος. Καθώς είναι μάλλον ακριβό υλικό δεν είναι δυνατόν συνεχώς να αντικαθίσταται με καινούργιο και έτσι η χρήση του περιορίζεται σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης (όπως παραπάνω).

Ομως μιλώντας για χημική φίλτραση, αξίζει να προσεχθεί η δυνατότητα που έχουν και άλλα υλικά τα οποία παρουσιάζουν όπως ο ενεργός άνθρακας ικανότητα να απαλλάσσουν το νερό από την αμμωνία. Τέτοιο υλικό με μεγάλο ενδιαφέρον για τις υδατοκαλλιέργειες είναι ο *ζεόλιθος*. Υπάρχουν διάφορα είδη ζεολιθών, τεχνητοί και φυσικοί. Ενώ ο ενεργός άνθρακας θα κατακρατήσει την αμμωνία από το νερό διά της προσρόφησης, ο ζεόλιθος θα την δεσμεύσει στις επιφάνειές του διά της *ιοντοανταλλαγής*. Δηλαδή θα δεσμεύσει ένα μόριο αμμωνίας υπό την ιονισμένη μορφή της (NH_4^+) και θα αποδώσει αντ' αυτού ένα ιόν ίδιου σθένους π.χ. νάτριο Na^+ . Αποτέλεσμα είναι ότι το νερό απαλλάσσεται από την αμμωνία φορτιζόμενο με ακίνδυνα νάτρια. Κάποια στιγμή βέβαια και ο ζεόλιθος θα «μπουκώσει» έχοντας γεμίσει όλες τις διαθέσιμες θέσεις του με ιόντα αμμωνίου και μη μπορώντας να κρατήσει άλλα, ενώ συγχρόνως θα έχει αποδώσει στο νερό όλο το νάτριο που διέθετε. Τότε ο ζεόλιθος χρειάζεται *επαναφόρτιση*. Η επαναφόρτισή του γίνεται τοποθετώντας τον σε καθαρό θαλασσινό νερό από όπου θα επανακτήσει το νάτριο και θα αποδώσει την αμμωνία. Εξυπακούεται βέβαια ότι η δράση του ζεόλιθου κατά τα παραπάνω μπορεί να υπάρξει μόνο στα γλυκά νερά και όχι στα αλμυρά, επειδή στο αλμυρό νερό που έχει πολύ νάτριο δεν θα δουλέψει ο μηχανισμός ιοντοανταλλαγής “(NH_4^+) αντί Na^+ ” που επιδιώκουμε.

3.10. Απολύμανση του νερού.

Ο όρος *απολύμανση* (disinfection), αναφέρεται στην καταστροφή της πλειονότητας των μικρών και μικροσκοπικών οργανισμών που μπορούν να εισαχθούν στο σύστημα καλλιέργειας με το νερό. Είναι μια πρακτική που αποτρέπει οργανισμούς που προκαλούν ασθένειες, θηρευτές και ανταγωνιστές να εγκατασταθούν στο σύστημα. Δεν σημαίνει *αποστείρωση* (sterilization) που είναι η εξαφάνιση κάθε είδους ζωής στο

νερό, διαδικασία που δεν είναι ούτε πρακτική (σε οικονομικούς όρους) ούτε απαραίτητη.

Σε ένα κλειστό σύστημα οι ασθένειες εξαπλώνονται εύκολα λόγω της μεγάλης πυκνότητας των ψαριών. Ορισμένα χημικά που χρησιμοποιούνται για την αντιμετώπισή τους, μπορεί να έχουν καταστροφική δράση για τα νιτροποιητικά βακτηρίδια που έχουν αναπτυχθεί στο βιολογικό φίλτρο καθώς και σε οποιαδήποτε άλλη στερεή επιφάνεια μέσα στο σύστημα. Ως εναλλακτική λύση (για τα χημικά ή αντιβιοτικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν), υπάρχει η συνεχής απολύμανση του ανακυκλούμενου νερού είτε με όζον (O_3) είτε με *υπεριώδη ακτινοβολία* (UV-sterilization), είτε με *χλωρίωση* (chlorination).

3.10.1. Υπεριώδης ακτινοβολία

Ο όρος *υπεριώδης ακτινοβολία* [Ultraviolet (UV) radiation] αναφέρεται στο τμήμα του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας 10 – 390 nm, δηλαδή μεταξύ των μακρύτερων κυμάτων ακτίνων-X και των μικρότερων κυμάτων του ορατού φωτός.

Οι μικροοργανισμοί (περιλαμβανομένων και των βακτηριδίων που προκαλούν ασθένειες), καταστρέφονται όταν εκτεθούν σε κατάλληλη ένταση υπεριώδους ακτινοβολίας. Για να γίνει αυτό, θα πρέπει η UV να «χτυπήσει» τον οργανισμό και να απορροφηθεί απ' αυτόν. Η βακτηριοκτόνος δράση της UV έχει καλώς αποδειχθεί, αν και ο ακριβής τρόπος λειτουργίας της αποτελεί ακόμα θέμα έρευνας. Η επικρατούσα άποψη θέλει τις ακτίνες UV, με πιο αποτελεσματικές αυτές στο εύρος 250-260 nm, να απορροφώνται από τον πυρήνα του κυττάρου, καταλήγοντας στη διάσπαση των ακόρεστων χημικών δεσμών. Πρώτοι στόχοι στον πυρήνα πιστεύεται ότι είναι οι βάσεις πουρίνη και πυριμιδίνη. Η αποτελεσματικότητα της αποστείρωσης με UV εξαρτάται από το μέγεθος του οργανισμού, την ποσότητα της UV ακτινοβολίας και το βαθμό διείσδυσης της ακτινοβολίας στο νερό. Το καθαρό νερό δεν απορροφά σχεδόν καθόλου την ακτινοβολία στο φάσμα της UV, αφήνοντάς τη εξ' ολοκλήρου διαθέσιμη για το απολυμαντικό της έργο. Για να υπάρξει αποτέλεσμα, οι μικροοργανισμοί θα πρέπει να βρεθούν πολύ κοντά (περί το 0,5 cm) στην πηγή της UV ακτινοβολίας. Η θολερότητα του νερού μειώνει την αποτελεσματικότητά της. Συνεπώς για να είναι ένα σύστημα UV ακτινοβολίας αποτελεσματικό, θα πρέπει το νερό πριν εισέλθει στο θάλαμο της UV να έχει πρώτα φιλτραριστεί πολύ καλά σε φίλτρο συγκράτησης των πολύ λεπτών αιωρούμενων στερεών. Η θερμοκρασία και το pH δεν επιδρούν άμεσα και σοβαρά στη βακτηριοκτόνο δράση της UV, ενώ η ένταση της ακτινοβολίας και ο χρόνος έκθεσης σε αυτή φαίνεται να είναι οι καθοριστικοί παράγοντες. Γενικά η UV χρησιμοποιείται περισσότερο για να σκοτώσει βακτηρίδια,

μικροφύκη και τις λάρβες των μικροασπόνδυλων, αλλά έχει επίσης βρεθεί ότι είναι αποτελεσματική και για τους ιούς (συμπεριλαμβανομένων των Coxsackie και Polio). Σύμφωνα με έρευνες, η UV δεν είναι αποτελεσματική για τις κύστεις και μεγαλύτερους οργανισμούς, *(πρακτικός κανόνας: ότι μπορεί να ειπωθεί με το μάτι δεν μπορεί να σκοτωθεί με τη UV)*.

Σήμερα, από τους διάφορους κατασκευαστές, διατίθενται συστήματα UV για υδατοκαλλιεργητική χρήση. Η καρδιά του κάθε συστήματος UV είναι ο λαμπτήρας ατμών υδραργύρου (Hg). Το ηλεκτρικό ρεύμα περνώντας από τη λάμπα, διεγείρει τον υδράργυρο και καθώς τα άτομα του υδράργυρου επιστρέφουν στην πρότερη χαμηλότερη ενεργειακή τους κατάσταση, εκπέμπουν ακτινοβολία UV. Υπάρχουν δύο τύποι συστημάτων UV που χρησιμοποιούνται στις υδατοκαλλιέργειες: το αιωρούμενο (suspended) και το βυθισμένο (submerged).

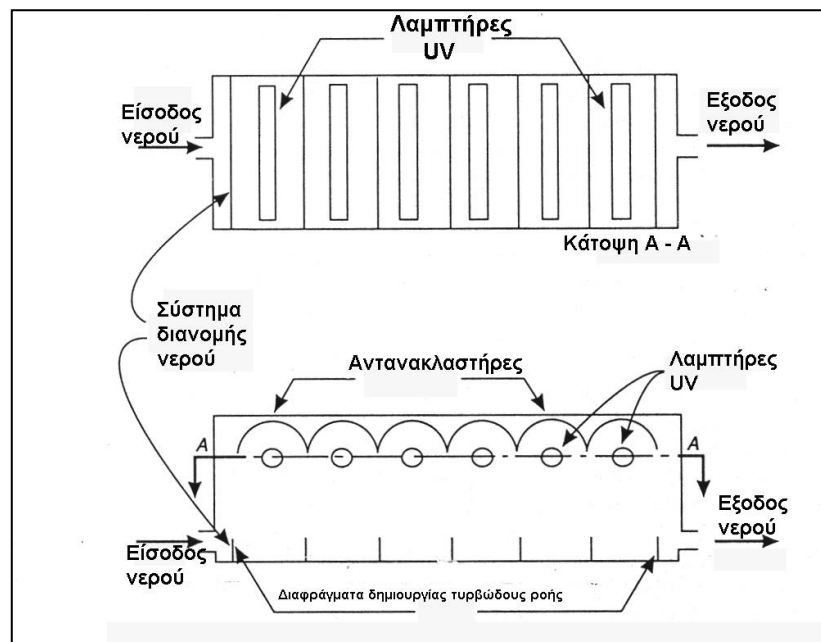
Τα αιωρούμενα UV συστήματα αποτελούνται από μια τράπεζα με λαμπτήρες UV και αντανakλαστήρες που κρέμονται 10 – 20 cm επάνω από μια αύλακα νερού. Η αύλακα μπορεί να έχει και διαχωριστικά διαφράγματα για να δημιουργεί ανακάτεμα στο νερό (Σχήμα 36). Το ύψος, ο αριθμός και η απόσταση μεταξύ των λαμπτήρων και των αντανakλαστήρων, πρέπει όλα να συμβάλλουν στην ανάκλαση του φωτός τους στο νερό. Ακτινοβολία που δεν εισέρχεται στο νερό θεωρείται χαμένη.

Το πιο αποτελεσματικό και ευρέως χρησιμοποιούμενο σύστημα UV είναι αυτό που αποτελείται από μια μονάδα UV βυθισμένη στο νερό (βυθισμένο). Στον τύπο αυτό, το ανακυκλούμενο νερό περνά μέσα από ένα επιμήκη σωλήνα με UV λάμπα (Σχήμα 37). Η λάμπα δεν έρχεται σε άμεση επαφή με το νερό αλλά βρίσκεται αεροστεγώς προστατευμένη στο εσωτερικό θαλάμου από «γυαλί» quartz. Καθώς το νερό ρέει κατά μήκος του σωλήνα και πέριξ της UV λάμπας, οι μικροοργανισμοί εκτίθενται στην UV ακτινοβολία. Το κάλυμμα quartz θα πρέπει να διατηρείται πάντοτε καθαρό για να μην εμποδίζεται η ακτινοβολία.

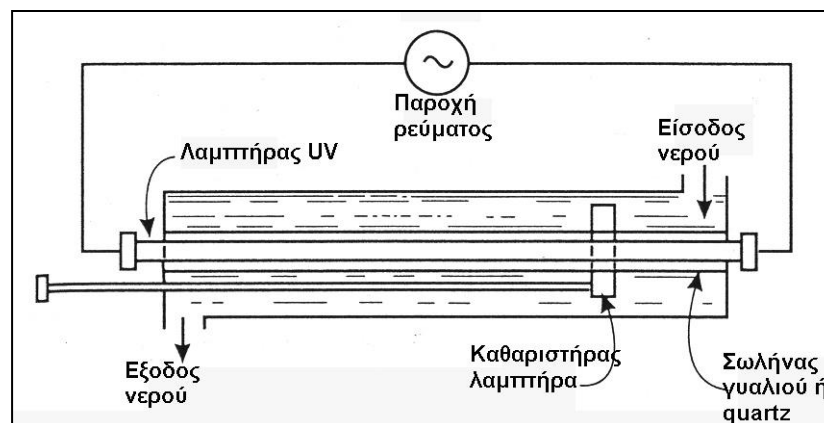
Οι κατασκευαστές των συστημάτων UV τα κατατάσσουν ανάλογα με τη δυναμικότητά τους, σε ποσότητα ροής νερού που μπορεί να εξυπηρετήσουν. Για μια δεδομένη μονάδα UV η οποία μπορεί να εξυπηρετήσει μια ορισμένη μέγιστη ροή νερού, η ενδεχόμενη ρύθμιση της ροής νερού σε μικρότερα επίπεδα θα αυξήσει την αποτελεσματικότητα της αποστείρωσης.

Το κύριο μειονέκτημα της αποστείρωσης με UV είναι η απαίτηση για πολύ καθαρό νερό με πολύ μικρή περιεκτικότητα αιωρούμενων στερεών. Το καθαρό (διαυγές) νερό όμως, δεν είναι μια εύκολα επιτεύξιμη κατάσταση στα πολύ φορτισμένα νερά ενός κλειστού συστήματος. Επιπρόσθετα, η λάμπα UV πρέπει να αντικαθίσταται περιοδικά. Παρόλα αυτά, το κύριο πλεονέκτημα της αποστείρωσης με UV είναι η ασφάλεια

στη λειτουργία του και η ανυπαρξία επιβλαβών επιδράσεων για τα εκτρεφόμενα είδη.



Σχήμα 36. Διαγραμματική απεικόνιση ενός κρεμαστού συστήματος UV. Το νερό ρέει κάτω από την τράπεζα με τους λαμπτήρες UV και τους αντανακλαστήρες. Στη διαδρομή του νερού παρεμβάλλονται διαφράγματα με σκοπό την παραγωγή τυρβώδους ροής που θα επιτρέψει στη μάζα του νερού να βρεθεί κοντά στην περιοχή μέγιστης ακτινοβολίας (Wheaton, 1977, ελαφρά τροποποιημένο).



Σχήμα 37. Διαγραμματική απεικόνιση ενός βυθισμένου συστήματος UV, (Wheaton, 1977, ελαφρά τροποποιημένο).

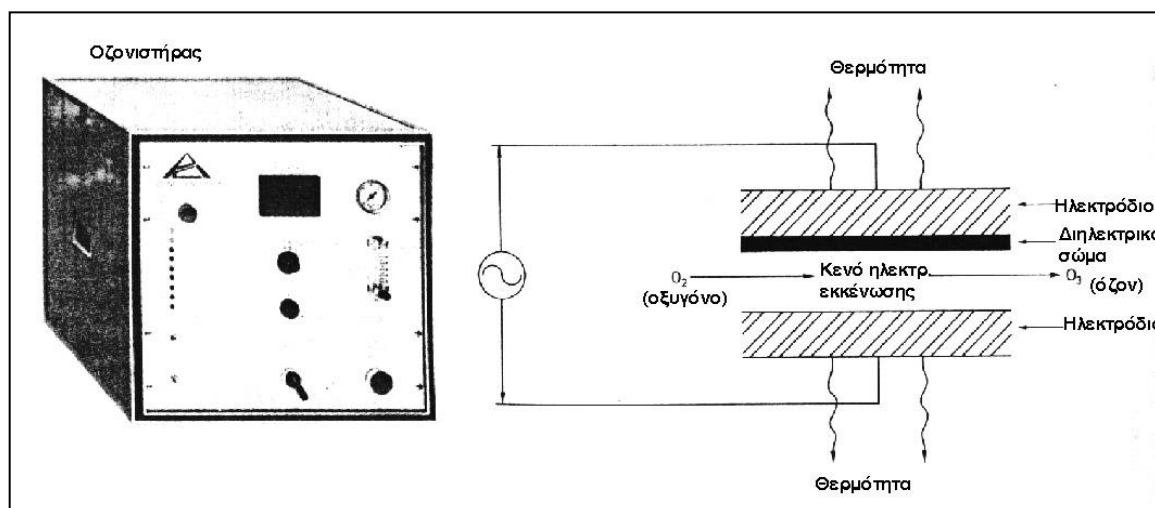
3.10.2. Οζόν

Το αέριο όζον (O_3), μια αλλοτροπική μορφή του οξυγόνου, αποτελεί ένα πολύ ισχυρό οξειδωτικό μέσο στο νερό. Ήδη εδώ και πολλά χρόνια (περί τα 70), έχει χρησιμοποιηθεί για την απολύμανση του πόσιμου νερού και για να μειώνει το επίπεδο του χρώματος, της μυρωδιάς και της δυσάρεστης γεύσης του νερού. Πάντως, στα κλειστά συστήματα

υδατοκαλλιεργειών, εξαιτίας των μεγάλων συγκεντρώσεων σε αιωρούμενα και διαλυμένα οργανικά συστατικά, η επίδραση του όζοντος στην εξολόθρευση των βακτηριδιακών πληθυσμών είναι αμφισβητούμενη. Η αποτελεσματικότητα της απολυμαντικής του δράσης εξαρτάται από το χρόνο επαφής του με το νερό και την υπολειμματική συγκέντρωσή του (residual concentration) στο νερό που περιέχει τους μικροοργανισμούς.

Το όζον είναι ένα ασταθές μπλε αέριο με χαρακτηριστική και αναγνωρίσιμη οσμή. Ο ρυθμός με τον οποίο το O_3 αποσυντίθεται ξανά σε O_2 αυξάνει με την αύξηση της θερμοκρασίας. Εξαιτίας της αστάθειάς του (διασπάται μέσα σε 10-20 λεπτά), παράγεται μόνο όπου και όταν απαιτείται και δεν μεταφέρεται στις μονάδες υδατοκαλλιέργειας (όπως π.χ. γίνεται με το καθαρό οξυγόνο).

Το όζον παράγεται με κατάλληλες ηλεκτρικές εκκενώσεις (Σχήμα 38) υψηλού βολτάζ (4000 – 30.000 volts) ανάμεσα σε δύο ηλεκτρόδια (corona), οι οποίες διασπών το μόριο του οξυγόνου (O_2) σε άτομα οξυγόνου (O). Το οξυγόνο περνά μέσα από τον οζονιστήρα είτε στην καθαρή του μορφή είτε ως ατμοσφαιρικός αέρας. Ένα άτομο οξυγόνου (O) ενώνεται με ένα μόριο οξυγόνου (O_2) και σχηματίζουν όζον (O_3). Στο εμπόριο διατίθενται μικρές ή μεγάλες, γεννήτριες παραγωγής όζοντος.

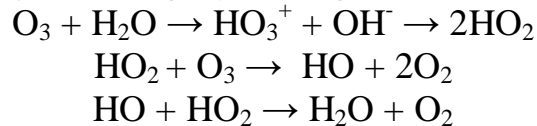


Σχήμα 38. Οζονιστήρας αριστερά. Δεξιά απεικονίζεται διαγραμματικά η κατασκευή του ηλεκτρικού στοιχείου (corona) που δημιουργεί τις εκκενώσεις που δημιουργούν το όζον.

Το όζον δρα ως απολυμαντής εξαιτίας της ισχυρής του οξειδωτικής ικανότητας, μόνο το φθόριο έχει μεγαλύτερη ηλεκτροαρνητική οξειδωτική ικανότητα απ' αυτό. Είναι εξαιρετικά διαβρωτικό και επικίνδυνο. Το όζον μπορεί να αντιδρά με ορισμένα πλαστικά, όχι όμως

με το γυαλί και την πορσελάνη. Το όζον είναι ιοκτόνο και βακτηριοκτόνο διά της αποσύνθεσης των βακτηριδιακών κυτταρικών τοιχωμάτων.

Αν και το όζον είναι πιο διαλυτό στο νερό από το οξυγόνο, είναι λιγότερο διαλυτό από το χλώριο. Το επίπεδο κορεσμού του στο νερό στους 20 °C είναι περί τα 570 mg/L. Αντιδρά με το νερό κατά το παρακάτω σχήμα:



Οι ελεύθερες ρίζες HO_2 και HO είναι ισχυρά οξειδωτικά και παρουσιάζουν το πλεονέκτημα να μετατρέπονται γρήγορα σε οξυγόνο.

Οι οξειδωτικές αντιδράσεις των HO_2 και HO μπορεί να είναι:

1. Ανόργανες, οξείδωση των θειωδών σε θειικά, νιτρωδών σε νιτρικά, χλωριούχων σε χλώριο και ιόντων του σιδήρου και μαγγανίου στις αδιάλυτες μορφές τους, με αποτέλεσμα την κατακρήμνισή τους στο νερό.
2. Οργανικές, διάσπαση των ακόρεστων δεσμών και καταστροφή των χουμικών οξέων, εντομοκτόνων, φαινολών και άλλων οργανικών ενώσεων.

Εχει αποδειχθεί ότι το οζονισμένο νερό, (ακόμη και με το γεγονός της γρήγορης διάσπασης του όζοντος σε οξυγόνο), μπορεί να είναι επικίνδυνο για κάποια ευαίσθητα καλλιεργούμενα είδη. Πάντως, αν το οζονισμένο νερό περάσει μέσα από μια στήλη με ενεργό άνθρακα, η τοξικότητά του εξαφανίζεται. Επίσης το όζον στον αέρα είναι τοξικό και για τον άνθρωπο. Για το λόγο αυτό θα πρέπει να έχει ληφθεί πρόνοια για το σωστό αερισμό του χώρου όπου παράγεται το όζον. Γενικά τα συστήματα παραγωγής όζοντος θα πρέπει να εγκαθίστανται μόνο από ειδικευμένους τεχνικούς.

Το όζον συνήθως διαχέεται στο νερό ενός κλειστού συστήματος σε μία ξεχωριστή δεξαμενή ή σε μία παράκαμψη του σωλήνα μεταφοράς του νερού της μονάδας. Επειδή η αποτελεσματικότητα της οζονοθεραπείας είναι ευθέως ανάλογη με το χρόνο επαφής μεταξύ του αερίου και των μικροοργανισμών, το νερό θα πρέπει να παραμένει αρκετά σε αυτούς τους χώρους για να διασφαλιστούν αμφότερα ο θάνατος των μικροοργανισμών και η καταστροφή των μορίων του όζοντος.

3.10.3. Χλωρίωση.

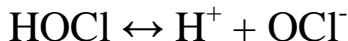
Το χλώριο (αέριος μορφή, Cl_2) χρησιμοποιείται στην κατεργασία των αποβλήτων. Παράγεται εμπορικά διά της ηλεκτρόλυσης του χλωριούχου νατρίου (κοινό αλάτι, NaCl). Το αέριο χλώριο έχει πράσινο-κίτρινο χρώμα και δυνατή μυρωδιά. Πωλείται συνήθως ως υγροποιημένο αέριο υπό πίεση, ως ξηρή σκόνη [υποχλωριώδες ασβέστιο, $\text{Ca}(\text{OCl})_2$], ή ως υγρό (υποχλωριώδες νάτριο, NaOCl). Το αέριο αναμιγνύεται εύκολα με το νερό σχηματίζοντας ένα διάλυμα 0,7 % στους 20 °C. Οπως και τα

υπόλοιπα αλογόνα, φθόριο, βρώμιο και ιώδιο, το χλώριο είναι δυνατό βακτηριοκτόνο και ισχυρό οξειδωτικό μέσο.

Όταν το χλώριο αναμιγνύεται με το νερό υδρολύεται ταχύτατα για να σχηματίσει υποχλωριώδες οξύ κατά την αντίδραση:



Το υποχλωριώδες οξύ είναι ασθενές και ως εκ τούτου υφίσταται μερική διάσταση:



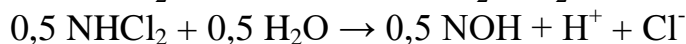
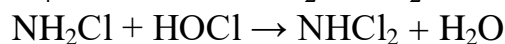
Η αντίδραση αυτή εξαρτάται από το pH, η αύξηση του pH συνεπάγεται αύξηση του ποσοστού του HOCl. Σε pH 4,0 όλο το χλώριο βρίσκεται στη μορφή HOCl, ενώ σε pH 11 μόνο το 0,03% βρίσκεται ως HOCl και το 99,97% ως OCl⁻ (υποχλωριώδες ιόν). Στις συνήθεις τιμές pH για τις υδατοκαλλιέργειες, αμφότερα το οξύ και το υποχλωριώδες ιόν είναι παρόντα. Τα HOCl και OCl⁻ κατά την κοινή ονομασία καλούνται *ελεύθερο χλώριο*. Το ελεύθερο χλώριο και όχι το μόριο του χλωρίου (Cl₂) είναι ο οξειδωτικός παράγοντας.

Ο μηχανισμός με τον οποίο το χλώριο σκοτώνει τους μικροοργανισμούς δεν είναι ξεκάθαρος. Πιστεύεται ότι το χλώριο εισέρχεται στο κύτταρο και αντιδρά με ορισμένα ένζυμα. Η υπόθεση αυτή βασίζεται στο γεγονός ότι το χλώριο αντιδρά με αζωτούχες ενώσεις (τα ένζυμα είναι πρωτεΐνες και ως εκ τούτου αποτελούνται από σειρές αμινοξέων τα οποία περιέχουν άζωτο). Όσο διευκολύνεται η είσοδος του χλωρίου στο κύτταρο, τόσο γρηγορότερα σκοτώνεται ο μικροοργανισμός. Έχει βρεθεί ότι το υποχλωριώδες οξύ διαχέεται γρηγορότερα μέσα στο κύτταρο από το υποχλωριώδες ιόν. Αυτός πιθανώς είναι και ο λόγος που η απολύμανση με χλώριο είναι πιο αποτελεσματική σε χαμηλά pH.

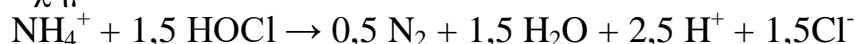
Στη χημεία του χλωρίου απαντώνται κάποιοι ειδικοί όροι. Η ποσότητα των αδέσμευτων HOCl και OCl⁻ καλούνται *ελεύθερο υπολειμματικό χλώριο* (free residual chlorine). Σε καθαρό νερό αποτελεί ισοδύναμη ποσότητα με το ποσό του χλωρίου που προστίθεται στο νερό. Η ποσότητα του χλωρίου που απαιτείται για να αντιδράσει με όλες τις διαλυμένες οργανικές και ανόργανες ενώσεις και επιπλέον με όλα τα βακτηρίδια στο νερό, καλείται *απαίτηση για χλώριο* (chlorine demand). Όταν το χλώριο αντιδρά με την αμμωνία (βλέπε παρακάτω αντίδραση), οι προκύπτουσες ενώσεις ονομάζονται *χλωραμίνες*. Οι χλωραμίνες έχουν απολυμαντικές ιδιότητες και γι' αυτό είναι σημαντικές. Η ποσότητα των χλωραμινών στο δείγμα του νερού αποτελεί το *συνδυασμένο διαθέσιμο χλώριο* (combined available chlorine). Οι χλωραμίνες αντιδρούν πιο αργά από το ελεύθερο χλώριο αλλά είναι πιο αποτελεσματικές σε υψηλά pH.

Για να κατανοηθεί η δράση του χλωρίου στην απολύμανση του νερού, θα πρέπει να αναλυθεί η λεγόμενη *αντίδραση σημείου ανακοπής* (breakpoint reaction). Αν και υπάρχουν ακόμα ορισμένα θολά σημεία για την όλη αντίδραση, πιστεύεται ότι η σειρά των αντιδράσεων είναι η παρακάτω.

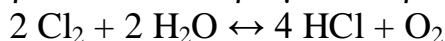
Σε γενικές γραμμές η αντίδραση σημείου ανακοπής επιτυγχάνεται όταν διαλυθεί αρκετό χλώριο στο νερό, τόσο που να προκαλέσει την οξείδωση της αμμωνίας σε αέριο άζωτο (N₂).



Όλες οι παραπάνω μπορούν να συνοψισθούν στη γενική εξίσωση στην οποία το τελικό προϊόν είναι Cl⁻, το οποίο μπορεί να ξανασυνδυαστεί με νερό και να σχηματίσει HOCl:



Το χλωριωμένο νερό είναι απρόσφορο για υδατοκαλλιέργειες και έτσι το χλώριο πρέπει να απομακρυνθεί από το νερό πριν αυτό χρησιμοποιηθεί για τους εκτρεφόμενους οργανισμούς. Αυτό επιτυγχάνεται με διάφορες μεθόδους. Η πιο κοινή από αυτές (χρησιμοποιείται στα πολύ χλωριωμένα πόσιμα νερά), είναι η πρόσθεση διοξειδίου του θείου στο νερό, με αποτέλεσμα τη μετατροπή του χλωρίου σε χλωροϊόν (Cl⁻) με ταυτόχρονη μετατροπή των θειωδών σε θειικά. Όμως, η μέθοδος αυτή θεωρείται μη πρακτική για τις υδατοκαλλιέργειες τουλάχιστον προς το παρόν. Άλλες μέθοδοι που μπορούν να χρησιμοποιηθούν περιλαμβάνουν τη χρήση ρητινών ιοντοανταλλαγής, έντονο αερισμό και χρήση ενεργού άνθρακα. Ο ενεργός άνθρακας απομακρύνει το χλώριο από το νερό διά της καταλυτικής επαφής (contact catalysis), κατά την οποία το χλώριο απορροφάται από τον άνθρακα και αντιδρά με το νερό:



Η απομάκρυνση του χλωρίου είναι πιο αποτελεσματική στα χαμηλού pH διαλύματα (όξινα) απ' ό τι στα υψηλού (βασικά). Οι χλωραμίνες δεν απομακρύνονται με τον ενεργό άνθρακα τόσο καλά όσο το χλώριο.

Εκτός από τη χρήση του για την απολύμανση του νερού της καλλιέργειας, το χλώριο μπορεί να ψεκασθεί στους σωλήνες και στα τοιχώματα των αδειασμένων από το νερό δεξαμενών και raceways. Το διάλυμα του χλωρίου θα απολυμάνει τις επιφάνειες εξολοθρεύοντας αποικίες βακτηριδίων και μικροφυκών.

3.11. Τοξικότητα μετάλλων (Andrews, Exell & Carrington, 1988).

Κάποιες παροχές νερού περιέχουν μέταλλα τα επιλεγόμενα «βαρέα» όπως σίδηρο, μόλυβδο και χαλκό. Αυτά εισέρχονται στο νερό στην πηγή της παροχής του ή από μεταλλικές σωληνώσεις κατά τη διαδρομή του μέσα σε αυτές. Τα μέταλλα είναι πιο διαλυτά στο γλυκό μαλακό νερό το οποίο είναι διαβρωτικό. Το θαλασσινό νερό είναι ακόμα πιο διαβρωτικό για τα μέταλλα και για να αποφευχθούν προβλήματα τοξικότητας για τα ψάρια (και τα άλλα υδρόβια ζώα), το θαλασσινό νερό δεν πρέπει να

έρχεται σε καμία επαφή με μέταλλα εκτός κι' αν πρόκειται για υψηλής ποιότητας ανοξείδωτα.

Τα μέταλλα στο νερό μπορούν να υπάρχουν υπό διάφορες χημικές μορφές, καθεμία από τις οποίες παρουσιάζει διαφορετική τοξικότητα για τα ψάρια. Το ποια μορφή υπάρχει κάθε φορά, εξαρτάται από τη σκληρότητα του νερού, το pH, τη θερμοκρασία και τις άλλες διαλυμένες ουσίες στο νερό. Για παράδειγμα, ο χαλκός είναι περισσότερο διαλυτός στο μαλακό νερό στο οποίο απαντάται ως η πολύ τοξική μορφή του *ελεύθερος χαλκός*, ενώ στο σκληρό νερό σχηματίζει *ανθρακικό χαλκό* ο οποίος μπορεί να καθιζάνει και έτσι να είναι πολύ λιγότερο τοξικός.

Διαφορετικά μέταλλα έχουν διαφορετικά επίπεδα τοξικότητας για διάφορα είδη ψαριών και γίνονται πιο τοξικά όταν συνδυάζονται μεταξύ τους παρά όταν ένα μόνο είναι παρόν στο νερό.

Η συγκέντρωση των μετάλλων στο νερό μπορεί να παρακολουθηθεί με τη χρήση ειδικών κιτ ανάλυσης με πιο κοινό αυτό για το χαλκό. Γενικά τα επίπεδα ασφάλειας θεωρούνται αυτά των οποίων οι συγκεντρώσεις είναι κάτω των 0,015 mg/L για τον χαλκό (Cu) και 0,03 mg/L για τον σίδηρο (Fe) και τον μόλυβδο (Pb).

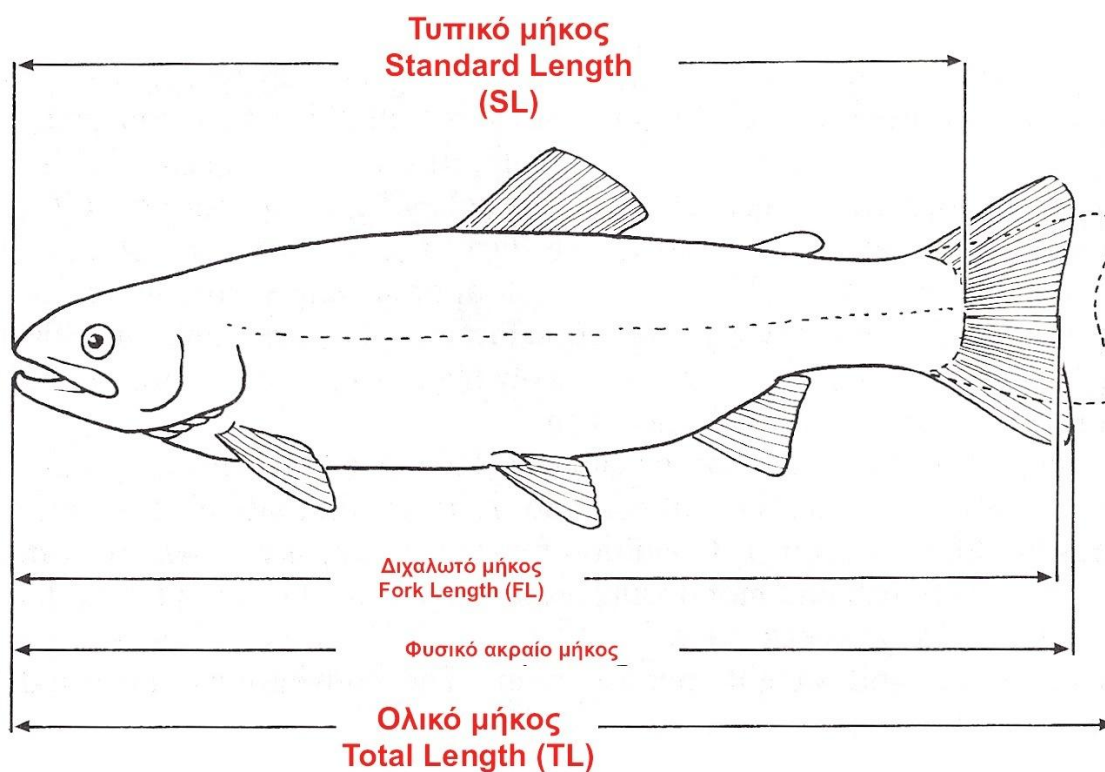
Η τοξική δράση των μετάλλων στα ψάρια περιλαμβάνει βλάβες στο αίμα, στα εσωτερικά όργανα και στις μεμβράνες των βραγχίων. Ενίοτε όταν συμβαίνουν ξαφνικοί θάνατοι ψαριών, ιδιαίτερα στα γλυκά μαλακά νερά, χωρίς προφανή αιτία, θα πρέπει να υποπτευόμαστε δηλητηρίαση από βαρέα μέταλλα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΤΡΟΦΗ ΚΑΙ ΑΥΞΗΣΗ

Η αύξηση των ψαριών εξαρτάται από την ποσότητα της τροφής που καταναλώνουν. Η μέγιστη ποσότητα τροφής που μπορεί να καταναλώσει το ψάρι, το λεγόμενο *επίπεδο χορτασμού* (κορεσμού), ποικίλλει ανάλογα με το μέγεθος του ψαριού και τη θερμοκρασία. Το να τρέφουμε όμως τα ψάρια συνεχώς μέχρι τον κορεσμό δεν είναι επιθυμητό. Ο σκοπός μας κανονικά πρέπει να είναι η μέγιστη παραγωγή βάρους ψαριού για κάθε μονάδα τροφής που τους παρέχουμε. Η επίτευξη αυτή μπορεί να γίνει και εξαρτάται, από τις ακριβείς μετρήσεις που θα κάνουμε περιοδικά στο μέγεθος του ψαριού, την αύξησή του και την πρόσληψη της τροφής.

4.1. Το μέγεθος του ψαριού.

Η μέτρηση του μεγέθους του ψαριού αφορά, στις συνήθεις μετρήσεις που κάνουμε στις ιχθυοκαλλιέργειες, το μήκος του και το βάρος του. Ως προς το μήκος του ψαριού όπως φαίνεται στο Σχήμα 39, το πλέον σαφές είναι το *διχαλωτό μήκος* (Fork Length-FL), επειδή τόσο το *ολικό μήκος* (TL) όσο και το *τυπικό μήκος* (SL) μπορεί να παρθούν με λάθος τρόπο, το μεν ολικό λόγω κακού τεντώματος του ουραίου πτερυγίου, το δε τυπικό λόγω ασαφούς καθορισμού του τέλους της σπονδυλικής στήλης. Το μήκος του ψαριού καταγράφεται είτε σε εκατοστά (cm) είτε σε χιλιοστά (mm).



Σχήμα 39. Διάφορα μετρούμενα μήκη στο ψάρι. (Από Laird & Needham., τροποποιημένο από Χώτος).

Το βάρος του ψαριού λαμβάνεται ζυγίζοντας όλο το ψάρι, έχοντας μόνο αφαιρέσει με ελαφρό σκούπισμα το νερό από την επιφάνειά του. Σε μια τέτοια μέτρηση ομιλούμε για το *Νωπό Βάρος* (Wet Body Weight-WBW). Αυτή είναι η συνήθης πρακτική στις μονάδες ιχθυοκαλλιέργειών με τα ψάρια είτε αναισθητοποιημένα είτε πρόσφατα θανόντα. Το νωπό βάρος περιλαμβάνει και τα εντόσθια και την όποια τροφή μέσα τους. Σε κάποιες περιπτώσεις αφαιρούνται πρώτα τα εντόσθια και μετά ζυγίζεται, τότε έχουμε το *Καθαρό Σωματικό Βάρος* (Net Body Weight-NBW). Σε κάποιες άλλες ειδικές περιπτώσεις, επιστημονικές κυρίως, ζυγίζεται το ψάρι αφού πρώτα αφαιρεθεί κάθε ποσότητα νερού από το σώμα του, για να αφαιρεθεί ο παράγοντας «νερό» από την ποικιλότητα που δημιουργεί στο βάρος του σώματος. Στο παρόν σύγγραμμα όπου αναφέρεται βάρος σημαίνει το νωπό βάρος.

Η αύξηση στις υδατοκαλλιέργειες εκφράζεται κυρίως με το βάρος σε γραμμάρια (g) ή κιλά (kg), παρά με το μήκος, διότι το τελικό προϊόν πωλείται ως βάρος.

4.2. Συντελεστής Κατάστασης ή Ευρωστίας (Condition Factor).

Ο λόγος μεταξύ του βάρους και του μήκους του ψαριού δίδει τον *συντελεστή ευρωστίας* ο οποίος διεθνώς συμβολίζεται με «**K**».

Η μαθηματική σχέση είναι η ακόλουθη:

$$K = (\text{Βάρος} / \text{Μήκος}^b) \times \text{σταθερά}$$

Ο εκθέτης (b) στο μήκος της παραπάνω σχέσης, συνήθως (υποθέτοντας ότι το ψάρι αυξάνεται και κατά τις τρεις διαστάσεις) και κατά σύμβαση παίρνει την τιμή «3», ή σε επιστημονικές μελέτες ακριβείας άλλο νούμερο το οποίο προκύπτει πειραματικά από τη σχέση Βάρους-Μήκους ψαριού κατά την οποία προκύπτει η εξίσωση:

$$W = aL^b$$

όπου το "b" είναι ο παραπάνω εκθέτης που αναφέραμε και "a" η σταθερά. ($W = \text{Βάρος (g)}$, $L = \text{Μήκος (cm)}$).

Εάν χρησιμοποιήσουμε για το b την τιμή 3, και για τη σταθερά την τιμή 100, τότε η βασική παραπάνω εξίσωση για τον συντελεστή ευρωστίας γίνεται:

$$K = [\text{Βάρος (g)} / \text{Μήκος (cm)}^3] \times 100$$

Για κανονικά αναπτυσσόμενα ψάρια η τιμή του K πρέπει να είναι γύρω στη μονάδα. Η σημασία της παραπάνω εξίσωσης είναι διμερής. Πρώτα απ' όλα επιτρέπει τον υπολογισμό του μήκους του ψαριού από το βάρος του και το αντίστροφο. Κατά δεύτερον, όπως και το όνομά του υπονοεί, ο συντελεστής ευρωστίας (K) είναι ένας καλός δείκτης της κατάστασης του ψαριού. Τιμές του K μικρότερες της μονάδας ($K < 1$) υποδεικνύουν «φτωχές» συνθήκες εκτροφής. Τα ψάρια είναι μακρόστενα και όχι παχιά και πιθανώς έχουν πεινάσει ή τράφηκαν ελάχιστα. Τιμές του K άνω της

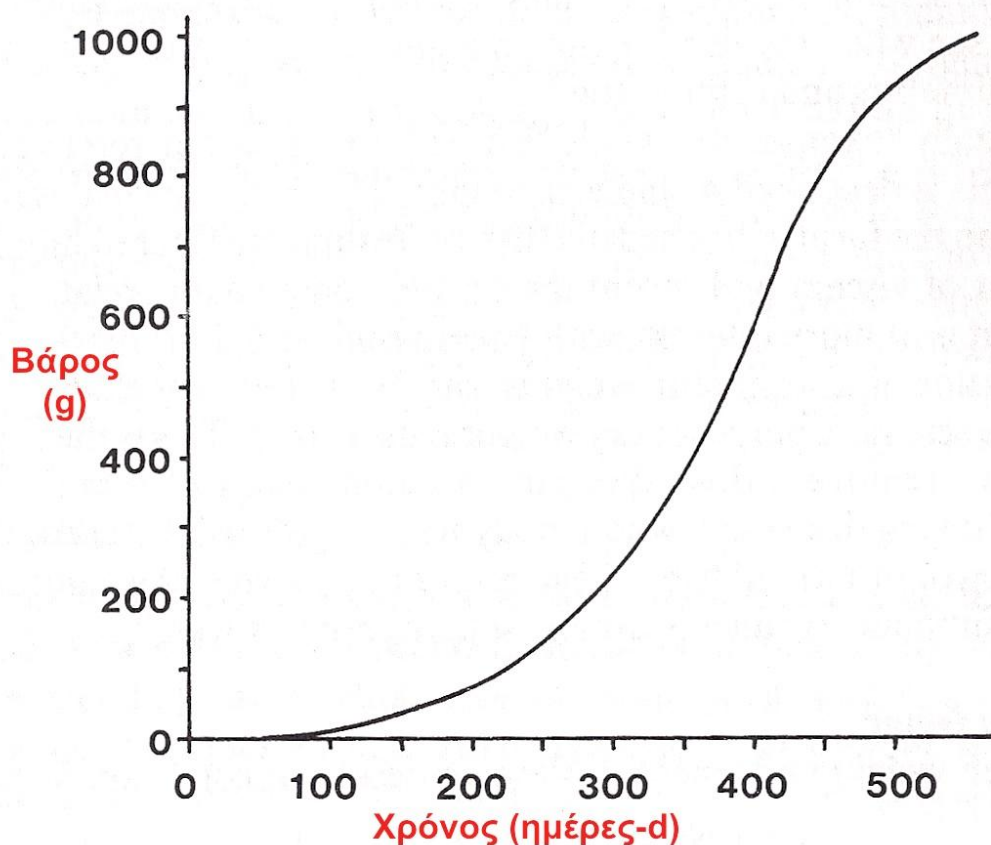
μονάδας ($K > 1$) δείχνουν καλώς τραφέντα-παχιά, σε καλή κατάσταση ψάρια.

Κατά την αναπαραγωγική περίοδο καθώς το σώμα του ψαριού γεμίζει με γεννητικά προϊόντα, το K λαμβάνει τιμές αρκετά άνω του 1 (π.χ. 1,4) και μετά την αναπαραγωγή πέφτει κάτω του 1.

Ο συντελεστής ευρωστίας (K) είναι ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για να συγκρίνονται διάφοροι πληθυσμοί ψαριών και να παρακολουθείται η αύξησή τους. Αναγκαία προϋπόθεση όμως για να είναι χρηστικός στις συγκρίσεις (ιδιαίτερα στη βιβλιογραφία), είναι το να ελέγχεται πρώτα η ομοιότητα στη λήψη δεδομένων (π.χ. μονάδες μέτρησης βάρους, μήκους) η ομοιομορφία στην τιμή του συντελεστή b (είναι το 3 ή είναι η τιμή του εκθέτη b της σχέσης Βάρους-Μήκους;) και η ομοιομορφία στη χρήση της εξίσωσης που προαναφέρθηκε.

4.3. Αύξηση.

Εάν παρακολουθήσουμε και καταγράψουμε την αύξηση του βάρους του ψαριού καθ' όλη τη διάρκεια της ζωής του θα προκύψει ένα τυπικό ιδεατό διάγραμμα σαν του Σχήματος 40.

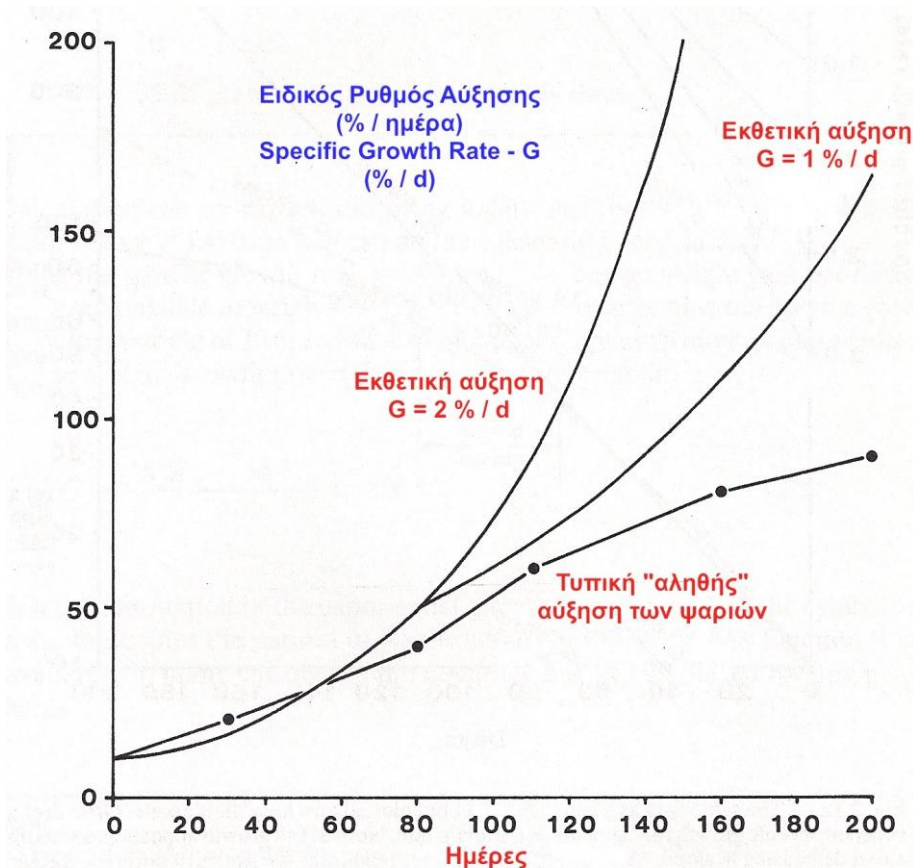


Σχήμα 40. Τυπική καμπύλη αύξησης ψαριού. Η κατά βάρος αύξηση επιταχύνεται στα αρχικά στάδια της ζωής του, κατόπιν μειώνεται δίδοντας το χαρακτηριστικό σχήμα της “σιγμοειδούς καμπύλης”. (Από Laird & Needham,, τροποποιημένο από Χώτος).

Καθώς το ψάρι αναπτύσσεται, τόσο η αύξηση του βάρους του ανά ημέρα επιταχύνεται μέχρι που φθάνει στην ωριμότητα, όπου ο ρυθμός αύξησης μειώνεται και τελικά φθάνει σε ένα μέγιστο βάρος, πέραν του οποίου πολύ μικρή αύξηση μπορεί να συμβεί. Στην ιχθυοκαλλιέργεια η πλέον σημαντική φάση είναι αυτή η αρχική, της γρήγορης αύξησης, πριν το σημείο καμψής της. Η αρχική φάση παρουσιάζει το χαρακτηριστικό της σε καθημερινή βάση αύξησης του βάρους. Το πρόβλημα όμως του να ορίσουμε με ένα απλό νούμερο την αύξηση, είναι το γεγονός ότι δεν είναι ίδια για κάθε ημέρα που περνά, καθιστώντας δύσκολο τον υπολογισμό ενός νούμερου που να χαρακτηρίζει τον ρυθμό αύξησης.

Για τους σκοπούς της εκτροφής των ψαριών, η αύξηση εκφράζεται με τον *Ειδικό Ρυθμό Αύξησης* αγγλιστί *Specific Growth Rate* ή *SGR* και μερικές φορές απλώς (*G*), με τον οποίο δηλώνεται η % καθημερινή αύξηση στο βάρος του ψαριού.

Στο Σχήμα 41 αποτυπώνεται παραδειγματικά μια υποθετική αύξηση στο βάρος 2 % ανά ημέρα (d), μια άλλη με 1 % / d και μια τρίτη που αντιπροσωπεύει λίγο ή πολύ μια πιο ρεαλιστική κατάσταση σε πραγματικές ποικίλες συνθήκες.



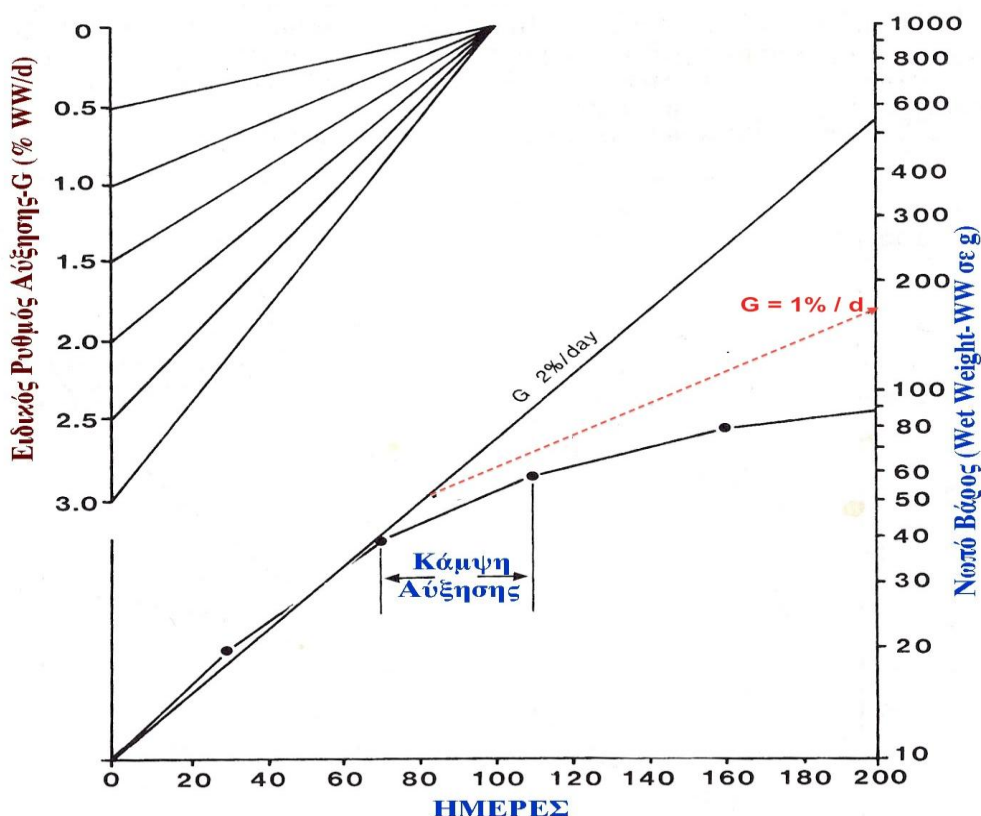
Σχήμα 41. Καμπύλες ενδεικτικές δύο διαφορετικών ειδικών ρυθμών αύξησης (G) που δείχνουν την ημερήσια αύξηση στο βάρος. Η κάτω καμπύλη είναι μια τυπικά συνήθης, βασισμένη σε κατά διαστήματα ληφθέντα δείγματα. (Από Laird & Needham,, τροποποιημένο από Χότος).

Στο Σχήμα 41 παρατηρούμε στην καμπύλη του $G = 2 \% / d$, ότι ενώ κατά τις πρώτες δέκα ημέρες το βάρος του ψαριού αυξήθηκε κατά 2,22 g, στο διάστημα από τις 100 έως τις 110 ημέρες η αύξηση ήταν 16,36 g. Η αύξηση στο βάρος λοιπόν μοιάζει με το κεφάλαιο σε μια τράπεζα όπου μεγαλώνει όλο και περισσότερο καθώς επανατοκίζεται.

Εάν τα ίδια δεδομένα του Σχήματος 41 τοποθετηθούν σε ημιλογαριθμικό χαρτί οι καμπύλες θα γίνουν ευθείες (Σχήμα 42) και αυτού του τύπου η αύξηση εκφράζεται από την εκθετική εξίσωση:

$$W_t = W_0 \cdot e^{(G \cdot \frac{t}{100})}$$

όπου: W_t το βάρος του ψαριού μετά t ημέρες, W_0 το αρχικό του βάρος, G ο Ειδικός Ρυθμός Αύξησης (SGR) σε % αύξηση ανά ημέρα, (t) ο αριθμός των ημερών αύξησης και (e) η βάση των φυσικών λογαρίθμων = 2,718282. Το 100 χρησιμοποιείται για να μετατρέψει την % G σε νούμερο πραγματικής αύξησης ανά ημέρα. Η εξίσωση αυτή χρησιμοποιείται για να προβλέψει το βάρος του ψαριού στο μέλλον εφόσον όμως από προηγούμενες μελέτες έχει υπολογισθεί το G .



Σχήμα 42. Οι καμπύλες του Σχήματος 41 με τα δεδομένα τους αποτυπωμένα σε λογαριθμικό χαρτί. Η αύξηση με σταθερό ρυθμό (π.χ. 2 % / d) εμφανίζεται ως ευθεία γραμμή. Η «νορμάλ» αύξηση σε πραγματικές συνθήκες εμφανίζεται ως καμπύλη με ελαττούμενη κλίση. Ανω αριστερά διαφορετικές κλίσεις ευθειών της αύξησης (G). Με παράλληλη μετατόπιση μπορούν να μεταφερθούν για να αρχίζουν από το 0 ή από οποιοδήποτε άλλο σημείο. (Από Laird & Needham., τροποποιημένο από Χώτος).

Παράδειγμα 1: Ποιο θα είναι το βάρος ενός ψαριού 15 g μετά από 95 ημέρες εκτροφής και με ειδικό ρυθμό αύξησης (SGR) 2 % ανά ημέρα;

Απάντηση:

$$W = 15 \times 2,718282^{((2 \times 95)/100)}$$

$$W = 15 \times 2,718282^{1,9}$$

$$W = 15 \times 6,68$$

$$W = 100,2 \text{ g.}$$

Αυτό θα είναι το βάρος του ψαριού μετά 95 ημέρες.

Ενώ ο ειδικός ρυθμός αύξησης δίδεται ως ποσοστό % αύξησης του βάρους ανά ημέρα, είναι προφανές ότι δεν είναι εύκολο και πρακτικό να ζυγίζονται τα ψάρια καθημερινά. Κατά σύμβαση, ένα δείγμα ψαριών (π.χ. 30 άτομα) ζυγίζονται κάθε 3 εβδομάδες (21 ημέρες) και το μέσο βάρος τους χρησιμοποιείται για τους υπολογισμούς του ειδικού ρυθμού αύξησης. Ο ειδικός ρυθμός αύξησης (SGR) δίδεται τότε από τον τύπο:

$$SGR = \frac{\ln W_t - \ln W_0}{t} \cdot 100$$

Αυτό αποτελεί μια μεταμόρφωση της προηγούμενης εκθετικής σχέσης με ίδια σημασία στα σύμβολα και με το (ln) σύμβολο των Νεπέριων λογαρίθμων. Ως βάρος (W) λαμβάνεται η μέση τιμή βάρους του μετρηθέντος δείγματος ψαριών.

Παράδειγμα 2: Κάνουμε δειγματοληψία ψαριών και τα ζυγίζουμε. Διαπιστώνουμε ότι μετά από 21 ημέρες το μέσο βάρος των ψαριών αυξήθηκε από 12 σε 20 g. Ποιος είναι ο ειδικός ρυθμός αύξησης;

Απάντηση:

$$SGR = \frac{\ln 20 - \ln 12}{21} \cdot 100$$

$$SGR = \frac{2,995 - 2,484}{21} \cdot 100$$

$$SGR = \frac{0,511}{21} \cdot 100$$

$$SGR = 0,0243 \times 100$$

Συνεπώς: G = 2,43 % / d.

Ο παραπάνω υπολογισθείς ειδικός ρυθμός αύξησης 2,43 % μπορεί να εισαχθεί στην εξίσωση $W_t = W_0 \cdot e^{(G \cdot \frac{t}{100})}$ και να προβλέψουμε την μελλοντική αύξηση, με την προϋπόθεση βέβαια ότι οι συνθήκες εκτροφής παραμένουν ίδιες.

Εδώ θα πρέπει να επισημανθεί το εξής. Μπορεί κάποιος να επιχειρήσει να υπολογίσει τον ειδικό ρυθμό αύξησης (SGR) με απλή διαίρεση του ποσοστού της μετρηθείσας αύξησης $[(W_t - W_0)/W_0]$ με τον αριθμό των ημερών. Αυτό είναι λάθος τακτική διότι προϋποθέτει ότι ο ρυθμός αύξησης ήταν ίσος για κάθε ημέρα.

Δηλαδή αν λανθασμένα χρησιμοποιούσαμε τον τύπο:

$$SGR = \frac{W_t - W_0}{W_0 \cdot t} \cdot 100$$

και βάζαμε τα νούμερα του παραδείγματος 2, θα είχαμε:

$$SGR = \frac{20 - 12}{12 \cdot 21} \cdot 100$$

$$SGR = \frac{8}{252} \cdot 100 = 3,17$$

Δηλαδή με αυτή τη μέθοδο ο ειδικός ρυθμός αύξησης (για συντομία G) θα υπολογίζονταν ως 3,17 % / d αντί του 2,43 % / d που βρήκαμε με τη σωστή μέθοδο του παραδείγματος 2 όπου χρησιμοποιήσαμε τις λογαριθμοποιημένες τιμές. Προφανώς υπάρχει μεγάλη διαφορά η οποία μάλιστα θα γίνεται τόσο μεγαλύτερη όσο το διάστημα δειγματοληψίας μεγαλώνει και όσο έχουμε να κάνουμε με μεγαλύτερους ρυθμούς αύξησης.

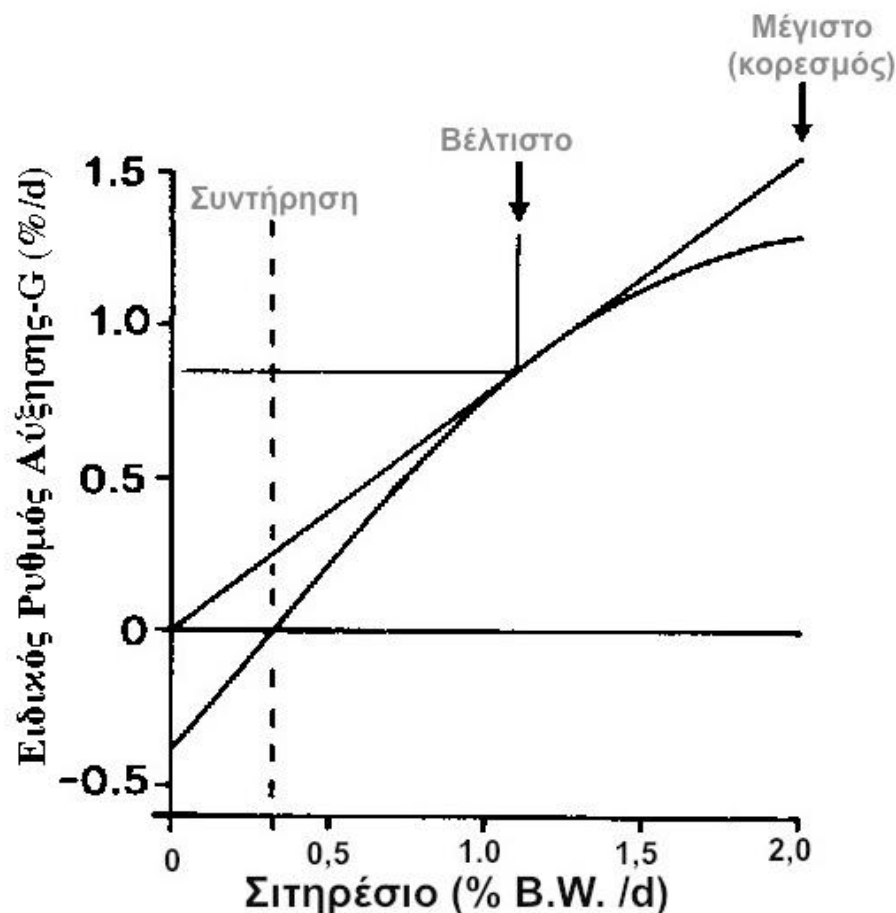
Στην πραγματικότητα τα ψάρια δεν διατηρούν συνέχεια ένα σταθερό ειδικό ρυθμό αύξησης. Ο ρυθμός αύξησης επηρεάζεται από ένα πλήθος παραμέτρων και το πιο σημαντικό, που πρέπει πάντοτε να θυμόμαστε, ο ρυθμός αύξησης μειώνεται όσο το ψάρι αυξάνει σε μέγεθος. Έτσι το ψάρι που στο Σχήμα 41 αρχίζει να αυξάνεται με $G = 2 \text{ \%}/d$ όπως αναμένεται κατά τα παραπάνω, κάποια στιγμή σε ένα μεγαλύτερο μέγεθος θα παρουσιάσει μειωμένο ρυθμό αύξησης π.χ. $1 \text{ \%}/d$. Αυτό αποτυπώνεται στο Σχήμα 42 ως η καμπύλη με τις κουκκίδες δηλαδή η τυπική αληθής αύξηση. Όταν αυτά αποτυπωθούν σε λογαριθμική κλίμακα όπως έγινε στο Σχήμα 42 τότε οι ρυθμοί αύξησης θα παρουσιαστούν ως δύο διαφορετικές ευθείες τις λεγόμενες *stanzas* (στροφές-κάμψεις).

Ο ειδικός ρυθμός αύξησης εξαρτάται από την πρόσληψη της τροφής και επειδή η πρόσληψη της τροφής εξαρτάται πρωτίστως από τη θερμοκρασία, άλλες τιμές G μπορούν να επιτευχθούν το καλοκαίρι (μεγαλύτερες) και άλλες το χειμώνα (μικρότερες).

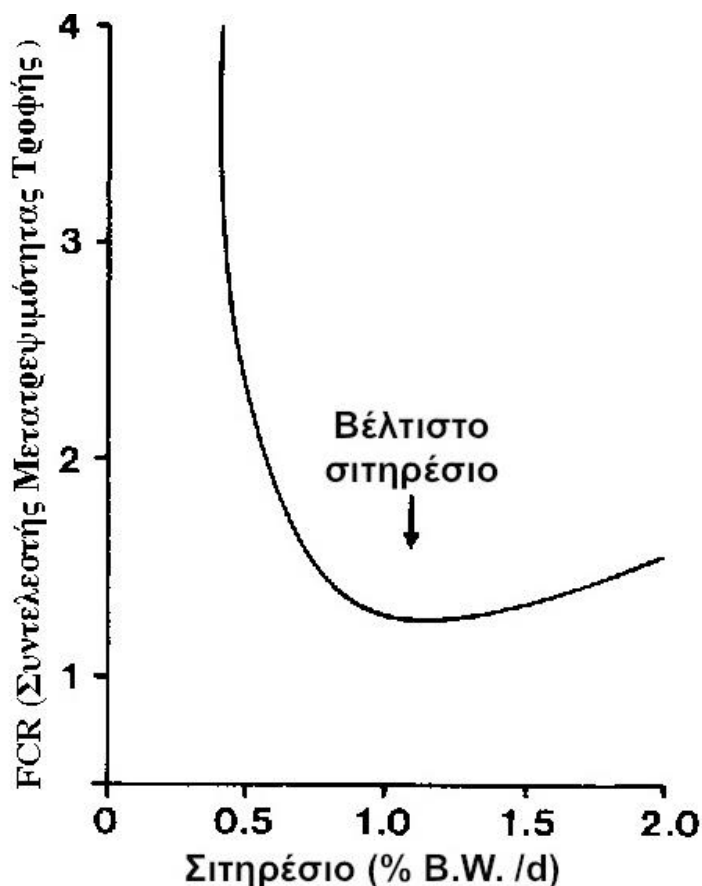
4.4. Η μετατρεψιμότητα της τροφής.

Αντίθετα με τα θηλαστικά, τα ψάρια δεν έχουν ένα αυστηρά καθορισμένο μέγεθος ενηλικίωσης στο οποίο σταματούν να αυξάνονται. Εάν υπάρχει διαθέσιμη πολλή τροφή εξακολουθούν να αυξάνονται έστω και με ελάχιστο ρυθμό ακόμα και αν είναι πλέον ηλικιωμένα. Εάν πάλι το

ψάρι δεν τρέφεται, μπορεί να επιβιώσει για πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα αλλά με χάσιμο του βάρους των. Αυτό το χάσιμο βάρους μπορεί να θεωρηθεί ως «αρνητική αύξηση», κατάσταση που χαρακτηρίζει τα λιμοκτονούντα ψάρια. Για παράδειγμα, μια τέτοια κατάσταση αρνητικής αύξησης $-0,4 \% / d$ αποτυπώνεται στο Σχήμα 43. Εάν τρέφεται, υπάρχει ένα επίπεδο σιτηρεσίου (μερίδα τροφής-ration), το οποίο θα επιτρέπει στο ψάρι απλώς να διατηρεί το βάρος του. Αυτό το επίπεδο ονομάζεται σιτηρέσιο συντήρησης (maintenance ration) και παρέχει απλώς και μόνο την ενέργεια που χρειάζεται το ψάρι για τις σωματικές του λειτουργίες, μεταξύ των οποίων τον καρδιακό ρυθμό, την αναπνοή και την συνήθη κολύμβηση. Κάθε αύξηση στην τροφή πάνω από αυτό το επίπεδο, δίνει το αναγκαίο πλεόνασμα που μπορεί να μεταμορφωθεί σε αύξηση (αυτό που θέλουμε). Όσο περισσότερη τροφή δίδουμε, τόσο περισσότερη αύξηση επέρχεται, μέχρι ενός μεγίστου σημείου όπου το ψάρι θεωρείται ότι τρέφεται μέχρι κορεσμού-χορτασμού.



Σχήμα 43. Οι απαιτήσεις τροφής των ψαριών. Η καμπύλη δείχνει το πως η αύξηση G αυξάνει με το σιτηρέσιο-μερίδα. Σε σιτηρέσιο περί το 0,3 % B.W. / d η αύξηση είναι μηδενική, το ψάρι απλώς συντηρείται. Εκεί που η ευθεία γραμμή εφάπτεται με την καμπύλη είναι το βέλτιστο παροχής τροφής. Η γενική μορφή της καμπύλης και το σημείο του βέλτιστου ποικίλλει με τη θερμοκρασία. (Από Laird & Needham, τροποποιημένο από Χώτος).



Σχήμα 44. Ο Συντελεστής Μετατρεψιμότητας Τροφής (FCR) βασισμένος σε δεδομένα από την καμπύλη αύξησης από το Σχήμα 43. Το βέλτιστο σιτηρέσιο είναι εκείνο το ελάχιστο ποσό της τροφής σε % του σωματικού βάρους ανά ημέρα, κατά το οποίο εξασφαλίζεται η μέγιστη αύξηση (δηλαδή το χαμηλότερο FCR). Αμφότερα το υπερτάσιμα και το υποτάσιμα οδηγούν σε μη συμφέρουσα χρησιμοποίηση της τροφής. (Από Laird & Needham,, τροποποιημένο από Χώτος).

Στο Σχήμα 43 αποτυπώνεται η σχέση μεταξύ του ρυθμού αύξησης και της μερίδας τροφής (σιτηρέσιο) που δίδεται στα ψάρια σε ποσοστό % του σωματικού τους βάρους (B.W.) ανά ημέρα (d). Η σχέση μεταξύ του ρυθμού αύξησης και της μερίδας τροφής ή σιτηρέσιο ($R=Ration$) εκφράζει τον *Συντελεστή Μετατρεψιμότητας Τροφής* (FCR-Food Conversion Ratio).

$$FCR = R / SGR$$

όπου: R = το % BW/d τροφής (σιτηρέσιο) και SGR = ο ειδικός ρυθμός αύξησης.

Στο Σχήμα 44 αποτυπώνονται οι τιμές του FCR χρησιμοποιώντας τα δεδομένα του Σχήματος 43. Στο επίπεδο του σιτηρεσίου της συντήρησης ο FCR γίνεται «άπειρος», καθώς όλη η τροφή χρησιμοποιείται για να καλύψει τις μεταβολικές ανάγκες και δεν περισσεύει τίποτα για αύξηση. Καθώς το σιτηρέσιο-μερίδα αυξάνει ο FCR μειώνεται. Αυτό συνεχίζεται μέχρι ένα βέλτιστο επίπεδο σιτηρεσίου στο οποίο ο FCR γίνεται

ελάχιστος (αυτό που επιθυμούμε άλλωστε). Αν δώσουμε παραπάνω από το βέλτιστο επίπεδο τροφή στο ψάρι, φαίνεται από το Σχήμα 44 ότι ο FCR ξανα-αυξάνεται, δηλαδή θα παίρνουμε όλο και μικρότερη αύξηση (απ' ότι στο βέλτιστο επίπεδο τροφής) κι ας αυξάνουμε την παροχή τροφής. Δηλαδή η τροφή θα είναι σε περίσσεια, το ψάρι δεν θα μπορεί να την καταναλώσει, η τροφή θα πηγαίνει χαμένη και εμείς θα υφιστάμεθα και την σπατάλη χρημάτων για τη χαμένη τροφή. Αυτός λοιπόν είναι ο σκοπός στην ιχθυοκαλλιέργεια, να διατηρεί δηλαδή την παροχή της τροφής στο βέλτιστο επίπεδο που θα αντανάκλα στον μικρότερο δυνατόν FCR.

Ο Συντελεστής Μετατρεψιμότητας Τροφής (FCR) είναι η κοινή και ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος σύγκρισης της αποδοτικότητας των τροφών σε βάρος ψαριού. Όμως συχνά και ιδιαίτερα σε επιστημονικές εργασίες, χρησιμοποιείται και ο όρος «Αποδοτικότητα Μετατροπής της Τροφής» (Conversion Efficiency-CE) και σημαίνει το ποσοστό % της τροφής που χρησιμοποιείται για αύξηση του βάρους των ψαριών, δίδεται δε από τη σχέση:

$$CE (\%) = \frac{SGR}{R} \cdot 100$$

Παρόλο που FCR και CE στην ουσία εκφράζουν το ίδιο πράγμα, δηλαδή το πόσο καλή από άποψη απόδοσης είναι η διαχείριση της τροφής, η έκφρασή τους με μαθηματικούς όρους διαφέρει. Δηλαδή, αντίθετα με τον FCR που όσο πιο μικρές είναι οι τιμές του τόσο καλύτερη η εκμετάλλευση της τροφής, με τον CE συμβαίνει το αντίθετο, όσο πιο μεγάλες οι τιμές του τόσο καλύτερη η εκμετάλλευση της τροφής.

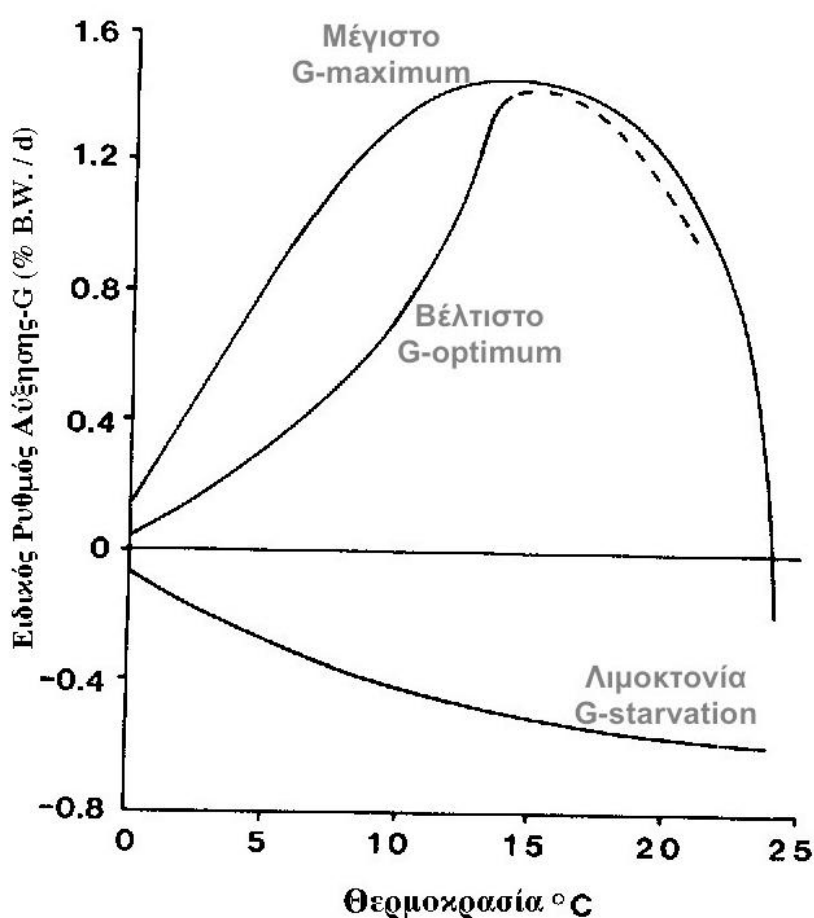
Ενας FCR με τιμή 1 σημαίνει τέλεια μετατροπή τροφής σε βάρος ψαριού. Δηλαδή έχουμε δώσει 1 kg τροφής και τελικά μας αποδίδεται 1 kg ψάρι. Από τους νόμους της φυσικής όμως, αυτή η 100 % εκμετάλλευση της τροφής είναι αδύνατη, καθώς γνωρίζουμε μάλιστα ότι ένα μέρος της ενέργειας της τροφής θα ξοδευτεί για τον βασικό και συνήθη μεταβολισμό του ψαριού, δηλαδή για τη συντήρησή του. Ενίοτε παρόλα αυτά, μπορεί να συναντήσουμε και FCR με τιμή 1 και η εξήγηση είναι ότι το ψάρι βάρυνε αλλά με κατακράτηση νερού.

Συνήθως, σε καλά διαχειριζόμενες ιχθυοκαλλιέργειες και σε μονάδες που τρέφονται με πέλλετς, δηλαδή αποξηραμένη τροφή με ελάχιστη υγρασία, ο FCR κυμαίνεται σε 1,2 – 2,5 (CE = 83 % και 40 % αντίστοιχα). Αν όμως χρησιμοποιείται νωπή τροφή (όλο και πιο σπάνια περίπτωση) η οποία έχει μεγάλο ποσοστό υγρασίας, τότε ο FCR μπορεί να κυμαίνεται σε τιμές άνω του 5 (CE = <20 %).

Η γραφική παράσταση του Σχήματος 43 αλλάζει αν αλλάζει η θερμοκρασία. Καθώς η θερμοκρασία αυξάνεται, τόσο το επίπεδο συντήρησης (maintenance) αυξάνει. Ετσι λοιπόν η διακεκομμένη γραμμή

που αντιπροσωπεύει τη συντήρηση θα μετατοπιστεί δεξιότερα. Η καμπύλη της αύξησης (G) και η εφαπτομένη σε αυτή του Σχήματος 43 επίσης θα μετατοπιστούν προς τα δεξιά και θα αντιστοιχούν σε μεγαλύτερες τιμές σιτηρεσίου (R) και αύξησης (G). Αυτό θα συνεχίζεται, ώσπου σε κάποια ανώτατη θερμοκρασία, ο εξαιτίας αυτής έντονος μεταβολισμός θα χρησιμοποιεί πια τόση πολλή ενέργεια από την τροφή, που δεν θα προκύπτει πλέον άλλη αύξηση του βάρους.

Στο Σχήμα 45 αποτυπώνεται η σχέση μεταξύ της αύξησης και της θερμοκρασίας με τρεις καμπύλες αύξησης (G) που αντιστοιχούν σε τρία επίπεδα παροχής τροφής (σιτηρεσίου). Λιμοκτονίας (G-starvation), βέλτιστο (G-optimum) και μέγιστο (κορεσμού)-G-maximum).



Σχήμα 45. Η επίδραση της θερμοκρασίας στην αύξηση του ψαριού σε ιδεατή απεικόνιση. G-maximum είναι η καμπύλη που προκύπτει όταν τα ψάρια τρέφονται στο μέγιστο, στον κορεσμό. G-optimum όταν τρέφονται στο βέλτιστο επίπεδο σιτηρεσίου (αυτό που δίνει το χαμηλότερο FCR). G-starvation όταν το ψάρι λιμοκτονεί και χάνει βάρος. Παρατηρούμε ότι στην περίπτωση του διαγράμματος η πιο γρήγορη και μέγιστη αύξηση επέρχεται στους 15 °C (περίπτωση π.χ. σολομών). (Από Laird & Needham,, τροποποιημένο από Χώτος).

Η βέλτιστη θερμοκρασία για κάθε είδος ψαριού ποικίλλει, αλλά κατά ένα γενικό πρότυπο, το χειμώνα με τις χαμηλές θερμοκρασίες η πρόσληψη τροφής και ο ρυθμός αύξησης είναι μικρότεροι. Η αύξηση γίνεται μέγιστη κατά τις τοπικώς επικρατούσες καλοκαιρινές θερμοκρασίες, αλλά κατά τις θερμότερες καλοκαιρινές ημέρες η αύξηση μπορεί και να ανασταλεί και υπάρχει και περίπτωση τα ψάρια να υποφέρουν από έλλειψη οξυγόνου.

Ο στόχος κατά τη διαχείριση μιας ιχθυοκαλλιεργητικής μονάδας, είναι να τρέφονται τα ψάρια στο βέλτιστο επίπεδο σιτηρεσίου (G-optimum) ανάλογα με τις επικρατούσες θερμοκρασίες. Ανάλογα με τον τύπο της εκτροφής και μετά από μακροχρόνιες επιστημονικές μελέτες, έχουν τυποποιηθεί και ακολουθούνται διάφοροι πίνακες διατροφής με πέλλετς, στο επίπεδο του G-optimum. Αυτό το βέλτιστο επίπεδο σιτηρεσίου (εκφρασμένο ως ποσοστό του σωματικού βάρους) μειώνεται και αναπροσαρμόζεται με την αύξηση του σωματικού βάρους των ψαριών (Πίνακας 3). Τα δεδομένα αυτών των πινάκων παρόλο που συνιστώνται από τις εταιρίες πώλησης των ιχθυοτροφών, αποτελούν βέβαια καταστάλαγμα μακροχρόνιων πειραμάτων και πρέπει να ακολουθούνται ως οδηγοί από τον εκτροφέα, όμως από την πείρα που αποκομίζει κάποιος στην πραγματικότητα, μπορεί και να τους αναπροσαρμόζει κατάλληλα εφόσον μετά από τις παρατηρήσεις του βλέπει ότι μπορεί να επιτύχει την βέλτιστη αύξηση των ψαριών.

Πίνακας 3. Ενδεικτικός πίνακας για ιριδίζουσα πέστροφα (*Oncorhynchus mykiss*) που υποδεικνύει την ημερήσια παροχή τροφής (σιτηρέσιο-R) σε τιμές % του σωματικού τους βάρους. (Από Laird & Needham,, τροποποιημένο από Χώτος).

Θερμοκρασία °C	Βάρος ψαριού (g)				
	1	20	100	300	750
2	1,5	0,5	0,2	0,2	0,1
10	6,5	2,2	1,2	0,9	0,6
18	6,8	2,3	1,3	1,0	0,8

Ενας τέτοιος πίνακας διατροφής παρέχει και τη βάση για να προβλέπεται η αύξηση του ψαριού (G) κατά τον παρακάτω τύπο:

$$\text{SGR} = \text{R} / \text{FCR}$$

Εφόσον γνωρίζουμε από παρελθόντα στοιχεία τον συντελεστή μετατρεψιμότητας τροφής (FCR) για κάθε επίπεδο σιτηρεσίου (R), η αύξηση ως ειδικός ρυθμός αύξησης (SGR) μπορεί να προβλεφθεί.

Παράδειγμα: Πόση τροφή απαιτείται από 15.000 ιριδιζουσες πέστροφες μέσου ατομικού βάρους 100 g και ποιος θα είναι ο ειδικός ρυθμός αύξησής των σε μια εκτροφή όπου η θερμοκρασία είναι 10 °C και ο FCR γνωστός εκ πείρας έχει τιμή 2,2;

Απάντηση: Από τον Πίνακα 3 βλέπουμε ότι για θερμοκρασία 10 °C και βάρος ψαριού 100 g η παρεχόμενη τροφή (R) είναι 1,2 % BW/d.

Θα έχουμε:

Συνολικό βάρος ψαριών: $15.000 \times 0,1 \text{ kg} = 1500 \text{ kg}$

Απαιτούμενη τροφή καθημερινά: $1500 \times 1,2/100 = 18 \text{ kg}$

Με τον FCR = 2,2, έχουμε, $SGR = 1,2/2,2 = 0,55$

Αρα θα απαιτηθούν συνολικά 18 kg τροφής καθημερινά και ο ειδικός ρυθμός αύξησης (SGR) θα είναι 0,55 % BW / d.

Εφόσον γνωρίζουμε τον ειδικό ρυθμό αύξησης μπορούμε να τον χρησιμοποιούμε σε εξισώσεις ή γραφήματα και να προβλέπουμε πότε τα ψάρια θα φθάσουν σε εμπορεύσιμο μέγεθος. Βέβαια η σωστή αξιοποίηση θα γίνει εφόσον ακολουθούμε το βάσει πινάκων πρόγραμμα διατροφής ανάλογα με τις θερμοκρασίες και το ολοένα αυξανόμενο βάρος ψαριών.

Το οξυγόνο επίσης είναι μια πολύ κρίσιμη παράμετρος η οποία μπορεί να επηρεάσει την αύξηση των ψαριών. Η έλλειψη επαρκούς διαλυμένου οξυγόνου έχει ως γενικό αποτέλεσμα την μείωση της όρεξης για φαγητό και εξ' αυτού καταλήγει σε μειωμένη αύξηση. Σε νερό με χαμηλό επίπεδο οξυγόνου, το ψάρι είναι ικανό να πάρει-χρησιμοποιήσει μόνο τόση τροφή όση αρκεί για να καλύψει τις ενεργειακές του ανάγκες της συντήρησης και λίγο παραπάνω, αλλά σε καμία περίπτωση δεν μπορεί να φθάσει στο επίπεδο του βέλτιστου σιτηρεσίου (G-optimum). Σε τέτοιες καταστάσεις η αύξηση θα είναι από αργή έως ανύπαρκτη και συγχρόνως θα παρουσιάζονται και εξαιρετικά ασύμφορα μεγάλες τιμές του συντελεστή μετατρεψιμότητας της τροφής (FCR>5).

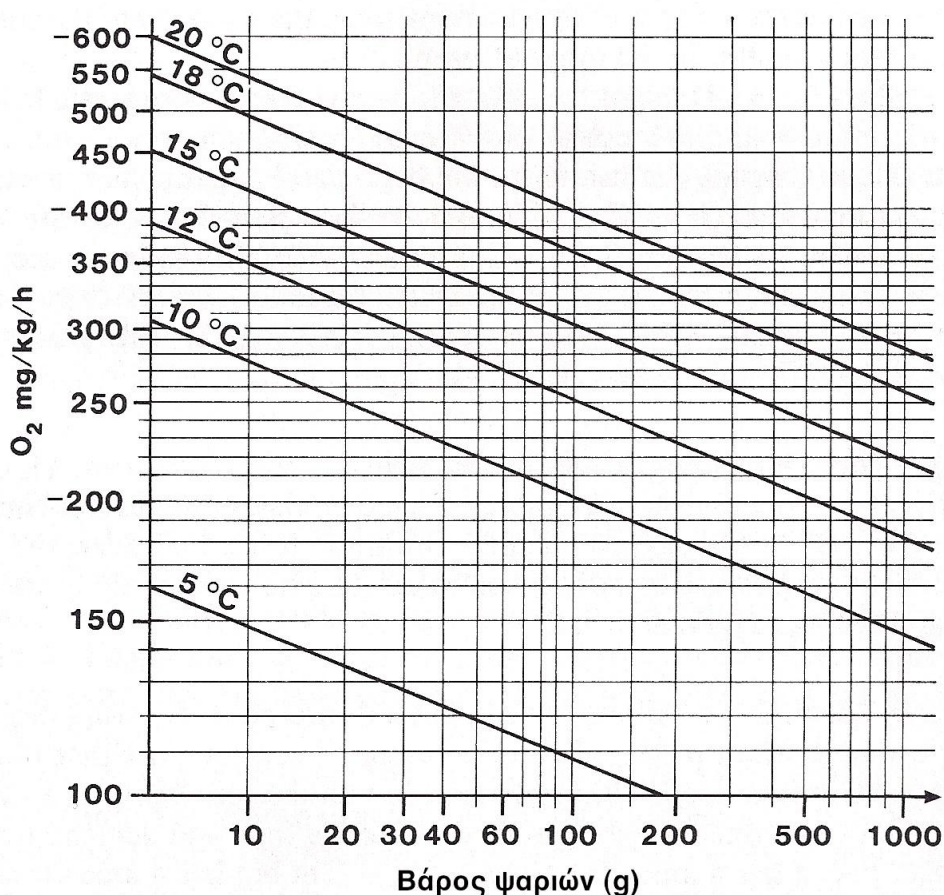
4.5. Η κατανάλωση οξυγόνου από τα ψάρια.

Τα ψάρια χρειάζονται οξυγόνο σε κάθε στάδιο της ζωής των, αλλά η ποσότητα που χρειάζονται κάθε φορά αλλάζει καθώς μεγαλώνουν και ανάλογα με τις περιστάσεις, π.χ. άλλη ποσότητα-μεγαλύτερη χρειάζονται όταν τρέφονται και άλλη-μικρότερη όταν ψάχνουν ή αναμένουν την τροφή. Ανάλογα με τον τύπο της ιχθυοκαλλιέργειας, εκτός από τα ψάρια και οι μικροοργανισμοί που υπάρχουν στο νερό (π.χ. βακτήρια) καταναλώνουν οξυγόνο (και αυτό πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψη ιδιαίτερα όταν υπάρχει πολλή σαπίζουσα οργανική ύλη από περιττώματα ψαριών και υπολείμματα τροφών), αλλά γενικώς, πρώτο μας μέλημα πρέπει να είναι η κάλυψη των αναπνευστικών αναγκών των ψαριών.

Τα ψάρια είναι ποικιλόθερμα ζώα, συνεπώς ο ρυθμός του μεταβολισμού τους (και εξ' αυτού η κατανάλωση οξυγόνου) καθορίζεται κυρίως από τη

θερμοκρασία του νερού. Ακόμα και τα αναπτυσσόμενα έμβρυα στα αυγά επηρεάζονται από συγκεντρώσεις οξυγόνου μικρότερες από το βέλτιστο. Για παράδειγμα, στην ιριδίζουσα πέστροφα βρέθηκε ότι καθυστερεί η εκκόλαψη των αυγών και τα εκκολαφθέντα ψαράκια έχουν 36 % λιγότερο βάρος αν αντί για 11,9 mg/L οξυγόνου που είναι ο κορεσμός στους 9,7 °C, αυτό είχε μειωθεί στα 4,2 mg/L. Ο μεταβολισμός των ψαριών επηρεάζεται επίσης από το στάδιο ανάπτυξης στο οποίο βρίσκονται και από τη συμπεριφορά τους (δραστήρια ή νωχελικά, νευρικά ή ήρεμα, επιθετικά ή ήρεμα κ.λπ.). Τα δραστήρια κολυμβητικά ψάρια χρησιμοποιούν περισσότερο οξυγόνο απ' ό,τι τα στατικά και τα μεγαλύτερα σε μέγεθος περισσότερο απ' ό,τι τα μικρότερα.

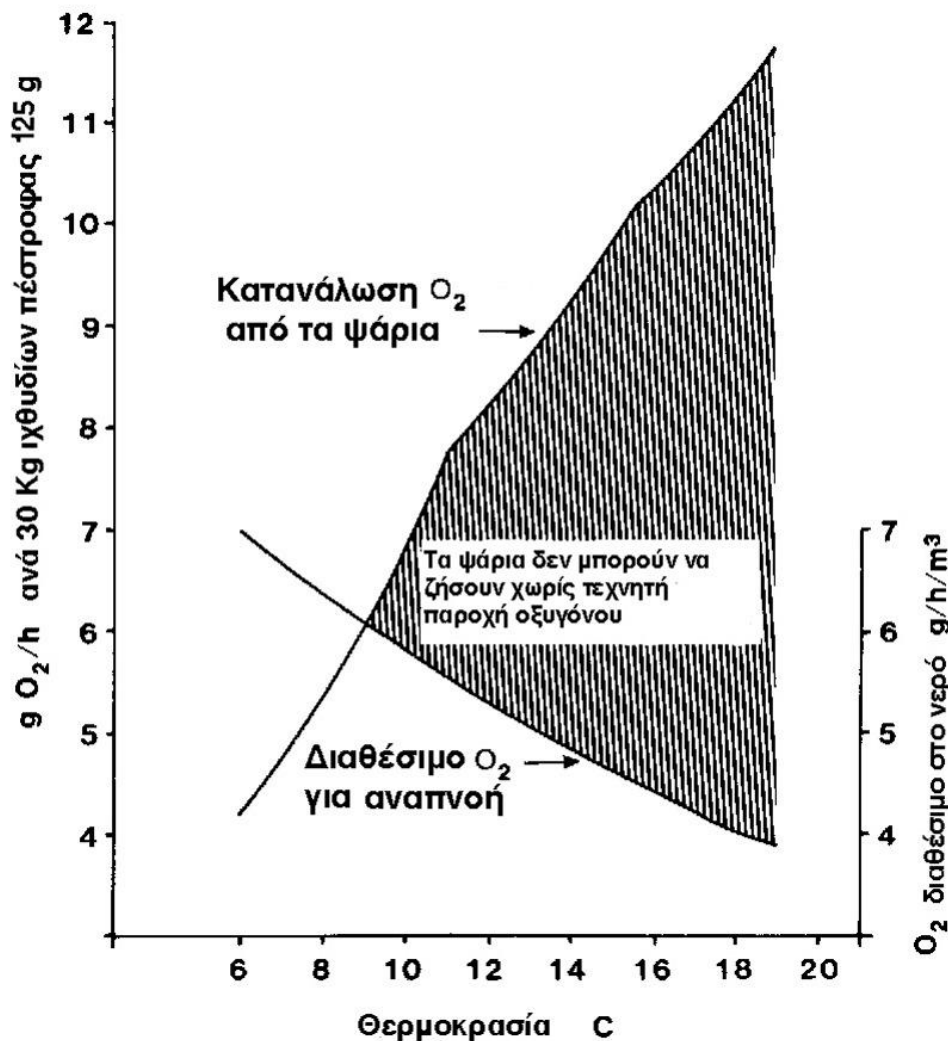
Ομως όπως προαναφέρθηκε στα προηγούμενα (Σχήμα 28), αν η κατανάλωση του οξυγόνου αντιστοιχηθεί με το σωματικό βάρος του ψαριού, θα παρατηρήσουμε ότι ένα κιλό γόνου ή μικρών ψαριών καταναλώνει περισσότερο οξυγόνο απ' ό,τι ένα κιλό μεγάλων ψαριών. Στο Σχήμα 46 φαίνεται η επίδραση του μεγέθους της ιριδίζουσας πέστροφας στην αναπνευστική κατανάλωση του οξυγόνου, στο επίπεδο του βασικού μεταβολισμού και για διάφορες θερμοκρασίες.



Σχήμα 46. Κατανάλωση οξυγόνου (ως mg O₂ / kg /h) στην ιριδίζουσα πέστροφα στα διάφορα μεγέθη των ψαριών, σε ήρεμη κατάσταση (βασικός μεταβολισμός) και σε διαφορετικές θερμοκρασίες. (Από Laird & Needham, τροποποιημένο από Χότος).

Εάν στο επίπεδο του βασικού μεταβολισμού (του Σχήματος 46) προστεθούν και έξτρα αναπνευστικές ανάγκες λόγω π.χ. κολύμβησης, θρέψης ή κάθε είδους στρες, τότε η κατανάλωση οξυγόνου αυξάνει πολύ (και 5 φορές πιο πάνω μερικές φορές).

Όπως πολλές φορές προαναφέρθηκε, ο κύριος παράγοντας που επηρεάζει τις απαιτήσεις σε οξυγόνο των ψαριών είναι η θερμοκρασία. Στο Σχήμα 47 αποτυπώνονται οι απαιτήσεις σε οξυγόνο μικρών πεστροφών (περί τα 125 g). Φαίνεται καθαρά ότι με μια αύξηση της θερμοκρασίας από 6 σε 20 °C, η απαίτηση για οξυγόνο τριπλασιάζεται, ενώ συγχρόνως η διαθεσιμότητα του οξυγόνου στο νερό υποδιπλασιάζεται. Βέβαια, στην περίπτωση του Σχήματος 47, τα δεδομένα αντιστοιχούν σε μονάδα ανοικτού τύπου που τροφοδοτείται με νερό από κάποια φυσική πηγή (πηγές, ποτάμι κ.ά.) και εξαρτάται για το οξυγόνο από το οξυγόνο που μεταφέρει μέσα στη μονάδα το φρέσκο νερό. Στο σημείο αυτό πρέπει να επιστήσουμε την προσοχή στο εξής. Όλο το οξυγόνο που περιέχεται στο νερό δεν είναι διαθέσιμο για να χρησιμοποιηθεί για την αναπνοή του ψαριού, από πρακτική άποψη πρέπει να υπολογίζουμε ότι περίπου η μισή ποσότητα της εκάστοτε συγκέντρωσης του οξυγόνου είναι *χρησιμοποιήσιμη (διαθέσιμη)* για την αναπνοή του ψαριού.



Σχήμα 47. Η επίδραση της θερμοκρασίας στις απαιτήσεις για οξυγόνο της πέστροφας και η ταυτόχρονη διαθεσιμότητα οξυγόνου στο νερό ανάλογα με την παροχή του νερού στη μονάδα εκτροφής. Η καμπύλη για την κατανάλωση O_2 αναφέρεται στον αριστερό Y-άξονα, η καμπύλη του διαθέσιμου O_2 αναφέρεται στον δεξιό Y-άξονα. Παρατηρούμε ότι με την αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνεται κατακόρυφα η κατανάλωση οξυγόνου από τα ψάρια, ενώ συγχρόνως η διαθεσιμότητα οξυγόνου μειώνεται. Στην περιοχή της γραμμοσκιασμένης περιοχής (την άνω των $9\ ^\circ C$) τα ψάρια θα στερούνται του οξυγόνου εκτός κι αν αυξηθεί πολύ η ροή του φρέσκου νερού (πολλές φορές αδύνατο) ή κάνουμε τεχνητή οξυγόνωση του νερού (το συνηθέστερο). (Από Laird & Needham, τροποποιημένο από Χώτος).

Επανερχόμενοι στον άλλο σημαντικό παράγοντα που επηρεάζει την κατανάλωση οξυγόνου από τα ψάρια, αυτόν του μεγέθους των, δίδονται παρακάτω ορισμένα παραδείγματα υπολογισμών.

Παράδειγμα 4.1.: Πόση ποσότητα νερού απαιτείται να παρέχεται σε μια μονάδα εκτροφής ιριδιζουσας πέστροφας για να εξασφαλίζονται οι ανάγκες σε οξυγόνο 5 τόνων ψαριών μέσου βάρους 250 g σε θερμοκρασία 15 °C γνωρίζοντας ότι η συγκέντρωση του οξυγόνου στο φρέσκο νερό είναι σε επίπεδο κορεσμού;

Απάντηση: Από το Σχήμα 46 προκύπτει ότι οι πέστροφες των 250 g στους 15 °C καταναλώνουν 310 mg O₂/kg/h. Συνεπώς 1000 kg ψαριών θα καταναλώνουν:

$310 \times 1000 = 310.000 \text{ mg O}_2/\text{h} = 310 \text{ g O}_2/\text{h}$, και τα 5000 kg ψαριών συνολικά απαιτούν: $310 \times 5 = 1550 \text{ g O}_2/\text{h}$.

Από πίνακες βρίσκουμε ότι το γλυκό νερό στους 15 °C έχει συγκέντρωση οξυγόνου στο επίπεδο κορεσμού, 10,1 mg O₂/L.

Θεωρούμε (βλέπε στα προηγούμενα) ότι μόνο το 50 % της παραπάνω συγκέντρωσης οξυγόνου είναι χρησιμοποιήσιμο-διαθέσιμο για τα ψάρια.

Αρα διαθέσιμο οξυγόνο ανά λίτρο: $10,1 \times 0,5 = 5,05 \text{ mg/L}$.

Ο απαιτούμενος όγκος ροής νερού ανά ώρα που θα μεταφέρει οξυγόνο που απαιτείται για 5000 kg ψαριών βρίσκεται όπως ακολουθεί:

Επειδή $1 \text{ g} = 1000 \text{ mg}$, έχουμε: $1550 \text{ g O}_2/\text{h} = 1.550.000 \text{ mg O}_2/\text{h}$

$\frac{1.550.000 \text{ mg}}{\text{h}}$

$\frac{5,05 \text{ mg}}{\text{L}}$

και απλοποιώντας έχουμε:

$\frac{1.550.000 \text{ mg/L}}{5,05 \text{ mg/h}}$

Μετά τις απλοποιήσεις καταλήγουμε ότι τα ψάρια απαιτούν ροή φρέσκου νερού = 306.931 L/h ή $307 \text{ m}^3/\text{h}$ ή $307/3600 = 0,085 \text{ m}^3/\text{sec}$.

Παράδειγμα 4.2.: Πόσους τόνους ψαριών μπορεί να κρατήσει μια μονάδα πεστροφών των 250 g όταν η παροχή φρέσκου νερού θερμοκρασίας 15 °C και κορεσμένου σε οξυγόνο είναι 0,5 m³/sec;

Απάντηση: Κατά το προηγούμενο παράδειγμα 5,05 mg/L οξυγόνου είναι διαθέσιμο για τα ψάρια. Επειδή η ροή νερού είναι 0,5 m³/sec = 500 L/sec η συνολική ποσότητα οξυγόνου που θα είναι διαθέσιμη σε αυτή τη ροή νερού θα είναι:

$500 \times 5,05 = 2525 \text{ mg/sec} = 2525 \times 3600 = 9.090.000 \text{ mg/h}$

(για εξάσκηση βάλτε και τις μονάδες και κάντε τις απλοποιήσεις).

Από το προηγούμενο παράδειγμα γνωρίζουμε ότι οι πέστροφες των 250 g στους 15 °C καταναλώνουν 310 mg O₂/kg/h.

Συνεπώς η μονάδα εκτροφής μπορεί να κρατήσει:

$9.090.000 / 310 = 29.323 \text{ kg}$ πεστροφών δηλαδή 29,3 τόνους.

Παρακάτω θα επιλυθεί ένα πιο σύνθετο πρόβλημα, που εκτός από τις ανάγκες σε οξυγόνο των ψαριών σε δεδομένες συνθήκες εκτροφής, θα

υπολογίσει και το πόση αμμωνία και πόσο διοξείδιο του άνθρακα θα παραχθούν και αν τα επίπεδα αυτών των τοξικών μεταβολιτών θα είναι ασφαλή για τα ψάρια της συγκεκριμένης εκτροφής.

Παράδειγμα 4.3. Σε μια ιχθυοκαλλιέργεια πέστροφας με ψάρια μέσου βάρους 250 g και με παροχή φρέσκου νερού κορεσμένου σε οξυγόνο θερμοκρασίας 15 °C η παροχή νερού είναι 10 L/sec. Πόσα ψάρια μπορεί να κρατήσει αυτή η παροχή διασφαλίζοντας τις ανάγκες τους σε οξυγόνο; Πόση αμμωνία θα παράγουν αυτά τα ψάρια; Πόσο διοξείδιο του άνθρακα; Θα είναι σε ασφαλή επίπεδα αυτοί οι μεταβολίτες;

Απάντηση: Πρώτα απ' όλα συμβουλευόμενοι το Σχήμα 46, διαπιστώνουμε ότι τα ψάρια μεγέθους 250 g στους 15 °C απαιτούν 310 mg O₂/kg/h.

Από πίνακες βρίσκουμε ότι το γλυκό νερό στους 15 °C έχει συγκέντρωση οξυγόνου στο επίπεδο κορεσμού, 10,1 mg O₂/L.

Θεωρούμε (βλέπε στα προηγούμενα) ότι μόνο το 50 % της παραπάνω συγκέντρωσης οξυγόνου είναι χρησιμοποιήσιμο-διαθέσιμο για τα ψάρια. Αρα διαθέσιμο οξυγόνο ανά λίτρο: 10,1 x 0,5 = 5,05 mg/L και για πρακτικούς λόγους στρογγυλοποιούμε = 5 mg/L.

Επειδή η ροή του φρέσκου νερού είναι 10 L/sec ανάγοντάς το σε ανά ώρα γίνεται: (10 L/sec) x (3600 sec/h) = 36.000 L/h.

Επειδή σε κάθε λίτρο νερού περιέχονται 5 mg οξυγόνου, στην παραπάνω ροή θα περιέχονται συνολικά:

$$\frac{36.000 \text{ L}}{\text{h}} \cdot \frac{5 \text{ mg}}{\text{L}} = \frac{180.000 \text{ L} \cdot \text{mg}}{\text{h} \cdot \text{L}} = \frac{180.000 \text{ mg}}{\text{h}}$$

Η συνολική ποσότητα του οξυγόνου που παρέχεται από το φρέσκο νερό με ρυθμό 180.000 mgO₂/h διαιρούμενη με το ρυθμό κατανάλωσης οξυγόνου από τα ψάρια (310 mgO₂/kg/h) μας δίνει το ποσό της συνολικής βιομάζας ψαριών που μπορεί να κρατήσει το σύστημα. Έτσι αναλυτικά θα έχουμε:

$$\frac{\frac{180.000 \text{ mg}}{\text{h}}}{\frac{310 \text{ mg}}{\frac{\text{kg}}{\text{h}}}} = \frac{\frac{180.000 \text{ mg}}{\text{h}}}{\frac{310 \text{ mg}}{\text{kg} \cdot \text{h}}} = \frac{180.000 \text{ mg} \cdot \text{kg} \cdot \text{h}}{310 \text{ mg} \cdot \text{h}}$$

Δηλαδή η παραπάνω ροή νερού μπορεί να «κρατήσει» ως προς το οξυγόνο συνολικά 581 kg ψαριών. Αυτό αναγόμενο σε ποσοστό ανά λίτρο παροχής ανά sec μας δίνει:

$$\frac{581 \text{ kg}}{10 \text{ L/sec}} = 58,1 \frac{\text{kg}}{\text{L}}/\text{sec}$$

Υπολογισμός αμμωνίας:

Εάν στα ψάρια δίδεται τροφή σε ποσοστό 1 % B.W. /d τότε καθημερινά για τα 581 kg ψαριών θα παρέχεται $581 \times 1\% = 5,81$ kg τροφής.

Για κάθε 1 kg τροφής που μεταβολίζεται από τα ψάρια παράγονται 25 g αμμωνίας (ως ολική αμμωνία-TAN).

Συνεπώς $(5,81 \text{ kg/d}) \times (25 \text{ g/kg}) = 145,25 \text{ g TAN/d} = 145.250 \text{ mg TAN/d}$.

Δηλαδή σε ημερήσια βάση αναμένεται η παραγωγή 145.250 mg αμμωνίας.

Επειδή η ροή του φρέσκου νερού στο σύστημα είναι:

$$36.000 \text{ L/h} = (36.000 \text{ L/h}) \times (24\text{h/d}) = 864.000 \text{ L/d},$$

η μέση ημερήσια συγκέντρωση της ολικής αμμωνίας θα είναι:

$$(145.250 \text{ mg TAN/d}) / (864.000 \text{ L/d}) = 0,168 \text{ mg/L TAN}.$$

Για να βρούμε αν η παραπάνω συγκέντρωση της ολικής αμμωνίας αντιστοιχεί σε τοξικό επίπεδο μη ιονισμένης αμμωνίας-NH₃ (ανώτατο επιτρεπτό 0,025 mg/L για τα σαλμονιδή ψάρια), πρέπει να γνωρίζουμε το pH και τη θερμοκρασία. Με θερμοκρασία γνωστή (15 °C) και το pH να βρίσκεται στο 7,8, από πίνακες βρίσκουμε ότι η συγκέντρωση της NH₃ είναι πολύ μικρότερη από το όριο των 0,025 mg/L, άρα απόλυτα ασφαλής.

Σε παρόμοιο συμπέρασμα μπορούμε να φτάσουμε και άμεσα, συμβουλευόμενοι το Σχήμα 32, όπου για pH 7,8 και θερμοκρασία 15 °C η ανώτατη επιτρεπόμενη τιμή της TAN είναι ~2,5 mg/L αρκετά υψηλότερη (άρα ασφαλέστατη) από τη μόλις 0,168 mg/L TAN που υπολογίσαμε παραπάνω.

Υπολογισμός διοξειδίου του άνθρακα (CO₂).

Το διοξείδιο του άνθρακα μπορεί να γίνει επικίνδυνο σε συνθήκες υψηλής κατανάλωσης οξυγόνου και μικρής ανανέωσης του νερού. Το ασφαλές ανώτατο όριο τίθεται για τα περισσότερα ψάρια στη συγκέντρωση των 10 mg CO₂ / L.

Όπως έχει αναφερθεί ήδη, για κάθε 1 g O₂ που καταναλώνει, το ψάρι παράγει 1,37 g CO₂.

Άρα τα 310 mg O₂/kg/h που είναι η κατανάλωση οξυγόνου από τις πέστρες του παραδείγματός μας θα παράγουν:

$$310 \times 1,37 = 424,7 \text{ mg CO}_2 / \text{kg} / \text{h}.$$

Η συνολική βιομάζα των ψαριών των 581 kg θα παράγει:

$(581 \text{ kg}) \times (424,7 \text{ mg CO}_2 / \text{kg} / \text{h}) = 246.750 \text{ mg CO}_2 / \text{h}$ και σε μονάδες ανά sec:

$$(246.750 \text{ mg CO}_2/\text{h}) / (3600 \text{ sec/h}) = 68,54 \text{ mg CO}_2 / \text{sec}.$$

Επειδή η ροή του φρέσκου νερού είναι από τα δεδομένα 10 L/sec, η παραπάνω ποσότητα του παραγόμενου CO₂ θα αραιώνεται και θα γίνεται:

$(68,54 \text{ mgCO}_2/\text{sec}) / (10 \text{ L}/\text{sec}) = 6,85 \text{ mg CO}_2 / \text{L}$, πολύ μικρότερη του ανώτατου επιτρεπτού ορίου των $10 \text{ mg CO}_2 / \text{L}$, άρα ασφαλής.

**ΣΧΗΜΑΤΑ ΛΗΦΘΕΝΤΑ ΚΑΙ ΤΡΟΠΟΙΗΘΕΝΤΑ ΑΠΟ ΤΙΣ ΠΑΡΑΚΑΤΩ
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ:**

1. Andrews, C., Exell, A. & N. Carrington. 1998. The Manual of Fish Health. Salamander Books, ISBN 0 86101 368 0, 208 pg.
2. Laird, L. & T. Needham (eds). 1988. Salmon and Trout Farming. Ellis Horwood Ltd. 271 pg.
3. Wheaton, F.W. 1993. Aquacultural Engineering. Krieger Pub. Co. 728 pg.
4. Χώτος, Γ. 2007. Υδατοκαλλιέργειες σε Ανακυκλούμενα Νερά. Τ.Ε.Ι. Μεσολογγίου, Τμήμα Ιχθυοκομίας-Αλιείας. 211 σελ.