

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΙΧΘΥΟΛΟΓΙΑΣ
ΚΑΙ ΥΔΑΤΙΝΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΣΤΗ
ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΗ ΥΔΑΤΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Μελέτη της κατανάλωσης τροφής των ψαριών σε ενυδρειοπονικό
σύστημα»**

Γεσθημανή Ηλιάνα Κοντού

ΒΟΛΟΣ 2023

UNIVERSITY OF THESSALY
SCHOOL OF AGRICULTURAL SCIENCES
DEPARTMENT OF ICHTHYOLOGY AND AQUATIC
ENVIRONMENT

POSTGRADUATE COURSE IN MEDITERRANEAN
AQUACULTURE

POSTGRADUATE MASTER'S THESIS

«Study of food consumption by fish in an aquaponic system»

Gesthimani Iliana Kontou

VOLOS 2023

«Μελέτη της κατανάλωσης τροφής των ψαριών σε ενυδρειοπονικό σύστημα»

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:

- 1) Ιωάννης Καραπαναγιωτίδης, Αναπληρωτής Καθηγητής, Διατροφή, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, **Επιβλέπων**.
- 2) Ελένη Μεντέ, Καθηγήτρια, Φυσιολογία Θρέψης Υδρόβιων Ζωικών Οργανισμών, Τμήμα Κτηνιατρικής, Σχολή Επιστημών Υγείας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, **Μέλος**.
- 3) Νικόλαος Βλάχος, ΕΔΙΠ, Φυσιολογία Θρέψης υδρόβιων ζωικών οργανισμών στην Ενυδρειολογία και Ενυδρειοπονία, Τμήμα Αλιείας και Υδατοκαλλιεργειών, Πανεπιστήμιο Πατρών, **Μέλος**.

Αφιέρωση

«Γηράσκω δ' αεί πολλά διδασκόμενος»

(Γερνώ μαθαίνοντας πάντα πολλά)

Σόλων, (630-560 π.Χ.), Αθηναίος νομοθέτης, φιλόσοφος & ποιητής

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες σε όλους όσους συνέβαλαν στο να φέρω σε πέρας την παρούσα Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία. Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της εργασίας κ Ιωάννη Καραπαναγιωτίδη καθώς και τα μέλη της τριμελούς εξεταστικής επιτροπής, κ Νικόλαο Βλάχο και κα Έλενα Μεντέ για την πολύτιμη βοήθειά τους και τη διαρκή υποστήριξή τους, τόσο κατά τη διεξαγωγή του πειράματος, όσο και κατά την ανάλυση των δεδομένων και τη συγγραφή της παρούσας εργασίας. Πολύτιμη ήταν και η βοήθεια της εταιρίας *Philosophish* που με τη χορηγία της συνέβαλε στην υλοποίηση της παρούσας μελέτης.

Επίσης άμεση και διαρκής ήταν η βοήθεια του κ. Ιωάννη Μητσόπουλου υποψήφιου διδάκτορα του Τμήματος Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος και τον ευχαριστώ πολύ για την αμέριστη συμπαράστασή του κατά τη διάρκεια διεξαγωγής του πειράματος.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στην οικογένεια μου και στους ανθρώπους που στέκονται καθημερινά δίπλα μου για την αμέριστη συμπαράσταση, βοήθεια και προ πάντων κατανόηση και ανοχή καθ' όλο το χρονικό διάστημα των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ενυδρειοπονία με πολυκαλλιέργεια αποτελεί ένα σύστημα που περιγράφει τη συμβιωτική σχέση μεταξύ περισσότερων του ενός είδους ψαριών, φυτών και βακτηρίων αποσκοπώντας στην ασφαλή παραγωγή τροφίμων. Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η επίδραση πειραμάτων αντιστάθμισης του σιτηρεσίου (ασιτία–επανασίτιση) στην ανάπτυξη, επιβίωση και κατανάλωση της τροφής της τσιπούρας (*Sparus aurata*) και του λαβρακιού (*Dicentrarchus labrax*) καθώς και στην ανάπτυξη του αλόφυτου *Salicornia europaea* για 72 ημέρες. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν εννέα αυτόνομα συστήματα ενυδρειοπονίας με ανακύκλωση νερού συνολικού όγκου 95,8 L, τα οποία διαχωρίστηκαν ανά τρία σε τρεις πειραματικές μεταχειρίσεις με τα αντίγραφα τους (μεταχείριση Α: ημερήσια παροχή τροφής, control, μεταχείριση Β: 4 ημέρες ασιτία και επανασίτιση 3 ημέρες, μεταχείριση Γ: ασιτία 7 ημέρες και επανασίτιση 7 ημέρες) και πληρώθηκαν με νερό αλατότητας 12 ppt.

Συνολικά χρησιμοποιήθηκαν 90 ιχθύδια τσιπούρας μέσου αρχικού βάρους $6,33 \pm 0,074$ g και μέσου αρχικού μήκους $5,79 \pm 0,072$ cm και 90 ιχθύδια λαβρακιού με μέσο αρχικό βάρος $5,82 \pm 0,064$ g και μέσου αρχικού μήκους $6,35 \pm 0,066$ cm, τα οποία διαμοιράστηκαν ανά 10 άτομα/είδος (20 άτομα συνολικά/σύστημα) στις ενυδρειοπονικές δεξαμενές εκτροφής. Επίσης, χρησιμοποιήθηκαν 45 φυτικά άτομα σαλικόρνιας με αρχικό μέσο ύψος $3,83 \pm 0,144$ cm τα οποία διαμοιράστηκαν ανά 5 άτομα/υδροπονική δεξαμενή.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι, όταν τα ψάρια του πειράματος διατρέφονταν σε ημερήσια βάση αναπτύσσονται καλύτερα σε αντίθεση με τη σαλικόρνια όπου η καλύτερη ανάπτυξη παρουσιάστηκε στην μεταχείριση με τη μεγαλύτερη ασιτία. Μεγαλύτερη στατιστικά κατανάλωση τροφής παρουσίασαν τα ψάρια της ακραίας ασιτίας. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι επιτεύχθηκε μερική ανάπτυξη αντιστάθμισης. Η εφαρμογή της πολυκαλλιέργειας στην ενυδρειοπονία αποτελεί μια πολλά υποσχόμενη και επιτυχής διαδικασία παραγωγής τροφίμων, με δυνατότητα επίτευξης σημαντικών οικονομικών κερδών.

Λέξεις κλειδιά: Ενυδρειοπονία σε πολυκαλλιέργεια, ανάπτυξη αντιστάθμισης, *Sparus aurata*, *Dicentrarchus labrax*, *Salicornia europaea*

ABSTRACT

Polyculture aquaponics systems describe the symbiotic relationship between fish, plants, and bacteria for food production. The aim of the present study was to investigate the effects of starvation and refeeding on growth performance, survival, and food intake of gilthead seabream (*Sparus aurata*) and sea bass (*Dicentrarchus labrax*) and how deprivation affects the growth performance of *Salicornia europaea* over 72 days in a polyculture aquaponics system.

For the experiment was used, nine autonomous recirculating aquaponic systems with a total volume of 95.8 L were divided into three treatments with their replicates treatment A (daily feeding), treatment B (4 days starvation and refeeding three days), and treatment C (7 days starvation and refeeding seven days) in a brackish polyculture aquaponic system with 12 ppt salinity.

A total of 90 juvenile sea bream with an average initial weight of 6.33 ± 0.074 g and an average initial length of 5.79 ± 0.072 cm and 90 juvenile sea bass with an average initial weight of 5.82 ± 0.064 g and an average initial length of 6.35 ± 0.066 cm were used and distributed among 10 individuals species/tank (total 20 individuals/system). In addition, 45 *Salicornia* plants with an average initial height of 3.83 ± 0.144 cm were distributed among 5 individuals per hydroponic tank.

The results showed that the fish grew better when fed daily, contrary to *Salicornia* plants. The best growth occurred in treatment C (starvation 7 days/refeeding 7 days). Both fish species consumed more food in extreme starvation conditions. Moreover, our findings showed that partially compensatory growth was achieved. The application of polyculture in aquaponic is a promising and successful food production process with the potential to achieve significant economic gains.

Keywords: Polyculture aquaponic system, growth compensation, food consumption *Sparus aurata*, *Dicentrarchus labrax*, *Salicornia europaea*

Περιεχόμενα

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1. Η έννοια της Ενυδρειοπονίας	2
1.2. Ενυδρειοπονικά συστήματα.....	3
1.3. Υδρόβιοι και φυτικοί οργανισμοί που χρησιμοποιούνται σήμερα στην ενυδρειοπονία.....	6
1.4. Είδη που επιλέχθηκαν για το παρόν πείραμα (<i>Sparus aurata</i> , <i>Dicentrarchus labrax</i> και <i>Salicornia europaea</i>).....	8
Τσιπούρα (<i>Sparus aurata</i>)	8
Λαβράκι (<i>Dicentrarchus labrax</i>).....	8
Σαλικόρνια (<i>Salicornia europaea</i>)	8
1.6. Μέθοδος Ανάπτυξη αντιστάθμισης (compensatory growth).....	9
1.7. Σκοπός του πειράματος.....	10
2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	11
2.1. Προμήθεια ιχθύων (<i>Sparus aurata</i> , <i>Dicentrarchus labrax</i>) και αλόφυτου (<i>Salicornia europaea</i>)	12
2.2. Προσαρμογή στο ενυδρειοπονικό σύστημα	12
2.3. Σύστημα εκτροφής – Συνθήκες εκτροφής.....	12
2.4. Διάρκεια Πειράματος – Χορήγηση τροφής και σιτηρέσιο	16
2.5. Υπολογισμός Κατανάλωση τροφής.....	18
2.6. Μορφομετικά χαρακτηριστικά ιχθύων και φυτών.....	19
2.7. Χημικές αναλύσεις σύστασης.....	20
2.7.1. Προσδιορισμός υγρασίας και ξηρής ουσίας δείγματος	20
2.7.2 Προσδιορισμός ολικών αζωτούχων ενώσεων (πρωτεΐνης)	20
2.7.3. Προσδιορισμός ολικών λιπιδίων	23
2.7.4. Προσδιορισμός ολικής ενέργειας	24
2.8. Δείκτες ανάπτυξης ιχθύων (<i>Sparus aurata</i> , <i>Dicentrarchus labrax</i>).....	25
2.8. Δείκτες ανάπτυξης σαλικόρνιας (<i>Salicornia europaea</i>).....	26
2.8. Στατιστική ανάλυση	26

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	27
3.1. Επιβίωση.....	28
3.2. Δείκτες ανάπτυξης και αξιοποίησης της τροφής της τσιπούρας και του λαβρακιού.....	28
3.2.1. Ειδικός ρυθμός ανάπτυξης (SGR) της τσιπούρας (<i>S. aurata</i>) και του λαβρακιού (<i>D.labrax</i>).....	28
3.3. Δείκτες ανάπτυξης σαλικόρνια (<i>Salicornia europaea</i>).....	38
4.ΣΥΖΗΤΗΣΗ	40
4.1. Επιβίωση ιχθύων και φυτών	44
4.2. Δείκτες ανάπτυξης ιχθύων (<i>Sparus aurata</i> , <i>Dicentrarchus labrax</i>)	44
4.2.Δείκτες αξιοποίησης και εκμετάλλευσης της τροφής.....	47
4.3.Χημική σύσταση περιττωμάτων -πεπτικότητα.....	49
4.4.Δείκτες ανάπτυξης σαλικόρνια (<i>Salicornia europaea</i>).....	50
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	52
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ	54

Περιεχόμενα πινάκων

Πίνακας 1 Παροχή νερού (Q), ταχύτητα φιλτραρίσματος (V), ειδική επιφάνεια φίλτρου (SSA), ρυθμός ανακύκλωσης (r), υδραυλικός χρόνος παραμονής του νερού στο φίλτρο (HRT) και υδραυλικό φορτίο (HLR).	15
Πίνακας 2 Χημική σύσταση πειραματικού σιτηρεσίου.....	17
Πίνακας 3 Δείκτες επιβίωσης και ανάπτυξης ιχθύων για τις πειραματικές μεταχειρίσεις (A, B και C) για το χρονικό διάστημα των 72 ημερών που διήρκησε η εκτροφή.....	28
Πίνακας 4. Δείκτες αξιοποίησης και εκμετάλλευσης της τροφής κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας στα ενυδρειοπονικά συστήματα πολυκαλλιέργειας διάρκειας 72 ημερών.	29
Πίνακας 5 Χημική σύσταση* κοπράνων σε πρωτεΐνη, λίπος, τέφρα, υδατάνθρακες και ενέργεια καθ' όλο το διάστημα της πειραματικής εκτροφής (72 ημέρες).	37
Πίνακας 6. Φαινομενική πεπτικότητα (%) των πρωτεϊνών, λιπιδίων και ενέργειας των περιττωμάτων για όλη τη διάρκεια της πειραματικής εκτροφής μεταξύ των μεταχειρίσεων.....	38
Πίνακας 7 Δείκτης ανάπτυξης σαλικόρνια (<i>Salicornia europaea</i>), Αρχικό και τελικό βάρος στις τρεις πειραματικές μεταχειρίσεις A, B και C για τις 72 ημέρες του πειράματος.....	38
Πίνακας 8 Συγκριτικός πίνακας εφαρμογής ανάπτυξης αντιστάθμισης διαφόρων ειδών ιχθύων σε διάφορες χρονικές περιόδους ασιτίας/επανασίτισης σε σχέση με το παρόν πείραμα.	41

Περιεχόμενα εικόνων

Εικόνα 1: Σχηματική απεικόνιση μικρής κλίμακας ενυδρειοπονικού συστήματος της μεθόδου θρεπτικού υποστρώματος (NFT), (Πηγή: Somerville et al. 2014).....	4
Εικόνα 2: Σχηματική απεικόνιση μικρής κλίμακας ενυδρειοπονικού συστήματος της μεθόδου (Media-bed), (Πηγή: Somerville et al. 2014)	5
Εικόνα 3: Σχηματική απεικόνιση μικρής κλίμακας ενυδρειοπονικού συστήματος της Μέθοδος επιπλεύουσας σχεδιάς-βαθέως ύδατος (DWC), (Πηγή: Somerville et al. 2014)	6
Εικόνα4: <i>Salicornia europaea</i> , (shutterstock, https://www.shutterstock.com/el/search/salicornia)....	8
Εικόνα 5: Σχηματική απεικόνιση αυτόνομου ενυδρειοπονικού συστήματος και της ροής του νερού (Πηγή: Tsoumalakou et al. 2023).....	14
Εικόνα 6: Σχηματική απεικόνιση της ροής του νερού στο εσωτερικό του φίλτρου sump όπως αποτυπώθηκε-σχεδιάστηκε από τη συγγραφέα (Πηγή: Προσωπικό αρχείο).....	15
Εικόνα 7: Σαλικόρνια, <i>Salicornia europaea</i> την 72 ^η ημέρα του πειράματος (Πηγή: προσωπικό αρχείο).....	39

Περιεχόμενα σχημάτων

Σχήμα 1. Υπολογισμός της σχέσης ξηρής και υγρής ουσίας σύμψηκτου.....	19
Σχήμα 2 Δείκτες ανάπτυξης τσιπούρας και λαβρακιού α) SGRτσιπούρας, b)SGRλαβρακιού. Οι μπάρες σφάλματος δείχνουν την τυπική απόκλιση. Όμοια γράμματα πάνω από τις μπάρες δεν δείχνουν στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των μεταχειρίσεων (ANOVA, $p>0,05$)......	29
Σχήμα 3. Δείκτης FCR, (a) τσιπούρα, (b) λαβράκι. Οι μπάρες σφάλματος δείχνουν την τυπική απόκλιση. Όμοια γράμματα πάνω από τις μπάρες δεν δείχνουν στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των μεταχειρίσεων (ANOVA, $p> 0,05$)......	30
Σχήμα 4. Ημερήσια κατανάλωση τροφής (% του σωματικού βάρους) της τσιπούρας (<i>Sparus aurata</i>) με το συνολικό αρχικό βάρος για τις όλες πειραματικές μεταχειρίσεις A, B, C για όλο το διάστημα εκτροφής(72 ημέρες)......	32
Σχήμα 5. Ημερήσια κατανάλωση τροφής (% του σωματικού βάρους) του λαυρακιού (<i>Dicentrarchus labrax</i>) με το αρχικό βάρος για τις όλες πειραματικές μεταχειρίσεις A, B, C για όλο το διάστημα εκτροφής (72 ημέρες)......	34
Σχήμα 6 Scatterplot Matrix διάγραμμα ημερήσιας κατανάλωσης τροφής (a) για την τσιπούρα (<i>Sparus aurata</i>) και (b) για το λαβράκι (<i>Dicentrarchus labrax</i>) εκφρασμένη ανά σωματικό βάρος ιχθύων για τις όλες τις πειραματικές μεταχειρίσεις A (Control), B (μερική ασιτία), C (μέγιστη ασιτία).	36
Σχήμα 7 Δείκτης ανάπτυξης σαλικόρνια (<i>S.europaea</i>), Βιομάζα (g ξηρής ουσίας) την 72η ημέρα του πειράματος ανάπτυξης. Οι μπάρες σφάλματος δείχνουν την τυπική απόκλιση. Όμοια γράμματα πάνω από τις μπάρες δεν δείχνουν στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των μεταχειρίσεων (ANOVA, $p> 0,05$)......	39

Εισαγωγή



1.1. Η έννοια της Ενυδρειοπονίας

Η ενυδρειοπονία είναι ένα σύστημα παραγωγής τροφίμων που στοχεύει στην υψηλότερη βιωσιμότητα ενσωματώνοντας πλεονεκτήματα από την υδατοκαλλιέργεια και την υδροπονική παραγωγή. Σε ένα ενυδρειοπονικό σύστημα τα απόβλητα που απελευθερώνονται από τα ψάρια χρησιμοποιούνται από φυτά για την ανάπτυξή τους, συχνά σε ελεγχόμενο περιβάλλον (Colt et al. 2022).

Σύμφωνα με τους Mariscal-Lagarda et al. (2012) η ενυδρειοπονία αποτελεί τεχνολογία αποδοτικής χρήσης νερού που μπορεί να υιοθετηθεί για τη μεγιστοποίηση της αγροτικής παραγωγής χωρίς να αυξηθεί η κατανάλωση του νερού περιορίζοντας το ρυπαντικό φορτίο στο περιβάλλον. Πρόκειται για ένα σύστημα που οι οργανισμοί ζουν συμβιωτικά, συμβάλλοντας στην παραγωγή «βιώσιμης» τροφής (Rossi, 2021). Τα βακτήρια μετατρέπουν τις αζωτούχες και φωσφορικές ενώσεις που εκκρίνονται από τους ζωικούς οργανισμούς σε μη συνθετικό λίπασμα για την υδροπονική καλλιέργεια των φυτών (Greenfeld et al. 2022, Pinheiro et al. 2020). Η πρόσληψη των θρεπτικών συστατικών από τα φυτά σε συνδυασμό με τη μικροβιακή διαδικασία της νιτροποίησης, επιτρέπει την επαναχρησιμοποίηση του νερού στις δεξαμενές ψαριών.

Στην ενυδρειοπονία, το άζωτο είναι ένας κρίσιμος παράγοντας καθώς οι υψηλές συγκεντρώσεις αμμωνίας επηρεάζουν την επιβίωση των οργανισμών, αναστέλλουν την ανάπτυξη, προκαλούν ποικίλες φυσιολογικές δυσλειτουργίες και δρουν ως στρεσογόνος παράγοντας καθώς διεγείρεται η απελευθέρωση κορτικοστεροειδών ορμονών στην κυκλοφορία, επηρεάζοντας την ευζωία των ψαριών (Yavuzcan et al. 2017).

Συγκεκριμένα, ο κύκλος του αζώτου στο σύστημα ενυδρειοπονίας ξεκινά με την πρωτεΐνη που περιέχεται στην τροφή των ψαριών, και η οποία προσλαμβάνεται από τα ψάρια και στη συνέχεια διαμέσου των βραγχιών εκλύεται ως μεταβολικό προϊόν στο νερό με τη μορφή ολικού αζώτου (NH_3 και NH_4^+). Έπειτα η αμμωνία (NH_3) οξειδώνεται σε νιτρώδη ιόντα (NO_2^-) από αυτότροφα βακτήρια, *Nitrosomonas spp* και στη συνέχεια, τα νιτρώδη ιόντα οξειδώνονται από νιτροποιητικά βακτηρίδια κυρίως *Nitrobacter spp*, σε νιτρικά ιόντα (NO_3^-) (Yavuzcan et al. 2017, Mullen 2009, Cebren, Berthe & Garnier 2003). Τα νιτρικά ιόντα, προσλαμβάνονται από τις ρίζες των φυτών με σκοπό τη θρέψη τους και την ανάπτυξη της βιομάζας τους. Με αυτό το τρόπο το νερό καταλήγει στα ψάρια απαλλαγμένο από αζωτούχα (Estim et al. 2019) και φωσφορικά ιόντα για τη συνέχιση του κύκλου.

Σε αντίθεση με την υδροπονία, η ενυδρειοπονία αποτελεί ένα εντατικό σύστημα παραγωγής τροφίμων, αυξάνοντας τη παραγωγική διαδικασία, μειώνοντας το χρόνο καλλιέργειας. Οι Abusin & Mandikian (2020) αναφέρουν ότι, η ενυδρειοπονία προσφέρει ευκαιρίες για την αντιμετώπιση των στόχων επισιτιστικής ασφάλειας και βιωσιμότητας. Ενώ σύμφωνα με τους Somerville et al. (2014), τα συστήματα ενυδρειοπονίας παρέχουν υψηλότερες αποδόσεις και ποιοτική παραγωγή προϊόντων, συγκριτικά με την συμβατική καλλιέργεια και την υδροπονική καλλιέργεια, εμφανίζοντας υψηλότερο επίπεδο βιοασφάλειας μειώνοντας τους κίνδυνους από εξωτερικούς ρύπους μέσω οικολογικής διαχείρισης της παραγωγής, αλλά και του περιορισμένου ρυπαντικού φορτίου που δημιουργεί. Ακόμη, συνδυάζει την εξοικονόμηση χώρου και την ταχεία ανάπτυξη ζωικών και φυτικών οργανισμών χωρίς την χρήση λιπασμάτων ή χημικών φυτοφαρμάκων μιας και σε αυτό συμβάλλουν τα απεκκρίματα των υδρόβιων ζωικών οργανισμών παρέχοντας στα φυτά όλα τα απαραίτητα θρεπτικά συστατικά που χρειάζονται. Κατά συνέπεια σηματοδοτεί ένα εξαιρετικά αποδοτικό οικονομικά σύστημα με πολύ μικρό περιβαλλοντικό αποτύπωμα.

Η ενυδρειοπονία αποτελεί έναν ιδιαίτερα «ευαίσθητο» τομέα καθώς λάθη ή τυχόν ατυχήματα προκαλούν τη κατάρρευση ολόκληρου του συστήματος και την απώλεια της παραγωγής. Δεδομένου αυτού, η διατήρηση σταθερών συνθηκών υγρασίας, θερμοκρασίας αλλά και φωτός για την ομαλή ανάπτυξη όλων των οργανισμών είναι αρκετά δαπανηρή ενεργειακά και οικονομικά κι απαιτεί το συνεχή έλεγχο και τη συχνή συντήρηση των μέσων υποστήριξης (π.χ. σύστημα κλιματισμού). Επίσης, οι βέλτιστες συνθήκες διαβίωσης των υδρόβιων ζωικών ή φυτικών οργανισμών καλλιέργειας δεν ταυτίζονται πάντοτε και σε σύγκριση με αυτόνομα συστήματα υδατοκαλλιέργειας ή υδροπονίας, οι επιλογές διαχείρισης ενός ενυδρειοπονικού συστήματος είναι μειωμένες με τις βιολογικές μεθόδους να αυξάνουν τον βαθμό δυσκολίας αντιμετώπισής μιας ενδεχόμενης ασθένειας. Βέβαια, είναι σημαντικό να διευκρινιστεί πως σύμφωνα με τον κανονισμό (ΕΕ) 2018/848, μια ενυδρειοπονική μονάδα καλλιέργειας χαρακτηρίζεται οικολογική αλλά όχι βιολογική λόγω της υδροπονικής παραγωγής, την έλλειψη φυσικών συνθηκών καλλιέργειας, κ.α. Εντούτοις, μια ενυδρειοπονική μονάδα έχει τη δυνατότητα χαρακτηρισμού των υδρόβιων ζωικών οργανισμών που παράγει ως βιολογικών (υπό προϋποθέσεις) αλλά σε καμία περίπτωση δε μπορεί να χαρακτηρίσει ως βιολογικούς τους παραγόμενους φυτικούς οργανισμούς.

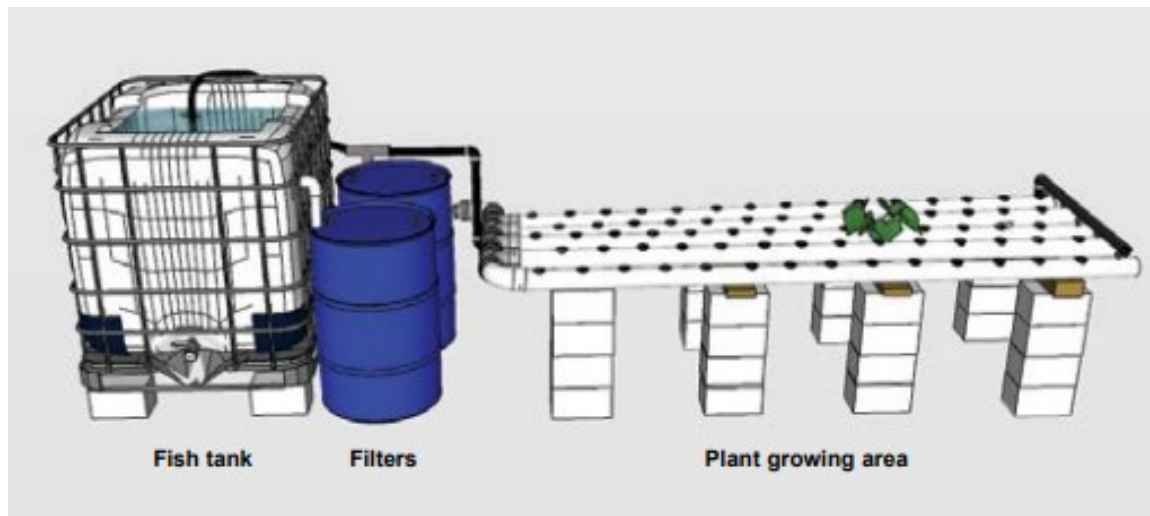
1.2. Ενυδρειοπονικά συστήματα

Στόχος ενός ενυδρειοπονικού συστήματος είναι η βέλτιστη ανάπτυξη των ζωικών αλλά και των φυτικών οργανισμών. Για την επίτευξη αυτού του στόχου έχουν σχεδιαστεί διάφοροι τύποι

συστημάτων με κυριότερους, την τεχνική θρεπτικού υποστρώματος (Nutrient Film Technique, NFT), την τεχνική υποστρώματος (Media bed) και την τεχνική επιπλέουσας σχεδίας-βαθέως ύδατος (Deep Water Culture, DWC).

Μέθοδος θρεπτικού υποστρώματος (NFT)

Η τεχνική Θρεπτικού υποστρώματος (NFT) (Εικ.1) είναι μια υδροπονική μέθοδος κλειστού συστήματος επανακυκλοφορίας νερού που χρησιμοποιεί οριζόντιους σωλήνες στους οποίους συγκεκριμένη ποσότητα νερού πλούσιου σε θρεπτικά συστατικά ρέει με χαμηλή ταχύτητα. Είναι πολύπλοκο στο σχεδιασμό, την κατασκευή και τη διαχείριση, επειδή οι ρίζες των φυτών μπορούν να δημιουργούν διακοπή της ροής του νερού στο σωλήνα. Ωστόσο, είναι εξαιρετικό σύστημα για αστικές περιοχές ή στέγες καθώς είναι ελαφρύ, χρησιμοποιεί πολύ λίγο νερό και κατασκευάζεται από απλά υλικά. (Singhetal. 2021). Ακόμη, λόγω της υψηλής δυναμικής επιφάνειας, αυτή η μέθοδος επιτρέπει μεγαλύτερη φυτική παραγωγή με λιγότερο νερό (Rinehart 2019). Βέβαια το NFT απαιτεί ξεχωριστό βιολογικό φίλτρο, καθώς ο σωλήνας από μόνος του δεν παρέχει αρκετή επιφάνεια για επαρκή ανάπτυξη νιτροποιητικών βακτηρίων (Singh et al. 2021).

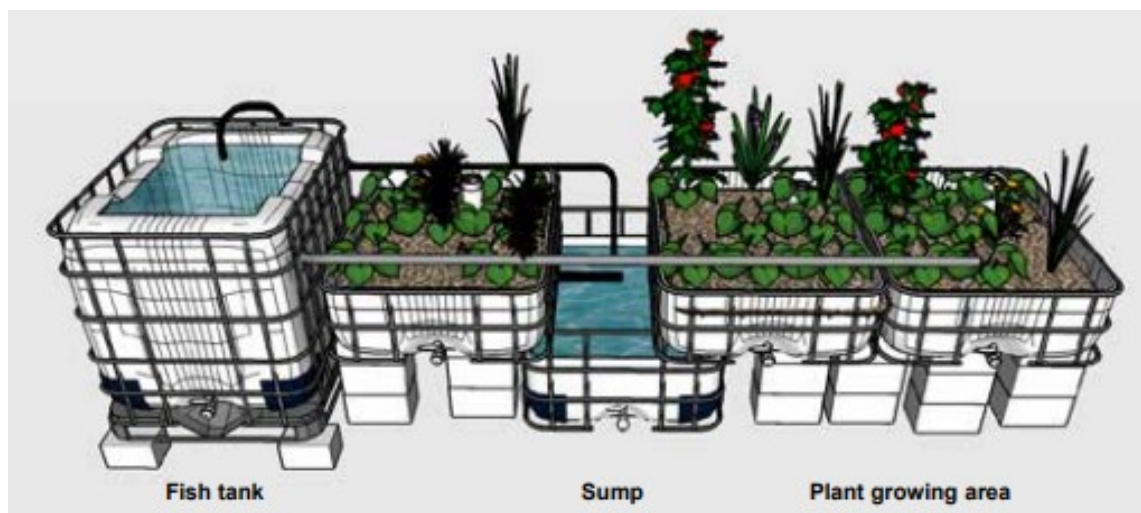


Εικόνα 1 Σχηματική απεικόνιση μικρής κλίμακας ενυδρειοπονικού συστήματος της μεθόδου θρεπτικού υποστρώματος (NFT), (Πηγή: Somerville et al. 2014)

Μέθοδος υποστρώματος

Ο τύπος του υποστρώματος (Εικ.2) είναι ένα από τα πιο δημοφιλή ενυδρειοπονικά συστήματα μικρής κλίμακας, με χαμηλό αρχικό κόστος. Ονομάζεται επίσης σύστημα αυτόματης πλήρωσης και αποστράγγισης του νερού (flood-and-drain) ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Σε αυτό, μια

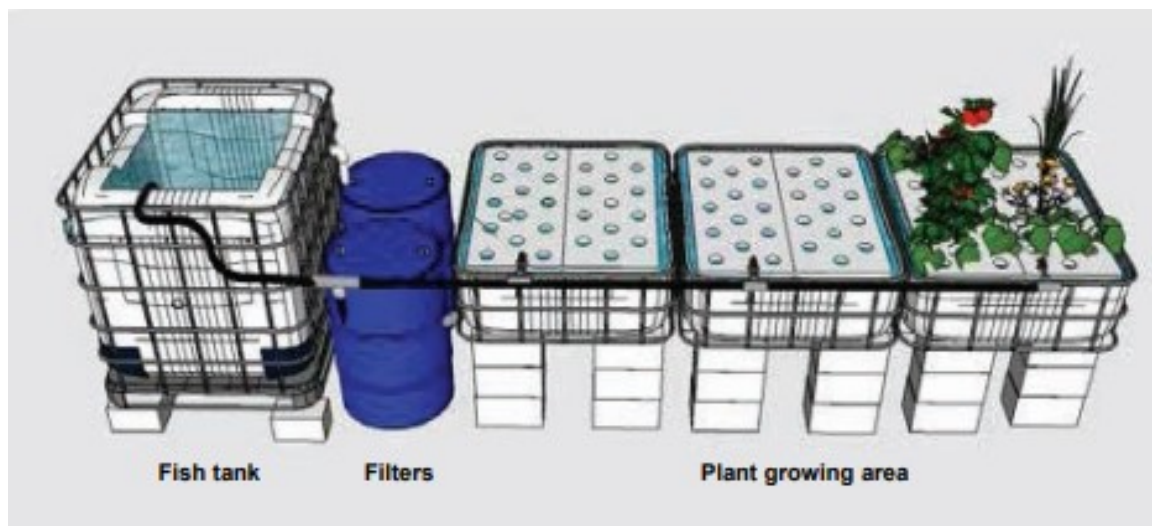
δεξαμενή γεμάτη με το υπόστρωμα (χαλίκι, περλίτη ή διογκωμένη άργιλο) λειτουργεί ως μέσο ανάπτυξης των φυτών, με το υπόστρωμα να λειτουργεί μερικώς ως βιοφίλτρο (Somerville et al. 2014). Η ροή του νερού σε αυτό το σύστημα μπορεί να ελεγχθεί με χρονοδιακόπτη ή μηχανισμό αυτόματου σιφονιού. Ο τύπος αυτός δεν είναι κατάλληλος σε επίπεδο εμπορικής παραγωγής (Singh et al. 2021) αλλά λειτουργεί ιδιαίτερα αποδοτικά για καρποφόρα φυτά όπως οι πιπεριές ή οι τομάτες (Rinehart 2019).



Εικόνα 2: Σχηματική απεικόνιση μικρής κλίμακας ενυδρειοπονικού συστήματος της μεθόδου (Media-bed), (Πηγή: Somerville et al. 2014)

Μέθοδος επιπλέουσας σχεδίας-βαθέως ύδατος (DWC)

Η μέθοδος του βαθέως ύδατος (DWC) (Εικ.3) ή διαφορετικά μέθοδος επιπλέουσας σχεδίας (Raft), είναι μια ιδιαίτερα διαδεδομένη τεχνική καλλιέργειας μεγάλης κλίμακας. Τα φυτά αιωρούνται σε μια πλωτή σχεδία, ώστε οι ρίζες των φυτών να έχουν άμεση πρόσβαση στο πλούσιο σε θρεπτικά συστατικά νερό που προέρχεται από τη δεξαμενή των ψαριών. Ο μεγάλος όγκος του νερού που κυκλοφορεί στις ρίζες δεν μεταβάλλει τη θερμοκρασία καθώς και την ποιότητα του νερού (Rinehart 2019). Στη μέθοδο αυτή απαιτείται αποτελεσματικό φιλτράρισμα και αερισμός για την αποφυγή στερεών αποβλήτων στο φυτό και επαρκή επίπεδα οξυγόνου για τις ρίζες των φυτών και τα βακτήρια (Singh et al. 2021). Παρόλο που η τεχνική της επιπλέουσας σχεδίας (DWC) μικρής κλίμακας, είναι πιο περίπλοκη συγκριτικά με τη την τεχνική του υποστρώματος κι ενδεχομένως ακατάλληλη για ορισμένες τοποθεσίες, είναι πιο παραγωγική από του υποστρώματος και είναι εμπορικά λειτουργική σε μεγάλης κλίμακας παραγωγή λαχανικών (Singh et al. 2021).



Εικόνα 3: Σχηματική απεικόνιση μικρής κλίμακας ενυδρειοπονικού συστήματος της Μέθοδος επιπλέουσας σχεδίας-βαθέως ύδατος (DWC), (Πηγή: Somerville et al. 2014)

1.3. Υδρόβιοι και φυτικοί οργανισμοί που χρησιμοποιούνται σήμερα στην ενυδρειοπονία

Η εντατική παραγωγή ζωικών και φυτικών οργανισμών, είναι το σημαντικότερο πλεονέκτημα των ενυδρειοπονικών συστημάτων σε σύγκριση με τη συμβατική ιχθυοκαλλιέργεια ή την υδροπονία. Όμως, η συνδυασμένη καλλιέργεια των ζωικών και φυτικών οργανισμών δεν είναι πάντοτε εύκολη.

Τα εκτρεφόμενα είδη υδρόβιων ζωικών οργανισμών είναι ποικίλα και χαρακτηρίζονται από συγκεκριμένες απαιτήσεις και ιδιαιτερότητες. Αρκετά είδη έχουν παρουσιάσει εξαιρετικούς ρυθμούς ανάπτυξης σε μονάδες ενυδρειοπονίας και σε αυτά ανήκουν είδη τόσο του αλμυρού όσο και του γλυκού νερού.

Συγκεκριμένα σύμφωνα με τους Somerville et al. (2014) και τους Love et al. (2015) έχουν καλλιεργηθεί τιλάπιες (*Oreochromis aureus*, *Oreochromis niloticus*, *Oreochromis mossambicus*), κυπρίνοι (*Cyprinus carpio*, *Hypophthalmichthys molitrix*, *Ctenopharyngodon idella*), γατόψαρα (*Ictalurus punctatus*, *Clarias gariepinus*), η ιριδίζουσα πέστροφα (*Oncorhynchus mykiss*), η μεγαλόστομη πέρκα (*Micropterus salmoides*), η Αυστραλιανή πέρκα (*Scortum barcoo* και *Bidyanus bidyanus*), Murray (*Maccullochella peelii* - γάδος της Αυστραλίας) και είδη Barramundi (*Lates calcarifer*–Ασιατικό λαβράκι). Επίσης πολύ κοινά καλλιεργήσιμα είδη είναι η τσιπούρα (*Sparus aurata*) (Vlahos et al. 2019, 2023), το ευρωπαϊκό λαβράκι (*Dicentrarchus labrax*) (Vlahos et al. 2023, Stathopoulou et al. 2022), ο γάστρος (*Lisa saliens*) (ΘΕΟΔΩΡΑΚΑΚΗ 2022) και το

μυτάκι (*Diplodus puntazzo*) αλλά, μεταξύ άλλων, έχουν καλλιεργηθεί επίσης το *Oncorhynchus kisutch*, το *Isacia conceptionis*, γλώσσες Σενεγάλης (*Solea senegalensis*) και καλκάνια (*Scophthalmus rhombus*) (Gunning et al. 2016). Επιπλέον έχουν καλλιεργηθεί γαρίδες, караβίδες (*Macrobrachium rosenbergii*, υπόταξη Dendrobranchiata), στρείδια (*Crassostrea gigas*) και αχινοί (*Loxechinus albus*) (Gunning, Maguire & Burnell 2016, Love et al. 2015).

Από την άλλη πλευρά, η ανάπτυξη των φυτικών οργανισμών έχει ποικίλες ιδιαιτερότητες ανάλογα με το καλλιεργούμενο είδος και προϋποθέτει τη κάλυψη συγκεκριμένων απαραίτητων προϋποθέσεων. Οι απαιτήσεις αυτές αναφέρονται κυρίως στο επίπεδο της θερμοκρασίας, της αλατότητας, των θρεπτικών, του συνδυασμού των ειδών αλλά και του συστήματος επιλογής.

Κατά τη διάρκεια μιας ενυδρείοπονικής καλλιέργειας μπορεί να επιτευχθεί ταχύτερη ανάπτυξη των φυτικών οργανισμών συγκριτικά με των υδρόβιων ζωικών οργανισμών κι ως αποτέλεσμα αυτού να επιχειρείτε η επανατοποθέτηση και η εκ νέου καλλιέργεια φυτικών οργανισμών στο ήδη υπάρχον σύστημα. Σύμφωνα με τους Love et al. (2015), με τον τρόπο αυτό, δημιουργείται μια οικονομική και βιολογική βάση για τη παραγωγή, εστιάζοντας στη καλλιέργεια φυτών που σε ορισμένες περιπτώσεις επιτυγχάνεται υψηλότερη τιμή πώλησης συγκριτικά με αυτή των καλλιεργούμενων ζωικών οργανισμών.

Τα πιο διαδεδομένα καλλιεργούμενα είδη φυτών σύμφωνα με τους Somerville et al. (2014) και τους Love et al. (2015) είναι ο βασιλικός (*Ocimum basilicum*), ο μαϊντανός (*Petroselinum crispum*), το κάρδαμο (*Nasturtium officinale*), η μέντα (*Mentha sp.*), το κουνουπίδι (*Brassica oleraceavar, botrytis*), το μπρόκολο (*Brassica oleraceavar, italica*), η μελιτζάνα (*Solanum melongena*), η τομάτα (*Lycopersicon lycopersicum*), η πιπεριά (*Capsicum sp.*), το αγγούρι (*Cucumis sativus*), το σέσκουλο (*Betavulgariss sp. vulgaris*), τα φασόλια (*Phaseolus vulgaris*) το σπανάκι (*Spinacia oleracea*) (Tsoumalakou, et al. 2023), το μαρούλι (*Lactuca sativa*) (Stathopoulou et al. 2021) και το κινέζικο λάχανο bokchoi (*Brassica rapa subspecies chinensis*). Ακόμη αλόφυτα όπως το κρίταμο (*Crithmum maritimum*), διάφορα είδη σαλικόρνια (*Salicornia europaea, Salicornia rubra, Sarcocornia ambigua, Salicornia bigelovii, Salicornia dolichostachya*), το *Sesuvium portulacastrum*, το *Batis maritima*, το *Tripolium pannonicum*, το *Plantago coronopus*, το *Lepidium latifolium*, το *Atriplex portulacoides* και το *Atriplex halimus* καλλιεργούνται ευρέως (Stathopoulou et al. 2022, Vlahos et al. 2019, Boxman et al. 2017, Gunning 2016, Waller et al. 2015, Kong & Zheng 2014). Επιπλέον ποικιλία μακροφυκών (*Hypnea musciformis, Ulva rigida, Gracilaria chilensis*), λαχανικών, φρούτων, βοτάνων αλλά και

αρωματικών φυτών, επιλέγονται και καλύπτουν ιδανικά τις απαιτήσεις τους για καλλιέργεια σε συστήματα ενυδρείοπονίας (Debroy & Seban 2022, Fernández-Cabanás et al. 2022, Schmautz et al. 2016, Buschmann et al. 1996, Langton et al. 1977, Haines 1976).

1.4. Είδη που επιλέχθηκαν για το παρόν πείραμα (*Spartus aurata*, *Dicentrarchus labrax* και *Salicornia europaea*)

Τσιπούρα (*Spartus aurata*)

Η τσιπούρα είναι ένα μεσογειακό και ευρύαλο είδος, με αυξημένη εμπορική αξία που συγκαταλέγεται μεταξύ των ψαρών με υψηλή διατροφική αξία. Σύμφωνα με τους Gunning, Maguire & Burnell (2016), Vlahos et al. (2019), Neori et al. (2019) και Jerónimo et al. (2020), αναπτύσσεται ικανοποιητικά τόσο σε συστήματα πολυκαλλιέργειας όσο και σε συστήματα ενυδρείοπονίας.

Λαβράκι (*Dicentrarchus labrax*)

Το λαβράκι συγκαταλέγεται μεταξύ των ειδών της μεσογειακής υδατοκαλλιέργειας, παρουσιάζοντας έντονο εμπορικό ενδιαφέρον. Είναι πλούσια σε ω-3 λιπαρά οξέα, πρωτεΐνες, Ρ, Κ, βιταμίνες (νιασίνη, Β12) και χαμηλότερες συγκεντρώσεις Mg και Fe. Συγκεκριμένα το λαβράκι έχει επιλεγεί σε αρκετά πειράματα πολυκαλλιέργειας, με έναν από τους λόγους να είναι η ανοχή του σε ποικίλες αλατότητες (Rossi et al. 2021, Stathopoulou et al. 2021, Gunning, Maguire & Burnell 2016, Nozzi et al. 2016, Neori et al. 2019).

Σαλικόρνια (*Salicornia europaea*)



Εικόνα 4 *Salicornia europaea*, (shutterstock, <https://www.shutterstock.com/el/search/salicornia>)

Η *Salicornia europaea* (Εικ.4) συγκαταλέγεται στα αλόφυτα παρουσιάζοντας αυξημένη αντοχή σε υψηλές τιμές αλατότητας (Wiehe et al. 1935). Οι μικροί χυμώδεις αλοφυτικοί θάμνοι του

γένους *Salicornia*, με άφυλλους μίσχους και κλαδιά έχουν ποικίλες χρήσεις μεταξύ των οποίων είναι η κατανάλωση τους ως τροφή και ποτό (nirik, κρασί και ξύδι) (De Souza et al. 2018), η παραγωγή γυαλιού και σαπουνιού καθώς και οι θεραπευτικές ιδιότητες του (Cárdenas-Pérez et al. 2022). Αναπτύσσεται ικανοποιητικά σε εύρη αλατότητας που κυμαίνονται από 5 ppt έως και 30 ppt αλλά η βέλτιστη ανάπτυξη της πραγματοποιείται σε υφάλμυρα νερά αλατότητας 15 ppt. Η ιδανική τιμή της θερμοκρασίας είναι στους 18-25°C, οι τιμές του διαλυμένου οξυγόνου είναι της τάξης 7,5- 8 mg/L και το pH κυμαίνεται μεταξύ 8-9. Η τιμή της Φωτοσυνθετικά Ενεργής Ακτινοβολίας (PAR) ιδανικά πρέπει να ξεπερνά τη τιμή των 6, 83 MJ/m²d⁻¹ (DeSouza et al. 2018). Η *S. europaea* όπως και πολλά άλλα φυτά του ίδιου είδους έχουν χρησιμοποιηθεί σε πειράματα πολυτροφικών ενυδρειοπονικών συστημάτων (Puccinelli et al. 2022, Doncato & Costa 2021, Marques et al. 2021, Neori et al. 2019, Gunning, Maguire & Burnell 2016, Gunning 2016).

1.6. Μέθοδος Ανάπτυξη αντιστάθμισης (compensatory growth)

Η ανάπτυξη αντιστάθμισης (compensatory growth) χαρακτηρίζεται ως μια φυσιολογική διαδικασία επιταχυνόμενης ανάπτυξης έπειτα από περιορισμένη ασιτία σε συγκεκριμένη χρονική περίοδο, στοχεύοντας στην επίτευξη του σωματικού βάρους που θα είχαν επιτύχει οι οργανισμοί απουσία περιορισμού της τροφής (Nicieza & Álvarez 2009).

Μια μεγάλη ποικιλία πρωτοκόλλων ασιτίας-επανασίτισης, έχουν εφαρμοστεί σε υδρόβιους οργανισμούς εστιάζοντας στη διάρκεια και στην ένταση της τροφοληψίας (Py et al. 2022, Hvas et al. 2022, Ziegelbecker & Sefc 2021, Wu et al. 2021, Adaklı & Taşbozan 2015, Nebo et al. 2013, Peres et al. 2011, Pérez-Jiménez et al. 2007, Montserrat et al. 2007, Eroldoğan et al. 2006, Ali, Nicieza & Wootton 2003, Nicieza & Metcalfe 1997, Stirling 1976). Η μέθοδος ανάπτυξης αντιστάθμισης περιγράφεται ως η χρήση συνθηκών ασιτίας που οδηγούν σε χαμηλό ρυθμό ανάπτυξης ακολουθούμενη από επανασίτιση, όταν οι οργανισμοί προσπαθούν να επιταχύνουν το ρυθμό ανάπτυξης. Αυτή η επιταχυνόμενη ανάπτυξη προσδιορίζεται από το γεγονός ότι οι υποβαλλόμενοι σε ασιτία οργανισμοί, εφόσον επανασιτιστούν, εμφανίζουν σημαντικά ταχύτερο ρυθμό ανάπτυξης από εκείνων των ατόμων που δεν έχουν βιώσει ύφεση και έχουν διατηρηθεί στις ίδιες συνθήκες. Υπάρχουν αρκετές υποθέσεις που προσπαθούν να εξηγήσουν την αυξημένη ανάπτυξη μετά από μια περίοδο ασιτίας, όπως η αύξηση πρόσληψης της τροφής (υπερφαγία), η σύνθεση πρωτεϊνών και οι ορμονικές αποκρίσεις (Nebo et al. 2013).

Σε επίπεδο μικροβιώματος, ορισμένες μελέτες σε ψάρια έχουν περιγράψει αλλαγές στη βακτηριακή πεπτική δομή μετά την εκ νέου σίτιση, υποδηλώνοντας μια ευεργετική σχέση με

φυσιολογικές διεργασίες που σχετίζονται με το μεταβολισμό και το ανοσοποιητικό σύστημα (Liu et al. 2022, Sakyi et al. 2020).

Οι Peres et al. (2011), αναφέρουν πως σύμφωνα με τη βιομάζα που επιτυγχάνεται από τους οργανισμούς που υφίστανται περιορισμό, το επίπεδο ανάπτυξης ποικίλλει σε μεγάλο βαθμό από υπερβολική, πλήρη, μερική ή καθόλου αντισταθμιστική ικανότητα. Η απόκριση της ανάπτυξης αντιστάθμισης είναι συγκεκριμένη για το κάθε είδος και εξαρτάται κυρίως από τον τύπο, τη διάρκεια και την αυστηρότητα του περιορισμού τροφής. Ο περιορισμός της τροφής σε συνδυασμό με άλλους παράγοντες όπως η πυκνότητα ή η θερμοκρασία μπορεί επίσης να επηρεάσει την αντισταθμιστική ικανότητα ανάπτυξης (Prates et al. 2023, Liu et al. 2022, Stumpf et al. 2019). Οι Peres et al. (2011), υποστηρίζουν ακόμη, πως η ανάπτυξη αντιστάθμισης είναι αποτελεσματικότερη όταν η αυστηρότητα του περιορισμού δεν είναι έντονη και είναι σύντομης διάρκειας. Ενώ, σύμφωνα με πρόσφατη μελέτη των Hvas et al. (2022), η ασιτία από μόνη της δεν αποτελεί πρόβλημα ευημερίας στην καλλιέργεια ιχθύων.

Σύμφωνα με τους Peng et al. (2023), η εφαρμογή της μεθόδου ανάπτυξης αντιστάθμισης σε φυτικούς οργανισμούς με προσθήκη συγκεκριμένης ποσότητας θρεπτικών συστατικών, είναι εφικτή με αποτελέσματα ακόμη και υπερβολικής αντιστάθμισης. Βέβαια η εφαρμογή της μεθόδου, δε φαίνεται να έχει δοκιμαστεί σε ενυδρειοπονική καλλιέργεια με στόχο τη δοκιμασία και παρατήρηση της φυσιολογικής απόκρισης όλων των οργανισμών (φυτών-ιχθύων) στην αντισταθμιστική ικανότητα και δίχως τη προσθήκη θρεπτικών ουσιών στα φυτά.

1.7. Σκοπός του πειράματος

Σκοπός της παρούσης μεταπτυχιακής διατριβής ήταν να μελετηθεί η επίδραση της ανάπτυξης αντιστάθμισης (ασιτία 0, 4 και 7 ημερών) και της κατανάλωσης της τροφής, στην ανάπτυξη και επιβίωση της τσιπούρας και του λαβρακιού σε ένα ενυδρειοπονικό σύστημα πολυκαλλιέργειας, καθώς και πως τα πειράματα αντιστάθμισης επηρεάζουν την ανάπτυξη της σαλικόρνιας. Για την επίτευξη του, χρησιμοποιήθηκαν αυτόνομα συστήματα ενυδρειοπονίας με επανακυκλοφορία νερού σε αλατότητα 12 ppt.

Υλικά και Μέθοδοι



2.1. Προμήθεια ιχθύων (*Sparus aurata*, *Dicentrarchus labrax*) και αλόφυτου (*Salicornia europaea*)

Στο εργαστήριο Ενυδρειοπονίας του Τμήματος Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας μεταφέρθηκαν αρχικά 90 άτομα τσιπούρας (*Sparus aurata*) και 90 άτομα λαβρακιού (*Dicentrarchus labrax*), με μέσο ατομικό βάρος 3-5 gr και τοποθετήθηκαν στα ενυδρεία υποδοχής όγκου 95,8 L και αλατότητα 25 ppt. Τα ψάρια ήταν χορηγία της εταιρίας Philosophish. Επίσης συλλέχθηκαν 45 φυτά *Salicornia europaea* μέσου αρχικού ύψους $3,83 \pm 0,25$ cm από το Δέλτα του ποταμού Έβρου, τα οποία μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο προκειμένου να προσαρμοστούν στις πειραματικές συνθήκες.

2.2. Προσαρμογή στο ενυδρειοπονικό σύστημα

2.2.1. Ιχθύες

Τα δύο είδη (*Sparus aurata*, *Dicentrarchus labrax*) διαμοιράστηκαν ανά 20, έπειτα από 30 ημέρες σταδιακής προσαρμογής σε αλατότητα 12 ppt, σε τρεις πειραματικές μεταχειρίσεις σε εννέα αυτόνομα ενυδρειοπονικά συστήματα συνολικού όγκου 95,8 L. Ο συνολικός αριθμός ιχθύων κάθε ενυδρειοπονικού συστήματος επιλέχθηκε σύμφωνα με τις μελέτες των Arends et al. (1999) και Montero et al. (1999). Η προσαρμογή των ψαριών στις αλατότητες έγινε σταδιακά, όπου η αλατότητα μειώνονταν κατά 3-5 ppt μια φορά την εβδομάδα για διάρκεια 30 ημερών σύμφωνα με τη διαδικασία που περιγράφηκε από τους Thomas et al. (2021) και Vlahos et al. (2019).

2.2.2. Σαλικόρνια (*Salicornia europaea*)

Η *Salicornia europaea* όπως αναφέρθηκε, μεταφέρθηκε στο εργαστήριο από το Δέλτα του Εύρου και ποτίζονταν αρχικά με νερό του ποταμού, αλατότητας 4 ppt για διάστημα 10 ημερών. Στη συνέχεια ξεκίνησε η σταδιακή προσαρμογή καταρτίζοντας πρόγραμμα αύξησης της αλατότητας κατά 3 ppt κάθε 5 ημέρες ώστε να φτάσει στην επιθυμητή πειραματική αλατότητα (12 ppt) και διήρκεσε συνολικά 30 ημέρες σύμφωνα με τη διαδικασία που περιγράφηκε από τους Vlahos et al. (2023), Thomas et al. (2021) και Vlahos et al. (2019). Με την ολοκλήρωση της διαδικασίας προσαρμογής τα φυτά διαμοιράστηκαν ανά 5 στις πειραματικές μεταχειρίσεις. Η ημέρα έναρξης του πειράματος καθορίστηκε ως η ημέρα προσθήκης των φυτών στα συστήματα.

2.3. Σύστημα εκτροφής – Συνθήκες εκτροφής

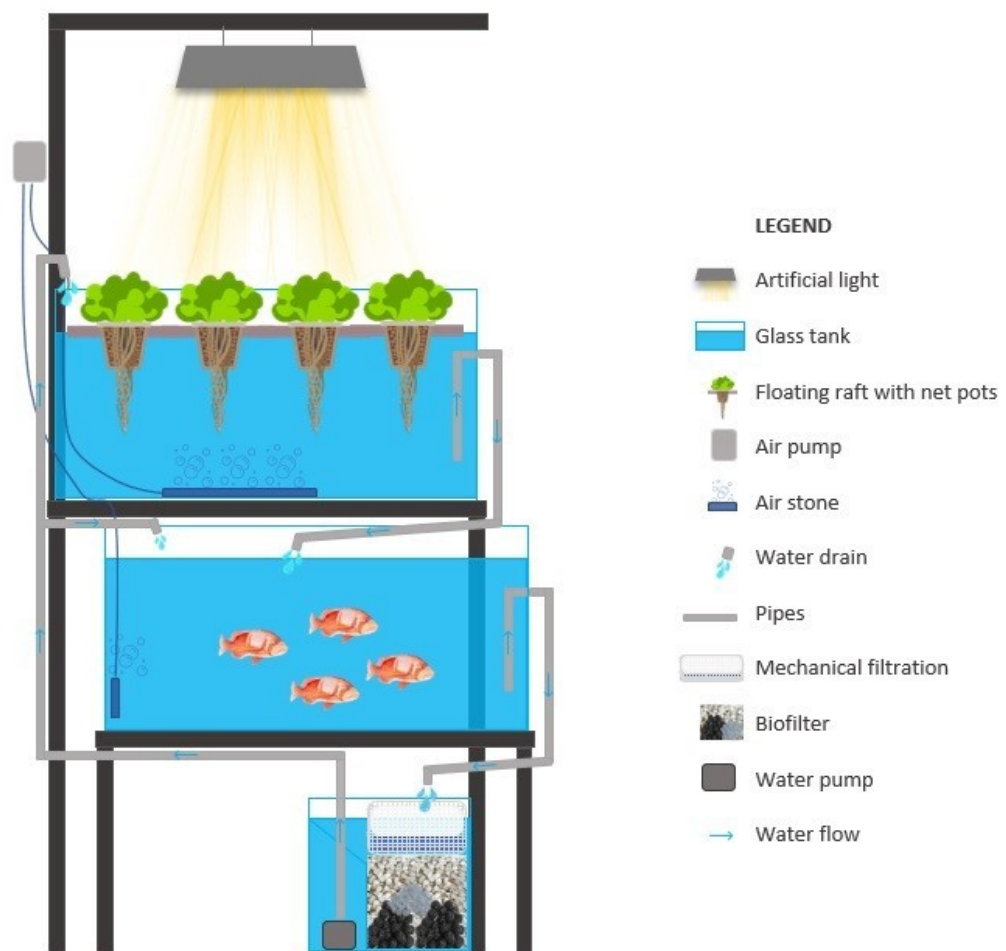
Το πείραμα διήρκησε συνολικά 72 ημέρες με ημερομηνία έναρξης τις **18/06/2022** ενώ η ημέρα ολοκλήρωσης του πειράματος ορίστηκε στις **28/08/2022**.

Για την υλοποίηση του πειράματος αξιοποιήθηκαν εννέα αυτόνομα ενυδρειοπνικά συστήματα με τη μέθοδο της επίπλευσης σε σχεδία (raft methods-deep water culture), συνολικού όγκου 95,8 L. Κάθε αυτόνομο ενυδρειοπνικό σύστημα αποτελούταν συνολικά από 3 μέρη. Από ένα ενυδρείο καλλιέργειας των φυτών που χρησιμοποιήθηκε για την υδροπονική καλλιέργεια των φυτών, από ένα ενυδρείο εκτροφής των ιχθύων και ένα φίλτρο τύπου Sump όπως περιγράφεται από τους Vlahos et al. (2019). Τα δύο ενυδρεία, τα οποία αποτέλεσαν το πρώτο το ενυδρείο των ψαριών και το δεύτερο την υδροπονική δεξαμενή καλλιέργειας των φυτών (Growbed) ήταν διαστάσεων 30x30x60 cm, όγκου 36 L και καλλιεργητικής επιφάνειας 180 cm², αντίστοιχα, τα οποία τοποθετήθηκαν το ένα παράλληλα με το άλλο (Εικ. 5) σε ανοξείδωτο μεταλλικό πάγκο, ώστε το νερό να κυκλοφορεί από τα φυτά στα ψάρια και από εκεί στο φίλτρο διαμέσου της βαρύτητας. Στο κάτω μέρος του πάγκου είχε τοποθετηθεί ένα εξωτερικό φίλτρο τύπου sump διαστάσεων 27x34x35 cm και συνολικού όγκου 23,8 L. Το φίλτρο διαχωρίστηκε σε τρία διαμερίσματα τα οποία επικοινωνούσαν και στα οποία η ροή του νερού ήταν καθοδική καταλήγοντας στο μηχανικό φίλτρο, στη συνέχεια γινόταν ανοδική και διοχετεύονταν στο βιολογικό φίλτρο και κατέληγε στο τρίτο τμήμα όπου είχε καθοδική πορεία, στο οποίο είχε προσαρμοστεί μια βυθιζόμενη αντλία ώστε να διοχετεύει το νερό στα ενυδρεία των φυτών και ψαριών (Εικ. 6).

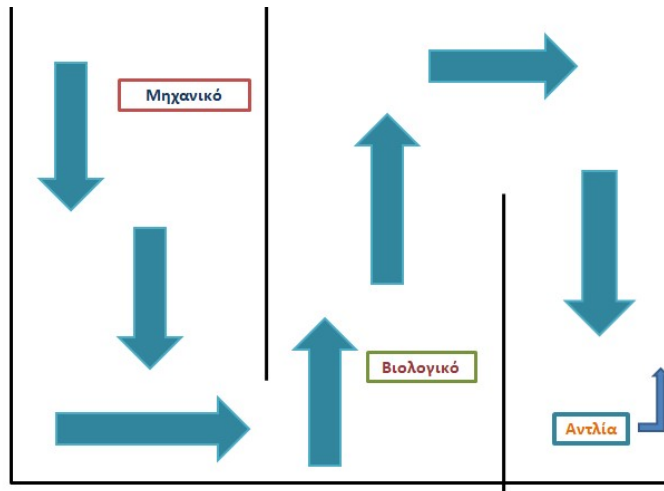
Το φίλτρο προσαρμόστηκε ώστε το μεγαλύτερο μέρος του να δημιουργεί επαρκή ειδική επιφάνεια (specific surface area -SSA) για τον αποικισμό και την ανάπτυξη των νιτροποιητικών βακτηρίων της τάξης του 292,68 cm²/cm³.

Το πρώτο τμήμα περιείχε το μηχανικό φίλτρο, το οποίο αποτελούνταν από τρεις στρώσεις υαλοβάμβακα που τοποθετήθηκαν σε ειδική κατασκευή ένα διάτρητο καλάθι παραλληλόγραμμου σχήματος για αποτελεσματικότερο καθαρισμό του νερού (κατακράτηση περιττωμάτων και υπολειμμάτων τροφής). Οι διαστάσεις του πρώτου τμήματος ήταν 27x17x17,5 cm καλύπτοντας συνολική επιφάνεια 472,5 cm². Το δεύτερο τμήμα του φίλτρου ήταν άμεσα συνδεδεμένο με το πρώτο και χρησιμοποιήθηκε ως βιολογικό φίλτρο, όπου καλύφθηκε με 1 L πλαστικές βιόσφαιρες (bioball) και 1,5 L κεραμικό υλικό (ceramic media). Το βιολογικό φίλτρο κάλυπτε συνολική επιφάνεια 45 cm². Τέλος το τρίτο τμήμα του φίλτρου το οποίο διαφοροποιούνταν από το δεύτερο με ένα κομμάτι γυαλί διαστάσεων 17x18,5 cm αποτελούσε το τελικό στάδιο του φίλτρου όπου το νερό μέσω μιας αντλίας (SUNSUN, 22W, 1000 L/hr, 0.55 kg) διοχετευόταν στο growbed.

Στόχος του συστήματος ήταν η συνεχής ανακύκλωση του νερού μεταξύ του ενυδρείου των ψαριών, του growbed και του φίλτρου, με αντλία νερού. Προκειμένου η ροή του νερού να γίνεται μέσω της βαρύτητας, από το growbed στο ενυδρείο των ψαριών και στη συνέχεια στο φίλτρο, κάθε αυτόνομο ενυδρειοπονικό σύστημα τοποθετήθηκε σε παράλληλη διάταξη (Εικ. 5). Η θερμοκρασία του νερού διατηρήθηκε στους 22C° με ηλεκτρονικούς θερμοστάτες. Για την παροχή επαρκούς οξυγόνου στα ψάρια, στο βιολογικό φίλτρο και στις ρίζες των φυτών χρησιμοποιήθηκε αντλία αέρα παρέχοντας επίπεδα κορεσμού του οξυγόνου στο σύστημα της τάξης του 90%-95%. Οι συγκεντρώσεις διαλυμένου οξυγόνου διατηρήθηκαν μεγαλύτερες από 8,0 mg/L.



Εικόνα 5 Σχηματική απεικόνιση αυτόνομου ενυδρειοπονικού συστήματος και της ροής του νερού (Πηγή: Tsoumalakou et al. 2023).



Εικόνα 6 Σχηματική απεικόνιση της ροής του νερού στο εσωτερικό του φίλτρου sump όπως αποτυπώθηκε-σχεδιάστηκε από τη συγγραφέα (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)

Επίσης σε όλες τις πειραματικές μεταχειρίσεις το υδραυλικό φορτίο (HLR), ο ρυθμός ανακύκλωσης (r), ο υδραυλικός χρόνος παραμονής στο φίλτρο (HRT), η παροχή του νερού (Q), η ειδική επιφάνεια του φίλτρου (SSA) και η ταχύτητα φιλτραρίσματος (V) ρυθμίστικαν προκειμένου να είναι παρόμοια (Πίν.1).

Η παροχή του αέρα στα 9 ενυδρειοπονικά συστήματα, όπως ήδη αναφέρθηκε, πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια αεραντλίας που διοχέτευε αέρα μέσω αερόπετρας στο φίλτρο, στη δεξαμενή των ψαριών και στα growbed, στοχεύοντας στη διασφάλιση καλύτερης διάχυσης του αέρα στο νερό.

Πίνακας 1 Παροχή νερού (Q), ταχύτητα φιλτραρίσματος (V), ειδική επιφάνεια φίλτρου (SSA), ρυθμός ανακύκλωσης (r), υδραυλικός χρόνος παραμονής του νερού στο φίλτρο (HRT) και υδραυλικό φορτίο (HLR).

Λειτουργικά χαρακτηριστικά ενυδρειοπονικών συστημάτων	
Παροχή νερού, Q (cm^3/min)	1500 ± 17.333
Ταχύτητα φιλτραρίσματος, V (cm/min)	0.9
Ειδική επιφάνεια, SSA (cm^2/cm^3)	292.68 ± 44.22
Ρυθμός ανακύκλωσης (r)	4.03 ± 0.0005
Υδραυλικός χρόνος παραμονής στο φίλτρο, HRT (min)	11.38 ± 0.035
Υδραυλικό φορτίο, HLR (cm/min)	0.88 ± 0.0004

Προκειμένου να ρυθμιστεί η έκθεση των φυτών στο φως, σε κάθε ενυδρειοπονικό σύστημα τοποθετήθηκαν ειδικοί λαμπτήρες 400 W (SYLVANA, 400 Whigh pressure sodium). Η φωτοπερίοδος ρυθμίστηκε μέσω χρονοδιακόπτη, στις 12 ώρες φως και 12 ώρες σκοτάδι. Σε κάθε growbed τοποθετήθηκαν αυτοσχέδιες σχεδίες από πολυουρεθάνη, στις οποίες διανοίχθηκαν οπές διαμέτρου 8 cm προκειμένου στο εσωτερικό τους να τοποθετηθούν τα φυτά τοποθετημένα σε netpots (φυτοδοχεία) με άργιλο. Τα δοχεία αυτά χρησιμοποιήθηκαν ως υπόστρωμα στήριξης των φυτών. Πριν τη τοποθέτηση των φυτών έγινε μέτρηση της Φωτοσυνθετικά Ενεργής Ακτινοβολίας (PAR), προκειμένου να βρεθεί η κατάλληλη θέση για τη μέγιστη φωτοσύνθεση, σε όλη την έκταση του κάθε growbed. Η μέτρηση πραγματοποιήθηκε με αισθητήρα που τοποθετήθηκε σε ποικίλα σημεία στο growbed, και ρυθμίστηκε η ακτινοβολία να είναι παρόμοια ($4,00 \text{ MJm}^{-2} \text{ day}^{-1}$) σε όλα τα συστήματα.

Για την επιτυχή ρύθμιση του ενυδρειοπονικού συστήματος, σύμφωνα με το Spotte (1992), είναι ιδιαίτερα σημαντική η προσθήκη ψαριών στο σύστημα καθώς και η προσθήκη τροφής και αμμωνίας. Επίσης, για την αποφυγή κανιβαλισμού στα ψάρια ακολουθήθηκε η διαδικασία που περιγράφεται σε προηγούμενες μελέτες (Vlahos et al. 2013, Arends et al. 1999, Montero et al. 1999), σύμφωνα με τις οποίες, η προσθήκη των ψαριών στο σύστημα έγινε με διαχωρισμό των δυο ειδών σε ομάδες των 10 ατόμων σε ειδικούς διάτρητους κλωβούς, που κατασκευάστηκαν, διαστάσεων 30x30x30 cm, προκειμένου ο τελικός αριθμός ψαριών σε κάθε ενυδρειοπονικό σύστημα αθροιστικά να είναι 20.

2.4. Διάρκεια Πειράματος – Χορήγηση τροφής και σιτηρέσιο

Όπως προαναφέρθηκε, αξιοποιήθηκαν 9 αυτόνομα ενυδρειοπονικά συστήματα και πραγματοποιήθηκε διαχωρισμός αυτών σε τρεις, διαφορετικές μεταχειρίσεις. Οι τρεις μεταχειρίσεις διέφεραν ως προς τη συχνότητα σίτισης και διαμορφώθηκαν προκειμένου να γίνει αισθητή η διαφορά του επιπέδου ανάπτυξης τόσο του φυτού όσο και των ιχθύων υπό διαφορετικές συνθήκες μεταχείρισης. Η ομαδοποίηση των συστημάτων σε τρία ανά μεταχείριση επιλέχθηκε με σκοπό την αποφυγή ατυχών ή ανεπιθύμητων συνθηκών που θα οδηγούσαν στη κατάρρευση του πειράματος αλλά και στην πιο έγκυρη επιβεβαίωση των αποτελεσμάτων. Κατά τη διάρκεια των εβδομήντα δύο ημερών του πειράματος τα ψάρια σιτίζονταν μέχρι κορεσμού (Grigorakis & Alexis 2005). Η χορήγηση της τροφής πραγματοποιούνταν με το χέρι σε 3 γεύματα την ημέρα. Κατά τη διάρκεια του ταΐσματος γινόταν παρατήρηση της συμπεριφοράς των ψαριών.

Οι διαφορετικές συνθήκες μεταχείρισης τηρήθηκαν για το πρώτο μήνα του πειράματος (18/06/2022-19/07/2022), ενώ στο υπόλοιπο χρονικό διάστημα όλοι οι ιχθύες και των εννέα συστημάτων σιτίζονταν καθημερινά τρεις φορές την ημέρα. Στη πρώτη πειραματική μεταχείριση χορηγούνταν τροφή επτά φορές την εβδομάδα, τρεις φορές την ημέρα με διαφορά τεσσάρων ωρών. Η πειραματική αυτή μεταχείριση αποτελούσε την ομάδα ελέγχου (μεταχείριση A, Control). Στη δεύτερη πειραματική μεταχείριση χορηγούνταν τροφή κάθε τρεις μέρες, τρεις φορές την ημέρα με διαφορά τεσσάρων ωρών. Στη συνέχεια ακολουθούσε τετραήμερη ασιτία και επανασίτιση (μεταχείριση B). Στη τρίτη και τελευταία πειραματική μεταχείριση τροφή χορηγούνταν ανά εβδομάδα, τρεις φορές την ημέρα με διαφορά τεσσάρων ωρών. Στη συνέχεια ακολουθούσε επταήμερη ασιτία και επανασίτιση (Wu et al. 2021, Ziegelbecker & Sefc 2021). Η τρίτη πειραματική μεταχείριση χαρακτηρίστηκε ως μεταχείριση μερικής ασιτίας (μεταχείριση C).

Η περίοδος ασιτίας που εφαρμόστηκε επιλέχτηκε σύμφωνα με πειράματα άλλων ερευνητών αλλά και λόγω της έλλειψης βιβλιογραφίας σχετικά με την αντίδραση της *Salicornia europaea* σε τέτοιου είδους διαχείριση. Παρόμοια πειράματα, σχετικά με την αντισταθμιστική ικανότητα των ιχθύων, πραγματοποιήθηκαν με περίοδο ασιτίας πέντε (5) και δέκα (10) ημερών (Nebo et al. 2013) ή επτά (7) και δεκατεσσάρων (14) ημερών (Peres et al. 2011), ενώ δεν βρέθηκαν πειράματα που να αφορούν την ανάπτυξη κάποιου φυτού σε συνθήκες ανάπτυξης αντιστάθμισης σε συστήματα ενυδρειοπονίας.

Το πειραματικό σιτηρέσιο που χρησιμοποιήθηκε περιείχε κυρίως εντομάλευρο μαύρης μύγας *Hermetia illucens* (Πιν. 2). Η χρήση των εντόμων σε ιχθυοτροφές, ζωοτροφές και τροφές που καταναλώνει ο άνθρωπος, τα τελευταία χρόνια, είναι αρκετά διαδεδομένη και παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον, κυρίως λόγω της υψηλής διατροφικής τους αξίας και του σχετικά χαμηλού κόστους εκτροφής τους (Stathoroulou et al. 2022).

Πίνακας 2 Χημική σύσταση πειραματικού σιτηρεσίου

Χημική σύσταση τροφής	%
Πρωτεΐνες	43,728±0.021
Λιπαρές ουσίες	15,256 ±0.316
Υδατάνθρακες ¹	2,332
Ενέργεια	23,202±0.092
Υγρασία	9.552±0.029

Τέφρα	5,93±0.036
-------	------------

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

2.5. Υπολογισμός Κατανάλωση τροφής

Η κατανάλωση της τροφής υπολογίζονταν καθημερινά, πριν από το πρώτο πρωινό τάισμα. Αρχικά, γίνονταν συλλογή δείγματος (σιφονισμός) των περιττωμάτων των ιχθύων και της εναπομείνουσας μη ληφθείσας τροφής που περιέχονταν στο εκάστοτε ενυδρείο των ψαριών και διήρκτησε 30 ημέρες (τον πρώτο μήνα της εκτροφής).

Έπειτα από τη συλλογή τους πραγματοποιούνταν διαχωρισμός των κοπράνων και των υπολειμμάτων της τροφής, στο εργαστήριο με σκοπό τον υπολογισμό της ημερήσιας κατανάλωσης τροφής. Ο σιφονισμός πραγματοποιούνταν με βάση το πρόγραμμα ταΐσματος κάθε πειραματικής ομάδας. Η ακατανάλωτη τροφή διαχωρίζονταν από τα απεκκρίματα των ιχθύων και στη συνέχεια αποξηραίνονταν και τα δύο σε φούρνο στους 105°C για τουλάχιστον 24 ώρες. Έπειτα από την αποξήρανση επαναζυγίζονταν και καταγράφονταν τα βάρη τους για τον υπολογισμό της υγρασίας. Η διαδικασία απομάκρυνσης των υπολειμμάτων τροφής και των απεκκριμάτων περιλάμβανε τη διήθηση του δείγματος σε πλαγκτονικό δίκτυο με άνοιγμα ματιού 0,5-0,2 mm και πολύ καλό ξέπλυμα των δειγμάτων με απιονισμένο νερό, για την απομάκρυνση ενδεχόμενων υπολειμμάτων αλατιού. Ο διαχωρισμός των απεκκριμάτων από την μη προσληφθείσα τροφή γίνονταν μακροσκοπικά με βάση το σχήμα και το χρωματισμό με τη βοήθεια πιπέτας τύπου Pasteur.

Η κατανάλωση της τροφής υπολογίστηκε από την παρακάτω σχέση:

$$KT(g)=[\Xi O_{\text{χορηγ. τροφής}} - (\Xi O_{\text{χορηγ. τροφής}} * \Sigma\Delta/100)] - \Xi O_{\text{εναπομ. τροφής}} \quad (1)$$

Όπου,

$\Sigma\Delta$, ο συντελεστής διόρθωσης

Η ποσότητα της τροφής, που χορηγήθηκε κατά τη διάρκεια δύο διαδοχικών ταΐσμάτων εκτιμήθηκε από το συντελεστή διόρθωσης. Στη συνέχεια πραγματοποιούνταν υπολογισμός της ξηρής και υγρής ουσίας με σκοπό το προσδιορισμό της καταναλωθείσας τροφής. Για τον υπολογισμό της διαλυτότητας της τροφής στο νερό, η τροφή προστίθεται και διαλύεται στο νερό κατά την παραμονή της και έπειτα υπολογίζεται απόπρο-ζυγισμένη ποσότητα 10 συμπύκτων που

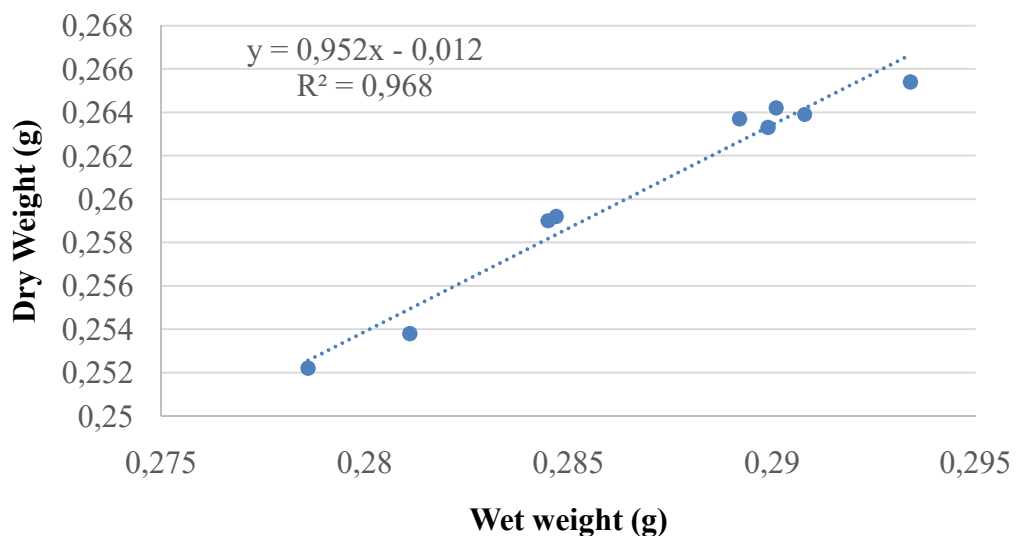
προστίθενται και αφήνονται για 24 ώρες στο νερό και επαναζυγίζονται. Το συντελεστή διόρθωσης (ΣΔ) αποτέλεσε η ποσοστιαία (%) διαφοροποίηση και αυτός υπολογίστηκε από τον τύπο:

$$\Sigma\Delta = [100 \times (\Xi O_{\text{χορηγούμενης τροφής}} - \Xi O_{\text{τροφής μετά από 24 ώρες}})] / \Xi O_{\text{χορηγούμενης τροφής}} \quad (2)$$

Η σχέση μεταξύ ξηρής ουσίας (ΞΟ) και υγρής ουσίας (ΥΟ) συμπηκτου καθορίστηκε μέσω γραμμικών συσχετίσεων σύμφωνα με το Σχήμα 1 και δίνεται από τη γραμμική σχέση:

$$\Xi O_{\text{σύμπηκτου}} \text{ (g)} = 0,952 \times \Upsilon O_{\text{σύμπηκτου}} + 0,012 \quad (3)$$

($R^2=0,968$, $n=10$).



Σχήμα 1. Υπολογισμός της σχέσης ξηρής και υγρής ουσίας σύμπηκτου

2.6. Μορφομετικά χαρακτηριστικά ιχθύων και φυτών

Με την έναρξη του πειράματος λήφθηκαν δείγματα αρχικού βάρους και ολικού μήκους των ιχθύων (τσιπούρα-λαβράκι) που χρησιμοποιήθηκαν στην πειραματική διαδικασία. Κάθε δεκαπέντε (15) ημέρες πραγματοποιούνταν καταμέτρηση του ολικού βάρους (W) και του ολικού μήκους σώματος των ιχθύων. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με χρήση αναισθητικού της τάξης 0,2 ml/LMS 222, όπου οι ιχθύες τοποθετούνταν σε λουτρό αναισθητικού μέχρι την αναισθητοποίησή τους και τη λήψη των μετρήσεων. Τα ψάρια συλλέγονταν από τη δεξαμενή που βρίσκονταν και με τη βοήθεια απορροφητικού χαρτιού, προκειμένου να αφαιρεθεί η περίσσια υγρασία, μετρούνταν το μήκος τους με τη χρήση ιχθυόμετρου. Με την ολοκλήρωση της μέτρησης μήκους ξεκινούσε το ζύγισμα. Η μέτρηση του βάρους γινόταν με ζυγαριά ακριβείας δύο δεκαδικών, επάνω στην οποία είχε τοποθετηθεί πετρί. Μετά το πέρας της διαδικασίας της μέτρησης τα ψάρια τοποθετούνταν σε

καθαρό νερό αλατότητας 12 ppt και πλούσιο σε οξυγόνο και διατηρούνταν εκεί μέχρι την ανάνησή τους (περίπου 5-8 λεπτά). Στη συνέχεια τα ψάρια μεταφέρονταν στα ενυδρεία εκτροφής τους. Επίσης κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας λήφθηκαν μετρήσεις μορφομετρικών χαρακτηριστικών κάθε 15 ημέρες μέχρι τη λήξη του πειράματος. Συνολικά λήφθηκαν 6 δειγματοληψίες (D0, D15, D30, D45, D60, D72).

Τα μορφολογικά χαρακτηριστικά του φυτού εξετάστηκαν αρχικά, την ημέρα τοποθέτησης τους στο σύστημα. Κάθε δέκα (10) ημέρες επαναλαμβανόταν η παρατήρηση ανάπτυξης της *Salicornia europaea* με ελέγχους υγιών και ξερών κλαδιών. Για τη μέτρηση των μορφομετρικών χαρακτηριστικών των φυτών σαλικόρνιας, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις του νωπού βάρους. Στο τέλος του πειράματος μετρήθηκε η τελική βιομάζα των φυτών και το ριζικό σύστημα.

2.7. Χημικές αναλύσεις σύστασης

Παρακάτω παρατίθενται τα πρωτόκολλα που ακολουθήθηκαν για τον προσδιορισμό της χημικής σύστασης των ιστών των ιχθύων, των τροφών και της σαλικόρνιας οι οποίες έλαβαν χώρα στο Εργαστήριο Φυσιολογίας του Τμήματος Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

2.7.1. Προσδιορισμός υγρασίας και ξηρής ουσίας δείγματος

Για το προσδιορισμό της υγρασίας και της ξηρής ουσίας ενός δείγματος χρησιμοποιήθηκαν μικροί μεταλλικοί δίσκοι ή κάψες πορσελάνης ή χειροποίητες κατασκευές από αλουμινόχαρτο.

Αρχικά σε ζυγό ακριβείας, ζυγίζονταν το βάρος από κάθε κάψα (W_{δισκίου}). Στη συνέχεια ο ζυγός μηδενίζονταν και ζυγίζονταν 1 g δείγματος (W_{αρχικού δείγματος}). Τα σκεύη με τα δείγματα τοποθετούνταν σε πυραντήριο για 24 ώρες στους 105°C (AOAC 1990). Στη συνέχεια, τα δοχεία με τα δείγματα έβγαιναν από το πυραντήριο, αφήνονταν στο ξηραντήριο να κρυώσουν και έπειτα ζυγίζονταν (W_{ξηρού (τελικού) δείγματος & δισκίου}). Το ποσοστό της υγρασίας και της ξηρής ουσίας κάθε δείγματος υπολογίζονταν με τις παρακάτω εξισώσεις:

$$W_{\text{ξηρού δείγματος (g)}} = W_{\text{ξηρού (τελικού) δείγματος \& δισκίου (g)}} - W_{\text{δισκίου (g)}} \quad (4)$$

$$\text{Ξηρά Ουσία (\%)} = (W_{\text{ξηρού δείγματος (g)}} / W_{\text{αρχικού δείγματος (g)}}) \times 100 \quad (5)$$

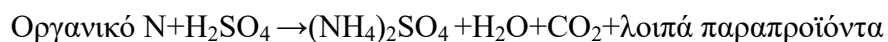
$$\text{Υγρασία (\%)} = 100 - \text{Ξηρά ουσία (\%)} \quad (6)$$

2.7.2 Προσδιορισμός ολικών αζωτούχων ενώσεων (πρωτεΐνης)

Ο προσδιορισμός των ολικών αζωτούχων ενώσεων πραγματοποιήθηκε με την μέθοδο Kjeldahl. Έπειτα από το προσδιορισμό των ολικών αζωτούχων ουσιών πραγματοποιείτε ο προσδιορισμός των ολικών πρωτεϊνών πολλαπλασιάζοντας την περιεκτικότητα του δείγματος σε άζωτο με έναν παράγοντα μετατροπής. Κατά μέσο όρο, οι πρωτεΐνες περιέχουν 16% άζωτο, έτσι η περιεκτικότητα σε άζωτο πολλαπλασιάζεται με το 6,25 (100/16). Σύμφωνα με τη μέθοδο Kjeldahl ο προσδιορισμός των ολικών αζωτούχων ενώσεων περιλαμβάνει τα στάδια της πέψης, της απόσταξης και της τιτλοδότησης.

Στάδιο πέψης

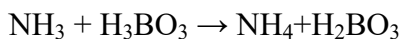
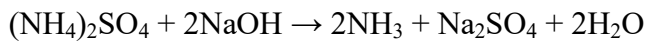
Απαραίτητες για την έναρξη της διαδικασίας είναι οι φιάλες βρασμού όπου θα πραγματοποιηθεί η πέψη. Το σετ περιλαμβάνει 12 φιάλες από τις οποίες η πρώτη είναι πάντοτε κενή και έχει το ρόλο του μάρτυρα. Δηλαδή σε αυτή τοποθετούνται όλα τα χημικά, χωρίς την ύπαρξη δείγματος. Στη συνέχεια μέσα σε άλλη φιάλη βρασμού πέψης τοποθετούνται 2 ταμπλέτες καταλύτη Kjeldahl. Προκειμένου να υπολογιστεί το βάρος του δείγματος τοποθετείται σε ζυγό ακριβείας ένα μικρό κομμάτι αλουμινόχαρτο, καταγράφεται το βάρος του και ο ζυγός μηδενίζεται. Σε αλουμινόχαρτο ζυγίζονται 0,2 g (200 mg) ξηρού δείγματος και καταγράφεται το βάρος του. Με την ολοκλήρωση του ζυγίσματος τοποθετείται το δείγμα στην εκάστοτε φιάλη, μέσω του αλουμινόχαρτου, προσέχοντας να μπει όσο το δυνατόν περισσότερο δείγμα μέσα. Στη συνέχεια τοποθετείτε ξανά στο ζυγό το αλουμινόχαρτο, δίχως να μηδενιστεί ο ζυγός και καταγράφεται το βάρος του. Εάν η τιμή του βάρους είναι 0, τότε έχει τοποθετηθεί στη φιάλη όλο το δείγμα, ενώ εάν έχει θετικό αριθμό, θα πρέπει να αφαιρεθούν από τη μέτρηση του καθαρού βάρους δείγματος, τα γραμμάρια που έχουν απομείνει στο αλουμινόχαρτο, ώστε να βρεθεί το πραγματικό βάρος του δείγματος. Κατόπιν στις φιάλες βρασμού προσθέτονται 15 ml πυκνό θειικό οξύ (H₂SO₄ 96%) και τοποθετούνται στη συσκευή πέψης Kjeldahl, προκειμένου, με την παρουσία θερμότητας (150°C για 85 min), να πραγματοποιηθεί η πέψη του δείγματος και να διασπαστούν οι αζωτούχες ενώσεις απελευθερώνοντας το άζωτο (N) του δείγματος, το οποίο δεσμεύεται σε θειικό αμμώνιο ((NH₄)₂SO₄), σύμφωνα με τη χημική αντίδραση:



Κατά την πραγματοποίηση της πέψης είναι ανοιχτή τόσο η παγίδα αερίων όσο και ο επαγωγός. Με το πέρας της διαδικασίας οι φιάλες αφήνονται να κρυώσουν και να σταματήσουν οι αναθυμιάσεις με ενεργή την παγίδα αερίων για περίπου 30 min.

Στάδιο απόσταξης

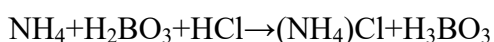
Κατά την απόσταξη το θειικό αμμώνιο ((NH₄)₂SO₄) αντιδρά με το υδροξείδιο του νατρίου (NaOH) με αποτέλεσμα η αμμωνία (NH₃) και το θειικό νάτριο (Na₂SO₄) να αποδεσμεύονται. Στη συνέχεια η αμμωνία (NH₃) αντιδρά με το βορικό οξύ (H₃BO₃) και το άζωτο (N) του δείγματος δεσμεύεται υπό τη μορφή του βορικού αμμωνίου, σύμφωνα με τις αντιδράσεις:



Απαραίτητο για την πραγματοποίηση της απόσταξης είναι ο έλεγχος στα χημικά που χρησιμοποιούνται για την απόσταξη και στο απιονισμένο νερό, όπου κάθε φορά που γίνεται η διαδικασία προσθέτουμε φρέσκο. Έπειτα η συσκευή τοποθετείται στην παροχή ρεύματος και ανοίγει η παροχή νερού. Εφόσον ανοίξει η συσκευή από το διακόπτη πρέπει να γίνει ο καθαρισμός της συσκευής απόσταξης. Ο καθαρισμός πραγματοποιείται τοποθετώντας μία άδεια φιάλη βρασμού στην ειδική υποδοχή και μία άδεια κωνική φιάλη (250 ml). Κατόπιν μπαίνει σε λειτουργία το πρόγραμμα 3 δύο φορές, αδειάζουν με προσοχή οι φιάλες στον νεροχύτη κρατώντας τη βρύση λίγο ανοιχτή και μπαίνει σε λειτουργία το πρόγραμμα 9 ακόμη δύο φορές (έπειτα από κάθε φορά πρέπει να αδειάζει η φιάλη βρασμού). Με την ολοκλήρωση της διαδικασίας οι φιάλες πλένονται με νερό και σαπούνι. Στη συνέχεια η συσκευή είναι έτοιμη για να αποσταχθούν τα δείγματα. Οι φιάλες μετά την πέψη τοποθετούνται με τη σειρά στη συσκευή απόσταξης, με πρώτη την φιάλη μάρτυρα. Στη συσκευή τοποθετείται και κωνική φιάλη (250 ml) με τρεις ή τέσσερις σταγόνες δείκτη κόκκινο του μεθυλίου και ξεκινάει το πρόγραμμα 1, όπου διαδοχικά στη φιάλη βρασμού τοποθετούνται 100 ml απιονισμένου νερού, 80 ml NaOH (40%) και 50 ml H₃BO₃ (4%). Ο συνολικός χρόνος της απόσταξης είναι 300 min και με το πέρας τους το βορικό αμμώνιο συγκεντρώνεται στην κωνική φιάλη με το δείκτη. Το διάλυμα στη φιάλη βρασμού αδειάζει με προσοχή και με τη βοήθεια γαντιού σιλικόνης, λόγω της ιδιαίτερα υψηλής θερμοκρασίας, στο νιπτήρα παρουσία ήπιας ροής νερού και έπειτα η φιάλη πλένεται.

Στάδιο τιτλοδότησης

Σε αυτό το στάδιο το βορικό αμμώνιο σε αντίδραση εξουδετέρωσης με το υδροχλώριο (HCl) παρουσία δείκτη (κόκκινο του μεθυλίου) φθάνει στο τελικό σημείο της αντίδρασης



Η συγκέντρωση των ιόντων υδρογόνου (H⁺) που απαιτούνται για την κατάλυση της αντίδρασης έως το τελικό σημείο ισοδυναμεί με τη συγκέντρωση του περιεχόμενου στο δείγμα αζώτου (N).

Για την επίτευξη της τιτλοδότησης η κωνική φιάλη που περιέχει το δείκτη και το βορικό αμμώνιο τοποθετείται σε μαγνητικό αναδευτήρα συνεχούς ανάδευσης (στις 40 στροφές) και έπειτα με αργό ρυθμό προστίθεται με γυάλινη πιπέτα του 1 mL(για το μάρτυρα) ή 10 mL(για τα δείγματα) υπό μορφή σταγόνας, ποσότητα δεκατονικού διαλύματος υδροχλωρίου (HCl 0.1N) έως ότου το διάλυμα αλλάξει και σταθεροποιήσει το χρώμα του. Η ποσότητα του υδροχλωρίου (HCl) που χρειάστηκε για την αλλαγή και τη σταθεροποίηση του χρώματος καταγράφεται. Η συγκέντρωση του αζώτου που περιέχει το δείγμα, ισοδυναμεί με τη συγκέντρωση (σε moles) των ιόντων υδρογόνου που είναι απαραίτητα προκειμένου να καταλύσουν την αντίδραση μέχρι το τελικό σημείο. Με την αλλαγή στο χρώμα του δείκτη καταδεικνύετε το τελικό σημείο για την αντίδραση. Η περιεκτικότητα του δείγματος σε άζωτο (N %), υπολογίζεται σύμφωνα με τη σχέση που υποδεικνύετε παρακάτω.

$$N = [(mLHCl_{\text{δείγματος}} - mLHCl_{\text{κενού}}) * 0,8754] / (\text{Βάρος δείγματος (g)}) \quad (7)$$

Όπου,

$mLHCl_{\text{κενού}}$: τα mL HCl της τιτλοδότησης της κενής φιάλης-μάρτυρα (η οποία χρησιμοποιείται ως συντελεστής διόρθωσης) και

οι πρωτεΐνες υπολογίστηκαν από τη σχέση $\%P = 6.25 * N$

2.7.3. Προσδιορισμός ολικών λιπιδίων

Ο υπολογισμός των ολικών λιπιδίων έγινε με τη μέθοδο Soxhlet. Σε γυάλινα δοχεία εκχύλισης τοποθετήθηκαν 3 ηφαιστιακές πέτρες βρασμού. Με γάντια ή με τη χρήση χαρτιού προκειμένου να αποφευχθεί η επιμόλυνση από το λίπος των δακτυλικών αποτυπωμάτων, τα δοχεία με τις πέτρες ζυγίζονται σε ζυγό ακριβείας. Με την ολοκλήρωση του ζυγίσματος, στο εκάστοτε δοχείο τοποθετείται χάρτινο δοχείο ηθμού και μηδενίζεται ο ζυγός. Μέσα στον χάρτινο ηθμό ζυγίζεται 1 g ξηρού δείγματος, με τη βοήθεια μιας σπάτουλας και προσέχοντας να μην πέσει δείγμα εντός του γυάλινου δοχείου. Καθώς το τελευταίο δοχείο είναι ο μάρτυρας, ζυγίζεται με τις πέτρες και τοποθετείται ο ηθμός, χωρίς να προστεθεί δείγμα. Σε όλα τα δοχεία προστίθενται 140 mL πετρελαϊκού αιθέρα και τοποθετούνται στη συσκευή Soxhlet. Προκειμένου να ανοίξει η συσκευή, ανοίγει η παροχή νερού, η παροχή ρεύματος της αντλίας, η παροχή ρεύματος της συσκευής και η παροχή ρεύματος του Multistat (controller). Έπειτα ανοίγει η αντλία και ρυθμίζεται στην ένδειξη 4. Σε αυτό το στάδιο ανοίγει το τζάμι της συσκευής Soxhlet και μπορούν

να τοποθετηθούν τα δοχεία με τα δείγματα. Από το Multistat ενεργοποιείται το πρόγραμμα της εκχύλισης, το οποίο έχει ως εξής:

Στο αρχικό στάδιο της εκχύλισης το δείγμα θερμαίνεται στους 150°C υπό την παρουσία του διαλύτη (πετρελαϊκός αιθέρας), ενώ στη συνέχεια ο διαλύτης απορροφάται και εκπλάινεται σε διάρκεια 90 min. Στο επόμενο στάδιο της εκχύλισης ο διαλύτης απορροφάται για 15 min με αποτέλεσμα τη συγκέντρωση των λιπιδίων στον πυθμένα του γυάλινου δοχείου. Με την ολοκλήρωση της διαδικασίας αφαιρούνται με προσοχή και με γάντια ή ένα κομμάτι χαρτί τα γυάλινα δοχεία από τη συσκευή Soxhlet, έπειτα αφαιρούνται οι ηθμοί και τοποθετούνται τα γυάλινα δοχεία (με τις πέτρες βρασμού και το λίπος) στο πυραντήριο στους 75°C για 15-30 min, προκειμένου να εξατμιστεί πλήρως ο πετρελαϊκός αιθέρας που τυχόν παρέμεινε στο δείγμα. Κατόπιν τα γυάλινα δοχεία με το εναπομείναν δείγμα μεταφέρονται στο ξηραντήριο έως ότου κρυώσουν. Αφού κρυώσουν ζυγίζονται, μαζί με τις πέτρες βρασμού και καταγράφεται το βάρος τους. Με την ολοκλήρωση της διαδικασίας καθαρίζονται, τα γυάλινα δοχεία, με ζεστό νερό και σαπούνι, οι πέτρες μόνο με ζεστό νερό και οι χάρτινοι ηθμοί με ένα πινέλο. Η περιεκτικότητα των δειγμάτων σε ολικά λιπίδια υπολογίζεται σύμφωνα με τη παρακάτω σχέση.

$$\text{Ολικά λιπίδια (\%)} = [\text{W}_{\text{τελικό δοχείου εκχύλισης}} (\text{g}) - \text{W}_{\text{αρχικό δοχείου εκχύλισης}} (\text{g})] * 100 \quad (8)$$

Όπου,

W_{τελικό δοχείου εκχύλισης}: τελικό βάρος δοχείου εκχύλισης και

W_{αρχικό δοχείου εκχύλισης}: αρχικό βάρος δοχείου εκχύλισης

2.7.4. Προσδιορισμός ολικής ενέργειας

Ο προσδιορισμό της ολικής ενέργειας των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με τον υπολογισμό του αθροίσματος των επιμέρους ολικών ενεργειών που προσφέρει κάθε θρεπτικό συστατικό (πρωτεΐνη, λίπος, υδατάνθρακες) σύμφωνα με τους συντελεστές 23,6 (Mj/Kg) για τις πρωτεΐνες, 38,9 (Mj/Kg) για τα λιπίδια και 16,7 (Mj/Kg) για τους υδατάνθρακες (Atienza et al. 2004). Ο προσδιορισμός του ποσοστού υδατανθράκων εκτιμήθηκε σύμφωνα με τη παρακάτω σχέση

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

2.7.5. Προσδιορισμός τέφρας

Για των προσδιορισμό της τέφρας χρησιμοποιήθηκαν πυρίμαχες πορσελάνινες κάψες οι οποίες ζυγίζονται και καταγράφονται το βάρος τους. Αφού μηδενίζοταν η ζυγαριά, τοποθετούνταν τα σκεύη και ζυγίζονταν περίπου 1 g δείγματος. Στη συνέχεια, τα σκεύη τοποθετούνταν στον αποτεφρωτήρα στους 600°C για τουλάχιστον 3 ώρες. Μετά το πέρας της διαδικασίας τα δείγματα αφαιρούνται από τον αποτεφρωτήρα και εφόσον είχαν επανέλθει σε θερμοκρασία δωματίου, ζυγίζονταν εκ νέου και καταγράφονταν το βάρος τους. Η περιεκτικότητα του δείγματος σε τέφρα (%) υπολογίστηκε από τον παρακάτω τύπο:

$$\text{Τέφρα (\%)} = (W_{\text{τέφρας}} (\text{g}) * 100) / W_{\text{δείγματος}} (\text{g}) \quad (10)$$

W_{τέφρας}: Βάρος τέφρας

W_{δείγματος}: Βάρος αρχικά ζυγισμένου δείγματος

*Η εκτιμώμενη σε γραμμάρια (g) τιμή μετατρέπεται σε ποσοστό επί τις εκατό (%) σύμφωνα με την συνθήκη ότι αν π.χ. έχουμε 2 g/Kg τότε,

$$2\text{g/Kg} = 2\text{g}/1000\text{Kg} = 0,2\text{g}/100\text{g} = 0,2\%$$

2.8. Δείκτες ανάπτυξης ιχθύων (*Sparus aurata*, *Dicentrarchus labrax*)

Η ανάπτυξη και η αξιοποίηση της τροφής υπολογίστηκαν με βάση τους δείκτες που ακολουθούν από τις παρακάτω μαθηματικές σχέσεις (Karapanagiotidis et al. 2022, Μεντέ & Νέγκας 2011, Bahadir Koca et al. 2009, Παπουτσόγλου 2008):

Επιβίωση (%):

$$S (\%) = (\text{Τελικός αριθμός ψαριών/αρχικός αριθμός ψαριών}) * 100 \quad (11)$$

Ειδικός ρυθμός ανάπτυξης (SGR):

$$\text{SGR (\%/ημέρα)} = [(\text{Ln} (W_f) - \text{Ln} (W_i)) * 100] / \text{ημέρες σίτισης} \quad (12)$$

όπου: W_f = Τελικό βάρος (gr) και W_i = Αρχικό βάρος (gr)

Κατανάλωση τροφής (FC)

$$\text{KT(g)} = [\text{ΞO}_{\text{χορηγ. τροφής}} - (\text{ΞO}_{\text{χορηγ. τροφής}} * \Sigma\Delta/100)] - \text{ΞO}_{\text{εναπομ. τροφής}} \quad (13)$$

Όπου,

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

και

$$\Xi O_{\text{σύμπληκτου}} \text{ (g)} = 0,952 \times Y O_{\text{σύμπληκτου}} + 0,012$$

Ημερήσια πρόσληψη τροφής (DFI, %/d):

$$\text{DFI (daily food intake)} = 100 * [(\text{Κατανάλωση τροφής/αύξηση βάρους})/\text{ημέρες σίτισης}] \quad (14)$$

Ημερήσια κατανάλωση τροφής (daily food consumption)

$$\text{DFC (g/day)} = \text{FC}/\text{ημέρες} \quad (15)$$

$$\text{DFC (\%σβ)} = (\text{DFC (g/day)}/\text{αρχικό βάρος}) * 100 \quad (16)$$

$$\text{DFC (g/gσβ)} = \text{DFC (\% σβ)}/100 \quad (17)$$

Συντελεστές αξιοποίησης τροφής (FCR):

$$\text{FCR (food conversion ratio)} = \text{κατανάλωση τροφής (g)}/\text{αύξηση βάρους (g)} \quad (18)$$

Συντελεστής Φαινομενικής πεπτικότητας:

$$\text{Φαινομενική Πεπτικότητα} = 100 - 100 * (\text{ποσότητα θρεπτικού κοπράνων}/\text{ποσότητα θρεπτικού τροφής}) \quad (19)$$

2.8. Δείκτες ανάπτυξης σαλικόρνιας (*Salicornia europaea*)

Η ανάπτυξη της σαλικόρνιας υπολογίστηκε σύμφωνα με μετρήσεις της τελικής βιομάζας των φυτών του υπέργειου τμήματος του φυτού (βλαστός) και του ριζικού συστήματος.

2.8. Στατιστική ανάλυση

Για τη στατιστική ανάλυση των δεδομένων που προέκυψαν από τη πειραματική διαδικασία (ανάπτυξη ιχθύων (τσιπούρα-λαβράκι) και της σαλικόρνιας) σε ενυδρειοπονικό σύστημα καλλιέργειας) χρησιμοποιήθηκε η ανάλυση διακύμανσης μονής κατεύθυνσης (one way ANOVA) με επίπεδο σημαντικότητας 5% ($p > 0.05$). Ο έλεγχος της κανονικότητας έγινε με το Kolmogorov-Smirnov test, ενώ η ομοιογένεια και η παραλλακτικότητα των μέσων όρων έγινε με τη βοήθεια των Levene's test. Η σύγκριση των διαφορών των μέσων όρων των διαφόρων παραμέτρων προέκυψε με τη χρήση των Tukey και Tukey-b test (Γναρδέλλης 2022, Zar 1999). Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται ως μέσος όρος και τυπικό σφάλμα ($MO \pm SEM$), ενώ για η ανάλυση των δεδομένων έγινε με τη βοήθεια του στατιστικού πακέτου SPSS 27.

Αποτελέσματα



3.1. Επιβίωση

Η επιβίωση στο τέλος της πειραματικής διαδικασίας (72 ημέρες) διακυμάνθηκε σε υψηλά επίπεδα. Πιο συγκεκριμένα για την ομάδα Α και Β ήταν 100% ενώ για την ομάδα C ήταν 97%. Η σαλικόρνια (*Salicornia europaea*) παρουσίασε 100% επιβίωση.

3.2. Δείκτες ανάπτυξης και αξιοποίησης της τροφής της τσιπούρας και του λαβρακιού

3.2.1. Ειδικός ρυθμός ανάπτυξης (SGR) της τσιπούρας (*S. aurata*) και του λαβρακιού (*D.labrax*)

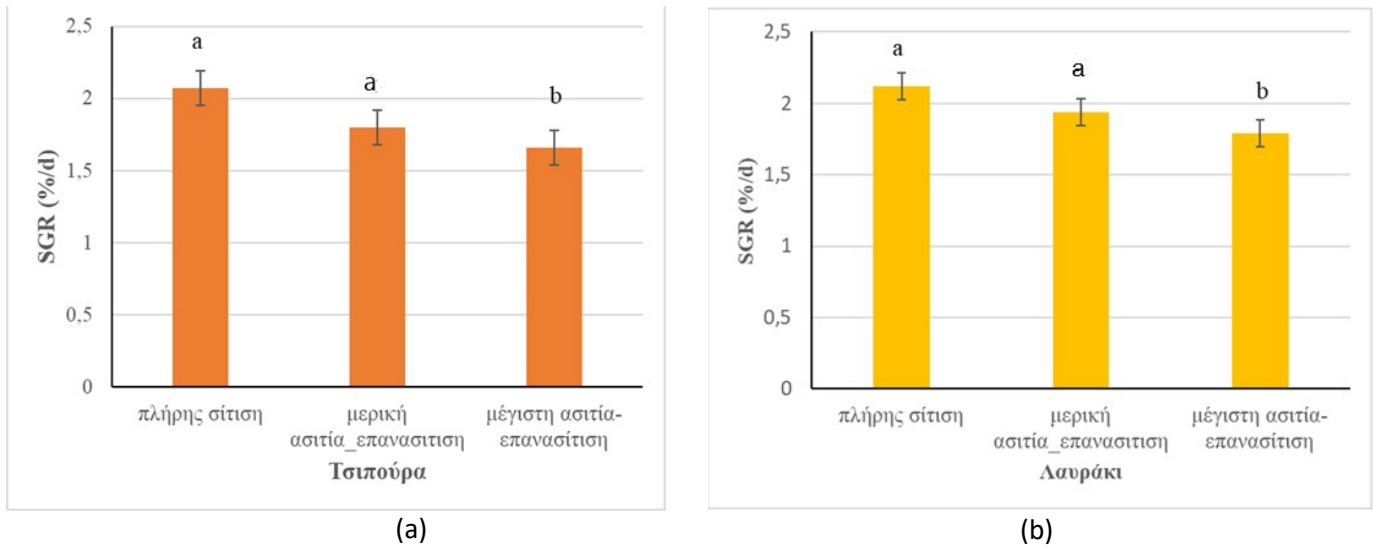
Στον πίνακα 3 παρουσιάζονται οι δείκτες ανάπτυξης της τσιπούρας (*Spraurus aurata*) και του λαβρακιού (*Dicentrarchus labrax*) στα ενυδρειοπονικά συστήματα για χρονικό διάστημα των 72 ημερών, που διήρκησε το πείραμα. Στην έναρξη της πειραματικής διαδικασίας, το μέσο αρχικό βάρος και μήκος των ιχθύων τσιπούρας και λαβρακιού δεν παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές (Πίν.3) Οι ιχθύες στη μεταχείριση Α παρουσίασαν στατιστικά μεγαλύτερο μέσο τελικό βάρος (Πιν.3) συγκριτικά με το μέσο τελικό βάρος της τσιπούρας και του λαβρακιού στις μεταχειρίσεις Β και C, αντίστοιχα (ANOVA, $p < 0,05$). Το μέσο τελικό μήκος των ιχθύων της τσιπούρας και του λαβρακιού δεν παρουσίασε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των πειραματικών μεταχειρίσεων (ANOVA, $p > 0,05$) (Πιν. 3).

Πίνακας 3 Δείκτες επιβίωσης και ανάπτυξης ιχθύων για τις πειραματικές μεταχειρίσεις (Α, Β και C) για το χρονικό διάστημα των 72 ημερών που διήρκησε η εκτροφή.

	<i>S. aurata</i>			<i>D.labrax</i>		
	A	B	C	A	B	C
Επιβίωση (%)	100±0.00 ^a	100±0.00 ^a	97±3.34 ^a	100±0.00 ^a	100±0.00 ^a	97±3.30 ^a
Αρχικό μέσο Βάρος (g)	6.35±0.15 ^a	6.32±0.09 ^a	6.32±0.13 ^a	5.84±0.09 ^a	5.77±0.11 ^a	5.84±0.12 ^a
Τελικό μέσο βάρος (g)	27.09±0.73 ^a	22.38±0.51 ^a	20.64±0.77 ^b	26.05±0.75 ^a	22.50±0.57 ^a	20.55±0.62 ^b
Ειδικός ρυθμός ανάπτυξης (SGR, % /day)	2.07±0.06 ^a	1.80±0.04 ^a	1.67±0.07 ^b	2.0±0.04 ^a	1.80±0.05 ^a	1.66±0.06 ^b
Αρχικό μέσο μήκος (L, cm)	5,73 ± 0,13 ^a	5,86 ± 0,11 ^a	5,77 ± 0,13 ^a	6,35 ± 0,08 ^a	6,34 ± 0,12 ^a	6,37 ± 0,14 ^a
Τελικό μέσο μήκος (L,cm)	11,69 ± 0,56 ^a	11,62±0,65 ^a	10,98±0,49 ^a	12,11±0,40 ^a	11,08±0,24 ^a	11,96±0,36 ^a

Οι μέσοι όροι κάθε παραμέτρου μεταξύ των μεταχειρίσεων που φέρουν τον ίδιο εκθέτη δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές ($p > 0,05$). Οι τιμές παρουσιάζονται ως $MO \pm SEM$. (n=30, n=29).

Ο ειδικός ρυθμός ανάπτυξης SGR παρουσίασε στατιστικά τη μικρότερη τιμή στη μεταχείριση C σε σύγκριση με τις μεταχειρίσεις A και B για την τσιπούρα (Σχ.2a) και το λαβράκι (Σχ.2b), αντίστοιχα που ήταν μεγαλύτερος (ANOVA, $p < 0.05$) (Πιν.3).



Σχήμα 2 Δείκτες ανάπτυξης τσιπούρας και λαβρακιού α) SGRτσιπούρας, β)SGRλαβρακιού. Οι μπάρες σφάλματος δείχνουν την τυπική απόκλιση. Όμοια γράμματα πάνω από τις μπάρες δεν δείχνουν στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των μεταχειρίσεων (ANOVA, $p > 0,05$).

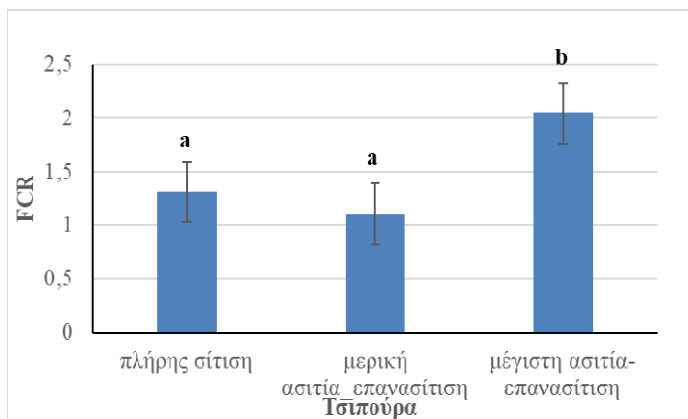
3.2.2 Δείκτες αξιοποίησης και εκμετάλλευσης της τροφής

Οι δείκτες αξιοποίησης και εκμετάλλευσης της τροφής (Πιν. 4) παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές σε όλες τις μεταχειρίσεις και για τα δύο είδη ψαριών στο σύστημα ενυδρείου με πολυκαλλιέργεια (ANOVA, $p < 0,05$). Τόσο οι τσιπούρες όσο και τα λαβράκια παρουσίασαν στατιστικά μεγαλύτερη πρόσληψη τροφής (FI) όταν βρίσκονταν στο πρόγραμμα της μέγιστης σίτισης-επανασίτισης (C) (ANOVA, $p < 0.05$, Πιν.4). Ο δείκτης FCR, ήταν στατιστικά μεγαλύτερος στη μεταχείριση C συγκριτικά με τις μεταχειρίσεις A και B, αντίστοιχα (ANOVA, $p < 0.05$, Πιν.4). Η τσιπούρα και το λαβράκι κατανάλωσαν με προθυμία την τροφή τους, παρουσιάζοντας στατιστικά μεγαλύτερη μέση κατανάλωση στη μεταχείριση C συγκριτικά με τις μεταχειρίσεις A και B (ANOVA, $p < 0.05$, Πιν.4). Η ημερήσια κατανάλωση ήταν στατιστικά μεγαλύτερη στις τσιπούρες και στο λαβράκι της μεταχείρισης C, συγκριτικά με τις μεταχειρίσεις A και B, αντίστοιχα (ANOVA, $p < 0.05$, Πιν.4).

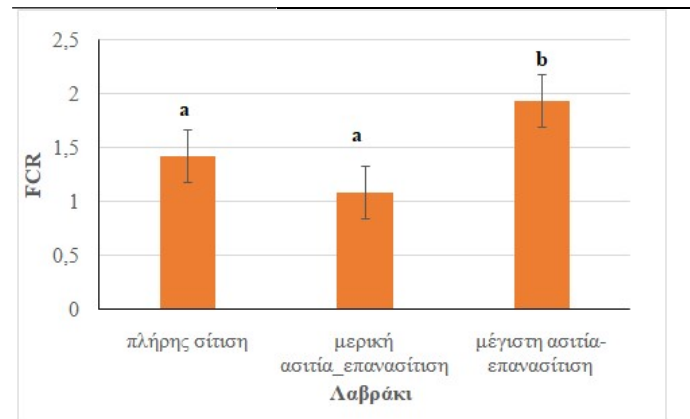
Πίνακας 4. Δείκτες αξιοποίησης και εκμετάλλευσης της τροφής κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας στα ενυδρείονικά συστήματα πολυκαλλιέργειας διάρκειας 72 ημερών.

	<i>S. aurata</i>			<i>D.labrax</i>		
	A	B	C	A	B	C
FC(g)	2.3364±0.00 ^a	1.5468±0.00 ^b	2.1336±0.00 ^c	2.3617±0.00 ^a	1.5724±0.00 ^b	2.1640±0.00 ^c
DFI, (g/day)	0.3895±0.02 ^a	0.6298±0.04 ^b	0.9299±0.06 ^c	0.0414±0.02 ^a	0.6251±0.05 ^b	0.9273±0.05 ^c
DFC, (g/day)	0.0777±0.00 ^a	0.0983±0.00 ^b	0.1218±0.00 ^c	0.0781±0.00 ^a	0.0978±0.00 ^b	0.1235±0.00 ^c
DFC, (% σβ)	1.2469±0.04 ^a	1.5648±0.10 ^b	1.9492±0.07 ^c	1.2341±0.03 ^a	1.5543±0.10 ^b	1.9567±0.06 ^c
DFC, (g/g σβ)	0.0125±0.00 ^a	0.0156±0.00 ^b	0.0195±0.00 ^c	0.0123±0.00 ^a	0.0155±0.00 ^b	0.0196±0.00 ^c
FCR	1.31±0.08 ^a	1.11±0.09 ^a	2.04±1.16 ^b	1.43±0.09 ^a	1.09±0.09 ^a	1.94±0.13 ^b

Οι μέσοι όροι κάθε παραμέτρου μεταξύ των μεταχειρίσεων που φέρουν τον ίδιο εκθέτη δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές ($p>0,05$). Οι τιμές παρουσιάζονται ως $MO\pm SEM$. ($n=30$, $n=29$). Συντομογραφίες FC:κατανάλωση τροφής, DFI:ημερήσια πρόσληψη τροφής (gr/d), DFC: ημερήσια κατανάλωση τροφής % του σ.β των ιχθύων, DFC: ημερήσια κατανάλωση gr/gr σ.β ιχθύων, FCR: συντελεστής μετατρεψιμότητας της τροφής,



(a)



(b)

Σχήμα 3. Δείκτης FCR, (a) τσιπούρα, (b) λαβράκι. Οι μπάρες σφάλματος δείχνουν την τυπική απόκλιση. Όμοια γράμματα πάνω από τις μπάρες δεν δείχνουν στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των μεταχειρίσεων (ANOVA, $p>0,05$).

Αναλυτικότερα, οι ιχθύες της μεταχείρισης A (FCR_{τσιπούρα}: $1,31 \pm 0,081$, FCR_{λαβράκι}: $1,43 \pm 0,090$) και οι ιχθύες της μεταχείρισης B, (FCR_{τσιπούρα}: $1,11 \pm 0,088$, FCR_{λαβράκι}: $1,09 \pm 0,090$) παρουσίασαν στατιστικά μικρότερο δείκτη FCR συγκριτικά με τους ιχθύες της μεταχείρισης C που ήταν στατιστικά μεγαλύτερος (FCR_{τσιπούρα}: $2,04 \pm 0,155$, FCR_{λαβράκι}: $1,94 \pm 0,125$) (ANOVA, $p<0,05$, Πίν.4, Σχ.3).

Η συσχέτιση της ποσοστιαίας ημερήσιας κατανάλωσης τροφής (% gr σωματικό βάρος) των ιχθύων τσιπούρας και λαβρακιού της κάθε μεταχείρισης (A, B, C) για το σύνολο των 72 πειραματικών ημερών εκτροφής αποδίδεται γραμμικά σύμφωνα (Σχ.5 & 6) με τις παρακάτω μαθηματικές εξισώσεις που περιγράφουν τα υποδείγματα γραμμικής παλινδρόμησης (1, 2, 3, 4, 5, 6):

Για την τσιπούρα:

Ημερήσια Κατανάλωση τροφής (DFC, % σβ) A (*Sparus aurata*)= 2,41 - 0,18*Μέσο αρχικό Βάρος, ($R^2=0,963$, $r=-0.982$) (1)

Ημερήσια Κατανάλωση τροφής (DFC, % σβ) B (*Sparus aurata*)= 3,2 - 0,26* Μέσο αρχικό Βάρος, ($R^2=0,984$, $r=-0.992$) (2)

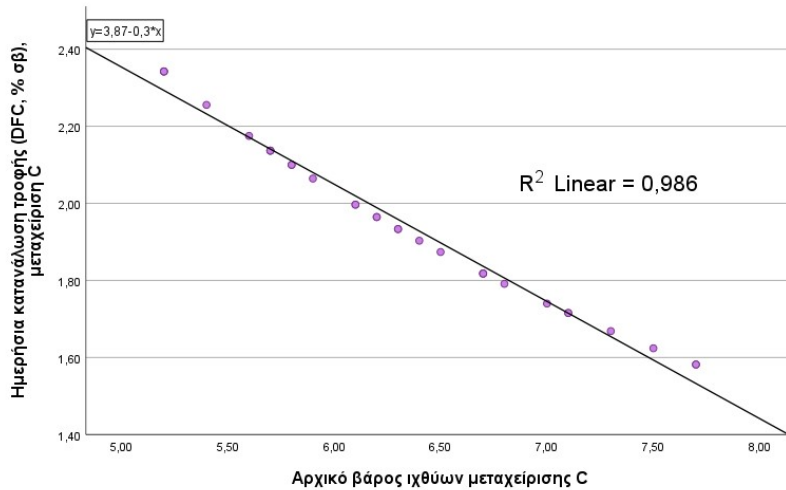
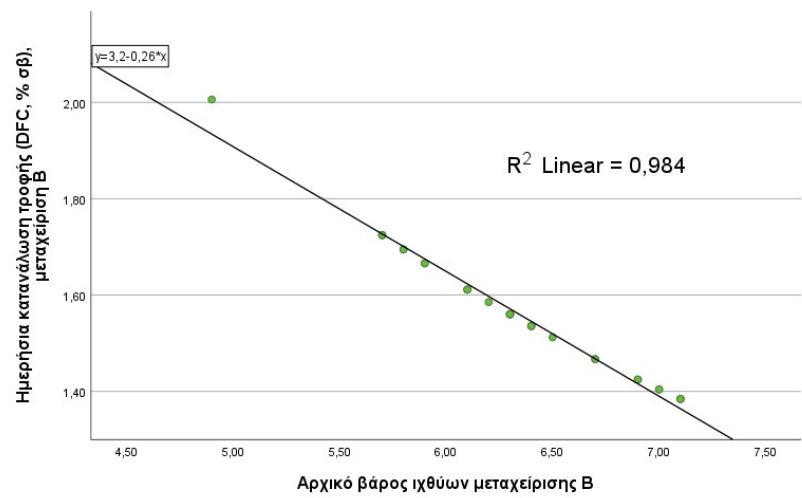
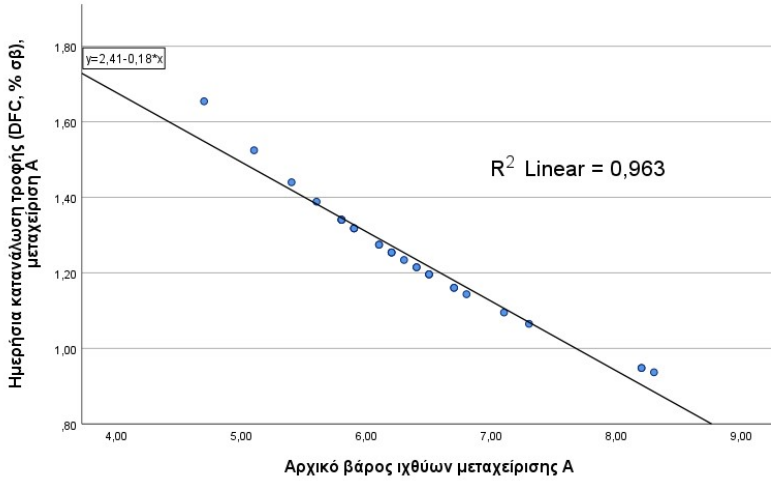
Ημερήσια Κατανάλωση τροφής (DFC, % σβ) C (*Sparus aurata*)= 3,87 - 0,3* Μέσο αρχικό Βάρος, ($R^2=0,986$, $r=-0.993$) (3)

Για το λαβράκι:

Ημερήσια Κατανάλωση τροφής (DFC, % σβ) A (*Dicentrarchus labrax*)= 2,4714 - 0,1946*Μέσο αρχικό Βάρος, ($R^2=0,986$, $r=-0.993$) (4)

Ημερήσια Κατανάλωση τροφής (DFC, % σβ) B (*Dicentrarchus labrax*)= 3,1184-0,2246*Μέσο αρχικό Βάρος, ($R^2=0,976$, $r=-0.988$) (5)

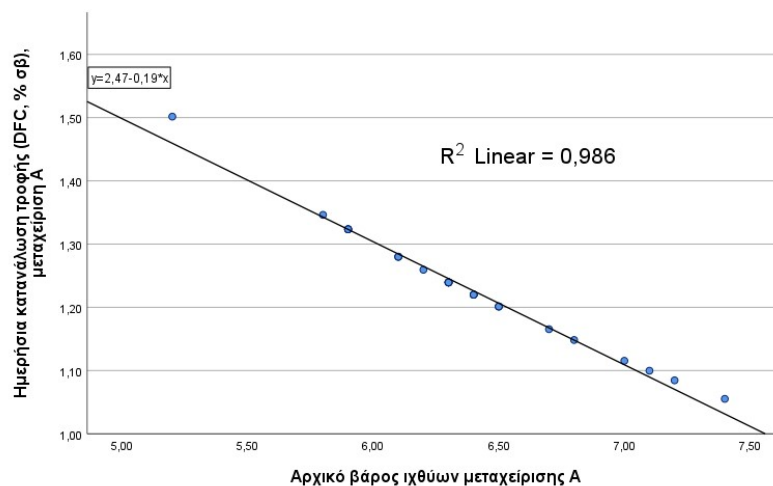
Ημερήσια Κατανάλωση τροφής (DFC, % σβ) C (*Dicentrarchus labrax*)= 3,9787 -0,316*Μέσο αρχικό Βάρος, ($R^2=0,986$, $r=-0.993$) (6)

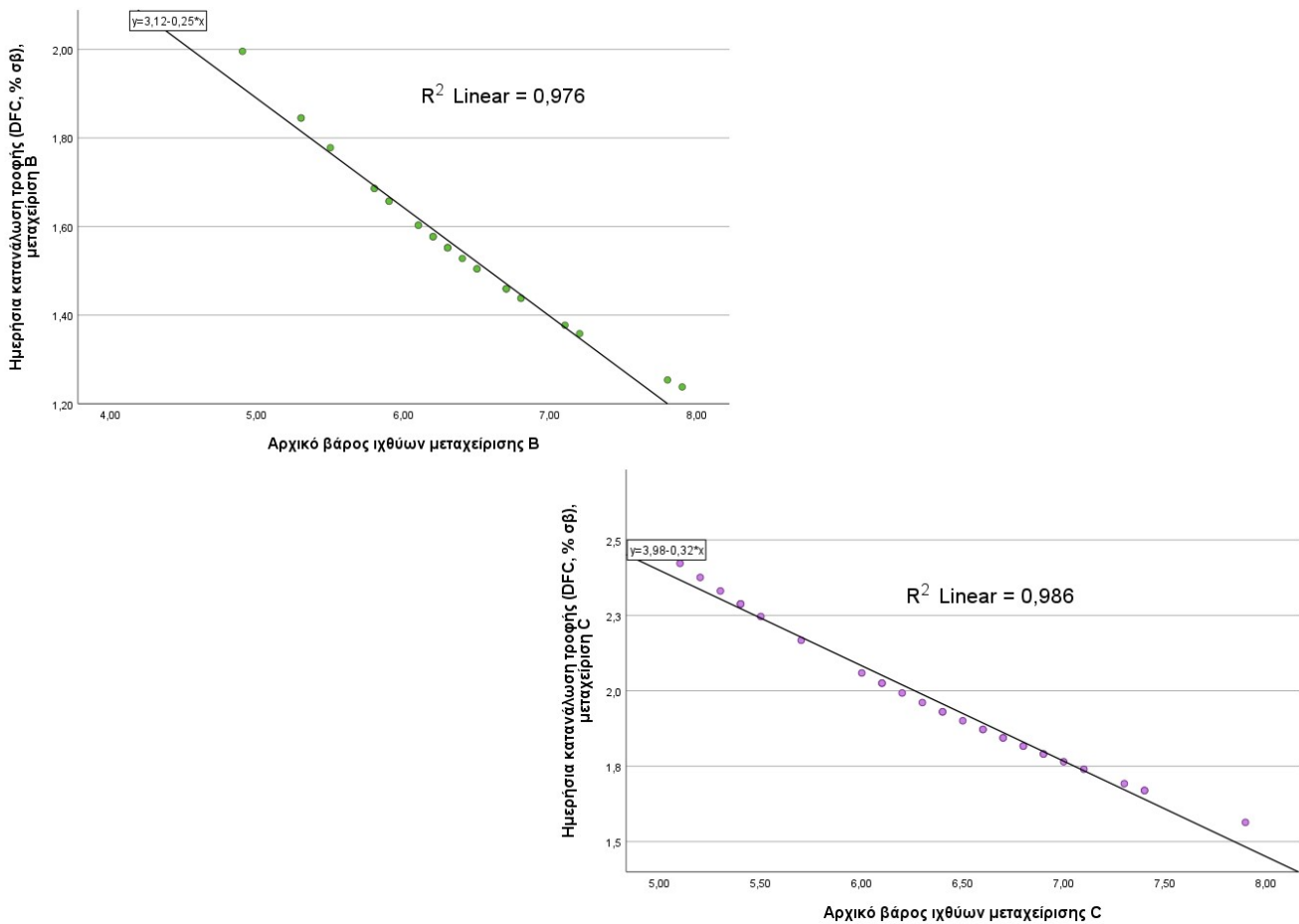


Σχήμα 4. Ημερήσια κατανάλωση τροφής (% του σωματικού βάρους) της τσιπούρας (*Sparus aurata*) με το συνολικό αρχικό βάρος για τις όλες πειραματικές μεταχειρίσεις A, B, C για όλο το διάστημα εκτροφής(72 ημέρες).

Τα αποτελέσματα (Σχήμα 4) υποδηλώνουν ισχυρή ανητική συσχέτιση μεταξύ της ημερήσια ποσοστιαίας κατανάλωσης και του βάρους των ιχθύων τσιπούρας σε όλες τις μεταχειρίσεις. Ως εκ τούτου η ποσοστιαία ημερήσια κατανάλωση τροφής για τα άτομα τσιπούρας επηρεάζεται στον ίδιο βαθμό από το ατομικό βάρος (για κάθε γραμμάριο βάρους ελαττώνεται η ημερήσια κατανάλωση τροφής σε όλες τις μεταχειρίσεις). Από τις παραπάνω εξισώσεις (1, 2, 3) παρατηρούμε ότι οι συντελεστές μεταβλητότητας (R^2), δείχνουν τη μεταβλητότητα της ημερήσιας κατανάλωσης της τροφής που ερμηνεύεται από το ατομικό βάρος της τσιπούρας και ως εκ τούτου όσο πιο ισχυρός είναι ο συντελεστής αυτός τόσο μεγαλύτερη είναι η συσχέτιση που παρατηρείται μεταξύ των μεταβλητών.

Ο συντελεστής μεταβλητότητας είναι υψηλός και στις τρεις μεταχειρίσεις και το οποίο συνεπάγεται ότι η ημερήσια κατανάλωση τροφής των τσιπουρών επηρεάζεται περισσότερο από το ατομικό βάρος (για κάθε γραμμάριο βάρους ελαττώνεται η ημερήσια κατανάλωση τροφής). Η συνολική μεταβλητότητα της ημερήσιας ποσοστιαίας κατανάλωσης ερμηνεύεται από την επίδραση του ατομικού βάρους κατά 96,3%, 98,4% και 98,6% όταν οι τσιπούρες ακολουθούν πρόγραμμα σίτισης σε ημερήσια βάση ή πρόγραμμα ασιτίας με επανασίτιση 4 και 7 ημερών, αντίστοιχα.



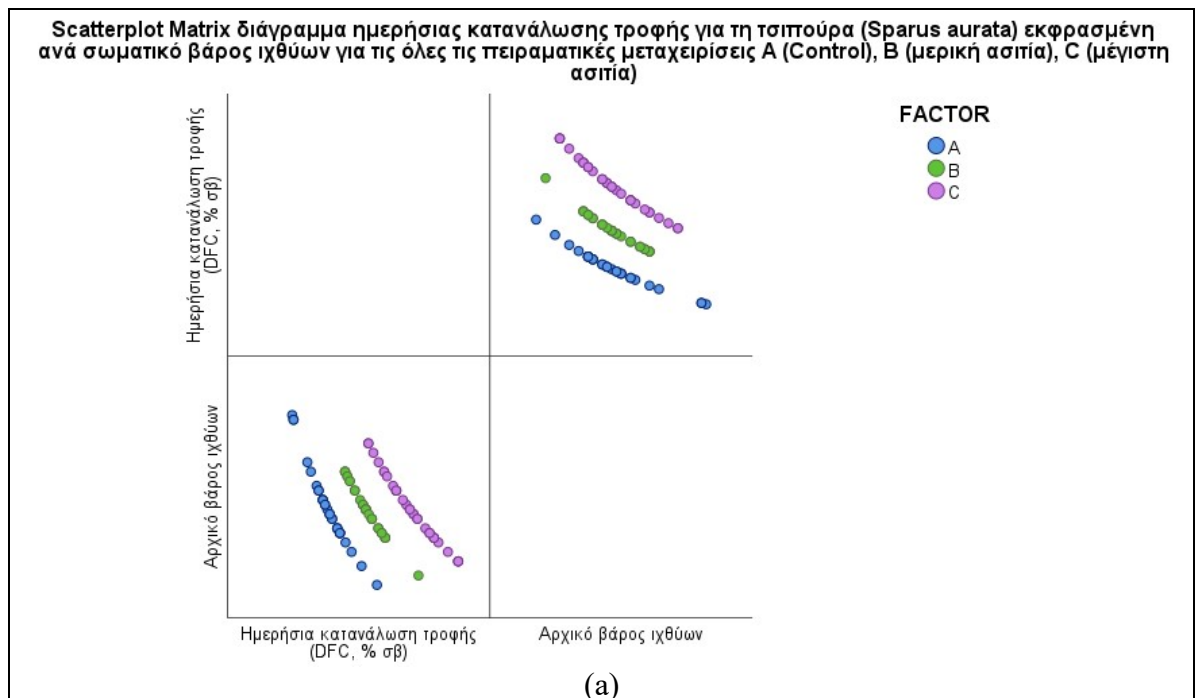


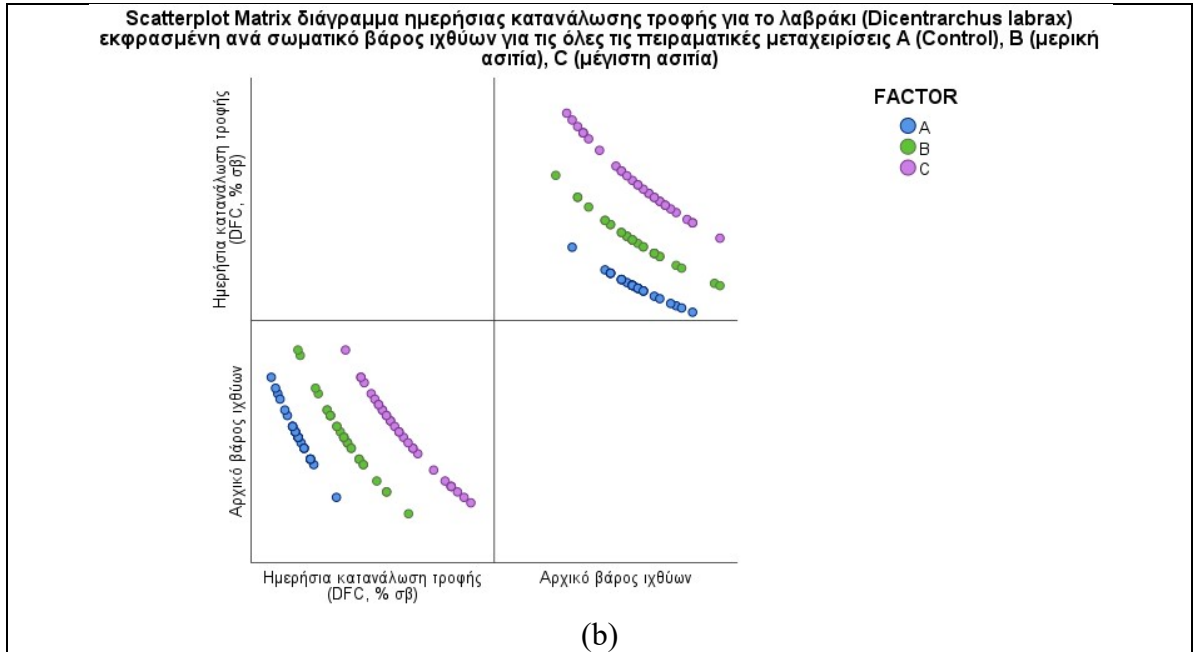
Σχήμα 5. Ημερήσια κατανάλωση τροφής (% του σωματικού βάρους) του λαυρακιού (*Dicentrarchus labrax*) με το αρχικό βάρος για τις όλες πειραματικές μεταχειρίσεις A, B, C για όλο το διάστημα εκτροφής (72 ημέρες).

Τα αποτελέσματα (Σχήμα 5) υποδηλώνουν ισχυρή ανηρτική συσχέτιση μεταξύ της ημερήσιας ποσοστιαίας κατανάλωσης και του βάρους των ιχθύων λαβρακιούς σε όλες τις μεταχειρίσεις. Ως εκ τούτου η ποσοστιαία ημερήσια κατανάλωση τροφής για τα άτομα λαβρακιού επηρεάζεται στον ίδιο βαθμό από το ατομικό βάρος (για κάθε γραμμάριο βάρους ελαττώνεται η ημερήσια κατανάλωση τροφής σε όλες τις μεταχειρίσεις). Από τις παραπάνω εξισώσεις (4, 5, 6) παρατηρούμε ότι οι συντελεστές μεταβλητότητας (R^2), δείχνουν τη μεταβλητότητα της ημερήσιας κατανάλωσης της τροφής που ερμηνεύεται από το ατομικό βάρος της τσιπούρας και ως εκ τούτου όσο πιο ισχυρός είναι ο συντελεστής αυτός τόσο μεγαλύτερη είναι η συσχέτιση που παρατηρείται μεταξύ των μεταβλητών. Ο συντελεστής μεταβλητότητας είναι υψηλός και στις τρεις μεταχειρίσεις και το οποίο συνεπάγεται ότι η ημερήσια κατανάλωση τροφής των λαβρακιών

επηρεάζεται περισσότερο από το ατομικό βάρος (για κάθε γραμμάριο βάρους ελαττώνεται η ημερήσια κατανάλωση τροφής). Η συνολική μεταβλητότητα της ημερήσιας ποσοστιαίας κατανάλωσης ερμηνεύεται από την επίδραση του ατομικού βάρους κατά 98,6%, 97,6% και 98,6% όταν τα λαβράκια ακολουθούν πρόγραμμα σίτισης σε ημερήσια βάση ή πρόγραμμα ασιτίας με επανασίτιση 4 και 7 ημερών, αντίστοιχα.

Στο Σχήμα 6 φαίνεται η σύγκριση μεταξύ των τιμών της μέσης κατανάλωσης τροφής εκφρασμένη ανά σωματικό βάρος ιχθύος (λαβράκι), παρουσιάζοντας τις διαφοροποιήσεις που παρατηρήθηκαν μεταξύ των πειραματικών μεταχειρίσεων A (control), B (ασιτία 4 ημέρες/σίτιση 3 ημέρες) και C (ασιτία 7 ημέρες/σίτιση 7 ημέρες).





Σχήμα 6 Scatterplot Matrix διάγραμμα ημερήσιας κατανάλωσης τροφής (a) για την τσιπούρα (*Sparus aurata*) και (b) για το λαβράκι (*Dicentrarchus labrax*) εκφρασμένη ανά σωματικό βάρος ιχθύων για τις όλες τις πειραματικές μεταχειρίσεις A (Control), B (μερική αστία), C (μέγιστη αστία).

3.2.3. Χημική σύσταση περιττωμάτων

Τα αποτελέσματα των αναλύσεων της χημικής σύστασης των κοπράνων, έδειξαν στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των τριών μεταχειρίσεων (A, B, C) (ANOVA, $p < 0.05$), σε αντίθεση με τις τιμές του λίπους και της ενέργειας οι οποίες δεν παρουσιάζουν σημαντική στατιστική διαφορά και στις τρεις πειραματικές μεταχειρίσεις (ANOVA, $p > 0.05$) (Πίν. 6). Οι τιμές της πρωτεΐνης εμφανίστηκαν στατιστικά υψηλότερες στη μεταχείριση A, σε σχέση με τις τιμές του λίπους όπου εμφανίστηκαν να είναι υψηλότερες στη μεταχείριση C.

Πίνακας 5 Χημική σύσταση* κοπράνων σε πρωτεΐνη, λίπος, τέφρα, υδατάνθρακες και ενέργεια καθ' όλο το διάστημα της πειραματικής εκτροφής (72 ημέρες).

	A	B	C
Πρωτεΐνη % κοπράνων	21,83±0,219 ^a	20,63±0,057 ^b	20,35±0,188 ^b
Λίπος % κοπράνων	1,61±0,050 ^a	2,06±0,527 ^a	2,63±0,229 ^a
Τέφρα % κοπράνων	12,99±0,127 ^a	13,80±0,141 ^b	15,81±0,106 ^c
Υδατάνθρακες % κοπράνων	63,57±0,226 ^a	63,52±0,446 ^a	61,21±0,420 ^b
Ενέργεια% κοπράνων	16,39±0,017 ^a	16,27±0,143 ^a	16,05±0,040 ^a

Οι τιμές παρουσιάζονται ως MO±SEM. (n=9). Οι μέσοι όροι κάθε παραμέτρου μεταξύ των μεταχειρίσεων που φέρουν τον ίδιο εκθέτη δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές ($p > 0,05$). *Οι υδατάνθρακες υπολογίστηκαν από τη σχέση, Υδατάνθρακες (%) = 100 - (Ολική Πρωτεΐνη + ολικά λιπίδια + Τέφρα)

3.2.4. Πεπτικότητα

Η φαινομενική πεπτικότητα παρουσίασε στατιστικά σημαντική διαφορά (ANOVA, $p < 0.05$), μεταξύ των πρωτεϊνών, για τις τρεις πειραματικές μεταχειρίσεις (Πίν. 7). Αντιθέτως, τα αποτελέσματα της φαινομενικής πεπτικότητας για το λίπος και την ενέργεια δε παρουσίασαν στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των τριών πειραματικών μεταχειρίσεων (ANOVA, $p > 0.05$) (Πίν.7). Αναλυτικότερα η πεπτικότητα της πρωτεΐνης αναδείχθηκε υψηλότερη στη μεταχείριση C. Επίσης, υψηλότερη ήταν η πεπτικότητα των λιπιδίων στη μεταχείριση A και η πεπτικότητα της ενέργειας στη μεταχείριση C.

Πίνακας 6. Φαινομενική πεπτικότητα (%) των πρωτεϊνών, λιπιδίων και ενέργειας των περιττωμάτων για όλη τη διάρκεια της πειραματικής εκτροφής μεταξύ των μεταχειρίσεων.

	A	B	C
ADCπρωτεΐνης	50.06±0.501 ^a	52.83±0.129 ^b	53.46±0.425 ^b
ADC λίπους	89.47±0.322 ^a	86.53±3.449 ^a	82.75±1.488 ^a
ADCενέργειας	29.34±0.074 ^a	29.85±0.622 ^a	30.83±0.180 ^a

Τα δεδομένα είναι εκφρασμένα ως MO±SEM (n=9). Οι μέσοι όροι κάθε παραμέτρου μεταξύ των μεταχειρίσεων που φέρουν τον ίδιο εκθέτη δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές ($p > 0,05$).

3.3. Δείκτες ανάπτυξης σαλικόρνια (*Salicornia europaea*)

Η αρχική βιομάζα της σαλικόρνιας στην αρχή της πειραματικής διαδικασίας δεν παρουσίασε σημαντική στατιστική διαφορά (ANOVA, $p > 0.05$). Αντίθετα, με την ολοκλήρωση του πειράματος την 72^η ημέρα του πειράματος, το τελικό βάρος της σαλικόρνιας παρουσίασε στατιστικά σημαντική διαφορά (ANOVA, $p < 0.05$) (Σχ. 7, Πίν.8). Σύμφωνα με τις τιμές που παρατίθενται στο πίνακα 7, καλύτερη ανάπτυξη εμφάνισαν τα φυτά σαλικόρνιας της μεταχείρισης C, (ANOVA, $p < 0.05$).

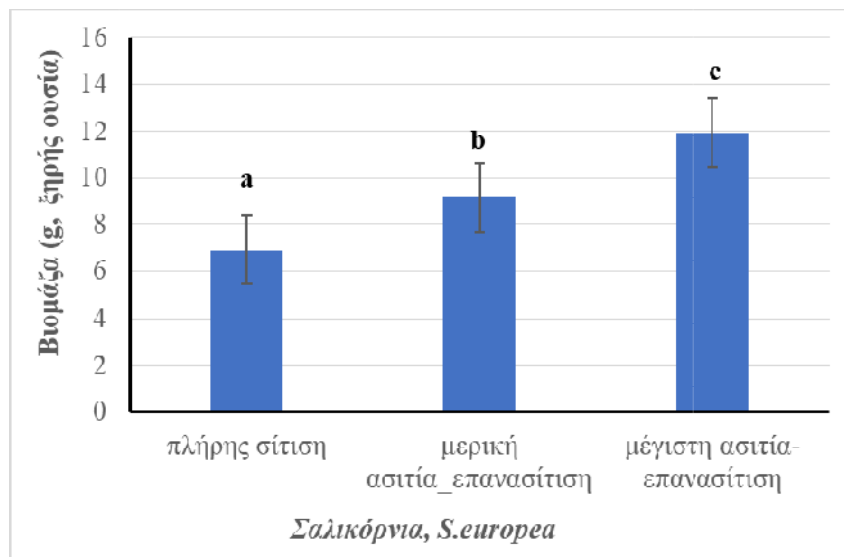
Πίνακας 7 Δείκτης ανάπτυξης σαλικόρνια (*Salicornia europaea*), Αρχικό και τελικό βάρος στις τρεις πειραματικές μεταχειρίσεις A, B και C για τις 72 ημέρες του πειράματος.

	A	B	C
Αρχικό νωπό βάρος (g)	1.04±0.124 ^a	0.94±0.086 ^a	0.76±0.078 ^a
Τελικό νωπό βάρος (g)	33.71±1.850 ^a	64.50±5.725 ^b	87.57±8.445 ^c
Τελικό ξηρό βάρος (g)	6.93±0.634 ^a	9.15±1.402 ^{a,b}	11.94±1.481 ^b

Οι τιμές παρουσιάζονται ως MO ± SEM (n=45). Οι μέσοι όροι κάθε παραμέτρου μεταξύ των μεταχειρίσεων που φέρουν τον ίδιο εκθέτη δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές ($p > 0,05$).



Εικόνα 7 Σαλικόρνια, *Salicornia europaea* την 72^η ημέρα του πειράματος (Πηγή: προσωπικό αρχείο)



Σχήμα 7 Δείκτης ανάπτυξης σαλικόρνια (*S.europa*), Βιομάζα (g ξηρής ουσίας) την 72η ημέρα του πειράματος ανάπτυξης. Οι μπάρες σφάλματος δείχνουν την τυπική απόκλιση. Όμοια γράμματα πάνω από τις μπάρες δεν δείχνουν στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των μεταχειρίσεων (ANOVA, $p > 0,05$).

Συζήτηση



Η εφαρμογή των ολοκληρωμένων συστημάτων πολυκαλλιέργειας στην ενυδρειοπονία αποτελεί μια καινοτόμο διαδικασία που αποσκοπεί στην αύξηση της παραγωγικής διαδικασίας των φυτών αξιοποιώντας τα απόβλητα που παράγονται από τους υδρόβιους ζωικούς οργανισμούς στο σύστημα. Η εφαρμογή της πολυκαλλιέργειας σε συστήματα ενυδρειοπονίας χαρακτηρίζεται ως μια οικοσυστημική προσέγγιση οποία επιχειρεί να αξιοποιήσει με τον καλύτερο δυνατό τρόπο τα απόβλητα που παράγονται από τους διαφορετικούς υδρόβιους ζωικούς οργανισμούς που εκτρέφονται, και αξιοποιούνται από τα φυτά. Σύμφωνα με τη συγγραφέα μελετάτε για πρώτη φορά η επίδραση της ανάπτυξης αντιστάθμισης σε συνδιασμό με τη κατανάλωση της τροφής από τους ιχθύες, στην ανάπτυξη των φυτών σε υφάλμυρο σύστημα ενυδρειοπονίας με ανακύκλωση νερού.

Πίνακας 8 Συγκριτικός πίνακας εφαρμογής ανάπτυξης αντιστάθμισης διαφόρων ειδών ιχθύων σε διάφορες χρονικές περιόδους ασιτίας/επανασίτισης σε σχέση με το παρών πείραμα.

Είδος	Διάρκεια ασιτίας	SGR	FCR	Ανάπτυξη αντιστάθμισης	Βιβλιογραφική αναφορά
<i>Cyprinus carpio</i>	¹ s: 6 εβδομάδες ² rf: 8 εβδομάδες	-	5% ³ sf: 2.10±0.04 ^a 10 %sf: 1.98±0.10 ^a 25%sf: 1.74±0.04 ^b 50%sf: 1.67±0.01 ^b 75%sf: 1.69±0.05 ^b	Μερική, πλήρης	Debbarma et al. (2019)
<i>Cynoglossus semilaevis</i>	s: 0, 4, 8, 16, 32, 64 rf: Έως την ημέρα 64	s0: 3.38±0.05 ^c s4: 3.76±0.02 ^b s8: 3.78±0.06 ^b s16: 3.88±0.11 ^b s32: 4.21±0.08 ^a s64: -0.51±0.02 ^d	-	Μερική, πλήρης	Tian, Fang & Dong (2010)
<i>Oreochromis mossambicus</i>	Κύκλος 0, 2 ημερών s και 2, 3, 4 ημερών rf για 60 ημέρες	Control: 2.71±0.16 _b 2rf ³ : 1.87±0.04 ^a 3rf : 2.04±0.108 ^a 4rf: 2.50±0.06 ^b	Control: 1.98±0.19 ^a 2rf: 2.21±0.08 ^{ab} 3rf: 2.00±0.24 ^{ab} 4rf: 1.57±0.10 ^c	Μερική	Gabriel et al. (2018)
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	s: 0, 1, 2 ή 3 ημέρες την εβδομάδα για 70 ημέρες	s0: 3.48±0.01 ^b , s1: 3.70±0.01 ^a , s2: 3.54±0.11 ^b , s3: 2.96±0.05 ^c	s1>s2>s0,s3	Μερική, υπερβολική	Taşbozan et al. (2016)
<i>Oreochromis niloticus</i>	s: 0, 1, 2, 3, 4 εβδομάδες rf: 13 εβδομάδες	s1>s0>s2>s3>s4	s3>s2>s1>s0>s4	Μερική, πλήρης	Abdel-Tawwab et al. (2006)
<i>Sparus aurata</i>	^a s: κυκλικά για 7 εβδομάδες, 0, 2, 4 ή 7 ημέρες rf: 3 εβδομάδες ^b s: 0, 1 ή 2 εβδομάδες rf: 10, 9 ή 8 εβδομάδες	^a s0: 2.75±0.12 ^a , s2: 2.15±0.02 ^{ab} , s4: 1.87±0.09 ^b , s7: 0.93±0.11 ^c , ^c s0: 1.10±0.04 ^a και 0.36±0.07 ^a , s1: 1.23±0.17 ^a και 0.23±0.04 ^b ,	-	^{a, b, c} Μερική	^b Peres et al. (2011), ^c Montserrat et al. (2007), ^a Eroldoğan et al. (2006)

	^c s: 0, 1, 3 ή 4 εβδομάδες rf: 1 και 2 μήνες	s3:1.16±0.1 ^a και 0.03±0.09 ^a , s4:0.70±0.14 ^b και 0.36±0.06 ^a			
<i>Dicentrarchus labrax</i>	^a Σίτιση για 22 ημέρες, ασιτία για 9 ημέρες και επανασίτιση για 12 ημέρες με σιτηρέσιο πρωτεΐνης 50% και 42%. ^b Σε διάρκεια 50 ημερών, καθόλου ασιτία, κυκλική ασιτία 5 κύκλων με 2 ημέρες/8 ημέρες rf, κυκλική ασιτία 2 κύκλων με 5 ημέρες s/20 ημέρες rf και 10 ημέρες s/40 ημέρες rf	^a 50:1.12±0.02, 42:1.19±0.02 ^b s0:3.06±0.10 ^a , s2:2.78±0.18 ^b , s5:2.73±0.13 ^b , s10:2.55±0.15 ^c	^b s0:1.04±0.02 ^b s2/8:1 .07±0.04 ^b s5/20:1.1 7±0.04 ^a s10/40:1.03 ±0.04 ^b	^{a,b} Μερική	^b Adaklı & Taşbozan (2015), ^a Pérez-Jiménez et al. (2007)
<i>Salmo caspius</i>	s: 0, 2, 4 και 6 εβδομάδων rf: 10, 8, 6 και 4 εβδομάδες	s0:1.32±0.2 ^a , s2:1.83±0.13 ^{ab} , s4:2.74±0.05 ^b , s6:4.27±0.39 ^c	s0:1.79±0.28 ^a s2:1.78±0.15 ^a s4:1.78±0.15 ^a s6:1.5 3±0.11 ^a	Μερική, πλήρης	Zaefarian et al. (2020).
<i>Salmo salar</i>	s: 0 και 8 εβδομάδες rf: 5 εβδομάδες	s0:0.62 και s8:0.79 (% ανάπτυξης ημερησίως)	-	Πλήρης	Hvas et al. (2022)
<i>Seriola rivoliana</i>	Πείραμα 85 ημερών με καθόλου ασιτία, κυκλικός 3 ημερών/rf7 ημερών και s 7 ημερών/rf 7 ημερών	s0:0.81±0.11 ^a , s3:0.54±0.06 ^b , s7:0.27±0.02 ^c	s0:2.64±0.31 ^b s3:3.43±0.40 ^b s7:5.15±0.38 ^a	Μερική	Argüello-Guevara et al.(2020)
<i>Shizotharax wangchiachii</i>	Καθόλου ασιτία, κυκλικός 1 ημέρα/rf 6 ημέρες, s 2 ημέρες/rf 5 ημέρες, s 3 ημέρες/rf 4 ημέρες για 8 εβδομάδες	s0:1.78±0.13, s1:1.67±0.08, s2:1.67±0.02, s3:1.72±0.10	-	Πλήρης	Wang et al. (2019)
<i>Ctenopharyngodon donidellus</i>	Πείραμα 28 ημερών. Καθόλου ασιτία, s 14 ημερών/ rf 14 ημερών, ασιτία 28 ημερών.	-	s0>s14>s28	Μερική	Xu et al.(2019)
<i>Cherax quadricarinatus</i>	Σε διάρκεια 120 ημερών, καθόλου ασιτία, κυκλική ασιτία 45 ημερών	s0_49%:2.14±0.08, s0_38%:2.19±0.12,	s0,49%:0.52±0.01 s0,38%:0.49±0.09s 4/4,49%:0.66±0.06 s4/4,38%:0.79±0.0	Πλήρης	Stumpf, Tropea & Greco (2014)

	με 4 ημέρες s/4 ημέρες rf και συνεχόμενη σίτιση για τις υπόλοιπες 75 ημέρες με σιτηρέσιο πρωτεΐνης 49% και 38%.	s4/4_49%:2.03±0.11s4/4_38%:2.32±0.16	7		
<i>Macrobrachium borellii</i>	Πείραμα 152 ημερών. Καθόλου ασιτία, κυκλικός 4 ημερών/rf4 ημερών από ημέρα 1-28, συνεχόμενη σίτιση και κυκλικός 4 ημερών/rf 4 ημερών από ημέρα 77-104. Επανασίτιση από ημέρα 105-152	s0_1-28>s1-28, s0_29-76<rf29-76, s0_77-104>s77-104,s0_105-152<rf105-152	-	Καθόλου	Stumpf et al. (2020)
<i>Macrobrachium nipponense</i>	s: 0, 2, 4 και 8 ημερών rf: έως την ημέρα 18	s0:0.47±0.004 ^a , s2:0.48±0.002 ^a , s4:0.48±0.008 ^a , s8:0.55±0.003 ^b	-	Μερική, πλήρης	Li et al. (2009)
<i>Macrobrachium rosenbergii</i>	^a Πείραμα 14 εβδομάδων. Καθόλου ασιτία, κυκλικός 3 ημερών/rf 4 ημερών και κυκλικός 2 ημερών/rf 5 ημερών για 9 εβδομάδες και συνεχόμενη σίτιση έως τη λήξη. ^b s: 0, 1, 2, 4 εβδομάδες για πείραμα 8 εβδομάδων	^a s0:2.53±0.45 ^a , s3:2.52±0.43 ^a , s2:2.55±0.42 ^a . ^b s0:2.31±0.06 ^d , s1:3.60±0.04 ^c , s2:4.78±0.03 ^b , s4:7.99±0.06 ^a	^a s0:2.31±0.23 ^a s3:2.04±0.23 ^b s2:2.24±0.18 ^{ab}	^a Μερική, ^b υπερβολική	^a Rahman, Ghosh & Islam (2020), ^b Singh & Balange (2007)
<i>Penaeus monodon</i>	Πείραμα 119 ημερών με καθόλου ασιτία (c), σίτιση 2 εβδομάδων/s 1 εβδομάδας (1) και σίτιση 2 εβδομάδων/s1 εβδομάδας (2)	c:6.07±0.005 ^b , 1:6.07±0.011 ^b , 2:6.12±0.005 ^a	c:1.47±0.04 ^a , 1:1.36±0.02 ^b , 2:1.39±0.02 ^b	Μερική, πλήρης	Mohanty & Mohapatra (2017)
<i>Penaeus vannamei</i>	Πείραμα 40 ημερών. Καθόλου ασιτία, κυκλικός 2 ημερών/rf 1 ημέρα και s 4 ημερών/rf 1	s0:2.35±0.47 ^a , s2:2.13±0.12 ^a , s4:0.81±0.34 ^b	-:	Μερική	dos Santos et al. (2019)

	ημέρα				
<i>Sparus aurata</i>	s 4 ημέρες/rf 3 ημέρες (B) s 7 ημέρες/rf 7 ημέρες (C) Σίτιση σε ημερήσια βάση για 30 ημέρες (A)	A_Sa: 2.07±0.06 ^a B_Sa: 1.80±0.04 ^a C_Sa: 1.67±0.07 ^b	A_Sa: 1.31±0.08 ^a B_Sa: 1.11±0.09 ^a C_Sa: 2.04±1.16 ^b	Μερική	Παρούσα έρευνα
<i>Dicentrarchus labrax</i>	s 4 ημέρες/rf 3 ημέρες (B) s 7 ημέρες/rf 7 ημέρες (C) Σίτιση σε ημερήσια βάση για 30 ημέρες (A)	A_DI: 2.0±0.04 ^a B_DI: 1.80±0.05 ^a C_DI: 1.66±0.06 ^b	A_DI: 1.43±0.09 ^a B_DI: 1.09±0.09 ^a C_DI: 1.94±0.13 ^b	Μερική	Παρούσα έρευνα

¹s: ημέρες ασιτίας (starvation days), ²rf: ημέρες επανασίτισης (refeeding days), ³sf: ποσοστό κορεσμού της τροφής (satiation fed).

4.1. Επιβίωση ιχθύων και φυτών

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την παρούσα εργασία, έδειξαν υψηλά ποσοστά επιβίωσης στην τσιπούρα και στο λαβράκι καθ'όλη τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας όσο και για τα φυτά σαλικόρνιας που καλλιεργήθηκαν στο σύστημα ενυδραιοπονίας για 72 ημέρες, και συμφωνούν με εκείνα των Vlahos et al. (2019) και Vlahos et al. (2023) όπου η τσιπούρα και το λαβράκι όταν εκτράφηκαν σε υφάλμυρο σύστημα ενυδραιοπονίας με αλατότητες 20 ppt και 8 ppt και 20 ppt, 14 ppt και 8 ppt αντίστοιχα για το λαβράκι, παρουσίασαν υψηλά ποσοστά επιβίωσης.

Αυξημένα ποσοστά επιβίωσης παρουσίασε και η σαλικόρνια σε όλες τις πειραματικές μεταχειρίσεις. Τα αποτελέσματα της παρούσης εργασίας συμφωνούν με εκείνα των Pinheiro et al. (2020) όπου η επιβίωση της σαλικόρνιας δεν επηρεάστηκε από την αλατότητα 8, 16, 24 και 32 psu καθ'όλο το διάστημα της καλλιέργειας (57 ημέρες). Οι Vlahos et al. (2023) αναφέρουν ότι η επιβίωση του αλόφυτου κρίταμου, επίσης, δεν επηρεάζεται από την αλατότητα.

4.2. Δείκτες ανάπτυξης ιχθύων (*Sparus aurata*, *Dicentrarchus labrax*)

Στην αρχή της παρούσας πειραματικής διαδικασίας, δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ του αρχικού βάρους και μήκους των ιχθύων και στα δύο είδη σε όλες τις πειραματικές μεταχειρίσεις (ANOVA, $p > 0.05$). Στο τέλος της πειραματικής διαδικασίας, τα αποτελέσματα έδειξαν ότι, η κατανάλωση της τροφής ανα μεταχείριση επηρέασε αρκετά τις τιμές βάρους των ιχθύων καθώς τα ψάρια της μεταχείρισης B παρουσίασαν μερική αντισταθμιστική

ικανότητα μιας και το βάρος τους έτεινε προς το βάρος των ψαριών της μεταχείρισης A, σε αντίθεση με το τελικό βάρος των ψαριών της μεταχείρισης C, όπου απόκλινε κατά πολύ από το τελικό βάρος των ψαριών της μεταχείρισης A (περίπου 7 g). Τα αποτελέσματα αυτά συμφωνούν με εκείνα που αναφέρονται από τους Eroldoğan et al. (2006) για το είδος *Sparus aurata* σύμφωνα με πρόγραμμα κυκλικής ασιτίας 0, 2, 4 ή 7 ημερών σε διάστημα επτά εβδομάδων και σταθερής σίτισης τριών εβδομάδων (τελικό βάρος s0:82.1±1.2g, s2:65.1±2.9g, s4:58.4±2.3g, s7:43.9±6.9g), παρουσιάζοντας μερική αντιστάθμιση με την κατανάλωση της τροφής από τα ψάρια να κυμένεται από 81,45% στο Control έως 48,08 στη μεταχείριση ασιτίας 4 ημερών. Επίσης οι Adaklı & Taşbozan, (2015) αναφέρουν ότι το λαβράκι, *Dicentrarchus labrax*, παρουσίασε μερική αντιστάθμιση στο πρόγραμμα διατροφής δύο (23.49±1.51g) και πέντε (22.90±1.16g) ημερών, φτάνοντας τελικό βάρος για την ομάδα ελέγχου τα 27.08±0.43g, με την πρόσληψη της τροφής να εμφανίζεται υψηλότερη στην μεταχείριση του Control και να ακολουθούν αριθμητικά η μεταχείριση ασιτίας δύο και πέντε ημερών αντίστοιχα.

Το μέσο τελικό μήκος των ψαριών δεν παρουσίασε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των μεταχειρίσεων καθ' όλη τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας (ANOVA, $p>0.05$). Τα αποτελέσματα της παρούσης εργασίας συμφωνούν με εκείνα που αναφέρουν οι Vlahos et al. (2023) για το λαβράκι και οι Vlahos et al. (2019) για την τσιπούρα, αντίστοιχα.

Σύμφωνα με τους Peres et al. (2011), πλήρης αντιστάθμιση επιτυγχάνεται όταν το επίπεδο ανάπτυξης ενός οργανισμού που βρίσκεται σε ασιτία παρουσιάσει παρόμοια αποτελέσματα ανάπτυξης με τον οργανισμό που βρίσκεται σε συνεχόμενη σίτιση, ενώ μερική αντιστάθμιση επιτυγχάνεται όταν το επίπεδο ανάπτυξης του υποβαλλόμενου σε ασιτία οργανισμού παρουσιάσει παρόμοια αλλά όχι όμοια αποτελέσματα με το μη υποβαλλόμενο σε ασιτία οργανισμό. Η ανάπτυξη των υδρόβιων οργανισμών που υπόκεινται σε ανάπτυξη αντιστάθμισης (υπεραντιστάθμιση, πλήρης, μερική ή καθόλου αντιστάθμιση) ποικίλλει σε μεγάλο βαθμό ανάλογα με τα πειραματικά πρωτόκολλα που εφαρμόζονται.

Πολλά είδη ψαριών αναπτύσσονται γρήγορα μετά από μια περίοδο στέρησης της τροφής ή περιορισμένης σίτισης και σε αρκετές περιπτώσεις, φτάνουν στο βάρος των ατόμων που διατρέφονται σε ημερήσια βάση (Wang et al. 2009, Nikki et al. 2004, Tian & Qin 2003, 2004, , Johansen et al. 2001, Maclean & Metcalfe 2001, Xie et al. 2001, Zhu et al. 2001, Russell & Wootton 1992). Προηγούμενες μελέτες έχουν δείξει ότι η ανάπτυξη αντιστάθμισης στα ψάρια θα μπορούσε να είναι αποτέλεσμα του χαμηλού βασικού μεταβολισμού (Fu, Xie, & Cao 2005), της

αυξημένης πρόσληψης τροφής (υπερφαγία) (Xie et al. 2001) ή της βελτίωσης των δεικτών αξιοποίησης της τροφής, όπως το FCR και το PER (Adakli & Tasbozan 2015, Foss et al. 2009).

Οι Nikki et al. (2004) αναφέρουν για τη πέστροφα *Oncorhynchus mykiss*, ότι κυρίως λόγω των σταδίων υπερφαγίας σε περιόδους επανασίτισης, όταν βρίσκεται σε ασιτία για 2 και 4 ημέρες, παρουσίασε τελικό βάρος 260.8 g και 263.6 g αντίστοιχα, ενώ η μεταχείριση της ημερησίας σίτισης έφτασε τα 239.8 g. Παραδείγματα υπεραντιστάθμισης αποτελούν επίσης, τα πειράματα των Turano et al. (2007) σε *Morone chrysops*-*Morone saxatilis* με πρόγραμμα διατροφής δύο εβδομάδων με τελικό μέσο βάρος τα 32.0 ± 8.0 g έναντι της μεταχείρισης ελέγχου (control) με 31.0 ± 4.2 g και των Abdel-Tawwab et al. (2006) σε *Oreochromis niloticus* η οποία διατηρήθηκε σε ασιτία για δύο εβδομάδες με τελικό μέσο βάρος 23.3 ± 0.4 g, σε σχέση με τα 22.6 ± 0.2 g που σημείωσε η μεταχείριση ελέγχου.

Σε ότι αφορά τον δείκτη SGR τα αποτελέσματα της παρούσης εργασίας έδειξαν στατιστικά χαμηλότερες τιμές στην μεταχείριση C (SGR *S.aurata*: 1.67 ± 0.07 %/d, *D.labrax*: 1.66 ± 0.06 %/d) και για τα δύο είδη, συγκριτικά με τις μεταχειρίσεις A (SGR *S.aurata*: 2.07 ± 0.06 %/d, *D.labrax*: 2.0 ± 0.04 %/d) και B (SGR *S.aurata*: 1.80 ± 0.04 %/d, *D.labrax*: 1.80 ± 0.05 %/d) (ANOVA, $p < 0.05$). Σε παρόμοια αποτελέσματα κατέληξαν οι Adakli & Tasbozan (2015) σε πείραμα αντιστάθμισης 50 ημερών (ασιτία 0, 2, 5 και 10 ημέρες) για το λαβράκι μέσου βάρους $s_0: 27.08 \pm 0.43$ g, $s_2: 23.49 \pm 1.51$ g, $s_5: 22.90 \pm 1.16$ g και $s_{10}: 20.97 \pm 0.93$ g, που οι τιμές SGR ήταν αντίστοιχα, της τάξης $s_0: 3.06 \pm 0.10$ %/d, $s_2: 2.78 \pm 0.18$ %/d, $s_5: 2.73 \pm 0.13$ %/d, $s_{10}: 2.55 \pm 0.15$ %/d. Ομοίως οι Eroldoğan et al. (2006) αναφέρουν ότι, η τσιπούρα μέσου βάρους $s_0: 82.1 \pm 1.2$ g, $s_2: 65.1 \pm 2.9$ g, $s_4: 58.4 \pm 2.3$ g και $s_7: 43.9 \pm 6.9$ g, σε πείραμα αντιστάθμισης 10 εβδομάδων (ασιτία 0, 2, 4 ή 7 ημέρες, κυκλικά για 7 εβδομάδες και σίτιση 3 εβδομάδες), παρουσίασε μεγαλύτερες τιμές SGR ($s_0: 2.75 \pm 0.12$ %/d, $s_2: 2.15 \pm 0.02$ %/d, $s_4: 1.87 \pm 0.09$ %/d, $s_7: 0.93 \pm 0.11$ %/d) συγκριτικά με το SGR της παρούσας μελέτης.

Οι Wang et al (2019) αναφέρουν παρόμοια αποτελέσματα με τα ευρήματα της παρούσας εργασίας στις τιμές SGR ($s_0: 1.78 \pm 0.13$ %/d, $s_1: 1.67 \pm 0.08$ %/d, $s_2: 1.67 \pm 0.02$ %/d, $s_3: 1.72 \pm 0.10$ %/d), σε πείραμα αντιστάθμισης 8 εβδομάδων (επαναλαμβανόμενη ασιτία 0, 1, 2 και 3 ημερών) που διεξήγαγαν, για το είδος *Schizothorax wangchiachii*.

Οι Wang et al. (2000), οι Jobling & Koskela (1996) και οι Miglavs & Jobling (1989) αναφέρουν ότι η ανάπτυξη αντιστάθμισης μπορεί να επιτευχθεί μέσω της υπερφαγίας.

Οι Heide et al. (2006) αναφέρουν ότι, τα ψάρια που βρίσκονταν σε ασιτία παρουσιάζουν αυξημένη τιμή SGR εξαιτίας του μειωμένου μεταβολικού ρυθμού. Ο κύριος παράγοντας που συνέβαλε στην αύξηση του SGR αποδίδεται στην επανασίτιση τους.

4.2. Δείκτες αξιοποίησης και εκμετάλλευσης της τροφής

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την παρούσα εργασία ο συντελεστής μετατρεψιμότητας της τροφής (FCR) για την τσιπούρα και το λαβράκι που υποβλήθηκαν σε ανάπτυξη αντιστάθμισης παρουσίασαν στατιστικά μεγαλύτερο FCR στη μεταχείριση C (7 ημέρες ασιτία και επανασίτιση), σε σχέση με τις μεταχειρίσεις A (ημερήσια σίτιση) και B (4 ημέρες ασιτία και 3 επανασίτιση), αντίστοιχα (ANOVA, $p > 0.05$). Η μέση τιμή FCR διακυμάνθηκε από 1.31 ± 0.08 στη τσιπούρα και 1.43 ± 0.09 στο λαβράκι για τη μεταχείριση A, 1.11 ± 0.09 στη τσιπούρα και 1.09 ± 0.09 στο λαβράκι για μεταχείριση B και 2.04 ± 1.16 στη τσιπούρα και 1.94 ± 0.13 στο λαβράκι για μεταχείριση C.

Από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι, οι ιχθύες της μεταχείρισης B (μερική σίτιση) εκμεταλλεύτηκαν αποδοτικότερα τη χορηγούμενη ποσότητα τροφής, κατά το χρονικό διάστημα πραγματοποίησης της πειραματικής μελέτης. Τα αποτελέσματα της παρούσης εργασίας συμφωνούν με εκείνα που αναφέρουν οι Adaklı & Taşbozan (2015) για το λαβράκι (*Dicentrarchus labrax*) όταν υποβλήθηκε σε ανάπτυξη αντιστάθμισης 50 ημερών (συνεχόμενη σίτιση, ασιτία 5 κύκλων με 2 ημέρες ασιτία/8 ημέρες σίτιση, κυκλική ασιτία 2 κύκλων με 5 ημέρες ασιτία/20 ημέρες σίτιση) και βρήκαν $FCR_{s0}: 1.04 \pm 0.02$, $FCR_{s2/8}: 1.07 \pm 0.04$, $FCR_{s5/20}: 1.17 \pm 0.04$, $FCR_{s10/40}: 1.03 \pm 0.04$.

Οι Argüello-Guevara et al. (2020) αναφέρουν ότι, το είδος *Seriola rivoliana* παρουσίασε μεγαλύτερες τιμές FCR ($FCR_{s0}: 2.64 \pm 0.31$, $FCR_{s3}: 3.43 \pm 0.40$, $FCR_{s7}: 5.15 \pm 0.38$, κυκλική ασιτία 0, 3 ή 7 ημερών/σίτιση 7 ημερών για 85 ημέρες) από τις τιμές FCR του παρόντος πειράματος. Επίσης, οι Yengkokram et al. (2014) αναφέρουν τιμές FCR υψηλότερες ($FCR_{s0}: 1.83 \pm 0.04$, $FCR_{s1}: 1.95 \pm 0.23$, $FCR_{s2}: 1.96 \pm 0.24$, $FCR_{s3}: 2.01 \pm 0.06$, ασιτία 0, 1, 2, 3 εβδομάδων για 10 εβδομάδες) για το είδος *Labeo rohita* από τα ευρήματα της παρούσας εργασίας

Οι Abdel-Tawwab et al. (2006) αναφέρουν ότι, το είδος *Oreochromis niloticus* που υποβλήθηκε σε ασιτία τεσσάρων εβδομάδων εμφάνισε υψηλότερο FCR αμέσως μετά την επανασίτιση διάρκειας οκτώ εβδομάδων. Κατά την περίοδο 9-13 εβδομάδων, τα ψάρια που σιτίζονταν συνεχώς

παρουσίασαν επίσης υψηλή εβδομαδιαία τιμή FCR, με τις χαμηλότερες τιμές να προκύπτουν για τα ψάρια που βρίσκονταν σε ασιτία για 2-3 εβδομάδες.

Το χρονικό διάστημα ανάμεσα στη σίτιση και την ασιτία καθώς και οι συνθήκες διαβίωσης των ιχθύων παίζουν σημαντικό ρόλο στη δυνατότητα αξιοποίησης της τροφής. Στις μελέτες που προαναφέρθηκαν φαίνεται ότι, στις μεταχειρίσεις ασιτίας οι τιμές του FCR να διατηρούνται υψηλότερες από την ομάδα ελέγχου (control), που η σίτιση δε διακόπτονταν καθόλου. Η ανοδική τάση του FCR διατηρείται όταν το διάστημα επανασίτισης είναι περιορισμένο. Σε μεγαλύτερα διαστήματα ασιτίας το FCR παρουσιάζει πτωτική πορεία στα ψάρια των μεταχειρίσεων της ακραίας ασιτίας, σε σχέση με τα συνεχώς σιτιζόμενα ψάρια.

Οι Morshedi et al. (2013) αναφέρουν ότι το FCR έτεινε να μειώνεται για τις ομάδες κυκλικής ασιτίας 6 ημερών/επανασίτιση 12 ημερών (FCRs₆:4.04±1.35) και ασιτίας 9 ημερών/σίτιση 18 ημερών (FCRs₉:3.69±0.19), σε πειραματικό διάστημα 54 ημερών, συγκριτικά με την ομάδα συνεχούς σίτισης (FCRs₀:4.03±0.98) και κυκλικής ασιτίας 3 ημερών/σίτισης 6 ημερών (FCRs₃:5.37±0.04). Οι Adaklı & Taşbozan (2015), επισημαίνουν ότι ο συντελεστής FCR είναι ανάλογος του οικονομικού αποτελέσματος, καθώς μπορεί να αξιοποιηθεί για τον υπολογισμό της οικονομικής αξίας του εκάστοτε καλλιεργήσιμου είδους. Ακόμη, αναφέρουν πως η αυξημένη πρόσληψη τροφής και ο χαμηλός λόγος μετατροπής τροφής, είναι οι σημαντικότεροι δείκτες κατά την ανάπτυξη αντιστάθμισης.

Τα αποτελέσματα της παρούσης εργασίας σε ότι αφορά την κατανάλωση της τροφής των ιχθύων (τσιπούρες και λαβράκια) έδειξαν στατιστικά χαμηλότερη τιμή στη μεταχείριση A συγκριτικά με τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις (B και C). Η γραμμική απεικόνιση της ημερήσιας κατανάλωσης της τροφής εκφρασμένη σε ποσοστό επί τις εκατό (%) ανά σωματικό βάρος ψαριού, ερμηνεύει ότι η συνολική μεταβλητότητα της ημερήσιας κατανάλωσης από την επίδραση του σωματικού βάρους ήταν αρκετά υψηλή για όλες τις μεταχειρίσεις, με τη μεταχείριση B να παρουσιάζει στατιστικά τις χαμηλότερες τιμές (ANOVA, $p < 0.05$).

Η επίδραση του βάρους στις τσιπούρες της μεταχείρισης B παρουσιάστηκε να είναι στατιστικά χαμηλότερη για το σύνολο των ημερών εκτροφής (68,7%). Η μέση ημερήσια πρόσληψη τροφής ήταν στατιστικά μικρότερη στη μεταχείριση A (*S. aurata*:0.0785±0.00, *D. labrax*:0.0788±0.00) σε σχέση με τις ομάδες B (*S. aurata*:0.0965±0.00, *D. labrax*:0.0967±0.00) και C (*S. aurata*:0.1265±0.00, *D. labrax*:0.1283±0.00) που παρουσίασαν στατιστικά τις υψηλότερες τιμές. Το μοτίβο αυτό παρατηρήθηκε και για τα δυο είδη ψαριών που χρησιμοποιήθηκαν στο σύστημα

ενυδρειοπονίας. Η μεγαλύτερη κατανάλωση παρουσίασαν οι ιχθύες της μεταχείρισης C που πιθανά να οφείλεται στην έντονη επιθυμία και την ανάγκη πρόσληψης τροφής.

Η υπερφαγία (η βουλιμική κατανάλωση της τροφής που παρατηρείται μετά από παρατεταμένη περίοδο ασιτίας) χαρακτηρίζεται ως σημαντικός μηχανισμός για τα ψάρια σε μελέτες ανάπτυξης αντιστάθμισης. Προηγούμενες μελέτες, αναφέρουν ότι αντιδράσεις υπερφαγίας παρατηρήθηκαν σε είδη ψαριών όπως: *Sparus aurata*, *Pagrus major*, *Carassius auratus gibelio-Leiocassis longirostris*, *Lates calcarifer*, *Ictalurus punctatus* και *Lepomis cyanellus-Lepomis macrochirus* κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης αντιστάθμισης (Bavčević et al. 2010, Oh et al. 2007, Zhu et al. 2004, Tian & Qin 2003, Gaylord & Gatlin 2000, Hayward et al. 1997).

Οι Ali et al. (2003) αναφέρουν ότι, σε σύντομες περιόδους ασιτίας, η υπερφαγία εκδηλώνεται κατά τη διάρκεια της επανασίτισης με αποτέλεσμα να αποτρέψει την καταστολή της ανάπτυξης. Οι Adaklı & Taşbozan (2015) στη μελέτη τους, παρατήρησαν ότι τα ψάρια που εκτέθηκαν σε μεγαλύτερες περιόδους ασιτίας (ασιτία 5 ημέρες/σίτιση 20 ημέρες και ασιτία 10 ημέρες/σίτιση 40 ημέρες) κατανάλωναν περισσότερη τροφή σημειώνοντας έντονες αντιδράσεις υπερφαγίας κατά την διάρκεια επανασίτισης σε σύγκριση με την μεταχείριση ασιτίας (ασιτία 2 ημέρες/σίτιση 8 ημέρες) και οφείλεται στη μακρά περίοδο ασιτίας και στον μικρότερο αριθμό των κύκλων επανασίτισης. Επιπλέον, οι Wang et al. (2019) επισημαίνουν, ότι οι επιδράσεις στέρησης της τροφής αποδίδονται στην έκφραση γονιδίων που σχετίζονται με τη ρύθμιση της πρόσληψης τροφής. Το γονίδιο της ανορεξίας παίζει σημαντικό ρόλο σε είδη ψαριών (*Ctenopharyngodon idellus*, *Danio rerio* και *Cyprinus carpio*) που είναι καλά ταϊσμένα συγκριτικά με τα ψάρια που βρίσκονται σε ασιτία (Gong et al. 2017, Gorissen et al. 2009, Huising et al. 2006).

4.3.Χημική σύσταση περιττωμάτων -πεπτικότητα

Η χημική σύσταση των κοπράνων, εμφάνισε στατιστικά υψηλότερη τιμή πρωτεΐνης στη μεταχείριση A σε σχέση με τις μεταχειρίσεις B & C, ενώ του λίπους δεν εμφάνισε σημαντικά στατιστικές διαφορές. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την παρούσα εργασία δείχνουν ότι και τα δύο είδη ψαριών παρουσίασαν στατιστικά μεγαλύτερη φαινομενική πεπτικότητα (ADC) στην πρωτεΐνη όταν βρίσκονται σε μερική και μέγιστη ασιτία (μεταχειρίσεις B και C), ενώ στο λίπος δεν υπάρχουν σημαντικά στατιστικές διαφορές.

Τα αποτελέσματα της παρούσης εργασίας δεν συμφωνούν με εκείνα των Kaushik et al. (2004), όπου το ποσοστό πεπτικότητας της πρωτεΐνης ήταν της τάξης των 91,7% και της ενέργειας στο

76,3% για το λαβράκι όταν σιτίζονταν με αυξανόμενα επίπεδα φυτικής πρωτεΐνης στη διατροφή του.

Σύμφωνα με τη συγγραφέα δεν υπάρχουν επαρκής βιβλιογραφικές αναφορές μελέτης της πεπτικότητας σε πειράματα ανάπτυξης αντιστάθμισης. Ο συντελεστής πεπτικότητας των τροφών αξιολογείται με βάση τη διατροφή των ψαριών και είναι από τα σημαντικότερα βήματα για τη διαμόρφωση ισορροπημένων διαιτητικών σιτηρεσίων ώστε να ικανοποιούνται οι θρεπτικές απαιτήσεις των ψαριών (Cho et al. 1982).

4.4. Δείκτες ανάπτυξης σαλικόρνια (*Salicornia europaea*)

Η *S. europaea* παρουσίασε ικανοποιητικές τιμές ανάπτυξης (βιομάζα) και στις τρεις μεταχειρίσεις. Οι συνθήκες καλλιέργειας της σαλικόρνιας διαμορφώθηκαν με βάση τα βέλτιστα επίπεδα ανάπτυξης του φυτού, με την ανάπτυξη της σε συνθήκες αλατότητας 12 ppt. Αντίστοιχα αποτελέσματα ικανοποιητικής ανάπτυξης της *S. europaea* αναφέρουν οι Cárdenas-Pérez et al. (2022) σε καλλιέργεια σαλικόρνιας με υφάλμυρο νερό 400 mM NaCl, οι Orlovsky et al. (2016) σε υφάλμυρο νερό 0,5%-2% NaCl και οι Aghaleh et al. (2009) σε υφάλμυρο νερό 100-300 mM NaCl.

Στη παρούσα μελέτη τα φυτά της μεταχείρισης C αναπτύχθηκαν περισσότερο από τα φυτά των μεταχειρίσεων A και B. Η τελική βιομάζα του φυτού για τις μεταχειρίσεις A, B και C, παρουσίασε στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων. Συγκεκριμένα, το τελικό βάρος για τη μεταχείριση A ήταν $33,71 \pm 1,850$ g, για την μεταχείριση B ήταν $64,50 \pm 5,725$ g και για την μεταχείριση C $87,57 \pm 8,445$ g.

Η ανάπτυξη των φυτών δικαιολογείται από τη διαθεσιμότητα θρεπτικών συστατικών στα συστήματα, μέσω της χορηγούμενης τροφής στα ψάρια (A *S. aurata*: $0,3895 \pm 0,02$ g/day, A *D. labrax*: $0,0414 \pm 0,02$ g/day, B *S. aurata*: $0,6298 \pm 0,04$ g/day, B *D. labrax*: $0,6251 \pm 0,05$ g/day, C *S. aurata*: $0,9299 \pm 0,06$ g/day, C *D. labrax*: $0,9273 \pm 0,05$ g/day) αλλά και από την μέση κατανάλωση τροφής από τους ιχθύες, που στη μεταχείριση A σημειώθηκαν οι χαμηλότερες στατιστικά τιμές (ANOVA, $p > 0,05$) (A *S. aurata*: $0,0777 \pm 0,00$ g/day, A *D. labrax*: $0,0781 \pm 0,00$ g/day, B *S. aurata*: $0,0983 \pm 0,00$ g/day, B *D. labrax*: $0,0978 \pm 0,00$ g/day, C *S. aurata*: $0,1218 \pm 0,00$ g/day, C *D. labrax*: $0,1235 \pm 0,00$ g/day).

Οι Loveland & Ungar, (1983) αναφέρουν, ότι η παραγωγή αλόφυτων περιορίζεται από τη διαθεσιμότητα του αζώτου. Οι Smart & Barko (1980) αναφέρουν ότι η βιομάζα καθορίζεται από τη διαθεσιμότητα του αζώτου, ενώ ο ρυθμός ανάπτυξης επηρεάζεται από την αλατότητα. Η

ανθεκτικότητα του φυτού σε άζωτο είναι, ανεξάρτητη από την αλατότητα και βελτιώνεται ανάλογα με τα επίπεδα αζώτου ανεξάρτητα από τη μορφή που βρίσκεται (NH_4^+ ή NO_3^-) (Quintã et al. 2015, Kudo & Fujiyama 2010, Loveland & Ungar 1983). Βέβαια, σύμφωνα με τους Sisay et al.(2022) μπορεί να επιτευχθεί υψηλή βιομάζα σε υψηλά επίπεδα αζώτου αρκεί η αλατότητα να είναι σχετικά χαμηλή.

Τα είδη *S. europaea* και *Aster tripolium*, έχουν αναγνωριστεί ως πιθανά υποψήφια είδη σε ενυδρειοπονικά συστήματα πολυκαλλιέργειας, εξαιτίας της αυξημένης ανθεκτικότητας που παρουσιάζουν στην αλατότητα, των δυνατοτήτων απορρόφησης του N και της υψηλής εμπορικής τους αξίας (Quintã et al. 2015). Για το λόγο αυτό η εκτενέστερη μελέτη των φυτών αυτών ως προς τις βέλτιστες συνθήκες ανάπτυξης και καλλιέργειας τους, είναι σημαντική.

Συμπεράσματα



Όπως περιγράφεται στη παρούσα μελέτη η συμβιωτική σχέση των δυο ιχθύων (*Sparus aurata*, *Dicentrarchus labrax*) και της σαλικόρνιας (*Salicornia europaea*) υπό την δοκιμασία ανάπτυξης αντιστάθμισης, αναδεικνύεται εφικτή και βιώσιμη σε ένα ενυδρειοπονικό σύστημα πολυκαλλιέργειας. Η υλοποίηση της παρούσας έρευνας αποτελεί ένα καινοτόμο κομμάτι που δίνει το έναυσμα για την διεξαγωγή περισσότερων ερευνών και τη διεύρυνση των γνώσεων ως προς την ενυδρειοπονική πολυκαλλιέργεια. Η συνδυασμένη καλλιέργεια της τσιπούρας και του λαβρακιού, δυο εκτρεφόμενων Μεσογειακών ειδών με αυξημένη εμπορική αξία καθώς και της σαλικόρνιας, ενός αλόφυτου με εμπορική αξία και με θεραπευτικές ιδιότητες αποδεικνύεται επιτυχής, με δυνατότητα επίτευξης σημαντικών οικονομικών κερδών.

Παρακάτω παρουσιάζονται συνοπτικά τα συμπεράσματα που εξήχθησαν από την παρούσα μελέτη.

- Η αντισταθμιστική ικανότητα ανάπτυξης στο πειραματικό διάστημα που επιλέχθηκε παρουσιάστηκε να είναι μερική για τη δεύτερη μεταχείριση (ασιτία 4 ημέρες/επανασίτιση 3 ημέρες) πλησιάζοντας σημαντικά τη μεταχείριση ελέγχου (control).
- Τα άτομα της μεταχείρισης A (ημερήσια σίτιση) και της μεταχείρισης B (ασιτία 4 ημέρες/επανασίτιση 3 ημέρες) υπέδειξαν, αντιστοίχως, καλύτερη ανάπτυξη σε σχέση με τα άτομα της μεταχείρισης C (ασιτία 7 ημέρες/επανασίτιση 7 ημέρες).
- Τα άτομα της μεταχείρισης C (ασιτία 7 ημέρες/επανασίτιση 7 ημέρες) παρουσίασαν το υψηλότερο ποσοστό λίπους και το χαμηλότερο ποσοστό πρωτεΐνης στα κόπρανα τους.
- Το SGR παρουσίασε καλύτερες τιμές στις μεταχειρίσεις A και B, σε αντίθεση με το FCR που οι καλύτερες τιμές, παρουσιάστηκαν στη μεταχείριση B.
- Η σαλικόρνια της μεταχείρισης C (ασιτία 7 ημέρες/επανασίτιση 7 ημέρες) είχε καλύτερη ανάπτυξη συγκριτικά με τη σαλικόρνια των υπολοίπων μεταχειρίσεων.

Βιβλιογραφικές αναφορές



Ξερόγλωσσες βιβλιογραφικές αναφορές:

- Abdel-Tawwab, M., Khattab, Y. A., Ahmad, M. H., & Shalaby, A. M. (2006). Compensatory growth, feed utilization, whole-body composition, and hematological changes in starved juvenile Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.). *Journal of Applied Aquaculture*, 18(3), 17-36.
- Abusin, S. A., & Mandikiana, B. W. (2020). Towards sustainable food production systems in Qatar: Assessment of the viability of aquaponics. *Global Food Security*, 25, 100349.
- Adaklı, A., & Taşbozan, O. (2015). The effects of different cycles of starvation and refeeding on growth and body composition on European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 15(3), 419-427.
- Aghaleh, M., Niknam, V., Ebrahimzadeh, H., & Razavi, K. (2009). Salt stress effects on growth, pigments, proteins and lipid peroxidation in *Salicornia persica* and *S. europaea*. *Biologia plantarum*, 53(2), 243-248.
- Ali, M., Nicieza, A., & Wootton, R. J. (2003). Compensatory growth in fishes: a response to growth depression. *Fish and fisheries*, 4(2), 147-190.
- Arends, R. J., Mancera, J. M., Munoz, J. L., Bonga, S. W., & Flik, G. (1999). The stress response of the gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.) to air exposure and confinement. *Journal of Endocrinology*, 163(1), 149.
- Argüello-Guevara, W., Chilán, K., Suárez, A., Estay-Moyano, C., Bohórquez-Cruz, M., Reinoso, S., & Sonnenholzner, S. (2020). Lack of compensatory growth response in longfin yellowtail (*Seriola rivoliana*, Valenciennes, 1833) juveniles related to cyclical fasting and refeeding under rearing conditions. *Aquaculture Research*, 51(10), 4381-4385.

- Atienza, M. T., Chatzifotis, S., & Divanach, P. (2004). Macronutrient selection by sharp snout seabream (*Diplodus puntazzo*). *Aquaculture*, 232(1-4), 481-491.
- Bavčević, L., Klanjšček, T., Karamarko, V., Aničić, I., & Legović, T. (2010). Compensatory growth in gilthead sea bream (*Sparus aurata*) compensates weight, but not length. *Aquaculture*, 301(1-4), 57-63.
- Boxman, S. E., Nystrom, M., Capodice, J. C., Ergas, S. J., Main, K. L., & Trotz, M. A. (2017). Effect of support medium, hydraulic loading rate and plant density on water quality and growth of halophytes in marine aquaponic systems. *Aquaculture Research*, 48(5), 2463-2477.
- Buschmann, A. H., Troell, M., Kautsky, N., & Kautsky, L. (1996). Integrated tank cultivation of salmonids and *Gracilaria chilensis* (Gracilariales, Rhodophyta). *Hydrobiologia*, 326(1), 75-82.
- Cárdenas-Pérez, S., Rajabi Dehnavi, A., Leszczyński, K., Lubińska-Mielińska, S., Ludwiczak, A., & Piernik, A. (2022). *Salicornia europaea* L. Functional Traits Indicate Its Optimum Growth. *Plants*, 11(8), 1051.
- Cho, C. Y., Slinger, S. J., & Bayley, H. S. (1982). Bioenergetics of salmonids fishes: energy intake, expenditure and productivity. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Comparative Biochemistry*, 73(1), 25-41.
- Colt, J., & Huguenin, J. E. (Eds.). (2002). *Design and operating guide for aquaculture seawater systems*. Elsevier.
- Colt, J., Schuur, A. M., Weaver, D., & Semmens, K. (2022). Engineering design of aquaponics systems. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 30(1), 33-80.
- De Souza, M. M., Mendes, C. R., Doncato, K. B., Badiale-Furlong, E., & Costa, C. S. (2018). Growth, phenolics, photosynthetic pigments, and antioxidant response of two new genotypes of

- sea asparagus (*Salicornia neei* Lag.) to salinity under greenhouse and field conditions. *Agriculture*, 8(7), 115.
- Debbarma, S., Tiwari, V. K., Reddy, A. K., Kumar, A. P., & AM, B. R. (2019). Short term ration restriction and re-alimentation: Effect on compensatory growth, body composition and insulin like growth factor gene expression in *Cyprinus carpio*. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 20(6), 499-505.
- Debroy, P., & Seban, L. (2022). A Tomato Fruit Biomass Prediction Model for Aquaponics System Using Machine Learning Algorithms. *IFAC-PapersOnLine*, 55(1), 709-714.
- Doncato, K. B., & Costa, C. S. B. (2021). Micronutrient supplementation needs for halophytes in saline aquaponics with BFT system water. *Aquaculture*, 531, 735815.
- dos Santos, D. B., da Silva, C. D. D., & Pontes, C. S. (2019). Performance of shrimp *Litopenaeus vannamei* submitted to different fasting periods. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 2(3), 1074-1081.
- Endut A., Jusoh A., Ali N., Wan-Nik W., Hassan A. (2010). A Study on the optimal hydraulic loading rate and plant ratios in recirculation aquaponic system. *Bioresour. Technol.* 101: 1511-1517.
- Eroldoğan, O. T., Kumlu, M. E. T. İ. N., Kiris, G. A., & Sezer, B. (2006). Compensatory growth response of *Sparus aurata* following different starvation and refeeding protocols. *Aquaculture Nutrition*, 12(3), 203-210.
- Estim, A., Saufie, S., & Mustafa, S. (2019). Water quality remediation using aquaponics sub-systems as biological and mechanical filters in aquaculture. *Journal of Water Process Engineering*, 30, 100566.

- Fang, Z., Tian, X., & Dong, S. (2017). Effects of starving and re-feeding strategies on the growth performance and physiological characteristics of the juvenile tongue sole (*Cynoglossus semilaevis*). *Journal of Ocean University of China*, 16(3), 517-524.
- Fernández-Cabanás, V. M., Delgado, A., Lobillo-Eguibar, J. R., & Pérez-Urrestarazu, L. (2022). Early production of strawberry in aquaponic systems using commercial hydroponic bands. *Aquacultural Engineering*, 97, 102242.
- Foss, A., Imsland, A. K., Vikingstad, E., Stefansson, S. O., Norberg, B., Pedersen, S., Sandvik T. & Roth, B. (2009). Compensatory growth in Atlantic halibut: effect of starvation and subsequent feeding on growth, maturation, feed utilization and flesh quality. *Aquaculture*, 290(3-4), 304-310.
- Fu, S. J., Xie, X. J., & Cao, Z. D. (2005). Effect of dietary composition on specific dynamic action in southern catfish *Silurus meridionalis* Chen. *Aquaculture Research*, 36(14), 1384-1390.
- Furné, M., García-Gallego, M., Hidalgo, M. C., Morales, A. E., Domezain, A., Domezain, J., & Sanz, A. (2008). Effect of starvation and refeeding on digestive enzyme activities in sturgeon (*Acipenser naccarii*) and trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 149(4), 420-425.
- Gabriel, N. N., Omoregi, E., Martin, T., Kukuri, L., & Shilombwelwa, L. (2018). Compensatory growth response in *Oreochromis mossambicus* submitted to short-term cycles of feed deprivation and refeeding. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 18(1), 161-166.
- Gaylord, I. G., & Gatlin III, D. M. (2000). Assessment of compensatory growth in channel catfish *Ictalurus punctatus* R. and associated changes in body condition indices. *Journal of the world Aquaculture Society*, 31(3), 326-336.

- Gong, Y., Chen, W., Han, D., Zhu, X., Yang, Y., Jin, J., Liua H. & Xie, S. (2017). Effects of food restriction on growth, body composition and gene expression related in regulation of lipid metabolism and food intake in grass carp. *Aquaculture*, 469, 28-35.
- Gorissen, M., Bernier, N. J., Nabuurs, S. B., Flik, G., & Huising, M. O. (2009). Two divergent leptin paralogues in zebrafish (*Danio rerio*) that originate early in teleostean evolution. *Journal of Endocrinology*, 201(3), 329-339.
- Greenfeld, A., Becker, N., Bornman, J. F., Spatari, S., & Angel, D. L. (2022). Is aquaponics good for the environment?—evaluation of environmental impact through life cycle assessment studies on aquaponics systems. *Aquaculture International*, 30(1), 305-322.
- Grigorakis, K., & Alexis, M. N. (2005). Effects of fasting on the meat quality and fat deposition of commercial size farmed gilthead sea bream (*Sparus aurata*, L.) fed different dietary regimes. *Aquaculture Nutrition*, 11(5), 341-344.
- Gunning, D. (2016). Cultivating *Salicornia europaea* (marsh samphire). Dublin, Ireland: Irish Sea Fisheries Board, 4, 1-95.
- Gunning, D., Maguire, J., & Burnell, G. (2016). The development of sustainable saltwater-based food production systems: a review of established and novel concepts. *Water*, 8(12), 598.
- Haines, K. C. (1976). Growth of the carrageenan-producing tropical red seaweed *Hypneamusiformis* in surface water, 870m deep water, effluent from a clam mariculture system, and in deep water enriched with artificial fertilizers or domestic sewage.
- Hayward, R. S., Noltie, D. B., & Wang, N. (1997). Use of compensatory growth to double hybrid sunfish growth rates. *Transactions of the American Fisheries Society*, 126(2), 316-322.

- Heide, A., Foss, A., Stefansson, S. O., Mayer, I., Norberg, B., Roth, B., Jenssen M. D., Nortvedt R. & Imsland, A. K. (2006). Compensatory growth and fillet crude composition in juvenile Atlantic halibut: Effects of short term starvation periods and subsequent feeding. *Aquaculture*, 261(1), 109-117.
- Huising, M. O., Geven, E. J., Kruiswijk, C. P., Nabuurs, S. B., Stolte, E. H., Spanings, F. T., B. M. Kemenade L. V. & Flik, G. (2006). Increased leptin expression in common carp (*Cyprinus carpio*) after food intake but not after fasting or feeding to satiation. *Endocrinology*, 147(12), 5786-5797.
- Hvas, M., Nilsson, J., Vågseth, T., Nola, V., Fjellidal, P. G., Hansen, T. J., Oppedal F., Stien L. H. & Folkedal, O. (2022). Full compensatory growth before harvest and no impact on fish welfare in Atlantic salmon after an 8-week fasting period. *Aquaculture*, 546, 737415.
- Jerónimo, D., Lillebø, A. I., Santos, A., Cremades, J., & Calado, R. (2020). Performance of polychaete assisted sand filters under contrasting nutrient loads in an integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) system. *Scientific reports*, 10(1), 1-10.
- Jobling, M., & Koskela, J. (1996). Interindividual variations in feeding and growth in rainbow trout during restricted feeding and in a subsequent period of compensatory growth. *Journal of Fish Biology*, 49(4), 658-667.
- Johansen, S. J. S., Ekli, M., Stangnes, B., & Jobling, M. (2001). Weight gain and lipid deposition in Atlantic salmon, *Salmo salar*, during compensatory growth: evidence for lipostatic regulation?. *Aquaculture Research*, 32(12), 963-974.
- Karapanagiotidis, I. T., Kyritsi, S., Dretaki-Stamou, G., Psoufakis, P., Neofytou, M. C., Mente, E. & Karalazos V. (2022). The effect of different dietary protein levels on growth performance and

- nutrient utilization of snarpsnout sea bream (*Diplodus puntazzo*). *Aquaculture Research*, 53(5), 1909-1917.
- Kaushik, S. J., Coves, D., Dutto, G., & Blanc, D. (2004). Almost total replacement of fishmeal by plant protein sources in the diet of a marine teleost, the European seabass, *Dicentrarchus labrax*. *Aquaculture*, 230(1-4), 391-404.
- Koca, S. B., Diler, İ., Dulluc, A., Yigit, N. O., & Bayrak, H. (2009). Effect of different feed types on growth and feed conversation ratio of angel fish (*Pterophyllum scalare* Lichtenstein, 1823). *Journal of Applied Biological Sciences*, 3(2), 7-11.
- Kong, Y., & Zheng, Y. (2014). Potential of producing *Salicornia bigelovii* hydroponically as a vegetable at moderate NaCl salinity. *HortScience*, 49(9), 1154-1157.
- Kudo, N., & Fujiyama, H. (2010). Responses of halophyte *Salicornia bigelovii* to different forms of nitrogen source. *Pedosphere*, 20(3), 311-317.
- Langton, R. W., Haines, K. C., & Lyon, R. E. (1977). Ammonia-nitrogen production by the bivalve mollusc *Tapes japonica* and its recovery by the red seaweed *Hypnea musciformis* in a tropical mariculture system. *Helgoländer Wissenschaftliche Meeresuntersuchungen*, 30, 217-229.
- Li, Z. H., Xie, S., Wang, J. X., Sales, J., Li, P., & Chen, D. Q. (2009). Effect of intermittent starvation on growth and some antioxidant indexes of *Macrobrachium nipponense* (De Haan). *Aquaculture Research*, 40(5), 526-532.
- Liu, W., Wei, Q. W., Wen, H., Jiang, M., Wu, F., & Shi, Y. (2011). Compensatory growth in juvenile Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis*): effects of starvation and subsequent feeding on growth and body composition. *Journal of Applied Ichthyology*, 27(2), 749-754.

- Liu, Y., Liu, M., Jiang, K., Wang, B., & Wang, L. (2022). Comparative analysis of different density restrictions reveals the potential influence mechanism on the compensatory growth of *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture Research*, 53(7), 2629-2644.
- 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.
- Loveland, D. G., & Ungar, I. A. (1983). The effect of nitrogen fertilization on the production of halophytes in an inland salt marsh. *American Midland Naturalist*, 346-354.
- Maclean, A., & Metcalfe, N. B. (2001). Social status, access to food, and compensatory growth in juvenile Atlantic salmon. *Journal of Fish Biology*, 58(5), 1331-1346.
- Mariscal-Lagarda, M. M., Páez-Osuna, F., Esquer-Méndez, J. L., Guerrero-Monroy, I., del Vivar, A. R., & Félix-Gastelum, R. (2012). Integrated culture of white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) and tomato (*Lycopersicon esculentum Mill*) with low salinity groundwater: management and production. *Aquaculture*, 366, 76-84.
- Marques, B., Maciel, E., Domingues, M. R., Calado, R., & Lillebø, A. I. (2021). Halophyte Plants Cultured in Aquaponics Hold the Same Potential for Valorization as Wild Conspecifics from Donor Sites. *Applied Sciences*, 11(24), 11586.
- Miglavs, I., & Jobling, M. (1989). The effects of feeding regime on proximate body composition and patterns of energy deposition in juvenile Arctic charr, *Salvelinus alpinus*. *Journal of Fish Biology*, 35(1), 1-11.
- Mohanty, R. K., & Mohapatra, A. (2017). Cyclic feed restriction on growth compensation of *Penaeus monodon* (Fabricius): science meets practice.

- Montero, D., Izquierdo, M. S., Tort, L., Robaina, L., & Vergara, J. M. (1999). High stocking density produces crowding stress altering some physiological and biochemical parameters in gilthead seabream, *Sparus aurata*, juveniles. *Fish Physiology and Biochemistry*, 20(1), 53-60.
- Montserrat, N., Gómez-Requeni, P., Bellini, G., Capilla, E., Pérez-Sánchez, J., Navarro, I., & Gutiérrez, J. (2007). Distinct role of insulin and IGF-I and its receptors in white skeletal muscle during the compensatory growth of gilthead sea bream (*Sparus aurata*). *Aquaculture*, 267(1-4), 188-198.
- Morshedi, V., Kochanian, P., Ahmadi-Niko, M., Azodi, M., & Pasha-Zanoosi, H. (2013). Compensatory growth response of sailfin molly, *Poecilia latipinna* (Lesueur, 1821) to starvation and refeeding. *International Journal of Aquatic Biology*, 1(3), 109-115.
- Mullen, S. (2009). Classroom aquaponics: Exploring nitrogen cycling in a closed system teacher's guide. Cornell University.
- Nebo, C., Portella, M. C., Carani, F. R., de Almeida, F. L. A., Padovani, C. R., Carvalho, R. F., & Dal-Pai-Silva, M. (2013). Short periods of fasting followed by refeeding change the expression of muscle growth-related genes in juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 164(4), 268-274.
- Neori, A., Guttman, L., Israel, A., & Shpigel, M. (2019). Israeli-developed models of marine integrated multi trophic aquaculture (IMTA). *Journal of Coastal Research*, 86(SI), 11-20.
- Nicieza, A. G., & Alvarez, D. (2009). Statistical analysis of structural compensatory growth: how can we reduce the rate of false detection?. *Oecologia*, 159, 27-39.
- Nicieza, A. G., & Metcalfe, N. B. (1997). Growth compensation in juvenile Atlantic salmon: responses to depressed temperature and food availability. *Ecology*, 78(8), 2385-2400.

- Nikki, J., Pirhonen, J., Jobling, M., & Karjalainen, J. (2004). Compensatory growth in juvenile rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum), held individually. *Aquaculture*, 235(1-4), 285-296.
- Nozzi, V., Parisi, G., Di 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*, 8(10), 423.
- Nozzi, V., Strofaldi, S., Piquer, I. F., Di Crescenzo, D., Olivotto, I., & Carnevali, O. (2016). *Amyloodinium ocellatum* in *Dicentrarchus labrax*: Study of infection in salt water and freshwater aquaponics. *Fish & Shellfish Immunology*, 57, 179-185.
- Oh, S. Y., Noh, C. H., & Cho, S. H. (2007). Effect of restricted feeding regimes on compensatory growth and body composition of red sea bream, *Pagrus major*. *Journal of the world aquaculture society*, 38(3), 443-449.
- Orlovsky, N., Japakova, U., Zhang, H., & Volis, S. (2016). Effect of salinity on seed germination, growth and ion content in dimorphic seeds of *Salicornia europaea* L.(Chenopodiaceae). *Plant diversity*, 38(4), 183-189.
- Peng, F., Lai, C., Li, C., Ji, C., Zhang, P., Sun, J., ChenX., You Q., & Xue, X. (2023). Plasticity in over-compensatory growth along an alpine meadow degradation gradient on the Qinghai-Tibetan Plateau. *Journal of Environmental Management*, 325, 116499.
- Peres, H., Santos, S., & Oliva-Teles, A. (2011). Lack of compensatory growth response in gilthead seabream (*Sparus aurata*) juveniles following starvation and subsequent refeeding. *Aquaculture*, 318(3-4), 384-388.

- Pérez-Jiménez, A., Guedes, M. J., Morales, A. E., & Oliva-Teles, A. (2007). Metabolic responses to short starvation and refeeding in *Dicentrarchus labrax*. Effect of dietary composition. *Aquaculture*, 265(1-4), 325-335.
- Pinheiro, I., Carneiro, R. F. S., do Nascimento Vieira, F., Gonzaga, L. V., Fett, R., de Oliveira Costa, A. C., Magallón-Barajas F. J. & Seiffert, W. Q. (2020). Aquaponic production of *Sarcocornia ambigua* and Pacific white shrimp in biofloc system at different salinities. *Aquaculture*, 519, 734918.
- Prates, E., Holanda, M., Pedrosa, V. F., Monserrat, J. M., & Wasielesky, W. (2023). Compensatory growth and energy reserves changes in the Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) reared in different temperatures and under feed restriction in biofloc technology system (BFT). *Aquaculture*, 562, 738821.
- Puccinelli, M., Fierro-Sañudo, J. F., Bibbiani, C., Fronte, B., Maibam, C., Dubois, T., Pardossi A., Incrocci L. & Rossi, L. (2022). Multi-Criteria DEXi Analysis for the Selection of Crop Species for Saltwater Aquaponics. *Horticulturae*, 8(8), 703.
- Py, C., Elizondo-González, R., & Peña-Rodríguez, A. (2022). Compensatory growth: Fitness cost in farmed fish and crustaceans. *Reviews in Aquaculture*.
- Quintã, R., Santos, R., Thomas, D. N., & Le Vay, L. (2015). Growth and nitrogen uptake by *Salicornia europaea* and *Aster tripolium* in nutrient conditions typical of aquaculture wastewater. *Chemosphere*, 120, 414-421.
- Rahman, F., Ghosh, A. K., & Islam, S. S. (2020). Effect of time-restricted feeding and refeeding regimes on compensatory growth, body composition, and feed utilization in prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) culture system. *Journal of Applied Aquaculture*, 32(3), 236-249.

- Rinehart, L. (2019). Aquaponics–Multitrophic Systems for Sustainable Food Production. NCAT. ATTRA Sustainable Agriculture.
- Rossi, L., Bibbiani, C., Fierro-Sañudo, J. F., Maibam, C., Incrocci, L., Pardossi, A., & Fronte, B. (2021). Selection of marine fish for integrated multi-trophic aquaponic production in the Mediterranean area using DEXi multi-criteria analysis. *Aquaculture*, 535, 736402.
- Russell, N. R., & Wootton, R. J. (1992). Appetite and growth compensation in the European minnow, *Phoxinus phoxinus* (Cyprinidae), following short periods of food restriction. *Environmental Biology of Fishes*, 34(3), 277-285.
- Sakyi, M. E., Cai, J., Tang, J., Abarike, E. D., Xia, L., Li, P., Kuebutornye F. K. A., Zou Z., Liang Z. & Jian, J. (2020). Effects of starvation and subsequent re-feeding on intestinal microbiota, and metabolic responses in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture Reports*, 17, 100370.
- Schmautz, Z., Loeu, F., Liebisch, F., Graber, A., Mathis, A., GriesslerBulc, T., & Junge, R. (2016). Tomato productivity and quality in aquaponics: Comparison of three hydroponic methods. *Water*, 8(11), 533.
- Singh, J., Narayan, A., Rafique, M. I., Sarma, K., Kumar, T., SK, A., & Bharti, V. (2021). Aquaponics: Toward a Sustainable Multi-trophic Production of Fish and Vegetables.
- Singh, R. K., & Balange, A. K. (2007). Compensatory growth and changes in nutrient composition in post-larvae of giant prawn, *Macrobrachium rosenbergii*, following starvation. *Journal of Applied Aquaculture*, 19(1), 39-49.
- Sisay, T. A., Nurbekova, Z., Oshanova, D., Dubey, A. K., Khatri, K., Mudgal, V., Mudgal A., Neori. A., Shpigel M., Srivastava R. K., Custódio L. M. B., Standing D. & Sagi, M. (2022).

- Effect of Salinity and Nitrogen Fertilization Levels on Growth Parameters of *Sarcocornia fruticosa*, *Salicornia brachiata*, and *Arthrocnemum macrostachyum*. *Agronomy*, 12(8), 1749.
- Smart, R. M., & Barko, J. W. (1980). Nitrogen nutrition and salinity tolerance of *Distichlis spicata* and *Spartina alterniflora*. *Ecology*, 61(3), 630-638.
- 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 Paper*, (589), I.
- Spotte, S. (1992). *Captive seawater fishes: science and technology*. John Wiley & Sons.
- Stathopoulou, P., Asimaki, A., Berillis, P., Vlahos, N., Levizou, E., Katsoulas, N., Karapanagiotidis, I. T., Rumbos, C. I., Athanassiou, C. G. & Mente, E. (2022). Aqua-Ento-Ponics: Effect of Insect Meal on the Development of Sea Bass, *Dicentrarchus labrax*, in Co-Culture with Lettuce. *Fishes*, 7(6), 397.
- Stathopoulou, P., Berillis, P., Vlahos, N., Nikouli, E., Kormas, K. A., Levizou, E., Katsoulas N. & Mente, E. (2021). Freshwater-adapted sea bass *Dicentrarchus labrax* feeding frequency impact in a lettuce *Lactuca sativa* aquaponics system. *PeerJ*, 9, e11522.
- Stirling, H. P. (1976). Effects of experimental feeding and starvation on the proximate composition of the European bass *Dicentrarchus labrax*. *Marine Biology*, 34(1), 85-91.
- Stumpf, L., Cárdenas, P. N. S., Timpanaro, S., & Greco, L. L. (2019). Feasibility of compensatory growth in early juveniles of “red claw” crayfish *Cherax quadricarinatus* under high density conditions. *Aquaculture*, 510, 302-310.
- Stumpf, L., Timpanaro, S., Battista, A., & López Greco, L. (2020). Effects of intermittent starvation on the survival, growth, and nutritional status of the freshwater prawn

- Macrobrachium borellii* Nobili, 1896 (Decapoda: Caridea: Palaemonidae). The Journal of Crustacean Biology, 40(5), 489-497.
- Stumpf, L., Tropea, C., & Greco, L. S. L. (2014). Recovery growth of *Cherax quadricarinatus* juveniles fed on two high-protein diets: Effect of daily feeding following a cyclic feeding period on growth, biochemical composition and activity of digestive enzymes. *Aquaculture*, 433, 404-410.
- Suárez, M. D., Martínez, T. F., Sáez, M. I., Morales, A. E., & García-Gallego, M. (2010). Effects of dietary restriction on post-mortem changes in white muscle of sea bream (*Sparus aurata*). *Aquaculture*, 307(1-2), 49-55.
- Taşbozan, O., Emre, Y., Gökçe, M. A., Erbaş, C., Özcan, F., & Kıvrak, E. (2016). The effects of different cycles of starvation and re-feeding on growth and body composition in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*, Walbaum, 1792). *Journal of Applied Ichthyology*, 32(3), 583-588.
- Thomas, R. M., Verma, A. K., Krishna, H., Prakash, S., Kumar, A., & Peter, R. M. (2021). Effect of salinity on growth of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and spinach (*Spinacia oleracea*) in aquaponic system using inland saline groundwater. *Aquaculture Research*, 52(12), 6288-6298.
- Tian, X., & Qin, J. G. (2003). A single phase of food deprivation provoked compensatory growth in barramundi *Lates calcarifer*. *Aquaculture*, 224(1-4), 169-179.
- Tian, X., & Qin, J. G. (2004). Effects of previous ration restriction on compensatory growth in barramundi *Lates calcarifer*. *Aquaculture*, 235(1-4), 273-283.
- Tian, X., Fang, J., & Dong, S. (2010). Effects of starvation and recovery on the growth, metabolism and energy budget of juvenile tongue sole (*Cynoglossus semilaevis*). *Aquaculture*, 310(1-2), 122-129.

- Tsoumalakou, E., Mente, E., Vlahos, N., & Levizou, E. (2023). Cultivating the Mediterranean Wild Edible Species *Cichorium spinosum* L. in Aquaponics: Functional and Growth Responses to Minimal Nutrient Supplementation. *Sustainability*, 15(6), 5572.
- Tsoumalakou, E., Mente, E., Vlahos, N., & Levizou, E. (2023). Spinach Responds to Minimal Nutrient Supplementation in Aquaponics by Up-Regulating Light Use Efficiency, Photochemistry, and Carboxylation. *Horticulturae*, 9(3), 291.
- Turano, M. J., Borski, R. J., & Daniels, H. V. (2007). Compensatory growth of pond-reared hybrid striped bass, *Morone chrysops* × *Morone saxatilis*, fingerlings. *Journal of the World Aquaculture Society*, 38(2), 250-261.
- Vlahos N., Kormas K. Ar., Pachiadaki M. G., Meziti A., Hotos G. N., Mente E. (2013). Changes of bacterioplankton apparent species richness in two ornamental fish aquaria SpringerPlus a Springer Open Journal 2:66, 1-9
- Vlahos, N., Levizou, E., Patsea, E., Tasiou, K., Berillis, P., Antonopoulou, E., Bekiari V., Martou N., Morfesis K., Lazari D., Chatzimavroudis C. S., Krigas N., Kormas K., & Mente, E. (2023). Salinity affects the efficiency of a brackish aquaponics system of sea bass (*Dicentrarchus labrax*) and rock samphire (*Crithmum maritimum*). *Aquaculture*, 739493.
- Vlahos, N., Levizou, E., Stathopoulou, P., Berillis, P., Antonopoulou, E., Bekiari, V., Antonopoulou, E., Bekiari V., Krigas N., Kormas K. & Mente, E. (2019). An experimental brackish aquaponic system using juvenile gilthead Sea Bream (*Sparus aurata*) and Rock Samphire (*Crithmum maritimum*). *Sustainability*, 11(18), 4820.
- Waller, U., Buhmann, A. K., Ernst, A., Hanke, V., Kulakowski, A., Wecker, B., Orellana J. & Papenbrock, J. (2015). Integrated multi-trophic aquaculture in a zero-exchange recirculation

- aquaculture system for marine fish and hydroponic halophyte production. *Aquaculture international*, 23(6), 1473-1489.
- Wang, C., Liang, Y., Fang, Y., & Chang, X. (2019). Effects of cyclical short-term food deprivation and refeeding on compensatory growth and gene expression of SOD, GPX and HSP70 in *Schizothorax wangchiachii*. *Fish & Shellfish Immunology*, 94, 628-633.
- Wang, Y., Cui, Y., Yang, Y., & Cai, F. (2000). Compensatory growth in hybrid tilapia, *Oreochromis mossambicus*×*O. niloticus*, reared in seawater. *Aquaculture*, 189(1-2), 101-108.
- Wang, Y., Li, C., Qin, J. G., & Han, H. (2009). Cyclical feed deprivation and refeeding fails to enhance compensatory growth in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* L. *Aquaculture Research*, 40(2), 204-210.
- Wiehe, P. O. (1935). A quantitative study of the influence of tide upon populations of *Salicornia europaea*. *The Journal of Ecology*, 323-333.
- Wu, X. Y., Chen, Y. Y., Lai, J. S., Liu, Y., Song, M. J., Gong, Q., & Long, Z. H. (2021). Effects of starvation and refeeding on growth performance, appetite, growth hormone–insulin-like growth factor axis levels and digestive function of *Acipenser dabryanus*. *British Journal of Nutrition*, 126(5), 695-707.
- Xie, S., Zhu, X., Cui, Y., Wootton, R. J., Lei, W., & Yang, Y. (2001). Compensatory growth in the gibel carp following feed deprivation: temporal patterns in growth, nutrient deposition, feed intake and body composition. *Journal of Fish Biology*, 58(4), 999-1009.
- Xu, Y., Tan, Q., Kong, F., Yu, H., Zhu, Y., Yao, J., & Azm, F. R. A. (2019). Fish growth in response to different feeding regimes and the related molecular mechanism on the changes in skeletal muscle growth in grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*). *Aquaculture*, 512, 734295.

- YavuzcanYildiz, H., Robaina, L., Pirhonen, J., Mente, E., Domínguez, D., & Parisi, G. (2017). Fish welfare in aquaponic systems: its relation to water quality with an emphasis on feed and faeces—a review. *Water*, 9(1), 13.
- Yengkokpam, S., Sahu, N. P., Pal, A. K., Debnath, D., Kumar, S., & Jain, K. K. (2014). Compensatory growth, feed intake and body composition of *Labeo rohita* fingerlings following feed deprivation. *Aquaculture Nutrition*, 20(2), 101-108.
- Zaefarian, A., Yeganeh, S., & Ouraji, H. (2020). The Effects of starvation and refeeding on growth and digestive enzymes activity in Caspian brown trout (*Salmo caspius* Kessler, 1877) fingerlings. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 19(3), 1111-1129.
- Zar, J. H. (1999). *Biostatistical analysis*. Pearson Education India.
- Zhu, X., Cui, Y., Ali, M., & Wootton, R. J. (2001). Comparison of compensatory growth responses of juvenile three-spined stickleback and minnow following similar food deprivation protocols. *Journal of Fish Biology*, 58(4), 1149-1165.
- Zhu, X., Xie, S., Zou, Z., Lei, W., Cui, Y., Yang, Y., & Wootton, R. J. (2004). Compensatory growth and food consumption in gibel carp, *Carassius auratus gibelio*, and Chinese longsnout catfish, *Leiocassis longirostris*, experiencing cycles of feed deprivation and re-feeding. *Aquaculture*, 241(1-4), 235-247.
- Ziegelbecker, A., & Sefc, K. M. (2021). Growth, body condition and contest performance after early-life food restriction in a long-lived tropical fish. *Ecology and Evolution*, 11(16), 10904-10916.

Ελληνικές βιβλιογραφικές αναφορές:

ΘΕΟΔΩΡΑΚΑΚΗ, Ε. Ε. Α. (2022). Επίδραση του επιπέδου διατροφής στη φυσιολογική απόκριση της ρόκας (*Erucasativa*) και του γάστρου (*Lisasaliens*) σε υφάλμυρο πειραματικό σύστημα ενυδρειοπονίας μικρής κλίμακας.

Βιβλία:

Μεντέ Ε.–Νέγκας Ι. (2011) Στοιχεία φυσιολογίας θρέψεως και εφαρμοσμένη διατροφή ιχθύων και καρκινοειδών. Εκδόσεις Παπαζήση, Αθήνα σελ.485

Παπουτσόγλου Σ.Ε. (2008) Διατροφή Ιχθύων. Εκδόσεις Αθ. Σταμούλης, Αθήνα σελ.517.

Γναρδέλης Χ. (2022) Ανάλυση δεδομένων με το IBM spss statistics 28. Εκδόσεις Παπαζήση, Αθήνα, Κεφ. 10, 15

Διαδικτυακές πηγές:

<https://www.shutterstock.com/el/search/salicornia> (*Salicornia europaea*)

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/?uri=CELEX%3A32018R0848> (ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ (ΕΕ) 2018/848 ΤΟΥ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΪ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ της 30ής Μαΐου 2018 για τη βιολογική παραγωγή και την επισήμανση των βιολογικών προϊόντων και για την κατάργηση του κανονισμού (ΕΚ) αριθ. 834/2007 του Συμβουλίου)

<https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/174196/nutrients> (U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE)