

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΙΧΘΥΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΑΤΙΝΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΕ ΘΕΜΑ

**«Ενυδρειοπονικό σύστημα ανάπτυξης τιλάπιας-μαϊντανού με διαφορετικές
ιχθυοπυκνότητες»**

Καρυπίδου Ελένη-Ιωάννα
Τσέλου Μαρία-Ελένη
Ανδραβίδης Αχιλλέας

Βόλος 2024

**« Ενυδρειοπονικό σύστημα ανάπτυξης τιλάπιας-μαϊντανού με διαφορετικές
ιχθυοπυκνότητες»**

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή :

1. **Ιωάννης Καραπαναγιωτίδης**, Αναπληρωτής Καθηγητής – Διατροφή Υδρόβιων Ζωικών Οργανισμών, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, **Επιβλέπων**,
2. **Ελένη Μεντέ, Καθηγήτρια**, - Φυσιολογία Θρέψης Υδρόβιων Ζωϊκών Οργανισμών, Τμήμα Κτηνιατρικής, Σχολή Επιστημών Υγείας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, **Μέλος**
3. **Νικόλαος Βλάχος, Δρ Ε.ΔΙ.Π.**, Φυσιολογία Θρέψης Υδρόβιων Ζωϊκών Οργανισμών στην Ενυδρειολογία και Ενυδρειοπονία. Τμήμα Αλιείας & Υδατοκαλλιεργειών, Πανεπιστήμιο Πατρών, **Μέλος**

Στους γονείς μου, στην αδελφή μου και στη ξαδέλφη μου

Στους γονείς μου, στα αδέλφια μου και στον ανηψιό μου

Στην οικογένειά μου

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία μελετήθηκε η επίδραση της ιχθυοπυκνότητας στην ανάπτυξη της τιλάπιας και του μαϊντανού σε ενυδρειοπονικά συστήματα μικρής κλίμακας. Χρησιμοποιήθηκαν τρία ενυδρειοπονικά συστήματα, το καθένα συνολικού όγκου νερού 500 L, στα οποία προστέθηκαν τιλάπιες του είδους *Oreochromis mossambicus* σε τρεις διαφορετικές ιχθυοπυκνότητες: 12 άτομα ανά σύστημα (4/ενυδρείο), 18 άτομα ανά σύστημα (6/ενυδρείο), 24 άτομα ανά σύστημα (8/ενυδρείο) και 10 φυτά μαϊντανού (*Petroselinum crispum*) ανά σύστημα, για χρονικό διάστημα 30 ημερών. Κάθε σύστημα αποτελούνταν από 3 ενυδρεία ανάπτυξης ψαριών, 1 δεξαμενή ανάπτυξης φυτών-growbed με καλλιεργητική επιφάνεια 1m² με διογκωμένη άργιλο και ένα φίλτρο τύπου sumpr που υποστηρίζονταν από μια αντλία νερού για το καθένα. Οι τιλάπιες ταΐζονταν *at libitum* τρεις φορές την ημέρα με εμπορική τροφή. Επίσης, γινόταν μέτρηση των φυσικοχημικών στοιχείων του νερού.

Το σύστημα με τη μεγαλύτερη ιχθυοπυκνότητα φαίνεται να παρουσιάζει σημαντικά μικρότερη αύξηση βάρους για τις τιλάπιες σε σχέση με τα άλλα 2 συστήματα. Η επιβίωση των ιχθύων ήταν 100%. Η τιμή του FCR φαίνεται σημαντικά μεγαλύτερη στο σύστημα με τη μεγαλύτερη ιχθυοπυκνότητα. Στο μαϊντανό η μεγαλύτερη τιμή τελικής βιομάζας σημειώθηκε στο σύστημα με την μικρότερη ιχθυοπυκνότητα αν και οι τιμές δεν παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές (ANOVA, $p>0,05$). Απαιτείται επιπλέον έρευνα σε πολυτροφικά ενυδρειοπονικά συστήματα με άλλα είδη ψαριών και φυτών με διαφορετικές ιχθυοπυκνότητες με στόχο την καλύτερη φυτική αλλά και ζωική παραγωγή.

Λέξεις Κλειδιά: Ενυδρειοπονία, Ιχθυοπυκνότητα, Τιλάπια, Μαϊντανός, Συστήματα εκτροφής

ABSTRACT

In this undergraduate thesis, the effect of fish density on the growth of tilapia and parsley in a small-scale aquaculture system was studied. Three aquaponic systems were used with different fish densities of 12, 18, and 24 tilapia (*Oreochromis mossambicus*) and 10 parsley plants per system for 30 days. Each system consisted of three 100L fish tanks, sump filter consist of a mechanical and biological filter, a water pump, and a hydroponic plant tank. Tilapia were fed *ad libitum* three times a day, starting at 08:00, with commercial feed.

There was a decrease in fish body weight in the aquaponic system which had the highest total biomass and the highest fish density. Fish survival was 100%. In parsley, the best growth occurred in the aquaponics system with the lower fish density, and also it had a significant increase in the number of branches. The aquaponic system, which had the lowest fish density, produced the best plant biomass (348.519 kg/m²). Additional research is needed in polyculture aquaponic systems with other species of fish and plants with different fish densities with the aim of better plant as well as animal production.

Keywords: Aquaponics, Tilapia, Parsley, Stocking density

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	5
ABSTRACT	6
1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ	9
1.1 Ορισμός Ενυδραιοπονίας και λειτουργικά χαρακτηριστικά	9
1.1.1 Ψάρια που χρησιμοποιούνται	10
1.1.2 Φυτά που χρησιμοποιούνται	11
1.1.3 Οικονομικό Ενδιαφέρον	11
1.2 Γενικά χαρακτηριστικά και πλεονεκτήματα χρήσης τιλάπιας στην ενυδραιοπονία.	13
1.2.1 Θρεπτική Αξία τιλάπιας	14
1.2.3 Χρήση τιλάπιας σε ενυδραιοπονικά συστήματα.....	16
1.3 Γενικά χαρακτηριστικά μαϊντανού	17
1.3.1 Θρεπτική αξία μαϊντανού	18
Απαιτήσεις σε κλίμα, έδαφος, θρεπτικά στοιχεία και νερό.....	20
1.3.2 Χρήση μαϊντανού σε ενυδραιοπονικά και υδροπονικά συστήματα	21
Απαιτήσεις μαϊντανού σε υδροπονική και ενυδραιοπονική καλλιέργεια (Κάββουρας, 2019).....	22
1.4 Σκοπός διπλωματικής εργασίας	23
2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	24
2.1. Ενυδραιοπονικό σύστημα (τιλάπια-μαϊντανός)	24
2.1.1 Ενυδρεία	25
2.1.2 Δεξαμενή ανάπτυξης φυτών – Growbed	26
2.1.3 Φίλτρο.....	29
2.1.4 Παροχή Τροφής	30
2.2 Μέτρηση Φυτικοχημικών Παραμέτρων Νερού.....	31
2.2.1 Μέτρηση Αμμωνίας.....	31
2.2.2 Μέτρηση Νιτρικών ιόντων.....	32

2.2.3 Μέτρηση Νιτρωδών ιόντων	33
2.2.4 Μετρήσεις θερμοκρασίας, pH και αλκαλικότητας	35
2.2.5 Χειρισμοί ενυδρειοπονικών συστημάτων.....	36
2.3 Διαδικασία μέτρησης μορφολογικών χαρακτηριστικών ψαριών και φυτών.....	36
2.3.1 Μορφομετρικά χαρακτηριστικά τιλάπιας.....	36
2.3.2.Μετρήσεις μορφομετρικών χαρακτηριστικά φυτών	37
2.3.4. Δείκτες ανάπτυξης ψαριών και φυτών	38
2.5 Στατιστική ανάλυση.....	40
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	42
3.1Αβιοτικοί παράγοντες	42
3.1.1. Ολική αμμωνία στο σημείο εισόδου (TANin) και εξόδου (TANout) της δεξαμενής ανάπτυξης των φυτών.....	42
3.1.2 Νιτρικά ιόντα (NO ₃ ⁻) στο σημείο εισόδου και εξόδου των growbed των συστημάτων.....	44
3.1.3. pH.....	46
3.2. Δείκτες ανάπτυξης τιλάπιας,	47
3.1 Αναπτυξιακοί παράμετροι φυτών	50
4.Συζήτηση	54
4.1 Αβιοτικοί παράμετροι	54
4.2 Δείκτες ανάπτυξης τιλάπιας, αξιοποίηση τροφής.....	57
4.3 Ανάπτυξη μαϊντανού.....	59
5. Συμπεράσματα.....	61
6. Βιβλιογραφία	62

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Ορισμός Ενυδρειοπονίας και λειτουργικά χαρακτηριστικά

Με τον όρο ενυδρειοπονία (*aquaponics*) αναφερόμαστε στην ταυτόχρονη καλλιέργεια ιχθύων και φυτών σε ένα κοινό σύστημα με επανακυκλοφορία νερού (Rakocy et al., 1997). Η ενυδρειοπονία συνδυάζει την ιχθυοκαλλιέργεια με την υδροπονία (ανάπτυξη φυτών χωρίς έδαφος). Τα ψάρια και τα φυτά αποτελούν μέρη μιας συμβιωτικής σχέσης, με τα απόβλητα των ψαριών να προσφέρουν τα απαραίτητα θρεπτικά συστατικά στα φυτά για την ανάπτυξή τους και τα φυτά να διατηρούν το ανακυκλούμενο νερό απαλλαγμένο από περίσσεια νιτρικών, ώστε να είναι δυνατή η διαβίωση των ιχθύων. Η καλλιέργεια αυτή αποτελεί μια φυσική διαδικασία, χωρίς λιπάσματα ή άλλες ουσίες, η οποία πραγματοποιείται σε διάφορα οικοσυστήματα σε όλο τον κόσμο. Η συγκεκριμένη τεχνολογία έχει αναπτυχθεί αρκετά τις τελευταίες δεκαετίες λόγω της αύξησης του παγκόσμιου πληθυσμού και κατά συνέπεια της αύξησης της απαιτούμενης παραγωγής τροφίμων (Goddek et al., 2015).

Η βασική δομή ενός ενυδρειοπονικού συστήματος αποτελείται από τις δεξαμενές των ιχθύων, τις δεξαμενές των φυτών, μια αντλία νερού, το μηχανικό και το βιολογικό φίλτρο (FAO, 2014). Το μηχανικό φίλτρο αφαιρεί τα στερεά υπολείμματα από το νερό, τα οποία αποτελούνται από τα κόπρανα των ψαριών και υπολείμματα τροφής (Couturier et al. 2009). Το βιολογικό φίλτρο αποτελείται από βακτηριακές αποικίες που οξειδώνουν την αμμωνία σε νιτρώδη και νιτρικά ιόντα (Gutierrez-Wing and Malone 2006). Η αποτελεσματική λειτουργία του συστήματος βασίζεται στη βιοχημική διεργασία της νιτροποίησης. Μέσω αυτής της διαδικασίας, η τοξική αμμωνία που εκλύουν τα ψάρια μετατρέπεται σε νιτρικά ιόντα, με τη βοήθεια των βακτηρίων που βρίσκονται στο βιολογικό φίλτρο του συστήματος. Αρχικά, πραγματοποιείται οξείδωση της αμμωνίας

(NH₃) σε νιτρώδη ιόντα (NO₂⁻) με τη βοήθεια των βακτηρίων του γένους *Nitrosomonas spp.* και έπειτα τα βακτήρια του γένους *Nitrobacter spp.* οξειδώνουν περαιτέρω τα νιτρώδη ιόντα σε νιτρικά ιόντα (NO₃⁻) (Cebbron & Garnier, 2003). Τα νιτρικά αυτά ιόντα χρησιμοποιούνται από τα φυτά ως θρεπτικά που βοηθούν την ανάπτυξή τους, ενώ το νερό, το οποίο έχει πλέον καθαριστεί από την τοξική για τα ψάρια αμμωνία, οδηγείται και πάλι στις δεξαμενές των ψαριών, δημιουργώντας μια συνεχή ανακύκλωση και επανακυκλοφορία του νερού.

1.1.1 Ψάρια που χρησιμοποιούνται

Σε ένα ενυδρειοπονικό σύστημα μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορα είδη ιχθύων ανάλογα με τον τύπο του νερού εκτροφής αλλά και το επιθυμητό σύστημα ψαριών-φυτών που θα δημιουργηθεί. Συνήθως χρησιμοποιούνται ψάρια γλυκού νερού με προσαρμοστικότητα σε διάφορες ιχθυοπυκνότητες αλλά και ανθεκτικότητα σε υψηλά επίπεδα καλίου και φωσφόρου (Rakocy et al., 2006). Το πιο συνηθισμένο καλλιεργούμενο είδος στην ενυδρειοπονία είναι η τιλάπια του Νείλου (*Oreochromis Niloticus*). Αποτελεί ιδανική επιλογή καθώς αναπτύσσεται με μεγάλη ταχύτητα, είναι ανθεκτικό σε διάφορες συνθήκες εκτροφής και είναι παμφάγο είδος, ενώ απαιτεί σχετικά θερμό νερό (περίπου 27-30°C). Ωστόσο, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και άλλα είδη όπως ο κυπρίνος (*Cyprinus carpio*), που παρουσιάζει μεγάλη ανθεκτικότητα σε διάφορες συνθήκες εκτροφής, το γατόψαρο (*Ictalurus punctatus*), η ιριδίζουσα πέστροφα (*Oncorhynchus mykiss*) και η πέρκα (*Perca fluviatilis*) που αυξάνονται με γρήγορους ρυθμούς, αλλά και το λαβράκι (*Dicentrarchus labrax*) (Love et al., 2015).

1.1.2 Φυτά που χρησιμοποιούνται

Αναφορικά με τα φυτά που μπορούν να καλλιεργηθούν σε ενυδρειοπονικά συστήματα, μεγάλο ρόλο παίζει ο τύπος συστήματος που θα χρησιμοποιηθεί, η ιχθυοπυκνότητα και το είδος των ψαριών που έχουν επιλεγεί και κατά συνέπεια η διαθεσιμότητα θρεπτικών συστατικών (Knaus&Palm, 2017, Blidariu&Grozea, 2011). Σύμφωνα με την έρευνα που διεξήγαγαν οι Love *et al*, (2015), καλλιεργούνται κυρίως φυλλώδη λαχανικά όπως η ρόκα (*Eruca sativa*), το μαρούλι (*Lactuca sativa*), ο μαϊντανός (*Petroselinum crispum*), το σπανάκι (*Spinacia oleracea*) αλλά και καρποφόρα λαχανικά όπως η ντομάτα (*Solanum lycopersicon*), το αγγούρι (*Cucumis sativus*) και η πιπεριά (*Capsicum annuum*), ακόμη και αρωματικά φυτά όπως το μελισσόχορτο (*Melissa officinalis*) και ο βασιλικός (*Ocimum basilicum*).

1.1.3 Οικονομικό Ενδιαφέρον

Η ενυδρειοπονική καλλιέργεια αποτελεί μια ταχέως αναπτυσσόμενη πρακτική για την παραγωγή φυτών και ψαριών τις τελευταίες δεκαετίες. Αυτή η ανάπτυξη και το ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας οφείλεται σε ορισμένα χαρακτηριστικά της ενυδρειοπονίας τα οποία μπορούν να φανούν εξαιρετικά ωφέλιμα σε βάθος χρόνου. Βασικό πλεονέκτημα της ενυδρειοπονίας αποτελεί η εξοικονόμηση του νερού. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, το νερό επαναχρησιμοποιείται από το ενυδρειοπονικό σύστημα μέσω της ανακύκλωσης του, επομένως οι απώλειες του είναι ελάχιστες και οφείλονται κυρίως στην εξάτμιση. Σε περιοχές όπου το διαθέσιμο νερό δεν υπάρχει σε αφθονία, η ενυδρειοπονία θα μπορούσε να δώσει λύσεις όσον αφορά την παραγωγή ιχθύων και φυτών προς κατανάλωση. Ακόμα και σε περιοχές που δεν αντιμετωπίζουν ακόμα τέτοιο πρόβλημα, είναι κρίσιμο το διαθέσιμο νερό να χρησιμοποιείται ορθολογικά. Επίσης, λόγω της

απουσίας χόματος στην καλλιέργεια, η ενυδρειοπονία δε χρειάζεται τεράστιες εκτάσεις καλλιεργήσιμης γης για να παράγει τα προϊόντα της. Έτσι, κρίνεται ιδιαίτερα οικονομική από άποψη χώρου. Εφόσον λοιπόν, η ενυδρειοπονία μπορεί να παράγει τα προϊόντα της χωρίς τη σπατάλη νερού αλλά και την χρήση μεγάλων εκτάσεων γης, αγαθών δηλαδή με ραγδαία μείωση στη διαθεσιμότητά τους, θεωρείται μια βιώσιμη πρακτική που αξίζει να δοκιμαστεί περαιτέρω.

Το περιβαλλοντικό αποτύπωμα της είναι ελάχιστο, καθώς δεν υπάρχουν ιδιαίτερες απώλειες στο περιβάλλον. Τα προϊόντα της ενυδρειοπονίας μπορούν να θεωρηθούν οικολογικά, αφού δε χρησιμοποιούνται λιπάσματα και άλλες τεχνητές ουσίες για την ανάπτυξή τους. Επιπλέον, ένα ενυδρειοπονικό σύστημα θεωρείται ευέλικτο σε τροποποιήσεις ώστε να επιτευχθούν οι καλύτερες δυνατές συνθήκες με στόχο την ελαχιστοποίηση του απαραίτητου κεφαλαίου για την δημιουργία του και του κόστους συντήρησής του (Ako and Baker, 2009).

Για τη σωστή λειτουργία μιας ενυδρειοπονικής καλλιέργειας είναι απαραίτητη η συνεχής παρακολούθηση της, επομένως χρειάζεται εργατικό δυναμικό. Η προώθηση της ενυδρειοπονίας σε μεγαλύτερη κλίμακα θα μπορούσε λοιπόν να δημιουργήσει νέες θέσεις εργασίας. Βέβαια, για να πραγματοποιηθεί η εξέλιξη της ενυδρειοπονίας στο επόμενο επίπεδο και να μπορεί να θεωρηθεί μια σταθερή πηγή παραγωγής τροφής, θα πρέπει τα προϊόντα της να γίνουν αποδεκτά από τους καταναλωτές, πράγμα που πιθανόν να χρειαστεί χρόνο.

1.2 Γενικά χαρακτηριστικά και πλεονεκτήματα χρήσης τιλάπιας στην ενυδρείοποιία.

Η τιλάπια, ανήκει στην οικογένεια των *Cichlidae*, είναι είδος των γλυκών νερών και γεωγραφικά απαντάται κυρίως στην Αφρική, αλλά και σε άλλες χώρες της Ασίας και της Κεντρικής και Νότιας Αμερικής. Μπορεί να ζήσει περισσότερο από 10 χρόνια και να φτάσει σε βάρος που υπερβαίνει τα 5Kg (FAO, 2006).

Πρόκειται για ένα είδος που χρησιμοποιείται ευρέως σε ιχθυοκαλλιέργειες, καθώς και σε ενυδρείοπονικά συστήματα, καθώς διαθέτει ένα πλήθος πλεονεκτημάτων που την καθιστούν ιδανικό είδος για τις συγκεκριμένες διεργασίες.

Αρχικά πρόκειται για ένα πολύ ανθεκτικό είδος, το οποίο διακρίνεται και από την ευκολία προσαρμογής τους. Μπορούν να ανεχτούν μεγάλες μεταβολές στο φυσικό τους περιβάλλον όπως για παράδειγμα μεγάλες θερμοκρασιακές διακυμάνσεις και αλλαγές του pH. Στα εκτρεφόμενα είδη παρατηρείται η περίπτωση επιβίωσης σε αρκετά χαμηλές συγκεντρώσεις οξυγόνου $\sim 0,1\text{mg/L}$. Μπορούν να αναπτυχθούν σε μεγάλο εύρος pH με τιμές που κυμαίνονται από 5 έως και 11.

Επιπλέον παρουσιάζουν αυξημένη ανθεκτικότητα στην μη ιονισμένη αμμωνία σε συγκεντρώσεις της τάξης των $2,4\text{ mg/L}$ (Lovell, 2003). Όπως αναφέρθηκε και πριν οι τιλάπιες, δεν επιβιώνουν σε θερμοκρασίες χαμηλότερες των 12°C . Σε θερμοκρασίες χαμηλότερες των 20°C ξεκινάει η μείωση της δραστηριότητας και της πρόσληψης τροφής, ενώ κάτω από τους 16°C η λήψη τροφής σταματάει εντελώς (Halver & Hardy, 2002).

Οι τιλάπιες έχουν υψηλή μετατρεψιμότητα της τροφής, με αποτέλεσμα να καταναλώνουν μικρότερη ποσότητα τροφής για την παραγωγή ενός κιλού σωματικού βάρους συγκριτικά με τα υπόλοιπα είδη ιχθύων.

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω πρόκειται για ένα πολύ ανθεκτικό ψάρι, ειδικά όσον αφορά τις ασθένειες, σε αντίθεση με άλλα είδη ιχθύων. Πρόκειται για μία από τις πιο αξιοσημείωτες ικανότητες του συγκεκριμένου είδους, καθώς με ένα τόσο ανθεκτικό ψάρι συνεπάγεται η γενικότερη μείωση του κινδύνου έξαρσης κάποια ασθένειας μέσα στο ενυδρείοπνικό σύστημα. Όλα τα αναφερθέντα πλεονεκτήματα του είδους *O.niloticus* το καθιστούν ιδανικό για την χρήση του σε ενυδρείοπνικά συστήματα.

1.2.1 Θρεπτική αξία τιλάπιας

Οι θρεπτικές απαιτήσεις των ιχθύων είναι παρόμοιες με αυτές των χερσαίων ζώων. Έτσι, τα ψάρια χρειάζονται πρωτεΐνες, συγκεκριμένα απαραίτητα αμινοξέα, λιπίδια και πολυακόρεστα λιπαρά οξέα, ανόργανα στοιχεία και βιταμίνες για να επιβιώσουν, να αναπτυχθούν και να επιτελέσουν όλες τις φυσιολογικές τους λειτουργίες.

Τα ψάρια γενικά είναι γνωστό ότι αποτελούν τις πλουσιότερες πηγές των ω-3 λιπαρών, τα οποία είναι ευεργετικά για την ανθρώπινη υγεία. Τα λιπίδια και τα λιπαρά οξέα, καθώς και πολλά ακόμα θρεπτικά συστατικά επηρεάζονται άμεσα από την τροφή, την θερμοκρασία, το είδος και την ηλικία. Για αυτό τον λόγο η γνώση των θρεπτικών αναγκών της τιλάπιας αποτελεί αναγκαίο κομμάτι για την σωστή εκτροφή της.

Τα ψάρια δεν έχουν ακριβείς απαιτήσεις σε ποσοστό πρωτεϊνών, ωστόσο χρειάζονται ένα ισορροπημένο μείγμα από απαραίτητα και μη απαραίτητα αμινοξέα (Webster and Lim, 2002). Μερικοί ερευνητές έχουν χρησιμοποιήσει φυσικές και

συνθετικές δίαιτες για να διερευνήσουν το ιδανικό επίπεδο των πρωτεϊνών στις τροφές για την τιλάπια. Οι πρωτεϊνικές απαιτήσεις για τη βέλτιστη ανάπτυξη εξαρτώνται από την πηγή πρωτεΐνης που εμπεριέχεται στην δίαιτα, το μέγεθος και την ηλικία των ψαριών. Κυμαίνονται από 45-50% για τις προνύμφες που τρέφονται για πρώτη φορά, 35-40% για τα ιχθύδια και τα νεαρά άτομα (έως 10 g), 30-35% για τα νεαρά άτομα (10,0-25,0 g) έως 28-30% για τα ενήλικα άτομα. Η μεγαλύτερη πεπτικότητα σε πρωτεΐνη έχει εντοπιστεί στους 25 °C (Stickney, 1997).

Μια άλλη πολύ καλή πηγή ενέργειας για τα ψάρια είναι τα λιπίδια, διότι μπορούν να μειώσουν το κόστος της τροφής και ταυτόχρονα να παρέχει στο ψάρι την απαραίτητη ενέργεια. Επιπλέον τα λιπίδια της τροφής αποτελούν τη μοναδική πηγή των απαραίτητων λιπαρών οξέων που χρησιμοποιούνται για τη φυσιολογική ανάπτυξη των ψαριών. Η ελάχιστη απαίτηση διαιτητικών λιπιδίων στις δίαιτες της τιλάπιας είναι 5%, ωστόσο έχει αναφερθεί βελτίωση της ανάπτυξης και της αποδοτικότητας της αξιοποίησης των πρωτεϊνών για δίαιτες με 10-15% λιπίδια. Έχει αποδειχθεί ότι τόσο τα ω-3 όσο και τα ω-6 πολυακόρεστα λιπαρά οξέα (ΠΛΟ) είναι απαραίτητα για τη μέγιστη ανάπτυξη της υβριδικής τιλάπιας (*O. niloticus* x *O. aureus*) (Ng. & Chong 2004). Σε αντίθεση με τα θαλάσσια είδη ψαριών, η τιλάπια δεν φαίνεται να έχει απαίτηση για ω-3 λιπαρά οξέα όπως τα EPA (20:5ω-3) και DHA (22:6ω-3) και η απαίτησή της σε ω-3 λιπαρά οξέα μπορεί να καλυφθεί με λινολενικό οξύ (18:3ω-3) (Ng., & Chong., 2004).

Οι ακριβείς απαιτήσεις των ειδών τιλάπιας σε υδατάνθρακες δεν είναι γνωστές. Οι υδατάνθρακες περιλαμβάνονται στις ζωοτροφές της τιλάπιας για να παρέχουν μια φθηνή πηγή ενέργειας και για τη βελτίωση των ιδιοτήτων δέσμευσης των σφαιριδίων. Η τιλάπια μπορεί να χρησιμοποιήσει αποτελεσματικά και να αφομοιώσει έως και 35-40%. Η αξιοποίηση των υδατανθράκων από την τιλάπια επηρεάζεται από διάφορους

παράγοντες, όπως της πηγής προέλευσης, του είδους και του μεγέθους των ψαριών και της συχνότητας διατροφής (El-Sayed, 2006).

Η προσθήκη βιταμινών δεν είναι απαραίτητη για την τιλάπια σε ημι εντατικά συστήματα εκτροφής, ενώ οι βιταμίνες είναι γενικά απαραίτητες για τη βέλτιστη ανάπτυξη και υγεία της τιλάπιας σε συστήματα εντατικής εκτροφής, όπου υπάρχουν περιορισμένες φυσικές τροφές. Οι ανάγκες της τιλάπιας σε διάφορες βιταμίνες επηρεάζονται από άλλους διαιτητικούς παράγοντες και πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στη διαμόρφωση της διατροφής. Για παράδειγμα, η απαίτηση σε βιταμίνη E επηρεάζεται από το επίπεδο λιπιδίων της δίαιτας με την τιλάπια του Νείλου να απαιτεί 50-100 mg/kg όταν τρέφεται με δίαιτα με 5% λιπίδια και να αυξάνεται σε 500 mg/kg δίαιτας για δίαιτες με 10-15% λιπίδια (Lim & Webster, 2006).

1.2.3 Χρήση τιλάπιας σε ενυδρειοπονικά συστήματα.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί η τιλάπια χρησιμοποιείται συχνά σε ενυδρειοπονικά συστήματα λόγω του γρήγορου ρυθμού ανάπτυξής της, της ανθεκτικότητάς της και της ικανότητάς της να αντέχει σε διαφορετικές συνθήκες νερού. Σχετικά με την διατροφή, οι τιλάπιες είναι γενικά παμφάγες και η διατροφή τους μπορεί να αποτελείται από διάφορους τύπους τροφής. Συνήθως χρησιμοποιούνται οι εμπορικές δίαιτες με σύμπληκτα, ειδικά διαμορφωμένες για την τιλάπια.

Όσον αφορά την ιχθυοπυκνότητα στην ενυδρειοπονία, είναι σημαντικό να ληφθεί υπόψη το μέγεθος και ο ρυθμός ανάπτυξης της τιλάπιας, καθώς και το μέγεθος και η χωρητικότητα του συστήματος υδατοκαλλιέργειας. Μια συνήθης πυκνότητα εκτροφής για την τιλάπια σε ένα καλά σχεδιασμένο σύστημα υδατοκαλλιέργειας είναι περίπου 20

kg βιομάζας ανά κυβικό μέτρο (m³) νερού. Γενικά, η σίτιση γίνεται πολλές φορές την ημέρα, με τα νεότερα ψάρια να απαιτούν συχνότερη σίτιση.

1.3 Γενικά χαρακτηριστικά μαϊντανού

Ο μαϊντανός ανήκει στο φύλο Αγγειόσπερμα, κλάση Δικοτυλήδονα, τάξη Σκιαδανθή, οικογένεια Σκιαδοφόρα (Ariaceae ή Umbelliferae). Στην οικογένεια αυτή ανήκουν φυτά ποώδη, μονοετή ή πολυετή, σπάνια ξυλώδη, τα οποία συχνά σχηματίζουν ριζώματα (Πετρόπουλος Σπυρίδων, 2006). Τα καλλιεργούμενα είδη που ανήκουν στην οικογένεια των Σκιαδοφόρων περιλαμβάνουν εκτός από το μαϊντανό, το σέλινο, το καρότο, το σέλινο, τον άνηθο και το μάραθο.

Ο μαϊντανός είναι ένα εντομόφιλο, δικύτυλο, διετές φυτό (αν και συνηθίζεται να καλλιεργείται ως ετήσιο) ύψους 40-80cm, με λεία γυαλιστερή υφή, που δίνει χαρακτηριστική οσμή δια τριβής. Τα συστατικά του αιθέριου ελαίου, τα οποία είναι υπεύθυνα για το εξαιρετικό του άρωμα είναι το 1,3,8 π-μενθατριένιο και το β-φελλανδρένιο καθώς επίσης η μυριστικήνη και η απιόλη. Σε όλα τα όργανα του φυτού παρατηρούνται σχιζογενείς εκκριτικοί αγωγοί, που παράγουν αιθέρια έλαια και ρητίνες (Πετρόπουλος Σπυρίδων, 2006).

Τον πρώτο χρόνο της ανάπτυξης του φυτού εμφανίζονται τα φύλλα, τα οποία είναι σύνθετα, φωτεινά, σκουροπράσινα, κατσαρά ή πλατύφυλλα και εναλλασσόμενα. Η μορφή των φύλλων είναι γενικά τριγωνική, με οδοντωτή περιφέρεια. Τα κατώτερα φύλλα είναι δις ή τρις πτεροειδή, σπάνια απλά, ωοειδή, σφηνοειδή, λογχοειδή.

Ο βλαστός είναι κοίλος, γραμμωτός (ραβδωτός), με συμπαγή γόνατα ή κόμβους, με λίγα μεσογονάτια διαστήματα και κατά μήκος διακλαδιζόμενος. Η ρίζα ανάλογα με

την ποικιλία μπορεί να είναι θυσσανώδης, αποτελούμενη από μία κεντρική ρίζα και πολλές δευτερεύουσες ρίζες. Το ριζικό σύστημα του φυτού είναι αβαθές και μπορεί να φτάσει τα 45-60cm.

Ο μαϊντανός καλλιεργείται με πολλές παραλλαγές που διακρίνονται από τον τύπο και τη μορφή των φύλλων. Υπάρχουν πολυάριθμες καλλιεργούμενες ποικιλίες μαϊντανού. Οι πιο γνωστές είναι ο Ιταλικός (κοινός πλατύφυλλος) μαϊντανός (*Petroselinum crispum* (Mill) Nym.spp. *neapolitanum* Danert), ο Γαλλικός (σγουρός) μαϊντανός (*Petroselinum crispum* (Mill) Nym, var *crispum* L.) και ο Πολωνικός ή ριζώδης μαϊντανός (*Petroselinum crispum* (Mill) Nym. var *tuberosum* (Bernh) (Πετρόπουλος Σπυρίδων,2006).

1.3.1 Θρεπτική αξία μαϊντανού

Η παραγωγή μαϊντανού είναι σχετικά μικρή. Τα μέρη του φυτού που χρησιμοποιούμε στη διατροφή μας είναι τα φύλλα, οι μίσχοι, η ρίζα και οι καρποί, νωπά και αποξηραμένα.

Τα πράσινα φύλλα του μαϊντανού έχουν ένα ήπιο, ευχάριστο άρωμα και είναι ιδιαίτερα θρεπτικά με σχετικά λίγες θερμίδες (Πίν. 1). Είναι μία άριστη πηγή βιταμίνης A, B και C, ριβοφλαβίνης, θειαμίνης, ασβεστίου, σιδήρου, καλίου, μαγνησίου και άλλων αλάτων και ιχνοστοιχείων (Πίν. 1) και η χαρακτηριστική γεύση και το πράσινο χρώμα τους διατηρείται αν αποξηραθούν γρήγορα. Το χαρακτηριστικό άρωμα είναι το ίδιο σε όλα τα μέρη του φυτού, αλλά εντονότερο στη ρίζα. Τα φύλλα παράγουν αιθέριο έλαιο περίπου 1%, ενώ περίπου 6% λαμβάνεται από τους σπόρους. Το αιθέριο έλαιο των φύλλων θεωρείται ανώτερο από αυτό των σπόρων και χρησιμοποιείται στα καρυκεύματα

και στα μπαχαρικά. Το έλαιο του σπόρου χρησιμοποιείται στα αρώματα, στα σαπούνια και στις κρέμες (Πετρόπουλος Σπυρίδων,2006).Μερικές επιδράσεις στην ανθρώπινη υγεία περιγράφονται παρακάτω. Οι φαρμακευτικές ιδιότητες του μαϊντανού είναι γνωστές από τα αρχαία χρόνια όπου ο Ιπποκράτης το χρησιμοποιούσε σε διάφορα τονωτικά, αντίδοτα δηλητηρίων, αντιρευματικά αλλά και σε διάφορες συνταγές για τη θεραπεία στις πέτρες και κύστες νεφρών. Ο μαϊντανός έχει αυξημένη περιεκτικότητα (1.7% ανά μονάδα μάζας) σε οξαλικό οξύ, ένα συστατικό που συμμετέχει στο σχηματισμό πέτρας νεφρού και έλλειψη θρεπτικών στοιχείων ενώ θα πρέπει να χρησιμοποιείται με προσοχή από έγκυες γυναίκες.

Πίνακας 1. Θρεπτική αξία μαϊντανού.

ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ	
ΝΕΡΟ	87,71%
ΕΝΕΡΓΕΙΑ/ΘΕΡΜΙΔΕΣ	36Kcal
ΠΡΩΤΕΪΝΕΣ	3g
ΛΙΠΗ	0,79g (μη κορεσμένα)
ΥΔΑΤΑΝΘΡΑΚΕΣ	6,33g
ΊΝΕΣ	3.3g
ΣΑΚΧΑΡΑ	0.85g

Τα ποσοστά είναι σχετικές τιμές με βάση τα συνιστώμενα ποσοστά σε ενήλικες στις ΗΠΑ.

(Πηγή: USDA Nutrient database, Ανώνυμος,2009).

Πίνακας 2. Ποσοστό βιταμινών και ιχνοστοιχείων μαιντανού

ΒΙΤΑΜΙΝΕΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ(mg)	ΙΧΝΟΣΤΟΙΧΕΙΑ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ(mg)
Βιταμίνη C ασκορβικό οξύ	133	P	58
Θειαμίνη (βιταμίνη B-1)	0,086	Fe	6,2
Ριβοφλαβίνη(βιταμίνη B-2)	0,098	Na	56
Νιασίνη (βιταμίνη B-3)	1,313	K	554

Παντοθενικό οξύ (βιταμίνη B-5)	0,4	Mg	50
Βιταμίνη B-6	9	Zn	1,07
Βιταμίνη A	8,424	Cu	0,149
Βιταμίνη E(α-τοκοφερόλη)	0,00075	Mn	0,16
Μέταλλα		σελήνιο	Ίχνη
Ca	138		

Απαιτήσεις σε κλίμα, έδαφος, θρεπτικά στοιχεία και νερό

Ο κύριος παράγοντας που καθορίζει τη περιεκτικότητα της φυτικής ύλης σε θρεπτικά στοιχεία είναι το ειδικό γενετικά ορισμένο δυναμικό πρόσληψης του φυτού για το καθένα από τα θρεπτικά. Έτσι εξηγείται το γεγονός ότι η περιεκτικότητα σε N και K της φυτικής ύλης είναι περίπου 10 φορές μεγαλύτερη από την περιεκτικότητα της σε μικροθρεπτικά.(Σταυρινού,2006)

Τα στοιχεία C, N, O,H, P και S αποτελούν δομικές μονάδες- βασικά συστατικά – των κύριων οργανικών ενώσεων του φυτού, ενώ οι πολύ μικρές ποσότητες που χαρακτηρίζουν τα μικροθρεπτικά δεν επιτρέπουν να αποδοθούν σε αυτά άλλες λειτουργίες, εκτός από την εξασφάλιση της ρυθμιστικής λειτουργίας των ενζυμικών συστημάτων. Τα θρεπτικά που προσλαμβάνουν τα φυτά από το έδαφος σε πολύ μικρές ποσότητες επαρκούν, συνήθως για τις ανάγκες των φυτών, εκτός και αν ορισμένοι παράγοντες, όπως η οξύτητα του εδάφους, τα καθιστούν αδιάλυτα ή μη διαθέσιμα στα φυτά. Γενικά, όσο μεγαλύτερη είναι η ποσότητα ενός θρεπτικού που τα φυτά παίρνουν από το έδαφος, τόσο γρηγορότερα είναι δυνατόν να εξαντληθούν τα αποθέματα του εδάφους στο θρεπτικό αυτό. Ο μαϊντανός είναι φυτό της εύκρατης ζώνης. Ο ριζώδης μαϊντανός όπως και τα φυλλώδη είδη μαϊντανού είναι φυτό ψυχρής εποχής, αρκετά ανθεκτικός στο κρύο. Η ιδανική θερμοκρασία για την ανάπτυξή του είναι 15-18°C (όχι μεγαλύτερη από 24 °C). Σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες (μικρότερη από 0 °C) το

υπέργειο μέρος του φυτού καταστρέφεται. Η παρατεταμένη έκθεση του φυτού σε χαμηλές θερμοκρασίες ($<7^{\circ}\text{C}$) μπορεί να προκαλέσει «εαρινοποίηση» δηλαδή πρόωρη άνθηση η οποία οδηγεί στη μείωση της ποιότητας και παραγωγής ριζών. Είναι φυτό ουδέτερο ως προς την αντίδρασή του στη φωτοπερίοδο και μπορεί να καλλιεργηθεί σε ημισκιά ή σε πλήρη φωτισμό (Πετρόπουλος,2006).

Στην Ελλάδα ανθίζει από τον Ιούνιο μέχρι τον Αύγουστο και οι σπόροι ωριμάζουν από τον Ιούλιο μέχρι το Σεπτέμβριο. Ο ριζώδης μαϊντανός απαιτεί γόνιμο έδαφος, κατά προτίμηση τα ελαφριά, αμμοπηλώδη, μέσης σύστασης εδάφη. Το έδαφος πρέπει να είναι βαθιά κρυμμένο και υγρό, αλλά καλά αποστραγγιζόμενο και ελαφρώς όξινης έως ουδέτερης αντίδρασης (pH 6-7). Το έδαφος χρειάζεται να είναι ψιλοχωματισμένο και απαλλαγμένο από σβώλους ώστε να διευκολύνεται η ομαλή και ομοιόμορφη βλάστηση των σπόρων.(Σταυρινού,2006).

1.3.2 Χρήση μαϊντανού σε ενυδρειοπονικά και υδροπονικά συστήματα

Ο μαϊντανός είναι ένα πολύ κοινό βότανο που καλλιεργείται και σε υδροπονικά και ενυδρειοπονικά συστήματα λόγω του θρεπτικού περιεχομένου (πλούσιο σε βιταμίνες Α και C, ασβέστιο και σίδηρο και την υψηλή αγοραστική αξία του). Ο μαϊντανός είναι ένα εύκολο βότανο στην καλλιέργεια ως θρεπτικό συστατικό και οι απαιτήσεις του είναι σχετικά χαμηλές σε σύγκριση με άλλα λαχανικά.

Η κύρια δυσκολία κατά την καλλιέργεια του μαϊντανού είναι η αρχική βλάστηση, η οποία μπορεί να διαρκέσει 2-5 εβδομάδες, ανάλογα με το πόσο φρέσκοι είναι οι σπόροι. Για την επιτάχυνση της βλάστησης, οι σπόροι μπορεί να εμποτιστούν σε ζεστό νερό (20-23) για 24-48 ώρες για να μαλακώσουν οι φλοιοί των σπόρων. Στη συνέχεια στραγγίζεται

το νερό και σπέρνονται οι σπόροι σε δίσκους πολλαπλασιασμού. Τα αναδύόμενα σπορόφυτα θα έχουν την όψη χόρτου, με δύο στενά φύλλα σπόρων το ένα απέναντι από το άλλο. Μετά από 5-6 εβδομάδες, μεταφυτεύονται τα σπορόφυτα σε μονάδα υδροπονίας. (Χονδράκη,2009)

Η συγκομιδή ξεκινά μόλις οι μεμονωμένοι μίσχοι του φυτού είναι τουλάχιστον μήκους 15 εκατοστών. Γίνεται συγκομιδή πρώτα στα εξωτερικά στελέχη από το φυτό καθώς αυτό θα ενθαρρύνει την ανάπτυξη όλη τη σεζόν. Αν κοπούν μόνο τα πάνω φύλλα, τα κοτσάνια θα παραμείνουν και το φυτό θα είναι λιγότερο παραγωγικό.

Ο νηματώδης (*Paratylenchus bukowinensis*) είναι κοινός στις περιοχές που καλλιεργούνται τα κύρια φυτά ξενιστές όπως και ο μαϊντανός. Τα επίπεδα απώλεια απόδοσης του μαϊντανού είναι υψηλότερα από άλλα φυτά ξενιστές, αφού ο μαϊντανός είναι εξαιρετικά ευαίσθητος σε αυτό το εξωπαράσιτο νηματώδες.

Απαιτήσεις μαϊντανού σε υδροπονική και ενυδρείοπονική καλλιέργεια (Κάββουρας, 2019)

i. Απαιτήσεις pH

Σε αντίθεση με άλλα λαχανικά, ο μαϊντανός είναι ένα απλό βότανο για καλλιέργεια αφού δεν είναι φυτό που απαιτεί θρεπτικά συστατικά. Θα χρειαστεί ένα εύρος pH μεταξύ 6 και 7 για να ευδοκιμήσει.

ii. Θερμοκρασία

Όταν πρόκειται για θερμοκρασία, θα πρέπει να είναι περίπου 15 °C έως 25 °C για βέλτιστη ανάπτυξη.

iii. Φωτοπερίοδος

Φωτοπερίοδο οκτώ ώρες την ημέρα. Ωστόσο, χρειάζεται μερική σκίαση εάν η θερμοκρασία ανέβει περισσότερο από 25 °C.

iv. Διάσταση φυτών

Ο καλύτερος συνδυασμός για πιο αποδοτική καλλιέργεια μαϊντανού είναι τα σπαράγγια, η ντομάτα και το καλαμπόκι. Όταν φυτεύονται μαζί, ο μαϊντανός βοηθά τις άλλες καλλιέργειες να γίνουν πιο δυνατές και σε αντάλλαγμα, τα υπόλοιπα λαχανικά βοηθούν στην πρόληψη των επιβλαβών παρασίτων. Εκτός από τον παράγοντα που προαναφέραμε, είναι σημαντικό σε καλλιέργεια ενυδρειοπονίας να γίνεται σωστή διαχείριση των ψαριών για διασφάλιση των αποθεμάτων. Η ύπαρξη ενός υγιούς αποθέματος ψαριών είναι απαραίτητη για τη διασφάλιση μιας σταθεράς συγκομιδής των καλλιεργειών. Τα τρία κυρίαρχα παθογόνα που είναι επικίνδυνα για εκτεταμένη ασθένεια των ψαριών στις δεξαμενές είναι τα παράσιτα, οι μύκητες και τα βακτήρια. Αυτά τα τρία παθογόνα μπορούν να διεισδύουν στο περιβάλλον της υδατοκαλλιέργειας όταν υπάρχει μία εισαγωγή νέας παροχής νερού, ψαριών ή στο ήδη υπάρχον νερό στο σύστημα της δεξαμενής (Χονδράκη, 2009).

1.4 Σκοπός διπλωματικής εργασίας

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν να διερευνηθεί η επίδραση τριών διαφορετικών πυκνοτήτων τιλάπιας (*O. mossambicus*) στην ανάπτυξη και επιβίωση του μαϊντανού (*Petroselinum crispum*) σε σύστημα ενυδρειοπονίας.

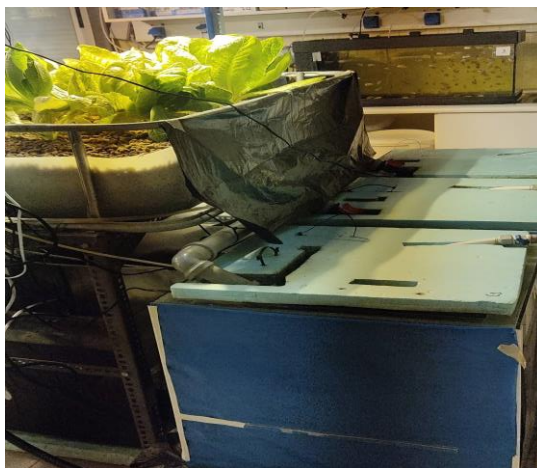
2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Το πείραμα διεξήχθη στις εγκαταστάσεις του τμήματος Γεωπονίας, Ιχθυολογίας και Υδάτινου περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Βόλο και συγκεκριμένα στο εργαστήριο ενυδρειοπονίας. Είχε διάρκεια 31 ημερών, με ημέρα 0 την 1^η Ιουνίου 2021 και ημέρα 31 την 2^α Ιουλίου 2021.

2.1. Ενυδρειοπονικό σύστημα (τιλάπια-μαϊντανός)

Για την διεξαγωγή του πειράματος έγινε χρήση 3 ενυδρειοπονικών συστημάτων. Κάθε σύστημα αποτελούνταν από 3 ενυδρεία, 1 δεξαμενή ανάπτυξης φυτών (*growbed*) και 1 φίλτρο τύπου sump.

Ο συνολικός όγκος νερού κάθε συστήματος ήταν 500 L. Αναλυτικότερα, το κάθε σύστημα αποτελούνταν από 3 ενυδρεία χωρητικότητας 100L, με διαστάσεις 50 x 50 x 50, ένα *growbed* χωρητικότητας 26 L, διαστάσεων 112 x 73 x 20 cm και ένα φίλτρο τύπου sump διαστάσεων 100 x 50 x 48cm και χωρητικότητας 184 L (Εικ.1). Το σύστημα περιείχε γλυκό νερό. Η λειτουργία του συστήματος βασίζεται στην ανακυκλοφορία του νερού, η οποία ξεκινάει από τα ενυδρεία, έπειτα οδηγείται στο φίλτρο, στην δεξαμενή ανάπτυξης των φυτών και καταλήγει ξανά στα ενυδρεία, δημιουργώντας έτσι ένα σύστημα ανακύκλωσης νερού με σταθερή ροή.



Εικόνα 1. Σύστημα ενυδρειοπονίας παρούσας διατριβής (Πηγή: Προσωπικό αρχείο).

2.1.1 Ενυδρεία

Για το πείραμα χρησιμοποιήθηκε υβρίδιο τιλάπιας *Oreochromis Mossambicus* (red tilapia). Οι τιλάπιες τοποθετήθηκαν σε κάθε σύστημα με διαφορετικές ιχθυοπυκνότητες. Έτσι, το πρώτο σύστημα (Α), περιείχε συνολικά 18 ψάρια, 6 σε κάθε ενυδρείο. Τα ενυδρεία Α1, Α2, Α3 είχαν βιομάζες 216,4, 214,5 και 217,1 g αντίστοιχα. Το δεύτερο σύστημα (Β), περιείχε συνολικά 24 ψάρια, 8 σε κάθε ενυδρείο. Τα ενυδρεία Β1, Β2, Β3 είχαν βιομάζες 285,1, 283,5 και 282,3 g αντίστοιχα. Ομοίως, το τρίτο σύστημα (Γ), περιείχε συνολικά 12 ψάρια, 4 σε κάθε ενυδρείο, με τις βιομάζες στα ενυδρεία Γ1, Γ2 και Γ3 να είναι 146,7, 146,3 και 145,8 g αντιστοίχως. Οι τιλάπιες πριν τοποθετηθούν στα συστήματα αναισθητοποιήθηκαν σε διάλυμα φαινοξυαιθανόλης (0,4 mL αναισθητικού σε 2 L νερού) ώστε να μετρηθούν τα μορφομετρικά τους χαρακτηριστικά (ολικό βάρος και ολικό μήκος).

Πριν την έναρξη της πειραματικής διαδικασίας, πιο συγκεκριμένα στις 26 Απριλίου, προστέθηκαν 6 ψάρια σε κάθε σύστημα (2 τιλάπιες σε κάθε ενυδρείο), με στόχο την

έναρξη της λειτουργίας του και ρύθμισής του. Από τις 26 Απριλίου έως και την έναρξη του πειράματος την 1^η Ιουνίου γίνονταν καθημερινά αλλαγές νερού (40 L), με σκοπό την μείωση και σταθεροποίηση του pH, ώστε να επιτευχθούν οι ιδανικές συνθήκες για τη διεξαγωγή του πειράματος. Στις 18 Μαΐου προστέθηκαν 4 τιλάπιες σε κάθε ενυδρείο του συστήματος VLS1, 6 τιλάπιες σε κάθε ενυδρείο του συστήματος VLS2 και στο τρίτο σύστημα προστέθηκαν από 2 τιλάπιες σε κάθε ενυδρείο, με σκοπό να εγκλιματιστούν και να τηρηθούν οι ιχθυοπυκνότητες του αρχικού πειραματικού σχεδιασμού. Το τάισμα τις ημέρες του εγκλιματισμού ήταν παρόμοιο με εκείνο που εφαρμόστηκε κατά τη διάρκεια του πειράματος. Σε κάθε ενυδρείο, για όλα τα συστήματα, τοποθετήθηκε μια αερόπετρα για παροχή οξυγόνου και ένας θερμοστάτης για τον έλεγχο της θερμοκρασίας του νερού (23°C).

2.1.2 Δεξαμενή ανάπτυξης φυτών – Growbed

Οι δεξαμενές ανάπτυξης φυτών κάθε συστήματος είχαν διαστάσεις 112 cm x 73 cm x 20 cm με χωρητικότητα νερού 26 L (Εικ.3). Η καθεμία ήταν γεμάτη με διογκωμένη άργιλο τύπου Leca. Όλα τα συστήματα με υψηλή πυκνότητα εκτροφής ψαριών απαιτούν ξεχωριστό στοιχείο βιοδιήθησης, όπου βρίσκεται ένα υλικό με μεγάλη επιφάνεια. Αυτό το υλικό συμπεριλαμβάνεται στα αδρανή μέσα ανάπτυξης (στρογγυλή, ελαφριά, διάμετρος 8-20 mm (FAO,2014)).



Εικόνα 2. Διογκωμένη άργιλος (Πηγή: προσωπικό αρχείο)

Πάνω από τα growbed, τοποθετήθηκε λαμπτήρας HPS (High Pressure Sodium) 400W με ανακλαστήρα. Η φωτοπερίοδος ρυθμίστηκε σε 12 ώρες φως και 12 ώρες σκοτάδι.

Τα φυτά που χρησιμοποιήθηκαν για το πείραμα ήταν μαϊντανοί (*Petroselinum crispum*), οι οποίοι παραλήφθηκαν από φυτώριο της περιοχής του Βόλου. Τα φυτά παραλήφθηκαν στις 28 Μαΐου και τοποθετήθηκαν σε δίσκους πάνω στα growbed. Έγινε πότισμα με σκοπό τον εγκλιματισμό τους. Στις 29 Μαΐου έγινε παρασκευή λιπάσματος για υδρολίπανση και διαφυλλικά και πραγματοποιήθηκε πότισμα φυτών με αυτά.

Η φύτευση έγινε στις 1 Ιουνίου 2021, που ορίστηκε ως η ημέρα 0 του πειράματος. Στην δεξαμενή κάθε συστήματος τοποθετήθηκαν 13 μαϊντανοί από τους οποίους οι 3 ήταν δείκτες, οι οποίοι αφερέθηκαν την 10^η ημέρα για παρατήρηση της ανάπτυξής τους. Τα φυτά αφαιρέθηκαν προσεκτικά από τις γλάστρες τους ώστε να μην τραυματιστούν οι ρίζες, ξεπλήθηκαν με γλυκό νερό προκειμένου να απαομακρυνθεί κάθε ίχνος χώματος και τοποθετήθηκαν σε συγκεκριμένες θέσεις. Η θερμοκρασία και η φωτοσυνθετική ενεργή ακτινοβολία PAR (Photosynthetically Active Radiation) διατηρήθηκαν παρόμοιες για

όλες τις θέσεις φύτευσης και μέσα στα όρια που χρειάζονται τα φυτά. Η μέτρηση του PAR (φωτοσυνθετική ενεργή ακτινοβολία), ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{sec}$) πραγματοποιήθηκε με PAR meter (skye) για να εξασφαλιστεί ότι για όλα τα φυτά θα κυριαρχουν οι βέλτιστες συνθήκες φωτός για την πραγματοποίηση της φωτοσύνθεσης.



Εικόνα 3. Τοποθετημένα φυτά στις δεξαμενές φυτών (Πηγή: προσωπικό αρχείο)

Μετά την φύτευση πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις θερμοκρασίας για όλα τα φυτά με την βοήθεια θερμοζεύγους, δηλαδή δύο μεταλλικοί αγωγοί που τοποθετούνται ο ένας στην μέση και ο άλλος στο ανώτατο ύψος κάθε φυτού και μετρούσαν την θερμοκρασία. Κάθε 15 μέρες πραγματοποιούνταν μετρήσεις θερμοκρασίας, του PAR και των μορφολογικών χαρακτηριστικά των φυτών, δηλαδή το ύψος και ο αριθμός των φύλλων.

Για τη ρύθμιση της θερμοκρασίας στις δεξαμενές ανάπτυξης τοποθετήθηκαν μικροί ανεμιστήρες, ενώ λειτουργούσαν και κλιματιστικά που διατηρούσαν τη θερμοκρασία στους 21-22°C.

2.1.3 Φίλτρο

Ως φίλτρο χρησιμοποιήθηκε η δεξαμενή κάτω από το growbed διαστάσεων 100cm x 50cm x 48cm, χωρητικότητας 184 L,. Το φίλτρο αποτελούνταν από 3 μέρη:

A. Μηχανικό φίλτρο ή φίλτρο καθίζησης: αποτελούνταν από στρώματα υαλοβάμβακα και σφουγγαριών και είχε σκοπό την κατακράτηση στερεών ουσιών (περιττώματα και υπολείμματα τροφής) που προέρχονταν από τα ενυδρεία, ώστε να μην διοχετευτούν στο υπόλοιπο σύστημα. Στο σημείο αυτό καταλήγει το νερό που απορρέει από τα ενυδρεία εκτροφής των ψαριών (Goddek et al., 2015), για αυτό το λόγο τοποθετείται πάντα αμέσως μετά τις δεξαμενές των ψαριών και πριν το βιολογικό φίλτρο, ώστε να γίνεται η κατακράτηση των στερεών σωματιδίων, όπως τα απεκκρίματα των ιχθύων και τα σωματίδια των τροφών που δεν καταναλώθηκαν και να μην εισέρχονται στο βιολογικό φίλτρο με αποτέλεσμα η διαχείριση τους να γίνεται πιο δύσκολη (FAO, 2014).

B. Βιολογικό φίλτρο: Το νερό των συστημάτων μετά από το μηχανικό φίλτρο, απαλλαγμένο από τα στερεά απόβλητα, κατέληγε στο βιολογικό φίλτρο, όπου ελάμβανε χώρα η βιοχημική επεξεργασία του νερού. Δηλαδή η οξείδωση της αμμωνίας που παράγονταν από τα απόβλητα των ψαριών με την βοήθεια των βακτηρίων του γένους *Nitrosomonas spp.* και *Nitrobacter spp.*, σε νιτρικά ιόντα. Τα βακτήρια, αφού τοποθετούνταν στο βιολογικό φίλτρο δημιουργούσαν αποικίες πάνω σε υλικά πλήρωσης K1 και βιόσφαιρες. Για την αύξηση της αφθονίας των βακτηρίων προστέθηκαν πριν την έναρξη του πειράματος αμπούλες βακτηρίων (Biodigest). Η 1η τοποθετήθηκε στις 26 Απριλίου και η 2η στις 17 Μαΐου. Οι αμπούλες που χρησιμοποιήθηκαν ονομάζονται *Prodibio BioDigest* και τοποθετήθηκαν και στα τρία ενυδρειοπονικά συστήματα. Κάθε

αμπούλα περιείχε αφθονία βακτηρίων, τα οποία συνεισέφεραν στην οξείδωση της τοξικής αμμωνίας σε νιτρικά ιόντα. Τα αβλαβή νιτρικά ιόντα αυτές ενώσεις αποτελούν τα θρεπτικά συστατικά που χρειάζονταν τα φυτά για τη θρέψη τους. γνωστό, τα βακτήρια χρειάζονται συνεχή παροχή οξυγόνου για την αποτελεσματικότερη λειτουργία τους, οπότε προστέθηκαν δύο πέτρες αερισμού στη δεξαμενή που περιείχε τα υλικά πλήρωσης.

Γ. Αντλία: το τελευταίο μέρος του φίλτρου αποτελούνταν από μια αντλία που οδηγούσε το νερό στις δεξαμενές ανάπτυξης των φυτών και στα ενυδρεία. Το νερό μετά το πέρασμα του από το βιολογικό φίλτρο, όντας πλέον εμπλουτισμένο με νιτρικά που θα βοηθήσουν στην βέλτιστη ανάπτυξη των φυτών, οδηγούνταν μέσα από 2 σωλήνες στις δεξαμενές ανάπτυξης των ψαριών και στο growbed αντίστοιχα. Το νερό μέσω της αντλίας διαμοιράζονταν σε ποσοστό της τάξης του 80% κατευθυνόμενο προς στο growbed των φυτών, και το σε υπόλοιπο 20% του όγκου του νερού κατευθύνονταν στις δεξαμενές εκτροφής των ψαριών, δημιουργώντας μια παροχή νερού της τάξης του 6 L/min.

2.1.4 Παροχή Τροφής

Στα ψάρια χορηγούνταν εμπορική τροφή (σύμπηκτα) η οποία αποτελούνταν από: ολικές αζωτούχες ουσίες 23%, ολικές λιπαρές ουσίες 3%, ολικές ινώδεις ουσίες 1,5%, ολική υγρασία 8%, ολική τέφρα 6%, ω6 λιπαρά οξέα 42,24% και ω3 λιπαρά οξέα 5,69%. Η τροφή χορηγούνταν καθημερινά *at libidum*, εκτός από την Κυριακή, που ορίστηκε ως ημέρα ασιτίας. Η σίτιση γινόταν 3 φορές την ημέρα με αυτόματες ταΐστρες, στις 8:00 το πρωί, στις 12:00 το μεσημέρι και στις 16:00 το απόγευμα. Για την τιλάπια, η συχνότητα

σίτισης 3 φορές την ημέρα, αποτελεί την αποδοτικότερη επιλογή για την ανάπτυξη των ιχθύων (Tsevis et al. 1992).

2.2 Μέτρηση φυσικοχημικών παραμέτρων νερού

Για την διατήρηση της σωστής λειτουργίας του συστήματος και της ανάπτυξης των ψαριών και των φυτών, γινόταν καθημερινά μέτρηση των φυσικοχημικών παραμέτρων του νερού. Κάθε μέρα, εκτός της Κυριακής, γινόταν μέτρηση της θερμοκρασίας ($T^{\circ}\text{C}$) και του pH, για κάθε δεξαμενή εκτροφής ψαριών ξεχωριστά. Κάθε Δευτέρα, Τετάρτη και Παρασκευή γίνονταν μετρήσεις φυσικοχημικών χαρακτηριστικών, του διαλυμένου οξυγόνου, % κορεσμός σε οξυγόνο %, η ηλεκτρική αγωγιμότητα (ES), η αλκαλικότητα, για την κάθε δεξαμενή ξεχωριστά. Οι μετρήσεις αυτές πραγματοποιούνταν με πολύμετρο (HQ40d, HACH).

Εκτός από τις μετρήσεις που πραγματοποιούνταν για το κάθε σύστημα χωριστά, γίνονταν μετρήσεις και για το κάθε σύστημα. Κάθε Τετάρτη και Σάββατο πραγματοποιούνταν μετρήσεις φυσικοχημικών παραγόντων για κάθε σύστημα. Συγκεκριμένα, μετριούνταν η ολική αμμωνία ($\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$), τα νιτρώδη ιόντα (NO_2^- mg/L) και τα νιτρικά ιόντα (NO_3^- mg/L). Για τις μετρήσεις λαμβάνονταν δείγματα νερού από κάθε σύστημα, στα εξής σημεία:, από την είσοδο του νερού στο growbed (growbed in) και το άλλο από την είσοδο του νερού στα ενυδρεία (growbed out). Οι μετρήσεις πραγματοποιούνταν με την χρήση ειδικού χρωματομετρικού test kit (API test kit).

2.2.1 Μέτρηση αμμωνίας

Ο χρωματομετρικός προσδιορισμός της TAN (mg/L) (Εικ.4), γίνονταν σύμφωνα με τη μέθοδο που περιγράφεται από τους Liddicoat et al. (1975) και στηρίζεται στη χρήση αντιδραστηρίων φαινόλης αλκοόλης σε οξειδωτικό διάλυμα και σιδηρούχο καταλύτη ακολουθώντας τα παρακάτω βήματα:

Βήμα 1: Σε γυάλινη κυψελίδα προστίθονταν 5mL δείγματος νερού.

Βήμα 2: Προσθήκη 8 σταγόνες από το αντιδραστήριο ammonia test solution reagent#1, ανακαίνιση για 5 sec.

Βήμα 3: Προσθήκη 8 σταγόνες του αντιδραστηρίου ammonia test solution reagent# 2 και ανακίνηση για 5 sec.

Βήμα 4: Μετά την πάροδο 5 min, εκτελούμε την μέτρηση συγκρίνοντας το χρώμα της μέτρησης με την κλίμακα της αμμωνίας (fresh water ammonia ($\text{NH}_3\text{-NH}_4^+$) colour chart).

2.2.2 Μέτρηση νιτρικών ιόντων

Ο χρωματομετρικός προσδιορισμός των NO_3^- (mg/L) (Εικ.4), γίνονταν σύμφωνα με τη μέθοδο που περιγράφεται από τους Liddicoat et al. (1975) και στηρίζεται στη χρήση αντιδραστηρίων φαινόλης αλκοόλης σε οξειδωτικό διάλυμα και σιδηρούχο καταλύτη ακολουθώντας τα παρακάτω βήματα:

1. Μέσα σε καθαρή γυάλινη κυψελίδα προστίθενται 5mL νερού, λαμβάνοντας δείγματα νερού για κάθε σύστημα από τα δύο σημεία ελέγχου, από το σημείο εισόδου ($\text{NO}_3^-_{\text{in}}$) του νερού στην υδροπονική δεξαμενή ανάπτυξης φυτών και από το σημείο εξόδου ($\text{NO}_3^-_{\text{out}}$) του νερού από την υδροπονική δεξαμενή ανάπτυξης των φυτών στα ενυδρεία.
2. Γίνεται προσθήκη 10 σταγόνων από το αντιδραστήριο Nitrate Test Solution #1

3. Ανακίνηση για 5 δευτερόλεπτα για να αναμιχθεί το διάλυμα.
4. Έπειτα προσθήκη 10 σταγόνων από το αντιδραστήριο Nitrate Test Solution #2
5. Κλείσιμο της κυψελίδας με καπάκι και έντονη ανακίνηση για 1 λεπτό. Αυτό το σημείο είναι πολύ σημαντικό για την εγκυρότητα του τεστ.
6. Αναμονή 5 λεπτών για να διαμορφωθεί το χρώμα.
7. Το τελικό χρώμα του διαλύματος συγκρίνεται με το χρώμα της αντίστοιχης κάρτας (*Freshwater Nitrate (NO₃⁻) Color Card*).

Το αποτέλεσμα θα πρέπει να διαβάζεται σε μέρος με λευκό υπόβαθρο, ο δοκιμαστικός σωλήνας να τοποθετείται πάνω στο λευκό μέρος της κάρτας δίπλα από την στήλη με τα χρώματα και τα ppm (mg/L), ώστε να γίνει σωστά η αντιστοίχιση των χρωμάτων.

2.2.3 Μέτρηση νιτρωδών ιόντων

Ο χρωματομετρικός προσδιορισμός των NO₂⁻ (mg/L) (Εικ.4), γίνονται σύμφωνα με τη μέθοδο που περιγράφεται από τους Liddicoat et al. (1975) και στηρίζεται στη χρήση αντιδραστηρίων φαινόλης αλκοόλης σε οξειδωτικό διάλυμα και σιδηρούχο καταλύτη ακολουθώντας τα παρακάτω βήματα:

Η διαδικασία μέτρησης νιτρωδών ιόντων (NO₂⁻) (mg/L) γίνεται ως εξής:

1. Προσθήκη 5 mL νερού στις κυψελίδες, όπως και στις προηγούμενες διαδικασίες ελήφθησαν 2 δείγματα νερού, ένα από την είσοδο νερού στα Growbed και ένα από την έξοδο του νερού από το growbed στα ενυδρεία.
2. Προσθήκη 5 σταγόνων από το αντιδραστήριο Nitrite Test Solution.
3. Κλείσιμο με καπάκι και ανακίνηση για 5 δευτερόλεπτα.

4. Αναμονή 5 λεπτών για να διαμορφωθεί το χρώμα.
5. Το αποτέλεσμα διαβάζεται σε λευκό φόντο με την κυψελίδα να τοποθετείται πάνω στο λευκό υπόβαθρο της κάρτας δίπλα από την στήλη των χρωμάτων συγκρίνοντας τα χρώματα.



Εικόνα 4. Χρωματομετρικά kit μέτρησης αμμωνίας, νιτρικών και νιτρωδών ιόντων (Πηγή: προσωπικό αρχείο).

2.2.4 Μετρήσεις θερμοκρασίας, pH και αλκαλικότητας

Η θερμοκρασία ρυθμίστηκε σε όλα τα συστήματα ενυδρείοπονίας στους 23°C με θερμαντικά σώματα. Ο έλεγχος της θερμοκρασίας γινόταν καθημερινά με πολύμετρο (HACK-LANGE 40QH) και η καταγραφή της θερμοκρασίας γίνονταν με βύθιση του αισθητήρα στο νερό.

Το pH αποτελεί πολύ σημαντική παράμετρο στα συστήματα ενυδρείοπονίας καθώς όταν οι τιμές του παρεκκλίνουν από τις ασφαλείς τιμές που κυμαίνονται από 6 έως 8 (Somerville et al. 2014) επηρεάζεται η λειτουργία του συστήματος με επιπτώσεις στην ανάπτυξη των φυτών, αλλά και στη διαταραχή της αφθονίας των βακτηρίων στο σύστημα. Για αυτό το λόγο είναι σημαντικό να γίνονται καθημερινές μετρήσεις. Σε περίπτωση που το pH χρειαζόταν να μειωθεί γίνονταν αλλαγές νερού της τάξης του 5% έως 10% του συνολικού όγκου του συστήματος που αντιστοιχούσε περίπου σε 30-40 L, με νερό από δεξαμενή όπου το pH ήταν ρυθμισμένο και διατηρούνταν εντός των ασφαλών ορίων (7,13 έως 7,89) για τη λειτουργία του συστήματος όπως αναφέρεται από τους Somerville et al. (2014). Το pH μεταξύ των 3 συστημάτων κυμαινόταν από 7,35, έως 8,04.

2.2.5 Χειρισμοί ενυδρειοπονικών συστημάτων.

Η σωστή λειτουργία του ενυδρειοπονικού συστήματος προϋποθέτει την καθημερινή απομάκρυνση των περιττωμάτων και υπολειμμάτων τροφής με σιφωνισμό καθώς και το πλύσιμο των υαλοβαμβάκων του μηχανικού φίλτρου. Με τον σιφωνισμό, τον καθαρισμό των υαλοβαμβάκων και την εξάτμιση του νερού, υπήρχαν απώλειες νερού στα συστήματα με αποτέλεσμα την καθημερινή αναπλήρωσή του νερού σε ποσοστό της τάξης του 5% περίπου.

2.3 Διαδικασία μέτρησης μορφολογικών χαρακτηριστικών ψαριών και φυτών

2.3.1 Μορφομετρικά χαρακτηριστικά τιλάπιας

Η μέτρηση των μορφομετρικών χαρακτηριστικών των ιχθύων πραγματοποιούνταν κάθε 15 ημέρες σε λουτρό αναισθητικού. Οι μετρήσεις του βάρους (W) και του μήκους (L) των ψαριών πραγματοποιήθηκαν την d0, d15, d30 (λήξη πειράματος). Πριν από τη μέτρηση του βάρους και του μήκους, στα ψάρια πραγματοποιούνταν ασιτία για διάστημα 24 ωρών. Ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία:

- Διαδικασία προετοιμασίας πριν από το ζύγισμα:
 - Παραλαβή και τοποθέτηση 2 λίτρων νερού από το κάθε σύστημα σε ξεχωριστούς κουβάδες.
 - Σε κάθε 2 λίτρα νερού προστέθηκε αναισθητικό, 0,3mL phenoxyethanol.
 - Για την ανάνηψη των ιχθύων από την αναισθησία, τοποθετήθηκαν 15-16 λίτρα νερού σε κουβά, μαζί με αερόπετρα για καλή οξυγόνωση του νερού.

- Σε ζυγό ακριβείας (τριών δεκαδικών ψηφίων) μετρήθηκε το ολικό βάρος και στη συνέχεια το ψάρι τοποθετούνταν στο ιχθυόμετρο για τη μέτρηση του ολικού μήκους του.
- Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας:
 - Λήψη των ιχθύων από το κάθε ενυδρείο με απόχλη και τοποθέτησή τους σε κουβά με 6 λίτρα νερό και αερόπετρα για οξυγόνωση νερού.
 - Έπειτα ακολουθούνταν λήψη των ιχθύων από τον κουβά των 6 λίτρων και τοποθέτηση τους στον κουβά με το αναισθητικό, προκαλώντας στους ιχθύες αναισθησία, (τα ψάρια έχασαν την ισορροπία τους).
 - Στη συνέχεια τα ψάρια ταμπονάρονταν σε απορροφητικό χαρτί ώστε να απομακρυνθεί κάθε ίχνος νερού για να μην μεταβληθεί η ένδειξη βάρους στη ζυγαριά.
 - Γινόταν καταγραφή βάρους και στη συνέχεια το κάθε ψάρι τοποθετούνταν στο ιχθυόμετρο για μέτρηση του ολικού μήκους του όπου και καταγράφονταν.
 - Στη συνέχεια το κάθε ψάρι τοποθετούνταν στον κουβά ανάνηψης και παρέμειναν εκεί μέχρι να ανακάμψουν πλήρως.
 - Τα ψάρια στη συνέχεια τοποθετούνταν στο ενυδρείο τους

2.3.2.Μετρήσεις μορφομετρικών χαρακτηριστικά φυτών

Κάθε 15 ημέρες πραγματοποιούνταν συστηματικά οι μετρήσεις των μορφομετρικών χαρακτηριστικών των φυτών (ύψος υπέργειου τμήματος φυτού, αριθμός κλάδων). Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν την ημέρα 0, την 15^η, την 30^η καθώς και την 45^η ημέρα του πειράματος. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν η εξής :

- Μέτρηση των φυτών πριν την συγκομιδή :
 - Χρήση ειδικού οργάνου Parometer (skye) για τη μέτρηση της φωτοσυνθετικά ενεργής ακτινοβολίας PAR (Photosynthetically Active Radiation), και καταγραφή του PAR για κάθε φυτό ξεχωριστά.
 - Μέτρηση και καταγραφή της θερμοκρασίας με την χρήση ειδικού οργάνου.
 - Μέτρηση ύψους του υπέργειου μέρους του φυτού.
 - Μέτρηση και καταγραφή των κλάδων του φυτού.
- Μέτρηση των φυτών κατά την συγκομιδή:
 - Χρήση ειδικού οργάνου Parometer (skye) για τη μέτρηση της φωτοσυνθετικά ενεργής ακτινοβολίας PAR (Photosynthetically Active Radiation), και καταγραφή του PAR για κάθε φυτό ξεχωριστά.
 - Μέτρηση και καταγραφή της θερμοκρασίας με την χρήση ειδικού οργάνου.
- Συγκομιδή φυτού:
 - Αφαίρεση της ρίζας και τοποθέτησής της σε αριθμημένο σακουλάκι
 - Μέτρηση και καταγραφή ύψους του υπέργειου φυτού (cm)
 - Συνολική μέτρηση και καταγραφή βάρους φυτού (βλαστός και φύλλα)
 - Μέτρηση και καταγραφή φύλλων (αριθμός)
 - Μέτρηση και καταγραφή μήκους (cm) και βάρους (g) βλαστού
 - Τοποθέτηση βλαστού σε αριθμημένο σακουλάκι
 - Τοποθέτηση φύλλων σε αριθμημένο σακουλάκι .

2.3.4. Δείκτες ανάπτυξης ψαριών και φυτών

Για τον υπολογισμό των δεικτών ανάπτυξης μετρήθηκαν οι ακόλουθοι δείκτες σύμφωνα με τις παρακάτω μαθηματικές σχέσεις (Μεντέ και Νέγκας, 2011):

- Επιβίωση των ιχθύων:

$$S = (\text{Τελικός αριθμός ψαριών} / \text{Αρχικός αριθμός ψαριών}) \times 100$$

- Αύξηση βάρους:

$$WG(g) = \text{Τελικό βάρος} - \text{Αρχικό βάρος}$$

- Συντελεστής μετατρεψιμότητας της τροφής:

$$FCR = KT / WG, \text{ όπου}$$

$$KT (g) = \text{Προσφερόμενη τροφή ή κατανάλωση τροφής}$$

$$WG (g) = \text{Αύξηση βάρους}$$

- Ειδικός ρυθμός ανάπτυξης:

$$SGR (\% / \text{ημέρα}) = \{100 \times [\ln (W_2) - \ln (W_1)] / \text{ημέρες σίτισης}\} \text{ όπου}$$

$$\ln (W_2): \text{ο φυσικός λογάριθμος του τελικού ολικού βάρους}$$

$$\ln (W_1): \text{ο φυσικός λογάριθμος του αρχικού ολικού βάρους}$$

- Συντελεστής ευρωστίας CF

$$K = W / L^{-3} \times 100 \text{ όπου}$$

$$W = \text{βάρος ψαριού}, L = \text{μήκος ψαριού}$$

- Ημερήσια πρόσληψη τροφής:

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

- Δείκτης αποτελεσματικότητας πρωτεϊνών

$$\text{PER (g)} = \text{αύξηση βάρους(g)} / \text{πρωτεΐνη που προσφέρθηκε(g)}$$

Ο ρυθμός ανάπτυξης των φυτών υπολογίστηκε σύμφωνα με τη μαθηματική σχέση που περιγράφεται από τους Endut et al.(2010) :

- Αύξηση ύψους φυτού (cm/d):

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

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

- Διαφορά ύψους (dH):

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

- Ποσοστιαία αύξηση φυτού (G):

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

$$\text{G\%} = (\text{Τελικό ύψος} - \text{Αρχικό ύψος}) * 100 / 60$$

2.5 Στατιστική ανάλυση

Για την στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε το στατιστικό πρόγραμμα IBM SPSS STATISTICS 26. Οι στατιστικές αναλύσεις έγιναν χρησιμοποιώντας την ανάλυση διακύμανσης μονής κατεύθυνσης (*one way ANOVA*). Η ANOVA χρησιμοποιείται για να προσδιορίσει εάν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μέσων τιμών δύο ή περισσότερων ανεξάρτητων ομάδων με επίπεδο σημαντικότητας 5%. Ο έλεγχος της ομοιογένειας έγινε με χρήση του Levene test. Προκειμένου να συγκριθούν οι διαφορές ανάμεσα στους μέσους όρους των παραμέτρων

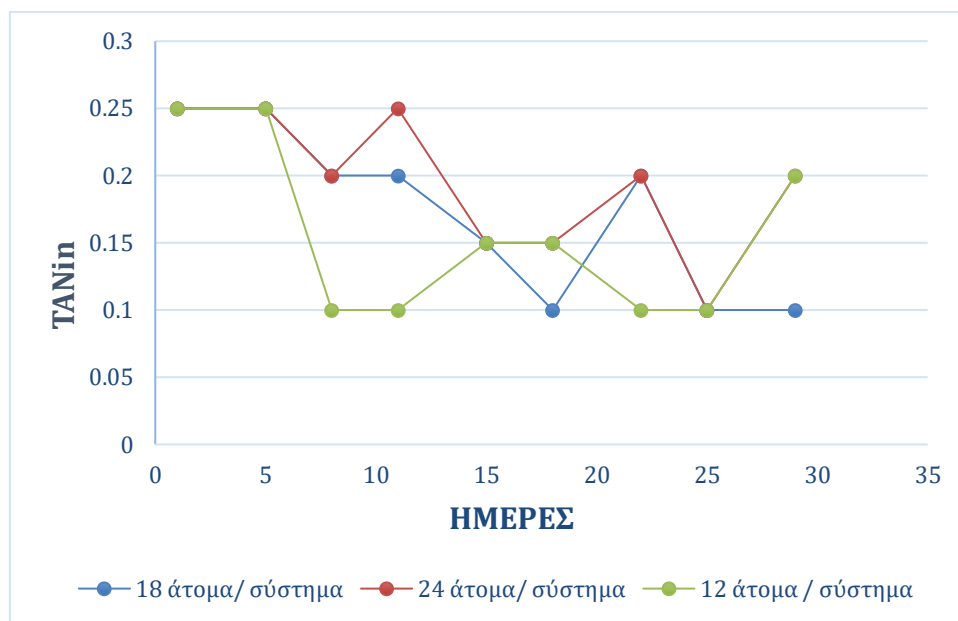
έγινε χρήση του Tukey test και Tukeys'b test (Zar 1999). Ελέγχθηκε επίσης, η κανονικότητα της κατανομής των δειγμάτων με το test του *Kolmogorov Smirnov* ή *Shapiro-wilk*. Οι μετρήσεις εκφράστηκαν ως μέσος όρος $\pm$ τυπικό σφάλμα.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 Αβιοτικοί παράγοντες

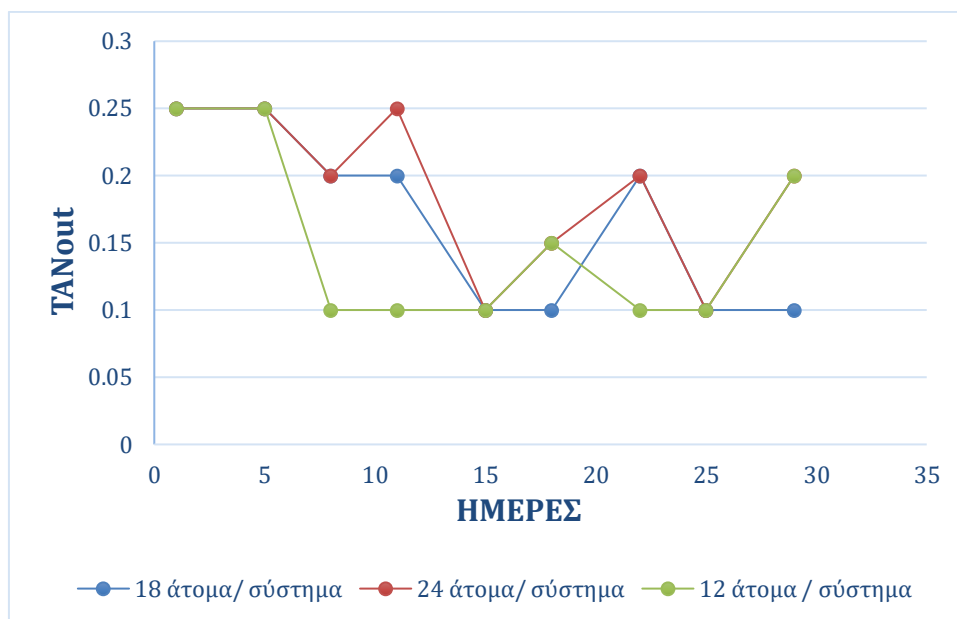
3.1.1. Ολική αμμωνία στο σημείο εισόδου (TAN_{in}) και εξόδου (TAN_{out}) της δεξαμενής ανάπτυξης των φυτών

Η μεταβολή της αμμωνίας στο σημείο εισόδου του νερού στη δεξαμενή ανάπτυξης των φυτών παρουσιάζεται στο Σχήμα 1. Την 8^η μέρα παρατηρούμε μια μικρή μείωση στην συγκέντρωση της αμμωνίας στα συστήματα με 6 ψάρια/ενυδρείο και 8 ψάρια/ενυδρείο, ενώ στο σύστημα με 4 ψάρια/ενυδρείο παρατηρείται μεγαλύτερη μείωση με την τιμή της αμμωνίας να μειώνεται από το 0,25 mg/L στο 0,1 mg/L. Την ημέρα 18 η αμμωνία του συστήματος με 6 ψάρια/ενυδρείο παρουσίασε μια πτώση στο 0,1 mg/L. Μετά την ημέρα 22 παρατηρείται ότι η αμμωνία των συστημάτων με 8 ψάρια/ενυδρείο και 4 ψάρια/ενυδρείο παρουσίασε παρόμοια τάση και μεταβάλλονταν με τον ίδιο ρυθμό. Αντιθέτως, η αμμωνία του συστήματος με 6 ψάρια/ ενυδρείο παραμένει σταθερή από την 22^η ημέρα μέχρι και το τέλος του πειράματος (ημέρα 30).



Σχήμα 1. Διάγραμμα μεταβολής της αμμωνίας (TANin) στο σημείο εισόδου του νερού στα growbed στα συστήματα ενυδρείοποινας για 30 ημέρες.

Παρακάτω στο σχήμα 2 φαίνεται η μεταβολή της αμμωνίας (TANout) στο σημείο εξόδου του νερού από το Growbed. Οι μεταβολές της αμμωνίας στο σημείου εξόδου (TANout), είναι παρόμοιες με αυτές της TANin. Στο σύστημα με 12 ψάρια (4 ψάρια/ενυδρείο) από την 5^η ημέρα ξεκινάει η πτώση της ποσότητας της TAN και παραμένει σταθερή έως την ημέρα 15, στην οποία και στα 3 συστήματα η ποσότητα της αμμωνίας βρίσκεται στο 0,1 mg/L και έπειτα αυξάνονται. Από την 23^η μέρα έως και το τέλος του πειράματος οι TANout των άλλων δύο συστημάτων συμβαδίζουν ενώ η TANout του συστήματος με 12 ψάρια (4 ψάρια/ενυδρείο) μένει σταθερή στο 0,1 mg/L.



Σχήμα 2. Διάγραμμα μεταβολής της αμμωνίας (TANout) στα σημείο εξόδου του νερού από τα growbed στα ενυδρειοπονικά συστήματα καθ' όλο το διάστημα της πειραματικής εκτροφής (30 ημέρες).

Πίνακας 3. Η συγκέντρωση της αμμωνίας στα σημεία εισόδου και εξόδου του νερού στις δεξαμενές φυτών.

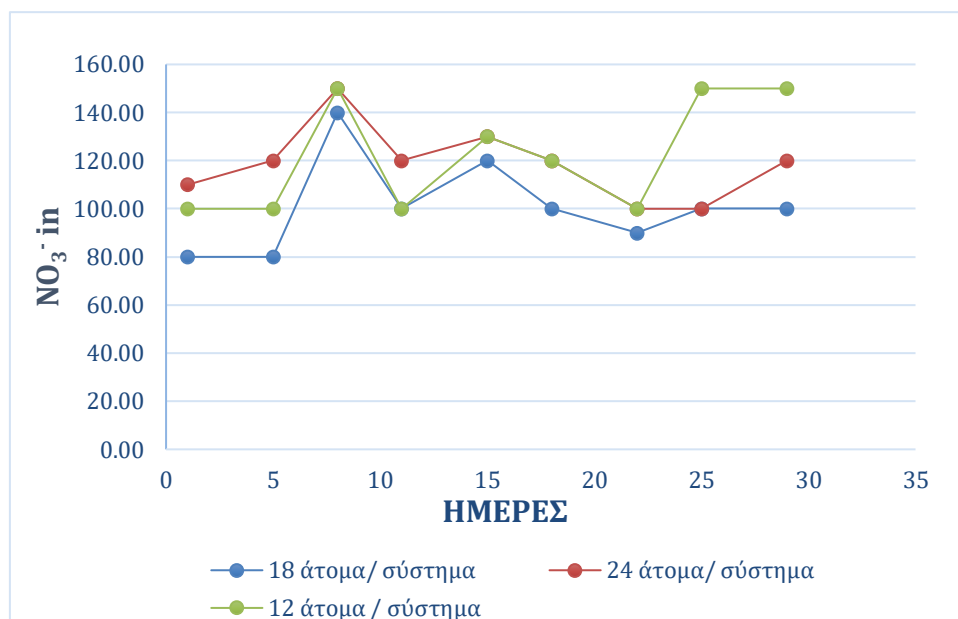
Αμμωνία	12 άτομα/σύστημα	18 άτομα/σύστημα	24 άτομα/σύστημα
TANin	0,15 ± 0,06 ^b	0,17 ± 0,04 ^a	0,2 ± 0,05 ^a
TANout	0,15 ± 0,06 ^a	1,7 ± 0,05 ^b	0,2 ± 0,06 ^a

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

3.1.2 Νιτρικά ιόντα (NO_3^-) στο σημείο εισόδου και εξόδου των growbed των συστημάτων.

Τα νιτρικά ιόντα στο σημείο εισόδου του growbed μετά την 5^η μέρα παρουσιάζουν μια αύξηση και στις μεταχειρίσεις, με μεγαλύτερη να είναι η μεταβολή στη μεταχείριση με πυκνότητα 18 ψάρια/σύστημα (από 80 σε 140 mg/L). Την 25^η ημέρα

σημειώνεται η μέγιστη τιμή, στα 150 mg/L στη μεταχείριση με πυκνότητα 24 ψάρια /σύστημα VLS3 (Σχ.3).

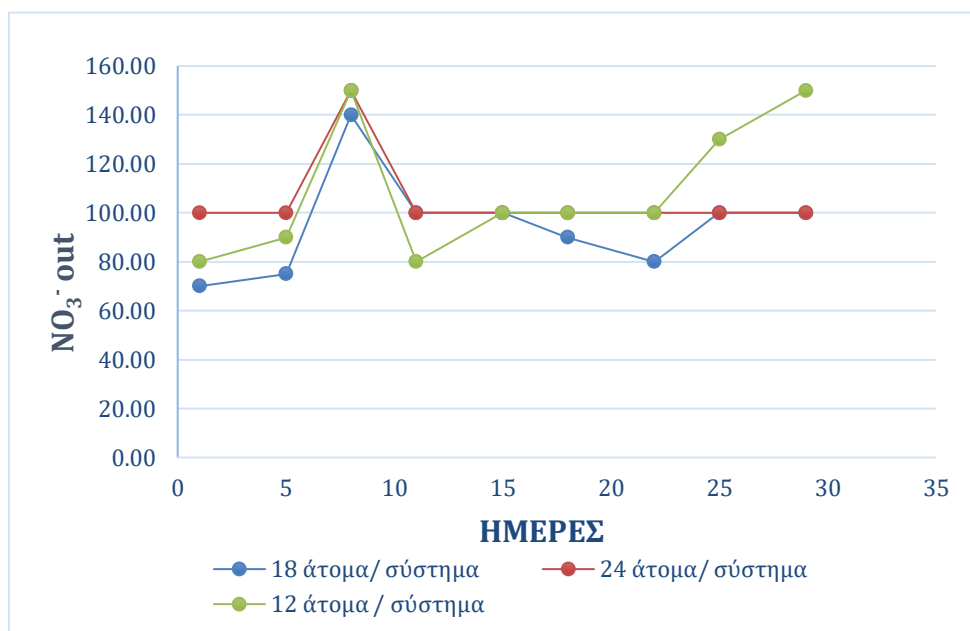


Σχήμα 3. Μεταβολή νιτρικών ιόντων στο σημείο εισόδου του νερού για όλες τις πειραματικές μεταχειρίσεις στις 30 ημέρες πειράματος.

Τα νιτρικά ιόντα στο σημείο εξόδου του νερού παρουσιάζουν παρόμοια τάση με αυτά στο σημείο εισόδου με μια αύξηση μετά την 5^η ημέρα. Μεγαλύτερη μεταβολή παρουσιάζεται στο σύστημα με τα 18 ψάρια και στο σύστημα με τα 12 ψάρια (από 70 mg/L σε 140 mg/L και από 80 mg/L σε 150 mg/L αντίστοιχα) και η μεγαλύτερη τιμή ήταν τα 150 mg/L.

Στις 15 ημέρες του πειράματος τα νιτρικά ιόντα στο σημείο εισόδου της δεξαμενής των φυτών ήταν 120 mg/L, 120 mg/L και 130 mg/L για το σύστημα με 4 ψάρια /ενυδρείο, 6 ψάρια/ενυδρείο και 8 ψάρια/ενυδρείο αντίστοιχα. Στο σημείο εξόδου από τη δεξαμενή ανάπτυξης των φυτών, τα νιτρικά παρουσίασαν τιμές 100 mg/L για όλες τις πυκνότητες εκτροφής, φανερώνοντας την απορρόφηση των νιτρικών από τα φυτά. Στις 30 ημέρες του πειράματος, οι τιμές των νιτρικών στα σημεία εισόδου και εξόδου του

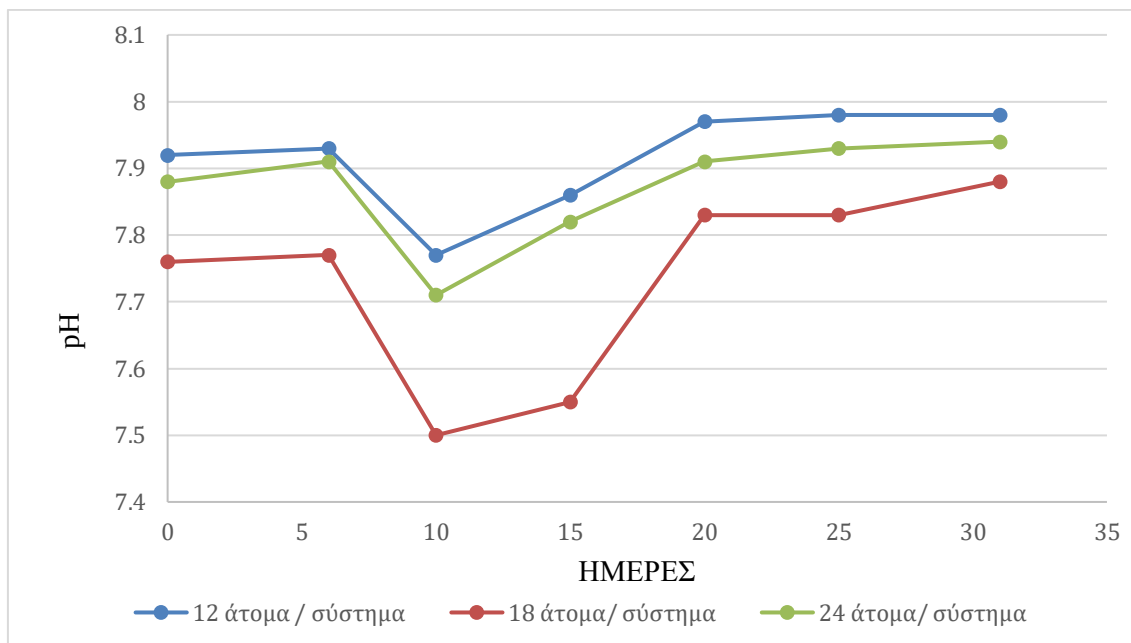
νερού από το growbed ήταν παρόμοιες για το ενυδρειοπονικό σύστημα με πυκνότητα 12 ψάρια/σύστημα (150 mg/L) και 18 ψάρια/ενυδρείο (100 mg/L), ενώ η απορρόφηση νιτρικών παρατηρήθηκε μόνο στο σύστημα με 24 ψάρια/ενυδρείο. Σε αυτό το σύστημα, τα νιτρικά στο σημείο εισόδου ήταν 120 mg/L ενώ στο σημείο εξόδου ήταν 100 mg/L.



Σχήμα 4. Μεταβολή νιτρικών ιόντων στο σημείο εξόδου του νερού για όλες τις πειραματικές μεταχειρίσεις στις 30 ημέρες πειράματος

3.1.3. pH.

Στο παρακάτω γράφημα (Σχ.5) παρουσιάζεται η μεταβολή του pH κατά την διάρκεια των 30 ημερών του πειράματος. Όπως φαίνεται το pH διατηρήθηκε σχετικά σταθερό με μικρές αυξομειώσεις από 7,35 έως 8,04.



Σχήμα 5. Μεταβολή του pH του νερού των συστημάτων για όλη τη διάρκεια του πειράματος.

3.2. Δείκτες ανάπτυξης τιλάπιας.

Στον πίνακα που ακολουθεί (Πιν. 5), παρουσιάζονται οι δείκτες ανάπτυξης της τιλάπιας στο τέλος της πειραματικής διαδικασίας (30 ημέρες). Το τελικό βάρος (W30) των ιχθύων παρουσίασε στατιστικά μεγαλύτερη τιμή στα συστήματα με πυκνότητα 12 ψάρια/σύστημα (ANOVA, $p < 0.05$). Όσον αφορά το τελικό μήκος (L30) των τιλάπιων το σύστημα με πυκνότητα 24 άτομα/σύστημα παρουσίασε στατιστικά μικρότερη μέση τιμή συγκριτικά με στις μεταχειρίσεις με πυκνότητα 12 ψάρια /σύστημα και 18 ψάρια /σύστημα (ANOVA, $p < 0.05$). Η αύξηση βάρους (WG) ήταν σημαντικά μεγαλύτερη στο σύστημα με πυκνότητα 12 άτομα /σύστημα συγκριτικά με στις μεταχειρίσεις με πυκνότητα 18 άτομα/σύστημα και 24 άτομα /σύστημα, αντίστοιχα (ANOVA, $p < 0.05$). Ο συντελεστής ευρωστίας K παρουσίασε σημαντικά μεγαλύτερη τιμή στη μεταχείριση με πυκνότητα 12 άτομα/σύστημα συγκριτικά με στις μεταχειρίσεις με τη μεγαλύτερη πυκνότητα ψαριών ανά σύστημα (18 άτομα/σύστημα και 24 άτομα /σύστημα) (ANOVA,

$p<0.05$). Ο συντελεστής ημερήσιας πρόσληψης τροφής (DFI) και ο συντελεστής μετατρεψιμότητας τροφής (FCR) στο τέλος στις πειραματικής διαδικασίας παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές μεταφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων (ANOVA, $p<0.05$).

Η ποσοστιαία αύξηση βάρους (BWI, %) παρουσίασε σημαντικά μικρότερη τιμή για το σύστημα με τη μεγαλύτερη ιχθυοπυκνότητα (24 άτομα/σύστημα) συγκριτικά με στις μεταχειρίσεις με πυκνότητα 12 άτομα/σύστημα και 18 άτομα /σύστημα , αντίστοιχα (ANOVA, $p<0,05$). Τέλος, ο συντελεστής απόδοσης πρωτεϊνών (PER) εμφάνισε σημαντικά μεγαλύτερη τιμή στη μεταχείριση με τα 12 άτομα / σύστημα συγκριτικά με στις μεταχειρίσεις με πυκνότητα 18 άτομα/σύστημα και 24 άτομα /σύστημα (ANOVA, $p<0.05$).

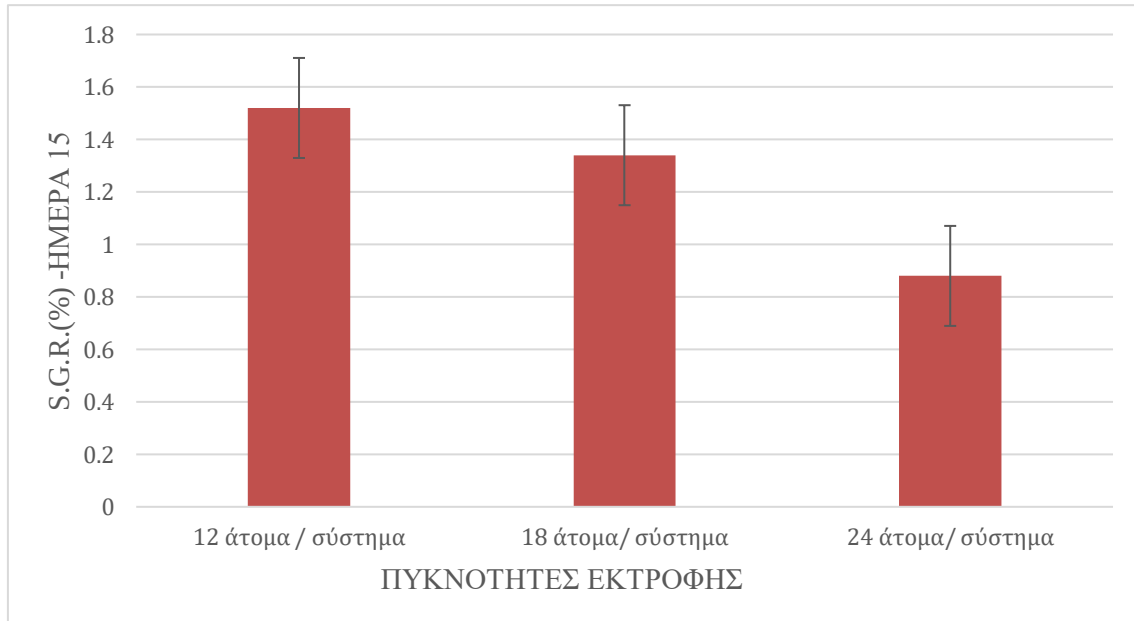
Πίνακας 4. Αναπτυξιακοί παράμετροι ψαριών

	12 άτομα/σύστημα	18 άτομα/σύστημα	24 άτομα/σύστημα
W₀ (gr)	36,57 ± 0,05 ^a	36 ± 0,05 ^a	35,46 ± 0,06 ^a
L₀ (cm)	12,80 ± 0,36 ^a	12,82 ± 0,39 ^a	12,80 ± 0,3 ^a
W₃₀ (gr)	53,20 ± 0,05 ^b	49,4 ± 0,05 ^a	45, 06 ± 0,05 ^a
L₃₀ (cm)	14,34 ± 0,05 ^a	14,21 ± 0,05 ^a	13,90 ± 0,05 ^b
WG (0-30) (gr)	16,73 ± 0,05 ^a	13,36 ± 0,05 ^a	9,60 ± 0,05 ^b
K	1,81 ± 0,05 ^a	1,72 ± 0,05 ^a	1,67 ± 0,05 ^b
BWI (%)	55,77 ± 3,46 ^a	44,53 ± 2,7 ^a	32,0 ± 1,77 ^b
DFI	3,52 ± 0,11 ^a	5,74 ± 0,37 ^b	6,9 ± 0,2 ^c
FCR	1,05 ± 0,03 ^a	1,72 ± 0,11 ^b	2,07 ± 0,06 ^c
PER	2,06 ± 0,12 ^b	1,27 ± 0,07 ^a	1,05 ± 0,05 ^a

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

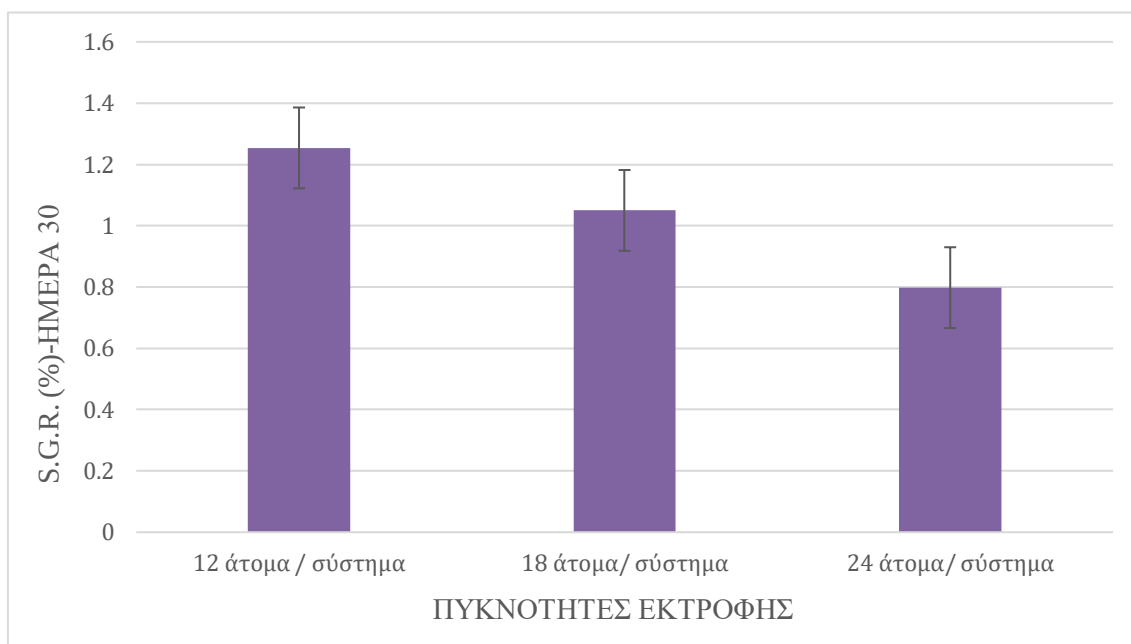
Στο παρακάτω σχήμα (Σχ. 6) παρουσιάζεται ο ειδικός ρυθμός ανάπτυξης SGR για όλες στις μεταχειρίσεις κατά την 15^η ημέρα του πειράματος. Παρατηρείται η σημαντικά

χαμηλότερη τιμή του δείκτη SGR στο σύστημα με πυκνότητα 24 άτομα/σύστημα (8 άτομα/ενυδρείο).



Σχήμα 6. Δείκτης ανάπτυξης SGR (%/ημέρα) στις τιλάπιας που χρησιμοποιήθηκε στην πειραματική διαδικασία με διαφορετική πυκνότητα εκτροφής (12 ιχθύδια τιλάπιας /σύστημα, 18 ιχθύδια τιλάπιας/σύστημα και 24 ιχθύδια τιλάπιας/ σύστημα στις 15 ημέρες του πειράματος).

Στο παρακάτω σχήμα (Σχ. 7) παρουσιάζεται ο ειδικός ρυθμός ανάπτυξης SGR για όλες τους μεταχειρίσεις την 30^η ημέρα του πειράματος. Παρατηρείται η σημαντικά χαμηλότερη τιμή του δείκτη ανάπτυξης SGR του συστήματος με την υψηλότερη ιχθυοπυκνότητα (22 άτομα τιλάπιας /σύστημα) σε σχέση με τα συστήματα με πυκνότητα εκτροφής 12 ιχθύδια /σύστημα και 18 ιχθύδια /σύστημα, αντίστοιχα.



Σχήμα 7. Δείκτης ανάπτυξης SGR (%/ημέρα) στις τιλάπιας που χρησιμοποιήθηκε στην πειραματική διαδικασία με διαφορετική πυκνότητα εκτροφής (12 ιχθύδια/δεξαμενή, 18 ιχθύδια /δεξαμενή και 24 ιχθύδια ανά δεξαμενή στις 30 ημέρες του πειράματος).

3.1 Παράμετροι ανάπτυξης των φυτών μαϊντανού

Στον παρακάτω πίνακα (Πιν.4) παρουσιάζονται τα στοιχεία ανάπτυξης των μαϊντανών που ελήφθησαν στην έναρξη της πειραματικής διαδικασίας (Ημέρα 0) και στη λήξη της πειραματικής διαδικασίας (Ημέρα 30) που πραγματοποιήθηκε η συγκομιδή. Κατά τη διάρκεια του πειράματος δεν παρατηρήθηκαν απώλειες φυτών σε όλες τις μεταχειρίσεις (12 άτομα/ σύστημα , 18 άτομα/ σύστημα , 24 άτομα / σύστημα). Σε ότι αφορά στο ύψος των μαϊντανών στο τέλος του πειράματος (ημέρα 30) δεν παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των μεταχειρίσεων (ANOVA, $p > 0,05$). Όσον αφορά τους αναπτυσσόμενους κλάδους, η μεταχείριση με πυκνότητα εκτροφής 18

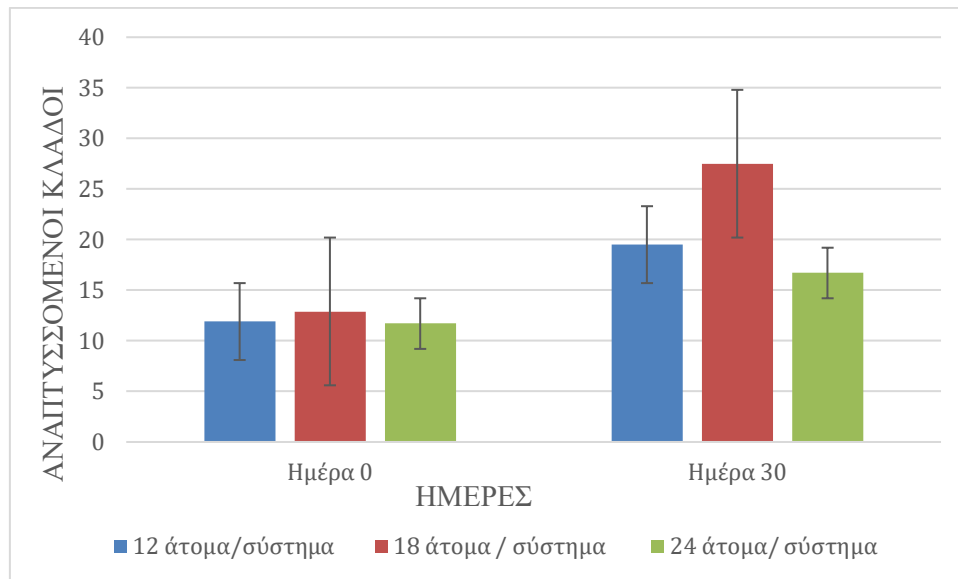
άτομα/σύστημα παρουσιάζει σημαντικά μεγαλύτερη τιμή τους σε σχέση με τις μεταχειρίσεις με 14 άτομα/σύστημα και 24 άτομα /σύστημα. Το υπέργειο βάρος των μαϊντανών δεν παρουσίασε σημαντικά στατιστική διαφορά μεταξύ των μεταχειρίσεων τους την ημέρα της συγκομιδής (D 30). Τέλος, η παραγόμενη βιομάζα δεν παρουσίασε στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων(Πιν.4).

Πίνακας 5. Παράμετροι ανάπτυξης των φυτών του μαϊντανού στο τέλος της πειραματικής διαδικασίας

	12 άτομα/ σύστημα	18 άτομα/ σύστημα	24 άτομα/ σύστημα
Αρχικό ύψος φυτού (cm)	5,89 ± 0,48 ^a	5,26 ± 0,32 ^a	5,84 ± 0,34 ^a
Τελικό ύψος φυτού (cm)	38,9 ± 0,822 ^a	39,85 ± 1,45 ^a	36,75 ± 1,40 ^a
Αριθμός αναπτυσσόμενων κλάδων (30)	19,5 ± 1,29 ^a	27,5 ± 1,80 ^b	16,7 ± 1,25 ^a
Βάρος υπέργειου φυτού (30)	41,54 ± 4,18 ^a	36,48 ± 2,89 ^a	34,85 ± 5,28 ^a
Βιομάζα συγκομιδής (30) (g/m²)	208,54 ± 41,98 ^a	279,66 ± 12 ^a	256,84 ± 17,29 ^a

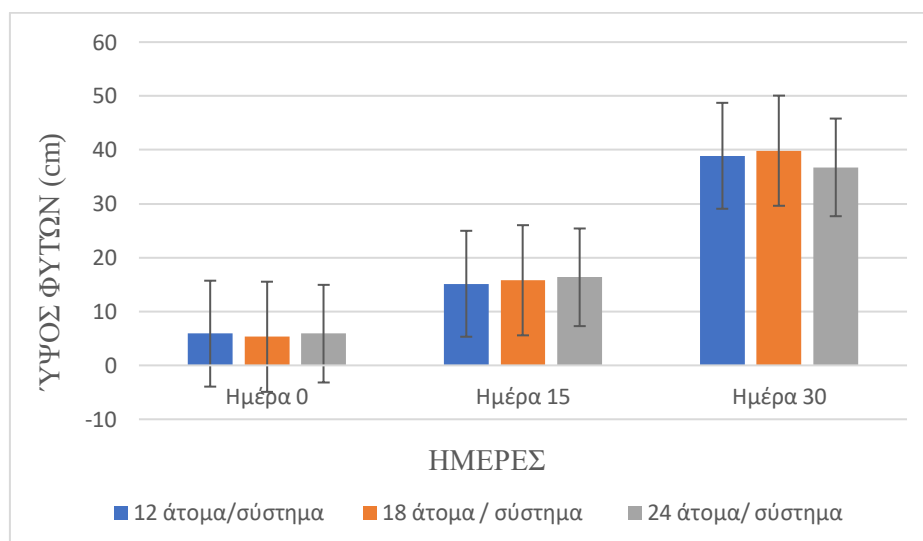
Οι τιμές παρουσιάζονται ως MO ± STDEV (n=30). Οι μέσοι όροι κάθε παραμέτρου μεταξύ των μεταχειρίσεων που φέρουν τον ίδιο εκθέτη δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (p>0.05).

Στο Σχήμα 8 παρατηρούμε ότι ο αριθμών κλάδων τους στη λήξη της πειραματικής διαδικασίας διαφέρει στατιστικά σημαντικά (ANOVA, $p < 0.05$). Η μεταχείριση με πυκνότητα 18 ψάρια παρουσίασε στατιστικά σημαντικά τη μεγαλύτερη ανάπτυξη των κλάδων τους συγκριτικά με τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις.



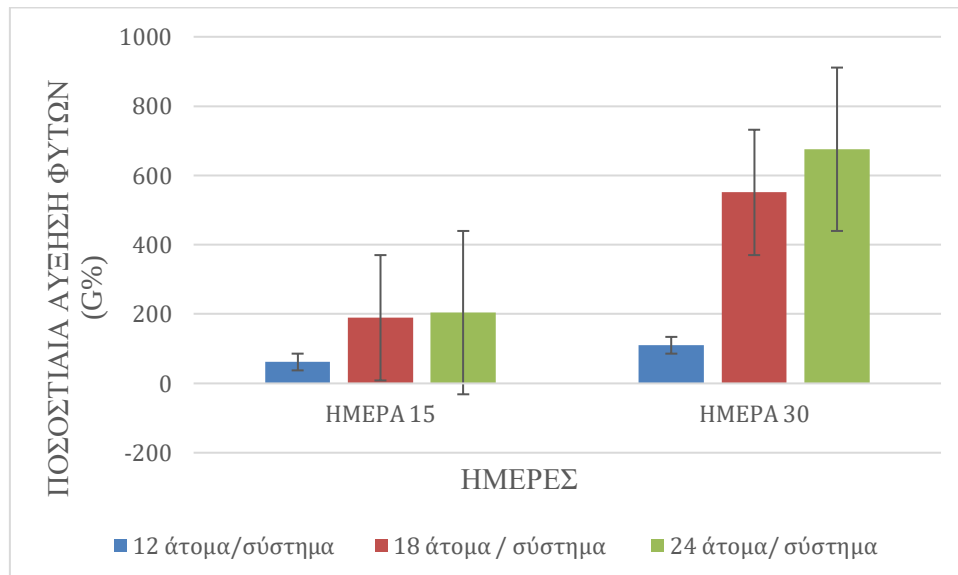
Σχήμα 8. Αναπτυσσόμενοι κλάδοι στο μαϊντανός στην αρχή και λήξη του πειράματος.

Σε ότι αφορά το ύψος του βλαστού ο μαϊντανός δεν παρουσίασε στατιστικά σημαντικές διαφορές στο τέλος της πειραματικής διαδικασίας (ANOVA, $p > 0.05$, Πίν.4). Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται η αύξηση του ύψους ανά σύστημα την ημέρα 0, ημέρα 15 και ημέρα 30.



Σχήμα 9. Ύψος μαϊντανού κατά τις 3 διαφορετικές χρονικές περιόδους που πραγματοποιήθηκαν οι δειγματοληψίες (ημέρα 0, ημέρα 15 και ημέρα 30).

Στη μεταχείριση με πυκνότητα 24 ψάρια/σύστημα παρατηρήθηκε η μεγαλύτερη ποσοστιαία αύξηση των φυτών από την ημέρα 15 έως και την ημέρα 30 (ημέρα συγκομιδής). Την ημέρα 15 τα φυτά της μεταχείρισης με πυκνότητα εκτροφής 12 ψάρια/ παρουσίασαν τη μικρότερη ποσοστιαία αύξησή (Σχ.10) τους. Την ημέρα 30 παρατηρείται η μεγαλύτερη αύξηση στη μεταχείριση με τα 18 ψάρια/σύστημα και στη μεταχείριση με τα 24 ψάρια/σύστημα.



Σχήμα 10. Ποσοστιαία αύξηση φυτών κατά την ημέρα 15 και ημέρα 30 του πειράματος.

4. Συζήτηση

4.1 Αβιοτικοί παράμετροι

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 απόδοσή του ενυδρειοπονικού συστήματος (Endut et al. 2010) επηρεάζεται από το υδραυλικό φορτίο (HLR), τον υδραυλικό χρόνο παραμονής του 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 (TANretain) (Spotte 1992, Adhikari et al. 2020).

Καθ' όλη την διάρκεια του πειράματος οι τιμές των φυσικοχημικών παραμέτρων και κυρίως του pH διατηρήθηκαν εντός σταθερών πλαισίων. Ο Harmon (2009) αναφέρει ότι η ποιότητα του νερού επηρεάζει σημαντικά την ανάπτυξη και την αύξηση των ψαριών, για αυτό τον λόγο είναι σημαντικό οι φυσικοχημικοί παράγοντες να διατηρούνται σταθεροί, τόσο για την καλή ανάπτυξη των ψαριών όσο και των φυτών.

Οι τιμές του pH που προέκυψαν από το παρόν πείραμα συγκρίθηκαν με εκείνες που προτείνονται από τους Somerville et al. (2014) και παρατηρήθηκε ότι είναι εντός των ορίων για την ασφαλή λειτουργία των ενυδρειοπονικών συστημάτων. Συγκεκριμένα το pH ήταν κατά την διάρκεια του πειράματος διατηρήθηκε σταθερό χωρίς μεγάλες μεταβολές, με εύρος τιμών από $7,35 \pm 0,09$ έως $8,04 \pm 0,08$, χωρίς να παρουσιάζουν σημαντικές στατιστικές διαφορές στις μεταξύ τους συγκρίσεις (ANOVA $p > 0,05$).

Οι Rakocy et al. (2014), τόνισαν ότι είναι σημαντικό το pH να διατηρείται σε επίπεδα πάνω από 7 για την πραγματοποίηση της χημικής διεργασίας της νιτροποίησης. Σε ένα ενυδρειοπονικό σύστημα ωστόσο, στο οποίο συνυπάρχουν φυτά, ψάρια και βακτήρια, το κάθε ένα απαιτεί διαφορετικές τιμές pH. Τα φυτά συνήθως έχουν ένα εύρος pH μεταξύ 5.5 και 6.5 για να ενισχύσουν την πρόσληψη των θρεπτικών συστατικών, ενώ τα βακτήρια επιβιώνουν σε τιμές pH που κυμαίνονται από 7-8, όπως αναφέρουν από τους Yildiz et al. (2017). Οι Vlahos et al. (2019) καλλιέργησαν σε ενυδρειοπονικό σύστημα (5 ppt 20 ppt) τσιπούρα (*S.aurata*) με κρίταμο και αναφέρουν τιμές pH μικρότερες (7,4-7,53) από τις τιμές pH του παρόντος πειράματος.

Η συγκέντρωση της αμμωνίας στο σημείο εισόδου του νερού (TAN_{in}) (Πίνακας 5.) στο growbed της μεταχείρισης με πυκνότητα εκτροφής 18 ψάρια/σύστημα ήταν $0,17 \pm 0,04$ mg/L , $0,2 \pm 0,05$ mg/L για τη μεταχείριση με πυκνότητα εκτροφής 24 ψάρια/σύστημα και $0,15 \pm 0,06$ mg/L στη μεταχείριση με πυκνότητα εκτροφής 12 ψάρια/ σύστημα, παρουσιάζοντας στατιστικά σημαντικές διαφορές (ANOVA $p < 0.05$). Παρόμοια αποτελέσματα παρουσίασε η συγκέντρωση της αμμωνίας στο σημείο εξόδου του νερού από τα growbed και στο σημείο εξόδου του νερού (TAN_{out}) η συγκέντρωση της αμμωνίας παρουσίασε σημαντικά στατιστικές διαφορές (ANOVA $p < 0.05$), με τις τιμές στις μεταχειρίσεις να είναι της τάξης $1,7 \pm 0,05$ mg/L για τη μεταχείριση με 18 ψάρια/σύστημα , $0,2 \pm 0,06$ mg/L για τη μεταχείριση με 24 ψάρια/σύστημα και $0,15 \pm 0,06$ για τη μεταχείριση με 12 ψάρια/σύστημα. Τα αποτελέσματα της παρούσης εργασίας ως προς την TAN δεν συμφωνούν με εκείνα των άλλων μελετών (Elhetawy et al. 2021), τα οποία αναφέρουν μικρότερες συγκεντρώσεις TAN (0,07 mg/L) σε ανακυκλούμενο σύστημα καλλιέργειας κεφάλου σε γλυκό νερό.

Η αύξηση της συγκέντρωσης της TAN στο φίλτρο τους οδηγεί στην αύξηση του ρυθμού της οξειδωτικής ικανότητας του φίλτρου (VTR) , όπως περιγράφεται από τους Malone et al. (1999) και Sandu et al. (2002). Ο ρυθμός οξείδωσης (VTR) χρησιμοποιείται για να εκφράσει την αποτελεσματικότητα του βιοφίλτρου (Colt et al. 2006). Μελέτες έχουν δείξει ότι η αύξηση της συγκέντρωσης TAN στα βιοφίλτρα έχει ως αποτέλεσμα αναλογικές βελτιώσεις στην ικανότητα μετατροπής ενός φίλτρου (Rogers & Klemetson 1985; De los Reyes & Lawson 1996; Malone et al. 1999· Sandu et al. 2002).

Τα νιτρώδη ιόντα (NO_2^-) καθ' όλη την διάρκεια του πειράματος διατηρήθηκαν σε μηδενικά επίπεδα. Τα αποτελέσματα της παρούσης εργασίας σε ότι αφορά τα νιτρώδη ιόντα συμφωνούν με εκείνα που αναφέρουν οι Elhetawy et al. (2021), για τον κέφαλο όταν καλλιεργείται σε γλυκό, υφάλμυρο και θαλασσινό νερό (0,00-0,22 mg/L).

Τα νιτρικά ιόντα στην είσοδο του νερού στο growbed της μεταχείρισης με 18 ψάρια/σύστημα ήταν της τάξης του $101,0 \pm 19,0$ mg/L, $119 \pm 15,4$ mg/L για τη μεταχείριση με πυκνότητα 24 ψάρια/σύστημα και $117 \pm 20,7$ mg/L στη μεταχείριση με την μικρότερη πυκνότητα εκτροφής (12 ψάρια/σύστημα) στα. Αντίστοιχα, στα σημεία εξόδου του νερού από την υδροπονική δεξαμενή καλλιέργειας των φυτών τα νιτρικά ιόντα υπολογίστηκαν $95,0 \pm 20,6$ mg/L, $106 \pm 16,7$ mg/L, $109 \pm 27,6$ mg/L, για τις μεταχειρίσεις με πυκνότητα εκτροφής 18 ψάρια/σύστημα, 24 ψάρια/σύστημα και 12 ψάρια/σύστημα.

Οι Kotzen & Appelbaum (2010), σε πείραμά τους καλλιέργησαν τιλάπια σε ενυδρειοπονικό σύστημα με υφάλμυρο νερό και αναφέρουν τιμές νιτρικών ιόντων μικρότερες (10-20 mg/L) από εκείνες του παρόντος πειράματος. Επίσης, σε πείραμα των Vlahos et al. (2019), με τσιπούρα σε υφάλμυρο σύστημα ενυδρειοπονίας τα νιτρικά ιόντα παρουσίασαν μικρότερες συγκεντρώσεις (76,4 έως 77,2 mg/L) από τις τιμές των νιτρικών

ιόντων του παρόντος πειράματος. Σύμφωνα με τον Spotte (1992), οι αυξημένες συγκεντρώσεις νιτρικών ιόντων υποδηλώνουν την εύρυθμη λειτουργία των ενυδρειοπονικών συστημάτων.

4.2 Δείκτες ανάπτυξης τιλάπιας, αξιοποίηση τροφής

Τα αποτελέσματα του παρόντος πειράματος έδειξαν ικανοποιητική ανάπτυξη των ατόμων τιλάπιας στις 3 διαφορετικές πυκνότητες εκτροφής (12 τιλάπιες/σύστημα, 18 τιλάπιες/σύστημα, 24 τιλάπιες/σύστημα). Κατά την έναρξη της πειραματικής διαδικασίας, οι τιλάπιες σε όλα τα συστήματα παρουσίασαν στατιστικά παρόμοιο μέσο βάρος (ANOVA, $p > 0,05$).

Στο τέλος της πειραματικής διαδικασίας το τελικό μέσο βάρος της μεταχείρισης με πυκνότητα 24 ψάρια/σύστημα παρουσίασε στατιστικά μικρότερη τιμή σε σύγκριση με τη μεταχείριση 12 ψάρια/σύστημα. Τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης εργασίας όσον αφορά το τελικό βάρος και μήκος της τιλάπιας στις 3 διαφορετικές πυκνότητες εκτροφής συμφωνούν με εκείνα που αναφέρει η Τσουμαλάκου (2023) για την κόκκινη τιλάπια που καλλιεργήθηκε σε ενυδρειοπονικό σύστημα για διάστημα 42 ημερών και ήταν αντίστοιχα $W_{fin}: 52,32 \pm 1,62 \text{ gr}$, $L_{fin}: 14,42 \pm 0,14 \text{ cm}$.

Η αύξηση βάρους (WG), ειδικός ρυθμός ανάπτυξης (SGR) και η ποσοστιαία αύξηση βάρους (BWI) παρουσίασαν στατιστικά μεγαλύτερη μέση τιμή όταν η τιλάπια καλλιεργήθηκε στη μεταχείριση με πυκνότητα εκτροφής 18 ψάρια/σύστημα και στη μεταχείριση με πυκνότητα εκτροφής 12 ψάρια/σύστημα συγκριτικά με τη μεταχείριση 24 ψάρια/σύστημα.. Τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας συμφωνούν με εκείνα των Rahman et al. (2018), όπου η τιλάπια σε ένα ενυδρειοπονικό σύστημα επανακυκλοφορίας

νερού με σπανάκι (*Basella alba*), παρουσίασε σημαντική μείωση της μέσης τιμής του SGR, με την αύξηση της ιχθυοπυκνότητας. Ωστόσο, οι Yildiz et al. (2017), παρουσίασαν το αντίθετο αποτέλεσμα, δηλαδή αύξηση της μέσης τιμής του SGR για την μπλε τιλάπια, σε ενυδρειοπονικό σύστημα με τομάτα (*Solanum lycopersicum*), με αύξηση της πυκνότητας εκτροφής.

Η μέση τιμή του SGR των Rahman et al. (2018) ($3,13 \pm 0,13\%/d$) αλλά και των Yildiz et al. (2017) ($2,34 \pm 0,04 \%/d$), είναι μεγαλύτερες σε σχέση με τη μέση τιμή SGR του παρόντος πειράματος. Ο συντελεστής ευρωστίας K (CF) είναι δείκτης ανθεκτικότητας και σύμφωνα με τα αποτελέσματα του πειράματος, η τιμή του στο τέλος της πειραματικής διαδικασίας για τη μεταχείριση με πυκνότητα εκτροφής 12 ψάρια/σύστημα ήταν σημαντικά μεγαλύτερη από εκείνη του συστήματος με πυκνότητα εκτροφής 24 ψάρια/μεταχείριση.

Ο τελικός συντελεστής ευρωστίας K, του παρόντος πειράματος είναι παρόμοιος με εκείνον που περιγράφουν οι Παναγιώτου και Χαραλάμπους (2020) για την τιλάπια σε ενυδρειοπονικό σύστημα. Σε ότι αφορά στους δείκτες αξιοποίησης της τροφής (FCR, DFI και PER) στο τέλος της πειραματικής διαδικασίας, παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές (ANOVA, $p < 0.05$) μεταξύ των πειραματικών μεταχειρίσεων υποδηλώνοντας ότι η τιλάπια αξιοποιεί τα θρεπτικά συστατικά της τροφής και αναπτύσσεται ικανοποιητικά. Ο συντελεστής μετατρεψιμότητας της τροφής (FCR) είχε σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις 3 διαφορετικές πυκνότητες εκτροφής με τη μεταχείριση με πυκνότητα εκτροφής 24 άτομα/σύστημα να παρουσιάζει τη μεγαλύτερη μέση τιμή και τη μεταχείριση με τη μικρότερη πυκνότητα εκτροφής 12 άτομα/σύστημα. Οι τιμές FCR που προέκυψαν από το παρόν πείραμα είναι μεγαλύτερες από εκείνες που αναφέρει η Τσουμαλάκου (2023) για την κόκκινη τιλάπια που ήταν $0,86 \pm 0,04$. Ο

συντελεστής ημερήσιας πρόσληψης τροφής (DFI) του παρόντος πειράματος βρέθηκε αρκετά μεγαλύτερος από τον DFI που αναφέρουν οι Παναγιώτου και Χαραλάμπους (2020) για την τιλάπια ($1,55 \pm 0,34$ γρ/ημέρα). Σε ότι αφορά στον συντελεστή απόδοσης πρωτεϊνών (PER), τα αποτελέσματα του πειράματος έδειξαν στατιστικά μεγαλύτερη μέση τιμή στη μεταχείριση με πυκνότητα εκτροφής 12 άτομα/σύστημα σε σχέση με τα ενυδρειοπονικά συστήματα με πυκνότητα εκτροφής 18 άτομα/σύστημα και 24 άτομα/σύστημα. Οι τιμές PER του παρόντος πειράματος ήταν μικρότερες από εκείνες που αναφέρουν οι Παναγιώτου και Χαραλάμπους (2020) που ήταν $3,26 \pm 0,35$ gr/ημέρα.

4.3 Ανάπτυξη μαϊντανού

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την παρούσα εργασία δείχνουν την επίδραση της πυκνότητας εκτροφής στην ανάπτυξη και επιβίωση του μαϊντανού στο ενυδρειοπονικό σύστημα. Προηγούμενες μελέτες (Mauceri et al. 2019, Al Tawaha et al. 2021) αναφέρουν ότι, συστήματα ενυδρειοπονίας με μικρότερες πυκνότητες εκτροφής, συμβάλουν στην αύξηση παραγωγής των φυτών. Στη παρούσα μελέτη, η καλύτερη ανάπτυξη των φυτών παρατηρήθηκε στη μεταχείριση με πυκνότητα εκτροφής 18 ψάρια/σύστημα συγκριτικά με τις υπόλοιπες δυο πυκνότητες εκτροφής (12 άτομα/μεταχείριση και 24 άτομα/μεταχείριση). Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι ο μικρότερος αριθμός αναπτυσσόμενων κλάδων παρατηρήθηκε στη μεταχείριση με πυκνότητα εκτροφής 24 ψάρια/ σύστημα. Επίσης τα φυτά μαϊντανού στο σύστημα με τη μεγαλύτερη πυκνότητα εκτροφής παρουσίασαν το μικρότερο ύψος κατά την ημέρα της συγκομιδής (ημέρα 30).

Όπως προαναφέρθηκε, η μεταχείριση με πυκνότητα εκτροφής 18 ψάρια/σύστημα παρουσίασε την καλύτερη ανάπτυξη, συγκριτικά με τη μεταχείριση με πυκνότητα 12 ψάρια/σύστημα και τη μεταχείριση με πυκνότητα εκτροφής 24 ψάρια/σύστημα, που ήταν μικρότερες. Επίσης στη μεταχείριση με τη μικρότερη πυκνότητα εκτροφής (12 άτομα/σύστημα) πραγματοποιήθηκαν οι περισσότερες αλλαγές νερού, οι οποίες πιθανά να επέφεραν μεταβολές στα θρεπτικά συστατικά και να επηρεάστηκε η προσφροφητική ικανότητα του μαϊντανού.

5. Συμπεράσματα

Ο σκοπός της παρούσας μελέτης ήταν να διερευνηθεί η επίδραση της διαφορετικής ιχθυοπυκνότητας εκτροφής της τιλάπιας, στην ανάπτυξη του μαΐντανού όταν συγκαλλιεργείται σε σύστημα ενυδρειοπονίας με τιλάπια . Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν:

- Η μεγαλύτερη ανάπτυξη των ψαριών όσον αφορά το μέσο βάρος παρουσιάστηκε στο σύστημα με την μικρότερη ιχθυοπυκνότητα (12 άτομα/μεταχείριση).
- Το καλύτερο FCR παρουσιάστηκε στο σύστημα με την μικρότερη ιχθυοπυκνότητα (12 άτομα/μεταχείριση)
- Η τελική παραγόμενη βιομάζα των φυτών δεν παρουσίασε σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων.

6. Βιβλιογραφία

Αγγλική βιβλιογραφία

- Adhikari, K.P., Saggar, S., Hanly, J.A. *et al.* (2020). Urease inhibitors reduced ammonia emissions from cattle urine applied to pasture soil. *Nutr Cycl Agroecosyst* **117**, 317–335
- Ako & Baker (2009). Small-Scale Lettuce Production with Hydroponics or Aquaponics. College of Tropical Agriculture and Human resources. University of Hawaii at Manoa.
- Al-Tawaha A.R.M., Wahab P.E.M, Jaafar H.B., Zuan A.T.K., Hassan M.Z (2021). Effects of Fish Stocking Density on Water Quality, Growth Performance of Tilapia and Yield of Butterhead Lettuce Grown in Decoupled Recirculation Aquaponic Systems.
- Anni JS, Manyala JO, Masese FO Fitzsimmons K. (2021). Effect of stocking density on growth performance of monosex Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) in the aquaponic system integrated with lettuce (*Lactuca sativa*). *Aquaculture and Fisheries*.
- AOAC. (1995). Official methods of analysis 16th Ed. Association of official analytical chemists. Washington DC, USA.
- Aurelio A. delos Reyes Jr, Thomas B. Lawson, Combination of a bead filter and rotating biological contactor in a recirculating fish culture system

- Azizah Endut , A. Juson , N.Ali , W.B. Wan Nik , A.Hassan (2009) . A study on the optimal hydraulic loading rate and plant ratios in recirculation aquaponic system
- Benz Kotzen & Samuel Appelbaum (2010) An Investigation of Aquaponics Using Brackish Water Resources in the Negev Desert, Journal of Applied Aquaculture, 22:4, 297-320, DOI: 10.1080/10454438.2010.527571.
- Blidariu, F. & Grozea, A. (2011). Increasing the Economical Efficiency and Sustainability of Indoor Fish Farming by Means of Aquaponics.
- Cebron & Garnier, (2003). Nitrification and Nitrifying Bacteria in the Lower Seine River and Estuary (France). Water Res. 39 (20), 4979-4992.
- Couturier Michel, Thérèse Trofimencoff, José Utge Buil, Jessica Conroy (2009). Solids removal at a recirculating salmon-smolt farm. Aquacultural Engineering ,Volume 41, Issue 2, Pages 71-77, ISSN 0144-8609
- 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.
- El-Sayed, A.F.M. (2006) Tilapia Culture. CAB International, Wallingford, 277.
- Essa, M. A., A. M. A. S. Goda, M. A. Hanafy, A. A. El-Shebly, R. A. Mohamed, and E. H. El-Ebiary (2008). Small-scale fish culture: Guiding models of aquaponics and net-enclosures fish farming in Egypt. *Egyptian J. Aquatic Res.*, 34(3): 320–337 .

- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), (2014). Small-scale aquaponic food production. Integrated fish and plant farming. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper, Rome, Italy.
- Gary L.Rogers, Stanley L.Klemetson, (2003) Ammonia removal in selected aquaculture water reuse biofilters ,Volume 4, Issue 2
- Giulio Catalano, (1987). An improved method for the determination of ammonia in seawater, Marine Chemistry, Volume 20, Issue 3.
- Goddek, S., Delaide, B., Mankasingh, U., Ragnarsdottir, K. V., Jijakli, H., & Thorarinsdottir, R. (2015). Challenges of sustainable and commercial aquaponics. Sustainability, 7(4), 4199-4224.
- Greenfeld, A., Becker, N., Mcilwain, J., Fotedar, R., & Bornman, J. F. (2018). Economically viable aquaponics? Identifying the gap between potential and current uncertainties. Reviews in Aquaculture, 1-15.
- Gutierrez-Wing Maria Teresa , Ronald F. Malone (2005). Biological filters in aquaculture: Trends and research directions for freshwater and marine applications. Aquacultural Engineering 34. 163–171
- Halver, J.E. and Hardy, R.W. (2002) Fish Nutrition. In: Sargent, J.R., Tocher, D.R. and Bell, G., Eds., The Lipids, 3rd Edition, Academic Press, California, 182-246.
- Harmon, L., Matthews, B., Des Roches, S. et al. (2009). Evolutionary diversification in stickleback affects ecosystem functioning. Nature 458, 1167–1170.

- Hotos, G. N., & Avramidou, D. (2020). Growth of Fry Fish of 4 Species of Family Mugilidae in Experimental Recirculation Water System. *European Journal of Biology and Biotechnology*.
- John Colt (May 2006). Water requirements for reuse systems ,Volume 34, Issue 3
- Knaus & Palm, 2017. Effects of the fish species choice on vegetables in aquaponics under spring-summer conditions in northern Germany (Mecklenburg Western Pomerania). *Aquaculture*, Volume 473, Pages 62-73.
- Konig B., Junge R., Bittsanszky A., Villarroel M., Komives T. (2016) On the sustainability of aquaponics. *Ecocycles* 2(1): 26-32, doi: 10.19040/ecocycles.v2i1.50
- 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. *International Biodeterioration & Biodegradation* 85: 693-700.
- Liddicoat, M. I., Tibhitts, S., & Butler, E. I. (1975). The determination of ammonia in seawater. *Limnology and Oceanography*, 20(1), 131-132.
- Lim, C.E., Webster, C.D. and Li, M.H. (2006) Feeding Practices. In: Lim, C.E. and Webster, C.D., Eds., *Tilapia Biology, Culture, and Nutrition*, Food Products Press, New York, 547-559.
- Love David C., Michael S. Uhl, Laura Genello (2015) Energy and water use of a small-scale raft aquaponics system in Baltimore, Maryland,

United States, Aquacultural Engineering, Volume 68, Pages 19-27, ISSN 0144-8609

- Maucieri, C., Nicoletto, C., Zanin, G., Birolo, M., Trocino, A., & Sambo, P. (2019). Effect of stocking density of fish on water quality and growth performance of European Carp and leafy vegetables in a low-tech aquaponic system. *PloS One*, 14(5), Article e0217561.
- Naegel, Ludwig C. A. (1977). Combined Production of Fish and Plants in Recirculating Water. *Aquaculture* 10 (1): 17-24. [http://dx.doi.org/10.1016/0044-8486\(77\)90029-1](http://dx.doi.org/10.1016/0044-8486(77)90029-1).
- Ng, Wing-Keong & Chong, Cheong-Yew. (2004). An overview of lipid nutrition with emphasis on alternative lipid sources in tilapia feeds. *New Dimensions in Farmed Tilapia. Proceedings of the Sixth International Symposium on Tilapia in Aquaculture*.
- Rahman A. Rayhan Z. Hossain A. Akter T. (2018). Effect of stocking density on growth performance of monosex tilapia (*Oreochromis niloticus*) with Indian spinach (*Basella alba*) in a recirculating aquaponic system. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology (IJEAB)* Vol-3, Issue-2.
- Rahmatullah, R., Das, M., & Rahmatullah, S. M. (2010). Suitable stocking density of tilapia in an aquaponic system. *Bangladesh Journal of Fisheries Research*, 14(1— 2), 29 35.
- 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.

- Rakocy J., Bailey D., Shultz K., Cole W., (1997). Evaluation of a commercial-scale aquaponic unit for the production of tilapia and lettuce. In: Fitzsimmons, K. (Ed.), *Tilapia Aquaculture: Proceedings of the Fourth International Symposium on Tilapia in Aquaculture at Orlando, Florida*. Northeast Regional Agricultural Engineering Service, Ithaca, New York, USA, pp. 357-372.
- 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.
- Richard T. Lovell,13 - Diet and Fish Husbandry, (s): John E. Halver, Ronald W. Hardy, *Fish Nutrition* (Third Edition), Academic Press, 2003, Pages 703-754, ISBN 9780123196521
- Rogers, G. L., & Klemetson, S. L. (1985). Ammonia removal in selected aquaculture water reuse biofilters. *Aquacultural engineering*, 4(2), 135-154.
- 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.
- Seawright D, Stickey R, Walker R, (1998), Nutrients dynamics in integrated aquaculture-hydroponics systems, *Aquaculture* , 160:215-237

- Simonel I.Sandu , Gregory D. Boardman , Barnaby J. Watten , Brian L.Brazil (2002) .Factors influencing the nitrification efficiency of fluidized bed filter with a plastic bead medium, Volume 26, Issue 1
- 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.
- Spotte S. (1991) Captive Seawater Fishes. John Wiley & Sons, New York, pp 94
- Tsevis N. Klaoudatos S. Conides A. (1992) Food conversion budget in sea bass, *Dicentrarchus labrax*, fingerlings under two different feeding frequency patterns. *Aquaculture*, Volume 101, Issues 3-4, Pages 293-304.
- 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.
- 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 a brackish 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.

- Webster, C.D. and Lim, C.E., Eds. (2002) Nutrient requirements and feeding of finfish for aquaculture. CABI Publishing, Wallingford, Oxon.
- Yildiz Y. H., Robaina L., Pirhonen J., Mente E., Dominguez D., Parisi G. (2017) Fish Welfare in Aquaponic Systems: Its Relation to Water Quality with an Emphasis on Feed and Faeces—A Review. *Water* 9: 13, doi:10.3390/w9010013
- Yildiz Y., Bekcan S. (2017). Role of stocking density of tilapia (*Oreochromis aureus*) on fish growth, water quality and tomato (*Solanum lycopersicum*) plant biomass in the aquaponic system. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology (IJEAB)*, Vol-2, Issue-6
- Zar, J.H. (1999) *Biostatistical Analysis*. 4th Edition, Prentice Hall, Upper Saddle River.

Ελληνική Βιβλιογραφία

- Μεντέ Ε., Νέγκας Χ. (2011). *Στοιχεία Φυσιολογίας Θρέψης και Εφαρμοσμένη Διατροφή Ιχθύων και Καρκινοειδών Εκδόσεις Παπαζήση, Αθήνα*
- Μύγδαλος Θεόδωρος (2020). Αξιολόγηση της απόδοσης διαφόρων ποικιλιών πλατύφυλλου και ριζώδη μαϊντανού (*Petroselinum crispum*).
- Παναγιώτου & Χαραλάμπους (2020). *Ενυδρειοπονία γλυκού νερού: ανάπτυξη τιλάπιας και μαρουλιού*.
- Παπουτσόγλου Σ.Ε. (2008). *Διατροφή Ιχθύων*. Εκδόσεις Αθ. Σταμούλης, Αθήνα, σελ 127

- Πετρόπουλος Σπυρίδων (2006). Η επίδραση της αζωτούχου λίπανσης και της καταπόνησης στην ανάπτυξη και την χημική σύσταση τριών τύπων μαϊντανού.
- Σταθοπούλου Παρασκευή (2017), Καλλιέργεια φυτών και εκτροφή ψαριών σε ένα σύστημα ενυδρειοπονίας, Μεταπτυχιακή Διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος
- Σταυρινού Β. (2006). Επίδραση των επιπέδων της αζωτούχου λίπανσης στην ανάπτυξη - απόδοση - την περιεκτικότητα των θρεπτικών στοιχείων του μαϊντανού και στη γονιμότητα του εδάφους.
- Τάσιου Κ. (2019). Παραγωγική διαδικασία του λαβρακιού σε ένα σύστημα ενυδρειοπονίας. Μεταπτυχιακή διπλωματική Διατριβή. Τμήμα Γεωπονίας, Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
- Τσουμαλάκου (2023). Λειτουργικές αποκρίσεις φυτών που αναπτύσσονται υπό συνθήκες ενυδρειοπονίας (aquaponics). Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος
- Χονδράκη Σοφία (2009). Επίδραση αλατότητας και εμπλουτισμού ασβεστίου σε υδροπονική καλλιέργεια μαιντανού σε σύστημα NFT.