



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS



University of Patras
Environmental Engineering
Laboratory

Αξιοποίηση μικροφυκών για παραγωγή ενέργειας

Ιωάννης Δ. Μαναριώτης

Επίκουρος Καθηγητής

Εργαστήριο Τεχνολογίας του Περιβάλλοντος, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών,

Πανεπιστήμιο Πατρών, 265 04 Πάτρα

idman@upatras.gr

www.upeel.civil.upatras.gr

Δομή παρουσίασης

- Εισαγωγή
- Μικροφύκη – Ενέργεια και Βιοκαύσιμα
- Πειραματικά αποτελέσματα
- Συμπεράσματα

Φύκη

Φύκη είναι απλοί, κυρίως υδρόβιοι οργανισμοί, που στερούνται των εξειδικευμένων ιστών που έχουν τα ανώτερα φυτά. Ποικίλλουν ως προς το μέγεθος και την πολυπλοκότητα και αποτελούνται από ένα μέχρι πολλά κύτταρα.

Ποικίλουν από μονοκύτταρους μικροοργανισμούς μέχρι μεγάλα επιμήκη πολυκυτταρικά συσσωματώματα τα οποία έχουν μήκος έως και 30 m.

Η κατάταξη των φυκών βασίζεται:

- ❑ στον τύπο της χλωροφύλλης
- ❑ στη δομή κυττάρου
- ❑ στο είδος οργανικού υλικού

Διακρίνονται: Χλωρόφυτα, Χρυσόφυτα, Πυρρόφυτα, Ροδόφυτα, Φαιόφυτα και Ευγλενόφυτα.

Μικροφύκη και βιοκαύσιμα

Γιατί μας ενδιαφέρουν τα μικροφύκη;

Υψηλή περιεκτικότητα σε λιπίδια

15-300 φορές μεγαλύτερη παραγωγή από αυτήν των συμβατικών καλλιεργειών

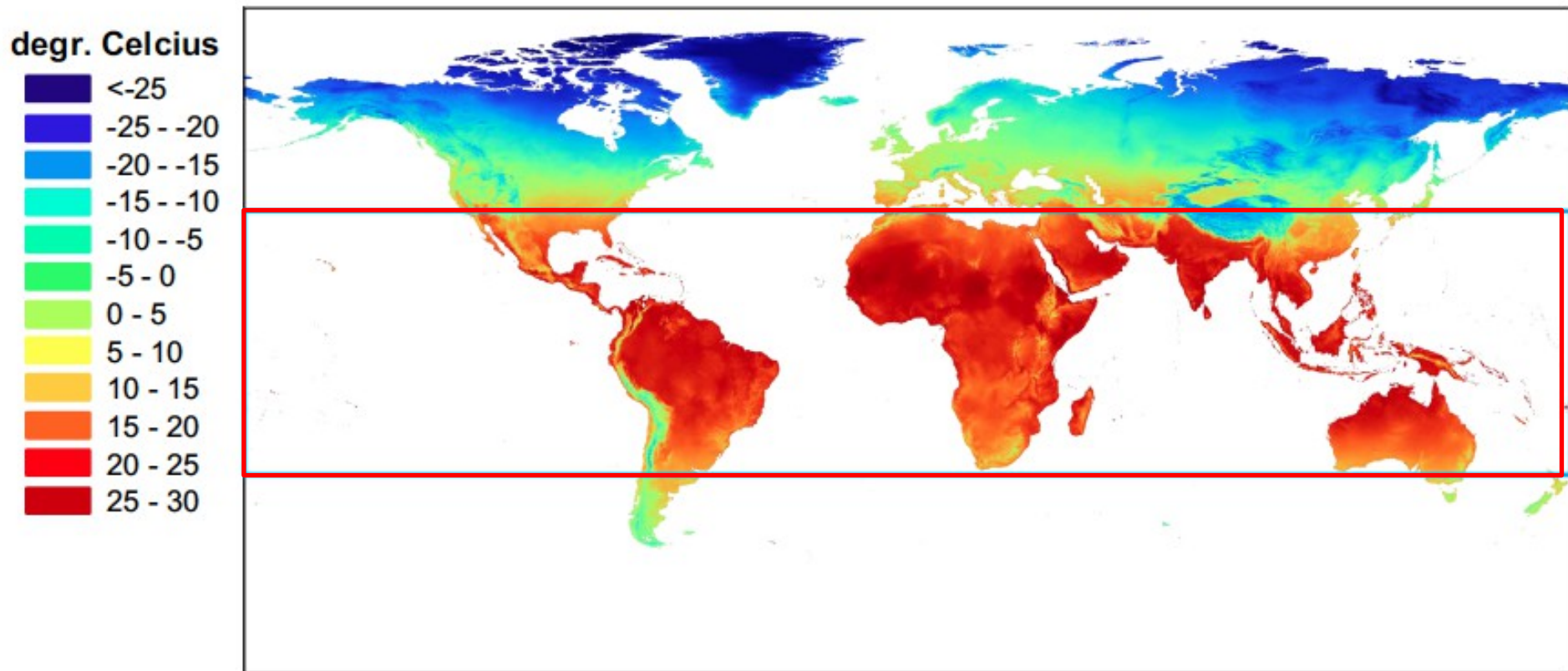
Δεν απαιτούνται καλλιεργήσιμες εκτάσεις

Σύγκριση παραγωγής ελαίων και λιπιδίων

Καλλιέργεια	Παραγωγή ελαίων (L/ha)
Καλαμπόκι	172
Σόγια	446
Φυστίκι	1059
Ελαιοκράμβη	1190
Jatropha	1892
Karanj (Pongamia pinnata)	2590
Καρύδα	2689
Φοινικέλαιο	5950
Μικροφύκη (30% έλαια κ.β.)	58700
Μικροφύκη (70% έλαια κ.β.)	136900

Φύκος	Λιπίδια (%)
Botryococcus braunii	25-75
Chlorella sp.	28-32
Nannochloropsis sp.	31-68
Schizochytrium sp.	50-77
Neochloris oleoabundans	35-54
Nitzschia sp.	45-47
Dunaliella primolecta	23

Μέση ετήσια θερμοκρασία στη Γη



Εγκαταστάσεις παραγωγής μικροφυκών



Καλλιέργεια μικροφυκών - αντιδραστήρες



Fig. 4 Raceway pond agitated by paddle wheels

Καλλιέργεια μικροφυκών - αντιδραστήρες



Fig. 5 Thin flat plate air lift photobioreactors (LNEG, Portugal)

Καλλιέργεια μικροφυκών - αντιδραστήρες

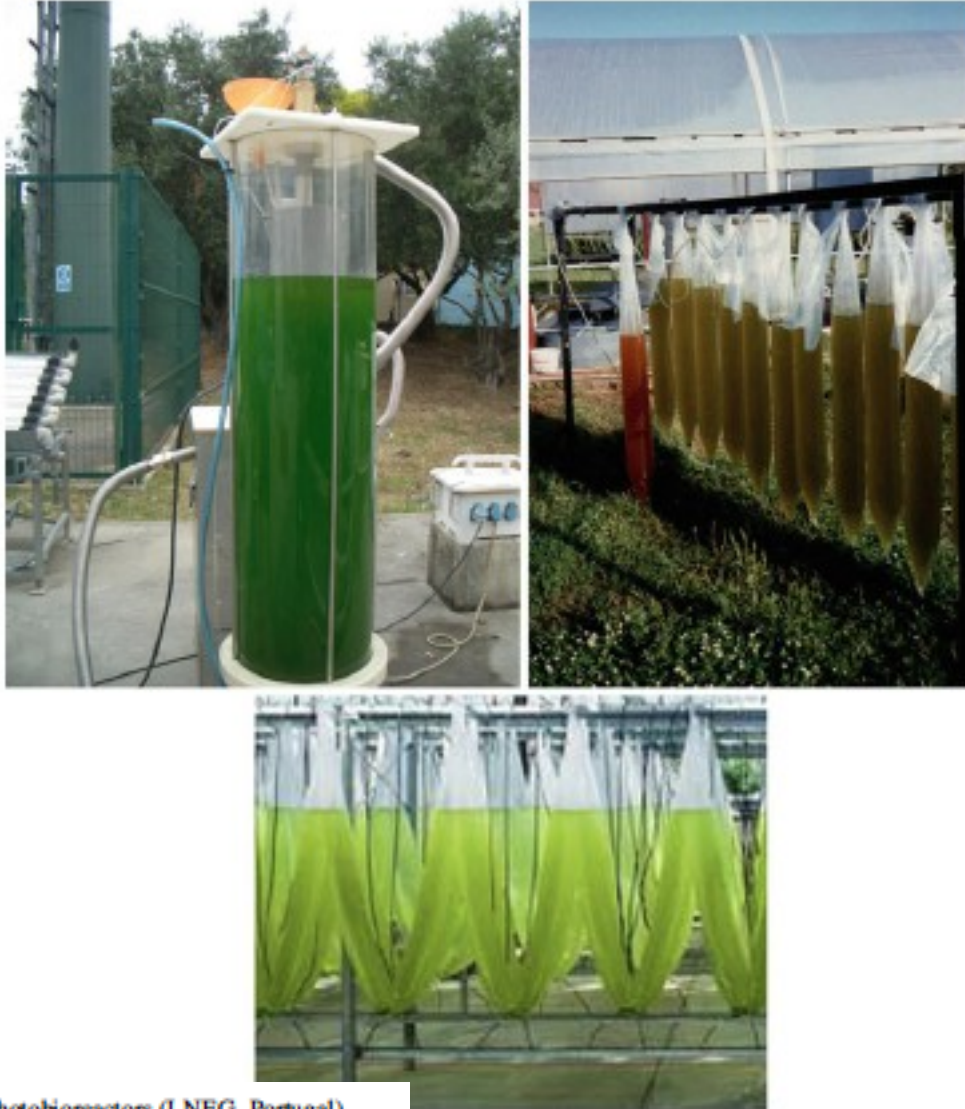


Fig. 6 Vertical column photobioreactors (LNEG, Portugal)

Καλλιέργεια μικροφυκών - αντιδραστήρες

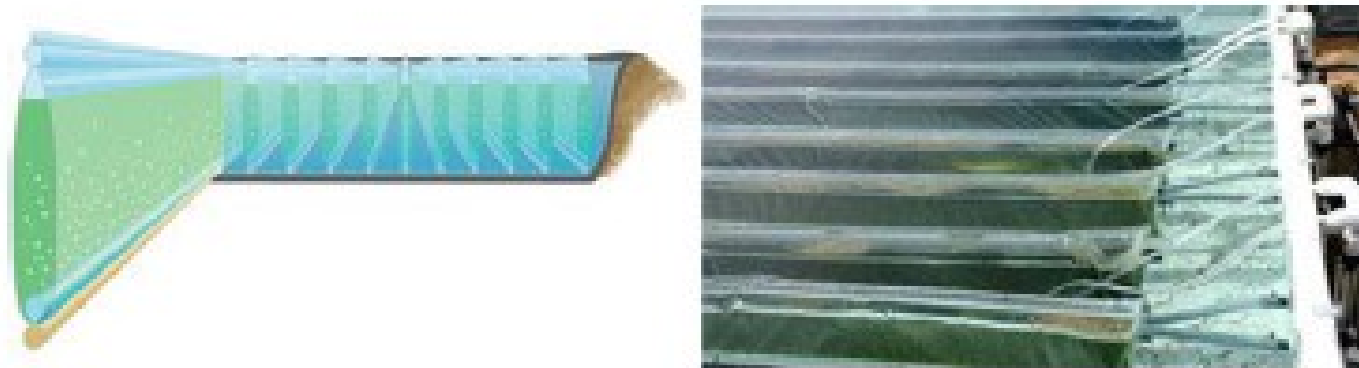
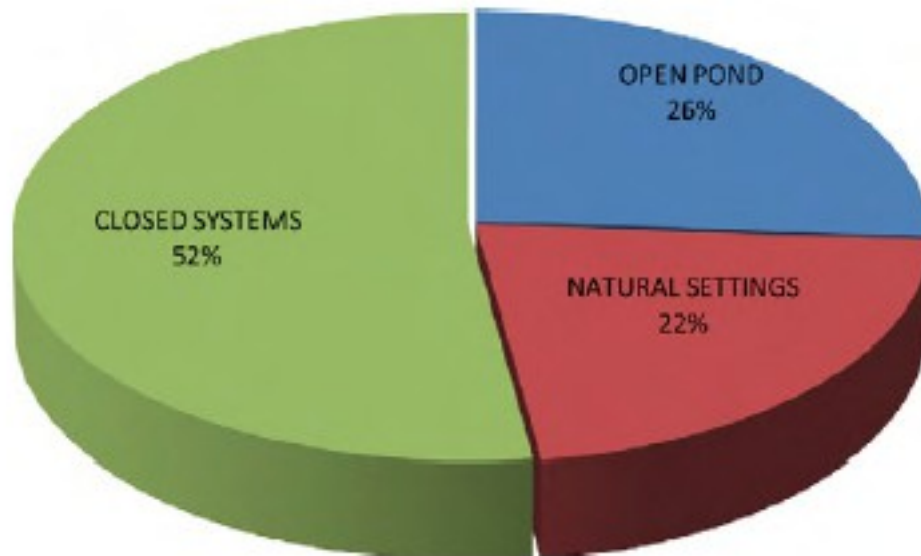


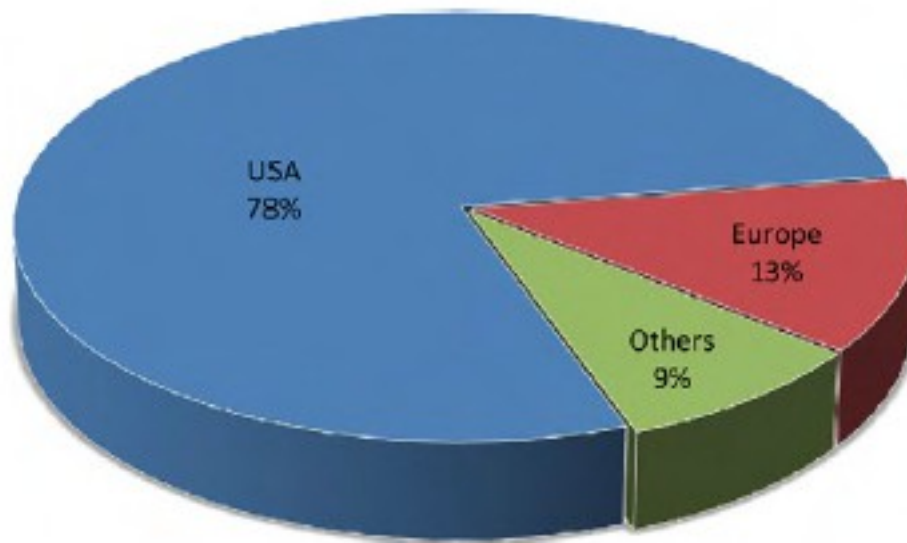
Fig. 10 New pilot reactor from Solix Biofuels: a low-ceiling design; b water as support (<http://www.solixbiofuels.com>). Photo courtesy of Solix Biofuels



Fig. 11 New pilot reactor from Proviron, Belgium (<http://www.proviron.com>). Photo courtesy of Proviron



Κατανομή συστημάτων καλλιέργειας μικροφυκών



Κατανομή εγκαταστάσεων παραγωγής βιοκαυσίμων από φύκη

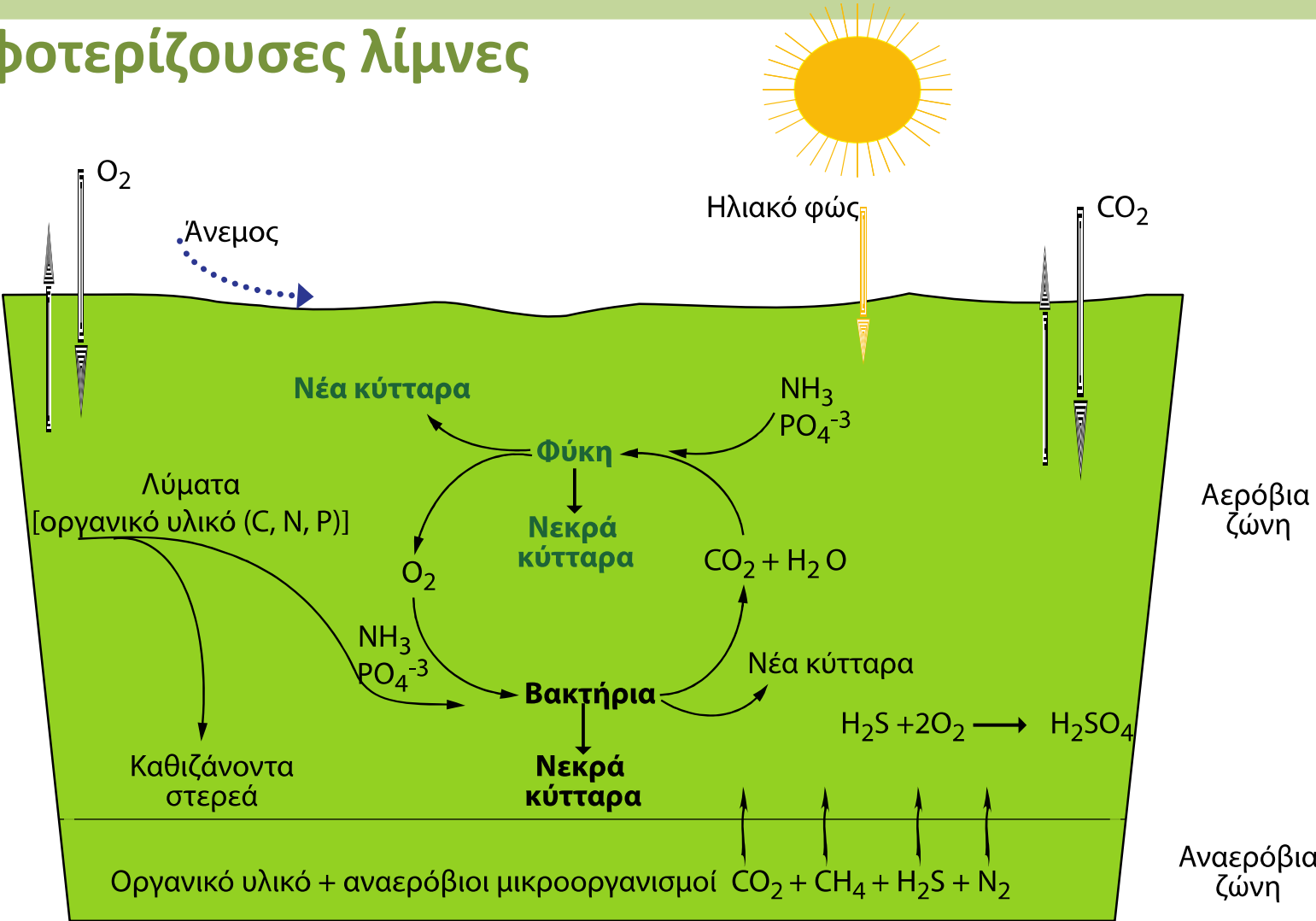
Επεξεργασία λυμάτων

Τα μικροφύκη χρησιμοποιούνται εδώ και αιώνες στην επεξεργασία λυμάτων, μέσω των φυσικών συστημάτων επεξεργασίας.

Η πρώτη καταγραφή ελεγχόμενης επεξεργασίας λυμάτων μέσω φυσικού συστήματος, παρουσία μικροφυκών, ήταν τα τέλη του 1800 στην Ευρώπη (Βερολίνο, Παρίσι), καλούμενο ως «sewage farm».

Επεξεργασία λυμάτων

Επαμφοτερίζουσες λίμνες



Επεξεργασία λυμάτων

Η χρησιμοποίηση των μικροφυκών στα λύματα έχει βρει ευρεία εφαρμογή τα τελευταία χρόνια στο στάδιο της τριτοβάθμιας επεξεργασίας λυμάτων ➔ αφαίρεση θρεπτικών στα λύματα

Τα επεξεργασμένα λύματα ➔ υψηλές συγκεντρώσεις θρεπτικών (N, P) και ιχνοστοιχείων (K, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn), ➔ ανάπτυξη των μικροφυκών

Τα επεξεργασμένα λύματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως υπόστρωμα για την καλλιέργεια μικροφυκών

Επεξεργασία λυμάτων με μικροφύκη

Η χρήση των λυμάτων στην καλλιέργεια φυκών θα μπορούσε να έχει διπλό ρόλο, αυτόν της μείωσης του ρυπαντικού φορτίου των λυμάτων και της αξιοποίησης των μικροφυκών για παραγωγή βιομάζας - ενέργειας.

Τα φύκη που χρησιμοποιούνται πρέπει να πληρούν τα εξής κριτήρια:

- ❑ ικανότητα επιβίωσης στα λύματα σε συνάρτηση με τη συγκέντρωση οργανικού υλικού
- ❑ δυνατότητα καλλιέργειας σε υψηλή πυκνότητα κυτταρικού δυναμικού
- ❑ υψηλή περιεκτικότητα σε λιπίδια
- ❑ ικανότητα ανάπτυξης σε συνδυασμό με βακτήρια.

Επεξεργασία λυμάτων με μικροφύκη

Η χρήση των λυμάτων στην καλλιέργεια φυκών θα μπορούσε να έχει διπλό ρόλο, αυτόν της μείωσης του ρυπαντικού φορτίου των λυμάτων και της αξιοποίησης των μικροφυκών για παραγωγή βιομάζας - ενέργειας.

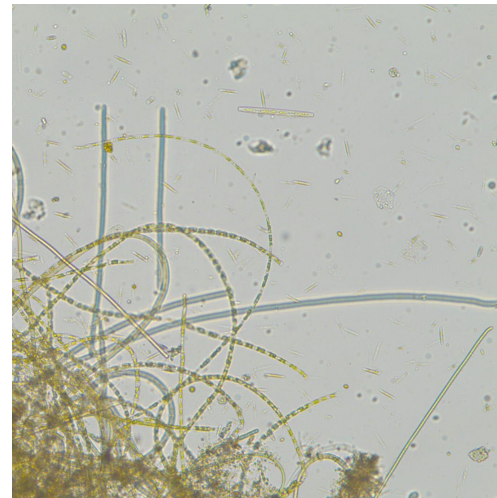
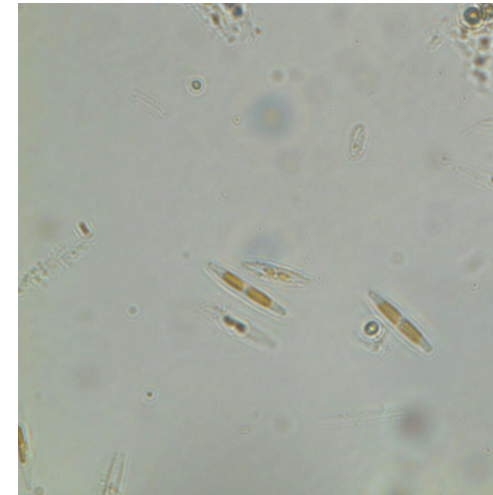
Τα φύκη που χρησιμοποιούνται πρέπει να πληρούν τα εξής κριτήρια:

- ❑ ικανότητα επιβίωσης στα λύματα σε συνάρτηση με τη συγκέντρωση οργανικού υλικού
- ❑ δυνατότητα καλλιέργειας σε υψηλή πυκνότητα κυτταρικού δυναμικού
- ❑ υψηλή περιεκτικότητα σε λιπίδια
- ❑ ικανότητα ανάπτυξης σε συνδυασμό με βακτήρια.

Αναγνώριση μικροφυκών

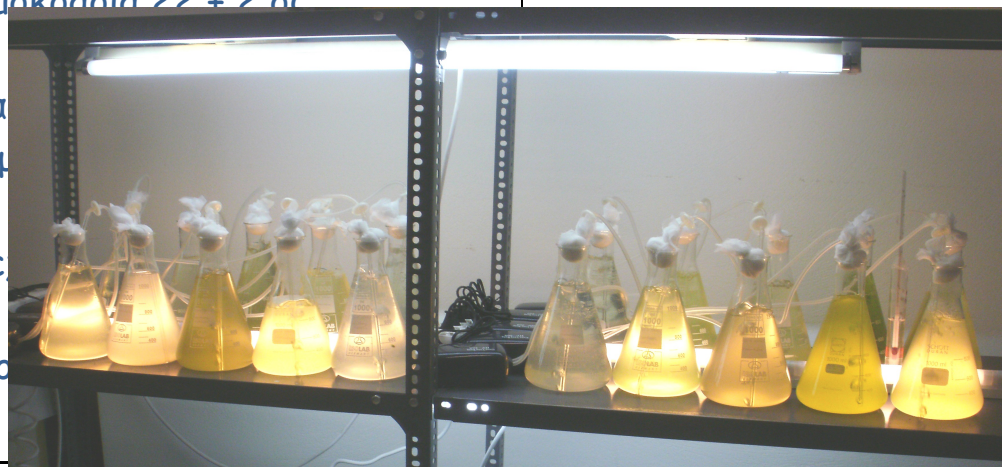
Συλλέχθηκαν δείγματα από τη δευτεροβάθμια εκροή των Εγκαταστάσεων Επεξεργασίας Λυμάτων (ΕΕΛ) του Πανεπιστημίου Πατρών και της Αμαλιάδας.

Είδος μικροφυκών	ΕΕΛ	
	Πανεπιστημιού- πολη Πάτρας	Αμαλιάδας
<i>Chaetomorpha</i>	☑	☑
<i>Chlorella</i>		☑
<i>Chlorococum</i>		☑
<i>Elakotothrix</i>		☑
<i>Eualena</i>	☑	☑
<i>Fragilaria</i>		☑
<i>Nitzschia</i>		☑
<i>Schroederia</i>		☑
<i>Scenedesmus</i>	☑	☑
<i>Schizothrix</i>		☑
<i>Stichococcus</i>		☑
<i>Ulothrix</i>		☑



Πειράματα διαλείποντος έργου

Είδος μικροφύκους		Συνθήκες πειράματος	Ρυθμός ανάπτυξης (μ) d-1
Γλυκ ού νερο ύ	<i>Botryococcus braunii</i>	- Αποστειρωμένες κωνικές φιάλες 2L (1800 ml αποστειρωμένο συνθετικό υπόστρωμα BG-11 και 200 ml προκαλλιέργειας φυκών) - Θερμοκρασία 22 ± 2 οC	0,0328 ± 0,0087
	<i>Chlorella protothecoides</i>		0,0869 ± 0,0014
	<i>Chlorella vulgaris</i>		0,0997 ± 0,0002
	<i>Chlorococcum spec.</i>		0,1219 ± 0,0086
	<i>Euglena gracilis</i>		- Έντα
	<i>Neochloris vigensis</i>		22 μ
Αλμ υρού νερο ύ	<i>Dunaliella tertiolecta</i>	- Συνε	
	<i>Nannochloropsis gaditana</i>	- Διάρ	
	<i>Phaeodactylum tricomutum</i>		



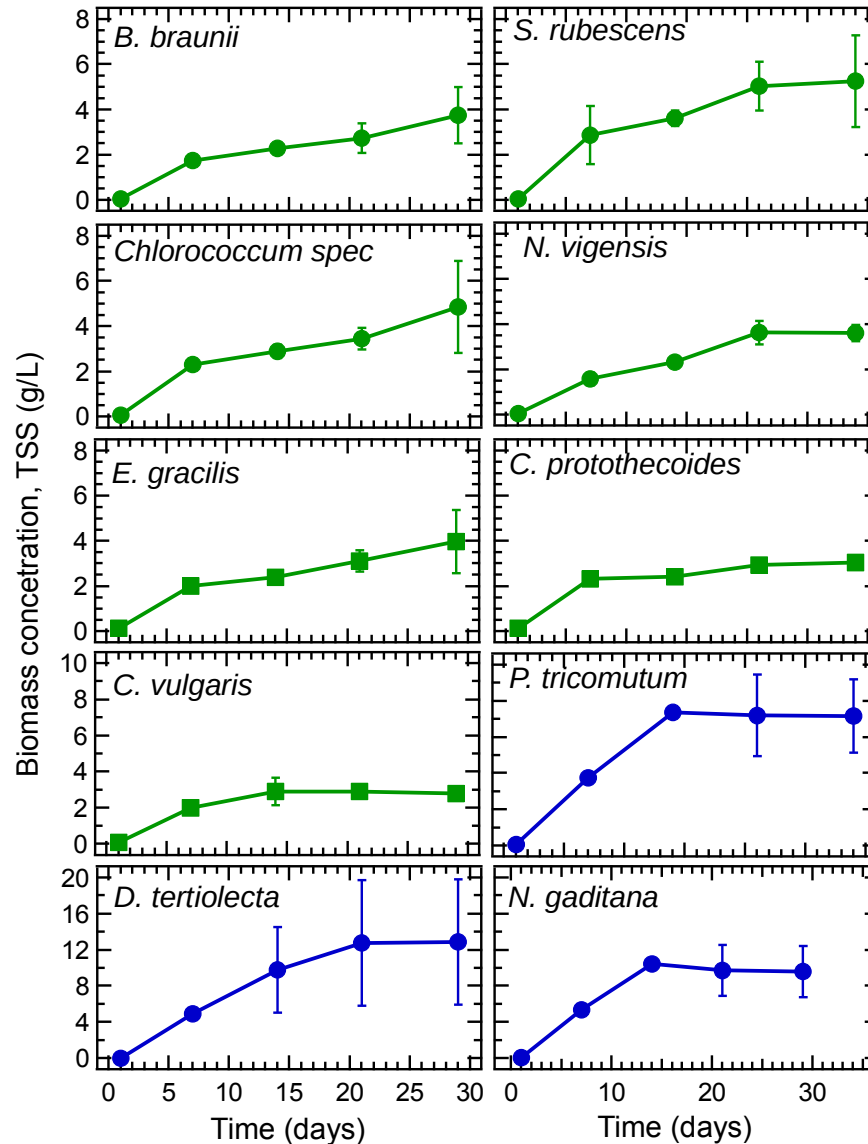
Επεξεργασία λυμάτων με μικροφύκη



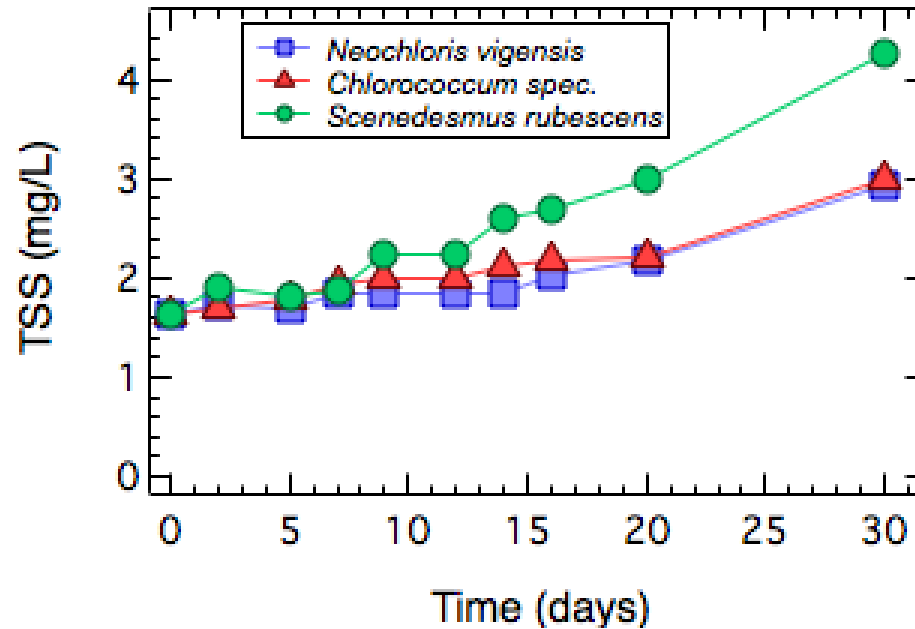
Επεξεργασία λυμάτων με μικροφύκη



Καλλιέργεια 10 διαφορετικών ειδών μικροφυκών

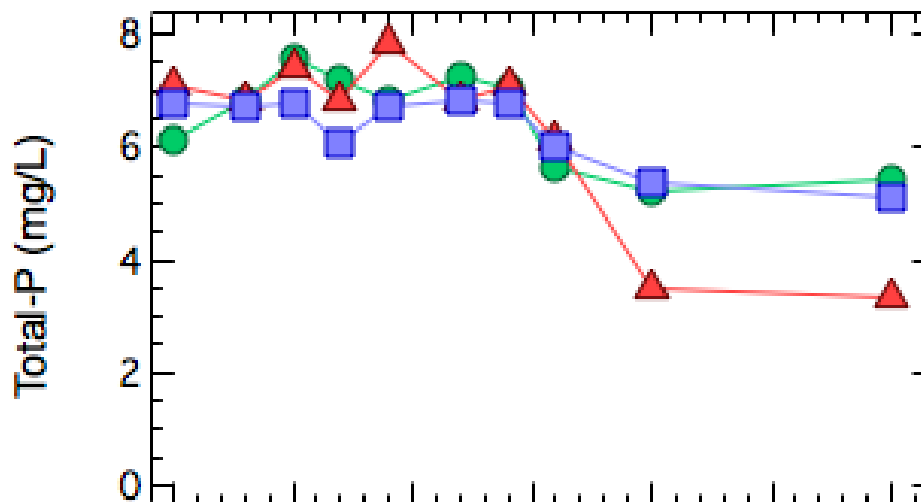


Καλλιέργεια επιλεγμένων μικροφυκών



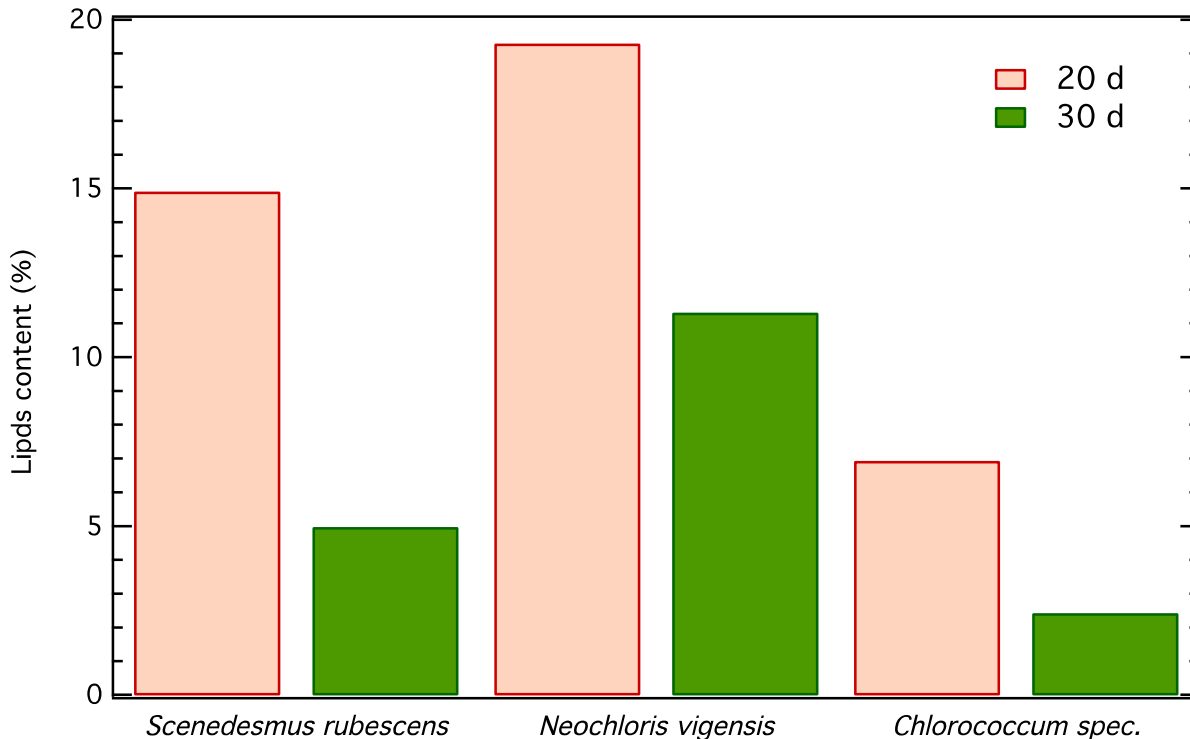
Είδος μικροφύκους	Ρυθμός ανάπτυξης (μ)
<i>Chlorococcum spec.</i>	0,0185 d ⁻¹
<i>Neochloris vigensis</i>	0,0187 d ⁻¹
<i>Scenedesmus rubescens</i>	0,0314 d ⁻¹

Καλλιέργεια επιλεγμένων μικροφυκών



Είδος μικροφύκους	Ποσοστό αφαίρεσης
<i>Chlorococcum spec.</i>	25,1%
<i>Neochloris vigensis</i>	53,4%
<i>Scenedesmus rubescens</i>	11,4%

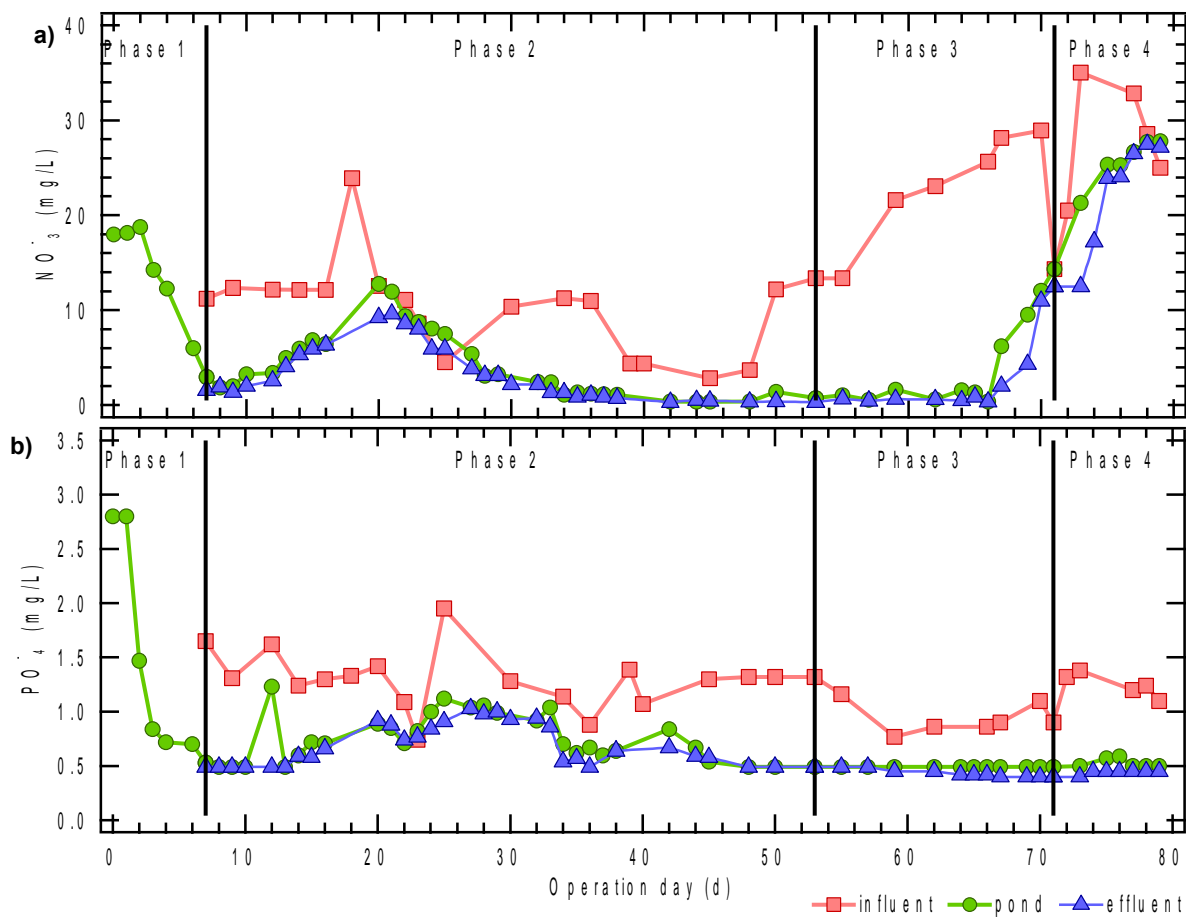
Παραγωγή λιπιδίων



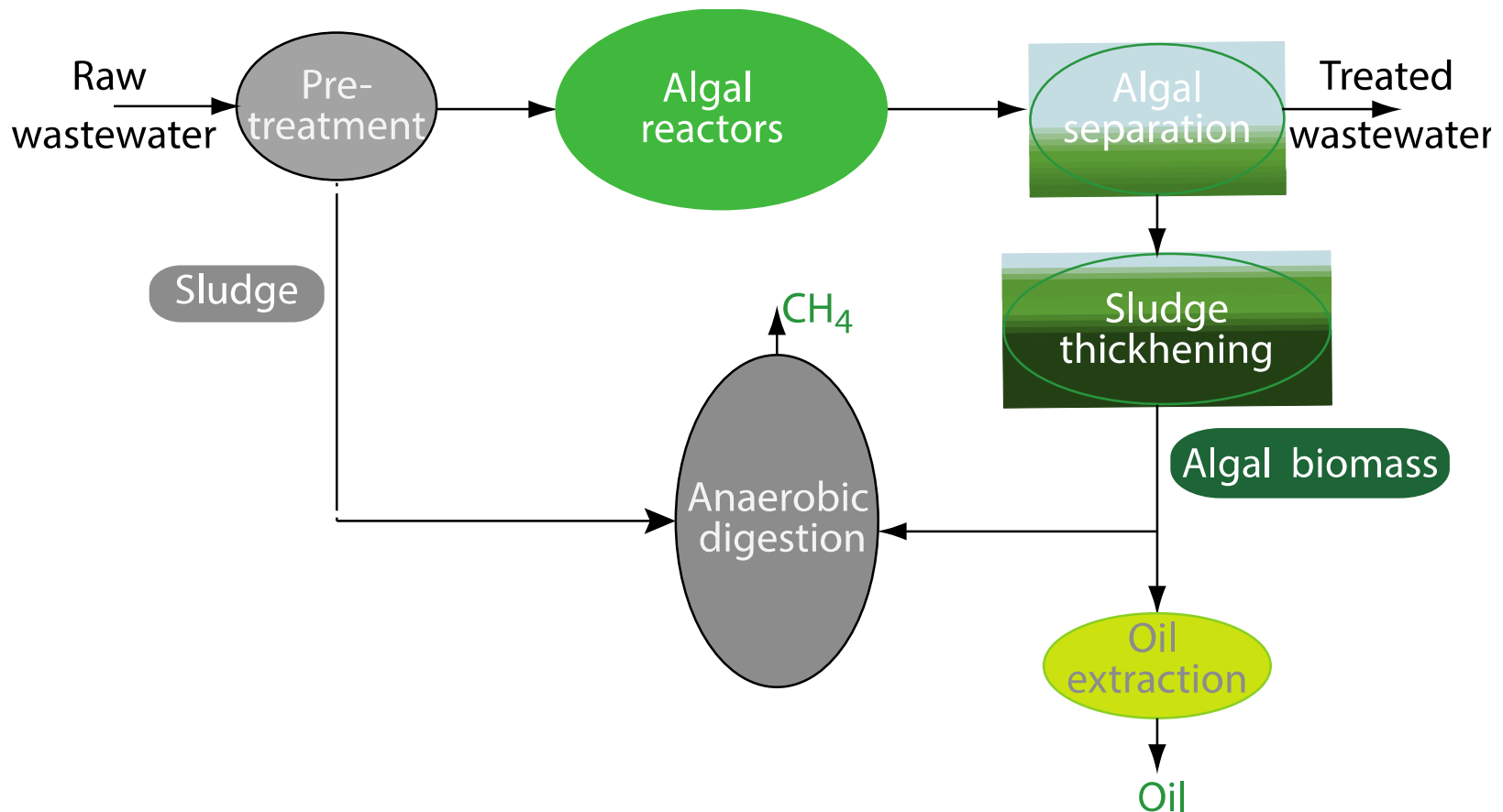
Το *Neochloris vigensis* παρουσιάζει την καλύτερη απόδοση σε 20 ημέρες και από τα 3 στελέχη.

Σε συνδυασμό με την σταθεροποίηση της συγκέντρωσης του Ολικού-P μετά την 20η ημέρα της κάθε καλλιέργειας, σημαίνει ότι αν και έχουμε ανάπτυξη βιομάζας η απόδοση ως προς τα λιπίδια δεν είναι ικανοποιητική μετά το πέρας αυτής της ημέρας.

Επεξεργασία λυμάτων σε ανοικτές δεξαμενές με μικροφύκη



Επεξεργασία λυμάτων με μικροφύκη



Συμπεράσματα

Η ανάπτυξη βιομάζας δεν είναι πάντα άμεσα συνδεδεμένη με την αφαίρεση θρεπτικών, αλλά ούτε και με την περιεκτικότητα των φυκών σε λιπίδια.

Το *Scenedesmus rubescens* αν και παρουσίασε μεγαλύτερο ρυθμό ανάπτυξης παρουσίασε μικρότερη αφαίρεση Ολικού-P σε σχέση με τα αλλά δυο στελέχη που μελετήθηκαν.

Η περιεκτικότητα των φυκών σε λιπίδια μεταβάλλεται με το χρόνο και η μεγαλύτερη τιμή παρουσιάστηκε περίπου στις 20 ημέρες.

Οικονομικά στοιχεία

Κόστος συμβατικού diesel τα προηγούμενα χρόνια 1 έως 4,7 \$/gallon

Βιοκαύσιμα από φύκη: εκτιμώμενο κόστος 52 €/GJ.

Βιοντίζελ από ελαιοκράμβη κόστος 30 €/GJ.

Ντίζελ από συμβατικά καύσιμα: 18.4 €/GJ.

Εκτίμηση από US Army ότι το κόστος βιοκαυσίμων από φύκη για καύσιμο σε αεροπλάνα μπορεί να είναι < 3 \$/gallon.



Εργαστήριο Τεχνολογίας του Περιβάλλοντος

Ανδριάνα Αραβαντινού, Υποψήφια Διδάκτωρ

Μάριος Θεοδωρακόπουλος, Υποψήφιος Διδάκτωρ

Σοφία Βεργίνη, ΜΔΕ

Χαράλαμπος Σίνος, Μεταπτυχιακός Φοιτητής

Αντώνης Μαννές, Φοιτητής

Στέλλα Δρακοπούλου, Φοιτήτρια

Ειρήνη Μπαρκονίκου, Φοιτήτρια

Αναστασία Φρεμεντίτη, Φοιτήτρια