



Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος

**Μελέτη της ανάπτυξης και παραγωγής καλλιέργειας αγγουριού
σε συζευγμένο ενυδρειοπονικό σύστημα**

**Growth and yield of a cucumber crop grown in a coupled
aquaponic system**



Πτυχιακή Διατριβή

Φοιτητής: Χαλβαντζής Αριστείδης

Επιβλέπων Καθηγητής: Κατσούλας Νικόλαος

Βόλος, 2022

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή:

- Νικόλαος Κατσούλας, Καθηγητής, Γεωργικές Κατασκευές με έμφαση στα θερμοκήπια, Π.Θ.
- Σπυρίδων Πετρόπουλος, Καθηγητής, Λαχανοκομία, Π.Θ.
- Ευθυμία Λεβίζου, Καθηγήτρια, Φυσιολογία Φυτών, Π.Θ.

Ευχαριστίες

Πριν ξεκινήσει η καταγραφή της πτυχιακής μου διατριβής θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες σε όσα άτομα με βοήθησαν και με στήριξαν σε όλη την διάρκεια των σπουδών μου.

Αρχικά θέλω να ευχαριστήσω θερμά τον Καθηγητή του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας και Διευθυντή του εργαστηρίου Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος, κύριο Κατσούλα Νικόλαο για την πολύτιμη βοήθεια και στήριξη του τόσο κατά της διάρκεια της πτυχιακής μου διατριβής αλλά και καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου.

Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω την υποψήφια Διδάκτορα Ασλανίδου Μαρία για την στήριξη αλλά και την αμέριστη βοήθεια της στην διεξαγωγή του πειραματικού μέρους της πτυχιακής μου διατριβής αλλά και στην συγγραφή της πτυχιακής εργασίας.

Ευχαριστώ ακόμη τον κύριο Καρκάνη Ανέστη, Καθηγητή Ζιζανιολογίας του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, για την εμπιστοσύνη και παραχώρηση του εργαστηρίου του για την διεξαγωγή κάποιων μετρήσεων του πειράματος.

Επίσης ευχαριστώ την Καθηγήτρια Φυσιολογίας Φυτών, κυρία Λεβίζου Ευθυμία του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας και την υποψήφια Διδάκτορα Μουραντιάν Αναστασία για την βοήθεια τους στην διεξαγωγή του πειράματος.

Επιπρόσθετα θέλω να ευχαριστήσω τον συμφοιτητή και συνάδελφο Φραγκούλη Παναγιώτη για την άριστη συνεργασία που είχαμε στην διεξαγωγή του πειράματος.

Τέλος δεν γίνεται να μην ευχαριστήσω την οικογένεια μου και την σύντροφο μου, οι οποίοι στάθηκαν δίπλα μου καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου και με βοήθησαν να ολοκληρώσω ευχάριστα και με επιτυχία τις σπουδές μου.

Περίληψη

Η παρούσα εργασία έγινε για να μπορέσει να αξιολογηθεί πόσο βιώσιμο είναι ένα συζευγμένο ενυδρειοπονικό σύστημα συγκρίνοντας το με ένα υδροπονικό σύστημα. Υδροπονικό είναι το σύστημα στο οποίο η ανάπτυξη των φυτών γίνεται σε υποστρώματα με την παροχή θρεπτικού διαλύματος. Από την άλλη ενυδρειοπονικό είναι το σύστημα το οποίο συνδυάζει την εκτροφή ψαριών με καλλιέργεια φυτών, στην οποία η ανάπτυξη των φυτών γίνεται εξ ολοκλήρου από τα απόβλητα των ψαριών. Ουσιαστικά το σύστημα αυτό αποτελείται από δεξαμενές εκτροφής ψαριών, διάφορα φίλτρα, περίπλοκα συστήματα και τα υδροπονικά κανάλια. Η ενυδρειοπονία φαίνεται να αποτελεί μια μέθοδο που θα αποτελεί μια λύση στις ελλείψεις που προκύπτουν από την αύξηση του πληθυσμού, στην εξοικονόμηση νερού αλλά και στην προστασία του περιβάλλοντος. Για την μελέτη αυτή έγιναν δύο μεταχειρίσεις στα θερμοκήπια των εγκαταστάσεων του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, μία με ενυδρειοπονία και μία με υδροπονία η οποία αποτελούσε και τον μάρτυρα σύγκρισης. Πιο συγκεκριμένα καλλιεργήθηκαν αγγουριές και στις δύο μεταχειρίσεις και στην μεταχείριση της ενυδρειοπονίας εκτράφηκαν επιπλέον και τα ψάρια που ήταν η Τιλάπια. Οι μετρήσεις που έγιναν αφορούσαν αγρονομικά χαρακτηριστικά των φυτών όπως το ύψος, ο αριθμός των φύλλων, τα χλωρά και ξηρά βάρη των βλαστών αλλά και των φύλλων και οι αντίστοιχες αναλογίες χλωρού προς ξηρό βάρος τους. Επίσης μετρήθηκαν οι αποδόσεις των φυτών και συγκεκριμένα ο αριθμός των καρπών και η απόδοση σε κιλά. Επιπρόσθετα μετρήθηκε η κατανάλωση νερού των δύο συστημάτων. Από αυτά και σε συνδυασμό με άλλα πειράματα από την βιβλιογραφία προέκυψαν τα εξής αποτελέσματα. Τα φυτά της υδροπονίας ξεπέρασαν τα φυτά της ενυδρειοπονίας σε όλες τις περιοχές σύγκρισης, αλλά παρόλα αυτά τα φυτά με ενυδρειοπονικό σύστημα έδειξαν ότι μπορούν να αντέξουν, να αναπτυχθούν και να αποδώσουν σε ένα ικανοποιητικό βαθμό χωρίς την προσθήκη κανενός λιπάσματος. Αυτό σε συνδυασμό με το γεγονός ότι η ενυδρειοπονία κατάφερε να καταναλώσει λιγότερο νερό από την υδροπονία και παράλληλα να παράξει ταυτόχρονα στον ίδιο χώρο και χρόνο δύο προϊόντα (ψάρια και φυτά) που ήταν υψηλότερης διατροφικής αξίας (βιολογικά), μπορεί να θεωρήσει την ενυδρειοπονία μια βιώσιμη μέθοδο παραγωγής που μπορεί να σταθεί απέναντι σε άλλες μεθόδους καλλιέργειών και γιατί όχι να αποτελέσει το μέλλον για πολλές καλλιέργειες φυτών αλλά και εκτροφές ψαριών.

Summary

This thesis is written in order to evaluate the sustainability of an aquaponic system, compared with a hydroponic one. More precisely, the development of plants in hydroponic system is made in underlays with the provision of nutritional solution. On the other hand, the aquaponic system combines aquaculture and hydroponics, in which the last one depends on fish waste. Specifically, the aquaponic system is made up of fish breeding tanks, a variety of filters, complicated systems and hydroponic canals. Aquaponics seems to be a valid solution to many serious issues caused by population growth, and, it could, also, make a great impact on environmental protection and water saving. For this research, two undertakings took place in the greenhouses of University of Thessaly, based on aquaponics and hydroponics respectively, in which the last one was the comparison witness. In particular, cucumber plants were planted in both undertakings as well as Tilapia fish farming for the aquaponic one additionally. As regards the measurements part, they were focused on the agronomic characteristics of plants, such as height, leaf number, dried and green shoot weights respectively, and lastly, the measurements by analogy with their dried or green weight. The research, also, checked on the efficiency of the plants, and also, the sustained fruit number by kilos. The water consumption of these two systems was, also, counted. In conclusion, these experiment combinations came up with a bunch of results. Precisely, the hydroponic plants overcame the aquaponic ones in all areas, even though the aquaponic system seemed to be stronger when it comes in growth without the help of fertilizer. Furthermore, aquaponics consumed less water and managed to produce both fish and plants high in nutritional value (biological) at the same place in same time. As a result, all that could make aquaponics a sustainable production source that could define the future of hydroponics and fish farming.

Περιεχόμενα

| | | |
|--------|--|----|
| 1. | ΕΙΣΑΓΩΓΗ..... | 9 |
| 1.1. | Βοτανική περιγραφή αγγουριάς..... | 9 |
| 1.2. | Προέλευση και καλλιέργεια αγγουριάς..... | 9 |
| 1.3. | Καλλιέργεια σε θερμοκήπιο..... | 10 |
| 1.3.1. | Γενικά..... | 10 |
| 1.3.2. | Ιστορική αναδρομή θερμοκηπίων..... | 10 |
| 1.3.3. | Χαρακτηριστικά θερμοκηπίων..... | 11 |
| 1.3.4. | Πλεονεκτήματα θερμοκηπίων..... | 11 |
| 1.3.5. | Μειονεκτήματα θερμοκηπίων..... | 11 |
| 1.4. | Υδροπονία..... | 11 |
| 1.4.1. | Γενικά..... | 11 |
| 1.4.2. | Ιστορική αναδρομή υδροπονίας..... | 13 |
| 1.4.3. | Βασικές αρχές υδροπονικών συστημάτων..... | 14 |
| 1.4.4. | Πλεονεκτήματα υδροπονίας..... | 14 |
| 1.4.5. | Μειονεκτήματα υδροπονίας..... | 14 |
| 1.5. | Ενυδρειοπονία..... | 15 |
| 1.5.1. | Γενικά..... | 15 |
| 1.5.2. | Ιστορική αναδρομή ενυδρειοπονίας..... | 15 |
| 1.5.3. | Πλεονεκτήματα ενυδρειοπονίας..... | 16 |
| 1.5.4. | Μειονεκτήματα ενυδρειοπονίας..... | 17 |
| 1.5.5. | Περιγραφή ενυδρειοπονικού συστήματος..... | 17 |
| 1.5.6. | Τύποι ενυδρειοπονικών συστημάτων..... | 18 |
| 1.5.7. | Κυριότερα είδη φυτών και ψαριών στην ενυδρειοπονία..... | 19 |
| 2. | ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ..... | 21 |
| 2.1. | Συγκέντρωση θρεπτικών σε ενυδρειοπονικό διάλυμα..... | 21 |
| 2.2. | Αποδόσεις ενυδρειοπονικού συστήματος..... | 23 |
| 2.3. | Εξοικονόμηση νερού και λιπασμάτων στην ενυδρειοπονία..... | 25 |
| 2.4. | Σκοπός εργασίας..... | 26 |
| 3. | ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ..... | 27 |
| 3.1. | Πειραματικές εγκαταστάσεις..... | 27 |
| 3.1.1. | Εγκαταστάσεις υδροπονικής καλλιέργειας και λειτουργία..... | 28 |
| 3.1.2. | Εγκαταστάσεις ιχθυοκαλλιέργειας και λειτουργία..... | 30 |
| 3.2. | Το πειραματικό σχέδιο..... | 32 |

| | | |
|--------|---|----|
| 3.3. | Πειραματικό υλικό και καλλιεργητικές φροντίδες..... | 32 |
| 3.3.1. | Φυτικό υλικό και εγκατάσταση..... | 32 |
| 3.3.2 | Υλικό ιχθυοκαλλιέργειας..... | 33 |
| 3.3.3. | Καλλιεργητική τεχνική | 34 |
| 3.4. | Μετρήσεις | 35 |
| 3.4.1. | Μετρήσεις αύξησης..... | 35 |
| 3.4.2. | Μετρήσεις παραγωγικότητας..... | 36 |
| 3.4.3. | Μετρήσεις στο εργαστήριο..... | 37 |
| 3.5. | Υπολογισμοί..... | 37 |
| 3.6. | Επεξεργασία δεδομένων και στατιστική ανάλυση | 37 |
| 4. | ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ..... | 38 |
| 4.1 | Αγρονομικά χαρακτηριστικά ανάπτυξης..... | 38 |
| 4.1.1. | Αριθμός φύλλων | 38 |
| 4.1.2. | Μήκος βλαστού..... | 38 |
| 4.1.3. | Χλωρό βάρος φύλλων | 39 |
| 4.1.4. | Χλωρό βάρος βλαστού | 40 |
| 4.1.5. | Χλωρό/Ξηρό βάρος φύλλων..... | 41 |
| 4.1.6. | Χλωρό/ξηρό βάρος βλαστού | 42 |
| 4.2. | Χαρακτηριστικά παραγωγής καρπών | 43 |
| 4.2.1. | Απόδοση καρπών | 43 |
| 4.2.2. | Αριθμός καρπών | 44 |
| 4.3. | Δείκτης αποτελεσματικότητας χρήσης νερού | 45 |
| 5. | ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ..... | 46 |
| 5.1. | Αγρονομικά χαρακτηριστικά | 46 |
| 5.2. | Αποδόσεις καρπών | 47 |
| 5.3. | Κατανάλωση νερού και λιπασμάτων..... | 48 |
| 6. | ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ | 49 |

Περιεχόμενα εικόνων

| | | |
|-----------|---|----|
| Εικόνα 1: | Τοξωτό θερμοκήπιο με υγρή παρειά..... | 10 |
| Εικόνα 2: | Καλλιέργεια αγγουριού σε υδροπονικό σύστημα..... | 12 |
| Εικόνα 3: | Κυκλοφορία σε ένα ενυδρειοπονικό σύστημα..... | 15 |
| Εικόνα 4: | Ενυδρειοπονικό σύστημα σε δύο επίπεδα (Castillo-Castellanos et al., 2016) (Αριστερά). Ενυδρειοπονικό σύστημα σε ένα επίπεδο (Al-Hafedh et al., 2008) (Δεξιά). | 17 |

| | |
|---|----|
| Εικόνα 5: Συστήματα καλλιέργειας φυτών σε ενυδρειοπονικό σύστημα: Καλλιέργεια NFT (Αριστερά), καλλιέργεια σε υπόστρωμα (κέντρο), καλλιέργεια σε συστήματα επίπλευσης (Δεξιά)..... | 18 |
| Εικόνα 6: Συζευγμένο ενυδρειοπονικό σύστημα (Αριστερά), Μη συζευγμένο ενυδρειοπονικό σύστημα (Δεξιά)..... | 18 |
| Εικόνα 7: Το θερμοκήπιο (νότια πλευρά) (Αριστερά). Θάλαμος ιχθυοκαλλιέργειας (Δεξιά). | 27 |
| Εικόνα 8: Πάνελ υγρής παρειάς (Αριστερά). Ανεμιστήρας (Δεξιά)..... | 27 |
| Εικόνα 9: Λογισμικό ελέγχου κλίματος θερμοκηπίου (Αριστερά), Μετεωρολογικός σταθμός (Δεξιά). | 28 |
| Εικόνα 10: Η κεφαλή υδρολίπανσης και δεξαμενές πυκνών διαλυμάτων (Αριστερά). Δεξαμενές αποθήκευσης θρεπτικού διαλύματος (Δεξιά). | 29 |
| Εικόνα 11: Υδροπονικά κανάλια (Αριστερά). Δεξαμενές απορροής (Δεξιά). | 29 |
| Εικόνα 12: Λογισμικό ελέγχου του υδροπονικού συστήματος | 30 |
| Εικόνα 13 Συνολική άποψη συστήματος ιχθυοκαλλιέργειας (Αριστερά). Δεξαμενή εκτροφής ψαριών (Δεξιά). | 31 |
| Εικόνα 14: Δεξαμενές ‘Buffer’ και ‘Biofilter’ και μηχανικό φίλτρο (Αριστερά). Καθαρή δεξαμενή (Δεξιά). | 31 |
| Εικόνα 15: Σύστημα αερισμού με αερόπετρες (Αριστερά). Φύλλο λογισμικού ελέγχου συστήματος ιχθυοκαλλιέργειας (Δεξιά). | 32 |
| Εικόνα 16: Η ανάπτυξη των φυτών των δύο μεταχειρίσεων σε δύο χρονικές περιόδους. Και στις δύο περιόδους αριστερά είναι το κανάλι της υδροπονίας και δεξιά το κανάλι της ενυδρειοπονίας..... | 33 |
| Εικόνα 17: Χρωματιστές παγίδες..... | 35 |

Περιεχόμενα διαγραμμάτων

| | |
|---|----|
| Διάγραμμα 1: Εξέλιξη με το χρόνο του αριθμού φύλλων των φυτών για τις δύο | 38 |
| Διάγραμμα 2: Εξέλιξη με το χρόνο του μήκους βλαστού των φυτών για τις δύο | 39 |
| Διάγραμμα 3: Εξέλιξη με το χρόνο του χλωρού βάρους φύλλων των φυτών για τις δύο μεταχειρίσεις χωριστά..... | 40 |
| Διάγραμμα 4: Εξέλιξη με το χρόνο του χλωρού βάρους βλαστού των φυτών για τις δύο μεταχειρίσεις χωριστά..... | 41 |
| Διάγραμμα 5: Εξέλιξη με το χρόνο του χλωρού/ξηρού βάρους φύλλων των φυτών για τις δύο μεταχειρίσεις χωριστά. | 42 |
| Διάγραμμα 6: Εξέλιξη με το χρόνο του χλωρού/ξηρού βάρους βλαστού των φυτών για τις δύο μεταχειρίσεις χωριστά..... | 43 |
| Διάγραμμα 7: Εξέλιξη με το χρόνο της απόδοσης καρπών για τις δύο μεταχειρίσεις χωριστά. | 44 |
| Διάγραμμα 8: Εξέλιξη με το χρόνο του αριθμού καρπών για τις δύο μεταχειρίσεις χωριστά. | 45 |

Περιεχόμενα πινάκων

| | |
|---|----|
| Πίνακας 1: Συνολική καλλιεργούμενη έκταση και παραγωγή αγγουριού στην ύπαιθρο και στο θερμοκήπιο αντίστοιχά (FAOSTAT, 2009)..... | 9 |
| Πίνακας 2: Μέση απόδοση αγγουριού (FAOSTAT, 2009)..... | 10 |
| Πίνακας 3: Υδροπονικές εκτάσεις ανά τον κόσμο. (Μαυρογιαννόπουλος, 2006). | 12 |
| Πίνακας 4: Κηπευτικά και αρωματικά φυτά. | 19 |
| Πίνακας 5: Ψάρια του γλυκού νερού. | 20 |
| Πίνακας 6: Συγκεντρώσεις μακροθρεπτικών σε διάλυμα ενυδρείοπονίας από εκτροφή πέστροφας (Adler et al., 2003) και πρότυπες συγκεντρώσεις για την καλλιέργεια αγγουριού (Σάββας, 2011)..... | 21 |
| Πίνακας 7: Απόκριση ανάπτυξης μαρουλιού και αγγουριού σε ενυδρείοπονικό και υδροπονικό σύστημα. (Castillo-Castellanos et al., 2016)..... | 23 |
| Πίνακας 8: Πρότυπες συγκεντρώσεις θρεπτικού διαλύματος καλλιέργειας αγγουριού για το στάδια βλάστησης και καρποφορίας αντίστοιχα. Οι συγκεντρώσεις δίνονται σε mmol L ⁻¹ για τα μακροστοιχεία και μmol L ⁻¹ για τα ιχνοστοιχεία. (Σάββας, 2011).. | 34 |
| Πίνακας 9: Πρόγραμμα εβδομαδιαίων μετρήσεων αύξησης (Αριστερά), πρόγραμμα καταστροφικών μετρήσεων αύξησης (Δεξιά)..... | 36 |
| Πίνακας 10: Μετρήσεις παραγωγικότητας ανά ημερομηνία και μέρα. | 37 |

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Βοτανική περιγραφή αγγουριάς

Το φυτό της αγγουριάς στα λατινικά ονομάζεται *Cucumis sativus* και σύμφωνα με τα βοτανικά του χαρακτηριστικά ταξινομείται ως εξής:

Τάξη: *Cucurbitales*, Οικογένεια: *Cucurbitaceae*, Γένος: *Cucumis*, Είδος: *C. sativus*.

Η αγγουριά είναι ένα ετήσιο φυτό το οποίο είναι έρπον στο έδαφος ή με το κατάλληλο υποστύλωμα γίνεται αναρριχώμενο. Οι ρίζες του φυτού αυτού αναπτύσσονται οριζόντια σε μεγάλη ακτίνα γύρω από την πασσαλώδη κεντρική ρίζα. Γενικά αξίζει να σημειωθεί ότι είναι ένα επιπολαιόριζο φυτό. Ο βλαστός του φυτού αυτού μπορεί να φτάσει μέχρι και τα 10 μέτρα σε μήκος χωρίς να ξυλοποιηθεί κατά την διάρκεια της καλλιέργειας του. Είναι γωνιώδης με πράσινο χρώμα και έχει πάνω του έλικες που του δίνουν την ικανότητα να αναρριχάται. Το μειονέκτημα του είναι ότι είναι αρκετά υδαρής και ασθενικός με αποτέλεσμα να σπάει εύκολα από το βάρος του και χωρίς την κατάλληλη υποστύλωση δεν μπορεί να κρατηθεί όρθιος. Σχετικά με τα φύλλα της αγγουριάς αυτά είναι αρκετά μεγάλα με σκούρο πράσινο χρώμα, γωνιώδη, δεν έχουν εγκολπώσεις και φύονται κατ' εναλλαγή πάνω στον κεντρικό βλαστό.

Το χρώμα των ανθών της αγγουριάς είναι κίτρινο και τα άνθη που συναντώνται στο φυτό αυτό έχουν στεφάνη και πενταμερή κάλυκα. Κάθε φυτό αποτελείται από ξεχωριστά αρσενικά και θηλυκά άνθη, με αποτέλεσμα η αγγουριά να ανήκει στα μόνικα, δικλινή φυτά. Βέβαια υπάρχουν και εξαιρέσεις διότι υπάρχουν κάποιες ποικιλίες οι οποίες έχουν ερμαφρόδιτα άνθη. Το είδος των ανθών μπορεί εύκολα να γίνει διακριτό, γιατί τα θηλυκά άνθη έχουν ωοθήκη μεταξύ του μίσχου και του σημείου έκφυσης της στεφάνης, η οποία μάλιστα μοιάζει με πολύ μικρό καρπό αγγουριού. Ο καρπός του φυτού αυτού, δηλαδή το αγγούρι είναι ραβδόμορφος, πράσινος και επιμήκης. Τέλος τα σπόρια των αγγουριών είναι λευκά ή κιτρινόλευκα με ωοειδή – πεπλατυσμένο σχήμα, με μήκος που κυμαίνεται από 7 έως 10 χιλιοστά, πλάτος από 4 έως 6 χιλιοστά και βάρος περίπου 0,030 με 0,035 γραμμάρια.

1.2. Προέλευση και καλλιέργεια αγγουριάς

Η αγγουριά ήταν ενδονενές φυτό των Ινδιών και φημολογείται ότι καλλιεργείται περίπου από 3000 χρόνια πριν. Η μετάδοση της καλλιέργειας του στη Ευρώπη έγινε από τους αρχαίους Έλληνες και τους Ρωμαίους, ενώ η μετάδοση του στην Αμερική πραγματοποιήθηκε από τους πρώτους άποικους. Σήμερα η αγγουριά καλλιεργείται σε όλες τις ηπείρους και τους καρπούς της τους χρησιμοποιούν για τροφή, στην ιατρική λόγω των θεραπευτικών τους ιδιοτήτων αλλά και για την παρασκευή καλλυντικών σκευασμάτων.

Πίνακας 1: Συνολική καλλιεργούμενη έκταση και παραγωγή αγγουριού στην ύπαιθρο και στο θερμοκήπιο αντίστοιχά (FAOSTAT, 2009).

| | Υπαίθριες καλλιέργειες | | Καλλιέργειες υπό κάλυψη | | Σύνολο | |
|-----------|------------------------|------------------|-------------------------|------------------|---------------|------------------|
| | Έκταση (στρ.) | Παραγωγή (τόνοι) | Έκταση (στρ.) | Παραγωγή (τόνοι) | Έκταση (στρ.) | Παραγωγή (τόνοι) |
| Κηπευτικό | | | | | | |
| Αγγούρι | 9.190 | 16.430 | 15.880 | 165.782 | 25.070 | 182.212 |

Πίνακας 2: Μέση απόδοση αγγουριού (FAOSTAT, 2009).

| Μέση παραγωγή στις υπαίθριες καλλιέργειες | Μέση παραγωγή στις θερμοκηπιακές καλλιέργειες |
|---|---|
| 1,8 τόνοι/στρέμμα | 10,5 τόνοι/στρέμμα |

Όπως φαίνεται και στους δύο παραπάνω πίνακες (Πίνακας 1&2), η απόδοση του αγγουριού αυξάνεται πάρα πολύ στο θερμοκήπιο σε σχέση με την καλλιέργεια στον αγρό οπότε οι παραγωγοί στρέφονται όλο και περισσότερο στην καλλιέργεια υπό κάλυψη.

1.3. Καλλιέργεια σε θερμοκήπιο

1.3.1. Γενικά

Τα συνεχώς αυξανόμενα προβλήματα στις υπαίθριες καλλιέργειες που έχουν δημιουργηθεί στις μέρες μας και έχουν να κάνουν με την αλλαγή του κλίματος αλλά και της γονιμότητας του εδάφους οδηγούν τους καλλιεργητές σε νέες μεθόδους παραγωγής που βελτιώνουν κατά πολύ τις συνθήκες καλλιέργειας τους. Οι παραγωγοί πλέον από την καλλιέργεια κηπευτικών στην ύπαιθρο περνούν στην καλλιέργεια σε θερμοκήπια όπου το φυσικό περιβάλλον των φυτών είναι ελεγχόμενο και ρυθμίζεται όπως φαίνεται και στην εικόνα 1, έτσι ώστε να προσδίδει στα φυτά τις άριστες συνθήκες για την ανάπτυξη τους, για την μεγιστοποίηση της παραγωγής αλλά και για την καλύτερη ποιότητα των καρπών τους. Επίσης στα θερμοκήπια τα φυτά είναι πιο προστατευμένα από ασθένειες και εχθρούς με αποτέλεσμα να αποδίδουν καλύτερα.



Εικόνα 1: Τοξωτό θερμοκήπιο με υγρή παρειά.

1.3.2. Ιστορική αναδρομή θερμοκηπίων

Βέβαια η καλλιέργεια σε θερμοκήπιο δεν είναι μια υπόθεση των τελευταίων χρόνων αλλά έχει αρχίσει από το 1680 περίπου στη Βοημία της Ευρώπης όπου καλλιεργήθηκαν οι πρώτες ορχιδέες. Στην συνέχεια το 1750 περίπου φτιάχτηκε το πρώτο θερμαινόμενο θερμοκήπιο στην Τσεχία από τον πρίγκιπα του Λιχτενστάιν.

1.3.3. Χαρακτηριστικά θερμοκηπίων

Η κατασκευή του σκελετού του θερμοκηπίου καθώς και τα υλικά κάλυψης του εξαρτώνται από τις κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν αλλά και από το είδος των φυτών που πρόκειται να καλλιεργηθούν. Ο σκελετός μπορεί να είναι είτε από ξύλο είτε μεταλλικός και το υλικό κάλυψης μπορεί να είναι γυαλί ή διάφορα είδη πλαστικού. Επίσης ένα θερμοκήπιο μπορεί να διαθέτει μηχανισμούς ψύξης αλλά και θέρμανσης ώστε να επιτυγχάνονται οι άριστες συνθήκες περιβάλλοντος. Στόχος των κατασκευαστών είναι να ρυθμιστούν σωστά η θερμοκρασία, η ακτινοβολία, η υγρασία και το CO₂ στο εσωτερικό του κάθε θερμοκηπίου. Όλα αυτά μαζί συμβάλουν στην δημιουργία του ιδανικού περιβάλλοντος για κάθε καλλιεργούμενο φυτό ανεξαρτήτως των εξωτερικών συνθηκών με αποτέλεσμα τα φυτά να μπορούν να καλλιεργηθούν και να αποδώσουν το μέγιστο καθ' όλη την διάρκεια του έτους.

1.3.4. Πλεονεκτήματα θερμοκηπίων

Τα δύο πιο σημαντικά πλεονεκτήματα της καλλιέργειας σε θερμοκήπιο είναι τα εξής:

- Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Τροφίμων οι καλλιέργειες στα θερμοκήπια έχουν τρεις με πέντε φορές μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα χρήσης νερού σε σχέση με τον ανοιχτό αγρό.
- Τα θερμοκήπια δίνουν τη δυνατότητα για παραγωγή προϊόντων ποιότητας καθ' όλη τη διάρκεια του έτους με αποδοτική χρήση των εισροών σε νερό, λιπάσματα, φυτοφάρμακα και εργασία (Κατσούλας, 2017).

1.3.5. Μειονεκτήματα θερμοκηπίων

Βέβαια δεν θα έλειπαν και τα μειονεκτήματα στις καλλιέργειες υπό κάλυψη. Το βασικότερο μειονέκτημα είναι ότι στα θερμοκήπια ελέγχεται μόνο ο περιβάλλον αέρας του φυτού και όχι το έδαφος. Οπότε σε ένα άγονο έδαφος ή σε ένα έδαφος με πολλά παθογόνα το θερμοκήπιο από μόνο του δεν μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την παραγωγή. Αυτό οδηγεί τους παραγωγούς σε μια νέα μέθοδο η οποία δεν είναι άλλη από την καλλιέργεια υπό κάλυψη αλλά εκτός εδάφους τη λεγόμενη υδροπονία.

1.4. Υδροπονία

1.4.1. Γενικά

Σήμερα με την ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας αλλά και του μορφωτικού επιπέδου των ανθρώπων η καλλιέργεια στα θερμοκήπια έχει πάει ένα βήμα παραπέρα και πλέον υπάρχει μία νέα τεχνική με την οποία μπορούν να καλλιεργηθούν φυτά εκτός εδάφους μέσα σε αδρανή υποστρώματα όπως πετροβάμβακας ή περλίτης και οι θρεπτικές ουσίες που είναι απαραίτητες για την ανάπτυξη των φυτών παρέχονται μέσω θρεπτικού διαλύματος (Εικόνα 2).

Μέσω της υδροπονίας δίνεται η δυνατότητα να ελέγχονται οι συνθήκες όπου αναπτύσσεται το φυτό, δηλαδή ρυθμίζεται το πρόγραμμα θρέψης του, η θερμοκρασία και η υγρασία στο χώρο που βρίσκεται η ρίζα. Ακόμα λόγω του αδρανούς υποστρώματος δεν υπάρχουν παθογόνοι μικροοργανισμοί και άλλοι εχθροί. Τέλος στο υπόστρωμα δεν μπορούν να αναπτυχθούν ζιζάνια με αποτέλεσμα την μηδενική χρήση φυτοφαρμάκων και ζιζανιοκτόνων.



Εικόνα 2: Καλλιέργεια αγγουριού σε υδροπονικό σύστημα.

Οι καλλιεργούμενες υδροπονικές εκτάσεις λαμβάνουν ραγδαία αύξηση στις οικονομικά ανεπτυγμένες χώρες αλλά και σε όλο τον κόσμο. Συνολικά καλλιεργούνται περίπου 600.000 στρέμματα με υδροπονία και οι κυριότερες εμπορικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται είναι οι εξής:

- Καλλιέργεια σε υπόστρωμα ορυκτοβάμβακα,
- Καλλιέργεια σε σάκους με ίνες καρύδας,
- Καλλιέργεια σε περλίτη,
- Καλλιέργεια σε φιλμ θρεπτικού διαλύματος NFT,
- Καλλιέργεια σε άμμο,
- Καλλιέργεια σε πριονίδι και
- Καλλιέργεια σε χαλίκι μικρής διαμέτρου.

Στον Πίνακα 3 παρουσιάζονται οι υδροπονικές εκτάσεις σε παγκόσμιο επίπεδο.

Πίνακας 3: Υδροπονικές εκτάσεις ανά τον κόσμο. (Μαυρογιαννόπουλος, 2006).

| ΧΩΡΑ | ΣΤΡΕΜΜΑΤΑ |
|-----------------------------|-----------|
| Ιαπωνία | 120.000 |
| Αυστραλία | 100.000 |
| Ολλανδία | 100.000 |
| Ισπανία | 40.000 |
| Γαλλία | 20.000 |
| Καναδάς | 15.000 |
| Μ. Βρετανία | 8.000 |
| ΗΠΑ | 5.000 |
| Ιταλία, Βέλγιο, Δανία | 5.000 |
| Ισραήλ | 5.000 |
| Κίνα | 1.500 |

Στην Ελλάδα οι υδροπονικές καλλιέργειες καταλαμβάνουν περίπου 2.000 στρέμματα και χρησιμοποιείται κυρίως η μέθοδος του πετροβάμβακα, της μεμβράνης θρεπτικού διαλύματος, των σάκων περλίτη και των σάκων ελαφρόπετρας. (Μαυρογιαννόπουλος, 2006).

1.4.2. Ιστορική αναδρομή υδροπονίας

Η καλλιέργεια εκτός εδάφους όπως αλλιώς ονομάζεται η υδροπονία αναπτύχθηκε από πειράματα που είχαν στόχο να προσδιορίσουν τα απαραίτητα στοιχεία για την ανάπτυξη και αύξηση των φυτών αλλά και των συστατικών τους. Αυτό χρονολογείται περίπου στο 1600. Βέβαια η καλλιέργεια με απουσία εδάφους χρησιμοποιήθηκε πρώτη φορά πολύ πιο παλιά στους κρεμαστούς κήπους της Βαβυλώνας και στους πλωτούς κήπους των Ασδέκων.

Τον 19^ο αιώνα αποδείχθηκε ότι τα φυτά μπορούν να καλλιεργηθούν και να αναπτυχθούν σε αδρανές υλικό με την προϋπόθεση αυτό να διαβρέχεται με υδατικό διάλυμα πλούσιο σε ανόργανα στοιχεία που είναι απαραίτητα για τα φυτά. Στην συνέχεια έγιναν προσπάθειες για την αφαίρεση του αδρανούς υλικού και για την ανάπτυξη των φυτών απευθείας σε υδατικό διάλυμα που εμπεριέχει όλα τα απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία. Αυτό το πείραμα το έκαναν δυο Γερμανοί επιστήμονες ο Sachs το 1860 και ο Knop το 1861 και τέτοιες τεχνικές σε παρόμοιο επίπεδο χρησιμοποιούνται ακόμη και στις μέρες μας στα εργαστήρια. Τα αποτελέσματα αυτών των πρώτων πειραμάτων έδειξαν ότι μπορεί να επιτευχθεί κανονική ανάπτυξη στα φυτά αν το ριζικό σύστημα τους είναι βυθισμένο σε διάλυμα που εμπεριέχει άλατα αζώτου, θείου, φωσφόρου, ασβεστίου, καλίου και μαγνησίου τα οποία ονομάζονται μακροστοιχεία και απαιτούνται σε μεγάλη ποσότητα για να μπορέσουν τα φυτά να επιβιώσουν και να αναπτυχθούν.

Έπειτα με την εξέλιξη της χημείας ανακαλύφθηκαν άλλα επτά μικροστοιχεία τα οποία είναι απαραίτητα σε μικρή ποσότητα για τα φυτά. Αυτά είναι το χλώριο, ο σίδηρος, το βόριο, το μαγγάνιο, το μολυβδαίνιο, ο χαλκός και ο ψευδάργυρος.

Αρκετά αργότερα το 1930 ο Gerieke καλλιεργεί φυτά με την ρίζα να βρίσκεται μέσα σε νερό και δίνει το όνομα για πρώτη φορά υδροπονία η οποία είναι σύνθετη λέξη από το υδρο και πόνος, εννοώντας την εργασία - πόνος που γίνεται με το νερό.

Οι πρώτες καλλιέργειες σε επιχειρηματικό επίπεδο γίνονται το 1936 πάνω σε άμμο και χαλίκια. Μετά από κάποια χρόνια αρχίζει η αντικατάσταση των δοχείων τσιμέντου, ξύλου, τούβλων και ασφάλτου που ήταν δαπανηρά από την χρησιμοποίηση πλαστικού και αυτό δημιουργεί μια εγκατάσταση φτηνή και πιο απλή. Αυτό οφείλεται σε έρευνες που πραγματοποίησε το INVUFLEC. Την ίδια περίοδο βελτιώνεται ακόμα πιο πολύ το υδροπονικό σύστημα καθώς φτιάχνονται και τα υποστρώματα από τύρφη, βερμικουλίτη και περλίτη.

Η υδροπονική καλλιέργεια άρχισε να θεωρείται επίσημη καλλιέργεια στα θερμοκήπια από την δεκαετία του 60 όπου αναπτύχθηκε το NFT από τον Allan Cooper και το 1976 άρχισε να χρησιμοποιείται ως υπόστρωμα ο πετροβάμβακας που είναι μέχρι και σήμερα η περισσότερο χρησιμοποιούμενη εμπορική μέθοδος στην Ευρώπη. Ένας μεγάλος λόγος που οδήγησε πολλές χώρες σε αυτή την νέα μέθοδο παραγωγής ήταν η ενεργειακή κρίση και το αυξημένο κόστος απολύμανσης του εδάφους. Τέλος σήμερα σε όλο τον κόσμο χρησιμοποιούνται πολλές μέθοδοι υδροπονίας και ο διεθνής οργανισμός International Society for Soilless Culture μαζί με πολλά εθνικά

ινστιτούτα δραστηριοποιούνται αρκετά στον τομέα των υδροπονικών καλλιεργειών και προωθούν την έρευνα του.

1.4.3. Βασικές αρχές υδροπονικών συστημάτων

Το υδροπονικό σύστημα πλαισιώνεται με τα εξής βασικά στοιχεία:

- Κεντρικός υπολογιστής με λογισμικό που ελέγχει το περιβάλλον του θερμοκηπίου και το θρεπτικό διάλυμα,
- Μετεωρολογικός σταθμός,
- Κεφαλή υδρολίπανσης, είναι υπεύθυνη για την παρασκευή των διάφορων διαλυμάτων,
- Όργανα και αισθητήρες ώστε να στέλνουν στοιχεία στον κεντρικό υπολογιστή,
- Αντλίες,
- Δεξαμενές πυκνών διαλυμάτων, διαλυμάτων παροχής και συλλογής απορροών
- Σωλήνες παροχής,
- Κανάλια αποστράγγισης,
- Πορώδη υποστρώματα

Τα υδροπονικά συστήματα χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

1. Κλειστού τύπου όπου το θρεπτικό διάλυμα ανακυκλώνεται
2. Ανοιχτού τύπου όπου το θρεπτικό διάλυμα που απορρέει χάνεται.

1.4.4. Πλεονεκτήματα υδροπονίας

Στις υδροπονικές καλλιέργειες παρατηρείται τρομερή εξοικονόμηση νερού καθώς οι απαιτήσεις σε νερό είναι ως και 90% μικρότερες σε σχέση με οποιαδήποτε συμβατική καλλιέργεια, γιατί περιορίζονται οι απώλειες από επιφανειακές απορροές και βαθιά διείδυση του νερού στο έδαφος. Επιπλέον αποφεύγεται η ρύπανση του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα με λιπαντικά στοιχεία. Έτσι η υδροπονία καθίσταται μια οικολογικότερη και οικονομικότερη καλλιέργεια. Επίσης τα φυτά σε ένα υδροπονικό σύστημα έχουν τη δυνατότητα να τοποθετηθούν σε πιο κοντινές αποστάσεις φύτευσης και αυτό συνεπάγεται μεγαλύτερες αποδόσεις σε μικρές σε έκταση γαίες. Ακόμα ένα τέτοιο σύστημα μπορεί να αξιοποιήσει εκτάσεις που ήταν άγονες ή πετρώδεις γιατί μπορεί και εγκαθίστανται σε οποιαδήποτε οριζόντια έκταση. Όσον αφορά το υπόστρωμα επειδή είναι αδρανές υλικό δεν μπορούν να αναπτυχθούν ασθένειες του εδάφους οπότε μειώνεται η χρήση χημικών καταπολέμησης τέτοιων ασθενειών ή προσβολών. Επιπρόσθετα είναι πιο εύκολη η ρύθμιση της θερμοκρασίας στο περιβάλλον της ρίζας και υπάρχει πλήρης έλεγχος του χώρου όπου αναπτύσσονται οι ρίζες του φυτού και αυτό είναι πολύ σημαντικό, γιατί έτσι επιτυγχάνεται η ανάπτυξη μιας εύρωστης καλλιέργειας. Οι εργασίες απλοποιούνται διότι δεν απαιτείται βελτίωση του εδάφους, ζιζανιοκτονία και δημιουργία ειδικών μειγμάτων για να αναπτυχθούν τα νεαρά φυτά. Τέλος το περιβάλλον για τον εργαζόμενο είναι πιο ευχάριστο καθώς το έδαφος έχει απομονωθεί δεν υπάρχουν οσμές και σκόνες και η χειρωνακτική εργασία περιορίζεται γιατί δεν υπάρχουν δουλειές κατεργασίας του εδάφους.

1.4.5. Μειονεκτήματα υδροπονίας

Όπως όλες οι μέθοδοι καλλιέργειας έτσι και η υδροπονία έχει και κάποια μειονεκτήματα που παρατίθενται παρακάτω:

- ✓ Τα συστήματα αυτά είναι αρκετά ευαίσθητα και δεν έχουν μεγάλες ανοχές λαθών,
- ✓ Απαιτούνται εξειδικευμένες γνώσεις τις οποίες δεν διαθέτουν οι περισσότεροι απλοί παραγωγοί,
- ✓ Η εγκατάσταση τέτοιων συστημάτων είναι ακριβή
- ✓ Είναι πιο εύκολη η μετάδοση ασθενειών από φυτό σε φυτό με ρίσκο την καταστροφή ολόκληρης της παραγωγής,
- ✓ Αυξάνεται το κόστος λίπανσης,
- ✓ Για να λειτουργήσει χρειάζεται περισσότερη ενέργεια και
- ✓ Υποβαθμίζεται σε μερικές περιπτώσεις η ποιότητα των προϊόντων.

Όλα αυτά οδηγούν τους επιστήμονες στην μελέτη μιας άλλης καλλιεργητικής μεθόδου που ονομάζεται ενυδρειοπονία και υπόσχεται να μειώσει κάποια από τα προβλήματα που υπάρχουν στην υδροπονία.

1.5. Ενυδρειοπονία

1.5.1. Γενικά

Ένα ενυδρειοπονικό σύστημα συνδυάζει την υδροπονία με την εκτροφή υδρόβιων ζώων σε συστήματα ανακυκλωμένης υδατοκαλλιέργειας. Στην εικόνα 3 φαίνεται καλύτερα πως γίνεται η κυκλοφορία. Σύμφωνα με τον Nelson (2008) και τον Παπουτσόγλου (2008) η ενυδρειοπονία μπορεί να είναι μια βιώσιμη μέθοδος παραγωγής τροφίμων συγκεκριμένα φυτών και ψαριών. Τα προϊόντα αυτής της μεθόδου είναι βιολογικής παραγωγής, λόγω της μη χρησιμοποίησης λιπασμάτων και έχουν υψηλή αξία. Αυτό βέβαια ισχύει όταν δεν χρησιμοποιούνται και φυτοφάρμακα στις διάφορες προσβολές ή ασθένειες που μπορεί να προκύψουν ή χρησιμοποιούνται βιολογικά σκευάσματα.



Εικόνα 3: Κυκλοφορία σε ένα ενυδρειοπονικό σύστημα.

1.5.2. Ιστορική αναδρομή ενυδρειοπονίας

Η ενυδρειοπονία εφαρμόστηκε για πρώτη φορά πριν από χιλιάδες χρόνια από τους Αζτέκους. Είχαν δημιουργήσει κανάλια νερού όπου ζούσαν τα ψάρια και ανάμεσα στα κανάλια υπήρχαν λοφάκια όπου πάνω τους καλλιεργούνταν τα διάφορα φυτά.

Από την άλλη μεριά στους ορυζώνες της Κίνας, της Ταϊλάνδης και της Ινδονήσιας πραγματοποιήθηκε παρόμοια τεχνική με εκτροφή ψαριών και χελιών. Τα θετικά αυτής

της καλλιέργειας ήταν ο εμπλουτισμός του νερού με τα απόβλητα των ψαριών και των χελιών αλλά παράλληλα υπήρξε και μείωση των κουνουπιών.

Σήμερα τα συστήματα ενυδρειοπονίας κερδίζουν όλο και περισσότερο έδαφος στις καλλιεργητικές τεχνικές και αυτό συμβαίνει λόγω της ανάγκης για μείωση της χρήσης νερού, μείωση του κόστους παραγωγής και για την ικανότητα να παράγονται περισσότερα προϊόντα τροφίμων σε μικρότερο χώρο. Πιο διαδεδομένα είναι στην Αμερική, την Αυστραλία και το Ισραήλ. Συγκεκριμένα στην Αμερική υπάρχει το παλαιότερο ενυδρειοπονικό σύστημα με συνεχόμενη λειτουργία εδώ και 20 χρόνια. Στην Ελληνική γη η ενυδρειοπονία ακόμη βρίσκεται υπό μελέτη και υπάρχουν λίγα πιλοτικά συστήματα και μικρές οικιακές προσπάθειες.

1.5.3. Πλεονεκτήματα ενυδρειοπονίας

Λόγω της συνεχούς αυξανόμενης τάσης που έχει ο πληθυσμός της γης που αυτό συνεπάγεται και αύξηση της ζήτησης στα τρόφιμα σε συνδυασμό με την παράλληλη μείωση των καλλιεργούμενων εκτάσεων αναπόφευκτα στο μέλλον θα υπάρξει έλλειψη σε πολλά είδη πρώτης ανάγκης. Η ενυδρειοπονία είναι μια καλλιεργητική μέθοδος η οποία υπόσχεται να δώσει λύση στο πρόβλημα διατροφής που θα δημιουργηθεί στα επόμενα χρόνια αν δεν αλλάξει κάτι. Η μέθοδος αυτή αρχίζει να αποκτά ενδιαφέρον και στην Ευρώπη και όπως φαίνεται μάλλον θα είναι το μέλλον στην παραγωγή κηπευτικών. Τα κύρια πλεονεκτήματα που οδηγούν τους παραγωγούς και τους επιστήμονες στην ενυδρειοπονία είναι τα εξής:

- Το ενυδρειοπονικό σύστημα είναι αρκετά ευέλικτο. Μπορεί να εκτρέφει καλλωπιστικά ψάρια σε μια τεχνητή λίμνη ή σιντριβάνι και εξίσου καλά μπορεί να εκτρέφει εδώδιμα ψάρια όπως η τιλápια, η πέστροφα, το γατόψαρο και άλλα πολλά σε βιομηχανική εγκατάσταση. Το ίδιο μπορεί να συμβεί και με τα φυτά καθώς μπορούν να καλλιεργούνται και καλλωπιστικά φυτά, μυρωδικά, αλλά και εδώδιμα σε μεγάλη εμπορική κλίμακα όπως το αγγούρι, η ντομάτα, το μαρούλι και άλλα πολλά. Και οι συνδυασμοί φυτών και ψαριών στο ίδιο σύστημα είναι πάρα πολλοί όπως προκύπτει από αυτά που αναφέρθηκαν.

- Το σύστημα της ενυδρειοπονίας είναι κλειστό. Οι απορροές δεν απορρίπτονται στο περιβάλλον αλλά ανακυκλώνονται, φιλτράρονται και επιστρέφουν στα ψάρια. Αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι η τρομερή μείωση του χρησιμοποιούμενου νερού. Άρα είναι αρκετά πιο οικολογική και οικονομική μέθοδος συγκριτικά με την υδροπονία.

- Επιπλέον λόγω του κλειστού συστήματος είναι πιο εύκολο να περιοριστούν έως και να εξαλειφθούν ασθένειες και μολύνσεις του εδάφους που προκαλούνται από βακτήρια, μύκητες και έντομα όπως ακριβώς και σε ένα υδροπονικό σύστημα. Η διαφορά εδώ όμως είναι ότι όπως τα φυτά έτσι και τα ψάρια ζουν σε ελεγχόμενο περιβάλλον απουσίας εξωτερικών κινδύνων και μολύνσεων από βακτήρια ή μύκητες. Άρα το όφελος είναι διπλό.

- Υπάρχει πλήρης έλεγχος το συνθηκών του περιβάλλοντος που μεγαλώνουν φυτά και ψάρια με αποτέλεσμα να πετυχαίνονται καλύτερες αποδόσεις.

- Σε μια επαγγελματική εγκατάσταση για παραγωγή μεγάλης κλίμακας η ενυδρειοπονία μπορεί να καλύψει τις ανάγκες της Ορθής Γεωργικής Πρακτικής στόχος της οποίας είναι η εκμηδένιση των χημικών, βιολογικών και φυσικών κινδύνων σε όλα

τα στάδια της παραγωγής τροφίμων από την καλλιέργεια-εκτροφή μέχρι το ράφι του καταναλωτή.

- Από την άλλη δεν μπορεί να υπάρξει βελτιωτική παρέμβαση με υγρά λιπάσματα στα φυτά γιατί έτσι μπορεί να προκληθεί τοξικότητα στο περιβάλλον των ψαριών. Οπότε παράγονται βιοασφαλή προϊόντα με μεγαλύτερη εμπορική αξία.

- Τέλος σε μια ενυδρειοπониκή εγκατάσταση τα έξοδα είναι μειωμένα γιατί στον ίδιο χώρο, με το ίδιο νερό το οποίο κάνει συνεχώς κύκλο και δεν χάνεται στο έδαφος αλλά και απουσία κόστους λίπανσης παράγονται ταυτόχρονα ψάρια και φυτά. Άρα το κέρδος είναι διπλό αφού με μειωμένα έξοδα παράγονται περισσότερα προϊόντα προς πώληση άρα περισσότερα έσοδα.

1.5.4. Μειονεκτήματα ενυδρειοπονίας

Τα τρία πιο βασικά μειονεκτήματα σε ένα σύστημα ενυδρειοπονίας είναι τα ακόλουθα:

- Είναι αρκετά ακριβό το κόστος εγκατάστασης και συντήρησης ενός τόσο πολύπλοκου συστήματος.
- Απαιτεί εξειδικευμένες γνώσεις τόσο στα φυτά όσο και στην εκτροφή ψαριών.
- Από ένα λάθος μπορεί να πάθουν ζημιά και τα φυτά και τα ψάρια άρα το κόστος της ζημιάς θα είναι διπλό.

1.5.5. Περιγραφή ενυδρειοπονικού συστήματος

Ένα σύστημα ενυδρειοπονίας όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 4, αποτελείται από το υδροπονικό σύστημα που αναπτύχθηκε παραπάνω και το σύστημα ιχθυοκαλλιέργειας που περιλαμβάνει τα εξής μέρη:

- ✓ Δεξαμενές ψαριών,
- ✓ Μηχανικό φίλτρο,
- ✓ Βιολογικό φίλτρο
- ✓ Δεξαμενή διαλύματος
- ✓ Σύστημα σωληνώσεων για την συνεχή ανακυκλοφορία του νερού

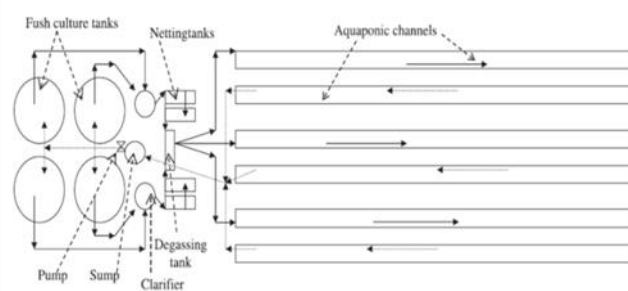


FIGURE 1. Components of the aquaponic system used for the experiments with Nile tilapia and lettuce crops.

Εικόνα 4: Ενυδρειοπονικό σύστημα σε δύο επίπεδα (Castillo-Castellanos et al., 2016) (Αριστερά). Ενυδρειοπονικό σύστημα σε ένα επίπεδο (Al-Hafedh et al., 2008) (Δεξιά).

Αρχικά μέσα στις δεξαμενές εκτρέφονται τα διάφορα είδη ψαριών τα οποία εμπλουτίζουν το νερό με αμμωνία. Στην συνέχεια το νερό αυτό ρέει στο μηχανικό φίλτρο όπου απομακρύνονται τα στερεά απόβλητα. Έπειτα το νερό απορρέει στο βιολογικό φίλτρο με σκοπό η αμμωνία με την βοήθεια βακτηρίων όπως τα γένη *Nitrosomonas* και τα *Nitrobacter* να μετατραπεί σε νιτρικά ιόντα. Από εκεί οδηγείται

πλέον σαν θρεπτικό διάλυμα στην καθαρή δεξαμενή και ανάλογα με το σχεδιασμό του συστήματος οδηγείται ανάλογα στο υδροπονικό κομμάτι του συστήματος.

Στα υδροπονικά κανάλια όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, τα φυτά είναι τοποθετημένα είτε μέσα σε κατάλληλα υποστρώματα τα οποία αρδεύονται με το θρεπτικό διάλυμα που ξεκινάει από τις δεξαμενές ψαριών ή σε λεπτό στρώμα θρεπτικού διαλύματος (NFT) ή σε σύστημα επίπλευσης (Εικόνα 5). Στην συνέχεια το διάλυμα που απορρέει από τα φυτά συγκεντρώνεται στις δεξαμενές απορροής και από εκεί φιλτράρεται και επιστρέφει στις αρχικές δεξαμενές ψαριών μαζί βέβαια με την κατάλληλη συμπλήρωση νερού ώστε να φτάσει στην ζητούμενη ποσότητα.

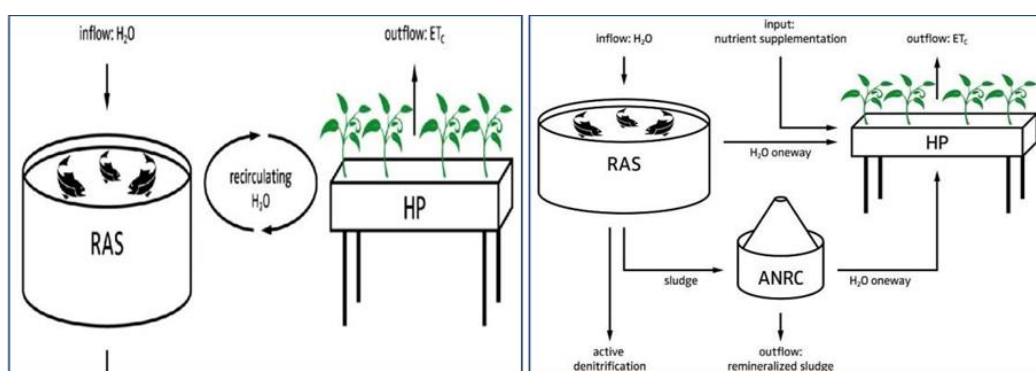


Εικόνα 5: Συστήματα καλλιέργειας φυτών σε ενυδρείοποπικό σύστημα: Καλλιέργεια NFT (Αριστερά), καλλιέργεια σε υπόστρωμα (κέντρο), καλλιέργεια σε συστήματα επίπλευσης (Δεξιά).

Στα ενυδρείοποπικά συστήματα βασική πηγή θρεπτικών για τα φυτά είναι τα υπολείμματα ιχθυοτροφών και τα απόβλητα-απορρίμματα των ψαριών. Αυτό όμως δεν σημαίνει ότι είναι όλα διαθέσιμα για τα φυτά, διότι κάποια θρεπτικά χάνονται στα περιτώματα και κάποια άλλα μεταβολίζονται από τα ψάρια. Γενικά όλο το σύστημα βασίζεται στον κύκλο του αζώτου.

1.5.6. Τύποι ενυδρείοποπικών συστημάτων

Τα ενυδρείοποπικά συστήματα ανάλογα με την διαχείριση του υδατικού διαλύματος χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:



Εικόνα 6: Συζευγμένο ενυδρείοποπικό σύστημα (Αριστερά), Μη συζευγμένο ενυδρείοποπικό σύστημα (Δεξιά).

➤ Το συζευγμένο σύστημα (one-loop aquaponics ή coupled system). Πιο συγκεκριμένα σε αυτό το σύστημα το νερό ανακυκλώνεται πλήρως και στα δύο

συστήματα. Από την ιχθυοκαλλιέργεια πάει στην υδροπονία και από την υδροπονία πάει πάλι στην ιχθυοκαλλιέργεια. Βασικό μειονέκτημα του είναι ότι, αν συμβεί κάποιο λάθος αυτό θα επηρεάσει και την καλλιέργεια των φυτών αλλά και την εκτροφή των ψαριών. Από την άλλη έχει το τεράστιο πλεονέκτημα της μεγάλης εξοικονόμησης νερού.

➤ Το μη συζευγμένο (multi-loop aquaponics ή decoupled system). Σε αυτή την περίπτωση το σύστημα είναι πιο αυτόνομο, γιατί το νερό κυκλοφορεί χωριστά στην ιχθυοκαλλιέργεια και χωριστά στην υδροπονία, χωρίς να κάνει 100% επανακυκλοφορία μεταξύ των υποσυστημάτων. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι μια ποσότητα νερού μπορεί να περάσει στο υδροπονικό σύστημα από την ιχθυοκαλλιέργεια και εκεί να ανακυκλώνεται μόνο σε αυτό το σύστημα χωρίς να επιστρέψει ξανά στο σύστημα ιχθυοκαλλιέργειας. Πλεονέκτημα αυτού του συστήματος αποτελεί το γεγονός ότι, αν βρεθεί μια ασθένεια ή κάποιο λάθος στην σύσταση του νερού μπορεί να περιοριστεί και να μην απλωθεί η ζημιά και στα δύο συστήματα, φυτά και ψάρια δηλαδή.

1.5.7. Κυριότερα είδη φυτών και ψαριών στην ενυδρείοπονία

Όσον αφορά τα φυτά, ότι μπορεί να καλλιεργηθεί σε ένα θερμοκήπιο μπορεί να καλλιεργηθεί και στην ενυδρείοπονία. Γενικά μπορούν να καλλιεργηθούν κηπευτικά και αρωματικά φυτά είτε είναι μικρού κύκλου όπως το μαρούλι είτε είναι μεγάλου κύκλου όπως το αγγούρι. Αποφεύγονται όμως φυτά στα οποία το φαγώσιμο μέρος βρίσκεται στην ρίζα όπως για παράδειγμα οι πατάτες. Παρακάτω στον Πίνακα 4 παρουσιάζονται κάποια από τα φυτά αυτά:

Πίνακας 4: Κηπευτικά και αρωματικά φυτά.

| | |
|--------------------|----------------------|
| 1. Αγγούρι | 9. Μελιτζάνα |
| 2. Ντομάτα | 10. Σπανάκι |
| 3. Μπρόκολο | 11. Μαϊντανός |
| 4. Καρπούζι | 12. Κόλιανδρο |
| 5. Φασόλι | 13. Μαρούλι |
| 6. Φράουλα | 14. Μπάμια |
| 7. Πιπεριά | 15. Κάρδαμο |
| 8. Κολοκύθι | 16. Ρόκα |

Για την επιλογή του κατάλληλου φυτού παίζουν ρόλο οι συνθήκες που επικρατούν αλλά και η έκταση του θερμοκηπίου, διότι σε μικρά θερμοκήπια προτιμώνται φυτά με μεγαλύτερη εμπορική αξία. Σχετικά με τις αποστάσεις φύτευσης ισχύει ότι ακριβώς ισχύει και σε ένα υδροπονικό σύστημα.

Τα ψάρια που χρησιμοποιούνται στην ενυδρείοπονία είναι πηγή θρεπτικών ουσιών για τα φυτά αλλά και πηγή πρωτεΐνης για τον καταναλωτή. Η αλήθεια είναι ότι φαίνεται δύσκολη η εκτροφή ψαριών χωρίς τις κατάλληλες γνώσεις, αλλά αξίζει να σημειωθεί ότι αν ακολουθηθούν κάποιες βασικές κατευθυντήριες γραμμές μπορεί να γίνει πιο απλή και από την διατήρηση ψαριών στα ενυδρεία.

Τα είδη που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ένα ενυδρείοπονικό σύστημα είναι πολλά, προτιμώνται βέβαια ψάρια του γλυκού νερού γιατί το αλάτι θα δημιουργούσε προβλήματα στα φυτά. Για την σωστή επιλογή εξέχουσα σημασία έχει το κλίμα που επικρατεί στο περιβάλλον των ψαριών, οι προμηθευτές που υπάρχουν στην κάθε

περιοχή και η εκάστοτε ζήτηση στην αγορά. Μερικά από τα είδη που μπορούν να χρησιμοποιηθούν παρατίθενται στον Πίνακα 5:

Πίνακας 5: Ψάρια του γλυκού νερού.

| | |
|---------------------|--------------------|
| 1. Γατόψαρο | 5. Κοί |
| 2. Κυπρίνος | 6. Πέστροφα |
| 3. Χρυσόψαρο | 7. Tilapia |
| 4. Πέρκα | - |

Το είδος tilapia θεωρείται ένα από τα πιο ιδανικά ψάρια για την ενυδρείοπονία. Αυτό συμβαίνει γιατί αναπαράγονται πολύ εύκολα, αναπτύσσεται γρήγορα, είναι παμφάγα οπότε μεγάλο εύρος τροφών και είναι αρκετά ανθεκτικά ακόμα και σε άσχημες συνθήκες νερού. Ιδανικό για την καλύτερη διαβίωση τους είναι να υπάρχει σχετικά θερμό νερό στις δεξαμενές εκτροφής τους.

Όσον αφορά την πυκνότητα τους στις δεξαμενές, αυτή διαφέρει και εξαρτάται από τους εξής παράγοντες:

- Το μέγεθος της δεξαμενής,
- Το μέγεθος των ψαριών,
- Τον αριθμό και το μέγεθος των καναλιών και
- Τις συνθήκες αερισμού της δεξαμενής.

Γενικά αξίζει να σημειωθεί ότι η πυκνότητα μπορεί να είναι ίδια με αυτή των υδατοκαλλιεργειών και να κυμαίνεται από 20 kg m^{-3} μέχρι και $70\text{-}80 \text{ kg m}^{-3}$ και πιο σπάνια μπορεί να φθάσει τα $140\text{-}200 \text{ kg m}^{-3}$. Όσο αυξάνεται η πυκνότητα αυξάνεται και ο κίνδυνος να πάει κάτι λάθος, ενώ όσο μικρότερη πυκνότητα έχει το σύστημα τόσο πιο ασφαλές είναι. Σε υψηλές πυκνότητες για να παραμένει το περιβάλλον των ψαριών στο βέλτιστο επίπεδο πρέπει να ελέγχονται συχνά όλες οι παράμετροι με τα κατάλληλα συστήματα και τους αντίστοιχους αισθητήρες. Πάντα στην αρχή πρέπει να ξεκινάει το σύστημα με λίγα ψάρια και στην συνέχεια να αυξάνονται σιγά σιγά παρατηρώντας παράλληλα τις απαραίτητες μετρήσεις. Τέλος αξίζει να σημειωθεί ότι μπορεί να είναι καλύτερο και για τα φυτά να είναι λιγότερο φορτωμένο το σύστημα των ψαριών.

2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Σύμφωνα με τα παραπάνω προκύπτει ότι τα ενυδραιοπονικά συστήματα είναι πιο οικολογικά σε σχέση με άλλες μεθόδους καλλιέργειών και μπορούν να αποτελέσουν το μέλλον για την εντατικοποιημένη καλλιέργεια φυτών αλλά και ψαριών. Στην συνέχεια αναπτύσσονται πιο συγκεκριμένα θέματα που αφορούν στα θρεπτικά του διαλύματος ενυδραιοπονίας, στην απόδοση των φυτών σε ενυδραιοπονικό σύστημα αλλά και στην εξοικονόμηση νερού και λιπασμάτων σε σχέση με ένα υδροπονικό σύστημα.

2.1. Συγκέντρωση θρεπτικών σε ενυδραιοπονικό διάλυμα

Όπως είναι φυσικό το θρεπτικό διάλυμα σε ένα υδροπονικό σύστημα αφού προστίθενται όλα τα απαραίτητα λιπάσματα περιέχει όλα τα θρεπτικά για τα φυτά και στις κατάλληλες συγκεντρώσεις βέβαια, σε αντίθεση με ένα ενυδραιοπονικό σύστημα το οποίο περιέχει μικρότερες συγκεντρώσεις θρεπτικών και μπορεί να έχει και έλλειψη σε κάποια στοιχεία.

Σύμφωνα με τους Adler et al. (2003) οι οποίοι ανέλυσαν το διάλυμα απορροών σε δεξαμενές όπου εκτρεφόταν πέστροφες, βρήκαν ότι οι συγκεντρώσεις σιδήρου, καλίου και μαγγανίου ήταν αρκετά μικρότερες από τις πρότυπες συγκεντρώσεις. Πιο συγκεκριμένα οι συγκεντρώσεις του θρεπτικού διαλύματος ενυδραιοπονίας αλλά και του πρότυπου διαλύματος στην καλλιέργεια αγγουριού παρουσιάζονται στον Πίνακα 6:

Πίνακας 6: Συγκεντρώσεις μακροθρεπτικών σε διάλυμα ενυδραιοπονίας από εκτροφή πέστροφας (Adler et al., 2003) και πρότυπες συγκεντρώσεις για την καλλιέργεια αγγουριού (Σάββας, 2011).

| Συγκεντρώσεις μακροθρεπτικών σε διάλυμα ενυδραιοπονίας από εκτροφή πέστροφας. | | |
|---|-------------------------------|---|
| NO ₃ -N => 25 mgL ⁻¹ | P => 0,52 mgL ⁻¹ | K => 5 mgL ⁻¹ |
| Ca => 55 mgL ⁻¹ | Mg => 20 mgL ⁻¹ | SO ₄ => 9 mgL ⁻¹ |
| Πρότυπες συγκεντρώσεις θρεπτικών στην καλλιέργεια αγγουριού σύμφωνα με τον Σάββα (2011). | | |
| Βλαστικό στάδιο | | |
| NO ₃ -N => 206,9 mgL ⁻¹ | P => 118.63 mgL ⁻¹ | K => 242.36 mgL ⁻¹ |
| Ca => 166 mgL ⁻¹ | Mg => 38.88 mgL ⁻¹ | SO ₄ => 124.88 mgL ⁻¹ |
| Στάδιο καρποφορίας | | |
| NO ₃ -N => 192.87 mgL ⁻¹ | P => 109.14 mgL ⁻¹ | K => 281.45 mgL ⁻¹ |
| Ca => 136 mg L ⁻¹ | Mg => 34.02 mgL ⁻¹ | SO ₄ => 134.48 mgL ⁻¹ |

Τα στοιχεία που παρουσιάζονται παραπάνω τεκμηριώνονται από τους Blindariou et al. (2013) οι οποίοι βρήκαν ότι στο διάλυμα ψαριών που μελέτησαν δεν υπήρχαν καθόλου τα στοιχεία σιδήρου και μαγγάνιο. Επίσης αυτά τα δεδομένα τα υποστηρίζουν και οι Bittanszky et al. (2016) λέγοντας ότι ενώ το θρεπτικό διάλυμα από αφρικανικό γατόψαρο σε ενυδραιοπονικό σύστημα παρουσιάζει ικανοποιητική συγκέντρωση στοιχείων όπως τα θειικά, ο χαλκός και το ασβέστιο από την άλλη έχει έλλειψη σε στοιχεία όπως ο σίδηρος και το μαγγάνιο. Παράλληλα προκύπτει το συμπέρασμα σύμφωνα με τους Rakocy et al. (2006), Diver et al. (2006) και Seawright et al. (1998)

ότι με την κατάλληλη πυκνότητα ψαριών μπορεί να επιτευχθεί επάρκεια στα νιτρικά, το βόριο, τα φωσφορικά και τον χαλκό για την ανάπτυξη των φυτών, ενώ από την άλλη έλλειψη συνεχίζει να παρουσιάζεται στο κάλιο, τον σίδηρο και το ασβέστιο τα οποία ευθύνονται για μειωμένη παραγωγή στα ενυδρειοπονικά συστήματα.

Σύμφωνα με τις παραπάνω έρευνες είναι πλέον κατανοητό ότι τα ψάρια μπορούν να προσφέρουν στα φυτά ικανοποιητικές ποσότητες στα περισσότερα θρεπτικά στοιχεία με εξαίρεση να αποτελούν το κάλιο, ο σίδηρος και το μαγνήσιο. Έτσι προκύπτει μια νέα εκδοχή διερεύνησης η οποία αφορά στην συμπλήρωση των στοιχείων που βρίσκονται σε έλλειψη στο ενυδρειοπονικό διάλυμα μέσω λιπασμάτων για να μπορούν να επιτευχθούν οι πρότυπες συγκεντρώσεις και η βέλτιστη παραγωγή.

Επιπλέον σύμφωνα με τους Sonneveld and Voogt (2009) οι συγκεντρώσεις των κύριων μακροθρεπτικών και μικροθρεπτικών στοιχείων σε υδροπονικό σύστημα σε καλλιέργεια τομάτας ήταν $Ca=110 \text{ mg L}^{-1}$, $Mg=24 \text{ mg L}^{-1}$, $K=254 \text{ mg L}^{-1}$, $NO_3-N=151 \text{ mg L}^{-1}$, $PO_4-P=39 \text{ mg L}^{-1}$, $Fe=0,8 \text{ mg L}^{-1}$, και $B=0,2 \text{ mg L}^{-1}$, ενώ σε ενυδρειοπονικό σύμφωνα με τους Roosta et al. (2011) οι συγκεντρώσεις ήταν $Ca=34 \text{ mg L}^{-1}$, $K=27 \text{ mg L}^{-1}$, $NO_3-N=35 \text{ mg L}^{-1}$, $PO_4-P=8 \text{ mg L}^{-1}$, $Fe=0,2 \text{ mg L}^{-1}$.

Σε καλλιέργεια μαρουλιού με υδροπονικό σύστημα σύμφωνα με τους Sonneveld and Voogt et al. (2009) οι συγκεντρώσεις ήταν $Ca=180 \text{ mg L}^{-1}$, $Mg=24 \text{ mg L}^{-1}$, $K=430 \text{ mg L}^{-1}$, $NO_3-N=266 \text{ mg L}^{-1}$, $PO_4-P=62 \text{ mg L}^{-1}$, $Fe=2,2 \text{ mg L}^{-1}$, και $B=0,3 \text{ mg L}^{-1}$, από την άλλη σύμφωνα με τους Resh et al. (2012) πάλι σε υδροπονικό σύστημα ήταν $Ca=200 \text{ mg L}^{-1}$, $Mg=50 \text{ mg L}^{-1}$, $Na=50-90 \text{ mg L}^{-1}$, $K=210 \text{ mg L}^{-1}$, $NO_3-N=190 \text{ mg L}^{-1}$, $PO_4-P=50 \text{ mg L}^{-1}$, $Fe=5 \text{ mg L}^{-1}$, και $B=0,5 \text{ mg L}^{-1}$. Ενώ στην ενυδρειοπονία σύμφωνα με τους Pantanella et al. (2012) στο μαρούλι οι συγκεντρώσεις ήταν $Ca=180 \text{ mg L}^{-1}$, $Mg=44 \text{ mg L}^{-1}$, $Na=17 \text{ mg L}^{-1}$, $K=106 \text{ mg L}^{-1}$, $NO_3-N=137 \text{ mg L}^{-1}$, $PO_4-P=9 \text{ mg L}^{-1}$.

Τέλος σε καλλιέργεια βασιλικού με ενυδρειοπονία οι συγκεντρώσεις των βασικών θρεπτικών στοιχείων σύμφωνα με τους Rakocy et al. (2004) ήταν $Mg=12 \text{ mg L}^{-1}$, $Na=7 \text{ mg L}^{-1}$, $K=45 \text{ mg L}^{-1}$, $NO_3-N=42 \text{ mg L}^{-1}$, $PO_4-P=8 \text{ mg L}^{-1}$, $Fe=2,5 \text{ mg L}^{-1}$, και $B=0,19 \text{ mg L}^{-1}$.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι παρά το γεγονός ότι υπάρχουν ελλείψεις σε θρεπτικά στο ενυδρειοπονικό σύστημα συγκριτικά με το υδροπονικό οι ελλείψεις αυτές περιορίζονται κυρίως στα στοιχεία B και Mg σύμφωνα και με τους Geisenhoff et al. (2016). Οι ίδιοι διατυπώνουν το συμπέρασμα ότι μια καλλιέργεια μικρού βιολογικού κύκλου σε ενυδρειοπονικό σύστημα μπορεί να ανταγωνιστεί την αντίστοιχη καλλιέργεια σε υδροπονικό σύστημα ή την συμβατική στο έδαφος χωρίς να χρειάζεται η προσθήκη κανενός λιπάσματος. Ακριβώς το ίδιο υποστηρίζουν και οι Pinheiro et al. (2013) καθώς συγκρίνοντας την ενυδρειοπονική καλλιέργεια μαρουλιού και τιλάπιας με την υδροπονική είδαν ότι η ποιότητα και η απόδοση των φυτών δεν διέφερε σχεδόν καθόλου. Σε αυτά έρχονται να συμφωνήσουν και οι Endut et al. (2009) συγκρίνοντας την καλλιέργεια του σπανακιού.

Όσον αφορά τις μεγάλου κύκλου καλλιέργειες όπως το αγγούρι, διαπιστώθηκε από τους Castillo-Castellanos et al. (2016) ότι τα ενυδρειοπονικά συστήματα μπορούν να ανταγωνιστούν τα υδροπονικά. Καθώς στο πείραμα τους με αγγούρι και τιλάπια η επιβίωση των αγγουριών στην ενυδρειοπονία δεν διέφερε σημαντικά από αυτήν της υδροπονίας. Πιο συγκεκριμένα στις μεγάλου κύκλου καλλιέργειες όπως η τομάτα ανακάλυψαν οι Graber and Junge et al. (2009) ότι πιο σημαντική στο ενυδρειοπονικό σύστημα ήταν η έλλειψη K η οποία ήταν 45 φορές μικρότερη από την απαιτούμενη.

Όμως αυτό επηρέασε μόνο την ποιότητα και όχι την παραγωγή της τομάτας. Αυτό φαίνεται από την μέτρηση της ξηρής ουσίας της τομάτας η οποία ήταν 185% μεγαλύτερη στην υδροπονική σε σχέση με την ενυδραιοπονική.

2.2. Αποδόσεις ενυδραιοπονικού συστήματος

Εξαιτίας των ελλείψεων κάποιων μακροθρεπτικών ή μικροθρεπτικών στο ενυδραιοπονικό διάλυμα είναι φυσικό και επόμενο οι αποδόσεις σε τέτοιου είδους συστήματα να είναι μειωμένες σε σχέση με τα υδροπονικά συστήματα που έχουν ένα θρεπτικό διάλυμα πλούσιο σε όλα τα θρεπτικά που χρειάζεται ένα φυτό.

Επίσης αναμενόμενο είναι ότι σημαντικό ρόλο στην απόδοση των φυτών αγγουριού παίζει η πυκνότητα φύτευσης. Σύμφωνα με τους Ayirio et al. (2021), σε πείραμα με υδροπονική καλλιέργεια αγγουριού παρατηρήθηκε μεγαλύτερη απόδοση στην μεταχείριση η οποία είχε δύο φυτά ανά δοχείο, συγκριτικά με την μεταχείριση που είχε ένα φυτό ανά δοχείο. Μάλιστα το πείραμα αυτό έγινε με δύο επαναλήψεις, μία σε υπόστρωμα περλίτη και μία σε υπόστρωμα με φλοιό πεύκου. Τα αποτελέσματα ήταν ίδια και στις δύο περιπτώσεις.

Επιπλέον σύμφωνα με τους Ayirio et al. (2021) αποδείχθηκε ότι τα συστήματα που βασίζονται στην ανάπτυξη φυτών σε υποστρώματα οδήγησαν σε κακή σύγκριση απόδοσης μεταξύ ενυδραιοπονίας και υδροπονίας.

Σύμφωνα με τους Castillo-Castellanos et al. (2016), σε πείραμα που πραγματοποίησαν με καλλιέργεια μαρουλιού, αγγουριού και τιλάπιας συγκρίνοντας το ενυδραιοπονικό σύστημα με το υδροπονικό προέκυψε ότι το χλωρό και ξηρό βάρος του φυλλώματος και η απόδοση σε μαρούλι ήταν υψηλότερα στην υδροπονία συγκριτικά με την ενυδραιοπονία με το ίδιο φαινόμενο να σημειώνεται και στο αγγούρι για τον αριθμό καρπών και την απόδοση αντίστοιχα. Αυτό μπορεί να αποδοθεί σε χαμηλές συγκεντρώσεις θρεπτικών στοιχείων και αναφέρεται ότι στο ενυδραιοπονικό σύστημα το μέσο βάρος μαρουλιού ήταν 18,8 γραμμάρια και η απόδοση 47,9 g m⁻², ενώ στο υδροπονικό το μέσο βάρος ήταν 123,2 γραμμάρια και η μέση απόδοση ήταν 726,9 g m⁻². Παρακάτω στον πίνακα 7 παρουσιάζονται αναλυτικότερα τα όσα υποστηρίζουν οι παραπάνω επιστήμονες για το συγκεκριμένο πείραμα.

Πίνακας 7: Απόκριση ανάπτυξης μαρουλιού και αγγουριού σε ενυδραιοπονικό και υδροπονικό σύστημα. (Castillo-Castellanos et al., 2016).

| Παράμετροι | Ενυδραιοπονία | Υδροπονία |
|---------------------------------|---------------|-----------|
| Μαρούλι | | |
| Σπόροι φυτών (m ⁻²) | 10 | 10 |
| Επιβίωση φυτών (%) | 54,6 | 59,2 |
| Χλωρό βάρος (g) | 18,8 | 123,2 |
| Ξηρό βάρος (g) | 1,5 | 9,1 |
| Ύψος (cm) | 18,7 | 42,2 |
| Απόδοση (g m ⁻²) | 47,9 | 726,8 |
| Αγγούρι | | |
| Σπόροι φυτών (m ⁻²) | 6,6 | 6,6 |
| Επιβίωση φυτών (%) | 100 | 100 |
| Μήκος καρπού (cm) | 11,8 | 12,8 |
| Πλάτος καρπού (cm) | 4,1 | 4,2 |
| Βάρος καρπού (g) | 127,6 | 155,4 |

| | | |
|--------------------------------|------|-------|
| Αριθμός καρπών m ⁻² | 1,76 | 8,5 |
| Απόδοση (g m ⁻²) | 78,7 | 421,6 |

Επιπρόσθετα οι Baßmann et al. (2017), σε πείραμα που πραγματοποιήθηκε σε ενυδρειοπονικό σύστημα με καλλιέργεια αγγουριού και εκτροφή αφρικανικού γατόψαρου υποστηρίζουν, ότι το μέσο ύψος των φυτών έφτασε τα 445,6 cm και η φυλλική του επιφάνεια ήταν κατά μέσο όρο 800,29 cm². Επίσης το ξηρό βάρος των ριζών ήταν 137 g. Στο ίδιο όμως πείραμα παρατηρήθηκε ότι η συγκαλλιέργεια φυτών και ψαριών δηλαδή η ενυδρειοπονία μπορεί να προσφέρει οφέλη και στην ευημερία των ψαριών οπότε μεγαλύτερες αποδόσεις στα ψάρια. Αφού τα τελικά βάρη των ψαριών κατά μέσο όρο στο ενυδρειοπονικό σύστημα ήταν 333,33 g ενώ στο πρότυπο ήταν 327,58 g.

Μία ακόμη έρευνα η οποία αφορά την σύγκριση καλλιέργειας τομάτας τριών συστημάτων ενυδρειοπονίας NFT, DWC και MBT με υδροπονικό σύστημα σε υπόστρωμα κοκκοφοίνικα, από τους Schmautz et al. (2016), έδειξε ότι αν και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των καρπών της τομάτας ήταν ίδια και στα τρία, μεγαλύτερες αποδόσεις επιτεύχθηκαν στο σύστημα MBT με 18,7 kg m⁻² στην συνέχεια ακολουθεί το σύστημα NFT με 17,5 kg m⁻² και τελευταίο με μικρή διαφορά το σύστημα DWC με 17,4 kg m⁻². Σε παρόμοιο πείραμα με το προηγούμενο αλλά με καλλιέργεια μαρουλιού και εκτροφή ψαριών Murray cod με διάρκεια 21 ημέρες, σύμφωνα με τους Lennard and Leonard et al. (2006) μεγαλύτερη απόδοση μαρουλιού παρατηρήθηκε ξανά στο σύστημα MBT με 5,05 kg m⁻² αλλά αυτή την φορά στα δύο άλλα συστήματα αντιστράφηκε η απόδοση και σε αυτό το πείραμα ακολούθησε το DWC με 4,47 kg m⁻² και τελευταίο το NFT με 4,13 kg m⁻².

Αντίθετα οι Delaide et al. (2017) σε σύγκριση που πραγματοποίησαν σε καλλιέργεια μαρουλιού σε υπόστρωμα με διογκωμένη άργιλο και σύστημα DWC παρατήρησαν μεγαλύτερη απόδοση στο σύστημα DWC και αυτό μαζί με τους Lee et al. (2015) το προσδιορίζουν στο ότι η διογκωμένη άργιλος επηρεάζει τα θρεπτικά στο νεαρό στάδιο των μαρουλιών.

Από την άλλη οι Castillo-Castellanos et al. (2016) σε πείραμα που πραγματοποίησαν με καλλιέργεια μαρουλιού και αγγουριού θέλησαν να συγκρίνουν την απόδοση σε υδροπονικό σύστημα NFT και ενυδρειοπονικό σύστημα. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η απόδοση του μαρουλιού ήταν 18,8 g ανά φυτό και 47,9 g m⁻² στην ενυδρειοπονία ενώ στην υδροπονία ήταν 123,2 g ανά φυτό και 726,8 g m⁻². Στο αγγούρι ο αριθμός καρπών ήταν 1,76 m⁻² και η απόδοση ήταν 78,7 g m⁻² στην ενυδρειοπονία ενώ στην υδροπονία ήταν 8,5 m⁻² και 421 g m⁻² αντίστοιχα. Αυτό οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στην έλλειψη θρεπτικών στο ενυδρειοπονικό διάλυμα.

Αντίθετοι με το παραπάνω αποτέλεσμα είναι οι Savidon et al. (2007) οι οποίοι σύγκριναν μια ενυδρειοπονική καλλιέργεια αγγουριού και τομάτας με μια κλασική υδροπονική σε διάρκεια ενός χρόνου και οι αποδόσεις της ενυδρειοπονίας ξεπέρασαν σημαντικά αυτές της υδροπονίας. Πιο συγκεκριμένα στο ενυδρειοπονικό σύστημα οι αποδόσεις ήταν 20,7 kg ανά φυτό ανά έτος στην τομάτα και 33,4 kg ανά φυτό ανά έτος στο μίνι αγγούρι. Ενώ στο υδροπονικό σύστημα οι αντίστοιχες αποδόσεις ήταν 16,8 kg ανά φυτό ανά έτος και 28,1 kg ανά φυτό ανά έτος.

Επιπλέον η απόδοση των φυτών σε ένα ενυδρειοπονικό σύστημα εξαρτάται από την τιμή pH που επικρατεί στο θρεπτικό διάλυμα. Γενικά αξίζει να σημειωθεί ότι η ιδανική

τιμή του pH στα ψάρια και στα βακτήρια είναι υψηλότερη από την ιδανική για τα φυτά. Οπότε αν δεν διορθωθεί η τιμή του θα υπάρχουν επιπτώσεις είτε στα φυτά είτε στα ψάρια και θα επηρεαστούν αρκετά οι αντίστοιχες αποδόσεις. Σύμφωνα με τους Tyson et al. (2008), η τιμή του pH στο θρεπτικό διάλυμα ήταν πιο σημαντική από τον πληθυσμό των νιτροποιητικών βακτηρίων. Πιο συγκεκριμένα η απόδοση στο πρώιμο εμπορεύσιμο καρπό αγγουριού μειώθηκε γραμμικά από 1,5 kg ανά φυτό σε 0,7 kg ανά φυτό όταν το pH αυξήθηκε από 6 σε 8 αλλά η συνολική εμπορεύσιμη απόδοση δεν άλλαξε ιδιαίτερα.

Επιπρόσθετα αξίζει να σημειωθεί ότι σε ένα ενυδρειοπονικό σύστημα μεγαλύτερη σημασία παίζει η καλλιέργεια των φυτών και όχι τόσο των ψαριών γιατί η μεγαλύτερη απόδοση άρα και κέρδος ανάμεσα σε ψάρια και φυτά αποδίδεται στα φυτά. Αυτό τεκμηριώνεται και από τους Andriani et al. (2017) και Love et al. (2015b).

Συνοψίζοντας είναι πολλοί εκείνοι οι παράγοντες που επηρεάζουν τις αποδόσεις και αν και παρατηρούνται χαμηλές αποδόσεις γενικά στα ενυδρειοπονικά συστήματα υπήρχαν κάποιοι ερευνητές οι οποίοι βρήκαν ίσες ή καλύτερες αποδόσεις συγκριτικά με τα υδροπονικά συστήματα. Αυτό οδηγεί τους επιστήμονες στο να ερευνήσουν περισσότερο αυτήν την μέθοδο, ειδικά σε σύστημα MBT που φαίνεται να είναι πιο αποδοτικό.

2.3. Εξοικονόμηση νερού και λιπασμάτων στην ενυδρειοπονία

Είναι γεγονός ότι η ενυδρειοπονία εξοικονομεί σε μεγάλο βαθμό νερό, αφού σε ένα ενυδρειοπονικό σύστημα το νερό κάνει κύκλο και δεν χάνεται στο έδαφος όπως συμβαίνει σε άλλες μεθόδους παραγωγής. Επίσης στα ενυδρειοπονικά συστήματα δεν προστίθενται καθόλου λιπάσματα οπότε αυτό τα καθιστά πολύ πιο οικολογικά, αλλά ταυτόχρονα ο παραγωγός αποδεσμεύεται από ένα μεγάλο κόστος που είναι αυτό των λιπασμάτων και παράλληλα το προϊόν που παράγει είναι απαλλαγμένο από χημικά άρα και μεγαλύτερης εμπορικής αξίας. Συνεπώς το κέρδος του είναι διπλό.

Πιο συγκεκριμένα σύμφωνα με τους Nelson et al. (2008) όταν ένα σύστημα ενυδρειοπονίας βρίσκεται σε ισορροπία μπορεί να αποδώσει πολύ καλά και σε φυτά και σε ψάρια χωρίς να χρειαστεί η προσθήκη λιπασμάτων, φυτοπροστατευτικών ουσιών και εντομοκτόνων. Άρα έτσι περιορίζονται σημαντικά τα έξοδα και το προϊόν αποκτά μεγαλύτερη εμπορική αξία αφού είναι απαλλαγμένο από πρόσθετα χημικά.

Όσον αφορά στο νερό, σύμφωνα με μια ερευνητική μελέτη που πραγματοποίησε το πανεπιστήμιο του Γκέτεμποργκ, η ανακυκλοφορία που γίνεται στα ενυδρειοπονικά συστήματα πετυχαίνει το 95% ως και 99% της αποδοτικότητας επαναχρησιμοποίησης του. Η ποιότητα νερού παρά την συνεχή χρήση διατηρούνταν και η απαίτηση σε νερό ήταν λιγότερη από 100 L kg⁻¹ ψαριού. Σε αυτή την μελέτη συμφωνεί και η φάρμα Ougoboros η οποία εφαρμόζει ενυδρειοπονία και υποστηρίζει ότι παρά την μεγάλη της έκταση χρησιμοποιεί μόνο 60000 γαλόνια νερού ανά έτος, ενώ ένας απλός χωματόκηπος απορροφά περισσότερα από 100 γαλόνια νερού την ημέρα. Επίσης μια άλλη μελέτη ενός ενυδρειοπονικού συστήματος μικρής κλίμακας έδειξε ότι οι απώλειες σε νερό την ημέρα ήταν μόνο 1% και ανά έτος χρησιμοποιεί περίπου 35.950 l νερού.

Επιπλέον σύμφωνα με τους Campbells et al. (2020) η μέθοδος της ενυδρειοπονίας σε αντίθεση με τα φυτά στο έδαφος τα οποία απορροφούν νερό σε σύντομο χρονικό διάστημα, μπορεί να ευδοκιμήσει γιατί μπορεί και χρησιμοποιεί το ίδιο νερό για αρκετές εβδομάδες οπότε αποτελεί μια αρκετά βιώσιμη μέθοδο καλλιέργειας.

Σύμφωνα με τους Liang and Chien et al. (2013) σε πείραμα με ενυδρειοπονική καλλιέργεια σπανακιού και τιλάπιας με διάρκεια 4 εβδομάδων, η απώλεια νερού ήταν μόνο 3,3% και οφειλόταν στην διαπνοή των φύλλων και την εξάτμιση. Σε αυτό συμφωνούν και οι Al-Hafedh et al. (2008), οι οποίοι σε ενυδρειοπονική καλλιέργεια μαρουλιού και τιλάπιας καθημερινά αναπλήρωναν μόνο το 1,4% του συνολικού νερού του συστήματος και παραγόταν 45 kg ψάρια m⁻² νερού και 42 μαρούλια m⁻² μαρουλιού σε αντίθεση με εκτεταμένες ή ημιεντατικές πρακτικές καλλιέργειας όπου 20-25% νερού χάνεται καθημερινά και η παραγωγή είναι 8-15 kg ψάρια m⁻² νερού . Σε όλα αυτά συμφωνούν και οι Rakocy et al. (1997).

2.4. Σκοπός εργασίας

Σκοπός της συγκεκριμένης εργασίας είναι συγκριτική μελέτη ανάπτυξης και απόδοσης καλλιέργειας αγγουριού σε υδροπονικό και ενυδρειοπονικό σύστημα πιλοτικής κλίμακας. Η καλλιέργεια αφορούσε την τεχνική MBT με υπόστρωμα περλίτη ενώ το σύστημα ιχθυοκαλλιέργειας αντιπροσωπεύονταν από την εκτροφή τιλάπιας. Σύμφωνα με τα ερευνητικά αποτελέσματα που προκύπτουν από την βιβλιογραφία υπάρχουν περαιτέρω παράγοντες που ωθούν την ενυδρειοπονία ανταγωνιστική ως προς την υδροπονία. Επιπλέον τα αποτελέσματα ερευνών ως προς την εφαρμογή ενυδρειοπονικής καλλιέργειας φυτών μεγάλου βιολογικού κύκλου (π.χ. τομάτα, αγγουράκι) είναι περιορισμένα σε συστήματα πιλοτικής κλίμακας. Η παρούσα εργασία αποσκοπεί στην διερεύνηση της απόδοσης ενυδρειοπονικής καλλιέργειας αγγουριού σε συζευγμένο ενυδρειοπονικό σύστημα εγκατεστημένο σε θερμοκήπιο πιλοτικής κλίμακας.

3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

3.1. Πειραματικές εγκαταστάσεις

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε το έτος 2020, στις εγκαταστάσεις του αγροκτήματος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στην περιοχή του Βελεστίνου στο Νομό Μαγνησίας. Το αγρόκτημα απέχει 17 km από τον Βόλο και έχει προσανατολισμό Βορρά προς Νότο. Το υψόμετρο της περιοχής είναι 85m και βρίσκεται σε γεωγραφικό πλάτος 39° 44' και γεωγραφικό μήκος 22° 79'.



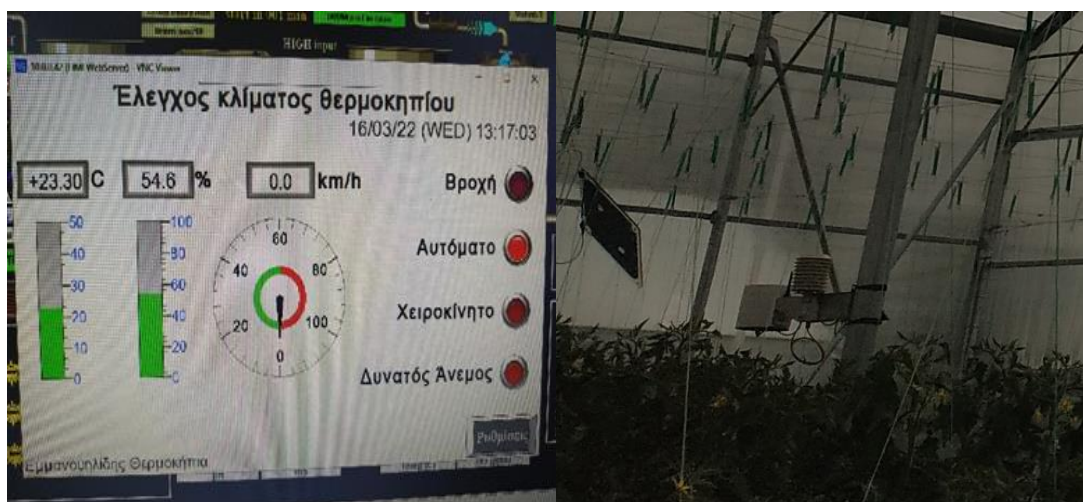
Εικόνα 7: Το θερμοκήπιο (νότια πλευρά) (Αριστερά). Θάλαμος ιχθυοκαλλιέργειας (Δεξιά).

Το πείραμα διεξάχθηκε σε θερμοκήπιο προηγμένης τεχνολογίας έκτασης 440 m² (Εικόνα 7, Αριστερά), από τα οποία τα 359,5 m² αφορούν στο υδροπονικό σύστημα, και τα 80,5 m² στον θάλαμο ιχθυοκαλλιέργειας (Εικόνα 7, Δεξιά). Πρόκειται για θερμοκήπιο με στέγη γοθτικού τύπου κατασκευασμένο από γαλβανισμένο χάλυβα. Η οροφή είναι καλυμμένη με πολυαιθυλένιο χαμηλής πυκνότητας και τα πλαϊνά τοιχώματα με πολυκαρβονικά φύλλα. Το ύψος υδρορροής ανέρχεται στα 5 m. Το έδαφος στο υδροπονικό σύστημα είναι καλυμμένο με πλαστικό υλικό εδαφοκάλυψης λευκού χρώματος από την πάνω πλευρά και μαύρου από την κάτω.



Εικόνα 8: Πάνελ υγρής παρειάς (Αριστερά). Ανεμιστήρας (Δεξιά).

Το θερμοκήπιο είναι εξοπλισμένο με σύστημα δροσισμού και θέρμανσης για τον έλεγχο του μικροκλίματος. Το σύστημα δροσισμού απαρτίζεται από πάνελ υγρής παρειάς και ανεμιστήρες. Πιο συγκεκριμένα στην νότια πλευρά του θερμοκηπίου έχει τοποθετηθεί πάνελ (17,85 m x 1 m) από πεπαισμένο ειδικό χαρτί το οποίο διαθέτει κενά για να περνά ο εξωτερικός αέρας (Εικόνα 8, Αριστερά). Στην Βόρεια πλευρά του θερμοκηπίου υπάρχουν 4 ανεμιστήρες οι οποίοι αντλούν αέρα ώστε να περάσει από το πάνελ που βρέχεται και μέσω της εξάτμισης να ψυχθεί το θερμοκήπιο (Εικόνα 8, Δεξιά). Για τον έλεγχο των χαμηλών θερμοκρασιών το θερμοκήπιο διαθέτει αερολέβητα με καυστήρα πετρελαίου.



Εικόνα 9: Λογισμικό ελέγχου κλίματος θερμοκηπίου (Αριστερά), Μετεωρολογικός σταθμός (Δεξιά).

Ο αερισμός του θερμοκηπίου πραγματοποιείται μέσω των 2 παραθύρων οροφής καλυμμένων με εντομοστεγανά δίχτυα. Επιπλέον το θερμοκήπιο είναι εξοπλισμένο με μετεωρολογικό σταθμό (METOS by Pessl, IMT180) (Εικόνα 9, Δεξιά) που περιλαμβάνει αισθητήρα μέτρησης θερμοκρασίας και υγρασίας και πυρανόμετρο. Λογισμικό ελέγχου του μικροκλίματος βρίσκεται εγκατεστημένο σε ηλεκτρονικό υπολογιστή (Εικόνα 9, Αριστερά) ώστε με βάση τις εσωτερικές συνθήκες (θερμοκρασία, υγρασία) να ενεργοποιεί τα συστήματα δροσισμού ή θέρμανσης και να επικρατούν πάντα οι επιθυμητές συνθήκες για την ανάπτυξη της εγκατεστημένης καλλιέργειας.

3.1.1. Εγκαταστάσεις υδροπονικής καλλιέργειας και λειτουργία

Το υδροπονικό σύστημα αποτελείται από την κεφαλή υδρολίπανσης και τα υδροπονικά κανάλια. Η λειτουργία του επικεντρώνεται στην κεφαλή υδρολίπανσης η οποία ελέγχει την παρασκευή του θρεπτικού διαλύματος μέσω των αισθητήρων που διαθέτει (Εικόνα 10, Αριστερά). Πιο συγκεκριμένα η κεφαλή υδρολίπανσης είναι εξοπλισμένη με αισθητήρες μέτρησης pH, ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) και πίεσης νερού για την παρασκευή θρεπτικού διαλύματος συγκεκριμένου όγκου και παραμέτρων ποιότητας ανάλογα με τις ανάγκες της καλλιέργειας. Το θρεπτικό διάλυμα παρασκευάζεται με την άντληση πυκνών διαλυμάτων που περιέχονται σε δεξαμενές (120 L) από δοσομετρικές αντλίες εγκατεστημένες στην κεφαλή. Επιπλέον ξεχωριστή δεξαμενή (πορτοκαλί) διαθέτει το οξύ το οποίο αντλείται από δοσομετρική αντλία για

την ρύθμιση του pH. Η κεφαλή υδρολίπανσης μέσω αντλίας στέλνει το φρέσκο διάλυμα σε δεξαμενές αποθήκευσης (500 L) από τις οποίες αντλείται για την άρδευση της καλλιέργειας (Εικόνα 10, Δεξιά).



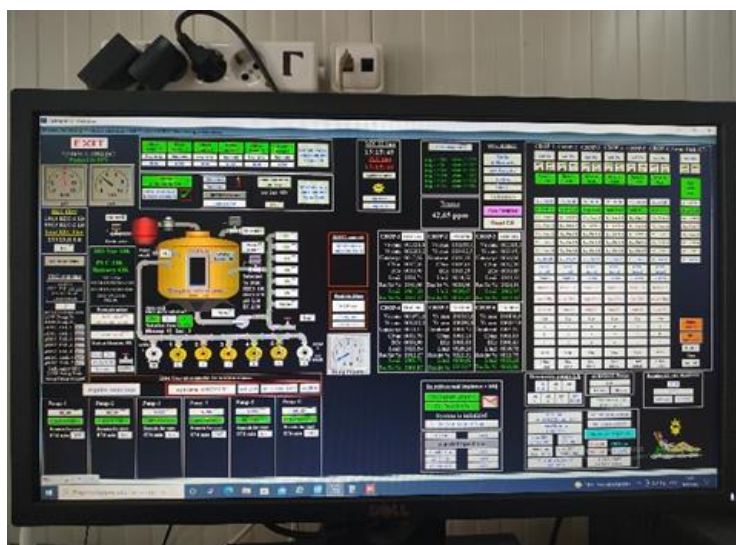
Εικόνα 10: Η κεφαλή υδρολίπανσης και δεξαμενές πυκνών διαλυμάτων (Αριστερά). Δεξαμενές αποθήκευσης θρεπτικού διαλύματος (Δεξιά).

Το σύστημα άρδευσης αντιπροσωπεύει το σύστημα της στάγδην άρδευσης αποτελούμενο από σύστημα σωληνώσεων φ25 από τις δεξαμενές αποθήκευσης του θρεπτικού διαλύματος μέχρι τα υδροπονικά κανάλια. Το θρεπτικό διάλυμα διοχετεύεται στα φυτά μέσα από σταλάκτες οι οποίοι είναι συνδεδεμένοι με μακαρόνια φ6 και λόγχες τοποθετημένες κοντά στις ρίζες των φυτών. Η καλλιέργεια εγκαθίσταται στα υδροπονικά κανάλια τα οποία είναι κατασκευασμένα από χάλυβα και απέχουν 1m μεταξύ τους και 50cm από το έδαφος (Εικόνα 11, Αριστερά). Πάνω στα κανάλια είναι τοποθετημένοι σάκοι από περλίτη ως υπόστρωμα καλλιέργειας των φυτών. Αριστερά και δεξιά το κάθε κανάλι διαθέτει αυλάκια για να στραγγίζουν οι απορροές και μέσω συστήματος σωληνώσεων να καταλήγουν στην Βόρια πλευρά του θερμοκηπίου σε πλαστικές δεξαμενές των 120 λίτρων (Εικόνα 11, Δεξιά).



Εικόνα 11: Υδροπονικά κανάλια (Αριστερά). Δεξαμενές απορροής (Δεξιά).

Ανάλογα με τον τύπο του υδροπονικού συστήματος (κλειστό ή ανοιχτό) οι απορροές μέσω αντλιών διοχετεύονται στην κεφαλή υδρολίπανσης για την παρασκευή εκ νέου θρεπτικού διαλύματος ή απορρίπτονται στο περιβάλλον.



Εικόνα 12: Λογισμικό ελέγχου του υδροπονικού συστήματος

Η διαχείριση του υδατικού διαλύματος είναι πλήρως ελεγχόμενη και αυτοματοποιημένη μέσω λογισμικού εγκατεστημένου σε ηλεκτρονικό υπολογιστή για την ακριβέστερη εκτέλεση και της λίπανσης αλλά και της άρδευσης της καλλιέργειας (Εικόνα 12).

3.1.2. Εγκαταστάσεις ιχθυοκαλλιέργειας και λειτουργία

Το σύστημα της ιχθυοκαλλιέργειας απαρτίζεται από τις δεξαμενές ψαριών, τα φίλτρα και την καθαρή δεξαμενή (Εικόνα 13, Αριστερά). Οι δεξαμενές των ψαριών είναι 3 και ανέρχονται στα 1300 λίτρων η καθεμία (Εικόνα 13, Δεξιά). Στην συνέχεια μέσα από σωλήνες με την βοήθεια της βαρύτητας το διάλυμα πηγαίνει σε μία δεξαμενή 'buffer' (500 L), όπου ομογενοποιείται το διάλυμα και από τις τρεις δεξαμενές των ψαριών και κατακάθονται στερεά σωματίδια και υπολείμματα τροφής. Μέσω της βαρύτητας το διάλυμα περνά στο μηχανικό φίλτρο τυμπάνου με χωρητικότητα 150 λίτρα. Εκεί το νερό καθαρίζεται και τα στερεά απόβλητα αποβάλλονται έξω από το θερμοκήπιο. Το φιλτραρισμένο διάλυμα με βαρύτητα περνάει στην δεξαμενή 'Biofilter' (500 L) που αποτελεί το βιολογικό φίλτρο του συστήματος (Εικόνα 14, Αριστερά). Μέσα στη δεξαμενή είναι εγκατεστημένη η αποικία των βακτηρίων σε κεραμικό υλικό πλήρωσης (ceramic rings, 15 mm). Εκεί βακτήρια του γένους *Nitrosomonas* μετατρέπουν την αμμωνία (NH_3^-) σε νιτρώδη (NO_2^-) και βακτήρια του γένους *Nitrobacter* τα νιτρώδη (NO_2^-) σε νιτρικά (NO_3^-) μέσω της νιτροποιητικής διαδικασίας.



Εικόνα 13 Συνολική άποψη συστήματος ιχθυοκαλλιέργειας (Αριστερά). Δεξαμενή εκτροφής ψαριών (Δεξιά).

Έπειτα το νερό καταλήγει στην καθαρή τελική δεξαμενή χωρητικότητας 2500 λίτρων. Από εκεί είτε αντλείται από την κεφαλή υδρολίπανσης για την άρδευση της καλλιέργειας είτε επιστρέφει πίσω στις δεξαμενές των ψαριών ώστε να υπάρχει 100% ανακυκλοφορία του νερού στο σύστημα ιχθυοκαλλιέργειας. Καθημερινά το διάλυμα ιχθυοκαλλιέργειας που χάνεται για την άρδευση της καλλιέργειας αναπληρώνεται από νερό ύδρευσης το οποίο αποθηκεύεται σε δεξαμενή των 800 λίτρων στο θάλαμο ιχθυοκαλλιέργειας. Έτσι ο όγκος νερού του συστήματος διατηρείται σταθερός και ανέρχεται περίπου στα 6,3 m³.



Εικόνα 14: Δεξαμενές ‘Buffer’ και ‘Biofilter’ και μηχανικό φίλτρο (Αριστερά). Καθαρή δεξαμενή (Δεξιά).

Για την κάλυψη των αναγκών των ψαριών και των βακτηρίων σε οξυγόνο υπάρχει εγκατεστημένο σύστημα παροχής αέρα αποτελούμενο από την αεραντλία και σύστημα σωληνώσεων που καταλήγουν στις αερόπυρες (Εικόνα 15, Αριστερά). Συνολικά το

σύστημα διαθέτει 22 αερόπετρες διαμοιρασμένες σε όλα τα μέρη του συστήματος και κυρίως στις δεξαμενές ψαριών και στο βιολογικό φίλτρο.

Η εξασφάλιση της σωστής λειτουργίας του συστήματος γίνεται μέσω του λογισμικού ελέγχου το οποίο όπως αναφέρθηκε παραπάνω είναι εγκατεστημένο στον ηλεκτρονικό υπολογιστή (Εικόνα 15, Δεξιά). Μέσω του συστήματος λήψης αποφάσεων λοιπόν ο συνολικός όγκος νερού του συστήματος διατηρείται σταθερός, ελέγχεται ο καθαρισμός του νερού και η παροχή οξυγόνου. Αισθητήρες pH, ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC), οξυγόνου (DO) και θερμοκρασίας βοηθούν στην πλήρη παρακολούθηση των παραμέτρων ποιότητας νερού και την άμεση επέμβαση σε περίπτωση ακραίων τιμών.



Εικόνα 15: Σύστημα αερισμού με αερόπετρες (Αριστερά). Φύλλο λογισμικού ελέγχου συστήματος ιχθυοκαλλιέργειας (Δεξιά).

3.2. Το πειραματικό σχέδιο

Το σχέδιο που ακολουθήθηκε στο συγκεκριμένο πείραμα ήταν το «Πλήρες τυχαιοποιημένο σχέδιο». Το θερμοκήπιο ήταν χωρισμένο σε τρία υποτεμάχια blocks και κάθε block αξιοποιούσε 4 υδροπονικά κανάλια με αποστάσεις μεταξύ τους 1 m. Εφαρμόστηκε 1 μεταχείριση με έξι επαναλήψεις στο θερμοκήπιο και 92 φυτά. Παράγοντας ήταν το θρεπτικό διάλυμα. Τον μάρτυρα αποτελούσε η εφαρμογή της υδροπονίας ενώ την μεταχείριση το διάλυμα ιχθυοκαλλιέργειας μετά από επέμβαση μεθειικό οξύ. Για λόγους συντομίας και διευκόλυνσης του αναγνώστη, όταν γίνεται αναφορά στην υδροπονία θα αναγράφονται τα αρχικά HP ενώ όταν γίνεται αναφορά στην ενυδρείοποινα, τα αρχικά AQP.

3.3. Πειραματικό υλικό και καλλιεργητικές φροντίδες

3.3.1. Φυτικό υλικό και εγκατάσταση

Τα πειραματικά φυτά εγκαταστάθηκαν στο θερμοκήπιο στις 21 Αυγούστου 2020. Η καλλιέργεια αφορούσε την αγγουριά (*Cucumis sativus* var. *Aisopos*). Κατά τη μεταφύτευση τα φυτά που ήταν φυτρωμένα σε κύβους πετροβάμβακα τοποθετήθηκαν πάνω στα ανοίγματα των σάκων. Δύο μέρες πριν τη μεταφύτευση προηγήθηκε πότισμα των σάκων του περλίτη με τα θρεπτικά διαλύματα της κάθε μεταχείρισης ώστε να αποκτήσουν την κατάλληλη τιμή ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC). Μετά την

τοποθέτηση των κύβων έγινε στήριξη των φυτών με σχοινιά που κρεμόταν από την οροφή του θερμοκηπίου πάνω από κάθε φυτό και ειδικά πλαστικά δαχτυλίδια ένωσαν το φυτό με τον σπάγκο.. Ακολούθησε αρίθμηση των φυτών πάνω στους σάκους, η σήμανση των επιλεγμένων τυχαίων φυτών για τις μετρήσεις με κόκκινη ταινία πάνω στο βλαστό και η σήμανση του κάθε καναλιού με ταμπελάκια που αναγράφονταν το block, η γραμμή και η μεταχείριση. Η καλλιέργεια διήρκησε περίπου τρεις μήνες από την μεταφύτευση των φυτών μέχρι και την τελευταία συγκομιδή στις 16 Νοεμβρίου 2020 και πιο συγκεκριμένα 87 ημέρες.



Εικόνα 16: Η ανάπτυξη των φυτών των δύο μεταχειρίσεων σε δύο χρονικές περιόδους. Και στις δύο περιόδους αριστερά είναι το κανάλι της υδροπονίας και δεξιά το κανάλι της ενυδρειοπονίας

Η πυκνότητα φύτευσης ήταν 2,5 φυτά ανά m^2 . Συνολικά και για τις δύο μεταχειρίσεις, χρησιμοποιήθηκαν 184 φυτά. Για τις εβδομαδιαίες μετρήσεις μήκους βλαστού και αριθμού φύλλων χρησιμοποιούνταν 24 επιλεγμένα φυτά, 12 από κάθε μεταχείριση, τα ίδια κάθε εβδομάδα, ενώ για τις καταστροφικές επιλέγονταν τυχαία κάθε 10 μέρες 12 φυτά, 6 από κάθε μεταχείριση και πιο συγκεκριμένα δύο από κάθε block, κοβόταν και μετρούνταν τα μήκη του βλαστών τους, ο αριθμός των φύλλων τους, το χλωρά βάρη των βλαστών και των φύλλων καθώς και τα ξηρά τους βάρη.

Οι απορροές αυτές που προέρχονταν από τις γραμμές την υδροπονίας αποβάλλονταν έξω από το θερμοκήπιο. Ενώ οι απορροές που προέρχονταν από τις γραμμές της ενυδρειοπονίας επέστρεφαν αφού καθαριζόταν με τα κατάλληλα φίλτρα στις δεξαμενές με τα ψάρια.

3.3.2 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.

3.3.3. Καλλιεργητική τεχνική

Σ' αυτήν την υποενότητα θα παρουσιαστούν συνοπτικά οι τεχνικές και οι καλλιεργητικές φροντίδες που ακολουθήθηκαν για τη σωστή ανάπτυξη των φυτών καθώς και τη δημιουργία όσο γίνεται ευνοϊκότερου περιβάλλοντος για τη βέλτιστη παραγωγή καρπών.

- **Κλάδεμα**

Στα φυτά του πειράματος πραγματοποιούνταν αφαίρεση των πρώτων φύλλων τα οποία ήταν πολύ χαμηλά με αποτέλεσμα να ακουμπούν πάνω στους σάκους και να δυσκολεύουν τον αερισμό των φυτών και τις διάφορες εργασίες και μετρήσεις. Επίσης γινόταν αφαίρεση των πλαγίων βλαστών που φύτρωναν ανά διαστήματα και βέβαια αφαιρούνταν και τα άρρωστα φύλλα. Η αφαίρεση των πλαγίων και των άρρωστων φύλλων γινόταν από την αρχή της καλλιέργειας, ενώ η αφαίρεση των κάτω φύλλων ξεκίνησε στις 29 Σεπτεμβρίου δηλαδή 39 μέρες μετά την φύτευση.

- **Στήριξη φυτών**

Όπως είναι γνωστό το φυτό της αγγουριάς είναι αναρριχόμενο φυτό με έλικες, έτσι ακολούθησε μέθοδος υποστήλωσης των βλαστών με κατακόρυφους σπάγκους οι οποίοι ήταν δεμένοι σε σύρματα πάνω στο σκελετό του θερμοκηπίου και πλαστικά στρόγγυλα πιαστράκια σαν δακτυλίδια που δένανε το φυτό με τον σπάγκο.

- **Άρδευση**

Το σύστημα άρδευσης της καλλιέργειας ήταν στάγδην άρδευση και γινόταν αυτόματα με παροχή σταλακτών όπως απεικονίζεται και στην (Εικόνα 11, Αριστερά). Η συχνότητα της άρδευσης δεν ήταν σταθερή και άλλαζε από μεταχείριση σε μεταχείριση αλλά και ανάλογα με το στάδιο ανάπτυξης των φυτών. Συνολικά για όλη την καλλιεργητική περίοδο καταναλώθηκαν $0,52 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$ για την μεταχείριση της υδροπονίας και $0,45 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$ για την ενυδρείοπονία.

- **Λίπανση**

Όσον αφορά στη λίπανση της καλλιέργειας, πραγματοποιήθηκε με βάση την βιβλιογραφία Σάββας 2011 και αναγράφονται πιο συγκεκριμένα στον Πίνακα 8. Χρησιμοποιήθηκαν 2 συνταγές μία κατά το βλαστικό στάδιο από την day 0 έως και την day 24 και μία κατά το στάδιο καρποφορίας από την day 25 έως και το τέλος του πειράματος. Οι αλλαγές των δύο συνταγών παρατηρούνται στα νιτρικά, στα φωσφορικά, στο ασβέστιο, στο μαγνήσιο και στο σίδηρο τα οποία μειώνονται στο δεύτερο στάδιο αλλά και στο κάλιο και το θείο τα οποία αυξάνονται στο στάδιο καρποφορίας. Τα υπόλοιπα στοιχεία παραμένουν σταθερά και στα δύο στάδια.

Πίνακας 8: Πρότυπες συγκεντρώσεις θρεπτικού διαλύματος καλλιέργειας αγγουριού για το στάδια βλάστησης και καρποφορίας αντίστοιχα. Οι συγκεντρώσεις δίνονται σε mmol L^{-1} για τα μακροστοιχεία και $\mu\text{mol L}^{-1}$ για τα ιχνοστοιχεία. (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 |

- **Φυτοπροστασία**

Τις πρώτες πειραματικές ημέρες εντοπίστηκε προσβολή της καλλιέργειας από θρίπα (*Frankliniella occidentalis*). Ο πληθυσμός των εντόμων ελέγχονταν με χρωματιστές παγίδες που τοποθετήθηκαν στο ύψος της καλλιέργειας από την αρχή του πειράματος, αλλά και με ψεκασμούς σύμφωνα με την κοινώς εφαρμοζόμενη πρακτική (Εικόνα 17).



Εικόνα 17: Χρωματιστές παγίδες.

- **Συγκομιδή**

Η συγκομιδή των αγγουριών άρχισε να γίνεται από την 24^η μέρα του πειράματος στις 14 Σεπτεμβρίου. Έπειτα γινόταν περίπου τρεις με τέσσερις φορές την εβδομάδα και σταμάτησε την τελευταία μέρα του πειράματος την 87^η στις 16 Νοεμβρίου. Έγιναν συνολικά 33 συγκομιδές στην ενυδρείοπονία (AQP) και 36 στην υδροπονία (HP). Οι καρποί συλλέγονταν στο κατάλληλο μέγεθος δηλαδή όταν φτάνανε τα 30 εκατοστά σε μήκος και τα 200 γραμμάρια σε βάρος. Η συλλογή των καρπών γινόταν με κλαδευτικά ψαλίδια, ζυγίζονταν σε ζυγαριά ακριβείας και καταμετρούνταν.

3.4. Μετρήσεις

Οι μετρήσεις που αφορούσαν τα μήκη των φυτών, τα φύλλα των φυτών και τα βάρη τους είχαν σκοπό να δώσουν πληροφορίες σχετικά με την ανάπτυξη των φυτών. Και αντίστοιχα οι μετρήσεις που αφορούσαν τους καρπούς να δώσουν πληροφορίες σχετικά με την παραγωγικότητα τους. Όστε να μπορέσουν να συγκριθούν έτσι οι δύο μεταχειρίσεις, ενυδρείοπονία και υδροπονία, σε ένα πλήρες ελεγχόμενο κλίμα και να δώσουν επαρκή αποτελέσματα και συμπεράσματα για το ποια μεταχείριση τελικά αποδίδει καλύτερα τόσο σε φυτική ανάπτυξη όσο και σε παραγωγή.

3.4.1. Μετρήσεις αύξησης

Οι μετρήσεις στα φυτά αφορούσαν τόσο την αύξηση των φυτών όσο και την παραγωγικότητά τους. Από την εγκατάσταση του πειράματος όπως αναφέρθηκε επιλέχθηκαν 24 φυτά συνολικά για τις μετρήσεις του μήκους βλαστού και του αριθμού των φύλλων.. Πιο συγκεκριμένα σε κάθε κανάλι επιλέχθηκαν 2 φυτά, τα κανάλια ήταν 4 σε κάθε block και υπήρχαν 3 block άρα 24 πειραματικά φυτά. Από τα 24 αυτά φυτά τα 12 αφορούσαν την μεταχείριση της υδροπονίας (HP) και τα άλλα 12 της ενυδρείοπονίας (AQP). Οι μετρήσεις αυτές γινόταν κάθε επτά ημέρες. Επίσης κάθε 10 ημέρες επιλεγόταν 1 ακόμη φυτό από κάθε κανάλι δηλαδή στο σύνολο 12, 6

υδροπονίας και 6 ενυδρειοπονίας, τα οποία κοβόταν στο σημείο επαφής του βλαστού με το υπόστρωμα το χλωρό και ξηρό βάρος βλαστού και φύλλων αντίστοιχα. Οι μετρήσεις αύξησης των φυτών επικεντρώνονται λοιπόν στην παρακάτω λίστα και πραγματοποιούνταν σύμφωνα με τις ημερομηνίες που παρατίθενται στον Πίνακα (9):

- αριθμός φύλλων
- μήκος βλαστού
- χλωρό βάρος φύλλων και βλαστού
- ξηρό βάρος φύλλων και των βλαστών

Πίνακας 9: Πρόγραμμα εβδομαδιαίων μετρήσεων αύξησης (Αριστερά), πρόγραμμα καταστροφικών μετρήσεων αύξησης (Δεξιά).

| ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΕΒΔΟΜΑΔΙΑΙΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ | | ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ | |
|-------------------------------------|-----|--------------------------------------|-----|
| ΗΜΕΡΟΜΟΝΙΑ | DAY | ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ | DAY |
| 21/8/2020 | 0 | 21/8/2020 | 0 |
| 28/8/2020 | 7 | 1/9/2020 | 11 |
| 4/9/2020 | 14 | 11/9/2020 | 21 |
| 11/9/2020 | 21 | 21/9/2020 | 31 |
| 18/9/2020 | 28 | 1/10/2020 | 41 |
| 25/9/2020 | 35 | 11/10/2020 | 51 |
| 2/10/2020 | 42 | 22/10/2020 | 62 |
| 9/10/2020 | 49 | 3/11/2020 | 74 |
| 16/10/2020 | 56 | – | – |
| 23/10/2020 | 63 | – | – |
| 30/10/2020 | 70 | – | – |
| 5/11/2020 | 76 | – | – |

Όπου DAY εννοούνται οι ημέρες από την εγκατάσταση του πειράματος.

Οι μετρήσεις μήκους βλαστού και αριθμού φύλλων γίνονταν κάθε εβδομάδα την ίδια ημέρα στα επιλεγμένα φυτά για να παρατηρείται σωστά η αύξηση τους. Ξεκίνησαν την πρώτη ημέρα του πειράματος και σταμάτησαν την 76^η ημέρα στις 5 Νοεμβρίου και έγιναν συνολικά 12 μετρήσεις. Οι καταστροφικές μετρήσεις γίνονταν ανά 10 μέρες.

3.4.2. Μετρήσεις παραγωγικότητας

Οι συγκομιδές των καρπών όπως αναφέρθηκε παραπάνω γινόντουσαν τρεις με τέσσερις φορές την εβδομάδα και αφορούσαν το συνολικό αριθμό αγγουριών καθώς και το βάρος τους από όλα τα φυτά της κάθε μεταχείρισης. Έγιναν συνολικά 36 συγκομιδές από την 24^η έως και την 87^η που ήταν και η τελευταία μέρα του πειράματος. Παρακάτω παρουσιάζεται το πρόγραμμα μετρήσεων (Πίνακας 10):

Πίνακας 10: Μετρήσεις παραγωγικότητας ανά ημερομηνία και μέρα.

| ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ | DAY | ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ | DAY | ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ | DAY |
|------------|-----|------------|-----|------------|-----|
| 14/9/2020 | 24 | 30/9/2020 | 40 | 23/10/2020 | 63 |
| 16/9/2020 | 26 | 1/10/2020 | 41 | 26/10/2020 | 66 |
| 17/9/2020 | 27 | 2/10/2020 | 42 | 27/10/2020 | 67 |
| 18/9/2020 | 28 | 5/10/2020 | 45 | 29/10/2020 | 69 |
| 21/9/2020 | 31 | 6/10/2020 | 46 | 30/10/2020 | 70 |
| 22/9/2020 | 32 | 8/10/2020 | 48 | 2/11/2020 | 73 |
| 23/9/2020 | 33 | 9/10/2020 | 49 | 4/11/2020 | 75 |
| 24/9/2020 | 34 | 12/10/2020 | 52 | 6/11/2020 | 77 |
| 25/9/2020 | 35 | 14/10/2020 | 54 | 9/11/2020 | 80 |
| 26/9/2020 | 36 | 17/10/2020 | 57 | 11/11/2020 | 82 |
| 28/9/2020 | 38 | 19/10/2020 | 59 | 13/11/2020 | 84 |
| 29/9/2020 | 39 | 22/10/2020 | 62 | 16/11/2020 | 87 |

Όπου DAY είναι η μέρα πειράματος από την εγκατάσταση των φυτών.

Πρέπει να σημειωθεί ότι τις ημέρες 24, 26 και 28 έγινε συγκομιδή μόνο στην υδροπονία και όχι στην ενυδρειοπονία.

3.4.3. Μετρήσεις στο εργαστήριο

Οι μετρήσεις που έγιναν στο εργαστήριο αφορούσαν τα ξηρά βάρη των κομμένων φύλλων και των βλαστών αντίστοιχα που αναφέρθηκε στην προηγούμενη υποενότητα. Αποξηραίνονταν σε ειδικό φούρνο στους 75 °C μέσα σε ανοξείδωτα ταψάκια και στην συνέχεια αφού είχαν αποξηραθεί πλήρως μετρούνταν το βάρος τους σε ζυγαριά ακριβείας.

3.5. Υπολογισμοί

Για να υπολογιστεί ο λόγος του χλωρού προς ξηρό βάρος που θα παρουσιαστεί στα αποτελέσματα διαιρέθηκε το χλωρό βάρος διά το ξηρό βάρος των φύλλων και των βλαστών αντίστοιχα. Επίσης για να γίνει η απόδοση ανά τετραγωνικό που παρουσιάζεται σε επόμενη ενότητα διαιρέθηκε το βάρος των καρπών με τα τετραγωνικά του θερμοκηπίου. Ο δείκτης αποτελεσματικότητας νερού (Water Use Efficiency, WUE) υπολογίστηκε ως ο λόγος της παραγόμενης φυτικής βιομάζας (βάρος καρπών) (kg) προς τον όγκο νερού που καταναλώθηκε για την άρδευση της καλλιέργειας (m³).

3.6. Επεξεργασία δεδομένων και στατιστική ανάλυση

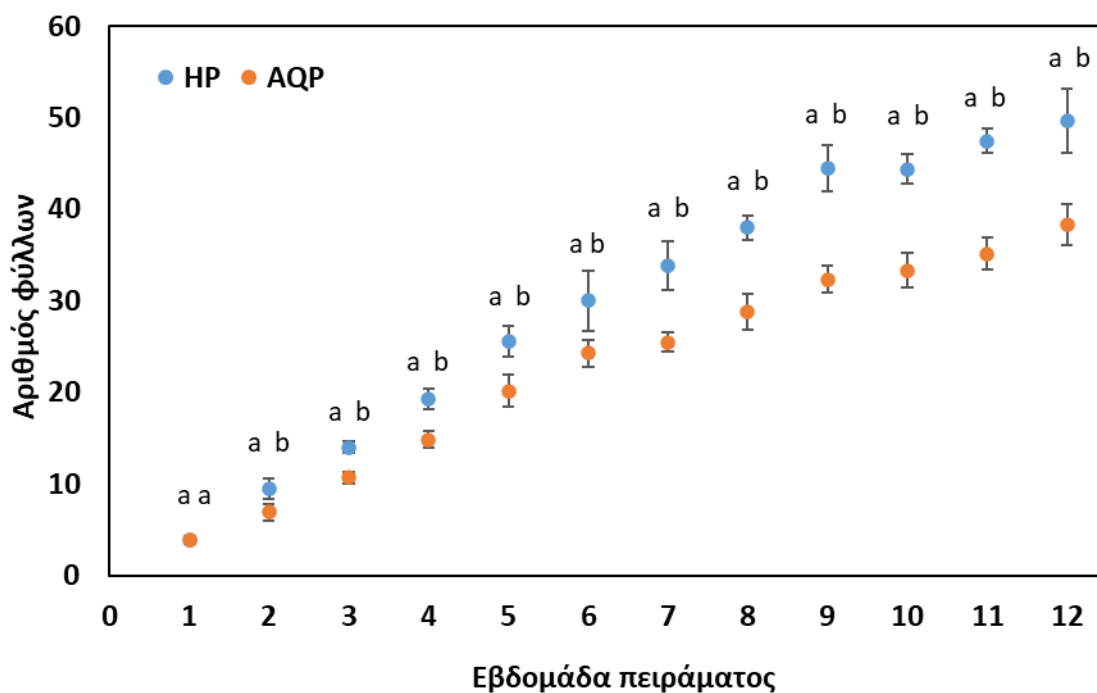
Τα αποτελέσματα του πειράματος περάστηκαν σε φύλλα EXCEL για την επιμέρους επεξεργασία και την δημιουργία διαγραμμάτων. Για την στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε το στατιστικό πακέτο IBM SPSS Statistics 26. Συγκρίθηκαν οι τιμές όλων των παραμέτρων, για κάθε μεταχείριση και μέτρηση με το General Linear Model. Το επίπεδο σημαντικότητας ήταν P=0.05

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.1 Αγρονομικά χαρακτηριστικά ανάπτυξης

4.1.1. Αριθμός φύλλων

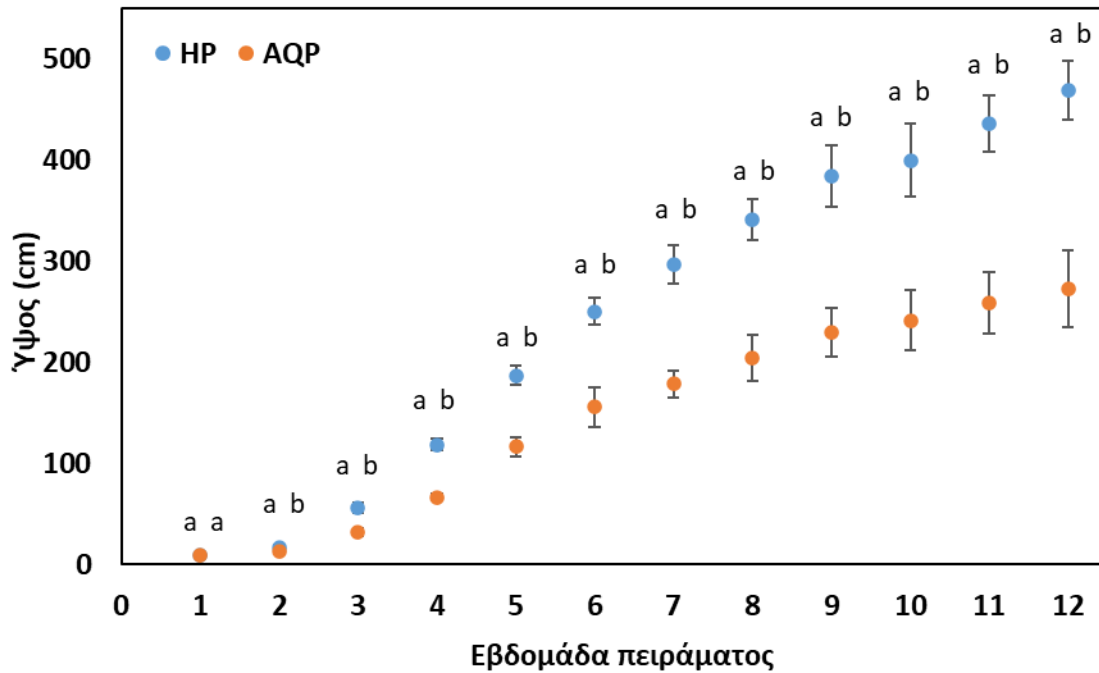
Σύμφωνα με την στατιστική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε προκύπτει ότι ο αριθμός των φύλλων άρχισε να διαφέρει από την δεύτερη κιόλας εβδομάδα με την HP να ξεπερνά την AQP. Όπως φαίνεται και στο Διάγραμμα 1 την πρώτη εβδομάδα δεν διέφεραν καθόλου, ενώ από την δεύτερη κιόλας εβδομάδα ξεκίνησαν οι δύο μεταχειρίσεις να διαφέρουν σημαντικά και όσο περνούσαν οι εβδομάδες αυξανόταν η διαφορά τους συνεχώς φτάνοντας στην ένατη εβδομάδα να αγγίζει το 27,34%. Στην συνέχεια από την ένατη εβδομάδα έως και το τέλος της καλλιεργητικής περιόδου δείχνει να υπάρχει μια μικρή σταθεροποίηση της διαφοράς μεταξύ HP και AQP. Τέλος αξίζει να αναφερθεί ότι η μεταχείριση της HP ξεκίνησε με 3,8 φύλλα κατά μέσο όρο ανά φυτό και κατέληξε στο τέλος να έχει 49,67 ενώ η AQP ξεκίνησε και αυτή με 3,8 και κατέληξε με 38,33.



Διάγραμμα 1: Εξέλιξη με το χρόνο του αριθμού φύλλων των φυτών για τις δύο μεταχειρίσεις χωριστά.

4.1.2. Μήκος βλαστού

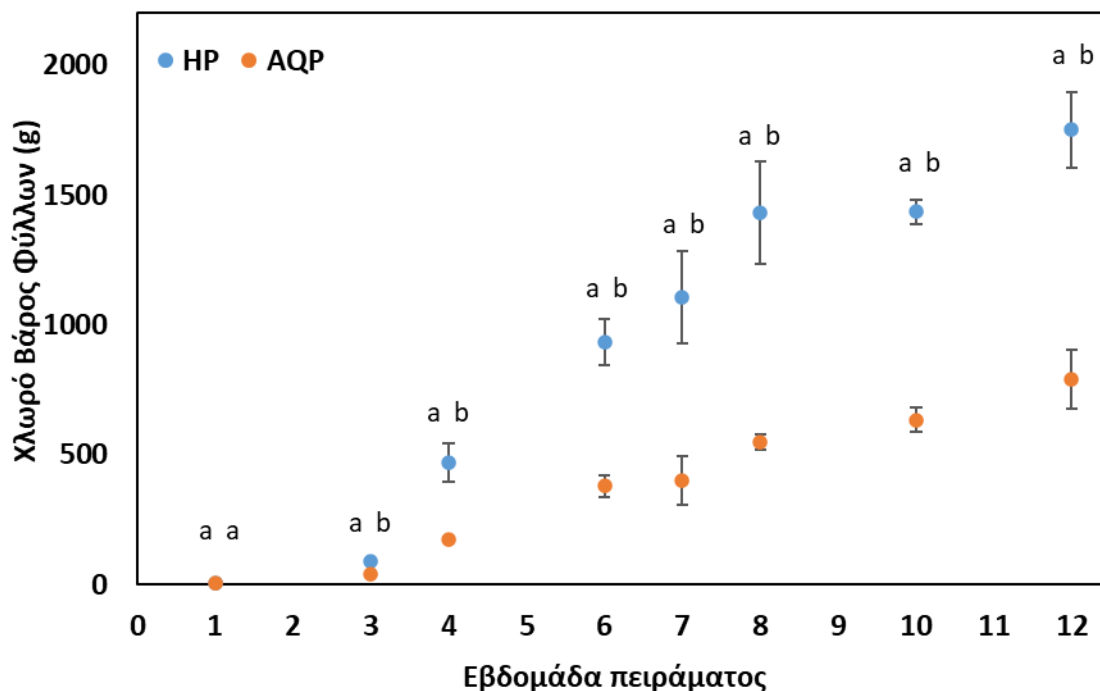
Όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 2 και οι δύο μεταχειρίσεις ξεκίνησαν με το ίδιο μήκος βλαστού και ξεκίνησαν να διαφέρουν σημαντικά από την δεύτερη κιόλας εβδομάδα με την HP να ξεπερνά την AQP. Η διαφορά των μεταχειρίσεων συνέχισε να αυξάνεται σταδιακά και έφτασε την δωδέκατη εβδομάδα να είναι της τάξης του 41,88%. Πιο συγκεκριμένα, τα φυτά και των δύο μεταχειρίσεων ξεκίνησαν με μέσο ύψος 8,6 εκατοστά και τα φυτά της HP έφτασαν να έχουν μέσο ύψος 469,5 εκατοστά την τελευταία εβδομάδα ενώ της AQP 272,83 εκατοστά.



Διάγραμμα 2: Εξέλιξη με το χρόνο του μήκους βλαστού των φυτών για τις δύο μεταχειρίσεις χωριστά.

4.1.3. Χλωρό βάρος φύλλων

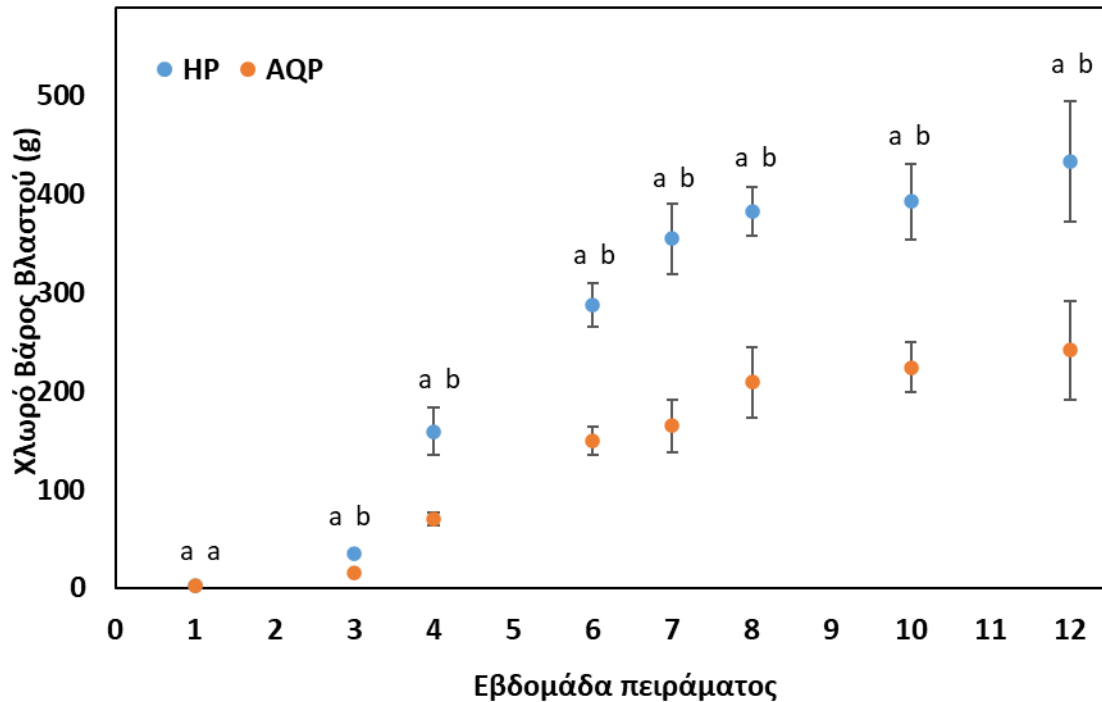
Σύμφωνα με την στατιστική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε προκύπτει ότι οι διαφορές των δύο μεταχειρίσεων στο χλωρό βάρος των φύλλων τους άρχισαν από την τρίτη κιόλας εβδομάδα με την HP να ξεπερνά την AQP. Συνέχισαν να αυξάνονται συνεχώς και την τελευταία εβδομάδα άγγιξε το 54,91%. Όμως όπως φαίνεται και στο διάγραμμα 3 η κορύφωση της διαφοράς έγινε την όγδοη εβδομάδα όπου εκεί άγγιξε το 61,69% με μέσο βάρος 1431,58 γραμμάρια η HP και 548,43 γραμμάρια η AQP.



Διάγραμμα 3: Εξέλιξη με το χρόνο του χλωρού βάρους φύλλων των φυτών για τις δύο μεταχειρίσεις χωριστά.

4.1.4. Χλωρό βάρος βλαστού

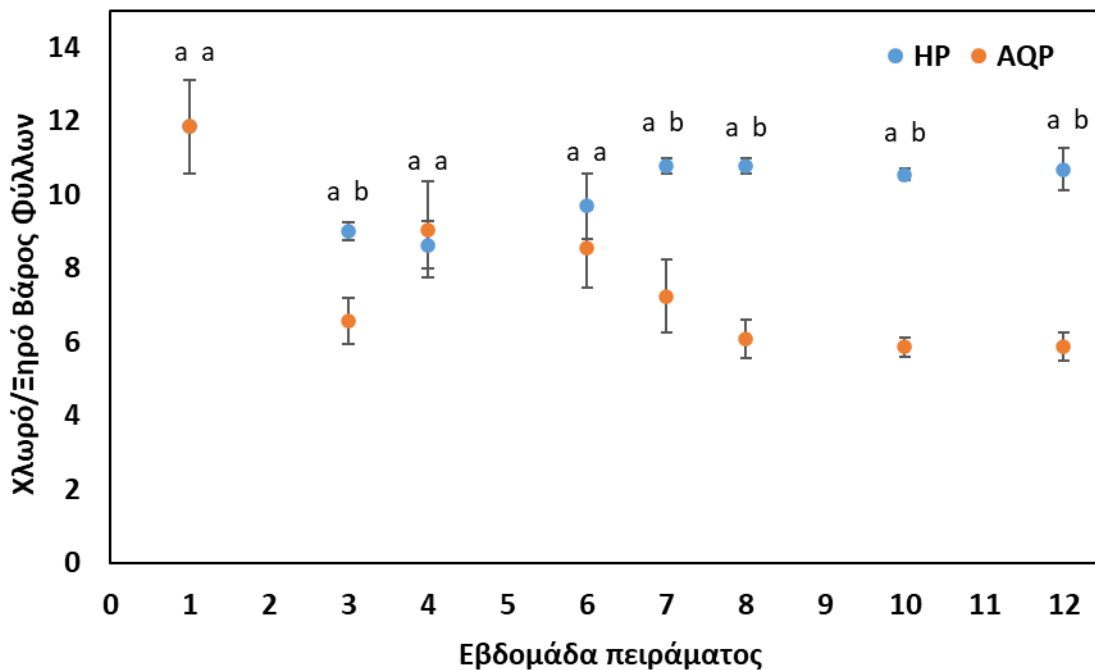
Όπως προκύπτει από την στατιστική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε και αποτυπώνεται στο διάγραμμα 4 και σε αυτήν την περίπτωση όπως και προηγουμένως από τη τρίτη μόλις εβδομάδα τα χλωρά βάρη των βλαστών των δύο μεταχειρίσεων άρχισαν να διαφέρουν σημαντικά με την HP να ξεπερνά την AQP. Οι διαφορές αυτές συνεχίστηκαν μέχρι το τέλος του πειράματος ενώ φαίνεται να ξεχωρίζει η διαφορά που έχουν την έβδομη εβδομάδα που είναι της τάξης του 53,5%. Συνολικά στο τέλος του πειράματος για την HP το μέσο χλωρό βάρος ήταν 433 γραμμάρια ενώ για την AQP ήταν 241,43 σχεδόν τα μισά δηλαδή.



Διάγραμμα 4: Εξέλιξη με το χρόνο του χλωρού βάρους βλαστού των φυτών για τις δύο μεταχειρίσεις χωριστά.

4.1.5. Χλωρό/Ξηρό βάρος φύλλων

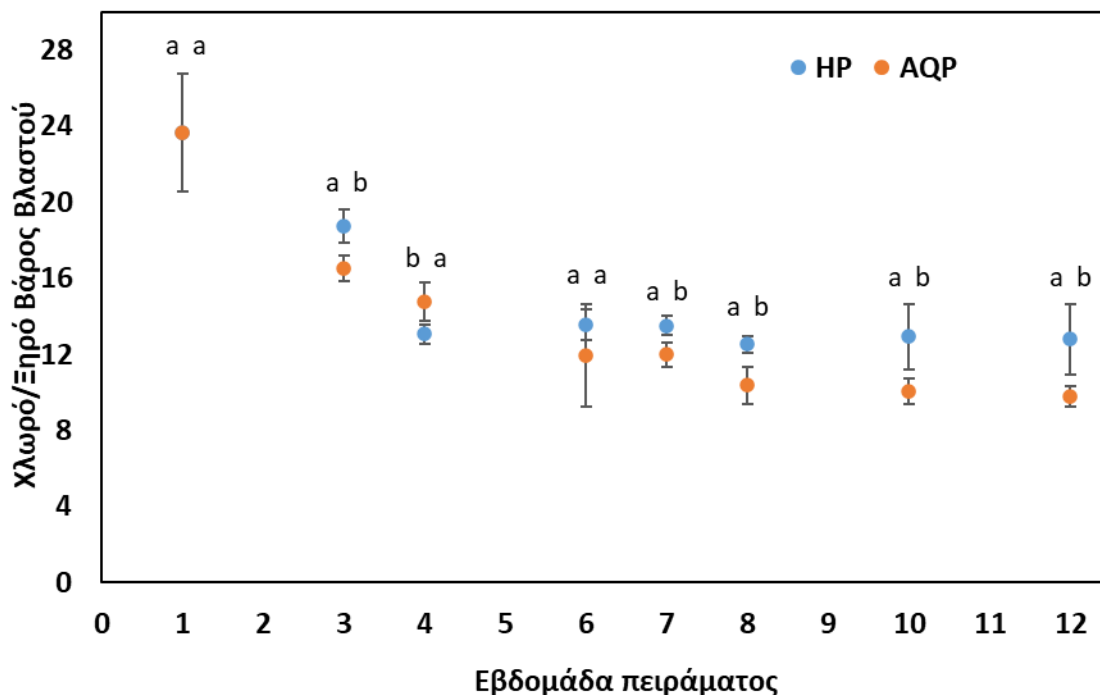
Σύμφωνα με την στατιστική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στα δεδομένα του πειράματος προκύπτει ότι, όπως ήταν αναμενόμενο την πρώτη εβδομάδα δεν υπήρχε καμία διαφορά μεταξύ των δύο μεταχειρίσεων. Την τρίτη εβδομάδα φαίνεται να άρχισαν να διαφέρουν σημαντικά με ποσοστό 26,9% και την HP να ξεπερνά την AQP, ενώ στην συνέχεια από την τέταρτη μέχρι και έκτη εβδομάδα φαίνονται να μην διαφέρουν σημαντικά με τα ποσοστά διαφοράς τους να είναι μόνο 4,5% την τέταρτη και 11,8% την έκτη. Επίσης την τέταρτη εβδομάδα φαίνεται για πρώτη φορά σε κάποια μέτρηση μέχρι στιγμής η AQP να ξεπερνά την HP. Στην συνέχεια όπως φαίνεται και στο διάγραμμα 5 από την έβδομη εβδομάδα και μέχρι τέλους η HP ξεπερνά την AQP και οι διαφορές είναι πάλι μεγάλες μεταξύ των δύο μεταχειρίσεων. Η κορύφωση φαίνεται να είναι την τελευταία εβδομάδα με το ποσοστό διαφοράς τους να εκτοξεύεται σε 45%.



Διάγραμμα 5: Εξέλιξη με το χρόνο του χλωρού/ξηρού βάρους φύλλων των φυτών για τις δύο μεταχειρίσεις χωριστά.

4.1.6. Χλωρό/ξηρό βάρος βλαστού

Σε αυτή την περίπτωση σύμφωνα με το διάγραμμα 6 φαίνεται οι δύο μεταχειρίσεις να διαφέρουν την τρίτη και τέταρτη εβδομάδα με την HP να ξεπερνά την AQP την τρίτη, ενώ την τέταρτη εβδομάδα η AQP να ξεπερνά την HP, και οι δύο περιπτώσεις με ποσοστό διαφοράς 12% περίπου. Στην συνέχεια την έκτη εβδομάδα φαίνεται να μην διαφέρουν αρκετά με ποσοστό διαφοράς μόλις 10%. Ενώ από την όγδοη εβδομάδα και μέχρι το τέλος οι διαφορές τους φαίνεται να γίνονται πάλι σημαντικές και η HP να ξεπερνά την AQP με την κορύφωση να έρχεται όπως και στην προηγούμενη περίπτωση των φύλλων, την τελευταία εβδομάδα με ποσοστό 23,4%.

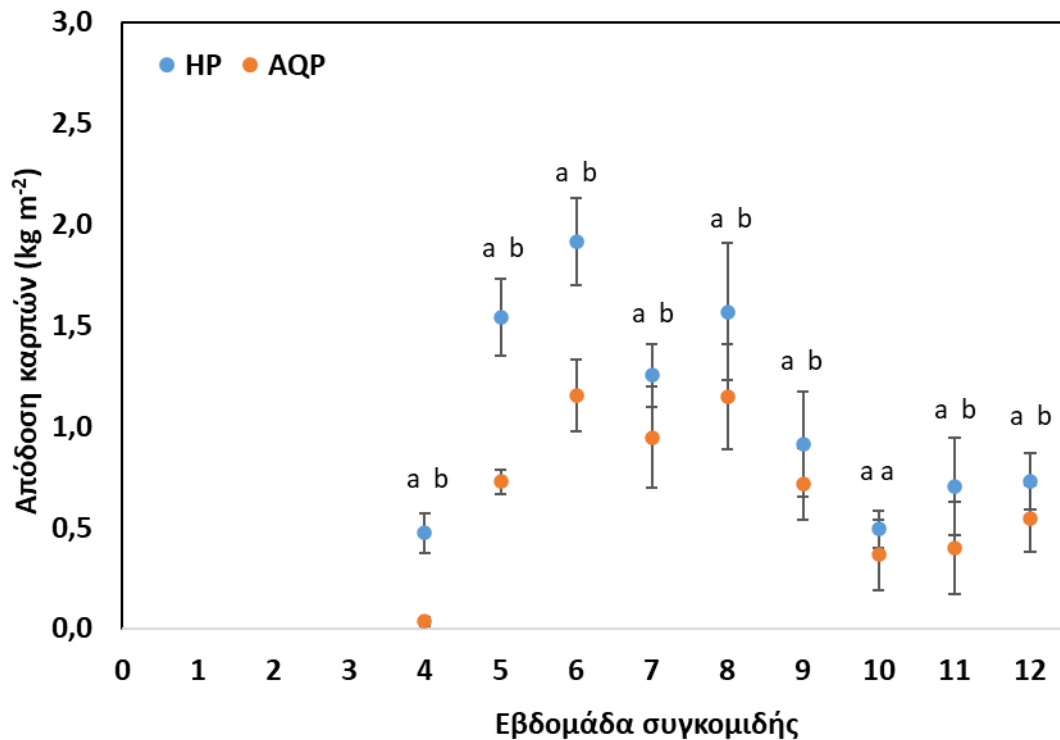


Διάγραμμα 6: Εξέλιξη με το χρόνο του χλωρού/ξηρού βάρους βλαστού των φυτών για τις δύο μεταχειρίσεις χωριστά.

4.2. Χαρακτηριστικά παραγωγής καρπών

4.2.1. Απόδοση καρπών

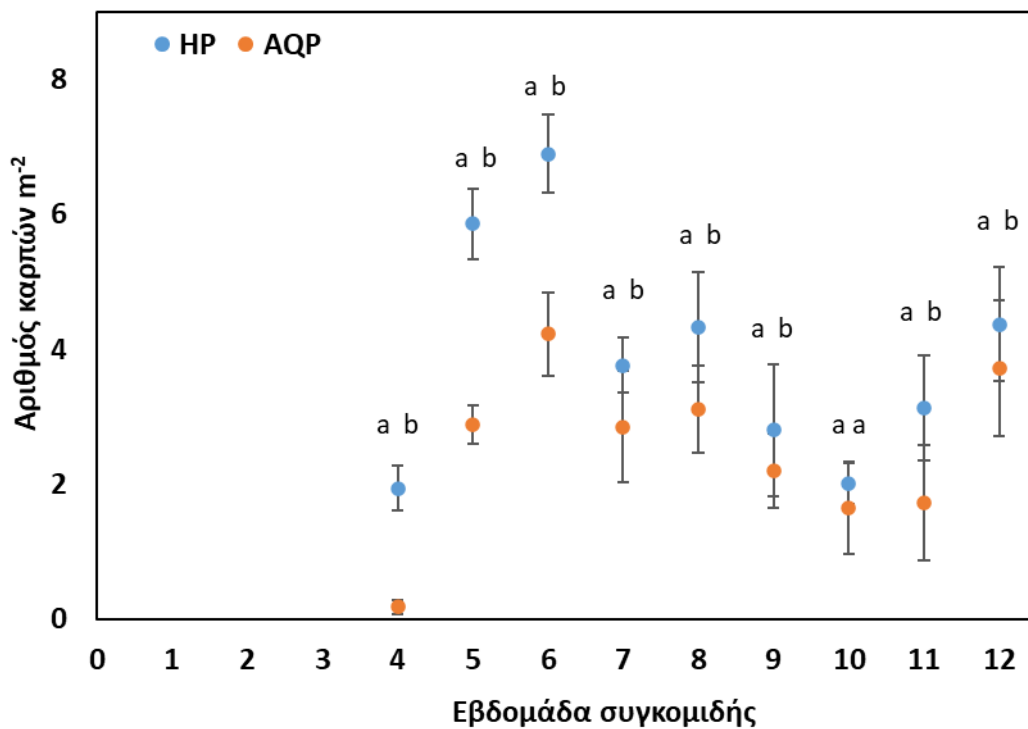
Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του πειράματος που παρουσιάζονται και στο Διάγραμμα 7 φαίνεται ότι από την πρώτη κιάλας εβδομάδα συγκομιδής ή αλλιώς την τέταρτη του πειράματος οι αποδόσεις των δύο μεταχειρίσεων άρχισαν να διαφέρουν σημαντικά με την HP να ξεπερνά την AQP. Αυτό συνεχίστηκε μέχρι και την έκτη εβδομάδα στην οποία παρατηρείται μια διαφορά της τάξης του 40% περίπου με την HP να βρίσκεται πιο ψηλά. Στην συνέχεια από την έβδομη εβδομάδα και μέχρι το τέλος του πειράματος οι αποδόσεις των δύο μεταχειρίσεων φαίνεται να πλησιάζουν η μία την άλλη χωρίς να υπάρχουν οι τεράστιες διαφορές των πρώτων τριών εβδομάδων αλλά με την HP πάντα να παραμένει στην πρώτη θέση. Αξιοσημείωτη είναι η δέκατη εβδομάδα στην οποία το ποσοστό διαφοράς είναι μόλις 25%. Τέλος αξίζει να αναφερθεί ότι με το πέρας του πειράματος η συνολική παραγωγή της υδροπονίας ήταν 532 kg ενώ της ενυδρειοπονίας κρατήθηκε αρκετά πιο χαμηλά με 316 kg συνολικά και αυτό αν μεταφραστεί ανά φυτό γίνεται 6 kg ανά φυτό στην HP και 3 kg ανά φυτό στην AQP. Ή ανά τετραγωνικό μέτρο γίνεται 6,82 kg m⁻² για την HP και 4,05 kg m⁻² για την AQP.



Διάγραμμα 7: Εξέλιξη με το χρόνο της απόδοσης καρπών για τις δύο μεταχειρίσεις χωριστά.

4.2.2. Αριθμός καρπών

Όπως προκύπτει από τα δεδομένα που συλλέχθηκαν κατά την διάρκεια του πειράματος σχετικά με τον αριθμό των καρπών κάθε μεταχείρισης και παρουσιάζονται στο διάγραμμα 8 η HP ξεπέρασε αρκετά την AQP. Πιο συγκεκριμένα η διαφορά ανάμεσα στον αριθμό καρπών των δύο μεταχειρίσεων άρχισε να γίνεται αισθητή από την πρώτη κιόλας εβδομάδα συγκομιδής ή αλλιώς την τέταρτη του πειράματος και συνεχίστηκε μέχρι τέλους. Σημαντικές είναι οι διαφορές της πέμπτης και έκτης εβδομάδας των οποίων τα ποσοστά διαφοράς ανερχόταν στο 50% και 39% αντίστοιχα με την HP να βρίσκεται στην πρώτη θέση. Επίσης παρατηρείται ότι την δέκατη εβδομάδα ο αριθμός καρπών και των δύο μεταχειρίσεων έπεσε αρκετά και μειώθηκε και το ποσοστό διαφοράς μεταξύ τους στο 17%. Τέλος αξίζει να αναφερθεί ότι συνολικά από την υδροπονία συλλέχθηκαν 1850 καρποί αγγουριού, ενώ από την ενυδρειοπονία 1212 καρποί. Αυτό σημαίνει ότι υπήρχαν 20 καρποί ανά φυτό ή 23,73 καρποί m⁻² στην HP ενώ στην AQP 13 καρποί ανά φυτό ή 15,55 καρποί m⁻².



Διάγραμμα 8: Εξέλιξη με το χρόνο του αριθμού καρπών για τις δύο μεταχειρίσεις χωριστά.

4.3. Δείκτης αποτελεσματικότητας χρήσης νερού

Ο δείκτης αποτελεσματικότητας χρήσης νερού (WUE, kg m⁻³) υπολογίστηκε να είναι υψηλότερος στην μεταχείριση AQP από την HP με τιμές 32 kg m⁻³ και 26 kg m⁻³ αντίστοιχα. Οι συνολική κατανάλωση νερού για κάθε μεταχείριση καταγράφηκε 19 m³ για την HP και 12m³ για την AQP αντίστοιχα.

5. ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα φυτά των αγγουριών και οι τιλάπιες αναπτύχθηκαν επιτυχώς και στην μεταχείριση της υδροπονίας και στην μεταχείριση της ενυδραιοπονίας, οπότε μπορεί να αναφερθεί ότι το ενυδραιοπονικό σύστημα είναι μια αρκετά βιώσιμη μέθοδος παραγωγής. Η οποία μπορεί να σταθεί ακόμη και απέναντι από την υδροπονία, παρόλο τις μειωμένες της αποδόσεις, αφού υπερτερεί στην εξοικονόμηση νερού και λιπασμάτων.

5.1. Αγρονομικά χαρακτηριστικά

Τα αγρονομικά χαρακτηριστικά της υδροπονίας όπως ήταν αναμενόμενο ήταν αρκετά καλύτερα από αυτά της ενυδραιοπονίας. Αυτό οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στην έλλειψη που είχε το ενυδραιοπονικό διάλυμα σε κάποια θρεπτικά στοιχεία. Αυτό τεκμηριώνεται από τους Adler et al. (2003), οι οποίοι υποστήριζαν, ότι οι συγκεντρώσεις σε Fe, K και Mg ήταν αρκετά χαμηλότερες σε σχέση με τις απαιτούμενες. Όπως φαίνεται στο συγκεκριμένο πείραμα αλλά και σε μελέτες που έγιναν παλαιότερα τα ψάρια μπορούν να δώσουν στα φυτά τα απαραίτητα θρεπτικά ώστε να αναπτυχθούν και να επιβιώσουν αλλά λόγω κάποιων ελλείψεων δεν αποδίδουν στο μέγιστο.

Γενικά αξίζει να σημειωθεί ότι και στο συγκεκριμένο πείραμα αλλά και σε άλλα αντίστοιχα πειράματα με ενυδραιοπονική καλλιέργεια αγγουριού όπως υποστηρίζουν και οι Castillo-Castellanos et al. (2016) η καλλιέργεια κατάφερε να επιβιώσει και να αποδώσει σε ικανοποιητικό βαθμό μέχρι το πέρας του πειράματος.

Πιο συγκεκριμένα σε αυτό το πείραμα παρατηρήθηκε ότι το μήκος βλαστού των αγγουριών έφτασε κατά μέσο όρο τα 272,83 cm στην μεταχείριση της ενυδραιοπονίας, ενώ στην μεταχείριση της υδροπονίας τα 470 cm. Αντίθετα όμως οι Baßmann et al. (2017), υποστηρίζουν ότι τα φυτά αγγουριών που καλλιεργήσαν μαζί με την εκτροφή αφρικανικού γατόψαρου σε σύστημα ενυδραιοπονίας έφτασαν σε ύψος κατά μέσο όρο τα 445,6 cm που σημαίνει ότι στο δικό τους πείραμα οι αγγουριές πλησίασαν σχεδόν το ύψος των αγγουριών που στο παρόν πείραμα καλλιεργήθηκαν με την μέθοδο της υδροπονίας. Από αυτό βγαίνει το συμπέρασμα ότι ίσως παίζει ρόλο το είδος του ψαριού που εκτρέφεται στο κάθε σύστημα, διότι με την εκτροφή του αφρικανικού γατόψαρου παρατηρήθηκε μεγαλύτερη ανάπτυξη των φυτών σε σχέση με την τιλάπια που χρησιμοποιήθηκε στο συγκεκριμένο πείραμα.

Αντίστοιχα αφού τα φυτά της ενυδραιοπονίας ήταν πιο κοντά από αυτά της υδροπονίας αναμενόμενα είχαν και λιγότερο χλωρό βάρος βλαστού. Στα φυτά της υδροπονίας το χλωρό βάρος ήταν κατά μέσο όρο 433 γραμμάρια στο τελικό τους στάδιο ενώ της ενυδραιοπονίας ήταν μόλις στα 241 γραμμάρια. Φυσικό ήταν και η αντίστοιχη αναλογία χλωρό προς ξηρό βάρος βλαστού να ήταν κατά μέσο όρο 12,8 γραμμάρια στην υδροπονία ενώ 9,8 στην ενυδραιοπονία. Βέβαια από εδώ φαίνεται ότι υπήρχε περισσότερη ξηρά ουσία στην μεταχείριση της ενυδραιοπονίας.

Όσον αφορά τον αριθμό των φύλλων των φυτών στο συγκεκριμένο πείραμα, την τελευταία εβδομάδα, δηλαδή την δωδέκατη στην μεταχείριση της υδροπονίας ήταν κατά μέσο όρο 49,67 ενώ στην ενυδραιοπονία ήταν 38,33. Επομένως τα χλωρά βάρη των φύλλων της υδροπονίας ξεπέρασαν αυτά της ενυδραιοπονίας και αυτό φαίνεται και από τις μετρήσεις της τελευταίας εβδομάδας οι οποίες έδειξαν ότι τα φύλλα των φυτών

με υδροπονία ζύγιζαν κατά μέσο όρο 1750,65 γραμμάρια, ενώ της ενυδραιοπονίας δεν ξεπέρασαν τα 790 γραμμάρια. Αντίστοιχα και η αναλογία χλωρό προς ξηρό βάρος φύλλων είχε την ίδια πορεία αφού στην υδροπονία ήταν 10,68 γραμμάρια και στην ενυδραιοπονία ήταν 5,87 γραμμάρια. Σε αυτό συμφωνούν και οι Castillo-Castellanos et al. (2016) οι οποίοι σε πείραμα που πραγματοποίησαν με καλλιέργειες αγγουριού και μαρουλιού σε συνδυασμό με εκτροφή τιλάπιας, μετά από σύγκριση που έγινε μεταξύ των μεταχειρίσεων υδροπονίας και ενυδραιοπονίας παρατηρήθηκε ότι η υδροπονία ξεπέρασε την ενυδραιοπονία τόσο σε χλωρό όσο και σε ξηρό βάρος φυλλώματος.

5.2. Αποδόσεις καρπών

Οι αποδόσεις των καρπών μπορούν να επηρεαστούν από πολλούς παράγοντες οι οποίοι πρέπει να μελετηθούν για να μπορέσει να συγκριθεί η υδροπονία με την ενυδραιοπονία. Για παράδειγμα ένας τέτοιος παράγοντας είναι το υπόστρωμα που θα χρησιμοποιηθεί αλλά και η εποχή καλλιέργειας, γιατί όπως αναφέρθηκε και από τους Ayirio et al. (2021) την μία εποχή το υπόστρωμα περλίτη ξεπέρασε τον φλοιό πεύκου σε απόδοση ενώ την άλλη συνέβη το ακριβώς αντίθετο. Για αυτό και βγήκε το συμπέρασμα ότι καλύτερη σύγκριση μπορεί να γίνει με απουσία υποστρωμάτων, πράγμα που δεν τηρήθηκε στο συγκεκριμένο πείραμα. Επίσης ένας ακόμη παράγοντας είναι το σύστημα που θα επιλεγεί, γιατί όπως υποστήριζαν και οι Schmautz et al. (2016) διαφορετικές αποδόσεις παρατηρήθηκαν μεταξύ των συστημάτων NFT, MBT και DWC και αυτό έρχονται να το τεκμηριώσουν με πειράματα και πολλοί άλλοι επιστήμονες.

Πιο συγκεκριμένα σε αυτό το πείραμα συγκρίθηκε ο αριθμός καρπών αγγουριού μεταξύ της υδροπονίας και της ενυδραιοπονίας με υποστρώματα περλίτη. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η υδροπονία κατάφερε να συγκεντρώσει συνολικά 20 αγγούρια ανά φυτό και η ενυδραιοπονία 13 αγγούρια ανά φυτό ή αλλιώς 23,73 αγγούρια ανά τετραγωνικό μέτρο και 15,55 αγγούρια ανά τετραγωνικό μέτρο αντίστοιχα. Σε αυτό συμφωνούν και οι περισσότερες μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί μέχρι στιγμής. Μια τέτοια μελέτη έκαναν και οι Castillo-Castellanos et al. (2016) συγκρίνοντας τις δύο αυτές μεταχειρίσεις και συγκέντρωσαν κατά μέσο όρο 1,76 καρπούς αγγουριού ανά τετραγωνικό μέτρο στην ενυδραιοπονία ενώ στην υδροπονία συγκέντρωσαν 8,5 καρπούς.

Ακόμη στο συγκεκριμένο πείραμα συγκρίθηκαν και τα κιλά των καρπών που απέδωσε η κάθε μεταχείριση. Αναφορικά στην υδροπονία συλλέχθηκαν 6 kg ανά φυτό, ενώ στην ενυδραιοπονία συλλέχθηκαν 3 kg ανά φυτό ή αλλιώς 6,82 kg m⁻² και 4,05 kg m⁻² αντίστοιχα. Όπως ήταν αναμενόμενο και τα περισσότερα πειράματα που έχουν διεξαχθεί μέχρι στιγμής συμφωνούν με τα παραπάνω έτσι και το πείραμα των Castillo-Castellanos et al. (2016) που αναφέρθηκε και προηγούμενος με απόδοση 78,7 g m⁻² στην ενυδραιοπονία και 421,6 g m⁻² στην υδροπονία. Αντίθετοι με όσα ειπώθηκαν μέχρι στιγμής είναι οι Savidon et al. (2007), οι οποίοι μετά από πείραμα που έκαναν και σύγκριναν ενυδραιοπονική καλλιέργεια αγγουριού και τομάτας με μια συμβατική υδροπονική καλλιέργεια κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι οι αποδόσεις της ενυδραιοπονίας ξεπέρασαν τις αντίστοιχες της υδροπονίας. Συγκεκριμένα στην ενυδραιοπονική καλλιέργεια αγγουριού η απόδοση ήταν 33,4 kg ανά φυτό και της

τομάτας ήταν 20,7 kg ανά φυτό. Ενώ στην υδροπονική καλλιέργεια οι αποδόσεις ήταν 28,1 kg ανά φυτό και 16,8 kg ανά φυτό αντίστοιχα.

5.3. Κατανάλωση νερού και λιπασμάτων

Σύμφωνα με όσα μελετήθηκαν παραπάνω και σύμφωνα με τα αποτελέσματα του συγκεκριμένου πειράματος βγαίνει το συμπέρασμα ότι η ενυδραιοπονία μπορεί να υστερεί στην απόδοση συγκριτικά με την υδροπονία αλλά οι διαφορές δεν είναι τόσο τραγικές και μπορεί να αποτελέσει μια ανταγωνιστική μέθοδο καλλιέργειας αν συμμεριστεί κανείς το μεγάλο πλεονέκτημα που έχει στην κατανάλωση νερού και λιπασμάτων.

Συγκεκριμένα η ενυδραιοπονία δεν χρησιμοποιεί καθόλου λίπασμα και αυτό αποδεικνύεται στο τρέχον πείραμα στο οποίο δεν χρησιμοποιήθηκε κανένα λίπασμα και παρόλα αυτά τα φυτά μόνο με τα θρεπτικά που έπαιρναν από τα ψάρια κατάφεραν να επιβιώσουν και να παράγουν ένα ικανοποιητικό αριθμό καρπών. Σε αυτό έρχονται να συμφωνήσουν και οι Nelson et al. (2008), οι οποίοι υποστηρίζουν ότι, όταν ένα ενυδραιοπονικό σύστημα βρίσκεται σε ισορροπία μπορεί να αποδώσει πολύ καλά και σε φυτά και σε ψάρια, χωρίς να χρειαστεί η προσθήκη λιπασμάτων, φυτοπροστατευτικών και εντομοκτόνων.

Τελευταίο και σημαντικότερο είναι η μεγάλη εξοικονόμηση νερού που πραγματοποιήθηκε στο συγκεκριμένο πείραμα με το ενυδραιοπονικό σύστημα. Αναφορικά για όλη την καλλιεργητική περίοδο καταναλώθηκαν στο σύνολο $0,52 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$ για την μεταχείριση της υδροπονίας και $0,45 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$ για την ενυδραιοπονία. Τα συγκεκριμένα δεδομένα μπορούν να τα επιβεβαιώσουν οι Liang and Chien et al. (2013), οι οποίοι σε πείραμα με ενυδραιοπονική καλλιέργεια σπανακιού με διάρκεια 4 εβδομάδες η συνολική απώλεια νερού τους ήταν μόλις 3,3%. Αλλά και οι Al-Hafedh et al. (2008), οι οποίοι στο πείραμα τους με ενυδραιοπονική μεταχείριση μαρουλιού καθημερινά πρόσθεταν μόνο το 1,4% του συνολικού νερού και αυτή η προσθήκη οφειλόταν στην εξατμισοδιαπνοή και μόνο. Ακόμη τα παραπάνω υποστηρίζει με δικές του μελέτες και το πανεπιστήμιο του Γκέτεμποργκ, το οποίο έβγαλε το συμπέρασμα ότι στην ενυδραιοπονία επιτυγχάνεται το 95% ως και το 99% της αποδοτικότητας επαναχρησιμοποίησης του νερού

Αρα αν ληφθούν υπόψιν όλα τα παραπάνω, η ενυδραιοπονική καλλιεργητική μέθοδος μπορεί να αποτελέσει το μέλλον σε καλλιέργειες φυτών μικρού και μεγάλου κύκλου αλλά και στις εκτροφές ψαριών. Ειδικά στην σύγχρονη εποχή, με την αύξηση του πληθυσμού άρα και των απαιτήσεων, την έλλειψη νερού και την μόλυνση του περιβάλλοντος και των υδάτων λόγω των πολλών λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων που έχουν χρησιμοποιηθεί χωρίς μέτρο στο παρελθόν, απαιτούνται πιο εντατικοποιημένες μέθοδοι παραγωγής όπως είναι η ενυδραιοπονία, που παράλληλα θα εξοικονομούν περισσότερο νερό, θα είναι πιο οικολογικές για το περιβάλλον και θα παράγουν υψηλής διατροφικής αξίας προϊόντα. Επιπρόσθετα ο συνδυασμός καλλιέργειας φυτών και εκτροφής ψαριών στον ίδιο χώρο αποτελεί μεγάλη εξοικονόμηση χώρου, γεγονός που θα αποτελεί μεγάλο πλεονέκτημα στο μέλλον, λόγω των συνεχώς μειωμένων εκτάσεων παραγωγής τροφίμων.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική:

Αναστασιάδου, Ρ. (2015). Υδροπονία και περιβάλλον.

Κάββουρας, Τ. (2019). Ενυδρειοπονική καλλιέργεια στο εργαστήριο Ε. ΛΑ. Θ. με αυτοματοποιημένη χρήση των υφιστάμενων ΑΠΕ.

ΚΟΝΤΕΚΑΚΗΣ, Α. Α., & ΛΑΜΠΡΑΚΗΣ, Π. Α. (2021). Ολοκληρωμένη υδροπονική καλλιέργεια ποικιλιών τομάτας" ekstasis F1 & ortasia F1" σε σύγχρονα θερμοκήπια στην Ιεράπετρα Κρήτης.

Λαμπρόπουλος, Α. (2015). Υδροπονική καλλιέργεια αγγουριάς σε θερμοκήπιο 5 στρεμμάτων.

Μαυρογιαννόπουλος, Γ. Ν. (2006). Υδροπονικές Εγκαταστάσεις. Εκδόσεις Σταμούλη Α.Ε., Αθήνα.

Σάββας, Δ. (2011). ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ ΕΚΤΟΣ ΕΛΑΦΟΥΣ Υδροπονία, Υποστρώματα. Εκδόσεις ΑγροΤύπος. Αθήνα.

Ξενόγλωσση:

Adler, Paul R., Summerfelt, S. T., Glenn, D. M., & Takeda, F. (2003). Mechanistic approach to phytoremediation of water. *Ecological Engineering*, 20(3), 251–264.

Al-Hafedh, Y. S., Alam, A., & Beltagi, M. S. (2008). Food production and water conservation in a recirculating aquaponic system in Saudi Arabia at different ratios of fish feed to plants. *Journal of the world aquaculture society*, 39(4), 510-520.

Andriani, Y., Dhahiyat, Y., Zahidah, & Zidni, I. (2017). Andriany 2017.pdf (pp. 31–35). pp. 31–35.

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

Baßmann, B., Brenner, M., & Palm, H. W. (2017). Stress and welfare of African catfish (*Clarias gariepinus* Burchell, 1822) in a coupled aquaponic system. *Water*, 9(7), 504.

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.

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.

Castillo-Castellanos, D., Zavala-Leal, I., Ruiz-Velazco, J. M. J., Radilla-García, A., NietoNavarro, J. T., Romero-Bañuelos, C. A., & González-Hernández, J. (2016). Implementation of an experimental nutrient film technique-type aquaponic system. *Aquaculture International*, 24(2), 637–646.

Delaide, B., Delhayé, G., Dermience, M., Gott, J., Soyeurt, H., & Ijjakli, M. H. (2017). Plant and fish production performance, nutrient mass balances, energy and water use of the PAFF Box, a small-scale aquaponic system. *Aquacultural Engineering*, 78(June), 130–139.

Delaide, B. (2017). A study on the mineral elements available in aquaponics, their impact on lettuce productivity and the potential improvement of their availability. UNIVERSITÉ DE LIÈGE – GEMBLoux AGRO-BIO TECH.

- Diver, S. (2006). Aquaponics — Integration of. Water, 1–28.
- dos Santos, J. D.; Lopes da Silva, A. L.; da Luz Costa, J.; Scheidt, G. N.; Novak, A. C.; Sydney, E. B.; Soccol, C. R. (2013). «Development of a vinasse nutritive solution for hydroponics». *Journal of Environmental Management* **114**: 8–12.
- Endut, A., Jusoh, A., Ali, N., Wan Nik, W. N. S., & Hassan, A. (2009). Effect of flow rate on water quality parameters and plant growth of water spinach (*Ipomoea aquatica*) in an aquaponic recirculating system. *Desalination and Water Treatment*, 5(1–3), 19–28.
- Geisenhoff, L. O., Jordan, R. A., Santos, R. C., De Oliveira, F. C., & Gomes, E. P. (2016). Effect of different substrates in aquaponic lettuce production associated with intensive tilapia farming with water recirculation systems. *Engenharia Agricola*, 36(2), 291–299.
- Gericke, William F. (1937). «Hydroponics - crop production in liquid culture media». *Science* **85** (2198): 177–178.
- Graber, A., & Junge, R. (2009). Aquaponic Systems: Nutrient recycling from fish wastewater by vegetable production. *Desalination*, 246(1–3), 147–156.
- Implementation of an experimental nutrient film technique-type aquaponic system. *Aquaculture international*, 24(2), 637-646.
- Katsoulas, N., Bartzanas, T., & Kittas, C. (2017). Online professional irrigation scheduling system for greenhouse crops.
- 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, and Soil Pollution*, 226(4).
- Lennard, W. A., & Leonard, B. V. (2006). A comparison of three different hydroponic subsystems (gravel bed, floating and nutrient film technique) in an Aquaponic test system. *Aquaculture International*, 14(6), 539–550.
- Liang, J. Y., & Chien, Y. H. (2013). Effects of feeding frequency and photoperiod on water quality and crop production in a tilapia–water spinach raft aquaponics system. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 85, 693-700.
- Love, D. C., Fry, J. P., Li, X., Hill, E. S., Genello, L., Semmens, K., & Thompson, R. E. (2015 a). Commercial aquaponics production and profitability: Findings from an international survey. *Aquaculture*, 435, 67–74.
- Love, D. C., Uhl, M. S., & Genello, L. (2015 b). Energy and water use of a small-scale raft aquaponics system in Baltimore, Maryland, United States. *Aquacultural Engineering*, 68, 19–27.
- Nelson, B. R. L. (2008). Aquaponic Equipment, The Bio Filter. *Aquaponics Journal*, 1(48), 22–23.
- Pantanella, E., Cardarelli, M., Colla, G., Rea, E., & Marcucci, A. (2012). Aquaponics vs. Hydroponics: Production and Quality of Lettuce Crop. *Acta Horticulturae*, 927, 887– 894.
- Pinheiro, A. C., De, R. V., De, M. A., Antônio, M., & Tavares, G. (2013). Phytodepuration of the effluents in a closed system of fish production ha. 371–381.
- Rakocy, J. E., Bailey, D. S., Shultz, K. a, & Cole, W. M. (1997). Economic Analysis Of A Commercial-Scale Aquaponic System For The Production Of Tilapia and Lettuce. 4th International Symposium on Tilapia in Aquaculture, 603–612.

- Rakocy, J. E., Masser, M. P., & Losordo, T. M. (2006). Aquaculture tank production systems. SRAC No. 454, 451(452), 18–31.
- Rakocy, J. E., Shultz, R. C., Bailey, D. S., & Thoman, E. S. (2004). Aquaponic production of tilapia and basil: Comparing a batch and staggered cropping system. *Acta Horticulturae*, 648, 63–69.
- Resh, H. M. (2012). *Hydroponic food production: a definitive guidebook for the advanced home gardener and the commercial hydroponic grower*. CRC Press.
- Roosta, H. R., & Hamidpour, M. (2011). Effects of foliar application of some macro- and micro-nutrients on tomato plants in aquaponic and hydroponic systems. *Scientia Horticulturae*, 129(3), 396–402.
- Savidov, N. A., Hutchings, E., & Rakocy, J. E. (2007). Fish and plant production in a recirculating aquaponic system: A new approach to sustainable agriculture in Canada. *Acta Horticulturae*, 742, 209–222.
- Schmautz, Z., Loeu, F., Liebisch, F., Graber, A., Mathis, A., Bulc, T. G., & Junge, R. (2016). Tomato productivity and quality in aquaponics: Comparison of three hydroponic methods. *Water (Switzerland)*, 8(11), 1–21.
- Seawright, D. E., Stickney, R. R., & Walker, R. B. (1998). Nutrient dynamics in integrated aquaculture-hydroponics systems. *Aquaculture*, 160(3–4), 215–237.
- Sonneveld, C., & Voogt, W. (2009). *Plant Nutrition of Greenhouse Crops*. In Springer.
- Stanghellini C., B. van 't Ooster & Heuvelink E. (2019). *Θερμοκήπια, ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΓΙΑ ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ, Επιστημονική επιμέλεια: Νικόλαος Κατσούλας. Εκδόσεις πεδίο Α.Ε., Αθήνα.*
- 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.