

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΙΧΘΥΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΑΤΙΝΟΥ**  
**ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**



**ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Η επίδραση της υποκατάστασης σόγιας από άλευρο λούπινου  
επεξεργασμένο με εξωγενή ένζυμα στις παραμέτρους ανάπτυξης του  
λαβρακιού (*Dicentrarchus labrax*)**

**Παναγιώτης – Σπυρίδων Ανδρέου**

**ΒΟΛΟΣ 2025**

### **3μελής εξεταστική επιτροπή:**

Επιβλέπων: Ιωάννης Καραπαναγιωτίδης, Αναπληρωτής Καθηγητής - Διατροφή Υδρόβιων Ζωικών Οργανισμών, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

Μέλος: Ελένη Γκολομάζου, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια – Προστασία-Ευζωία Ιχθύων, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

Μέλος: Ιωάννης Νέγκας, Διευθυντής Ερευνών – Ινστιτούτο Θαλάσσιας Βιολογίας, Βιοτεχνολογίας και Υδατοκαλλιεργειών (ΙΘΑΒΒΥΚ), Ελληνικό Κέντρο Θαλασσίων Ερευνών (ΕΛΚΕΘΕ).

## Περιεχόμενα

|                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Κατάλογος Εικόνων .....                                                              | 5  |
| Κατάλογος Πινάκων .....                                                              | 6  |
| Περίληψη .....                                                                       | 7  |
| Abstract .....                                                                       | 9  |
| 1. Εισαγωγή.....                                                                     | 10 |
| 1.1 Υποκατάσταση ιχθυαλεύρου στις ιχθυοτροφές.....                                   | 10 |
| 1.2 Τα όσπρια ως βασικές πηγές πρωτεΐνης στα σιτηρέσια των εκτρεφόμενων ιχθύων ..... | 14 |
| 1.2.1 Σόγια ( <i>Glycine max</i> ) .....                                             | 14 |
| 1.2.2 Άλευρο σόγιας (SBM) .....                                                      | 16 |
| 1.2.3 Συμπύκνωμα Πρωτεΐνης Σόγιας (SPC) .....                                        | 16 |
| 1.2.4 Απομονωμένη Πρωτεΐνη Σόγιας (SPI) .....                                        | 16 |
| 1.2.5 Υδρολυμένη Πρωτεΐνη Σόγιας (SPH) .....                                         | 16 |
| 1.2.6 Ενσίρωμα Σογιάλευρου (FSBM).....                                               | 17 |
| 1.2.7 Γενετικά τροποποιημένη σόγια .....                                             | 17 |
| 1.2.8 Μπιζέλι ( <i>Pisum sativum</i> ).....                                          | 17 |
| 1.2.9 Λούπινα ( <i>Lupinus spp.</i> ).....                                           | 20 |
| 1.2.11 Κουκιά Faba ( <i>Vicia faba</i> ).....                                        | 22 |
| 1.3 Βιολογία και εκτροφή του λαβρακιού.....                                          | 22 |
| 1.3.1 Βιολογία .....                                                                 | 24 |
| 1.3.2 Χαρακτηριστικά εμπορικών τροφών.....                                           | 24 |
| 1.3.3 Διαχείριση ιχθυοτροφής κατά την εκτροφή.....                                   | 26 |
| 1.3.4 Συχνότητα ταΐσματος στην εκτροφή λαβρακιού.....                                | 29 |
| 1.3.5 Χρόνος σίτισης .....                                                           | 30 |
| 1.4 Σκοπός της μελέτης.....                                                          | 31 |
| 2. Υλικά και μέθοδοι .....                                                           | 32 |
| 2.1 Σιτηρέσια .....                                                                  | 32 |
| 2.2 Πειραματικές συνθήκες εκτροφής .....                                             | 34 |

|                                                            |    |
|------------------------------------------------------------|----|
| 2.2.1 Μεταφορά και εγκλιματισμός ψαριών.....               | 34 |
| 2.2.2 Σύστημα εκτροφής.....                                | 34 |
| 2.2.3 Προετοιμασία νερού και παρακολούθηση ποιότητας ..... | 35 |
| 2.3 Δειγματοληψίες.....                                    | 35 |
| 2.4 Δείκτες ανάπτυξης ιχθύων και αξιοποίησης τροφής .....  | 36 |
| 2.4.1 Θνησιμότητα .....                                    | 36 |
| 2.4.2 Αύξηση ολικού βάρους.....                            | 36 |
| 2.4.3 Ποσοστό αύξησης ολικού βάρους.....                   | 36 |
| 2.4.4 Συντελεστής μετατρεψιμότητας τροφής.....             | 37 |
| 2.4.5 Ειδικός ρυθμός ανάπτυξης.....                        | 37 |
| 2.4.6 Συντελεστής αποδοτικότητας πρωτεϊνών .....           | 37 |
| 2.5 Στατιστική ανάλυση.....                                | 38 |
| 3. Αποτελέσματα.....                                       | 39 |
| 3.1 Θνησιμότητα.....                                       | 39 |
| 3.2 Αύξηση ολικού βάρους .....                             | 39 |
| 3.3 Ποσοστό αύξησης ολικού βάρους .....                    | 40 |
| 3.4 Συντελεστής μετατρεψιμότητας τροφής .....              | 41 |
| 3.5 Ειδικός ρυθμός ανάπτυξης .....                         | 42 |
| 3.6 Συντελεστής αποδοτικότητας πρωτεϊνών.....              | 43 |
| 4 Συζήτηση.....                                            | 45 |
| Συμπεράσματα .....                                         | 47 |
| Βιβλιογραφία.....                                          | 48 |

## Κατάλογος Εικόνων

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Εικόνα 1. Προσεγγιστικές συνθέσεις επιλεγμένων πηγών πρωτεϊνών που χρησιμοποιούνται σε ιχθυοτροφές. CP, ακατέργαστη πρωτεΐνη, ΕΕ, αιθερικό εκχύλισμα, ASH, τέφρα. Πηγή: Oliva-Teles et al., 2015a. ....                                                                                                                                                                | 12 |
| Εικόνα 2. Κυρίως καλλιεργούμενα είδη λούπινου.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 20 |
| Εικόνα 3. Λαβράκι ( <i>Dicentrarchus labrax</i> ). ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 23 |
| Εικόνα 4. Ημερήσιες μερίδες σίτισης λαβρακιού υψηλής απόδοσης (Eroldoğan et al., 2004). ....                                                                                                                                                                                                                                                                           | 28 |
| Εικόνα 5. Μέση αύξηση βάρους (g) νεαρών λαβρακιών ( <i>Dicentrarchus labrax</i> ) κατά την πειραματική περίοδο υπό διαφορετικές διατροφικές επεμβάσεις: Μάρτυρας (CTRL), Λούπινο 1 (Lupin 1), Λούπινο 2 (Lupin 2) και Λούπινο 3 (Lupin 3). Οι τιμές αντιπροσωπεύουν τη μέση αύξηση του σωματικού βάρους σε τρεις επαναλήψεις ανά αγωγή (n=3). ....                     | 39 |
| Εικόνα 6. Ποσοστό αύξησης ολικού βάρους (%) νεαρών λαβρακιών ( <i>Dicentrarchus labrax</i> ) κατά την πειραματική περίοδο υπό διαφορετικές διατροφικές επεμβάσεις: Μάρτυρας (CTRL), Λούπινο 1 (Lupin 1), Λούπινο 2 (Lupin 2 )και Λούπινο 3 (Lupin 3). Οι τιμές αντιπροσωπεύουν τη μέση αύξηση του σωματικού βάρους σε τρεις επαναλήψεις ανά αγωγή (n=3). ....          | 41 |
| Εικόνα 7. Συντελεστής μετατρεψιμότητας τροφής για τα νεαρά λαβράκια ( <i>Dicentrarchus labrax</i> ) κατά την πειραματική περίοδο υπό διαφορετικές διατροφικές επεμβάσεις: Μάρτυρας (CTRL), Λούπινο 1 (Lupin 1), Λούπινο 2 (Lupin 2 )και Λούπινο 3 (Lupin 3). Οι τιμές αντιπροσωπεύουν τη μέση αύξηση του σωματικού βάρους σε τρεις επαναλήψεις ανά αγωγή (n=3). ....   | 42 |
| Εικόνα 8. Ειδικός ρυθμός ανάπτυξης (%/ημέρα) για τα νεαρά λαβράκια ( <i>Dicentrarchus labrax</i> ) κατά την πειραματική περίοδο υπό διαφορετικές διατροφικές επεμβάσεις: Μάρτυρας (CTRL), Λούπινο 1 (Lupin 1), Λούπινο 2 (Lupin 2 )και Λούπινο 3 (Lupin 3). Οι τιμές αντιπροσωπεύουν τη μέση αύξηση του σωματικού βάρους σε τρεις επαναλήψεις ανά αγωγή (n=3). ....    | 43 |
| Εικόνα 9. Συντελεστής αποδοτικότητας πρωτεϊνών για τα νεαρά λαβράκια ( <i>Dicentrarchus labrax</i> ) κατά την πειραματική περίοδο υπό διαφορετικές διατροφικές επεμβάσεις: Μάρτυρας (CTRL), Λούπινο 1 (Lupin 1), Λούπινο 2 (Lupin 2 ) και Λούπινο 3 (Lupin 3). Οι τιμές αντιπροσωπεύουν τη μέση αύξηση του σωματικού βάρους σε τρεις επαναλήψεις ανά αγωγή (n=3). .... | 44 |

## Κατάλογος Πινάκων

|                                                                                                                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Πίνακας 1. Βιοδραστικά συστατικά που υπάρχουν στο ιχθυάλευρο και στα όσπρια. PC: συμπύκνωμα πρωτεΐνης· PI: Απομονωμένη πρωτεΐνη (Estensoro et al., 2016, Hussain et al., 2024)..... | 15 |
| Πίνακας 2. Περιεκτικότητα σε αμινοξέα (% της πρώτης ύλης) των προϊόντων οσπρίων σε σύγκριση με το ιχθυάλευρο (Estensoro et al., 2016, Hussain et al., 2024) .....                   | 18 |
| Πίνακας 3. Άλευρο λούπινου ως υποκατάστατο του ιχθυαλεύρου στη διατροφή διαφόρων ειδών ψαριών.....                                                                                  | 21 |
| Πίνακας 4. Χαρακτηριστικά των εμπορικών ιχθυοτροφών για το λαβράκι (Πηγή: Παπουτσόγλου 2008). .....                                                                                 | 25 |
| Πίνακας 5. Συστατικά και θρεπτική σύσταση των πειραματικών σιτηρεσίων.....                                                                                                          | 33 |

## Περίληψη

Η παρούσα μελέτη διερεύνησε τις επιπτώσεις της αντικατάστασης του σογιάλευρου με ενζυματικά επεξεργασμένο άλευρο λούπινου (*Lupinus albus*) στις δίαιτες (σιτηρέσια) νεαρών ιχθυδίων λαβρακιού (*Dicentrarchus labrax*) στην απόδοση ανάπτυξης, την αξιοποίηση της τροφής και την επιβίωση. Διαμορφώθηκαν τέσσερις ισοπρωτεϊνικές και ισοενεργειακές δίαιτες. Το σιτηρέσιο ελέγχου (Control) περιελάμβανε 20% ιχθυάλευρο και 15% σογιάλευρο. Στις υπόλοιπες τρεις πειραματικές δίαιτες, το ποσοστό συμπερίληψης του σογιάλευρου αντικαταστάθηκε μερικώς ή και ολικώς από άλευρο λούπινου επεξεργασμένο με εμπορική πρώτη ύλη πλούσια σε εξωγενή ένζυμα (Synergen, Alltech©) ως εξής: η δίαιτα Λούπινο 1 περιείχε 5% σογιάλευρο και 7,5% επεξεργασμένο άλευρο λούπινου, η δίαιτα Λούπινο 2 περιείχε 2,5% σογιάλευρο και 10% επεξεργασμένο άλευρο λούπινο και η δίαιτα Λούπινο 3 δεν περιείχε σογιάλευρο και περιείχε 12,5% επεξεργασμένο άλευρο λούπινου (πλήρης αντικατάσταση). Διεξήχθη μια δοκιμή σίτισης 48 ημερών στις υδατοκαλλιεργητικές εγκαταστάσεις του Τμήματος Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας χρησιμοποιώντας ένα κλειστό σύστημα ανακύκλωσης νερού. Αξιολογήθηκαν δείκτες απόδοσης ανάπτυξης, όπως η αύξηση βάρους, το ποσοστό αύξησης βάρους, ο συντελεστής μετατρεψιμότητας τροφής (FCR), ο ειδικός ρυθμός ανάπτυξης (SGR) και ο συντελεστής αποδοτικότητας πρωτεϊνών (PER). Καθ' όλη τη διάρκεια της πειραματικής περιόδου, όλες οι διατροφικές μεταχειρίσεις παρουσίασαν ικανοποιητική απόδοση ανάπτυξης και επιβίωσης των νεαρών ιχθυδίων *Dicentrarchus labrax*. Δεν παρατηρήθηκε καμία θνησιμότητα σε όλες τις πειραματικές ομάδες, υποδεικνύοντας ότι καμία από τις δίαιτες – είτε αυτής του ελέγχου είτε εκείνων που περιείχαν ενζυματικά επεξεργασμένο άλευρο λούπινου- δεν επηρέασε αρνητικά την υγεία των ψαριών. Σε όλους τους βασικούς δείκτες ανάπτυξης και αξιοποίησης των τροφών - αύξηση βάρους, ποσοστό αύξησης βάρους, συντελεστής μετατρεψιμότητας τροφής (FCR), ειδικός ρυθμός ανάπτυξης (SGR) και συντελεστής αποδοτικότητας πρωτεϊνών (PER) - οι πειραματικές ομάδες που έλαβαν δίαιτες με βάση το λούπινο είχαν συγκρίσιμη απόδοση με την ομάδα ελέγχου. Συνολικά, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι μπορεί να επιτευχθεί έως και πλήρης αντικατάσταση του αλεύρου σόγιας με επεξεργασμένο με πολυένζυμα λούπινο χωρίς αρνητικές επιπτώσεις στην ανάπτυξη ή την αξιοποίηση των τροφών στο ευρωπαϊκό λαβράκι. Δεδομένων των αυξανόμενων οικονομικών και περιβαλλοντικών πιέσεων στην προσφορά σόγιας, αυτά τα ευρήματα προσφέρουν πολύτιμη πληροφορία για τις δυνατότητες εναλλακτικών πηγών φυτικής πρωτεΐνης.

**Λέξεις-κλειδιά:** Ευρωπαϊκό λαβράκι, άλευρο λούπινου, εναλλακτικές πρωτεΐνες, απόδοση ανάπτυξης ψαριών, βιωσιμότητα ιχθυοτροφών

## Abstract

The present study investigated the effects of replacing soybean meal with enzymatically processed lupin (*Lupinus albus*) meal in diets of juvenile sea bass (*Dicentrarchus labrax*) on growth performance, feed utilization and survival. Four isoprotein and isoenergy diets were formulated. The control diet contained 20% fishmeal and 15% soybean meal. In the remaining three experimental diets, the percentage of soybean meal inclusion was partially or completely replaced by lupin meal processed with a commercial raw material rich in exogenous enzymes (Synergen, Alltech©) as follows: diet Lupin 1 contained 5% soybean meal and 7.5% processed lupin meal, diet Lupin 2 contained 2.5% soybean meal and 10% processed lupin meal and diet Lupin 3 contained no soybean meal and contained 12.5% processed lupin meal (complete replacement). A 48-day feeding trial was conducted at the aquaculture facilities of the Department of Agriculture, Ichthyology and Aquatic Environment of the University of Thessaly using a closed water recycling system. Growth performance indices such as weight gain, weight gain percentage, feed conversion ratio (FCR), specific growth rate (SGR) and protein efficiency ratio (PER) were evaluated. Throughout the experimental period, all dietary treatments showed satisfactory growth and survival performance of *Dicentrarchus labrax* juveniles. No mortality was observed in all experimental groups, indicating that none of the diets – either the control or those containing enzymatically processed lupin meal – negatively affected the health of the fish. In all key growth and feed utilization indices - weight gain, weight gain percentage, feed conversion ratio (FCR), specific growth rate (SGR) and protein efficiency ratio (PER) - the experimental groups fed the lupin-based diets performed comparable to the control group. Overall, the results show that up to a complete replacement of soybean meal with polyezyme-treated lupin can be achieved without negative effects on growth or feed utilization in European sea bass. Given the increasing economic and environmental pressures on soybean supply, these findings provide valuable information on the potential of alternative plant protein sources.

**Keywords:** European sea bass, lupin meal, alternative proteins, fish growth performance, fish feed sustainability

# 1. Εισαγωγή

## 1.1 Υποκατάσταση ιχθυαλεύρου στις ιχθυοτροφές

Οι ιχθύες αποτελούν μια κύρια και οικονομικά προσιτή πηγή πρωτεΐνης για πάνω από 950 εκατομμύρια ανθρώπους παγκοσμίως, παρέχοντας περίπου το 16% της συνολικής πρόσληψης ζωικής πρωτεΐνης (FAO, 2024). Η υψηλής ποιότητας, εύπεπτη πρωτεΐνη τους περιέχει όλα τα απαραίτητα αμινοξέα (EAA), καθιστώντας τα διατροφικά ανώτερα από πολλές χερσαίες πηγές πρωτεΐνης όπως το βοδινό κρέας, το γάλα και τα αυγά (UN Nutrition, 2021). Επιπλέον, τα ψάρια αποτελούν πλούσια πηγή ωμέγα-3 λιπαρών οξέων, βιταμινών (συμπεριλαμβανομένων των βιταμινών D και A) και βασικών μετάλλων και ιχνοστοιχείων όπως ο φώσφορος, το σελήνιο, το ιώδιο, ο ψευδάργυρος και ο σίδηρος, τα οποία συχνά λείπουν από τις χερσαίες πρωτεϊνούχες τροφές (Khalili Tilami & Sampels, 2018). Ως εκ τούτου, τα ψάρια και τα προϊόντα που προέρχονται από ψάρια διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στην κάλυψη των παγκόσμιων διατροφικών απαιτήσεων τόσο στις ανεπτυγμένες όσο και στις αναπτυσσόμενες χώρες (Fiorella et al., 2021, Tacon & Metian, 2015, UN Nutrition, 2021, Zhou et al., 2015)

Με την ταχεία αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού και την παράλληλη αύξηση της ζήτησης ιχθυηρών, η υδατοκαλλιέργεια έχει αναδειχθεί ως ένα βιώσιμο μέσο παραγωγής υψηλής ποιότητας πρωτεΐνης. Περιλαμβάνει την ελεγχόμενη εκτροφή υδρόβιων ζώων - όπως ψάρια, καρκινοειδή και μαλάκια - καθώς και υδρόβιων φυτών. Η υδατοκαλλιέργεια όχι μόνο βοηθά στην αντιμετώπιση των παγκόσμιων ελλείψεων τροφίμων, αλλά συμβάλλει επίσης σημαντικά στην επισιτιστική ασφάλεια και την αγροτική απασχόληση, ιδίως στις αναπτυσσόμενες χώρες. Από το 1970, η υδατοκαλλιέργεια έχει αυξηθεί με ετήσιο ρυθμό περίπου 7,5%, καθιστώντας την έναν από τους ταχύτερα αναπτυσσόμενους τομείς παραγωγής τροφίμων (Fiorella et al., 2021).

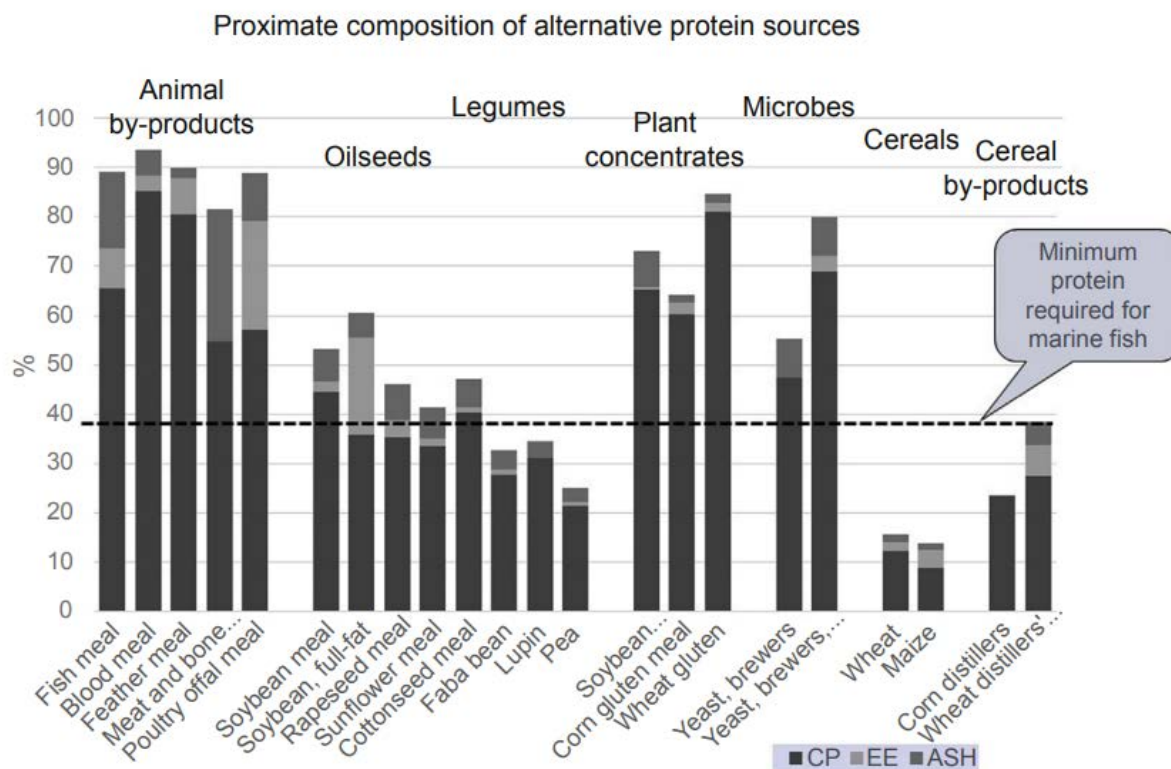
Το ιχθυάλευρο αποτελεί παραδοσιακά ακρογωνιαίο λίθο των βιομηχανικά παρασκευασμένων ιχθυοτροφών λόγω του πλούσιου θρεπτικού του προφίλ. Είναι μια εξαιρετική πηγή υψηλής ποιότητας πρωτεΐνης με ισορροπημένη σύνθεση αμινοξέων, ωμέγα-3 πολυακόρεστων λιπαρών οξέων, βιταμινών (A, D, E, B12, βιοτίνη και χολίνη), μετάλλων και ιχνοστοιχείων όπως ιώδιο και σελήνιο. Η υψηλή πεπτικότητα και η γευστικότητά του το καθιστούν ιδανικό συστατικό τροφής για υδρόβια είδη. Τα εμπορικά ιχθυάλευρα παράγονται κυρίως από μικρά, άγρια αλιευμένα πελαγικά είδη ψαριών που δεν καταναλώνονται συνήθως από τον άνθρωπο, όπως γαύρος, σαρδέλες, παπαλίνες, αθερίνες και ρέγγες. Ένα μικρότερο ποσοστό προέρχεται από τα υποπροϊόντα της επεξεργασίας ιχθυηρών. Το ιχθυάλευρο υψηλής ποιότητας συνήθως περιέχει 60-72% πρωτεΐνη και 4-20% λιπίδια κατά βάρος (Oliva-Teles et

al., 2015a; Tacon et al., 2011). Καθώς η παραγωγή υδατοκαλλιέργειας εντατικοποιείται, αυξάνεται και η ζήτηση για ιχθυάλευρα. Ωστόσο, η βιωσιμότητα των ιχθυάλευρων αμφισβητείται ολοένα και περισσότερο. Η υπεραλίευση άγριων αποθεμάτων για την παραγωγή ιχθυάλευρων έχει οδηγήσει σε οικολογικές ανησυχίες και κανονιστικούς περιορισμούς, μειώνοντας έτσι τη διαθεσιμότητά τους (Zhou et al., 2015). Επιπλέον, οι τιμές των ιχθυάλευρων έχουν αυξηθεί κατά σχεδόν 300% τα τελευταία χρόνια λόγω της περιορισμένης προσφοράς και της αυξημένης ζήτησης (Beal et al., 2018). Το κόστος των ιχθυοτροφών αντιπροσωπεύει πλέον περισσότερο από το 50% των συνολικών εξόδων παραγωγής υδατοκαλλιέργειας (Beal et al., 2018; Zhou et al., 2015). Η υπερβολική χρήση ιχθυάλευρων συμβάλλει επίσης στην υποβάθμιση του περιβάλλοντος, ιδίως μέσω της ρύπανσης των υδάτων που σχετίζεται με χαμηλή απορρόφηση του φωσφόρου από τα ψάρια και την ταυτόχρονα υψηλή περιεκτικότητά τους σε φώσφορο (Ye et al., 2020). Δεδομένου ότι τα ιχθυάλευρα είναι ένας πεπερασμένος πόρος, η εξάρτηση από αυτά ως μοναδική πηγή πρωτεΐνης στις ιχθυοτροφές δεν είναι πλέον βιώσιμη.

Η αναζήτηση εναλλακτικών, οικονομικά αποδοτικών και βιώσιμων πηγών πρωτεΐνης έχει γίνει προτεραιότητα για τον κλάδο της υδατοκαλλιέργειας. Αρκετές ολοκληρωμένες ανασκοπήσεις έχουν διερευνήσει τις δυνατότητες εναλλακτικών πηγών πρωτεΐνης στις ιχθυοτροφές. Μεταξύ αυτών, τα συστατικά ζωοτροφών φυτικής προέλευσης έχουν αναδειχθεί ως κορυφαίοι υποψήφιοι, ειδικά για τα παμφάγα και φυτοφάγα είδη ψαριών (Aragão et al., 2022; Gatlin et al., 2007). Στα σαρκοφάγα είδη ψαριών - όπου οι διατροφικές απαιτήσεις σε πρωτεΐνες είναι ιδιαίτερα υψηλές - οι εναλλακτικές λύσεις για την παραγωγή ιχθυοτροφών είναι πιο περιορισμένες και συνήθως περιλαμβάνουν πλούσια σε πρωτεΐνες φυτικά συμπυκνώματα, άλευρα ελαιούχων σπόρων, ζωικά υποπροϊόντα και μικροβιακές πρωτεΐνες (Tacon et al., 2015).

Τα συμπυκνώματα φυτικών πρωτεϊνών όπως το άλευρο γλουτένης καλαμποκιού, το συμπύκνωμα πρωτεΐνης σόγιας, η γλουτένη σίτου, το συμπύκνωμα πρωτεΐνης μπιζελιού και το συμπύκνωμα πρωτεΐνης ελαιοκράμβης έχουν επίπεδα πρωτεΐνης που κυμαίνονται από 60% έως 80% (Εικ. 1) και είναι σχεδόν απαλλαγμένα από αντιθρεπτικούς παράγοντες. Αυτά τα συστατικά αποτελούν πολλά υποσχόμενα υποκατάστατα στις δίαιτες των σαρκοφάγων ψαριών, με ποσοστά συμπερίληψης που κυμαίνονται από 10% έως 60% σε πειραματικές τροφές, αντικαθιστώντας έως και 100% της πρωτεΐνης του ιχθυαλεύρου (Oliva-Teles et al. 2015a). Ωστόσο, το κόστος παραμένει ένας περιοριστικός παράγοντας, καθώς πολλά συμπυκνώματα εξακολουθούν να είναι ακριβά λόγω των απαιτήσεων επεξεργασίας. Επιπλέον, ορισμένα συστατικά (π.χ. γλουτένη καλαμποκιού) μπορούν να προκαλέσουν

ανεπιθύμητη χρώση στη σάρκα των ψαριών εάν χρησιμοποιηθούν σε υψηλά επίπεδα (Gibson Gaylord et al., 2007).



Εικόνα 1. Προσεγγιστικές συνθέσεις επιλεγμένων πηγών πρωτεϊνών που χρησιμοποιούνται σε ιχθυοτροφές. CP, ακατέργαστη πρωτεΐνη, EE, αιθερικό εκχύλισμα, ASH, τέφρα. Πηγή: Oliva-Teles et al., 2015a.

Τα άλευρα ελαιούχων σπόρων - όπως το άλευρο σόγιας, βαμβακόσπορου, ελαιοκράμβης και ηλίανθου - είναι ευρύτερα διαθέσιμα και σε ανταγωνιστικές τιμές, με περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες μεταξύ 38% και 52% (Εικ. 1). Το άλευρο σόγιας είναι ιδιαίτερα σημαντικό λόγω της παγκόσμιας διαθεσιμότητάς του και του σχετικά ευνοϊκού προφίλ θρεπτικών συστατικών. Ωστόσο, στους περιορισμούς περιλαμβάνονται οι ελλείψεις ΕΑΑ (π.χ. χαμηλή μεθειονίνη στη σόγια, χαμηλή λυσίνη στον ελαιοκράμβη και τον ηλίανθο), η παρουσία αντιθρεπτικών παραγόντων (π.χ. φυτικό οξύ, τανίνες) και η μειωμένη γευστικότητα. Μέθοδοι επεξεργασίας όπως η αποφλοίωση, η θερμική επεξεργασία και η επιλεκτική αναπαραγωγή έχουν εφαρμοστεί για τη βελτίωση της θρεπτικής ποιότητας και τη μείωση των αντιθρεπτικών ενώσεων (Tacon et al., 2011).

Τα ψυχανθή, συμπεριλαμβανομένων των μπιζελιών (*Pisum sativum*), των λούπινων (*Lupinus spp*) και των κουκιών (*Vicia faba*), αναδύονται ως συμπληρωματικές πηγές πρωτεΐνης στις ιχθυοτροφές. Ενώ η περιεκτικότητά τους σε πρωτεΐνη (22-37%, Εικ. 1) είναι σχετικά χαμηλή σε σύγκριση με τα συμπυκνώματα πρωτεΐνης, τα όσπρια μπορούν να

αντικαταστήσουν το 10-30% της πρωτεΐνης οργανικών θρεπτικών συστατικών σε πειραματικές δίαιτες, με τα επίπεδα συμπερίληψης να φτάνουν έως και το % (Oliva-Teles et al., 2015a; Tacon et al., 2011).

Ωστόσο, η χρήση τους συνήθως περιορίζεται στο 10-15% σε εμπορικές δίαιτες για σαρκοφάγα είδη λόγω ανισορροπιών αμινοξέων (χαμηλή περιεκτικότητα σε μεθειονίνη και λυσίνη), υψηλής περιεκτικότητας σε φυτικές ίνες και αντιθρεπτικών ενώσεων όπως οι μη αμυλούχοι πολυσακχαρίτες (NSP) και τα αλκαλοειδή (κυρίως στα λούπινα). Σήμερα, αναπτύσσονται νέες ποικιλίες χαμηλών αλκαλοειδών για την αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων (Jiang et al., 2019; Oliva-Teles et al., 2015b; Tacon & Metian, 2015).

Δημητριακά όπως το σιτάρι και το καλαμπόκι, με περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες 8–12%, ενσωματώνονται κυρίως για την περιεκτικότητα σε άμυλο και την ενεργειακή τους αξία. Χρησιμοποιούνται συνήθως σε επίπεδα συμπερίληψης 10–20% στις δίαιτες των σαρκοφάγων ψαριών, συμβάλλοντας μέτρια στις απαιτήσεις πρωτεΐνης αλλά βοηθώντας στη μείωση του κόστους των ζωοτροφών.

Συνοψίζοντας, ένα ευρύ φάσμα εναλλακτικών λύσεων για τις φυτικές πρώτες ύλες αξιολογούνται για χρήση σε υδατοτροφές. Τα συμπυκνώματα φυτικών πρωτεϊνών και τα άλευρα ελαιούχων σπόρων, ειδικότερα, προσφέρουν σημαντικές δυνατότητες για τη μείωση της εξάρτησης από φυτικές πρώτες ύλες, υποστηρίζοντας παράλληλα τη βιωσιμότητα της υδατοκαλλιέργειας. Ωστόσο, απαιτείται προσεκτική σύνθεση για την εξισορρόπηση των θρεπτικών συστατικών, τον περιορισμό των αντιθρεπτικών επιδράσεων και τη διατήρηση της γευστικότητας της τροφής και της απόδοσης των ψαριών (Tacon & Metian, 2015).

Παρ' όλα αυτά, η ενσωμάτωση φυτικών πρωτεϊνών στις ιχθυοτροφές αυξάνεται σταθερά. Το 2008, ο τομέας της υδατοκαλλιέργειας κατανάλωσε 3,72 εκατομμύρια τόνους ιχθυαλεύρων - περίπου το 60,8% της παγκόσμιας παραγωγής οργανικών υδατοτροφών (FAO, 2024). Αντίθετα, οι φυτικές πρωτεΐνες όπως το σογιάλευρο χρησιμοποιήθηκαν σε ακόμη μεγαλύτερες ποσότητες, με 6,8 εκατομμύρια τόνους (25,1% του συνόλου των ιχθυοτροφών) να καταναλώνονται κατά την ίδια περίοδο. Άλλα συνήθως χρησιμοποιούμενα φυτικά συστατικά περιλαμβάνουν άλευρο γλουτένης καλαμποκιού, όσπρια, άλευρα ελαιούχων σπόρων (π.χ. ελαιοκράμβη) και υποπροϊόντα δημητριακών (όπως πίτουρο σιταριού, πίτουρο ρυζιού, πίτουρο βρώμης κα). Καθώς τα συστατικά των φυτικών τροφών συνεχίζουν να αντικαθιστούν τα ιχθυάλευρα, αυτή η τάση αναμένεται να βελτιώσει την οικονομική βιωσιμότητα και να προωθήσει τη μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα του κλάδου της υδατοκαλλιέργειας (Oliva-Teles et al., 2015a).

## 1.2 Τα όσπρια ως βασικές πηγές πρωτεΐνης στα σιτηρέσια των εκτρεφόμενων ιχθύων

Τα ψυχανθή (όσπρια), που ανήκουν στην οικογένεια *Fabaceae* (*Leguminosae*), αντιπροσωπεύουν την τρίτη μεγαλύτερη ομάδα ανθοφόρων φυτών, που περιλαμβάνει περίπου 770 γένη και πάνω από 19.500 είδη. Μέσα σε αυτήν την οικογένεια, η υποοικογένεια *Faboideae* έχει ιδιαίτερη οικονομική σημασία, παράγοντας μια ποικιλία καλλιεργειών, όπως ξηρούς σπόρους (π.χ. φακές, φάβα, μπιζέλια), αρωματικές ουσίες (π.χ. χαρούπι, λούπινα), κτηνοτροφικές καλλιέργειες (π.χ. μηδική) και ελαιούχους σπόρους (π.χ. σόγια και φιστίκια). Οι σπόροι αυτών των φυτών χρησιμεύουν ως τα κύρια συστατικά που χρησιμοποιούνται σε σκευάσματα υδατοτροφών. Από το 2020, ο παγκόσμιος όγκος παραγωγής για επιλεγμένα όσπρια περιελάμβανε φιστίκια (48,76 εκατομμύρια τόνους), ξερά μπιζέλια (14,25 MT), ρεβίθια (14,18 MT), μαυρομάτικα μπιζέλια (8,79 MT), φακές (5,73 MT) και λούπινα (1,01 MT) (Estensoro et al., 2016; Hussain et al., 2024).

### 1.2.1 Σόγια (*Glycine max*)

Η σόγια είναι ο πιο ευρέως καλλιεργημένος ελαιούχος σπόρος παγκοσμίως και αποτελεί την κορυφαία εναλλακτική πηγή πρωτεΐνης για την αντικατάσταση των ιχθυαλεύρων (FM) λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς της σε πρωτεΐνες (~40%), του ευνοϊκού προφίλ ΕΑΑ και της ευρείας διαθεσιμότητάς της. Οι πρόοδοι στη γενετική μηχανική έχουν επίσης βελτιώσει τα χαρακτηριστικά της σόγιας ειδικά για χρήση στην υδατοκαλλιέργεια (Park et al., 2017). Το 2020, η παγκόσμια παραγωγή σόγιας έφτασε τους 336,7 MT, με προβλέψεις για 371,3 MT έως το 2030, αυξανόμενη με ετήσιο ρυθμό 1,8%.

Πίνακας 1. Βιοδραστικά συστατικά που υπάρχουν στο ιχθυάλευρο και στα όσπρια. PC: συμπύκνωμα πρωτεΐνης· PI: Απομονωμένη πρωτεΐνη (Estensoro et al., 2016, Hussain et al., 2024)

| Βιοδραστικές ενώσεις                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |
|-----------------------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|
|                                               | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
| Ιχθυάλευρο                                    | • | • | • |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |
| Σόγια                                         | • |   |   | • |   | • | • | • | • |    | •  |    | •  | •  |    |    | •  |
| Φασόλια Faba                                  |   |   |   | • |   | • | • |   | • |    |    | •  | •  |    |    |    | •  |
| Λούπινο                                       |   |   |   | • |   | • | • |   | • |    |    | •  |    | •  | •  | •  |    |
| Μπιζέλια                                      |   |   |   | • | • | • | • |   | • | •  | •  | •  | •  |    |    | •  |    |
| Καρύδια<br>μπιζελιού                          |   |   |   | • | • |   | • |   | • |    |    | •  |    |    | •  |    |    |
| Μηδική                                        |   |   |   |   |   | • |   |   | • |    | •  | •  |    | •  | •  |    |    |
| άλευρο<br>φύτρων<br>σπόρων<br>χαρουπιού       |   |   |   | • |   | • |   |   | • |    |    | •  |    |    |    |    |    |
| Σόγια/Λούπινο<br>/Μπιζέλι/Φάμπ<br>α/Μηδική PC |   |   |   |   |   | • | • |   | • |    |    | •  |    |    |    |    |    |
| Σόγια/Λούπινο<br>/Μπιζέλι PI                  |   |   |   |   |   | • |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |
| Νέες ποικιλίες                                |   |   |   | • | • | • | • |   | • |    | •  |    |    |    |    |    | •  |

1 Οξειδωμένα και πολυμερισμένα λιπίδια, 2 Ισταμίνη και πουτρεσκίνη, 3 Νιτοζαμίνες, 4 Αναστολείς πρωτεάσης/θρυψίνης, 5 Αναστολείς αμυλάσης, 6 Σαπωνίνες, 7 Φυτικό οξύ, 8 Γλυκοζινολικά, 9 Στερόλες, 10 Οξαλικό, 11 Αντιβιταμίνες, 12 Πολυφαινόλες/Ταννίνες, 13 Λεκτίνες, 14 Φυτοοιστρογόνα, 15 Αλκαλοειδή, 16 Κυανόγόνα, 17Αντιγονικές πρωτεΐνες

Μετά την εκχύλιση ελαίου, η σόγια αποδίδει ένα πλούσιο σε πρωτεΐνες κέικ που μεταποιείται σε μια ποικιλία προϊόντων ζωοτροφών με βάση τη σόγια, όπως άλευρο σόγιας (SBM), SBM πλήρους λιπαρών, συμπύκνωμα πρωτεΐνης σόγιας (SPC), απομονωμένη πρωτεΐνη σόγιας (SPI), υδρόλυμα πρωτεΐνης σόγιας (SPH) και SBM που έχει υποστεί ζύμωση (FSBM).

### **1.2.2 Άλευρο σόγιας (SBM)**

Το μη επεξεργασμένο SBM συνήθως περιέχει 30-50% πρωτεΐνη και 30% υδατάνθρακες, συμπεριλαμβανομένων ολιγοσακχαριτών (π.χ., σταχυόζη, ραφινόζη), αμύλου και μη αμυλούχων πολυσακχαριτών (NSP). Ενώ το SBM είναι πλούσιο σε πολλά αμινοξέα, τα επίπεδα λυσίνης, μεθειονίνης, θρεονίνης και άλλων (π.χ., ταυρίνης και τυροσίνης) είναι γενικά χαμηλότερα από το FM (Salze et al., 2010). Οι μέθοδοι επεξεργασίας όπως η θερμική επεξεργασία, η εκχύλιση με διαλύτη και η ζύμωση μπορούν να βελτιώσουν την ποιότητα της πρωτεΐνης και να μειώσουν τους αντι-θρεπτικούς παράγοντες (ANF) (Estensoro et al., 2016, Hussain et al., 2024).

### **1.2.3 Συμπύκνωμα Πρωτεΐνης Σόγιας (SPC)**

Το SPC παράγεται από SBM μέσω υδατικής εκχύλισης με αλκοόλη, η οποία συγκεντρώνει την περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη (~70%) και απομακρύνει τους περισσότερους διαλυτούς υδατάνθρακες και ANFs. Η βελτιωμένη πεπτικότητα και το προφίλ ΕΑΑ καθιστούν το SPC ένα ελκυστικό συστατικό για ιχθυοτροφές (Gamboa-Delgado et al., 2013).

### **1.2.4 Απομονωμένη Πρωτεΐνη Σόγιας (SPI)**

Το SPI, που προέρχεται μέσω υδατικής εκχύλισης SBM με ελεγχόμενο pH, προσφέρει συγκεντρώσεις πρωτεΐνης που υπερβαίνουν το 78%. Σε αντίθεση με το SPC, το SPI διατηρεί περισσότερες σαπωνίνες (~0,8%) λόγω της απουσίας σταδίου εκχύλισης με αλκοόλη. Η υψηλή πεπτικότητα του SPI, ακόμη και σε χαμηλότερα ποσοστά συμπερίληψης, έχει αποδειχθεί ευεργετική σε είδη όπως η πέστροφα (*Oncorhynchus mykiss*) όταν χρησιμοποιείται για την αντικατάσταση έως και 40% του FM (Glencross et al., 2005).

### **1.2.5 Υδρόλυμένη Πρωτεΐνη Σόγιας (SPH)**

Η SPH λαμβάνεται μέσω ενζυματικής υδρόλυσης χρησιμοποιώντας ενδο- και εξωπεπτιδάσες (π.χ., αμινοπεπτιδάση λευκίνης) που προέρχονται από μικροβιακή ζύμωση. Αυτή η διαδικασία διασπά τις πρωτεΐνες σε μικρότερα μόρια, πεπτίδια, υψηλής πεπτικότητας,

διαλυτά, χαμηλού μοριακού βάρους και ελαχιστοποιεί τα ANF. Η SPH προσφέρει επίσης λειτουργικά οφέλη για την υγεία λόγω των βιοδραστικών πεπτιδίων της με αντιοξειδωτικές και ανοσοδιεγερτικές ιδιότητες (Maruyama et al., 2003).

### **1.2.6 Ενσίρωμα Σογιάλευρου (FSBM)**

Η ζύμωση ενισχύει τη θρεπτική αξία της SBM και μειώνει τα ANF μέσω μικροβιακής δράσης (π.χ., *Saccharomyces cerevisiae*, *Aspergillus niger*, *Bacillus spp.*). Η FSBM περιέχει περίπου 10% περισσότερη πρωτεΐνη από την ακατέργαστη SBM, με βελτιωμένη βιοδιαθεσιμότητα μετάλλων, ενζυμική δραστηριότητα (π.χ., τρυψίνη) και υψηλότερη πεπτικότητα θρεπτικών συστατικών. Ανάλογα τον μικροοργανισμό που θα χρησιμοποιηθεί μπορεί να παρέχει επίσης προβιοτικά οφέλη (Dawood & Koshio, 2020).

### **1.2.7 Γενετικά τροποποιημένη σόγια**

Γενετικώς τροποποιημένες (ΓΤ) σειρές σόγιας έχουν αναπτυχθεί για να εκφράζουν νέα χαρακτηριστικά όπως ενισχυμένα πολυακόρεστα λιπαρά οξέα μακράς αλυσίδας ω-3 (π.χ., εικοσαπενταενοϊκό οξύ, EPA) και καροτενοειδή (π.χ., ασταξανθίνη). Ορισμένες ΓΤ ποικιλίες έχουν αυξημένη συσσώρευση β-καροτίνης (~800 μg/g) και περιεκτικότητα σε EPA (~5%). Δεδομένης της υψηλής αξίας της ασταξανθίνης (>200 εκατομμύρια δολάρια ΗΠΑ ετησίως), τέτοια χαρακτηριστικά είναι πολλά υποσχόμενα για υδατοτροφές υψηλής αξίας που στοχεύουν σε σολομοειδή και γαρίδες (Higuera-Ciapara et al., 2006).

### **1.2.8 Μπιζέλι (*Pisum sativum*)**

Τα μπιζέλια προσφέρουν μια πολλά υποσχόμενη εναλλακτική πηγή πρωτεΐνης λόγω της περιεκτικότητάς τους σε εύπεπτο άμυλο (40–50%) και των μέτριων επιπέδων πρωτεΐνης (21–25%). Ενώ τα μπιζέλια δεν έχουν αναστολείς θρυψίνης, περιέχουν υψηλά επίπεδα σαπωνινών και έχουν χαμηλότερα επίπεδα μεθειονίνης σε σύγκριση με τη σόγια. Το συμπύκνωμα πρωτεΐνης μπιζελιού (PPC) βελτιώνει την περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες και μειώνει τους αντιδιατροφικούς παράγοντες (ANFs), ενισχύοντας την καταλληλότητα του στις ιχθυοτροφές. Τεχνικές όπως η εξώθηση μπορούν να βελτιώσουν περαιτέρω την πεπτικότητα (Cruz-Suarez et al., 2001).

Πίνακας 2. Περιεκτικότητα σε αμινοξέα (% της πρώτης ύλης) των προϊόντων οσπρίων σε σύγκριση με το ιχθυάλευρο (Estensoro et al., 2016, Hussain et al., 2024)

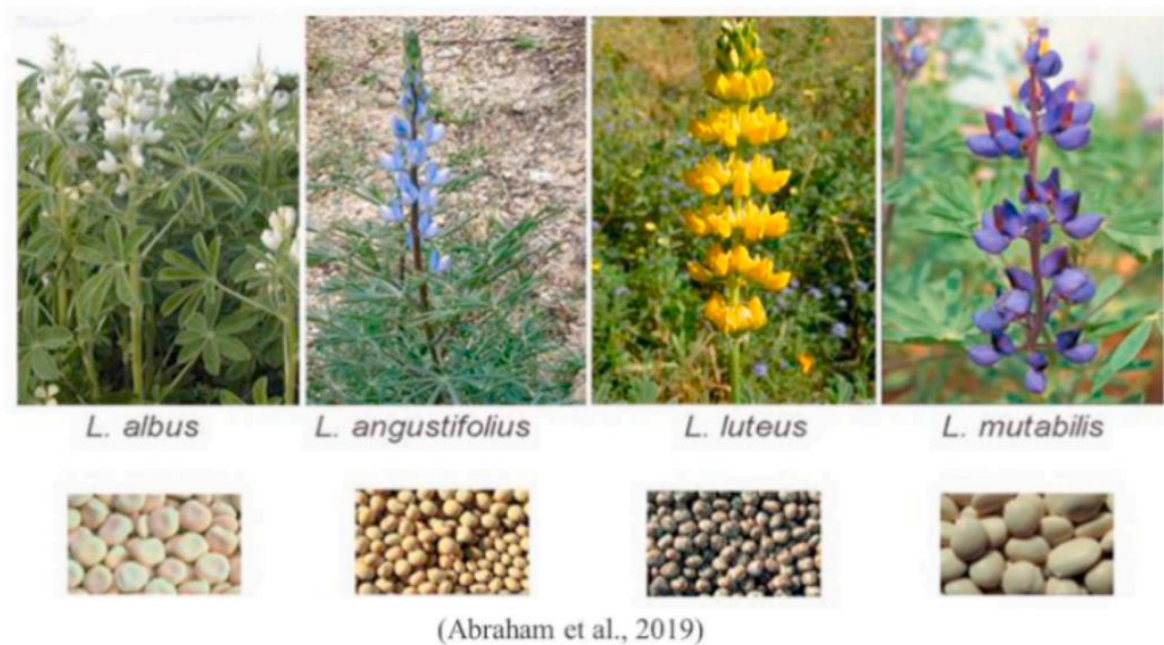
|                                                        | Πρωτεΐνη (%) | Lys(CS)     | Met(CS)     | Cys  | Arg(CS)     | Trp  | Leu(CS)     | Ile(CS)     | Phe  | His  | Thr(CS)     | Tyr  | Val  | Arg/Lys (CS) | Met/Lys (CS) |
|--------------------------------------------------------|--------------|-------------|-------------|------|-------------|------|-------------|-------------|------|------|-------------|------|------|--------------|--------------|
| Ιχθυάλευρο                                             | 70           | 7.5         | 2.7         | 0.8  | 6.2         | 0.6  | 7.2         | 4.2         | 3.8  | 2.4  | 4.1         | 2.7  | 4.9  | 0.83         | 0.36         |
| Κουκιά Faba                                            | 29.0         | 6.3 (16↓)   | 0.8(70.4↓)  | 1.2  | 9.0(45.2↑)  | 0.3  | 7.1(1.4↓)   | 4.1(2.4↓)   | 4.0  | 2.6  | 3.5(14.6↓)  | 1.2  | 4.6  | 1.43(72.3↑)  | 0.13(64↓)    |
| Κουκιά Faba PC                                         | 63           | 6.63(11.6↓) | 0.71(73.7↓) | 1.1  | 8.68(40↑)   | 1    | 7.57(       | 4.1(2.4↓)   | 4.35 | 2.5  | 3.49(14.9↓) | 3.35 | 4.48 | 1.31(57.8↑)  | 0.11(69.4↓)  |
| Λούπινο ( <i>Lupinus angustifolius</i> )               | 33.8         | 4.7(37.3↓)  | 0.7(74.1↓)  | 1.5  | 11.0(77.4↑) |      | 6.9(4.2↓)   | 4.2(=)      | 4.0  | 2.7  | 3.4(17.1↓)  | 3.6  | 3.9  | 2.34(182↑)   | 0.15(58.3↓)  |
| Αλεύρι αποφλοιωμένου λούπινου ( <i>Lupinus albus</i> ) | 42           | 5(33.3↓)    | 0.8(70.4↓)  | 1.6  | 11.3(82.3↑) |      | 7.3(1.4↑)   | 4.2(=)      | 3.9  | 2.3  | 3.8(7.3↓)   | 4.8  | 4    | 2.26(172.3↑) | 0.16(55.6↓)  |
| Λούπινο PI                                             | 61           | 3.44(54.1↓) | 0.6(77.8↓)  | 0.33 | 9.02(45.5↑) |      | 5.25(27.1↓) | 2.46(41.4↓) | 2.95 | 1.97 | 2.62(36.1↓) | 3.11 | 2.29 | 2.62(215.7↑) | 0.17(52.8↓)  |
| Ζυμωμένο λούπινο                                       | 40           | 5.57(25.7↓) | 0.82(69.6↓) | 1.4  | 9.75(57.3↑) | 0.83 | 7.3(1.4↑)   | 4.6(9.5↑)   | 4.25 | 3.3  | 4.1(=)      | 4.25 | 4.75 | 1.75(110.8↑) | 0.15(58.3↓)  |
| Σπόροι μπιζελιού                                       | 23.9         | 7.2(4↓)     | 1.0(63↓)    | 1.4  | 8.4(35.5↑)  |      | 7.1(1.4↓)   | 4.2(=)      | 4.7  | 2.5  | 3.8(7.3↓)   | 3.1  | 4.8  | 1.17(41↑)    | 0.14(61.1↓)  |
| Αριθμός μπιζελιού PC                                   | 46.5         | 7.61(1.5↑)  | 0.9(66.7↓)  | 1.25 | 8.32(34.2↑) | 0.99 | 7.31(1.5↓)  | 4.26(1.4↑)  | 4.95 | 2.39 | 3.51(14.4↓) | 3.31 | 4.73 | 1.1(32.5↑)   | 0.12(66.7↓)  |
| Αλεύρι PI                                              | 80           | 6(20↓)      | 0.78(71.1↓) | 0.25 | 7.4(19.4↑)  |      | 7.13(1↓)    | 3(28.6↓)    | 4.75 | 2    | 3.13(23.7↓) | 3.25 | 3.5  | 1.23(48↑)    | 0.78(116.7↑) |

|                                                 |           |             |             |      |             |      |             |             |      |      |             |     |      |             |             |
|-------------------------------------------------|-----------|-------------|-------------|------|-------------|------|-------------|-------------|------|------|-------------|-----|------|-------------|-------------|
| Αλεύρι σόγιας<br>πλήρους λιπαρών                | 36        | 6.3(16↓)    | 1.29(52.2↓) |      | 7.44(20↑)   | 1.44 | 7.08(1.7↓)  | 5.31(26.4↑) | 5.2  | 2.58 | 4.18(2↑)    |     | 4.97 | 1.18(42↑)   | 0.20(44.4↓) |
| Σόγια<br>(ολόκληρη)                             | 43.5–49.3 | 6.3(16↓)    | 1.4(48.2↓)  | 1.6  | 7.5(21↑)    | 1.2  | 7.7(6.9↑)   | 4.6(9.5↑)   | 5.1  | 2.7  | 3.7(9.8↓)   | 3.5 | 4.5  | 1.19(43.4↑) | 0.22(38.9↓) |
| Σόγια<br>(αποφλοιωμένο)                         | 53.5      | 6.3(16↓)    | 1.4(48.2↓)  | 1.6  | 7.3(17.7↑)  | 1.4  | 7.7(6.9↑)   | 4.6(9.5↑)   | 5.1  | 2.7  | 3.8(7.3↓)   | 3.5 | 4.8  | 1.16(39.8↑) | 0.22(39.8↓) |
| Σόγια PC                                        | 67–72     | 6.3(16↓)    | 1.3(51.9↓)  | 1.25 | 7.3(17.7↑)  | 1.5  | 7.9(9.7↑)   | 4.6(9.5↑)   | 5.1  | 2.6  | 4.3(4.9↑)   | 3.5 | 4.8  | 1.16(39.8↑) | 0.21(41.7↓) |
| Σόγια PI                                        | 90–92     | 6.0(20↓)    | 1.0(63↓)    |      | 7.2(16.1↑)  | 1.2  | 7.8(8.3↑)   | 4.5(7.1↑)   | 5.2  | 2.5  | 3.5(14.6↓)  |     | 4.6  | 1.2(44.6↑)  | 0.17(52.8↓) |
| Ζυμωμένη σόγια                                  | 48.9      | 6.2(17.3↓)  | 1.6(40.74↓) |      | 7.8(25.8↑)  | 1.23 | 8.2(13.9↑)  | 4.91(16.9↑) | 5.5  | 2.66 | 4.1(=)      |     | 4.1  | 1.3(56.6↑)  | 0.26(37.8↓) |
| Αλεύρι αρακά<br>(με φλοιούς-<br>αποφλοιωμένους) | 32–46.5   | 2.29(69.5↓) | 0.53(80.4↓) |      | 5.28(14.8↓) | 0.48 | 3.18(55.8↓) | 1.80(57↓)   | 2.37 | 1.26 | 1.40(65.9↓) |     | 2.08 | 2.3(177↑)   | 0.23(36.1↓) |

CS: Σύγκριση; PC: συμπύκνωμα πρωτεΐνης; PI: Απομονωμένη πρωτεΐνη; Lys: λυσίνη; Met: μεθειονίνη; Cys: κυστεΐνη; Arg: αργινίνη; Trp: τρυπτοφάνη; Leu: λευκίνη; Ile: ισολευκίνη; Phe: φαινυλαλανίνη; His: ιστιδίνη; Thr: θρεονίνη; Tyr: τυροσίνη; Val: βαλίνη.

### 1.2.9 Λούπινα (*Lupinus spp.*)

Τα λούπινα (Εικ. 2), ιδιαίτερα το *L. Angustifolius* και το *L. albus*, καλλιεργούνται κυρίως στην Αυστραλία και περιέχουν περίπου 35% πρωτεΐνη και χαμηλά επίπεδα λιπιδίων (8–10%). Ορισμένα είδη όπως το *L. mutabilis* έχουν υψηλότερη περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη (~50–61%). Αν και τα λούπινα έχουν ευνοϊκό προφίλ αργινίνης, περιορίζονται από τη χαμηλή πεπτικότητα και τα ANF. Τέσσερα κύρια είδη (*L. albus*, *L. luteus*, *L. angustifolius*, *L. mutabilis*) χαρακτηρίζονται ως «γλυκά λούπινα» λόγω της χαμηλής περιεκτικότητας σε αλκαλοειδή (Estensoro et al., 2016).



Εικόνα 2. Κυρίως καλλιεργούμενα είδη λούπινου.

Τα άλευρα σπόρων λούπινου περιλαμβάνονται συνήθως ως συμπλήρωμα σε ιχθυοτροφές παγκοσμίως λόγω του εξαιρετικού θρεπτικού τους προφίλ και της ικανότητάς τους να ευδοκιμούν σε λιγότερο εύφορες εκτάσεις. Τα άλευρα σπόρων λούπινου είναι πλούσια σε πρωτεΐνες, έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε διαιτητικές ίνες και διατίθενται τοπικά σε προσιτή τιμή (Pham et al., 2016). Σε σύγκριση με άλλα φυτικά συστατικά, τα άλευρα λούπινου περιέχουν χαμηλότερα επίπεδα αντιθρεπτικών παραγόντων (ANFs) όπως τανίνες, φυτικό οξύ, ολιγοσακχαρίτες και αλκαλοειδή. Η προεπεξεργασία των λούπινων με λακτοβάκιλλους έχει αποδειχθεί ότι ενισχύει τη θρεπτική τους αξία, ενώ η μικρονοποίηση βελτιώνει την πεπτικότητα του αμύλου και μειώνει περαιτέρω τους ANFs (Pereira & Oliveira-Teles, 2004; Van Vo et al., 2015). Οι θετικές επιδράσεις του αλεύρου από λούπινο, σε σύγκριση με το ιχθυάλευρο (FM), έχουν αποδειχθεί στις δίαιτες διαφόρων ειδών ψαριών

(Πίνακα 12). Συγκεκριμένα, το άλευρο λούπινου μπορεί να συμπεριληφθεί στη διατροφή της πέστροφας σε επίπεδα έως και 30% χωρίς να επηρεάσει αρνητικά την απόδοση ανάπτυξης, τις αιματολογικές παραμέτρους ή τους βιοχημικούς δείκτες ορού (Acar et al., 2018).

Πίνακας 3. Άλευρο λούπινου ως υποκατάστατο του ιχθυαλεύρου στη διατροφή διαφόρων ειδών ψαριών.

| Είδος ψαριού                                    | Μορφές λούπινου                                              | Δοκιμασμένα επίπεδα ένταξης                                                                                   | Διάρκεια (μέρες) | Βέλτιστο επίπεδο ένταξης                                              | Αποτέλεσμα                                                                                                                                 | Αναφορά                      |
|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|
| <b>Rainbow trout (<i>O. mykiss</i>)</b>         | Άλευρο λούπινου                                              | 0, 15, 30, 45, & 60%                                                                                          | 60               | 30%                                                                   | Βέλτιστη απόδοση ανάπτυξης έως 30% ↓ Αιματοκρίτης & MCV στα 60 ↓TP, TGC, χοληστερόλη, ALP, LDH σε όλες τις ομάδες που υποβλήθηκαν σε αγωγή | <b>(Acar et al., 2018)</b>   |
| <b>Cobia (<i>Rachycentron canadum</i>)</b>      | Άλευρο πυρήνων λούπινου (LKM)                                | 0, 200, 400, 600 & 800 g/kg FM αντικατασταθέντος από LKM                                                      | 56               | 200 g/kg FM αντικατασταθέντος από LKM                                 | ↓FBW, SGR, FI & ADCs = ↑LKM<br>↓Αιματολογικοί δείκτες & ιστοπαθολογικές αλλαγές ↑ AST & ALT                                                | <b>(Pham et al., 2020)</b>   |
| <b>Τιλάπια του Νείλου (<i>O. niloticus</i>)</b> | Διαφορετικές ποικιλίες αλεύρου λούπινου στο Ηνωμένο Βασίλειο | Κίτρινο λούπινο, μπλε λούπινο, κίτρινο λούπινο που έχει υποστεί ζύμωση & μπλε λούπινο που έχει υποστεί ζύμωση | 49               | αποφλοιωμένο (πυρήνάλευρο) <i>Lupinus luteus</i> cv. <i>Pootalong</i> | Σημαντική αύξηση στα WG, SGR, FCR, PER και K με ζυμωμένα άλευρα Βελτιωμένο ύψος εντεροκυττάρων                                             | <b>(Bowyer et al., 2020)</b> |
| <b>Barramundi (<i>L. calcarifer</i>)</b>        | Ζυμωμένο λούπινο                                             | 0, 30, 45, 60 & 75%                                                                                           | 61               | —                                                                     | Η ζύμωση μείωσε τα αντιθρεπτικά συστατικά &                                                                                                | <b>(Van Vo et al., 2015)</b> |

|                                                   |                                                         |                                                             |    |      |                                                                                                                            |                                                       |
|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|----|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
|                                                   |                                                         |                                                             |    |      | βελτίωσε το<br>προφίλ<br>αμινοξέων του<br>λούπινου ↑ στο<br>τελικό βάρος &<br>μήκος του<br>Barramundi                      |                                                       |
| <b>Τσιπούρα<br/>(<i>Sparus<br/>aurata</i> L.)</b> | Μικρονισμέ<br>νο άλευρο<br>σπόρων<br>λούπινου<br>(MLSM) | 10, 20 & 30%<br>ακατέργαστου<br>λούπινου & 20<br>& 30% MLSM | 84 | MLSM | Το MLSM<br>προάγει<br>σημαντικά<br>υψηλότερους<br>ρυθμούς<br>ανάπτυξης από<br>τους<br>ακατέργαστους<br>σπόρους<br>λούπινου | <b>(Pereira<br/>&amp; Oliva-<br/>Teles,<br/>2004)</b> |

### 1.2.11 Κουκιά Faba (*Vicia faba*)

Τα κουκιά Faba περιέχουν 20–41% πρωτεΐνη και 51–68% υδατάνθρακες, ανάλογα με την ποικιλία. Το πρωτεϊνικό κλάσμα αποτελείται κυρίως από αλβουμίνες και σφαιρίνες και είναι πλούσιο σε γλουταμινικά και ασπαρτικά οξέα, αλλά ελλειπές σε αμινοξέα που περιέχουν θείο και τρυπτοφάνη. Περιέχει επίσης ανοσοσφαιρίνες (ANFs) όπως τανίνες, φυτικό οξύ και βικίνη. Η επεξεργασία μπορεί να αποδώσει συμπυκνώματα πρωτεΐνης (~55%) ή απομονωμένα στελέχη (~80%) με μειωμένα ανοσοσφαιρίνες και βελτιωμένη θρεπτική αξία (Hekmatpour & Torfi Mozanzadeh, 2022).

## 1.3 Βιολογία και εκτροφή του λαβρακιού

Το λαβράκι (*Dicentrarchus labrax*, Εικ. 3), κοινώς γνωστό ως ευρωπαϊκό λαβράκι, είναι ένα σημαντικό είδος ψαριού θαλάσσιας εκτροφής στην ευρωπαϊκή υδατοκαλλιέργεια, ειδικά στην περιοχή της Μεσογείου. Το 2021, η ευρωπαϊκή παραγωγή λαβρακιού έφτασε τους 305.000 τόνους, με το 98% να προέρχεται από υδατοκαλλιέργεια και το 2% από αλιεία. Η παραγωγή από ιχθυοκαλλιέργεια πραγματοποιήθηκε κυρίως στην Τουρκία, την ΕΕ-27 και την Αίγυπτο. Η Ελλάδα και η Ισπανία κυριάρχησαν στην παραγωγή της ΕΕ με 76% της συνολικής παραγωγής, με την Κροατία να αντιπροσωπεύει το 9%. Η φαινομενική κατανάλωση λαβρακιού στην ΕΕ ήταν 110.723 τόνοι το 2021, με την Ελλάδα, την Ισπανία και την Ιταλία να είναι οι κύριοι εξαγωγείς και εισαγωγείς (EUMOFA, 2024). Το λαβράκι είναι ένα αρπακτικό είδος που τρέφεται φυσικά με μικρά ψάρια, γαρίδες, καβούρια και σουπιές (Stickney 2000). Είναι ευρύθερμο (ευδοκιμεί σε θερμοκρασίες μεταξύ 5–28 °C) και

ευρύαλο (ικανό να ανεχθεί αλατότητες από 3‰ έως θαλασσινό νερό πλήρους περιεκτικότητας), γεγονός που του επιτρέπει να κατοικεί σε παράκτια ύδατα, εκβολές ποταμών και υφάλμυρες λιμνοθάλασσες, ακόμη και να εισέρχεται σε συστήματα γλυκού νερού (Frimodt 1995). Ωστόσο, υπό ελεγχόμενες συνθήκες, ο χειρισμός της φωτοπεριόδου μπορεί να προκαλέσει την αναπαραγωγή γεννητόρων λαβρακιού έως και τρεις φορές το χρόνο - κατά τη διάρκεια του χειμώνα, της άνοιξης ή του φθινοπώρου (del Pozo et al., 2013; Güroy et al., 2013; Kousoulaki et al., 2015; Santos et al., 2013).



Εικόνα 3. Λαβράκι (*Dicentrarchus labrax*).

Παρά τη σημασία της, η υδατοκαλλιέργεια του λαβρακιού αντιμετωπίζει αρκετές προκλήσεις που επηρεάζουν την αποδοτικότητα της παραγωγής, ιδιαίτερα την απόδοση ανάπτυξης, την αποδοτικότητα της σίτισης και τα ποσοστά θνησιμότητας. Αυτά τα ζητήματα μπορούν να προκύψουν από προκλήσεις στη διατροφή και τη διαχείριση των ιχθυοτροφών, περιβαλλοντικούς παράγοντες στρες (όπως οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας του νερού) και προβλήματα ωρίμανσης, εκτός από τις επιδημίες ασθενειών. Πολυάριθμες μελέτες έχουν επισημάνει ότι η βελτίωση των σκευασμάτων διατροφής και της ποιότητας των ιχθυοτροφών μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την παραγωγικότητα στις ιχθυοκαλλιέργειες (del Pozo et al., 2013; Kousoulaki et al., 2015; Santos et al., 2013). Επιπλέον, η βελτιστοποίηση των πρακτικών διαχείρισης της τροφής —όπως η προσαρμογή της παροχής τροφής ώστε να ευθυγραμμίζεται με τις διακυμάνσεις της όρεξης των ψαριών ή η βελτίωση του ποσότητας του γεύματος και της συχνότητας σίτισης— έχει αποδειχθεί ότι βελτιώνει την απόδοση ανάπτυξης και τους λόγους μετατρεψιμότητας της τροφής (FCR) (Azzaydi et al. 2000, Noble et al. 2008).

Οι περιβαλλοντικοί παράγοντες παίζουν κρίσιμο ρόλο στην απόδοση της υδατοκαλλιέργειας. Για παράδειγμα, κατά τη διάρκεια του χειμώνα, οι χαμηλές θερμοκρασίες του νερού (<12 °C) μπορούν να μειώσουν σημαντικά την πρόσληψη τροφής και τον μεταβολισμό στο λαβράκι, γεγονός που επηρεάζει επίσης την πεπτικότητα και τη συνολική απόδοση των θρεπτικών συστατικών. Επιπλέον, τα μικρότερα λαβράκια (<200g σωματικού βάρους), τα οποία συνήθως αποτελούνται κατά 90% από αρσενικά, ενδέχεται να

παρουσιάσουν πρόωρη ωρίμανση κατά τους χειμερινούς μήνες (Chatzifotis et al., 2011). Αυτό το φαινόμενο σταματά την ανάπτυξη καθώς η ενέργεια ανακατευθύνεται προς την ανάπτυξη των γονάδων και όχι προς τη σωματική ανάπτυξη.

Η μειωμένη διατροφική πρόσληψη, ιδιαίτερα όταν διατηρείται για παρατεταμένες περιόδους, μπορεί να αποδυναμώσει την ανοσολογική λειτουργία και να κάνει τα ψάρια πιο ευάλωτα σε ασθένειες. Ασθένειες όπως η δονακίωση, που προκαλείται από το *Vibrio anguillarum*, αποτελούν σημαντική απειλή για την υδατοκαλλιέργεια του λαβρακιού, οδηγώντας σε υψηλά ποσοστά θνησιμότητας. Η δονακίωση μπορεί να αντιμετωπιστεί με αντιβιοτικά και εμβολιασμό, και τα πρεβιοτικά συμπληρώματα *Vagococcus fluvialis* έχουν επίσης δείξει αποτελεσματικότητα στη διαχείριση αυτής της ασθένειας (Chaves-Pozo et al., 2012). Μια άλλη σοβαρή ανησυχία είναι ο nodavirus, μια παγκόσμια νευροπαθητική ασθένεια που μπορεί να προκαλέσει μαζική θνησιμότητα σε προνύμφες και νεαρά άτομα, με απώλειες που φτάνουν έως και 100% σε μόλις 3-4 ημέρες. Προς το παρόν, δεν υπάρχουν διαθέσιμες αποτελεσματικές αντιικές θεραπείες για τον nodavirus, γεγονός που υπογραμμίζει τη σημασία των προγραμματίων αναπαραγωγής που επικεντρώνονται στην ανάπτυξη ανθεκτικών στις ασθένειες στελεχών του λαβρακιού (Kiron, 2012).

### 1.3.1 Βιολογία

Το λαβράκι είναι ένα γονοχωριστικό είδος, με τα θηλυκά να γεννούν συνήθως στη Μεσόγειο μεταξύ Δεκεμβρίου και Μαρτίου και στον Ατλαντικό Ωκεανό μέχρι τον Ιούνιο. Εμφανίζουν υψηλή γονιμότητα, παράγοντας περίπου 200.000 αυγά ανά κιλό σωματικού βάρους των θηλυκών και γενικά αρχίζουν να αναπαράγονται μόλις φτάσουν τα 2 κιλά σε βάρος. Στην άγρια φύση, το λαβράκι μπορεί να ζήσει έως και 6-7 χρόνια. Τα αυγά και οι προνύμφες είναι ιδιαίτερα διασκορπισμένα κατά τους πρώτους τρεις μήνες της ζωής και τα ενήλικα είναι γνωστό ότι μεταναστεύουν σε μεγάλες αποστάσεις, μερικές φορές ταξιδεύοντας αρκετές εκατοντάδες χιλιόμετρα.

### 1.3.2 Χαρακτηριστικά εμπορικών τροφών

Το εκτρεφόμενο λαβράκι (*D. labrax*) συνήθως τρέφεται με ένα μείγμα τροφών σε μορφή εξωθημένων σφαιριδίων (σύμπηκτων) με ποικίλες συνθέσεις συστατικών, που παρασκευάζονται τόσο από θαλάσσιες όσο και από χερσαίες φυτικές ή ζωικές πρώτες ύλες (Πίν. 1).

Η ισορροπία μεταξύ της συνολικής πρωτεΐνης και της πεπτής ενέργειας στη διατροφή είναι ζωτικής σημασίας για την επίτευξη βέλτιστης ανάπτυξης και αποτελεσματικότητας

αξιοποίησης θρεπτικών συστατικών και επηρεάζει επίσης το κόστος παραγωγής. Η υπερβολική πρωτεΐνη στη διατροφή μπορεί να οδηγήσει σε αρνητικές οικονομικές επιπτώσεις, καθώς μέρος της δαπανηρής πρωτεΐνης θα χρησιμοποιηθεί από τα ψάρια για ενέργεια ή θα σπαταληθεί. Από την άλλη πλευρά, η υπερβολική μη πρωτεϊνική ενέργεια μπορεί να περιορίσει την πρόσληψη τροφής και την ανάπτυξη, να διεγείρει τη δραστηριότητα των λιπογενών ενζύμων και να επηρεάσει την ποιότητα του ψαριού προωθώντας την ανάπτυξη του λιπώδους ιστού.

Πίνακας 4. Χαρακτηριστικά των εμπορικών ιχθυοτροφών για το λαβράκι (Πηγή: Παπουτσόγλου 2008).

| Βάρος<br>ψαριού<br>(g) | Μέγεθος<br>σφαιριδίου<br>υ (mm) | Ακατέργαστα<br>λιπίδια<br>(g kg <sup>-1</sup> ) | Ακατέργαστη<br>πρωτεΐνη (g<br>kg <sup>-1</sup> ) | Συνολικός<br>φωσφόρος<br>(g kg <sup>-1</sup> ) | Πεπτόμενη<br>ενέργεια<br>(MJ kg <sup>-1</sup> ) | Τέφρα<br>(g kg <sup>-1</sup> ) | Ακατέργαστες<br>ίνες (g kg <sup>-1</sup> ) |
|------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------------|
| <0.1                   | <0.3                            | 120                                             | 570                                              | 19                                             | 17.8–20                                         | 100                            | 7–10                                       |
| 0.3–0.5                | 0.3–1                           | 110–150                                         | 520–600                                          | 16–19                                          | 17.4–20                                         | 100–120                        | 4–10                                       |
| 0.5–1                  | 0.3–1                           | 110–180                                         | 520–600                                          | 16–19                                          | 17.4–20.2                                       | 100–120                        | 4–10                                       |
| 1–3                    | 0.4–1.3                         | 110–180                                         | 520–600                                          | 16–19                                          | 17.4–20.2                                       | 100–120                        | 4–10                                       |
| 3–8                    | 0.9–1.5                         | 110–180                                         | 520–600                                          | 14–19                                          | 17.8–20                                         | 120                            | 5–11                                       |
| 8–20                   | 1.4–1.9                         | 110–180                                         | 500–600                                          | 13–17                                          | 18–18.6                                         | 95–130                         | 10–19                                      |
| 20–60                  | 2.2–3                           | 115–220                                         | 450–500                                          | 13–20                                          | 17.1–19                                         | 83–130                         | 10–32                                      |
| 60–300                 | 3–5                             | 105–240                                         | 379–480                                          | 10–20                                          | 17.6–21.6                                       | 82–120                         | 15–32                                      |
| 300–600                | 4.5–7                           | 105–260                                         | 350–450                                          | 9–20                                           | 18–21.6                                         | 90–120                         | 17–20                                      |
| 600<                   | 6–8                             | 105–260                                         | 338–450                                          | 9–20                                           | 18–21.6                                         | 90–110                         | 17–20                                      |

Επιπλέον, μια ανισορροπία στα διαιτητικά μακροθρεπτικά συστατικά μπορεί να έχει αρνητικές επιπτώσεις στο ανοσοποιητικό σύστημα του λαβρακιού, μειώνοντας παραμέτρους όπως η αναπνευστική δραστηριότητα έκρηξης, ο δείκτης ανοσοδιέγερσης, η απελευθέρωση ανιόντων υπεροξειδίου των φαγοκυττάρων, η δραστηριότητα λυσοζύμης ορού και η συνολική αντοχή στις ασθένειες (Enes et al., 2011; Güroy et al., 2013; Kousoulaki et al., 2015; Türkmen et al., 2012).

Εξωγενή ένζυμα, όπως αυτά που βρίσκονται στο εμπορικό προϊόν Synergen (Alltech©), προστίθενται στις ιχθυοτροφές για να ενισχύσουν την πεπτικότητα και τη θρεπτική αξία των φυτικών συστατικών όπως το αλεύρο λούπινου. Αυτά τα παρασκευάσματα ενζύμων συνήθως περιέχουν ένα μείγμα υδατανθράκων (π.χ. ξυλανάση, β-γλυκανάση,

κυτταρινάση), πρωτεασών και φυτασών, οι οποίες βοηθούν στη διάσπαση σύνθετων υδατανθράκων, αντιθρεπτικών παραγόντων (π.χ. μη αμυλούχων πολυσακχαριτών) και φυτικού οξέος (Castillo & Gatlin, 2015). Η δράση αυτών των ενζύμων βελτιώνει τη διαθεσιμότητα θρεπτικών συστατικών, ιδιαίτερα αμινοξέων, φωσφόρου και ενέργειας, και μειώνει το εντερικό ιξώδες, το οποίο συχνά αυξάνεται σε δίαιτες πλούσιες σε ψυχανθή (Ahmed et al. 2025). Η συμπερίληψή τους είναι ιδιαίτερα σημαντική σε ιχθυοτροφές που χρησιμοποιούν ψυχανθή όπως το *Lupinus albus*, τα οποία έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε μη αλκοολούχα οξέα (NSP) και φώσφορο συνδεδεμένο με φυτικά οξέα. Ωστόσο, εξακολουθούν να υπάρχουν προκλήσεις στη διασφάλιση της σταθερότητας των ενζύμων κατά την επεξεργασία της τροφής (π.χ., σφαιροποίηση, εξώθηση) και στη βελτιστοποίηση της δραστηριότητάς τους υπό ποικίλες γαστρεντερικές συνθήκες σε είδη ψαριών. Παρά τους περιορισμούς αυτούς, η συμπλήρωση ενζύμων έχει δείξει πολλά υποσχόμενα αποτελέσματα στη βελτίωση της απόδοσης ανάπτυξης, της αξιοποίησης των ζωοτροφών και της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας στην υδατοκαλλιέργεια (Castillo & Gatlin, 2015, Ahmed et al., 2025).

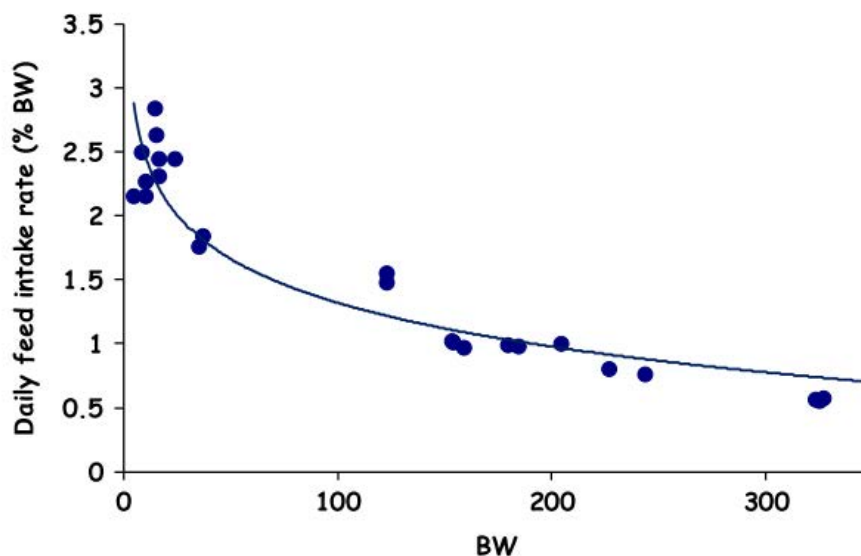
### 1.3.3 Διαχείριση ιχθυοτροφής κατά την εκτροφή

Η διαχείριση της τροφής είναι αναπόσπαστο κομμάτι της επιτυχημένης εκτροφής λαβρακιού και περιλαμβάνει στρατηγικές που αφορούν (i) την ημερήσια και εποχιακή ποσότητα τροφής που παρέχεται, (ii) την επιλογή τεχνικής ή τεχνολογίας σίτισης, (iii) τη συχνότητα σίτισης, (iv) τη διάρκεια των συνεδριών σίτισης, (v) τον ρυθμό σίτισης, (vi) τη χωρική κατανομή της τροφής και (vii) τη χρονική κατανομή της χορήγησης της τροφής. Αυτές οι αποφάσεις επηρεάζουν σημαντικά τη βιοοικονομική απόδοση των εκμεταλλεύσεων, ιδίως τους ρυθμούς ανάπτυξης και τους λόγους μετατροπής των ζωοτροφών (FCR) (Stewart et al., 2012) και επηρεάζουν επίσης άλλους δείκτες απόδοσης όπως η ευημερία των ψαριών (Cañon Jones et al., 2010).

Πολλοί εκτροφείς λαβρακιού βασίζονται σε εσωτερικούς ή τυποποιημένους πίνακες σίτισης για να σχεδιάσουν τη διαχείριση των ζωοτροφών τους. Αυτοί οι πίνακες προτείνουν ημερήσιες μερίδες τροφής με βάση παράγοντες όπως το μέγεθος των ψαριών, η θερμοκρασία του νερού και μερικές φορές τα επίπεδα οξυγόνου στο κλουβί. Ωστόσο, αυτοί οι πίνακες συχνά υποθέτουν ότι τα ψάρια θα καταναλώνουν τροφή όποτε τους προσφέρεται, ανεξάρτητα από την ώρα της ημέρας ή τις καιρικές συνθήκες (Noble et al., 2008). Τα λαβράκια παρουσιάζουν προσαρμοστικούς και ευέλικτους ρυθμούς σίτισης που μπορούν να ποικίλλουν τόσο εντός όσο και μεταξύ των ημερών, γεγονός που καθιστά δύσκολη την εκτίμηση των βέλτιστων απαιτήσεων σίτισης για τους παραγωγούς, καθώς η όρεξη των

ψαριών μπορεί να αλλάζει σε ωριαία, ημερήσια ή εποχιακή βάση. Έτσι, οι πίνακες σίτισης θα πρέπει να θεωρούνται ως κατευθυντήριες γραμμές για τις ημερήσιες μερίδες και όχι ως αυστηρές συστάσεις σίτισης.

Αυτό το ζήτημα είναι ιδιαίτερα σημαντικό στην θαλάσσια εκτροφή σε κλωβούς, όπου τα ψάρια τρέφονται με βυθιζόμενες εξωθημένες ή σφαιροποιημένες τροφές. Τα ψάρια έχουν περιορισμένο χρόνο για να συλλέξουν και να καταναλώσουν την τροφή πριν αυτή διαφύγει από το δίκτυο ή πέσει στον πυθμένα, με αποτέλεσμα τη σπατάλη. Η υπερεκτίμηση των αναγκών των ψαριών σε τροφή μπορεί να οδηγήσει σε υπερσιτισμό αυξάνοντας την FCR κυρίως λόγω της σπατάλης σφαιριδίων τροφής και επιδεινώνοντας τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της μονάδας εκτροφής. Αντίθετα, η υποσιτισμός μπορεί να επηρεάσει την αποδοτικότητα της παραγωγής μειώνοντας την ανάπτυξη και αυξάνοντας την FCR (Chatzifotis et al., 2011; del Pozo et al., 2013; Güroy et al., 2013). Γενικά, οι μεγαλύτερες μερίδες και η αυξημένη πρόσληψη ενέργειας οδηγούν σε ταχύτερη ανάπτυξη, αλλά οι υπερβολικά υψηλές μερίδες μπορούν να μειώσουν την αποδοτικότητα της τροφής στο λαβράκι (Eroldoğan et al. 2004). Η μελέτη των Eroldoğan et al. (2024) διαπίστωσε ότι τα νεαρά ψάρια που τρέφονταν με 4% σωματικού βάρους ανά ημέρα έδειξαν σημαντικά βελτιωμένη ανάπτυξη και αποδοτικότητα τροφής σε σύγκριση με εκείνα που τρέφονταν με 2-3% σωματικού βάρους ανά ημέρα. Τόσο τα υψηλότερα ποσοστά διατροφής όσο και η αυξημένη περιεκτικότητα σε λιπίδια στη τροφή μπορούν να αυξήσουν την περιεκτικότητα σε λιπίδια στη σάρκα του ψαριού, η οποία με τη σειρά της μειώνει την περιεκτικότητα σε υγρασία (Eroldoğan et al., 2004). Επιπλέον, τα υψηλότερα διατροφικά λιπίδια ή το ζελατινοποιημένο άμυλο σε κατά τα άλλα ισοθερμικές δίαιτες μπορούν να αυξήσουν τον ηπατοσωμικό δείκτη (HSI) και τα επίπεδα ηπατικών λιπιδίων στο λαβράκι. Οι μέσοι ημερήσιοι ρυθμοί σίτισης για βέλτιστη απόδοση στο λαβράκι, με βάση τις αναθεωρημένες μελέτες, φαίνονται στην Εικόνα 4 (με θερμοκρασίες νερού μεταξύ 21–26 °C).



Εικόνα 4. Ημερήσιες μερίδες σίτισης λαβρακιού υψηλής απόδοσης (Eroldoğan et al., 2004).

Μόλις προσδιοριστεί η ποσότητα της τροφής, η επόμενη πρόκληση είναι η επιλογή του τρόπου χορήγησής της στα ψάρια. Αυτή η απόφαση μπορεί να επηρεάσει σημαντικά την FCR και την παραγωγικότητα (Enes et al., 2011; Güroy et al., 2013; Kousoulaki et al., 2015; Rubio et al., 2004; Türkmen et al., 2012). Οι τεχνολογίες και οι μέθοδοι σίτισης μπορούν να διαφέρουν σημαντικά μεταξύ των εκμεταλλεύσεων, ανάλογα με το μέγεθος της εκτροφής και τις οικονομικές παραμέτρους. Οι εκτροφές λαβρακιού χρησιμοποιούν γενικά μία από τις τέσσερις μεθόδους σίτισης: (i) χειροκίνητη τροφοδοσία, (ii) τροφοδοσία με κανόνι, (iii) αυτοματοποιημένα συστήματα σίτισης ή (iv) αυτοματοποιημένα συστήματα χορήγησης τροφής που βασίζονται στην όρεξη (συμπεριλαμβανομένων των συστημάτων αυτοτροφοδότησης). Ορισμένες μονάδες εκτροφής χρησιμοποιούν έναν συνδυασμό μεθόδων, όπως η χειροκίνητη σίτιση για μικρότερα ψάρια και τα κανόνια ή αυτόματα συστήματα για μεγαλύτερα ψάρια που τρέφονται με εξωθημένα σφαιρίδια <3 mm. Η επιλογή της μεθόδου σίτισης καθορίζεται συνήθως από τις ανάγκες της διαχείρισης της μονάδας και οικονομικούς παράγοντες. Οι μικρότερες εταιρείες υδατοκαλλιέργειας (που παράγουν λιγότερους από 500 τόνους ψαριών ετησίως) συχνά βασίζονται σε χειροκίνητη εργασία ή συστήματα σίτισης μικρότερης κλίμακας, ενώ οι μεγαλύτερες μεσογειακές φάρμες αρχίζουν να υιοθετούν τεχνολογίες αυτοματοποιημένης σίτισης μεγαλύτερης κλίμακας καθώς αυξάνεται η παραγωγική ικανότητα και η ζήτηση για υψηλότερη παραγωγή.

Κάθε μέθοδος σίτισης έχει το δικό της σύνολο οφελών και κόστους. Η χειροκίνητη σίτιση, για παράδειγμα, επιτρέπει στο προσωπικό της μονάδας να προσαρμόζει τις ποσότητες και τις μερίδες τροφής με βάση τη συμπεριφορά των ψαριών, αλλά είναι απαιτητική σε

εργασία και εξαρτάται από την ικανότητα του προσωπικού σίτισης. Επιπλέον, μπορεί να είναι δύσκολο να εκτιμηθεί πότε τα ψάρια έχουν κορεστεί, ειδικά εάν το είδος δεν τρέφεται στην επιφάνεια, οδηγώντας σε πιθανές ανεπάρκειες σίτισης. Για να μετριάσει αυτό, πολλές φάρμες χρησιμοποιούν μηχανικά κανόνια νερού ή φυσητήρες, τα οποία βελτιώνουν την κατανομή της τροφής, μειώνουν τις απαιτήσεις εργασίας και ενισχύουν την αποτελεσματικότητα της παράδοσης της τροφής (Kousoulaki et al., 2015; Türkmen et al., 2012).

#### **1.3.4 Συχνότητα ταΐσματος στην εκτροφή λαβρακιού**

Η συχνότητα σίτισης αναφέρεται στη συχνότητα με την οποία ταΐζονται τα ψάρια, τόσο σε καθημερινή βάση όσο και σε διαφορετικές εποχές, επηρεάζοντας την ανάπτυξη και τη χρήση της τροφής. Οι παραγωγοί πρέπει να αποφασίσουν πόσο συχνά θα ταΐζουν τον πληθυσμό, λαμβάνοντας υπόψη τους εργατικούς και οικονομικούς περιορισμούς. Πολυάριθμες μελέτες έχουν εξετάσει τη συχνότητα ταΐσματος σε διάφορα είδη υδατοκαλλιέργειας (Enes et al., 2011; Santos et al., 2013; Türkmen et al., 2012), αλλά η εξαγωγή γενικών συμπερασμάτων σχετικά με τη βέλτιστη συχνότητα ταΐσματος είναι δύσκολη, καθώς κάθε μελέτη περιλαμβάνει διαφορετικές συνθήκες, είδη και στάδια ζωής των ψαριών (Azzaydi et al. 2000). Στην περίπτωση του ευρωπαϊκού λαβρακιού, η χορήγηση τροφής μία έως τρεις φορές την ημέρα έχει αποδειχθεί ότι υποστηρίζει καλή ανάπτυξη και απόδοση λόγω μετατρεψιμότητας τροφής (FCR) (Güroy et al., 2013), αν και αυτό μπορεί να διαφέρει ανάλογα με παράγοντες όπως το μέγεθος του ψαριού, η εποχή του χρόνου και το σύστημα παραγωγής.

Εκτός από την ημερήσια συχνότητα σίτισης, η προσαρμογή του αριθμού των ημερών που είναι διαθέσιμη η τροφή κατά τη διάρκεια συγκεκριμένων εποχών μπορεί να βελτιώσει τα FCR και την αποτελεσματικότητα της σίτισης χωρίς να επηρεάσει αρνητικά την ανάπτυξη (Türkmen et al., 2012). Μια κυκλική στρατηγική νηστείας και επανασίτισης έχει αποδειχθεί αποτελεσματική σε μικρά λαβράκια (11 g) που διατηρούνται σε δεξαμενές σε υψηλές θερμοκρασίες (26–28°C), επιτυγχάνοντας FCR τόσο χαμηλά όσο 1,0 όταν τα ψάρια ακολούθησαν ένα πρόγραμμα σίτισης 1 ημέρας ασιτίας/4 ημερών πλήρους σιτηρεσίου (Türkmen et al. 2012). Κατά τη διάρκεια του χειμώνα, οι ανάγκες σε τροφή, οι ρυθμοί ανάπτυξης και η αποτελεσματικότητα της τροφής του λαβρακιού μειώνονται σημαντικά και αρκετές μελέτες έχουν επικεντρωθεί στην εύρεση βέλτιστων στρατηγικών διατροφής για το λαβράκι σε ψυχρότερες θερμοκρασίες. Κατά τη διάρκεια περιόδων πείνας, το λαβράκι έχασε γρήγορα βάρος κατά την πρώτη εβδομάδα, αλλά τις επόμενες εβδομάδες άρχισε να χρησιμοποιεί τα αποθέματα λιπιδίων του σώματος σε θερμοκρασίες κάτω των 3°C, ενώ το

γλυκογόνο του ήπατος έγινε η κύρια πηγή ενέργειας μεταξύ 7 και 13°C. Μετά από μια περίοδο ασιτίας, παρατηρήθηκε αντισταθμιστική ανάπτυξη, αν και ήταν λιγότερο έντονη σε χαμηλότερες θερμοκρασίες. Επιπλέον, οι χειμερινοί δείκτες του FCR μπορούν να επηρεαστούν αρνητικά από την πρόωμη ωρίμανση, καθώς τα αποθέματα ενέργειας εκτρέπονται στην ανάπτυξη των γονάδων και όχι στη σωματική ανάπτυξη. Μελέτες των Chatzifotis et al. (2011) έχουν δείξει ότι οι μειωμένες μερίδες σίτισης μπορούν να σταματήσουν την ωρίμανση των γονάδων του γεννήτορα λαβρακιού.

Ωστόσο, οι παραγωγοί πρέπει να λαμβάνουν υπόψη την υγεία και την ευημερία των ψαριών όταν εφαρμόζουν στρατηγικές ασιτίας, καθώς το λαβράκι υφίσταται μεταβολικές αλλαγές κατά τη διάρκεια της νηστείας και μπορεί να παρουσιάσει μειωμένη αντοχή σε παρασιτικές ασθένειες (Kousoulaki et al., 2015).

### 1.3.5 Χρόνος σίτισης

Όσον αφορά τον βέλτιστο χρόνο ημερήσιας σίτισης, ενώ το λαβράκι παρουσιάζει προτιμώμενους χρόνους σίτισης σε ελεγχόμενες συνθήκες, πολλοί εκτροφείς δεν μπορούν να ευθυγραμμίσουν τα προγράμματα σίτισής τους με αυτούς τους ρυθμούς λόγω εργατικών ή οικονομικών περιορισμών. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, τα κιρκάδια πρότυπα σίτισης μπορεί να διαφέρουν μεταξύ ατόμων και μεταξύ ομάδων (Azzaydi et al. 2000). Ωστόσο, έχουν παρατηρηθεί γενικές τάσεις, όπως η ταξινόμηση των ψαριών ως ημερήσιων ή νυχτερινών σιτιστών, ή περαιτέρω διαίρεση των προτύπων σίτισης σε ρυθμούς σούρουπου ή μεσημεριανούς ρυθμούς (del Pozo et al., 2013).

Σε παρατεταμένες περιόδους, τα λαβράκια εμφανίζουν εποχιακές μεταβολές στη διατροφική τους συμπεριφορά, συνήθως ευνοώντας την ημερήσια σίτιση κατά την άνοιξη, το καλοκαίρι και το φθινόπωρο, και μετατοπίζοντας τη νυχτερινή σίτιση τον χειμώνα. Ωστόσο, η συνέπεια αυτού του προτύπου ποικίλλει μεταξύ των μελετών, πιθανώς λόγω διαφορών στις πειραματικές συνθήκες, τους γεωγραφικούς πληθυσμούς και τους περιβαλλοντικούς παράγοντες. Οι Azzaydi et al. (2000) ανέφεραν ότι η νυχτερινή σίτιση τον χειμώνα είχε ως αποτέλεσμα καλύτερους FCR και απόδοση ανάπτυξης από την ημερήσια σίτιση υπό ελεγχόμενες συνθήκες δεξαμενών. Ωστόσο, μπορεί να μην είναι πρακτικό για τους εκτροφείς να ενσωματώσουν τη νυχτερινή σίτιση στις στρατηγικές σίτισης τους, καθώς θα απαιτούσε διαθεσιμότητα προσωπικού κατά τη διάρκεια των νυχτερινών βάρδιών. Επιπλέον, η εφαρμογή της νυχτερινής σίτισης στην υδατοκαλλιέργεια σε κλουβιά μπορεί να μην είναι βιοοικονομικά ή περιβαλλοντικά εφικτή, καθώς μια μελέτη των Rubio et al. (2024) διαπίστωσε ότι η σπατάλη τροφής έφτανε τα 680 g/kg κατά τη διάρκεια της νυχτερινής σίτισης σε συστήματα κλουβιών.

Συμπερασματικά, οι παραγωγοί πρέπει να σταθμίσουν διάφορους παράγοντες κατά την ανάπτυξη μιας στρατηγικής σίτισης για τα ψάρια τους. Αυτό περιλαμβάνει την αξιολόγηση του κόστους εργασίας που σχετίζεται με τις εκτεταμένες ώρες τροφοδοσίας, το κόστος καυσίμων για τα σκάφη που εμπλέκονται στην τροφοδοσία και την πιθανή οικονομική δαπάνη για μεγάλης κλίμακας φορτηγίδες τροφοδοσίας ή προηγμένες τεχνολογίες τροφοδοσίας.

#### **1.4 Σκοπός της μελέτης**

Σκοπός της παρούσας μελέτης ήταν η διερεύνηση των επιδράσεων της χορήγησης επεξεργασμένου ενζυμικά λούπινου στη διατροφή του ευρωπαϊκού λαβρακιού (*D. labrax*) και στην αναπτυξιακή του απόδοση. Το πείραμα περιελάμβανε τη μεταφορά 1000 νεαρών ψαριών, με μέσο βάρος 11,22 g, στις εγκαταστάσεις του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, όπου εγκλιματίστηκαν σε δεξαμενές κλειστού κυκλώματος κυκλοφορίας θαλασσινού νερού για 14 ημέρες. Μετά την περίοδο εγκλιματισμού, τα ιχθύδια μοιράστηκαν σε 12 κυλινδρικών δεξαμενές (350L/δεξαμενή) σε τέσσερις διατροφικές ομάδες (3 δεξαμενές/ομάδα), καθεμία από τις οποίες έλαβε διαφορετική τροφή. Η δίαιτα ελέγχου περιείχε ιχθυάλευρο και σογιάλευρο, ενώ οι πειραματικές δίαιτες περιελάμβαναν διαφορετικά επίπεδα λούπινου επεξεργασμένο με εμπορική πρώτη ύλη, πλούσια σε εξωγενή ένζυμα. Η μελέτη παρακολούθησε παραμέτρους ποιότητας νερού όπως η θερμοκρασία, η αλατότητα και το διαλυμένο οξυγόνο, και στόχευε στην αξιολόγηση της επίδρασης της προσθήκης λούπινου ως υποκατάστατο του σογιάλευρου στην ανάπτυξη των ιχθύων, το συντελεστή μετατρεψιμότητας τροφής (FCR) και την επιβίωση. Τα ευρήματα αναμένεται να συμβάλουν στην κατανόηση του δυναμικού του λούπινου ως βιώσιμης και εναλλακτικής πηγής πρωτεΐνης στις ιχθυοτροφές στα συστήματα υδατοκαλλιέργειας.

## 2. Υλικά και μέθοδοι

### 2.1 Σιτηρέσια

Τα σιτηρέσια που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτή τη μελέτη ήταν ειδικά σχεδιασμένα ώστε να είναι ισοπρωτεϊνικά και ισοενεργειακά, διασφαλίζοντας ότι όλες οι τροφές περιείχαν ίσες ποσότητες πρωτεΐνης και ενέργειας για να επιτρέπουν άμεσες συγκρίσεις μεταξύ των διατροφικών μεταχειρίσεων. Οι πρωτεΐνες ζωικής προέλευσης παρέχονταν κυρίως μέσω ιχθυαλεύρου, αιματάλευρου και αλεύρου από κριθ.

Το σιτηρέσιο ελέγχου (Control) περιελάμβανε 20% ιχθυάλευρο και 15% σογιάλευρο. Στις υπόλοιπες τρεις πειραματικές δίαιτες, το ποσοστό του σογιάλευρου του σιτηρεσίου ελέγχου αντικαταστάθηκε σταδιακά από άλευρο λούπινου επεξεργασμένο με πολυένζυμα ως εξής:

- Η δίαιτα Λούπινο 1 (Lupin 1) περιείχε 5% σογιάλευρο και 7,5% άλευρο λούπινου
- Η δίαιτα Λούπινο 2 (Lupin 2) περιείχε 2,5% σογιάλευρο και 10% άλευρο λούπινου
- Η δίαιτα Λούπινο 3 (Lupin 3) δεν περιείχε σογιάλευρο και περιείχε 12,5% άλευρο λούπινου (πλήρης αντικατάσταση).

Για την περαιτέρω υποστήριξη της περιεκτικότητας σε πρωτεΐνες, σε όλες τις δίαιτες συμπεριλήφθηκαν χερσαία φυτικά συστατικά όπως γλουτένη σίτου, γλουτένη καλαμποκιού και συμπυκνωμένη πρωτεΐνη σόγιας. Άλευρο σίτου προστέθηκε για την επίτευξη συνεκτικότητας των συμπήκτων. Προστέθηκε ιχθυέλαιο ως κύρια πηγή λιπιδίων, ικανοποιώντας τις διατροφικές απαιτήσεις για απαραίτητα ωμέγα-3 λιπαρά οξέα για το *Dicentrarchus labrax*. Επιπλέον, τα μικροθρεπτικά συστατικά και τα συμπληρώματα διατροφής προστέθηκαν ομοιόμορφα σε όλες τις δίαιτες, όπως φαίνεται στον Πίνακα 5. Οι τροφές παρασκευάστηκαν στο Ινστιτούτου Θαλάσσιας Βιολογίας, Βιοτεχνολογίας και Υδατοκαλλιεργειών (ΙΘΑΒΒΥΚ) του Ελληνικού Κέντρου Θαλασσίων Ερευνών (ΕΛΚΕΘΕ, Ανάβυσσος Αττικής) χρησιμοποιώντας εξωθητή διπλού κοχλία (model EV025A107FAA, CLEXTRAL) και το έλαιο ενσωματώνονταν μέσω ψεκασμού υπό κενό.

Πίνακας 5. Συστατικά και θρεπτική σύσταση των πειραματικών σιτηρεσίων.

| <b>%</b>                                 | <b>Control</b> | <b>Lupin<br/>1</b> | <b>Lupin<br/>2</b> | <b>Lupin<br/>3</b> |
|------------------------------------------|----------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| <b>Ιχθυάλευρο</b>                        | 20             | 20                 | 20                 | 20                 |
| <b>Άλευρο από Κριθ</b>                   | 3              | 3                  | 3                  | 3                  |
| <b>Αιματάλευρο</b>                       | 5              | 5                  | 5                  | 5                  |
| <b>Αλεύρι σίτου</b>                      | 10,3           | 12,1               | 12,8               | 12,6               |
| <b>Γλουτένη σίτου</b>                    | 10             | 11                 | 11                 | 11                 |
| <b>Γλουτένη καλαμποκιού</b>              | 15             | 15                 | 14,8               | 15                 |
| <b>Συμπυκνωμένη σόγια</b>                | 5              | 5                  | 5                  | 5                  |
| <b>Σογιάλευρο</b>                        | 15             | 5                  | 2,5                |                    |
| <b>Άλευρο Λούπινου<br/>επεξεργασμένο</b> |                | 7,5                | 10                 | 12,5               |
| <b>Ιχθυέλαιο</b>                         | 13             | 12,5               | 12                 | 12                 |
| <b>Άλλα</b>                              | 3,7            | 3,9                | 3,9                | 3,9                |
| <b>Θρεπτική σύσταση (%<br/>τροφής)</b>   |                |                    |                    |                    |
| <b>Ξηρή ουσία</b>                        | 93,1           | 92,9               | 92,9               | 94,1               |
| <b>Πρωτεΐνη</b>                          | 51,6           | 52,1               | 52,0               | 51,4               |
| <b>Λίπος</b>                             | 19,2           | 19,4               | 19,0               | 18,6               |
| <b>Τέφρα</b>                             | 7,3            | 7,0                | 6,9                | 7,0                |
| <b>DHA</b>                               | 1,9            | 1,8                | 1,8                | 1,8                |
| <b>EPA</b>                               | 1,4            | 1,4                | 1,3                | 1,3                |

Η σίτιση γινόταν με το χέρι, τρεις φορές την ημέρα (στις 09:00, 13:00 και 17:00), εκτός από τα Σάββατα που τα ψάρια ταΐζονταν δύο φορές (στις 10:00 και 14:00). Τα ψάρια σιτίζονταν σε κορεσμό (*ad libitum*), που σημαίνει ότι η τροφή προσφερόταν μέχρι να παρατηρηθεί οπτικός κορεσμός για να διασφαλιστεί η ομοιόμορφη πρόσληψη σε όλες τις ομάδες και να αποφευχθεί ο υποσιτισμός.

## 2.2 Πειραματικές συνθήκες εκτροφής

### 2.2.1 Μεταφορά και εγκλιματισμός ψαριών

Για τους σκοπούς της παρούσας μελέτης, χρησιμοποιήθηκαν νεαρά ευρωπαϊκά λαβράκια (*D. labrax*) με μέσο σωματικό βάρος 11,22 g. Συνολικά 1.000 ψάρια μεταφέρθηκαν από τον ιχθυογεννητικό σταθμό της εταιρείας Philosophish (που βρίσκεται στην Πελασγία Φθιώτιδας), στις πειραματικές εγκαταστάσεις του Τμήματος Γεωπονίας, Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Η μεταφορά πραγματοποιήθηκε σε δεξαμενές με τη προσθήκη οξυγόνου για την ασφαλή μεταφορά του πληθυσμού..

Μετά την άφιξη, τα νεαρά ψάρια τοποθετήθηκαν σε πειραματικές δεξαμενές και εγκλιματίστηκαν για 14 ημέρες. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, σιτίζονταν δύο φορές την ημέρα με εμπορική τροφή που παρείχε το εκκολαπτήριο για να εξοικειωθούν με τις συνθήκες της δεξαμενής και το πρωτόκολλο σίτισης πριν από την έναρξη του πειράματος.

### 2.2.2 Σύστημα εκτροφής

Μετά τον εγκλιματισμό, τα ψάρια διατηρούνταν σε δεξαμενές κλειστού κυκλώματος κυκλοφορίας θαλασσινού νερού (RAS), που αποτελούνταν από τρεις ανεξάρτητες μονάδες. Κάθε σύστημα αποτελούνταν από τέσσερις κυκλικές δεξαμενές εκτροφής (350 L η κάθε μια) και μια πέμπτη ορθογώνια δεξαμενή που λειτουργούσε ως κεντρική μονάδα βιολογικής και μηχανικής επεξεργασίας νερού..

Η δεξαμενή βιολογικής και μηχανικής επεξεργασίας χωριζόταν σε δύο ξεχωριστά διαμερίσματα:

- Το πρώτο διαμέρισμα στέγαζε μια ηλεκτρική αντλία νερού, απαραίτητη για τη διατήρηση της κυκλοφορίας του νερού και την παραγωγή ρεύματος.
- Το δεύτερο διαμέρισμα περιείχε υλικά μηχανικής και βιολογικής διήθησης. Η μηχανική διήθηση επιτυγχανόταν χρησιμοποιώντας κάλτσες φίλτρου και πλέγμα από υαλοβάμβακα, τα οποία επιβράδυναν τη ροή του νερού και συνελάμβαναν τα αιωρούμενα στερεά. Η βιολογική επεξεργασία βασιζόταν σε πορώδη πλαστικά με εκτεταμένη επιφάνεια για τον αποικισμό ωφέλιμων νιτροποιητικών βακτηρίων.

Κάθε δεξαμενή εκτροφής ήταν επίσης συνδεδεμένη με μια μικρότερη κωνική δεξαμενή καθίζησης σχεδιασμένη για τη συλλογή περιττωμάτων και υπολειμμάτων τροφής. Επιπλέον, εγκαταστάθηκαν skimmers πρωτεϊνών και στα τρία συστήματα για την

απομάκρυνση οργανικών σωματιδίων (π.χ. πρωτεΐνες και άλλα απόβλητα) πριν από την αποσύνθεσή τους σε αζωτούχες ενώσεις.

### 2.2.3 Προετοιμασία νερού και παρακολούθηση ποιότητας

Καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος, χρησιμοποιήθηκε τεχνητό θαλασσινό νερό, το οποίο παρασκευάστηκε με διάλυση συνθετικού αλατιού σε νερό βρύσης για την επίτευξη αλατότητας  $30 \pm 0,5\%$ . Για την υποστήριξη της διαδικασίας νιτροποίησης και τη διατήρηση της ποιότητας του νερού, ένα εμπορικό διάλυμα νιτροποιητικών βακτηρίων προστίθετο τακτικά στα βιολογικά φίλτρα.

Διεξαγόταν καθημερινή παρακολούθηση και καταγραφή της ποιότητας του νερού για την εξασφάλιση σταθερών περιβαλλοντικών συνθηκών:

- Θερμοκρασία:  $22,0^{\circ}\text{C} \pm 0,2^{\circ}\text{C}$
- Αλατότητα:  $30 \pm 0,5\%$
- Διαλυμένο οξυγόνο:  $> 6,5 \text{ mg/L}$
- Αμμωνία ( $\text{NH}_3$ ):  $< 0,5 \text{ mg/L}$
- Νιτρώδη ( $\text{NO}_2^-$ ):  $< 1 \text{ mg/L}$
- Νιτρικά ( $\text{NO}_3^-$ ):  $< 1 \text{ mg/L}$

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας φορητές ηλεκτρονικές συσκευές και εμπορικά κιτ χρωματομετρικών δοκιμών. Μια φωτοπερίοδος φωτός 12 ωρών: 12 ώρες σκοτεινής φωτοπερίοδος διατηρήθηκε χρησιμοποιώντας τεχνητό φωτισμό, με τις μεταβάσεις φωτός να ορίζονται στις 8:00 π.μ. και 8:00 μ.μ.

Τα ιχθύδια διαχωρίστηκαν σε 4 διατροφικές ομάδες, με τη κάθε μία να λαμβάνει διαφορετικό σιτηρέσιο. Η κάθε διατροφική ομάδα αποτελούνταν από 165 ιχθύδια, τα οποία κατανεμήθηκαν σε υποομάδες των 50 ιχθυδίων σε 3 δεξαμενές – επαναλήψεις (50 ιχθύδια / δεξαμενή, 3 επαναλήψεις / διατροφική ομάδα, 4 διατροφικές ομάδες).

## 2.3 Δειγματοληψίες

Η πειραματική περίοδος εκτροφής διήρκεσε συνολικά 48 ημέρες. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, πραγματοποιήθηκαν μία ενδιάμεση μέτρηση βάρους και μήκους. Για να

διευκολυνθεί ο χειρισμός και να διασφαλιστεί η ελάχιστη καταπόνηση κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, τα ιχθύδια αναισθητοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας διάλυμα φαινοξυαιθανόλης σε συγκέντρωση 0,10 ml/L.

Κάθε ψάρι ζυγίστηκε ατομικά χρησιμοποιώντας ψηφιακό ζυγό ακριβείας με ακρίβεια δύο δεκαδικών ψηφίων (0,01 g) και το συνολικό μήκος προσδιορίστηκε με ιχθυόμετρο με ακρίβεια μέτρησης 0,1 cm. Μετά τη συλλογή των βιομετρικών δεδομένων, τα ψάρια τοποθετήθηκαν σε δεξαμενή ανάνηψης με συνεχή παροχή οξυγόνου για να μπορέσουν να ανακτήσουν την κανονική τους δραστηριότητα πριν επιστραφούν στις αντίστοιχες πειραματικές τους δεξαμενές.

## **2.4 Δείκτες ανάπτυξης ιχθύων και αξιοποίησης τροφής**

### **2.4.1 Θνησιμότητα**

Η καταγραφή της θνησιμότητας πραγματοποιούνταν καθημερινά για κάθε δεξαμενή ξεχωριστά και υπολογίστηκε βάσει του παρακάτω τύπου:

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

### **2.4.2 Αύξηση ολικού βάρους**

Η αύξηση του ολικού βάρους είναι το καθαρό βάρος του σώματος των ιχθυδίων που αποκτήθηκε κατά τη διάρκεια των πειραματικών δοκιμών και υπολογίστηκε βάσει της παρακάτω σχέσης:

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

### **2.4.3 Ποσοστό αύξησης ολικού βάρους**

Το ποσοστό αύξησης του ολικού βάρους εκφράζει την εκατοστιαία (%) αύξηση του σωματικού βάρους των ιχθυδίων και υπολογίστηκε βάσει της σχέσης:

$$\text{Ποσοστό αύξησης βάρους (\%)} = \frac{(W_{\text{τελικό}} - W_{\text{αρχικό}}) * 100}{W_{\text{αρχικό}}}$$

#### 2.4.4 Συντελεστής μετατρεψιμότητας τροφής

Ο συντελεστής μετατρεψιμότητας της τροφής ( Feed Conversion Ratio, FCR) είναι ο λόγος της ποσότητας της τροφής που χορηγήθηκε προς την αύξηση του ολικού σωματικού βάρους και εκφράζει το βαθμό αξιοποίησης της τροφής από τα ψάρια. Το FCR υπολογίστηκε από τη σχέση:

$$FCR = \frac{\text{τροφή που χορηγήθηκε (g)}}{\text{αύξηση σωματικού βάρους ιχθυδίων (g)}}$$

#### 2.4.5 Ειδικός ρυθμός ανάπτυξης

Ο ειδικός ρυθμός ανάπτυξης (Specific Growth Rate , SGR) εκφράζει την ημερήσια ποσοστιαία (%) αύξηση του ολικού βάρους του ιχθυδίου στο χρονικό διάστημα που σιτίστηκε και υπολογίστηκε από τη σχέση:

$$SGR (\% / \text{ημέρα}) = \frac{100 * [Ln (W_2) - Ln (W_1)]}{\text{ημέρες σίτισης}}$$

Όπου,

$Ln (W_2)$  = ο φυσικός λογάριθμός του τελικού ολικού βάρους

$Ln (W_1)$  = ο φυσικός λογάριθμός του αρχικού ολικού βάρους

#### 2.4.6 Συντελεστής αποδοτικότητας πρωτεϊνών

Ο συντελεστής αποδοτικότητας των πρωτεϊνών (Protein Efficiency Ratio, PER) εκφράζει την αναλογία μεταξύ της αύξησης του σωματικού βάρους των ψαριών και της πρωτεΐνης, που καταναλώθηκε και υπολογίστηκε από τη σχέση:

$$PER = \frac{\text{αύξηση βάρους (g)}}{\text{πρωτεΐνη που καταναλώθηκε (g)}}$$

## 2.5 Στατιστική ανάλυση

Όλα τα δεδομένα που ελήφθησαν από τους βιομετρικούς και διατροφικούς δείκτες, συμπεριλαμβανομένου του ποσοστού θνησιμότητας, της συνολικής αύξησης βάρους, του ποσοστού αύξησης βάρους, του λόγου μετατρεψιμότητας τροφής (FCR), του ειδικού ρυθμού ανάπτυξης (SGR) και του λόγου αποτελεσματικότητας πρωτεΐνης (PER), υποβλήθηκαν σε στατιστική ανάλυση για να αξιολογηθεί η σημασία των διαφορών μεταξύ των διατροφικών θεραπειών. Τα αποτελέσματα εκφράστηκαν ως μέσοι όροι  $\pm$  τυπική απόκλιση (SD). Πραγματοποιήθηκε μονόδρομη ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) για την ανίχνευση στατιστικά σημαντικών διαφορών μεταξύ των τεσσάρων διατροφικών ομάδων. Όταν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές ( $p < 0,05$ ), χρησιμοποιήθηκε το τεστ post hoc για συγκρίσεις ανά ζεύγη για να προσδιοριστεί ποιες ομάδες διέφεραν. Όλες οι στατιστικές αναλύσεις διεξήχθησαν χρησιμοποιώντας το λογισμικό SPSS.

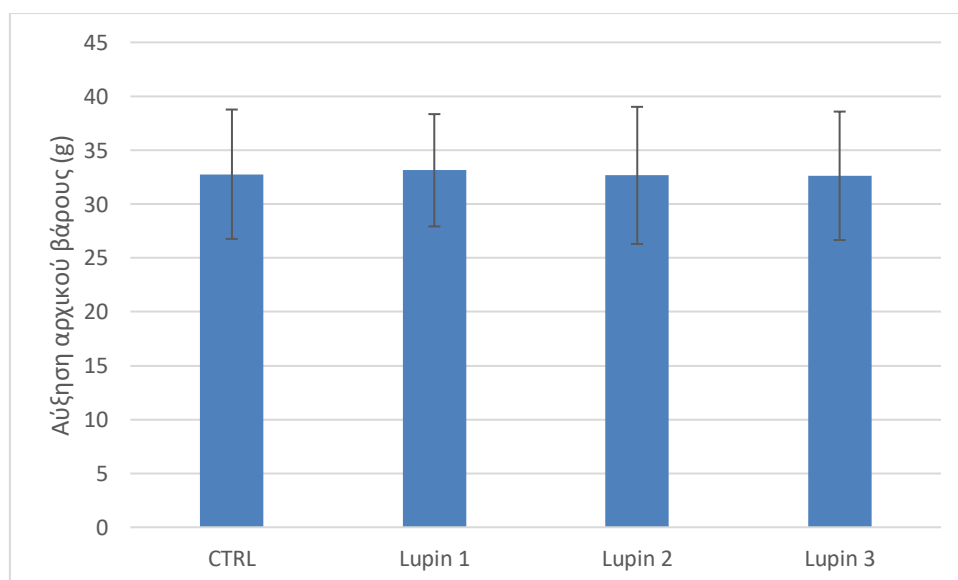
### 3. Αποτελέσματα

#### 3.1 Θνησιμότητα

Καθ' όλη τη διάρκεια της πειραματικής περιόδου, δεν καταγράφηκε θνησιμότητα σε καμία από τις πειραματικές ομάδες, συμπεριλαμβανομένης της ομάδας ελέγχου και των τριών σιτηρεσιών με βάση το άλευρο λούπινου. Η απουσία θνησιμότητας υποδεικνύει ότι οι πειραματικές συνθήκες, συμπεριλαμβανομένης της ποιότητας του νερού, του σιτηρεσιακού καθεστώτος και των διατροφικών συνθέσεων, ήταν καλά διατηρημένες και κατάλληλες για τη βέλτιστη ευημερία του νεαρού λαβρακιού (*Dicentrarchus labrax*). Επιπλέον, η απουσία θνησιμότητας υποδηλώνει ότι η συμπερίληψη ενζυματικά επεξεργασμένου αλεύρου λούπινου, είτε ως μερική είτε ως ολική αντικατάσταση του αλεύρου σόγιας, δεν επηρέασε αρνητικά την υγεία ή την επιβίωση των ψαριών.

#### 3.2 Αύξηση ολικού βάρους

Τα αποτελέσματα της μέσης αύξησης βάρους και στις τέσσερις διατροφικές ομάδες έδειξαν μη στατιστικά σημαντικές ( $P > 0,05$ ) διαφοροποιήσεις στην απόδοση ανάπτυξης. Συγκεκριμένα, η ομάδα ελέγχου (CTRL) παρουσίασε μέση αύξηση βάρους 32,77 g, η ομάδα Λούπινο 1 (33,11 g), η Λούπινο 2 (32,67 g) και η Λούπινο 3 (32,67 g) (Εικόνα 5).

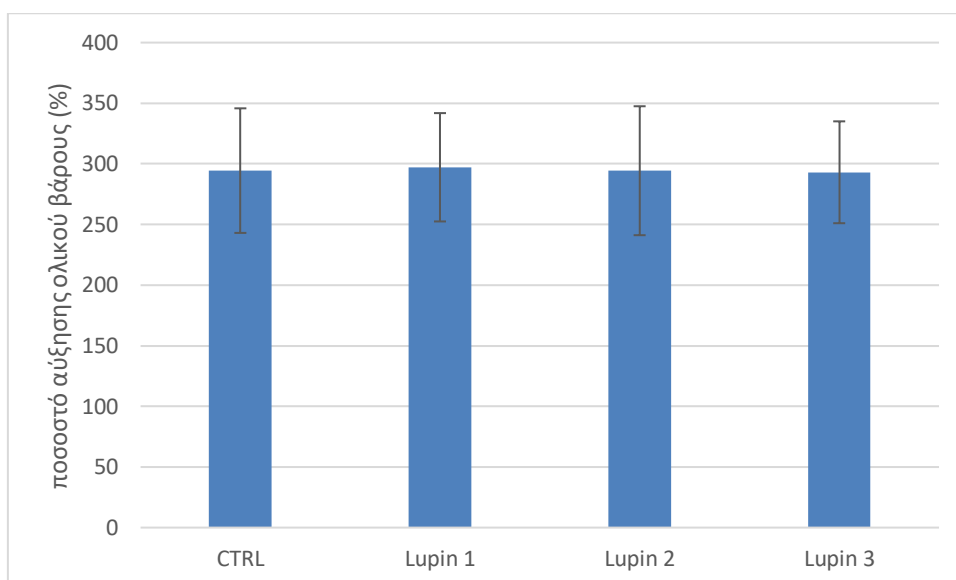


Εικόνα 5. Μέση αύξηση βάρους (g) νεαρών λαβρακιών (*Dicentrarchus labrax*) κατά την πειραματική περίοδο υπό διαφορετικές διατροφικές επεμβάσεις: Μάρτυρας (CTRL), Λούπινο 1 (Lupin 1), Λούπινο 2 (Lupin 2) και Λούπινο 3 (Lupin 3). Οι τιμές αντιπροσωπεύουν τη μέση αύξηση του σωματικού βάρους σε τρεις επαναλήψεις ανά αγωγή ( $n=3$ ).

Το αποτέλεσμα αυτό υποδηλώνει ότι η μερική ή πλήρης αντικατάσταση του σογιάλεου με άλευρο λούπινου (με πολυένζυμα) δεν επηρεάζει αρνητικά την απόδοση ανάπτυξης στα νεαρά ευρωπαϊκά λαβράκια. Αντίθετα, έχει παρόμοια απόδοση με τη συμβατική διαίτα, υποδεικνύοντας την καταλληλότητα του λούπινου ως εναλλακτική πηγή πρωτεΐνης. Αυτά τα αποτελέσματα υποστηρίζουν την περαιτέρω διερεύνηση των ζωοτροφών με βάση το λούπινο ως βιώσιμη επιλογή στην υδατοκαλλιέργεια, ειδικά λαμβάνοντας υπόψη το κόστος, τη διαθεσιμότητα και τη μειωμένη εξάρτηση από συμβατικές πηγές πρωτεΐνης.

### 3.3 Ποσοστό αύξησης ολικού βάρους

Το ποσοστό αύξησης βάρους που παρατηρήθηκε και στις τέσσερις διατροφικές θεραπείες έδειξε ότι όλες οι δίαιτες υποστήριξαν σημαντική ανάπτυξη στα νεαρά ψάρια *Dicentrarchus labrax* κατά τη διάρκεια της πειραματικής περιόδου. Η υψηλότερη μέση ποσοστιαία αύξηση καταγράφηκε στην ομάδα Lupin 1 (297,17%), ακολουθούμενη από την ομάδα Lupin 2 (294,33%), την ομάδα ελέγχου (294,42%) και την ομάδα Lupin 3 (293,05%) (Εικόνα 6). Αυτά τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η συμπερίληψη του λούπινου, ιδιαίτερα στη σύνθεση του Lupin 1 που συνδυάζε ιχθυάλευρο, σογιάλευρο και επεξεργασμένο άλευρο λούπινου με πολυένζυμα, μπορεί να προσφέρει ένα μικρό πλεονέκτημα στην προώθηση της ανάπτυξης σε σύγκριση με άλλες δίαιτες. Ωστόσο, οι διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων ήταν στατιστικά μη σημαντικές ( $P > 0,05$ ), γεγονός που υποδηλώνει ότι όλες οι δίαιτες ήταν συγκρίσιμα αποτελεσματικές στην υποστήριξη των διατροφικών αναγκών και του αναπτυξιακού δυναμικού των ψαριών. Αυτό υποστηρίζεται περαιτέρω από το γεγονός ότι όλες οι ομάδες παρουσίασαν σχεδόν τριπλάσια αύξηση στο σωματικό βάρος, υπογραμμίζοντας τη συνολική αποτελεσματικότητα των πρωτοκόλλων σίτισης και την καταλληλότητα των πειραματικών συνθηκών.

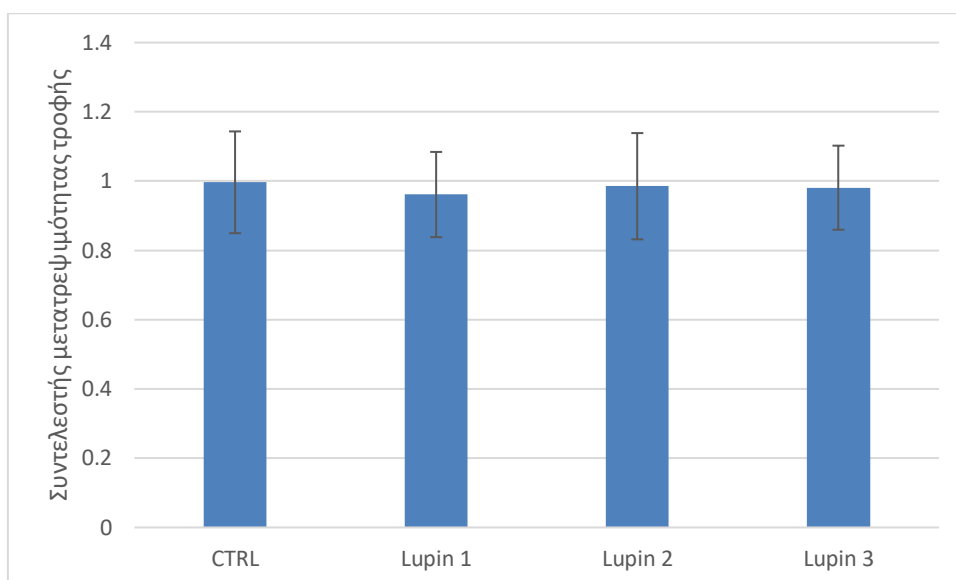


Εικόνα 6. Ποσοστό αύξησης ολικού βάρους (%) νεαρών λαβρακιών (*Dicentrarchus labrax*) κατά την πειραματική περίοδο υπό διαφορετικές διατροφικές επεμβάσεις: Μάρτυρας (CTRL), Λούπινο 1 (Lupin 1), Λούπινο 2 (Lupin 2) και Λούπινο 3 (Lupin 3). Οι τιμές αντιπροσωπεύουν τη μέση αύξηση του σωματικού βάρους σε τρεις επαναλήψεις ανά αγωγή (n=3).

### 3.4 Συντελεστής μετατρεψιμότητας τροφής

Οι τιμές του συντελεστή μετατροπής τροφής (FCR) που παρατηρήθηκαν στο πείραμα για τις διαφορετικές διατροφικές μεταχειρίσεις ήταν οι εξής: 0,997 για την ομάδα ελέγχου, 0,961 για το Lupin 1, 0,985 για το Lupin 2 και 0,981 για το Lupin 3. Αυτές οι τιμές υποδεικνύουν εξαιρετικά αποτελεσματική αξιοποίηση της τροφής σε όλες τις θεραπείες, καθώς οι τιμές FCR κοντά ή ελαφρώς κάτω από το 1,0 υποδηλώνουν ότι απαιτήθηκε σχεδόν ένα γραμμάριο τροφής για την παραγωγή ενός γραμμαρίου βιομάζας ψαριών.

Μεταξύ των σιτηρεσίων επεξεργασμένου αλεύρου λούπινου, το Lupin 1 πέτυχε το χαμηλότερο FCR (0,961), υποδηλώνοντας ότι τα ψάρια που τρέφονταν με το πρώτο επίπεδο συμπερίληψης λούπινου μετέτρεψαν την τροφή σε σωματική μάζα πιο αποτελεσματικά από εκείνα των άλλων ομάδων. Η ομάδα ελέγχου, αν και ελαφρώς λιγότερο αποτελεσματική, παρέμεινε εντός του αναμενόμενου βιολογικού εύρους και των βιομηχανικών προτύπων, τα οποία συνήθως αναφέρουν τιμές FCR μεταξύ 1,0 και 1,3 ως βέλτιστες για νεαρά ψάρια υπό καλά διαχειριζόμενες συνθήκες υδατοκαλλιέργειας. Οι διαφορές στο FCR μεταξύ των σιτηρεσίων είναι μικρές, υποδηλώνοντας ότι όλες οι δίαιτες υποστήριξαν την αποτελεσματική ανάπτυξη. Ωστόσο, η οριακά βελτιωμένη αποτελεσματικότητα της τροφής στις δίαιτες με συμπληρώματα λούπινου μπορεί να υποδηλώνει μια ευεργετική επίδραση του αλεύρου λούπινου ως μερικής αντικατάστασης του ιχθυάλευρου ή άλλων πηγών πρωτεΐνης.

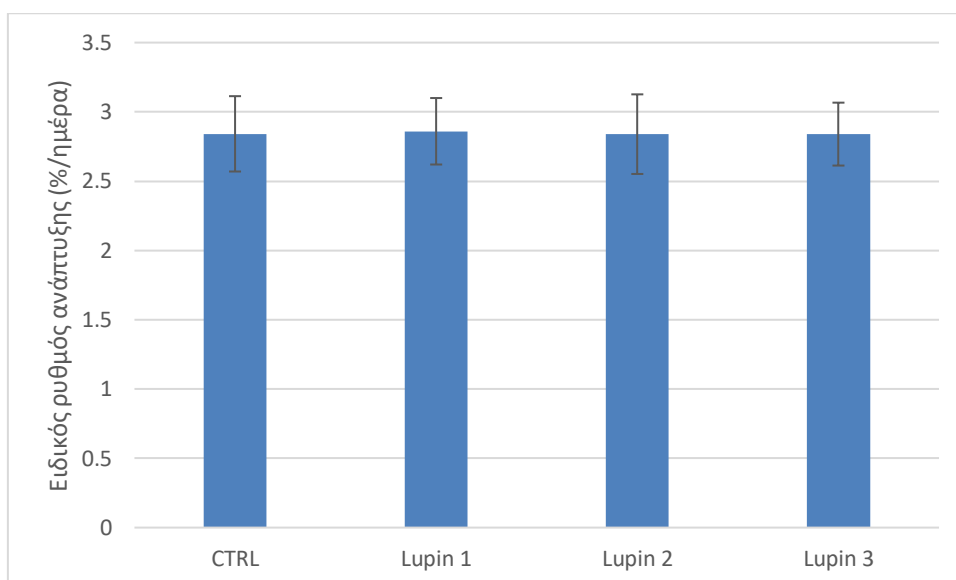


Εικόνα 7. Συντελεστής μετατρεψιμότητας τροφής για τα νεαρά λαβράκια (*Dicentrarchus labrax*) κατά την πειραματική περίοδο υπό διαφορετικές διατροφικές επεμβάσεις: Μάρτυρας (CTRL), Λούπινο 1 (Lupin 1), Λούπινο 2 (Lupin 2) και Λούπινο 3 (Lupin 3). Οι τιμές αντιπροσωπεύουν τη μέση αύξηση του σωματικού βάρους σε τρεις επαναλήψεις ανά αγωγή (n=3).

### 3.5 Ειδικός ρυθμός ανάπτυξης

Οι τιμές του Ειδικού Ρυθμού Ανάπτυξης (SGR) για τις διαφορετικές διατροφικές θεραπείες ήταν αρκετά σταθερές σε όλες τις ομάδες, κυμαινόμενες μεταξύ 2,84% και 2,86% ανά ημέρα. Συγκεκριμένα, η ομάδα Lupin 1 εμφάνισε τιμή SGR ίση με 2,86%/ημέρα, η ομάδα ελέγχου είχε 2,84%/ημέρα, ενώ οι ομάδες Lupin 2 και Lupin 3 εμφάνισαν τιμές SGR στο 2,84%/ημέρα (Εικόνα 8). Από βιολογική και διατροφική άποψη, αυτά τα αποτελέσματα υποδηλώνουν ότι η συμπερίληψη αλεύρου λούπινου - είτε αντικαθιστά εν μέρει είτε πλήρως το σογιάλευρο - δεν επηρέασε αρνητικά την ημερήσια απόδοση ανάπτυξης του *D. labrax*.

Στατιστικά, δεν υπάρχει σημαντική διαφορά, κάτι που υποστηρίζει το συμπέρασμα ότι οι δίαιτες με βάση το λούπινο μπορούν να χρησιμεύσουν ως διατροφικά ισοδύναμες εναλλακτικές λύσεις σε σχέση με τις συμβατικές συνθέσεις ιχθυαλεύρου-σόγιας. Συνολικά, τα δεδομένα δείχνουν ότι όλες οι δοκιμασμένες δίαιτες, συμπεριλαμβανομένων εκείνων με λούπινο, είναι κατάλληλες για την υποστήριξη υγιούς και συνεπούς ανάπτυξης σε νεαρά άτομα λαβρακιού.

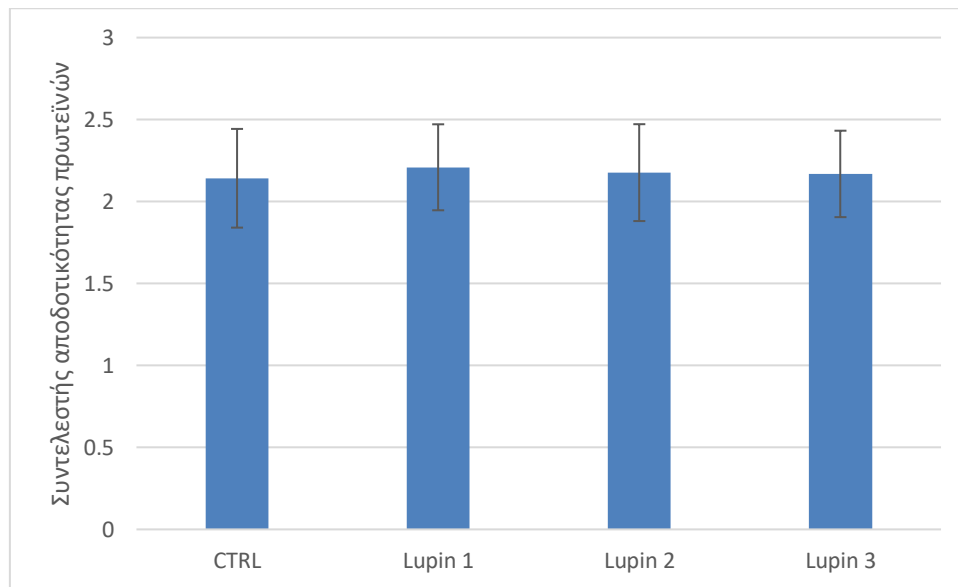


Εικόνα 8. Ειδικός ρυθμός ανάπτυξης (%/ημέρα) για τα νεαρά λαβράκια (*Dicentrarchus labrax*) κατά την πειραματική περίοδο υπό διαφορετικές διατροφικές επεμβάσεις: Μάρτυρας (CTRL), Λούπινο 1 (Lupin 1), Λούπινο 2 (Lupin 2) και Λούπινο 3 (Lupin 3). Οι τιμές αντιπροσωπεύουν τη μέση αύξηση του σωματικού βάρους σε τρεις επαναλήψεις ανά αγωγή (n=3).

### 3.6 Συντελεστής αποδοτικότητας πρωτεϊνών

Ο συντελεστής αποδοτικότητας πρωτεϊνών (PER), ο οποίος αντικατοπτρίζει την αποτελεσματικότητα με την οποία τα ψάρια μετατρέπουν την προσλαμβανόμενη διαιτητική πρωτεΐνη σε σωματική μάζα, παρουσίασε ελάχιστη διακύμανση στις τέσσερις διατροφικές ομάδες. Οι τιμές του PER για τις τέσσερις διατροφικές θεραπείες ήταν 2,14 για την ομάδα ελέγχου, 2,21 για το Lupin 1, 2,18 για το Lupin 2 και 2,17 για το Lupin 3. Αυτές οι τιμές εμπίπτουν στο κοινώς αποδεκτό εύρος για τα είδη υδατοκαλλιέργειας, το οποίο κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 1,8 και 2,2, υποδηλώνοντας ότι όλες οι τροφές παρείχαν επαρκή αξιοποίηση πρωτεΐνης από τα ψάρια.

Μεταξύ των σιτηρεσιών, η ομάδα Λούπινου 1 επέδειξε την υψηλότερη τιμή PER (2,21), υποδεικνύοντας ελαφρώς πιο αποτελεσματική αξιοποίηση πρωτεΐνης σε σύγκριση με τις άλλες ομάδες. Αυτό μπορεί να αντανακλά ένα πιο ευνοϊκό προφίλ αμινοξέων ή καλύτερη πεπτικότητα της τροφής σε αυτή τη συγκεκριμένη σύνθεση. Ωστόσο, οι διαφορές μεταξύ των θεραπειών ήταν σχετικά μικρές (εντός 0,07 μονάδων), υποδηλώνοντας ότι η μερική υποκατάσταση του ιχθυαλεύρου με επεξεργασμένο άλευρο λούπινου δεν επηρέασε αρνητικά την αποτελεσματικότητα αξιοποίησης πρωτεΐνης στα νεαρά ψάρια.



Εικόνα 9. Συντελεστής αποδοτικότητας πρωτεϊνών για τα νεαρά λαβράκια (*Dicentrarchus labrax*) κατά την πειραματική περίοδο υπό διαφορετικές διατροφικές επεμβάσεις: Μάρτυρας (CTRL), Λούπινο 1 (Lupin 1), Λούπινο 2 (Lupin 2 ) και Λούπινο 3 (Lupin 3). Οι τιμές αντιπροσωπεύουν τη μέση αύξηση του σωματικού βάρους σε τρεις επαναλήψεις ανά αγωγή (n=3).

## 4 Συζήτηση

Η παρούσα μελέτη αξιολόγησε τα αποτελέσματα της ενσωμάτωσης ενζυμικά επεξεργασμένου αλεύρου λούπινου ως μερική ή ολική αντικατάστασης του αλεύρου σόγιας στις δίαιτες (σιτηρέσια) νεαρών λαβρακιών (*D. labrax*). Τα ευρήματα έδειξαν ότι όλες οι δίαιτες με προσθήκη του επεξεργασμένου αλεύρου λούπινου παρουσίασαν απόδοση ανάπτυξης και αξιοποίησης τροφής παρόμοια με τη δίαιτα ελέγχου, η οποία βασιζόταν σε παραδοσιακές πηγές πρωτεΐνης, όπως το σογιάλευρο. Τα αποτελέσματα αυτά υποδηλώνουν ότι η πλήρης αντικατάσταση του σογιάλευρου με επεξεργασμένο με ένζυμα άλευρο λούπινου δεν επηρεάζει αρνητικά την επιβίωση και την αναπτυξιακή απόδοση των νεαρών ατόμων λαβρακιού και δεν υποβαθμίζει την αξιοποίηση της τροφής από αυτά, υποδεικνύοντας την καταλληλότητα του λούπινου ως εναλλακτική του σογιάλευρου πηγή πρωτεΐνης. Τα ευρήματα αυτά υποστηρίζουν την περαιτέρω διερεύνηση των ιχθυοτροφών με βάση το άλευρο λούπινου ως βιώσιμη επιλογή στην υδατοκαλλιέργεια, ειδικά λαμβάνοντας υπόψη το κόστος, τη διαθεσιμότητα και τη μειωμένη εξάρτηση από συμβατικές πηγές πρωτεΐνης.

Αυτά τα αποτελέσματα ευθυγραμμίζονται με προηγούμενες μελέτες όπου η μερική συμπερίληψη αλεύρου λούπινου δεν έθεσε σε κίνδυνο την ανάπτυξη των θαλάσσιων ειδών. Για παράδειγμα, οι Katersky & Carter (2009) δεν ανέφεραν σημαντικές διαφορές στο SGR του ασιατικού λαβρακιού (*Lates calcarifer*) όταν το 45% της πρωτεΐνης ιχθυαλεύρου αντικαταστάθηκε με συστατικά λούπινου και οι Fisseha et al. (2025) δεν ανέφεραν επίσης σημαντικές διαφορές στο SGR σε τιλάπιες του Νείλου (*Oreochromis niloticus* L.) για διάφορες αντικαταστάσεις ιχθυαλεύρου από μείγμα λούπινου (*Lupinus albus* L.) και βρώσιμου λαθουρίου (*Lathyrus sativus* L.) στις δίαιτες τους σε σχέση με το μάρτυρα.

Οι τιμές FCR που παρατηρήθηκαν σε όλες τις ομάδες ήταν παρόμοιες και αυτό δείχνει ότι η ενζυμική επεξεργασία του αλεύρου λούπινου μπορεί να βελτιώσει την πεπτικότητα των θρεπτικών συστατικών, οδηγώντας σε βελτιωμένη αποδοτικότητα της τροφής. Η χρήση εξωγενών ενζύμων για τη διάσπαση σύνθετων υδατανθράκων και τη μείωση των αντι-θρεπτικών παραγόντων στα συστατικά φυτικής προέλευσης έχει αποδειχθεί ότι βελτιώνει τη διαθεσιμότητα θρεπτικών συστατικών και τη μετατρεψιμότητα της τροφής σε διάφορα εκτρεφόμενα είδη (Ahmed et al., 2025). Τα αποτελέσματα ευθυγραμμίζονται με προηγούμενες μελέτες όπου η μερική συμπερίληψη αλεύρου λούπινου οδήγησε σε αποτελεσματικές τιμές FCR σε σιτηρέσια που χορηγήθηκαν σε τιλάπιες Νείλου (Fisseha et al., 2025) και αφρικάνικα γατόψαρα, *Clarias Gariepinus* (Yalew et al., 2019).

Οι τιμές PER ήταν παρόμοιες σε όλες τις δίαιτες που υποδηλώνει ότι η πρωτεΐνη από ενζυμικά επεξεργασμένο άλευρο λούπινου χρησιμοποιείται αποτελεσματικά για την ανάπτυξη των ιχθύων και είναι συγκρίσιμη με εκείνη του σογιάλευρο. Οι συγκρίσιμες τιμές

PER δείχνουν ότι το άλευρο λούπινου όταν υποβάλλεται σε σωστή επεξεργασία, μπορεί να χρησιμεύσει ως μια βιώσιμη εναλλακτική πηγή πρωτεΐνης στις ιχθυοτροφές (Fisseha et al., 2024, 2025; Serra et al., 2024). Συνολικά, τα αποτελέσματα υποστηρίζουν την καταλληλότητα των πηγών πρωτεΐνης με βάση το λούπινο ως μερική αντικατάσταση του ιχθυαλεύρου στις ιχθυοτροφές, χωρίς αρνητική επίδραση στην πρωτεϊνική απόδοση. Αυτό ευθυγραμμίζεται με ευρήματα άλλων μελετών (Glencross et al., 2008), οι οποίες έχουν δείξει ότι το λούπινο μπορεί να χρησιμεύσει ως πηγή φυτικής πρωτεΐνης υψηλής ποιότητας στη διατροφή των υδατοκαλλιιεργειών.

Η επιτυχής ένταξη του αλεύρου λούπινου στις δίαιτες του λαβρακιού έχει σημαντικές επιπτώσεις για τη βιώσιμη υδατοκαλλιέργεια. Η καλλιέργεια λούπινου έχει μικρότερο περιβαλλοντικό αποτύπωμα σε σύγκριση με την παραγωγή σόγιας και ιχθυάλευρου, απαιτώντας λιγότερο νερό και γη και συμβάλλοντας στην υγεία του εδάφους μέσω της δέσμευσης αζώτου (Serra et al., 2024; Szczepański et al., 2022). Η χρήση του λούπινου ως πηγή πρωτεΐνης μπορεί να μειώσει την εξάρτηση από υπερεκμεταλλευόμενους θαλάσσιους πόρους και περιβαλλοντικά εντατικές καλλιέργειες, ευθυγραμμιζόμενη με τις παγκόσμιες προσπάθειες για την ενίσχυση της βιωσιμότητας των πρακτικών υδατοκαλλιέργειας (Serra et al., 2024; Szczepański et al., 2022).

Η πλήρης αντικατάσταση του σογιάλευρου με ενζυματικά επεξεργασμένο άλευρο λούπινου στις δίαιτες λαβρακιού διατηρεί συγκρίσιμη απόδοση ανάπτυξης και αποτελεσματικότητα αξιοποίησης της τροφής. Αυτά τα ευρήματα υποστηρίζουν την ένταξη επεξεργασμένου αλεύρου λούπινου στις ιχθυοτροφές, συμβάλλοντας σε πιο βιώσιμες και φιλικές προς το περιβάλλον πρακτικές υδατοκαλλιέργειας.

## Συμπεράσματα

Η παρούσα μελέτη διερεύννησε τη δυνατότητα χρήσης του αλεύρου από σπόρους λούπινου, επεξεργασμένου με πολυένζυμα, ως μερική ή ολική αντικατάσταση του αλεύρου σόγιας στο σιτηρέσιο των νεαρών ευρωπαϊκών λαβρακιών (*D. labrax*). Σε όλους τους βασικούς δείκτες ανάπτυξης και αξιοποίησης των τροφών - αρχική αύξηση βάρους, ποσοστό αύξησης βάρους, συντελεστής μετατρεψιμότητας τροφής FCR, ειδικός ρυθμός ανάπτυξης (SGR) και συντελεστής αποδοτικότητας πρωτεϊνών (PER) - οι πειραματικές ομάδες που έλαβαν δίαιτες με βάση το άλευρο λούπινου είχαν συγκρίσιμη απόδοση με την ομάδα ελέγχου.

Συνολικά, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι μπορεί να επιτευχθεί έως και πλήρης αντικατάσταση του αλεύρου σόγιας με επεξεργασμένο με πολυένζυμα άλευρο λούπινου χωρίς αρνητικές επιπτώσεις στην ανάπτυξη ή την αξιοποίηση των τροφών στο ευρωπαϊκό λαβράκι. Δεδομένων των αυξανόμενων οικονομικών και περιβαλλοντικών πιέσεων στην προσφορά ιχθυαλεύρων και σόγιας, αυτά τα ευρήματα προσφέρουν πολύτιμη πληροφορία για τις δυνατότητες εναλλακτικών πηγών φυτικής πρωτεΐνης. Μια μελλοντική εργασία θα μπορούσε να επικεντρωθεί σε μακροπρόθεσμες δοκιμές, μελέτες πεπτικότητας και οικονομική βιωσιμότητα της εφαρμογής σε εμπορική κλίμακα.

## Βιβλιογραφία

- Acar, Ü., Kesbiç, O. S., Yılmaz, S., & Karabayır, A. (2018). Growth performance, haematological and serum biochemical profiles in rainbow trout ( *Oncorhynchus mykiss* ) fed diets with varying levels of lupin ( *Lupinus albus* ) meal. *Aquaculture Research*, 49(7), 2579–2586. <https://doi.org/10.1111/are.13724>
- Ahmed, S. R., Doan, H. Van, Davies, S., Goda, A. M. A., & El-Haroun, E. (2025). Overview of the use of exogenous enzymes in aquaculture: The functionality of exogenous enzymes in aquaculture. *Annals of Animal Science*. <https://doi.org/10.2478/aoas-2025-0017>
- Aragão, C., Gonçalves, A. T., Costas, B., Azeredo, R., Xavier, M. J., & Engrola, S. (2022). Alternative Proteins for Fish Diets: Implications beyond Growth. *Animals*, 12(9), 1211. <https://doi.org/10.3390/ani12091211>
- Azzaydi, M., Martínez, F. ., Zamora, S., Sánchez-Vázquez, F. ., & Madrid, J. . (2000). The influence of nocturnal vs. diurnal feeding under winter conditions on growth and feed conversion of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*, L.). *Aquaculture*, 182(3–4), 329–338. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(99\)00276-8](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00276-8)
- Beal, C. M., Gerber, L. N., Thongrod, S., Phromkunthong, W., Kiron, V., Granados, J., Archibald, I., Greene, C. H., & Huntley, M. E. (2018). Marine microalgae commercial production improves sustainability of global fisheries and aquaculture. *Scientific Reports*, 8(1), 15064. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-33504-w>
- Bowyer, P. H., El-Haroun, E. R., Salim, H. S., & Davies, S. J. (2020). Benefits of a commercial solid-state fermentation (SSF) product on growth performance, feed efficiency and gut morphology of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed different UK lupin meal cultivars. *Aquaculture*, 523, 735192. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735192>
- Cañon Jones, H. A., Hansen, L. A., Noble, C., Damsgård, B., Broom, D. M., & Pearce, G. P. (2010). Social network analysis of behavioural interactions influencing fin damage development in Atlantic salmon (*Salmo salar*) during feed-restriction. *Applied Animal Behaviour Science*, 127(3–4), 139–151. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2010.09.004>
- Castillo, S., & Gatlin, D. M. (2015). Dietary supplementation of exogenous carbohydrase enzymes in fish nutrition: A review. *Aquaculture*, 435, 286–292. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.10.011>
- Chatzifotis, S., Papadaki, M., Despoti, S., Roufidou, C., & Antonopoulou, E. (2011). Effect of starvation and re-feeding on reproductive indices, body weight, plasma metabolites and oxidative enzymes of sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Aquaculture*, 316(1–4), 53–59.

- <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.02.044>
- Chaves-Pozo, E., Guardiola, F. A., Meseguer, J., Esteban, M. A., & Cuesta, A. (2012). Nodavirus infection induces a great innate cell-mediated cytotoxic activity in resistant, gilthead seabream, and susceptible, European sea bass, teleost fish. *Fish & Shellfish Immunology*, 33(5), 1159–1166. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2012.09.002>
- Cruz-Suarez, L. E., Ricque-Marie, D., Tapia-Salazar, M., McCallum, I. M., & Hickling, D. (2001). Assessment of differently processed feed pea (*Pisum sativum*) meals and canola meal (*Brassica* sp.) in diets for blue shrimp (*Litopenaeus stylirostris*). *Aquaculture*, 196(1–2), 87–104. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(00\)00572-X](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(00)00572-X)
- Dawood, M. A. O., & Koshio, S. (2020). Application of fermentation strategy in aquafeed for sustainable aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 12(2), 987–1002. <https://doi.org/10.1111/raq.12368>
- del Pozo, A., Vera, L. M., Montoya, A., & Sánchez-Vázquez, F. J. (2013). Daily rhythms of blood glucose differ in diurnal and nocturnal European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) undergoing seasonal phase inversions. *Fish Physiology and Biochemistry*, 39(3), 695–699. <https://doi.org/10.1007/s10695-012-9732-z>
- Enes, P., Panserat, S., Kaushik, S., & Oliva-Teles, A. (2011). Dietary Carbohydrate Utilization by European Sea Bass (*Dicentrarchus labrax* L.) and Gilthead Sea Bream (*Sparus aurata* L.) Juveniles. *Reviews in Fisheries Science*, 19(3), 201–215. <https://doi.org/10.1080/10641262.2011.579363>
- Eroldoğan, O. ., Kumlu, M., & Aktaş, M. (2004). Optimum feeding rates for European sea bass *Dicentrarchus labrax* L. reared in seawater and freshwater. *Aquaculture*, 231(1–4), 501–515. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2003.10.020>
- Estensoro, I., Ballester-Lozano, G., Benedito-Palos, L., Grammes, F., Martos-Sitcha, J. A., Mydland, L.-T., Caldach-Giner, J. A., Fuentes, J., Karalazos, V., Ortiz, Á., Øverland, M., Sitjà-Bobadilla, A., & Pérez-Sánchez, J. (2016). Dietary Butyrate Helps to Restore the Intestinal Status of a Marine Teleost (*Sparus aurata*) Fed Extreme Diets Low in Fish Meal and Fish Oil. *PLOS ONE*, 11(11), e0166564. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0166564>
- EUMOFA. (2024). *New study: Fresh European Seabass in the EU*. European Market Observatory for Fisheries and Aquaculture Products. [https://eumofa.eu/new-study-fresh-european-seabass-in-the-eu?utm\\_source=chatgpt.com](https://eumofa.eu/new-study-fresh-european-seabass-in-the-eu?utm_source=chatgpt.com)
- Fiorella, K. J., Okronipa, H., Baker, K., & Heilpern, S. (2021). Contemporary aquaculture: implications for human nutrition. *Current Opinion in Biotechnology*, 70, 83–90. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2020.11.014>

- Fisseha, T., Geremew, A., & Fetahi, T. (2024). Partial Replacement of Fish Meal by A Mixture of Lupin (*Lupinus albus L.*) and Grass Pea (*Lathyrus sativus L.*) Meal in the Diets of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus L.*) Fingerlings in a Recirculating Aquaculture System. *Aquaculture Studies*, 24(6). <https://doi.org/10.4194/AQUAST1991>
- Fisseha, T., Geremew, A., Fetahi, T., & Abass, K. (2025). Impact of Lupin and Grass Pea Mixture Meal as Dietary Inclusion on Body Composition and Haematological Parameters of Nile Tilapia Fingerlings in a Recirculation Aquaculture System. *Aquaculture, Fish and Fisheries*, 5(3). <https://doi.org/10.1002/aff2.70073>
- Gamboa-Delgado, J., Rojas-Casas, M. G., Nieto-López, M. G., & Cruz-Suárez, L. E. (2013). Simultaneous estimation of the nutritional contribution of fish meal, soy protein isolate and corn gluten to the growth of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) using dual stable isotope analysis. *Aquaculture*, 380–383, 33–40. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.11.028>
- Gatlin, D. M., Barrows, F. T., Brown, P., Dabrowski, K., Gaylord, T. G., Hardy, R. W., Herman, E., Hu, G., Krogdahl, Å., Nelson, R., Overturf, K., Rust, M., Sealey, W., Skonberg, D., J Souza, E., Stone, D., Wilson, R., & Wurtele, E. (2007). Expanding the utilization of sustainable plant products in aquafeeds: a review. *Aquaculture Research*, 38(6), 551–579. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2007.01704.x>
- Gibson Gaylord, T., Barrows, F. T., Teague, A. M., Johansen, K. A., Overturf, K. E., & Shepherd, B. (2007). Supplementation of taurine and methionine to all-plant protein diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 269(1–4), 514–524. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.04.011>
- Glencross, B., Evans, D., Dods, K., McCafferty, P., Hawkins, W., Maas, R., & Sipsas, S. (2005). Evaluation of the digestible value of lupin and soybean protein concentrates and isolates when fed to rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, using either stripping or settlement faecal collection methods. *Aquaculture*, 245(1–4), 211–220. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.11.033>
- Glencross, B., Hawkins, W., Evans, D., Rutherford, N., Dods, K., Mccafferty, P., & Sipsas, S. (2008). Evaluation of the influence of *Lupinus angustifolius* kernel meal on dietary nutrient and energy utilization efficiency by rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture Nutrition*, 14(2), 129–138. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2007.00512.x>
- Güroy, D., Şahin, İ., Güroy, B., Merrifield, D. L., Bulut, M., & Tekinay, A. A. (2013). Replacement of fishmeal with rice protein concentrate in practical diets for European sea bass *Dicentrarchus labrax* reared at winter temperatures. *Aquaculture Research*, 44(3),

- 462–471. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2011.03053.x>
- Hekmatpour, F., & Torfi Mozanzadeh, M. (2022). Legumes, Sustainable Alternative Protein Sources for Aquafeeds. In *Legumes Research - Volume 2*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.99778>
- Higuera-Ciapara, I., Félix-Valenzuela, L., & Goycoolea, F. M. (2006). Astaxanthin: A Review of its Chemistry and Applications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 46(2), 185–196. <https://doi.org/10.1080/10408690590957188>
- Hussain, S. M., Bano, A. A., Ali, S., Rizwan, M., Adrees, M., Zahoor, A. F., Sarker, P. K., Hussain, M., Arsalan, M. Z.-H., Yong, J. W. H., & Naeem, A. (2024). Substitution of fishmeal: Highlights of potential plant protein sources for aquaculture sustainability. *Heliyon*, 10(4), e26573. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e26573>
- Jiang, H., Qi, P., Wang, T., Chi, X., Wang, M., Chen, M., Chen, N., & Pan, L. (2019). Role of halotolerant phosphate-solubilising bacteria on growth promotion of peanut ( *Arachis hypogaea* ) under saline soil. *Annals of Applied Biology*, 174(1), 20–30. <https://doi.org/10.1111/aab.12473>
- Katersky, R. S., & Carter, C. G. (2009). Growth and protein synthesis of barramundi, *Lates calcarifer*, fed lupin as a partial protein replacement. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 152(4), 513–517. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2008.12.017>
- Khalili Tilami, S., & Sampels, S. (2018). Nutritional Value of Fish: Lipids, Proteins, Vitamins, and Minerals. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 26(2), 243–253. <https://doi.org/10.1080/23308249.2017.1399104>
- Kiron, V. (2012). Fish immune system and its nutritional modulation for preventive health care. *Animal Feed Science and Technology*, 173(1–2), 111–133. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.12.015>
- Kousoulaki, K., Saether, B.-S., Albrektsen, S., & Noble, C. (2015). Review on European sea bass ( *Dicentrarchus labrax*, Linnaeus, 1758) nutrition and feed management: a practical guide for optimizing feed formulation and farming protocols. *Aquaculture Nutrition*, 21(2), 129–151. <https://doi.org/10.1111/anu.12233>
- Maruyama, N., Fukuda, T., Saka, S., Inui, N., Kotoh, J., Miyagawa, M., Hayashi, M., Sawada, M., Moriyama, T., & Utsumi, S. (2003). Molecular and structural analysis of electrophoretic variants of soybean seed storage proteins. *Phytochemistry*, 64(3), 701–708. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(03\)00385-6](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(03)00385-6)
- Noble, C., Kadri, S., Mitchell, D. F., & Huntingford, F. A. (2008). Growth, production and fin damage in cage-held 0+ Atlantic salmon pre-smolts (*Salmo salar* L.) fed either a on-

- demand, or b) to a fixed satiation–restriction regime: Data from a commercial farm. *Aquaculture*, 275(1–4), 163–168. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.12.028>
- Oliva-Teles, A., Enes, P., & Peres, H. (2015a). Replacing fishmeal and fish oil in industrial aquafeeds for carnivorous fish. *Feed and Feeding Practices in Aquaculture*, 203–233.
- Oliva-Teles, A., Enes, P., & Peres, H. (2015b). Replacing fishmeal and fish oil in industrial aquafeeds for carnivorous fish. In *Feed and Feeding Practices in Aquaculture* (pp. 203–233). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100506-4.00008-8>
- Park, H., Weier, S., Razvi, F., Peña, P. A., Sims, N. A., Lowell, J., Hungate, C., Kissinger, K., Key, G., Fraser, P., Napier, J. A., Cahoon, E. B., & Clemente, T. E. (2017). Towards the development of a sustainable soya bean-based feedstock for aquaculture. *Plant Biotechnology Journal*, 15(2), 227–236. <https://doi.org/10.1111/pbi.12608>
- Pereira, T. G., & Oliva-Teles, A. (2004). Evaluation of micronized lupin seed meal as an alternative protein source in diets for gilthead sea bream *Sparus aurata* L. juveniles. *Aquaculture Research*, 35(9), 828–835. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2004.01073.x>
- Pham, H. D., Fotedar, R., Nguyen, C. M., & Siddik, M. A. B. (2016). Feed Utilisation Efficiency of Lupin Inclusion in Cobia: Role of Dietary Organic Selenium Supplementation. *Modern Applied Science*, 10(10), 180. <https://doi.org/10.5539/mas.v10n10p180>
- Pham, H. D., Siddik, M. A. B., Fotedar, R., Chaklader, M. R., Foysal, M. J., Nguyen, C. M., & Munilkumar, S. (2020). Substituting fishmeal with lupin *Lupinus angustifolius* kernel meal in the diets of cobia *Rachycentron canadum*: Effects on growth performance, nutrient utilization, haemato-physiological response, and intestinal health. *Animal Feed Science and Technology*, 267, 114556. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114556>
- Rubio, V. C., Vivas, M., Sánchez-Mut, A., Sánchez-Vázquez, F. J., Covès, D., Dutto, G., & Madrid, J. A. (2004). Self-feeding of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*, L.) under laboratory and farming conditions using a string sensor. *Aquaculture*, 233(1–4), 393–403. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2003.10.011>
- Salze, G., McLean, E., Battle, P. R., Schwarz, M. H., & Craig, S. R. (2010). Use of soy protein concentrate and novel ingredients in the total elimination of fish meal and fish oil in diets for juvenile cobia, *Rachycentron canadum*. *Aquaculture*, 298(3–4), 294–299. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.11.003>
- Santos, G. A., Schrama, J. W., Capelle, J., Rombout, J. H. W. M., & Verreth, J. A. J. (2013). Effects of dissolved carbon dioxide on energy metabolism and stress responses in European seabass ( *Dicentrarchus labrax* ). *Aquaculture Research*, 44(9), 1370–1382.

<https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2012.03142.x>

- Serra, V., Pastorelli, G., Tedesco, D. E. A., Turin, L., & Guerrini, A. (2024). Alternative protein sources in aquafeed: Current scenario and future perspectives. *Veterinary and Animal Science*, 25, 100381. <https://doi.org/10.1016/j.vas.2024.100381>
- Stewart, L. A. E., Kadri, S., Noble, C., Kankainen, M., Setälä, J., & Huntingford, F. A. (2012). THE BIO-ECONOMIC IMPACT OF IMPROVING FISH WELFARE USING DEMAND FEEDERS IN SCOTTISH ATLANTIC SALMON SMOLT PRODUCTION. *Aquaculture Economics & Management*, 16(4), 384–398. <https://doi.org/10.1080/13657305.2012.729253>
- Szczepański, A., Adamek-Urbańska, D., Kasprzak, R., Szudrowicz, H., Śliwiński, J., & Kamaszewski, M. (2022). Lupin: A promising alternative protein source for aquaculture feeds? *Aquaculture Reports*, 26, 101281. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2022.101281>
- Tacon, A. G., Hasan, M. R., & Metian, M. (2011). Demand and supply of feed ingredients for farmed fish and crustaceans: trends and prospects. *FAO*.
- Tacon, A. G. J., & Metian, M. (2015). Feed Matters: Satisfying the Feed Demand of Aquaculture. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 23(1), 1–10. <https://doi.org/10.1080/23308249.2014.987209>
- Türkmen, S., Eroldoğan, O. T., Yılmaz, H. A., Ölçülü, A., Inan, G. A. K., Erçen, Z., & Tekelioğlu, N. (2012). Compensatory growth response of European sea bass ( *Dicentrarchus labrax* L.) under cycled starvation and restricted feeding rate. *Aquaculture Research*, 43(11), 1643–1650. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2011.02970.x>
- Van Vo, B., Bui, D. P., Nguyen, H. Q., & Fotedar, R. (2015). Optimized fermented lupin (*Lupinus angustifolius*) inclusion in juvenile barramundi (*Lates calcarifer*) diets. *Aquaculture*, 444, 62–69. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.03.019>
- Yalew, A., Getahun, A., & Dejen, E. (2019). Effect of replacing fish meal by sweet lupin meal on growth performance of African catfish fingerlings, *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822). *Ethiopian Journal of Science and Technology*, 12(1), 1. <https://doi.org/10.4314/ejst.v12i1.1>
- Ye, G., Dong, X., Yang, Q., Chi, S., Liu, H., Zhang, H., Tan, B., & Zhang, S. (2020). Low-gossypol cottonseed protein concentrate used as a replacement of fish meal for juvenile hybrid grouper (*Epinephelus fuscoguttatus* ♀ × *Epinephelus lanceolatus* ♂): Effects on growth performance, immune responses and intestinal microbiota. *Aquaculture*, 524, 735309. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735309>
- Zhou, S., Smith, A. D., & Knudsen, E. E. (2015). Ending overfishing while catching more fish. *Fish and Fisheries*, 16(4), 716–722. <https://doi.org/10.1111/faf.12077>

