



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Εθνικών και Καποδιστριακών
Πανεπιστημίων Αθηνών

Βιοτεχνολογικές εφαρμογές φυκών για το περιβάλλον

Περιεχόμενα

Εισαγωγή

- Βιοτεχνολογία
 - Τα χρώματα της βιοτεχνολογίας
 - Αναγκαιότητα
 - Βιοποικιλότητα

I. Διατήρηση της βιοποικιλότητας 'in vitro'

Υποδομές διατήρησης

- ✓ Συλλογές καλλιεργειών & βιολογικού υλικού, Κέντρα βιολογικών πόρων (βιοαποθετήρια), Μουσεία φυσικής ιστορίας, Τράπεζες γενετικού υλικού / κρυοσυντήρηση κλπ.
- Τεχνολογίες – Εργαλεία

II. Διατήρηση της βιοποικιλότητας 'in situ'

Αποκατάσταση & διατήρηση των οικοσυστημάτων

1. Βιοπαρακολούθηση βάσει φυκών (βιοαναλύσεις, βιοαισθητήρες, βιοτέστ).
2. Αξιοποίηση των οικοσυστημικών υπηρεσιών των φυκών σε φυσικά και τεχνητά συστήματα.

III. Παραγωγή ενέργειας & νέων φιλικών προς το περιβάλλον υλικών, ουσιών κ.α.

Συμπεράσματα

Βιβλιογραφία (παράθεση στις διαφάνειες)



Εισαγωγή

- Βιοτεχνολογία
 - Τα χρώματα της βιοτεχνολογίας
 - Αναγκαιότητα
 - Βιοποικιλότητα

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-διωλιστήριο
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

Αναγκαιότητα

- ❑ **Περιβαλλοντική πίεση** → **αυξανόμενα προβλήματα**
Ιδιαίτερα έντονα από τις αρχές του 21^{ου} αι.

Ενδεικτικά:

- ✓ Κλιματική κρίση
(αύξηση θερμοκρασίας του πλανήτη, οξίνιση ωκεανών, έλλειψη νερού κ.α.),
 - ✓ περιβαλλοντική ρύπανση,
 - ✓ έλλειψη πρώτων υλών και ενεργειακών πόρων κ.α.
-
- ❑ **Ανάπτυξη βιοτεχνολογικών εφαρμογών** με επίδραση στο **περιβάλλον** για
 - παρακολούθηση & εκτίμηση,
 - αποκατάσταση, διατήρηση φυσικών συστημάτων και υπηρεσιών,
 - παραγωγή ενέργειας,
 - δημιουργία νέων υλικών & ουσιών φιλικών προς το περιβάλλον,
 - διάγνωση, θεραπεία κ.α.
 - προστασία φυσικού περιβάλλοντος και
 - βελτίωση ανθρώπινης ζωής.
-
- **Διατήρηση βιοποικιλότητας & οικοσυστημάτων**



I. Διατήρηση της βιοποικιλότητας 'in vitro'

Υποδομές διατήρησης

- ✓ Συλλογές καλλιεργειών & βιολογικού υλικού, Κέντρα βιολογικών πόρων (βιοαποθετήρια), Μουσεία φυσικής ιστορίας, Τράπεζες γενετικού υλικού / κρυοσυντήρηση κλπ.
- Τεχνολογίες – Εργαλεία

Διατήρηση βιοποικιλότητας 'in vitro'

❑ Καλλιέργειες μικροφυκών

- μικροί χρόνοι γενεάς → ταχεία αύξηση,
- σχετικά εύκολη καλλιέργεια σε εργαστηριακές συνθήκες
- δυνατότητα ελεγχόμενων πειραματικών συνθηκών

❑ Πληροφορίες (metadata) για κάθε στέλεχος

- ταυτοποίηση στελέχους (strain ID / κωδικός συλλογής)
- προέλευση απομόνωσης
- συνθήκες καλλιέργειας (θερμοκρασία, ένταση / φωτοπερίοδος φωτός, αλατότητα, pH, σύσταση θρεπτικού μέσου κ.α).
- ιστορικό συντήρησης (π.χ. υποκαλλιέργειες, κρυοσυντήρηση)
- πειραματικές συνθήκες

☞ Σε ερευνητικές εργασίες, οι επιστήμονες **παραθέτουν υποχρεωτικά τα metadata των στελεχών** ώστε να διασφαλίζεται η **αξιοπιστία** και η **επαναληψιμότητα** των αποτελεσμάτων.

➤ Βιοασφάλεια (Biosecurity/ Biosafety)

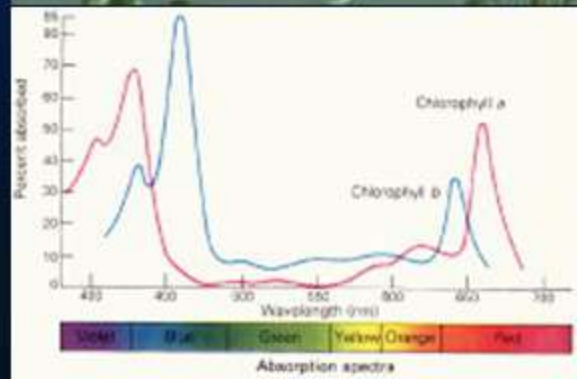
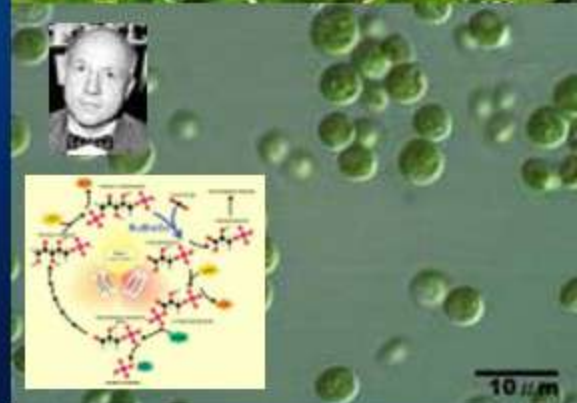
αποφυγή εισόδου στο περιβάλλον:

- **αλλόχθονων** οργανισμών
- γενετικά τροποποιημένων ή μεταλλαγμένων taxa
- παράσιτων
- παθογόνων παραγόντων.

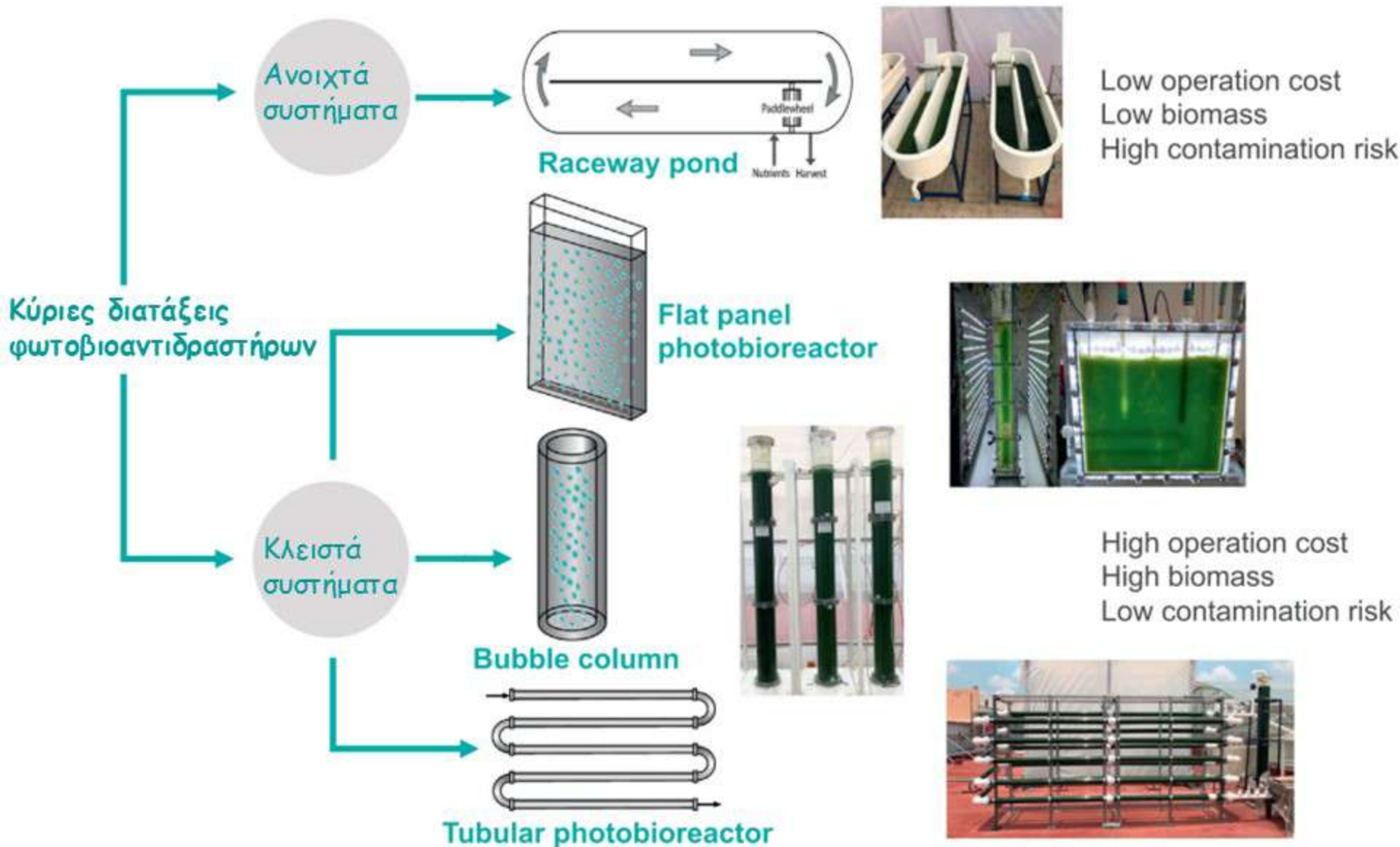
I. Διατήρηση της βιοποικιλότητας 'in vitro'

Τεχνολογίες - Εργαλεία

1. **Καλλιέργειες** (απομόνωση και διατήρηση στελεχών, μονοκαλλιέργειες / συγκαλλιέργειες)
2. **Φύκη ως πειραματόφυτα στην έρευνα**
Acetabularia → μελέτη mRNA (από 1934-1950, 1961-62)
Chlorella → κύκλος Calvin (1950),
Chlamydomonas reinhardtii → μηχανικά ερεθίσματα (ήχος, άγγιγμα ή βαρύτητα), ανάπτυξη μαστιγίων, φωτοσυνθετικές χρωστικές και φωτοδέκτης, μεταβολισμός ιχνοστοιχείων κ.α.
3. **Μοριακές μέθοδοι**
(λειτουργικά γονίδια, γονιδιωματική, ανάλυση γονιδιακής έκφρασης, μετακωδικοποίηση, μεταγονιδιωματική, μετα-μεταγραφωμική, πρωτεωμική).
4. **Γενετική μηχανική – γενετικά τροποποιημένα φύκη:**
 - *Synechococcus* & *Synechocystis*,
 - *Cyclotella cryptica*, *Navicula saprophila* & *Phaeodactylum tricornutum*,
 - *Saccharina japonica*,
 - *Chlamydomonas*, *Volvox*, *Dunaliella* & *Chlorella*.



Κύριες διατάξεις φωτοβιοαντιδραστήρων για καλλιέργειες μικροφυκών

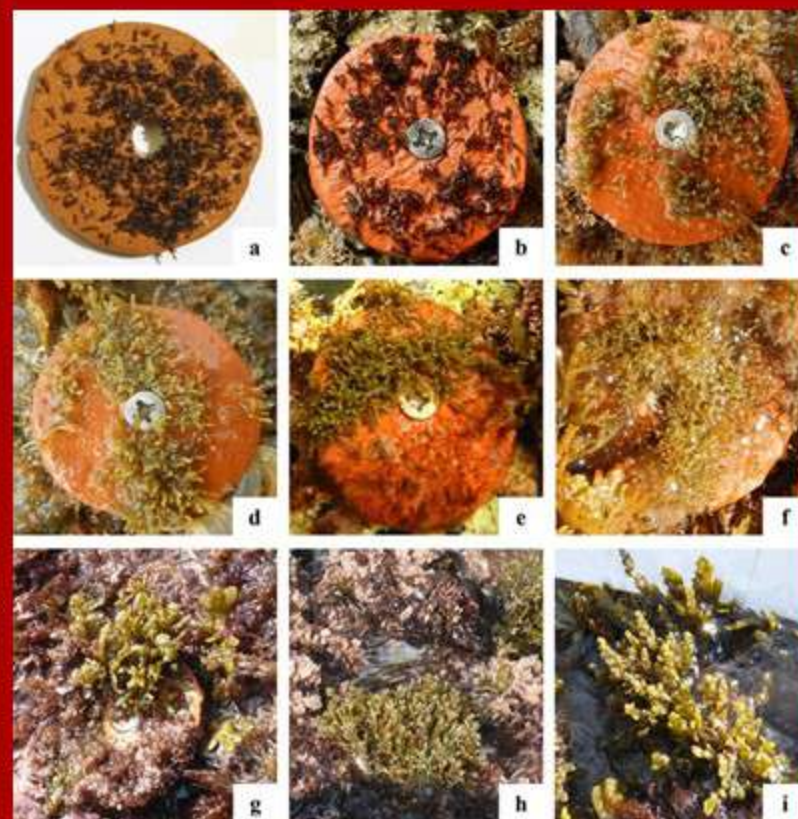
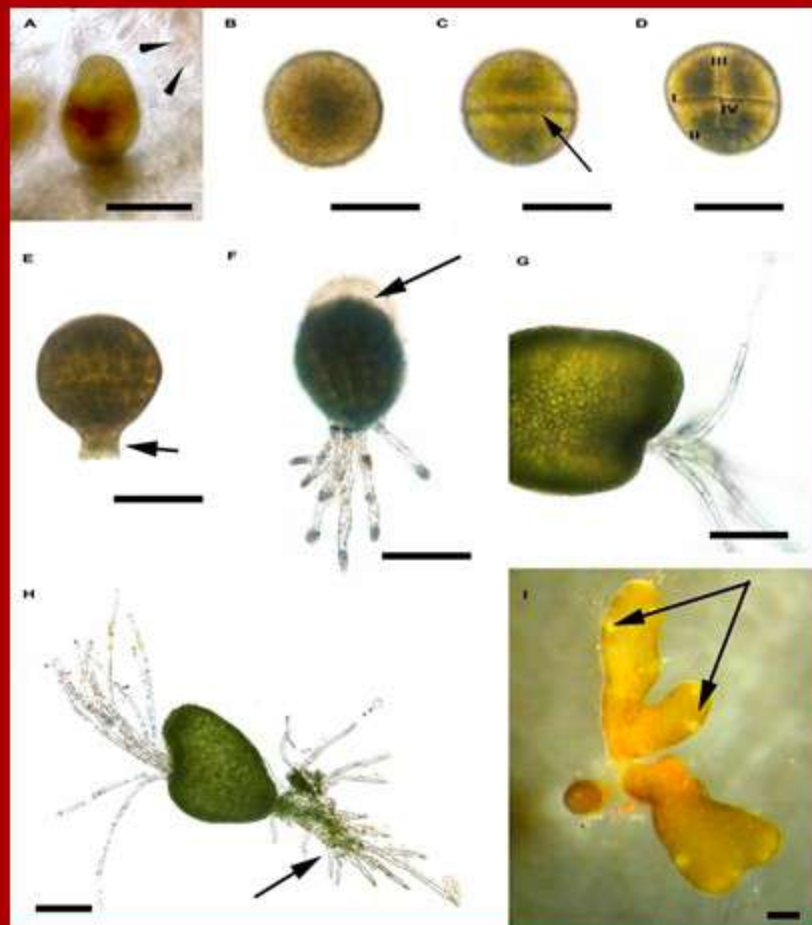




Καλλιέργειες μακροφυκών

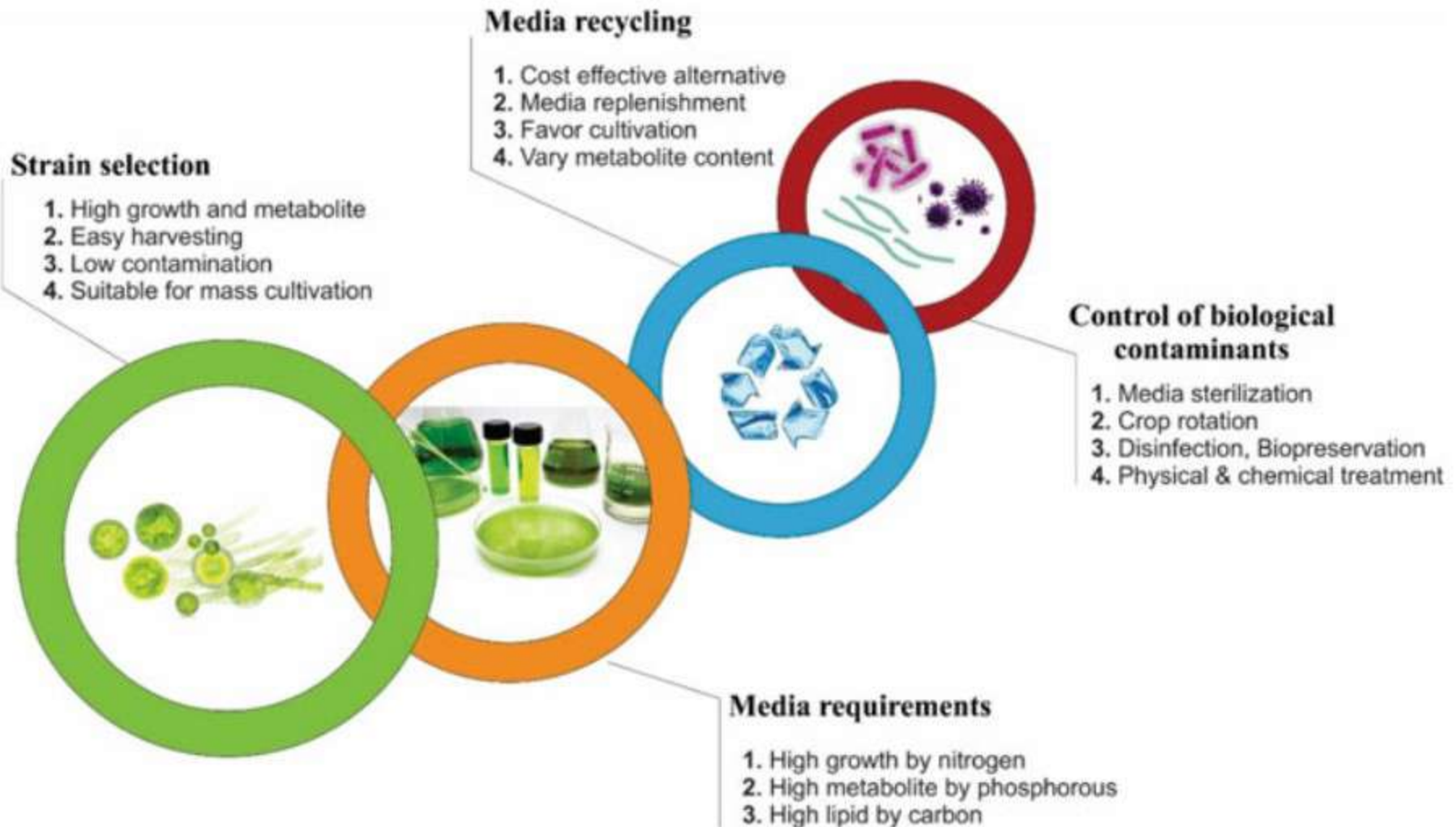
- Χρήση σπορίων / βλαστικών μερών
- Μεταφύτευση αρτιβλάστων / ατόμων μετά από καλλιέργεια in vitro
- Χρήση τεχνητών υποστρωμάτων

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.

Κρίσιμα στάδια της τεχνολογίας των καλλιεργειών των φυκών





II. Διατήρηση της βιοποικιλότητας 'in situ'

Αποκατάσταση & διατήρηση των οικοσυστημάτων

1. Βιοπαρακολούθηση βάσει φυκών
(βιοαισθητήρες ή βιοτέστ, βιοαναλύσεις).
2. Αξιοποίηση των οικοσυστημικών υπηρεσιών των φυκών
σε φυσικά και τεχνητά συστήματα.

Βιοπαρακολούθηση (Biomonitoring)

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

- βαρέα μέταλλα,
- φυτοφάρμακα και
- οργανικές ουσίες

Βιοαισθητήρες (biosensor) ή **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>



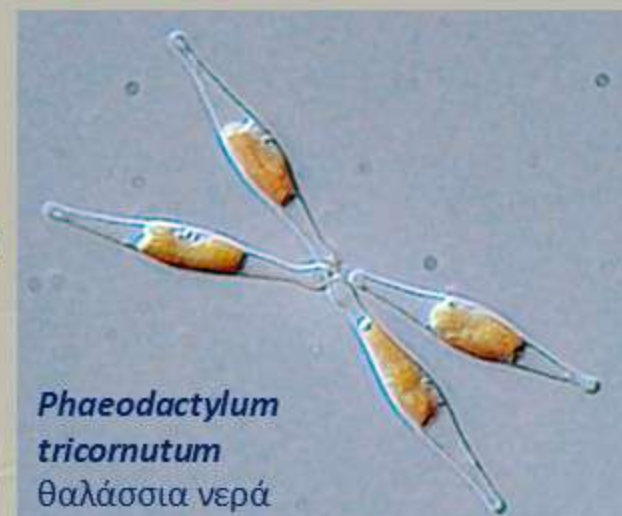
Selenastrum capricornutum

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

Βιοαισθητήρες (biosensor), Βιοτέστ (biotest, bioassays)

Πλεονεκτήματα

- οργανισμοί ευαίσθητοι στις περιβαλλοντικές μεταβολές
- 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>



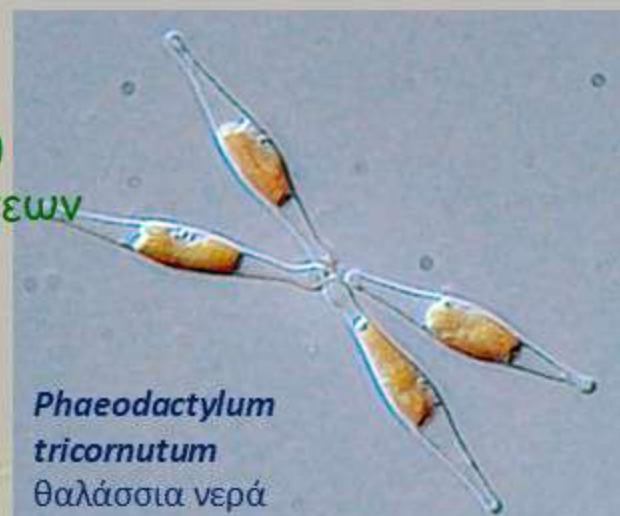
Selenastrum capricornutum

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>Phylophora 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 BP 1100X BP 1100WD 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, BP 1100X and at all the tested concentrations of oil dispersants BP 1100WD and Shell Oil Herder.	Chan and Chiu (1985)
Crude oils: Ekofisk and Strømfjord	<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	<i>Selenastrum capricornutum</i>	In terms of Chl- α content: 3d EC ₅₀ = 0.015 g L ⁻¹ ; 5d EC ₅₀ = 0.014 g L ⁻¹ ; 7d EC ₅₀ = 0.0156 g L ⁻¹ .	El-Dib et al. (1997)
Chrysene (water soluble PAH)	Microcosms	Photosynthetic activity and chlorophyll- α concentration decreased after 24–72 h.	González et al. (2009)
Oil samples from the tanker Prestige spill	<i>Dunaliella tertiolecta</i>	Significant inhibition of photosynthesis (based on <i>Fv/Fm</i> , <i>ETR</i> _{max} 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	Marine phytoplankton community	High concentrations of oil of decreased Chl- α content.	Huang et al. 2010
Accidental oil spill in Mumbai Harbor	Natural periphyton	<i>In situ</i> : significant decrease in phytoplankton population, inhibition of photosynthesis associated with degradation of pigments (increase in phaeophytin).	Jaiswar et al. (2013)

❑ Οικοσυστημικές υπηρεσίες φυκών

- φωτοσύνθεση & ρύθμιση κλίματος
 - δέσμευση CO_2
 - βιολογική αντλία άνθρακα
 - παραγωγή O_2 ,
 - παραγωγή οργανικής ύλης & οργανικών ενώσεων*,
- πρόσληψη θρεπτικών
 - περιορισμός ευτροφισμού,
 - βιοεξυγίανση,
 - επεξεργασία & ανακύκλωση λυμάτων κλπ,
- αζωτοδέσμευση
 - βιολίπασμα κ.α.,
- μέσω της αποικοδόμησης τους
 - ✓ ανακύκλωση θρεπτικών στοιχείων
 - βιολίπασμα κ.α.,
- βάση τροφικών πλεγμάτων
 - τροφή για ανώτερα τροφικά επίπεδα,

❑ Οικοσυστημικές υπηρεσίες φυκών

- **διαμόρφωση οικοσυστημάτων**
 - ✓ δημιουργία και σταθεροποίηση ενδιαιτημάτων
 - ✓ **θεμελιώδεις οργανισμοί**
δάση μακροφυκών, ογκώδεις ενασβεστωμένες μορφές κ.α.
 - **βιοποικιλότητα**
- **παραγωγή οργανικής ύλης & οργανικών ενώσεων**
 - ✓ παραγωγή **βιομάζας** & βιοενέργειας
 - ✓ παραγωγή φιλικών προς το περιβάλλον υλικών
 - ✓ παραγωγή τροφίμων & πρόσθετων διατροφής
 - ✓ παραγωγή πηκτικών ουσιών
 - ✓ παραγωγή φαρμακευτικών & βιοδραστικών ενώσεων
 - ✓ παραγωγή βιοπλαστικών
 - ✓ παραγωγή πρωτεϊνών από μονοκύτταρους οργανισμούς, SCP
 - ✓ παραγωγή νανοσωματιδίων

❑ Οικοσυστημικές υπηρεσίες φυκών

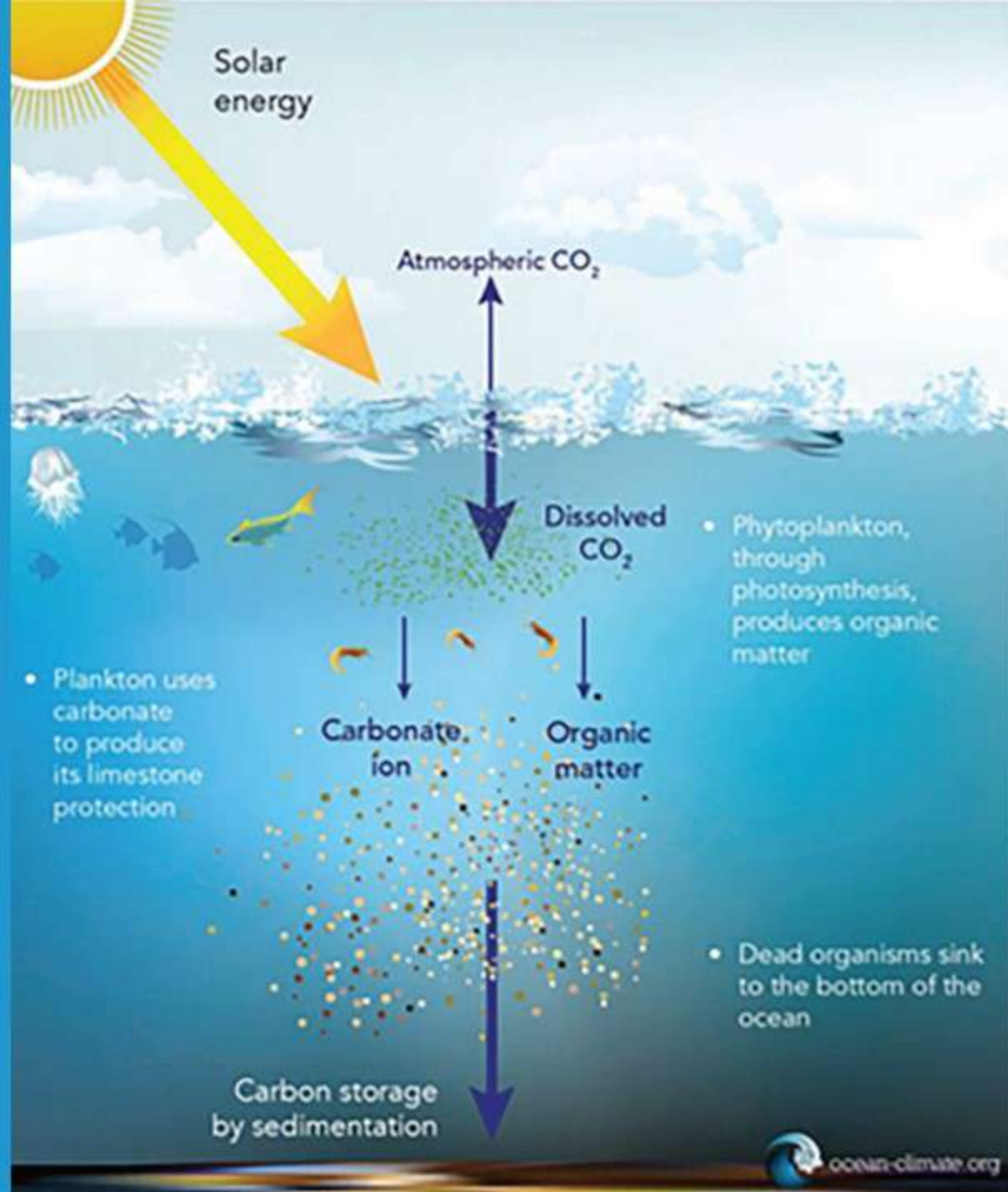
- φωτοσύνθεση & ρύθμιση κλίματος
 - δέσμευση CO_2
 - βιολογική αντλία άνθρακα
 - παραγωγή O_2 ,
 - παραγωγή οργανικής ύλης & οργανικών ενώσεων*

Μπλε άνθρακας ("blue carbon")

Ο άνθρακας που

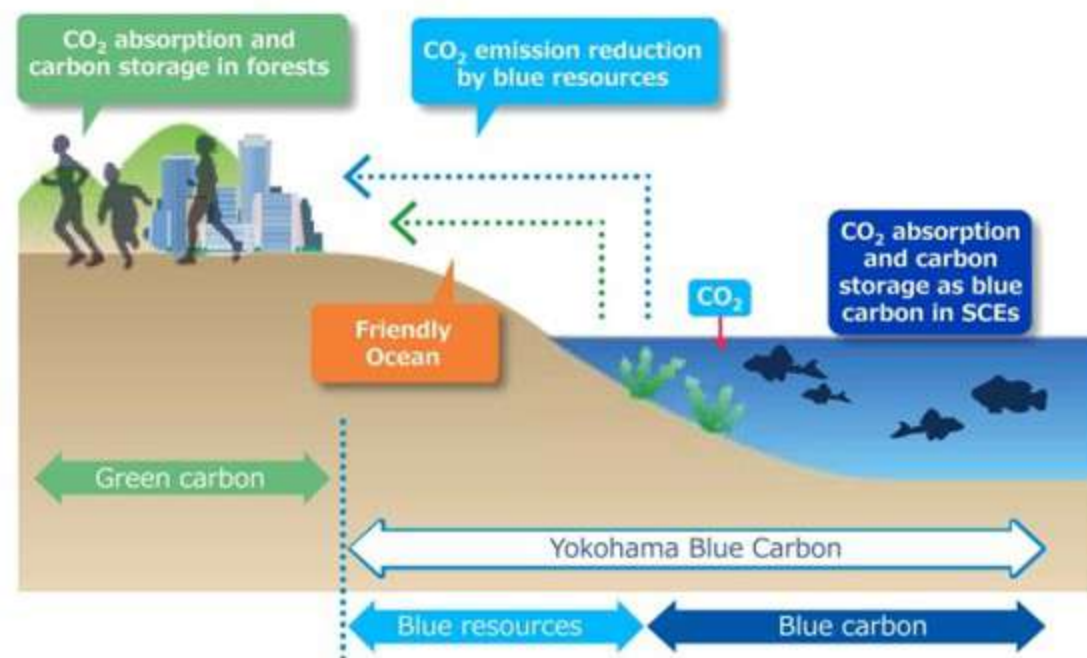
- δεσμεύεται (φωτοσύνθεση κ.α.) &
- αποθηκεύεται (βιολογική αντλία C)

από θαλάσσια και παράκτια οικοσυστήματα μέσω βιολογικών διεργασιών.



Το πλαίσιο της μελέτης Yokohama Blue Carbon

Μπλε άνθρακας ("blue carbon") =
Ο άνθρακας που δεσμεύεται & αποθηκεύεται από θαλάσσια και παράκτια οικοσυστήματα μέσω βιολογικών διεργασιών.



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".

Δέσμευση & Βιολογική αντλία C

Μικροφύκη



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

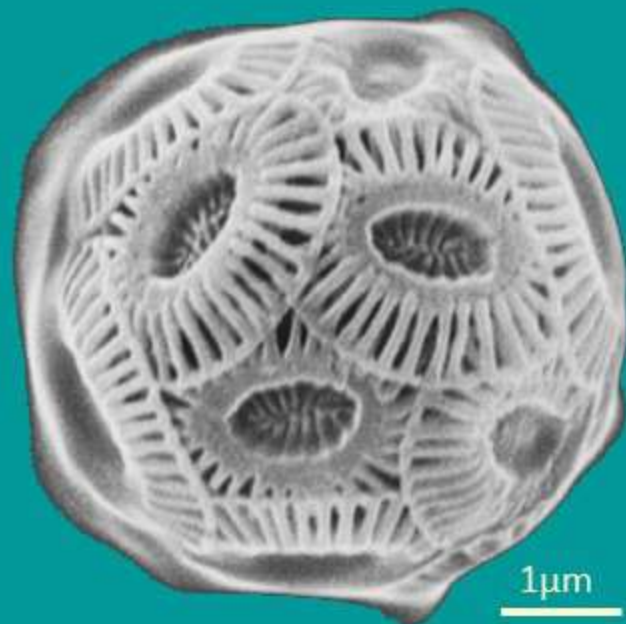
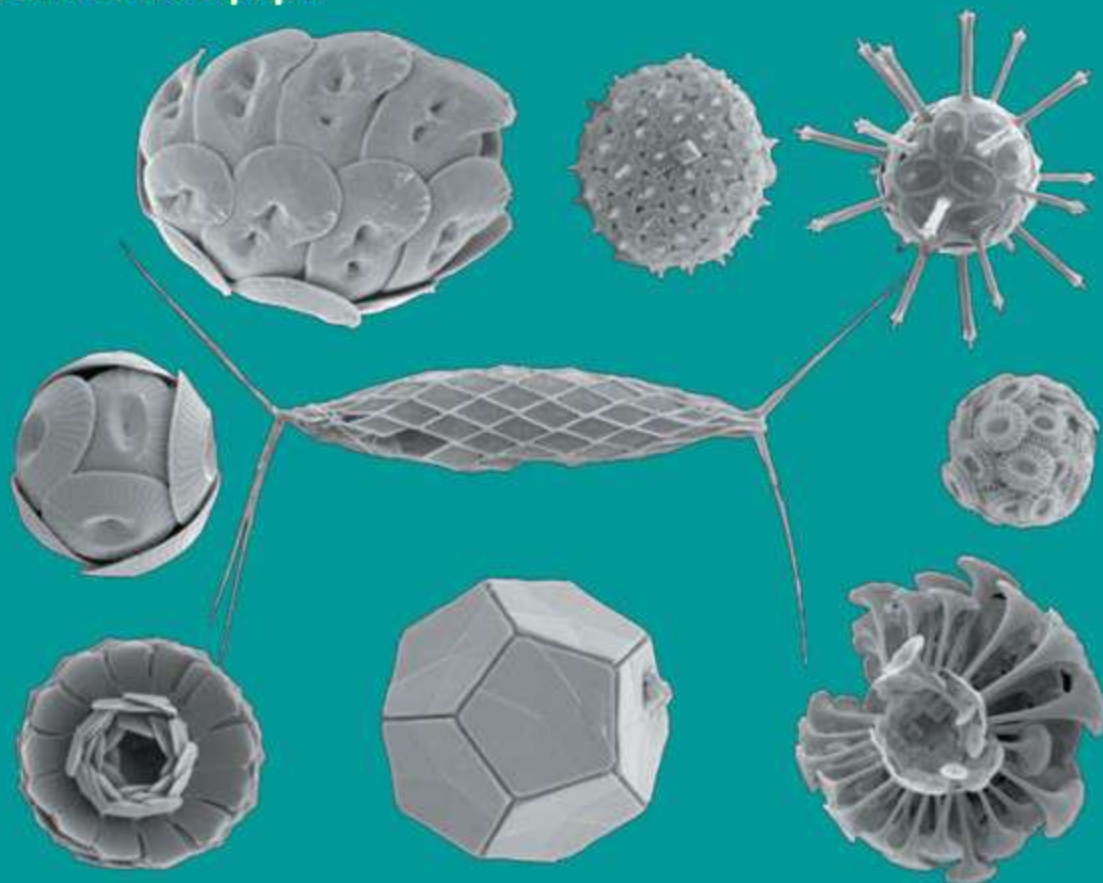
Ταχα μικροφυκών	Μέγιστη [CO ₂]	Βιβλιογραφία
<i>Cyanidium caldarium</i>	100%	Seckbach <i>et al.</i> 1971
<i>Scenedesmus</i> sp.	80%	Hanagata <i>et al.</i> 1992
<i>Chlorococcum littorale</i>	60%	Kodama <i>et al.</i> 1993
<i>Euglena gracilis</i>	45%	Nakano <i>et al.</i> 1996
<i>Chlorella</i> sp.	40%	Hanagata <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

Παγκόσμιο Κλίμα

Δέσμευση του C - Βιολογική αντλία

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

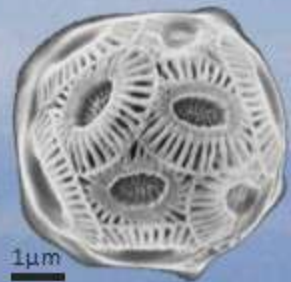
Κοκκολιθοφόρα



Emiliania huxleyi

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

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



Μακροφύκη

Δέσμευση & Βιολογική αντλία C

Macrocystis sp.

Υποθαλάσσιο Δάσος

- Μονοκοτυλήδονο *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile





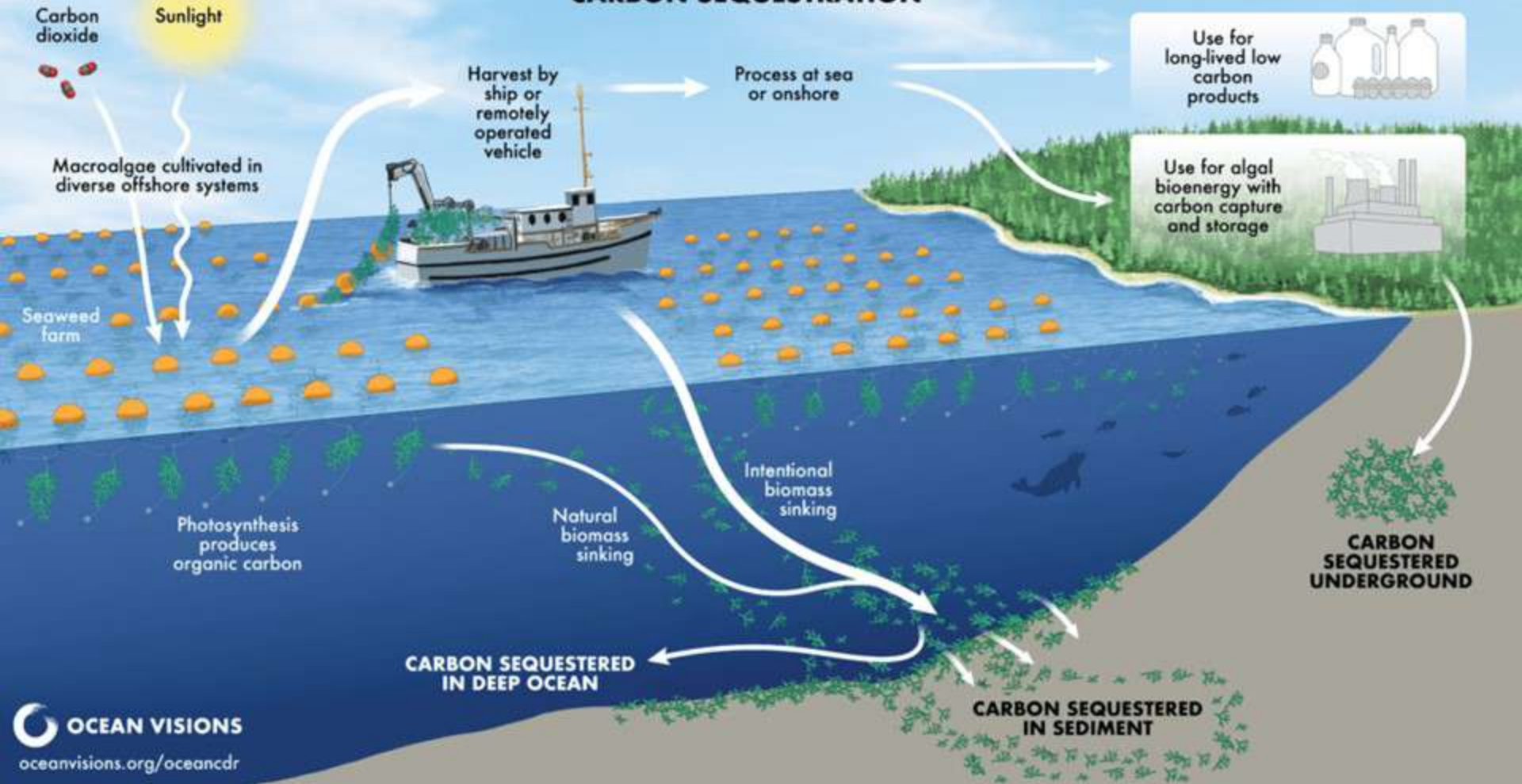
Κέρκυρα, Αύγουστος 2022

Sargassum sp.

Νησί Γορέε,
Σενεγάλη
Ιούλης 2021



MACROALGAE CULTIVATION AND CARBON SEQUESTRATION





<https://images.squarespace-cdn.com/content/v1/5b28d6dcf79392c249d39df1/ab3392d7-9d4c-4ea1-b17d-653efe28cbff/website.jpg>



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

Μακροφύκη

Δέσμευση & Βιολογική αντλία C



Ορεινή Ναυπακτία, 2017

Δέσμευση & Βιολογική αντλία C



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.
Ανθίσσει νερού: 1000άδες km^2 ,
ειδικά σε μεσαία γεωγραφικά πλάτη.

Emiliania huxleyi, κοκκολιθοφόρο.

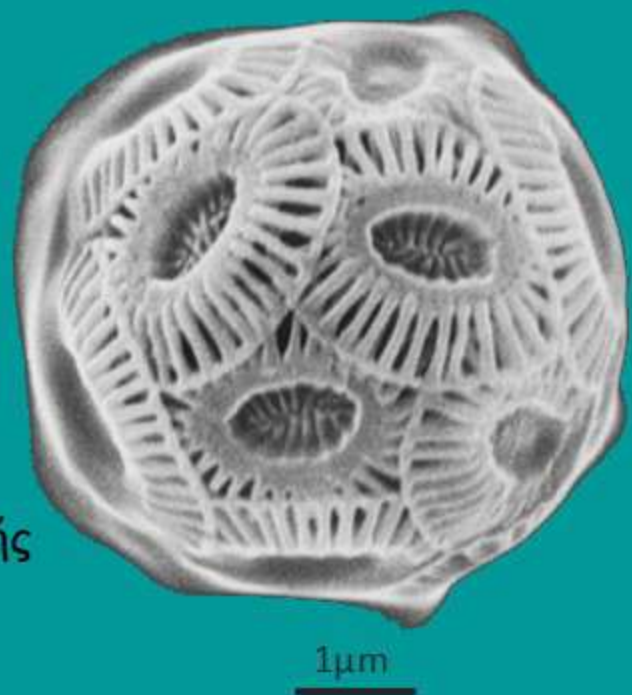
Οξίνιση Ωκεανών & Κοκκολιθοφόρα

Στους ωκεανούς: $\text{CO}_2 \uparrow \rightarrow \text{pH} \downarrow$ (οξίνιση)
σε άλλες ομάδες φυκών:

- **ενασβέστωση** ↓
λόγω δυσκολίας σχηματισμού CaCO_3

Στα κοκκολιθοφόρα οι μελέτες δίνουν
αντικρουόμενα αποτελέσματα.
Γιατί?

- μικρή διάρκεια πειραμάτων
→ περιορισμένη δυνατότητα εξελικτικής προσαρμογής
- μελέτη ενός μόνο στελέχους
→ όχι της φυσικής γενετικής ποικιλότητας



Emiliana huxleyi,
κοκκολιθοφόρο

Οξίνιση Ωκεανών & Κοκκολιθοφόρα

Αποτελέσματα μελετών

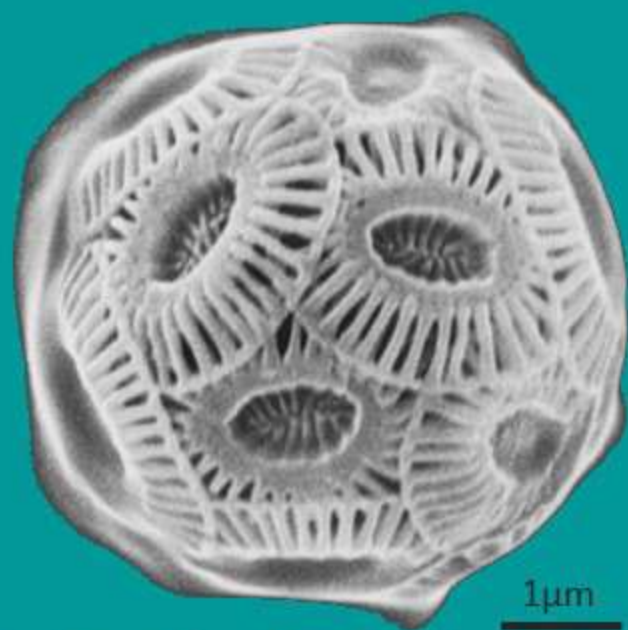
□ Iglesias-Rodriguez *et al.* (2008)

Σε υψηλό CO_2 , το *Emiliania huxleyi* εμφάνισε:

- μεγαλύτερη αφθονία
- ~40% βαρύτερους κοκκόλιθους
- αύξηση ενασβέστωσης
- αύξηση πρωτογενούς παραγωγής

□ Άλλες μελέτες (Meier *et al.* 2013, Riebesell & Tortell 2011, Feng *et al.* 2017)

- μείωση βάρους κοκκολίθων
- μείωση ρυθμών ενασβέστωσης
- αύξηση φωτοσυνθετικής δέσμευσης άνθρακα
- εποχική μεταβλητότητα στην ενασβέστωση



Emiliania huxleyi, κοκκολιθοφόρο

Συμπέρασμα

Η απόκριση των κοκκολιθοφόρων στην οξίνιση:

- δεν είναι ενιαία
- εξαρτάται από είδος, στέλεχος και περιβάλλον
- επηρεάζει τον θαλάσσιο κύκλο άνθρακα και την παραγωγικότητα

Προκλήσεις που πρέπει να ξεπεραστούν

Το φυτοπλαγκτό (ΦΠ) στη δέσμευση του C

- 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.

➤ Συρίκνωση και εξαφάνιση δασών μακρόφυτων.



➤ Συρίκνωση και εξαφάνιση δασών μακρόφυτων.





➤ Εξαφάνιση δασών μακρόφυτων



➤ Εξαφάνιση δασών μακρόφυτων.

Κοκκινονήσι, Λιχαδονήσια, 13/5/2022

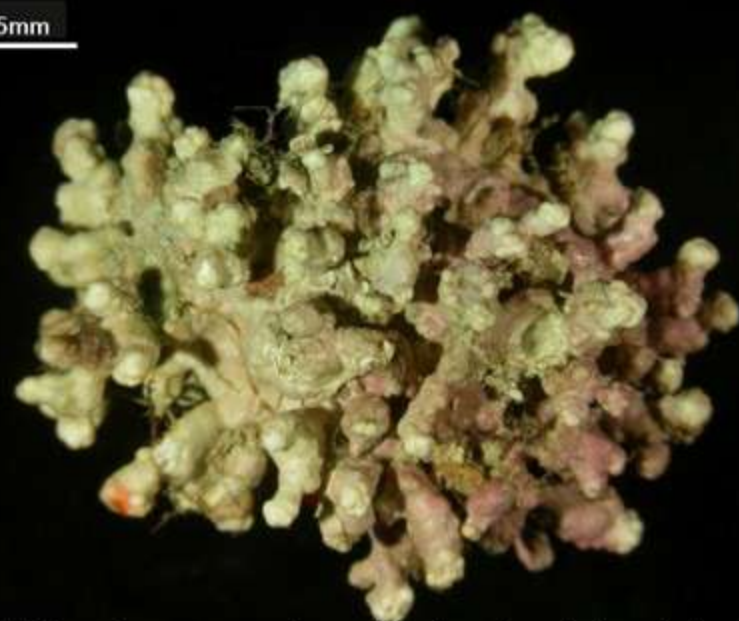
- Ελάττωση ενασβέστωσης στα ενασβεστωμένα μακρο- και μικρο- φύκη.



Lithothamnion minervae

Maerl/rhodolith-forming species
for which no sequences are available
(*Lithothamnion minervae*, *L. valens*).

15mm



<https://litoraldegranada.ugr.es/el-litoral/el-litoral-sumergido/flora/macroalgas/algas-rojas/lithothamnion-minervae/>



http://dryades.units.it/Corallinales/key/schede/Lithothamnion_minervae_e.htm

❑ Οικοσυστημικές υπηρεσίες φυκών

- πρόσληψη θρεπτικών
 - περιορισμός ευτροφισμού,
 - βιοεξυγίανση,
 - επεξεργασία & ανακύκλωση λυμάτων κλπ

Αποκατάσταση οικοσυστημάτων

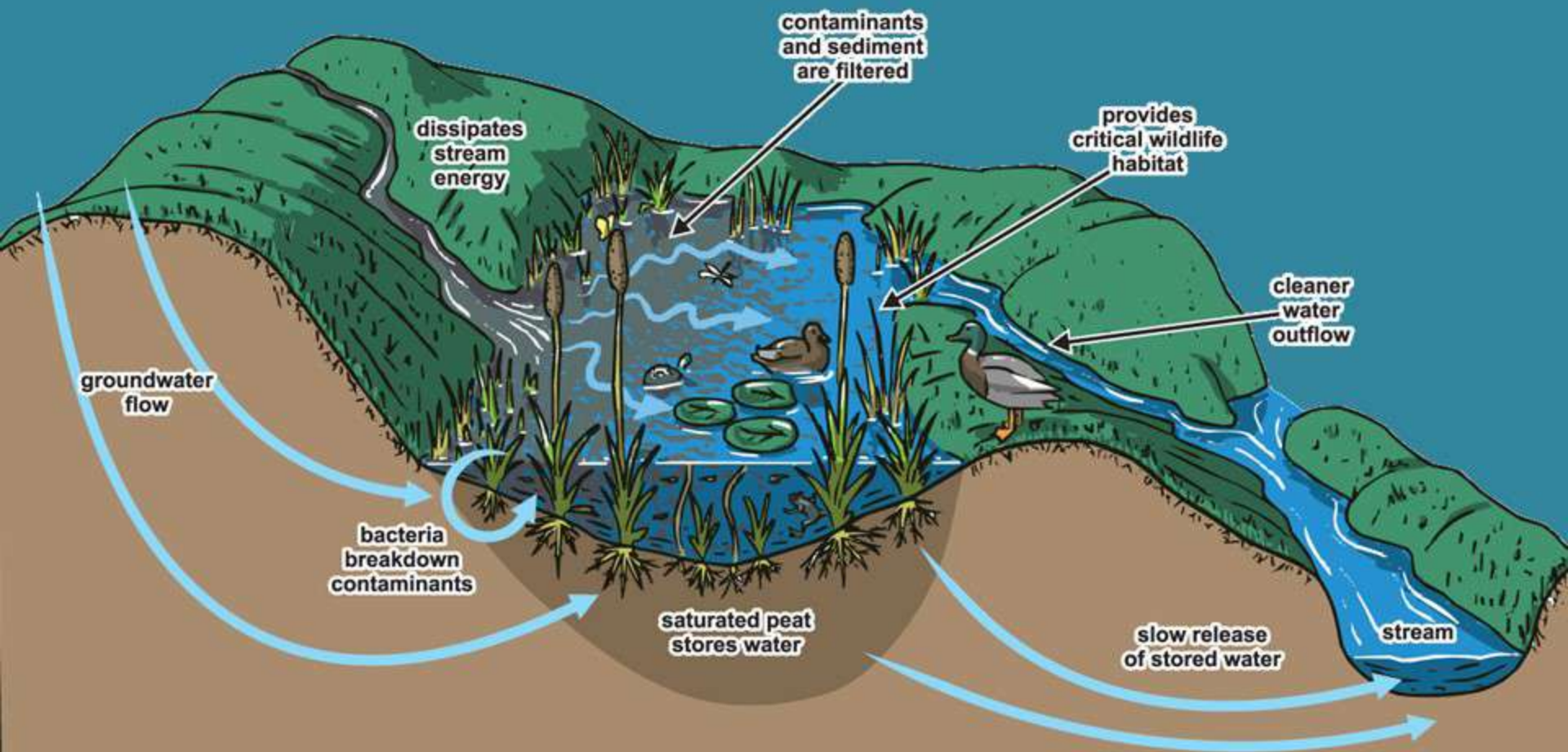
Φυσική αποκατάσταση

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





https://www.melbournewater.com.au/sites/default/files/Wetlands-Diagram_Screen_r.jpg

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

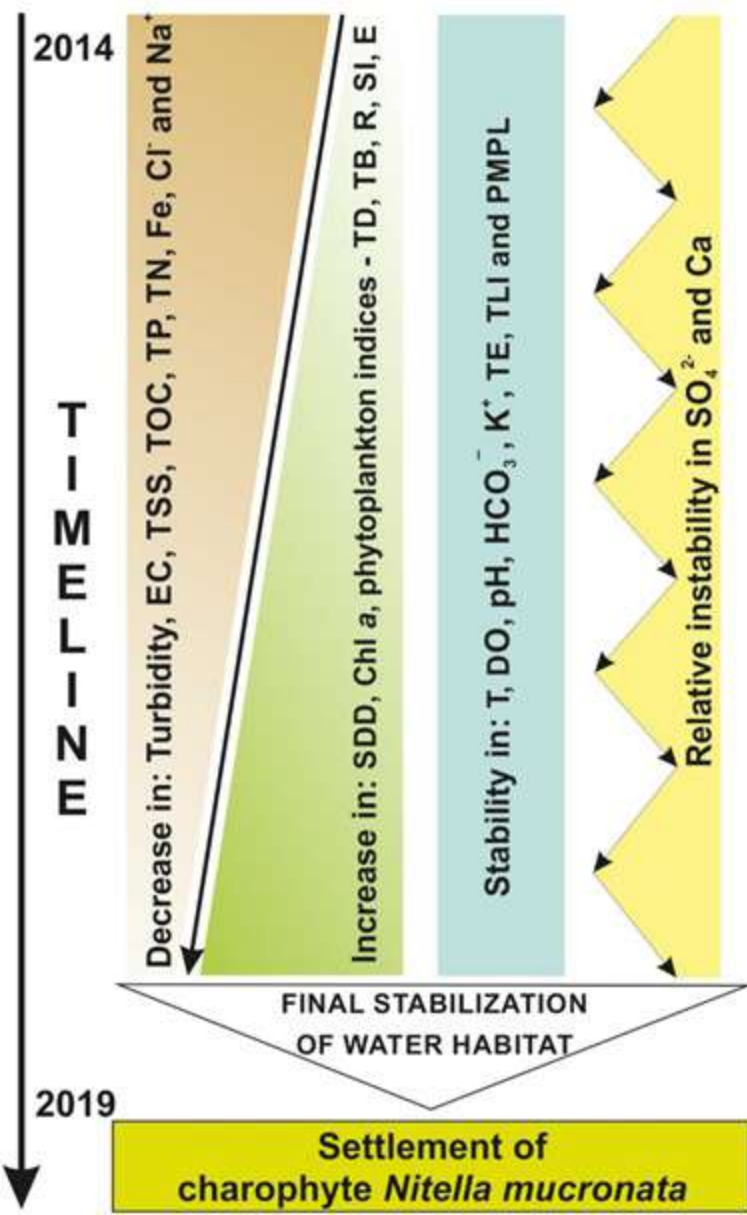
Marella *et al.* 2016.
Phycoremediation of Eutrophic Lakes Using
Diatom Algae.

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



Βιοεξυγείανση

Χαροφύκη όπως *Chara*, *Nitella* κ.α. βοηθούν στην αποκατάσταση



Είδη όπως το *Nitella congesta* λειτουργούν ως:

- μηχανισμός σταθεροποίησης ιζημάτων
- βελτίωση διαύγειας νερού
- ένδειξη καλής οικολογικής κατάστασης

Οικολογική εξέλιξη / αποκατάσταση

Σταδιακή μετάβαση από

υψηλή θολερότητα & θρεπτικά φορτία

→ σταθερά, ολιγοτροφικά ή μεσοτροφικά συστήματα

- Αύξηση διαφάνειας (↑ SDD) και σταθεροποίηση DO
- Μείωση θρεπτικών (↓ TP, TN, TOC)
- Αλλαγή φυτοπλαγκτικού δυναμικού (↓ Chl a)
- Αύξηση βιοποικιλότητας (↑ R, SI, E)

- Napiórkowska-Krzebietke & Skrzypczak (2021) *Sci Rep* 11:14564
- Napiórkowska-Krzebietke et al. (2008), PhD thesis
- Μελέτες αποκατάστασης ορυχείων με Charophytes (Western Australia)

<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

- 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.

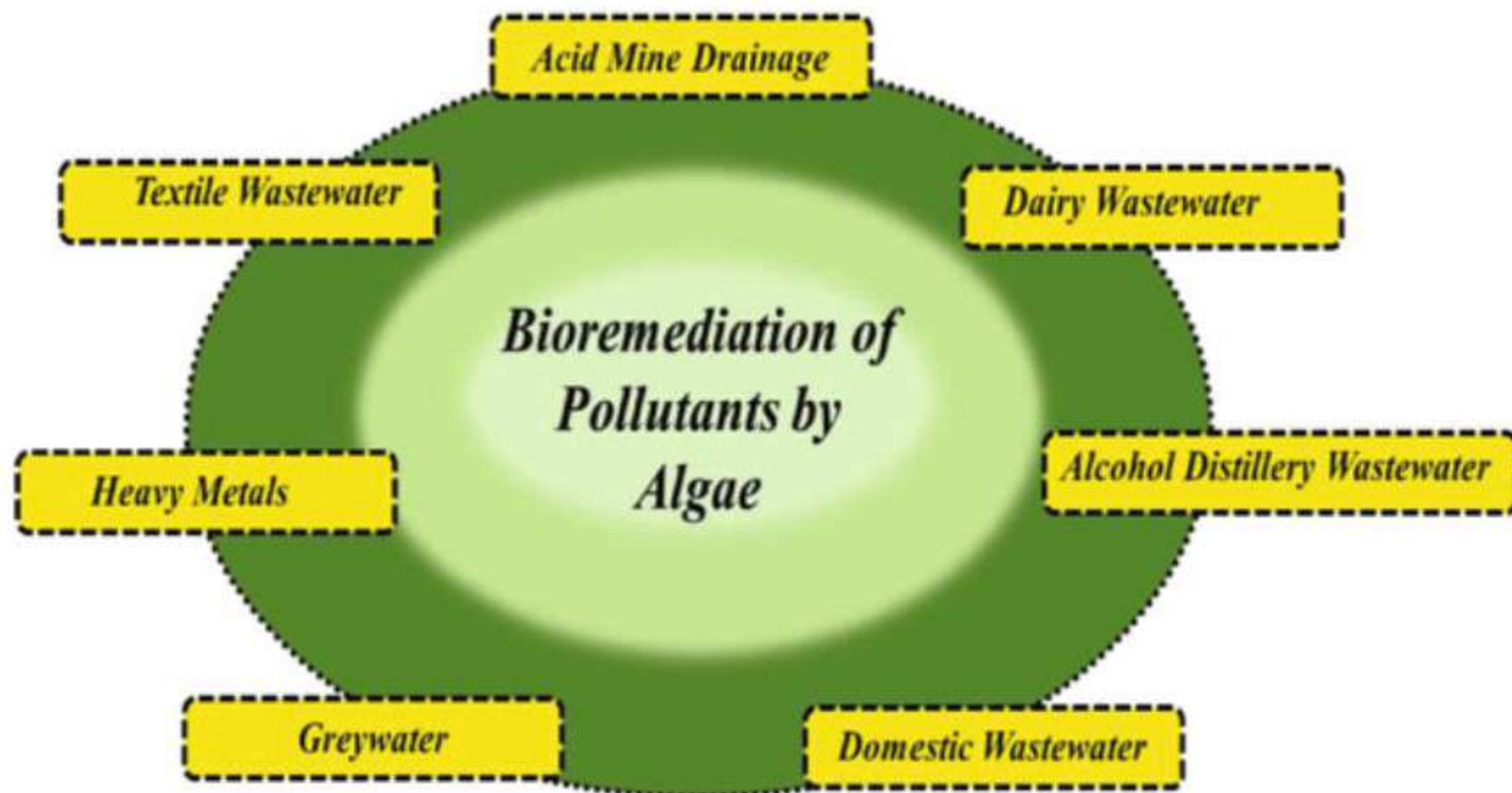
Τα μικροφύκη είναι ένας από τους καλύτερους παράγοντες βιοεξυγίανσης για την επεξεργασία των λυμάτων και διαδραματίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στη διαδικασία βιοαποκατάστασης:

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

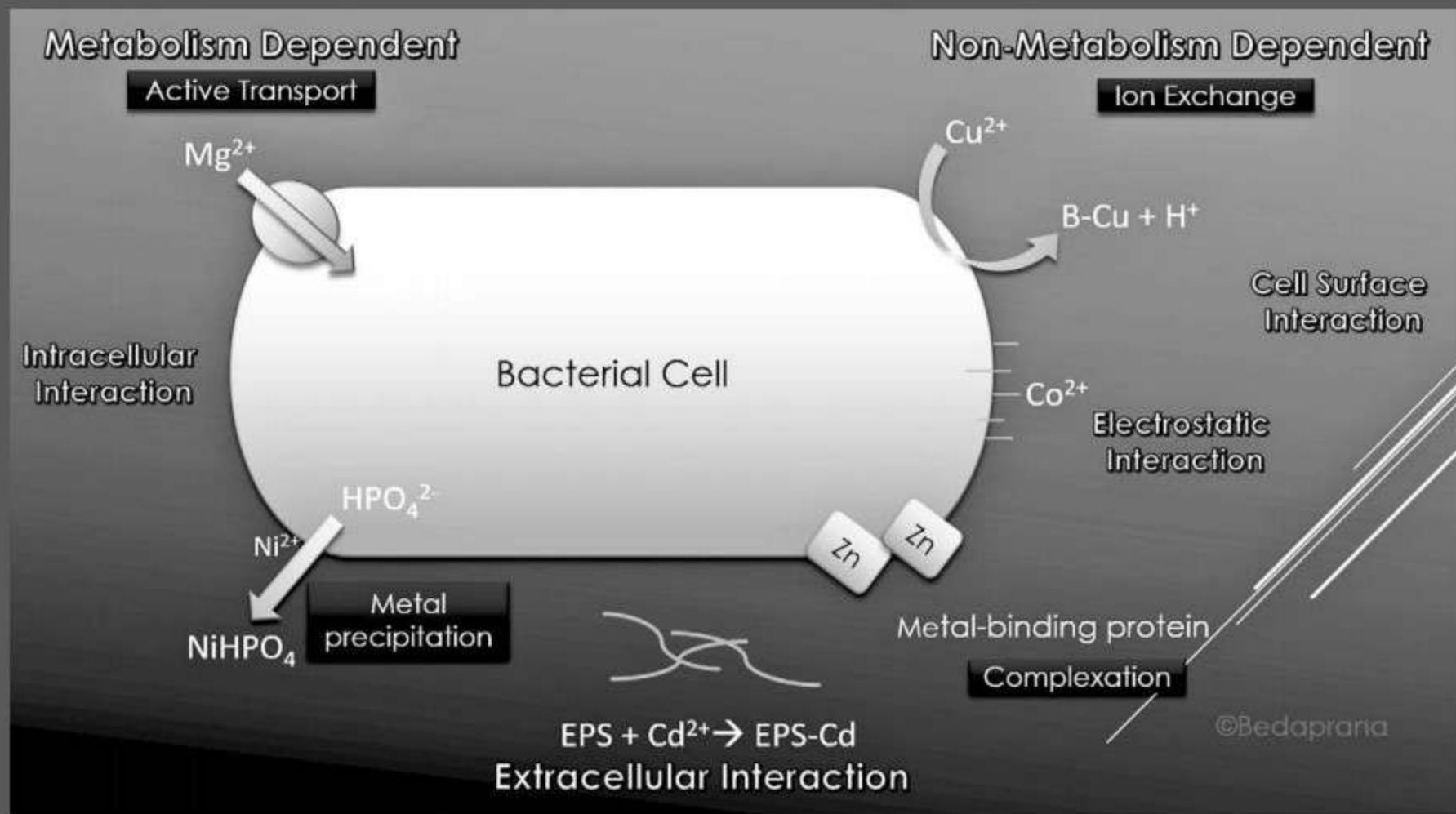
Εφαρμογές

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)



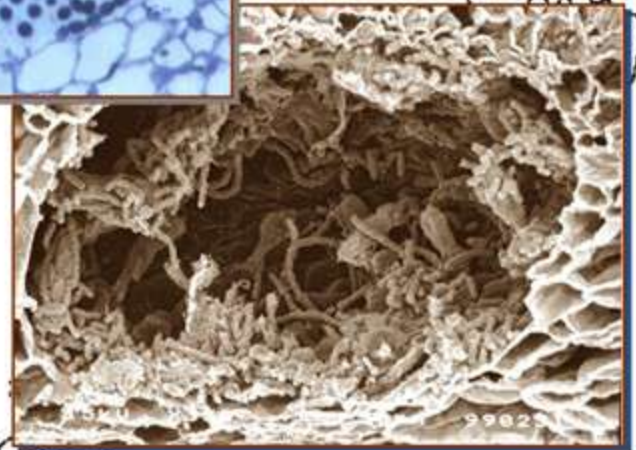
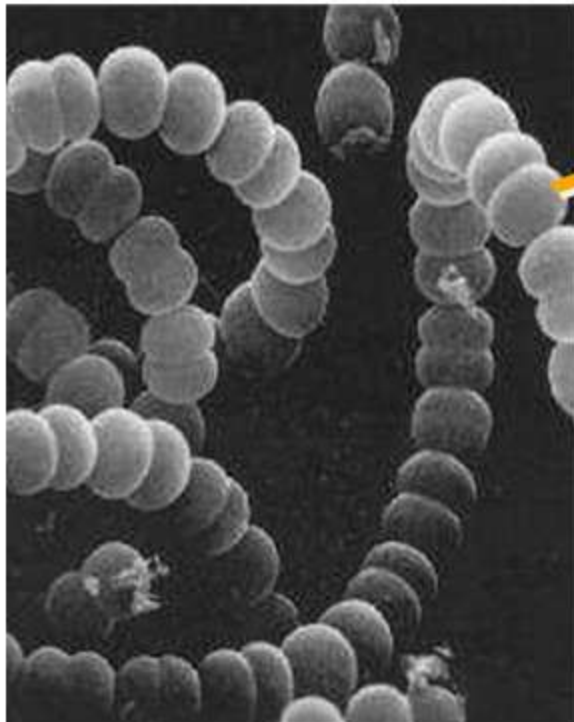
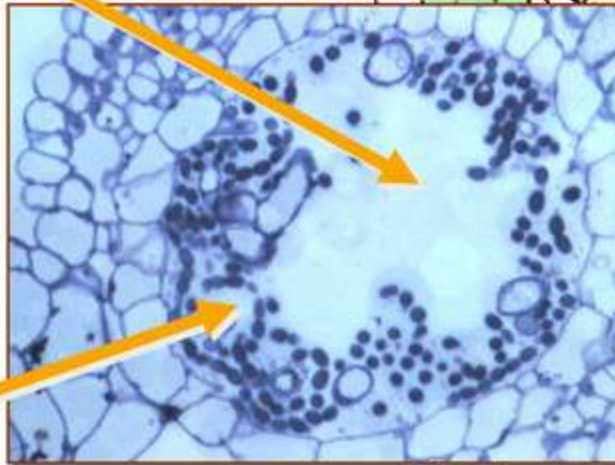
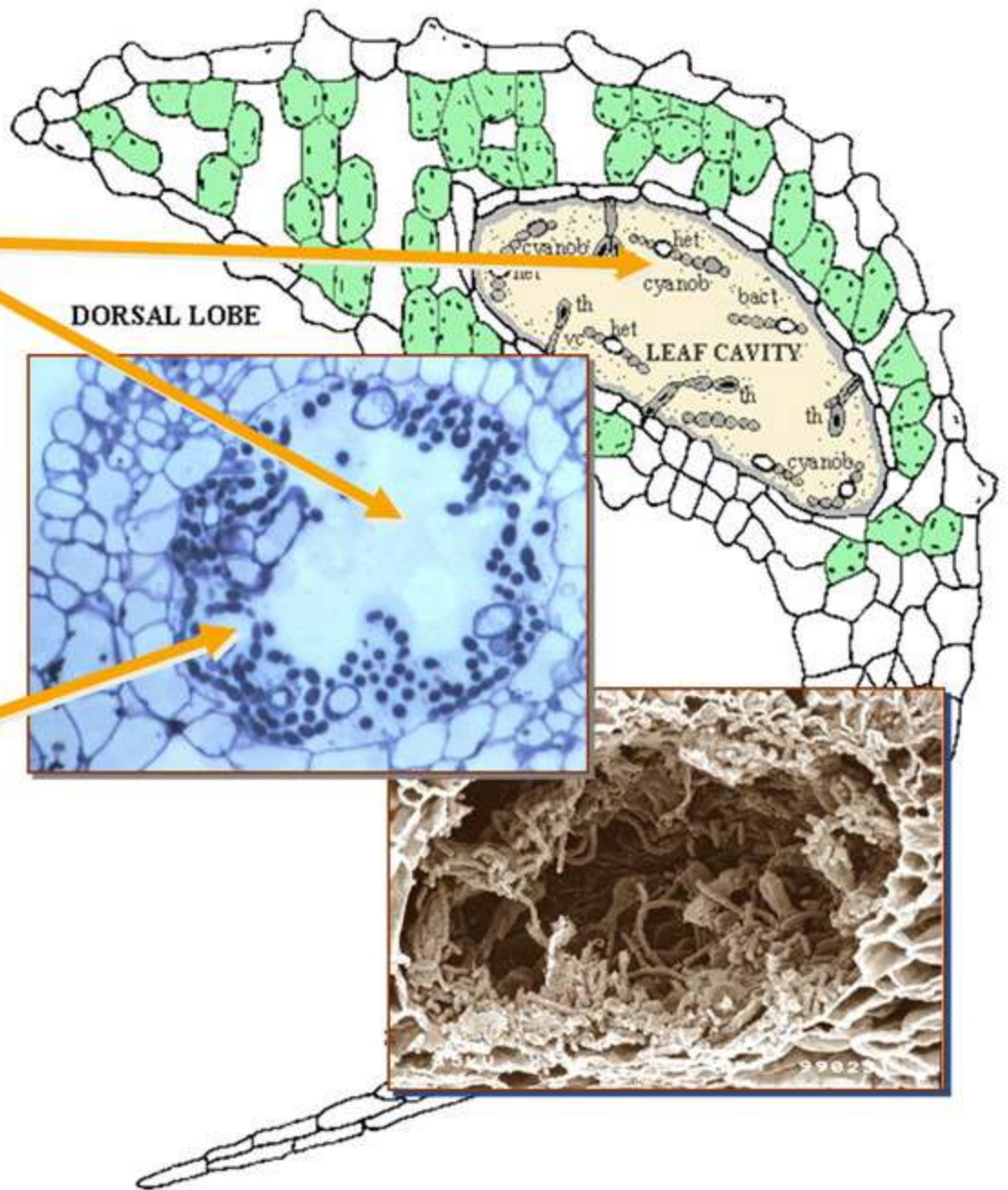
Βιο-απορρόφηση μετάλλων από βακτήρια



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}).

❑ Οικοσυστημικές υπηρεσίες φυκών

- αζωτοδέσμευση
 - βιολίπασμα κ.α.



0.2 mm



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



<https://theazollafoundation.org>



<https://www.hope4ebolaorphans.org>

Σιέρα Λεόνε

Βιολίπασμα Αζωτοδέσμευση

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



❑ Οικοσυστημικές υπηρεσίες φυκών

- μέσω της αποικοδόμησης τους
 - ✓ ανακύκλωση θρεπτικών στοιχείων
 - βιολίπασμα κ.α.

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>Solanum tuberosum</i>	<i>Solanum tuberosum</i>	Seaweed extract	Increases in fresh and dry mass
Maxicrop	<i>Capicum annuum</i>	Seaweed extract	Increase length, diameter, and fruit yields
(<i>Ascophyllum nodosum</i>)			
<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
Dravya (<i>Sargassum wrightii</i>)	<i>Gouyppium</i> sp.	Seaweed extract	Developed resistance to the bacterial pathogen <i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>malvarum</i> in seeds
Goëmar BM 86* (<i>Ascophyllum nodosum</i>) and Kelpak* (<i>Ecklonia maxima</i>)	<i>Malus domestica</i>	Seaweed extract	Stronger vegetative growth than controls, and improved flower quality and prolonged blooming
<i>Ascophyllum nodosum</i>	<i>Olea europaea</i>	Seaweed extract	Improvement in the productivity and oil content of olives and the quality of olive oil
<i>Rosemaria intricata</i>	<i>Abelmoschus esculentus</i>	Liquid fertilizer	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>Ascophyllum nodosum</i>	<i>Spinacia oleracea</i>	Seaweed extract	Increase the total phenolic and flavonoids components and total antioxidant levels
<i>Ascophyllum nodosum</i>	<i>Vitis vinifera</i>	Seaweed extract	Improved fertility coefficients, shoot length, shoot diameter, and leaf area
Isolated eckol from <i>Ecklonia maxima</i>	<i>Zea mays</i>	Seaweed concentrate	Stimulate maize shoot and root elongation and number of seminal roots and exhibited improvement in the biochemical activities
Drift seaweed (mainly <i>Laminaria</i> sp. and <i>Cytosira</i> sp.)	<i>Solanum lycopersicum</i> and <i>Lactuca sativa</i>	Compost	Anonely rate of 66 t/ha of compost increased the yield of two successive crops (tomato and lettuce)
<i>Ascophyllum nodosum</i>	<i>Solanum lycopersicum</i>	Seaweed extract	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)
'Bio magic': <i>Ascophyllum</i> , <i>Sargassum</i> , and <i>Laminaria</i>	<i>Reinmaria officinalis</i>	Powder seaweed extract	Increase in oil amount and leaf area
<i>Lesosia flavicans</i> and <i>Lesosia nigrescens</i>	<i>Malus lupulina</i>	Seaweed extract	Increased the seedlings growth and improved the soil enzyme activities in replant soil
Nizamuddin zardini	<i>Triticum aestivum</i>	Liquid fertilizer	Synergistic influence with urea fertilizer that increase growth
Drift seaweed (mainly <i>Laminaria</i> sp. and <i>Cytosira</i> sp.)	<i>Solanum tuberosum</i>	Compost	Increased total production and reduced noncommercial production
Jeppia Maritime Private Ltd.	<i>Abelmoschus esculentus</i>	Liquid fertilizer	Enhance the growth
Sunred*	<i>Vitis vinifera</i>	Seaweed extract	Promote the grape coloring
<i>Ascophyllum nodosum</i> and <i>Sargassum muticum</i>	<i>Oryza sativa</i> and <i>Lactuca sativa</i>	Seaweed extract	Positive effect on seed germination, plant development, and production
<i>Ascophyllum nodosum</i>	<i>Vitis vinifera</i>	Seaweed extract	Increase in yield, number of berries, and anthocyanin extractability of berry skins
<i>Codium decorticatum</i>	<i>Capicum annuum</i>	Liquid fertilizer	Enriches germination, growth, and yield



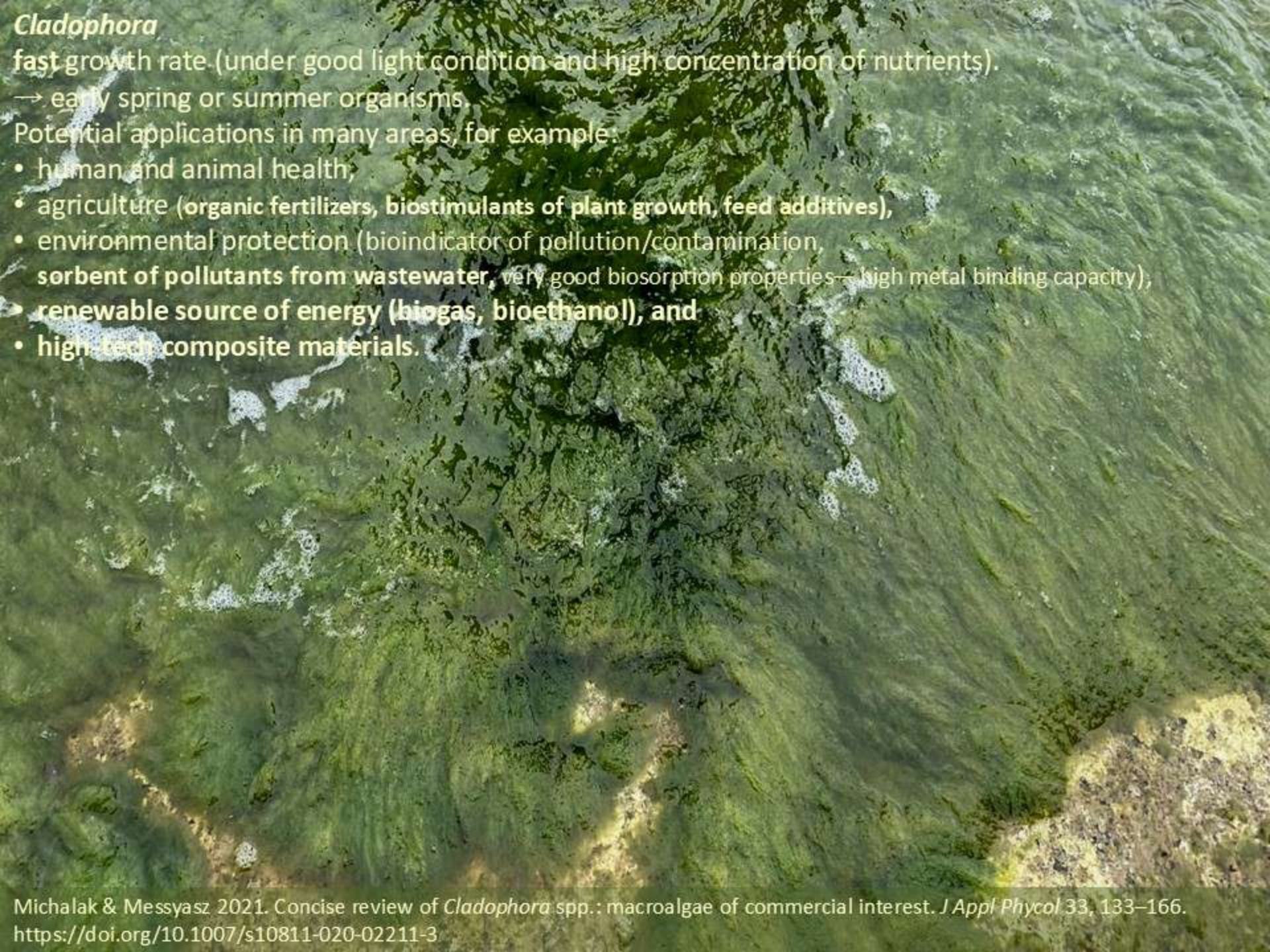
Συλλογή φύλλων
Posidonia oceanica.

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



Ροδολιθικοί πυθμένες του Ν. Ατλαντικού





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.**

❑ Οικοσυστημικές υπηρεσίες φυκών

- 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.

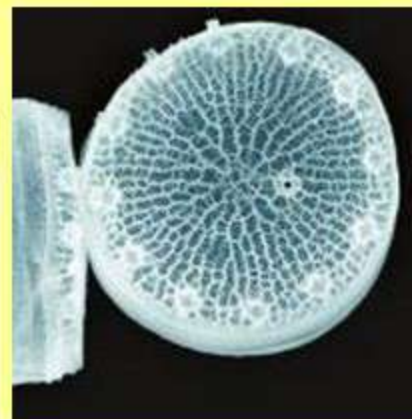
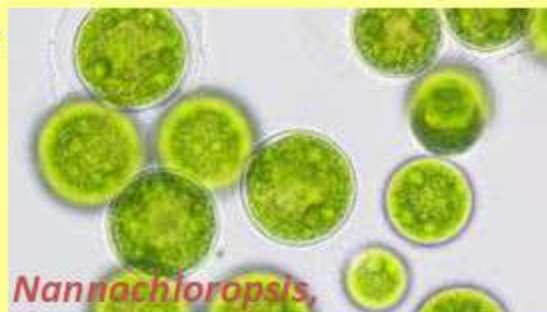
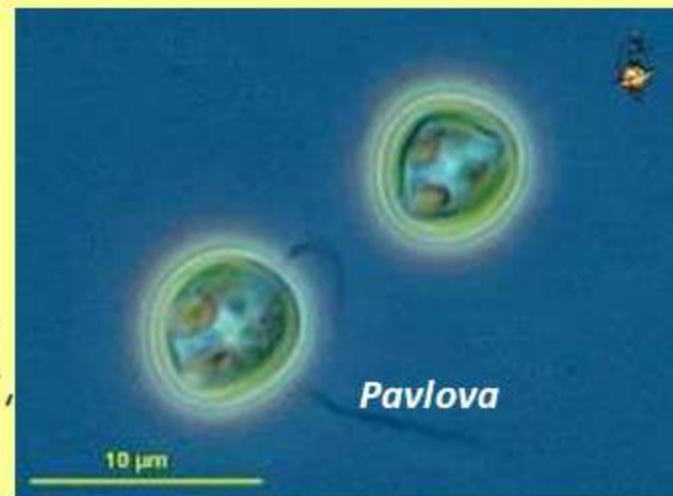
Υψηλή διατροφική αξία:

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.



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*** !!!

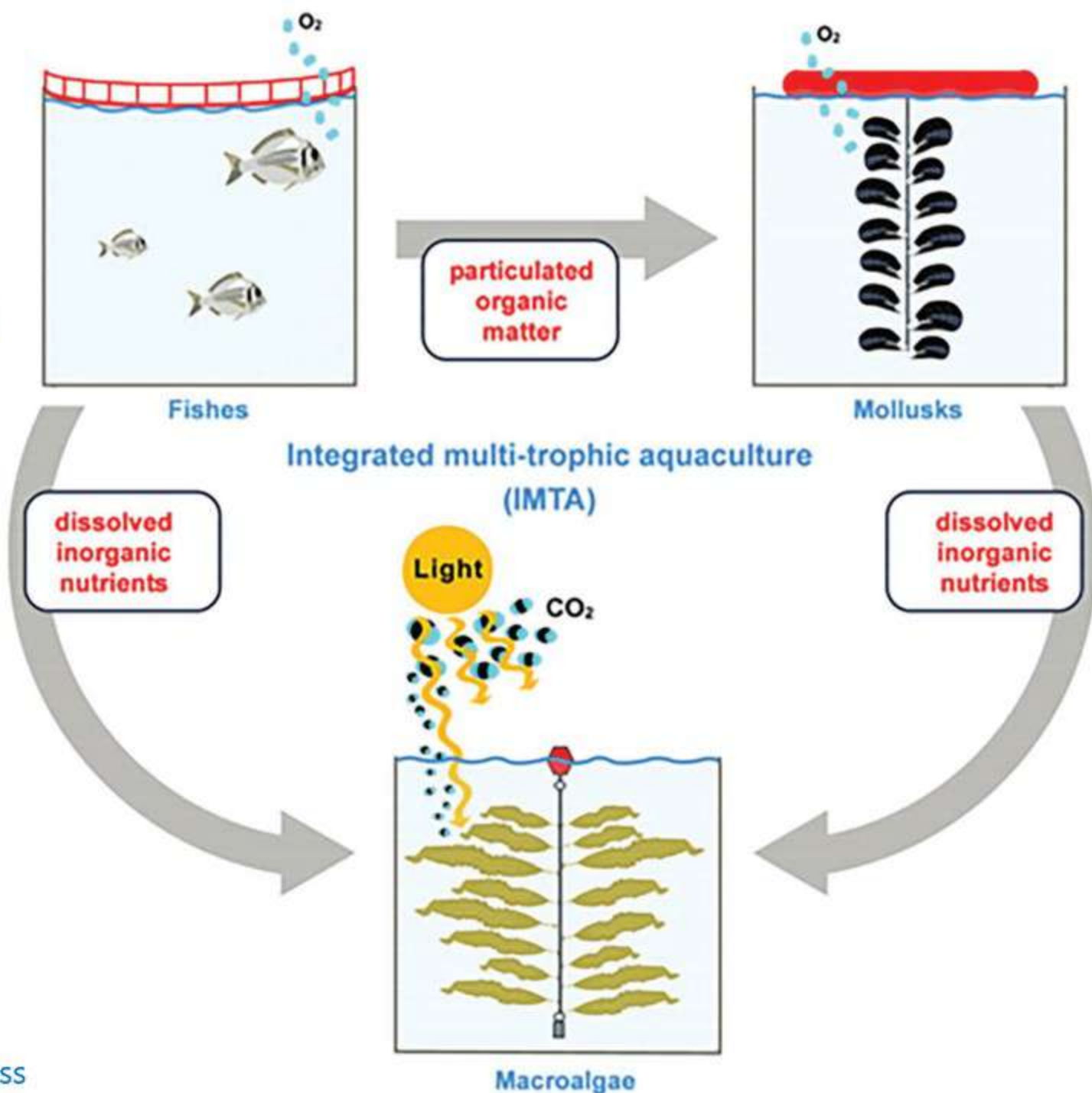
* απόρριψη αγωγής της εταιρείας Ανδρομέδα - Ιχθυοκαλλιέργειες, ενάντια στον ιχθυοκαλλιεργητή Χρήστο Λοβέρδο Στελακάτο που κατήγγειλε χρήση χημικών ουσιών, όπως φορμόλη, τις σάπιες τροφές, και τα χρώματα των διχτύων.

28 Μαΐου 2020

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

Συνδυαστική
πολύ-τροφική
υδατοκαλλιέργεια

Συγκαλλιέργειες



Integrated Multi-Trophic Aquaculture (IMTA)

Συνδυαστική πολύ-τροφική υδατοκαλλιέργεια - Συγκαλλιέργειες

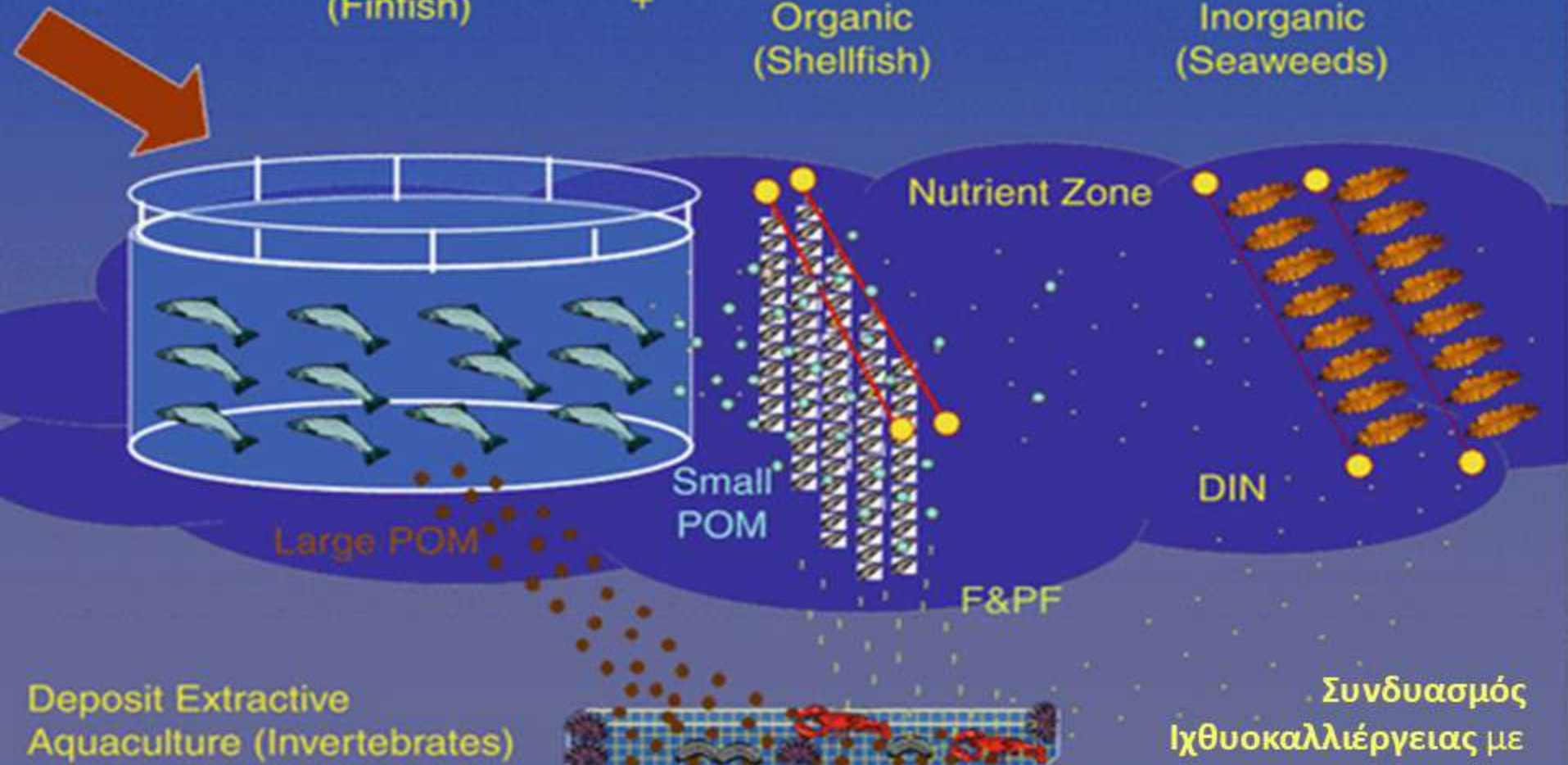
Fed Aquaculture
(Finfish)

+

Suspension Extractive Aquaculture

Organic
(Shellfish)

Inorganic
(Seaweeds)

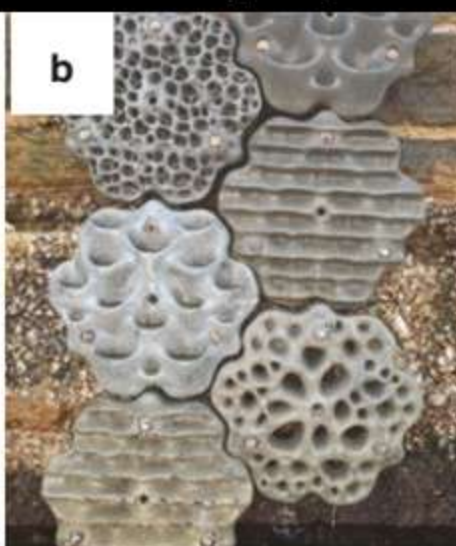


- **Οστρακοκαλλιέργεια** (διηθηματοφάγοι οργανισμοί, **POM**),
- **Φυκοκαλλιέργεια** (αφομοιώνουν διαλυμένα ανόργανα θρεπτικά, **DIN**),
- **Καλλιέργεια Θρυμματοφάγων** (π.χ. εχινόδερμα, ολοθούρια, πολύχαιτοι) (μεγάλων διαστάσεων **POM**, περιττώματα – ψευδοπεριττώματα (**F & PF**) από τους διηθηματοφάγους.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

❑ Οικοσυστημικές υπηρεσίες φυκών

- διαμόρφωση οικοσυστημάτων
 - ✓ δημιουργία και σταθεροποίηση ενδιαιτημάτων
 - ✓ Θεμελιώδεις οργανισμοί
 - δάση μακροφυκών, ογκώδεις ενασβεστωμένες μορφές κ.α.
 - βιοποικιλότητα

Τεχνητά υποστρώματα. Αυτές οι κατασκευές μπορούν να προστεθούν σε προϋπάρχουσες.



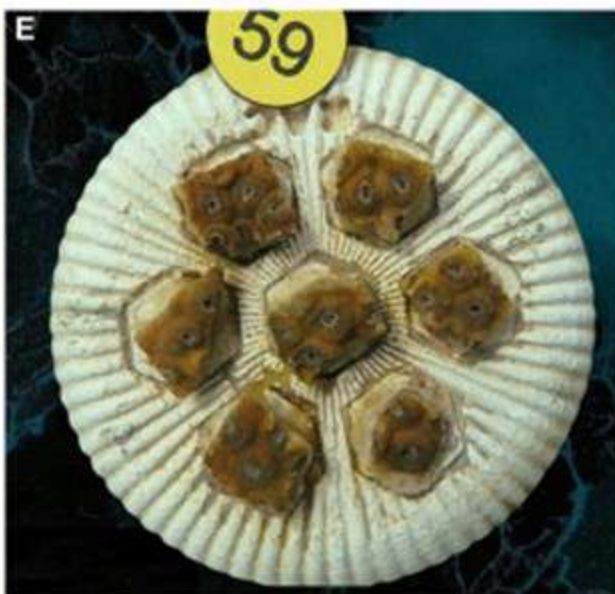
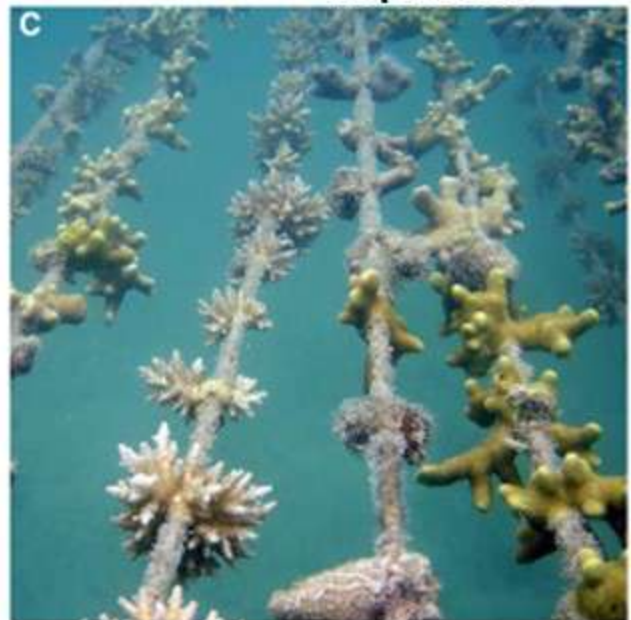
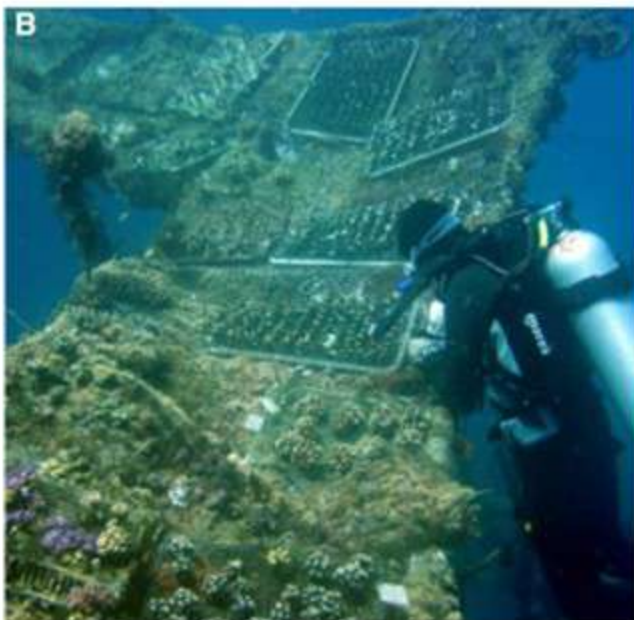
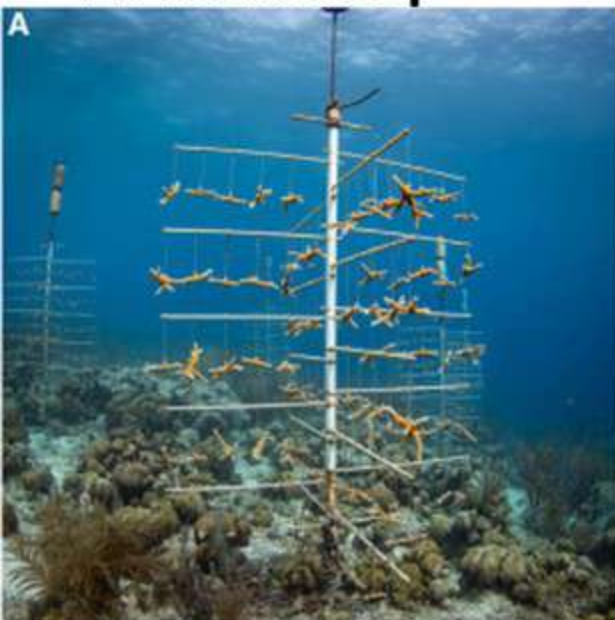
- (a) Living seawalls are generally fat and featureless, and otherwise provide little protection for marine life.
- (b) Panels have been designed using 3D printing technology to incorporate **complex texture** and a variety of **microhabitat features**.
- (c) Seawalls can be retrofitted in a variety of configurations to suit site conditions, ecological objectives or aesthetic preferences.
- (d, e) **Within months**, the complex panels were colonised by a variety of invertebrate and macroalgae and fish.

Source: Maria Vozzo





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>

Αναδάσωση

Posidonia oceanica



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;

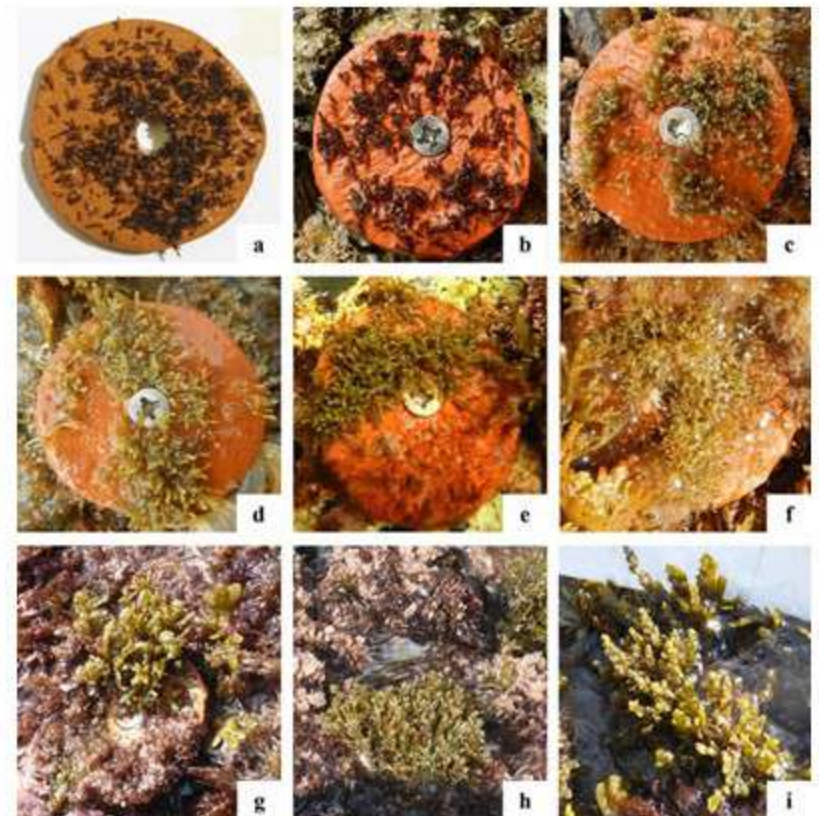
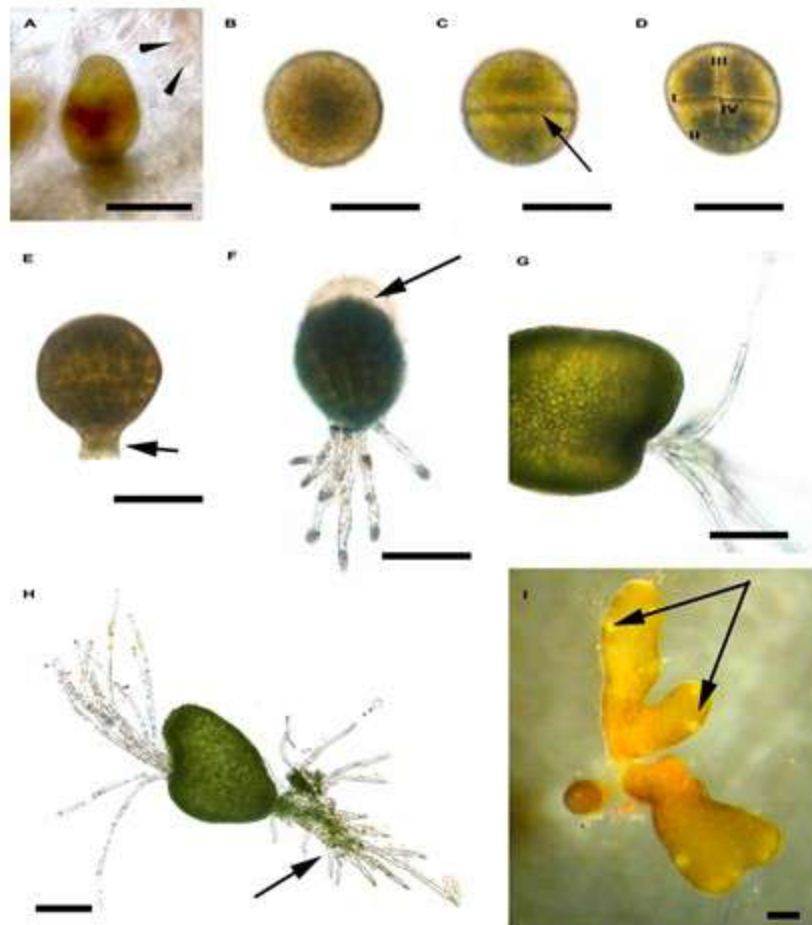
Greece: Gyaros island

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

Καλλιέργειες μακροφυκών

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.

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



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.

Τάξη: FUCALES
Οικογένεια: Sargassaceae
Γένος: *Cystoseira* spp.

Υποθαλάσσιο δάσος



Άγιος Νικόλας, Κέρκυρα 2025







Τάξη: FUCALES
Οικογένεια: Sargassaceae
Γένος: *Sargassum* spp.

Υποθαλάσσιο δάσος



Άγιος Νικόλας, Κέρκυρα 2025

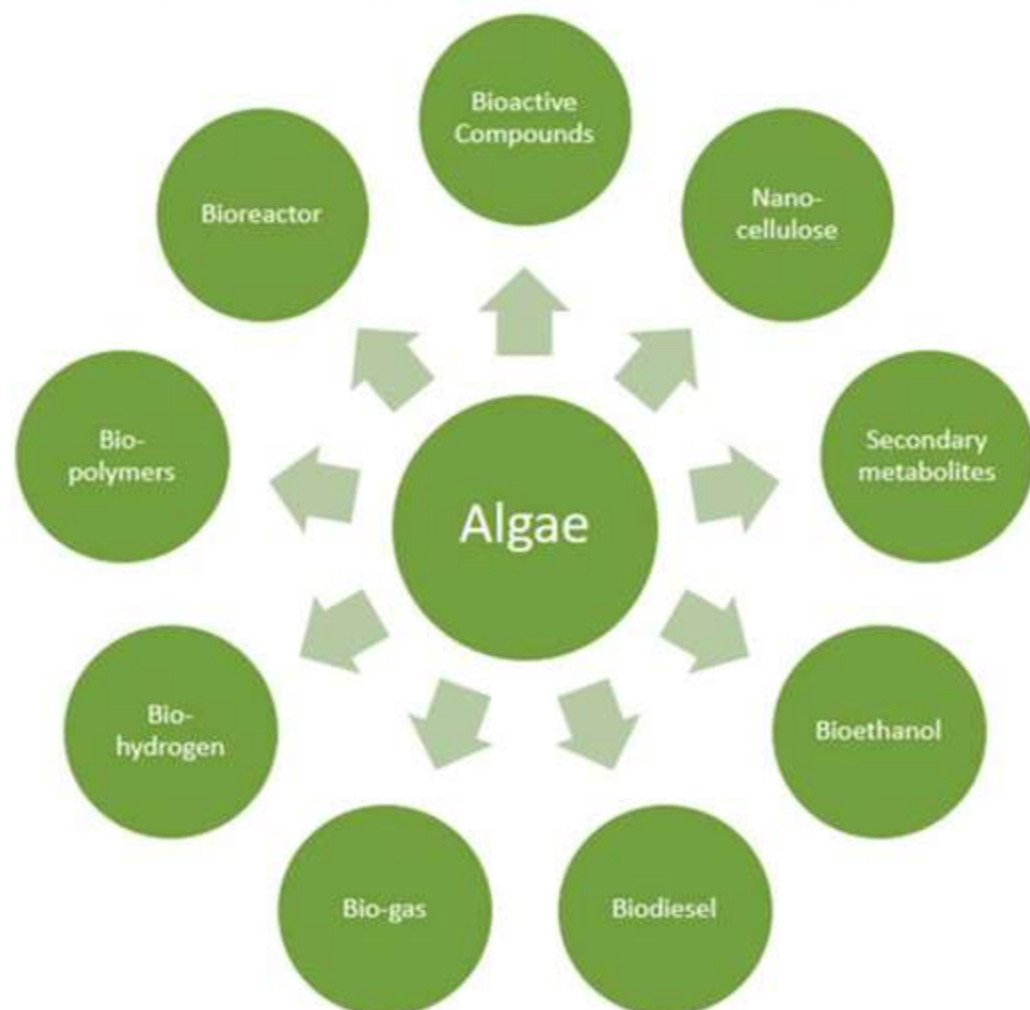


❑ Οικοσυστημικές υπηρεσίες φυκών

- παραγωγή οργανικής ύλης & οργανικών ενώσεων
 - ✓ παραγωγή βιομάζας & βιοενέργειας
 - ✓ παραγωγή φιλικών προς το περιβάλλον υλικών
 - ✓ παραγωγή τροφίμων & πρόσθετων διατροφής
 - ✓ παραγωγή πηκτικών ουσιών
 - ✓ παραγωγή φαρμακευτικών & βιοδραστικών ενώσεων
- ✓ παραγωγή βιοπλαστικών
- ✓ παραγωγή πρωτεϊνών από μονοκύτταρους οργανισμούς, SCP
- ✓ παραγωγή νανοσωματιδίων

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.



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

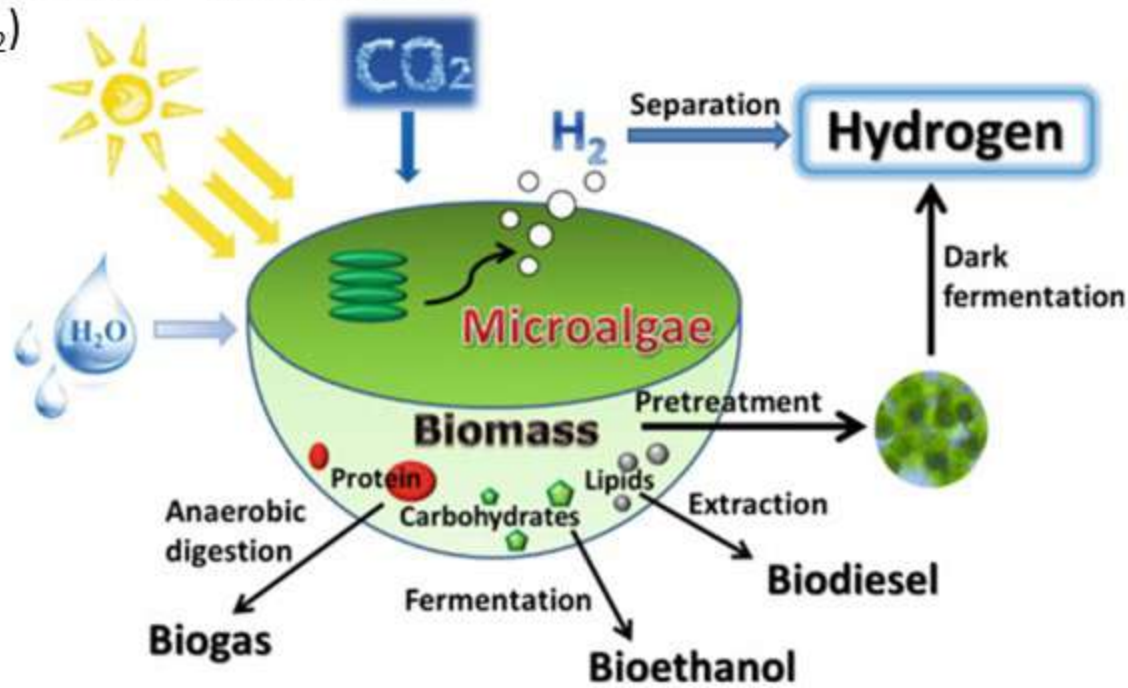
Ταχα μικροφυκών	Περιεχόμενο σε βιοκαύσιμο (% ξηρού βάρους)	Βιβλιογραφία
<i>Chlorella</i> sp.	29	Sheehan et al. (1998)
<i>Dunaliella tertiolecta</i>	36–42	Tsukahara and Sawayama (2005)
<i>Tetraselmis suecica</i>	15–32	Chisti (2007)
<i>Thalassiosira pseudonana</i>	21–31	Brown et al. (1996)
<i>Nannochloropsis</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)

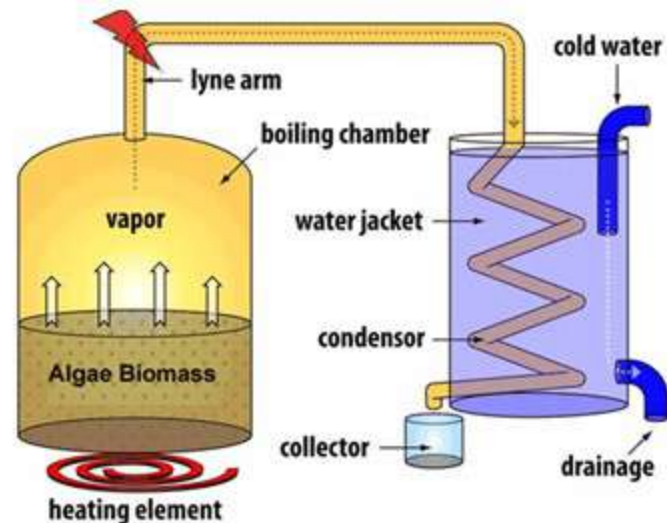
Η μονάδα που διαθέτει τις απαραίτητες τεχνολογίες και εξοπλισμό για την μετατροπή της **βιομάζας** σε **βιοκαύσιμο**, **ενέργεια** και σημαντικά **παραπροϊόντα**.

- **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



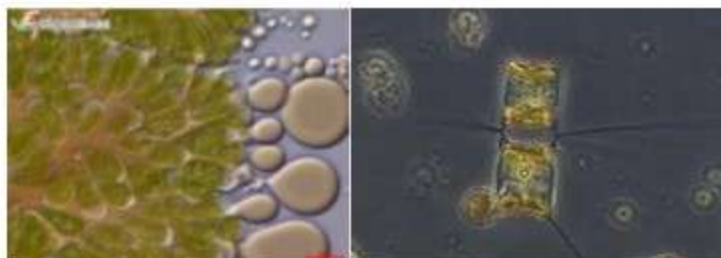
β) εκχύλιση λιπιδίων

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.%



Esterification



Transesterification



Crude algal oil

Esterified oil

Biodiesel

Τα Φύκη ως Πηγές Βιοκαυσίμων

γ) παραγωγή βιοαερίου

Ιλύς → **λυματολάσπη**

παραπροϊόν, πλούσια σε θρεπτικά, ιχνοστοιχεία +? βαρέα μέταλλα ⚠)

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



Τα Φύκη ως Πηγές Βιοκαυσίμων

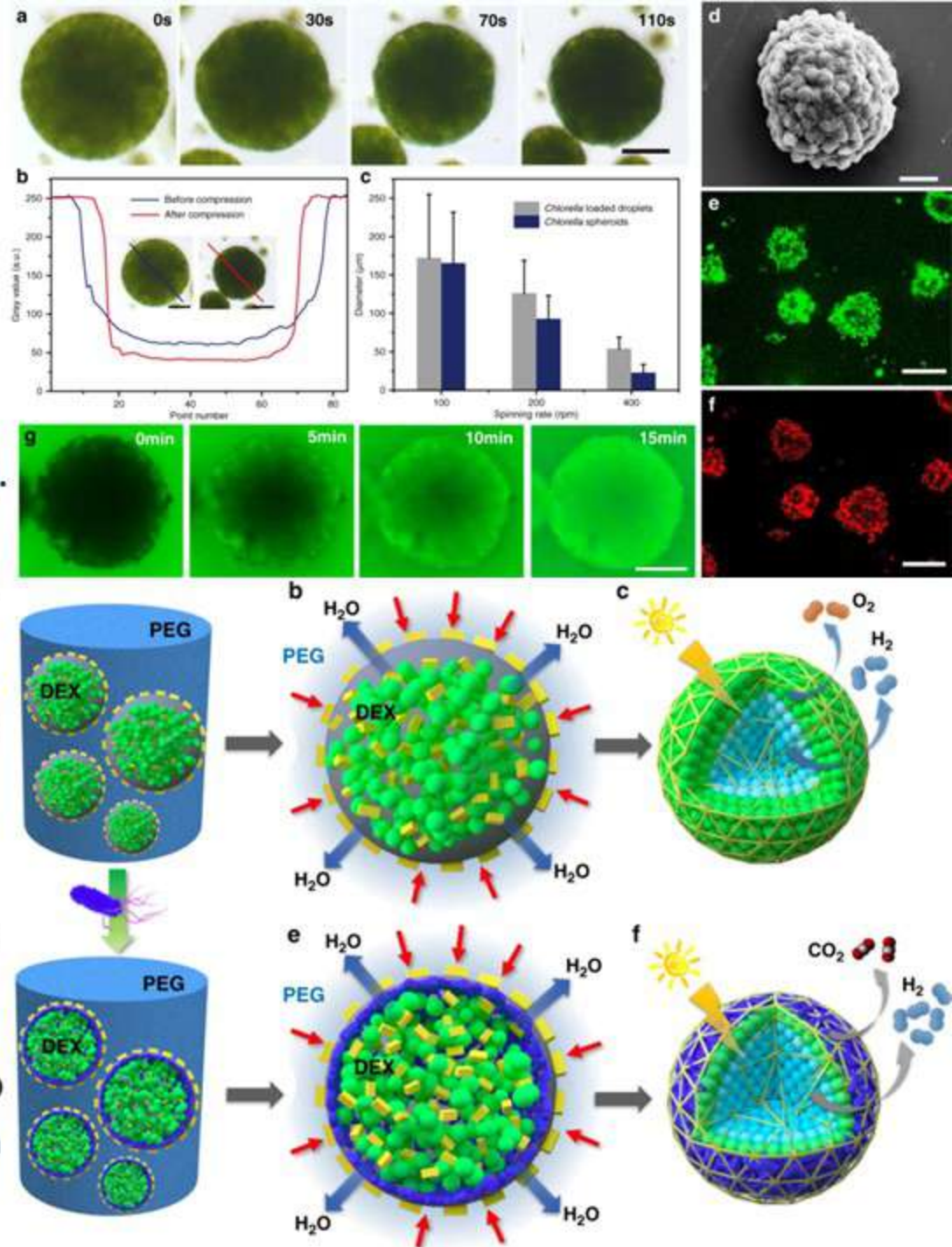
δ) συστήματα παραγωγής H_2

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**

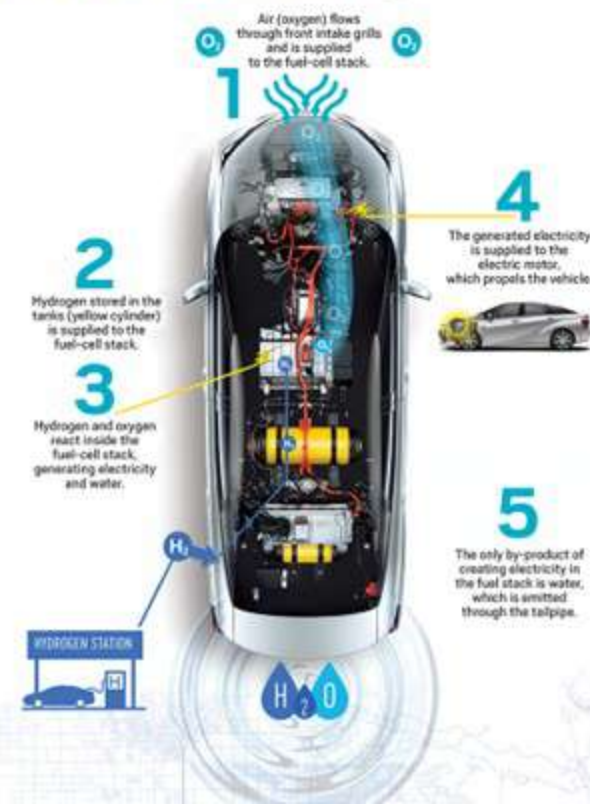
e- από H_2O μεταφέρονται στα άτομα σιδήρου, που εντοπίζονται στις υδρογενάσες → έκλυση H_2 . (φερρεδοξίνη)

Κυρίαρχο εμπόδιο: ευαισθησία υδρογενασών στο O_2

ΓΕΝΕΤΙΚΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ

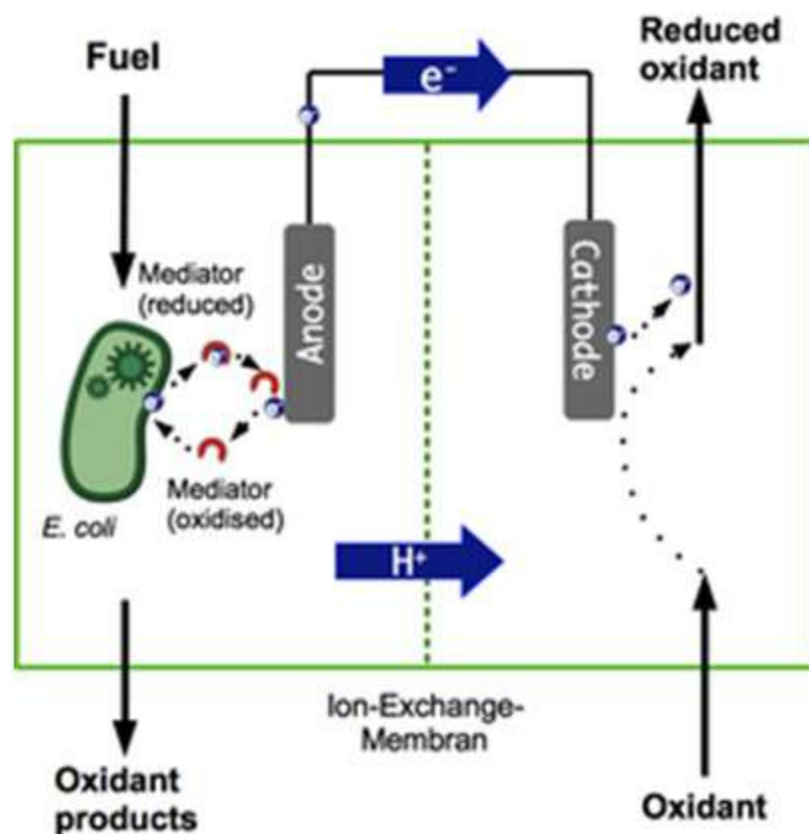
μετατροπή της δομής των υδρογενασών →

↓ ευαισθησίας στο O_2



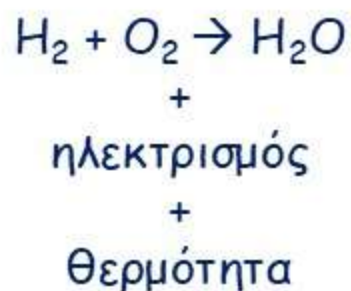
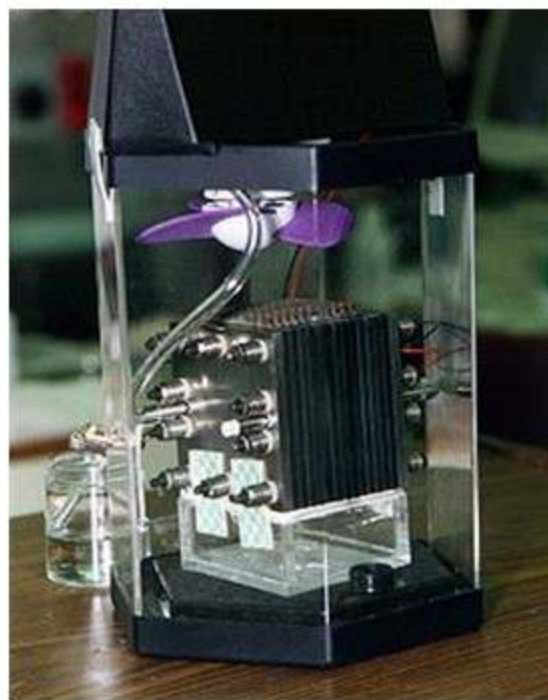
Παραγωγή ρεύματος

Μικροβιακή Κυψέλη Καυσίμου



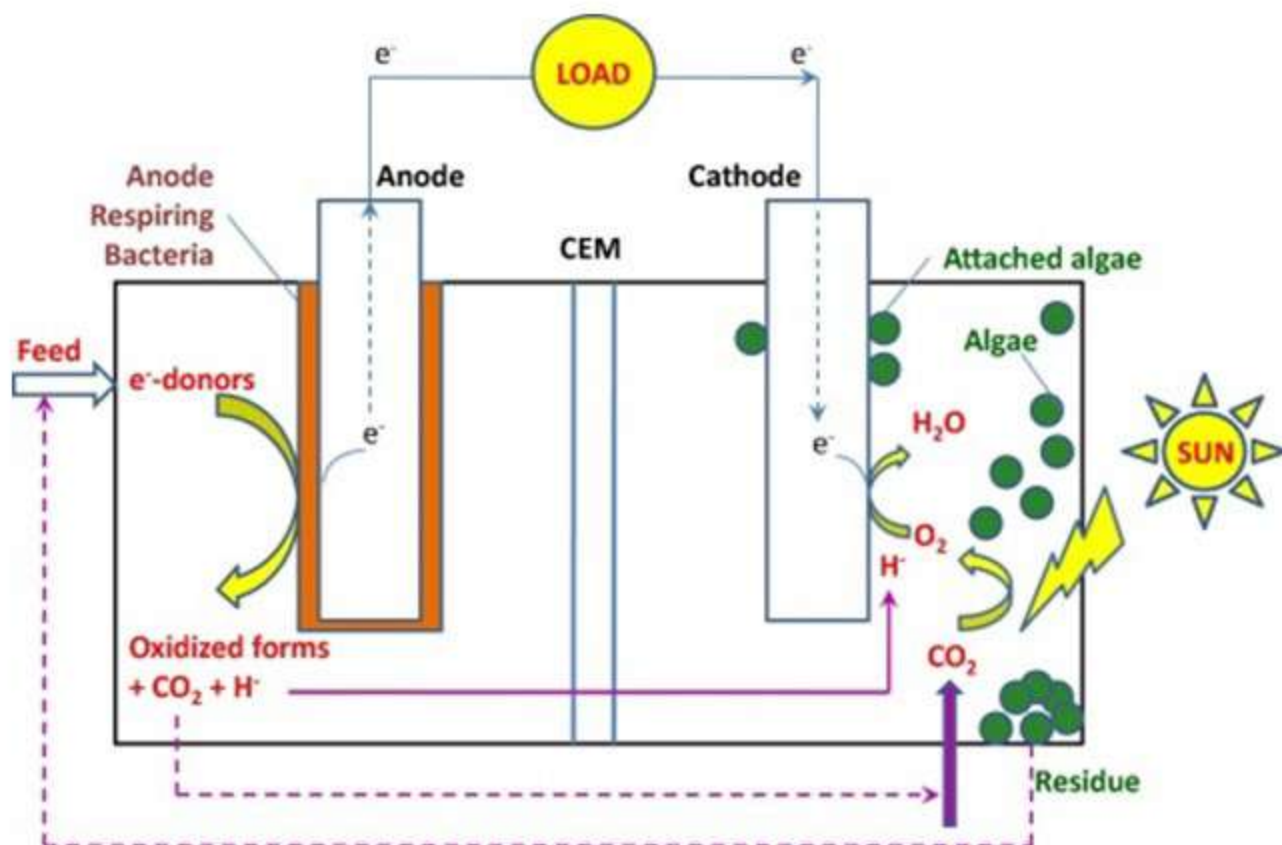
Οξείδωση προς CO_2

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



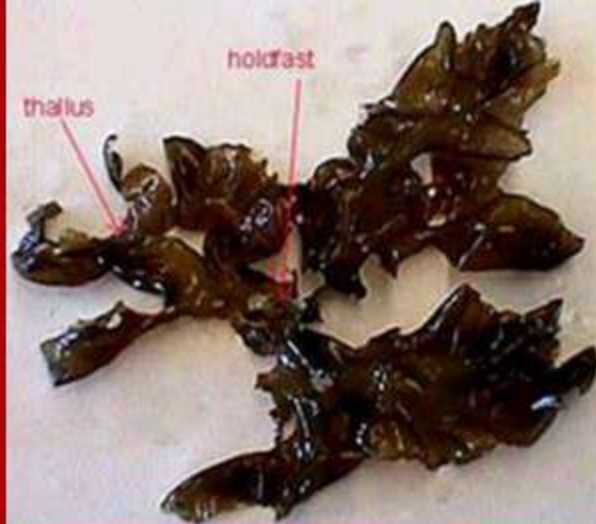
Τα φύκη ως πηγή τροφής

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*, *Kappaphycus* 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**.



Porphyra



Ανάπτυξη ΣΦ
Conchocelis



Χειρονακτική
συγκομιδή



Συγκομιδή
με
μηχανήματα



Επεξεργασία



Sushi

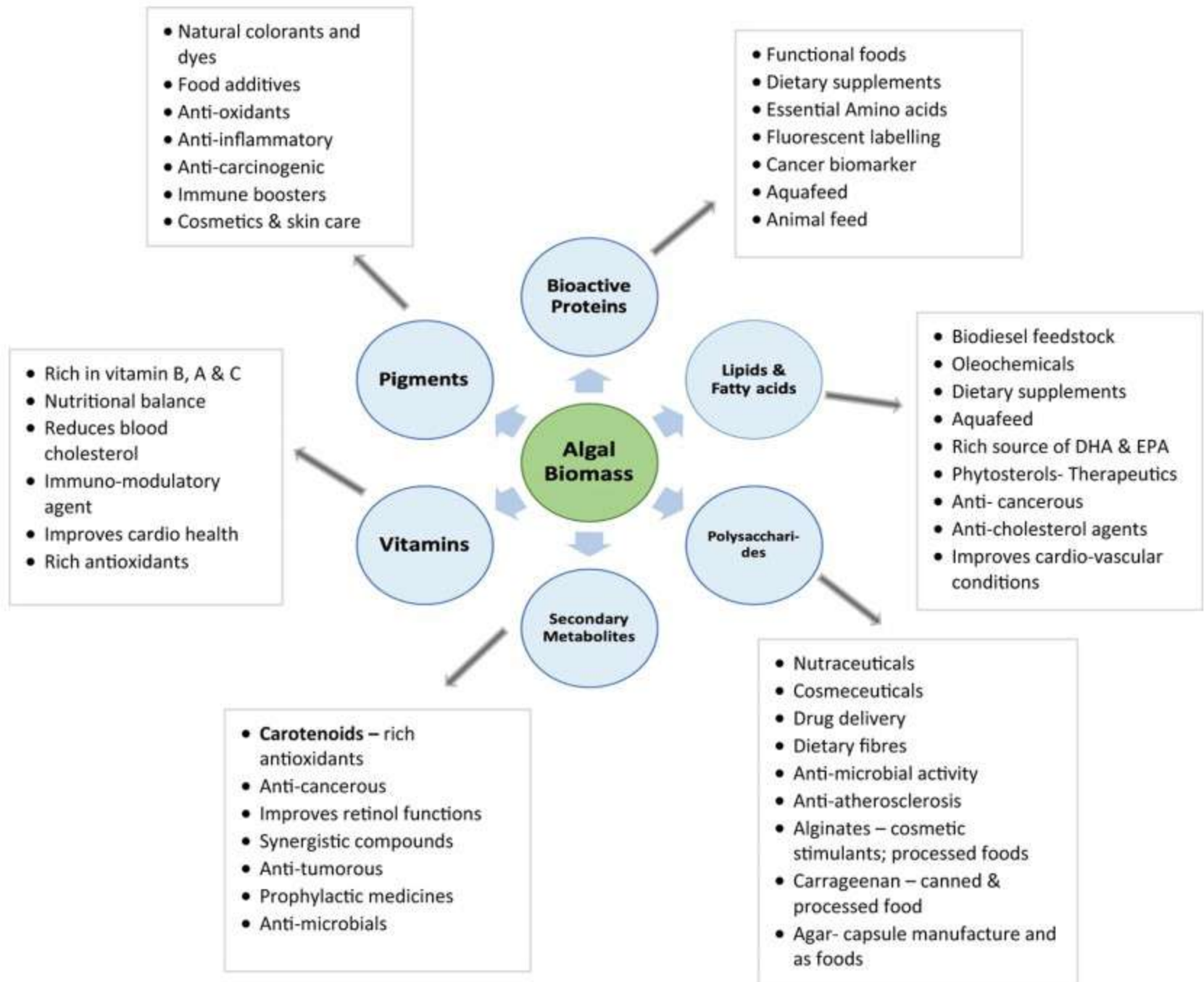


Τα φύκη ως πηγή τροφής

Συγκομιδή ή Καλλιέργεια Μακροφυκών ως Τροφή

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

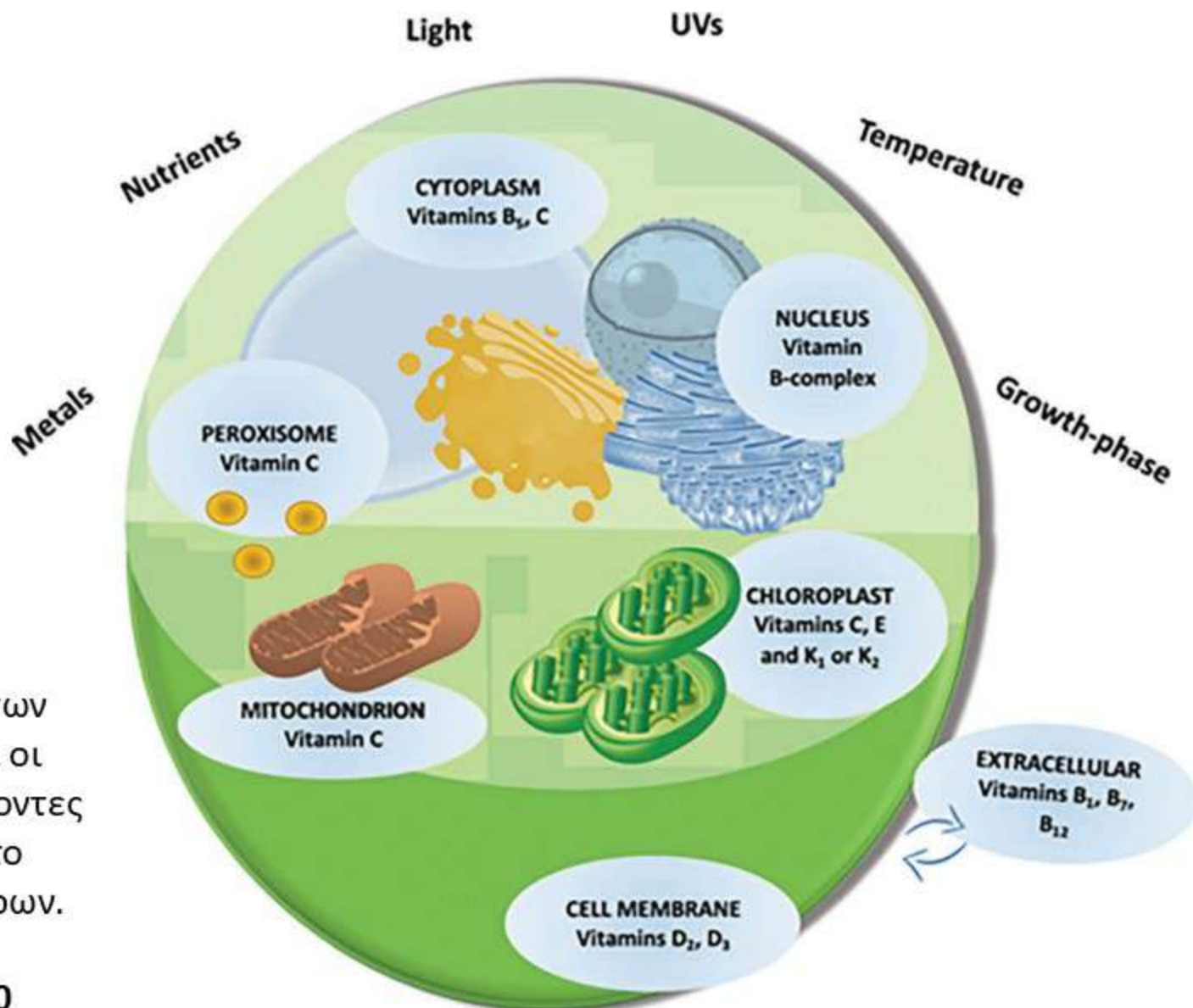




Τα φύκη ως πηγή πρόσθετων διατροφής

Καλλιέργεια Μικροφυκών ως πρόσθετα διατροφής

Βιταμίνες

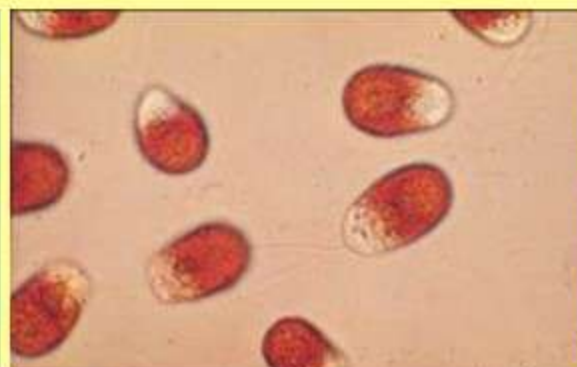


Η ενδοκυτταρική θέση των βιταμινών στα φύκη και οι περιβαλλοντικοί παράγοντες που κυρίως ρυθμίζουν το περιεχόμενο των κυττάρων.

Τα φύκη ως πηγή πρόσθετων διατροφής

Καλλιέργεια μικροφυκών ως πρόσθετα διατροφής

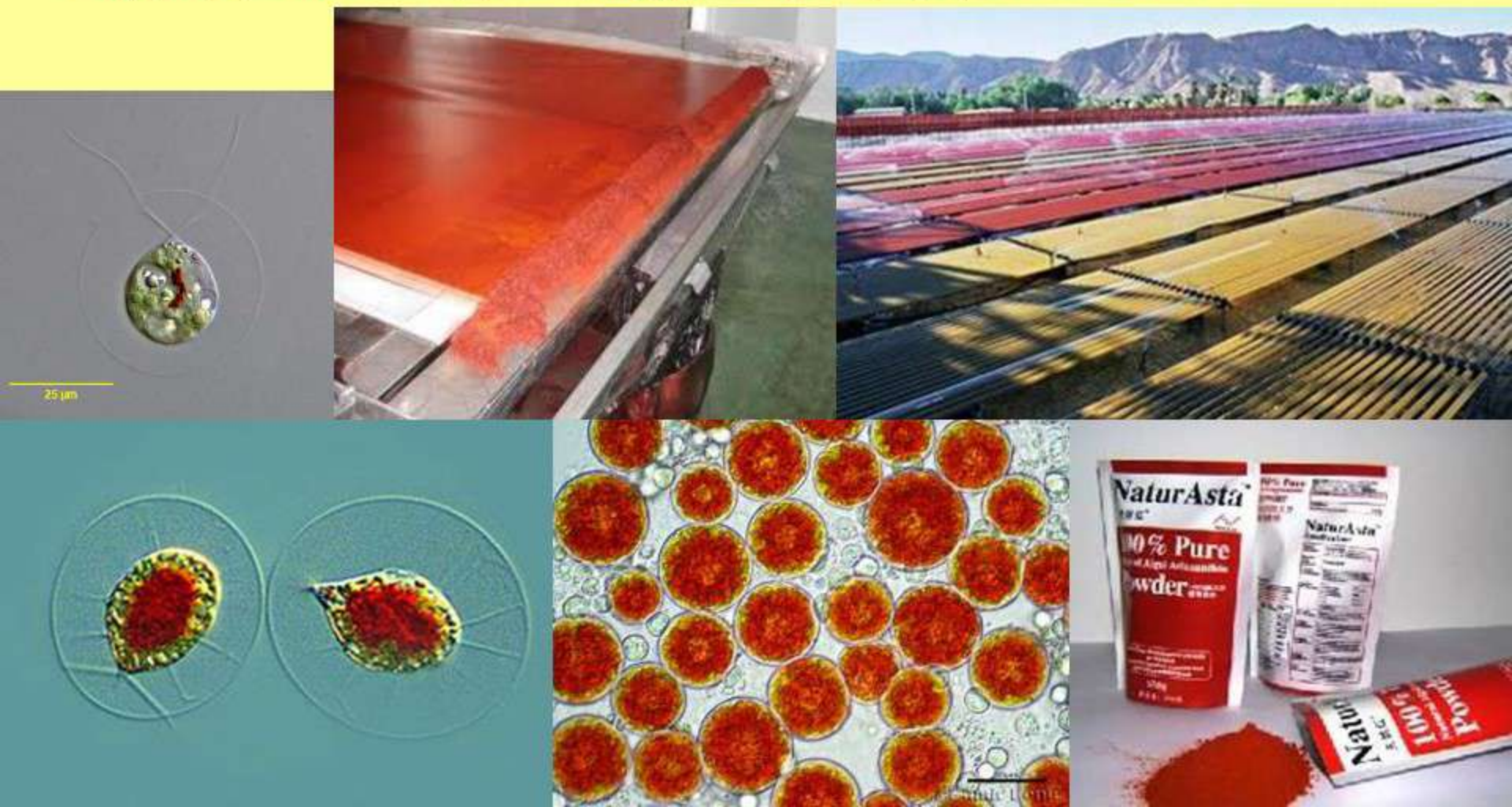
Το μαστιγιοφόρο χλωροφύκος *Dunaliella* καλλιεργείται για βιομηχανική παραγωγή της β-καρωτίνης καθώς παράγει κατά 50 φορές περισσότερη σε σχέση με τη *Arthrospira* (ex *Spirulina*). Οι καλλιέργειες *Dunaliella* ανέχονται υψηλές αλατότητες.



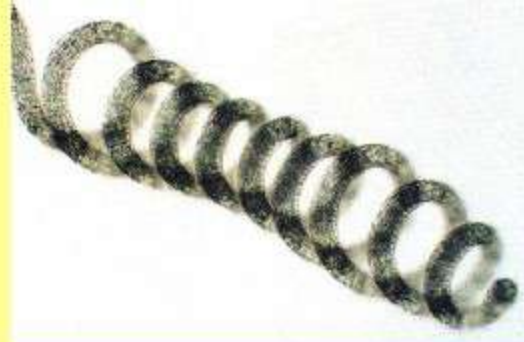
Τα φύκη ως πηγή πρόσθετων διατροφής

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 Β, 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 Νοέμβρη 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.



πηγή: greenagenda.gr

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.



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.

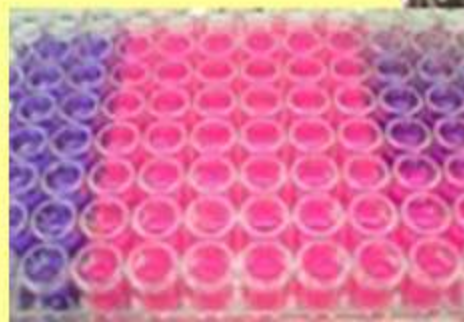
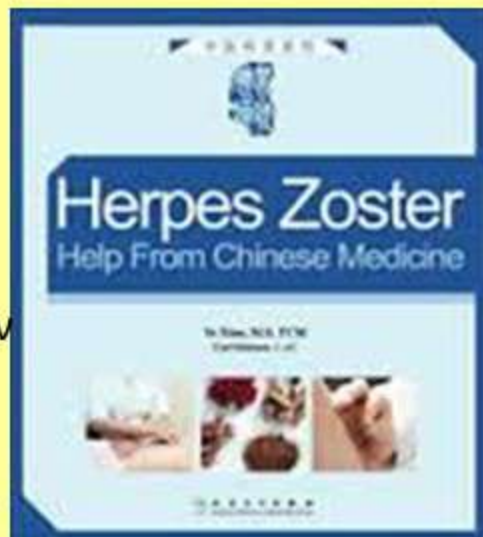
Ποικίλα **κυανοβακτήρια** παράγουν ενώσεις δραστικές σε παθογόνους. **Σουλφολιπίδια**: δραστικές στον **ιό του έρπητα**, της **πνευμονίας**, και τον **HIV**.

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.



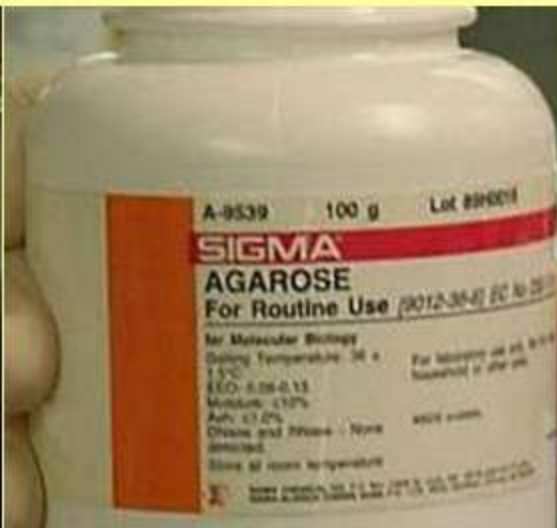
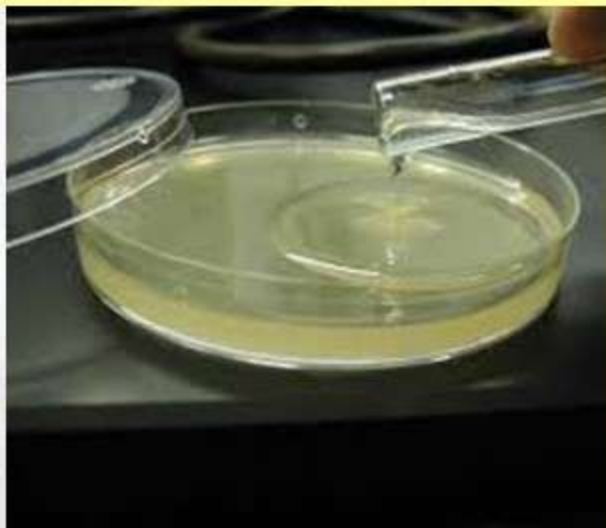
Τα φύκη ως πηγή πηκτικών ενώσεων

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.

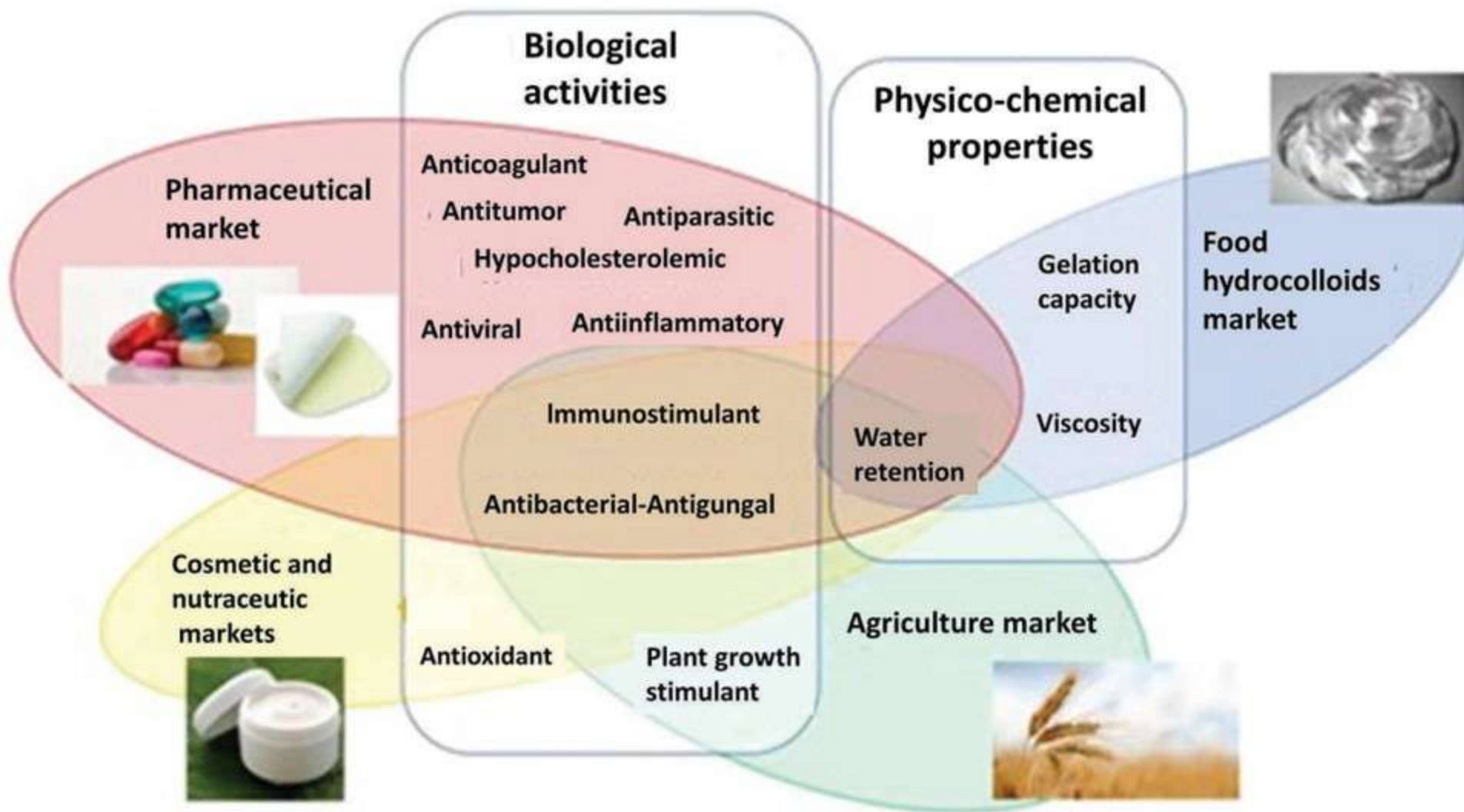
Καρραγενάνες: προέρχονται από ελάχιστα γένη ροδοφυκών. Η μεγαλύτερη παραγωγή γίνεται στις τροπικές περιοχές, με περίπου το ½ της παγκόσμιας παραγωγής στις **Φιλιππίνες** και την **Ινδονησία**.

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.



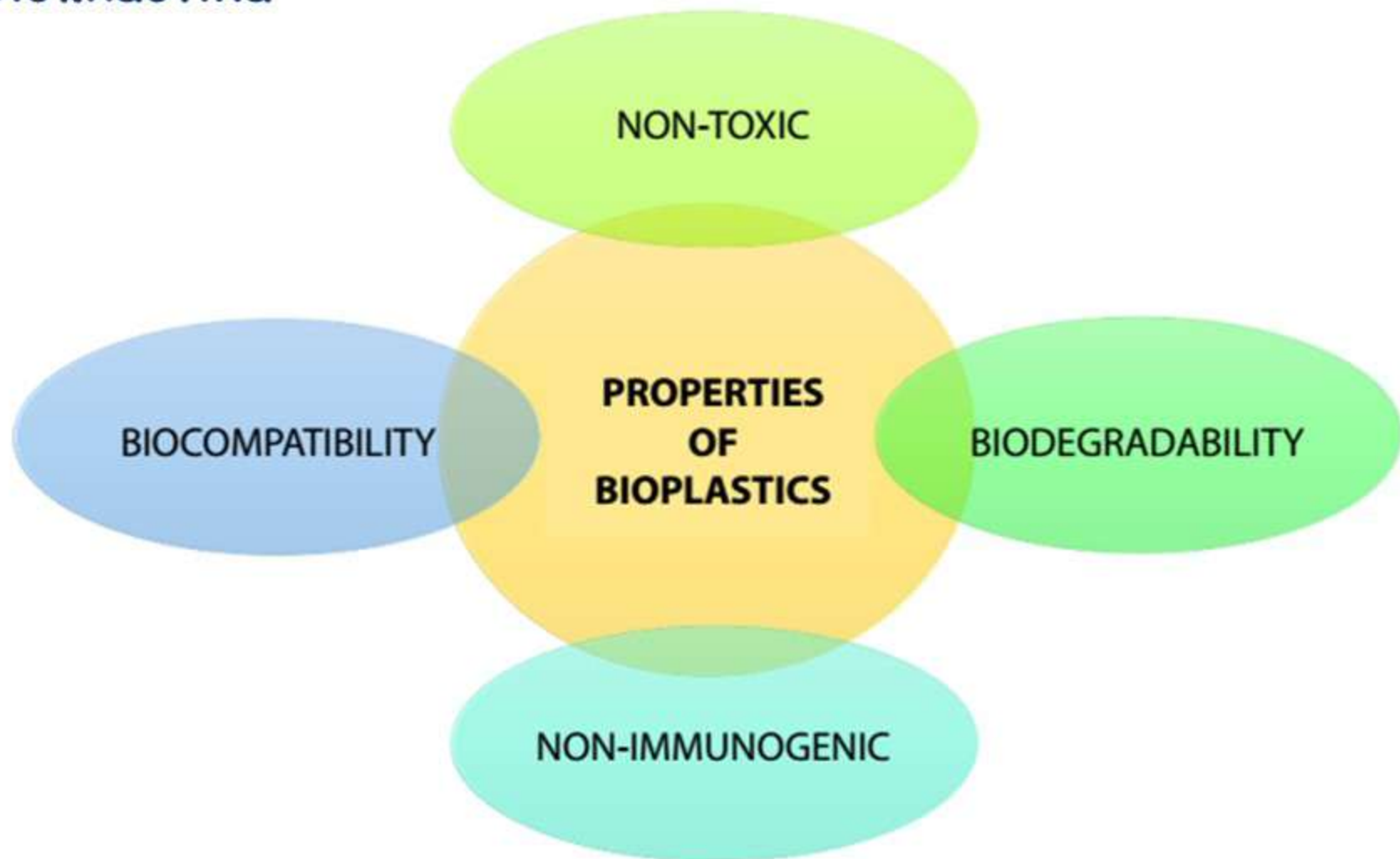
Βιολογικές δράσεις & φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των εξωκυτταρικών πολυμερών ενώσεων και οι δυνητικές εφαρμογές τους



Βιοπλαστικά

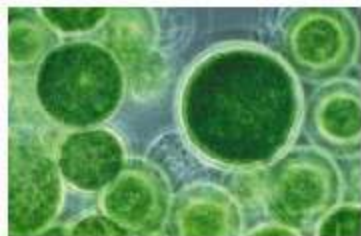


Βιοπλαστικά



Τα φύκη για την παραγωγή βιοπλαστικών

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



Protein-rich
microalgae



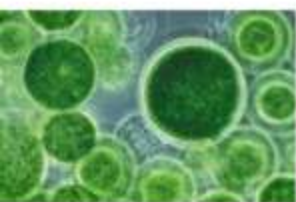
Plasticizer

Hot press



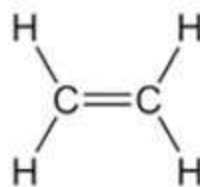
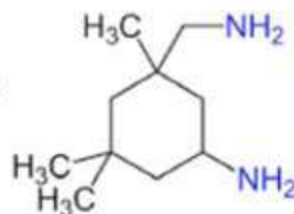
Protein-based
bioplastics

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



Protein-rich
microalgae

Protein extraction



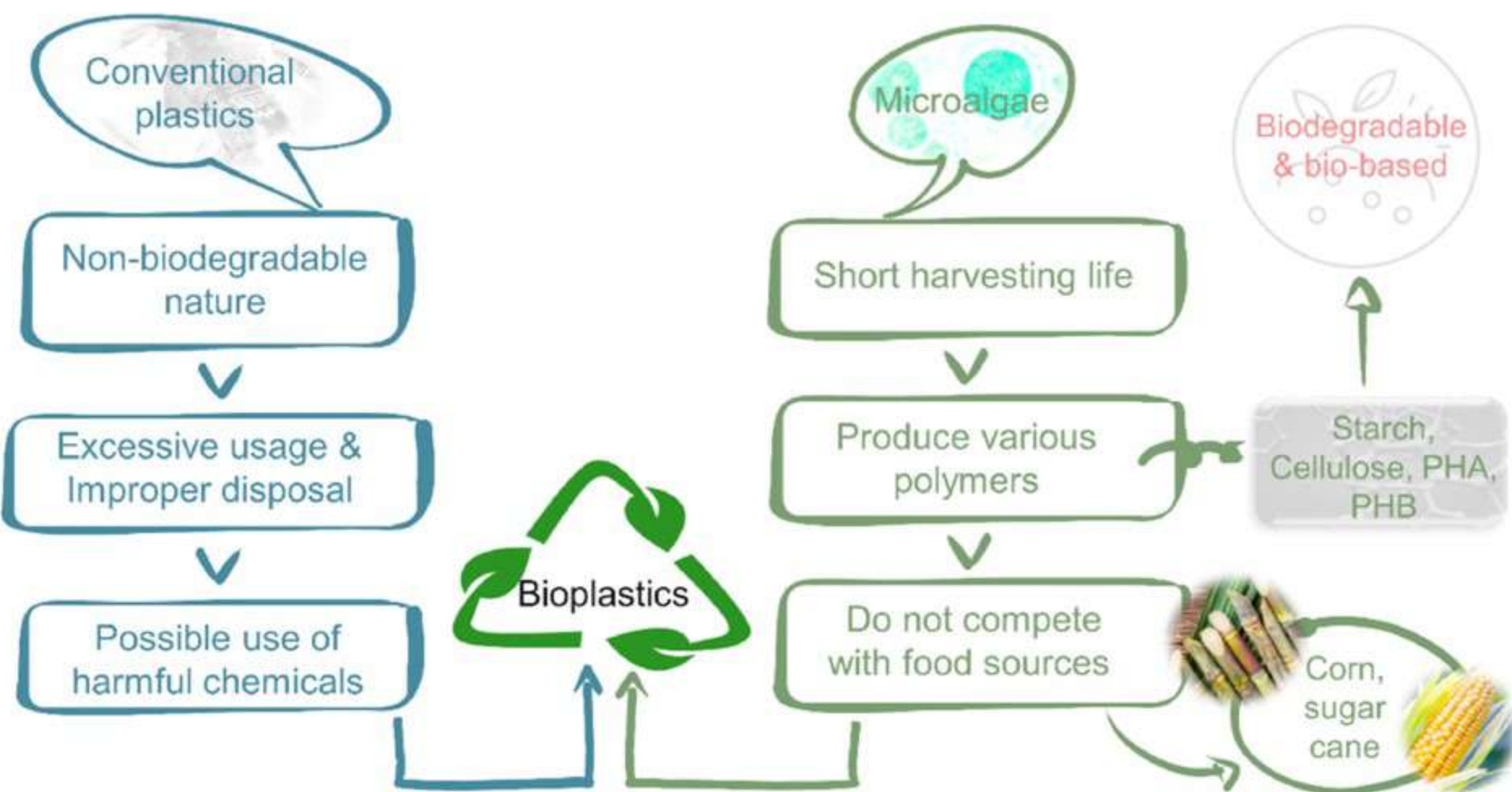
Biobased
polyurethane

Protein
hydrolysate

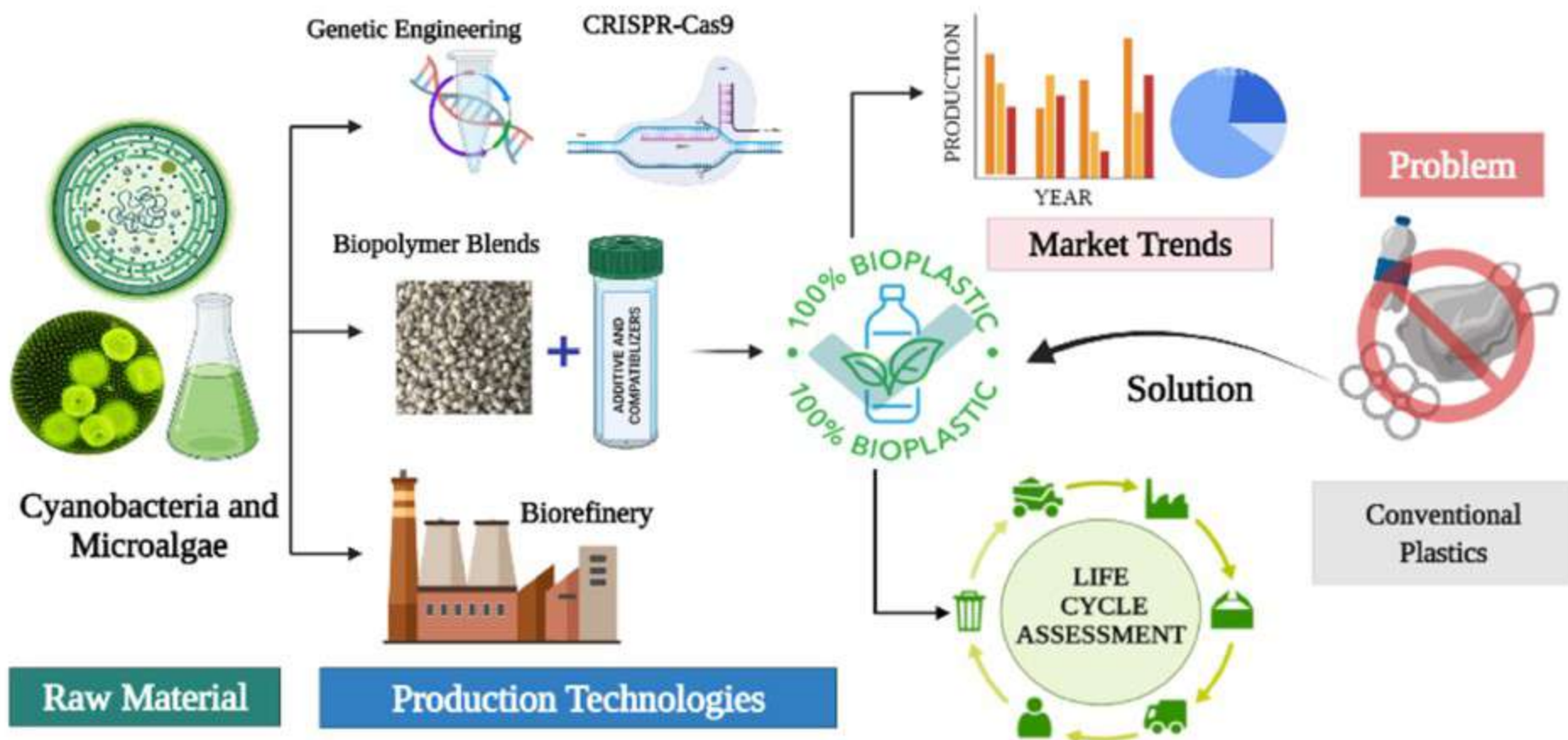
Diamine

Ethylenee

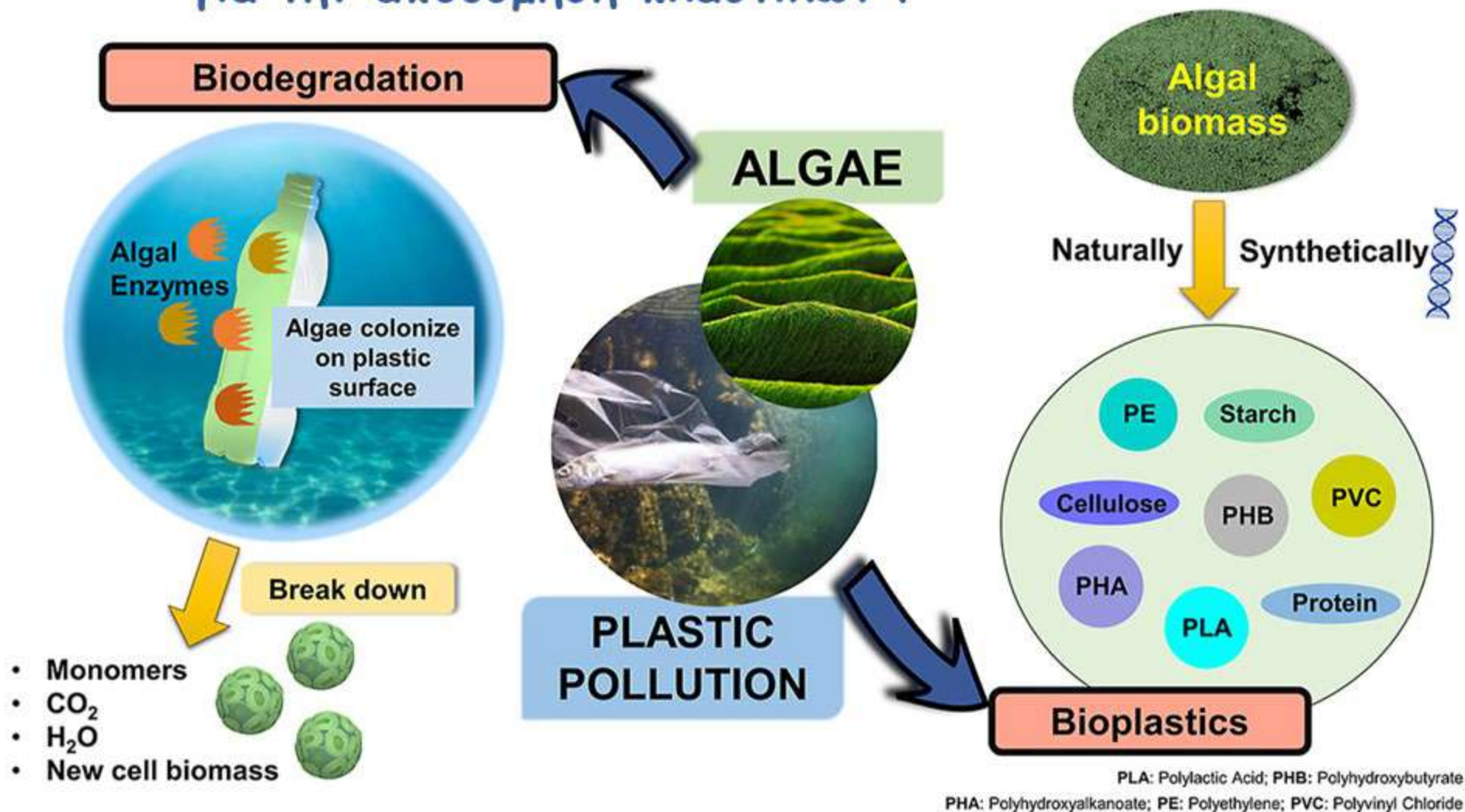
Τα φύκη για την παραγωγή βιοπλαστικών



Τα φύκη για την παραγωγή βιοπλαστικών

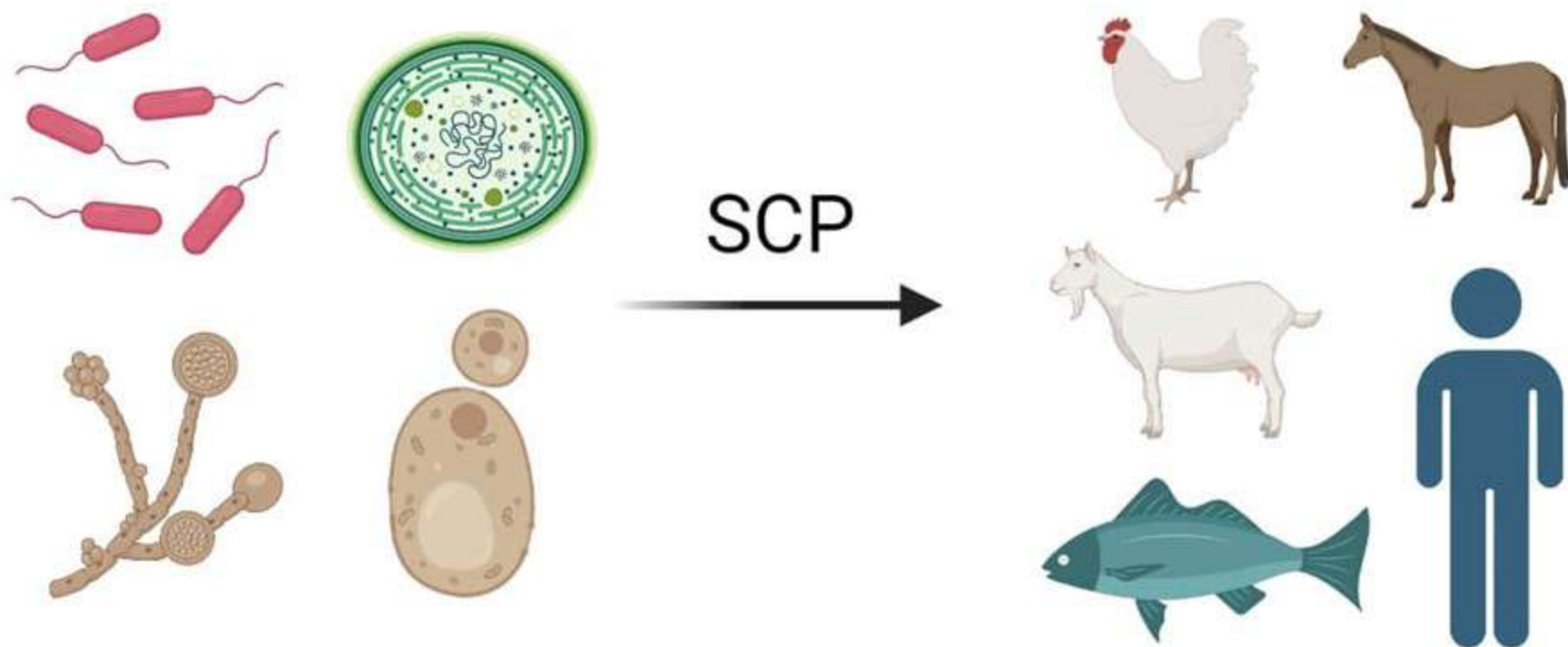


Φύκη για την παραγωγή βιοπλαστικών αλλά και για την αποδόμηση πλαστικών !



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

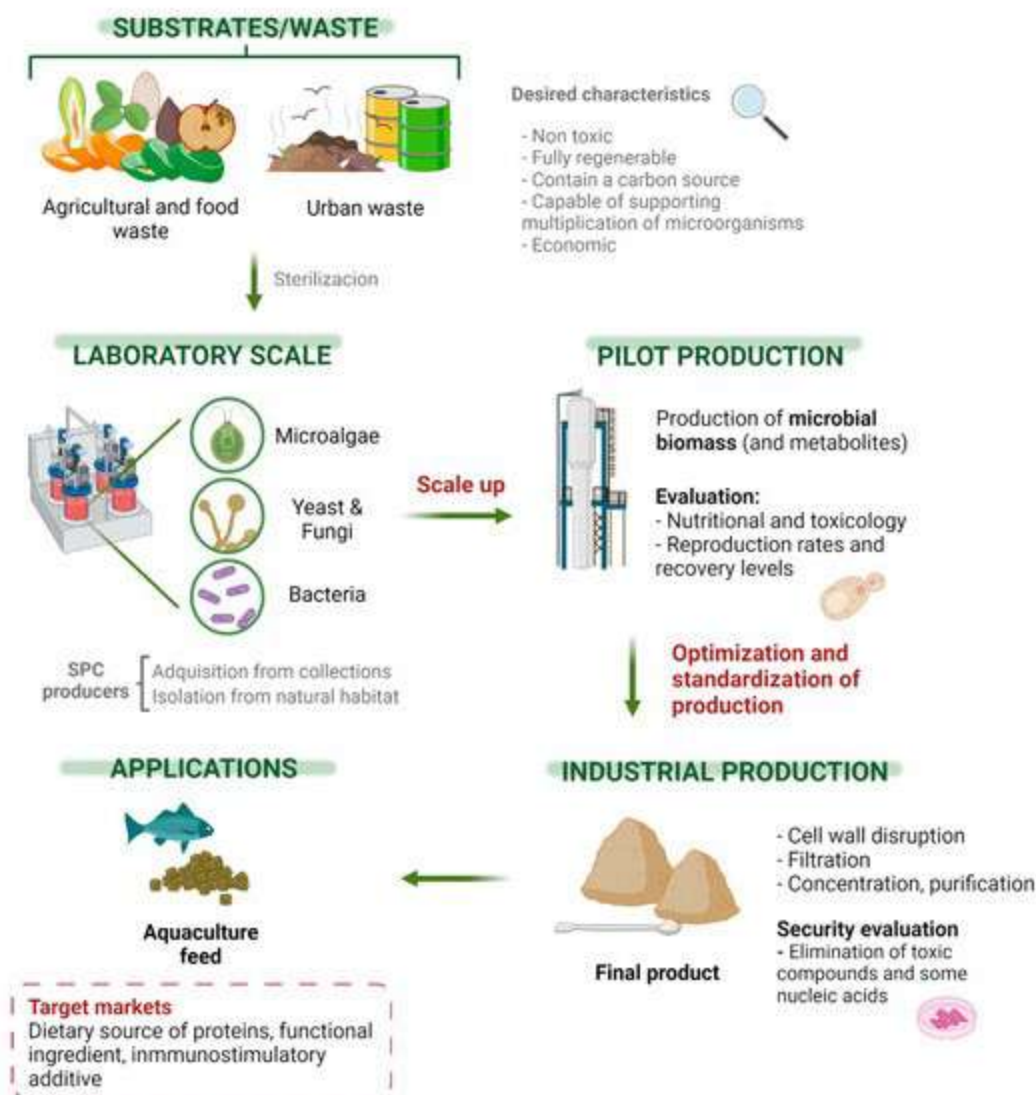
● Potential disadvantages

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.



Πρωτεΐνες από μονοκύτταρους οργανισμούς ή πρωτεΐνες μονοκύτταρων οργανισμών ή μονοκυτταρικές πρωτεΐνες

❑ Πλεονεκτήματα

Μικροοργανισμοί

(βακτήρια, ζύμες, μύκητες, μικροφύκη):

- υψηλός μεταβολισμός και ταχύς ρυθμός ανάπτυξης
- παραγωγή μεγάλης βιομάζας σε μικρό χρόνο

Δυνατότητα γενετικής τροποποίησης:

- βελτίωση διατροφικής αξίας
- τροποποίηση σύστασης αμινοξέων

Χρήση ποικίλων και φθηνών υποστρωμάτων:

- γεωργικά & κτηνοτροφικά απόβλητα
- πριονίδι, ξέσματα ξύλου, καλαμπόκι κ.ά.
- ακόμη και οργανικά απόβλητα
→ συμβολή στη μείωση ρύπων

Παραγωγή:

- ανεξάρτητη από κλιματικές συνθήκες
- συνεχής και ελεγχόμενη

❑ Μειονεκτήματα

Υψηλή περιεκτικότητα σε νουκλεϊκά οξέα

- πιθανή αύξηση ουρικού οξέος
- ουρική αρθρίτιδα / πέτρες νεφρών
- κυρίως στα βακτήρια

Πιθανές:

- αλλεργικές αντιδράσεις
- τοξικοί δευτερογενείς μεταβολίτες

Υψηλό κόστος παραγωγής:

- εξειδικευμένες εγκαταστάσεις
- πολύπλοκος εξοπλισμός

Πρωτεΐνες από μονοκύτταρους οργανισμούς
ή πρωτεΐνες μονοκύτταρων οργανισμών ή μονοκύτταρικές πρωτεΐνες

□ Εφαρμογές

Ανθρώπινη διατροφή:

- πηγή πρωτεϊνών, βιταμινών και μετάλλων
- μείωση χοληστερόλης & σακχάρου
- χρήση στον έλεγχο παχυσαρκίας

Καλλυντικά:

- κρέμες προσώπου
- κραγιόν
- προϊόντα περιποίησης μαλλιών

Ζωοτροφές & υδατοκαλλιέργειες:

- βοοειδή, πουλικά, ψάρια
- σολομός, πέστροφα, γαρίδες
- βελτίωση ανάπτυξης και επιβίωσης
- ενίσχυση ανοσίας & αντοχής στο στρες

Νανοτεχνολογία

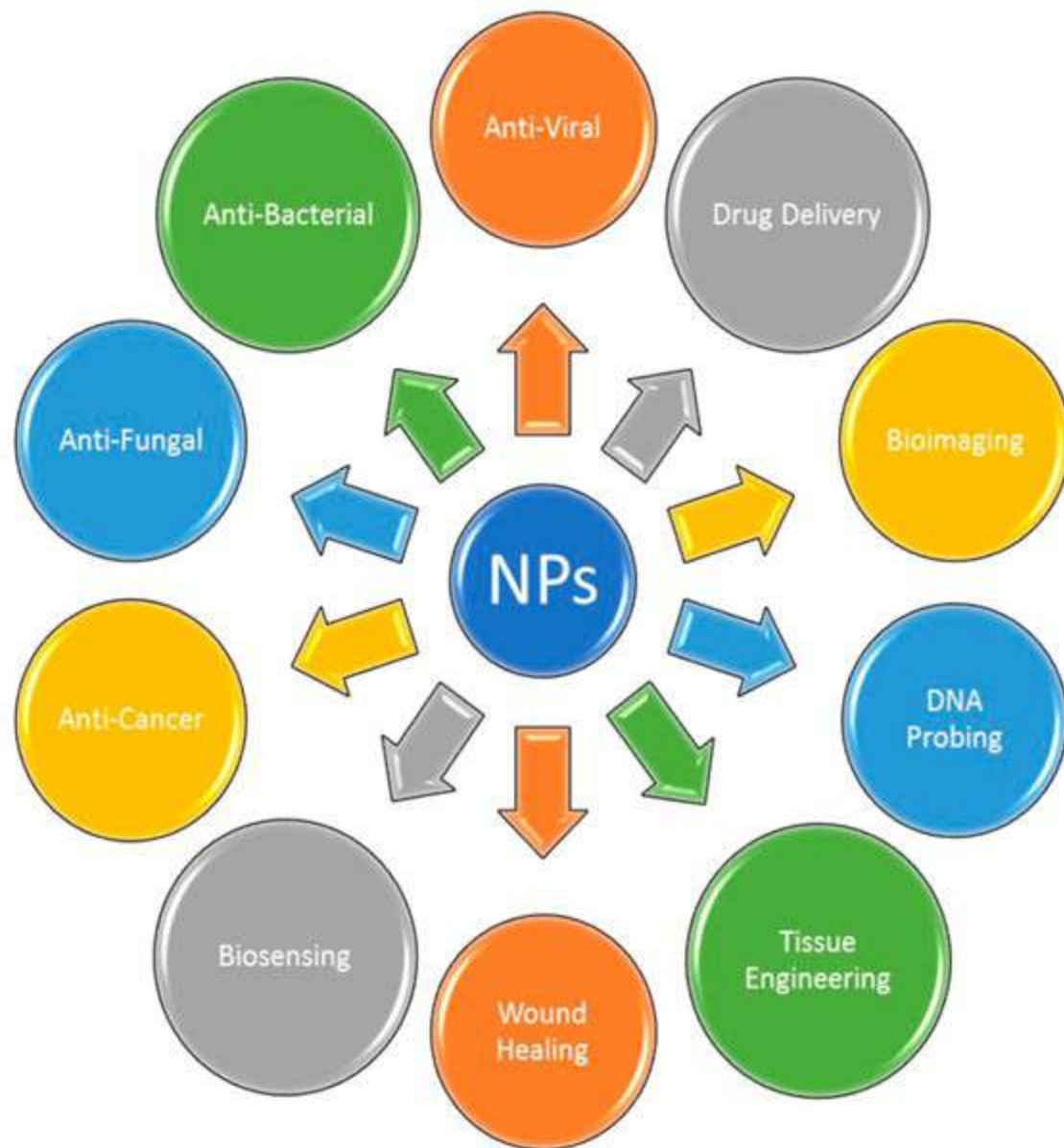
Νανοτεχνολογία

κατανόηση και έλεγχος της ύλης σε διαστάσεις **1–100 nm**, όπου εμφανίζονται μοναδικές ιδιότητες και καινοτόμες εφαρμογές.

20^{ος} και κυρίως 21^{ος} αιώνες:

- ❑ Richard Feynman (1965 Nobel Prize)
θεωρείται ο «πατέρας» της νανοτεχνολογίας.
- ❑ Norio Taniguchi (1974):
χρησιμοποίησε πρώτος τον όρο “νανοτεχνολογία” για διεργασίες ημιαγωγών σε κλίμακα νανομέτρων.
- ❑ **Σύγχρονη έρευνα:**
ανάπτυξη βιοδραστικών νανοσωματιδίων για την αντιμετώπιση:
 - της εξάπλωσης μολυσματικών ασθενειών
 - της αυξημένης μικροβιακής πολυανθεκτικότητας
- ❑ Η **βιοσύνθεση** νανοσωματιδίων θεωρείται:
 - οικονομική
 - φιλική προς το περιβάλλον
 - βιώσιμη τεχνολογία

Κύριες εφαρμογές των νανοσωματιδίων



Εφαρμογές & εμπορική αξιοποίηση νανοσωματιδίων

❑ Κύριες εφαρμογές

(Wiechers and Musee 2010):

- βιοτεχνολογία
- βιοϊατρική
- θεραπεία καρκίνου
- φαρμακευτική
- κατάλυση
- ιατρική απεικόνιση
- περιβαλλοντικές εφαρμογές

❑ Τα νανοσωματίδια χρησιμοποιούνται στην καθημερινότητα σε:

- καλλυντικά
- θεραπευτικά σκευάσματα
- συστήματα στοχευμένης χορήγησης φαρμάκων
- συστήματα μεταφοράς γονιδίων (gene delivery systems)

❑ Επιπλέον εφαρμογές:

- βιοσυμβατά υποκατάστατα ιστών & σωματικών υγρών
- υλικά αναγέννησης οστών και ιστών
- βιοαισθητήρες (biosensors)

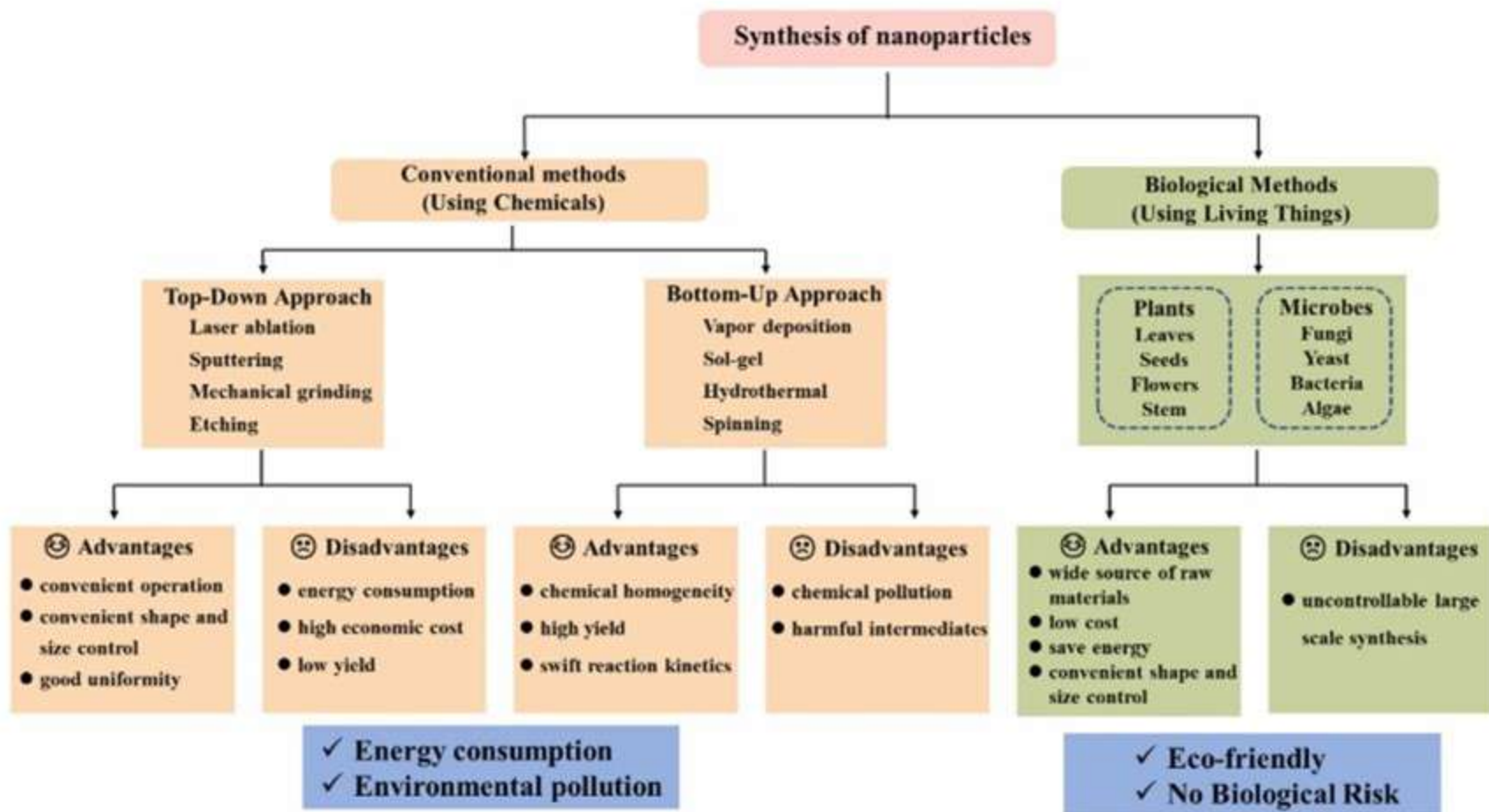
❑ Απογραφή καταναλωτικών προϊόντων, Απρίλιος 2013: **1.266 νανοπροϊόντα**

- 714 σχετικά με υγεία & ευεξία
- 104 τρόφιμα & ποτά
- 28 παιδικά προϊόντα

❑ **Νανοσωματίδια αργύρου (AgNPs):**

- αποτελούν το πιο εμπορευματοποιημένο νανοϋλικό παγκοσμίως
- χρησιμοποιούνται κυρίως ως αντιμικροβιακοί παράγοντες

Σύγκριση των διαφορετικών μεθόδων σύνθεσης νανοσωματιδίων



Φύκη ως “βιοεργοστάσια” νανοσωματιδίων

❑ Οργανισμοί βιοπαραγωγοί νανοσωματιδίων (Thakkar *et al.* 2010):

- φυτά
- μύκητες
- ζυμομύκητες
- βακτήρια
- ιοί
- **φύκη**

❑ Φυκονανοτεχνολογίας (phyconanotechnology)

Davis *et al.* 1998, Thakkar *et al.* 2010, Sharma *et al.* 2015

➤ Μικροφύκη και μακροφύκη σε νωπή ή ξηρή μορφή

- λειτουργούν ως φυσικά “βιοεργοστάσια” σύνθεσης νανοσωματιδίων

❑ Τα φύκη μπορούν να παράγουν μεταλλικά νανοσωματίδια (ΝΣ):

- άργυρου (Ag)
- χρυσού (Au)
- φερριϋδρίτη (ενυδατωμένο οξείδιο σιδήρου)
- παλλαδίου (Pd)

❑ Εφαρμογές νανοσωματιδίων:

- αντιμικροβιακή δράση
- βιοϊατρική
- καταλύτες
- περιβαλλοντικές εφαρμογές
- αισθητήρες & βιοτεχνολογία

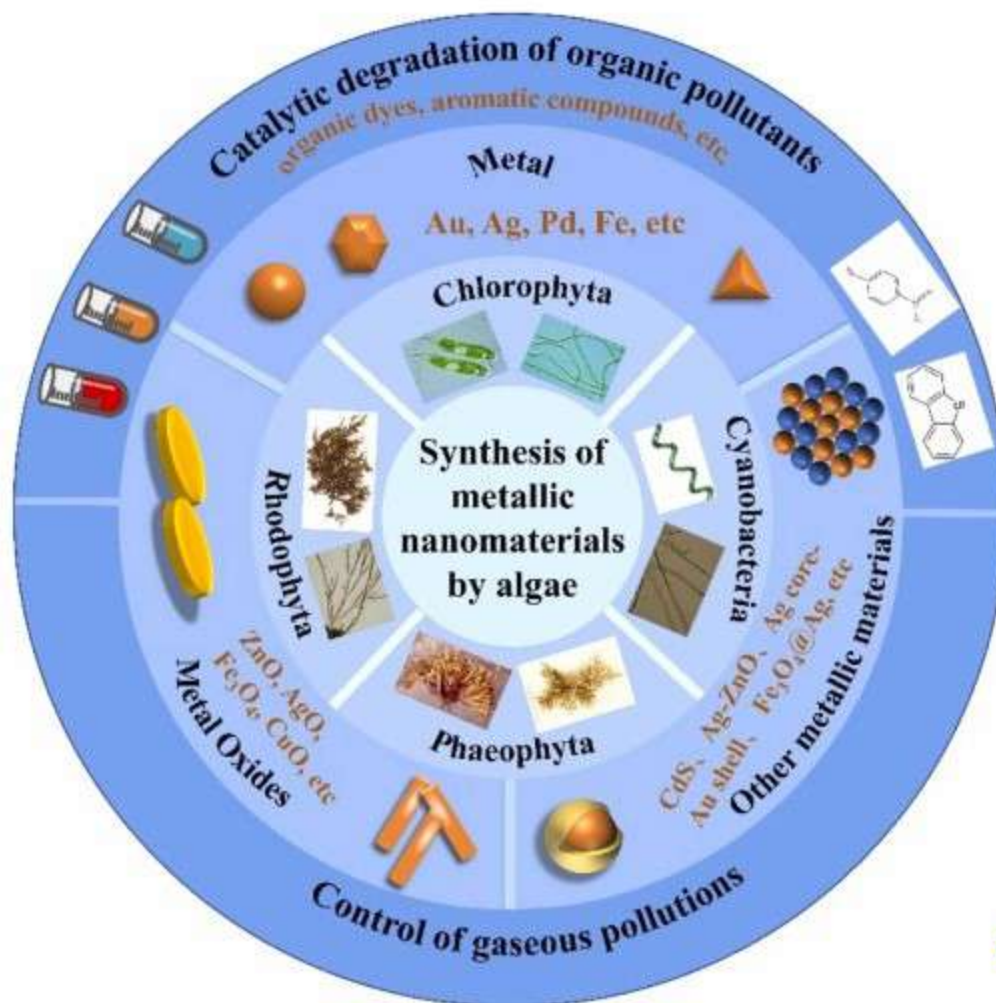
Εφαρμογές των Αργυρούχων Νανοσωματιδίων

- *Tetraselmis gracilis*, *Chlorella salina*, *Chaetoceros calcitrans*, *Isochrysis galbana*
- *Escherichia coli*, *Klebsiella* sp., *P. vulgaris*, and *Pseudomonas aeruginosa*, *Bacillus subtilis*, *Corynebacterium* spp., *Proteus vulgaris*, *Salmonella typhi*, *Staphylococcus aureus* και *Vibrio cholera*.
- **Amphora-46:** εφαρμογές βιοπυριτικών συστημάτων για τη χορήγηση φαρμάκου (drug delivery). Among all the available nanomaterials for drug delivery applications, **porous silica NPs have been investigated in numerous studies due to unique properties of diatoms**. The authors emphasize that nature has provided us with the **three-dimensional (3-D) porous structures, the single-celled photosynthetic diatom**.
- *Turbinaria conoides*: *Bacillus subtilis* και *Klebsiella planticola*.
- *Sargassum longifolium*: *Aspergillus fumigatus*, *Candida albicans* και *Fusarium* sp.
- *Caulerpa racemosa*: *Staphylococcus aureus* και *Proteus mirabilis*.
- *Pithophora oedogonia*: ισχυρή αναστέλλουσα δράση ενάντια τόσο σε gram- όσο και σε gram+ βακτήρια. This green process gives the **greater potential biomedical applications** of silver nanoparticles.
- *Botryococcus braunii* χαλκούχα και αργυρούχα νανοσωματίδια 3 gram- : *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli* και *Klebsiella pneumoniae*, ένα gram+: *Staphylococcus aureus* και το μύκητα *Fusarium oxysporum*.

Εφαρμογές των Χρυσούχων Νανοσωματιδίων

- *Nitzschia* sp. coupled with antibiotics (penicillin and streptomycin) effective against gram-negative bacteria : highest activity against *E. coli* and *Enterobacter aerogenes*, moderate against *S. aureus*, lowest activity *Enterococcus faecalis*.
- *Turbinaria conoides*: antibiofilm activity against marine biofilm-forming bacteria.
- *Padina gymnospora* synthesized AuNPs, which is used in cosmetics, food, and consumer goods.
- *Cystoseira baccata*: significant potential for the treatment of rectal cancer.
- *Ecklonia cava*: good antimicrobial properties and biocompatibility with the human keratinocyte cell line and hence can be applied in biomedical, drug delivery, tissue engineering, and biosensors.
- *Padina terastromatica*: cytotoxic activity on human liver cancer and lung cancer.
- **Porphyra**: (Porphyran= sulfated carbohydrate derived from *Porphyra* and is a reducing agent). The biosynthesized AuNPs have potential use as a carrier for anticancer drug delivery a) in human glioma and b) of the anticancer drug doxorubicin hydrochloride (DOX). The DOX-loaded (AuNPs demonstrated higher cytotoxicity compared to that of an equal dose of a native DOX solution).
- *Galaxaura elongate*: andrographolide, alloaromadendrene oxide, glutamic acid, hexadecanoic acid, oleic acid, 11-eicosenoic acid, stearic acid, gallic acid, epigallocatechin catechin, and epicatechin gallate, which act as a reducing, stabilizing, and capping agent in the synthesis of AuNPs. These AUNPs showed antibacterial activity against *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumonia*, *Staphylococcus aureus*, and *Pseudomonas aeruginosa*.
- *Chlorella vulgaris*: *Candida albicans* and *Staphylococcus aureus*.
- *Tetraselmis kochinensis*: drug delivery, biomedical application, and catalysis.

Φυκοσύνθεση μεταλλικών ΝΣ και οι εφαρμογές τους στο περιβάλλον



Graphical Abstract

Wen, Jiajun & Gao, Fengyu & Liu, Hengheng & Wang, Junyi & Xiong, Tingkai & Yi, Honghong & Zhou, Yuansong & Yu, Qingjun & Zhao, Shunzheng & Tang, Xiaolong **2023**. Metallic nanoparticles synthesized by algae: Synthetic route, action mechanism, and the environmental catalytic applications. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 12. 111742. 10.1016/j.jece.2023.111742.

Περιβαλλοντικές εφαρμογές φυκοπαραγόμενων νανοσωματιδίων

Τα μικροφύκη θεωρούνται ισχυρά φυσικά “nanofactories” επειδή:

- αναπτύσσονται γρήγορα
- προσροφούν μεταλλικά ιόντα
- αντέχουν σε τοξικά περιβάλλοντα
- διαθέτουν μεγάλη μεταβολική ευελιξία

□ Τα νανοσωματίδια από φύκη χρησιμοποιούνται ως:

- περιβαλλοντικοί καταλύτες
- φωτοκαταλύτες
- υλικά απορρύπανσης

□ Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν:

- AgNPs & CuNPs για φωτοκαταλυτική αποδόμηση χρωστικών
- Fe-based νανοσωματίδια για επεξεργασία λυμάτων
- πορώδη βιοπυριτικά νανοϋλικά από διάτομα για drug delivery και καταλυτικές εφαρμογές

□ Εφαρμογές:

- αποικοδόμηση οργανικών ρύπων
- απομάκρυνση αζωχρωμάτων από βιομηχανικά λύματα
- προσρόφηση βαρέων μετάλλων
- επεξεργασία υγρών αποβλήτων
- έλεγχος αέριων ρύπων

□ Μελλοντική προοπτική:

- βιώσιμες τεχνολογίες απορρύπανσης
- «πράσινη» νανοκατάλυση
- κυκλική βιοοικονομία & αξιοποίηση λυμάτων

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.

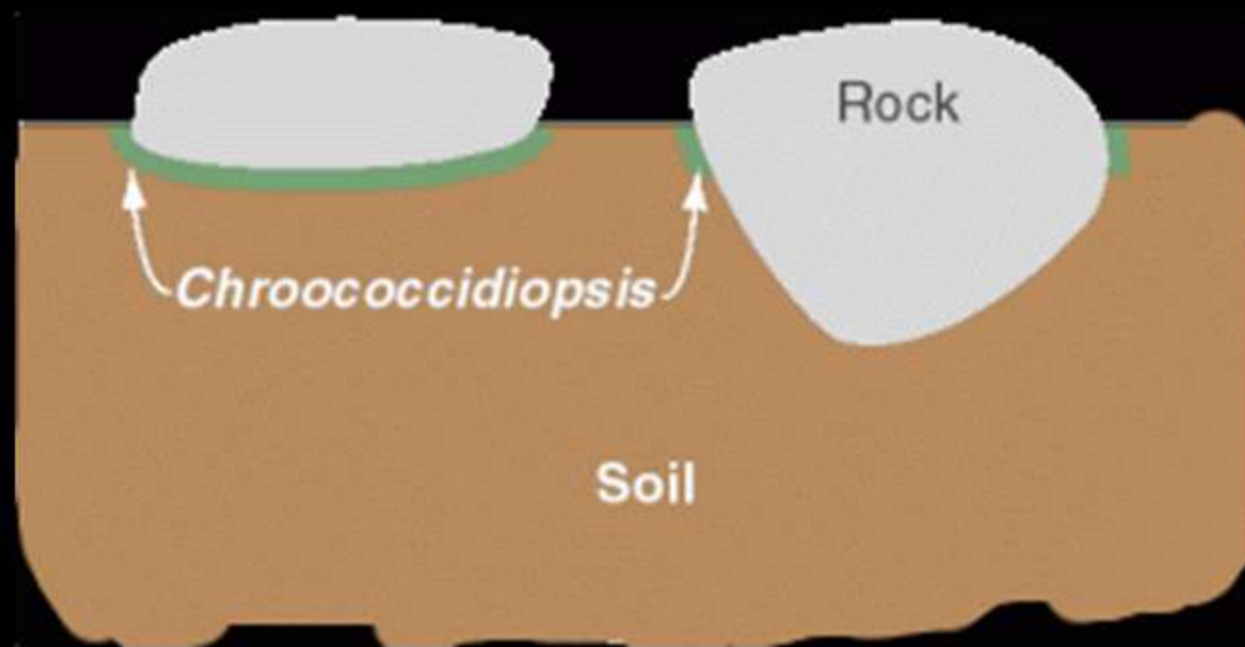
Γεγονός μεγάλης οξείδωσης:
2,4 δισεκατομύρια χρόνια πριν.

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



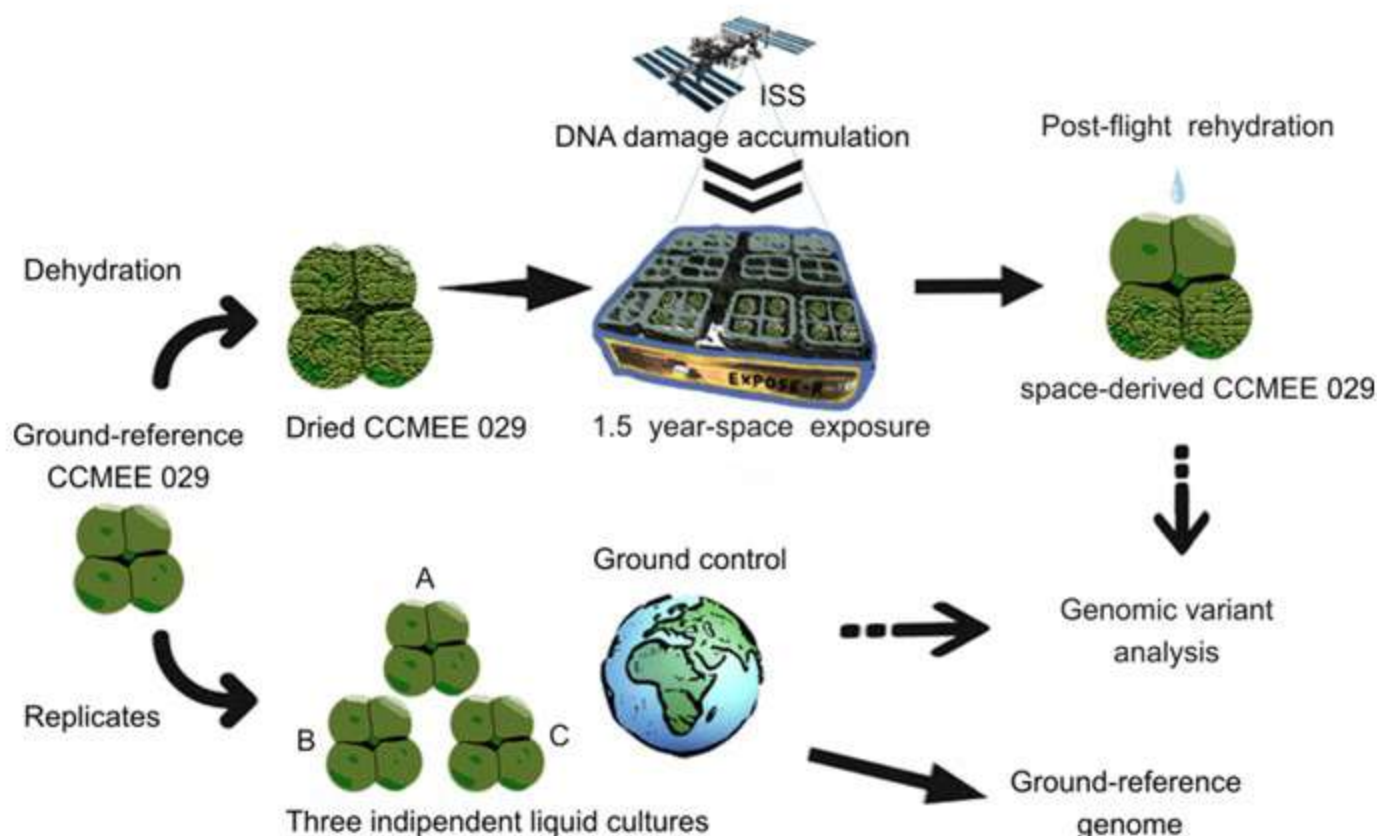
- στην κάτω επιφάνεια **διάφανων** βράχων (υπολιθικό) ή
- σε πόρους (κρυπτοενδολιθικό)
- ή σχισμές τους (χασμοενδολιθικό).

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.



Li *et al.* 2022. Protection and damage repair mechanisms contributed to the survival of *Chroococcidiopsis* sp. Exposed to a mars-like near space environment. *Microbiol Spectr.* 21;10(6):e0344022. doi: 10.1128/spectrum.03440-22.

Αύξηση της έκφρασης γονιδίων που εμπλέκονται στη σύνθεση EPS, καροτηνοειδών, σκυτονεματίνης και σύνθεση πρωτεϊνών.



Συμπεράσματα

Συμπεράσματα

- Τα φύκη αποτελούν βασικά εργαλεία της περιβαλλοντικής βιοτεχνολογίας.
- Συμβάλλουν:
 - ✓ στη διατήρηση της βιοποικιλότητας και
 - ✓ στην αποκατάσταση οικοσυστημάτων.
- Χρησιμοποιούνται για βιοπαρακολούθηση, βιοαπορρύπανση, δέσμευσης CO_2 , κυκλικής οικονομίας και παραγωγής βιώσιμων προϊόντων.
- Η βιοτεχνολογία φυκών συνδέει την προστασία της φύσης με τη βιώσιμη ανάπτυξη και τη μετάβαση σε πιο «πράσινες» τεχνολογίες.
- Η προστασία της βιοποικιλότητας είναι απαραίτητη για το μέλλον της βιοτεχνολογίας.
 - Η προστασία της βιοποικιλότητας (των φυκών) και των οικοσυστημάτων δεν αφορά μόνο τη διατήρηση της ζωής στους υδάτινους βιότοπους, αλλά και τη διασφάλιση πολύτιμων βιοτεχνολογικών λύσεων για το μέλλον του περιβάλλοντος και της κοινωνίας.