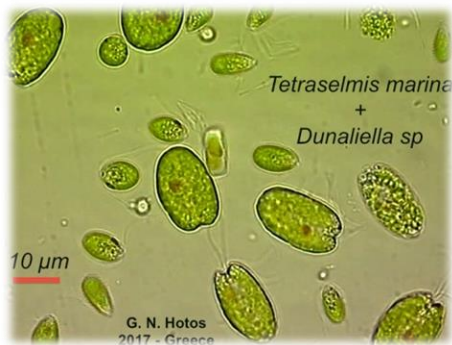


# Φύκη – Τεχνολογικές Εφαρμογές

## Συνοπτική παρουσίαση των χρήσεων των φυκών

Γεώργιος Ν. Χώτος  
καθηγητής

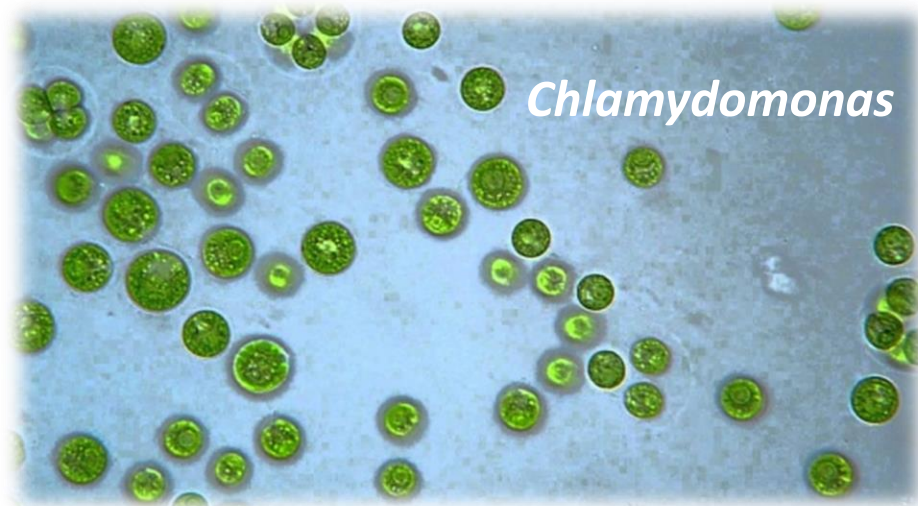


Εργαστήριο Καλλιέργειας Πλαγκτού  
Τμήμα Αλιείας και Υδατοκαλλιεργειών  
Πανεπιστήμιο Πατρών  
Μεσολόγγι 2019



# Φύκη – Τεχνολογικές Εφαρμογές

Τα μικροφύκη και τα μακροφύκη χρησιμοποιούνται σε ποικίλες τεχνολογικές εφαρμογές



*Chlamydomonas*

Μικροφύκος



*Saccharina latissima*  
(brown algae)

Μακροφύκος

- Ως σύνεργα στην γενωμική<sup>1</sup> και στη πρωτεομική<sup>2</sup>.
- Ως περιβαλλοντικοί δείκτες ποιότητας υδατοσυστημάτων.
- Ως απολιθωμένοι μάρτυρες περιβάλλοντος στην παλαιοντολογία - παλαιοοικολογία.
- Ως πηγές προϊόντων διατροφής (ή και διατροφικών προσθέτων) για τα ζώα και τον άνθρωπο.
- Ως πηγές χημικών ενώσεων για χρήση στις τροφές, καλλυντικά, καθαριστικά, κ.λπ.
- Ως πηγές βιοκαυσίμων.
- Ως πηγές φαρμακευτικών ουσιών.
- Ως βελτιωτικά εδάφους.
- Ως συντελεστές στην απορρύπανση των υδάτων.

1. Γενωμική (genomics) = εφαρμογή τεχνικών για την έρευνα ολόκληρου του γονιδιώματος ενός οργανισμού.

2. Πρωτεομική (proteomics) = η μελέτη των τύπων και των ποσοτήτων πρωτεϊνών που παράγει ένα κύτταρο σε καθορισμένες συνθήκες.



# Φύκη – Τεχνολογικές Εφαρμογές

Λόγω της χρησιμότητας των φυκών έχουν αναπτυχθεί ποικίλα συστήματα μαζικής τους καλλιέργειας είτε ανοιχτά (δεξαμενές), είτε κλειστά (φωτοβιο-αντιδραστήρες –PBR)



Δεξαμενές τύπου raceway



Σωληνοειδείς οριζόντιοι φωτοβιοαντιδραστήρες (PBR)

**PBR =**  
**Photo-**  
**Bio-**  
**Reactor**



Πάνελ επίπεδων φωτοβιοαντιδραστήρων (PBR)



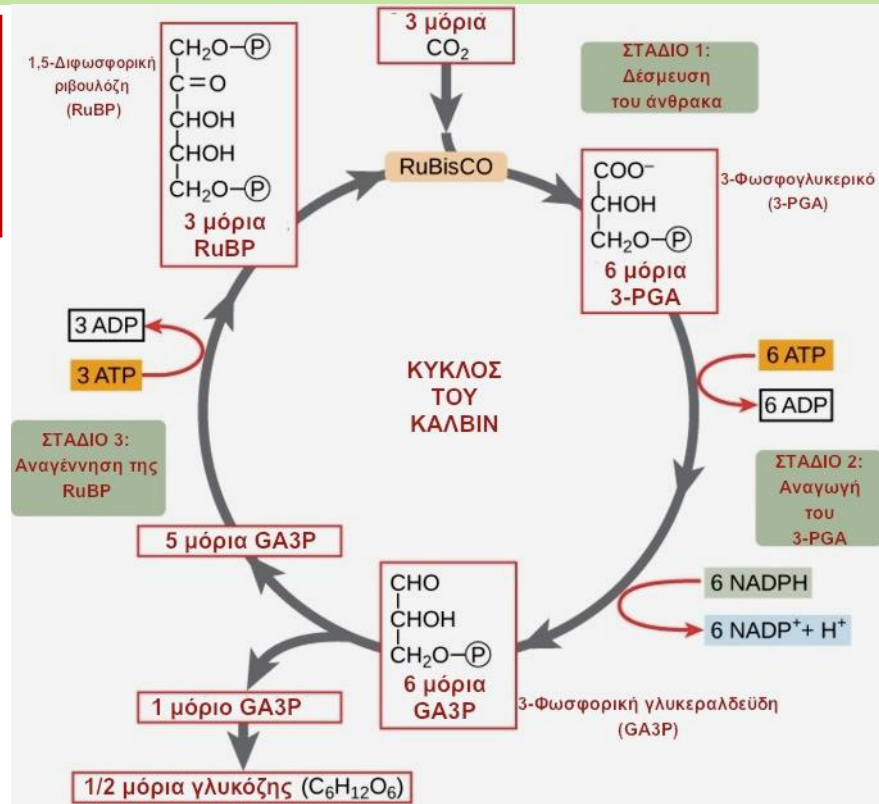
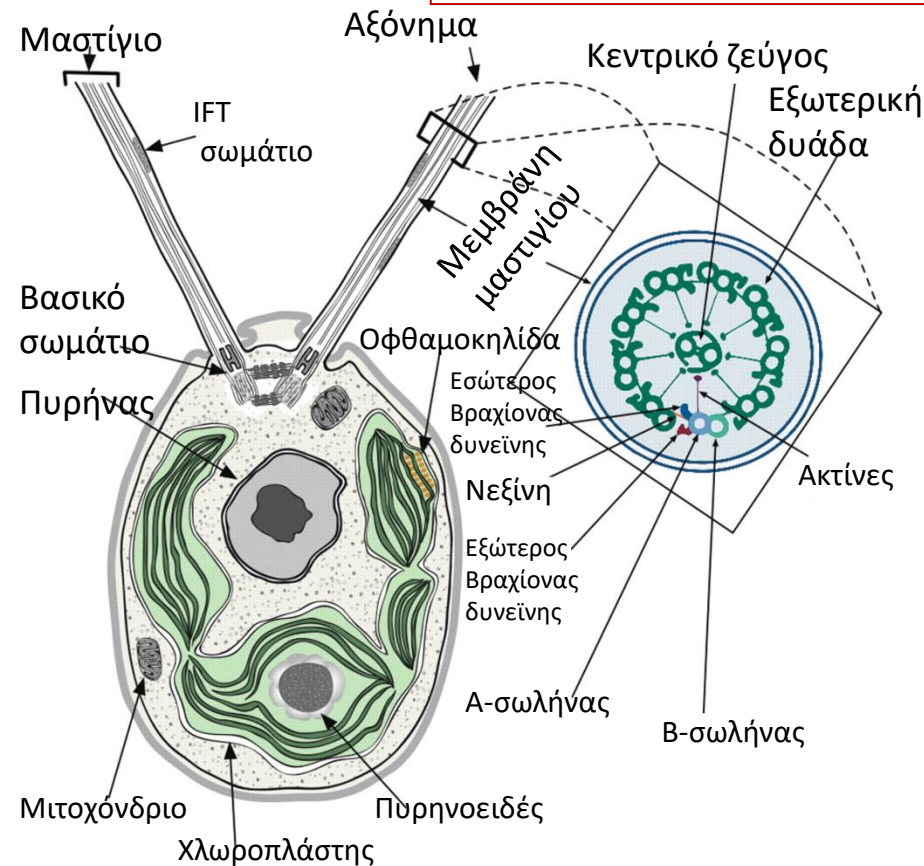
Κάθετοι σωληνοειδείς φωτοβιοαντιδραστήρες (PBR)

# Φύκη – Τεχνολογικές Εφαρμογές

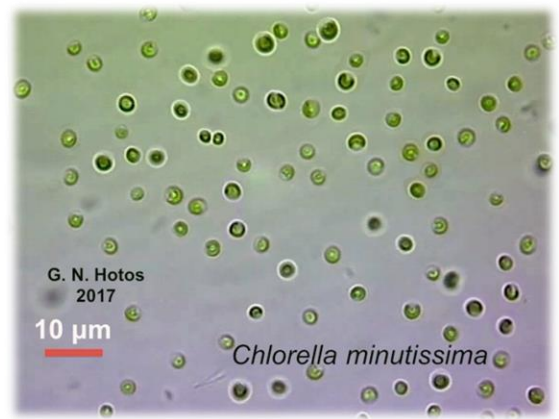


**Σημαντικές ανακαλύψεις έγιναν με μελέτες των φυκών**

Ανακάλυψη της δομής 9+2 μικροσωληνίσκων στα μαστίγια & βλεφαρίδες



Φωτοσυνθετική δέσμευση του άνθρακα, βραβείο Nobel 1961 στον Melvin Calvin μέσω μελετών στην *Chlorella*

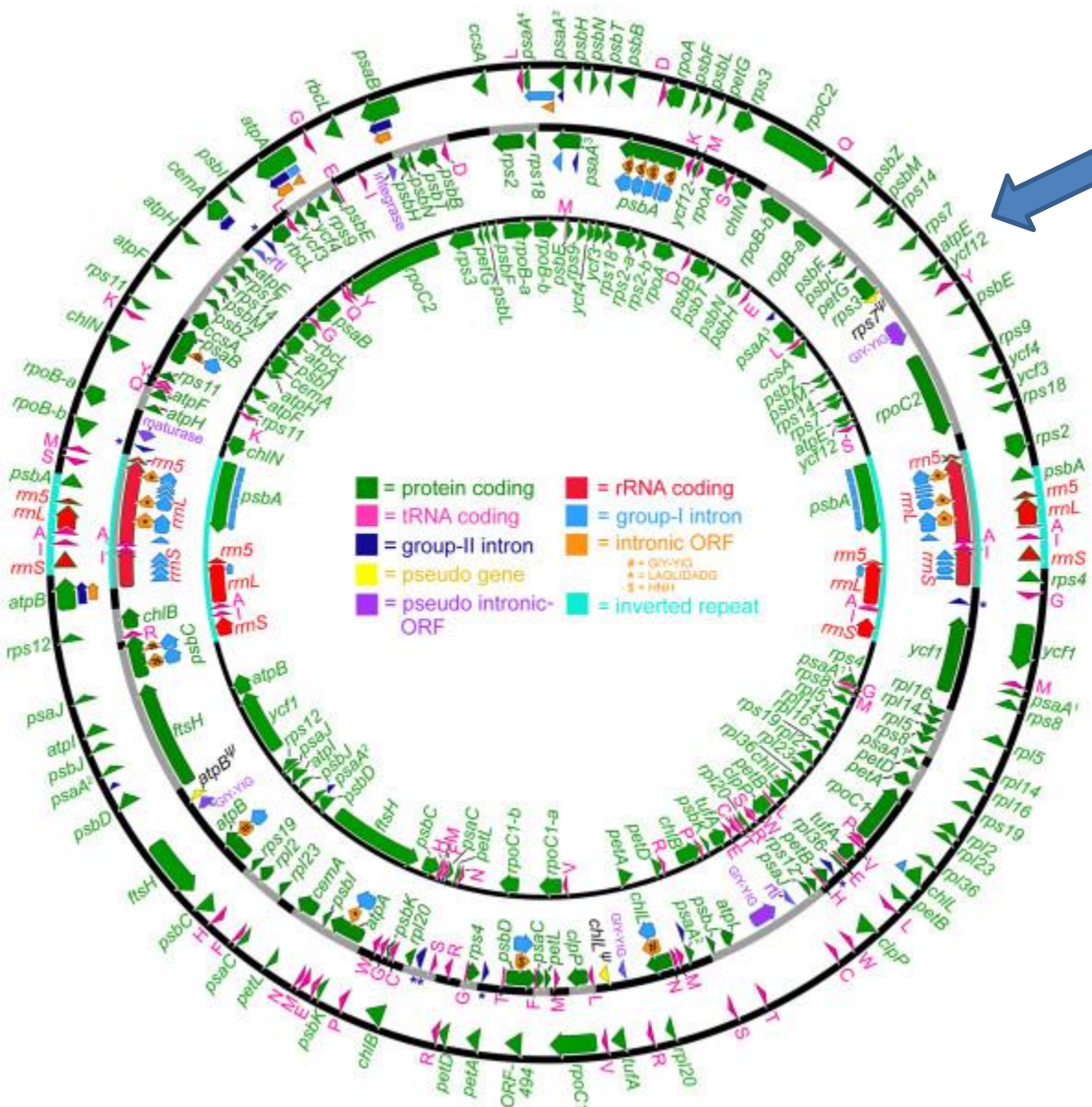


Γ. Χώτος, καθηγητής Πανεπ. Πατρών



# Φύκη – Τεχνολογικές Εφαρμογές

## Γενωμική – Χαρτογράφηση γονιδιωμάτων



Παράδειγμα έρευνας του 2010 στην αποτύπωση γονιδιώματος.

Διάγραμμα πλαστιδιακών γονιδιωμάτων για τα μικροφύκη:

- A) *Chlamydomonas reinhardtii* (εσωτερικός κύκλος)
- B) *Dunaliella salina* (μεσαίος κύκλος)
- Γ) *Volvox carteri* (εξωτερικός κύκλος)

Μέχρι σήμερα έχουν αποκωδικοποιηθεί τα γονιδιώματα πολλών ειδών φυκών και συνεχίζεται η έρευνα. Υπάρχουν ανά τον κόσμο ειδικές «τράπεζες» όπου διατηρούνται συλλογές καθαρών καλλιεργειών φυκών.

# Φύκη – Τεχνολογικές Εφαρμογές

**Τα φύκη χρησιμεύουν ως δείκτες παρακολούθησης του περιβάλλοντος.**

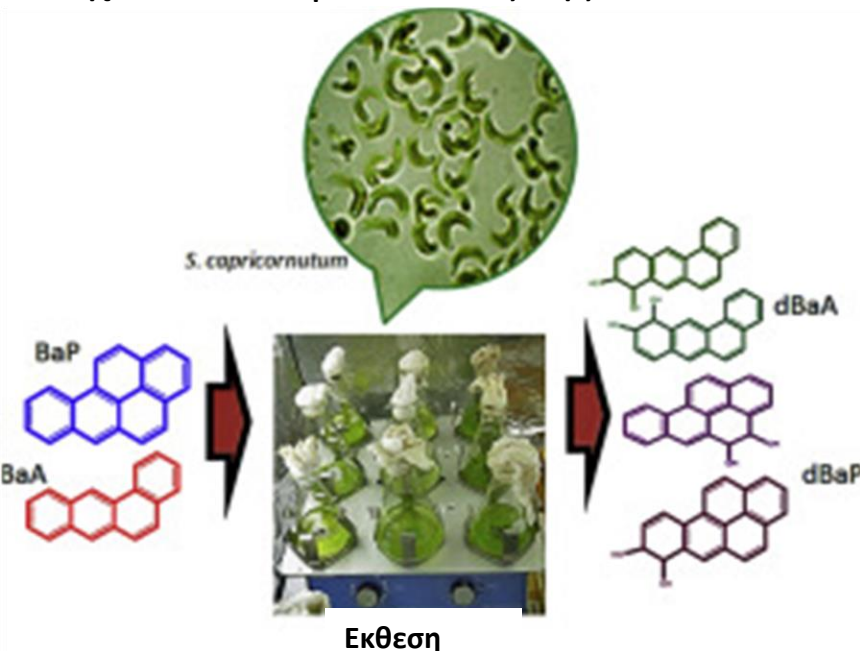
Δηλαδή μελετάμε το πώς οι περιβαλλοντικοί παράγοντες επηρεάζουν τη σύνθεση των φυκοκοινωνιών.

Βασική μέθοδος για αυτό είναι η **Βιοανάλυση** ή **βιοδοκιμή (bioassay)**.

*Βιοανάλυση = μελέτη της απόκρισης ενός οργανισμού στην επαφή του με κάποιο φυσικό ή χημικό παράγοντα.*

Τα φύκη είναι ιδανικά για βιοαναλύσεις επειδή:

1. Είναι πιο ευαίσθητα από τα ζώα σε ρυπαντές (π.χ. απορρυπαντικά, απόβλητα εργοστασίων).
2. Είναι μονοκύτταρα (μονήρη μικροφύκη) ή ολιγοκύτταρα (νηματοειδή μικροφύκη) και μαζικά στην καλλιέργειά τους.
3. Έχουν σύντομο κύκλο ζωής.



Το χλωροφύκος *Selenastrum capricornutum* έχει βρει ευρύτατη χρήση ως βιοδείκτης στις βιοαναλύσεις.

Χρησιμοποιείται τόσο για να μελετηθεί η επίδραση των θρεπτικών στην αύξηση του πληθυσμού του, όσο και για την επίδραση διαφόρων τοξικών ουσιών στα κύτταρά του (όπως των αρωματικών υδρογονανθράκων στην εικόνα).



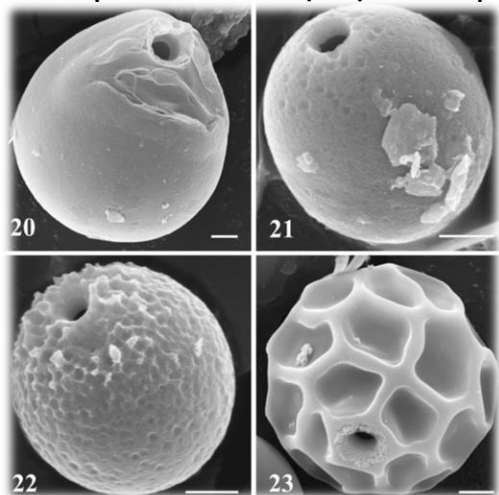
# Φύκη – Τεχνολογικές Εφαρμογές

## Τα φύκη χρησιμεύουν ως παλαιο-οικολογικοί δείκτες

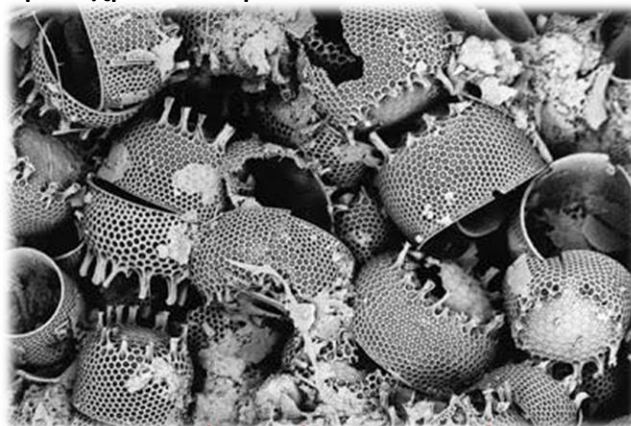
Τα φύκη όταν ολοκληρώσουν το βιολογικό τους κύκλο, αφήνουν ανθεκτικά στην αποσύνθεση υπολείμματα τα οποία συσσωρεύονται στα ιζήματα.

Τέτοια υπολείμματα είναι οι πυριτικές φολίδες και οι στοματοκύστει των χρυσοφυκών, τα πυριτικά τοιχώματα των διατόμων, οι ενασβεστωμένες φολίδες των κοκκολιθοφόρων, οι πυριτωμένοι σκελετοί των πυριτιομαστιγωτών, οι κύστει των δινομαστιγωτών.

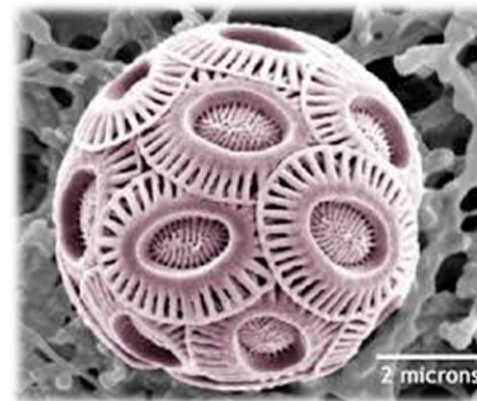
Μελετώντας στα ιζήματα την παρουσία των παραπάνω, μπορούμε να καταλάβουμε για το κλίμα που επικρατούσε στη Γη εκατομμύρια χρόνια πριν.



Στοματοκύστει χρυσοφυκών



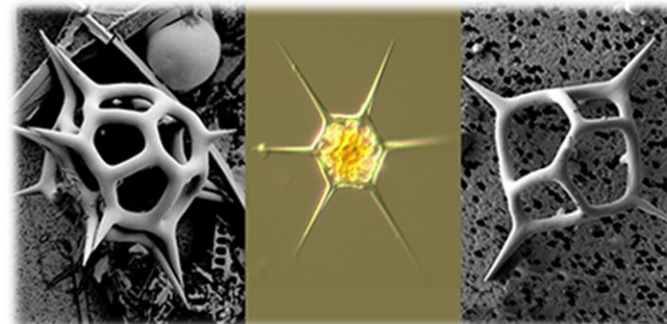
Πυριτικά τοιχώματα διατόμων



Ενασβεστωμένες  
φολίδες  
κοκκολιθοφόρων



Οι τεράστιες απόκρημνες ακτές στο Dover της Αγγλίας σχηματίστηκαν σε διάρκεια εκατομμυρίων ετών από τα νεκρά ασβεστολιθικά υπολείμματα κοκκολιθοφόρων



Πυριτωμένοι σκελετοί πυριτιομαστιγωτών (silicoflagellates)



# Φύκη – Τεχνολογικές Εφαρμογές

Εναποθέσεις πυριτικών κελυφών διατόμων που δημιούργησαν στρώματα «διατομικής γης»



Εκπληκτική χρησιμοποίηση της «Γης διατόμων» ως φυσικό εξολοθρευτή ενοχλητικών ζώων. Τα μικροσκοπικά κοφτερά σαν γυαλί πυριτικά σωματία κόβουν τα όργανα των ασπονδύλων.

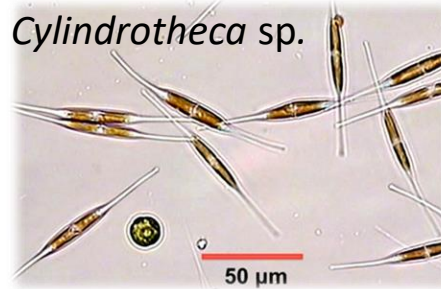
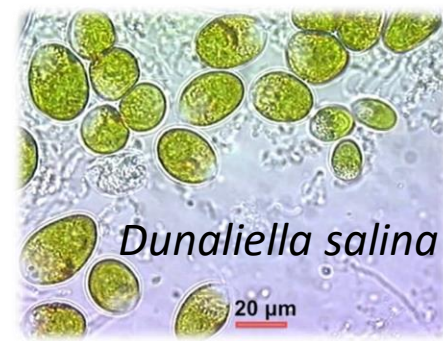
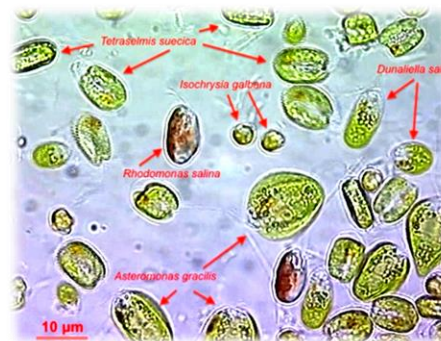




# Φύκη – Τεχνολογικές Εφαρμογές

## Τα φύκη χρησιμεύουν ως τροφή στις υδατοκαλλιέργειες

- Εκτεταμένη είναι η χρησιμοποίηση των φυκών στις υδατοκαλλιέργειες.
- Χρησιμοποιούνται είτε **άμεσα** για τη **θρέψη οστρακοδέρμων** (μαλακίων και γαριδών), είτε **έμμεσα** για να **θρέψουν πλαγκτονικά ζώα** (π.χ. τροχόζωα) με τα οποία κατόπιν θα τραφούν οι λάρβες των εκτρεφόμενων ψαριών (η λεγόμενη διατροφή με «**ζωντανή τροφή**»).
- Είναι απαραίτητα (τα φύκη) για την ανάπτυξη των καλλιεργούμενων ζώων επειδή αυτά (τα ζώα) δεν μπορούν να συνθέσουν αυτοτελώς ορισμένα βασικά λιπαρά οξέα μακράς αλύσου. Τα φύκη τα συνθέτουν και προμηθεύουν κατόπιν τα ζώα (ή και ως συμπληρώματα διατροφής και για τον άνθρωπο ακόμα).





# Φύκη – Τεχνολογικές Εφαρμογές

Πλήθος μακροφυκών χρησιμεύουν ως τροφή του ανθρώπου

Μακροφύκη που ανήκουν στα φαιοφύκη και ροδοφύκη χρησιμοποιούνται μετά από καλλιεργητική συγκομιδή ως τροφή του ανθρώπου κυρίως στην Α. Ασία (Κίνα-Ιαπωνία).

Τα μακροφύκη αυτά γνωστά ως «θαλάσσια φύκια» (seaweeds) είναι κυρίως τα **ροδοφύκη**: **Porphyra**, **Karraphycus** (*Eucheuma*) και **Gracillaria** και τα **φαιοφύκη** τύπου Kelps (κελποφύκη): **Saccharina**, **Laminaria** και **Undaria**.



*Porphyra sp*



*Karraphycus*



*Gracillaria multipartita*



*Saccharina*



*Laminaria digitata*  
(Ιρλανδία)



*Undaria*



# Φύκη – Τεχνολογικές Εφαρμογές

Τα καλλιεργούμενα μακροφύκη τρώγονται ως:



Sushi από *Porphyra*



Noodles Somen  
από *Gracillaria*



Dulse από *Palmaria*  
(Ιρλανδικό ροδοφύκος)



Kombu από *Saccharina*



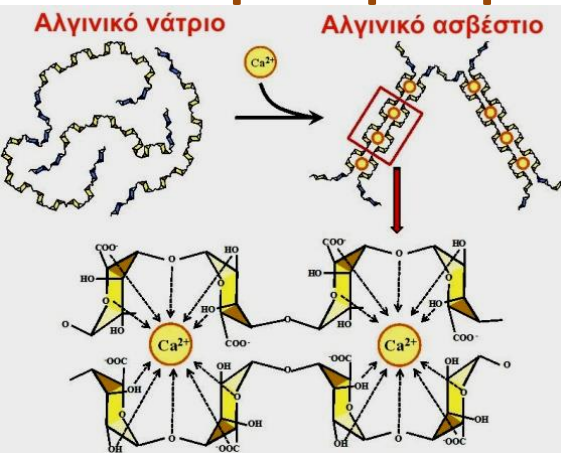
Wakame από  
*Undaria*

# Φύκη – Τεχνολογικές Εφαρμογές

**Από τα μακροφύκη παράγονται πολύτιμες πηκτικές ενώσεις**

Χημικές ενώσεις που προκαλούν πήξη στα υδατικά διαλύματα εξάγονται από φαιοφύκη και ροδοφύκη.

**Από τα φαιοφύκη παράγονται τα αλγινικά άλατα.**



Τα **αλγινικά άλατα (alginate)** είναι σύνθετοι πολυσακχαρίτες που σχηματίζουν **πηκτώματα** και **κολλοειδή** στη μεσοκυττάρια μήτρα των φαιοφυκών προσφέροντάς τους **αντοχή, ευλυγισία και σκληρότητα**.

Επειδή είναι πολύ δύσκολες ενώσεις για να παραχθούν τεχνητώς, η εξαγωγή τους από τα φαιοφύκη είναι πολυτιμότερη.

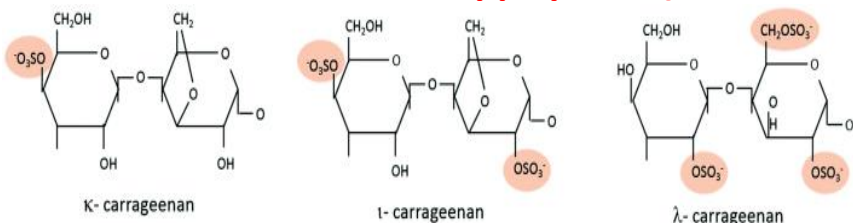




# Φύκη – Τεχνολογικές Εφαρμογές

**Άλλες πηκτικές ενώσεις παράγονται επίσης από μακροφύκη**

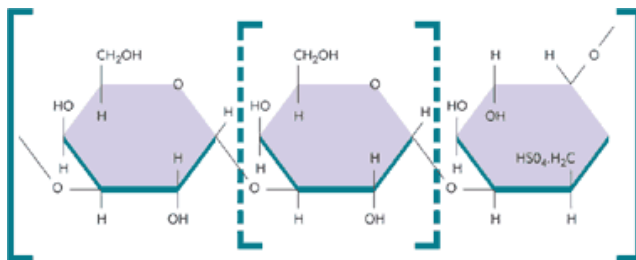
**Από τα ροδοφύκη παράγονται καρραγενάνη (carrageenan), άγαρ (agar) και αγαρόζη (agarose).**



Η καρραγενάνη προέρχεται κατόπιν επεξεργασίας των ροδοφυκών *κarrarhycus* και *Hyρnea*



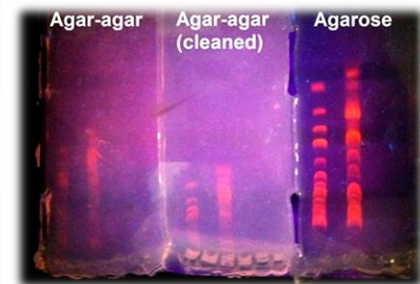
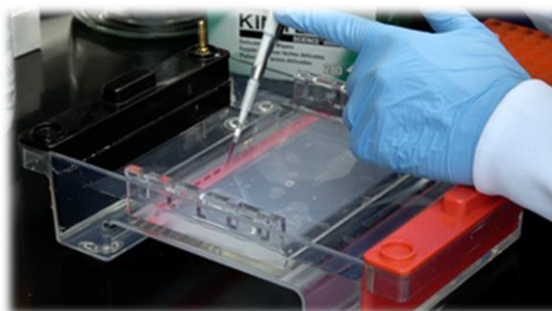
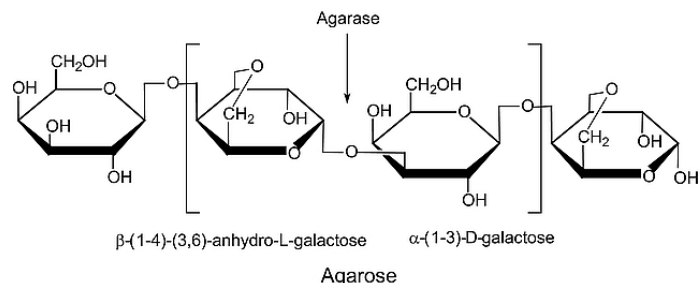
**άγαρ**



Το άγαρ και η αγαρόζη προέρχονται κυρίως από το ροδοφύκος *Gelidium* και χρησιμοποιούνται το μεν **άγαρ** ως έξοχο και μοναδικό υλικό για την παρασκευή gel (ζελέδες) και για θρεπτικό υπόστρωμα σε καλλιέργειες σε τριβλία, η δε **αγαρόζη** στη βιοτεχνολογία (χρωματογραφία, οπτικοποίηση DNA, κ.λπ.)



**αγαρόζη**



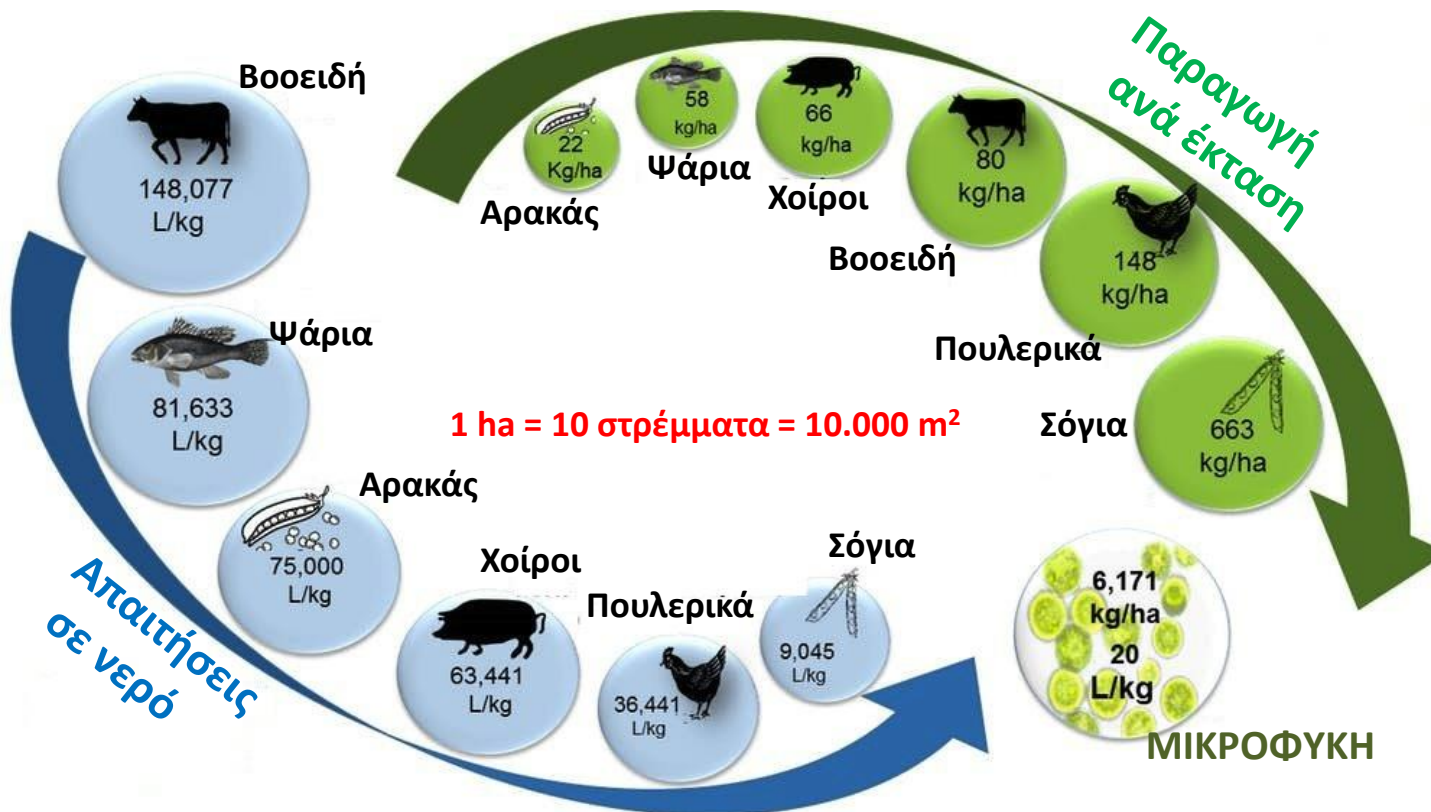
# Φύκη – Τεχνολογικές Εφαρμογές

## Πλήθος μικροφυκών χρησιμοποιούνται για παραγωγή βιοκαυσίμων

Η ανάγκη εξεύρεσης νέων πηγών καυσίμων λόγω της εξάντλησης των ορυκτών, η ανάγκη αντιμετώπισης των σημερινών υπερβολικών ανθρωπογενών εκπομπών CO<sub>2</sub> και η εξοικονόμηση αγροτικών εκτάσεων, οδηγεί την ανθρωπότητα να παράγει καύσιμα από φύκη.

Τα φύκη δεν απαιτούν μεγάλες εκτάσεις, ούτε απαραίτητως γλυκό νερό και είναι πιο αποδοτικά φωτοσυνθετικώς από τα χερσαία φυτά.

Σήμερα οι μεγάλες χερσαίες παραγωγές φυτών (καλαμπόκι, ζαχαροκάλαμο, κ.ά.) προς εξαγωγή βιοκαυσίμων δεν πρέπει να εξαπλωθούν εις βάρος της παραγωγής τροφίμων.



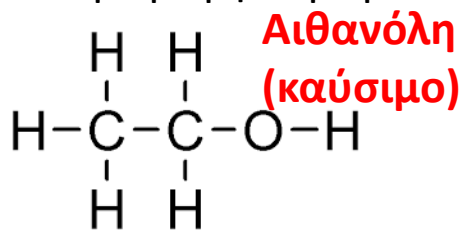
Η εμφανής υπεροχή των **φυκών** έναντι καλλιεργούμενων **φυτών** και **ζώων** ως προς την απόδοση βιομάζας ανά μονάδα έκτασης και οικονομίας κατανάλωσης νερού



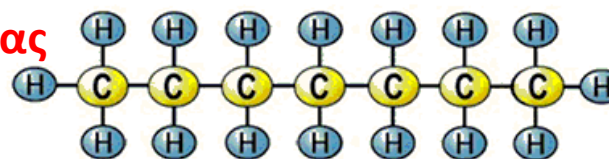
# Φύκη – Τεχνολογικές Εφαρμογές

**Από τα μικροφύκη παράγονται ως βιοκαύσιμα: αιθανόλη, υδρογονάνθρακες & H<sub>2</sub>**

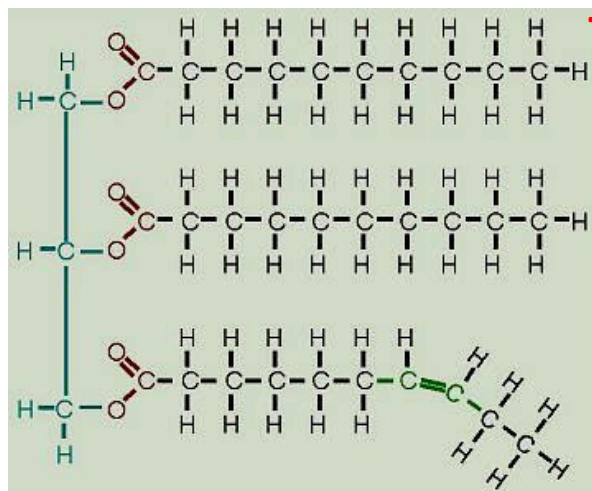
- Η **αιθανόλη** προκύπτει από ζύμωση της κυτταρίνης των φυκών και από άλλα σάκχαρα τους.
- Οι **υδρογονάνθρακες** (πετρέλαιο-oil) από τα λιπαρά οξέα των τριγλυκεριδίων τους μέσω της **μετεστεροποίησης**.
- Το **υδρογόνο** από τον κυτταρικό μεταβολισμό τους μέσω ειδικών συνθηκών.
- Τα φύκη πλεονεκτούν έναντι των φυτών επειδή περιέχουν πολλή κυτταρίνη και καθόλου λιγνίνη που παρεμποδίζει τη ζύμωση της κυτταρίνης σε αλκοόλη.
- Τα φύκη παράγουν σε ειδικές συνθήκες (στέρηση αζώτου) μεγάλα ποσά λιπιδίων.
- Η παραγωγή υδρογόνου δεν έχει ακόμα γίνει κατορθωτή σε βιομηχανικό επίπεδο.



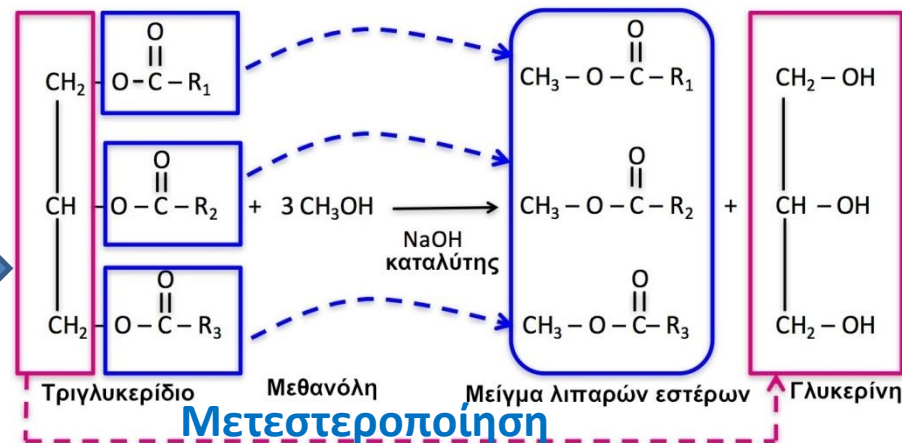
**Υδρογονάνθρακας  
(καύσιμο)**



C<sub>7</sub>H<sub>16</sub> - Επτάνιο (βενζίνη)



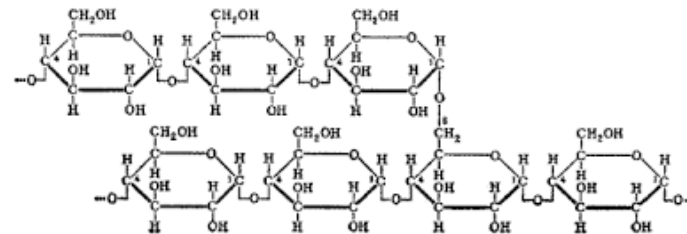
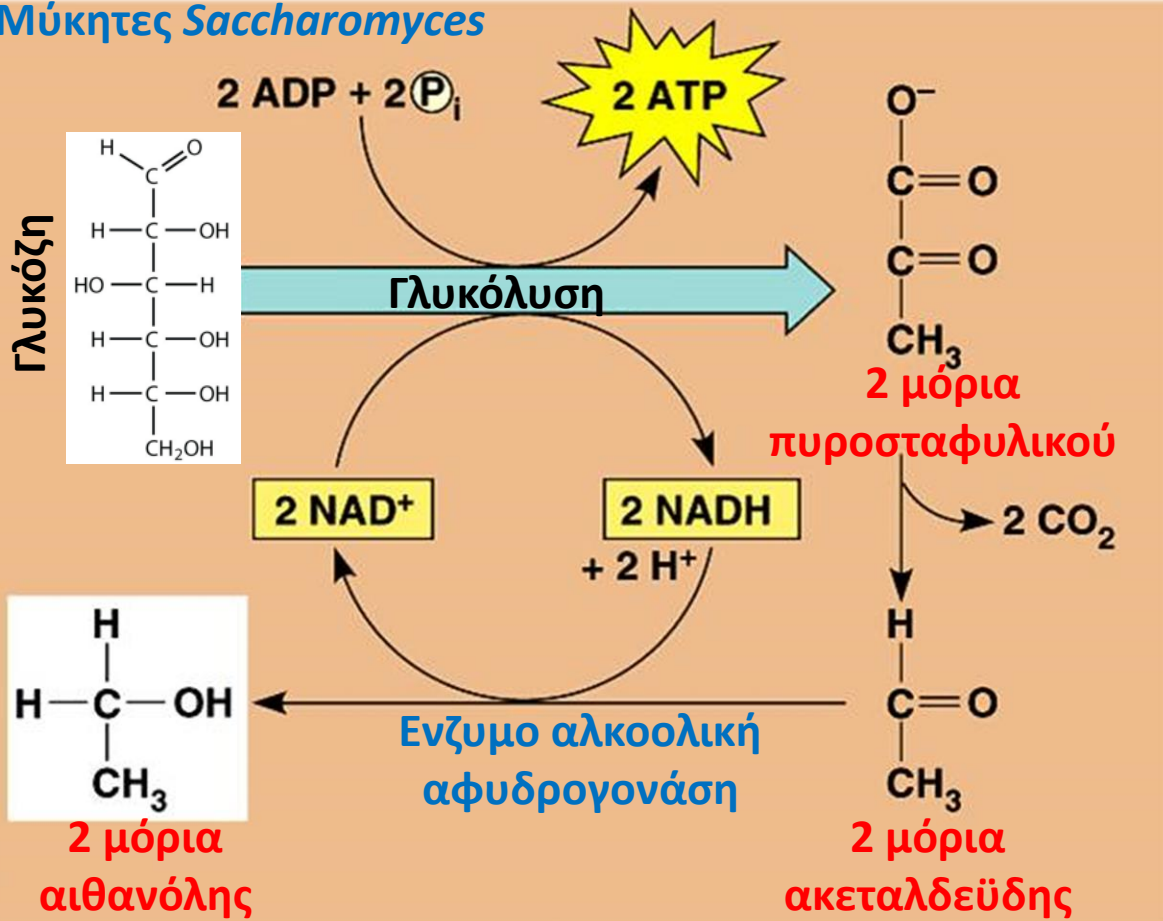
**Τριγλυκερίδιο  
(TGA)**



# Φύκη – Τεχνολογικές Εφαρμογές

Η διαδικασία της ζύμωσης που παράγει αιθανόλη

Μύκητες *Saccharomyces*



Τυπικός πολυσακχαρίτης

Η αιθανόλη που παράγεται με ζύμωση φυτικών ιστών είναι φυσικά το γνωστό οινόπνευμα που παράγεται στη διεργασία παραγωγής αλκοολούχων ποτών. Όμως παραγόμενη με την ίδια διαδικασία η αιθανόλη αποτελεί και **βιοκαύσιμο**.

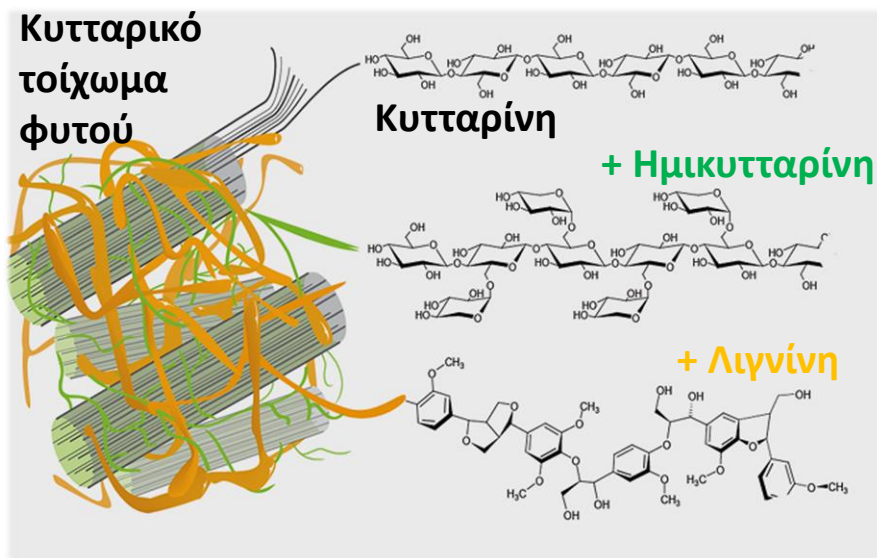
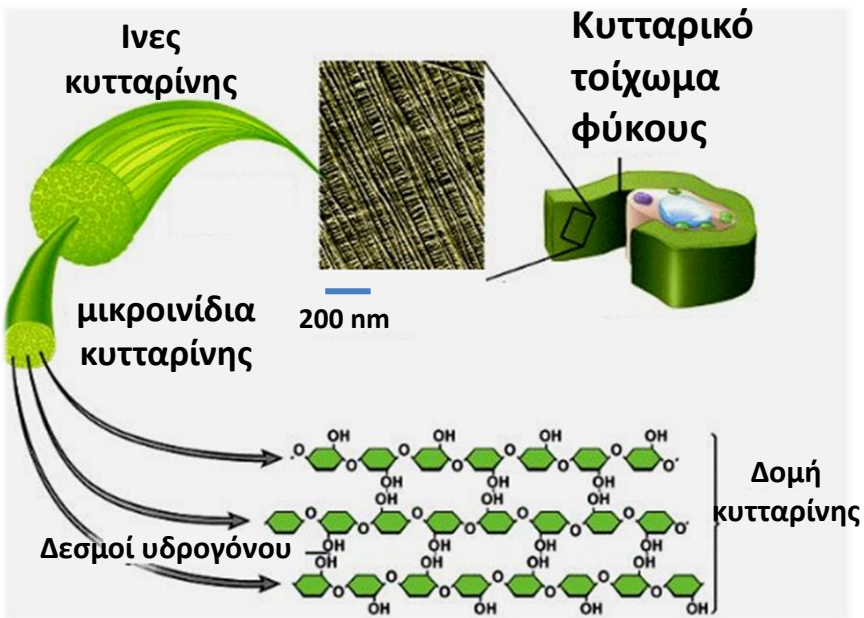
Η **πρώτη ύλη** για την παραγωγή αιθανόλης είναι η **γλυκόζη**. Τα φυτά και ιδιαίτερα τα φύκη είναι πλούσια σε πολυμερή γλυκόζης δηλαδή **πολυσακχαρίτες** (άμυλο, κυτταρίνη κ.λπ.). Οι πολυσακχαρίτες εύκολα **υδρολύονται** σε γλυκόζες.

**Επισήμανση:** Η διαδικασία της ζύμωσης (fermentation) είναι **αναερόβια** και μπορεί να συμβεί μόνο απουσία οξυγόνου.

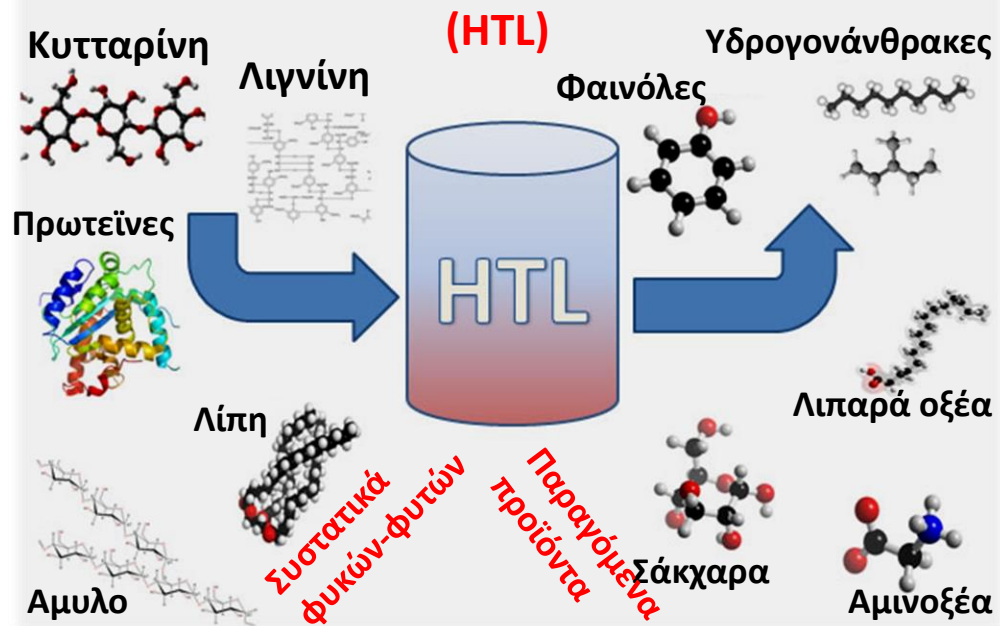


# Φύκη – Τεχνολογικές Εφαρμογές

## ΚΥΤΤΑΡΙΝΗ ΣΤΑ ΦΥΚΗ & ΦΥΤΑ



## ΥΔΡΟΘΕΡΜΙΚΗ ΥΓΡΟΠΟΙΗΣΗ

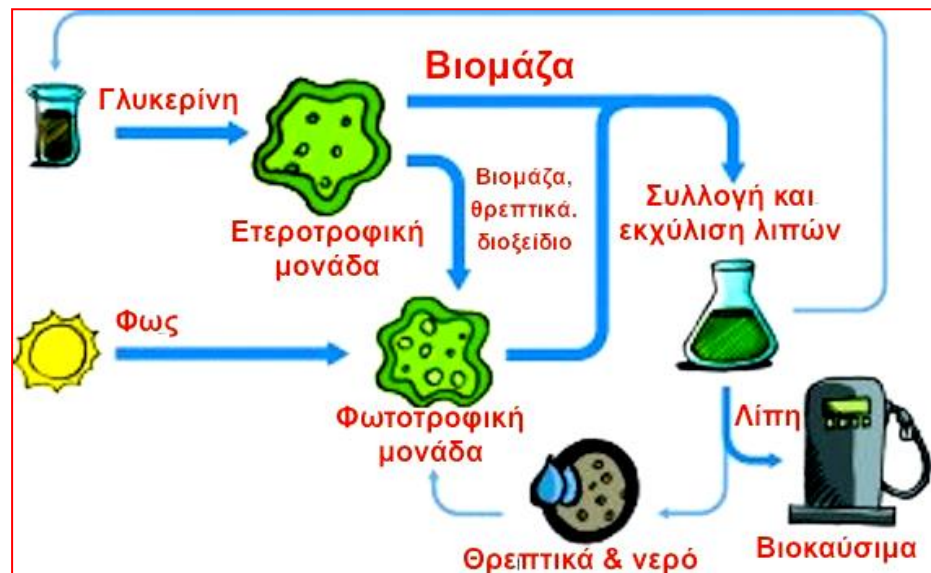
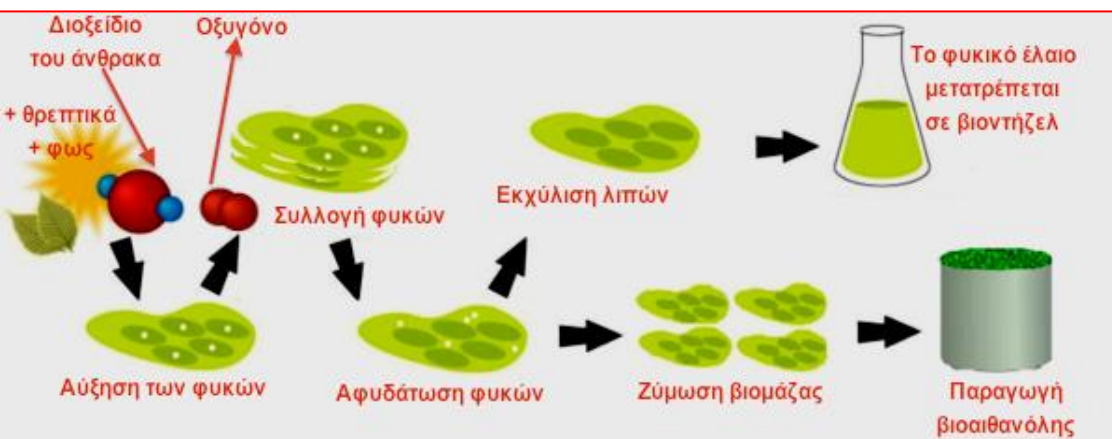


Τα **φύκη** κατά την επεξεργασία τους για να λάβουμε χρήσιμα προϊόντα (π.χ. σάκχαρα) είναι πιο ευκολόχρηστα από τα φυτά επειδή περιέχουν **μόνο κυτταρίνη** που υδρολύεται εύκολα ενώ τα **φυτά** περιέχουν και μεγάλα ποσά της **δυσκολοδιάσπαστης λιγνίνης**. Συμφέρουν λοιπόν επειδή αξιοποιείται όλο το κύτταρό τους χωρίς να περιέχουν σκληρά μέρη όπως ξύλο, βλαστοί, ρίζες που έχουν τα φυτά. Επιπλέον είναι και **πλούσια σε λίπη**. **Αιθανόλη** από άμυλο και κυτταρίνη και **υδρογονάνθρακες** από λίπη αποτελούν τα βιοκαύσιμα.

# Φύκη – Τεχνολογικές Εφαρμογές

## Ενδεικτικές σχηματοποιήσεις της αξιοποίησης του ενεργειακού περιεχομένου των μικροφυκών

Τα βιοκαύσιμα έχουν την ίδια ποικιλία εφαρμογών με τα ορυκτά καύσιμα







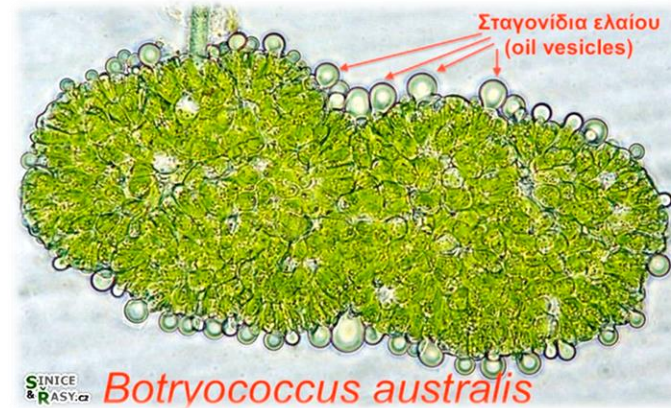
# Φύκη – Τεχνολογικές Εφαρμογές

Τα φύκη δημιούργησαν διά της απολιθοποίησης μεγάλο μέρος των ορυκτών καυσίμων – Χαρακτηριστικά παραδείγματα



Τα **διάτομα** παράγουν μεγάλα ποσά **λιπιδίων** ως φωτοσυνθετικό αποταμιευτικό υλικό. Αυτά τα λιπίδια στα ιζήματα μετατράπηκαν σε **πετρέλαιο**.

Το γλυκέων υδάτων χλωροφύκος **Botryococcus** όχι μόνο παράγει **λιπίδια** αλλά και τα **εκκρίνει** στους μεσοκυττάριους χώρους των αποικιών του.



Σε πολλά μέρη της Γης υπάρχουν κοιτάσματα εκμεταλλεύσιμων **πετρελαϊκών σχιστολίθων (oil shales)** τα οποία προέρχονται από τους υδρογονάνθρακες του **Botryococcus**.





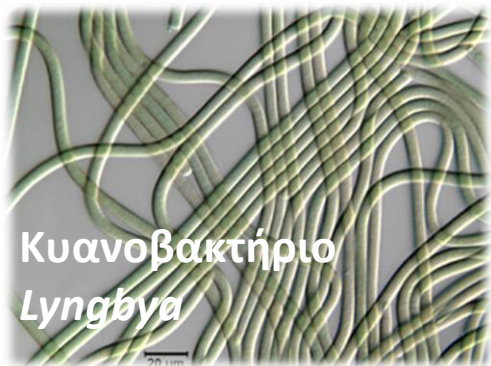
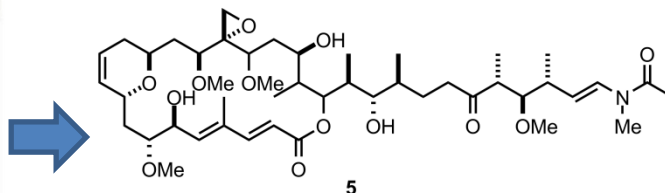
# Φύκη – Τεχνολογικές Εφαρμογές

## Παραγωγή φαρμακευτικών ενώσεων από φύκη

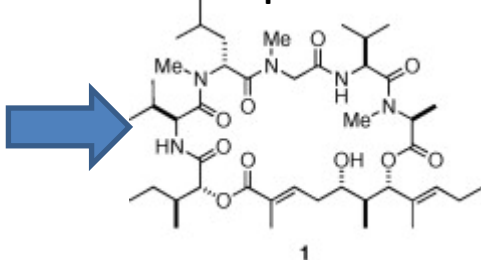
Τα φύκη έχοντας εξελιχθεί για άνω του 1 δισ. ετών έχουν αναπτύξει αμυντικά συστήματα προστασίας από βακτηριακές προσβολές. Παράγουν ποικίλες **αντιβακτηριακές** και **αντιμυκητιακές** ουσίες.



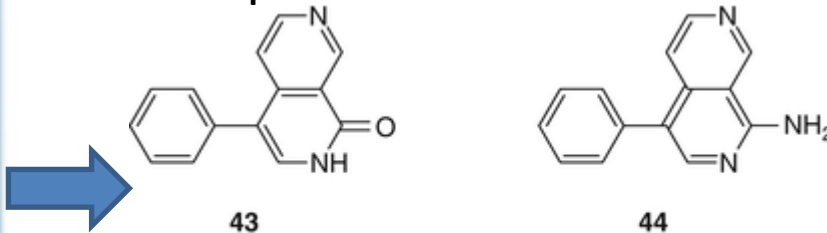
**Τολυτοξίνη (tolytoxin)**  
-αντιμυκητιακό-αντιβιοτικό



**Αουριλίδια (aurilides)**  
-αντικαρκινικά



**Λοφοκλαδίνη (lophocladine)**  
-αντικαρκινικό



Lophocladine A

Lophocladine B

Με την επιστημονική έρευνα ελέγχεται η παραγωγή και δραστηριότητα διαφόρων ουσιών που παράγονται από καλλιέργειες ποικίλων ειδών φυκών.

Πολλές από τις ουσίες αυτές έχουν θεραπευτικές ιδιότητες για ποικίλες ασθένειες και το πεδίο αυτό αποτελεί από τα πιο σημαντικά στην εκμετάλλευση των φυκών.

# Φύκη – Τεχνολογικές Εφαρμογές

## Τα φύκη ως εργαλεία απορρύπανσης των νερών

Ακόμα και με τα πιο προωθημένα συστήματα απορρύπανσης των νερών στους βιολογικούς καθαρισμούς είτε αστικών είτε αγροτοβιομηχανικών λυμάτων, το νερό εξακολουθεί να έχει αρκετή ποσότητα θρεπτικών ουσιών που συντελούν στον ευτροφισμό των φυσικών νερών.

Τα **φύκη** μπορούν να **απορροφήσουν** αυτά τα θρεπτικά και κατόπιν να απομακρύνονται περιοδικώς γινόμενα **λίπασμα** για αγροτο-καλλιέργειες.

Το πρόβλημα έγκειται στη «στερέωση» των κατάλληλων φυκών σε υπόστρωμα και έτσι έχουν εξελιχθεί συστήματα «**λειμώνων φυκών**» (algal turfs). Τα φυτοπλαγκτονικά φύκη δεν προσφέρονται για τέτοιου είδους κατασκευές.



Περίσσεια μάζας  
φυκών που  
απομακρύνεται



Νερό βιολογικού  
καθαρισμού που διέρχεται  
από λειμώνες φυκών



# Φύκη – Τεχνολογικές Εφαρμογές

## Τα φύκη στο εξωπλανητικό μέλλον

Από πειράματα καλλιέργειας φυκών στους διαστημικούς σταθμούς Salyut και Mir αποδείχθηκε η αντοχή τους στο διάστημα. Η έρευνα στρέφεται στην αξιοποίηση των φυκών σε συστήματα υποστήριξης της ζωής των αστροναυτών. Τα ανθρώπινα απόβλητα ( $\text{CO}_2$ -λύματα) μπορούν να αποικοδομούνται από τα φύκη και συνάμα να παράγεται οξυγόνο.

Σε πειράματα σε τεράστιους πειραματικούς χώρους «Βιόσφαιρας» (Biosphere) τα φύκη επιτέλεσαν το ρόλο τους. Η «γαιοποίηση» του πλανήτη Αρη στο μέλλον θα ξεκινήσει με «σπορά» φυκών για να παράγουν οξυγόνο.



Δεξαμενή φυκών μέσα στη βιόσφαιρα



Διαστημ. Σταθμός Mir



Φαντασική απεικόνιση του Αρη

Βιόσφαιρα, πανοραμική κάτοψη

# Φύκη – Τεχνολογικές Εφαρμογές

## ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΜΙΚΡΟΦΥΚΩΝ

### Ταχύτητα αύξησης

2-10 φορές περισσότερο από τα φυτά. Σε αντίθεση με τα φυτά όλα τα κύτταρα των μικροφυκών φωτοσυνθέτουν. Μεγάλη φωτοσυνθετική αποδοτικότητα. Διπλασιάζουν τη βιομάζα τους σε 6-12 ώρες.

### Υψηλή περιεκτικότητα σε λιπίδια

40-50 % κυτταρικό περιεχόμενο σε ουδέτερα λίπη.

### Ολη η βιομάζα τους συλλέγεται

100 %

### Μεσοδιάστημα μεταξύ συγκομιδών

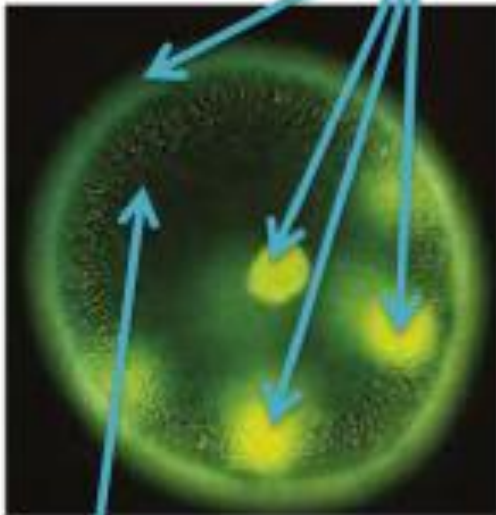
Δεν υπάρχει πρακτικώς, 24/7 διαθεσιμότητα, δεν υπάρχει εποχικότητα, συνεπώς λιγότερος κίνδυνος αστοχίας.

### Διατηρησιμότητα

Απόλυτα οικολογική λειτουργία. Συλλέγουν το CO<sub>2</sub> της ατμόσφαιρας που διαλύεται στο νερό ακόμα και ως διτανθρακικά (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>). Μπορούν και ανακυκλώνουν τα θρεπτικά των εύτροφων ρυπασμένων νερών. Η καλλιέργεια των φυκών δεν ανταγωνίζεται τις αγροκαλλιέργειες.

4-50%

**Λιπίδια**



50-90%

**Άλλες χρήσιμες ενώσεις  
(πρωτεΐνες-σάκχαρα, κ.λπ.)**



# Φύκη – Τεχνολογικές Εφαρμογές

## Παραγωγή αντιοξειδωτικών ουσιών από φύκη

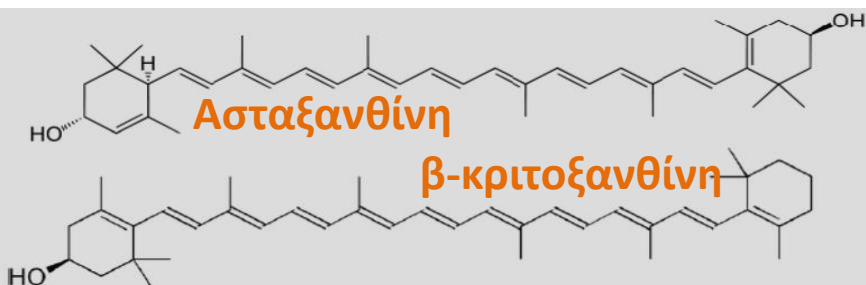
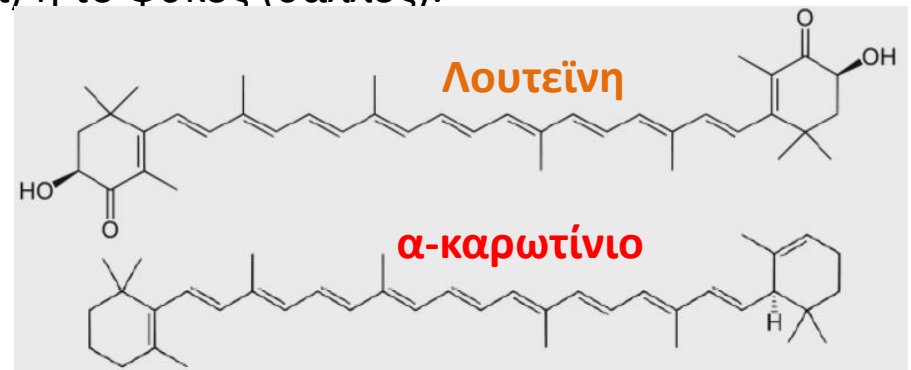
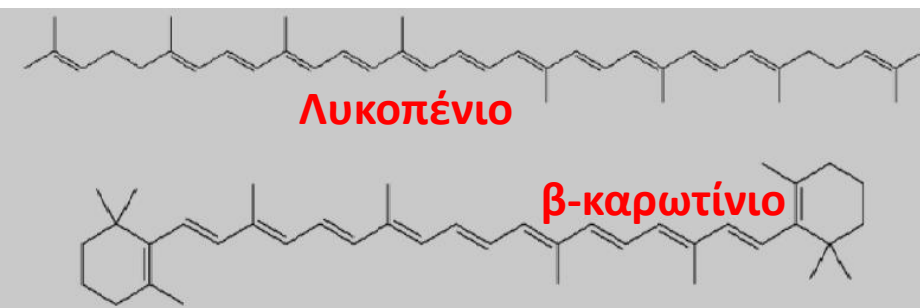
Η εξουδετέρωση των επικίνδυνων ελευθέρων ριζών (free radicals) στον οργανισμό επιτυγχάνεται με **αντιοξειδωτικές** ουσίες.

Η καλλίτερη πηγή αντιοξειδωτικών είναι τα **καρωτινοειδή**. Πρόκειται για λιποδιαλυτές ουσίες-μακρομόρια υδρογονανθράκων οι οποίες παράγονται από φύκη και φυτά και επιτελούν ως χρωστικές ποικίλες λειτουργίες (ενίσχυση της φωτοσύνθεσης, φωτοπροστασία, κ.ά.).

Τα καρωτινοειδή διακρίνονται σε αυτά που αποτελούνται μόνο από άνθρακα και υδρογόνο (**καρωτίνη**) και σε αυτά που περιέχουν και οξυγόνο (**ξανθοφύλλες**).

Είναι υδρόφοβες (κυρίως τα καρωτίνη και το λυκοπένιο) λιποδιαλυτές **χρωστικές** και γι' αυτό «μετακομίζουν» και δρουν στο εσωτερικό των μεμβρανών του κυττάρου.

Τα καρωτινοειδή έχουν ποικίλο **χρώμα** από κίτρινο έως κόκκινο και είναι αυτά που δίδουν τον εκάστοτε χρωματισμό στο φυτό (φύλλα, καρποί) ή το φύκος (θαλλός).



# Φύκη – Τεχνολογικές Εφαρμογές

## Παραγωγή υπερ-τροφών (super foods) από φύκη - Σπιρουλίνα

Η πιο εκτεταμένη παραγωγή των λεγόμενων «**υπερ-τροφών**» από φύκη είναι αυτή των καλλιεργειών του ελικοειδώς νηματοειδούς **κυανοβακτηρίου *Spirulina* (*Arthrospira*)**. Η εκρηκτική αύξηση της κατανάλωσής της ανά τον κόσμο υπό μορφή σκόνης ή χαπιών, αντανακλά τα οφέλη που αποδεδειγμένα προσφέρει στον οργανισμό.

Η σπιρουλίνα είναι **πλούσια** σε **πρωτεΐνες** (>50% του ξ.β.) με εξαιρετική περιεκτικότητα σε απαραίτητα αμινοξέα (π.χ. τρυπτοφάνη), **πολυακόρεστα λιπαρά οξέα**, **βιταμίνες** (Α, Ε, ινοσιτόλη, φολικό, συμπλέγματος Β και ιδιαίτερα **B<sub>12</sub>**), **αντιοξειδωτικά καρωτινοειδή**, **ξανθοφύλλες** και **φυκοκυανίνη** κ.ά. Και όλα αυτά σε συνδυασμό με την ελάχιστη ποσότητα νουκλεϊκών οξέων (<4%) τα οποία μεταβολιζόμενα δημιουργούν ουρικό οξύ.

Η καλλιέργειά της αποδίδει τα μέγιστα σε **υψηλές θερμοκρασίες 25-30 °C** και **αλκαλικό pH (8,5-10)**.



Οι νηματοειδείς σπειροειδείς θαλλοί της *Spirulina*



Μάζα *Spirulina* στην επιφάνεια της δεξαμενής



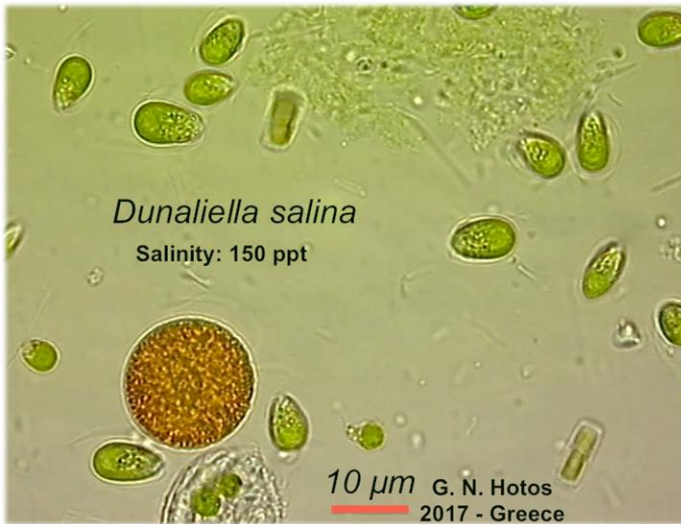
Εμπορεύσιμη αποξηραμένη *Spirulina* ως σκόνη ή χάπια



# Φύκη – Τεχνολογικές Εφαρμογές

## *Dunaliella salina* – η πιο πυκνή «υπερ-τροφή» στη Γη

Το αλοανθεκτικό χλωροφύκος *Dunaliella salina* μπορεί να αναπτύσσεται πυκνά σε αλατότητες (150-300 ppt) που κανένα άλλο είδος (εκτός της *Asteromonas gracilis*) δεν μπορεί.



Το κύτταρό της ως αντίδραση στην υψηλή αλατότητα παράγει υψηλότερες ποσότητες **καρωτινοειδών** που της προσδίδουν εξαιρετική **αντιοξειδωτική** ικανότητα ως **υπερ-τροφή**. Αυτό μαζί με την υπερπαραγωγή της σε **βιταμίνες, πολυακόρεστα λιπαρά, ιχνοστοιχεία, απαραίτητα αμινοξέα, πολυσακχαρίτες, κ.ά.** την έχουν καταστήσει ως μικροφύκος **εντατικής καλλιέργειας**.



# Φύκη – Τεχνολογικές Εφαρμογές

## Η πολύτιμη φυκοκυανίνη από τα κυανοβακτήρια



Η **φυκοκυανίνη** αποτελεί μια πολύτιμη εκμεταλλεύσιμο φυσική χρωστική που παράγεται από καλλιεργούμενα **κυανοβακτήρια** (π.χ. *Spirulina*).

Όλο και πιο έντονα η βιομηχανία εκχυλίζει από τα κυανοβακτήρια **φυκοκυανίνη** και την εμπορεύεται για ποικίλες χρήσεις.

Θεωρείται ισχυρό αντιοξειδωτικό και αντικαρκινικό και η καλύτερη **φυσική μπλε χρωστική** (π.χ. για παγωτά, ζαχαρωτά, κ.λπ.).