



Προοπτικές Υδατοκαλλιέργειας Μακροφυκών στην Ελλάδα

Νέα προϊόντα

Καθαρές ακτές

Προστασία της Βιοποικιλότητας

Δρ. Σωτήρης Ορφανίδης
Αναπληρωτής Ερευνητής



Εθνικό Ίδρυμα Αγροτικής Έρευνας (ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε.)
Ινστιτούτο Αλιευτικής Έρευνας (ΙΝ.ΑΛ.Ε.)
Νέα Πέραμος, Καβάλα

Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης & Τροφίμων
Γενική Διεύθυνση Αλιείας
Διεύθυνση Υδατοκαλλιέργειών
& Εσωτερικών Υδάτων

Καβάλα 2009

Χρηματοδότης: Ε.Π.ΑΛ. 2000-2006,
ΜΕΤΡΟ 4.6, Καινοτόμα Μέτρα
Κωδικός Υποέργου 106241/2

Copyright: Σωτήρης Ορφανίδης
Απαγορεύεται η αναπαραγωγή
του παρόντος βιβλίου ή μέρους αυτού
με οποιοδήποτε μέσο, μηχανικό ή ηλεκτρονικό,
χωρίς έγγραφη εξουσιοδότηση.

*Σημείωση: Όλες οι φωτογραφίες που δημοσιεύονται
είναι πρωτότυπες και ανήκουν στον Σ. Ορφανίδη,
εκτός και αν αναφέρεται άλλη πηγή προέλευσης.*

Προοπτικές Υδατοκαθλιέργειας Μακροφυκών στην Ελλάδα

Νέα προϊόντα

Καθαρές ακτές

Προστασία της βιοποικιλότητας

Δρ. Σωτήρης Ορφανίδης

Αναπληρωτής Ερευνητής

Αντί προλόγου



Η αγωνία εξεύρεσης νέων πηγών ενέργειας και τροφής έχει στρέψει το ενδιαφέρον στους μη εκμεταλλεύσιμους μέχρι τώρα φυσικούς πόρους, όπως είναι τα μακροφύκη (φύκη ευδιάκριτα με γυμνό μάτι), τα οποία μπορούν να αξιοποιηθούν ως τροφή για τον άνθρωπο και τα ζώα στη βιοχημεία και στην ιατρική.

Η οικονομική επιτυχία της σύγχρονης υδατοκαλλιέργειας βασίστηκε στην αυξημένη ζήτηση θαλάσσιας τροφής, εξαιτίας της μείωσης των αλιευμάτων, αλλά και της μη προσθήκης στα προϊόντα της του περιβαλλοντικού κόστους για απελευθέρωση ανεπεξέργαστων λυμάτων στο περιβάλλον. Αν και η ζήτηση για προϊόντα υδατοκαλλιέργειας θα συνεχίσει να αυξάνεται και στο μέλλον, είναι βέβαιο ότι νέες, οικονομικά και οικολογικά βιώσιμες τεχνολογίες θα αναζητηθούν.

Τα μακροφύκη είναι φυτικοί οργανισμοί που, από φυσιολογικής απόψεως, μπορούν να χαρακτηριστούν ως «βιοφίλτρα», γιατί κατά την αύξησή τους δεσμεύουν στη βιομάζα τους διάφορα θρεπτικά άλατα, βαρέα μέταλλα, καθώς και άλλες τοξικές ή μη τοξικές ουσίες. Έτσι, απομακρύνοντας τη βιομάζα των μακροφυκών από ένα επιβαρυμένο σύστημα γίνεται εφικτή η εξυγίανση και επαναφορά του στην πρότερη φυσική του κατάσταση.

Το πρόγραμμα με τίτλο «Ανάπτυξη της τεχνολογίας καλλιέργειας εμπορικών μακροφυκών σε χερσαίες εγκαταστάσεις» που χρηματοδοτήθηκε από το Ε.Π.ΑΛ. 2000-2006, ΜΕΤΡΟ 4.6, Καινοτόμα Μέτρα, είναι ένα πρωτότυπο για τα ελληνικά δεδομένα ερευνητικό πρόγραμμα στον ευρύτερο τομέα των υδατοκαλλιεργειών, που είχε ως στόχο την ανάπτυξη νέας τεχνολογίας, φιλικής και προσαρμοσμένης στο τοπικό περιβάλλον.



Ευχαριστώ τις υπηρεσίες του Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης & Τροφίμων, ιδιαίτερα της Διεύθυνσης Υδατοκαλλιεργειών και Εσωτερικών Υδάτων, για τη χρηματοδότηση και τη γενικότερη βοήθεια στην ολοκλήρωση του προγράμματος.

Ευχαριστώ την Περιφέρεια Ανατολικής Μακεδονίας & Θράκης για την αγορά του απαραίτητου εξοπλισμού στο εργαστήριο «Θαλάσσιες Οικολογίας & Τεχνολογίας» του Ινστιτούτου Αλιευτικής Έρευνας (ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε. - ΙΝ.ΑΛ.Ε.).

Ευχαριστώ τους συναδέλφους μου στο ΙΝ.ΑΛ.Ε. για την οποιαδήποτε βοήθεια προσέφεραν στο πρόγραμμα, ιδιαίτερα τους συναδέλφους στην υπηρεσία Οικονομικών και Διαχείρισης Προγραμμάτων.

Ευχαριστώ τους συναδέλφους που προσέφεραν φωτογραφικό υλικό για την έκδοση του παρόντος εντύπου.

Πολλές ευχαριστίες προς τα μέλη της ερευνητικής μου ομάδας, που έδωσαν τον καλύτερό τους εαυτό, ορισμένες φορές κάτω από αντίξοες συνθήκες, για την επιτυχή ολοκλήρωση του προγράμματος.

Τέλος, ευχαριστώ πολύ την οικογένειά μου για την αμέριστη βοήθεια που μου προσφέρουν, στο δύσκολο έργο της πραγματοποίησης πρωτότυπης έρευνας στη χώρα μας.

Απρίλιος 2009
Σωτήρης Ορφανίδης

1. Εισαγωγή



Η πληθυσμιακή έκρηξη, οι αυξημένες ενεργειακές απαιτήσεις και οι κλιματικές αλλαγές στρέφουν το ενδιαφέρον στο υδάτινο οικοσύστημα, κατά κύριο λόγο στις θάλασσες και στους ωκεανούς. Απώτερος σκοπός, η εξεύρεση νέων πηγών ενέργειας, αλλά και η καλύτερη αξιοποίηση των ήδη υπαρχόντων. Σ' αυτές περιλαμβάνονται όλοι οι οργανισμοί με εμπορική αξία, μεταξύ αυτών και τα θαλάσσια μακροφύκη.

Η χρήση των θαλάσσιων μακροφυκών ως τροφή ήταν ήδη γνωστή στους λαούς της Άπω Ανατολής από το 850 π.Χ. Η θεραπευτική αξία των μακροφυκών έγινε ευρέως γνωστή στη Δύση πολλούς αιώνες αργότερα. Ωστόσο, γραπτές αναφορές, όπως αυτή του ανώνυμου *Bellum Africanum* (γράφηκε περίπου το 45 π.Χ.), δηλώνουν ότι οι αρχαίοι Έλληνες χρησιμοποιούσαν τα θαλάσσια φύκη ως ζωοτροφές. Επιπλέον, η ετυμολογία της λέξης "φτιασίδι" (προέρχεται από την αρχαιοελληνική λέξη "φυκιασίδι", δηλ. καλλιπυτικό ερυθρού χρώματος που κατασκεύαζαν οι αρχαίοι Έλληνες από τα φύκη) δηλώνει τη χρήση των μακροφυκών ως καλλυντικά προσώπου. Η καλή σχέση των Ελλήνων με τα φύκη και γενικότερα με τη θάλασσα, φαίνεται και από τη νεότερη ιατρική τους παράδοση. Στην Εβούδα της Κρήτης τα φύκια (πρόκειται μάλλον για είδη του γένους *Cystoseira*), σύμφωνα με το ιατρικό έθιμο, θεωρούνται «ιερά» και έτσι συλλέγονται στη γιορτή της Ανάληψης από τη θάλασσα, για οικγενειακή σταθερότητα και υγεία.

Η βιομηχανική χρήση των μακροφυκών, σε διεθνές επίπεδο, είναι σήμερα ιδιαίτερα αναπτυγμένη και στηρίζεται κατά κύριο λόγο στην αξιοποίηση των πολύτιμων κυτταρικών τους συστατικών, δηλ. πολυσακχαρίτες, μέταλλα, πρωτεΐνες, υδρογονάνθρακες, βιταμίνες κλπ.

Τελευταία, τα μακροφύκη χρησιμοποιούνται σε πολυκαλλιέργειες ως βιολογικά φίλτρα σε απόβλητα πλούσια σε θρεπτικά άλατα, π.χ. απόβλητα ψαριών, με σκοπό την παραγωγή πολύτιμης βιομάζας και την προστασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος από τον ευτροφισμό. Πρόκειται για τα συστήματα «ολοκληρωμένης πολυτροφικής υδατοκαλλιέργειας» (*Integrated Multitrophic Aquaculture-IMTA*), μια σύγχρονη ερευνητική κατεύθυνση με προοπτική να αλληλέξει τις υπάρχουσες πρακτικές αυξάνοντας τη βιωσιμότητα της υδατοκαλλιέργειας στο μέλλον. Χώρες όπως το Ισραήλ, ο Καναδάς, αλλά και πολλές Ευρωπαϊκές χώρες, όπως η Ιρλανδία, η Νορβηγία, βρίσκονται στην πρωτοπορία αυτής της νέας κατεύθυνσης.

2. Οικονομική αξιοποίηση των μακροφυκών

2.1. Διεθνής εμπειρία



Εικόνα 1. Εικόνες από την καλλιέργεια της *Porphyra* στην Άπω Ανατολή (φωτο: Juliet Brodie, διαδίκτυο).

Figure 1. *Porphyra* aquaculture in the Far East (photo: Juliet Brodie, internet).

Δεκαπέντε εκ. τόνοι νωπής βιομάζας μακροφυκών αξίας περίπου 7,5 δισ. ευρώ παράγονται, κατά κύριο λόγο μέσω της καλλιέργειας περισσότερων των διακοσίων ειδών, διεθνώς κάθε χρόνο. Η ετήσια αξία των προϊόντων διατροφής υπολογίζεται στα 6 - 6,75 δισ. ευρώ, από τα οποία περισσότερα του 1,5 δισ. αφορούν την καλλιέργεια της *Porphyra* (Εικ. 1). Για παράδειγμα, στην Ιαπωνία παράγονται περίπου 60.000 τόνοι ξηρής βιομάζας/έτος, στην τιμή των 20 ευρώ το κιλό περίπου. Το μεγαλύτερο μέρος του υπόλοιπου ποσού αφορά προϊόντα της βιομηχανίας φυκοκολλησιδίων (Εικ. 2), ενώ το υπόλοιπο διάφορες χρήσεις ως συμπληρώματα τροφών, ζωοτροφών και λιπάσματα (Εικ. 3).

Η νωπή βιομάζα των μακροφυκών αποτελείται σε ποσοστό 75-95% από νερό. Από το υπόλοιπο ξηρό βάρος, το 75% περίπου αποτελείται από οργανικό υλικό και το 25% από ιόντα του καλίου, του νατρίου, του μαγνησίου και του ασβεστίου. Το οργανικό υλικό αποτελείται κατά 50% από άνθρακα και κατά 10% από πρωτεΐνες, που σε ορισμένα είδη μπορεί να φθάσει το 20-47%. Το υπόλοιπο του οργανικού υλικού αποτελείται από χαμηλού μοριακού βάρους υδρογονάνθρακες και από πολυσακχαρίτες.

Οι βιομηχανικά αξιοποιήσιμοι πολυσακχαρίτες των μακροφυκών (φυκοκολλησιδή) εμπίπτουν σε τρεις βασικές κατηγορίες: Το άγαρ και την καρραγενάνη, που προέρχονται από ροδοφύκη και τα αλγινικά άλατα τα οποία προέρχονται από τα φαιοφύκη. Αυτοί οι πολυσακχαρίτες χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία τροφής, στη βιομηχανία φαρμάκων, καλλυντικών και στην Ιατρική, τόσο για τη δημιουργία ηκτικών, όσο και για την αδρανοποίηση των βιοκαταλυτών.

Η βιολογική δραστηριότητα των εκχυλισμάτων βρίσκει πολλές εφαρμογές στη φαρμακοβιομηχανία, στη βιοτεχνολογία, στη συντήρηση τροφών και ποτών, στην υφαντουργία και στις χρωστικές εκτύπωσης (Εικ. 4). Εξαιτίας του ιδιαίτερου οικονομικού ενδιαφέροντος για τη χώρα μας, αναφέρουμε ότι τα φυκοκολλησιδή καρραγε-

νάνη και αλγινικά οξέα μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη σταθεροποίηση των κρασιών χωρίς να επηρεάζουν τη σύνθεση των τανινών τους.

Στη διεθνή αγορά υπάρχουν σήμερα πολλά προϊόντα που περιέχουν εκχυλίσματα μακροφυκών: οδοντόκρεμες, αφροί ξυρίσματος, παγωτά, τυριά, μπύρες, αφρόλουτρα. Προϊόντα με μακροφύκη που αφορούν τη φροντίδα προσώπου και σώματος, όπως άλατα μπάνιου, σαμπουάν, αφρόλουτρα, σαπούνια κτλ. χρησιμοποιούνται ευρέως για λόγους θεραπευτικούς και για λόγους αισθητικής στα κέντρα θαλασσοθεραπείας, ευεξίας και χαλάρωσης, γνωστά και ως SPA.

Η προσθήκη μακροφυκών στη δίαιτα των ανθρώπων προσθέτει ιοδίνη, μέταλλα και βιταμίνες που βοηθούν τις εγκύους γυναίκες και τη γρήγορη ανάπτυξη των παιδιών, ακόμα και σε κοινωνίες με ισόρροπη κάλυψη των διατροφικών τους αναγκών. Βέβαια, υπάρχει και άηλος τρόπος προσθήκης αυτών των στοιχείων στην ανθρώπινη διατροφή μέσω των ήδη διαδεδομένων τροφών. Δηλαδή, η χρησιμοποίηση των μακροφυκών στις ζωοτροφές και στα λιπάσματα των φυτών που παράγουν εδώδιμα προϊόντα.

Η δυνατότητα των μακροφυκών να αξιοποιούν άλατα του αζώτου και του φωσφόρου, που περιέχονται στα απόβλητα της ιχθυοκαλλιέργειας, στην αύξηση της βιομάζας τους, καθώς και η δυνατότητά τους να βιορροφούν βαρέα μέταλλα, όπως του χαλκού, καδμίου, μόλυβδου κτλ. έδωσε τη δυνατότητα να αξιοποιηθούν σε συστήματα ολοκληρωμένης υδατοκαλλιέργειας (IMTA) και σε συστήματα βιολογικού καθαρισμού. Σε ένα πρόσφατο Ευρωπαϊκό ερευνητικό πρόγραμμα (SEAPURA) με αντικείμενο την καινοτόμα αξιοποίηση της βιομάζας των μακροφυκών των συστημάτων IMTA, προέκυψε ότι 5 από τα 26 είδη που καλλιιεργήθηκαν έδειξαν έντονη αντιβακτηριακή δράση εναντίον ιχθυοπαθογόνων βακτηρίων και έτσι εν δυνάμει μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην προστασία από αρρώστιες των καλλιεργούμενων ψαριών. Μάλιστα, η χρησιμοποίηση των μακροφυκών ως βιοφίλτρων σε κλειστά κυκλώματα υδατοκαλλιέργειας προσφέρει ένα επιπλέον κέρδος αφού συμβάλλει στη βελτίωση της υγείας των ψαριών και στην αποφυγή θανάτων.

Το ενδιαφέρον για διατροφή με μακροφύκη δεν περιορίζεται μόνο στον άνθρωπο αλλά επεκτείνεται και στα ζώα. Για παράδειγμα, η καλλιέργεια φυτοφάγων ζωικών οργανισμών, όπως ο κοινός αινός και το αυτί της θάλασσας (*haliotis*), απαιτούν διατροφή με μακροφύκη. Επιπλέον, μεγάλο ενδιαφέρον υπάρχει για αντικατάσταση μέρους των ζωικών πρωτεϊνών στις ιχθυοτροφές με φυτικές πρωτεΐνες. Πειράματα έδειξαν ότι η αντικατάσταση μέχρι το 10% των πρωτεϊνών των ιχθυαλεύρων με πρωτεΐνες των ειδών *Gracilaria bursa pastoris* και *Ulva rigida* δεν έχει καμιά αρνητική επίπτωση στην αύξηση, κατανάλωση τροφής ή σύνθεση της σάρκας των ψαριών.

Σε ορισμένα υδάτινα οικοσυστήματα η περιβαλλοντική υποβάθμιση είναι τόσο μεγάλη ώστε ακόμη και αν εκλείψει η περιβαλλοντική διαταραχή δεν μπορούν να επανακάμψουν από μόνα τους σε ορατό χρονικό ορίζοντα. Έτσι, εφαρμόζεται κάποιος βιοχειρισμός (bio-manipulation), δηλαδή προσθήκη ή αφαίρεση συγκεκριμένων οργανισμών από το σύστημα. Η ιδέα της καλλιέργειας εμπορικών

μακροφυκών του γένους *Porphyra* και *Gracilaria* σε εύτροφες λιμνοθάλασσες, αποτελεί μια τεχνική βιοχειρισμού που εφαρμόζεται στο εξωτερικό.

Τελευταία, η ανάγκη για εξεύρεση νέων πηγών ενέργειας, έχει ωθήσει τους επιστήμονες στην εξέταση της δυνατότητας αξιοποίησης των μακροφυκών στην παραγωγή βιοκαυσίμων.

2.2. Ελληνική εμπειρία

Στην Ελλάδα, η καλλιέργεια και η οικονομική αξιοποίηση των ενδημικών μακροφυκών είναι σχεδόν άγνωστη. Αυτή η παρατήρηση αποκτά μεγαλύτερη βαρύτητα αν σκεφθεί κανείς ότι πρόκειται για μια χώρα της Μεσογείου με μεγάλη ανάπτυξη άλλων μορφών υδατοκαλλιέργειας, όπως ιχθυοκαλλιέργεια, μυδοκαλλιέργεια κλπ. Στις περιπτώσεις που απαιτούνται προϊόντα που προέρχονται από την επεξεργασία των μακροφυκών, π.χ. υγρό βιολογικό λίπασμα για τα θερμοκήπια, άγαρ για τη μικροβιολογία και για τη βιομηχανία τροφίμων και καλλυντικών, αυτά εισάγονται από το εξωτερικό. Επιπλέον, ελάχιστες προσπάθειες έχουν πραγματοποιηθεί για τη μείωση των φορτίων διαφόρων αποβλήτων με αυξημένες ποσότητες θρεπτικών αλάτων (π.χ. απόβλητα ιχθυοκαλλιέργειας) με στόχο την προστασία του περιβάλλοντος.

Η συμμετοχή των μακροφυκών στη δίαιτα των Ελλήνων είναι πολύ μικρή έως μηδαμινή. Εξάιρεση αποτελεί το γηγενές είδος *Polysiphonia* sp., το οποίο τρώγεται στην περιοχή των Χανίων της Κρήτης. Η επονομαζόμενη από τους ντόπιους «σαλάτα του γιαλιού», συλλέγεται την άνοιξη με το χέρι από τις ακτές του Σφιναρίου Κισσάμου (Νομός Χανίων) και στη συνέχεια ακολουθεί πλύσιμο με θαλασσινό νερό και τοποθέτηση σε δοχεία με ξύδι. Στα πιάτα προσφέρεται με την προσθήκη ρίγανης και ελαιολάδου αποτελώντας έναν ακόμη κρητικό μεζέ για τη ρακή.

Έχοντας υπόψη τη σύγχρονη τάση των καταναλωτών, σε τοπικό, ευρωπαϊκό αλλά και διεθνές επίπεδο, για κατανάλωση υγιεινών και εξωτικών ειδών διατροφής, πιστεύουμε ότι η κατανάλωση μακροφυκών στη χώρα μας θα αυξάνει συνεχώς. Σήμερα, σε ορισμένα ασιατικά εστιατόρια, π.χ. Κινέζικα, προσφέρεται τροφή, όπως το sushi, που έχει ως συστατικό είδη του γένους *Porphyra* (Εικ. 5). Κατά κύριο λόγο χρησιμοποιείται σαν περιτύλιγμα του ρυζιού, κάτι σαν τα ελληνικά αμπελόφυλλα στα «γιαπράκια».



Εικόνα 2. Παραγωγή, επεξεργασία και προϊόντα άγαρ στην Απω Ανατολή (φωτο: διαδίκτυο).
 Figure 2. Agar production, process and products in the Far East (photo: internet).



Εικόνα 3. Προϊόντα από μακροφύκη για ανθρώπινη διατροφή και καλλιέργεια φυτών (φωτο: διαδίκτυο).
 Figure 3. Seaweed products for food and fertilization (photo: internet).



Εικόνα 4. Προϊόντα από μακροφύκη στην Ελληνική αγορά (φωτο: διαδίκτυο).
 Figure 4. Seaweed products in the Greek market (photo: internet).



Εικόνα 5. Το γνωστό σε όλους μας sushi φτιαγμένο από Porphyra, νωπό ψάρι και ρύζι (φωτο: διαδίκτυο).
 Figure 5. Well known sushi from Porphyra, fresh fish and rice (photo: internet).





3. Προοπτικές αξιοποίησης των μακροφυκών στην Ελλάδα

Με δεδομένο το εμπορικό ενδιαφέρον και την Ευρωπαϊκή νομοθεσία για την προστασία του περιβάλλοντος, η οικονομική αξιοποίηση των μακροφυκών στη χώρα μας, είτε αυτοτελώς, είτε ως κομμάτι της υπάρχουσας ιχθυοκαλλιέργειας, είναι αναγκαία και προϋποθέτει την ύπαρξη: α) κατάλληλου φυσικού περιβάλλοντος, β) γηγενών ειδών με εμπορικό ενδιαφέρον, γ) τεχνολογία προσαρμοσμένη στις τοπικές συνθήκες.

3.1. Φυσικό Περιβάλλον

Με τον όρο κατάλληλο φυσικό περιβάλλον, εννοούμε την ύπαρξη υδάτινων θαλάσσιων ή υφάλμυρων οικοσυστημάτων, στα οποία οι κυριότεροι φυσικοχημικοί παράμετροι του νερού ευνοούν την αύξηση των μακροφυκών.

Το παράκτιο περιβάλλον της χώρας μας παρουσιάζει έντονο διαμελισμό, π.χ. κλειστούς κόλπους, δέλτα ποταμών και λιμνοθάλασσες, με διαφορετικές συνθήκες αλατότητας και τροφισμού. Αποτέλεσμα είναι η δημιουργία πολλών υδάτινων αβαθών μικροπεριβαλλόντων, τα οποία σε συνδυασμό με τις ευνοϊκές κλιματικές παραμέτρους, π.χ. ακτινοβολία, θερμοκρασία, δημιουργούν κατάλληλες προϋποθέσεις για την καλλιέργεια των μακροφυκών. Ως απόδειξη της παραπάνω υπόθεσης αποτελεί το γεγονός ότι σημαντικά αποθέματα εμπορικών μακροφυκών, ιδιαίτερα των ειδών του γένους



Εικόνα 6. Πληθυσμιακή έκρηξη των μακροφυκών *Ulva*, *Porphyra* και *Punctaria* στις εσωτερικές ακτές του Κόλπου Θεσσαλονίκης.
Figure 6. An *Ulva*, *Porphyra* and *Punctaria* bloom in the inner Thessaloniki Gulf.



Εικόνα 7. Πληθυσμιακή έκρηξη του χλωροφύκου *Ulva* στη λιμνοθάλασσα Βάσσοβα, του Δέλτα του Νέστου.
Figure 7. *Ulva* bloom in the Vassova lagoon, Nestos Delta.



Εικόνα 8. Πληθυσμιακή έκρηξη του ροδοφύκου *Polysiphonia* στη λιμνοθάλασσα Αγίασμα, του Δέλτα του Νέστου.
Figure 8. *Polysiphonia* bloom in Agiasma lagoon, Delta Nestos.

Porphyra, *Gracilaria*, *Ulva*, *Chondracanthus*, έχουν μέχρι τώρα βρεθεί στους Κόλπους Θεσσαλονίκης και Καβάλλας καθώς και στις λιμνοθάλασσες του Δέλτα του Νέστου (Εικόνες 6-8). Το γεγονός αυτό μάλλον οφείλεται στο συνδυασμό της ύπαρξης ρηχών και προστατευμένων ακτών, με κατάλληλες θερμοκρασίες, αλιαιότητα και περίσσεια θρεπτικών αλάτων.

Με βάση τη διεθνή εμπειρία, κατάλληλοι χώροι για την καλλιέργεια των μακροφυκών είναι και οι χώροι κοντά στους κλωβούς της ιχθυοκαλλιέργειας ή στις μονάδες μυδοκαλλιέργειας, όπου παρατηρείται συγκέντρωση θρεπτικών αλάτων εξαιτίας των ζωικών απεκκριμάτων και της ιχθυοτροφής που δεν καταναλώνεται.



Εικόνα 9. Ενδιάστημα και θαλλός του είδους *Cystoseira crinitophylla* των Ελληνικών ακτών.
Figure 9. Habitat and thallus of *Cystoseira crinitophylla* in the Greek coasts.



Εικόνα 10. Το φαιοφύκος *Cystoseira compressa* από τον Κόλπο Καβάλας.
Figure 10. The brown alga *Cystoseira compressa* from Kavala Gulf.

3.2. Γηγενή είδη με εμπορικό ενδιαφέρον (ενδεικτικά)

3.2.1. Το γένος *Cystoseira* (φαιοφύκος)

Η *Cystoseira* είναι ένα από τα πιο χαρακτηριστικά και ευμεγέθη γένη μακροφυκών που ζουν στη Μεσόγειο Θάλασσα (Εικόνες 9, 10). Τα είδη αναπτύσσονται με χαρακτηριστικό δίσκο προσκόλλησης σε βραχώδη υποστρώματα, σε βάρη μέχρι περίπου 10 μ., σχηματίζοντας υποθαλάσσια λιβάδια, τα οποία αποτελούν βασικό ενδιαίτημα για πολλά επίφυτα, ασπόνδυλα και ψάρια. Οι θαλλοί των ειδών του γένους *Cystoseira* είναι γενικά παρεγχυματικοί, καφέ απόχρωσης, με τα κύτταρα να χωρίζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να σχηματίζουν ένα σαρκώδες ιστό.

Περισσότερα από 15 είδη αναπτύσσονται στις ακτές της Ελλάδας μεταξύ αυτών τα είδη *Cystoseira barbata*, *C. crinitophylla* και *C. compressa*. Η *Cystoseira barbata* αναπτύσσεται σε υπήνεμες περιοχές, όπως κλειστοί κόλποι και λιμνοθάλασσες, η *C. crinitophylla* σχηματίζει πυκνά λιβάδια σε προστατευμένες μέχρι ημι-εκτεθειμένες περιοχές, ιδιαίτερα του Βορείου Αιγαίου και η *C. compressa* αναπτύσσεται σε περιοχές μετρίου μέχρι υψηλού υδροδυναμισμού.

Η οικονομική αξία των ειδών του γένους *Cystoseira* σχετίζεται με την παραγωγή αλγινικών οξέων, ζωοτροφών και λιπασμάτων. Εξαιτίας των πολυσακχαριτών τους η ξηρή βιομάζα τους μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βιοφίλτρο βαρέων μετάλλων. Επιπλέον, οι χαμηλού μοριακού βάρους θειωμένοι υδρογονάνθρακες που περιέχουν λειτουργούν ως σύνδεσμοι μυστατίνης συμβάλλοντας στην αύξηση των μυών των αθλητών. Εκχυλίσματα *Cystoseira* βρίσκουν και άλλες εφαρμογές όπως στα αντι-φλεγμονώδη φάρμακα, στη μείωση της συνολικής και LDL χοληστερόλης και στην αναστολή της αύξησης του ιού του έρπητος (HSV-1).



Εικόνα 11. Συλλογή της *Gracilaria* στη Χιλή.
Figure 11. *Gracilaria* collection in Chile.

3.2.2. Το γένος *Gracilaria* (ροδοφύκος)

Τα είδη του γένους *Gracilaria* θεωρούνται ιδιαίτερης οικονομικής αξίας, καθώς είναι η κύρια πηγή παραγωγής του πολυσακχαρίτη άγαρ, του ακριβότερου φυκοκολληοειδούς στη βιομηχανία τροφής. Επίσης, είδη του γένους τρώγονται ωμά σε σαλάτες ή μαγειρεμένα με λαχανικά ή μετατρέπονται σε ζωοτροφές και λίπασμα. Η καλλιέργεια των ειδών του γένους γίνεται με διάφορες τεχνικές σε πολλές χώρες, ιδιαίτερα της νοτίου Αμερικής και της Άπω Ανατολής (Εικ. 11). Ο λόγος είναι ότι η ολόένα αυξανόμενη ζήτηση του άγαρ έχει οδηγήσει σε εξάντληση τους φυσικούς πληθυσμούς.

Το είδος *Gracilaria gracilis* (παλαιότερα γνωστό και ως *G. verrucosa*) είναι ένα από τα καλλιεργούμενα είδη με ευρεία εξάπλωση στον κόσμο. Ο θαλλός του έχει θαμπό ιώδες χρώμα και αποτελείται από κυλινδρικές ακανόνιστες διακλαδώσεις, πυκνές ή αραιές, με οξυμμένες κορυφές (Εικ. 12). Το είδος αναπτύσσεται με σχετική αφθονία σε κλειστούς κόλπους στην Ελλάδα, όπως στον Κόλπο της Θεσσαλονίκης.

Το είδος *Gracilaria bursa-pastoris* αναπτύσσεται σε τούφες, όπου οι ελαφρώς πεπιεσμένοι θαλλοί του σχηματίζουν πολλές διχλωτές ή εναλλάξ, σπάνια αντίθετες, διακλαδώσεις (Εικ. 13). Στη χώρα μας αναπτύσσεται κυρίως σε κλειστούς κόλπους και ιδιαίτερα στις λιμνοθάλασσες, όπου οι συγκεντρώσεις θρεπτικών στοιχείων και η θερμοκρασία του νερού είναι υψηλές.

Αν και από τα δύο είδη παράγονται σημαντικές ποσότητες του πολυσακχαρίτη άγαρ, υψηλότερης συνεκτικότητας πηκτής και έτσι ποιότητας είναι αυτό του είδους *G. gracilis*.



Εικόνα 12. Το ροδοφύκος *Gracilaria gracilis* (φωτο: Algaebase).
Figure 12. The red alga *Gracilaria gracilis* (photo: Algaebase).



Εικόνα 13. Το ροδοφύκος *Gracilaria bursa-pastoris* στις λιμνοθάλασσες του Δέλτα του Νέστου.
Figure 13. The red alga *Gracilaria bursa-pastoris* from Delta Nestos lagoons.

3.2.3. Το γένος *Porphyra* (ροδοφύκος)



Εικόνα 14. Το ροδοφύκος *Porphyra rosenгурttii* από τον Κόλπο Καβάλας.
Figure 14. The red alga *Porphyra rosenгурttii* from Kavala Gulf.

Το γένος *Porphyra* είναι από τα μεγαλύτερα της κλάσης των ροδοφυκών, με περί τα 115 διεθνώς αναγνωρισμένα είδη. Η καλλιέργειά τους αποτελεί μια από τις περισσότερο κερδοφόρες βιομηχανίες υδατοκαλλιέργειας στον κόσμο. Σε πολλές ασιατικές χώρες, όπως Κίνα και Ιαπωνία, αποξηραίνεται (κοινά ονόματα nori, zakai, kim, karengo, sloke) για να χρησιμοποιηθεί ως περιτύλιγμα στο γνωστό σε όλους sushi, που αποτελεί σημαντικό μέρος της διατροφής τους. Είναι ιδιαίτερα υψηλής διατροφικής αξίας γιατί περιέχει πολύ υψηλές συγκεντρώσεις πρωτεΐνης (έως 47%, υψηλότερη από σόγια), βιταμινών (C υψηλότερη από πορτοκάλι, A υψηλότερη από καρότο, B12 στην ενεργή της μορφή), λιπιδίων (2-3%, 50% ακόρεστα), ιχνοστοιχείων (ιώδιο, κάλιο, σίδηρος, ψευδάργυρος, μαγγάνιο, σελήνιο, χαλκός και μαγνήσιο), ασβεστίου και φωσφόρου.



Εικόνα 15. *Porphyra rosengurtii* σε συνθήκες κατάδυσης και ανάδυσης στις ακτές του κόλπου Καβάλας.
Figure 15. Submerged and emerged *Porphyra rosengurtii* in the Kavala Gulf.

Στις ακτές της χώρας μας έχουν αναγνωρισθεί δύο μονοστρωματικά είδη, το είδος *Porphyra rosengurtii* (Εικ. 14) και το είδος *P. olivii* (Εικ. 16). Το πρώτο είδος αναφέρεται για πρώτη φορά στη Μεσόγειο Θάλασσα και αναπτύσσεται στον κόλπο της Καβάλας, ενώ το δεύτερο είδος αποτελεί νέο είδος για την επιστήμη και έχει βρεθεί μέχρι τώρα στον κόλπο της Θεσσαλονίκης. Η φυλλοειδής φάση του είδους *P. rosengurtii* είναι χρώματος πορφυρού και έχει σχήμα υποκυκλικό προς επίμυκτες, επιμέρους δαντελωτό με κυματιστές άκρες. Απαντάται σε βραχώδεις ακτές στη μεσοπαραλιακή ζώνη και ως τα όρια της υποπαραλιακής (Εικ. 15), καθώς και ως επίφυτο στα είδη *Corallina caespitosa* και *Cystoseira crinitophylla*. Η φυλλοειδής φάση του είδους *P. olivii* είναι καφε-κόκκινη με χροιά πράσινου της ελιάς ή καφεκόκκινη μέχρι βιοηετί. Έχει σχήμα στρογγυλό μέχρι ευρύ ελλειψοειδές ή ωοειδές, χωρίς περικοπές. Η φυλλοειδής φάση και των δύο ειδών αναπτύσσεται στη φύση το χειμώνα και την άνοιξη, με κύρια αυξητική περίοδο αρχές Μαρτίου μέχρι μέσα Απριλίου.



Εικόνα 16. Το ροδοφύκος *Porphyra olivii* από τις ακτές του Κόλπου Θεσσαλονίκης.
Figure 16. The red alga *Porphyra olivii* from Thessaloniki Gulf.



Εικόνα 17α. Το ροδοφύκος *Chondracanthus teedei* σε μεγέθυνση.
Figure 17a. Close-up view of the red alga *Chondracanthus teedei*.

3.2.4. Το γένος *Chondracanthus* (ροδοφύκος)



Εικόνα 17β. Το ροδοφύκος *Chondracanthus teedei* από τις ακτές του Κόλπου Θεσσαλονίκης.
Figure 17b. The red alga *Chondracanthus teedei* from Thessaloniki Gulf.

Τα είδη του γένους *Chondracanthus*, παλαιότερα γνωστά και ως *Gigartina*, συνήθως έχουν κυλινδρικό θαλήλο με αδρές ακανόνιστες διακλαδώσεις, στην επιφάνεια των οποίων υπάρχουν μικροσκοπικοί άκανθες (Εικόνες 17α,β). Θεωρούνται είδη ιδιαίτερης οικονομικής αξίας, γιατί από αυτά παράγεται ο πολυσακχαρίτης καρραγενάνη. Σε μερικές ασιατικές χώρες είδη αυτού του γένους χρησιμοποιούνται και ως τροφή, αλλά και ως συμπλήρωμα τροφής, γιατί οι θειωμένοι πολυσακχαρίτες που περιέχει συμβάλλουν στην καλή λειτουργία του ανοσοποιητικού συστήματος. Δύο είδη είναι γνωστά στην Ελλάδα, το είδος *C. teedei*, το οποίο σχηματίζει σημαντικούς πληθυσμούς στον όρμο της Θεσσαλονίκης και το είδος *C. acicularis*, το οποίο σε μικρές ποσότητες αναπτύσσεται σε όλη σχεδόν τις ακτές της χώρας.

3.2.5. Το γένος *Asparagopsis* (ροδοφύκος)

Είδος με χαρακτηριστικό ετερόμορφο κύκλο ζωής. Συγκεκριμένα, η γαμετοφυτική φάση έχει μορφή θάμνου, ο οποίος σχηματίζεται από κυλινδρικούς, αδρής διακλάδωσης θαλήλους, ενώ η τετρασποριοφυτική του φάση είναι νηματοειδής, τρισίφωνος, γνωστή ως *Falkenbergia* (Εικ. 18). Ενώ η γαμετοφυτική φάση είναι σκιοφιλή και αναπτύσσεται σε σκιερούς βράχους ή πιο συχνά σε σπήλαια, η τετρασποριοφυτική φάση είναι κυρίως επιφυτική, συχνά επιπλέει ελεύθερα στην επιφάνεια της θάλασσας, και σπάνια επιλιθική. Εκχυλίσματα της φάσης *Asparagopsis* χρησιμοποιούνται στις βιομηχανίες φαρμάκων και καλλυντικών γιατί περιέχουν πολλά βιοενεργά συστατικά, κατά κύριο λόγο θειωμένους πολυσακχαρίτες που περιέχουν ομάδες ιωδίου και βρωμίου, με έντονη αντιμικροβιακή και αντιμυκητιακή δράση.

Η φάση *Falkenbergia* εξαιτίας της ταχείας της αύξησης και της σπάνιας αναπαραγωγής της χρησιμοποιείται ως βιοφίλτρο θρεπτικών αλάτων στα συστήματα ΙΜΤΑ. Μάλιστα η δυνατότητά της να απορροφάει το άζωτο των αμμωνιακών αλάτων είναι διπλάσια από αυτή των ειδών της *Ulva*.



Εικόνα 18. Η γαμετοφυτική και τετρασποριοφυτική φάση του είδους *Asparagopsis* (φωτο: Κ. Τσιάμης).

Εικόνα 18. Gametophytic and tetrasporiophytic phase of *Asparagopsis* (photo: K. Tsiamis).



Εικόνα 19. Το χλωροφύκος *Ulva*, γνωστό και με το κοινό όνομα μαρούλι της θάλασσας.
Figure 19. The green alga *Ulva*, known as sea lettuce.



Εικόνα 20. Θαλλοί του είδους *Ulva* παραμένουν εκτεθειμένοι στον αέρα κατά τη διάρκεια της άμπωτης.
Figure 20. Emerged *Ulva* thalli at low tide.



Εικόνα 20. Το είδος *Sargassum vulgare*. Από τα μεγαλύτερα φαιοφύκη των ακτών της Μεσογείου Θάλασσας.
Εικόνα 20. *Sargassum vulgare*: one of the biggest brown algae in Mediterranean coasts.

3.2.6. Το γένος *Ulva* (χλωροφύκος)

Τα είδη του γένους *Ulva* είναι λεπτά, συνήθως φυλλοειδή, έντονου πράσινου χρώματος (μαρούλι της θάλασσας), τα οποία στη βάση τους φέρουν δίσκο προσκόλλησης (Εικ. 19). Είναι από τα πλέον γνωστά διεθνώς μακροφύκη, τα οποία αναπτύσσονται σε λιμνοθαλάσσια ή υπήνεμα μέχρι ενδιάμεσα εκτεθειμένα θαλάσσια ύδατα, σε βράχια και σε άλλα στερεά υποστρώματα ή επιπλέουν ελεύθερα στη στήλη του νερού (Εικ. 20). Στην Ελλάδα υπάρχουν περισσότερα από 20 είδη (περιλαμβάνονται τα είδη του γένους *Enteromorpha*) τα οποία αναπτύσσονται την άνοιξη και το καλοκαίρι, σε ευνοϊκές συνθήκες φωτός και θρεπτικών αλάτων ή σχεδόν όλο το χρόνο σε εύτροφα υποβαθμισμένα οικοσυστήματα (δείκτες ευτροφισμού). Χρησιμοποιούνται νωπά στη διατροφή, σε σούπες και σαλάτες, κυρίως στην Άπω Ανατολή, Κίνα και Ιαπωνία, αλλά και στην Ευρώπη, όπως Σκωτία, Ιταλία κτλ. Επίσης χρησιμοποιούνται με τη μορφή σκόνης σε διάφορα τρόφιμα. Τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιούνται και στην «ολοκληρωμένη υδατοκαλλιέργεια» ως βιοφίλτρα θρεπτικών αλάτων.

Άλλα είδη με οικονομική αξία ανήκουν στα γένη *Sargassum* (Εικ. 21), *Scytosiphon* (Εικ. 22), *Dictyopteris* (Εικ. 23), *Dictyota* (Εικ. 24), *Padina* (Εικ. 25), *Cladophora* (Εικ. 26).



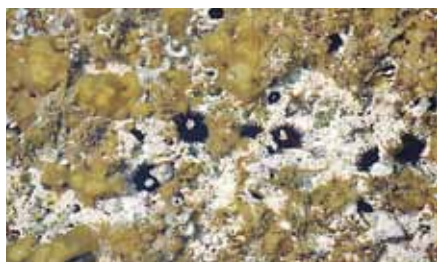
Εικόνα 22. Το φαιοφύκος *Scytosiphon lomentaria* στην ανώτερη υποπαράλιτική ζώνη των βραχώδων ακτών την άνοιξη.
Figure 22. The brown alga *Scytosiphon lomentaria* in the upper sublittoral zone of rocky coast during spring.



Εικόνα 23. Το φαιοφύκος *Dictyopteris membranacea*. Η εμφάνιση και η μυρωδιά του ξεχωρίζουν στις βραχώδεις ακτές της Μεσογείου Θάλασσας (φωτο: Κ. Τσιμίης).
Figure 23. The brown alga *Dictyopteris membranacea*. An alga of the Mediterranean coasts with distinctive appearance and smell (photo: K. Tsimiis).



Εικόνα 24. Το φαιοφύκος *Dictyota dichotoma* την άνοιξη.
Figure 24. The brown alga *Dictyota dichotoma* during spring.



Εικόνα 25. Τα φαιοφύκη *Padina pavonica* και *Colpomenia peregrina* μαζί με αχινούς στη φύση.
Figure 25. The brown algae *Padina pavonica* and *Colpomenia peregrina* with sea urchins in the field.



Εικόνα 26. Το κλωροφύκος *Cladophora*. Τα τελευταία χρόνια κυριαρχεί την περίοδο του καλοκαιριού σε πολλές ακτές της Μεσογείου Θάλασσας.
Figure 26. The green alga *Cladophora*. A dominant species in several Mediterranean coasts during summer.





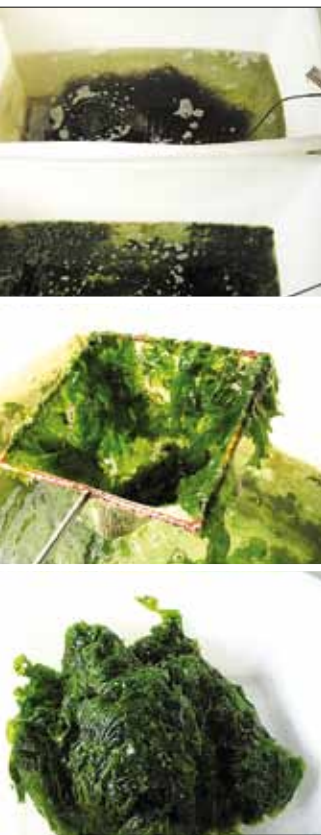
3.3. Τεχνολογίες με δυνατότητες προσαρμογής στις τοπικές συνθήκες

Η τεχνολογία της καλλιέργειας των μακροφυκών χωρίζεται σε δύο βασικούς τομείς: α) την καλλιέργεια σε κλίμακα εργαστηρίου, β) τη μαζική καλλιέργεια.

Ο πρώτος τομέας αφορά τη μελέτη της μορφολογίας, οικοφυσιολογίας, του κύκλου ζωής και της καλλιέργειάς τους σε διάφορα θρεπτικά μέσα κάτω από απόλυτα ελεγχόμενες συνθήκες. Απώτερος σκοπός είναι η εύρεση ή η δημιουργία καλλιιεργούμενων στελεχών με γρήγορη αύξηση (ταχυσυζή), μέσω της απομόνωσης θαλλών από φυσικούς πληθυσμούς, ή από υβριδισμό μεταξύ φυσικών στελεχών ή με μεθόδους μοριακής βιολογίας. Η τεχνονογασία γι' αυτό το κομμάτι της καλλιέργειας των μακροφυκών είναι εν μέρει γνωστή στα εξειδικευμένα Εργαστήρια Θαλάσσιας Βοτανικής της χώρας μας. Ένα από αυτά, που σχεδιάστηκε από την αρχή για την πραγματοποίηση έρευνας σε αυτό τον τομέα, είναι το εργαστήριο «Θαλάσσιας Οικολογίας & Τεχνολογίας» του ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε. - ΙΝ.ΑΛ.Ε. (Εικόνες 27-29).

Ο δεύτερος τομέας αφορά την καλλιέργεια των μακροφυκών σε μεγάλη κλίμακα στην ανοιχτή θάλασσα (open sea) και σε χερσαίες εγκαταστάσεις, δηλ. δεξαμενές (tanks), λιμνοδεξαμενές (ponds). Η τεχνολογία εντατικής καλλιέργειας των μακροφυκών σε δεξαμενές ή λιμνοδεξαμενές είναι, σε σχέση με την ευρέως διαδεδομένη καλλιέργεια στην ανοιχτή θάλασσα (Εικόνες 30-31), σχετικά νέα. Τα συγκριτικά πλεονεκτήματά της έχουν να κάνουν με την εν δυνάμει υψηλή απόδοση, τη δυνατότητα καλύτερου ελέγχου και εκμηχάνισης της καλλιέργειας και τη δυνατότητα αξιοποίησης των μακροφυκών ως βιοφίλτρων σε διάφορους τύπους αποβλήτων, π.χ. απόβλητα ψαριών. Το μεγάλο τους μειονέκτημα είναι το υψηλό κόστος κατασκευής και λειτουργίας, λαμβάνοντας υπόψη ότι απαιτείται ενέργεια τόσο στην ανακίνηση ή άντληση του νερού, όσο και στην περίπτωση προσθήκης CO₂ και θρεπτικών αλάτων.

Παρακάτω δίνονται περιληπτικά ορισμένα χαρακτηριστικά της εντατικής καλλιέργειας σε χερσαίες εγκαταστάσεις, ως την «καταλληλότερη» τεχνολογία καλλιέργειας εμπορικών μακροφυκών στη Ελλάδα. Επιπλέον, δίνονται στοιχεία για τα συστήματα ΙΜΤΑ, ως μια νέα τεχνολογία με υψηλές προοπτικές, ιδιαίτερα για χώρες που οι καθαρές ακτές αποτελούν εθνικό κεφάλαιο.



Εικόνα 27. Μαζική καλλιέργεια μακροφυκών σε δεξαμενή 1 m³. Συλλογή και ζύγιση της καλλιιεργούμενης βιομάζας.
Figure 27. Mass seaweed cultivation in 1 m³ tanks. Biomass collection and weighting.



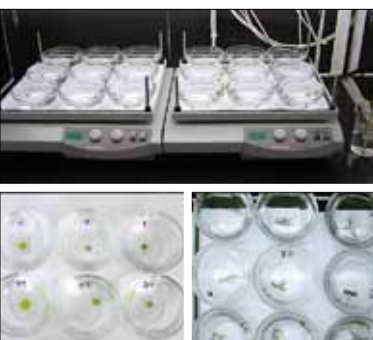
Εικόνα 28. Εγκαταστάσεις και όργανα υψηλής (PAM-Fluorometers) και συμβατικής (Οξυγονόμετρο) τεχνολογίας, για τη μέτρηση της φωτοσύνθεσης των θαλάσσιων φυκών (φυτοπλανκτό, μακροφύκη) και αγγειόσπερμων.

Figure 28. Infrastructure and conventional (oxygenmeter) and high-tech (PAM-Fluorometers) instruments to measure alga (phytoplankton, seaweeds) and seagrass photosynthesis.



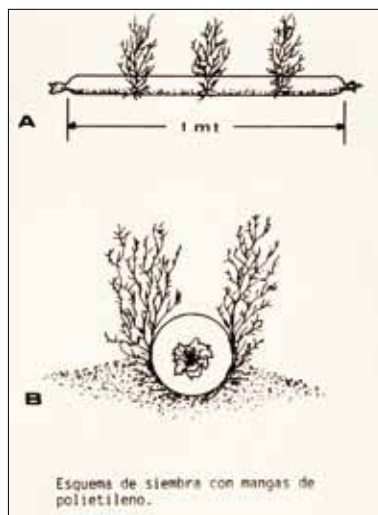
Εικόνα 30. Καλλιέργεια ανοιχτής θαλάσσης της Gracilaria στην Άνω Ανατολή.

Figure 30. Gracilaria cultivation in open sea in the Far East.



Εικόνα 29. Διάταξη γυάλινων δοχείων σε θάλαμο καλλιέργειας μακροφυκών για παραγοντικά πειράματα (2x3, 6 επαναλήψεις) προσδιορισμού των βέλτιστων συνθηκών φωτοσύνθεσης και αύξησης.

Figure 29. Glass incubators for factorial experiments (2x3, 6 replicates) to determine photosynthetic and growth optima.



Εικόνα 31. Μέθοδος καλλιέργειας του ροδοφύκου Gracilaria.

Figure 31. Cultivation method of the red alga Gracilaria.

3.3.1. Τεχνολογίες καλλιέργειας σε χερσαίες εγκαταστάσεις (δεξαμενές, λιμνοδεξαμενές)

Η καλλιέργεια των μακροφυκών σε χερσαίες εγκαταστάσεις, με βάση τη διεθνή εμπειρία, επηρεάζεται από διάφορες παραμέτρους που εμπίπτουν σε τρεις βασικές κατηγορίες: φυσικές, χημικές, βιολογικές.

Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν παράμετροι όπως, τα τεχνικά χαρακτηριστικά της δεξαμενής ή της λιμνοδεξαμενής, η κίνηση του νερού εντός των χώρων καλλιέργειας, οι ανταλλαγές νερού με τη θάλασσα, η θερμοκρασία, η αλιαιότητα, η ακτινοβολία. Στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν παράμετροι όπως, οι συγκεντρώσεις των θρεπτικών αλάτων, κατά κύριο λόγο του αζώτου, του φωσφόρου και του άνθρακα, αλλά και άλλων ιχθυοστοιχείων. Στην τρίτη κατηγορία ανήκουν παράμετροι όπως, η πυκνότητα της βιομάζας, οι επιμολύνσεις από επίφυτα, οι ζημιές από τη βόσκηση ζωικών οργανισμών, οι ασθένειες των φυκών, η επιλογή του κατάλληλου στελεχούς και η αναπαραγωγή των στελεχών κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας που έχει ως αποτέλεσμα το σταμάτημα της αύξησης ή την καταστροφή του θαλλού.

Η τεχνολογία αυτή είναι κυρίως γνωστή από χώρες όπως το Ισραήλ, όπου και έχει αποκτηθεί αξιόλογη εμπειρία, κυρίως για είδη των γενών *Gracilaria*, *Ulva* και *Porphyr*a (Εικ. 32). Μάλιστα, σύμφωνα με κάποιους υπολογισμούς, η καλλιέργεια αυτών των ειδών για παραγωγή βακτηριολογικού άγαρ και τροφής είναι οικονομικά βιώσιμη. Βέβαια, ακόμη υψηλότερες προοπτικές θα υπάρξουν στο μέλλον μέσω βιολογικών και τεχνολογικών βελτιώσεων. Ενώ η βιολογική βελτίωση πρέπει κυρίως να αφορά τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των καλλιεργούμενων στελεχών, η τεχνολογική βελτίωση πρέπει να αφορά τους τομείς της κίνησης του νερού και του κόστους κατασκευής των λιμνοδεξαμενών.



Εικόνα 32. Πειραματική μονάδα εντατικής καλλιέργειας μακροφυκών στο Ινστιτούτο Ωκεανογραφίας & Λιμνολογίας, στην Χάιφα του Ισραήλ. (φωτο: M. Friedlander).

Figure 32. Seaweed experimental farm including tanks and a small pond at Israel Oceanographic and Limnological Research (IOLR), Haif, Israel. (photo: M. Friedlander).



Εικόνα 33. Σύστημα ολοκληρωμένων υδατοκαλλιέργειας της εταιρίας SeaOr στο Μικχμορέτ του Ισραήλ (φωτο: διαδίκτυο).

Figure 33. A system of integrative multitrophic aquaculture (IMTA) of SeaOr company, Mikhmoret, Israel (photo: internet).

3.3.2. Συστήματα «ολοκληρωμένης πολυτροφικής υδατοκαλλιέργειας» (IMTA)

Το κυριότερο κόστος στις περισσότερες ιχθυοκαλλιέργειες και καλλιέργειες γαρίδας είναι η τροφή, το μεγαλύτερο μέρος της οποίας, ωστόσο, εκκρίνεται ως απόρριμμα στο νερό. Τα συστήματα IMTA έχουν προταθεί ως μια καινοτόμα και περιβαλλοντικά βιώσιμη λύση, γιατί τα απορρίμματα μεταποιούνται σε βιομάζα μακροφυκών (βιομετατροπή) και δεν διαλύονται στο περιβάλλον. Σε αυτή την πρακτική, η καλλιέργεια ψαριών συνδυάζεται με καλλιέργεια οστράκων και μακροφυκών, με σκοπό την ελαχιστοποίηση των αποβλήτων και έτσι την οικολογική διαχείριση. Αυτή η τεχνολογία μπορεί να εφαρμοστεί στην ανοιχτή θάλασσα, αλλά κυρίως σε χερσαίες εγκαταστάσεις, δίνοντας τη δυνατότητα παραγωγής 2-3 διαφο-

ρετικών προϊόντων από μια μονάδα υδατοκαλλιέργειας (Εικόνες 33, 34).

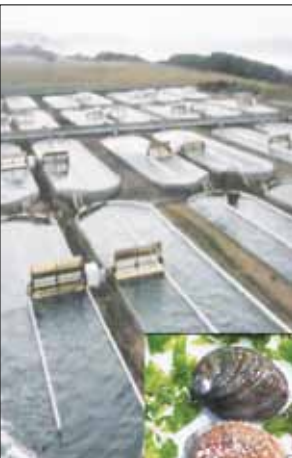
Δεν πρόκειται για μια καινούργια ιδέα, γιατί εφαρμόζεται εδώ και πολλούς αιώνες με το όνομα «πολυκαλλιέργεια» στην καλλιέργεια ψαριών γλυκού νερού σε χώρες της Ασίας. Σήμερα, στην Ευρώπη, όπου οι επιπτώσεις της υδατοκαλλιέργειας στο θαλάσσιο περιβάλλον είναι ορατές και η Οδηγία για τα Ύδατα 2000/60 προωθεί την ιδέα «ο ρυπαίων πληρώνει», αυτή η πρακτική αποτελεί υψηλής σημασίας ερευνητική προτεραιότητα και εναλλακτική λύση για την παραδοσιακή υδατοκαλλιέργεια.

Τα συστήματα IMTA μετριάζουν το κόστος της εντατικής καλλιέργειας μακροφυκών, τουλάχιστον ως προς το κόστος λίπανσης με θρεπτικά άλατα δίνοντας νέες προοπτικές στην αξιοποίηση της παραγόμενης βιομάζας. Τα είδη που μπορούν να αξιοποιηθούν σε αυτές τις πρακτικές ανήκουν κατά κύριο λόγο στα γένη *Ulva*, *Gracilaria*, *Porphyra*, *Cystoseira*, *Sargassum*, *Asparagopsis*, *Chondrocarpus*, *Dictyopteris* κτλ.

Παραδείγματα IMTA αποτελούν η αξιοποίηση των ειδών *Gracilaria* για τον καθαρισμό των αποβλήτων των ειδών *Sparus aurata* (τσιπούρα) και *Oncorhynchus mykiss* (ιριδίζουσα πέστροφα) στο Ισραήλ, με μια αναλογία βιομάζας ψαριού, μακροφύκους 1:1. Σε ένα παρόμοιο σύστημα χερσαίων δεξαμενών στη Χιλή, η *G. chilensis* αφομοίωνε το 50% του αμμωνίου των αποβλήτων των ψαριών το χειμώνα και το 90-95% την άνοιξη, δίνοντας παραγωγή 48,9 Kg νωπής βιομάζας $m^{-2} y^{-1}$. Σε αυτό το σύστημα καλλιέργειας δεν απαιτήθηκε η προσθήκη θρεπτικών και CO_2 , ενώ η αρχική πυκνότητα της βιομάζας ήταν 3 Kg νωπής βιομάζας m^{-2} και γίνονταν 10 αλληλαγές θαλασσινού νερού την ημέρα. Παρόμοια συστήματα σε πειραματικό στάδιο στη θάλασσα υπάρχουν στη Νορβηγία και στη Σκωτία, όπου ο σολομός καλλιεργείται μαζί με δίθυρα και κέλπιες (kelps, μεγάλα φαιοφύκη του Ατλαντικού) ή με το ροδοφύκος *Palmaria*. Άλλες Ευρωπαϊκές χώρες με πειραματικά συστήματα ολοκληρωμένης υδατοκαλλιέργειας είναι η Γαλλία, η Ισπανία και η Πορτογαλία. Τα τελευταία χρόνια γίνονται σοβαρές προσπάθειες για την ανάπτυξη αυτής της τεχνολογίας και στη γειτονική Τουρκία.

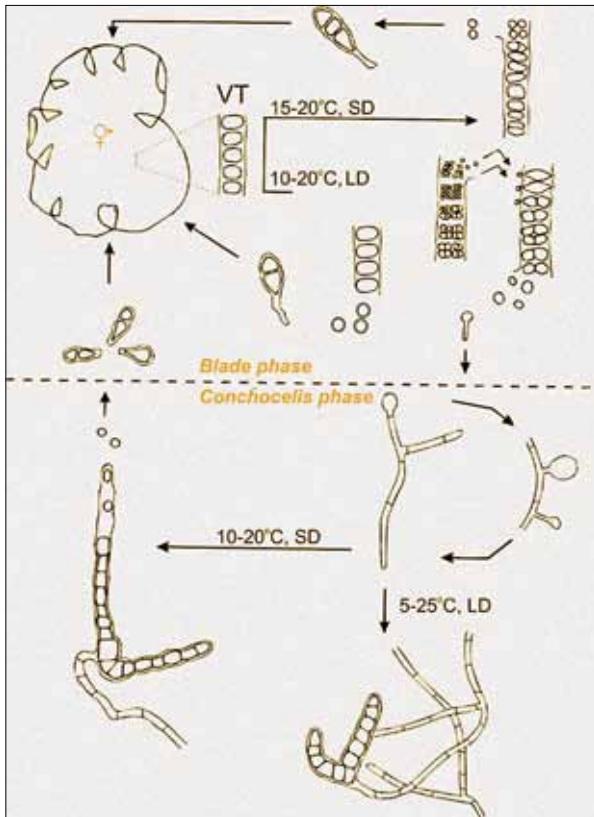
Σε γενικές γραμμές, η παραγωγή 1 Kg ψαριού, το οποίο έχει παραχθεί από 3 Kg τροφής, συνδυάζεται με την παραγωγή 3 Kg διθύρων και 7,8 Kg *Ulva*. Με άλλα λόγια, σε κάθε λιμνοδεξαμενή 100 m^{-2} απαιτούνται 50 m^{-2} δεξαμενής καθίζησης, 33 m^{-2} δεξαμενής δίθυρων και 42 m^{-2} δεξαμενής καλλιέργειας μακροφυκών. Άλλο μοντέλο προβλέπει ότι μια μονάδα χερσαίων εγκαταστάσεων έκτασης ενός εκταρίου μπορεί να παράγει 25 τόνους ψάρι, 50 τόνους δίθυρα και 30 τόνους νωπής βιομάζας μακροφύκους το χρόνο.

Συμπερασματικά, η τεχνολογία των IMTA, αν και βρίσκεται ακόμη σε ένα πειραματικό στάδιο, έχει πολύ καλές προοπτικές να αξιοποιηθεί εμπορικά, με την προϋπόθεση ότι θα μεγαλώσει με επιτυχία η κλίμακα εφαρμογής της και θα εφαρμοστεί η περιβαλλοντική νομοθεσία.



Εικόνα 34. Σύστημα ολοκληρωμένης υδατοκαλλιέργειας μακροφυκών και abalone στο Λονδίνο της Νότιας Αφρικής (φωτο: διαδίκτυο).

Figure 34. A system of integrative multitrophic aquaculture (IMTA) in London, South Africa (photo: internet).



Εικόνα 35. Κύκλος ζωής του είδους *Porphyra olivii*.
Figure 35. Life cycle of *Porphyra olivii*.

3.4. Εγχώριες τεχνολογίες υδατοκαλλιέργειας μακροφυκών

3.4.1. Καλλιέργεια *Porphyra* σε εργαστηριακές συνθήκες

Εργαστήριο Θαλάσσιας Οικολογίας & Τεχνολογίας ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε. - ΙΝ.ΑΛ.Ε.

Επιστημονικός Υπεύθυνος: Σ. Ορφανίδης, Αν. Ερευνητής

Για την επιτυχία της υδατοκαλλιέργειας των ειδών *Porphyra* στην Ελλάδα, αποτελεί προϋπόθεση η γνώση του κύκλου ζωής και της οικολογίας τους. Σύμφωνα με μακροχρόνιες έρευνες του εργαστηρίου (ξεκίνησαν το 1986) ο κύκλος ζωής των ειδών περιλαμβάνει μια εμφανή φυλλοειδή φάση, η οποία ανάλογα με τις συνθήκες φωτοπερίοδου και θερμοκρασίας εναλλάσσεται με μια μικροσκοπική νηματοειδή φάση, την *conchocelis* (Εικ. 35). Η αναπαραγωγή της *Porphyra* γίνεται κατά κύριο λόγο με σπόρια. Στο μακροσκοπικό θαλλό διακρίνονται, ανάλογα με το μέγεθος και την ανάπτυξη τους, τέσσερις διαφορετικοί τύποι σπορίων, αρχαιοσπόρια, ουδέτερα σπόρια, ζυγοσπόρια και σπερμάτια. Οι δύο πρώτες κατηγορίες εξυπηρετούν τον αγενή και οι δύο τελευταίες τον εγγενή πολλαπλασιασμό του είδους. Στη φάση *conchocelis* αναπτύσσονται δύο είδη σπορίων τα μονοσπόρια και τα καρποσπόρια που σχετίζονται με τον αγενή και εγγενή πολλαπλασιασμό του είδους, αντίστοιχα. Πειράματα οικολογίας έδειξαν ότι η βέλτιστη ανάπτυξη της φυλλοειδούς ή εμπορικής φάσης του είδους επιτυγχάνεται σε υψηλές συγκεντρώσεις θρεπτικών (>10 μM) και θερμοκρασίες χαμηλότερες των 20°C, ανεξαρτήτως τιμών αλατότητας, εύρους 26-35ppt.

Όλα τα παραπάνω αποτελέσματα δείχνουν ότι η καλλιέργεια της φυλλοειδούς φάσης των ειδών του γένους *Porphyra* είναι δυνατή, για τουλάχιστον 7 μήνες το χρόνο, στις λιμνοθάλασσες της Βόρειας Ελλάδας, γιατί η θερμοκρασία και οι συγκεντρώσεις θρεπτικών αλάτων φαίνονται να είναι ευνοϊκές (Εικ. 36). Προϋπόθεση αποτελεί η ύπαρξη κατάλληλων εγκαταστάσεων για την ελεγχόμενη αναπαραγωγή της φάσης *conchocelis*. Δυνατότητες καλλιέργειας υπάρχουν και σε συστήματα ολοκληρωμένης υδατοκαλλιέργειας χερσαίων εγκαταστάσεων.



Εικόνα 36. Βιομάζα του είδους *Porphyra rosengurtii* από τις ακτές του Κόλπου Καβάλας έτοιμη για επεξεργασία και τροφή.
Figure 36. *Porphyra rosengurtii* from Kavala coasts ready for process and consumption.

3.4.2. Αχινοί – Μακροφύκη: ένα πειραματικό σύστημα ολοκληρωμένης υδατοκαλλιέργειας

Εργαστήριο Θαλάσσιας Οικολογίας & Τεχνολογίας
ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε. - ΙΝ.ΑΛ.Ε.

Επιστημονικός Υπεύθυνος: Σ. Ορφανίδης, Αν. Ερευνητής



Εικόνα 37. Πειράματα για τον προσδιορισμό των τροφικών προτιμήσεων του εχινοδέρμου *Paracentrotus lividus* (αχινός).
Figure 37. Experimental aquaria for determination of trophic preferences of the echinoderm *Paracentrotus lividus* (sea urchin).

Ο κοινός αχινός *Paracentrotus lividus* (εχινοδερμο), είναι κατά κανόνα φυτοφάγο είδος, με τη διατροφή του να ποικίλει ανάλογα με το περιβάλλον και την εποχή. Αποτελεί εκλεκτό έδεσμα, με αποτέλεσμα οι πληθυσμοί του παγκοσμίως να απειλούνται με αφανισμό, γι' αυτό και τα τελευταία χρόνια προστατεύεται. Οι προσπάθειες καλλιέργειας του είδους αντιμετωπίζουν δύο βασικά μειονεκτήματα: τη δυσκολία εξεύρεσης - τουλάχιστο στη Μεσόγειο - φυτικής βιομάζας για τροφή, και την αργή ανάπτυξη του είδους.

Στόχος ήταν η απόκτηση γνώσης σχετικά με τις τροφικές προτιμήσεις του είδους, αλλά κυρίως η καλλιέργεια ειδών του γένους *Gracilaria* και *Ulva* σε λύματα του αχινού. Παρατηρήθηκε μεγάλη διακύμανση στις τροφικές προτιμήσεις του είδους ανάμεσα στα διάφορα είδη μακροφυκών που εξετάστηκαν, με μεγαλύτερη προτίμηση στα είδη *Ulva* sp. και *Gracilaria gracilis* (Εικ. 37). Στα πειράματα καλλιέργειας των ειδών *Gracilaria gracilis* και *Ulva* sp. σε λύματα του εχινοδέρμου παρατηρήθηκε ότι η βέλτιστη φωτοσυνθετική απόδοση και αύξηση των δύο ειδών παρατηρείται όταν το θρεπτικό μέσο αποτελείται από 30% λύματα αχινών και 70% θαλασσινό νερό.

Συμπερασματικά, η αξιοποίηση των λυμάτων των αχινών ως μέσο καλλιέργειας μακροφυκών μπορεί να συμβάλει στην εξεύρεση τροφής για τους ίδιους, αλλά και στην προστασία του περιβάλλοντος.

3.4.3. Χρήση μακροφυκών ως βιοφίλτρων για την απομάκρυνση ανόργανων θρεπτικών στοιχείων από αστικά απόβλητα βιολογικών καθαρισμών

Εργαστήριο Βοτανικής, Τμήμα Βιολογίας ΕΚΠΑ
Επιστημονικός Υπεύθυνος: Χ. Κατσαρός, Καθηγητής

Στόχος της έρευνας ήταν η εύρεση των κατάλληλων μακροφυκών, τα οποία θα καλλιεργούνται σε μίγμα θαλασσινού νερού και υγρών αποβλήτων βιολογικών καθαρισμών, από το οποίο θα απορροφούν τα θρεπτικά στοιχεία, κυρίως το φώσφορο και το άζωτο. Παράλληλα, η παραγόμενη βιομάζα θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε άλλες εφαρμογές, όπως η παραγωγή χαρτιού ή λιπάσματος.

Η μελέτη πραγματοποιήθηκε τόσο στο εργαστήριο, με πειράματα μικρής κλίμακας, όσο και στο πεδίο με πειράματα μέσης κλίμακας (Εικ. 38). Ως πεδίο της έρευνας επιλέχθηκαν τα λύματα του βιολογικού καθαρισμού της νήσου Ίος. Οι λόγοι αυτής της επιλογής ήταν ότι πρόκειται για καθαρά οικιστικά λύματα, δηλ. χωρίς προσμίξεις βιομηχανικών ή άλλων τοξικών αποβλήτων, και ήταν σχετικά μικρού όγκου. Έτσι, είναι ευκολότερη η διαχείρισή τους με αυτού του τύπου την τεχνολογία, εφόσον βέβαια μεγαλώσει η κλίμακα της επεξεργασίας με μακροφύκη.

Μετά από κατάλληλα προκαταρκτικά πειράματα, επελέγη το χλωροφύκος *Ulva* sp., το οποίο καλλιεργήθηκε σε μίγμα υγρού αποβλήτου: θαλασσινού νερού 60% : 40%, σε δεξαμενές συνεχούς ροής 1/4 όγκου/η και σε πυκνότητα 30 g/l μέσου. Η απορρόφηση φωσφορικών έφθασε το 50% ($0.062 \text{ mol PO}_4 \text{ g}^{-1}$ ξηρής βιομάζας d^{-1}) και διατηρήθηκε για τουλάχιστον 10 ημέρες. Η απορρόφηση νιτρικών μελετάται, ενώ παράλληλα εξετάζεται η επίδραση της χαμηλής αλατότητας στην κυτταρική δομή.



Εικόνα 38. Δεξαμενή καλλιέργειας εξωτερικού χώρου του χλωροφύκου *Ulva* στις εγκαταστάσεις του βιολογικού καθαρισμού της νήσου Ίου (φωτο: Χ. Κατσαρός).
Figure 38. Outdoor cultivation tank of the green alga *Ulva* in Ios Island waste treatment (photo: C. Katsaros).

3.4.4. Σύστημα εξυγίανσης οστρακοειδών

Τμήμα Έρευνας & Ανάπτυξης της εταιρίας ΝΕΑΡΧΟΣ

Επιστημονικός Υπεύθυνος: Κων/νος Κουκάρας (Βιολόγος, MSc-PhD)



Εικόνα 39. Σύστημα εξυγίανσης οστρακοειδών από βαρέα μέταλλα σε λειτουργία (φωτο: Κ. Κουκάρας).

Figure 39. A system to remove heavy metals from shellfish (photo: K. Koukaras).

Πρόκειται για ένα ολοκληρωμένο κλειστό κύκλωμα νερού το οποίο συνίσταται από μηχανικά, χημικά και βιολογικά μέρη, στα οποία επιτυγχάνεται η κατακράτηση και έτσι η απομάκρυνση των βαρέων μετάλλων από τα οστρακοειδή (Εικ. 39). Ένα από τα βασικά μέρη του συστήματος αποτελεί το φίλτρο μακροφυκών, που απαρτίζεται από μακροφύκη των γενών *Ulva* και *Gracilaria*.

Το καινοτόμο πλεονέκτημα του συγκεκριμένου συστήματος έγκειται στο γεγονός ότι μέσω της ανακυκλοφορίας και επεξεργασίας του νερού, με τη χρήση πολλαπλών μεθόδων, επιτυγχάνεται η απομάκρυνση των βαρέων μετάλλων από τα οστρακοειδή ως και 76% σε διάστημα μέχρι και 25 ημερών. Το προτεινόμενο σύστημα μπορεί να εγκατασταθεί οπουδήποτε και δύναται να προσαρτάται σε άηλο τύπου υφιστάμενα κλειστά ή ανοιχτά κυκλώματα νερού που χρησιμοποιούνται για την εξυγίανση (από υψηλό μικροβιακό φορτίο) ή την πάχυνση οστρακοειδών. Το σύστημα αποβολής βαρέων μετάλλων παρέχει το πλεονέκτημα των περιορισμένων απαιτήσεων σε χώρο και δεν απαιτεί τροφοληψία των οστρακοειδών, με αποτέλεσμα το μειωμένο κόστος παραγωγής. Η λειτουργία του συστήματος βελτιώνει τα μέσα που διασφαλίζουν τη δημόσια υγεία από την κατανάλωση οστρακοειδών και ενισχύει τον κλάδο της αλιείας και της υδατοκαλλιέργειας.

Έχει απονεμηθεί το υπ' αριθμ. 1006201 Δίπλωμα Ευρεσιτεχνίας από τον Οργανισμό Βιομηχανικής Ιδιοκτησίας και είναι σε εξέλιξη η απόδοση Διεθνούς Διπλώματος Ευρεσιτεχνίας.



Εικόνα 40. Υποθαλάσσιο λιβάδι του φαιοφύκου *Cystoseira crinitophylla* στον Κόλπο της Καβάλας.
Figure 40. Underwater meadow of the brown alga *Cystoseira crinitophylla* in Kavala Gulf.

3.4.5 Βιορρόφηση βαρέων μετάλλων σε αναγεννήσιμη, συνεχούς ροής, στήλη του μακροφύκου *Cystoseira*

Τμήμα Τεχνολογίας Πετρελαιοϋ & Φυσικού Αερίου, ΤΕΙ Καβάλας
Επιστημονικός Υπεύθυνος: Α. Χριστοφορίδης, Καθηγητής ΤΕΙ

Εργαστήριο Θαλάσσιας Οικολογίας & Τεχνολογίας
ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε. - ΙΝ.ΑΛ.Ε.
Επιστημονικός Υπεύθυνος: Σ. Ορφανίδης, Αν. Ερευνητής

Η ρύπανση του εδάφους και των υδάτων από τα βαρέα μέταλλα αποτελεί σήμερα ένα από τα μεγαλύτερα περιβαλλοντικά προβλήματα. Η χρήση βιολογικών καθαρισμών στα λύματα περιόρισε αλλά δεν εξάλειψε το πρόβλημα. Έτσι, μικρές ποσότητες βαρέων μετάλλων συνεχίζουν να συσσωρεύονται στο περιβάλλον και να περνούν στην τροφική αλυσίδα. Μελετήθηκε η βιορρόφηση του χαλκού και του μολύβδου σε αναγεννήσιμη, συνεχούς ροής στήλη γεμάτη με ξηρή βιομάζα γηγενών ειδών του γένους *Cystoseira*, με σκοπό τη δημιουργία τεχνολογίας και τεχνολογίας στον τομέα της φυτοθεραπείας (phytoremediation) υγρών λυμάτων με γηγενή μακροφύκη (Εικόνες 40, 41).

Η βιορρόφηση βαρέων μετάλλων του χαλκού και του μολύβδου από την *C. crinitophylla*, μπορεί να περιγραφεί σε τρεις διαδοχικές φάσεις με 90-100% (Α), 20-90% (Β) και <20% (Γ) βιορρόφηση μετάλλου. Η βιορρόφηση του χαλκού στη φάση Α επηρεάστηκε από το pH του διαλύματος και ήταν 37.5 και 50 mg/g αρχικής βιομάζας σε pH 2.6 και 4.5, αντίστοιχα. Η βιορρόφηση του μολύβδου στη φάση Α επηρεάστηκε από το pH του διαλύματος και ήταν 87.5 και 150 mg/g αρχικής βιομάζας σε pH 2.6 και 4.5, αντίστοιχα.

Πρόκειται για ένα τύπο εξυγίανσης λυμάτων με μέλλιον που φαίνεται να είναι οικονομικά συμφερότερος των κλασικών φυσικών και χημικών τρόπων, όταν η συγκέντρωση των βαριών μετάλλων δεν υπερβαίνει περίπου τα 100 mg/l.



Εικόνα 41. Ξηρή και κοκκινισμένη βιομάζα *Cystoseira*.
Figure 41. *Cystoseira* dried and sieved biomass.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ



Η αξιοποίηση των μακροφυκών μπορεί να συμβάλει στη βελτίωση της παραγωγικότητας της Ελληνικής υδατοκαλλιέργειας προσφέροντας περισσότερα και ακόμη υψηλότερης ποιότητας προϊόντα, χωρίς επιβάρυνση στο περιβάλλον.

Η καλλιέργεια ειδών του γένους *Porphyra* μπορεί να δώσει προϊόντα υψηλής διατροφικής αξίας. Εάν μάλιστα, πραγματοποιηθεί σε εύτροφες λιμνοθάλασσες, μπορεί να συμβάλει στη βελτίωση της οικολογικής τους κατάστασης.

Είδη των γενών *Ulva*, *Gracilaria*, *Asparagopsis* μπορούν να αξιοποιηθούν ως βιοφίλτρα για τη βιομετατροπή των λιμμάτων της ιχθυοκαλλιέργειας σε χρήσιμη βιομάζα μακροφυκών. Η υιοθέτηση τέτοιων ολοκληρωμένων πολύ-τροφικών πρακτικών (IMTA) αυξάνει την περιβαλλοντική, οικονομική και κοινωνική αποδοχή της υδατο-καλλιέργειας βιομηχανίας.

Είδη των γενών *Ulva*, *Gracilaria*, *Cystoseira* μπορούν να αξιοποιηθούν σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας αστικών λιμμάτων για την απομάκρυνση από τα λύματα των θρεπτικών αλάτων και των βαρέων μετάλλων (τριτογενής καθαρισμός), με αποτέλεσμα να αποφεύγονται τα φαινόμενα τοπικού ευτροφισμού που παρατηρούνται σε πολλές παράκτιες περιοχές της χώρας, όπου λειτουργούν βιολογικοί καθαρισμοί. Η παραγόμενη βιομάζα μπορεί να αξιοποιηθεί σε διάφορες χρήσεις, π.χ. παραγωγή χαρτιού, βιοκαυσίμων.

Η επιλογή ειδών για καλλιέργεια που παράγουν υψηλής αξίας δευτερογενείς μεταβολίτες, καθώς και άλλες βιολογικές ή τεχνολογικές βελτιώσεις της υπάρχουσας καλλιέργειας που θα υπάρξουν στο μέλλον, δημιουργούν νέα κίνητρα αυτόνομης ανάπτυξης της καλλιέργειας σε συστήματα δεξαμενών ή λιμνοδεξαμενών.

4. CONCLUSIONS



Seaweeds can contribute to the Greek aquaculture productivity by adding more high quality products with low environmental impact.

The *Porphyra* species cultivation could offer new products of high nutrition value. Moreover, when cultivation takes place in eutrophicated lagoons, it contributes to the improvement of the water quality.

Species of the genus *Ulva*, *Gracilaria* and *Asparagopsis* can be used as biofilters for bioconversion of fish culture waste to useful biomass of macroalgae. The adoption of these Integrated Multi-trophic Aquaculture (IMTA) approaches raises the environmental, economical and social acceptance of the aquaculture industry.

Species of the genus *Ulva*, *Gracilaria* and *Cystoseira* can be used in waste treatment facilities to filter nutrients and heavy metals (third level), so that local eutrophic incidents - witnessed in many coastal areas of the country with wastewater treatment stations - can be avoided. The produced seaweed biomass from the process finds many uses, such as paper production or bio-fuel.

The selection of seaweed species that produce secondary metabolites with high economic value and other biological or technological improvements in the area, create new opportunities for an independent development of seaweed farming in lagoons or in tanks or pond systems.



Ερευνητική Ομάδα Εργαστηρίου
Θαλάσσιας Οικολογίας & Τεχνολογίας ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε. -
ΙΝ.ΑΛ.Ε.
Scientific team of Marine Ecology & Technology Lab (N.AG.RE.F.-F.R.I.)
(από αριστερά / from left):

Κωνσταντινιά Νάκου / Konstantinia Nakou
Απόφοιτος ΤΕΙ Ιχθυοκομίας, Μόνιμος Τεχνικός ΙΝ.ΑΛ.Ε.

Μαρία Βαλσαμίδου / Maria Valsamidou
Απόφοιτος ΤΕΙ Ιχθυοκομίας, Τεχνικός

Βενετία Γιγή / Venetia Gigi
Απόφοιτος ΤΕΙ Ιχθυοκομίας (MSc), Τεχνικός

Σωτήρης Ορφανίδης / Sotiris Orfanidis
Δρ. Βιολόγος, Αναπληρωτής Ερευνητής

Βασίλης Παπαθανασίου / Vasilis Papathanasiou
Επιστήμονας της Θάλασσας (MSc),
Υποψήφιος διδάκτορας Πανεπιστημίου Plymouth, UK

Σουλτάνα Τσιόλη / Soultana Tsioli
Βιολόγος

Στέφανος Γούναρης / Stefanos Gounaris
Επιστήμονας της Θάλασσας

5. Βιβλιογραφία

Brodie J., Bartsch I., Neefus C., Orfanidis S., Bray T., Mathieson A. 2007. New insights into the cryptic diversity of the North Atlantic-Mediterranean '*Porphyra leucosticta*' complex: *P. olivii* sp. nov. and *P. rosenfurtii* (Bangiales, Rhodophyta). *European Journal of Phycology* 42: 3-28.

Chopin T., Buschmann A.H., Halling C., Troell M., Kautsky N., Neori A., Kraemer G.P, Zertuche-Gonzalez J., Yarish C., Neefus C. 2001. Integrating seaweeds into aquaculture systems: a key towards sustainability. *Journal of Phycology* 37: 975– 986.

FAO, 2000. The state of world fisheries and aquaculture 2000. Electronic edition. <http://www.fao.org/docrep/003/x8002e/x8002e00.htm>.

Friedlander M. 2008. Israeli R & D activities in seaweed cultivation. *Israel Journal of Plant Sciences* 56: 15-28.

Guiry M.D., Blunden G., (Eds) 1991. *Seaweed Resources in Europe: Uses and Potential*. Chichester: John Wiley & Sons.

Lindsey Zemke-White, Ohno M. 1999. World seaweed utilization: an end-of-century summary. *Journal of Applied Phycology* 11: 369-376.

Neori A., Chopin T., Troell M., Buschmann A.H., Kraemer G.P., Halling C., Shpigel M., Yarish C. 2004. Integrated aquaculture: rationale, evolution and state of the art emphasizing seaweed biofiltration in modern mariculture. *Aquaculture* 231: 361–391.

Neori A., Shigel M., Ben-Ezra D. 2000. A sustainable integrated system for culture of fish, seaweed and abalone. *Aquaculture* 186: 279-291.

Orfanidis S. 2001. Culture studies of *Porphyra leucosticta* (Bangiales, Rhodophyta) from the Gulf of Thessaloniki, Greece. *Botanica Marina* 44: 533-539.

Turan G. 2009. Potential role of seaweed culture in integrated multitrophic aquaculture (IMTA) systems for sustainable marine aquaculture in Turkey. *Aquaculture Europe* 34: 5-13.

Waaland J.R. 1981. Commercial utilization. In *The Biology of Seaweeds* (Eds. C.S. Lobban & M.J. Wynne) pp. 726-41. Oxford: Blackwell Scientific Publications.

6. Ιστοσελίδες



Ελληνική Φυκολογική Εταιρία (ΕΛ.Φ.Ε.)
www.phycology.gr

Algaebase
www.algaebase.org

Federation of European Phycological Societies (FEPS)
www.feps-algae.eu/cms

Food & Agriculture
Organization of the United Nations (FAO)
www.fao.org

Seaweed aquaculture
www.seaweed.ie/aquaculture

Περιεχόμενα

Αντί προλόγου.....	4
1. Εισαγωγή.....	6
2. Οικονομική αξιοποίηση των μακροφυκών.....	8
2.1. Διεθνής εμπειρία.....	8
2.2. Ελληνική εμπειρία.....	10
3. Προοπτικές αξιοποίησης των μακροφυκών στην Ελλάδα.....	14
3.1. Φυσικό περιβάλλον.....	14
3.2. Γηγενή είδη με εμπορικό ενδιαφέρον (ενδεικτικά).....	16
3.2.1. Το γένος <i>Cystoseira</i> (φαιοφύκος).....	16
3.2.2. Το γένος <i>Gracilaria</i> (ροδοφύκος).....	17
3.2.3. Το γένος <i>Porphyra</i> (ροδοφύκος).....	18
3.2.4. Το γένος <i>Chondracanthus</i> (ροδοφύκος).....	20
3.2.5. Το γένος <i>Asparagopsis</i> (ροδοφύκος).....	21
3.2.6. Το γένος <i>Ulva</i> (χλωροφύκος).....	22
3.3. Τεχνολογίες με δυνατότητες προσαρμογής στις τοπικές συνθήκες.....	26
3.3.1. Τεχνολογίες καλλιέργειας σε χερσαίες εγκαταστάσεις (δεξαμενές, λιμνοδεξαμενές).....	28
3.3.2. Συστήματα ολοκληρωμένων πολυτροφικής υδατοκαλλιέργειας (IMTA).....	28
3.4. Εγχώριες τεχνολογίες υδατοκαλλιέργειας μακροφυκών.....	31
3.4.1. Καλλιέργεια <i>Porphyra</i> σε εργαστηριακές συνθήκες.....	31
3.4.2. Αχινού-Μακροφύκη: ένα πειραματικό σύστημα ολοκληρωμένων υδατοκαλλιέργειας.....	32
3.4.3. Χρήση μακροφυκών ως βιοφίλτρων για την απομάκρυνση ανόργανων θρεπτικών στοιχείων από αστικά απόβλητα βιολογικών καθαρισμών.....	33
3.4.4. Σύστημα εξυγίανσης οστρακοειδών.....	34
3.4.5. Βιορρόφηση βαρέων μετάλλων σε αναγεννήσιμη, συνεχούς ροής, στήλη του μακροφύκου <i>Cystoseira</i>	35
4. Συμπεράσματα.....	37
Conclusions.....	39
5. Βιβλιογραφία.....	42
6. Ιστοσελίδες.....	43

Προοπτικές Υδατοκαλλιέργειας
Μακροφυκών στην Ελλάδα
Νέα προϊόντα | Καθαρές ακτές | Προστασία της Βιοποικιλότητας

Δρ. Σωτήρης Ορφανίδης
Αναπληρωτής Ερευνητής
sorfanid@inale.gr

Εθνικό Ίδρυμα Αγροτικής Έρευνας (ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε.)
Ινστιτούτο Αλιευτικής Έρευνας (ΙΝ.ΑΛ.Ε.)
Νέα Πέραμος, Καβάλα

Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης & Τροφίμων
Γενική Διεύθυνση Αλιείας
Διεύθυνση Υδατοκαλλιεργειών
& Εσωτερικών Υδάτων

Φιλολογική Επιμέλεια: Βασιλική Κατσάκη

Σχεδιασμός Έκδοσης: Profile Project
www.profileproject.gr

Εκτύπωση: Δημήτρης Κοτσαρίδης

Copyright: Σωτήρης Ορφανίδης
Απαγορεύεται η αναπαραγωγή
του παρόντος βιβλίου ή μέρους αυτού,
με οποιοδήποτε μέσο, μηχανικό ή ηλεκτρονικό,
χωρίς έγγραφη εξουσιοδότηση.

Καβάλα 2009

Perspectives of Seaweed Aquaculture in Greece

New products

Clean coasts

Protection of biodiversity



Sotiris Orfanidis (PhD)

Associate Researcher



National Agricultural Research Foundation (N.AG.RE.F.)
Fisheries Research Institute (F.R.I.)
Nea Peramos, Kavala

Ministry of Rural Development & Food
General Direction of Fisheries
Direction of Aquaculture & Inland Waters

Kavala 2009