

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΙΧΘΥΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΑΤΙΝΟΥ  
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ  
Π.Μ.Σ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΗ ΥΔΑΤΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ

**Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΥΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΟΥ  
ΔΙΑΙΤΗΤΙΚΟΥ ΙΧΘΥΕΛΑΙΟΥ ΚΑΙ ΙΧΘΥΑΛΕΥΡΟΥ  
ΑΠΟ ΜΙΚΡΟΦΥΚΗ ΤΩΝ ΕΙΔΩΝ *Nannochloropsis* sp.  
ΚΑΙ *Schizochytrium* sp. ΣΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΟΥ  
ΛΑΒΡΑΚΙΟΥ (*Dicentrarchus labrax*)**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΑΣΟΥΡΑΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ

ΒΟΛΟΣ, 2022

**Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή :**

**1) Ιωάννης Καραπαναγιωτίδης, Αναπληρωτής Καθηγητής** - Διατροφή Υδρόβιων Ζωικών Οργανισμών, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, ***Επιβλέπων,***

**2) Παναγιώτα Παναγιωτάκη, Καθηγήτρια** - Υδατοκαλλιέργειες, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Μέλος

**3) Ελένη Γκολομάζου, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια** - Προστασία-Ευζωία Ιχθύων, Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, ***Μέλος.***

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΜΑΣΟΥΡΑΣ δηλώνω ότι το κείμενο της μελέτης αποτελεί δικό μου, μη υποβοηθούμενο πόνημα. Υποβάλλεται σε μερική εκπλήρωση των απαιτήσεων για την απόκτηση του Μεταπτυχιακού «Μεσογειακή Υδατοκαλλιέργεια» του τμήματος Γεωπονίας, Ιχθυολογίας και Υδάτινου περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Δεν έχει υποβληθεί ποτέ πριν για οποιοδήποτε λόγο ή για εξέταση σε οποιοδήποτε άλλο πανεπιστήμιο ή εκπαιδευτικό ίδρυμα της χώρας ή του εξωτερικού.

ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΜΑΣΟΥΡΑΣ

ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2022

*Στην οικογένεια μου.....*

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Στο σημείο αυτό αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω κάποιους ανθρώπους οι οποίοι με το δικό τους τρόπο ο καθένας, συνέβαλλαν στην υλοποίηση της μεταπτυχιακής μελέτης αλλά και στο επιτυχημένο θεωρώ έτος που πέρασε.

Καταρχάς, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Αναπληρωτή Καθηγητή του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας και επιβλέπων της μεταπτυχιακής μου εργασίας, κύριο Καραπαναγιωτίδη Ιωάννη για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή του για την εκπόνηση της μεταπτυχιακής μου μελέτης.

Τέλος, την οικογένειά μου που όλα αυτά χρόνια σπουδών και με όλες τις δύσκολες οικονομικές και κοινωνικές καταστάσεις που βιώνουμε, με στήριξαν με ότι είχαν και δεν είχαν, θυσιάζοντας πολλά πράγματα.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

|                                                                                                                                   |        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| ΠΕΡΙΛΗΨΗ                                                                                                                          | - 8 -  |
| ABSTRACT                                                                                                                          | - 9 -  |
| 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ                                                                                                                       | - 10 - |
| 1.1 Η Ανάπτυξη του Κλάδου της Υδατοκαλλιέργειας                                                                                   | - 11 - |
| 1.2 Η Ανάπτυξη της Εκτροφής Λαβρακίου σε Εγχώριο και Διεθνές Επίπεδο                                                              | - 13 - |
| 1.2.1 Ταξινόμηση-Περιγραφή του λαβρακίου <i>Dicentrarchus labrax</i>                                                              | - 14 - |
| 1.2.2 Η ιχθυοκαλλιέργεια λαβρακίου στην Ελλάδα                                                                                    | - 16 - |
| 1.2.3 Η ιχθυοκαλλιέργεια λαβρακίου σε διεθνές επίπεδο                                                                             | - 21 - |
| 2. Η ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΙΧΘΥΕΛΑΙΟΥ – ΙΧΘΥΑΛΕΥΡΟΥ ΣΤΙΣ ΙΧΘΥΟΤΡΟΦΕΣ ΚΑΙ Η ΑΝΑΓΚΗ ΓΙΑ ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ                                           | - 26 - |
| 2.1 Ο ιδιαίτερος ρόλος του ιχθυελαίου και του ιχθυαλεύρου στην διατροφή των μεσογειακών ιχθύων                                    | - 29 - |
| 2.2 Η επιτακτική ανάγκη για εναλλακτικές μορφές πρωτεΐνης και λίπους                                                              | - 32 - |
| 2.3 Μικροφύκη: Η χρήση τους στις ιχθυοκαλλιέργειες                                                                                | - 34 - |
| 2.3.1 Η σημασία των ειδών <i>Schizochytrium</i> και <i>Nannochloropsis</i> στη διατροφή του λαβρακίου <i>Dicentrarchus labrax</i> | - 39 - |
| 2.3.1.1 <i>Schizochytrium</i> sp                                                                                                  | - 41 - |
| 2.3.1.2 <i>Nannochloropsis</i> sp                                                                                                 | - 42 - |
| 2.4 Σύγκριση Ιχθυαλεύρου-Ιχθυελαίου με Μικροφύκη                                                                                  | - 44 - |
| 3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ                                                                                                              | - 47 - |
| 3.1 Πειραματικός σχεδιασμός                                                                                                       | - 47 - |
| 3.2 Σιτηρέσια – Σίτιση                                                                                                            | - 48 - |
| 3.3 Δειγματοληψίες                                                                                                                | - 50 - |
| 3.4 Παράμετροι ανάπτυξης και αξιοποίησης της τροφής                                                                               | - 50 - |
| 3.4.1 Θνησιμότητα                                                                                                                 | - 50 - |
| 3.4.2 Αύξηση ολικού βάρους ψαριών                                                                                                 | - 50 - |
| 3.4.3 Ποσοστό αύξησης του ολικού βάρους                                                                                           | - 51 - |
| 3.4.4 Συνολική κατανάλωση τροφής                                                                                                  | - 51 - |
| 3.4.5 Ειδικός ρυθμός ανάπτυξης                                                                                                    | - 51 - |
| 3.4.6 Συντελεστής μετατρεψιμότητας της τροφής                                                                                     | - 51 - |
| 3.4.7 Συντελεστής αποδοτικότητας πρωτεϊνών                                                                                        | - 52 - |
| 4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ                                                                                                                   | - 53 - |
| 4.1 Θνησιμότητα                                                                                                                   | - 53 - |

|       |                                                 |                                     |
|-------|-------------------------------------------------|-------------------------------------|
| 4.2   | Παράμετροι ανάπτυξης και αξιοποίησης της τροφής | - 53 -                              |
| 4.2.1 | Αύξηση ολικού σωματικού βάρους                  | - 53 -                              |
| 4.2.2 | Συνολική κατανάλωση τροφής                      | - 55 -                              |
| 4.2.3 | Ειδικός ρυθμός ανάπτυξης (SGR)                  | - 55 -                              |
| 4.2.4 | Συντελεστής μετατρεψιμότητας της τροφής (FCR)   | - 55 -                              |
| 4.2.5 | Συντελεστής Αποδοτικότητας της Πρωτεΐνης (PER)  | - 55 -                              |
| 4.2.6 | Σύνοψη αποτελεσμάτων                            | <b>Error! Bookmark not defined.</b> |
| 5.    | ΣΥΖΗΤΗΣΗ                                        | 2                                   |
| 6.    | ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ                                    | 4                                   |
|       | ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ                                    | 5                                   |

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα τελευταία χρόνια, η παραγωγή ιχθυοκαλλιεργειών έχει αυξηθεί, με αποτέλεσμα την αύξηση της ζήτησης για ιχθυοτροφές. Λόγω αυτής της αύξησης της ζήτησης, τα αποθέματα ιχθυαλεύρων και ιχθυελαίων δεν επαρκούν. Η βιομηχανία ιχθυοτροφών χρησιμοποιεί εδώ και πολλά χρόνια το ιχθυέλαιο ως κύρια πηγή λίπους στη διατροφή των εκτρεφόμενων οργανισμών λόγω της υψηλής διατροφικής του αξίας. Ωστόσο, η πρόσβαση στο ιχθυέλαιο περιορίζεται όλο και περισσότερο, επειδή προέρχεται από πεπερασμένους πόρους. Για το λόγο αυτό, έχουν καταβληθεί προσπάθειες για να μειωθεί η εξάρτηση της βιομηχανίας ιχθυοτροφών από το ιχθυέλαιο και να εντοπιστούν νέες πηγές λιπών για την παραγωγή ιχθυοτροφών.

Η περιεκτικότητα του ολικού σώματος, όλων των ομάδων ιχθύων, σε ολική πρωτεΐνη κυμάνθηκε από 51,02% έως 51,03%, σε ολικές λιπαρές ουσίες από 15,48% έως 15,93%, σε τέφρα από 6,71% έως 7,65%, σε ολική ενέργεια από 22,26% έως 22,38% και σε υγρασία από 5,47% έως 6,37%. Η στατιστική επεξεργασία των δεδομένων έδειξε ότι η θρεπτική σύσταση των ιχθύων σε ολόκληρο το σώμα όλων των ομάδων δε διέφερε μεταξύ τους. Από τα αποτελέσματα, φαίνεται ότι το μίγμα από τα έλαια των μικροφυκών *Schizochytrium* sp. και *Nannochloropsis* sp. δυνητικά θα μπορούσε να αποτελέσει αξιόπιστο υποκατάστατο του ιχθυελαίου. Ωστόσο, απαιτείται περαιτέρω διερεύνηση για διάφορα είδη και επίσης, όσον αφορά στη θρεπτική σύσταση του μυϊκού ιστού, την εναπόθεση λιπαρών οξέων στο μυϊκό ιστό και την ιστολογική ανάλυση των ψαριών, καθώς επίσης, και την πεπτικότητα των μικροφυκών προκειμένου να διασφαλιστεί η καταλληλότητα αυτής της πρώτης ύλης για τη βιομηχανία υδατοκαλλιέργειας.

Η προτεινόμενη έρευνα αποσκοπεί στη διερεύνηση εναλλακτικών πηγών διατροφής με βάση τα έλαια μικροφυκών από τα είδη *Nannochloropsis* sp. και *Schizochytrium* sp. για την ιχθυοκαλλιέργεια. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της χημικής σύστασης ολόκληρου του σώματος λαβρακιού (*Dicentrarchus labrax*) που διατράφηκαν με δίαιτα που περιείχε βιομάζες μικροφυκών από τα είδη *Nannochloropsis* sp. και *Schizochytrium* sp.



## ABSTRACT

In recent years, fish farming production has increased, leading to an increase in demand for fish feed. Due to this increase in demand, stocks of fishmeal and fish oil are not adequate. The fish feed industry has utilized fish oil for many years as the primary source of fat in the diets of farmed fish due to its high nutritional value. However, access to fish oil is becoming increasingly restricted because it is derived from finite resources. For this reason, efforts have been made to reduce the fish feed industry's reliance on fish oil and to search for new lipid sources for fish feed production.

The whole body content of all fish groups ranged from 51.02% to 51.03% in total protein, 15.48% to 15.93% in total fat, 6.71% to 7.65% in ash, 22.26% to 22.38% in total energy and 5.47% to 6.37% in moisture. Statistical treatment of the data showed that the whole body nutritional composition of the fish in all groups did not differ from each other. From the results, it appears that the mixture of the oils of the microalgae *Schizochytrium sp.* and *Nannochloropsis sp.* could potentially be a reliable substitute for fish oil. However, further investigation is needed for different species and also with regard to the nutritional composition of muscle tissue, fatty acid deposition in muscle tissue and histological analysis of fish, as well as the digestibility of microalgae to ensure the suitability of this raw material for the aquaculture industry.

The proposed research aims to investigate alternative dietary sources based on microalgal oils from *Nannochloropsis sp.* and *Schizochytrium sp.* species for aquaculture fish farming. The results of the chemical composition of the whole body of sea bass (*Dicentrarchus labrax*) fed a diet containing microalgal oils from *Nannochloropsis sp.* and *Schizochytrium sp.* are presented in this work.

# 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η μεσογειακή ιχθυοκαλλιέργεια όπως είναι γνωστή σήμερα, ξεκίνησε το 1980 με την εκτροφή τσιπούρας και λαβρακιού, καθιστώντας την ως κύρια δραστηριότητα υδατοκαλλιέργειας στην Ελλάδα. Αποτελεί σημαντικό μέρος της εθνικής παραγωγής θαλασσινών καθώς είναι ένας βασικός παραγωγικός κλάδος της Ελλάδας με ανταγωνιστικά πλεονεκτήματα διότι παρέχει ένα ευνοϊκό περιβάλλον, θαλάσσιες και εσωτερικές περιοχές που είναι διαθέσιμες για ιχθυοκαλλιέργειες, κατάλληλες κλιματικές συνθήκες, μακροχρόνια εμπειρία και επιστημονική τεχνογνωσία, αλλά και εξειδικευμένο ανθρώπινο δυναμικό (HARO, 2021).

Σε παγκόσμιο επίπεδο, η κατανάλωση υδρόβιων τροφίμων παρουσίασε σημαντική αύξηση τα τελευταία χρόνια. Από το 1961, η κατανάλωση αυξάνεται με ρυθμό 3% κάθε χρόνο, φτάνοντας από τα 9,9 κιλά, στα 20,5 κιλά το 2019, παρουσιάζοντας μία μικρή μείωση το 2020 στα 20 κιλά, λόγω πανδημίας (FAO, 2022). Ο τομέας της υδατοκαλλιέργειας φαίνεται να είναι σε υψηλό επίπεδο διαδραματίζοντας όλο και πιο σημαντικό ρόλο τόσο στις οικονομίες των χωρών, όσο και στις κοινωνίες αλλά και το οικοσύστημα. Για παράδειγμα, στις ΗΠΑ το διεθνές εμπόριο προϊόντων υδατοκαλλιέργειας έφτασε τα 151 δισεκατομμύρια δολάρια το 2020, το οποίο ποσό θεωρήθηκε μειωμένο σε σύγκριση με το ποσό των 165 δισεκατομμυρίων δολαρίων του 2018, κυρίως λόγω της επιδημίας του COVID-19 (FAO, 2022). Από το 1997, παρατηρήθηκε τριπλάσια αύξηση σε όγκο της παραγωγής υδατοκαλλιέργειας από 34 Mt σε 112 Mt το 2017, με το 75% της παραγωγής να αποτελείται από τα φύκια, τους κυπρίνους, τα δίθυρα και τα γατόψαρα.

Η μεγαλύτερη παραγωγός υδατοκαλλιέργειας ήπειρος, μέχρι και σήμερα, είναι η Ασία η οποία αντιπροσωπεύει το 92% του όγκου των υδρόβιων προϊόντων, βάσει των δεδομένων του 2017, και παρέχει μεγαλύτερη ποικιλία τόσο στα συστήματα παραγωγής όσο και στα είδη που καλλιεργούνται (Naylor et al., 2021). Η Κίνα αποτελεί μία από τις χώρες της Ασίας που χαρακτηρίζονται από την ποικιλότητα των ειδών υδατοκαλλιέργειας και το 2017 βρέθηκε ότι καλλιεργήσε 86 διαφορετικά είδη υδρόβιων οργανισμών, έναντι της Νορβηγίας, η οποία καλλιεργήσε 13 διαφορετικά είδη, χρησιμοποιώντας περιορισμένο αριθμό συστημάτων παραγωγής. Επίσης, από το 2000, η Κίνα θεωρείται ο μεγαλύτερος παγκόσμιος παραγωγός και έμπορος ψαριών

μαλάκιων, αυξάνοντας με πολύ γρήγορους ρυθμούς το εισόδημά της και την εγχώρια ζήτηση θαλασσινών (Naylor et al., 2021).

## **1.1 Η ανάπτυξη του κλάδου της υδατοκαλλιέργειας**

Η δραστηριότητα της υδατοκαλλιέργειας έκανε την εμφάνισή της για πρώτη φορά στην Κίνα κατά την περίοδο 2000–1000 π.Χ. όπου οι άνθρωποι ασχολήθηκαν κυρίως με την υδατοκαλλιέργεια γλυκού νερού. Από την άλλη, οι Ρωμαίοι και οι Έλληνες, ξεκίνησαν να ασχολούνται με την υδατοκαλλιέργεια τον 6ο και 5ο αιώνα π.Χ. και κυρίως με την καλλιέργεια στρειδιών. Με το τέλος της Ρωμαϊκής Αυτοκρατορίας, η δραστηριότητα αυτή σταμάτησε και αναπτύχθηκε ξανά τον 15ο αιώνα μ.Χ. στις λιμνοθάλασσες της Αδριατικής (HARO, 2021). Η υδατοκαλλιέργεια αποτελεί μια δραστηριότητα που ξεκίνησε χιλιάδες χρόνια πριν και εξελίχθηκε αργά, μέσα από τις εμπειρίες και τις γνώσεις που αποκτήθηκαν με τα χρόνια. Ως αποτέλεσμα, οι υδατοκαλλιέργειες συνεχίστηκαν για αιώνες, κατέχοντας σημαντικό ρόλο τόσο στον οικονομικό και κοινωνικό τομέα όσο και στο περιβάλλον. Η πρόοδος της επιστήμης έχει ωφελήσει κατά μεγάλο βαθμό τις εξελίξεις στον τομέα της υδατοκαλλιέργειας, με αποτέλεσμα να αναπτυχθεί τόσο ώστε μέσω αυτής της δραστηριότητας να προμηθεύονται περισσότερα από τα μισά ψάρια παγκοσμίως για ανθρώπινη κατανάλωση. Όπως και οι περισσότερες ανθρώπινες δραστηριότητες, έτσι και οι υδατοκαλλιέργειες έχουν προκαλέσει κάποιες επιπτώσεις σε τοπικό, περιφερειακό και παγκόσμιο επίπεδο, όπως κοινωνικές συγκρούσεις μεταξύ των χρηστών της γης και των υδάτινων πόρων και την καταστροφή του οικοσυστήματος. Οι επιχειρήσεις υδατοκαλλιέργειας ανησυχούν κυρίως για την καταλληλότητα της τοποθεσίας, την καταστροφή των οικοτόπων, τη χρήση επιβλαβών χημικών και κτηνιατρικών φαρμάκων, τη μη βιώσιμη παραγωγή ιχθυαλεύρων και ιχθυελαίου, την ισορροπία του οικοσυστήματος και για τις και κοινωνικές και πολιτιστικές επιπτώσεις στους εργαζόμενους και τις κοινότητες της υδατοκαλλιέργειας (FAO, 2022).

Η αύξηση του πληθυσμού και της κατανάλωσης ψαριών, κυρίως στις δυτικές χώρες, έχει κινητοποιήσει τον κόσμο να ασχοληθεί με την υδατοκαλλιέργεια τόσο σε προσωπικό όσο και σε εταιρικό επίπεδο. Η αστικοποίηση έχει δυσκολέψει την

παραγωγή των ψαριών από ιδιώτες, τροφοδοτώντας το εμπόριο ψαριών ως εμπόρευμα, λόγω της δύσκολης πρόσβασης σε εισροές και αγορές. Από την άλλη, οι αγροτικοί πληθυσμοί της Ασίας μπορούσαν να εξασφαλίζουν παραδοσιακά υδρόβια προϊόντα με ελάχιστη προσπάθεια από υγρότοπους, οδηγώντας με τα χρόνια τους ανθρώπους σε βαθύτερες περιοχές λιμνών για την παραγωγή ολοένα και περισσότερων προϊόντων (DeZeeuw&Drechsel, 2015). Αυτή η παραγωγή έχει αυξήσει τη ζήτηση και τις εποχιακές ελλείψεις, οδηγώντας τον κόσμο να ασχοληθεί με τις υδατοκαλλιέργειες σε εμπορικό επίπεδο αλλά και σε μεγάλο βαθμό συστήματα διαχείρισης οικιακής χρήσης στην Ασία. Για παράδειγμα, η ζήτηση για γαρίδες αυξήθηκε σε μεγάλο βαθμό τα τελευταία 30 χρόνια, λόγω των εγκαταστάσεων εκκολαπτηρίων. Αντίθετα, η παγκόσμια βιομηχανία εκτροφής σολομού του Ατλαντικού χαρακτηρίζεται από το εξαιρετικά τυποποιημένο σύστημα παραγωγής νερού σε κλουβιά, έχει ρυθμό αύξησης κατά 16% από το 1985 παράγοντας περισσότερο από το 50% της συνολικής συγκομιδής στη Νορβηγία(Asche et al., 2013). Η ανάπτυξη του διεθνούς εμπορίου τέτοιων ειδών έχει οδηγήσει σε περαιτέρω μετασχηματισμό και στην περίπτωση του σολομού οδήγησε σε ενοποίηση της παραγωγής μεταξύ λιγότερων μεγαλύτερων επιχειρήσεων. Η βελτιωμένη παραγωγικότητα των μεγαλύτερων εκμεταλλεύσεων, η αύξηση των επιπέδων εξειδίκευσης της παραγωγής και η βελτιωμένη νομοθεσία συνέβαλαν στην ενοποίηση, για την οποία υπάρχει μια γενική αναδυόμενη τάση σε ολόκληρο τον τομέα των θαλασσινών(Ascheetal., 2013). Ο ΟΟΣΑ (Οργανισμός Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης) αποτελεί έναν οργανισμό ο οποίος είναι υπεύθυνος να διασφαλίζει τη βιώσιμη υδατοκαλλιέργεια, ιδιαίτερα στη Βόρεια Αμερική και την Ευρώπη. Για παράδειγμα, στην περιοχή της Ασίας-Ειρηνικού, το εθνικό και ενδοπεριφερειακό εμπόριο στη παραγωγή κυπρίνων, γατόψαρων και τιλάπιας αυξάνεται συνεχώς αποτελώντας περισσότερο από το 80 % της παγκόσμιας υδατοκαλλιέργειας ιχθυοκαλλιέργειας, με αποτέλεσμα να κυριαρχήσει στην ανάπτυξη στο εγγύς μέλλον. Είναι απαραίτητο λοιπόν, να δίνεται μεγάλη προσοχή στη βιώσιμη εντατικοποίηση τέτοιων κατώτερων τροφικών ειδών, ειδικά όσον αφορά τα συστατικά των ζωοτροφών που χρησιμοποιούνται στη διατροφή τους. Η γρήγορη ανάπτυξη της υδατοκαλλιέργειας σε ορισμένα μέρη του επιτυγχάνεται σε μεγάλο βαθμό από εμπορικούς παράγοντες, και όχι πάντα από την έρευνα, όπως αποδείχτηκε από το Βιετνάμ το 2000 με 2008, όπου η παραγωγή του ριγέ γατόψαρου είχε ξεπεράσει την παραγωγή σολομού της Νορβηγίας. Η μείωση της παραγωγής ριγέ

γατόπαρου προκλήθηκε τόσο από κάποιους περιορισμούς στην αγορά αλλά και στην έλλειψη της έρευνας, η οποία μπορεί να επιφέρει σημαντικές αποδόσεις από άποψη κερδοφορίας (Brummett et al., 2008).

Οι κυβερνήσεις των χωρών παγκοσμίως δίνουν έμφαση στην υδατοκαλλιέργεια τόσο ως συμβολή στην επισιτιστική ασφάλεια όσο και ως συμπλήρωμα στη μείωση των αλιευμάτων ψαριών που προκύπτουν από την υπερσυλλογή. Ο τομέας της υδατοκαλλιέργειας με την βοήθεια και τη στήριξη των κυβερνήσεων και των οργανισμών τους, μπορεί να προσφέρει αρκετά οφέλη τόσο σε περιφερειακό όσο και σε τοπικό επίπεδο, λόγω των ευκαιριών εργασίας και της σχετικής αυξημένης κοινωνικής και οικονομικής δραστηριότητας. Για παράδειγμα, η μελέτη του Krause και των συνεργατών του το 2020, έδειξε ότι στη Σκωτία, υπάρχουν γραφεία επεξεργασίας και έδρας στην περιοχή, όπου προσελκύσουν άτομα υψηλής ειδίκευσης από αστικές περιοχές, με αποτέλεσμα να δημιουργείται μεγαλύτερο αριθμός θέσεων εργασίας πλήρους απασχόλησης όλο το χρόνο σε περιφερειακή κλίμακα (Krause et al., 2020).

## **1.2 Η ανάπτυξη της εκτροφής λαβρακιού σε εγχώριο και διεθνές επίπεδο**

Το λαβράκι ξεκίνησε να εκτρέφεται στα τέλη της δεκαετίας του 1960 και καλλιεργούνταν σε λιμνοθάλασσες και παλιρροιακές δεξαμενές πριν την παραγωγή του. Αρχικά, τα ψάρια εκτρέφονταν σε παράκτιες λεκάνες, όπου παραγόταν το αλάτι, και η εκτροφή τους πραγματοποιούνταν κυρίως τον χειμώνα και την άνοιξη (EE, 2019). Η Γαλλία και η Ιταλία ήταν οι πρώτες χώρες που ανέπτυξαν τεχνικές παραγωγής λαβρακιού, και μέχρι τα τέλη του 1970 οι τεχνικές μεταδόθηκαν στο μεγαλύτερο μέρος της Μεσογείου με αποτέλεσμα να παραχθούν εκατοντάδες χιλιάδες λάρβες (EE, 2019). Το ευρωπαϊκό λαβράκι (*Dicentrarchus labrax*) ήταν το πρώτο θαλάσσιο μη σολομοειδές είδος ψαριού που καλλιεργήθηκε για εμπορική χρήση στην Ευρώπη, και έχει συνδυαστεί με την εκτροφή της τσιπούρας. Το 2016 η παγκόσμια παραγωγή λαβρακιού εκτροφής ξεπέρασε τους 191.000 τόνους, ενώ η παραγωγή της ΕΕ αποτελούσε το 43% αυτού του συνόλου (EE, 2019). Σύμφωνα με τα στατιστικά στοιχεία του FAO (Παγκόσμιος Οργανισμός Τροφίμων και Γεωργίας), οι κύριες παραγωγικές περιοχές για το 2016 ήταν η ΕΕ (81.852 τόνοι), η Τουρκία

(80.847 τόνοι) και η Αίγυπτος (24.498 τόνοι). Μικρή παραγωγή αναφέρεται και σε άλλες χώρες της Μεσογείου που βρίσκονται εκτός ΕΕ, όπως η Τυνησία (2.564 τόνοι το 2016)(ΕΕ, 2019).

### **1.2.1 Ταξινόμηση-Περιγραφή του λαβρακίου *Dicentrarchus labrax***

Το ευρωπαϊκό λαβράκι (*Dicentrarchus labrax*) είναι ένα παράκτιο θαλάσσιο ψάρι που εντοπίζεται σε βάθος μικρότερο των 100m, από τον βορειοανατολικό Ατλαντικό Ωκεανό έως τη Μεσόγειο και τη Μαύρη Θάλασσα, καθώς αναζητάει τροφή σε εκβολές ποταμών και λιμνοθάλασσες. Μεταναστεύουν από την ακτογραμμή σε βαθύτερα νερά, με πιο σταθερή θερμοκρασία (9-10°C), και αναπαράγονται σε ομάδες από τον Δεκέμβριο μέχρι τον Μάρτιο στη Μεσόγειο και από τον Μάρτιο μέχρι τον Ιούνιο στον Ατλαντικό. Παράγουν περίπου 200.000 αυγά/κιλό, τα οποία εκκολάπτονται μέσα σε τρεις έως πέντε ημέρες και αναπτύσσονται σχετικά γρήγορα, καθώς οι προνύμφες που είναι μεγέθους 4 mm, φτάνουν τα 22 mm σε δύο έως τρεις μήνες ενώ μεταναστεύουν σε παράκτιες περιοχές και λιμνοθάλασσες. Η κύρια τροφή του είναι το πλαγκτόν στο στάδιο των προνυμφών και τα ψάρια και καρκινοειδή όταν ενηλικιωθούν. Το ευρωπαϊκό λαβράκι παράγεται κατά την ερασιτεχνική αλιεία σε ψαρότοπους όπως η Μάγλη, η Θάλασσα της Ιρλανδίας, ο Βισκαϊκός Κόλπος και η Μεσόγειος. Η ερασιτεχνική αλιεία αντιπροσωπεύει το 30% έως 50% των συνολικών αλιευμάτων στον Ατλαντικό, αλλά από οικονομική άποψη, το λαβράκι είναι πλέον ξεκάθαρα είδος υδατοκαλλιέργειας. Μέσω της υδατοκαλλιέργειας παράγεται πολύ μεγαλύτερη ποσότητα λαβρακίων σε σύγκριση με την αλιεία, και πραγματοποιείται κυρίως στη Μεσόγειο η οποία αντιπροσωπεύει το 94% της παραγωγής, κυρίως στην Τουρκία, την Ελλάδα, την Αίγυπτο και την Ισπανία. Κατά την καλλιέργεια αρχικά, πραγματοποιείται η φάση της εκκόλαψης, όπου υπάρχει ελεγχόμενη θερμοκρασία και γίνεται στην ενδοχώρα και παράγονται ψάρια με βάρος από 1 έως 20 g σε τρεις έως οκτώ μήνες, και εν συνεχεία αναπτύσσονται ώστε να φτάσουν σε βάρος 250-450 g σε διάρκεια από 12 έως 20 μήνες, σε θαλάσσια κλουβιά σε φυσικά νερά. Το κύριο προϊόν της αγοράς είναι το ψάρι σε μέγεθος τηγανιού 250-400 g, αλλά υπάρχει αυξανόμενο ενδιαφέρον για την παραγωγή μεγαλύτερων ψαριών (800 g έως 1 kg) προς πώληση ολόκληρα ή ως επεξεργασμένα φιλέτα (EUMOFA, 2018).



**Εικόνα 1: Λαβράκι (πηγή: Fishbase)**

Πέρα από τις διαφορές μεταξύ των πληθυσμών, η γενετική ταξινόμηση των χαρακτηριστικών σε έναν πληθυσμό παίζει σημαντικό ρόλο στην επιλογή για την αναπαραγωγή. Έχουν ερευνηθεί παράμετροι για την ανάπτυξη, τα χαρακτηριστικά επεξεργασίας, τις παραμορφώσεις, την αποτελεσματικότητα των ζωοτροφών, την ευημερία, τη συμπεριφορά, την υγεία ή τα χαρακτηριστικά αναπαραγωγής στο ευρωπαϊκό λαβράκι, ώστε να σχεδιαστεί σωστά το πρόγραμμα αναπαραγωγής και να αποδώσει ένα πιο αποδεκτό αποτέλεσμα. Συγκεκριμένα, οι διακυμάνσεις των κληρονομικών χαρακτηριστικών όσο αφορά την ανάπτυξη (0,30 έως 0,60), το σωματικό βάρος (0,15 έως 0,45), οι διακυμάνσεις απόδοσης φιλέτου (0,57), το γενικό σχήμα του σώματος (0,40 έως 0,50) και ο ρυθμός ανάπτυξης δίνουν μία εικόνα για την πιθανότητα γενετικής βελτίωσης. Επίσης, τα χαρακτηριστικά των παραμορφώσεων συνήθως κυμαίνονται από 0,13 έως 0,33 και δεν είναι πάντα εύκολο να εντοπιστούν ώστε να παραχθούν ακριβείς πληροφορίες κληρονομικότητας, και μπορεί να οφείλονται στη γενετική βάση. Επίσης, η αποτελεσματικότητα των ζωοτροφών και η συμπεριφορά σίτισης, ως κληρονομικά χαρακτηριστικά είναι δύσκολο να εντοπιστούν λόγω της αδυναμίας καταγραφής της ατομικής πρόσληψης τροφής σε εμπορικές συνθήκες (Vandeputte et al., 2019).

Τέλος οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ του γονότυπου προς περιβάλλον είναι σημαντικό να εξετάζονται ώστε να αξιολογηθεί η σταθερότητα των επιδόσεων σε διαφορετικά περιβάλλοντα. Στο λαβράκι, αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό λόγω της μεγάλης διακύμανσης των περιβαλλοντικών συνθηκών μεταξύ των συστημάτων εκτροφής και των γεωργικών περιοχών. Έχει παρατηρηθεί ότι τα λαβράκια στην νοτιοανατολικά Μεσόγειο απέδωσαν καλύτερα από άλλα σε συνθήκες ζεστού νερού και είχαν μεγαλύτερη απόδοση φιλέτου και μυϊκό λίπος, από αυτά στην Ερυθρά Θάλασσα, ενώ ήταν φτωχοί καλλιεργητές σε άλλες συνθήκες (Vanderputte & Haffray, 2014).

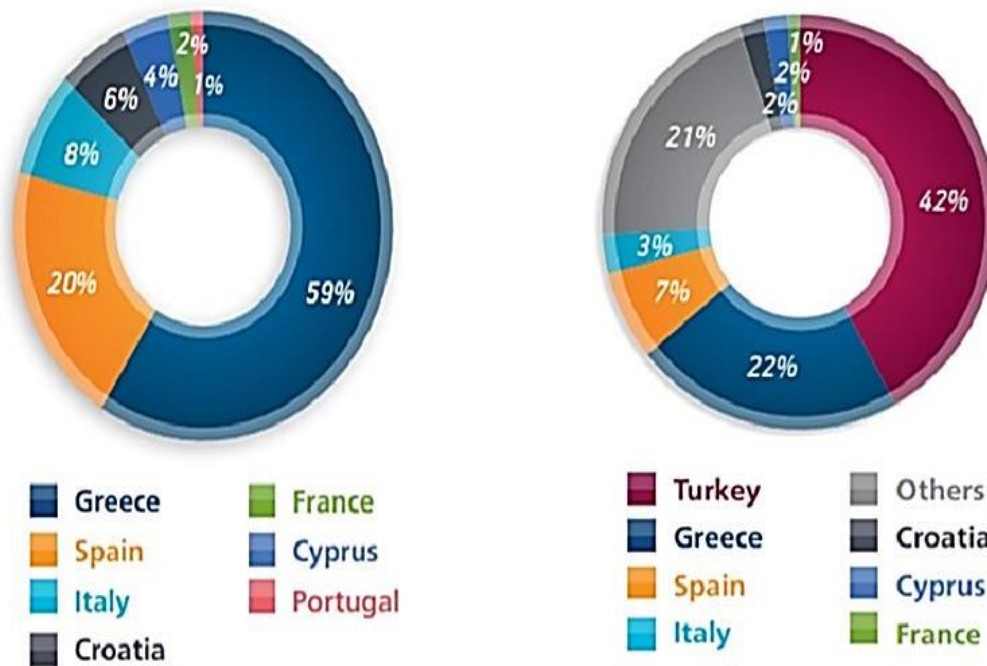
### **1.2.2 Η ιχθυοκαλλιέργεια λαβρακιού στην Ελλάδα**

Όπως αναφέρθηκε η μεσογειακή υδατοκαλλιέργεια άνθισε το 1980, με τα πιο εντατικά εκτρεφόμενα είδη ψαριών να είναι η τσιπούρα και το λαβράκι. Οι υδατοκαλλιέργειες ξεκίνησαν να αναπτύσσονται στην Ελλάδα, όπως και σε όλες τις Μεσογειακές χώρες, στην Τουρκία, στην Ιταλία, στην Ισπανία, στη Κύπρο, στη Βόρεια Αφρική και στο Ισραήλ. Στη σύγχρονη υδατοκαλλιέργεια της Ελλάδας, τα θαλάσσια είδη που κυριαρχούν είναι το ευρωπαϊκό λαβράκι (*Dicentrarchus labrax*), η τσιπούρα (*Sparus aurata*) και τα μεσογειακά μύδια (*Mytilus galloprovincialis*). Η θαλάσσια ιχθυοκαλλιέργεια στην Ελλάδα ιδρύθηκε το 1980 με την στήριξη της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) για τη δημιουργία εκμεταλλεύσεων πιλοτικής κλίμακας, και το 1990, πραγματοποιήθηκε μια μαζική παραγωγή, με αποτέλεσμα ο κλάδος της ιχθυοκαλλιέργειας να αναπτύσσεται εκθετικά (Theodorou, 2022). Παρόλη την ανάπτυξη, υπήρξαν περίοδοι κρίσης, όπως η δεκαετία από το 1998 μέχρι και το 2008, όπου οι τιμές των συγκεκριμένων ειδών ήταν πολύ χαμηλές, το οποίο γεγονός ήταν αποτέλεσμα της ανεξέλεγκτης παραγωγής, η οποία έφτασε τους 140.000 τόνους στην αρχή της ελληνικής οικονομική κρίση το 2008 και της έλλειψη επαρκούς υποστήριξης μάρκετινγκ (Theodorou, 2022). Από το 2015, ο τομέας της ιχθυοκαλλιέργειας αναδιοργανώθηκε, με 63 εταιρείες και παραγωγή περίπου 110.000 τόνων (Theodorou, 2022). Σύμφωνα με τα δεδομένα της Ευρωπαϊκής Ένωσης και τα στατιστικά της Eurostat, το 2008 η υδατοκαλλιέργεια στην Ελλάδα έφτασε τους 114.888 τόνους, ενώ στην Ισπανία και στη Τουρκία η παραγωγή υδατοκαλλιέργειας



ανήλθε στους 252.286 και 152.260 αντίστοιχα (Theodorou, 2022). Την δεκαετία από το 1998 μέχρι το 2008, η Ελλάδα ξεπέρασε σε παραγωγή υδατοκαλλιέργειας τις τέσσερις πιο ανταγωνιστικές μέχρι τότε χώρες στην Ευρωπαϊκή Ένωση, όπως την Ισπανία, την Γαλλία, την Ιταλία και το Ηνωμένο Βασίλειο, καθώς αύξησε την παραγωγή της κατά 90%. Μέχρι σήμερα η Ελλάδα διακρίνεται από τις υπόλοιπες χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, για την συνεχή και κορυφαία παραγωγή τσιπούρας και λαβρακιού στην Ευρώπη, έχοντας αναπτύξει προηγμένες τεχνικές και διαδικασίες ιχθυοκαλλιέργειας από την αρχαιότητα. Η τσιπούρα, βάσει της μυθολογίας είχε αφιερωθεί στην θεά Αφροδίτη, διότι θεωρούνταν ως το πιο ελκυστικό και νόστιμο ψάρι(Theodorou, 2022).

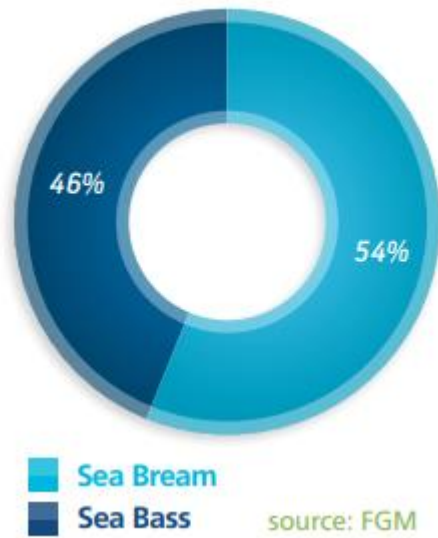
Στην Ελλάδα, έχουν αναπτυχθεί κατάλληλες τεχνικές, που επιτρέπουν την ταχύτερη ανάπτυξη του λαβρακιού και της τσιπούρας, ώστε να φτάσουν σε εμπορεύσιμο μέγεθος, μέσα σε περίπου 17 μήνες, ενώ στη Γαλλία με τις τεχνικές που χρησιμοποιούνται, χρειάζονται 24 με 30 μήνες (HAPO, 2021). Από το 2008, το λαβράκι και η τσιπούρα αποτελούν πιστοποιημένες εκμεταλλεύσεις στην Ελλάδα και εξάγονται και διοχετεύονται σε μεγάλες αγορές λιανικής. Σε αντίθεση με την Ελλάδα, το 2008, η Τουρκία παρουσίασε μείωση της ιχθυοκαλλιέργειας κατά 8,8 τοις εκατό σε σχέση με το προηγούμενο έτος. Το 2019, η παραγωγή ιχθυοκαλλιέργειας στην Ελλάδα έφτασε τους 127.055 τόνους, αξίας 553,4 εκατ. Ευρώ, κατέχοντας την δεύτερη στην ΕΕ μετά το Ηνωμένο Βασίλειο. Πιο συγκεκριμένα, όσο αφορά την εξαγωγή της τσιπούρας και του λαβρακιού, η Ελλάδα προμήθευε το 59% και των δύο ειδών που πωλούνται στην ΕΕ και το 22,2% πωλούνται παγκοσμίως, με παραγωγή 120.500 τόνων. Την ίδια χρονιά τα ελληνικά ψάρια εκτροφής πωλήθηκαν σε 42 χώρες παγκοσμίως, κυρίως στην Ισπανία, στη Γαλλία και στην Ιταλία με το λαβράκι και την τσιπούρα να αποτελούν τη δεύτερη μεγαλύτερη αγροτική εξαγωγή μετά το ελαιόλαδο(HAPO, 2021).



**Εικόνα 3 : Προμήθειες λαβρακιού και τσιπούρας το 2019 (αριστερά ΕΕ, δεξιά Παγκόσμια), Πηγή FGM 2022.**

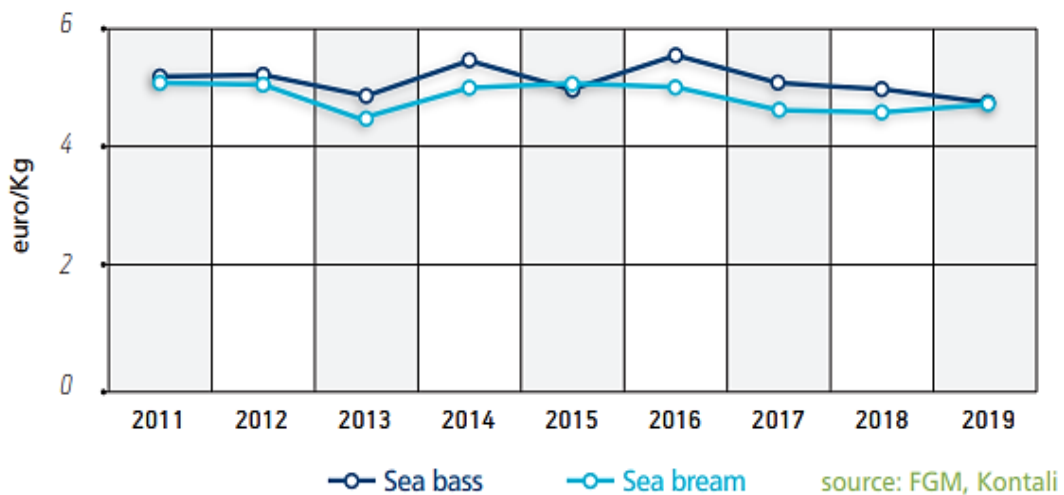
Το 80% της παραγωγής ιχθυοκαλλιέργειας εξάγεται στην ΕΕ και σε τρίτες χώρες, όπως η Βόρεια Αμερική, με το 72% των πωλήσεων να εξάγεται στην ΕΕ, σχεδόν το 5% σε τρίτες χώρες και το υπόλοιπο στην εγχώρια αγορά. Πιο συγκεκριμένα, το 2019 οι εξαγωγές έφτασαν τους 88.650 τόνους αξίας 420,1 εκατ. ευρώ, παρουσιάζοντας αύξηση όγκου 4%. Από το σύνολο των εξαγωγών, το 52% του όγκου των εξαγωγών ήταν τσιπούρα και το 48% λαβράκι. Το 2019 η παραγωγή τσιπούρας και λαβράκι ανήλθε σε 120.500 τόνους με 65.300 τόνους τσιπούρας και 55.200 τόνους λαβράκι, η οποία παρουσίασε αύξηση κατά 3% σε σύγκριση με το 2018. Η τσιπούρα αντιπροσωπεύει το 54% του όγκου παραγωγής και το λαβράκι το 46%. Οι τιμές για το τσιπούρα και το λαβράκι μειώθηκαν το 2019 σε σχέση με το 2018. Η μέση τιμή της τσιπούρας ήταν 4,5€/κιλό, σημειώνοντας μείωση 0,4% ενώ για το λαβράκι, η μέση τιμή ήταν 4,5€/κιλό, μείωση 8,4%(Antonopoulou, 2020).

### Main species produced



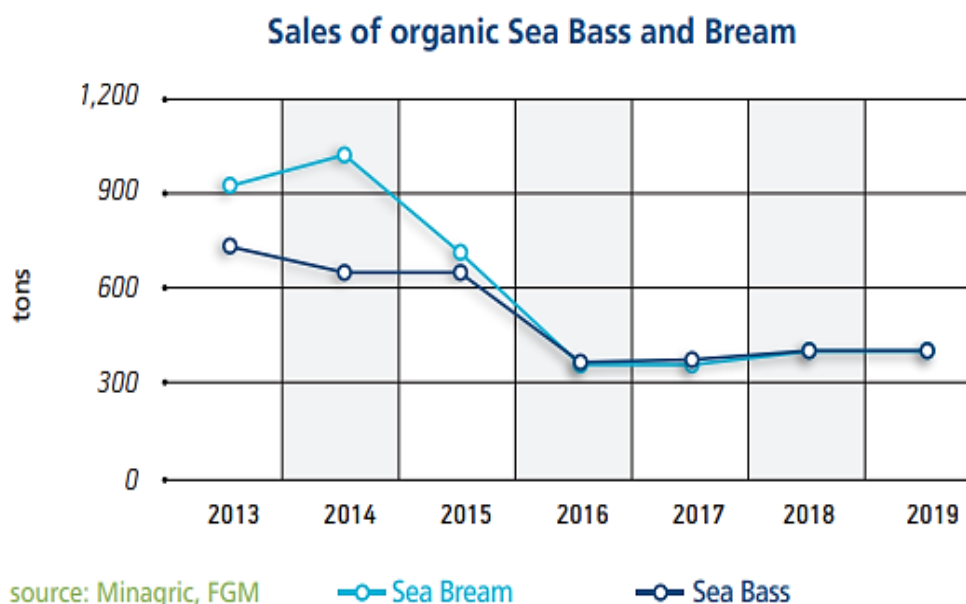
Εικόνα 4 : Ποσοστά Παραγωγής για Τσιπούρα (SeaBream) και Λαβράκι (SeaBass). Πηγή FGM, 2020.

### Average annual price development



Εικόνα 5: Διακυμάνσεις τιμών από το 2011 μέχρι το 2019. Πηγή FGM, 2020.

Όσο αφορά την βιολογική υδατοκαλλιέργεια της τσιπούρας και του λαβράκιου, ενώ το 2013 έφτασε περίπου τους 800 τόνους, παρατηρήθηκε μία γενική και απότομη μείωση το 2015 μέχρι και το 2016 φτάνοντας περίπου τους 300 τόνους. Η ζήτηση των βιολογικών ψαριών δεν αυξάνεται με γρήγορους ρυθμούς, καθώς οι τιμές τους είναι κατά 60% υψηλότερη από τα μη βιολογικά. Σήμερα στην Ελλάδα οι πιστοποιήσεις των βιολογικών ψαριών πραγματοποιούνται από δύο εταιρίες, οι οποίες εποπτεύονται από κρατικό φορέα (Ελληνικός Αγροτικός Οργανισμός «Δήμητρα»), και τρεις ιδιωτικούς φορείς.



**Εικόνα 6: Διακύμανση του όγκου παραγωγής των βιολογικών τσιπούρων και λαβρακίων 2013-2019. Πηγή FGM, 2020.**

Η Ομοσπονδία Ελληνικών Θαλασσοκαλλιεργειών (FGM) διεξάγει εδώ και αρκετά χρόνια προσπάθειες ώστε να εξασφαλιστεί μία ανταγωνιστικά υγιής αγορά, όσο αφορά την κερδοφορία από τις ιχθυοκαλλιέργειες, συμβάλλοντας στην εθνική οικονομία. Παρ' όλες τις προσπάθειες της FGM και των παραγωγών για την μείωση του κόστους παραγωγής, οι τιμές είναι αρκετά ασταθείς με αποτέλεσμα να επηρεάζεται σημαντικά την οικονομία. Επιπλέον, η FGM είναι υπεύθυνη για την διασφάλιση της ποιότητας των προϊόντων, σύμφωνα με τις κανονιστικές απαιτήσεις,

εφαρμόζοντας πρακτικές ώστε να μην γίνεται χρήση τροποποιημένων πρώτων υλών, να ελέγχονται συνεχώς όλα τα στάδια παραγωγής, και να εφαρμόζονται αυστηροί ποιοτικοί έλεγχοι όσο αφορά τα ψάρια, τις ζωοτροφές αλλά και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που μπορούν να προκληθούν. Επίσης, γίνεται συνεχής προώθηση των επενδύσεων ώστε να βελτιωθούν οι ιχθυοκαλλιέργειες, να μειωθούν οι περιβαλλοντικοί κίνδυνοι και η εξάρτηση από ιχθυάλευρα και ιχθυέλαια και να διασφαλιστεί η συνεχής πρόοδος προς την αειφόρο εκτροφή λαβρακιού και τσιπούρας. Από το 2018 υλοποιούνται 25 έργα E&A συνολικού προϋπολογισμού 12 εκατ. ευρώ. Τέλος, πραγματοποιούνται προσπάθειες μέσω της FGM για την συνεργασία των τοπικών επιχειρήσεων με τις τοπικές κοινωνίες με στόχο την ανάπτυξη τόσο του κοινωνικού όσο και του οικονομικού τομέα (FGM, 2020).

### **1.2.3 Η ιχθυοκαλλιέργεια λαβρακιού σε διεθνές επίπεδο**

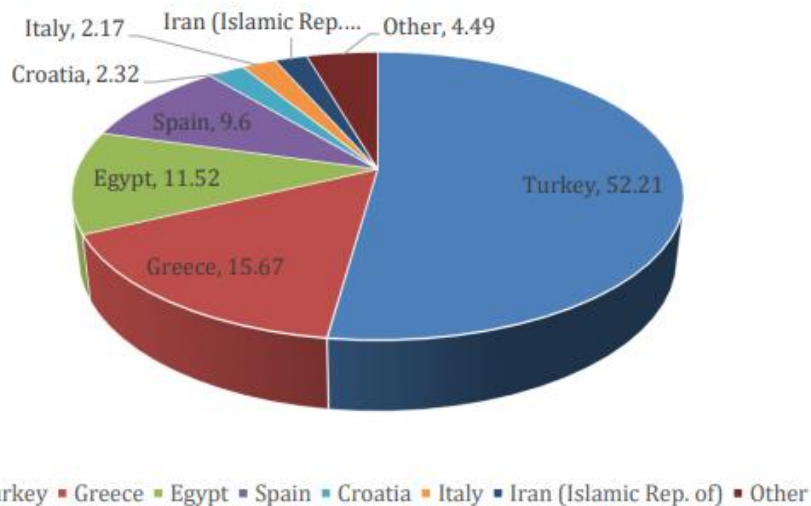
Σε παγκόσμιο επίπεδο το ευρωπαϊκό λαβράκι είναι το 3<sup>ο</sup> πιο εκτρεφόμενο ψάρι στην υδατοκαλλιέργεια, με κύρια παραγωγό χώρα την Τουρκία που αντιπροσωπεύει το 52,21% της παγκόσμιας παραγωγής, ενώ η Ελλάδα ακολουθεί με ποσοστό 15,67% της συνολικής παραγωγής, παρόλο που η αξία εξαγωγής της είναι μεγαλύτερη, και τέλος η Αίγυπτος με 11,52%. Το μεγαλύτερο μέρος της παραγωγής παγκοσμίως γίνεται σε θαλάσσια κλουβιά, αλλά η παραγωγή στην Αίγυπτο γίνεται σε χερσαίες λίμνες. Η διαφορά μεταξύ των τιμών μεγέθους ανά κιλό παρουσιάζει μείωση με την πάροδο του χρόνου και τα τελευταία χρόνια λόγω της πανδημίας του COVID, η διαφορά ήταν αρκετά μεγάλη. Τα ευρωπαϊκά λαβράκια εμφανίζουν θνησιμότητα 20% σε όλο το στάδιο της ανάπτυξης, με τις βακτηριακές ασθένειες να προκαλούν το 74% των ασθενειών.

Σύμφωνα με τα στατιστικά στοιχεία του 2021, η συνολική παγκόσμια παραγωγή λαβρακιού στην Ευρώπη το 2019 ανήλθε στους 236.215 Tn, με το Ιράν να κατέχει την 7<sup>η</sup> θέση στην κατάταξη αντιπροσωπεύοντας το 2,05% της συνολικής παραγωγής. Παρατηρείται ότι εταξύ του 2000 και του 2019 η παγκόσμια παραγωγή αυξήθηκε από τους 71.000 Tn σε 236.000 Tn, ενώ παρατηρήθηκε μία μικρή μείωση μεταξύ 2000 και 2002. Η αύξηση της παραγωγής οφείλεται κυρίως στην Τουρκία. Το 2019, η ΕΕ27 παρήγαγε 84.350 τόνους, αποτελώντας το 32% της παγκόσμιας παραγωγής, με

την κύρια συμβολή της Ελλάδας (48,84%), της Ισπανίας (29,9%), της Κροατίας (7,22%), της Ιταλίας (6,77%), της Κύπρου (3,36%) και της Γαλλίας (2,91%). Η Μάλτα, η Πορτογαλία και η Σλοβενία έχουν λιγότερο από 1% παραγωγή της παραγωγής της ΕΕ. Από το 2000 η παραγωγή έχει αυξηθεί σε όλη την ΕΕ σε μεγάλο % λόγω της αύξησης των παραγωγών σε χώρες όπως η Ισπανία, η Κροατία ή η Κύπρος, αλλά και στην Ελλάδα. Ακόμα, η Ιταλία και η Γαλλία είχε μεγάλες μειώσεις στην παραγωγή κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου (FAOb, 2021).

| Country                | Production (Tonnes) | Share of global production (%) | Estimated <sup>1</sup> production by numbers (millions) |
|------------------------|---------------------|--------------------------------|---------------------------------------------------------|
| Turkey                 | 137,419             | 52.21                          | 55 - 550                                                |
| Greece                 | 41,237              | 15.67                          | 16 - 165                                                |
| Egypt                  | 30,313              | 11.52                          | 12 - 121                                                |
| Spain                  | 25,260              | 9.6                            | 10 - 101                                                |
| Croatia                | 6,100               | 2.32                           | 2 - 24                                                  |
| Italy                  | 5,720               | 2.17                           | 2 - 23                                                  |
| Iran (Islamic Rep. of) | 5,400               | 2.05                           | 2 - 22                                                  |
| Tunisia                | 3,331               | 1.27                           | 1 - 13                                                  |
| Cyprus                 | 2,836               | 1.08                           | 1 - 11                                                  |
| France                 | 2,461               | 0.93                           | 1 - 10                                                  |

**Εικόνα 7: Οι 10 κορυφαίες χώρες παραγωγής παγκοσμίως. Πηγή (FAOb, 2021).**



**Εικόνα 8:Μερίδιο της παγκόσμιας ευρωπαϊκής παραγωγής λαβράκι το 2019. Πηγή (FAOb, 2021).**

Η συνολική ευρωπαϊκή παγκόσμια παραγωγή λαβρακιού το 2019 ανήλθε περίπου στους 236.215 τόνους, με την Τουρκία να είναι ο μεγαλύτερος εξαγωγέας σε όγκο παγκοσμίως φτάνοντας τους 42.590 τόνους και ακολουθεί η Ελλάδα με 40.677. Η Ιταλία είναι η χώρα η οποία κάνει τις μεγαλύτερες εισαγωγές παγκοσμίως φτάνοντας τους 32.147 τόνους ,και ακολουθεί η Ισπανία με 11.257. Όταν οι εισαγωγές υπολογίζονται βάσει αξίας, η Ιταλία διατηρεί την πρώτη θέση, αλλά τη δεύτερη θέση κατέχουν οι ΗΠΑ. Στον πίνακα παρουσιάζονται οι χώρες με τις μεγαλύτερες εισαγωγές και εξαγωγές παγκοσμίως το 2018.

| Exports      |                  |          |              |                    |           |
|--------------|------------------|----------|--------------|--------------------|-----------|
| Country      | Quantity(Tonnes) | Share(%) | Country      | Value (USD x 1000) | Share (%) |
| <b>World</b> | <b>122,762</b>   |          | <b>World</b> | <b>713,006</b>     |           |
| Turkey       | 42,590           | 34.69    | Greece       | 239,131            | 33.54     |
| Greece       | 40,677           | 33.13    | Turkey       | 194,507            | 27.28     |
| Netherlands  | 9,919            | 8.08     | Netherlands  | 73,749             | 10.34     |
| Spain        | 6,606            | 5.38     | Spain        | 62,642             | 8.79      |
| Croatia      | 4,380            | 3.57     | Croatia      | 31,642             | 4.44      |
| Italy        | 3,491            | 2.84     | Italy        | 20,853             | 2.92      |
| Malaysia     | 2,698            | 2.20     | France       | 17,522             | 2.46      |
| Taiwan       | 2,500            | 2.04     | Cyprus       | 11,826             | 1.66      |
| France       | 1,688            | 1.38     | Taiwan       | 9,381              | 1.32      |
| Germany      | 1,622            | 1.32     | Germany      | 8,785              | 1.23      |
| Imports      |                  |          |              |                    |           |
| Country      | Quantity(Tonnes) | Share(%) | Country      | Value (USD x 1000) | Share(%)  |
| <b>World</b> | <b>120,799</b>   |          | <b>World</b> | <b>739,466</b>     |           |
| Italy        | 32,147           | 26.61    | Italy        | 198,561            | 26.85     |
| Spain        | 11,257           | 9.32     | USA          | 77,183             | 10.44     |
| Netherlands  | 8,728            | 7.23     | Spain        | 59,614             | 8.06      |
| USA          | 8,209            | 6.80     | Netherlands  | 52,342             | 7.08      |
| France       | 7,523            | 6.23     | France       | 50,409             | 6.82      |
| Portugal     | 7,319            | 6.06     | Portugal     | 48,531             | 6.56      |
| UK           | 7,261            | 6.01     | UK           | 41,060             | 5.55      |
| Afghanistan  | 4,345            | 3.60     | Germany      | 23,554             | 3.19      |
| Greece       | 4,162            | 3.45     | Russia       | 20,239             | 2.74      |
| Russia       | 4,056            | 3.36     | Greece       | 18,583             | 2.51      |

**Εικόνα 9 : Παγκοσμίως ευρωπαϊκές εξαγωγές και εισαγωγές λαβράκι το 2018, σε όγκο (αριστερά) και σε αξία (δεξιά). Πηγή (FAOb, 2021).**

Από τον πίνακα παρατηρούμε ότι η χώρα με τις μεγαλύτερες εξαγωγές είναι η Τουρκία και ακολουθεί η Ελλάδα και τελευταία είναι η Γερμανία με 1,32% της συνολικής παραγωγής. Βάσει της αξίας πρώτη στην κατάταξη έρχεται η Ελλάδα δεύτερη η Τουρκία και τελευταία πάλι Γερμανία. Στον πίνακα των εισαγωγών παρατηρούμε ότι η Ιταλία είναι η χώρα με τις περισσότερες εισαγωγές ακολουθεί η Ισπανία και τελευταία είναι η Ρωσία με ποσοστό 3,36% ενώ στον αντίστοιχο πίνακα αξίας η Ιταλία κατέχει πάλι την 1η θέση ακολουθούν οι ΗΠΑ και τελευταία είναι η Ελλάδα με ποσοστό 2,51% (FAOb, 2021).

Το 2018 η ΕΕ εξήγαγε 71.059 τόνους που αντιπροσωπεύουν σχεδόν το 58% των παγκόσμιων εξαγωγών, από τις οποίες η Ελλάδα είναι ο κύριος εξαγωγέας με 40.677 ακολουθούμενη από την Ολλανδία με 9.919 τόνους. Οι εξαγωγές αντιστοιχούν σε αξία 475 εκατομμυρίων δολαρίων αποτελώντας το μεγαλύτερο μερίδιο των εξαγωγών. Οι εξαγωγές της Ελλάδας ανέρχονται σε αξία 239 εκατ. Δολαρίων, ενώ

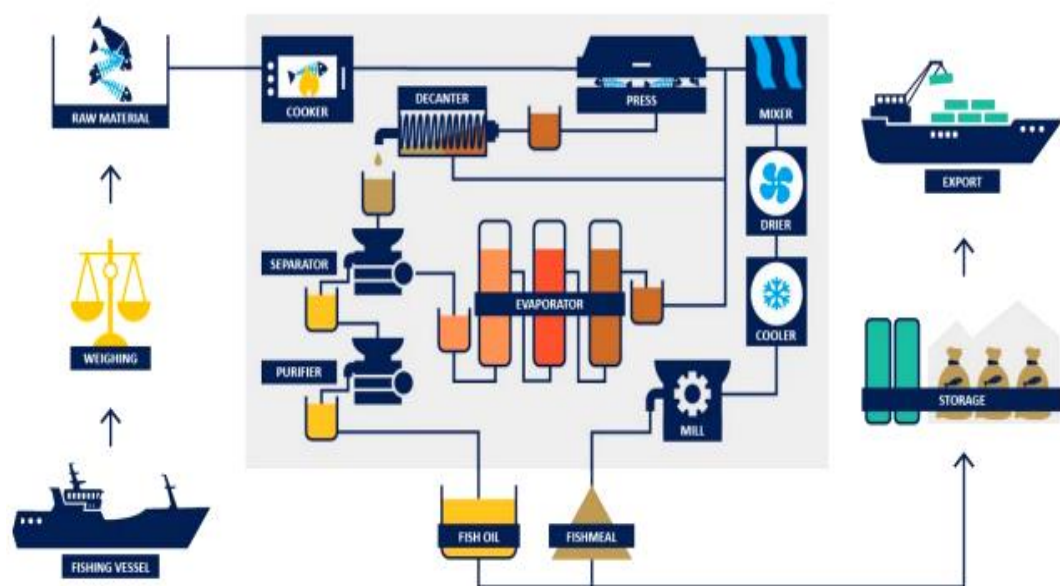


της Ολλανδία στα 73 εκατ. Δολάρια. Οι εισαγωγές της ΕΕ ανέρχονται σε 79.710 Τn αξίας 492 εκατομμυρίων δολαρίων, με την Ιταλία να είναι πρώτη στις εισαγωγές με 32.147 τόνους ακολουθούμενη από την Ισπανία με 11.257 (FAOb, 2021).

Όσο αφορά την κατανάλωση, η Ευρώπη είναι ο κύριος καταναλωτής ευρωπαϊκού λαβράκιου το 2018 με 111.498 τόνους ακολουθούμενη από την Ασία με 90.000 τόνους. Η Ωκεανία καταναλώνει περίπου 4 τόνους, ενώ η Τουρκία είναι ο πρώτος καταναλωτής ευρωπαϊκού λαβράκι παγκοσμίως φτάνοντας τους 74.500 τόνους. Την τέταρτη θέση στους καταναλωτές την κατέχει η Αίγυπτος φτάνοντας τους 25.210 τόνους και αναπληρώνει το μεγαλύτερο μέρος της κατανάλωσης στην Αφρική. Οι ΗΠΑ καταναλώνουν περίπου 8.049 τόνους και το Αφγανιστάν, 4.345. Σε γενικές γραμμές, το 2018, η συνολική κατανάλωση της ΕΕ έφτασε τους 97.000 τόνους. Η κορύφωση της κατανάλωσης στα μέσα του έτους σχετίζεται με την αύξηση της εστίασης σε εστιατόρια στη λεκάνη της Μεσογείου. Τέλος, το Ηνωμένο Βασίλειο είχε εκτιμώμενη φαινομενική κατανάλωση 7.418 τόνους το 2018 (FAOb, 2021).

## **2. Η ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΙΧΘΥΕΛΑΙΟΥ – ΙΧΘΥΑΛΕΥΡΟΥ ΣΤΙΣ ΙΧΘΥΟΤΡΟΦΕΣ ΚΑΙ Η ΑΝΑΓΚΗ ΓΙΑ ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ**

Τα ιχθυάλευρα προέρχονται από την συμπίεση, την ξήρανση και την άλεση των φρέσκων ωμών ψαριών, ενώ το ιχθυέλαιο προέρχεται από τη συμπίεση των μαγειρεμένων ψαριών. Γενικά, η παραγωγή 20 κιλών ιχθυάλευρων και 5 κιλών ιχθυελαίου, προέρχεται από την επεξεργασία 100 κιλών ψαριών, σε μία εργοστασιακή παραγωγή, η οποία συνήθως περιλαμβάνει επτά κύριες διαδικασίες (Einarssonetal., 2019). Αρχικά, πραγματοποιείται βράση της πρώτης ύλης στον δικό της χυμό μέσω παροχής ατμού, και στη συνέχεια επέρχεται η συμπίεση της πρώτης ύλης, όπου διεξάγεται ένα στερεό και ένα υγρό κλάσμα. Μέσω της διαδικασίας της φυγοκέντρησης, διαχωρίζεται το ιχθυέλαιο από το υγρό κλάσμα, ενώ το στερεό κλάσμα επιστρέφεται για επιπλέον συμπίεση και ξήρανση. Τέλος, στο προκύπτον στερεό προϊόν, με περιεκτικότητα 5-10% υγρασία, προστίθεται αντιοξειδωτικό, ψύχεται και αλέθεται για να σχηματιστεί το ιχθυάλευρο, όπου ελέγχεται και αναλύεται, ώστε να συσκευαστεί και να παραδοθεί. Η χρήση των ιχθυαποθεμάτων στην παραγωγή ιχθυαλεύρων και ιχθυελαίου στην Ευρώπη, υπόκειται σε αυστηρούς περιορισμούς αλιευμάτων βάσει βιολογικών συμβουλών από συμβουλευτικά όργανα όπως το ICES και η ΕΤΟΕΑ (Einarssonetal., 2019).



**Εικόνα 10: Διαδικασία Παραγωγής Ιχθυαλεύρου και Ιχθυελαίου. Πηγή Einarssonetal., 2019.**

Η αύξηση της παραγωγής της υδατοκαλλιέργειας προκαλεί αύξηση της προσφοράς ψαριών για κατανάλωση, ενώ από το 1985, η αλιεία άγριων αλιευμάτων έχει μείνει σταθερή. Σύμφωνα με τα στοιχεία του FAO το 2018, έχουν χρησιμοποιηθεί περίπου 70 εκατομμύρια τόνοι άγριων ψαριών για άμεση ανθρώπινη κατανάλωση, ενώ για την παραγωγή ιχθυαλεύρου και ιχθυελαίου έχουν χρησιμοποιηθεί περίπου 20 εκατομμύρια τόνοι από τα αλιευμένα εναπομείναντα ψάρια (FAO, 2018). Πέρα από αυτό το ποσό των άγριων αλιευμάτων, τα υποπροϊόντα ψαριών συμβάλλουν στο 30% της πρώτης ύλης για την παραγωγή ιχθυαλεύρων και ιχθυελαίου. Ωστόσο, η σύνθεση του ιχθυάλευρου διαφέρει αρκετά από τα ιχθυάλευρα που παρασκευάζονται από ολόκληρα ψάρια, καθώς τα ιχθυάλευρα περιέχουν περισσότερη τέφρα λόγω των κλασμάτων των οστών στα κόκκαλα, και λιγότερες πρωτεΐνες και μη ισορροπημένο προφίλ αμινοξέων σε σύγκριση με το μοναδικό προφίλ αμινοξέων του ιχθυάλευρου που βασίζεται σε ολόκληρα ψάρια (FAO, 2018).

Τα ιχθυάλευρα και το ιχθυέλαιο δεν αποτελούν πλέον κύρια συστατικά στις ζωοτροφές υδατοκαλλιέργειας λόγω της αυξημένης ζήτησης από την υδατοκαλλιέργεια, της μείωσης των αποθεμάτων άγριας φύσης και της υπεύθυνης και

βιώσιμης προμήθειας πρώτων υλών, των υψηλών τιμών και της αυξανόμενης διαθεσιμότητας εναλλακτικών ανταγωνιστικών συστατικών ζωοτροφών. Αποτέλεσμα όλων αυτών, είναι η μείωση της περιεκτικότητάς τους στις τροφές υδατοκαλλιέργειας και θα χρησιμοποιούνται περισσότερο σε κρίσιμα στάδια του κύκλου ζωής και σε συγκεκριμένες παραγωγές ώστε να εξασφαλιστεί η βελτιωμένη αποδοτικότητα, όπως η βιολογική ιχθυοτροφή, όπου απαγορεύεται να προστεθούν τεχνητά αμινοξέα. Επιπλέον, το κόστος των ζωοτροφών αντιπροσωπεύει περισσότερο από το ήμισυ του κόστους παραγωγής στην υδατοκαλλιέργεια. Στη συμβατική ιχθυοκαλλιέργεια, τα συστατικά ζωοτροφών περιλαμβάνουν ένα ευρύ φάσμα θαλάσσιων (ιχθυάλευρα και ιχθυέλαιο), φυτικές πηγές πρωτεϊνών και ελαίων και άλλες εναλλακτικές λύσεις και πιθανώς συγκεκριμένα τεχνητά αμινοξέα ώστε να πληρούν τις διατροφικές απαιτήσεις του συγκεκριμένου είδους. Όσο αφορά τις βιολογικές υδατοκαλλιέργειες, υπάρχει περιορισμός στα συστατικά που προμηθεύονται, καθώς πραγματοποιούνται βάσει των Κανονισμών ΕΕ.889/2008/ΕΕ / Καν. 710/2009 άρθ. 25κ. (Oliva-Teles et al., 2015). Επιπλέον, μέσα στους περιορισμούς αναφέρεται ότι δεν επιτρέπεται η πρόσθεση συνθετικών ελεύθερων αμινοξέων για να καλυφθούν οι διατροφικές απαιτήσεις, γεγονός το οποίο έρχεται σε αντίθεση με την τροφή για τη συμβατική υδατοκαλλιέργεια σαρκοφάγων ειδών. Καθώς λοιπόν, υπάρχει μεγάλη αύξηση της παγκόσμιας παραγωγής ψαριών τροφίμων τις τελευταίες δεκαετίες, και οι αλιευτικές συλλήψεις παραμένουν στάσιμες, είναι αναγκαία η κάλυψη πρόσθετων προϊόντων από την παραγωγή υδατοκαλλιέργειας, γεγονός που δημιουργεί μεγάλη πίεση στη χρήση ιχθυάλευρων (FM) και ιχθυελαίου (FO) για συμπερίληψη στις ιχθυοτροφές, λόγω των αυξημένων τιμών που προκαλούνται από την μεγάλη ζήτηση και της μειωμένης περιβαλλοντικής βιωσιμότητας. Έτσι, η μείωση της εξάρτησης των ιχθυοτροφών από τα FM και FO είναι υψίστης σημασίας και αποτελεί προτεραιότητα για τη βιώσιμη ανάπτυξη της υδατοκαλλιέργειας, ιδιαίτερα για τα σαρκοφάγα είδη (Oliva-Teles et al., 2015).

Επιπλέον, στον τομέα των ιχθυοκαλλιεργειών είναι σχεδόν απαραίτητο να εφαρμόζονται πρακτικές διαχείρισης σίτισης που συμπεριλαμβάνουν σκευάσματα ζωοτροφών ώστε να βελτιωθεί η ανάπτυξη και να αντιμετωπιστούν θέματα που αφορούν την διαβίωση των ψαριών (Boyd et al., 2020). Κάποιοι από τους παράγοντες που επηρεάζουν την διαβίωση των ψαριών στις υδατοκαλλιέργειες είναι τόσο οι διάφοροι στρεσογόνοι παράγοντες που αφορούν την εκτροφή, όσο και η σύνθεση της

τροφής τους, που επηρεάζουν την απόδοση των ψαριών. Τα τελευταία χρόνια, έχει παρατηρηθεί σημαντική μείωση των ποσοτήτων διαιτητικών ιχθυάλευρων (FM) και ιχθυελαίου (FO), αλλά και η αντικατάστασή τους από εναλλακτικά συστατικά, προερχόμενα από γεωργικές καλλιέργειες (Parma et al., 2019; Kwasek et al., 2020). Για παράδειγμα, η τροφή για το ευρωπαϊκό λαβράκι (*Dicentrarchus labrax*) περιέχει πλέον πολύ χαμηλές περιεκτικότητες σε FM και FO, ενώ οι συνθήκες εκτροφής βελτιώνονται, αποδεικνύοντας τις δυνατότητές τους για εμπορική χρήση. Ωστόσο, το λαβράκι επηρεάζεται αρκετά από τους στρεσογόνους παράγοντες που μπορεί να προκληθούν είτε από τον χειρισμό, τη διαλογή και τη μεταφορά του, είτε και από τον συνωστισμό, δημιουργώντας αρκετές αρνητικές αντιδράσεις επηρεάζοντας έτσι την απόδοση και την ευημερία τους στην εκτροφή. Για την αντιμετώπιση αυτού του φαινομένου και την μείωση των στρεσογόνων παραγόντων, γίνεται συνεχής προσπάθεια την ανάπτυξη διάφορων στρατηγικών διατροφής ώστε να ενισχυθεί η διαβίωση των ψαριών, όπως για παράδειγμα η χρήση λειτουργικών προσθέτων ζωοτροφών (Gisbert et al., 2018).

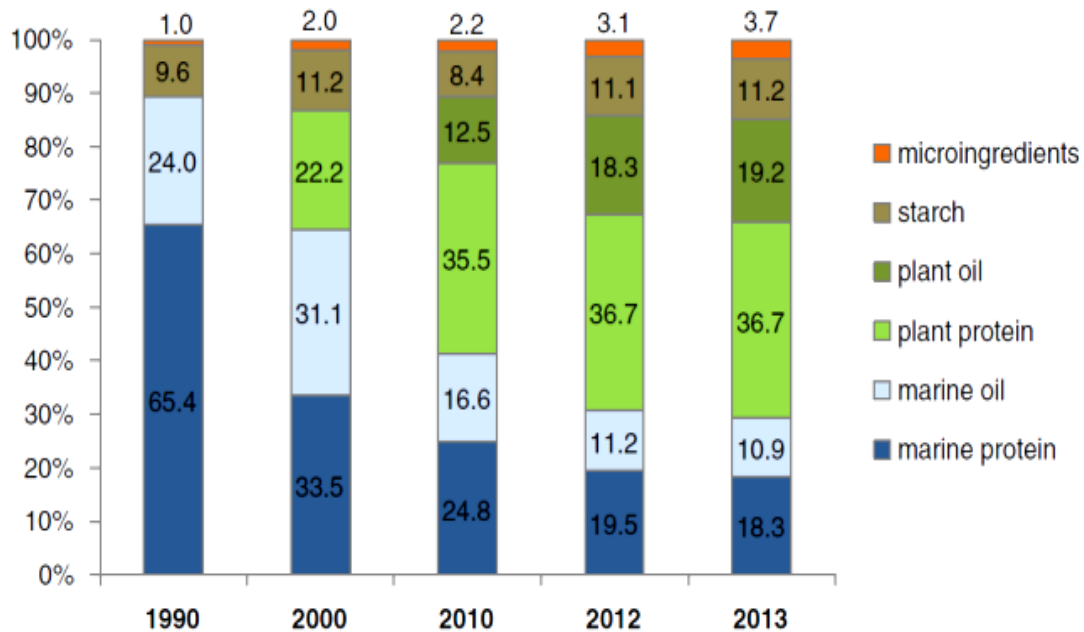
## **2.1 Ο ιδιαίτερος ρόλος ιχθυελαίου και ιχθυαλεύρου στην διατροφή των μεσογειακών ιχθύων**

Γενικά, πριν το 1970, η χρήση ιχθυάλευρου εμπλεκόταν στη διατροφή των οικόσιτων ζώων όπως οι χοίροι και τα κοτόπουλα, και σε μικρότερο βαθμό, στην παραγωγή χημικών ουσιών, όπως φάρμακα και λιπάσματα. Μετά το 1970, τα ιχθυάλευρα αποτέλεσαν σημαντικό κομμάτι των υδατοκαλλιεργειών, παρουσιάζοντας συνεχή αύξηση παραγωγής, καθώς αποτέλεσαν σημαντική πηγή ενέργειας και βασικών λιπαρών οξέων. Τα ιχθυάλευρα και ιχθυέλαια αποτελούν φυσικά συστατικά των ζωοτροφών, περιέχοντας μεγάλες ποσότητες πρωτεϊνών (>70%), αμινοξέων, μετάλλων και αιθέριων θαλάσσιων ελαίων, όπως τα ωμέγα-3 λιπαρά οξέα. Επίσης, έχει αναφερθεί η σημαντικότητά ως προς την γενικότερη υγεία των ζώων, όσο αφορά την ανοσία, δηλαδή την αντίστασή τους σε διάφορες ασθένειες, αλλά και την μείωση διάφορων μεταλλάξεων και παραμορφώσεων. Επιπλέον, είναι εξαιρετικά εύπεπτα και προσδίδουν ελκυστικότητα στις ζωοτροφές, αυξάνοντας την κατανάλωση και μειώνοντας την σπατάλη. Από την άλλη, τα ιχθυάλευρα και ιχθυέλαια, δεν περιέχουν

μοναδικά θρεπτικά συστατικά, γεγονός που δημιουργεί την ανάγκη για αναζήτηση αντικαταστατών σε τροφές υδατοκαλλιέργειας (Einarsson et al., 2019).

Η χρήση των ιχθυαλεύρων και ιχθυελαίων για την ανθρώπινη διατροφή, προσφέρει σημαντικά οφέλη για την λειτουργία του καρδιαγγειακού και ανοσοποιητικού συστήματος, την ανάπτυξη της όρασης και του εγκεφάλου, καθώς περιέχει αρκετά ωμέγα-3 λιπαρά οξέα EPA και DHA, τα οποία είναι κεντρικά συστατικά σε όλες τις κυτταρικές μεμβράνες. Όλα τα θαλάσσια ψάρια βασίζονται σε θαλάσσια ωμέγα-3 λιπαρά οξέα για να συνθέσουν μικροθρεπτικά συστατικά, όπως αμινοξέα, βιταμίνες και μέταλλα, τα οποία συμβάλλουν στην ανάπτυξη και βέλτιστη φυσιολογική λειτουργία των ζώων και των εκτρεφόμενων ψαριών. Γενικά περιέχουν περισσότερη από 70% ποσότητα πρωτεΐνης και είναι πλούσια σε μακράς αλυσίδας ωμέγα-3 λιπαρών οξέων EPA και DHA. Κάποια από τα μέταλλα που περιέχονται είναι το ασβέστιο, το φώσφορο, το μαγνήσιο, το κάλιο και το σελήνιο και κάποιες από τις βιταμίνες είναι οι B1, B2, B6 και B12. Παρόλα τα θετικά που προσφέρουν, η χρήση τους έχει μειωθεί αρκετά τα τελευταία χρόνια, λόγω της αυξανόμενης παγκόσμιας υδατοκαλλιέργειας, της στασιμότητας της προσφοράς ιχθυάλευρων και ιχθυελαίου και της αυξημένης αναγνώρισης των πλεονεκτημάτων των πολύτιμων συστατικών στα ιχθυάλευρα και το ιχθυέλαιο σε διάφορα στάδια της ανάπτυξης των ζώων. Στην εικόνα παρουσιάζεται η πτωτική πορεία των ιχθυαλεύρων και ιχθυελαίων από το 1990 μέχρι και το 2013, στην Νορβηγική διατροφή του σολομού (Einarsson et al., 2019).

**Ingredient sources (% of the feed) 1990-2013**



**Εικόνα 11: Πηγές Θρεπτικών Συστατικών ως Ποσοστό Συνολικής Διατροφής 1990-2013. Πηγή Einarsson et al., 2019.**

Για να παραχθούν μεγαλύτερες τιμές των θρεπτικών συστατικών, είναι απαραίτητο να διατηρηθεί η καλύτερη ποιότητα των πρώτων υλών. Η αλλοίωση της γεύσης και των οσμών των πρώτων υλών, είναι αναγκαίο να αποτραπεί μέσω του ελέγχου της αποικοδόμησης των πρωτεϊνών και της οξείδωσης των λιπιδίων. Τα ψάρια είναι απαραίτητο να διατηρούνται φρέσκα, το οποίο επιτυγχάνεται μέσω του κρύου νερού και της συλλογής και επεξεργασίας τους στο πιο σύντομο χρονικό διάστημα, καθώς η φρεσκάδα τους επηρεάζει την ποιότητα του παραγόμενου ιχθυάλευρου και ιχθυελαίου. Αν υπάρξει αλλοίωση στα ψάρια, τότε μπορεί να δημιουργηθούν βάσεις αμμωνία, τριμεθυλαμίνη και διμεθυλαμίνη. Το συνολικό πτητικό βασικό άζωτο (TVBN) αποτελεί την συνολική ποσότητα αζώτου που περιέχεται σε αυτές τις ενώσεις, και χρησιμοποιείται ως δείκτης εκτίμησης για το πόσο έχει αλλοιωθεί το ψάρι. Μετριέται εύκολα και γρήγορα μέσω απλών συσκευών, και οι τιμές κάτω από 60mg TVN ανά 100g ψαριού είναι αποδεκτές, δηλώνοντας ότι το ψάρι είναι φρέσκο. Σύμφωνα με την EFSA (2010), το συνολικό πτητικό βασικό

άζωτο, ως δείκτης αλλοίωσης, ορίζεται για τα φιλέτα των ψαριών που διατηρούνται σε πάγο και όχι για τον προσδιορισμό ολόκληρων ψαριών ως πρώτης ύλης που θα χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ιχθυελαίου για ανθρώπινη κατανάλωση (Einarsson et al., 2019).

## 2.2 Η επιτακτική ανάγκη για εναλλακτικές μορφές πρωτεΐνης και λίπους

Η ανάγκη για αντικατάσταση των ιχθυάλευρων και ιχθυελαίων στην υδατοκαλλιέργεια έχει διερευνηθεί αρκετά τα τελευταία χρόνια, με πολλές έρευνες να επικεντρώνονται στην χρήση διάφορων συστατικών φυτικής πρωτεΐνης. Η πλήρης αντικατάσταση από φυτικές πρωτεΐνες συνήθως δεν ήταν επιτυχής λόγω αντιδιαιτητικών παραγόντων, αλλοιωμένων προτύπων πρόσληψης αμινοξέων κατά την αντικατάσταση του ιχθυάλευρου με πρωτεϊνικά συστατικά φυτικής προέλευσης και εξασθένησης της ανοσολογικής ικανότητας. Οι εναλλακτικές πηγές που χρησιμοποιούνται πρέπει να ελέγχονται και να διασφαλίζεται και να βελτιώνεται το διατροφικό προφίλ αμινοξέων ανάλογα την περίπτωση. Για παράδειγμα, η προσθήκη ελεύθερων αμινοξέων πραγματοποιείται σε συμβατικές τροφές, ενώ ο συνδυασμός αρκετών πηγών φυτικής πρωτεΐνης διαφορετικής σύνθεσης αμινοξέων στις βιολογικές ζωοτροφές (Einarsson et al., 2019). Στην έρευνα του Larsen και των συνεργατών του το 2012, διερευνήθηκαν διαφορές στην πρόσληψη αμινοξέων σε νεαρές πέστροφες *Oncorhynchus mykiss*, που τρέφονταν είτε με δίαιτα με βάση τα ιχθυάλευρα (FM) είτε με δίαιτα (VEG), όπου το 59 % πρωτεΐνης ιχθυάλευρου (αντίστοιχο στο 46% της συνολικής διατροφικής πρωτεΐνης) αντικαταστάθηκε από ένα μείγμα φυτικών πρωτεϊνών από σιτάρι, μπιζέλια, φασόλια, ηλίανθο και σόγια. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι η εμφάνιση των περισσότερων αμινοξέων στο πλάσμα καθυστέρησε και ήταν λιγότερο συγχονισμένη, σε ψάρια που τρέφονταν με δίαιτα VEG σε σύγκριση με αυτά που τρέφονταν με δίαιτα FM. Ο φαινομενικός συντελεστής πέψης πρωτεΐνης ήταν υψηλότερος, ενώ ο φαινομενικός συντελεστής πεπτικότητας των υδατανθράκων ήταν πολύ χαμηλότερος στη δίαιτα VEG από ό,τι στη δίαιτα FM, υποστηρίζοντας ότι οι αναστολές πρωτεάσης από συστατικά φυτικής πρωτεΐνης δεν ήταν η αιτία της καθυστέρησης (Larsen et al., 2012)



Η αύξηση της παγκόσμιας παραγωγής υδατοκαλλιέργειας έχει επιφέρει αύξηση της ζήτησης για ιχθυοτροφές, οι οποίες αποτελούν το 30-70% του συνολικού λειτουργικού κόστους σε ένα σύστημα παραγωγής υδατοκαλλιέργειας. Η συνολική παραγωγή ζωοτροφών υδατοκαλλιέργειας έφτασε τους 40,1 εκατομμύρια τόνους το 2018, παρουσιάζοντας αύξηση περίπου 4% σε σχέση με το 2017. Τα ιχθυάλευρα και το ιχθυέλαιο αποτελούν τις πιο ακριβές πηγές πρωτεΐνης και λιπιδίων (HUFA και τα PUFA), αντίστοιχα, αυξάνοντας την αποτελεσματικότητα της τροφής, την ποιότητα και την ταχύτερη ανάπτυξη μέσω της καλύτερης γευστικότητας των τροφίμων, και ενισχύοντας την πρόσληψη, πέψη και απορρόφηση των θρεπτικών συστατικών.

Η αντικατάσταση του ιχθυάλουρου μπορεί να γίνει από αρκετές πηγές πρωτεΐνης, είτε από ζωική είτε από φυτική προέλευση. Για παράδειγμα, τα πουλερικών (PBM), ως πηγή ζωικής πρωτεΐνης μπορεί να αντικαταστήσει τα ιχθυάλευρα, καθώς χωνεύεται καλά από πολλά είδη ψαριών και συμπεριλαμβάνεται στη διατροφή των σαρκοφάγων ειδών ψαριών, όπως η ιριδιζούσα πέστροφα, καθώς περιέχει υψηλό ποσοστό πρωτεΐνης. Επίσης, τα κρεατάλευρα και τα οστεάλευρα περιέχουν υψηλά ποσοστά πρωτεΐνης, με καλά ισορροπημένο προφίλ αμινοξέων, αντιπροσωπεύοντας μία καλή πηγή εύπεπτων μετάλλων, όπως φωσφόρου και ασβεστίου. Το αίμα που μπορεί να προέλθει από τα απόβλητα των σφαγείων, θεωρείται ως πιθανή πηγή πρωτεΐνης που μπορεί να αντικαταστήσει τα ιχθυάλευρα σε δίαιτες υδατοκαλλιέργειας, καθώς είναι καλή πηγή λυσίνης και ιστιδίνης, παρουσιάζει καλό ποσοστό πεπτικότητας(80-99%) και λόγω του σιδήρου προάγουν οξειδωσις συστατικών ζωοτροφών. Επίσης, βελτιώνει τη γεύση διαφόρων ζωοτροφών και δεν δημιουργεί παρενέργειες όσο αφορά την ανάπτυξη και την επιβίωση. Άλλες πηγές πρωτεΐνης, αποτελούν τα έντομα, τα σκουλήκια, και κάποια φυτά. Για παράδειγμα, το άλευρο σόγιας (SBM) έχει δοκιμαστεί ως εναλλακτική πηγή πρωτεΐνης καθώς παρέχει υψηλή περιεκτικότητά σε αμινοξέα και δεν παρουσιάζουν δυσμενείς επιπτώσεις στην απόδοση ανάπτυξης ή στη χρήση θρεπτικών ουσιών. Επίσης, τα φύκια, όπως η σπιρουλίνα, χρησιμεύουν ως φυσικό δυναμικό για αντικατάστασιμων ιχθυάλουρων, αποτελώντας μια εξαιρετική πηγή αμινοξέων και ωμέγα-3 και ωμέγα-6 λιπαρών οξέων και συμβάλλοντας ακόμα και μικρές ποσότητες, στην καλή υγεία και απόδοση των ψαριών.

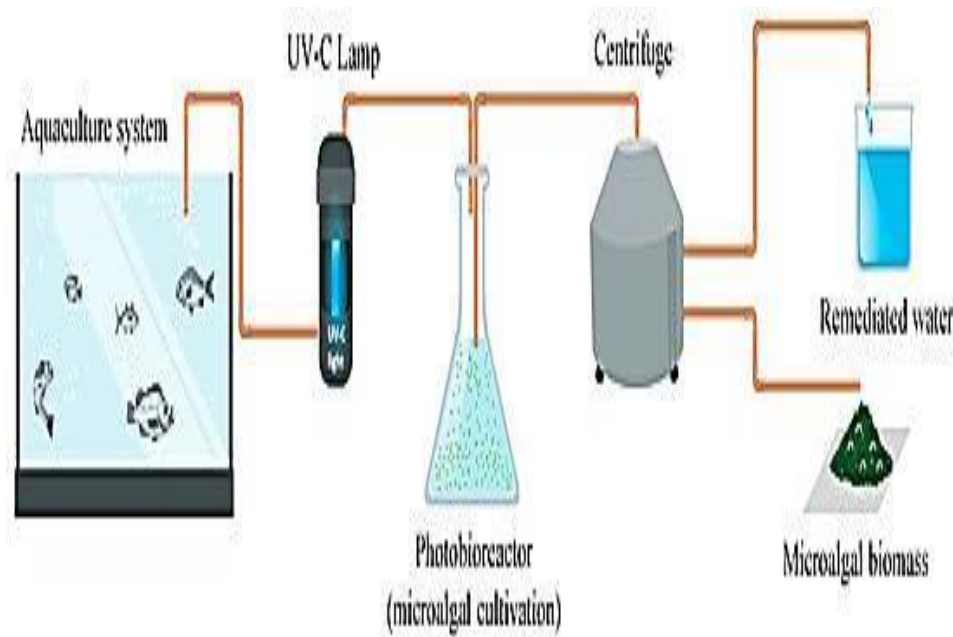
Η αντικατάσταση του ιχθυελαίου πραγματοποιείται κατά κύριο λόγο από φυτικά έλαια, τα οποία αποτελούν βιώσιμες εναλλακτικές λύσεις, λόγω της σταθερά

αυξανόμενης παραγωγής, της υψηλής διαθεσιμότητας και των σταθερών τιμών. Χρησιμοποιούνται εκτενώς, καθώς χαρακτηρίζονται από υψηλή διαθεσιμότητα και καλύτερη οικονομική αξία. Τα πιο κοινά φυτικά έλαια που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ιχθυοτροφών είναι η σόγια, ο λιναρόσπορος, η ελαιοκράμβη, ο ηλίανθος, το φοινικέλαιο και το ελαιόλαδο. Έχουν διεξαχθεί αρκετές μελέτες για την χρήση των φυτικών ελαίων. Αρκετές μελέτες έχουν δείξει ότι η χρήση φυτικού ελαίου για την αντικατάσταση του ιχθυελαίου, οι οποίες δείχνουν ότι τα φυτικά έλαια δεν επηρεάζουν την ανάπτυξη των ψαριών και σε συγκεκριμένες ποσότητες, βελτιώνουν την απόδοση των ψαριών. Για παράδειγμα, το ελαιόλαδο θα μπορούσε επίσης να χρησιμοποιηθεί ως μερικό υποκατάστατο του διαιτητικού ιχθυελαίου στην καλλιέργεια του ευρωπαϊκού λαβρακιού, κατά τη φάση εξόδου της ανάπτυξης καθώς βελτιώνει τους ρυθμούς ανάπτυξης, σε σύγκριση με τα ψάρια που τρέφονται με δίαιτες που περιέχουν εξ ολοκλήρου ιχθυέλαιο. Η χρήση των ζωικών λιπών από χερσαία ζώα δεν έχει διερευνηθεί αρκετά, αλλά συνήθως επικεντρώνεται στα σαρκοφάγα θαλάσσια είδη, όπως τσιπούρα *Sparus aurata*. Τα ζωικά λίπη είναι πλούσια σε κορεσμένα λιπαρά οξέα (SFA), που κυμαίνονται από 28,5% στο λίπος πουλερικών έως 47,5% στο βοδινό λίπος, αλλά παρουσιάζουν περιορισμένη περιεκτικότητα σε PUFA. Παρόλα αυτά, τα ζωικά λίπη θα μπορούσαν να αντικαταστήσουν εν μέρει το ιχθυέλαιο, λόγω της χαμηλότερης τιμής και της υψηλότερης διαθεσιμότητάς τους (Hodar et al., 2020).

### 2.3 Μικροφύκη: Η χρήση τους στις ιχθυοκαλλιέργειες

Καθώς αυξάνονται οι ανάγκες σε πρωτεΐνη και το κόστος των ιχθυάλευρων τα τελευταία χρόνια, ο τομέας των υδατοκαλλιέργειών έχει οδηγηθεί στη χρήση εναλλακτικών λύσεων. Τα φύκια αποτελούν τέτοιου είδους λύσεις καθώς, είναι προσιτά και σχετικά φθηνά. Αν και τα μικροφύκη έχουν ερευνηθεί ως τροφές ανθρώπων και ζώων για περισσότερα από 40 χρόνια, η παραγωγή τους φτάνει περίπου μέχρι τους 2000 τόνους ετησίως, που χρησιμοποιούνται κυρίως ως 'superfoods', όπως η σπιρουλίνα και για την εξαγωγή φ-καροτίνης (*Dunaliella*). Από αυτήν την παραγωγή, περίπου 200 τόνοι σπιρουλίνας χρησιμοποιούνται σε ειδικές ζωοτροφές και οι 100 τόνοι ως ζωοτροφές υδατοκαλλιέργειας. Η χρήση των

μικροφυκών ως ζωντανές τροφές πραγματοποιείται για την ανάπτυξη δίθυρων μαλάκιων, όπως τα μύδια, για τα πρώτα στάδια ανάπτυξης ορισμένων ειδών ψαριών και για το ζωοπλαγκτόν που χρησιμοποιείται στις τροφικές αλυσίδες υδατοκαλλιέργειας. Τα είδη μικροφυκών μπορεί να έχουν διαφορετική θρεπτική αξία, η οποία αλλάζει ανάλογα τις συνθήκες καλλιέργειας. Τα μικροφύκη προσδίδουν καλές θρεπτικές ιδιότητες είτε μόνα τους σε κάποια διατροφή είτε σε συνδυασμό με άλλα συστατικά, όπως *C. calcitrans*, *C. muelleri*, *P. lutheri*, *Isochrysis* sp., *T. suecica*, *S. costatum* και *Thalassiosira pseudonana* (CMS, 2020). Γενικά, η εισαγωγή των μικροφυκών στην υδατοκαλλιέργεια επιφέρει αρκετά πλεονεκτήματα σε σύγκριση με την εισαγωγή τους στην διατροφή για τους ανθρώπους ή στα οικόσιτα ζώα, καθώς έχουν υψηλή απόδοση μετατροπής και καμία ανάγκη για συγκομιδή, ξήρανση και αποθήκευση, διότι τα ψάρια μπορούν να τα καταναλώσουν όπως παράγονται. Παρόλα τα πλεονεκτήματα, η παραγωγή μικροφυκών για τροφές υδατοκαλλιέργειας άργησε να αναπτυχθεί, καθώς δεν υπήρχε μεγάλη ανάπτυξη των συστημάτων υδατοκαλλιέργειας, και η μεγαλύτερη προσοχή επικεντρωνόταν στην ανάπτυξη των διαδικασιών καλλιέργειας ζώων. Μετά την ανάπτυξη των τεχνικών αυτών, η παροχή τροφών χαμηλότερου κόστους, απέκτησε μεγαλύτερο ενδιαφέρον, συμπεριλαμβανομένων των μικροφυκών. Η δυσκολία να συνδυαστεί η παραγωγή μικροφυκών με την ζωική παραγωγή, προερχόταν κυρίως από διάφορες διαταραχές της καλλιέργειας, από μολύνσεις, από εποχικές διακυμάνσεις και από γενική αδυναμία καλλιέργειας των ειδών μικροφυκών που είναι πιο επιθυμητά ως τροφές υδατοκαλλιέργειας (Sen Roy & Pal, 2015).

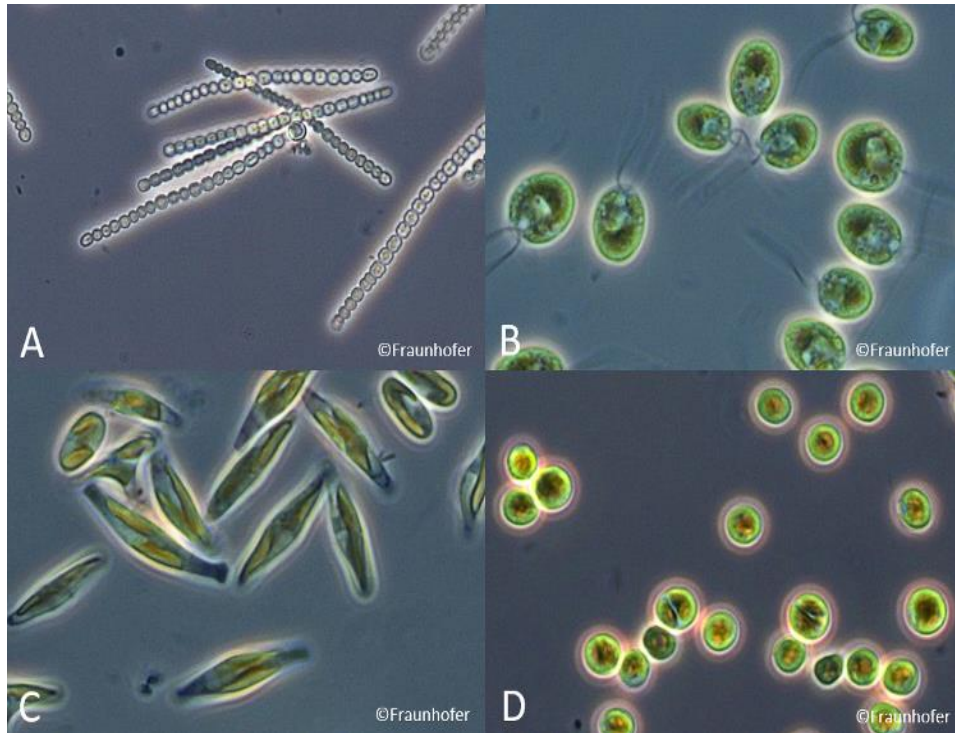


**Εικόνα 12 : Υδατοκαλλιέργεια Μικροφυκών. Πηγή Lugo et al., 2020.**

Ο συνδυασμός διαφορετικών ειδών φυκιών παρέχει καλύτερη ισορροπημένη διατροφή και βελτιώνει την ανάπτυξη των ψαριών καλύτερα από μια διαίτα που αποτελείται από ένα μόνο είδος φυκιών. Για να χρησιμοποιηθεί ένα είδος μικροφυκών στις υδατοκαλλιέργειες, είναι απαραίτητο να μπορεί να καλλιεργηθεί με ευκολία, να μην χαρακτηρίζεται από τοξικότητα, να έχει υψηλή θρεπτική αξία, και να χαρακτηρίζεται από κατάλληλο μέγεθος και σχήμα κυττάρου με εύπεπτο κυτταρικό τοίχωμα ώστε να μπορούν να διασπαστούν και να απορροφηθούν με ευκολία τα θρεπτικά του συστατικά. Η θρεπτική αξία των μικροφυκών καθορίζεται κυρίως από την περιεκτικότητά τους σε πρωτεΐνες, βιταμίνες και πολυακόρεστα λιπαρά οξέα. Για να βελτιωθεί η περιεκτικότητα των πολυακόρεστων λιπαρών οξέων, εφαρμόζονται μέθοδοι που επικεντρώνονται σε παράγοντες όπως, οι συνθήκες φωτισμού και θερμοκρασίας, για την ρύθμιση της λιπιδικής σύνθεσης και τη βελτίωση της αποδοτικότητας και παραγωγικότητάς τους (Sen Roy & Pal, 2015)..

Τα μικροφύκη χρησιμοποιούνται ως πρόσθετα στην υδατοκαλλιέργεια καθώς αυξάνουν το σωματικό βάρος και την εναπόθεση τριγλυκεριδίων και πρωτεϊνών στους μυς, βελτιώνουν το ανοσοποιητικό των ψαριών ώστε να αντιστέκονται σε

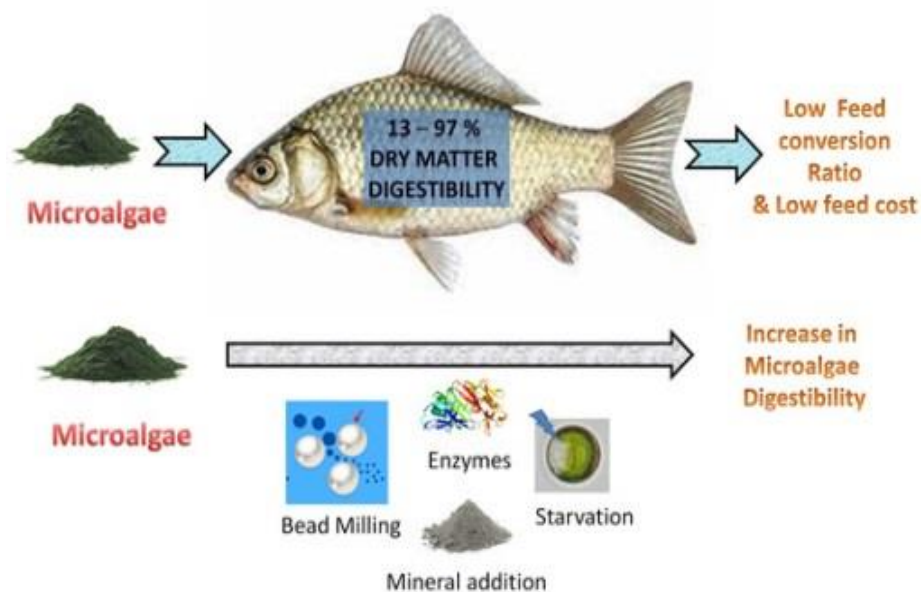
διάφορες ασθένειες, μειώνουν την παραγωγή αζώτου και αυξάνουν την πεπτικότητα των ψαριών. Χρησιμοποιούνται ως τροφή για τις προνύμφες είτε για άμεση κατανάλωση στην περίπτωση των μαλακίων και των γαρίδων είτε έμμεσα ως τροφή για το ζωντανό θήραμα που ταΐζεται σε προνύμφες μικρών ψαριών. Μερικά από τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα είδη είναι τα *Chlorella*, *Tetraselmis*, *Isochrysis*, *Pavlova*, *Phaeodactylum*, *Chaetoceros*, *Nannochloropsis*, *Skeletonema* και *Thalassiosira*. Ο συνδυασμός διαφορετικών ειδών φυκιών παρέχει ισορροπημένη διατροφή και βελτιώνει την ανάπτυξη των ζώων καλύτερα από μια δίαιτα που αποτελείται μόνο από ένα είδος φυκιών. Τα καλλιεργούμενα μικροφύκη χρησιμοποιούνται αρκετά χρόνια για την εκκολαπτική παραγωγή πολλών εμπορικά σημαντικών ζωντανών θηραμάτων, για να διατηρηθεί η ποιότητα του μέσου εκτροφής προνυμφών, για την προετοιμασία του γόνου, την εκτροφή προνυμφών και τη τροφοδοσία καθώς και για όλα τα αναπτυξιακά στάδια των δίθυρων μαλακίων. Συγκεκριμένα, οι μικρές προνύμφες των περισσότερων ειδών θαλάσσιων ψαριών αλλά και ψαριών του γλυκού νερού τρέφονται με ζωντανή λεία παρουσία μικροφυκών, τα οποία καλλιεργούνται μέσα σε δεξαμενές εκτροφής προνυμφών ψαριών (πράσινο νερό) ή προστίθενται από εξωτερικές καλλιέργειες (ψευδοπράσινο νερό). Η τεχνική εκτροφής προνυμφών θαλάσσιων ειδών παρουσία μικροφυκών συνδέεται με υψηλότερους ρυθμούς ανάπτυξης από ό,τι όταν οι προνύμφες εκτρέφονται σε καθαρό νερό. Στην τεχνική του «πράσινου νερού», τα μικροφύκη και το ζωοπλαγκτόν ανθίζουν, με την προσθήκη λιπάσματος, μέσα σε μεγάλες δεξαμενές, στις οποίες αποθηκεύονται οι προνύμφες των ψαριών, και το νερό έχει επεξεργαστεί ώστε να μην υπάρχουν άλλοι ανταγωνιστικοί μικροοργανισμοί. Σε αυτές τις τεχνικές, χρησιμοποιούνται συνήθως στελέχη μικροφυκών, όπως τα *Nannochloropsis* sp., *Isochrysis* sp. και *Tetraselmis* sp. (Kaparapu, 2018). Άλλα σημαντικά στελέχη μικροφυκών είναι τα *Schizochytrium*, και *Crythecodnium*, τα οποία διατίθενται στο εμπόριο λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς τους σε ωμέγα-3. (Glencross et al., 2020).



**Εικόνα 13 : Διάφορα Στελέχη Μικροφυκών στο Μικροσκόπιο. Πηγή Patras & Moraru, 2019.**

Για να καθιερωθούν τα μικροφύκη ως βιώσιμο συστατικό επόμενης γενιάς, είναι απαραίτητη η ανάπτυξη οικονομικών τεχνολογιών που να είναι σε θέση να επιφέρουν διατάραξη των κυτταρικών τοιχωμάτων, τη συγκέντρωση θρεπτικών συστατικών και την ενίσχυση της βιοδιαθεσιμότητάς τους για τα ψάρια. Μέσω της εφαρμογής αυτών των τεχνολογιών, απελευθερώνονται πρωτεΐνες, λιπίδια και άλλα φυσικά υδρόφοβα συστατικά και αυξάνεται η πέψη και ο ρυθμός απορρόφησης θρεπτικών συστατικών από τα ψάρια. Κάποιες τεχνολογίες για τη διάσπαση του κυτταρικού τοιχώματος γίνονται μέσω μηχανικών, θερμικών, χημικών και βιολογικών διεργασιών όπως η άλεση, η κατάψυξη, οι οργανικοί διαλύτες και η μικροβιακή αποδόμηση, αντίστοιχα, καταναλώνοντας μεγάλα ποσά ενέργειας ή έχουν υψηλό κόστος. Για αυτούς τους λόγους, χρησιμοποιείται εκτενώς η ενζυμική διάσπαση των κυττάρων καθώς τα ένζυμα, μπορούν να διασπάσουν τον πολυσακχαρίτη και τις σύνθετες πρωτεΐνες επιτρέποντας την απελευθέρωση μικρότερων μορίων όπως πεπτίδια, μερικά από αυτά με βιοδραστικές ιδιότητες, παρέχοντας πρόσθετα φυσιολογικά οφέλη για την υγεία των ψαριών. Η εξειδίκευση των επιλεγμένων ενζύμων παίζει σημαντικό ρόλο στην αποτελεσματικότητα της κυτταρικής αποικοδόμησης, οδηγώντας στη συχνή

εφαρμογή μειγμάτων ενζύμων για τη στόχευση διαφορετικών δομικών μορίων. Ωστόσο, η εισαγωγή ενζύμων συνεπάγεται πρόσθετο σχετικό κόστος εντός της συνολικής διαδικασίας (Glencross et al., 2020).



Εικόνα 14: Σχηματική Απεικόνιση της Επεξεργασίας Μικροφυκών. Πηγή : Annamalai et al., 2021.

### 2.3.1 Η σημασία των ειδών *Schizochytrium* sp. και *Nannochloropsis* sp. στη διατροφή του λαβρακιού *Dicentrarchus labrax*

Δύο από τα βασικά γένη μικροφυκών που αναπτύσσονται και διατίθενται στο εμπόριο για το δυναμικό τους σε ωμέγα-3 είναι τα *Schizochytrium* και *Nannochloropsis*. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, τα μικροφύκη έχουν προσελκύσει το ενδιαφέρον του κλάδου της βιομηχανίας ιχθυοτροφών ως βιώσιμες πηγές θρεπτικών ουσιών λόγω της περιεκτικότητάς τους σε χρωστικές ουσίες, βιταμίνες και μέταλλα με μεγάλο φάσμα βιολογικών δραστηριοτήτων. Ωστόσο, κάποια σαρκοφάγα είδη ψαριών, όπως το ευρωπαϊκό λαβράκι *Dicentrarchus labrax*, δυσκολεύονται να απορροφήσουν τα θρεπτικά τους συστατικά λόγω της πολυπλοκότητας των κυτταρικών τοιχωμάτων αλλά και την υψηλή περιεκτικότητα

υδατανθράκων των μικροφυκών, βλάπτοντας το πεπτικό σύστημα των ψαριών, προκαλώντας φλεγμονή και μειωμένη πρόσληψη θρεπτικών συστατικών. Επιπλέον, οι δύσπεπτες ίνες που περιέχουν τα μικροφύκη επηρεάζουν τη βιοδιαθεσιμότητά τους σε θρεπτικά συστατικά (Batista et al., 2020). Το *Nannochloropsis* sp. είναι ένα γένος μονοκύτταρων μικροφυκών με κυτταρικό τοίχωμα πολυσακχαρίτη και έναν χλωροπλάστη. Γενικά, έχει αναφερθεί ότι τα ζώα έχουν καλή ανοχή στο έλαιο τους χωρίς να παρουσιάζουν αρνητικές επιπτώσεις. Το *Nannochloropsis* sp χαρακτηρίζεται από υψηλή δυννητική απόδοση, καθώς περιέχει υψηλή ποσότητα σε n-3 PUFA και αμινοξέα. Έχει αποδειχθεί από έρευνες, ότι η προσθήκη τους σε ιχθυοτροφές επιφέρει αύξηση της ανάπτυξης και της επιβίωσης των ψαριών, όπως των νεαρών ιππόκαμπων από την έρευνα του Μέλο και των συνεργατών του το 2016 (Μέλο et al., 2016). Περαιτέρω, έχουν πραγματοποιηθεί έρευνες που αποδεικνύουν ότι τα *Schizochytrium* sp. και *Nannochloropsis* sp. ως κατάλληλα υποκατάστατα των ιχθυαλεύρων (FM) και ιχθυελαίων (FO) στις ιχθυοτροφές (Karapanagiotidis et al. 2022), γεγονός που συμβάλει στην αειφόρο ανάπτυξη της υδατοκαλλιέργειας. Η ενσωμάτωση λοιπόν των μικροφυκών στα σιτηρέσια των εκτρεφόμενων ιχθύων αξίζει να διερευνηθεί περισσότερο. Ωστόσο, η αντικατάσταση των FM και FO με τα πιο ακριβά άλευρα των μικροφυκών δεν είναι οικονομικά κατάλληλη προς το παρόν (Liao et al., 2022).

Τα μικροφύκη, έχοντας ποικίλη και υψηλή θρεπτική αξία, μπορούν να ενσωματωθούν ως πρώτη ύλη για την παρασκευή ιχθυοτροφών. Για παράδειγμα, η έρευνα που διεξήχθη από τον Liao και τους συνεργάτες του το 2022, επικεντρώθηκε στην αξιολόγηση της αντικατάστασης χαμηλού επιπέδου διαιτητικών ιχθυαλεύρων από άλευρα μικροφυκών που αποτελούνται από *Schizochytrium limacinum* (SL) και *Nannochloropsis salina* (NS), μεμονωμένα και σε συνδυασμό, στη διατροφή νεαρών λαβρακιών. Για την διεξαγωγή του πειράματος, εφαρμόστηκαν πέντε ισοπρωτεϊνικές, ισολιπιδικές και ισοενεργητικές δίαιτες με τα ιχθυάλευρα ως κύριο συστατικό στην τροφή του ελέγχου και τέσσερις πειραματικές δίαιτες με τους αντικαταστάτες, σε διαφορετικές περιεκτικότητες. Τα αποτελέσματά έδειξαν ότι δεν υπήρχε σημαντική διαφορά στην αύξηση βάρους, τον ηπατοσωματικό δείκτη, τον σπλαχνικό δείκτη και τη σύνθεση ολόκληρου του σώματος μεταξύ των πέντε ομάδων. Ωστόσο, στις ομάδες λαβρακιών που τράφηκαν με τροφές που περιείχαν μικροφύκη, παρατηρήθηκε ότι η περιεκτικότητα σε λιπίδια και η αναλογία ενδοπεριτοναϊκού λίπους στο ήπαρ



μειώθηκαν σημαντικά, υποδηλώνοντας ότι το NS μπορεί να μειώσει τη συσσώρευση σπλαχνικού λίπους στο λαβράκι. Επιπλέον, η αντικατάσταση με 4% *Schizochytrium limacinum* παρουσίασε αύξηση των αναλογιών του DHA, των ολικών πολυακόρεστων λιπαρών οξέων (PUFAs) και των n-3 PUFA στο ήπαρ, αλλά και σε συνδυασμό με το *Nannochloropsis salina*, αύξησε την αναλογία των n-3 προς n-6 των PUFA στο ήπαρ και τους μύες, δημιουργώντας πιο ισορροπημένα ακόρεστα λιπαρά οξέα. Τέλος, παρατηρήθηκε βελτίωση τόσο στην υφή του φιλέτου όσο και στη γεύση του. Από την συγκεκριμένη έρευνα, φάνηκε ότι η προσθήκη αλεύρων από φύκια SL και NS στις ιχθυοτροφές ήταν αρκετά πετυχημένη και παρουσιάστηκε εξαιρετική δυνατότητα να αντικαταστήσουν τα ιχθυάλευρα και το ιχθυέλαιο, αντίστοιχα, ως πηγές πρωτεϊνών και λιπιδίων (Liao et al., 2022).

### 2.3.1.1. *Schizochytrium sp*

Ανάμεσα στις πιθανές εναλλακτικές για την αντικατάσταση ιχθυελαίων από μικροφύκη στις ιχθυοτροφές, το *Schizochytrium sp.*, έχει αναγνωριστεί ως πολλά υποσχόμενο συστατικό, καθώς αποτελεί πλούσια πηγή DHA και λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς του σε πολυακόρεστα λιπαρά οξέα μακράς αλυσίδας (LC-PUFA) και της καλύτερης φέρουσας απόδοσης όσο αφορά στην ανάπτυξη διάφορων ειδών ψαριών. Η έρευνα του Allen και των συνεργατών του το 2019, επικεντρώθηκε στην επίδραση του συγκεκριμένου στελεχούς, εφαρμόζοντας οκτώ διατροφικά ισορροπημένες δίαιτες για γαρίδες. Μέσα σε αυτές υπήρχαν δίαιτες από ιχθυέλαιο, από άλευρα φυκιών και σογιέλαιου, άλλες με συνδυασμό αλεύρου φυκιών, και άλλες με διαφορετικές περιεκτικότητες μικροφυκών *Schizochytrium sp.* Τα αποτελέσματα αυτού του πειράματος έδειξαν ότι η χορήγηση διαιτών που περιείχαν ποσότητες *Schizochytrium sp*, παρουσίασαν υψηλότερες αντιοξειδωτικές ιδιότητες στις γαρίδες και μεγαλύτερη αναπτυξιακή απόδοση (Allen et al., 2019).

Σε άλλες έρευνες, η χρήση αυξανόμενων ποσοτήτων αποξηραμένου αλεύρου *Schizochytrium*, αύξησε σημαντικά το βάρος των εκτρεφόμενων γατόψαρων. Η προσθήκη του *Schizochytrium* στη διατροφή των θαλάσσιων ζωικών ειδών, και ειδικότερα η σύνθεση λιπιδίων και λιπαρών οξέων, έχει βασικό ρόλο τόσο στην αναπαραγωγική αποτελεσματικότητα, όσο και στην επιβίωση των απογόνων στα

ψάρια. Ένα σημαντικό πρόβλημα κατά την αντικατάσταση τόσο των ιχθυάλευρων όσο και του ιχθυελαίου από φυτικές πηγές είναι η έλλειψη πολυακόρεστων λιπαρών οξέων μακράς αλυσίδας n-3, όπως το εικοσαπεντανοϊκό οξύ (EPA) και το εικοσιδυεξανοϊκό οξύ (DHA), η παρουσία των οποίων μπορεί να αυξηθεί μέσω της προσθήκης *Schizochytrium sp.*. Η έρευνα του Perez-Pascual το 2020, για παράδειγμα, επικεντρώθηκε στην επίδραση του *Schizochytrium sp* όσο αφορά την αναπαραγωγική απόδοση και την ποιότητα των αυγών και τις συνέπειες στους απογόνους της θηλυκής ιριδίζουσας πέστροφας. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι η συμπλήρωση μικροφυκών πλούσια σε DHA σε μια τροφή που βασίζεται σε φυτική προέλευση πρώτες ύλες διατήρησε την αναπαραγωγική απόδοση και την ποιότητα των αυγών και ήταν συγκρίσιμη με εκείνη της συμβατικής εμπορικής τροφής που ήταν βασισμένη σε ιχθυάλευρα και ιχθυέλαιο, ενώ επίσης οδήγησε σε σημαντικά αυξημένη επιβίωση του γόνου. Επιπλέον, όταν τα θηλυκά άτομα τρέφονταν με τη φυτική τροφή συμπληρωμένη με μικροφύκη, οι απόγονοι τους ηλικίας 4 μηνών εμφάνισαν σημαντικά μεγαλύτερη ανάπτυξη σε σύγκριση με τους απογόνους ηλικίας 1 μηνός. Συμπερασματικά, η έρευνα απέδειξε ότι τα μικροφύκη *Schizochytrium sp* που είναι πλούσια σε DHA μπορεί να είναι μια αποτελεσματική εναλλακτική λύση στα ιχθυάλευρα και το ιχθυέλαιο σε ιχθυοτροφές γόνου ιριδίζουσας πέστροφας (Pérez-Pascual et al., 2020).

### 2.3.1.2 *Nannochloropsis sp*

Έχουν διεξαχθεί αρκετές έρευνες για τα οφέλη του *Nannochloropsis sp.* στην διατροφή των ψαριών και συγκεκριμένα των λαβρακιών. Στην έρευνα του Haas και των συνεργατών του το 2016, αξιολογήθηκε η δυνατότητα του μικροφύκου *Pavlova viridis* ως πηγή n-3 πολυακόρεστων λιπαρών οξέων (PUFA) και συγκρίθηκε με το *Nannochloropsis sp.* σε δίαιτες για νεαρό ευρωπαϊκό λαβράκι, μέσω της πραγματοποίησης μιας δοκιμής σίτισης που διήρκεσε 8 εβδομάδες. Για την διεξαγωγή του πειράματος, δημιουργήθηκαν έξι διαφορετικές ισοενεργητικές και ισοπρωτεϊνικές δίαιτες. Η πρώτη ήταν μία δίαιτα ιχθυελαίου ως κύρια πηγή λιπιδίων (100%), η δεύτερη ήταν μια δίαιτα που περιελάμβανε 40% ιχθυέλαιο και 60% φυτικό έλαιο, η τρίτη περιελάμβανε 50 % *Pavlova*, η τέταρτη περιείχε 100% *Pavlova*, η

πέμπτη περιείχε 50% *Nannochloropsis* και η έκτη δίαιτα αποτελούνταν από 100% *Nannochloropsis*. Από τα αποτελέσματα της έρευνας βρέθηκε ότι ο ειδικός ρυθμός ανάπτυξης ήταν ο υψηλότερος και ο συντελεστής μετατρεψιμότητας τροφής ήταν χαμηλότερος στην ομάδα στην οποία εφαρμόστηκε η τέταρτη διατροφή αν και δεν διέφερε σημαντικά από τις άλλες ομάδες συμπεριλαμβανομένου της ομάδας ελέγχου. Επιπλέον, το άθροισμα των PUFA ήταν επίσης υψηλότερο στην ομάδα που τράφηκε με την τέταρτη διατροφή, ακολουθούμενη από την ομάδα στην οποία εφαρμόστηκε η έκτη και η πέμπτη διατροφή που περιείχαν *Nannochloropsis*. Γενικά, η αντικατάσταση του ιχθυελαίου από 50% *Nannochloropsis sp.* και 100% από *P. viridis* ήταν δυνατή χωρίς αρνητικές επιπτώσεις στην απόδοση της ανάπτυξης και την αξιοποίηση των θρεπτικών συστατικών από το νεαρό λαβράκι (Haas et al., 2016).

Η έρευνα του Batista και των συνεργατών του το 2020 επικεντρώθηκε στην χρήση του *Gracilaria gracilis* και του *Nannochloropsis*, μεμονωμένα ή ανάμεικτα, σε δίαιτες για το ευρωπαϊκό λαβράκι (*Dicentrarchus labrax*). Για το πείραμα, χρησιμοποιήθηκε μια διατροφή ελέγχου, μία διατροφή με 8% *G. gracilis* (GRA8), μία διατροφή με 8% *Nannochloropsis* (NAN8), και μία διατροφή με ένα μείγμα 4% από κάθε φύκι (NAN4GRA4). Το πείραμα διήρκησε 106 ημέρες, και στο τέλος αξιολογήθηκαν η ανάπτυξη, η χρήση θρεπτικών ουσιών, η αντιοξειδωτική άμυνα, η ανοσολογική κατάσταση και η ποιότητα του τελικού προϊόντος. Τα ευρήματα έδειξαν ότι όλα τα ψάρια εμφάνισαν παρόμοια πρόσληψη τροφής, παρόμοιο σωματικό βάρος και ανάπτυξη. Η διατροφική συμπερίληψη του *Nannochloropsis* είχε ως αποτέλεσμα μια σημαντική αύξηση στα ουδέτερα ακτινωτά (βλεφαριδιοφόρα) κύτταρα σε σύγκριση με το GRA8. Τα ψάρια που τρέφονταν με δίαιτα με φύκια είχαν σημαντικά χαμηλότερο ηπατοσωματικό δείκτη και χαμηλότερα επίπεδα τριγλυκεριδίων στο πλάσμα αίματος από την ομάδα ελέγχου, αλλά η σύνθεση ολόκληρου του σώματος παρέμεινε παρόμοια μεταξύ των ομάδων. Η διατροφή εμπλουτισμένη με *Nannochloropsis* παρουσίασε υψηλότερη συνολική αντιοξειδωτική ικανότητα του ήπατος των ψαριών και χαμηλότερες τιμές ολικής γλουταθειόνης, υπεροξειδάσης γλουταθειόνης και εναλλακτικού συμπληρώματος. Συμπερασματικά, η έρευνα έδειξε ότι ο συνδυασμός των δύο μικροφυκών στην ίδια διατροφή για μερική αντικατάσταση του ιχθυάλευρου επιφέρει αρκετά πλεονεκτήματα στο ευρωπαϊκό λαβράκι (Batista et al, 2020a).

## 2.4 Σύγκριση ιχθυαλεύρου-ιχθυελαίου με μικροφύκη

Η βιομηχανία ιχθυοτροφών έχει ξεκινήσει τα τελευταία χρόνια να μειώνει την εξάρτηση από τα ιχθυάλευρα και το ιχθυέλαιο χρησιμοποιώντας άλευρα σιτηρών και ελαιούχων σπόρων, λόγω των αναφερόμενων ισορροπημένων απαραίτητων αμινοξέων, μετάλλων, βιταμινών και ωμέγα-3 λιπαρών οξέων μακράς αλυσίδας. Ο κλάδος, ωστόσο, διεξάγει έρευνα για τη μελέτη της καταλληλότητας των μικροφυκών στις ιχθυοτροφές. Οι περισσότερες έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί, υποστηρίζουν την προσθήκη μικροφυκών στις δίαιτες των θαλάσσιων ειδών, σε σύγκριση με την χρήση ιχθυαλεύρων και ιχθυελαίων, τόσο όσο αφορά τις θετικές επιδράσεις στην απόδοση των ειδών όσο και από οικονομική άποψη. Εκτός από τα στελέχη μικροφυκών που αναφέρθηκαν στα προηγούμενα υποκεφάλαια, οι έρευνες έχουν επικεντρωθεί σε αρκετά άλλα στελέχη, για να υποστηρίξουν την επιλογή των μικροφυκών έναντι των ιχθυαλεύρων και ιχθυελαίων.

Η ιστολογία είναι μια σημαντική παράμετρος για την κατανόηση των παθολογικών αλλοιώσεων που προκαλούνται στα ψάρια από διατροφικές πηγές. Στο παρελθόν έχει βρεθεί ότι αρκετά φυτικά άλευρα και έλαια χρησιμοποιούνται με επιτυχία ως συστατικά για τις τροφές ψαριών, αλλά η αντικατάσταση του ιχθυαλεύρου και του ιχθυελαίου από φυτικούς αντικαταστάτες μπορεί να έχει αρνητικές επιπτώσεις στη φυσιολογία θρέψης των ψαριών. Για παράδειγμα, το σογιάλευρο σε περιεκτικότητα 60% έναντι του ιχθυαλεύρου, έχει εμφανίσει μεγάλη συσσώρευση λιπιδίων στα ηπατοκύτταρα της τσιπούρας (*S. aurata*), αλλά και μείγματα μπιζελιού και ρυζιού έχουν δημιουργήσει σοβαρή κενοτοπίωση και παραμορφωμένα ηπατοκύτταρα με μετατοπισμένο πυρήνα στα ίδια ψάρια. Η έρευνα της Μετσοβίτη και των συνεργατών της το 2018, υποστήριξε την χρήση ορισμένων μικροφυκών ως κατάλληλες εναλλακτικές λύσεις λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς τους σε πρωτεΐνες και της περιεκτικότητάς τους σε EPA και DHA. Για την διεξαγωγή της έρευνάς τους, πραγματοποίησαν ιστολογικές μελέτες στο ήπαρ της τσιπούρας, *Sparus aurata*, για να αξιολογήσουν πιθανές αλλοιώσεις που προκλήθηκαν από έξι πειραματικές ισοενεργειακές και ισοπρωτεϊνικές δίαιτες στις οποίες η πρωτεΐνη ιχθυαλεύρου της διαίτας ελέγχου αντικαταστάθηκε από το στέλεχος *C. vulgaris* σε διαφορετικές περιεκτικότητες, 10% (CM10), 20% (CM20) και 30% (CM30) και το

ιχθυέλαιο της διαίτας ελέγχου αντικαταστάθηκε από ένα μείγμα *N. gaditana* και *Schizochytrium sp.* σε 50% (SN50) και 100% (SN100). Τα ψάρια τρέφονταν δύο φορές την ημέρα για 12 εβδομάδες. Τα αποτελέσματα δεν εμφάνισαν ιστοπαθολογικές αλλοιώσεις στο συκώτι των ψαριών από όλες τις διατροφικές ομάδες, υποδεικνύοντας ότι η μερική αντικατάσταση της πρωτεΐνης ιχθυάλευρου από το γεύμα *C. vulgaris* έως 30% και ολική αντικατάσταση ιχθυελαίου από *N. gaditana* και *Schizochytrium sp.* δεν επηρέασε την ιστολογία του ήπατος (Metsoviti et al., 2018).

Ο Sarker και οι συνεργάτες του το 2020, συνδύασαν δύο μικροφύκη του εμπορίου σε μια τροφή για τατιλάπια του Νείλου (*Oreochromis niloticus*), που χαρακτηρίζονται ως η δεύτερη μεγαλύτερη ομάδα εκτρεφόμενων ψαριών στον κόσμο. Τα αποτελέσματα της έρευνας παρουσίασαν καλύτερη ανάπτυξη, αύξηση βάρους και ειδικό ρυθμό ανάπτυξης στα ψάρια που τρέφονταν με μικροφύκη, σε σύγκριση με αυτά που τρέφονταν με ιχθυάλευρα και ιχθυέλαια. Οι τροφές από μικροφύκη απέδωσαν επίσης υψηλότερη περιεκτικότητα σε λιπίδια, DHA και πρωτεΐνη φιλέτου και υψηλότερο βαθμό *in-vitro* πρωτεϊνικής υδρόλυσης και πεπτικότητας πρωτεϊνών. Επιπλέον, αποδείχθηκε ότι όσο αφορά το οικονομικό κομμάτι του πειράματος, οι τροφές με μικροφύκη σύμπεραν περισσότερο, καθώς μέση οικονομική αναλογία μετατροπής της τροφής μικροφυκών (0,95 \$/κιλό) ήταν μικρότερη από τη διαίτα με ιχθυάλευρα και ιχθυέλαια (1,03 \$/κιλό)(Sarker et al., 2020).

Στην Ελλάδα, η εταιρεία BioMar Hellenic, διεξάγει προσπάθειες για μία αειφόρο ανάπτυξη της παγκόσμιας υδατοκαλλιέργειας, υποστηρίζοντας την χρήση μικροφυκών στις ιχθυοτροφές. Σε ένα πείραμα που διήρκησε 84 ημέρες, χρησιμοποιήθηκαν δύο στελέχη μικροφυκών, *Schizochytrium sp.* και *Nannochloropsis sp.* σε μίγμα για την διατροφή της τσιπούρας, ώστε να διερευνηθεί η πλήρης αντικατάσταση του ιχθυελαίου στην τροφή. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το μίγμα των μικροφυκών έφερε βελτίωση στα φιλέτα της τσιπούρα ως προς τα EPA και DHA, σε σύγκριση με τα φιλέτα των ψαριών που τράφηκαν με ιχθυάλευρα και ιχθυέλαια, αποδεικνύοντας ότι η προσθήκη μικροφυκών στις τροφές μπορεί επιτυχώς να αντικαταστήσει πλήρως το ιχθυέλαιο στην τροφή βελτιώνοντας μάλιστα ελαφρώς την ανάπτυξη των ιχθύων (SGR) και την μετατρεψιμότητα της τροφής (FCR) της τσιπούρας. Παράλληλα, οι έρευνες της εταιρείας στοχεύουν στην αξιοποίηση

υποπροϊόντων της βιομηχανίας παραγωγής βιοκαυσίμων για την καλλιέργεια μικροφυκών και τη μετέπειτα χρήση τους στις ιχθυοτροφές, υποστηρίζοντας μια αειφόρα ανάπτυξη του κλάδου των υδατοκαλλιεργειών (BioMar, 2014-2020).

## 3. ΥΛΙΚΟ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

### 3.1 Πειραματικός σχεδιασμός

Για την διεξαγωγή του πειράματος, ιχθύδια του είδους *Dicentrarchus labrax* με αρχικό μέσο βάρος  $6.48 \pm 0,00\text{g}$ , μεταφέρθηκαν με ειδικές δεξαμενές με παροχή οξυγόνου, από τον ιχθυογεννητικό σταθμό της εταιρείας «Philosofish» που έχει τις εγκαταστάσεις του στη Πελασγία Φθιώτιδος, στις εγκαταστάσεις του Τμήματος Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος στο Βόλο, όπου και έλαβε χώρα το πείραμα. Από τον αρχικό αριθμό ιχθυδίων, 225 τοποθετήθηκαν σε πειραματικές δεξαμενές όπου αφέθηκαν για 10 ημέρες ώστε να εγκλιματιστούν στις συγκεκριμένες συνθήκες, όπου η σίτισή τους γινόταν μία φορά την ημέρα με συμβατική τροφή. Το πείραμα διήρκησε συνολικά 31 ημέρες.

Μετά τον εγκλιματισμό, τα ψάρια χωρίστηκαν σε 3 πειραματικές ομάδες (25 ψάρια/δεξαμενή, 3 δεξαμενές/τροφή) και τοποθετήθηκαν σε 9 δεξαμενές κυκλοφορίας θαλασσινού νερού κλειστού κυκλώματος, χωρητικότητας 125 λίτρων η καθεμία. Με τη χρήση φορητών ηλεκτρονικών οργάνων λαμβάνονταν εβδομαδιαίες μετρήσεις της θερμοκρασίας του νερού ( $21\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), του pH ( $8,00 \pm 0,4$ ), της αλατότητας ( $33 \pm 0,5$ ) και του διαλυμένου οξυγόνου ( $>6,5\text{ mg/l}$ ). Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκαν κιτ δοκιμών του εμπορίου για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης της ολικής αμμωνίας ( $0,3\text{ mg/l}$ ), των νιτρικών και των νιτρωδών σε τακτά χρονικά διαστήματα. Η εφαρμοζόμενη τεχνητή φωτοπερίοδος περιελάμβανε 12 ώρες φωτός και 12 ώρες σκότους, με την αλλαγή να πραγματοποιείται στις 08:00 και 20:00 αντίστοιχα. Σύμφωνα με τις κοινοτικές οδηγίες (2010/63/EU) για την προστασία των ζώων που χρησιμοποιούνται στην επιστημονική έρευνα, τα ψάρια αφέθηκαν σε ασιτία για 24 ώρες πριν από την ευθανασία τους με υψηλή δόση αναισθητικού ( $>4\text{ mg/l}$  φαινοξυαιθανόλης). Κάθε μεμονωμένο ψάρι ζυγίστηκε με ζυγό ακριβείας.

### 3.2 Σιτηρέσια – Σίτιση

Τα σιτηρέσια που χρησιμοποιήθηκαν για την εκπόνηση του συγκεκριμένου πειράματος παρασκευάστηκαν στις εγκαταστάσεις του τμήματος Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου περιβάλλοντος (Θεσσαλία, Βόλος) με την μέθοδο της κοινής πελλετοποίησης. Το σιτηρέσιο ήταν στην μορφή βυθιζόμενου σύμπηκτου με διάμετρο 1,5 mm. Η πελλετομηχανή που χρησιμοποιήθηκε για την παρασκευή του σιτηρεσίου ήταν τύπου California Pellet Mill. Τα τρία σιτηρέσια καταρτίστηκαν με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι ισοενεργειακά (~22,3 KJ/Kg) και ισοπρωτεϊνικά (~51% της τροφής) (Πιν. 1). Ως βασική πρωτεϊνική πηγή ζωικής προέλευσης και για τα τρία σιτηρέσια χρησιμοποιήθηκε υψηλής ποιότητας ιχθυάλευρο. Η τροφή ελέγχου (Control) περιείχε αποκλειστικά ιχθυέλαιο ως πηγή λίπους και ω-3 και ω-6 πολυακόρεστων λιπαρών οξέων. Για την υποκατάσταση του ιχθυελαίου στην τροφή SMO χρησιμοποιήθηκε ένα μείγμα από άλευρα μικροφυκών των ειδών *Nannochloropsis* sp. και *Schizochytrium* sp. όπου υποκατέστησαν το ιχθυέλαιο της τροφής του μάρτυρα κατά 15% και το ιχθυάλευρο κατά 16%. Τα μικροφύκη αυτά προήλθαν από πιλοτική καλλιέργεια της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο πλαίσιο του χρηματοδοτούμενου ερευνητικού προγράμματος “Alga 4 Fuel & Aqua” (χρηματοδότηση δράσης ΕΡΕΥΝΩ-ΔΗΜΙΟΥΡΓΩ-ΚΑΙΝΟΤΟΜΩ, ΕΣΠΑ 2014-2020). Για την υποκατάσταση του ιχθυελαίου στην τροφή SMC χρησιμοποιήθηκε ένα μείγμα από άλευρα μικροφυκών των ειδών *Nannochloropsis* sp. και *Schizochytrium* sp. όπου υποκατέστησαν το ιχθυέλαιο της τροφής του μάρτυρα κατά 15% και το ιχθυάλευρο κατά 7%. Τα μικροφύκη αυτά προήλθαν από έτοιμα εμπορικά σκευάσματα.

Στα σιτηρέσια, επίσης χρησιμοποιήθηκε γλουτένη σίτου, ηλιάλευρο και σιτάρι ως πρωτεϊνικές πηγές χερσαίας φυτικής προέλευσης και πηγές υδατανθράκων, σύμφωνα με τα μέσα επίπεδα χορήγησης φυτικών πρωτεϊνών σε εμπορικές τροφές του λαβρακιού σήμερα. Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκε σογιάλευρο ως ενεργειακή πηγή και ως ενεργειακό αντιστάθμισμα των τριών ισοενεργειακών σιτηρεσίων. Για τον εμπλουτισμό των τροφών χρησιμοποιήθηκαν μικροσυστατικά τα οποία διατηρήθηκαν σε σταθερές ποσότητες και στα τρία διαφορετικά σιτηρέσια και ήταν ένα εμπορικό πρόμιγμα βιταμινών και ανόργανων στοιχείων με συμμετοχή 0,40%, καθώς και οι



βιταμίνες E και C σε ποσοστό 0,05%. Σε ολόκληρη την πειραματική περίοδο των 60 ημερών, η χορήγηση της τροφής γινόταν καθημερινά με το χέρι. Η σίτιση γινόταν μέχρι κορεσμού (ad libitum) και λάμβανε χώρα δύο φορές την ημέρα, στις 11:00 π.μ. και στις 17:00 μ.μ.

|                             | CONTROL  | SMo       | SMc       |
|-----------------------------|----------|-----------|-----------|
| Ιχθυάλευρο                  | 25,00    | 21,02     | 23,26     |
| Σιτάρι                      | 10,00    | 4,63      | 9,24      |
| Ηλιάλευρο                   | 5,55     | 4,35      | 5,30      |
| Γλουτένη σίτου              | 18,60    | 19,90     | 18,85     |
| Συμπηκνωμένη πρωτ. Σόγιας   | 25,20    | 25,20     | 25,20     |
| ιχθυέλαιο                   | 7,00     | 5,95      | 5,95      |
| σογιέλαιο                   | 6,00     | 6,00      | 6,00      |
| Nannochloropsis - O         |          | 5,05      |           |
| Schizochytrium - O          |          | 5,15      |           |
| Βιταμίνες & αν. στοιχεία    | 0,40     | 0,40      | 0,40      |
| φωσφορικό μονοασβέστιο      | 1,40     | 1,40      | 1,40      |
| Βιτ. C                      | 0,05     | 0,05      | 0,05      |
| Βιτ. E                      | 0,05     | 0,05      | 0,05      |
| Λυσίνη                      | 0,10     | 0,20      | 0,10      |
| Μεθειονίνη                  | 0,65     | 0,65      | 0,65      |
| Nannochloropsis - C         |          |           | 2,50      |
| Schizochytrium - C          |          |           | 1,05      |
| Αντικατάσταση ιχθυαλεύρου   | <b>0</b> | <b>16</b> | <b>7</b>  |
| Αντικατάσταση ιχθυελαίου    | <b>0</b> | <b>15</b> | <b>15</b> |
| Θρεπτική σύσταση τροφών (%) |          |           |           |
| Υγρασία                     | 6,37     | 5,47      | 6,30      |
| Πρωτεΐνη                    | 51,03    | 51,02     | 51,03     |
| Λίπος                       | 15,93    | 15,48     | 15,75     |
| Υδατάνθρακες                | 24,56    | 19,37     | 24,37     |
| Ινώδεις Ουσίες              | 0,00     | 0,00      | 0,00      |
| Τέφρα                       | 7,43     | 6,71      | 7,65      |
| Ενέργεια (KJ/g)             | 22,38    | 22,26     | 22,30     |

Πίνακας 1 Καταρτισμός πειραματικών σιτηρεσιών

### 3.3 Δειγματοληψίες

Η εκτροφή των ιχθυδίων διήρκησε 31 ημέρες. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου πραγματοποιήθηκαν 2 δειγματοληψίες για μετρήσεις βάρους: στην έναρξη του πειράματος και στο τέλος του. Πριν την έναρξη κάθε δειγματοληψίας πραγματοποιούνταν ασιτία διάρκειας 24 ωρών. Για την αναισθητοποίηση των ψαριών χρησιμοποιήθηκε φαινοξιθανόλη σε συγκέντρωση 0,10 ml/l. Στη συνέχεια, ζυγίζονταν ατομικά κάθε ιχθύδιο σε ζυγό ακριβείας 2 δεκαδικών ψηφίων (0,01 g) και μετρούνταν το μήκος με ιχθυόμετρο (ακρίβεια 0,1 cm). Στην τελική μέτρηση (32η ημέρα) τα ψάρια θανατώθηκαν παρατείνοντας την παραμονή τους στο αναισθητικό αυξανόμενης δοσολογίας και στη συνέχεια τοποθετήθηκαν άμεσα σε πάγο.

### 3.4 Παράμετροι ανάπτυξης και αξιοποίησης της τροφής

#### 3.4.1 Θνησιμότητα

Η καταγραφή της θνησιμότητας πραγματοποιούνταν σε καθημερινή βάση για κάθε δεξαμενή ξεχωριστά. Ο τύπος υπολογισμού της είναι:

$$\text{Θνησιμότητα}\% = \frac{(\text{αρχικός αριθμός ψαριών} - \text{τελικός αριθμός ψαριών})}{\text{αρχικός αριθμός ψαριών}} = 100 /$$

#### 3.4.2 Αύξηση ολικού βάρους ψαριών

Η αύξηση του ολικού βάρους είναι το καθαρό βάρος του σώματος των ψαριών που αποκτήθηκε κατά τη διάρκεια του πειράματος και υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$\text{Αύξηση ολικού βάρους (g)} = W_t (\text{τελικό βάρος}) - W_a (\text{αρχικό βάρος})$$

### 3.4.3 Ποσοστό αύξησης του ολικού βάρους

Το ποσοστό αύξησης του ολικού βάρους αντιπροσωπεύει την εκατοστιαία (%) αύξηση του βάρους σώματος και υπολογίζεται ως εξής:

$$\text{Ποσοστό αύξησης βάρους (\%)} = [(W_{\text{τελικό}} - W_{\text{αρχικό}}) / W_{\text{αρχικό}}] \times 100$$

### 3.4.4 Συνολική κατανάλωση τροφής

Η συνολική κατανάλωση τροφής εκφράζει τη μέση κατανάλωση της τροφής ανά ψάρι κάθε διατροφικής ομάδας και υπολογίζεται ως εξής:

$$\text{Συν. Κατανάλωση} = \text{ολική κατανάλωση τροφής} / \text{αριθμός ψαριών (κάθε διατροφική ομάδα)}$$

### 3.4.5 Ειδικός ρυθμός ανάπτυξης

Ο ειδικός ρυθμός ανάπτυξης (specific growth rate, SGR) εκφράζει την ημερήσια ποσοστιαία αύξηση του ολικού βάρους του ψαριού στο χρονικό διάστημα που σιτίστηκε και δίνεται από τη σχέση:

$$\text{SGR (\% / ημέρα)} = \{100 \times [\text{Ln} (W2) - \text{Ln} (W1)] / \text{ημέρες σίτισης}\}$$

Όπου,

Ln (W2) = ο νεπέριος λογάριθμος του τελικού ολικού βάρους

Ln (W1) = ο νεπέριος λογάριθμος του αρχικού ολικού βάρους

### 3.4.6 Συντελεστής μετατρεψιμότητας της τροφής

Ο συντελεστής μετατρεψιμότητας της τροφής (food conversion ratio, FCR) εκφράζει το βαθμό αξιοποίησης της τροφής από τα ψάρια και δίνεται από τον λόγο της

ποσότητας της τροφής που χορηγήθηκε προς την αύξηση του ολικού βάρους τους. Ο συντελεστής μετατρεψιμότητας τροφής υπολογίζεται από τη σχέση:

$$FCR = \text{τροφή που χορηγήθηκε (g)} / \text{αύξηση βιομάζας των ζωντανών ιχθύων (g)}.$$

### **3.4.7 Συντελεστής αποδοτικότητας πρωτεϊνών**

Ο συντελεστής αποδοτικότητας των πρωτεϊνών (PER, protein efficiency ratio) εκφράζει την αναλογία μεταξύ της αύξησης βάρους των ιχθύων και της πρωτεΐνης που καταναλώθηκε. Ο υπολογισμός του συντελεστή γίνεται από την σχέση:

$$PER = \text{αύξηση βάρους (gr)} / \text{πρωτεΐνη που καταναλώθηκε (gr)}$$

### **3.4.8 Στατιστική ανάλυση**

Τα δεδομένα των παραμέτρων ανάπτυξης των ψαριών και αξιοποίησης της τροφής επεξεργάστηκαν με τη μέθοδο της Ανάλυσης της Διακύμανσης Μονής Κατεύθυνσης (one-way ANOVA, SPSS20) και οι διαφορές κρίθηκαν στατιστικά σημαντικές για τιμές  $P < 0,05$ . Στις περιπτώσεις όπου η ANOVA έδειξε στατιστικά σημαντικές διαφορές, τα δεδομένα υποβλήθηκαν στο Tukey's test για τον εντοπισμό των διαφορών μεταξύ των διαφορετικών μεταχειρίσεων (Zar 1999).

## 4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

### 4.1 Θνησιμότητα

Σε όλη τη διάρκεια του πειράματος καταγράφηκαν συνολικά τρεις (3) θνησιμότητες ιχθυδίων στο σύνολο των 225 τεμαχίων ιχθυδίων όλων των διατροφικών ομάδων (ποσοστό ~ 1,33%). Πιο αναλυτικά (Πίν. 2), για τις Control, SMO και SMC διατροφικές ομάδες καταγράφηκε ποσοστό θνησιμοτήτων 1,33%, 0% και 2,67%, αντίστοιχα. Ωστόσο, τα αποτελέσματα δεν παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ( $P>0,05$ ), μεταξύ των διατροφικών ομάδων που εξετάστηκαν.

**Πίνακας 2**, Συνολικές θνησιμότητες ανά ομάδα (N, αριθμός τελικών ατόμων) και ποσοστό (% του συνολικού αρχικού πληθυσμού).

| Σιτηρέσια |         |     |      |        |
|-----------|---------|-----|------|--------|
|           | Control | SMO | SMC  | Σύνολο |
| N         | 1       | 0   | 2    | 3      |
| %         | 1,33    | 0   | 2,67 | 1,33   |

Σημείωση: Οι τιμές αντιπροσωπεύουν μέρους όρους  $\pm$  τυπική απόκλιση ( $n=3$ ). Δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των διαφορετικών διατροφικών ομάδων ( $P>0,05$ ).

### 4.2 Παράμετροι ανάπτυξης και αξιοποίησης της τροφής

#### 4.2.1 Σωματικό βάρος

##### Κατά την έναρξη του πειράματος

Το αρχικό μέσο βάρος και ολικό μήκος των ιχθυδίων κατά την έναρξη του διατροφικού πειράματος για τα άτομα που τοποθετήθηκαν στα ενυδρεία ήταν  $6,48 \pm 0,70g$  και  $9,07 \pm 0,71cm$ ,  $6,28 \pm 0,77g$  και  $9,05 \pm 0,44cm$ ,  $6,48 \pm 0,81g$  και  $9,13 \pm$

0,51cm, για τις ομάδες Control, SMO και SMC, αντίστοιχα όπως αυτά φαίνονται στον Πίνακα 3. Επισημαίνεται ότι δεν παρουσιάστηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στο αρχικό βάρος και το αρχικό μήκος των ατόμων κατά την έναρξη του διατροφικού πειράματος.

**Πίνακας 3.** Αρχικό μέσο βάρος (gr) και αρχικό μέσο ολικό μήκος (cm) των ιχθύων κατά την έναρξη του πειράματος.

|                   | Control   | SMO       | SMC       | Μέση τιμή συνόλου |
|-------------------|-----------|-----------|-----------|-------------------|
| Αρχικό Βάρος (gr) | 6,48±0,70 | 6,48±0,77 | 6,48±0,81 | 6,48±0,76         |
| Αρχικό Μήκος (cm) | 9,07±0,71 | 9,05±0,44 | 9,13±0,51 | 9,08±0,55         |

Σημείωση: Οι τιμές αντιπροσωπεύουν μέρους όρους  $\pm$  τυπική απόκλιση (n=3). Δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των διαφορετικών διατροφικών ομάδων (P>0,05).

### Κατά την ολοκλήρωση του πειράματος

Στο τέλος του πειράματος, καταμετρήθηκε μόνο το μέσο βάρος το οποίο ήταν  $14,39 \pm 2,36$  g για τα άτομα της ομάδας Control,  $13,37 \pm 2,56$  g για την ομάδα SMO, και  $14,02 \pm 2,34$  g, για την ομάδα SMC. Η στατιστική ανάλυση έδειξε πως δεν υπήρχαν σημαντικές διαφορές των τιμών βάρους των ψαριών όλων των διατροφικών ομάδων.

Η αύξηση βάρους σε g των ιχθυδίων την 32<sup>η</sup> μέρα υπολογίστηκε ως  $7,91 \pm 1,66$  g,  $6,90 \pm 1,49$  g και  $7,54 \pm 1,54$  g. για τις ομάδες Control, SMO, SMC. Η στατιστική ανάλυση έδειξε πως δεν υπήρχαν σημαντικές διαφορές των τιμών βάρους των ψαριών όλων των διατροφικών ομάδων. Τα αποτελέσματα μαζί με τις μέσες τιμές συνοψίζονται στον Πίνακα 3.

#### **4.2.2 Συνολική κατανάλωση τροφής**

Η συνολική κατανάλωση τροφής των ψαριών ήταν  $9,25 \pm 0,72$  g για τα άτομα της ομάδας Control,  $9,20 \pm 0,37$  g. για τα άτομα που διατράφηκαν με την SMO τροφή, και  $8,81 \pm 0,81$  g αντίστοιχα για τα άτομα της SMC ομάδας. Η στατιστική ανάλυση έδειξε πως δεν υπήρχαν σημαντικές διαφορές των τιμών της συνολικής κατανάλωσης τροφής μεταξύ των διατροφικών ομάδων. Τα αποτελέσματα μαζί με τις μέσες τιμές συνοψίζονται στον Πίνακα 3.

#### **4.2.3 Ειδικός ρυθμός ανάπτυξης (SGR)**

Ο ειδικός ρυθμός ανάπτυξης (SGR) των ψαριών ήταν  $2,57 \pm 0,21$  %/ημέρα για τα άτομα-μάρτυρες,  $2,34 \pm 0,16$  %/ημέρα και  $2,49 \pm 0,34$  %/ημέρα για της ομάδες SMO και SMC, αντιστοίχως. Η στατιστική ανάλυση έδειξε πως δεν υπήρχαν σημαντικές διαφορές των τιμών του ειδικού ρυθμού ανάπτυξης των ψαριών όλων των διατροφικών ομάδων.

#### **4.2.4 Συντελεστής μετατρεψιμότητας της τροφής (FCR)**

Ο συντελεστής μετατρεψιμότητας της τροφής (FCR) των ψαριών υπολογίστηκε  $1,17 \pm 0,43$  για τα άτομα-μάρτυρες,  $1,33 \pm 0,25$  και  $1,17 \pm 0,55$  για της ομάδες SMO και SMC, αντιστοίχως. Η στατιστική ανάλυση έδειξε πως δεν υπήρχαν σημαντικές διαφορές των τιμών του συντελεστή μετατρεψιμότητας της τροφής των ψαριών όλων των διατροφικών ομάδων.

#### **4.2.5 Συντελεστής Αποδοτικότητας της Πρωτεΐνης (PER)**

Ο συντελεστής αποδοτικότητας της πρωτεΐνης (PER) καταγράφηκε ως  $1,68 \pm 0,27$  για τα ψάρια της ομάδας Control,  $1,47 \pm 0,23$  για τα ψάρια της SMO και  $1,68 \pm 0,13$  για τα ψάρια της SMC. Ωστόσο δεν εμφανίστηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των τιμών.

Αξίζει να τονιστεί το γεγονός, ότι από την αρχή του πειράματος, τα αποτελέσματα όλων των δειγματοληψιών (αρχή και 32<sup>η</sup> ημέρα) που αφορούν την ανάπτυξη των εκτρεφόμενων ιχθύων, δεν παρουσίασαν καμία σημαντική στατιστική διαφορά. Όλα αυτά τα αποτελέσματα, ανά ημέρα δειγματοληψίας και ανά σιτηρέσιο φαίνονται συγκεντρωτικά στον Πίνακα 4.



**Πίνακας 4.** Παράμετροι ανάπτυξης και αξιοποίησης τροφής των ιχθυδίων διατρεφόμενα με τα τρία διαφορετικά σιτηρέσια κατά την ολοκλήρωση του πειράματος.

|                            | Control    | SMO        | SMC        |
|----------------------------|------------|------------|------------|
| <b>Τελ. βάρος (g)</b>      | 14,39±2,36 | 13,37±2,56 | 14,02±2,34 |
| <b>Αυξ. βάρους (WG, g)</b> | 7,91±1,66  | 6,90±1,49  | 7,54±1,52  |
| <b>Συν. κατανάλωση (g)</b> | 9,25±0,72  | 9,20±0,37  | 8,81±0,83  |
| <b>SGR (%/ημ.)</b>         | 2,57±0,21  | 2,34±0,16  | 2,49±0,34  |
| <b>FCR</b>                 | 1,17±0,43  | 1,33±0,25  | 1,17±0,55  |
| <b>PER</b>                 | 1,68±0,27  | 1,47±0,23  | 1,68±0,13  |

Σημείωση: Οι τιμές αντιπροσωπεύουν μέρους όρους ± τυπική απόκλιση (n=3). Δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των διαφορετικών διατροφικών ομάδων (P>0,05).

## 5. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι η μερική υποκατάσταση του ιχθυελαίου και του ιχθυαλεύρου στη διατροφή του λαβρακιού με τα έλαια των μικροφυκών *Schizochytrium* sp. και *Nannochloropsis* sp. δεν επηρέασε αρνητικά τις παραμέτρους αξιοποίησης της τροφής. Δεδομένου ότι όλες οι διατροφικές ομάδες ψαριών είχαν παρόμοια πρόσληψη τροφής, συντελεστή μετατρεψιμότητας της τροφής και συντελεστή αποδοτικότητας πρωτεΐνης, δείχνει ότι τα μικροφύκη *Schizochytrium* sp. και *Nannochloropsis* sp. μεταβολίζονται και αξιοποιούνται από τα ιχθύδια λαβρακιού σε παρόμοιο βαθμό με το ιχθυέλαιο. Το αποτέλεσμα αυτό καταδεικνύει πως τα μικροφύκη *Schizochytrium* sp. και *Nannochloropsis* sp. είναι κατάλληλα να υποκαταστήσουν μερικώς το ιχθυέλαιο της τροφής των ιχθυδίων λαβρακιού χωρίς να επιφέρουν αρνητική επίδραση στην ανάπτυξη τους και την αποτελεσματικότητα της τροφής. Μάλιστα, μιας και χρησιμοποιήθηκαν μικροφύκη από διαφορετική προέλευση (SMO-πilotικής καλλιέργειας και SMC-εμπορικά προϊόντα) η παρόμοια επίδραση τους στη διατροφή του λαβρακιού δείχνει ότι η pilotική καλλιέργεια των μικροφυκών μέσω αξιοποίησης υγρών αποβλήτων της βιομηχανίας βιοκαυσίμων (βλ. έργο “Alga 4 Fuel & Aqua”) είναι ένας κατάλληλος και αειφόρος εναλλακτικός τρόπος μαζικής παραγωγής τους.

Μέχρι σήμερα, δεν έχουν διεξαχθεί παρόμοιες μελέτες στο λαβράκι για να διαπιστωθεί εάν τα μικροφύκη *Nannochloropsis* sp. και *Schizochytrium* sp. αποτελούν κατάλληλο υποκατάστατο του ιχθυελαίου στη διατροφή του είδους. Ακόμη και το υψηλότερο ποσοστό ενσωμάτωσης του εξεταζόμενου συνδυασμού μικροφυκών δεν παρουσίασε στατιστικά σημαντικές διαφορές στην ανάπτυξη των ιχθύων σε σύγκριση με τη δίαιτα ελέγχου, όπως έδειξαν τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης.

Τα αποτελέσματα αυτά είναι σε συμφωνία με αρκετές μελέτες που διερεύνησαν τη χρήση των μικροφυκών στις τροφές άλλων ειδών ψαριών. Έχει αποδειχθεί ότι ένα μείγμα μικροφυκών *Nannochloropsis* sp. και *Schizochytrium* sp. μπορεί να αντικαταστήσει το 100% του ιχθυελαίου σε σιτηρέσια για το *Paralichthys olivaceus* χωρίς να επηρεάσει την ανάπτυξη, την αποδοτικότητα της τροφής ή την ποιότητα των θρεπτικών συστατικών (Qiao et al. 2019). Μάλιστα, έχουν αναφερθεί και αποτελέσματα στην τιλάπια (*Oreochromis niloticus*) όπου η πλήρης αντικατάσταση

του ιχθυελαίου οδήγησε σε σημαντικά υψηλότερη αύξηση του σωματικού βάρους, μειωμένο FCR και βελτιωμένη εναπόθεση πολυακόρεστων λιπαρών οξέων στον μυϊκό ιστό (Sarket et al. 2016). Επιπλέον, σε σιτηρέσια του *Colossoma macropomum* που συμπληρώθηκαν με 5% του μικροφύκους *Schizochytrium* sp. δεν παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στη θρεπτική σύνθεση της σάρκας ( $P > 0,05$ ), λόγω της ισοπρωτεϊνικής και ισοενεργειακής σύνθεσης των σιτηρεσίων (Cortegano et al. 2019). Σε ένα πείραμα που διεξήχθη από τους Seong κ.ά. (2020) στο *Pagrus major*, το ιχθυέλαιο αντικαταστάθηκε από το έλαιο του μικροφυκού *Schizochytrium* sp. σε συγκεντρώσεις 5, 10 και 15 % και διαπιστώθηκε ότι τα άτομα που τρέφονταν με αυτά τα σιτηρέσια είχαν λιγότερη εναπόθεση λίπους στη σάρκα τους σε σχέση με εκείνα που τρέφονταν με το σιτηρέσιο ελέγχου.

Επιπλέον, η αντικατάσταση του ιχθυελαίου κατά 15% με το μικροφύκος *Nannochloropsis salina* μείωσε σημαντικά την ενδοπεριτοναϊκή αναλογία λίπους και το λίπος της σάρκας (Patterson and Gatlin 2013). Σε μια ξεχωριστή μελέτη που διεξήχθη στη γαρίδα *Marsupenaeus japonicus*, η περιεκτικότητα των ιστών της σε DHA αυξήθηκε, υποδεικνύοντας ότι το *Nannochloropsis* sp. τόνωσε τον μεταβολισμό και συσσωρεύσε τα απαραίτητα λιπαρά οξέα. Αυτό το μικροφύκος θα μπορούσε να αντικαταστήσει έως και 140 g/kg ιχθυελαίου σε δίαιτες γαρίδας χωρίς να επηρεάσει την ανάπτυξη τους ή το προφίλ λιπαρών οξέων τους (Adissin et al. 2019). Επιπλέον, σε πείραμα που διεξήγαγαν οι Valente κ.ά. (2019) σε λαβράκι (*Dicentrarchus labrax*), διαπιστώθηκε ότι η αντικατάσταση της πρωτεΐνης του ιχθυάλευρου με άλευρο του μικροφύκους *Nannochloropsis* sp. σε ποσοστό 15% δεν οδήγησε σε στατιστικά σημαντικές διαφορές στη σύνθεση των θρεπτικών συστατικών του σώματος σε σύγκριση με την ομάδα ελέγχου που τρέφονταν αποκλειστικά με ιχθυάλευρο.

## 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συμπερασματικά, τα μικροφύκη *Schizochytrium* sp. και *Nannochloropsis* sp. είναι κατάλληλα να υποκαταστήσουν μερικώς το ιχθυέλαιο της τροφής των ιχθυδίων λαβρακιού χωρίς να επιφέρουν αρνητική επίδραση στην ανάπτυξη τους και την αποτελεσματικότητα της τροφής. Μάλιστα, μιας και χρησιμοποιήθηκαν μικροφύκη από διαφορετική προέλευση (SMO-πilotικής καλλιέργειας και SMC-εμπορικά προϊόντα) η παρόμοια επίδραση τους στη διατροφή του λαβρακιού δείχνει ότι η pilotική καλλιέργεια των μικροφυκών μέσω αξιοποίησης υγρών αποβλήτων της βιομηχανίας βιοκαυσίμων (βλ. έργο “Alga 4 Fuel & Aqua”) είναι ένας κατάλληλος και αειφόρος εναλλακτικός τρόπος μαζικής παραγωγής τους.

Όσον αφορά τη διατροφική αξία, την εναπόθεση λιπαρών οξέων στον μυϊκό ιστό και την ιστολογική αξιολόγηση των ψαριών, ωστόσο, κρίνεται απαραίτητη η διεξαγωγή πρόσθετης έρευνας για το είδος του λαβρακιού. Η μελλοντική έρευνα θα πρέπει επίσης να εξετάσει την πεπτικότητα των μικροφυκών, ώστε να διασφαλιστεί η καταλληλότητα της πρώτης ύλης αυτής για τη διατροφή των εκτρεφόμενων ιχθύων.

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Addison, P.F.E., Bull, J.W. and Milner-Gulland, E.J. (2019), Using conservation science to advance corporate biodiversity accountability. *Conservation Biology*, 33: 307-318. <https://doi.org/10.1111/cobi.13190>

Allen M. K., M. Habte-Tsion, K. R. Thompson, K. Filer, J. H. Tidwell, V. Kumar (2019). Freshwater microalgae (*Schizochytrium* sp.) as a substitute to fish oil for shrimp feed. *Scientific Reports* volume 9, <https://www.nature.com/articles/s41598-019-41020-8>.

Annamalai et al., Annamalai S., Das P., Thaher A. M., Quadir A. M., Khan S., Mahata C., Jabri H. A. (2021), Nutrients and Energy Digestibility of Microalgal Biomass for Fish Feed Applications, *Sustainability* 13 (23), <https://doi.org/10.3390/su132313211>

Antonopoulou V. (2020). Greece, No1 fish farming producer in the EU. *Ambrosia*, <https://ambrosiamagazine.com/greece-number-1-fish-farming-producer-in-the-eu/>.

Asche F., Roll K.H., Sandvold H.N. (2013). Salmon aquaculture: larger companies and increased production. *Aquacul Econ Manage*, 17, 322–339.

Bagni M. (2005). Cultured Aquatic Species Information Programme. *Dicentrarchus labrax*. Rome: FAO Fisheries and Aquaculture Department.

Batista S., Pereira R., Oliveira B., Baião L. F., Jessen F., Francesca Tulli, Messina M., Silva J. L., Abreu H., Valente L. (2020a). Exploring the potential of seaweed *Gracilaria gracilis* and microalga *Nannochloropsis oceanica*, single or blended, as natural dietary ingredients for European seabass *Dicentrarchus labrax*. *Journal of Applied Phycology*, vol 32, 2041–2059.

Batista S., Pintado M., Marques A., Abreu H., Silva J. L., Jessen F., Tulli F., Valente L. M. P. (2020). Use of technological processing of seaweed and microalgae as strategy to improve their apparent digestibility coefficients in European seabass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles. *Journal of Applied Phycology*, vol 32, 3429–3446.

BioMar. (2014-2020). Αειφόρος Ίχθυοτροφές με Μικροφύκη Θαλάσσιας Προέλευσης. BioMar.

Boglione C., Gisbert E., Gavaia P., Witten P.E., Moren M., Fontagné S. & Koumoundouros G. (2013). Skeletal anomalies in reared European fish larvae and juveniles. Part 2: main typologies, occurrences and causative factors. *Reviews in Aquaculture* 5 , 121– 67.

Boyd C. E., D'Abramo L. R., Glencross B. D., Huyben D. C., Juarez L. M., Lockwood G. S. Lockwood, McNevin A. A. , Tacon A. G. J., Teletchea F. (2020). Achieving sustainable aquaculture: Historical and current perspectives and future needs and challenges. *Journal of the World Aquaculture Society*, Vol 51, Is 3, 578-633.

Brummett R.E., Lazard E., Moehl J. (2008). African aquaculture: realizing the potential. *Food Policy*, 33, 371–385.

Ceulemans S. , Coutteau P., Robles Arozarena R. (2003, 2 1). Fishmeal, fish oil replacements in sea bream, sea bass diets need nutritional compensation. Ανάκτηση 7 13, 2022, από globalseafood: <https://www.globalseafood.org/advocate/fishmeal-fish-oil-replacements-in-sea-bream-sea-bass-diets-need-nutritional-compensation/>

Chavanne H., Janssen K., Hofherr J., Contini F., Haffray P., Komen H., Nielsen E.E. & Bargelloni L. (2016). A comprehensive survey on selective breeding programs and seed market in the European aquaculture fish industry. *Aquaculture International* 24, 1287– 1307.

CMS. (2020). THE IMPORTANCE OF MICROALGAE FOR AQUACULTURE INDUSTRY. Aquaculture in Africa, <https://www.aquacultureinafrica.com/?p=2092#:~:text=Microalgae%20are%20utilized%20in%20aquaculture,used%20in%20aquaculture%20food%20chains.>

Costa C., Vandeputte M., Antonucci F., Boglione C., Menesatti P., Cenadelli S., Parati K., Chavanne H. & Chatain B. (2010). Genetic and environmental influences on shape variation in the European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Biological Journal of the Linnean Society* 101 , 427– 36.

De Zeeuw H. & Drechsel P (2015). Cities and agriculture. Developing resilient urban food systems, 26-56.

Doan Q.K., Vandeputte M., Chatain B., Haffray P., Vergnet A., Breuil G. & Allal F. (2017). Genetic variation of resistance to viral nervous necrosis and genetic correlations with production traits in wild populations of the European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Aquaculture* 478, 1– 8.

Einarsson M. I., Jokumsen A., Bæk A. M., Jacobsen C., Pedersen S. A., Samuelsen T. A., Pálsson J., Eliassen O., Flesland O. (2019). Nordic Centre of Excellence Network in Fishmeal and Fish oil. *Matis - Food Research, Innovation & Safety*, DOI: 10.5281/zenodo.3243334.

EUMOFA. (2018). Case Study: Seabass in the EU. Brussels: European Commission.

FAO. (2022, 5 1). The State of World Fisheries and Aquaculture 2022. Retrieved 6 28, 2022, from relief web: <https://reliefweb.int/report/world/state-world-fisheries-and-aquaculture-2022>

FAOb. (2021). European seabass (*Dicentrarchus labrax*), statistics summary. *Food Business*, 2-13.

FAOc. (2018). The State of World Fisheries and Aquaculture 2018 - Meeting the sustainable .Rome: Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.

Fatunla G. (1996). Socio-economic issues in the education of children of migrant fishermen in Nigeria. *Journal of Sustainable Agriculture*, 9(1), 31–55.

FGM. (2020). Aquaculture in Greece 2020. *Aquaculture in Greece 2020, Annual Report*, 2-12.

Fishbase,

<https://www.fishbase.se/photos/PicturesSummary.php?StartRow=8&ID=63&what=species&TotRec=15>

Gagnaire P.A., Broquet T., Aurelle D., Viard F., Souissi A., Bonhomme F., Arnaud-Haond S. & Bierne N. (2015). Using neutral, selected & hitchhiker loci to assess connectivity of marine populations in the genomic era. *Evolutionary Applications* 8, 769– 86.

Gisbert E., Fournier V., Solovyev M., Skalli A., Andree K. B. (2018). Diets containing shrimp protein hydrolysates provided protection to European sea bass

(*Dicentrarchus labrax*) affected by a *Vibrio pelagius* natural infection outbreak. *Aquaculture*, vol 495, 136–143 doi: 10.1016/j.aquaculture.2018.04.051.

Glencross B. D., Huyben D., Schrama J. W. (2020). The application of single-cell ingredients in aquaculture feeds—a review. *Fishes* 5, 1–39. doi: 10.3390/fishes5030022.

Guinand B., Vandeputte M., Dupont-Nivet M., Vergnet A., Haffray P., Chavanne H. & Chatain B. (2017). Metapopulation patterns of additive and nonadditive genetic variance in the sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Ecology and Evolution* 7, 2777–2790.

Haas S., Bauer J. L., Adakli A., Meyer S., Lippemeier S., Schwarz K., Schulz C. (2016). Marine microalgae *Pavlova viridis* and *Nannochloropsis* sp. as n-3 PUFA source in diets for juvenile European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.). *Journal of Applied Phycology*, vol 28, 1011–1021 .

HAPO. (2021, 3 5). “Fish from Greece”, a strong label for the dynamic fish farming sector. Retrieved 6 29, 2022, from Greek news agenda: <https://www.greeknewsagenda.gr/topics/business-r-d/7418-%E2%80%9Cfish-from-greece%E2%80%9D,-a-strong-label-for-the-dynamic-fish-farming-sector>

Hodar A. R., Vasava R. J., Mahavadiya D. R., Joshi H. N. (2020 ). Fish Meal and Fish Oil Replacement for Aqua Feed Formulation by Using Alternative Sources : A Review. *J. Exp. Zool. India*, Vol. 23, No. 1, 13-21.

Kaparapu J. (2018). Application of Microalgae in Aquaculture. *Phykos*, vol 48, is 1 , 21-26 <https://www.researchgate.net/publication/342096192>.

Karapanagiotidis I.T., Metsoviti M.N., Gkalogianni E.Z., Psoufakis P., Asimaki A., Katsoulas N., Papapolymerou G., Zarkadas I. (2022). The effects of replacing fishmeal by *Chlorella vulgaris* and fish oil by *Schizochytrium* sp. and *Microchloropsis* gaditana blend on growth performance, feed efficiency, muscle fatty acid composition and liver histology of gilthead seabream (*Sparus aurata*). *Aquaculture* 561, 738709.

Krause G., S. L. Billing, J. Dennis, J. Grant, L. Fanning, R. Filgueira, M. Miller, J. A. P. Agúndez, N. Stybel, S. M. Stead, W. Wawrzynski (2020). Visualizing the social in aquaculture: How social dimension components illustrate the effects of aquaculture



across geographic scales. *Marine Policy*, Vol 118, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308597X19307481?via%3Dihub>.

Kwasek K., Thorne-Lyman A. L., Phillips M. (2020). Can human nutrition be improved through better fish feeding practices? A review paper. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 60, 3822–3835 doi: 10.1080/10408398.2019.1708698.

Larsen B.K., Dalsgaard J., Pedersen P.B. (2012). Effects of plant proteins on postprandial, free plasma amino acid concentrations in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 326 – 329, 90 – 98.

Lemaire C., Versini J.J. & Bonhomme F. (2005). Maintenance of genetic differentiation across a transition zone in the sea: discordance between nuclear and cytoplasmic marker. *Journal of Evolutionary Biology* 18, 70– 80.

Liao H., Liu P., Deng Y., Zhang W., Pan C., Jia Y., Long F., Tang H. (2022). Feeding effects of low-level fish meal replacement by algal meals of *Schizochytrium imacinum* and *Nannochloropsis salina* on largemouth bass (*Micropterus salmoides*). *Aquaculture*, vol 557, <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738311>.

López-Cortegano E, Pouso R, Labrador A, Pérez-Figueroa A, Fernández J, Caballero A. Optimal Management of Genetic Diversity in Subdivided Populations. *Front Genet.* 2019 Sep 13;10:843. doi: 10.3389/fgene.2019.00843. PMID: 31572448; PMCID: PMC6753960.

Lugo A. L., Thorarinsdotti R., Bjornsson S., Palsson P. O., Skulason H., Johannsson S., Brynjolfsson S., (2020), Remediation of Aquaculture Wastewater Using the Microalga *Chlorella sorokiniana*, *Water* 12(11),<https://doi.org/10.3390/w12113144>

Machado M., Castro C., Oliva-Teles A., Costas B. (2019). Interactive effects of dietary vegetable oil and carbohydrate incorporation on the innate immune response of European seabass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles subjected to acute stress. *Aquaculture*, vol 498, 171–180 doi: 10.1016/j.aquaculture.2018.08.050.

Mélo R. C. S., Santos L.P.S., Brito A.P.M., Gouveia A.D.A, Marçal C., Cavalli R. O. (2016). Use of the microalga *Nannochloropsis oculata* in the rearing of newborn longsnout seahorse *Hippocampus reidi* (Syngnathidae) juveniles. *Aquac. Res.*, 47, 3934-3941.

Metsoviti M.N., Lachanidou G., Manolios A., Berillis P., Katsoulas N., Papapolymerou G. (2018). The Effect of Fishmeal and Fishoil Replacement by Dietary Microalgae Species on Liver Histology in Gilthead Seabream. Academia, [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/57924288/THE\\_EFFECT\\_OF\\_FISHMEAL\\_A  
ND\\_FISH\\_OIL\\_REPLACEMENT\\_BY\\_DIETARY\\_MICROALGAE\\_SPECIES\\_ON  
\\_LIVER\\_HISTOLOGY\\_IN\\_GILTHEAD\\_SEABREAM-with-cover-page-  
v2.pdf?Expires=1657822610&Signature=URBfw1YoTcQuSD2zR2hKHG7Ojn8S-  
Crg1g1FG4](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/57924288/THE_EFFECT_OF_FISHMEAL_AND_FISH_OIL_REPLACEMENT_BY_DIETARY_MICROALGAE_SPECIES_ON_LIVER_HISTOLOGY_IN_GILTHEAD_SEABREAM-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1657822610&Signature=URBfw1YoTcQuSD2zR2hKHG7Ojn8S-Crg1g1FG4).

Neiland A. E., S. A. Shaw, D. Bailly (1991). The social and economic impact of aquaculture: a European review. *Aquaculture and the Environment*, 16, 469–482.

Oliva-Teles A. , Enes P., Peres H. (2015). 8 - Replacing fishmeal and fish oil in industrial aquafeeds for carnivorous fish. Στο E. P. Oliva-Teles A., *Feed and Feeding Practices in Aquaculture* (σσ. 203-233). Porto: Porto University.

Parma L., Yúfera M., Navarro-Guillén C., Moyano F. J., Soverini M., D'Amico F. (2019). Effects of calcium carbonate inclusion in low fishmeal diets on growth, gastrointestinal pH, digestive enzyme activity and gut bacterial community of European sea bass (*Dicentrarchus labrax L.*) juveniles. *Aquaculture*, vol 510 , 283–292.

Patras D. & Moraru V. C. (2019), Bioactive Ingredients from Microalgae: Food and Feed Applications, *Bulletin UASVM Food Science and Technology* 76 (1), pp. 3

Patterson, Donovan & Gatlin, Delbert. (2013). Evaluation of whole and lipid-extracted algae meals in the diets of juvenile red drum (*Sciaenops ocellatus*). *Aquaculture*. 416-417. 92-98. 10.1016/j.aquaculture.2013.08.033.

Pérez-Pascual D., Estellé J., Dutto G., Rodde C., Bernardet J-F., Marchand Y., Duchaud E., Przybyla C., Ghigo J. (2020). Growth Performance and Adaptability of European Sea Bass (*Dicentrarchus labrax*) Gut Microbiota to Alternative Diets Free of Fish Products. *Microorganisms*, vol 8, is 9, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7565124/>.

Qiao J, et al. (2019) Modification of isoprene synthesis to enable production of curcubitadienol synthesis in *Saccharomyces cerevisiae*. *J Ind Microbiol Biotechnol* 46(2):147-157

Sarker P. A., Kapuscinski A. R., McKuin B., Fitzgerald S. D., Nash H. M., Greenwood C. (2020). Microalgae-blend tilapia feed eliminates fishmeal and fish oil, improves growth, and is cost viable. *Scientific Reports*, vol 10, <https://www.nature.com/articles/s41598-020-75289-x>.

Sarker SA, Sultana S, Reuteler G, Moine D, Descombes P, Charton F, Bourdin G, McCallin S, Ngom-Bru C, Neville T, Akter M, Huq S, Qadri F, Talukdar K, Kassam M, Delley M, Loiseau C, Deng Y, El Aidy S, Berger B, Brüssow H. Oral Phage Therapy of Acute Bacterial Diarrhea With Two Coliphage Preparations: A Randomized Trial in Children From Bangladesh. *EBio Medicine*. 2016 Jan 5;4:124-37. doi: 10.1016/j.ebiom.2015.12.023. PMID: 26981577; PMCID: PMC4776075.

Sen Roy S. & Pal R. (2015). Microalgae in Aquaculture: A Review with Special References to Nutritional Value and Fish Dietetics. *Proceedings of the Zoological Society*, vol 68, 1–8.

Serradell A., Torrecillas S., Makol A., Valdenegro, V., Fernández-Montero A., Acosta F. (2020). Prebiotics and phytochemicals functional additives in low fish meal and fish oil based diets for European sea bass (*Dicentrarchus labrax*): effects on stress and immune responses. *Fish & Shellfish Immunology*, vol 100, 219-229.

Smith M. D., C. A. Roheim, L. B. Crowder, B. S. Halpern, M. Turnipseed, J. L. Anderson, F. Asche, L. Bourillon, A. G. Guttormsen, A. Khan, L. A. Liguori, A. McNevin, M. I. O'Connor, D. Squires, P. Tyedmers, C. Brownstein (2010). Sustainability and global seafood. *Science*, 327, 784–786.

Souche E. L., H. Bart, B. Massimiliano, Macaoidh E. (2015). Range-wide population structure of European sea bass *Dicentrarchus labrax*. *Biological Journal of the Linnean Society*, Vol 116, 86-105.

Theodorou J. (2022). Fisheries and Aquaculture Division. Food and Agriculture Organization of the United Nations, <https://www.fao.org/fishery/en/countrysector/gr/en>.

Tine M., Kuhl H., Gagnaire P.A. (2014). European sea bass genome and its variation provide insights into adaptation to euryhalinity and speciation. *Nature Communications* 5.

Vandeputte M. & Haffray P. (2014). Parentage assignment with genomic markers: a major advance for understanding and exploiting genetic variation of quantitative traits in farmed aquatic animals. *Frontiers in Genetics* 5 , 432.

Vandeputte M., P.-A. Gagnaire, F. Allal (2019). The European sea bass: a key marine fish model in the wild and in aquaculture. *Animal Genetics*, Vol50, Is3, 195-206.

E. E. (2019). ΛαβράκιστηνΕΕ. EUMOFA, 8-15.