



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

ΤΜΗΜΑ ΖΩΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΛΙΕΙΑΣ &
ΥΔΑΤΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

«Επίδραση του επιπέδου διατροφής στη φυσιολογική απόκριση της ρόκας (*Eruca sativa*) και του γάστρου (*Lisa saliens*) σε υφάλμυρο πειραματικό σύστημα ενυδραιοπονίας μικρής κλίμακας»

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών σπουδών

«Βιώσιμη Αλιεία-Υδατοκαλλιέργεια»

Ελεούσα-Ελένη Θεοδωρακάκη

Γεωπόνος Ιχθυολόγος

Μεσολόγγι, Ιούνιος 2022

Πανεπιστημίο Πατρών,

Τμήμα Ζωικής Παραγωγής, Αλειας και Υδατοκαλλιεργειών

Ελεούσα-Ελένη Θεοδωρακάκη

© [2022]-Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος

Η έγκριση της διατριβής για απόκτηση Διπλωματικής Μεταπτυχιακών Σπουδών από το Τμήμα Ζωικής Παραγωγής, Αλειάς του Πανεπιστημίου Πατρών δεν υποδηλώνει την αποδοχή των γνωμών του συγγραφέα.
N.5343/1392,άρθρο 202

**UNIVERSITY OF PATRAS
SCHOOL OF AGRICULTURAL SCIENCES
DEPARTMENT OF ANIMAL PRODUCTION, FISHERIES, AND
AQUACULTURE**

**POSTGRADUATE COURSE IN SUSTAINABILITY AQUACULTURE
AND FISHERIES**

POSTGRADUATE MASTER'S THESIS

**« The effect of feeding level ratio in the physiological response of
rocket (*Eruca sativa*) and leaping grey mullets (*Lisa saliens*) in a small scale
experimental brackish aquaponic systems »**

Eleousa-Eleni Theodorakaki

MESSOLONGHI 2022

«Επίδραση του επιπέδου διατροφής στη φυσιολογική απόκριση της ρόκας (*E. sativa*) και του γάστρου (*L. saliens*) σε υφάλμυρο πειραματικό σύστημα ενυδρειοπονίας μικρής κλίμακας»

Τριμελής Συμβουλευτική Εξεταστική Επιτροπή:

- 1) **Νικόλαος Βλάχος**, Ε.ΔΙ.Π., Φυσιολογία θρέψης Υδρόβιων Οργανισμών στην Ενυδρειολογία και Ενυδρειοπονία. Τμήμα Ζωικής Παραγωγής, Αλιείας και Υδατοκαλλιεργειών, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Πατρών, ***Επιβλέπων***.

- 2) **Ελένη Μεντέ**, Καθηγήτρια, Φυσιολογία Θρέψης Υδρόβιων Ζωικών Οργανισμών, Τμήμα Κτηνιατρικής, Σχολή Επιστημών Υγείας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, ***Μέλος***.

- 3) **Γεώργιος Ζερβουδάκης**, Αναπληρωτής Καθηγητής, Φυσιολογία – Βιοχημεία Φυτών, Τμήμα Γεωπονίας, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Πατρών, ***Μέλος***.

*Αφιερωμένη
στην οικογένειά μου*

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες σε όλους τους ανθρώπους που συνέλαβαν στην ολοκλήρωση της παρούσας Μεταπτυχιακής Διπλωματικής Εργασίας.

Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Δρ Νικόλαο Βλάχο, επιβλέπων της διπλωματικής εργασίας για την αμέριστη βοήθεια και την συνεχή καθοδήγηση που μου προσέφερε καθ' όλη την διάρκεια της εκπόνησης και συγγραφής της παρούσας εργασίας. Μου δόθηκε η ευκαιρία να συνεργαστώ μαζί του, μεταδίδοντάς μου συνεχώς πολύτιμες γνώσεις και επαγγελματικές δεξιότητες, ενώ η ανιδιοτελή στήριξή του υπήρχε σε επαγγελματικό και προσωπικό επίπεδο καθ' όλη την διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας.

Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω τα μέλη της τριμελούς συμβουλευτικής και εξεταστικής επιτροπής την κ. Ελένη Μεντέ, Καθηγήτρια του Τμήματος Κτηνιατρικής του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης και τον κ. Γεώργιο Ζερβουδάκη, Αναπληρωτή Καθηγητή, του Τμήματος Γεωπονίας, του Πανεπιστημίου Πατρών για τις χρήσιμες συμβουλές και καθοδήγησή τους κατά την εκπόνηση της πειραματικής διαδικασίας και συγγραφής της εργασίας.

Επίσης, ευχαριστώ θερμά την κ. Χριστίνα Μπλαχούρα μέλος ΕΤΕΠ του τμήματος Επιστήμης Φυτικής Παραγωγής και τον κ. Αθανάσιο Κουλόπουλο μέλος ΕΤΕΠ του τμήματος Επιστήμης Βιοσυστημάτων και Γεωργικής Μηχανικής του Πανεπιστημίου Πατρών για την ανιδιοτελή βοήθεια που μου προσέφεραν με τη σπορά των φυτών ρόκας, τη διαχειρισή τους στα πρώτα στάδια ανάπτυξής τους και τα συστήματα καταγραφής των αβιοτικών παραμέτρων κατά τη διάρκεια διεξαγωγής του πειράματος.

Πολλές ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω στους Παπαδάκη Γεώργιο και Καλλούσια Στέλιο, προπτυχιακοί φοιτητές του Τμήματος Τεχνολογίας Αλιείας -Υδατοκαλλιεργειών του πρώην ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας για την άριστη συνεργασία και την συνεχή υποστήριξή τους καθ' όλη την διάρκεια διεξαγωγής του πειραματικού μέρους της εργασίας. Ευχαριστώ επίσης, τον κ. Εμμανουήλ Καπετάνιο, μεταπτυχιακό φοιτητή του Τμήματος Γεωπονίας, Ιχθυολογίας και Υδάτιμου Περιβάλλοντος, για την άμεση και ανιδιοτελή βοήθειά του, καθώς και την εταιρεία ιχθυοτροφών Feedus-NHREAS A.E για την ευγενική χορηγία της ιχθυοτροφής που χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στην οικογένειά μου και στους δικούς μου ανθρώπους για την αμέριστη συμπαράσταση, βοήθεια και προ πάντων, για την υπομονή, κατανόηση και σεβασμό που μου έδειξαν καθ' όλο το χρονικό διάστημα των μεταπτυχιακών μου σπουδών.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν να μελετήσει την επίδραση του επίπεδου διατροφής (ως % της ζ.β./ημέρα) στη μέγιστη ανάπτυξη των νεαρών ατόμου γάστρου, *Lisa saliens*, που εκτρέφονται σε υφάλμυρο ενυδρειοπονικό σύστημα που συγκαλλιεργείται με φυτά ρόκας (*Eruca sativa*) καθώς και την επίδρασή του στο ποσοστό παραγωγής της αμμωνίας. Συνολικά χρησιμοποιήθηκαν 180 άτομα γάστρου με μέσο αρχικό βάρος $0,69 \pm 0,01$ gr και μέσο μήκος $4,23 \pm 0,04$ cm, τα οποία διαμοιράστηκαν σε 3 αυτόνομα ανακυκλούμενα συστήματα με τη μέθοδο του τεχνικού υποστρώματος (NFT) (3 δεξαμενές/σύστημα). Τα ψάρια σιτίζονταν με το χέρι με εμπορικά σύμπηκτα τέσσερις φορές την ημέρα, με ποσοστά διατροφής 2% του ζ.β./ημέρα, 5% του ζ.β./ημέρα και 7% του ζ.β./ημέρα. Το πείραμα διήρκεσε 45 ημέρες.

Ο ρυθμός παραγωγής αμμωνίας μετριοούνταν μία φορά την εβδομάδα. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα νεαρά άτομα του γάστρου, παρουσίασαν στατιστικά σημαντικά καλύτερη ανάπτυξη (SGR, % /ημέρα) όταν τρέφονταν με 7% του ζ.β./ημέρα (SGR= $3,0 \pm 0,04\%$ / ημέρα) σε σύγκριση με το 5% του ζ.β./ημέρα (SGR= $2,1 \pm 0,05\%$ / ημέρα) και 2% του ζ.β./ημέρα (SGR= $0,51 \pm 0,03\%$ /ημέρα) ($p < 0,05$). Ο ρυθμός παραγωγής αμμωνίας ήταν στατιστικά σημαντικά υψηλότερος ($0,03 \pm 0,01$ mg TAN/h) για το γάστρο, *L. saliens* που τρέφονταν με 7% του ζ.β./ημέρα σε σύγκριση με το 5% του ζ.β./ημέρα και 2% του ζ.β./ημέρα. Δεν υπήρχαν σημαντικές διαφορές στον ρυθμό απομάκρυνσης της αμμωνίας από τα φυτά (NRE) στα ενυδρειοπονικά σύστημα NFT ($p > 0,05$). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ο γάστρος *L. saliens*, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως νέο είδος σε υφάλμυρα ενυδρειοπονικά συστήματα λόγω της αυξημένης απόδοσης, ανάπτυξης και του αυξημένου ρυθμού επιβίωσης παράγοντας ικανοποιητικά επίπεδα αζώτου που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τα φυτά για την ανάπτυξή τους.

Επίσης, στο παρόν πείραμα μελετήθηκε η φυσιολογική απόκριση της ρόκας και η επίδραση της αμμωνίας στην ανάπτυξή της. Μετρήθηκαν η περιεκτικότητα των φύλλων σε χλωροφύλλη και ανθοκυανίνες καθώς επίσης και ορισμένες φυσιολογικές παράμετροι όπως ο ρυθμός φωτοσύνθεσης, διαπνοής κλπ. του φυτού μια φορά την εβδομάδα. Τα αποτελέσματα έδειξαν μείωση της περιεκτικότητας σε χλωροφύλλη που συνοδεύεται από μειωμένη φωτοσυνθετική ικανότητα πιθανώς λόγω της επίδρασης της αλατότητας στη φυσιολογική απόκριση του φυτού.

Λέξεις κλειδιά: Ενυδρειοπονία σε υφάλμυρο νερό, ανάπτυξη γάστρου και ρόκας, αλατότητα, ρυθμός απορρόφησης θρεπτικών, ρυθμός παραγωγής αμμωνίας και φυσιολογική απόκριση της ρόκας.

ABSTRACT

The aim of the present study was to investigate the feeding rate (as % of b.w/d) for maximum growth of juvenile leaping grey mullet, *Lisa saliens* reared in a brackish aquaponic system co-cultured with rocket plant and its effect on the ammonia production rate. A total number of 180 individuals of leaping grey mullets with an average initial weight of 0.69 ± 0.01 gr, and an average length of 4.23 ± 0.04 cm were used. They were divided into 3 autonomous nutrient film technique (NFT) aquaponic systems (3 tanks/system). Fish were fed by hand with a commercial diet four times per day, with feeding rates of 2% of b.w/d, 5% of b.w/d and 7% of b.w/d. The experiment lasted 45 days.

Ammonia production rate was monitored once a week. The results showed that juvenile leaping grey mullets, showed statistically significantly better growth performance (SGR, % / d) when they fed 7% of their b.w/d (SGR= $3.0 \pm 0.04\%/d$) compared to the ones that were fed 5% of their b.w (SGR= $2.1 \pm 0.05 \%/d$) and 2% of their b.w (SGR= $0.51 \pm 0.03\%/d$) ($p < 0.05$). Ammonia production rate was statistically significant higher (0.03 ± 0.01 mg TAN/h) for leaping grey mullet, *L. saliens* fed 7% of their b.w compared to 5% of their b.w and 2% of their b.w. There were no significant differences in ammonia removal efficiency by the plants (NRE) in the NFT hydroponic systems ($p > 0.05$). The results showed that *L. saliens*, can be used as a new species in brackish aquaponic systems due to their rapid growth performance and survival rate and produce satisfactory nitrogen levels which can be used by the plants for their growth.

To investigate the plant response in the brackish aquaponic system, the chlorophyll and anthocyanin leaf contents and physiological parameters such as the photosynthetic, the transpiration rate etc. were measured once a week. The results showed a reduction for both the chlorophyll and the the photosynthetic rate probably due to the effect of salinity on the physiological response of the plant.

Keywords: Brackish aquaponics system, growth performance of *L.saliens*, *Eruca sativa* salinity, nutrient removal efficiency, ammonia production rate, plants response.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	7
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	9
ABSTRACT	10
1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ	14
1.1. Η ενυδρειοπονία ως μια ασφαλής μέθοδος παραγωγής τροφίμων	14
1.2. Συστήματα ενυδρειοπονίας και η εφαρμογή της τεχνολογίας στην παραγωγή αγροτικών προϊόντων	15
1.2.1. Βιώσιμη παραγωγή φυτών: θρέψη και ανάπτυξη	16
1.2.2. Η χρήση του υδροπονικού υποσυστήματος θρεπτικού υποστρώματος NFT στην ενυδρειοπονία	17
1.3. Υφιστάμενη κατάσταση στην ενυδρειοπονία και υφάλμυρη ενυδρειοπονία.....	19
1.3.1. Είδη ιχθύων και φυτών που χρησιμοποιούνται στην ενυδρειοπονία υφάλμυρου- θαλασσινού νερού	20
1.3.2. Επίδραση της αλατότητας στην ανάπτυξη των φυτών (γλυκόφυτων)	22
1.4. Οικοφυσιολογία του Γάστρου και της Ρόκας	23
1.4.1 Οικοφυσιολογία του γάστρου σε ενυδρειοπονικά συστήματα.....	23
1.4.2. Οικοφυσιολογία της ρόκας σε ενυδρειοπονικά συστήματα.....	23
2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΡΕΥΝΑΣ	24
2.1 Προμήθεια ιχθυδίων γάστρου (<i>Lisa saliens</i>) και φυτών ρόκας (<i>Eruca sativa</i>)-εγκλιματισμός στις συνθήκες καλλιέργειας.....	24
2.1.1 Διαχείριση, εγκλιματισμός ιχθυδίων γάστρου	25
2.1.2 Διαχείριση και εγκλιματισμός φυτών ρόκας.....	26
2.2 Πειραματικός σχεδιασμός: Περιγραφή συστήματος ενυδρειοπονίας-Συνθήκες εκτροφής-Διαχείριση συστήματος	27
2.3 Πειραματικό πρωτόκολλο ανάπτυξης γάστρου και ρόκας.....	29
2.4. Βύθισμα Αντλίας ενυδρειοπονικού συστήματος.....	30
2.5. Παροχή νερού και ροή αέρα	31
2.6. Φωτισμός.....	31
2.7. Σιτηρέσιο και χορήγηση τροφής	32

2.8. Μετρήσεις μορφομετρικών χαρακτηριστικών γάστρου και ρόκας.....	34
2.8.1. Μετρήσεις μορφομετρικών χαρακτηριστικών γάστρου.....	34
2.8.2. Μετρήσεις μορφομετρικών χαρακτηριστικών ρόκας	35
2.9. Μετρήσεις αβιοτικών παραγόντων	35
2.9.1. Φασματοφωτομετρικός προσδιορισμός αμμωνιακών ($\text{NH}_4^+\text{-N}$)	37
2.9.2. Φασματοφωτομετρικός προσδιορισμός των νιτρικών ιόντων ($\text{NO}_3^-\text{-N}$) και νιτρωδών ιόντων ($\text{NO}_2^-\text{-N}$)	38
2.9.3. Φασματοφωτομετρικός προσδιορισμός φωσφορικών ιόντων ($\text{PO}_4^-\text{-P}$)	39
2.9.4. Φασματοφωτομετρικός προσδιορισμός σίδηρος (Fe^{2+})	40
2.10. Χημικές αναλύσεις.....	41
2.10.1 Προσδιορισμός ξηράς ουσίας	41
2.10.2 Προσδιορισμός ολικών αζωτούχων ενώσεων	42
2.10.3 Προσδιορισμός ολικών λιπιδίων	43
2.10.4 Προσδιορισμός τέφρας.....	44
2.10.5 Προσδιορισμός ολικής ενέργειας.....	45
2.11. Δείκτες ανάπτυξης.....	45
2.11.1 Δείκτες ανάπτυξης και αξιοποίησης τροφής.....	45
2.11.2 Δείκτες ανάπτυξης ρόκας και ρυθμός απορρόφησης θρεπτικών	46
2.11.3 Παράμετροι ανταλλαγής αερίων, μετρήσεις χλωροφύλλης και ανθοκυανινών	46
2.12. Δείκτες λειτουργίας και απόδοσης φίλτρου ενυδρείοπονικών συστημάτων.	47
2.13. Στατιστική επεξεργασία	48
3.ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	49
3.1. Αβιοτικοί παράμετροι	49
3.1.1. Ολική αμμωνία στο σημείο εισόδου (TAN_{in}) και εξόδου (TAN_{out}) του συστήματος.....	50
3.1.2. Νιτρικά ιόντα στο σημείο εισόδου ($\text{NO}_3^-\text{N}_{\text{in}}$) και εξόδου ($\text{NO}_3^-\text{N}_{\text{out}}$) του συστήματος....	51
3.1.5. Νιτρώδη ιόντα (NO_2^-) και Σίδηρος (Fe)	56
3.2. Ανάπτυξη και επιβίωση ατόμων γάστρου	57
3.2.1. Επιβίωση ατόμων γάστρου	57
3.3. Δείκτες ανάπτυξης γάστρου	57

3.3.1. Βάρος και μήκος σώματος	57
3.3.2. Αύξηση βάρους (WG), ποσοτιαία αύξηση βάρους (BWI,%), συντελεστής ευρωστίας (K) και ειδικός ρυθμός ανάπτυξης (SGR)	58
3.4. Δείκτες αξιοποίησης της τροφής.....	59
3.4.1. Συντελεστής ημερήσιας πρόσληψη τροφής (DFI), μετατρεψιμότητας (FCR) και απόδοσης πρωτεϊνών (PER).....	59
3.5. Χημική σύσταση μυϊκού ιστού στο γάστρο	60
3.6. Δείκτες ανάπτυξης ρόκας.....	61
3.7. Δείκτες απορρόφησης θρεπτικών συστατικών ρόκας.....	62
3.8. Χημική σύσταση της ρόκας - περιεκτικότητα και απορρόφηση σε άζωτο	63
3.9. Δείκτες απόκρισης της ρόκας.....	65
3.9.1. Περιεκτικότητα των φύλλων ρόκας σε χλωροφύλλη και ανθοκυανίνες.....	66
3.9.2. Παράμετροι ανταλλαγής αερίων	67
3.10. Απόδοση ενυδρειοπονικών συστημάτων	69
4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	73
4.1. Αβιοτικοί παράμετροι	73
4.2. Δείκτες ανάπτυξης του γάστρου, επιβίωση και αξιοποίηση τροφής.....	76
4.3. Χημική σύσταση μυϊκού ιστού γάστρου.....	79
4.4. Ανάπτυξη ρόκας, ρυθμός απορρόφησης θρεπτικών, περιεκτικότητα σε άζωτο και δείκτες φυσιολογικής απόκρισης της ρόκας.....	80
4.5. Απόδοση Ενυδρειοπονικών συστημάτων	84
6.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	89
6.1. Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία.....	89
6.2. Ελληνική Βιβλιογραφία.....	98

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Η ενυδραιοπονία ως μια ασφαλής μέθοδος παραγωγής τροφίμων

Το πρόβλημα αναζήτησης τροφής σε παγκόσμιο επίπεδο είναι ιδιαίτερα έντονο και καθημερινά εντείνεται περισσότερο, εξαιτίας του ρυθμού αύξησης του πληθυσμού της γης. Το 2050 αναμένεται να φθάσει τα 9 δισεκατομμύρια άτομα με αποτέλεσμα να επίκειται αύξηση της ζήτησης προϊόντων διατροφής και κατ' επέκταση αυτών που προέρχονται από τον αγροτικό τομέα. Η ασφαλής παραγωγή τροφίμων, όμως, είναι μείζονος σημασίας και εξαρτάται από την διαχείριση των φυσικών πόρων στον γεωργικό τομέα ελαχιστοποιώντας τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις (Velten *et al.* 2015, Pinho *et al.* 2021).

Η παραγωγή τροφίμων μέσω της συμβατικής γεωργίας εξαρτάται από τις μη βιώσιμες πρακτικές διαχείρισης καθώς και τις ευμετάβλητες κλιματικές συνθήκες. Αυτό οδήγησε στην ανάπτυξη καινοτόμων και εναλλακτικών μεθόδων παραγωγής βιώσιμων τροφίμων και φιλικών προς το περιβάλλον, όπως η ενυδραιοπονία (Palm *et al.* 2018, Pinho *et al.* 2021).

Η ενυδραιοπονία χαρακτηρίζεται ως μια μέθοδος συγκαλλιέργειας που συνδυάζει την ιχθυοκαλλιέργεια και την υδροπονική καλλιέργεια φυτών σε ένα ανακυκλούμενο σύστημα αξιοποιώντας κατά βάση τα απόβλητα των ψαριών για τη θρέψη των φυτών.

Πρόκειται για μια φιλική προς το περιβάλλον διαδικασία παραγωγής τροφίμων που δεν χρησιμοποιεί χημικά λιπάσματα για τα φυτά (Lennard 2019, Vlahos *et al.* 2019). Επίσης συμβάλλει στην εξοικονόμηση νερού, ώστε τα φυτά να αναπτύσσονται ικανοποιητικά, επωφελούμενα από τα διαλυμένα βιοδιαθέσιμα θρεπτικά συστατικά, τα οποία ανακυκλώνονται διαμέσου του ελάχιστου όγκου νερού που χρησιμοποιεί το σύστημα (Rakocy 2012, Lennard 2019). Οι Essa *et al.* (2008) αναφέρουν ότι στα ενυδραιοπονικά συστήματα διασφαλίζεται η ευζωία ψαριών και φυτών περιορίζοντας κατά πολύ την εκδήλωση ασθενειών.

Η λειτουργία των ενυδραιοπονικών συστημάτων, όπως αναφέρθηκε, στηρίζεται στη βιοχημική διεργασία της νιτροποίησης όπου διαμέσου των νιτροποιητικών βακτηρίων (*nitrosomonias species* και *nitrobacter species*) τα μεταβολικά προϊόντα των ψαριών (αμμωνιακά ιόντα) χαρακτηρίζονται ως υγρά απόβλητα (Asciuto *et al.* 2019), οξειδώνονται στο τελικό τους στάδιο σε μη τοξικά θρεπτικά (νιτρικά ιόντα) τα οποία είναι κατάλληλα για την ανάπτυξη των φυτών που καλλιεργούνται στα υδροπονικά υποσυστήματα. Με το πέρας της διαδικασίας αυτής το νερό απαλλάσσεται κατά 97% από τα νιτρικά ιόντα και ρέει προς τις δεξαμενές εκτροφής των ψαριών.

Η ποιότητα του νερού έχει στοιχειώδη σημασία στη βελτιστοποίηση των διαδικασιών παραγωγής των ενυδρειοπονικών συστημάτων επηρεάζοντας σημαντικά την υγεία των ψαριών και των φυτών (Vlahos *et al.* 2019). Τα συστήματα ενυδρειοπονίας αποτελούν ένα ολοκληρωμένο σύστημα παραγωγής φυτών και ψαριών τα οποία εκμεταλλεύονται τους φυσικούς κύκλους των βακτηρίων.

1.2. Συστήματα ενυδρειοπονίας και η εφαρμογή της τεχνολογίας στην παραγωγή αγροτικών προϊόντων

Τα συστήματα ενυδρειοπονίας, ταξινομούνται σε τρεις κύριες κατηγορίες σύμφωνα με τη τεχνική διαδικασία που εφαρμόζεται για την καλλιέργεια των φυτών στα υδροπονικά υποσυστήματα.

Τα υδροπονικά υποσυστήματα που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή των φυτών σύμφωνα με τους Kledal *et al.* (2019) είναι: Το σύστημα DWC (Deep Water Culture-καλλιέργεια σε βαθιά νερά) ή της επιπλέουσας σχεδίας (raft) είναι μια πρακτική διαδικασία που είναι ευρέως διαδεδομένη σύμφωνα με την οποία τα φυτά είναι τοποθετημένα σε μια πλωτή σχεδία με τις ρίζες τους να είναι βυθισμένες σε πολύ καλά αεριζόμενο νερό απορροφώντας τα θρεπτικά συστατικά.

Τα συστήματα θρεπτικού υποστρώματος NFT (Nutrient Fluid Technique) είναι μια υδροπονική τεχνική σύμφωνα με την οποία στηρίζεται στη δημιουργία ενός λεπτού στρώματος θρεπτικών ελάχιστου βάθους. Στα εν λόγω υποσυστήματα οι ρίζες των φυτών βρίσκονται στο μεγαλύτερο μέρος τους στον αέρα.

Η τελευταία υδροπονική τεχνική που χρησιμοποιείται είναι εκείνη του Flood και Ebb η οποία σύμφωνα με τους Zou *et al.* (2016) και τους Kledal *et al.* (2019) περιγράφεται ως μια διαδικασία συνεχόμενης εισροής (flood) και εκροής νερού (drain-αποστράγγιση) διαμέσου σιφωνίου σε υπόστρωμα. Η πλήρωση της υδροπονικής δεξαμενής με νερό και η αποστράγγισή της λαμβάνει χώρα ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Ως πρακτική τεχνική δεν προϋποθέτει την παρουσία βιολογικού φίλτρου λόγω των υλικών πλήρωσης (ελαφρόπετρα ή άργιλος τύπου Leca, ή ηφαιστειογενή υλικά) που χρησιμοποιούνται στην υδροπονική δεξαμενή καθώς και του ρόλου που επιτελούν (βιοχημική διεργασία της νιτροποίησης).

Οι κύριες διαφορές μεταξύ των δύο πρώτων συστημάτων εστιάζουν στον τρόπο καλλιέργειας των φυτών και είναι οι εξής:

Το σύστημα DWC, είναι ένα πλωτό σύστημα όπου τα φυτά καλλιεργούνται σε σχεδίες που επιπλέουν σε δεξαμενές μεγάλου μήκους και μεταβλητού πλάτους, ενώ παράλληλα

χρησιμοποιούνται τόσο ως φίλτρο συμβάλλοντας στη ρύθμιση της θερμοκρασίας και του pH. Αντίθετα, στα υδροπονικά υποσύστημα NFT τα φυτά αναπτύσσονται σε σωλήνες PVC μικρού βάθους δημιουργώντας με τον τρόπο αυτό ένα λεπτό στρώμα θρεπτικού υποστρώματος τροφοδοτώντας τα φυτά με θρεπτικά (Kledal *et al.* 2019).

Και οι δύο κατηγορίες των υποσυστημάτων NFT και DWC χρησιμοποιούν σταθερό διαμέτρημα ανοίγματος οπής στην οποία τοποθετείται το διάτρητο φυτοδοχείο, γεγονός όμως που περιορίζει τον καλλιεργητή ως προς το είδος των φυτών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Παρόλ' αυτά, σε ορισμένα υδροπονικά υποσυστήματα, εφαρμόζονται ταυτόχρονα και οι δύο τεχνικές (DWC και NFT), αυξάνοντας με τον τρόπο αυτό την παραγωγική διαδικασία (Kledal & Thorarinssdotti 2018).

1.2.1. Βιώσιμη παραγωγή φυτών: θρέψη και ανάπτυξη

Σε ένα σύστημα ενυδρειοπονίας, διαμέσου των αποβλήτων των ψαριών και των υπολλειμάτων της τροφής που δεν καταναλώνεται, παράγονται θρεπτικά συστατικά (ανόργανες αζωτούχες ενώσεις, φώσφορος κλπ) που χρησιμοποιούν τα φυτά για την ανάπτυξή τους. Η βιοχημική και μικροβιολογική διεργασία οξείδωσης μετατρέπει την αμμωνία, μέσω αυτότροφων βακτηρίων (*nitrosomonas sp.* & *nitrobacter sp.*), σε νιτρώδη ιόντα (NO_2^-) και στη συνέχεια σε νιτρικά ιόντα (NO_3^-) τα οποία αφομοιώνονται από τα φυτά επιτυγχάνοντας καλύτερη και ταχύτερη ανάπτυξη. Αποτέλεσμα της διεργασίας αυτής, είναι η διατήρηση χαμηλών επιπέδων τοξικών συγκεντρώσεων του NH_4^+ και των NO_2^- χωρίς να απομακρύνεται άζωτο από το σύστημα (Asciuto *et al.* 2019).

Τα φυτά συνδέονται στενά με το περιβάλλον στο οποίο πραγματοποιείται η καλλιέργεια τους και η ανάπτυξή τους επηρεάζεται από παράγοντες όπως η θερμοκρασία, το pH του εδάφους, η διαθεσιμότητα του αζώτου και οι συνθήκες καλλιέργειας (Quinta *et al.* 2013). Το άζωτο παίζει πρωταρχικό ρόλο στην ανάπτυξη των φυτών, επειδή αποτελεί το βασικό δομικό συστατικό των πρωτεϊνών, των ενζύμων, των συνένζυμων, των χλωροφυλλών και νουκλεϊκών οξέων-νουκλεοτιδίων (Wongkiew *et al.* 2017)

Πολλά είδη φυτών δεν παρουσιάζουν την ικανότητα να απορροφούν άζωτο (γλυκό φυτά), σε αντίθεση με άλλα, όπως τα αλόφυτα, όπου είναι ικανά να επιβιώσουν και να αναπαραχθούν σε περιβάλλοντα όπου η συγκέντρωση άλατος είναι περίπου $200 \text{ mmol l}^{-1} \text{ NaCl}$ ή περισσότερο (≥ 12) και κατά συνέπεια δεν παρουσιάζουν προβλήματα στην απορρόφηση του αζώτου (Quinta *et al.* 2013). Η *Salicornia europaea* και το *Aster tripolium*, για παράδειγμα, είναι δύο είδη φυτών που ενδεχομένως να πληρούν αυτές τις απαιτήσεις. Παρόλ' αυτά η

παρουσία αλάτων σε καλλιέργειες γλυκόφυτων δημιουργούν τοξικές συνέπειες στα φυτά με αποτέλεσμα να αυξάνονται η θνησιμότητα, η χλωρίωση, οι νεκρωτικές βλάβες, τα αυξημένα βλαστίδια και να επέρχεται μειωμένη ανάπτυξη (Quinta *et al.* 2013).

Οι Lin *et al.* (2002) μελέτησαν την απορρόφηση της αμμωνίας (NH_4^+) σε συστήματα ενυδραιοπονίας γλυκού νερού καλλιεργώντας φυτά όπως το *Phragmites australis*, το *Pyrus communis* και το *Phalaris arundinace*, η οποία διακυμάνθηκε σε υψηλά επίπεδα από 61 % έως 91 %. Οι Lin *et al.* (2003, 2002) μελέτησαν την ανάπτυξη των φυτών *Ipomoea aquatica*, *Paspalum vaginatum*, *Phragmites australis* ή *Typha angustifolia* σε υφάλμυρα νερά με αλατότητα 3ppt και 5ppt παρουσιάζοντας επίσης αυξημένα ποσοστά απορρόφησης αζώτου (95% έως 98 %).

Η απορρόφηση του αζώτου σε ένα σύστημα ενυδραιοπονίας επηρεάζεται από παράγοντες, όπως το σύστημα και η υδροπονική τεχνική που χρησιμοποιείται, το υδραυλικό φορτίο, το ίζημα, η παροχή του νερού και ο τύπος του νερού. Ωστόσο, η τελική απομάκρυνση του αζώτου από το σύστημα ενυδραιοπονίας εξαρτάται κυρίως από την ικανότητα των καλλιεργήσιμων φυτών να απορροφούν το αζώτο (Quinta *et al.* 2013).

Σε ορισμένες περιπτώσεις, ο ρυθμός αφομοίωσης του αζώτου ποικίλει ανάλογα με τη διαθεσιμότητα του αζώτου στο σύστημα, μιας και τα φυτά δείχνουν ιδιαίτερη προτίμηση και απορροφούν τη μορφή αζώτου που συνήθως βρίσκεται σε αφθονία, όπως για παράδειγμα τα νιτρικά ιόντα (Quinta *et al.* 2013, Wongkiew *et al.* 2017). Ο ρυθμός αφομοίωσης του αζώτου στα φυτά επηρεάζεται από παράγοντες όπως: η παρουσία των νιτρικών ιόντων (NO_3^-), η παρουσία του NH_4^+ , η απορροφητική ικανότητα του φυτού, οι ημερήσιοι κύκλοι φωτός και η θερμοκρασία (Quinta *et al.* 2013).

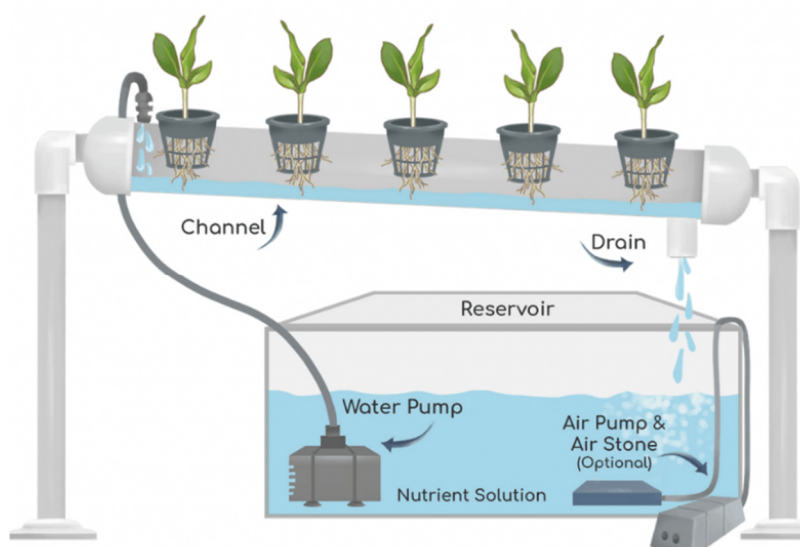
1.2.2. Η χρήση του υδροπονικού υποσυστήματος θρεπτικού υποστρώματος NFT στην ενυδραιοπονία

Η χρήση του θρεπτικού υποστρώματος NFT αποτελεί ένα από τα πιο δημοφιλή υδροπονικά υποσυστήματα για την καλλιέργεια φυτών, κυρίως βοτάνων και λαχανικών, σε επίπεδο εμπορικής παραγωγής και χρησιμοποιείται ευρέως στην ενυδραιοπονία. Η μέθοδος καλλιέργειας συνίσταται στη χρήση σωλήνων PVC οι οποίοι είναι τοποθετημένοι κάθετα ή παράλληλα σε σειρές με ελάχιστη ροή δημιουργώντας ένα λεπτό φιλμ αποτελούμενο από θρεπτικό υπόστρωμα κατάλληλο για την αξιοποίησή του από τα φυτά (Lennard 2012).

Στο σύστημα NFT η ροή του νερού είναι συνεχής και ελάχιστη, με τις ρίζες των φυτών να βρίσκονται στον αέρα αλλά οι άκρες τους να εφάπτονται στο τρεχούμενο νερό

απορροφώντας τα θρεπτικά του. Στη συνέχεια το νερό επιστρέφει στις δεξαμενές καλλιέργειας των ψαριών με μειωμένη συγκέντρωση νιτρικών ιόντων. Η μέθοδος ομοιάζει με τα υποσυστήματα «Flood and Ebb» (συνεχόμενης εισροής-αποστράγγισης νερού) μιας και στις δύο μεθόδους χρησιμοποιούνται αντλίες νερού για τη κυκλοφορία του νερού συνιστώμενο από θρεπτικά συστατικά απαραίτητα για τα φυτά (Εικ.1).

Η μέθοδος του θρεπτικού υποστρώματος NFT, παρέχει υψηλά ποσοστά οξυγόνου στις ρίζες των φυτών αυξάνοντας με τον τρόπο αυτό την απόδοσή τους. Τα φυτά τα οποία χρησιμοποιούνται χαρακτηρίζονται από μικρό ριζικό σύστημα επειδή η κλίση ανάπτυξης των φυτών δεν μπορεί να υποστηρίξει φυτά με μεγάλο ριζικό σύστημα καθώς μειώνει τη ροή ανακυκλοφορίας του νερού στο σύστημα (Engle 2015).



Εικόνα 1. Σχεδιασμός συστήματος NFT (Nutrient Film Technique) (Πηγή: Wortich 2022)

Τα πλεονεκτήματα του υποσυστήματος NFT συνοψίζονται:

- οι ασθένειες και η επάρκεια τροφής στις ρίζες ελέγχεται εύκολα λόγω της απουσίας υποστρώματος καλλιέργειας
- η μειωμένη κατανάλωση νερού και θρεπτικών συστατικών
- σύστημα φιλικό προς το περιβάλλον
- εύκολη απολύμανση ριζών και υλικού σε σχέση με τα άλλα υποσυστήματα υδροπονικής καλλιέργειας
- διατήρηση pH στο ριζικό σύστημα των φυτών

Μεταξύ των μειονεκτημάτων του υποσυστήματος NFT συγκαταλέγονται:

- στην περίπτωση που η κυκλοφορία του νερού σταματήσει, οι ρίζες των φυτών «στεγνώνουν» και υπόκεινται σε έντονο στρες
- η ανεξέλεγκτη ανάπτυξη των φυτών πιθανά να περιορίσει τη λειτουργία του συστήματος NFT

- στα πρώτα στάδια ανάπτυξης είναι πιθανόν στελέχη φυτών να αναπτύξουν μεγαλύτερες θερμοκρασίες απ' ό,τι οι ρίζες των φυτών
- τα συστήματα NFT δεν ενδείκνυνται για ριζώδη, ριζωματώδη, κονδυλώδη και βολβώδη λαχανικά

1.3. Υφιστάμενη κατάσταση στην ενυδραιοπονία και υφάλμυρη ενυδραιοπονία

Τα τελευταία χρόνια το ενδιαφέρον για την ενυδραιοπονία αυξάνεται σε παγκόσμιο επίπεδο. Μελέτες έδειξαν ότι σχεδιάστηκαν και κατασκευάστηκαν τύποι ενυδραιοπονικών συστημάτων με διαφορετική δυναμικότητα τόσο για ερασιτεχνική ή επαγγελματική ενασχόληση, καθώς και για ερευνητικούς ή εκπαιδευτικούς σκοπούς, προκειμένου να διερευνηθούν οι φυσικοχημικοί παραμέτροι και πως επιδρούν στη βιωσιμότητα των συστημάτων ενυδραιοπονίας (Specht *et al.* 2014, Stadler *et al.* 2015). Παρόλο που υπάρχει περιορισμένος αριθμός ενυδραιοπονικών συστημάτων σε εμπορική κλίμακα, τα τελευταία χρόνια παρατηρήθηκε ραγδαία αύξηση στην εγκαθίδρυση και λειτουργία συστημάτων ενυδραιοπονίας σε χώρες της Ευρώπης όπως η Ισπανία, η Ολλανδία, η Σλοβενία, η Ισλανδία, η Δανία, η Γερμανία, το Ηνωμένο Βασίλειο, η Γαλλία και το Βέλγιο με τα προϊόντα ενυδραιοπονίας να έχουν θετικό αντίκτυπο στους καταναλωτές (Joly *et al.* 2015). Οι Ascianto *et al.* (2019), αναφέρουν ότι τα συστήματα ενυδραιοπονίας προωθούν τη βιώσιμη και καινοτόμα δράση για την παραγωγή γεωργικών προϊόντων.

Η ενυδραιοπονία σε γλυκά νερά είναι η πιο διαδεδομένη μέθοδος παραγωγής τροφίμων, παρόλ' αυτά, τα τελευταία χρόνια από τη μια η περιορισμένη χρήση υδάτων γλυκού νερού και από την άλλη η προοδευτική αύξηση της αλατότητας του εδάφους, οδήγησαν στην χρήση εναλλακτικών υδάτινων πόρων στην ενυδραιοπονία, όπως η χρήση υφάλμυρου ή θαλασσινού νερού (Joesting *et al.* 2016, Kotzen *et al.* 2019).

Οι Orellana *et al.* (2013) εστιάζουν στην ενυδραιοπονία με θαλασσινά νερά ως την πιο καινοτόμο στρατηγική με την καλλιέργεια κυρίως αλόφυτων που παρουσιάζουν αυξημένη ανθεκτικότητα στην αλατότητα. Οι McIntosh & Fitzsimmons (2003) και οι Duerror *et al.* (2001) αναφέρουν ότι, τα απόβλητα που παράγονται από τη υφάλμυρη ενυδραιοπονία μπορούν να χρησιμοποιηθούν επιτυχώς για την ανάπτυξη αλόφυτων. Ως εκ τούτου, προκύπτει αυξημένο ενδιαφέρον για την ανάπτυξη της ενυδραιοπονίας σε υφάλμυρο νερό όπου καλλιεργούνται ευρύαλα Μεσογειακά είδη ψαριών και αλοφύτων. Τα ευρύαλα είδη παρουσιάζουν αυξημένη προσαρμοστικότητα στις μεταβολές της αλατότητας σε συνδυασμό με μια μεγάλη ποικιλία

φυτών όπως τα φύκη, τα αλόφυτα ή ορισμένα γλυκόφυτα που παρουσιάζουν ανθεκτικότητα στην αλατότητα (Pantanella & Colla 2013).

Η ενυδραιοπονία σε θαλασσινό νερό βρίσκεται σε πλεονεκτικότερη θέση σε σχέση με την ενυδραιοπονία γλυκού νερού εξαιτίας της αυξημένης ζήτησης και εμπορικής αξίας των προϊόντων που χρησιμοποιεί. Οι Fronte *et al.* (2016) αναφέρουν ότι, η εμπορική αξία των ειδών που παράγονται από την θαλασσινή ενυδραιοπονία μπορεί να φτάσει τα 9 € / kg για τα φυτά και 6 € / kg για τα ψάρια αντίστοιχα.

1.3.1. Είδη ιχθύων και φυτών που χρησιμοποιούνται στην ενυδραιοπονία υφάλμυρου- θαλασσινού νερού

Τα είδη ψαριών που χρησιμοποιούνται στην ενυδραιοπονία θαλασσινού ή υφάλμυρου νερού προέρχονται κυρίως από τη Μεσογειακή υδατοκαλλιέργεια με εμπορική αξία και παρουσιάζουν αυξημένη προσαρμοστικότητα στις μεταβολές της αλατότητας έχοντας την ικανότητα να συνυπάρξουν με μεγάλη ποικιλία φυτών (Πιν.1) (Nozzi *et al.* 2016, Fronte *et al.* 2016). Σημαντική θέση στην μεσογειακή υδατοκαλλιέργεια κατέχει η τσιπούρα (*Sparus Aurata*) (Vlahos *et al.* 2019) και το λαβράκι (*Dicentrarchus labrax*) (Τάσιου 2019, Καπετάνιος 2021) ,καθώς και δεκάποδα καρκινοειδή όπως οι γαρίδες του είδους (*Litopenaeus vannamei*) τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην υφάλμυρη ενυδραιοπονία (da Silva 2016).

Επίσης, τα είδη της οικογένειας Mugilidae (mulletts) όπως το *Mugil cephalus*, το *Chelon labrosus*, το *Liza aurata*, το *L. saliens* και το *Liza ramada* συγκαταλέγονται μεταξύ των ειδών της Μεσογειακής υδατοκαλλιέργειας παρουσιάζοντας αξιόλογο ενδιαφέρον, εμπορική αξία και ζήτηση (Martínez *et al.* 2019) και μπορούν να χρησιμοποιηθούν και αυτά στην υφάλμυρη ενυδραιοπονία ως νέα είδη (Theodorakaki *et al.* 2021). Είναι είδη που παρουσιάζουν αυξημένη προσαρμοστικότητα σε διαφορετικές συνθήκες καλλιέργειας, όπως οι μεταβολές της αλατότητας (Martínez *et al.* 2019). Οι Main *et al.* (2015), αναφέρουν ότι τα είδη *Sciaenops ocellatus* και *Trachinotus carolinus* μπορούν, επίσης, να χρησιμοποιηθούν στην υφάλμυρη ενυδραιοπονία με επιτυχή αποτελέσματα ανάπτυξης.

Σε ό,τι αφορά τα φυτά, τα κυριότερα είδη που χρησιμοποιούνται στην ενυδραιοπονία και παρουσιάζουν αντοχή στην αλατότητα είναι ο κρίταμος, *Chrithmum maritimum* (Vlahos *et al.* 2019, Τάσιου 2019), η αλμύρα, *Salsola soda* (Καπετάνιος 2021), είδη του γένους *Salicornia* (Quinta *et al.* 2013) και το *Quinoa* (Fronte *et al.* 2016). Εκτός από τα αλόφυτα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν επίσης φυτά που ανήκουν στην οικογένεια *Chenopodiaceae* (*Beta vulgaris*-

σέσκουλο) όπου μπορούν και αναπτύσσονται σε νερά με περιεκτικότητα σε αλάτι 3.5-7 g/L (Fronte *et al.* 2016).

Άλλα είδη όπως η κοινή ντομάτα (*Lycopersicon esculentum*) ή ο βασιλικός (*Ocimum basilicum*) ή η ρόκα μπορούν να παραχθούν σημαντικά σε νερά με περιεκτικότητα σε αλάτι έως και 4 g/L. Τέλος, η καλλιέργεια φυκών όπως η σπιρουλίνα (*Arthrospira platensis*), η *Chlorrella* spp., τα φύκη ποτι (*Porphyra yezoensis* και *Porphyra tenera*) μπορούν να χρησιμοποιηθούν επίσης με επιτυχία (Fronte *et al.* 2016).

Πίνακας 1. Είδη ψαριών και φυτών που χρησιμοποιούνται στην ενυδρείοπονία γλυκού και υφάλμυρου νερού.

Αναφορά	Είδος Ψαριού	Είδος Φυτού	Ενυδρείοπονικό σύστημα
Barbosa 2017	<i>Tilapia (Oreochromis niloticus)</i>	μαρούλι (<i>Lactuca sativa</i> L.)	γλυκό νερό
Blanchard <i>et al.</i> 2020	<i>Tilapia (Oreochromis niloticus)</i>	αγγούρι <i>Cucumber</i> (<i>Cucumis sativus</i>)	γλυκό νερό
Castilho-Barros <i>et al.</i> 2018	<i>Pacific white shrimp (Litopenaeus vannamei)</i>	<i>Sarcocornia ambigua</i>	υφάλμυρο νερό
Castro-Castellón <i>et al.</i> 2020	<i>African cichlid Melanochromis sp</i>	<i>Cherry tomato (L. esculentum cv. cerasiforme)</i>	γλυκό νερό
Castro-Mejía <i>et al.</i> 2020	<i>Tilapia (Oreochromis niloticus)</i>	<i>Coriander (Coriandrum sativum), Dill (Anethum graveolens), Parsley (Petroselinum crispum)</i>	γλυκό νερό
Doncato and Costa 2021	<i>Pacific white shrimp (Litopenaeus vannamei)</i>	<i>Sarcocornia neei</i> Lag., <i>Apium graveolens</i> L., <i>Paspalum vaginatum</i> Sw.	υφάλμυρο νερό
Fimbres-Acedo <i>et al.</i> 2020	<i>Tilapia (Oreochromis niloticus)</i>	<i>Lettuce (L.sativa), pak-choi (Brassica rapa subsp. Chinensis), rocket (E.sativa), basil (Ocimum basilicum), spinach (Spinacia oleracea)</i>	γλυκό νερό
Lenz <i>et al.</i> 2017	<i>Tilapia (Oreochromis niloticus)</i>	μαρούλι (<i>L. sativa</i> L.)	γλυκό νερό
Martinez-Cordova <i>et al.</i> 2020	<i>Tilapia (Oreochromis niloticus)</i>	<i>Jalapeño pepper (Capsicum annuum)</i>	γλυκό νερό
Vlahos <i>et al.</i> 2019	<i>Sparus aurata</i>	<i>Chrithum maritimum</i>	υφάλμυρο νερό
Stathopoulou <i>et al.</i> 2021	<i>Dicentrarchus labrax</i>	μαρούλι (<i>L. sativa</i> L.)	γλυκό νερό
Τάσιου 2019	<i>Dicentrarchus labrax</i>	<i>Chrithum maritimum</i>	υφάλμυρο νερό
Καπετάνιος 2021	<i>Dicentrarchus labrax</i>	<i>Salsola soda</i>	υφάλμυρο νερό
Fronte <i>et al.</i> 2016	<i>Dicentrarchus labrax</i>	<i>Betta vulgaris-σέσκουλο</i>	υφάλμυρο νερό
Παρούσα μελέτη	<i>L. saliens</i>	ρόκα (<i>E. sativa</i>)	υφάλμυρο νερό

Το κύριο μειονέκτημα ενός θαλασσινού-υφάλμυρου συστήματος ενυδρείοποιίας έγκειται στην περιορισμένη ποικιλία φυτών που είναι ικανά να αναπτυχθούν σε υψηλή αλατότητα. Στην πραγματικότητα, η πλειονότητα των φυτών επηρεάζεται αρνητικά από υψηλή αλατότητα και μόνο είδη που παρουσιάζουν ανθεκτικότητα στην αλατότητα είναι πιθανόν να χρησιμοποιηθούν επιτυχώς σε υφάλμυρο νερό. Ως εκ τούτου, τα συστήματα προτιμάται να είναι ρυθμισμένα σε χαμηλές αλατότητες, προκειμένου να μην προκαλούνται βλάβες στη φυσιολογία των φυτών και να αυξάνεται η ποικιλία των φυτών που μπορεί να καλλιεργηθεί σε αυτά (Nozzi *et al.* 2016).

1.3.2. Επίδραση της αλατότητας στην ανάπτυξη των φυτών (γλυκόφυτων)

Τα γλυκόφυτα είναι μια κατηγορία φυτών που δεν μπορούν να επιβιώσουν σε συνθήκες αυξημένης αλατότητας σε αντίθεση με τα αλόφυτα που μπορούν (Flowers & Colmer 2008). Σε περιπτώσεις καλλιέργειας γλυκόφυτων σε συνθήκες αυξημένης αλατότητας παρατηρούνται σημαντικές επιδράσεις στο φυτό. Οι συνηθέστερες επιδράσεις της αλατότητας στην ανάπτυξη των γλυκόφυτων είναι τα μικρότερα και λιγότερα φύλλα, το μειωμένο ύψος των φυτών και η χαμηλή απόδοσή τους (Javid *et al.* 2011).

Οι θρεπτικές ανισορροπίες που δημιουργούνται εξαιτίας της αλατότητας προκαλούν μείωση στην ανάπτυξη των φυτών επηρεάζοντας τη διαθεσιμότητα, τη μεταφορά και τον καταμερισμό των θρεπτικών συστατικών. Οι ανεπάρκειες ή ανισορροπίες θρεπτικών συστατικών οφείλονται στον ανταγωνισμό του Na και του Cl με τα υπόλοιπα θρεπτικά συστατικά όπως το K, το Ca, το Mg και τα NO_3^- (Hasegawa & Bressan 2000). Σε φυσιολογικό επίπεδο, η αλατότητα επιβάλλει μια ωσμωτική πίεση που περιορίζει την πρόσληψη νερού και προκαλεί ανεπάρκεια διατροφής (N, Ca, K, P, Fe, Zn) και οξειδωτικό στρες. Οι αντιδράσεις των φυτών στην αλατότητα ποικίλουν ανάλογα με το βαθμό και τη διάρκεια της πίεσης που δημιουργείται, καθώς και το στάδιο ανάπτυξης που βρίσκεται το φυτό (δενδρύλλιο, ανθοφορία, ωριμότητα) όταν ασκείται η πίεση (Javid *et al.* 2011).

Επιπλέον, η αλατότητα επηρεάζει και άλλους σημαντικούς παραμέτρους σε μια καλλιέργεια όπως την ποιότητα του νερού. Για παράδειγμα, η παρουσία διαλυμένου άλατος καθιστά το pH πιο βασικό (8,0-8,4) επηρεάζοντας τη διαθεσιμότητα των θρεπτικών συστατικών. Κατά συνέπεια, τα φυτά που καλλιεργούνται σε θαλασσινά συστήματα θα πρέπει να ανέχονται ακραίες συνθήκες pH και αλατότητας (Javid *et al.* 2011).

Έτσι λοιπόν, το κύριο μειονέκτημα της εκτροφής θαλάσσιων ψαριών σε ενυδρείοποινικό σύστημα συνίσταται στην περιορισμένη ποικιλία φυτών που είναι ικανά να

καλλιεργηθούν και να αναπτυχθούν σωστά σε υψηλή αλατότητα. Στην πραγματικότητα, η πλειονότητα των φυτών επηρεάζεται αρνητικά από την υψηλή αλατότητα και μόνο είδη όπως τα αλόφιλα παρουσιάζουν ανθεκτικότητα στο αλάτι και είναι πιθανόν να εκτραφούν σε υφάλμυρο νερό, όπως προαναφέρθηκε.

1.4. Οικοφυσιολογία του Γάστρου και της Ρόκας

1.4.1 Οικοφυσιολογία του γάστρου σε ενυδρειοπονικά συστήματα

Ο γάστρος (*L. saliens*) ανήκει στην οικογένεια Mugilidae, η οποία περιλαμβάνει 14 γένη και συνολικά 64 έγκυρα είδη (Thomson 1997). Έχει μεγάλη γεωγραφική εξάπλωση, απαντάται κυρίως στον Ανατολικό Ατλαντικό, στη Μεσόγειο Θάλασσα, στη Μαύρη Θάλασσα, στην Αζοφική Θάλασσα και στις ακτές του Ατλαντικού από το Μαρόκο έως τη Γαλλία. Εισήχθη στο Ιράν και τώρα απαντάται στη λεκάνη της Κασπίας Θάλασσας.

Τα ενήλικα άτομα συνήθως κατοικούν σε παράκτια ύδατα όπως στις λιμνοθάλασσες και σε εκβολές ποταμών, ενώ τα νεαρά άτομα μετακινούνται σε παράκτιες λιμνοθάλασσες και εκβολές ποταμών το καλοκαίρι και το φθινόπωρο (Kottelat & Freyhof 2007). Τα ενήλικα άτομα είναι φυτοφάγα τρέφονται με φύκια και φυτικά υπολείμματα ενώ τα νεαρά άτομα τρέφονται με ζωοπλαγκτόν μέχρι περίπου 3 cm και μετά με βενθικούς οργανισμούς μέχρι 5 cm (Frimodt 1995). Η αναπαραγωγή λαμβάνει χώρα το καλοκαίρι και χαρακτηρίζονται ως ωοτόκα (Bent-Tuvia 1986). Στη μέχρι τώρα βιβλιογραφική ανασκόπηση που έγινε δεν βρέθηκαν έρευνες που να χρησιμοποιούν το είδος *L. saliens* (γάστρος) σε ενυδρειοπονικά συστήματα και ως εκ τούτου είναι η πρώτη μελέτη που μελετά τις συνθήκες καλλιέργειας του είδους σε ενυδρειοπονικά συστήματα υφάλμυρου νερού.

1.4.2. Οικοφυσιολογία της ρόκας σε ενυδρειοπονικά συστήματα

Η ρόκα (*E. sativa* L.) είναι ένα ενδημικό είδος που ανήκει στην οικογένεια *Brassicaceae*, καλλιεργείται κυρίως σε μεσογειακές χώρες όπως στην Ιταλία, στην Ελλάδα και στην Τουρκία, αλλά σήμερα απαντάται σε όλο τον κόσμο και έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως ως φαρμακευτικό φυτό (Willamil *et al.* 2002). Οι Neriman *et al.* (2011) αναφέρουν ότι η ρόκα χρησιμοποιείται και ως λαχανικό και ως βότανο. Εκτός από τη χρήση του στη διατροφή του ανθρώπου, χρησιμοποιείται και στη βιομηχανία υγείας και καλλυντικών λόγω του φυτοχημικού περιεχομένου του (Amiripour *et al.* 2016). Η ρόκα είναι επίσης γνωστή ως φαρμακευτικό φυτό το οποίο χρησιμοποιούνταν ως αφροδισιακό, για μολύνσεις των ματιών και για προβλήματα του πεπτικού συστήματος (Yaniv *et al.* 1998).

Έχει αναφερθεί ότι είναι ανθεκτικό φυτό στην αλατότητα του εδάφους καθώς και στην υψηλή γενετική ποικιλότητα μεταξύ των ποικιλιών του. Εξαιτίας της μεγάλης ζήτησης που παρουσιάζει, η καλλιέργεια του φυτού έχει αλλάξει και μπορεί να καλλιεργηθεί με επιτυχή αποτελέσματα σε υδροπονικά υποσυστήματα με τη μέθοδο της επιπλέουσας σχεδίας. Η εν λόγω μέθοδος ενδείκνυται για την καλλιέργεια της ρόκας μιας και το συγκεκριμένο φυτό παρουσιάζει μικρό κύκλο καλλιέργειας παράγοντας 4 φορές περισσότερη βιομάζα σε σχέση με τη συμβατική καλλιέργεια στο χωράφι (Fontana & Nicola 2009). Σύμφωνα με τους Urić *et al* (2017) η υψηλότερη απόδοση του φυτού παρατηρείται σε περιεκτικότητα χλωριούχου νατρίου (NaCl) 14mM, ενώ σημαντικές επιπτώσεις στην ανάπτυξη του φυτού εμφανίζονται σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις άλατος της τάξης του 20 mM NaCl και 40 mM NaCl.

1.5. Σκοπός διπλωματικής εργασίας

Η παρούσα εργασία αποσκοπεί στη διερεύνηση των παραμέτρων που συμβάλλουν στην ανάπτυξη, επιβίωση του γάστρου και της ρόκας καθώς και στην πρόσληψη του αζώτου (N) από τη ρόκα σε ένα σύστημα ενυδρείοπονίας. Για το σκοπό αυτό διερευνήθηκαν:

- η επίδραση τριών διαφορετικών επιπέδων σίτισης (2% του ζ.β/ημέρα, 5% του ζ.β/ημέρα και 7% του ζ.β/ημέρα) στη φυσιολογική απόκριση του γάστρου (*L. saliens*) και της ρόκας (*E. sativa*).
- το επίπεδο διατροφής που οδήγησε στην αυξημένη παραγωγή αζώτου (N) και στη βέλτιστη πρόσληψη του από τη ρόκα.
- οι δυνατότητες υπαγωγής των ειδών αυτών στην υφάλμυρη ενυδρείοπονία

Προκειμένου να διερευνηθούν αποτελεσματικά οι προαναφερόμενοι στόχοι, το ερευνητικό ερώτημα που τέθηκε εστίαζε στη χρήση της βιομάζας ψαριών και φυτών, στη περιεκτικότητα της τροφής σε N, στην αλατότητα, στο ρυθμό παραγωγής της αμμωνίας, και στις επιδράσεις όλων αυτών για την εύρυθμη λειτουργία του ενυδρείοπονικού συστήματος.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΡΕΥΝΑΣ

2.1 Προμήθεια ιχθυοδίων γάστρου (*L. saliens*) και φυτών ρόκας (*Eruca sativa*)-εγκλιματισμός στις συνθήκες καλλιέργειας

Η πειραματική διαδικασία εκτροφής έλαβε χώρα στις εγκαταστάσεις του Τμήματος Ζωϊκής Παραγωγής, Αλιείας και Υδατοκαλλιεργειών του Πανεπιστημίου Πατρών και έλαβε

χώρα τον Απρίλιο 2021 έως τον Ιούνιο 2021, με διάρκεια εκτροφής 45 ημέρες. Η πειραματική διαδικασία χωρίσθηκε σε τρία στάδια - φάσεις που περιλάμβανε τα εξής:

1. Αλιεία γόνου κεφαλοειδών στη λιμνοθάλασσα Μεσολογίου-Αιτωλικού, εγλιματισμός τους σε συνθήκες αιχμαλωσίας και στις πειραματικές συνθήκες εκτροφής.
2. Έναρξη λειτουργίας συστημάτων ενυδρειοπονίας και διαδικασία ρύθμιση τους.
3. Εγκλιματισμός φυτών ρόκας στις πειραματικές συνθήκες.
4. Πείραμα εκτροφής-ανάπτυξης γάστρου και συγκαλλιέργεια ρόκας.

2.1.1 Διαχείριση, εγκλιματισμός ιχθυδίων γάστρου

Από τη Λιμνοθάλασσα Μεσολογίου-Αιτωλικού αλιεύθηκαν με μικρό δίχτυ παραλίας (μπραγάνι) 250 άτομα γάστρου (*L. saliens*) μέσου βάρους 0,70 gr, κατά την μεταναστευτική τους πορεία σε αυτή. Τα ψάρια, στη συνέχεια, μεταφέρθηκαν μέσω δοχείων μεταφορών με νερό αλατότητας 30‰ και με συνεχόμενη παροχή αέρα στο εργαστήριο Υδατοκαλλιεργειών-τομέας Ενυδρείων.

Η περίοδος του εγκλιματισμού στις συνθήκες αιχμαλωσίας περιλάμβανε αρχικά, τον διαμοιρασμό τους σε κουβάδες με νερό αλατότητας 30 ppt. Στη συνέχεια τη μείωση της αλατότητας κατά 1 μονάδα (ppt)/h, με σταδιακή προσθήκη γλυκού νερού έως ότου μειωθεί στο 25 ppt, σύμφωνα με τη διαδικασία που περιγράφεται από τους Hotos & Vlahos (1998). Η διαδικασία αυτή διήρκησε 5-6 h.

Στη συνέχεια, στα ψάρια εφαρμόστηκε προληπτική αγωγή με εμβάπτισή τους ,αρχικά σε διάλυμα φορμόλης 5% και κατόπιν σε διάλυμα Punktol Plus 125 (60 mg malachite green oxalate και 80 mg methylthioninium chloride-JBL). Η διαδικασία περιλάμβανε τη σταδιακή εμβάπτιση 10 άτομων γάστρου σε αναλογία 1 mL φορμόλης / Punktol Plus : 2 L νερό αλατότητας 30 ppt για 1-2 min.

Με το πέρας της διαδικασίας αυτής τα ψάρια αφέθηκαν να ηρεμήσουν σε φρέσκο θαλασσινό νερό αλατότητας 25 ppt, με συνεχόμενη παροχή ατμοσφαιρικού αέρα για 2-3 ώρες. Με την ολοκλήρωση της περιόδου του εγκλιματισμού τα ιχθύδια του γάστρου διαμοιράσθηκαν και τοποθετήθηκαν σε ενυδρεία συνολικού όγκου 250 L με νερό αλατότητας 25 ppt, θερμοκρασία 22 °C και pH 7.9, η λειτουργία των οποίων υποστηρίζονταν από εξωτερικό βιολογικό φίλτρο (Cristal profil e 900).

Η περίοδος εγκλιματισμού των ιχθυδίων του γάστρου στη μείωση της αλατότητας περιλάμβανε τη σταδιακή μείωσή της κατά 5 ppt μέχρι να φτάσει στο επιθυμητό εύρος 1.5 -

2ppt, όμοια με εκείνη των ενυδρειοπονικών συστημάτων εκτροφής. Το στάδιο της εγκλιματισμού διήρκησε περίπου 30 ημέρες. Η περίοδος αυτή περιλάμβανε τη σταδιακή εγκλιματισμό των ατόμων γάστρου σε αλατότητα που μειώνονταν κατά 5 μονάδες έως ότου να φθάσει στα επιθυμητά επίπεδα, σύμφωνα με τη μεθοδολογία που περιγράφεται από τους Hotos & Vlahos (1998). Πιο συγκεκριμένα, η αλατότητα στα ενυδρεία προσαρμογής μειωνόταν σταδιακά 5 ppt ανά εβδομάδα, μέχρι να φτάσει στα επιθυμητά επίπεδα του πειράματος. Συνολικά χρειάστηκαν 3.5 εβδομάδες για την μείωση της αλατότητας στο 1.5-2 ppt.

Στη συνέχεια τα ιχθύδια του γάστρου μεταφέρθηκαν και διαμοιράστηκαν τυχαία ανά 20 άτομα στα συστήματα ενυδρειοπονίας NFT, με σκοπό αφενός να εγκλιματιστούν και προσαρμοστούν στο πειραματικό περιβάλλον διαβίωσης και αφετέρου να ρυθμίσουν πιο αποτελεσματικά το βιολογικό φίλτρο των συστημάτων. Κριτήριο για την έναρξη της πειραματικής διαδικασίας αποτέλεσε η αυξητική πορεία της συγκέντρωσης των νιτρικών ιόντων στα συστήματα, η οποία διήρκησε περίπου 15-20 ημέρες. Κατά τη διάρκεια της περιόδου εγκλιματισμού το κεφαλοειδές γάστρος διατρέφονταν με ανάμεικτη εμπορική τροφή (Formula Marine Pellets, Medium size-Ocean nutrition), ναύπλιοι artemia (Ocean nutrition-baby shrimp) και κατεψυγμένη τροφή formula one, 5% του ζώντος βάρους πέντε φορές ημερησίως.

2.1.2 Διαχείριση και εγκλιματισμός φυτών ρόκας

Τα φυτά της ρόκας (*E. sativa*) που χρησιμοποιήθηκαν για τις ανάγκες του πειράματος προήλθαν από καλλιέργεια που πραγματοποιήθηκε στις εγκαταστάσεις του Τμήματος Επιστήμης Φυτικής Παραγωγής του Πανεπιστημίου Πατρών στο Μεσολόγγι.

Πιο συγκεκριμένα στο εργαστήριο Λαχανοκομίας σε ειδικά σπόρια φυτεύτηκαν περίπου 50 φυτά ρόκας (*E. sativa*). Τα φυτώρια της ρόκας ποτίζονταν ανά τακτά χρονικά διαστήματα (μια έως δύο φορές/εβδομάδα) με γλυκό νερό βρύσης. Η έναρξη του εγκλιματισμού της ρόκας στην αλατότητα ξεκίνησε αμέσως μετά τη μεταφορά τους στο εργαστήριο των Ενυδρείων όπου σταδιακά άρχισαν να εγκλιματίζονται στις συνθήκες αλατότητας και φωτοπεριόδου για διάστημα 30 ημερών περίπου. Κατά το στάδιο του εγκλιματισμού τα φυτά της ρόκας ποτίζονταν με νερό αλατότητας 0,5 ppt και σταδιακά η αλατότητα αυξάνονταν κατά 0,5 ppt/δύο εβδομάδες, έως ότου η αλατότητα αποκτήσει τιμή παρόμοια με την αλατότητα του πειράματος. Τα φυτά της ρόκας που χρησιμοποιήθηκαν στην πειραματική διαδικασία βρίσκονταν στο βλαστικό στάδιο (νεαρό φυτό).

2.2 Πειραματικός σχεδιασμός: Περιγραφή συστήματος ενυδρειοπονίας-Συνθήκες εκτροφής-Διαχείριση συστήματος

Για τις ανάγκες του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν 3 αυτόνομα ανακυκλώμενα ενυδρειοπονικά συστήματα μικρής κλίμακας με τη μέθοδο του θρεπτικού υποστρώματος NFT συνολικού όγκου 180 L (Εικ.2). Κάθε ενυδρειοπονικό σύστημα αποτελούνταν από 3 ενυδρεία εκτροφής ιχθύων συνολικού όγκου 36,4 L μια κυλινδρική υδροπονική δεξαμενή καλλιέργειας των φυτών συνολικού όγκου 8,9 L και ένα φίλτρο τύπου sump ανοδικής - καθοδικής ροής, συνολικού όγκου 53,6 L.



Εικόνα 2: Ενυδρειοπονικό σύστημα υφάλμυρου νερού που χρησιμοποιήθηκαν στην πειραματική διαδικασία (Πηγή: Προσωπικό αρχείο).

Ο σχεδιασμός των ενυδρειοπονικών συστημάτων στηρίχθηκε στη κυκλοφορία του νερού διαμέσου της βαρύτητας, δημιουργώντας μια κλίση περίπου 1-2% στην υδροπονική δεξαμενή καλλιέργειας φυτών. Τα συστήματα ήταν τοποθετημένα σε ανοξείδωτες μεταλλικές βάσεις, επάνω στις οποίες προσαρμόστηκε φελιζόλ πάχους 10 cm, ώστε να ελαχιστοποιήσει και να φέρει σε ισορροπία τις δυνάμεις τριβής στα ενυδρεία (Εικ.2). Πιο συγκεκριμένα, τα ενυδρεία εκτροφής των ιχθύων είχαν διαστάσεις 40 x 35 x 26 cm, πάχους 8 mm, χωρητικότητας 36,4 L έκαστο, η υδροπονική δεξαμενή ήταν από PVC με ύψος 113 cm και διάμετρον 10 cm χωρητικότητας 8,9 L, η οποία ήταν τοποθετημένη και προσαρμοσμένη στο επάνω μέρος των ενυδρείων εκτροφής. Σε κάθε σύστημα NFT διανοίχθηκαν 4 οπές διαμέτρου 8 cm σε απόσταση 21 cm προκειμένου να τοποθετηθούν τα φυτοδοχεία με τα φυτά.

Κάθε σύστημα ενυδρείοποιίας ήταν συνδεδεμένο με φίλτρο τύπου sump, η λειτουργία του οποίου στηρίζονταν στην ανοδική και καθοδική ροή του νερού με διαστάσεις 72 x 31 x 40 cm και συνολικό όγκο 89,3 L και ήταν τοποθετημένο κάτω από τα ενυδρείοποιικά συστήματα. Σε κάθε φίλτρο (Εικ.3) γίνονταν επεξεργασία του νερού τριών σταδίων και ως εκ τούτου χωρίστηκε σε τρία τμήματα τα οποία λειτουργούσαν ως μηχανικό, βιολογικό φίλτρο και το τελευταίο τμήμα όπου κατέληγε το νερό μετά τη βιολογική επεξεργασία και χρησιμοποιούνταν περιστασιακά ως χημικό φίλτρο. Το μηχανικό φίλτρο είχε όγκο 24,8 L στο οποίο προσαρμόστηκε σφουγγάρι πάχους 15 -20 cm και υαλοβάμβακα πάχους 5 cm ώστε να κατακρατά τα στερεά σωματίδια που προέρχονταν από υπολείμματα τροφής και περιττώματα (κόπρανα) των ψαριών.



Εικόνα 3: Φίλτρο τύπου sump από αριστερά διαφαίνεται η αντλία, το βιολογικό φίλτρο, και το μηχανικό φίλτρο (Πηγή: Προσωπικό αρχείο).

Το βιολογικό φίλτρο είχε όγκο 42,2 L στο οποίο προστέθηκαν ισόποσα 20 L βιόσφαιρες διαμέτρου $\Phi 31,8-38,1$ mm δημιουργώντας ειδική επιφάνεια $SSA 800 \text{ m}^2/\text{m}^3$ και 40 L κεραμικό υλικό διαμέτρου 25 mm, ώστε να δημιουργεί ειδική επιφάνεια περίπου $600 \text{ m}^2/\text{m}^3$, εξασφαλίζοντας τη μέγιστη οξειδωτική ικανότητά του και την καλύτερη δυνατή ανάπτυξη των νιτροποιητικών βακτηρίων. Η ανάμειξη των υλικών πλήρωσης του φίλτρου είχε ως αποτέλεσμα την ενίσχυση της απόδοσης του φίλτρου, δημιουργώντας με τον τρόπο αυτό μέση συνολική ειδική επιφάνεια ίση με $800 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$. Επίσης χρησιμοποιήθηκε ως βιολογικό υπόστρωμα ανάπτυξης των νιτροποιητικών βακτηρίων *Nitrosomonas* και *Nitrobacter* τα οποία χρησιμοποιούνταν αντίστοιχα, για την οξείδωση της αμμωνίας σε νιτρώδη ιόντα και νιτρικά ιόντα.

Στο τρίτο τμήμα του φίλτρου ,με όγκο 22,28 L, τοποθετήθηκε βυθιζόμενη αντλία (OCEAN RUNNER 1200) προκειμένου να στέλνει το νερό κατά 90% στην υδροπονική δεξαμενή των φυτών και κατά 10% στα ενυδρεία εκτροφής των ψαριών δημιουργώντας μια ανακύκλωση περίπου 3 φορές / ημέρα. Επίσης το τρίτο τμήμα του φίλτρου έπαιξε το ρόλο της δεξαμενής αποθήκευσης του νερού που προερχόταν από το βιολογικό φίλτρο απαλλαγμένο από αμμωνία και νιτρώδη ιόντα ενώ περιείχε άφθονα νιτρικά ιόντα τα οποία παρέχονταν στα φυτά για την ανάπτυξή τους. Επίσης περιστασιακά το εν λόγω τμήμα χρησιμοποιούνταν ως χημικό φίλτρο (προσθήκη φίλτρου ενεργού άνθρακα ή UV, ή όζονιστήρας) για περαιτέρω επεξεργασία του νερού, όπως για παράδειγμα ρύθμιση του pH του συστήματος και περαιτέρω οξείδωση της αμμωνίας.

Η θερμοκρασία του νερού σε όλες τις μεταχειρίσεις ρυθμίστηκε στους 20-28°C και διατηρήθηκε σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας με προσθήκη θερμαντικών σωμάτων τιτανίου (TH300,100W), βυθισμένοι στο βιολογικό φίλτρο και συνδεδεμένοι με ρυθμιστή θερμοκρασίας (T-controller, T2001 HC AQUAMEDIC). Το pH των συστημάτων εκτροφής κυμάνθηκε από 7,5 έως 8,5. Επίσης σε κάθε ενυδρειοπονικό σύστημα παρέχονταν ατμοσφαιρικός αέρας διαμέσου αεραντλίας, ενώ η βέλτιστη διάχυση του αέρα στο νερό επιτεύχθηκε διαμέσου μιας πέτρας πορόλιθου διαστάσεων 7 cm x 3,5 cm, διατηρώντας τα επίπεδα κορεσμού σε οξυγόνο στο 80-90%.

2.3 Πειραματικό πρωτόκολλο ανάπτυξης γάστρου και ρόκας

Συνολικά χρησιμοποιήθηκαν 180 άτομα του κεφαλοειδούς, γάστρου (*L. Saliens*) με μέσο ατομικό βάρος $0,69 \pm 0,01$ gr (μέσο βάρος \pm τυπικό σφάλμα) και μέσο ατομικό μήκος $4,23 \pm 0,04$ cm και διαμοιράστηκαν ανά 20 άτομα/δεξαμενή για κάθε ενυδρειοπονικό σύστημα. Τα ψάρια χωρίστηκαν σε τρεις διατροφικές μεταχειρίσεις με κριτήριο το διαφορετικό επίπεδο διατροφής, το οποίο ήταν 2% του ζώντος βάρους ιχθύος ανά ημέρα, 5% του ζώντος βάρους ιχθύος ανά ημέρα και 7% του ζώντος βάρους ιχθύος ανά ημέρα, προκειμένου να διερευνηθεί, το επίπεδο διατροφής που οδηγεί στη βέλτιστη ανάπτυξη του γάστρου και επιδρά στο καλύτερο ρυθμό παραγωγής αμμωνίας (TAN) καθώς και στο βαθμό αξιοποίησης της από τα φυτά, για την ανάπτυξή τους. Τα επίπεδα διατροφής 2% ζ.β/η και 7% ζ.β/η επιλέχθηκαν ως το ελάχιστο και μέγιστο επίπεδο διατροφής αντίστοιχα, προκειμένου να διατηρήσει το μεταβολισμό των ιχθύων και να οδηγήσει στη βέλτιστη ανάπτυξή τους. Το επίπεδο διατροφής 5% ζ.β/η

,σύμφωνα με τους Vlahos *et al.* (2019) και Stathopoulou *et al.* (2021), χρησιμοποιήθηκε ως το μέσο επίπεδο διατροφής που προσφέρει ικανοποιητικά αποτελέσματα ανάπτυξης στο ψάρι.

Επίσης, χρησιμοποιήθηκαν συνολικά 12 φυτά ρόκας με μέσο ατομικό ύψους $7,90 \pm 0,05$ cm (Μέσο ύψος \pm τυπικό σφάλμα) τα οποία διαχωρίστηκαν ανά 4 στις υδροπονικές δεξαμενές καλλιέργειας NFT (grow bed) (Εικ.4). Κάθε φυτό τοποθετήθηκε σε πλαστικό διάτρητο φυτοδοχείο που περιείχε άργιλο τύπου LECA αναμειγμένο με ελαφρόπετρα ως υπόστρωμα στήριξης των φυτών.



Εικόνα 4: Φυτά ρόκας που προστέθηκαν στα πειραματικά ενυδρειοπονικά συστήματα (4 φυτά/σύστημα) (Πηγή: Προσωπικό αρχείο).

Η καλλιέργεια των φυτών στο σύστημα ενυδρειοπονίας επιλέχθηκε να γίνει με τη μέθοδο του θρεπτικού υποστρώματος (NFT), η οποία συνίσταται στη δημιουργία μιας λεπτής μεμβράνης θρεπτικού διαλύματος που έρεε συνεχόμενα κατά μήκος των ριζών της ρόκας στην υδροπονική δεξαμενή. Το σύστημα θρεπτικού υποστρώματος χρησιμοποιεί ελάχιστα έως μηδενικά μέσα καλλιέργειας για να αναπτυχθούν οι ρίζες των φυτών, οι οποίες, σε περίπτωση βλάβης της αντλίας, αυξάνεται η πιθανότητα να μείνουν εκτός νερού και πιθανόν να οδηγήσουν σε απώλεια της καλλιέργειας (Al-Tawaha *et al.* 2018).

Για την βέλτιστη λειτουργία της υδροπονικής δεξαμενής τύπου NFT ελήφθησαν υπόψη τεχνικά χαρακτηριστικά όπως η κλίση του NFT και το μήκος του σωλήνα PVC, και ο ρυθμός ροής ώστε τα φυτά να προσλαμβάνουν επαρκή ποσότητα νερού, οξυγόνου και θρεπτικών συστατικών (Nelson, 2008).

2.4. Βόθισμα Αντλίας ενυδρειοπονικού συστήματος

Ο λόγος βύθισης είναι σημαντικός για τον υπολογισμό της ροής του αέρα που απαιτείται από την αντλία για την ανύψωση του νερού σε μια ορισμένη παροχή του συστήματος, αναφέρεται ως λόγος των υψών και δίνεται από τη σχέση:

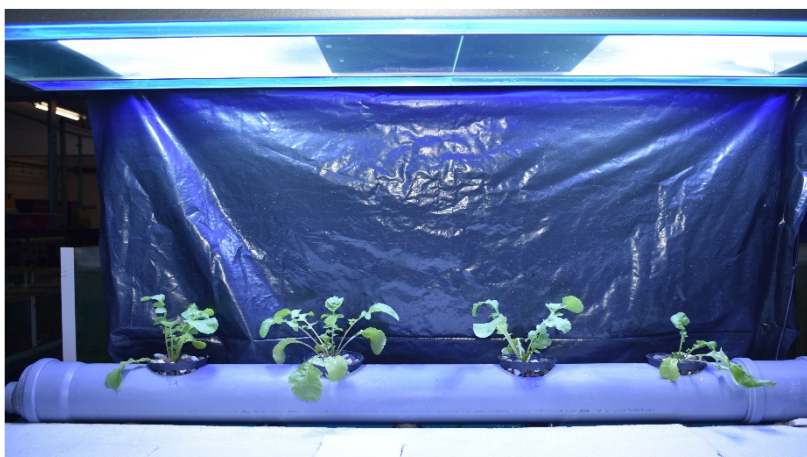
$$\text{Λόγος βύθισης} = \frac{\text{Μανόμετρο}}{\text{Μανομετρικό ύψος αντλίας} + \text{ύψος ενυδρείου}} = \frac{1,6 \text{ m}}{1,6 + 0,39 \text{ m}} = 0,8 \text{ m}$$

2.5. Παροχή νερού και ροή αέρα

Η παροχή του αέρα στα πειραματικά ενυδρειοπονικά συστήματα έγινε μέσω της κεντρικής αεραντλίας που ήταν τοποθετημένη στο εργαστήριο και διοχέτευε ατμοσφαιρικό αέρα στα πειραματικά ενυδρειοπονικά συστήματα, δημιουργώντας επαρκή αερισμό διαμέσου μιας αερόπετρας διαστάσεων 12x25 mm, από πορόλιθου, στις δεξαμενές ανάπτυξης των ψαριών και στα grow bed των φυτών. Η ροή του αέρα ρυθμίστηκε να είναι παρόμοια σε όλα τα ενυδρειοπονικά συστήματα και υπολογίστηκε στα $16,5 \pm 8,81 \text{ cm}^3/\text{sec}$.

2.6. Φωτισμός

Σε κάθε ενυδρειοπονικό σύστημα τοποθετήθηκαν ειδικοί λαμπτήρες έντασης 400 watt (AQUA MEDIC aqua sunlight NG 2 x 150W + 2 x T5 54W) σε απόσταση 60 cm από την επιφάνεια υδροπονικών δεξαμενών NFT, προκειμένου να εξασφαλισθεί η ημερήσια έκθεση των φυτών στο φως (Εικ 5).



Εικόνα 5. Λαμπτήρες φωτισμού στα ενυδρειοπονικά συστήματα (Πηγή: Προσωπικό αρχείο).

Η φωτοπερίοδος ρυθμίστηκε, με χρονοδιακόπτη, να είναι 14 h φως : 10 h σκοτάδι (καλοκαιρινή φωτοπερίοδος). Η φωτοσυνθετικά ενεργή ακτινοβολία (PAR) μετρήθηκε στη κορυφή του φυτού (Εικ.6) και διατηρήθηκε στο επίπεδο των 300-400 $\mu\text{mol m}^2 \text{sec}^{-1}$.



Εικόνα 6. Μέτρηση φωτοσυνθετικά ενεργής ακτινοβολίας (PAR) (Πηγή:Προσωπικό αρχείο)

2.7. Σιτηρέσιο και χορήγηση τροφής

Το πείραμα διήρκησε 45 ημέρες και η τροφή που χορηγήθηκε καθ' όλη την διάρκεια του πειράματος ήταν εμπορικά σύμπηκτα Formula one marine pellets-medium size $\pm 3,1\text{mm}$ της εταιρείας Ocean nutrition με περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη 42,8%, 10,1% ολικά λιπίδια, 10% τέφρα και 1,2% ινώδες ουσίες. Η εν λόγω δίαιτα επιλέχθηκε λόγω της πρωτεϊνικής σύστασής της, της συνεκτικότητας, της χαμηλής διαλυτοποίησης και της πλευστότητας που παρουσίαζε, διευκολύνοντας με τον τρόπο αυτό την ημερήσια συλλογή των υπολειμμάτων της τροφής από τις δεξαμενές εκτροφής των ψαριών (Πιν.2).

Πίνακας 2. Σύσταση της τροφής που χρησιμοποιήθηκε στην πειραματική διαδικασία (Πηγή: Ocean nutrition)

Χημική σύσταση τροφής		
	Εργοστασιακές τιμές	Εργαστηριακές τιμές
Πρωτεΐνη (%)	42,8 %	54,8 \pm 1,06
Ολικά λιπίδια (%)	10,1%	9,62 \pm 0,04
Υγρασία (max) (%)	14,5%	15,25 \pm 0,83
Τέφρα (%)	10%	9,22 \pm 0,01
Ινώδες ουσίες (%)	1,2%	-
Ενέργεια (%)	-	20,6 \pm 0,02

Υδατάνθρακες* (%)	22,6%	26,3±1,04
--------------------------	-------	-----------

Συστατικά τροφής: γαρίδα, σόγια, αλεύρι σιταριού, σαρδέλα, αραβόσιτο, σπιρουλίνα, λάδι σολομού, σκόρδο, ανόργανα άλατα (ιώδιο, οξείδιο του σιδήρου, μαγγάνιο, οξείδιο μαγνησίου, θειικός ψευδάργυρος), αμινοξέα (L-Λυσίνη, DL-Μεθειονίνη, L-Τρυπτοφάνη), βιταμίνες (ασκορβικό οξύ (βιταμίνη C)), βιοτίνη, βιταμίνη B12, νικοτινικό οξύ, ριβοφλαβίνη (βιταμίνη B2), μονονιτρική θειαμίνη (βιταμίνη B1), οξική τοκοφερόλη (βιταμίνη E), βηταΐνη, ροπιονικό ασβέστιο, σορβικό κάλιο, (ασταξανθίνη, κανθαξανθίνη), ζύμη (β-γλυκάνη).

*Οι Υδατάνθρακες εκτιμήθηκαν από την σχέση που περιγράφεται από τον Tacon (1990):

Υδατάνθρακες=100-(Ολικές πρωτεΐνες + ολικά λιπίδια+τέφρα)

Η χορήγηση της τροφής γινόταν με το χέρι 4 φορές ημερησίως 6 φορές την εβδομάδα, εκτός Κυριακής όπου τα ψάρια διατηρούνταν σε ασιτία. Η χρονική διαφορά μεταξύ των γευμάτων να ανέρχεται στις 3 ώρες, με το πρώτο γεύμα να χορηγείται στις 9:00 π.μ. το πρωί και τα ενδιάμεσα στις 12:00 μ.μ., 15:00 μ.μ., και το τελευταίο στις 18:00 το απόγευμα. Η τροφή προζυγίζονταν σε ειδικά πλαστικά δοχεία με πόμα και αποθηκευόταν σε συνθήκες δωματίου και υπολογίζονταν ως το χορηγούμενο ποσοστό του μέσου βάρους ζώντος ψαριού. Στην πειραματική διαδικασία τα επίπεδα διατροφής που χρησιμοποιήθηκαν ανά σύστημα ήταν 2% ζ.β./ημέρα, 5% ζ.β/η και 7%. ζ.β/η σύμφωνα με την ακολουθη μαθηματική σχέση όπως αναφέρεται από τους Mente et al. (2016):

$$F=(MB \times E\Delta\% \times \text{Αριθ.Ατομ})/\text{Αρ.Γευμ},$$

Όπου: F: Χορηγούμενη τροφή (g), MB: Μέσο βάρος κεφαλου (g), EΔ: Επίπεδο διατροφής (%), Αριθ. Ατ.: Αριθμός ατόμων κεφαλου, Αρ. Γευμ.: Αριθμός γευμάτων (4 γεύματα)

Η τροφή ζυγιζόταν σε ημερήσια βάση με ζυγό ακριβείας στο τέταρτο δεκαδικό ψηφίο (AND HR-200-HR) και τοποθετούνταν σε ειδικά πλαστικά φιαλίδια στο ψυγείο στους 4°C (Εικ.7). Κάθε δεκαπέντε ημέρες επαναπροσδιορίζονταν το βάρος των ιχθυδίων του γάστρου προκειμένου να υπολογιζόταν το νέο μέσο βάρος του ψαριού και να προσδιορίζονταν εκ νέου η ημερήσια χορηγούμενη ποσότητα τροφής.



Εικόνα 7. Ζύγισμα τροφής με ζυγό ακριβείας τεσσάρων δεκαδικών (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)

Σε κάθε ενυδρείο εκτροφής, στο επάνω μέρος τοποθετήθηκε καλύμμα από φελιζόλ προκειμένου να περιορίσει τη διάχυση του φωτός και να παρεμποδίσει την ανάπτυξη φυκών στα ενυδρεία εκτροφής. Πριν από κάθε τάισμα, το καλύμμα των ενυδρείων απομακρύνονταν, έτσι ώστε να είναι δυνατή η οπτική παρατήρηση και αξιολόγηση της συμπεριφοράς του γάστρου ως προς την λήψη της τροφής. Με την απομάκρυνση των καλυμμάτων τα ιχθύδια γάστρου ανέβαιναν στην επιφάνεια και ξεκινούσε η διαδικασία της σίτισης. Η τροφή χορηγούνταν σταδιακά και σταθερά σε μικρές ποσότητες, για να μπορεί να καταναλώνεται από τα ιχθύδια χωρίς να καθιζάνει στον πυθμένα.

2.8. Μετρήσεις μορφομετρικών χαρακτηριστικών γάστρου και ρόκας

2.8.1. Μετρήσεις μορφομετρικών χαρακτηριστικών γάστρου

Στην αρχή του πειράματος (d0), την 15^η ημέρα (d15) και την 45^η ημέρα (d45) μετρήθηκε το ολικό μήκος (L, cm) και ολικό βάρος (W, gr) των ατόμων γάστρου. Πριν από την υλοποίηση κάθε μέτρησης τα ιχθύδια αναισθητοποιούνταν σε λουτρό 2-φαινοξυαιθανόλης σε συγκέντρωση 0,20 mL/L, αφού πρώτα είχαν παραμείνει σε ασιτία τις προηγούμενες 24 ώρες. Για τις μετρήσεις του ολικού βάρους του κάθε ιχθυδίου χρησιμοποιήθηκε ζυγός ακριβείας (AND FX-3000i WP) με ακρίβεια δεύτερο δεκαδικού ψηφίου και για το ολικό μήκος τοποθετούνταν πάνω σε ιχθυόμετρο.

2.8.2. Μετρήσεις μορφομετρικών χαρακτηριστικών ρόκας

Η καταμέτρηση του ύψους της ρόκας πραγματοποιούνταν με την χρήση χάρακα (Εικ. 8). Συνολικά πραγματοποιήθηκαν 4 μετρήσεις μορφομετρικών χαρακτηριστικών της ρόκας ανά 15 ημέρες, καθ'όλη την διάρκεια του πειράματος. Η καταμέτρηση περιλάμβανε την καταγραφή του αριθμού των βλαστών, τον αριθμό των αναπτυσσόμενων βλαστών, το μήκος (ύψος) του υπέργειου μέρους του φυτού μη συμπεριλαμβανομένου του φύλλου και τον αριθμό των ξηρών βλαστών. Η μέτρηση της βιομάζας του φυτού έγινε με ξήρανση σε φούρνο στους 70°C για 48 h, αφού διαχωριζόταν το υπέργειο μέρος του φυτού από τις ρίζες του και στη συνέχεια με ζυγό ακριβείας (AND HR-200-HR) προσδιορίζονταν με ζύγιση το ξηρό βάρος.



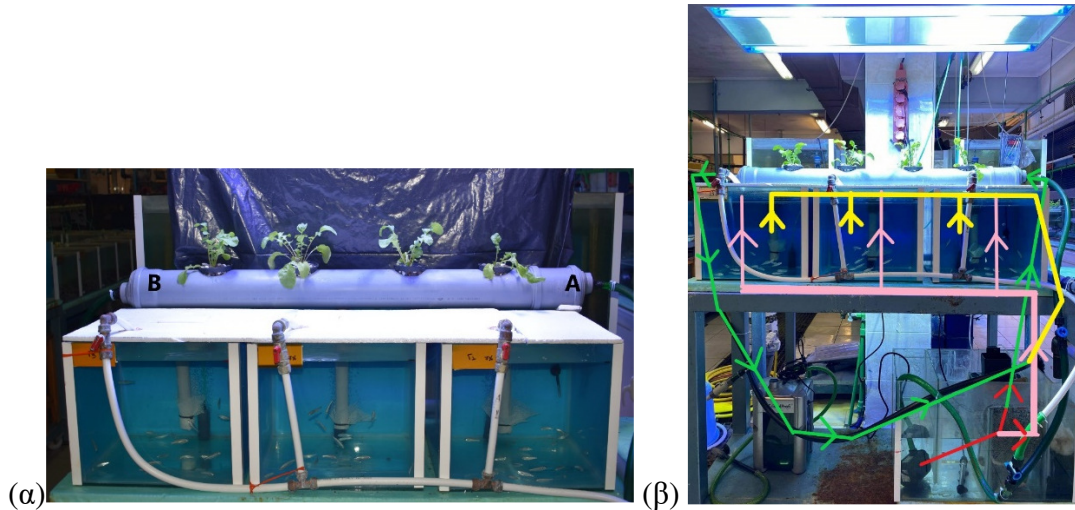
Εικόνα 8. Μέτρηση ύψους ρόκας με χάρακα σε cm (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)

2.9. Μετρήσεις αβιοτικών παραγόντων

Μια φορά την εβδομάδα, καθ' όλη την διάρκεια του πειράματος, πραγματοποιούνταν μετρήσεις ολικής αμμωνίας (TAN), νιτρωδών ιόντων (NO_2^-), νιτρικών ιόντων (NO_3^-), φωσφορικών ιόντων (PO_4^-) και σιδήρου (Fe). Τα δείγματα λαμβάνονταν πριν από τη χορήγηση του πρώτου γεύματος από συγκεκριμένα σημεία των συστημάτων (Εικ. 9β) και στη συνέχεια οι αναλύσεις των δειγμάτων πραγματοποιούνταν φασματοφωτομετρικά (HACH 3900 spectofotometer) στο εργαστήριο.

Αναλυτικά, για τη μέτρηση της TAN, δείγματα νερού λαμβάνονταν στα σημεία εισόδου (inlet-σημείο A) του νερού στο φίλτρο και έξοδου (outlet-σημείο B) του νερού από το φίλτρο (Εικ.9α) . Για τις αναλύσεις των NO_3^- και PO_4^- δείγματα νερού λαμβάνονταν στα σημεία

εισόδου του νερού στην υδροπονική δεξαμενή καλλιέργειας NFT (Grow bed) και εξόδου του νερού προς τη δεξαμενή των ψαριών και το φίλτρο. Για τη ανάλυση των NO_2^- και του σιδήρου (Fe) δείγματα νερού λαμβάνονταν από τις δεξαμενές εκτροφής των ψαριών των ενυδρειοπονικών συστημάτων.



Εικόνα 9. (α) Μετρήσεις ολικής αμμωνίας (TAN), νιτρωδών ιόντων (NO_2^-), νιτρικών ιόντων (NO_3^-), φωσφορικών ιόντων (PO_4^-) και σιδήρου (Fe) από τα σημεία εισόδου (inlet-σημείο A) του νερού στο φίλτρο και εξόδου (outlet-σημείο B) του νερού από το φίλτρο. (β) διάγραμμα ροής νερού στα ενυδρειοπονικά συστήματα (Πηγή: Ιωαννίδης και συν.2022).

Επίσης, δύο φορές την εβδομάδα λαμβάνονταν μετρήσεις pH και θερμοκρασίας, στις δεξαμενές εκτροφής των ψαριών και στις δεξαμενές υδροπονικής καλλιέργειας της ρόκας (NFT) με φορητό ηλεκτρονικό όργανο μέτρησης (HACH HQ 40 D) (Εικ 10). Τέλος, σε ημερήσια βάση γίνονταν ο έλεγχος της αλατότητας του νερού με το διαθλασίμετρο (Aqua Medic refractometer).



Εικόνα 10. Φυσικοχημικές μετρήσεις νερού με φορητό ηλεκτρονικό όργανο μέτρησης (HACH HQ 40 D) (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)

2.9.1. Φασματοφωτομετρικός προσδιορισμός αμμωνιακών ($\text{NH}_4^+\text{-N}$)

Ο φασματοφωτομετρικός προσδιορισμός της ιονισμένης αμμωνίας NH_4^+ (mg/L), έγινε με τη βοήθεια φασματοφωτόμετρου HACH 3900 spectofotometer με χρήση DosiCap Zip τεστ αμμωνίου σε φιαλίδια (LCK 304) (Εικ. 11) με εύρος μέτρησης 0.015-2 mg/L $\text{NH}_4^+\text{-N}$, 0.02-2.5 mg/L $\text{NH}_4^+\text{-N}$ με την μέθοδο LCK304. Η μέθοδος συνίσταται στην ανίχνευση του μήκους κύματος που μετράται η αμμωνία. Αναλυτικά τα βήματα που περιγράφουν τη διαδικασία μέτρησης ήταν τα εξής:

Βήμα 1: Προσεκτική απομάκρυνση του ελάσματος από το βιδωμένο DosiCap Zip.

Βήμα 2: Ξεβιδώστε το DosiCap Zip.

Βήμα 3: Προσθήκη με πιπέτα 0.2 mL δείγματος.

Βήμα 4: Βιδώστε αμέσως το DosiCap Zip, με την αυλάκωση να είναι στο επάνω μέρος.

Βήμα 5: Καλή ανάδευση του φιαλιδίου.

Βήμα 6: Με την πάροδο 15 min γίνονται σχολαστικός καθαρισμός εξωτερικά του φιαλιδίου και γίνονται η μέτρηση δια της τοποθέτησης του φιαλιδίου στον υποδοχέα μέτρησης επιλέγοντας μέτρηση. Με την προσθήκη του φιαλιδίου το μηχάνημα αναγνώριζε αυτόματα τις μετρήσεις των αμμωνιακών.



Εικόνα 11. Τεστ μέτρησης αμμωνίου σε φιαλίδια LCK 304 (Πηγή: Προσωπικό αρχείο).

2.9.2. Φασματοφωτομετρικός προσδιορισμός των νιτρικών ιόντων (NO_3^- -N) και νιτρωδών ιόντων (NO_2^- -N)

Ο φασματοφωτομετρικός προσδιορισμός των νιτρικών ιόντων (NO_3^-) (mg/L), έγινε με τη βοήθεια φασματοφωτόμετρου HACH 3900 spectofotometer με την χρήση τεστ σε φιαλύδια DosiCap Zip (Εικ 12), με εύρος μέτρησης 0,23-13,5 mg/L NO_3^- -N με την μέθοδο LCK339. Η μέθοδος συνίσταται στην ανίχνευση του μήκους κύματος που μετρώνται τα νιτρώδη ιόντα. Τα βήματα που εφαρμόστηκαν κατά τη διαδικασία ήταν τα εξής:

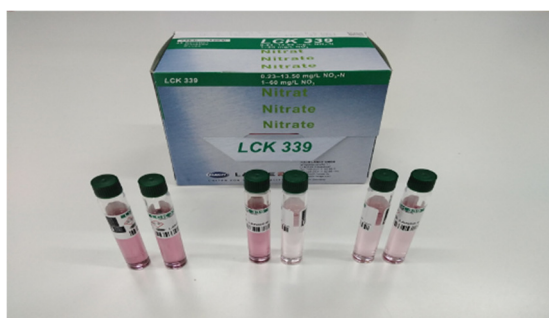
Βήμα 1: Προσθήκη με πιπέτα 1,0 mL δείγματος.

Βήμα 2: Προσθήκη με πιπέτα 0,2 mL διαλύματος A.

Βήμα 3: Κλείνουμε το φιαλίδιο και το αναστρέφουμε μερικές φορές, ώστε να αναδευτεί και να διαλυτοποιηθεί το δείγμα πλήρως.

Βήμα 4: Μετά από 15 min καθαρίζουμε σχολαστικά το εξωτερικό μέρος του φιαλιδίου και στη συνέχεια γίνεται η μέτρηση.

Βήμα 5: Το φιαλίδιο τοποθετείται στον κενό υποδοχέα του φασματοφωτόμετρου DR3900: Μεταβείτε στις μεθόδους LCK/TNTplus Με την προσθήκη του φιαλιδίου στο μηχάνημα αναγνώριζε αυτόματα τη συχνότητα μέτρησης των νιτρικών, όπου στη συνέχεια επιλέγονταν το test πραγματοποιούνταν η μέτρηση σε συγκεκριμένη συχνότητα μέτρησης.



Εικόνα 12. Τεστ μέτρησης νιτρικών ιόντων σε φιαλίδια LCK 339 (Πηγή: Προσωπικό αρχείο).

Επίσης, τα νιτρώδη ιόντα (NO_2^- , mg/L), προσδιορίστηκαν φασματοφωτομετρικά με HACH 3900 με την χρήση φιαλιδίων DosiCap Zip, LCK 341 (Εικ 13), με εύρος μέτρησης 0,015-0,6 mg/L για τα NO_2^- -N. Η μέθοδος συνίσταται στην ανίχνευση του μήκους κύματος που μετρώνται τα νιτρικά ιόντα. Αναλυτικά τα βήματα της διαδικασίας περιγράφονται παρακάτω:

Βήμα 1: Προσεκτική αφαίρεση του ελάσματος από το βιδωμένο DosiCap Zip.

Βήμα 2: Ξεβιδώνουμε το DosiCap Zip.

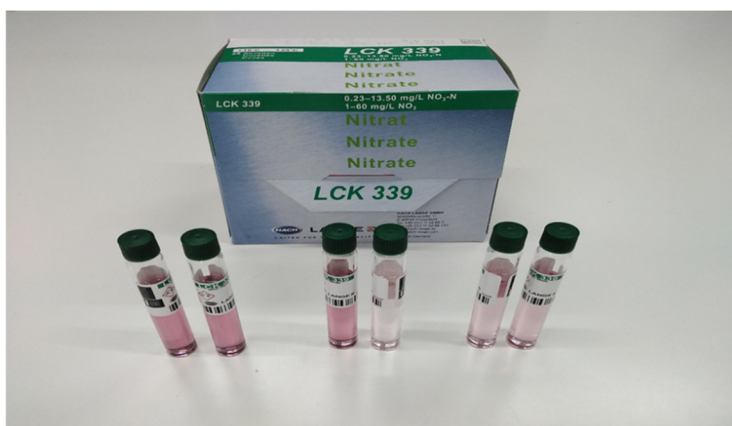
Βήμα 3: Λαμβάνουμε με πιπέτα 0,2 mL δείγματος.

Βήμα 4: Βιδώνουμε αμέσως το DosiCap Zip, με την αυλάκωση προς τα επάνω.

Βήμα 5: Αναδεύουμε πολύ καλά μέχρι το περιεχόμενο να ομογενοποιηθεί πλήρως.

Βήμα 6: Αναμένουμε 15 min μέχρι το ομογενοποιημένο διάλυμα να χρωματιστεί αναλόγως, καθαρίζουμε την κυψελίδα εξωτερικά, και εκτελούμε την μέτρηση τοποθετώντας την υάλινη κυψελίδα LCK στον υποδοχέα.

Βήμα 7: Λαμβάνουμε την τιμή μέτρησης σε mg/L NO_2^- -N.



Εικόνα 13. Φιαλίδια, LCK 339 για τη μέτρηση των νιτωδών ιόντων (NO_2^- -N), (Πηγή: προσωπικό αρχείο)

2.9.3. Φασματοφωτομετρικός προσδιορισμός φωσφορικών ιόντων (PO_4^- -P)

Ο φασματοφωτομετρικός προσδιορισμός των φωσφορικών ιόντων (PO_4^-) (mg/L), πραγματοποιήθηκε με τη χρήση φασματοφωτόμετρου HACH 3900 spectofotometer με την χρήση φιαλιδίων LCK, DosiCap Zip (Εικ 14), με εύρος μέτρησης 0,5-2,0 mg/L PO_4^- -P. Η μέθοδος συνίσταται στην ανίχνευση του μήκους κύματος που μετρώνται τα φωσφορικά ιόντα. Αναλυτικά τα βήματα της διαδικασίας ήταν τα εξής:

Βήμα 1: Αφαιρούμε προσεκτικά το έλασμα από το βιδωμένο DosiCap Zip.

Βήμα 2: Ξεβιδώνουμε το DosiCap Zip.

Βήμα 3: Λήψη με πιπέτα 0.2 mL δείγματος.

Βήμα 4: Βιδώνουμε το πώμα στο φιαλίδιο LCK από την αντίθετη πλευρά, η οποία περιέχει το αντιδραστήριο.

Βήμα 5: καλή ανάδευση του διαλιδίου με κινήσεις πάνω-κάτω, ώστε το διάλυμα να ομογενοποιηθεί.

Βήμα 6: Ξεβιδώνουμε το πώμα από το φιαλίδιο.

Βήμα 7: Προσθήκη 0,2 mL αντιδραστηρίου B στο φιαλίδιο.

Βήμα 8: Τοποθέτηση καινούριου πώματος/αντιδραστήριο C στη φιάλη.

Βήμα 9: Ανάδευση φιαλιδίου εκτελώντας κυκλική ροπή (360°).

Βήμα 10: Το φιαλίδιο αφήνεται να παραμένει σε ηρεμία για 10 min, ενώ κατά διαστήματα ανακινούμαι ορισμένες φορές εκτελώντας κυκλική ροπή (360°).

Βήμα 11: Καθαρισμός του φιαλιδίου με χαρτί.

Βήμα 12: Τοποθέτηση φιαλιδίου στον υποδοχέα του φασματοφωτόμετρου HACH και εκτελούμε (enter) τη μέτρηση, με ταυτόχρονη κυκλική κίνηση το φασματοφωτομέτρο διαβάζει στ συγκεκριμένο μήκος κύματος και εμφανίζει την τιμή των φωσφορικών ιόντων.



Εικόνα 14. Φιαλίδια LCK 348 μέτρησης φωσφορικών ιόντων ($\text{PO}_4^{-}\text{-P}$) (Πηγή: προσωπικό αρχείο)

2.9.4. Φασματοφωτομετρικός προσδιορισμός σιδήρου (Fe^{2+})

Ο φασματοφωτομετρικός προσδιορισμός του σιδήρου (Fe^{2+}) (mg/L), έγινε με τη βοήθεια εργαστηριακού φασματοφωτόμετρου HACH 3900 spectofotometer με την χρήση DosiCap Zip τεστ σε φιαλίδια LCK321 (Εικ 15), εύρος μέτρησης 0,2-6,0 mg/L Fe^{2+} . Η μέθοδος συνίσταται στην ανίχνευση του μήκους κύματος που μετράται ο σίδηρος.

Αναλυτικά τα βήματα της διαδικασίας ήταν ως εξής:

Βήμα 1: Προσθήκη με πιπέτα 2,0 mL δείγματος.

Βήμα 2: Κλείνουμε το φιαλίδιο και αναδεύουμε έως ότου το διάλυμα ομογενοποιηθεί πλήρως

Βήμα 3: Αφήνουμε σε ηρεμία το φιαλίδιο για 5 min έως ότου χρωματιστεί αναλόγως, στη συνέχεια καθαρίζουμε το διαλίδιο με χαρτί κουζίνας και εκτελούμε τη μέτρηση.

Βήμα 4: Τοποθετούμε το φιαλίδιο μέσα στον υποδοχέα του φασματοφωτόμετρου, εκτελώντας τη μέτρηση πληκτρολογώντας enter. Το φιαλίδιο περιστρέφεται ομαλά και διαβάσει σε συγκεκριμένη συχνότητα μήκους κύματος την τιμή της συγκέντρωσης του σιδήρου (Fe^{2+} , mg/L).



Εικόνα 15. Τεστ μέτρησης σιδήρου Fe^{2+} σε φιαλίδια LCK 321 (Πηγή: Προσωπικό αρχείο).

2.10. Χημικές αναλύσεις

2.10.1 Προσδιορισμός ξηράς ουσίας

Ο προσδιορισμός της ξηρής ουσίας - υγρασίας των πειραματικών σιτηρεσίων πραγματοποιήθηκε τοποθετώντας 2 gr δείγματος από το κάθε σιτηρέσιο (2% ζ.β/η, 5% ζ.β/η και 7% ζ.β/η) σε πυραντήριο (φούρνο) για 24 ώρες σε θερμοκρασία 105°C (AOAC, 1990). Στην συνέχεια αφαιρέθηκαν τα δισκία με το ξηρό πλέον δείγμα από το φούρνο και τοποθετήθηκαν σε ξηραντήρα για να ψυχθούν. Η ξηρή ουσία των σιτηρεσίων υπολογίστηκε με τους παρακάτω τύπους:

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

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

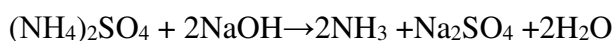
2.10.2 Προσδιορισμός ολικών αζωτούχων ενώσεων

Ο προσδιορισμός των αζωτούχων ενώσεων αναφέρεται στον υπολογισμό της συνολικής πρωτεΐνης της τροφής, των βλαστών και των ριζών των φυτών αλλά και των περιττωμάτων των ιχθύων, τα οποία πραγματοποιήθηκαν με την μέθοδο προσδιορισμού αζωτούχων ενώσεων Kjeldahl. Με τη χρήση ενός μικρού κομματιού αλουμινόχαρτου, τοποθετήθηκαν και ζυγίστηκαν 0,2 gr δείγματος και καταγράφηκαν. Έπειτα τα δείγματα μεταφέρθηκαν σε ειδικές φιάλες βρασμού της συσκευής Kjeldahl, όπου ακολούθησε η διαδικασία της πέψης των δειγμάτων. Σύμφωνα με τη διαδικασία αυτή, τα δείγματα θερμαίνονται με τη παρουσία πυκνού θειϊκού οξέος (H₂SO₄), με αποτέλεσμα την διάσπαση όλων των αζωτούχων ουσιών, απελευθέρωσης του άζωτου (N) του δείγματος το οποίο κατόπιν δεσμεύεται σε θειικό αμμώνιο ((NH₄)₂SO₄). Η παραπάνω ανάλυση της πειραματικής διαδικασίας περιγράφεται σύμφωνα με την παρακάτω χημική αντίδραση:

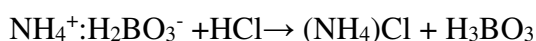


Σε κάθε φιάλη βρασμού προστέθηκαν 15ml θειϊκού νατρίου (H₂SO₄) (με τη χρήση ειδικού δοσομετρητή) και δύο ταμπλέτες καταλύτη Kjeldahl (περιεκτικότητας σε θείο) ώστε να επιταχυνθεί η διαδικασία της αντίδρασης. Οι φιάλες βρασμού τοποθετήθηκαν σε ειδική συσκευή πέψης που ήταν τοποθετημένη σε απαγωγό και τα δείγματα αφέθηκαν να χωνευτούν στους 150 °C για 85 λεπτά. Τα δείγματα παρέμειναν 30 λεπτά επιπλέον ώστε να κρυώσουν υπό την χρήση της λειτουργίας της παγίδας αερίων και του απαγωγού.

Επιπλέον ακολούθησε η διαδικασία της απόσταξης κατά την οποία το θειικό αμμώνιο ((NH₄)₂SO₄) αντιδρά με το υδροξείδιο του νατρίου (NaOH) με αποτέλεσμα να αποδεσμεύεται αμμωνία (NH₃) υπό μορφή αερίου και θειικό νάτριο (Na₂SO₄). Η αέρια αμμωνία (NH₃) έπειτα αντιδρά με βορικό οξύ (H₃BO₃), ενώ το άζωτο του δείγματος δεσμεύεται σε μορφή βορικού αμμωνίου (NH₄⁺H₂BO₃⁻). Οι παραπάνω διαδικασία περιγράφεται εξίσου αναλυτικά με τις παρακάτω χημικές αντιδράσεις:



Όσον αφορά τη διαδικασία της απόσταξης, τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε ειδική συσκευή απόσταξης. Σε κάθε δείγμα προστέθηκαν 100 ml απεσταγμένου νερού, 80 ml υδροξείδιο του νατρίου (NaOH) και 50 ml βορικό οξύ (H₂BO₃). Ο συνολικός χρόνος της απόσταξης κάθε δείγματος διήρκησε 6 λεπτά. Το βορικό αμμώνιο (NH₄⁺H₂BO₃⁻) συγκεντρώνονταν σε κωνική φιάλη που περιείχε 3 σταγόνες ενός δείκτη pH. Επιπροσθέτως, ακολούθησε η διαδικασία της τιτλοδότησης κατά την οποία το βορικό αμμώνιο (NH₄⁺H₂BO₃⁻) αντιδρά με το υδροχλωρικό οξύ χρησιμοποιώντας ένα δείκτη για το τελικό σημείο της παρακάτω χημικής αντίδρασης:



Η συγκέντρωση (σε moles) των ιόντων υδρογόνου που απαιτούνται για να καταλύσουν την αντίδραση έως το τελικό σημείο ισοδυναμεί με τη συγκέντρωση του αζώτου που περιέχει το δείγμα. Η κωνική φιάλη που περιείχε βορικό αμμώνιο (NH₄⁺H₂BO₃⁻) τοποθετήθηκε σε θέση συνεχούς ανακίνησης και προσθέτονταν σε αυτήν αργά και σταδιακά καταγεγραμμένη ποσότητα δεκατοκανονικού διαλύματος HCl συγκέντρωσης 0,1 M. Με την αλλαγή του χρώματος στο διάλυμα, φανερώθηκε το τελικό σημείο της αντίδρασης. Η περιεκτικότητα του δείγματος σε άζωτο (N%) υπολογίστηκε από την παρακάτω σχέση:

$$\text{N \%} = [(\text{HCl (ml)} - \text{Blank (ml)}) * \text{N διαλύματος HCl} * 0,014007] / [\text{Βάρος δείγματος (gr)}] * 100$$

Όπου ισχύει:

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

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

$$\text{Πρωτεΐνη (\%)} = \text{N (\%)} * 6,25 \text{ (οι πρωτεΐνες περιέχουν 16\% άζωτο (N))}$$

2.10.3 Προσδιορισμός ολικών λιπιδίων

Ο προσδιορισμός των ολικών λιπιδίων της σάρκας των ιχθύων πραγματοποιήθηκε με την μέθοδο Soxhlet. Στη μέθοδο αυτή, χρησιμοποιήθηκαν γυάλινα δοχεία εκχύλισης στα οποία προστέθηκαν 3 με 4 πέτρες βρασμού. Το βάρος των πετρών βρασμού συνυπολογίστηκε με το βάρος των δειγμάτων ενώ η μέτρηση έγινε σε ζυγό τεσσάρων δεκαδικών. Σε κάθε γυάλινο δοχείο εκχύλισης, τοποθετήθηκε και ένα χάρτινο δοχείο ηθμού στο οποίο προστέθηκε 1 gr

ξηρής σάρκας του δείγματος. Επίσης για κάθε δείγμα έγινε προσθήκη 140 ml πετρελαϊκού αιθέρα με τη χρήση ογκομετρικού κυλίνδρου. Αργότερα τοποθετήθηκαν χάρτινοι ηθμοί στα δοχεία εκχύλισης.

Τα γυάλινα δοχεία και τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε ειδική συσκευή εκχύλισης λιπαρών οξέων. Αρχικά, τα δείγματα θερμάνθηκαν στους 150 °C με τη βοήθεια οργανικού διαλύτη. Όσον αφορά το δεύτερο στάδιο, ο οργανικός διαλύτης απορροφήθηκε και εκπλύθηκε στο δείγμα για 1,5 ώρες. Συγχρόνως ο διαλύτης απορροφήθηκε για ακόμα 15 λεπτά και ως απόρροια αυτού τα ολικά λιπίδια του δείγματος να διαμένουν στο πάτο του δοχείου εκχύλισης. Κατά τα τελευταία στάδια της διαδικασίας, τα δείγματα τοποθετήθηκαν στο φούρνο για 30 λεπτά στους 105 °C ώστε να εξατμιστεί πλήρως ο πετρελαϊκός αιθέρας όπου μπορεί να είχε παραμείνει ως υπόλειμμα. Έπειτα τα δοχεία εκχύλισης, μεταφέρθηκαν σε ξηραντήρα ώστε κρυσώσουν. Μετά την αφαίρεση του δοχείου με το χάρτινο ηθμό που περιείχε το απολιπασμένο δείγμα χωρίς, στη συνέχεια, ζυγίστηκαν τα γυάλινα δοχεία εκχύλισης (μεικτό βάρος).

Ο υπολογισμός της περιεκτικότητας των ολικών λιπιδίων στη σάρκα των ιχθύων πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο:

Ολικά λιπίδια (%) = (τελικό βάρος δοχείου εκχύλισης (gr) – αρχικό βάρος δοχείου εκχύλισης (gr)) x 100.

2.10.4 Προσδιορισμός τέφρας

Ο προσδιορισμός της τέφρας αναφέρεται στην καταμέτρηση των συνολικών ανόργανων ενώσεων που βρίσκονται στη σάρκα του δείγματος και μάλιστα, για κάθε ξεχωριστό σιτηρέσιο. Αρχικά, τοποθετήθηκε 1 gr ξηρής ουσίας δείγματος από το κάθε σιτηρέσιο σε αποτεφρωτήρα για τη χρονική διάρκεια των 3 ωρών στους 600 °C (AOAC, 1990). Αναγκαία υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για αυτή τη μέθοδο ήταν πορσελάνινα δισκία, τα οποία ζυγίστηκαν και τοποθετήθηκαν τα προς αποτέφρωση δείγματα. Μετά το πέρας της αποτέφρωσης, τα δείγματα μεταφέρθηκαν σε ξηραντήρα ώστε να ψυχθούν. Για τον υπολογισμό της ποσότητας και του ποσοστού της τέφρας των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με τους παρακάτω τύπους:

W αποτεφρωμένου δείγματος (gr) = W μικτού αποτεφρωμένου δείγματος / δισκίου (gr) – W δισκίου (gr)

Τέφρα (%) = (W αποτεφρωμένο δείγμα (gr) / W αρχικού δείγματος (gr)) x 100

2.10.5 Προσδιορισμός ολικής ενέργειας

Η ολική ενέργεια ή αλλιώς θερμιδική αξία χαρακτηρίζεται ως η ποσότητα θερμότητας που εκλύεται από την πλήρη καύση ενός δείγματος και με την παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) και νερού (H₂O) ως τελικά προϊόντα της καύσης. Η καύση του πραγματοποιείται εντός ενός κλειστού δοχείου το οποίο ονομάζεται θερμιδόμετρο τύπου οβίδας, ενώ η θερμότητα που εκλύεται, θερμαίνει ένα εξωτερικό δοχείο εγνωσμένης θερμοκρασίας. Η μέτρηση της θερμοκρασίας του παραπάνω δοχείου γίνεται με τη χρήση θερμομέτρου. Μέσω της παραπάνω μέτρησης υπολογίζεται και το θερμιδικό περιεχόμενο του δείγματος που κάηκε.

Για τον προσδιορισμό της ολικής ενέργειας, ζυγίστηκαν 0,3 με 0,5 gr αλεσμένου δείγματος και τοποθετήθηκαν στην ειδική κυψελίδα. Κατά επέκταση, η κυψελίδα τοποθετείται στον υποδοχέα της οβίδας και αργότερα ο υποδοχέας της οβίδας, τοποθετείται εντός της θερμιδομετρικής οβίδας. Αφότου έγιναν οι σωστές ρυθμίσεις και τελείωσε η συγκεκριμένη διαδικασία, η οβίδα υπόκειται σε εξαερισμό και μετέπειτα ανέρχεται στην αρχική της θέση. Το αποτέλεσμα του πειράματος φανερώνει μέτρηση της θερμιδομέτρησης.

2.11. Δείκτες ανάπτυξης

2.11.1 Δείκτες ανάπτυξης και αξιοποίησης τροφής

Η ανάπτυξη του γάστρου και η αξιοποίηση της τροφής που του χορηγούνταν αντίστοιχα υπολογίστηκαν από τις παρακάτω μαθηματικές σχέσεις (Μεντέ και Νέγκας 2011):

Ημερήσια ποσότητα τροφής:

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

Αύξηση σωματικού βάρους (WG):

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

Ειδικός ρυθμός ανάπτυξης:

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

όπου: W_f = τελικό βάρος (gr) και W_i = αρχικό βάρος (gr)

Συντελεστής Ευρωστίας (C.F.):

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

Επιβίωση (%):

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

Συντελεστής μετατρεψιμότητας τροφής (FCR):

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

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

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

Συντελεστής απόδοσης πρωτεΐνης (PER):

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

2.11.2 Δείκτες ανάπτυξης ρόκας και ρυθμός απορρόφησης θρεπτικών

Ο ρυθμός ανάπτυξης της ρόκας υπολογίστηκε σύμφωνα με τη μαθηματική σχέση που περιγράφεται από την Quinta (2013)

Ρυθμός ανάπτυξης φυτών SGR (g DW/d):

Ειδικός ρυθμός ανάπτυξης $SGR (g DW/d) = (\ln B_{in} - \ln B_{fin}) / t$

όπου: $\ln B_{in}$, $\ln B_{fin}$: λογάριθμος αρχικής και τελικής βιομάζας και t : αριθμός ημερών μεταξύ των δύο συγκομιδών.

2.11.3 Παράμετροι ανταλλαγής αερίων, μετρήσεις χλωροφύλλης και ανθοκυανινών

Η διαδικασία μέτρησης της χλωροφύλλης, της ανθοκυανίνης και των φυσιολογικών παραμέτρων στηρίζονταν στη χρήση των φορητών οργάνων SPAD 502DL (KONICA MINOLTA, Tokyo, Japan), ACM-200plus (ADC BioScientific Ltd., Hoddesdon, UK) και TARGAS-1 (PP Systems, Amesbury, Massachusetts, USA).

Για τις μετρήσεις χλωροφύλλης και ανθοκυανινών λαμβάνονταν τιμές από 4 διαφορετικά φύλλα του κάθε φυτού, για όλες τις μεταχειρίσεις.

Για τις μετρήσεις των φυσιολογικών παραμέτρων (φωτοσύνθεση, διαπνοή, στοματική αγωγιμότητα) λαμβάνονταν τιμές από 1 φύλλο από κάθε φυτό, για όλες τις μεταχειρίσεις.

Η διαδικασία λάμβανε χώρα τις πρωινές ώρες και διαρκούσε συνολικά δύο ώρες (10:30 πμ-11:30 πμ γίνονταν η μέτρηση των φυσιολογικών παραμέτρων και 11:30-12:30 πμ γίνονταν οι μετρήσεις της χλωροφύλλης και των ανθοκυανινών).

2.12. Δείκτες λειτουργίας και απόδοσης φίλτρου ενυδρείοπονικών συστημάτων

Οι δείκτες λειτουργίας και απόδοσης του φίλτρου των ενυδρείοπονικών συστημάτων υπολογίστηκαν σύμφωνα με τις μαθηματικές σχέσεις που περιγράφονται από τους Vlahos *et al.* (2019) και Stathopoulou *et al.* (2021).

Ο υδραυλικός χρόνος παραμονής νερού (t), ο ρυθμός ανακύκλωσης νερού (r) και το υδραυλικό φορτίο (HLR), υπολογίζονται από τις παρακάτω σχέσεις (Endut *et al.* 2010):

$$\text{HLR} = \text{παροχή νερού (Q)} / \text{ολική επιφάνεια φίλτρου (W)}$$

Ρυθμός ανακύκλωσης νερού (r) = όγκος ανακύκλωσης / συνολικός όγκος νερού στο ενυδρείο.

$$\text{HRT} = \text{επιφάνεια φίλτρου (W)} * \text{βάθος νερού} * \text{πορώδες υλικό φίλτρου (s)} / \text{παροχή νερού (Q)}$$

Ο ρυθμός παραγωγής αμμωνίας (P_{TAN}) και η ποσοστιαία απορρόφηση των θρεπτικών (NRE, %) υπολογίστηκαν σύμφωνα με τους τύπους που περιγράφηκαν από τους Dediu *et al.* (2012) και Boxman *et al.* (2017), αντίστοιχα:

$$P_{\text{TAN}} \text{ (mg/g ψαριού/h)} = (C_e - C_i) * Q/W$$

Όπου: C_e , C_i συγκέντρωση αμμωνίας στην απορροή και εκροή (mg/L)

W: μέσο βάρος ψαριού στη δεξαμενή (gr)

Q: Παροχή νερού (L/h)

$$\text{NRE (\%)} = (C_i - C_e) * 100 / C_i$$

Όπου C_i και C_e : συγκέντρωση θρεπτικού στην είσοδο και έξοδο της υδροπονικής δεξαμενής ή του φίλτρου στην περίπτωση της αμμωνίας

Η λειτουργική απόδοση του φίλτρου υπολογίστηκε από τον τύπο που περιγράφηκε από τους Timmons & Losordo 2000:

$$E = \frac{1 + (C * R) - C}{C * R}, \text{ όπου:}$$

C = παράγοντας επιτρεπόμενης συγκέντρωσης της αμμωνίας,

R = ποσοστό του νερού που ανακυκλώνεται (δεκαδικός)

Ο ογκομετρικός ρυθμός οξείδωσης της TAN στο φίλτρο (VTR biobiofilter) (gTAN/m³/d) υπολογίστηκε από την παρακάτω μαθηματική σχέση (Kamstra *et al.* 1998)

$$\text{VTR biobiofilter} = (\text{TAN}_{\text{in}} - \text{TAN}_{\text{out}}) * K_c * Q/V$$

Όπου:

TAN_{in} = Αμμωνία που εισέρχεται στο φίλτρο (g/m³)

TAN_{out} = Αμμωνία που εξέρχεται από το φίλτρο (g/m³)

K_c = Σταθερός αριθμός

Q = Παροχή νερού (m³/day)

V = Όγκος φίλτρου (m³)

Ο ρυθμός μεταβολής της αμμωνίας από τα φυτά στο υδροπονικό σύστημα -NFT (TAN retained (g/m²/d)) υπολογίστηκε από τη σχέση:

TAN retained = Q * (C_{in}-C_{out}) / V - d * βάθος φίλτρου (m)

Όπου:

Q = Παροχή νερού (m³/day)

C_{in} = Άνθρακας εισόδου

C_{out} = Άνθρακας εξόδου

V = Όγκος φίλτρου (m³)

d = Μεταβολή (C_{out}/dt)

Το φορτίο επιβάρυνσης N (mg/g*d) υπολογίστηκε από τη μαθηματική σχέση που περιγράφηκε από τους Kamstra *et al.* (1998):

N = (TAN_{in} - TAN_{out}) * V_f * 1000 / βάρος τροφής

Όπου:

TAN_{in} = Αμμωνία που εισέρχεται στο φίλτρο (g/m³)

TAN_{out} = Αμμωνία που εξέρχεται από το φίλτρο (g/m³)

V_f = Όγκος δεξαμενής (L)

2.13. Στατιστική επεξεργασία

Τα δεδομένα που προέκυψαν στο τέλος της πειραματικής διαδικασίας αφορούσαν την ποιότητα νερού, την ανάπτυξη των ιχθύων και φυτών, την απόδοση και λειτουργία του φίλτρου, τις χημικές αναλύσεις της σύστασης μυϊκού ιστού για το γάστρο και τη ρόκα αναλύθηκαν και επεξεργάστηκαν στατιστικά χρησιμοποιώντας την ανάλυση διακύμανσης μονής κατεύθυνσης (one way ANOVA) με επίπεδο σημαντικότητας 5%, κάνοντας χρήση του Tukey test προκειμένου να συγκριθούν οι διαφορές ανάμεσα στους μέσους όρους των διαφόρων παραμέτρων (Zar 1999). Η ομοιογένεια και η παραλλακτικότητα των μέσων όρων ελέγχθηκαν σύμφωνα με το Levene's test, ενώ η κανονικότητα των μέσων όρων ελέγχθηκε με Kolmogorov-Smirnov test. Σε περίπτωση ανομοιογένειας των μέσων όρων εφαρμόστηκε η μη παραμετρική ανάλυση kruskal wallis. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται σε πίνακες ως μέσος όρος και τυπικό σφάλμα (MO ± SEM).

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1. Αβιοτικοί παράμετροι

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την ανάλυση των αβιοτικών παραμέτρων του νερού των ενυδρειοπονικών συστήματα παρουσιάζονται στο Πίνακα 4 για όλες τις διατροφικές μεταχειρίσεις (2% του ζ.β/η, 5% του ζ.β/η και 7% του ζ.β/η). Πιο συγκεκριμένα, ο πίνακας 4 παρουσιάζει τις μέσες συγκεντρώσεις των ανόργανων θρεπτικών συστατικών (TAN_{in} , $\text{NO}_3^-_{\text{in}}$, $\text{PO}_4^-_{\text{in}}$, TAN_{out} , $\text{NO}_3^-_{\text{out}}$ & $\text{PO}_4^-_{\text{out}}$) στα δυο καθορισμένα σημεία ελέγχου (είσοδος, έξοδος).

Οι μέσες συγκεντρώσεις της TAN_{out} , των NO_2^- -N, των φωσφορικών ιόντων PO_4^- -P_{in}, PO_4^- -P_{out}, του Fe, του pH και της θερμοκρασίας (°C) δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική διαφορά (ANOVA, $p > 0.05$) σε όλες τις πειραματικές μεταχειρίσεις (Πιν.3).

Πίνακας 3. Ποιοτικά χαρακτηριστικά νερού στα ενυδρειοπονικά συστήματα για τις 45 ημέρες συγκαλλιέργειας του γάστρου και της ρόκας με τρία διαφορετικά επίπεδα διατροφής 2% του ζ.β/η, 5% του ζ.β/η και 7% του ζ.β/η.

	2% ζ.β/η	5% ζ.β/η	7% ζ.β/η
NH_4^+ -N _{in} (mg/L)	0,04 ± 0,01 ^a	0,09 ± 0,01 ^b	0,07 ± 0,01 ^b
NH_4^+ -N _{out} (mg/L)	0,03 ± 0,003 ^a	0,04 ± 0,01 ^a	0,05 ± 0,01 ^a
NO_3^- N _{in} (mg/L)	14,1 ± 0,98 ^a	26,5 ± 2,01 ^b	27,5 ± 0,04 ^b
NO_3^- N _{out} (mg/L)	11,7 ± 1,05 ^a	21,9 ± 2,88 ^b	22,23 ± 2,56 ^b
PO_4^- -P _{in} (mg/L)	0,41 ± 0,09 ^a	0,48 ± 0,05 ^a	0,41 ± 0,06 ^a
PO_4^- -P _{out} (mg/L)	0,27 ± 0,03 ^a	0,35 ± 0,07 ^a	0,35 ± 0,06 ^a
(NO_2^- -N)	0,08 ± 0,03 ^a	0,15 ± 0,05 ^a	0,15 ± 0,05 ^a
Fe	0,044 ± 0,01 ^a	0,09 ± 0,01 ^a	0,07 ± 0,01 ^a
T °C	24,1 ± 0,35 ^a	24,5 ± 0,38 ^a	24,1 ± 0,38 ^a
pH	8,02 ± 0,09 ^a	7,85 ± 0,07 ^a	7,97 ± 0,08 ^a

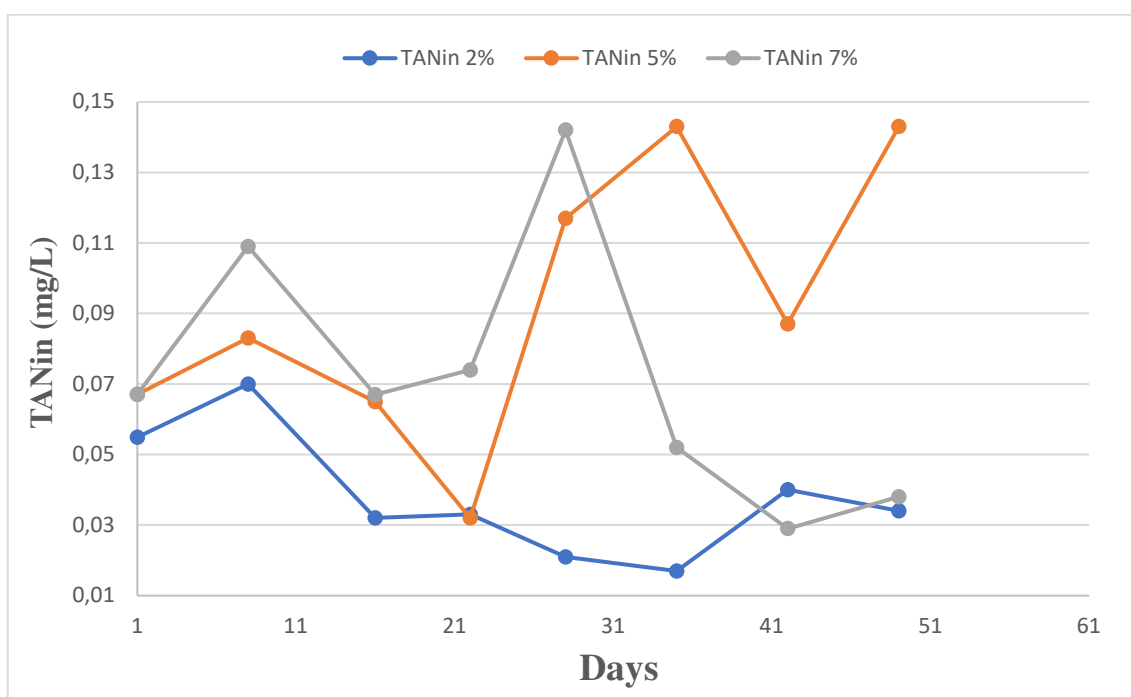
Οι τιμές παρουσιάζονται ως $\text{MO} \pm \text{SEM}$ (n=16). Οι μέσοι όροι κάθε παραμέτρου μεταξύ των μεταχειρίσεων που φέρουν τον ίδιο εκθέτη δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική διαφορά (ANOVA, $p > 0.05$).

Τα νιτρικά ιόντα παρουσίασαν στατιστικά μεγαλύτερη τιμή (ANOVA, $p < 0.05$) στο ενυδρειοπονικό σύστημα που χορηγούνταν τροφή 5% του ζ.β /ημέρα και 7% του ζ.β/ημέρα σε

σχέση με το ενυδρειοπονικό σύστημα που χορηγούνταν τροφή 2% του ζ.β/ημέρα (Πιν.3). Η αμμωνία TAN_{in} στο σημείο εισόδου του νερού στο φίλτρο παρουσίασε στατιστικά τη μεγαλύτερη τιμή (ANOVA, $p < 0.05$) στο ενυδρειοπονικό σύστημα με επίπεδο διατροφής 5% του ζ.β/η και 7% του ζ.β/η σε σύγκριση με το 2% του ζ.β/η που παρουσίασε μικρότερη τιμή (Πιν.3).

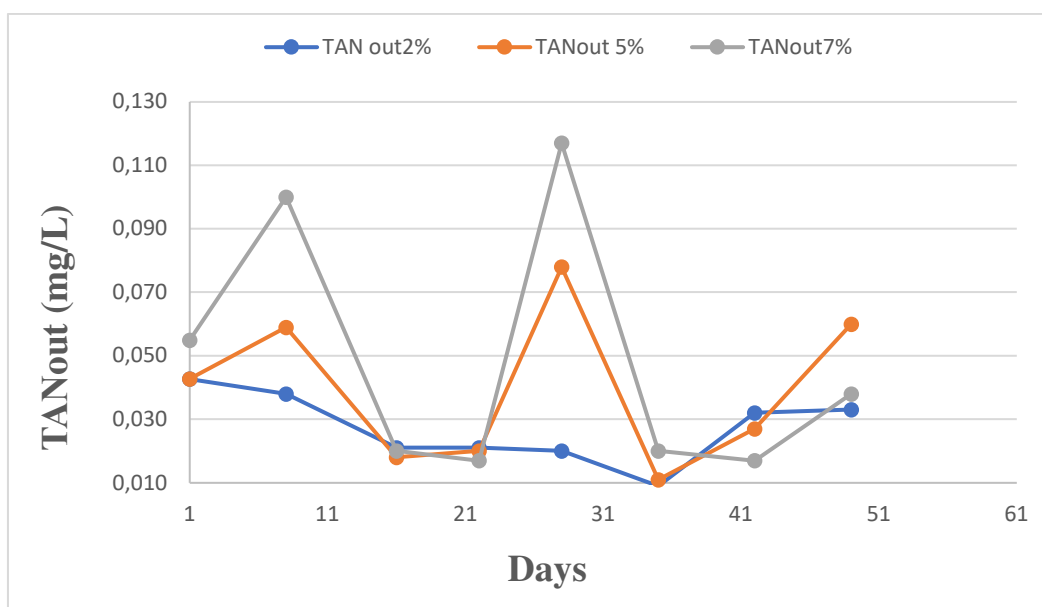
3.1.1. Ολική αμμωνία στο σημείο εισόδου (TAN_{in}) και εξόδου (TAN_{out}) του συστήματος

Η μεταβολή της TAN στο σημείο εισόδου του νερού στο φίλτρο παρουσιάζεται στο Σχήμα 1. Από την 8^η ημέρα του πειράματος διαφαίνεται μια μείωση της TAN. Την 21^η ημέρα του πειράματος η TAN παρουσίασε μια απότομη αύξηση (0,14 mg/L) για τις μεταχειρίσεις 5% του ζ.β/η και 7% του ζ.β/η, αντίστοιχα σε σχέση με την TAN στη μεταχείριση 2% του ζ.β/η η οποία παρουσίασε μια φθίνουσα πορεία. Την 35^η ημέρα η TAN στο σημείο εισόδου παρουσίασε μια απότομη αύξηση στη μεταχείριση 5% του ζ.β/d ακολουθούμενη από μείωση ενώ τη 42^η ημέρα έλαβε τη μέγιστη τιμή της (0,14 mg/L).



Σχήμα 1: Διάγραμμα μεταβολής της αμμωνίας (TAN_{in}) στο σημείο εισόδου του νερού στο φίλτρο στα συστήματα ενυδρειοπονίας για 45 ημέρες.

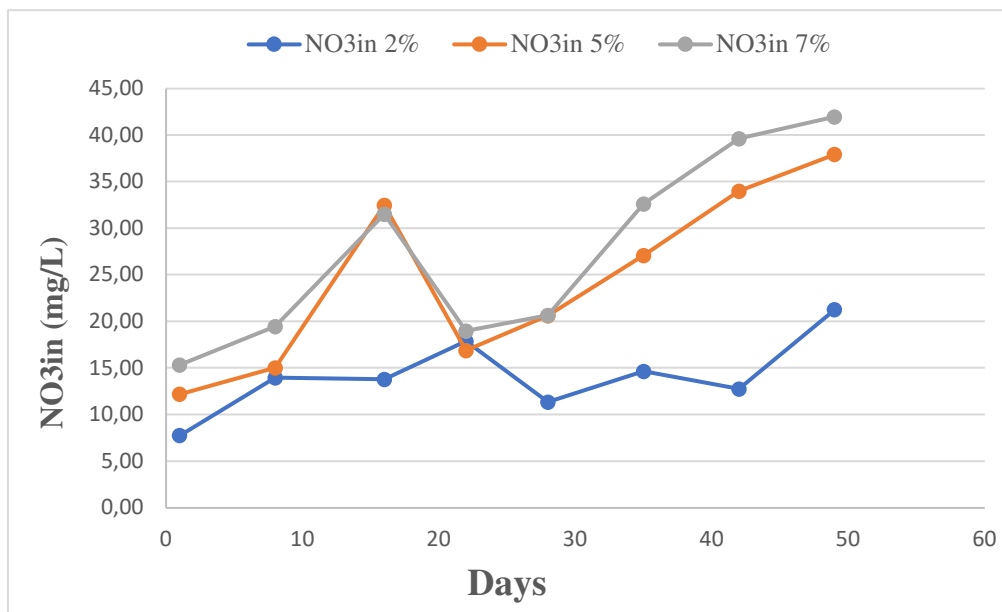
Στο σχήμα 2 αποτυπώνεται η διακύμανση της ολικής αμμωνίας (TANout) στο σημείο εξόδου του νερού από το φίλτρο προς την υδροπονική δεξαμενή NFT. Η μεταβολή της TANout, παρουσίασε παρόμοια τάση, με τις απότομες μεταβολές να παρατηρούνται την 8^η και την 28^η ημέρα του πειράματος στις μεταχειρίσεις 5% του ζ.β/η και 7% του ζ.β/η, αντίστοιχα σε αντίθεση με τη μεταχείριση 2% του ζ.β/η, όπου η TANout παρουσίασε μικρότερη αύξηση (Σχ. 2). Μετά την 35^η ημέρα του πειράματος η TAN σε όλες τις μεταχειρίσεις παρουσίασε μια τάση αύξησης.



Σχήμα 2: Διάγραμμα μεταβολής της TANout στο σημείο εξόδου του νερού από το φίλτρο, στα ενυδρειοπονικά συστήματα καθ' όλο το διάστημα της πειραματικής εκτροφής (45 ημέρες).

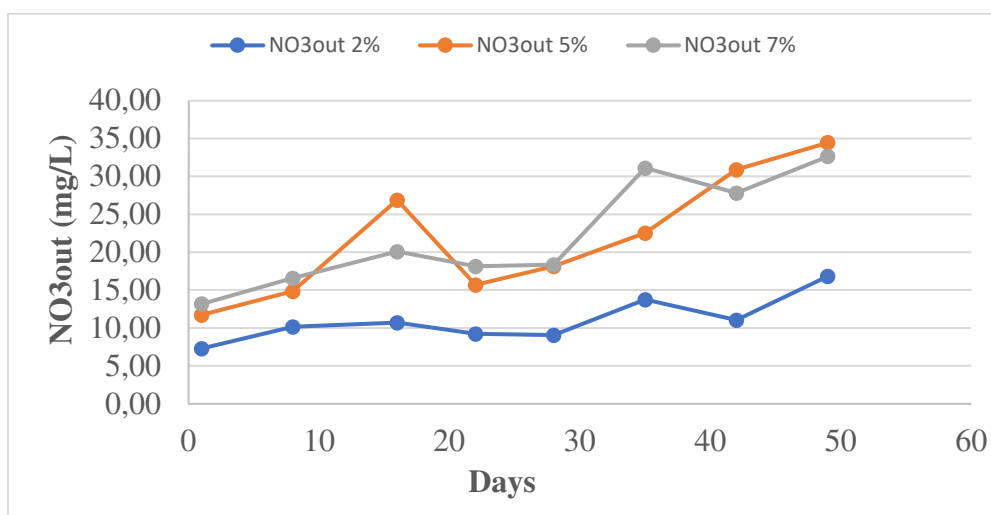
3.1.2. Νιτρικά ιόντα στο σημείο εισόδου ($\text{NO}_3\text{-N}_{in}$) και εξόδου ($\text{NO}_3\text{-N}_{out}$) του συστήματος

Τα νιτρικά ιόντα στο σημείο εισόδου του νερού στην υδροπονική δεξαμενή NFT παρουσιάζουν μια τάση αύξησης και στις τρεις μεταχειρίσεις λαμβάνοντας μέγιστη τιμή την 16^η ημέρα του πειράματος στις μεταχειρίσεις όπου χορηγούνταν τροφή 5% του ζ.β/η και 7% του ζ.β/η, αντίστοιχα σε σχέση με τη μεταχείριση 2% του ζ.β/η, όπου η αύξηση ήταν μικρότερη. Την 28^η ημέρα τα νιτρικά ιόντα παρουσίασαν ανοδική πορεία έως το τέλος της πειραματικής διαδικασίας (Σχ.3).



Σχήμα 3: Διάγραμμα μεταβολής των νιτρικών ιόντων (NO_3^- in) στο σημείο εισόδου του νερού στην υδροπονική δεξαμενή NFT για όλο το διάστημα εκτροφής (45 d).

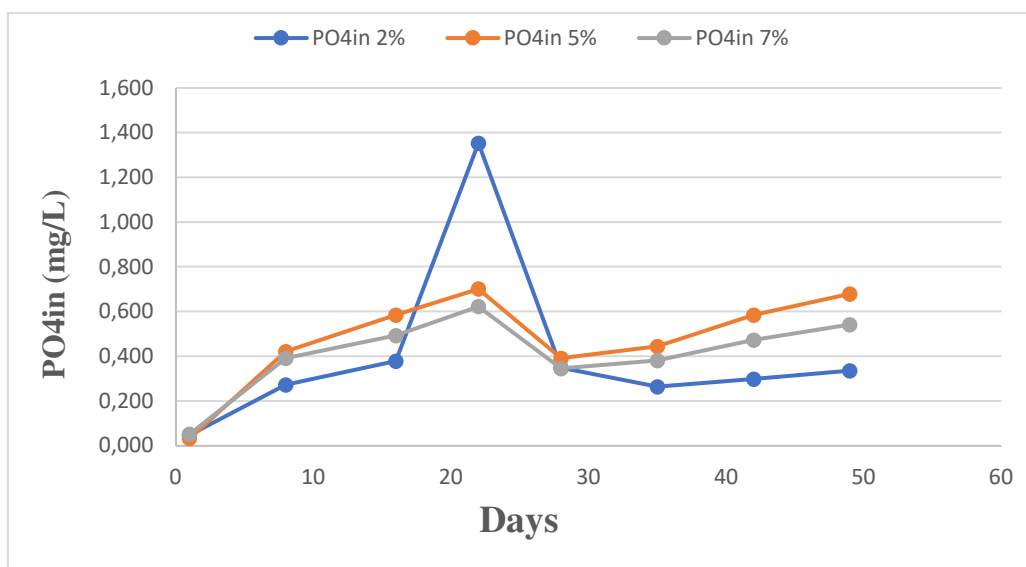
Η μέση τιμή των νιτρικών ιόντων κυμάνθηκε από $11,7 \pm 1,05 \text{ mg/L}$ για το ενυδρειοπονικό σύστημα στο οποίο χορηγούνταν τροφή 2% του ζ.β/η, έως $21,9 \pm 2,88 \text{ mg/L}$ και $22,23 \pm 2,56 \text{ mg/L}$, όταν χορηγούνταν τροφή 5% του ζ.β/η και 7% του ζ.β/η, αντίστοιχα. Στο σημείο εξόδου του NFT τα νιτρικά ιόντα παρουσιάζουν αυξομειώσεις, μεταξύ της 10^η έως 20^{ης} ημέρας της πειραματικής διαδικασίας, στη μεταχείριση με επίπεδο διατροφής 5% του ζ.β/η (Σχ. 4).



Σχήμα 4: Διάγραμμα μεταβολής των νιτρικών ιόντων (NO_3^- out) στο σημείο εξόδου του νερού από την υδροπονική δεξαμενή NFT για όλες τις μεταχειρίσεις για όλο το διάστημα εκτροφής (45 d).

3.1.3. Φωσφορικά ιόντα στο σημείο εισόδου (PO_4-P_{in}) και εξόδου (PO_4-P_{out}) του συστήματος

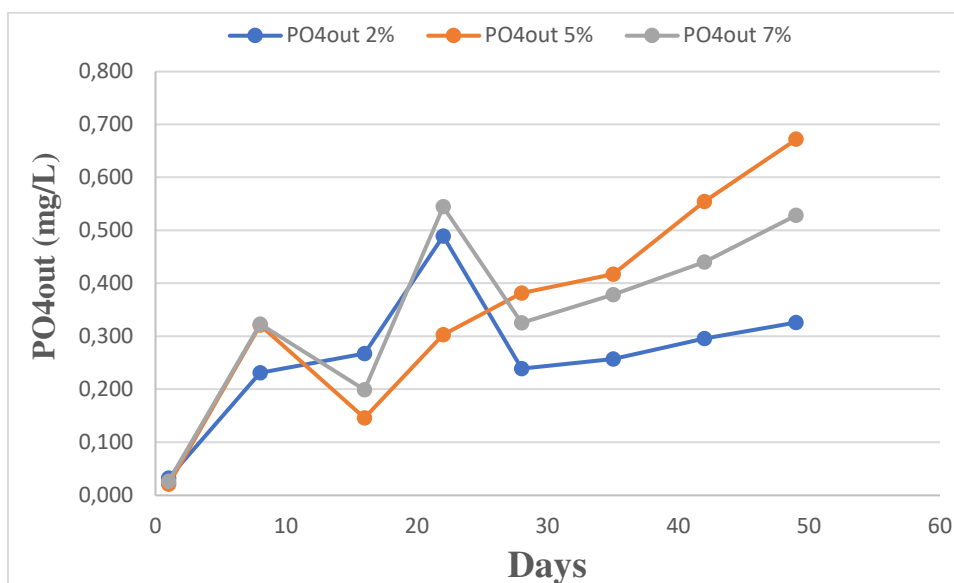
Τα φωσφορικά ιόντα (PO_4^-) στο σημείο εισόδου του νερού στην υδροπονική δεξαμενή NFT παρουσιάζουν μια τάση ανόδου μέχρι την 22^η ημέρα του πειράματος για όλες τις μεταχειρίσεις με τη μέγιστη τιμή (1,34 mg/L) να παρουσιάζεται στην πρώτη μεταχείριση (2% του ζ.β/η) συγκριτικά με τις μεταχειρίσεις 5% του ζ.β/η και 7% του ζ.β/η, που ήταν 0,70 mg/L και 0,62 mg/L, αντίστοιχα (Σχ.5). Στη συνέχεια (από την 23^η έως 28^η ημέρα) τα φωσφορικά ιόντα παρουσιάζουν μια απότομη μείωση, η οποία ακολουθείται από μια αύξηση έως το τέλος της πειραματικής διαδικασίας.



Σχήμα 5: Διάγραμμα μεταβολής φωσφορικών ιόντων (PO_4^{in}) στο σημείο εισόδου του νερού στην υδροπονική δεξαμενή NFT για όλες τις μεταχειρίσεις για όλο το διάστημα εκτροφής (45 d).

Σε ότι αφορά στα φωσφορικά ιόντα στο σημείο εξόδου του νερού από την υδροπονική δεξαμενή NFT του συστήματος (PO_4^{out}) παρατηρήθηκαν αυξομειώσεις σε όλες τις πειραματικές μεταχειρίσεις έως την 22^η ημέρα της πειραματικής διαδικασίας με τις μέγιστες συγκεντρώσεις να είναι της τάξης 0,49 mg/L για τη μεταχείριση 2% ζ.β/η και 0,55 mg/L για τη μεταχείριση 7% ζ.β/η (Σχ.6). Στη συνέχεια, 28^η ημέρα, τα φωσφορικά ιόντα στις μεταχειρίσεις 7% ζ.β/η και 2% ζ.β/η αντίστοιχα, εμφάνισαν μια απότομη μείωση ενώ συνέχισαν να αυξάνονται μέχρι τη λήξη της πειραματικής διαδικασίας. Στη μεταχείριση 5% ζ.β/η τα

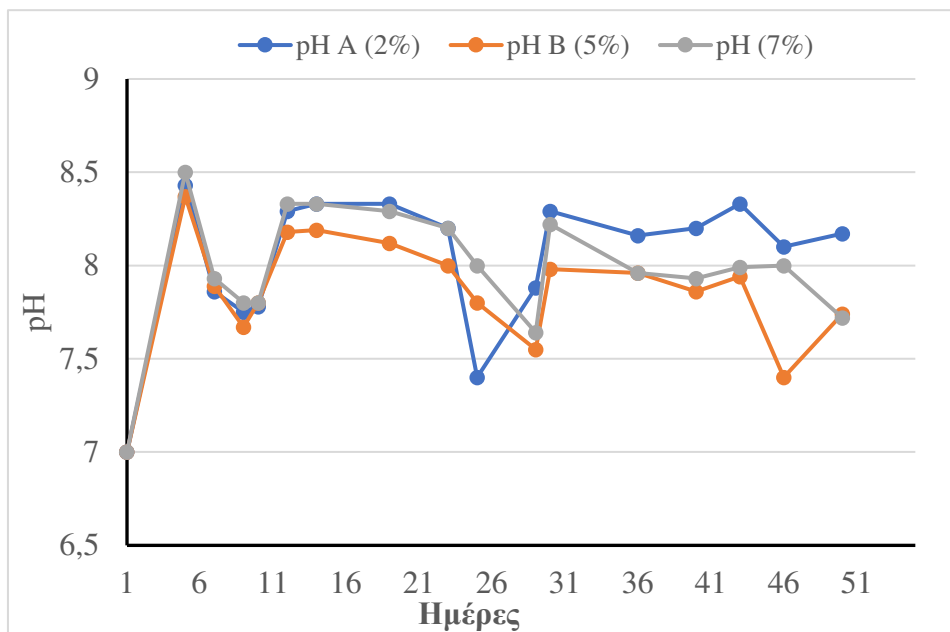
φωσφορικά ιόντα από την 16^η ημέρα έως τη λήξη της πειραματικής διαδικασίας παρουσίασαν μια τάση ανόδου (Σχ.6).



Σχήμα 6: Διάγραμμα μεταβολής των φωσφορικών ιόντων (PO_4^- out) στο σημείο εξόδου του νερού από την υδροπονική δεξαμενή NFT για όλες τις μεταχειρίσεις καθ' όλο το διάστημα εκτροφής (45 d).

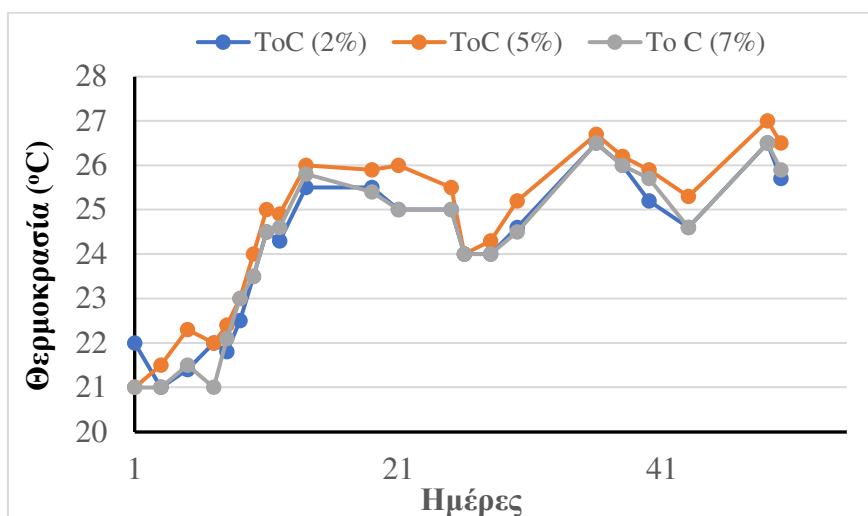
3.1.4. Θερμοκρασία (T) και pH

Στο Σχήμα 7 αποτυπώνεται η μεταβολή του pH για όλη τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας και στα τρία συστήματα ενυδρείοπονίας, η οποία παρουσιάζει αυξομειώσεις οι οποίες κυμαίνονταν μεταξύ του εύρους 7-8,5.



Σχήμα 7. Διάγραμμα μεταβολής του pH στα συστήματα ενυδρείοπονίας με διατροφικά επίπεδα 2% ζ.β/η, 5% ζ.β/η και 7% ζ.β/η αντίστοιχα διάρκειας 45 ημερών.

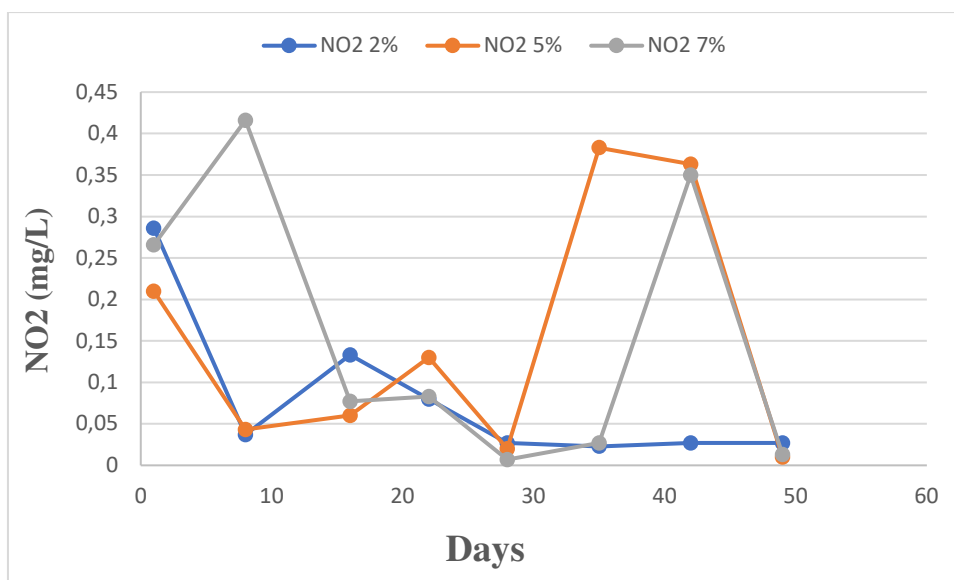
Στο Σχήμα 8 αποτυπώνεται η μεταβολή της θερμοκρασίας, η οποία παρουσιάζει αυξομειώσεις σε όλες τις μεταχειρίσεις καθ' όλο το διάστημα της πειραματικής εκτροφής (45 d).



Σχήμα 8. Διάγραμμα μεταβολής της θερμοκρασίας στα συστήματα για όλο το διάστημα εκτροφής (45 ημέρες).

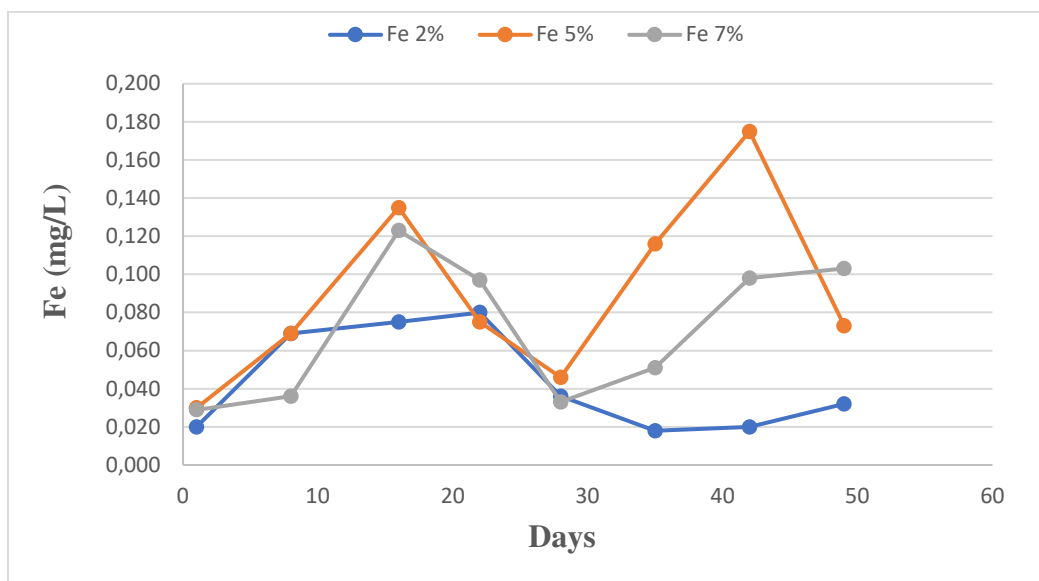
3.1.5. Νιτρώδη ιόντα (NO_2^-) και Σίδηρος (Fe)

Το Σχήμα 9, παρουσιάζει τη μεταβολή των νιτρωδών ιόντων καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος με τη μέγιστη τιμή να είναι της τάξης 0,42 mg/L και 0,38 mg/L στις μεταχειρίσεις που χορηγείται τροφή 5% ζ.β/η και 7% ζ.β/η, αντίστοιχα.



Σχήμα 9. Διάγραμμα μεταβολής των νιτρωδών (NO_2^-) διάρκειας 45 ημερών στα συστήματα ενυδρείοπονίας που χορηγήθηκε τροφή 2% ζ.β/η, 5% ζ.β/η και 7% ζ.β/η, αντίστοιχα.

Στο Σχήμα 10 παρουσιάζεται η μεταβολή του σιδήρου, καθ' όλη τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας και στα τρία συστήματα ενυδρείοπονίας.



Σχήμα 10. Διάγραμμα μεταβολής σιδήρου (Fe) στα συστήματα ενυδρείοπονίας (2% ζ.β/η, 5% ζ.β/η και 7% ζ.β/η) καθ' όλο το διάστημα εκτροφής (45 d).

3.2. Ανάπτυξη και επιβίωση ατόμων γάστρου

3.2.1. Επιβίωση ατόμων γάστρου

Στο τέλος της πειραματικής διαδικασίας υπολογίσθηκε η επιβίωση των ατόμων του γάστρου η οποία διακυμάνθηκε σε αυξημένα επίπεδα για όλες τις πειραματικές μεταχειρίσεις, με το εύρος τιμών να κυμαίνεται από $90,0 \pm 2,88 \%$ για τη μεταχείριση 2% του ζ.β/η, $86,6 \pm 4,41\%$ για τη μεταχείριση 5% του ζ.β/η, και $73,3 \pm 3,33\%$ του ζ.β/η. παρουσιάζοντας στατιστικά σημαντικές διαφορές (ANOVA, $p < 0.05$). Τα άτομα του γάστρου που διατρέφονταν με τροφή 7% του ζ.β/η παρουσίασαν στατιστικά τη μικρότερη επιβίωση (Πιν.4). Η θνησιμότητα πιθανά να αποδίδεται στην επίδραση του αναισθητικού κατά τη διάρκεια αναισθητοποίησης των ψαριών και στο μικρό μέγεθος των ατόμων γάστρου (Πιν.4).

3.3. Δείκτες ανάπτυξης γάστρου

3.3.1. Βάρος και μήκος σώματος

Το μέσο αρχικό βάρος (W_{in} , g) και μήκος (L_{in} , cm) των ατόμων του γάστρου κατά την έναρξη της πειραματικής διαδικασίας δεν παρουσίασε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των μεταχειρίσεων (ANOVA, $p > 0.05$). Στο τέλος της πειραματικής διαδικασίας (d45), το μέσο τελικό βάρος (W_{fin} , g) των ατόμων του γάστρου παρουσιάστηκε να είναι στατιστικά μεγαλύτερο (ANOVA, $p < 0.05$) στη μεταχείριση που χορηγούνταν σιτηρέσιο 7% του ζ.β/η σε σύγκριση με τις μεταχειρίσεις 5% του ζ.β/η και 2% του ζ.β/η (Πιν.4). Το μέσο τελικό βάρος διακυμάνθηκε από $083 \pm 0,02$ g στο σύστημα ενυδρείοποιίας με διατροφικό επίπεδο 2% του ζ.β/η, $1,70 \pm 0,05$ g για τα ιχθύδια που διατρέφονταν με 5% του ζ.β/η και $2,48 \pm 007$ g για τα ιχθύδια του γάστρου που διατρέφονταν με 7% του ζ.β/η (Πιν. 4). Επίσης, το μέσο τελικό μήκος (L_{fin} , cm) παρουσίασε στατιστικά μεγαλύτερη τιμή (ANOVA, $p < 0.05$) στο σύστημα ενυδρείοποιίας με διατροφικό επίπεδο 7% του ζ.β/η ($6,59 \pm 0,06$ cm) σε σχέση με το μέσο τελικό μήκος του γάστρου στις μεταχειρίσεις 5% του ζ.β/η και 2% του ζ.β/η που αντίστοιχα ήταν $5,82 \pm 0,06$ cm και $4,73 \pm 0,04$ cm (Πιν. 4).

Πίνακας 4. Αρχικό βάρος (W_{in} , g), τελικό βάρος (W_{fin} , g), επιβίωση (S%), αύξηση βάρους (WG,g), αρχικός συντελεστής ευρωστίας (C_{fin}), τελικός συντελεστής ευρωστίας (CF_{fin}), ειδικός ρυθμός ανάπτυξης (SGR), ποσοστιαία αύξηση βάρους (BWI %), αρχικό μήκος (L_{in} , cm), τελικό μήκος (L_{fin} , cm) των ατόμων γάστρου που εκτράφηκαν για 45 ημέρες, σε υφάλμυρο ανακυκλούμενο σύστημα ενυδραιοπονίας με τρία διαφορετικά επίπεδα διατροφής (2% ζ.β/η, 5% ζ.β/η και 7% ζ.β/η).

	2%	5%	7%
Αρχικό μέσο βάρος (W_{in} ,g)	0,69 ± 0,01 ^a	0,70 ± 0,02 ^a	0,70 ± 0,02 ^a
Τελικό μέσο βάρος (W_{fin} ,g)	0,83 ± 0,02 ^a	1,70 ± 0,05 ^b	2,48 ± 0,07 ^c
Επιβίωση (S%)	90,0 ± 2,88 ^a	86,6 ± 4,41 ^b	73,3 ± 3,33 ^c
Αύξηση βάρους (WG,g)	0,17 ± 0,01 ^a	1,04 ± 0,04 ^b	1,68 ± 0,07 ^c
Αρχικός συντελεστής ευρωστίας (K_{in} , gr/cm ³)	0,91 ± 0,01 ^a	0,93 ± 0,01 ^a	0,90 ± 0,02 ^a
Τελικός συντελεστής ευρωστίας (K_{fin} , gr/cm ³)	0,78 ± 0,01 ^a	0,85 ± 0,01 ^b	0,85 ± 0,01 ^b
Ειδικός ρυθμός ανάπτυξης (SGR %/d)	0,51 ± 0,03 ^a	2,1 ± 0,05 ^b	3,0 ± 0,04 ^c
Ποσοστιαία αύξηση βάρους (BWI %)	27,0 ± 1,99 ^a	160,9 ± 5,5 ^b	289,6 ± 7,9 ^c
Αρχικό μέσο μήκος (L_{in} ,cm)	4,23 ± 0,04 ^a	4,21 ± 0,05 ^a	4,26 ± 0,03 ^a
Τελικό μέσο Μήκος (L_{fin} ,cm)	4,73 ± 0,04 ^a	5,82 ± 0,06 ^b	6,59 ± 0,06 ^c

Οι μέσοι όροι κάθε παραμέτρου μεταξύ των μεταχειρίσεων που φέρουν τον ίδιο εκθέτη δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική διαφορά (ANOVA, $p > 0.05$). Οι τιμές παρουσιάζονται ως $MO \pm SEM$ ($n=180$).

3.3.2. Αύξηση βάρους (WG), ποσοστιαία αύξηση βάρους (BWI, %), συντελεστής ευρωστίας (K) και ειδικός ρυθμός ανάπτυξης (SGR)

Στο τέλος του πειράματος εκτροφής (d45), ο γάστρος παρουσίασε στατιστικά μεγαλύτερη (ANOVA, $p < 0.05$) αύξηση βάρους (WG,g) ($1,68 \pm 0,07$ gr), στην μεταχείριση με επίπεδο διατροφής 7% του ζ.β/η σε σχέση με την αύξηση βάρους που παρουσίασε στις μεταχειρίσεις 5% του ζ.β/η και 2% του ζ.β/η που αντίστοιχα ήταν $1,04 \pm 0,04$ gr και $0,17 \pm 0,01$ gr (Πιν.4).

Η ποσοστιαία αύξηση βάρους (BWI, %) παρουσίασε στατιστικά μεγαλύτερη μέση τιμή στη μεταχείριση 7% του ζ.β/η σε σύγκριση με τις μεταχειρίσεις 5% του ζ.β/η και 2% του ζ.β/η, αντίστοιχα (ANOVA, $p < 0.05$), (Πιν.4). Το μέσο εύρος τιμών διακυμανθηκε από $27,0 \pm 1,99$ % για τη μεταχείριση 2% του ζ.β/η, $160,9 \pm 5,5$ % για τη μεταχείριση με διατροφικό επίπεδο 5% του ζ.β/η, έως $289,6 \pm 7,9$ % για τη μεταχείριση 7% του ζ.β/η (Πιν.4).

Ο συντελεστής ευρωστίας (K_{in}) στην αρχή του πειράματος δεν παρουσίασε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των μεταχειρίσεων (ANOVA, $p > 0.05$) με το εύρος των μέσων τιμών να κυμαίνεται μεταξύ $0,91 \pm 0,001$ gr/cm³ για τα άτομα γάστρου που διατράφηκαν με 2% του ζ.β/η, $0,93 \pm 0,01$ gr/cm³ για εκείνα που σιτίστηκαν με 5% του ζ.β/η και $0,90 \pm 0,02$ gr/cm³ για τα ιχθύδια του γάστρου που διατράφηκαν με 7% του ζ.β/η (Πιν.4).

Ο συντελεστής ευρωστίας (K_{fin}) στο τέλος του πειράματος (d 45) παρουσίασε στατιστικά μεγαλύτερη τιμή στα ενυδρειοπονικά συστήματα με 5% του ζ.β/η και 7% του ζ.β/η αντίστοιχα, σε σχέση με τα ιχθύδια του γάστρου που διατράφηκαν με 2% του ζ.β/η (ANOVA, $p < 0.05$) (Πιν.4). Το εύρος τιμών διακυμάνθηκε μεταξύ $0,85 \pm 0,01$ gr/cm³ για τα ιχθύδια του γάστρου που διατράφηκαν με 5% ζ.β/η και 7% ζ.β/η αντίστοιχα, έως $0,78 \pm 0,01$ gr/cm³ για τα ιχθύδια του γάστρου που διατράφηκαν με 2% του ζ.β/η (Πιν.4), υποδηλώνοντας ότι τα ιχθύδια του γάστρου αναπτύχθηκαν ασύμμετρα μεταξύ των μεταχειρίσεων.

Τέλος, ο ειδικός ρυθμός ανάπτυξης (SGR, %/d) παρουσίασε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των τριών μεταχειρίσεων (ANOVA, $p < 0.05$), (Πιν.5). Μεγαλύτερο στατιστικά SGR εμφάνισαν τα άτομα του γάστρου που διατρέφονταν με επίπεδο διατροφής 7% του ζ.β/η, σε σύγκριση με εκείνα που διατράφηκαν με επίπεδο διατροφής 5% του ζ.β/η και 2% του ζ.β/η αντίστοιχα, που παρουσίασαν στατιστικά μικρότερο SGR (ANOVA, $p < 0.05$) (Πιν.4).

3.4. Δείκτες αξιοποίησης της τροφής

3.4.1. Συντελεστής ημερήσιας πρόσληψη τροφής (DFI), μετατρεψιμότητας (FCR) και απόδοσης πρωτεϊνών (PER).

Η μέση ημερήσια πρόσληψη τροφής (DFI, %/d) στο τέλος του πειράματος (45 d) παρουσίασε στατιστικά μεγαλύτερη στο διατροφικό επίπεδο 2% του ζ.β/η με μέση τιμή $3,89 \pm 0,25$ %/d σε αντίθεση με την ημερήσια πρόσληψη τροφής στις μεταχειρίσεις 5% του ζ.β/η και 7% του ζ.β/η όπου οι μέσες τιμές ήταν $1,67 \pm 0,1$ %/η και $1,39 \pm 0,05$ %/η, αντίστοιχα (ANOVA, $p < 0.05$) (Πιν.5).

Ο συντελεστής μετατρεψιμότητας της τροφής (FCR) παρουσιάστηκε στατιστικά μεγαλύτερος μεταξύ των ατόμων γάστρου που διατράφηκαν με επίπεδο 2% του ζ.β /η σε σύγκριση με τις μεταχειρίσεις με διατροφικά επίπεδα 5% του ζ.β/η και 7% του ζ.β/η, αντίστοιχα (ANOVA, $p < 0.05$). Αναλυτικά, η μέση τιμή του συντελεστή μετατρεψιμότητας της τροφής (FCR) στη μεταχείριση με διατροφικό επίπεδο 2% του ζ.β /η ήταν $2,16 \pm 0,23$ και $0,75 \pm 0,04$ και $0,62 \pm 0,02$ για τα άτομα γάστρου που διατράφηκαν, αντίστοιχα με 5% του ζ.β /η και 7% του ζ.β /η (Πιν. 5).

Πίνακας 5. Συντελεστής ημερήσιας πρόσληψης τροφής (DFI, %/d), μετατρεψιμότητας της τροφής (FCR, %) και απόδοσης πρωτεϊνών (PER) των ατόμων του γάστρου που διατράφηκαν για 45 ημέρες με τρία διαφορετικά επίπεδα διατροφής (2% του ζ.β/η, 5% του ζ.β/η και 7% του ζ.β/η).

	2% ζ.β /η	5% ζ.β /η	7% ζ.β /η
Ημερήσια πρόσληψη τροφής (%/d) DFI	$3,89 \pm 0,25^a$	$1,67 \pm 0,1^b$	$1,39 \pm 0,05^b$
Συντελεστής μετατρεψιμότητας τροφής, FCR	$2,16 \pm 0,23^a$	$0,75 \pm 0,04^b$	$0,62 \pm 0,02^b$
Συντελεστής απόδοσης πρωτεϊνών, PER	$0,01 \pm 0,001^a$	$0,02 \pm 0,001^b$	$0,03 \pm 0,001^c$

Οι μέσοι όροι κάθε παραμέτρου μεταξύ των μεταχειρίσεων που φέρουν τον ίδιο εκθέτη δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική διαφορά (ANOVA, $p > 0.05$). Οι τιμές παρουσιάζονται ως $MO \pm SEM$ (n=51).

Τέλος, ο συντελεστής απόδοσης των πρωτεϊνών (PER) στο τέλος του πειράματος παρουσίασε στατιστικά μεγαλύτερη τιμή στη μεταχείριση 7% του ζ.β/η (ANOVA, $p < 0.05$) (Πιν.5), σε σχέση με τις μεταχειρίσεις 5% του ζ.β/η και 2% του ζ.β/η που ήταν μικρότερες. Ο μέσος συντελεστής PER, διακυμάνθηκε μεταξύ $0,01 \pm 0,001$ για τη μεταχείριση 2% του ζ.β/η, $0,02 \pm 0,001$ για τη μεταχείριση 5% του ζ.β/η, έως $0,03 \pm 0,001$ για τη μεταχείριση 7% του ζ.β/η (Πιν.5).

3.5. Χημική σύσταση μυϊκού ιστού στο γάστρο

Ο Πίνακας 6, παρουσιάζει τη χημική σύσταση του μυϊκού ιστού του γάστρου (% ξηρής ουσίας) σε πρωτεΐνη, λίπος, ενέργεια και υγρασία στο τέλος της πειραματικής διαδικασίας (45 d).

Πίνακας 6. Χημική σύσταση στον τελικό μυϊκό ιστό του γάστρου σε πρωτεΐνη λίπος, ενέργεια και υγρασία για τα άτομα του γάστρου που διατράφηκαν με 2% του ζ.β/η, 5% του ζ.β/η και 7% ζ.β/η για διάστημα 45 ημερών που διήρκησε η εκτροφή στα ανακυκλούμενα ενυδρειοπνικά συστήματα.

	2% του ζ.β/η	5% του ζ.β/η	7% του ζ.β/η
Πρωτεΐνη (%)	72,58 ± 0,11 ^a	67,81 ± 0,31 ^b	65,90 ± 0,28 ^c
Λίπος (%)	7,20 ± 0,17 ^a	13,46 ± 0,40 ^b	17,29 ± 0,16 ^c
Τέφρα (%)	-	9,91±0,05 ^a	8,43±0,06 ^b
Ενέργεια (kJ/gr)	21,22 ± 0,02 ^a	21,52 ± 0,00 ^b	22,13 ± 0,00 ^c
Υγρασία (%)	22,32 ± 1,91 ^a	22,47 ± 0,76 ^a	20,74 ± 0,11 ^a

Οι μέσοι όροι κάθε παραμέτρου μεταξύ των μεταχειρίσεων που φέρουν τον ίδιο εκθέτη δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική διαφορά (ANOVA, $p>0.05$). Οι τιμές παρουσιάζονται ως MO ± SEM (n=4).

Οι μέσες συγκεντρώσεις της πρωτεΐνης, των λιπιδίων και της ενέργειας στον μυϊκό ιστό (whole body) του γάστρου στο τέλος της πειραματικής διαδικασίας παρουσίασε στατιστικά σημαντικές διαφορές (ANOVA, $p<0.05$) (Πιν.6). Πιο συγκεκριμμένα, η πρωτεΐνη ήταν στατιστικά μικρότερη στον ιστό του γάστρου που διατρέφονταν με 5% του ζ.β/η και 7% του ζ.β/η αντίστοιχα, σε σύγκριση με το γάστρο που διατρέφονταν με 2% του ζ.β/η που ήταν μεγαλύτερη (ANOVA, $p<0.05$). Ομοίως, το λίπος ήταν στατιστικά μεγαλύτερο στο γάστρο που διατρέφονταν με 5% του ζ.β/η και 7% του ζ.β/η σε σύγκριση με τα άτομα του γάστρου που διατρέφονταν με το ελάχιστο επίπεδο διατροφής 2% του ζ.β/η (ANOVA, $p < 0,05$). Η υγρασία δεν παρουσίασε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των πειραματικών μεταχειρίσεων (ANOVA, $p>0.05$).

3.6. Δείκτες ανάπτυξης ρόκας

Στην αρχή της πειραματικής διαδικασίας δεν υπήρχαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ της αρχικής βιομάζας της ρόκας σε όλες τις πειραματικές μεταχειρίσεις (ANOVA, $p>0.05$). Στο τέλος της πειραματικής διαδικασίας (45d) ανάπτυξη της ρόκας (SGR, gr DW/d) δεν παρουσιάζει στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των πειραματικών μεταχειρίσεων (ANOVA, $p>0.05$), (Πιν.7).

Πίνακας 7. Αρχική βιομάζα και ρυθμός ανάπτυξης της ρόκας (SGR) στις πειραματικές μεταχειρίσεις με επίπεδα διατροφής 2% του ζ,β/η, 5% του ζ,β/η και 7% ζ,β/η για διάστημα 45 ημερών που διήρκησε η εκτροφή στα ανακυκλούμενα ενυδρειοπονικά συστήματα.

	2% του ζ,β/η	5% του ζ,β/η	7% του ζ,β/η
Αρχική Βιομάζα (gr)	1,15± 0,30 ^a	1,15± 0,30 ^a	1,15± 0,30 ^a
Ρυθμός ανάπτυξης φυτών SGR (g DW/d)	0,2469± 0,09 ^a	0,2507±0,09 ^a	0,2464±0,08 ^a

Οι μέσοι όροι κάθε παραμέτρου μεταξύ των μεταχειρίσεων που φέρουν τον ίδιο εκθέτη δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική διαφορά (ANOVA, $p>0.05$). Οι τιμές παρουσιάζονται ως $MO \pm SEM$ (n=4).

3.7. Δείκτες απορρόφησης θρεπτικών συστατικών ρόκας

Στο τέλος της πειραματικής διαδικασίας προσδιορίστηκε ο ποσοστιαίος ρυθμός απορρόφησης (NRE) των θρεπτικών συστατικών από τη ρόκα στην υδροπονική δεξαμενή NFT (Πιν.8) για την ολική αμμωνία (TAN), τα νιτρικά ιόντα (NO_3^-) και τα φωσφορικά ιόντα (PO_4^-) (Σχ.11). Ο ρυθμός απορρόφησης NRE_{TAN} , $NRE_{NO_3^-}$ και $NRE_{PO_4^-}$ δεν παρουσίασε στατιστικά σημαντική διαφορά σε όλες τις πειραματικές μεταχειρίσεις καθ' όλη τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας (Πιν.8, ANOVA, $p>0.05$).

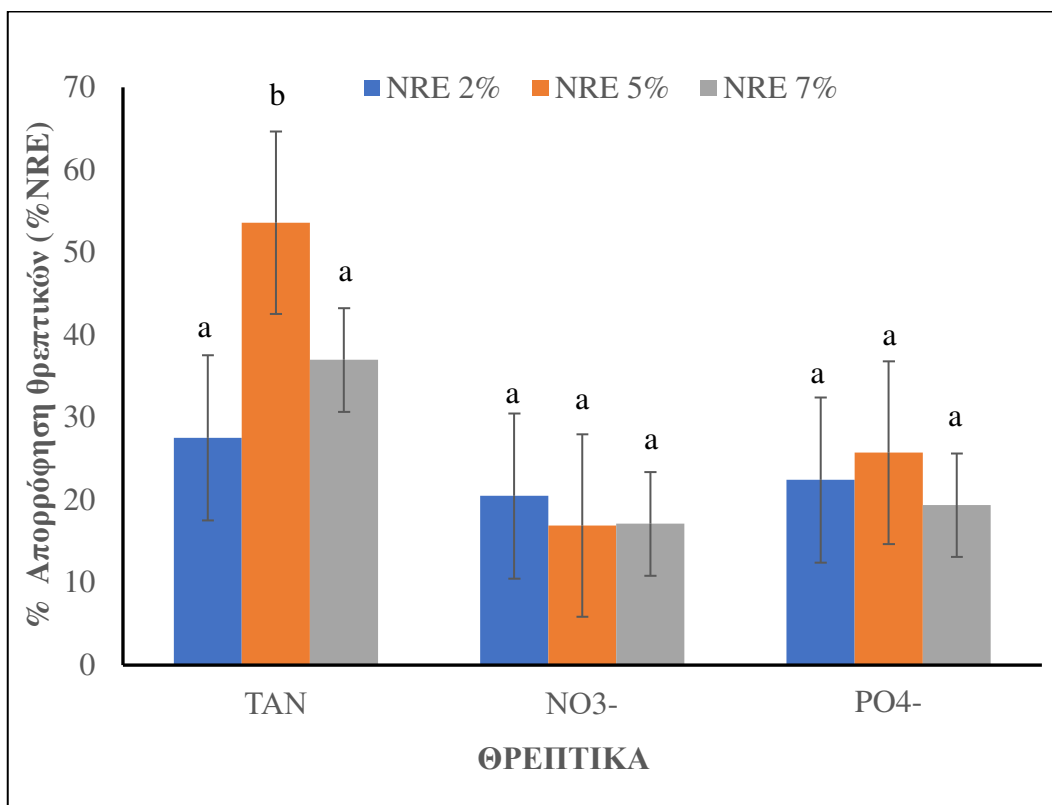
Πίνακας 8. Ρυθμός απορρόφησης θρεπτικών συστατικών από τη ρόκα στις πειραματικές μεταχειρίσεις στο τέλος της πειραματικής διαδικασίας (45 ημ), (NRE_{TAN} : απορρόφηση αμμωνίας, $NRE_{NO_3^-}$: απορρόφηση νιτρικών ιόντων και $NRE_{PO_4^-}$: απορρόφηση φωσφορικών ιόντων) στο τέλος της πειραματικής διαδικασίας (45 ημ).

	2% του ζ,β/η	5% του ζ,β/η	7% του ζ,β/η
NRE_{TAN} (%)	29,98 ± 3,35 ^a	53,59± 5,48 ^b	38,59± 6,84 ^a
$NRE_{NO_3^-}$ (%)	20,49 ± 3,29 ^a	16,91± 3,13 ^a	17,11 ± 2,77 ^a
$NRE_{PO_4^-}$ (%)	22,43 ± 5,22 ^a	25,73± 6,75 ^a	19,38 ± 5,42 ^a

Οι τιμές παρουσιάζονται ως $MO \pm SEM$ (n=16). Οι μέσοι όροι κάθε παραμέτρου μεταξύ των μεταχειρίσεων που φέρουν τον ίδιο εκθέτη δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική διαφορά (ANOVA, $p>0.05$).

Η μέση αριθμητική απορρόφηση (NRE) για την TAN διακυμάνθηκε από 29,98 % για τη μεταχείριση που χορηγήθηκε τροφή 2% ζ,β/η, 53,59% ζ,β/η για τη μεταχείριση που χορηγήθηκε τροφή 5% του ζ,β/η και 38,59% για τη μεταχείριση 7% του ζ,β/η (Πιν.8, Σχ.11).

Ομοίως η ποσοστιαία αριθμητική απορρόφηση για τα νιτρικά ιόντα ήταν της τάξης 20,49% για την μεταχείριση 2% του ζ.β/η, 16,91% για τη μεταχείριση 5% του ζ.β/η και 17,11 του ζ.β/η, αντίστοιχα για τη μεταχείριση 7% του ζ.β/η (Πιν.8, Σχ.11). Τέλος, η ποσοστιαία απορρόφηση των φωσφορικών ιόντων ήταν 22,43% για τη μεταχείριση 2% του ζ.β/η, 25,73% για τη μεταχείριση 5% του ζ.β/η και 19,38% για μεταχείριση 7% του ζ.β/η (Πιν.8, Σχ.11).



Σχήμα 11. Μέση ποσοστιαία απορρόφησης των θρεπτικών (%) για κάθε σύστημα ενυδρείοπονίας. Οι μπάρες σφάλματος δείχνουν την τυπική απόκλιση. Όμοια γράμματα πάνω από τις μπάρες δεν δείχνουν στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των μεταχειρίσεων (ANOVA, $p > 0.05$).

3.8. Χημική σύσταση της ρόκας - περιεκτικότητα και απορρόφηση σε άζωτο

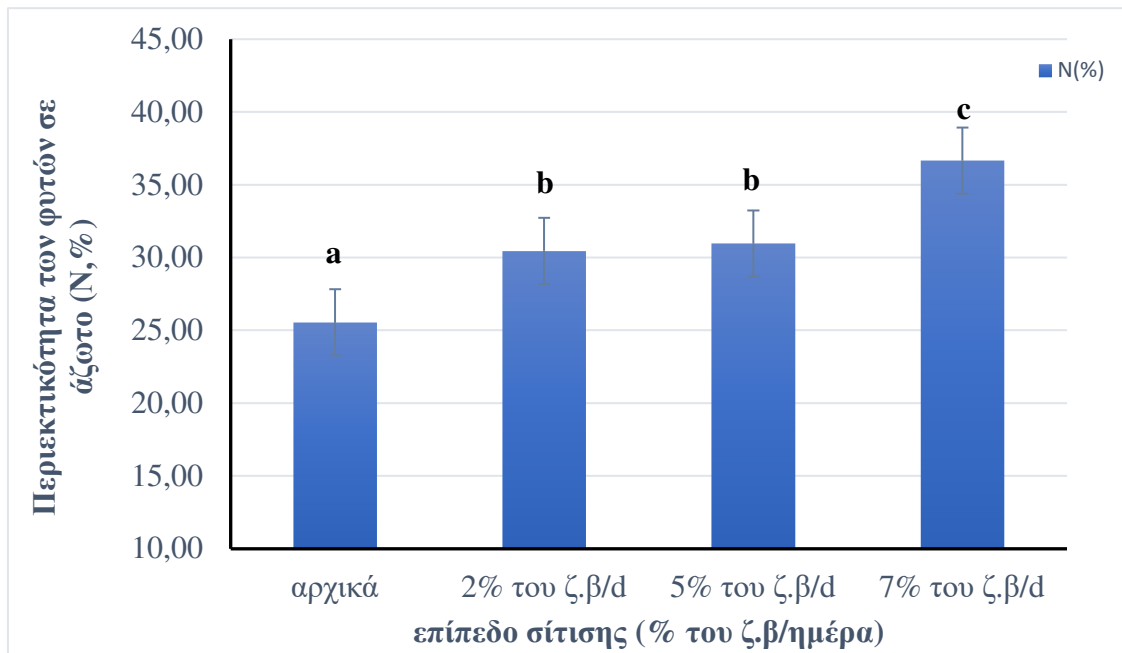
Η περιεκτικότητα της χημικής σύστασης της ρόκας σε άζωτο απεικονίζεται στον παρακάτω πίνακα. Στην αρχή του πειράματος, λήφθηκε δείγμα ιστού ρόκας (αρχικό δείγμα) και μετρήθηκε η και πρωτεΐνη στη ρόκα και ήταν της τάξης $15,98 \pm 0,67$ %. Στατιστικά μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη παρουσίασε η ρόκα που αναπτύχθηκε στο σύστημα με διατροφικό επίπεδο 7% ζ.β/η με τιμή $22,95 \pm 2,61$ %. Στα συστήματα με διατροφικά επίπεδα

2% ζ.β/η και 5% ζ.β/η, η περιεκτικότητα της ρόκας σε πρωτεΐνης ήταν $19,06 \pm 0,17\%$ και $19,38 \pm 0,96\%$ αντίστοιχα, χωρίς να παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους (ANOVA, $p < 0.05$). Το άζωτο στο αρχικό δείγμα της ρόκας υπολογίστηκε στο $25,54 \pm 1,08\%$ N. Στατιστικά μεγαλύτερη απορρόφηση αζώτου παρουσίασαν τα φυτά ρόκας που αναπτύχθηκαν στη μεταχείριση 7% ζ.β/η με τιμή $36,6 \pm 0,99\%$ N (Σχ.16, ANOVA, $p < 0.05$, Πιν.9). Η περιεκτικότητα των φυτών της ρόκας σε άζωτο (N) που καλλιεργήθηκαν στις μεταχειρίσεις 2% ζ.β/η και 5% ζ.β/η ήταν $30,45 \pm 0,27\%$ N και $30,97 \pm 0,15\%$ N, αντίστοιχα χωρίς να παρουσιάζουν στατιστική σημαντική διαφορά (ANOVA, $p > 0.05$, Πιν 9), (Σχ.12).

Πίνακας 9. Χημική σύσταση αρχικού και τελικού ιστού της ρόκας σε πρωτεΐνη και περιεκτικότητα σε άζωτο στις τρεις πειραματικές μεταχειρίσεις με επίπεδο διατροφής 2% του ζ.β/η, 5% του ζ.β/η και 7% ζ.β/η για διάστημα 45 ημερών που διήρκεσε η εκτροφή στα ανακυκλούμενα ενυδρειοπονικά συστήματα.

	Αρχικός φυτικός ιστός	2% του ζ.β/ημέρα	5% του ζ.β/ημέρα	7% του ζ.β/ημέρα
Πρωτεΐνη (%)	$15,98 \pm 0,67^a$	$19,06 \pm 0,17^b$	$19,38 \pm 0,96^b$	$22,95 \pm 2,61^c$
Άζωτο (N) (%)	$25,54 \pm 1,08^a$	$30,45 \pm 0,27^b$	$30,97 \pm 0,15^b$	$36,6 \pm 0,99^c$

Οι τιμές παρουσιάζονται ως $MO \pm SEM$ ($n=16$). Οι μέσοι όροι κάθε παραμέτρου μεταξύ των μεταχειρίσεων που φέρουν τον ίδιο εκθέτη δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική διαφορά (ANOVA, $p > 0.05$).



Σχήμα 12. Ποσοστιαία περιεκτικότητα της ρόκας σε άζωτο (N%) σε αρχικό δείγμα φυτού ρόκας και στα φυτά της ρόκας που καλλιεργήθηκαν στις πειραματικές μεταχειρίσεις με επίπεδα διατροφής 2% του ζ.β/ημέρα, 5% του ζ.β/ημέρα και 7% του ζ.β/ημέρα για 45 ημέρες. Όμοια γράμματα επάνω από τις μπάρες εκθέτη δεν δείχνουν στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των μεταχειρίσεων (ANOVA, $p > 0.05$).

3.9. Δείκτες φυσιολογικής απόκρισης της ρόκας

Ο Πίνακας 10, παρουσιάζει τους δείκτες φυσιολογικής απόκρισης της ρόκας στα συστήματα ενυδρείοπονίας που καλλιεργήθηκαν για 45 ημέρες. Οι δείκτες απόκρισης της χλωροφύλλης και ανθοκυανίνης καθώς και οι δείκτες ανταλλαγής αερίων δεν παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές (ANOVA, $p > 0.05$) μεταξύ των μεταχειρίσεων με επίπεδα διατροφής 2% του ζ.β/ημέρα, 5% του ζ.β/ ημέρα και 7% του ζ.β/ ημέρα, για 45 ημέρες πειραματικής καλλιέργειας.

Πίνακας 10. Δείκτες φυσιολογικής απόκρισης της ρόκας στα υφάλμυρα συστήματα ενυδραιοπονίας που χορηγήθηκε σιτηρέσιο 2% του ζ.β/ ημέρα, 5% του ζ.β/ ημέρα και 7% του ζ.β/ ημέρα), για 45 ημέρες πειραματικής καλλιέργειας.

	2% του ζ.β/ημέρα	5% του ζ.β/ημέρα	7% του ζ.β/ημέρα
Περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη (τιμές SPAD)	24,04 ± 2,58 ^a	21,61 ± 2,09 ^a	24,25 ± 2,43 ^a
Περιεκτικότητα σε ανθοκυανίνες (τιμές ACM)	3,03 ± 0,26 ^a	2,77 ± 0,49 ^a	2,85 ± 0,29 ^a
Ρυθμός φωτοσύνθεσης (A, μmol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹)	4,44 ± 0,38 ^a	4,52 ± 0,37 ^a	4,5 ± 0,49 ^a
Ρυθμός διαπνοής (E, mmol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹)	2,02 ± 2,34 ^a	1,99 ± 0,26 ^a	2,18 ± 0,35 ^a
Στοματική αγωγιμότητα (gs mmol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹)	198,53 ± 35,83 ^a	192,22 ± 29,75 ^a	186,48 ± 35,76 ^a
Εσωτερική συγκέντρωση CO ₂ (Ci μmol mol ⁻¹)	421,25 ± 22,71 ^a	458,24 ± 23,73 ^a	400,45 ± 10,10 ^a
Αποτελεσματικότητα Χρήσης νερού WUE(A/E)	3,22 ± 0,90 ^a	2,98 ± 0,91 ^a	3,5 ± 1,32 ^a

Οι τιμές παρουσιάζονται ως MO ± SEM. Οι μέσοι όροι κάθε παραμέτρου μεταξύ των μεταχειρίσεων που φέρουν τον ίδιο εκθέτη δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική διαφορά (ANOVA, p>0.05) (n=12).

3.9.1. Περιεκτικότητα των φύλλων ρόκας σε χλωροφύλλη και ανθοκυανίνες

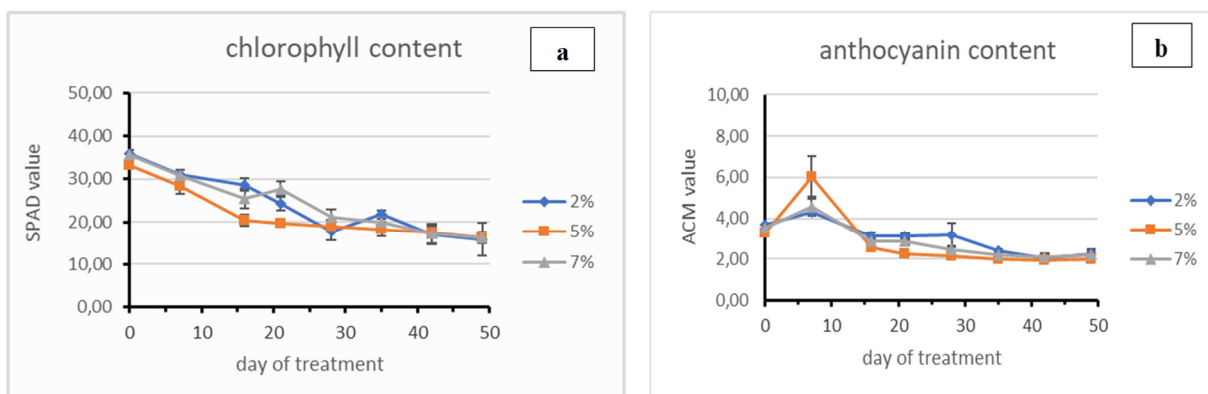
Η περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη ανάμεσα στη ρόκα των τριών μεταχειρίσεων δεν παρουσίασε στατιστικά σημαντική διαφορά (ANOVA, p<0.05) με τις μέσες τιμές να κυμαίνονται από 24,04 ± 2,58 στη ρόκα που αναπτύσσονταν στο σύστημα ενυδραιοπονίας με διατροφικό επίπεδο 2% του ζ.β/ημέρα, 21,61 ± 2,09 για τη ρόκα που αναπτύσσονταν στο σύστημα ενυδραιοπονίας με διατροφικό επίπεδο 5% του ζ.β/ημέρα και 24,25 ± 2,43 για τη ρόκα που καλλιεργήθηκε στη μεταχείριση 7% του ζ.β/ημέρα, αντίστοιχα (Πιν. 10).

Στο Σχήμα 13a, αποτυπώνεται η μεταβολή της περιεκτικότητας σε χλωροφύλλη στα φυτά ρόκας και στα τρία συστήματα ενυδραιοπονίας καθ' όλη των 45 ημερών που διήρκεσε η πειραματική διαδικασία. Η περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη στα φυτά ρόκας μεταξύ των τριών μεταχειρίσεων φαίνεται να μειώνεται από την 16^η ημέρα μέχρι το τέλος της πειραματικής διαδικασίας για τις μεταχειρίσεις 5% του ζ.β/ημέρα και 7% του ζ.β/ημέρα (Σχ. 13a) με εξαίρεση τη μεταχείριση 2% του ζ.β/ημέρα, όπου η περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη φαίνεται

να αυξάνεται από την 28^η έως την 35^η ημέρα του πειράματος παρουσιάζοντας στη συνέχεια παρόμοια τάση μείωσης μέχρι τη λήξη του πειράματος (Σχ.13a).

Σε ότι αφορά την περιεκτικότητα σε ανθοκυανίνες (ACM) στα φυτά ρόκας που καλλιεργήθηκαν στα τρία ενυδρειοπονικά συστήματα δεν παρουσίασε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των μεταχειρίσεων (ANOVA, $p < 0.05$) (Πιν. 10). Τα άτομα της ρόκας που αναπτύσσονταν στο σύστημα ενυδρειοπονίας με επίπεδο διατροφής 2% του ζ.β/ημέρα παρουσίασαν αριθμητικά μεγαλύτερη περιεκτικότητα ανθοκυανίνης ($3,03 \pm 0,26$) σε σχέση με τα ενυδρειοπονικά συστήματα που χορηγήθηκε τροφή 5% του ζ.β/ημέρα και 7% του ζ.β/ημέρα τα οποία παρουσίασαν αριθμητικά μικρότερη περιεκτικότητα σε ανθοκυανίνη που αντίστοιχα ήταν της τάξης των $2,77 \pm 0,49$ και $2,85 \pm 0,29$.

Η περιεκτικότητα σε ανθοκυανίνη σύμφωνα με το Σχήμα 13b ήταν υψηλότερη τη μεταχείριση 5% του ζ.β/ημέρα την 7^η ημέρα του πειράματος σε σχέση με τις μεταχειρίσεις 2% του ζ.β/ημέρα και 7% του ζ.β/ημέρα, η οποία στη συνέχεια άρχισε να μειώνεται μέχρι τη λήξη της πειραματικής διαδικασίας (45ημ.). Εξαιρέση αποτελεί η περιεκτικότητα της ρόκας σε ανθοκυανίνη την 28^η ημέρα του πειράματος στη μεταχείριση 2% του ζ.β/ημέρα η οποία παρουσίασε μια αύξηση στη συγκέντρωσή της.



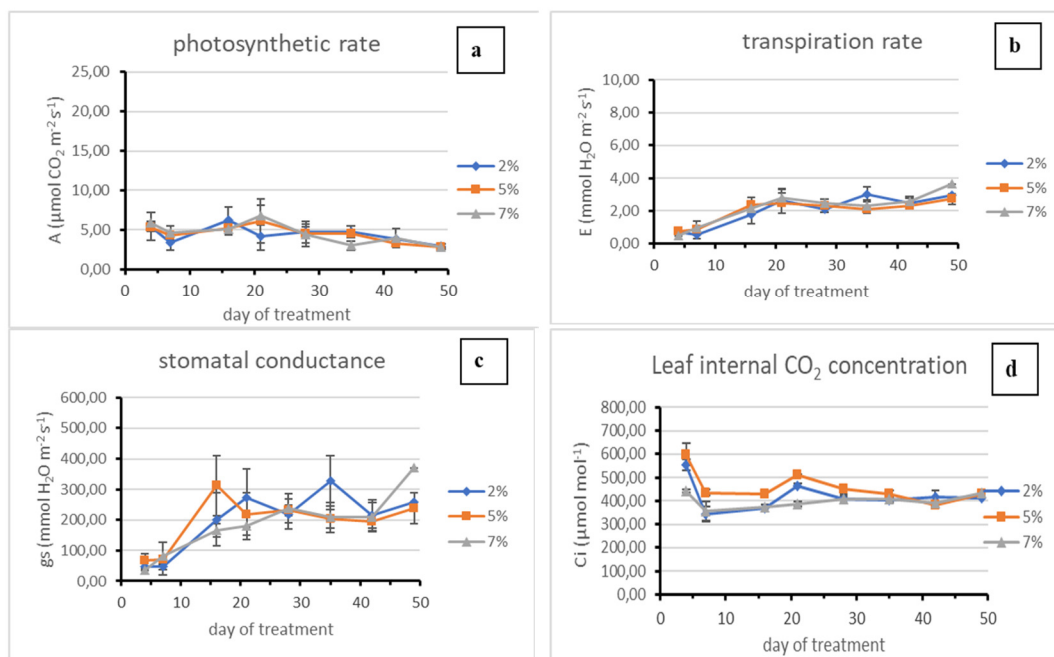
Σχήμα 13. Περιεκτικότητα των φύλλων της ρόκας σε (a) χλωροφύλλη (b) ανθοκυανίνες, καθ' όλη τη διάρκεια της καλλιέργειας (45ημέρες.) σε όλες τις πειραματικές μεταχειρίσεις στα ενυδρειοπονικά συστήματα (2% του ζ.β/ημέρα, 5% του ζ.β/ημέρα και 7% του ζ.β/ημέρα).

3.9.2. Παράμετροι ανταλλαγής αερίων

Οι παράμετροι ανταλλαγής αερίων (φωτοσύνθεση, διαπνοή, στοματική αγωγιμότητα και η εσωτερική συγκέντρωση CO_2) στα φυτά της ρόκας που καλλιεργήθηκαν στα ενυδρειοπονικά συστήματα για 45 ημέρες δεν παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές

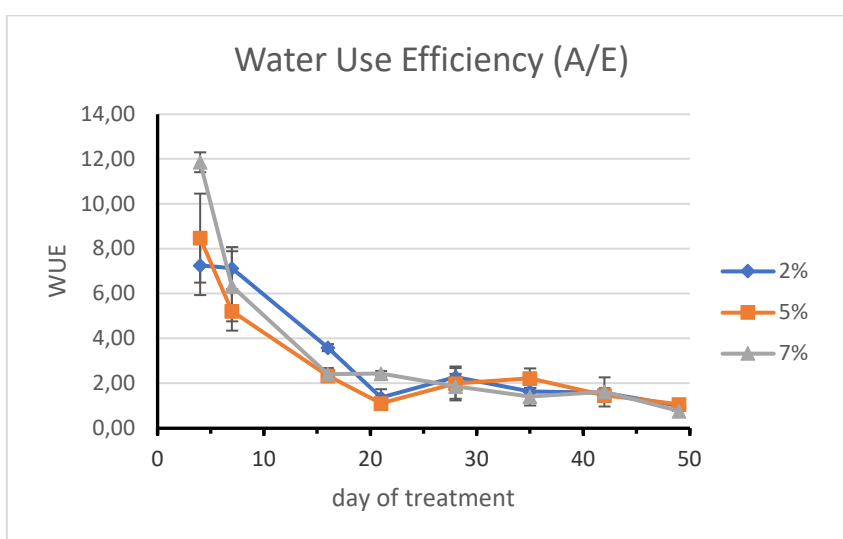
μεταξύ των τριών μεταχειρίσεων (ANOVA, $p > 0.05$) (Πιν. 10). Στο Σχήμα 14 παρουσιάζεται η διαγραμματική απεικόνιση της φωτοσύνθεσης, της διαπνοής, της στοματικής αγωγιμότητας και της εσωτερικής συγκέντρωσης των φύλλων σε CO₂ στα φυτά της ρόκας. Η φωτοσυνθετική ικανότητα της ρόκας σύμφωνα με το Σχήμα 14a παρουσιάζει μια πτωτική πορεία σε όλες τις πειραματικές μεταχειρίσεις από την 7^η ημέρα του πειράματος μέχρι τη λήξη του πειράματος, υποδηλώνοντας ότι η ρόκα παρουσιάζει μειωμένη φωτοσυνθετική ικανότητα που πιθανόν να οφείλεται στην ανθεκτικότητα του φυτού, και πιθανά να δημιουργεί μόνιμη ή παροδική μείωση της φωτοσύνθεσης.

Η διαπνοή και η στοματική αγωγιμότητα της ρόκας παρουσιάζει σύμφωνα με τα αποτελέσματα παρόμοια τάση αύξησης της συγκέντρωσής τους σε όλες τις μεταχειρίσεις (Σχ. 14 b,c). Η εσωτερική συγκέντρωση του CO₂ στα φύλλα της ρόκας παρουσίασε μια πτωτική πορεία για όλες τις μεταχειρίσεις από την έναρξη έως την 7^η ημέρα της πειραματικής διαδικασίας, ακολουθούμενη από μια τάση αύξησης μέχρι την 20^η ημέρα του πειράματος (Σχ.14d). Στη συνέχεια η εσωτερική συγκέντρωση CO₂ ακολουθεί μια πτωτική πορεία μέχρι τη λήξη του πειράματος (Σχ.14d) η μείωση της οποίας μπορεί να αποδίδεται στην μείωση της φωτοσυνθετικής ικανότητας της ρόκας.



Σχήμα 14. Παράμετροι ανταλλαγής αερίων στα φυτά της ρόκας (*E. sativa*) κατά τη διάρκεια των 45 ημερών που καλλιεργήθηκε στα ενυδρειοπονικά συστήματα όταν χορηγήθηκε ως τροφή 2% του ζ.β/ημέρα, 5% του ζ.β/ημέρα και 7% του ζ.β/ημέρα (a) φωτοσύνθεση, (b) διαπνοή (c) στοματική αγωγιμότητα και (d) εσωτερική συγκέντρωση CO₂ στα φύλλα της ρόκας.

Τέλος, σε ότι αφορά την αποτελεσματικότητα χρήσης νερού (A/E) δεν παρουσίασε στατιστικά σημαντικές διαφορές κατά την διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας (ANOVA, $p>0.05$) με τις μέσες τιμές να κυμαίνονται από $3,22 \pm 0,90$ στο ενυδρειοπονικό σύστημα με επίπεδο διατροφής 2 του ζ.β/ημέρα, $2,98 \pm 0,91$ στη μεταχείριση 5 του ζ.β/ημέρα και $3,6 \pm 1,32$ στο ενυδρειοπονικό σύστημα με επίπεδο διατροφής 5 του ζ.β/ημέρα (Πιν.10). Στο Σχήμα 15, αποτυπώνται η μεταβολή της αποτελεσματικότητας χρήσης νερού στις τρεις πειραματικές μεταχειρίσεις η οποία παρουσιάζει μια πτωτική πορεία καθ' όλο το διάστημα καλλιέργειας της ρόκας στα ενυδρειοπονικά συστήματα υποδηλώνοντας μειωμένη φωτοσυνθετική ικανότητα της ρόκας και αυξημένη απώλεια νερού μέσω της διαπνοής.



Σχήμα 15. Αποτελεσματικότητα χρήσης νερού στα φυτά της ρόκας για 45 ημέρες στα ενυδρειοπονικά συστήματα με επίπεδο διατροφής 2% του ζ.β/ημέρα, 5% του ζ.β/ημέρα και 7% του ζ.β/ημέρα.

3.10. Απόδοση ενυδρειοπονικών συστημάτων

Η λειτουργία και απόδοση του βιολογικού φίλτρου των ενυδρειοπονικών συστημάτων παρουσιάζεται στον Πίνακα 11. Το υδραυλικό φορτίο (HLR), ο υδραυλικός χρόνος παραμονής του νερού στο φίλτρο (HLT) και ο ρυθμός ανακύκλωσης (τ) δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές στις πειραματικές μεταχειρίσεις (ANOVA, $p>0.05$), (Πιν.11). Ο ρυθμός παραγωγής αμμωνίας (P_{TAN} , mg/L) ήταν στατιστικά μικρότερος (ANOVA, $p<0.05$) στην πειραματική μεταχείριση που χορηγήθηκε η μικρότερη ποσότητα τροφής (2% του ζ.β/ημέρα),

(0,06±0,02 mg/L) σε σχέση με τις μεταχειρίσεις 5% του ζ.β/ημέρα (0,25±0,06 mg/L) και 7% του ζ.β/ημέρα (0,36±0,1 mg/L) που ήταν μεγαλύτερες (Πιν.11)

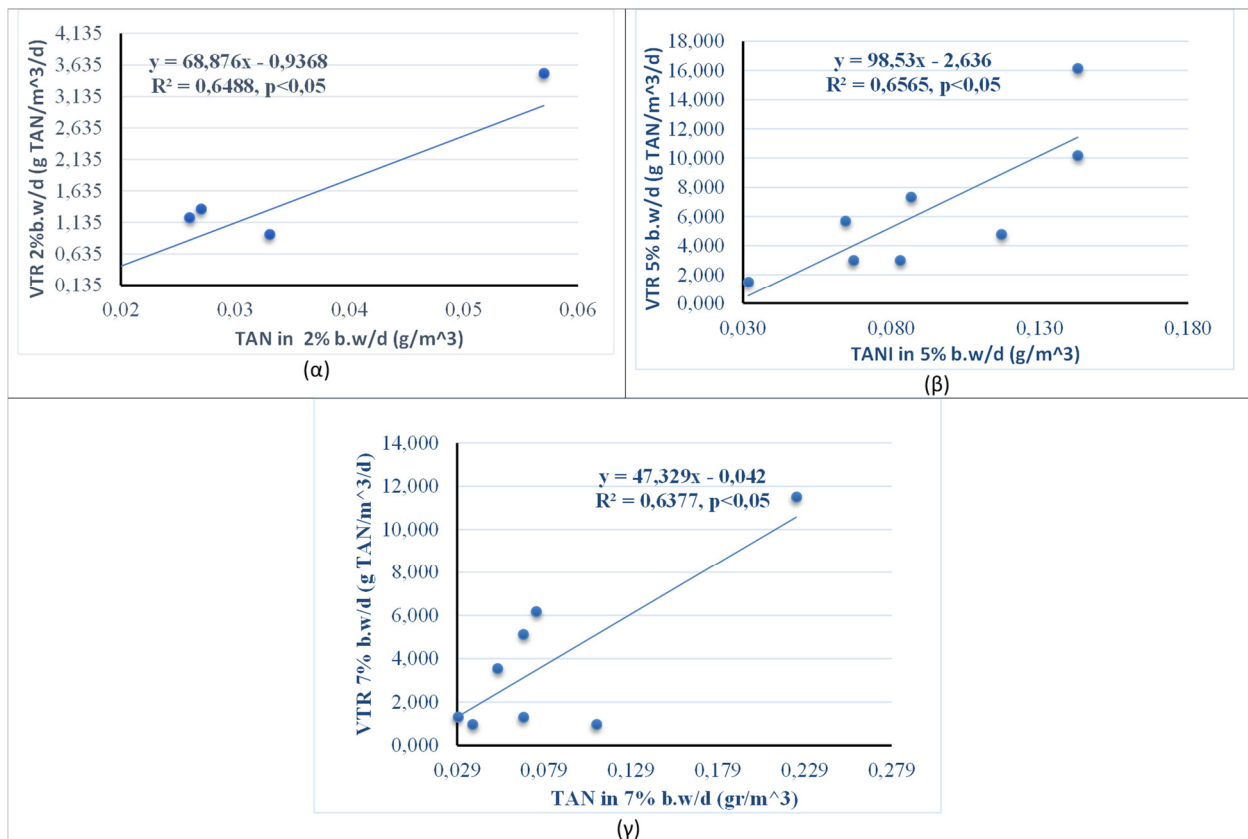
Ο ογκομετρικός ρυθμός οξείδωσης της αμμωνίας στο φίλτρο (VTR, g TAN/m³/ημέρα) παρουσίασε στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των πειραματικών μεταχειρίσεων (ANOVA, p<0.05). Στατιστικά η μεγαλύτερη τιμή του VTR παρουσιάστηκε στη μεταχείριση 5% του ζ.β/ημέρα (6,44±1,69 g TAN/m³/ημέρα) σε σύγκριση με τις μεταχειρίσεις 2% του ζ.β/ημέρα και 7% του ζ.β/ημέρα που ήταν μικρότερες (ANOVA, p<0.05) υποδηλώνοντας αυξημένη αποδοτικότητα (E) στο φίλτρο της μεταχείρισης 5% του ζ.β/ημέρα και καλύτερη αξιοποίηση του αζώτου από τα φυτά (ANOVA, p<0.05, Πιν.11). Η μεγαλύτερη στατιστικά επιβάρυνση σε άζωτο (N, mg N/g τροφής/ημέρα) παρατηρήθηκε στη μεταχείριση 5% του ζ.β/ημέρα (ANOVA, p<0.05) (Πιν.11, Σχ.16). Ο ρυθμός μεταβολής της αμμωνίας TAN (g/m²/day) στις υδροπονικές δεξαμενές καλλιέργειας της ρόκας εκφράστηκε διαμέσου του ρυθμού απορρόφησης της αμμωνίας από τη ρόκα TAN (g/m²/ημέρα) και παρατηρήθηκε να είναι στατιστικά μεγαλύτερος (ANOVA, p<0.05) στη μεταχείριση 2% του ζ.β/ημέρα σε σύγκριση με τις μεταχειρίσεις 5% του ζ.β/ημέρα και 7% του ζ.β/ημέρα (Πιν.11, Σχ.16).

Πίνακας 11. Παράμετροι λειτουργίας και απόδοσης ενυδρείοπονικών συστημάτων καθ' όλο το διάστημα της πειραματικής διαδικασίας (45 ημ).

	2% του ζ.β/ημέρα	5% του ζ.β/ημέρα	7% του ζ.β/ημέρα
Υδραυλικό Φορτίο (HLR, cm/d)	5,52±0,03 ^a	5,61±0,07 ^a	5,62±0,04 ^a
Υδραυλικός χρόνος παραμονής (HRT, min)	1,72±0,01 ^a	1,70±0,02 ^a	1,69±0,01 ^a
Ρυθμός ανακύκλωσης (r)	5,02±0,02 ^a	5,41±0,05 ^a	5,43±0,05 ^a
Ρυθμός παραγωγής αμμωνίας (P _{TAN} , mg/L)	0,06±0,02 ^a	0,25±0,06 ^b	0,36±0,1 ^b
Αποτελεσματικότητα βιολογικού φίλτρου (E)	1,89±0,04 ^a	0,83±0,01 ^b	0,99±0,01 ^c
Ογκομετρικός Ρυθμός Οξείδωσης αμμωνίας φίλτρου (VTR, g TAN/m ³ /d)	1,17±0,43 ^a	6,44±1,69 ^b	2,53±0,65 ^b
Ρυθμός μεταβολής αμμωνίας στις υδροπονικές δεξαμενές TAN (g/m ² /day)	1,17±0,43 ^a	0,25±0,07 ^b	0,09±0,03 ^b
Φορτίο επιβάρυνσης N (mg N/g τροφής/d)	26,25±6,55 ^a	43,92±5,99 ^b	17,89±3,94 ^a

Οι τιμές παρουσιάζονται ως MO ± SEM. Οι μέσοι όροι κάθε παραμέτρου μεταξύ των μεταχειρίσεων που φέρουν τον ίδιο εκθέτη δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική διαφορά (ANOVA, p>0.05) (n=22).

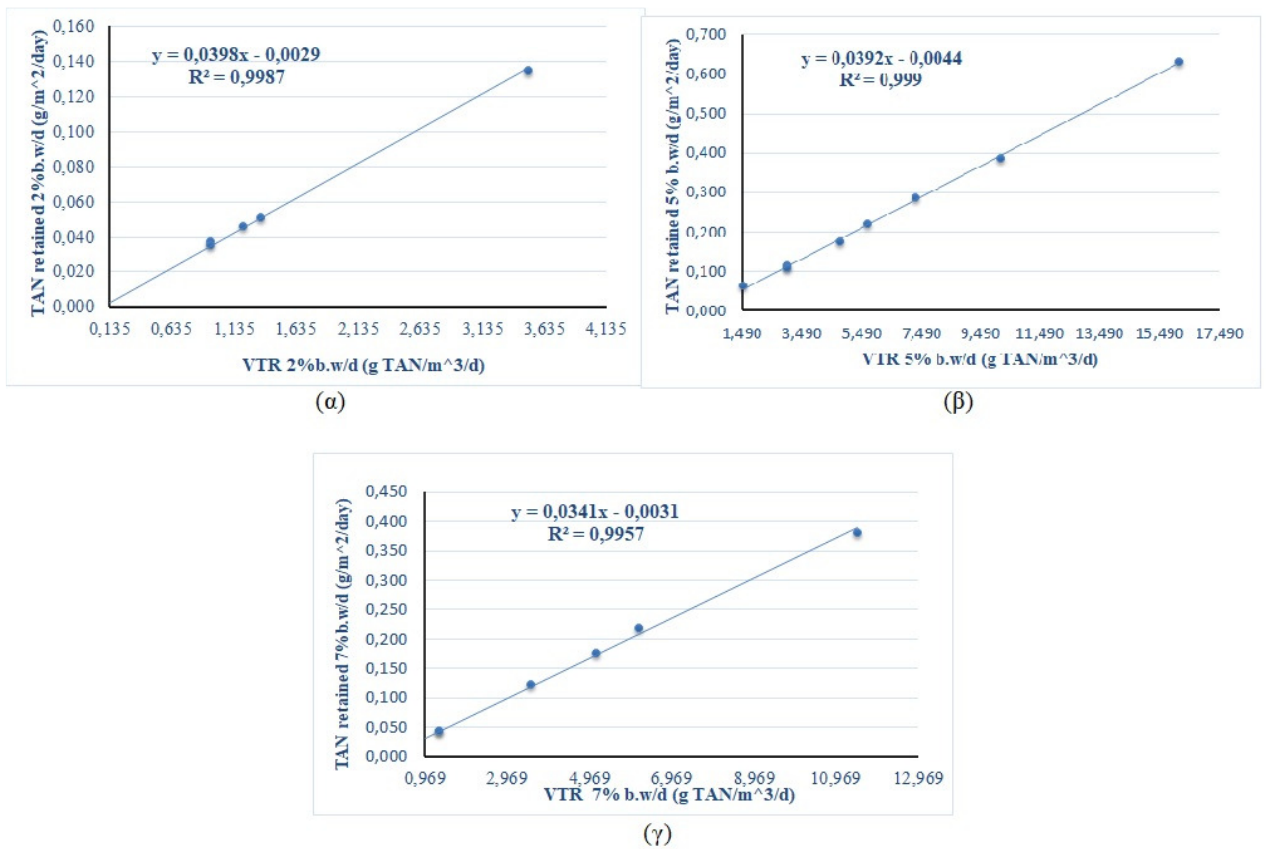
Στο Σχήμα 17, αποτυπώνεται η γραμμική σχέση μεταξύ του ογκομετρικού ρυθμού οξείδωσης της αμμωνίας (VTR) σε σχέση με το ρυθμό παραγωγής αμμωνίας στα ενυδρειοπονικά συστήματα που χορηγείται τροφή 2% του ζ.β/ημέρα, 5% του ζ.β/ημέρα και 7% του ζ.β/ημέρα ερμηνεύοντας ποσοστά υψηλότερα από 64,8%, 65,5% και 63,7%, της μεταβλητότητας του VTR, αντίστοιχα.



Σχήμα 17. Εξισώσεις παλινδρόμησης του ογκομετρικού ρυθμού οξείδωσης της αμμωνίας (VTR, gr/m³/d) στο φίλτρο σε σχέση με το ρυθμό παραγωγής αμμωνίας (TAN in gr/m³/d) στα ανακυκλούμενα ενυδρειοπονικά συστήματα που χορηγήθηκε τροφή (α) 2% του ζ.β/ημέρα, (β) 5% του ζ.β/ημέρα και (γ) 7% του ζ.β/ημέρα για 45 ημέρες εκτροφής.

Στο Σχήμα 18, αποτυπώνεται η γραμμική σχέση μεταξύ του ρυθμού μεταβολής της αμμωνίας TAN (g/m²/ημέρα) στις δεξαμενές NFT καλλιέργειας της ρόκας και εκφράστηκε διαμέσου του ρυθμού απορρόφησης της αμμωνίας από τη ρόκα TAN (g/m²/ημέρα) για τα ανακυκλούμενα ενυδρειοπονικά συστήματα που χορηγήθηκε τροφή 2% του ζ.β/ημέρα, 5% του ζ.β/ημέρα και 7% του ζ.β/ημέρα ερμηνεύοντας ποσοστά υψηλότερα από 99,7 %, της

μεταβλητότητας της μεταβολής της αμμωνίας (TAN retained) που κατακρατήθηκε από τα φυτά ρόκας, αντίστοιχα.



Σχήμα 18. Εξισώσεις παλινδρόμησης του ογκομετρικού ρυθμού οξείδωσης της αμμωνίας (VTR, gr/m³/ημέρα) σε σχέση με το ρυθμό μεταβολής της αμμωνίας TAN (gr/m²/ημέρα) στις υδροπονικές δεξαμενές καλλιέργειας της ρόκας μεταξύ των πειραματικών μεταχειρίσεων που χορηγήθηκε τροφή (α) 2% του ζ.β/ημέρα, (β) 5% του ζ.β/ημέρα και (γ) 7% του ζ.β/ημέρα για 45 ημέρες εκτροφής.

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

4.1. Αβιοτικοί παράμετροι

Η ποιότητα του νερού καθ' όλη τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας δεν παρουσίασε υψηλές διακυμάνσεις παρουσιάζοντας στατιστικά σημαντικές διαφορές (ANOVA, $p < 0.05$) μεταξύ των πειραματικών μεταχειρίσεων για την TAN_{in} , $NO_3^-N_{in}$ και $NO_3^-N_{out}$. Σε ότι αφορά τις υπόλοιπες παραμέτρους του νερού ($PO_4^{3-}-P_{in}$, $PO_4^{3-}-P_{out}$, $NO_2^- -N$, Fe, T και pH) δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές (ANOVA, $p > 0.05$) χωρίς να παρουσιάζουν υψηλές διακυμάνσεις μεταξύ των μεταχειρίσεων.

Συγκρίνοντας τις τιμές που προέκυψαν από το παρόν πείραμα με εκείνες που προτείνονται από τους Somerville *et al.* (2014) παρατηρούμε ότι βρίσκονται εντός των ασφαλών ορίων ασφαλούς λειτουργίας των ενυδρειοπονικών συστημάτων. Πιο συγκεκριμένα το pH διατηρήθηκε σταθερό καθ' όλο το διάστημα της πειραματικής εκτροφής με εύρος τιμών από 7.97 ± 0.08 έως 8.02 ± 0.09 χωρίς να παρουσιάζει στατιστικά σημαντικές διαφορές (ANOVA, $p > 0.05$) και ήταν παρόμοιο με εκείνο (7,8-8,02) που αναφέρουν οι Hotos & Avramidou (2020) για 4 είδη κεφαλοειδών (*Mugil cephalus*, *Chelon labrosus*, *Liza aurata* και *L. Ramada*) τα οποία καλλιεργήθηκαν σε πειραματικό ανακυκλούμενο σύστημα μικρής κλίμακας αλατότητας 15 ppt. Οι Elhetawy *et al.* (2021) καλλιέργησαν κέφαλο σε ανακυκλούμενο σύστημα εκτροφής υφάλμυρου νερού (15ppt) και γλυκού νερού (0,4- 0,6ppt) και αναφέρουν υψηλότερη διακύμανση pH με εύρος τιμών μεταξύ 8.40-8.77, σε σχέση με τις τιμές pH του παρόντος πειράματος. Οι Parvez *et al.* (2017) καλλιέργησαν το κεφαλοειδές *Liza tade* σε σύστημα πολυκαλλιέργειας σε υφάλμυρο νερό και αναφέρουν παρόμοια μεταβολή pH με το pH του πειράματος.

Οι Rakocy *et al.* (2016) αναφέρουν ότι θρεπτικά συστατικά όπως ο σίδηρος, το μαγγάνιο, ο χαλκός κ.λπ. απορροφούνται σε μικρότερη συγκέντρωση από τα φυτά όταν το pH είναι μεγαλύτερο από 7,0, ενώ η διαλυτότητα του φωσφόρου, του ασβεστίου, του μαγνησίου και του μολυβδαινίου μειώνεται απότομα όταν το pH είναι μικρότερο από 6,0.

Οι Vlahos *et al.* (2019) σε υφάλμυρο σύστημα ενυδρειοπονίας (5 ppt 20 ppt) καλλιέργησαν την ευρύαλη τσιπούρα (*S. aurata*) με το αλόφυτο κρίταμο και αναφέρουν τιμές pH μικρότερες (7,4-7,53) από τις τιμές pH του παρόντος πειράματος. Οι Barbosa *et al.* (2020) καλλιέργησαν σε σύστημα ενυδρειοπονίας γλυκού νερού ρόκα, μαρούλι και κάρδαμο σε

συνδυασμό με τιλάπια και αναφέρουν ότι η μέση διακύμανση της τιμής του pH ήταν ελάχιστα μικρότερη (7,5) από τη ελάχιστη τιμή pH (7,97) που παρατηρήθηκε στο παρόν πείραμα.

Σε ότι αφορά τη μέση συγκεντρώση της αμμωνίας ($\text{NH}_4^+\text{-N}$)_{in} στο σημείο εισόδου του νερού στο φίλτρο διακυμάνθηκε από $0,04 \pm 0,01$ mg/L έως $0,09 \pm 0,01$ mg/L παρουσιάζοντας στατιστικά σημαντικές διαφορές (ANOVA, $p < 0,05$), σε αντίθεση με τη μέση συγκεντρώση της αμμωνίας ($\text{NH}_4^+\text{-N}$)_{out} στο σημείο εξόδου του νερού από το φίλτρο η οποία διακυμάνθηκε σε χαμηλά σχετικά επίπεδα χωρίς να παρουσιάζει στατιστικά σημαντικές διαφορές (ANOVA, $p > 0,05$).

Οι τιμές της αμμωνίας του παρόντος πειράματος δεν συμφωνούν με εκείνες που αναφέρονται από τους Parvez *et al.* (2017) για το κεφαλοειδές *L. tade* που καλλιεργήθηκε σε υφάλμυρο σύστημα και ήταν κατά πολύ μεγαλύτερες ($3,56$ mg/L- $4,02$ mg/L). Οι Elhetawy *et al.* (2021) καλλιέργησαν τον κέφαλο (*Mugil cephalus*) σε γλυκό νερό και αναφέρουν ως ελάχιστη συγκέντρωση ολικής αμμωνίας (TAN) την τιμή $0,07$ mg/L, παρόμοια με τη μέση συγκέντρωση αμμωνίας που παρατηρήθηκε στο παρόν πείραμα και στη μεταχείριση 7% του ζ.β/ημέρα. Επίσης, οι Vlahos *et al.* (2019) συγκαλλιέργησαν την ευρύαλη τσιπούρα και τον κρίταμο σε υφάλμυρο σύστημα ενυδρειοπονίας αναφέροντας κατά πολύ μεγαλύτερες συγκεντρώσεις στην ολική αμμωνία σε σχέση με τις τιμές του παρόντος πειράματος.

Τα νιτρώδη ιόντα (NO_2^-) στο παρόν πείραμα διακυμάνθηκαν από $0,08 \pm 0,03$ mg/L έως $0,15 \pm 0,05$ mg/L χωρίς να παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (ANOVA, $p > 0,05$) και ήταν παρόμοια με τις μέσες συγκεντρώσεις των νιτρωδών ιόντων ($0,00$ - $0,22$ mg/L) που αναφέρονται από τους Elhetawy *et al.* (2021) οι οποίοι καλλιέργησαν τον κέφαλο (*Mugil cephalus*) σε γλυκό, υφάλμυρο και θαλασσινό νερό. Οι Parvez *et al.* (2017), αναφέρουν μεγαλύτερο εύρος τιμών στα νιτρώδη ιόντα $1,83$ - $1,88$ mg/L , συγκριτικά με τα νιτρώδη ιόντα του παρόντος πειράματος.

Σε ότι αφορά τα νιτρικά ιόντα στην είσοδο του νερού στην υδροπονική δεξαμενή καλλιέργειας της ρόκας, στην παρούσα εργασία υπολογίστηκαν μεταξύ $14,1 \pm 0,98$ mg/L έως $27,5 \pm 0,04$ mg/L για τις μεταχειρίσεις που χορηγήθηκε τροφή 2% του ζ.β/ημέρα, 5% του ζ.β /ημέρα και 7% του ζ.β/ημέρα και ήταν μεγαλύτερες από τις συγκεντρώσεις των νιτρικών ιόντων που αναφέρουν οι Parvez *et al.* (2017) οι οποίοι καλλιέργησαν το κεφαλοειδές *Liza tade* ($\text{NO}_3^- \text{-N}$: $10,72 \pm 1,77$ mg/L) σε υφάλμυρο σύστημα και οι Elhetawy *et al.* (2021) που καλλιέργησαν τον κέφαλο (*Mugil cephalus*) σε γλυκό, υφάλμυρο και θαλασσινό νερό αναφέροντας τιμές νιτρικών ιόντων (υφάλμυρο-θαλασσινό σύστημα 2 - 9 mg/L, γλυκό νερό: 1 - 10 mg/L).

Οι Kotzen & Appelbaum (2010) σε πειράματα ενυδρειοπονίας με τιλάπια σε υφάλμυρο νερό, βρήκαν τιμές νιτρικών ιόντων μικρότερες από τις τιμές νιτρικών του παρόντος πειράματος (μεταξύ 10-20 mg/L), ενώ οι Vlahos *et al.* (2019) σε πειράματα ενυδρειοπονίας με την ευρύαλη τσιπούρα σε υφάλμυρο νερό βρήκαν τιμές νιτρικών κατά πολύ μεγαλύτερες (76,4 έως 77,2 mg/L) από το παρόν πείραμα.

Ομοίως, οι Hotos & Avramidou (2020) καλλιέργησαν 4 είδη κεφαλοειδών σε ανακυκλούμενο σύστημα υδατοκαλλιέργειας εργαστηριακής κλίμακας με υφάλμυρο νερό και βρήκαν υψηλότερες τιμές νιτρικών ιόντων που κυμαίνονταν από 50 έως 80 mg/L σε σχέση με τις τιμές των νιτρικών του παρόντος πειράματος. Οι αυξημένες συγκεντρώσεις νιτρικών ιόντων σύμφωνα με τον Spotte (1992) υποδηλώνουν την εύρυθμη λειτουργία του ανακυκλούμενου συστήματος εκτροφής ιχθύων.

Σε ότι αφορά τα φωσφορικά ιόντα του παρόντος πειράματος, τα αποτελέσματα έδειξαν εύρος διακύμανσης μεταξύ $0,41 \pm 0,09$ mg/L και $0,48 \pm 0,05$ mg/L χωρίς να παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (ANOVA, $p > 0,05$) και ήταν κατά πολύ μικρότερες συγκεντρώσεις από εκείνες που αναφέρονται από τους Parvez *et al.* (2017), οι οποίοι καλλιέργησαν το κεφαλοειδές *Liza tade*, σε σύστημα πολυκαλλιέργειας με υφάλμυρο νερό και βρήκαν μέσες συγκεντρώσεις φωσφορικών $3,67 \pm 1,37$ mg/L έως $3,69 \pm 1,55$ mg/L. Επίσης, η Τάσιου (2019) σε πείραμα ενυδρειοπονίας καλλιέργησε λαβράκι και κρίταμο σε υφάλμυρο νερό τριών αλατοτήτων (8 ppt, 14 ppt και 20 ppt) και βρήκε μεγαλύτερες μέσες συγκεντρώσεις φωσφορικών ιόντων (8ppt: $2,78 \pm 0,50$ mg/L, 14 ppt: $4,93 \pm 0,67$ mg/L, 20 ppt: $2,94 \pm 0,64$ mg/L) σε σχέση τα φωσφορικά ιόντα του παρόντος πειράματος.

Τέλος, σε ότι αφορά στο σίδηρο τα αποτελέσματα του παρόντος πειράματος έδειξαν εύρος τιμών από $0,04 \pm 0,01$ mg/L για τη μεταχείριση 2% του ζ.β/ημέρα, $0,09 \pm 0,01$ mg/L για τη μεταχείριση 5% του ζ.β/ημέρα και $0,07 \pm 0,01$ mg/L για τη μεταχείριση 7% του ζ.β/ημέρα χωρίς να παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Οι Stathopoulou *et al.* (2021) σε πείραμα ενυδρειοπονίας που διεξήγαγαν με λαβράκι και μαρούλι μελέτησαν την επίδραση προσθήκης συμπληρώματος Fe σε συνδυασμό με K και βρήκαν παρόμοια συγκέντρωση Fe στο νερό του ενυδρειοπονικού συστήματος ($0,09 \pm 0,009$ mg/L) όταν δεν χορηγείται συμπλήρωμα Fe με τη συγκέντρωση του Fe του παρόντος πειράματος στη μεταχείριση 5% του ζ.β/ημέρα. Επίσης στην ίδια μελέτη παρατήρησαν ότι, όταν προστίθεται Fe ή Fe σε συνδυασμό με K οι μέσες συγκεντρώσεις Fe ήταν μεγαλύτερες.

4.2. Δείκτες ανάπτυξης του γάστρου, επιβίωση και αξιοποίηση τροφής

Ο γάστρος (*L. saliens*) ως ευρύαλο είδος ανήκει στα Μεσογειακά είδη ψαριών με εμπορική αξία και αυξημένη προσαρμοστικότητα, και συγκαταλέγεται μεταξύ των ειδών κατάλληλα για εντατική εκτροφή σε συνθήκες αιχμαλωσίας παρουσιάζοντας ικανοποιητική ανάπτυξη (Martínez *et al.* 2019). Χαρακτηρίζεται για την υψηλή ωσμορυθμιστική ικανότητα του, που του επιτρέπει να επιβιώνει σε περιοχές αυξημένης αλατότητας χωρίς να επηρεάζεται η ανάπτυξή του (Hotos & Vlahos 1998).

Τα αποτελέσματα της παρούσης εργασίας έδειξαν ότι, ο γάστρος παρουσίασε ικανοποιητική ανάπτυξη και αυξημένη επιβίωση στο υφάλμυρο περιβάλλον ενυδρείοποιίας σε τρία διαφορετικά επίπεδα διατροφής (2% του ζ.β/ημέρα, 5% του ζ.β/ημέρα και 7% του ζ.β/ημέρα). Κατά την έναρξη της πειραματικής διαδικασίας ο γάστρος σε όλα τα ενυδρείοπονικά συστήματα παρουσίασε στατιστικά παρόμοιο μέσο βάρος (ANOVA, $p > 0.05$). Στο τέλος της πειραματικής διαδικασίας (45 d) το τελικό μέσο βάρος και μέσο μήκος στις μεταχειρίσεις 5% του ζ.β/ημέρα και 7% του ζ.β/ημέρα παρουσίασε στατιστικά μεγαλύτερη τιμή σε σχέση με τη μεταχείριση 2% του ζ.β/ημέρα (ANOVA, $p < 0.05$).

Η επιβίωση του γάστρου στο τέλος της πειραματικής διαδικασίας διακυμάνθηκε σε υψηλά επίπεδα μεταξύ $90 \pm 2,88$ % για τα άτομα του γάστρου στη μεταχείριση 2% του ζ.β/ημέρα, $86,6 \pm 4,41$ % για τα άτομα του γάστρου στη μεταχείριση 5% του ζ.β/ημέρα έως και $73,3 \pm 3,33$ % για το γάστρο που εκτράφηκε στη μεταχείριση 7% του ζ.β/ημέρα. Οι Hotos & Avramidou (2020) καλλιέργησαν 4 είδη κεφαλοειδών σε υφάλμυρο πειραματικό ανακυκλούμενο σύστημα και παρατήρησαν υψηλά επίπεδα επιβίωσης. Υψηλά ποσοστά επιβίωσης (>96%) παρατηρήθηκαν επίσης και στη μελέτη των Altunok & Özden (2017), οι οποίοι καλλιέργησαν το κεφαλοειδές *Chelon labrosus* μέσου βάρους $6,2 \pm 0,61$ gr σε εντατικό σύστημα εκτροφής (ιχθυοκλωβοί) χορηγώντας διαφορετικά επίπεδα διαιτητικής πρωτεΐνης.

Τα αποτελέσματα της παρούσης εργασίας, σε ότι αφορά το τελικό μέσο βάρος (W_{fin}) του γάστρου στο τέλος της πειραματικής διαδικασίας (45d) όταν εκτρέφεται σε πειραματικό ενυδρείοπονικό σύστημα με υφάλμυρο νερό και διατρέφονται με 5% του ζ.β/ημέρα και 7% του ζ.β/ημέρα, συμφωνούν με εκείνα που αναφέρουν οι Hotos & Avramidou (2020) για τα είδη *Chelon labrosus* ($W_{fin}: 2,92 \pm 1,21$ gr) και *Liza ramada* ($W_{fin}: 1,91 \pm 0,97$ gr) τα οποία καλλιεργήθηκαν σε ανακυκλούμενο σύστημα υφάλμυρο νερού για διάστημα 80 ημερών. Επίσης, σε ότι αφορά το τελικό μήκος του γάστρου, τα αποτελέσματα της παρούσης εργασίας για όλες τις πειραματικές μεταχειρίσεις (L_{fin} 2% του ζ.β/ημέρα: 4.73 ± 0.04 cm, L_{fin} 5% του

ζ.β/ημέρα: $5,82 \pm 0,06$ cm και $L_{fin}7\%$ του ζ.β/ημέρα: $6,59 \pm 0,06$ cm) συμφωνούν με εκείνα που αναφέρουν οι Hotos & Avramidou (2020), οι οποίοι μελέτησαν τα κεφαλοειδή *Chelon labrosus*, *Mugil chephalus* και *Liza ramada* σε υφάλμυρο ανακυκούμενο σύστημα υδατοκαλλιέργειας και ήταν αντίστοιχα, $6,77 \pm 0,95$ cm, $4,95 \pm 0,55$ cm και $5,97 \pm 0,77$ cm.

Η αύξηση βάρους (WG) ο ειδικός ρυθμός ανάπτυξης (SGR) και η ποσοστιαία αύξηση βάρους (BWI) παρουσίασαν στατιστικά μεγαλύτερη μέση τιμή όταν ο γάστρος διατρέφονταν με 7% του ζ/β/ημέρα σε σχέση με τα επίπεδα διατροφής 5% του ζ.β/ημέρα και 2% του ζ.β/ημέρα που ήταν μικρότεροι (ANOVA, $p < 0.05$). Τα αποτελέσματα της παρούσης εργασίας συμφωνούν με εκείνα των Barman *et al.* (2005), όπου ο κέφαλος παρουσίασε αυξημένο ρυθμό ανάπτυξης SGR (4.70%) όταν καλλιεργούνταν σε υφάλμυρο σύστημα και διατρέφονταν με 5% του ζ.β/ημέρα. Επίσης, οι Elhetawy *et al.* (2021) αναφέρουν ότι ο κέφαλος παρουσιάζει μεγαλύτερο ρυθμό ανάπτυξης όταν χρησιμοποιείται στη διατροφή του η τεχνολογία biofloc σε ποσοστό 60% σε σχέση με όταν διατρέφεται με διαφορετικά επίπεδα πρωτεΐνης (20% και 24%) στο γλυκό και υφάλμυρο νερό, αντίστοιχα.

Επίσης, οι Hotos & Avramidou (2020) καλλιέργησαν 4 είδη κεφαλοειδών σε ανακυκλούμενο πειραματικό σύστημα μικρής κλίμακας με υφάλμυρο νερό (10 ppt) και βρήκαν SGR μικρότερο (SGR *Lisa aurata*: 1,31, SGR *Lisa ramada* : 1,30 SGR *Chelon labrosus*: 1,20 στο και SGR *Mugil cephalus* : 0,75) από τις μέσες τιμές SGR που παρατηρήθηκαν στο παρόν πείραμα.

Οι Parvez *et al.* (2017), καλλιέργησαν το κεφαλοειδές *Liza tade* σε υφάλμυρο σύστημα πολυκαλλιέργειας και βρήκαν ότι ο μέσος ρυθμός ανάπτυξης (SGR) ήταν $1,53 \pm 0,42\%$ /ημέρα, παρόμοιος με τον μέσο ημερήσιο ρυθμό ανάπτυξης SGR, του παρόντος πειράματος (SGR $2.1 \pm 0,05$ %/ημέρα) για τον γάστρο που διατρέφονταν με 5% του ζ.β/ημέρα. Οι Quirós-Pozo *et al.* (2021) μελέτησαν τη ανάπτυξη και την αποτελεσματικότητα της διατροφής του κεφαλοειδούς *Liza aurata* με μέσο βάρος 8 gr όταν διατρέφεται μέχρι κορεσμού και βρήκαν SGR που κυμαίνονταν από 0,7-0,9 %/ημέρα και ήταν χαμηλότερο συγκριτικά με το SGR της παρούσης μελέτης για το γάστρο μικρότερο μεγέθους που διατρέφονταν με 2% του ζ.β/ημέρα ($0,51 \pm 0,03$ %/ημέρα), γεγονός που συνάδει με την παραδοχή ότι η καλύτερη και τάχιστη ανάπτυξη στα κεφαλοειδή επιτυγχάνεται κατά τα πρώτα στάδια της ζωής τους.

Οι Davies *et al.* (1997) καλλιέργησαν το κεφαλοειδές *Chelon labrosus* με μέσο βάρος 1-9 gr σε ενυδρεία αλατότητας 30 ppt χορηγώντας δύο διαφορετικές πηγές διαιτητικής πρωτεΐνης (ιχθυάλευρο, και άλευρο φυκών) και βρήκαν SGR 3%/ημέρα και 2,4%/ημέρα, αντίστοιχα, και ήταν παρόμοιο με το SGR της παρούσας μελέτης για τον γάστρο.

Ο συντελεστής ευρωστίας (CF) είναι δείκτης ανθεκτικότητας και σύμφωνα με τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας στο τέλος της πειραματικής διαδικασίας διακυμάνθηκε από $0.78 \pm 0.01 \text{ gr/cm}^3$ έως $0,85 \pm 0,01 \text{ gr/cm}^3$ για όλες τις πειραματικές μεταχειρίσεις. Ο συντελεστής ευρωστίας CF στο τέλος της περιόδου εκτροφής (45 d) συγκρίθηκε και βρέθηκε παρόμοιος με τον συντελεστή ευρωστίας CF για το είδος *L. aurata* (0,86) και *Liza ramada* (0.83) , όπως περιγράφεται από τους Hoto & Avramidou (2020). Το γεγονός αυτό υποδηλώνει ότι η φυσική κατάσταση των ψαριών στο εν λόγω στάδιο ανάπτυξης δεν επηρεάζεται αρνητικά από το ελεγχόμενο περιβάλλον εκτροφής, αντίθετα για ορισμένα από τα κεφαλοειδή μπορεί να λειτουργεί ευεργετικά, ενισχύοντας την ανάπτυξή τους.

Σε ό,τι αφορά τους δείκτες αξιοποίησης της τροφής (FCR, DFI και PER) ,στο τέλος της πειραματικής διαδικασίας, παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές (ANOVA, $p < 0.05$) μεταξύ των διατροφικών μεταχειρίσεων υποδηλώνοντας ότι ο γάστρος (*L.saliens*) αξιοποιεί τα θρεπτικά συστατικά της τροφής και αναπτύσσεται ικανοποιητικά. Ο συντελεστής μετατρεψιμότητας της τροφής (FCR) στο παρόν πείραμα βρέθηκε μικρότερος στις μεταχειρίσεις 5% ζ.β/ημέρα (FCR: 0,75) και 7% ζ.β/ημέρα (FCR: 0,62) σε σχέση με το δείκτη FCR που αναφέρεται από τους Hoto & Avramidou (2020) για τα κεφαλοειδή *Chelon labrosus* (FCR: 1,09) και *Liza aurata* (FCR: 1,04) όπου εκτρέφονταν σε ανακυκλούμενο κλειστό σύστημα με υφάλμυρο νερό (10 ppt). Επίσης στην ίδια μελέτη, ο κέφαλος (*Mugil chephalus*) εμφάνισε FCR 2,04 , παρόμοιο με το συντελεστή FCR του παρόντος πειράματος για τον γάστρο που σιτίζονταν με 2% του ζ.β/ημέρα.

Οι Quirós-Pozo *et al.* (2021), καλλιέργησαν το κεφαλοειδές *L.aurata* μέσου βάρους $8.93 \pm 1.88 \text{ g}$ σε εντατικό σύστημα με θαλασσινό νερό ο οποίος διατρέφονταν με σιτηρέσια που περιείχαν aloe vera και βρήκαν συντελεστή FCR που διακυμάνθηκε από 2 έως 2,4 παρόμοιο με τον δείκτη FCR που παρουσίασε ο γάστρος *L.saliens*, όταν διατρέφονταν με 2% του ζ.β/η στο παρόν πείραμα.

Ο συντελεστής ημερήσιας πρόσληψης τροφής (DFI) στη παρούσα έρευνα βρέθηκε μικρότερος από τον DFI που αναφέρουν οι Elhetawy *et al.* (2021) για το κεφαλοειδές *Mugil cephalus* μέσου βάρους 10 gr, όταν εκρεφεται σε εντατικό σύστημα σε γλυκό νερό, υφάλμυρο και θαλασσινό χρησιμοποιώντας την τεχνολογία του biofloc. Επίσης, σε ό,τι αφορά το συντελεστή απόδοσης πρωτεϊνών (PER) τα αποτελέσματα του παρόντος πειράματος έδειξαν σημαντικά στατιστικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων (ANOVA, $p < 0.05$) και τιμές μικρότερες από εκείνες που αναφέρουν οι Elhetawy *et al.* (2021) για τον κέφαλο (*M.cephalus*) εκτρέφόμενος σε εντατικό σύστημα, χρησιμοποιώντας τη τεχνολογία του biofloc σε γλυκό,

υφάλμυρο και θαλασινό νερό. Επίσης οι Wassef *et al.* (2001), καλλιέργησαν το κεφαλοειδές *M. cephalus* με μέσο βάρος 6.46 ± 0.5 g σε εντατικό σύστημα (κλωβοί) και βρήκαν μεγαλύτερες τιμές PER (1,16-0,93) από τις τιμές PER του παρόντος πειράματος.

4.3. Χημική σύσταση μυϊκού ιστού γάστρου

Στη παρούσα μελέτη, οι μέσες συγκεντρώσεις της πρωτεΐνης, των λιπιδίων και της ενέργειας και της υγρασίας στον μυϊκό ιστό (whole body) του γάστρου (*L. saliens*) στο τέλος της πειραματικής διαδικασίας παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές (ANOVA, $p < 0.05$).

Τα αποτελέσματα της παρούσης εργασίας έδειξαν ότι δεν υπάρχουν ουσιαστικές διαφορές στη χημική σύνθεση του ιστού του γάστρου που εκτρέφεται σε ενυδρειοπνικά συστήματα με υφάλμυρο νερό (2 ppt) όταν τρέφεται με εμπορικά σύμπληκτα 2% του ζ.β/ημέρα, 5% του ζ.β/ημέρα και 7% του ζ.β/ημέρα και βρέθηκε να είναι εντός του εύρους που αναφέρονται για το *Liza aurata* από τους Arlaban *et al.* (2012). Οι Karapanagiotidis *et al.* (2014) καλλιέργησαν το κεφαλοειδές *Liza aurata* μέσου βάρους 45 gr σε ιχθυοκλωβού και βρήκαν ότι η χημική σύσταση του ιστού του συγκεκριμένου είδους, σε πρωτεΐνη κυμαίνονταν μεταξύ 55,93-7,94% η οποία ήταν μικρότερη συγκριτικά με την πρωτεΐνη στον ιστό του παρόντος πειράματος. Σε ό,τι αφορά την περιεκτικότητα σε ολικές λιπαρές ουσίες στη χημική σύσταση του ιστού του γάστρου, οι Karapanagiotidis *et al.* (2014) αναφέρουν ότι είναι μεγαλύτερη (17,36-24,85) από την περιεκτικότητα του ιστού του γάστρου σε λιπίδια του παρόντος πειράματος.

Επίσης, οι Quirós-Pozo *et al.* (2021) αναφέρουν μικρότερη ποσοστιαία περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη ($55,5 \pm 0,9\%$ - $60,7 \pm 3,2\%$), μεγαλύτερη ποσοστιαία περιεκτικότητα σε ολικές λιπαρές ενώσεις ($27,2 \pm 2,5\%$ - $35,2 \pm 7,6\%$) και μεγαλύτερη ποσοστιαία περιεκτικότητα σε τέφρα ($11,0 \pm 1,7\%$ - $12,7 \pm 1,9\%$) στον ιστό του κεφαλοειδούς *L. aurata* συγκριτικά με τον ιστό του γάστρου που καλλιεργήθηκε σε ενυδρειοπνικά συστήματα με υφάλμυρο νερό (2 ppt).

Οι Elhetawy *et al.* (2021), καλλιέργησαν τον κέφαλο *M. Cephalus* σε γλυκό, υφάλμυρο και θαλασσινό νερό και βρήκαν παρόμοια επίπεδα πρωτεΐνης, (63,67%- 64.32%) , λιπιδίων (19%) και τέφρας (15%) συγκριτικά με εκείνα που αναφέρονται για τον γάστρο στο παρόν πείραμα.

Οι παρατηρήσεις αυτές συμφωνούν με τους Borges *et al.* (2020), οι οποίοι αναφέρουν ότι οι αλλαγές στην ποσοστιαία περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη και λιπίδια στο σώμα των ψαριών πιθανά να συνδέεται με τις αλλαγές που παρατηρούνται στο ρυθμό σύνθεσης ή εναπόθεσης τους στο μυϊκό ιστό του ιχθύος.

4.4. Ανάπτυξη ρόκας, ρυθμός απορρόφησης θρεπτικών, περιεκτικότητα σε άζωτο και δείκτες φυσιολογικής απόκρισης της ρόκας

Στην παρούσα έρευνα ο ρυθμός ανάπτυξης της ρόκας (SGR, gr DW/d) στο τέλος της πειραματικής διαδικασίας δεν παρουσίασε στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των πειραματικών μεταχειρίσεων (ANOVA, $p > 0.05$). Τα αποτελέσματα του παρόντος πειράματος υποδηλώνουν ότι η ρόκα μπορεί να καλλιεργηθεί στο ενυδρειοπονικό σύστημα NFT με υφάλμυρο νερό (1,5 ppt=2.7 mS/cm) παρουσιάζοντας μικρή αύξηση της βιομάζας της που πιθανά να αποδίδεται στην ελλιπή απορρόφηση και αξιοποίηση των θρεπτικών συστατικών εξαιτίας της αλατότητας.

Σε αντίστοιχο πείραμα, οι Vlahos *et al.* (2021) καλλιέργησαν ρόκα και λαβράκι σε υφάλμυρο σύστημα ενυδρειοπονίας NFT σε διαφορετικές αλατότητες (1,5ppt, 5 ppt & 7ppt) και αναφέρουν μεγαλύτερες τιμές αύξησης της ρόκας ($27,0 \pm 7,23$ %) στην αλατότητα 1.5ppt σε σύγκριση με τα αποτελέσματα της παρούσης εργασίας.

Οι Lennard & Ward (2019), αναφέρουν ότι η ρόκα (*E. sativa*) αναπτύσσεται καλύτερα (μεταβολή αύξησης από 6% το μήνα Μάρτιο έως 188% το μήνα Ιούνιο) σε ενυδρειοπονικό σύστημα με νερό αγωγιμότητας 1800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ σε σχέση με τη ρόκα που αναπτύσσεται σε υδροπονικό σύστημα. Μελέτες καλλιέργειας της ρόκας σε υδροπονικά συστήματα NFT αναφέρουν ότι η βέλτιστη αύξηση της ρόκας επιτυγχάνεται σε εύρος αλατότητας 1,5-2 ppt (Silva *et al.* 2013).

Αυξημένες τιμές στην αλατότητα επιδρούν στην διαπνοή του φυτού, ενώ κάθε για κάθε μονάδα αύξησής της, η ανάπτυξη του φυτού μειώνεται κατά 1,88%/d (Silva *et al.* 2013, Campos *et al.* 2018).

Η ανασκόπηση της βιβλιογραφίας για την επίδραση της αλατότητας στην ανάπτυξη της ρόκας αποτυπώθηκε με περιορισμένο αριθμό μελετών και εστιάζουν κυρίως στην μείωση της απόδοσης της ρόκας όταν καλλιεργείται σε σύστημα καλλιέργειας NFT με επίπεδα αλατότητας 5,2 mS/cm (dos Santos & Rolim 2011). Στη μελέτη των de Vos *et al.* (2013) διερευνήθηκε η

απόκριση της άγριας ρόκας σε διαφορετικές συγκεντρώσεις NaCl στο θρεπτικό διάλυμα, η οποία παρουσίασε μείωση ανάπτυξης του φυτού κατά 64% σε σχέση με το μάρτυρα, στη συγκέντρωση 200 mM NaCl. Επίσης, στην ίδια μελέτη αναφέρεται ότι οι ιστοί της ρόκας παρουσιάζουν μειωμένη συγκέντρωση σε N, K και Ca σε επίπεδα αλατότητας της τάξης 100 mM. Οι Hamilton & Fonseca (2010) στην έρευνά τους αναφέρουν ότι, τα φύλλα της ρόκας που καλλιεργήθηκαν σε συνθήκες αγωγιμότητας 9,5 mS/cm δεν παρουσίασαν διαφορές στην περιεκτικότητά τους σε ασκορβικό οξύ και ολικές φαινόλες.

Σε ότι αφορά τον ποσοστιαίο ρυθμό απορρόφησης (NRE) των θρεπτικών συστατικών από τα φυτά της ρόκας, τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας έδειξαν ότι η ρόκα στατιστικά απορροφά περισσότερη TAN στη μεταχείριση 5% του ζ.β/ημέρα ($53.59 \pm 5.48\%$) σε σχέση με τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις (2% του ζ.β/ημέρα: $29.98 \pm 3.35\%$ και 7% του ζ.β/ημέρα: $38.59 \pm 6.84\%$), (ANOVA, $p < 0.05$). Συγκρίνοντας τον ποσοστιαίο ρυθμό απορρόφησης της αμμωνίας (NRE_{TAN}) που προέκυψε από το παρόν πείραμα με εκείνον που αναφέρεται από τους Gichana *et al.* (2019) που καλλιεργήθηκαν σε ενυδρειοπονικό σύστημα την κολοκύθα, τον άψινθο και τον αμάρανθο, είχαν παρόμοια επίπεδα (48,8 έως 50%) με τη μεταχείριση 5% του ζ.β/ημέρα.

Η Τάσιου (2019) αναφέρει ότι, ο κρίταμος όταν καλλιεργείται σε υφάλμυρο σύστημα ενυδρειοπονίας με αλατότητες (8ppt, 15ppt και 20ppt) απορροφά υψηλότερα ποσοστά αμμωνίας (66,06%, 57,84% και 58,23%) σε σχέση με τον ρυθμό απορρόφησης της αμμωνίας που παρουσίασε η ρόκα στο παρόν πείραμα.

Ο ρυθμός ποσοστιαίας απορρόφησης σε νιτρικά ιόντα στην παρούσα εργασία διακυμάνθηκε από $16.91 \pm 3.13\%$ για τη μεταχείριση 5% του ζ.β/ημέρα, $17.11 \pm 2.77\%$ για τη μεταχείριση 7% του ζ.β/ημέρα και $20.49 \pm 3.29\%$ για τη μεταχείριση 2% του ζ.β/ημέρα χωρίς να παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (ANOVA, $p > 0.05$). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της παρούσης εργασίας, η ποσοστιαία απορρόφηση σε νιτρικά ιόντα ήταν κατά πολύ μικρότερη από εκείνη που αναφέρουν οι Gichana *et al.* (2019) για τον άψινθο (76,03%), την κολοκύθα (67%) και τον αμάρανθο (68,1%) όταν καλλιεργούνται σε ενυδρειοπονικό σύστημα.

Η Τάσιου (2019), αναφέρει υψηλότερα επίπεδα στην απορρόφηση νιτρικών ιόντων από τον κρίταμο όταν καλλιεργείται σε υφάλμυρο σύστημα ενυδρειοπονίας σε αλατότητες 8ppt και 15 ppt σε σύγκριση με την απορρόφηση των νιτρικών στην παρούσα μελέτη. Παρόμοια απορρόφηση σε νιτρικά ιόντα παρουσίασε η ρόκα στη μεταχείριση 2% του ζ.β/ημέρα του παρόντος πειράματος με εκείνη που αναφέρεται από την Τάσιου (2019) για τον κρίταμο όταν καλλιεργείται σε ενυδρειοπονικό σύστημα αλατότητας 20ppt.

Η ποσοστιαία απορρόφηση (% NRE) των φωσφορικών ιόντων στην παρούσα εργασία διακυμάνθηκε σε παρόμοια επίπεδα χωρίς να παρουσιάζει στατιστικά σημαντικές διαφορές σε όλες τις μεταχειρίσεις και μικρότερη από εκείνη που αναφέρει η Τάσιου (2019) για τον κρίταμο όταν καλλιεργείται σε τρεις αλατότητες (20 ppt: 41%, 8 ppt: 53,08%, 14 ppt: 58,31%). Επίσης, οι Gichana *et al.* (2019), αναφέρουν υψηλότερα επίπεδα ποσοστιαίας απορρόφησης σε φωσφορικά ιόντα από τον άψινθο (45%) και τον αμάρανθο (40%) σε σχέση με την απορρόφηση που παρουσίασε η ρόκα σε φωσφορικά ιόντα στο παρόν πείραμα.

Οι Chunjie *et al.* (2019), καλλιέργησαν τιλάπια (*Oreochromis mossambicus*) και χρύσοψαρα (*Carassius auratus*) με *Oenanthe javanica* και *Myriophyllum Spicatum* σε σύστημα ενυδρειοπονίας MFD και NFT και αναφέρουν ρυθμό απορρόφησης της αμμωνίας (TAN) της τάξης 0,576 g/m³/d) στο ενυδρειοπονικό σύστημα MFD και 0,446 g/m³/η) στο σύστημα NFT. Στην ίδια μελέτη αναφέρεται ότι, ο ρυθμός απορρόφησης στα νιτρικά ιόντα ήταν 8,04 g/m³/d για το ενυδρειοπονικό σύστημα MFD και 6,97 g/m³/d για το ενυδρειοπονικό σύστημα NFT.

Η περιεκτικότητα σε άζωτο (%) στο αρχικό δείγμα της ρόκας υπολογίστηκε στο 25,54±1,08%. Στατιστικά μεγαλύτερη απορρόφηση αζώτου παρουσίασαν τα φυτά της ρόκας που αναπτύχθηκαν στη μεταχείριση 7% ζ.β/ημέρα με τιμή 36,6 ± 0,99% N (ANOVA, p<0.05). Η περιεκτικότητα των φυτών της ρόκας σε άζωτο (N) που καλλιεργήθηκαν στις μεταχειρίσεις 2% ζ.β/ημέρα και 5% ζ.β/ημέρα ήταν 30,45 ± 0,27 % N και 30,97 ± 0,15 % N, αντίστοιχα χωρίς να παρουσιάζουν στατιστική σημαντική διαφορά (ANOVA, p>0.05).

Σε ό,τι αφορά στη χημική σύσταση του ιστού της ρόκας σε πρωτεΐνη τα αποτελέσματα της παρούσης εργασίας έδειξαν στατιστικά μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη στη ρόκα που αναπτύχθηκε στη μεταχείριση 7% ζ.β/ημέρα με τιμή 22,95 ± 2,61%. Στα συστήματα με διατροφικά επίπεδα 2% ζ.β/ημέρα και 5% ζ.β/ημέρα, η περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη ήταν της τάξης 19,06 ± 0,17% και 19,38 ± 0,96% αντίστοιχα, χωρίς να παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους (ANOVA, p>0.05).

Οι Karetanios *et al.* (2021) μελέτησαν την ανάπτυξη της αλμύρας και του λαβρακιού σε ενυδρειοπονικό σύστημα τριών αλατότητων (3ppt, 7 ppt και 14 ppt) και αναφέρουν παρόμοιες τιμές περιεκτικότητας σε πρωτεΐνη στον ιστό της αλμύρας στην αλατότητα 14ppt (20,71±0,36 %) σε σύγκριση με τα αποτελέσματα του παρόντος πειράματος. Επίσης, η αλμύρα στις αλατότητες 14 ppt και 3 ppt παρουσίασε μικρότερη περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη (14 ppt: 15,57±0,07 %, 3 ppt: 16,73±0,09%) στο ιστό της, συγκριτικά με την περιεκτικότητα πρωτεΐνης στη ρόκα του παρόντος πειράματος.

Οι δείκτες απόκρισης της ρόκας σε χλωροφύλλη και ανθοκυανίνη καθώς και οι δείκτες ανταλλαγής των αερίων δεν παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές (ANOVA, $p > 0.05$) μεταξύ των πειραματικών μεταχειρίσεων (2% του ζ.β/ημέρα, 5% του ζ.β/ημέρα και 7% του ζ.β/ημέρα) καθ' όλη τη διάρκεια της πειραματικής καλλιέργειας (45 ημέρες).

Πιο συγκεκριμένα, η περιεκτικότητα της ρόκας σε χλωροφύλλη στο παρόν πείραμα παρουσίασε μια τάση μείωσης καθ' όλη τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας με τις μέσες τιμές της να κυμαίνονται από $24,04 \pm 2,58$ για τη ρόκα στη μεταχείριση 2% του ζ.β/ημέρα, $21,61 \pm 2,09$ για τη ρόκα στη μεταχείριση 5% του ζ.β/ημέρα και $24,25 \pm 2,43$ για τη ρόκα που καλλιεργήθηκε στη μεταχείριση 7% του ζ.β/ημέρα. Η μειωμένη περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη υποδεικνύει μειωμένη φωτοσυνθετική ικανότητα της ρόκας που πιθανά να οφείλεται στην επίδραση της αλατότητας στη φυσιολογική απόκριση του φυτού.

Η μείωση της χλωροφύλλης αποδίδεται στις βλάβες που παράγονται στο φυτό (καταπόνηση) και εξαρτάται από την ένταση και το βαθμό της καταπόνησης στο φυτό καθώς και από μεταβολές στις περιβαλλοντικές συνθήκες καλλιέργειας, όπως για παράδειγμα συνθήκες σκότους ή ανεπαρκής φωτισμός (Chitarrini *et al.* 2017).

Η περιεκτικότητα σε ανθοκυανίνες παρουσίασε μια τάση μείωσης καθ' όλη τη διάρκεια της πειραματικής περιόδου και διατηρήθηκε μειωμένη μέχρι την ολοκλήρωση της πειραματικής διαδικασίας και διακυμάνθηκε από $3,03 \pm 0,26$ για τη μεταχείριση 2% του ζ.β/ημέρα, $2,77 \pm 0,49$ για τη μεταχείριση 5% του ζ.β/ημέρα και $2,85 \pm 0,29$ για τη μεταχείριση 7% του ζ.β/ημέρα. Οι ανθοκυανίνες αυξάνουν την ανθεκτικότητα του φυτού στην επίδραση δυσμενών παραγόντων του περιβάλλοντος (αβιοτικοί και βιοτικοί) επηρεάζοντας τους μηχανισμούς λειτουργίας του φυτού υποδηλώνοντας την ευαισθησία του φυτού στις μεταβολές αυτές (Wang *et al.* 2020).

Οι παράμετροι ανταλλαγής αερίων (φωτοσύνθεση, διαπνοή, στοματική αγωγιμότητα και εσωτερική συγκέντρωση CO_2) στα φυτά της ρόκας που καλλιεργήθηκαν στα ενυδρειοπονικά συστήματα για 45 ημέρες δεν παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των τριών μεταχειρίσεων (ANOVA, $p > 0.05$).

Πιο συγκεκριμένα, η φωτοσυνθετική ικανότητα της ρόκας μειωνόταν καθ' όλη τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας, με χαμηλό εύρος τιμών που κυμαίνονταν μεταξύ $4,4 - 4,5 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

Σε ότι αφορά τη διαπνοή της ρόκας, τα αποτελέσματα του παρόντος πειράματος έδειξαν μια αύξηση σε όλες τις μεταχειρίσεις με εύρος τιμών που κυμαίνονταν από $1,99 \pm 0,26 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ έως $2,18 \pm 0,35 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

Η στοματική αγωγιμότητα της ρόκας κυμάνθηκε σε χαμηλά σχετικά επίπεδα με εύρος τιμών από $186,48 \pm 35,76$ έως $198,53 \pm 35,83$ $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Η διαπνοή αυξάνεται στους τραυματισμένους φυτικούς ιστούς, γεγονός που συνεπάγεται μεταβολές του πρωτογενούς μεταβολισμού, λόγω της αυξημένης ενέργειας που απαιτείται για την εκδήλωση των μηχανισμών άμυνας και επιδιόρθωσης από τα φυτά κατά τη διάρκεια της βλάβης (Quilliam *et al.* 2006, Lafta *et al.* 2011).

Τέλος, η εσωτερική συγκέντρωση του CO_2 , στο παρόν πείραμα διακυμάνθηκε από $400,45 \pm 10,10$ $\mu\text{mol mol}^{-1}$ έως $458,24 \pm 23,73$ $\mu\text{mol mol}^{-1}$ καθ' όλη τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας.

Τα αποτελέσματα του παρόντος πειράματος έδειξαν ότι, η διαπνοή και η στοματική αγωγιμότητα αυξάνονται σε όλες τις μεταχειρίσεις σε σχέση με τη φωτοσύνθεση η οποία παρατηρείται να μειώνεται. Ως εκ τούτου, ο δείκτης WUE ακολουθεί μια τάση μείωσης καθ' όλη την πορεία της πειραματικής διαδικασίας.

Η φυσιολογική απόκριση του φυτού χαρακτηρίζεται ως μια σύνθετη διαδικασία και εξαρτάται από παράγοντες όπως το είδος του φυτού, το στάδιο ανάπτυξης, η έκταση της καταπόνησης και οι περιβαλλοντικές συνθήκες. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της παρούσης εργασίας διαπιστώθηκε ότι η ρόκα παρουσιάζει σημαντικό βαθμό ευαισθησίας στην αλατότητα επίδραση που αντανακλά στις διαδικασίες ανταλλαγής των αερίων και της περιεκτικότητάς της σε χλωροφύλλη.

4.5. Απόδοση Ενυδρειοπονικών συστημάτων

Η υγιής και ασφαλής ανάπτυξη ψαριών και φυτών σε ένα σύστημα ενυδρειοπονίας εξαρτάται από την απόδοση του ενυδρειοπονικού συστήματος και την οξειδωτική ικανότητα του φίλτρου που το περιβάλλει. Η απόδοση του ενυδρειοπονικού συστήματος (Endut *et al.* 2010) επηρεάζεται από το υδραυλικό φορτίο (HLR), τον υδραυλικό χρόνο παραμονής του νερού στο φίλτρο (HRT), το ρυθμό ανακύκλωσης του νερού (r) και την αποτελεσματικότητα του φίλτρου (E), ενώ η οξειδωτική ικανότητα του φίλτρου επηρεάζεται από τον ρυθμό παραγωγής αμμωνίας (P_{TAN}), τον ογκομετρικό ρυθμό οξείδωσης της αμμωνίας (VTR), το φορτίο επιβάρυνσης (N) και το ρυθμό μεταβολής της αμμωνίας στα υδροπονικά υποσυστήματα ανάπτυξης των φυτών ($\text{TAN}_{\text{retain}}$) (Spotte 1992, Adhikari *et al.* 2020).

Το υδραυλικό φορτίο (HLR), ο υδραυλικός χρόνος παραμονής του νερού στο φίλτρο (HRT) και ο ρυθμός ανακύκλωσης (r) δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές στις

πειραματικές μεταχειρίσεις (ANOVA, $p > 0.05$). Η Τάσιου (2019) μελέτησε την ανάπτυξη του λαβρακιού και του κρίταμου σε υφάλμυρο σύστημα ενυδραιοπονίας με διαφορετικές αλατότητες και βρήκε τιμές υδραυλικού φορτίου (HLR) μικρότερες (2,51 cm/d) από τις τιμές του παρόντος πειράματος. Επίσης, στο ίδιο πείραμα η Τάσιου (2019) αναφέρει τιμές κατά πολύ μεγαλύτερες (4,58-4,60 min) σε ότι αφορά τον υδραυλικό χρόνο παραμονής του νερού στο φίλτρο (HRT, min) και το ρυθμό ανακύκλωσης (r) (0.90), από εκείνες που αναφέρονται στο παρόν πείραμα (1,69-1,72 min) για όλες τις πειραματικές μεταχειρίσεις.

Τα αποτελέσματα της παρούσης εργασίας δεν συμφωνούν με εκείνα που αναφέρουν οι Vlahos *et al.* (2019), οι οποίοι καλλιέργησαν την τσιπούρα και τον κρίταμο σε ανακυκλούμενο υφάλμυρο σύστημα ενυδραιοπονίας με δύο αλατότητες και βρήκαν μικρότερες τιμές στο HLR (1.85 cm/d) και αυξημένες τιμές στον υδραυλικό χρόνο παραμονής του νερού στο φίλτρο (HRT) και ρυθμό ανακύκλωσης (r).

Οι Stathoroulou *et al.* (2021) αναφέρουν τιμές HLR κατά πολύ μικρότερες (0,95-0,96 cm/d) από τις τιμές του παρόντος πειράματος. Σε ότι αφορά τις τιμές HRT στην ίδια μελέτη αναφέρουν αυξημένες τιμές στο HRT (7,46-7,49 min).

Τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας δεν συμφωνούν με εκείνα των Endut *et al.* (2010), οι οποίοι αναφέρουν ότι όταν το υδραυλικό φορτίο είναι της τάξης του 2,56 m/d σε ένα σύστημα ενυδραιοπονίας με γλυκό νερό, οι ιχθύες παρουσιάζουν καλύτερη ανάπτυξη και μετατρεψιμότητα τροφής (SGR: 1,73%/ημέρα και FCR: 1,34).

Οι Chen *et al.* (2006) και Nozzi *et al.* (2016), αναφέρουν ότι το υδραυλικό φορτίο (HLR) επηρεάζει την παραγωγικότητα του ενυδραιοπονικού συστήματος καθώς και την ημερήσια πρόσληψη των θρεπτικών συστατικών. Το υδραυλικό φορτίο επηρεάζει τον χρόνο επαφής μεταξύ των θρεπτικών συστατικών και της ρίζας του φυτού και ως εκ τούτου χαμηλές τιμές HLR ερμηνεύονται ως έλλειψη οξυγόνου που προκαλεί απονιτροποίηση και απώλεια αζώτου από την υδατική φάση. Υψηλές τιμές HLR ερμηνεύονται ως μείωση του χρόνου επαφής μεταξύ της ανακυκλοφορίας του νερού και των ριζών των φυτών και συμμετέχουν στον καθαρισμό του ιζήματος που είναι προσκολλημένα στις ρίζες των φυτών και στα υλικά πλήρωσης του φίλτρου (Endut *et al.* 2010). Τα βέλτιστα επίπεδα HLR στην ενυδραιοπονία δεν έχουν διερευνηθεί εκτενώς. Το υδραυλικό φορτίο HLR χαρακτηρίζεται ως η βασική παράμετρος σχεδιασμού η οποία επιδρά στο άζωτο του συστήματος και στην αποκατάσταση του αζώτου στο ενυδραιοπονικό σύστημα.

Επίσης, ο υδραυλικός χρόνος παραμονής επηρεάζει την αποδοτικότητα του βιολογικού φίλτρου σε ένα σύστημα ενυδραιοπονίας. Στο παρόν πείραμα η αποτελεσματικότητα - απόδοση

(E) του βιολογικού φίλτρου βρέθηκε να είναι μεγαλύτερη από 83% για την μεταχείριση 5% του ζ.β/ημέρα και 99% για τη μεταχείριση 7% του ζ.β/ημέρα και μεγαλύτερη από 100% για τη μεταχείριση 2% του ζ.β/ημέρα.

Τα αποτελέσματα αυτά συμφωνούν με εκείνα των Timmons & Losordo (2000), οι οποίοι αναφέρουν ότι η απόδοση του φίλτρου όταν υπερβαίνει το 60% μεγαλώνει οξειδώνοντας με αποτελεσματικό τρόπο τα μεταβολικά προϊόντα των ψαριών. Η Τάσιου (2019) αναφέρει επίσης υψηλά ποσοστά αποτελεσματικότητας (65-71%) του φίλτρου ενός ενυδρειοπονικού συστήματος υποδηλώνοντας την εύρυθμη λειτουργία του φίλτρου του συστήματος ενυδρειοπονίας.

Σε ό,τι αφορά στο ρυθμό παραγωγής της αμμωνίας (P_{TAN}) οι μέσες συγκεντρώσεις διακυμάνθηκαν σε σταθερά επίπεδα με τις μέσες τιμές να κυμαίνονται από $0.06 \pm 0,02$ mg/L, για τη μεταχείριση 2% του ζ.β/η, $0.25 \pm 0,06$ mg/L για τη μεταχείριση 5% του ζ.β/η και $0,36 \pm 0,1$ mg/L παρουσιάζοντας στατιστικά σημαντικές διαφορές (ANOVA, $p < 0.05$).

Τα αποτελέσματα της παρούσης εργασίας δεν συμφωνούν με εκείνα της Τάσιου (2019), η οποία σε αντίστοιχο πείραμα που διεξήγαγε σε ενυδρειοπονικό σύστημα με λαβράκι και κρίταμο βρήκε μεγαλύτερες τιμές ($2,79 \pm 0,34$ - $3,03 \pm 0,45$ mg/L) στο ρυθμό παραγωγής της αμμωνίας (P_{TAN}) σε σχέση με τις τιμές του παρόντος πειράματος. Ο Κουτράκης (2021) καλλιέργησε λαβράκι και ρόκα σε υφάλμυρο σύστημα ενυδρειοπονίας με διαφορετικές αλατότητες (1,5 ppt, 5 ppt και 7 ppt) και αναφέρει αυξημένες τιμές ($0,37$ mg/L- $1,58$ mg/L) στο ρυθμό παραγωγής της αμμωνίας (P_{TAN}) σε σύγκριση με εκείνες που αναφέρονται στο παρόν πείραμα. Ο ρυθμός παραγωγής της αμμωνίας επηρεάζεται από συχνότητα ταΐσματος και το επίπεδο διατροφής και ερμηνεύεται ως η ημερήσια συγκέντρωση της TAN στο σύστημα (Timmons *et al.* 2001).

Τα αποτελέσματα του παρόντος πειράματος έδειξαν ότι ο ογκομετρικός ρυθμός οξείδωσης της αμμωνίας στο φίλτρο (VTR, g TAN/m³/d) παρουσίασε στατιστικά σημαντικές διαφορές (ANOVA, $p < 0.05$), με τη μεγαλύτερη μέση τιμή VTR ($6,44 \pm 1,69$ g TAN/m³/d) να εμφανίζεται στη μεταχείριση 5% του ζ.β/η. Τα αποτελέσματα της παρούσης εργασίας συμφωνούν με εκείνα του Δεβετζόγλου (2020), ο οποίος καλλιέργησε λαβράκι και ρόκα σε υφάλμυρο ανακυκλούμενο σύστημα ενυδρειοπονίας NFT και βρήκε VTR που κυμάνθηκε από $5,21$ - $6,85$ g TAN/m³/d.

Οι Kumar *et al.* (2010) μελέτησαν το ρυθμό νιτροποίησης σε υφάλμυρο ανακυκλούμενο σύστημα RAS και βρήκαν VTR 0.1533 ± 0.0045 kg TAN/m³/day, μικρότερο από το VTR που αναφέρεται στο παρόν πείραμα. Η αποτελεσματικότητα του φίλτρου

εξαρτάται από τις συνθήκες λειτουργίας, το ρυθμό επιβάρυνσης του φίλτρου με αμμωνία και το ρυθμό απομάκρυνσης-οξειδωσης της αμμωνίας (Colt *et al.* 2006)

Οι Malone *et al.* (1999) και Sandu *et al.* (2002) αναφέρουν ότι η αύξηση της συγκέντρωσης της TAN στο φίλτρο οδηγεί στην αύξηση του ρυθμού της οξειδωτικής ικανότητας του φίλτρου (VTR). Οι Timmons *et al.* (2001) προτείνουν τιμές για το ρυθμό VTR της τάξης του 0,7 kg TAN/m³/d για συστήματα RAS κρύου νερού και τιμές VTR 1,0 kg TAN/m³/d για συστήματα RAS ζεστού νερού. Επίσης, οι Malone & Beecher (2000) αναφέρουν ότι εύρος τιμών VTR (0,035-0,105 kg TAN/ m³/d, 0,07-0,18 kg TAN/ m³/d και 0,14-0,35 kg TAN/ m³/d) για φίλτρα ρευστοποιημένης κλίνης κατά πολύ μικρότερα συγκριτικά με τις τιμές VTR που αναφέρονται στο παρόν πείραμα και είναι μεγαλύτερες.

Η εξίσωση παλινδρόμησης μεταξύ του VTR και του ρυθμού παραγωγής αμμωνίας (P_{TAN}) επεξηγεί το 64,8%, 65,5% και 63,7%, της μεταβλητότητας του VTR για τις μεταχειρίσεις 2% του ζ.β/ημέρα, 5% του ζ.β/ημέρα και 7% του ζ.β/ημέρα, αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα της παρούσης εργασίας δεν συμφωνούν με εκείνα των Kumar *et al.* (2010) οι οποίοι αναφέρουν υψηλά ποσοστά μεταβλητότητας του VTR σε σχέση με εκείνα του παρόντος πειράματος.

Η απόδοση ενός ενυδρειοπονικού συστήματος επηρεάζονται από παράγοντες όπως η υδροπονική δεξαμενή καλλιέργειας (Rakocy *et al.* 2006), οι περιβαλλοντικές συνθήκες (Love *et al.* 2015), το είδος του ιχθύος (Sace & Fitzsimmons 2013), τη ποιότητα και τη ποσότητα τροφής (Rakocy 2012), το σύστημα ενυδρειοπονίας που θα χρησιμοποιηθεί (Carneiro *et al.* 2015) και τη ποικιλία των φυτών (Pinho *et al.* 2017).

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα εργασία μελετά για πρώτη φορά την εγκαθίδρυση ενός συστήματος ενυδρειοπονίας με υφάλμυρο νερό προτείνοντας ένα πρότυπο ενυδρειοπονικό σύστημα για την συγκαλλιέργεια του κεφαλοειδούς *L.saliens* (γάστρος) και της ρόκας (*E.sativa*) με κριτήριο τα τρία διαφορετικά επίπεδα διατροφής (2% του ζ.β/ημέρα, 5% του ζ.β/ημέρα και 7% του ζ.β/ημέρα) που χορηγήθηκαν αποσκοπώντας στην υλοποίηση δύο βασικών αξόνων.

Ο πρώτος άξονας απαντά στο ερώτημα της ασφαλούς παραγωγής τροφίμων, πράγμα που υποδεικνύεται από τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας, δηλαδή ότι είναι εφικτή η παραγωγή τροφίμων (ψαριών και φυτών) διατηρώντας τα ποιοτικά τους χαρακτηριστικά προσφέροντας ασφαλή τρόφιμα στο καταναλωτικό κοινό εξαλείφοντας ή περιορίζοντας τις επιπτώσεις στο περιβάλλον, εξαιτίας των φιλικών μεθόδων που χρησιμοποιεί.

Η ρόκα και ο γάστρος προτείνονται ως νέα είδη στην ανακυκλωμένη ενυδρειοπονία με υφάλμυρο νερό, εξαιτίας του πλούσιου διατροφικού ενδιαφέροντος που παρουσιάζουν και της εξέχουσας θέσης τους στο καταναλωτικό κοινό. Τα ευρήματα έδειξαν ότι και τα δύο είδη παρουσιάζουν περιθώρια ανάπτυξης στο υφάλμυρο ενυδρειοπονικό σύστημα με προτιμότερο το επίπεδο διατροφής 7% του ζ.β/ημέρα σε σχέση με το 5% του ζ.β/ημέρα και 2% του ζ.β/ημέρα, εξαιτίας της καλύτερης ανάπτυξης που παρουσιάζουν.

Τέλος, τα δεδομένα που προέκυψαν από το παρόν πείραμα μπορούν να χρησιμεύσουν ως πρότυπο οδηγό για μελλοντικά πειράματα μιας και υπάρχει περιορισμένη βιβλιογραφία με την εντατική εκτροφή του είδους *L.saliens* και να αποτελέσουν το έναυσμα για ακόμη πιο εστιασμένες και πρωτοποριακές έρευνες στο άμεσο μέλλον.

Ο δεύτερος άξονας σχετίζεται με τη ρόκα και με την πορεία ανάπτυξης και απόκρισης στο υφάλμυρο σύστημα ενυδρειοπονίας. Για πρώτη φορά η παρούσα μελέτη πραγματεύεται τη φυσιολογική απόκριση της ρόκας στην αλατότητα. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι δείκτες της φυσιολογικής απόκρισης της ρόκας σε χλωροφύλλη, ανθοκυανίνη και οι δείκτες ανταλλαγής των αερίων επηρεάζονται σημαντικά από την αλατότητα με αποτέλεσμα να επηρεάζονται οι μηχανισμοί θρέψης και απορρόφησης της ρόκας επιφέροντας πολύ μικρά ποσά αύξησης.

6.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

6.1. Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

- Adhikari. R., Rauniyar. S., Pokhrel. N., Wagle.A., Komai. T., Paudel. S.R. (2020). Nitrogen recovery via aquaponics in Nepal: current status, prospects, and challenges. *SN Applied Sciences* 2:1192. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-2996-5>
- Al-Tawaha, A. R., Al-Karaki, G., Al-Tawaha, A. R., Sirajuddin, S. N., Makhadmeh, I., Wahab, P. E. M., ... & Massadeh, A. (2018). Effect of water flow rate on quantity and quality of lettuce (*Lactuca sativa* L.) in nutrient film technique (NFT) under hydroponics conditions. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 24(5), 793-800.
- Altunok.,M., Özden. O. (2017). Effect of dietary protein on the growth of mullet, *Chelon labrosus*, reared in sea cages. *Arch. Pol. Fish.* (2017) 25: 157-164.DOI 10.1515/aopf-2017-0015
- Amiripour, Hilda; Hashemloian, Babak Delnavaz; Azimi, Azra Ataei (2016). Morpho-physiological responses of Rocket (*Eruca sativa*L.) varieties to sodium sulfate (Na_2SO_4) stress: an experimental approach. *Acta Physiologiae Plantarum*, 38(10), 246-. doi:10.1007/s11738-016-2262-z
- Arlaban, T., Peiró, J., Lorenzo, P., Alonso, O., Rivas, R., & Ortiz, D. (2012). Voltage control by multiple wind power plants: field test results. In *CIGRE General Meeting, Paris*.
- Asciuto, A., Schimmenti, E., Cottone, C., & Borsellino, V. (2019). *A financial feasibility study of an aquaponic system in a Mediterranean urban context. Urban Forestry & Urban Greening*. doi:10.1016/j.ufug.2019.02.001.
- Bannister, P. 1976. Introduction to physiological plant ecology. Oxford : Blackwell Scientific.
- Barbosa, P. T. L., Povh, J. A., Silva, A., do Nascimento, L., Ventura, A. S., Stringhetta, G. R., ... & de Carvalho, T. (2020). Performance of Nile Tilapia and vegetables Grown in Different Aquaponic Volumes. *J. Agric. Stud*, 8, 497-506.
- Barbosa, M., (2017). Tecnologia de bioflocos: Elementos filtrantes afetam a produção aquaponica de alfaces integrado com til apias? (Master's thesis) Santa Catarina State University, Chapeco, SC.
- Barman, U. K., Jana, S. N., Garg, S. K., Bhatnagar, A., & Arasu, A. R. T. (2005). Effect of inland water salinity on growth, feed conversion efficiency and intestinal enzyme activity in growing grey mullet, *Mugil cephalus* (Linn.): Field and laboratory studies. *Aquaculture International*, 13(3), 241-256.

- Ben-Tuvia, A., 1986. Mugilidae. p. 1197-1204. In P.J.P. Whitehead, M.-L. Bauchot, J.-C. Hureau, J. Nielsen and E. Tortonese (eds.) Fishes of the North-eastern Atlantic and Mediterranean. Volume 3. UNESCO, Paris.
- Blanchard, C., Wells, D. E., Pickens, J. M., & Blersch, D. M. (2020). Effect of pH on cucumber growth and nutrient availability in a decoupled aquaponic system with minimal solids removal. *Horticulturae*, 6(1), 10.
- Borges, B. A. A; Rochaa, J. L; Pintoa, P H. O; Zacheua ; Chedea, A. C; Magnottib, C. C. F; Cerqueirab, V. R. and Arana, L. A. V. (2020). Integrated culture of white shrimp *Litopenaeus vannamei* and mullet *Mugil liza* on biofloc technology: Zootechnical performance, sludge generation, and *Vibrio* spp. Reduction. *Aquaculture* 524 (2020) 735234. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735234>.
- Boxman, S. E., Zhang, Q., Bailey, D., & Trotz, M. A. (2017). Life cycle assessment of a commercial-scale freshwater aquaponic system. *Environmental Engineering Science*, 34(5), 299-311.
- Campos Júnior., J.E ., Santos Júnior J.A., Rolim.,M.M ., de F. Silva., E.E., Martins .,J.B. (2018). Consumption, Efficiency and Water Content of Arugula Different Management of Brackish Nutritional Solutions. *Engenharia Agrícola*. 895-892. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v38n6p885-892/2018>.
- Carneiro, P. C. F., Maria, N. A., Nunes, M. U. C., & Fujimoto, R. Y. (2015). Aquaponia: produção sustentável de peixes e vegetais. In: Tavares-Dias, M. and Mariano, W.S. (Org.). *Aquicultura no Brasil: novas perspectivas*, 683-706.
- Castilho-Barros, L., Almeida, F. H., Henriques, M. B., & Seiffert, W. Q. (2018). Economic evaluation of the commercial production between Brazilian samphire and whiteleg shrimp in an aquaponics system. *Aquaculture international*, 26(5), 1187-1206.
- Castro-Castellón, A. E., Castro-Mejía, G., Castro-Mejía, J., & Martínez-Meingüer, A. M. (2020). Culture of *Melanochromis* sp. and *Lycopersicon esculentum* var. Cerasifonne in a combined system of Biofloc and aquaponics. *Int J Fish Aquat Stud*, 8(2), 186-192.
- Castro-Mejía, J., Castro-Mejía, G., Castro-Castellón, A. E., Martínez-Meingüer, A. M., & Reséndiz-Corona, A. (2020). Preliminary study of *Oreochromis niloticus*, *Coriandrum sativum*, *Anethum graveolens*, and *Petroselinum crispum* growth cultured in Biofloc/aquaponic system. *Int J Fish Aquat Studies*, 8(3), 217-222.
- Cavarianni, Rodrigo Luiz; Cecílio Filho, Arthur Bernardes; Cazetta, Jairo Osvaldo; May, André; Corradi, Mariana Marotti (2008). *Nutrient contents and production of rocket as affected by*

- nitrogen concentrations in the nutritive solution. Scientia Agricola, 65(6), 652–658. doi:10.1590/S0103-90162008000600013*
- Chen, C. T., Lin, C. T., & Huang, S. F. (2006). A fuzzy approach for supplier evaluation and selection in supply chain management. *International journal of production economics, 102(2)*, 289-301.
- Chitarrini, G.; Zulini, L.; Masuero, D.; Vrhovsek, U (2017). Lipid, phenol and carotenoid changes in ‘Bianca’ grapevine leaves after mechanical wounding: A case study. *Protoplasma 2017, 254*, 2095–2106.
- Colt, J., Lamoureux, J., Patterson, R. & Rogers, G. (2006). Reporting standards for biofilter performance studies. *Aquacult. Eng. 34*, 377–388.
- Davies S.J., Brown M.T., Camilleri M. (1997) Preliminary assessment of the seaweed *Porphyra purpurea* in artificial diets for thick-lipped grey mullet (*Chelon labrosus*) – *Aquaculture 152*: 249-258.
- de Vos, A. C., Broekman, R., de Almeida Guerra, C. C., van Rijsselberghe, M., and Rozema, J. (2013). Developing and testing new halophyte crops: A case study of salt tolerance of two species of the Brassicaceae, *Diplotaxis tenuifolia* and *Cochlearia officinalis*. *Environmental and Experimental Botany, 92*, 154-164.
- Dediu, L., Cristea, V., & Xiaoshuan, Z. (2012). Waste production and valorization in an integrated aquaponic system with bester and lettuce. *African Journal of Biotechnology, 11(9)*, 2349-2358.
- Delaney, K.J.(2008). Injured and uninjured leaf photosynthetic responses after mechanical injury on Nerium oleander leaves, and Danaus plexippus herbivory on Asclepias curassavica leaves. *Plant Ecol. 2008*, 199, 187–200.
- Doncato, K. B., & Costa, C. S. B. (2021). Micronutrient supplementation needs for halophytes in saline aquaponics with BFT system water. *Aquaculture, 531*, 735815.
- Diver S, Rinehart L (2000) Aquaponics-integration of hydroponics with aquaculture. *Attra*
- dos Santos, A. N., and Rolim, M. M. (2011). Produção de rúcula em Sistema hidropônico NFT utilizando água salina do Semiárido-PE e rejeito de dessalinizador. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias (Agrária) Brazilian Journal of Agricultural Sciences, 6(1)*, 147-155.
- Elhetawy., I. G. A., El-Dahhar., A. A. Elebiary E.H., El-Wafa., A. M.A., Lotfy., A. M., Emelianova N. (2021). Effect of biofloc system at different salinities and crude protein levels on water quality, growth performance, and survival rate of flathead grey mullet

- (*Mugil cephalus*). Egyptian Journal for Aquaculture. 11 (1):41-67. DOI: 10.21608/eja.2021.164670.
- 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.
- Engle, C.R., (2015). Economics of Aquaponics. SRAC Publ. Reg. Aquac. Cent.
- Essa, M. A., A. M. A. S. Goda, M. A. Hanafy, A. A. El-Shebly, R. A. Mohamed, and E. H. El-Ebiary. Small-scale fish culture: Guiding models of aquaponics and net-enclosures fish farming in Egypt. *Egyptian J. Aquatic Res.*, 34(3): 320–337 (2008).
- Fimbres-Acedo, Y. E., Servín-Villegas, R., Garza-Torres, R., Endo, M., Fitzsimmons, K. M., Emerenciano, M. G., ... & Magallón-Barajas, F. J. (2020). Hydroponic horticulture using residual waters from *Oreochromis niloticus* aquaculture with biofloc technology in photoautotrophic conditions with *Chlorella* microalgae. *Aquaculture Research*, 51(10), 4340-4360.
- Flowers TJ, Colmer TD (2008) Salinity tolerance in halophytes. *New Phytologist* 179, 945-963.
- Flowers, T. J., M. A. Hajibagheri, and N. J. W. Clipson. (1986). Halophytes. *Quarterly Review of Biology* 61:313-337.
- Frimodt, C., 1995. Multilingual illustrated guide to the world's commercial warmwater fish. Fishing News Books, Osney Mead, Oxford, England. 215 p
- Fronte, B., Galliano, G., & Bibbiani, C. (2016). From freshwater to marine aquaponic: New opportunities for marine fish species production. In *Conference VIVUS—on Agriculture, Environmentalism, Horticulture and Floristics, Food Production and Processing and Nutrition. With Knowledge and Experience to New Entrepreneurial Opportunities* (Vol. 4, pp. 514-521). Biotechnical Centre Naklo.
- Gichana. Z., Liti.D.,Wakibia.J., Ogello. E.,Drexler. S., Meulenbroek. P., Ondiba.R.,Zollitsch. W., Waidbacher.H. (2019). Efficiency of pumpkin (*Cucurbita pepo*), sweet wormwood (*Artemisia annua*) and amaranth (*Amaranthus dubius*) in removing nutrients from a smallscale recirculating aquaponic system. *Aquaculture International* 27:1767–1786. <https://doi.org/10.1007/s10499-019-x>
- Hamilton, J. M., and Fonseca, J. M. (2010). Effect of saline irrigation water on antioxidants in three hydroponically grown leafy vegetables: *Diplotaxis tenuifolia*, *eruca sativa*, and *lepidium sativum*. *HortScience*, 45(4), 546-552.
- Haynes, R. J. 1986. Mineral nitrogen in the plant-soil system. Orlando : Academic Press

- Hotos, G., and Vlahos, N. (1998). Salinity tolerance of *Mugil cephalus* and *Chelon labrosus* (Pisces: Mugilidae) fry in experimental conditions, *Aquaculture*, 167:329-338.
- Hotos, G. N., Avramidou, D., & Bekiari, V. (2020). Calibration Curves of Culture Density Assessed by Spectrophotometer for Three Microalgae (*Nephroselmis* sp., *Amphidinium carterae* and *Phormidium* sp.). *European Journal of Biology and Biotechnology*, 1(6).
- Javid, M., Nicolas, M., & For, R. (2011). *Current Knowledge in Physiological and Genetic Mechanisms Underpinning Tolerances to Alkaline and Saline Subsoil Constraints of Broad Acre Cropping in Dryland Regions. Abiotic Stress in Plants - Mechanisms and Adaptations*. doi:10.5772/23241.
- Joesting, H. M., Blaylock, R., Biber, P., & Ray, A. (2016). The use of marine aquaculture solid waste for nursery production of the salt marsh plants *Spartina alterniflora* and *Juncus roemerianus*. *Aquaculture reports*, 3, 108-114.
- Joly, A., Junge, R., & Bardocz, T. (2015). Aquaponics business in Europe: Some legal obstacles and solutions. *Ecocycles*, 1(2), 3-5
- Kapetanios E., Vlahos N., Berillis P., Mente E (2021). PRELIMINARY RESULTS OF BRACKISH AQUAPONICS WITH SEA BASS (*Dicentrarchus labrax*) AND OPPOSITE-LEAVED SALTWORT PLANT OR AGRETTI (*Salsola soda*). Oral Presentation in 4th International Congress on Applied Ichthyology, Oceanography & Aquatic Environment, HydroMediT 2021, Virtual Congress Mytilene 4-6 November 2021 Greece.
- Kamstra A., van der Heul JW and Nijhof M. (1998). Performance and optimization of trickling filter on eel farms. *Aquac. Eng* 17, 175-192.
- Kledal, P. R., König, B., & Matulić, D. (2019). Aquaponics: the ugly duckling in organic regulation. *Aquaponics Food Production Systems*, 487.
- Kottelat, M. and J. Freyhof, 2007. Handbook of European freshwater fishes. Publications Kottelat, Cornol and Freyhof, Berlin. 646 pp
- Kotzen, B., & Appelbaum, S. (2010). An investigation of aquaponics using brackish water resources in the Negev Desert. *Journal of Applied Aquaculture*, 22(4), 297-320.
- Kumar V. J. R., Joseph, V, Philip., R., I. S. B. Singh (2010). Nitrification in brackish water recirculating aquaculture system integrated with activated packed bed bioreactor. *Water Science & Technology-WST*. 61.3. doi: 10.2166/wst.2010.849.
- Lafta, A.M.; Fugate, K.K (2011). Metabolic profile of wound-induced changes in primary carbon metabolism in sugarbeet root. *Phyto-chemistry* **2011**, 72, 476–489.

- Lennard, W., & Ward, J. (2019). A comparison of plant growth rates between an NFT hydroponic system and an NFT aquaponic system. *Horticulturae*, 5(2), 27.
- Lennard, W. (2012). Aquaponics system design parameters: Basic system water chemistry. Aquaponic Solutions. Aquaponic Fact Sheet Series. Pp 90.
- LENZ, GL, Durigon, EG, LAPA, KR, & Emerenciano, MGC (2017). Produção de alface (*Lactuca sativa*) em efluentes de um cultivo de tilápias mantidas em sistema BFT em baixa salinidade. *Boletim do Instituto de Pesca*, 43 (4), 614-630.
- Li, C., Zhang, B., Luo, P., Shi, H., Li, L., Gao, Y., Wu, W.-M. (2019). Performance of a pilot-scale aquaponics system using hydroponics and immobilized biofilm treatment for water quality control. *Journal of Cleaner Production*, 208, 274–284. doi:10.1016/j.jclepro.2018.10.170
- Lin, Y. F., S. R. Jing, D. Y. Lee, and T. W. Wang. (2002). Nutrient removal from aquaculture wastewater using a constructed wetlands system. *Aquaculture* 209:169-184.
- Lin, Y. F., S. R. Jing, and D. Y. Lee. (2003). The potential use of constructed wetlands in a recirculating aquaculture system for shrimp culture. *Environmental Pollution* 123:107-113.
- Love, D.C., Fry, J.P., Li, X., Hill, E.S., Ganello, L., Semmers, K., Thompson, R.E., (2015). Commercial aquaponics production and profitability: Findings from an international survey, *Aquaculture*, vol. 435, pp. 67-74.
- Main K.L. (2015). Sustainable approaches to growing local seafood for local communities, World Aquaculture, Jeju, South Korea.
- Malone, R. F. & Beecher, L. E. (2000). Use of floating bead filters to recondition recirculating waters in warmwater aquaculture production systems. *Aquacult. Eng.* 22, 57–74.
- Martínez, Bermúdez, Aznar, & Moyano. (2019). *Evaluation of Enzyme Additives on the Nutritional Use of Feeds with a High Content of Plant Ingredients for Mugil cephalus. Fishes*, 4(4), 56. doi:10.3390/fishes4040056
- McIntosh, D., Fitzsimmons, K. Characterization of effluent from an inland low-salinity shrimp farm: what contribution could this water make if used for irrigation, *Aquaculture Engineering*, vol. 27, pp. 147-156.
- Miller, A. E., W. D. Bowman, and K. N. Suding. 2007. Plant uptake of inorganic and organic nitrogen: Neighbor identity matters. *Ecology* 88:1832-1840.
- Nelson, R. L. (2008). Aquaponic equipment: the biofilter. *Aquaponic J*, 48(2), 22-23.

- Nengas, I., Karacostas, I., Neofitou, C., Tsiara, V., Tsiamis, V., Kougioumtzis, N., ... & Karapanagiotidis, I. T. (2014). Growth and feed utilization by golden grey mullet (*Liza aurata*) in a coastal lagoon ecosystem, fed compound feeds with varying protein levels. *Israeli Journal of Aquaculture-Bamidgeh*, 66, 20784.
- Neriman, Tuba Barlas; Mehmet, Eşref Irget; Mahmut, Tepecik (2011). *Mineral content of the rocket plant (Eruca sativa)*. *African Journal of Biotechnology*, 10(64), 16–. doi:10.5897/ajb11.2171
- Nicola, S., Tibaldi, G., Fontana, E., Crops, A. V., & Plants, A. (2009). Tomato production systems and their application to the tropics. *Acta horticulturae*, 821(821), 27-34.
- 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.
- Orellana, J., Waller, U., & Wecker, B. (2014). Culture of yellowtail kingfish (*Seriola lalandi*) in a marine recirculating aquaculture system (RAS) with artificial seawater. *Aquacultural engineering*, 58, 20-28.
- Palm, H. W., Knaus, U., Appelbaum, S., Goddek, S., Strauch, S. M., Vermeulen, T., ... & Kotzen, B. (2018). Towards commercial aquaponics: a review of systems, designs, scales and nomenclature. *Aquaculture international*, 26(3), 813-842.
- Pantanella, E., & Colla, G. (2013, June). Saline aquaponics opportunities for integrated marine aquaculture. In *Proceedings of the International Aquaponic Conference: Aquaponics and Global Food Security, University of Wisconsin, Stevens Point, WI, USA* (pp. 19-21).
- Parvez., Md. S., Rahman., M.A., Mufty M.M. & M. Alom Z. (2017). Feeding behavior and growth performance of tade mullet, *Liza tade* (Forsskail, 1775) in brackish water gher farming system. *Journal of Advances in Chemical Engg., & Biological Sciences (IJACEBS)*, 4 (1): 58-64, ISSN 2349-1507 EISSN 2349-1515.
- Pinho, S. M., Molinari, D., Mello, G. L., Fitzsimmons, K. M., & Emerenciano, M. G. C. (2017). Effluent from a biofloc technology (BFT) tilapia culture on the aquaponics production of different lettuce varieties. *Ecological Engineering*, 103, 146-153. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.03.009>
- de Pinho, A. C. B. (2021). *Para além do garantismo: uma proposta hermenêutica de controle da decisão penal*. Livraria do Advogado Editora.
- Quilliam, R.S.; Swarbrick, P.J.; Scholes, J.D.; Rolfe, S.A. Imaging photosynthesis in wounded leaves of *Arabidopsis thaliana*. *J. Exp. Bot.* **2006**, 57, 55–69.

- Quinta, R. (2013). *Effectiveness of halophytic plants in the treatment of marine aquaculture wastewater*. Bangor University (United Kingdom).
- Quirós-Pozo Raquel ;Anais Ventura-Castellano;Sara Ramírez-Bolaños;Javier Roo-Filgueira;Lidia Robaina; (2021). *Evaluation of Aloe vera by-product against cereals in feeds for golden mullet (Liza aurata)* . *Aquaculture Reports*, (), -. doi:10.1016/j.aqrep.2021.100659
- Rakocy J, Masser MP, Losordo T (2016) Recirculating aquaculture tank production systems: aquaponics-integrating fish and plant culture. Oklahoma Cooperative Extension Service. SRAC-454.1-16. Southern Regional Aquaculture Center through Grant No. 2003- 38500-12997 USA, Department of Agriculture, Cooperative State Research, Education, and Extension Service.
- Rakocy. J.E. (2012). Aquaculture Production Systems: In *Aquaponics—Integrating Fish and Plant Culture.*, Chapter 12. Editor James H. Tidwell John Wiley & Sons, Inc. 2012. Pp 421.
- Robles-Porchas, G. R., Gollas-Galván, T., Martínez-Porchas, M., Martínez-Cordova, L. R., Miranda-Baeza, A., & Vargas-Albores, F. (2020). The nitrification process for nitrogen removal in biofloc system aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 12(4), 2228-2249.
- Sace., S., Fitzsimmons., K.M. (2013). Vegetable production in a recirculating aquaponic system using Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) with and without freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*). *Academia Journal of Agricultural Research*. 1(12): 236-250.
- Sandu, S. I., Boardman, G. D., Watten, B. J., & Brazil, B. L. (2002). Factors influencing the nitrification efficiency of fluidized bed filter with a plastic bead medium. *Aquacultural Engineering*, 26(1), 41-59.
- Schulz, C., J. Gelbrecht, and B. Rennert. 2003. Treatment of rainbow trout farm effluents in constructed wetland with emergent plants and subsurface horizontal water flow. *Aquaculture* 217:207-221.
- Silva FV, Duarte SN, Lima CJGS, Dias NS, Santos RSS, Medeiros PRF (2013). Cultivo hidropônico de rúcula utilizando solução nutritiva salina. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias* 8:476-482.
- Sindilariu, P. D., Wolter, C., & Reiter, R. (2008). Constructed wetlands as a treatment method for effluents from intensive trout farms. *Aquaculture*, 277(3-4), 179-184.
- 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. No. 589. Rome, FAO. 262 pp. <https://doi.org/10.1002/pssb.201300062>.

- Specht, K., Siebert, R., Hartmann, I., Freisinger, U. B., Sawicka, M., Werner, A., ... & Dierich, A. (2014). Urban agriculture of the future: an overview of sustainability aspects of food production in and on buildings. *Agriculture and human values*, 31(1), 33-51.
- Spotte S., (1992). *Captive Seawater Fishes*. John Wiley& Sons, New York. 942pp.
- Stadler, M. M., Baganz, D., Vermeulen, T., & Keesman, K. J. (2015). Circular economy and economic viability of aquaponic systems: Comparing urban, rural and peri-urban scenarios under Dutch conditions. *ICESC2015: Hydroponics and Aquaponics at the Gold Coast 1176*, 101-114.
- Stathopoulou P, Berillis P, Vlahos N, Nikouli E, Kormas KA, Levizou E, Katsoulas N, Mente E. 2021. Freshwater-adapted sea bass *Dicentrarchus labrax* feeding frequency impact in a lettuce *Lactuca sativa* aquaponics system. *Peer J*: 9: e11522. <https://doi.org/10.7717/peerj.11522>.
- Stathopoulou, P.; Tsoumalakou, E.; Levizou, E.; Vanikiotis, T.; Zaoutsos, S.; Berillis, P (2021). Iron and Potassium Fertilization Improve Rocket Growth without Affecting Tilapia Growth and Histomorphology Characteristics in Aquaponics. *Appl. Sci.* 11, 5681.
- Thomson JM (1997) The Mugilidae of the world. *Mem Queensland Mus* 41(3):457–562
- Timmons, M. B., Ebeling, J. M., Wheaton, F. W., Summerfelt, S. T. & Vinci, B. J. (2001). *Recirculating Aquaculture Systems*. Cayuga Aqua Ventures, Ithaca, NY, USA, p. 650.
- Timmons., B.M., Losordo. M.T., (2000). *Aquaculture water reuses systems: Engineering Design and Management*. Elsevier Science B.V. Amsterdam, the Netherlands. Pp.333. ISBN: 0-444-89585-X.
- Ting-Toomey, S. (1982). *Toward a theory of conflict and culture*. Urlić, Branimir; Dumičić, Gvozden;
- Urlić, B., Jukić Špika, M., Becker, C., Kläring, H. P., Krumbein, A., Goreta Ban, S., & Schwarz, D. (2017). Effect of NO₃ and NH₄ concentrations in nutrient solution on yield and nitrate concentration in seasonally grown leaf lettuce. *Acta agriculturae scandinavica, section b—soil & plant Science*, 67(8), 748-757.
- Velten, S., Leventon, J., Jager, N., Newig, J. What Is Sustainable Agriculture? A Systematic Review, *Sustainability*, 2015, vol. 7, pp. 7833-7865.
- Vlahos N., Ioannidis. J., Devetzoglou K., Hotos G., Vidalis K., Mente E (2021). Growth Performance of seabass (*Dicentrarchus labrax*) and rocket plant (*Eruca sativa*) in abrackish aquaponic system using the nutrient film technique (NFT). Oral Presentation in

- 4th International Congress on Applied Ichthyology, Oceanography & Aquatic Environment, HydroMediT 2021, Virtual Congress Mytilene 4-6 November 2021 Greece.
- Vlahos, N., Levizou, E., Stathopoulou, P., Berillis, P., Antonopoulou, E., Bekiari, V., ... & Mente, E. (2019). An Experimental Brackish Aquaponic System Using Juvenile Gilthead Sea Bream (*Sparus aurata*) and Rock Samphire (*Crithmum maritimum*). *Sustainability*, *11*(18), 4820.
- Wang, Y. J., Deering, A. J., & Kim, H. J. (2020). The occurrence of shiga toxin-producing *E. coli* in aquaponic and hydroponic systems. *Horticulturae*, *6*(1), 1.
- Wassef E.A., Elmasry M.H., Mikhail F.R. 2001 – Growth enhancement and muscle structure of striped mullet, *Mugil cephalus* L., fingerlings by feeding algal meal-based diets – Aquacult. Res. 32: 315-322.
- Willamil JMP, Pèrez-García F, Martínez Laborde JM (2002) Time of seed collection and germination in rocket. *Eruca vesicaria* (L.) cav. (Brassicaceae). Genet Resour Crop Evol 45:47–51.
- Wongkiew., S., Hub., Z., Chandranc. K., Lee., W.D/., Khanal., S.K. (2017). Nitrogen transformations in aquaponic systems: A review. *Aquacultural Engineering*, 76:9-19.
- Yaniv, Z., Schafferman, D., & Amar, Z. (1998). Tradition, uses and biodiversity of rocket (*Eruca sativa*, Brassicaceae) in Israel. *Economic botany*, *52*(4), 394-400.
- Zou, Y., Hu, Z., Zhang, J., Xie, H., Guimbaud, C., & Fang, Y. (2016). Effects of pH on nitrogen transformations in media-based aquaponics. *Bioresource technology*, *210*, 81-87.

6.2. Ελληνική Βιβλιογραφία

- Δεβετζόγλου Κ., (2021). Ανάπτυξη λαβρακιού και ρόκας σε σύστημα ενυδραιοπονίας. Προπτυχιακή Διπλωματική Εργασία. Πανεπιστήμιο Πατρών. Τμήμα Ζωικής Παραγωγής, Αλιείας και Υδατοκαλλιέργειών. σελ 32
- Ιωαννίδης Ι., Τσαντήλα Χ., Πατσέα Ε., Μεντέ Ε., Βλάχος Ν (2022). Η συνδυασμένη καλλιέργεια της γλιστρίδας (*Portulaca oleracea*) και της τσιπούρας (*Sparus aurata*) σε σύστημα ενυδραιοπονίας ως μια πρακτική βιώσιμης ανάπτυξης στην αγροτική παραγωγή. 15^ο Συνέδριο Υδροτεχνίας 2022, Θεσσαλονίκη, Ελλάδα 2-3 Ιουνίου 2022. Σελ 82.

- Κουτράκης Ι., (2021). Ρυθμός απομάκρυνσης της αμμωνίας σε βιολογικά φίλτρα ενυδρειοπονικών συστημάτων υφάλμυρου νερού. Προπτυχιακή Διπλωματική Εργασία. Πανεπιστήμιο Πατρών. Τμήμα Ζωικής Παραγωγής, Αλιείας και Υδατοκαλλιερειών. σελ 56.
- Τάσιου Κ. (2019). Παραγωγική διαδικασία του λαβρακιού σε ένα σύστημα ενυδρειοπονίας. Μεταπτυχιακή διπλωματική Διατριβή. Τμήμα Γεωπονίας, Ιχθυολογίας και Υδάτονου Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας σελ 84.
- Μεντέ Ε., Νέγκας Χ. (2011). Στοιχεία Φυσιολογίας Θρέψης και Εφαρμοσμένη Διατροφή Ιχθύων και Καρκινοειδών Εκδόσεις Παπαζήση, Αθήνα σελ.809.