



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΖΩΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΛΙΕΙΑΣ &
ΥΔΑΤΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ

ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
(Πρόγραμμα σπουδών Τεχνολογίας Αλιείας -
Υδατοκαλλιέργειών)

«Ανάπτυξη λαβρακιού και ρόκας σε σύστημα ενυδραιοπονίας»

Κωνσταντίνος Δεβετζόγλου

Επιβλέπων: Νικόλαος Βλάχος

ΜΕΣΟΛΟΓΓΙ 2021

«Ανάπτυξη λαβρακιού και ρόκας σε σύστημα ενυδρείοπονίας»

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή :

- 1) **Νικόλαος Βλάχος:** Ε.ΔΙ.Π, Τμήμα Ζωικής Παραγωγής Αλιείας & Υδατοκαλλιεργειών, Πανεπιστήμιο Πατρών, **Επιβλέπων.**

- 2) **Γεώργιος Χώτος,** Καθηγητής, Τμήμα Ζωικής Παραγωγής Αλιείας & Υδατοκαλλιεργειών, Πανεπιστήμιο Πατρών, Επιβλέπων, **Μέλος.**

- 3) **Κοσμάς Βιδάλης,** Καθηγητής, Τμήμα Ζωικής Παραγωγής Αλιείας & Υδατοκαλλιεργειών, Πανεπιστήμιο Πατρών, **Μέλος.**

Αναφορά: Δεβετζόγλου Κ., 2021. Ανάπτυξη λαβρακιού και ρόκας σε σύστημα ενυδρειοπονίας. Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Ζωικής Παραγωγής Αλιείας και Υδατοκαλλιεργειών, σελ. 50

Στον αείμνηστο και πολυαγαπημένο θείο μου

Γεώργιο Σαμαρά

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες σε όλους αυτούς τους ανθρώπους που συνέβαλαν στο να φέρω εις πέρας την παρούσα Προπτυχιακή Διπλωματική Εργασία.

Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Δρ Νικόλαο Βλάχο επιβλέπων της πτυχιακής εργασίας για την αμέριστη βοήθεια και καθοδήγηση που μου προσέφερε καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης, επεξεργασίας των δεδομένων και συγγραφής της παρούσης διπλωματικής προπτυχιακής εργασίας καθώς και για την ευκαιρία που μου έδωσε να συνεργαστώ μαζί του, μεταδίδοντάς μου πολύτιμες επαγγελματικές δεξιότητες και ένα αυστηρό αίσθημα επαγγελματικής δεοντολογίας ενώ επίσης και μια ανιδιοτελή στήριξη καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου σε γενικό και προσωπικό επίπεδο.

Επίσης, ευχαριστώ τους καθηγητές Γεώργιο Χώτο, και Κοσμά Βιδάλη μέλη της τριμελούς εξεταστικής επιτροπής για την βοήθεια και την καθοδήγηση που μου προσέφεραν καθ' όλη τη διάρκεια εκτέλεσης και συγγραφή της παρούσης προπτυχιακής διπλωματικής εργασίας.

Ευχαριστώ θερμά, την κ Χριστίνα Μπλαχούρα, ΕΤΕΠ Τμήματος Φυτικής Παραγωγής για την ανιδιοτελή βοήθεια που μου πρόσφερε κατά την διαδικασία παραγωγής τον φυτών ρόκας.

Ευχαριστώ επίσης, τον όμιλο Νηρέας Ιχθυοκαλλιέργειες Α.Ε. και ιδιαίτερα τον κ Σμπούκη Ανδρέα που στάθηκε αρωγός με την προμήθεια των ιχθυδίων λαβρακιού που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διπλωματική προπτυχιακή πειραματική εργασία.

Ευχαριστώ θερμά τους συμφοιτητές και φίλους μου Γεώργιο Κυρλάκη και Αθανάσιο Αναστασιάδη, για τη βοήθεια που μου προσέφεραν κατά την διαδικασία μεταφοράς και προσαρμογής των ιχθυδίων λαβρακιού, καθώς και για την ψυχολογική υποστήριξη στο να φέρω εις πέρας αυτήν την εργασία.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στην οικογένειά μου για την αμέριστη στήριξή της, τόσο κατά τη διάρκεια των σπουδών μου καθώς και ολοκλήρωσης της παρούσης διπλωματικής προπτυχιακής εργασίας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσης διπλωματικής εργασίας είναι να μελετηθεί η επίδραση της αλατότητας στην ανάπτυξη του λαβρακιού και της ρόκας σε υφάλμυρο σύστημα ενυδρειοπονίας με τρεις διαφορετικές αλατότητες (1.5 ppt, 5 ppt και 7 ppt). Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε σύστημα ενυδρειοπονίας θρεπτικού υποστρώματος NFT, αποτελούμενο από τις τρεις δεξαμενές εκτροφής ψαριών και τον υδροπονικό σωλήνα καλλιέργειας της ρόκας με κλίση 1,2%. Χρησιμοποιήθηκαν συνολικά 90 λαβράκια μέσου βάρους 3.92 ± 0.83 gr και μέσου μήκους 7.62 ± 0.47 cm, τα οποία διαμοιράσθηκαν ανά 10 άτομα/δεξαμενή εκτροφής/αλατότητα ήτοι (30 άτομα /σύστημα) για διάστημα 40 ημέρες.

Επίσης χρησιμοποιήθηκαν συνολικά 12 άτομα ήμερης ρόκας (*E.sativa*) μέσου ύψους $10,7 \pm 1,2$ cm , τα οποία διαμοιράσθηκαν ανά 4 φυτά στα 3 υδροπονικά συστήματα θρεπτικού υποστρώματος (NFT). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα λαβράκια αναπτύχθηκαν ικανοποιητικά χωρίς να παρουσιάζουν σημαντικά στατιστικές διαφορές στο υφάλμυρο σύστημα ενυδρειοπονίας καταναλώνοντας με προθυμία την τροφή που τους χορηγούνταν. Ο συντελεστής μετατρεψιμότητας της τροφής (FCR_{40}) μεταξύ των λαβρακιών που εκτράφηκαν στα ενυδρειοπονικά συστήματα με αλατότητες 1.5 ppt, 5 ppt και 7ppt δεν παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές (ANOVA, $p>0.05$).

Τα φυτά της ρόκας καθ' όλη τη διάρκεια της καλλιέργειας (40 ημέρες) στο υφάλμυρο ενυδρειοπονικό σύστημα παρουσίασαν στατιστικά μεγαλύτερο τελικό ύψος, μεγαλύτερη αύξηση μήκους και ποσοστιαία αύξηση στην αλατότητα 1.5 ppt σε σχέση με τη ρόκα στις αλατότητες 5 ppt και 7 ppt, αντίστοιχα (ANOVA, $p<0.05$). Η παρούσα εργασία αναδεικνύει τη σημαντικότητα ανάπτυξης της ενυδρειοπονίας σε υφάλμυρο νερό παράγοντας λαβράκι και ρόκα με ικανοποιητικά αποτελέσματα σε αλατότητα 1.5 ppt.

Λέξεις κλειδιά: Ενυδρειοπονία σε NFT σύστημα, Ανάπτυξη λαβρακιού και ρόκας, Απορρόφηση θρεπτικών, Επαναχρησιμοποίηση νερού.

ABSTRACT

The goal of the study was the effect of salinity on the development of sea bass and arugula in a brackish aquaponic system under three different salinities (1.5 ppt, 5 ppt and 7 ppt). An NFT nutrient substrate aquaponic system was used for this purpose, consisting of three fish tanks and an NFT nutrient film hydroponic pipe with a slope of 1.2%. A total number of 90 seabass were used with an average weight of 3.92 ± 0.83 g and an average length of 7.62 ± 0.47 cm, which was distributed 10 fish /tank /salinity (30 people/system) for 40 days.

A total number of 12 arugula individuals (*E. sativa*) with an average height of 10.7 ± 1.2 cm were used, which were divided into 4 plants in the 3 hydroponic nutrient substrate systems (NFT). The results showed that sea bass grew well without significant differences in the brackish aquaponic systems consuming the feed offered. The feed conversion ratio (FCR_{d40}) was similar without statistically significant differences (ANOVA, $p > 0.05$) in all treatments (1.5 ppt, 5 ppt and 7ppt).

Arugula plants throughout the cultivation (40 days) in the brackish aquaponic systems showed significantly higher final height, height increase and percentage height increase in salinity 1.5 ppt compared to arugula at 5 ppt and 7 ppt, respectively (ANOVA, $p < 0.05$). The present study highlights the importance of growing aquaponics in brackish water by producing sea bass and arugula with benefits results at 1.5 ppt salinity.

Keywords: Aquaponics in NFT system, Seabass (*D.labrax*) and Arugula (*E. sativa*) growth performance, Nutrient removal efficiency, Reuse water

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	11
1.1 Εισαγωγή στην ενυδραιοπονία.....	11
1.2 Ενυδραιοπονία με τη μέθοδο θρεπτικού υποστρώματος (NFT)	14
1.2.1 NFT σύστημα ενυδραιοπονίας.....	14
1.2.2 Παράμετροι σχεδιασμού συστήματος NFT	15
Ο ποιοτικός έλεγχος των υδάτων είναι ιδιαίτερης σημασίας για την υγεία και την ευημερία των ψαριών. Η κυκλοφορία του νερού στις δεξαμενές των ψαριών σχετίζεται με παράγοντες όπως:	15
1.3 Είδη ψαριών και φυτών που χρησιμοποιούνται στην Ενυδραιοπονία με υφάλμυρο νερό.....	16
1.4 Καλλιέργεια και συνθήκες ανάπτυξης της ρόκας-απαιτήσεις φυτού.	17
1.5 Ισοζύγιο ανάπτυξης φυτών και ψαριών στο σύστημα ενυδραιοπονίας.....	18
1.6 Σκοπός διπλωματικής εργασίας.....	19
2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΡΕΥΝΑΣ.....	20
2.1 Προμήθεια ατόμων λαβρακιού (<i>Dicentrarchus labrax</i>) και φυτών ρόκας (<i>Eruca sativa</i>).....	20
2.2. Πειραματικός σχεδιασμός: περιγραφή συστήματος ενυδραιοπονίας - συνθήκες εκτροφής-χειρισμοί.....	21
2.2.1 Δεξαμενές εκτροφής ψαριών και καλλιέργειας φυτών.....	23
2.2.2 Παροχή νερού και ροή αέρα	25
2.2.3 Φωτισμός	25
2.3 Σιτηρέσιο και χορήγηση τροφής.....	25
2.4 Μετρήσεις μορφομετρικών χαρακτηριστικών ψαριών και φυτών	27
2.4.1 Μετρήσεις μορφομετρικών χαρακτηριστικών ατόμων λαβρακιού	27
2.4.2 Μετρήσεις μορφομετρικών χαρακτηριστικών ατόμων κρίταμου	28
2.5 Έλεγχος ποιότητας νερού	29
2.6 Δείκτες ανάπτυξης λαβρακιού και ρόκας	29
2.7 Στατιστική Ανάλυση.....	30
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	32
3.1 Ποιότητα νερού.....	32
3.2 Επιβίωση λαβρακιού και ρόκας.....	33

3.3 Δείκτες ανάπτυξης λαβρακιού	33
3.3.1 Ειδικός ρυθμός ανάπτυξης και αύξηση βάρους.....	33
3.3.2 Δείκτες αξιοποίησης της τροφής	34
3.4 Ανάπτυξη ρόκας.....	35
4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	37
4.1 Ποιότητα νερού.....	37
4.2 Ανάπτυξη λαβρακιού	39
4.3 Ανάπτυξη ρόκας.....	41
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	45
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	46
6.1 Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία	46
6.2 Ελληνόγλωσση Βιβλιογραφία	50

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

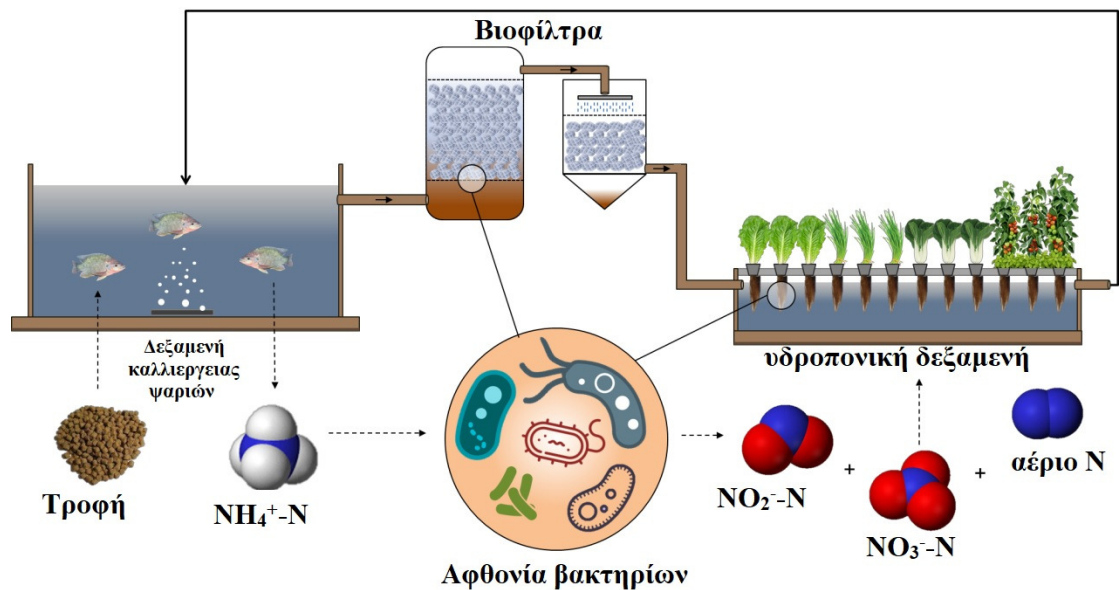
1.1 Εισαγωγή στην ενυδραιοπονία

Η ενυδραιοπονία είναι μια εναλλακτική ασφαλής μέθοδος παραγωγής τροφίμων προς το περιβάλλον, που συνδυάζει την εκτροφή υδρόβιων οργανισμών (ιχθύες, καρκινοειδή, μαλάκια), την υδροπονική καλλιέργεια των φυτών (λαχανικά, βότανα) και την ανάπτυξη βακτηρίων (βιοχημική απομάκρυνση αποβλήτων) σε ανακυκλούμενα συστήματα εκτροφής (RAS), (Somerville et al. 2014). Αποτυπώνεται διαμέσου της συνέργειας που λαμβάνει χώρα ανάμεσα στα ψάρια, τα φυτά και τα βακτήρια επαναχρησιμοποιώντας τον ίδιο όγκο νερού. Αξιοποιεί τα απόβλητα των ψαριών για την ασφαλή παραγωγή των φυτών χωρίς την προσθήκη χημικών λιπασμάτων σε ελεγχόμενες συνθήκες καλλιέργειας (Rakocy et al. 2006, Rakocy et al. 2007).

Η ενυδραιοπονία προάγει ένα πρωτοποριακό καινοτόμο σύστημα παραγωγής τροφίμων (ψαριών και φυτών) επιλύοντας τις πιθανές επιπτώσεις που προκαλούνται διαμέσου της συμβατικής καλλιέργειας, συμβάλλοντας στην αύξηση των αποθεμάτων του πόσιμου νερού, στην ανάπλαση των γεωργικών εκτάσεων και στην αύξηση της βιοποικιλότητας (Rakocy et al. 2007).

Η εύρυθμη λειτουργία του συστήματος ενυδραιοπονίας εξαρτάται από την ιχθυοπυκνότητα των ψαριών, τα μεταβολικά προϊόντα των ψαριών που εκκρίνονται με τη μορφή της αμμωνίας και χαρακτηρίζονται ως υγρά απόβλητα και εκείνα που προέρχονται από τα προϊόντα απέκκρισης (κόπρανα) και χαρακτηρίζονται ως στερεά απόβλητα. Τα απόβλητα των ψαριών καθώς ρέουν στις υδροπονικές δεξαμενές καλλιέργειας αξιοποιούνται από τα βακτήρια (βακτηρίδια νιτροποίησης, οργανοτροφικά βακτήρια) και μετατρέπονται σε ανόργανες ενώσεις αζώτου με τη μορφή νιτρικών ιόντων και απορροφώνται από τα φυτά (π.χ. νιτρικά, φωσφορικά) (Graber & Junge 2009, Zou et al. 2016b).

Η Εικόνα 1, αποτυπώνεται διαγραμματικά η συμβιωτική σχέση μεταξύ ψαριών, βακτηρίων και φυτών στο σύστημα ενυδραιοπονίας με τη μέθοδο της επιπλέουσας σχεδίας (raft). Από τα βασικά πλεονεκτήματα είναι η ανάκτηση των θρεπτικών συστατικών, η ελαχιστοποίηση της χρήσης νερού και η αύξηση του κέρδους εξαιτίας της ταυτόχρονης καλλιέργειας ψαριών και φυτών (Love et al. 2015).



Εικόνα 1. Σύστημα ενυδρείοπονίας με τη μέθοδο της επιπλέουσας σχεδίας, δίνοντας έμφαση στη συνέργεια μεταξύ ψαριών, φυτών και βακτηρίων (Πηγή: Wongkiew 2018, όπως τροποποιήθηκε από τον συγγραφέα).

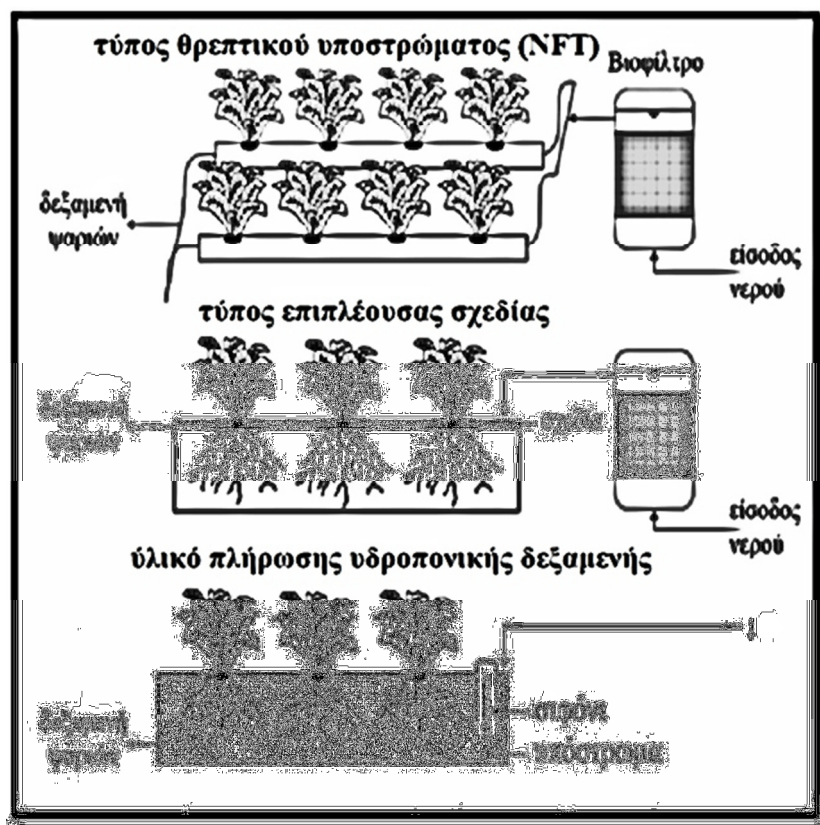
Ένα τυπικό σύστημα ενυδρείοπονίας αποτελείται από τη δεξαμενή εκτροφής ψαριών (υδατοκαλλιέργεια), ένα βιολογικό φίλτρο (για τις βιοχημικές διεργασίες της νιτροποίησης) και μια υδροπονική δεξαμενή καλλιέργειας φυτών (υδροπονία) (Love et al. 2015). Χρησιμοποιούνται τρεις κατηγορίες συστημάτων ενυδρείοπονίας η ταξινόμηση των οποίων οφείλεται στην υδροπονική δεξαμενή καλλιέργειας φυτών και είναι η μέθοδος καλλιέργειας φυτών σε σωλήνα θρεπτικού υποστρώματος χαμηλής στάθμης (NFT), η μέθοδος της επιπλέουσας σχεδίας (καλλιέργεια σε βάθος) και η μέθοδος του υποστρώματος (υπερχείλιση και αποστράγγιση νερού) (Engle, 2015) (Εικ.2). Η μέθοδος NFT παρέχει υψηλό ποσοστό οξυγόνου στις ρίζες των φυτών αυξάνοντας με τον τρόπο αυτό την απόδοση των φυτών. Ωστόσο, το σύστημα NFT είναι κατάλληλο μόνο για μικρά είδη φυτών-λαχανικών επειδή η κλίση ανάπτυξης δεν μπορεί να υποστηρίξει φυτά με μεγάλο ριζικό σύστημα επειδή μειώνουν τη ροή ανακυκλοφορίας του νερού στο σύστημα (Chérif et al. 199, Engle 2015).

Η αποτελεσματική απομάκρυνση των στερεών αποβλήτων παίζει σημαντικό ρόλο για το NFT ενυδρείοπονικό σύστημα ώστε να αποφευχθεί η φραγή του στομίου του σωλήνα θρεπτικού υποστρώματος NFT και δυσχεραίνεται η διέλευση του νερού.

Ο τύπος της επιπλέουσας σχεδίας είναι το συνηθέστερα υδραυλικό σύστημα επειδή επιτρέπει στις ρίζες των φυτών να απορροφούν ελεύθερα τα θρεπτικά

συστατικά στο νερό χωρίς να δημιουργούνται προβλήματα στη ροή του νερού (Engle 2015, Liang & Chien, 2013, Timmons et al. 2002). Τα συστήματα NFT και επιπέδουσας σχεδίας για την αποτελεσματική λειτουργία τους προϋποθέτουν την εγκατάσταση μηχανικού και βιολογικού φίλτρου τα οποία θα χρησιμοποιηθούν το πρώτο για την κατακράτηση των στερεών υπολειμμάτων και το δεύτερο για τη βιοχημική οξείδωση της αμμωνίας σε νιτρικά ιόντα (Engle 2015, Nelson 2008).

Ο τύπος της υδροπονικής δεξαμενής με υπόστρωμα (ελαφρόπετρα, άργιλος τύπου LEICA) χρησιμοποιείται πιο συχνά στην ενυδρειοπονία μιας και το υλικό πλήρωσης της δεξαμενής παίζει το ρόλο του βιολογικού φίλτρου (Zou et al. 2016b). Συνίσταται η προσθήκη ενός σιφωνίου το οποίο θα χρησιμεύει για το γέμισμα και άδειασμα της υδροπονικής δεξαμενής ώστε με τον τρόπο αυτό οι ρίζες των φυτών να αερίζονται ανά συχνά διαστήματα (Bernstein, 2011). Προβλήματα όπως η ανεπάρκεια σε οξυγόνο εμφανίζονται συνήθως σε αυτού του τύπου τις υδροπονικές δεξαμενές εξαιτίας της μακροχρόνιας λειτουργίας τους.



Εικόνα 2. Τύποι υδροπονικών δεξαμενών καλλιέργειας φυτών που χρησιμοποιούνται στην ενυδρειοπονία (Πηγή: Wongkiew et al., 2017).

1.2 Ενυδρειοπονία με τη μέθοδο θρεπτικού υποστρώματος (NFT)

1.2.1 NFT σύστημα ενυδρειοπονίας

Το σύστημα αυτό είναι πιο δημοφιλές για την καλλιέργεια φυλλώδη λαχανικών και βοτάνων σε επίπεδο εμπορικής παραγωγής και υιοθετείται για χρήση στην ενυδρειοπονία, μιας και οι σωλήνες θρεπτικού υποστρώματος μπορούν να τοποθετηθούν σε σειρές ή κατακόρυφα για εξοικονόμηση χώρου.

Όπως αναφέρθηκε, οι ρίζες των φυτών στα NFT συστήματα ενυδρειοπονίας έρχονται σε επαφή συνέχεια με το θρεπτικό διάλυμα, δημιουργώντας ένα λεπτό «φιλμ» βάθους που κυμαίνεται από 0,0762 cm έως 0,254 cm βάθος με αποτέλεσμα να έρχονται σε επαφή με το οξυγονωμένο θρεπτικό διάλυμα. Υπάρχουν φυτά που αναπτύσσουν μεγάλο ριζικό σύστημα οπότε επιζητούν μεγαλύτερα ποσά οξυγόνου με αποτέλεσμα να χαρακτηρίζονται ακατάλληλα για καλλιέργεια σε NFT σύστημα. Τα φυτά όταν έχουν πρόσβαση σε όλο το βάθος του νερού τότε οι ρυθμοί ανάπτυξης τους αυξάνονται (Lennard 2012)

Η ταχύτητα ροής του νερού (θρεπτικό διάλυμα) έχει υπολογιστεί να είναι μεταξύ 400 mL/min και 1500 mL/min. Για καλύτερη και λειτουργία του συστήματος θα πρέπει ο σωλήνας θρεπτικού υποστρώματος να τοποθετείται ελαφρώς κεκλιμένη. Σε περιπτώσεις που δύναται, μπορεί να αυξηθεί η κλίση του σωλήνα θρεπτικού υποστρώματος και να γίνει απότομη. Φυτά όπως για παράδειγμα αγγουριές, τομάτες κλπ, πιθανά να χρειαστούν υποστήριξη στο σύστημα. Η ιδιαιτερότητα που παρουσιάζει ένα NFT σύστημα θρεπτικού υποστρώματος είναι ο ρυθμός απορρόφησης θρεπτικών ο οποίος μπορεί να είναι μέγιστος ακόμη και ελάχιστος (Lennard 2012).

Η βέλτιστη αναλογία ρυθμού ταΐσματος σ' ένα ενυδρειοπονικό σύστημα θρεπτικού υποστρώματος NFT είναι περίπου το 25% της ποσότητας που χρησιμοποιείται στα συστήματα επιπέδου σχεδίας. Επίσης ένα σωστά σχεδιασμένο και ισορροπημένο σύστημα NFT, η αναλογία ψαριών και φυτών βασίζεται στη συχνότητα ταΐσματος. Η αναλογία της συχνότητας ταΐσματος χαρακτηρίζεται ως η ποσότητα της ζωοτροφής που χορηγείται στο σύστημα σε ημερήσια βάση (gr) για κάθε τετραγωνικό μέτρο της περιοχής καλλιέργειας (ανά επιφάνεια καλλιεργητικής περιοχής). Η βέλτιστη αναλογία για ένα ενυδρειοπονικό σύστημα NFT κυμαίνεται από 60 gr έως 100 gr τροφής /m²/ημέρα (Lennard 2012).

Για παράδειγμα, αν τα ψάρια σιτίζονται κατά μέσο όρο με 1.000 g τροφής/ημέρα τότε υπολογίστηκε η επιφάνεια υδροπονικής καλλιέργειας να είναι της τάξης των 16.7 m² με μέσο ρυθμό χορήγησης τροφής 60 g/m²/ημέρα.

Αντίθετα, αν η επιφάνεια υδροπονικής καλλιέργειας αυξηθεί στα 200 m² τότε οι δεξαμενές εκτροφής των ψαριών, ο όγκος της δεξαμενής και η συχνότητα ταΐσματος διαχειρίζονται με τρόπο ανάλογο ούτως ώστε να επιτευχθεί μέση ημερήσια εισροή τροφής στο σύστημα των 20.000 g (20 kg) με μέσο επιθυμητό λόγο σίτισης 100 g/m²/ημέρα.

Η βέλτιστη αναλογία του ρυθμού σίτισης εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως ο τύπος του υδροπονικού συστήματος, το είδος του φυτού που καλλιεργείται, η ποιότητα του νερού (πηγή προέλευσης και συστήματος) και το ποσοστό του νερού που ανανεώνεται εξαιτίας της εξάτμισης και ημερήσιας απομάκρυνσης (σιφωνισμός) των στερεών υπολειμμάτων (υπολείμματα τροφής και κόπρανα).

1.2.2 Παράμετροι σχεδιασμού συστήματος NFT

Η υγιεινή των ψαριών είναι ζωτικής σημασίας ώστε να βελτιστοποιηθεί η παραγωγική διαδικασία στο σύστημα ενυδρείοπονίας. Το περιβάλλον στο οποίο αναπτύσσονται τα ψάρια, προϋποθέτει τη διασφάλιση της βιωσιμότητας στα ψάρια (Lennard & Ward 2019).

Ο ποιοτικός έλεγχος των υδάτων είναι ιδιαίτερης σημασίας για την υγεία και την ευημερία των ψαριών. Η κυκλοφορία του νερού στις δεξαμενές των ψαριών σχετίζεται με παράγοντες όπως:

- ο ρυθμός ροής στη δεξαμενή των ψαριών (L/h)
- ο ρυθμός ανακύκλωσης του νερού (όγκος/h)
- η βελτίωση της ροής που εξασφαλίζεται από το σύνολο του νερού κατά την είσοδό του στη δεξαμενή
- τα υλικά κατασκευής που χρησιμοποιούνται να εξασφαλίζουν τη χαμηλότερη έκθεση σε πιθανή τοξικότητά τους

Η πυκνότητα εκτροφής των ψαριών καθορίζει τον αριθμό των ψαριών σε σχέση με τον όγκο του νερού εκτροφής και εκφράζεται σε kg/m³. Οι μονάδες παραγωγής ψαριών με υψηλή παραγωγικότητα διατηρούν μια ιχθυοφόρτιση που

κυμαίνεται από 50 kg/m³ έως 150 kg/m³, ή ακόμη και σε υψηλότερα επίπεδα υπό την προϋπόθεση να χορηγείται διαλυμένο οξυγόνο. Στην ενυδραιοπονία οι ιχθυοφορτίσεις που χρησιμοποιούνται είναι μικρότερες από 20 kg/m³. Η ταχύτητα ροής σε ένα σύστημα ενυδραιοπονικό θα πρέπει να διασφαλίζει την απαραίτητη κυκλοφορία των θρεπτικών συστατικών που προέρχονται από τα απόβλητα των ψαριών (Lennard & Ward 2019). Η κατάλληλη ταχύτητα ροής διασφαλίζει:

1. τη γρήγορη απομάκρυνση των στερεών αποβλήτων των ψαριών
2. τη μεταφορά τους στο μηχανικό και βιολογικό φίλτρο
3. τη διασφάλιση επαρκών επιπέδων διαλυμένου οξυγόνου σε όλο τον όγκο του νερού εκτροφής και της υδροπονικής δεξαμενής καλλιέργειας φυτών

1.3 Είδη ψαριών και φυτών που χρησιμοποιούνται στην Ενυδραιοπονία με υφάλμυρο νερό

Είδη ψαριών όπως η κοινή τιλάπια (*Oreochromis niloticus*), η μπλέ τιλάπια (*Oreochromis aureus*), η κόκκινη τιλάπια (*Oreochromis mossambicus*), το υβρίδιο *O. aureus* X *O. niloticus*, το υβρίδιο *Oreochromis spp*, η πέστροφα (*Salmo trutta*), το αφρικάνικο γατόψαρο (*Clarias gariepinus*), τα κοιί (*Cyprinus rubrofuscus*), ο κυπρίνος (*Cyprinus carpio*), τα χρυσόψαρα (*C. auratus*) και διάφορα είδη καρκινιοειδών (γαρίδες και αστακοκαραβίδες) συγκαταλέγονται μεταξύ των ειδών χρησιμοποιούνται με επιτυχία στην ενυδραιοπονία γλυκού νερού (Nelson 2007, Kloas et al. 2015, Palm et al. 2014, Endut et al 2011).

Στην ενυδραιοπονία με υφάλμυρο ή θαλασινό νερό (Alessio et al. 2001) επιλέγονται είδη ψαριών όπως τα ευρύαλα τσιπούρα (*Sparus aurata*) (Vlahos et al. 2019), το λαβράκι (*Dincentrarhus labrax*) (Nozzi et al.2016) και τα κεφαλοειδή (πχ *Mugil cephalus*, *Chelon labrosus*, *Liza aurata*). Η ενυδραιοπονία σε θαλασινό ή υφάλμυρο νερό προϋποθέτει την συγκαλλιέργεια φυτών που παρουσιάζουν ανθεκτικότητα στην αλατότητα. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα αλόφυτα όπως για παράδειγμα κρίταμος (Vlahos et al. 2019), διάφορα είδη φυκιών (Boxman 2015), ή φυτά όπως η σαλικόρνια, η αλμύρα, η κινόα (Somerville et al. 2014) τα οποία συγκαταλέγονται στα είδη που παρουσιάζουν εμπορικό και φαρμακευτικό ενδιαφέρον (Fronte et al. 2016). Οι Barbosa et al. (2020) καλλιέργησαν ρόκα σε αλατότητες σε ανακυκλούμενο ενυδραιοπονικό σύστημα και διαπίστωσαν ότι η ήμερη ρόκα παρουσιάζει ικανοποιητική ανάπτυξη.

Επίσης, είδη της οικογένειας *Chenopodiaceae*, με αντιπροσώπους το είδος *Beta vulgaris* (τεύτλο) ή το *Beta vulgaris var cycles* μπορούν να αναπτυχθούν σε ικανοποιητικά σε αλατότητα της τάξης 3,5-7 g/L. Άλλα είδη, όπως η κοινή ντομάτα (*Lycopersicon esculentum*), ο βασιλικός (*Ocimum basilicum*) μπορούν επίσης να αναπτυχθούν σε χαμηλές αλατότητες με περιεκτικότητα σε αλάτι 4g /L (Pantanella & Bhujel 2015).

1.4 Καλλιέργεια και συνθήκες ανάπτυξης της ρόκας-απαιτήσεις φυτού.

Η ρόκα ανήκει στην οικογένεια Brassicaceae, με βασικούς εκπροσώπους της τα είδη, *Eruca sativa* (ήμερη ρόκα) και *Diplotaxis tenuifolia* (άγρια ρόκα). Γεωγραφικά απαντάται σε χώρες της Μεσογείου έως τη Δυτική Ασία (Padulosi & Pignone 1997, Στιβακτάκης 2016). Παρουσιάζει αυξημένη ανθεκτικότητα σε χαμηλές θερμοκρασίες, σε αντίθεση με τις υψηλές θερμοκρασίες όπου τα φύλλα της αποκτούν πιο καυστική γεύση (Ολύμπιος, 2015).

Οι Padulosi & Pignone (1997) αναφέρουν ότι η ρόκα συγκαταλέγεται στα φαρμακευτικά φυτά εξαιτίας της αυξημένης συγκέντρωσης της σε βιταμίνη C, σίδηρο και θειογλυκοζιτές ενώσεις. Στην αρχαία Ρώμη η ρόκα ήταν γνωστή για τις αφοροδισιακές της δράσεις.

Σύμφωνα με τον συγγραφέα ελάχιστες πληροφορίες είναι διαθέσιμες σε ότι αφορά τις επιδράσεις της αλατότητας ή των θρεπτικών συστατικών της ρόκας στον ανθρώπινο οργανισμό ή τις επιδράσεις του θρεπτικού διαλύματος στην αύξηση της απόδοσης σε νιτρικά ιόντα (Santamaria et al. 2002, Vernieri et al. 2005) για τη ρόκα *Eruca sativa*. Επίσης, οι Alberici et al. (2008) μελέτησαν την επίδραση του θρεπτικού διαλύματος στην απόδοση της περιεκτικότητας σε νιτρικά ιόντα στα φύλλα της ρόκας *Diplotaxis tenuifolia*.

Οι dos Santos και Rolim (2011) αναφέρουν ότι η ανάπτυξη της ρόκας σε αλατότητα 2,5ppt (5,2 mS/cm) μειώθηκε όταν καλλιεργείται σε υδροπονικό σύστημα θρεπτικού υποστρώματος NFT. Επίσης η άγρια ρόκα παρουσίασε μείωση της ανάπτυξης κατά 64% σε σύγκριση με τον μάρτυρα που είχε περιεκτικότητα σε αλάτι 200 mM NaCl. Σύμφωνα με τους de Vos et al. (2013), η ρόκα σε αλατότητα 100 mM NaCl παρουσίασε μείωση συγκεντρώσεων στους ιστούς της σε άζωτο (N), κάλιο (K) και ασβέστιο (Ca). Η ήμερη και άγρια ρόκα όταν καλλιεργείται σε αλατότητα 6 ppt

(9,5 mS/cm) παρουσιάζει στατιστικά την ίδια συγκέντρωση ασκορβικού οξέων και ολικών φαινολών (Hamilton & Fonseca 2010).

Επίσης οι Barbosa et al. (2020) αναφέρουν ότι η ανάπτυξη της ρόκας σε ενυδρειοπνικό σύστημα γλυκού νερού αναπτύσσεται εξίσου παρόμοια και είναι ανεξάρτητη της αναλογία του όγκου της δεξαμενής εκτροφής : όγκου υδροπονικής δεξαμενής καλλιέργειας φυτών.

1.5 Ισοζύγιο ανάπτυξης φυτών και ψαριών στο σύστημα ενυδρειοπονίας

Τα απόβλητα ψαριών παράγουν σημαντική ποσότητα αμμωνιακού αζώτου και στερεών που έχουν αποδειχθεί ότι είναι πλούσια σε θρεπτικά συστατικά, τα οποία είναι σημαντικά για την παραγωγή φυτών σε διαλυμένη μορφή στο νερό στη δεξαμενή ψαριών (Buzby & Lin 2014). Ωστόσο, για να διατεθούν τα απόβλητα ψαριών και να απορριφθούν από τα φυτά, θα πρέπει αρχικά να περάσει από τη διαδικασία ανοργανοποίησης (Nyamangara et al. 2009). Ορυκτοποίηση είναι η διαδικασία με την οποία η οργανική ύλη (στερεά) διασπάται στο ενυδρειοπνικό περιβάλλον (Hu et al. 2015).

Υπάρχουν πέντε κύριοι μηχανισμοί που είναι υπεύθυνοι για την ανοργανοποίηση, οι οποίοι με τη σειρά τους καθορίζουν το ρυθμό απελευθέρωσης των θρεπτικών ουσιών στο ενυδρειοπνικό σύστημα. Αυτοί οι μηχανισμοί είναι η αμμωνιοποίηση, η νιτροποίηση, η απονιτροποίηση, οργανοποίηση και η πτητικότητα (Rafiee & Saad 2005). Η διαδικασία παραγωγής ανόργανης μορφής αζώτου από οργανικό άζωτο πραγματοποιείται γρήγορα και λιγότερο από μία εβδομάδα (3-7 ημέρες) όταν οι συνθήκες είναι ιδανικές για την αναπαραγωγή των βακτηρίων (Johnson et al. 2005). Οι συνθήκες που ευνοούν το βέλτιστο ρυθμό ανοργανοποίησης είναι ο υψηλός αερισμός, η υγρασία, το pH και τα ισορροπημένα θρεπτικά συστατικά (Lund 2014).

Οι περιβαλλοντικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη μικροχλωρίδα και τις ενέργειές τους, οι οποίες με τη σειρά τους καθορίζουν το ρυθμό ανοργανοποίησης στο σύστημα και, συνεπώς, την ποσότητα που ανοργανοποιείται με την πάροδο του χρόνου. Τα απόβλητα των ψαριών θα πρέπει να μετατραπούν σε ανόργανες μορφές αζώτου και στη συνέχεια να απορροφώνται από φυτά (Nyamangara et al. 2009).

Η δράση των βακτηρίων περιορίζεται σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες και σε pH μικρότερο από 5,5 ενώ αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας και του pH. Η

μέγιστη ανοργανοποίηση αζώτου παρατηρείται όταν η θερμοκρασία αυξηθεί από 30°C έως 36°C, ωστόσο, η μείωση της ανοργανοποίησης N υποδεικνύει χαμηλή βακτηριακή δράση και υποβάθμιση των βιολογικών ιδιοτήτων του μέσου ανάπτυξης (Coolong 2012). Όταν η θερμοκρασία, η υγρασία και το pH είναι ευνοϊκά για την ικανοποιητική ανάπτυξη των βακτηρίων και ενεργοποίηση των μεταβολικών δραστηριοτήτων τους τότε λαμβάνει χώρα η ανοργανοποίηση, το αντίθετο της διαδικασίας οδηγεί σε παραγωγή οργανικής μορφής αζώτου (οργανοποίηση).

1.6 Σκοπός διπλωματικής εργασίας

Σκοπός της παρούσης προπτυχιακής διπλωματικής εργασίας ήταν να μελετήσει την ανάπτυξη του λαβρακιού και της ρόκας σε ένα σύστημα ενυδρειοπονίας με υφάλμυρο νερό με την μέθοδο του θρεπτικού υποστρώματος (NFT) σε τρεις διαφορετικές αλατότητες (1,5 ppt, 5 ppt και 7 ppt).

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΡΕΥΝΑΣ

2.1 Προμήθεια ατόμων λαβρακιού (*Dicentrarchus labrax*) και φυτών ρόκας (*Eruca sativa*)

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε στις εγκαταστάσεις του τμήματος Ζωικής Παραγωγής, Αλιείας, Υδατοκαλλιεργειών του Πανεπιστημίου Πατρών και συγκεκριμένα στο εργαστήριο των Ενυδρείων. Η διάρκεια του πειράματος ήταν 35 ημέρες και έλαβε χώρα τον Δεκέμβριο 2019 έως τον Ιανουάριο 2020.

Η προμήθεια των λαβρακιών έγινε από τον Ιχθυογεννητικό σταθμό Νηρέας Ιχθυοκαλλιέργειες Α.Ε που εδρεύει στη Μανάγουλη Φωκίδας και μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο μέσω ειδικών δοχείων μεταφορών σε αλατότητα 30‰ και με συνεχόμενη παροχή οξυγόνου. Τα ιχθύδια λαβρακιού προσαρμόστηκαν σταδιακά και τοποθετήθηκαν στα ενυδρεία υποδοχής συνολικού όγκου 400 L και νερό αλατότητας 26ppt και θερμοκρασία 22 °C (Εικ.1) το οποίο υποστηρίζονταν από εξωτερικό βιολογικό φίλτρο (Cristal profil e 900). Η προσαρμογή και ο εγκλιματισμός των ατόμων λαβρακιού διήρκησε περίπου 20 ημέρες.



Εικόνα 1. Προσαρμογή και εγκλιματισμός των ατομων λαβρακιού στα ενυδρεία υποδοχής συνολικού όγκου 400 L. (Πηγή: Προσωπικό αρχείο).

Τα άτομα ρόκας (*E.sativa*), προέρχονταν από σπορεία που έλαβε χώρα στις εγκαταστάσεις του τμήματος Γεωπονίας τα οποία πολλαπλασιάστηκαν και

τοποθετήθηκαν σε ειδικά διάτρητα φυτοδοχεία (net pots) στο θερμοκήπιο για διάστημα 40 ημερών σε συνθήκες σταθερής θερμοκρασίας και φωτισμού.

2.2. Πειραματικός σχεδιασμός: περιγραφή συστήματος ενυδρειοπονίας - συνθήκες εκτροφής-χειρισμοί

Για τις ανάγκες του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν 90 ιχθύδια λαβρακιού μέσου βάρους $3,92 \pm 0,83$ gr και μέσου μήκους $7,62 \pm 0,47$ cm, τα οποία διαχωρίστηκαν σε τρεις ομάδες και τοποθετήθηκαν ανά 10 άτομα στα εννέα ενυδρειακά συστήματα διαστάσεων 40 x35 x 26 cm με τα αντίγρατά τους, συνολικού όγκου 36,4 L το καθένα.

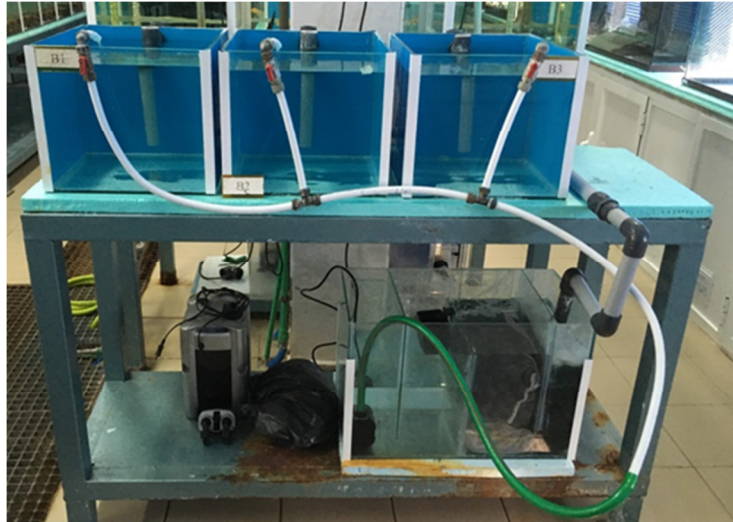
Στα ενυδρεία υποδοχής των λαβρακιών κάθε 5-7 ημέρες πραγματοποιούνταν σταδιακή μείωση της αλατότητας κατά 3-5 μονάδες έως ότου η αλατότητα σταθεροποιηθεί στο 10 ppt. Πριν από την έναρξη του πειράματος τα συστήματα ενυδρειοπονίας πληρώθηκαν με νερό αλατότητας 10 ppt ακολουθούμενα από σταδιακή μείωση της αλατότητας του κάθε συστήματος ενυδρειοπονίας κατά 3 μονάδες μία φορά την εβδομάδα έως ότου η αλατότητα να σταθεροποιηθεί από 10 ppt στο 7 ppt, 4 ppt και 2,5 ppt, αντίστοιχα.

Επίσης, χρησιμοποιήθηκαν συνολικά 12 φυτικά άτομα ρόκας (*E.sativa*) μέσου ύψους $10,7 \pm 1,2$ cm (MB \pm SEM), τα οποία διαμοιράστηκαν ανά 4 άτομα στα 3 υδροπονικά συστήματα θρεπτικού υποστρώματος (NFT) (δεξαμενές ανάπτυξης φυτών- grow bed). Προκειμένου να αποφευχθεί το ωσμωτικό stress τα φυτά της ρόκας εγκλιματίστηκαν με παρόμοια διαδικασία με εκείνη των ιχθύων λαβρακιού.

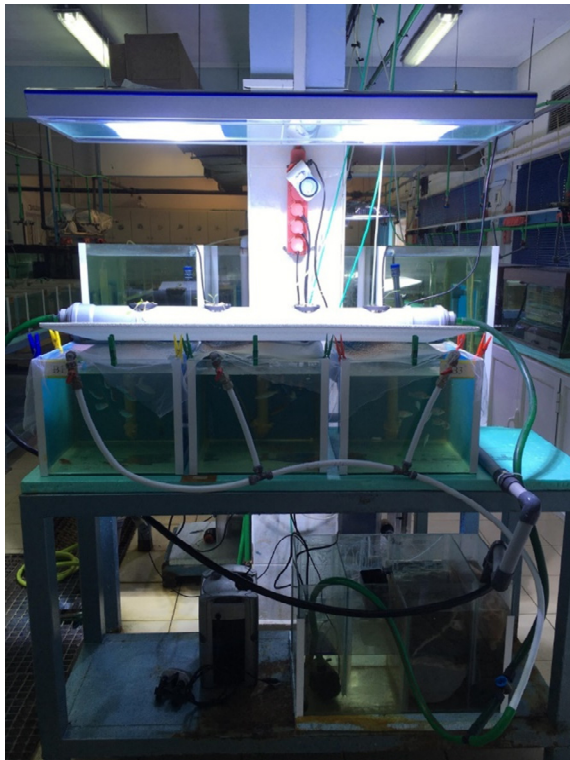
Αναλυτικά η διαδικασία περιλάμβανε σταδιακή προσαρμογή της ρόκας με νερό σχεδόν μηδενικής αλατότητας (βρύσης) ακολουθούμενη από ημερήσια σταδιακή αύξηση της αλατότητας κατά 50 mM NaCl έως ότου να φθάσει στο 7 ppt, 5 ppt και 1,5 ppt, αντίστοιχα. Φυτά και ψάρια αμέσως μετά το πέρας του εγκλιματισμού τοποθετήθηκαν τυχαία στα 3 συστήματα ενυδρειοπονίας, όπως περιγράφονται παρακάτω, με τα αντίγραφα τους στις τρεις διαφορετικές μεταχειρίσεις αλατότητας (1 σύστημα ανά αλατότητα), με αλατότητες 7 ppt, 5 ppt και 1,5 ppt, αντίστοιχα.

Κάθε σύστημα ενυδρειοπονίας (Εικ.2) αποτελούνταν από τρία ενυδρεία εκτροφής ψαριών διαστάσεων 40 x 35 x 26 cm και όγκου 36,4 L, από μια υδροπονική

κυλινδρική δεξαμενή θρεπτικού υποστρώματος NFT συνολικού μέσου όγκου 166 L που τοποθετήθηκε σε σειρά παράλληλη με τα ενυδρεία εκτροφής και από τρία φίλτρα τύπου sump αποτελούμενα από μηχανικό, βιολογικό φίλτρο και την αντλία, (Εικ. 2α,β,γ).



(a)



(b)



(c)

Εικόνα 2. Σύστημα ενυδρειοπονίας υφάλμυρου νερού διακρίνεται: (a) ενυδρεία εκτροφής, (b) βιολογικό φίλτρο τύπου sump. (c) δεξαμενή υδροπονικής καλλιέργειας τύπου NFT. (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 ρέει συνεχόμενα κατά μήκος των ριζών του φυτού στην υδροπονική δεξαμενή καλλιέργειας του φυτού (Somerville et al. 2014). Το σύστημα θρεπτικού υποστρώματος χρησιμοποιεί ελάχιστα έως μηδενικά μέσα καλλιέργειας για να αναπτυχθούν οι ρίζες των φυτών, οι οποίες, σε περίπτωση βλάβης της αντλίας, αυξάνει η πιθανότητα να μείνουν εκτός νερού και πιθανόν να οδηγήσουν σε απώλεια της καλλιέργειας.

Η θερμοκρασία του νερού ρυθμίστηκε με θερμαντικά σώματα τιτανίου (TH300,100W), τα οποία ήταν βυθισμένα στα βιολογικά φίλτρα των συστημάτων και συνδεδεμένοι με ρυθμιστή θερμοκρασίας (T-controller, T2001 HC AQUAMEDIC), έτσι ώστε η θερμοκρασία να διατηρείται σταθερή στους 22°C-23°C και για τα τρία συστήματα ενυδρειοπονίας με υφάλμυρο νερό.

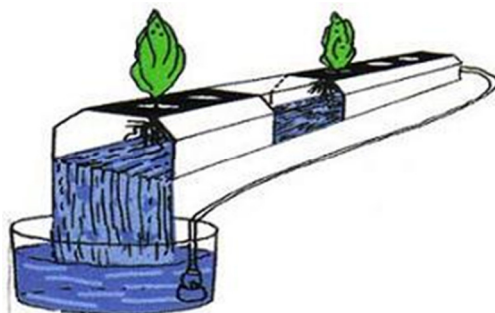
2.2.1 Δεξαμενές εκτροφής ψαριών και καλλιέργειας φυτών

Όπως αναφέρθηκε οι δεξαμενές εκτροφής των ψαριών που αποτελούνταν το κάθε ενυδρειοπονικό σύστημα ήταν υάλινες με πάχος τοιχώματος 7-8 mm, σχήματος τετραγώνου και όγκου 36, 4 L. Σε κάθε δεξαμενή εκτροφής κατασκευάστηκε σύστημα απορροής από PVC σωλήνα διαμέτρου Φ25 mm και συνδέονταν με το φίλτρο τύπου sump (Εικ.3).

Η μέθοδος του θρεπτικού υποστρώματος (NFT) διαμέσου της μεμβράνης που δημιουργείται συνίσταται στο γεγονός ότι οι ρίζες των φυτών εκτίθενται σε ένα λεπτό στρώμα νερού που περιέχει θρεπτικά συστατικά το οποίο ρέει συνήθως διαμέσου ενός σωλήνα PVC (Εικ.3). Η ιδέα στηρίχτηκε στη δημιουργία μιας αβαθούς ζώνης όπου το νερό καθώς ρέει διαπερνά το κάτω μέρος της ρίζας (παχύ στρώμα) που αναπτύσσεται στο σωλήνα ενώ το επάνω μέρος της ρίζας εκτίθεται στον αέρα, λαμβάνοντας με τον τρόπο αυτό επαρκές οξυγόνο (Nelson, 2008).

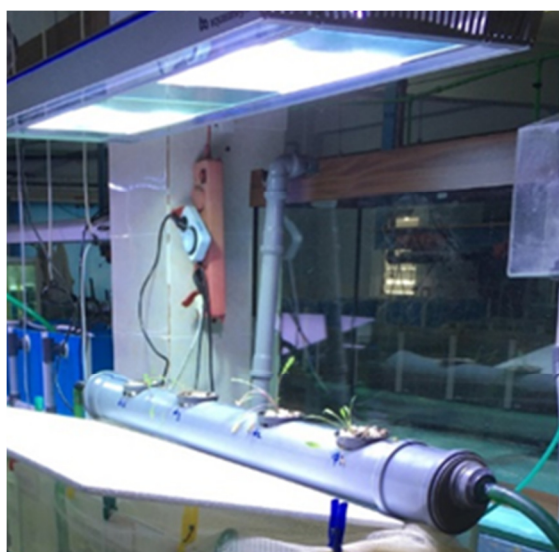
Για την βέλτιστη λειτουργία της υδροπονικής δεξαμενής τύπου NFT ελήφθησαν υπόψη τεχνικά χαρακτηριστικά όπως η κλίση και το μήκος του σωλήνα PVC, και ο ρυθμός ροής τα οποία θα πρέπει να είναι σωστά υπολογισμένα προκειμένου τα φυτά να λαμβάνουν επαρκή ποσότητα νερού, οξυγόνου και θρεπτικά συστατικά (Nelson, 2008). Οι υδροπονικές δεξαμενές καλλιέργειας θρεπτικού υποστρώματος NFT ήταν κυλινδρικού σχήματος διαμέτρου Φ 100 mm και μήκους

1,16 ± 0,02 m. Σε κάθε σύστημα NFT διανοίχθηκαν 4 οπές διαμέτρου 8 cm σε απόσταση 21 cm προκειμένου να τοποθετηθούν τα φυτοδοχεία με τη ρόκα (Εικ.4).



Εικόνα 3. Υδροπονικό σύστημα δημιουργίας θρεπτικού υποστρώματος NFT (Πηγή: Nelson, 2008)

Η κατασκευή του πειραματικού συστήματος NFT μπορεί να διατηρήσει πολύ υψηλή πυκνότητα φυτών. Στα συστήματα NFT, το βιολογικό φίλτρο γίνεται ζωτικής σημασίας καθώς δεν υπάρχει μεγάλη επιφάνεια όπου μπορούν να αναπτυχθούν κοινότητες βακτηρίων (Nelson, 2008). Ο αριθμός των φυτών που προστέθηκε σε κάθε υδροπονική δεξαμενή θρεπτικού υποστρώματος (NFT) έγινε σύμφωνα με την κάλυψη των ημερήσιων αναγκών τους σε αζωτούχες ενώσεις και υπολογίστηκε στα 4 φυτά. Σύμφωνα με τους Endut et al. (2009), ο αυξημένος αριθμός φυτών στην υδροπονική δεξαμενή αποτελεί περιοριστικό παράγοντα στην ανάπτυξη των φυτών εξαιτίας της μειωμένης ημερήσιας κάλυψης των θρεπτικών αναγκών του σε αζωτούχες ενώσεις.



Εικόνα 4. Κυλινδρική υδροπονική δεξαμενή για την καλλιέργεια φυτών θρεπτικού υποστρώματος (NFT) (Πηγή: Προσωπικό αρχείο).

2.2.2 Παροχή νερού και ροή αέρα

Η παροχή του νερού ρυθμίστηκε να είναι σταθερή σε όλα τα συστήματα ενυδρειοπονίας και υπολογίστηκε να είναι ίση με $38,0 \pm 9,6 \text{ m}^3/\text{d}$ και συνεχής εξασφαλίζοντας μια σταθερή ταχύτητα φίλτραρίσματος στα συστήματα ίση με $0,73 \text{ cm}/\text{min}$. Ο αερισμός στα συστήματα ενυδρειοπονίας επιτεύχθηκε μέσω του κεντρικού συστήματος παροχής αέρα όπου παρέχονταν ατμοσφαιρικός οξυγόνο διαμέσου μιας αντλίας (Siemens 3200pw) αποσκοπώντας στη διατήρηση των επίπεδων κορεσμού του διαλυμένου οξυγόνου στο $75\% - 80\%$. Η καλύτερη διάχυση του αέρα στα ενυδρεία εκτροφής των ψαριών και υδροπονικής καλλιέργειας των φυτών επιτεύχθηκε διαμέσου μιας αερόπετρας πωρόλιθου διαστάσεων $12 \times 25 \text{ mm}$. Η ροή του αέρα ρυθμίστηκε και ήταν παρόμοια σε όλα τα συστήματα ενυδρειοπονίας και υπολογίστηκε ίση με $16,5 \pm 8,81 \text{ cm}^3/\text{sec}$.

2.2.3 Φωτισμός

Στα φυτά παρέχοντας τεχνητό φως από λαμπτήρες (AQUA MEDIC aqua sun light NG 2 X 150W + 2 X T5 54W) οι οποίοι τοποθετήθηκαν σε ύψος 60 cm από τα ενυδρειοπονικά συστήματα. Αρχικά κατά την προσαρμογή των φυτών στα συστήματα και για την μείωση του stress στα φυτά η φωτοπερίοδος ρυθμίστηκε στις 4 h συνεχούς παροχής ($8:00\text{πμ} - 11:00\text{πμ}$) για διάστημα 8 ημερών. Μετά την περίοδο εγκλιματισμού των φυτών στα συστήματα η φωτοπερίοδος ρυθμίστηκε να είναι στις 9 ώρες ($8:00 \text{ πμ} - 17:00 \text{ μμ}$) ακολουθώντας εκείνη του μηνός Δεκεμβρίου μέχρι το πέρας της καλλιέργειας.

2.3 Σιτηρέσιο και χορήγηση τροφής

Για τη μελέτη της ανάπτυξης του λαβρακιού διεξάχθηκε πείραμα διατροφής με διάρκεια 35 ημέρες στο οποίο χορηγήθηκαν εμπορικά σύμπηκτα (Formula ONE Marine Pellet, Medium Pellet) διαμέτρου $1,5 \text{ mm}$ (Πιν 1) περιεκτικότητας σε πρωτεΐνη $41,1\%$. Η εν λόγω δίαιτα επιλέχθηκε λόγω της υψηλής συνεκτικότητας και της χαμηλής διαλυτοποίησης που παρουσίαζε διευκολύνοντας με τον τρόπο αυτό την ημερήσια συλλογή των υπολειμμάτων της τροφής από τις δεξαμενές εκτροφής των ψαριών.

Πίνακας 1. Σύσταση της τροφής που χρησιμοποιήθηκε στην πειραματική διαδικασία

	Πρωτεΐνη (min)	Λίπος (min)	Ινώδες ουσίες (max)	Υγρασία (max)	Τέφρα (max)
(%)	41,1	9	2,4	14,5	10,5

Συστατικά τροφής: γαρίδα, σόγια, αλεύρι σιταριού, σαρδέλα, αραβόσιτο, σπιρουλίνα, λάδι σολομού, σκόρδο, ανόργανα άλατα (ιώδιο, οξείδιο του σιδήρου, μαγγάνιο, οξείδιο μαγνησίου, θεικός 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, κανθαξαντίνη), ζύμη (β-γλυκάνη).

Η χορήγηση της τροφής γινόταν με το χέρι 3 φορές ημερησίως, 6 φορές την εβδομάδα ανά 3 ώρες (9:30 πμ – 11:30 πμ – 15:30 μμ) κατά τη διάρκεια της ημέρας. Το επίπεδο διατροφής προσδιορίστηκε στο 5% και διατηρήθηκε σταθερό καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος (Deering et al. 1997, Eroldoğan et. al. 2004). Η χορήγηση του σιτηρεσίου γίνονταν σε ημερήσια βάση για όλες τις ημέρες της εβδομάδας με εξαίρεση την Κυριακή όπου τα λαβράκια διατηρούνταν σε ασιτία. Η τροφή ζυγίζονταν σε ημερήσια βάση με ζυγό ακριβείας στο δεύτερο δεκαδικό ψηφίο (AND FX-3000i WP) και τοποθετούνταν σε ειδικά πλαστικά φιαλίδια στο ψυγείο στους 4°C (Εικ.5). Κάθε δεκαπέντε ημέρες επαναπροσδιορίζονταν το βάρος των ιχθυδίων λαβρακιού προκειμένου να προσδιοριστεί εκ νέου η μέση χορηγούμενη ποσότητα τροφής. Ο Πίνακας 2 παρουσιάζει την ποσότητα τροφής που χορηγήθηκε καθ' όλη την πειραματική διαδικασία.

Πίνακας 2. Ποσότητα τροφής/ημέρα που χορηγήθηκε καθ' όλη τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας (40 ημέρες).

	1.5 ppt			5 ppt			7 ppt		
ΗΜΕΡΕΣ	A1	A2	A3	B1	B2	B3	Γ1	Γ2	Γ3
0-15	1,88 (gr)	2,14 (gr)	1,72 (gr)	2,14 (gr)	1,95 (gr)	2,01 (gr)	2,00 (gr)	1,97 (gr)	1,86 (gr)
15-35	2,05 (gr)	2,84 (gr)	2,29 (gr)	2,83 (gr)	1,89 (gr)	2,38 (gr)	2,46 (gr)	2,71 (gr)	2,45 (gr)



Εικόνα 5. Ζύγισμα τροφής και προσθήκη στο ειδικό φιαλίδιο (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)

Η ημερήσια ποσότητα τροφής που χορηγούνται υπολογίζονται σύμφωνα με τον τύπο: $F=(MB \times E\Delta\% \times \text{Αριθ.Ατομ})/\text{Αρ.Γευμ.}$

Όπου: F: Χορηγούμενη τροφή (g)

MB: Μέσο βάρος λαβρακιού (g)

EΔ: Επίπεδο διατροφής (%)

Αριθ. Ατ.: Αριθμός ατόμων λαβρακιού

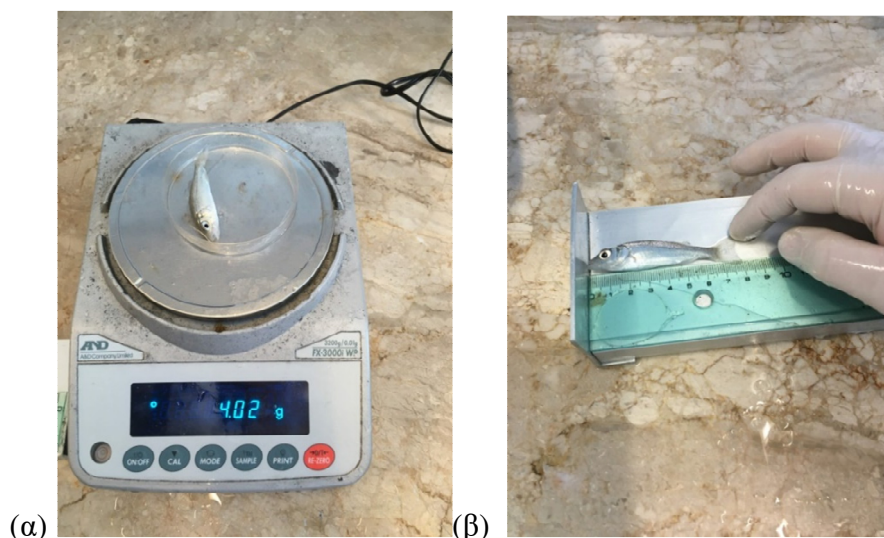
Αρ. Γευμ.: Αριθμός γευμάτων (3 γεύματα)

2.4 Μετρήσεις μορφομετρικών χαρακτηριστικών ψαριών και φυτών

2.4.1 Μετρήσεις μορφομετρικών χαρακτηριστικών ατόμων λαβρακιού

Μετρήθηκε το ολικό μήκος (L, cm) και ολικό βάρος (W, gr) των ατόμων λαβρακιού στην αρχή του πειράματος (d0), την 15^η ημέρα (d15) και την 40^η ημέρα (d40). Τα ιχθύδια λαβρακιού πριν από κάθε μέτρηση παρέμειναν σε ασιτία για 24 h και στη συνέχεια αναισθητοποιούνταν σε λουτρό 2-φαινοξαιθανόλης σε συγκέντρωση 0,20 mL/L. Για τις μετρήσεις του ολικού βάρους χρησιμοποιήθηκε

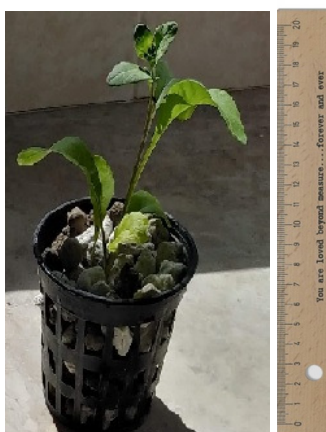
ζυγός ακριβείας (AND FX-3000i WP) με ακρίβεια δεύτερο δεκαδικού ψηφίου (Εικ. 6α) και για το ολικό μήκος χρησιμοποιήθηκε ιχθυόμετρο (Εικ. 6β).



Εικόνα 6. (α) Μέτρηση ολικού βάρους (W) του λαβρακιού (β) μέτρηση ολικού μήκους (L) (Πηγή: προσωπικό αρχείο).

2.4.2 Μετρήσεις μορφομετρικών χαρακτηριστικών ατόμων κρίταμου

Η μέτρηση των μορφομετρικών χαρακτηριστικών των φυτών γίνονταν με χάρακα και περιλάμβανε την καταμέτρηση του ύψους της ρόκας κάθε 10 ημέρες. Συνολικά πραγματοποιήθηκαν 3 μετρήσεις φυτών. Εκτός των άλλων 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 βλαστικού μέρους του φυτού (φύλο) και ο αριθμός των ξηρών βλαστών (Εικ. 7).



Εικόνα 7. Μέτρηση ύψους φυτού σε cm (Πηγή: προσωπικό αρχείο)

2.5 Έλεγχος ποιότητας νερού

Κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας μετρήθηκαν η ολική αμμωνία (TAN), τα νιτρώδη ιόντα (NO_2^-), τα νιτρικά ιόντων (NO_3^-), τα φωσφορικά ιόντα (PO_4), το μαγνήσιο (Mg) και ο σίδηρος (Fe) μια φορά την εβδομάδα. Οι μετρήσεις των φυσικοχημικών παραμέτρων πραγματοποιούνταν πριν από το πρώτο γεύμα στην είσοδο της υδροπονικής δεξαμενής, έξοδος του νερού από την υδροπονική δεξαμενή στα ψάρια φασματοφωτομετρικά (HACH 3900 spectofotometer). Αναλυτικά η TAN μετρούνταν στην είσοδο (inlet) του νερού στο φίλτρο και στην έξοδο (outlet) του νερού από το φίλτρο. Τα NO_3^- και PO_4^- μετρούνταν αντίστοιχα στην είσοδο του νερού προς την υδροπονική δεξαμενή (Grow bed) και στην έξοδο του νερού στη δεξαμενή των ψαριών.

Το Mg, τα NO_2^- , μετριούνταν επίσης μια φορά την εβδομάδα από την δεξαμενή εκτροφής των ψαριών. Το διαλυμένο οξυγόνο, τα επίπεδα κορεσμού σε οξυγόνο, το pH και η θερμοκρασία πραγματοποιούνταν δύο φορές την εβδομάδα με φορητό ηλεκτρονικό όργανο μέτρησης (HACH HQ 40 D). Τέλος, σε ημερήσια βάση γίνονταν ο έλεγχος της αλατότητας του νερού με το διαθλασίμετρο (Aqua Medic refractometer).

2.6 Δείκτες ανάπτυξης λαβρακιού και ρόκας

Για τον υπολογισμό της ανάπτυξης και αξιοποίησης της τροφής χρησιμοποιήθηκαν οι ακόλουθοι δείκτες σύμφωνα με τις παρακάτω μαθηματικές σχέσεις (Παπουτσόγλου 2008, Bahadir Koca et.al 2009, Μεντέ και Νέγκας 2011):

Ημερήσια ποσότητα τροφής:

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

Αύξηση σωματικού βάρους (WG):

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

Ειδικός ρυθμός ανάπτυξης:

$$S.G.R. (\%/ημέρα) = [Ln (Wf) - Ln (Wi)] * 100 / \text{ημέρες σίτισης}$$

όπου: Wf = τελικό βάρος (gr) και Wi = 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):

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

Οι δείκτες ανάπτυξης της ρόκας υπολογίστηκε σύμφωνα με τη μαθηματική σχέση που περιγράφεται από τους Endut et al. (2010) και Lennard (2012):

Αύξηση ύψους φυτού (cm/d):

$$\text{Αύξηση ύψους φυτού (cm/d)} = \text{τελικό ύψος φυτού/ημέρες καλλιέργειας}$$

Διαφορά ύψους (cm)

$$WH (cm) = \text{Τελικό ύψος φυτού} - \text{Αρχικό ύψος φυτού}$$

Διαφορά ύψους (dH):

$$\text{Διαφορά ύψους (dH)} = \text{Τελικό ύψος} - \text{Αρχικό ύψος}$$

Ποσοστιαία αύξηση φυτού (G) και ποσοστιαία αύξηση φυτού/ημέρα (G%):

$$G\% = (\text{Τελικό ύψος} - \text{Αρχικό ύψος}) * 100 / \text{Αρχικό ύψος}$$

$$G\% = \text{Τελικό ύψος} - \text{Αρχικό ύψος} * 100 / 35$$

Αριθμός αναπτυσόμενων κλάδων

Μετριούνταν ο αριθμός των νέων κλάδων σε κάθε φυτό κάθε 10 ημέρες

Τέλος μετρήθηκε ο ογκομετρικός ρυθμός απομάκρυνσης της αμμωνίας (VTR) ανά ημέρα ανά m^3 επιφάνειας του φίλτρου από τον τύπο:

$VTR (gr TAN/m^3/d) = (TAN_{in} - TAN_{out}) * Q / V$ όπου: TAN_{in} και TAN_{out} (mg/L) είναι η συγκέντρωση της αμμωνίας στην εισροή και εκροή του νερού από το φίλτρο, Q είναι η παροχή του νερού σε (L/h) και V είναι ο όγκος του υλικού πλήρωσης του φίλτρου (m^3).

2.7 Στατιστική Ανάλυση

Τα δεδομένα που προέκυψαν από την πειραματική διαδικασία (ποιότητα νερού, ανάπτυξη λαβρακιού και ρόκας) επεξεργάστηκαν στατιστικά χρησιμοποιώντας την ανάλυση διακύμανσης μονής κατεύθυνσης (one way ANOVA)

με επίπεδο σημαντικότητας 5% και κάνοντας χρήση του Tukey test προκειμένου να συγκριθούν οι διαφορές ανάμεσα στους μέσους όρους διαφόρων παραμέτρων (Zar, 1999). Η ομοιογένεια και η παραλλακτικότητα των μέσων όρων ελέγχθηκε σύμφωνα με Levene's test. Όταν οι διακυμάνσεις μεταξύ των μέσων όρων ήταν άνισες τότε εφαρμόστηκε η Kruskal wallis μονόδρομη ανάλυση διακύμανσης. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται ως μέσος όρος και τυπικό σφάλμα ($MO \pm SEM$).

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 Ποιότητα νερού

Ο Πίνακας 3 παρουσιάζει τις συγκεντρώσεις των ανόργανων θρεπτικών συστατικών της TAN στο σημείο εισόδου του νερού απορροής στο φίλτρο (TAN_{in}), των νιτρικών ιόντων ($NO_3^-_{in}$, & $NO_3^-_{out}$), των φωσφορικών ιόντων (PO_4^-), στο σημείο εισόδου και εξόδου της υδροπονικής δεξαμενής NFT και του σιδήρου (Fe) στην είσοδο του νερού στην NFT για όλο το διάστημα της καλλιέργειας. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η TAN_{in} παρουσίασε στατιστικά την μικρότερη τιμή στο ενυδρειοπονικό σύστημα με αλατότητα 7 ppt σε σχέση με εκείνα που είχαν αλατότητα 1,5 ppt και 5 ppt, αντίστοιχα (ANOVA, $p < 0.05$) (Πιν. 3).

Πίνακας 3. Ποιότητα νερού στα ενυδρειοπονικά συστήματα για όλο το διάστημα εκτροφής.

	1.5 ppt	5 ppt	7 ppt
TAN_{in} (mg/L)	0.075 ± 0.001^a	0.082 ± 0.01^a	0.04 ± 0.01^b
VTR (gr TAN/m ³ /d)	5.96 ± 2.08^a	5.21 ± 1.35^b	6.85 ± 0.69^a
$NO_3^-N_{in}$ (mg/L)	28.64 ± 7.43^a	15.37 ± 3.84^a	6.80 ± 2.84^a
$NO_3^-N_{out}$ (mg/L)	25.09 ± 5.66^a	12.34 ± 2.89^a	5.46 ± 1.70^b
$PO_4^-_{in}$ (mg/L)	3.68 ± 0.42^a	1.55 ± 0.72^b	0.32 ± 0.06^b
$PO_4^-_{out}$ (mg/L)	0.31 ± 0.02^a	0.37 ± 0.10^a	0.17 ± 0.4^a
Fe _{in} (mg/L)	0.10 ± 0.01^a	0.09 ± 0.02^a	0.09 ± 0.01^a
T °C	22.7 ± 0.02^a	22.7 ± 0.27^a	22.7 ± 0.27^a
pH	7.6 ± 0.07^a	7.7 ± 0.27^a	7.7 ± 0.07^a

Οι τιμές παρουσιάζονται ως $MO \pm SEM$ (n=10). Οι μέσοι όροι κάθε παραμέτρου μεταξύ των μεταχειρίσεων που φέρουν τον ίδιο εκθέτη δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές ($p > 0.05$).

Ο ρυθμός απομάκρυνσης της αμμωνίας (VTR) ήταν στατιστικά μικρότερος (ANOVA, $p < 0.05$) στην αλατότητα 5 ppt σε σχέση με υπόλοιπες δύο μεταχειρίσεις (Πιν.3). Τα $NO_3^-N_{in}$, τα $PO_4^-_{out}$, ο Fe_{in}, το pH και η θερμοκρασία (T°C) δεν παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των τριών μεταχειρίσεων (Πιν.3), (ANOVA, $p > 0.05$). Τα $NO_3^-N_{out}$ στο σημείο εξόδου του νερού από την

υδροπονική δεξαμενή παρουσίασαν στατιστικά τη μικρότερη τιμή στη μεταχείριση με αλατότητα 7 ppt, σε σχέση με τις υπόλοιπες δύο (Πιν. 3), (ANOVA, $p < 0.05$). Επίσης τα $\text{PO}_4^=_{\text{in}}$, στο σημείο εισόδου παρουσίασαν στατιστικά τη μεγαλύτερη τιμή στην αλατότητα 1,5 ppt σε σχέση με τις αλατότητες 5 ppt και 7 ppt που ήταν μικρότερες (Πιν.3, ANOVA, $p < 0.05$).

3.2 Επιβίωση λαβρακιού και ρόκας

Η επιβίωση των ψαριών, δεν παρουσίασε στατιστικά σημαντικές διαφορές και στις τρεις μεταχειρίσεις και κυμάνθηκε από 80% έως 93,3% (Πιν.4). Επίσης η ρόκα παρουσίασε υψηλό ρυθμό επιβίωσης και στις τρεις μεταχειρίσεις (1.5 ppt, 5 ppt και 7 ppt) χωρίς να παρατηρηθούν αξιοσημείωτες απώλειες στις ρίζες του φυτού ή στους βλαστούς της με τον αριθμό των αναπτυσσόμενων κλάδων να είναι στατιστικά υψηλότερος στις αλατότητες 1.5 ppt και 5 ppt σε σχέση με την υψηλότερη αλατότητα 7 ppt.

3.3 Δείκτες ανάπτυξης λαβρακιού

3.3.1 Ειδικός ρυθμός ανάπτυξης και αύξηση βάρους

Το μέσο αρχικό βάρος και μήκος του λαβρακιού στην έναρξη του πειράματος δεν παρουσίασαν σημαντικά στατιστικές διαφορές μεταξύ των τριών μεταχειρίσεων (ANOVA, $p > 0.05$). Η αύξηση βάρους (WG_{d40}), ο αρχικός (K_{in}) και τελικός (K_{d40}) συντελεστής ευρωστίας καθώς η ποσοστιαία αύξηση βάρους (BWL_{40d}) δεν παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές (ANOVA, $p > 0.05$). Τα λαβράκια στο τέλος της πειραματικής διαδικασίας παρουσίασαν στατιστικά καλύτερη ανάπτυξη (ANOVA, $p < 0.05$) στο 7 ppt ($\text{SGR}_{d40} = 1.90\%/d$) σε σχέση με τα λαβράκια στις αλατότητες 1.5 ppt ($\text{SGR}_{d40} = 2.11\%/d$) και 5 ppt ($\text{SGR}_{d40} = 2.23\%/d$), αντίστοιχα (Πιν.4).

Πίνακας 4. Δείκτες ανάπτυξης του λαβρακιού στα ενυδρειοπονικά συστήματα για όλο το διάστημα εκτροφής.

	1.5 ppt	5 ppt	7 ppt
Αρχικό μέσο βάρος (W_{in})	3.82 ± 0.17^a	4.14 ± 0.16^a	3.89 ± 0.10^a
Τελικό μέσο βάρος (W_{d40})	7.84 ± 0.37^a	8.53 ± 0.35^a	7.72 ± 0.24^a
Επιβίωση (S%)	90 ± 10.0^a	80 ± 10.0^a	93.3 ± 3.3^a
Αύξηση βάρους (WG_{d40})	4.09 ± 0.29^a	4.62 ± 0.28^a	3.91 ± 0.17^a
Αρχικός Συντελεστής ευρωστίας (K_{in})	0.93 ± 0.04^a	0.93 ± 0.05^a	0.88 ± 0.03^a
Τελικός Συντελεστής ευρωστίας (K_{d40})	1.19 ± 0.08^a	1.17 ± 0.07^a	1.14 ± 0.04^a
Ειδικός ρυθμός ανάπτυξης (SGR_{d40})	2.11 ± 0.11^a	2.23 ± 0.09^a	1.90 ± 0.04^b
Ποσοστιαία αύξηση βάρους (BWI_{d40})	114.35 ± 11.95^a	121.22 ± 7.74^a	102.32 ± 3.80^a
Αρχικό μέσο μήκος (L_{in})	7.5 ± 0.07^a	7.7 ± 0.09^a	7.7 ± 0.07^a
Τελικό μέσο Μήκος (L_{d40})	8.8 ± 0.13^a	9.1 ± 0.12^a	8.8 ± 0.09^a

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

3.3.2 Δείκτες αξιοποίησης της τροφής

Ο συντελεστής μετατρεψιμότητας της τροφής (FCR_{d40}) μεταξύ των λαβρακίων που εκτράφηκαν στα ενυδρειοπονικά συστήματα με αλατότητες 1.5 ppt, 5 ppt και 7ppt δεν παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές (ANOVA, $p > 0.05$). Η μέση τιμή του συντελεστή μετατρεψιμότητας της τροφής (FCR_{d40}) στο 1.5 ppt ήταν 1.23 ± 0.12 , στο 5 ppt ήταν 1.05 ± 0.06 και 1.23 ± 0.08 στο 7 ppt (Πιν.5).

Η ημερήσια πρόσληψη της τροφής (DFI_{d40}) στο τέλος του πειράματος δεν παρουσίασε στατιστικά σημαντικές διαφορές και στις τρεις αλατότητες (ANOVA, $p > 0.05$) (Πιν.5). Η μέση τιμή του συντελεστή ημερήσιας πρόσληψης τροφής (DFI_{d40}) ήταν 2.95 ± 0.3 στο 1.5 ppt, 2.62 ± 0.15 στο 5 ppt, ενώ στο 7 ppt ήταν 3.08 ± 0.19 (Πίν.).

Ο συντελεστής απόδοσης των πρωτεϊνών (PER_{d40}) στο τέλος του πειράματος δεν παρουσίασε στατιστικά σημαντικές διαφορές (ANOVA, $p > 0.05$) (Πιν.5) και στις τρεις μεταχειρίσεις. Η μέση τιμή του συντελεστή απόδοσης πρωτεϊνών (PER_{d40}) ήταν 2.32 ± 0.18 στο 1.5 ppt, 2.54 ± 0.19 στο 5 ppt και 2.12 ± 0.10 στο 7ppt. (Πίν5).

Πίνακας 5. Δείκτες αξιοποίησης της τροφής στα ενυδρειοπονικά συστήματα για όλο το διάστημα εκτροφής.

	1.5 ppt	5 ppt	7 ppt
Ρυθμός μετατρεψιμότητας τροφής (FCR _{d40})	1.23 ± 0.12 ^a	1.05 ± 0.06 ^a	1.23 ± 0.08 ^a
Ημερήσια πρόσληψη τροφής (DFI _{d40})	2.95±0.3 ^a	2.62±0.15 ^a	3.08±0.19 ^a
Ρυθμός απόδοσης πρωτεΐνης (PER _{d40})	2.32 ± 0.18 ^a	2.54 ± 0.19 ^a	2.12 ± 0.10 ^a

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

3.4 Ανάπτυξη ρόκας

Ο Πίνακας 6 παρουσιάζει τους δείκτες ανάπτυξης της ρόκας στις αλατότητες 1.5 ppt, 5 ppt και 7 ppt για όλο το διάστημα εκτροφής (40 ημέρες) στα ενυδρειοπονικά συστήματα. Όπως προκύπτει από τον πίνακα 6 το αρχικό ύψος της ρόκας δεν παρουσιάζει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των τριών μεταχειρίσεων (ANOVA, p>0.05).

Το τελικό ύψος της ρόκας, η αύξηση μήκους της ρόκας και η ποσοστιαία αύξηση της ρόκας (Πιν.6) στατιστικά ήταν μεγαλύτερα (ANOVA, p<0.05) στην αλατότητα 1.5 ppt σε σχέση με τη ρόκα στις αλατότητες 5 ppt και 7 ppt, αντίστοιχα.

Η ποσοστιαία αύξηση του ύψους της ρόκας ανά ημέρα (Πιν.6) ήταν στατιστικά μεγαλύτερη στο 1.5 ppt σε σχέση με εκείνη στις αλατότητες 5 ppt και 7 ppt, αντίστοιχα, όπου είχα τη μικρότερη ποσοστιαία αύξηση (ANOVA, p<0.05).

Τέλος ο τελικός αριθμός των αναπτυσσόμενων κλαδιών (Πιν.6) ήταν στατιστικά μικρότερος στο 7 ppt (0,3 ± 0.25 κλάδοι), (ANOVA, p<0.05) σε σχέση με εκείνη των 1.5 ppt που ήταν μεγαλύτερη (5.3 ± 0,62 κλάδοι).

Πίνακας 6. Δείκτες ανάπτυξης της ρόκας στα ενυδρειοπονικά συστήματα για όλο το διάστημα εκτροφής.

	1.5 ppt	5 ppt	7 ppt
Αρχικό ύψος φυτού (H_{in})	11.1 ± 0.58 ^a	10.2 ± 0.85 ^a	10.9 ± 0.42 ^a
Τελικό ύψος φυτού (H_{fin})	14.0 ± 0.27 ^a	10.9 ± 0.76 ^b	11.4 ± 0.37 ^b
Αύξηση ύψους φυτού (dH)	2.9 ± 0.63 ^a	0.7 ± 0.27 ^b	0.5 ± 0.20 ^b
Ποσοστιαία αύξηση φυτού (% G)	27.0 ± 7.23 ^a	7.6 ± 2.93 ^b	4.6 ± 1.71 ^b
Ποσοστιαία αύξηση φυτού/ημέρα (%G/d)	9.6 ± 2.11 ^a	2.4 ± 0.88 ^b	1.7 ± 0.67 ^b
Αριθμός νέων κλάδων (αναπτυσσόμενοι)	5.3 ± 0,62 ^a	3.4 ± 1.54 ^a	0,3 ± 0.25 ^b

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

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

4.1 Ποιότητα νερού

Οι φυσικοχημικές παράμετροι του νερού, καθ' όλη τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας διατηρήθηκαν σε σταθερά επίπεδα χωρίς να παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (ANOVA, $p > 0.05$) και στις τρεις μεταχειρίσεις.

Τα αποτελέσματα της παρούσης εργασίας έδειξαν ότι το pH κυμάνθηκε εντός του εύρους που προτείνεται για τα συστήματα ενυδρειοπονίας σύμφωνα με τους Somerville et al. (2014). Το pH κυμάνθηκε από 7,6 έως 7,7 και στα τρία ενυδρειοπονικά συστήματα με αλατότητες 1,5 ppt, 5 ppt 7 ppt, αντίστοιχα, χωρίς να παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές και ήταν ελαφρώς υψηλότερο από τις τιμές pH (7,4-7,5) που αναφέρουν οι Vlahos et al. (2019) σε ενυδρειοπονικά συστήματα υφάλμυρου νερού με κρίταμο και τσιπούρα σε αλατότητες 8 ppt και 20 ppt, αντίστοιχα. Επίσης, οι Barbosa et al. (2020), αναφέρουν ότι στο σύστημα ενυδρειοπονίας (γλυκό νερό) με τιλάπια, ρόκα, μαρούλι και κάρδαμο το pH ήταν 7,5, ελαφρώς μικρότερο από το pH του παρόντος πειράματος. Τέλος, οι Nozzi et al. (2016) σε πειράματα που διεξήγαγαν σε υφάλμυρο σύστημα ενυδρειοπονίας (λαβράκι-σέσκουλο) με συνεχώς μειούμενη αλατότητα αναφέρουν υψηλότερες τιμές pH (8-8,4) σε σχέση με το pH της παρούσας μελέτης.

Η αμμωνία στο παρόν πείραμα κυμάνθηκε από 0,04 έως 0,08 mg/L για όλες τις μεταχειρίσεις με τη μικρότερη στατιστικά συγκέντρωση να καταγράφεται στο 7 ppt (0,04 mg/L). Οι τιμές της TAN του παρόντος πειράματος συμφωνούν με εκείνες (TAN=0,05 mg/L) που αναφέρονται από τους Nozzi et al. (2016), σε υφάλμυρο σύστημα ενυδρειοπονίας με λαβράκι και σέσκουλο με μειούμενη αλατότητα, και διαφέρουν (πολύ μικρότερες) από εκείνες που αναφέρουν οι Vlahos et al. (2019) που κυμαίνονταν από 0,33 έως 0,45 mg/L. Επίσης, η Τάσιου (2019), σε υφάλμυρο σύστημα ενυδρειοπονίας λαβρακιού και κρίταμου σε αλατότητες 8 ppt, 14 ppt και 20 ppt αναφέρει πολύ μεγαλύτερες τιμές TAN ($0,24 \pm 0,05$ mg/L έως $0,30 \pm 0,04$ mg/L) σε σύγκριση με τη συγκέντρωση της TAN του παρόντος πειράματος.

Σε ότι αφορά τα νιτρικά ιόντα στην παρούσα εργασία, κυμάνθηκαν από $15,37 \pm 3,84$ mg/L για την αλατότητα 5 ppt, $28,64 \pm 7,43$ mg/L για την αλατότητα 1,5 ppt και $6,80 \pm 2,84$ mg/L για την αλατότητα 7 ppt και ήταν μικρότερες σε σύγκριση με

τα νιτρικά ιόντα που αναφέρουν οι Vlahos et al. (2019) σε υφάλμυρο σύστημα ενυδρειοπονίας με τσιπούρα και κρίταμο (76,4 έως 77,2 mg/L) και οι Nozzi et al. (2016) σε υφάλμυρο σύστημα ενυδρειοπονίας με λαβράκι και σέσκουλο (60 mg/L).

Τα υψηλά επίπεδα νιτρικών ιόντων υποδηλώνουν την εύρυθμη λειτουργία του συστήματος ενυδρειοπονίας (Spotte 1992, Endut et al. 2009, Somerville et al. 2014 Vlahos et al. 2019). Οι Kotzen & Appelbaum (2010) σε πειράματα ενυδρειοπονίας με τιλάπια σε υφάλμυρο νερό, βρήκαν τιμές νιτρικών ιόντων κατά πολύ μικρότερες (μεταξύ 10-20 mg/L). Τέλος, σε ότι αφορά τα φωσφορικά ιόντα στα σημείο εισόδου στατιστικά η μεγαλύτερη συγκέντρωση παρατηρήθηκε στην μικρότερη αλατότητα (1,5 ppt) και ήταν της τάξης $3,68 \pm 0,42$ mg/L σε σχέση με τις αλατότητες 5 ppt ($1,55 \pm 0,72$ mg/L) και 7 ppt ($0,32 \pm 0,06$ mg/L). Οι τιμές αυτές συμφωνούν με εκείνες που αναφέρουν οι Barbosa et al. (2020) σε ενυδρειοπονικά συστήματα καλλιέργειας ρόκας και τιλάπιας.

Τα υψηλότερα επίπεδα PO_4 στο σύστημα NFT με αλατότητα 1,5 ppt ($3,68 \pm 0,42$ mg/L) και αλατότητα 5 ppt ($1,55 \pm 0,72$ mg/L) σε σχέση με το σύστημα NFT αλατότητας 7 ppt, υποδηλώνουν ότι η ρόκα δεν είναι σε θέση να χρησιμοποιήσει επαρκώς τα φωσφορικά.

Η ανοξική επώαση βακτηρίων στο φίλτρο, τα οποία χρησιμοποιούν τον άνθρακα επηρεάζει σημαντικά τη βιοχημική δραστηριότητα της απονιτροποίησης και την πρόσληψη φωσφορικών. Η απομάκρυνση των φωσφορικών από το νερό στο σύστημα αποδίδεται κυρίως στα βακτήρια απονιτροποίησης (Barak & van Rijn 2000 a,b, Barak et al. 2003). Εκτός από τον κύκλο του άνθρακα τα βακτήρια που είναι υπεύθυνα για την απονιτροποίηση συνδέονται επίσης και με τον κύκλο του θείου και του φωσφόρου στα συστήματα ανακυκλοφορίας του νερού. Ως εκ τούτου ένα τέτοιο σύστημα προκειμένου να λειτουργήσει ικανοποιητικά προϋποθέτει ότι η πρόσληψη των ορθοφωσφορικών από απονιτροποιητικά βακτήρια θα πρέπει να γίνεται χωρίς τα βακτήρια να υπερβαίνουν τις μεταβολικές τους απαιτήσεις ώστε να μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική μείωση του ορθοφωσφορικού από το νερό καλλιέργειας (van Rijn et al. 2006). Ο σίδηρος κυμάνθηκε από $0,09 \pm 0,01$ mg/L έως $0,10 \pm 0,01$ mg/L και για τις τρεις μεταχειρίσεις χωρίς να παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (ANOVA, $p > 0,05$). Σε υψηλά επίπεδα pH η απορρόφηση του σιδήρου από τα φυτά περιορίζεται. Η ογκομετρική απομάκρυνση της αμμωνίας VTR (gr TAN/m³/m) ήταν στατιστικά μεγαλύτερη στις αλατότητες 1,5 ppt και 7 ppt σε σύγκριση με την αλατότητα 5 ppt που ήταν μικρότερη (ANOVA, $p < 0,05$). Οι τιμές απομάκρυνσης της

αμμωνίας (VTR) ήταν πολύ μεγαλύτερες σε σύγκριση με εκείνες που παρουσιάζονται από τους Petrea et al. (2013) σε σύστημα ενυδρειοπονίας με διαφορετικές πυκνότητες φυτών σπανακιού και πέστροφα.

4.2 Ανάπτυξη λαβρακιού

Το λαβράκι συμπεριλαμβάνεται μεταξύ των εδώδιμων ειδών της Μεσογειακής υδατοκαλλιέργειας με αυξημένη εμπορική αξία. Παρουσιάζει αυξημένη ανθεκτικότητα και προσαρμόζεται σε διαφορετικά εύρη αλατότητας ακόμη και στο γλυκό νερό υπό την προϋπόθεση η προσαρμογή αυτή να γίνεται σταδιακά (FAO 2013). Τα αποτελέσματα της παρούσης πειραματικής εργασίας έδειξαν ότι το λαβράκι παρουσίασε ικανοποιητική ανάπτυξη και αυξημένη επιβίωση στο υφάλμυρο περιβάλλον ενυδρειοπονίας σε τρεις διαφορετικές αλατότητες 1.5 ppt, 5 ppt και 7 ppt.

Ποιο αναλυτικά, με την έναρξη της πειραματικής διαδικασίας τα λαβράκια δεν παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές και στις τρεις μεταχειρίσεις (ANOVA, $p>0.05$). Στο τέλος της πειραματικής διαδικασίας το λαβράκι παρουσίασε στατιστικά παρόμοιο (ANOVA, $p>0.05$) τελικό βάρος, τελικό μήκος, αύξηση βάρους, τελικό συντελεστή ευρωστίας και ποσοστιαία αύξηση βάρους στα συστήματα ενυδρειοπονίας με αλατότητες 1.5 ppt, 5 ppt & 7 ppt. Η επιβίωση κυμάνθηκε σε υψηλά ποσοστά καθ' όλη τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας η οποία κυμαίνονταν από 90 % για τη μεταχείριση με αλατότητα 1.5 ppt, 80 % για την αλατότητα 5 ppt και 93.3 % για το ενυδρειοπονικό σύστημα με αλατότητα 7 ppt. Τα αποτελέσματα της παρούσης εργασίας συμφωνούν με εκείνα της Τάσιου (2019), όπου τα λαβράκια στο υφάλμυρο ενυδρειοπονικό σύστημα με κρίταμο παρουσίασαν παρόμοια ποσοστά επιβίωσης στις αλατότητες 8 ppt και 14 ppt. Οι Vlahos et al. (2019) αναφέρουν ότι οι τσιπούρες σε ανακυκλούμενο σύστημα ενυδρειοπονίας υφάλμυρου νερού με αλατότητες 8 ppt και 20 ppt παρουσίασαν επίσης υψηλά ποσοστά επιβίωσης τα οποία ήταν 99% και 97% αντίστοιχα. Οι Kotzen & Appelbaum (2010) αναφέρουν ότι οι τιλάπιες σε υφάλμυρο σύστημα ενυδρειοπονίας παρουσίασαν υψηλά ποσοστά επιβίωσης (84%) σε αλατότητα 1.2 ppt.

Οι Eroldoğan και Kumlu (2002) αναφέρουν ότι, τα λαβράκια σε υφάλμυρο σύστημα ανακύκλωσης (RAS) με διαφορετικές αλατότητες αναπτύσσονται παρόμοια

καλά σε αλατότητες 10 ppt και 20 ppt, αντίστοιχα. Ο ειδικός ρυθμός ανάπτυξης SGR (%/d) στο παρών πείραμα εμφανίστηκε να είναι στατιστικά καλύτερος (ANOVA, $p < 0.05$) στην αλατότητα 7 ppt (SGR= 1.90 ± 0.04 %/d) σε σχέση με τις αλατότητες 1.5 ppt (SGR= 2.11 ± 0.11 %/d) και 5 ppt (SGR= 2.23 ± 0.09 %/d) που ήταν μεγαλύτερος. Ο ειδικός ρυθμός ανάπτυξης (SGR) της παρούσης εργασίας είναι παρόμοιος με εκείνον που αναφέρεται από την Τάσιου (2019) για το λαβράκι σε υφάλμυρο σύστημα ενυδρειοπονίας με κρίταμο στην αλατότητα 8 ppt (SGR= $1,90 \pm 0,05$ %/d) και 14 ppt (SGR= $1.83 \pm 0,04$ %/d) σε σύγκριση με την υψηλότερη αλατότητα 20 ppt που ήταν μικρότερος (SGR= 1.44 ± 0.04 %/d). Οι Azzaydi et al. (2000) αναφέρουν ότι το λαβράκι παρουσίασε υψηλό SGR σε ανακυκλούμενο σύστημα εκτροφής κατά τους χειμερινούς μήνες.

Δεν είναι εμφανές ότι η αλατότητα επηρεάζει σημαντικά την βέλτιστη ανάπτυξη των ευρύαλων ειδών. Οι Eroldoğan και Kumlu (2002) έδειξαν ότι το λαβράκι που εκτράφηκε σε γλυκό νερό και σε αλατότητες 10 ppt και 20 ppt αναπτύσσεται καλύτερα σε σχέση με τα λαβράκια που εκτρέφονται σε αλατότητες 30 ppt και 40 ppt.

Τα αποτελέσματα του παρόντος πειράματος έδειξαν ότι η αύξηση βάρους (WG) των λαβρακιών δεν παρουσίασε στατιστικά σημαντικές διαφορές και στις τρεις μεταχειρίσεις (ANOVA, $p > 0.05$), η οποία κυμάνθηκε από 3.09 έως 4.62 gr. Οι Nozzi et al. (2016) αναφέρουν ότι το λαβράκι σε σύστημα ενυδρειοπονίας με γλυκό νερό παρουσίασε υψηλή αύξηση βάρους (WG) σε σχέση με το λαβράκι που εκτράφηκε στο ενυδρειοπονικό σύστημα με θαλασσινό νερό. Το λαβράκι παρουσιάζει καλύτερη ανάπτυξη σε χαμηλές αλατότητες.

Η ποσοστιαία αύξηση βάρους στο παρών πείραμα δεν παρουσίασε στατιστικά σημαντικές διαφορές για το λαβράκι και στις τρεις μεταχειρίσεις και κυμάνθηκε από 102 % για την αλατότητα 7 ppt, 114% για την αλατότητα 5 ppt και 114% για την αλατότητα 1.5 ppt, αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα του παρόντος πειράματος συμφωνούν με εκείνα των Islam et al. (2020 a,b), όπου τα λαβράκια παρουσίασαν υψηλή αύξηση βάρους στις αλατότητες 12 ppt και 6 ppt σε σχέση με την αλατότητα 32 ppt και με εκείνα της Τάσιου (2019) όπου το λαβράκι σε υφάλμυρο σύστημα ενυδρειοπονίας με αλατότητες 8 ppt, 14 ppt και 20 ppt παρουσίασε υψηλότερη ποσοστιαία αύξηση βάρους.

Ο συντελεστής μετατρεψιμότητας (FCR) της τροφής δεν παρουσίασε στατιστικά σημαντικές διαφορές (ANOVA, $p > 0.05$) σε όλες τις μεταχειρίσεις για όλο

το διάστημα εκτροφής και κυμάνθηκε από 1.05 για την αλατότητα 5 ppt, έως 1.23 για τις αλατότητες 1.5 ppt και 7 ppt, αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα της παρούσης εργασίας δεν συμφωνούν με εκείνα της Τάσιου (2019) όπου τα λαβράκια παρουσίασαν μικρότερο FCR (0.93) στο υφάλμυρο σύστημα ενυδρείοπονίας με αλατότητες 8 ppt και 14 ppt. Οι Waller et al. (2015) αναφέρουν ότι τα λαβράκια όταν εκτρέφονται σε ανακυκλούμενο σύστημα ενυδρείοπονίας με αλατότητες 15-16 ppt, παρουσιάζουν μικρότερο FCR (0.93) σε σχέση με εκείνο του παρόντος πειράματος.

Η ημερήσια πρόσληψη της τροφής (DFI) στο παρών πείραμα κυμάνθηκε από 2.62 gr/d για την αλατότητα 5 ppt, 2.95 gr/d για την αλατότητα 1.5 ppt έως 30.8 gr/d για την αλατότητα 7 ppt, χωρίς να παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (ANOVA, $p > 0.05$). Τα αποτελέσματα της παρούσης εργασίας δεν συμφωνούν με εκείνα της Τάσιου (2019), όπου τα λαβράκια παρουσίασαν μικρότερη ημερήσια πρόσληψη τροφής σε ενυδρείοπονικό σύστημα με αλατότητες 8 ppt, 14 ppt και 20 ppt, αντίστοιχα. Επίσης, τα αποτελέσματα του παρόντος πειράματος έδειξαν ότι ο ρυθμός απόδοσης της πρωτεΐνης (PER) δεν παρουσίασε στατιστικά σημαντικές διαφορές (ANOVA, $p > 0.05$) και ήταν κατά πολύ μεγαλύτερος από εκείνον που αναφέρουν η Τάσιου (2019) για το λαβράκι σε υφάλμυρο σύστημα ενυδρείοπονίας με αλατότητες 8 ppt, 14 ppt και 20 ppt και οι Καπετάνιος και Φράγκου (2019) για την τσιπούρα που αυξήθηκε σε υφάλμυρο σύστημα ενυδρείοπονίας με αλατότητες 8 ppt και 20 ppt, αντίστοιχα.

4.3 Ανάπτυξη ρόκας

Τα αποτελέσματα της παρούσης διπλωματικής εργασίας δείχνουν ότι τα φυτά της ρόκας που καλλιεργήθηκαν στο υφάλμυρο σύστημα ενυδρείοπονίας με αλατότητα 1.5 ppt είχαν μεγαλύτερη ανάπτυξη σε σχέση με τη ρόκα που καλλιεργήθηκε σε αλατότητες 5 ppt και 7 ppt. Πιο συγκεκριμένα τα φυτά στην αλατότητα 1.5 ppt παρουσίασαν στατιστικά μεγαλύτερη αύξηση ύψους κορμού και ποσοστιαία αύξηση (ANOVA, $p < 0.05$) $27.0 \pm 7.23\%$ σε σχέση με εκείνη της ρόκας στις αλατότητες 5 ppt και 7 ppt που ήταν μικρότερη ($7.6 \pm 2.93\%$ και $4.6 \pm 1.71\%$ αντίστοιχα για την αλατότητα 5 ppt και 7 ppt). Στο παρών πείραμα η ρόκα καθ' όλη τη διάρκεια καλλιέργειας (40 ημέρες) παρουσίασε στατιστικά μεγαλύτερη αύξηση

φύλων στη χαμηλότερη αλατότητα (1,5 ppt & 5 ppt) σε σχέση με την αλατότητα 7 ppt και ήταν μικρότερη σε σχέση με την αύξηση των φύλων που αναφέρουν οι Lennard & Ward (2019), όπου η ρόκα παρουσίασε μεγαλύτερη αύξηση φύλων (6% και 48%).

Τα αποτελέσματα του παρόντος πειράματος υποδηλώνουν ότι η ρόκα αναπτύσσεται ικανοποιητικά στην χαμηλότερη αλατότητα (1.5 ppt =2.7 mS/cm) αξιοποιώντας τα θρεπτικά συστατικά σε μεγάλο βαθμό χωρίς να είναι εμφανής ότι η απόδοση, το βάρος, η αύξηση ύψους και η βιομάζα της ρόκας επηρεάζονται από τον όγκο του νερού καλλιέργειας. Επίσης, σύμφωνα με τα αποτελέσματα του παρόντος πειράματος, η αύξηση και η απόδοση της ρόκας, η αύξηση του ύψους του φυτού καθώς και ο αριθμός των φύλλων της ρόκας επηρεάζονται σημαντικά με την αύξηση την αλατότητα. Αυξημένα επίπεδα αλατότητας 7 ppt (11.5 mS/cm) μειώνουν την παραγωγή της ρόκας σε σχέση με τις αλατότητες 1,5 ppt (2.7 mS/cm) και 5 ppt (8.4 mS/cm). Τα αποτελέσματα της παρούσης μελέτης συμφωνούν με εκείνα των Andriolo et al. (2005), όπου επίπεδα αλατότητας μεγαλύτερα από 2.0 (1 ppt) και 2,6 (1.45 ppt) dS/m μείωσαν την παραγωγή και την ανάπτυξη στο μαρούλι.

Οι Chartzoulakis & Kliraki (2000) αναφέρουν ότι η υψηλή αλατότητα μειώνει σημαντικά την ανάπτυξη των φύλλων εξαιτίας αναστολής της κυτταρικής διαίρεσης που προκαλείται στο φυτό. Τα αποτελέσματα του παρόντος πειράματος έδειξαν ότι η αύξηση του ύψους της ρόκας ήταν στατιστικά μεγαλύτερη (2.9 ± 0.63 cm) στην αλατότητα 1.5 ppt (ANOVA, $p < 0.05$) σε σχέση με τις αλατότητες 5 ppt και 7 ppt, αντίστοιχα που ήταν μικρότερη. Επίπεδα αλατότητας μεγαλύτερα από 5 ppt μειώνουν σημαντικά την αύξηση του ύψους της ρόκας. Τα αποτελέσματα συμφωνούν με εκείνα των Silva et al. (2013) οι οποίοι μελέτησαν την καλλιέργεια της ρόκας σε υδροπονικό σύστημα με επίπεδα αλατότητας μεγαλύτερα από 10.5 dS/m (>6.3 ppt) αναφέρουν ότι για κάθε βαθμό αύξησης της αλατότητας παρατηρείται μείωση κατά 1,88% στο φυτό της ρόκας. Οι Silva et al. (2013) αναφέρουν ότι επίπεδα αλατότητας της τάξης του 2.75 dS/m (1.5 ppt) επιφέρουν ικανοποιητικά αποτελέσματα αύξησης της ρόκας σε υδροπονικό σύστημα χωρίς να επηρεάζεται σημαντικά η απόδοση της.

Οι Campos Junior et al. (2018) αναφέρουν ότι η επίδραση των διαφορετικών επιπέδων αλατότητας (1.5, 3.0, 4.5, 6.0, 7.5 και 9.0 dS/m) σε υδροπονικό σύστημα καλλιέργειας ρόκας, επηρεάζει σημαντικά την εξατμισοδιαπνοή στη ρόκα.

Η απόδοση του ενυδρειοπονικού συστήματος, το βάρος και η βιομάζα του φυτού επηρεάζονται από παράγοντες όπως η υδροπονική δεξαμενή (Rakocsy et al. 2006), οι κλιματολογικές συνθήκες (Love et al. 2015), το είδος του ιχθύος (Sace &

Fitzsimmons, 2013), η ποσότητα και η ποιότητα της τροφής (Rakocy, 2012), το σύστημα ενυδρειοπονίας (Carneiro et al. 2015) και η ποικιλία των φυτών (Pinho et al. 2017)

Οι Barbosa et al. (2020) αναφέρουν ότι, η ρόκα σε σύστημα ενυδρειοπονίας με διαφορετικό όγκο δεξαμενών εκτροφής (500 L και 1000 L) παρουσίασε στατιστικά παρόμοια βιομάζα ($0,51\text{kg/m}^2$ - 0.64 kg/m^2) η οποία επηρεάζεται από τη διαθεσιμότητα των θρεπτικών αλάτων και όχι από τον όγκο της δεξαμενής εκτροφής.

Οι Lennard & Ward (2019) αναφέρουν ότι η ρόκα αναπτύσσεται εξίσου καλά όταν καλλιεργείται σε ενυδρειοπονικό σύστημα με τη μέθοδο του θρεπτικού υποστρώματος (NFT) σε σχέση με εκείνη που καλλιεργήθηκε σε υδροπονικό σύστημα NFT.

Ο ρυθμός ανάπτυξης της ρόκας ή του μαρουλιού σε ενυδρειοπονικό σύστημα θρεπτικού υποστρώματος (NFT) είναι παρόμοιος με το ρυθμό ανάπτυξης που παρουσιάζει η ρόκα και το μαρούλι στο υδροπονικό σύστημα θρεπτικού υποστρώματος (NFT) (Lennard & Ward 2019).

Συγκεκριμένα η μέση αύξηση των φύλων της ρόκας στο σύστημα ενυδρειοπονίας NFT αυξήθηκε κατά 6% και 48% την Άνοιξη (Μάρτιος και Μάιος) σε σχέση με τη ρόκα στο υδροπονικό σύστημα NFT. Επίσης στο ίδιο πείραμα, η μέση αύξηση των φύλων της ρόκας τους καλοκαιρινούς μήνες (Ιούνιο) μειώθηκε κατά 134% και 188% σε σχέση με τη ρόκα στο σύστημα υδροπονίας NFT.

Οι Sace και Fitzsimmons (2013) αναφέρουν ότι, το μαρούλι σε NFT σύστημα ενυδρειοπονίας αυξήθηκε ικανοποιητικά διπλασιάζοντας το βάρος του για διάστημα 108 ημερών. Επίσης, οι Lennard & Ward (2019), αναφέρουν ότι συνολικό βάρος της ρόκας αυξήθηκε στα 14 gr σε μια περίοδο 42 ημερών σε ένα ενυδρειοπονικό σύστημα NFT.

Οι Effendi et al., (2017) αναφέρουν ότι το ενυδρειοπονικό σύστημα NFT, είναι αποτελεσματικό εξαιτίας της απορρόφησης που επιτυγχάνεται στις ενώσεις του αζώτου που παράγονται από ψάρια. Η διαχείριση των δεξαμενών εκτροφής των ψαριών, του είδους του φυτού και η πυκνότητα καλλιέργειας του φυτού επηρεάζουν την απόδοση του ενυδρειοπονικού συστήματος. Επίσης, σύμφωνα με τους Effendi et al., (2017), το σύστημα NFT επιδρά στην καλύτερη ανάπτυξη της τιλάπιας του Νείλου καθώς και στην αύξηση της απόδοσης των φυτών.

Από την άλλη μεριά οι Kotzen & Applebaum (2010) αναφέρουν ότι ο βασιλικός (*Ocimum basilicum*), το φρέσκο κρεμμύδι (*Allium cepa*) και το πράσο

(*Allium ampeloprasum porrum*) αναπτυχθήκαν καλύτερα σε υφάλμυρο σύστημα ενυδρειοπονίας σε αντίθεση με το κουνουπίδι (*Brassica oleracea var. Botrytis*) και την τομάτα (*Lycopersicon esculentum*) τα οποία παρουσίασαν μια υποτυπώδη πενιχρή ανάπτυξη.

Σύμφωνα με πρόσφατες μελέτες η επίδραση χαμηλής αλατότητας (40 mM NaCl) σε υδροπονική καλλιέργεια (NFT) μαρουλιού, δεν επέφερε αλλαγές στην ανάπτυξη της ρίζας ενώ η αλατότητα γενικότερα (40 mM NaCl και 120 mM NaCl) μείωσε την ανάπτυξη του υπέργειου τμήματος σε φυτά μαρουλιού και το συνολικό βάρος του (Tzortzakis 2009a).

Οι διαθέσιμες πληροφορίες για την επίδραση της αλατότητας στη ρόκα περιορίζονται σε ελάχιστες μελέτες. Συγκεκριμένα, η αύξηση της αλατότητας σε επίπεδα 5.2 mS/cm μείωσε την απόδοση της ήμερης ρόκας στο σύστημα καλλιέργειας NFT (dos Santos και Rolim 2011). Όσον αφορά την άγρια ρόκα μελέτη που πραγματοποιήθηκε με διαφορετικές συγκεντρώσεις NaCl στο θρεπτικό διάλυμα, έδειξαν μια μείωση της τάξης του 64% σε σχέση με το μάρτυρα στα 200 mM NaCl, ενώ ήδη στη μεταχείριση των 100 mM παρουσιάστηκε σημαντική μείωση στις συγκεντρώσεις των στοιχείων N, K, Ca στους ιστούς του φυτού (de Vos et al. 2013). Σε άλλη μελέτη που έγινε και με τα δύο είδη όπου χρησιμοποιήθηκαν αγωγιμότητες που έφταναν τα 9.5 mS/cm δεν υπήρχαν διαφορές ως προς την συγκέντρωση σε ασκορβικό οξύ και ολικές φαινόλες (Hamilton και Fonseca 2010).

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκε για πρώτη φορά η ανάπτυξη της ήμερης ρόκας και του λαβρακιού σε ανακυκλούμενο υφάλμυρο σύστημα ενυδρειοπονίας με τη μέθοδο του θρεπτικού υποστρώματος σε σωλήνες (NFT).

Τα αποτελέσματα της παρούσης εργασίας έδειξαν ότι η συγκαλλιέργεια του λαβρακιού και της ήμερης ρόκας σε ενυδρειοπονικό σύστημα θρεπτικού υποστρώματος NFT είναι υλοποιήσιμη με σχετικά ικανοποιητικά αποτελέσματα εξαιτίας της σημαντικότητας που παρουσιάζει ως προς την αναλογία του όγκου του νερού προς την επιφάνεια του φυτού που το διαβρέχει.

Το εν λόγω πείραμα έδειξε ότι η ρόκα μπορεί να αναπτυχθεί σε υφάλμυρο ενυδρειοπονικό σύστημα υποδηλώνοντας η αλατότητα επηρεάζει την ανάπτυξη της ρόκας. Στατιστικά η καλύτερη ανάπτυξη της ρόκας παρουσιάστηκε στην αλατότητα 1.5 ppt, ενώ σε αλατότητα μεγαλύτερη από 5 ppt και ποιο συγκεκριμένα στο 7 ppt η ανάπτυξη της ρόκας στατιστικά ήταν η μικρότερη. Το NFT σύστημα ενυδρειοπονίας διατηρεί τα επίπεδα θρεπτικών συστατικών που παράγονται από τα ψάρια και μεταφέρονται διαμέσου της συνεχόμενης ροής ώστε να απορροφηθούν από τα φυτά. Η απορρόφηση των θρεπτικών για τη ρόκα στο υφάλμυρο σύστημα ενυδρειοπονίας φαίνεται να είναι μικρότερη σε σχέση με εκείνη στα ενυδρειοπονικά συστήματα με γλυκό νερό.

Η πυκνότητα των ψαριών στις δεξαμενές επηρεάζει την παραγωγή των θρεπτικών συστατικών διότι αυξάνει το φορτίο επιβάρυνσης στο σύστημα. Προκειμένου να μελετηθεί διεξοδικά η απόδοση ενός NFT συστήματος ενυδρειοπονίας με ρόκα απαιτούνται να διεξαχθούν περαιτέρω μελέτες μιας και η αλατότητα ως παράγοντας επηρεάζει την ανάπτυξη του φυτού και την φυσιολογική απόκριση της ρόκας στην απορρόφηση των θρεπτικών συστατικών. Τέλος, τα αποτελέσματα της παρούσης εργασίας καταδεικνύουν, ότι η ρόκα μπορεί να παραχθεί ικανοποιητικά και σε αποδόσεις υψηλές σε ενυδρειοπονικό σύστημα με υφάλμυρο νερό και αλατότητα 1.5 ppt.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

6.1 Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

- Alberici, A., Quattrini, E., Penati, M., Martinetti, L., Marino Gallina, P., and Ferrante, A. (2008). Effect of the reduction of nutrient solution concentration on leafy vegetables quality grown in floating system. *Acta horticulturae*, 801, 11671176.
- Alessio G., Allegrucci, G., Angle, G. (2001). *Acquacoltura responsabile – Verso le produzioni acquatiche del terzo millennio* Romma: Unimar-Uniprom.
- Andriolo JL, da Luz GL, Witter MH, Godoi RS, Barros GT, Bortolotto OC, (2005). Growth and yield of lettuce plants under salinity. *Hortic. Bras* 23: 931-934.
- [Azzaydi., M., Martínez., F.J., Zamora., S., Vazquez., F.J. S., Madrid., J.A.](#) (2000). The influence of nocturnal vs. diurnal feeding under winter conditions on growth and feed conversion of European sea bass (*Dicentrarchus labrax, L.*) *Aquaculture* 182 (3-4):329-338. DOI:[10.1016/S0044-8486\(99\)00276-8](#).
- Bahadir Koca S., Diler, I., Dulluc, A., Yigit, N.O and Bayrak, H. (2009). Effect of different feed types and feed conversion ratio of angelfish (*Pterophyllum scalare*, Lichtenstein, 1823). *Journal of Applied Biological Sciences*, 3: 6-10.
- Barak, Y., van Rijn, J., (2000a). Atypical polyphosphate accumulation by the denitrifying bacterium *Paracoccus denitrificans*. *Appl. Environ. Microbiol.* 66, 1209–1212.
- Barak, Y., van Rijn, J., (2000b). Biological phosphate removal in a prototype recirculating aquaculture treatment system. *Aquacult. Eng.* 22, 121–136.
- Barak, Y., Cytryn, E., Gelfand, I., Krom, M., van Rijn, J., (2003). Phosphate removal in a marine prototype recirculating aquaculture system. *Aquaculture* 220, 313–326.
- Barbosa ., P.T.L., Povh.,J.A., do Nascimento Silva., A. L., Ventura., A.S., Stringhetta., G. R., Laice., L.M., de Oliveira ., A.F., de Carvalho., T.A., Filho., R.A.C.C. (2020). Performance of Nile Tilapia and vegetables Grown in Different Aquaponic Volumes. *Journal of Agricultural Studies.* 8 (4): 497-506. ISSN 2166-0379.
- Bernstein, S. (2011). *Aquaponic gardening: a step-by-step guide to raising vegetables and fish together*. Gabriola Island, Canada: New Society Publishers.
- Boxman, S., Main, K., Nystrom, M., Ergas, S.J., Trotz, M. *Aquaponic*, (2015), System Produces Red Drum, Saltwater Vegetable Species, *Global Aquaculture Advocate*, pp. 58-60.
- Buzby KM, Lin LS (2014). Scaling aquaponic systems: Balancing plant uptake with fish output. *Aquac Eng* 63:39-44.
- 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.
- 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>.
- Chartzoulakis K, Klapaki G, 2000. Response of two greenhouse pepper hybrids to NaCl salinity during different growth stages. *Scientia Horticulturae* 86: 247260.
- Chérif, M., Tirilly, Y., Bélanger, R.R., 1997. Effect of oxygen concentration on plant growth, lipidperoxidation, and receptivity of tomato roots to *Pythium F* under hydroponic conditions. *Eur. J. Plant Pathol.* 103, 255–264.
- Coolong T (2012) *Hydroponic lettuce*. Univeristy Kentucky Coop Sxtention Serv p. 1-4.
- 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.
- Deering M J, Fielder, D.R. Hewitb, D.R., (1997). Growth and fatty acid composition of juvenile leader prawns, *Penaeus monodon*, fed different lipids. *Aquacultuve Volume 151, Issues 1-4, 15 May 1997, Pages 131-141*.
- 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.
- Endut A, Jusoh A, Ali N, Wan Nik WN, Hassan A., (2009). Effect of flow rate on water quality parameters and plant growth of water spinach (*Ipomoea aquatica*) in an aquaponic recirculating system. *DesalinWater Treat* 5(1–3):19–28.
- 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.
- Endut, A., Jusoh, A., Ali, N., Wan Nik, W.B., (2011). Nutrient removal from aquaculture wastewater by vegetable production in aquaponics recirculation system, *Desalination and Water Treatment*, vol. 32, pp. 422-430.
- Engle, C.R., (2015). *Economics of Aquaponics*. SRAC Publ. Reg. Aquac. Cent.
- Eroldoğan, O.T.; Kumlu, M., (2002). Growth performance, body traits and fillet composition of the European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) reared in various salinities and fresh water. *Turkish J. Vet. Anim. Sci.*, 26, 993–1001.
- Eroldoğan, O.T.; Kumlu, M.; Akta,s, M., (2004). Optimum feeding rates for European sea bass ~ *Dicentrarchus labrax* L. reared in seawater and freshwater. *Aquaculture*, 231, 501–515. [CrossRef].
- Effendi, H., Wahyuningsih, S., & Wardiatno, Y. (2017). The use of nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) cultivation wastewater for the production of romaine lettuce (*Lactuca sativa* L. var.longifolia) in water recirculation system. *Applied Water Science*, 7, 3055-3063. <https://doi.org/10.1007/s13201-016-0418-z>
- FAO (2013). [On-farm feeding and feed management in aquaculture](#). Fisheries and Aquaculture Technical Paper. Food and Agraculture Organization Of the United Nations Rome,No. 583. 67 pp. ISBN 978-92-5-107978-2.
- Fronte, B., Galliano, G., Bibbiani, C, (2016). *From freshwater to marine aquapoinic: new opportunities for marine fish species production*. 4th Conference with International Participation Conference VIVUS-on Agriculture, Ennvironmentalism, Horticulture and Floristics, Food Production and Processihg and Nutritioh «With Knowledge and Experience to New Entrepreneurial Opportunities» 20th and 21st April 2016, Biotechnical Centre Naklo, Strahinj 99, Naklo. Slovenia.
- Graber A, Junge R (2009) Aquaponic systems: nutrient recycling from fish wastewater by vegetable production. *Desalination* 246:147–156
- 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.
- Hu Z, Lee JW, Chandran K, Kim S, Brotto AC, et al. (2015) [Effect of plant species on nitrogen recovery in aquaponics](#). *Bioresour Technol* 188:92-98.
- Islam, M.J., Kunzmann, A., Bogner, M., Meyer, A., Thiele, R., James Slater, M., Slater, M. J., (2020a). Metabolic and molecular stress responses of European seabass, *Dicentrarchus labrax* at low and high temperature extremes. *Ecol. Ind.* 112, 106118 <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106118>.

- Islam, M.J., Kunzmann, A., Thiele, R., Slater, M.J., (2020b). Effects of extreme ambient temperature in European seabass, *Dicentrarchus labrax* acclimated at different salinities: growth performance, metabolic and molecular stress responses. *Sci. Total Environ.* 735, 139371. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139371>.
- Johnson C, Albrecht G, Ketterings Q (2005) Nitrogen basics-The nitrogen cycle. Cornell University Coop Extension p. 1-2.
- Kloas, W., Groß, R., Baganz, D., Graupner, J., Monsees, H., Schmidt, U., Staaks, G., Suhl, J., Tschirner, M., Wittstock, B., Wuertzl, S., Zikova, A., Rennert, B., (2015). A new concept for aquaponic systems to improve sustainability, increase productivity, and reduce environmental impacts, *Aquaculture Environment Interactions*, vol. 7, pp. 179–192.
- Kotzen b. Appelbaum S., (2010). *An Investigation of Aquaponicw Using Brackish Water Resources in the Negev Desert*. *Journal of Applied Aquaculture*, 22:297-320.
- Lennard. W. (2012). Aquaponics system design parameters: Basic system water chemistry. Aquaponic Solutions. Aquaponic Fact Sheet Series. Pp 90.
- Lennard, W., & Ward, J. (2019). A Comparison of Plant Growth Rates between an NFT Hydroponic System and an NFT Aquaponic System. *Horticulturae*, 27, 1-16. <https://doi.org/10.3390/horticulturae5020027>
- Liang, J.-Y., Chien, Y.-H., (2013). Effects of feeding frequency and photoperiod on water quality and crop production in a tilapia–water spinach raft aquaponics system. *Int. Biodeterior. Biodegrad.* 85, 693–700.
- 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.
- Lund J (2014) [Aquaculture effluents as fertilizer in hydroponic cultivation. Swedish Uni 1-19.](#)
- Nelson, R.L, (2007). Ten aquaponic systems around the world, *Aquaponics Journal*, vol. 46, pp. 1-8.
- Nelson, R.L., 2008. *Aquaponic Food Production: Growing Fish and Vegetables for Food and Profit*. Nelson and Pade, Wisconsin.
- Nozzi, V., Parisi, g., Crescenzo, D., Giordano, M., Carnevali, O., (2016). Evaluation of *Dicentrarchus labrax* Meats and the Vegetable Quality of *Beta vulgaris* var cicla Farmed in Freshwater and Saltwater Aquaponic Systems, *Water* 2016, 8, 423.
- Nyamangara J, Mtambanengwe F, Musvoto C (2009). Carbon and nitrogen mineralization from selected organic resources available to smallholder farmers for soil fertility improvement in Zimbabwe. *African J Agric Res* 4:870-877.
- Padulosi, S., and Pignone, D. (1997). *Rocket: A Mediterranean Crop for the World*: Rafiee G, Saad CR (2005) Nutrient cycle and sludge production during different stages of red tilapia (*Oreochromis* sp.) growth in a recirculating aquaculture system. *Aquaculture* 244:109-118. Report of a Workshop 13-14 December 1996 Legnaro (Padova), Italy. Bioversity International.
- Palm, W.H., Bissa, K., Knaus, U., (2014). Significant factors affecting the economic sustainability of closed aquaponic systems. Part II: fish and plant growth, *AACL Bioflux*, 2014, vol. 7, no. 3, pp. 162-175.
- Padulosi, S., and Pignone, D. (1997). *Rocket: A Mediterranean Crop for the World*: Report of a Workshop 13-14 December 1996 Legnaro (Padova), Italy. Bioversity International.
- Pantanella, E., Bhujel, C.R., (2015). Saline Aquaponics-Potential Player In Food, Energy Production. *Global Aquaculture Advocate*, pp. 42-43.

- Petrea, St. M., Cristea, V., Dediu, L., Contoman, M., Lupoae, P., Mocanu (Cretu), M. and Coada M. T., Vegetable production in an integrated aquaponic system with rainbow trout and spinach, *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca, Animal Science and Biotechnologies*, 2013, 45-54.
- 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>
- Rafiee G, Saad CR (2005). Nutrient cycle and sludge production during different stages of red tilapia (*Oreochromis sp.*) growth in a recirculating aquaculture system. *Aquaculture* 244:109118. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2004.10.029>.
- Rakocy, J.E, Masser, M.P., Losordo, T.M., (2006). Recirculating aquaculture tank production systems: aquaponics- integrating fish and plant culture, *Southern Regional Aquaculture Center*, vol. 454, pp. 1-16.
- Rakocy, J.E., Bailey, D.S., Shultz, R.C. and Danaher, J.J. (2007). Fish and vegetable production in a commercial aquaponic system: 25 years of research at the University of the Virgin Islands. *Proceedings of the 2007 National Canadian Aquaculture Conference*. Edmonton, Alberta, Canada.
- 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.
- 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.
- Santamaria, P., Elia, A., and Serio, F. (2002). Effect of solution nitrogen concentration on yield, leaf element content, and water and nitrogen use efficiency of three hydroponically-grown rocket salad genotypes. *Journal of plant nutrition*, 25(2), 245-258.
- 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>. Accessed 13 April 2019
- 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.
- Spotte S., (1992). *Captive Seawater Fishes*. John Wiley & Sons, New York. 942pp.
- Tzortzakakis NG, 2009a. Alleviation of salinity induced stress in lettuce growth by potassium sulphate using Nutrient Film Technique. *International Journal of Vegetable Science* 15: 1-14.
- Timmons MB, Ebeling JM, Wheaton FW, Summerfelt ST, Vinci BJ., (2002).
- Vernieri, P., Borghesi, E., Ferrante, A., and Magnani, G. (2005). Application of biostimulants in floating system for improving rocket quality. *Journal of Food Agriculture and Environment*, 3(3/4), 86.
- van Rijn, J., Tal., Y., Schreier., H.J. (2006). Denitrification in recirculating systems: Theory and applications. *Aquacultural Engineering* 34: 364–376.
- Vlahos N., Levizou E., Stathopoulou P., Berillis P., Antonopoulou E., Bekiari V., Krigas N., Kormas K., and Mente E. (2019). An Experimental Brackish Aquaponic System Using Juvenile Gilthead Sea Bream (*Sparus aurata*) and Rock Samphire (*Crithmum maritimum*). *Sustainability* 11(18). DOI: 10.3390/su11184820.

- Waller, U, Buhmann, A.K., Emst, A., Hanke, W., Kulakowski. A., Wecker, B., Orellana, i., (2015). Papenbrock, J. Integrated multi-tropic aquaculture in a zero – exchange recirculation aquaculture system for marine fish and hydroponic halophyte production. *Aquac. Int.* 2015, 23, 1473-1489.
- 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.
- Zar J. H. *Biostatistical Analysis*; Prentice-Hall: London,UK., (1999); P. 718.
- Zou, Y., Hu, Z., Zhang, J., Guimbaud, C., Wang, Q., Fang, Y., 2016a. Effect of seasonal variation on nitrogen transformations in aquaponics of northern China. *Ecol. Eng.* 94, 30–36.

6.2 Ελληνόγλωσση Βιβλιογραφία

- Καπετάνιος., Ε., Φράγκου., Σ. (2019). Ενυδρειοπονία σε Υφάλμυρο νερό: Εκτροφή της τσιπούρας και καλλιέργεια κρίταμου σε δυο διαφορετικές αλατότητες 20 ppt και 8 ppt. Προπτυχιακή Διπλωματική Εργασία .Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας. Σελ.85.
- Ολύμπιος ., Μ.Χ .(2015). Η τεχνική της καλλιέργειας των υπαίθριων κηπευτικών. Αθήνα, Εκδόσεις Σταμούλη.
- Στιβακτάκης., Σ. (2016). Επίδραση της αλατότητας και της συγκέντρωσης του θρεπτικού διαλύματος επίπλευσης στην απόδοση και ποιότητα νεαρών φύλλων ρόκας. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Γεωπονίας. Μεταπτυχιακή διατριβή. Σελ.105.
- Τάσιου., Κ. (2019). Παραγωγική διαδικασία του λαβρακιού σε ένα σύστημα ενυδρειοπονίας. Μεταπτυχιακή διατριβή. Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας. Σελ.85.
- Μεντέ Ε., Νέγκας Χ. (2011). Στοιχεία Φυσιολογίας Θρέψης και Εφαρμοσμένη Διατροφή Ιχθύων και Καρκινοειδών Εκδόσεις Παπαζήση, Αθήνα σελ.809.
- Παπουτσόγλου Σ.Ε. (2008). Διατροφή Ιχθύων. Εκδόσεις Αθ. Σταμούλης, Αθήνα σελ. 976.