



Τομέας Οικολογίας & Ταξινομικής
Τμήμα Βιολογίας, ΕΚΠΑ

Βιοτεχνολογικές εφαρμογές φυκών για το περιβάλλον

Μάιος 2025

Δρ. Ιωάννα Λούβρου

Χρώματα βιοτεχνολογίας με βάση τα φύκη

για το
περιβάλλον

Red	Health, Medical, Diagnostics
Yellow	Food Biotechnology, Nutrition Science
Blue	Aquaculture, Coastal and Marine Biotech
Green	Agricultural, Environmental Biotechnology – Biofuels, Biofertilizers, Bioremediation, Geomicrobiology
Brown	Arid Zone and Desert Biotechnology
Dark	Bioterrorism, Biowarfare, Biocrimes, Anticrop warfare
Purple	Patents, Publications, Inventions, IPRs
White	Βιομηχανική Βιο-διυλιστήριο
Gold	Bioinformatics, Nanobiotechnology
Grey	Classical Fermentation and Bioprocess Technology

Gutierrez A 2010.

The protection of maize under the Mexican biosafety law: environment and trade. 10.17875/gup2010-186.



RED BIOTECHNOLOGY



GREEN BIOTECHNOLOGY



WHITE BIOTECHNOLOGY



YELLOW BIOTECHNOLOGY



BROWN BIOTECHNOLOGY



GOLD BIOTECHNOLOGY



BLUE BIOTECHNOLOGY



VIOLET BIOTECHNOLOGY



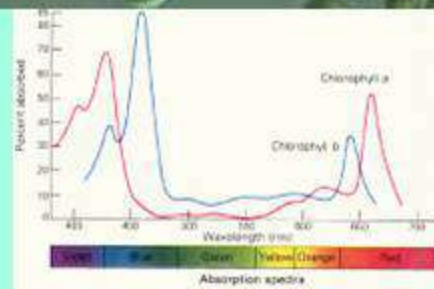
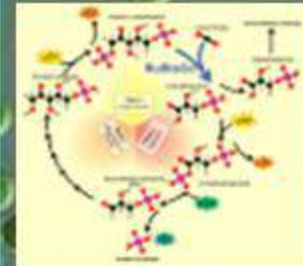
GREY BIOTECHNOLOGY



DARK BIOTECHNOLOGY

Τεχνολογίες - Εργαλεία

- Συλλογές, κέντρα βιολογικών πόρων
(= biological resource / bioresource centers).
- ✓ Έρευνα - φύκη ως πειραματόφυτα
(π.χ. *Acetabularia* → mRNA (από 1934-1950, 1961-62)
Chlorella → κύκλος Calvin (1950),
Chlamydomonas reinhardtii →
αντίληψη μηχανικού ερεθίσματος (ήχος, άγγιγμα ή βαρύτητα),
ένζυμο σχετικό με μήκος & ανάπτυξη μαστιγίων,
φωτοσυνθετικές χρωστικές, φωτοδέκτης,
μεταβολισμός ιχνοστοιχείων κ.α.).
- ✓ Γενετική μηχανική
Φύκη που έχουν τροποποιηθεί γενετικά:
 - *Synechococcus* & *Synechocystis*,
 - *Cyclotella cryptica*, *Navicula saprophila*
& *Phaeodactylum tricornutum*,
 - *Saccharina japonica*,
 - *Chlamydomonas*, *Volvox*, *Dunaliella* & *Chlorella*.
- ✓ Γονιδιωματική (γενωμική) φυκών.
- ✓ Πρωτεομική φυκών.



Τεχνολογίες - Εργαλεία

Διατήρηση βιοποικιλότητας 'in vitro'

Καλλιέργειες - Συλλογές μικροφυκών

- μικροί χρόνοι γενεάς → ταχεία αύξηση,
- εύκολη καλλιέργεια σε εργαστηριακές συνθήκες.

Διατήρηση εκατοντάδων ειδών φυκών ως εργαστηριακά αποθέματα και με διαθέσιμες **πληροφορίες**

- συνθήκες ανάπτυξης
- σύσταση των θρεπτικών μέσων
- άλλες χρήσιμες πληροφορίες.

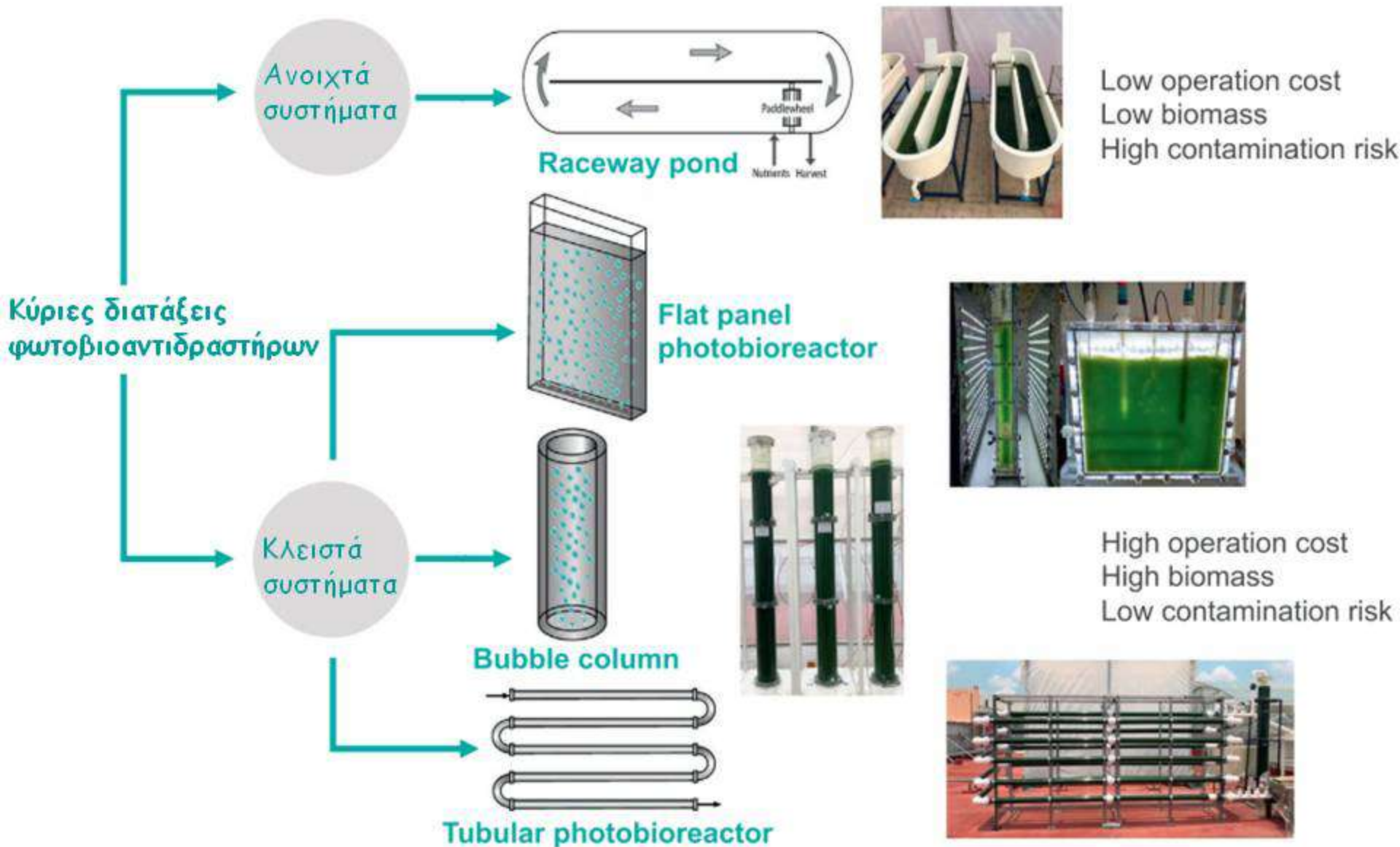
Σε **ερευνητικές** εργασίες,

οι επιστήμονες παραθέτουν **πληροφορίες** για τα χρησιμοποιηθέντα στελέχη, τις συνθήκες ανάπτυξης τους στις καλλιέργειες κ.α.

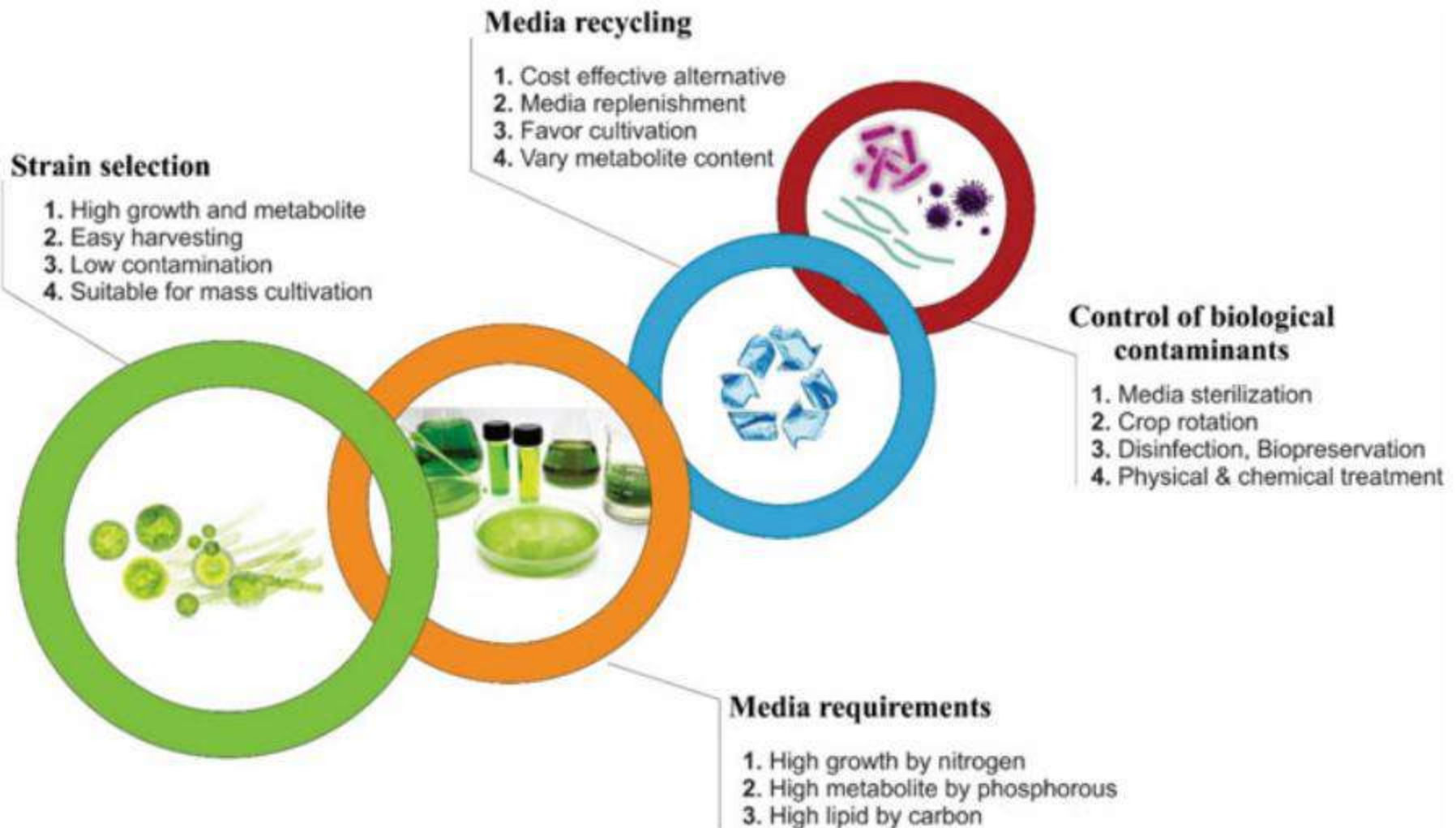
➤ **Βιοασφάλεια** (Biosecurity/ Biosafety)

(= αποφυγή εισόδου **αλλόχθονων** ή **μεταλλαγμένων** taxa ή παράσιτων ή παθογόνων παραγόντων).

Κύριες διατάξεις φωτοβιοαντιδραστήρων για καλλιέργειες μικροφυκών



Κρίσιμα στάδια της τεχνολογίας των καλλιεργειών των φυκών

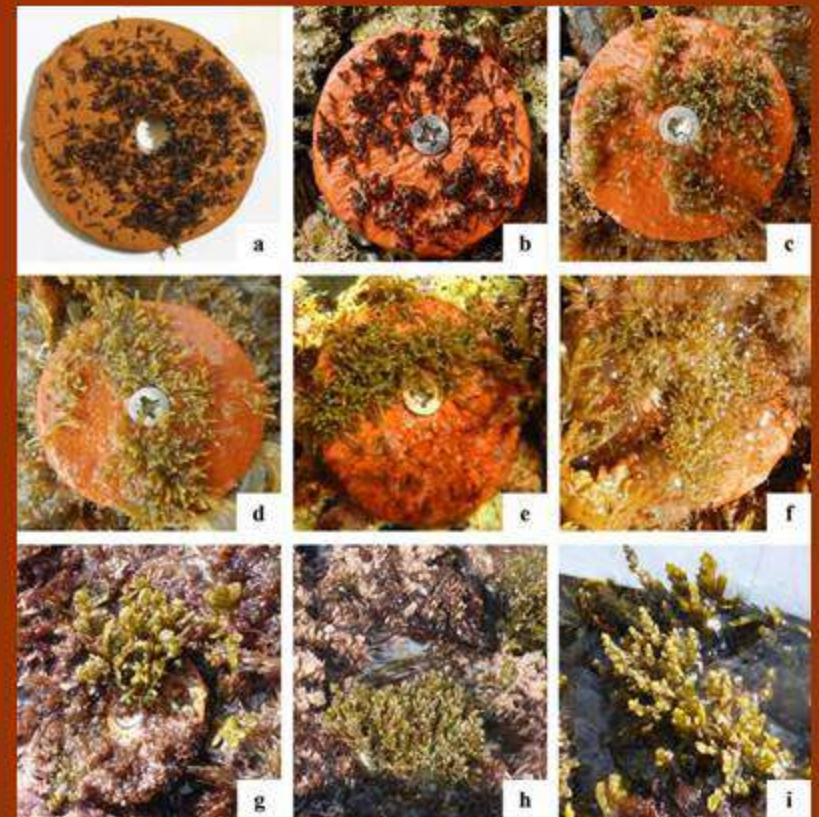




Καλλιέργειες μακροφυκών

- Χρήση σπορίων / βλαστικών μερών.
- Μεταφύτευση αρτιβλάστων / ατόμων μετά από καλλιέργεια in vitro.
- Χρήση τεχνητών υποστρωμάτων.

Falace et al. 2018. Ex situ cultivation protocol for *Cystoseira amentacea* var. *stricta* (Fucales, Phaeophyceae) from a restoration perspective. PLoS One. 2018 Feb 15;13(2):e0193011. doi:10.1371/journal.pone.0193011. PMID: 29447238; PMCID: PMC5813978.



De La Fuente et al. 2019. First ex situ outplanting of the habitat-forming seaweed *Cystoseira amentacea* var. *stricta* from a restoration perspective. PeerJ, 7: e7290.

Καλλιέργειες μακροφυκών



Ελευσίνα, 26-3-2023

Η σημασία των φυκών σε φυσικά & τεχνητά συστήματα

Αξιοποίηση των οικοσυστημικών υπηρεσιών των φυκών σε φυσικά & τεχνητά συστήματα

Οικοσυστημικές υπηρεσίες (→ τα οφέλη που αποκομίζουν οι ανθρώπινοι πληθυσμοί, άμεσα ή έμμεσα, από τις λειτουργίες του οικοσυστήματος *Costanza et al. 1997*).



- Υπηρεσίες**
- φυσικών οικοσυστημάτων (π.χ. φυσικές κοινότητες φυκών, φυκοκοινότητες).
 - τεχνητών οικοσυστημάτων (π.χ. καλλιέργειες φυκών και γενικά συστήματα που έχουν προκύψει με οικολογικό σχεδιασμό).

Οι υπηρεσίες (αποκατάσταση ποιότητας υδάτων, μετριασμός επιπτώσεων κλιματικής κρίσης κ.α.) από τα **τεχνητά** συστήματα είναι **μικρότερης κλίμακας** και **προστίθενται** στις αντίστοιχες υπηρεσίες που προσφέρουν τα **φυσικά** συστήματα.

➤ Τα φύκη συμμετέχουν σε **παγκόσμιους βιογεωχημικούς κύκλους**.

Φύκη & Περιβάλλον

- φωτοσύνθεση (δέσμευση CO_2 , παραγωγή O_2 και οργανικών ενώσεων),
- αντλία άνθρακα,
- πρόσληψη θρεπτικών
(περιορισμός ευτροφισμού, βιοεξυγίανση, επεξεργασία & ανακύκλωση λυμάτων κλπ),
- ορισμένα αποτελούν θεμελιώδεις οργανισμούς
για συγκεκριμένα οικοσυστήματα,
- αζωτοδέσμευση (δέσμευση N_2),
- μέσω της αποικοδόμησης τους → βιολίπασμα κ.α.,
- βάση τροφικών πλεγμάτων → τροφή για ανώτερα τροφικά επίπεδα,
- βιοπαρακολούθηση,
- σύνθεση & παραγωγή διαφόρων ουσιών
(βιομάζας, πρόσθετων διατροφής, πηκτικών, φαρμακευτικών ουσιών κ.α.).

Φύκη & Περιβάλλον

- φωτοσύνθεση (δέσμευση CO_2 , παραγωγή O_2 και οργανικών ενώσεων),
- αντλία άνθρακα

Δέσμευση & Βιολογική αντλία C

Μικροφύκη



Το φυτοπλαγκτό στη δέσμευση του C

προκλήσεις που πρέπει να ξεπεραστούν:

- συχνά η αύξηση του ΦΠ **επηρεάζεται αρνητικά** από την αύξηση του CO_2 (Watanabe *et al.* 1992, Lee & Lee 2003).
επιλογή στελεχών που μπορούν να αντιμετωπίσουν **υψηλές συγκεντρώσεις CO_2** .
30% - 70% κορεσμού (Hanagata *et al.* 1992, Iwasaki *et al.* 1998 Sung *et al.* 1999).
 - **έλεγχος των μεταβολών του pH** → αύξηση της ανάπτυξης ακόμη και 100% του CO_2 (Olaizola 2003),
- **επίτευξη θερμικής σταθερότητας**
τα αέρια που διοχετεύονται εντός των καλλιεργειών επηρεάζουν συχνά τη θερμοκρασία (Ono & Cuello 2007).

Πολλές βιομηχανίες που εκλύουν CO_2 , συμπεριλαμβανομένων των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής, βρίσκονται σε **παράκτιες περιοχές**.

- **χρήση θαλασσινού νερού** ως μέσο ανάπτυξης,
ώστε να μειωθεί το κόστος συντήρησης της καλλιέργειας φυτοπλαγκτού.

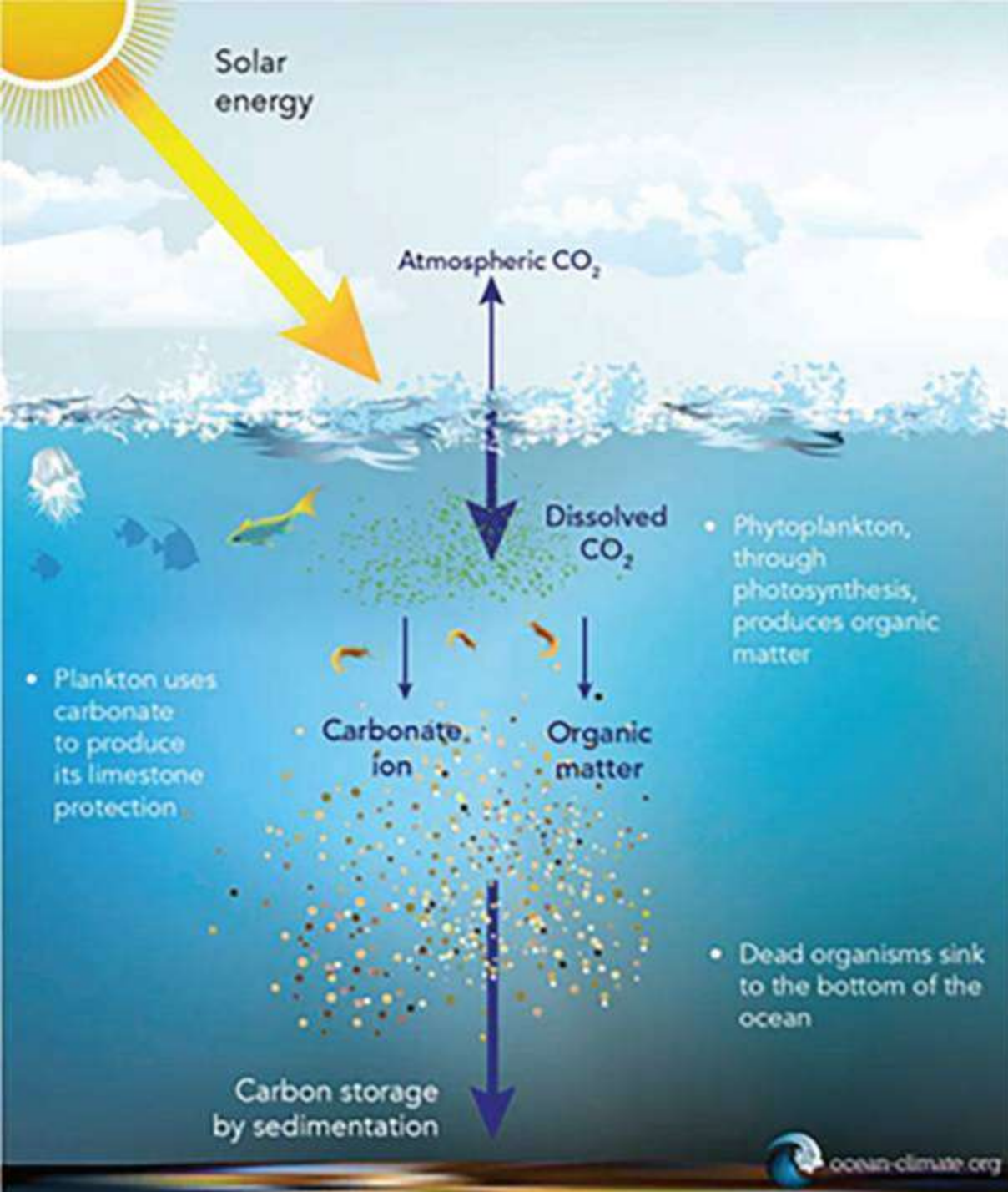
Το φυτοπλαγκτό στη δέσμευση του C

Ορισμένα είδη θαλάσσιου φυτοπλαγκτού που έχουν δοκιμαστεί είναι τα:

- *Tetraselmis* sp. ((Laws and Berning 1991, Matsumoto *et al.* 1995),
- *Synechococcus* sp. (Takano *et al.* 1992),
- *Chlorococcum littorale* (Pesheva *et al.* 1994),
- *Chlamydomonas* sp. (Miura *et al.* 1993),
- *Nannochloropsis salina* (Matsumoto *et al.* 1995; Matsumoto *et al.* 1996), και
- *Phaeodactylum tricornutum* (Matsumoto *et al.* 1995).

Αποτελεσματικότητα δέσμευσης άνθρακα ορισμένων ειδών

Ταχα μικροφυκών	Μέγιστη [CO ₂]	Βιβλιογραφία
<i>Cyanidium caldarium</i>	100%	Seckbach <i>et al.</i> 1971
<i>Scenedesmus</i> sp.	80%	Hanagata <i>et al.</i> 1992
<i>Chlorococcum littorale</i>	60%	Kodama <i>et al.</i> 1993
<i>Euglena gracilis</i>	45%	Nakano <i>et al.</i> 1996
<i>Chlorella</i> sp.	40%	Hanagata <i>et al.</i> 1992
<i>Dunaliella tertiolecta</i>	15%	Nagase <i>et al.</i> 1998
<i>Nannochloris</i> sp.	15%	Yoshihara <i>et al.</i> 1996
<i>Tetraselmis</i> sp.	14%	Matsumoto <i>et al.</i> 1995



Βιολογική αντλία άνθρακα στους ωκεανούς

Πηγή:
Ocean and Climate Platform
(2020)



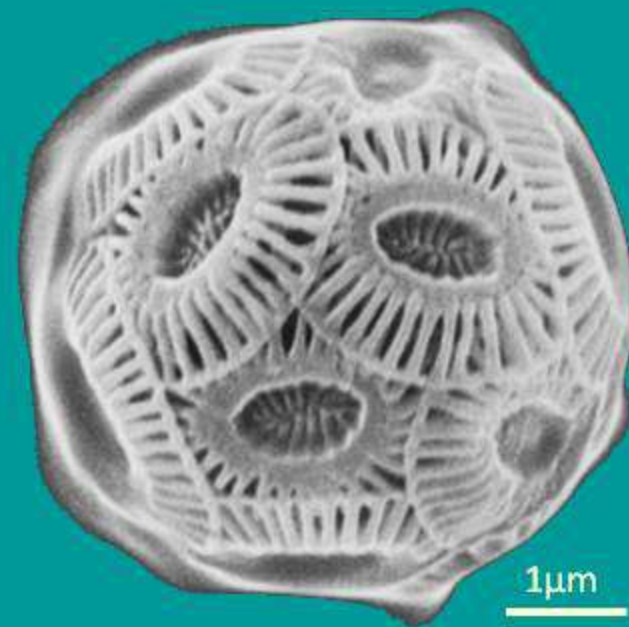
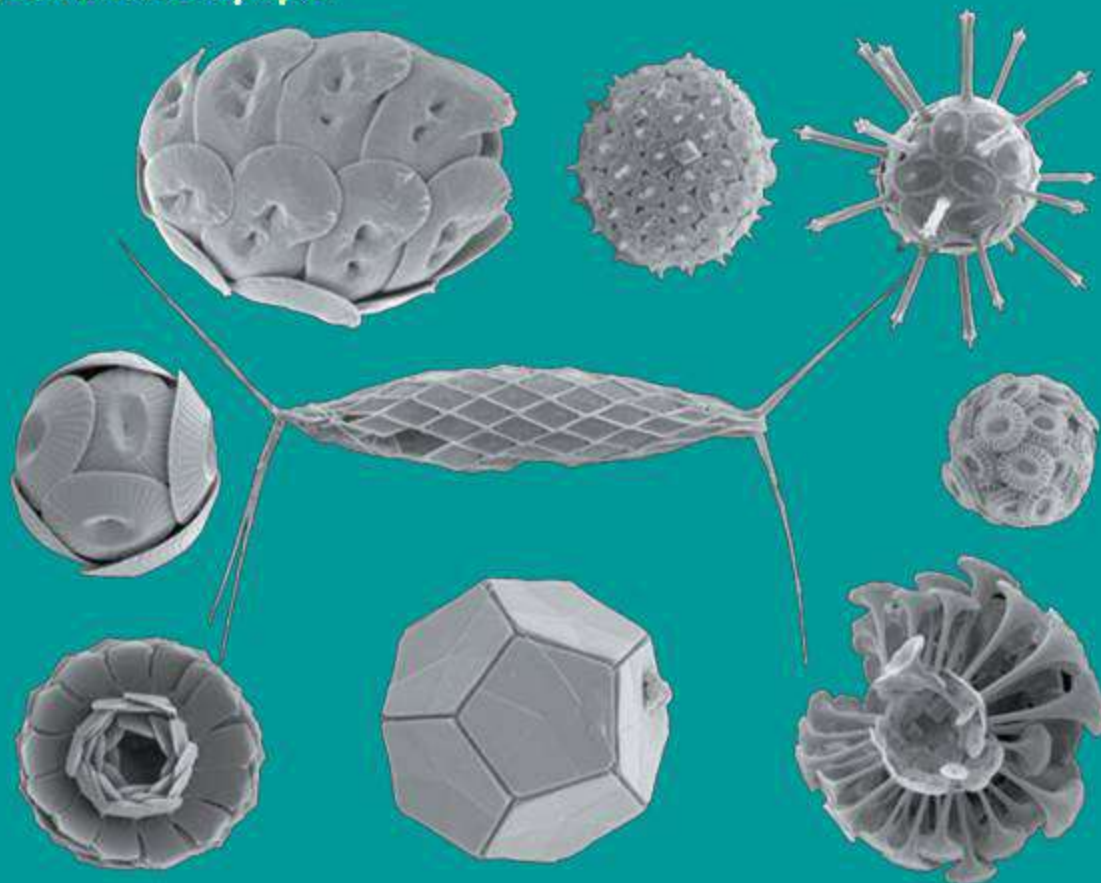
2 μm

Παγκόσμιο Κλίμα

Δέσμευση του C - Βιολογική αντλία

Ενασβεστωμένες φολίδες (οργανικός C & $\text{CaCO}_3 \downarrow$) καθιζάνουν στα ιζήματα
 → συγκράτηση C για μεγάλες περιόδους

Κοκκολιθοφόρα



Emiliania huxleyi.

Το πιο κοινό απόφυτο
 σε όλους τους ωκεανούς.
 Ανθίσεις νερού: 1000άδες km^2 ,
 ειδικά σε μεσαία γεωγραφικά πλάτη.

Λευκοί βράχοι του Ντόβερ, Ηνωμένο Βασίλειο (White Cliffs of Dover)
Emiliana huxleyi



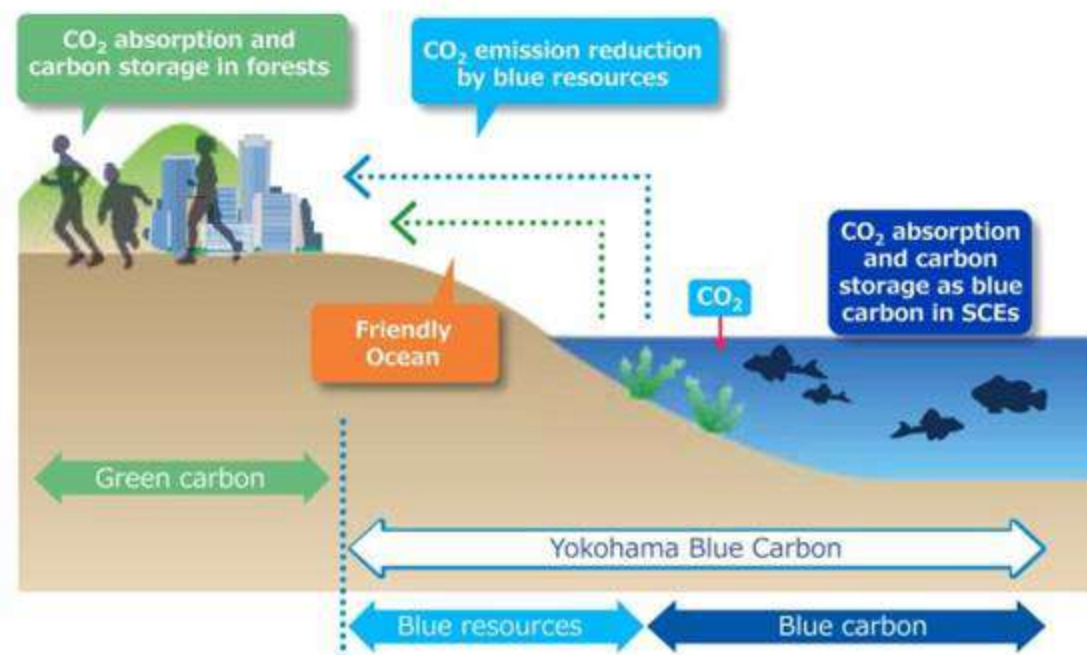
Μακροφύκη

Δέσμευση & Βιολογική αντλία C

Macrocystis sp.

Το πλαίσιο της μελέτης Yokohama Blue Carbon

Μπλε άνθρακας (“blue carbon”) =
Ο άνθρακας που δεσμεύεται από θαλάσσιους οργανισμούς.



Friendly Ocean

Citizen collaboration in ocean development, environmental education, and environmental awareness



Blue resources

CO₂ emission reduction by utilizing abundant marine resources such as energy, food, and biomass



Blue carbon

CO₂ taken up from the atmosphere by shallow coastal ecosystems (SCEs)

Στον ωκεανό αποθηκεύονται τεράστιες ποσότητες CO₂.

Στα ιζήματα ο C μπορεί να παραμένει μη διαλυτός και χωρίς να έχει αποσυντεθεί για μεγάλα διαστήματα (πολλές εκατοντάδες χρόνια). Τυπικά αβαθή παράκτια οικοσυστήματα περιλαμβάνουν:

Μαγκρόβια δάση, παράκτια έλη και εκβολές, δάση αγγειοσπέρμων και δάση μακροφυκών καλούνται συχνά οικοσυστήματα μπλε άνθρακα “blue carbon ecosystems”.



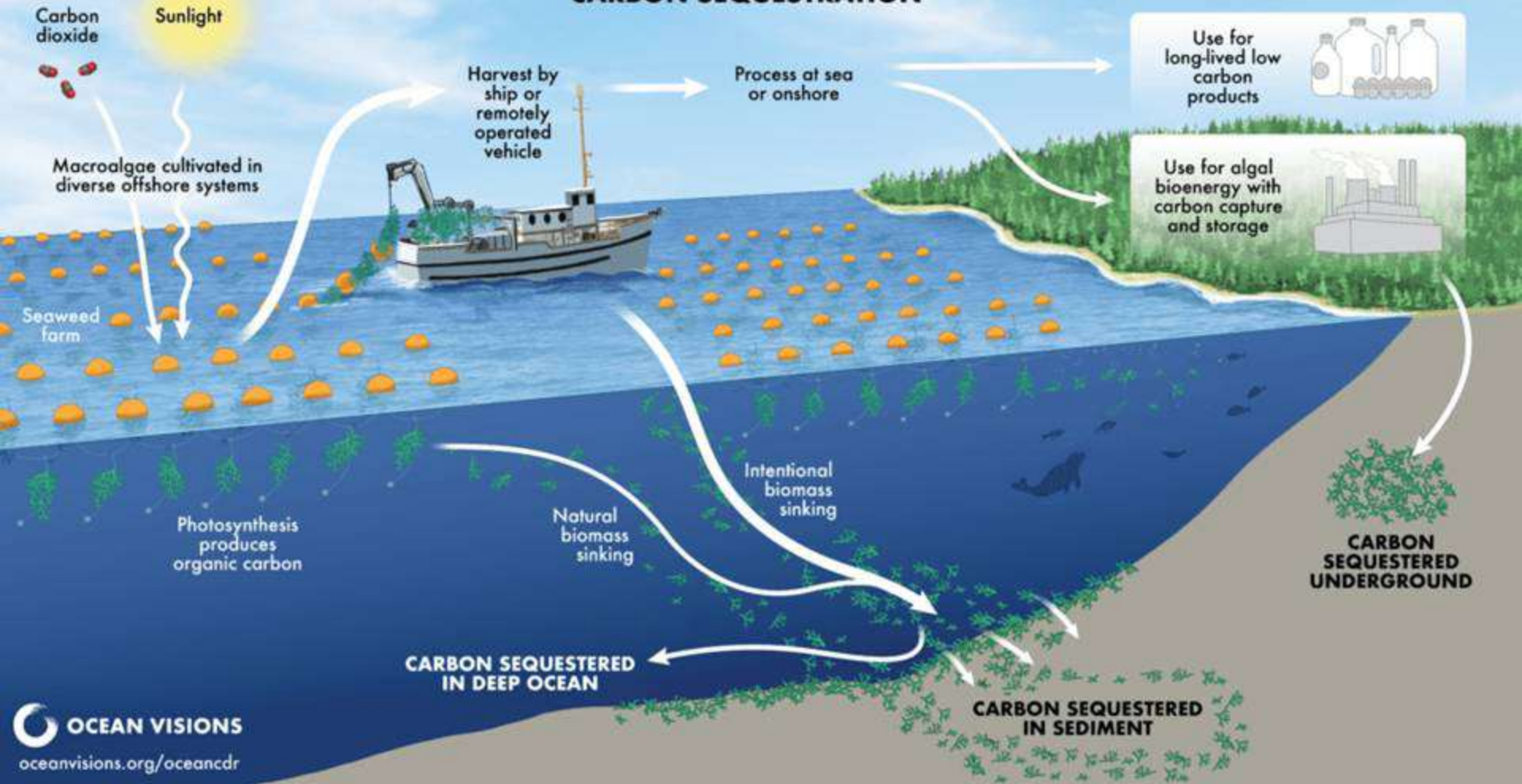
Κέρκυρα, Αύγουστος 2022

Sargassum sp.

Νησί Gorée,
Σενεγάλη
Ιούλης 2021



MACROALGAE CULTIVATION AND CARBON SEQUESTRATION





<https://images.squarespace-cdn.com/content/v1/5b28d6dcf79392c249d39df1/ab3392d7-9d4c-4ea1-b17d-653efe28dfff/website.jpg>



https://www.seafoodnutrition.org/wp-content/uploads/2021/04/Kelp_A5F-Cosby-Ighres-10-of-12-3-810x608.jpg

Μακροφύκη

Δέσμευση & Βιολογική αντλία C

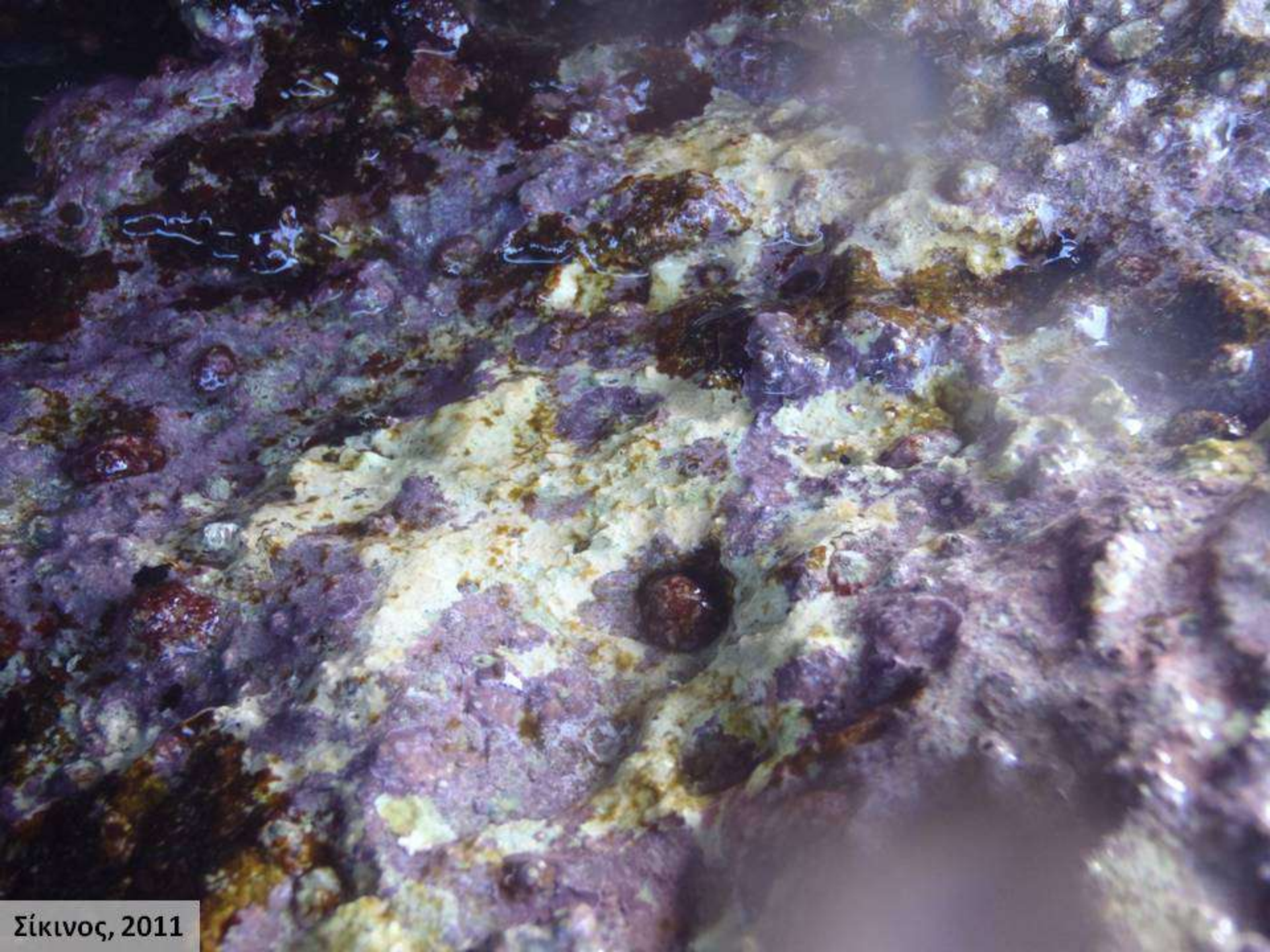


Ορεινή Ναυπακτία, 2017

Titanoderma trochanter



Φολέγανδρος, 2011



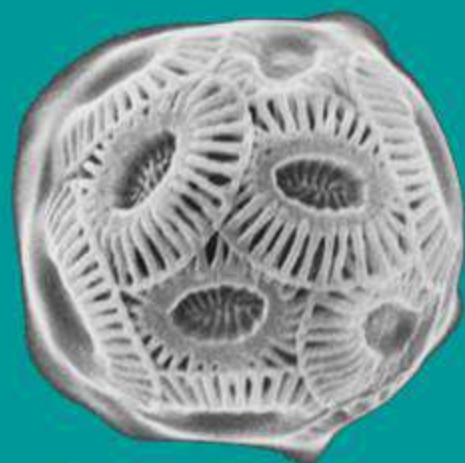
Επίδραση κλιματικής κρίσης

- **Αύξηση της θερμοκρασίας**

Δυσκολία προσαρμογής των μακροφυκών στην **απότομη** θερμοκρασιακή αύξηση.
Πρόβλεψη: αντικατάσταση δασών από θυσανοειδείς αναπτύξεις μακροφυκών (turfs).

- **Οξίνιση ωκεανών, αύξηση DCO_2**

- Ελάττωση ενασβεστώσεως στα ενασβεστωμένα μακρο- και μικρο- φύκη.
- Συρίκνωση και εξαφάνιση δασών μακρόφυτων.



1μm

Το πιο κοινό απτόφυτο σε όλους τους ωκεανούς.
Ανθίσσεις νερού: 1000άδες km^2 ,
ειδικά σε μεσαία γεωγραφικά πλάτη.

Emiliana huxleyi, κοκκολιθοφόρο.

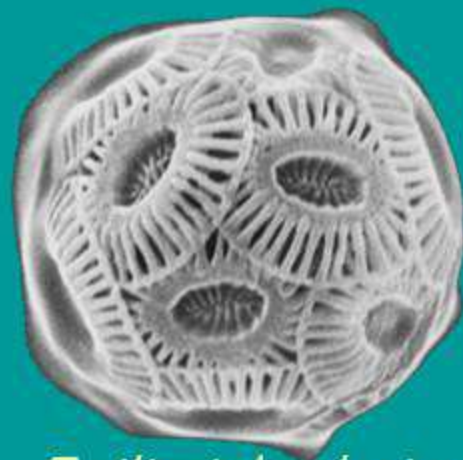
Επίδραση κλιματικής κρίσης

Για τα κοκκολιθοφόρα υπάρχουν αντικρουόμενα αποτελέσματα γιατί

- η **διάρκεια** των πειραμάτων αποκλείει την εξελικτική προσαρμογή στις μεταβαλλόμενες συνθήκες
- τα πειράματα γίνονται σε **ένα μόνο** στέλεχος και όχι σε πολλά που συνυπάρχουν όπως γίνεται στη φύση

“Coccolithophore cell abundance drastically decreased under OW and combined OA and OW (greenhouse, GH) conditions. *Emiliania huxleyi* **calcite mass decreased** consistently only in the GH treatment; moreover, **anomalous calcifications** (i.e. coccolith **malformations**) were particularly common in the perturbed treatments, especially under OA. Overall, these data suggest that the projected increase in sea surface temperatures, including marine heatwaves, will cause **rapid changes in Eastern Mediterranean coccolithophore communities, and that these effects will be exacerbated by OA.**”.

D’Amario *et al.* **2020**. Coccolithophore community response to ocean acidification and warming in the Eastern Mediterranean Sea: results from a mesocosm experiment. *Sci Rep* **10**, 12637 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-69519-5>



1μm

Το πιο κοινό απτόφυτο σε όλους τους ωκεανούς.
Ανθίσσεις νερού: 1000άδες km²,
ειδικά σε μεσαία γεωγραφικά πλάτη.

Emiliania huxleyi, κοκκολιθοφόρο.

Φύκη & Περιβάλλον

- φωτοσύνθεση (δέσμευση CO_2 , παραγωγή O_2 και οργανικών ενώσεων),
- αντλία άνθρακα,
- πρόσληψη θρεπτικών
(περιορισμός ευτροφισμού, βιοεξυγίανση, επεξεργασία & ανακύκλωση λυμάτων κλπ),
- ορισμένα αποτελούν θεμελιώδεις οργανισμούς για συγκεκριμένα οικοσυστήματα,

Αποκατάσταση οικοσυστημάτων

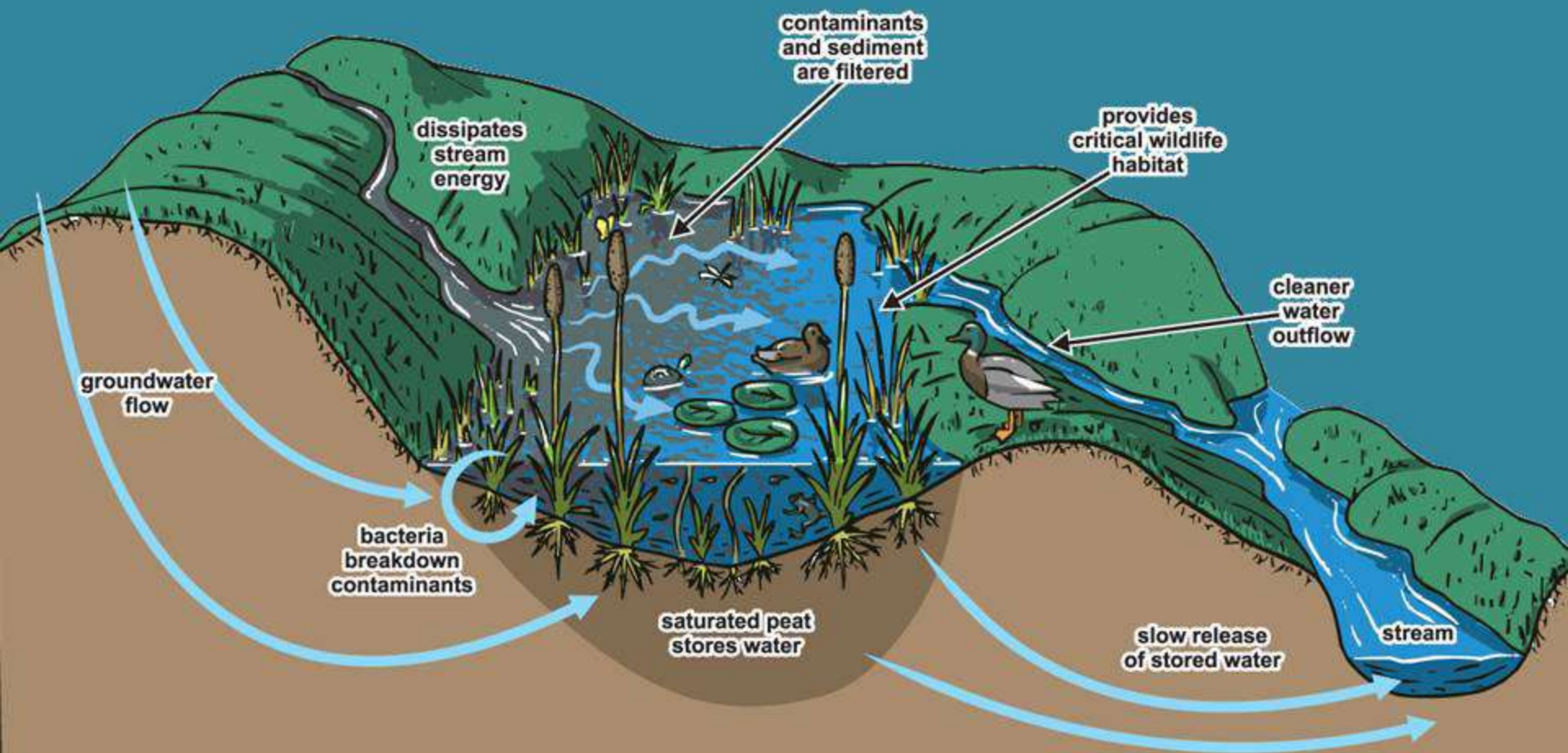
Φυσική αποκατάσταση

1. Η περιβαλλοντική βλάβη ή υποβάθμιση είναι έστω μερικώς **αναστρέψιμη**.
2. Η **οικοσυστημική επανισορροποποιητική ικανότητα** (ecosystem resilience) έχει τα όρια της και απαιτεί χρόνο.

Επιπρόσθετα βήματα (πέρα από τη φυσική αποκατάσταση)

- Αποκατάσταση της **φυσικής δομής** αν είναι απαραίτητο (περιπτώσεις έντονης ροής, μπαζώματα, τσιμέντα κ.α.).
- **Βιολογική αποκατάσταση**
 - **Βιοεξυγίανση** (πρόκαρυώτες, μύκητες, φύκη, φυτά)
 - **Βιολογική αύξηση (biological augmentation)**
Χρήση οργανισμών για να προστεθούν απαραίτητα υλικά-θρεπτικά-διεργασίες (αναπλήρωση χαμένων πόρων που περιορίζουν την αποκατάσταση, δημιουργία διαδρόμων, θέσεων για τη δυνατότητα επανεγκατάστασης ζώων κλπ.).

Υγρότοποι – τα 'νεφρά' της λεκάνης απορροής





1. Νερό από ποτάμια ή ρυάκια κατευθύνεται στον τεχνητό υγρότοπο και ταξιδεύει αργά μέσα από αρκετές μικρές λίμνες. Αυτό επιτρέπει σε μεγάλους ρύπους (π.χ. σκουπίδια) να βυθίζονται στο βυθό.
2. Το νερό φιλτράρεται από μικροοργανισμούς και φύκη που αναπτύσσονται επιφυτικά σε μακρόφυτα. Απομακρύνουν θρεπτικά συστατικά, ειδικά νιτρικά.
3. Μετά από την παραμονή του νερού για μερικές ημέρες (1-5) στον τεχνητό υγρότοπο, καθαρό νερό απελευθερώνεται και πάλι στον ποταμό ή στο ρυάκι και η στάθμη του νερού επιστρέφει σε κανονικά ύψη.

Φυκοεξυγίανση

Πχ. Εύτροφες Λίμνες

χρήση των in situ
διατόμων



Αλλαγή πλαγκτικών
φυκοκοινοτήτων



Day 1



Day 6



Day 23



Marella *et al.* 2016.
Phycoremediation of Eutrophic Lakes Using
Diatom Algae.

<http://dx.doi.org/10.5772/64111>



Φυκοεξυγίανση

Πχ. Εύτροφες Λίμνες

χρήση των *in situ*
Διατόμων

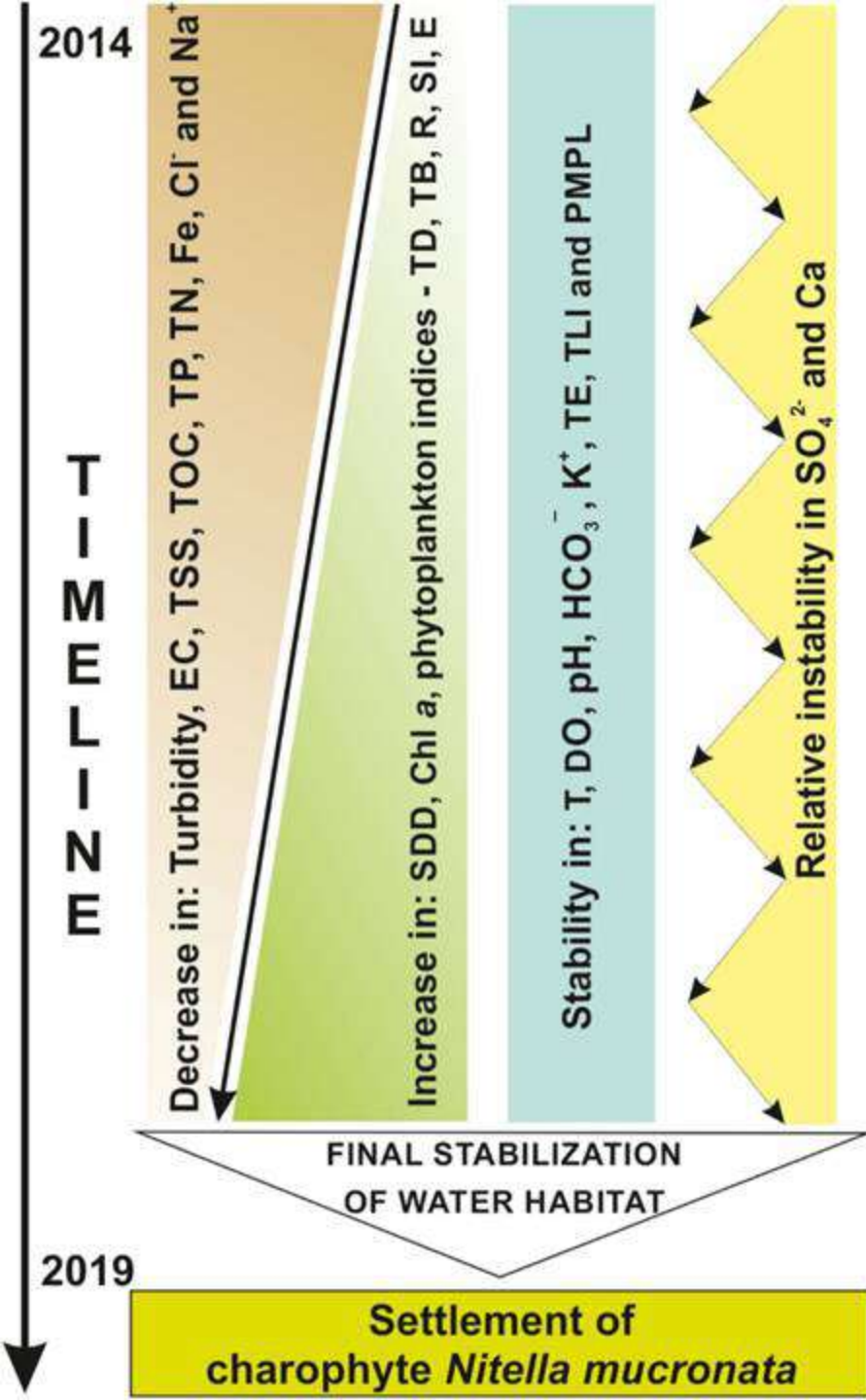


Αλλαγή πλαγκτικών
φυκοκοινοτήτων

Marella *et al.* 2016.
Phycoremediation of Eutrophic Lakes Using
Diatom Algae.

<http://dx.doi.org/10.5772/64111>





Sequential ecosystem changes and settlement potential in clarification pond. *EC* electrical conductivity, *TSS* total suspended solids, *TOC* total organic carbon, *TP* and *TN* total phosphorus and nitrogen, *Fe* total iron, *SDD* Secchi disk depth, *Chl a* chlorophyll *a* content, *TD* and *TB* total density and biomass, *R* richness, *SI* Shannon index, *E* evenness, *T* temperature, *DO* dissolved oxygen, *TE* trace elements, *TLI* trophic level index, *PMPL* Phytoplankton Metric for Polish Lakes.

- **2008. *Nitella congesta*** - a charophyte as a tool for the rehabilitation of sand mine-void wetlands at Capel, Western Australia PhD

- Napiórkowska-Krzebietke, A., Skrzypczak, A.R. **2021. A new charophyte habitat with a stabilized good ecological potential of mine water.**

Sci Rep 11, 14564. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-93827-z>



<https://greenagenda.gr/%CF%84%CE%BF-%CE%BA%CE%B5%CE%BB-%CF%84%CE%B7%CF%82/>



Ψυτάλλεια, 2018



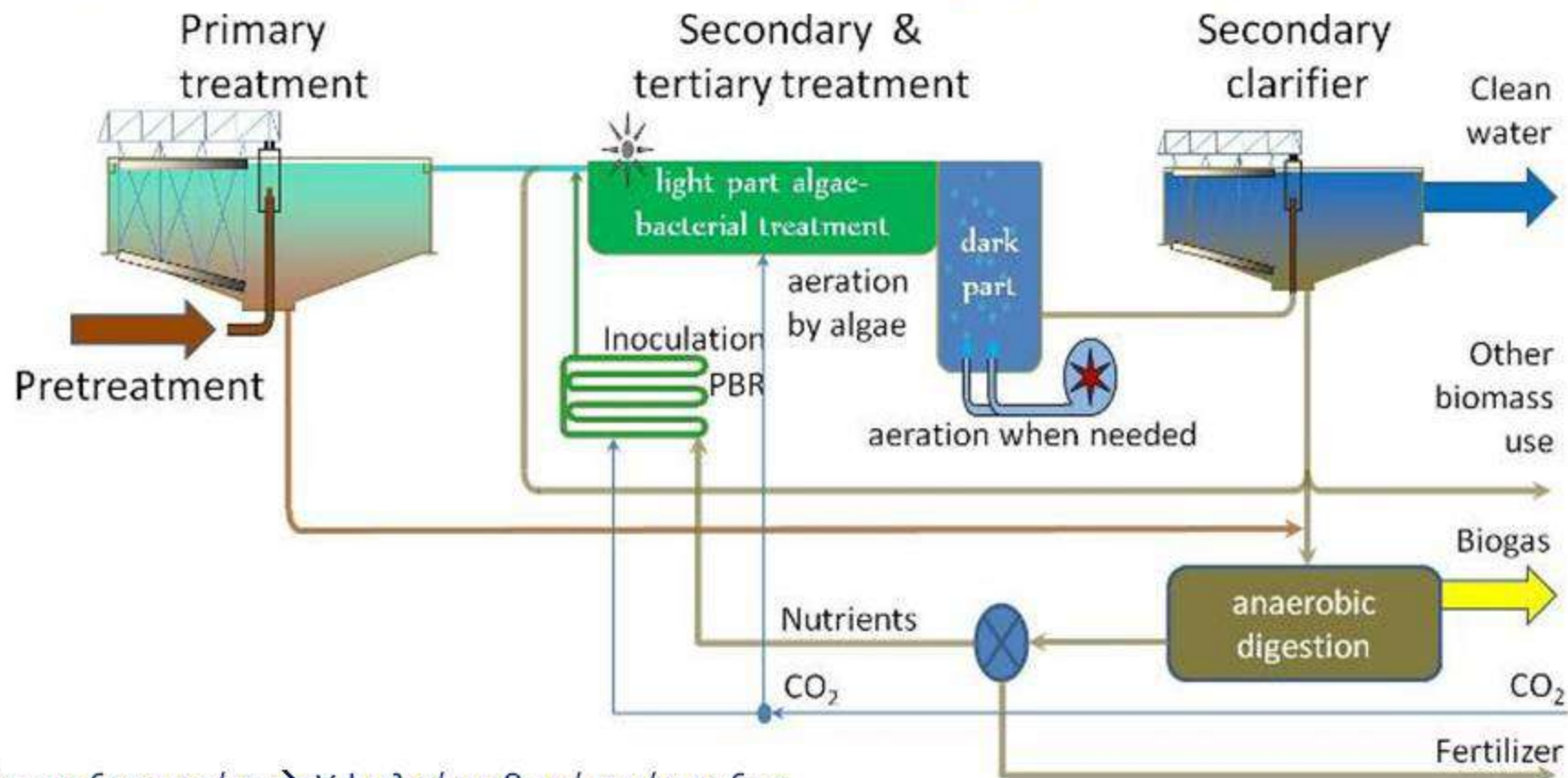




Ψυτάλλεια, 2018



Χρησιμοποίηση των φυκών στην επεξεργασία λυμάτων



<https://algen.eu/node/101>

Επιτυχής επεξεργασία → Υψηλοί ρυθμοί ανάπτυξης

(μεικτές καλλιέργειες, ανοιχτά μη στείρα συστήματα, ανταγωνισμός → επιβίωση και επικράτηση)

Απαραίτητη η γνώση των παραγόντων που επηρεάζουν την ανάπτυξη

Φυσικοχημικοί, βιολογικοί και λειτουργικοί παράγοντες

Φ: Φως, θερμοκρασία

Χ: Θρεπτικά, CO₂

Β: Ανταγωνισμός μεταξύ των ειδών, βόσκηση και προσβολή από ιούς.

Λ: σχεδιασμός του βιοαντιδραστήρα, ρυθμοί ανάμειξης και αραίωσης κλπ.

Κατά την επεξεργασία των λυμάτων

- απομάκρυνση θρεπτικών

Αφομοίωση θρεπτικών (νιτρικά, φωσφορικά) από τα μικροφύκη.

Επίσης, κατά τη διάρκεια της φωτοσύνθεσης $\rightarrow$ pH $\uparrow$

$\rightarrow$ Καθίζηση φώσφορου & διαφυγή NH_3 $\uparrow$

αναφορές: απομάκρυνση φωσφόρου κατά έως και 90% λόγω της καθίζησης του.

Επίσης τα μικροφύκη,

- διαθέτουν O_2 στους ετερότροφους οργανισμούς καθώς και

- απορροφούν μέταλλα και άλλους ρύπους (π.χ. τοξικές οργανικές ενώσεις).

* He N, Sun X, Zhong Y, Sun K, Liu W, Duan S. **2016**. Removal and Biodegradation of Nonylphenol by Four Freshwater Microalgae. *Int J Environ Res Public Health*. 2016;13(12):1239. doi:10.3390/ijerph13121239

* Tikoo, Vidya & H. Scragg, Alan & W. Shales, Stuart. **1997**. Degradation of Pentachlorophenol by Microalgae. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology - J CHEM TECHNOL BIOTECHNOL*. 68

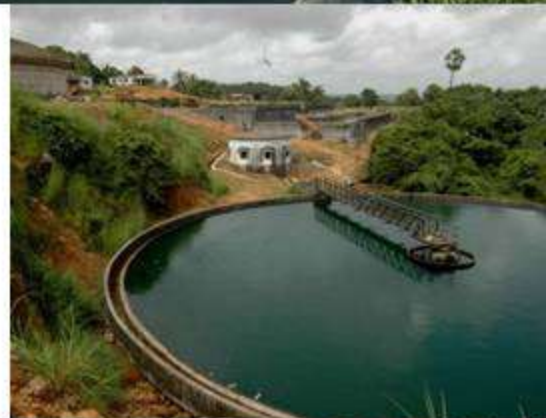
Χρησιμοποίηση των Φυκών στην Επεξεργασία Λυμάτων

- **Βιομηχανικά** λύματα
(μεταξύ άλλων: κλωστοϋφαντουργία, μεταλλουργία, βιομηχανία λιπασμάτων, παραγωγής μπαταριών, φυτοφαρμάκων, επεξεργασίας μεταλλεύματος, πετροχημικών, φαρμακοβιομηχανίες κλπ)
- **Αγροτική** λύματα και
- **Αστικά** λύματα

Τα φύκη έχουν χρησιμοποιηθεί για τον σχεδιασμό συστημάτων απομάκρυνσης θρεπτικών & ρύπων από τα υγρά απόβλητα.

Τα **αστικά** απόβλητα είναι **ιδανικά** για την ανάπτυξη πολλών φυκών αφού περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις όλων των απαραίτητων θρεπτικών.

Στη συνέχεια, μέρος των φυκών 'θερίζεται' (απομακρύνεται) για να χρησιμοποιηθεί ως **λίπασμα & βιοκαύσιμα**.



Χρησιμοποίηση των φυκών στην επεξεργασία λυμάτων

- Υδροδεξαμενές με πλαγκτικά μικροφύκη όπως *Scenedesmus* & *Micractinium* κ.α.
Περιοριστικοί παράγοντες:
κυρίως φως (βάθος, ανάδευση, ανανέωση νερού).



- Τεχνητά ρυάκια με περιφυτικά μικροφύκη



Πλεονεκτήματα τεχνητών ρυακιών

- δεν απαιτείται ενέργεια για την αιώρηση των κυττάρων,
- εύκολη συλλογή βιομάζας με
θερισμό των ανώτερων τμημάτων του **περίφυτου**
(κατώτερα τμήματα παραμένουν
προσκολλημένα στο υπόστρωμα). -> **λίπασμα & βιοκαύσιμα.**



Δεξαμενές Υψηλού Ρυθμού Ανάπτυξης Φυκών, ΔΥΡΑΦ (High Rate Algae Ponds, HRAP)



Ρηχές δεξαμενές με **συνεχή κυκλοφορία** υδάτων. Το πιο κοινό ανοιχτό σύστημα επεξεργασίας λυμάτων με χρήση μικροφυκών (Oswald & Gotaas 1957).
Μαζικές αναπτύξεις στους **τροπικούς** ($T \uparrow$ φως $\uparrow$ σε όλη τη διάρκεια του έτους).

Η επιτυχής λειτουργία των διαδικασιών βιοτικής επεξεργασίας αποβλήτων εξαρτάται από τη χρήση

- βακτηρίων,
- φυκών,
- μυκήτων,
- πρωτόζωων κ.λπ.

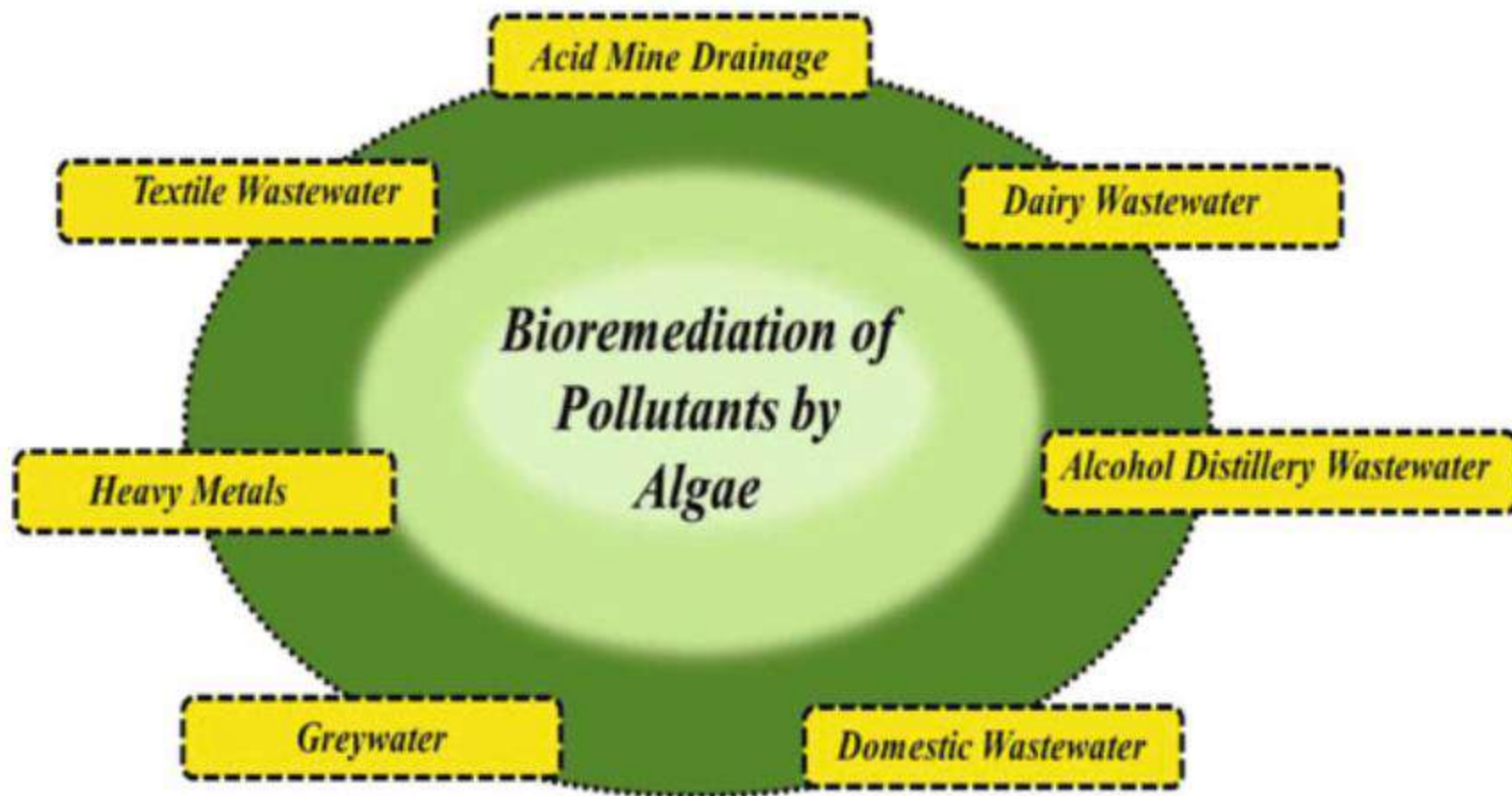
Τα μικροφύκη είναι ένας από τους καλύτερους παράγοντες βιοεξυγίανσης για την επεξεργασία των λυμάτων και διαδραματίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στη διαδικασία βιοαποκατάστασης:

- ✓ παράγουν O_2 και δεσμεύουν CO_2 κατά τη φωτοσύνθεση
- ✓ διατηρούν την καλή ποιότητα των υδάτων μέσω αυτοκαθαρισμού.
- ✓ οικονομικά αποδοτική λύση

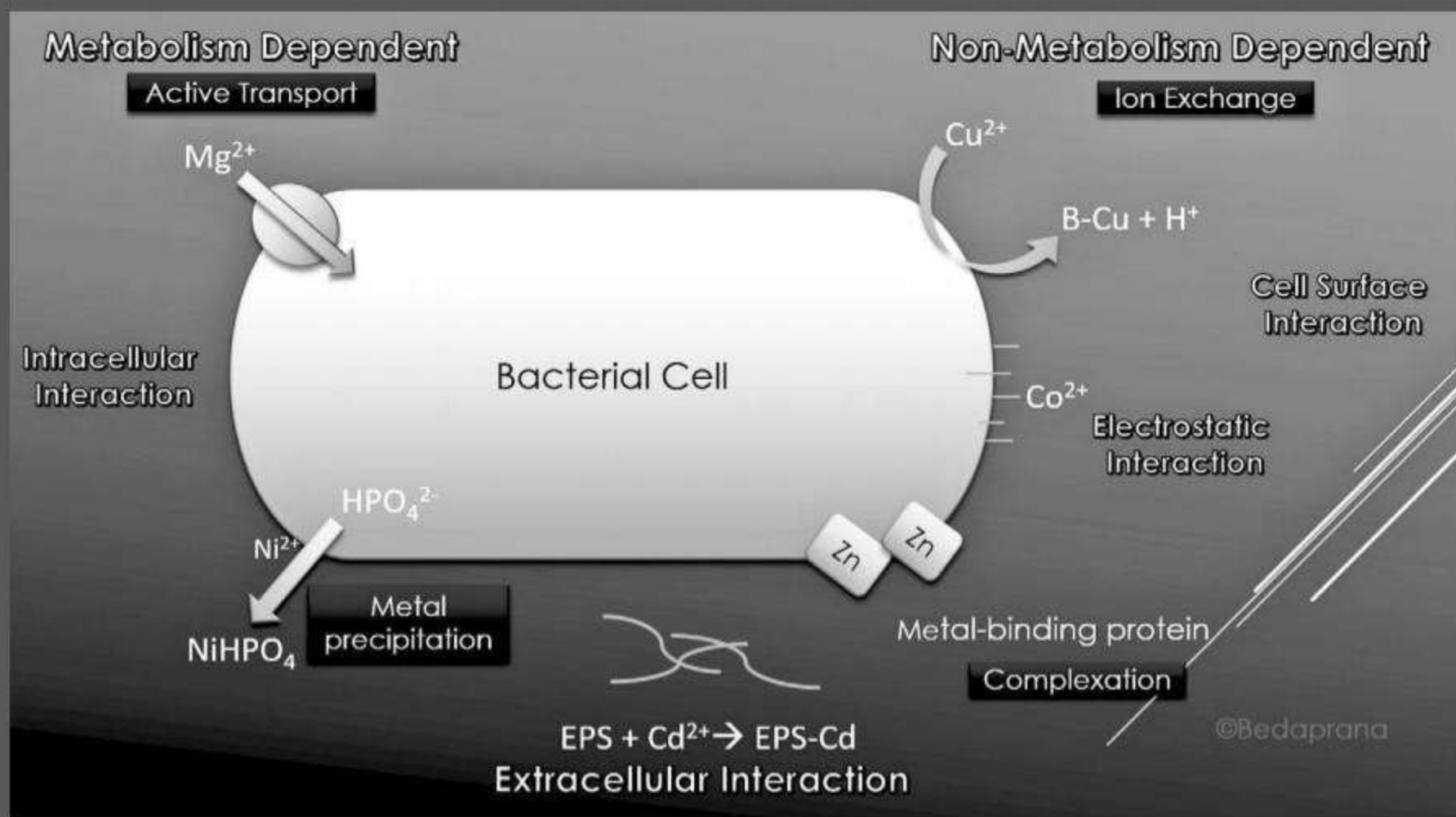
Εφαρμογές

δέσμευση CO_2 κατά την αύξηση των μικροφυκών (κλιματική κρίση)
παραγωγή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως βιοντίζελ, βιομεθάνιο, αέριο υδρογόνου και βιολιπάσματα κ.α.

Σχηματική απεικόνιση της
βιοεξυγίανσης ποικίλων ρύπων με φύκη (phycoremediation)



Βιο-απορρόφηση μετάλλων από βακτήρια



Ορισμένα μακροφύκη όπως τα είδη *Ulva fasciata* και *Sargassum densifolium* (El-Wakeel *et al.* 2019), εμφανίζουν και αυτά πολλά υποσχόμενη δυνατότητα βιο-απορρόφησης (bio-absorbance) σε βαρέα μέταλλα όπως τα ιόντα χαλκού (Cu^{+2}).

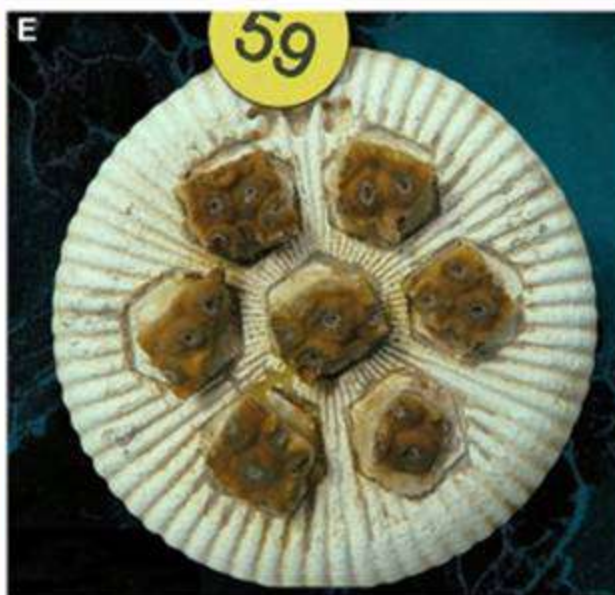
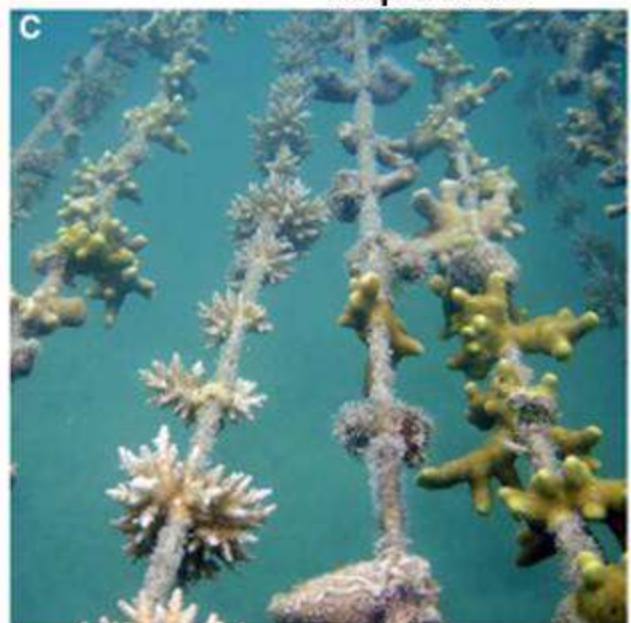
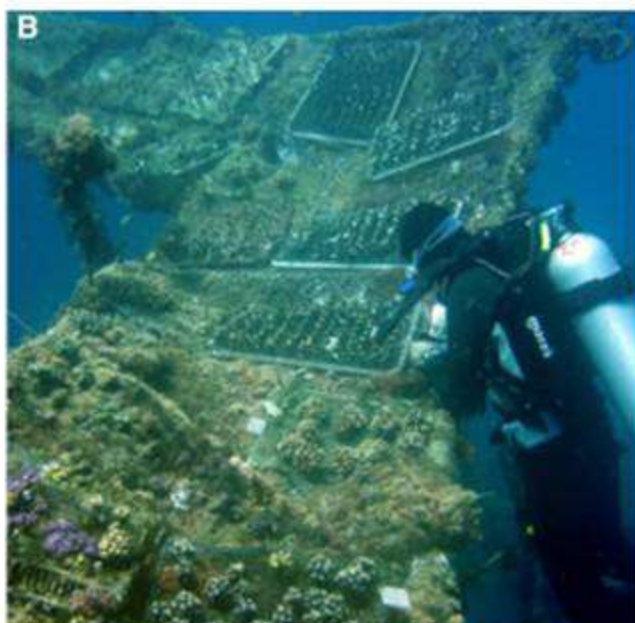
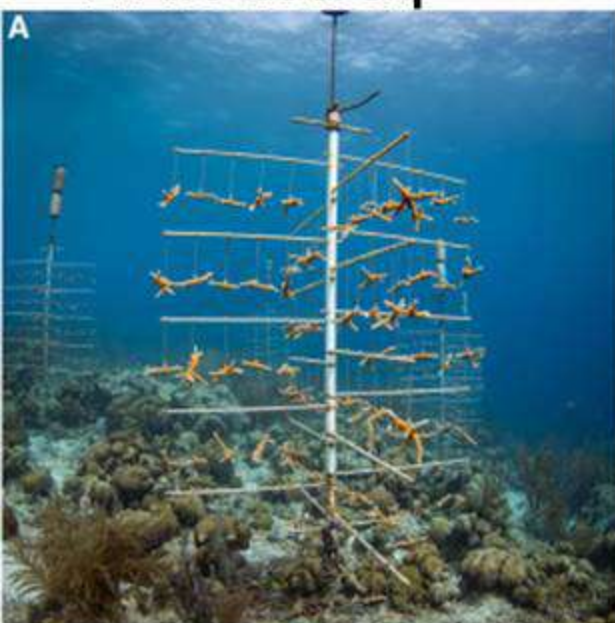
Αποκατάσταση οικοσυστημάτων ή δημιουργία νέων





Αναδάσωση

Κοράλλια



Edwards, A., Guest, J., & Humanes, A. 2024. Rehabilitating coral reefs in the Anthropocene. *Current Biology*, 34, R399–R406. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2023.12.054>





M. Calandranis



The innovative endeavour of planting Posidonia seagrass with the use of seeds took place on the island of **Lipsi**, in the bay of the Aegean Marine Life Sanctuary.
<https://archipelago.gr/planting-underwater-gardens-of-posidonia-seagrass-a-new-innovative-planting-process/>

Αναδάσωση



Cystoseira s.l.

Italy: Sinis Peninsula,
Cilento National Park,
Bergeggi Island;

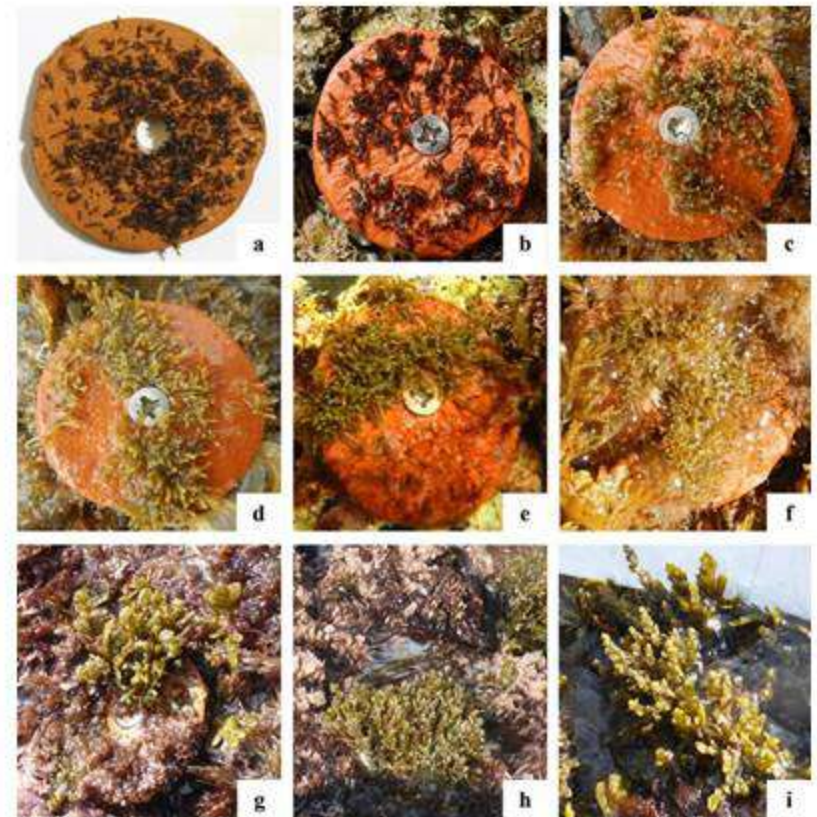
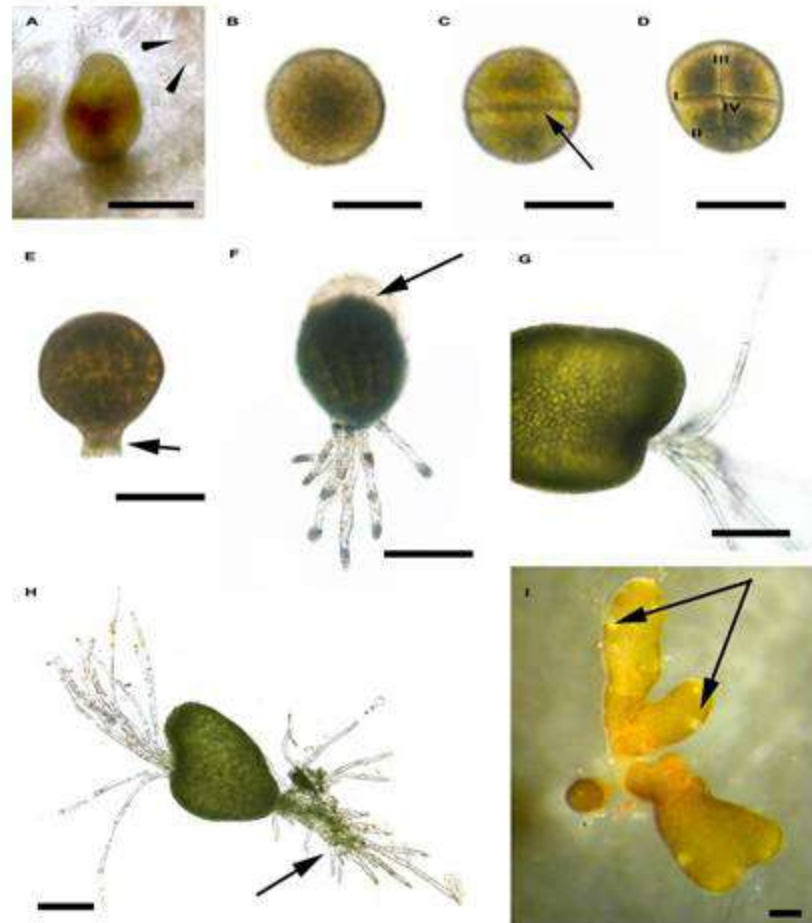
Greece: Gyaros island

ROCPOPLife project co-funded by the European Commission LIFE Programme Agreement N° LIFE16 NAT/IT/000816 and part of the NATURA 2000 network.
https://www.rocpoplife.eu/wp-content/uploads/2019/12/ROC-POPLife_layman_final_WEB.pdf

Καλλιέργειες μακροφυκών

- Χρήση σπορίων / βλαστικών μερών
- Μεταφύτευση αρτιβλάστων / ατόμων μετά από καλλιέργεια in vitro
- Χρήση τεχνητών υποστρωμάτων

Falace *et al.* **2018**. Ex situ cultivation protocol for *Cystoseira amentacea* var. *stricta* (Fucales, Phaeophyceae) from a restoration perspective. PLoS One. 2018 Feb 15;13(2):e0193011. doi:10.1371/journal.pone.0193011. PMID: 29447238; PMCID: PMC5813978.



De La Fuente *et al.* **2019**. First ex situ outplanting of the habitat-forming seaweed *Cystoseira amentacea* var. *stricta* from a restoration perspective. PeerJ, 7: e7290.

Υποθαλάσσιο δάσος





Φύκη & Περιβάλλον

- φωτοσύνθεση (δέσμευση CO_2 , παραγωγή O_2 και οργανικών ενώσεων),
- αντλία άνθρακα,
- πρόσληψη θρεπτικών
(περιορισμός ευτροφισμού, βιοεξυγίανση, επεξεργασία & ανακύκλωση λυμάτων κλπ),
- ορισμένα αποτελούν θεμελιώδεις οργανισμούς
για συγκεκριμένα οικοσυστήματα,
- αζωτοδέσμευση (δέσμευση N_2),
- μέσω της αποικοδόμησης τους → βιολίπασμα κ.α.,

Βιολίπασμα Αζωτοδέσμευση

Anabaena spp.: ενδοσυμβιωτικό κυανοβακτήριο με
το πτεριδόφυτο *Azolla* → Βιολίπασμα σε ορυζώνες





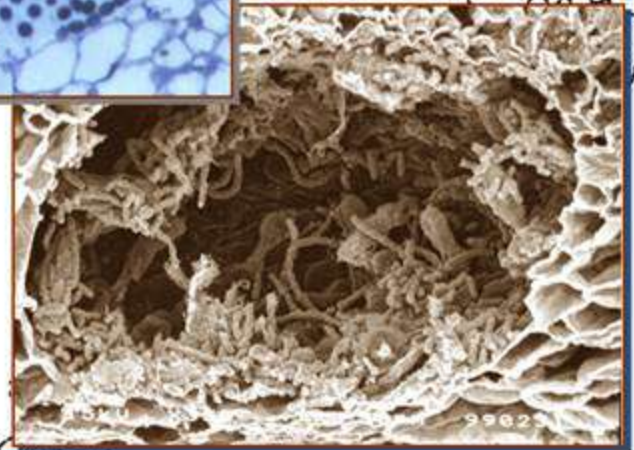
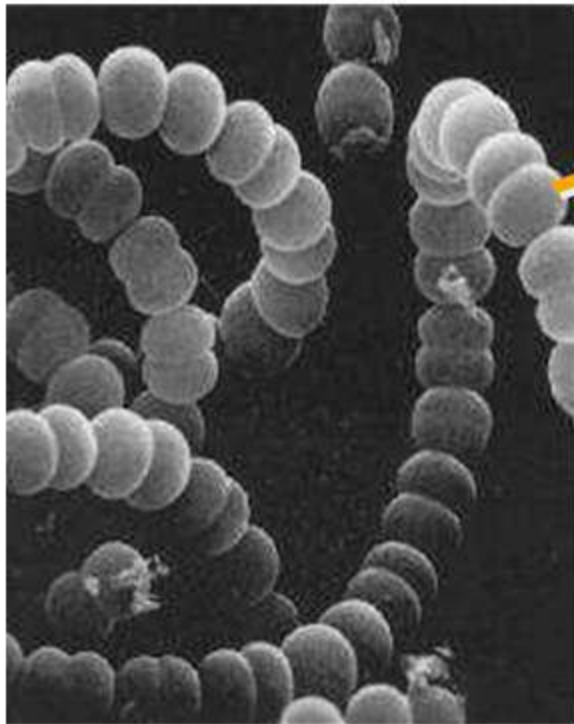
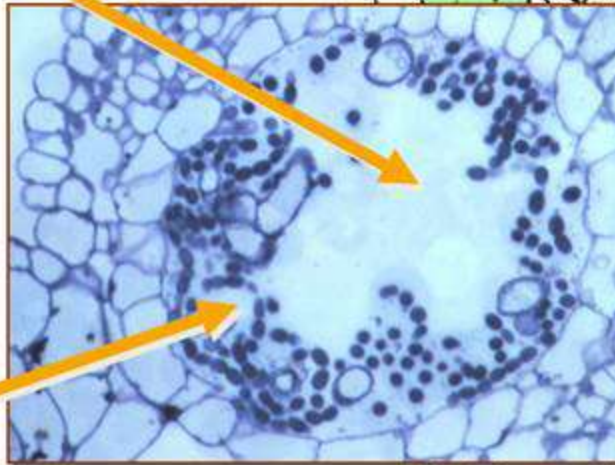
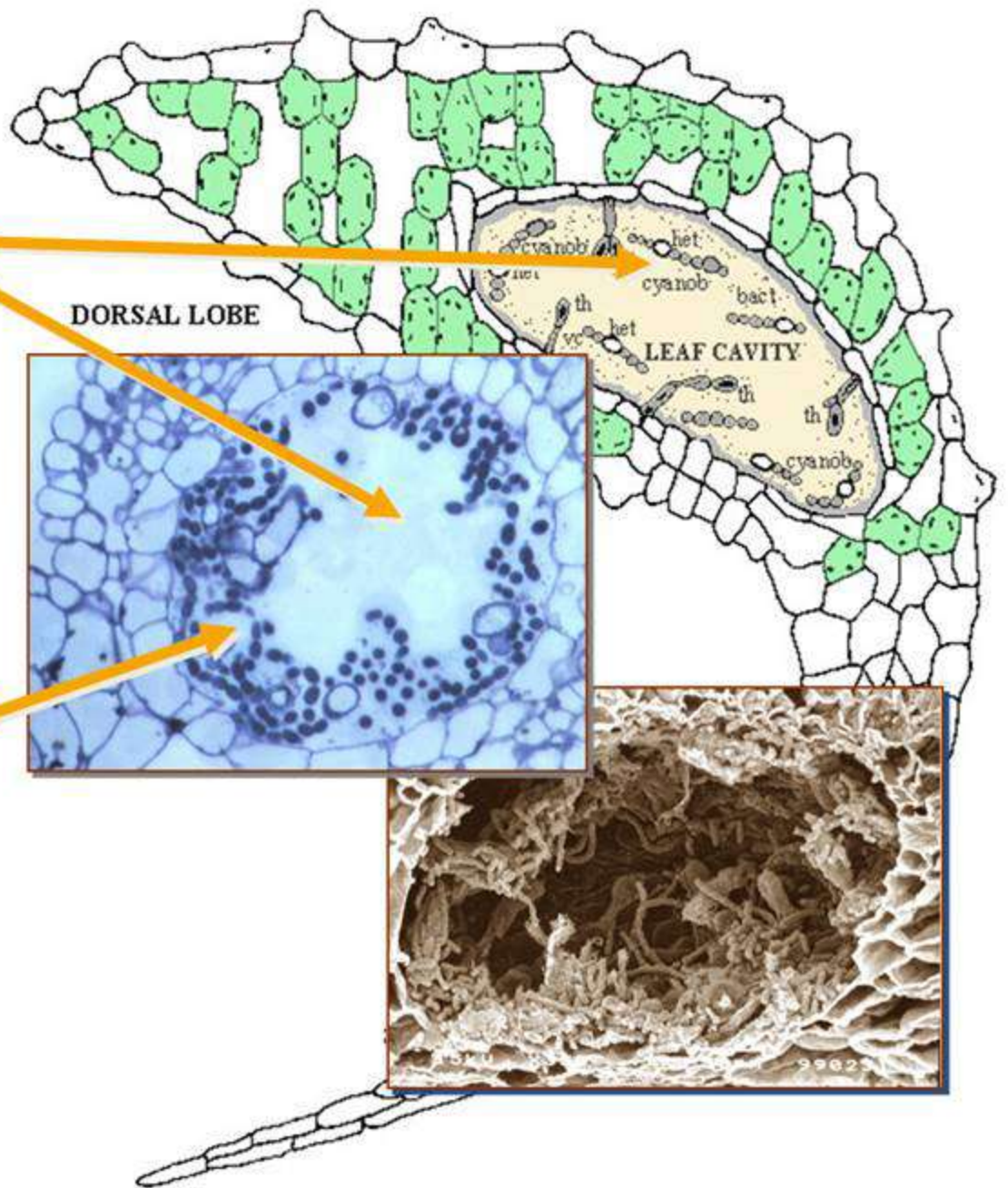
Sebastian & Prasad 2015, Trace Element Management in Rice, Agronomy 5, 374-404



<https://theazollafoundation.org>



<https://www.hope4orphan.org> **Σιέρα Λεόνε**



0.2 mm

Βιολίπασμα (biofertilizer)

Προσθήκη φυκών στο έδαφος

τα φύκη συμβάλουν

α) στην αύξηση της **παραγωγικότητας** του εδάφους
(το έδαφος **βελτιώνει** την **παραγωγικότητα** των καλλιεργειών)

β) βελτίωση της **ποιότητας** του περιβάλλοντος
(το έδαφος μετριάζει τις επιπτώσεις των περιβαλλοντικών **ρύπων**
και παθογόνων **οργανισμών** και **παραγόντων**)

γ) στην **υγεία**

(το έδαφος βελτιώνει την υγεία του ανθρώπου, των ζώων και των φυτών).

Π.χ. προϊόντα από φυτοπλαγκτό μπορούν να **προστατέψουν**
καλλιεργούμενα φυτά από προσβολές από ιούς, βακτήρια ή μυκητες.

Βιολίπασμα (biofertilizer)

παράδειγμα φαιοφύκη, χλωροφύκη κ.α. αλλά όχιροδόλιθοι (!!!)

Διαθεσιμότητα

Χαμηλό κόστος

Θρεπτική αξία

Πλούσιο σε μικροθρεπτικά (Fe, Cu, Zn, B, Mn, Co and Mo),

Πλούσιο σε μακροθρεπτικά (Ca, K and P),

Βιταμίνες

Αυξητικές ορμόνες (auxins, betaines, cytokinins και gibberellins)

Ιδιότητα χηλίωσης (chelating property)

→Εξαιρετικό βελτιωτικό εδάφους !

Γένη που χρησιμοποιούνται σε πολλές παράκτιες χώρες όπως Κίνα, Γαλλία, Ιρλανδία, Ιαπωνία, Κορέα, Νορβηγία, Σκωτία και Φιλιππίνες (Kumar et al. 2012):

Ascophyllum, Dictyopteris, Durvillaea, Fucus, Laminaria, Macrocytis, Padina and Sargassum (Kumar & Sahoo 2011).

Ονόματα εμπορικών προϊόντων

- Bio magic
- BiotechMarine
- Maxicrop

Κ.Α.

Seaweeds	Format	Applications
<i>Ascophyllum nodosum</i>	Seaweed extract + Mg	L Biostimulant
—	Soluble seaweed extract powder	L Plant growth stimulant; soil ameliorant
<i>Sargassum</i> sp., <i>Laminaria</i> sp., and <i>Ascophyllum nodosum</i>	Seaweed and NPK	L Fertilizer and biostimulant
Brown seaweeds	Seaweed extract and fish protein	L Fertilizer and biostimulant
Mix of mainly green algae	Seaweed compost with mussel shell	S Fertilizer and liming
<i>Ascophyllum nodosum</i>	Seaweed extract with urea, iron, and amino acids	L Fertilizer and biostimulant
	Composting accelerators including seaweed	S Compost accelerator
<i>Ascophyllum nodosum</i>	Seaweed extract	L Biostimulant
<i>Ascophyllum nodosum</i>	Organic-mineral fertilizer with seaweed extract	L Fertilizer
<i>Ascophyllum nodosum</i>	Seaweed extract + NPK	L Fertilizer
	Liquid seaweed extract	L Biostimulant
	Solid seaweed extract	S Biostimulant
<i>Ecklonia maxima</i>	Seaweed extract	L Fertilizer and biostimulant
<i>Ascophyllum nodosum</i>	Soluble seaweed powder	S Supplement
	Kelp meal	S Fertilizer and soil amendment
	Liquefied seaweed	L Biostimulant
<i>Sargassum wrightii</i>	Sun dried seaweed	S Fertilizer and biostimulant
Agarofit algae	Fermented algae + vegetable structure	S Biostimulant
<i>Ascophyllum nodosum</i>	Seaweed extract	L Biostimulant

Seaweed or commercial seaweed product	Crop	Format	Effect
<i>Ascophyllum nodosum</i> Maxicrop	<i>Solanum tuberosum</i>	Seaweed extract	Increases in fresh and dry mass
(<i>Ascophyllum nodosum</i>)	<i>Capicum annuum</i>	Seaweed extract	Increase length, diameter, and fruit yields
<i>Ascophyllum nodosum</i>	<i>Agrostis stolonifera</i>	Seaweed extract	Improved overall physiological health and reduce dollar spot disease (<i>Sclerotinia homoeocarpa</i>)
BiotechMarine	<i>Vitis vinifera</i>	Seaweed extract	Improve growth together with a better capacity in accumulating macronutrients in plant organs especially in leaves and impart resistance to drought stress
			Developed resistance to the bacterial pathogen <i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>malvarum</i> in seeds
Dravya (<i>Sargassum wrightii</i>)	<i>Gossypium</i> sp.	Seaweed extract	Stronger vegetative growth than controls, and improved flower quality and prolonged blooming
Goëmar BM 86® (<i>Ascophyllum nodosum</i>) and Kelpak® (<i>Ecklonia maxima</i>)	<i>Malus domestica</i>	Seaweed extract	Improvement in the productivity and oil content of olives and the quality of olive oil
<i>Ascophyllum nodosum</i>	<i>Olea europaea</i>	Seaweed extract	Improved seed germination, shoot length, root length, Number of lateral roots, number of leaves, number, length and weight of vegetables, total chlorophyll, and carotenoids
<i>Rosemaria intricata</i>	<i>Abelmoschus esculentus</i>	Liquid fertilizer	Increase the total phenolic and flavonoids components and total antioxidant levels
<i>Ascophyllum nodosum</i>	<i>Spinacia oleracea</i>	Seaweed extract	Improved fertility coefficients, shoot length, shoot diameter, and leaf area
<i>Ascophyllum nodosum</i>	<i>Vitis vinifera</i>	Seaweed extract	Stimulate maize shoot and root elongation and number of seminal roots and exhibited improvement in the biochemical activities
Isolated eckol from <i>Ecklonia maxima</i>	<i>Zea mays</i>	Seaweed concentrate	Anosy rate of 66 t/ha of compost increased the yield of two successive crops (tomato and lettuce)
Drift seaweed (mainly <i>Laminaria</i> sp. and <i>Cytosira</i> sp.)	<i>Solanum lycopersicum</i> and <i>Lactuca sativa</i>	Compost	Increase plant height, root systems, and concentrations of minerals in the shoots. Fruit increases yield and quality (size, color, firmness, total soluble solids, ascorbic acid, and mineral levels)
<i>Ascophyllum nodosum</i>	<i>Solanum lycopersicum</i>	Seaweed extract	Increase in oil amount and leaf area
'Bio magic': <i>Ascophyllum</i> , <i>Sargassum</i> , and <i>Laminaria</i>	<i>Rosmarinus officinalis</i>	Powder seaweed extract	Increased the seedlings growth and improved the soil enzyme activities in replant soil
<i>Lessonia flaccida</i> and <i>Lessonia nigrescens</i>	<i>Malus lupulina</i>	Seaweed extract	Synergistic influence with urea fertilizer that increase growth
Nizamuddin Zaidi	<i>Triticum aestivum</i>	Liquid fertilizer	Increased total production and reduced noncommercial production
Drift seaweed (mainly <i>Laminaria</i> sp. and <i>Cytosira</i> sp.)	<i>Solanum tuberosum</i>	Compost	Enhance the growth
Jeppia Maritime Private Ltd.	<i>Abelmoschus esculentus</i>	Liquid fertilizer	Promote the grape coloring
Sunred®	<i>Vitis vinifera</i>	Seaweed extract	Positive effect on seed germination, plant development, and production
<i>Ascophyllum nodosum</i> and <i>Sargassum muticum</i>	<i>Oryza sativa</i> and <i>Lactuca sativa</i>	Seaweed extract	Increase in yield, number of berries, and anthocyanin extractability of berry skins
<i>Ascophyllum nodosum</i>	<i>Vitis vinifera</i>	Seaweed extract	Enriches germination, growth, and yield
<i>Codium decorticatum</i>	<i>Capicum annuum</i>	Liquid fertilizer	

Ροδολιθικοί πυθμένες του Ν. Ατλαντικού



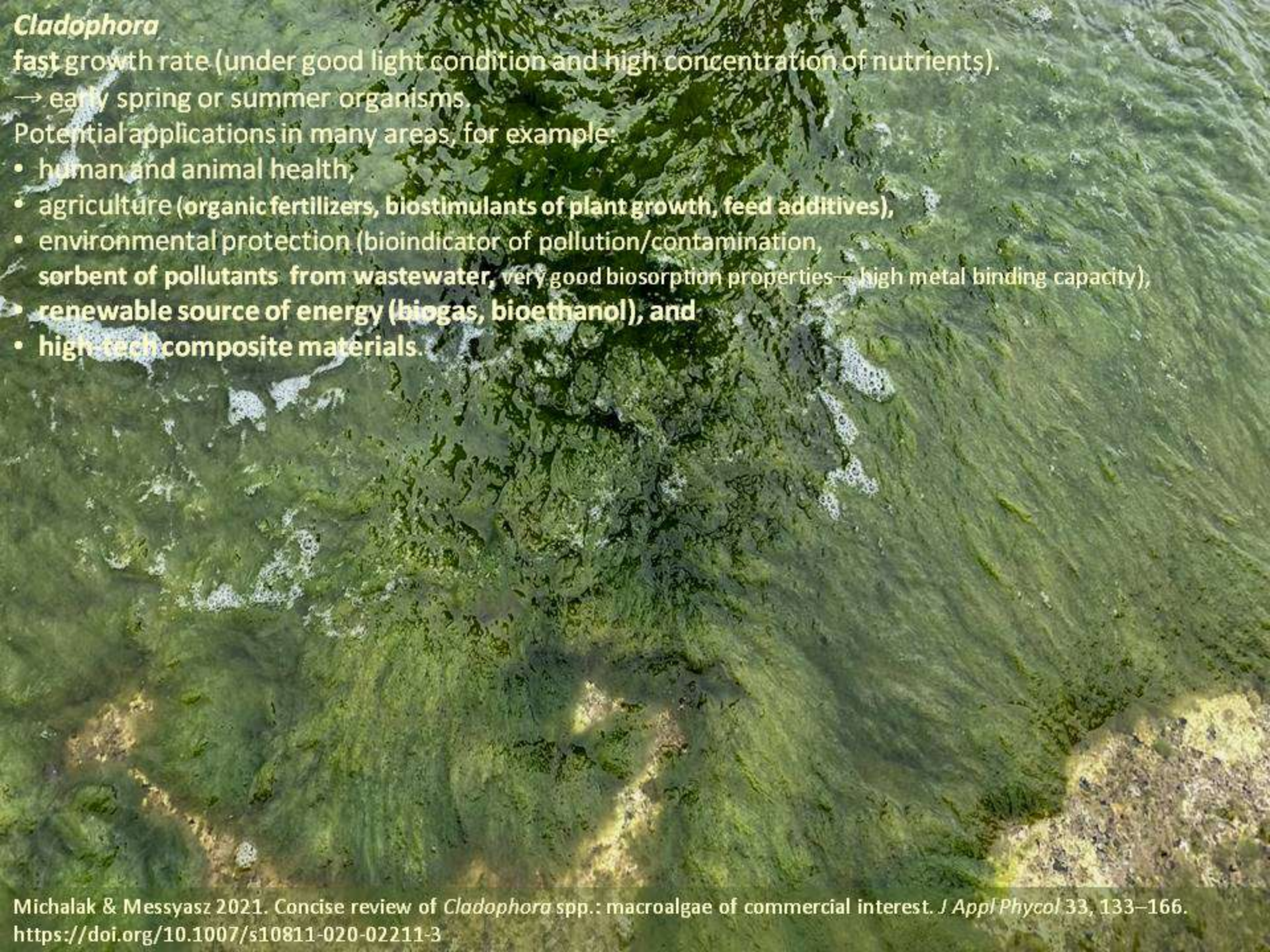
Συλλογή φύλλων *Posidonia oceanica*.

Φωτογραφία από ακτή της Κορσικής,
τέλη 19^{ου}, αρχές 20^{ου} αιώνα.



Μεσογειακοί ροδολιθικοί πυθμένες Κορινθιακός (25–35 m βάθος)





Cladophora

fast growth rate (under good light condition and high concentration of nutrients).

→ early spring or summer organisms.

Potential applications in many areas, for example:

- human and animal health,
- agriculture (**organic fertilizers, biostimulants of plant growth, feed additives**),
- environmental protection (bioindicator of pollution/contamination, **sorbent of pollutants from wastewater, very good biosorption properties – high metal binding capacity**),
- **renewable source of energy (biogas, bioethanol), and**
- **high-tech composite materials.**

Φύκη & Περιβάλλον

- φωτοσύνθεση (δέσμευση CO_2 , παραγωγή O_2 και οργανικών ενώσεων),
- αντλία άνθρακα,
- πρόσληψη θρεπτικών
(περιορισμός ευτροφισμού, βιοεξυγίανση, επεξεργασία & ανακύκλωση λυμάτων κλπ),
- ορισμένα αποτελούν θεμελιώδεις οργανισμούς
για συγκεκριμένα οικοσυστήματα,
- αζωτοδέσμευση (δέσμευση N_2),
- μέσω της αποικοδόμησης τους → βιολίπασμα κ.α.,
- βάση τροφικών πλεγμάτων → τροφή για ανώτερα τροφικά επίπεδα,

Φύκη ως ζωτροφή στις υδατοκαλλιέργειες

Μη τοξικά θαλάσσια μικροφύκη, αποτελούν την κύρια πηγή τροφής για τουλάχιστον κάποια στάδια του βιολογικού κύκλου πολλών καλλιεργούμενων θαλάσσιων ζώων.

Υψηλή διατροφική αξία:

υψηλή περιεκτικότητα σε πολυακόρεστα λιπαρά οξέα (Muller-Feuga *et al.* [2003](#)).

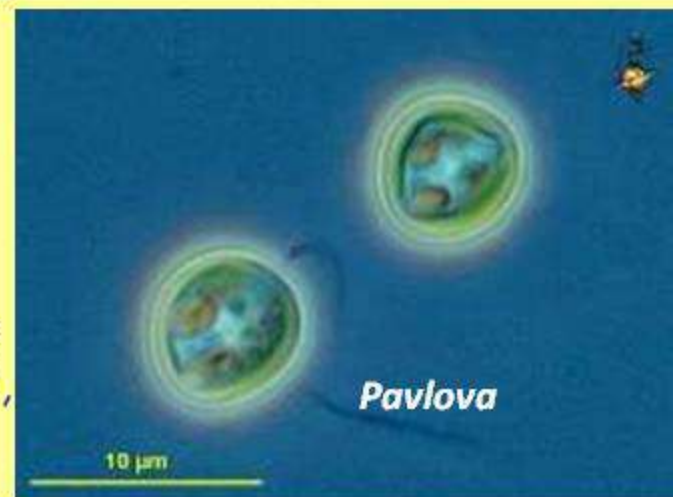
Πολλά θαλάσσια ζώα δεν έχουν την ικανότητα σύνθεσης σε ικανές ποσότητες ορισμένων βασικών λιπαρών οξέων, συνεπώς, εξαρτώνται από τροφή βασισμένη σε φύκη.

Skeletonema, *Thalassiosira*, *Tertraselmis*, *Pavlova*, *Isochrysis* και *Nannochloropsis*

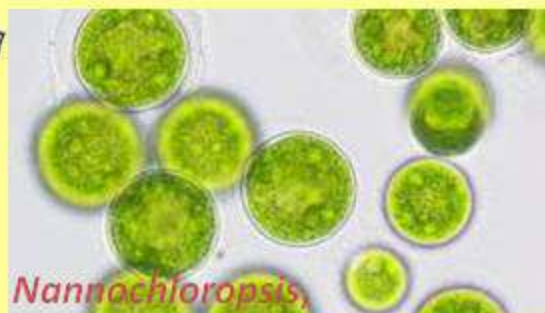
Π.χ. το διάτομο *Thalassiosira pseudonana* καλλιεργείται ευρέως ως τροφή για πολλά μαλάκια του Ειρηνικού ωκεανού.



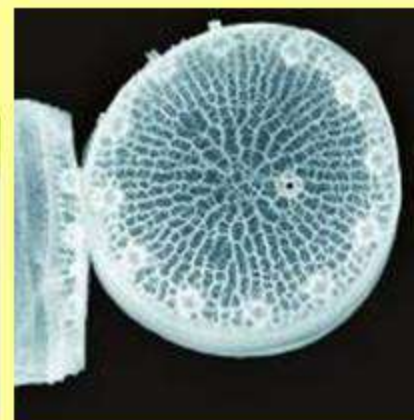
Crassostrea gigas



Pavlova



Nannochloropsis



Έλεγχος Ασθενειών στις Υδατοκαλλιέργειες

Οφέλη από τη χρήση των μικροφυκών ως συμπληρώματα διατροφής

- Εύπεπτα
- Υψηλής διατροφικής αξίας
(πλούσια σε πρωτεΐνες, λιπίδια και απαραίτητα θρεπτικά).

Επιπρόσθετα ορισμένα μικροφύκη διαθέτουν (φυσικά)

- **Αντιβιοτικές** ουσίες
- **Ανοσοδιεγερτικά** βιομόρια.

Γενετική μηχανική

βιοενεργές ουσίες όπως

αυξητικές ορμόνες για τα ψάρια, αντιβακτηριακές ουσίες, υπομονάδες εμβολίων, στοχευμένα στους ιούς RNA κ.α.

Σήμερα, ανεξέλεγκτη χρήση αντιβιοτικών, ακόμα και **φορμόλης*** !!!

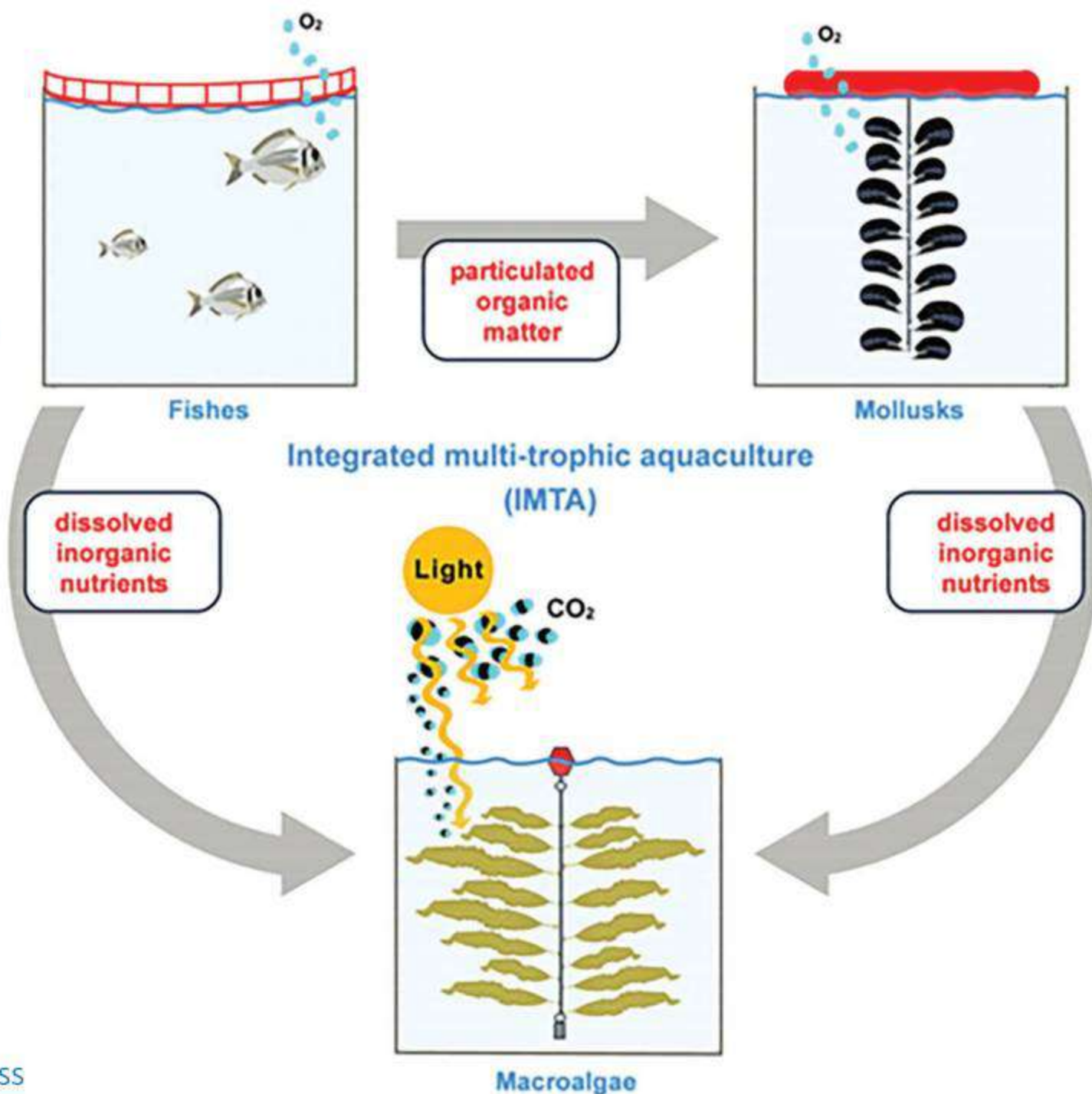
* απόρριψη αγωγής της εταιρείας Ανδρομέδα - Ιχθυοκαλλιέργειες, ενάντια στον ιχθυοκαλλιεργητή Χρήστο Λοβέρδο Στελακάτο που κατήγγειλε χρήση χημικών ουσιών, όπως φορμόλη, τις σάπιες τροφές, και τα χρώματα των διχτύων.

28 Μαΐου 2020

<https://tvxs.gr/news/ellada/dikaiosi-toy-ixthyokalliergiti-stalakato-gia-tis-ixthyokalliergeies-poy-mas-taizoyn-toks>

Συνδυαστική
πολύ-τροφική
υδατοκαλλιέργεια

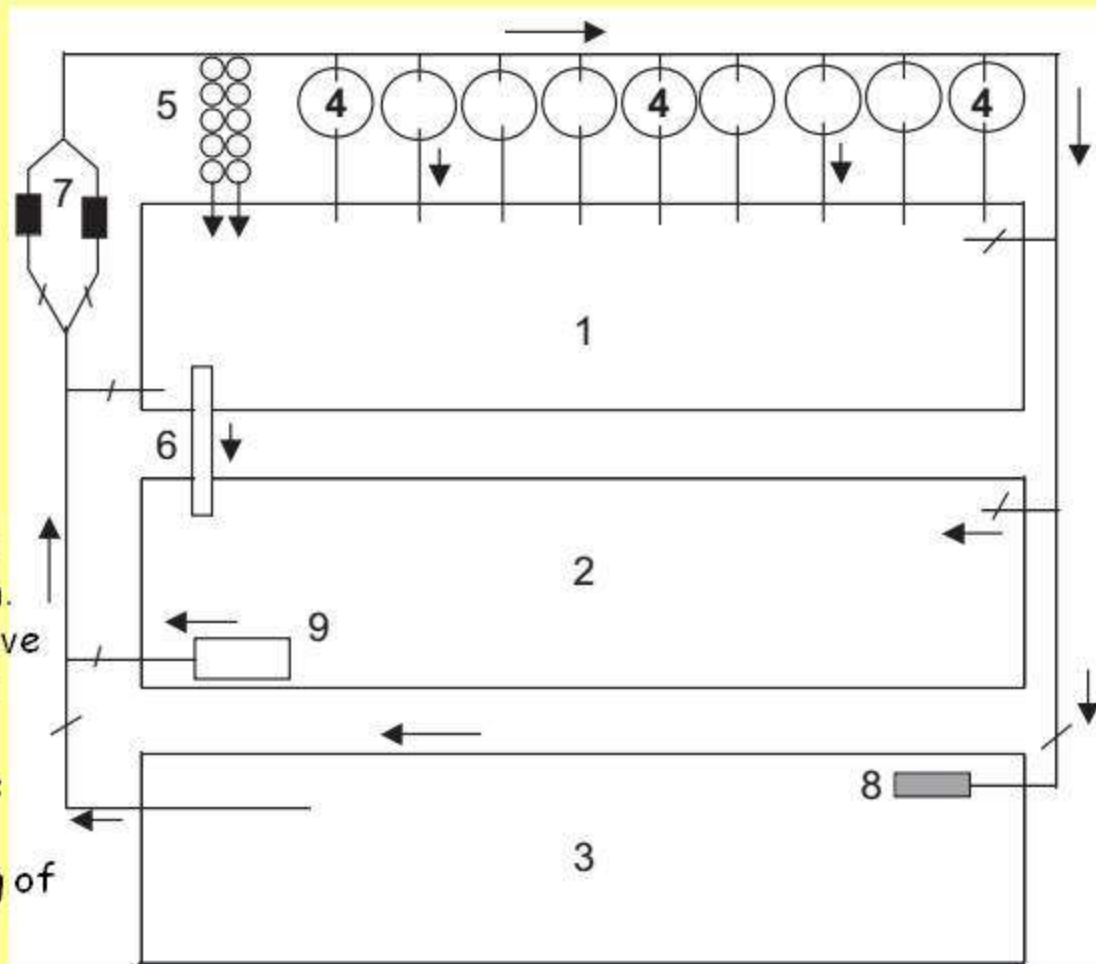
Συγκαλλιέργειες



Σχηματική όψη Πρωτότυπου Συστήματος Συνδυαστική Καλλιέργεια Μικροφυκών, Ζωοπλαγκτού, Ψαριών

1. Υδάτινη λεκάνη με λύματα 1,
2. Υδάτινη λεκάνη με λύματα 2,
3. Υδάτινη λεκάνη με λύματα 3 όπου παράγεται ζωοπλαγκτό,
4. δεξαμενές έντονης εκτροφής,
5. Δεξαμενή με γόνο,
6. Σύνδεση δεξαμενών 1 & 2,
7. Αντλίες
8. (8 & 9) φίλτρα ψαριών.

Integrated Multi-Trophic Aquaculture takes advantage of the mutualism between some detritivorous **fish** and **phytoplankton**. The fish **recycle nutrients** by consuming live (and dead) algae and provide the inorganic carbon to fuel the growth of live algae. **Algae purify the water and generate the oxygen** required by fishes. Such mechanism **stabilizes** the functioning of an **artificially recycling ecosystem**, as exemplified by combining the euryhaline tilapia *Sarotherodon melanotheron heudelotii* and the unicellular alga *Chlorella* sp.



Fargier *et al.* 2012. An integrated fish-plankton aquaculture system in brackish water. *Animal*, 7(02), 322-329.

Integrated Multi-Trophic Aquaculture (IMTA)

Συνδυαστική πολύ-τροφική υδατοκαλλιέργεια - Συγκαλλιέργειες

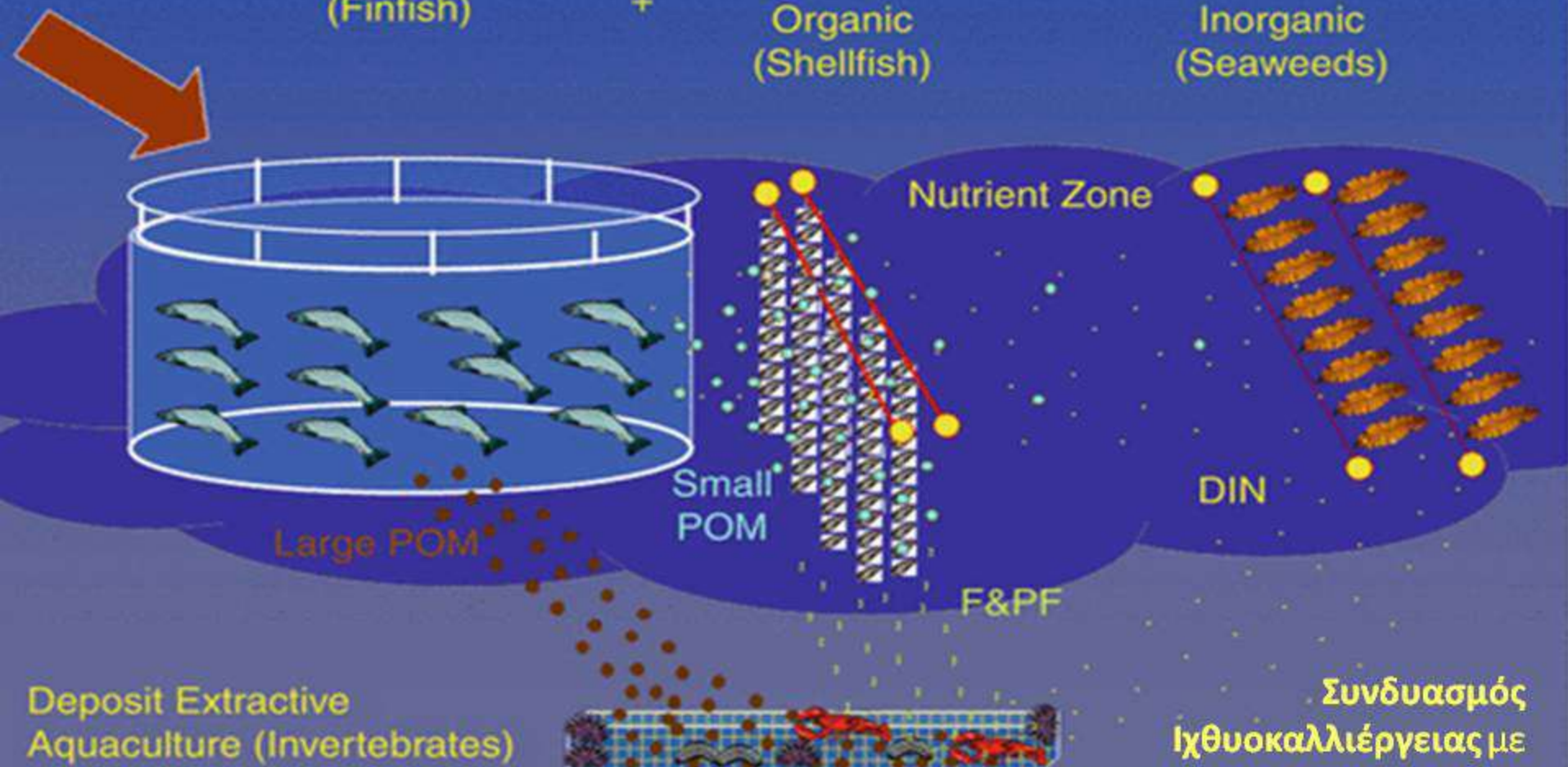
Fed Aquaculture
(Finfish)

+

Suspension Extractive Aquaculture

Organic
(Shellfish)

Inorganic
(Seaweeds)



- **Οστρακοκαλλιέργεια** (διηθηματοφάγοι οργανισμοί, **POM**),
- **Φυκοκαλλιέργεια** (αφομοιώνουν διαλυμένα ανόργανα θρεπτικά, **DIN**),
- **Καλλιέργεια Θρυμματοφάγων** (π.χ. εχινόδερμα, ολοθούρια, πολύχαιτοι) (μεγάλων διαστάσεων **POM**, περιπτώματα –ψευδοπεριπτώματα (**F & PF**) από τους διηθηματοφάγους.
- Η **βιοανατάραξη** στον πυθμένα αναγεννά επιπρόσθετα **DIN**, κάνοντας τα διαθέσιμα στα μακροφύκη

Φύκη & Περιβάλλον

- φωτοσύνθεση (δέσμευση CO_2 , παραγωγή O_2 και οργανικών ενώσεων),
- αντλία άνθρακα,
- πρόσληψη θρεπτικών
(περιορισμός ευτροφισμού, βιοεξυγίανση, επεξεργασία & ανακύκλωση λυμάτων κλπ),
- ορισμένα αποτελούν θεμελιώδεις οργανισμούς
για συγκεκριμένα οικοσυστήματα,
- αζωτοδέσμευση (δέσμευση N_2),
- μέσω της αποικοδόμησης τους → βιολίπασμα κ.α.,
- βάση τροφικών πλεγμάτων → τροφή για ανώτερα τροφικά επίπεδα,
- Βιοπαρακολούθηση,

Βιοπαρακολούθηση (Biomonitoring)

Τα φύκη είναι **αποτελεσματικά** στη βιοπαρακολούθηση και θεωρούνται **"early warning systems"** γιατί είναι

- **ευαίσθητα** στις ρυπαντικές ουσίες (απορρυπαντικά, υγρά απόβλητα εργοστασίων και ζιζανιοκτόνα, θρεπτικά, βαρέα μέταλλα κλπ)
- **πρωτογενείς παραγωγοί** & συνεπώς αποτελούν τη **βάση** του τροφικού πλέγματος από τις πρώτες ομάδες οργανισμών που επηρεάζονται από τη ρύπανση και που με τη σειρά τους επηρεάζουν οργανισμούς σε υψηλότερα επίπεδα.

Οργανισμοί δείκτες (ενδείκτες):

παρέχουν δηλαδή πληροφορίες με την παρουσία / απουσία τους καθώς και την αφθονία τους, και την λειτουργία τους
ακόμα και με την συμπεριφορά τους

ως προς τις περιβαλλοντικές συνθήκες που επικρατούν σε μία δειγματοληπτική θέση.

Βιοπαρακολούθηση (Biomonitoring)

Βιοαναλύσεις (βιοδοκιμές, bioassays)
διαδικασίες όπου εφαρμόζονται **βιοδείκτες** ή

- βαρέα μέταλλα,
- φυτοφάρμακα και
- πτητικές οργανικές ουσίες

Βιοαισθητήρες (biosensor), **Βιοτέστ** (biotest)

συσκευές όπου γίνεται **μέτρηση** των **αποκρίσεων** των **οργανισμών δεικτών** για την **εκτίμηση** των **συνεπειών** των **αβιοτικών περιβαλλοντικών παραμέτρων** στους **έμβιους οργανισμούς**.

Π.χ. δοκιμές τοξικότητας → **εκτίμηση της ασφάλειας** των υδάτων
Βασίζεται στην υπόθεση ότι η **αύξηση των κυττάρων** είναι **ανάλογη με** την **συγκέντρωση του περιοριστικού θρεπτικού** ή **αντιστρόφως ανάλογη της τοξίνης** (τοξικότητα εξαρτάται από °Θ, S‰ κ.α.)

<https://www.tame-water.com/en/services/norm-solution>



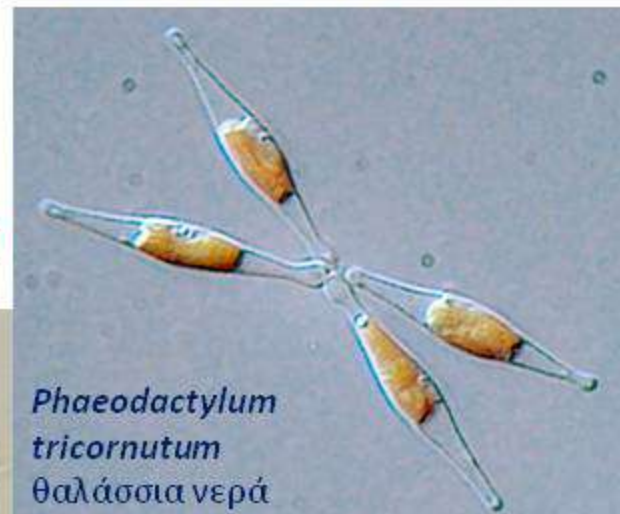
Selenastrum capricornutum

Καθορισμό επιπέδου θρεπτικών ή
τοξικών ενώσεων (ακόμα και μετάλλων).
Γλυκά νερά



Scenedesmus subspicatus

Γλυκά νερά



Phaeodactylum tricornutum

θαλάσσια νερά



Skeletonema costatum

θαλάσσια νερά

Βιοπαρακολούθηση (Biomonitoring)

Βιοαναλύσεις (βιοδοκιμές, bioassays)

Βιοαισθητήρες (biosensor), **Βιοτέστ** (biotest)

Πλεονεκτήματα

- οργανισμοί ευαίσθητοι στις περιβαλλοντικές μεταβολές.
- πολυπληθείς κοινότητες
- σχετικά εύκολος χειρισμός.
- **δεν** υπάρχουν ηθικοί περιορισμοί (όπως στα σπονδυλωτά) κατά τη δοκιμή της τοξικότητας των διαφορετικών ενώσεων

<https://www.tame-water.com/en/services/norm-solution>



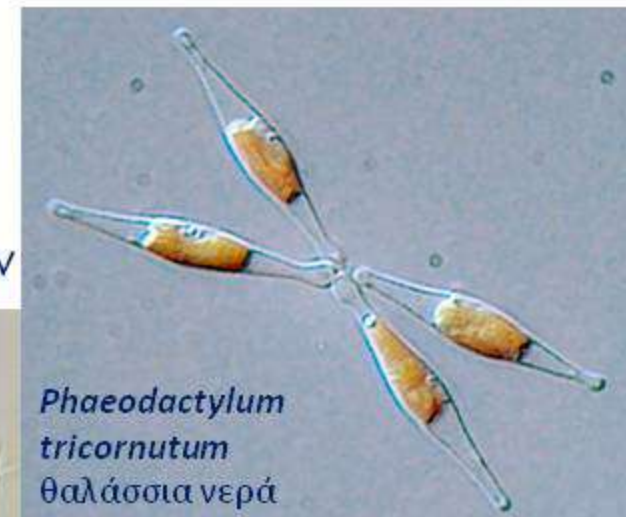
Selenastrum capricornutum

Καθορισμό επιπέδου θρεπτικών ή τοξικών ενώσεων (ακόμα και με μέταλλα).
Γλυκά νερά



Scenedesmus subspicatus

Γλυκά νερά



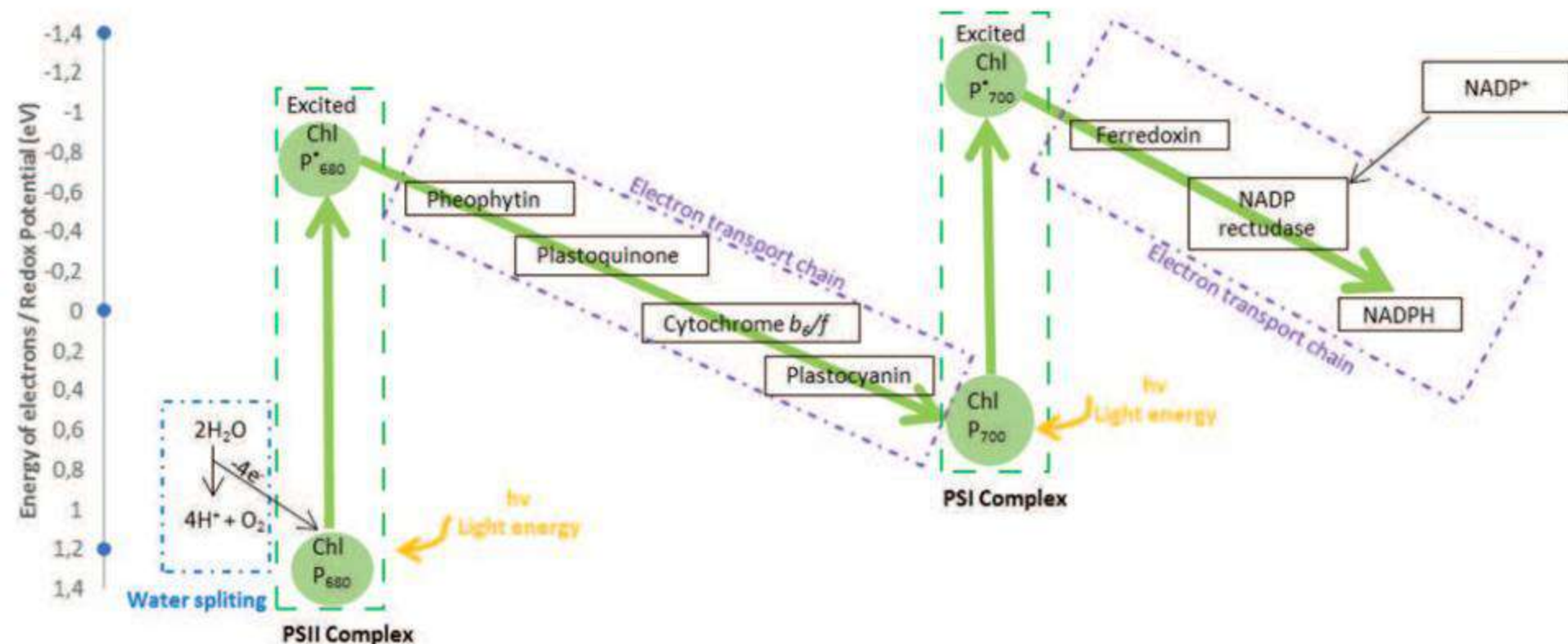
Phaeodactylum tricornutum
θαλάσσια νερά



Skeletonema costatum
θαλάσσια νερά

Test compounds	Test species	Observed stress response	References
Crude oils: South Louisiana, Kuwait, Venezuela, and Alaskan Diesel fuel oils No. 2: Amer. Petrol. Institute, Baton Rouge, Baytown, Montana, New Jersey	<i>Agmenellum quadriplicatum</i> <i>Chlorella autotrophica</i> <i>Cylindrotheca</i> sp.	Fuel oil: lethal at 10 mL (20 mL) ⁻¹ . Crude oils: not toxic at 30 mL (20 mL) ⁻¹ . Photosynthesis of <i>Chlorella autotrophica</i> was only temporarily depressed by the crude oils at 30 mL (20 mL) ⁻¹ . Four of the fuel oils inhibited photosynthesis, O ₂ output decreasing to zero without recovery (exception: Montana fuel oil).	Batterton et al. (1978)
Crude oils: Atkinson Point, Norman Wells, Pembina, and Venezuela Corexit (unnamed)	<i>Laminaria saccharina</i> <i>Phyllophora truncata</i>	<i>In situ</i> primary production was significantly inhibited by all types and concentrations of oil tested (at 10 ppm). Inhibition generally increased with increasing oil concentration. The crude oil-Corexit mixtures were more toxic than crude oil or Corexit alone.	Hsiao et al. (1978)
Coal liquefaction, shale-oil and petroleum products	<i>Selenastrum capricornutum</i> <i>Microcystis aeruginosa</i>	Based on ¹⁴ C assimilation measurements, the coal-liquefaction products inhibited algal photosynthesis at water-soluble fractions concentrations two orders of magnitude lower than the petroleum products; shale-oil products were intermediate in toxicity.	Giddings and Washington (1981)
Crude oil: Tunisian	<i>Skeletonema costatum</i>	Toxicity is related to nutrient limitation conditions. 100 mg L ⁻¹ lethal in P and N limited media, and less severe in the Si-limited media. Chl- α and carbon uptake more sensitive parameters for assessing hydrocarbon toxicity than cell counting.	Karydis (1981)
Crude oil: Ekofisk	<i>Skeletonema costatum</i> <i>Phaeodactylum tricornutum</i> <i>Chaetoceros ceratosporum</i>	<i>S. costatum</i> and growth rate most sensitive than chlorophyll content per cell and the ratio of <i>in vivo</i> fluorescence to chlorophyll content.	Ostgaard et al. (1984)
BP light diesel BP1100X BP1100WD Shell Oil Herder	<i>Chlorella salina</i>	Stimulatory effects on photosynthesis by low levels of BP light diesel (0.05%) and the oil dispersant BP 1100X (0.005%), either alone or in mixture. Inhibition of Chl- α content at higher levels of BP light diesel, BP1100X and at all the tested concentrations of oil dispersants BP 1100WD and Shell Oil Herder.	Chan and Chiu (1985)
Crude oils: Ekofisk and Stratford	<i>Skeletonema costatum</i> <i>Thalassiosira pseudonana</i> <i>Phaeodactylum tricornutum</i>	Reduced photosynthetic capacity. Highest sensitivity: <i>S. costatum</i> . Similar results by lab batch and <i>in situ</i> dialysis culture.	Hegseth and Ostgaard (1985)
Crude oil: Norman Wells Corexit 9550	St. Lawrence Estuary phytoplankton (<i>in situ</i> dosing)	Chl- α reduced at oil exposure concentration of 1–2 mg L ⁻¹ ; No observed affection in marine community composition.	Siron et al. (1993)
Diesel fuel oil No. 2: American Petroleum Institute Chrysene (water soluble PAH)	<i>Selenastrum capricornutum</i> Microcosms	In terms of Chl- α content: 3 d EC ₅₀ = 0.015 g L ⁻¹ ; 5 d EC ₅₀ = 0.014 g L ⁻¹ ; 7 d EC ₅₀ = 0.0156 g L ⁻¹ . Photosynthetic activity and chlorophyll- α concentration decreased after 24–72 h.	El-Dib et al. (1997) González et al. (2009)
Oil samples from the tanker <i>Prestige</i> spill	<i>Dunaliella tertiolecta</i>	Significant inhibition of photosynthesis (based on <i>Fv/Fm</i> , <i>ETR_{max}</i> , and photosynthetic efficiency α -values) after only 1 h of oil exposure with clear concentration dependency. After 3 d, photosynthesis remained inhibited although cell survival was only slightly effected.	Carrera-Martinez et al. (2010)
Eight groups of crude oil Accidental oil spill in Mumbai Harbor	Marine phytoplankton community Natural periphyton	High concentrations of oil of decreased Chl- α content. <i>In situ</i> : significant decrease in phytoplankton population, inhibition of photosynthesis associated with degradation of pigments (increase in phaeophytin).	Huang et al. 2010 Jaiswar et al. (2013)

Βιοπαρακολούθηση (Biomonitoring) μέσω βιοαναλύσεων



Οι διεξαγόμενες μελέτες επιβεβαίωσαν ότι στα μικροφύκη, η **αναστολή της φωτοσύνθεσης** είναι **βασική απόκριση (basic reflex)** στους **ρύπους** και σε πολλές περιπτώσεις είναι **πιο ευαίσθητη** από την **αναστολή της αύξησης**.

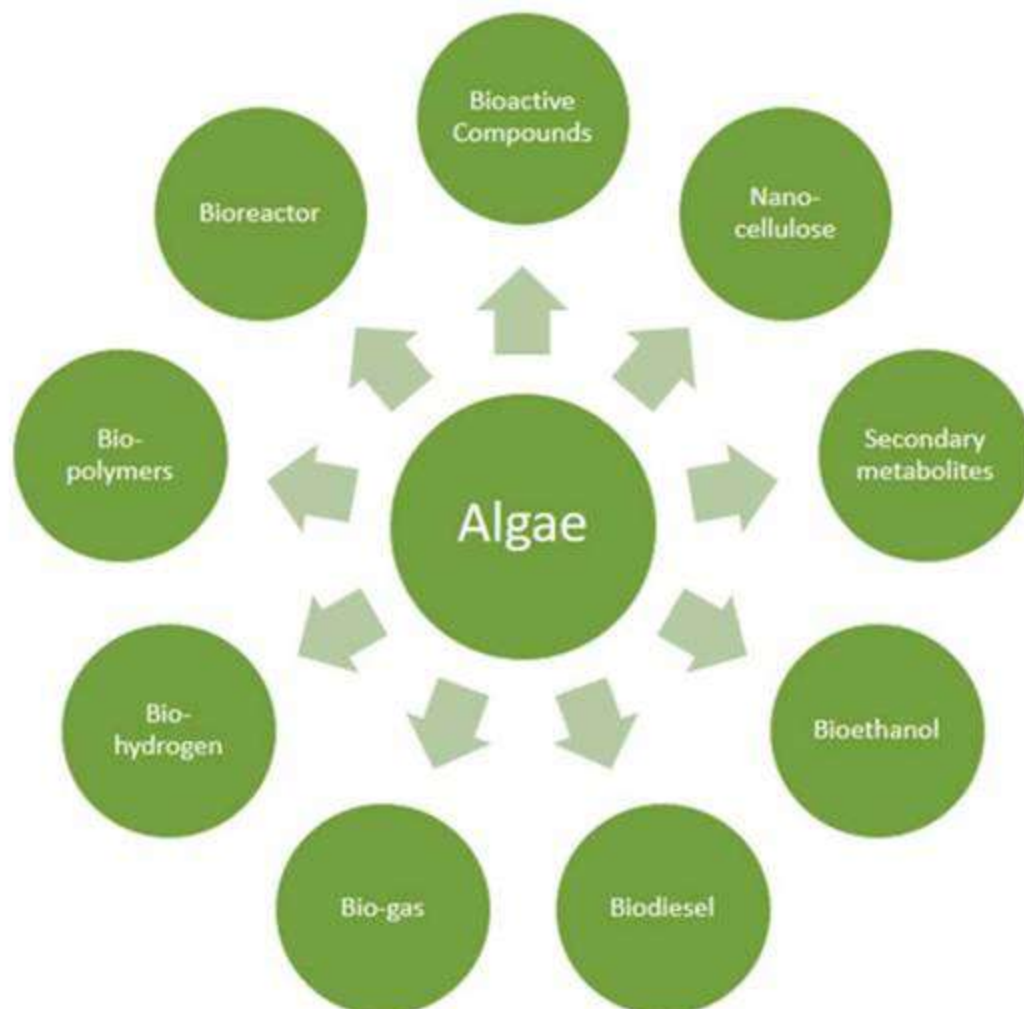
Η μέτρηση της **φωτοσυνθετικής δραστηριότητας** ή της **καθυστερημένης αποδιέγερσης (delayed fluorescence, phosphorescence)** της **χλωροφύλλης** αποτελούν καλές μεθόδους για την ανίχνευση ποικίλων πιθανών καταστάσεων **στρες**.

Φύκη & Περιβάλλον

- φωτοσύνθεση (δέσμευση CO_2 , παραγωγή O_2 και οργανικών ενώσεων),
- αντλία άνθρακα,
- πρόσληψη θρεπτικών
(περιορισμός ευτροφισμού, βιοεξυγίανση, επεξεργασία & ανακύκλωση λυμάτων κλπ),
- ορισμένα αποτελούν θεμελιώδεις οργανισμούς
για συγκεκριμένα οικοσυστήματα,
- αζωτοδέσμευση (δέσμευση N_2),
- μέσω της αποικοδόμησης τους → βιολίπασμα κ.α.,
- βάση τροφικών πλεγμάτων → τροφή για ανώτερα τροφικά επίπεδα,
- βιοπαρακολούθηση,
- σύνθεση & παραγωγή διαφόρων ουσιών
(βιομάζας, πρόσθετων διατροφής, πηκτικών, φαρμακευτικών ουσιών κ.α.).

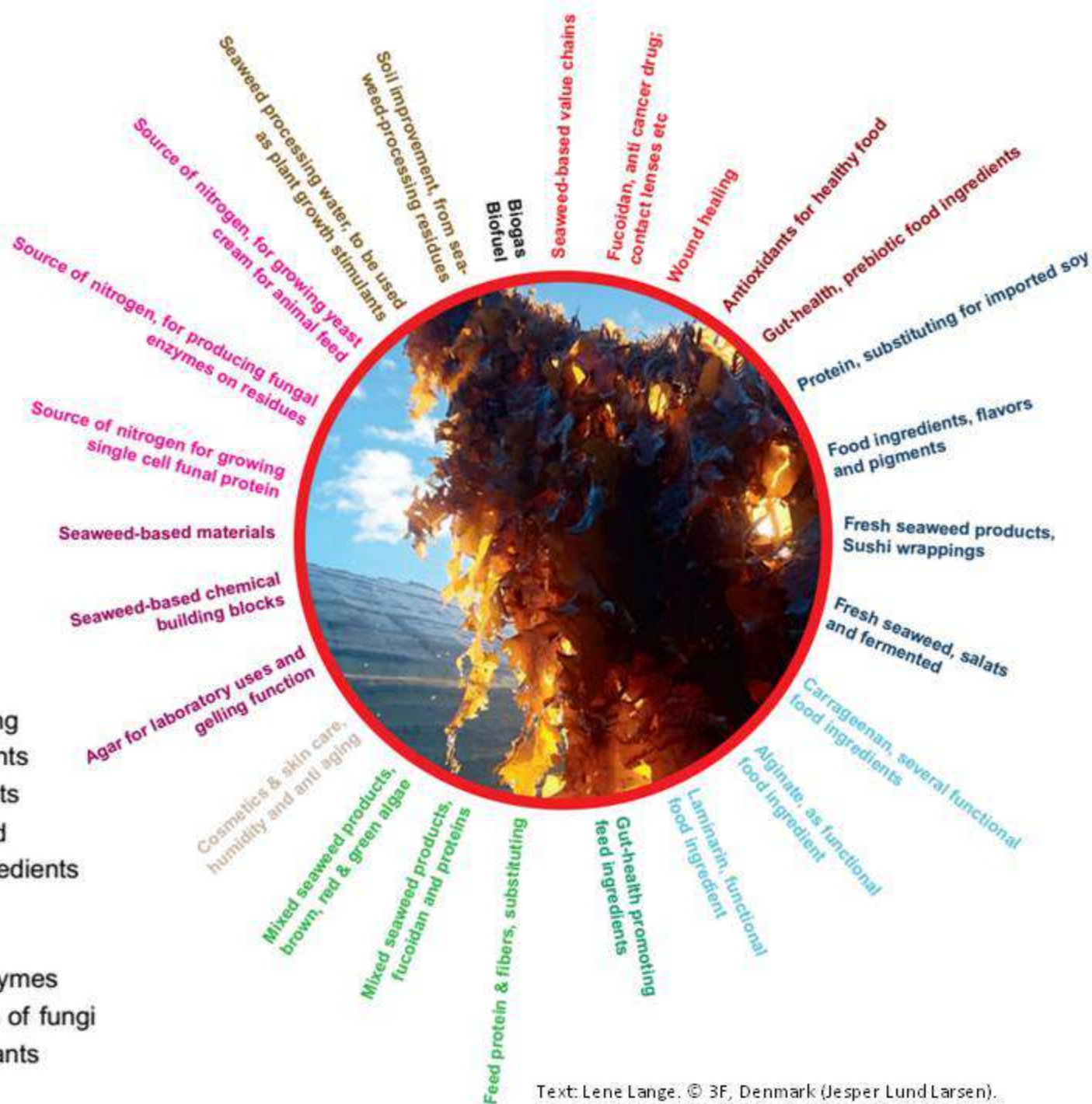
Βιοσύνθεση

Η βιολογική σύνθεση υπερτερεί των χημικών μεθόδων γιατί οι τελευταίες είναι επίπονες και ακριβές διαδικασίες και τα χημικά που χρησιμοποιούνται δεν είναι φιλικά προς το περιβάλλον.



Τα φύκη ως πηγή βιοκαυσίμων, τροφής και άλλων προϊόντων

- health, drugs and wound healing
- health promoting food ingredients
- food proteins, flavors & pigments
- functional hydrocolloids for food
- Gut-health promoting feed ingredients
- Animal feed, proteins etc
- skin care and cosmetics
- chemical building blocks & enzymes
- growth substrate for production of fungi
- soil improvers and plant stimulants
- bioenergy



Τεχνολογίες μετατροπής βιομάζας σε καύσιμα και ενέργεια

Βιομάζα: η οργανική ύλη εντός των οργανισμών διαθέσιμη σε ανανεώσιμη βάση

η ηλιακή ενέργεια αποθηκεύεται μέσω φωτοσύνθεσης με τη μορφή της χημικής και παράλληλα παράγονται πολύπλοκες και χρήσιμες χημικές ενώσεις.

Αειφόρος παραγωγή βιοκαυσίμων και σημαντικής αξίας χημικών ενώσεων.

Σύγχρονα βιοκαύσιμα

- Αλκοόλες (βιοαιθανόλη, βιομεθανόλη)
- Βιοντίζελ
- Βιοαέριο
- Υδρογόνο

Προϊόντα υψηλής αξίας

- Αλκοόλες (ξυλιτόλη → φυσικό γλυκαντικό, γλυκερόλη)
- Οργανικά οξέα: (κυτρικό, γλυκονικό οξύ)
- Γλυκαντικές ουσίες: φρουκτόζη
- Βιταμίνες: C, B12
- Αντιβιοτικά: στρεπτομυκίνη, κεφαλοσπορίνες
- Πρωτεΐνες & αμινοξέα
- Βιολιπάσματα
- Βιοεντομοαπωθητικά
- Βιοπλαστικά



Aquatic biofuels

Γιατί επείγει;

- Εξάντληση ορυκτών καυσίμων
- Ορυκτά καύσιμα (αυξανόμενα προβλήματα από τη χρήση ορυκτών καυσίμων)
 - **Εξόρυξη:** συμβατική & υδραυλική ρωγμάτωση ή διάρρηξη (fracking)
 - **Επεξεργασία, αποθήκευση**
 - **Μεταφορά** (ατυχήματα κ.α.)
 - **Χρήση**

→ Κλιματική κρίση, οξίνιση ωκεανών, νεκρές ζώνες

Γιατί φύκη;

- Δεν ανταγωνίζονται την γεωργία, προσαρμογή σχεδόν παντού (...έρημο !)
- Δεν χρειάζονται καθαρό, γλυκό νερό
- Υψηλή παραγωγικότητα
- Μη τοξικά και βιοδιασπώμενα
- Τα φύκη **στερούνται λιγνίνης και άλλων μεγάλων βιοπολυμερών**, που παρεμποδίζουν τη ζύμωση της βιομάζας όπως στα ανώτερα φυτά.

Μειονέκτημα: **υψηλό κόστος**
τεχνικά εμπόδια ώστε να μειωθεί
(νανοκαταλήτες, αξιοποίηση συνπροϊόντων κ.α.)

Λύνεται το πρόβλημα επί της ουσίας με τα βιοκαύσιμα ;
Ανακύκλωση: χρήση CO₂ αλλά και εκπομπή.



Με την παραγωγή H₂ ;
δεν υπάρχει το ίδιο πρόβλημα



Παραγωγή βιοκαυσίμων ανά είδος φυτοπλαγκτού

Ταχα μικροφυκών	Περιεχόμενο σε βιοκαύσιμο (% ξηρού βάρους)	Βιβλιογραφία
<i>Chlorella</i> sp.	29	Sheehan et al. (1998)
<i>Dunaliella tertiolecta</i>	36–42	Tsukahara and Sawayama (2005)
<i>Tetraselmis suecica</i>	15–32	Chisti (2007)
<i>Thalassiosira pseudonana</i>	21–31	Brown et al. (1996)
<i>Nannochloropsis</i> sp.	46	Hu et al. (2006)
<i>Botryococcus braunii</i>	29–75	Metzger and Largeau (2005)
<i>Nannochloris</i> sp.	31	Sheehan et al. (1998)
<i>Skeletonema costatum</i>	87	Rekha et al. (2012)
<i>Chlorella marina</i>	70.6	Rekha et al. (2012)
<i>Dunaliella</i> sp.	66.6	Shenbaga Devi (2010)
<i>Nannochloropsis</i> sp.	68.5	Shenbaga Devi (2010)

*** Τα μη ή μονοακόρεστα λιπαρά οξέα μήκους 16 ή 18 ατόμων άνθρακα είναι τα καλύτερα για την παρασκευή βιοντίζελ.**

Βιοδιυλιστήριο (biorefinery)

Η μονάδα που διαθέτει τις απαραίτητες τεχνολογίες και εξοπλισμό για την μετατροπή της **βιομάζας** σε **βιοκαύσιμο**, **ενέργεια** και σημαντικά **παραπροϊόντα**.

- **Ζύμωση**: Μετατροπή γλυκόζης σε **αιθανόλη** (καύσιμο κίνησης, σκέτο ή με βενζίνη) + H_2

- **Μετεστεροποίηση**: τριγλυκερίδια + μεθανόλη → **μεθυλεστέρες**
 - Μετατροπή φυτικών ελαίων (ή ζωικών λιπών) σε **βιοντίζελ**.

- **Αναερόβια αποικοδόμηση αστικών αποβλήτων φυτικών μερών, κοπριά κλπ**

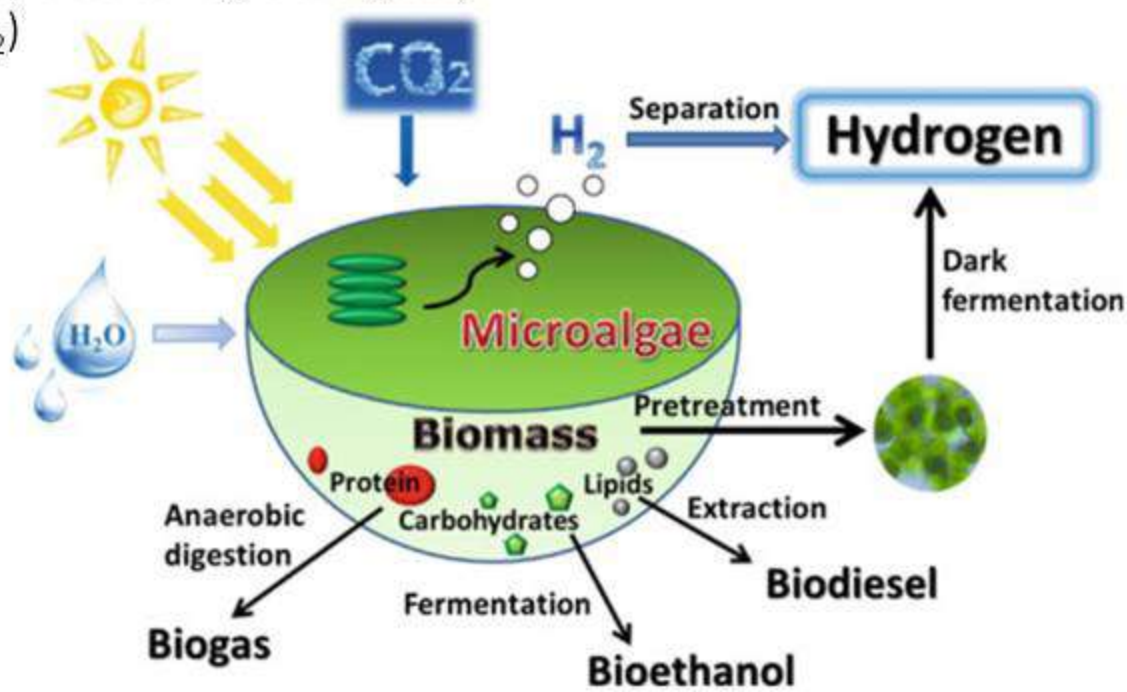
Ιλύς (παραπροϊόν, πλούσιο σε θρεπτικά + ιχνοστοιχεία)

- **βιοαέριο** (= μείγμα $CH_4 + CO_2$)

θερμική &
ηλεκτρική ενέργεια &

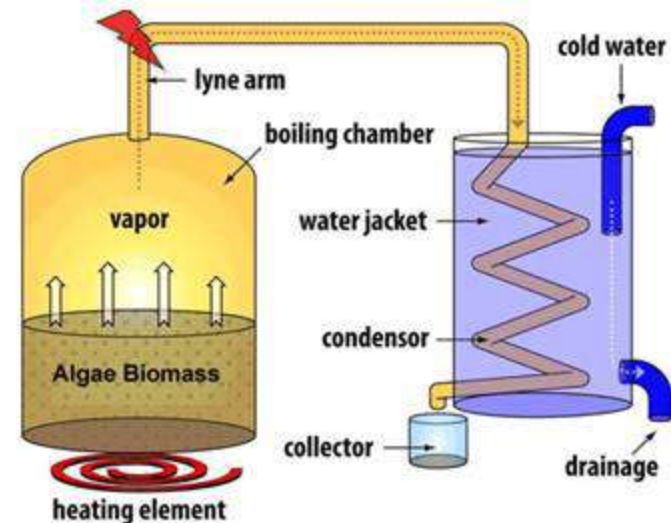
- **βιολίπασμα**

- Παραγωγή H_2
παρουσία φωτός



Τα Φύκη ως Πηγές Βιοκαυσίμων

α) ζύμωση της βιομάζας → παραγωγή βιοεθανόλης



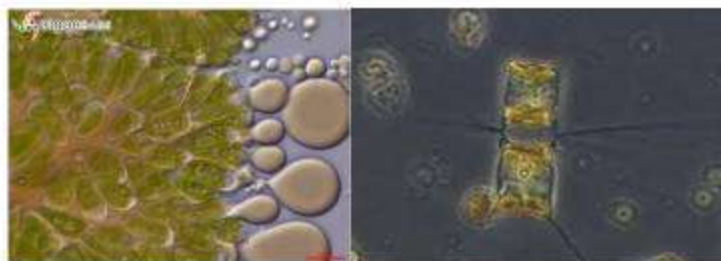
β) εκχύλιση λιπιδίων

Ορισμένα φύκη παράγουν μεγάλες ποσότητες λιπιδίων.

Περισσότερα από 300 στελέχη φυκών έχουν χαρακτηριστεί ως οικονομικώς σημαντικά (διάτομα, χλωροφύκη κ.α.).

Το χλωροφύκος *Botryococcus braunii* παράγει μεγάλα ποσά λιπιδίων. Παράγει μοναδικούς C17-C34 ακόρεστους πολύ-υδρογονάνθρακες >30% ξηρού βάρους.

Οι πετρελαϊκοί σχιστόλιθοι, και μικρά ποσοστά αργού πετρελαίου, προέρχονται από υδρογονάνθρακες του *Botryococcus*.



Acid Value (AV)

10.66 mgKOH/g

0.51 mgKOH/g

100 wt.%

86.1 wt.%



Crude algal oil

Esterification

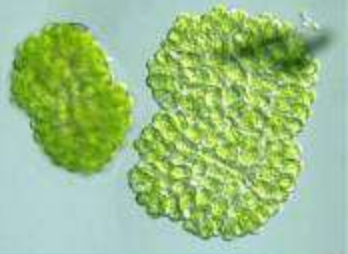


Esterified oil

Transesterification

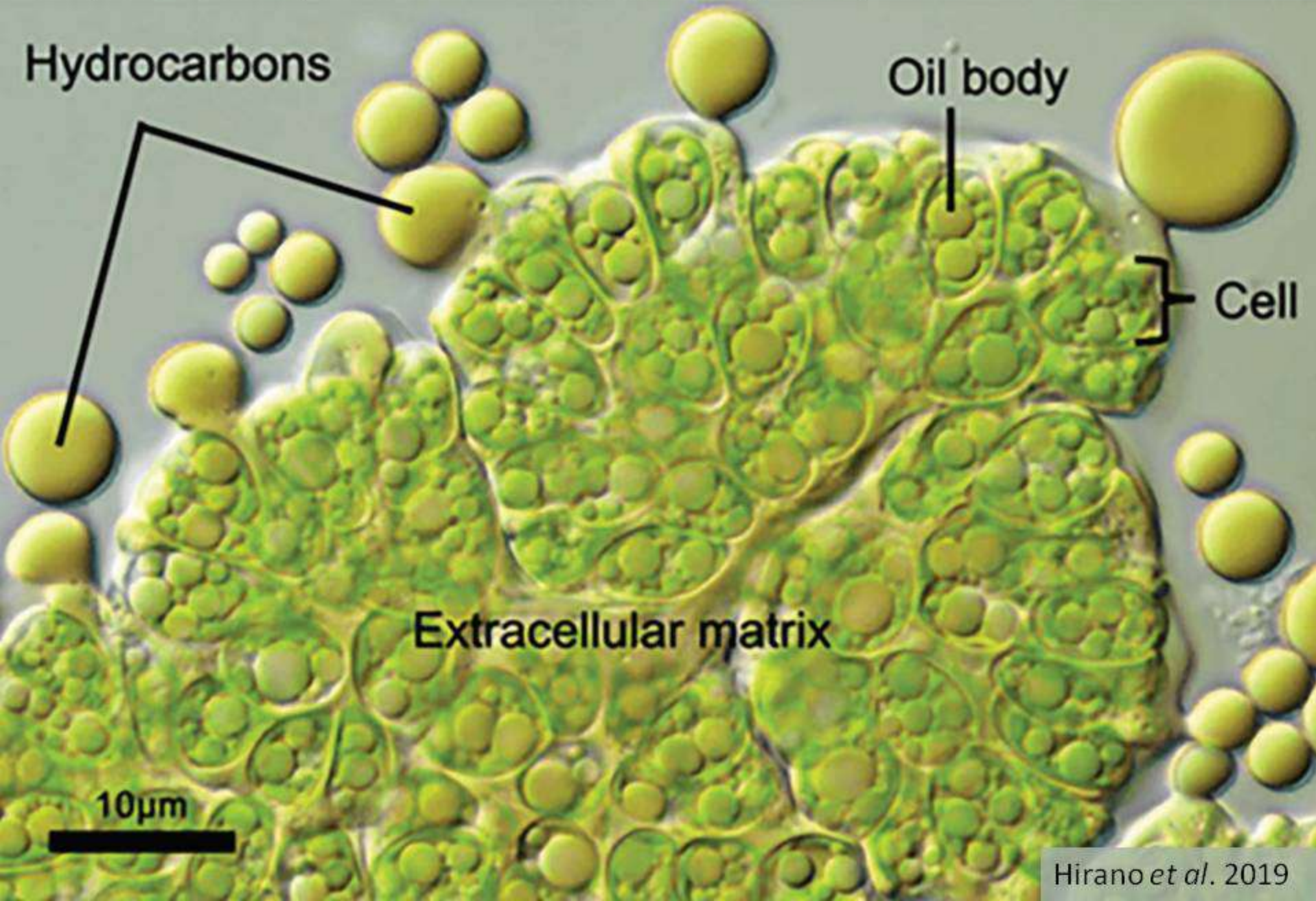


Biodiesel



Algal biodiesel
Glycerin

Αποικίες του χλωροφύκου *Botryococcus* με ελαιώδεις σταγόνες. Το λιπιδικό περιεχόμενο των κυττάρων μπορεί να φτάσει το 25–75% του ξυρού τους βάρους.



Τα Φύκη ως Πηγές Βιοκαυσίμων

γ) παραγωγή βιοαερίου

Ιλύς (παραπροϊόν, πλούσια σε θρεπτικά + ιχνοστοιχεία

- βιοαέριο (= μείγμα $\text{CH}_4 + \text{CO}_2$ → θερμική & ηλεκτρική ενέργεια) &
- βιολίπασμα



Τα Φύκη ως Πηγές Βιοκαυσίμων

δ) συστήματα παραγωγής H_2

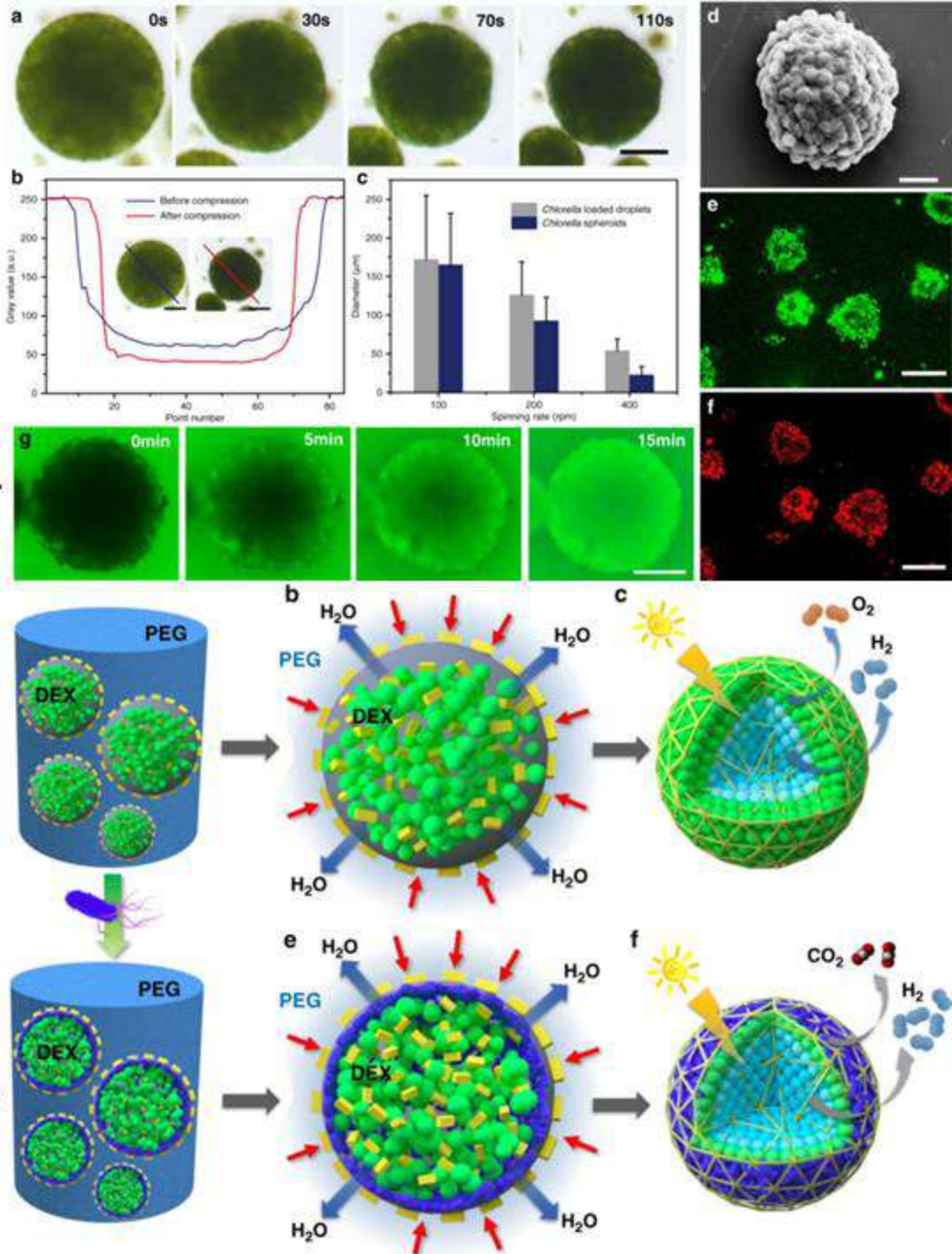
Παραγωγή H_2 από φύκη

(*Chlamydomonas* sp., *Scenedesmus* sp., *Nannochloropsis* sp., *Chlorella* sp., *Dunaliella* sp.).

σε συγκεκριμένες συνθήκες
(άμεση ή έμμεση βιοφωτόλυση
ή ζύμωση παρουσία ή απουσία φωτός).

Το **2000** ανακαλύφθηκε ότι
κατά τη φωτοσύνθεση το χλωροφύκος
Chlamydomonas reinhardtii
απουσία θείου αντί να παράγει O_2
παράγει H_2 .

Melis, A. et al. **2000**. Sustained photobiological
Hydrogen Gas Production upon Reversible
Inactivation of Oxygen Evolution in the Green Alga
Chlamydomonas reinhardtii. Plant Physiology.
2000;122:127-135.



Τα Φύκη ως Πηγές Βιοκαυσίμων

δ) συστήματα παραγωγής H_2

→ Η καύση H_2 στις μηχανές, αποφέρει ως παραπροϊόν μόνο νερό.

Τι το ιδιαίτερο έχουν τα φύκη αυτά ώστε να παράγουν αέριο H_2 ;

Ορισμένα **χλωροφύκη** και **αζωτοδεσμευτικά κυανοβακτήρια** παράγουν αέριο H_2 χρησιμοποιώντας την ενέργεια του ηλιακού φωτός.

Έχουν συγκεκριμένες **υδρογενάσες**

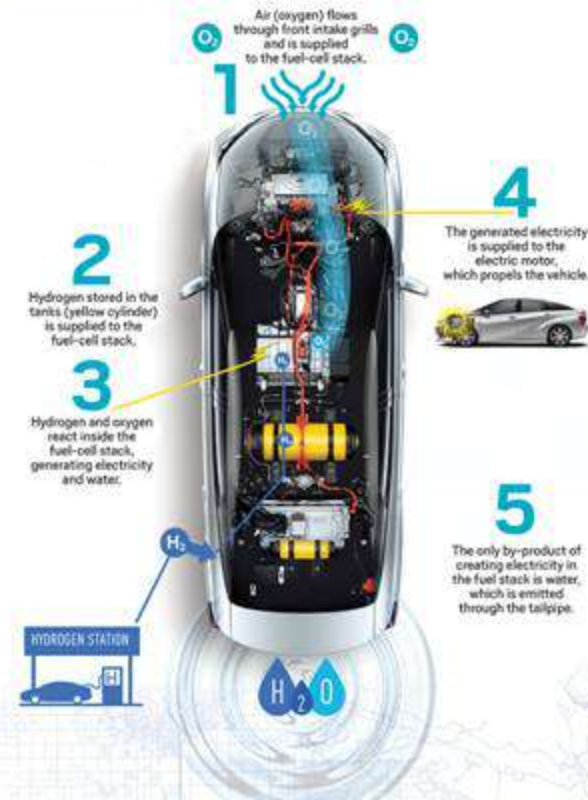
e- από H_2O μεταφέρονται στα άτομα σιδήρου, που εντοπίζονται στις υδρογενάσες → έκλυση H_2 . (φερρεδοξίνη)

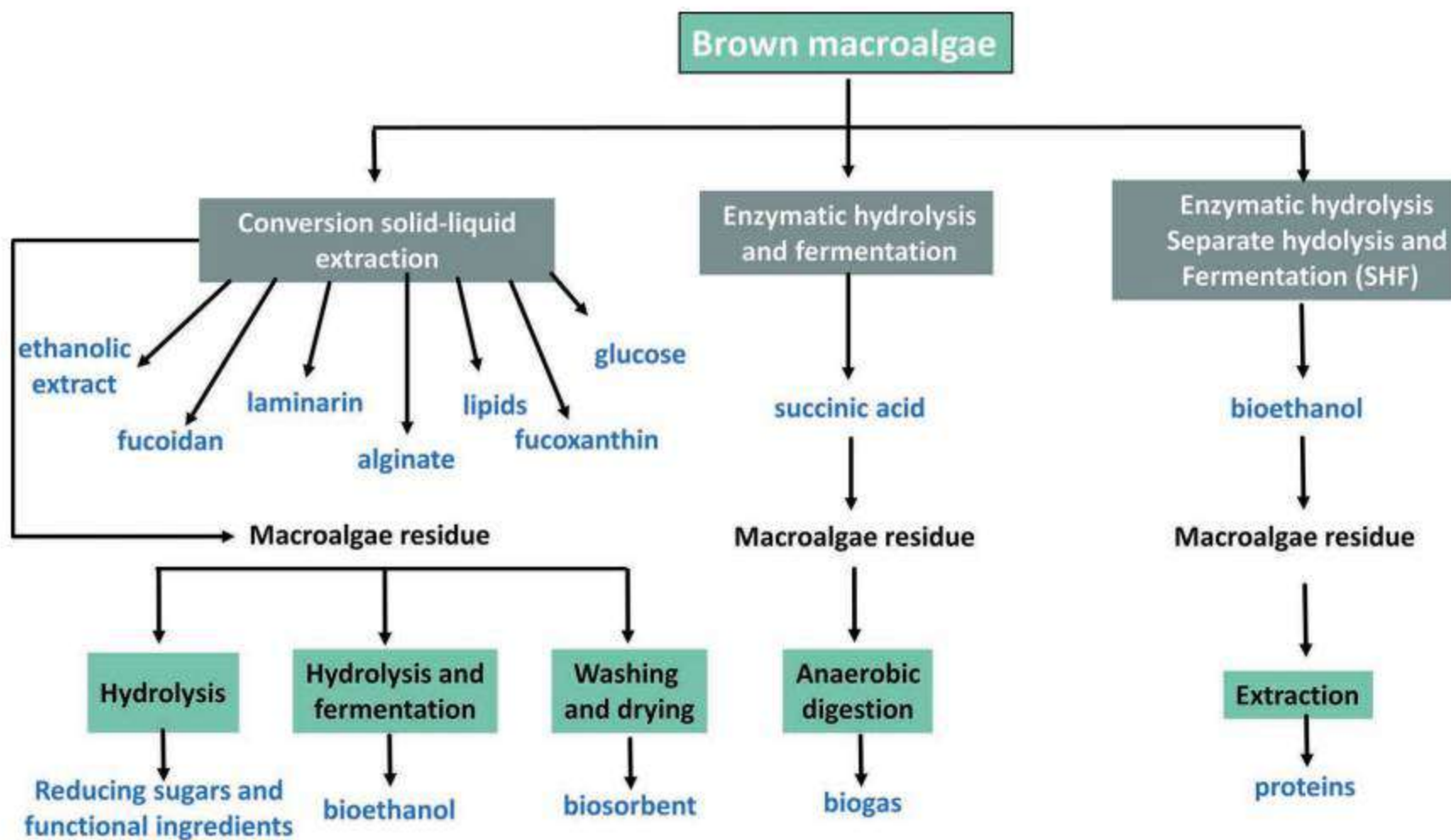
Κυρίαρχο εμπόδιο: ευαισθησία υδρογενασών στο O_2

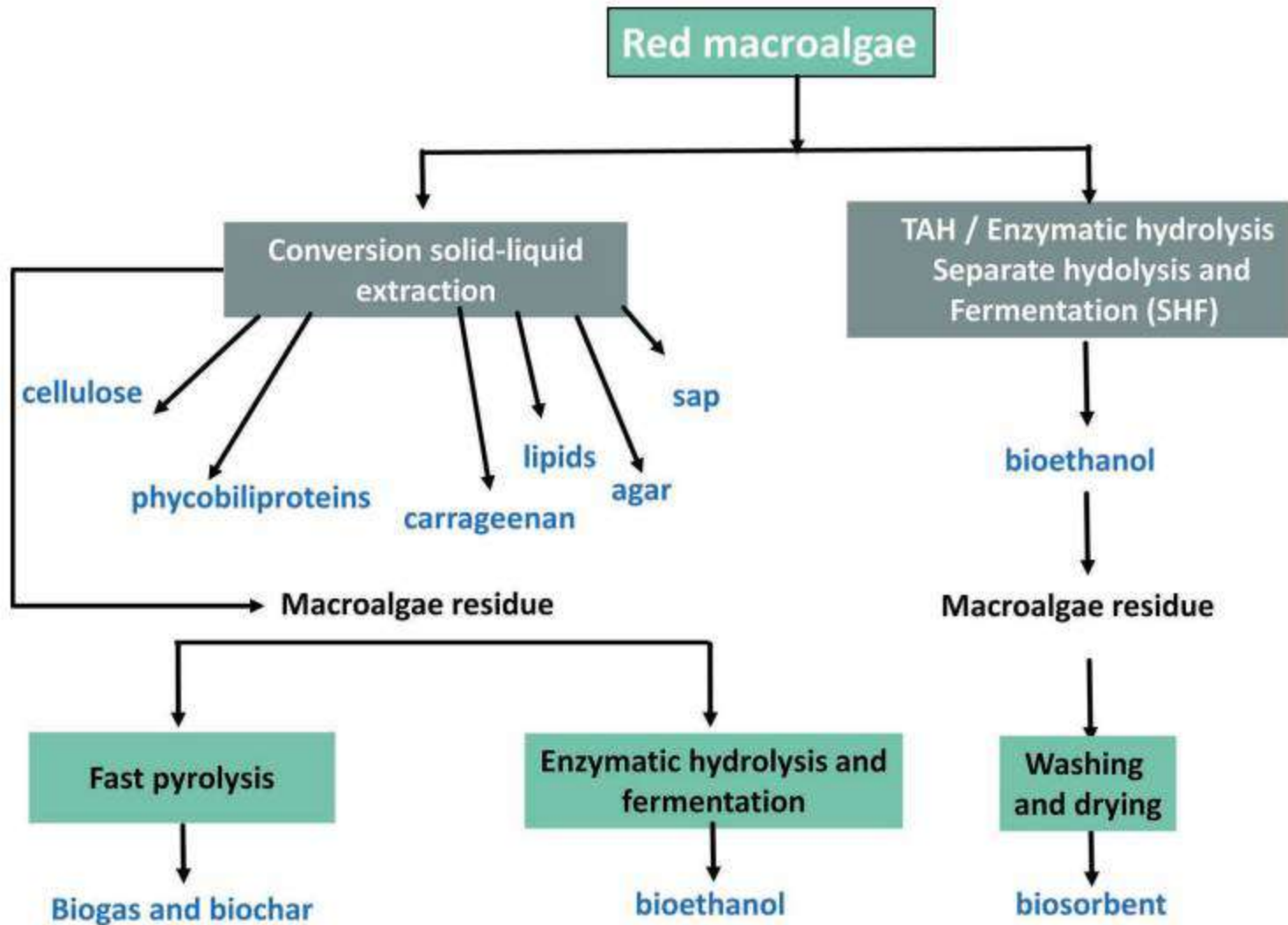
γενετική μηχανική

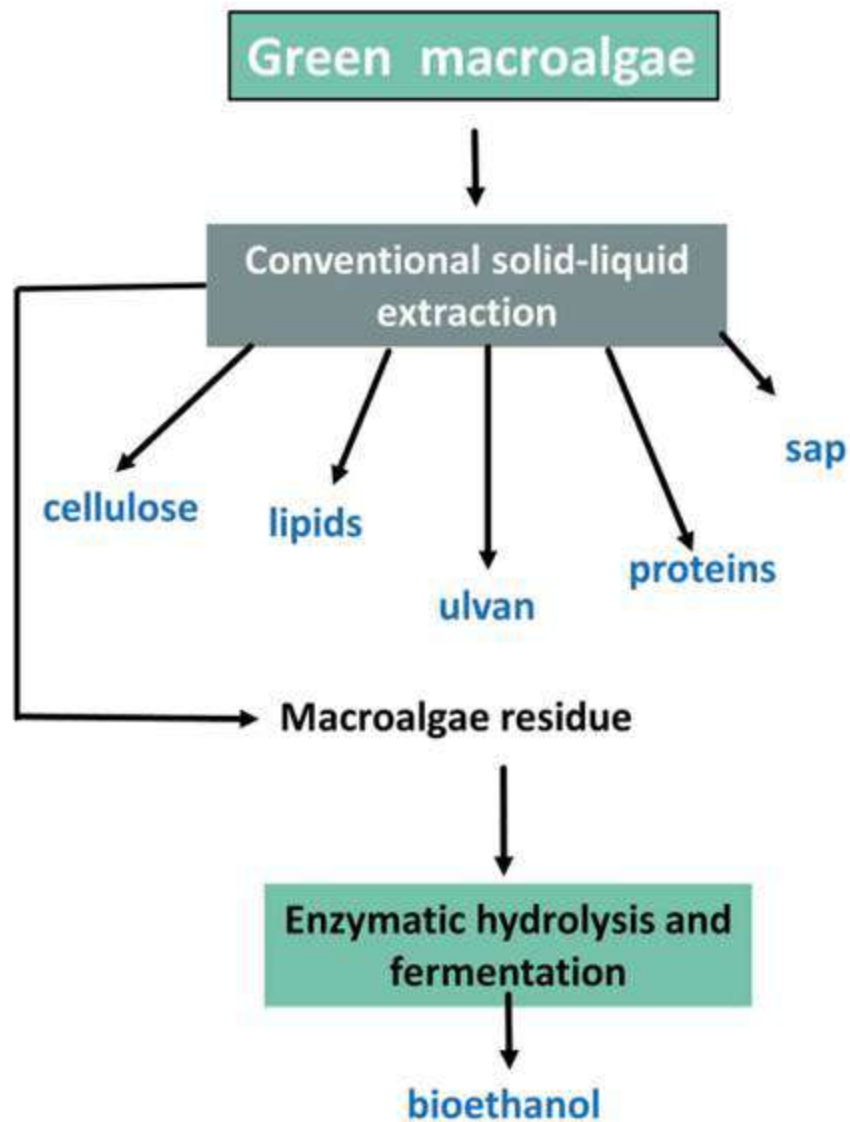
μετατροπή της δομής των υδρογενασών →

↓ ευαισθησίας στο O_2



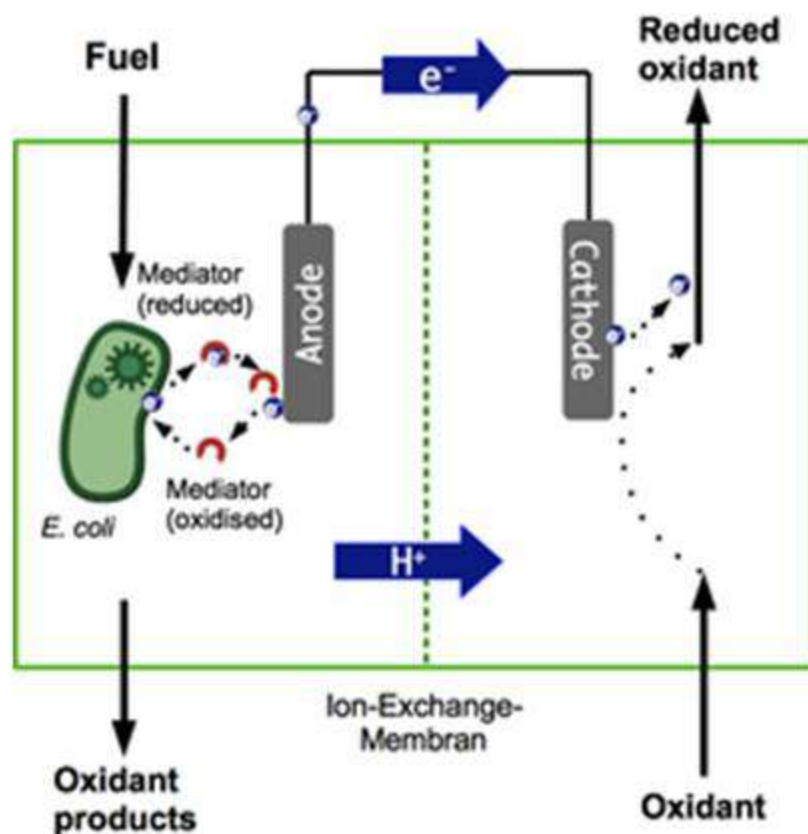






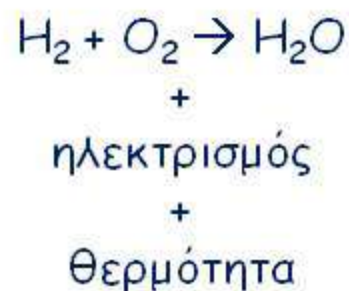
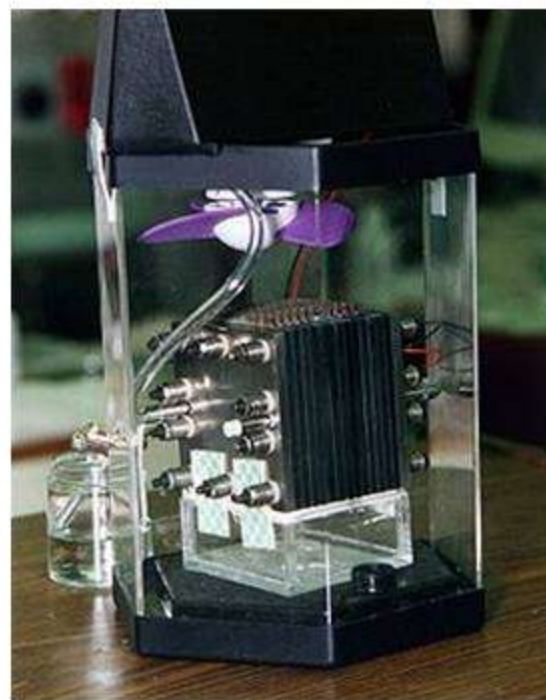
Παραγωγή ρεύματος

Μικροβιακή Κυψέλη Καυσίμου



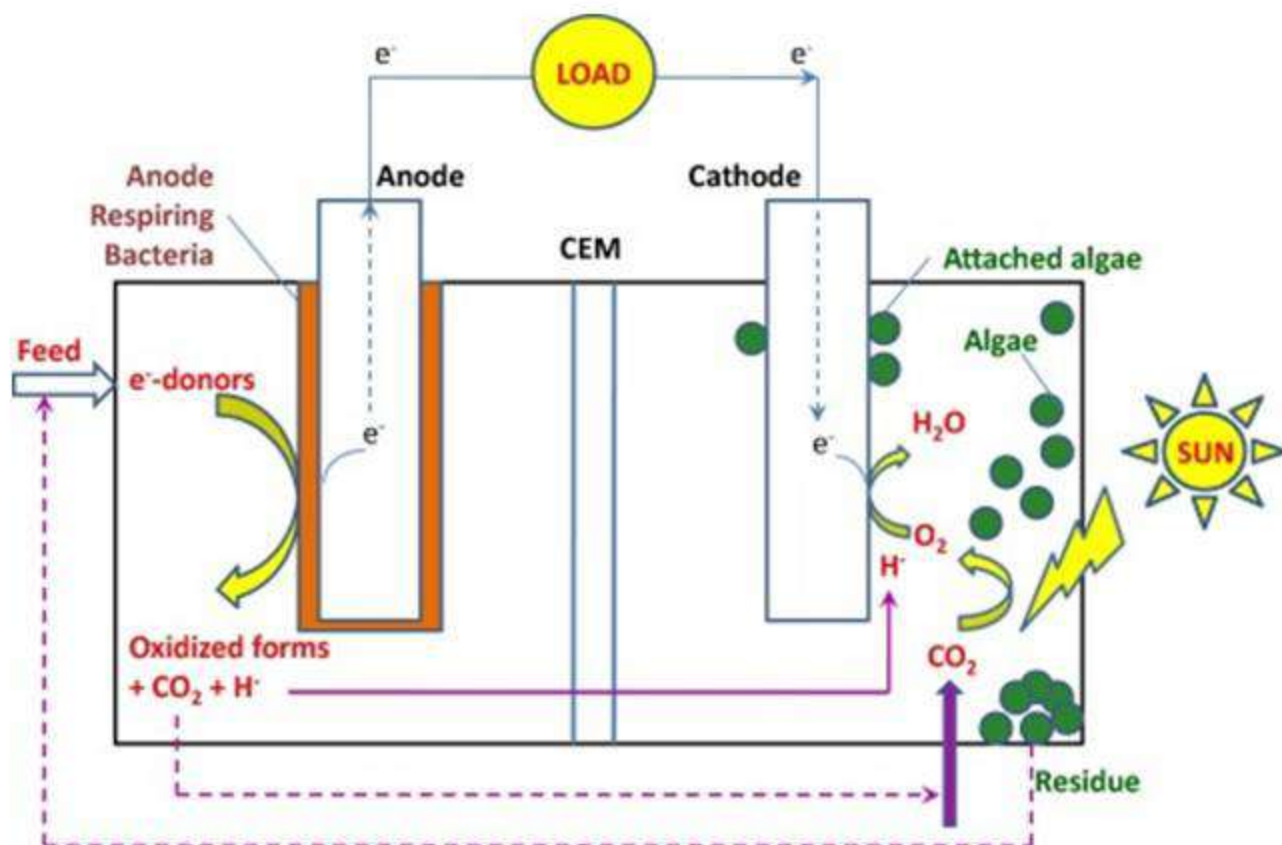
Οξείδωση προς CO_2

Κυψέλη Καυσίμου



Παραγωγή ρεύματος

Βιολογικό Φωτοβολταϊκό Σύστημα



Κυψέλη καυσίμου μικροφύκους-βακτηρίου

<https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S0960852415013401-fx1.jpg>

<https://www.youtube.com/watch?v=uPNDOw041Q8>

<https://www.youtube.com/watch?v=X-HE4Hfa-OY>

Έξυπνα κτήρια

Βιοενεργή πρόσοψη

με φύκη

SolarLeaf 2013

$\Theta \approx 40^{\circ}\text{C}$

1/3

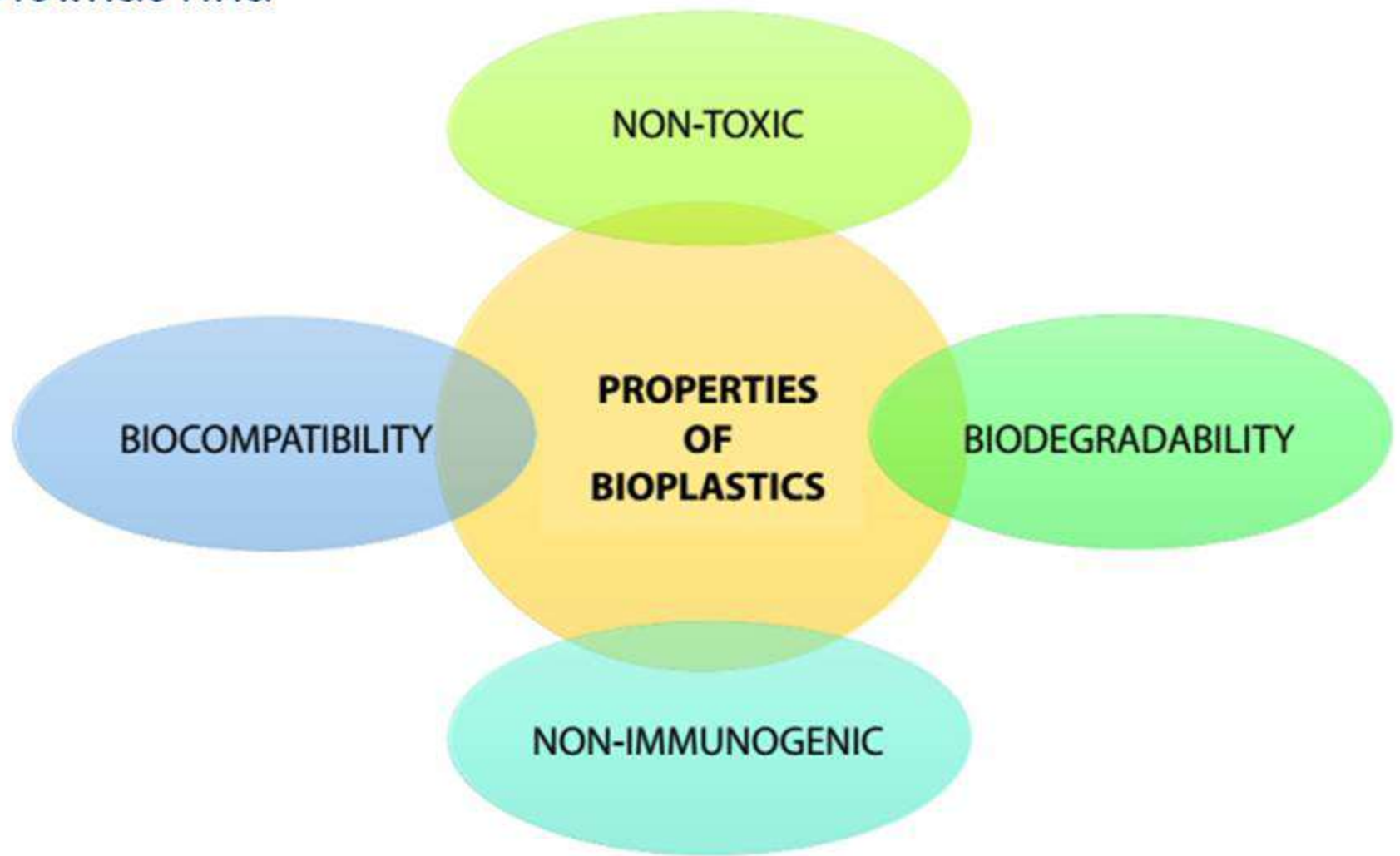
της συνολικής ανάγκης
σε θερμότητα
όλο το χρόνο



Βιοπλαστικά

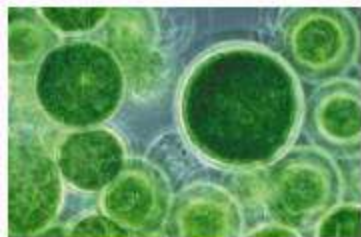


Βιοπλαστικά



Τα φύκη για την παραγωγή βιοπλαστικών

Άμεση μετατροπή μικροφυκών με υψηλό πρωτεϊνικό φορτίο προς **βιοπλαστικά**.



Protein-rich
microalgae

+

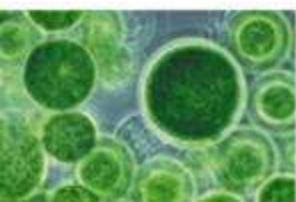
Plasticizer

Hot press



Protein-based
bioplastics

Έμμεση μετατροπή μικροφυκών με υψηλό πρωτεϊνικό φορτίο προς **βιο-πολυουρεθάνη**
(bio-based polyurethane).

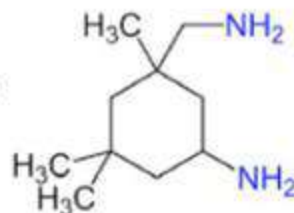


Protein-rich
microalgae

Protein extraction

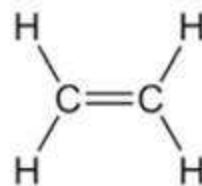


+



Diamine

+

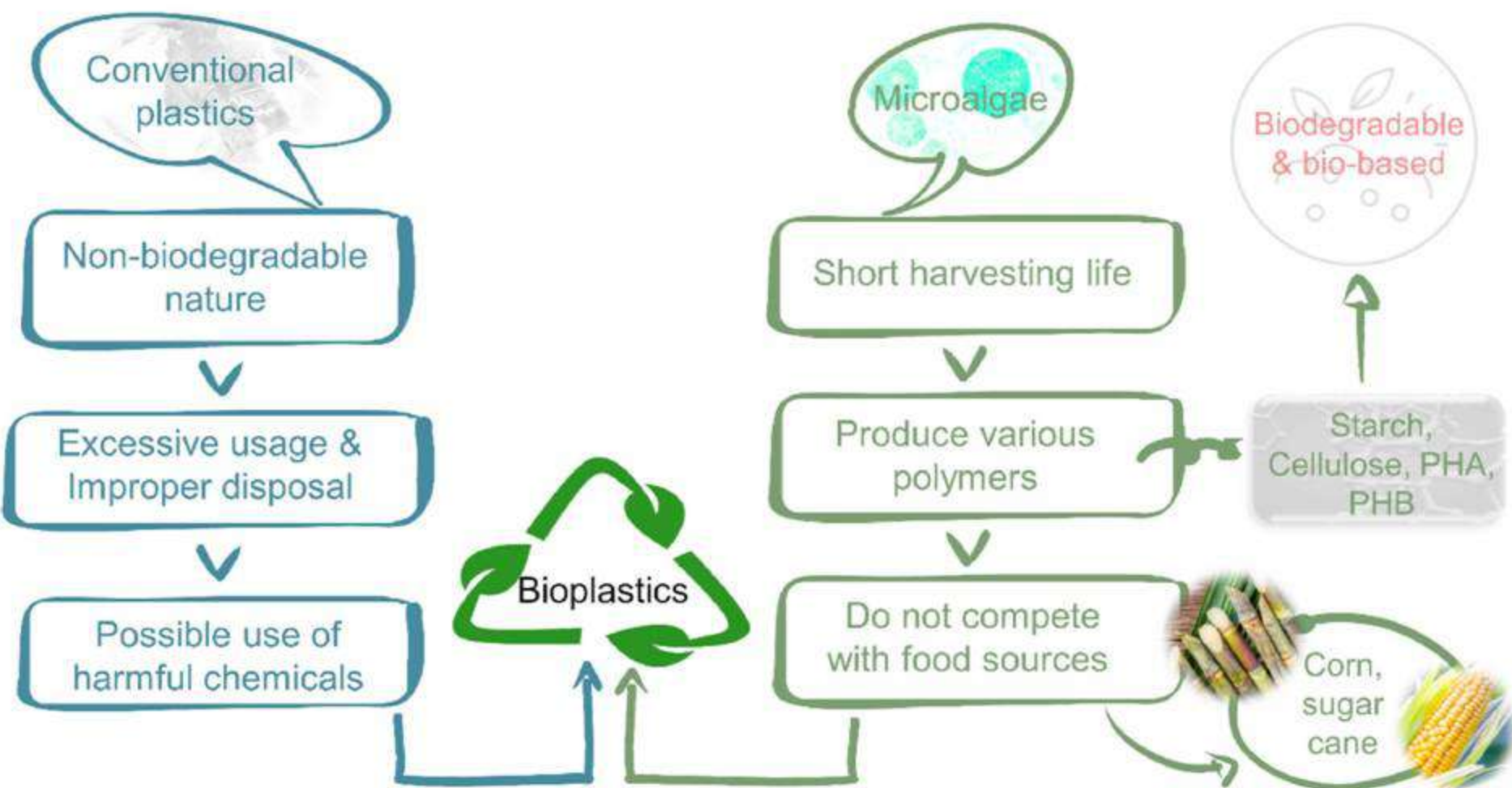


Ethylenee

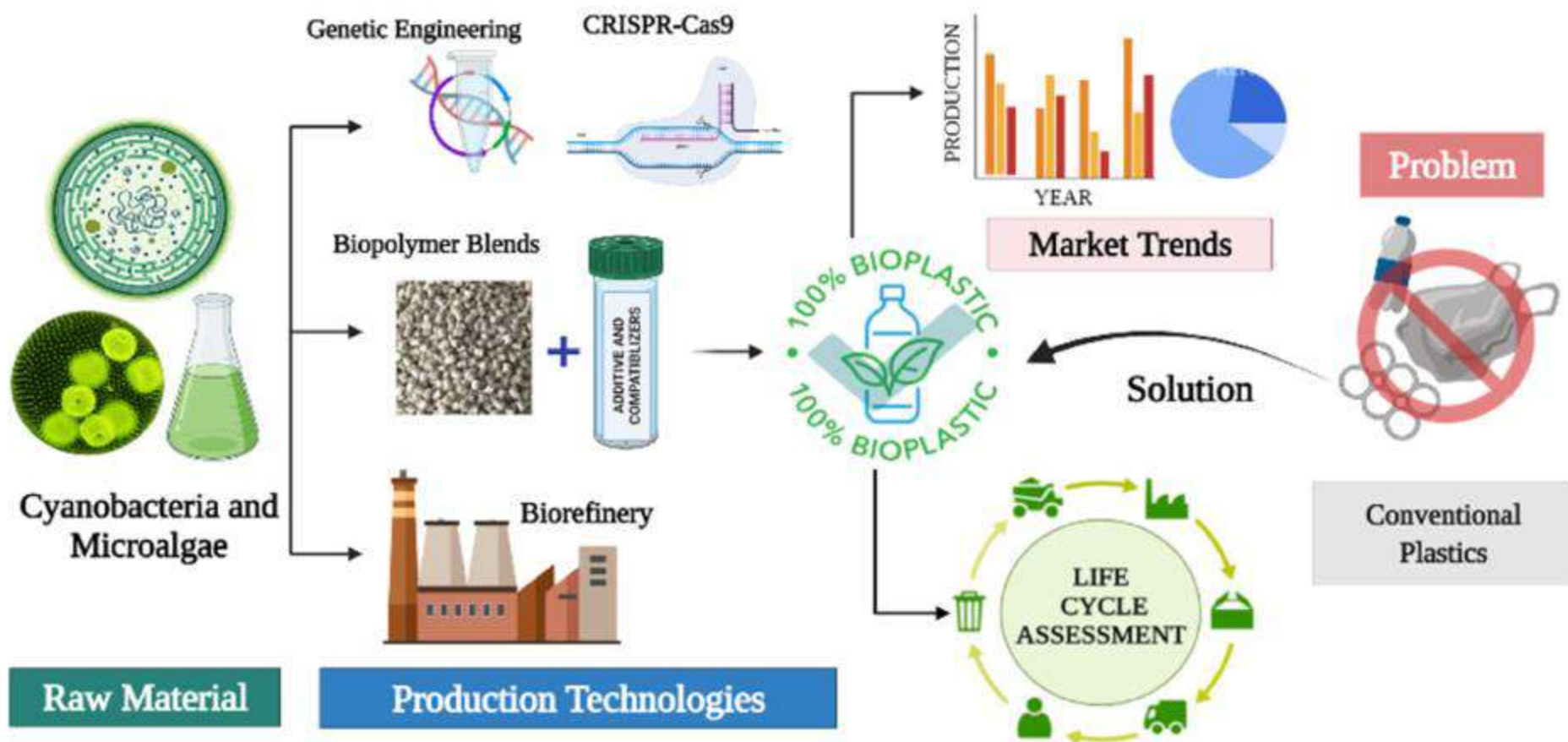


Biobased
polyurethane

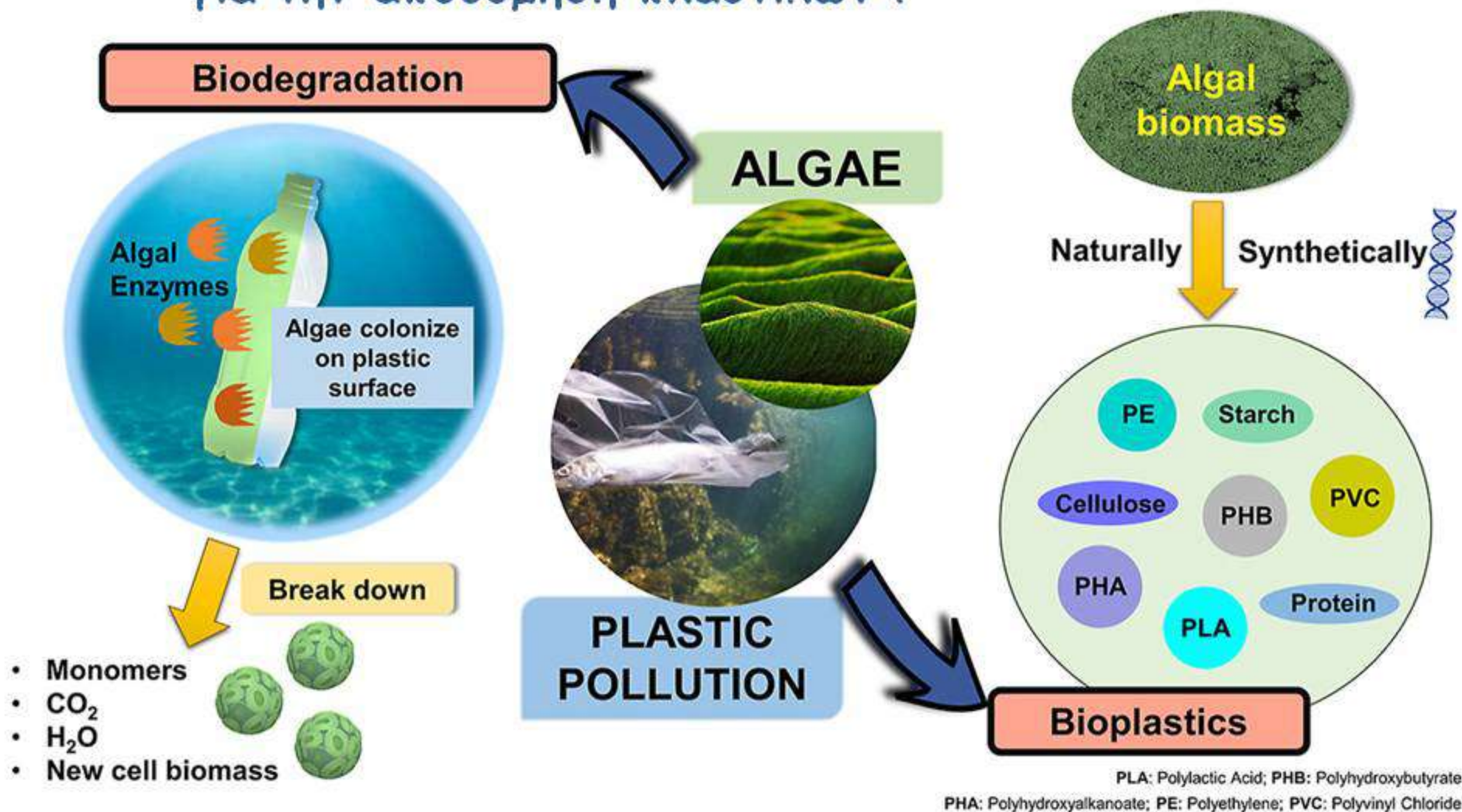
Τα φύκη για την παραγωγή βιοπλαστικών



Τα φύκη για την παραγωγή βιοπλαστικών



Φύκη για την παραγωγή βιοπλαστικών αλλά και για την αποδόμηση πλαστικών !



Τα φύκη ως πηγή τροφής



Συγκομιδή ή Καλλιέργεια Μακροφυκών ως Τροφή

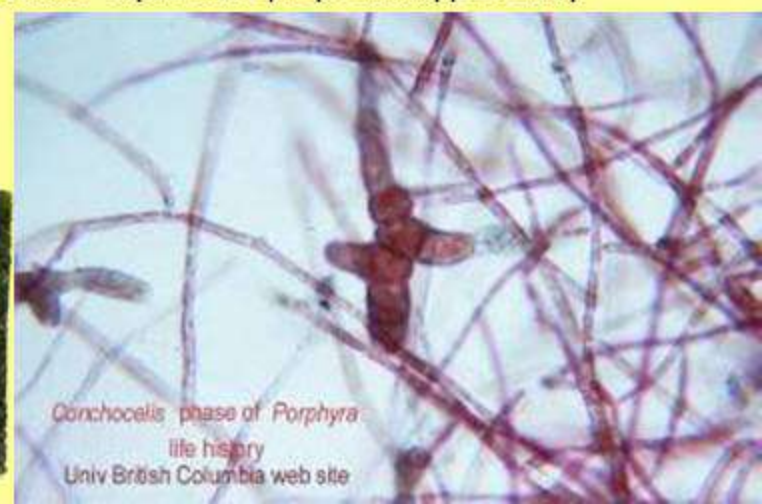
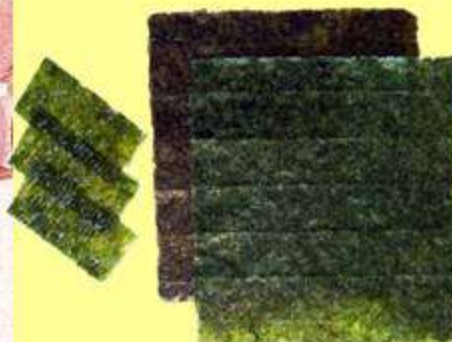
- Από το παρελθόν μέχρι και σήμερα, συλλέγονται περίπου **500 είδη μακροφυκών**, ως τροφή και για εξαγωγή χημικών.
- Κινέζοι συγκομίζουν μακροφύκη για περισσότερο από **2000** χρόνια, σήμερα συλλέγονται **74** είδη μακροφυκών και κυανοβακτηρίων από **36** γένη
- Ελάχιστα μακροφύκη, κυρίως τα **ροδοφύκη** *Porphyra*, *Karraphycus* και *Gracilaria*, καθώς και τα **κελποφύκη** (kelps, φαιοφύκη) *Saccharina*, *Laminaria* και *Undaria*, αναπτύσσονται σε υδατοκαλλιέργειες για χρήση σε **τροφές του ανθρώπου** ή για **εξαγωγή πηκτικών ενώσεων**.



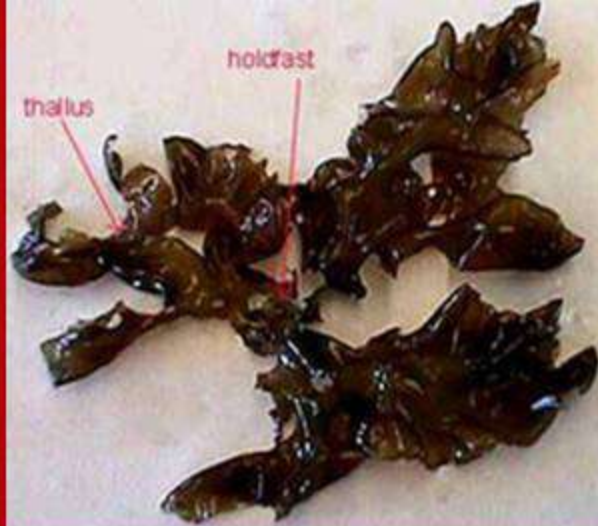
Τα φύκη ως πηγή τροφής

Συγκομιδή ή Καλλιέργεια Μακροφυκών ως Τροφή

- Η τροφική αξία του ροδοφύκου *Porphyra* βασίζεται κυρίως στην παροχή βασικών βιταμινών **A, B και C**, καθώς και **μετάλλων**, συμπεριλαμβανομένου του **ιωδίου**.
- Μια απλή στρώση από nori – δηλ. ένα τεμαχισμένο, πιεσμένο και αποξηραμένο προϊόν- περιέχει **27% της συνιστώμενης ημερησίας δόσης σε βιταμίνη A**, υπό μορφή **β-καρωτίνης**.
- Επίσης, περιέχει υψηλή αναλογία αφομοιώσιμων **πρωτεϊνών** (20-25% του υγρού βάρους), η δε χαρακτηριστική γεύση του οφείλεται στην παρουσία ελεύθερων αμινοξέων.
- Μολονότι υπάρχουν περί τα 70 είδη *Porphyra* παγκοσμίως το είδος *P. yezoensis* είναι το πιο σημαντικό από εμπορική άποψη.
- Η ετήσια συγκομιδή *Porphyra* παγκοσμίως έχει εκτιμηθεί ότι αξίζει 2.5 εκατομμύρια US \$. Η συγκομιδή των μακροφυκών δεν υποβαθμίζει ιδιαίτερα το θαλάσσιο περιβάλλον ενώ προσφέρει πολύτιμη εργασία στους τοπικούς πληθυσμούς.
- Η οικονομική επιτυχία αυτών των συγκομιδών εξαρτάται από τη λεπτομερειακή βασική



Porphyra



Ανάπτυξη ΣΦ
Conchocelis



Χειρονακτική
συγκομιδή



Συγκομιδή
με
μηχανήματα



Επεξεργασία



Sushi



Τα φύκη ως πηγή τροφής

Συγκομιδή ή Καλλιέργεια Μακροφυκών ως Τροφή

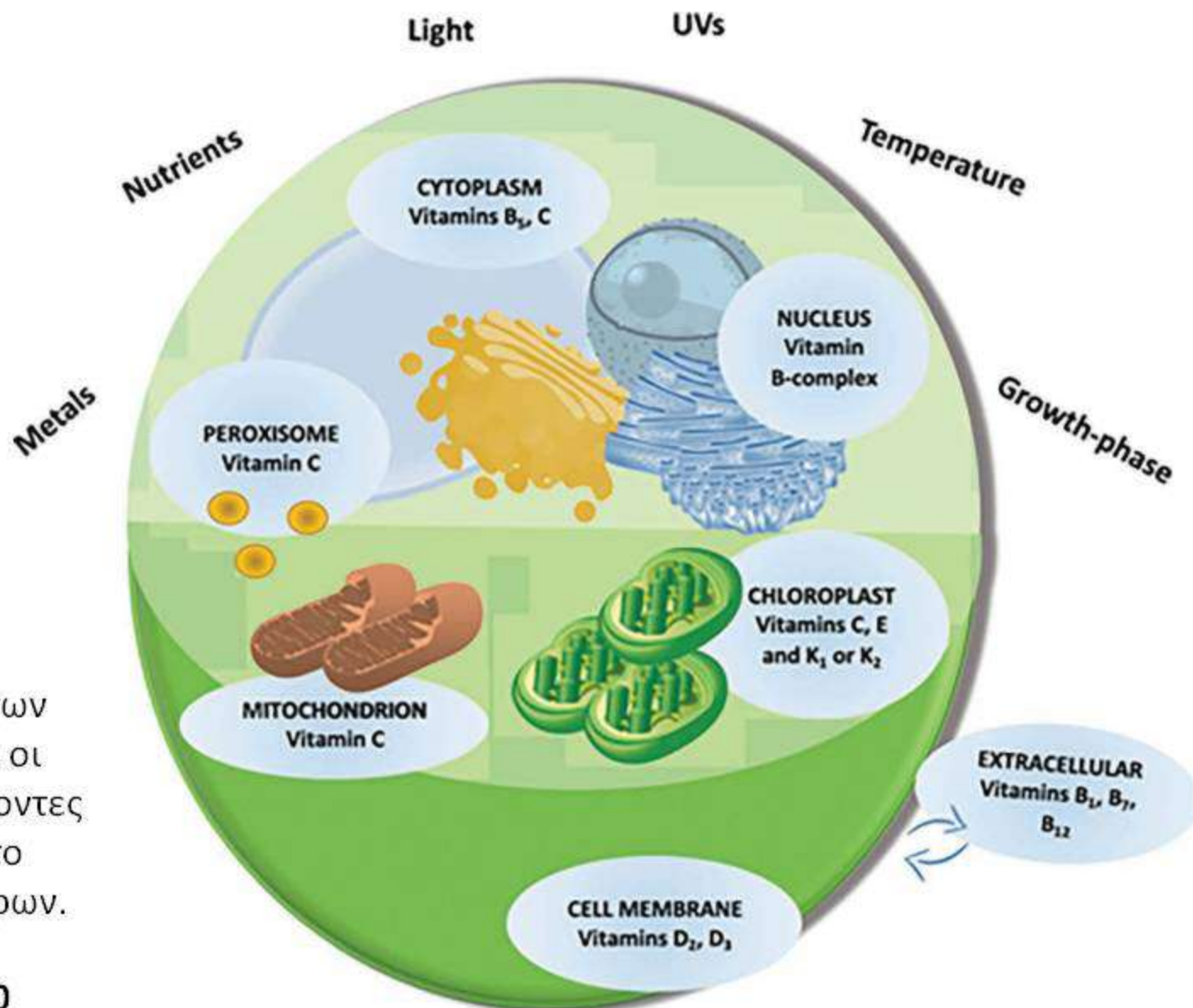
Saccharina (*Laminaria*) *japonica* Η υψηλή περιεκτικότητα σε **ιώδιο** των κελποφυκών αποτελεί χρήσιμο πρόσθετο για το ανθρώπινο διαιτολόγιο.



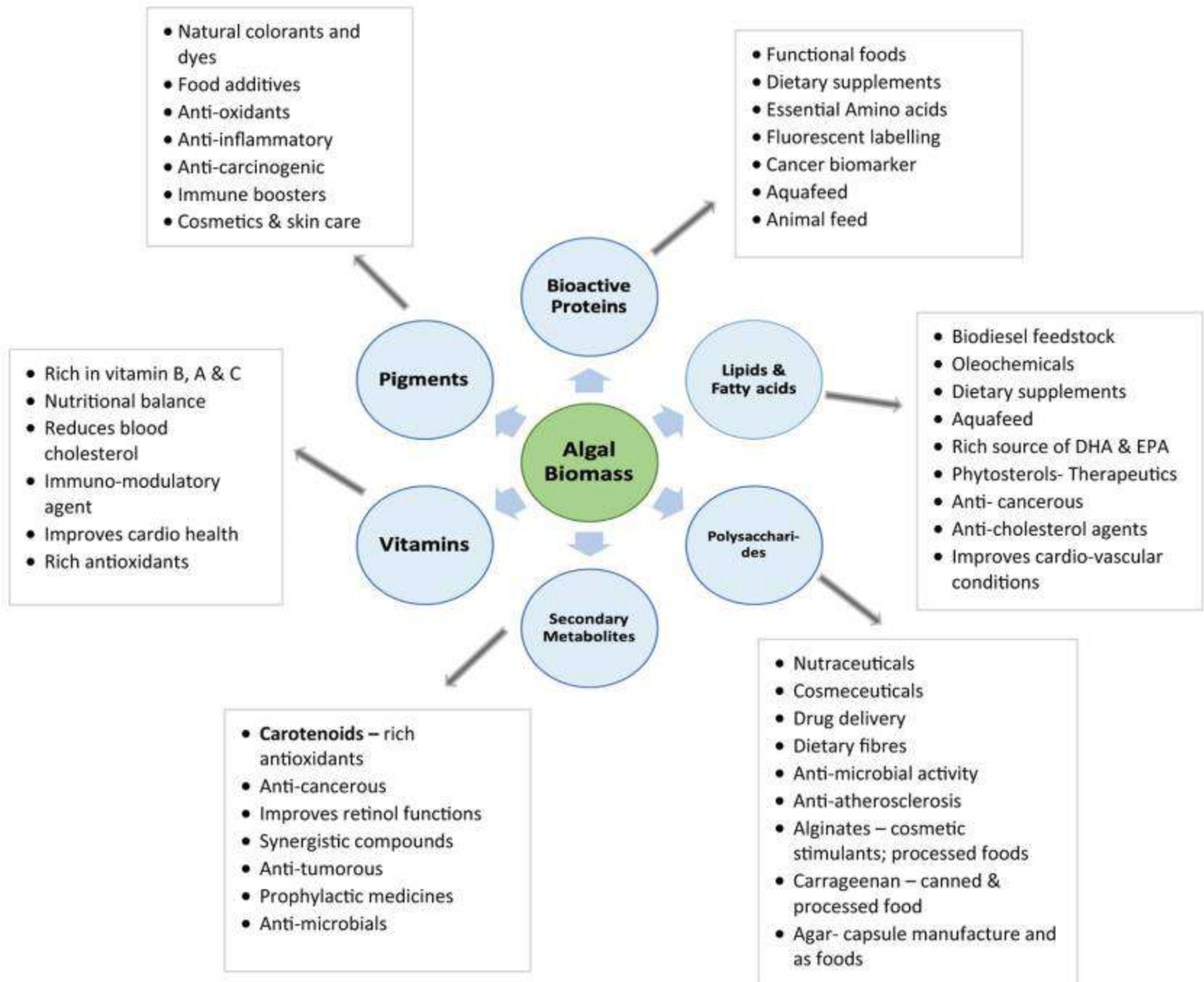
Τα φύκη ως πηγή πρόσθετων διατροφής

Καλλιέργεια Μικροφυκών ως πρόσθετα διατροφής

Βιταμίνες



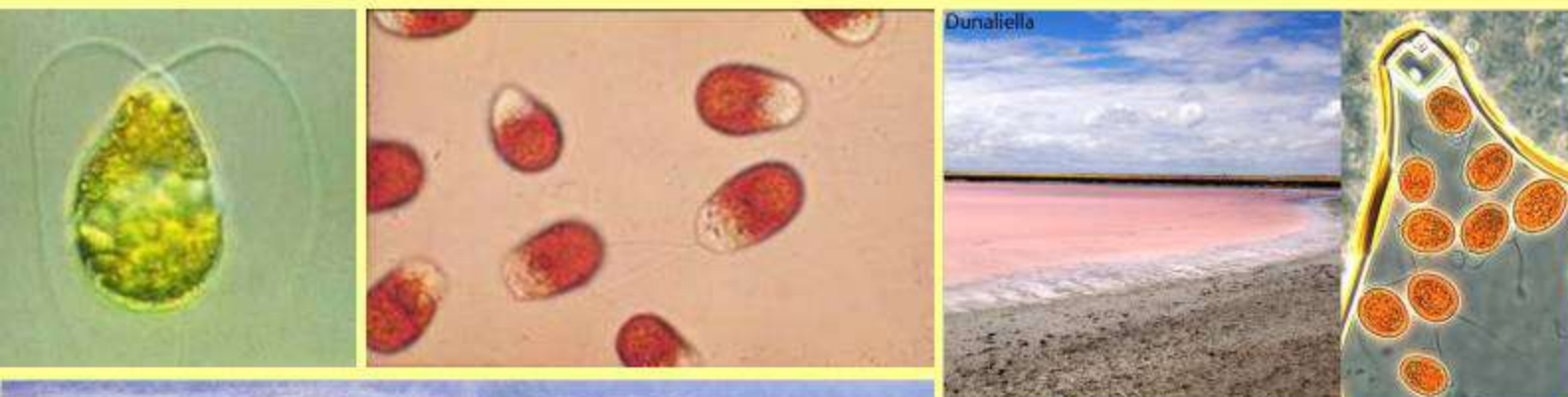
Η ενδοκυτταρική θέση των βιταμινών στα φύκη και οι περιβαλλοντικοί παράγοντες που κυρίως ρυθμίζουν το περιεχόμενο των κυττάρων.



Τα φύκη ως πηγή πρόσθετων διατροφής

Καλλιέργεια μικροφυκών ως πρόσθετα διατροφής

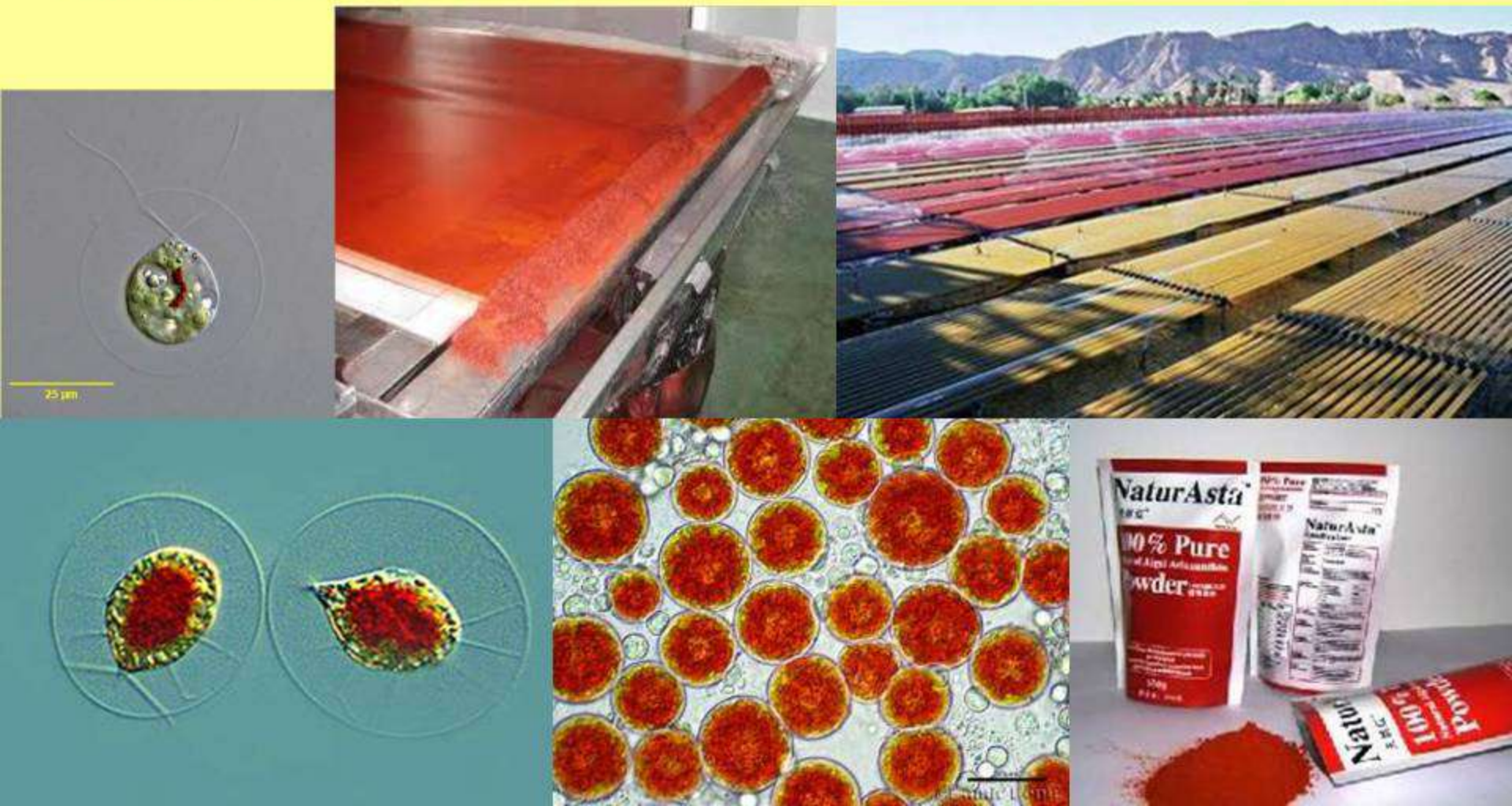
Το μαστιγιοφόρο χλωροφύκος *Dunaliella* καλλιεργείται για βιομηχανική παραγωγή της β-καρωτίνης καθώς παράγει κατά 50 φορές περισσότερη σε σχέση με τη *Arthrospira* (ex *Spirulina*). Οι καλλιέργειες *Dunaliella* ανέχονται υψηλές αλατότητες.



Τα φύκη ως πηγή πρόσθετων διατροφής

Καλλιέργεια μικροφυκών ως πρόσθετα διατροφής

Το μαστιγιοφόρο χλωροφύκος *Haematococcus* καλλιεργείται σε μεγάλες ποσότητες για εκχύλιση της **ασταξανθίνης**, μιας καρωτίνης που χρησιμοποιείται ως **αντιοξειδωτικό** στις τροφές υδατοκαλλιεργειών ή ως **χρωστική** σε τροφές και καλλυντικά.



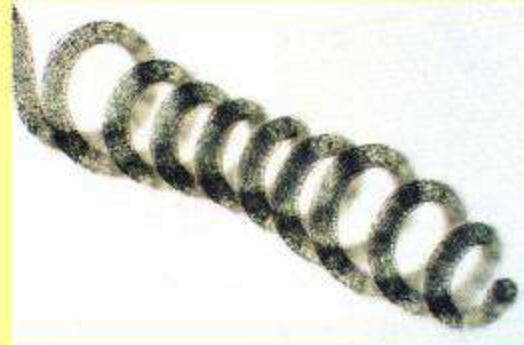
Τα φύκη ως πηγή πρόσθετων διατροφής

Καλλιέργεια μικροφυκών ως πρόσθετα διατροφής

Το κυανοβακτήριο *Arthrospira* (*Spirulina*):

Έχει πολύ υψηλό επίπεδο **πρωτεϊνών** (50-70% ξηρού βάρους), υψηλό ποσοστό βιταμινών **B**, **βασικών ακόρεστων λιπαρών οξέων** και **β-καρωτίνης**. Εμπορικές καλλιέργειες *Arthrospira* δημιουργούνται και σε περιορισμένους υπαίθριους βιοαντιδραστήρες.

Χρησιμοποιείται ως συμπλήρωμα διατροφής και σε υποσιτιζόμενους πληθυσμούς.





Arthrospira

Λίμνη Kossorom, Τσαντ.

Συλλογή άνθισης (a, b).

Στέγνωμα και
προετοιμασία dihé
(c, d, e, f).

Dr. Gatuger Abdulqader

Καλλιέργεια *Ulva lactuca*

Εργαστήριο Ινστιτούτου Αλιευτικής Έρευνας (ΙΝΑΛΕ), Νέα Πέραμο Καβάλας, από τον Νοέμβριο του 2024.

βρώσιμο (κατάλληλο για vegan),

ως ποικίλα **συμπληρώματα διατροφής** (υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες, μέχρι και 35% επί ξηρού βάρους, σε μέταλλα, σε ιώδιο και σε αντιοξειδωτικά),

πηγή βιοδραστικών ενώσεων με πολλές **βιομηχανικές και φαρμακευτικές εφαρμογές**. Για παράδειγμα περιέχει **ουλβάνη**, πολυσακχαρίτης με αντιοξειδωτικές, αντιφλεγμονώδεις και ανοσοδιεγερτικές ιδιότητες, **φαινολικές ενώσεις, πεπτίδια και πολυσακχαρίτες** που χρησιμοποιούνται σε **καλλυντικά και βιοϊατρικές εφαρμογές** (αντιβακτηριδιακές και αντιφλεγμονώδεις ιδιότητες),

ως **καρύκευμα ή υποκατάστατο αλατιού**, με γεύση **umami** (η πέμπτη γεύση, στα ιαπωνικά σημαίνει καλή γεύση) περιέχει **περισσότερο κάλιο από νάτριο**, το μειονέκτημα του αλατιού.



Καλλιέργεια *Ulva lactuca*

Εργαστήριο Ινστιτούτου Αλιευτικής Έρευνας (ΙΝΑΛΕ), Νέα Πέραμο Καβάλας, από τον Νοέμβριο του 2024.

Απέναντι στην κλιματική κρίση:
Δέσμευση CO₂,

πιο ήπιες απαιτήσεις καλλιέργειας σε σχέση με συμβατική χερσαία καλλιέργεια (π.χ. θαλασσινό νερό, αξιοποίηση σε συγκαλλιέργεια, απορροφώντας απόβλητα ψαριών κλπ),

βιοφίλτρο, απομάκρυνση ρύπων. Δεσμεύει άζωτο, φώσφορο, απορροφά τοξικά μέταλλα καθαρίζοντας λύματα από γεωργικά απόβλητα και ιχθυοκαλλιέργειες.

βάση οργανικού λιπάσματος, βελτίωση γονιμότητας του εδάφους, αφού είναι πλούσια σε θρεπτικά (άζωτο, φώσφορο, κάλιο και ιχνοστοιχεία (π.χ. μαγνήσιο, ασβέστιο), μπορούν να συμβάλλουν στην ενίσχυση και ανάπτυξη ωφέλιμων μικροοργανισμών στο έδαφος, καθώς και να μειώσουν τις ασθένειες των φυτών της γης, έχοντας αντιμικροβιακές και αντιπαθογόνες ιδιότητες,

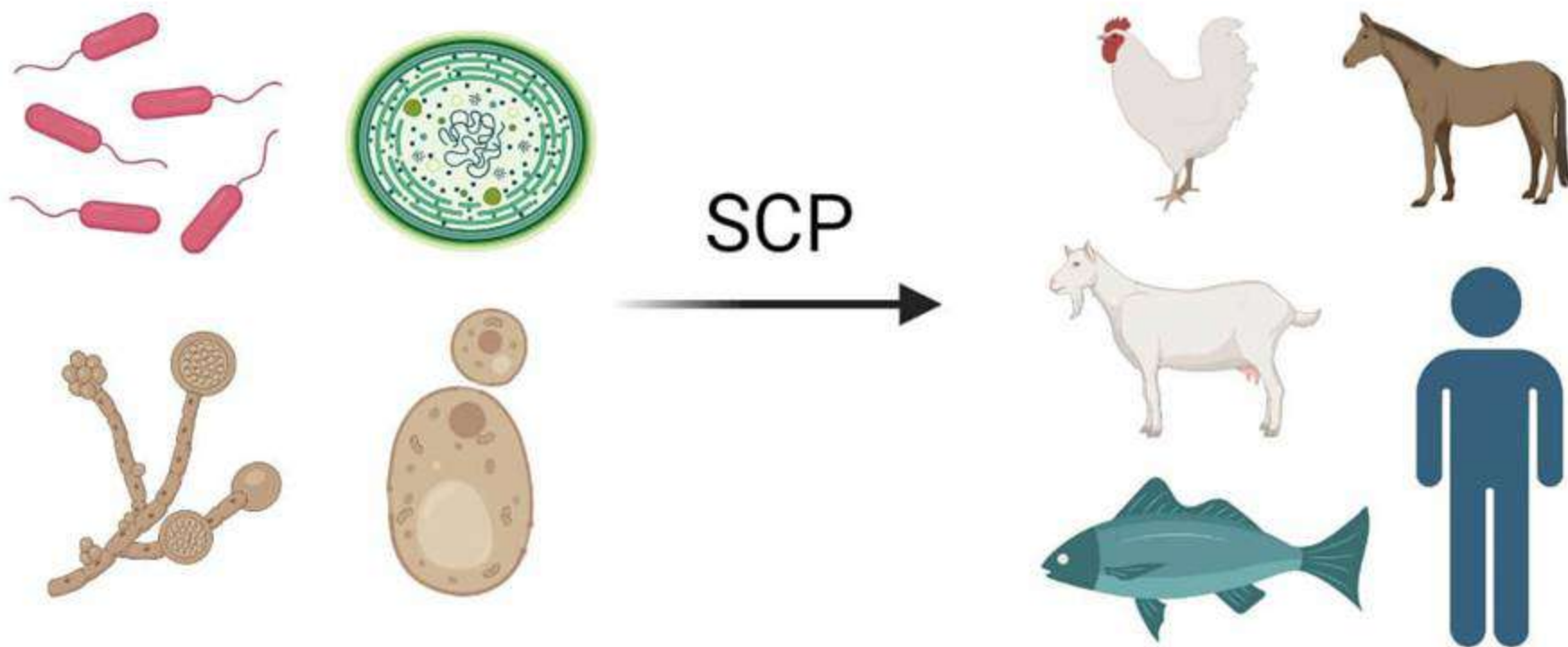
βελτιωτικό της υγρασίας του εδάφους, αφού οι πολυσακχαρίτες που περιέχουν συγκρατούν νερό, βοηθώντας στην αντοχή της καλλιέργειας σε ξηρασία,

Και ως διατροφή π.χ. για τον αχινό, το πρόβατο της θάλασσας.



Πρωτεΐνες από μονοκύτταρους οργανισμούς
ή πρωτεΐνες μονοκύτταρων οργανισμών ή μονοκυτταρικές πρωτεΐνες

Single Cell Protein (SCP)



Υποκατάστατο ή πρόσθετο διατροφής πλούσιας σε πρωτεΐνες για ανθρώπους και ζώα.

Γνωρίσματα των μικροοργανισμών και της παραγωγής πρωτεϊνών (SCP) στην οποία συμμετέχουν.

MICROALGAE



● **Protein content**
60-70%

● Characteristics

Phototrophics, production of omega-3 fatty acids.

● Potential disadvantages

Economical limitations of scale-up, digestibility (need of cell wall disruption to release nutrients).

● Examples

Tetraselmis suecica, *Isochrysis galbana*, *Dunaliella tertiolecta*, *Chlorella stigmatophora*, *Spirulina* spp.

YEAST & FUNGI



● **Protein content**
Yeast: 38-52%
Fungi: 0.23-15%

● Characteristics

Use different substrates, production of vitamins and micronutrients.

● Potential disadvantages

Improvement of protein content and essential amino acid profile. Possible presence of toxins.

● Examples

Yeast: *Saccharomyces cerevisiae*, *Kluyveromyces marxianus*.
Fungi: *Aspergillus oryzae*, *Yarrowia lipolytica*.

BACTERIA



● **Protein content**
50-80%

● Characteristics

High protein content, growth on C1 substrates

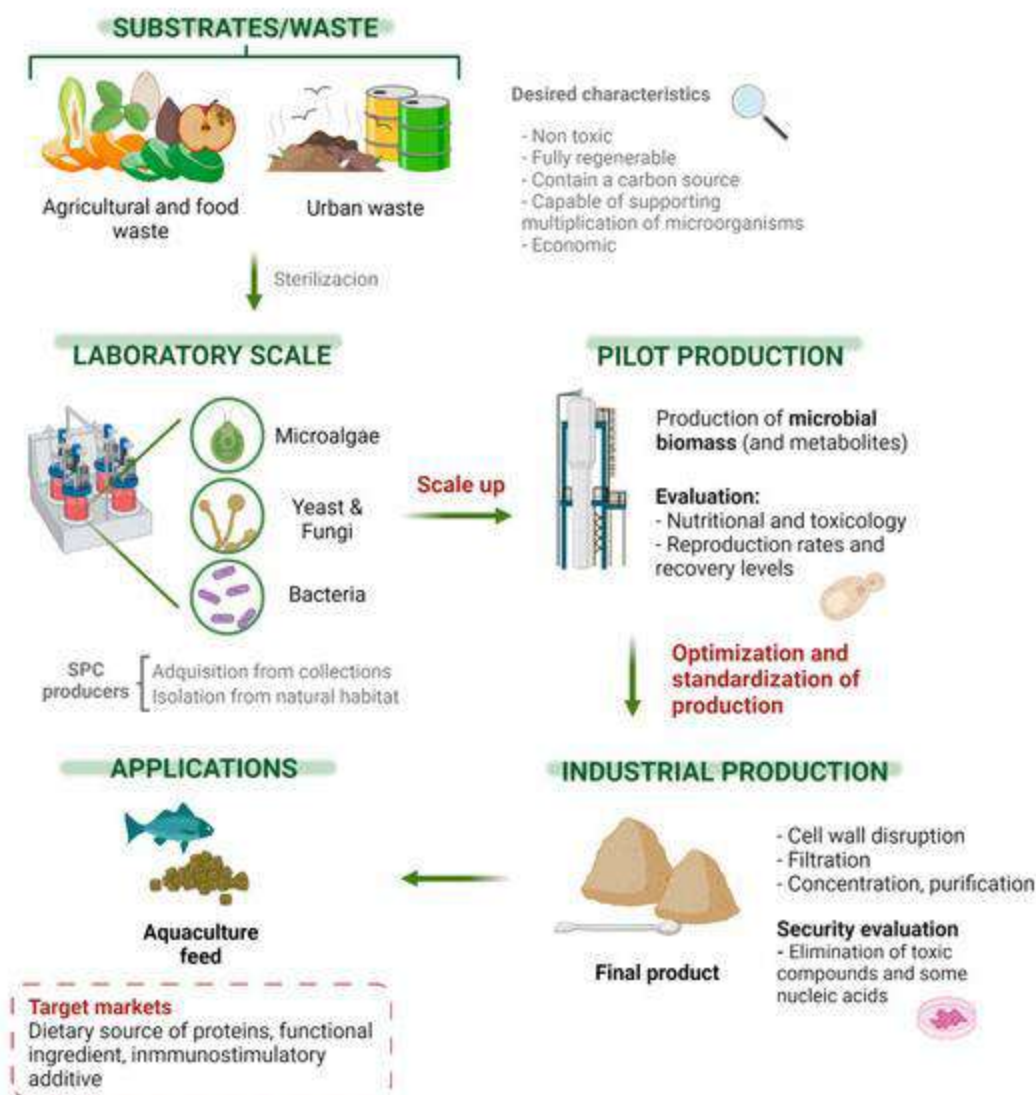
● Potential disadvantages

Palatability issues. High content of nucleic acid. Production of toxins.

● Examples

Methylobacterium extorquens,
Methylococcus capsulatus,
Rhodobacter sphaeroides, *Afifella marina*.

Βέλτιστες διαδικασίες παραγωγής πρωτεϊνών από μονοκύτταρους οργανισμούς (SCP), που ενσωματώνουν προσεγγίσεις κυκλικής οικονομίας.



Πλεονεκτήματα παραγωγής πρωτεϊνών από μονοκύτταρους οργανισμούς:

- **Μικροοργανισμοί:** υψηλό μεταβολισμό και ρυθμό αναπαραγωγής → παραγωγή μεγάλη βιομάζας σε συγκριτικά μικρότερο χρόνο.
- **Μικροοργανισμοί:** μπορούν εύκολα να τροποποιηθούν γενετικά για να μεταβάλουν τη σύνθεση των αμινοξέων.
- Ευρεία ποικιλία υποστρωμάτων (πρώτων υλών), συμπεριλαμβανομένων γεωργοκτηνοτροφικών αποβλήτων (ξέσματα ξύλου, πριονίδι, καλαμπόκια κλπ., ακόμη και ανθρώπινα και ζωικά απόβλητα)! → Μείωση ρύπων!
- Παραγωγή ανεξάρτητη από κλιματικές συνθήκες.

Μειονεκτήματα πρωτεϊνών από μονοκύτταρους οργανισμούς

- Υψηλή περιεκτικότητα νουκλεϊνικού οξέος (μπορεί να δημιουργήσει γαστρεντερικά προβλήματα ή αυξημένα επίπεδα ουρικού οξέος, πέτρα στα νεφρά, ουρική αρθρίτιδα κλπ). **Αφορά κυρίως βακτήρια.**
- Πιθανότητα **αλλεργικών** αντιδράσεων.
- Πιθανότητα παρουσίας **δευτερογενών τοξικών μεταβολιτών.**
- **Κόστος** παραγωγής **υψηλό** (απαιτούνται περίπλοκα μηχανήματα & εγκαταστάσεις).

Εφαρμογές της μονοκυτταρικής πρωτεΐνης

- Ως πρόσθετο διατροφής στον άνθρωπο. Αποτελεί καλή πηγή βιταμινών, αμινοξέων, μετάλλων, ακατέργαστων ινών, παρέχει άμεσα ενέργεια, κάνει καλό σε μάτια, δέρμα κλπ., χρησιμοποιείται στον έλεγχο της παχυσαρκίας, μειώνει το σάκχαρο (διαβητικούς), τη χοληστερόλη, το στρες κτλ.
- Επίσης, χρησιμοποιείται σε **καλλυντικά** όπως κρέμες προσώπου, κραγιόν (lipstick), προϊόντα για υγιή μαλλιά κ.λπ.
- Χρησιμοποιείται ευρέως στη σίτιση **βοοειδών, πουλερικών** και γενικότερα **πουλιών, ψαριών** κ.λπ. Σε υδατοκαλλιέργειες όπως του **σολομού, της πέστροφας και γαρίδων** παρατηρήθηκαν θετικά οφέλη όπως αύξηση της επιβίωσης και της ανάπτυξης, ρύθμιση της εντερικής μικροχλωρίδας, ενίσχυση της έμφυτης ανοσίας και της αντίστασης στο στρες.

Τα φύκη ως πηγή φαρμακευτικών ενώσεων

Φαρμακευτικές Ενώσεις από Φύκη

Διάφορα τύποι **κυανοβακτήρια** και φύκη είναι πηγές ενώσεων με **αντιβιοτική & αντικαρκινική** ιδιότητα, καθώς και άλλων φαρμακευτικών ενώσεων.

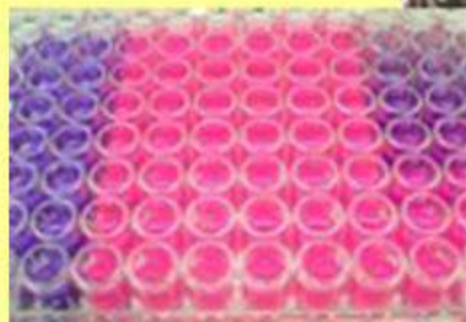
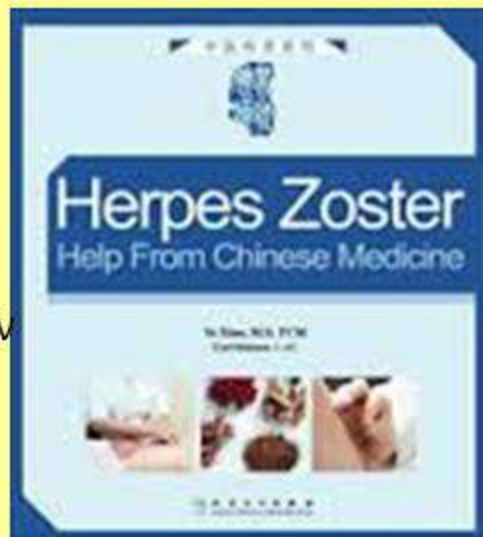
Ποικίλα **κυανοβακτήρια** παράγουν ενώσεις δραστικές σε παθογόνους. **Σουλφολιπίδια**: δραστικές στον **ιό του έρπητα**, της **πνευμονίας**, και τον **HIV**.

Τολουτοξίνη: αντιμυκητιακή δράση, με χαμηλή τοξικότητα για τον άνθρωπο.

Lyngbya majuscula παράγει **αουριλίδια B & C**: δραστικά στον ανθρώπινο **καρκίνο του πνεύμονα**.

Το **θαλάσσιο ροδοφύκος *Lorhocladia* sp.** Παράγει την **λοφοκλαδίνη** με δράση στον **καρκίνο του πνεύμονα και του στήθους**.

Όταν οι χρήσιμες θεραπευτικές ενώσεις ταυτοποιηθούν, το φύκος καλλιεργείται μαζικά σε βιοαντιδραστήρες, συγκομίζεται και ακολουθεί εκχύλιση και καθαρισμός των ενεργών συστατικών, τα οποία και διατίθενται στην αγορά.



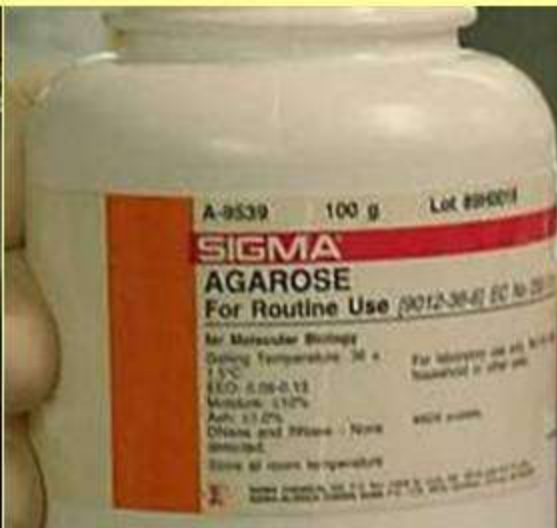
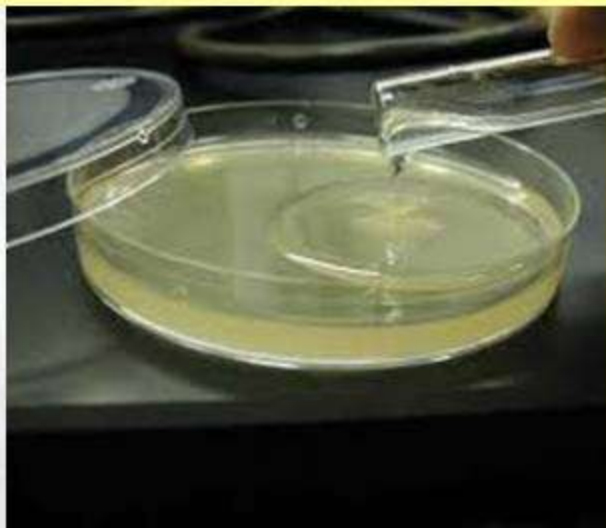
Τα φύκη ως πηγή πηκτικών ενώσεων

Πηκτικές Ενώσεις από Θαλάσσια Μακροφύκη

Ορισμένα θαλάσσια μακροφύκη **φαιοφύκη** και **ροδοφύκη** παράγουν πηκτικές ενώσεις όπως αλγινικό οξύ (ή το μεταλλικό του άλας, αλγινικό άλας), καρραγενάνη, άγαρ και αγαρόζη.

Προϊόντα χρήσιμα επειδή προκαλούν **πήξη** σε υδατικά διαλύματα.

Η συλλογή των θαλάσσιων μακροφυκών γίνεται είτε από θαλάσσια **φυσικά περιβάλλοντα** είτε από **υδατοκαλλιέργειες**.



Τα φύκη ως πηγή πηκτικών ενώσεων

Πηκτικές Ενώσεις από Θαλάσσια Μακροφύκη

Αλγινικά Άλατα

Τα αλγινικά άλατα είναι δομικοί θειικοί πολυσακχαρίτες.

Συνιστούν το 20-40% του ξηρού βάρους των φαιοφυκών.

Προσφέρουν αντοχή, ευλυγισία και σκληρότητα στα φαιοφύκη, τα βοηθούν ώστε να ανθίσταται στις μηχανικές πιέσεις.

Δεν παρασκευάζονται χημικά.

Χρησιμοποιούνται στην:

- I. υφαντουργική,
- II. βιομηχανία χαρτιού και οδοντόκρεμας, σε υλικά εκτύπωσης, στίλβωσης υποδημάτων, καθώς και σε εξόρυξη πετρελαϊκής λάσπης,
- III. βιομηχανία τροφίμων ως διογκωτικά παγωτών, μαρμελάδων κ.α., και σε πληρωτικά υλικά και προϊόντα διακόσμησης στην αρτοποιία.



Πηγές αλγινικών αλάτων σημαντικές από εμπορική άποψη αποτελούν τα *Saccharina japonica*, και είδη των γενών *Laminaria*, *Ascophyllum*, *Ecklonia*, *Fucus*, καθώς και το γιγάντιο *Macrocystis pyrifera*, με μήκος έως 60 m και βάρος > 300kg.

Τα φύκη ως πηγή πηκτικών ενώσεων

Πηκτικές Ενώσεις από Θαλάσσια Μακροφύκη

Καρραγενάνη, άγαρ και αγαρόζη

Πρόκειται για πολυμερή, που προέρχονται από **ροδοφύκη**, με υπερβολικά πολύπλοκη χημική σύνθεση:

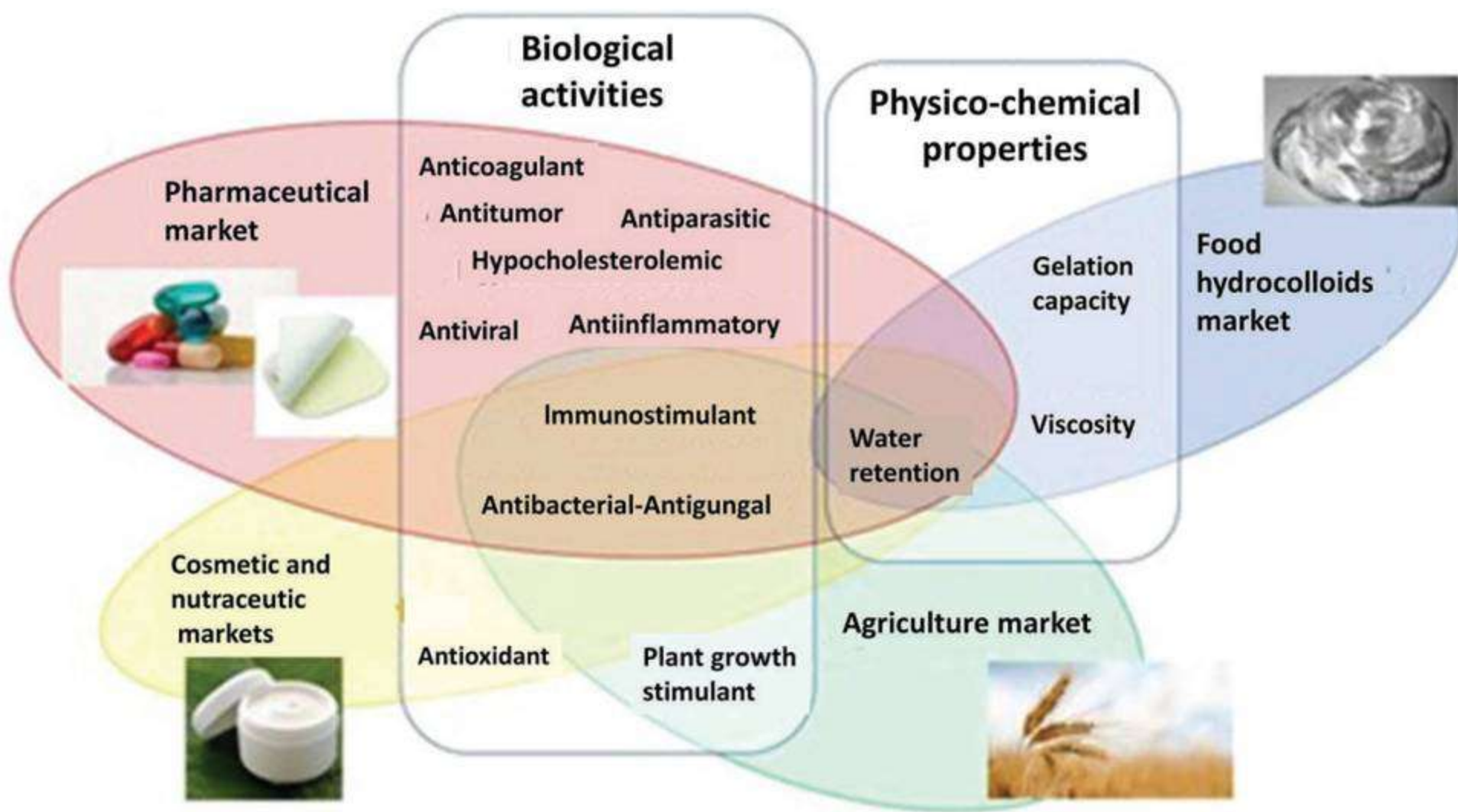
Το **άγαρ** και οι **καρραγενάνες** είναι γραμμικά πολυμερή εναλλασσομένων μορίων (1→3) β-γαλακτόζης και (1→4) α-γαλακτόζης.

Καρραγενάνες: προέρχονται από ελάχιστα γένη ροδοφυκών. Η μεγαλύτερη παραγωγή γίνεται στις τροπικές περιοχές, με περίπου το ½ της παγκόσμιας παραγωγής στις **Φιλιππίνες** και την **Ινδονησία**.

Άγαρ: Αυτοφυείς πληθυσμοί **Gelidium** συλλέγονται για την εξαγωγή υψηλής-ποιότητας **άγαρ** σε ποσοστό περίπου 35% της παγκόσμιας παραγωγής.

Αγαρόζη: πληθυσμοί **Gelidium** είναι πηγή της χαμηλής σε **θειικά αγαρόζης**, που χρησιμοποιείται σε **πηκτώματα** για οπτικοποίηση του DNA.





Βιολογικές δράσεις & φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των εξωκυτταρικών πολυμερών ενώσεων και οι δυνητικές εφαρμογές τους.

Source: Laroche 2022

Νανοτεχνολογία

21^{ος} αιώνας

“Η κατανόηση και ο έλεγχος της ύλης σε διαστάσεις από 1 –έως 100 nm όπου μοναδικά φαινόμενα καθιστούν ικανές καινοτόμες εφαρμογές”.

Νανοτεχνολογία: πνευματικό τέκνο του **Richard Feynman**, (βραβείο Νόμπελ Φυσικής 1965).

Norio Taniguchi, 1974: Ιάπωνας επιστήμονας, ο πρώτος που χρησιμοποίησε τη νανοτεχνολογία για να περιγράψει **“ διεργασίες ημιαγωγών** της τάξης του νανόμετρου”, σχεδόν 15 χρόνια μετά τη διάλεξη του Feynman.

Επί του παρόντος, οι ερευνητές ασχολούνται με τη σύνθεση βιολογικά ενεργών νανοσωματιδίων λόγω της εξαπλώσης μολυσματικών ασθενειών και της αυξημένης βακτηριακής πολυανθεκτικότητας.

Η σύνθεση νανοσωματιδίων και χρήση τους είναι φιλικές προς το περιβάλλον και αναπτύσσονται.

Διάφορα προκαρυωτικά και ευκαρυωτικά συστήματα όπως φυτά, φυτικά προϊόντα, φύκη, μύκητες, ζυμομύκητες, βακτήρια και ακόμη και ιοί (Thakkar *et al.* 2010) χρησιμοποιούνται τακτικά ως **βιοπαραγωγοί νανοσωματιδίων**.

Ωστόσο, **μικροφύκη & μακροφύκη** σε νωπή και ξηρή μορφή έχουν αποδειχθεί ότι είναι **“βιοεργοστάσια”** σύνθεσης νανοσωματιδίων (Davis *et al.* 1998).

Ως εκ τούτου, η βιοσύνθεση των νανοσωματιδίων με τη μεσολάβηση φυκών αντιμετωπίζεται ως ένας νέος κλάδος, η **«φυκονανοτεχνολογία»** (Thakkar *et al.* 2010· Sharma *et al.* 2015).

Με τη χρήση φυκών παράγονται **διαφορετικοί τύπους μεταλλικών ΝΣ** (νανοσωματιδίων) όπως με **άργυρο, χρυσό, φερριϋδρίτη (ενυδατωμένο οξειδίο σιδήρου) και παλλάδιο**, τα οποία εμφανίζουν ποικίλες χρήσεις.

Νανοτεχνολογία

- ✓ Απογραφή καταναλωτικών προϊόντων, Απρίλιος 2013:

1.266 νανοπροϊόντα

(714 σχετίζονται με την υγεία & τη φυσική κατάσταση,

104 με τρόφιμα & ποτά και

28 προϊόντα για παιδιά).

- ✓ **Νανοσωματίδια αργύρου:** το πιο εμπορευματοποιημένο υλικό παγκοσμίως.

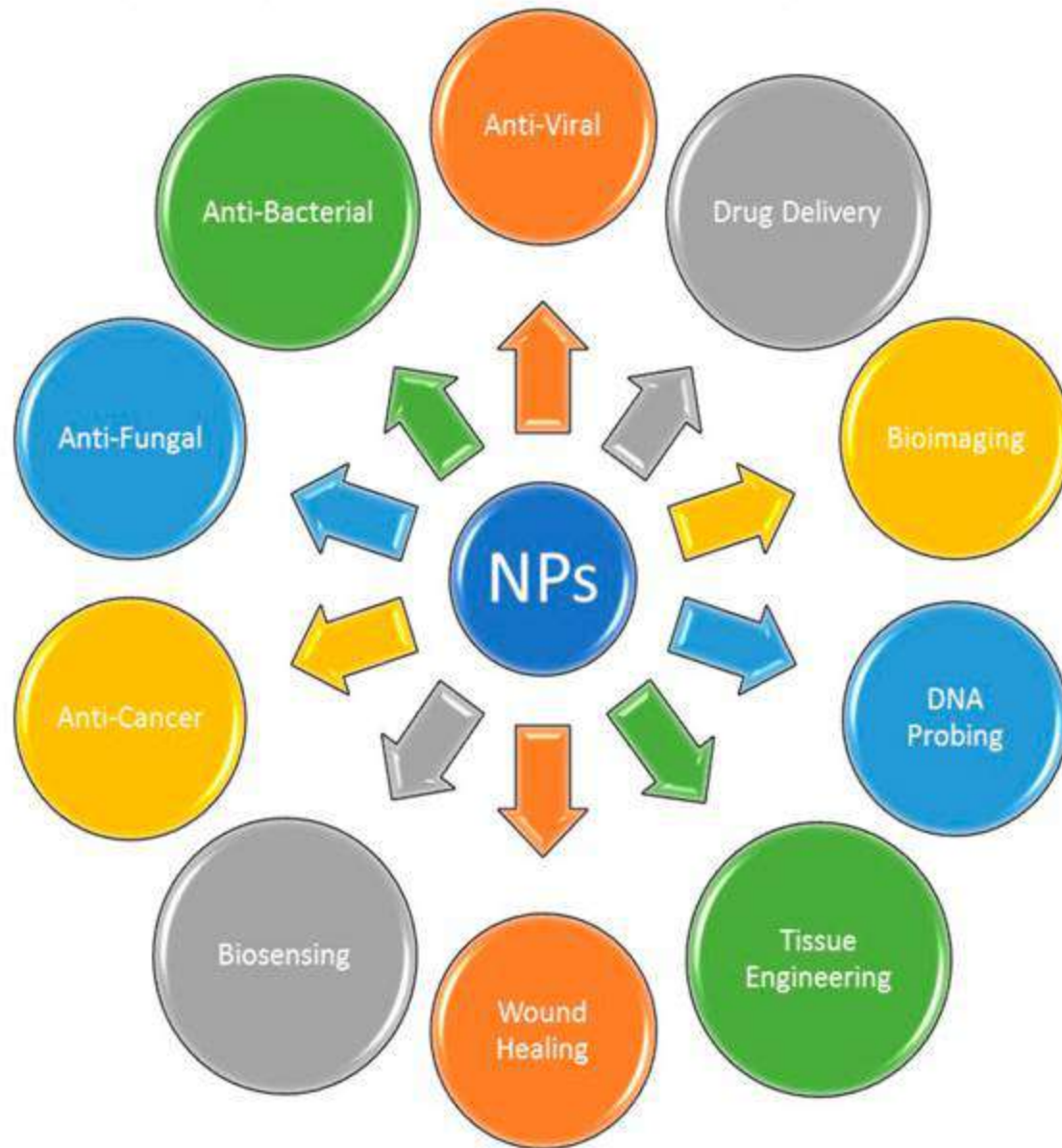
Εφαρμογές:

Στη βιοτεχνολογία, τη βιοϊατρική, τη θεραπεία του καρκίνου, τη φαρμακευτική, την κατάλυση, την ιατρική απεικόνιση και τον περιβαλλοντικό τομέα (Wiechers and Musee 2010).

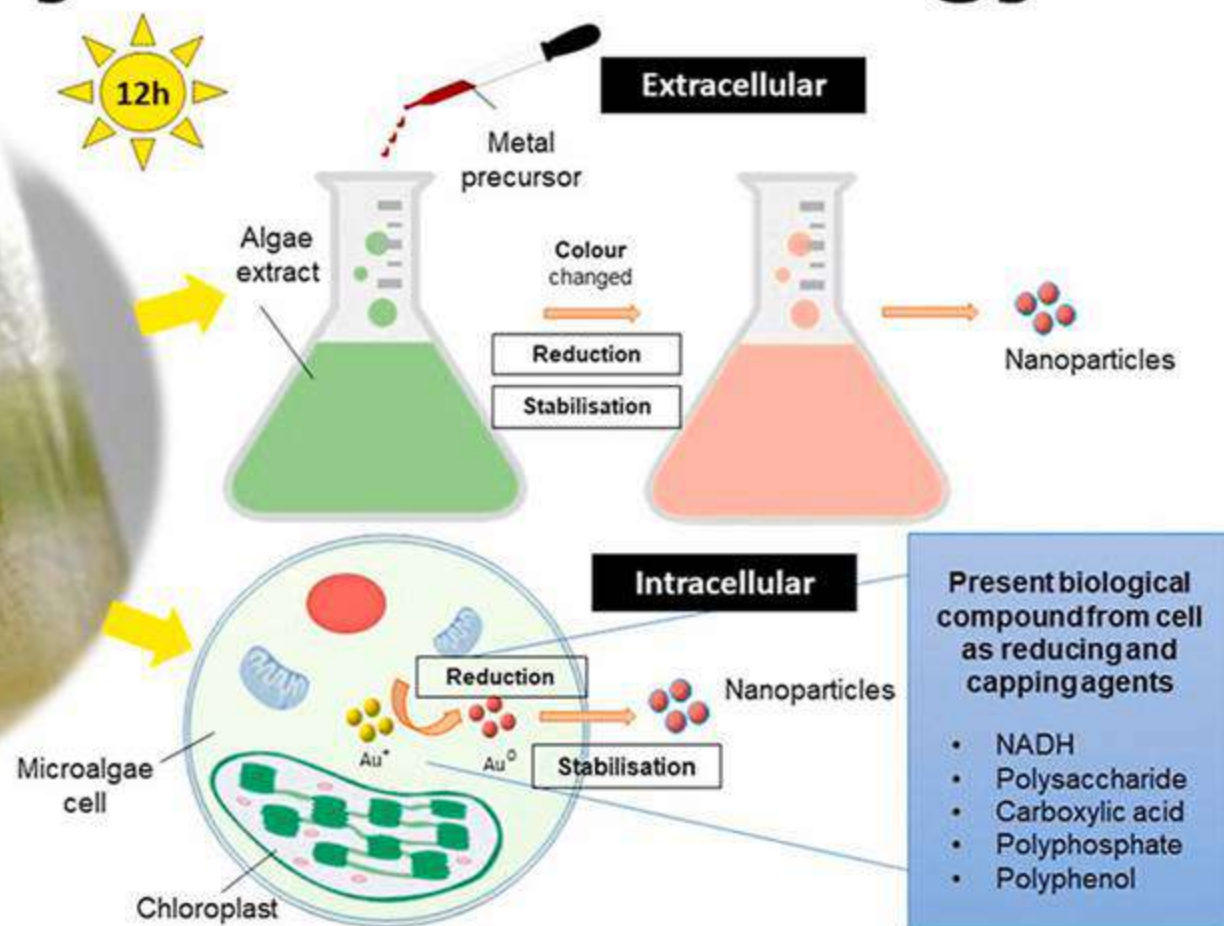
Η συντριπτική πλειονότητα των νανοϋλικών: **αντιμικροβιακός** παράγοντα.

Τα νανοσωματίδια έχουν εισέλθει στην **καθημερινότητά** μας καθώς χρησιμοποιούνται σε πολλά **καλλυντικά, θεραπευτικά σκευάσματα** (Czurpyna and Tsourkas 2006), επιτρέπουν την κατάλληλη **κατανομή των φαρμάκων σε συγκεκριμένες θέσεις και όργανα στο σώμα**, σε συστήματα παράδοσης γονιδίων (**gene delivery systems**, Jin and Ye 2007), είναι **βιοσυμβατά υποκατάστατα για μέρη και υγρά του σώματος**, υλικά **αναγέννησης οστών και ιστών** και **βιοαισθητήρες** (Prow *et al.* 2006).

Κύριες εφαρμογές των νανοσωματιδίων



Phyconanotechnology



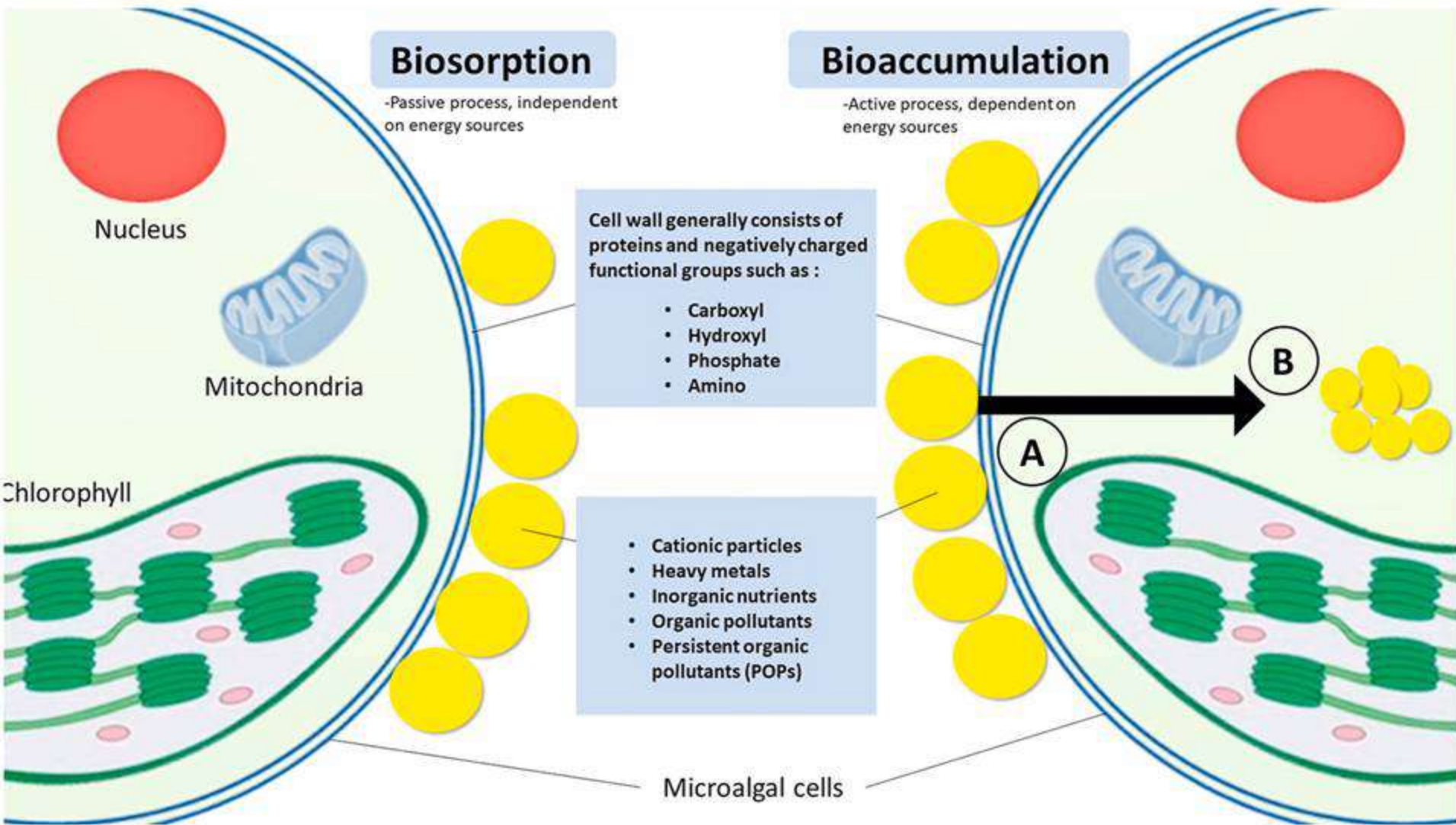
Environment Sustainability

- ✓ Energy efficiency
- ✓ Low toxicity
- ✓ Low cost
- ✓ Low risk to environment
- ✓ Safe for healthcare applications

Graphical abstract

Chan SS *et al.* 2022. Prospects and environmental sustainability of phyconanotechnology: A review on algae-mediated metal nanoparticles synthesis and mechanism. Environ Res. 212(Pt A):113140. doi: 10.1016/j.envres.2022.113140. PMID: 35314164.

Σχηματική απεικόνιση των μηχανισμών **βιοαπορρόφησης** ([biosorption](#) = binding of metal ions to the surface of a biosorbent) και **βιοσυσσώρευσης** ([bioaccumulation](#) = the process by which a sorbate accumulates within cells).



A: Πρώτο στάδιο: **Βιοαπορρόφηση**, άμεση σύνδεση σωματιδίων στην επιφάνεια των κυττάρων.
B: Στη συνέχεια ξεκινάει η **βιοσυσσώρευση**, στάδιο **μεγάλης διάρκειας** που περιλαμβάνει τη μεταφορά σωματιδίων στο εσωτερικό των κυττάρων με τη χρήση κυττάρων φυκών.

Τα φύκη στην έρευνα του διαστήματος

Μελέτη αύξησης των φυκών
σε συνθήκες μηδενικής βαρύτητας (διάστημα),
έχουν ήδη διεξαχθεί σε πυραύλους και
στους διαστημικούς σταθμούς Salyut και Mir.

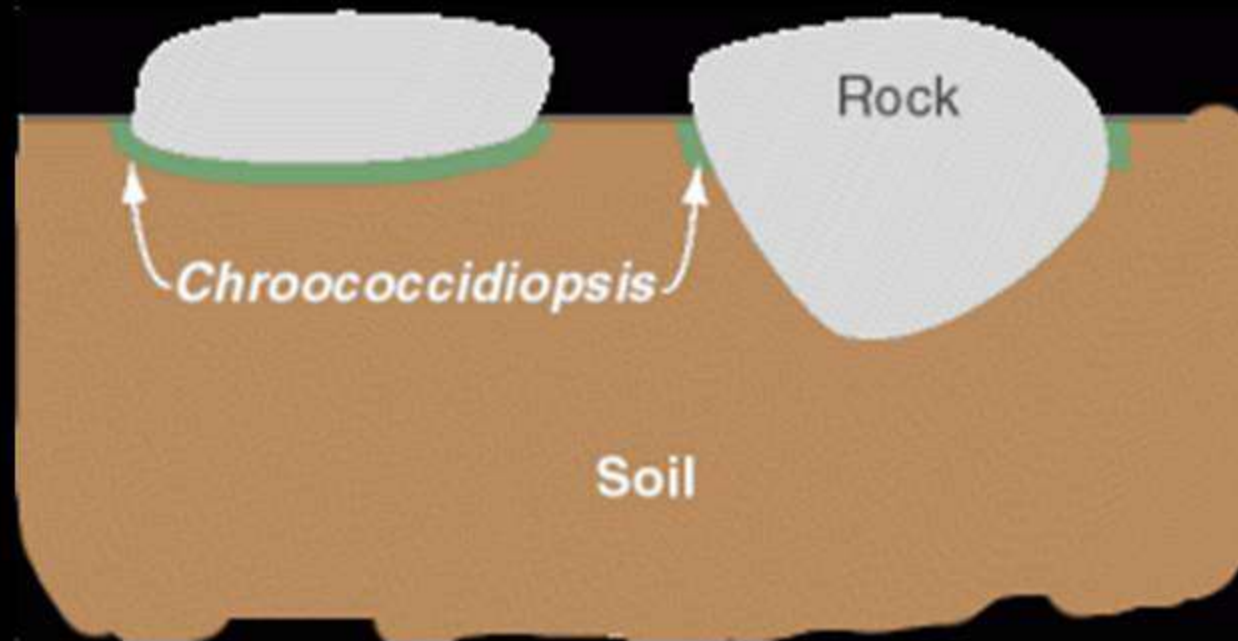
**Γεγονός μεγάλης οξείδωσης:
2,4 δισεκατομύρια χρόνια πριν.**

Μετατροπή του κλίματος στον Άρη
→ μηχανική αύξηση της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας του
χρήση μικροοργανισμών (αφιλόξενα ενδιαιτήματα: Ανταρκτική έρημος).
Π.χ. *Chroococcidiopsis* → **εδαφογένεση**;
ώστε να ακολουθήσουν τα ανώτερα φυτά και τα ζώα



Ενδιαίτημα του κυανοβακτηρίου *Chroococcidiopsis*

Αναπτύσσεται σε πολλά ερημικά περιβάλλοντα



- στην κάτω επιφάνεια διάφανων βράχων (υπολιθικό) ή
- σε πόρους (κρυπτοενδολιθικό)
- ή σχισμές τους (χασμοενδολιθικό).

1. they **trap moisture** underneath them. Experiments have shown that small amounts of moisture can cling to the undersurfaces of rocks for weeks after their above-ground surfaces have dried out.
2. Second, because the pebbles are translucent, they allow just **enough light** to reach the organisms to sustain growth.

Friedmann envisions large farms where the bacteria are cultured on the **underside of strips of glass** that are treated to achieve the proper light-transmission characteristics.

Mars today, however, is **too cold** for this technique to work effectively. Before even as hardy a microbe as *Chroococcidiopsis* could be farmed on Mars, the planet would have to be warmed up considerably, to just below the freezing point.

Απουσία αύξησης γενετικών παραλλαγών στο κυανοβακτήριο *Chroococcidiopsis* μετά την έκθεση του σε συνθήκες παρόμοιες του πλανήτη Άρη στο εξωτερικό χώρο διαστημικού σταθμού.

