

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ



Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος
Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος

Πτυχιακή Διατριβή

Επαναγρησιμοποίηση απορροών υδροπονικής καλλιέργειας σε διαφορετική καλλιέργεια.



ΧΑΤΖΗΝΙΚΟΛΑΟΥ ΜΙΧΑΛΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΚΑΤΣΟΥΛΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ, Καθηγητής

Βόλος, Φεβρουάριος 2021

Επαναχρησιμοποίηση απορροών υδροπονικής καλλιέργειας σε διαφορετική καλλιέργεια

Χατζηνικολάου Μιχάλης

Επιβλέπων:

Νικόλαος Κατσούλας, Καθηγητής

Τριμελής επιτροπή εξέτασης:

Καθηγητής Ν. Κατσούλας (Επιβλέπων),

Επ. Καθηγήτρια Ε. Λεβίζου (Μέλος)

ΕΔΠΙ Ε. Κίττα (Μέλος)

Ευχαριστίες

Με την περάτωση της παρούσας πτυχιακής διπλωματικής εργασίας, νιώθω την υποχρέωση να ευχαριστήσω όσους συνέβαλαν σε όποιο βαθμό για την ολοκλήρωση αυτού του εγχειρήματος.

Θέλω να ευχαριστήσω θερμά τον Επιβλέποντα Καθηγητή, Διευθυντή του Εργαστηρίου Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος και μέλος της Τριμελούς Επιτροπής Εξέτασης κ. Νικόλαο Κατσούλα, για την ανάθεση του θέματος της εργασίας και την συνεχή καθοδήγηση του. Επίσης θέλω να ευχαριστήσω τα δυο υπόλοιπα μέλη της Τριμελούς Επιτροπής που είναι η Επίκουρος Καθηγήτρια κα. Ευθυμία Λεβίζου και το μέλος ΕΔΙΠ κα. Ευαγγελινή Κίττα.

Δεν θα μπορούσα να παραλείψω όλα τα μέλη του Εργαστηρίου Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος που συνέβαλαν στην επιτυχή ολοκλήρωση της πειραματικής διαδικασίας.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω την Δρ. Αγγελική Ελβανίδη, την Σοφία Φαλιάγκα ,την Ελένη Καρατσίβου και την Ελένη Χατζηνικολάου για την συμβουλευτική συμμετοχή τους στην εκπόνηση αυτής της εργασίας.

Τέλος νιώθω ευγνώμονος για την ηθική και υλική υποστήριξη που εξέλαβα από την οικογένεια και τον κοντινό κοινωνικό μου κύκλο.

Περίληψη

Το κλειστό υδροπονικό σύστημα είναι ένας πολλά υποσχόμενος τρόπος καλλιέργειας ο οποίος είναι σε θέση να εξοικονομήσει πόρους νερού και λιπασμάτων. Επίσης δύναται να μειώσει τη ρύπανση του υδροφόρου ορίζοντα, αυξάνοντας ταυτόχρονα την ποιότητα και την ποσότητα της παραγωγής. Τροχοπέδη όμως στην υιοθέτηση αυτού του συστήματος αποτελεί η συνεχής επαναχρησιμοποίηση του θρεπτικού διαλύματος, που εγκυμονεί κινδύνους για την καλλιέργεια. Αυτοί οι κίνδυνοι έχουν να κάνουν με την αύξηση της αλατότητας και τη μετάδοση παθογόνων μικροοργανισμών μέσω του ανακυκλώσιμου θρεπτικού διαλύματος. Τα τελευταία χρόνια αρχίζει να κερδίζει έδαφος μια καινοτόμα τεχνική καλλιέργειας, η οποία μετριάξει τα προβλήματα που μπορεί να προκύψουν στο κλειστό σύστημα. Ο λόγος γίνεται για το ανοιχτό υδροπονικό σύστημα επάλληλων καλλιεργειών, που αξιοποιεί τις απορροές του θρεπτικού διαλύματος μιας πρωτεύουσας καλλιέργειας για την άρδευση ανθεκτικότερων στην αλατότητα δευτερευόντων καλλιεργειών. Στόχος λοιπόν της παρούσας πτυχιακής εργασίας ήταν η αξιολόγηση της επιλογής του βασιλικού (*Ocimum basilicum*) ως δευτερεύουσας καλλιέργειας, με την άρδευση του να προέρχεται από τις απορροές της πρωτεύουσας καλλιέργειας του αγγουριού (*Cucumis sativus* cv. *Long Krateros*). Συνεπώς, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις που αφορούν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του βασιλικού και των θρεπτικών διαλυμάτων άρδευσης, ενώ επίσης υπολογίστηκε και η αποδοτικότητα χρήσης νερού (*WUE*). Η διεξαγωγή των δύο πειραμάτων έγινε εντός θερμοκηπιακής εγκατάστασης του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, όπου οι δυο καλλιέργειες εγκαταστάθηκαν σε υποστρώματα πετροβάμβακα σε 8 σειρές συνολικά και λαμβάναν τα θρεπτικά διαλύματα μέσω στάγδην άρδευσης. Για το σκοπό των πειραμάτων ο βασιλικός χωρίστηκε σε 3 μεταχειρίσεις, κάθε μια από τις οποίες αντιπροσώπευε μια διαφορετική συνταγή υδρολίπανσης. Η πρώτη μεταχείριση αποτελούσε το μάρτυρα με τα φυτά να αρδεύονται με το πρότυπο διάλυμα του βασιλικού. Η δεύτερη μεταχείριση λάμβανε ένα μείγμα πρότυπου διαλύματος βασιλικού και απορροών αγγουριού σε αναλογία (50%-50%), ενώ η τρίτη μεταχείριση αρδευόταν εξ' ολοκλήρου από τις απορροές του αγγουριού. Ενθαρρυντικό είναι το γεγονός ότι οι δυο μεταχειρίσεις ξεπέρασαν σε ύψος το μάρτυρα ενώ κατά την πρώτη συγκομιδή οι βασιλικοί των ανάμεικτων απορροών ξεπέρασαν σε παραγωγή τον μάρτυρα κατά 41% και οι ολικές απορροές κατά 38%. Τα αποτελέσματα του πειράματος μας οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η καλλιέργεια του βασιλικού μπορεί να είναι βιώσιμη με τη χρήση των απορροών του αγγουριού για την άρδευση της ενώ με αυτό το σύστημα καλλιέργειας πετύχαμε εξοικονόμηση πόρων νερού και λιπασμάτων κατά 65%.

Abstract

The closed hydroponic system constitutes an auspicious method of cultivation, which could contribute to saving of water and to the diminution in the use of fertilizers. It could also assist both in reducing aquifer contamination and in increasing the quantity and improving the quality of production. However, the main impediment to the adoption of this system is the continuous reuse of the nutrient solution since it entails various risks for the crop development. These risks are associated with salinization and the transmission of pathogenic microorganisms through the recyclable nutrient solution. Yet recently, the innovative cultivation technique of the open hydroponic system is gradually gaining in popularity, because it could mitigate problems that may arise out of the closed system. In particular, an open hydroponic system of multiculture utilizes the nutrient solution effluents of a primal crop, which are intended for the irrigation of secondary crops that are more resistant to salinity. Thus, the basic aim of the present dissertation is to evaluate the selection of basil (*Ocimum basilicum*) as a secondary crop, which is irrigated by the effluents of cucumbers (*Cucumis sativus* cv. Long Krateros), constituting the primal crop. For that reason, various measurements have been undertaken regarding both the quality characteristics of the basil and the irrigation nutrient solutions, while water use efficiency (WUE) has been also calculated. The two experiments were conducted in the greenhouse facility of the University of Thessaly located in Velestino. The two crops were installed on rock wool substrates, forming in 8 rows and they received nutrient solutions through drip irrigation. Furthermore, it has been also required to divide the basil crop into 3 different treatments, each representing a different form of fertigation. The first treatment was the control one in which the plants were being irrigated with the basil standard solution. The second treatment received a 50:50 mixture of basil standard solution and of cucumber drainage solution, while the third treatment was irrigated entirely with cucumber drainage solution. Encouraging indication is the fact that both treatments exceeded the height of the control one. Also after the first harvest of basil crops irrigated with the mixture of drainage and fresh solution, they have exceeded in production the control treatment by 41% while treatment of total drainage solution by 38%. Based on the results of the experimental procedure, it seems that basil crop can be fully grown by irrigating it with cucumber drainage solution while using open hydroponic system, it was also accomplished to save water and fertilizer resources by 65%.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

| | | |
|---------|--|----|
| 1 | Εισαγωγή | 10 |
| 1.1 | Υδροπονία | 11 |
| 1.1.1 | Πλεονεκτήματα υδροπονίας | 11 |
| 1.1.2 | Θρεπτικό διάλυμα | 12 |
| 1.1.3 | Υπόστρωμα | 13 |
| 1.1.3.1 | Καλλιέργεια σε πετροβάμβακα | 14 |
| 1.1.4 | Ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) και αλατότητα..... | 14 |
| 1.2 | Κατηγοριοποίηση υδροπονικών συστημάτων..... | 15 |
| 1.2.1 | Κλειστό και ανοιχτό υδροπονικό σύστημα..... | 16 |
| 1.2.2 | Αποδοτικότητα χρήσης νερού..... | 18 |
| 1.3 | Ανοιχτό Υδροπονικό Σύστημα Επάλληλων Καλλιεργειών..... | 19 |
| 1.4 | Καλλιέργειες | 20 |
| 1.4.1 | Αγγούρι (<i>Cucumis Sativus</i>) | 20 |
| 1.4.2 | Υδροπονική καλλιέργεια αγγουριού..... | 20 |
| 1.4.3 | Βασιλικός | 21 |
| 1.4.4 | Υδροπονική καλλιέργεια βασιλικού | 21 |
| 1.5 | Σκοπός της εργασίας | 22 |
| 2 | Υλικά και μέθοδοι | 23 |
| 2.1 | Εγκαταστάσεις και καλλιέργεια | 23 |
| 2.2 | Πειραματικός σχεδιασμός | 25 |
| 2.3 | Μεταχειρίσεις Βασιλικού | 27 |

| | | |
|-------|---|----|
| 2.4 | Μετρήσεις | 30 |
| 2.4.1 | Ποιοτικά και μορφολογικά χαρακτηριστικά βασιλικού και αγγουριού..... | 31 |
| 2.4.2 | Καταστροφικές συγκομιδές | 33 |
| 2.4.3 | Ποιοτικά χαρακτηριστικά θρεπτικού διαλύματος | 34 |
| 2.5 | Στατιστική ανάλυση | 35 |
| 3 | Αποτελέσματα | 36 |
| 3.1 | Αγγούρι | 36 |
| 3.1.1 | Ύψος 1 ^{ου} και 2 ^{ου} πειράματος | 36 |
| 3.2 | Βασιλικός | 38 |
| 3.2.1 | Ύψος 1 ^{ου} και 2 ^{ου} πειράματος..... | 38 |
| 3.2.2 | Χλωροφύλλη 1 ^{ου} και 2 ^{ου} πειράματος | 40 |
| 3.2.3 | Φωτοσύνθεση 1 ^{ου} και 2 ^{ου} πειράματος | 43 |
| 3.2.4 | Νωπό και ξηρό βάρος 1 ^{ης} και 2 ^{ης} συγκομιδής | 44 |
| 3.3 | Θρεπτικό διάλυμα | 48 |
| 3.3.1 | Ηλεκτρική αγωγιμότητα απορροών 1 ^{ου} και 2 ^{ου} πειράματος | 48 |
| 4 | Συζήτηση | 50 |
| 5 | Συμπεράσματα | 53 |
| 6 | Βιβλιογραφία | 54 |

Περιεχόμενα διαγράμματα

Διάγραμμα 1: Μεταβολή του μέσου όρου του ύψους (cm) των αγγουριών καθ' όλη τη διάρκεια του 1^{ου} πειράματος.

Διάγραμμα 2: Η συνέχεια της μεταβολής των μέσων όρων του ύψους (cm) των ίδιων αγγουριών κατά την τέλεση του 2^{ου} πειράματος.

Διάγραμμα 3: Μεταβολή των μέσων όρων του ύψους (cm) των τριών μεταχειρίσεων του βασιλικού (Μάρτυρας, 100% απορροή, 50% απορροή) κατά τη διάρκεια του 1^{ου} πειράματος.

Διάγραμμα 4: Μεταβολή του μέσου όρου του ύψους (cm) των τριών μεταχειρίσεων του βασιλικού (Μάρτυρας, 100% απορροή, 50% απορροή) κατά τη διάρκεια του 2^{ου} πειράματος.

Διάγραμμα 5: Μεταβολή της συγκέντρωσης της χλωροφύλλης (των τριών μεταχειρίσεων του βασιλικού (Μάρτυρας, 100% απορροή, 50% απορροή) κατά τη διάρκεια του 1^{ου} πειράματος.

Διάγραμμα 6: Μεταβολή της συγκέντρωσης της χλωροφύλλης (mg cm^{-2}) των τριών μεταχειρίσεων του βασιλικού (Μάρτυρας, 100% απορροή, 50% απορροή) του 2^{ου} πειράματος.

Διάγραμμα 7: Μεταβολή της φωτοσυνθετικής ικανότητας των τριών μεταχειρίσεων του βασιλικού (Μάρτυρας, 100% απορροή, 50% απορροή) του 1^{ου} πειράματος.

Διάγραμμα 8: Μεταβολή της φωτοσυνθετικής ικανότητας των τριών μεταχειρίσεων του βασιλικού (Μάρτυρας, 100% απορροή, 50% απορροή) του 2^{ου} πειράματος.

Διάγραμμα 9: Διαφορά ολικού χλωρού και ξηρού βάρους (g) των τριών μεταχειρίσεων του βασιλικού (Μάρτυρας, 100% απορροή, 50% απορροή) μετά τη 1^η δειγματοληπτική συγκομιδή.

Διάγραμμα 10: Διαφορά ολικού χλωρού και ξηρού βάρους (g) των τριών μεταχειρίσεων του βασιλικού (Μάρτυρας, 100% απορροή, 50% απορροή) μετά τη 2^η δειγματοληπτική συγκομιδή.

Διάγραμμα 11: Μεταβολή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας των απορροών (dS m^{-1}) των τριών μεταχειρίσεων του βασιλικού (Μάρτυρας, 100% απορροή, 50% απορροή) του 1^{ου} πειράματος.

Διάγραμμα 12: Μεταβολή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας των απορροών (dS m^{-1}) των τριών μεταχειρίσεων του βασιλικού (Μάρτυρας, 100% απορροή, 50% απορροή) του 2^{ου} πειράματος.

Περιεχόμενοι πίνακες

Πίνακας 1: Περιεχόμενες συγκεντρώσεις μακροστοιχείων και μικροστοιχείων (mmol L^{-1}) στο πρότυπο θρεπτικό διαλύμα του αγγουριού.

Πίνακας 2: Περιεχόμενες συγκεντρώσεις μακροστοιχείων και μικροστοιχείων (mmol L^{-1}) στο πρότυπο θρεπτικό διάλυμα του βασιλικού.

Πίνακας 3: Περιεχόμενες συγκεντρώσεις μακροστοιχείων και μικροστοιχείων (mmol L^{-1}) στο αρδευτικό νερό του Βελεστίνου.

Πίνακας 4: Μέσος όρος θερμοκρασιών ($^{\circ}\text{C}$) εντός του θερμοκηπίου για τους 4 μήνες διάρκειας των 2 πειραμάτων.

Πίνακας 5: Νωπό και ξηρό βάρος φύλλων και βλαστών (g) και συνολική παραγωγή (Kg m^{-2}) των τριών μεταχειρίσεων του βασιλικού (Μάρτυρας, 100% απορροή, 50% απορροή) της 1^{ης} καταστροφικής συγκομιδής του 1^{ου} πειράματος.

Πίνακας 6: Νωπό και ξηρό βάρος φύλλων και βλαστών (g) και συνολική παραγωγή (Kg m^{-2}) των τριών μεταχειρίσεων του βασιλικού (Μάρτυρας, 100% απορροή, 50% απορροή) της 2^{ης} καταστροφικής συγκομιδής του 1^{ου} πειράματος.

Περιεχόμενα σχήματα

Σχήμα 1: Απεικόνιση της διάταξης των καλλιεργειών εντός του θερμοκηπίου.

Περιεχόμενες εικόνες

Εικόνα 1: Απεικόνιση του πειραματικού σχεδίου εντός του θερμοκηπίου (Εξώφυλλο).

Εικόνα. 2: Άποψη του πανεπιστημιακού θερμοκηπίου στο Βελεστίνο

Εικόνα 3: Απεικόνιση του θερμοκηπίου εσωτερικά και της πειραματικής διαδικασίας.

Εικόνα 4: Συσκευή μέτρησης συγκέντρωσης χλωροφύλλης SPAD-S02, CCM 200, Opti-Science, NH, USA

Εικόνα 5: Η πρώτη δειγματοληπτική συγκομιδή των βασιλικών και η ηλεκτρονική ζυγαριά για τη μέτρηση του χλωρού βάρους των (g).

Εισαγωγή

Η εκθετική αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού (9.1 δις. έως το 2050) (Panda et al, 2014) αποτελεί πλέον ένα αδιαμφισβήτητο γεγονός, με πολλές αλυσιδωτές συνέπειες. Το ποσοστό των διατροφικών αναγκών εκτιμάται ότι θα αυξηθεί κατά 70% έως το 2050. (Martinez-Mate et al, 2018). Συνεπώς, αναμενόμενη είναι και η ανάλογη αύξηση της γεωργικής παραγωγής στα ίδια επίπεδα (70% έως το 2050), για να καλυφθούν επαρκώς οι ανάγκες σίτισης (Baddadi et al, 2019). Στην επίλυση λοιπόν αυτού του ζητήματος έχει συμβάλει σημαντικά η Υδροπονία, με την καλλιέργεια φυτών εκτός εδάφους, που μεγιστοποιεί την παραγωγή και αξιοποιεί πιο αποτελεσματικά τους πόρους μέσα από τις ελεγχόμενες συνθήκες παραγωγής (Baddadi et al, 2019).

Ωστόσο, ένα από τα κύρια προβλήματα με το οποίο έρχεται σήμερα αντιμέτωπη η ανθρωπότητα είναι η ολοένα αυξανόμενη απειλή του ελλειμματικού υδατικού δυναμικού σε παγκόσμια κλίμακα, λόγω της αλόγιστης χρήσης των υδάτινων πόρων. Τη μερίδα του λέοντος στη δαπάνη νερού κατέχει η γεωργία σε ποσοστό που αγγίζει το 70% (Christie & Fu, 2014). Η περιττή σπατάλη του νερού της εντατικής παραγωγής δεν οδηγεί μόνο σε έλλειψη αυτού του αγαθού, αλλά είναι επίσης άρρηκτα συνδεδεμένη με τη μόλυνση του περιβάλλοντος, η οποία αποτελεί ένα ακόμα πρόβλημα ζωτικής σημασίας (Stanghellini et al, 2005). Παρόλα τα οφέλη που έχουμε αποκομίσει από την υδροπονία, όταν αυτή λειτουργεί με το ανοικτό σύστημα, τα άλατα και ιόντα του αποβαλλόμενου αρδευτικού νερού, σε συνδυασμό με τα λιπάσματα και τα φυτοφάρμακα, προκαλούν ρύπανση του υδροφόρου ορίζοντα, κυρίως λόγω συσσώρευσης νιτρικών και φωσφόρου στο υπόγειο νερό (Stanghellini et al, 2012, Carraros et al, 2018). Εξαιτίας λοιπόν των επερχόμενων δεινών, οι ερευνητές αναγκάστηκαν να στρέψουν την προσοχή τους στην εξεύρεση μέσων και τρόπων για τη δημιουργία βελτιωμένων υδροπονικών συστημάτων, που θα ελαχιστοποιούν την περιβαλλοντική υποβάθμιση χωρίς ωστόσο να υπονομεύουν την ποιότητα και την ποσότητα των παραγόμενων προϊόντων (Katsoulas et al, 2014). Παράδειγμα αποτελεί το ανοικτό σύστημα πολυκαλλιέργειας κυκλικής άρδευσης, το οποίο επαναχρησιμοποιεί το θρεπτικό διάλυμα για την άρδευση ανθεκτικότερων στην αλατότητα καλλιεργειών, στοχεύοντας στην αειφόρο ανάπτυξη και μειώνοντας το οικονομικό κόστος, που αποτελεί τροχοπέδη στην εδραίωση ενός εντελώς κλειστού συστήματος (Carraros, et al, 2018, Munoz et al, 2012).

1.1 Υδροπονία

Ο όρος υδροπονία προέρχεται από το ύδωρ, δηλαδή το νερό, και το πόνημα που σημαίνει εργασία και ειπώθηκε για πρώτη φορά από τον Dr. W. A. Setchell. (Gericke, 1937) Ο όρος όμως έγινε γνωστός και χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά από τον Gericke (Jones, 1982), σύμφωνα με τον οποίο η υδροπονία αποτελεί «κάθε μέθοδο ανάπτυξης φυτών εντός θρεπτικού διαλύματος, με σκοπό την εμπορία του». (Savvas et al, 2002) Παρόλα αυτά στη σημερινή εποχή ο όρος υδροπονία τείνει να ταυτίζεται με την γενικότερη έννοια της καλλιέργειας εκτός εδάφους (soiless culture). (Jensen & Collins, 1985, Raviv & Lieth, 2019, Σάββας, 2012).

Υδροπονία λοιπόν, είναι η τεχνική της καλλιέργειας των φυτών, η ρίζα των οποίων εγκαθίσταται εντός κάποιου πορώδους στερεού μέσου, που ονομάζεται υπόστρωμα (substrate), το οποίο αντικαθιστά πλήρως το έδαφος. Τα απαραίτητα στοιχεία λαμβάνονται από το φυτό με την παροχή ενός θρεπτικού διαλύματος (nutrient solution), το οποίο παράγεται από την ανάμιξη θρεπτικών στοιχείων ποικίλων μορφών με αρδευτικό νερό σε συγκεκριμένες αναλογίες. Τελευταία όμως έχουν αναπτυχθεί και συστήματα, στα οποία το φυτό μπορεί να αναπτυχθεί με τη ρίζα του να βρίσκεται εντός του θρεπτικού διαλύματος ή στον αέρα χωρίς να παρεμβάλλεται κάποιο στερεό μέσο (Savvas et al, 2013).

1.1.1 Πλεονεκτήματα υδροπονίας

Η καλλιέργεια εκτός εδάφους εδώ και αρκετά χρόνια γίνεται σταδιακά όλο και πιο δημοφιλής, γιατί αποτελεί μια πολλά υποσχόμενη μέθοδο καλλιέργειας. Βασικότερο πλεονέκτημα αποτελεί η αύξηση της ποσότητας και ποιότητας των γεωργικών προϊόντων με την παραγωγική διαδικασία να λαμβάνει χώρα καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, ανεξαρτήτως εξωτερικών κλιματικών παραμέτρων, λόγω των ελεγχόμενων συνθηκών εντός του θερμοκηπίου. (Putra & Yuliando, 2015) Η καλλιέργεια εκτός εδάφους αποτελεί εναλλακτική λύση αντιμετώπισης των προβλημάτων που προκύπτουν από τη χρήση του εδάφους ως μέσο ανάπτυξης. Με την απουσία εδάφους έχουμε πλήρη εξάλειψη των παθογόνων που εδρεύουν σε αυτό και κάθε εδαφογενούς ασθένειας (Savvas et al, 2013). Η εντατική καλλιέργεια στα υδροπονικά συστήματα αυξάνει την παραγωγή χωρίς να επηρεάζει αρνητικά τη μετέπειτα γονιμότητα σε σχέση με το έδαφος. Επιπλέον, επιτυγχάνεται πρωίμηση της παραγωγής λόγω της ακρίβειας στη διαχείριση της θρέψης των φυτών, ενώ οι ελεγχόμενες συνθήκες που

επικρατούν τόσο στην ατμόσφαιρα όσο και στην περιοχή της ριζόσφαιρας είναι ευνοϊκές για την καλλιέργεια. Άξια αναφοράς επίσης, είναι η δυνατότητα ενσωμάτωσης πληθώρας αυτοματισμών στην παραγωγική διαδικασία που μειώνει το κόστος των εργασιών και βελτιστοποιεί την αποδοτικότητα του συστήματος λόγω εξάλειψης του παράγοντα του ανθρώπινου λάθους. (Σάββας, 2011) Πέρα όμως από τα οφέλη στην παραγωγική διαδικασία, η υδροπονία είναι σε θέση να μετριάσει και προβλήματα ρύπανσης του περιβάλλοντος. Περιέχει τεχνικές που είναι σε θέση να περιορίσουν τις απώλειες θρεπτικών και νερού που καταλήγουν στο περιβάλλον καθώς και να αυξήσουν την αποδοτικότητα στη χρήση νερού (Water Use Efficiency) (WUE) και των θρεπτικών (Nutrients Use Efficiency) (NUE). (Massa et al, 2020).

1.1.2 Θρεπτικό διάλυμα (Nutrient solution)

Σε ένα υδροπονικό σύστημα τα θρεπτικά διαλύματα χωρίζονται στο μητρικό διάλυμα και στο θρεπτικό διάλυμα τροφοδοσίας. Το θρεπτικό διάλυμα τροφοδοσίας είναι αυτό που διοχετεύεται στο ριζικό σύστημα της καλλιέργειας ώστε το φυτό να απορροφήσει τα απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία. Στο μητρικό διάλυμα τα αναμειγνύμενα θρεπτικά στοιχεία βρίσκονται σε μεγαλύτερη πυκνότητα σε σχέση με το διάλυμα τροφοδοσίας (περίπου 100 φορές). Μετά από την αραιώση των μητρικών διαλυμάτων με νερό καταλήγουμε στα διαλύματα τροφοδοσίας που θα χρησιμοποιηθούν για την θρέψη των φυτών. (Καράμπουλα, 2016)

Γενικότερα το θρεπτικό διάλυμα είναι το υδατικό διάλυμα μέσα στο οποίο βρίσκονται σε αναλογίες τα ανόργανα ιόντα που κρίνονται απαραίτητα, διότι χωρίς την παρουσία τους δε θα ήταν εφικτό το φυτό να ολοκληρώσει το βιολογικό του κύκλο. (Libia et al, 2012). Όλα αυτά τα θρεπτικά στοιχεία διοχετεύονται και αναμειγνύονται με το αρδευτικό νερό υπό τη μορφή περισσότερο υδατοδιαλυτών λιπασμάτων, ανόργανων αλάτων, οξέων ή βάσεων.

Η άρδευση των φυτών με την τροφοδοσία θρεπτικού διαλύματος ονομάζεται υδρολίπανση. Η πλειοψηφία των θερμοκηπίων σήμερα (63%) περιέχουν τεχνολογικά αυτοματοποιημένα συστήματα υδρολίπανσης τα οποία βελτιώνουν την διαχείριση και την αποδοτικότητα της αρδευτικής διαδικασίας. (Garcia-Caparros et al, 2017) Επιπρόσθετα, η μοντελοποίηση των εισροών και της παραγωγικότητας αποτελεί τη βελτιστοποίηση της διαχείρισης άρδευσης και της εξοικονόμησης φυσικών πόρων. Η ανάπτυξη συστημάτων λήψης αποφάσεων (decision support

systems) και η χρήση αισθητήρων προάγουν τη σταθερότητα, την ακρίβεια και την αειφόρο ανάπτυξη του κλάδου της Υδροπονίας.

Τα απαραίτητα στοιχεία που πρέπει να απορροφήσει το φυτό και είναι αναγκαίο να υπάρχουν σε κάθε βασικό θρεπτικό διάλυμα είναι τα N, K, P, Ca, Mg, S, που αποτελούν τα μακροστοιχεία. Ωστόσο, εξίσου σημαντικά είναι τα Mn, Zn, B, Cu, Mo, Fe, που απαρτίζουν τα μικροστοιχεία. Επιπροσθέτως, ορισμένα ακόμη στοιχεία, για τα οποία υπάρχουν ενδείξεις ότι έχουν ωφέλιμη επίδραση στα φυτά, είναι τα Ni, Se, Co, Si και το Na με το Cl. Τα δυο τελευταία στοιχεία αν και συμπεριλαμβάνονται στα απαραίτητα, δεν προστίθενται στο θρεπτικό διάλυμα γιατί βρίσκονται σε επαρκή συγκέντρωση μέσα στο αρδευτικό νερό. (Shavrukov, 2012, Sonneveld, & Voogt, 2009).

Το κατάλληλο εύρος των τιμών του pH για τη μέγιστη απορρόφηση των θρεπτικών στοιχείων των θρεπτικών διαλυμάτων στην πλειοψηφία των φυτών, είναι το 5.6-6.2. Πρακτικά όμως ακόμα και να επικρατούν αυτές οι τιμές pH, είναι πιθανό να υφίστανται παρεκκλίσεις από το βέλτιστο εύρος, λόγω του περιορισμού στον όγκο του θρεπτικού διαλύματος στη ριζόσφαιρα του φυτού. (Putra & Yuliando, 2015).

1.1.3 Υπόστρωμα

Σαν υπόστρωμα ορίζεται από τον Gruda (2013) κάθε στερεό υλικό εκτός του εδάφους, το οποίο αν χρησιμοποιηθεί μόνο του ή και συνδυαστικά μπορεί να εγγυηθεί καλύτερες συνθήκες ανάπτυξης για το φυτό σε σύγκριση με το κοινό έδαφος. Αυτό λοιπόν συμβαίνει, διότι το υπόστρωμα είναι σε θέση να προσφέρει στήριξη στο ριζικό σύστημα, έχει λιγότερες προσβολές από παθογόνα και είναι πιο εύκολη η διαχείριση λόγω του μικρότερου βάρους του. Πλεονεκτήματα παρουσιάζει επίσης και έναντι της αεροπονίας και της απευθείας καλλιέργειας σε θρεπτικό διάλυμα με συνεχή ροή, καθώς η ρίζα μπορεί να απορροφήσει ποσότητες νερού και θρεπτικών στοιχείων, που έχουν αποθηκευτεί στο υπόστρωμα, ενώ παράλληλα παρέχεται στήριξη, επαρκή οξυγόνωση και ομοιομορφία στη θερμοκρασία της ριζόσφαιρας (Gruda et al, 2013). Τα υποστρώματα απαιτείται να έχουν καλή αποστράγγιση και σωστό αερισμό καθώς και ικανοποιητική εσωτερική διατήρηση υγρασίας. Τέτοιο παράδειγμα υποστρώματος αποτελεί και ο πετροβάμβακας που χρησιμοποιήσαμε (Ολύμπιος, 2001).

1.1.3.1 Καλλιέργεια σε Πετροβάμβακα

Ο πετροβάμβακας ή ορυκτοβάμβακας (rockwool) είναι ένα διογκωμένο αδρανές ανόργανο, ινώδες υλικό που δομείται από βασάλτη, ασβεστόλιθο και γαιάνθρακα σε αναλογία 4:1:1 (Μαυρογιαννοπούλου, 2017, Σάββας 2012). Το βάρος του είναι 52-75 kg/m³, ενώ διαθέτει και ενεργό πορώδες, που κυμαίνεται στο 92% (Fonteno & Nelson, 1990) .

Οι πλάκες πετροβάμβακα δύναται να ξαναχρησιμοποιηθούν στην παραγωγική διαδικασία, εφόσον συνεχίζουν να διαθέτουν το ιδανικό πορώδες για το σωστό αερισμό της ρίζας. Οι εγκλωβισμένες ρίζες παλαιότερων καλλιεργειών συχνά επιφέρουν υποβάθμιση του πορώδους του υποστρώματος και έτσι οδηγούν τον παραγωγό στην αντικατάστασή τους (Maucieri et al, 2019).

Σήμερα περίπου το 60% των λαχανικών που παράγονται εντός θερμοκηπίων στην Ολλανδία, αναπτύσσονται υδροπονικά και έχουν ως υπόστρωμα ανάπτυξης τον πετροβάμβακα (Asaduzzaman, 2015). Γενικότερα στην Ευρώπη έχει εδραιωθεί η χρήση του πετροβάμβακα στην καλλιέργεια λαχανικών και δρεπτών ανθέων, εξαιτίας ορισμένων προνομιακών χαρακτηριστικών που διαθέτει, όπως το σχετικά μικρό βάρος και ο εύκολος χειρισμός του (Gruda et al., 2006). Μάλιστα είναι αρκετά πιθανό να αποτελέσει ένα από τα κυριότερα υποστρώματα, όσο αυξάνεται η χρήση των τεχνικών της υδροπονικής καλλιέργειας (Groudou, 2012).

1.1.4 Ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) και Αλατότητα

Μια παράμετρος που πρέπει να λάβουμε υπόψη και έχει άμεσο αντίκτυπο στην υδροπονική καλλιέργεια είναι αυτή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του θρεπτικού διαλύματος (Katsoulas et al, 2006). Η μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας αποτελεί τρόπο υπολογισμού της οσμωτικής πίεσης του θρεπτικού διαλύματος και επιτρέπει να είναι γνωστό το σύνολο των ιόντων που περιέχονται μέσα στο διάλυμα. Οι κατάλληλες τιμές για υδροπονική καλλιέργεια κυμαίνονται μεταξύ 1.5 και 2.5 dsm⁻¹ (Livia et al, 2012). Αυξημένες τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας είναι ανεπιθύμητες διότι υποδεικνύουν πιθανά προβλήματα αλατότητας (Dorais et al, 2001). Η αυξημένη αλατότητα αποτελεί έναν από τους λόγους της φθίνουσας ανάπτυξης των φυτών (Katsoulas & Voogt, 2014), που αποκτούν λιγότερα φύλλα μικρότερου μέγεθους (Shannon & Grieve, 1999), που

έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγική υποβάθμιση της καλλιέργειας (Hanin et al, 2016). Αυτό συμβαίνει διότι η συσσώρευση αλάτων μειώνει την προσρόφηση του νερού και των θρεπτικών στοιχείων από το φυτό, προκαλώντας τροφopenίες (Zörb et al, 2018). Επίσης σε περιπτώσεις περίσσειας συγκέντρωσης ιόντων με συνηθέστερα το Na^+ και το Cl^- (Bernstein et al, 2010), μπορούν να προκληθούν τοξικότητες.

Έρευνες στοχεύουν στον περιορισμό του προβλήματος της συσσωρευμένης αλατότητας που είναι αισθητό στις μεσογειακές περιοχές. Στο νερό άρδευσης πέρα από τα δυο προαναφερθέντα, βρίσκονται σε επάρκεια επίσης ιόντα και άλατα όπως Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , SO_4^{2-} δυσχεραίνοντας τη χρήση του κλειστού συστήματος (Katsoulas et al, 2014). Προτεινόμενες λύσεις είναι η χρήση ανθεκτικότερων στην αλατότητα ποικιλιών (Incrocci et al, 2003) ή η ενσωμάτωση μαθηματικών μοντέλων σε αυτοματοποιημένα decision support systems (DSS) που θα συσχετίζουν τη συγκέντρωση ιόντων στο θρεπτικό διάλυμα με την απορρόφηση τους από το ριζικό σύστημα του φυτού (Carnassi et al, 2005).

Τον τελευταίο καιρό, συζητείται διεθνώς ο μεγάλος όγκος των πληροφοριών (big data) που προκύπτει από τις σύγχρονες τεχνολογίες και η πιθανή αξιοποίησή τους προς όφελος των παραγωγών και της γεωργίας. Έχουν γίνει προσπάθειες σχεδιασμού και ανάπτυξης μοντέλων που συμπεριλαμβάνουν παραμέτρους όπως το μικροκλίμα, η εξατμισοδιαπνοή, οι συγκεντρώσεις των στοιχείων εντός του θρεπτικού διαλύματος, το στάδιο ανάπτυξης της καλλιέργειας και τα χαρακτηριστικά του υποστρώματος (Kläring, 2001). Πρωτεύων στόχος του σχεδιασμού αυτού είναι η βελτιστοποίηση της διαχείρισης θρεπτικών διαλυμάτων με αυξημένη αλατότητα στο νερό άρδευσης. Τέτοια παραδείγματα σχεδιασμού αποτελούν τα μοντέλα της ομάδας Carnassi (et al, 2005) και Varlagas (et al, 2010) που επικεντρώθηκαν στην επίδραση της συγκέντρωσης του νατρίου (Na^+), το οποίο θεωρείται το κυριότερο κατιόν, που ευθύνεται για την αύξηση της αλατότητας στα θρεπτικά διαλύματα.

1.2 Κατηγοριοποίηση Υδροπονικών Συστημάτων

Δύο από τα βασικά κριτήρια για την κατηγοριοποίηση των υδροπονικών συστημάτων είναι το μέσο εντός του οποίου αναπτύσσεται η ρίζα καθώς και η τεχνική που χρησιμοποιείται για την παραγωγή της εκάστοτε καλλιέργειας. Η αρχική ταξινόμηση των συστημάτων σχετίζεται με την χρήση

στερεού μέσου (υπόστρωμα) ή με την απουσία αυτού (υδροκαλλιέργεια ή αεροπονία) (Σάββας, 2011). Ένα παράδειγμα υδροκαλλιέργειας που χρησιμοποιείται τελευταία και ενδείκνυται για το αγγούρι, είναι το σύστημα NFT (Nutrient Film Technique), στο οποίο οι ρίζες δεν εδράζουν σε κάποιο υπόστρωμα, αλλά βρίσκονται μόνιμα μέσα σε ρέων θρεπτικό διάλυμα. Στην αεροπονία, από την άλλη, οι ρίζες της καλλιέργειας βρίσκονται στον αέρα και λαμβάνουν τα απαραίτητα στοιχεία μέσω ψεκασμού του θρεπτικού διαλύματος κατευθείαν στο ριζικό σύστημα (Van Os et al, 2019).

1.2.1 Κλειστό και ανοικτό υδροπονικό σύστημα

Ένα ακόμη κριτήριο για την κατηγοριοποίηση των υδροπονικών συστημάτων αφορά την διαχείριση των απορροών που είναι σε περίσσεια, δεν καταναλώνεται από την καλλιέργεια και καταλήγει σε δεξαμενές απορροών μέσω των καναλιών υδροπονίας. Οι κατηγορίες που προκύπτουν από το συγκεκριμένο διαχωρισμό είναι το κλειστό και το ανοικτό σύστημα (Aires, 2018). Στο κλειστό σύστημα μετά την άρδευση των φυτών, η ποσότητα του θρεπτικού διαλύματος η οποία δεν αξιοποιείται από το φυτικό οργανισμό, επιστρέφει ξανά στη δεξαμενή συλλογής. Εν συνεχεία, το διάλυμα ελέγχεται, αποκαθίσταται η όποια έλλειψη σε θρεπτικά στοιχεία και επίσης επαναφέρονται οι τιμές PH και EC στα αρχικά τους επίπεδα. Η συγκεκριμένη επεξεργασία έχει ως στόχο το εναπομείναν θρεπτικό διάλυμα να αποκτήσει ιδιότητες όμοιες με αυτές του αρχικού, ώστε να επαναχρησιμοποιηθεί στον επόμενο κύκλο άρδευσης (Μαυρογιαννόπουλος, 2017, Christie & Fu, 2014). Από την άλλη πλευρά, στο ανοικτό σύστημα το αρδευτικό θρεπτικό διάλυμα που δεν δεσμεύεται από τα φυτά απορρέει και καταλήγει να αποβάλλεται στο εξωτερικό περιβάλλον, χωρίς να μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί (Hosseinzadeh et al, 2017).

Τα πλεονεκτήματα του ανοικτού συστήματος έναντι του κλειστού, έγκειται στο γεγονός ότι η διαχείριση είναι πιο εύκολη, καθώς δεν απαιτείται τεχνογνωσία. Στην περίπτωση που προκύψει κάποιο λάθος στη δημιουργία της θρέψης, τα θρεπτικά στοιχεία που ενδέχεται να βρίσκονται σε μεγαλύτερη συγκέντρωση από τη απαιτούμενη, θα αποβληθούν μαζί με το διάλυμα προτού επιφέρουν κάποια καταπόνηση στο φυτό, διότι αυτό λαμβάνει μόνο την ποσότητα που χρειάζεται (Μαυρογιαννόπουλος, 2017, Massa, 2010). Επιπροσθέτως με το ανοικτό σύστημα, υπάρχουν μειωμένες πιθανότητες να παρουσιαστεί προσβολή στην καλλιέργεια από παθογόνους μικροοργανισμούς, που εδράζουν στο ανακυκλώσιμο αρδευτικό διάλυμα (Cifuentes-Torres et al,

2020). Παρόλα αυτά, στις περιοχές όπου εφαρμόζεται σε μεγάλη κλίμακα το ανοιχτό υδροπονικό σύστημα, παρουσιάζονται προβλήματα ρύπανσης του περιβάλλοντος λόγω της αυξημένης συσσώρευσης νιτρικών και φωσφόρου από τα αποβαλλόμενα θρεπτικά διαλύματα (Caranós, et al, 2018, Elmoniem, 2006). Ωστόσο, το πρόβλημα αυτό μπορεί να μετριαστεί με την υιοθέτηση του κλειστού υδροπονικού συστήματος, διότι στο εν λόγω σύστημα η αποδοτικότητα της χρήσης του αρδευτικού θρεπτικού διαλύματος μεγιστοποιείται με την επαναχρησιμοποίηση (Katsoulas et al, 2015). Συγκριτικά με το ανοιχτό σύστημα έχουμε εξοικονόμηση πόρων νερού σε ποσοστό 21% και λιπασμάτων έως και 35% (Pardossi et al, 2011).

Μειονεκτήματα ωστόσο συναντώνται και στο κλειστό σύστημα. Σημαντική είναι η μεγάλη διαφορά κόστους της εγκατάστασης και της λειτουργίας του, συγκριτικά με το ανοικτό σύστημα (Lee & Lee, 2015). Συνεπώς, για την χρήση του κλειστού συστήματος επιλέγονται καλλιέργειες, η εμπορική αξία των οποίων θα επιφέρει όσο το δυνατόν γρηγορότερη απόσβεση (Munoz, et al, 2012).

Όσον αφορά το θρεπτικό διάλυμα που επαναχρησιμοποιείται, εγκυμονούν δύο βασικοί κίνδυνοι. Ο πρώτος αφορά την εμφάνιση τοξικότητας στα φυτά από χημικές ουσίες που εκκρίνονται από τα ίδια και συσσωρεύονται σε μεγαλύτερες ποσότητες στο διάλυμα. (Hosseinzadeh et al, 2017, Hosseinzadeh et al, 2017). Παράδειγμα τέτοιων ουσιών με φυτοτοξική δράση στην καλλιέργεια του αγγουριού, αποτελούν τα φαινολικά και τα οργανικά οξέα (Yu και Matsui, 1994).

Ο δεύτερος κίνδυνος σχετίζεται και αυτός με τη συνεχή χρήση του ίδιου θρεπτικού διαλύματος και αφορά την αλατότητα στο υπό ανακύκλωση θρεπτικό διάλυμα (Varlagas et al, 2010). Παρουσιάζεται σημαντική αύξηση των συγκεντρώσεων ιόντων όπως το Na^+ και το Cl^- και διαφόρων αλάτων, ένα μέρος των οποίων προέρχεται από τη χρήση κακής ποιότητας αρδευτικού νερού (Maucieri et al, 2019). Συνεπώς, σε κάθε κύκλο άρδευσης συσσωρεύονται όλο και περισσότερα ιόντα και άλατα στο διάλυμα, τα οποία υπερβαίνουν ποσοτικά τη δυνατότητα απορρόφησης τους από το φυτό. (Massa et al, 2011). Ως αποτέλεσμα έχουμε την υποβάθμιση της καλλιέργειας, χωρίς πολλές φορές να έχουμε την δυνατότητα διόρθωσης του EC και του PH του θρεπτικού διαλύματος, λόγω της υπερβολικής ανισορροπίας των συστατικών (Lykas et al, 2006, Massa, 2010).

1.2.2 Αποδοτικότητα χρήσης νερού (WUE)

Η γεωργική παραγωγή στα θερμοκηπιακά συστήματα αποτελεί την πιο δαπανηρή σε φυσικούς πόρους μέθοδο καλλιέργειας, αναλογικά με το χώρο που καταλαμβάνει. (Rouphael et al, 2016) . Ο παραγωγός έρχεται αντιμέτωπος με την οικονομική επιβάρυνση της περιττής χρήσης λιπασμάτων και νερού καθώς και με τη μειωμένη διαθεσιμότητα ποιοτικού νερού για άρδευση. (Rouphael & Colla, 2009). Επιπροσθέτως, για να περιοριστούν οι βλαβερές συνέπειες των θερμοκηπιακών καλλιεργειών, επεκτείνεται σταδιακά παγκοσμίως η θέσπιση κυβερνητικών κανονισμών προάσπισης του περιβάλλοντος από τη ρύπανση των αποβαλλόμενων αρδευτικών απορροών. Η επαναχρησιμοποίηση του απορρέοντος θρεπτικού διαλύματος μέσω της υιοθέτησης του κλειστού ή ημίκλειστου υδροπονικού συστήματος, αναδεικνύεται σαν λύση έναντι αυτών των προβλημάτων καθώς προάγει την αειφόρο ανάπτυξη και βελτιστοποιεί την αποδοτικότητα της χρήσης του νερού (WUE) (Massa et al, 2008). Στο ημίκλειστο σύστημα πραγματοποιείται συνεχής απομάκρυνση ενός μέρους του ανακυκλώσιμου διαλύματος, σε αντίθεση με το κλειστό όπου συντελείται ολική απόρριψη και αντικατάσταση του όταν η αλατότητα και η ανισσοροπία των συστατικών του θρεπτικού διαλύματος φτάσει στις ανώτατες τιμές (Nederhoff & Stanghellini, 2010).

Μια από τις αιτίες της μεγαλύτερης απώλειας νερού, πέρα από την απόρριψη του διαλύματος, είναι αυτή της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας η οποία εντείνεται στα κλειστά υδροπονικά συστήματα με αποτέλεσμα τη μείωση της αποτελεσματικότητας στη χρήση του νερού. Οι απελευθερωμένοι υδρατμοί αυξάνουν τα ποσοστά της υγρασίας εντός του θερμοκηπίου με συνέπεια την περαιτέρω ενίσχυση της διεργασίας (Stanghellini, 2014). Μια λύση που προτείνεται από την ομάδα του Κατσούλα είναι η συμπύκνωση των υδρατμών με την βοήθεια ενός συστήματος ψύξης χωρίς την ανάγκη εξαερισμού (Katsoulas et al, 2015). Η δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης του νερού που χάνεται από την εξατμισοδιαπνοή αυξάνει σε μεγάλο βαθμό την αποδοτικότητα της χρήσης του, ενώ επιπροσθέτως φαίνεται ότι έχει και θετική επίδραση στην παραγωγή. Η περαιτέρω ανάπτυξη των συστημάτων με βελτιωμένη αποδοτικότητα στη χρήση του νερού αποτελεί μια πρόκληση στις μέρες μας, λόγω της ολοένα αυξανόμενης ποιοτικής και ποσοτικής υποβάθμισης ή ακόμη και της εξάντλησης αυτού του φυσικού πόρου (Koech & Langat, 2018). Επίσης, είναι σημαντικό να υπογραμμιστεί ότι η αειφορική χρήση και διαχείριση των υδάτινων πόρων αποτελεί σημαντικό μέρος της περιβαλλοντικής πολιτικής για τις αναπτυσσόμενες χώρες.

1.3 Ανοιχτό Υδροπονικό Σύστημα Επάλληλων Καλλιεργειών (Cascade hydroponic system)

Τα τελευταία χρόνια ωστόσο κερδίζει όλο και περισσότερο έδαφος μια τεχνική υδροπονικής καλλιέργειας, που είναι σε θέση να μετριάσει ποικίλα προβλήματα όπως η ακαταλληλότητα της χρήσης του θρεπτικού διαλύματος, λόγω αυξημένης αλατότητας και η ρύπανση του υπόγειου ορίζοντα. Επίσης από οικονομικής πλευράς, η συγκεκριμένη τεχνική μπορεί να είναι βιώσιμη και συμβατή για τεχνολογικά υποδεέστερες θερμοκηπιακές εγκαταστάσεις (Elvanidi et al, 2020). Ο λόγος λοιπόν γίνεται για το ανοικτό σύστημα επάλληλων καλλιεργειών (Casdade Hydroponics). Αναλυτικότερα αυτή η τεχνική εμπεριέχει την ανάπτυξη μιας καλλιέργειας, η οποία ονομάζεται πρωτεύουσα και είναι αυτή που θα επιλεγόταν σε ένα απλό σύστημα μονοκαλλιέργειας. Έχει μεγάλες απαιτήσεις όσον αφορά τις ανάγκες σε θρέψη με την έννοια ότι η αναλογία των συστατικών του θρεπτικού διαλύματος δεν θα πρέπει να παρεκκλίνει πολύ από την πρότυπη συνταγή. Δυο χαρακτηριστικά παραδείγματα πρωτεύουσας καλλιέργειας αποτελούν η τομάτα και το αγγούρι (Elvanidi et al, 2020). Εν συνεχεία οι απορροές από την άρδευση αυτής της καλλιέργειας επαναχρησιμοποιούνται για την περαιτέρω άρδευση μιας ή περισσότερων καλλιεργειών. Οι καλλιέργειες αυτές με τη σειρά τους αποτελούν τις δευτερεύουσες και δύναται να είναι ικανοποιητικά παραγωγικές σε ένα μεγαλύτερο εύρος συγκεντρώσεων των θρεπτικών στοιχείων σε αντίθεση με τις πρωτεύουσες. Επιλέγονται φυτά τα οποία χαρακτηρίζονται ως ανεκτικά στην αλατότητα και μπορούν να ανταπεξέλθουν στην συσσώρευση αλάτων που ενδέχεται να εμφανιστεί στο ανακυκλώσιμο θρεπτικό διάλυμα. (Garcia-Carragos et al, 2017) Δυο ενδεικτικά παράδειγματα φυτών που δοκιμάστηκαν ως δευτερεύουσες καλλιέργειες είναι η μέντα και ο βασιλικός. (Elvanidi et al, 2020) Αυτή η τεχνική στοχεύει στην εξοικονόμηση πόρων, έχοντας τη δυνατότητα να εκμεταλλευτεί παραγωγικά χαμηλότερης ποιότητας αρδευτικό νερό, αυξάνοντας την αποδοτικότητα της χρήσης και μειώνοντας παράλληλα τις ρυπογόνες συνέπειες της απόρριψης του θρεπτικού διαλύματος στο περιβάλλον (Heuperman et al, 2002).

Παράδειγματα αυτής της τεχνικής αποτελούν τα πειράματα των ομάδων Choi (et al, 2011) και Munoz (et al, 2012), όπου οι απορροές υδροπονικής καλλιέργειας χρησιμοποιήθηκαν για την άρδευση καλλιεργειών ανοιχτού αγρού. Ενθαρρυντικά ήταν επίσης και τα αποτελέσματα του πειράματος των Garcia-Carragos (et al, 2018) που αφορούσε τη χρήση των απορροών μιας πρωτεύουσας καλλιέργειας πεπονιού για την διαδοχική άρδευση μιας δευτερεύουσας καλλιέργειας

τριανταφυλλιάς. Η μελέτη έδειξε ότι η συγκεκριμένη τεχνική καλλιέργειας απέφερε αισθητή μείωση των συγκεντρώσεων νιτρικών στις τελικές απορροές και ταυτόχρονη εξοικονόμηση νερού.

1.4 Καλλιέργειες

1.4.1 Αγγούρι

Το είδος *Cucumis sativus*, κοινώς γνωστό και ως αγγουριά, ανήκει στην οικογένεια των Κολοκυνθοειδών (*Cucurbitaceae*), η οποία περιλαμβάνει 90 γένη και 750 διαφορετικά είδη. (Tatlioglu, 1993). Θεωρείται το σημαντικότερο είδος ανάμεσα στα 30 του γένους *cucumis*, με γνώμονα την οικονομική του σημασία (Mukherjee, 2013), διότι επιλέγεται κατά κόρον ως καλλιέργεια θερμοκηπίου (Ramirez et al, 2018). Πρωταρχική περιοχή προέλευσης του θεωρείται η Ινδία όπου απαντήθηκε ως ενδογενές, ενώ είχαν εντοπιστεί και άγρια είδη του στην ευρύτερη περιοχή των Ιμαλαίων. Ένα από τα άγρια είδη του αποτελεί το *cucumis hard-wickii*, το οποίο θεωρείται ότι έχει κοινά χαρακτηριστικά με τις σημερινές καλλιεργούμενες ποικιλίες. Η μεγαλύτερη παραγωγή αγγουριών σήμερα πραγματοποιείται στην Ασία, ενώ η Ελλάδα κατέχει το 0,7% της συνολικής παραγωγής παγκοσμίως (Ολύμπιος, 2001.)

Η αγγουριά χαρακτηρίζεται ως ετήσια, μόνοικη, δικλινή, έρπουσα πόα, η οποία δύναται να αναρριχάται με τη βοήθεια ελίκων. Διαθέτει θυσσανώδες ριζικό σύστημα, μεγάλα, απλά, εναλλασόμενα φύλλα με τριχίδια, ενώ τα άνθη της εκφύονται από τις μασχάλες των φύλλων και έχουν κίτρινο χρωματισμό. Εμπορικά αξιοποιήσιμοι είναι οι καρποί της, που είναι ράγα ή πέπων και συγκομίζονται ανώριμοι για νωπή κατανάλωση (Σπυρόπουλος, 2014).

1.4.2 Υδροπονική καλλιέργεια Αγγουριού

Η καλλιέργεια της αγγουριάς εντός θερμοκηπίου είναι αρκετά δημοφιλής παγκοσμίως, συγκριτικά με τα περισσότερα λαχανικά (Mohammadi, 2009). Η πλειοψηφία των ποικιλιών αγγουριού που χρησιμοποιούνται σήμερα σε υδροπονική καλλιέργεια είναι υβρίδια, τα οποία παράγουν μόνο θηλυκά άνθη και σχηματίζουν καρπούς παρθενογενετικά, δηλαδή χωρίς να χρειάζεται γονιμοποίηση.

Όσον αφορά τις συνθήκες εντός του θερμοκηπίου τα σπορόφυτα αγγουριού παρουσιάζουν βέλτιστη ανάπτυξη σε θερμοκρασίες 20-23°C την ημέρα και 18-20 °C κατά τη διάρκεια της νύχτας (Σάββας, 2011). Οι χαμηλές θερμοκρασίες (<14°C) αναστέλλουν πλήρως την ανάπτυξη (Χα και

Πετρόπουλος, 2014), ενώ μεγάλες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας επιφέρουν παραμορφώσεις στους καρπούς (Wittwer & Honma, 1979). Η υγρασία του αέρα θα πρέπει να κυμαίνεται περίπου στο 70-80% (Bakker & Sonneveld, 1987), ενώ απαιτούνται και μεγάλες ποσότητες άρδευσης (400-500 μm^3 ανά στρέμμα). Αυτό συμβαίνει γιατί το αγγούρι έχει μεγάλη φυλλική επιφάνεια, άρα αυξημένες απώλειες νερού λόγω εξατμισοδιαπνοής. Η ιδανική τιμή του pH είναι 6-7 (Χα & Πετρόπουλος, 2014), ενώ η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) του θρεπτικού διαλύματος που παρέχεται, θα πρέπει να κυμαίνεται στα όρια του 2.2-3dS m^{-1} (Grewal et al, 2011). Τέλος, απαραίτητες καλλιεργητικές φροντίδες του αγγουριού είναι το κλάδεμα και η υποστύλωση του, όντας αναρριχητικό φυτό (Ολύμπιος, 2001).

1.4.3 Βασιλικός

Το όνομα βασιλικός έχει τις ρίζες του στην αρχαία Ελληνική γλώσσα και προέρχεται από το βασιλεύς, δηλαδή ο βασιλιάς των βοτάνων, λόγω του ιδιαίτερου αρώματός και των αξιοσημείωτων ιδιοτήτων του. (Li, 2016, Chang, 2005). Ο βασιλικός κατατάσσεται στην οικογένεια των Χειλανθών (Lamiaceae), στο γένος *Ocimum* και στο είδος *Ocimum basilicum* L. (Pushpangadan, 2012). Θεωρείται γηγενές είδος της Ινδίας όπου και καλλιεργήθηκε για πρώτη φορά (Κατσιώτης, 2019), ωστόσο στην Αφρική εμφανίζεται η μεγαλύτερη γενετική ποικιλότητα του (Μακρί, 2008). Είναι φυτό με αρωματικές, καρυκευτικές και φαρμακευτικές ιδιότητες κατέχοντας εξέχουσα θέση στην εμπορική οικονομία παγκοσμίως (Jamilie et al, 2019). Χρησιμοποιείται ευρύτατα στη βιομηχανία τροφίμων, καλλυντικών καθώς και για ιατρικούς σκοπούς, λόγω των αιθέριων ελαίων του, τα οποία διαθέτουν αντικαρκινικές, αντιφλεγμονώδεις, αντιμικροβιακές και αντιοξειδωτικές ιδιότητες. (Chávez-González et al, 2016).

1.4.4 Συνθήκες καλλιέργειας Βασιλικού

Τα αποτελέσματα του πειράματος της ομάδας του Burdina (et al, 2016) έδειξαν ότι ένα από τα ιδανικά υποστρώματα για καλλιέργεια βασιλικού σε υδροπονικό σύστημα, είναι μείγμα περλίτη με τύρφη σε αναλογία 60-40% ή το αντίθετο. Για την καλλιέργεια χωρίς υπόστρωμα έχει αρχίσει να εφαρμόζεται τελευταία η τεχνική (NFT), όπως και στο αγγούρι και το σύστημα DFT (Deep Flow

Technique) (Πετρόπουλος, 2016, Walter, 2015). Όσον αφορά τη θερμοκρασία, σύμφωνα με τον Chang (et al, 2005), ο βασιλικός παρουσιάζει βέλτιστη ανάπτυξη και συσώρευση αιθέριου ελαίου, όταν η διακύμανση της θερμοκρασίας είναι μεταξύ 25-30°C. Έχει αυξημένες ανάγκες άρδευσης σε επίπεδο που φτάνει τα φυλλώδη λαχανικά (30-40m³ νερού/στρέμμα). Επίσης, απαιτούνται μεγάλες ποσότητες έντασης φωτισμού για την μέγιστη ανάπτυξη και αύξηση των συγκεντρώσεων αιθέριων ελαίων (Κατσιώτης, 2019). Οι ανάγκες για φυσικό φωτισμό μπορούν να ενισχυθούν τεχνητά, από την θετική επίδραση του μπλε φάσματος και της UV-A ακτινοβολίας (Dörr et al, 2019). Μια παράμετρος όμως στη καλλιέργεια του βασιλικού, που μας ενδιαφέρει ιδιαίτερα και σχετίζεται με την παρούσα μελέτη, είναι αυτή της αλατότητας. Πολλά πειράματα (Said-Al Ahl & Mahmoud, 2010, Scagel et al, 2107, Caliskan et al, 2017) έχουν αναδείξει το βασιλικό ως φυτό με αυξημένη ανθεκτικότητα στην αλατότητα, που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως μια εναλλακτική επιλογή σε περιοχές όπου η αλατότητα δρα ως περιοριστικός παράγοντας στην καλλιέργεια (Ding et al, 2020).

1.5 Σκοπός της εργασίας

Ο σκοπός της παρούσας πειραματικής πτυχιακής διατριβής είναι η εκτίμηση της χρήσης του βασιλικού ως δευτερεύουσα καλλιέργεια με την επαναχρησιμοποίηση των απορροών της πρωτεύουσας καλλιέργειας του αγγουριού σε ανοικτό υδροπονικό σύστημα επάλληλων καλλιεργειών. Η καταλληλότητα του βασιλικού για την χρήση του στο συγκεκριμένο σύστημα είναι συσχετισμένη τόσο με τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του θρεπτικού διαλύματος όσο και με τα χαρακτηριστικά του βασιλικού συγκρινόμενα πάντα με τη μεταχείριση του μάρτυρα.

ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Εγκαταστάσεις και Καλλιέργεια

Το πείραμα της πτυχιακής εργασίας έλαβε χώρα στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, που εδρεύει στο Βελεστίνο (Συντεταγμένες: 39° 22', 22° 44', 85 m). Το θερμοκήπιο που εγκαταστάθηκαν οι καλλιέργειες ανήκει στο Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος, του ίδιου πανεπιστημιακού τμήματος. Η έκταση του είναι 160 m², είναι μονοτοξωτό, ακολουθεί τον προσανατολισμό Β-Ν και το υλικό κάλυψης του είναι το πολυαιθυλένιο. Ο αερισμός του χώρου πραγματοποιείται μέσω παράπλευρων ανοιγμάτων και οροφής που ρυθμίζονταν μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή.

Η έναρξη της πρώτης πειραματικής διαδικασίας συμπίπτει με τη εγκατάσταση των δύο φυτικών ειδών στο θερμοκήπιο, που πραγματοποιήθηκε στις 29 Αυγούστου 2018 και ολοκληρώθηκε στις 25 Οκτωβρίου 2018, όταν δηλαδή σταμάτησαν οι μετρήσεις και εκριζώθηκε το φυτικό υλικό. Η δεύτερη επαναληπτική διεξαγωγή του πειράματος συνεχίστηκε στις 30 Νοεμβρίου 2018 και τερματίστηκε στις 3 Ιανουαρίου 2019, λόγω των αισθητά χαμηλών θερμοκρασιών που επικρατούσαν εντός του θερμοκηπίου εκείνη τη περίοδο.



Εικόνα. 2: Άποψη του πανεπιστημιακού θερμοκηπίου στο Βελεστίνο

Οι δυο καλλιέργειες που χρησιμοποιήθηκαν στο πείραμα, χωρίστηκαν στη βασική ή πρωτεύουσα, η οποία ποτιζόταν με προκαθορισμένο μείγμα θρεπτικού διαλύματος και στη δευτερεύουσα, η οποία λάμβανε τις απορροές της βασικής καλλιέργειας. Ο πληθυσμός της δευτερεύουσας καλλιέργειας χωριζόταν με τη σειρά του σε διαφορετικές μεταχειρίσεις, που σχετίζονταν με τη χρήση διαφοροποιημένης σύστασης θρεπτικού διαλύματος.

Η βασική καλλιέργεια ήταν το αγγούρι (*Cucumis sativus* cv. Long Krateros), ενώ ο βασιλικός (*Ocimum basilicum*) αποτελούσε τη δευτερεύουσα καλλιέργεια. Οι δυο καλλιέργειες αναπτύσσονταν στον ίδιο χώρο, με τις ίδιες κλιματικές συνθήκες, σε συνθήκες υδροπονικού συστήματος ανοιχτού τύπου, με τις τελικές απορροές της δευτερεύουσας καλλιέργειας να συσσωρεύονται σε μαύρες λεκάνες συλλογής ανοιχτού τύπου, μέγιστης χωρητικότητας 120L, με σκοπό να ληφθούν οι συγκεκριμένες μετρήσεις, pH, EC και ανύψωση στάθμης απορροών. Για την αντιμετώπιση της παρουσίας άλγεων, οι δεξαμενές καλύπτονταν με κομμάτια μαύρου νάυλον ώστε να μην είναι εκτεθειμένες στο φως οι ελεύθερες επιφάνειες του νερού. Μετά τη πλήρωση των λεκανών, ο όγκος των απορροών αδειάζονταν στο περιβάλλον με ηλεκτρική, ανοξειδωτή αντλία ακαθάρτων λυμάτων, (Wilo, ισχύς 550W, $8.5\text{m}^3\text{h}^{-1}$ και μέγιστο μανομετρικό 7,5m). Το υπόστρωμα εσωτερικά των σάκων, που χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη των φυτών ήταν πετροβάμβακας ενώ η τροφοδοσία του θρεπτικού διαλύματος πραγματοποιούνταν μέσω στάγδην άρδευσης.

Για την άρδευση είχαν τοποθετηθεί σταλακτηφόροι σωλήνες ($\Phi 20$), στο εσωτερικό του υποστρώματος σε κοντινή απόσταση με το ριζικό σύστημα, με παροχή 2L h^{-1} και ένας σταλάκτης ανά φυτό. Το σύστημα άρδευσης λειτουργούσε αυτοματοποιημένα μέσω ηλεκτρονικού συστήματος και παρείχε άρδευση στα φυτά, 6 φορές την ημέρα από τις 7:00 μέχρι τις 17:00. Η άρδευση πραγματοποιούνταν κάθε δυο ώρες. Συγκεκριμένα, το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε ήταν της εταιρείας «Argos electronics», για την παρασκευή του θρεπτικού διαλύματος και τη ρύθμιση τιμών του pH. Στο λογισμικό ενσωματώθηκε το αυτόματο σύστημα επικοινωνίας των θρεπτικών διαλυμάτων που αναπτύχθηκε στο πλαίσιο του έργου SIRRIMED. Αυτό το λογισμικό έπαιρνε εντολές από ένα φύλλο excel, που περιείχε τις συνταγές των θρεπτικών διαλυμάτων για τις καλλιέργειες, αγγουριού και βασιλικού. Για την προετοιμασία του τελικού θρεπτικού διαλύματος απαιτήθηκαν i) η άντληση των πυκνών διαλυμάτων με χρήση αντλιών θετικής μετατόπισης ii) η δοσομέτρηση των πυκνών διαλυμάτων ασυνεχούς ροής με χρήση πλαστικών βαλβίδων on/off για τη ρύθμιση της παροχής του πυκνού διαλύματος και iii) η ανάμιξη με νερό άρδευσης από

συστήματα με απευθείας παροχή. Ο έλεγχος και η ορθή λειτουργία του υδρολογικού συστήματος γινόταν μέσω αυτόματου συστήματος ελέγχου (κεφαλή υδροπονίας). Η κεφαλή αποτελούνταν από προγραμματιζόμενο PLC (Programmable Logic Controller) (σύστημα ελέγχου περιβάλλοντος θερμοκηπίου με δυνατότητα αυτόνομης λειτουργίας) και κεφαλή μίξης λιπασμάτων και παροχής αραιού θρεπτικού διαλύματος στα φυτά. Η εισαγωγή των πυκνών διαλυμάτων και νερού σε δοχείο αναμείξεως πραγματοποιούνταν σε προκαθορισμένη αναλογία και η σταθερή αναλογία αραιώσεως των πυκνών διαλυμάτων ήταν 1:100. Οι δοσομετρικές αναλογικές αντλίες ήταν πέντε όσες και οι δεξαμενές, μητρικών και οξέος. Δυο δεξαμενές που προορίζονταν για το πρότυπο διάλυμα του αγγουριού, δυο για το πρότυπο διάλυμα του βασιλικού, ενώ η πέμπτη περιείχε το οξύ για τη διόρθωση του pH.

2.2 Πειραματικός σχεδιασμός

Αρχικά πραγματοποιήθηκε απολύμανση, καθαρισμός του θερμοκηπίου και έλεγχος της σωστής λειτουργικότητας των σωλήνων και σταλακτών του αρδευτικού συστήματος. Έπειτα τοποθετήσαμε τους σάκους υποστρώματος πετροβάμβακα διαστάσεων (110 X 20 X 7.5 cm) (Grodan, Delta, Netherlands) πάνω στα 8 παράλληλα τοποθετημένα κανάλια υδροπονίας. Το πείραμα αποτελούνταν από δύο όμοιες επαναλήψεις των καλλιεργειών οπότε το θερμοκήπιο όπως και τα κανάλια χωρίστηκαν στην μέση, με κάθε επανάληψη να έχει στη διάθεση της 4 κανάλια. Το κάθε κανάλι ήταν καλυμμένο με παχύ σκουρόχρωμο νάιλον, ώστε να μην αναπτύσσονται άλγη όπως επίσης, και οι δεξαμενές απορροών ανοιχτού τύπου. Επίσης, είχε κατάλληλη κλίση, ώστε να ρέει το απορρέων θρεπτικό διάλυμα και να καταλήγει στις 10 λεκάνες συλλογής απορροών βασιλικού, οι οποίες τοποθετήθηκαν στο τέλος των καναλιών της κάθε επανάληψης του βασιλικού.

Στις 27 Αυγούστου (δυο μέρες πριν τη μεταφύτευση), πραγματοποιήθηκε το πρώτο πότισμα τους χωρίς την παρουσία φυτών για τη διαβροχή του υποστρώματος μέχρι σημείο κορεσμού. Πραγματοποιήθηκε το σχίσιμο των σάκων για την απομάκρυνση της περίσσειας του θρεπτικού διαλύματος και παράλληλα αφαιρέθηκε υλικό του πετροβάμβακα (με ηλεκτρικό ποτηροτρύπανο Φ70mm και διάτρηση σε βάθος 35mm) για να γίνει εφικτή η εγκατάσταση των φυτών. Στις 29 Αυγούστου πραγματοποιήθηκε η μεταφύτευση των καλλιεργειών του αγγουριού και του βασιλικού

στα υποστρώματα. Αφού ολοκληρώθηκε η μεταφύτευση, πραγματοποιήθηκε πότισμα των σάκων για να επιταχυνθεί η καλύτερη επαφή των ριζών με το υπόστρωμα.

Συνολικά τοποθετήθηκαν 72 φυτά αγγουριάς, 136 φυτά βασιλικού και 58 πλάκες πετροβάμβακα. Πιο συγκεκριμένα στα παράπλευρα υδροπονικά κανάλια, στις άκρες του θερμοκηπίου, τοποθετήθηκαν 12 σάκοι με 36 φυτά αγγουριάς, δηλαδή 3 φυτά ανά σάκο, ενώ στους υπόλοιπους 3 πάγκους, που βρίσκονταν πλησίον αυτού με τις αγγουριές και στο κέντρο του θερμοκηπίου, τοποθετήθηκαν 17 σάκοι και 68 φυτά βασιλικού, με 12 σάκους ανά γραμμή και 4 φυτά ανά σάκο. Η ίδια ακριβώς διαρρύθμιση των φυτών εφαρμόστηκε και για την δεύτερη επανάληψη στο υπόλοιπο μισό του θερμοκηπίου. Τέλος, αναρτήθηκαν τα ταμπελάκια σήμανσης, που υποδείκνυαν και ξεχώριζαν τις διαφορετικές μεταχειρίσεις – επαναλήψεις. Κατά τη διάρκεια του πειράματος πέρα από τις μετρήσεις που ελήφθησαν, τελέστηκαν επίσης και κάποιες απαραίτητες καλλιεργητικές φροντίδες στα φυτά. Τέτοιου είδους αποτελούσε η αποφύλλωση των αγγουριών κάτω από τον τελευταίο καρπό μετά τη συγκομιδή και η ανανέωση της υποστύλωσης λυγίζοντας προσεκτικά το βλαστό της αγγουριάς σε όλη τη διάρκεια της ανάπτυξης. Επιπροσθέτως διενεργήθηκαν έλεγχοι στα φυτά για οποιαδήποτε βιοτική ή αβιοτική καταπόνηση. Με την εγκατάσταση των καλλιεργειών πραγματοποιήθηκε ριζοπότισμα, με διασυστηματικό μυκητοκτόνο προστατευτικής δράσης. (Previcur Energy SL). Στις 19 Δεκεμβρίου κατά τη διάρκεια του 2^{ου} πειράματος παρατηρήθηκαν συμπτώματα προσβολής από περονόσπορο σε μερικά φυτά βασιλικού. Ως μέσο αντιμετώπισης επιλέχτηκε ο ψεκασμός των φυτών του βασιλικού με το μυκητοκτόνο Kocairt με 30% υδροξείδιο του Cu σε άμεσο χρονικό διάστημα. Στην καλλιέργεια αγγουριού εμφανίστηκε αρχικά μικρές λευκές κηλίδες με πλούσια λευκή εξάνθηση στην πάνω και κάτω πλευρά των φύλλων, στο τέλος της 1^{ης} καλλιεργητικής περιόδου του βασιλικού. Πραγματοποιήθηκε ψεκασμός για οΐδιο (*Leveillula taylorica*) με το σκεύασμα copper oxychloride, ενώ μετά από 8 ημέρες από την πρώτη εφαρμογή πραγματοποιήθηκε επαναληπτικά και δεύτερος ψεκασμός.

2.3 Μεταχειρίσεις Βασιλικού

Η δευτερεύουσα καλλιέργεια του βασιλικού χωρίστηκε σε 3 μεταχειρίσεις, κάθε μια από τις οποίες αντιστοιχούσε σε μια διαφορετική συνταγή και αναλογία θρεπτικού διαλύματος, σε συνδυασμό με τις απορροές του αγγουριού. Οι τρεις μεταχειρίσεις του βασιλικού ήταν οι ακόλουθες:

1. Ο Μάρτυρας ή 0% Απορροές που λάμβανε το πρότυπο διάλυμα, το οποίο ενδείκνυται για τη καλλιέργεια του βασιλικού. Λειτουργούσε ως μέτρο σύγκρισης για τις άλλες δυο μεταχειρίσεις, που αρδεύονταν με τις απορροές του αγγουριού.
2. Οι ανάμεικτες ή 50% Απορροές, το θρεπτικό διάλυμα της οποίας ήταν ο συνδυασμός των απορροών αγγουριού και του πρότυπου διαλύματος του βασιλικού σε αναλογία (50%-50%).
3. Η μεταχείριση των ολικών ή 100% Απορροών, που ποτίζονταν εξολοκλήρου από τις απορροές της βασικής καλλιέργειας του αγγουριού.



Εικόνα 3: Απεικόνιση του θερμοκηπίου εσωτερικά και της πειραματικής διαδικασίας.

Τα φυτά της σειράς 2 και 7, δηλαδή των ολικών απορροών (100% απορροών) τοποθετήθηκαν στο κανάλι ακριβώς δίπλα από τα φυτά του αγγουριού, ενώ στο κέντρο τοποθετήθηκαν οι μεταχειρίσεις των ανάμεικτων απορροών (50% απορροών) και του μάρτυρα (0% απορροών), όπως φαίνεται και στο Σχήμα 1.

| Επανάληψη 1 | | | | Επανάληψη 2 | | | |
|----------------------|---------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|----------------------|
| 36 φυτά αγγουριού | Μεταχείριση 100% Απορροές | Μεταχείριση 50% Απορροές | Μεταχείριση 0% Απορροές | Μεταχείριση 0% Απορροές | Μεταχείριση 50% Απορροές | Μεταχείριση 100% Απορροές | 36 φυτά αγγουριού |
| | 20 φυτά βασίλικου | 12 φυτά βασίλικου | 12 φυτά βασίλικου | 12 φυτά βασίλικου | 12 φυτά βασίλικου | 20 φυτά βασίλικου | |
| | | 12 φυτά βασίλικου | 12 φυτά βασίλικου | 12 φυτά βασίλικου | 12 φυτά βασίλικου | | |
| Σειρά 1 | Σειρά 2 | Σειρά 3 | Σειρά 4 | Σειρά 5 | Σειρά 6 | Σειρά 7 | Σειρά 8 |

Σχήμα 1: Απεικόνιση της διάταξης των καλλιεργειών εντός του θερμοκηπίου.

Το θρεπτικό διάλυμα που χορηγήθηκε στο αγγούρι, έγινε σύμφωνα με τη συνταγή άρδευσης του Savvas & Passam (2002) και φαίνεται στο πίνακα 1:

| Συγκεντρώσεις μακροθρεπτικών σε mmol L ⁻¹ | | Συγκεντρώσεις μικροθρεπτικών σε μmol L ⁻¹ | |
|--|------------------------|--|-------|
| NO ₃ ⁻ | 14.75 | Fe | 5.00 |
| NH ₄ ⁺ | 1.4 | Mn | 5.00 |
| K ⁺ | 6.2 | Zn | 5.00 |
| Na ⁺ | 1.1 | Cu | 1.00 |
| Ca ²⁺ | 4.15 | B | 20.00 |
| Mg ²⁺ | 1.6 | | |
| H ₂ PO ₄ ⁻ | 1.25 | | |
| EC | 2.0 dS m ⁻¹ | pH | 5.6 |

Πίνακας 1: Περιεχόμενες συγκεντρώσεις μακροστοιχείων και μικροστοιχείων (mmol L⁻¹) στο πρότυπο θρεπτικό διάλυμα του αγγουριού.

Ενώ το πρότυπο διάλυμα του βασιλικού, που χρησιμοποιήθηκε στις μεταχειρίσεις του μάρτυρα και των βελτιωμένων απορροών, φαίνεται στο πίνακα 2:

| Συγκεντρώσεις μακροθρεπτικών σε mmol L ⁻¹ | | Συγκεντρώσεις μικροθρεπτικών σε μmmol L ⁻¹ | |
|--|------------------------|---|-------|
| NO ₃ ⁻ | 11.00 | Fe | 15.00 |
| NH ₄ ⁺ | 1.0 | Mn | 10.00 |
| K ⁺ | 5.0 | Zn | 5.00 |
| Na ⁺ | 1.1 | Cu | 0.80 |
| Ca ²⁺ | 4.0 | B | 25.00 |
| Mg ²⁺ | 2.0 | | |
| H ₂ PO ₄ ⁻ | 1.0 | | |
| EC | 1.9 dS m ⁻¹ | pH | 5.6 |

Πίνακας 2: Περιεχόμενες συγκεντρώσεις μακροστοιχείων και μικροστοιχείων (mmol L⁻¹) στο πρότυπο θρεπτικό διάλυμα του βασιλικού.

Οι συνταγές παρασκευής θρεπτικού διαλύματος των δυο καλλιεργειών έγιναν λαμβάνοντας υπόψη τη σύσταση του νερού της γεώτρησης, του Πανεπιστημιακού Αγροκτήματος, που ήταν καλής ποιότητας, όπως φαίνεται παρακάτω πίνακα.

| Συγκεντρώσεις μακροθρεπτικών σε mmol L ⁻¹ | | Συγκεντρώσεις μικροθρεπτικών σε μmmol L ⁻¹ | |
|--|------------------------|---|-----|
| NO ₃ ⁻ | 0.1 | Fe | 0.0 |
| NH ₄ ⁺ | 0.0 | Mn | 1.3 |
| K ⁺ | 0.0 | Zn | 1.2 |
| Na ⁺ | 1.1 | Cu | 0.0 |
| Ca ²⁺ | 1.4 | B | 0.0 |
| Mg ²⁺ | 1.6 | | |
| H ₂ PO ₄ ⁻ | 0.0 | | |
| EC | 0.7 dS m ⁻¹ | pH | 7.1 |

Πίνακας 3: Περιεχόμενες συγκεντρώσεις μακροστοιχείων και μικροστοιχείων (mmol L⁻¹) στο αρδευτικό νερό του Βελεστίνου.

2.4 Μετρήσεις

Καθ' όλη τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας ελήφθησαν συγκεκριμένες μετρήσεις από όλα τα φυτά τόσο της κύριας όσο και της δευτερεύουσας καλλιέργειας, σε προγραμματισμένα και τακτικά χρονικά διαστήματα. Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν ήταν πλήρως συνυφασμένες με το στόχο της εργασίας ακολουθώντας το πρωτόκολλο των μετρήσεων και μέσω της επεξεργασίας των δεδομένων εκτιμήθηκε η συγκαλλιέργεια αγγουριού και βασιλικού. Ο βέλτιστος συνδυασμός πρωτεύουσας-δευτερεύουσας καλλιέργειας αξιολογήθηκε με βάση την απόδοση της παραγωγής σε βιομάζα και διάφορα ποιοτικά χαρακτηριστικά του βασιλικού.

2.4.1 Ποιοτικά και μορφολογικά χαρακτηριστικά βασιλικού και αγγουριού

Ύψος

Στις 29 Αυγούστου έγινε η πρώτη μέτρηση του ύψους των φυτών με περιοδικότητα περίπου 3 ημέρες και ολοκληρώθηκε στις 25 Οκτωβρίου, όπου σταμάτησαν οι μετρήσεις και έγινε η δεύτερη συγκομιδή τυχαία επιλεγμένων φυτών. Για κάθε μέτρηση του ύψους επιλέγονταν 20 φυτά από κάθε μεταχείριση τα οποία αρχικά ήταν σταθερά δείγματα μαρκαρισμένα με κόκκινη κορδέλα. Κατά τη πορεία του πειράματος μερικά από τα μαρκαρισμένα φυτά παρουσίασαν προβλήματα από ασθένειες (περονόσπορο) και στη περίπτωση αυτή επιλέγονταν κάθε φορά άλλα τυχαία αντιπροσωπευτικά φυτά. Συνολικά οι μετρήσεις του ύψους λαμβάνονταν από 60 φυτά.

Σαν ύψος ορίστηκε το σημείο έκπτυξης του φυτού από το υπόστρωμα μέχρι το ανώτερο σημείο του κορυφαίου βλαστού. Οι μετρήσεις του ύψους πραγματοποιούνταν με τη βοήθεια της κοινής μεζούρας για αποφυγή τραυμάτων στα φυτά από τη μεταλλική μεζούρα. Συνολικά πραγματοποιήθηκαν 14 σετ μετρήσεων για την 1^η πειραματική περίοδο. Στα φυτά του αγγουριού πραγματοποιήθηκαν μόνο μετρήσεις που αφορούσαν το ύψος. Οι μετρήσεις του ύψους των καινούργιων βασιλικών του 2^{ου} πειράματος ξεκίνησαν στις 30 Νοεμβρίου και σταμάτησαν στις 3 Ιανουαρίου του 2019, αφού πραγματοποιήθηκαν συνολικά 9 σετ μετρήσεων.

Χλωροφύλλη

Μια ακόμα μέτρηση που πραγματοποιήθηκε στα φυτά του βασιλικού είναι η μέτρηση της συγκέντρωσης της χλωροφύλλης. Στο πρώτο πείραμα οι μετρήσεις ξεκίνησαν στις 13 Σεπτεμβρίου και ολοκληρώθηκαν στις 31 Οκτωβρίου με συχνότητα περίπου 4 ημέρες. Σε αυτό το διάστημα πραγματοποιήθηκαν συνολικά 14 σετ μετρήσεων. Οι μετρήσεις του δεύτερου πειράματος ξεκίνησαν στις 30 Νοεμβρίου και σταμάτησαν στις 21 Δεκεμβρίου με συνολικά 6 σετ μετρήσεων αντίστοιχα. Η συγκεκριμένη μέτρηση έγινε με τη χρήση του οργάνου SPAD-S02, το οποίο διαθέτει αισθητήρα χλωροφύλλης CCM 200, Opti-Science, NH, USA (Εικόνα 4).



Εικόνα 4: Συσκευή μέτρησης συγκέντρωσης χλωροφύλλης SPAD-S02, CCM 200, Opti-Science, NH, USA

Ο αισθητήρας ερχόταν σε επαφή με 5 φύλλα από 5 τυχαία επιλεγμένα φυτά κάθε μεταχείρισης (και των δυο επαναλήψεων) χωρίς να προκαλείται κάποια φθορά. Στη συνέχεια γινόταν η εξαγωγή του μέσου όρου των 5 μετρήσεων του κάθε φυτού κατευθείαν από τη συσκευή για την απόκτηση τιμής συγκέντρωσης χλωροφύλλης μειωμένου σφάλματος.

Τα φύλλα που επιλέχθηκαν ήταν μεγάλα, όσο το δυνατόν πιο υγιή και ώριμα. Τα φυτά που επιλέχθηκαν για την μέτρηση της συγκέντρωσης της χλωροφύλλης είχαν μαρκαριστεί με μπλε κορδέλα για να ξεχωρίζουν αφού χρησιμοποιήθηκαν τα ίδια για όλες τις μετρήσεις.

Φωτοσύνθεση

Επιπροσθέτως εκτός από το ύψος και τη χλωροφύλλη, μετρήθηκε η φωτοσυνθετική ικανότητα των φυτών του βασιλικού που εμπεριείχε το ρυθμό φωτοσύνθεσης, το ρυθμό διαπνοής και την στοματική αγωγιμότητα. Στο 1^ο πείραμα οι μετρήσεις ξεκίνησαν στις 13 Σεπτεμβρίου ενώ στο 2^ο πείραμα στις 20 Δεκεμβρίου. Τα δυο πειράματα είχαν 4 και 3 σετ μετρήσεων αντίστοιχα με συνολικά 10 μετρήσεις ανά μεταχείριση. Το όργανο που διέθετε το Εργαστήριο, ήταν το LCpro+1.0 ADC, Bioscientific Ltd, Hoddesdon, Hertfordshire, Uk. Όπως και με τη χλωροφύλλη, ο αισθητήρας ερχόταν σε επαφή με το φύλλο χωρίς να το φθείρει, με το χρόνο όμως απόκτησης της τιμής μέτρησης να είναι αρκετά μεγαλύτερος. Πραγματοποιήθηκαν σχετικά λιγότερες σε αριθμό

μετρήσεις της φωτοσύνθεσης συγκριτικά με τις υπόλοιπες μετρήσεις και αυτό οφείλεται στις νεφελώδεις κλιματικές συνθήκες, που επικρατούσαν τις ημέρες που είχαν οριστεί να λαμβάνονται οι μετρήσεις .

2.4.2 Καταστροφικές Συγκομιδές

Στο πρώτο πείραμα πραγματοποιήθηκαν συνολικά 2 καταστροφικές συγκομιδές, ώστε να πραγματοποιηθεί λήψη φυτικών δειγμάτων. Στις 28 Σεπτεμβρίου, περίπου στη μέση της καλλιεργητικής περιόδου, ορίστηκε να γίνει η πρώτη καταστροφική επέμβαση στα φυτά του βασιλικού, ενώ η δεύτερη πραγματοποιήθηκε στις 25 Οκτωβρίου, ημέρα λήξης των μετρήσεων του 1^{ου} πειράματος. Επιλέχθηκαν με τυχαίο τρόπο 3 φυτά από κάθε μια από τις 3 μεταχειρίσεις (και από τις δύο επαναλήψεις). Συγκομίστηκαν συνολικά 18 φυτά βασιλικού και τοποθετήθηκαν άμεσα σε χάρτινες σακούλες, για τον υπολογισμό του χλωρού βάρους ανά φυτό ξεχωριστά με όσο δυνατόν μικρότερες απώλειες υγρασίας.

Αμέσως μετά και από τις 2 συγκομιδές, μετρήθηκαν τα ολικά χλωρά βάρη των εν λόγω βασιλικών ενώ στη συνέχεια έγινε διαχωρισμός



Εικόνα 5: Η πρώτη δειγματοληπτική συγκομιδή των βασιλικών και η ηλεκτρονική ζυγαριά για τη μέτρηση του χλωρού βάρους των (g).

βλαστών-φύλλων, ώστε να μετρηθεί ξεχωριστά το χλωρό βάρος των φύλλων και των βλαστών. Όλες αυτές οι μετρήσεις γίναν με τη χρήση ψηφιακής ζυγαριάς ανώτατου βάρους 45 κιλών και με υποδιαίρεση, 1 γραμμαρίου. Έπειτα μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο των γεωργικών εγκαταστάσεων του πανεπιστημίου ώστε να γίνει η αποξήρανση τους και να μετρηθούν τα ολικά ξηρά βάρη των βλαστών και των φύλλων. Η ξήρανση των φυτών έγινε εντός ειδικού φούρνου, στους 70°C για 48 ώρες. Στη δεύτερη επανάληψη του πειράματος δεν πραγματοποιήθηκαν συγκομιδές επειδή οι βασιλικοί δεν έφτασαν το κατάλληλο αναπτυξιακό στάδιο. Για τα ξηρά βάρη, χρησιμοποιήθηκε η ηλεκτρονική ζυγαριά ακριβείας Εργαστηρίου, Kern EMB 500-1 με ικανότητα ζύγισης 0,1 - 500gr, με υποδιαίρεση 0,1g.

2.4.3 Ποιοτικά χαρακτηριστικά θρεπτικού διαλύματος

2.4.3 EC άρδευσης και απορροών

Ο βασιλικός δοκιμάστηκε ως δευτερεύουσα καλλιέργεια γιατί σύμφωνα με προηγούμενα πειράματα παρουσιάζει μια αξιόλογη ανοχή στην αλατότητα σε σχέση με άλλες καλλιέργειες όπως προαναφέρθηκε. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα του θρεπτικού διαλύματος των απορροών του αγγουριού σχετίζεται άμεσα με την αλατότητα του. Για αυτό το λόγο κατά τη διάρκεια των 2 πειραμάτων λαμβάνονταν τακτικά μετρήσεις της αγωγιμότητας ανά περίπου 3 ημέρες από τις λεκάνες συλλογής που κατέληγαν οι απορροές. Αυτές οι μετρήσεις πραγματοποιούνταν με τη βοήθεια ενός φορητού οργάνου μέτρησης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (Combo, Hanna Instruments, Woonsocket, RI, USA) με τον αισθητήρα του να βυθίζεται εντός των λεκανών συλλογής των απορροών και των δύο καλλιεργειών. Η βαθμονόμηση του οργάνου ήταν υποχρεωτική προτού προβούμε στην κάθε μέτρηση και γινόταν κάθε φορά με τη βοήθεια του ρυθμιστικού διαλύματος HI7030L 12880 μScm^{-1} . Καταγράφονταν μέσα στο υπολογιστή επίσης η ηλεκτρική αγωγιμότητα των θρεπτικών διαλυμάτων μετά τη δημιουργία τους προτού διοχετευθούν για την άρδευση των καλλιεργειών,

2.4.3 Όγκος απορροών θρεπτικού διαλύματος

Άλλη μια μέτρηση που αφορούσε το θρεπτικό διάλυμα ήταν αυτή του όγκου των απορροών. Όταν οι 10 λεκάνες συλλογής απορροών στους πάγκους των βασιλικών αποκτούσαν μια υπολογίσιμη ποσότητα θρεπτικού διαλύματος, τότε λαμβάνονταν η συγκεκριμένη μέτρηση. Γνωρίζοντας τις διαστάσεις των λεκανών, υπολογιζόταν ο όγκος που καταλάμβανε το θρεπτικό διάλυμα. Έτσι μπορούσε να υπολογιστεί η τροφοδοτούμενη ποσότητα θρεπτικού διαλύματος και στη συνέχεια η παραγωγή ανά κυβικό άρδευσης. Επειδή οι λεκάνες είχαν συγκεκριμένες διαστάσεις, όταν έφταναν σε πληρότητα, το περιεχόμενο τους απορρίπτονταν στο περιβάλλον για να είναι δυνατή η μέτρηση του όγκου των επόμενων αρδευτικών απορροών.

2.5 Στατιστική ανάλυση

Η επεξεργασία των δεδομένων για τη εξαγωγή των συμπερασμάτων έγινε μέσω στατιστικής ανάλυσης από το πρόγραμμα IBM SPSS Statistics 26 (Statistical Package for the Social Sciences, IBM, Armonk, NY, USA) με τη χρήση των μέσων σύγκρισης one-way anova και Tukey για την αντιπαραβολή των μέσων όρων όλων των παραμέτρων και των τριών μεταχειρίσεων του βασιλικού που συγκρίθηκαν μεταξύ τους με βαθμό εμπιστοσύνης 95% ($p \leq 0,05$).

3 Αποτελέσματα

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων των δυο πειραμάτων που ελήφθησαν. Αναφορικά με το αγγούρι τα αποτελέσματα σχετίζονται με το ύψος του ενώ για το βασιλικό που αποτελεί το αντικείμενο της μελέτης αφορούν: 1) το ύψος, 2) τη χλωροφύλλη, 3) τη φωτοσύνθεση, 4) το ολικό χλωρό βάρος και 5) το ολικό ξηρό βάρος, το χλωρό και ξηρό βάρος των φύλλων και των βλαστών ξεχωριστά, η αναλογία τους και η παραγωγή. Από τις απορροές που κατέληγαν στις λεκάνες συλλογής παρουσιάζεται το EC και ο τελικός όγκος που καταλάμβανε το θρεπτικό διάλυμα, που απέμεινε. Επίσης στα διαγράμματα του βασιλικού συμπεριλαμβάνονται και οι τυπικές αποκλίσεις των μέσων όρων, όλων των παραμέτρων που μετρήθηκαν.

| Μηνιαία εσωτερική θερμοκρασία | | | | |
|-------------------------------|-------------|-----------|-----------|------------|
| | Σεπτέμβριος | Οκτώβριος | Νοέμβριος | Δεκέμβριος |
| Μέσος όρος | 22,0 | 19,0 | 14,3 | 10,3 |
| Μέγιστη | 36,3 | 32,0 | 26,4 | 22,0 |
| Ελάχιστη | 13,5 | 5,4 | 4,2 | 1,0 |
| Τυπική απόκλιση | 5,3 | 4,6 | 4,4 | 4,3 |

Πίνακας 4: Μέσος όρος των θερμοκρασιών (°C) εντός του θερμοκηπίου για τους 4 μήνες διάρκειας των 2 πειραμάτων.

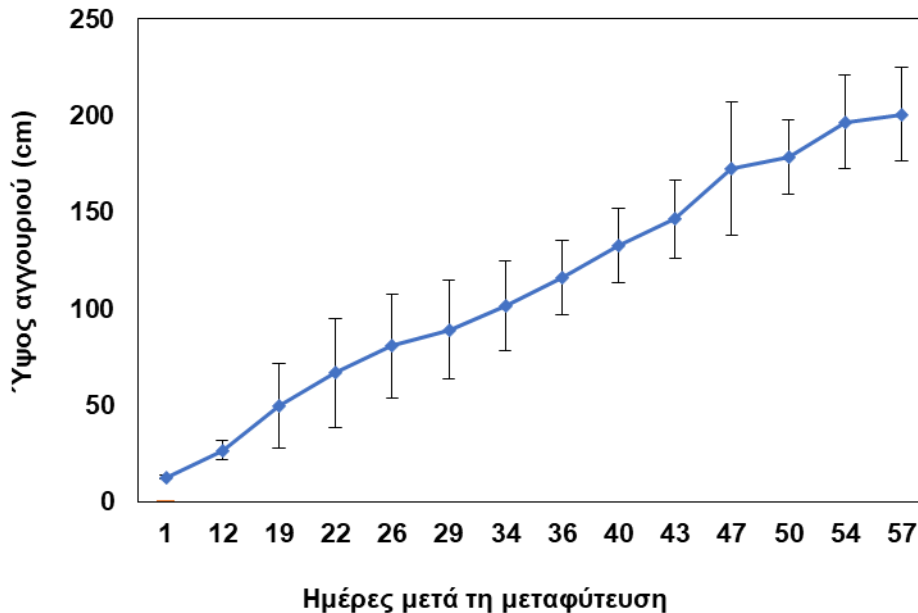
*Το 1^ο πείραμα περιλαμβάνει τους μήνες Σεπτέμβριο και Οκτώβριο ενώ το 2^ο πείραμα τους μήνες Νοέμβριο και Δεκέμβριο. Η διαφορά του μέσου όρου θερμοκρασιών μεταξύ των πειραμάτων ήταν 8.2°C.

3.1 Αγγούρι

3.1.1 Ύψος αγγουριού 1^{ου} πειράματος

Στο διάγραμμα 1 παρουσιάζεται η ανάπτυξη της αγγουριάς σε συσχέτιση με τη μεταβολή του μέσου όρου του ύψους. Όπως φαίνεται και στο διάγραμμα 1, η μεταβολή παραμένει αυξητική καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος. Οι μετρήσεις ξεκίνησαν την 1^η ημέρα, μετά τη

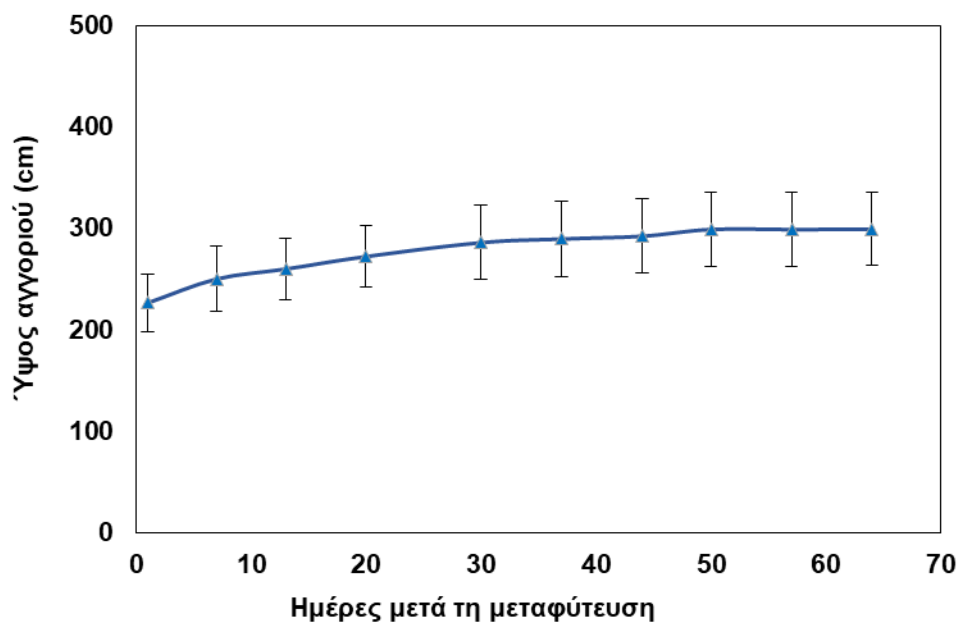
μεταφύτευση των καλλιεργειών με το ύψος να ξεκινά από 12.8 cm και συνεχίστηκαν μέχρι και την 57^η ημέρα με το τελικό ύψος να φτάνει περίπου στα 2 m. Οι κατακόρυφες μπάρες υποδηλώνουν τις τυπικές αποκλίσεις των τιμών.



Διάγραμμα 1: Μεταβολή του μέσου όρου του ύψους (cm) των αγγουριών καθ' όλη τη διάρκεια του 1^{ου} πειράματος.

3.1.1 Υψος αγγουριού 2^{ου} πειράματος

Στο δεύτερο επαναληπτικό πείραμα που πραγματοποιήθηκε, αφαιρέθηκαν όλα τα φυτά του βασιλικού και μεταφυτεύτηκαν καινούργια με την ίδια διαδικασία. Τα φυτά της αγγουριάς δεν αντικαταστάθηκαν αλλά συνέχισαν την ανάπτυξη τους και κατά τη διάρκεια του 2^{ου} πειράματος. Αυτό φαίνεται και στο παρακάτω διάγραμμα καθώς την πρώτη μέρα μετά τη μεταφύτευση των νέων βασιλικών, τα φυτά της αγγουριάς ξεκινούν με μήκος βλαστού περίπου 2.26m. Σε αντίθεση με το 1^ο πείραμα η μεταβολή του ύψους δεν είναι αξιοσημείωτα μεγάλη λόγω των χαμηλών θερμοκρασιών, που επικρατούσαν εντός του θερμοκηπίου. Αποτέλεσμα της δυσμενούς θερμοκρασίας ήταν η αναστολή της ανάπτυξης και η αύξηση της ευαισθησίας των βλαστών της αγγουριάς που έγιναν ευάλωτοι σε πιθανούς τραυματισμούς. Υπήρξαν κάποιες μεμονωμένες φθορές σε βλαστούς φυτών που μείωσαν τον μέσο όρο με αποτέλεσμα την 57^η ημέρα να έχουμε μικρότερο μέσο όρο ύψους σε σχέση με την 50^η.



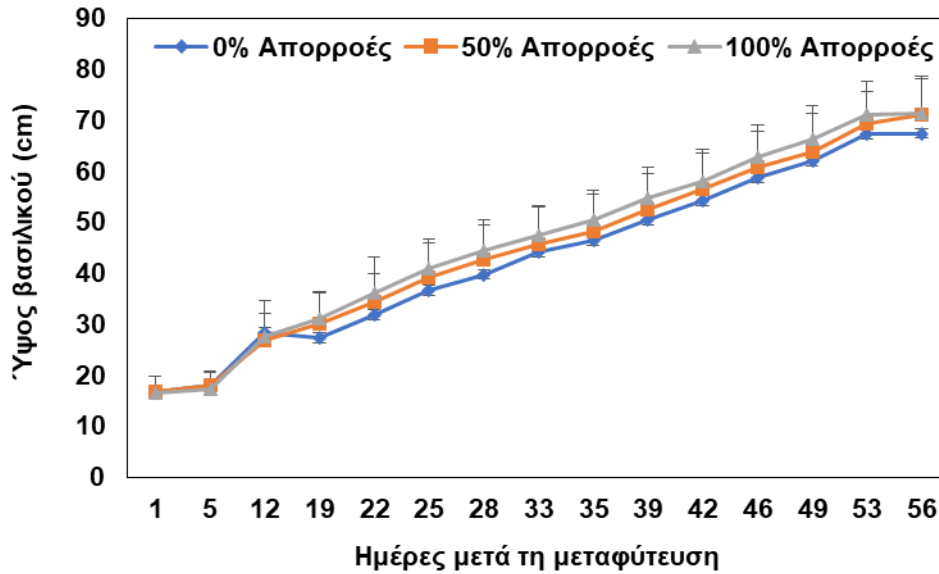
Διάγραμμα 2: Συνέχεια της μεταβολής των μέσων όρων του ύψους (cm) των ίδιων αγγουριών κατά την τέλεση του 2^{ου} πειράματος.

3.2 Βασιλικός

3.2.1 Ύψος βασιλικού 1^{ου} πειράματος

Σε αντίθεση με το ύψος του αγγουριού που επηρεαζόταν μόνο από την πρότυπη συνταγή του θρεπτικού διαλύματος με την οποία αρδευόταν, στο βασιλικό έχουμε 3 διαφορετικές αρδευτικές συνταγές που αντιστοιχούν στις 3 μεταχειρήσεις που προαναφέραμε. Στο διάγραμμα 3 που ακολουθεί, διακρίνουμε την εξέλιξη των μέσων όρων του ύψους των βασιλικών και για τις 3 μεταχειρήσεις και πως αυτό επηρεάζεται από τα διαφοροποιημένα θρεπτικά διαλύματα. Όπως φαίνεται στο διάγραμμα την πρώτη μέρα της μεταφύτευσης και στις τρεις μεταχειρήσεις παρατηρείται ομοιομορφία στην ανάπτυξη των φυτών, σε ύψος 17 cm ενώ στη συνέχεια φαίνεται ότι όλες τις ημέρες μετά την 12^η υπερτερεί σε ύψος η μεταχείριση των ολικών απορροών του αγγουριού (100% απορροές), ενώ ακολουθεί η μεταχείριση 50% και τέλος, αυτή του μάρτυρα. Την 56^η ημέρα ο μέσος όρος του ύψους της μεταχείρισης του μάρτυρα έφτασε

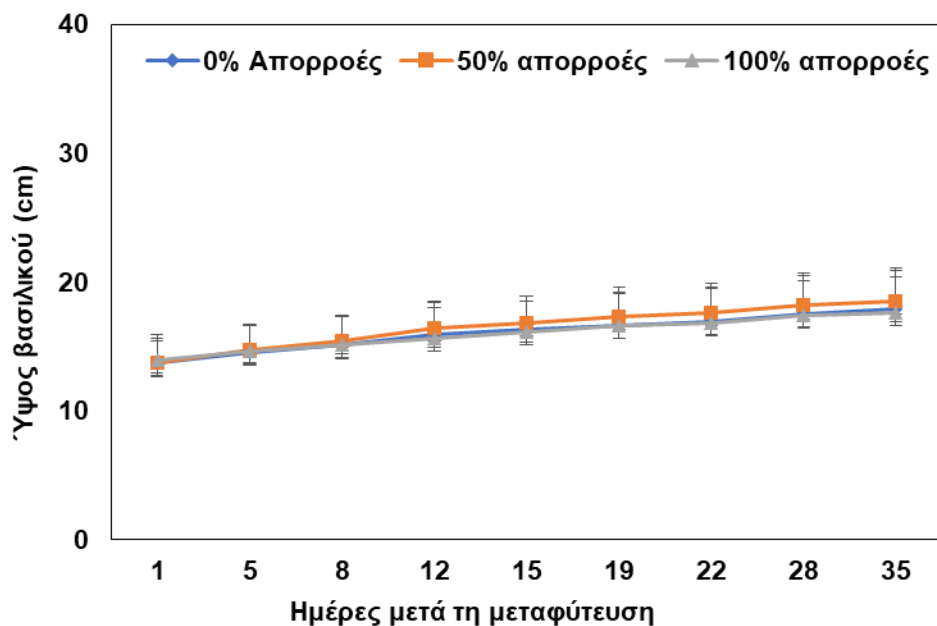
67.5 cm ενώ των δυο απορροών ήταν περίπου στα 71 cm και οι δυο. Επίσης στατιστικό ενδιαφέρον παρουσίασαν οι τιμές του μάρτυρα και των ανάμεικτων απορροών.



Διάγραμμα 3: Μεταβολή των μέσων όρων του ύψους (cm) των τριών μεταχειρίσεων του βασιλικού (Μάρτυρας, 100% απορροή, 50% απορροή) κατά τη διάρκεια του 1^{ου} πειράματος.

3.2.1 Ύψος βασιλικού 2^{ου} πειράματος

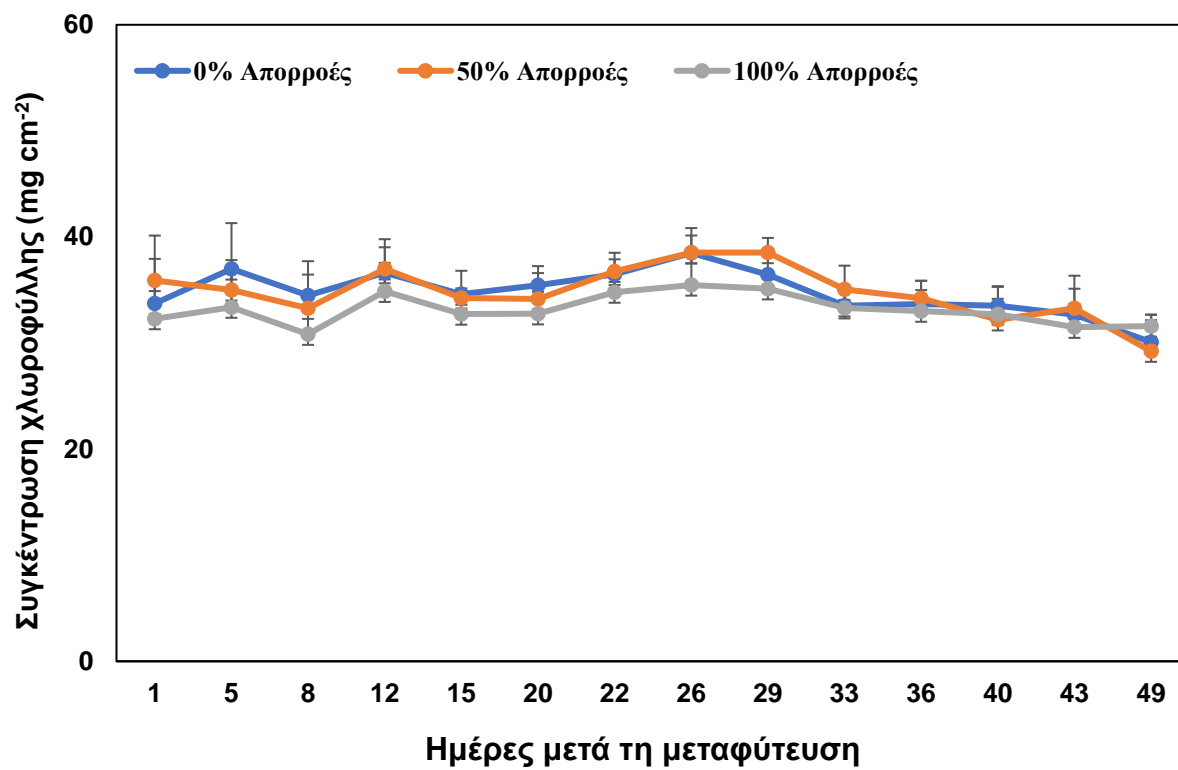
Κατά τη διάρκεια του 2^{ου} πειράματος, ο αρχικοί μέσοι όροι του ύψους των νέων βασιλικών των τριών μεταχειρίσεων που μεταφυτεύτηκαν ήταν περίπου 13 cm. Σε σύγκριση με το 1^ο πείραμα η αύξηση του ύψους ήταν αισθητά μειωμένη με το τελικό ύψος κατά την 35^η ημέρα να κυμαίνεται στα 17.8 cm και 17.6 cm για τη μεταχείριση του μάρτυρα και των ολικών απορροών αντίστοιχα, ενώ για τις ανάμεικτες απορροές στα 18.4 cm. Ένας από τους λόγους αυτής της διαφοράς στο ύψος είναι η διαφορά θερμοκρασίας, που επικρατούσε εντός του θερμοκηπίου στα 2 πειράματα. Όπως φαίνεται και στο πίνακα 1 η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των μηνών του 1^{ου} και του 2^{ου} πειράματος ήταν 8.2°C. Μια ακόμα διαφορά με το 1^ο πείραμα έγκειται στο γεγονός ότι οι βασιλικοί της μεταχείρισης των ανάμεικτων απορροών κυριαρχούσαν σε ύψος καθ'όλη τη διάρκεια του πειράματος, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα 4. Καμία τιμή δεν παρουσίασε στατιστικό ενδιαφέρον.



Διάγραμμα 4: Μεταβολή του μέσου όρου του ύψους (cm) των τριών μεταχειρίσεων του βασιλικού (Μάρτυρας, 100% απορροή, 50% απορροή) κατά τη διάρκεια του 2^{ου} πειράματος.

3.2.1 Συγκέντρωση χλωροφύλλης Βασιλικού 1^{ου} πειράματος

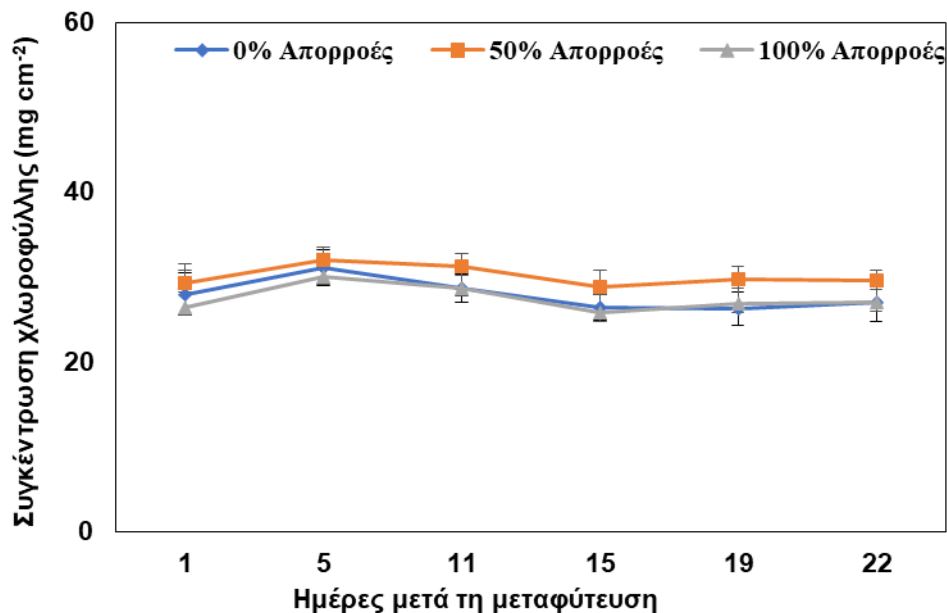
Άλλο ένα ποιοτικό χαρακτηριστικό του βασιλικού που συγκρίθηκε με τη διαφοροποιημένη άρδευση των μεταχειρίσεων ήταν η συγκέντρωση της χλωροφύλλης, η μεταβολή της οποίας απεικονίζεται στο διάγραμμα 5. Την μικρότερη συγκέντρωση χλωροφύλλης στο 1^ο πείραμα κατείχε η μεταχείριση των ολικών απορροών εκτός από την 40^η και την τελευταία ημέρα που κατείχε την μεγαλύτερη τιμή. Τις μεγαλύτερες τιμές, σε κάποιες περιπτώσεις, κατείχε η μεταχείριση του μάρτυρα και σε κάποιες άλλες οι ανάμεικτες απορροές. Το μεγαλύτερο όμως συνολικό μέσο όρο στη συγκέντρωση της χλωροφύλλης κατείχε η μεταχείριση των ανάμεικτων απορροών που ήταν 34.82 mg cm^{-2} , ενώ πολύ κοντά ήταν ο μάρτυρας με 34.77 mg cm^{-2} και οι ολικές απορροές με 33.17 mg cm^{-2} . Στατιστικό ενδιαφέρον στις τιμές παρουσιάστηκε την 26^η και 29^η ημέρα.



Διάγραμμα 5: Μεταβολή της συγκέντρωσης της χλωροφύλλης (mg cm^{-2}) των τριών μεταχειρίσεων του βασιλικού (Μάρτυρας, 100% απορροή, 50% απορροή) κατά τη διάρκεια του 1^{ου} πειράματος.

3.2.2 Συγκέντρωση χλωροφύλλης Βασιλικού 2^ο πειράματος

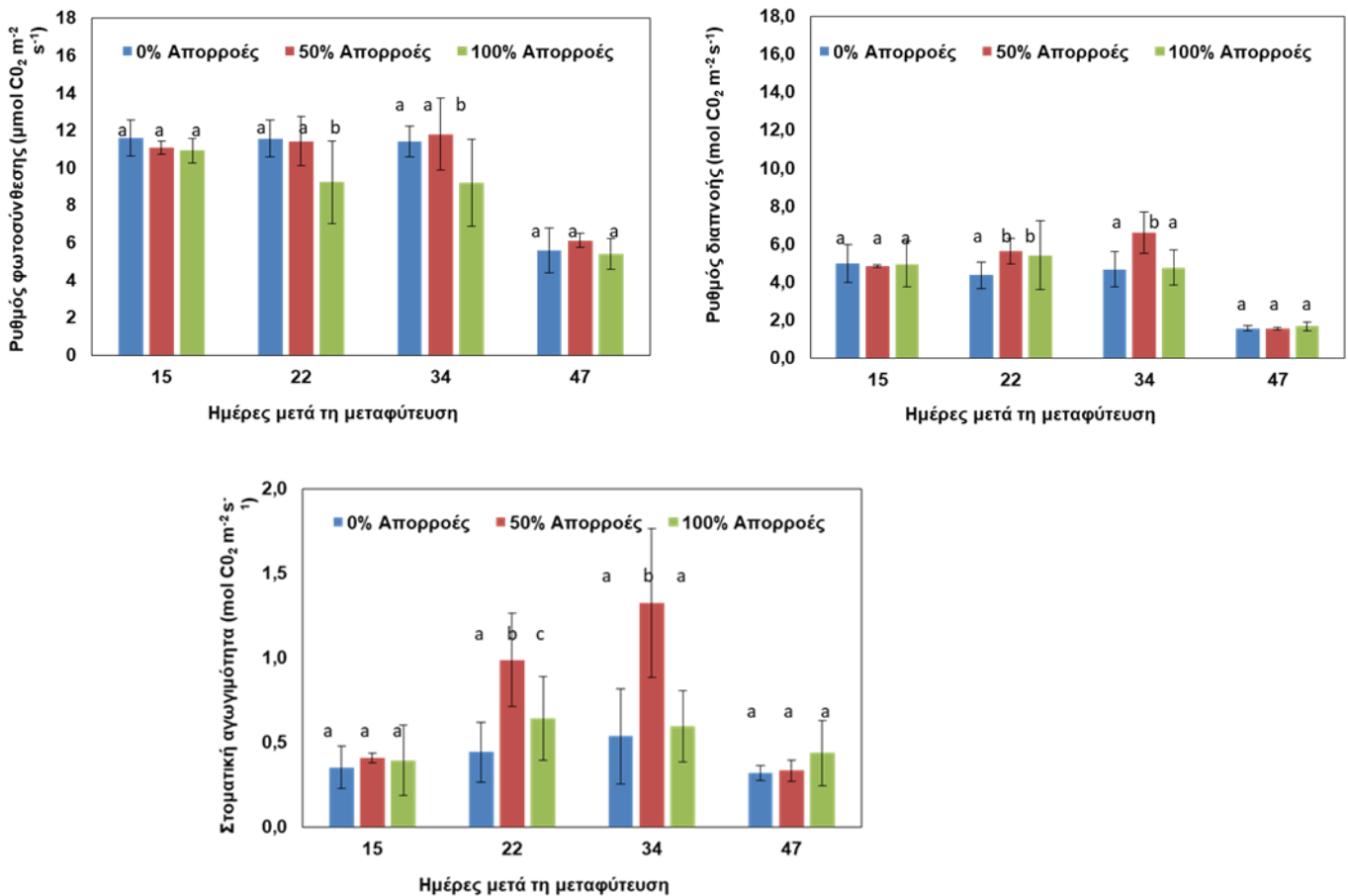
Η μέτρηση της συγκέντρωσης της χλωροφύλλης συνεχίστηκε και στο 2^ο πείραμα με τα αποτελέσματα των μέσων όρων να παρουσιάζονται στο διάγραμμα 6. Εδώ τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις χλωροφύλλης κατέχει η μεταχείριση των ανάμεικτων απορροών σε όλη τη διάρκεια του 2^{ου} πειράματος ενώ οι τιμές του μάρτυρα και των ολικών απορροών ήταν πολύ κοντά μεταξύ τους. Συνολικά μεγαλύτερο μέσο όρο συγκέντρωσης χλωροφύλλης κατείχε πάλι η μεταχείριση των ανάμεικτων απορροών με 30.07 mg cm^{-2} ενώ ακολουθούσε ο μάρτυρας με 27.89 mg cm^{-2} και οι ολικές απορροές με 27.46 mg cm^{-2} . Στατιστικά σημαντικές διαφορές κυρίως μεταξύ των ανάμεικτων και ολικών απορροών εμφανίζονται όλες τις ημέρες εκτός από την 1^η και την 5^η.



Διάγραμμα 6: Μεταβολή της συγκέντρωσης της χλωροφύλλης (mg cm^{-2}) των τριών μεταχειρίσεων του βασιλικού (Μάρτυρας, 100% απορροή, 50% απορροή) του 2^{ου} πειράματος.

3.2.3 Φωτοσυνθετική ικανότητα βασιλικού 1^{ου} πειράματος

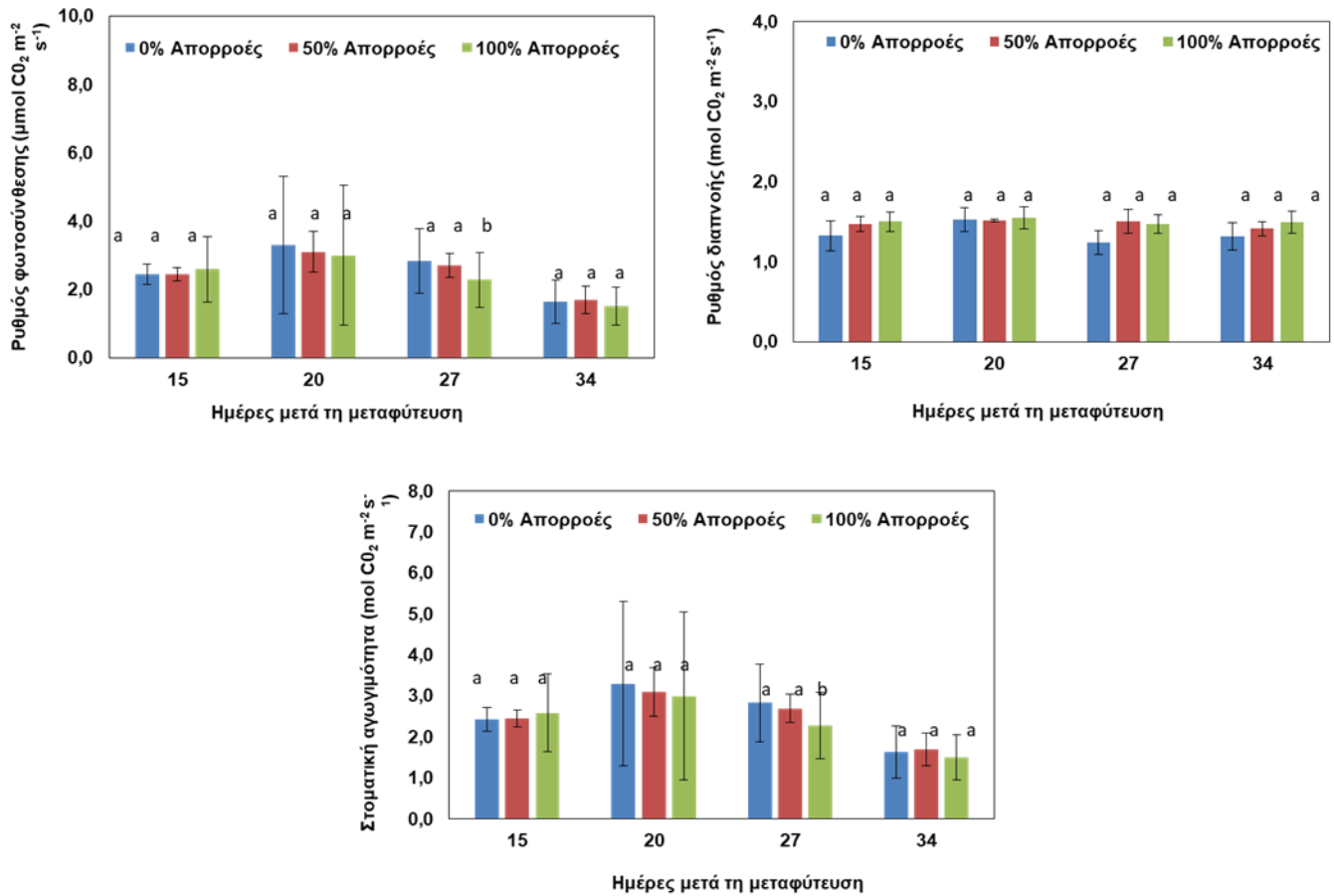
Τα αποτελέσματα των μετρήσεων της φωτοσύνθεσης των τριών μεταχειρίσεων του βασιλικού κατά τη διάρκεια του 1^{ου} πειράματος παρουσιάζονται στο διάγραμμα 9. Οι τιμές που εμφανίζουν στατιστικό ενδιαφέρον είναι της 22^{ης} και της 34^{ης} ημέρας. Την 34^η ημέρα μετά τη μεταφύτευση βλέπουμε τη μεγαλύτερη διαφορά μεταξύ των μεταχειρίσεων. Εμφανής είναι η μεγάλη διαφορά που εμφανίζεται στη στοματική αγωγιμότητα με τις ανάμεικτες απορροές να υπερέχουν με τη μέγιστη τιμή να είναι 1.3 mol CO₂ m⁻²S⁻¹



Διάγραμμα 7: Μεταβολή της φωτοσυνθετικής ικανότητας των τριών μεταχειρίσεων του βασιλικού (Μάρτυρας, 100% απορροή, 50% απορροή) του 1^{ου} πειράματος.

3.2.3 Φωτοσυνθετική ικανότητα βασιλικού 2^{ου} πειράματος

Στο διάγραμμα 9 παρουσιάζεται η μεταβολή της φωτοσυνθετικής ικανότητας των τριών μεταχειρίσεων του βασιλικού κατά τη διεξαγωγή του 2^{ου} πειράματος. Στατιστικό ενδιαφέρον στη σύγκριση των μεταχειρίσεων εμφανίζεται μόνο την 27^η ημέρα μετά τη μεταφύτευση στο ρυθμό φωτοσύνθεσης και τη στοματική αγωγιμότητα. Σε σχέση με το 1^ο πείραμα οι τιμές μεταξύ των μεταχειρίσεων δεν εμφανίζουν μεγάλη διαφορά.

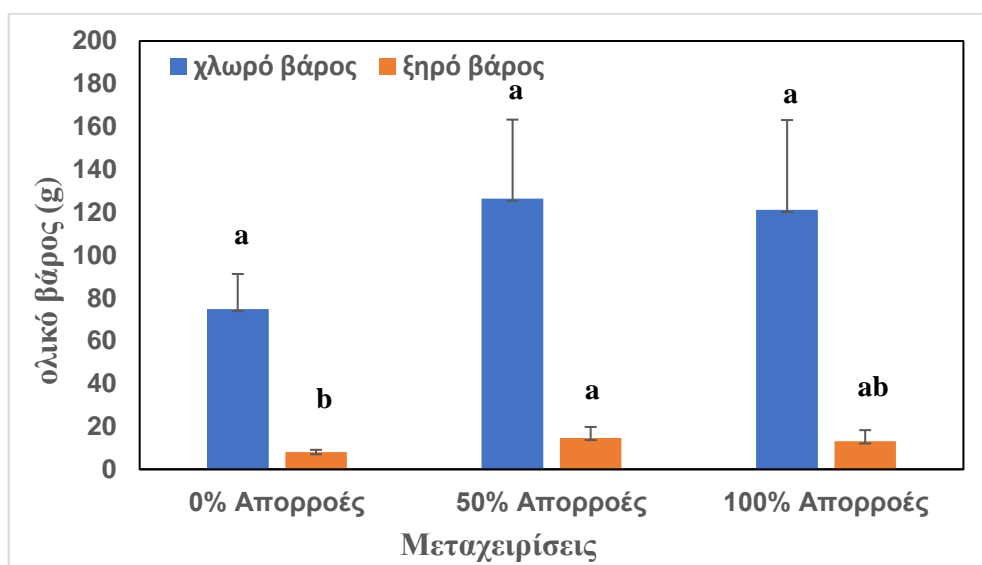


Διάγραμμα 8: Η μεταβολή της φωτοσυνθετικής ικανότητας των τριών μεταχειρίσεων του βασιλικού (Μάρτυρας, 100% απορροή, 50% απορροή) του 2^{ου} πειράματος.

3.2.4 Νωπό και ξηρό βάρος βασιλικού 1^{ης} συγκομιδής

Στο διάγραμμα 9 φαίνεται η διαφοροποίηση του νωπού και ξηρού βάρους των βασιλικών των τριών μεταχειρίσεων του 1^{ου} πειράματος μετά τη 1^η καταστροφική συγκομιδή και πως αυτά επηρεάζονται από τις διαφορετικές συνταγές άρδευσης. Η μεγαλύτερη τιμή του μέσου όρου του

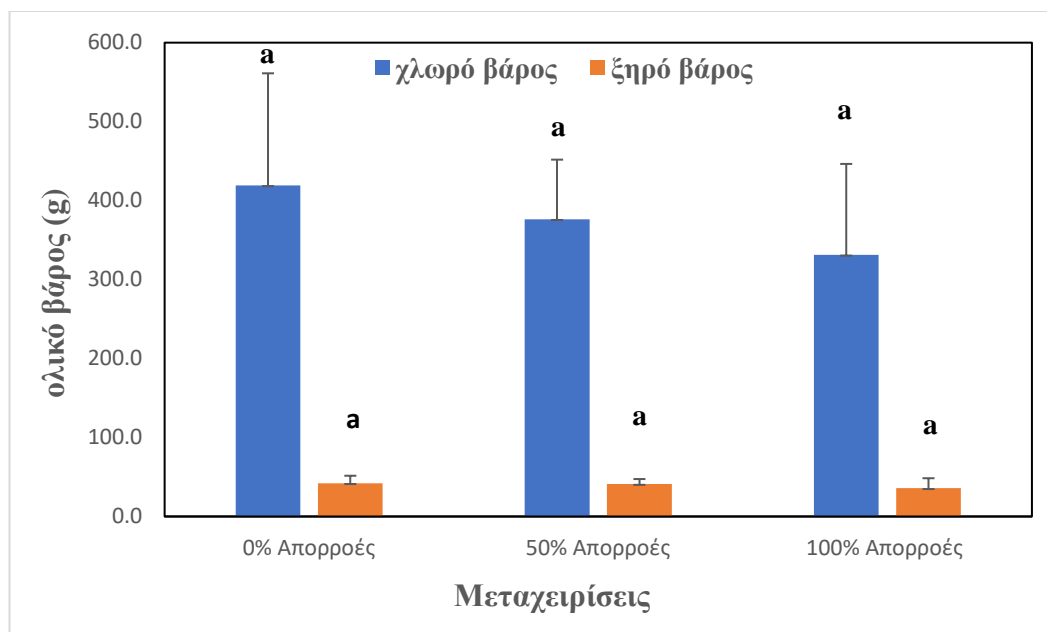
χλωρού βάρους είναι 126.3 g. και ανήκει στην μεταχείριση των ανάμεικτων απορροών ενώ η μικρότερη κυμαίνεται στα 74.9 g και ανήκει στο μάρτυρα. Όσον αφορά το ξηρό βάρος πάλι, οι ανάμεικτες απορροές κατέχουν τη μεγαλύτερη τιμή που είναι 14.62 g. και ο μάρτυρας τη μικρότερη που είναι στα 8.02 g. Στατιστικά σημαντική διαφορά εμφανίζεται στο ολικό ξηρό βάρος μεταξύ των τριών μεταχειρίσεων. Τα ποσοστά νωπού/ξηρού βάρους είχαν πολύ μικρή διαφορά μεταξύ όλων των μεταχειρίσεων με μεγαλύτερο αυτό του μάρτυρα που ήταν στο 89.3%. Ακολουθούσαν οι ολικές απορροές με 89.1% και τέλος οι ανάμεικτες απορροές με 88.6%.



Διάγραμμα 9: Η διαφορά του ολικού χλωρού και ξηρού βάρους των τριών μεταχειρίσεων του βασιλικού (Μάρτυρας, 100% απορροή, 50% απορροή) μετά τη 1^η καταστροφική συγκομιδή.

3.2.4 Νωπό και ξηρό βάρος βασιλικού 2^{ης} συγκομιδής

Η δεύτερη σύγκριση του νωπού και ξηρού βάρους των βασιλικών σε σχέση με τη διαφοροποιημένη άρδευση έγινε με τη 2^η καταστροφική συγκομιδή κατά τη διάρκεια του 1^{ου} πειράματος και παρουσιάζεται στο διάγραμμα 10. Εδώ στο χλωρό βάρος κυριαρχεί ο μάρτυρας με την μεγαλύτερη τιμή να είναι 419.3 g., ενώ η μικρότερη κυμαίνεται στα 331.3 g. και ανήκει στις ολικές απορροές. Στο ξηρό βάρος έχουμε επίσης την ίδια κατάταξη στις μεταχειρίσεις. Η μεγαλύτερη τιμή είναι 42.1 g. και η μικρότερη 35.8 g. και ανήκουν στο μάρτυρα και στις ολικές απορροές αντίστοιχα. Σε αντίθεση με την 1^η δειγματοληπτική συγκομιδή, εδώ δεν υπάρχει καμία στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των μεταχειρίσεων. Τα ποσοστά νωπού/ξηρού βάρους είναι εξίσου κοντά μεταξύ τους με μεγαλύτερο αυτό των ολικών απορροών που είναι 89.6% και ακολουθεί ο μάρτυρας με 89.2% και των ανάμεικτων απορροών με 89%.



Διάγραμμα 10: Η διαφορά του ολικού χλωρού και ξηρού βάρους των τριών μεταχειρίσεων του βασιλικού (Μάρτυρας, 100% απορροή, 50% απορροή) μετά τη 2^η δειγματοληπτική συγκομιδή.

| 1η Συγκομιδή | | | | | |
|---------------|------------------------|------------------------|----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| Μεταχειρίσεις | Βάρος φύλλων (g) (XB) | Βάρος βλαστών (g) (XB) | Ξηρό βάρος φύλλων (g) (ΞΒ) | Ξηρό βάρος βλαστών (g) (ΞΒ) | Παραγωγή (kg/m ²) |
| 0% Απορροές | 43.7±8.5 ^{ab} | 29.1±8.2 ^b | 4.5±0.6 ^b | 4.5±0.7 ^b | 1.46 |
| 50% Απορροές | 72.5±22.2 ^a | 50.4±15.3 ^a | 7.6±2.7 ^a | 7.0±2.5 ^a | 2.46 |
| 100% Απορροές | 66.9±20.5 ^a | 51.4±22.1 ^a | 6.4±2.1 ^a | 6.6±3.2 ^a | 2.37 |

Πίνακας 5: Το νωπό και ξηρό βάρος των φύλλων και των βλαστών (g) και η συνολική παραγωγή (Kg m⁻²) των τριών μεταχειρίσεων του βασιλικού (Μάρτυρας, 100% απορροή, 50% απορροή) της 1^{ης} καταστροφικής συγκομιδής του 1^{ου} πειράματος.

Στον παραπάνω πίνακα παρουσιάζονται πιο αναλυτικά τα νωπά και ξηρά βάρη των φύλλων και των βλαστών καθώς και η παραγωγή του βασιλικού της 1^{ης} συγκομιδής. Άξιο αναφοράς είναι ότι ο μάρτυρας κατέχει τις μικρότερες τιμές σε όλες τις παραμέτρους, που παρουσιάζονται στον πίνακα 5. Την μεγαλύτερη τιμή σε όλες τις παραμέτρους εκτός από το χλωρό βάρος των βλαστών κατέχει η μεταχείριση των ανάμεικτων απορροών. Όπως φαίνεται στις ανάμεικτες απορροές υπήρξε

αύξηση της παραγωγής κατά 41% ενώ στις ολικές κατά 38%. Επίσης η αναλογία φύλλων/βλαστών για το μάρτυρα είναι 1.5, για τις ανάμεικτες απορροές είναι 1.44 ενώ για τις ολικές απορροές είναι 1,3.

| 2η Συγκομιδή | | | | | |
|---------------|-------------------------|--------------------------|----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| Μεταχειρήσεις | Βάρος φύλλων (g) (XB) | Βάρος βλαστών (g) (XB) | Ξηρό βάρος φύλλων (g) (ΞB) | Ξηρό βάρος βλαστών (g) (ΞB) | Παραγωγή (kg/m ²) |
| 0% Απορροές | 210.8±63.8 ^β | 185.2±60.7 ^α | 44.4±27 ^α | 17.1±4.37 ^β | 7.92 |
| 50% Απορροές | 178.7±43.4 ^α | 178.2±38.48 ^α | 73.2±44.4 ^β | 27.5±6.9 ^α | 7.14 |
| 100% Απορροές | 149.7±47 ^α | 150.8±53.15 ^β | 37.2±25.3 ^α | 22.9±6.8 ^α | 6.01 |

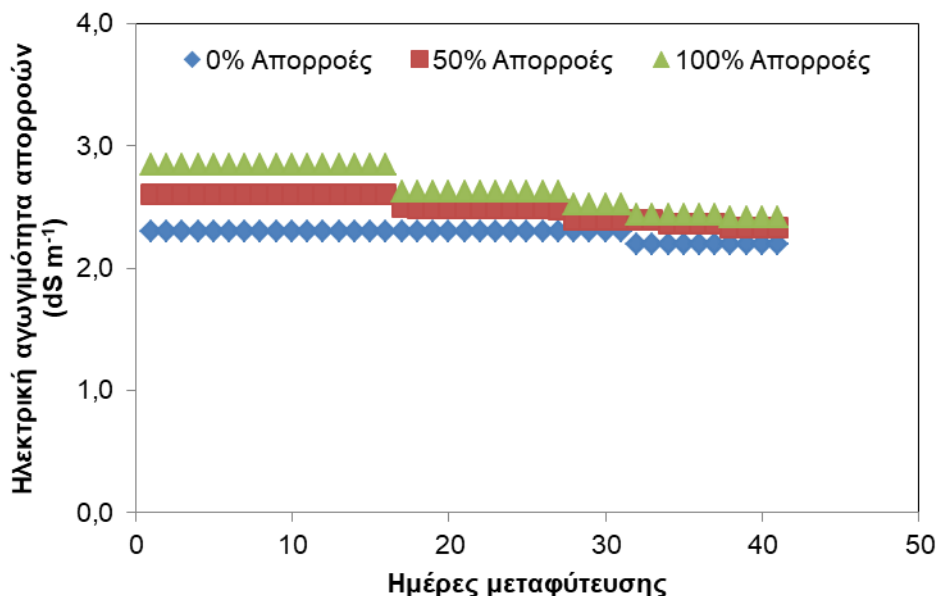
Πίνακας 6: Το νωπό και ξηρό βάρος των φύλλων και των βλαστών (g) και η συνολική παραγωγή (Kg m⁻²) των τριών μεταχειρίσεων του βασιλικού (Μάρτυρας, 100% απορροή, 50% απορροή) της 2^{ης} καταστροφικής συγκομιδής του 1^{ου} πειράματος.

Ο πίνακας 6 παρουσιάζει την παραγωγή και τα νωπά, ξηρά βάρη των φύλλων και των βλαστών των βασιλικών στη 2^η συγκομιδή που πραγματοποιήθηκε. Οι μεγαλύτερες τιμές σε όλες τις παραμέτρους εκτός από το ξηρό βάρος ανήκουν στην μεταχείριση του μάρτυρα. Εδώ σε αντίθεση με την 1^η συγκομιδή η μεταχείριση των ανάμεικτων απορροών παρουσίασε μείωση στη παραγωγή κατά 9.9% και κατά 24% η μεταχείριση των ολικών απορροών, σε σχέση με το μάρτυρα. Οι αναλογίες φύλλων/βλαστών στη 2^η συγκομιδή είναι πολύ μικρότερες, γεγονός που μας δείχνει ότι ο βασιλικός επένδυσε περισσότερο στους βλαστούς. Ο μάρτυρας έχει τη μεγαλύτερη τιμή που είναι 1.14 ενώ η μεταχείριση των ανάμεικτων απορροών είναι σχεδόν 1. Επίσης, οι ολικές απορροές λίγο κάτω από το 1.

3.3 Θρεπτικό διάλυμα

3.3.1 Ηλεκτρική αγωγιμότητα απορροών 1^{ου} πειράματος

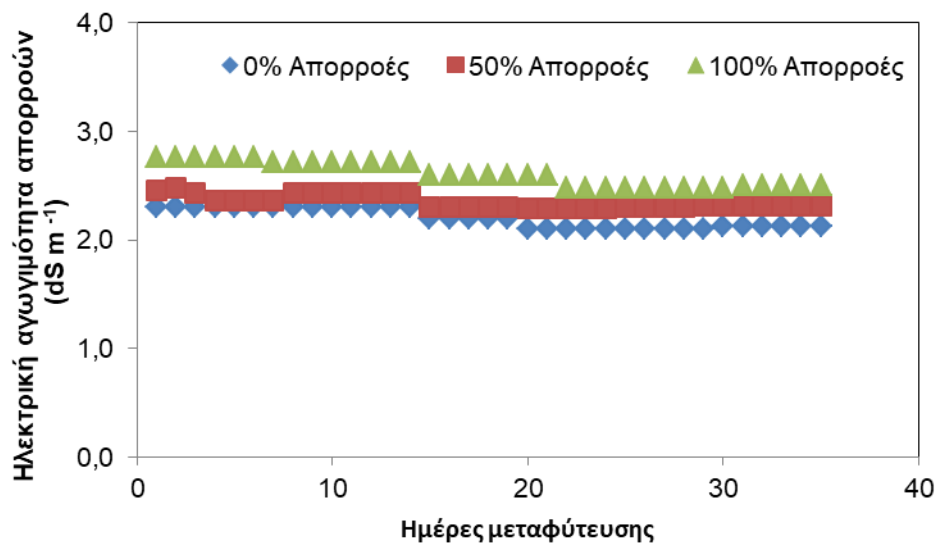
Τα αποτελέσματα των μετρήσεων της ηλεκτρικής αγωγιμότητας των θρεπτικών διαλυμάτων άρδευσης των μεταχειρίσεων του βασιλικού παρουσιάζονται στο διάγραμμα 13. Το θρεπτικό διάλυμα του μάρτυρα ξεκίνησε από $EC\ 2.3\ dS\ m^{-1}$ και παρέμεινε σταθερό μέχρι την 30^η ημέρα όπου παρέμεινε σταθερό στο $2.2\ dS\ m^{-1}$ (μείωση 4.3%) με μέσο όρο $EC\ 2.3\ dS\ m^{-1}$. Οι ανάμεικτες απορροές ξεκίνησαν από $EC\ 2.6\ dS\ m^{-1}$ και μέχρι το τέλος του πειράματος παρατηρήθηκε μείωση κατά 11.53% με το τελικό EC δηλαδή να είναι $2.33\ dS\ m^{-1}$ και ο μέσος όρος $2.5\ dS\ m^{-1}$. Οι ολικές απορροές ξεκίνησαν με τη μεγαλύτερη EC που ήταν $2.84\ dS\ m^{-1}$ και μειώθηκε κατά 15.14% και έφτασε τελικά $2.41\ dS\ m^{-1}$. Οι βασιλικοί αυτοί αρδευόνταν με θρεπτικό διάλυμα που κατείχε το μεγαλύτερο μέσο όρο EC που ήταν $2.7\ dS\ m^{-1}$.



Διάγραμμα 11: Μεταβολή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας των απορροών ($dS\ m^{-1}$) των τριών μεταχειρίσεων του βασιλικού (Μάρτυρας, 100% απορροή, 50% απορροή) του 1^{ου} πειράματος.

3.3.1 Ηλεκτρική αγωγιμότητα απορροών 2^{ου} πειράματος

Η μεταβολή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας των θρεπτικών διαλυμάτων άρδευσης των τριών μεταχειρίσεων του βασιλικού καθ' όλη τη διάρκεια του 2^{ου} πειράματος παρουσιάζεται στο διάγραμμα 14. Το θρεπτικό διάλυμα του μάρτυρα κατείχε πάλι την μικρότερη τιμή EC σε όλη τη διάρκεια του πειράματος, ξεκινώντας από 2.3 dS m⁻¹ και καταλήγοντας σε 2.13 dS m⁻¹ (μείωση κατά 7,4%). Η άρδευση της μεταχείρισης των ανάμεικτων απορροών ξεκίνησε με EC 2.46 dS m⁻¹ ενώ μέχρι το τέλος του πειράματος είχε φτάσει 2.32 dS m⁻¹ (μείωση κατά 5,7%). Μεγαλύτερη τιμή EC κατείχε πάλι δικαιολογημένα η μεταχείριση των ολικών απορροών με αρχική τιμή 2.77 dS m⁻¹ και τελική 2.5 dS m⁻¹ (μείωση κατά 9,7%).



Διάγραμμα 12: Μεταβολή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας των απορροών (dS m⁻¹) των τριών μεταχειρίσεων του βασιλικού (Μάρτυρας, 100% απορροή, 50% απορροή) του 2^{ου} πειράματος.

4 Συζήτηση

Η παρούσα ερευνητική μελέτη είχε στόχο την αξιολόγηση ενός ανοιχτού υδροπονικού συστήματος επάλληλων καλλιεργειών, όπου οι απορροές της πρωτεύουσας καλλιέργειας της αγγουριάς θα επαναχρησιμοποιούνταν για τη περαιτέρω άρδευση μιας δευτερεύουσας καλλιέργειας βασιλικού. Επίσης μία ακόμη πτυχή της μελέτης είναι και ο έλεγχος καταλληλότητας της συγκεκριμένης μεθόδου. Η διοχέτευση των απορροών μιας πρωτεύουσας καλλιέργειας για την άρδευση επιπλέον καλλιεργειών αποτελεί μία τεχνική που συμβάλει στην εξοικονόμηση πόρων νερού και λιπασμάτων. Αυτό καταδεικνύει και το πείραμα των García-Carrarós et al. (2018) στο οποίο οι απορροές της πρωτεύουσας καλλιέργειας πεπονιού υδροπονικού συστήματος, διοχετεύονταν για την άρδευση μιας δευτερεύουσας καλλιέργειας τριαντάφυλλου. Τα αποτελέσματα έδειξαν μείωση της χρήσης νερού κατά 18% και αντίστοιχα 49% στα νιτρικά. Παρόμοιας λογικής πείραμα ήταν αυτό των Incrocci (et al, 2011) όπου η cherry ποικιλία τομάτας αυξημένης αντοχής στην αλατότητα, αρδεύονταν από τις απορροές τη κλασσικής τομάτας, η οποία είχε μεγαλύτερη ευαισθησία στις αυξημένες συγκεντρώσεις ιόντων στο θρεπτικό διάλυμα. Σε αυτό το πείραμα η εξοικονόμηση πόρων νερού κυμαινόταν σε ποσοστό 50% ενώ για το λίπασμα στο 65%. Όσον αφορά το δικό μας πείραμα η άρδευση του βασιλικού επέφερε εξοικονόμηση νερού σε ποσοστό 100% και μείωση των νιτρικών $\text{NO}_3\text{-N}$, διότι στις απορροές της πρωτεύουσας καλλιέργειας που διοχετεύτηκαν για την άρδευση του βασιλικού δεν έγινε κάποια τροποποίηση, συμπεριλαμβανομένης της αφαίρεσης ή της προσθήκης νερού ή θρεπτικών.

Η συγκέντρωση της χλωροφύλλης αποτελεί μια σημαντική παράμετρο που λάβαμε υπόψιν, καθώς πολλές μελέτες την έχουν συσχετίσει με την αύξηση της βιομάζας και της παραγωγής (Majkowska-Gadomska et al, 2017). Στο δικό μας πείραμα ο μέσος όρος των τιμών και των αποτελεσμάτων της συγκέντρωσης της χλωροφύλλης ήταν σχετικά κοντά με αυτές των Saha (et al, 2016). Στο πείραμα τους μετρήθηκε με όργανο SPAD η συγκέντρωση χλωροφύλλης βασιλικού που καλλιεργήθηκε σε υδροπονικό σύστημα με μέση τιμή θερμοκρασίας εντός του θερμοκηπίου 25.1°C . Ο μέσος όρος των μετρήσεων τους ανερχόταν στα 28.7 mg cm^{-2} σε σχέση με το μέσο όρο του 1^{ου} πειράματος μας που ήταν 34.3 mg cm^{-2} και του 2^{ου} πειράματος που ήταν 28.5 mg cm^{-2} . Όπως φαίνεται στο 1^ο πείραμα η συγκέντρωση χλωροφύλλης είναι μεγαλύτερη από αυτή των Saha (et al, 2016), ενώ στο 2^ο πείραμα είναι ελάχιστα μικρότερη. Κατά ένα

ποσοστό αυτό ενδέχεται να οφείλεται στην διαφορά της θερμοκρασίας που επικρατούσε εντός του θερμοκηπίου μεταξύ των πειραμάτων. Οι Farsaraei (et al, 2020) επίσης μέτρησαν την συγκέντρωση της χλωροφύλλης του βασιλικού με το όργανο SPAD-502 και μελέτησαν πως επηρεάζεται με την διαφοροποιημένη αλατότητα των εφαρμοζόμενων αρδευτικών διαλυμάτων. Η καλλιέργεια έγινε σε έδαφος εντός θερμοκηπιακής εγκατάστασης με μέση θερμοκρασία ημέρας 28°C. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι με πλήρη απουσία αλατότητας επιτεύχθηκε η μεγαλύτερη συγκέντρωση χλωροφύλλης που ήταν 40.95 mg cm⁻² ενώ με τη μέγιστη συγκέντρωση 120mM NaCl προέκυψε η μικρότερη τιμή που ήταν 26.73 mg cm⁻².

Στο πείραμα των Wortman (et al, 2015) έγινε σύγκριση του θρεπτικού διαλύματος υδροπονικού συστήματος με αυτό της ενυδριοπονίας για 4 καλλιέργειες που μέσα σε αυτές συμπεριλαμβάνονταν και ο βασιλικός. Για το πρώτο σύστημα χρησιμοποιήθηκε θρεπτικό διάλυμα υψηλού EC ενώ για το δεύτερο χαμηλού. Παρέχοντας το θρεπτικό διάλυμα που ήταν κατάλληλο για υδροπονική καλλιέργεια με μέση θερμοκρασία μεταξύ 25.6°C και 27.9°C, ο βασιλικός την 56^η ημέρα απέκτησε ύψος περίπου 60 cm. Στο δικό μας πείραμα στην ίδια διάρκεια καλλιέργειας με την ηλεκτρική αγωγιμότητα να βρίσκεται σε υψηλότερα επίπεδα και με μικρότερο μέσο όρο θερμοκρασίας, η μεταχείριση του μάρτυρα που ποτιζόταν με πρότυπο διάλυμα απέκτησε ύψος περίπου 67.5cm, ενώ η μεταχείριση που ποτιζόταν εξ' ολοκλήρου από τις απορροές του αγγουριού απέκτησε το μεγαλύτερο ύψος των 71.5cm. Στο 2^ο πείραμα λόγω των ακατάλληλα χαμηλών θερμοκρασιών εντός του θερμοκηπίου, το μέγιστο ύψος που έφτασε η καλλιέργεια μας ήταν 18.49cm.

Επιπροσθέτως, η παραγωγή (yield) είναι από τις σημαντικότερες παραμέτρους που λαμβάνει υπόψιν ο παραγωγός για την επιλογή της καλλιέργειας με τους Bulgari (et al, 2016) για το βασιλικό να την εξισώνει με το νωπό βάρος του υπέργειου τμήματος. Στο πείραμα τους λοιπόν που έλαβε χώρα το Σεπτέμβριο του 2014 πραγματοποιήθηκε καλλιέργεια βασιλικού σε υδροπονικό σύστημα επίπλευσης. Η συγκομιδή έγινε στο στάδιο των πρώτων αληθινών φύλλων (περίπου μετά από 3 εβδομάδες) και μετρήθηκε μεταξύ άλλων και η παραγωγή που έφτασε 1.1 Kg/m². Στο δικό μας πείραμα η πρώτη συγκομιδή έγινε 28 Σεπτεμβρίου (1 μήνα μετά τη μεταφύτευση) και αποκτήθηκε παραγωγή 1.46 Kg/m² για το μάρτυρα, 2.37 Kg/m² για τις ολικές απορροές και 2.46 Kg/m² για τις ανάμεικτες απορροές. Η 2^η συγκομιδή έγινε μετά από επιπλέον 1 μήνα ανάπτυξης των βασιλικών με το μάρτυρα αυτή τη φορά να κατέχει μεγαλύτερη παραγωγή

(7.92 Kg/m²). Κοντά ωστόσο ήταν οι ανάμεικτες απορροές με 7.14 Kg/m². Όσον αφορά το νωπό και ξηρό βάρος στα αποτελέσματα των Saha (et al, 2016) για το βασιλικό που καλλιεργήθηκε με υδροπονική μέθοδο παρουσιάστηκε μέσος όρος νωπού βάρους 96.6 g. και ξηρού βάρους 9.6 g. Στο δικό μας πείραμα ο μάρτυρας είχε νωπό βάρος φύλλων 43.7 g. και ξηρό 4.5 g. Για τις ολικές απορροές το νωπό βάρος ήταν 66.9 g. και το ξηρό 6.4 g., ενώ πιο κοντά ήταν οι ανάμεικτες απορροές με 72,5 g. και 7 g. αντίστοιχα.

Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι στην πρώτη συγκομιδή που έγινε, οι δυο μεταχειρίσεις που αρδεύονταν από τις απορροές του αγγουριού ξεπέρασαν σε ανάπτυξη και παραγωγή τη μεταχείριση του μάρτυρα και μια πιθανή εξήγηση δίνεται από τους García-Caparrós (et al 2018b). Στο πείραμα τους έγινε σύγκριση του κλειστού με το ανοιχτό σύστημα για 3 καλλιέργειες που διέφεραν ως προς την αντοχή τους στην αλατότητα. Η επαναχρησιμοποίηση των απορροών στο κλειστό σύστημα ευνόησε σε ανάπτυξη και παραγωγή την μέτρια και την υψηλά ανθεκτική σε αλατότητα καλλιέργεια, γεγονός που αποδίδεται στην αυξημένη EC. Η αύξηση της EC στις απορροές που επαναχρησιμοποιούνται οφείλεται συνήθως στη συσσώρευση ιόντων όπως Na⁺, Cl⁻, SO₄²⁻, and Ca²⁺. Αντίστοιχα στο δικό μας πείραμα οι απορροές από την άρδευση του αγγουριού ξεπερνούσαν σε EC το πρότυπο θρεπτικό διάλυμα του βασιλικού. Έτσι λόγω της μέτριας αντοχής του βασιλικού στην αλατότητα, στην μεταχείριση των ανάμεικτων απορροών στην 1^η συγκομιδή παρατηρήθηκε αύξηση της παραγωγής κατά 41% και στις ολικές απορροές κατά 38% σε σχέση με το μάρτυρα.

5 Συμπεράσματα

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων της παρούσας μελέτης σε σύγκριση πάντα με σχετικά πειράματα της παγκόσμιας βιβλιογραφίας μας οδηγούν στο συμπέρασμα ότι ο βασιλικός δύναται να χρησιμοποιηθεί ως μια εναλλακτική επιλογή δευτερεύουσας καλλιέργειας στο ανοιχτό υδροπονικό σύστημα επάλληλων καλλιεργειών. Οι μεταχειρίσεις που αρδεύονταν με τις απορροές της πρωτεύουσας καλλιέργειας ξεπέρασαν συνολικά σε ύψος το μάρτυρα και μέχρι τη 1^η συγκομιδή κυριαρχούσαν σε όλες τις παραμέτρους. Το αυξημένο EC δεν φάνηκε να επηρεάζει αρνητικά σε μεγάλο βαθμό το βασιλικό εκτός από την μεταχείριση των ολικών απορροών κατά τη 2^η συγκομιδή. Ωστόσο, εκτός από πλεονεκτήματα στη παραγωγή, αυτό το σύστημα καλλιέργειας προσφέρει και εξοικονόμηση πόρων νερού και λιπασμάτων όπως φάνηκε στο πείραμα, γεγονός που αντισταθμίζει σε κάποιο βαθμό την μικρή υπεροχή του μάρτυρα σε παραγωγή κατά τη 2^η συγκομιδή. Επομένως η υιοθέτηση και η περαιτέρω αναβάθμιση ενός τέτοιου συστήματος είναι ζωτικής σημασίας ιδιαίτερα για περιοχές της μεσόγειου που επηρεάζονται από τα προβλήματα της εντατικής γεωργίας.

6. Βιβλιογραφία

Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

Aires, A. (2018). Hydroponic Production Systems: Impact on Nutritional Status and Bioactive Compounds of Fresh Vegetables. Στο M. Asaduzzaman & T. Asao (επιμ.), *Vegetables - Importance of Quality Vegetables to Human Health. Portugal: InTechOpen*, 55-62.

Asaduzzaman M., Saifullah M., Mollick A.,S.,R., Hossain M. M., Halim G. and Asao T., (2015). Influence of Soilless Culture Substrate on Improvement of Yield and Produce Quality of Horticultural Crops. Στο M. Asaduzzaman (επιμ.), *Soilless Culture - Use of Substrates for the Production of Quality Horticultural Crops*, Bangladesh: InTech, 1-32.

Baddadi, S., Bouadila, S., Guizani, A., & Ghorbel, W. (2019). Autonomous greenhouse microclimate through hydroponic design and refurbished thermal energy by phase change material. *Journal of Cleaner Production*, 211, 360-379.

Bakker J C & Sonneveld C 1987. Calcium deficiency of glasshouse cucumber as affected by environmental humidity and mineral nutrition. *Journal of Horticultural Science*, 63, 241-246.

Bernstein, N., Kravchik, M., & Dudai, N. (2010). Salinity-induced changes in essential oil, pigments and salts accumulation in sweet basil (*Ocimum basilicum*) in relation to alterations of morphological development. *Annals of Applied Biology*, 156, 167–177.

Bulgari, R., Baldi, A., Ferrante, A., & Lenzi, A. (2016). *Yield and quality of basil, Swiss chard, and rocket microgreens grown in a hydroponic system. New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 45, 119–129.

Caliskan, O., Kurt, D., Temizel, K. E., & Odabas, M. S. (2017). Effect of Salt Stress and Irrigation Water on Growth and Development of Sweet Basil (*Ocimum basilicum* L.). *Open Agriculture*, 2, 589–594.

Carmassi, G., Incrocci, L., Maggini, R., Malorgio, F., Tognoni, F., & Pardossi, A. (2005). Modeling Salinity Build-Up in Recirculating Nutrient Solution Culture. *Journal of Plant Nutrition*, 28, 431–445.

Chang, X., & University of Nottingham. (2004). Effect of light and temperature on volatile compounds and growth parameters in sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). Nottingham: University of Nottingham.

Chang, X., Alderson, P. G., & Wright, C. J. (2005). Effect of temperature integration on the growth and volatile oil content of basil (*Ocimum basilicum* L.). *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 80, 593-598.

- Chávez-González, M. L., Rodríguez-Herrera, R., & Aguilar, C. N. (2016). Essential Oils. Antibiotic Resistance. Στο K. Kon και M. Rai (επιμ.), *Antibiotic Resistance Mechanisms and New Antimicrobial Approaches*. London: Elsevier, 227–237.
- Christie, E. C., & Fu, G. (2014). *Water and nutrient reuse within closed hydroponic systems* (Δημοσιευμένη Διδακτορική Διατριβή). Georgia Southern University: Statesboro.
- Choi, B., Lee, S.S., Ok, Y.S. (2011). Effects of Waste Nutrient solution on growth of Chinese cabbage (*Brassica campestris* L.). *Korean J. Environ. Agric.* 30, 125–131.
- Cifuentes-Torres, L., Mendoza-Espinosa, L. G., Correa-Reyes, G., & Daessle, L. W. (2020). Hydroponics with wastewater: a review of trends and opportunities. *Water and Environment Journal*.
- Ding, Z., Zhou, Z., Lin, X., Zhao, F., Wang, B., Lin, F., Ge, Y., Eissa, M. A. (2020). Biochar Impacts on NH_3^- Volatilization Kinetics and Growth of Sweet Basil (*Ocimum basilicum* L.) Under Saline Conditions. *Industrial Crops and Products*, 157, 1-9.
- Dorais, M., Papadopoulos, A. P., & Gosselin, A. (2001). Influence of electric conductivity management on greenhouse tomato yield and fruit quality. *Agronomie*, 21, 367.
- Dörr, O. S., Brezina, S., Rauhut, D., & Mibus, H. (2019). Plant architecture and phytochemical composition of basil (*Ocimum basilicum* L.) under the influence of light from microwave plasma and high-pressure sodium lamps. *Journal of Photochemistry and Photobiology. B, Biology*, 202.
- Elmoniem, M. A. E., Abdrabbo, M. A., Farag, A. A. & Medany, M. A. (2006). Hydroponics for Food Production: Comparison of Open and Closed Systems on Yield and Consumption of Water and Nutrient *The 2nd International Conf. on Water Resources & Arid Environment*, 1-9.
- Elvanidi, A., Reascos, C. M. B., Gourzoulidou, E., Kunze, A., Max, J. F. J., Katsoulas, N., & Max, J. F. J. (2020). Implementation of the circular economy concept in greenhouse hydroponics for ultimate use of water and nutrients. *Horticulturae*, 6, 1-16.
- Farsaraei, S., Moghaddam, M., & Pirbalouti, A. G. (2020). Changes in growth and essential oil composition of sweet basil in response of salinity stress and superabsorbents application. *Scientia Horticulturae*, 271.
- Fonteno, W. C., & Nelson, P. V. (1990). Physical Properties of and Plant Responses to Rockwool-amended Media. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 115, 375-381.
- Garcia-Caparros, P., Contreras, J., Baeza, R., Segura, M., & Lao, M. (2017). *Integral Management of Irrigation Water in Intensive Horticultural Systems of Almería. Sustainability*, 9.

García-Caparrós, P., Llanderal, A., El-Tarawy, A., Maksimovic, I., Lao, M.T. (2018b). Crop and Irrigation Management Systems Under Greenhouse Conditions. *Water*, 10.

Garcia-Caparrós, P., Llanderal, A., Lao, M. T., & Maksimovic, I. (2018a). Cascade cropping system with horticultural and ornamental plants under greenhouse conditions. *Water* 10.

Gericke, W. F. (1937). Hydroponics--Crop Production in Liquid Culture Media. *Science*, 85, 177-178.

Grewal, H. S., Maheshwari, B., & Parks, S. E. (2011). Water and nutrient use efficiency of a low-cost hydroponic greenhouse for a cucumber crop: An Australian case study. *Agricultural Water Management*, 98, 841-846.

Gruda, N. (2012). Current and Future Perspective of Growing Media in Europe, *Acta Horticulturae*, 960, 37-43.

Gruda, N., Prasad, M. and Maher, M.J. (2006). Soilless Culture. Στο R. Lal (επιμ.), *Encyclopedia of Soil Sciences*. Taylor & Francis, Boca Raton, Florida, USA

Gruda, N., Qaryouti, M.M. & Leonardi, C. (2013). Growing Media. Στο Food and Agriculture Organization of the United Nations (επιμ.), *Good agricultural practices for greenhouse vegetable crops : Principles for Mediterranean Climate Areas*. Rome : Food and Agriculture Organization of the United Nations, 271-302.

Hanin, M., Ebel, C., Ngom, M., Laplaze, Laurent, & Masmoudi, K. (2016). New insights on plant salt tolerance mechanisms and their potential use for breeding. *Frontiers in Plant Science*, 7.

Heinen, M. (1997). Dynamics of water and nutrients in closed, recirculating cropping systems in glasshouse horticulture: With special attention to lettuce grown in irrigated sand beds (Δημοσιευμένη Διδακτορική Διατριβή). Wageningen Agricultural University. – Wageningen.

Heuperman, A.F., Kapoor, A.S., Denecke, H.W. (2002). Biodrainage, Principles, Experiences and Applications. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

Hosseinzadeh, S., Verheust, Y., Bonarrigo, G., Hulle, S. V. (2017). Closed Hydroponic Systems: Operational Parameters, Root Exudates Occurrence and Related Water Treatment, *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 16, 59–79.

Hosseinzadeh, S., Bonarrigo, G., Verheust, Y., Roccaro, P., & Van, H. S. (2017). Water Reuse in Closed Hydroponic Systems: Comparison of GAC Adsorption, Ion Exchange and Ozonation Processes to Treat Recycled Nutrient Solution, *Aquacultural engineering*, 78, 190-195.

IBM SPSS Statistics 21 Guide; IBM Corporation: Armonk, NY, USA, 2012.

- Incrocci, L., Pardossi, A., Malorgio, F., Maggini, R., & Campiotti, C. A. (2003). Cascade Cropping System For Greenhouse Soilless Culture. *Acta Horticulturae*, 609, 297–300.
- Jamille, F. S., Mauricio, A. C. F., Jailson, L. C., Tales, M. S., & Antonio, M. L. C. (2019). Growth, water consumption and basil production in the hydroponic system under salinity. *Revista Ceres*, 66, 45-53.
- Jensen, M. H., & Collins, W. L. (1985). Hydroponic Vegetable Production. *Horticultural Reviews*, 483–558.
- Jones, J. B. (1982). Hydroponics: Its history and use in plant nutrition studies. *Journal of Plant Nutrition*, 5, 1003–1030.
- Katsoulas, N., Kakavikakis, G., Kittas, C., Bartzanas, T., & Savvas, D. (2012). Performance Test of a Na⁺ Accumulation Model as Part of a Decision Support System for Closed Hydroponic Systems Management. *Acta Horticulturae*, 957, 139–145.
- Katsoulas, N., Kittas, C., Bartzanas, T., & Savvas, D. (2014). Use of a Decision Support System for Management of the Drainage Solution in Semi-Closed Hydroponic Systems under Different Drainage Fractions. *Acta Horticulturae*, 1037, 1067–1074.
- Katsoulas, N., Kittas, C., Dimokas, G., & Lykas, C. (2006). *Effect of Irrigation Frequency on Rose Flower Production and Quality*. *Biosystems Engineering*, 93, 237–244.
- Katsoulas, N., Sapounas, A., De Zwart, F., Dieleman, J. A., & Stanghellini, C. (2015). Reducing ventilation requirements in semi-closed greenhouses increases water use efficiency. *Agricultural Water Management*, 156, 90–99.
- Katsoulas, N., Savvas, D., Kitta, E., Bartzanas, T., & Kittas, C. (2015). Extension and evaluation of a model for automatic drainage solution management in tomato crops grown in semi-closed hydroponic systems. *Computers and Electronics in Agriculture*, 113, 61-71.
- Katsoulas, N., & Voogt, W. (2014). 433 Recent Trends in Salinity Control for Soilless Growing Systems Management. *Acta Horticulturae*, 1034, 433–442.
- Kläring, H.-P. (2001). Strategies to Control Water and Nutrient Supplies to Greenhouse Crops. A Review. *Agronomie*, 21, 311-321.
- Koeh, R. & Langat P. (2018). Improving Irrigation Water Use Efficiency: A Review of Advances, Challenges and Opportunities in the Australian Context. *Water*, 10, 1-17.
- Lee, S., & Lee, J. (2015). Beneficial bacteria and fungi in hydroponic systems: Types and characteristics of hydroponic food production methods. *Scientia Horticulturae*, 195, 206–215.

- Li, Q. X., & Chang, C. L. (2016). Basil (*Ocimum basilicum* L.) Oils. Στο V. R. Preedy (επιμ.) *Essential Oils in Food Preservation, Flavor and Safety*. Amsterdam: Boston: Elsevier, 231–238.
- Livia, I. T. T., & Fernando, C. G. M. (2012). Nutrient Solutions for Hydroponic Systems. Στο T. Asao (επιμ.), *Hydroponics A Standard Methodology for Plant Biological Researches*. InTech, 1-22.
- Lykas, C., Katsoulas, N., Giaglaras, P., & Kittas, C. (2006). Electrical Conductivity and pH Prediction in a Recirculated Nutrient Solution of a Greenhouse Soilless Rose Crop. *Journal of Plant Nutrition*, 29, 1585-1599.
- Majkowska-Gadomska, J., Kulczycka A., Dobrowolski A., & Mikulewicz E. (2017). Yield and Nutritional Value of Basil Grown in a Greenhouse. *Acta Agrophysica*, 24, 455-464.
- Makri, O., & Kintzios, S. (2008). *Ocimum* sp. (Basil): Botany, cultivation, pharmaceutical properties, and biotechnology. *Journal of Herbs, Spices and Medicinal Plants*, 13, 123-150.
- Mamta D., S., Shraddha V. A. (2013). A Review on Plant Without Soil – Hydroponics. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 2, 299-304.
- Martinez-Mate, M. A., Martin-Gorriz, B., Martínez-Alvarez, V., Soto-García, M., & Maestre-Valero, J. F. (2018). Hydroponic system and desalinated seawater as an alternative farm-productive proposal in water scarcity areas: Energy and greenhouse gas emissions analysis of lettuce production in southeast Spain. *Journal of Cleaner Production*, 172, 1298-1310.
- Massa, D., Incrocci, L., Maggini, R., Bibbiani, C., Carmassi, G., Malorgio, F., & Pardossi, A. (2011). Simulation of crop water and mineral relations in greenhouse soilless culture, *Environmental Modelling and Software*, 26, 711-722.
- Massa, D., Incrocci, L., Maggini, R., Carmassi, G., Campiotti, C. A., & Pardossi, A. (2010). Strategies to decrease water drainage and nitrate emission from soilless cultures of greenhouse tomato. *Agricultural Water Management* 97, 971-980.
- Massa, D., Magán, J., J., Montesano, F., F., Tzortzakis, N. (2020). Minimizing Water and Nutrient Losses From Soilless Cropping in Southern Europe. *Agricultural Water Management*, 241.
- Massa, D., Mattson, N.S., Lieth, H. (2008). An Empirical Model to Simulate Sodium Absorption in Roses Growing in a Hydroponic System. *Scientia Horticulturae*, 118, 228–235.

- Maucieri, C., Nicoletto, C., Os, E. v., Anseeuw, D., Havermaet, R. V., Junge, R. (2019) Hydroponic Technologies. Στο G. M. Burnell, B. Kotzen, S. Goddek, & A. Joyce (επιμ.), *Aquaponics Food Production Systems*. Charn. Switzerland: Springer Open, 78-110.
- Mohammadi, A., & Omid, M. (2010). Economical analysis and relation between energy inputs and yield of greenhouse cucumber production in Iran. *Applied Energy*, 87, 191-196.
- Mukherjee, P. K., Nema, N. K., Maity, N., & Sarkar, B. K. (2013). Phytochemical and therapeutic potential of cucumber, *Fitoterapia*, 84, 227–236.
- Munoz, P., Paranjpe, A., Montero, J. I., & Anton, A. (2012). Cascade Crops: an Alternative Solution for Increasing Sustainability of Greenhouse Tomato Crops in Mediterranean Zone. *Acta Horticulturae*, 927, 801-806.
- Nederhoff, E. & C. Stanghellini. (2010). Water Use Efficiency of Tomatoes in Greenhouses and Hydroponics. *Practical Hydroponics and Greenhouses*, 52-59.
- Panta, S., Flowers, T., Lane, P., Doyle, R., Haros, G., & Shabala, S. (2014). *Halophyte agriculture: Success stories*. *Environmental and Experimental Botany*, 107, 71–83.
- Pardossi A., Carmassi G., Diara C., Incrocci L., Maggini R., Massa D. (2011). Fertigation and Substrate Management in Closed Soilless Culture. Pisa, Italy: DBPA, 5-10.
- Pushpangadan, P., & George, V. (2012). Basil. Στο K. V. Peter (Επιμ.) *Handbook of Herbs and Spices*. Sawston: Woodhead Publishing Limited La Vergne, 55–72.
- Putra, P. A., & Yuliando, H. (2015). Soilless Culture System to Support Water Use Efficiency and Product Quality: A Review. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 3, 283–288.
- Ramírez-Pérez, L. J., Morales-Díaz, A. B., Benavides-Mendoza, A., De-Alba-Romenus, K., González-Morales, S., & Juárez-Maldonado, A. (2018). Dynamic modeling of cucumber crop growth and uptake of N, P and K under greenhouse conditions. *Scientia Horticulturae*, 234, 250–260.
- Raviv, M., Lieth, J. H., & Bar-Tal, A. (2019). Significance of Soilless Culture in Agriculture. *Soilless Culture: Theory and Practice Theory and Practice*, 2^η εκδ., London: Elsevier , 3–14.
- Rouphael, Y. & Colla, G. (2009). The Influence of Drip Irrigation or Subirrigation on Zucchini Squash Grown in Closed-loop Substrate Culture with High and Low Nutrient Solution Concentrations. *Horticultural Science*, 44, 306–311.

Rouphael, Y., Raimondi, G., Caputo, R., & De, P. S. (2016). Fertigation Strategies for Improving Water Use Efficiency and Limiting Nutrient Loss in Soilless *Hippeastrum* Production. *Horticultural science*, 51, 684-689.

Saha, S., Monroe, A., & Day, M. R. (2016). Growth, yield, plant quality and nutrition of basil (*Ocimum basilicum* L.) under soilless agricultural systems. *Annals of Agricultural Sciences*, 61(2), 181–186.

Said-Al Ahl H.A.H., Mahmoud A.A. (2010). Effect of zinc and / or iron foliar application on growth and essential oil of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) under salt stress. *Ozean Journal of Applied Sciences*, 3, 97-111.

Savvas, D., and Passam, H., 2002. Hydroponic production of vegetables and ornamentals. Athens. Greece: Embryo Publications.

Savvas, D., Gianquinto, G., Tuzel Y. & Gruda N. (2013). Soilless culture. Στο Food and Agriculture Organization of the United Nations (επιμ.), *Good agricultural practices for greenhouse vegetable crops : principles for Mediterranean climate areas*. Rome : Food and Agriculture Organization of the United Nations, 303-354.

Scagel, C. F., Bryla, D. R., & Lee, J. (2017). Salt Exclusion and Mycorrhizal Symbiosis Increase Tolerance to NaCl and CaCl² Salinity in “Siam Queen” Basil, *Horticultural Science*, 52, 278–287.

Shannon, M. C., & Grieve, C. M. (January 01, 1999). Tolerance of vegetable crops to salinity. *Scientia Horticulturae*, 78, 5-38.

Shavrukov, Y., Genc, Y., Hayes J. (2012) The use of Hydroponics in Abiotic stress Tolerance Research. Στο T. Asao (επιμ.), *Hydroponics A Standard Methodology for Plant Biological Researches*. InTech, 40-66.

Son, J., E., Kim, H., J., & Ahn, T., I. (2016). Hydroponic Systems. Στο T. Kozai, G.Niu, M. Takagaki (Επιμ.), *Plant Factory*, Burlington: Academic Press, 213–221.

Sonneveld, C., & Voogt, W. (2009). Plant Nutrition of Greenhouse Crops. Springer, 257-275.

Stanghellini, C. (2014). Horticultural Production In Greenhouse: Efficient Use Of Water. *Acta Horticulturae*, 1034, 25–32.

Stanghellini, C., Kempkes, F. L. K., Pardossi, A., & Incrocci, L. (2005). Closed Water Loop in Greenhouses : Effect of Water Quality and Value of Produce. *Acta Horticulturae*, 691, 233-242.

Stanghellini, C., & Montero, J. I. (2012).. Resource Use Efficiency in Protected Cultivation: Towards the Greenhouse with Zero Emissions. *Acta Horticulturae*, 927, 91–100.

- Tatioglu, T. (1993). Cucumber. Genetic Improvement of Vegetable Crops, Elsevier, 197–234.
- van Os, E. A., Gieling, T. H., & Heinrich Lieth, J. (2019). Technical equipment in soilless production systems. Στο M. Raviv, J. H. Lieth, & A. Bar-Tal (επιμ.) Soilless Culture: Theory and Practice Theory and Practice, 2^η εκδ., Elsevier, 587-635.
- Varlagas, H., Savvas, D., Mouzakis, G., Liotsos, C., Karapanos, I., & Sigrimis, N. (2010). Modelling uptake of Na⁺ and Cl⁻ by tomato in closed-cycle cultivation systems as influenced by irrigation water salinity. *Agricultural Water Management*, 97, 1242-1250.
- Walters, K. J. Quantifying the effects of hydroponic systems, nutrient solution, and air temperature on growth and development of basil (*Ocimum L.*) species. (2015). (Δημοσιευμένη Διδακτορική διατριβή). Iowa State University: Iowa.
- Wortman, S. E. (2015). *Crop physiological response to nutrient solution electrical conductivity and pH in an ebb-and-flow hydroponic system. Scientia Horticulturae*, 194, 34–42.
- Yu, J. Q., & Matsui, Y. (1994). Phytotoxic substances in root exudates of cucumber (*Cucumis sativus L.*). *Journal of Chemical Ecology*, 20, 21-31.
- Zörb, C., Geilfus, C.-M., & Dietz, K.-J. (2018). *Salinity and Crop Yield. Plant Biology*.

Ελληνική βιβλιογραφία

- Καράμπουλα, Α., (2016). Υδροπονικά Συστήματα με Χρήση Γεωθερμίας (Καλλιέργεια Τομάτας-Πιπεριάς-Μελιτζάνας-Αγγουριάς) (Αδημοσίευτη προπτυχιακή εργασία). Τ.Ε.Ι Θεσσαλίας: Λάρισα.
- Κατσιώτης, Σ., Θ. (2019). Αρωματικά Φαρμακευτικά Φυτά και Αιθέρια Έλαια: Παραγωγή Επεξεργασία Μεταποίηση Αξιοποίηση Διεθνείς Αγορές Αρωματοθεραπεία Αρωματοποιία. Θεσσαλονίκη. Εκδόσεις Κυριακίδη.
- Μαυρογιαννόπουλος, Γ., Ν. (2017). Τεχνολογία Θερμοκηπίων. Αθήνα. Εκδόσεις Σταμούλης.
- Πετρόπουλος, Σ. (2016). Αρωματικά φυτά με λαχανοκομική χρήση. Αιγάλεω. Εκδόσεις ΕΜΒΡΥΟ
- Σάββας, Δ. (2012). Καλλιέργεια Εκτός Εδάφους: Υδροπονία, Υποστρώματα. Αθήνα, Εκδόσεις Αγρότυπος.
- Χα, Ι., Α., & Πετρόπουλος, Σ. (2014). Γενική Λαχανοκομεία & Υπαίθρια Καλλιέργεια Λαχανικών. Βόλος. Πανεπιστημιακές εκδόσεις Θεσσαλίας.

Ολύμπιος, Χ., Μ. (2001). Η Τεχνική της Καλλιέργειας των Κηπευτικών στα Θερμοκήπια. Αθήνα. Εκδόσεις Σταμούλη.