

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΙΧΘΥΟΛΟΓΙΑΣ
ΚΑΙ ΥΔΑΤΙΝΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΜΑΚΡΟΦΥΚΩΝ: Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ *Laminaria digitata*»

ΔΗΜΗΤΡΑ ΑΓΡΑΦΙΩΤΗ

ΒΟΛΟΣ 2023

«Καλλιέργεια μακροφυκών: Η περίπτωση της *Laminaria digitata*»

«Seaweed aquaculture: the case of *Laminaria digitata*»

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:

1. **Παναγιώτα Παναγιωτάκη**, Καθηγήτρια, Υδατοκαλλιέργειες, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, ***Επιβλέπουσα***.
2. **Ελένη Γκολομάζου**, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια, Προστασία-Ευζωία Ιχθύων, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, ***Μέλος***.
3. **Χρήστος Νεοφύτου**, Αναπληρωτής Καθηγητής, Υδατοκαλλιέργειες και Περιβάλλον, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, ***Μέλος***.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα τελευταία 20 χρόνια, η καλλιέργεια και παραγωγή φυκών έχει αυξηθεί σημαντικά και διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην αλιευτική βιομηχανία. Η παγκόσμια παραγωγή φυκών το 2022 εκτιμήθηκε σε περισσότερους από 35 εκατομμύρια τόνους. Τα φύκη, στις διάφορες μορφές τους, έχουν μια πληθώρα από εφαρμογές που ενισχύουν την κοινωνική και οικονομική σημασία της καλλιέργειας παγκοσμίως. Η ευρωπαϊκή αγορά των φυκών ολοένα και επεκτείνεται, λόγω της αυξανόμενης ζήτησης εναλλακτικών και βιώσιμων πηγών πρωτεϊνών και προϊόντων με θρεπτικά οφέλη. Συνεπώς, αυξάνεται και η καλλιέργεια διάφορων ειδών μικρο- και μακροφυκών. Η παρούσα μελέτη συγκεντρώνει πληροφορίες της διεθνούς βιβλιογραφίας σχετικά με την καλλιέργεια μακροφυκών και ιδιαίτερα του Φαιοφύκου *Laminaria digitata*, ενός ενδημικού είδους της βόρειας Ευρώπης και των δυτικών ακτών της βόρειας Αμερικής και του Καναδά. Γίνεται περιγραφή της καλλιέργειάς του σε σύστημα longline, η οποία περιλαμβάνει την ανάπτυξη των φυκών τόσο σε εργαστηριακό, όσο και στο φυσικό υδάτινο περιβάλλον. Στη συνέχεια αναφέρονται ένας αριθμός από κοινωνικο-οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη, όπως επίσης και διάφορες χρήσεις του είδους. Αυτά περιλαμβάνουν: την αξιοποίησή του ως τρόφιμο ανθρώπων και ζώων, τη συμβολή του στη φαρμακευτική βιομηχανία, μέσω των διάφορων εκχυλισμάτων που παράγει (π.χ αλγινικά, καραγεννάνες, χλωροταννίνες) και τη δυνητική υποκατάσταση των ορυκτών πρώτων υλών, μέσω της παραγωγής βιοπλαστικών και βιοκαυσίμων. Αναδεικνύονται οι θετικές περιβαλλοντικές επιδράσεις, όπως η παροχή οικοσυστημικών υπηρεσιών (π.χ για την αξιολόγηση ποιοτικών χαρακτηριστικών του νερού και την αποκατάσταση επιβαρυνμένων θαλάσσιων συστημάτων, μέσω της

δέσμευσης αζώτου, φωσφόρου και άλλων ουσιών). Τέλος, αναφέρονται οι προκλήσεις της καλλιέργειας μακροφυκών και τονίζεται η ανάγκη παροχής κινήτρων σε όλα τα στάδια της αλυσίδας αξίας των προϊόντων, από το ερευνητικό στάδιο, στον πρωτογενή τομέα και στην αγορά έτσι, ώστε να δημιουργηθούν στέρεες βάσεις για τη βιώσιμη ανάπτυξη του τομέα.

Λέξεις κλειδιά: καλλιέργεια μακροφυκών, *Laminaria digitata*

ABSTRACT

In the last 20 years, algae cultivation and production has increased significantly and plays an important role in the fishing industry. Global algae production in 2022 was estimated at more than 35 million tonnes. Algae, in their various forms, have a multitude of applications that enhance the social and economic importance of cultivation worldwide. The European market for algae is expanding due to the growing demand for alternative and sustainable sources of protein and products with nutritional benefits. Consequently, the cultivation of various types of micro- and macro-algae is also increasing. The present study compiles information from the international literature on the cultivation of macroalgae, particularly of *Laminaria digitata*, an endemic species of northern Europe and the west coast of North America and Canada. A description is given of its cultivation in a longline system, which includes the growth of the algae in both laboratory , and natural aquatic environments. A number of socio-economic and environmental benefits, as well as various uses of the species, are then discussed. These include: its use as food for humans and

animals; its contribution to the pharmaceutical industry through the various extracts it produces (e.g. alginates, carrageenans, chlorotannins); and the potential substitution of fossil raw materials through the production of bioplastics and biofuels. Positive environmental impacts are highlighted, such as the provision of ecosystem services (e.g. for the assessment of water quality characteristics and the restoration of polluted marine systems through the capture of nitrogen, phosphorus and other substances). Finally, the challenges of macroalgae cultivation are highlighted and the need to provide incentives at all stages of the product value chain, from the research stage, to the primary sector and the market, in order to create a solid basis for the sustainable development of the sector.

Key words: seaweed aquaculture, *Laminaria digitata*

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1. Εισαγωγή	1
2. Παρούσα κατάσταση	3
2.1 Ευρωπαϊκή αγορά.....	4
3. Το μακροφύκος <i>Laminaria digitata</i> (Hudson J.V.Lamouroux, 1813).	7
3.1 Βασικά χαρακτηριστικά	7
3.2 Γεωγραφική εξάπλωση.....	8
3.3 Κύκλος αναπαραγωγής.....	9
4. Καλλιέργεια <i>Laminaria digitata</i> : Το παράδειγμα της Ιρλανδίας.	12
4.1 Επιλογή θέσης εγκατάστασης στο θαλάσσιο περιβάλλον.....	14
4.2 Εξοπλισμός στη θαλάσσια εγκατάσταση	17
4.3 Συντήρηση και καθαρισμός του longline.	19
4.4 Εκκίνηση καλλιέργειας στο Εργαστήριο.	20
4.5 Ανάπτυξη των σπορόφυτων.	24
4.6 Μεταφορά καλλιέργειας σπορόφυτων από το εργαστήριο στη θάλασσα.....	26
5. Χρήσεις-Οφέλη.....	28
5.1 Κοινωνικο-οικονομικά οφέλη/ χρήσεις.....	29
5.1.1 Στη βιομηχανία τροφίμων και ζωοτροφών.....	29
5.1.2 Στη Φαρμακευτική βιομηχανία- Ιατρική.....	32
5.1.3 Παραγωγή Βιοπλαστικών	35
5.1.4 Παραγωγή Βιοκάυσιμων	37
5.2 Περιβαλλοντικές χρήσεις	38
5.2.1 Αντιοξειδωτική άμυνα	38
5.2.2 Θερμική καταπόνηση/ Δέσμευση Αζώτου	39
6. ΣΥΖΗΤΗΣΗ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	41
6.1 Προκλήσεις.....	43
6.2 Μέλλον	45
7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	49
7.1 Ξενόγλωσση	49
7.2 Ελληνική.....	55
7.3 Ηλεκτρονική.....	56
7.3 Άλλες.....	57

1. Εισαγωγή

Τα φύκη ανήκουν σε μια πολυποίκιλη ομάδα φωτοσυνθετικών οργανισμών που ονομάζονται άλγη (Dring, 1992). Γενικά μακροφύκη ονομάζονται τα είδη που είναι πολυκύτταρα και αρκετά μεγάλα ώστε να μπορούν να αναγνωριστούν με γυμνό μάτι. Ως απόδειξη της ποικιλομορφίας τους, τα φύκη μπορούν να βρεθούν σχεδόν σε κάθε υδάτινο βιότοπο στη γη. Μπορούν να επιβιώσουν σε ένα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών, αλατότητας, φωτός και πρόσβασης στο νερό (Bold & Wynne, 1978). Τόσο τα μικρο- όσο και τα μακροφύκη συγκαταλέγονται μεταξύ των σημαντικότερων πρωτογενών παραγωγών στον πλανήτη, υποστηρίζοντας την ανάπτυξη ολόκληρων οικοσυστημάτων (Atkinson et al., 2004). Τα θαλάσσια φύκη μπορούν να ομαδοποιηθούν σε τρεις ταξινομικές διαιρέσεις, γνωστές ως φύλα, ανάλογα με τον χρωματισμό τους (Dring, 1992), έτσι, διακρίνονται στα καφέ (*Phaeophyceae*), πράσινα (*Chlorophyta*) και κόκκινα (*Rhodophyta*).

Ιστορικά, η βιομάζα φυκών έχει χρησιμοποιηθεί παγκοσμίως ως τρόφιμο, λίπασμα, και συστατικό ζωοτροφών (Indergaard & Minsaas 1991, Tseng 1987). Έχουν χαρακτηριστεί ως το "πολλά υποσχόμενο φυτό της χιλιετίας" (Dhargalkar & Pereira, 2005), λόγω των συγκριτικών πλεονεκτημάτων τους σε σχέση με την παραγωγή βιομάζας φυτικών οργανισμών στην ξηρά. Τα φύκη δεν χρειάζονται έδαφος, άρδευση, λιπάσματα ή επεμβάσεις κατά των παρασίτων και μυκήτων για να αναπτυχθούν. Η βιομάζα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για πολλούς σκοπούς, όπως τρόφιμα (Mouritsen, 2017), ζωοτροφές (Fleurence, 1999), υλικά συσκευασίας (βιοπλαστικά) (Maguire, 2016), βιοκαύσιμα (Pechsiri et al., 2016), καθώς και πηκτική ουσία σε μια σειρά από εφαρμογές (Jose, 2015).

Τις τελευταίες δεκαετίες γίνεται σημαντική έρευνα που εξετάζει τις δυνατότητες των φυκών να υποκαταστήσουν χερσαίες καλλιέργειες και τη ζωική παραγωγή μετριάζοντας την αφαίμαξη των φυσικών πόρων, όπως το γλυκό νερό και μειώνοντας την πίεση στη βιοποικιλότητα (Wells et al., 2017). Επιπλέον, η καλλιέργεια φυκών συμβάλλει θετικά στις υπηρεσίες του οικοσυστήματος, όπως η δημιουργία ενδιαιτημάτων για ψάρια και καρκινοειδή ή η δέσμευση θρεπτικών ουσιών (Hasselstrom et al., 2018). Τα μακροφύκη έχουν χαρακτηριστεί ως «βιοφίλτρα», καθώς κατά τη διάρκεια της ανάπτυξής τους δεσμεύουν διάφορα θρεπτικά άλατα, βαρέα μέταλλα και άλλες ουσίες, επιβλαβείς ή μη. Η ανάπτυξή τους κοντά σε χώρους εντατικής ιχθυοκαλλιέργειας, όπου το υδάτινο σύστημα είναι επιβαρυνμένο, μπορεί να συμβάλλει στην εξυγίανση και αποκατάστασή του. Έτσι, τα μακροφύκη μπορούν να αξιοποιηθούν για την μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος σε περιβάλλοντα εντατικής καλλιέργειας θαλάσσιων ειδών (Ορφανίδης, 2009).

Τα φύκη, στις διάφορες μορφές τους, έχουν μια πληθώρα από εφαρμογές που ενισχύουν την κοινωνική και οικονομική σημασία της καλλιέργειας παγκοσμίως. Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της καλλιέργειας φυκών είναι ο ανανεώσιμος χαρακτήρας της. Αλλά δυστυχώς, υπάρχουν πρωτοφανείς πιέσεις, συμπεριλαμβανομένης της ρύπανσης των ακτών, της υπερθέρμανσης του πλανήτη, της υπερεκμετάλλευσης των φυσικών πόρων καθώς και της καταστροφής των ενδιαιτημάτων που παρεμποδίζουν την ποικιλότητα των φυκών σε όλο τον κόσμο (Iqbal, 2022).

Η παγκόσμια παραγωγή υδατοκαλλιέργειας υπερτριπλασιάστηκε σε όγκο ζωντανού βάρους από 34 μεγατόνους (Mt) το 1997 σε 112 Mt το 2017 (Naylor et al.,

2021). Οι κύριες ομάδες ειδών που αποτέλεσαν το 75% της παραγωγής της υδατοκαλλιέργειας το 2017 περιελάμβαναν φύκη, κυπρίνους, δίθυρα, τιλάπιες και γατόψαρα (Naylor et al., 2021). Η καλλιέργεια φυκών πραγματοποιείται κυρίως στην Ασία αποτελώντας το 97% της παγκόσμιας προσφοράς, όπου η παραγωγή τροφίμων και η εξαγωγή καραγενάνης είναι οι δύο μεγαλύτερες βιομηχανίες (FAO, 2020).

Στην Ευρώπη η παραγωγή είναι επί του παρόντος μικρής κλίμακας, αλλά πολλά στοιχεία υποδεικνύουν μια επικείμενη επέκταση. Η καλλιέργεια φυκών στην Ευρώπη έχει αποτελέσει αντικείμενο δύο σημαντικών εστιάσεων. Η μία αναφέρεται στις θετικές περιβαλλοντικές επιδράσεις, όπως η παροχή οικοσυστημικών υπηρεσιών, η δέσμευση αζώτου και φωσφόρου και η πιθανή υποκατάσταση των ορυκτών πρώτων υλών. Η άλλη είναι η δυνητική της συμβολή στην οικονομική ανάπτυξη μέσω της παραγωγής βιομάζας (Hasselström, 2020). Αυτές οι διαφορετικές εστιάσεις έχουν επιπτώσεις στον τρόπο με τον οποίο πρέπει να εφαρμοστεί η καλλιέργεια φυκών (Hasselström, 2018).

Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η συγκέντρωση πολύτιμων πληροφοριών σχετικά με την καλλιέργεια των μακροφυκών με βάση τη διεθνή βιβλιογραφία που θα μπορούσαν να εφαρμοσθούν για την προώθηση πολιτικών και βιώσιμων πρακτικών στην υδατοκαλλιέργεια.

2. Παρούσα κατάσταση

Η συνολική παραγωγή φυκών εκτιμάται σε περίπου 2,2 εκατομμύρια τόνους το 1969 και αυξήθηκε σε περισσότερους από 35 εκατομμύρια τόνους το 2019 (FAO, 2021). Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου η παραγωγή από άγρια συλλογή παρέμεινε σχεδόν

αμετάβλητη (~1,1 εκατ. τόνοι), αλλά η παραγωγή φυκών από καλλιέργεια αυξήθηκε εκθετικά και αντιπροσώπευε το 97% της συνολικής παραγωγής φυκών το 2019 με ετήσιο ρυθμό αύξησης 6,2% μεταξύ 2000 και 2018 (Duarte et. al., 2022).

Τα τελευταία 20 χρόνια, η καλλιέργεια και παραγωγή φυκών έχει αυξηθεί σημαντικά και διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην αλιευτική βιομηχανία ανά χώρα (Cai et al., 2021). Επί του παρόντος, η καλλιέργεια φυκών δεν παρουσιάζει ομοιομορφία, με πάνω από το 97% των καλλιεργούμενων φυκών να παράγεται σε επτά χώρες της Ανατολικής Ασίας με την Κίνα να κυριαρχεί στην καλλιέργεια τους (FAO, 2021). Η επέκταση της καλλιέργειας φυκών στην Ωκεανία, την Ευρώπη, την Αφρική και την Αμερική είναι μια ευκαιρία να φέρει τα ίδια οφέλη της βιώσιμης "πράσινης ανάπτυξης" στον ευρύτερο κόσμο, συμπεριλαμβανομένης της Αυστραλίας (Kelly, 2020).

Στις Ηνωμένες Πολιτείες, το Περού και τον Καναδά, τα φύκη προέρχονται σε μεγάλο βαθμό από φυσικούς πόρους. Η Ευρώπη αντιπροσωπεύει το 0,8% της παγκόσμιας παραγωγής φυκών, με το 96% της παραγωγής προέρχεται από φυσικούς πόρους. Η Αφρική αντιπροσωπεύει το 0,41% της παγκόσμιας παραγωγής φυκών και μέχρι το 2019, το 81% των φυκών από την Αφρική προέρχονταν από την καλλιέργεια. Η Ωκεανία αντιπροσωπεύει το 0,05% της παγκόσμιας και το 99% της παραγωγής αυτής προέρχεται από καλλιέργεια, με παραγωγή κυρίως διάφορων καστανών φυκών.

2.1 Ευρωπαϊκή αγορά

Η ευρωπαϊκή αγορά που αφορά τα φύκη επεκτείνεται, λόγω της αυξανόμενης ζήτησης για εναλλακτικές και βιώσιμες πρωτεΐνες, σε συνδυασμό με την αυξανόμενη

κοινωνική ζήτηση για προϊόντα με θεραπευτικά οφέλη. Η κατανάλωση και η δημοτικότητα τους αυξάνεται, ιδίως σε πολλές παράκτιες περιοχές που έχουν ήδη κάποια ιστορία με αυτό το προϊόν. Πολλοί ευρωπαίοι είναι εξοικειωμένοι με τα φύκια, κυρίως οι άνθρωποι από χώρες όπως το Ηνωμένο Βασίλειο, η Γαλλία και η Ιρλανδία. Επιπλέον, ο αριθμός των ασιατικών εστιατορίων στην Ευρώπη αυξάνεται ραγδαία και τα φύκη είναι ένα από τα σημαντικότερα συστατικά στις κουζίνες τους. Ταυτόχρονα, η αγορά τροφίμων που περιέχουν φύκια αναπτύσσεται με ταχείς ρυθμούς. Το 2016 σύμφωνα με μια μελέτη της εταιρείας Mintel (Market Intelligence) η οποία αναλύει τις παγκόσμιες τάσεις καταναλωτών σε όλες τις αγορές του πλανήτη, διαπίστωσε ότι ο αριθμός των τροφίμων και ποτών που περιέχουν φύκη ή γεύσεις φυκών στην ευρωπαϊκή αγορά αυξήθηκαν κατά 147% μεταξύ 2011 και 2015.

Τα οφέλη των φυκών για την υγεία φαίνεται να ενδιαφέρουν τους Ευρωπαίους καταναλωτές, καθώς η έρευνα της Mintel (2016) δείχνει ότι περισσότεροι από τους μισούς Γερμανούς καταναλωτές (58%) έχουν είτε δοκιμάσει ή θα ήθελαν να δοκιμάσουν τα φύκια ως πηγή πρωτεΐνης, ενώ παρόμοιο ποσοστό αναφέρεται και για το Ηνωμένο Βασίλειο (44%). Η Mintel (2016) αναφέρει επίσης ότι περίπου το 36% των Βρετανών καταναλωτών που χρησιμοποιούν βότανα, μπαχαρικά ή καρυκεύματα συμφωνούν ότι τα αλεσμένα, αποξηραμένα φύκια θα ήταν μια καλή εναλλακτική λύση αντί του αλατιού για τον αρωματισμό των γευμάτων τους. Επιπλέον, η Mintel (2016) διαπίστωσε ότι το 32% των Γερμανών, το 42% των Ισπανών, το 46% των Γάλλων, 48% των Ιταλών και το 57% των Πολωνών καταναλωτών δηλώνουν ότι αποφεύγουν συνειδητά τα αλμυρά τρόφιμα. Η κοινή γνώμη είναι ζωτικής σημασίας για την κατανόηση της αυξανόμενης ζήτησης για

προϊόντα με φύκη. Τα φύκη δεν είναι μόνο ένας φυσικός τρόπος υποκατάστασης του αλατιού, αλλά επίσης παρουσιάζουν αντιοξειδωτικές, αντιμικροβιακές και αντιφλεγμονώδεις ιδιότητες που μπορούν να μειώσουν τη χοληστερόλη, την αρτηριακή πίεση ή να βοηθήσουν στην πέψη και τη διαχείριση του βάρους. Αυτό δίνει ευκαιρίες στην ευρωπαϊκή βιομηχανία για επέκταση της βιομηχανίας του πιο υγιεινού πρόχειρου φαγητού (snack)(Εικ. 1 και 2). Πράγματι, περίπου το ένα τρίτο των καταναλωτών στην Ιταλία (30%), την Πολωνία (36%) και την Ισπανία (37%) θα ήθελαν να δουν μια ευρύτερη ποικιλία σε αυτή την κατηγορία (Mintel, 2016).



Εικόνα 1. Υγιεινό «snack» από το μακροφύκος *L. digitata* (Kombu). (<https://oceaniccuisine.com/product/organic-dried-kombu-50g/>)



Εικόνα 2. Νιφάδες *L. digitata* (Kombu) ως ενισχυτικό γεύσης και υποκατάστατο αλατιού. (<https://centralsun.com/toode/organic-kombu-laminaria-digitata-125g>)

3. Το μακροφύκος *Laminaria digitata* (Hudson J.V.Lamouroux, 1813).

Το *Laminaria digitata* είναι ένα είδος Φαιοφυκών (*Phaeophyceae*) της οικογένειας *Laminariaceae* (Πίν. 1) και ανήκει στην κατηγορία των μακροφυκών. Αναπτύσσεται σε υποθαλάσσιες ζώνες (αρκετά ρηχές παράκτιες περιοχές όπου το φως του ήλιου φτάνει στον πυθμένα του ωκεανού), κυρίως στον βόρειο Ατλαντικό Ωκεανό.

Πίνακας 1. Συστηματική κατάταξη του μακροφύκου *Laminaria digitata*. (Guiry & Guiry, 2021)

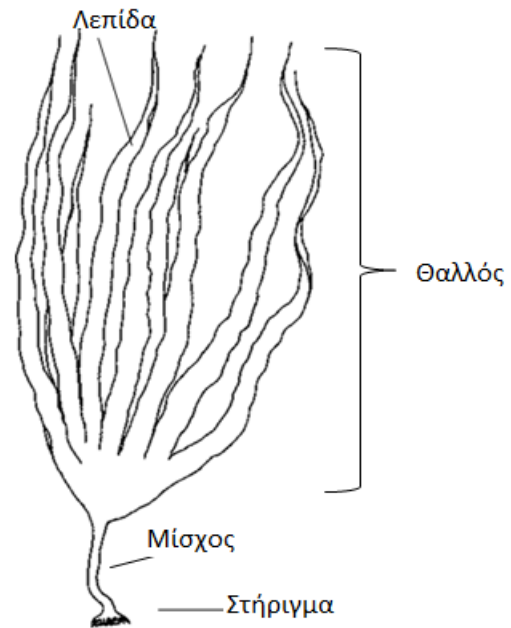
Επικράτεια	<i>Eukaryota</i>
Βασίλειο	<i>Chromista</i>
Φύλο	<i>Heterokontophycophyta</i>
Κλάση	<i>Phaeophyceae</i>
Τάξη	<i>Laminariales</i>
Οικογένεια	<i>Laminariaceae</i>
Γένος	<i>Laminaria</i>
Είδος	<i>digitata</i>

3.1 Βασικά χαρακτηριστικά

Το μακροφύκος *L. digitata* εξαιτίας των κίτρινων χρωστικών που περιέχει, ιδιαίτερα της φυκοξανθίνης, εμφανίζεται με χρωματισμούς ελαιοπράσινους ή σκούρο καφέ (Εικ.3). Διακρίνεται από το θαλλό του, που αποτελείται από 3 έως 8 ελάσματα (Εικ. 4). Η κοινή του ονομασία είναι Oarweed. Ο αριθμός των ελασμάτων σε κάθε φυτό εξαρτάται από την έκθεση στο φως που δέχεται. Το μέγεθος των ελασμάτων εξαρτάται από την εποχή και την περιοχή στην οποία μεγαλώνει και μπορεί να φτάσει σε μήκος τα 2 έως 4 μέτρα σε κατάλληλες συνθήκες (Hill, 2008).



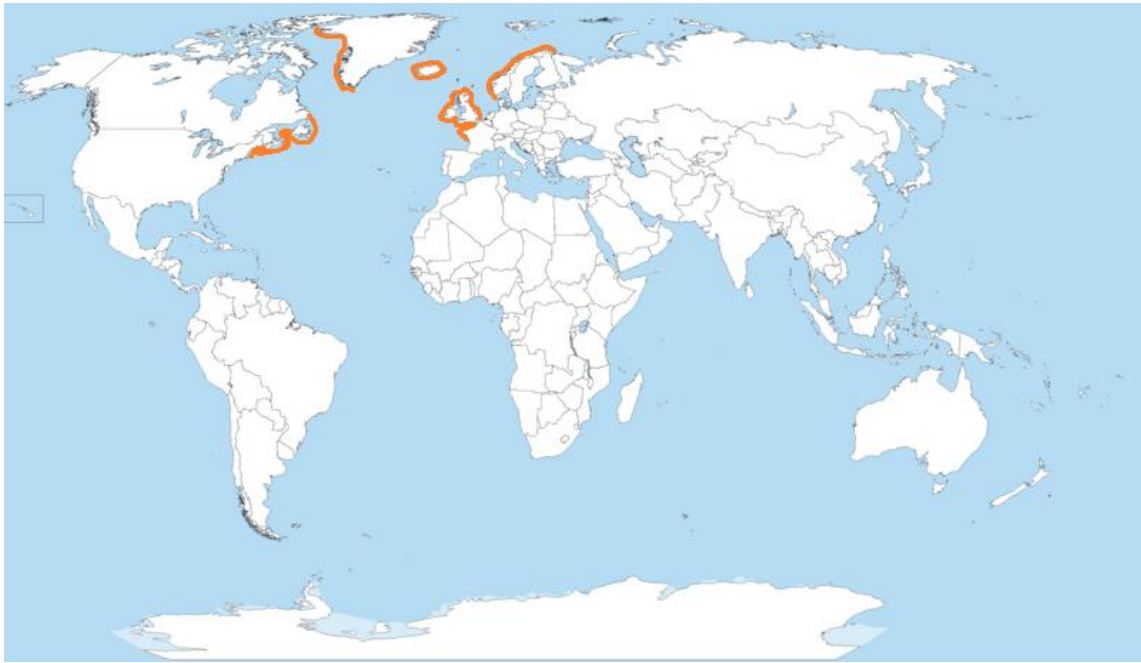
Εικόνα 3. Το μακροφύκος *L. digitata* στο φυσικό του περιβάλλον (Saxifraga, Fitis-Sytske Dijkssen, 20/01/2023).



Εικόνα 4. Μορφολογία του φύκους *Laminaria digitata* (Blight et al., 2011).

3.2 Γεωγραφική εξάπλωση

Η *Laminaria digitata* απαντάται κατά μήκος των βρετανικών και ιρλανδικών ακτών, καθώς και στη Βόρεια θάλασσα κατά μήκος των σκανδιναβικών ακτών. Το νοτιότερο σημείο που έχει εντοπισθεί σε ευρωπαϊκά ύδατα, είναι οι βορειοδυτικές ακτές της Γαλλίας (Βρετάνη). Συναντάται επίσης στην Ισλανδία, στη νότια Γροιλανδία, στις ανατολικές ακτές της βόρειας Αμερικής και τις канаδικές ακτές του Ατλαντικού (Edwards et al., 2011), (Εικ.5).



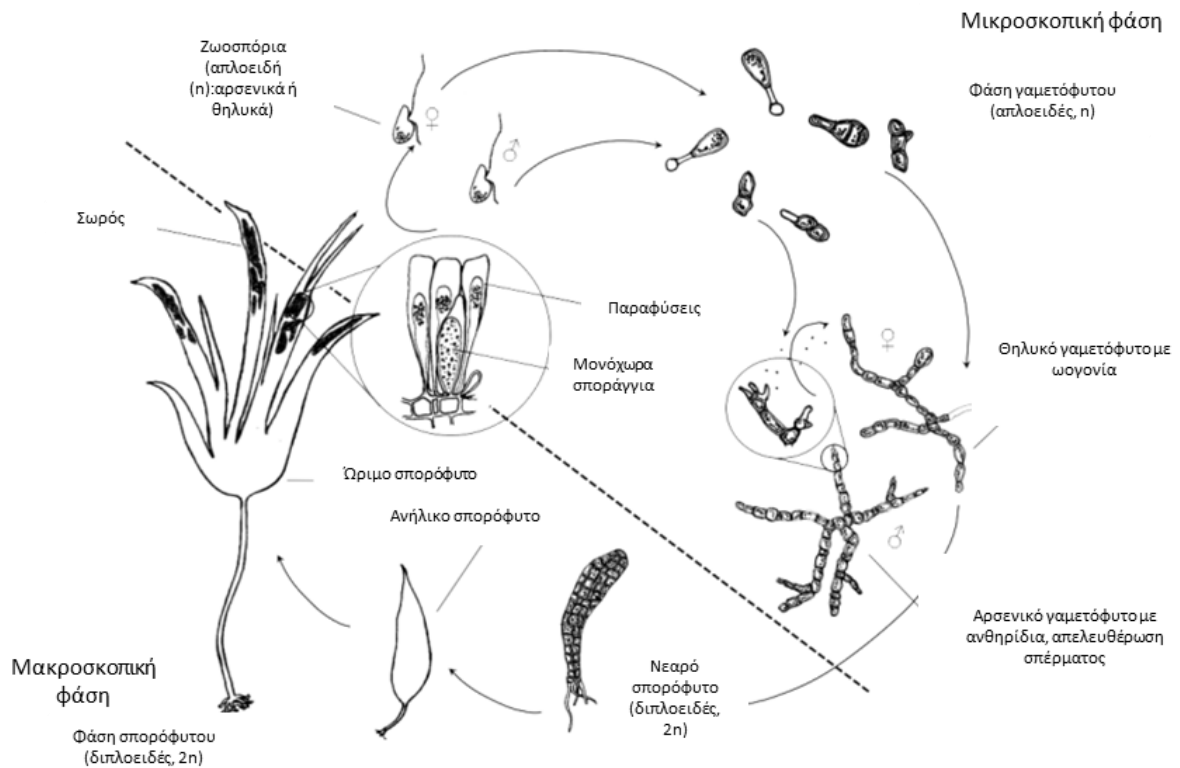
Εικόνα 5. Γεωγραφική εξάπλωση του *L. digitata*. (AlgaeBase, Πρόσβαση: 20/1/2023).

Το είδος *L. digitata* αναπτύσσεται υποθαλάσσια, κυρίως στα ρηχά σε βραχώδη υποστρώματα και γίνεται εμφανές στην επιφάνεια της θάλασσας μόνο κατά την ανοιξιάτικη παλίρροια. Η κινητικότητα του νερού καθορίζει το πού θα αναπτυχθούν τα άτομα, έτσι, αυτά δεν αναπτύσσονται σε πολύ κλειστές ή λασπώδεις περιοχές. Επίσης, είναι λιγότερο πιθανό να βρεθεί σε πολύ εκτεθειμένες περιοχές, αλλά απαιτεί τουλάχιστον ένα σχετικά υψηλό επίπεδο έκθεσης σε υδάτινα ρεύματα για την επιβίωσή του. Κάθε φυτό εδραιώνεται σταθερά σε βράχους και σε μεγάλους ογκόλιθους.

3.3 Κύκλος αναπαραγωγής

Ο κύκλος αναπαραγωγής του *L. digitata* εναλλάσσεται μεταξύ δύο διαφορετικών φάσεων, τη φάση των απλοειδών γαμετόφυτων που παράγουν μικροσκοπικά ζωοσπόρια

και τη φάση των διπλοειδών σπορόφυτων που παράγουν ανθηρίδια (αρσενικοί γαμέτες) και ωογόνια (θηλυκοί γαμέτες) (Διάγ. 1) (Dayton, 1985).



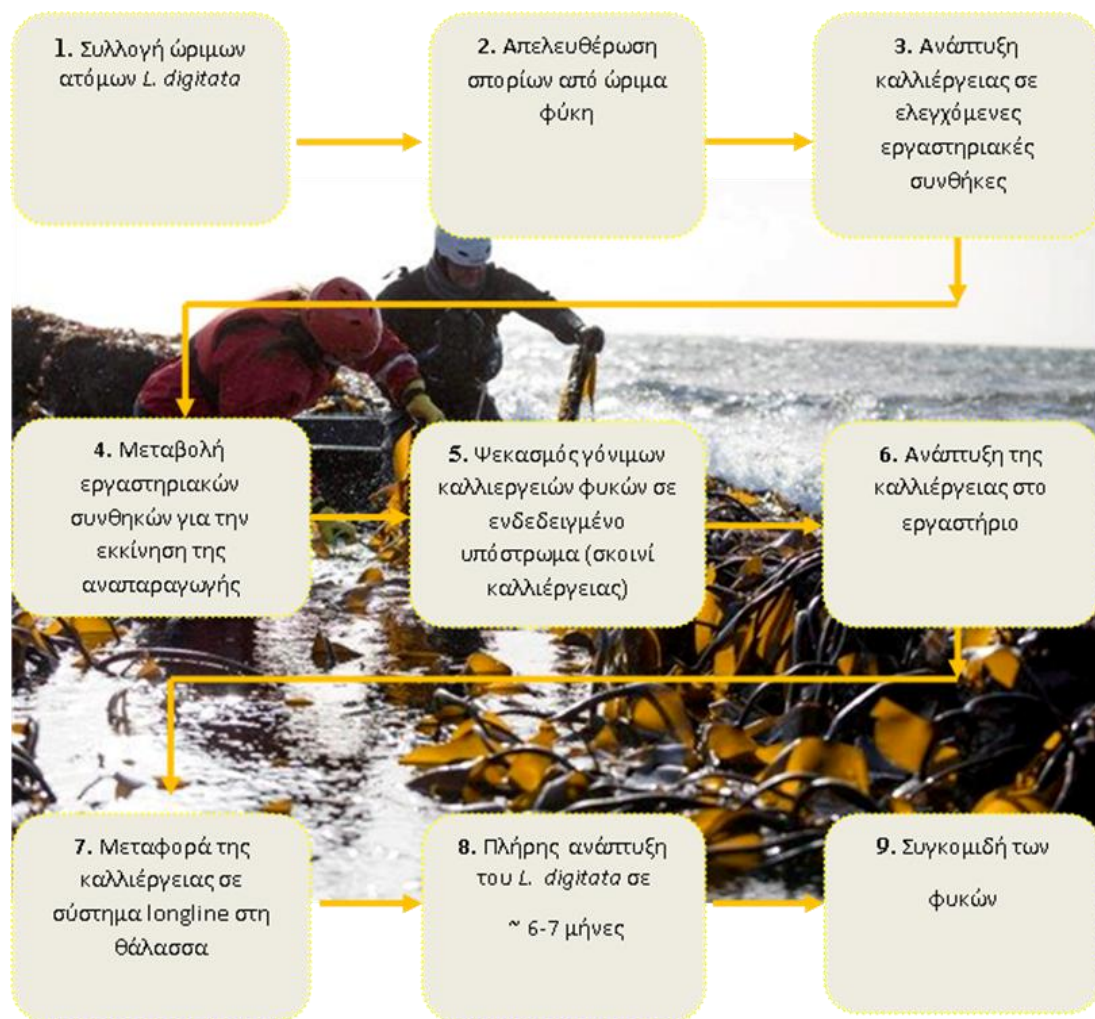
Διάγραμμα 1. Κύκλος αναπαραγωγής του *Laminaria digitata*. Τροποποιημένο από Edwards & Watson, L. (2011).

Ο κύκλος αρχίζει όταν αναπτύσσονται αναπαραγωγικές περιοχές που ονομάζονται σωροί (sorus ενικός αριθμός, sori πληθυντικός αριθμός) στα άκρα των ελασμάτων, που συμβαίνουν συνήθως μεταξύ Απριλίου και Οκτωβρίου/Νοεμβρίου, ανάλογα με τη γεωγραφική περιοχή στην οποία βρίσκεται το φύκος. Οι σωροί θα αρχίσουν να εμφανίζονται ως σκοτεινές κηλίδες στα ελάσματα και μέσα σε αυτά, θα αναπτυχθούν

αναπαραγωγικά κύτταρα, γνωστά ως "μονόχωρα σποράγγια", τα οποία θα οδηγήσουν στην απελευθέρωση ζωοσπορίων όταν ωριμάσουν - κάθε κύτταρο μπορεί να περιέχει ή να απελευθερώσει 32 ζωοσπόρια (Kain, 1979). Τα ζωοσπόρια είναι εφοδιασμένα με δύο μαστίγια που επιτρέπουν στο άτομο να έχει κάποιου είδους έλεγχο του σημείου στο οποίο εγκαθίσταται, ωστόσο μετά από ορισμένο χρονικό διάστημα παραμονής στην υδάτινη στήλη, το ζωοσπόριο χάνει την κινητικότητά του και στη συνέχεια εγκαθίσταται σιγά-σιγά σε ένα κατάλληλο υπόστρωμα, όπως το χώρο κάτω από το σκέπαστρο που δημιουργούν τα ενήλικα φύκη, όπου τα επίπεδα φωτός είναι επαρκή για τη γονιμοποίηση (Kain, 1979, Roleda et al., 2010). Μετά τη γονιμοποίηση των ζωοσπορίων αρχίζει η κυτταρική διαίρεση η οποία είναι γνωστή ως η φάση των γαμετόφυτων, με αυτά να φέρουν είτε αρσενικά είτε θηλυκά αναπαραγωγικά χαρακτηριστικά (Kain, 1979). Σε κατάλληλες συνθήκες, η κυτταρική διαίρεση του γαμετόφυτου θα συνεχίσει να συμβαίνει και μόλις οι περιβαλλοντικές συνθήκες αλλάξουν (π.χ. αλλαγές στην ποιότητα και την ένταση του φωτός), θα ξεκινήσει η ανάπτυξη της αναπαραγωγής (Lüning, 1980). Μόλις συμβεί η γονιμοποίηση, αναπτύσσεται ένα ζυγωτό το οποίο στη συνέχεια υπόκειται σε κυτταρική διαίρεση και το σπορόφυτο που δημιουργείται στη συνέχεια προσκολλάται σε ένα κατάλληλο υπόστρωμα και μέσα στο πρώτο έτος θα αναπτυχθεί σε μήκος περίπου 50-60 cm (Kain, 1979). Μόλις ολοκληρωθεί η φάση της αναπαραγωγής και τα σπορόφυτα έχουν εξελιχθεί σε ενήλικα φύκη, τα *L. digitata* αρακτηρίζονται ως "εποχικά πρόδρομα", δηλαδή αρχίζουν να αναπτύσσονται κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Αυτό τους δίνει ένα πλεονέκτημα, καθώς μπορούν να αρχίσουν να αναπτύσσονται σημαντικά νωρίτερα από άλλα είδη φυκών (Bartsch et al., 2008).

4. Καλλιέργεια *Laminaria digitata*: Το παράδειγμα της Ιρλανδίας.

Η καλλιέργεια του είδους *Laminaria digitata*, όπως αυτή αναπτύχθηκε στην Ιρλανδία, και δημοσιεύθηκε από τους Edwards et al. (2011), περιλαμβάνει εννιά στάδια, που λαμβάνουν χώρα τόσο σε εργαστηριακό, όσο και στο φυσικό θαλάσσιο περιβάλλον (Διάγ. 2). Η διαδικασία ξεκινά με τη συλλογή ώριμων ατόμων από το φυσικό τους χώρο και την απελευθέρωση των ζωοσπορίων από τα ελάσματα των φυκών. Η καλλιέργεια αναπτύσσεται στο εργαστήριο κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες θερμοκρασίας, φωτός, ποιότητας νερού, αερισμού και στράγγισης, ενώ όταν αυτές διαμορφωθούν διαφορετικά, θα επιτευχθεί η γονιμοποίηση των ζωοσπορίων. Τα γονιμοποιημένα φύκη ψεκάζονται/τοποθετούνται σε κατάλληλο υπόστρωμα στο εργαστήριο, όπου και αναπτύσσονται για κάποιο χρονικό διάστημα, έως ότου μεταφερθούν στο θαλάσσιο περιβάλλον, σε σύστημα “longline”. Εκεί, τα άτομα αναπτύσσονται περαιτέρω για 6 έως 7 μήνες και στη συνέχεια συλλέγονται.



Διάγραμμα 2. Επισκόπηση της διαδικασίας καλλιέργειας του *L. digitata*. Τροποποιημένο από Edwards et al. (2011). Φωτογραφία: MaraSeaweed, Angus Bremmer, <https://marine.gov.scot/sma/assessment/seaweed-harvesting-and-cultivation> (29/01/2023).

4.1 Επιλογή θέσης εγκατάστασης στο θαλάσσιο περιβάλλον

Η επιλογή περιοχών καλλιέργειας με κατάλληλα χαρακτηριστικά είναι ουσιαστική για την επιτυχή εγκατάσταση της καλλιέργειας φυκιών. Οι συνθήκες ανάπτυξης του τόπου επηρεάζουν άμεσα την απόδοση και την ποιότητα της βιομάζας που θα παραχθεί, οι οποίες με τη σειρά τους καθορίζουν την αποδοτικότητα μετατροπής της βιομάζας σε βιοενέργεια. Στον Πίνακα 2 περιγράφονται οι γνωστές αποκρίσεις του είδους σε μια σειρά σημαντικών φυσικών και χημικών παραμέτρων θερμοκρασία, αλατότητα, κίνηση του νερού, συγκεντρώσεις θρεπτικών ουσιών, διοξείδιο του άνθρακα/ pH, βάθος ανάπτυξης (Kerrison et al., 2015).

Πίνακας 2. Ο Πίνακας περιγράφει τις γνωστές αποκρίσεις του είδους *L. digitata* σε έναν αριθμό φυσικών και χημικών παραμέτρων: θερμοκρασία, αλατότητα, κινητικότητα του νερού, συγκεντρώσεις θρεπτικών, pH, βάθος ανάπτυξης. Β.Σ: Βέλτιστες συνθήκες, Μ.Α: Μειωμένη Ανάπτυξη, Θ: Θάνατος, ΣΥΝ: Συνήθως αναπτύσσεται, ΜΑΞ: Οριακές Συνθήκες, ΕΠ: Επιβιώνει, (Kerrison et al., 2015).

Παράμετροι	Θερμοκρασία (C°)	Αλατότητα (PSS)	Κινητικότητα νερού	Θρεπτικά	pH	Βάθος ανάπτυξης
<i>Laminaria digitata</i>	Βελτ: 5-15	Βελτ: 20-35	Βελτ: υψηλή ροή	Βελτ: 10-40μM NO3-	8	ΣΥΝ: 5μ
	Μ.Α: 20-22	Μ.Α: 15-25	Εχει βρεθεί και σε χαμηλή ροή			ΜΑΞ: 40 μ
	Θ: 22-24	ΕΠ: 5 για 5 ημέρες				

Στο εγχειρίδιο τους για καλλιέργεια του είδους *L. digitata*, οι Edwards et al. (2011), αναφέρουν μια σειρά από παραμέτρους για μια επιτυχημένη εγκατάσταση και ανάπτυξη στο φυσικό περιβάλλον, μετά την πρώτη ανάπτυξη σε εργαστηριακές συνθήκες. Όρισαν δύο συνιστώσες για την καλή επιλογή τοποθεσίας, αυτή που αναφέρεται στις συνθήκες για

άριστη ανάπτυξη των οργανισμών και εκείνη που καθιστά την τοποθεσία εύκολα προσβάσιμη και κατάλληλη για εργασία.

Όσον αφορά την επιλογή θέσης που να ευνοεί την ανάπτυξη, το εγχειρίδιο αναφέρει ότι θα πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψη πόσο εκτεθειμένη είναι η τοποθεσία στις καιρικές συνθήκες καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ανάπτυξης των φυκών, ποια επίπεδα ρύπανσης είναι πιθανό να υπάρχουν πχ. βιομηχανικά απόβλητα, ανεπεξέργαστα λύματα, καθώς και αν λαμβάνουν χώρα άλλες θαλάσσιες δραστηριότητες στον ίδιο χώρο (π.χ. αλιευτικά σκάφη, θαλάσσια σπορ, άλλες υδατοκαλλιέργειες, γραμμή ναυσιπλοΐας κ.λπ.). Το βάθος, ο τύπος του υποστρώματος, τα ρεύματα νερού, η θερμοκρασία και η αλατότητα πρέπει να ελέγχθούν έτσι, ώστε να είναι όσο το δυνατόν πιο κοντά στις απαιτήσεις του είδους (Edwards et al., 2011).

Βάθος

Το ελάχιστο βάθος πρέπει να λαμβάνεται υπόψη, δεδομένου ότι το παλιρροιακό εύρος στο συγκεκριμένο σημείο μπορεί να είναι αρκετά μεγάλο. Το ελάχιστο βάθος νερού που προτείνεται είναι τα 6 μέτρα, αλλά το συνιστώμενο μέσο βάθος είναι 10 μέτρα. Από την άλλη, περιοχή εγκατάστασης σε πολύ βαθύ σημείο, θα δυσχεραίνει την πρόσβαση για τις απαιτούμενες εργασίες και θα αυξήσει το κόστος της εγκατάστασης (Edwards et al., 2011).

Θερμοκρασία

Οι χαμηλές θερμοκρασίες νερού δεν επηρεάζουν αρνητικά την ανάπτυξη της καλλιέργειας του *L. digitata*, εκτός και αν υπάρχει περίπτωση παγοκάλυψης. Ωστόσο,

θερμοκρασίες άνω των 15°C κατά τη διάρκεια της άνοιξης ή της αρχής του καλοκαιριού, μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα (Edwards et al., 2011), (Πίν. 2).

Υπόστρωμα

Επηρεάζει άμεσα την κινητικότητα του νερού στο σημείο εγκατάστασης (π.χ. η απόθεση λάσπης υποδηλώνει χαμηλή υδατική ροή). Επίσης, καθορίζει και την επιλογή του κατάλληλου τύπου αγκυροβόλησης. Καλό είναι να αποφεύγονται τόποι εγκατάστασης με ιλυώδεις, λασπώδεις ή αμμώδεις πυθμένες, καθώς θα κάνει την αγκυροβόληση πιο δύσκολη και τα μικροσωματίδια θα επικάθονται στα αναπτυσσόμενα φύκη, δυσχεραίνοντας την φωτοσυνθετική τους ικανότητα (Edwards et al., 2011).

Έκθεση σε ρεύματα νερού

Η καλλιέργεια του *L. digitata* απαιτεί τοποθεσίες με επαρκή ροή των υδάτων για την ανταλλαγή των θρεπτικών στο θαλάσσιο περιβάλλον, όμως πολύ δυνατά ρεύματα μπορεί να προκαλέσουν ζημιές στο σύστημα της καλλιέργειας. Μεσσαία έως υψηλή υδατική ροή (5 έως 10 cm s⁻¹) θεωρείται ιδανική (Edwards et al., 2011).

Αλατότητα

Κανονικά επίπεδα αλατότητας απαιτούνται για την καλλιέργεια του είδους. Υφάλμυρα νερά ή οποιαδήποτε πηγή γλυκού νερού κοντά στην εγκατάσταση θα πρέπει να αποφεύγονται.

Η πρόσβαση από την ακτή είναι επίσης ουσιαστικός παράγοντας που θα καθορίσει την επιλογή θέσης εγκατάστασης. Πρέπει να ελεγχθεί η απόσταση του αδειοδοτημένου

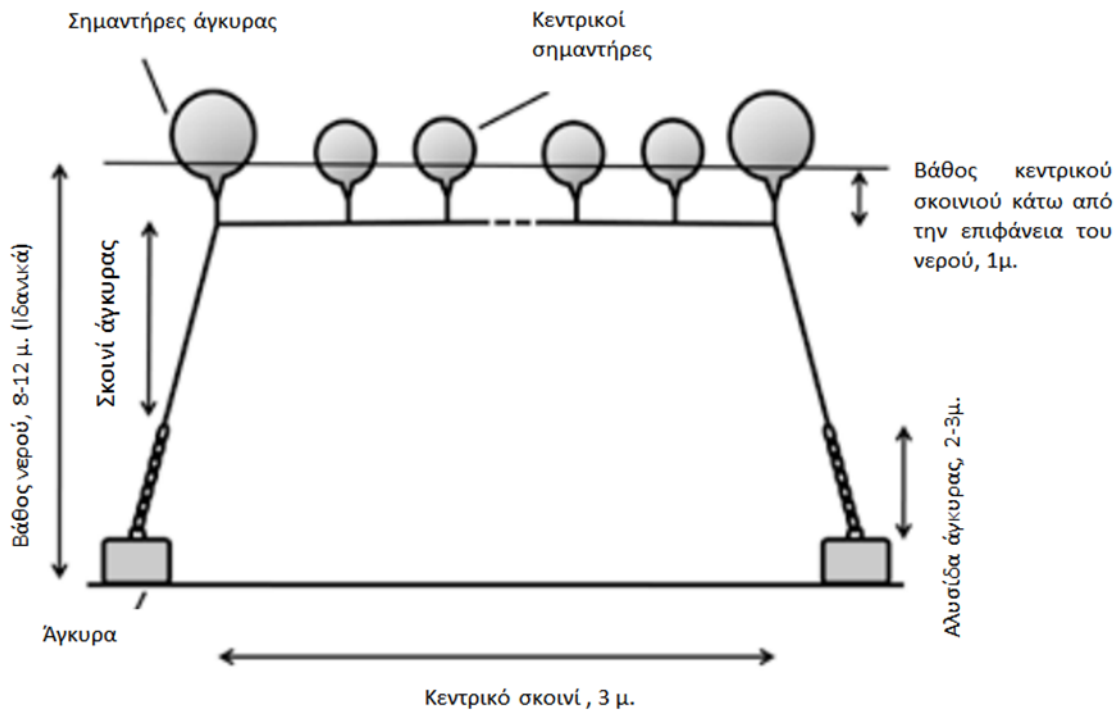
χώρου από την ακτή και αν υπάρχει προβλήτα διαθέσιμη προς χρήση από τα σκάφη της υδατοκαλλιέργειας. Η πρόσβαση στο σημείο θα πρέπει να είναι εφικτή ανεξάρτητα από την κατάσταση της παλίρροιας. Ταυτόχρονα, θα πρέπει να υπάρχουν ή να δημιουργηθούν οι κατάλληλες οδικές υποδομές για την ανάσυρση της συγκομιδής και των σκαφών από τη θάλασσα. Σημαντικό είναι να ελεγχθεί η ύπαρξη άλλων αδειοδοτημένων δραστηριοτήτων υδατοκαλλιέργειας για να μελετηθεί η πιθανότητα συνέργειας μεταξύ των δραστηριοτήτων, με κοινή χρήση σκαφών ή/και εξοπλισμού (Edwards et al., 2011).

4.2 Εξοπλισμός στη θαλάσσια εγκατάσταση

Για την καλλιέργεια μακροφυκών στο θαλάσσιο περιβάλλον, χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι. Οι Edwards et al., (2011) στις δοκιμές τους με το *L. digitata* επέλεξαν τη μέθοδο longline με κεντρικό σκοινί (single-header longline). Η δομή αυτή αποτελείται από ένα σύστημα αγκυροβόλησης που συνδέεται με το κεντρικό σκοινί που βρίσκεται κοντά στην επιφάνεια του νερού και επιπλέει με σημαντήρες (Εικόνα 4). Δύο βασικά πράγματα θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη σε αυτό το σύστημα, σχετικά με το κεντρικό σκοινί. Αρχικά, αυτό θα πρέπει να είναι πάντα τεντωμένο για να μην μπλέκονται οι πετονιές που κρέμονται από αυτό μεταξύ τους. Επίσης, θα πρέπει να τοποθετείται 0,5 έως 1 μέτρο κάτω από την επιφάνεια του νερού, καθώς το *L. digitata* αναπτύσσεται καλύτερα σε αυτό το βάθος όπου τα επίπεδα φωτός είναι χαμηλότερα κι έτσι δεν σταματάει η διαδικασία της φωτοσύνθεσης.

Εξοπλισμός για σύστημα longline 100 μέτρων (σύμφωνα με τους Edwards et al., 2011).

1. Άγκυρες - αυτές μπορεί να είναι φτιαγμένες από σκυρόδεμα κατάλληλου μεγέθους, τουλάχιστον 0,5 τόνο ανά block και κατά προτίμηση 1 τόνο για ένα σύστημα 100 μέτρων. Θα πρέπει να έχουν το κατάλληλο μέγεθος, σχήμα και βάρος για να εδράζονται στο εκάστοτε υπόστρωμα και να προσφέρουν την απαιτούμενη σταθερότητα.
2. Αλυσίδα βαρέως συνδέσμου - αρκετά μέτρα αλυσίδας με κρίκους 10-20 εκ. απαιτούνται για τη σύνδεση των αγκυρών με το σχοινί αγκύρωσης.
3. Σχοινί άγκυρας και σημαντήρας 25 mm προτείνεται σχοινί από πολυπροπυλένιο.
4. Σχοινί κεφαλής- Τα σχοινιά κεφαλής πρέπει να αποσυνδέονται εύκολα για τις διάφορες εργασίες κατά τη διάρκεια του έτους.
5. Σημαντήρες - απαιτείται πλευστότητα των σκοινιών για τη διατήρηση του συστήματος σε βάθος 0,5 - 1 m κάτω από την επιφάνεια του νερού. Οι μικρότεροι σημαντήρες λειτουργούν καλύτερα, αρκεί να είναι άφθονοι και ομοιόμορφα κατανεμημένοι. Αυτό θα προσφέρει την απαραίτητη πλευστότητα, η οποία θα στηρίζει το σχοινί κεφαλής, ακόμη και αν μία ή δύο σημαντήρες χαθούν με την πάροδο του χρόνου.
6. Σημαντήρες σήμανσης- όλες οι τοποθεσίες πρέπει να διαθέτουν άδεια υδατοκαλλιέργειας και άδεια προσήνεμης ακτής. Οι τοποθεσίες πρέπει επίσης να επισημαίνονται με σημαντήρες συγκεκριμένου τύπου.



Διάγραμμα 3. Διαγραμματική απεικόνιση συστήματος longline 100 μέτρων για καλλιέργεια *L. digitata*. Τροποποιημένο από Edwards et al., (2011).

4.3 Συντήρηση και καθαρισμός του longline.

Η συντήρηση μπορεί να γίνεται μηνιαία με περιοδικές επιθεωρήσεις. Κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου, είναι σκόπιμο να ελέγχονται οι συνδέσεις των σχοινιών της άγκυρας με το κεντρικό σχοινί και οι συνδέσεις των σημαντήρων με αυτό. Περιοδικοί έλεγχοι των αγκυρών και των συνδέσεων των αλυσίδων από τους δύτες είναι σκόπιμο να γίνονται για να μην υπάρχουν ξαφνικές καταστροφικές βλάβες των εξαρτημάτων. Συνιστάται να αντικαθίστανται οι κρίκοι κάθε 1-2 χρόνια, εάν απαιτείται. Ένα σκοινί longline μπορεί να μετακινηθεί ή να παρασυρθεί εάν ένα μεσαίου μεγέθους σκάφος προσδεθεί σε αυτό. Συνεπώς, προτείνεται να αξιολογείται περιστασιακά η τάση του κεντρικού σχοινιού και να προσαρμόζεται ανάλογα (Edwards, et al, 2011). Η συχνότητα και το είδος του

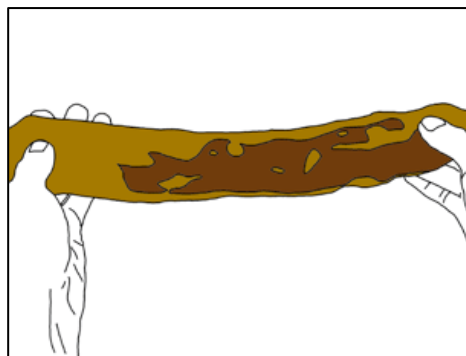
καθαρισμού εξαρτάται από την τοποθεσία. Πάντως, η επικάλυψη μυδιών είναι συχνό φαινόμενο και αυτά θα πρέπει να απομακρύνονται εγκαίρως, καθώς επιβαρύνουν το σύστημα καλλιέργειας. Στο τέλος κάθε καλλιεργητικής περιόδου τα σχοινιά θα πρέπει να αφαιρούνται από το νερό, να καθαρίζονται σχολαστικά και να αφήνονται να στεγνώνουν τελείως (Edwards, et al, 2011).

4.4 Εκκίνηση καλλιέργειας στο Εργαστήριο.

Συλλογή γόνιμων ατόμων *L. digitata* (Εικ.

6) από το θαλάσσιο περιβάλλον (Εικ. 7),

αυτά που έχουν αναπτύξει σωρούς πάνω στα ελάσματά τους, διακρίνονται από το πιο σκούρο χρώμα τους σε αντίθεση με το υπόλοιπο έλασμα. Απομάκρυνση μόνο των ελασμάτων που διαθέτουν τους σωρούς και όχι ολόκληρου του φύκου. Διατήρηση σε ψυχρό δοχείο με θαλασσινό νερό ως τη χρησιμοποίησή τους.

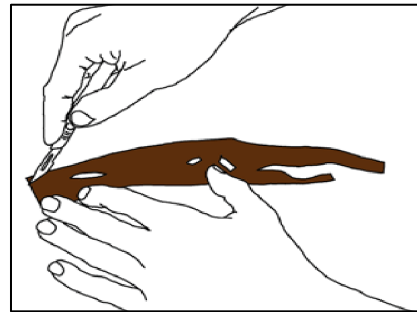


Εικόνα 6. Έλασμα *L. digitata* με εμφανή αναπαραγωγικά όργανα (sori) (Edwards et al., 2011).



Εικόνα 7. Φυσικό περιβάλλον *Laminaria digitata*. <https://www.nature.scot/> (28/01/2023)

Συλλογή μόνο των αναπαραγωγικών
οργάνων “sori” από τα ελάσματα,
χρησιμοποιώντας απολυμασμένη λεπίδα
(Εικ. 8). Διατήρηση σε ψυχρό μέρος (~
10°C) για 18 έως 24 ώρες.



Εικόνα 8. Συλλογή των σωρών με απολυμασμένη λεπίδα (Edwards et al., 2011).

Απελευθέρωση των ζωοσπορίων από
τους σωρούς. Κόψιμο των σωρών σε
μικρότερα κομμάτια, τοποθέτηση σε
ποτήρι ζέσεως με θαλασσινό νερό και
περιοδικά ανάδευση, για 30-45 λεπτά
(Εικ. 9).



Εικόνα 9. Sori τοποθετημένοι σε ποτήρι ζέσεως για απελευθέρωση των ζωοσπορίων (Edwards et al., 2011).

Τοποθέτηση σε μεγαλύτερο δοχείο και συμπλήρωση θρεπτικών μέσων για ανάπτυξη. Όπως κάθε χερσαία φυτική καλλιέργεια, η ανάπτυξη των φυκών επωφελείται από την προσθήκη αζώτου, φωσφόρου και καλίου σε συγκεκριμένες αναλογίες (N:P:K). Επίσης, σε αυτό το στάδιο ρυθμίζονται ο αερισμός, το φως και η θερμοκρασία (Εικ. 10).



Εικόνα 10. Καλλιέργειες σε διάφορα στάδια ανάπτυξης. Τοποθετούνται σε αεριζόμενο μέρος, κάτω από κόκκινο φως, στους 10°C (Edwards et al., 2011).

4.4.1 Συνθήκες εργαστηρίου

Είναι σημαντικό κατά τη διαδικασία ανάπτυξης της καλλιέργειας στο εργαστήριο να ελέγχονται οι παράμετροι που αναφέρονται παρακάτω.

Θερμοκρασία. Απαιτείται ένας κλειστός χώρος με ελεγχόμενη θερμοκρασία και μόνωση, όπου θα διατηρείται σταθερή θερμοκρασία περίπου 10°C ($\pm 1^\circ\text{C}$). Τα δοχεία καλλιέργειας πρέπει να εκτίθενται σε ψυχρό αέρα, γεγονός που απαιτεί μεγάλες ποσότητες νερού να μπορούν να ψύχονται στην ίδια θερμοκρασία την ίδια στιγμή.

Θαλασσινό νερό. Στην καλλιέργεια φυκών, η ποιότητα του νερού είναι εξαιρετικά σημαντική και θα πρέπει να αντικατοπτρίζει το είδος που καλλιεργείται. Το νερό για καλλιέργεια του είδους *Laminaria digitata* πρέπει να είναι αλατούχο (34-35 ppt) και να συλλέγεται από μη μολυσμένα παράκτια ύδατα. Μετά τη λήψη του θαλασσινού νερού,

αυτό θα πρέπει να περνάει από φίλτρο για τα μεγαλύτερα σωματίδια και να μεταφέρεται σε μια μεγάλη δεξαμενή για να καθιζάνουν τα μικρότερα. Η διείσδυση του φωτός στη δεξαμενή πρέπει να αποφεύγεται, καθώς αυτό θα προκαλέσει την ανάπτυξη άλλων φυκών. Το θαλασσινό νερό από τη δεξαμενή θα πρέπει να περνάει από ένα πιο λεπτό σύστημα φιλτραρίσματος, όπως φίλτρα άμμου κατάλληλου μεγέθους, ακολουθούμενα από αποστείρωση με υπεριώδες φως (UV). Η διήθηση σωματιδίων σε αυτή τη φάση θα είναι μικρότερη από 1-5 μm .

Διαθεσιμότητα αέρα. Για το χώρο εκκόλαψης των ζωοσπορίων στο εργαστήριο, συνιστάται ένας ειδικός ανεμιστήρας που θα παρέχει τον απαραίτητο αέρα. Η έλλειψη επαρκούς αέρα αναπτύσσει γρήγορα "νεκρούς χώρους" στις δεξαμενές, με αποτέλεσμα την υποβάθμιση και απώλεια του πληθυσμού της καλλιέργειας.

Αποστράγγιση. Όσον αφορά την αποστράγγιση για το δωμάτιο καλλιέργειας, ένα κατάλληλο μέγεθος δεξαμενών έως και 1000 L, που θα χρησιμοποιούνται ως αποχέτευση, θα πρέπει να ενσωματωθεί στο σχεδιασμό του χώρου. Ένα δάπεδο με ελαφρά κλίση προς το σημείο αποστράγγισης είναι επίσης σημαντικό, καθώς και αντιολισθητικές επιφάνειες στο δαπέδο.

Φωτισμός. Το φως παίζει ουσιαστικό ρόλο στην καλλιέργεια όλων των οργανισμών που βασίζονται στη φωτοσύνθεση για την ανάπτυξή τους. Τα φύκια απαιτούν μεταβαλλόμενες συνθήκες φωτισμού κατά τη διάρκεια της ημέρας, κατά τη διάρκεια παραμονής τους στο εργαστήριο, άρα ένα προσαρμόσιμο σύστημα φωτισμού θα προσφέρει μεγαλύτερο όφελος. Ο φωτισμός φθορισμού χρησιμοποιείται συνήθως σε χώρους καλλιέργειας καθώς

δεν εκπέμπει μεγάλη ποσότητα θερμότητας και είναι σχετικά σταθερός. Συνδέοντας χρονοδιακόπτες σε αυτά τα φώτα, η διάρκεια της ημέρας μπορεί επίσης να χειραγωγηθεί. Το χρώμα του φωτισμού -κυρίως μπλε φως που χρειάζεται το *L. digitata* για να αναπτυχθεί- μπορεί επίσης να ρυθμιστεί.

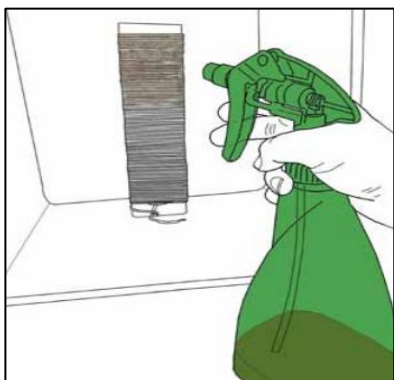
Θρεπτικά μέσα. Γίνεται προσθήκη Αζώτου, Φωσφόρου και Καλίου σε συγκεκριμένες αναλογίες μεταξύ τους. Αυτά τα χημικά στοιχεία είναι πιθανότερο να παρασχεθούν με τη μορφή νιτρικών και φωσφορικών αλάτων. Τα τελευταία 50 χρόνια έχει αναπτυχθεί ένα ευρύ φάσμα θρεπτικών μέσων και έχει προσαρμοστεί για να παρέχει συγκεκριμένα μακροθρεπτικά συστατικά σε κάθε τύπο άλγους. Επίσης, απαιτούνται ιχνοστοιχεία μετάλλων και βιταμίνες για την κανονική ανάπτυξή τους. Τα μακροθρεπτικά συστατικά, τα ιχνοστοιχεία και οι βιταμίνες παρασκευάζονται ξεχωριστά σε διαλύματα και εφαρμόζονται στην καλλιέργεια, μετά από κατάλληλη μίξη τους με απιονισμένο νερό. Ουσιαστική είναι η απολύμανση κάθε διαλύματος και η αποθήκευσή τους στο ψυγείο. Αυτά τα μέσα μπορούν επίσης να προμηθευτούν από την αγορά προπαρασκευασμένα, σε υγρή ή στερεή μορφή.

4.5 Ανάπτυξη των σπορόφυτων.

Μετά από 3-5 μήνες, οι καλλιέργειες των γαμετοφύτων έχουν αναπτύξει επαρκή βιομάζα ώστε να χρησιμοποιηθεί για ψεκασμό στο σχοινί καλλιέργειας για ανάπτυξη στη θάλασσα. Πριν συμβεί αυτό ωστόσο, οι καλλιέργειες τοποθετούνται σε νέες συνθήκες καλλιέργειας για σύντομο χρονικό διάστημα για να προκληθεί γονιμότητα. Απαιτείται εκ νέου ενίσχυση με θρεπτικά μέσα και ρυθμιζόμενες λάμπες φθορισμού που να παρέχουν

ίσες περιόδους φωτός και σκοταδιού. Κατά την περίοδο αυτή, τα θηλυκά γαμετόφυτα αναπτύσσουν ωάρια και τα αρσενικά γαμετόφυτα παράγουν σπέρμα. Η γονιμοποίηση λαμβάνει χώρα και δημιουργείται ένα ζυγωτό από το οποίο αναπτύσσονται τα νεαρά σπορόφυτα. Μετά από 10 έως 15 ημέρες, αναπαραγωγικές δομές θα είναι εμφανείς, οπότε η καλλιέργεια είναι έτοιμη για σπορίωση στο σκοινί καλλιέργειας, με τη βοήθεια συλλεκτών (Εικ. 11).

Τοποθέτηση σε δεξαμενές καλλιέργειας. Μόλις ψεκαστούν, οι συλλέκτες των σπορόφυτων πρέπει να τοποθετηθούν αμέσως σε δεξαμενές καλλιέργειας, οπότε αυτές θα πρέπει ήδη να έχουν εγκατασταθεί πριν από τη χρήση. Οι συλλέκτες αναρτώνται κάθετα στις δεξαμενές, οι οποίες είναι γεμάτες με φιλτραρισμένο και αποστειρωμένο με UV θαλασσινο νερό (Εικ. 12). Προστίθενται ξανά τα κατάλληλα θρεπτικά μέσα, στις απαιτούμενες ποσότητες για τον όγκο του νερού που χρησιμοποιείται. Οι καλλιέργειες πρέπει να αναπτυχθούν στο εργαστήριο για τουλάχιστον ένα μήνα πριν από τη μεταφορά τους στη θάλασσα (Εικ. 13), αλλά μπορούν να παραμείνουν στο εργαστήριο έως και 2 μήνες εάν οι καιρικές συνθήκες δεν επιτρέπουν τη μεταφορά.



Εικόνα 11. Συλλέκτης καλλιέργειας έτοιμος για σπορίωση (Edwards et al., 2011).



Εικόνα 12. Σποριωμένοι συλλέκτες τοποθετημένοι σε δεξαμενή καλλιέργειας (Edwards et al., 2011).



Εικόνα 13. Ανάπτυξη νεαρών ατόμων *L. digitata* στο σκοινί καλλιέργειας, περίπου 3 εβδομάδες μετά τον ψεκασμό των σπορόφυτων πάνω σε αυτό (Edwards et al., 2011).

4.6 Μεταφορά καλλιέργειας σπορόφυτων από το εργαστήριο στη θάλασσα

Η μεταφορά της καλλιέργειας στο υδάτινο περιβάλλον, προϋποθέτει την εγκατάσταση του συστήματος στην επιλεγμένη τοποθεσία., όπως αναφέρεται στο Υποκεφάλαιο 4.1. Μόλις τοποθετηθεί το σχοινί με την αναπτυσσόμενη καλλιέργεια, οι σημαντήρες θα πρέπει να συνδεθούν σε κατάλληλες αποστάσεις (π.χ. κάθε 5-8m). Οι σημαντήρες θα διατηρούν επομένως τη θέση του σχοινιού κεφαλής στη στήλη του νερού καθώς τα φύκη αναπτύσσονται και αυτό θα γίνεται βαρύτερο.

Απαιτείται επίσης ένα κατάλληλο σκάφος για την πρόσβαση στο σημείο της γραμμής (ή των γραμμών) του συστήματος longline, που θα χρησιμοποιηθεί για τη συντήρηση και τη συγκομιδή. Η επιλογή του σκάφους είναι σημαντική για και θα

επηρεάσει την ευκολία και την ασφάλεια κατά τη διάρκεια και των δύο αυτών δραστηριοτήτων. Η εκτίμηση της ποσότητας της παραγόμενης βιομάζας καθορίζει επίσης το μέγεθος του σκάφους που χρειάζεται.

Οι συνθήκες μεταφοράς στο σκάφος είναι επίσης σημαντικές για οποιαδήποτε ανάπτυξη φυκιών, ειδικά αν διαρκεί περισσότερο από 15 λεπτά για να φθάσουν στην περιοχή. Οι συλλέκτες αφαιρούνται από τις δεξαμενές καλλιέργειας και μεταφέρονται σε δοχεία με υγρό περιβάλλον.

Μετά την εγκατάσταση του συστήματος καλλιέργειας στο τελικό περιβάλλον ανάπτυξης, προτείνεται από τους Edwards, et al, (2011) επίσκεψη στο χώρο καλλιέργειας μία φορά το μήνα για συντήρηση και παρακολούθηση της ανάπτυξης. Η συλλογή δειγμάτων ανά μηνιαία βάση, σίγουρα θα βοηθήσει στη στατιστική σύγκριση ανά το χρόνο. Αναμένεται ότι η μέγιστη απόδοση ανά θέση θα προκύψει μετά από 5-6 μήνες ανάπτυξης. Η συγκομιδή συμβαίνει κατά τους μήνες Απρίλιο-Μάιο, πριν από την άνοδο της θερμοκρασίας των υδάτων και την υποβάθμιση της ποιότητας των φυκών.

Για μεγάλες θαλάσσιες περιοχές με πολλές γραμμές longline, η συγκομιδή θα απαιτήσει ένα σκάφος από το οποίο είναι εύκολο να εργαστεί κανείς και μπορεί να αποθηκεύει τη βιομάζα μέχρι να παραδοθεί στην ακτή, οπότε ενδέχεται να χρειαστεί φορτηγίδα για την αποτελεσματική συγκομιδή (Εικ 14). Τα φύκη κόβονται και έπειτα μεταφέρονται μέσω ενός ιμάντα σε μια μεγάλη σακούλα αποθήκευσης. Αφού αφαιρεθούν όλα τα φύκια από ένα σχοινί κεφαλής, αυτό μπορεί επίσης να αφαιρεθεί. Η συλλεχθείσα

βιομάζα μπορεί στη συνέχεια να μεταφερθεί οδικώς για περαιτέρω επεξεργασία σε άλλη εγκατάσταση.



Εικόνα 14. Συγκομιδή *L. digitata* από καλλιέργεια σε σύστημα longline. (Dave Millard,BIM, 2011, (Edwards et al.,2011).

5. Χρήσεις-Οφέλη

Το φύκος *L. digitata* έχει μια μακρά ιστορία χρήσης σαν τρόφιμο, αρωματικό μέσο και χρησιμοποιείται ανέκαθεν στην παραδοσιακή ιατρική. Σύγχρονα, τα προϊόντα από αυτό κυμαίνονται από τρόφιμα, ζωοτροφές και συμπληρώματα διατροφής μέχρι φαρμακευτικά προϊόντα, βιοκαύσιμα έως και υλικά συσκευασίας (βιοπλαστικά). Οι ιδιότητες που σχετίζονται με τους πολυσακχαρίτες και τις πρωτεΐνες που περιέχει, έχουν οδηγήσει σε αυξημένο ενδιαφέρον για αυτό, επιτρέποντας τη χρήση του ως λειτουργικό τρόφιμο. Είναι σημαντικό ότι η καλλιέργεια φυκών δεν απαιτεί καλλιεργήσιμη γη, γλυκό νερό ή λιπάσματα που προέρχονται από ορυκτά καύσιμα, τα οποία σε μεγάλο βαθμό περιορίζονται και συνεπάγονται σημαντικό κόστος. Από το 2000 παρατηρήθηκε

αυξανόμενη ζήτηση διάφορων ειδών φυκών, όπως και του *L. digitata* για τη διατροφή, για βιομηχανική χρήση και υπηρεσίες οικοσυστημάτων, ακόμη και σε περιοχές εκτός της Κίνας, της Ιαπωνίας, της Κορέας και τμημάτων της Νότιας Αμερικής, όπου τα φύκια καταναλώνονται ως τροφή εδώ και αιώνες (Smaal et al., 2019, Barbier et al., 2019-Dillehay et al., 2008). Ταυτόχρονα, διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στο υδάτινο οικοσύστημα, παρέχοντας προστασία των ακτογραμμών και των ενδιαιτημάτων για τους υδρόβιους οργανισμούς, όπως οι χώροι αναπαραγωγής και μπορεί να συνεισφέρει σε ερευνητικούς σκοπούς, όπως για την αξιολόγηση ορισμένων ποιοτικών χαρακτηριστικών του νερού, που θα βοηθήσει στη δημιουργία πολιτικών για την προώθηση βιώσιμων πρακτικών στην υδατοκαλλιέργεια (Ratcliff et al., 2016).

5.1 Κοινωνικο-οικονομικά οφέλη/ χρήσεις

5.1.1 Στη βιομηχανία τροφίμων και ζωοτροφών

Από τους 32 Mt καλλιεργούμενων φυκιών, το 99% παράγεται στην Ασία και το 31-38% της ποσότητας αυτής καταναλώνεται άμεσα ως τρόφιμο (FAO, 2020, Barbier et al., 2019). Τα φύκια ως τρόφιμο, χρησιμοποιούνται σε σαλάτες, σούπες, σούσι κ.λπ., είναι χαμηλών θερμίδων και παρέχουν βιταμίνες A, B, C και E, φυτικές ίνες, ωμέγα-3 λιπαρά οξέα και απαραίτητα αμινοξέα. Ένας αυξανόμενος αριθμός μελετών έχουν αναδείξει τα μικροδιατροφικά χαρακτηριστικά των φυκών που οφελούν τον άνθρωπο (Mouritsen et al., 2019), αλλά τα οφέλη είναι δύσκολο να ποσοτικοποιηθούν λόγω της διακύμανσης μεταξύ των ειδών, των εποχών και των παράκτιων περιβαλλόντων, καθώς και της έλλειψης σαφών επιστημονικών στοιχείων σχετικά με τη διατροφική βιοδιαθεσιμότητα και τις μεταβολικές διεργασίες που σχετίζονται με την κατανάλωση φυκών (Wells et al.,

2017). Το θρεπτικό περιεχόμενο στα Φαιοφύκη όσον αφορά τα λίπη, τις πρωτεΐνες και τους υδατάνθρακες εξαρτάται από την εποχή και την τοποθεσία συγκομιδής. Συγκεκριμένα, η περιεκτικότητά τους σε λίπος είναι μικρότερη από 5% του ξηρού βάρους (DW), με το *L. digitata* που συγκομίστηκε στην Ιρλανδία να περιέχει μόνο 1% λίπος (Morrissey et al., 2001). Οι τιμές του ποσοστού πρωτεΐνης κυμαίνονται από 5 έως 20%. Το *L. digitata* που συλλέχθηκε από τις ακτές του Ηνωμένου Βασιλείου είχε περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες 15,9% (DW) (Marsham et al., 2007). Οι υδατάνθρακες αντιπροσωπεύουν το 13-60% του DW των Φαιοφυκών (Holdt et al., 2011-Rajauria 2015). Σε μια μελέτη που ελήφθησαν δείγματα στα ανοικτά του Isle of Seil στη Σκωτία, σε οκτώ περιπτώσεις μεταξύ Αυγούστου 2010 και Οκτωβρίου 2011, διαπιστώθηκε ότι η περιεκτικότητα σε υδατάνθρακες κυμαινόταν από $34,6 \pm 3,1\%$, DW στα *L. digitata* (Bixler & Porse, 2011) (Πίν. 3).

Πίνακας 3. Διατροφικό περιεχόμενο (Πρωτεΐνες, Υδατάνθρακες, Λίπη) των Φαιοφυκών και ειδικότερα του είδους *L. digitata*, εκφρασμένο σε ποσοστό επί του Ξηρού Βάρους τους (DW).

	Έυρος στα Φαιοφύκη (% DW)	<i>L. digitata</i> (% DW)	Βιβλιογραφία
Πρωτεΐνες	5 έως 20	15,9	Marsham et al., 2007
Υδατάνθρακες	13 έως 60	34,6 +- 3,1	Schiener et al., 2015
Λίπη	<5	1,0	Morrissey et al., 2001

Τα κυριότερα εμπορικά εκχυλίσματα φυκών, συμπεριλαμβανομένου του *L. digitata* είναι τα υδροκολλοειδή, που περιλαμβάνουν το άγαρ, τα αλγινικά και τις καραγενάνες, τα οποία χρησιμοποιούνται σε πολλά προϊόντα διατροφής, όπως σάλτσες, παγωτά και ποτά και αντιπροσωπεύουν περίπου το 40% των της παγκόσμιας αγοράς υδροκολλοειδών

(FAO, 2018). Τα υδροκολλοειδή που προέρχονται από τα φύκη ονομάζονται φυκοκολλοειδή. Το πιο χρήσιμο φυκοκολλοειδές που προέρχεται από τα *Laminaria sp.* στη βιομηχανία τροφίμων είναι το αλγινικό άλας (McHugh, 2003) που αποτελεί διαλυτή πηγή φυτικών ινών (MacArtain et al., 2007). Σε σύγκριση με ένα άλλο φύκος, το *M. pyrifera*, το *L. digitata* περιέχει 32,2% αλγινικό οξύ, 5,5% φουκοϊδάνη, 14,4% λαμιναρίνη και 13,3% μαννιτόλη (MacArtain, et al., 2007). Η συνολική περιεκτικότητα του *L. digitata* σε φυτικές ίνες σε σύγκριση με τρόφιμα ολικής, παρέχει 6,2 g/100 g υγρού βάρους- η τιμή αυτή υπερβαίνει άλλα μη επεξεργασμένα τρόφιμα, συμπεριλαμβανομένου του καστανού ρυζιού (3,8 g/100 g βάρους), με εξαίρεση τις καφέ φακές (8,2 g/100 g βάρους) (MacArtain, et al., 2007). Επίσης, περιέχουν λιγνάνες που μετατρέπονται εύκολα από την εντερική μικροχλωρίδα σε μη στεροειδή οιστρογονικά μόρια (Kolb et. al., 2004). Έχει αποδειχθεί ότι βελτιώνουν την υγεία του πεπτικού συστήματος, μειώνουν τον κίνδυνο καρκίνου του παχέος εντέρου και συμβάλλουν στο μετριασμό της παχυσαρκίας (Rajapakse & Kim, 2011).

Στο πλαίσιο των λειτουργικών τροφίμων, η προσθήκη συμπληρωμάτων από φύκη για τη βελτίωση της διατροφικής αξίας ενός τροφίμου για την παροχή ουσιωδών αμινοξέων φαίνεται να έχει δυνατότητες. Όσον αφορά τους κανονισμούς, στις ΗΠΑ, ο Οργανισμός Τροφίμων και Φαρμάκων (FDA) χρησιμοποιεί την ονομασία GRAS (Generally Recognized As Safe-Ευρέως Αναγνωρισμένο Ως Ασφαλές) και το *L. digitata* αναφέρεται ως GRAS για ανθρώπινη κατανάλωση ως ενισχυτικό γεύσης, με συγκεντρώσεις στα τρόφιμα που δεν υπερβαίνουν τις τρέχουσες πρακτικές παραγωγής (GMP) (Becker & Cherian 2018).

Στη βιομηχανία ζωοτροφών, Το *L. digitata* χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή ακατέργαστου αλγινικού άλατος για χρήση ως συνδετικού υλικού για ζωοτροφές σολομού (McHugh, 2003) και ως τροφή για αλγοφάγα ζώα στην Ευρώπη (Morrissey et al., 2001).

5.1.2 Στη Φαρμακευτική βιομηχανία- Ιατρική

Υπάρχει αυξανόμενο ενδιαφέρον για τις θαλάσσιες βιοδραστικές ενώσεις για χρήση σε φαρμακευτικές εφαρμογές. Η χρήση των καφέ φυκών για τη θεραπεία ιατρικών παθήσεων καταγράφηκε στη δεκαετία του 1750 από έναν γιατρό ο οποίος χρησιμοποίησε τέφρα από θαλλούς φυκών, που είναι πλούσιοι σε ιοδίνη και συνέβαλε στη θεραπεία της βρογχοκήλης. Έχει ήδη αποδειχθεί ότι τα εκχυλίσματα φυκών βελτιώνουν την υγεία των ζώων και του ανθρώπου και παρουσιάζουν θετική επίδραση σε ασθένειες όπως ο καρκίνος, το AIDS, ο διαβήτης κ.λπ. (Lønvstad Holdt & Kraan, 2011- Smit, 2004). Το *L. digitata* είναι γνωστό σε αυτό τον κλάδο για τις αντιφλεγμονώδεις, αντιοξειδωτικές και αντιμικροβιακές του ιδιότητες και έχει χρησιμοποιηθεί για τη θεραπεία διαφόρων παθήσεων, όπως δερματικές διαταραχές, πεπτικά ζητήματα και αναπνευστικά προβλήματα (Purcell et al., 2021).

Το *L. digitata* παρέχει αλγινικά άλατα νατρίου και ασβεστίου με ένα εύρος ιξώδους από χαμηλό έως υψηλό, τα οποία επιτρέπουν στους επιδέσμους τραυμάτων να σταματήσουν την αιμορραγία βοηθώντας την πήξη του αίματος (Mc Hugh, 2003). Σε μία έρευνα των Cumashi et al. (2007), το *L. digitata* ήταν ένα από τα καφέ φύκη όπου τα εκχυλίσματα από αυτό παρουσίασαν ισχυρή αντιθρομβωτική δράση, αντιφλεγμονώδεις δραστηριότητες και μείωση του πολλαπλασιασμού των όγκων, με αποτελέσματα 80% (και

με σαφέστατη στατιστικά σημαντική διαφορά, $P < 0,01$) μείωση της προσκόλλησης των καρκινικών κυττάρων στα ανθρώπινα αιμοπετάλια υπό στατικές συνθήκες.

Ένα ακατέργαστο εκχύλισμα φυκών πλούσιο σε πολυσακχαρίτες από το *L. digitata* δοκιμάστηκε για την επίδρασή του στη μεταβολική δραστηριότητα του ανθρώπινου εντερικού μικροβιόκοσμου. Οι ερευνητές παρατήρησαν βελτιωμένη μικροβιακή χλωρίδα του εντέρου και αυξημένα λιπαρά οξέα βραχείας αλυσίδας (Strain et al., 2020).

Αλγινικά και λαμιναρίνες που εξάγονται από το *Laminaria* sp., έχουν χρησιμοποιηθεί στη βιομηχανία καλλυντικών για το φάσμα των χρήσεών τους ως πηκτικά κολλοειδή και σταθεροποιητές γαλακτωμάτων για την προσθήκη σε λοσιόν και ενυδατικές κρέμες (Εικ. 15, 16). Αυτά δρουν ως ενυδατικοί παράγοντες για το δέρμα με προστατευτικές, καταπραϋντικές και εξομαλυντικές ιδιότητες καθώς και ως ανοσοδιεγερτικοί, αντιοξειδωτικοί, αντικυτταριτιδικοί και αντιφλεγμονώδεις παράγοντες (Tonnesen & Karlsen, 2002, Stengel et al., 2011, Malinowska, 2011). Ακόμη, στην αγορά υπάρχει ένα προϊόν που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ομοιοπαθητικό φάρμακο και παράγεται από δύο εταιρείες: Actipone® και Boiron (SpecialChem2022, Boiron 2022).



Εικόνα 15. Βάμμα από εκχύλισμα *L. digitata*. (<https://www.desertcart.com.kw/products/254448214-sugar-kelp-or-kombu-laminaria-l-digitata-thallus>)



Εικόνα 16. Συμπλήρωμα διατροφής από *L. digitata*. (<https://ninelife.com.lb/products/kelp-laminaria-digitata-extract-capsules-100>)

Οι χλωροταννίνες είναι μια μεγάλη και ποικίλη ομάδα φυσικών πολυφαινολικών ενώσεων και είναι επίσης δευτερογενείς μεταβολίτες που απαντώνται στα Φαιοφύκη (Jacobsen et al., 2019). Οι χλωροταννίνες εμφανίζουν αποτελεσματική αντιοξειδωτική δράση μέσω της ικανότητάς τους να απομακρύνουν τα αντιδραστικά είδη οξυγόνου (Shin et al., 2014). Επιπλέον, βρέθηκε ότι παρουσιάζουν αντιαλλεργικές, λευκαντικές, αντιρυτιδικές και αντιγηραντικές δράσεις για το δέρμα (Sanjeewa et al., 2016) (Εικ.17 και 18). Οι χλωροταννίνες είναι συστατικά των κυτταρικών τοιχωμάτων και βρίσκονται επίσης σε κυστίδια στο κυτταρόπλασμα. Αυτές οι ενώσεις μπορούν να αποτελέσουν έως και το 20% του ξηρού βάρους των φυκών (Ragan & Glombitza, 1986). Πρόσφατη μελέτη για το *L. digitata* βρήκε ότι η περιεκτικότητά του σε χλωροταννίνη ήταν ~4,5% της ξηράς ουσίας (Vissers et al., 2017).

Υπάρχει περαιτέρω δυνατότητα ανάπτυξης προϊόντων σε αυτόν τον τομέα, με νέες εφαρμογές των αλγινικών και λαμιναρινών που διερευνώνται και εκχυλίσματα πλούσια σε πολυσακχαρίτες που περιλαμβάνονται σε προϊόντα φροντίδας του δέρματος για τη μείωση των επιπτώσεων της γήρανσης (Bommers, <https://www.la-mer.com/en/>, Πρόσβαση: Ιανουάριος 2023)

5.1.3 Παραγωγή Βιοπλαστικών

Η ζήτηση για προϊόντα φυκών σε έναν κόσμο χαμηλών εκπομπών άνθρακα είναι εκτεταμένη και αυξανόμενη (FAO, 2021, White, et al., 2015). Τα βιοπλαστικά, είναι πλαστικά που προέρχονται από ανανεώσιμες πηγές όπως τα φυτά και οι μικροοργανισμοί. Τα υλικά αυτά κερδίζουν ολοένα και μεγαλύτερη δημοτικότητα ως εναλλακτική λύση στα παραδοσιακά πλαστικά που βασίζονται σε ορυκτά καύσιμα, λόγω των βιοδιασπώμενων ιδιοτήτων τους, που σημαίνει ότι μπορούν να διασπαστούν σε φυσικά στοιχεία με την πάροδο του χρόνου. Επιπλέον, λόγω της αύξησης των περιβαλλοντικών στερεών αποβλήτων, η τεράστια συσσώρευση μη βιοαποικοδομήσιμων αποβλήτων συσκευασίας έχει καταστεί μείζον ζήτημα για το περιβάλλον, γεγονός που προτρέπει σε περισσότερες έρευνες για την ανάπτυξη συσκευασιών από υλικά βιολογικής βάσης που αποδομούνται πιο αποτελεσματικά. Τα τελευταία χρόνια, διερευνάται η δυναμική χρήση του *L. digitata* ως πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοπλαστικών, λόγω του υψηλού ποσοστού πολυσακχαριτών που περιέχει.

Ειδικότερα, τα κλάσματα κυτταρίνης και αλγινικού οξέος της άλγης έχουν βρεθεί ότι είναι κατάλληλα για την παραγωγή βιοπλαστικών με διάφορες ιδιότητες και εφαρμογές (Blanco-Pascual et al., 2014). Οι ερευνητές κατάφεραν να δημιουργήσουν φιλμ χρησιμοποιώντας εκχυλίσματα *L. digitata*, με καλή πλαστικοποιητική ικανότητα και μηχανικές ιδιότητες συγκρίσιμες με εκείνες των παραδοσιακών πλαστικών (Blanco-Pascual et al., 2014). Διαπιστώθηκε ότι η *L. digitata* μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή βιοπλαστικών με ιδιότητες κατάλληλες για χρήση στη βιομηχανία συσκευασίας, όπως υψηλή αντοχή σε εφελκυσμό και καλές ιδιότητες φραγμού οξυγόνου (Blanco-Pascual et al., 2014). Επιπροσθέτως, χάρη στις χρωστικές ουσίες και την υψηλότερη παρουσία θειούχων πολυσακχαριτών, οι Blanco-Pascual et al. (2014) απέδειξαν ότι μπορούν να δημιουργηθούν μεμβράνες με τις υψηλότερες αντιοξειδωτικές ιδιότητες, οι οποίες θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για τη βελτίωση της συντήρησης των τροφίμων ή για το σχεδιασμό λειτουργικών τροφίμων (Zhong et al., 2020- Rujnic-Sokele & Pilipovic, 2017, Siracusa et al., 2008).

Τα βιοπλαστικά είναι φιλικά προς το περιβάλλον και μπορούν να διασπαστούν ολοκληρωτικά μέσα σε αυτό. Ωστόσο, η βασική πρόκληση για τη μαζική παραγωγή του είναι το ακριβό κόστος παραγωγής, συγκριτικά με τα κοινά πλαστικά (Morrissey et al., 2001). Συνολικά, το *L. digitata* βρέθηκε να είναι μια πολλά υποσχόμενη πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοπλαστικών, με δυνατότητες για ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών. Ωστόσο, απαιτείται περισσότερη έρευνα για την πλήρη κατανόηση των δυνατοτήτων αυτού του φύκου ως πρώτης ύλης (Yap et al., 2022).

5.1.4 Παραγωγή Βιοκαύσιμων

Η ανάγκη για παραγωγή ενέργειας από εναλλακτικές πηγές εκτός από τα ορυκτά καύσιμα σε μία προσπάθεια μετριασμού των παγκόσμιων εκπομπών CO₂ και την αντιμετώπιση ζητημάτων ασφάλειας των καυσίμων, είναι επιτακτική. Η βιομάζα είναι κυρίαρχο συστατικό στοιχείο για τη δημιουργία ανανεώσιμης ενέργειας, ωστόσο η χρήση βιομάζας από την ξηρά μπορεί να συνεπάγεται αρνητικές επιδράσεις στην παραγωγή τροφίμων για τον άνθρωπο και τα ζώα (Adams et al., 2011). Η βιομάζα από τη θάλασσα, αποτελεί περισσότερη από τη μισή πρωτογενή παραγωγή παγκοσμίως (Carlsson et al., 2007), οπότε η χρήση της για παραγωγή ενέργειας θα μείωνε ουσιαστικά την πίεση στη χερσαία παραγωγή. Η μελέτη των Adams et al. (2011), εξέτασε τις δυνατότητες του *L. digitata* ως πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοκαυσίμων, μετρώντας τους αρχικούς ρυθμούς πυρόλυσης με θερμοχημικές μεθόδους. Εξέτασαν την καταλληλότητά του καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, κάνοντας χρήση δειγμάτων που συγκομίζαν μηνιαία. Παρατηρήθηκε ότι τα δείγματα που συγκομίστηκαν τον Μάρτιο περιείχαν το χαμηλότερο ποσοστό υδατανθράκων και την υψηλότερη περιεκτικότητα σε τέφρα και αλκαλικά μέταλλα, ενώ τα δείγματα που συγκομίστηκαν τον Ιούλιο περιείχαν τα υψηλότερα ποσοστά αυτών των παραμέτρων. Συνεπώς, ο Ιούλιος θεωρήθηκε ο καταλληλότερος μήνας για τη συγκομιδή βιομάζας φυκών για θερμοχημική μετατροπή σε βιοκαύσιμα.

Σε επιπλέον έρευνα, οι Adams et al. (2011) δείχνουν ότι το *L. digitata* μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πρώτη ύλη και για βιοχημική μετατροπή, τόσο στη ζύμωση αιθανόλης όσο και στην αναερόβια χώνευση για την παραγωγή μεθανίου. Οι ερευνητές, μετά από

βελτιστοποίηση κάποιων παραμέτρων κατά τη ζύμωση του μακροφύκου, κατέληξαν στα ίδια αποτελέσματα όσον αφορά την καλύτερη εποχή συγκομιδής, με τη βιομάζα του Ιουλίου να περιέχει την υψηλότερη συνδυασμένη περιεκτικότητα σε λαμιναρίνη και μαννιτόλη, καθώς και αποδόσεις αιθανόλης και βιομάζας.

5.2 Περιβαλλοντικές χρήσεις

Εκτός από την κοινωνικοοικονομική της αξία, το *L. digitata* μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ερευνητικούς σκοπούς, όπως για την αξιολόγηση ορισμένων ποιοτικών χαρακτηριστικών του νερού, αξιοποιώντας την ικανότητά του να δεσμεύει άζωτο, καθώς και για την καλύτερη κατανόηση της τοξικότητας και του μηχανισμού της αντιοξειδωτικής άμυνας των θαλάσσιων φαιοφυκών σε απόκριση στο στρες που προκαλείται από μέταλλα. Το *L. digitata* έχει επίσης χρησιμοποιηθεί σε μελέτες για την αξιολόγηση των φυσιολογικών αποκρίσεων σε υψηλές θερμοκρασίες προκειμένου να συσχετιστεί η ανθεκτικότητα του είδους στη θερμότητα.

5.2.1 Αντιοξειδωτική άμυνα

Στο θαλάσσιο περιβάλλον, τα καφέ φύκη αναγκάζονται να αναπτύξουν ορισμένους αμυντικούς μηχανισμούς για την αντιμετώπιση διαφόρων αβιοτικών καταπονήσεων (Contreras et al., 2005). Στη μελέτη των Ritter et al., (2008), διερευνήθηκαν οι διεργασίες υπεροξειδωσης λιπαρών οξέων στο *L. digitata*, καθώς η έκθεση σε περίσσεια χαλκού προκαλεί συσσώρευση λιποπεροξειδίου και αυξάνει την απόκριση γονιδίων που σχετίζονται με το στρες. Επίσης, αυξάνει την απελευθέρωση ελεύθερων λιπαρών οξέων, το οποίο μπορεί να οδηγήσει σε υπεροξειδωση των λιπιδίων και έτσι να διασπαστεί ο κυτταρικός ιστός και να προκληθεί βλάβη στο γενετικό υλικό (DNA). Η μελέτη των Ritter

et al, (2008) διαπίστωσε ότι η απελευθέρωση ελεύθερων λιπαρών οξέων στα σπορόφυτα του *L. digitata* ενεργοποιείται από την ύπαρξη χαλκού στο περιβάλλον. Τα αποτελέσματα αυτά υποδηλώνουν ότι η υπεροξείδωση των λιπιδίων συμμετέχει στις τοξικές επιδράσεις του χαλκού και ότι μπορεί να επηρεάσει τους προστατευτικούς και αναπαραγωγικούς μηχανισμούς των φυκών.

Η μελέτη των Ratcliff et al., (2016) εξέτασε τις επιδράσεις της συσσώρευσης μετάλλων στην καλλιέργεια και ανάπτυξη του *L. digitata*. Συλλέγοντας και συγκρίνοντας άγρια και καλλιεργούμενα άτομα του είδους, προσπάθησε να παράσχει πολύτιμες πληροφορίες που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία πολιτικών και την προώθηση των βιώσιμων πρακτικών στην υδατοκαλλιέργεια. Στην ίδια μελέτη διαπιστώθηκε ότι η δυτική ακτή της Ιρλανδίας μπορεί να θεωρηθεί ένα φυσικό και προνομιακό περιβάλλον για τη συγκομιδή φυκών όσον αφορά την συγκέντρωση μετάλλων στο *L. digitata* σε σύγκριση με την καλλιέργεια του είδους αυτού γύρω από εγκαταστάσεις εκτροφής διαφορετικών ειδών, όπως ο σολομός, καθώς οι υψηλότερες συγκεντρώσεις χαλκού, μαγγανίου και βαναδίου βρέθηκαν στο περιβάλλον εκτροφής σολομού. Τα αποτελέσματα της μελέτης δείχνουν ότι τα επίπεδα μετάλλων στο *L. digitata* δεν προκαλούν ανησυχία όσον αφορά τη συμπερίληψή τους ως συστατικό της διατροφής τους - με πιθανή εξαίρεση του αρσενικού (As) που υπερέβη ορισμένα νομοθετικά όρια (Ratcliff et al., 2016).

5.2.2 Θερμική καταπόνηση/ Δέσμευση Αζώτου

Στη μελέτη των Liesner et al, (2020), οι ερευνητές διεξήγαγαν ένα πείραμα θερμικής καταπόνησης για περίοδο οκτώ ημερών, ενώ εξέθεσαν τα άτομα που

συλλέχθηκαν από έξι διαφορετικές τοποθεσίες από τη Γαλλία έως το Svalbard (Νορβηγικό αρχιπέλαγος μεταξύ ηπειρωτικής Νορβηγίας και Βόρειου Πόλου) σε θερμοκρασιακό εύρος μεταξύ 15°C και 23°C, προκειμένου να προσδιοριστεί η ανάπτυξη, η αποθήκευση άνθρακα και αζώτου και η παραγωγή ξανθοφύλλης (χρωστική που δίνει στο φύκος το χρώμα του) ως χαρακτηριστικά απόκρισης.

Τα αποτελέσματα από το πείραμα θερμικής καταπόνησης των Liesner et al., (2020) υποδηλώνουν ότι το ανώτερο όριο θερμοκρασίας του *L. digitata* είναι σχεδόν το ίδιο σε όλη την περιοχή κατανομής του, αλλά μικρές διαφορές στην ανάπτυξη και στο στρες εντοπίστηκαν σε άτομα τριών πληθυσμών της περιοχής μελέτης του είδους. Δύο πληθυσμοί στο θερμό όριο κατανομής του είδους παρουσίασαν υψηλότερη θερμοκρασιακή ανοχή σε σύγκριση με άλλους πληθυσμούς όσον αφορά την ανάπτυξη στους 19°C και στις αποκρίσεις της χρωστικής ουσίας ξανθοφύλλης στους 23°C (Helgoland, Γερμανία). Στο *L. digitata* από τον βορειότερο πληθυσμό (Spitsbergen, Νορβηγία) βρέθηκε η υψηλότερη ευαισθησία στη θερμότητα. Η περιεκτικότητα σε άζωτο βρέθηκε να επηρεάζεται σημαντικά από τη θερμοκρασία, σε σύγκριση με τη θερμοκρασία ελέγχου των 15°C, τα δείγματα των 23°C σε δύο τοποθεσίες (Roscoff & Quiberon) παρουσίασαν μείωση του αζώτου κατά 20% και 15%, αντίστοιχα. Αυτή είναι μια σημαντική αντίδραση στο στρες καθώς το *L. digitata* χρειάζεται άζωτο για να ωριμάσει και να είναι ικανό να αποθηκεύει περίσσεια αζώτου από τη στήλη του νερού (Sugumaran et al., 2022), ωστόσο οι θερμότερες θερμοκρασίες των υδάτων μπορούν να επηρεάσουν αυτή τη διαδικασία με αρνητικό τρόπο.

Η μελέτη των Liesner et al., (2020) κατέληξε στο συμπέρασμα ότι όταν λαμβάνονται υπ' όψη συνολικά, τα αποτελέσματα αυτά υποστηρίζουν την υπόθεση της μέτριας διαφοροποίησης μεταξύ των ατόμων *L. digitata* στις διάφορες ευρωπαϊκές περιοχές, ενώ οι επιδράσεις είναι πιθανότατα πολύ αδύναμες για να επηρεάσουν την αντοχή του είδους στην υπερθέρμανση των ωκεανών και στους θαλάσσιους καύσωνες στο νότιο όριο της εξάπλωσης.

6. ΣΥΖΗΤΗΣΗ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σε παγκόσμια κλίμακα, η εμπορική αγορά φυκών αναμένεται να αυξηθεί από 15,01 δισ. δολάρια το 2021 σε 24,92 δισ. δολάρια το 2028, καθιστώντας το ένα από τα πιο υποσχόμενα προϊόντα της βιομηχανίας θαλάσσιων προϊόντων (CBI, 2022).

Τα οφέλη από την επέκταση και την επένδυση στο *L. digitata* σε περιοχές του κόσμου που αυτό ευδοκίμει μπορούν να επιτρέψουν την επέκταση της έρευνας και των οικονομικών δυνατοτήτων αυτού του φύκου, καθώς έχει αποδειχθεί ότι είναι ανθεκτικό και ότι μπορεί να εφαρμοστεί σε ένα ευρύ φάσμα πιθανών χρήσεων.

Ως θρεπτικό υδρόβιο τρόφιμο, πλούσιο σε διαιτητικές ίνες, μικροθρεπτικά συστατικά και βιοδραστικές ενώσεις (Holdt & Kraan, 2011), το *L. digitata* συχνά χρησιμοποιείται ως υγιεινό, χαμηλής θερμιδικής αξίας τρόφιμο, το οποίο προτιμάται ιδιαίτερα από άτομα που υιοθετούν δίαιτες χαμηλών υδατανθράκων ή χορτοφαγικές. Το άγαρ, η καραγενάνη και το αλγινικό που εξάγονται από τα *Laminaria* sp. και άλλα φύκη, είναι υδροκολλοειδή που χρησιμοποιούνται ευρέως στη βιομηχανία τροφίμων για τη βελτίωση της ποιότητάς τους και την επίτευξη συμπύκνωσης και σταθεροποίησης.

Επιπλέον, εκχυλίσματα όπως το ιώδιο, η φουκοξανθίνη και οι χλωροταννίνες, χρησιμοποιούνται ως συμπληρώματα διατροφής για οφέλη στην υγεία, καθώς και σε ένα ευρύ φάσμα καλλυντικών προϊόντων (McHugh, 2003).

Τα φύκος αυτό χρησιμοποιείται επίσης ως συστατικό ιχθυοτροφών που παρέχει απαραίτητα αμινοξέα, ευεργετικούς πολυσακχαρίτες, λιπαρά οξέα, αντιοξειδωτικά, βιταμίνες και μέταλλα (McHugh, 2003, Morrissey et al., 2001).

Τα φύκη, συμπεριλαμβανομένου του *L. digitata*, παρουσιάζουν μεγάλες δυνατότητες για την παραγωγή βιοπλαστικών που θα μπορούσαν να συμβάλουν στη μείωση και την αντικατάσταση των κοινών, μη διασπώμενων πλαστικών με βάση το πετρέλαιο στην καθημερινή μας ζωή. Τα βιοπλαστικά με βάση τα φύκη μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εφαρμογές συσκευασίας με μεγάλη επιτυχία, καθώς είναι βιοδιασπώμενα και διαθέτουν υψηλές μηχανικές ιδιότητες με μεγάλα εύρη διαπερατότητας από το οξυγόνο.

Τα φύκη παρέχουν σημαντικά περιβαλλοντικά οφέλη και υπηρεσίες οικοσυστήματος. Η καλλιέργειά τους δεν χρειάζεται να χρησιμοποιεί άμεσα χερσαία γη, άρδευση, ζωοτροφές ή λιπάσματα. Ταυτόχρονα, μπορεί να συμβάλει στην επείγουσα ανάγκη αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής μέσω διαφόρων μηχανισμών, όπως, μεταξύ άλλων, προϊόντα με βάση τα φύκια (π.χ. τρόφιμα για τον άνθρωπο, ζωοτροφές και λιπάσματα) που έχουν σχετικά χαμηλό αποτύπωμα άνθρακα, ή για την αξιολόγηση ορισμένων ποιοτικών χαρακτηριστικών του νερού, αξιοποιώντας την ικανότητά του να δεσμεύει άζωτο (Liesner et al., 2020).

6.1 Προκλήσεις

Η επέκταση της παραγωγής του *L. digitata* θα πρέπει να καλυφθεί από την αύξηση της ζήτησής του. Ένας τρόπος είναι να αυξηθεί η κατανάλωσή του ως ανθρώπινη τροφή. Αν και το μεγαλύτερο μέρος της παραγωγής φυκών στην Ανατολική Ασία καταναλώνεται άμεσα ως τρόφιμο για τον άνθρωπο, οι άνθρωποι εκτός της Ανατολικής Ασίας έχουν γενικά χαμηλή έκθεση ή προτίμηση στην κατανάλωσή τους. Ωστόσο, το ενδιαφέρον από τους Ευρωπαίους καταναλωτές ολοένα αυξάνεται, λόγω των διατροφικών πλεονεκτημάτων τους και της παγκόσμιας εξάπλωσης της ασιατικής γαστρονομίας. Παρόλα αυτά, η ζήτηση παραμένει χαμηλή, παρά τη διατροφική αξία και τις διάφορες συνεχιζόμενες προσπάθειες για την προώθηση της κατανάλωσής τους, ιδίως στην Ευρώπη και τη Βόρεια Αμερική (van den Burg, 2021).

Πολλές μη διατροφικές εφαρμογές του *L. digitata* (π.χ. φαρμακευτικές, καλλυντικές, ζωοτροφές, βιολιπάσματα, βιοσυσκευασίες, βιοκαύσιμα) είναι πολλά υποσχόμενες, ωστόσο αντιμετωπίζουν τεχνικούς και οικονομικούς περιορισμούς, καθώς και προκλήσεις όσον αφορά την παγκόσμια αγορά (Cai et al., 2021). Δεν είναι σαφές ποια από τις εφαρμογές θα είναι η κύρια που θα δώσει το έναυσμα για μαζική παραγωγή βιομάζας του συγκεκριμένου μακροφύκου.

Το *L. digitata* καλλιεργείται κοντά στην επιφάνεια του νερού, καθώς χρειάζεται επαρκή ηλιακή ακτινοβολία για τη φωτοσύνθεση- ως εκ τούτου, συνήθως καλλιεργείται σε παράκτιες περιοχές για λόγους λειτουργικότητας και ευκολίας. Οι παράκτιες εργασίες τείνουν να είναι λιγότερο δαπανηρές τόσο από πλευράς επενδυτικού όσο και λειτουργικού κόστους. Ωστόσο, πολλαπλοί παράγοντες θέτουν περιορισμούς ή προκλήσεις για την

καλλιέργεια φυκών σε παράκτιες περιοχές, όπως, μεταξύ άλλων, ο ανταγωνισμός στις παράκτιες περιοχές από την αστική ανάπτυξη, την αναψυχή, την αλιεία, την ιχθυοκαλλιέργεια και άλλες δραστηριότητες, η ρύπανση στα παράκτια ύδατα και η άνοδος της θερμοκρασίας του θαλασσινού νερού (Cai et al., 2021).

Η καλλιέργεια του *L. digitata* σε μεγαλύτερη απόσταση από την ακτή μπορεί να συμβάλει στην αντιμετώπιση των περιορισμών που πιθανώς να υπάρχουν και θα μπορούσε να ενσωματωθεί σε άλλες υπεράκτιες δραστηριότητες, όπως η παραγωγή αιολικής ενέργειας (van den Burg et al., 2016). Ωστόσο, η καλλιέργεια φυκών στην ανοιχτή θάλασσα αντιμετωπίζει τεχνικές προκλήσεις. Για παράδειγμα, απαιτούνται νέα συστήματα καλλιέργειας, για την προστασία των φυκών από τα ισχυρά κύματα, καταδυτικές δεξιότητες και ενισχυμένη διαχειριστική ικανότητα για τη διασφάλιση και τον έλεγχο της λειτουργίας. Ταυτόχρονα, η δραστηριότητα στα ανοιχτά, ενέχει επιπλέον προκλήσεις, αυτή της οικονομικής βιωσιμότητας και της γενικής έλλειψης κανονισμών για την υπεράκτια υδατοκαλλιέργεια (van den Burg et al., 2016, Cai et al., 2021).

Άλλα σημαντικά ζητήματα που εμποδίζουν την καλλιέργεια φυκών και τις αλυσίδες αξίας περιλαμβάνουν: i) την επιδείνωση του περιβάλλοντος καλλιέργειας λόγω της κλιματικής αλλαγής, όπως η αύξηση της θερμοκρασίας του θαλασσινού νερού, η αύξηση των ακραίων καιρικών συνθηκών και η πιο εντατική βόσκηση των θηρευτών (Smith, 2017) ii) συχνότερες και σοβαρότερες επιδημίες ασθενειών (Ward et al, 2020), iii) υψηλό κόστος μεταφοράς και ενδιάμεσων υπηρεσιών, iv) χαμηλές και όχι σταθερές τιμές αγοράς, v) χαμηλά εισοδήματα για τους καλλιεργητές φυκών, vi) μη βέλτιστες πρακτικές (π.χ. πρόωρη συγκομιδή) λόγω οικονομικών περιορισμών ή ασταθών συνθηκών αγοράς,

vii) χαμηλή ποιότητα λόγω ακατάλληλου μετασυλλεκτικού χειρισμού και viii) έλλειψη προστιθέμενης αξίας (Cai et al., 2013).

Ως είδος υδατοκαλλιέργειας που δεν απαιτεί προσθήκη τροφής για την ανάπτυξή του, το *L. digitata*, όπως και όλα τα είδη φυκών, τείνουν να είναι πιο φιλικά προς το περιβάλλον από τα είδη υδατοκαλλιέργειας που τρέφονται. Ωστόσο, η ακατάλληλη διαχείριση της καλλιέργειας θα μπορούσε να επηρεάσει αρνητικά το περιβάλλον ή το οικοσύστημα μέσω: i) της εξάπλωσης ασθενειών και παρασίτων, ii) της επιβράδυνσης της ροής του νερού, η οποία μπορεί να εμποδίσει τη μεταφορά ιζημάτων και να μεταβάλει τη θαλάσσια χημεία, iii) του ανταγωνισμού για φως και θρεπτικά συστατικά με άλλους θαλάσσιους οργανισμούς, iv) της πρόκλησης περιβαλλοντικής υποβάθμισης μέσω της κατασκευής του συστήματος καλλιέργειας (καταστροφή του βενθικού οικοσυστήματος με την εκκαθάριση του θαλάσσιου πυθμένα ή τη χρήση πασσάλων ή αγκυρών) και v) πρόκληση ρύπανσης κατά τη λειτουργία (π.χ. απώλεια υλικών καλλιέργειας) (Campbell et al., 2019a, Hurtado et al., 2019). Το περιβαλλοντικό ή οικολογικό αποτύπωμα κατά μήκος της αλυσίδας εφοδιασμού των φυκών, μπορεί να ξεπερνά τα περιβαλλοντικά οφέλη και τις οικοσυστημικές υπηρεσίες της καλλιέργειας. Για παράδειγμα, ενώ η καλλιέργεια δεν χρειάζεται να χρησιμοποιεί γλυκό νερό, η επεξεργασία των φυκών, όπως το πλύσιμο μετά τη συγκομιδή ή η εκχύλιση των συστατικών-στόχων (π.χ. άγαρ), μπορεί να είναι εργασίες με υψηλή κατανάλωση γλυκού νερού (McHugh, 2003).

6.2 Μέλλον

Οι νόμοι, οι κανονισμοί και οι κατευθυντήριες γραμμές (π.χ περιβαλλοντικοί κανονισμοί, χωροταξικός σχεδιασμός, πρότυπα ασφάλειας τροφίμων, ορθές πρακτικές

υδατοκαλλιέργειας, μεταξύ άλλων) για την καλλιέργεια του *L. digitata*, που βασίζονται στην επιστήμη και την τεκμηρίωση, είναι ζωτικής σημασίας για τη δημιουργία στέρεων βάσεων για τη βιώσιμη ανάπτυξη του τομέα. Αν και είναι συνήθως στη δικαιοδοσία των εκάστοτε χωρών να θεσπίσουν αυτά τα κριτήρια ανάλογα με τις κοινωνικοοικονομικές και περιβαλλοντικές συνθήκες και προτεραιότητές τους, η διεθνής και η επιστημονική κοινότητα μπορούν να συμβάλουν στη δημιουργία και την ανταλλαγή γνώσης και εμπειριών για τη διευκόλυνση της λήψης αποφάσεων κατά τη διαδικασία αυτή. Οι κυβερνήσεις, οι κοινωνίες των πολιτών, οι διεθνείς οργανισμοί και ο ίδιος ο κλάδος, μπορούν να διευκολύνουν την υλοποίηση και διαχείριση μονάδων καλλιέργειας με βάση την κοινότητα (π.χ. ομάδες αγροτών) και έτσι να γίνουν αποτελεσματικοί μηχανισμοί διακυβέρνησης σε ορισμένους τομείς (π.χ. προώθηση ορθών πρακτικών, αποφυγή της απόρριψης των υλικών καλλιέργειας στον ωκεανό) (Cai et al., 2021).

Ο δημόσιος τομέας μπορεί να διευκολύνει τη διαδικασία παρέχοντας υποστήριξη για βασική έρευνα σε σημαντικά θέματα, όπως η διατροφή και οι ασθένειες. Υπάρχει σημαντική ανάγκη για περισσότερη έρευνα σε επιστημονικές μελέτες με κατάλληλα σχεδιασμένες δοκιμές σε ανθρώπους, οι οποίες θα βοηθήσουν στον προσδιορισμό της βιοδιαθεσιμότητας της πληθώρας θρεπτικών στοιχείων που είναι γνωστό ότι υπάρχουν στο *L. digitata* και τις μακροπρόθεσμες επιδράσεις του στην ανθρώπινη υγεία (Xi & Dragsted, 2019).

Απαιτείται επίσης δημόσια στήριξη (συμπεριλαμβανομένων των οικονομικών κινήτρων) για την υποστήριξη της ανάπτυξης και της εμπορίας προϊόντων που τείνουν να έχουν σημαντικά οικονομικά, περιβαλλοντικά και κοινωνικά οφέλη. Βελτιώσεις στις

μεθόδους υδατοκαλλιέργειας και στην εξαγωγή βιοπροϊόντων είναι απαραίτητες για την υλοποίηση των εμπορικών δυνατοτήτων αυτών των φυκών. Αυτές περιλαμβάνουν την επεξεργασία σε βιοδιυλιστήρια για την παραγωγή συστατικών για λειτουργικά τρόφιμα, καλλυντικά, βιοπλαστικά και βιοκαύσιμα (Lange et al., 2020). Ωστόσο, απαιτείται περισσότερη έρευνα για την πλήρη κατανόηση των δυνατοτήτων αυτού του φύκου ως πρώτης ύλης και για τη βελτιστοποίηση των συνθηκών καλλιέργειας και επεξεργασίας του. Βελτιώσεις στα προϊόντα τροφίμων από *L. digitata*, όπως, καλύτερη υφή, ελκυστικότερη εμφάνιση και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, αδιαμφισβήτητα θα αυξήσουν τη δημοτικότητά του (Cai et al., 2021).

Ο δημόσιος τομέας θα πρέπει να δημιουργήσει ένα ευνοϊκό περιβάλλον για να διευκολύνει την ανάπτυξη της καλλιέργειας των μακροφυκών. Για παράδειγμα, οι κυβερνήσεις μπορούν να χρησιμοποιούν αδειοδότηση, οικονομική στήριξη και άλλους μηχανισμούς για να βοηθήσουν στην επιβράβευση της δραστηριότητας για τα περιβαλλοντικά οφέλη και τις οικοσυστημικές υπηρεσίες που προσφέρει (Cai et al., 2021).

Αν και προσελκύουν το ενδιαφέρον, πολλές πιθανές χρήσεις του *L. digitata* (π.χ. στην υγεία, περιβαλλοντικά οφέλη και υπηρεσίες οικοσυστήματος) μπορεί να μην οδηγήσουν αυτόματα σε άμεση ζήτηση στην αγορά ή σε επακόλουθες επιχειρηματικές δραστηριότητες. Η συντονισμένη υποστήριξη από τις κυβερνήσεις, τις κοινωνίες των πολιτών και τους διεθνείς οργανισμούς είναι ζωτικής σημασίας για τη διευκόλυνση της ανάπτυξης του τομέα και την ενσωμάτωσή του στην παγκόσμια επισιτιστική αλυσίδα (Cai et al., 2021).

Η αξιοποίηση των φυκών ως ανθρώπινη τροφή, τείνει να είναι η πιο σταθερή δύναμη της αγοράς που μπορεί να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο για την ανάπτυξη του τομέα των φυκών. Ωστόσο, η αργή εξέλιξη των διατροφικών συνηθειών και καταναλωτικών συμπεριφορών αποτελεί σημαντική πρόκληση για την ανάπτυξη των αγορών για τα προϊόντα διατροφής από φύκη, ιδίως σε μέρη όπου οι άνθρωποι δεν είναι εξοικειωμένοι με αυτά. Παρά την φαινομενικά αυξανόμενη παγκόσμια δημοτικότητα του σούσι και άλλων προϊόντων με βάση τα φύκη (π.χ. snack, σαλάτες και επιδόρπια), υπάρχει γενική έλλειψη λεπτομερών πληροφοριών και γνώσεων σχετικά με το δυναμικό της αγοράς τροφίμων με βάση αυτά (ιδίως την τιμή και τον όγκο της αγοράς), η οποία είναι απαραίτητη για τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων στην πολιτική και το σχεδιασμό για την ανάπτυξη της καλλιέργειας φυκών, συμπεριλαμβανομένου του *L. digitata*. Εμπειριστατωμένες, ολοκληρωμένες αξιολογήσεις των αγορών και των αλυσίδων αξίας των φυκών σε παγκόσμιο, περιφερειακό, εθνικό και υποεθνικό επίπεδο απαιτούνται για να καλυφθεί το κενό.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

7.1 Ξενόγλωσση

- Adams, J. M. M., Ross, A. B., Anastasakis, K., Hodgson, E. M., Gallagher, J. A., Jones, J. M., & Donnison, I. S. (2011). Seasonal variation in the chemical composition of the bioenergy feedstock *Laminaria digitata* for thermochemical conversion. *Bioresource technology*, 102(1), 226-234.
- Alleway, H. K., Gillies, C. L., Bishop, M. J., Gentry, R. R., Theuerkauf, S. J., & Jones, R. (2019). The ecosystem services of marine aquaculture: valuing benefits to people and nature. *BioScience*, 69(1), 59-68.
- Atkinson, A., Siegel, V., Pakhomov, E., & Rothery, P. (2004). Long-term decline in krill stock and increase in salps within the Southern Ocean. *Nature*, 432(7013), 100-103.
- Bartsch, I., Wiencke, C., Bischof, K., Buchholz, C. M., Buck, B. H., Eggert, A., & Wiese, J. (2008). The genus *Laminaria*: recent insights and developments. *European journal of phycology*, 43(1), 1-86.
- Becker, L. C., & Cherian, P. (2018). Safety assessment of brown algae-derived ingredients as used in cosmetics. *Cosmetic Ingredient Review: Washington, DC, USA*, 161.
- Bixler, H.J. Porse, H. (2011). A decade of change in the seaweed hydrocolloids industry. *J. Appl. Phycol.*, 23, 321–335
- Blanco-Pascual, N., Montero, M. P., & Gómez-Guillén, M. C. (2014). Antioxidant film development from unrefined extracts of brown seaweeds *Laminaria digitata* and *Ascophyllum nodosum*. *Food Hydrocolloids*, 37, 100-110.
- Blight, A., Foster-Smith, R., Sotheran, I., Egerton, J., McAllen, R., & Savidge, G. (2011). *Development of a methodology for the quantitative assessment of Ireland's inshore Kelp resource*. Marine Institute.
- Bold, H.C., & Wynne, M.J. (1978). Introduction to the algae, 1st edn. Prentice-Hall Inc., New Jersey.
- Cai, J., Lovatelli, A., Aguilar-Manjarrez, J., Cornish, L., Dabbadie, L., Desrochers, A., & Yuan, X. (2021). Seaweeds and microalgae: an overview for unlocking their potential in global aquaculture development. *FAO Fisheries and Aquaculture Circular*, (1229).
- Cai, J., Hishamunda, N. & Ridler, N., (2013). Social and economic dimensions of carrageenan seaweed farming: a global synthesis. In D. Valderrama, J. Cai, N. Hishamunda & N. Ridler, eds. Social and economic dimensions of carrageenan seaweed farming, pp. 5–59. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 580. Rome, FAO. 204 pp. (also available at www.fao.org/3/i3344e/i3344e.pdf).

- Cai, J., Lovatelli, A., Aguilar-Manjarrez, J., Cornish, L., Dabbadie, L., Desrochers, A., & Yuan, X. (2021). Seaweeds and microalgae: an overview for unlocking their potential in global aquaculture development. *FAO Fisheries and Aquaculture Circular*, (1229).
- Calahan, D., Osenbaugh, E., & Adey, W. (2018). Expanded algal cultivation can reverse key planetary boundary transgressions. *Heliyon* 4, e00538.
- Campbell, I., Kambey, C., Mateo, J., Rusekwa, S., Hurtado, A., Msuya, F., Stentiford, G.D. & Cottier-Cook, E. (2019b). Biosecurity policy and legislation for the global seaweed aquaculture industry. *Journal of Applied Phycology*.
- Charrier, B., Barbier, M., Araujo, R., Holdt, S., Jacquemin, B., & Rebours, C. (2019). PEGASUS: Phycomorph European Guidelines for a Sustainable Aquaculture of Seaweeds. COST Action FA1406.
- Chopin, T., & Tacon, A. G. (2021). Importance of seaweeds and extractive species in global aquaculture production. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 29(2), 139-148.
- Contreras, L., Moenne, A., & Correa, J. A. (2005). Antioxidant responses in scytosiphon lomentaria (phaeophyceae) inhabiting copper-enriched coastal environments 1. *Journal of phycology*, 41(6), 1184-1195.
- Cumashi, A., Ushakova, N. A., Preobrazhenskaya, M. E., D'Incecco, A., Piccoli, A., Totani, L., & Nifantiev, N. E. (2007). A comparative study of the anti-inflammatory, anticoagulant, antiangiogenic, and antiadhesive activities of nine different fucoidans from brown seaweeds. *Glycobiology*, 17(5), 541-552.
- Dayton, P. K. (1985). Ecology of kelp communities. *Annual review of ecology and systematics*, 16(1), 215-245.
- Dhargalkar, V. K., & Pereira, N. (2005). Seaweed: promising plant of the millennium.
- Dillehay, T. D., Ramírez, C., Pino, M., Collins, M. B., Rossen, J., & Pino-Navarro, J. D. (2008). Monte Verde: seaweed, food, medicine, and the peopling of South America. *science*, 320(5877), 784-786.
- Dring, M. J., & Dring, M. J. (1991). *The biology of marine plants*. Cambridge University Press.
- Duarte, C. M., Bruhn, A., & Krause-Jensen, D. (2022). A seaweed aquaculture imperative to meet global sustainability targets. *Nature Sustainability*, 5(3), 185-193.
- Duarte, C. M., Wu, J., Xiao, X., Bruhn, A., & Krause-Jensen, D. (2017). Can seaweed farming play a role in climate change mitigation and adaptation? *Frontiers in Marine Science*, 4, 100.

Edwards, M. & Watson, L. (2011). Cultivating *Laminaria digitata* Aquaculture Explained No. 26 Bord Iscaigh Mhara.

Edwards M., Holdt, S. & Hynes, S. (2011). Algal eating habits of phycologists attending the ISAP Halifax Conference and members of the general public. *Journal of Applied Phycology*, 24. 10.1007/s10811-011-9760-6.

European Commission. (2011). *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions Youth Opportunities Initiative*. Brussels, Belgium: European Commission.

Fleurence, J. (1999). Seaweed proteins: biochemical, nutritional aspects and potential uses. *Trends in food science & technology*, 10(1), 25-28.

Fröcklin, S., de la Torre-Castro, M., Lindström, L., Jiddawi, N. S., & Msuya, F. E. (2012). Seaweed mariculture as a development project in Zanzibar, East Africa: A price too high to pay? *Aquaculture*, 356, 30-39.

Guiry, M. D., & Blunden, G. (1991). Seaweed resources in Europe: uses and potential. Guiry and Gerald Blunden. John Wiley & Sons Ltd., Chichester, 432pp.

Hasselström, L., Thomas, J. B., Nordström, J., Cervin, G., Nylund, G. M., Pavia, H., & Gröndahl, F. (2020). Socioeconomic prospects of a seaweed bioeconomy in Sweden. *Scientific reports*, 10(1), 1610.

Holdt, S.L., & Kraan, S. (2011). Bioactive compounds in seaweed: functional food applications and legislation. *Journal of Applied Phycology*, 23: 543–597

Hurtado, A.Q., Neish, I.C. & Critchley, A.T. (2019). Phyconomy: the extensive cultivation of seaweeds, their sustainability and economic value, with particular reference to important lessons to be learned and transferred from the practice of eucheumatoid farming. *Phycologia*, 58(5): 472–483.

Iqbal, M. S. (2022). Seaweed Farming-Global Scenario: Socio-economic Aspects. *Sustainable Global Resources of Seaweeds Volume 1: Bioresources, cultivation, trade and multifarious applications*, 313-327.

Jacobsen, C., Sørensen, A. D. M., Holdt, S. L., Akoh, C. C., & Hermund, D. B. (2019). Source, extraction, characterization, and applications of novel antioxidants from seaweed. *Annual Review of Food Science and Technology*, 10, 541-568.

Jose, G. M. (2015). Biological Responses of Algal Derived Sulfated Polysaccharides: An Emphasis on Cancer Prophylaxis. *Trends in Biomaterials & Artificial Organs*, 29(1).

Kelly, C., Ellis, G., & Flannery, W. (2018). Conceptualising change in marine governance: learning from transition management. *Marine Policy*, 95, 24-35.

- Kain, J. M. (1979). A view of the genus *Laminaria*. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 17, 101-161.
- Kerrison, P. D., Stanley, M. S., Edwards, M. D., Black, K. D., & Hughes, A. D. (2015). The cultivation of European kelp for bioenergy: site and species selection. *Biomass and bioenergy*, 80, 229-242.
- Kolb, N., Vallorani, L., Milanovic, N., & Stocchi, V. (2004). Evaluation of marine algae wakame (*Undaria pinnatifida*) and kombu (*Laminaria digitata japonica*) as food supplements. *Food Technology and Biotechnology*, 42(1), 57-62.
- Krause-Jensen, D., Duarte, C. M., Hendriks, I. E., Meire, L., Blicher, M. E., Marbà, N., & Sejr, M. K. (2015). Macroalgae contribute to nested mosaics of pH variability<?xmltex\newline?> in a subarctic fjord. *Biogeosciences*, 12(16), 4895-4911.
- Lange, L., Bak, U.G., Hansen, S.C.B., Gregersen, O., Harmsen, P., Karlsson, E.N., Meyer, A., Mikkelsen, M.D., van Den Broek, L. & Hreggviðsson, G.Ó. (2020). Chapter 1 – Opportunities for seaweed biorefinery. In M.D. Torres, S. Kraan & H. Dominguez, ed. Sustainable seaweed technologies – cultivation, biorefinery, and applications, pp. 3–31. Elsevier
- Li, X., Norman, H. C., Kinley, R. D., Laurence, M., Wilmot, M., Bender, H., & Tomkins, N. (2016). *Asparagopsis taxiformis* decreases enteric methane production from sheep. *Animal Production Science*, 58(4), 681-688.
- Liesner, D., Fouqueau, L., Valero, M., Roleda, M. Y., Pearson, G. A., Bischof, K., & Bartsch, I. (2020). Heat stress responses and population genetics of the kelp *Laminaria digitata* (Phaeophyceae) across latitudes reveal differentiation among North Atlantic populations. *Ecology and Evolution*, 10(17), 9144-9177.
- Lüning, K. (1980). Critical levels of light and temperature regulating the gametogenesis of three *Laminaria* species (Phaeophyceae) 1. *Journal of Phycology*, 16(1), 1-15.
- MacArtain, P., Gill, C. I., Brooks, M., Campbell, R., & Rowland, I. R. (2007). Nutritional value of edible seaweeds. *Nutrition reviews*, 65(12), 535-543.
- Maier, I., Müller, D. G., Schmid, C., Boland, W., & Jaenicke, L. (1988). Pheromone receptor specificity and threshold concentrations for spermatozoid release in *Laminaria digitata*. *The Science of Nature*, 75(5), 260-263.
- Marsham, S. Scott, G.W., Tobin, M.L. (2007) Comparison of nutritive chemistry of a range of temperate seaweeds. *Food Chem.*, 100, 1331–1336.

- McHugh, D. J. (2003). A guide to the seaweed industry. *FAO fisheries technical paper*, 441, 105.
- Morrissey, J., Kraan, S., & Guiry, M. D. (2001). *A guide to commercially important seaweeds on the Irish coast*. Ireland: Irish Bord Iascaigh Mhara/Irish Sea Fisheries Board.
- Mouritsen, O. G. (2017). Those tasty weeds. *Journal of Applied Phycology*, 29, 2159-2164.
- Mouritsen, O. G., Rhatigan, P., & Pérez-Lloréns, J. L. (2019). The rise of seaweed gastronomy: phycogastronomy. *Botanica Marina*, 62(3), 195-209.
- Naylor, R. L., Hardy, R. W., Buschmann, A. H., Bush, S. R., Cao, L., Klinger, D. H., & Troell, M. (2021). A 20-year retrospective review of global aquaculture. *Nature*, 591(7851), 551-563.
- Pechsiri, J. S., Thomas, J. B. E., Risén, E., Ribeiro, M. S., Malmström, M. E., Nylund, G. M., & Gröndahl, F. (2016). Energy performance and greenhouse gas emissions of kelp cultivation for biogas and fertilizer recovery in Sweden. *Science of the Total Environment*, 573, 347-355.
- Porse, H., & Rudolph, B. (2017). The seaweed hydrocolloid industry: 2016 updates, requirements, and outlook. *Journal of applied phycology*, 29(5), 2187-2200.
- Purcell-Meyerink, D., Packer, M. A., Wheeler, T. T., & Hayes, M. (2021). Aquaculture production of the brown seaweeds *Laminaria digitata* and *Macrocystis pyrifera*: Applications in food and pharmaceuticals. *Molecules*, 26(5), 1306.
- Rajauria, G. (2015) Chapter 15—Seaweeds: A sustainable feed source for livestock and aquaculture. In *Seaweed Sustainability*; Tiwari, B.K., Troy, D.J., Eds.; Academic Press: San Diego, CA, USA, pp. 389–420.
- Rajapakse, N., & Kim, S. K. (2011). Nutritional and digestive health benefits of seaweed. *Advances in food and nutrition research*, 64, 17-28.
- Ratcliff, J. J., Wan, A. H. L., Edwards, M. D., Soler-Vila, A., Johnson, M. P., Abreu, M. H., & Morrison, L. (2016). Metal content of kelp (*Laminaria digitata*) co-cultivated with Atlantic salmon in an Integrated Multi-Trophic Aquaculture system. *Aquaculture*, 450, 234-243.
- Reid, G. K., Gurney-Smith, H. J., Flaherty, M., Garber, A. F., Forster, I., Brewer-Dalton, K., & De Silva, S. (2019). Climate change and aquaculture: considering adaptation potential. *Aquaculture Environment Interactions*, 11, 603-624.
- Ritter, A., Goulitquer, S., Salaün, J. P., Tonon, T., Correa, J. A., & Potin, P. (2008). Copper stress induces biosynthesis of octadecanoid and eicosanoid oxygenated derivatives in the brown algal kelp *Laminaria digitata*. *New Phytologist*, 180(4), 809-821.

- Roleda, M. Y., Lüder, U. H., & Wiencke, C. (2010). UV-susceptibility of zoospores of the brown macroalga *Laminaria digitata* from Spitsbergen. *Polar biology*, 33(5), 577-588.
- Rujnić-Sokele, M., Pilipović, A. (2017) Challenges and opportunities of biodegradable plastics: a mini review. *Waste Manage Res* 35:132–140
- Sanjeewa, K. K. A., Kim, E. A., Son, K. T., & Jeon, Y. J. (2016). Bioactive properties and potentials cosmeceutical applications of phlorotannins isolated from brown seaweeds: A review. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 162, 100-105.
- Schiener, P.; Black, K.D.; Stanley, M.S.; Green, D.H. The seasonal variation in the chemical composition of the kelp species *Laminaria digitata*, *Laminaria hyperborea*, *Saccharina latissima* and *Alaria esculenta*. *J. Appl. Phycol.* 2015, 27, 363–373.
- Shin, T., Ahn, M., Hyun, J. W., Kim, S. H., & Moon, C. (2014). Antioxidant marine algae phlorotannins and radioprotection: A review of experimental evidence. *Acta histochemica*, 116(5), 669-674.
- Shannon, E., & Abu-Ghannam, N. (2019). Seaweeds as nutraceuticals for health and nutrition. *Phycologia*, 58(5), 563-577.
- Siracusa, V., Rocculi, P., Romani, S., Rosa MD. (2008) Biodegradable polymers for food packaging: a review. *Trends Food Sci Technol* 19:634–643
- Smith, D. 2017. Invading fish threat to kelp forests. *UNSW Magazine*. Summer 2016/17. *UNSW Sydney* (the University of New South Wales).
- Strain, C. R., Collins, K. C., Naughton, V., McSorley, E. M., Stanton, C., Smyth, T. J., & Allsopp, P. J. (2020). Effects of a polysaccharide-rich extract derived from Irish-sourced *Laminaria digitata* on the composition and metabolic activity of the human gut microbiota using an in vitro colonic model. *European journal of nutrition*, 59, 309-325.
- Stengel, D. B., Connan, S., & Popper, Z. A. (2011). Algal chemodiversity and bioactivity: sources of natural variability and implications for commercial application. *Biotechnology advances*, 29(5), 483-501.
- Sugumaran, R., Padam, B. S., Yong, W. T. L., Saallah, S., Ahmed, K., & Yusof, N. A. (2022). A Retrospective Review of Global Commercial Seaweed Production—Current Challenges, Biosecurity and Mitigation Measures and Prospects. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(12), 7087.
- Thomas, N. V., & Kim, S. K. (2013). Beneficial effects of marine algal compounds in cosmeceuticals. *Marine drugs*, 11(1), 146-164.
- Tønnesen, H. H., & Karlsen, J. (2002). Alginate in drug delivery systems. *Drug development and industrial pharmacy*, 28(6), 621-630.

Van den Burg, S. W. K., Dagevos, H., & Helmes, R. J. K. (2021). Towards sustainable European seaweed value chains: a triple P perspective. *ICES Journal of Marine Science*, 78(1), 443-450.

Van den Burg, S. W. K., Van Duijn, A. P., Bartelings, H., van Krimpen, M. M., & Poelman, M. (2016) The economic feasibility of seaweed production in the North Sea. *Aquaculture Economics & Management*, 20(3), 235-252.

Vissers, A. M., Caligiani, A., Sforza, S., Vincken, J. P., & Gruppen, H. (2017). Phlorotannin composition of *Laminaria digitata*. *Phytochemical analysis*, 28(6), 487-495.

Wells, M. L., Potin, P., Craigie, J. S., Raven, J. A., Merchant, S. S., Helliwell, K. E., & Brawley, S. H. (2017). Algae as nutritional and functional food sources: revisiting our understanding. *Journal of applied phycology*, 29, 949-982.

Ward, G.M., Faisan, J.P., Cottier-Cook, E.J. et al. 2020. A review of reported seaweed diseases and pests in aquaculture in Asia. *Journal of World Aquaculture Society*, 51: 815–828

White, W. L., & Wilson, P. (2015). World seaweed utilization. In *Seaweed sustainability* (pp. 7-25). Academic Press.

Xi, M. & Dragsted, L.O. 2019. Biomarkers of seaweed intake. *Genes & Nutrition*, 14 (24). <https://doi.org/10.1186/s12263-019-0648-4>

Xiao, X., Agusti, S., Lin, F., Li, K., Pan, Y., Yu, Y., & Duarte, C. M. (2017). Nutrient removal from Chinese coastal waters by large-scale seaweed aquaculture. *Scientific Reports*, 7(1), 46613.

Yang, Y., Chai, Z., Wang, Q., Chen, W., He, Z., & Jiang, S. (2015). Cultivation of seaweed *Gracilaria* in Chinese coastal waters and its contribution to environmental improvements. *Algal research*, 9, 236-244.

Yap, X. Y., Gew, L. T., Khalid, M., & Yow, Y. Y. (2022). Algae-Based Bioplastic for Packaging: A Decade of Development and Challenges (2010–2020). *Journal of Polymers and the Environment*, 1-19.

Zhong, Y., Godwin, P., Jin, Y., Xiao, H. (2020) Biodegradable polymers and green-based antimicrobial packaging materials: a mini-review. *Adv Ind Eng Polym Res* 3:27–35.

7.2 Ελληνική

Ορφανίδης, Σ. (2009). Προοπτικές υδατοκαλλιέργειας μακροφυκών στην Ελλάδα. Εθνικό Ίδρυμα Αγροτικής Έρευνας (ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε).

7.3 Ηλεκτρονική

Biological Traits Information Catalogue, “BIOTIC Species Information for *Laminaria digitata*”, <https://www.marlin.ac.uk/biotic/browse.php?sp=4228> (Πρόσβαση: Ιανουάριος 2023)

Boiron-Laminaria Digitata Mother Tincture <https://www.moncoinsante.co.uk/laminaria-digitata-tm-teinture-mere-boiron-125ml.html> (Πρόσβαση: Ιανουάριος 2023)

Bommers, M. La-Mer. My Skin—And What It Needs. <https://www.la-mer.com/en/> (Πρόσβαση: Ιανουάριος 2023)

“Oarweed - *Laminaria Digitata*.” Seaweed Solutions. Seaweed Solutions, n.d. <https://seaweedsolutions.com/oarweed-laminaria-digitata/>. (Πρόσβαση: Δεκέμβριος 2022)

SpecialChem2020. Actipone® *Laminaria digitata* GW, <https://cosmetics.specialchem.com/product/i-symrise-actipone-laminaria-digitata-gw> (Πρόσβαση: Ιανουάριος 2023)

FAO International Commodity Price Database (2020), <http://www.fao.org/giews/food-prices> (Πρόσβαση: Ιανουάριος 2023)

Confederation of British Industry (CBI) 2022. The European Market Potential for Seaweed. Ministry of Foreign Affairs. <https://www.cbi.eu/market-information/fish-seafood/seaweed/market-potential>. (Πρόσβαση: Ιανουάριος 2023)

Mattucci, Stephanie. “Seaweed-Flavoured Food and Drink Launches Increased by 147% in Europe between 2011 and 2015.” Mintel (2016). <https://www.mintel.com/press-centre/food-and-drink/seaweed-flavoured-food-and-drink-launches-increased-by-147-in-europe-between-2011-and-2015>. (Πρόσβαση: Ιανουάριος 2023)

Kelly, J. Australian Seaweed Industry Blueprint for Growth. 2020. Available online: www.agrifutures.com.au/wp-content/uploads/2020/09/20-072.pdf (Πρόσβαση: Δεκέμβριος 2022)

Hill, J.M. (2008). *Laminaria digitata* Oarweed. In Tyler-Walters H. and Hiscock K. Marine Life Information Network: Biology and Sensitivity Key Information Reviews, [on-line]. Plymouth: Marine Biological Association of the United Kingdom. [πρόσβαση: Δεκέμβριος 2022]. Available from: <https://marlin.ac.uk/species/detail/1386>

7.3 Άλλες

FAO. (2018). The global status of seaweed production, trade and utilization.FAO Globefish Res. Program., 124,120

Ragan, M.A.; Glombitza, K.W. Phlorotannins, brown algal polyphenols. In Progress in Phycological Research; Hellebust, J.A., Craigie, J.S., Eds.; Cambridge University Press: New York, NY, USA, 1986.

Aad C. Smaal, Joao G. Ferreira, Jon Grant, Jens K. Petersen, Øivind Strand. (2019). Goods and Services of Marine Bivalves. Springer.

Tseng CK (1987) Laminaria mariculture in China, FAO Fisheries Technical Paper 281. Food and Agriculture Organisation of the United Nations, Rome

Carlsson, A., van Beilen, J., Moller, R., Clayton, D. (2007). Micro- and macro-algae: utility for industrial applications outputs from the EPOBIO project. In: Bowles, D. (Ed.), CNAP. University of York, York, UK, p. 82

FAO. (Rome, 2018). The State of World Fisheries and Aquaculture 2018. Meeting the sustainable development goals.

Maguire, J., (2016). SEABIOPLAS Report Summary, seaweeds from sustainable aquaculture as feedstock for biodegradable bioplastics
http://cordis.europa.eu/result/rcn/189140_en.html