



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής
και Αγροτικού Περιβάλλοντος

Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και
Ελέγχου Περιβάλλοντος

«Μελέτη της ανάπτυξης και παραγωγής
καλλιέργειας αγγουριού σε μη συζευγμένο
ενυδρειοπονικό σύστημα»



Πτυχιακή Διατριβή

Φοιτητής: Φραγκούλης Παναγιώτης

Επιβλέπων Καθηγητής: Νικόλαος Κατσούλας

Βόλος 2022

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή

- Ν. Κατσούλας, Καθηγητής (Επιβλέπων).
- Ε. Λεβίζου, Αναπλ. Καθηγήτρια (Μέλος).
- Ε. Κίττα, ΕΔΙΠ (Μέλος).

Ευχαριστίες

Η παρούσα πτυχιακή διατριβή συντελέστηκε στη Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, στο τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας και συγκεκριμένα στο Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος κατά το έτος 2022.

Η υλοποίηση της διατριβής αυτής, δεν θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί δίχως την ανεκτίμητη στήριξη και συμβολή του Καθηγητή κ. Κατσούλα Νικόλαου και διευθυντή του εργαστηρίου αυτού, τον οποίο ευχαριστώ θερμά για όλα. Επίσης, δε θα μπορούσα να παραλείψω από αυτή την ενότητα την υποψήφια Διδάκτορα Ασλανίδου Μαρία για την σημαντική βοήθεια της στην οργάνωση τόσο στο πειραματικό μέρος όσο και στην σύνταξη αυτής της πτυχιακής εργασίας.

Ακόμα, επιθυμώ να ευγνωμονήσω την κ. Λεβίζου Ευθυμία Αναπλ. Καθηγήτρια Φυσιολογίας Φυτών του τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας και την υποψήφια Διδάκτορα Αναστασία Μουραντιάν για την αρωγή τους κατά την εξέλιξη του πειράματος.

Επιπλέον, ευχαριστώ θερμά τον κ. Καρκάνη Ανέστη, Καθηγητή Ζιζανιολογίας του τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, για την παραχώρηση του εργαστηρίου για απαραίτητες μετρήσεις για την εξέλιξη του πειράματος.

Από τις ευχαριστίες δεν γίνεται να λείπει ο συνάδελφος Αριστείδης Χαλβαντζής με τον οποίο υπήρξε μια άψογη και ευχάριστη συνεργασία κατά την διεξαγωγή του πειράματος.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου που πάντα με στήριζαν ανεκτίμητα και στους οποίους οφείλω όλη την πορεία των σπουδών μου μέχρι σήμερα.

Περίληψη

Το κείμενο αναφέρεται σε πείραμα που αφορούσε ένα σύστημα ενυδρειοπονίας το οποίο διεξήχθη το έτος 2020, στις εγκαταστάσεις του αγροκτήματος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στην τοποθεσία του Βελεστίνου στο Ν. Μαγνησίας. Η ενυδρειοπονία στην ουσία είναι ένας όρος που χρησιμοποιείται για την περιγραφή της σύνδεσης μιας ιχθυοκαλλιέργειας με ένα υδροπονικό σύστημα (καλλιέργεια εκτός εδάφους), η οποία σύνδεση επιτυγχάνεται με την χρήση των λυμάτων της υδατοκαλλιέργειας για την υδροπονική παραγωγή φυτών. Στην συγκεκριμένη περίπτωση η ιχθυοκαλλιέργεια αποτελούταν από ψάρια τιλάπιας και η υδροπονική καλλιέργεια από φυτά αγγουριάς (*Cucumis sativus* var. *Aisopos*). Το συγκεκριμένο ενυδρειοπονικό πείραμα διάρκειας 87 ημερών πραγματοποιήθηκε με προσθήκη λιπάσματος στο νερό απορροής των ψαριών έτσι ώστε να συμπληρωθούν οι συγκεντρώσεις θρεπτικών που υπολείπονται βάση της πρότυπης συνταγής για την υδροπονική καλλιέργεια της αγγουριάς. Το πειραματικό σχέδιο που ακολουθήθηκε ήταν πλήρες και τυχαιοποιημένο με μια μεταχείριση και ένα μάρτυρα με έξι επαναλήψεις για το καθένα στο χώρο. Η μεταχείριση ήταν η εφαρμογή ενυδρειοπονίας με προσθήκη λιπασμάτων (CAP) και ο μάρτυρας η υδροπονία (HP). Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν αφορούσαν τον αριθμό των φύλλων, το μήκος του βλαστού, το χλωρό βάρος των φύλλων και των βλαστών, το ξηρό βάρος των φύλλων και των βλαστών, το βάρος παραγόμενων καρπών και τον αριθμό παραγόμενων καρπών. Τα αποτελέσματα ως προς τον μέσο όρο των εβδομαδιαίων αποδόσεων των δύο μεταχειρίσεων έδειξαν ότι η υδροπονία (HP) είχε απόδοση $1,07 \text{ kg m}^{-2}$ ενώ αντίστοιχα η ενυδρειοπονία με λίπασμα (CAP) $1,06 \text{ kg m}^{-2}$. Τα αποτελέσματα αυτών των δύο μεταχειρίσεων δεν διέφεραν σχεδόν καθόλου. Αυτό σε συνδυασμό με την μικρότερη χρήση λιπάσματος της CAP σε σύγκριση με την HP την καθιστούν ελκυστική για παραγωγούς οι οποίοι θέλουν να περιορίσουν τις ποσότητες λιπασμάτων στα φυτά και ταυτόχρονα να το συνδυάσουν με μια ιχθυοκαλλιέργεια.

Summary

This research refers to an experiment concerning an aquaponic system that was carried out in 2020, at Velestino in the Prefecture of Magnesia, on the premises of the farm of the University of Thessaly. Aquaponic in essence is a term used to describe the connection of an aquaculture with a hydroponic system (off-ground cultivation), which connection is achieved by using aquaculture wastewater for hydroponic plant production. In this particular case, fish farming consisted of tilapia fish and hydroponic cultivation from cucumber plants (*Cucumis sativus* var. *Aisopos*). This 87-day aquaponic experiment was carried out by adding fertilizer to the fish runoff water in order to be completed the nutrient concentrations that fall short according to the standard recipe for hydroponic cucumber cultivation. The experimental plan, which was followed, was complete and randomized with a treatment and a control with six repetitions for each one at the space. The treatment was the application of complemented aquaponic (CAP) and the control was the hydroponics (HP). The measurements were about the number of leaves, the length of the stem, the green weight of the leaves and the stems, the dry weight of the leaves and the stems, the weight of the fruit produced, and the number of fruits produced. The results in terms of the weekly average yields of the two treatments showed that hydroponics (HP) had $1,07 \text{ kg/m}^{-2}$ while respectively the complemented aquaponic (CAP) had $1,06 \text{ kg/m}^{-2}$. The results of these two treatments were almost the same. This combined with the less use of fertilizer of the CAP compared to HP make it attractive for producers who want to limit the amounts of fertilizers in plants and at the same time combine it with a fish farming.

Πίνακας περιεχομένων

Κεφάλαιο 1. Γενική Εισαγωγή.....	8
1.1. Καλλιέργεια αγγουριάς.....	8
1.2. Καλλιέργεια στο θερμοκήπιο	11
1.3. Πλεονεκτήματα μιας υδροπονικής καλλιέργειας.....	11
1.4. Ιχθυοκαλλιέργεια τιλάπιας.....	12
1.5. Σύστημα ενυδρειοπονίας.....	14
1.5.1. Ορισμός του συστήματος ‘Ενυδρειοπονία’.....	14
1.5.2. Ιστορική αναδρομή.....	14
1.5.3. Θεωρητικά και τεχνικά χαρακτηριστικά των συστημάτων ενυδρειοπονίας..	15
Κεφάλαιο 2.Θεωρητική Ανάλυση.....	18
2.1. Επίδραση της ενυδρειοπονίας στην διασφάλιση των φυσικών πόρων.....	18
2.2. Επιδράσεις της ενυδρειοπονίας στην παραγωγή.....	19
2.2.1. Επίδραση διάφορων παραγόντων στην απόδοση της ενυδρειοπονίας.....	19
2.2.2. Σύγκριση θρεπτικού διαλύματος ενυδρειοπονικού με υδροπονικού συστήματος.....	20
2.2.3. Χρήση λιπασμάτων στην ενυδρειοπονία για την βελτίωση των αποδόσεων..	21
2.3. Σκοπός εργασίας.....	23
Κεφάλαιο 3. Υλικά και Μέθοδοι.....	24
3.1. Πειραματικές εγκαταστάσεις.....	24
3.1.1. Εγκαταστάσεις υδροπονικής καλλιέργειας και λειτουργία	25
3.1.2. Εγκαταστάσεις συστήματος ιχθυοκαλλιέργειας και λειτουργία.....	26
3.2. Το πειραματικό σχέδιο	28
3.3. Πειραματικό υλικό και καλλιεργητικές φροντίδες.....	29
3.3.1. Υλικό ιχθυοκαλλιέργειας	29
3.3.2. Φυτικό υλικό και εγκατάσταση.....	29
3.3.3. Καλλιεργητικές Φροντίδες.....	29
3.4. Μετρήσεις.....	31
3.4.1. Μετρήσεις στο θερμοκήπιο	31
3.4.2. Εργαστηριακές μετρήσεις.....	33
3.4.3. Υπολογισμοί	33
3.5. Στατιστική ανάλυση και επεξεργασία δεδομένων	33
Κεφάλαιο 4. Αποτελέσματα	34
4.1. Αγρονομικά χαρακτηριστικά καλλιέργειας	34
4.1.1. Αριθμός φύλλων.....	34

4.1.2. Μήκος βλαστού	34
4.1.3. Χλωρό βάρος φύλλων	35
4.1.4. Χλωρό βάρος βλαστών.....	36
4.1.5. Λόγος χλωρού προς ξηρού βάρους φύλλων	37
4.1.6. Λόγος χλωρού προς ξηρού βάρους βλαστών	38
4.2. Μετρήσεις απόδοσης καλλιέργειας	39
4.2.1. Απόδοση καρπών	39
4.2.2. Αριθμός καρπών.....	40
Κεφάλαιο 5. Συζήτηση	42
Κεφάλαιο 6. Συμπεράσματα	44
Κεφάλαιο 7. Βιβλιογραφία	45

Περιεχόμενα Εικόνων

Εικόνα 1. Βοτανική απεικόνιση αγγουριάς (Cucumis sativus L.) (A Modern Herbal Cucumber, Squirting (botanical.com))	10
Εικόνα 2. Απεικόνιση της λειτουργίας ενός συστήματος ενυδρειοπονίας μικρής κλίμακας.	14
Εικόνα 3. Κρεμαστοί κήποι της Βαβυλώνας.	15
Εικόνα 4. Συζευγμένο ενυδρειοπονικό σύστημα (Αριστερά). Μη συζευγμένο ενυδρειοπονικό σύστημα (Δεξιά). Πηγή: (Goddek, 2017).....	16
Εικόνα 5. Το πειραματικό θερμοκήπιο στις εγκαταστάσεις του αγροκτήματος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας (εντός κόκκινου πλαισίου).	24
Εικόνα 6. Συστήματα δροσίσιμου του θερμοκηπίου (αριστερά η υγρή παρειά και δεξιά οι ανεμιστήρες).	25
Εικόνα 7. Αερολέβητας πετρελαίου για την θέρμανση του θερμοκηπίου.	25
Εικόνα 8. Υδροπονικά κανάλια με εγκατεστημένη καλλιέργεια αγγουριού.	26
Εικόνα 9. Κεφαλή υδρολίπανσης (Αριστερά). Δεξαμενές έτοιμου θρεπτικού διαλύματος (Δεξιά).	26
Εικόνα 10. Δεξαμενή εκτροφής με τιλάπια (Αριστερά). Δεξαμενή Buffer (Δεξιά).	27
Εικόνα 11. Μηχανικό φίλτρο τύπου τυμπάνου (Αριστερά). Βιοφίλτρο με υλικό πλήρωσης (Δεξιά).	27
Εικόνα 12. Δεξαμενή συλλογής νερού για την χρήση του από την κεφαλή υδρολίπανσης (Αριστερά). Απεικόνιση του συστήματος ιχθυοκαλλιέργειας (Δεξιά).	28
Εικόνα 13. Δεξιά εμπορεύσιμος και αριστερά μη εμπορεύσιμος καρπός αγγουριού.	31
Εικόνα 14. Συγκομιδή καρπών αγγουριού.	31
Εικόνα 15. Φούρνος αποξήρανσης των φυτών για την καταμέτρηση του ξηρού βάρους.	33

Περιεχόμενα Πινάκων

Πίνακας 1. Παγκόσμια παραγωγή των αγγουριών την περίοδο 2007-2008 (πηγή FAO Stat).	8
Πίνακας 2. Παραγωγή αγγουριών των χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης την περίοδο 2007-2008 (πηγή FAO Stat).	9
Πίνακας 3. Σύγκριση πρότυπων συγκεντρώσεων θρεπτικών (Σάββας,2011) με συγκεντρώσεις απορροών ενυδρειοπονίας (Adler et al., 2003) για την καλλιέργεια του μαρουλιού.	20
Πίνακας 4. Συγκεντρώσεις κύριων μακροστοιχείων και μικροστοιχείων σε υδροπονικό και ενυδρειοπονικό σύστημα (Delaide, 2017).	21
Πίνακας 5. Συνταγή λίπανσης σε κάθε στάδιο της καλλιέργειας σε mM L ⁻¹ (Σάββας, 2011).	30
Πίνακας 6. Οι ημερομηνίες πραγματοποίησης των μετρήσεων.	32

Περιεχόμενα Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1. Παγκόσμια συγκομιδή τιλάπιας σε εκατομμύρια τόνους (FAO, 1950–2009).	13
Διάγραμμα 2. Διακύμανση τιμών αριθμού φύλλων αγγουριού για τις μεταχειρίσεις HP και CAP καθόλη την καλλιεργητική περίοδο.	34
Διάγραμμα 3. Το μέσο ύψος των φυτών.	35
Διάγραμμα 4. Μέσο χλωρό βάρος φύλλων.	36
Διάγραμμα 5. Μέσος όρος χλωρού βάρους βλαστών.	37
Διάγραμμα 6. Μέσος όρος λόγων χλωρού προς ξηρού βάρους φύλλων.	38
Διάγραμμα 7. Μέσος όρος χλωρού προς ξηρού βάρους βλαστών.	39
Διάγραμμα 8. Μέσος όρος απόδοσης καρπών ανά τετραγωνικό μέτρο.	40
Διάγραμμα 9. Μέσος όρος αριθμού καρπών ανά τετραγωνικό μέτρο.	41

Κεφάλαιο 1. Γενική Εισαγωγή

1.1. Καλλιέργεια αγγουριάς

Η αγγουριά (*Cucumis sativus* L.) ανήκει στην οικογένεια Cucurbitaceae. Πιστεύεται ότι είναι φυτό με καταγωγή από την Ινδία ή και από την Αφρική. Η απόδειξη αυτού δεν είναι εύκολη, διότι η αγγουριά δεν έχει βρεθεί ποτέ στην αυτοφυή μορφή της. Η προέλευσή του είδους θεωρείται πως είναι το συγγενικό άγριο είδος *Cucumis sativus* var. *hardwickii*, το οποίο έχει διαπιστωθεί ότι αυτοφύεται στις παρυφές των Ιμαλαΐων. Ο De Candolle (1882), υποστήριξε ότι το φυτό της αγγουριάς καλλιεργείται στην Ινδία από το 3000 π.Χ. Εάν οι ισχυρισμοί αυτοί είναι αληθείς τότε η αγγουριά είναι από τα παλιότερα εξοικειωμένα λαχανικά, μαζί με μερικά από τα δημητριακά. Στο ανατολικό Ιράν και στην Κίνα αναφέρεται η ύπαρξη καλλιέργειας αγγουριών, από την 3^η χιλιετία π.Χ. και από την 2^η χιλιετία π.Χ. αντίστοιχα. Στην Ελλάδα γίνεται αναφορά ότι υπήρχε από αρχαιοτάτους χρόνους με τον Θεόφραστο να αποκαλεί τρεις ποικιλίες με το όνομα «Σίκυος» ή «Σίκυς». Στην Γαλλία καλλιεργήθηκε τον 9^ο αιώνα ενώ στην Μεγάλη Βρετανία τον 14^ο αιώνα. Στην Αμερική το φυτό της αγγουριάς μεταφέρθηκε από τον Κολόμβο και από Πορτογάλους εξερευνητές σε χώρες της δυτικής Αφρικής. Στις μέρες μας σε αρκετές χώρες του πλανήτη καλλιεργείται στον αγρό και υπό ελεγχόμενες συνθήκες πλήρως (υδροπονία) ή εν μέρη (θερμοκήπιο με καλλιέργεια στο έδαφος). Στον Πίνακα 1. απεικονίζεται η παραγωγή και τα καλλιεργούμενα στρέμματα αγγουριών ανά ήπειρο, καθώς και οι σημαντικότερες παραγωγές των χωρών στον κόσμο, ενώ στον Πίνακα 2. σε επίπεδο χωρών Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Πίνακας 1. Παγκόσμια παραγωγή των αγγουριών την περίοδο 2007-2008 (πηγή FAO Stat).

	Παραγωγή (χιλ. τόννοι)	Συγκομισμένη έκταση (χιλ.στρ.)	Μέση απόδοση (τόνοι/στρ.)
Κατά ήπειρο			
Αφρική	1153	1705	0,68
Β. & Κ. Αμερική	1719	878	1,96
Ευρώπη	5099	2214	2,30
Ασία	35936	20583	1,75
Ν. Αμερική	97	68	1,43
Ωκεανία	45	9	5,00
Κυριότερες χώρες παραγωγής			
Κίνα	28050	16528	1,70
Ιράν	1720	780	2,21
Τουρκία	1675	590	2,84
Ρωσία	1387	837	1,66
ΗΠΑ	920	650	1,42
Ιαπωνία	640	128	5,00
Αίγυπτος	615	290	2,12
Ουκρανία	599	493	1,22
Ινδονησία	581	564	1,03
Πολωνία	511	210	2,43
Ισπανία	510	82	6,22
Μεξικό	490	172	2,85
Ολλανδία	430	6	71,67
Ιράκ	422	445	0,95

Πίνακας 2. Παραγωγή αγγουριών των χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης την περίοδο 2007-2008 (πηγή FAO Stat).

	Παραγωγή (χιλ. τόνοι)	Συγκομισμένη έκταση (χιλ.στρ.)	Μέση απόδοση (τόνοι/στρ.)
Χώρες Ευρωπαϊκής ένωσης			
Πολωνία	511	210	2,43
Ισπανία	510	82	6,22
Ολλανδία	430	6	71,67
Γερμανία	245	32	7,66
Ελλάδα	172	22	7,82
Ρουμανία	120	126	0,95
Γαλλία	117	7	16,71
Ιταλία	69	21	3,29
Βουλγαρία	57	9	6,33
Ουγκαρία	52	11	4,73
Ηνωμένο Βασίλειο	49	1	49,00
Φιλανδία	41	4	10,25
Αυστρία	39	4	9,75
Σουηδία	34	3	11,33
Τσεχία	33	15	2,20

Στην Ελλάδα τα καλλιεργούμενα στρέμματα αγγουριών ήταν 24.000 με συνολική σοδειά 192.000 τόνους και με μέση απόδοση 8 τόνους/στρέμμα σύμφωνα με καταγραφή 2010 (Στατιστική Υπηρεσία Υ.Α.Α.Τ., 2010). Η καλλιέργεια της αγγουριάς συναντάται σε θερμοκήπια κυρίως στην Κρήτη (Τυμπάκι και Ιεράπετρα) και στην Πελοπόννησο (Μεσσηνία, Λακωνία, Ηλεία). Στα άλλα γεωγραφικά διαμερίσματα παράγονται μικρότερες ποσότητες.

Όσον αφορά τα βοτανικά χαρακτηριστικά της αγγουριάς, είναι έρπον με λεπτά βλαστάρια που μπορούν να φτάσουν τα 3 με 4 μέτρα. Το ριζικό σύστημα φέρει μία κεντρική ρίζα γύρω από την οποία εκφύονται πολλές ρίζες πλευρικά. Οι βλαστοί έχουν γωνιώδη διατομή και έλικες που δίνουν την δυνατότητα στην αγγουριά να αναρριχηθεί και να στηριχθεί. Τα φύλλα της παρουσιάζουν μεγάλο μέγεθος με γωνιώδη σχήμα και έχουν χνουδωτή επιφάνεια. Οι πλευρικοί βλαστοί αναπτύσσονται από τις μασχάλες των φύλλων. Τα άνθη διακρίνονται σε αρσενικά και θηλυκά (Εικόνα 1). Τα αρσενικά άνθη έχουν μεγαλύτερο μέγεθος και συχνά βρίσκονται στην βάση του κεντρικού βλαστού, ενώ τα θηλυκά άνθη παρουσιάζουν μικρότερο μέγεθος και κάνουν την εμφάνισή τους μετέπειτα στον μεσαίο βλαστό και κυρίως στους κάθετους βλαστούς αυτού. Τα θηλυκά άνθη των αγγουριών φέρουν στη βάση τους υποφυή ωοθήκη. Μερικές ποικιλίες αγγουριάς έχουν μόνο θηλυκά άνθη με αποτέλεσμα η παραγωγή καρπών να γίνεται παρθενοκαρπικά. Ο καρπός των τυπικών ποικιλιών αγγουριάς είναι ράγα κυλινδρικού σχήματος, λείος ή με μικρά αγκάθια αλλά επιμήκης με κωνικά άκρα και μπορεί να φτάσει το μήκος των 62 εκατοστών και την διάμετρο των 10 εκατοστών. (Zhang et al., 2019).



Εικόνα 1. Βοτανική απεικόνιση αγγουριάς (*Cucumis sativus L.*) ([A Modern Herbal | Cucumber, Squirting \(botanical.com\)](#))

Η αγγουριά είναι φυτό με ευαίσθητο ριζικό σύστημα, για τον λόγο αυτόν η καλλιέργεια της έχει ανάγκη από ελαφρύ έδαφος με καλή στράγγιση, καλό αερισμό και να είναι απαλλαγμένο από παθογόνα. Επίσης το έδαφος θα πρέπει να είναι πλούσιο σε θρεπτικά και κυρίως σε άζωτο και κάλιο. Κατάλληλα εδάφη για μια καλλιέργεια αγγουριών είναι τα αμμοπηλώδη ενώ για τις πρώιμες καλλιέργειες τα αμμοχαλικώδη. Γενικά ιδανικά εδάφη για τις αγγουριές θεωρούνται τα εδάφη μέσης σύστασης, τα γόνιμα τα οποία είναι πλούσια σε οργανική ουσία και αυτά που μπορούν να διατηρούν αρκετή υγρασία. Τέλος, το ιδανικό pH εδάφους για την καλλιέργεια της αγγουριάς κυμαίνεται από 5,5-7,5, αλλά προτιμώνται τα ελαφρά όξινα εδάφη pH=6,5. (Ζαχαριουδάκη, 2010).

Για την επιτυχή καλλιέργεια της αγγουριάς απαιτείται εξαρχής η δημιουργία δυνατών και υγιών φυταρίων. Η σπορά για υπαίθρια καλλιέργεια πρέπει να γίνεται τον Απρίλιο με Μάιο ενώ αντίστοιχα για εντός του θερμοκηπίου οποιοδήποτε μήνα του έτους. Η σπορά μπορεί να πραγματοποιηθεί σε γλαστράκια, δίσκους, σακουλάκια τύρφης έτσι ώστε να ακολουθήσει η μεταφύτευση τους στην τελική τους θέση. Ιδανικές θερμοκρασίες για το φυτό της αγγουριάς είναι 18–24°C. Τέλος, για την αύξηση της ανθεκτικότητας των φυτών σε ασθένειες και χαμηλές θερμοκρασίες πραγματοποιείται τεχνική εμβολιασμού σε ανθεκτικά υποκείμενα (π.χ. *Cucurbita ficifolia*).

Στην χώρα μας οι σημαντικότεροι εχθροί της αγγουριάς που προκαλούν σοβαρές ζημιές στην παραγωγή και υποβαθμίζουν την ποιότητα του παραγόμενου προϊόντος είναι η λιριόμυζα, οι αλευρώδεις, οι θρίπες, οι τετράνυχτοι, οι αφίδες και οι νηματώδεις. Τα φυτά της αγγουριάς και γενικά τα κηπευτικά, μολύνονται από διάφορες ασθένειες. Οι μολύνσεις οφείλονται στους μύκητες, στα βακτήρια και στους ιούς με τις κύριες να είναι ο περονόσπορος, το ωίδιο, η κλαδοσπορίωση, η αλτερναρίωση, ο βοτρυτής, η σκληρωτινίαση, η βερτισιλλίωση, το φουζάριο, η σήψη ριζών και στελέχους, η βακτηριακή σήψη του στελέχους, η βακτηριακή κηλίδωση των φύλλων, η γωνιώδης κηλίδωση των φύλλων, ο ιός του μωσαϊκού της αγγουριάς και ο ιός του πράσινου ποικιλοχλωρωτικού μωσαϊκού. (Μανουσιδάκη, 2008).

Μπορεί να καταλήξει κανείς στο συμπέρασμα ότι η καλλιέργεια της αγγουριάς επηρεάζεται από πολλούς αβιοτικούς (κλιματικές συνθήκες κ.λπ.) και βιοτικούς παράγοντες (εχθροί, ασθένειες), με αποτέλεσμα την υποβάθμιση της ποιότητας και ποσότητας της παραγωγής των αγγουριών. Αυτοί οι παράγοντες ώθησαν πολλούς καλλιεργητές στην χρήση διάφορων τύπων θερμοκηπιακών μονάδων.

1.2. Καλλιέργεια στο θερμοκήπιο

Η ιδέα της καλλιέργειας φυτών σε ελεγχόμενες περιβαλλοντικές συνθήκες υπήρχε από τη ρωμαϊκή εποχή. Ο Ρωμαίος αυτοκράτορας Τιβέριος έτρωγε σε καθημερινή βάση ένα λαχανικό που έμοιαζε με αγγούρι. Για τον λόγο αυτό οι κηπουροί του αυτοκράτορα εφάρμοσαν τεχνητές μεθόδους καλλιέργειας, παρόμοιες με το σύστημα του θερμοκηπίου, για να το έχει στο καθημερινό του τραπέζι ανεξαρτήτως της εποχής. Στην ουσία φύτευαν τα αγγούρια σε καρότσια τα οποία την ημέρα τα τοποθετούσαν σε σημεία που ήταν εκτεθειμένα στον ήλιο και την νύχτα τα μετέφεραν σε εσωτερικούς χώρους, έτσι ώστε να διατηρήσουν την θερμοκρασία (Janick et al., 2007).

Ο κύριος ρόλος των θερμοκηπίων είναι ο έλεγχος του περιβάλλοντος ανάπτυξης των φυτών. Ανάλογα με τις προδιαγραφές που διαθέτει ένα θερμοκήπιο, οι βασικοί παράγοντες που μπορούν να ελεγχθούν είναι η θερμοκρασία, τα επίπεδα φωτός και σκιάς, η άρδευση, η ποσότητα λίπανσης και η ατμοσφαιρική υγρασία. Τα θερμοκήπια χρησιμοποιούνται συχνά για την καλλιέργεια φυτικών μοσχευμάτων, λαχανοκομικών και ανθοκομικών ειδών. Επίσης, σύμφωνα με τον καθηγητή κ. Κατσούλα (2017) «με την καλλιέργεια εντός θερμοκηπίου δίνεται η δυνατότητα για παραγωγή προϊόντων ποιότητας καθ' όλη τη διάρκεια του έτους με αποδοτική χρήση των εισροών σε νερό, λιπάσματα, φυτοφάρμακα και εργασία».

Για τον πλήρη έλεγχο μιας θερμοκηπιακής καλλιέργειας ένας καλλιεργητής μπορεί να βγεί ωφελημένος εφαρμόζοντας καλλιέργεια εκτός εδάφους ή αλλιώς υδροπονία. Με την υδροπονία ουσιαστικά θα καταφέρει να ελέγχει πλήρως το ριζικό περιβάλλον της καλλιέργειας με την χρήση διάφορων υποστρωμάτων όπως είναι ο περλίτης και ο πετροβάμβακας. Η ανάγκη για την αντιμετώπιση των αυξανόμενων προβλημάτων που αφορούσαν το έδαφος ώθησε τους Ολλανδούς και Σκανδιναβούς γεωργούς θερμοκηπίων στην μεταπήδησή τους στην υδροπονία (Benoit and Ceustermans, 1995). Η εφαρμογή της υδροπονικής καλλιέργειας πραγματοποιείται επιτυχώς σε παγκόσμιο επίπεδο. Στην Ολλανδία η καλλιέργεια καρποδοτικών λαχανικών γίνεται σχεδόν αποκλειστικά σε θερμοκήπια καλλιεργειών εκτός εδάφους ήδη από την τελευταία δεκαετία του 20^{ου} αιώνα (de Kreij, 1995).

1.3. Πλεονεκτήματα μιας υδροπονικής καλλιέργειας

Πλέον πολλοί καλλιεργητές σήμερα χρησιμοποιούν την μέθοδο της υδροπονίας χωρίς να τους παρουσιάζονται αξιοσημείωτα προβλήματα σε ότι αφορά το έδαφος. Αυτό συμβαίνει διότι τα πλεονεκτήματα μιας καλλιέργειας εκτός εδάφους σε θερμοκήπιο (υδροπονίας) συγκριτικά με την καλλιέργεια στο έδαφος δεν περιορίζονται μόνο στην επίλυση προβλημάτων με το έδαφος αλλά διευκολύνουν και άλλες καλλιεργητικές τεχνικές. Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα μιας υδροπονικής καλλιέργειας είναι τα εξής:

- Με την υδροπονία λόγω της χρήσης τεχνητών υποστρωμάτων αποφεύγεται η μετάδοση ασθενειών μέσω του εδάφους (φουζάριο, βερτισίλλιο, πύθιο, διάφορα έντομα εδάφους,

νηματώδεις, ορισμένα βακτήρια και ιοί, κλπ.). Σε θερμοκήπια όπου η καλλιέργεια είναι στο χώμα γίνεται χρήση τοξικών χημικών ουσιών (π.χ. βρωμιούχο μεθύλιο) για την απολύμανση του εδάφους (Batchelor, 2004). Εναλλακτική λύση για την αποφυγή της εφαρμογής αυτών των τοξικών ουσιών αποτελεί το σύστημα της υδροπονίας.

- Ένα άλλο πρόβλημα στο οποίο η υδροπονία δίνει λύση είναι σε θερμοκήπια των οποίων τα εδάφη τους παρουσιάζουν χαμηλή γονιμότητα λόγω της εντατικής τους εκμετάλλευσης και της μονοκαλλιέργειας. Αυτό θα γίνει με την εξέλιξη του θερμοκηπίου σε υδροπονική εγκατάσταση.
- Η υδροπονία είναι χρήσιμη σε περιπτώσεις όταν το νερό της άρδευσης παρουσιάζει υψηλές συγκεντρώσεις αλάτων. Όμως, αυτό γίνεται μόνο σε ανοιχτά υδροπονικά συστήματα και όχι σε κλειστά διότι τα κλειστά ανακυκλώνουν το θρεπτικό τους διάλυμα και αυτό θα έχει επιπτώσεις για την καλλιέργεια.
- Έχει αποδειχθεί ότι μια υδροπονική καλλιέργεια προωμίζει σημαντικά την πρώτη συγκομιδή. Αυτό συμβαίνει λόγω των υψηλότερων θερμοκρασιών που αναπτύσσονται ριζόστρωμα της καλλιέργειας εκτός εδάφους (Benoit and Ceustermans, 1995) .
- Χαρακτηριστικό πλεονέκτημα της υδροπονίας είναι ότι η θρέψη των φυτών είναι ακριβής και σε περίπτωση λάθους μπορεί να διορθωθεί εύκολα και γρήγορα.
- Η καλλιέργεια των φυτών εκτός εδάφους (υδροπονία) μειώνει τις ανάγκες σε εργατικά και είναι εφικτό με την απομάκρυνση της προηγούμενης καλλιέργειας φυτών να φυτευτεί άμεσα η επόμενη. Αυτό γίνεται επειδή η καλλιέργεια εκτός εδάφους δεν απαιτεί εδαφικές κατεργασίες όπως είναι το όργωμα, το φρεζάρισμα κ.λ.π.

Παραπάνω αναφέρθηκαν μερικά από τα πλεονεκτήματα των υδροπονικών καλλιεργειών δηλαδή των καλλιεργειών εκτός εδάφους. Εάν η υδροπονία συνδυαστεί με μια ιχθυοκαλλιέργεια ψαριών γλυκού νερού όπως οι τιλάπιες τότε θα μιλάμε για ένα σύστημα ενυδρείοπονίας. Το σύστημα αυτό θα αναλυθεί σε επόμενη ενότητα.

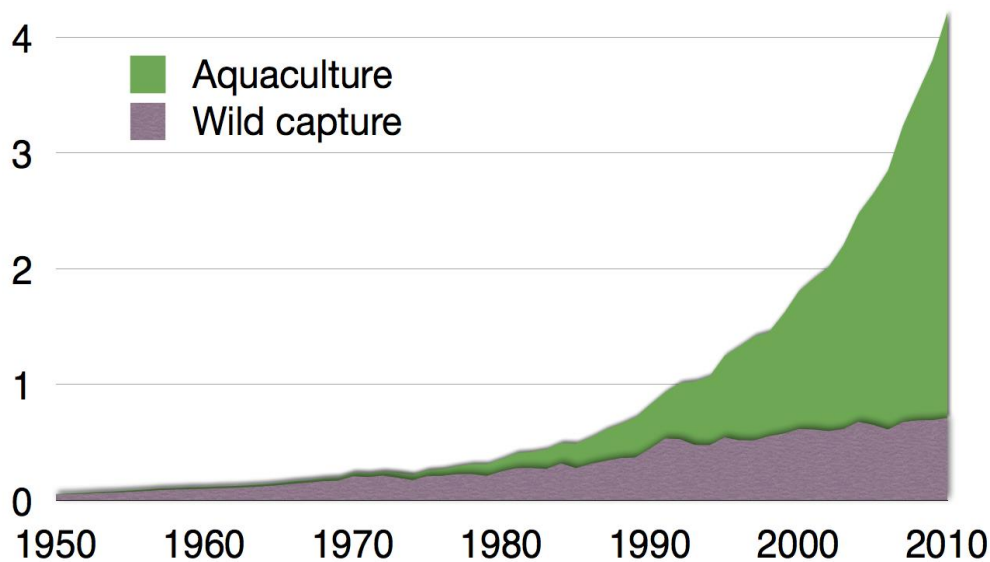
1.4. Ιχθυοκαλλιέργεια τιλάπιας

Τιλάπια είναι η κοινή ονομασία για σχεδόν εκατό είδη ψαριών, με τα πιο σημαντικά οικονομικά είδη να ανήκουν στις φυλές Coptodonini και Oreochromini (Andreas R.Dunz & Ulrich K.Schliewen, 2013). Οι τιλάπιες είναι κυρίως ψάρια του γλυκού νερού που ζούνε σε ρηχά ρυάκια, λίμνες, ποτάμια και σπανιότερα τα συναντάμε σε υφάλμυρο νερό. Ιστορικά, έχουν μεγάλη σημασία στη βιοτεχνική αλιεία στην Αφρική, και έχουν αυξανόμενη σημασία στην υδατοκαλλιέργεια. Η εισαγωγή τιλάπιας είτε εσκεμμένα είτε κατά λάθος μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα στην βιοποικιλότητα των βιότοπων με ζεστά νερά που θα εισαχθεί όπως είναι η Αυστραλία, ενώ σε εύκρατα κλίματα λόγω της αδυναμίας τους να επιβιώσουν σε κρύο νερό δεν θα τα επηρεάσουν. Όσον αφορά την ζήτηση του ψαριού η τιλάπια είναι το τέταρτο σε κατανάλωση ψάρι στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής που χρονολογείται από το 2002. Η αύξηση της δημοτικότητας του ψαριού αυτού οφείλεται κυρίως στην χαμηλή τιμή του, στην εύκολη προετοιμασία του και στην ήπια γεύση του. Η παραγωγή τιλάπιας σε ιχθυοκαλλιέργεια το 2002 παγκοσμίως ήταν περίπου 1,5 εκατομμύριο τόνοι ετησίως, με εκτιμώμενη αξία 1,8 δισεκατομμύρια δολάρια ΗΠΑ, περίπου ίση με εκείνη του σολωμού και της πέστροφας (De Silva et al., 2004). Σε αντίθεση με τα σαρκοφάγα ψάρια, η τιλάπια τρέφεται με φύκια ή οποιαδήποτε φυτική τροφή. Αυτό οδηγεί στον περιορισμό του κόστους της εκτροφής της, την μείωση της αλιευτικής πίεσης στα θηράματα, την

αποφυγή της συγκέντρωσης τοξινών που συσσωρεύονται σε υψηλότερα επίπεδα της τροφικής αλυσίδα και έτσι η τιλάπια μπορεί να χαρακτηριστεί ως "υδάτινα κοτόπουλα" του εμπορίου (Barlow, 2000).

Τα κυριότερα είδη τιλάπιας που χρησιμοποιούνται σε υδατοκαλλιέργειες είναι τα γένη *Oreochromis*, *Sarotherodon* και *Coptodon* για τον λόγο ότι έχουν μεγάλο μέγεθος και ταχεία ανάπτυξη αλλά και λόγω της γευστικότητάς τους (Dunz and Schliewen, 2013). Όπως και άλλα μεγάλα ψάρια, είναι μια καλή πηγή πρωτεΐνης και δημοφιλή μεταξύ των εμπορικών αλιευμάτων. Η τιλάπια επιβιώνει σε θερμοκρασίες 12-40 °C με ιδανική θερμοκρασία τους 28 °C γι' αυτό τον λόγο συναντάται σε υπαίθριες ιχθυοκαλλιέργειες λιμνών του γλυκού νερού που βρίσκονται σε τροπικές χώρες, όπως η Νέα Γουινέα, οι Φιλιππίνες και η Ινδονησία.

Κυρίαρχος της παγκόσμιας παραγωγής τιλάπιας παγκοσμίως είναι η Κίνα με 1,3 εκατομμύρια τόνους ετησίως. Ακολουθεί η Αίγυπτος με 0,5 εκατομμύρια. Οι ΗΠΑ παράγουν 10 χιλιάδες τόνους ενώ καταναλώνουν 2,5 εκατομμύρια. Η παγκόσμια συγκομιδή τιλάπιας απεικονίζεται στο Διάγραμμα 1. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα αρσενικά προτιμώνται γιατί μεγαλώνουν πολύ πιο γρήγορα από τα θηλυκά. (Nico et al., 2019). Επιπλέον, η παρουσία θηλυκιάς τιλάπιας έχει ως αποτέλεσμα την ταχεία αύξηση των πληθυσμών των ψαριών, λόγω της μεγάλης αναπαραγωγικής τους ικανότητας με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν σταθεροί πληθυσμοί πράγμα που δεν είναι επιθυμητό σε μια ιχθυοκαλλιέργεια. Τέλος μια άλλη μέθοδος ελέγχου του πληθυσμού της τιλάπιας είναι η πολυκαλλιέργεια με άλλα αρπακτικά ψάρια που εκτρέφονται παράλληλα με τιλάπια ή ο υβριδισμός τους με άλλα είδη (Prein, 1993).



Διάγραμμα 1. Παγκόσμια συγκομιδή τιλάπιας σε εκατομμύρια τόνους (FAO, 1950–2009).

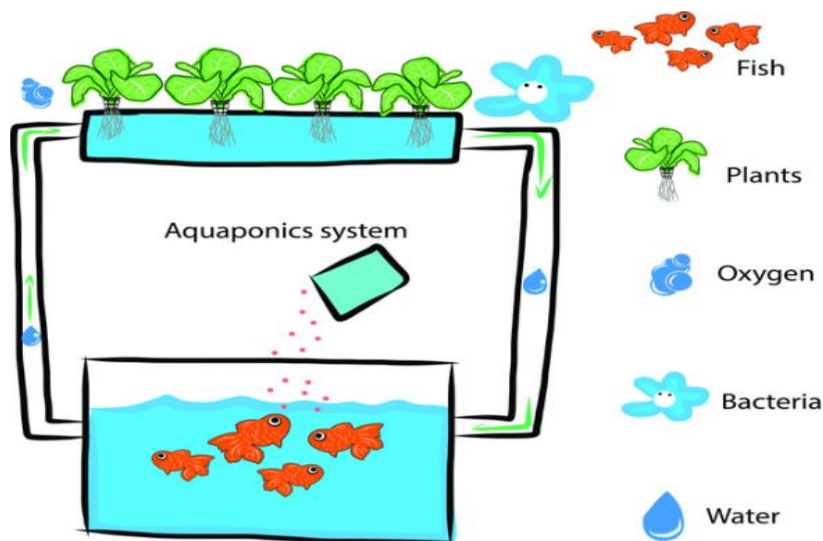
1.5. Σύστημα ενυδρειοπονίας

1.5.1. Ορισμός του συστήματος “Ενυδρειοπονία”

Ενυδρειοπονία αποτελεί χρήσιμος όρος ώστε να περιγραφεί ορθά η σύνδεση μιας ιχθυοκαλλιέργειας με ένα υδροπονικό σύστημα (καλλιέργεια εκτός εδάφους), όπου αυτή η σύνδεση επιτυγχάνεται με την χρήση των λυμάτων της υδατοκαλλιέργειας για την υδροπονική παραγωγή φυτών. Σε πολλά επιστημονικά άρθρα ο όρος “ενυδρειοπονία” συναντάται και με τον αγγλικό του όρο Aquaponics, που αποτελείται από την σύνθεση των αγγλικών όρων aquaculture και hydroponics (Χώτος, 2016).

Τα συστήματα ενυδρειοπονίας είναι κλειστά (πλήρης κυκλική οικονομία) και σήμερα θεωρούνται ωφέλιμα για αειφόρους τεχνικές καλλιέργειες. Αυτό συμβαίνει διότι η συσσώρευση των λυμάτων από τους υδρόβιους οργανισμούς της υδατοκαλλιέργειας στο νερό οδηγούνται και εκμεταλλεύονται από το υδροπονικό σύστημα. Αυτό το νερό που είναι πλούσιο σε αζωτοβακτήρια περνάει στα φυτά για την απορρόφηση των αζωτούχων θρεπτικών ουσιών ζωικής προέλευσης (Εικόνα 2). Στην ουσία με αυτόν τον τρόπο πραγματοποιείται ταυτόχρονα και η θρέψη των φυτών και ο φυσικός καθαρισμός του νερού από τα φυτά, έτσι ώστε το νερό να είναι έτοιμο να επιστρέψει στην υδατοκαλλιέργεια και να επαναχρησιμοποιηθεί.

Το προαναφερόμενο σύστημα είναι η απλή μορφή ενυδρειοπονίας, διότι σε επίπεδα εμπορικής εκμετάλλευσης πραγματοποιείται μεθοδικά ο καθαρισμός του νερού, σε συνδυασμό με τον συστηματικό έλεγχο της σύστασης του διαλύματος.



Εικόνα 2. Απεικόνιση της λειτουργίας ενός συστήματος ενυδρειοπονίας μικρής κλίμακας.

1.5.2. Ιστορική αναδρομή

Η προέλευση της ενυδρειοπονίας μέχρι και σήμερα είναι αδιευκρίνιστη, παρόλα αυτά ως το πιο αρχαίο παράδειγμα μπορούν να θεωρηθούν οι κρεμαστοί κήποι της Βαβυλώνας (Εικόνα 3). Επίσης πιθανολογείται ότι στην Αρχαία Αίγυπτο και στον ποταμό Νείλο πραγματοποιήθηκαν οι πρώτες πρακτικές εφαρμογές της ενυδρειοπονίας. Σε κάθε περίπτωση, η παλαιότερη μορφή πρακτικής πραγματοποιείται ακόμα μέχρι σήμερα στην Κίνα, στην Ιαπωνία και στην Ταϊλάνδη. Η πρακτική αυτή αφορά ψάρια ή γαρίδες που εκτρέφονται σε πλημμυρισμένους ορυζώνες τα οποία βρίσκουν τροφή από τα γεωργικά απόβλητα και συγχρόνως βελτιώνουν την ποιότητα

της εδαφοκλίνης του ορυζώνα. Ακόμη απλοϊκές ενυδρειοπονικές καλλιέργειες με χρήση γαρίδων συναντώνται στο Μπαγκλαντές.



Εικόνα 3. Κρεμαστοί κήποι της Βαβυλώνας.

Ωστόσο, το Πανεπιστήμιο των Παρθένων Νήσων έπειτα από αρκετούς πειραματισμούς για την συμπαραγωγή διάφορων οπωροκηπευτικών και του ψαριού τιλάπια δημιούργησε το πρώτο επιτυχημένο εμπορικό σύστημα ενυδρειοπονίας (Rakocy, 2013).

Σήμερα η ενυδρειοπονία αποκτά όλο και μεγαλύτερη απήχηση τόσο στην εμπορική όσο και στην επιστημονική κοινότητα. Οι επιστημονικές έρευνες εστιάζουν στον κλάδο της ενυδρειοπονίας και συγκεκριμένα στην δημιουργία κατάλληλων πρότυπων καλλιέργειας και κατασκευών ανάλογα με την περιοχή εγκατάστασης, για την εμπορική χρήση και εκμετάλλευση. Έτσι η ενυδρειοπονία αποτελεί μια αειφορική και πολλά υποσχόμενη σύγχρονη καλλιεργητική μέθοδο.

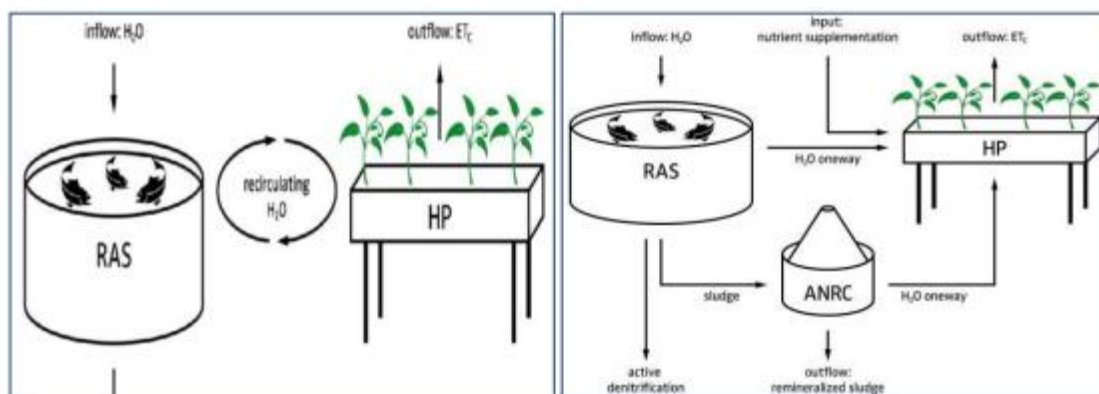
1.5.3. Θεωρητικά και τεχνικά χαρακτηριστικά των συστημάτων ενυδρειοπονίας

Ο παγκόσμιος πληθυσμός προβλέπεται να προσεγγίσει τα 9 δισ. άτομα έως το 2050 (Bernstein, 2011). Το αποτέλεσμα αυτής της ραγδαίας αύξησης του πληθυσμού του πλανήτη, θα είναι η αύξηση ζήτησης τροφής κατά 70-100 % (Godfray et al., 2010, World Bank 20080). Ο γεωργικός τομέας, λοιπόν, ο οποίος ήδη έχει σημαντικό ρόλο στην εξασφάλιση τροφής (Rivera-Ferre et al., 2013), τώρα καλείται να ανταποκριθεί σε ένα από τα μεγαλύτερα ζητήματα του 21^{ου} αιώνα, που δεν είναι άλλο από την παραγωγή τροφίμων με την χρήση λιγότερων πόρων, περιορίζοντας παράλληλα τις επιπτώσεις στο περιβάλλον (Velten et al., 2015).

Ένα από τα συστήματα που χρησιμοποιεί επιτυχώς ο γεωργικός τομέας για την επίλυση του παραπάνω ζητήματος είναι η υδατοκαλλιέργεια. Σε μια υδατοκαλλιέργεια το 95% των ζωοτροφών απορροφάται από τα ψάρια και μετατρέπεται σε σάρκα, ενώ το υπόλοιπο 5% δεν καταναλώνεται από τα εκτρεφόμενα ψάρια και χάνεται (Khakyzadeh et al., 2015). Από το ποσοστό που απορροφάται, το 30-40% μεταβάλλεται σε νέα βιομάζα, ενώ το υπόλοιπο 60-70% αποβάλλεται από τον οργανισμό των εκτρεφόμενων ψαριών σε μορφή ούρων, περιττωμάτων και αμμωνίας (FAO 2014). Τέλος πρόσφατες έρευνες έδειξαν ότι 1 kg τροφής με ποσοστό πρωτεΐνης 30% απελευθερώνει συνολικά περίπου 27,6 g N, ενώ 1 kg ιχθύων απελευθερώνει περίπου 577 g BOD, 90,4 g N και 10,5 g P (Tyson et al., 2011).

Η ενυδρειοπονία μπορεί να δώσει λύση στο παραπάνω πρόβλημα των υδατοκαλλιεργειών με την αξιοποίηση των αποβλήτων των ψαριών και των υπολειμμάτων τροφής τους, μετατρέποντας τα σε λιπάσματα για μια καλλιέργεια φυτών. Σημαντικό ρόλο σε αυτή την μετατροπή έχουν ορισμένα βακτήρια. Από την δεξαμενή των ψαριών το νερό απορροής οδηγείται σε ένα μηχανικό φίλτρο, ο ρόλος του οποίου είναι να διαχωρίζει και να απομακρύνει τα στερεά σωματίδια. Έπειτα το νερό μεταφέρεται σε ένα βιολογικό φίλτρο, όπου η συνολική αμμωνία οξειδώνεται με την βοήθεια βακτηρίων σε νιτρικά ιόντα (NO_3^-) που η μορφή αυτή αζώτου απορροφάται πιο εύκολα από τα φυτά (Rakocsy 2012, FAO 2014). Τα βακτήρια που βοηθάνε σε αυτή την οξείδωση ανήκουν στα γένη *Nitrosomonas* και *Nitrobacter* αντίστοιχα. Τα βακτήρια *Nitrosomonas* μεταβάλλουν το αμμωνιακό ιόν σε νιτρώδη ιόντα (NO_2^-), τα οποία με την σειρά τους μετατρέπονται σε νιτρικά ιόντα με την συμβολή των βακτηρίων του γένους *Nitrobacter* (Alessio et al., 2001).

Τα ενυδρειοπονικά σύστημα ανάλογα με τον τρόπο διαχείρισης του νερού μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο επιμέρους συστήματα το συζευγμένο και το μη συζευγμένο (Εικόνα 4). Σε ένα συζευγμένο σύστημα, το νερό έχει την δυνατότητα να ανακυκλώνεται ολοκληρωτικά και στα δύο συστήματα, και πιο συγκεκριμένα από την ιχθυοκαλλιέργεια στην υδροπονία και αντίστροφα. Αντίθετα, στα μη συζευγμένα, τα συστήματα υδροπονίας και ιχθυοκαλλιέργειας είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους και το νερό μπορεί να κυκλοφορεί συνεχώς ξεχωριστά στο καθένα από αυτά δίχως να περάσει και στα δύο. Αυτό συμβαίνει διότι ένα ποσοστό νερού μπορεί να οδηγηθεί στην υδροπονία από την ιχθυοκαλλιέργεια και χωρίς να επιστρέψει στα ψάρια, να ανακυκλώνεται στο υδροπονικό σύστημα.



Εικόνα 4. Συζευγμένο ενυδρειοπονικό σύστημα (Αριστερά). Μη συζευγμένο ενυδρειοπονικό σύστημα (Δεξιά). Πηγή: (Goddek, 2017)

Ο τύπος ενυδρειοπονικού συστήματος (συζευγμένο ή μη συζευγμένο) που θα χρησιμοποιηθεί εξαρτάται από την τεχνική υδροπονίας που θα πραγματοποιηθεί για την καλλιέργεια των φυτών. Η πιο συνηθισμένη μέθοδος που χρησιμοποιείται σε μικρής κλίμακας παραγωγή είναι αυτή σε υπόστρωμα (MBT) (Rakocsy, 2012) με το πορώδες υπόστρωμα να δίνει στήριξη στα φυτά. Επίσης, το πορώδες υπόστρωμα λειτουργεί ως μηχανικό και βιολογικό φίλτρο. Κατάλληλες μέθοδοι για εμπορικά ενυδρειοπονικά συστήματα είναι η καλλιέργεια με χρήση λεπτού στρώματος θρεπτικού διαλύματος (NFT) και η καλλιέργεια σε σύστημα επίπλευσης (DWC) οι οποίες χρειάζονται ένα μηχανικό φίλτρο και ένα βιοφίλτρο σε αντίθεση με την μέθοδο του υποστρώματος. Η απομάκρυνση του νερού από τα υδροπονικά δοχεία προς την

δεξαμενή συλλογής νερού γίνεται με την βοήθεια της βαρύτητας ή μιας αντλίας (Rakocy, 2012).

Όσον αφορά τα μέρη ενός συστήματος ενυδρειοπονίας, βάση της πορείας του νερού, είναι κατά σειρά η δεξαμενή εκτροφής των ψαριών, το μηχανικό φίλτρο, το βιολογικό φίλτρο, η δεξαμενή αποθήκευσης του νερού και οι σωληνώσεις παροχής-απορροής του νερού (FAO 2014).

Μεταξύ των μηχανικών φίλτρων συχνά βρίσκεται μια δεξαμενή καθίζησης, ο ρόλος της οποίας είναι να απομακρύνει τα στερεά απόβλητα σε ποσοστό 59% από τα συνολικά απόβλητα, με χρόνο κατακράτησης 20 λεπτά (Pantanella, 2013). Η δεξαμενή καθίζησης θα πρέπει να έχει ελάχιστο όγκο το 1/6 του όγκου της δεξαμενής των ψαριών.

Η παροχή τροφής (FRR) στην ιχθυοκαλλιέργεια ενός συστήματος ενυδρειοπονίας είναι υψίστης σημασίας τόσο για τα εκτρεφόμενα ψάρια όσο και για την παραγωγή φυτών. Αυτή η παροχή (FRR) υπολογίζεται από τον λόγο ποσότητας της ψαροτροφής, όπου θα χορηγηθεί σε μια ημέρα προς την επιφάνεια που καταλαμβάνει το σύστημα της ενυδρειοπονίας. Ο ρυθμός και η ποσότητα συσσώρευσης και απομάκρυνσης των θρεπτικών στοιχείων από τις δεξαμενές, που είναι τοποθετημένα τα εκτρεφόμενα ψάρια εξαρτώνται από τον υπολογισμό της παροχής τροφής (FRR). Επίσης, από την παροχή τροφής (FRR) εξαρτώνται και οι ποσότητες μακροθρεπτικών και μικροθρεπτικών που θα χρησιμοποιηθούν για την αύξηση της παραγωγικότητας των φυτών (Lam et al., 2015). Η ιδανική αναλογία είναι 57 g ανά τετραγωνικό μέτρο ειδικής επιφάνειας την ημέρα για ένα ενυδρειοπονικό σύστημα (Rakocy, 2012). Τέλος, τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού σε ένα ενυδρειοπονικό σύστημα, θα πρέπει να εξασφαλίζουν συνθήκες θερμοκρασίας 18-30°C, pH 6-7, συγκέντρωση αμμωνίας και νιτρικών <math>< 1 \text{ mg L}^{-1}</math> και DO >5 mg L⁻¹, με χορήγηση τροφής 60-100 g m⁻² (Rakocy et al., 2006).

Τέλος, τα είδη φυτών που είναι κατάλληλα για να χρησιμοποιηθούν από ένα σύστημα ενυδρειοπονίας είναι οι τομάτες, οι αγγουριές, οι μελιτζάνες, οι πιπεριές, ο βασιλικός, το μαρούλι και το σπανάκι (Khater et al., 2015; Palm et al., 2014; Endut et al., 2011; Nelson, 2007; Rakocy et al., 2006; Savidov, 2005; Adler et al., 2000). Όσον αφορά τα εκτρεφόμενα ψάρια ιδανικά για ένα τέτοιο σύστημα είναι η τιλάπια του Νείλου, η πέστροφα και το αφρικανικό γατόψαρο (Kloas et al., 2015, Palm et al., 2014, Roosta, 2014; Endut et al., 2011; Nelson, 2007; Lennard & Leonard, 2006; Rakocy et al., 2006; Savidov, 2005; Adler et al., 2000).

Κεφάλαιο 2.Θεωρητική Ανάλυση

2.1. Επίδραση της ενυδρειοπονίας στην διασφάλιση των φυσικών πόρων.

Η ενυδρειοπονία όπως έγινε αναφορά και παραπάνω είναι ένα ολοκληρωμένο σύστημα υδατοκαλλιέργειας που περιλαμβάνει δύο τεχνολογίες, την τεχνολογία της ιχθυοκαλλιέργειας και αυτή της υδροπονίας (Kyaw and Ng, 2017). Επίσης μπορεί να θεωρηθεί ως ένα ολοκληρωμένο σύστημα υδατοκαλλιέργειας στο έδαφος, στο οποίο το νερό της εκροής χρησιμοποιείται για καλλιέργεια φυτών χωρίς έδαφος (Palm et al., 2018). Η ενυδρειοπονία είναι επίσης γνωστό ότι βελτιστοποιεί τους πόρους και μεγιστοποιεί το κέρδος με φιλικό προς το περιβάλλον τρόπο (Asciuto et al., 2019). Αυτό συμβαίνει διότι επιτυγχάνεται η μεγιστοποίηση επαναχρησιμοποίησης νερού και θρεπτικών συστατικών (Hu et al., 2015). Παράλληλα, η βελτιστοποίηση των πόρων αναφέρεται στην βελτίωση της ποιότητας του νερού μέσω των φίλτρων που διαθέτει το σύστημα (Estim et al., 2019). Η ενυδρειοπονία είναι μια πολλά υποσχόμενη λύση για την επίλυση της κακής ποιότητας νερού, της περιορισμένης διαθεσιμότητας νερού και του μειωμένου γόνιμου εδάφους και παίζει ρόλο στην αύξηση της τοπικής παραγωγής και των υγιεινών βιολογικών τροφίμων με μικρές αλυσίδες εφοδιασμού σε αστικές περιοχές.

Πλεονεκτήματα ενυδρειοπονίας που την καθιστούν φιλική προς το περιβάλλον:

- Το βασικό πλεονέκτημα της ενυδρειοπονίας είναι ότι σε ένα κλειστό σύστημα το νερό ανακυκλώνεται με αποτέλεσμα να πραγματοποιείται εξοικονόμηση νερού.
- Επιπλέον, με την χρήση των λυμάτων των ψαριών ως λίπασμα αποφεύγεται ή περιορίζεται η χρήση λιπασμάτων που αποτελούν φυσικούς πόρους. Αυτό συμβαίνει διότι κάποια ενυδρειοπονικά συστήματα συνδυάζουν τα υπολείμματα των ψαριών συμπληρώνοντας το υπόλοιπο λίπασμα για μεγαλύτερες αποδόσεις ενώ σε κάποια άλλα η θρέψη των φυτών προέρχεται αποκλειστικά από τα υπολείμματα των ψαριών.
- Με την ενυδρειοπονία μπορούν να παραχθούν μεγάλες ποσότητες φαγητού σε μικρό χώρο (λαχανικά και ψάρια).
- Τέλος, για τον λόγο ότι οι συνθήκες των ενυδρειοπονικών συστημάτων είναι πλήρως ελεγχόμενες, αποφεύγονται οι προσβολές από ασθένειες σε φυτά και ψάρια με αποτέλεσμα η παραγωγή να μεγιστοποιείται χωρίς την χρήση χημικών φυτοφαρμάκων.

Στην ενυδρειοπονία χρησιμοποιούνται διάφορες τεχνικές φιλικές προς το περιβάλλον μια από αυτές είναι η τεχνολογία του βιοαποβλήτη. Η τεχνολογία αυτή αναπτύχθηκε με στόχο τη βελτίωση και τον έλεγχο της ποιότητας της υδατοκαλλιέργειας, της βιοασφάλειας, του περιορισμού της χρήσης νερού και της αποτελεσματικής χρήσης ζωοτροφών και ενέργειας. Αυτή η τεχνολογία εφαρμόζεται γενικά με ελάχιστη ή μηδενική ανταλλαγή νερού, καθώς με τη χρήση βακτηριακής δραστηριότητας αξιοποιούνται συσσωρευμένα υπολείμματα οργανικής ύλης στο σύστημα (Awnimelech, 2012). Τέλος οι έρευνες των Dauda et al. (2018a) δείχνουν ότι η εφαρμογή της τεχνολογίας βιοαποβλήτη μπορεί να εξοικονομήσει τη χρήση νερού έως και 14 φορές κατά την εκτροφή γατόψαρου (*Clarias gariepinus*).

2.2. Επιδράσεις της ενυδραιοπονίας στην παραγωγή

2.2.1. Επίδραση διάφορων παραγόντων στην απόδοση της ενυδραιοπονίας

Η απόδοση ενός ενυδραιοπονικού συστήματος μπορεί να επηρεαστεί από ποικίλες παραμέτρους όπως οι συνθήκες εντός του θερμοκηπίου, ο συνδυασμός φυτών με ψάρια, το σύστημα ενυδραιοπονίας και οι τεχνικές που εφαρμόζονται, η διάρκεια του πειράματος κ.α. Από την έρευνα που προέκυψε από τους Ayırio et al. (2021), που αφορούσε την απόδοση της καλλιέργειας του αγγουριού σε υποστρώματα φλοιού πεύκου και περλίτη σε συνδυασμό με βιοαποβλήτη και την εκμετάλλευση λυμάτων υδατοκαλλιέργειας συμπέραναν ότι η επίδραση των υποστρωμάτων στην απόδοση αγγουριού εξαρτάται από την διάρκεια του πειράματος και τον αριθμό των φυτών ανά δοχείο. Η συνολική απόδοση των αγγουριών από τον Σεπτέμβριο έως τον Οκτώβριο του 2019 ήταν χαμηλή λόγω πρόωρης λήξης με μέγιστες τιμές $3,7 \text{ kg m}^{-2}$ και $5,5 \text{ kg m}^{-2}$ για ένα φυτό ανά δοχείο και $6,7 \text{ kg m}^{-2}$ και $7,1 \text{ kg m}^{-2}$ για δύο φυτά ανά δοχείο, που καταγράφονται από υπόστρωμα φλοιού πεύκου και περλίτη αντίστοιχα. Η απόδοση από τον Ιανουάριο έως τον Ιούλιο του 2016 ήταν υψηλότερη με μέγιστες τιμές που κυμαίνονταν από $16,5 \text{ kg m}^{-2}$ σε ένα φυτό ανά δοχείο σε $24,3 \text{ kg m}^{-2}$ σε δύο φυτά ανά δοχείο.

Οι Schmautz et al. (2016), χρησιμοποιώντας ως μάρτυρα ένα υδροπονικό σύστημα που είχε ως υλικό υποστρώματος κοκκοφοίνικα, σύγκριναν την απόδοση τομάτας σε ενυδραιοπονικό σύστημα λεπτού στρώματος θρεπτικού διαλύματος (NFT), σύστημα επίπλευσης (DWC), και καλλιέργεια σε υπόστρωμα (MBT). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των καρπών της τομάτας ήταν ίδια και στα τρία συστήματα αλλά διέφεραν ως προς την απόδοση όπου το σύστημα MBT είχε $18,7 \text{ Kg m}^{-2}$, το NFT $17,5 \text{ Kg m}^{-2}$ και το DWC $17,4 \text{ Kg m}^{-2}$. Επίσης, η ενυδραιοπονία ήταν πίσω συγκριτικά με την υδροπονία ως προς τις αποδόσεις.

Σε παρόμοιο ενυδραιοπονικό πείραμα που πραγματοποιήθηκε από τους Lennard and Leonard (2006) με φυτά μαρουλιού (*Lactuca sativa*) και ψάρια Murray cod διάρκειας 21 ημερών, εκτίμησαν τις επιδράσεις από τα συστήματα NFT, DWC, και MBT. Τα αποτελέσματα της μελέτης αυτής παρουσίασαν ότι μόνο τα φυτά επηρεάστηκαν και όχι τα ψάρια. Πιο συγκεκριμένα τη μεγαλύτερη απόδοση μαρουλιού παρουσίασε το σύστημα MBT με $5,05 \text{ Kg m}^{-2}$, ακολουθούθησε το σύστημα DWC με $4,47 \text{ Kg m}^{-2}$ και το σύστημα NFT με $4,13 \text{ Kg m}^{-2}$. Οι έρευνες αυτές των Schmautz et al. (2016) και των Lennard and Leonard (2006) έδειξαν ότι γενικά το καλύτερο σύστημα βάση αποδόσεων ήταν το MBT.

Αντίθετα με τους Lennard and Leonard (2006), ο Delaide (2017) σύγκρινε την απόδοση του μαρουλιού σε υπόστρωμα διογκωμένης αργίλου με σύστημα DWC, και συμπεράνανε ότι πιο αποδοτικό είναι το δεύτερο στηρίζοντας την άποψη αυτή σύμφωνα με τους Lee et al. (2015) ότι η εναλλακτική ικανότητα της διογκωμένης αργίλου μπορεί να επηρεάζει τη διαθεσιμότητα των θρεπτικών κυρίως στα πρώτα στάδια ανάπτυξης των φυτών.

Οι Savidov et al. (2007) σε πειραματισμό διάρκειας ενός έτους, που έλαβε χώρα στην Βόρεια Αμερική, σύγκριναν μια συμβατική υδροπονική καλλιέργεια τομάτας και αγγουριού με μια ενυδραιοπονική. Οι αποδόσεις ανά φυτό ενυδραιοπονικών καλλιεργειών έφτασαν τα $20,7 \text{ kg}$ για την τομάτα και $33,4 \text{ kg}$ για το αγγούρι. Με τις τιμές αυτές ξεπέρασαν τις αντίστοιχες αποδόσεις των υδροπονικών καλλιεργειών στην

ίδια περιοχή που ανά φυτό τομάτας ήταν 16,8 kg και 28,1 kg ανά φυτό αγγουριού αντίστοιχα.

2.2.2. Σύγκριση θρεπτικού διαλύματος ενυδρειοπονικού με υδροπονικού συστήματος.

Είναι γνωστό ότι η συγκέντρωση θρεπτικού διαλύματος ενός υδροπονικού συστήματος σε σχέση με ενός ενυδρειοπονικού που προκύπτει από τις απορροές των δεξαμενών με τα ψάρια, είναι μεγαλύτερη και δεν παρουσιάζει ελλείψεις σε θρεπτικά όπως η περίπτωση της ενυδρειοπονίας. Αυτό μπορεί να διαπιστωθεί και από αρκετές επιστημονικές έρευνες. Μια από αυτές τις έρευνες είναι των Adler et al. (2003), οι οποίοι ανέλυσαν το διάλυμα απορροής από δεξαμενή εκτροφής πέστροφας. Οι αναλύσεις αυτές έδειξαν χαμηλές συγκεντρώσεις καλίου, σιδήρου και μαγγανίου (Πίνακας 3). Σύμφωνα με τον Σάββα (2011) οι πρότυπες συγκεντρώσεις για καλλιέργεια μαρουλιού δίνονται από τον Πίνακα 3.

Πίνακας 3. Σύγκριση πρότυπων συγκεντρώσεων θρεπτικών (Σάββας,2011) με συγκεντρώσεις απορροών ενυδρειοπονίας (Adler et al., 2003) για την καλλιέργεια του μαρουλιού.

Βιβλιογραφία	NO ₃ -N (mg L ⁻¹)	P (mg L ⁻¹)	K (mg L ⁻¹)	Ca (mg L ⁻¹)	Mg (mg L ⁻¹)	S (mg L ⁻¹)
Σάββας (2011)	1016,8	174,6	351,9	192,48	26,73	134,54
Adler et al. (2003)	25	0,52	5	55	20	9

Τα παραπάνω αποτελέσματα των ερευνών των Adler et al. (2003), βρίσκουν σύμφωνους τους Bittsanszky et al. (2016), οι οποίοι δίνουν έμφαση στις μικρές συγκεντρώσεις που παρουσιάζουν κυρίως τα στοιχεία σιδήρου και μαγγανίου στο ενυδρειοπονικό θρεπτικό διάλυμα το οποίο προέρχεται από την ιχθυοκαλλιέργεια αφρικανικού γατόψαρου (*Clarias gariepinus*).Επίσης, εστιάζουν στα στοιχεία του χαλκού, του ασβεστίου και των θεικών τα οποία δίνουν ικανοποιητικές συγκεντρώσεις. Με την σειρά τους οι Bittsanszky et al. (2016) επιβεβαιώνονται από τους Blindariou et al. (2013) των οποίων το θρεπτικό διάλυμα των ψαριών παρουσιάζει μηδαμινή συγκέντρωση σιδήρου και μαγγανίου.

Οι Rakocy et al. (2006), Diver (2006) και Seawright et al. (1998) έπειτα από έρευνές τους συμφώνησαν στο γεγονός ότι με τη σωστή πυκνότητα των ψαριών στις δεξαμενές τα επίπεδα συγκεντρώσεων των νιτρικών (NO₃), των φωσφορικών (P), του χαλκού (Cu) και του βορίου (B) είναι αρκετά για την σωστή ανάπτυξη των φυτών, ενώ στοιχεία όπως το κάλιο (K), το ασβέστιο (Ca) και ο σίδηρος (Fe) είναι ελλιπή για μια αποδοτική παραγωγή. Στον Πίνακα 4 παρατίθενται συγκεντρώσεις από θρεπτικά μακροστοιχεία και μικροστοιχεία που επιτεύχθηκαν σε πειράματα πάνω σε ενυδρειοπονικά συστήματα και αντίστοιχα οι πρότυπες συγκεντρώσεις υδροπονικών διαλυμάτων κύριων καλλιεργειών.

Πίνακας 4. Συγκεντρώσεις κύριων μακροστοιχείων και μικροστοιχείων σε υδροπονικό και ενυδρειοπονικό σύστημα (Delaide, 2017).

Είδος φυτού	Σύστημα	Ca	Mg	Na	K	NO ₃ -N	PO ₄ -P	SO ₄ -S	Fe	B	Βιβλιογραφία
Μαρούλι	Υδροπονία	180	24		430	266	62	36	2.2	0.3	Sonneveld and Voogt. 2009
Μαρούλι	Υδροπονία	200	50	50-90	210	190	50	66	5	0.5	Resh.2012
Μαρούλι	Ενυδρειοπονία	180	44	17	106	137	9				Pantarella et al. 2012
Βασιλικός	Ενυδρειοπονία		12	7	45	42	8		2.5	0.19	Rakocy et al. 2004
Τομάτα	Υδροπονία	110	24		254	151	39	48	0.8	0.2	Sonneveld and Voogt. 2009
Τομάτα	Ενυδρειοπονία	34			27	35	8		0.2		Roosta and Hamidpour. 2011

Όπως αναλύθηκε παραπάνω στις περισσότερες έρευνες, παρατηρήθηκε ότι τα περισσότερα από τα θρεπτικά που χρειάζονται τα φυτά εκτός, από το κάλιο, το μαγνήσιο και το σίδηρο, είναι εφικτό να προμηθευτούν από τα ψάρια με σημαντικές ποσότητες. Αυτό οδηγεί στην σκέψη συμπλήρωσης των θρεπτικών που δεν παρέχονται από τα ψάρια για την μέγιστη απόδοση του ενυδρειοπονικού συστήματος.

2.2.3. Χρήση λιπασμάτων στην ενυδρειοπονία για την βελτίωση των αποδόσεων

Η χρήση λιπασμάτων σε ένα ενυδρειοπονικό σύστημα το καθιστά πιο ανταγωνιστικό ως προς ένα υδροπονικό. Αυτό συμβαίνει διότι ένα σύστημα ενυδρειοπονίας παρέχει τα περισσότερα θρεπτικά που χρειάζεται μια καλλιέργεια, οπότε με την συμπλήρωση λιπασμάτων, μέχρι οι συγκεντρώσεις τους να είναι στα επίπεδα των πρότυπων συγκεντρώσεων, θα είναι πιο παραγωγική. Έτσι μπορεί να φτάσει σε υδροπονικές αποδόσεις με την χρήση λιγότερων λιπασμάτων και ταυτόχρονα με παραγωγή ιχθύων.

Ο Delaide (2017) σύγκρινε την απόδοση του μαρουλιού σε τρία διαφορετικά συστήματα: 1) σύστημα υδροπονίας, 2) σύστημα ενυδρειοπονίας (μαρούλι-τιλάπια) και 3) σύστημα ενυδρειοπονίας με προσθήκη λιπασμάτων (CAP). Σημειώνεται ότι το υδροπονικό σύστημα ήταν NFT. Τα αποτελέσματα αυτής της σύγκρισης έδειξαν ότι η απόδοση του μαρουλιού στην καλλιέργεια της ενυδρειοπονίας ήταν ισάξια σχεδόν με την υδροπονική με τιμές 80,55 g φυτό⁻¹ και 98,17 g φυτό⁻¹ αντίστοιχα. Ενώ η μεταχείριση CAP σημείωσε την υψηλότερη απόδοση με τιμή 136,28 g φυτό⁻¹. Τα αποτελέσματα αυτά οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η αύξηση της παραγωγής μπορεί να φτάσει το 39% όταν το απορρέον νερό της ιχθυοκαλλιέργειας εμπλουτιστεί με συγκεντρώσεις θρεπτικών ίσες με τις πρότυπες ενός υδροπονικού διαλύματος. Στατιστικά σημαντική διαφορά παρουσιάζει και το χλωρό βάρος της ρίζας, με την CAP να αντιστοιχεί στα 4,86 g φυτό⁻¹ ενώ στην υδροπονία στα 3,58 g φυτό⁻¹.

Σε παρόμοιο πείραμα διάρκειας 21 ημερών των Rodgers et al. (2022) στο οποίο χρησιμοποιήθηκε βασιλικός (*Ocimum basilicum*) και ένα υποείδος κυπρίνου, (*Cyprinus carpio*) δοκιμάστηκε η σύγκριση τριών διαφορετικών συστημάτων ως προς την απόδοση του βασιλικού. Τα τρία συστήματα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τα ίδια με αυτά του Delaide (2017). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η μέση χλωρή βιομάζα των βλαστών υδροπονίας (CON) ήταν 11% μεγαλύτερη από ό,τι για την ενυδραιοπονία με συμπλήρωση λιπάσματος (DAP+). Η μέση χλωρή βιομάζα των βλαστών για το DAP+ ήταν 36% μεγαλύτερη από ό,τι για το DAP (ενυδραιοπονία). Η μέση ξηρή βιομάζα βλαστών για το CON ήταν 11% μεγαλύτερη από ό,τι για το DAP+ και η ξηρή βιομάζα βλαστών για το DAP+ ήταν 53% μεγαλύτερη από ό,τι για το DAP. Το συμπέρασμα αυτής της έρευνας βάση των αποτελεσμάτων της ήταν, ότι η ενυδραιοπονία με συμπλήρωση λιπάσματος (DAP+) ήταν σχεδόν όσο αποδοτική ήταν και η συμβατή υδροπονία (CON), αλλά παρουσίαζε μεγαλύτερη απόδοση συγκριτικά με την ενυδραιοπονία (DAP).

Σε σχετικό πείραμα που πραγματοποιήθηκε από τους Stouvenakers et al. (2020), που αφορούσε τις επιδράσεις του μύκητα *Pythium aphanidermatum* που ευθύνεται για την σήψη της ρίζας του φυτού μαρουλιού διαπιστώθηκε ότι η ανάπτυξη του μύκητα ήταν μικρότερη στην μεταχείριση της ενυδραιοπονίας. Όταν χρησιμοποιήθηκε το νερό της AQP σε σύγκριση με το νερό της HP και της CAP, οι μέσοι όροι ανάπτυξης του μικροοργανισμού ήταν 20,7% για το AQP, 66,6% για το HP και 65,1% για το CAP. Το συμπέρασμα αυτής της έρευνας ήταν ότι το νερό της CAP έχασε τη φυσική κατασταλτική ικανότητα του νερού της AQP μετά την προσθήκη θρεπτικών αλάτων και την αλλαγή του pH του νερού AQP για τη δημιουργία νερού CAP.

Σε έρευνα των Suhl et al. (2016), οι οποίοι σύγκριναν ένα σύστημα ενυδραιοπονίας με προσθήκη λιπάσματος με ένα συμβατό σύστημα υδροπονίας, συμπέραναν ότι οι αποδόσεις της παραγωγής των δύο αυτών συστημάτων διέφεραν ελάχιστα. Το πείραμα αυτό διάρκειας 197 ημερών πραγματοποιήθηκε με την χρήση φυτών τομάτας (*Solanum lycopersicum* L., cv. Pureza) και ψαριών τιλάπιας (*Oreochromis niloticus*). Από την μελέτη αυτή παρατηρήθηκε ότι, η συνολική ποσότητα τομάτας που συγκομίστηκε καθ' όλη την εξέλιξη του πειραματισμού ανά m^2 , για την υδροπονία (HP) ήταν $31,64 \text{ kg m}^{-2}$ ενώ για την ενυδραιοπονία (CAP) ήταν $29,38 \text{ kg m}^{-2}$. Επίσης, το ποσοστό των εμπορεύσιμων φρούτων στη συνολική απόδοση ήταν σχεδόν το ίδιο και στις δύο μεταχειρίσεις (υδροπονία = 99,1%, ενυδραιοπονία με λίπασμα = 99,5%). Επιπλέον, το μήκος των φυτών δεν παρουσίαζε μεγάλες διαφορές μεταξύ των δύο μεταχειρίσεων (HP = 10,8 m και CAP = 10,9 m). Τέλος, το πρόσθετο λίπασμα, που μαζί με των ψαριών αποτελούσε το συνολικό, που χρησιμοποιήθηκε στην CAP ήταν κατά 25,2% λιγότερο από της HP.

Οι Monsees et al. (2017) σε μελέτη τους που αφορούσε την σύγκριση συζευγμένων και μη συζευγμένων ενυδραιοπονικών συστημάτων, με καλλιέργεια τομάτας και ιχθυοκαλλιέργεια τιλάπιας, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η απόδοση της τομάτας ήταν κατά 36% υψηλότερη στο μη συζευγμένο σύστημα ενυδραιοπονίας. Το συμπέρασμα αυτό στηρίχθηκε στην ανεξάρτητη ρύθμιση του pH και στη δυναμική προσαρμογή των συγκεντρώσεων θρεπτικών ουσιών. Τέλος, συμπέραναν ότι ένας παραγωγός θα προτιμήσει ένα μη συζευγμένο σύστημα δεδομένου ότι οι βέλτιστες συνθήκες μπορούν να ελεγχθούν τόσο για τα ψάρια όσο και για τα φυτά, ξεχωριστά και η διαχείριση των ανισορροπιών μπορεί να αντιμετωπιστεί πλήρως.

Η CAP μεταχείριση φαίνεται αρκετά ανταγωνιστική ως προς την ΗΡ φέροντας ίση ή και μεγαλύτερη παραγωγή σύμφωνα με τη βιβλιογραφία. Το προβάδισμα της CAP φαίνεται να οφείλεται στην ιδιαίτερη σύσταση του διαλύματος ιχθυοκαλλιέργειας σε διαλυτά οργανικά στοιχεία ή στην παρουσία μικροοργανισμών που ευνοούν την ανάπτυξη των φυτών και δεν έχουν διερευνηθεί ακόμη (Goddek, 2017; Delaide, 2017).

2.3. Σκοπός εργασίας

Σκοπός της παρούσας διατριβής αποτελεί η μελέτη ενός μη συζευγμένου συστήματος ενυδρειοπονίας με την χρήση λιπάσματος και η σύγκριση του με ένα συμβατό υδροπονικό σύστημα. Τα ερευνητικά αποτελέσματα της βιβλιογραφίας, ως προς τη βιωσιμότητα του ενυδρειοπονικού συστήματος και της αειφορικής του ταυτότητας ωθούν σε έρευνες με προσθήκη λιπάσματος στο απορρέον διάλυμα ιχθύων για την βελτίωση της παραγωγής. Από την βιβλιογραφία προέκυψαν ενθαρρυντικά στοιχεία για την προσθήκη λιπάσματος σε μη συζευγμένα συστήματα ενυδρειοπονίας. Για τους παραπάνω λόγους έγινε περαιτέρω έρευνα για ένα μη συζευγμένο ενυδρειοπονικό σύστημα με την χρήση λιπάσματος.

Κεφάλαιο 3. Υλικά και Μέθοδοι

3.1. Πειραματικές εγκαταστάσεις

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε το έτος 2020, στην περιοχή του Βελεστίνου στο Νομό Μαγνησίας, στις εγκαταστάσεις του αγροκτήματος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Το αγρόκτημα απέχει από την πόλη του Βόλο μόλις 17 km και έχει προσανατολισμό Βορρά-Νότο. Το υψόμετρο της περιοχής από τα επίπεδα της θάλασσας είναι 85m και βρίσκεται σε γεωγραφικό πλάτος $39^{\circ} 44'$ και γεωγραφικό μήκος $22^{\circ} 79'$. Για τη διεξαγωγή του πειράματος αξιοποιήθηκε ένα θερμοκήπιο έκτασης 441 m^2 (Εικόνα 5) εκ των οποίων τα 360 m^2 αξιοποιήθηκαν για την εγκατάσταση υδροπονικής καλλιέργειας και τα 81 m^2 για την εγκατάσταση κλειστού συστήματος ιχθυοκαλλιέργειας. Η οροφή του θερμοκηπίου είναι γοθτικού τύπου με υλικό κάλυψης πολυαιθυλένιο χαμηλής πυκνότητας (LDPE), ενώ τα πλαϊνά τοιχώματα είναι κατασκευασμένα από πολυκαρβονικά φύλλα. Το ύψος υδρορροής ανέρχεται στα 5 m. Για την αποφυγή φυτρώματος ζιζανίων στο έδαφος χρησιμοποιήθηκε κάλυμμα εδαφοκάλυψης λευκού χρώματος από την πάνω πλευρά και μαύρου από την κάτω. Ως σύστημα δροσισμού, το θερμοκήπιο διαθέτει ένα πάνελ υγρής παρειάς, τέσσερις (4) ανεμιστήρες και δύο (2) παράθυρα οροφής με εντομοστεγανά δίχτυα. Το πάνελ υγρής παρειάς αποτελείται από πεπιεσμένο χαρτί το οποίο είναι εμποτισμένο με ειδικές ρητίνες που στην μία πλευρά του εφαρμόζεται ειδικός διανομέας για το νερό έτσι ώστε να ρέει ομοιόμορφα. Οι ανεμιστήρες είναι τοποθετημένοι στην βόρεια πλευρά του θερμοκηπίου και ακριβώς απέναντι από την πλευρά που είναι τοποθετημένα τα πάνελ δροσισμού (Εικόνα 6). Για την θέρμανση του θερμοκηπίου υπάρχει ένας αερολέβητας πετρελαίου ο οποίος καλύπτει πλήρως τις ανάγκες της καλλιέργειας σε θέρμανση (Εικόνα 7).



Εικόνα 5. Το πειραματικό θερμοκήπιο στις εγκαταστάσεις του αγροκτήματος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας (εντός κόκκινου πλαισίου).



Εικόνα 6. Συστήματα δροσισμού του θερμοκηπίου (αριστερά η υγρή παρειά και δεξιά οι ανεμιστήρες).



Εικόνα 7. Αερολέβητας πετρελαίου για την θέρμανση του θερμοκηπίου.

3.1.1. Εγκαταστάσεις υδροπονικής καλλιέργειας και λειτουργία

Το θερμοκήπιο αποτελείται από τέσσερις (4) γραμμές φύτευσης που η κάθε μια αποτελείται από τρία (3) ξεχωριστά αυτόνομα υδροπονικά κανάλια (Εικόνα 8) που κατανέμονται ουσιαστικά στα τρία (3) "διαμερίσματα" (blocks) του θερμοκηπίου. Τα υδροπονικά κανάλια είναι κατασκευασμένα από χάλυβα και απέχουν 1 m μεταξύ τους και 50 cm από το έδαφος. Σε όλα τα κανάλια χρησιμοποιήθηκαν σάκοι με περλίτη ως υπόστρωμα της καλλιέργειας.

Βασικό μέρος του εξοπλισμού του θερμοκηπίου είναι η κεφαλή υδρολίπανσης (Εικόνα 9, Αριστερά), υπεύθυνη για την παρασκευή όλων των διαλυμάτων στο θερμοκήπιο. Κύρια λειτουργία είναι η αραίωση των πυκνών υδροπονικών διαλυμάτων με νερό ή διάλυμα ιχθυοκαλλιέργειας μέχρι την επιθυμητή τιμή ηλεκτρικής αγωγιμότητας που έχει οριστεί από το λογισμικό ελέγχου. Μέσω των δοσομετρικών αντλιών που διαθέτει αντλεί και οξύ για την τιμή pH στόχο. Τα πυκνά διαλύματα και το οξύ βρίσκονται σε δεξαμενές χωρητικότητας των 120 L η καθεμία. Για τον έλεγχο των παραμέτρων η κεφαλή διαθέτει δύο αισθητήρες, έναν για την ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) και έναν για το pH του παραγόμενου θρεπτικού διαλύματος. Όταν το θρεπτικό διάλυμα είναι έτοιμο αποθηκεύεται σε δεξαμενές χωρητικότητας των 500 L από όπου αντλείται για την άρδευση της καλλιέργειας (Εικόνα 9, Δεξιά). Η άρδευση γίνεται με αντλίες παροχής στα κανάλια με σταλάκτη σε κάθε ρίζα φυτού. Τα κανάλια

ήταν διαμορφωμένα με κλίση έτσι ώστε οι απορροές της άρδευσης να καταλήγουν σε δεξαμενές. Τέλος οι απορροές της μεταχείρισης CAP και της HP επειδή ήταν ανοιχτά συστήματα απομακρύνονταν εκτός θερμοκηπίου.



Εικόνα 8. Υδροπονικά κανάλια με εγκατεστημένη καλλιέργεια αγγουριού.



Εικόνα 9. Κεφαλή υδρολίπανσης (Αριστερά). Δεξαμενές έτοιμου θρεπτικού διαλύματος (Δεξιά).

3.1.2. Εγκαταστάσεις συστήματος ιχθυοκαλλιέργειας και λειτουργία

Το σύστημα ιχθυοκαλλιέργειας είναι εγκατεστημένο σε ειδικό θάλαμο μέσα στο θερμοκήπιο από πάνελ (Εικόνα 12, Δεξιά). Η θερμοκρασία του χώρου ελέγχονταν από κλιματιστικό. Ο συνολικός όγκος νερού του συστήματος ανέρχονταν στα 6,6 m³. Τρεις ήταν οι δεξαμενές των ψαριών με όγκο 1,3 m³ η καθεμία (Εικόνα 10, Αριστερά). Το νερό ανακυκλώνονταν συνεχώς ακολουθώντας το σύστημα σωληνώσεων που ένωνε όλα τα μέρη του συστήματος. Από τις δεξαμενές των ψαριών το νερό μαζί με τα στερεά υπολείμματα της τιλάπιας πηγαίνει σε μια δεξαμενή Buffer χωρητικότητας 500 λίτρων (Εικόνα 10, Δεξιά), όπου η στερεά ουσία κατακάθεται και απομακρύνεται χειροκίνητα με την διαδικασία του σιφωνισμού.



Εικόνα 10. Δεξαμενή εκτροφής με τίλια (Αριστερά). Δεξαμενή Buffer (Δεξιά).

Έπειτα με την βοήθεια του μηχανικού φίλτρου (τύπου τύμπανου) (Εικόνα 11, Αριστερά), πραγματοποιείται η αυτόματη απομάκρυνση των στερεών σωματιδίων εκτός του θερμοκηπίου. Μετά την αυτόματη απομάκρυνση των στερεών το νερό καταλήγει σε βιοφίλτρο χωρητικότητας 500 λίτρων που είναι γεμάτο με υλικό πλήρωσης (ceramic rings), πάνω στο οποίο αναπτύσσονται βακτήρια που έχουν καθοριστικό ρόλο στην διαδικασία της νιτροποίησης (Εικόνα 11, Δεξιά). Στην συνέχεια το νερό συλλέγεται σε δεξαμενή των 2,5 m³ (Εικόνα 12, Αριστερά) το οποίο είναι έτοιμο είτε να επιστρέψει πίσω στις δεξαμενές ψαριών είτε να χρησιμοποιηθεί από την κεφαλή της υδρολίπανσης για την παρασκευή θρεπτικού διαλύματος. Η ποσότητα νερού που χρησιμοποιείται από την κεφαλή υδρολίπανσης για τις ανάγκες της καλλιέργειας των αγγουριών αντικαθίστανται από ίση ποσότητα νερού γεώτρησης που βρίσκεται εντός άλλης δεξαμενής χωρητικότητας 700 λίτρων. Η διαχείριση του νερού πραγματοποιείται από λογισμικό εγκατεστημένο σε ηλεκτρονικό υπολογιστή του θερμοκηπίου.



Εικόνα 11. Μηχανικό φίλτρο τύπου τυμπάνου (Αριστερά). Βιοφίλτρο με υλικό πλήρωσης (Δεξιά).

Η συγκέντρωση οξυγόνου παραμένει σε ιδανικά επίπεδα για την εκτροφή ιχθύων μέσω της αεραντλίας που είναι εγκατεστημένη και συστήματος σωληνώσεων που καταλήγουν σε αερόπετρες για την διανομή του αέρα στα διάφορα μέρη του συστήματος. Αισθητήρες πίεσης, pH, θερμοκρασίας (T), οξυγόνου (DO) και ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) είναι συνδεδεμένοι με βάση δεδομένων για την παρακολούθηση των παραμέτρων ποιότητας νερού αλλά και του συνολικού όγκου νερού του συστήματος που πρέπει να παραμένει σταθερός.



Εικόνα 12. Δεξαμενή συλλογής νερού για την χρήση του από την κεφαλή υδρολίπανσης (Αριστερά). Απεικόνιση του συστήματος ιχθυοκαλλιέργειας (Δεξιά).

3.2. Το πειραματικό σχέδιο

Το πειραματικό σχέδιο που ακολουθήθηκε ήταν το «Πλήρες τυχαιοποιημένο σχέδιο». Υπάρχει μια μεταχείριση και ο μάρτυρας με έξι επαναλήψεις για το καθένα στο χώρο. Η μεταχείριση ήταν η εφαρμογή ενυδρειοπονίας με προσθήκη λιπασμάτων (CAP) και ο μάρτυρας η υδροπονία (HP). Η μεταχείριση HP ήταν μια συμβατή υδροπονική καλλιέργεια αγγουριάς, ενώ η μεταχείριση CAP χρησιμοποιούσε το διάλυμα που προερχόταν από τα ψάρια. Πριν χρησιμοποιηθεί αυτό το διάλυμα γινόταν προσθήκη θρεπτικών, σύμφωνα με την συνταγή μιας πρότυπης υδροπονικής καλλιέργειας αγγουριάς και διορθωνόταν το pH και η ηλεκτρική αγωγιμότητα με θειικό και νιτρικό οξύ. Για λόγους συντομίας και διευκόλυνσης του αναγνώστη, όταν γίνεται αναφορά στην περίπτωση της υδροπονίας θα χρησιμοποιείται η συντομογραφία στα αγγλικά HP (Hydroponics) και για την ενυδρειοπονία με λίπασμα, CAP (Complemented Aquaponics).

3.3. Πειραματικό υλικό και καλλιεργητικές φροντίδες

3.3.1. Υλικό ιχθυοκαλλιέργειας

Η εκτροφή ψαριών αφορούσε το είδος τιλάπια (*Oreochromis mossambicus*). Τα ψάρια εγκαταστάθηκαν στις δεξαμενές με ιχθυοπυκνότητα $8,52 \text{ kg m}^{-3}$ και συνολικό αρχικό αριθμό και στις τρεις δεξαμενές 423. Το τάισμα πραγματοποιούνταν έως κορεσμό σε τρία γεύματα ανά μέρα με εμπορική τροφή (Prodac PONDSTICKS COLOR) σύστασης: πρωτεΐνη 23,00%, τέφρα 5,70%, ίνες 3,25%, λιπαρά 2,85% και υγρασία 4,80%. Το νερό ανανεώνονταν καθημερινά σε ποσοστό πάνω από 10% του συνολικού όγκου νερού του συστήματος ανάλογα με τις ανάγκες της καλλιέργειας σε νερό.

3.3.2. Φυτικό υλικό και εγκατάσταση

Η πυκνότητα φύτευσης ήταν $1,18 \text{ φυτά m}^2$. Στο σύνολο και για τις δύο μεταχειρίσεις εφαρμόστηκαν εκατόν ογδόντα τέσσερα (184) φυτά. Στην αρχή του πειράματος, από κάθε μεταχείριση και συγχρόνως τυχαία επιλέχθηκαν δώδεκα (12) πειραματικά φυτά, είκοσι τέσσερα (24) σύνολο και από τις δυο μαζί, δηλαδή οκτώ (8) φυτά από κάθε block για τους υπολογισμούς του ύψους και των φύλλων των φυτών. Όλα τα φυτά χρησιμοποιήθηκαν για τις μετρήσεις της παραγωγικότητας της καλλιέργειας. Τέλος για τις μετρήσεις χλωρού και ξηρού βάρους χρησιμοποιήθηκαν δώδεκα φυτά ένα από κάθε κανάλι. Τα φυτά εγκαταστάθηκαν στο θερμοκήπιο στις 21 Αυγούστου 2021 μέχρι τις 16 Νοεμβρίου του 2021. Ο βιολογικός κύκλος της καλλιέργειας ήταν 87 μέρες σχεδόν τρεις μήνες. Η καλλιέργεια αφορούσε την Αγγουριά (*Cucumis sativus* var. *Aisopos*). Κατά την μεταφύτευση τοποθετήθηκαν κύβοι πετροβάμβακα στους οποίους είχαν αναπτυχθεί τα σπορόφυτα πάνω στα ανοίγματα των σάκων περλίτη. Επιπλέον για τις ανάγκες κάθε φυτού τοποθετήθηκε ένας σταλάκτης πάνω σε κάθε κύβο πετροβάμβακα. Ακολούθησε στήριξη των φυτών αγγουριάς με πλαστικά δαχτυλίδια τα οποία στερέωναν τα φυτά σε κρεμασμένα σχοινιά από την οροφή του θερμοκηπίου, ώστε να έχουν μια κατακόρυφη ανάπτυξη. Ακολούθησε η αρίθμηση όλων των φυτών και των τυχαίων φυτών που επιλέχθηκαν για τις μετρήσεις. Τα πειραματικά φυτά που επιλέχθηκαν σε κάθε επανάληψη για τις εβδομαδιαίες μετρήσεις του ύψους και των φύλλων ήταν δύο και οι αριθμοί που τους αντιστοιχούσαν ήταν το τέσσερα (4) και το έντεκα (11). Για την μέτρηση του χλωρού και του ξηρού βάρους ανά δέκα μέρες γινόταν κοπή ενός τυχαίου φυτού πέρα από τα τέσσερα (4) και έντεκα (11) από κάθε κανάλι.

3.3.3. Καλλιεργητικές Φροντίδες

Παρακάτω γίνεται συνοπτική αναφορά στις καλλιεργητικές φροντίδες που πραγματοποιήθηκαν καθόλη την διάρκεια του πειράματος. Οι φροντίδες αυτές ήταν απαραίτητες έτσι ώστε τα φυτά να έχουν μια ομαλή ανάπτυξη για να αποφέρουν τη βέλτιστη παραγωγή καρπών υπό ενός διαμορφωμένου όσο γίνεται ευνοϊκού περιβάλλοντος για αυτά.

- **Κλάδεμα**

Ανά τακτά χρονικά διαστήματα γινόταν αφαίρεση πλαγίων βλαστών για την πιο παραγωγική και σωστή κατακόρυφη ανάπτυξη των φυτών. Οι πρώτοι πλαγίοι βλαστοί εμφανίστηκαν την δέκατη ημέρα του πειράματος. Επίσης την τριακοστή ένατη ημέρα έγινε η πρώτη κοπή φύλλων. Συνολικά έγιναν τέσσερις αποφυλλώσεις, αυτό γινόταν όποτε ήταν αναγκαίο και συνήθως στο κατέβασμα των φυτών όταν ξεπερνούσαν στο ύψος το σημείο που ήταν κρεμασμένα τα σχοινιά στήριξης.

- **Στήριξη φυτών**

Η στήριξη ενός φυτού είναι πολύ σημαντική τόσο για την καλύτερη ανάπτυξη του όσο και για τον περιορισμό διάφορων ασθενειών. Αρχικά το φυτό στηρίζεται για να έρχεται σε καλύτερη επαφή με τον ήλιο και για να αερίζεται περισσότερο έτσι ώστε να παρουσιάσει καλύτερη παραγωγή. Αυτό συμβαίνει διότι με καλό αερισμό δεν δημιουργούνται ιδανικές συνθήκες ανάπτυξης για προσβολές από έντομα, μύκητες κ.α.. Κάθε φυτό είχε δεθεί με σπάγκο στην βάση του και όλοι οι σπάγκοι σε οριζόντια σύρματα πάνω από τα φυτά στο θερμοκήπιο. Η σύνδεση του φυτού και του σπάγκου έγινε με ειδικά πλαστικά δαχτυλίδια, τα οποία τοποθετήθηκαν κάτω από τους μίσχους των φύλλων της αγγουριάς. Για την ιδανική στήριξη των αγγουριών χρησιμοποιήθηκε ένα δαχτυλίδι ανά δύο μίσχους. Αυτό έγινε επειδή οι αγγουριές είναι φυτά που σπάνε εύκολα λόγω του φορτίου των καρπών που φέρουν.

- **Άρδευση**

Όπως έγινε αναφορά παραπάνω η άρδευση της καλλιέργειας γίνονταν στάγδην, μέσω σταλακτών από την κεφαλή υδρολίπανσης. Οι καθημερινές ανάγκες των φυτών για άρδευση ήταν $0,52 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$ για την υδροπονία (HP) και $0,49 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$ για την ενυδρειοπονία με λίπασμα (CAP).

- **Λίπανση**

Για την λίπανση της καλλιέργειας χρησιμοποιήθηκαν δύο συνταγές. Η πρώτη συνταγή αφορούσε την ανάπτυξη της βλάστησης της καλλιέργειας και η δεύτερη την καρποφορία. Όπως φαίνεται και από τον Πίνακα 5. κατά την διάρκεια του σταδίου της καρποφορίας συγκριτικά με το βλαστικό στάδιο μειώθηκε η χορήγηση αζώτου, ασβεστίου, μαγνησίου και σιδήρου, ενώ αυξήθηκε το θείο και το κάλιο που είναι πιο σημαντικά στοιχεία για την ανάπτυξη των καρπών.

Πίνακας 5. Συνταγή λίπανσης σε κάθε στάδιο της καλλιέργειας σε mM L^{-1} (Σάββας, 2011).

	NO ₃	NH ₄	PO ₄	K	Ca	Mg	Na	SO ₄	Cl	Fe	B	Cu	Zn	Mn	Mo
ΒΛΑΣΤΙΚΟ ΣΤΑΔΙΟ	14,75	1,4	1,25	6,2	4,15	1,6	0	1,3	0	15	25	0,8	5	10	0,5
ΣΤΑΔΙΟ ΚΑΡΠΟΦΟΡΙΑΣ	13,75	1,4	1,15	7,2	3,4	1,4	0	1,4	0	0,02	25	0,8	5	10	0,5

- **Συγκομιδή**

Η συγκομιδή ξεκίνησε την εικοστή τέταρτη μέρα του πειράματος (14/09/2020) και γινόταν τρεις με τέσσερις φορές την εβδομάδα. Οι καρποί συλλέγονταν στο κατάλληλο μέγεθος δηλαδή όταν παρουσίαζαν χαρακτηριστικά εμπορεύσιμου καρπού. Ένας καρπός θεωρείται εμπορεύσιμος όταν το βάρος του είναι μεγαλύτερο από τα διακόσια (200) γραμμάρια και όταν το μήκος του είναι μεγαλύτερο από τα τριάντα (30) εκατοστά. Επίσης για να είναι εμπορεύσιμος ένας καρπός αγγουριού πρέπει να έχει όσο

το δυνατόν πιο ευθύγραμμο σχήμα (Εικόνα 14). Τέλος οι μη εμπορεύσιμοι καρποί οφείλονταν κατά κύριο λόγο στο μη ευθύγραμμο σχήμα τους (λόγω της προσβολής από τον θρίπα) και σε λιγότερο έως μηδαμινό ποσοστό σε λάθος κοπή.



Εικόνα 14. Συγκομιδή καρπών αγγουριού.



Εικόνα 13. Δεξιά εμπορεύσιμος και αριστερά μη εμπορεύσιμος καρπός αγγουριού.

3.4. Μετρήσεις

3.4.1. Μετρήσεις στο θερμοκήπιο

Οι μετρήσεις στο θερμοκήπιο αφορούσαν τόσο την αύξηση και ανάπτυξη των φυτών αγγουριάς όσο και την αποδοτικότητα τους. Με την έναρξη του πειράματος όπως αναφέρθηκε παραπάνω έγινε επιλογή οχτώ (8) φυτών από κάθε μπλοκ για τις μετρήσεις του μήκους του βλαστού (ύψος) και του αριθμού των φύλλων του φυτού ανά επτά (7) ημέρες. Όσον αφορά στις μετρήσεις του χλωρού και ξηρού βάρους πραγματοποιήθηκαν με την επιλογή τυχαίου φυτού κάθε φορά ανά δέκα ημέρες (10) περίπου, πέραν των πειραματικών φυτών. Επιπλέον στις μετρήσεις της συγκομιδής καταμετρώνταν ο συνολικός αριθμός και το βάρος των παραγόμενων καρπών σε κάθε κανάλι τέσσερις (4) περίπου μέρες την εβδομάδα. Οι μετρήσεις αύξησης και ανάπτυξης των φυτών γινόντουσαν κάθε εβδομάδα εκτός από αυτές του χλωρού και ξηρού βάρους των φύλλων και βλαστών αντίστοιχα.

Οι μετρήσεις αύξησης και αποδοτικότητας των φυτών επικεντρώνονται λοιπόν στην παρακάτω λίστα και πραγματοποιούνται σύμφωνα με τις ημερομηνίες που παρατίθενται στον Πίνακα 6:

- αριθμός φύλλων
- μήκος βλαστού (ύψος)
- χλωρό βάρος φύλλων και βλαστών
- ξηρό βάρος φύλλων και βλαστών
- αριθμός παραγόμενων καρπών
- βάρος παραγόμενων καρπών

Πίνακας 6. Οι ημερομηνίες πραγματοποίησης των μετρήσεων.

Αριθμός φύλλων- Μήκος βλαστού	Χλωρό-Ξηρό βάρος φύλλων και βλαστών	Αριθμός και βάρος εμπορεύσιμων καρπών	Αριθμός και βάρος εμπορεύσιμων καρπών	Αριθμός και βάρος εμπορεύσιμων καρπών
21/8/2020	21/8/2020	14/9/2020	30/9/2020	23/10/2020
28/8/2020	1/9/2020	16/9/2020	1/10/2020	26/10/2020
4/9/2020	11/9/2020	17/9/2020	2/10/2020	27/10/2020
11/9/2020	21/9/2020	18/9/2020	5/10/2020	29/10/2020
18/9/2020	1/10/2020	21/9/2020	6/10/2020	30/10/2020
25/9/2020	11/10/2020	22/9/2020	8/10/2020	2/11/2020
2/10/2020	22/10/2020	23/9/2020	9/10/2020	4/11/2020
9/10/2020	3/11/2020	24/9/2020	12/10/2020	6/11/2020
16/10/2020		25/9/2020	14/10/2020	9/11/2020
23/10/2020		26/9/2020	17/10/2020	11/11/2020
30/10/2020		28/9/2020	19/10/2020	13/11/2020
5/11/2020		29/9/2020	22/10/2020	16/11/2020

Τις πρωινές ώρες γινόντουσαν οι μετρήσεις για να μην καταπονηθούν τα φυτά από τις υψηλές θερμοκρασίες που επικρατούν το μεσημέρι και κατά συνέπεια επηρεαστούν οι μετρήσεις. Τα μήκη των καρπών μετρήθηκαν με μεζούρα του ενός μέτρου και το βάρος των καρπών με ζυγαριά. Όσον αφορά στην μέτρηση του χλωρού βάρους των φύλλων και των βλαστών πραγματοποιήθηκε με την κοπή ενός φυτού από κάθε κανάλι πέραν των πειραματικών. Ύστερα αφαιρέθηκαν τα φύλλα με τον μίσχο τους μαζί και ζυγίστηκαν σε ζυγαριά για να υπολογιστεί το χλωρό τους βάρος. Με την αφαίρεση των φύλλων μαζί με τους μίσχους τους έμεινε ο βλαστός ο οποίος με την σειρά του τοποθετήθηκε στην ζυγαριά και ζυγίστηκε για να υπολογιστεί το χλωρό του βάρος. Στην συνέχεια τα φύλλα και οι βλαστοί τοποθετήθηκαν σε ειδικούς φούρνους ξήρανσης, έτσι ώστε να απομακρυνθεί η υγρασία. Με την απομάκρυνση της υγρασίας, δηλαδή την διαδικασία της αποξήρανσης, τα φυτά ζυγίστηκαν και μετρήθηκε το ξηρό τους βάρος. Οι μετρήσεις του αριθμού των φύλλων και του μήκους γινόντουσαν την ίδια μέρα, ενώ οι μετρήσεις του χλωρού και του ξηρού βάρους των φυτών γίνονταν με διαφορά μιας με δύο μέρες διότι η διαδικασία της αποξήρανσης απαιτούσε 48 ώρες..

Οι συγκομιδές των αγγουριών όπως έγινε αναφορά και παραπάνω γινόντουσαν συνήθως τέσσερις φορές κάθε εβδομάδα και αφορούσαν όλα τα φυτά από κάθε κανάλι συμπεριλαμβανόμενου και των πειραματικών. Συνολικά στην πορεία του πειράματος πραγματοποιήθηκαν τριάντα έξι (36) συγκομιδές (Πίνακας 6.). Η συλλογή των καρπών πραγματοποιήθηκε αρχικά με την κοπή τους εφόσον είχαν το χαρακτηριστικό μήκος που τους καθιστούν εμπορεύσιμους ,δηλαδή να ξεπερνά τα τριάντα (30) εκατοστά. Η κοπή τους έγινε με κλαδευτήρι και η μεταφορά τους για το ζύγισμα με τελάρο (Εικόνα 13.). Οι μετρήσεις της συγκομιδής των εμπορεύσιμων καρπών γινόντουσαν άμεσα και τις πρωινές ώρες για να μην έχουμε απώλειες βάρους της υγρασίας τους από την αναπνοή.

3.4.2. Εργαστηριακές μετρήσεις

Οι μετρήσεις που έγιναν στο εργαστήριο αφορούσαν το ξηρό βάρος των φύλλων και των βλαστών. Αυτό έγινε διότι το εργαστήριο διαθέτει ειδικούς φούρνους αποξήρανσης (Εικόνα 15), οπότε κατευθείαν μετά την αποξήρανση τους, τα φύλλα και οι βλαστοί ζυγίζονταν επιτόπου σε ζυγαριές που διαθέτει το εργαστήριο. Η θερμοκρασία αποξήρανσης που ορίστηκε ήταν 75 °C.



Εικόνα 15. Φούρνος αποξήρανσης των φυτών για την καταμέτρηση του ξηρού βάρους.

3.4.3. Υπολογισμοί

Οι υπολογισμοί που πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο είναι ο λόγος χλωρού προς ξηρού βάρους των βλαστών και των φύλλων των αγγουριών και η απόδοση του αριθμού και του βάρους των καρπών ανά τετραγωνικό. Αρχικά ζυγίστηκαν τα χλωρά βάρη των βλαστών και των φύλλων των φυτών και έπειτα από την αποξήρανση τους ζυγίστηκαν τα ξηρά βάρη τους. Για κάθε φυτό πραγματοποιήθηκε η διαίρεση με αριθμητή το βάρος των χλωρών φύλλων και παρανομαστή το βάρος των ξηρών φύλλων, αντίστοιχα πραγματοποιήθηκε η ίδια διαδικασία και για τους βλαστούς. Έτσι προέκυψαν οι λόγοι χλωρού προς ξηρού βάρους των φύλλων και των βλαστών. Όσον αφορά την απόδοση του αριθμού και του βάρους των καρπών ανά τετραγωνικό, υπολογίστηκε με την διαίρεση του συνολικού αριθμού των καρπών και αντίστοιχα του συνολικού βάρους προς τα συνολικά τετραγωνικά της καλλιέργειας επί της εκατό (%).

3.5. Στατιστική ανάλυση και επεξεργασία δεδομένων

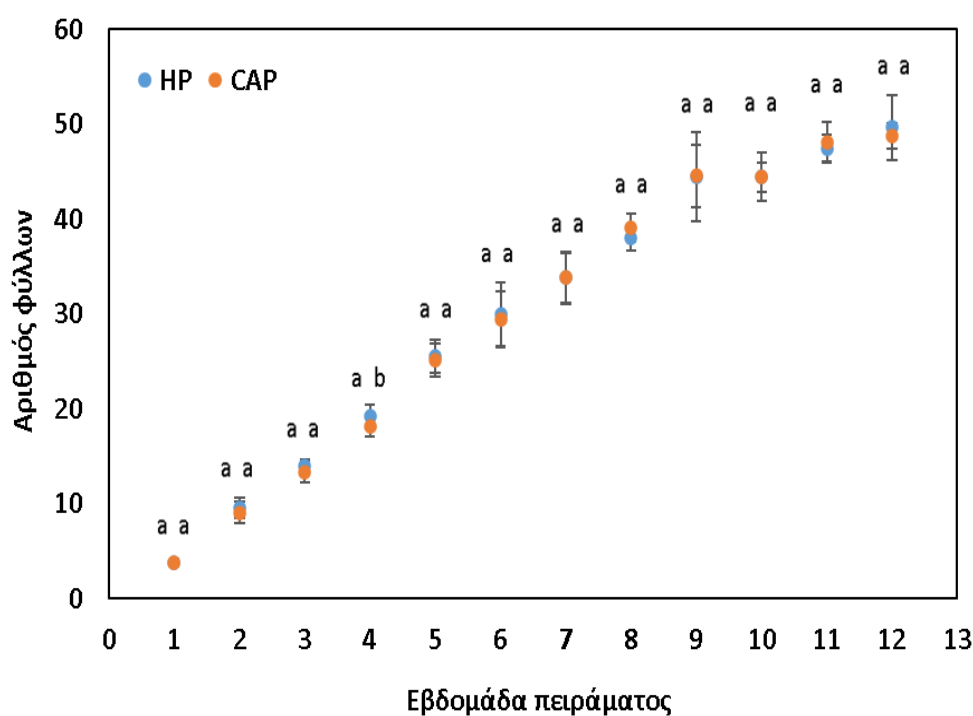
Οι μετρήσεις του πειράματος μεταφέρθηκαν στο EXCEL για τις περαιτέρω επεξεργασίες και τον σχηματισμό γραφημάτων και πινάκων που θα παρουσιαστούν σε παρακάτω ενότητα. Όσον αφορά την στατιστική ανάλυση των μετρήσεων πραγματοποιήθηκε με την βοήθεια του στατιστικού πακέτου IBM SPSS Statistics 26. Για κάθε μεταχείριση και μέτρηση, έγινε σύγκριση όλων των παραμέτρων τους με το General Linear Model έχοντας ως επίπεδο σημαντικότητας $P=0.05$.

Κεφάλαιο 4. Αποτελέσματα

4.1. Αγρονομικά χαρακτηριστικά καλλιέργειας

4.1.1. Αριθμός φύλλων

Η στατιστική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στο πείραμα αυτό έδειξε ότι, ο αριθμός των φύλλων της αγγουριάς δεν διέφερε στατιστικά αξιόλογα ($\text{sig}=0,05$). Όπως φαίνεται και στο παρακάτω διάγραμμα (Διάγραμμα 2) οι μεταχειρίσεις παρουσίασαν σχεδόν ίσο μέσο όρο αριθμού φύλλων σε κάθε εβδομάδα. Την τέταρτη και όγδοη πειραματική εβδομάδα παρατηρήθηκε η μεγαλύτερη διαφορά αριθμού φύλλων κατά μέσο όρο μεταξύ των μεταχειρίσεων της HP και της CAP για τα επιλεγμένα πειραματικά φυτά, και πιο συγκεκριμένα αυτή η διαφορά ήταν 1,08. Αντίθετα την πρώτη και την έβδομη εβδομάδα η διαφορά αριθμού φύλλων κατά μέσο όρο μεταξύ των μεταχειρίσεων αυτών διαπιστώθηκε ότι ισούταν με 0. Τέλος, την δωδέκατη εβδομάδα (τελευταία πειραματική εβδομάδα) ο μέσος όρος του αριθμού των φύλλων ήταν 49,67 για την HP και 48,83 για την CAP.

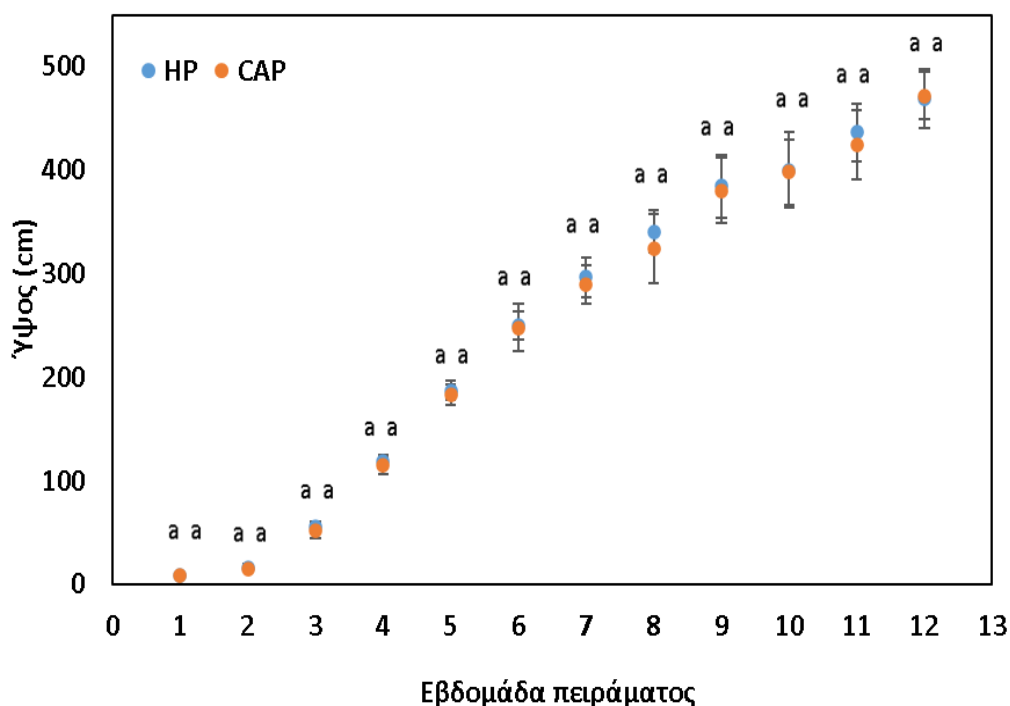


Διάγραμμα 2. Διακύμανση τιμών αριθμού φύλλων αγγουριού για τις μεταχειρίσεις HP και CAP καθόλη την καλλιεργητική περίοδο.

4.1.2. Μήκος βλαστού

Το μήκος των βλαστών της αγγουριάς δηλαδή τα ύψη των φυτών όπως και ο αριθμός των φύλλων δεν διέφεραν στατιστικά σημαντικά ($\text{sig}=0,005$). Από το παρακάτω διάγραμμα (Διάγραμμα 3) φαίνεται ότι το μέσο ύψος των μεταχειρίσεων HP και CAP ήταν περίπου ίδιος σε κάθε εβδομάδα που συγκρίθηκαν. Την πρώτη εβδομάδα ο μέσος όρος των υψών των φυτών της μεταχείρισης της HP και της CAP αντίστοιχα αντιστοιχούσε σε 8.60 εκατοστά (cm). Την τελευταία εβδομάδα ο μέσος όρος των υψών των φυτών ανέρχονταν στα 469,5 εκατοστά (cm) για την HP και 472 εκατοστά για την CAP (cm). Η τελευταία εβδομάδα ήταν η μοναδική στην οποία το μέσο ύψος

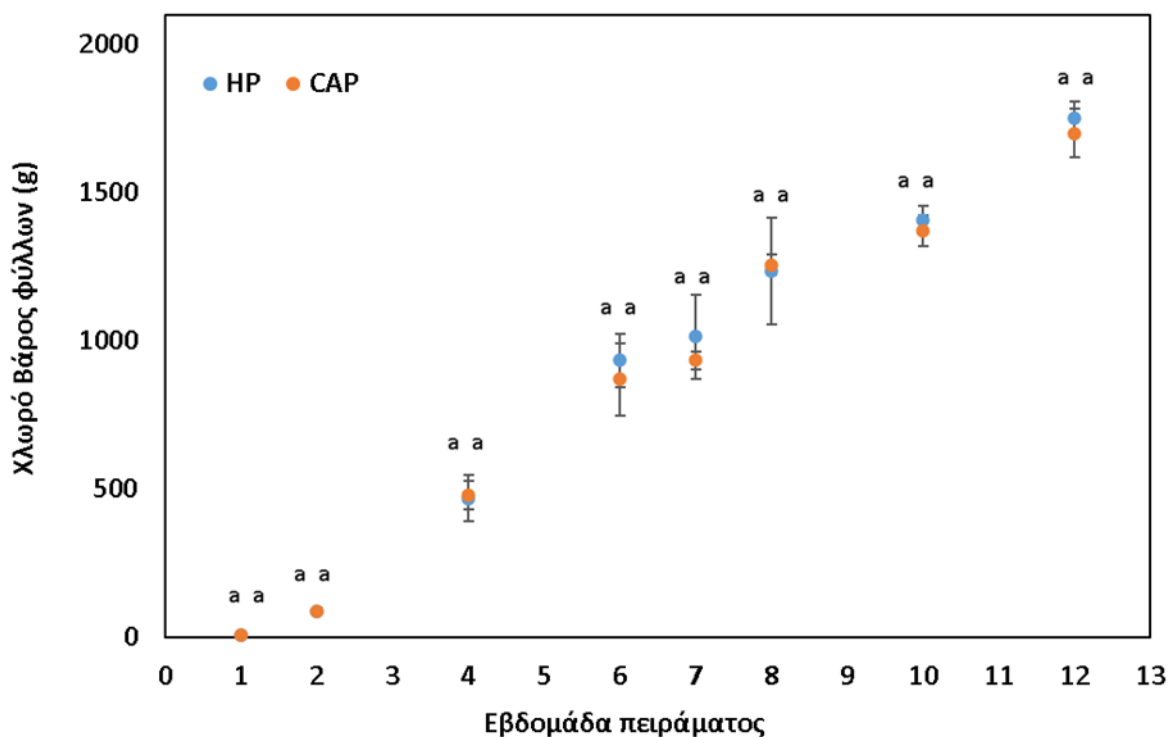
των φυτών της μεταχείρισης CAP ήταν μεγαλύτερο από αυτό της μεταχείρισης της HP. Τέλος, τις υπόλοιπες εβδομάδες δηλαδή την εβδομάδα 2,3,4,5,6,7,8,9,10,11 υπερίσχυε σε μέσο όρο υψών των φυτών η μεταχείριση της HP.



Διάγραμμα 3. Το μέσο ύψος των φυτών.

4.1.3. Χλωρό βάρος φύλλων

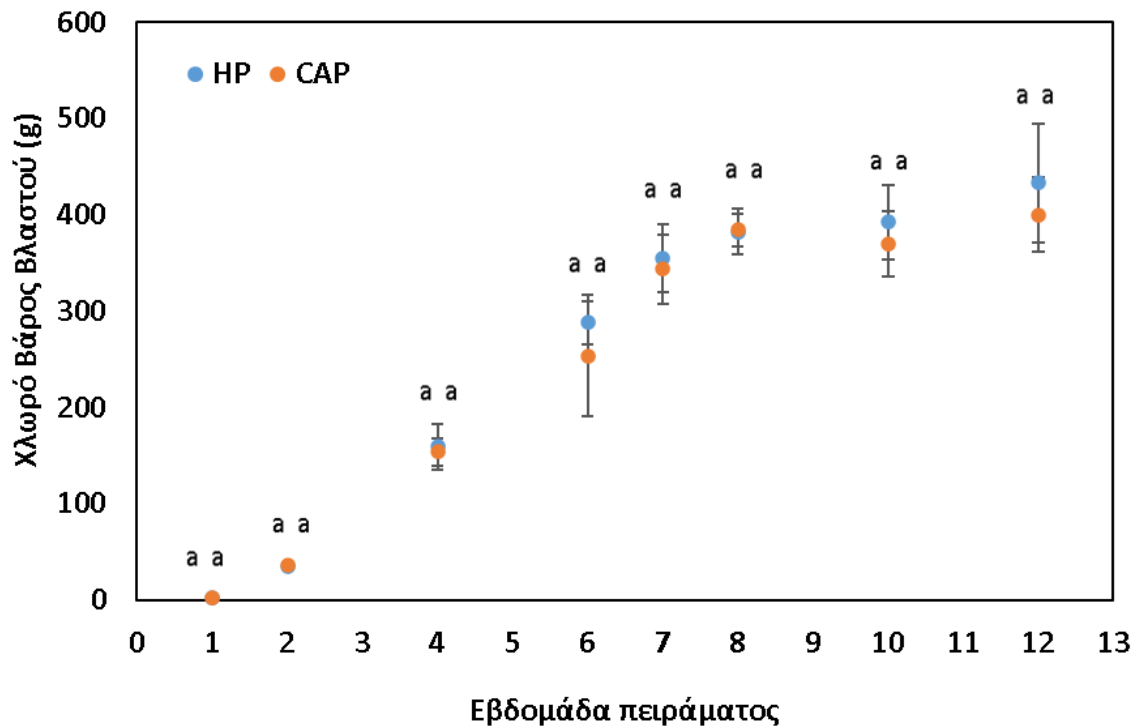
Το χλωρό βάρος των φύλλων δεν παρουσίασε ιδιαίτερη στατιστική διαφορά (sig=0,05). Όπως φαίνεται και από το Διάγραμμα 4, οι μέσοι όροι του χλωρού βάρους των φύλλων των δύο μεταχειρίσεων (HP και CAP) ήταν αρκετά κοντά. Η μοναδική εβδομάδα που ο μέσος όρος της μέτρησης του χλωρού βάρους των φύλλων ήταν ίδια και για τις δύο μεταχειρίσεις ήταν η πρώτη εβδομάδα και συγκεκριμένα το βάρος τους ήταν 7,07 γραμμάρια (g). Τις εβδομάδες 2,4,8 η μεταχείριση της ενυδραιοπονίας με λίπασμα (CAP) ξεπέρασε σε βάρος αυτή της υδροπονίας (HP). Τις υπόλοιπες εβδομάδες δηλαδή τις 6,7,10 και 12 η μεταχείριση της HP υπερεπέρσε σε μέσο όρο χλωρού βάρους φύλλων έναντι της CAP. Η μεγαλύτερη διαφορά μεταξύ των μέσων όρων χλωρού βάρους των φύλλων των δύο μεταχειρίσεων σημειώθηκε την έβδομη εβδομάδα με ποσοστό 7,79 % περισσότερο για την HP έναντι της CAP. Αντίθετα η μικρότερη διαφορά μεταξύ των μέσων όρων χλωρού βάρους των φύλλων των δύο μεταχειρίσεων σημειώθηκε την δεύτερη εβδομάδα με ποσοστό 0,135 % περισσότερο για την μεταχείριση της ενυδραιοπονίας με λίπασμα (CAP) έναντι της υδροπονίας (HP). Τέλος, ο μέσος όρος του χλωρού βάρους την τελευταία εβδομάδα έφτασε τα 1750,65 γραμμάρια (g) για την HP και τα 1701,43 γραμμάρια (g) για την CAP αντίστοιχα.



Διάγραμμα 4. Μέσο χλωρό βάρος φύλλων.

4.1.4. Χλωρό βάρος βλαστών

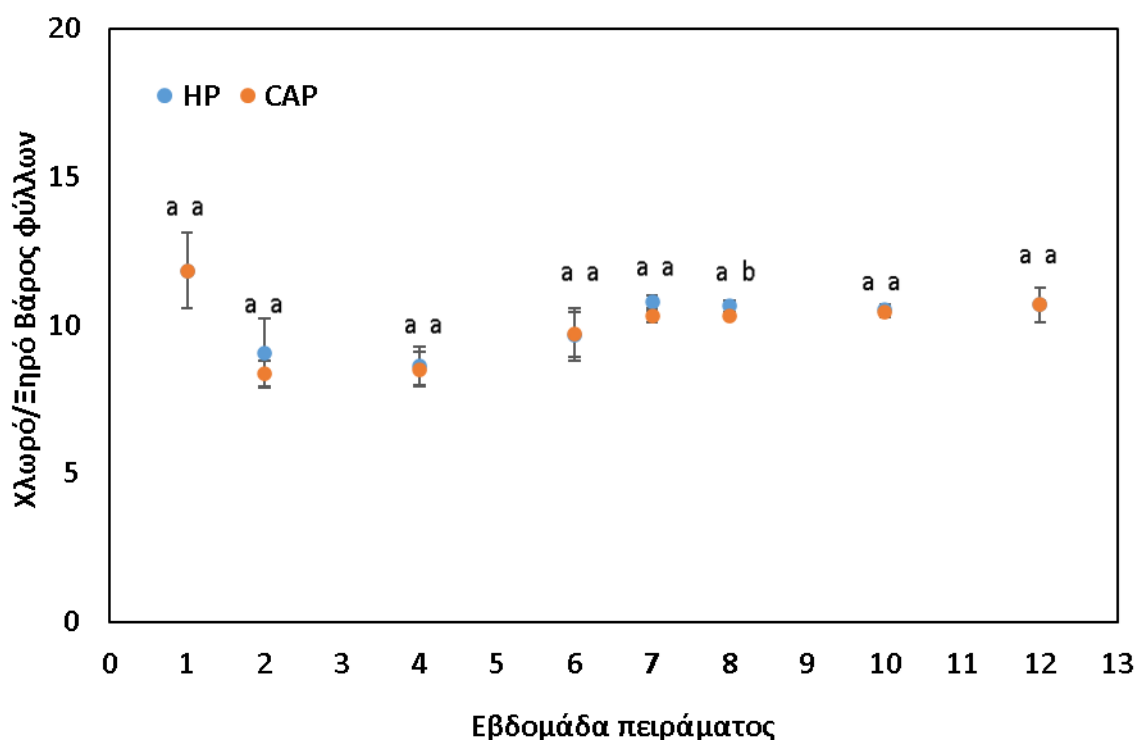
Το χλωρό βάρος των βλαστών που η μέτρησή του πραγματοποιούνταν μαζί με αυτή του χλωρού βάρους των φύλλων δεν παρουσίασε σημαντική στατιστική διαφορά ($\text{sig}=0,05$). Όπως βλέπουμε και από το Διάγραμμα 5, οι μέσοι όροι του χλωρού βάρους των βλαστών των δύο μεταχειρίσεων (HP και CAP) πλησίαζαν αρκετά ο ένας τον άλλο. Η πρώτη εβδομάδα ήταν η μοναδική εβδομάδα που ο μέσος όρος της μέτρησης του χλωρού βάρους των βλαστών ήταν ίδια και για τις δύο μεταχειρίσεις και συγκεκριμένα το βάρος τους ήταν 2,44 γραμμάρια (g). Οι εβδομάδες όπου η μεταχείριση της ενυδρειοπονίας με λίπασμα (CAP) ξεπέρασε σε βάρος αυτή της υδροπονίας (HP) ήταν οι 2 και η 8. Τις υπόλοιπες εβδομάδες δηλαδή τις 4,6,7,10 και 12 η μεταχείριση της HP υπερτερούσε σε μέσο όρο χλωρού βάρους βλαστών έναντι της CAP. Η μεγαλύτερη διαφορά μεταξύ των μέσων όρων χλωρού βάρους των βλαστών των δύο μεταχειρίσεων σημειώθηκε την έκτη εβδομάδα με ποσοστό 11,93 % περισσότερο για την HP έναντι της CAP. Αντίθετα η μικρότερη διαφορά μεταξύ των μέσων όρων χλωρού βάρους των βλαστών των δύο μεταχειρίσεων σημειώθηκε την δεύτερη εβδομάδα με ποσοστό 4,17 % περισσότερο για την μεταχείριση της ενυδρειοπονίας με λίπασμα (CAP) έναντι της υδροπονίας (HP). Τέλος, ο μέσος όρος του χλωρού βάρους την τελευταία εβδομάδα έφτασε τα 399,95 γραμμάρια (g) για την CAP και τα 433 γραμμάρια (g) για την HP.



Διάγραμμα 5. Μέσος όρος χλωρού βάρους βλαστών.

4.1.5. Λόγος χλωρού προς ξηρού βάρους φύλλων

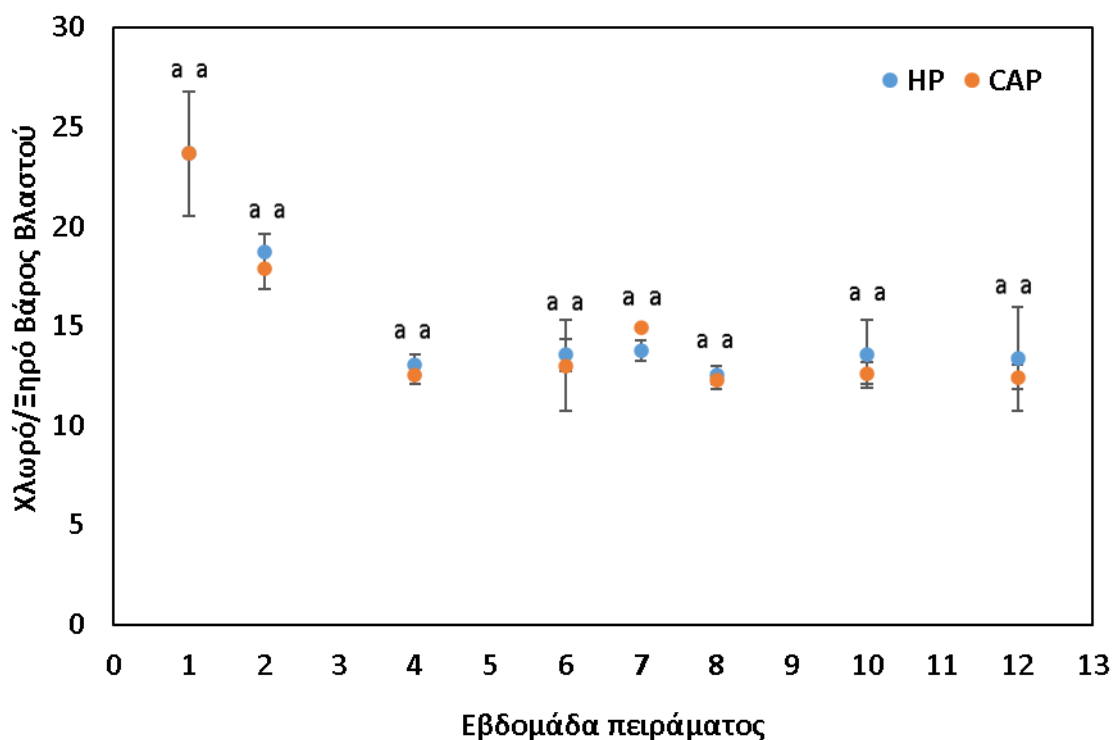
Όσον αφορά την στατιστική ανάλυση των λόγων των μέσων όρων του χλωρού προς ξηρού βάρους των φύλλων της αγγουριάς που πραγματοποιήθηκε με το πρόγραμμα spss δεν διέφεραν στατιστικά σημαντικά ($\text{sig}=0,05$). Ο μεγαλύτερος μέσος όρος των λόγων παρατηρήθηκε την πρώτη εβδομάδα όπως μπορεί να διακρίνει κανείς και οπτικά από το Διάγραμμα 6, και ήταν ίδιος και για τις δύο μεταχειρίσεις με τιμή 11,84. Αντίθετα ο μικρότερος μέσος όρος των λόγων χλωρού προς ξηρού βάρους φύλλων για την μεταχείριση της CAP ήταν την δεύτερη εβδομάδα με τιμή 8,36 ενώ αντίστοιχα για την μεταχείριση της HP ήταν την τέταρτη εβδομάδα με τιμή 8,62. Η μεγαλύτερη διαφορά των μέσων όρων των λόγων αυτών μεταξύ των δυο μεταχειρίσεων παρατηρήθηκε την δεύτερη εβδομάδα σε ποσοστό 7,5 % περισσότερο για την HP. Η μικρότερη διαφορά των μέσων όρων των λόγων χλωρού προς ξηρού βάρους φύλλων μεταξύ των δυο μεταχειρίσεων παρατηρήθηκε την έκτη εβδομάδα με ποσοστό 0,1 % περισσότερο για την ενυδραιοπονία με λίπασμα (CAP). Επίσης, παρατηρήθηκε ότι τις εβδομάδες 6 και 12 οι μέσοι όροι των λόγων του χλωρού προς ξηρού βάρους των φύλλων της CAP ξεπερνούσε τους αντίστοιχους μέσους όρους της HP. Όμως τις εβδομάδες 2,4,7,8 και 10 οι μέσοι όροι των λόγων του χλωρού προς ξηρού βάρους των φύλλων της μεταχείρισης της υδροπονίας (HP) υπερτερούσαν αυτών της ενυδραιοπονίας με λίπασμα (CAP).



Διάγραμμα 6. Μέσος όρος λόγων χλωρού προς ξηρού βάρους φύλλων.

4.1.6. Λόγος χλωρού προς ξηρού βάρους βλαστών

Η στατιστική ανάλυση των λόγων των μέσων όρων του χλωρού προς ξηρού βάρους των βλαστών που πραγματοποιήθηκε με το πρόγραμμα spss δεν διέφεραν στατιστικά σημαντικά ($\text{sig}=0,05$). Επίσης ο μεγαλύτερος μέσος όρος των λόγων σημειώθηκε την πρώτη εβδομάδα όπως μπορεί να αντιληφθεί κανείς από το Διάγραμμα 7. και ήταν ίδιος και για τις δύο μεταχειρίσεις με τιμή 23,65. Αντίθετα ο μικρότερος μέσος όρος των λόγων χλωρού προς ξηρού βάρους βλαστών για την μεταχείριση της CAP ήταν την όγδοη εβδομάδα και η τιμή του ήταν 12,26, όπως αντίστοιχα παρατηρήθηκε και για την μεταχείριση της HP την όγδοη εβδομάδα με τιμή 12,53. Η μεγαλύτερη διαφορά των μέσων όρων των λόγων αυτών μεταξύ των δυο μεταχειρίσεων παρατηρήθηκε την έβδομη εβδομάδα σε ποσοστό 8 % περισσότερο για την CAP. Η μικρότερη διαφορά των μέσων όρων των λόγων χλωρού προς ξηρού βάρους φύλλων μεταξύ των δυο μεταχειρίσεων παρατηρήθηκε την όγδοη εβδομάδα με ποσοστό 2,1 % περισσότερο για την μεταχείριση της HP. Επιπλέον, παρατηρήθηκε ότι μόνο την έβδομη εβδομάδα ο μέσος όρος του λόγου του χλωρού προς ξηρού βάρους των φύλλων της CAP ξεπερνούσε τον αντίστοιχο μέσο όρο της HP. Όμως τις υπόλοιπες εβδομάδες δηλαδή 2,4,6,8,10 και 12 οι μέσοι όροι των λόγων του χλωρού προς ξηρού βάρους των φύλλων της μεταχείρισης της υδροπονίας (HP) υπερτερούσαν αυτών της ενυδρείοπονίας με λίπασμα (CAP).

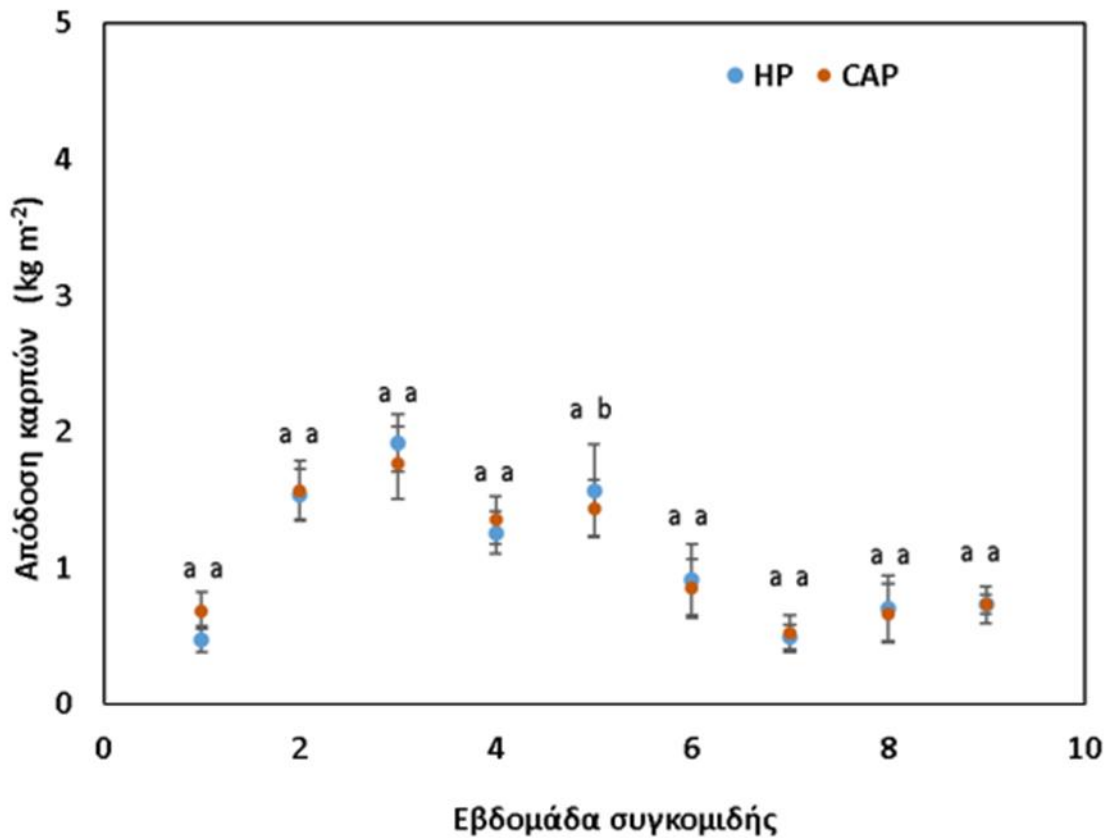


Διάγραμμα 7. Μέσος όρος χλωρού προς ξηρού βάρους βλαστών.

4.2. Μετρήσεις απόδοσης καλλιέργειας

4.2.1. Απόδοση καρπών

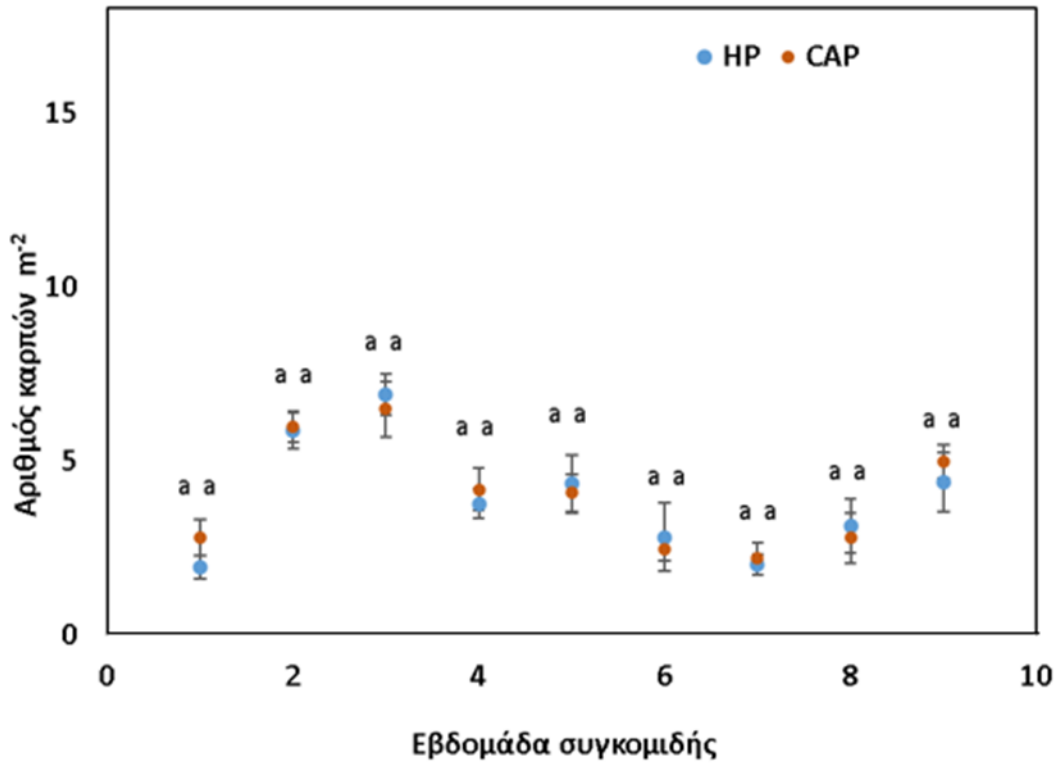
Από τη στατιστική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε, η απόδοση των καρπών δεν διέφερε στατιστικά σημαντικά ($\text{sig}=0,05$) μεταξύ των μεταχειρίσεων. Όπως φαίνεται και στο Διάγραμμα 8, οι μεταχειρίσεις δεν παρουσίασαν μεγάλες διαφορές ως προς τον μέσο όρο των αποδόσεων των καρπών σε κάθε εβδομάδα. Τις 5 από τις 9 εβδομάδες η μεταχείριση της ενυδρείοπονίας με προσθήκη λιπάσματος (CAP) υπερέφερε της αντίστοιχης της υδροπονίας (HP). Η μεγαλύτερη διαφορά μέσων όρων απόδοσης καρπών (kg m^{-2}) σημειώθηκε την πρώτη πειραματική εβδομάδα και ήταν 0,22 με την υδροπονία να έχει 0,47 και την ενυδρείοπονία με λίπασμα 0,69. Αντίθετα, η μικρότερη διαφορά μέσων όρων απόδοσης καρπών (kg m^{-2}) πραγματοποιήθηκε την ένατη και τελευταία εβδομάδα με την CAP να υπερέχει ξανά έναντι της HP για 0,01 με την CAP να έχει 0,74 και την HP να έχει 0,73. Τέλος, βγάζοντας έναν γενικό μέσο όρο από τις εβδομάδες των μετρήσεων των μέσων όρων των αποδόσεων διαπιστώθηκε ελάχιστη διαφορά με 0,01 ανάμεσα στις δύο αυτές μεταχειρίσεις και πιο συγκεκριμένα η υδροπονία είχε $1,07 \text{ kg/m}^{-2}$ ενώ αντίστοιχα η ενυδρείοπονία με λίπασμα είχε $1,06 \text{ kg/m}^{-2}$.



Διάγραμμα 8. Μέσος όρος απόδοσης καρπών ανά τετραγωνικό μέτρο.

4.2.2. Αριθμός καρπών

Όπως και στις προαναφερόμενες μετρήσεις, έτσι και στην μέτρηση του αριθμού των καρπών της αγγουριάς δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές στατιστικά διαφορές έπειτα από στατιστική ανάλυση. Ο γενικός μέσος όρος των 9 εβδομάδων συγκομιδής για κάθε μεταχείριση ξεχωριστά είναι 3,98 καρποί ανά τετραγωνικό μέτρο για την CAP και 3,9 καρποί ανά τετραγωνικό μέτρο για την HP. Την τρίτη εβδομάδα του πειράματος καταγράφηκε ο μεγαλύτερος μέσος όρος αριθμού καρπών ανά τετραγωνικό μέτρο για την CAP και την HP και ήταν 6,47 και 6,90 αντίστοιχα. Αντίθετα, η μικρότερη τιμή για την CAP παρατηρήθηκε την έβδομη εβδομάδα και ήταν 2,18 καρποί ανά τετραγωνικό μέτρο, ενώ για την HP η μικρότερη τιμή που ήταν 1,94 σημειώθηκε την πρώτη εβδομάδα του πειράματος. Από τις 9 εβδομάδες συγκομιδής, η μεταχείριση της ενυδρειοπονίας με συμπλήρωμα λιπάσματος υπερτερούσε τις 5 εβδομάδες της μεταχείρισης συμβατής υδροπονίας ως προς τον μέσο όρο του αριθμού αγγουριών στο τετραγωνικό μέτρο. Η μεγαλύτερη διαφορά μεταξύ των μέσων όρων των δύο μεταχειρίσεων όπως φαίνεται και στο Διάγραμμα 9 σημειώθηκε την πρώτη εβδομάδα με 0,84 (σχεδόν διαφορά ενός αγγουριού) αριθμό καρπών ανά τετραγωνικό μέτρο. Την ακριβώς επόμενη εβδομάδα, δηλαδή την δεύτερη, παρατηρήθηκε η μικρότερη διαφορά μεταξύ αυτών των μέσων όρων που ήταν μόλις 0,11 περισσότερο για την CAP.



Διάγραμμα 9. Μέσος όρος αριθμού καρπών ανά τετραγωνικό μέτρο.

Κεφάλαιο 5. Συζήτηση

Η ανάπτυξη των ψαριών και των φυτών διεξήχθη με επιτυχία στα ενυδρειοπονικά συστήματα σύμφωνα με την βιβλιογραφία της παρούσας πτυχιακής εργασίας, επιβεβαιώνοντας έτσι τη βιωσιμότητα τους για την παραγωγή τροφίμων. Από τις περισσότερες βιβλιογραφίες αντλήθηκαν αποτελέσματα ερευνών που αφορούσαν κατά κύριο λόγο νούμερα αποδόσεων, αγρονομικών και θρεπτικών για διάφορες μεταχειρίσεις και διάφορους συνδυασμούς καλλιέργειας φυτών και ιχθυοκαλλιέργειας ψαριών.

Όσον αφορά την απόδοση, στο συγκεκριμένο πείραμα με καλλιέργεια αγγουριάς και χρήση περλίτη ως υπόστρωμα για τους δύο πρώτους μήνες συνολικά ήταν $9,58 \text{ kg m}^{-2}$ για την μεταχείριση της ενυδρειοπονίας με προσθήκη λιπάσματος. Αντίθετα, σύμφωνα με την έρευνα από τους Ayirio et al. (2021) σε πείραμα ενυδρειοπονίας διάρκειας δύο μηνών που είχε να κάνει με την ίδια καλλιέργεια φυτού αλλά με την χρήση δύο διαφορετικών υποστρωμάτων από φλοιοό πεύκου και περλίτη παρατηρήθηκε απόδοση $3,7 \text{ kg m}^{-2}$ και $5,5 \text{ kg m}^{-2}$ για ένα φυτό αγγουριάς ανά δοχείο αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα της έρευνας δείχνουν ότι η απόδοση μιας ενυδρειοπονικής καλλιέργειας μπορεί να επηρεαστεί και από άλλους παράγοντες πέρα από την χρήση λιπάσματος η όχι όπως είναι το είδος του υποστρώματος.

Ο Delaide (2017) σύγκρινε μεταξύ τους την υδροπονία, την ενυδρειοπονία και την ενυδρειοπονία με προσθήκη λιπάσματος. Και οι δύο μεταχειρίσεις της ενυδρειοπονίας (CAP, AQP) είχαν για ψάρι τιλάπια ενώ και οι 3 μεταχειρίσεις είχαν ως φυτικό είδος το μαρούλι. Τα αποτελέσματα τους έδειξαν ότι με διαφορά από τις υπόλοιπες δύο η μεταχείριση της ενυδρειοπονίας με λίπασμα (CAP) είχε την καλύτερη απόδοση με τιμή $136,28 \text{ g φυτό}^{-1}$ την στιγμή που η HP και η AQP είχαν $80,55 \text{ g φυτό}^{-1}$ και $98,17 \text{ g φυτό}^{-1}$ αντίστοιχα. Αντίθετα, τα αποτελέσματα του πειράματος της παρούσας πτυχιακής με φυτό αγγουριάς και ψάρι τιλάπιας έδειξαν ότι η συνολική απόδοση δε διέφερε σχεδόν καθόλου για την υδροπονία και την ενυδρειοπονία με προσθήκη λιπάσματος. Αυτές οι διαφορές μεταξύ των δύο πειραμάτων οφείλεται κατά κύριο λόγο στο διαφορετικό φυτικό είδος.

Σε άλλο αντίστοιχο πείραμα των Rodgers et al. (2022) που αντλήθηκε από την βιβλιογραφία με διαφορετικά φυτά και ψάρια (βασιλικός και ψάρια Κοί ένα υποείδος κυπρίνου) βγήκε το αποτέλεσμα ότι η μέση χλωρή και ξηρή βιομάζα των βλαστών ήταν μεγαλύτερη για την υδροπονία από την ενυδρειοπονία με λίπασμα κατά το ίδιο ποσοστό (11%) για τις τιμές χλωρού και ξηρού βάρους. Στο πείραμα της παρούσας διατριβής με ιχθυοκαλλιέργεια τιλάπιας και καλλιέργεια αγγουριού ανάδειξε την υδροπονία με ποσοστό 5% μεγαλύτερο από την ενυδρειοπονία με λίπασμα ως προς την μέση τιμή χλωρού και ξηρού βάρους.

Σε πείραμα των Suhl et al. (2016) αναφορικά με όσα προηγήθηκαν διαπιστώθηκε ότι η απόδοση της CAP ως προς την παραγωγή καρπών ήταν κοντά με αυτή της HP όπως και στο μελετούμενο πείραμα. Όσον αφορά, τα μήκη του πειράματος τους διέφεραν ελάχιστα με την CAP να ξεπερνάει την HP πράγμα που συνέβη και στο μελετούμενο πείραμα. Πιο συγκεκριμένα η εβδομαδιαία απόδοση της υδροπονίας ήταν κατά μέσο όρο $1,07 \text{ kg/m}^{-2}$ ενώ αντίστοιχα της ενυδρειοπονίας με λίπασμα ήταν $1,06 \text{ kg/m}^{-2}$ στην παρούσα πτυχιακή διατριβή. Αυτή η διαφορά μπορεί να αποδοθεί ότι οφείλεται στην διαφορετική προέλευση ποσοστού λιπάσματος. Στην μεταχείριση της ενυδρειοπονίας με προσθήκη λιπάσματος ένα ικανοποιητικό μέρος του λιπάσματος

προερχόταν από τα λύματα της ιχθυοκαλλιέργειας ενώ το υπόλοιπο συμπληρωνόταν έτσι ώστε να φτάσει στα επίπεδα συγκεντρώσεων θρεπτικών της συμβατής υδροπονίας. Στην μεταχείριση της υδροπονίας το λίπασμα προερχόταν αποκλειστικά από βιομηχανική επεξεργασία. Η ελάχιστη διαφορά αυτή μεταξύ των δύο μεταχειρίσεων δεν είναι σημαντική ως προς το κόστος των λιπασμάτων που μπορεί να εξοικονομήσει ένας παραγωγός χρησιμοποιώντας ενυδρειοπονία με προσθήκη λιπάσματος.

Πάραυτα, και ο συνδυασμός φυτού με ψαριού που θα χρησιμοποιηθεί σε ένα ενυδρειοπονικό πείραμα μπορεί να επηρεάσει την παραγωγή του πειράματος. Για παράδειγμα στο πείραμα των Savidon et al. (2007) οι οποίοι σύγκριναν μια συμβατική υδροπονική με ενυδρειοπονική χρησιμοποιώντας και στις δυο καλλιέργεια αγγουριάς και τομάτας. Τα αποτελέσματά τους προς συζήτηση, ήταν 20,7 kg ανά φυτό τομάτας και 33,4 kg ανά φυτό αγγουριάς στην ενυδρειοπονική καλλιέργεια. Οι διαφορετικές αυτές αποδόσεις που προέκυψαν από διαφορετικά είδη φυτών και ίδια είδη ψαριών, συνεπώς και ο συνδυασμός τους, δείχνουν ότι τελικά και ο συνδυασμός φυτού με ψαριού επηρεάζει την παραγωγή. Επίσης, είναι γνωστό ότι στην απόδοση της παραγωγής παίζει σημαντικό ρόλο η διάρκεια της καλλιέργειας. Για παράδειγμα στο παρόν πείραμα διάρκειας 87 ημερών (σχεδόν 3 μήνες) τα αποτελέσματα της παραγωγής ανά φυτό αγγουριάς ήταν από 6 kg και για τις 2 μεταχειρίσεις (CAP, HP), ενώ στην έρευνα των Savidon et al. (2007) η οποία διήρκησε 1 χρόνο παρουσίασε απόδοση 33,4 kg ανά φυτό αγγουριάς για την CAP.

Κεφάλαιο 6. Συμπεράσματα

Συνοψίζοντας βάση της βιβλιογραφίας και των αποτελεσμάτων της συγκεκριμένης έρευνας μπορεί να βγει το γενικό συμπέρασμα ότι η ενυδρειοπονία με προσθήκη λιπάσματος (CAP) ήταν το ίδιο αποδοτική με την συμβατή υδροπονία (HP). Η λιγότερη χρήση λιπάσματος της CAP σε σύγκριση με την HP την καθιστούν ελκυστική για παραγωγούς οι οποίοι θέλουν να περιορίσουν τις ποσότητες λιπασμάτων στα φυτά και ταυτόχρονα να το συνδυάσουν με μια ιχθυοκαλλιέργεια. Επιπλέον, η υδροπονία σε πολλές περιπτώσεις παρόλο που παρουσίαζε υψηλότερα χλωρά και ξηρά βάρη από την ενυδρειοπονία με χρήση λιπάσματος, στο τέλος η παραγωγή δε διέφερε ούτε ποιοτικά ούτε ποσοτικά. Αυτό δείχνει ότι τα θρεπτικά στοιχεία που προέρχονται από την ιχθυοκαλλιέργεια μπορούν σε μεγάλο βαθμό να αντικαταστήσουν επάξια τα κοινά λιπάσματα του εμπορίου.

Κεφάλαιο 7. Βιβλιογραφία

Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

Adler, P. R., Harper, J. K., Takeda, F., Wade, E. M., & Summerfelt, S. T. (2000). Economic evaluation of hydroponics and other treatment options for phosphorus removal in aquaculture effluent. *HortScience*, 35(6), 993–999. <https://doi.org/10.21273/hortsci.35.6.993>.

Adler, Paul R., Summerfelt, S. T., Glenn, D. M., & Takeda, F. (2003). Mechanistic approach to phytoremediation of water. *Ecological Engineering*, 20(3), 251–264. [https://doi.org/10.1016/S0925-8574\(03\)00044-2](https://doi.org/10.1016/S0925-8574(03)00044-2)

Alessio, G. (2001). *Acquacoltura responsabile: verso le produzioni acquatiche del terzo millennio*. Roma. Alessio, G. (2001). *Acquacoltura responsabile: verso le produzioni acquatiche del terzo millennio*. Roma.

Asciuto, A., Schimmenti, E., Cottone, C., & Borsellino, V. (2019). A financial feasibility study of an aquaponic system in a Mediterranean urban context. *Urban Forestry & Urban Greening*, 38, 397-402. 10.1016/j.ufug.2019.02.001.

Avnimelech, Y. (2009). *Biofloc technology: a practical guidebook*. World Aquaculture Society.

Ayipio, E., Wells, D. E., Smith, M., & Blanchard, C. (2021). Performance of Greenhouse-Grown Beit Alpha Cucumber in Pine Bark and Perlite Substrates Fertilized with Biofloc Aquaculture Effluent. *Horticulturae*, 7(6), 144.

Barlow, G.W. (2000). *Τα ψάρια κιχλίδες*. Cambridge, MA: Perseus Publishing. ISBN 0-7382-0376-9.

Batchelor, T. A. (2004, September). The impact of the Montreal Protocol and European Union controls on methyl bromide. In *Proceedings of International Conference on Alternatives to Methyl Bromide*. Lisbon, Portugal, 27-30 Sept. 2004 (p. 21-25).

Benoit, F., & Ceustermans, N. (1999, August). Impact of root cooling on blossom end rot in soilless paprika. In *International Symposium on Growing Media and Hydroponics* 548 (pp. 319-326).

Bernstein, S. (2011). *Aquaponic gardening: a step-by-step guide to raising vegetables and fish together*. New society publishers.

Bittsanszky, A., Uzinger, N., Gyulai, G., Mathis, A., Junge, R., Villaroel, M., ... Komives, T. (2016). Bittsanszky 2016 (NTOMATA). Pdf (pp.17–20). pp. 17–20. <https://doi.org/10.19040/ecocycles.v2i2.57>.

Blidariu, F., Alexandru, D., Adrian, G., Isidora, R., & Dacian, L. (2013). Evolution of nitrate level in green lettuce conventional grown under natural conditions and aquaponic system. *Scientific Papers Animal Science and Biotechnologies*, 46(1), 244–250. Retrieved from <http://spasb.ro/index.php/spasb/article/view/259>

Dauda, A. B., Romano, N., Chen, W. W., Natrah, I., & Kamarudin, M. S. (2018). Differences in feeding habits influence the growth performance and feeding efficiencies of African catfish (*Clarias gariepinus*) and lemon fin barb hybrid (*Hypsibarbus wetmorei*♂ × *Barboides gonionotus*♀) in a glycerol-based biofloc technology system versus a recirculating system. *Aquacultural Engineering*, 82, 31-37.

De Kreijl, C. (1995). Latest insights into water and nutrient control in soilless cultivation. *Acta Hort.* 408, 47-61.

De Silva, S. S. (2004). Tilapias as alien aquatics in Asia and the Pacific: a review.

Delaide, B. (2017). A study on the mineral elements available in aquaponics, their impact on lettuce productivity and the potential improvement of their availability (Doctoral dissertation, Université de Liège, Liège, Belgique).

Diatin, I., Shafruddin, D., Hude, N., Sholihah, M. A., & Mutsmir, I. (2021). Production performance and financial feasibility analysis of farming catfish (*Clarias gariepinus*) utilizing water exchange system, aquaponic, and biofloc technology. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 20(5), 344-351.

Diver, S. (2006). Aquaponics — Integration of Water, 1–28. <https://doi.org/10.1146/annurev.genet.37.110801.143717>.

Doijode, S.D. (2001). *Seed Storage of Horticultural Crops* (1st ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781439800072>.

Dunz, A. R., & Schliewen, U. K. (2013). Molecular phylogeny and revised classification of the haplotilapiine cichlid fishes formerly referred to as “Tilapia”. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 68(1), 64-80. doi:10.1016/j.ympev.2013.03.015. PMID 23542002.

Estim, A., Saufie, S., & Mustafa, S. (2019). Water quality remediation using aquaponics sub-systems as biological and mechanical filters in aquaculture. *Journal of Water Process Engineering*, 30, 100566. 10.1016/j.jwpe.2018.02.001.

Goddek, S. (2017). *Opportunities and challenges of multi-loop aquaponic systems* (Doctoral dissertation, Wageningen University and Research).

Godfray, H. C. J., Beddington, J. R., Crute, I. R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J. F., ... & Toulmin, C. (2010). Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *science*, 327(5967), 812-818.

Hu, Z., Lee, J. W., Chandran, K., Kim, S., Brotto, A. C., & Khanal, S. K. (2015). Effect of plant species on nitrogen recovery in aquaponics. *Bioresource technology*, 188, 92-98. 10.1016/j.biortech.2015.01.013.

Janick, J., Paris, H. S., & Parrish, D. C. (2007). The cucurbits of Mediterranean antiquity: identification of taxa from ancient images and descriptions. *Annals of Botany*, 100(7), 1441-1457. doi:10.1093/aob/mcm242. PMC 2759226. PMID 17932073.

Khakyzadeh, V., Luque, R., Zolfigol, M. A., Vahidian, H. R., Salehzadeh, H., Moradi, V., ... & Xu, K. (2015). Waste to wealth: a sustainable aquaponic system based on residual nitrogen photoconversion. *RSC advances*, 5(5), 3917-3921.

Kloas, W., Groß, R., Baganz, D., Graupner, J., Monsees, H., Schmidt, U., ... & Rennert, B. (2015). A new concept for aquaponic systems to improve sustainability, increase productivity, and reduce environmental impacts. *Aquaculture environment interactions*, 7(2), 179-192.

Kyaw, T. Y., & Ng, A. K. (2017). Smart aquaponics system for urban farming. *Energy procedia*, 143, 342-347. 10.1016/j.egypro.2017.12.694.

Lam, S. S., Ma, N. L., Jusoh, A., & Ambak, M. A. (2015). Biological nutrient removal by recirculating aquaponic system: Optimization of the dimension ratio between the hydroponic & rearing tank components. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 102, 107-115.

- Lee, S., Kwon, K. S., Ryu, J. C., Song, M. K., Pflugmacher, S., Park, C., ... & Choi, J. W. (2015). Effective Treatment of Nutrients by Adsorption onto the Surface of a Modified Clay and a Toxicity Evaluation of the Adsorbent. *Water, Air, & Soil Pollution*, 226(4), 1-12. <https://doi.org/10.1007/s11270-015-2376-8>.
- Lennard, W. A., & Leonard, B. V. (2006). A comparison of three different hydroponic sub-systems (gravel bed, floating and nutrient film technique) in an Aquaponic test system. *Aquaculture International*, 14(6), 539–550. <https://doi.org/10.1007/s10499-006-9053-2>.
- Minter, Sue (2003). *The Apothecaries' Garden*. Sutton. p. 4. ISBN 978-0750936385.
- Monsees, H., Kloas, W., & Wuertz, S. (2017). Decoupled systems on trial: eliminating bottlenecks to improve aquaponic processes. *PLoS one*, 12(9), e0183056.
- Nelson, R. L. (2007). Ten aquaponic systems around the world. *Aquaponics Journal*, 46, 8-12.
- Nico, L.G.; P.J. Schofield; M.E. Neilson. (2019). "Oreochromis niloticus (Linnaeus, 1758)". Food and Agriculture Organization, United Nations. Retrieved 5 November 2019.
- Palm, H. W., Knaus, U., Appelbaum, S., Goddek, S., Strauch, S. M., Vermeulen, T., ... & Kotzen, B. (2018). Towards commercial aquaponics: a review of systems, designs, scales and nomenclature. *Aquaculture international*, 26(3), 813-842.
- Palm, W.H., Bissa, K., Knaus, U. (2014). Significant factors affecting the economic sustainability of closed aquaponic systems. Part II: fish and plant growth, *AACL Bioflux*, vol. 7, no. 3, pp. 162-175.
- Pantanella, E., & Colla, G. (2013, June). Saline aquaponics opportunities for integrated marine aquaculture. In *Proceedings of the International Aquaponic Conference: Aquaponics and Global Food Security*, University of Wisconsin, Stevens Point, WI, USA, pp. 19-21.
- Prein, M. (1993). *Multivariate methods in aquaculture research: case studies of tilapias in experimental and commercial systems* (Vol. 669). WorldFish.
- Rakocy, J., Shultz, R. C., Bailey, D. S., & Thoman, E. S. (2003, February). Aquaponic production of tilapia and basil: comparing a batch and staggered cropping system. In *South Pacific Soilless Culture Conference-SPSCC 648* (pp. 63-69).
- Rakocy, J. E. (2012). Aquaponics—Integrating fish and plant culture, aquaculture production systems. *Aquaculture Production Systems*, 1, 344-386.
- Rakocy, J. E. (2013). *Aquaculture–Aquaponic Systems*. University of the Virgin Islands Agricultural Experiment Station.
- Rakocy, J.E, Masser, M.P., Losordo, T.M. (2006). Recirculating aquaculture tank production systems: aquaponics- integrating fish and plant culture, Southern Regional Aquaculture Center. vol. 454. (pp. 1-16).
- Rakocy, J. E., Masser, M. P., & Losordo, T. M. (2006). Aquaculture tank production systems. *SRAC No. 454*, 451(452), 18–31. <https://doi.org/10.1080/1025386032000168294>.
- Renner, S. S., Schaefer, H., & Kocyan, A. (2007). Phylogenetics of Cucumis (Cucurbitaceae): Cucumber (*C. sativus*) belongs in an Asian/Australian clade far from melon (*C. melo*). *BMC Evolutionary Biology*, 7. <https://doi.org/10.1186/1471-2148-7-58>
- Rivera-Ferre, M. G., Ortega-Cerdà, M., & Baumgärtner, J. (2013). Rethinking study and management of agricultural systems for policy design. *Sustainability*, 5(9), 3858-3875.

- Rodgers, D., Won, E., Timmons, M. B., & Mattson, N. (2022). Complementary Nutrients in Decoupled Aquaponics Enhance Basil Performance. *Horticulturae*, 8(2), 111.
- Savidov, N. A., Hutchings, E., & Rakocy, J. E. (2005, September). Fish and plant production in a recirculating aquaponic system: a new approach to sustainable agriculture in Canada. In *International Conference and Exhibition on Soilless Culture: ICESC 2005 742* (pp. 209-221). <https://doi.org/10.17660/actahortic.2007.742.28>.
- Savidov, N. (2005). Evaluation of aquaponics technology in Alberta, Canada. *Aquaponics Journal*, 37, 20-25.
- Schmautz, Z., Loeu, F., Liebisch, F., Graber, A., Mathis, A., Griessler Bulc, T., & Junge, R. (2016). Tomato productivity and quality in aquaponics: Comparison of three hydroponic methods. *Water*, 8(11), 533. 1–21. <https://doi.org/10.3390/w8110533>.
- Seawright, D. E., Stickney, R. R., & Walker, R. B. (1998). Nutrient dynamics in integrated aquaculture-hydroponics systems. *Aquaculture*, 160(3–4), 215–237. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(97\)00168-3](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(97)00168-3).
- Stouvenakers, G., Massart, S., Depireux, P., & Jijakli, M. H. (2020). Microbial origin of aquaponic water suppressiveness against pythium aphanidermatum lettuce root rot disease. *Microorganisms*, 8(11), 1683.
- Suhl, J., Dannehl, D., Kloas, W., Baganz, D., Jobs, S., Scheibe, G., & Schmidt, U. (2016). Advanced aquaponics: Evaluation of intensive tomato production in aquaponics vs. conventional hydroponics. *Agricultural water management*, 178, 335-344.
- 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), 6-13.
- Velten, S., Leventon, J., Jager, N., & Newig, J. (2015). What is sustainable agriculture? A systematic review. *Sustainability*, 7(6), 7833-7865.
- Zhang, T., Li, X., Yang, Y., Guo, X., Feng, Q., Dong, X., & Chen, S. (2019). Genetic analysis and QTL mapping of fruit length and diameter in a cucumber (*Cucumis sativus* L.) recombinant inbred line (RIL) population. *Scientia Horticulturae*, 250, 214-222. doi:10.1016/j.scienta.2019.01.062.
- Zhang, T., Li, X., Yang, Y., Guo, X., Feng, Q., ... X. D.-S. (2019). Genetic analysis and QTL mapping of fruit length and diameter in a cucumber (*Cucumis sativus* L.) recombinant inbred line (RIL) population. Elsevier. Retrieved May 15, 2022, from https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304423819300767?casa_token=aV9CymH-MM0AAAAA:jLiA6HS0bMqnVNrINf8HSQ9RYpdXGidFs8hK_X5B48QpdpEwWSf7gqV25ODfbfnIi51YPkQBRE.
- Zhuang, F. Y., Chen, J. F., Staub, J. E., & Qian, C. T. (2006). Taxonomic relationships of a rare *Cucumis* species (*C. hystrix* Chakr.) and its interspecific hybrid with cucumber. *HortScience*, 41(3), 571-574.

Ελληνική Βιβλιογραφία

Δημήτριος, Σ. (2011). Καλλιέργειες εκτός εδάφους: υδροπονία, υποστρώματα. Αθήνα: Εκδόσεις Αγρότυπος.

Ζαχαριουδάκη, Βερονίκη. (2010). Συγκριτική μελέτη βιολογικής ολοκληρωμένης και συμβατικής καλλιέργειας αγγουριού σε θερμοκήπιο στη Μεσσαρά του νομού Ηρακλείου.

Κατσούλας, Ν., Μπαρτζάνας, Τ., & Κίττας, Χ. (2017). Ηλεκτρονικό επαγγελματικό σύστημα προγραμματισμού άρδευσης για καλλιέργειες θερμοκηπίου.

Μανουσιδάκη, Στεφανία. (2008). Αντιμετώπιση ασθενειών σε βιολογική καλλιέργεια αγγουριάς στην Κρήτη. Ηράκλειο, 2008.

Ολυμπίου, Χ. (2001). Η τεχνική της καλλιέργειας των κηπευτικών στα θερμοκήπια. Αθήνα, 2001.

Σάββας, Δ. (2009). Πρόσφατες εξελίξεις και διαφαινόμενες τάσεις στις θερμοκηπιακές καλλιέργειες κηπευτικών. 23ο Συνέδριο της Ελληνικής Εταιρείας Επιστήμης Οπωροκηπευτικών Χανιά, 23-26 Οκτωβρίου 2007, τόμος 13B, σ. 741-748.

Χώτος, Γεώργιος Ν. (2016). Εντατική ιχθυοκαλλιέργεια με ανακύκλωση νερού. Μεσολόγγι. Τ.Ε.Ι Δυτικής Ελλάδας, Τμήμα: Τεχνολογίας Αλιείας- Υδατοκαλλιεργειών.

Εικόνες

Εικόνα 1. [A Modern Herbal | Cucumber, Squirting \(botanical.com\)](http://www.botanical.com)

Εικόνα 2. <https://theaquaponicsguide.com/how-aquaponics-works/>

Εικόνα 3. https://www.valentine.gr/babylon-gardens_gr.php

Εικόνα 4. <https://www.mdpi.com/2073-4441/8/10/467/htm>

Με βάση δεδομένα από τη βάση δεδομένων FishStat

"GO FISH, Egyptian Style". Ag Innovation News. Agricultural Utilization Research Institute. Archived from the original on 2008-07-30. Retrieved 2008-04-27.

"Tilapia". Τμήμα Γεωργίας, Αλιείας και Δασοπονίας.

"Tilapia | Στοιχεία για την υγεία των θαλασσινών". www.seafoodhealthfacts.org . Ανακτήθηκε 2017-02-01.

FAO. Small-scale aquaponic food production - Integrated fish and plant farming. 2014.

FAO. The State of World Fisheries and Aquaculture 2010. 2011.

World Bank. World Development Report 2008: Agriculture for Development. World Bank, Washington, DC, 2008, Accessible: <http://siteresources.worldbank.org/>

["Fact about Tilapia Fish \(Oreochromis spp.\)"](#). Retrieved 2012-09-15.

Fisheries and Aquaculture Department Statistics UN Food and Agriculture Department

"Αγγούρι." Encyclopædia Britannica. [1998] 2019.