

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΙΧΘΥΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΑΤΙΝΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Κατανάλωση τροφής και ανάπτυξη του Λαβρακιού σε ένα
σύστημα ενυδρειοπονίας γλυκού νερού»**

Παρασκευάς Γκίκας

Μαρία Έλληνα

Κωνσταντίνος Νιάκας

ΒΟΛΟΣ 2021

**«Κατανάλωση τροφής και ανάπτυξη του Λαβρακιού σε ένα σύστημα
ενυδρειοπονίας γλυκού νερού».**

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:

Νικόλαος Βλάχος, Ε.ΔΙ.Π, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Φυσιολογία θρέψης Υδρόβιων Οργανισμών στην Ενυδρειολογία και Ενυδρειοπονία , **Επιβλέπων**.

Έλενα Μεντέ, Καθηγήτρια, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Φυσιολογία Θρέψης Υδρόβιων Ζωικών Οργανισμών, **Μέλος**.

Παναγιώτης Βερίλλης, Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Μικροσκοπία και Ανάλυση Εικόνας στην Ιστολογία και στους Υδρόβιους Οργανισμούς, **Μέλος**

Αφιέρωση πρώτου συγγραφέα:

Στην οικογένειά μου

Αφιέρωση δεύτερου συγγραφέα:

Αφιερώνω την πτυχιακή διπλωματική εργασία στην οικογένειά μου για την συμπαράστασή της όλο αυτό το διάστημα και στους συναδέλφους μου για την άψογη συνεργασία

Αφιέρωση τρίτου συγγραφέα:

Στην οικογένειά μου και στους συναδέλφους μου για την εξαιρετική συνεργασία κατά τη διάρκεια της διπλωματικής εργασίας. Στους φίλους μου για την κατανόηση και την θερμή τους υποστήριξη καθ' όλη την διάρκεια εκπόνησης της πτυχιακής

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα θέλαμε να εκφράσουμε τις ειλικρινείς μας ευχαριστίες σε όλους αυτούς τους ανθρώπους που συνέβαλαν στο να φέρουμε εις πέρας την παρούσα Προπτυχιακή Διπλωματική Εργασία.

Ιδιαίτερα θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον Δρ Νικόλαο Βλάχο επιβλέπων της πτυχιακής εργασίας για την συμπαράστασή του και την πολύτιμη βοήθεια που μας προσέφερε καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης, επεξεργασίας των δεδομένων και συγγραφής της παρούσης διπλωματικής εργασίας.

Επίσης, ευχαριστούμε την Καθηγήτρια Έλενα Μεντέ, και τον Αναπληρωτή Καθηγητή Παναγιώτη Βερίλλη, μέλη της τριμελούς εξεταστικής επιτροπής για την βοήθεια και καθοδήγηση που μας προσέφεραν καθ' όλη τη διάρκεια εκτέλεσης και συγγραφής της παρούσης προπτυχιακής διπλωματικής εργασίας.

Ευχαριστούμε θερμά, την υποψήφια διδάκτορα κ Παρασκευή Σταθοπούλου, για την ανιδιοτελή βοήθεια που μας πρόσφερε κατά την διαδικασία διεξαγωγής του πειράματος.

Ευχαριστούμε θερμά, τον όμιλο ΣΕΛΟΝΤΑ ΑΕΓΕ και ιδιαίτερα τους κ Δημόπουλο Δημήτριο και Κόλι Αντώνιο που στάθηκαν αρωγοί στην προσπάθειάς μας αυτή με την προμήθεια των ιχθυδίων λαβρακιού που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διπλωματική πειραματική εργασία.

Ευχαριστούμε τους συμφοιτητές και φίλους μας για την κατανόησή τους, την συμπαράσταση και για τη βοήθεια που μας προσέφεραν καθώς και για την ψυχολογική υποστήριξη στο να φέρουμε εις πέρας αυτήν την εργασία.

Τέλος, θα θέλαμε να εκφράσουμε τις ευχαριστίες μας στις οικογένειες μας για την αμέριστη στήριξή τους, τόσο κατά τη διάρκεια των σπουδών μας καθώς και ολοκλήρωσης της παρούσης διπλωματικής προπτυχιακής εργασίας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ενυδραιοπονία συνδυάζει την εκτροφή ψαριών σε κλειστά συστήματα υδατοκαλλιέργειας και την καλλιέργεια φυτών σε υδροπονικές δεξαμενές. Σκοπός της παρούσας προπτυχιακής διατριβής ήταν να μελετήσει την κατανάλωση της τροφής, όταν χορηγούνται εμπορικά σύμπληκτα με διαφορετικές συχνότητες γευμάτων ανά ημέρα σε σύστημα ενυδραιοπονίας με γλυκό νερό.

Συνολικά χρησιμοποιήθηκαν 200 άτομα λαβρακιού (*Dicentrarchus Labrax*) μέσου αρχικού βάρους $6,84 \pm 0,31$ gr και μέσου αρχικού μήκους $8,5 \pm 0,32$ cm, τα οποία χωρίστηκαν ανά 19 άτομα στις δεξαμενές, όγκου 100 L με τα αντιγρατά τους. Σε κάθε μεταχείριση εφαρμόστηκε διαφορετική συχνότητα σίτισης (2, 4 και 8 γεύματα/ημέρα) για χρονικό διάστημα 45 ημερών. Επιπλέον, στο σύστημα χρησιμοποιήθηκαν 24 φυτά μαρουλιού (*Lettuce sativa*) τα οποία είχαν μέσο αρχικό ύψος 11,8 cm και τοποθετήθηκαν σε δεξαμενή υδροπονικής καλλιέργειας 26 L με τη μέθοδο του υποστρώματος.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το λαβράκι παρουσίασε στατιστικά καλύτερη κατανάλωση τροφής, καλύτερη ποσοστιαία ημερήσια κατανάλωση (% σ.β/d) και καλύτερο SGR (%/ημέρα) όταν σιτίζεται καθημερινά με 4 ή 8 γεύματα/d, σε σχέση με τα λαβράκια που σιτίστηκαν με 2 γεύματα/d, τα οποία παρουσίασαν τη μικρότερη κατανάλωση τροφής (ANOVA, $p < 0.05$).

Η παρούσα εργασία ερευνά την ανάπτυξη του λαβρακιού σε σύστημα ενυδραιοπονίας εφαρμόζοντας τρεις διαφορετικές συχνότητες σίτισης και την ταυτόχρονη ανάπτυξη ατόμων μαρουλιού και προτείνει την καλύτερη συχνότητα σίτισης για την μέγιστη ανάπτυξη του λαβρακιού και μαρουλιού.

Λέξεις κλειδιά: Ενυδραιοπονία, ανάπτυξη λαβρακιού, ανάπτυξη μαρουλιού, κατανάλωση τροφής

ABSTRACT

Aquaponic combines fish farming in recirculation aquaculture systems (RAS) and plant cultivation in hydroponic tanks. The aim of the study was to investigate food consumption of sea bass in an aquaponic system fed a commercial diet under three different feeding frequencies per day (2 meals/d, 4 meals/d and 8 meals/d). A total number of 200 seabass individuals (*Dicentrarchus Labrax*) with an average initial weight of 6.84 ± 0.31 g and an average initial length of 8.5 ± 0.32 cm were used, which were divided into 19 individuals in the 100 L tanks with their replicates. Three different feeding frequency (2, 4 and 8 meals/day) was applied to each treatment for a period of 45 days. In addition, 24 lettuce plants (*Lettuce sativa*) were used in the system which had an average initial height of 11.8 cm and was placed in a 26 L hydroponic culture tank according to media bed methods.

The results showed that seabass showed significantly better food consumption, better daily food consumption (% body weight) and better SGR (%/day) when fed daily with 4 or 8 meals/ d, compared to seabass fed with 2 meals/d, which showed the lowest food intake (ANOVA, $p < 0.05$).

The present work investigates food consumption the application of the results in models of energy metabolism as well as the significant development of sea bass in an aquaponic system using three different feeding frequencies and suggests the feeding frequency which promotes better food consumption and growth performance for sea bass with the simultaneous growth of lettuce individuals.

Keywords: Aquaponic, sea bass growth performance, plant growth performance, food consumption

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	5
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	6
ABSTRACT.....	7
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	8
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	10
1.1 Ανάλυση όρου Ενυδρειοπονίας	10
1.2 Συστήματα Ενυδρειοπονίας.....	11
1.3 Λειτουργία Συστήματος Ενυδρειοπονίας	12
1.4 Ισορροπία Ενυδρειοπονικού συστήματος.....	13
1.4.1 Ρύθμιση -Ισορροπία συστήματος	13
1.4.2 Αναλογία Τροφής	15
1.5 Είδη φυτών και ιχθύων στα ενυδρειοπονικά συστήματα	16
1.6 Οικοφυσιολογία του Μαρουλιού (<i>Lactuca sativa</i>).....	17
1.7 Οικοφυσιολογία του Λαβρακιού (<i>Dicentrarchus labrax</i>).....	19
1.7.2 Ανάπτυξη λαβρακιού σε ενυδρειοπονικά συστήματα	20
1.8 Σκοπός της διπλωματικής.....	21
2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΡΕΥΝΑΣ.....	22
2.1 Προμήθεια ατόμων λαβρακιού (<i>Dicentrarchus labrax</i>) και φυτών μαρουλιού (<i>Lactuca sativa</i>)	22
2.2 Περιγραφή συστήματος ενυδρειοπονίας -έναρξη διαδικασίας.....	23
2.3 Πειραματικός σχεδιασμός και συνθήκες καλλιέργειας ψαριών και φυτών	24
2.4 Σιτηρέσιο και χορήγηση τροφής.....	25
2.5 Μετρήσεις δεικτών ελέγχου ποιότητας νερού	26
2.5.1 Προσδιορισμός ολικής αμμωνίας- αζώτου (T.A.N.)	27
2.5.2 Προσδιορισμός νιτριδών ιόντων ($\text{NO}_2^- - \text{N}$)	28
2.5.3. Προσδιορισμός νιτρικών ιόντων ($\text{NO}_3^- - \text{N}$)	28
2.5.4. Προσδιορισμός ασβεστίου (Ca^{+2}).....	29
2.6 Μετρήσεις μορφομετρικών χαρακτηριστικών ψαριών και φυτών	31
2.7 Προσδιορισμός κατανάλωσης τροφής.....	32
2.8 Χημικές αναλύσεις.....	34
2.8.1 Προσδιορισμός ξηρής ουσίας	34
2.8.2 Προσδιορισμός αζωτούχων ενώσεων	34
2.8.3 Προσδιορισμός ολικών λιπιδίων.....	36
2.8.4 Προσδιορισμός τέφρας	37
2.8.5 Προσδιορισμός ολικής ενέργειας	38

2.9 Υπολογισμός δεικτών ανάπτυξης ψαριών και φυτών.....	39
2.9.1 Δείκτες ανάπτυξης και αξιοποίησης της τροφής	39
2.10 Στατιστική ανάλυση.....	40
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	41
3.1 Ποιότητα νερού.....	41
3.2 Ανάπτυξης και αξιοποίηση της τροφής του λαβρακιού	42
3.2.1 Δείκτες ανάπτυξης του λαβρακιού	42
3.2.2 Δείκτες αξιοποίησης, εκμετάλλευσης και κατανάλωσης της τροφής.....	44
3.2.2.1 Κατανάλωση τροφής.....	46
3.2 Σύσταση περιττωμάτων	51
3.3 Πεπτικότητα.....	53
4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ	54
4.1 Ποιότητα νερού.....	54
4.2 Δείκτες ανάπτυξης και αξιοποίησης της τροφής λαβρακιού	55
4.3 Πεπτικότητα.....	59
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	61
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	62
6.1 Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία.....	62
6.2 Ελληνόγλωσση Βιβλιογραφία	68

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Ανάλυση όρου Ενυδραιοπονίας

Η μέθοδος καλλιέργειας που αποτελείται από τον συνδυασμό της καλλιέργειας φυτών και εκτροφής ψαριών ονομάζεται ενυδραιοπονία (aquaponics). Πραγματοποιείται σε κλειστό σύστημα με ανακυκλοφορία νερού που χρησιμοποιεί τα βακτήρια για τη μετατροπή των αποβλήτων των ψαριών σε θρεπτικά συστατικά που αξιοποιούνται από τα φυτά (Thorarinsdottir 2015). Ως θρεπτικά συστατικά για την καλλιέργεια των φυτών χρησιμοποιούνται τα απεκκρίματα των ψαριών, τα οποία είναι πλούσια σε αμμωνιακά, νιτρώδη και νιτρικά ιόντα και φώσφορο.

Αποτελεί ένα συνδυαστικό σύστημα μεταξύ υδατοκαλλιέργειας και υδροπονίας, εκμηδενίζοντας τα μειονεκτήματα αυτών, όπως για παράδειγμα το κόστος αποκατάστασης των εκροών που είναι πλούσια σε άζωτο από την υδατοκαλλιέργεια και το κόστος από την προσθήκη των θρεπτικών συστατικών στην υδροπονία. Επίσης, συμβάλλει στη μείωση του κόστους λειτουργίας κάθε συστήματος ξεχωριστά (Love et.al. 2015). Ακόμα χαρακτηρίζεται ως μια βιώσιμη μέθοδος καθώς παρέχει αυξημένης ποιότητας φυτικούς (φυλλώδη λαχανικά, καρποφόρα λαχανικά, αρωματικά φυτά) και ζωϊκούς οργανισμούς (ψάρια,καρκινοειδή) καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.

Επιπλέον, τα συστήματα ενυδραιοπονίας είναι περισσότερο λειτουργικά σε σχέση με τα υδροπονικά συστήματα ή τα συστήματα παραγωγής ιχθύων με ανακύκλωση νερού (RAS), επειδή απαιτούν μικρότερη παρακολούθηση και έχουν αυξημένο περιθώριο ασφαλείας για την εξασφάλιση καλής ποιότητας νερού τόσο για τα φυτά όσο και για τα ψάρια (Rakocy et.al. 2006). Όσον αφορά στα μειονεκτήματα συγκαταλέγονται μεταξύ άλλων η ευαισθησία και η διαχείριση του συστήματος, το αυξημένο κόστος εγκατάστασης, το εξειδικευμένο προσωπικό και η τεχνογνωσία που απαιτείται (Fronte et.al. 2016).

Οι Endut et.al. (2010) αναφέρουν ότι, η ενυδραιοπονία είναι μια τεχνολογικά άρτια, λειτουργική και αποδοτική διαδικασία παραγωγής ψαριών και φυτών. Η ανανέωση του νερού είναι της τάξης του 5-10% του συνολικού όγκου του νερού εκτροφής (Masser et.al. 1999).

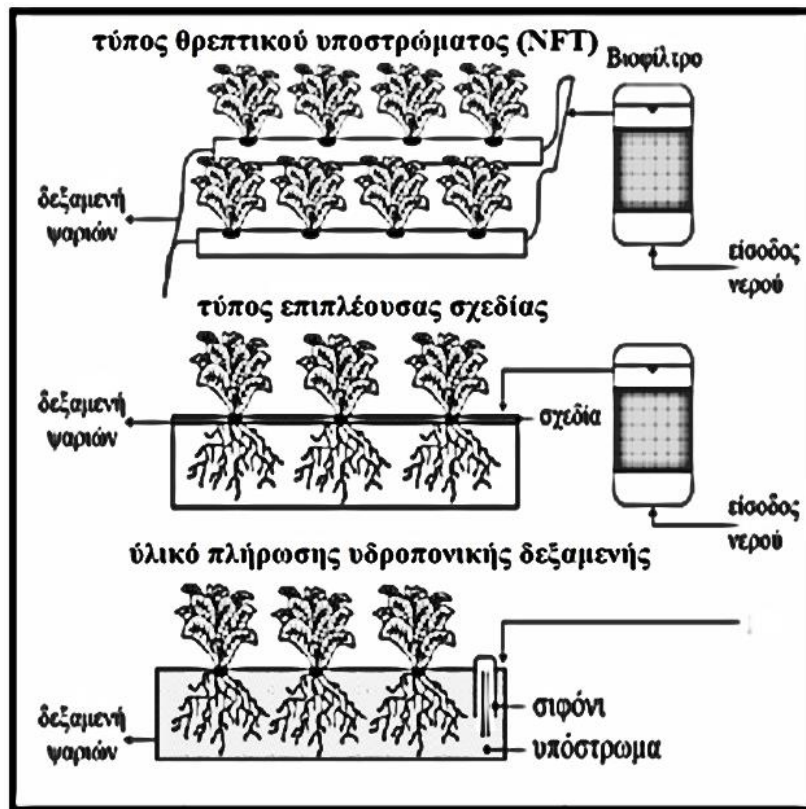
1.2 Συστήματα Ενυδρειοπονίας

Ένα τυπικό σύστημα ενυδρειοπονίας αποτελείται από τις δεξαμενές εκτροφής ψαριών, τις υδροπονικές δεξαμενές καλλιέργειας των φυτών (grow bed) και το βιολογικό φίλτρο (Love et.al. 2015). Τα συνήθη συστήματα που χρησιμοποιούνται στην ενυδρειοπονία κατά κύριο λόγο είναι 3 και διακρίνονται με βάση τον τύπο του υποστρώματος που διαθέτουν (grow bed) (Εικ.1), στα: α) θρεπτικού υποστρώματος σε σωλήνα (NFT), β) της επιπλέουσας σχεδίας (καλλιέργεια σε βαθιά νερά- μέθοδος raft) και γ) της υδροπονικής δεξαμενής με υπόστρωμα στην οποία λειτουργικά το νερό πλημμυρίζει την υδροπονική δεξαμενή και παράλληλα την αποστραγγίζει (σε συγκεκριμένο χρόνο).

Όσον αφορά στον τύπο NFT (Εικ.1), είναι εκείνος που παρέχει μεγάλα ποσοστά οξυγόνου στις ρίζες του φυτού και έχει ως αποτέλεσμα την υψηλή απόδοση των λαχανικών, αλλά αυτό ισχύει μόνο για μικρά είδη λαχανικών επειδή η υδροπονική δεξαμενή (grow bed) δεν μπορεί να υποστηρίξει μεγάλο αριθμό φυτών.

Η μέθοδος της επιπλέουσας σχεδίας (raft) είναι η συνηθέστερη πρακτική στην οποία οι ρίζες των φυτών επιπλέουν και απορροφούν τα θρεπτικά συστατικά από το νερό (Engle 2015, Liang & Chien 2013, Timmons et.al. 2002). Η καλύτερη λειτουργία των συστημάτων NFT και της επιπλέουσας σχεδίας προϋποθέτει τη χρησιμοποίηση βιολογικών και μηχανικών φίλτρων (Engle 2015, Nelson 2008).

Η μέθοδος του υποστρώματος περιγράφεται ως μια διαδικασία συνεχόμενης εισροής (flood) και εκροής νερού (drain-αποστράγγιση) μέσω σιφώνιου, ανά τακτά χρονικά διαστήματα, που δεν προϋποθέτει την παρουσία φίλτρων, εξαιτίας του ρόλου που επιτελούν τα υλικά πλήρωσης (π.χ, ελαφρόπετρα ή άργιλος τύπου Leca, ή λάβα) και συμβάλλουν μερικώς στην βιοχημική διεργασία του νερού (Zou et.al. 2016b). Ένα σιφώνιο (ποτήρι Αρχιμήδη) χρησιμοποιείται για την συνεχόμενη πλήρωση και αποστράγγιση του νερού, ώστε οι ρίζες των φυτών να αερίζονται ανά τακτά χρονικά διαστήματα (Bernstein 2011). Στα μειονεκτήματα της μεθόδου συγκαταλέγεται η μείωση του διάκενου των υλικών πλήρωσης μετά από μακροχρόνια λειτουργία του συστήματος.



Εικόνα 1: Ενυδρειοπονικά συστήματα βασισμένα στον τύπο grow bed που χρησιμοποιούν (Πηγή: Wongkiew et.al. 2017a)

1.3 Λειτουργία Συστήματος Ενυδρειοπονίας

Η ενυδρειοπονία είναι μια οικονομικά βιώσιμη δραστηριότητα παραγωγής τροφίμων με μειωμένο περιβαλλοντικό αποτύπωμα κεντρίζοντας το ενδιαφέρον πολλών επενδυτών και ερευνητών (Somerville et.al. 2014). Ένα τυπικό σύστημα ενυδρειοπονίας αποτελείται από τη δεξαμενή καλλιέργειας φυτών (grow bed), τη δεξαμενή καλλιέργειας ψαριών, το φίλτρο (μηχανικό, βιολογικό και χημικό), τις αντλίες παροχής ατμοσφαιρικού οξυγόνου, τους λαμπτήρες και τις αντλίες-κυκλοφορητές του νερού (Somerville et.al. 2014),

Η λειτουργία του συστήματος βασίζεται στην επαναχρησιμοποίηση του όγκου του νερού, το οποίο ρέει διαμέσου του φίλτρου (μηχανικό και βιολογικό), αποσκοπώντας στη μείωση της μεταβολικά παραγόμενης αμμωνίας από τα ψάρια και τη βιοχημική οξείδωσή της μέσω των βακτηρίων *Nitrosomonas sp.* και *Nitrobacter sp.* σε νιτρικά ιόντα τα οποία χαρακτηρίζονται ως μη τοξικά για τα ψάρια (Βλάχος 2017).

Εξίσου σημαντικό στην ενυδραιοπονία είναι το υπόστρωμα, καθώς συμβάλλει στην αναπνοή των ριζών των φυτών (Harris 1978).

Αρχικά, το νερό ρέει διαμέσου του μηχανικού φίλτρου, στο οποίο πραγματοποιείται η κατακράτηση και η απομάκρυνση των στερεών σωματιδίων (αιωρούμενα σωματίδια, περιττώματα και υπολείμματα τροφής), χωρίς να λαμβάνουν χώρα οι βιοχημικές διεργασίες της νιτροποίησης και απονιτροποίησης (Fronte et.al. 2016). Στη συνέχεια, το νερό ρέει προς το βιολογικό φίλτρο όπου λαμβάνει χώρα η βιοχημική διεργασία της νιτροποίησης (οξειδωση της αμμωνίας σε νιτρώδη και νιτρικά ιόντα) και απονιτροποίησης (αναγωγή νιτρικών σε αέριο άζωτο). Στις βιοχημικές διεργασίες συνεισφέρουν τα βακτήρια των γενών *Nitrosomonas sp.* και *Nitrobacter sp.* (Fronte et.al. 2016), τα οποία είναι υπεύθυνα για την βιοχημική διάσπαση της αμμωνίας (Alessio et.al. 2001) σε νιτρώδη και νιτρικά ιόντα, τα οποία χρησιμοποιούνται στη συνέχεια από τα φυτά (Somerville et.al. 2014).

1.4 Ισορροπία Ενυδραιοπονικού συστήματος

Η ισορροπία του συστήματος ενυδραιοπονίας, περιλαμβάνει όλες τις δράσεις που θα πρέπει να εφαρμοστούν, προκειμένου να επιτευχθεί ισορροπία ανάμεσα στη βιομάζα των ψαριών, των φυτών και των βακτηρίων στο φίλτρο.

Ο Lennard (2021), αναφέρει ότι στα ενυδραιοπονικά συστήματα θα πρέπει να τηρούνται συγκεκριμένες αναλογίες μεταξύ του όγκου του φίλτρου, του αριθμού των φυτών και της ιχθυοφόρτισης (βιομάζα) των ψαριών. Όταν δεν διατηρούνται οι αναλογίες αυτές το σύστημα τείνει να υπολειτουργεί περιορίζοντας την ανάπτυξη των φυτών (Somerville et.al. 2014).

1.4.1 Ρύθμιση-Ισορροπία συστήματος

Η ισορροπία στο σύστημα ενυδραιοπονίας σύμφωνα με τους Somerville et.al. (2014) αποτυπώνεται μέσω μιας «κλίμακας ισορροπίας» σύμφωνα με την οποία η βιομάζα ψαριών και φυτών χρησιμοποιείται ως μεταβλητή ελέγχου ισοστάθμισης του συστήματος. Στην επίτευξη της ισορροπίας αυτής, τα νιτροποιητικά βακτήρια παίζουν ουσιαστικό ρόλο μιας και αποτελούν το κλειδί της ισορροπίας (Εικ.2), η οποία εξαρτάται από την συνολική ποσότητα των παραγόμενων αποβλήτων στο σύστημα,

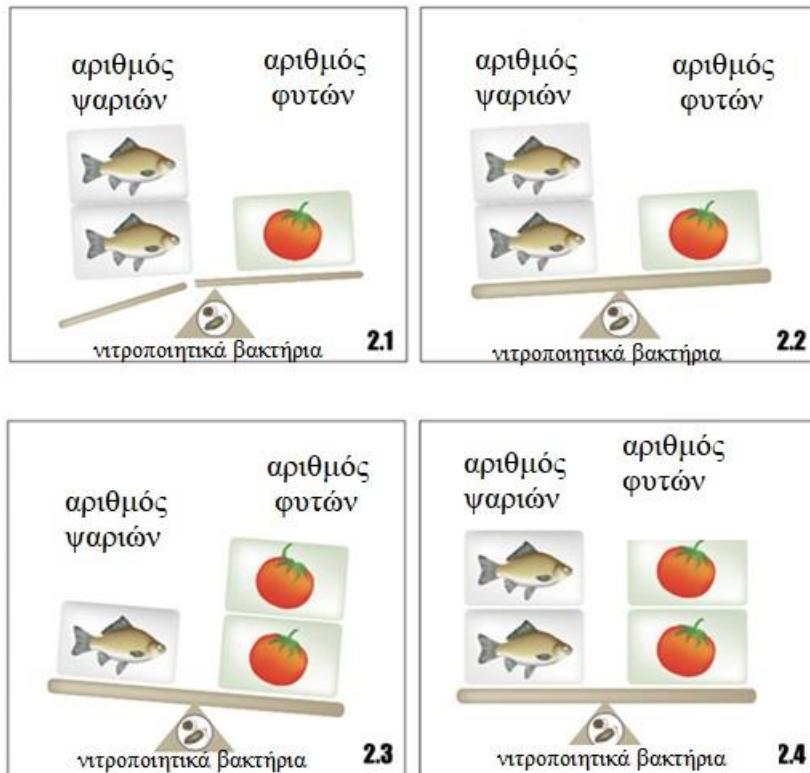
την οξειδωτική ικανότητα του φίλτρου, το υλικό πλήρωσης και την αναλογία ψάρια : φυτά.

Η ισοροπία του συστήματος διαταράσσεται στην περίπτωση που η οξειδωτική ικανότητα του φίλτρου είναι ανεπαρκής, δηλαδή δεν υπάρχει κατάλληλος αριθμός βακτηρίων να οξειδώσει την παραγόμενη αμμωνία από τα ψάρια και να την μετατρέψει σε νιτρικά ιόντα που θα αξιοποιήσουν τα φυτά (Εικ.2.1). Όταν η βιομάζα (ή πυκνότητα) φυτών είναι μικρότερη από την βιομάζα των ψαριών τότε τα φυτά δεν μπορούν να απορροφήσουν τις αυξημένες συγκεντρώσεις των θρεπτικών συστατικών (νιτρικά ιόντα), με αποτέλεσμα να περιορίζεται η ανάπτυξη τους (Εικ.2.2).

Στην περίπτωση που η βιομάζα των φυτών (ή πυκνότητα) είναι μεγαλύτερη από τη βιομάζα των ψαριών (ή πυκνότητα), τότε η ισοροπία του συστήματος συνεχίζει να διαταράσσεται εξαιτίας της περιορισμένης συγκέντρωσης των θρεπτικών συστατικών (νιτρικά ιόντα) που δεν επαρκή για τη θρέψη των φυτών (Εικ.2.3).

Η ισοροπία στο σύστημα ενυδρείοπονίας επιτυγχάνεται όταν η βιομάζα των ψαριών ισούται με την βιομάζα των φυτών και ερμηνεύεται ως το συνολικό φορτίο που παράγεται από τα ψάρια (αμμωνία ως μεταβολικό προϊόν) και μετατρέπεται ως τελικό προϊόν σε νιτρικά ιόντα και αξιοποιείται από τα φυτά. Η σχέση ισοροπίας επηρεάζεται από τις ιχθυοτροφές και την περιεκτικότητά τους σε άζωτο (Εικ.2.4).

Οι παραπάνω περιπτώσεις συγκλίνουν στην αύξηση της παραγωγικής διαδικασίας που προϋποθέτει την συνεχή διατήρηση της ισοροπίας μεταξύ των αποβλήτων των ψαριών και της ποσότητας των παραγόμενων θρεπτικών συστατικών για τα φυτά, εξασφαλίζοντας με τον τρόπο αυτό το κατάλληλο περιβάλλον για την ανάπτυξη των βακτηριδιακών αποικιών. Ο έλεγχος της ισοροπημένης κατάστασης γίνεται διαμέσου ημερήσιων μετρήσεων της ποιότητας του νερού όπως της ολικής αμμωνίας, των νιτρικών και νιτρικών ιόντων.



Εικόνα 2: Ισορροπία συστήματος ενυδρείοπονίας (Ισορροπία νιτρικών ιόντων). (1) Η βιομάζα των ψαριών υπερβαίνει τα επίπεδα της φέρουσας ικανότητας του βιολογικού φίλτρου και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την συσσώρευση τοξικής αμμωνίας και νιτρικών ιόντων που δεν αξιοποιούνται από τα φυτά. (2) Η σχέση μεταξύ ψαριών και βιολογικού φίλτρου είναι στο σωστό επίπεδο, αλλά στο σύστημα δεν υπάρχει ισορροπία καθώς ο αριθμός των φυτών είναι ελάχιστος και αυξημένη συγκέντρωση νιτρικών ιόντων. (3) Ο αριθμός των ψαριών και το βιολογικό φίλτρο είναι στη σωστή αναλογία αλλά στο σύστημα δεν επήλθε ισορροπία παρά τον αυξημένο αριθμό φυτών και επομένως υπάρχει ανεπαρκής συγκέντρωση νιτρικών ιόντων. (4) Ισορροπημένο ενυδρείοπονικό σύστημα όπου τα ψάρια, τα φυτά και τα βακτήρια βρίσκονται σε δυναμική ισορροπία. (Πηγή: Somerville et al. 2014)

1.4.2 Αναλογία Τροφής

Ο ρυθμός παροχής της τροφής σ' ένα σύστημα καθορίζεται από α) την ημερήσια προσφερόμενη ποσότητα τροφής (gr/ημέρα), β) το είδος του φυτού και γ) η αύξηση του φυτού/ m². Πιο συγκεκριμένα, ο λόγος αυτός φανερώνει την ημερήσια κατανάλωση τροφής. Μέσω της χρήσης της ποσότητας ροής, είναι δυνατό να υπολογιστεί ο αριθμός των ψαριών με βάση την συνολική ημερήσια κατανάλωση τροφής. Η χορηγούμενη ποσότητα τροφής είναι πολύ σημαντική και θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά την διάρκεια σχεδιασμού ενός συστήματος ενυδρείοπονίας και όπως αναλύθηκε συνεισφέρει στην ισορροπία του συστήματος. Η εποχιακή

μεταβολή της θερμοκρασίας επηρεάζει την τροφοληπτική ικανότητα του ψαριού και το συντελεστή της μέσης χορηγούμενης ποσότητας τροφής επί του ζώντος βάρους του ψαριού. Η μεγαλύτερη ποσοστιαία αναλογία τροφής για τα καρποφόρα λαχανικά (φρούτα) και τα φυλλώδη λαχανικά αντιπροσωπεύει τη συγκέντρωση των θρεπτικών συστατικών που απαιτούνται για την παραγωγή των προαναφερθέντων φυτών.

1.5 Είδη φυτών και ιχθύων στα ενυδρειοπονικά συστήματα

Τα είδη των ιχθύων τα οποία χρησιμοποιούνται κατά κόρον στην ενυδρειοπονία είναι είδη που παρουσιάζουν αυξημένη εμπορική και θρεπτική αξία (Somerville et.al. 2014, Fronte et.al. 2016) και διαβιούν στο γλυκό (Somerville et.al. 2014) ή θαλασσινό ή υφάλμυρο νερό (Fronte et.al. 2016, Vlahos et.al. 2019). Όσον αφορά τα ψάρια του γλυκού νερού που χρησιμοποιούνται στα συστήματα ενυδρειοπονίας, σε αυτά συγκαταλέγονται: ο κυπρίνος (*Cyprinus carpio*), η πέστροφα (*Oncorhynchus mykiss*), η γιγαντόπερκα (*Latescal carifer*), ο γάδος Muray (*Maccullochella peelii*), η τιλάπια (*Oreochromis niloticus* και *Oreochromis aureus*) και το αφρικάνικο γατόψαρο (*African catfish*), (Adler et.al. 2000, Savidov, 2005, Rakocy et.al. 2006, Nelson 2007, Endut et al. 2011, Palm et.al. 2014, Somerville et.al. 2014, Khater et.al. 2015). Επιπλέον, εκτός των ψαριών του γλυκού νερού χρησιμοποιούνται ευρύαλα θαλασσινά είδη ψαριών όπως το λαβράκι (*Dicentrarchus labrax*), η τσιπούρα (*Sparus aurata*) ή είδη θαλασσινού νερού όπως το μυλοκόπι (*Sciaenops ocellatus*) (Alessio et.al. 2010, Fronte et.al. 2016, Vlahos et.al 2019, Τάσιου 2019).

Στην ενυδρειοπονία χρησιμοποιούνται περισσότερα από 150 είδη φυτών όπως φυλλώδη λαχανικά (σπανάκι, μαρούλι, ρόκα κλπ), καρποφόρα φυτά-λαχανικά (τομάτες, πιπεριές, φράουλες κλπ), βότανα (βασιλικός, κόλιαντρος, μελισσόχορτο, θυμάρι κλπ), λουλούδια (τριανταφυλιά, τουλίπα, κλπ.) καθώς και μικρά δέντρα (εσπεριδοειδή) τόσο για οικιακή χρήση όσο και για επαγγελματική ή ερευνητική χρήση (Adler et.al. 2000, Savidov 2005, Rakocy et.al. 2006, Nelson 2007, Endut et.al. 2011, (Pantanella & Colla 2013, Palm et.al. 2014, Somerville et.al. 2014, Khater et.al. 2015).

Είδη φυτών τα οποία παρουσιάζουν ανθεκτικότητα σε συνθήκες αυξημένης αλατότητας είναι το *Distichlis palmeri*. (Pantanella & Bhujel, 2015). Επιπλέον, όσον αφορά τα αλόφυτα είδη που χρησιμοποιούνται ραγδαία στην παραγωγή λαχανικών είναι το *Chrithmum maritimum* (κρίταμος), *Salsola soda* (αλμύρα).

Αξιοσημείωτο είναι ότι στην θαλάσσια ενυδρειοπονία, εκτός από τα αλόφυτα, χρησιμοποιούνται είδη κηπουρικής καλλιέργειας στα οποία γίνεται εκτεταμένη εφαρμογή υφάλμυρου νερού (Pantanella 2012). Σε αυτήν την κατηγορία ανήκουν είδη της οικογένειας *Chenopodiaceae* (*Beta vulgaris*) καθώς και το παντζάρι. Άλλα είδη που χρησιμοποιούνται είναι οι τομάτες (*Lycopersicon esculentum*) καθώς και τα τοματίνια (*Lycopersicon esculentum*).

Ορισμένα αλόφυτα παρέχουν ορισμένες ιδιότητες οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πολλούς τομείς της παραγωγής τροφίμων αλλά και να αποτελέσουν μέσο για φαρμακευτική θεραπεία (Buhmann & Papenbrock 2013, Koyro et.al. 2011).

1.6 Οικοφυσιολογία του μαρουλιού (*Lactuca sativa*)

Το μαρούλι (Εικ.3), (*Lactuca sativa*) είναι ετήσιο, ποώδες φυτό γρήγορης ανάπτυξης. Ευδοκίμει από την περίοδο του Φθινοπώρου έως και την Άνοιξη παρουσιάζοντας ανθεκτικότητα σε χαμηλές θερμοκρασίες (<-5°C), σε σχέση με τις θερμές συνθήκες όπου έχει την τάση να αναπτύσσει πρώιμο ανθοφόρο βλαστό χαρακτηρίζοντας την καλλιέργεια ως ακατάλληλη (Reynolds & Thompson 1971). Σε ότι αφορά τις εδαφικές απαιτήσεις του φυτού, αναπτύσσεται ικανοποιητικά σε μέσης σύστασης εδάφη, βαθιά, γόνιμα και πλούσια σε οργανική ύλη, ποτιστικά και αποστραγγισμένα, με pH που κυμαίνεται μεταξύ 6-7 (Neumann et.al. 2014). Όταν τα σπορόφυτα αποκτήσουν 3-5 φύλλα, δηλαδή 1-1,5 μήνα μετά τη σπορά, πραγματοποιείται η μεταφύτευση τους από το σπορείο στη μόνιμη θέση τους.

Το μαρούλι αποτελεί πλούσια πηγή θρεπτικών συστατικών. Οι Daniel et.al. (2010) αναφέρουν ότι, τα επίπεδα του φωσφόρου στον ιστό του μαρουλιού είναι υψηλά σε φυτά τα οποία αναπτύχθηκαν σε μη φιλτραρισμένο νερό, ενώ εκείνα που αναπτύχθηκαν σε φιλτραρισμένο νερό παρατηρήθηκαν υψηλά επίπεδα αζώτου. Όσον αφορά το ασβέστιο και το ψευδάργυρο, δεν υπήρξε σημαντική διαφορά μεταξύ των φυτών που παράχθηκαν σε φιλτραρισμένο ή μη νερό. Επίσης το κάλιο, ο σίδηρος, το μαγγάνιο και ο χαλκός ήταν εξίσου σε υψηλές συγκεντρώσεις.

Η χρήση λαχανικών όπως το μαρούλι είναι συνηθέστερη σε συστήματα ενυδρειοπονίας, επειδή συλλέγεται σε μικρό χρονικό διάστημα (3-4 εβδομάδες), παρουσιάζει ελάχιστα προβλήματα με παράσιτα σε σχέση με τα καρποφόρα φυτά, δεν έχει υψηλές διατροφικές απαιτήσεις και προσαρμόζεται εύκολα σε υδάτινα συστήματα

(Diver 2006, Rakocy et.al. 2006). Οι ρίζες των φυτών απορροφούν τα θρεπτικά συστατικά που ρέουν στο σύστημα παρέχοντας ταυτόχρονα μεγάλη επιφάνεια για τα βακτηρίδια νιτροποίησης, που είναι υπεύθυνα για την οξείδωση των ενώσεων της αμμωνίας (Endut et.al. 2010, 2011, Hu et.al. 2015). Επίσης, το μαρούλι καταναλώνεται καλύτερα, λόγω του πράσινου χρώματος και επειδή τα φύλλα του είναι τραγανά (Zhan et .al. 2012, 2013).

Ορισμένες από τις σημαντικότερες ασθένειες και εχθρούς που απαντώνται στο μαρούλι είναι οι αφίδες του είδους *Nasonovia ribisnigri*, που αρέσκονται να τρέφονται στην κάτω επιφάνεια των νεαρών και τρυφερών φύλλων μαρουλιού, αλλά μετακινούνται και στο υπόλοιπο φυτό σε κατάλληλες συνθήκες. Σχηματίζουν αποικίες στα φύλλα της καρδιάς μειώνοντας την εμπορική αξία του προϊόντος. Άλλη ασθένεια είναι οι αλευρωδίδες (μυγάκια), που προσβάλλουν την τρυφερή βλάστηση προκαλώντας αποχρωματισμό και νεκρές περιοχές, ενώ τα κολλώδη εκκρίματα που παράγουν καθώς διατρέφονται λερώνουν την παραγωγή υποβαθμίζοντας με τον τρόπο αυτό την αξία του.



Εικόνα 3: Μαρούλι στο σύστημα ενυδρειοπονίας (*Lactuca sativa*) (Πηγή: προσωπικό αρχείο)

1.7 Οικοφυσιολογία του λαβρακιού (*Dicentrarchus labrax*)

Το λαβράκι, *Dicentrarchus labrax*, ανήκει στην οικογένεια *Moronidae*. Είναι ένα είδος βενθικό της υποτροπικής ζώνης και ωκεανόδρομο το οποίο απαντάται στην Μεσόγειο, τη Μαύρη θάλασσα και τον Ατλαντικό Ωκεανό από την Νορβηγία έως την Σενεγάλη. Ζει σε παραλιακά ύδατα, σε βάθος μέχρι τα 100 m. Είναι ευρύαλο (εύρος ανοχής 0-40 ppt) και ευρύθερμο (εύρος ανοχής 2-30°C και ο μέγιστος ρυθμός ανάπτυξης εμφανίζεται σε εύρος θερμοκρασιών που κυμαίνεται μεταξύ 20-24°C).

Επίσης, είναι ψάρι της ανοιχτής θάλασσας, αλλά βρίσκεται σε υφάλμυρα και γλυκά νερά, όπως σε λιμνοθάλασσες και εκβολές ποταμών. Το λαβράκι είναι έντονα αρπακτικό και λαίμαργο και στο διαιτολόγιο του περιλαμβάνει μεγάλη ποικιλία ψαριών. Τρέφεται με ασπόνδυλα όπως μαλάκια και γαρίδες (Pérez-Ruzafa & Conocerión 2015).

Παρουσιάζει έντονη ευαισθησία στο stress και αυξημένη ανθεκτικότητα στις μεταβολές της ποιότητας του νερού και έχει έντονη επιθετική συμπεριφορά (Islam et al. 2020). Είναι γονοχωριστικό είδος και τα αρσενικά άτομα παρουσιάζουν γεννητική ωρίμανση στο τέλος του 1^{ου} έτους ενώ τα θηλυκά παρουσιάζουν ωρίμανση στο τέλος του 2^{ου} έτους. Στις Ελληνικές θάλασσες η αναπαραγωγή πραγματοποιείται το Δεκέμβριο-Μάρτιο όταν η θερμοκρασία κυμαίνεται από 13 έως 15°C και σε βάθος 30-40 m. Επίσης, τα νεαρά ιχθύδια εισέρχονται στις περιοχές των λιμνοθαλασσών, λόγω αφθονίας της τροφής και της αυξημένης θερμοκρασίας (Pérez-Ruzafa & Conocerión 2015).

1.7.1 Διατροφή λαβρακιού (*Dicentrarchus labrax*)

Το διαιτολόγιό του λαβρακιού περιλαμβάνει κυρίως είδη της οικογένειας *Clupeidae*, καλαμάρια, σουπιές και διάφορα είδη οστρακοειδών και μαλακίων και καρκινοειδή και προνύμφες εντόμων (Pérez-Ruzafa & Conocerión 2015).

Ως σιτηρέσιο ορίζεται το σύνολο της τροφής που χορηγείται σε έναν οργανισμό στην διάρκεια μιας ημέρας προκειμένου να καλύψει τις ημερήσιες απαιτήσεις του σε θρεπτικά συστατικά και ενέργεια. Στα αρχικά στάδια ανάπτυξης (μεταλεκιθοφόρα, ιχθύδια, λάβρα), το λαβράκι διατρέφεται με φυτοζωοπλαγκτονικούς οργανισμούς, όπως ζωοπλαγκτόν (*rotifer*) και φυτοπλαγκτόν, καθώς και με *Artemia salina*, η οποία είναι κρίσιμη για την ανάπτυξη των λαβρών (Χώτος 1996).

Στο στάδιο των γεννητόρων η διατροφή των λαβρακίων περιλαμβάνει σιτηρέσια που περιέχουν μειωμένη περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη, ενώ η ποσότητα σε λίπος είναι μεγαλύτερη (Eroldogan 2004). Οι γεννήτορες του λαβρακιού παρουσιάζουν υψηλές απαιτήσεις σε μάκρο και μικρο θρεπτικά συστατικά τα οποία είναι απαραίτητα για την ανάπτυξή τους (Peres & Olivia Teres 1999). Τα ψάρια περιέχουν υψηλά επίπεδα σε ω-3 λιπαρά οξέα όπως εικοσαπενταενοϊκό οξύ (20:5 ω-3) (EPA) και εικοσιδυαεξαενοϊκό οξύ (22:6 ω-3) (DHA). Επίσης, κάποιες μελέτες ενσωματώνουν τα καρκινοειδή και τα νωπά ψάρια στη διατροφή του λαβρακιού προκειμένου να υπάρξει βελτίωση της ποιότητας διατροφής και της αναπαραγωγικής απόδοσής τους. (Watanabe et.al. 1991, Mazorra et.al. 2003, Volkoff & London 2018).

Σημαντικός παράγοντας για την ανάπτυξη του είδους είναι οι πρωτεΐνες. Η κατανάλωσή τους συμβάλλει περισσότερο στην σύνθεση ιστών παρά για ενεργειακούς σκοπούς. Σύμφωνα με τον Kaushik (1994), η βελτιστοποίηση του λόγου της πεπτικότητας της πρωτεΐνης / πεπτικότητα της ενέργειας (DP / DE) έχει αποδειχθεί ότι παίζει σημαντικό ρόλο στην χρήση πρωτεϊνών και ενέργειας. Η αύξηση της περιεκτικότητάς της σε δίαιτες ψαριών με τη συμπλήρωση λιπιδίων έχει αποδειχθεί ότι μειώνει τις απώλειες αζώτου στο περιβάλλον (Cho & Kaushik 1990).

1.7.2 Ανάπτυξη λαβρακιού σε ενυδρειοπονικά συστήματα

Το λαβράκι, όπως έχει αναφερθεί είναι ένα είδος που παρουσιάζει αυξημένη προσαρμοστικότητα και μπορεί να χρησιμοποιηθεί με επιτυχία σε ενυδρειοπονικά συστήματα με γλυκό νερό (Nozzi et.al. 2016, Stathoroulou et.al. 2021) και θαλασσινό ή υφάλμυρο νερό (Τάσιου 2019).

Η Τάσιου (2019), αναφέρει ότι το λαβράκι σε υφάλμυρο σύστημα ενυδρειοπονίας με αλατότητες 8 ppt, 14 ppt και 20 ppt, παρουσιάζει ικανοποιητική ανάπτυξη και αυξημένη επιβίωση καταναλώνοντας με προθυμία τη τροφή. Στο τέλος της πειραματικής διαδικασίας, το τελικό μέσο βάρος στις μεταχειρίσεις των 14 ppt και 8 ppt παρουσίασε στατιστικά μεγαλύτερη τιμή σε σχέση με την μεταχείριση των 20 ppt (ANOVA, $p < 0.05$). Επιπροσθέτως, οι Pantanella & Colla (2013) και οι Waller et.al. (2015) αναφέρουν ότι το λαβράκι αναπτύσσεται κατά μέσο όρο από τα 30 gr στα 54 gr, παρουσιάζοντας SGR 1.5%/d και FCR 0.93 σε ενυδρειοπονικό σύστημα με αλατότητα 16 psu σε χρονικό διάστημα 35 ημερών.

Οι Nozzi et.al. (2016), αναφέρουν ότι το λαβράκι που προήλθε από ενυδρειοπονικό σύστημα υφάλμυρου νερού είναι ποιοτικά αντάξιο με το συμβατικό λαβράκι που προέρχεται από υδατοκαλλιέργεια. Το συμπέρασμα της ερευνάς τους ήταν ότι μπορεί να παραχθεί ποιοτικό ψάρι με αυτόν τον τρόπο εκτροφής. Οι Stathopoulou et al. (2021), μελέτησαν την επίδραση της συχνότητας ταΐσματος (2, 4 και 8 γεύματα/ημέρα) στην ανάπτυξη του λαβρακιού και του μαρουλιού σε ενυδρειοπονικό σύστημα με γλυκό νερό για διάστημα 45 ημερών. Τα αποτελέσματα της μελέτης αυτής έδειξαν ότι το λαβράκι παρουσίασε στατιστικά μικρότερη ανάπτυξη (SGR) και μικρότερη αύξηση βάρους (WG) όταν διατρέφεται με εμπορικά συμπληκτα δύο φορές ημερησίως σε σχέση με το λαβράκι που διατρέφεται με 4 και 8 γεύματα ημερησίως, όπου παρουσίασε μεγαλύτερη αύξηση βάρους και ανάπτυξη.

Οι Eroldogan et.al. (2004), αναφέρουν ότι η ανάπτυξη του είδους σε δύο διαφορετικές συνθήκες θαλασσινού και γλυκού νερού με έξι διαφορετικούς ρυθμούς σίτισης ήταν μεγαλύτερη (περίπου 20-30%) στα άτομα που εκτρέφονταν σε συνθήκες θαλασσινού νερού συγκριτικά με εκείνα στο γλυκό νερό, ενώ ελάχιστες ήταν οι διαφορές στα ποσοστά πρωτεΐνης και τέφρας μεταξύ των δύο συστημάτων, τα ποσοστά όμως του λίπους και της υγρασίας αυξάνονταν όσο αυξάνονταν και ο ρυθμός σίτισης.

Οι Eroldoğan and Kumlu (2002), βρήκαν ότι τα λαβράκια σε υφάλμυρο σύστημα ανακύκλωσης νερού (RAS) με διαφορετικές αλατότητες αναπτύσσονται ικανοποιητικά σε αλατότητα 10 ppt (W=33,45 gr) και 20 ppt (W=33,41 gr), αντίστοιχα.

Οι Biswas et.al. (2004), αναφέρουν ότι μεγαλύτερη ανάπτυξη παρατηρήθηκε στα άτομα λαβρακιού που διατρέφονταν τρεις φορές την ημέρα, ενώ χαμηλά ποσοστά ανάπτυξης παρουσίασαν τα άτομα που διατρέφονταν μία και δύο φορές ημερησίως.

1.8 Σκοπός της διπλωματικής

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής προπτυχιακής εργασίας ήταν να μελετήσει την κατανάλωση τροφής, την ανάπτυξη και την επιβίωση του λαβρακιού σε σύστημα ενυδρειοπονίας γλυκού νερού.

Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν τρία ανακυκλούμενα συστήματα ενυδρειοπονίας, στο καθένα από τα οποία χορηγήθηκε σιτηρέσιο εμπορικών συμπληκτων με διαφορετική συχνότητα ταΐσματος (2, 4 και 8 γεύματα/ημέρα), αντίστοιχα για διάστημα 45 ημερών.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΡΕΥΝΑΣ

2.1 Προμήθεια ατόμων λαβρακιού (*Dicentrarchus labrax*) και φυτών μαρουλιού (*Lactuca sativa*)

Το πείραμα έλαβε χώρα στο τολ Ενυδρειοπονίας του Τμήματος Γεωπονίας, Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας και διήρκησε 45 ημέρες. Η προμήθεια των λαβρακιών (200 άτομα) έγινε από τον Ιχθυογεννητικό σταθμό ΣΕΛΟΝΤΑ Α.Ε που εδρεύει στη θέση Τάπιες-Πελασγία και μεταφέρθηκαν στις εγκαταστάσεις του τμήματος Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος (τολ Ενυδρειοπονίας) σε ειδικά δοχεία μεταφοράς αλατότητας 25 ‰ και διαλυμένου οξυγόνου 7-8,5 mg/L. Τα ιχθύδια λαβρακιού προσαρμόστηκαν σταδιακά και τοποθετήθηκαν στα ενυδρεία υποδοχής συνολικού όγκου 125 L και νερό αλατότητας 25 ppt και θερμοκρασία 22°C το οποίο υποστηρίζονταν από εξωτερικό βιολογικό φίλτρο (EHIEM 2215. 15 watt 620 L/h). Η προσαρμογή και ο εγκλιματισμός των ατόμων λαβρακιού διήρκησε περίπου 30 ημέρες.

Η προμήθεια των φυτικών ατόμων του μαρουλιού (*Lettuce sativa*) έγινε από θερμαινόμενο θερμοκήπιο και αναπτύχθηκαν ώσπου τα άτομα να φθάσουν στο στάδιο 6, κατάλληλα για μεταφύτευση στα ενυδρειοπονικά συστήματα. Συνολικά προμηθεύτηκαν 24 φυτά μαρουλιού με μέσο αρχικό ύψος τα 11,8 cm.



Εικόνα 4: Φυτά μαρουλιού που χρησιμοποιήθηκαν στο πείραμα (Πηγή: Προσωπικό αρχείο).

2.2 Περιγραφή συστήματος ενυδρειοπονίας -έναρξη διαδικασίας

Για τις ανάγκες του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν 171 άτομα λαβρακιού μέσου βάρους $6,84 \pm 0,31$ gr και μέσου μήκους $8,5 \pm 0,32$ cm τα οποία χωρίστηκαν ανά 19 άτομα σε τρία (3) αυτόνομα συστήματα ενυδρειοπονίας συνολικού όγκου 500 L το καθένα. Κάθε σύστημα αποτελείται από 3 γυάλινες δεξαμενές ψαριών (50 cm x 50 cm x 50 cm) με όγκο 100 L το καθένα και μια δεξαμενή υδροπονικής καλλιέργειας 26 L (112 cm x 73 cm x 20 cm) η οποία καλύφθηκε με άργιλο τύπου LECA διαμέτρου 8 - 16 mm, ως υπόστρωμα. Κάθε σύστημα ενισχύθηκε με βιολογικό φίλτρο διαστάσεων 100 cm x 50 cm x 48 cm και συνολικού όγκου 184 L.

Στα ενυδρεία υποδοχής των λαβρακιών, κάθε 4-5 ημέρες πραγματοποιούνταν σταδιακή μείωση της αλατότητας κατά 4 μονάδες έως ότου η αλατότητα σταθεροποιηθεί σε τιμές μικρότερες από 1ppt. Πριν από την έναρξη του πειράματος τα συστήματα ενυδρειοπονίας πληρώθηκαν με γλυκό νερό και αφέθηκαν να λειτουργήσουν για διάστημα 60 ημερών προκειμένου να ρυθμιστούν ώστε να ξεκινήσει η πειραματική διαδικασία.

Στην αρχή του πειράματος, το κάθε σύστημα ενυδρειοπονίας πληρώθηκε με νερό και αφέθηκε να λειτουργεί για διάρκεια 24 h ώστε κάθε ίχνος χλωρίου να διαφύγει. Η ρύθμιση του συστήματος ενυδρειοπονίας έγινε σύμφωνα με τη διαδικασία που περιγράφεται από τους Vlahos et al (2019) με προσθήκη 10 κόκκων χαλικιού από ήδη ρυθμισμένο φίλτρο, ενώ προστέθηκαν 0,2 g NH_4Cl ως πηγή αμμωνίας σε κάθε σύστημα. Σύμφωνα με τον Hirayama (1974), χρειάζονται 40-60 ημέρες για την ανάπτυξη των βακτηρίων και την ικανοποιητική οξείδωση της αμμωνίας σε νιτρικά ιόντα.

Το φίλτρο διαχωρίστηκε σε τρία τμήματα, το μηχανικό, το βιολογικό και το τμήμα της αντλίας. Στο βιολογικό φίλτρο προστέθηκαν ισόποσα υλικά πλήρωσης όπως βιόσφαιρες, κεραμικά υλικά και υλικά τύπου K1, ώστε να αυξάνουν την ειδική επιφάνεια φιλτραρίσματος (SSA) και ανάπτυξης των νιτροποιητικών βακτηρίων. Το βιολογικό φίλτρο κάλυπτε μια έκταση 2150 cm^2 , και αποτελούνταν από 20 L πορώδους κυλινδρικού υποστρώματος K1 (Φ 10 mm), 10 L κεραμικό υλικό (Φ 15 mm) και 10 L βιόσφαιρες (Φ 30 mm). Το μηχανικό φίλτρο κάλυπτε μια επιφάνεια 1250 cm^2 και αποτελούνταν από τρία στρώματα υαλοβάμβακα, δημιουργώντας έτσι ένα στρώμα πάχους 30 cm, για να συγκρατεί τα στερεά υπολείμματα από τις δεξαμενές των ψαριών (ακατανάλωτη τροφή και κόπρανα).

Στο τελευταίο τμήμα του φίλτρου συλλέγονταν το νερό από το βιολογικό φίλτρο, το οποίο διαμέσου μιας αντλίας βυθού (Aqua Medic OR 2500 L / h, 38 W, 2.6 m h max) έρεε προς τις υδροπονικές δεξαμενές καλλιέργειας των φυτών και των ψαριών δημιουργώντας μια παροχή νερού της τάξης $7,30 \pm 0,04$ L/min. Το υλικό πλήρωσης της υδροπονικής δεξαμενής καλύφθηκε από επεξεργασμένη άργιλο τύπου LECA αυξάνοντας με τον τρόπο αυτό την συνολική επιφάνεια φιλτραρίσματος του συστήματος ενυδρείοπονίας καθώς και την αποτελεσματικότητα του φίλτρου.

Τα επίπεδα κορεσμού σε οξυγόνο ήταν μεταξύ 75% και 80%. Η ροή του νερού από την υδροπονική δεξαμενή στη δεξαμενή των ψαριών και στο φίλτρο πραγματοποιούνταν μέσω της βαρύτητας.

Σε κάθε σύστημα τοποθετήθηκε ένας λαμπτήρας 400 W υψηλής πίεσης (Sylvania) σε απόσταση 65 cm από την επιφάνεια των υδροπονικών δεξαμενών, διασφαλίζοντας με τον τρόπο αυτό τον επαρκή φωτισμό στα φυτά. Η φωτοπερίοδος ρυθμίστηκε στις 10 h φως : 14 h σκότος. Η ροή του αέρα ρυθμίστηκε να είναι 1,53 L/min, δημιουργώντας με τον τρόπο αυτό ταχύτητα φιλτραρίσματος της τάξης 1,04 cm/min.

Η θερμοκρασία του νερού (°C) και το pH των δεξαμενών των ψαριών καταγράφονταν καθημερινά, ενώ η συγκέντρωση οξυγόνου (mg / L), η ηλεκτρική αγωγιμότητα (mS/cm) και η αλατότητα καταγράφονταν κάθε τρεις ημέρες. Η θερμοκρασία, το pH και η συγκέντρωση οξυγόνου μετρούνταν με πολύμετρο (Hach, HQ40d), ενώ η αλατότητα μετρούνταν με οπτικό διαθλασίμετρο (ATC).

Η καλλιέργεια των φυτών στα συστήματα ενυδρείοπονίας επιλέχθηκε να γίνει με τη μέθοδο του υποστρώματος. Το μαρούλι χρησιμοποιείται συχνά στα συστήματα ενυδρείοπονίας εξαιτίας της καλής προσαρμοστικότητας που παρουσιάζει και του μικρού χρονικού διαστήματος που απαιτείται για τη συλλογή του (συγκομιδή), (Diver 2006, Rakocy et.al. 2006).

2.3 Πειραματικός σχεδιασμός και συνθήκες καλλιέργειας ψαριών και φυτών

Τα λαβράκια χωρίστηκαν σε 3 διατροφικές ομάδες ανάλογα με την συχνότητα χορήγησης της τροφής: μία ομάδα (ομάδα A) που τρέφονταν με δύο γεύματα ημερησίως, μία ομάδα (ομάδα B) που τρέφονταν με τέσσερα γεύματα ημερησίως και μία ομάδα (ομάδα C) που τρέφονταν με οχτώ γεύματα ημερησίως για διάρκεια 45

ημερών. Κάθε σύστημα ενυδρείοποιίας δέχονταν συνολικά φορτίο ίσο με το σύνολο της επιβάρυνσης που προέκυπτε από το σύνολο των διατροφικών ομάδων (και των τριών συχνότητων χορήγησης τροφής), δηλαδή τα 2 γεύματα/d, τα 4 γεύματα/d και τα 8 γεύματα/d. Το επίπεδο διατροφής διατηρήθηκε καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος στο 5% του ζώντος βάρους των ψαριών. Η τροφή που χορηγήθηκε ήταν εμπορικά σύμπληκτα που περιείχε 55% πρωτεΐνη και 15% ολικά λιπίδια (Πιν.1).

Επιλέχθηκαν συνολικά 24 φυτά μαρουλιού που δεν παρουσίαζαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στα μορφομετρικά χαρακτηριστικά τους (ύψος, αριθμός φύλλων). Σε κάθε υδροπονική δεξαμενή τοποθετήθηκαν από 8 άτομα μαρουλιού σε απόσταση 20 cm. Ο αριθμός και η πυκνότητα του φυτού επιλέχθηκαν σύμφωνα με τις διαστάσεις της υδροπονικής δεξαμενής και οι θέσεις του φυτού επιλέχθηκαν προσεκτικά ώστε να διασφαλιστεί η ομοιογένεια του φωτός. Κάθε φυτό εκτέθηκε σε 400-500 $\mu\text{mol} / \text{m}^2 \text{ sec}$ φωτοσυνθετικά ενεργής ακτινοβολίας (PAR). Το τεχνητό φως παρέχεται από μια λάμπα HPS 400 W τοποθετημένη 65 cm πάνω από κάθε περιοχή καλλιέργειας και συνοδεύεται από ένα χρονοδιακόπτη για τον ακριβή έλεγχο της φωτοπεριόδου (10 h φως: 14 h σκοτάδι). Το ύψος κάθε φυτού μετρούταν κάθε 15 ημέρες.

2.4 Σιτηρέσιο και χορήγηση τροφής

Τα ψάρια τρέφονταν καθημερινά στο 5% του σωματικού τους βάρους με εμπορικά σύμπληκτα (Πιν.1). Ο Πίνακας 1, παρουσιάζει την σύσταση των εμπορικών συμπληκτων τα οποία αναλύθηκαν στο εργαστήριο φυσιολογίας του Τμήματος ΓΙΥΠ ως προς την ολική πρωτεΐνη, τα ολικά λιπίδια, την τέφρα, την υγρασία και την ενέργεια. Οι εργαστηριακές αναλύσεις ως προς την ολική πρωτεΐνη, τα ολικά λιπίδια και την ενέργεια είναι ταυτόσημες με τις εργοστασιακές αναλύσεις (Πιν.1), σε αντίθεση με μια μικρή διαφοροποίηση που παρουσιάζεται στις τιμές ως προς την τέφρα και την υγρασία. Η παροχή της τροφής γίνονταν καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας (24 ώρες) με τρεις διαφορετικές συχνότητες σίτισης 2, 4 και 8 γεύματα/ ημέρα για 45 ημέρες. Η χρονική περίοδος των 45 ημερών επιλέχθηκε για την καλύτερη ανάπτυξη των φυτών μαρουλιού. Η χορήγηση της τροφής τις βραδινές ώρες γίνονταν με χρήση αυτόματων ταϊστών με εξαίρεση τα ημερήσια γεύματα, όπου η τροφή παρέχονταν με το χέρι. Ο ρυθμός παροχής της τροφής επαναπροσδιορίζονταν κάθε 15 ημέρες όπου γίνονταν μετρήσεις του βάρους και μήκους των ιχθύων. Σε κάθε δειγματοληψία που λάμβανε

χώρα ανά δεκαπενθήμερο τα ψάρια αναισθητοποιήθηκαν με φαινοεξυαιθανόλη 0,25 ml / L.

Πίνακας 1. Σύσταση τροφής που χρησιμοποιήθηκε στην πειραματική διαδικασία

	Εργοστασιακές αναλύσεις	Εργαστηριακές αναλύσεις
Ολικές πρωτεΐνες	55%	55,5±0,32 %
Ολικά λίπη	15%	14,4±0,86%
Τέφρα	11,3%	8,93±0,09 %
Fibers/Κυτταρίνη	1%	-
Υγρασία	10%	8,07±0,14%
Ολικός φώσφορος (P)	1,6%	-
Ασβέστιο (Ca)	1,7%	-
Νάτριο (Na)	0,2%	-
Υδατάνθρακες ¹	18,7%	28,68%
Ενέργεια ²	22,7, %	22,08±0,14%

*Οι υδατάνθρακες και η ενέργεια υπολογίστηκαν σύμφωνα με τους παρακάτω τύπους: ¹Υδατάνθρακες (%)=100 - (Ολική Πρωτεΐνη + ολικά λιπίδια + Τέφρα)

$$^2. \text{ Ενέργεια (\%)} = 5,64 * \text{P(\%)} + 9,44 * \text{L(\%)} + 4,11 * \text{C(\%)}$$

2.5 Μετρήσεις δεικτών ελέγχου ποιότητας νερού

Ο έλεγχος της ποιότητας του νερού στο σύστημα πραγματοποιήθηκε μέσω του προσδιορισμού της ολικής αμμωνίας (TAN), των νιτρικών, νιτρικών ιόντων και ασβεστίου, ο οποίος γινόταν μία φορά την εβδομάδα σε ποσότητα νερού (5 ml) το οποίο προέρχονταν μέσω της λήψης του από συγκεκριμένα σημεία του ενυδρείου συστήματος. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε η ανάλυση αυτών, εφαρμόζοντας τη χρωματομετρική μέθοδο με ειδικά kit τα οποία περιείχαν

αντιδραστήρια φαινόλης, αλκοόλης, σε οξειδωτικό διάλυμα και σιδηρούχο καταλύτη (Liddicoat et.al.1974).

Επιπλέον, κατά τη διάρκεια του πειράματος γινόταν συχνή μέτρηση της θερμοκρασίας, του pH και του διαλυμένου οξυγόνου δύο φορές την εβδομάδα μέσω της χρήσης ηλεκτρονικού πολυμέτρου (HACH HQ 40d). Μία ακόμη παράμετρος που μετρήθηκε ήταν εκείνη της αλατότητας, η οποία έγινε με τη μέτρηση διαθλασιμόμετρου (VEEGEE-BX1).

2.5.1 Προσδιορισμός ολικής αμμωνίας- αζώτου (T.A.N.)

Η μέτρηση της ολικής αμμωνίας (T.A.N.) (mg/L) γίνονταν σε δείγμα νερού, το οποίο λαμβάνονταν από τα ενυδρείοπονικά συστήματα σύμφωνα με την παρακάτω διαδικασία (Εικ 5):

- Προσθήκη δείγματος νερού σε υάλινη κυψελίδα 5 mL με νερό του συστήματος
- Προσθήκη 8 σταγόνων του αντιδραστήριου Ammonia #1
- Ανάδευση για 5 sec
- Προσθήκη 8 σταγόνων του αντιδραστήριου Ammonia #2
- Ανάδευση για 5 sec
- Αναμονή για 5 min έως ότου το δείγμα χρωματιστεί ανάλογα
- Σύγκριση του χρώματος του δείγματος με αντίστοιχη κλίμακα



Εικόνα 5: Κιτ μέτρησης Ολικής αμμωνίας με την κλίμακα ανάγνωσης (Πηγή: προσωπικό αρχείο).

2.5.2 Προσδιορισμός νιτρώδων ιόντων ($\text{NO}_2^- - \text{N}$)

Η μέτρηση των νιτρώδων ιόντων (NO_2^-) (mg/L) γίνονται σε δείγμα νερού, το οποίο λαμβάνονται από τα ενυδρείοπδικά συστήματα σύμφωνα με την παρακάτω διαδικασία (Εικ 6):

- Προσθήκη δείγματος νερού σε υάλινη κυψελίδα 5 mL με νερό του συστήματος
- Προσθήκη 5 σταγόνων του αντιδραστήριου Nitrite
- Ανάδευση για 5 sec
- Αναμονή για 5 min έως ότου το δείγμα χρωματιστεί ανάλογα
- Σύγκριση του χρώματος του δείγματος με αντίστοιχη κλίμακα.



Εικόνα 6: Κιτ μέτρησης νιτρώδων ιόντων με την κλίμακα ανάγνωσης (Πηγή: Προσωπικό αρχείο).

2.5.3. Προσδιορισμός νιτρικών ιόντων ($\text{NO}_3^- - \text{N}$)

Η μέτρηση των νιτρικών ιόντων ($\text{NO}_3^- - \text{N}$) (mg/L) γίνονται σε δείγμα νερού, το οποίο λαμβάνονται από τα ενυδρείοπδικά συστήματα σύμφωνα με την παρακάτω διαδικασία (Εικ 7):

- Προσθήκη δείγματος νερού σε υάλινη κυψελίδα 5 mL με νερό του συστήματος

- Προσθήκη 10 σταγόνων του αντιδραστήριου Nitrate #1
- Ανάδευση για 5 sec
- Προσθήκη 10 σταγόνων του αντιδραστήριου Nitrate #2
- Ανάδευση για 5 sec
- Αναμονή για 5 min έως ότου το δείγμα χρωματιστεί ανάλογα
- Σύγκριση του χρώματος του δείγματος με αντίστοιχη κλίμακα.



Εικόνα 7: Κιτ μέτρησης νιτρικών ιόντων με την κλίμακα ανάγνωσης (Πηγή: Προσωπικό αρχείο).

2.5.4. Προσδιορισμός ασβεστίου (Ca^{+2})

Η μέτρηση του ασβεστίου (Ca^{+2}) στηρίχθηκε στη μέθοδο που περιγράφεται από τον Kohn (1969) και περιλάμβανε τη λήψη 2 mL δείγματος νερού από το σύστημα. Στη συνέχεια προστίθονταν ένα (1) κουταλάκι Ca^{-1} και 8 σταγόνες από του αντιδραστήριου Ca^{-2} . Στην συνέχεια προστίθονταν 1 mL από το αντιδραστήριο Ca^{-3} έως ότου μέχρι το χρώμα να αλλάξει και να γίνει μπλε. Τέλος, υπολογίζονταν ο όγκος από την τιτλοδότηση αφαιρώντας από το 1 mL τον όγκο του διαλύματος που τιτλοδοτήθηκε και από πίνακα 2 υπολογίζονταν η συγκέντρωση του ασβεστίου.

Πίνακας 2. Χρωματομετρικός προσδιορισμός Ca (πηγή: www.marine-aquatics.eu, όπως τροποποιήθηκε από Βλάχο, 2017)

Διαβάθμιση σε mL	Συγκέντρωση Ca (mg/L=ppm)	Διαβάθμιση σε mL	Συγκέντρωση Ca (mg/L=ppm)
0,00	500	0,52	240
0,02	490	0,54	230
0,04	480	0,56	220
0,06	470	0,58	210
0,08	460	0,60	200
0,10	450	0,62	190
0,12	440	0,64	180
0,14	430	0,66	170
0,16	420	0,68	160
0,18	410	0,70	150
0,20	400	0,72	140
0,22	390	0,74	130
0,24	380	0,76	120
0,26	370	0,78	110
0,28	360	0,80	100
0,30	350	0,82	90
0,32	340	0,84	80
0,34	330	0,86	70
0,36	320	0,88	60
0,38	310	0,90	50
0,40	300	0,92	40
0,42	290	0,94	30
0,44	280	0,96	20
0,46	270	0,98	10
0,48	260	1,00	0
0,50	250		

2.6 Μετρήσεις μορφομετρικών χαρακτηριστικών ψαριών και φυτών

Στα ψάρια από τα μορφομετρικά χαρακτηριστικά μετρήθηκαν το ολικό βάρος (w , gr) και το ολικό μήκος (L , cm) σε 4 χρονικές περιόδους, στην έναρξη του πειράματος, 15^η μέρα, στην 30^η μέρα και στο τέλος του πειράματος (45^η μέρα). Η μέτρηση του ολικού βάρους έγινε με ζυγό ακριβείας στο δεύτερο δεκαδικό ψηφίο (CAS MWP- 300H), ενώ το ολικό μήκος (L) μετρήθηκε με ιχθυόμετρο (Εικ. 8). Για τις μετρήσεις του ολικού βάρους και μήκους τα λαβράκια αναισθητοποιούνταν σε διάλυμα 2-φαινοεξαιθανόλης 0,2 ml / L.



Εικόνα 8: (α) ζυγός ακριβείας για τη μέτρηση του ολικού βάρους σε gr , (β) ιχθυόμετρο για τη μέτρηση του ολικού μήκους (Πηγή: προσωπικό αρχείο)

Στα φυτά (μαρούλια), η μέτρηση των μορφομετρικών χαρακτηριστικών γίνονταν με χάρακα και περιλάμβανε την καταμέτρηση του ύψους (υπέργειο μέρος φυτού), του αριθμού των βλαστών, του αριθμού των αναπτυσσόμενων κλάδων και πραγματοποιούνταν κάθε 15 ημέρες (Εικ.9, 10).



Εικόνα 9: Μέτρηση ύψους φυτού σε cm (Πηγή προσωπικό αρχείο)



Εικόνα 10: Μαρούλι (*Lactuca sativa*). (Πηγή: Προσωπικό αρχείο).

2.7 Προσδιορισμός κατανάλωσης τροφής

Η κατανάλωση της τροφής μετρήθηκε και υπολογίστηκε για όλη τη διάρκεια του πειράματος (45 ημέρες) και έλαβε χώρα ταυτόχρονα με το πείραμα της ανάπτυξης του λαβρακιού και του μαρουλιού. Για τον προσδιορισμό της κατανάλωσης της τροφής ακολούθηθηκαν τα επόμενα βήματα:

- ζύγισμα 10-12 κόκκων συμπήκτου
- καταγραφή (βάρος κενού δοχείου, καθαρό βάρος δείγματος)
- τοποθέτηση των δειγμάτων στο φούρνο για 24 h στους 105 °C
- ζύγισμα μικτού βάρους μετά την ξήρανση - καταγραφή
- γραμμική συσχέτιση της υγρής σε σχέση με τη ξηρή ουσία της τροφής-προβολή R^2
- μετατροπή του υγρού βάρους της τροφής που προσφέρθηκε σε ξηρό βάρος (για όλα τα γεύματα).

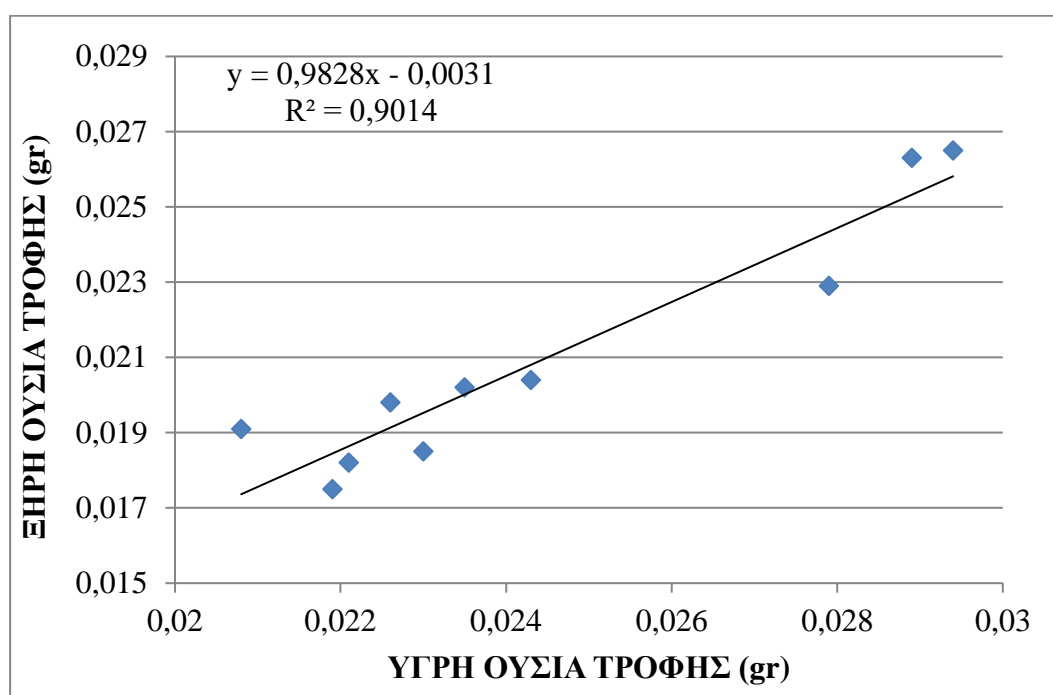
Η συλλογή των υπολειμμάτων τροφής και κοπράνων γινόταν με σιφονισμό, κάθε πρωί πριν το πρώτο πρωινό τάισμα, σε κωδικοποιημένα πλαστικά δοχεία (ουροσυλλέκτες). Τα δείγματα διηθούνταν σε πλαγκτονικό δίκτυο με άνοιγμα ματιού 0.5-0.2 mm, ξεπλένονταν με απεσταγμένο νερό, ενώ ο διαχωρισμός τους στα συστατικά τους (κόπρανα και υπολείμματα τροφής) γίνονταν μακροσκοπικά στο εργαστήριο και γίνονταν σύμφωνα με το χρώμα και το σχήμα τους χρησιμοποιώντας

πιπέτα τύπου pasteur. Τα δείγματα, μόλις διαχωρίζονταν, ξεπλένονταν με άφθονο απιονισμένο νερό προκειμένου να απομακρυνθούν υπολειμμάτων αλατιού.

Τα δείγματα τα οποία συλλέχθηκαν και διαχωρίστηκαν από τα περιττώματα τοποθετούνταν σε γυάλινα ποτήρια ζέσεως όγκου 20 mL τα οποία είχαν προζυγιστεί σε ζυγό ακριβείας τέταρτου δεκαδικού (A.N.D HR-200), ενώ στη συνέχεια τοποθετούνταν σε φούρνο για διάστημα 24 h στους 105 °C και μετά επαναζυγίζονταν.

Η σχέση μεταξύ ξηρής ουσίας (Ξ.Ο) και υγρής ουσίας (Υ.Ο) συμπήκτου καθορίστηκε διαμέσου της μαθηματικής γραμμικής σχέσης που προέκυψε από το γράφημα διασποράς της υγρής ουσίας της τροφής σε σχέση με την ξηρή ουσία της τροφής. (Σχημ.1) και περιγράφεται από την εξίσωση:

$$\text{Ξ.Ο συμπήκτου} = 0,9828 * \text{Υ.Ο συμπήκτου} - 0,0031 \quad (R^2=0.9014, n=10)$$



Σχήμα 1. Γραμμική συσχέτιση μεταξύ ξηρής ουσίας (Ξ.Ο) και υγρής ουσίας (Υ.Ο) της τροφής που χρησιμοποιήθηκε στην πειραματική διαδικασία (Πηγή: προσωπικό αρχείο).

Η κατανάλωση τροφής υπολογίστηκε σύμφωνα με τον παρακάτω μαθηματικό τύπο, όπου από την ξηρή ουσία της ακατανάλωτης τροφής αφαιρούνταν η ξηρή ουσίας της ημερήσιας χορηγούμενης τροφής που προσφέρονταν.

$$\text{ΚΤ(g) λαβρακιού} = [\text{ΞΟ}_{\text{χορηγ. τροφής}} - (\text{ΞΟ}_{\text{χορηγ. τροφής}} \times \Sigma\Delta/100)] - \text{ΞΟ}_{\text{εναπομ. τροφής}}$$

Όπου:

$\Xi\text{O}_{\text{χορηγ. τροφής}}$ = προσφερόμενη ποσότητα τροφής (σε ξηρή ουσία αφαιρούμενη του ποσοστού υγρασίας)

$\Xi\text{O}_{\text{εναπομ. τροφής}}$ = εναπομείνασα ποσότητα τροφής (σε ξηρή ουσία μετά από ξήρανση)

$\Sigma\Delta$ = συντελεστή διόρθωσης ή διαλυτοποίησης της τροφής

Ο συντελεστής διαλυτοποίησης της τροφής στο παρών πείραμα υπολογίστηκε στο 17,21% και εκφράζει την ποσότητα της τροφής, η οποία χορηγήθηκε κατά τη διάρκεια δύο διαδοχικών ταϊσμάτων ενώ κατά την παραμονή της διαλυτοποιήθηκε στο νερό. Ο ποσοστιαίος συντελεστής διόρθωσης εκτιμήθηκε από προζυγισμένη ποσότητα 10 συμπηκτων που αφέθηκαν στο νερό για 24 h και επαναζυγίστηκαν και περιγράφεται από την παρακάτω μαθηματική σχέση:

$$\Sigma\Delta = [100 \times (\Xi\text{O}_{\text{χορηγούμενης τροφής}} - \Xi\text{O}_{\text{τροφής μετά από 24 ώρες}})] / \Xi\text{O}_{\text{χορηγούμενης τροφής}}$$

2.8 Χημικές αναλύσεις

2.8.1 Προσδιορισμός ξηρής ουσίας

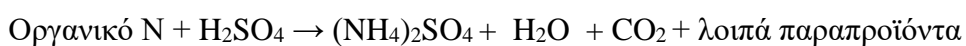
Η ξηρή ουσία η οποία προέρχονταν από τα σύμπηκτα που χρησιμοποιήθηκαν υπολογίστηκε μέσα από τη διαδικασία της μέτρησης και τοποθέτησης 2 gr από το σύμπηκτο και στην συνέχεια έγινε η μεταφορά τους σε φούρνο για διάστημα 24 h στους 105 °C (AOAC 1990). Μετά το πέρας της διαδικασίας το δείγμα που ήταν μέσα στο δισκίο και είχε τοποθετηθεί στο φούρνο για να γίνει η απομάκρυνση της υγρασίας που περιείχε αρχικά, μεταφέρθηκε στον ξηραντήρα προκειμένου να επανέλθει η θερμοκρασία του στο αρχικό στάδιο πριν την είσοδό του στο φούρνο. Ο υπολογισμός της ξηρής ουσίας έγινε μέσω της εφαρμογής του τύπου:

$$W_{\text{ξηρού δείγματος (gr)}} = W_{\text{ξηρού (τελικού) δείγματος \& δισκίου (gr)}} - W_{\text{δισκίου (gr)}}$$

$$\text{Ξηρή Ουσία (\%)} = (W_{\text{τελικού ξηρού δείγματος (gr)}} / W_{\text{αρχικού δείγματος (gr)}}) \times 100$$

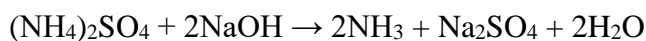
2.8.2 Προσδιορισμός αζωτούχων ενώσεων

Οι αζωτούχες ενώσεις (ολικές πρωτεΐνες) της τροφής και των περιττωμάτων των λαβρακιών προσδιορίστηκαν με τη μέθοδο Kjeldahl. Αρχικά, ένα μικρό κομμάτι αλουμινοχάρτου τοποθετήθηκε στο ζυγό ακριβείας και ζυγίστηκε 0,2 gr/δείγμα. Έπειτα, τα δείγματα μεταφέρθηκαν στις ειδικές φιάλες βρασμού και ακολούθησε η διαδικασία της πέψης. Με τη χρήση ειδικού δοσομετρητή σε κάθε φιάλη τοποθετήθηκαν 15 ml πυκνού θειικού οξέος (παράγοντας οξειδωσης με τον οποίο πέπτεται το δείγμα) και 2 ταμπλέτες καταλύτη Kjeldahl (περιείχε θείο), ώστε να επιταχυνθεί η αντίδραση. Στη συνέχεια, οι φιάλες βρασμού τοποθετήθηκαν στην ειδική συσκευή πέψης και κατά τη διάρκεια της διαδικασίας αυτής, θερμαίνονται παρουσία του πυκνού θειικού οξέος, όπου διασπώνται όλες οι αζωτούχες ενώσεις, απελευθερώνεται το άζωτο του δείγματος το οποίο στη συνέχεια δεσμεύεται σε θειικό αμμώνιο, σύμφωνα με την παρακάτω χημική αντίδραση:



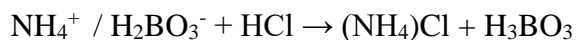
Τα δείγματα, αφού χωνεύτηκαν για 85 min στους 150°C, αφέθηκαν να κρυσώσουν για 30 min έχοντας σε λειτουργία την παγίδα αερίων και τον απαγωγό. Κατόπιν, ακολούθησε η διαδικασία της απόσταξης, όπου τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε ειδική συσκευή. Σε κάθε φιάλη προστέθηκαν 100 ml αποσταγμένου H₂O, 80 ml υδροξειδίου του νατρίου (NaOH) και 50 ml βορικού οξέος (H₂BO₃).

Ο συνολικός χρόνος της απόσταξης κάθε δείγματος ήταν 6 min. Κατά την απόσταξη το θειικό αμμώνιο αντιδρά με υδροξείδιο του νατρίου και αποδεσμεύεται αμμωνία σε αέρια μορφή και θειικό νάτριο. Η αμμωνία έπειτα αντιδρά με βορικό οξύ και το άζωτο του δείγματος δεσμεύεται σε μορφή βορικού αμμωνίου, σύμφωνα με τις εξής αντιδράσεις:



Το βορικό αμμώνιο συγκεντρώνονταν σε κωνική φιάλη που περιείχε 3 σταγόνες ενός δείκτη pH.

Έπειτα ακολούθησε η διαδικασία της τιτλοδότησης κατά την οποία το βορικό αμμώνιο τιτλοδοτείται με υδροχλωρικό οξύ χρησιμοποιώντας ένα δείκτη για το τελικό σημείο της παρακάτω χημικής αντίδρασης:



Η συγκέντρωση (σε moles) των ιόντων υδρογόνου που απαιτούνται για να καταλύσουν την αντίδραση έως το τελικό σημείο ισοδυναμεί με τη συγκέντρωση του αζώτου που περιέχει το δείγμα.

Συνεπώς, η κωνική φιάλη που περιείχε βορικό αμμώνιο τοποθετήθηκε σε θέση συνεχούς ανακίνησης και προσθέτονταν σε αυτήν με αργό ρυθμό καταγεγραμμένη ποσότητα δεκατοκανονικού διαλύματος (0,1N) HCl. Η αλλαγή του χρώματος στο διάλυμα ομολογούσε το τελικό σημείο της αντίδρασης. Η περιεκτικότητα του δείγματος σε άζωτο (N%) υπολογίστηκε από την σχέση:

$$\text{N}\% = \frac{(\text{mlHCl} - \text{mlBlank}) \times N_{\text{διαλύματοςHCl}} \times 0,014007}{\text{Βάρος Δείγματος (g)}} \times 100$$

Όπου, Blank = τιτλοδότηση κενής φιάλης (χωρίς δείγμα), η οποία χρησιμοποιείται ως συντελεστής διόρθωσης.

Κατόπιν, από τη συγκέντρωση του αζώτου (N) στο δείγμα μπορεί να υπολογιστεί η περιεχόμενη πρωτεΐνη του σύμφωνα με τον τύπο :

$$\text{Πρωτεΐνη (\%)} = \text{N (\%)} \times 6,25$$

Όπου, ο συντελεστής 6,25 προκύπτει από την παραδοχή ότι οι πρωτεΐνες περιέχουν 16%N

2.8.3 Προσδιορισμός ολικών λιπιδίων

Η μέθοδος Soxhlet χρησιμοποιήθηκε για τη μέτρηση των ολικών λιπιδίων της τροφής και των κοπράνων του λαβρακιού. Αρχικά, προστέθηκαν 3-4 πέτρες βρασμού σε ποτήρια ζέσεως για να γίνει η εκχύλιση του δείγματος, όπου έγινε η μέτρηση του μικτού βάρους των ποτηριών τα οποία προζυγίστηκαν σε ζυγό ακριβείας τεσσάρων δεκαδικών ψηφίων. Στη συνέχεια, προστέθηκαν χάρτινα δοχεία ηθμού μέσα στα γυάλινα δοχεία όπου προστέθηκε 1 g της ξηρής ουσίας του δείγματος των λαβρακίων. Από κάθε ποτήρι ζέσεως αφαιρέθηκαν οι χάρτινοι ηθμοί και χρησιμοποιώντας

ογκομετρικό κύλινδρο προστέθηκαν 140 ml πετρελαϊκού αιθέρα. Μετά οι χάρτινοι ηθμοί που περιείχαν την ξηρή ουσία τοποθετήθηκαν στα γυάλινα δοχεία εκχύλισης.

Τα γυάλινα δοχεία εκχύλισης με τα δείγματα μεταφέρθηκαν σε ειδική συσκευή εκχύλισης λιπαρών ουσιών (συσκευή Soxhlet). Κατά τη διάρκεια πραγματοποίησης της διαδικασίας αυτής, τα δείγματα θερμάνθηκαν στους 150 °C υπό την παρουσία του οργανικού διαλύτη, όπου έλαβε χώρα το πρώτο στάδιο της εκχύλισης. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε το δεύτερο στάδιο της εκχύλισης, όπου ο οργανικός διαλύτης απορρίφθηκε και εκπλύθηκε στο δείγμα για 1,5 h.

Κατόπιν, απορρίφθηκε ο διαλύτης για 15 λεπτά της ώρας με αποτέλεσμα τα ολικά λιπίδια του δείγματος να παραμείνουν στον πάτο του δοχείου εκχύλισης. Μετά το πέρας της διαδικασίας της εκχύλισης τα γυάλινα δοχεία με τα δείγματα μεταφέρθηκαν σε φούρνο στους 105°C για 30 min, προκειμένου να εξατμιστεί εντελώς ο πετρελαϊκός αιθέρας που πιθανώς παρέμεινε στα δείγματα. Έπειτα, τα γυάλινα δοχεία εκχύλισης μεταφέρθηκαν στο ξηραντήρα για 30 min της ώρας μέχρι να κρυώσουν εντελώς. Αφού απομακρύνθηκε το χάρτινο δοχείο ηθμού που περιείχε το απολιπασμένο δείγμα, ακολούθησε επαναζύγιση των γυάλινων δοχείων (που περιείχαν και τις πέτρες βρασμού) και καταγράφηκε το βάρος τους. Η περιεκτικότητα των δειγμάτων σε ολικά λιπίδια υπολογίστηκε με τη βοήθεια της παρακάτω σχέσης:

$$\text{Ολικά λιπίδια (\%)} = \left[\frac{\text{τελικό βάρος δοχείου εκχύλισης(g)} - \text{αρχικό βάρος (g)}}{\text{αρχικό βάρος δείγματος (g)}} \right] \times 100$$

2.8.4 Προσδιορισμός τέφρας

Όταν αναφερόμαστε στην τέφρα των κοπράνων ή της τροφής που χρησιμοποιήθηκε, εννοούμε το σύνολο των ανόργανων στοιχείων που έχουν παραμείνει ως υπόλειμμα μετά την καύση του δείγματος. Προκειμένου να προκύψει η τέφρα, πρέπει η ξηρή ουσία του απαιτούμενου δείγματος ποσότητας 1 gr να υποβληθεί στην διαδικασία της καύσης στους 600°C για 3 ώρες μέσα στον αποτεφρωτήρα (AOAC 1990).

Ο προσδιορισμός των ανόργανων συστατικών σε ποσοστό (% τέφρα) ενός τροφίμου δείχνει την πραγματική ποιότητα που έχει το συγκεκριμένο τρόφιμο. Επιπλέον, ο πειραματικός προσδιορισμός για τη τέφρα πραγματοποιήθηκε με την χρήση πορσελάνινων σκευών που προηγουμένως είχαν ζυγιστεί χωρίς να έχουν μέσα το απαιτούμενο δείγμα. Εν συνεχεία, μετρήθηκε το αρχικό μικτό βάρος δείγματος και

δισκίου και μετά ακολούθησε η διαδικασία της αποτέφρωσης. Μετά το πέρας του απαιτούμενου χρόνου και την ολοκλήρωση της διαδικασίας της τέφρας, τα πορσελάνινα δισκία μεταφέρθηκαν σε ξηραντήρα, με σκοπό να ψυχθούν πριν γίνει το τελικό μέτρημα του μικτού βάρους. Η σχέση που αποδίδει τον υπολογισμό της τέφρας δίνεται παρακάτω:

$$W_{\text{αποτεφρωμένου δείγματος (gr)}} = W_{\text{μικτού αποτεφρωμένου δείγματος (g)}} + \text{δισκίου (gr)} - W_{\text{δισκίου (gr)}}$$

$$\text{Τέφρα (\%)} = [W_{\text{αποτεφρωμένου δείγματος (gr)}} / W_{\text{αρχικού δείγματος (gr)}}] \times 100$$

2.8.5 Προσδιορισμός ολικής ενέργειας

Η θερμιδική αξία ενός τροφίμου ή των κοπράνων ενός οργανισμού γίνεται μέσα από τον προσδιορισμό της περιεκτικότητας σε λίπος, πρωτεΐνη και υδατάνθρακες και αντιπροσωπεύει το ποσό της ενέργειας που παράγεται. Μονάδα μέτρησης της ενέργειας είναι τα kcal/gr. Ο προσδιορισμός πραγματοποιείται με την μέτρηση 0,3-0,5 gr του γνωστού δείγματος από το οποίο πρόκειται να πάρουμε το ποσό της ενέργειας.

Η μέτρηση του βάρους του δείγματος γίνεται μέσα στην κυψελίδα την οποία περιέχει η οβίδα που θα ενσωματωθεί στο θερμιδόμετρο τύπου οβίδας. Κατά την διάρκεια της διαδικασίας της καύσης αρχίζει και σχηματίζεται μια γραμμή στην οθόνη του θερμιδόμετρου η οποία μας δείχνει την μεταβολή της θερμοκρασίας σε σχέση με το χρόνο. Μετά το πέρας της διαδικασίας, πριν ολοκληρωθεί αυτή η οβίδα, αρχίζει να ανέρχεται μέχρι μια θέση που πραγματοποιείται το φαινόμενο της εξαέρωσης. Έπειτα η οβίδα ανεβαίνει στην αρχική της θέση όπου άρχισε η διαδικασία και πραγματοποιείται η καταγραφή της τιμής της θερμιδομέτρησης.

Η καύση του δείγματος γίνεται στην ειδική οβίδα και η θερμότητα που παράγεται προκαλεί θέρμανση του δείγματος. Με τον όρο της θερμιδικής αξίας καλούμε το ποσοστό της θερμότητας που εκλύεται κατά την διάρκεια της καύσης από το δείγμα και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την παραγωγή ως τελικών προϊόντων το νερό και το διοξείδιο του άνθρακα. Η συνεχόμενη αύξηση της θερμοκρασίας του εξωτερικού δοχείου καταγράφεται σε ένα θερμόμετρο. Μέσω της αύξησης της θερμοκρασίας υπολογίζεται το θερμιδικό περιεχόμενο του δείγματος που έχει χρησιμοποιηθεί.

2.9 Υπολογισμός δεικτών ανάπτυξης ψαριών και φυτών

2.9.1 Δείκτες ανάπτυξης και αξιοποίησης της τροφής

Στο τέλος του πειράματος (D 45) μετρήθηκε το μήκος και το βάρος των λαβρακιών με ζυγό ακριβείας ώστε να υπολογιστούν σύμφωνα με τις παρακάτω μαθηματικές σχέσεις οι δείκτες ανάπτυξης, κατανάλωσης και αξιοποίησης της τροφής του λαβρακιού (Παπουτσόγλου 2008, Μεντέ και Νέγκας 2011, Vlahos et. al. 2019):

Ημερήσια ποσότητα τροφής:

$$(F, g) = M.B (g) * (\text{Αριθμός ψαριών } W(g)) * \text{επίπεδο διατροφής } (\%)$$

Αύξηση σωματικού βάρους (WG):

$$(WG, g) = \text{Μέσο τελικό βάρος } (W_f) - \text{Μέσο αρχικό βάρος } (W_i)$$

Ειδικός ρυθμός ανάπτυξης:

$$S.G.R. (\%/ημέρα) = \frac{[\ln(W_f) - \ln(W_i)] * 100}{t}$$

όπου: W_f = τελικό βάρος (gr) και W_i = αρχικό βάρος (gr), t = ημέρες σίτισης

Συντελεστής Ευρωστίας (C.F.):

$$C.F. = (W * L^{-3}) * 100$$

Όπου W = βάρος λαβρακιού (gr) και L = μήκος λαβρακιού (cm)

Επιβίωση (%):

$$S (\%) = (\text{Τελικός αριθμός ψαριών} / \text{αρχικός αριθμός ψαριών}) * 100$$

Συντελεστής μετατρεψιμότητας τροφής (FCR):

$$(FCR) = \text{κατανάλωση τροφής } (g) / \text{αύξηση βάρους } (g)$$

Ημερήσια πρόσληψη τροφής (D.F.I., %/ημέρα):

$$D.F.I. (\%/ημέρα) = 100 * [(\text{Κατανάλωση τροφής} / \text{αύξηση βάρους}) / \text{ημέρες σίτισης}]$$

Συντελεστής απόδοσης πρωτεΐνης (PER):

$$P.E.R. = \text{Αύξηση βάρους } (g) / \text{πρωτεΐνης που προσφέρθηκε } (g).$$

Κατανάλωση τροφής, (FC):

$FC = [\text{Προσφερόμενη τροφή (gr)} - (\text{προσφερόμενη τροφή} * \Sigma\Delta/100)]$ -Τροφή που δεν καταναλώθηκε (gr), όπου $\Sigma\Delta =$ συντελεστής διόρθωσης (διαλυτοποίησης τροφής)

$\Sigma\Delta = [100 * (\Xi O_{\text{χορηγού,ενης τροφής}} - \Xi O_{\text{τροφής μετά από 48/24 h}})] / \Xi O_{\text{χορηγούμενης τροφής}}$

Συντελεστής Φαινομενικής πεπτικότητας (ADC):

Φαινομενική Πεπτικότητα (ADC) = $100 - 100 * (\text{ποσότητα θρεπτικού κοπрана/ποσοτητα θρεπτικού τροφή})$

2.10 Στατιστική ανάλυση

Τα δεδομένα που προέκυψαν από την πειραματική διαδικασία (ποιότητα νερού, ανάπτυξη λαβρακιού και μαρουλιού) στο τέλος της πειραματικής διαδικασίας επεξεργάστηκαν στατιστικά χρησιμοποιώντας την ανάλυση διακύμανσης μονής κατεύθυνσης (one way ANOVA) με επίπεδο σημαντικότητας 5% (Zar, 1999). Η ομοιογένεια και η παραλλακτικότητα των μέσων όρων ελέγχθηκε σύμφωνα με Levene's test ενώ ο έλεγχος της κανονικότητας έγινε με το test Kolmogorov-Smirnov. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται ως μέσος όρος και τυπικό σφάλμα ($MO \pm SEM$).

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 Ποιότητα νερού

Κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας λήφθηκαν μετρήσεις για τον έλεγχο της ποιότητας του νερού και κυρίως για τα νιτρικά ιόντα και την ολική αμμωνία στα σημεία εισόδου και εξόδου του νερού. Η ολική αμμωνία (TAN), τα νιτρικά ιόντα (NO_3^-) και το ασβέστιο (Πιν.3) δεν παρουσιάζουν στατιστική σημαντική διαφορά σε όλες τις μεταχειρίσεις υποδεικνύοντας με τον τρόπο αυτό την ομαλή λειτουργία των συστημάτων εκτροφής. Ποιο συγκεκριμένα, η διακύμανση της αμμωνίας ήταν 0,25 mg/L για τα λαβράκια που σιτήστηκαν με 4 γεύματα/d, 0,36 mg/L για τα λαβράκια που σιτίστηκαν με 2 γεύματα/d και 0,33mg/L για τα λαβράκια που σιτίστηκαν με 8 γεύματα/d (Πιν.3).

Σε ότι αφορά τα νιτρικά ιόντα NO_3^- διακυμάνθηκαν από 43,3 mg/L για τα λαβράκια όπου σιτίζονταν δύο φορές ημερησίως, 36,7 mg/L για τα λαβράκια που σιτίζονταν 4 φορές ημερησίως και 35 mg/L για τα λαβράκια που σιτίζονταν με 8 γεύματα ημερησίως (Πιν. 3). Τα NO_2^- και για τα 3 συστήματα κυμάνθηκαν σε μηδενικά επίπεδα. Τα επίπεδα του ασβεστίου (Ca, mg/L) διακυμάνθηκαν από 286,6 mg/L για το σύστημα όπου η τροφή παρέχονταν 8 φορές ημερησίως έως 330 mg/L, όπου τα λαβράκια σιτίζονταν με 2 γεύματα/ημέρα.

Πίνακας 3: Δείκτες ποιότητας νερού από τις θέσεις εισόδου και εξόδου του νερού στις δεξαμενες των φυτών σε όλα τα συστήματα ενυδρείοπονίας A, B, C για όλο το διάστημα εκτροφής (45 d).

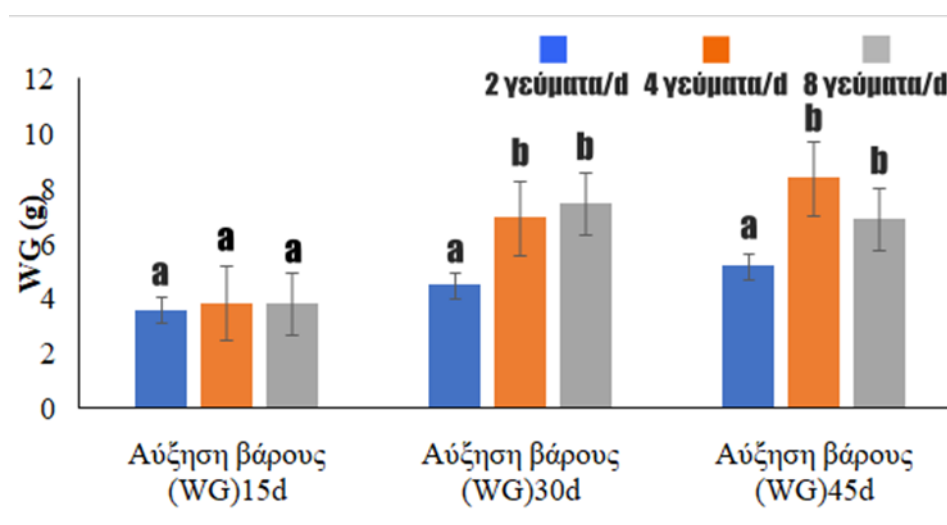
	A	B	C
TAN in (mg/L)	0,36±0,07 ^a	0,25±0,03 ^a	0,33±0,09 ^a
TANout (mg/L)	0,25±0,03 ^a	0,17±0,03 ^a	0,23±0,09 ^a
NO_3 in (mg/L)	43,3±13,3 ^a	36,7±6,7 ^a	35±5 ^a
NO_3 out (mg/L)	28,3±8,33 ^a	15±2,88 ^a	21,7±9,28 ^a
Ca (mg/L)	330±5,77 ^a	300±28,87 ^a	286,6±8,82 ^a

Οι τιμές παρουσιάζονται ως $\text{MO} \pm \text{SEM}$ (n=9). Οι μέσοι όροι κάθε παραμέτρου μεταξύ των μεταχειρίσεων που φέρουν τον ίδιο εκθέτη δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (ANOVA, $p > 0.05$).

3.2 Ανάπτυξης και αξιοποίηση της τροφής του λαβρακιού

3.2.1 Δείκτες ανάπτυξης του λαβρακιού

Ο Πίνακας 4 παρουσιάζει τους δείκτες ανάπτυξης για το λαβράκι στα ενυδρειοπονικά συστήματα για χρονικό διάστημα 45 ημερών, όπου διήρκησε το πείραμα. Το αρχικό μέσο βάρος και μήκος των λαβρακιών στην έναρξη της πειραματικής διαδικασίας δεν παρουσίασε στατιστικά σημαντικές διαφορές για όλες τις πειραματικές μεταχειρίσεις (ANOVA, $p > 0,05$). Τα λαβράκια που διατρέφονταν με δυο γεύματα ημερησίως (Πιν.4) παρουσίασαν στατιστικά τη μικρότερη τιμή στο μέσο τελικό βάρος και μέσο τελικό μήκος σε σχέση με εκείνα που σιτίζονταν αντίστοιχα, με 4 και 8 γεύματα ημερησίως (ANOVA, $p < 0,05$). Η αύξηση του βάρους (WG, gr) καθ' όλη την διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας στο παρακάτω Σχήμα 2, στο οποίο αποτυπώνεται η επίδραση της συχνότητας σίτισης στην αύξηση βάρους του λαβρακιού η οποία είναι στατιστικά σημαντική ανάμεσα στα 2 γεύματα/d και 4 ή 8 γεύματα/d.



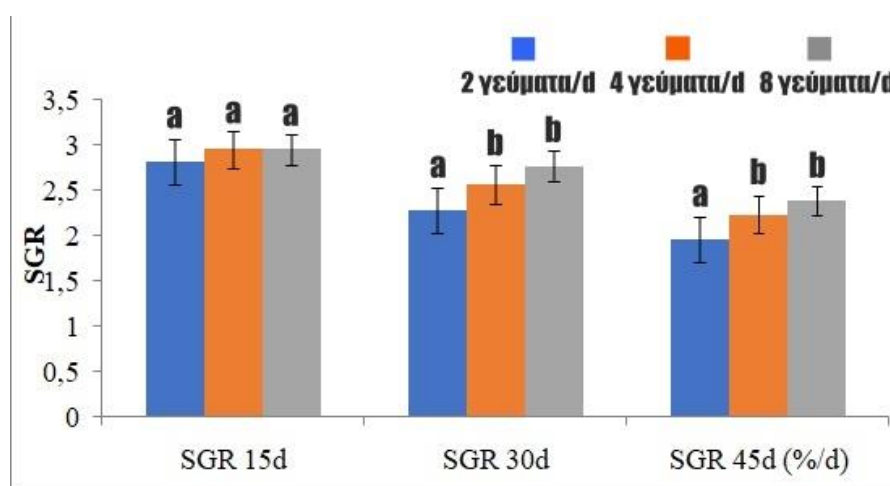
Σχήμα 2: Συγκριτική αύξηση του βάρους των λαβρακιών στα ενυδρειοπονικά συστήματα και στις μεταχειρίσεις με 2 γεύματα/d, 4 γεύματα/d και 8 γεύματα/d για όλο το διάστημα των 45 ημερών (d:ημέρα).

Ο συντελεστής ευρωστίας (Kd45) στο τέλος της πειραματικής διαδικασίας δεν παρουσίασε στατιστικά σημαντικές διαφορές (ANOVA, $p > 0,05$). Επίσης, στο τέλος της πειραματικής διαδικασίας τα λαβράκια που σιτίζονταν με 4 και 8 γεύματα /d παρουσίασαν στατιστικά μεγαλύτερη ανάπτυξη (ANOVA, $p < 0,05$). Ο ρυθμός

ανάπτυξης στο τέλος της περιόδου εκτροφής ήταν: $SGR_{45d} = 1,96\%/d$ για τα λαβράκια που σιτίστηκαν με 2 γεύματα/d, $SGR_{45d} = 2,24\%/d$ για τα λαβράκια που σιτίστηκαν με 4 γεύματα/d και $SGR_{45d} = 2,39\%/d$ για τα λαβράκια που σιτίστηκαν με 8 γεύματα/d, (Πιν.4). Ο ειδικός ρυθμός ανάπτυξης (SGR) των λαβρακιών ανά δεκαπενθήμερο αποτυπώνεται στο Σχήμα 3, όπου φαίνεται να επηρεάζεται σημαντικά από τη συχνότητα ταΐσματος με την μικρότερο τιμή του να παρατηρείται στα 2 γεύματα/d.

Πίνακας 4: Δείκτες ανάπτυξης και επιβίωση του λαβρακιού για κάθε διατροφική μεταχείριση (2 γεύματα/d, 4 γεύματα/d και 8 γεύματα/d) για όλο το διάστημα των 45 ημερών που διήρκησε η εκτροφή στα συστήματα ενυδρείοπονίας.

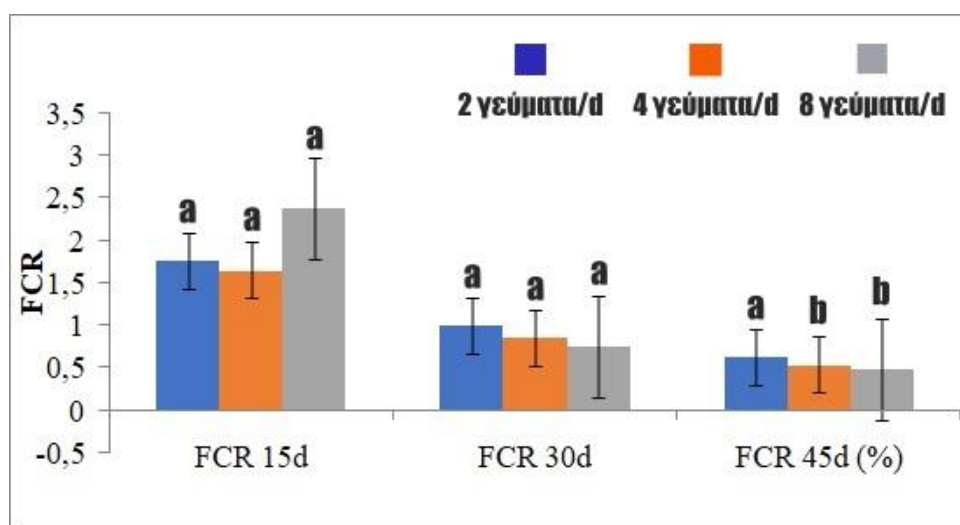
	2 γεύματα/d	4 γεύματα/d	8 γεύματα/d
Αρχικό Μέσο Βάρος W (gr)	$6,8 \pm 0,18^a$	$6,8 \pm 0,18^a$	$6,8 \pm 0,15^a$
Τελικό Μέσο Βάρος W (gr)	$17,44 \pm 0,59^a$	$20,29 \pm 0,77^b$	$21,11 \pm 0,65^b$
Αύξηση βάρους (WG_{45d} (gr))	$10,22 \pm 0,64^a$	$12,96 \pm 0,07^b$	$13,95 \pm 0,62^b$
Επιβίωση (S,%)	$72,2 \pm 14,99^a$	$96,50 \pm 1,75^a$	$96,50 \pm 1,75^a$
Ειδικός Ρυθμός Ανάπτυξης (SGR_{45d} %/d)	$1,96 \pm 0,12^a$	$2,24 \pm 0,08^b$	$2,39 \pm 0,07^b$
Συντελεστής ευρωστίας 45d (K_{d45} gr/cm^3)	$0,01 \pm 0,00^a$	$0,01 \pm 0,00^a$	$0,01 \pm 0,00^a$
Αρχικό Μέσο Μήκος (L, cm)	$8,5 \pm 0,09^a$	$8,7 \pm 0,08^a$	$8,6 \pm 0,07^a$
Τελικό Μέσο Μήκος (L, cm)	$11,66 \pm 0,13^a$	$12,02 \pm 0,13^b$	$12,16 \pm 0,11^b$



Σχήμα 3: Ρυθμός ανάπτυξης SGR (%/d) των λαβρακιών στα ενυδρειοπονικά συστήματα με συχνότητα ταΐσματος 2 γεύματα/d, 4 γεύματα/d και 8 γεύματα/d για όλο το διάστημα των 45 d που διήρκησε η εκτροφή (d:ημέρα).

3.2.2 Δείκτες αξιοποίησης, εκμετάλλευσης και κατανάλωσης της τροφής

Ο συντελεστής μετατρεψιμότητας της τροφής (FCR_{45d}) για τα λαβράκια που διατράφηκαν με 2 γεύματα/d, 4 γεύματα/d και 8 γεύματα/d παρουσίασε στατιστικά σημαντικές διαφορές (ANOVA, $p < 0.05$), (Σχήμ.4). Ποιο συγκεκριμένα, τα λαβράκια που σιτίστηκαν με 4 γεύματα ($0,54 \pm 0,04$) και 8 γεύματα/d ($0,48 \pm 0,02$) παρουσίασαν στατιστικά το μικρότερο συντελεστή μετατρεψιμότητας σε σχέση με εκείνα που σιτίστηκαν με 4 γεύματα/d που ήταν μεγαλύτερος ($0,63 \pm 0,07$) (Πιν.5).



Σχήμα 4: Συντελεστής μετατρεψιμότητας της τροφής ανά δεκαπενθήμερο για τα τρία ενυδρειοπνικά συστήματα με διαφορετικές συχνότητες σίτισης (2 γεύματα/d, γεύματα/d και 8 γεύματα/d) για όλο το διάστημα της πειραματικής διαδικασίας (45 ημέρες) (d: ημέρες).

Η ημερήσια πρόληψη της τροφής (DFI_{45d}) παρουσίασε στατιστικά σημαντικές διαφορές σε όλες τις μεταχειρίσεις (ANOVA, $p < 0,05$), (Πιν. 5). Η ημερήσια πρόσληψη της τροφής ήταν στατιστικά μεγαλύτερη ($1,4 \pm 0,15$ %/d) στα λαβράκια που σιτίστηκαν 2 φορές ημερησίως σε σχέση με εκείνα που σιτίστηκαν 4 και 8 γεύματα/d και ήταν αντίστοιχα $1,21 \pm 0,08$ %/d και $1,07 \pm 0,05$ %/d (Πιν. 5).

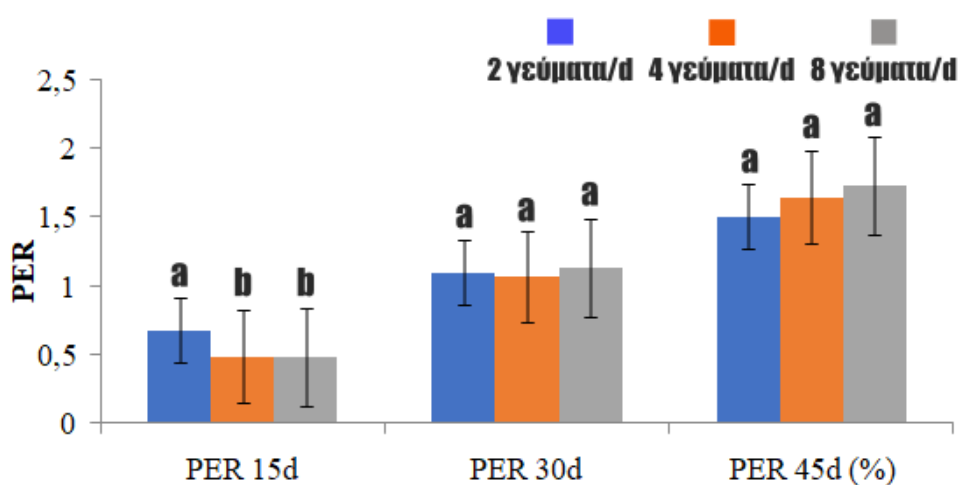
Τέλος, όσον αφορά τον συντελεστή απόδοσης της πρωτεΐνης (PER_{45d}) μετά το πέρας των 45 ημερών δεν παρουσιάστηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των τριών μεταχειρίσεων (ANOVA, $p > 0.05$) (Πιν. 5). Οι μέσες τιμές του συντελεστή απόδοσης πρωτεΐνης (PER_{45d}) ήταν $1,51 \pm 0,10$ για τα λαβράκια που σιτίστηκαν με 2 γεύματα/d, $1,65 \pm 0,90$ και $1,73 \pm 0,73$, αντίστοιχα για τα λαβράκια που σιτίστηκαν

με 4 γεύματα/d και 8 γεύματα/d (Πιν. 5). Παρόμοια τάση παρουσιάζει ο δείκτης PER ανά 15 νήμερο εκτροφής όπως αποτυπώνεται στο Σχήμα 5.

Πίνακας 5: Δείκτες και εκμετάλλευσης της τροφής καθ' όλο το διάστημα της πειραματικής εκτροφής (45 ημέρες) στα ενυδρειοπονικά συστήματα.

	2 γεύματα/d	4 γεύματα/d	8 γεύματα/d
Συντελεστής Μετατρεψιμότητα τροφής (FCR _{45d} (%))	0,63 ± 0,07 ^a	0,54 ± 0,04 ^b	0,48 ± 0,02 ^b
Κατανάλωση τροφής (FC, gr)	4,91 ± 0,15 ^a	6,26 ± 0,14 ^b	6,31 ± 0,15 ^b
Ημερήσια Πρόληψη τροφής (DFI _{45d} (% gr/d))	1,4 ± 0,15 ^a	1,21 ± 0,08 ^b	1,07 ± 0,05 ^b
Ρυθμός Απόδοση Πρωτεΐνης (PER _{45d} (%))	1,51 ± 0,10 ^a	1,65 ± 0,90 ^a	1,73 ± 0,73 ^a

Οι τιμές παρουσιάζονται ως MO ± SEM (n=30). Οι μέσοι όροι κάθε παραμέτρου μεταξύ των μεταχειρίσεων που φέρουν τον ίδιο εκθέτη δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (p>0.05).



Σχήμα 5: Ρυθμός απόδοσης της πρωτεΐνης (PER) ανά δεκαπενθήμερο εκτροφής για όλες τις μεταχειρίσεις με διαφορετικές συχνότητες σίτισης (2 γεύματα/d, 4 γεύματα/d και 8 γεύματα/d) για όλο το διάστημα της πειραματικής διαδικασίας (45 ημέρες), (d: ημέρες).

3.2.2.1 Κατανάλωση τροφής

Τα λαβράκια που σιτίστηκαν με 2 γεύματα ημερησίως παρουσίασαν στατιστικά τη μικρότερη κατανάλωση ($4,91 \pm 0,15$ gr) (ANOVA, $p < 0.05$), (Πιν.5), σε σχέση με εκείνα που σιτίζονταν με 4 γεύματα/d ($6,26 \pm 0,14$ gr) και 8 γεύματα/d ($6,31 \pm 0,15$ gr) που παρουσίασαν μεγαλύτερη κατανάλωση τροφής. Η μέση ημερήσια ποσότητα τροφής που προσφέρθηκε (υγρό βάρος τροφής) σε gr, η μέση ημερήσια ποσότητα τροφής που προσφέρθηκε ανά δεξαμενή εκτροφής (ξηρό βάρος, gr), η ποσοστιαία ημερήσια κατανάλωση τροφής σε σχέση με το μέσο σωματικό βάρος του λαβρακιού (% ανά δεξαμενή εκτροφής ανά ενυδρείο/συστήμα) και η ημερήσια κατανάλωση τροφής ανά γραμμάριο σωματικού βάρους του λαβρακιού (g/g σ.β) για όλο το διάστημα της πειραματικής εκτροφής (45 ημέρες) παρατίθενται στον Πίνακα 6.

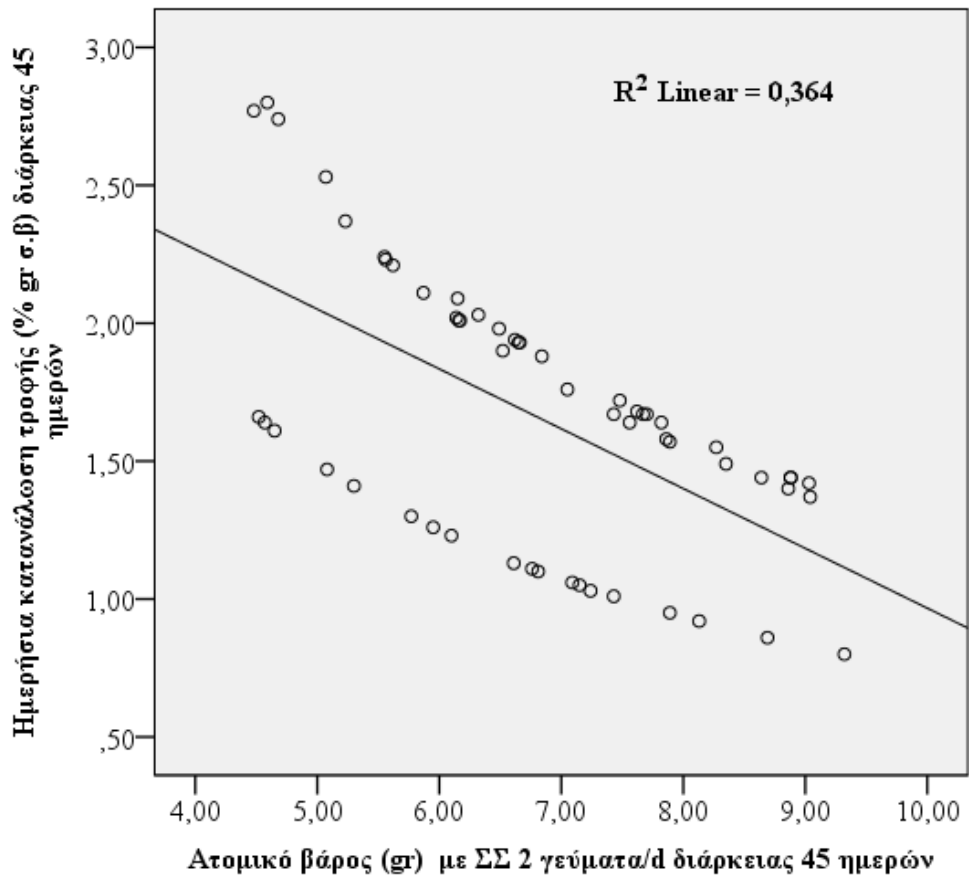
Πίνακας 6: Συνολική ποσότητα χορηγηθείσας τροφής (gr), ημερήσιας κατανάλωσης τροφής (gr), ημερήσιας κατανάλωσης τροφής (% επί του σωματικού βάρους), ημερήσιας κατανάλωσης τροφής (gr/gr σ.β) και βάρους σώματος των ατόμων λαβρακιού (gr) με συχνότητα σίτισης 2 γεύματα ανά ημέρα.

	2 γεύματα/d	4 γεύματα/d	8 γεύματα/d
Αρχικό Μέσο Βάρος ατόμων /ενυδρείο (gr)	6,82±0,17 ^a	6,78±0,17 ^a	6,81±0,15 ^a
Μέση Ημερήσια Χορήγηση υγρής τροφής (g)	6,36±0,18 ^a	7,99±0,009 ^b	8,11±0,06 ^b
Μέση Ημερήσια Χορήγηση ξηρής τροφής (g)	6,23±0,18 ^a	7,85±0,07 ^b	7,97±0,06 ^b
Συνολική Μέση κατανάλωση τροφής (gr)	4,91±0,15 ^a	6,26±0,11 ^b	6,31±0,04 ^b
Μέση Ημερήσια κατανάλωση τροφής (g)	0,11±0,003 ^a	0,14±0,002 ^b	0,14±0,009 ^b
Μέση Ημερήσια Κατανάλωση τροφής (% σ.β)	1,66±0,06 ^a	2,12±0,05 ^b	2,11±0,05 ^b
Μέση Ημερήσια κατανάλωση τροφής (g/g σ.β)	0,02±0,001 ^a	0,02±0,001 ^b	0,02±0,005 ^b
Ημέρες ταΐσματος	45	45	45

Τα δεδομένα εκφράζονται ως $MO \pm S.E.M$. Οι μέσοι όροι μεταξύ των μεταχειρίσεων που φέρουν τον ίδιο εκθέτη δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική διαφορά (ANOVA, $p > 0.05$) (n=57).

Η μέση συνολική κατανάλωση τροφής των λαβρακιών ήταν στατιστικά μικρότερη όταν τα λαβράκια σιτίζονταν 2 φορές ημερησίως σε σχέση με εκείνα όπου διατρέφονταν με 4 γεύματα /d και 8 γεύματα /d, αντίστοιχα όπου τα λαβράκια παρουσίασαν μεγαλύτερη κατανάλωση τροφής (ANOVA, $p<0,05$) (Πιν 6). Η μέση ημερήσια κατανάλωση τροφής διακυμάνθηκε από $0,11\pm 0,003$ gr για τα λαβράκια που διατρέφονταν με 2 γεύματα/d και $0,14\pm 0,002$ gr και $0,14\pm 0,009$ gr για τα λαβράκια που διατρέφονταν αντίστοιχα με 4 γεύματα/d και 8 γεύματα/d, παρουσιάζοντας σημαντικά στατιστικές διαφορές (ANOVA, $p<0,05$). Η μέση ημερήσια κατανάλωση τροφής (% σ.β) ήταν στατιστικά μικρότερη στα λαβράκια που σιτίζονταν 2 φορές ημερησίως σε σχέση με εκείνα που σιτίζονταν αντίστοιχα με 4 και 8 γεύματα ημερησίως (ANOVA, $p<0,05$). Επίσης, τα λαβράκια που διατρέφονταν με 2 γεύματα/d παρουσίασαν στατιστικά τη μικρότερη μέση ημερήσια κατανάλωση τροφής (gr/gr σωματικού βάρους ιχθύος) σε σχέση με εκείνα που διατρέφονταν με 4 γεύματα/d και 8 γεύματα /d, αντίστοιχα (ANOVA, $p<0,05$) καθ' όλο το διάστημα που διήρκησε η εκτροφή (45 ημέρες) (Πιν 6). Η συσχέτιση της ποσοστιαίας ημερήσιας κατανάλωσης τροφής (% gr σ.β) με το σωματικό βάρος των λαβρακιών στο σύνολο των ημερών εκτροφής (45 d) που διατρέφονταν με 2 γεύματα/d δίνεται στο Σχήμα 6 και αποδίδεται γραμμικά σύμφωνα με την εξίσωση:

$$\text{Ημερήσια Κατανάλωση τροφής (\% gr σ.β)} = -1,677 * \text{Ατομικό Βάρος} + 9,595$$
$$(\text{R}^2 = 0,364)$$

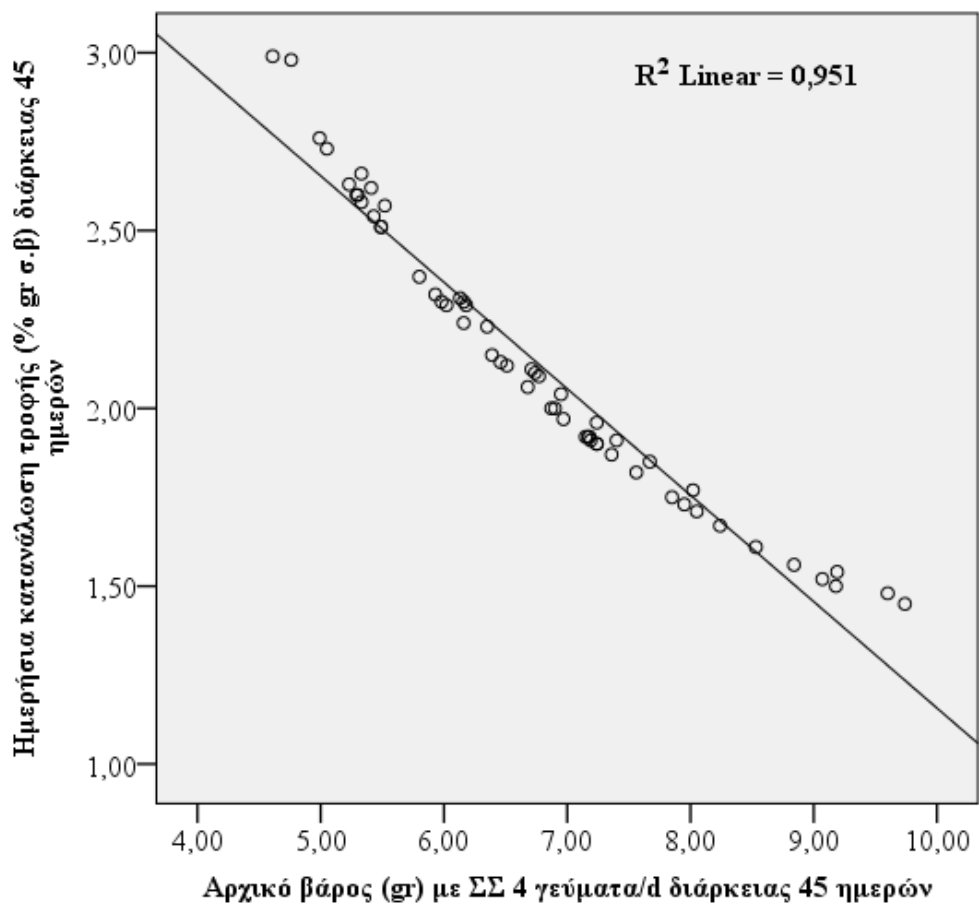


Σχήμα 6: Ημερήσια κατανάλωση τροφής με το συνολικό αρχικό ατομικό σωματικό βάρος για τα λαβράκια που διατρέφονταν με συχνότητα 2 φορές ημερησίως για όλες τις ημέρες της πειραματικής εκτροφής (45 d) (d:ημέρες).

Επίσης, το Σχήμα 7, αποδίδει τη συσχέτιση της ημερήσιας κατανάλωσης τροφής (% σ.β) με το σωματικό βάρος των λαβρακιών όταν αυτά σιτίζονται 4 φορές ημερησίως και περιγράφεται από την εξίσωση:

$$\text{Ημερήσια Κατανάλωση τροφής (\% gr σ.β)} = -3.177 * \text{Ατομικό Βάρος} + 13,518$$

$$(R^2=0,951)$$

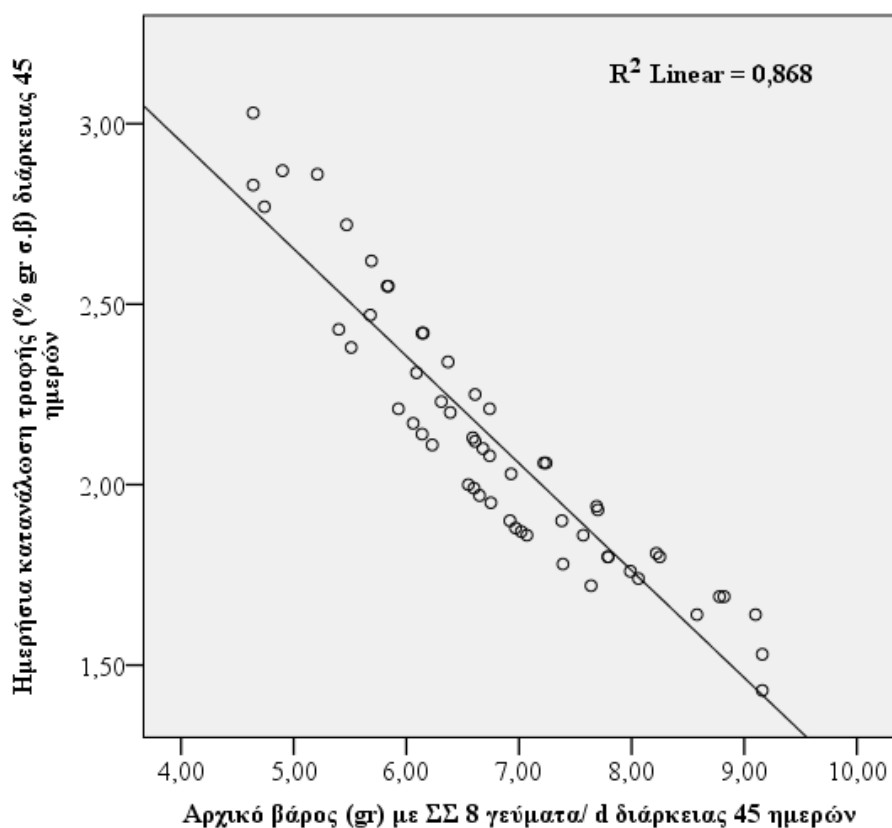


Σχήμα 7: Ημερήσια κατανάλωση τροφής με το συνολικό αρχικό ατομικό σωματικό βάρος για τα λαβράκια που διατρέφονταν με συχνότητα 4 φορές ημερησίως για όλες τις ημέρες της πειραματικής εκτροφής (45 d) (d:ημέρες).

Επίσης, το Σχήμα 8, αποδίδει τη συσχέτιση της ημερήσιας κατανάλωσης τροφής (% σ.β) με το σωματικό βάρος των λαβρακιών όταν αυτά σιτίζονται 8 φορές ημερησίως και περιγράφεται από την εξίσωση:

$$\text{Ημερήσια Κατανάλωση τροφής (\% \sigma.\beta)} = -2,923 * \text{Ατομικό Βάρος} + 12,995$$

$$(\mathbf{R^2=0,868})$$



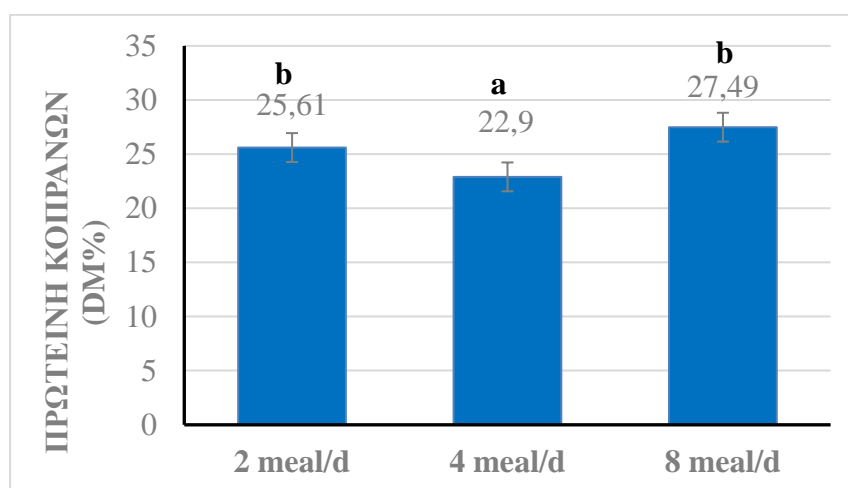
Σχήμα 8: Ημερήσια κατανάλωση τροφής με το συνολικό αρχικό ατομικό σωματικό βάρος για τα λαβράκια που διατρέφονταν με συχνότητα 8 φορές ημερησίως για όλες τις ημέρες της πειραματικής εκτροφής (45 d) (d:ημέρες).

Από τις παραπάνω εξισώσεις παρατηρούμε ότι ο συντελεστής συσχέτισης (R^2), δείχνει το συντελεστή μεταβλητότητας της ημερήσιας κατανάλωσης της τροφής που ερμηνεύεται από το ατομικό βάρος και ως εκ τούτου όσο πιο ισχυρός είναι ο συντελεστής αυτός τόσο μεγαλύτερη είναι η συσχέτιση που παρατηρείται μεταξύ των μεταβλητών. Σύμφωνα με τα Σχήματα 2, 3 και 4 ο συντελεστής συσχέτισης είναι χαμηλότερος όταν τα λαβράκια διατρέφονται 2 φορές ημερησίως ($R^2=0,364$), το οποίο συνεπάγεται πως η ημερήσια κατανάλωση τροφής των λαβρακιών επηρεάζεται λιγότερο από το ατομικό βάρος (για κάθε γραμμάριο βάρους ελαττώνεται η ημερήσια κατανάλωση τροφής), σε σχέση με τα λαβράκια που σιτίζονται με 4 γεύματα/d και 8 γεύματα/d όπου ο συντελεστής συσχέτισης είναι $R^2=0,951$ και $R^2=0,868$, αντίστοιχα.

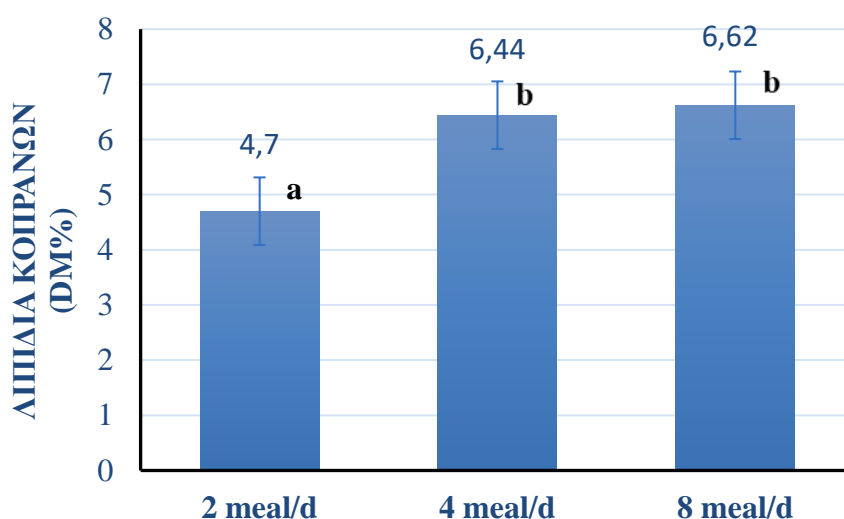
Η συνολική μεταβλητότητα της ημερήσιας κατανάλωσης ερμηνεύεται από την επίδραση του ατομικού βάρους κατά 95,1% και 86,8%, όταν τα λαβράκια διατρέφονται με 4 και 8 γεύματα αντίστοιχα, έναντι των λαβρακιών όπου σιτίζονται 2 φορές και ερμηνεύεται κατά 36,4% .

3.2 Σύσταση περιττωμάτων

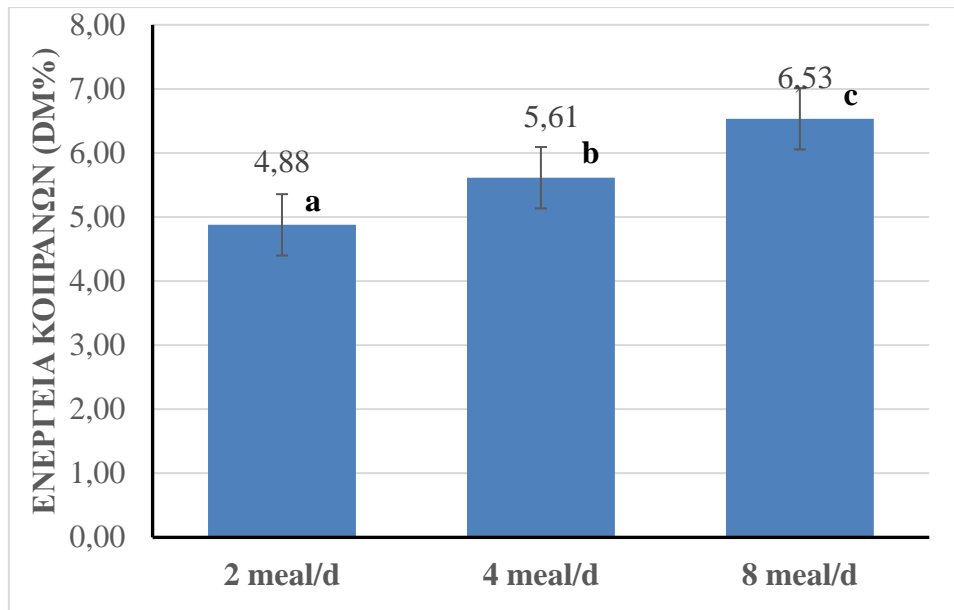
Από τις αναλύσεις της σύστασης των περιττωμάτων σε υγρασία, πρωτεΐνη λιπίδια, τέφρα, και ενέργεια τα οποία συλλέχθηκαν από τα εκτρεφόμενα λαβράκια καθ' όλη την περίοδο εκτροφής (45 ημέρες) προέκυψαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ της πρωτεΐνης, των λιπιδίων και τις ενέργειας των κοπράνων (Σχήμ.9-11) για τα λαβράκια που σιτίζονταν με 2 γεύματα/d, 4 γεύματα/d και 8 γεύματα/d (ANOVA, $p < 0,05$). Σε ό,τι αφορά την μέση περιεκτικότητα των κοπράνω σε τέφρα (Σχήμ.12) δεν παρουσιάστηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές (ANOVA, $p > 0,05$).



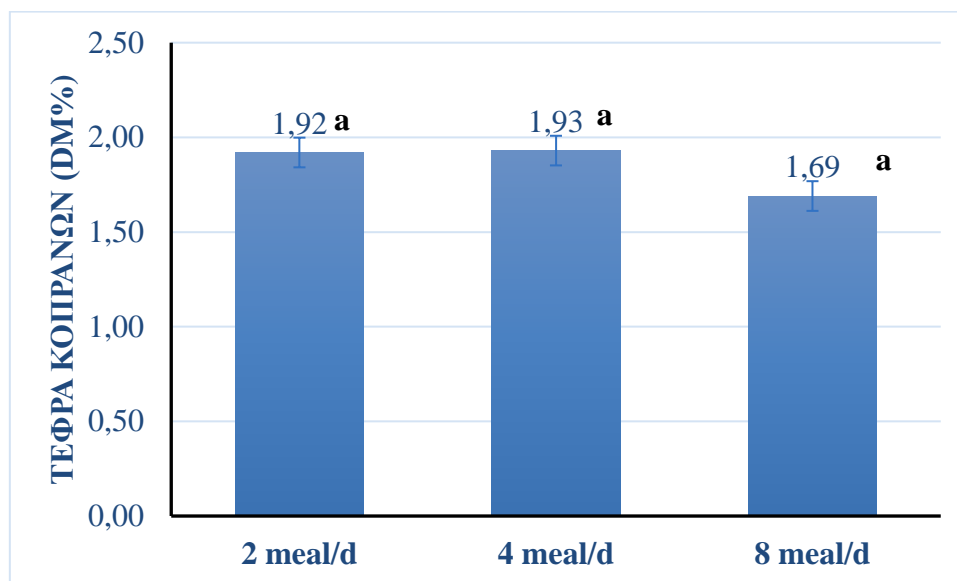
Σχήμα 9: Μέση περιεκτικότητα (%) πρωτεΐνης των περιττωμάτων που συλλέχθηκαν κατά το πείραμα της κατανάλωσης τροφής στα λαβράκια που σιτίστηκαν με διαφορετική συχνότητα σίτησης (2, 4, 8 γεύματα/d), (meal/d: γευμα/ημέρα).



Σχήμα 10: Μέση περιεκτικότητα (%) λιπιδίων των περιττωμάτων που συλλέχθηκαν κατά το πείραμα της κατανάλωσης τροφής στα λαβράκια που σιτίστηκαν με διαφορετική συχνότητα σίτησης (2, 4, 8 γεύματα/d), (meal/d: γευμα/ημέρα).



Σχήμα 11: Μέση περιεκτικότητα (%) ενέργειας των περιττωμάτων που συλλέχθηκαν κατά το πείραμα της κατανάλωσης τροφής στα λαβράκια που σιτίστηκαν με διαφορετική συχνότητα σίτησης (2, 4, 8 γεύματα/d), παρουσιάζοντας στατιστικά σημαντική διαφορά (ANOVA, $p < 0,05$), (meal/d: γευμα/ημέρα).



Σχήμα 12: Μέση περιεκτικότητα (%) τέφρας των περιττωμάτων που συλλέχθηκαν κατά το πείραμα της κατανάλωσης τροφής στα λαβράκια που σιτίστηκαν με διαφορετική συχνότητα σίτησης (2, 4, 8 γεύματα/d), χωρίς να παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική διαφορά (ANOVA, $p > 0,05$), (meal/d: γευμα/ημέρα).

3.3 Πεπτικότητα

Από τον υπολογισμό της φαινομενικής πεπτικότητας των πρωτεϊνών, λιπιδίων, τέφρας και ενέργειας των τριών πειραματικών μεταχειρίσεων (2 γεύματα/d, 4 γεύματα/d και 8 γεύματα/d) (Πιν. 7) προκύπτει ότι παρουσιάστηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στην πεπτικότητα καθ' ενός από τα συστατικά που προαναφέρθηκαν (ANOVA, $p < 0,05$), |σε αντίθεση με την τέφρα όπου δεν παρουσιάζει στατιστικά σημαντικές διαφορές (ANOVA, $p > 0,05$) (Πιν.7). Η πεπτικότητα της πρωτεΐνης υπολογίστηκε $54.91 \pm 1,50$ % για τα λαβράκια που σιτίστηκαν με 2 γεύματ/d, $57.71 \pm 2.23\%$ για τα λαβράκια που σιτίστηκαν με 8 γεύματα/d και $51.57 \pm 1.61\%$ για τα λαβράκια που σιτήστηκαν με 6 γεύματα/d.

Ομοίως, η πεπτικότητα των λιπιδίων υπολογίστηκε ως $67,11 \pm 2.88\%$ για τα λαβράκια με συχνότητα σίτησης 2 γεύματα/d, $54,81 \pm 2.73\%$ για τα λαβράκια με συχνότητα σίτησης 4 γεύματα/d και $53.75 \pm 2.72\%$ για τα λαβράκια με συχνότητα σίτησης 8 γεύματα/d. Η πεπτικότητα της τέφρας κυμάνθηκε από $78.59 \pm 0,24\%$ για τα λαβράκια που σιτίζονταν με 2 γεύματα, $78.89 \pm 1.46\%$ για εκείνα που σιτίζονταν με 4 γεύματα/d και $81.36 \pm 0,45\%$ για τα λαβράκια που σιτίζονταν 8 φορές ημερησίως (Πιν.7). Η πεπτικότητα της ενέργειας των περιττωμάτων κυμάνθηκε από $78.03 \pm 0,89\%$ για τα λαβράκια με συχνότητα σίτησης 2, $74.72 \pm 0.49\%$ για εκείνα που διατρέφονται με 4 γεύματα/d και $70.60 \pm 0.92\%$ για τα λαβράκια που σιτίζονται με 8 γεύματα/d.

Πίνακας 7. Υπολογισμός φαινομενικής πεπτικότητας (ADC, %) των πρωτεϊνών, λιπιδίων, τέφρας και ενέργειας των κοπράνων του λαβρακιού που συλλέχθηκαν από τις πειραματικές μεταχειρίσεις για όλο το διάστημα εκτροφής (45 ημέρες).

	A (2 γεύματα/d)	B (4 γεύματα/d)	C (8 γεύματα/d)
ADC Πρωτεΐνες (%)	$54,91 \pm 1,50^a$	$57,71 \pm 2,23^b$	$51,57 \pm 1,61^a$
ADC Λιπίδια (%)	$67,11 \pm 2,88^a$	$54,81 \pm 2,73^b$	$53,75 \pm 2,72^b$
ADC Τέφρα (%)	$78,59 \pm 0,24^a$	$78,89 \pm 1,46^a$	$81,36 \pm 0,45^a$
ADC Ενέργεια (%)	$78,03 \pm 0,89^a$	$74.72 \pm 0,49^b$	$70,60 \pm 0,92^c$

Τα δεδομένα εκφράζονται ως $MO \pm S.E.M$. Οι μέσοι όροι μεταξύ των μεταχειρίσεων που φέρουν τον ίδιο εκθέτη δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική διαφορά (ANOVA, $p > 0,05$) ($n=18$).

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η ενυδραιοπονία συνδυάζει την υδατοκαλλιέργεια και την υδροπονία αξιοποιώντας τα απόβλητα που παράγονται από τα ψάρια ως θρεπτικό υπόστρωμα για την θρέψη των φυτών (Thorarinsdottir 2015, Goddek et.al. 2019).

Το παρόν πείραμα, σύμφωνα με τους συγγραφείς, μελετά για πρώτη φορά την κατανάλωση της τροφής του λαβρακιού σε συστήματα ενυδραιοπονίας με γλυκό νερό, όταν εφαρμόζονται τρεις διαφορετικές συχνότητες σίτισης ημερησίως (2 γεύματα/d, 4 γεύματα/d και 8 γεύματα/d) για διάστημα 45 ημερών. Στα μέχρι τώρα βιβλιογραφικά δεδομένα που αναζητήθηκαν υπάρχει περιορισμένος αριθμός ερευνών (Vlahos et.al. 2019, Τάσιου, 2019) σχετικά με την κατανάλωση της τροφής σε συστήματα ενυδραιοπονίας. Γι' αυτό το λόγο, το συγκεκριμένο πείραμα είχε ως στόχο να συμπληρώσει το βιβλιογραφικό κενό αναφορικά με την κατανάλωση της τροφής στο λαβράκι λαμβάνοντας ως παράμετρο τις διαφορετικές συχνότητες ταΐσματος ανά ημέρα.

4.1 Ποιότητα νερού

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την παρούσα εργασία αναφορικά με τους δείκτες ελέγχου της ποιότητας του νερού και ειδικά η αμμωνία ως μεταβολικό προϊόν και τα νιτρικά ιόντα ως προϊόν οξείδωσης της αμμωνίας, διακυμάνθηκαν σε φυσιολογικά επίπεδα καθ' όλη τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας και ήταν ανάμεσα εύρος που προτείνεται από τους Somerville et.al. (2014).

Πιο ειδικά, η ολική αμμωνία (TAN) διακυμάνθηκε από 0,24 mg /L έως 0,3 mg/L και για τις τρεις πειραματικές μεταχειρίσεις και ήταν παρόμοια με τις τιμές που αναφέρει η Τάσιου (2019) σε υφάλμυρο σύστημα ενυδραιοπονίας λαβρακιού και κρίταμου με αλατότητες 8ppt, 14ppt και 2 ppt, αντίστοιχα (0,24 mg/L έως 0,3 mg /L).

Επίσης, οι Kotzen και Appelbaum (2010) μελέτησαν την ανάπτυξη της τιλάπιας σε υφάλμυρο σύστημα ενυδραιοπονίας αναφέροντας ότι η ολική αμμωνία κυμάνθηκε σε υψηλότερα επίπεδα (1,87 mg/L) σε σύγκριση με το παρόν πείραμα που οι τιμές της αμμωνίας ήταν μικρότερες. Οι Nozzi et.al. (2016), αναφέρουν πολύ μικρότερες τιμές αμμωνίας (0,05 mg/L) για το λαβράκι όταν εκτρέφεται σε υφάλμυρο σύστημα ενυδραιοπονίας από την αμμωνία του παρόντος πειράματος. Ο Δεβετζόγλου (2021), μελέτησε το λαβράκι και τη ρόκα σε υφάλμυρο σύστημα ενυδραιοπονίας NFT, με

αλατότητες 1,5 ppt, 5 ppt και 7 ppt και αναφέρει μικρότερες τιμές στην ολική αμμωνία (0,04 mg/L-0,08 mg/L) από το παρόν πείραμα.

Στο παρόν πείραμα οι υψηλότερες τιμές της αμμωνίας στα σημεία εισόδου και εξόδου του νερού στις υδροπονικές δεξαμενές καλλιέργειας του μαρουλιού υποδηλώνουν ότι το μαρούλι απορροφά τα θρεπτικά συστατικά διαμέσου του νερού. Η πηγή του αζώτου που αρέσκονται τα φυτά να απορροφούν είναι η αμμωνία υπό την προϋπόθεση το άζωτο που περιέχεται στην αμμωνία να είναι σε χαμηλές συγκεντρώσεις ενώ στα νιτρικά καλύτερη απορρόφηση παρατηρείται όταν οι συγκεντρώσεις είναι υψηλές (Xu, Tsai & Tsai 1992). Στα σημεία εξόδου του νερού από τις υδροπονικές δεξαμενές η μέση συγκέντρωση της ολικής αμμωνίας και των νιτρικών ιόντων και στα τρία συστήματα ενυδρείοπονίας λαμβάνουν μικρότερες μέσες τιμές υποδηλώνοντας καλύτερη απορρόφηση θρεπτικών συστατικών.

Όσον αφορά τις μέσες τιμές των νιτρικών ιόντων, στη παρούσα εργασία υπολογίστηκαν από 28,3 mg/L έως 39,4 mg/L και για τις 3 μεταχειρίσεις και ήταν μικρότερες από εκείνες που αναφέρουν οι Vlahos et.al. (2019) και η Τάσιου (2019), για την τσιπούρα (76,4 mg/L έως 77,2 mg/L) και το λαβράκι (93,94 mg/L έως 119,81 mg/L), όταν καλλιεργούνται σε υφάλμυρο σύστημα ενυδρείοπονίας με αλατότητες 8ppt και 20 ppt και 8 ppt, 14ppt και 20 ppt , αντίστοιχα.

Το ασβέστιο σε όλες τις πειραματικές μεταχειρίσεις διακυμάνθηκε από 286,6 mg/L έως 330 mg/L και ήταν υψηλότερο από τις τιμές του ασβεστίου (252-270 mg/L) που αναφέρει η Τάσιου (2019) στο υφάλμυρο σύστημα ενυδρείοπονίας με λαβράκι και αλατότητες 8ppt, 14 ppt και 20 ppt. Οι Rackocy et.al. (2006), αναφέρουν ότι το ασβέστιο θεωρείται από τα βασικά θρεπτικά συστατικά όπου το φυτό χρειάζεται να καλύψει ως βασική απαίτηση. Η ποιότητα του νερού σε ένα σύστημα ενυδρείοπονίας παίζει καθοριστικό ρόλο στην ρύθμιση και λειτουργία του συστήματος γιατί ρυθμίζει και καθορίζει την ανάπτυξη των βακτηρίων δημιουργώντας ένα υγιές φίλτρο για την διαβίωση των ψαριών και των φυτών (Somerville et. al. 2014, Lennard 2021)

4.2 Δείκτες ανάπτυξης και αξιοποίησης της τροφής λαβρακιού

Το λαβράκι είναι ευρύαλο και ευρύθερμο είδος και αντέχει σε ένα υψηλές μεταβολές της θερμοκρασίας και της αλατότητας. Είναι αρκετά ευαίσθητο στο stress,

αλλά ταυτόχρονα παρουσιάζει αυξημένη ανθεκτικότητα στις μεταβολές της ποιότητας του νερού (Islam et.al. 2020).

Στο πείραμα που πραγματοποιήθηκε, παρατηρήθηκε σημαντική αύξηση στους δείκτες που δηλώνουν την ανάπτυξη του λαβρακιού και ερμηνεύονται διαμέσου του ειδικού ρυθμού ανάπτυξης (SGR), ο οποίος παρουσίασε σημαντική διαφορά μεταξύ των πειραματικών μεταχειρίσεων υποδηλώνοντας ότι το λαβράκι κατανάλωνε με προθυμία την τροφή του. Ο δείκτης SGR (%/d) στο παρόν πείραμα ήταν στατιστικά μικρότερος στα λαβράκια που διατρέφονταν με 2 γεύματα/d σε σχέση με τα άλλα δύο. Οι τιμές του SGR ήταν: $1,96 \pm 0,12$ %/d για τα λαβράκια που σιτίζονταν με 2 γεύματα/d, $2,24 \pm 0,08$ %/d για τα λαβράκια που σιτίζονταν με 4 γεύματα/d και $2,39 \pm 0,07$ %/d για τα λαβράκια που σιτίζονταν με 8 γεύματα/d. Οι τιμές αυτές ήταν υψηλότερες από τις αντίστοιχες τιμές (SGR_{8p}: $1,90 \pm 0,05$ %/d, SGR_{14p}: $1,83 \pm 0,04$ %/d, SGR_{20p}: $1,44 \pm 0,04$ %/d) που αναφέρονται από την Τάσιου (2019) για το λαβράκι μέσου αρχικού βάρους 14,5 gr σε υφάλμυρο ενυδρείο σύστημα με αλατότητες 8 ppt, 14 ppt και 20 ppt.

Ο Δεβετζόγλου (2021) αναφέρει ότι ο δείκτης SGR, σε σύστημα ενυδρείοποιίας εκτροφής λαβρακιού με μέσο βάρος 4 gr, κυμαίνεται από 1.90%/d (7 ppt), 2.11 %/d (1.5 ppt) και 2.23%/d (5 ppt). Οι τιμές αυτές είναι παρόμοιες με τις τιμές του δείκτη SGR που προέκυψαν από το παρόν πείραμα. Οι Pantanella & Colla (2013) και οι Waller et al. (2015) αναφέρουν ότι το λαβράκι αναπτύσσεται κατά μέσο όρο από τα 30 gr στα 54 gr, παρουσιάζοντας μικρότερο SGR 1.5%/d σε ενυδρείο σύστημα αλατότητας 16 psu σε χρονικό διάστημα 35 ημερών.

Οι Azzaydi et al. (2000) αναφέρουν ότι το λαβράκι παρουσίασε υψηλό SGR σε ανακυκλούμενο σύστημα εκτροφής κατά τους χειμερινούς μήνες. Οι Eroldoğan και Kumlu (2002) έδειξαν ότι το λαβράκι που εκτράφηκε σε γλυκό νερό και σε αλατότητες 10 ppt και 20 ppt αναπτύσσεται καλύτερα σε σχέση με τα λαβράκια που εκτρέφονται σε αλατότητες 30 ppt και 40 ppt.

Επίσης, οι Vlahos et al. (2019) αναφέρουν ότι οι τσιπούρες σε ανακυκλούμενο σύστημα ενυδρείοποιίας υφάλμυρου νερού με αλατότητες 8 ppt και 20 ppt παρουσίασαν επίσης υψηλότερο SGR (3,17%/d) σε σχέση με το SGR του παρόντος πειράματος.

Ο συντελεστής μετατρεψιμότητας της τροφής (FCR) στο παρόν πείραμα κυμαίνονταν από 0,48 για τα λαβράκια με συχνότητα ταΐσματος 8 γεύματα/d, 0,54 για τα λαβράκια που διατρέφονταν με συχνότητα 4 γεύματα/d και 0,63 για τα λαβράκια

που διατρέφονταν με 2 γεύματα/d παρουσιάζοντας στατιστικές διαφορές (ANOVA, $p < 0.05$). Οι τιμές αυτές ήταν μικρότερες από εκείνες που αναφέρει η Τάσιου (2019) (FCR 8ppt, 14 ppt=0.93 & FCR20ppt=1.28) και ο Δεβετζόγλου (2021) (FCR: 1,5 ppt & 7 ppt=1,23 , 5ppt:1,05) για το λαβράκι όταν εκτρέφεται σε υφάλμυρο σύστημα ενυδρείοπονίας σε αλατότητες, 8ppt, 14 ppt & 20 ppt και 1.5ppt, 5 ppt & 7ppt, αντίστοιχα.

Οι Gasco et al. (2016) αναφέρουν ότι, όταν το λαβράκι σιτίζεται με διαφορετικές δίαιτες αντικατάστασης της πρωτεΐνης, παρουσίασε μεγαλύτερο FCR (TM0=0,90 ± 0,02, TM25=0,91±0,02 και TM50=0,99±0,02), σε σχέση με το FCR του παρόντος πειράματος.

Στο παρόν πείραμα μελετήθηκε για πρώτη φορά η κατανάλωση της τροφής όταν χορηγούνται τρεις διαφορετικές συχνότητες ταΐσματος (2 γεύματα, 4 γεύματα και 8 γεύματα). Τέλος, σε ό,τι αφορά την κατανάλωση της τροφής, τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας έδειξαν ότι το λαβράκι που σιτίζεται με 2 γεύματα ημερησίως παρουσιάζει στατιστικά μικρότερη κατανάλωση τροφής (ANOVA, $p < 0.05$) σε σχέση με εκείνα που διατρέφονταν με 4 ή 8 γεύματα ημερησίως, όπου καταλάωναν μεγαλύτερη ποσότητα τροφής.

Η μέση συνολική κατανάλωση ανά ημέρα κυμάνθηκε από 4,91±0,15 gr για τα λαβράκια που σιτίστηκαν με 2 γεύματα/d, 6,23±0,11gr και 6,31±0,04 gr τροφής για τα λαβράκια που σιτίστηκαν αντίστοιχα με 4 και 8 γεύματα ημερησίως.

Τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας έδειξαν ότι τα λαβράκια που διατρέφονταν με 4 γεύματα/d και 8 γεύματα/d καταναλώνουν παραπλήσια ποσότητα τροφής με τα λαβράκια που χρησιμοποιήθηκαν στο πείραμα της Τάσιου (2019), που εκτράφηκαν σε υφάλμυρο σύστημα ενυδρείοπονίας με τρεις αλατότητες και τρέφονταν 3 φορές ημερησίως (FC14ppt= 5,86±0,1gr και FC20ppt= 5,99±0,09 gr, FC8ppt= 5,96±0,1gr). Επίσης, τα λαβράκια που διατρέφονταν με 2 γεύματα/d καταλάωναν μικρότερη ποσότητα τροφής (4,91±0,15 gr) σε σχέση τα αποτελέσματα που αναφέρει η Τάσιου (2019) όπου τα λαβράκια στο σύστημα ενυδρείοπονίας με αλατότητες 20 ppt, 14 ppt και 8 ppt καταλάωναν μεγαλύτερη ποσότητα τροφής κατά 1 gr.

Η συχνότητα ταΐσματος ανά ημέρα επηρεάζει την ανάπτυξη του ψαριού και κατ' επέκταση την κατανάλωση της τροφής αποδίδοντας στο ψάρι πολύ καλή ανάπτυξη (SGR) και μετατρεψιμότητα της τροφής (FCR). Οι Tsevis et.al. (1992), αναφέρουν ότι η κατανάλωση της τροφής στα νεαρά και αναπτυσσόμενα άτομα λαβρακιού μέσου βάρους 7 gr, επηρεάζεται από τη συχνότητα σίτισης και αυξάνεται

όσο αυξάνεται η συχνότητα σίτισης. Επίσης η κατανάλωση της τροφής επηρεάζεται από τα διαφορετικά χρονικά διαστήματα μεταξύ των γευμάτων. Οι Kousoulaki et.al. (2015), αναφέρουν ότι, όταν το λαβράκι σιτίζεται με 1 έως 3 γεύματα/d αναπτύσσεται ικανοποιητικά σε σχέση με τα 2 γεύματα/d (ελάχιστος αριθμός γευμάτων) που οδηγούν σε εξίσου καλή ανάπτυξη (Gasco et.al. 2016).

Στα συστήματα ενυδρείοπονίας η συχνότητα σίτισης φαίνεται να επηρεάζει το μεταβολικό φορτίο και οδηγεί σε αυξημένες συγκεντρώσεις νιτρικών ιόντων οι οποίες αξιοποιούνται από τα φυτά προκειμένου να καλύψουν τις ημερήσιες ανάγκες τους για την ανάπτυξή τους. Η χορηγούμενη ποσότητα τροφής ανά ημέρα, η σύσταση της τροφής, η συχνότητα σίτισης και η ποσότητα των μεταβολικών προϊόντων των ψαριών βελτιώνουν την ανάπτυξη των ψαριών και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού.

Ο Eroldogan (2004), αναφέρει ότι το λαβράκι με μέσο βάρος 2,6 gr όταν εκτρέφεται σε γλυκό νερό (0.4ppm) και σε θαλασσίνο νερό (40 ppm), αποκτά καλύτερη ανάπτυξη (SGR) και αύξηση βάρους στο γλυκό νερό, όταν διατρέφεται με 3,5% του ζώντος βάρους ψαριού και παρατήρησε ότι κατανάλωνε με προθυμία την τροφή του.

Η μέση ημερήσια κατανάλωση της τροφής για τα λαβράκια του παρόντος πειράματος διακυμάνθηκε από $1,66 \pm 0,06$ % σ.β για τα λαβράκια με συχνότητα σίτισης 2 γεύματα/d, $2,12 \pm 0,05$ % σ.β και $2,11 \pm 0,05$ % σ.β για τα λαβράκια που σιτίζονταν με συχνότητα 4 και 8 γεύματα/d. Η μέση ημερήσια κατανάλωση τροφής στο παρόν πείραμα ήταν μεγαλύτερη από εκείνη ($1,48$ % σ.β) που αναφέρουν οι Marais & Kissil (1979) για τη τσιπούρα μέσου βάρους 43,7gr όταν διατρέφεται με διαφορετικέ δίαιτες.

Επίσης, οι Russell et.al. (1995) αναφέρουν ότι το λαβράκι μέσου βάρους 7,3 gr σε θερμοκρασία 6°C σε σχέση με τις υψηλότερες θερμοκρασίες (10°C , 14°C και 18°C) παρουσιάζει μικρή ημερήσια κατανάλωση τροφής της τάξης του $0,19\%$ σ.β/d. Η κατανάλωση τροφής αποτελεί μια μέθοδο αξιολόγησης της διατροφικής συμπεριφοράς των ατόμων λαβρακιού με μέσο βάρος που κυμαίνεται από 7,3 gr έως 11 gr.

Η αύξηση της συχνότητας σίτισης στο παρόν πείραμα φαίνεται ότι επιδρά αυξάνοντας την συνολική κατανάλωση της τροφής καθώς και την ημερήσια κατανάλωση τροφής (% σ.β/gr).

Οι Tsevis et.al. (1992) βρήκαν ότι η ημερήσια ποσότητα τροφής που καταναλώθηκε από νεαρά και αναπτυσσόμενα λαβράκια μέσου βάρους 7 gr επηρεάζεται σημαντικά από τη συχνότητα ταΐσματος και από το χρόνο στέρησης των γευμάτων. Ο ρυθμός ανάπτυξης βρέθηκε να είναι σημαντικά χαμηλότερος στα λαβράκια που τρέφονταν μία φορά ημερησίως, και αυξάνονταν καθώς η συχνότητα

σίτισης αυξήθηκε. Τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας έδειξαν ότι ο δείκτης αξιοποίησης της τροφής (FCR) μειώνεται με την αύξηση της συχνότητας ταΐσματος και συμφωνούν με εκείνα των Tsevis et al. (1992), όπου ο δείκτης FCR παρουσίασε παρόμοια τάση για τα νεαρά και αναπτυσσόμενα άτομα λαβρακιού.

Το σιτηρέσιο χαρακτηρίζεται ως η «κινητήρια» δύναμη, ενώ τυχόν περιορισμός του οδηγεί σε χαμηλότερο μεταβολικό ρυθμό. Αντίθετα, η υπερβολική χορήγηση τροφής μειώνει τη μετατρεψιμότητά της, ενώ τα αυξημένα ποσοστά ακατανάλωτης τροφής υποβαθμίζει την ποιότητα του νερού (Lovell 1976).

Από φυσιολογική άποψη, η ημερήσια συχνότητα σίτισης επηρεάζει άμεσα μόνο τη συνολική ποσότητα τροφής που καταναλώνεται, η οποία με τη σειρά της επηρεάζει την ανάπτυξη και την ολική μεταβολική ικανότητα του ψαριού. Όταν το χρονικό διάστημα μεταξύ των γευμάτων αυξάνεται, τότε αυξάνεται και το χρονικό διάστημα ώστε να ολοκληρωθούν οι μεταβολικές διεργασίες.

4.3 Πεπτικότητα

Ο συντελεστής φαινομενικής πεπτικότητας χρησιμοποιείται ως εργαλείο σε πειράματα διατροφής, προκειμένου να καταρτιστούν ισορροπημένα σιτηρέσια αναφορικά με την κάλυψη των βασικών απαιτήσεων των ψαριών. Στο παρόν πείραμα χρησιμοποιήθηκαν εμπορικά σύμπληκτα με μέσο διαμέτρημα κόκκων 1,2-1,5 mm.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την παρούσα εργασία έδειξαν ότι η πεπτικότητα της πρωτεΐνης παρουσιάστηκε να είναι στατιστικά μεγαλύτερη στα λαβράκια που σιτίστηκαν με 4 γεύματα/d σε σχέση με τις υπόλοιπες διατροφικές μεταχειρίσεις και κυμάνθηκε από 51,57% (8 γεύματα/d), 54,91% (2 γεύματα/d) και 57,71% (4 γεύματα/d). Τα αποτελέσματα αυτά βρέθηκαν να είναι μικρότερα από την πεπτικότητα της πρωτεΐνης που αναφέρουν οι Spyridakis et al. (1988) για το λαβράκι όταν σιτίζονταν με σιτηρέσια που περιείχαν άλευρο σόγιας (ADC: 80%-93%). Οι Kaushik et al. (2004) αναφέρουν μεγαλύτερη πεπτικότητα πρωτεΐνης (96,1%) για το λαβράκι σε σχέση με την αντίστοιχη πεπτικότητα της παρούσας εργασίας.

Η πεπτικότητα της ενέργειας στην παρούσα εργασία διακυμάνθηκε σε υψηλά ποσοστά (από 70,6% για τα 8 γεύματα/d, 74,72% για τα 4 γεύματα/d έως 78,03% για τα 2 γεύματα/d), παρουσιάζοντας στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων και βρέθηκε να είναι μικρότερη από την πεπτικότητα της ενέργειας που αναφέρουν οι Kaushik et al. (2004) για το λαβράκι που ήταν 89,4%. Η μειωμένη

πεπτικότητα στην ενέργεια και στην πρωτεΐνη φαίνεται να σχετίζεται με την μειωμένη στατιστικά ημερήσια πρόσληψη τροφής η οποία επηρεάζει την διαθέσιμη ποσότητα πρωτεΐνης και ενέργειας της τροφής που διατίθενται από τον οργανισμό και αξιοποιούνται στην ανάπτυξη (Kissil et al. 2000). Οι χαμηλότερες τιμές της φαινομενικής πεπτικότητας του παρόντος πειράματος πιθανόν να αποδίδονται σε παράγοντες που πιθανά να αναστέλουν τη δράση ενζύμων κατά τη διάρκεια της πρωτεολυτικής πέψης.

Παράγοντες όπως η πρόσληψη της τροφής , το μέγεθος του ψαριού και η θερμοκρασία του νερού φαίνεται να επηρεάζουν την πεπτικότητα των θρεπτικών συστατικών της τροφής.

Η πεπτικότητα και η αποτελεσματικότητα των θρεπτικών μιας τροφής μειώνεται καθώς αυξάνεται το μέγεθος του γεύματος (αριθμός, ποσότητα) σε σχέση με το επίπεδο διατροφής που δεν επηρεάζει την πεπτικότητα των θρεπτικών συστατικών, υπό την προϋπόθεση ότι η πρόσληψη τροφής να είναι σε κατάλληλα επίπεδα τα οποία απαιτούνται, ώστε ο οργανισμός να υποστηρίξει ικανοποιητικούς ρυθμούς ανάπτυξης.

Η απορροφητική ικανότητα του εντέρου υπερβαίνει κατά πολύ τα φορτία των θρεπτικών ουσιών που είναι διαθέσιμα στο έντερο και πιθανά δεν αποτελεί περιοριστικό παράγοντα για την πέψη των διαθέσιμων θρεπτικών συστατικών της τροφής.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα συμπεράσματα τα οποία προέκυψαν από την παρούσα πειραματική εργασία παρουσιάζονται συνοπτικά παρακάτω:

- Το λαβράκι είναι ένα ανθεκτικό είδος ψαριού και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ενυδρειοπνικά συστήματα εκτροφής.
- Ο ειδικός ρυθμός ανάπτυξης (SGR (%/d) μεταξύ των τριών μεταχειρίσεων ήταν καλύτερος για τα λαβράκια τα οποία σιτίστηκαν με 4 και 8 γεύματα αντίστοιχα, σε σχέση με τα 2 γεύματα ημερησίως που ήταν μικρότερος.
- Η μέση ημερήσια κατανάλωση της τροφής (% σ.β) ήταν στατιστικά καλύτερη για τα λαβράκια που σιτίστηκαν με 4 και 8 γεύματα/d σε σχέση με εκείνα που σιτίστηκαν με 2 γεύματα/d.
- Η τροφή αξιοποιήθηκε καλύτερα από τα λαβράκια όταν σιτίζονται με 4 και 8 γεύματα/d υποδηλώνοντας αύξηση των θρεπτικών συστατικών διαθέσιμα για τα φυτά.
- Η αυξημένη συχνότητα σίτισης μειώνει τη μετατρεψιμότητα της τροφής, ενώ τα αυξημένα ποσοστά ακατανάλωτης τροφής αφενός μεν φαίνεται να υποβαθμίζουν την ποιότητα του νερού, αφετέρου δε συμβάλλουν στην αύξηση των θρεπτικών στο σύστημα τα οποία αξιοποιούνται από τα φυτά.
- Τα αποτελέσματα, επίσης έδειξαν ότι το μαρούλι αξιοποιεί τα θρεπτικά συστατικά (απόβλητα υδατοκαλλιέργειας) που προέρχονται από τα μεταβολικά προϊόντα των λαβρακίων, σε ικανοποιητικό βαθμό.
- Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την παρούσα εργασία είναι χρήσιμα και μπορούν να εφαρμοστούν στην εκτροφή λαβρακιού σε συστήματα ενυδρειοπνίας σε όλα τα στάδια ανάπτυξης του λαβρακιού.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

6.1 Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

- Alessio, G., Allegrucci, G., Angle, G. (2001). *Acquacoltura responsabile - Verso le produzioni acquatiche del terzo millennio* Roma: Unimar-Uniprom,
- Adler, P.R., Harper, J.K., Takeda, F., Wade, E.M., Summerfelt, S. *Economic* (2000), Evaluation of Hydroponics and Other Treatment Options for Phosphorus Removal in Aquaculture Effluent, *HortScience*, vol. 35, no. 6, pp. 993-999.
- Azzaydi, M., Martínez, F., Zamora, S., Sánchez-Vázquez, F. and 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), pp.329-338.
- Bernstein, S. (2011). *Aquaponic gardening: a step-by-step guide to raising vegetables and fish together*. Gabriola Island, Canada: New Society Publishers.
- Biswas, G., Thirunavukkarasu, A. R., Sundaray, J. K. & Kailasam (2010). M. Optimization of feeding frequency of Asian seabass (*Lates calcarifer*) fry reared in net cages under brackish water environment. *Aquac.* 305, 26-31.
- Buhmann, A., Papenbrock, J. (2013b). An economic point of view of secondary compounds in halophytes, *Functional Plant Biology*, vol. 40, pp. 952–967.
- Dendrinou, P. & Thorpe, J. P. (1985). Effects of reduced salinity on growth and body composition in the European bass *Dicentrarchus labrax* (L.). *Aquac.* 49, 333-358.
- Diver S, Rinehart L. (2000). *Aquaponics—Integration of hydroponics with aquaculture*. Butte: ATTRA sustainable agriculture program.
- Carlos, M.H.(1988).Growth and survival of bighead carp (*Aristichthys nobilis*) fry fed at different intake levels and feeding frequencies. *Aquac.* 68, 267–276 (1988).
- Chervinski J., Lahav M. (1979),. Freshwater feed of young European sea bass [*Dicentrarchus labrax* (L.)]. *Bamidgeh*, 31 pp. 44-48.
- Cho, C. and Kaushik, S., (1990) n.d. Nutritional Energetics in Fish: Energy and Protein Utilization in Rainbow Trout (*Salmo gairdneri*). *Aspects of Food Production, Consumption and Energy Values*, pp.132-172.
- El-Dahhar, A., Abdel-Rahim, M. and Ghaeth, A., (2016). Protein and Energy Requirements of European Sea Bass : *Dicentrarchus Labrax* Juveniles = احتياجات

- والطاقة البروتين من الأوري القاروص أسماك صغار. *Journal of The Arabian Aquaculture Society*, 11(2), pp.107-120.
- Effendi, H., Wahyuningsih, S. and Wardiatno, Y., (2016). The use of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) cultivation wastewater for the production of romaine lettuce (*Lactuca sativa* L. var. *longifolia*) in water recirculation system. *Applied Water Science*, 7(6), pp.3055-3063.
- Helene, V. and Sydney, L., (2018). Nutrition and reproduction in fish.
- Endut, A., Jusoh, A., Ali, N., Wan Nik, W.B. (2011). Nutrient removal from aquaculture wastewater by vegetable production in aquaponics recirculation system, *Desalination and Water Treatment*, vol. 32, pp. 422-430.
- Eroldogan, O. T. & Kumlu, M. (2002). Growth performance, body traits and fillet composition of the European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) reared in various salinities and fresh water. *Turk. J. Vet. Anim. Sci.* 26, 993-1001.
- Eroldoğan, O. T. (2004). Optimum feeding rates for European sea bass *Dicentrarchus labrax* L. reared in seawater and freshwater. *Aquac.* 231, 501–515.
- Fronte, B., Galliano, G., Bibbiani, C. (2016). From freshwater to marine aquaponic: new opportunities for marine fish species production. 4th Conference with International Participation Conference VIVUS – on Agriculture, Environmentalism, Horticulture and Floristics, Food Production and Processing and Nutrition »With Knowledge and Experience to New Entrepreneurial Opportunities« 20th and 21st April 2016, Biotechnical Centre Naklo, Strahinj 99, Naklo, Slovenia
- Goldan, O., Popper, D. & Karplus, I. (1997). Management of size variation in juvenile gilthead sea bream (*Sparus aurata*). I: Particle size and frequency of feeding dry and live food. *Aquac.* 152, 181-190.
- Gasco, L., Henry, M., Piccolo, G., Marono, S., Gai, F., Renna, M., Lussiana, C., Antonopoulou, E., Mola, P. and Chatzifotis, S., (2016). *Tenebrio molitor* meal in diets for European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) juveniles: Growth performance, whole body composition and in vivo apparent digestibility. *Animal Feed Science and Technology*, 220, pp.34-45.
- Güroy, D., Şahin, İ., Güroy, B., Merrifield, D., Bulut, M., & Tekinay, A. (2011). 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. doi: 10.1111/j.1365-2109.2011.03053.x
- Helene, V. and Sydney, L., (2018). *Nutrition and reproduction in fish*.
- Hu, Z., Lee, J.W., Chandran, K., Kim, S., Brotto, A.C., Khanal, S.K., (2015). Effect of plant species on nitrogen recovery in aquaponics. *Bioresour. Technol.* 188, 92–98
- Javier F., S. and Jose A., M., (2021). *Biology of european sea bass*.
- Johnson, G., Buzby, K., Semmens, K., Holaskova, I. and Waterland, N., (2017). Evaluation of Lettuce Between Spring Water, Hydroponic, and Flow-through Aquaponic Systems. *International Journal of Vegetable Science*, 23(5), pp.456-470.
- Islam, M. J., Kunzmann, A., Thiele, R. & Slater, M. J. (2020). Effects of extreme ambient temperature in European seabass, *Dicentrarchus labrax* acclimated at different salinities: Growth performance, metabolic and molecular stress responses. *Sci. Total Environ.* 735, 139371.
- Kaushik, S. and Médale, F., (1994). Energy requirements, utilization and dietary supply to salmonids. *Aquaculture*, 124(1-4), pp.81-97.
- Kaushik, S.J., Coves, D., Dutto, G., & Blane, D. (2004). Almost total replacement of fish meal by plant protein sources in the diet of a marine teleost, the European seabass, *Dicentrarchus labrax*. *Aquaculture*, 133 (3-4), 257-274.
- Khater, E.G., Bahnasawy, A.H., Shams, A.E.S., Hassaan, M.S., Hassan, Y.A. (2014). Utilization of effluent fish farms in tomato cultivation, *Ecological Engineering*, 2015, vol. 83, pp. 199-207.37. Turcios, A.E., Papenbrock, J. Sustainable Treatment of Aquaculture Effluents-What Can We Learn from the Past for the Future? *Sustainability*, vol. 6, pp. 836–856.
- Kissil, G.W., Lupatsch, I., Higgs, D.A., & Hardy, R.W. (2000). Dietary substitution of soy and rapeseed protein concentrates for fish meal, and their effects on growth and nutrient utilization in gilthead seabream *Sparus aurata* L. *Aquaculture Research*, 31 (7), 595-601.
- Kotzen, B. and Appelbaum, S., (2010). An Investigation of Aquaponics Using Brackish Water Resources in the Negev Desert. *Journal of Applied Aquaculture*, 22(4), pp.297-320.
- Kousoulaki, K., Sæther, 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.
- Koyro, H., Ajmal, Khan M. and Lieth, (2011) H. Halophytic crops: A resource for the future to reduce the water crisis?, *Emirates Journal of Food and Agriculture*, vol. 23, no. 1, pp. 1-16
- Lennard, W., (2021). WITHDRAWN: A comparison of the effect of starting nitrate concentration on fish growth, plant production and water quality within a research-scale, recirculating aquaponics system. *Aquaculture and Fisheries*.
- Liddicoat, M. I., Tibhitts, S., & Butler, E. I. (1975). *The determination of ammonia in seawater. Limnology and Oceanography*, 20(1), 131-132.
- Love, D.C., Fry, J.P., Li, X., Hill, E.S., Genello, L., Semmens, K., Thompson, R.E., (2015). Commercial aquaponics production and profitability: Findings from an international survey. *Aquaculture* 435, 67–74
- Love, D.C., Uhl, M.S., Genello, L., (2015). Aquacultural Engineering Energy and water use of a small-scale raft aquaponics system in Baltimore , Maryland , United States. *Aquac. Eng.* 68, 19–27.
- Lovell, T., 1976. Diet, management, environment affect fish food consumption. *Commercial Fish Farmer and Aquaculture News*, Sept. 1976, p. 2.
- Maucieri, C., Nicoletto, C., Schmautz, Z., Sambo, P., Komives, T., Borin, M. and Junge, R., (2017). Vegetable Intercropping in a Small-Scale Aquaponic System. *Agronomy*, 7(4), p.63.
- Marais, J.F.K., and Kissil, G.W.(1979). The influence of energy level on the feed intake, growth, feed conversion and body composition of *Sparus aurata*. *Aquaculture*, 17:203-219.
- Nelson, R.L.(2007). Ten aquaponic systems around the world, *Aquaponics Journal*, 2007, vol. 46, pp. 1-8
- Nozzi, V., Parisi, g., Crescenzo, D., Giordano, M., Carnevali, O., (2016). Evaluation of *Dicentrarchus labrax* Meats and the Vegetable Quality of *Beta vulgaris* var *cicla* Farmed in Freshwater and Saltwater Aquaponic Systems, *Water* 2016, 8, 423.
- Nozzi, V., Graber, A., Schmautz, Z., Mathis, A. & Junge, R. (2018). Nutrient management in aquaponics: comparison of three approaches for cultivating lettuce, mint and mushroom herb. *Agron* 8, 27.
- Orellana J., Sander M., Schiller A., Waller U. (2021). The growth of young sea bass (*Dicentrarchus labrax*) in a new type of re-circulation system.

- Rakocy, J.E, Masser, M.P., Losordo, T.M. (2006). Recirculating aquaculture tank production systems: aquaponics- integrating fish and plant culture, Southern Regional Aquaculture Center, vol. 454, pp. 1-16.
- Palm, W.H., Bissa, K., Knaus, U. (2014), Significant factors affecting the economic sustainability of closed aquaponic systems. Part II: fish and plant growth, *AACL Bioflux*, vol. 7, no. 3, pp. 162-175
- Pantanella, E. (2012b). Integrated Marine Aquaculture-Agriculture: Sea Farming Out Of The Sea, *Global Aquaculture Advocate*, pp. 70-72
- Pantanella E., Colla G. (2013). Saline aquaponics opportunities for integrated marine aquaculture. International aquaponic conference: Aquaponics and global food security, 19-21 June 2013, University of Wisconsin-Stevens Point,
- Pantanella, E., Bhujel, C.R. (2015), Saline Aquaponics-Potential Player In Food, Energy Production. *Global Aquaculture Advocate*, pp. 42-43.
- Peres and Oliva-Teles. (1999) .Effect of dietary lipid level on growth performance and feed utilization by European sea bass juveniles (*Dicentrarchus labrax*). . *Aquaculture* 179: 325–334.
- Peres and Oliva-Teles. (2002). Utilization of raw and gelatinized starch by European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles. *Aquaculture* 205: 287–299.
- Pérez-Ruzafa., A and Concepción M. (2015). Ecology and Distribution of *Dicentrarchus labrax* (Linnaeus 1758), In: *Biology of European Sea Bass*, Edt.;F. Javier Sánchez Vázquez, José A. Muñoz-Cueto; Taylor & Francis Group, LLC; pp 4-33.
- Savidov, N. (2005), Evaluation of Aquaponics Technology in Alberta, Canada, *Aquaponics Journal*, vol. 37, pp. 20-25.
- Sikawa, D. and Yakupitiyage, A., (2010). The hydroponic production of lettuce (*Lactuca sativa* L) by using hybrid catfish (*Clarias macrocephalus*×*C. gariepinus*) pond water: Potentials and constraints. *Agricultural Water Management*, 97(9), pp.1317-1325.
- Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A., Lovatelli, A., (2014). Small-scale aquaponic food production - Integrated fish and plant farming, *FAO Fisheries and Aquaculture technical*, 589.
- Spyridakis, P., Gabaudan, J., Metailler, R., Guillaume, J (1988). Digestibilité des protéines et disponibilité des acides aminés de quelques matières premières chez

- le bar (*Dicentrarchus labrax*). *Reproduction Nutrition Développement*, 28 (6A), pp.1509-1517. fahal-00898933f.
- Stathopoulou, P., Berillis, P., Vlahos, N., Nikouli, E., Kormas, K., Levizou, E., Katsoulas, N. and Mente, E., (2021). Freshwater-adapted sea bass *Dicentrarchus labrax* feeding frequency impact in a lettuce *Lactuca sativa* aquaponics system. *PeerJ*, 9, p.e11522.
- Sumeth, W., 2018. NITROGEN CYCLE IN FLOATING-RAFT AQUAPONIC SYSTEMS.
- Thorarinsdottir, I. R. (2015). *Aquaponics Guidelines: Chapter 1: Introduction - What is aquaponics*, 2nd printing, November 2015, Printed by Haskolaprent, Reykjavik, Iceland, ISBN: 978-9935-9283-1-3, p9.
- Tsevis, N., Klaoudatos, S., and Conides, A. (1992). Food conversion budget in sea bass, *Dicentrarchus labrax*, fingerlings under two different feeding frequency patterns. *Aquaculture*, 101: 293-304.
- Türkmen, S., Eroldoğan, O., Yılmaz, H., Ölçülü, A., Inan, G., Erçen, Z., & Tekelioğlu, N. (2011). Compensatory growth response of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*L.) under cycled starvation and restricted feeding rate. *Aquaculture Research*, 43(11), 1643-1650. doi: 10.1111/j.1365-2109.2011.02970.x.
- Vlahos N., Levizou E., Stathopoulou P, Berillis P., Antonopoulou E., Bekiari V., Krigas N., Kormas K. and Mente E. (2019). An Experimental Brackish Aquaponic System Using Juvenile Gilthead Sea Bream (*Sparus aurata*) and Rock Samphire (*Crithmum maritimum*) Sustainability, 11, 4820
- Waller, U, Buhmann, A.K., Emst, A., Hanke, W., Kulakowski, A., Wecker, B., Orellana, i., (2015). Papenbrock, J. Integrated multi-tropic aquaculture in a zero – exchange recirculation aquaculture system for marine fish and hydroponic halophyte production. *Aquac. Int.* 2015, 23, 1473-1489.
- Wilson, L., 2021. *The Symbiaponics Aquaponics Method*.
- Yılmaz, H. A., Turkmen, S., Kumlu, M., Eroldogan, O. T. & Perker, N. (2020). Alteration of growth and temperature tolerance of european sea bass (*Dicentrarchus labrax* linnaeus 1758) in different temperature and salinity combinations. *Turkish J. Fish Aquat. Sci.* 20, 331-340.
- Zar J.H. (1999). *Biostatistical Analysis*; Prentice-Hall: London, UK. P. 718

6.2 Ελληνόγλωσση Βιβλιογραφία

- Βλάχος Ν. (2017). Ενυδρεία, Εκπαιδευτικές Σημειώσεις Τμήμα Τεχνολογίας Αλιείας Υδατοκαλλιεργιών. Τ.Ε.Ι. Δυτικής Ελλάδος, σελ. 77.
- Δεβετζόγλου Κ.(2021). Ανάπτυξη λαβρακιού και ρόκας σε σύστημα ενυδρειοπονίας. Προπτυχιακή Διπλωματική εργασία. Τμήμα Ζωικής Παραγωγής, Αλιείας, Υδατοκαλλιεργειών.Πανεπιστήμιο Πατρών.σελ 50.
- Μεντέ Ε., Νέγκας Χ. (2011). Στοιχεία Φυσιολογίας Θρέψης και Εφαρμοσμένη Διατροφή Ιχθύων και Καρκινοειδών Εκδόσεις Παπαζήση, Αθήνα σελ.809.
- Παπουτσόγλου Σ.Ε. (2008). Διατροφή Ιχθύων. Εκδόσεις Αθ. Σταμούλης, Αθήνα σελ. 976.
- Τάσιου, Κ. (2019). Παραγωγική διαδικασία του λαβρακιού σε ένα σύστημα ενυδρειοπονίας. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας. σελ.97.