



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΚΤΗΝΙΑΤΡΙΚΗΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

«Υδατοκαλλιέργειες» -

«Παθολογικά Προβλήματα Εκτρεφόμενων Υδρόβιων Οργανισμών»

ΣΕ ΣΥΜΠΡΑΞΗ ΜΕ ΤΟ ΤΜΗΜΑ ΙΧΘΥΟΚΟΜΙΑΣ-ΑΛΙΕΙΑΣ ΤΟΥ Τ.Ε.Ι. ΗΠΕΙΡΟΥ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

“Ενυδρειοπονική καλλιέργεια μικρής κλίμακας”

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟΣ ΦΟΙΤΗΤΗΣ

Συμεωνίδου Μαριάνθη

ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

Πάσχος Ιωάννης



**UNIVERSITY OF THESSALY
SCHOOL OF HEALTH SCIENCES
FACULTY OF VETERINARY MEDICINE**

POSTGRADUATE STUDIES PROGRAM

“Aquaculture”

***IN COLLABORATION WITH
THE DEPARTMENT OF AQUACULTURE & FISHERIES, TEI OF EPIRUS***

Thesis:

“Small scale aquaponics”

POSTGRADUATE STUDENT

Simeonidou Marianthi

SUPERVISOR

Ioannis Pasxos

KARDITSA 2012

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ενυδραιοπονία έχει ξεκινήσει δειλά από τις αρχές της χιλιετίας. Πρόσφατα η εξαιρετική απλότητα αυτής της τεχνικής υιοθετήθηκε λίγο πριν τα μέσα του 1990 και στις μέρες μας ανθίζει αποτελώντας το trend των εκτροφών θεωρούμενη ως η πλέον οικολογική προσέγγιση παραγωγικής διαδικασίας. Πρόκειται ουσιαστικά για ένα μείγμα υδροπονίας και υδατοκαλλιέργειας διατηρώντας παράλληλα τα θετικά χαρακτηριστικά των δύο τεχνικών. Βασίζεται στην καλλιέργεια πράσινων φυτών και λαχανικών χρησιμοποιώντας τα περιττώματα και τα υπολείμματα των τροφών από τα ψάρια εκτροφής.

Η παρούσα εργασία έχει ως σκοπό να διερευνήσει την δυναμική ενός ενυδραιοπονικού συστήματος μικρής κλίμακας και την φέρουσα απόδοση του στην ανάπτυξη ψαριών και πράσινων φυτών. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκαν τρεις πειραματικές διατάξεις σε κάθε μια από τις οποίες ελέγχθηκε η δυναμική απόδοσης φυτών μαρουλιού (*Lactuca sativa*) και βασιλικού (*Occimum basilicum*) μικρού – μεσαίου και μεγάλου μεγέθους αντίστοιχα σε διαφορετικές ιχθυοπυκνότητες tilapia (*Oreochromis niloticus*).

Όπως προέκυψε από την έρευνα, ένα ενυδραιοπονικό σύστημα μικρής κλίμακας είναι ικανό να παράξει πράσινα φυτά και λαχανικά από τα υπολείμματα τροφής και τα περιττώματα των ψαριών ωστόσο είναι σημαντικό να παρακολουθούνται εντατικά όλες οι φυσικοχημικές παράμετροι καθώς είναι ευεπηρεάστες σε τόσο μικρό μέγεθος διάταξης.

ABSTRACT

Aquaponics started as a practice in the beginning of the previous millennium and though an old technique its exceptional simplicity and functionality was realized and adapted after the 1990s. Nowadays this unique technique blows and comprises the trends of culture- cultivation techniques, representing a perfect manifestation of ecological practice. It is an amalgam of hydroponics and aquaculture retaining the practical elements of both techniques. It is based on the cultivation of leafy plants and vegetables from the feces and food wastes of cultured fish.

This study aims to investigate the dynamics of a small scale aquaponic system and its bearing potentials-performance in the plant yield and fish growth. Therefore three different experimental procedures has been conducted, investigating yield's performance of small, medium, and large sized plants of lettuce (*Lactuca sativa*) and basil (*Occimum basilicum*) on different tilapia (*Oreochromis niloticum*) densities.

Conclusively, small scale aquaponics are capable of producing big quantities of leafy plants and fish; however precise chemical parameters are important factors for such scale producing systems.

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	3
ABSTRACT	4
ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	7
Εισαγωγή	7
1.1 Υδροπονία.....	8
1.2 Ενυδραιοπονία	9
1.3 Σύγκριση μεθόδων καλλιέργειας	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	12
2.1 Σχεδιασμός συστήματος.....	12
2.2 Τεχνική με θρεπτικό φίλμ (θρεπτικό επίχρισμα)	13
2.3 Σύστημα πλωτών σχεδίων	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	15
3.1 Επιλογή ψαριών	15
3.1.1 Εκτροφή τιλάπιας (<i>Oreochromis niloticus</i>).....	16
3.1.2 Ποιότητα νερού	16
3.1.3 Διαλυμένο Οξυγόνο.....	17
3.1.4 Θερμοκρασία	18
3.1.5 pH.....	18
3.1.6 Αμμωνία.....	19
3.2 Διατροφή	20

3.3 Καλλιέργεια φυτών	21
3.3.2 Καλλιέργεια μαρουλιού (<i>Lactuca sativa</i>).....	22
3.3.3 Καλλιέργεια βασιλικού (<i>Occimum basilicum</i>).....	22
3.4 Βακτήρια.....	23
3.5 Σκοπός της εργασίας	24
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	25
4.1 Υλικά και μεθοδολογία.....	25
4.1.1 Πειραματική διάταξη ενυδρειοπονικού συστήματος	25
4.1.2 Σχεδιασμός πειραματικής διαδικασίας	27
4.1.3 Υπολογισμοί βιολογικών παραμέτρων	29
4.1.4 Στατιστική Μεθοδολογία	30
4.2 Αποτελέσματα.....	31
4.2.1 Φυσικοχημικές παράμετροι.....	31
4.2.2 Αποτελέσματα φυτικής καλλιέργειας	31
4.2.3 Αποτελέσματα ιχθυοεκτροφής (<i>Oreochromis niloticus</i>).....	37
4.3 Συζήτηση	38

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Εισαγωγή

Η συμβατική γεωργία εφαρμόστηκε στο παρελθόν με επιτυχία σε όλο τον κόσμο και αφενός μεν έλυσε το πρόβλημα του υποσιτισμού αφετέρου δε συσσωρεύσε πολλά και σοβαρά προβλήματα στο περιβάλλον. Είναι η κύρια μέθοδος παραγωγής γεωργικών προϊόντων που έχει ως στόχο τη μεγιστοποίηση της παραγωγής και του κέρδους με μονοκαλλιέργειες και με συχνές εφαρμογές αγροχημικών. Το μεγαλύτερο ίσως πρόβλημα που προκλήθηκε λόγω της άσκησης της συμβατικής γεωργίας και έχει ισχυρές επιπτώσεις στα έμβια όντα του πλανήτη μας είναι η ρύπανση του περιβάλλοντος (ατμόσφαιρας, εδάφους, επιφανειακών και υπόγειων υδάτων και θαλασσών). Οι δυσμενείς επιδράσεις των αγροχημικών στο έδαφος αφορούν την εξολόθρευση της ωφέλιμης μικροχλωρίδας και μικροπανίδας, τη μείωση της βιοποικιλότητας, τη διατάραξη της βιολογικής ισορροπίας του αγροοικοσυστήματος και την εξάντληση των μη ανανεώσιμων φυσικών πόρων. Η μειωμένη γενετική ποικιλία στην παραγωγή τροφίμων, τα γενετικά τροποποιημένα τρόφιμα και η μεγάλη ενέργεια που απαιτείται για την συσκευασία, διατήρηση και την μεταφορά τους είναι μερικά από τα κύρια θέματα τα οποία έφερε στην επιφάνεια η βιομηχανοποίηση του συστήματος τροφίμων.

Η ενυδρειοπονία είναι ένας συνδυασμός από υδροπονία και συστήματα υδατοκαλλιέργειας. Το νερό της δεξαμενής των ψαριών είναι πλούσιο σε θρεπτικά συστατικά τόσο από τα υπολείμματα της τροφής όσο και από τα περιττώματα. Τα θρεπτικά συστατικά που είναι διαλυμένα στο νερό των ψαριών, μεταφέρονται στο υδροπονικό σύστημα. Τα φυτά που φιλοξενεί το υδροπονικό σύστημα χρησιμοποιούν αυτά τα θρεπτικά για να αναπτυχθούν. Έτσι υπάρχει μια αμφίδρομη σχέση μεταξύ των ψαριών και των φυτών. Τα φυτά φιλτράρουν το νερό των ψαριών μειώνοντας την συγκέντρωση της τοξικής αμμωνίας και των αιωρούμενων στερεών, ενώ τα ψάρια με την σειρά τους βοηθούν τα φυτά να αναπτυχθούν.

Στα κεφάλαια που θα ακολουθήσουν θα γίνει μια μικρή αναφορά στα υδροπονικά συστήματα, στις αρχές λειτουργίας τους και στα είδη τους, ενώ θα εστιάσει κυρίως στα είδη ενυδρειοπονικών συστημάτων που έχουν έως σήμερα αναπτυχθεί για να εξυπηρετούν παράλληλα και την εκτροφή ψαριών (Spade, 2009).

1.1 Υδροπονία

Η λέξη υδροπονία προέρχεται από την ελληνική λέξη *ύδωρ* που σημαίνει νερό και την λέξη εκπόνηση, που σημαίνει *αγωνίζομαι να τα καταφέρω*. Είναι μια μέθοδος όπου αναπτύσσονται φυτά χρησιμοποιώντας ένα ανόργανο θρεπτικό διάλυμα νερού χωρίς την χρήση χώματος. Στις κλασικές μεθόδους καλλιέργειας το χώμα χρησιμοποιείται ως ο μεσάζοντας δια μέσου του οποίου τα θρεπτικά στοιχεία διαλύονται στο νερό και έπειτα απορροφώνται από τις ρίζες των φυτών. Ωστόσο, το χώμα δεν είναι απαραίτητο. Εάν τα φυτά καλλιεργούνται μέσα σε νερό στο οποίο προσθέτουμε τα θρεπτικά στοιχεία, τότε το χώμα μπορεί να παραβλεφθεί. Παρόλο που η υδροπονία θεωρείται ένας σύγχρονος τρόπος καλλιέργειας φυτών, η μέθοδος της η τουλάχιστον οι μέθοδοι που βασίζονται στην υδροπονία χρησιμοποιούνται εδώ και αιώνες (πχ οι κρεμαστοί κήποι της Βαβυλώνας)(Savidon et al., 2007).

Η υδροπονία είναι η πλέον κατάλληλη μέθοδος για την καλλιέργεια φυτών σε περιοχές όπου το χώμα δεν είναι ιδιαίτερα γόνιμο. Επιπλέον είναι μια αποδοτική μέθοδος κατά την χρήση νερού καθώς το νερό παραμένει στο σύστημα και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ξανά σε αντίθεση με τις κλασικές μεθόδους καλλιέργειας όπου το νερό απορροφάται από το έδαφος. Ένα ακόμα πλεονέκτημα είναι η συγκράτηση των θρεπτικών στοιχείων που ως αποτέλεσμα έχει την καλύτερη παραγωγή. Τα λιπάσματα τα οποία χρησιμοποιώντας τα στο χώμα συντελούν στην ρύπανση του περιβάλλοντος δεν χρησιμοποιούνται. Έτσι επιτυγχάνεται μεγαλύτερη και σταθερή παραγωγή.

1.2 Ενυδραιοπονία

Τα ενυδραιοπονικά συστήματα είναι ένας συνδυασμός υδατοκαλλιέργειας και υδροπονίας. Η ενυδραιοπονία είναι αυτή που δίνει την λύση στα κύρια προβλήματα που αντιμετωπίζουν τα δυο συστήματα. Στην υδατοκαλλιέργεια το κυρίως πρόβλημα είναι το φιλτράρισμα του νερού για την απομάκρυνση των περιττωμάτων και των υπολλειμάτων τροφής ενώ στην υδροπονία είναι η ανάγκη για εύρεση νερού πλούσιο σε θρεπτικά στοιχεία το οποίο λειτουργεί ως λίπασμα για την ανάπτυξη των φυτών. Επομένως εάν συνδυάσουμε τις δυο παραπάνω μεθόδους έχουμε ως αποτέλεσμα μια απολύτως φυσική λύση για την ανάπτυξη των φυτών ενώ παράλληλα εξαλείφεται η σπατάλη νερού.

Σε αυτά τα συστήματα, τα ψάρια μεγαλώνουν σε δεξαμενές γλυκού νερού. Το νερό της δεξαμενής επιβαρύνεται συνεχώς από τις ουσίες που αποβάλλονται από τους οργανισμούς των ψαριών ως αποτέλεσμα της πέψης και της οσμωρυθμιστικής λειτουργίας. Με το πέρασμα του χρόνου, το μείγμα αυτό γίνεται τοξικό (αμμωνία, νιτρώδη, νιτρικά) για τα ψάρια θέτοντας τη ζωή τους σε κίνδυνο. Ωστόσο, το τοξικό αυτό μείγμα τροποποιούμενο (νιτρικά), μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως οργανικό λίπασμα για τα φυτά. Αυτό το πλούσιο σε θρεπτικά νερό χρησιμοποιείται για να ποτίζει το υδροπονικό υπόστρωμα με το οποίο είναι συνδεδεμένο ενώ παράλληλα εμπλουτίζει τα καλλιεργούμενα φυτά με λίπασμα. Το μεγαλύτερο μέρος των θρεπτικών βρίσκεται υπό την μορφή αμμωνίας και μετατρέπεται από τα νιτροποιητικά βακτήρια στο υδροπονικό υπόστρωμα σε άλλες μορφές έτσι ώστε να μπορεί να προσληφθεί από τα φυτά για ενέργεια και ανάπτυξη (Tokuyama et al., 2004). Ουσιαστικά το υδροπονικό υπόστρωμα συμβάλλει ως βιολογικό φίλτρο για το ακάθαρτο νερό των ψαριών από τα απόβλητα προτού αυτό επιστρέψει και πάλι καθαρό στην δεξαμενή των ψαριών.

Η ενυδραιοπονία είναι μια εξαιρετικά αποδοτική μέθοδος παραγωγής φυτικών προϊόντων και ψαριών οποιασδήποτε κλίμακας (Suits, 2010). Όταν το σύστημα βρίσκεται σε ισορροπία μπορεί να επιτευχθεί υψηλή παραγωγή ψαριών και φυτών σε μεγάλες πυκνότητες. Το ζωικό και φυτικό κεφάλαιο μπορεί να παραχθεί χωρίς να απαιτείται η χρήση χημικών λιπασμάτων, φυτοκτόνων και μικροβιοκτόνων ουσιών (Nelson, 2008).

Ένα σύστημα ενυδραιοπονείας μπορεί να εξασφαλίσει τροφή (σε επίπεδο οικογενειακής εγκατάστασης) για όλο το χρόνο ακόμα και σε περιόδους ξηρασίας σε άνυδρες περιοχές (Al-Hafedh et al., 2008). Η έλλειψη ανάγκης χωμάτινου υποστρώματος σε αυτά τα συστήματα συνεπάγεται πως μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε αστικές περιοχές και σε τοποθεσίες με φτωχή ποιότητα υποστρώματος.

Για να εξασφαλισθούν οι ανάγκες του ολοένα αυξανόμενου πληθυσμού, προκύπτει η ανάγκη για υψηλά παραγωγικά αστικά και βιώσιμα συστήματα παραγωγής τροφής (Nelson, 2008). Επιπροσθέτως, αφενός η συνείδηση υγιεινής διατροφής των καταναλωτών και οι παγκόσμιες απαιτήσεις μεγάλων ποσοτήτων ιχθύων για κατανάλωση απαιτούν μια λύση που θα ικανοποιεί και τις δυο προαναφερθείσες τάσεις. Η ενυδραιοπονία αποτελεί μια τέτοια λύση καθώς ενοποιεί δυο ξεχωριστά συστήματα τα οποία όμως πληρούν τις παραπάνω ανάγκες.

1.3 Σύγκριση μεθόδων καλλιέργειας

Η παραγωγή τροφής σε επίπεδο ενυδραιοπονίας είναι εμπορικά ευμετάβλητη καθώς μπορεί να προσαρμοστεί τόσο σε επίπεδο εμπορικής όσο και οικογενειακής κλίμακας. Συνδυάζει πολλά από τα πλεονεκτήματα άλλων μεθόδων καλλιέργειας όπως υδατοκαλλιέργειες και υδροπονία με επιπρόσθετα πλεονεκτήματα μοναδικά στην ενυδραιοπονία.

Σε σύγκριση με την υδροπονία η ενυδραιοπονία δεν απαιτεί έδαφος-χώμα για την παραγωγή των φυτών ετήσια. Τα δυο συστήματα επίσης επιτρέπουν υψηλές πυκνότητες σοδειάς με παράλληλη εξοικονόμηση νερού. Σε αυτά τα συστήματα δεν έχουμε απώλειες νερού καθώς δεν υπάρχει χώμα για να το απορροφήσει και να το μεταφέρει σε βαθύτερα στρώματα μακριά από τις ρίζες των φυτών (Nelson, 2008). Η καλλιεργητές που χρησιμοποιούν τα υδροπονικά συστήματα ξοδεύουν αρκετό χρόνο αλλά και χρήμα στο να αναμειγνύουν διαλύματα λιπασμάτων για να ικανοποιήσουν τις διατροφικές απαιτήσεις των φυτών. Στην περίπτωση των ενυδραιοπονικών συστημάτων η χρήση αυτών των λιπασμάτων περιορίζεται σημαντικά ενισχύοντας έτσι ακόμα περισσότερο το περιβαλλοντικό προφίλ του συστήματος. Δεν απαιτούν την προσθήκη συνθετικών, χημικών λιπασμάτων καθώς τα περιττώματα των ψαριών από την δεξαμενή εκτροφής παρέχουν ικανοποιητικές ποσότητες αναγκαίων ουσιών

όπως αμμωνία, νιτρώδη, νιτρικά, κάλιο και μικροθρεπτικά καθώς επίσης και δευτερεύοντα θρεπτικά για την υγιή ανάπτυξη των υδροπονικών φυτών (Diver, 2006). Η χρήση συνθετικών φυτοκτόνων και εντομοκτόνων είναι επίσης περιττή και ανώφελη καθώς είναι θανατηφόρο για τα ψάρια τα οποία είναι ευαίσθητα και απαιτούν νερά με ποιοτικές φυσικοχημικές παραμέτρους. Πρόκειται λοιπόν για μια βιολογική μορφή εκμετάλλευσης όπου η μόνη προσθήκη λιπάσματος είναι η ιχθυοτροφή η οποία περιέχει περίπου 35% πρωτεΐνη.

Σε σύγκριση με τις υδατοκαλλιέργειες στο ενυδρειοπονικό σύστημα δεν χρειάζεται να υπάρξει μελέτη διαχείρισης αποβλήτων καθώς τα περιττώματα ουσιαστικά αφομοιώνονται από την φυτική βιομάζα. Αποδοτικά ένα ενυδρειοπονικό σύστημα απαιτεί το 1% του νερού που απαιτείται συγκριτικά με μια υδατοεκτροφή εκτατικής μορφής για την παραγωγή ίδιας ποσότητας βιομάζας ψαριών (Diver, 2006). Με άλλα λόγια η ενυδρειοπονία περιλαμβάνει τα πλεονεκτήματα τόσο της υδροπονίας όσο και των υδατοκαλλιεργειών, ενώ παράλληλα εξαλείφει τα μειονεκτήματα και των δυο συστημάτων. Επιπλέον μειώνει τα λειτουργικά κόστη που απαιτούνται σε κάθε μέθοδο ξεχωριστά.

2.1 Σχεδιασμός συστήματος

Υπάρχουν αρκετά μοντέλα κλειστού τύπου ενυδρειοπονικών συστημάτων. Τα μοντέλα βασίζονται στα υδροπονικά συστήματα με τη διαφορά ότι η πηγή του νερού προέρχεται από την δεξαμενή των ψαριών, ποσότητα η οποία τελικά καταλήγει πάλι στην δεξαμενή.

Τα υδροπονικά συστήματα διαχωρίζονται σε δυο κύριους τύπους, σε εκείνα που φέρουν υπόστρωμα και σε εκείνα όπου δεν χρησιμοποιείται βοηθητικό υπόστρωμα για τις ρίζες των φυτών. Αυτό αποτελεί σημαντικό παράγοντα καθώς διαμορφώνει τελικά την μορφολογία του συστήματος. Η παρουσία του υποστρώματος εξαλείφει την ανάγκη ύπαρξης δεξαμενής καθίζησης και βιολογικού φίλτρου μιας και το υπόστρωμα αυτό καθ' αυτό λειτουργεί αφενός ως βιολογικό φίλτρο και αφετέρου ως συλλέκτης στερεών ουσιών. Η λάσπη και τα στερεά απόβλητα από την δεξαμενή των ψαριών δεσμεύονται από το υπόστρωμα και επεξεργάζονται από τους πληθυσμούς των βακτηρίων όπου έχουν αναπτυχθεί σε αυτό. Με αυτόν τον τρόπο ενεργεί ως βιολογικό και μηχανικό φίλτρο και εξαλείφει την ανάγκη να απομακρυνθούν τα στερεά απόβλητα σε ξεχωριστό σύστημα.

Τα υποστρώματα είναι πορώδη αδρανή υλικά, χωρίς φυτοτοξικότητα και χρησιμοποιούνται για να υποκαταστήσουν το έδαφος ως μέσω ανάπτυξης του ριζικού συστήματος. Τα υποστρώματα που χρησιμοποιούνται στις υδροπονικές καλλιέργειες είναι τεχνητά (προέρχονται από την επεξεργασία πετρωμάτων) ή φυσικά (πρώτες ύλες με ειδική επεξεργασία). Τα περισσότερα υποστρώματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για δύο ή και τρεις διαδοχικές καλλιέργειες με την προϋπόθεση ότι μετά από κάθε καλλιέργεια θα ακολουθεί επαρκές ξέπλυμα του υποστρώματος με καθαρό νερό.

Τα πιο διαδεδομένα υποστρώματα που χρησιμοποιούνται σήμερα στη υδροπονία είναι τα εξής: 1) ελαφρόπετρα (pumice) είναι ένα αργυλοπυριτικό ηφαιστειογενές ορυκτό το οποίο παράγεται στην χώρα μας, χημικά αδρανές και

χρησιμοποιείται ως υπόστρωμα στις υδροπονικές καλλιέργειες κηπευτικών και ανθοκομικών φυτών. μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως έχει, αλλά είναι καλύτερα πριν την χρήση να έχει προηγηθεί κοσκίνισμα ώστε να απομακρυνθεί η σκόνη. Συνήθως χρησιμοποιείται σε σάκους φύτευσης ή σε κανάλια καλλιέργειας. 2) περλίτης (perlite) προέρχεται από επεξεργασία του ορυκτού περλίτη που είναι ένα υαλώδες ηφαιστειακό πέτρωμα που παράγεται και στην χώρα μας. Ο περλίτης χρησιμοποιείται όπως και η ελαφρόπετρα δηλαδή επιπλέει και έχει την τάση να απορροφά σημαντικές ποσότητες νερού. 3) πετροβάμβακας (rockwool) αποτελεί ένα από τα πιο διαδεδομένα υποστρώματα παγκοσμίως. Χρησιμοποιείται ευρύτατα στις υδροπονικές καλλιέργειες κηπευτικών (ντομάτα, αγγούρι, κ .α) αλλά και στην ανθοκομία. Προέρχεται από ηφαιστειογενή πετρώματα μετά από ειδική επεξεργασία σε υψηλή θερμοκρασία. 4) κοκκοφοίνικας (cocosoil,cocopeat) είναι ένα φυσικό οργανικό υλικό που προέρχεται από το μεσοκάρπιο του καρπού καρύδας. Στη χώρα μας χρησιμοποιείται ευρύτατα στην υδροπονική καλλιέργεια ανθοκομικών φυτών και κηπευτικών.

Στα συστήματα που πλημμυρίζουν και στα αποξηραμένα συστήματα, οι ρίζες των φυτών εκτίθενται σε ακίνητα θρεπτικά για πολλές ώρες προτού η διάλυση αποστραγγιστεί, το οποίο μπορεί να συμβεί πολλές φορές κατά την διάρκεια της ημέρας. Η τεχνική αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί ανεξάρτητα από το αν κάποιο υπόστρωμα χρησιμοποιείται στο σύστημα και οι ρίζες των φυτών μπορούν να είναι εντελώς καλυμμένες με νερό ή ένα μέρος αυτών. Μέρος των καταλοίπων διοχετεύεται στην ατμόσφαιρα. Τα συστήματα με πολύ νερό και τα αποξηραμένα είναι γνωστά για την απλότητα και την αξιοπιστία τους.

2.2 Τεχνική με θρεπτικό φίλμ (θρεπτικό επίχρισμα)

Η τεχνική με το θρεπτικό φίλμ (Nutrient Film Technique, NFT) είναι μια ευρέως χρησιμοποιούμενη τεχνική κατά την οποία οι ρίζες των φυτών είναι εκτεθειμένες σε πολύ λεπτές στρώσεις από νερό το οποίο είναι πλούσιο σε θρεπτικά και διοχετεύεται στα φυτά δια μέσου ενός σωλήνα. Η ιδέα είναι ότι η ρηχή ροή του νερού φθάνει μόνο στο κατώτατο σημείο του παχιού στρώματος των ριζών που αναπτύσσεται στο αυλάκι, ενώ η κορυφή της ρίζας εκτίθεται στον αέρα, με αυτόν

τον τρόπο λαμβάνει επαρκή οξυγόνωση. Η κλίση των καναλιών, το μήκος, και το ποσοστό ροής πρέπει να υπολογιστούν για να είναι σίγουρο ότι στις εγκαταστάσεις παρέχεται ικανοποιητική ποσότητα νερού, οξυγόνου και θρεπτικών ουσιών. Τα συστήματα NFT μπορούν να φιλοξενήσουν πολύ υψηλές πυκνότητες φυτείας. Στα ενυδρειοπονικά συστήματα NFT, η βιολογική φίλτρανση του νερού των ψαριών αποτελεί κρίσιμο σημείο δεδομένου ότι δεν υπάρχει καμία μεγάλη περιοχή επιφάνειας με το οποίο οι πληθυσμοί των βακτηρίων να μπορούν να αναπτυχθούν στο υπόστρωμα (Nelson, 2008). Έτσι πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στην ιχθυοπυκνότητα.

2.3 Σύστημα πλωτών σχεδίων

Ένα ακόμη σύστημα που έχει τη μεγάλη δυνατότητα για εμπορική χρήση είναι το πλωτό σύστημα σχεδίων. Σε αυτό το σύστημα τα φυτά μεγαλώνουν σε πλαστικά δοχεία τα οποία επιπλέουν. Στα πλαστικά δοχεία ανοίγονται μικρές τρύπες όπου εμφανίζονται τα φυτά. Οι ρίζες κρέμονται ελεύθερες στο νερό και έτσι πραγματοποιείται η λήψη των θρεπτικών. Μια μεγάλη διαφορά μεταξύ των πλωτών συστημάτων και το NFT συστήματος είναι το ποσό του νερού που χρησιμοποιείται. Η στάθμη ύδατος κάτω από τα πλαστικά δοχεία κυμαίνεται από 25 έως 50 εκ. βάθος κατά συνέπεια λοιπόν ο όγκος του νερού είναι περίπου τέσσερις φορές μεγαλύτερος από άλλα συστήματα. Η μεγάλη ποσότητα νερού και οι χαμηλές συγκεντρώσεις θρεπτικών που περιέχονται σε αυτό έχουν σαν συνέπεια μεγαλύτερες απαιτήσεις σε τροφή. Τα βακτήρια αναπτύσσονται κυρίως στην κατώτατη επιφάνεια των πλωτών σχεδίων ωστόσο απαιτείται ένα βιολογικό φίλτρο. Επίσης, οι ρίζες των φυτών εκτίθενται σε μερικούς επιβλαβείς οργανισμούς που κατοικούν στο νερό, το οποίο μπορεί να έχει επιπτώσεις στην ανάπτυξη τους.

3.1 Επιλογή ψαριών

Το είδος των ψαριών που θα χρησιμοποιηθεί σε ένα ενυδρειοπονικό σύστημα εξαρτάται από τις κλιματικές συνθήκες και επομένως την θερμοκρασία που ο καλλιεργητής θα είναι σε θέση να διατηρήσει, τα είδη ψαριών (υπάρχουν μερικές φορές περιορισμοί στην εκτροφή των ψαριών που δεν είναι αυτόχθονα στην περιοχή), την διάθεση στην αγορά και τον τύπο τροφής ψαριών που είναι διαθέσιμο στον καλλιεργητή (Nelson, 2008).

Υπάρχουν διάφορα είδη ψαριών γλυκού νερού θεرمόφιλα είδη αλλά και ψυχρόφιλα που μπορούν να προσαρμοστούν στα συστήματα υδατοκαλλιεργειών. Αυτοί περιλαμβάνουν *tilapia* (*Oreochromis sp.*), πέστροφα (*Salmo trutta*), πέρκα (*Perca fluviatilis*) (Diver, 2006), γατόψαρο (*Ictalurus punctatus*), χρυσόψαρο (*Carassius auratus auratus*) (Nelson, 2008), ιριδίζουσα πέστροφα (*Oncorhynchus mykiss*) (Rakocy et al., 2006). Στα θεرمόφιλα ψάρια μπορεί χρησιμοποιηθεί τροφή του εμπορίου χωρίς πρόβλημα (Nelson, 2008), συμπεριλαμβάνονται και μερικά διακοσμητικά ψάρια (Rakocy, Masser, & Losordo, 2006). Η πέρκα (*Perca fluviatilis*) είναι ένα είδος που σύμφωνα με τις υπάρχουσες πληροφορίες δεν αποδίδει καλά στα ενυδρειοπονικά συστήματα δεδομένου ότι δεν μπορεί να ανεχτεί τα υψηλά επίπεδα καλίου - ένα κοινό συμπλήρωμα που χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη των φυτών (Rakocy, Masser, & Losordo, 2006).

Ωστόσο στα περισσότερα συστήματα εκτρέφεται *tilapia*. Η *tilapia* είναι ένα τροπικό ψάρι που προέρχεται από την Εγγύς Ανατολή και την Αφρική (Nelson, 2008) μπορεί να προσαρμοστεί σε δεξαμενές και ανέχεται τις διακυμάνσεις στα επίπεδα του διαλυμένου οξυγόνου, στη θερμοκρασία, στο pH και στα διαλυμένα στερεά (Diver, 2006).

Το εύρος θερμοκρασίας που είναι ιδανικό για την *tilapia* είναι επίσης ιδανικό και για την ανάπτυξη των φυτών τα οποία βρίσκονται στο ίδιο σύστημα. Η *Tilapia* αναπτύσσεται πολύ γρήγορα συγκριτικά με άλλα είδη τα οποία χρησιμοποιούνται στα

ενυδρειοπονικά συστήματα (Nelson, 2008), επίσης υπάρχει πολύ διαθέσιμη βιβλιογραφία μιας και είναι ένα είδος το οποίο έχει δουλευτεί πολύ (Diver, 2006). Η λευκή σάρκα της την καθιστά πολύ δημοφιλή στις διάφορες κουζίνες.

3.1.1 Εκτροφή τιλάπιας (*Oreochromis niloticus*)

Η τιλάπια είναι ένα τροπικό είδος που προτιμά να ζει σε ρηχά νερά. Η χαμηλότερη θερμοκρασία που μπορεί να επιβιώσει κυμαίνεται μεταξύ 11-12 C⁰ ενώ η υψηλότερη κυμαίνεται μεταξύ 40-42 C⁰.

Πρόκειται για ένα παμφάγο ψάρι που τρέφεται με φυτοπλαγκτόν, περίφυτο, υδρόβια φυτά, μικρά ασπόνδυλα, βενθική πανίδα. Η τιλάπια μπορεί να φιλτράρει την τροφή εγκλωβίζοντας αιωρούμενα σωματίδια συμπεριλαμβανομένου του φυτοπλαγκτού και των βακτηρίων σε βλεννογόνους της στοματικής κοιλότητας, ωστόσο η κύρια πηγή διατροφής της είναι το περίφυτο.

Η γεννητική ωριμότητα, όταν ζει σε μικρές λίμνες έρχεται σε ηλικία μόλις 5-6 μηνών. Η βέλτιστη θερμοκρασία για να αρχίσει η ωοτοκία είναι οι 24 C⁰. Η διαδικασία αναπαραγωγής ξεκινά με το αρσενικό άτομο να δημιουργεί μια φωλιά όπου το γεννητικά ώριμο θηλυκό εναποθέτει τα αυγά του τα οποία γονιμοποιεί το αρσενικό. Μετά την γονιμοποίηση το θηλυκό συλλέγει τα γονιμοποιημένα ωάρια στο στόμα του και απομακρύνεται. Στο στόμα παραμένουν ώσπου να εκκολαφθούν και απορροφηθεί ο λεκιθικός σάκος. Η επώαση ολοκληρώνεται περίπου σε μια 1-2 εβδομάδες ανάλογα με την θερμοκρασία. Για την διατροφή της τιλάπια χρησιμοποιούνται τροφές του εμπορίου που παρέχουν ένα πλήρες σιτηρέσιο επαρκή σε πρωτεΐνες, λιπίδια, υδατάνθρακες, βιταμίνες και μέταλλα (Costa-Pierce & Racory, 1997).

3.1.2 Ποιότητα νερού

Τα ψάρια έχουν υψηλές απαιτήσεις σε καλή ποιότητα νερού για να έχουν καλό ρυθμό ανάπτυξης αλλά και να είναι υγιή. Πρέπει λοιπόν να γίνεται τακτικά

έλεγχος για την καλή ποιότητα του νερού. Αυτό επιτυγχάνεται με έτοιμα τεστ που οι καλλιεργητές μπορούν να προμηθευτούν από το εμπόριο. Οι κρίσιμότερες παράμετροι ποιότητας νερού είναι η περιεκτικότητα σε διαλυμένο οξυγόνο, η θερμοκρασία, το pH, το άζωτο και η αμμωνία υπό την μορφή νιτρικών και νιτρώδων. Το βιολογικό φίλτρο στα ενυδρειοπονικά συστήματα αφαιρεί τα νιτρώδη και μπορεί να κρατήσει τη συγκέντρωσή τους σε πολύ χαμηλότερα επίπεδα από αυτό (DeLong, Losordo, & Rakocy, 2009). Κατά συνέπεια οι σημαντικότερες παράμετροι ποιότητας νερού είναι η θερμοκρασία, το διαλυμένο οξυγόνο και η αμμωνία. Άλλες σημαντικές παράμετροι είναι τα φωσφορικά ιόντα, το χλώριο και το διοξείδιο του άνθρακα. Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα του νερού είναι η ιχθυοπυκνότητα, ο ρυθμός ανάπτυξης, η συχνότητα τσίματος, ο όγκος του νερού στο σύστημα και οι περιβαλλοντικές συνθήκες (Diver, 2006).

3.1.3 Διαλυμένο Οξυγόνο

Για την σωστή ανάπτυξη των ψαριών αλλά και για την καλή υγεία τους έχουν καθιερωθεί ορισμένα όρια. Αυτές οι τιμές μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως καθοδηγητές στον έλεγχο και στο σχεδιασμό για να βελτιωθεί το επίπεδο οξυγόνου το οποίο είναι διαθέσιμο για τα ψάρια προτού το οξυγόνο φτάσει σε ιδιαίτερα χαμηλά επίπεδα. Σε αυτή την περίπτωση τα ψάρια θα καταβάλουν μεγάλη προσπάθεια για να επιζήσουν (Post, 1983). Τέτοια χαμηλά επίπεδα οξυγόνου δεν πρέπει ποτέ να επιτευχθούν στα ενυδρειοπονικά συστήματα και ένα σύστημα αερισμού πρέπει να τεθεί σε ισχύ για να εξασφαλισθούν οι βέλτιστες συγκεντρώσεις οξυγόνου.

Η *tilapia* μπορεί να επιζήσει σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις οξυγόνου της τάξεως των 0.5 mg l^{-1} . Ωστόσο τιμές της τάξεως $3-10 \text{ mg l}^{-1}$ είναι αρκετά ικανοποιητικές (Nelson, 2008), η ιδανική ανάπτυξη όμως εμφανίζεται σε πιο υψηλά επίπεδα από 5.0 mg l^{-1} (DeLong, Losordo, & Rakocy, 2009). Για τα ενυδρειοπονικά συστήματα γενικά, το επίπεδο κορεσμού βρίσκεται στο 80% ($6-7 \text{ mg l}^{-1}$) το οποίο είναι και το βέλτιστο (Nelson, 2008).

3.1.4 Θερμοκρασία

Τα διάφορα είδη *tilapia* ζουν σε διαφορετικές διακυμάνσεις θερμοκρασίας για τη βέλτιστη ανάπτυξη τους. Κανένα από τα είδη δεν μπορεί να επιζήσει κάτω από τους 10°C (Nelson, 2008). Αναπτύσσονται πολύ καλά όταν η θερμοκρασία κυμαίνεται από 17-32 °C, ανάλογα με τα είδη (Nelson, 2008), αλλά η ιδανική αύξηση εμφανίζεται στους 26.7 °C (DeLong, Losordo, & Rakocy, 2009). Στα ενυδρείοπονικά συστήματα, η *tilapia* αυξάνεται συνήθως μεταξύ 22.2 και 23.3 °C όπου είναι μια αρκετά ικανοποιητική θερμοκρασία για τα ψάρια, τα βακτήρια νιτροποίησης αλλά και τα φυτά των ενυδρείοπονικών συστημάτων, ωστόσο αναπτύσσονται καλύτερα σε ελαφρώς χαμηλότερες θερμοκρασίες (Nelson, 2008). Αυτές οι ελαφρώς χαμηλότερες θερμοκρασίες επιτρέπουν επίσης μια υψηλότερη περιεκτικότητα σε διαλυμένο οξυγόνο, μιας και η διαλυτότητα του οξυγόνου στο νερό μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας (DeLong, Losordo, & Rakocy, 2009). Οι γρήγορες αυξομειώσεις στη θερμοκρασία του νερού μπορεί να προκαλέσουν θερμικό σοκ στα ψάρια και να οδηγήσει σε πιθανή καταστροφή του καρδιαγγειακού και νευρικού συστήματος, μείωση των ενζυματικών δραστηριοτήτων τους, μόνιμη εξασθένηση των σωματικών λειτουργιών ή ακόμη και θάνατο (Post, 1983).

3.1.5 pH

Τα περισσότερα ψάρια έχουν καλύτερη αύξηση όταν το pH κυμαίνεται από 7.5-8.0. Η *tilapia* μπορεί να ανεχτεί μια διακύμανση του pH (από 5 έως 10). Σε ένα σύστημα υδατοκαλλιέργειας όπου το νερό ανακυκλώνεται μέσω κάποιου βιολογικού φίλτρου (όπως στα υδροπονικά συστήματα), το pH του νερού στις δεξαμενές όπου βρίσκονται τα ψάρια πρέπει να είναι κατάλληλο και για την επιβίωση των βακτηριδίων νιτροποίησης που βρίσκονται στο βιολογικό φίλτρο. Τα φυτά στα ενυδρείοπονικά συστήματα απαιτούν το pH να κυμαίνεται μεταξύ 6.0-6.5 και τα βακτηρίδια νιτροποίησης αποδίδουν καλύτερα όταν το pH κυμαίνεται από 6.8-9.0. Κατά συνέπεια, για να ικανοποιηθούν και τα τρία συστήματα το pH πρέπει να

βρίσκεται σε μια μέση τιμή. Συχνά στα ενυδρειοπονικά συστήματα το pH κυμαίνεται από 6.5 έως 7 (Nelson, 2008).

Όταν οι τιμές του pH είναι υπερβολικά υψηλές ή χαμηλές τα ψάρια στρεσάρονται και πολλές φορές προκαλείται καταστροφή του δέρματος, των βραγχίων και τα ψάρια δεν είναι ικανά να απορροφήσουν το οξυγόνο (Post, 1983). Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι το pH έχει επιπτώσεις και στη διαλυτότητα άλλων ουσιών (π.χ. αμμωνία) η οποία είναι τοξική.

Στα ενυδρειοπονικά συστήματα, δεδομένου ότι η διαδικασία της νιτροποίησης από τα βακτήρια στο βιολογικό φίλτρο είναι μία διαδικασία η οποία χαμηλώνει τις τιμές του pH, προστίθεται περιοδικά κάποια βάση στο σύστημα προκειμένου να διατηρηθεί ένα pH 7. Το υδροξείδιο καλίου (KOH) και το υδροξείδιο ασβεστίου (CaOH₂) χρησιμοποιούνται συχνά για αυτόν το λόγο. Η προσθήκη αυτών των βάσεων στο νερό εκτροφής των ψαριών είναι απαραίτητη εάν εντοπίζονται χαμηλές συγκεντρώσεις καθώς είναι απαραίτητη για την ανάπτυξη των φυτών (Rakocy, Masser, & Losordo, 2006).

3.1.6 Αμμωνία

Η αμμωνία είναι ένα προϊόν των αποβλήτων ψαριών η οποία είναι ιδιαίτερα τοξική για τα ψάρια όταν βρίσκεται σε μεγάλες συγκεντρώσεις στο νερό όπου εκτρέφονται. Η ιονισμένη μορφή αμμωνίας (NH₃) είναι ιδιαίτερα τοξική για τα ψάρια και άλλα υδρόβια ζώα, ενώ το αμμώνιο (NH₄⁺) είναι πολύ λιγότερο (DeLong, Losordo, & Rakocy, 2009). Στο ενυδρειοπονικό σύστημα με pH 7, η πλειοψηφία του αζώτου αμμωνίας είναι στην ιονική μορφή αμμωνίου. Οι υψηλές τιμές pH αυξάνουν το ποσοστό της αμμωνίας που είναι στην τοξική μορφή (Droste, 1996). Η κανονική έκθεση NH₃ στις συγκεντρώσεις που υπερβαίνουν 1 mg⁻¹ θα οδηγήσει στην ασθένεια βραγχίων και τα ψάρια θα αρχίσουν να πεθαίνουν σε επίπεδα τόσο χαμηλά όπως 0.2 mg l⁻¹, με άλλες λειτουργίες που παύουν να λειτουργούν ακόμα στις χαμηλότερες τιμές (Porra & Masser, 1999). Κατά συνέπεια, κάποιος πρέπει να προσπαθήσει για μια συγκέντρωση NH₃ που είναι τόσο κοντά σε μηδέν (Graber & Junge, 2009). Η *tilapia* μπορεί να διατηρήσει την υγεία τους σε ένα διάστημα συγκέντρωσης

αμμωνίας 0.00-0.04 mgI⁻¹ (Nelson, 2008). Οι συγκεντρώσεις της ιονισμένης μορφής αμμωνίας πρέπει να διατηρηθούν κάτω από 1 mgI⁻¹ NH₄⁺ (Graber & Junge, 2009).

3.2 Διατροφή

Η *tilapia* αν και παμφάγο ψάρι ανταποκρίνεται άριστα στις συνθετικές τροφές του εμπορίου. Η διατροφή των ψαριών αυτών πρέπει να είναι ισορροπημένη αλλά και πλούσια σε αμινοξέα, πρωτεΐνες, λίπη, βιταμίνες, ανόργανα άλατα και υδατάνθρακες. Στο φυσικό περιβάλλον, η διατροφή της *tilapia* αποτελείται από περιφυτικά άλγη (χαμηλά σε πρωτεΐνη) και μικρά ζώα όπως σκουλήκια (υψηλά σε πρωτεΐνη). Οι καλλιεργητές των ενυδρειοπονικών συστημάτων μπορούν να επιλέξουν να ταΐσουν τα ψάρια τους με ένα μίγμα αυτών των υλικών, ωστόσο η βέλτιστη αύξηση της *tilapia* παρουσιάζεται με την χρήση εμπορικών τροφών (pellets). Τα εκτρεφόμενα ψάρια απαιτούν λιγότερη ποσότητα τροφής σε σύγκριση με τα άγρια ψάρια, δεδομένου ότι χρειάζονται λιγότερη ενέργεια για την λήψη της τροφής, κατά συνέπεια η ελεγχόμενη χρήση των pellets δίνει τον ολοκληρωτικό έλεγχο των θρεπτικών που θα εισάγουν οι καλλιεργητές στο ενυδρειοπονικό σύστημα (Riche & Garling, 2003).

Στα συστήματα υδατοκαλλιεργειών όπου το νερό ανακυκλώνεται, το ποσοστό σίτισης των ψαριών ποικίλει ανάλογα με το μέγεθος τους. Το ποσοστό της τροφής εξαρτάται από το μέσο βάρος των ψαριών. Επίσης, καθώς το μέσο βάρος ψαριών αυξάνεται, αυξάνεται και το ποσοστό διατροφής. Έτσι λοιπόν ο καθημερινός ρυθμός διατροφής πρέπει να ρυθμιστεί έτσι ώστε να συντελεί στην ανάπτυξη των ψαριών.

Στα ενυδρειοπονικά συστήματα η *tilapia* έχει καλύτερη αύξηση όταν ταΐζεται τρεις φορές την ημέρα (Rakocy, Bailey, Shultz, & Thoman, 2004), η τροφή αποτελείται από 32% πρωτεΐνη (Spade, 2009). Ο καθορισμός του ποσού τροφής ανά δεξαμενή ανά ημέρα κατά τη διάρκεια της παραγωγής βασίζεται στο μέσο βάρος ψαριών και θεωρείται περίπλοκη από τους εμπειρογνώμονες των ενυδρειοπονικών συστημάτων. Βάσει της εμπειρίας, έχει καθοριστεί και η ποσότητα της τροφής που χρειάζονται τα ψάρια ανά έκταση υδροπονικού υποστρώματος. Αυτό επιτρέπει τον υπολογισμό του αριθμού ψαριών που το σύστημα μπορεί να φιλοξενήσει και συνεπώς τον όγκο του νερού που απαιτείται στο σύστημα.

3.3 Καλλιέργεια φυτών

3.3.1 Θρεπτικές απαιτήσεις

Όλα τα φυτά έχουν διαφορετικές θρεπτικές απαιτήσεις για παράδειγμα το φυλλώδες πράσινο λαχανικό απαιτεί περισσότερα νιτρικά άλατα από τα καρποφόρα φυτά. Εντούτοις όλα τα φυτά στα ενυδρειοπονικά συστήματα χρειάζονται 16 ουσιαστικές θρεπτικές ουσίες για τη μέγιστη αύξηση. Αυτά βρίσκονται υπό την μορφή μακροθρεπτικών, τα οποία εκτός από τον άνθρακα, το υδρογόνο, και το οξυγόνο, που παρέχονται από το νερό, το διοξείδιο του άνθρακα, και τον ατμοσφαιρικό αέρα, περιλαμβάνουν το άζωτο (N), το κάλιο (K), το ασβέστιο (Ca), το μαγνήσιο (Mg), φώσφορο (P), και το θείο (S). Υπάρχουν επτά μικροτροφικοί απαραίτητοι επίσης και είναι το χλώριο (Cl), σίδηρος (Fe), μαγνήσιο (Mn), βόριο (B), ψευδάργυρος (Zn), χαλκός (Cu), και μολυβδαίνιο (Mo). Αυτές οι θρεπτικές ουσίες πρέπει να βρίσκονται σε ισορροπία, δεδομένου ότι μια υπερβολή ποσότητα σε κάποιο από αυτά μια μπορεί να παρεμποδίσει τη λήψη μιας άλλης ουσίας. Οι συγκεντρώσεις σιδήρου στα απόβλητα του νερού ενός ενυδρειοπονικού συστήματος είναι ανεπαρκείς για την αύξηση των φυτών, επομένως ο σίδηρος πρέπει να συμπληρωθεί σε μια συγκέντρωση 2 mg l^{-1} (Rakocy, Masser, & Losordo, 2006).

Πολλοί τύποι φυτών όπως κινεζικό λάχανο, μαρούλι, βασιλικός, τριαντάφυλλα, ντομάτες, μπάμιες, πεπόνια πιπεριές, μπιζέλια, το κάρδαμο, ραδίκια, φράουλες, κρεμμύδια, κράμβες, γλυκοπατάτες και βότανα, μπορούν να καλλιεργηθούν επιτυχώς στα ενυδρειοπονικά συστήματα (Diver, 2006). Αρχικά θεωρούνταν ότι μπορούν να καλλιεργηθούν μόνο φυλλώδη πράσινα λαχανικά, ωστόσο η ποικιλία φυτών που μπορούν να καλλιεργηθούν συμπεριλαμβάνει φασόλια αλλά και λουλούδια.

Αν και πολλά σπαρτά μπορούν να καλλιεργηθούν σε ένα ενυδρειοπονικό σύστημα, μερικά είναι καταλληλότερα από άλλα. Όταν επιλέγεται ένα φυτό για καλλιέργεια, πρέπει πρώτα από όλα να ληφθεί υπόψη ο στόχος του καλλιεργητή. Εάν ο στόχος της επιχείρησης είναι να έχει άμεσο κέρδος, τότε θα πρέπει να καλλιεργηθούν φυτά τα οποία έχουν υψηλή τιμή στο εμπόριο αλλά και σύντομο χρόνο συγκομιδής. Τέτοιου είδους φυτά είναι ο βασιλικός, τα φρέσκα κρεμμύδια, και

ο μαϊντανός, ο χρόνος που χρειάζονται να αναπτυχθούν και να είναι έτοιμα προς πώληση κυμαίνεται μεταξύ 25 και 40 ημερών (Rakocy, Masser, & Losordo, 2006). Το μαρούλι είναι το φυτό το οποίο πολύ συχνά καλλιεργείται στα ενυδρειοπονικά συστήματα λόγω του σύντομου χρόνου συγκομιδής του (3-4 εβδομάδες) και της υψηλής ζήτησης. Τα φυτά που φέρουν καρπούς όπως το καλαμπόκι χρησιμοποιούνται κυρίως από ερευνητές.

3.3.2 Καλλιέργεια μαρουλιού (*Lactuca sativa*)

Το μαρούλι είναι το συνηθέστερο λαχανικό που χρησιμοποιείται στα ενυδρειοπονικά συστήματα λόγω του σύντομου χρόνου συγκομιδής του και της υψηλής του ζήτησης από το καταναλωτικό κοινό μιας και είναι πλούσιο σε βιταμίνη Α και φολικό οξύ. Έχει ελάχιστες θρεπτικές απαιτήσεις και είναι πολύ εύκολο να καλλιεργηθεί ακόμη και σε ερασιτεχνικό επίπεδο. Άλλα τέτοια είδη είναι το κινέζικο λάχανο και το κάρδαμο (Rakocy, 1989).

Το μαρούλι συνήθως έχει καλύτερη ανάπτυξη στην τεχνική με θρεπτικό φιλμ. Η απόσταση μεταξύ των φυτών πρέπει να είναι περίπου 2 cm (Nelson, 2008) και προτείνεται το σύστημα με θρεπτικό φιλμ (NFT). Τα συστήματα NFT μπορούν να φιλοξενήσουν πολύ υψηλές πυκνότητες φυτείας. Στα ενυδρειοπονικά συστήματα NFT, το βιολογικό φίλτρο γίνεται κρίσιμο σημείο δεδομένου ότι δεν υπάρχει καμία μεγάλη περιοχή επιφάνειας με το οποίο οι πληθυσμοί των βακτηρίων να μπορούν να αναπτυχθούν (Nelson, 2008).

Οι περισσότερες ποικιλίες μαρουλιού έχουν τη βέλτιστη ανάπτυξη όταν η θερμοκρασία κυμαίνεται μεταξύ 15,4 -26 C⁰ και το pH 5,8 -6,2.

3.3.3 Καλλιέργεια βασιλικού (*Occimum basilicum*)

Ο βασιλικός είναι ένα φυτό πολύ διαδεδομένο στην Ελλάδα, καλλιεργείται ως καλλωπιστικό φυτό σε γλάστρες και σε κήπους και τα φύλλα του χρησιμοποιούνται αποξηραμένα ως αφέψημα και καρύκευμα.

Ο βασιλικός για να αναπτυχθεί σε ένα ενυδρειοπονικό σύστημα χρειάζεται ένα εύρος θερμοκρασίας το οποίο κυμαίνεται μεταξύ 18- 29 με βέλτιστες τις θερμοκρασίες 20-24 C⁰, συμπαθεί το πολύ φώς αλλά κατά τους καλοκαιρινούς μήνες πρέπει να σκιάζεται. Η θρεπτική του αξία είναι αρκετά υψηλή μιας και περιέχει βιταμίνη Α και C.

3.4 Βακτήρια

Τα αυτότροφα βακτήρια που μετατρέπουν τα απόβλητα των ψαριών σε θρεπτικές ουσίες έτσι ώστε αυτές να ληφθούν από τα φυτά, παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο μιας και ένα ενυδρειοπονικό σύστημα δεν μπορεί να λειτουργήσει χωρίς αυτά. Οι κατάλληλες περιβαλλοντικές συνθήκες πρέπει να διατηρηθούν για να εξασφαλίσουν την άφθονη αύξηση των μικροβιακών πληθυσμών στο βιολογικό φίλτρο. Η νιτροποίηση των βακτηρίων που αυξάνονται στην επιφάνεια των βιολογικών φίλτρων σε συνδυασμό με τις ρίζες των φυτών θα εκτελέσει όλες τις απαραίτητες θρεπτικές μετατροπές για τη σίτιση των φυτών και για τη διήθηση των αποβλήτων που προέρχονται από τις δεξαμενές των ψαριών.

Τα απόβλητα από τις δεξαμενές των ψαριών περιέχουν τη συνολική αμμωνία (NH₃ και NH₄⁺) που εκκρίνεται μέσω των ούρων και των βραγχίων. Τα νιτροποιητικά βακτήρια, ιδιαίτερα *Nitrosomonas* sp. μετατρέπουν την τοξική αμμωνία, χρησιμοποιώντας την ως πηγή ενέργειας σε νιτρώδη (NO₂⁻). Τα νιτρώδη έπειτα γρήγορα οξειδώνονται από έναν άλλο τύπο νιτροποίησης των βακτηρίων δηλαδή *Nitrobacter* sp. για να διαμορφωθεί το νιτρικό άλας (NO₃⁻), η προτιμημένη μορφή αζώτου που είναι απαραίτητη για τα φυτά (Losordo, Masser, & Rakocy, 1998). Όταν τα ψάρια εισάγονται αρχικά σε ένα ενυδρειοπονικό σύστημα, τα επίπεδα αμμωνίας στο νερό αυξάνονται την πρώτη εβδομάδα και μετά αρχίζουν να μειώνονται ενώ τα επίπεδα νιτρώδους άλατος αυξάνονται. Μόλις περάσουν δύο εβδομάδες σε 20 ημέρες, τα επίπεδα νιτρώδους άλατος θα πέσουν, ενώ τα επίπεδα νιτρικών αλάτων αυξάνονται. Σε τέσσερις εβδομάδες ή μεταξύ 20 και 30 ημερών, οι ενώσεις αζώτου θα σταθεροποιήσουν σχετικά στη συγκέντρωση.

Ένας ενεργός μικροβιακός πληθυσμός πρέπει να υπάρχει στο βιολογικό φίλτρο προτού να προστεθούν τα ψάρια στο σύστημα. Όταν τα ψάρια βρίσκονται ήδη

στις δεξαμενές του ενυδρειοπονικού συστήματος η προσθήκη νέων ψαριών δεν πρέπει ποτέ να γίνεται όταν τα επίπεδα αμμωνίας ή νιτρώδων βρίσκονται στο μέγιστο επίπεδο (Nelson, 2008). Τα νιτροποιητικά βακτήρια χρειάζονται οξυγόνο για τις μεταβολικές τους διαδικασίες, επομένως το βιολογικό φίλτρο πρέπει να είναι πορώδη και καλά αεριζόμενο. Απαιτούν επίσης μια ορισμένη τιμή pH από 7-8 (Nelson, 2008).

Τα μικρόβια που βρίσκονται στα ενυδρειοπονικά συστήματα δεν είναι ουσιαστικά ποτέ παθογόνα αντίθετα με άλλα ζώα που φέρουν παθογόνους οργανισμούς δημιουργώντας συχνά πολλά προβλήματα στη βιομηχανία τροφίμων τα ψάρια και τα φυτά δεν αποτελούν κίνδυνο για τον καταναλωτή (Nelson, 2008). Φαίνεται λοιπόν πως η πιθανότητα μόλυνσης από ψάρια και λαχανικά που καλλιεργούνται σε ενυδρειοπονικά συστήματα είναι σχεδόν μηδαμινή μιας και τηρούνται αυστηροί κανόνες ασφαλείας στις εγκαταστάσεις.

Για να σταθεροποιηθεί το σύστημα, χρειάζονται περίπου 6 με 9 μήνες έτσι ώστε το σύστημα να αποδίδει το μέγιστο δυνατό και να αναπτυχθούν ευεργετικά βακτήρια.

Το νερό πρέπει να έχει ουδέτερο pH (7.0) καλό είναι το νερό που χρησιμοποιείται να είναι αποχλωριωμένο, το οποίο δεν είναι μόνο επιβλαβή για τα ψάρια αλλά μπορεί επίσης να σκοτώσει τα βακτήρια και τα φυτά που βρίσκονται στο σύστημα. Το βρόχινο νερό είναι μια πολύ καλή επιλογή για τα ενυδρειοπονικά συστήματα μιας και έχει ουδέτερο pH και είναι απαλλαγμένο από χλώριο (Nelson, 2008). Αφού τα ψάρια τοποθετηθούν στην δεξαμενή, τα επίπεδα της αμμωνίας θα αρχίσουν να αυξάνονται, ωστόσο θα αρχίσουν να μειώνονται έπειτα από 7- 10 ημέρες και θα αρχίσουν να αυξάνονται τα επίπεδα των νιτρώδων. Έπειτα από ακόμη ένα διάστημα περίπου 10 ημερών τα επίπεδα των νιτρώδων θα αρχίσουν να μειώνονται και τα επίπεδα των νιτρικών αλάτων να αυξάνονται. Αυτές οι αυξομειώσεις συμβαίνουν σε μια φυσική διαδικασία.

3.5 Σκοπός της εργασίας

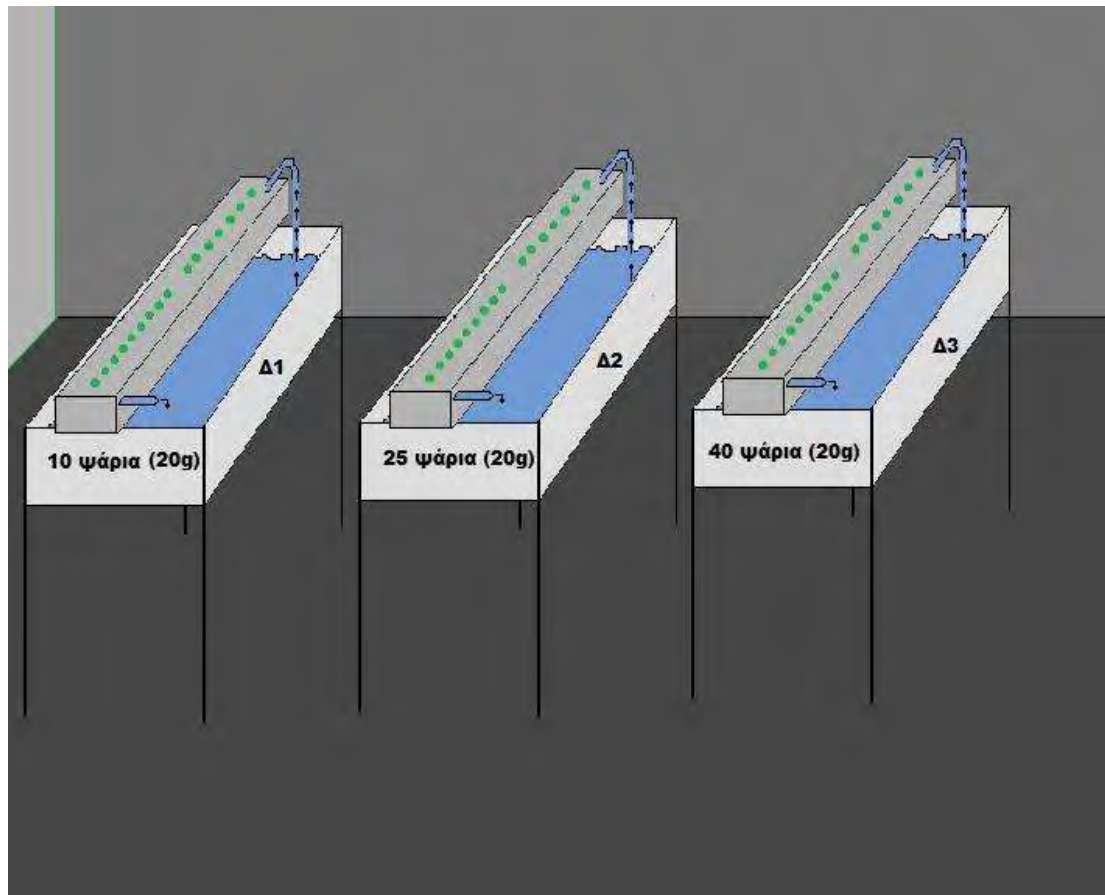
Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση της δυναμικής ενός ενυδρειοπονικού συστήματος μικρής κλίμακας και την φέρουσα απόδοση του στην ανάπτυξη ψαριών και πράσινων φυτών.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

4.1 Υλικά και μεθοδολογία

4.1.1 Πειραματική διάταξη ενυδρειοπονικού συστήματος

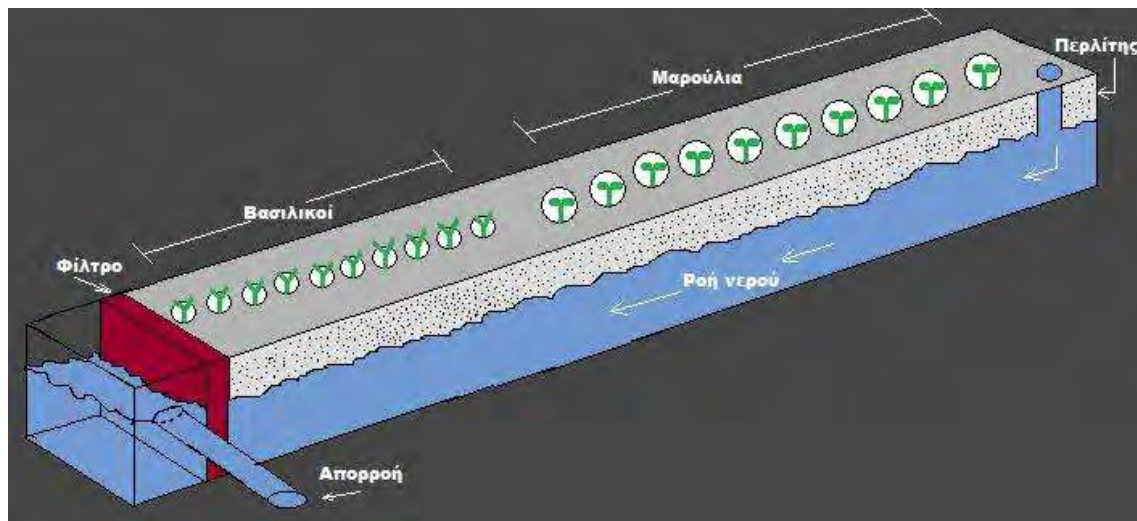
Τα πειράματα έγιναν στο εργαστήριο εσωτερικών υδάτων του τμήματος Ιχθυοκομίας Αλιείας του Τ.Ε.Ι Ηπείρου, παράρτημα Ηγουμενίτσας. Η πειραματική διάταξη του ενυδρειοπονικού συστήματος αποτελούνταν από 3 κύριες δεξαμενές χωρητικότητας 200 l νερού η κάθε μία;. Πάνω σε κάθε κύρια δεξαμενή ήταν προσαρμοσμένο ένα ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο κανάλι χωρητικότητας 25 l νερού μέσα στο οποίο τοποθετήθηκαν τα φυτά. Μέσα στη κύρια δεξαμενή υπήρχε βυθισμένη ηλεκτρική αντλία μικρής αντλητικής ικανότητας (2lmin^{-1}) η οποία παρείχε νερό στο κανάλι. Στο κάτω μέρος του καναλιού, το νερό μέσω σωλήνα απορροής επέστρεφε πάλι πίσω στη κύρια δεξαμενή (εικόνα 1).



Εικόνα 1. Παρουσιάζεται η πειραματική διάταξη του ενυδρειοπονικού συστήματος σχηματικά

Η εισαγωγή του νερού ήταν στο πρόσθιο μέρος του καναλιού. Το νερό απέρρευε ξανά στην κύρια δεξαμενή μέσω σωλήνα στο οπίσθιο μέρος του καναλιού. Ο σωλήνας βρισκονταν σε τέτοιο ύψος ώστε να εξασφαλίζεται συγκεκριμένη στάθμη στο διερχόμενο νερό εντός του καναλιού. Η διατομή του σωλήνα απορροής ήταν συγκεκριμένη για να καλύπτει πλήρως τις ανάγκες απορροής χωρίς να προκύπτουν προβλήματα υπερχείλισης. Στο άνω μέρος του σωλήνα υπήρχαν οπές μέσα στις οποίες τοποθετούνταν τα φυτά καλλιέργειας. Ο κενός χώρος μεταξύ της στάθμης του νερού και των οπών πληρώθηκε με περλίτη ο οποίος λειτούργησε ως καλλιεργητικό υπόστρωμα για τα φυτά και το οποίο έχει την τάση να επιπλέει. Πριν τον σωλήνα απορροής τοποθετήθηκε ποσότητα συνθετικού μικροπλέγματος έτσι ώστε να μην διαφεύγει ο περλίτης από το κανάλι αλλά μόνο το νερό (εικόνα 2). Ο περλίτης έχει διπλό ρόλο καθώς εκτός από καλλιεργητικό υπόστρωμα παίζει και το ρόλο του βιολογικού υποστρώματος για την εγκαθίδρυση των βακτηρίων που παίρνουν μέρος στην διαδικασία της απόνιτροποίησης. Έτσι στο σύστημα δεν απαιτείται η παρουσία

βιολογικού φίλτρου, καθώς η φίλτραση αυτή προκύπτει φυσικά από τα βακτήρια που αναπτύσσονται στον περλίτη. Ο περλίτης αποτελεί άριστο βιολογικό υπόστρωμα εξαιτίας της ιδιαίτερης πορώδους μορφολογίας του.



Εικόνα 2. Σχηματική αναπαράσταση του καναλιού καλλιέργειας φυτών

4.1.2 Σχεδιασμός πειραματικής διαδικασίας

Η πειραματική διαδικασία διαχωρίστηκε σε τρία μέρη. Στο πρώτο μέρος του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν 10 φυτά μαρουλιού (*Lactuca sativa*) και 10 φυτά βασιλικού *Ocimum basilicum*) μικρού μεγέθους, 0,12g και 0,09g, αντίστοιχα (μικρές συνολικές απαιτήσεις σε θρεπτικά).

Στο δεύτερο πειραματικό μέρος χρησιμοποιήθηκαν 10 φυτά μαρουλιού (*Lactuca sativa*) και 10 φυτά βασιλικού *Ocimum basilicum*) μεσαίου μεγέθους, 0,22g και 0,14g αντίστοιχα (μεσαίες συνολικές απαιτήσεις σε θρεπτικά).

Στο τρίτο πειραματικό μέρος χρησιμοποιήθηκαν 10 φυτά μαρουλιού (*Lactuca sativa*) και 10 φυτά βασιλικού *Ocimum basilicum*) μεγάλου μεγέθους, 2,47g και 2,1g, αντίστοιχα (μεγάλες συνολικές απαιτήσεις σε θρεπτικά) με σκοπό να εκτιμηθεί η ανάπτυξη τους.

Σε κάθε μια από τις τρεις κύριες δεξαμενές των 200 l τοποθετήθηκαν ψάρια του γένους *Oreochromis niloticus* σε διαφορετικές βιομάζες και ιχθυοπυκνότητες ανά δεξαμενή.

Πιο συγκεκριμένα, **στο πρώτο πειραματικό μέρος** η δεξαμενή Νο1 περιείχε 10 άτομα, η Νο2 δεξαμενή 25 άτομα και η Νο3 δεξαμενή περιείχε 40 άτομα αρχικού μέσου βάρους 20 g, τα οποία ταΐζονταν καθημερινά σε ποσοστό 1,5% επί του σωματικού τους βάρους. Σε κάθε ένα από τα κανάλια των κύριων δεξαμενών τοποθετήθηκαν 10 φυτά του είδους *Lactuca sativa* (μαρούλι) και 10 φυτά του είδους *Occimum basilicum* (βασιλικός), όλα **μικρού μεγέθους φυτά** αντίστοιχα. Η πειραματική καλλιέργεια των φυτών διήρκησε 15 ημέρες.

Στο δεύτερο πειραματικό μέρος η δεξαμενή Νο1 περιείχε 10 άτομα μέσου βάρους 26,8g, η Νο2 δεξαμενή 25 άτομα μέσου βάρους 25,5g και η Νο3 δεξαμενή περιείχε 40 άτομα μέσου βάρους 26 g, τα οποία ταΐζονταν καθημερινά σε ποσοστό 1,5% επί του σωματικού τους βάρους. Σε κάθε ένα από τα κανάλια των κύριων δεξαμενών τοποθετήθηκαν 10 φυτά του είδους *Lactuca sativa* (μαρούλι) και 10 φυτά του είδους *Occimum basilicum* (βασιλικός), όλα **μεσαίου μεγέθους φυτά** αντίστοιχα. Η πειραματική καλλιέργεια των φυτών διήρκησε 15 ημέρες.

Στο τρίτο πειραματικό μέρος η δεξαμενή Νο1 περιείχε 10 άτομα μέσου βάρους 32,16g, η Νο2 δεξαμενή 25 άτομα μέσου βάρους 30,1g και η Νο3 δεξαμενή περιείχε 40 άτομα μέσου βάρους 29 g, τα οποία ταΐζονταν καθημερινά σε ποσοστό 1,5% επί του σωματικού τους βάρους. Σε κάθε ένα από τα κανάλια των κύριων δεξαμενών τοποθετήθηκαν 10 φυτά του είδους *Lactuca sativa* (μαρούλι) και 10 φυτά του είδους *Occimum basilicum* (βασιλικός), όλα **μεγάλου μεγέθους φυτά** αντίστοιχα. Η πειραματική καλλιέργεια των φυτών διήρκησε 15 ημέρες.

Συγκεντρωτικά, ο αριθμός των φυτών παρέμεινε σταθερός και στα τρία πειραματικά μέρη ενώ μεταβλητοί πειραματικοί παράγοντες αποτελούσαν το μέγεθος των φυτών και η ιχθυοφόρτιση για κάθε πειραματικό μέρος αντίστοιχα (Πίνακας 1).

Πίνακας 1. Αρχικές ιχθυοπυκνότητες (Kg/m^3) του είδους *Oreochromis niloticus* ανά πειραματική διάταξη και ανά δεξαμενή

Παράμετροι ανάπτυξης	1ο Πείραμα			2ο Πείραμα			3ο Πείραμα		
	Δ1	Δ2	Δ3	Δ1	Δ2	Δ3	Δ1	Δ2	Δ3
Ιχθυοφόρτιση (Kg/m^3)	1	2,5	4	1,34	3,18	5,2	1,6	3,76	5,8

Σε εβδομαδιαία βάση γίνονταν μετρήσεις συγκεκριμένων φυσικοχημικών παραμέτρων όπως οξυγόνο, pH, αμμωνία, νιτρώδη (NO_2^-), νιτρικά (NO_3^-), σκληρότητα νερού και φωσφορικά (PO_4). Σε καθημερινή βάση γίνονταν καθαρισμοί και των 3 δεξαμενών.

Αρχικά έγινε εισαγωγή των ψαριών και το σύστημα λειτούργησε για εύλογο χρονικό διάστημα με σκοπό πρώτα να αναπτυχθούν τα αζωτοβακτήρια και να σταθεροποιηθεί η διαδικασία της νιτροποίησης στο σύστημα προτού γίνει η εισαγωγή των φυτών.

Το πείραμα ξεκίνησε μετά και την σταθεροποίηση των τιμών της αμμωνίας και των νιτρωδών σε χαμηλά αποδεκτά επίπεδα. Εάν κατά τους εβδομαδιαίους ελέγχους των φυσικοχημικών παραμέτρων παρατηρούνταν αύξηση των νιτρικών τότε γινόταν αλλαγή μέρους του νερού έτσι ώστε να μειωθούν σε αποδεκτά επίπεδα. Ως ανώτερο όριο για τα νιτρικά ορίστηκαν τα 100 mg l^{-1} ενώ για την αμμωνία τα 2 mg l^{-1} .

4.1.3 Υπολογισμοί βιολογικών παραμέτρων

Στο τέλος των πειραμάτων, υπολογίστηκαν οι βιομάζες των εκτρεφόμενων ψαριών και η συνολική σοδειά των φυτών ανά δεξαμενή βάση του νωπού τους βάρους. Για τον υπολογισμό των διαφόρων βιολογικών παραμέτρων που αφορούν την αύξηση των ψαριών χρησιμοποιήθηκαν οι παρακάτω τύποι:

Ωφέλιμη Βιομάζα (**Ω.Β**): Τελικό βάρος (**Wt**) – Αρχικό βάρος (**Wo**) (g)

Δείκτης μετατρεψιμότητας (**FCR**) = Συνολική ξηρά τροφή (**F**) / **Ω.Β** (g/g)

Specific growth rate (**SGR**) = $(\ln(\text{τελ. βιομάζας}) - \ln(\text{αρχ. βιομάζας})) \times 100 \text{ χμέρες}^{-1}$

4.1.4 Στατιστική Μεθοδολογία

Η στατιστική ανάλυση έγινε με την χρήση του στατιστικού πακέτου *StatistiX* και του *Microsoft Excel* για Windows. Οι στατιστικές διαφορές μεταξύ των δεξαμενών ανά πειραματική διάταξη ελέγχθηκαν αρχικά με T-test ($P=0,05$). Η εκτίμηση αύξησης της φυτικής μάζας για τα είδη *Lactuca sativa* και *Ocimum basilicum* έγινε βάση πολυωνυμικής κατανομής όπως προκύπτει από τους BorouJerdnia & Ansari (2007), Broandley *et al.* (2003) και Walker *et al.* (2011). Ο συντελεστής μεταβλητότητας (coefficient of variation) υπολογίστηκε ως αναλογία της τυπικής απόκλισης προς το μέσο βάρος με σκοπό να διερευνηθεί η απόκλιση του ιχθυοπληθυσμού. Οι στατιστικές διαφορές ανάμεσα στις δεξαμενές για κάθε πειραματική διάταξη ξεχωριστά υπολογίστηκαν βάση της ανάλυσης διακύμανσης των τιμών (ANOVA). Η διερεύνηση της σχέσης μεταξύ της τροφής και της φυτικής αύξησης έγινε με ανάλυση των δεδομένων βάση απλής παλινδρόμησης (single regression).

4.2 Αποτελέσματα

4.2.1 Φυσικοχημικές παράμετροι

Στην 3^η δεξαμενή όπου οι ιχθυοπυκνότητες ήταν σαφώς μεγαλύτερες από τις έτερες δεξαμενές, η αμμωνία βρισκόταν εντός των ορίων που είχαμε θέσει στο πείραμα (2 mg l^{-1}), ωστόσο κυμαινόταν σε οριακά ως προς αυτό επίπεδα. Ο πληθυσμός των αζωτοβακτηρίων που είχε εγκατασταθεί στον περλίτη αδυνατούσε να μειώσει τα επίπεδα της αμμωνίας σε αυτήν τη δεξαμενή εξαιτίας της μεγάλης ιχθυοπυκνότητας. Τα επίπεδα αμμωνίας ήταν επίσης υψηλά για την 3η δεξαμενή τόσο του 2^{ου} πειραματικού μέρους όσο και του 3^{ου} πειραματικού μέρους. Σε ότι αφορά τις υπόλοιπες δεξαμενές και για τα 3 μέρη η αμμωνία δεν ξεπέρασε τα $0,5 \text{ mg l}^{-1}$. Οι τιμές των υπόλοιπων φυσικοχημικών παραμέτρων (NO_2 , NO_3 , PO_4 , pH) κυμάνθηκαν σε φυσιολογικά επίπεδα για όλες τις δεξαμενές.

4.2.2 Αποτελέσματα φυτικής καλλιέργειας

Στο 1^ο πειραματικό μέρος τα φυτά και των δύο ειδών δεν κατάφεραν να αναπτυχθούν και μαράθηκαν. Στο 2^ο και 3^ο πειραματικό μέρος η αύξηση των φυτών μαρουλιού (*Lactuca sativa*) και βασιλικού (*Occimum basilicum*) εμφάνισε διαφοροποιήσεις ανά πειραματική διάταξη και έδειξε να συσχετίζεται με την ποσότητα ιχθυοτροφής που εισέρχεται στο σύστημα. Τα αποτελέσματα της φυτικής καλλιέργειας για το μαρούλι και τον βασιλικό **μετά από 15 ημέρες** καλλιέργειας παρουσιάζονται στους πίνακες 2 και 3, αντίστοιχα.

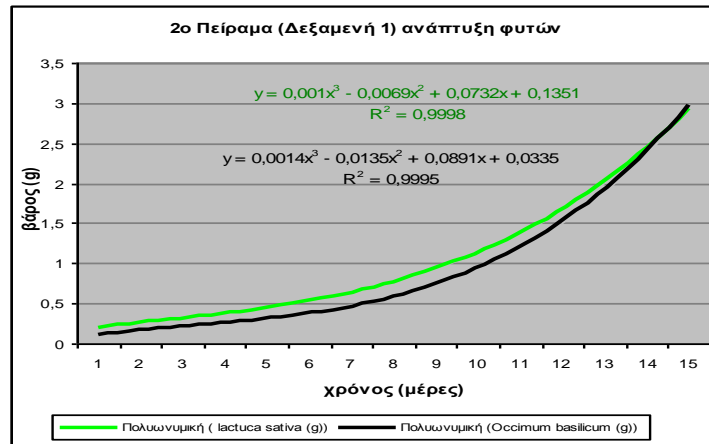
Πίνακας 2. Ανάπτυξη βασιλικού (*Occimum basilicum*) ανά πειραματική διάταξη

Παράμετροι ανάπτυξης	1ο Πείραμα			2ο Πείραμα			3ο Πείραμα		
	Δ1	Δ2	Δ3	Δ1	Δ2	Δ3	Δ1	Δ2	Δ3
Αριθμός φυτών	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Μέση Αρχική Βιομάζα (g)	0,09	0,09	0,09	0,14	0,14	0,14	2,1	2,1	2,1
Μέση Τελική Βιομάζα (g)	-	-	-	3	3,2	2,9	2,92	4,73	2,68
Μέση Ωφέλιμη Βιομάζα (g)	-	-	-	2,86	3,06	2,76	0,82	2,63	0,58
Μέση Αύξηση βιομάζας/ημέρα _(g)	-	-	-	0,20	0,22	0,20	0,06	0,18	0,04
Συνολική Ωφέλιμη Βιομάζα (g)	-	-	-	28,6	30,6	27,6	8,2	26,3	5,8

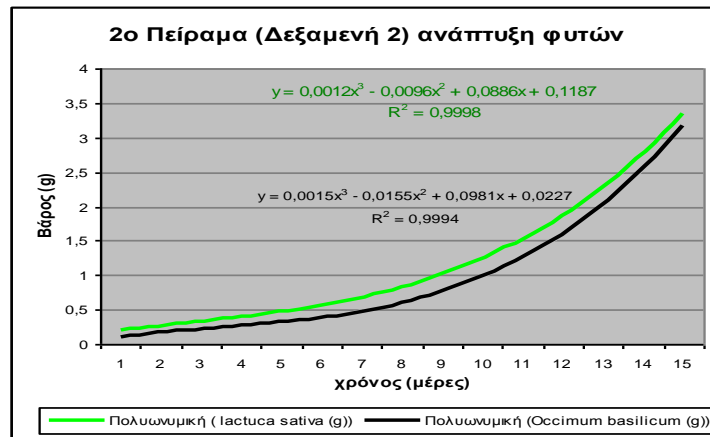
Πίνακας 3. Ανάπτυξη μαρουλιού (*Lactuca sativa*) ανά πειραματική διάταξη

Παράμετροι ανάπτυξης	1ο Πείραμα			2ο Πείραμα			3ο Πείραμα		
	Δ1	Δ2	Δ3	Δ1	Δ2	Δ3	Δ1	Δ2	Δ3
Αριθμός φυτών	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Μέση Αρχική Βιομάζα (g)	0,12	0,12	0,12	0,22	0,22	0,22	2,47	2,47	2,47
Μέση Τελική Βιομάζα (g)	-	-	-	2,94	3,36	2,71	4,24	3,36	6,71
Μέση Ωφέλιμη Βιομάζα (g)	-	-	-	2,71	3,13	2,48	1,77	5,90	4,24
Μέση Αύξηση βιομάζας/ημέρα _(g)	-	-	-	0,19	0,22	0,20	0,12	0,42	0,3
Συνολική Ωφέλιμη Βιομάζα (g)	-	-	-	27,1	31,3	24,8	17,7	58,8	42,4

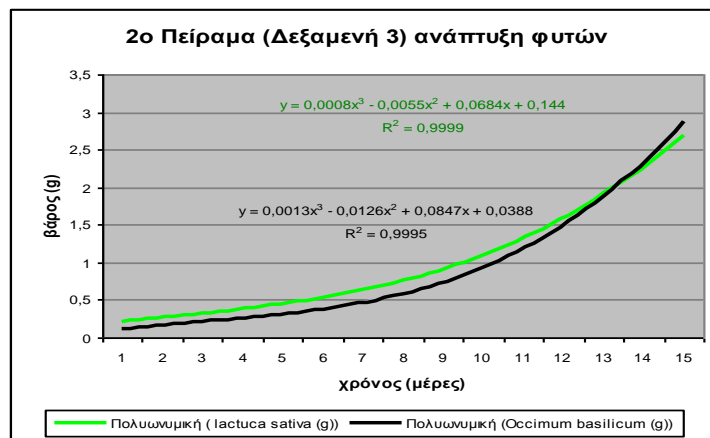
Στα διαγράμματα που ακολουθούν (διαγράμμα 1 έως 6) εμφανίζονται οι πολυωνυμικές κατανομές αύξησης των φυτών για την 2^η και 3^η πειραματική διάταξη και ανά δεξαμενή αντίστοιχα, για 15 ημέρες εκτροφής.



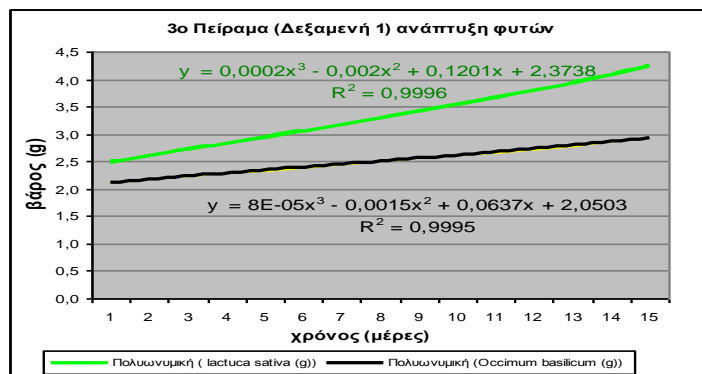
Διάγραμμα 1. Πολυωνυμικές εξισώσεις αύξησης φυτών Δεξαμενής 1 (2^ο πειραματικό μέρος)



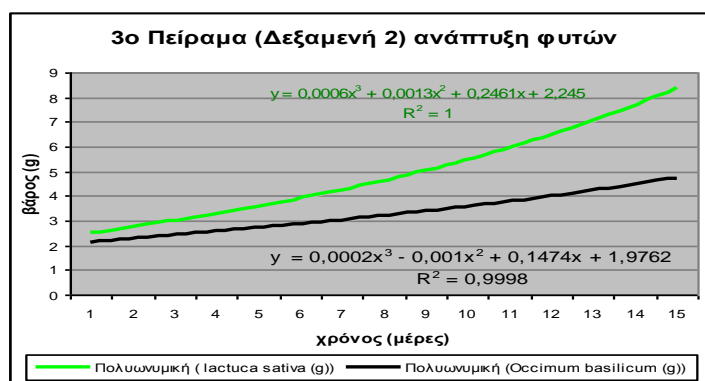
Διάγραμμα 2. Πολυωνυμικές εξισώσεις αύξησης φυτών Δεξαμενής 2 (2^ο πειραματικό μέρος)



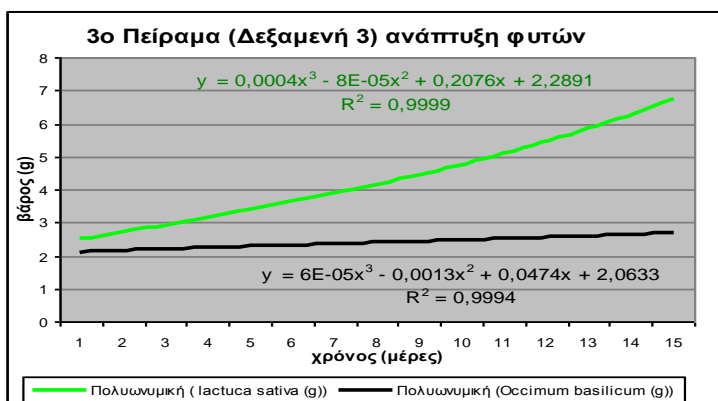
Διάγραμμα 3. Πολυωνυμικές εξισώσεις αύξησης φυτών Δεξαμενής 3 (2^ο πειραματικό μέρος)



Διάγραμμα 4. Πολυωνυμικές εξισώσεις αύξησης φυτών Δεξαμενής 1 (3^ο Πειραματικό μέρος)

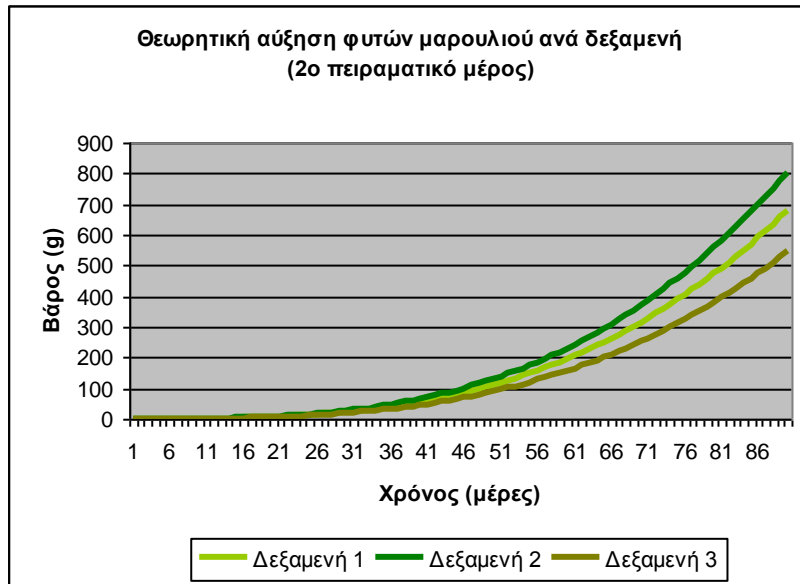


Διάγραμμα 5. Πολυωνυμικές εξισώσεις αύξησης φυτών Δεξαμενής 2 (3^ο Πειραματικό μέρος)

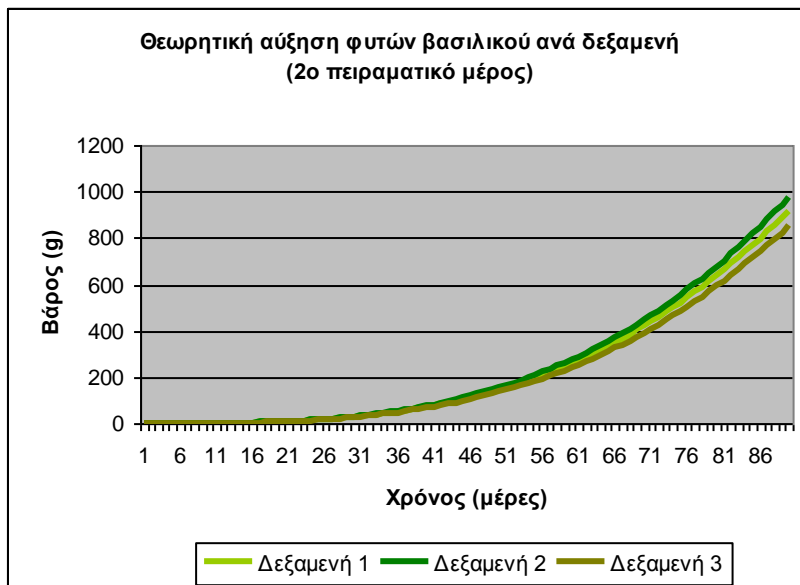


Διάγραμμα 6. Πολυωνυμικές εξισώσεις αύξησης φυτών Δεξαμενής 3 (3^ο πειραματικό μέρος)

Στα διαγράμματα 7 και 8 παρουσιάζονται τα συγκριτικά αποτελέσματα αύξησης για το μαρούλι (*Lactuca sativa*) και τον βασιλικό (*Ocimum basilicum*) του 2^{ου} πειραματικού μέρους, αντίστοιχα, με μια θεωρητική εκτίμηση αύξησης, βάση των πολυωνυμικών κατανομών για 90 ημέρες καλλιέργειας.

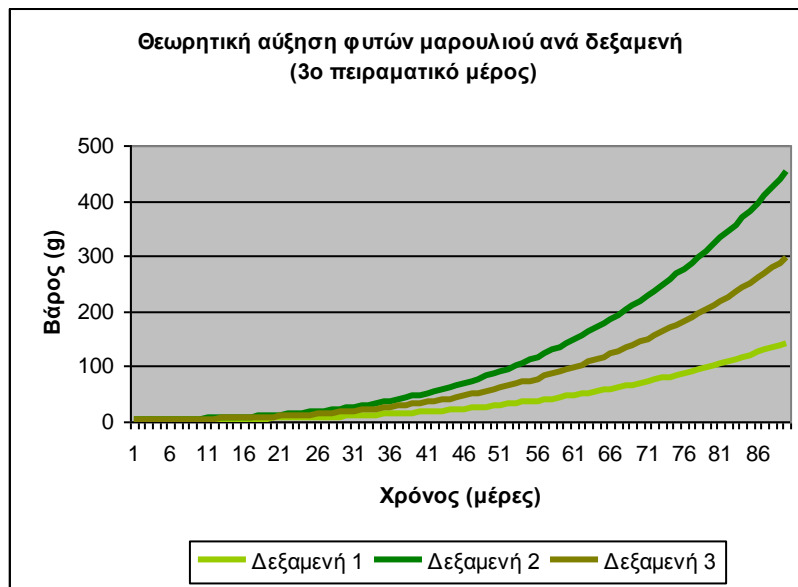


Διάγραμμα 7. Θεωρητική αύξηση φυτών μαρουλιού ανά δεξαμενή (2ο πειραματικό μέρος)

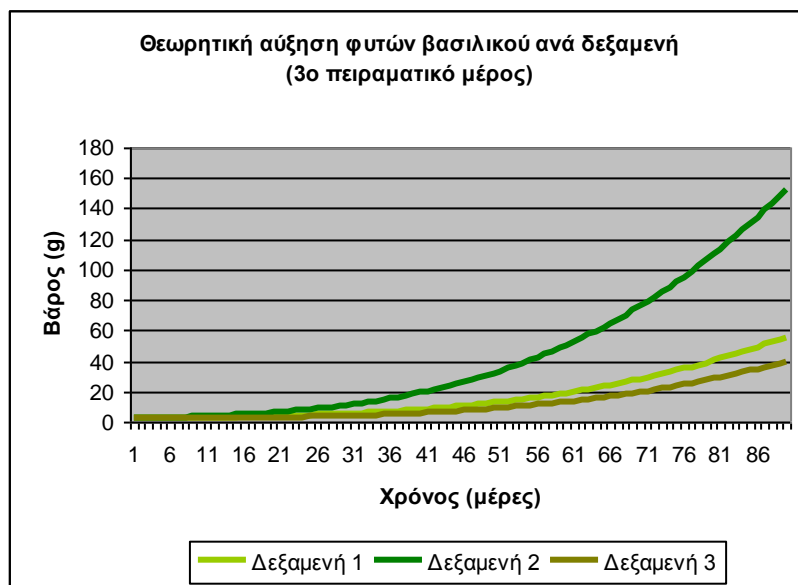


Διάγραμμα 8. Θεωρητική αύξηση φυτών βασιλικού ανά δεξαμενή (2ο πειραματικό μέρος)

Στα διαγράμματα 9 και 10 παρουσιάζονται τα συγκριτικά αποτελέσματα αύξησης για το μαρούλι (*Lactuca sativa*) και τον βασιλικό (*Ocimum basilicum*) του 3^{ου} πειραματικού μέρους, αντίστοιχα, με μια θεωρητική εκτίμηση αύξησης, βάση των πολυωνυμικών κατανομών για 90 ημέρες καλλιέργειας.



Διάγραμμα 9. Θεωρητική αύξηση φυτών μαρουλιού ανά δεξαμενή (3ο πειραματικό μέρος)



Διάγραμμα 10. Θεωρητική αύξηση φυτών βασιλικού ανά δεξαμενή (3ο πειραματικό μέρος)

4.2.3 Αποτελέσματα ιχθυοεκτροφής (*Oreochromis niloticus*)

Το προφίλ εκτροφής της τιλάπια (*Oreochromis sp.*) παρουσιάζεται στον πίνακα 4. Η μέση αύξηση των ψαριών σε διάστημα εκτροφής 15 ημερών παρουσίασε διαφορές τόσο ανά πειραματικό μέρος όσο και ανά πειραματική διάταξη χωρίς όμως να παρουσιάζονται σημαντικά στατιστικές διαφορές ($P>0,05$).

Πίνακας 4. Επιδόσεις ανάπτυξης της τιλάπια (*Oreochromis sp.*) σε διαφορετικές ιχθυοπυκνότητες (εκτροφή 15 ημερών)

Παράμετροι ανάπτυξης	1ο Πείραμα			2ο Πείραμα			3ο Πείραμα		
	Δ1	Δ2	Δ3	Δ1	Δ2	Δ3	Δ1	Δ2	Δ3
Αριθμός ψαριών	10	25	40	10	25	40	10	25	40
Αρχικό μέσο βάρος (g)	23	23	23	26,8	25,5	26	32,16	30,1	29
Τελικό μέσο βάρος (g)	26,8	25,5	26	32,16	30,1	29	33,9	31,2	32,4
Μέση αρχική Βιομάζα (g)	230	575	920	268	637,5	1040	321,6	752,5	1160
Μέση τελική Βιομάζα (g)	268	637,5	1040	321,6	752,5	1160	339	780	1296
Ωφέλιμη Βιομάζα (g)	38	62,5	120	53,6	115	120	17,4	27,5	136
Δείκτης FCR	1,36	2,07	1,73	1,13	1,25	1,95	1,53	1,51	1,55
Δείκτης SGR%	1,02	0,69	0,82	1,22	1,11	0,73	0,92	0,93	0,90

4.3 Συζήτηση

Στο πρώτο πείραμα τα φυτά δεν κατάφεραν να αναπτυχθούν και μαράθηκαν μέσα σε λίγες μέρες. Εντός 10 ημερών όλα τα φυτά ανεξαρτήτως είδους μαράθηκαν με πιο ευάλωτα εκείνα που ήταν μικρότερα. Πιθανοί λόγοι είναι το ευαίσθητο ριζικό σύστημα των φυτών και οι υδραυλικές ροές του καναλιού. Σε ένα ενυδρειοπονικό σύστημα ο ρυθμός παροχής νερού στο κανάλι των φυτών (εφόσον μιλάμε για σύστημα NFT) επηρεάζει κατά κανόνα τόσο τον δείκτη μετατρεψιμότητας των ψαριών (FCR) όσο και τον ρυθμό αύξησης των φυτών (Endut *et al.*, 2010). Πιθανότατα η μεταφορά των φυτών μέσα στον περλίτη δεν ενδείκνυται για τόσο μικρά μεγέθη φυτών καθώς το ευαίσθητο ριζικό σύστημα των νεαρών βασιλικών και μαρουλιών μπορεί εύκολα να βλαφτεί. Δεδομένου ότι στο δεύτερο πειραματικό μέρος χρησιμοποιήθηκαν επίσης μικρά φυτά αλλά με διπλάσιο βάρος από εκείνα του πρώτου πειράματος χωρίς να παρουσιάσουν προβλήματα στην ανάπτυξη, εξηγεί ίσως την προηγούμενη υπόθεση. Η ανάπτυξη των φυτών του 2^{ου} και 3^{ου} πειραματικού μέρους ήταν ικανοποιητική και κανένα από τα φυτά δεν μαράθηκε.

Από μια πρώτη παρατήρηση των αποτελεσμάτων αύξησης του βασιλικού και του μαρουλιού (πίνακες 1 και 2) καταλαβαίνουμε πως προκύπτει μια διαφοροποίηση στον ρυθμό αύξησης των φυτών ανάλογα με την ιχθυοπυκνότητα, φανερώνοντας μια συσχέτιση με την ποσότητα τροφής που ταιΐζεται καθημερινά. Για τις πρώτες 15 ημέρες αυτή η διαφοροποίηση δεν είναι στατιστικά σημαντική ($P > 0,05$). Ωστόσο εάν χρησιμοποιήσουμε ως γνώμονα τις πολυωνμικές εξισώσεις αύξησης (BorouJerdnia & Ansari, 2007) και (Broandley *et al.*, 2003) παρατηρούμε πως αυτή η διαφοροποίηση τείνει να γίνει στατιστικά σημαντική μετά από τις 90 μέρες καλλιέργειας ($P < 0,05$). Ενδεικτικά αναφέρεται πως από τις πρώτες κιόλας 15 μέρες εκτροφής παρατηρείται μια στατιστική απόκλιση της τάξης του 73% ανάμεσα στον ρυθμό αύξησης των μαρουλιών για τις δεξαμενές της 2^{ης} πειραματικής διάταξης η οποία μεταπίπτει σε μια στατιστική διαφορά της τάξης του 85% για χρόνο καλλιέργειας 30 ημερών.

Πρέπει ωστόσο να σχολιάσουμε την τάση μείωσης των ρυθμών αύξησης και στα δύο είδη φυτών για τις δεξαμενές 1 & 3, αντίστοιχα τόσο για το 2^ο όσο και για το 3^ο πείραμα. Παρατηρούνται λοιπόν μειώσεις στον ρυθμό αύξησης και στα 2 είδη

φυτών τόσο στην δεξαμενή 1 (λιγότερη ποσότητα τροφής) όσο και στην δεξαμενή 3 (περισσότερη ποσότητα τροφής), ενώ μεγαλύτεροι ρυθμοί εμφανίζονται και για τα δύο είδη φυτών στην δεξαμενή 2. Ο μειωμένος ρυθμός αύξησης στην δεξαμενή 1 μπορεί να οφείλεται σε έλλειψη θρεπτικών εξαιτίας τελικά της μικρής ποσότητας τροφής που χορηγούνταν στο σύστημα. Το αυτό φυσικά δεν μπορεί να συμβαίνει και για την δεξαμενή 3 καθώς η συνολική ποσότητα τροφής που χορηγούνταν στο σύστημα ήταν η μεγαλύτερη οπότε ο μειωμένος ρυθμός αύξησης δεν θα μπορούσε να οφείλεται σε έλλειψη θρεπτικών ουσιών. Η μόνη πιθανή αιτία αναστολής στον ρυθμό αύξησης ίσως να οφείλεται στις αυξημένες τιμές αμμωνίας που χαρακτήριζαν την 3^η δεξαμενή τόσο στο 2^ο όσο και στο 3^ο πείραμα. Η αμμωνία είναι ισχυρός περιοριστικός παράγοντας εκτροφής πράσινων φυτών σε ένα υδροπονικό σύστημα και εν δυνάμει σε ένα ενυδρειοπονικό, όταν βρίσκεται σε υψηλές συγκεντρώσεις στην μη ιοντισμένη μορφή μέσα στο νερό (Walker *et al.*, 2001). Όταν η αμμωνία βρίσκεται υπό την μορφή αμμωνιακών ιόντων σε ποσοστό 10-20% του ολικού αζώτου τότε λειτουργεί θετικά στην φυτική αύξηση (Racocy *et al.*, 1992). Οι συνεχείς αλλαγές του νερού της δεξαμενής με σκοπό την μείωση των επιπέδων της αμμωνίας είχε ως αποτέλεσμα τις συνεχείς και παράλληλες μειώσεις στις συγκεντρώσεις των νιτρικών τα οποία αποτελούν την κύρια μορφή με την οποία τα φυτά προσλαμβάνουν το άζωτο για να δομήσουν τον φυτικό τους ιστό ((Liedl *et al.*, 2004; Rakocy *et al.*, 2006). Συμπερασματικά, η βιολογική φίλτρανση σε μεγάλες ιχθυοπυκνότητες δεν μπορεί να στηρίζεται μόνο στον περλίτη ως βιολογικό υπόστρωμα αλλά είναι αναγκαία και η περαιτέρω χρήση επιπρόσθετης βιολογικής φίλτρανσης σε ένα ενυδρειοπονικό σύστημα έτσι ώστε η αμμωνία να είναι ελάχιστη αλλά τα νιτρικά σε φυσιολογικά επίπεδα εκτροφής 100-200mg/l.

Πιο συγκεκριμένα στο 2^ο πείραμα, η συνολική συγκομιδή φυτών για τις δεξαμενές 1,2 και 3 ήταν **55,7g** (27,1g μαρούλι και 28,6g βασιλικού), **61,9g** (31,3g μαρούλι και 30,6g βασιλικού) και **52,4g** (24,8g μαρούλι και 27,6g βασιλικού), αντίστοιχα (πίνακας 2 και 3. Στις δεξαμενές αυτές η συνολική χορηγούμενη τροφή για εκτροφή 15 ημερών ήταν 60,3g, 143,25g και 234g, αντίστοιχα. Συμπερασματικά προκύπτει πως στο **αρχικό** στάδιο καλλιέργειας φυτών σε ένα ενυδρειοπονικό σύστημα **η βέλτιστη αναλογία ιχθυοτροφής ανά g φυτικής μάζας (για φυτά 0,2-3g) ήταν 1:4**. Δηλαδή για κάθε χορηγούμενο κιλό ιχθυοτροφής **ημερησίως** θα πρέπει να καλλιεργούνται έως και 4 κιλά φυτών για να παρουσιάζουν βέλτιστη ανάπτυξη.

Αναλογίες 1:10 (δεξαμενή 1) προκάλεσαν μικρότερη συγκομιδή. Στην δεξαμενή 3 η αναλογία χορηγούμενης ποσότητας ιχθυοτροφής ανά g φυτικής μάζας ήταν 1:3 και παρουσίασε μικρότερη συγκομιδή εξαιτίας της αμμωνίας και του περιορισμού που η ίδια προκάλεσε στην ανάπτυξη των φυτών.

Όμοια τάση ως προς τους ρυθμούς ανάπτυξης των φυτών αλλά αυτή την φορά ιδιαίτερα εμφανής στην απόκλιση των τιμών τους, παρατηρείται και στο 3^ο πειραματικό μέρος. Οι ρυθμοί ανάπτυξης στο σύνολο και των τριών δεξαμενών είναι σαφώς μικρότεροι από εκείνων του 2^{ου} μέρους κάτι που έως ένα βαθμό είναι φυσιολογικό καθώς χρησιμοποιήθηκαν μεγάλα φυτά τα οποία έχουν μικρότερο ρυθμό ανάπτυξης. Οι διαφορές για τις πρώτες ημέρες καλλιέργειας δεν είναι στατιστικά σημαντικές ($P>0,05$) αλλά μεταπίπτουν σημαντικές μετά από εύλογο διάστημα καλλιέργειας (>100μέρες) προκαλώντας τεράστιες διαφορές στις συνολικές φυτικές συγκομιδές ανά δεξαμενή.

Πιο συγκεκριμένα στο 3^ο πείραμα η συνολική συγκομιδή φυτών για την 1^η δεξαμενή ήταν **25,9g** (17,7g μαρούλι και 8,2g βασιλικού) έχοντας ταΐσει τα ψάρια με 72,36g τροφή συνολικά. Για την 2^η δεξαμενή η συγκομιδή φυτών ήταν **85,2g** (58,89g μαρούλι και 26,31g βασιλικού) έχοντας ταΐσει τα ψάρια με 169,25g τροφή συνολικά. Τέλος η συνολική συγκομιδή φυτών για την 3^η δεξαμενή ήταν 48,2g (42,4g μαρούλι και μόλις 5,8g βασιλικού). Γεγονός που υποδεικνύει μια συσχέτιση της συνολικής συγκομιδής φυτών με την παρεχόμενη ημερήσια ποσότητα τροφής στα ψάρια. Από τα παραπάνω προκύπτει πως για μια συγκαλλιέργεια (μαρούλι – βασιλικού) **η βέλτιστη αναλογία ιχθυοτροφής ανά g φυτικής μάζας (για φυτά 3-8g) ήταν 1:5**. Δηλαδή για κάθε χορηγούμενο κιλό ιχθυοτροφής **ημερησίως** θα πρέπει να καλλιεργούνται έως και 5 κιλά φυτών για να παρουσιάζουν βέλτιστη ανάπτυξη. Αναλογίες 1:10 (δεξαμενή1) και 1:3 (δεξαμενή 3) προκάλεσαν μικρότερη συγκομιδή για τους λόγους που προαναφέραμε.

Συμπερασματικά από τα πειραματικά μέρη 2 και 3 προκύπτουν ενδιαφέροντα στοιχεία για την δυναμική ενός ενυδρειοπονικού συστήματος από τα οποία προκύπτει πως η ημερήσια φυτική αύξηση και για τα δύο είδη εξαρτάται από την ποσότητα της τροφής που ταΐζεται στα ψάρια με βέλτιστες αναλογίες για φυτά:

0,2-3g → 1:4 (χορηγούμενη τροφή(g)/ συνολική μάζα φυτών (g))

3-8g → 1:5 (χορηγούμενη τροφή(g)/ συνολική μάζα φυτών (g))

Όπως προέκυψε από την έρευνα, ένα ενυδρειοπονικό σύστημα μικρής κλίμακας είναι ικανό να παράξει πράσινα φυτά και λαχανικά από τα υπολείμματα τροφής και τα περιττώματα των ψαριών ωστόσο είναι σημαντικό να παρακολουθούνται εντατικά όλες οι φυσικοχημικές παράμετροι καθώς είναι ευεπηρεάστες σε τόσο μικρό μέγεθος διάταξης.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Al-Hafedh, Y.S., Alam, A., Beltagi, M.S.,**(2008). Food production and water conservation in a recirculating aquaponics system in Saudi Arabia at different ratios of fish feed to plants. *Journal of the World Aquaculture Society* 39, 510–520.
- Bixler, G.D.** 2011, "Extreme user centered design: Methodology for eliciting and ranking requirements in user-centered new product development: Case studies from Honduras and the Central African Republic", *Proceedings - 2011 IEEE Global Humanitarian Technology Conference, GHTC 2011*, pp. 311.
- Boroujerdnia M., Ansari N. A.** (2007). Effect of different levels of nitrogen fertilizer and cultivars on growth, yield and yield components of Romaine Lettuce (*Lactuca sativa L.*). *Middle Eastern and Russian Journal of plant Science and Biotechnology*.(1)2, :47-53.
- Broadley M.R., Seginer I., Burns A., Escobar-Gutierrez A. J., Burns I. G., & White P. J.** (2003). The nitrogen and nitrate economy of butter head lettuce (*Lactuca sativa var. capitata L.*). *Journal of experimental Botany*., 54 (390); 2081-2090.
- Costa-Pierce, B.A. & Rakocy, J.E. (eds.)**. (1997). Tilapia Aquaculture in the Americas, Vol. 1. World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, USA. 258 pp.
- Dediu, L., Cristea, V., Docan, A. and Vasilean, I.**, (2011). Evaluation of condition and technological performance of hybrid bester reared in standard and aquaponic system. *AACL Bioflux*, 4(4), pp. 490-498.
- DeLong, D., Losordo, T., & Rakocy, J.** (2009). Tank Culture of Tilapia. *Southern Regional Aquaculture Center, Publication No. 282* .
- Diver, S.** (2000, February). Aquaponics - Integration of Hydroponics with Aquaculture. *Horticulture Systems Guide - Appropriate Technology Transfer for Rural Areas (ATTRA)* , pp. 1-20.
- Diver, S.** (2006). *Aquaponics—Integration of Hydroponics with Aquaculture*. ATTRA—National Sustainable Agriculture Information Service (National Center for Appropriate Technology).
- Doelle, H.W.**, (1998). Socio-economic microbial process strategies for a sustainable development using environmentally clean technologies: Sagopalm a renewable resource. *Livestock Research for Rural Development*, 10(1); 23-32.
- Droste, R.** (1996). Chapter 24 - Nitrogen. In R. Droste, *Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment* (pp. 552-566). Ottawa: John Wiley and Sons.
- Enduta, A., Jusohb, A., Alib, N. and Nikc, W.B.W.**, (2011). Nutrient removal from aquaculture wastewater by vegetable production in aquaponics recirculation system. *Desalination and Water Treatment*, 32(1-3): 422-430.
- French, J.J., Clancy, C.T., Johnston, A.L., Holland, M.A. and Henshaw, J.M.**, (2009). Design and fabrication of the energy generating components for the Sustainable Shepherd's Residence in Northeastern China, *Proceedings of the ASME 3rd International Conference on Energy Sustainability 2009, ES2009* 2009, pp. 237-244.
- Graber, A., & Junge, R.** (2009). Aquaponic Systems: Nutrient recycling from fish wastewater by vegetable production. *Desalination* , 246(1):147-156.

Hillyer, C.D., (2007). Is aquaponics the agriculture of the future? *INFORM - International News on Fats, Oils and Related Materials*, **18**(2) :83-85.

Jorgensen, B., Meisel, E., Schilling, C., Swenson, D. and Thomas, B., (2009). Developing food production systems in population centers. *Biocycle*, **50**(2): 27-29.

Kobayashi, K.D., Radovich, T.J.K. and Moreno, B.E., (2010). A tropical perspective on environmental sustainability in horticultural education. *HortTechnology*, **20**(3): 503-508.

Kotzen, B. & Appelbaum, S. 2010, "An investigation of aquaponics using brackish water resources in the Negev desert", *Journal of Applied Aquaculture*, **22**(4): 297-320.

Lennard, W.A. & Leonard, B.V. 2004, "A comparison of reciprocating flow versus constant flow in an integrated, gravel bed, aquaponic test system", *Aquaculture International*, **12**(6): 539-553.

Liedl, B.E., M. Cummins, A. Young, M.L. Williams, and J.M. Chatfield. 2004. Hydroponic lettuce production using liquid effluent from poultry waste bioremediation as a nutrient source. *Acta Horticulturae. (ISHS)* **659**: 721–728.

Linky, E.J., Janes, H. & Cavazzoni, J. 2005, "Affordable technologies for utilization of methane in a landfill environment: An example of an integrated technology array and evolving institutional networks", *Natural Resources Forum*, **29**(1): 25-36.

Nelson, R. L. (2008). *Aquaponics Food Production: Raising fish and plants for food and profit*. Montello: Nelson and Pade Inc.

Nelson, R.L. & Pade, J.S. 2007, *Agri-tourism. Acta Horticulturae*, **742**:225-227.

Pade, J. S., & Nelson, R. L. (2007). Aquaponics - Village Aquaponics. *Acta Horticulturae*, **742**, 197.

Pantanella E, Danaher JJ, Rakocy JE, Shultz RC & Bailey DS (2009), 'Alternative media types for lettuce seedlings and basil production', *Acta Horticulturae (ISHS)*(προς δημοσίευση).

Post, G. (1983). *Textbook of Fish Health*. Neptune City: T.F.H. Publications, Inc.

Rakocy, J. E. (1988-89). Hydroponic Lettuce Production in a Recirculating Fish Culture System. *Island Perspectives* **3**: 5-10.

Rakocy, J.E., T.M. Losordo, and M.P. Masser. (1992). *Recirculating aquaculture tank production systems integrating fish and plant culture*, SRAC Publication No. 454.

Rakocy, J. E., Bailey, D. S., Shultz, R. C., & Thoman, E. S. (2004). Update on Tilapia and Vegetable Production in the UVI Aquaponic System. *Proc. 6th Intl. Symposium on Tilapia in Aquaculture, Manila, Philippines, 12-16 September*, 676-698.

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, Publication No. 454*: 1-16.

Rakocy JE, Bailey DS, Shultz RC & Danaher JJ (2007), 'Preliminary evaluation of organic waste from two aquaculture systems as a source of inorganic nutrients for hydroponics', *Acta Horticulturae (ISHS)* **742**: 201–207.

Rana, S., Bag, S.K., Golder, D., Mukherjee Roy, S., Pradhan, C. & Jana, B.B. 2011, "Reclamation of municipal domestic wastewater by aquaponics of tomato plants", *Ecological Engineering*, **37**(6): 981-988.

Riche, M., & Garling, D. (2003). Feeding Tilapia in Intensive Recirculating Systems. *North Central Regional Aquaculture Center, Fact Sheet Series #114* , pp. 1-4.

Roosta, H.R. & Hamidpour, M. 2011, "Effects of foliar application of some macro- and micro-nutrients on tomato plants in aquaponic and hydroponic systems", *Scientia Horticulturae*, 129(3): 396-402.

Rovins, C. 2005, "Landfill gives birth to ecoindustrial complex", *Biocycle*, 46(3): 20-23.

Savidov NA, Hutchings E & Rakocy JE 2007, 'Fish and plant production in a recirculating aquaponic system: a new approach to sustainable agriculture in Canada', *Acta Horticulturae* (ISHS) 742: 209-221.

Spade, J. S. (2009). Village Aquaponics. *Aquaponics Journal* . 7:12-15.

Steve, C. (2007, Summer). Up the Garden Path - The Nitrogen Cycle. *Backyard Aquaponics* ,1: pp. 6-7.

Suits, B. (2010). Access to Personal Agriculture. *The Aquaponics Guidebook, Volume 1, 2nd Edition*, pp. 1-12.

Tokuyama, T., Mine, A., Kamiyama, K., Yabe, R., Satoh, K., Matsumoto, H., Takahashi, R. & Itonaga, K. 2004, "Nitrosomonas communis strain YNSRA, an ammonia-oxidizing bacterium, isolated from the reed rhizoplane in an aquaponics plant", *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 98(4): 309-312.

Tyson, R.V., Simonne, E.H., Davis, M., Lamb, E.M., White, J.M. & Treadwell, D.D. 2007, "Effect of nutrient solution, nitrate-nitrogen concentration, and pH on nitrification rate in perlite medium", *Journal of Plant Nutrition*, 30(6): 901-913.

Tyson, R.V., Simonne, E.H., Treadwell, D.D., Davis, M. & White, J.M. 2008, "Effect of water pH on yield and nutritional status of greenhouse cucumber grown in recirculating hydroponics", *Journal of Plant Nutrition*, 31(11): 2018-2030.

Tyson, R.V., Simonne, E.H., Treadwell, D.D., White, J.M. & Simonne, A. 2008, "Reconciling pH for ammonia biofiltration and cucumber yield in a recirculating aquaponic system with perlite biofilters", *HortScience*, 43(3): 719-724.

Tyson, R.V., Treadwell, D.D. & Simonne, E.H. 2011, "Opportunities and challenges to sustainability in aquaponic systems", *HortTechnology*, 21(1): 1-13.

Villarroel, M., Alvarino, J.M.R. & Duran, J.M. 2011, "Aquaponics: Integrating fish feeding rates and ion waste production for strawberry hydroponics", *Spanish Journal of Agricultural Research*, 9(2): 537-545.

Yepsen, R. 2008, "Composting and local food merge at urban garden", *Biocycle*, 49(11): 31-33.