

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος

Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος

Πτυχιακή Διατριβή

**«Επίδρασης της αλατότητας στην ανάπτυξη και παραγωγή υδροπονικής
καλλιέργειας βασιλικού σε σύστημα NFT»**



ΣΠΑΝΟΥΔΑΚΗ ΣΤΥΛΙΑΝΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΚΑΤΣΟΥΛΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ, Καθηγητής

Βόλος, 2020

**Επίδρασης της αλατότητας στην ανάπτυξη και παραγωγή υδροπονικής καλλιέργειας
βασιλικού σε σύστημα NFT**

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή

Νικόλαος Κατσούλας, Καθηγητής, Γεωργικές Κατασκευές – Θερμοκήπια, Π.Θ.

Ευθυμία Λεβίζου, Επίκουρος Καθηγήτρια, Φυσιολογία Φυτών.

Ευαγγελινή Κίττα, Μέλος ΕΔΙΠ.

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, αισθάνομαι την ανάγκη και την υποχρέωση να ευχαριστήσω κάποια άτομα που συνέβαλλαν σημαντικά στην πραγματοποίηση αυτής της προσπάθειας.

Αρχικά, θέλω να ευχαριστήσω τον Καθηγητή και επιβλέποντα της παρούσας μελέτης κ. Νικόλαο Κατσούλα για την ευκαιρία που μου έδωσε να πραγματοποιήσω την πτυχιακή μου διατριβή στο εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την Επίκουρο Καθηγήτρια κα. Ευθυμία Λεβίζου και την Δρ. Ευαγγελινή Κίττα, του τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, για τη συμμετοχή τους στην τριμελή εξεταστική επιτροπή.

Ευχαριστώ θερμά την Δρ. Αγγελική Ελβανίδη για την πολύτιμη βοήθεια της και την ορθή καθοδήγηση της καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της πτυχιακής διατριβής.

Επίσης, ευχαριστώ πολύ τη Σοφία Φαλιάγκα για τη βοήθεια της, τόσο στο πειραματικό κομμάτι της έρευνας όσο και για τη συμβολή της στη διόρθωση της πτυχιακής εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και τους φίλους μου για την αμέριστη υποστήριξη και βοήθεια τους καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Περίληψη

Οι υψηλές συγκεντρώσεις αλατότητας στο νερό άρδευσης μπορεί να επιφέρουν σοβαρές επιπτώσεις στην ανάπτυξη των φυτών και κατά συνέπεια μείωση της απόδοσης των καλλιεργειών. Λίγες είναι οι μελέτες που έχουν διερευνηθεί σχετικά με την επίδραση της αλατότητας στην υδροπονική καλλιέργεια του βασιλικού. Στη παρούσα έρευνα μελετήθηκε η επίδραση της άρδευσης μιας καλλιέργειας βασιλικού (*Ocimum basilicum* L.) με τέσσερις διαφορετικές συγκεντρώσεις αλατότητας σε ένα υδροπονικό σύστημα NFT. Το πείραμα έλαβε χώρα σε έναν κλειστό θάλαμο ανάπτυξης πλήρως ελεγχόμενων συνθηκών. Οι διαφορετικές στρατηγικές άρδευσης αποτελούνταν από τέσσερις μεταχειρίσεις με συγκέντρωση αλατότητας 2 dS m^{-1} (μάρτυρας), 4 dS m^{-1} (χαμηλή αλατότητα), 6 dS m^{-1} (μέτρια αλατότητα) και 8 dS m^{-1} (υψηλή αλατότητα) καθώς επίσης έλαβαν χώρα τρεις επαναλήψεις ανά μεταχείριση. Συνολικά χρησιμοποιήθηκαν 12 κανάλια για την τοποθέτηση των μητρικών φυτών βασιλικού και την ανάπτυξη τους, η κατανομή των οποίων στο θάλαμο ανάπτυξης ήταν τυχαία. 14 ημέρες μετά την μεταφύτευση των μητρικών φυτών του βασιλικού στα κανάλια, προστέθηκε NaCl σε διαφορετική ποσότητα για κάθε μεταχείριση μέχρις ότου να επιτευχθεί η τιμή στόχος που είχε τεθεί. Καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος γινόταν καταγραφή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, του pH, του ύψους, της χλωροφύλλης και του συνολικού όγκου απορροής. Επιπλέον, 13 ημέρες μετά την προσθήκη NaCl πραγματοποιήθηκε η πρώτη καταστροφική μέτρηση όπου έγινε δειγματοληψία των φυτών με σκοπό τη μέτρηση του αριθμού των φύλλων, του νωπού και ξηρού βάρους των φύλλων και των βλαστών του βασιλικού. Η ίδια διαδικασία πραγματοποιήθηκε 23 ημέρες μετά την προσθήκη άλατος, όπου ολοκληρώθηκε το πειραματικό κομμάτι της έρευνας. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι παρουσιάστηκε ταχεία αύξηση των συγκεντρώσεων NaCl στο διάλυμα αποστράγγισης, κυρίως στις μεταχειρίσεις μέτριας και υψηλής αλατότητας. Κατά συνέπεια υπήρξε σχετική μείωση της απορρόφησης, λόγω της συσσώρευσης των αλάτων στο ριζικό σύστημα της καλλιέργειας. Η περιεκτικότητα των φύλλων σε χλωροφύλλη μειώθηκε σημαντικά σε όλες τις μεταχειρίσεις αλατότητας. Παρόλα αυτά, το νωπό και ξηρό βάρος των φύλλων και βλαστών καθώς και ο αριθμός των φύλλων του βασιλικού δεν επηρεάστηκαν αρνητικά από την αλατότητα. Αντίθετα, εμφάνισαν καλύτερη ανταπόκριση σε συνθήκες υψηλής αλατότητας σε σχέση με τον μάρτυρα. Τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης υποδεικνύουν ότι η άρδευση μιας καλλιέργειας βασιλικού με ανακυκλώσιμο θρεπτικό διάλυμα σε υδροπονικό σύστημα NFT όπου η συγκέντρωση της αλατότητας είναι υψηλή, οδηγεί στην αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και μείωση της απορρόφησης νερού και θρεπτικών, χωρίς ωστόσο να επηρεάζει αρνητικά τα ποιοτικά και τα ποσοτικά χαρακτηριστικά των φυτών. Συνεπώς, η αύξηση της αλατότητας έως και 8 dS m^{-1} στην

υδροπονική καλλιέργεια του βασιλικού δεν θεωρείται σημαντικός περιοριστικός παράγοντας ως προς την ανάπτυξη των φυτών.

Λέξεις κλειδιά: Αλατότητα, *Ocimum basilicum* L, ηλεκτρική αγωγιμότητα, NFT, θάλαμος ανάπτυξης

Summary

High salinity concentrations of the irrigation water may have a serious impact on plant growth and therefore, cause a reduction in crop yields. There are few studies that have reported the effect of salinity stress on hydroponic cultivation of basil. This study focuses on the effect of the irrigation of basil plants (*Ocimum basilicum* L.) with four nutrient solutions consisting of four different salinity levels in a hydroponic NFT system. The experiment was conducted in a growth chamber of fully controlled conditions. The four salinity treatments, 2 dS m⁻¹ (control), 4 dS m⁻¹ (low salinity), 6 dS m⁻¹ (moderate salinity), 8 dS m⁻¹ (high salinity) consisted of 3 replications each. Therefore, 12 canals were used for the cultivation of the basil plants, which were randomly distributed in the growth chamber. NaCl was added in different concentrations for each treatment 14 days after the transplantation of the plants to the canals. Throughout the experiment, electrical conductivity, pH, height, chlorophyll content as well as the volume of the drainage were recorded. The first sampling of plants was performed 13 days after the addition of salt, in order to measure the fresh and dry weight of the leaves and shoots, as well as the number of basil leaves. The same process took place 23 days after the addition of salt, where the experimental part of the research was completed. The results showed that there was a rapid increase in NaCl concentrations in the drainage nutrient solution, mainly in the treatments of medium and high salinity levels and consequently there has been a relative reduction of the absorption rate, due to the accumulation of salts in the root zone. Chlorophyll content decreased significantly at all salinity levels. However, salinity stress did not affect negatively the fresh and dry weights of the leaves and shoots as well as the number of basil leaves. Indeed, it has been recorded that basil plants respond better to high salinity conditions in comparison to the control treatment. The results of this study indicate that irrigation with reused nutrient solution in a hydroponic NFT system where salinity concentration is high, can lead to an increase in the electrical conductivity and a decrease in the absorption rate of basil plants. However, the qualitative and quantitative characteristics seem to be less affected. Therefore, the presence of salts in the hydroponic basil cultivation is not considered a significant limiting factor.

Keywords: Salinity, *Ocimum basilicum* L., hydroponic system, NFT, electrical conductivity, chlorophyll

Πίνακας περιεχομένων

1	Εισαγωγή.....	10
1.1	Υδροπονικά συστήματα	10
1.1.1	Ανοιχτά συστήματα	11
1.1.2	Κλειστά συστήματα	11
1.1.3	NFT.....	12
1.2	Θάλαμος ελεγχόμενων συνθηκών.....	14
1.2.1	Λάμπες υψηλής πίεσης νατρίου (HPS).....	15
1.3	Βασιλικός	17
1.3.1	Αλατότητα.....	17
1.3.2	Επίδραση της αλατότητας.....	18
1.3.3	Επιδράσεις της αλατότητας στον βασιλικό	19
1.4	Σκοπός εργασίας	20
2	Υλικά και μέθοδοι	21
2.1	Εγκαταστάσεις και καλλιέργεια.....	21
2.1.1	Μεταχειρίσεις	21
2.1.2	Θάλαμος.....	21
2.1.3	Θρέψη των φυτών.....	22
2.2	Μετρήσεις	23
2.2.1	Μετρήσεις του θρεπτικού διαλύματος.....	23
2.2.1.1	Ηλεκτρική αγωγιμότητα	23
2.2.1.2	pH.....	24
2.2.1.3	Ανάγκες καλλιέργειας σε νερό	24
2.2.1.4	Αποδοτικότητα χρήσης νερού	24
2.2.2	Μετρήσεις μορφολογικών και φυσιολογικών παραμέτρων	25
2.2.2.1	Χλωροφύλλη.....	25
2.2.2.2	Αριθμός φύλλων, νωπό και ξηρό βάρος.....	25
2.2.2.3	Ύψος φυτών.....	26

2.3	Στατιστική Ανάλυση	26
3	Αποτελέσματα	27
3.1	Μετρήσεις του θρεπτικού διαλύματος	27
3.1.1	pH.....	27
3.1.2	Απορρόφηση του θρεπτικού διαλύματος.....	30
3.1.3	Ηλεκτρική αγωγιμότητα	31
3.2	Μετρήσεις των φυτών	35
3.2.1	Χλωροφύλλη.....	35
3.2.2	Ύψος.....	36
3.2.3	Νωπό βάρος φύλλων.....	37
3.2.4	Ξηρό βάρος φύλλων	39
3.2.5	Ξηρό βάρος βλαστών.....	39
3.2.6	Αριθμός φύλλων	40
3.3	Αποδοτικότητα χρήσης νερού.....	41
4	Συζήτηση	43
5	Συμπεράσματα.....	47
6	Βιβλιογραφία	48

Περιεχόμενα διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1. Μεταβολή της τιμής του pH άρδευσης και απορροής της μεταχείρισης 2T (2 dS m ⁻¹).....	28
Διάγραμμα 2. Μεταβολή της τιμής του pH άρδευσης και απορροής της μεταχείρισης 4T (4 dS m ⁻¹).....	28
Διάγραμμα 3. Μεταβολή της τιμής του pH άρδευσης και απορροής της μεταχείρισης 6T (6 dS m ⁻¹).....	29
Διάγραμμα 4. Μεταβολή της τιμής του pH άρδευσης και απορροής της μεταχείρισης 8T (8 dS m ⁻¹).....	29
Διάγραμμα 5. Απορρόφηση του θρεπτικού διαλύματος των μεταχειρίσεων 2T, 4T, 6T, 8T (2, 4, 6, 8 dS m ⁻¹).....	31
Διάγραμμα 6. Μεταβολή της τιμής της EC του διαλύματος άρδευσης και απορροής της μεταχείρισης 2T (2 dS m ⁻¹).....	32
Διάγραμμα 7. Μεταβολή της τιμής της EC του διαλύματος άρδευσης και απορροής της μεταχείρισης 4T (4 dS m ⁻¹).....	33
Διάγραμμα 8. Μεταβολή της τιμής της EC του διαλύματος άρδευσης και απορροής της μεταχείρισης 6T (6 dS m ⁻¹).....	33
Διάγραμμα 9. Μεταβολή της τιμής της EC του διαλύματος άρδευσης και απορροής της μεταχείρισης 8T (8 dS m ⁻¹).....	34
Διάγραμμα 10. Συγκέντρωση χλωροφύλλης στα φύλλα των φυτών του βασιλικού.....	35
Διάγραμμα 11. Μεταβολή του ύψους (cm) των φυτών του βασιλικού σε κάθε μεταχείριση (2T, 4T, 6T, 8T).....	37
Διάγραμμα 12. Μεταβολή του νωπού βάρους των φύλλων του βασιλικού (g) μεταξύ των 2 συγκομιδών σε κάθε μεταχείριση (2T, 4T, 6T, 8T)	38
Διάγραμμα 13. Μεταβολή του νωπού βάρους (g) των βλαστών του βασιλικού μεταξύ των 2 συγκομιδών σε κάθε τη μεταχείριση (2T, 4T, 6T, 8T).....	38
Διάγραμμα 14. Μεταβολή του ξηρού βάρους (g) των φύλλων του βασιλικού μεταξύ των 2 συγκομιδών σε κάθε μεταχείριση (2T, 4T, 6T, 8T)	39
Διάγραμμα 15. Μεταβολή του ξηρού βάρους (g) των βλαστών του βασιλικού μεταξύ των 2 συγκομιδών σε κάθε μεταχείριση (2T, 4T, 6T, 8T)	40
Διάγραμμα 16. Αριθμός των φύλλων του βασιλικού μεταξύ των 2 συγκομιδών σε κάθε μεταχείριση (2T, 4T, 6T, 8T)	41
Διάγραμμα 17. Αποδοτικότητα χρήσης νερού (kg m ⁻³) σε κάθε μεταχείριση (2T, 4T, 6T, 8T).	42

Περιεχόμενα πινάκων

Πίνακας 1. Αναλυτικός πίνακας θρέψης για την καλλιέργεια βασιλικού	23
---	----

Περιεχόμενα εικόνων

Εικόνα 1. Εξωτερική (αριστερά) και εσωτερική (δεξιά) όψη του θαλάμου ανάπτυξης.....	22
Εικόνα 2. Όργανο μέτρησης ηλεκτρικής αγωγιμότητας, HANNA EC125 Multi-range Conductivity Meter.....	24
Εικόνα 3. Ζυγαριά ακριβείας Precisa.....	25

1 Εισαγωγή

Η ανάγκη για την κάλυψη των αναγκών του όλο και αυξανόμενου παγκόσμιου πληθυσμού έχει οδηγήσει σε τεράστια εκμετάλλευση των φυσικών πόρων με άμεσες περιβαλλοντικές συνέπειες. Ειδικότερα, η αλυσίδα παραγωγής τροφίμων είναι ένας από τους μεγαλύτερους παράγοντες που συμβάλλουν σημαντικά στην αύξηση της περιβαλλοντικής ρύπανσης (Spiertz, 2010; Rufí-Salís et al., 2020). Σήμερα, η γεωργία καταλαμβάνει το 11% (1.5 δισ. εκτάρια) της επιφάνειας του πλανήτη. Επιπλέον, το 70% του συνόλου του γλυκού νερού που απομακρύνεται από υδροφορείς, ρέματα και λίμνες χρησιμοποιείται στον γεωργικό τομέα και αντιπροσωπεύει το 13.5% των εκπομπών αερίου του θερμοκηπίου, παγκοσμίως (FAO, 2011). Ωστόσο, το γλυκό νερό είναι μια πολύ περιορισμένη πηγή, καθώς αντιπροσωπεύει λιγότερο από το 1% της συνολικής παροχής νερού παγκοσμίως. (Salt Farm Foundation, 2018).

Δεδομένου ότι η ποιότητα και η ποσότητα των υδάτινων πόρων περιορίζονται σε πολλά μέρη του κόσμου, αναζητούνται νέες εναλλακτικές για την αποτελεσματικότερη χρήση των γεωργικών αποστραγγιστικών αποβλήτων (Shannon et al., 2000). Η ρύπανση των υδάτινων πόρων οδηγεί τους καλλιεργητές σε αναζήτηση νέων καινοτόμων τεχνικών με σκοπό την αύξηση της αποδοτικότητας της χρήσης του νερού αλλά και την εκμετάλλευση του νερού χαμηλής ποιότητας, όπως για παράδειγμα το νερό με υψηλές συγκεντρώσεις αλατότητας (Silva et al., 2016). Συνεπώς, απαιτείται ορθολογική διαχείριση του νερού κυρίως μέσω της εφαρμογής εναλλακτικών συστημάτων άρδευσης με στόχο τη μείωση της σπατάλης των πόρων γλυκού νερού λόγω της απορροής και της βαθιάς διήθησης (Maskri et al., 2010).

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται έντονο ενδιαφέρον για την αύξηση της αποτελεσματικότητας της χρήσης του νερού στην γεωργία. Η επαναχρησιμοποίηση του αλατούχου νερού μπορεί να επιφέρει μείωση της κατανάλωσης του νερού υψηλής ποιότητας (Shannon et al., 2000). Σύμφωνα με τους Santos Junior et al. (2013), η υδροπονία αποτελεί μια από τις τεχνικές που επιτρέπει την καλλιέργεια των φυτών ακόμη και με την παρουσία αλάτων, καθώς με αυτό το σύστημα η τιμή του δυναμικού κατακράτησης είναι σχεδόν μηδενική, γεγονός που επιτρέπει τη μεγαλύτερη απορρόφηση του νερού και θρεπτικών από τα φυτά, με χαμηλότερη ενεργειακή δαπάνη σε σύγκριση με αυτά που καλλιεργούνται στο έδαφος.

1.1 Υδροπονικά συστήματα

Η υδροπονία αποτελεί μια καλλιεργητική τεχνική όπου τα φυτά αναπτύσσονται απουσία εδάφους. Σε σύγκριση με τη συμβατική καλλιέργεια φυτών στο έδαφος, η ανάπτυξη των φυτών μιας υδροπονικής καλλιέργειας απαιτεί 75% λιγότερο νερό (Abd-Elmoniem et al.,

2006). Η υδροπονία είναι μια γεωργική μέθοδος όπου οι ρίζες των φυτών αναπτύσσονται σε ένα μίγμα νερού και θρεπτικών στοιχείων που συνήθως ονομάζεται θρεπτικό διάλυμα (Maharana & Koul, 2004; Hussain et al., 2014). Το θρεπτικό διάλυμα είναι πλήρως ελεγχόμενο και μπορεί να εφαρμοστεί στα φυτά σε συγκεκριμένες συγκεντρώσεις, ώστε να ικανοποιήσουν τις ανάγκες τους (Graves, 1983; Christie, 2014). Έτσι, τα υδροπονικά συστήματα μπορούν να συμβάλλουν στην αύξηση της απόδοσης ελαχιστοποιώντας ταυτόχρονα την κατανάλωση νερού και θρεπτικών ουσιών. Αυτή η μέθοδος καλλιέργειας μπορεί να οδηγήσει σε εξοικονόμηση νερού έως και 95% σε σχέση με τις καλλιέργειες εδάφους (Bradley, 2001; Despommier, 2010).

Τα υδροπονικά συστήματα επιτρέπουν τον έλεγχο της θρέψης των φυτών, μεγιστοποιώντας τις αποδόσεις και ελαχιστοποιώντας την περιβαλλοντική ρύπανση (Luna et al., 2013). Γενικά, τα συστήματα υδροπονικής καλλιέργειας μπορούν να ταξινομηθούν βάσει της μεθόδου παροχής του θρεπτικού διαλύματος στις ρίζες των φυτών (Hussain et al., 2014). Μερικά από αυτά τα συστήματα είναι τα NFT (Nutrient Film Technique), τα υπό στάγδην άρδευσης συστήματα και τα DWC (Deep Water Culture).

1.1.1 Ανοιχτά συστήματα

Τα υδροπονικά συστήματα μπορούν να ταξινομηθούν σε ανοιχτά και κλειστά συστήματα βάσει της μεθόδου διαχείρισης του απορρέοντος θρεπτικού διαλύματος. Στα ανοιχτά συστήματα, όπου δεν πραγματοποιείται επαναχρησιμοποίηση του θρεπτικού διαλύματος, το διάλυμα ρέει μέσω του συστήματος μία φορά και στη συνέχεια απορρίπτεται (Abd-Elmoniem et al., 2006; Nederhoff & Stanghellini, 2010). Αυτός ο τρόπος διαχείρισης του θρεπτικού διαλύματος περιορίζει την ανάγκη για συντήρηση του θρεπτικού διαλύματος και μειώνει τον κίνδυνο μετάδοσης ασθενειών στην καλλιέργεια μέσω του συστήματος άρδευσης (Jones, 2005; Paradiso et al., 2014). Ωστόσο, ένα από τα βασικά μειονεκτήματα αυτών των συστημάτων είναι η απόρριψη μεγάλων ποσοτήτων νερού και θρεπτικών ουσιών στο περιβάλλον (Nederhoff & Stanghellini, 2010).

1.1.2 Κλειστά συστήματα

Στα κλειστά συστήματα, το θρεπτικό διάλυμα επαναχρησιμοποιείται για ένα μη καθορισμένο χρονικό διάστημα (Lykas et al., 2006), προσθέτοντας περισσότερο νερό και θρεπτικά συστατικά αντί να αντικαθίσταται ολόκληρο το θρεπτικό διάλυμα τροφοδοσίας (Nederhoff & Stanghellini, 2010). Σε αυτό το σύστημα, το θρεπτικό διάλυμα παρακολουθείται και ρυθμίζεται τακτικά για τη διατήρηση των κατάλληλων αναλογιών των θρεπτικών συστατικών. Σκοπός είναι η διατήρηση του όγκου του θρεπτικού διαλύματος,

μέσω της προσθήκης ύδατος, καθώς και της προσθήκης των απαραίτητων θρεπτικών συστατικών, έτσι ώστε να διατηρηθούν τα επιθυμητά επίπεδα συγκέντρωσης των θρεπτικών στο διάλυμα. Σε αντίθεση με τα ανοιχτά συστήματα, το νερό και τα θρεπτικά συστατικά διατηρούνται, γεγονός που οδηγεί σε σημαντική μείωση των αποβλήτων (Abd-Elmoniem et al., 2006).

Το νερό και τα θρεπτικά συστατικά που χρησιμοποιούνται στα κλειστά συστήματα είναι περίπου 20% - 40% λιγότερα σε σχέση με τα ανοιχτά, αλλά απαιτείται περισσότερη παρακολούθηση και συντήρηση (Nederhoff & Stanghellini 2010). Ωστόσο, τα ιόντα νατρίου και χλωρίου συσσωρεύονται στις ρίζες των φυτών καθώς απορροφώνται σε μικρές συγκεντρώσεις από τα αυτά. Γι' αυτό το λόγο, η μερική απομάκρυνση του απορρέοντος διαλύματος είναι απαραίτητη για τον έλεγχο των επιπέδων της αλατότητας στο ριζικό σύστημα των φυτών και την πρόληψη της μετάδοσης ασθενειών μέσω της ανακύκλωσης του θρεπτικού διαλύματος (Lykas et al., 2006), καθιστώντας με αυτόν τον τρόπο πιο δύσκολη την διαχείριση των κλειστών συστημάτων (Carmassi et al., 2005; Savvas et al., 2007). Για να ελαχιστοποιηθεί το ποσοστό απόρριψης του απορρέοντος διαλύματος, μειώνοντας έτσι τη μόλυνση των υπόγειων υδάτων, μπορούν να χρησιμοποιηθούν έξυπνα συστήματα αυτοματισμού βασισμένα σε μοντέλα ισοζυγίου μάζας (Carmassi et al., 2005; Savvas et al., 2007). Επίσης, η ανακύκλωση απαιτεί μια υποδομή δεξαμενών και συστημάτων άντλησης που είναι απαραίτητο να παρακολουθούνται και να συντηρούνται προκειμένου να επιτυγχάνεται η βέλτιστη δυνατή απόδοση (Christie, 2014).

Η συχνότητα της άρδευσης είναι ένας από τους παράγοντες που μπορεί να συμβάλει στον καλύτερο έλεγχο της συσσώρευσης της αλατότητας στα κλειστά υδροπονικά συστήματα, δεδομένου ότι η αύξηση συχνότητας μειώνει την πιθανότητα συσσώρευσης αλάτων στο ριζικό σύστημα των φυτών (Savvas et al., 2007). Παρόλα αυτά, η συχνότητα της άρδευσης στα κλειστά συστήματα εξαρτάται από τους διαφορετικούς τύπους συστημάτων καλλιέργειας (NFT, αεροπονία, καλλιέργεια με υποστρώματα), καθώς και από τους διάφορους τύπους υποστρωμάτων που χρησιμοποιούνται (περλίτης, πετροβάμβακας, τύρφη) (Grewal et al., 2011; Nikolaou et al., 2017).

1.1.3 NFT

Η μέθοδος της λεπτής θρεπτικής στοιβάδας (NFT) αποτελεί μια ευρέως χρησιμοποιούμενη υδροπονική τεχνική (Jones., 2005; Rhesh, 2013). Αυτή η τεχνική εφαρμόστηκε για πρώτη φορά από τον Allen Cooper και τους συναδέλφους του το 1966, ενώ συνέχισε να αναπτύσσεται αφού λίγο αργότερα, θεωρήθηκε η τεχνική του μέλλοντος (Jones, 2005; Christie, 2014).

Το σύστημα NFT αποτελείται από ένα ελαφρώς κεκλιμένο κανάλι που επιτρέπει μια συνεχή ροή του θρεπτικού διαλύματος προς τις ρίζες των φυτών που αναπτύσσονται εντός του καναλιού (Jones, 2005; Resh, 2013). Ιδανικά, η ροή του διαλύματος θα πρέπει να είναι ρηχή χωρίς να υπερβαίνει τα 5-6 cm σε βάθος (Jones, 2005; Resh, 2013). Η στάθμη του νερού στο κανάλι ανάπτυξης εξαρτάται από την κλίση και την ισχύ της αντλίας νερού (Helmy et al., 2016). Γενικά, τα NFT συστήματα αποτελούνται από κανάλια τοποθετημένα πάνω σε στηρίγματα και παρέχεται σε αυτά θρεπτικό διάλυμα μέσω μιας δεξαμενής (Graves, 1983). Τα κανάλια κατασκευάζονται από διάφορα είδη πλαστικών τα οποία είναι αδιαφανή και προστατεύονται από την υπεριώδη ακτινοβολία (Graves, 1983; Christie, 2014). Τα στηρίγματα είναι απαραίτητα για τη δημιουργία μιας μικρής κλίσης στο κανάλι. Αυτή η κλίση εξαρτάται από το συνολικό μήκος του καναλιού και ποικίλλει ανάλογα με την καλλιέργεια. Συνήθως, η επιθυμητή κλίση είναι αυτή που οδηγεί σε ρυθμό ροής του θρεπτικού διαλύματος μεταξύ 1 έως 2 λίτρων ανά λεπτό (Graves, 1983; Jones, 2005).

Η καλλιέργεια σε λεπτό στρώμα θρεπτικού διαλύματος είναι μια από τις μεθόδους της υδροπονίας όπου εφαρμόζεται άρδευση με επαναχρησιμοποίηση του νερού και των θρεπτικών συστατικών, ως μέσο ανάπτυξης των φυτών. Το θρεπτικό διάλυμα μπορεί εύκολα να ανακτηθεί στο τέλος του καναλιού, να επιστρέψει πίσω στη δεξαμενή και να εφαρμοστεί εκ νέου στις ρίζες των φυτών. Σύμφωνα με μια προσέγγιση του κλειστού συστήματος, το θρεπτικό διάλυμα απαιτεί τακτική παρακολούθηση προκειμένου να διατηρηθεί η θρεπτική του σύνθεση (Graves, 1983; Lykas et al., 2006; Nederhoff & Stanghellini, 2010). Επιπλέον, αυτή η τεχνική επιτρέπει την εξάλειψη της επίδρασης του υποστρώματος στην ανάπτυξη των φυτών και επιπλέον εξασφαλίζει την ενυδάτωση και οξυγόνωση των ριζών, με αποτέλεσμα να αποφευχθεί η δημιουργία ανοξικών συνθηκών (Monje et al., 2001; Paradiso et al., 2013). Τα φυτά παρουσιάζουν καλή ανάπτυξη στο σύστημα NFT καθώς οι ρίζες απορροφούν συνεχώς διάλυμα πλούσιο σε θρεπτικές ουσίες (Helmy et al., 2016). Μια σημαντική παράμετρος που επηρεάζει την ανάπτυξη των φυτών σε αυτό το σύστημα είναι η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) και το pH του διαλύματος άρδευσης, τα οποία πρέπει να διατηρούνται σε προκαθορισμένο εύρος που εξαρτάται από τις ανάγκες της εκάστοτε καλλιέργειας (Yolanda et al., 2017). Ένα από τα πλεονεκτήματα αυτού του συστήματος, είναι ότι τα κανάλια δεν παρέχουν αρκετή επιφάνεια για ανάπτυξη βακτηριδίων. (Nelson, 2008).

Διάφορες υδροπονικές τεχνικές χρησιμοποιούνται για την παραγωγή των φυτών, συμπεριλαμβανομένων των ολλανδικών κουτιών (Dutch buckets), της καλλιέργειας σε υπόστρωμα, καθώς και της καλλιέργειας σε NFT και DFT υποστρώματα (Walters & Currey, 2015). Δύο από τους πιο διαδεδομένους τύπους υδροπονικών συστημάτων που χρησιμοποιούνται για φυλλώδεις καλλιέργειες όπως ο βασιλικός είναι η τεχνική NFT με

υψηλή συχνότητα επανακυκλοφορίας του θρεπτικού διαλύματος και η τεχνική της βαθιάς ροής DFT με μικρότερη συχνότητα επανακυκλοφορίας (Graves, 1983; Lykas et al., 2006; Nederhoff & Stanghellini, 2010).

1.2 Θάλαμος ελεγχόμενων συνθηκών

Ορισμένοι ερευνητές της αστικής γεωργίας, υποστηρίζουν ότι η παραγωγή τροφίμων είναι απαραίτητο να πραγματοποιείται πρωτίστως σε ελεγχόμενο περιβάλλον για τον περιορισμό της έκθεσης σε μολυσματικούς παράγοντες, την αύξηση της παραγωγής των καλλιεργειών και τη μεγαλύτερη ασφάλεια των τροφίμων. Ο σκοπός της χρήσης του κλειστού θαλάμου ανάπτυξης υπό ελεγχόμενες συνθήκες, είναι η αύξηση του ρυθμού ανάπτυξης των φυτών με τις ελάχιστες εισροές ενέργειας, φωτός, νερού, CO₂ και ανόργανων λιπασμάτων. Πρέπει να σημειωθεί ότι αυτός ο τύπος θαλάμου δεν χρησιμοποιείται για την παραγωγή φυτών μεγάλης καλλιέργειας, όπως το ρύζι, το σιτάρι, ο αραβόσιτος και οι πατάτες (Kozai, 2013).

Ένα ελεγχόμενο περιβάλλον με τεχνητό φωτισμό όπως οι θάλαμοι ανάπτυξης, είναι ιδανικό για την καλλιέργεια φυτών υπό τεχνητά ελεγχόμενες συνθήκες. Οι θάλαμοι ανάπτυξης είναι αεροστεγείς εγκαταστάσεις όπου η ανάπτυξη των φυτών λαμβάνει χώρα σε ένα πλήρως ελεγχόμενο περιβάλλον με τη χρήση τεχνητού φωτός (Controlled Environments with Artificial Lighting, CEAL) (Zhang et al., 2018; Ahmed et al., 2020). Οι εγκαταστάσεις αυτές χρησιμοποιούνται ολοένα και περισσότερο για την παραγωγή φυλλωδών λαχανικών και φρούτων και την παραγωγή μοσχευμάτων υψηλής ποιότητας (Kozai, 2013; Ahmed et al., 2020). Τα δυνητικά οφέλη της φυτικής παραγωγής σε ένα ελεγχόμενο περιβάλλον είναι η ομοιόμορφη ανάπτυξη, η υψηλή αξία της καλλιέργειας ανά μονάδα παραγωγής, καθώς και το σύντομο χρονικό διάστημα που απαιτείται για την ολοκλήρωση της (Dreesen and Langhans, 1992; Ahmed et al., 2020). Τα φυτά που παράγονται σε ένα θάλαμο ανάπτυξης ελεγχόμενων συνθηκών θα πρέπει να έχουν χαμηλό ύψος το οποίο θα πρέπει να είναι περίπου 30 cm, με ταχύ ρυθμό ανάπτυξης που κυμαίνεται από 10 έως 30 ημέρες (Liu et al., 2017). Ο θάλαμος προσφέρει διάφορα πλεονεκτήματα για την παραγωγή φρέσκων λαχανικών σε σύγκριση με τα λαχανικά που παράγονται στο θερμοκήπιο ή σε ανοιχτό περιβάλλον. Αρχικά, το περιβάλλον ανάπτυξης των φυτών μπορεί να ελεγχθεί με ακρίβεια. Έτσι, είναι δυνατόν να βελτιωθεί ο ρυθμός ανάπτυξης των φυτών με άμεση συνέπεια την παραγωγή φυτών υψηλής ποιότητας. Επίσης, η χαμηλή ροή ανταλλαγής αέρα μεταξύ του εξωτερικού και του εσωτερικού περιβάλλοντος μπορεί να αποτρέψει την εισβολή παθογόνων μικροοργανισμών και παρασίτων με αποτέλεσμα τα παραγόμενα φυτά να είναι απαλλαγμένα από προσβολές. Τέλος, η συγκέντρωση του CO₂ μπορεί να διατηρηθεί σε επίπεδα υψηλότερα σε σχέση με αυτά της ατμόσφαιρας. Έτσι, προάγεται ο ρυθμός ανάπτυξης και η παραγωγικότητα (Zhang

et al., 2018). Επιπλέον, ο βέλτιστος έλεγχος του μικροκλίματος ενός θαλάμου είναι πολύ σημαντικός για την επίτευξη της υψηλότερης εκμετάλλευσης των πόρων που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή, ιδιαίτερα την απόδοση της χρήσης του φωτός.

Οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν την ανάπτυξη των φυτών σε ένα θάλαμο ελεγχόμενων συνθηκών είναι το φως, η ταχύτητα του αέρα, η θερμοκρασία, η σχετική υγρασία του αέρα και η συγκέντρωση του CO₂ (Tian et al., 2014; Ahmed et al., 2020). Το φως είναι ένας κρίσιμος περιβαλλοντικός παράγοντας για την ανάπτυξη των φυτών και θεωρείται η κύρια πηγή ενέργειας που απαιτείται για τη λειτουργία της φωτοσύνθεσης και πολλών άλλων φυσιολογικών διεργασιών (Bian et al., 2015). Τα φυτά απαιτούν φωτισμό για τη φωτοσύνθεση, καθώς έτσι ρυθμίζεται η παραγωγή, επηρεάζεται η ανάπτυξη τους και η σύνθεση των χημικών ενώσεων (Li and Kubota, 2009).

Ο βέλτιστος έλεγχος των περιβαλλοντικών συνθηκών σε έναν θάλαμο εξαρτάται εν μέρει από τον έλεγχο της ταχύτητας του αέρα (Kitaya et al., 2000; Ahmed et al., 2020). Η ταχύτητα του αέρα είναι ο πρωταρχικός περιβαλλοντικός παράγοντας για την ανάπτυξη των φυτών και αποτελεί μία από τις κύριες τεχνικές ακριβείας των CEAL (Okayama et al., 2008). Η βέλτιστη ταχύτητα αέρα, παρέχει επίσης ένα μηχανισμό για την ανταλλαγή θερμότητας μεταξύ των φύλλων των φυτών και του περιβάλλοντα αέρα. Επιπλέον, επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό το διοξείδιο του άνθρακα και τη μετακίνηση του νερού μέσω των στομάτων. Η διάχυση του αερίου λαμβάνει χώρα μέσω ενός λεπτού στρώματος αέρα που κινείται πολύ κοντά στην επιφάνεια του φύλλου, η οποία ορίζεται ως το όριο της επιφάνειας του φύλλου (Shibata et al., 1994; Ahmed et al., 2020).

Η θερμοκρασία, η σχετική υγρασία του αέρα και οι συγκεντρώσεις του CO₂ είναι επίσης σημαντικοί παράγοντες για την ανάπτυξη των φυτών σε ένα θάλαμο ελεγχόμενων συνθηκών. Η βέλτιστη θερμοκρασία είναι απαραίτητη για την ρύθμιση της καθαρής πρόσληψης CO₂ (Leach, 1979). Η σχετική υγρασία του αέρα επηρεάζει τα μορφολογικά χαρακτηριστικά των φυτών, όπως το μήκος των βλαστών και τον αριθμό των φύλλων (Ahmed et al., 2020), ενώ επηρεάζει έμμεσα και την στοματική αγωγιμότητα (Kaiser et al., 2014). Το CO₂ παρέχει την πρώτη ύλη για τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης, βελτιώνοντας έτσι την ανάπτυξη και την παραγωγικότητα των φυτών (Park et al., 2012).

1.2.1 Λάμπες υψηλής πίεσης νατρίου (HPS)

Διάφορα συστήματα παραγωγής φυτών που χρησιμοποιούν πηγές τεχνητού φωτισμού, όπως για παράδειγμα τα εργοστάσια φυτών, οι εσωτερικοί κήποι, καθώς και οι θάλαμοι ανάπτυξης, χρησιμοποιούν λαμπτήρες φθορισμού (FL), λαμπτήρες εκκένωσης υψηλής έντασης (HID), λαμπτήρες συμπεριλαμβανομένων των λαμπτήρων υψηλής πίεσης νατρίου

(HPS), αλογονιδίων μετάλλων (MH) και των διόδων εκπομπής φωτός (LED). Η επιλογή των τεχνητών λαμπτήρων για την παραγωγή φυτών βασίζεται στις διαφορετικές ανάγκες σε φωτισμό μιας καλλιέργειας αλλά και στο μέγεθος του διαθέσιμου χώρου που παρέχεται για την ανάπτυξη των φυτών, καθώς οι πηγές φωτός ποικίλλουν βάσει της απόδοσης ακτινοβολίας, της απελευθέρωσης θερμότητας, της έντασης και του φάσματος του φωτός. (Park et al., 2016).

Οι λαμπτήρες υψηλής πίεσης νατρίου (HPS) αποτελούν τις συνηθέστερα χρησιμοποιούμενες πηγές φωτός. Οι λαμπτήρες HPS εκπέμπουν κυρίως φως που κυμαίνεται σε επίπεδο φάσματος από 565 έως 700 nm. Από 565 έως 590 nm το χρώμα του φωτός είναι κίτρινο, από 590 έως 625 nm πορτοκαλί και από 625 έως 700 nm κόκκινο, ενώ παρουσιάζουν τη μέγιστη τιμή φωτεινότητας στα 589 nm. Οι λαμπτήρες HPS είναι περίπου 25% έως 30% αποτελεσματικοί, με διάρκεια ζωής 10.000 ή περισσότερες ώρες φωτισμού. Έως το 75% της ενέργειας που δεν μετατρέπεται σε φως εκπέμπεται ως ενέργεια ακτινοβολούμενης θερμότητας προκαλώντας αύξηση θερμοκρασίας έως και 450 °C στην επιφάνεια των λαμπτήρων HPS (Randall and Lopez, 2014). Η φασματική κατανομή ενέργειας της πηγής φωτός είναι σημαντική για τη φωτοσύνθεση και τη φωτομορφογένεση. Η φωτοσύνθεση επηρεάζεται από τη φωτοσυνθετική πυκνότητα φωτονίων ή τη φωτοσυνθετικά ενεργή ακτινοβολία με μήκος κύματος από 400-700 nm. Από την άλλη πλευρά, η φωτομορφογένεση επηρεάζεται από το φάσμα του φωτός που κυμαίνεται περίπου στα 300-800 nm. Η τοποθέτηση των λαμπτήρων στο θάλαμο ανάπτυξης είναι μεγάλης σημασίας, λόγω της υψηλής εκπομπής θερμότητας των HPS λαμπτήρων (Kumar et al., 2016).

Το φως είναι ένας σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των φυτών. Ιδιαίτερα το χειμώνα, λόγω των χαμηλών θερμοκρασιών, η χρήση του τεχνητού φωτός είναι απαραίτητη για την ετήσια παραγωγή φυτών (Dou et al., 2018). Τα αρωματικά φυτά, όπως ο βασιλικός, έχουν υψηλή εμπορική αξία όλο το χρόνο κυρίως σε περιοχές της κεντρικής Ευρώπης. Για την εξασφάλιση της καλής ποιότητας των φυτών κατά τη περίοδο του χειμώνα, απαιτείται τεχνητό φως για την αποφυγή χαμηλών αποδόσεων λόγω των δυσμενών περιβαλλοντικών συνθηκών. (Dörr et al., 2019). Η ποιότητα του φωτός επηρεάζει την ανάπτυξη των φυτών, συμπεριλαμβανομένης της βλάστησης, της επιμήκυνσης του στελέχους, της ανθοφορίας, της βιοσύνθεσης χρωστικών ουσιών στα άνθη και τα φύλλα και της βιοσύνθεσης των δευτερογενών μεταβολιτών (Park et al., 2016). Η περιεκτικότητα των φαινολικών ενώσεων και η παραγωγή νωπού βάρους φυτών βασιλικού που αναπτύχθηκαν σε ελεγχόμενο περιβάλλον συσχετίστηκαν θετικά με την αύξηση της ημερήσιας έντασης του φωτός από 9,3 έως 17,8 mol m⁻² την ημέρα (Dou et al., 2018). Σύμφωνα με τους Nitz et al.

(2004), οι υψηλότερες εντάσεις φωτός που επιτυγχάνονται μέσω του συμπληρωματικού φωτισμού από λαμπτήρες HPS αυξάνουν την παραγωγή αιθέριου ελαίου στο βασιλικό.

1.3 Βασιλικός

Ο βασιλικός (*Ocimum basilicum* L.) είναι ένα δημοφιλές φυτό το οποίο ανήκει στην οικογένεια Lamiaceae με περισσότερα από 30 αναγνωρισμένα είδη (Simon et al., 1999; Walters et al., 2015). Τα είδη και οι ποικιλίες του βασιλικού ποικίλουν σε μεγάλο βαθμό ως προς τα διαφορετικά χαρακτηριστικά τους όπως η γεύση, η εμφάνιση των φυτών και η μορφολογία τους. Υπάρχουν αρκετές χρήσεις του βασιλικού, συμπεριλαμβανομένης της παραγωγής αιθέριου ελαίου (Wogiatzi et al., 2011), της χρήσης του φυτού ως διακοσμητικό (Morales and Simon, 1996), αποξηραμένο φυτό (Walters et al., 2015) αλλά και ως μαγειρικό βότανο (Simon et al., 1999). Ο γλυκός βασιλικός είναι το πιο συχνά καλλιεργούμενο είδος για μαγειρική χρήση (Morales and Simon, 1997; Walters et al., 2015). Πέραν από τις ποικίλες χρήσεις του, είναι ένα αρωματικό φυτό με μεγάλη οικονομική σημασία παγκοσμίως (Luz et al., 2014). Τα φαρμακευτικά και αρωματικά φυτά είναι οικονομικά σημαντικά λόγω της συνεχούς και αυξανόμενης ζήτησης των παράγωγων τους από τις τοπικές και ξένες αγορές. Το αιθέριο έλαιο του βασιλικού χρησιμοποιείται ευρέως στις βιομηχανίες τροφίμων, αρωματοποιίας και ιατρικής. Θεωρείται επίσης πηγή αρωματικών ενώσεων και διαθέτει ποικίλες βιολογικές δραστηριότητες καθώς και αντιοξειδωτικές ιδιότητες (Lee et al., 2005).

Ο βασιλικός μπορεί να καλλιεργηθεί υπαίθρια ή σε ελεγχόμενο περιβάλλον. Αν και η ζήτηση του ως νωπό προϊόν έχει αυξηθεί (Wolf et al., 2005), η ετήσια παραγωγή σε ψυχρότερα κλίματα είναι δυνατή μόνο σε ελεγχόμενα περιβάλλοντα. Πολλές έρευνες έχουν διεξαχθεί για την παραγωγή βασιλικού στον αγρό (Sifola and Barbieri, 2006). Επιπλέον, τα τελευταία χρόνια έχει παρατηρηθεί αύξηση της υδροπονικής καλλιέργειας βασιλικού. Ωστόσο, η ανάπτυξη των φυτών σε υδροπονικά συστήματα χρήζει μεγαλύτερης έρευνας.

1.3.1 Αλατότητα

Η αλατότητα είναι ένας από τους κύριους παράγοντες καταπόνησης των φυτών καθώς περιορίζει την ανάπτυξη και την παραγωγικότητα των καλλιεργειών (Munns, 2002; Afzal et al., 2006). Επίσης, σχετίζεται με την αύξηση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος λόγω της απόρριψης του απορρέοντος θρεπτικού διαλύματος μιας υδροπονικής καλλιέργειας εξαιτίας της συσσώρευσης αλάτων στη ρίζα των φυτών και στην αδυναμία διαχείρισης του (Ahuja et al., 2010; Garrido et al., 2013). Η αλατότητα θεωρείται η σοβαρότερη απειλή για τη γεωργία (Parida & Das, 2005; Munns & Tester, 2008), δεδομένου ότι το νερό με υψηλή περιεκτικότητα σε ιόντα νατρίου και χλωρίου μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της παραγωγής

των καλλιεργειών και θεωρείται ως ένας από τους σημαντικότερους περιοριστικούς παράγοντες για την ανάπτυξη των φυτών (Kim et al., 2016). Περίπου το ένα τρίτο των αρδευόμενων εκτάσεων παγκοσμίως επηρεάζεται δυσμενώς από την αλατότητα (Maskri et al., 2010).

Οι ευνοϊκές συνθήκες ανάπτυξης σε ορισμένες περιοχές αντιτίθενται έντονα με την έλλειψη καλής ποιότητας νερού, η οποία υποχρεώνει τους καλλιεργητές να χρησιμοποιούν νερό με μέτριες ή υψηλές συγκεντρώσεις αλατότητας (Rubio et al., 2010, Garrido et al., 2013). Η παραγωγή κηπευτικών συγκεντρώνεται σε μερικές ζεστές και ξηρές περιοχές. Περίπου το 34% της παγκόσμιας παραγωγής προέρχεται από χώρες γύρω από τη Μεσόγειο θάλασσα και περίπου το 14% από την Καλιφόρνια και το Μεξικό (FAO, 2002). Σε αυτές τις περιοχές επιτυγχάνονται οι υψηλότερες αποδόσεις, παρά την αλατότητα που αποτελεί σοβαρό περιορισμό για τη διατήρηση της υψηλής παραγωγικότητας των καλλιεργειών που βρίσκονται σήμερα υπό άρδευση (Reina-Sanchez, 2005).

1.3.2 Επίδραση της αλατότητας

Η αλατότητα και πιο συγκεκριμένα το χλωριούχο νάτριο (NaCl) μπορεί να προκαλέσει μείωση στην ανάπτυξη και αύξηση των φυτών, τοξικότητα καθώς και θρεπτικές ανισορροπίες (Hu and Schmidhalter 2005; Jenks et al., 2007). Ένα από αυτά τα αποτελέσματα οφείλεται στην αλληλεπίδραση του χλωριούχου νατρίου με το κάλιο (Zorb et al., 2005; Pitann et al., 2009b). Οι επιδράσεις της αλατότητας στα φυτά μπορεί να είναι βραχυπρόθεσμες ή μακροπρόθεσμες. Στα αρχικά στάδια της καταπόνησης των φυτών λόγω αλατότητας, τα φυτά συσσωρεύουν NaCl μέσω του στελέχους και των ριζών τους. Σε αυτό το στάδιο, η μειωμένη ανάπτυξη των φυτών προκαλείται πρωταρχικά από το ωσμωτικό στρες (Zorb et al., 2005; Pitann et al., 2009b) η οποία μειώνει την διαίρεση των κυττάρων (Munns 2002, 2006). Οι μακροπρόθεσμες επιπτώσεις συμπεριλαμβανομένης της υπερβολικής συγκέντρωσης ιόντων νατρίου και χλωρίου στα φύλλα υπερβαίνει την ικανότητα του διαχωρισμού του αλατιού στα κενοτόπια και οδηγεί στην συσσώρευση αλάτων σε τοξικά επίπεδα στο κυτταρόπλασμα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την καταπόνηση των φυτών, οδηγώντας σε πρόωρο τραυματισμό και γήρανση των φύλλων (Munns 2002, 2006).

Οι υψηλές συγκεντρώσεις αλάτων στο ριζικό σύστημα, πέραν από τις μεταβολές που προκαλούν στις φυσιολογικές αποκρίσεις των φυτών όπως η ωσμωτική ανισορροπία, προκαλούν επίσης την αποδιοργάνωση των μεμβρανών, την αναστολή της διαίρεσης και την κυτταρική επέκταση. Ο συνδυασμός των μεταβολών αυτών που έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της ανάπτυξης των φυτών, εκδηλώνεται με αναστολή της αύξησης στο ύψος των φυτών και τη διάμετρο των στελεχών (Santos et al., 2019).

Υπάρχουν αρκετές αναφορές για τα φωτοσυνθετικά χαρακτηριστικά ύστερα από την καταπόνηση των φυτών με υψηλά επίπεδα αλατότητας (Koyro 2006; Wei et al., 2006). Γενικά, η αλατότητα παρεμποδίζει τη λειτουργία της φωτοσύνθεσης (Koyro 2006; Munns et al., 2006; Tarchoune et al., 2012). Αυτό συμβαίνει μέσω στοματικών και μη στοματικών παραγόντων. Η αλατότητα θα μπορούσε να αλλάξει σοβαρά την αφομοίωση φωτοσυνθετικού CO₂, την περιεκτικότητα χλωροφύλλης των φύλλων, καθώς και τη φωτοσυνθετική αποτελεσματικότητα του PSII. Οι υδατάνθρακες συσσωρεύονται σε φυτικούς ιστούς υπό το αλατούχο στρες επειδή συμβάλλουν στην ωσμωτική προσαρμογή. (Tarchoune et al., 2012).

Επιπλέον, η καταπόνηση λόγω αλατότητας θεωρείται ότι μειώνει τη δραστηριότητα της αντλίας της πλασματικής μεμβράνης H⁺-ATPάσης καθώς τα κατιόντα υδρογόνου διεγείρονται με κάλιο (Zorb et al., 2005). Λόγω αυτής της επίδρασης, οι συνθήκες του pH μπορεί να αλλάξουν στον αποπλάστη με αποτέλεσμα την αναστολή στην ανάπτυξη των φυτών (Pitann et al., 2009). Ο βαθμός στον οποίο ένας μηχανισμός επηρεάζει το φυτό εξαρτάται από πολλούς παράγοντες συμπεριλαμβανομένων των ειδών, του γονότυπου, της ηλικίας, της ιοντικής ισχύος και της σύνθεσης του διαλύματος με την παρουσία αλάτων (Jenks et al., 2007).

1.3.3 Επίδρασεις της αλατότητας στον βασιλικό

Η αλατότητα είναι ένας από τους κύριους παράγοντες που επηρεάζουν την παραγωγή του βασιλικού, καθώς η καταπόνηση αλατότητας προκαλεί μορφολογικές μεταβολές, θρεπτική ανισορροπία, μείωση της στοματικής αγωγιμότητας και της διαπνοής και της φωτοσύνθεσης με αποτέλεσμα τη μείωση της ανάπτυξης και αποδοτικότητας των φυτών αυτών (Maia et al., 2017). Στις περισσότερες περιπτώσεις, τα προβλήματα αλατότητας συνδέονται με περίσσεια NaCl στο νερό άρδευσης, αλλά και αλάτων της μορφής Na₂SO₄ (Tarchoune et al., 2012).

Σύμφωνα με τους Attia et al. (2009), η επιλογή του K⁺ έναντι του Na⁺ του φορτίου ξυλολίου και η ικανότητα ανακατεύθυνσης ενός μέρους των ιόντων Na⁺ από τους βλαστούς στις ρίζες, επιτρέπουν στον βασιλικό να δέχεται ήπιο αλατόνερο. Ωστόσο, η αποτελεσματικότητα αυτών των μηχανισμών για τον έλεγχο της συσσώρευσης των αλάτων στους βλαστούς είναι περιορισμένη και σημαντικές ποσότητες Na⁺ θα μπορούσαν να παρατηρηθούν σε φύλλα φυτών που αναπτύχθηκαν σε 25 ή 50 mM NaCl.

Στη βιβλιογραφία υπάρχουν λίγες μελέτες σχετικά με την αντίδραση του βασιλικού στην αλατότητα βάσει των οποίων τα φυτά του βασιλικού υφίστανται μείωση σε όλες τις εκτιμώμενες μεταβλητές ανάπτυξης όταν εκτίθενται σε καταπόνηση με υψηλές συγκεντρώσεις αλατότητας. Από την άλλη μεριά, οι Delavari et al. (2014) αναφέρουν ότι ο βασιλικός αποδείχθηκε να είναι ανθεκτικός σε συγκεντρώσεις έως και 100 mmol NaCl (10 dS

m⁻¹) επισημαίνοντας ότι αυτό το επίπεδο αλατότητας μπορεί να διατηρηθεί η ωσμωτική ρύθμιση με συσσώρευση Na⁺ και να βελτιωθούν τα επίπεδα των ενζυμικών αντιοξειδωτικών συστημάτων. Ωστόσο, η αξιολόγηση αυτή αφορά την επίδραση της αλατότητας μόνο κατά το στάδιο ανάπτυξης των σπορόφυτων.

Οι αναφορές σχετικά με τις μεταβολές στην φυσιολογία του βασιλικού υπό την επίδραση της αλατότητας δεν είναι πολλές (Tarchoune et al., 2012). Σύμφωνα με τους Bione et al. (2014) και Maia et al. (2017), δεν υπάρχουν συγκεκριμένες πληροφορίες σχετικά με την ανάπτυξη υδροπονικού βασιλικού σε διαφορετικά καθεστώτα αλατότητας. Έτσι, είναι απαραίτητη η διεξαγωγή έρευνας που αφορά την υδροπονική καλλιέργεια του βασιλικού σε αντίξοες συνθήκες, όπως η αλατότητα. Η επιλογή του κατάλληλου τύπου υδροπονικών καλλιεργειών είναι απαραίτητη για τη μείωση του κόστους παραγωγής, έτσι ώστε να δοθεί στους καλλιεργητές το πλεονέκτημα να έχουν την επιθυμητή παραγωγή ακόμα και σε περιοχές με χαμηλή διαθεσιμότητα γλυκού νερού.

1.4 Σκοπός εργασίας

Σκοπός της παρούσας διατριβής είναι η μελέτη της επίδρασης της αλατότητας στα μορφολογικά και φυσιολογικά χαρακτηριστικά του βασιλικού σε ένα υδροπονικό σύστημα NFT. Τα αποτελέσματα αυτής της έρευνας θα μπορούσαν να αποδειχθούν χρήσιμα και να συμβάλλουν στην ανάπτυξη νέων στρατηγικών για την αξιοποίηση και τη σωστή εκμετάλλευση των υδάτινων πόρων με υψηλές συγκεντρώσεις αλατότητας.

2 Υλικά και μέθοδοι

2.1 Εγκαταστάσεις και καλλιέργεια

Η διεξαγωγή της έρευνας έγινε σε κλειστό θάλαμο ελεγχόμενων συνθηκών στο Βελεστίνο, όπου βρίσκονται οι αγροτικές εγκαταστάσεις του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας του Εργαστηρίου Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος (39° 23'38.0 "N, 22° 45'29.2 "E). Το πείραμα διήρκησε συνολικά 38 ημέρες, από 16 Οκτωβρίου έως 22 Νοεμβρίου 2018. Για τη διεξαγωγή του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν συνολικά 96 φυτά βασιλικού τα οποία αναπτύχθηκαν αρχικά σε φυτώριο. Στις 17 Οκτωβρίου έγινε η μεταφύτευση των φυτών στο θάλαμο και η εγκατάστασή τους σε κλειστό υδροπονικό σύστημα NFT (Nutrient film technique). Για το λόγο αυτό, χρησιμοποιήθηκαν 12 κανάλια πάνω στα οποία τοποθετήθηκε η καλλιέργεια. Πάνω σε κάθε κανάλι τοποθετήθηκαν 8 φυτά, ενώ στο τέλος κάθε καναλιού υπήρχε μια δεξαμενή συνολικής χωρητικότητας 25L. Για την πραγματοποίηση της άρδευσης των φυτών, χρησιμοποιήθηκαν αντλίες απορρόφησης νερού. Πριν τη μεταφύτευση των μητρικών φυτών στην τελική τους θέση πραγματοποιήθηκε καθαρισμός των δεξαμενών. Στη συνέχεια, ακολούθησε η προσθήκη του διαλύματος άρδευσης μέχρι τη συμπλήρωση 20L και ρύθμιση του pH του στο 5.5 σε κάθε δεξαμενή ξεχωριστά, με τη χρήση νιτρικού οξέος. Έπειτα, έγινε η απολύμανση του θαλάμου με ψεκαστικό διάλυμα, για την αποφυγή ανεπιθύμητων προσβολών.

2.1.1 Μεταχειρίσεις

Για τη μελέτη της επίδρασης της αλατότητας στην καλλιέργεια του βασιλικού έλαβαν χώρα τέσσερις διαφορετικές μεταχειρίσεις. Τα φυτά της πρώτης μεταχείρισης (2T) που αποτελεί και τον μάρτυρα του πειράματος αρδεύονταν με θρεπτικό διάλυμα τροφοδοσίας με ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) 2 dS m⁻¹. Η EC των υπόλοιπων μεταχειρίσεων ήταν 4 dS m⁻¹ (4T), 6 dS m⁻¹ (6T) και 8 dS m⁻¹ (8T). Όπως αναφέρεται παραπάνω, χρησιμοποιήθηκαν 12 κανάλια NFT, 3 για κάθε μεταχείριση. Επιπλέον, κάθε μεταχείριση αποτελούνταν από 3 επαναλήψεις. Συνεπώς, κάθε μεταχείριση περιλάμβανε συνολικά 24 φυτά (8 φυτά ανά επανάληψη).

2.1.2 Θάλαμος

Ο θάλαμος ανάπτυξης (Εικόνα 1) ήταν 28 m² (πλάτος 4 m, μήκος 7 m, ύψος 3.2 m). Συνολικά αποτελούνταν από 24 λάμπες υψηλής πίεσης νατρίου (MASTER Green Power 600w EL 400V Mogul ISL, Phillips) για την παροχή της φωτοσυνθετικά ενεργούς ακτινοβολίας (PAR), απαραίτητης για την ανάπτυξη των φυτών. Κάθε λάμπα είχε ένταση

600W. Όταν όλες οι λάμπες ήταν ενεργές η συνολική τους ένταση έφτανε τα 230 W m^{-2} . Για την προσομοίωση μιας ημέρας, οι λάμπες ενεργοποιούνταν και απενεργοποιούνταν σταδιακά. Η ρύθμιση τους ήταν τέτοια έτσι ώστε να λειτουργούν 15 ώρες στη διάρκεια μιας ημέρας, όσο δηλαδή διαρκεί περίπου η ηλιοφάνεια υπό κανονικές συνθήκες σε ένα εικοσιτετράωρο.



Εικόνα 1. Εξωτερική (αριστερά) και εσωτερική (δεξιά) όψη του θαλάμου ανάπτυξης

Οι θερμοκρασίες ημέρας και νύχτας για την αποτελεσματική ανάπτυξη της καλλιέργειας κυμαίνονταν από 18°C - 24°C , ενώ τα ποσοστά της σχετικής υγρασίας κυμαίνονταν από 37% - 84%. Η θερμοκρασία του αέρα και η ένταση του φωτός ελέγχονταν από το σύστημα Argos Electronics, ενώ η σχετική υγρασία και η περιεκτικότητα του CO_2 στο χώρο καταγράφονταν στο σύστημα κάθε 10 λεπτά.

2.1.3 Θρέψη των φυτών

Για την παραγωγή του θρεπτικού διαλύματος τροφοδοσίας χρησιμοποιήθηκαν 2 δεξαμενές χωρητικότητας 100L. Στον Πίνακα 1 παρουσιάζεται η σύνθεση των θρεπτικών στοιχείων που χρησιμοποιήθηκε για την άρδευση των φυτών.

Για τη σύνθεση του διαλύματος άρδευσης των φυτών κάθε καναλιού χρησιμοποιούνταν 200g των θρεπτικών συστατικών από τη Δεξαμενή 1 και 200g από τη Δεξαμενή 2, τα οποία αραιώνονταν σε κουβάδες με τη προσθήκη 20 L νερού βρύσης. Επιπλέον, η ρύθμιση της τιμής του pH στο 5.5 γινόταν με προσθήκη νιτρικού οξέος. Η ρύθμιση του pH γινόταν κάθε φορά που οι δεξαμενές συμπληρώνονταν με θρεπτικό διάλυμα. Η προσθήκη γινόταν κάθε 2 ημέρες, έτσι ώστε ο όγκος του διαλύματος να μην πέσει κάτω από 15L.

Πίνακας 1. Αναλυτικός πίνακας θρέψης για την καλλιέργεια βασιλικού

Δεξαμενή			kg
1	Νιτρικό ασβέστιο	Ca(NO ₃) ₂	2.809
1	Νιτρικό κάλιο	KNO ₃	0.000
1	Νιτρικό αμμώνιο	NH ₄ NO ₃	0.192
1	Χηλικός σίδηρος	Fe - chelate	0.023
1	Νιτρικό μαγνήσιο	Mg(NO ₃) ₂	0.000
2	Νιτρικό κάλιο	KNO ₃	0.421
2	Θεικό μαγνήσιο	MgSO ₄	0.493
2	Θεικό κάλιο	K ₂ SO ₄	1.380
2	Φωσφορικό οξύ	H ₃ PO ₄	0.000
2	Δισόξινο φωσφορικό κάλιο	KH ₂ PO ₄	0.681
2	Μικροαποθεματικό διάλυμα		0.500

Για την ομαλή λειτουργία του πειράματος, χωρίς ανεπιθύμητες απώλειες, θα έπρεπε να είναι βέβαιο ότι η πειραματική διαδικασία έχει σταθεροποιηθεί και δε θα υπάρχουν μελλοντικά προβλήματα, καθώς πέρα από τις συνθήκες του θαλάμου που ελέγχονταν από τον υπολογιστή (Agros Electronics), οι υπόλοιπες διαδικασίες όπως η άρδευση, η λίπανση και η ρύθμιση του pH δεν ήταν αυτοματοποιημένες. Γι' αυτό το λόγο τις πρώτες 14 ημέρες όλες οι μεταχειρίσεις αρδεύονταν με την ίδια ηλεκτρική αγωγιμότητα (2 dS m⁻¹). Στις 30 Οκτωβρίου έγινε προσθήκη χλωριούχου νατρίου (NaCl) στις δεξαμενές σε διαφορετικές συγκεντρώσεις έτσι ώστε η EC να διαφοροποιηθεί ξεχωριστά για κάθε μεταχείριση στα 2 dS m⁻¹, 4 dS m⁻¹, 6 dS m⁻¹ και 8 dS m⁻¹, όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Να σημειωθεί ότι καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος, υπήρξαν διαρροές του θρεπτικού διαλύματος από τις δεξαμενές και έτσι ήταν αναγκαία η προσθήκη εκ νέου θρεπτικού διαλύματος, με την απαραίτητη ποσότητα σε χλωριούχο νάτριο.

2.2 Μετρήσεις

Καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος πραγματοποιήθηκαν ποιοτικές και ποσοτικές μετρήσεις του νερού καθώς και μετρήσεις της μορφολογίας και φυσιολογίας των φυτών .

2.2.1 Μετρήσεις του θρεπτικού διαλύματος

2.2.1.1 Ηλεκτρική αγωγιμότητα

Οι μετρήσεις της EC πραγματοποιούνταν από την αρχή του πειράματος ανά δύο ημέρες, πριν και μετά τη συμπλήρωση της δεξαμενής με θρεπτικό διάλυμα. Αρχικά, η μέτρηση γινόταν με μια φορητή αδιάβροχη συσκευή κατάλληλη και για τη μέτρηση του pH (Combo by Hanna, USA), με μέγιστο όριο μέτρησης τα 3999μS. Μετά την προσθήκη του NaCl, η

μέτρηση γινόταν με το όργανο HANNA EC215 Multi-range Conductivity Meter (Εικόνα 2) το οποίο μπορούσε να καταγράψει μεγαλύτερες τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας, καθώς τα επίπεδα της EC στις 3 μεταχειρίσεις πέραν του μάρτυρα ξεπερνούσαν τα 3.9 dS m^{-1} .



Εικόνα 2. Όργανο μέτρησης ηλεκτρικής αγωγιμότητας, HANNA EC125 Multi-range Conductivity Meter

2.2.1.2 pH

Για τη διατήρηση του pH στα επιτρεπτά όρια (5.5), η μέτρηση και η ρύθμιση του γινόταν πάντα πριν και μετά τη συμπλήρωση της δεξαμενής με θρεπτικό διάλυμα. Στην περίπτωση όπου η τιμή του pH υπερέβαινε το όριο του 5.5 λόγω της προσθήκης θρεπτικού διαλύματος, η προσθήκη νιτρικού οξέος ήταν απαραίτητη. Η συσκευή που χρησιμοποιήθηκε για τη μέτρηση του ήταν η ίδια που χρησιμοποιήθηκε στην αρχή του πειράματος για την καταγραφή των τιμών της EC (Combo by Hanna, USA).

2.2.1.3 Ανάγκες καλλιέργειας σε νερό

Για τον προσδιορισμό των αναγκών των φυτών σε νερό κατά την διάρκεια της ανάπτυξης τους, υπολογίστηκε ο όγκος του θρεπτικού διαλύματος που είχε απορροφηθεί σε κάθε μεταχείριση. Ο υπολογισμός έγινε με βαθμονομημένο χάρακα, μετρώντας την επιφάνεια του εναπομείναντος θρεπτικού διαλύματος σε κάθε δεξαμενή ξεχωριστά.

2.2.1.4 Αποδοτικότητα χρήσης νερού

Για τον υπολογισμό της αποδοτικότητας χρήσης νερού (Water Use Efficiency, WUE), ήταν απαραίτητη η χρήση της συνολικής ποσότητας νερού που προστίθονταν κάθε φορά στις δεξαμενές της κάθε μεταχείρισης, από την αρχή έως το τέλος του πειράματος. Στη συνέχεια, υπολογίστηκε ο μέσος όρος του αθροίσματος του νωπού βάρους των βλαστών και φύλλων των φυτών της δεύτερης καταστροφικής μέτρησης, της κάθε μεταχείρισης ξεχωριστά.

Ο τύπος που χρησιμοποιήθηκε ήταν WUE (kg m^{-3}), = Νωπό βάρος φυτών/ m^3 νερού άρδευσης ξεχωριστά για κάθε μεταχείριση (2T, 4T, 6T, 8T).

2.2.2 Μετρήσεις μορφολογικών και φυσιολογικών παραμέτρων

2.2.2.1 Χλωροφύλλη

Η μέτρηση της χλωροφύλλης γινόταν 2 φορές την εβδομάδα σε δέκα τυχαία φυτά από κάθε επανάληψη. Συνολικά πραγματοποιούνταν 30 μετρήσεις για κάθε μεταχείριση. Η συσκευή που χρησιμοποιήθηκε ήταν η Chlorophyll Meter SPAD-502Plus.

2.2.2.2 Αριθμός φύλλων, νωπό και ξηρό βάρος

Δεκατρείς ημέρες μετά την έναρξη της άρδευσης των φυτών με διαφορετικές συγκεντρώσεις αλατότητας πραγματοποιήθηκε η πρώτη καταστροφική μέτρηση του πειράματος όπου έλαβε χώρα η συγκομιδή ενός φυτού από κάθε κανάλι, για το σύνολο των 12 φυτών. Στην συνέχεια, ακολούθησε η μέτρηση των φύλλων και η καταγραφή του νωπού και ξηρού βάρους των φυτών στο εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Αρχικά, έλαβε χώρα η καταμέτρηση του αριθμού των φύλλων και η τοποθέτηση τους σε μικρά τσίγκινα ταψιά. Στη συνέχεια, ακολούθησε το ζύγισμα του νωπού βάρους των φύλλων σε ζυγαριά ακριβείας (Precisa) (Εικόνα 3).



Εικόνα 3. Ζυγαριά ακριβείας Precisa

Αφού ζυγίστηκε το νωπό βάρος των βλαστών από κάθε βασιλικό, τα φύλλα όπως και οι βλαστοί τοποθετήθηκαν σε φούρνο ξήρανσης (Raypa®) στους 70 °C για 4 ημέρες, μέχρι την απόκτηση σταθερού βάρους. Μετά τη διαδικασία της αποξήρανσης τα φύλλα και οι βλαστοί ζυγίστηκαν ξανά για την καταγραφή του ξηρού βάρους. Η ίδια διαδικασία πραγματοποιήθηκε για δεύτερη φορά στις 22 Νοεμβρίου, δηλαδή 23 ημέρες μετά την προθήκη διαφορετικών

επιπέδων αλατότητας. Σε αυτή τη περίπτωση χρησιμοποιήθηκαν 24 φυτά βασιλικού, 2 από κάθε κανάλι, όπου και ολοκληρώθηκε το πειραματικό μέρος της έρευνας.

2.2.2.3 Ύψος φυτών

Η μέτρηση του ύψους γινόταν σε τέσσερα φυτά ανά κανάλι ανάπτυξης με τη χρήση μετροταινίας. Συνολικά πραγματοποιούνταν 12 μετρήσεις ύψους ανά μεταχείριση. Η πρώτη μέτρηση πραγματοποιήθηκε 15 μέρες μετά την έναρξη του πειράματος. Επιπλέον, όσον αφορά τη συχνότητα των μετρήσεων, η καταγραφή του ύψους πραγματοποιούνταν μια φορά την εβδομάδα, μέχρι και τη λήξη του πειράματος.

2.3 Στατιστική Ανάλυση

Για τη σύγκριση των παραμέτρων των φυτών μεταξύ των μεταχειρίσεων, η ανάλυση πραγματοποιήθηκε εφαρμόζοντας one-way ANOVA σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95% ($p < 0.05$) χρησιμοποιώντας το SPSS (Statistical Package for the Social Sciences, IMB, USA). Η μέση τιμή των μετρήσεων προσδιορίστηκε ως προς τη μεταβλητότητα υπολογίζοντας το τυπικό σφάλμα ή την τυπική απόκλιση των τιμών. Για τη στατιστική ανάλυση, έγινε σύγκριση μεταξύ των μεταχειρίσεων (2T, 4T, 6T, 8T) ανά ημέρα υπολογισμού των παραμέτρων (EC, όγκος, pH, χλωροφύλλη) αλλά και μεταξύ των ημερών ανά μεταχείριση. Η σύγκριση για τη στατιστική ανάλυση του νωπού και ξηρού βάρους καθώς και του ύψους των φυτών, έγινε μόνο μεταξύ των μεταχειρίσεων σε επίπεδο ημέρας.

3 Αποτελέσματα

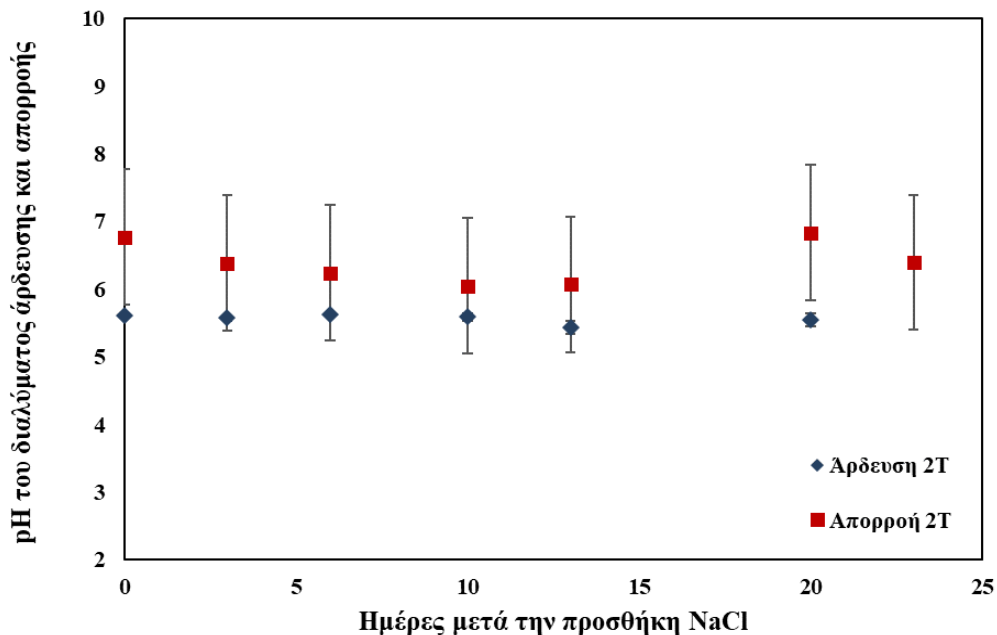
3.1 Μετρήσεις του θρεπτικού διαλύματος

3.1.1 pH

Κατά τη διάρκεια του πειράματος η τιμή του pH του θρεπτικού διαλύματος τροφοδοσίας όλων των μεταχειρίσεων κυμαινόταν στο 5.5. Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζεται η μεταβολή του pH του θρεπτικού διαλύματος άρδευσης και απορροής μετά την προσθήκη αλατιού για κάθε μεταχείριση.

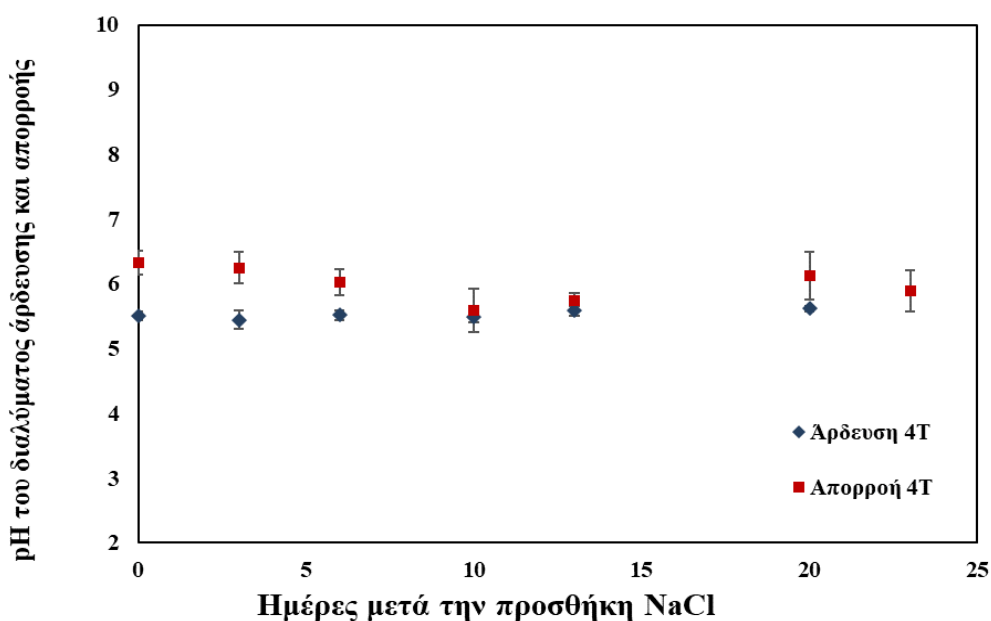
Οι τιμές του pH του απορρέοντος θρεπτικού διαλύματος κυμάνθηκαν από 5.59 έως 6.97 με την ελάχιστη τιμή να παρουσιάζεται στη μεταχείριση 4T (Διάγραμμα 2) και την μέγιστη στη μεταχείριση 8T (Διάγραμμα 4). Ωστόσο, με βάση τη στατιστική ανάλυση, δεν παρουσιάστηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων, παρά μόνο την 13^η ημέρα όπου η τιμή του pH απορροής της μεταχείρισης 6T (Διάγραμμα 3) αυξήθηκε κατά 14.11% σε σχέση την αντίστοιχη τιμή της μεταχείρισης 4T.

Παρόλα αυτά, σημειώθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των ημερών. Πιο συγκεκριμένα, την 6^η ημέρα μετά την προσθήκη NaCl το pH του απορρέοντος θρεπτικού διαλύματος αυξήθηκε κατά 10.7% σε σχέση με το pH του θρεπτικού διαλύματος άρδευσης της 3^{ης} ημέρας στη μεταχείριση 2T, με τιμή 6.25. Επίσης, την 10^η ημέρα η τιμή του pH του απορρέοντος θρεπτικού διαλύματος αυξήθηκε 7% σε σχέση με την αντίστοιχη τιμή του θρεπτικού διαλύματος άρδευσης της 6^{ης}. Τα αποτελέσματα αυτά διαφέρουν μεταξύ τους στατιστικά σημαντικά ($p < 0.05$). Η μεγαλύτερη αύξηση της τιμής του pH του απορρέοντος θρεπτικού διαλύματος της μεταχείρισης 2T (Διάγραμμα 1) παρουσιάστηκε την 20^η ημέρα μετά την προσθήκη NaCl με τιμή 6.8.



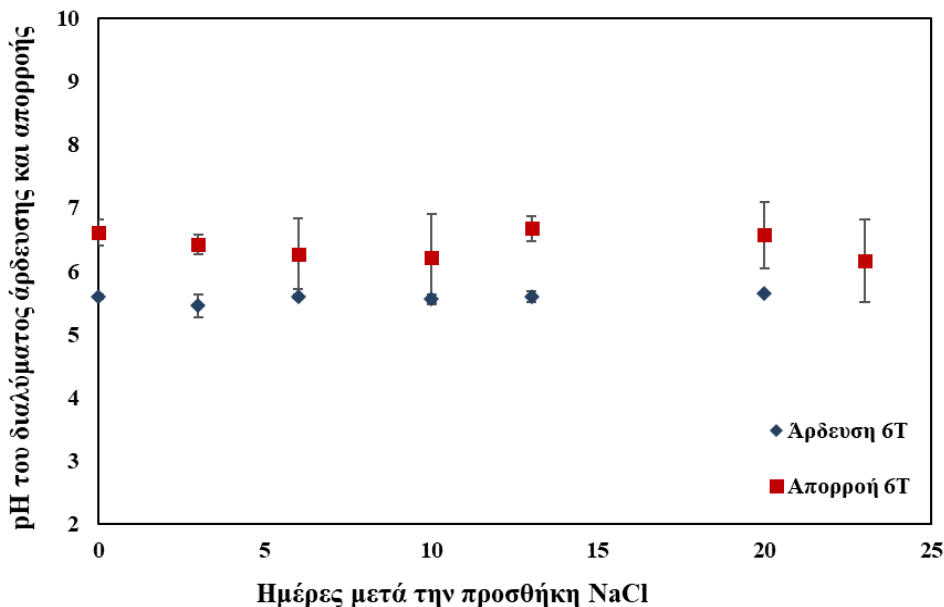
Διάγραμμα 1. Μεταβολή της τιμής του pH άρδευσης και απορροής της μεταχείρισης 2T (2 dS m⁻¹).

Όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 2, σημειώθηκε μια στατιστικά σημαντική μείωση του pH του απορρέοντος θρεπτικού διαλύματος κατά 8.22% την 13^η ημέρα σε σχέση με την 1^η με τιμή 5.73. Ακόμα, μετά τη σύγκριση μεταξύ των τιμών του pH άρδευσης και απορροής παρατηρήθηκε μια στατιστικά σημαντική αύξηση της τιμής του απορρέοντος διαλύματος την 3^η ημέρα κατά 11.79% φτάνοντας την τιμή 6.25 σε σχέση με την αρχική τιμή άρδευσης της 1^{ης} ημέρας όπου ήταν 5.51.

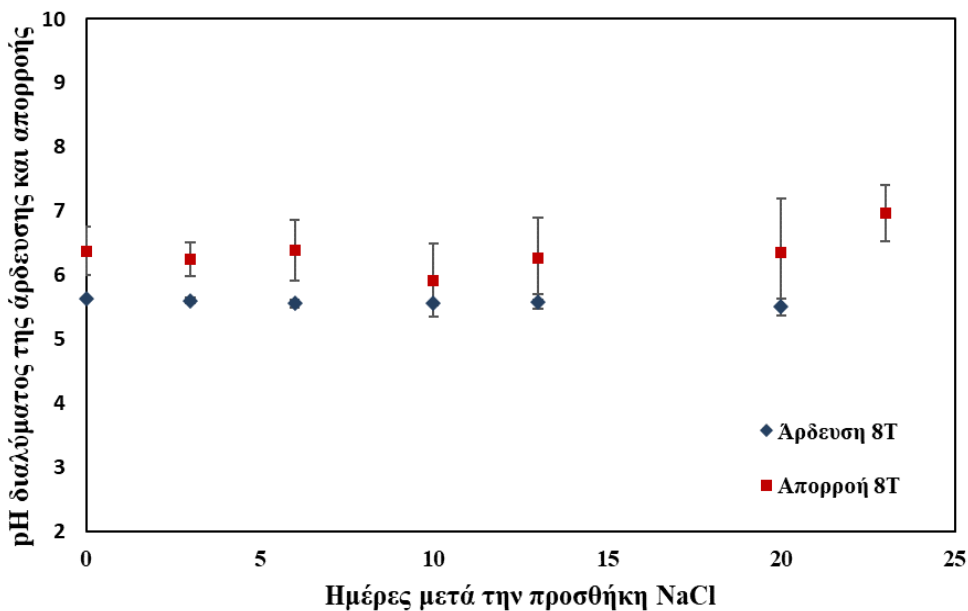


Διάγραμμα 2. Μεταβολή της τιμής του pH άρδευσης και απορροής της μεταχείρισης 4T (4 dS m⁻¹)

Όσον αφορά τη μεταχείριση 6T, την 13^η ημέρα μετά την προσθήκη NaCl, το pH του απορρέοντος θρεπτικού διαλύματος σημείωσε αύξηση 16.7% σε σχέση με το pH του θρεπτικού διαλύματος άρδευσης της 10^{ης} ημέρας, όπου είχε τιμή 5.56. Τα αποτελέσματα αυτά διαφέρουν μεταξύ τους στατιστικά σημαντικά ($p < 0.05$).



Διάγραμμα 3. Μεταβολή της τιμής του pH άρδευσης και απορροής της μεταχείρισης 6T (6 dS m⁻¹)



Διάγραμμα 4. Μεταβολή της τιμής του pH άρδευσης και απορροής της μεταχείρισης 8T (8 dS m⁻¹)

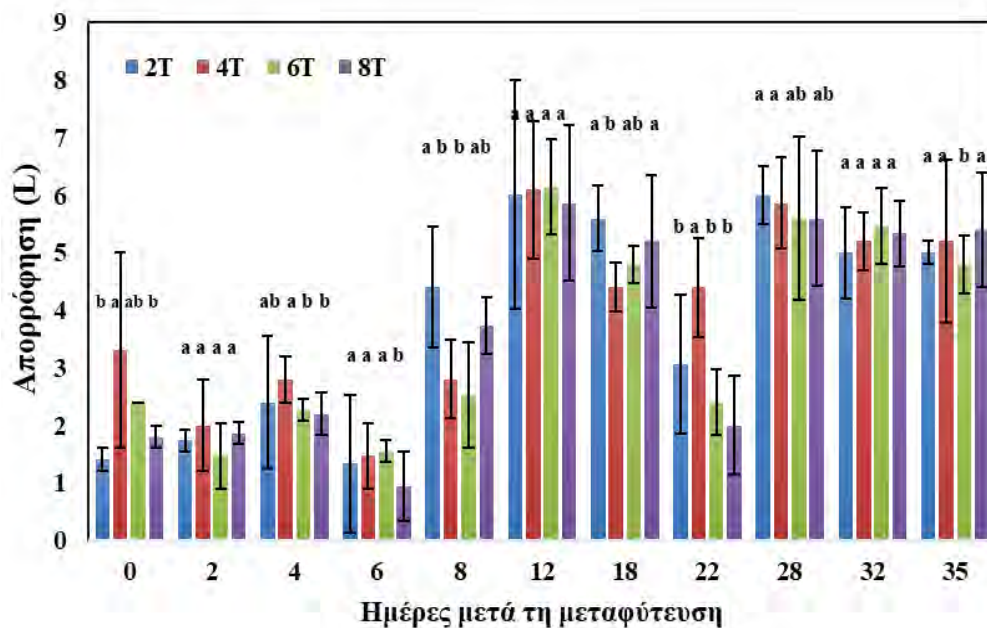
Επιπρόσθετα, το pH του απορρέοντος θρεπτικού διαλύματος της μεταχείρισης 8T (Διάγραμμα 4) παρουσίασε τη μεγαλύτερη στατιστικά σημαντική αύξηση ($p < 0.05$), καθώς την 23^η ημέρα μετά την προσθήκη NaCl, δηλαδή την τελευταία μέρα του πειράματος σημείωσε αύξηση 20.98% με τιμή 6.97 σε σχέση με το θρεπτικό διάλυμα άρδευσης της 20^{ης} ημέρας, όπου είχε τιμή 5.5.

Συνεπώς, σε όλη τη διάρκεια του πειράματος σε όλες τις μεταχειρίσεις η τιμή του pH στο απορρέον θρεπτικό διάλυμα ήταν πάντα μεγαλύτερη σε σχέση με την αντίστοιχη τιμή στο θρεπτικό διάλυμα άρδευσης. Αυτό σημαίνει ότι ενώ το θρεπτικό διάλυμα άρδευσης ρυθμιζόνταν εξ αρχής στην τιμή 5.5 με την προσθήκη οξέος, όσο αυτό χορηγούνταν στην καλλιέργεια με συνεχή ροή και κατέληγε ξανά στη δεξαμενή, η τιμή του pH αυξανόταν. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι τα φυτά απορροφούσαν μεγαλύτερες ποσότητες ανιόντων σε σχέση με τα κατιόντα.

3.1.2 Απορρόφηση του θρεπτικού διαλύματος

Στο Διάγραμμα 5 απεικονίζονται οι μετρήσεις της απορρόφησης του θρεπτικού διαλύματος από τον βασιλικό. Με βάση τη στατιστική ανάλυση, παρουσιάστηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων τη 12^η ημέρα όπου έγινε προσθήκη αλατιού σε σχέση με τις προηγούμενες ημέρες, καθώς η απορρόφηση του θρεπτικού διαλύματος άρδευσης ήταν μεγαλύτερη πριν γίνει η προσθήκη NaCl.

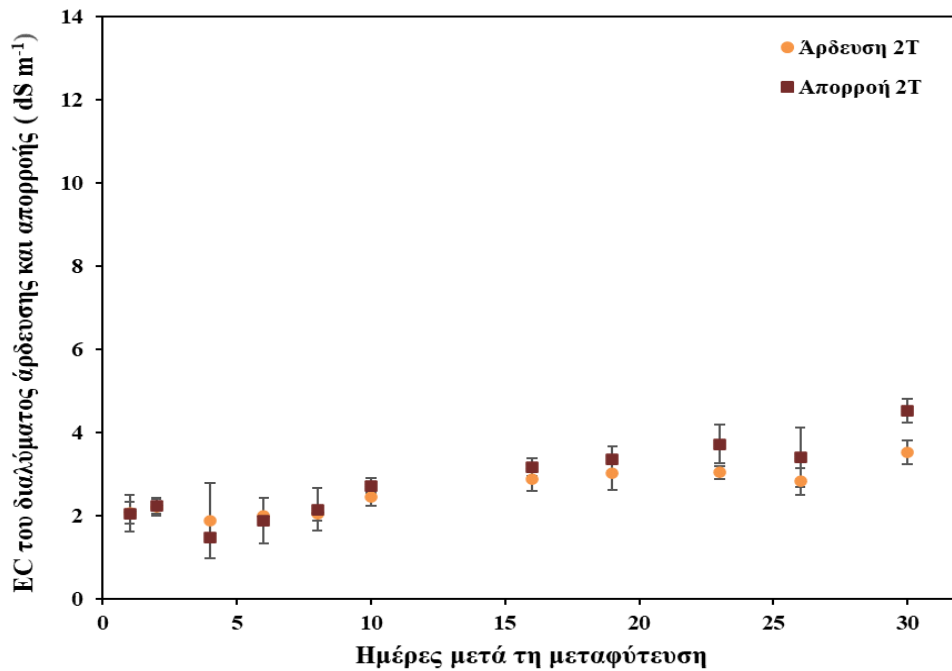
Γενικά, παρατηρήθηκαν κάποιες αυξομειώσεις στην απορρόφηση του θρεπτικού διαλύματος μετά την προσθήκη NaCl. Ωστόσο, μοναδική σημαντική μείωση παρατηρήθηκε την 22^η ημέρα σε σχέση με την 12^η στις μεταχειρίσεις 2T, 6T και 8T, καθώς ο όγκος απορρόφησης του διαλύματος μειώθηκε κατά 2.94 L, 3.75 L και 3.87 L αντίστοιχα. Τα παραπάνω αποτελέσματα διαφέρουν μεταξύ τους στατιστικά σημαντικά ($p < 0.05$). Παρόλα αυτά, την 32^η ημέρα του πειράματος σημειώθηκε αύξηση του ποσοστού της απορρόφησης σε σχέση με την 22^η ημέρα κατά 1.93 L, 3.07 L και 3.33L στις μεταχειρίσεις 2T, 6T και 8T αντίστοιχα. Καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος δεν σημειώθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ως προς την απορρόφηση του διαλύματος από τα φυτά που αρδεύονταν με συγκέντρωση αλατότητας 4 dS m⁻¹ ($p > 0.05$).



Διάγραμμα 5. Απορρόφηση του θρεπτικού διαλύματος των μεταχειρίσεων 2T, 4T, 6T, 8T (2, 4, 6, 8 dS m⁻¹)

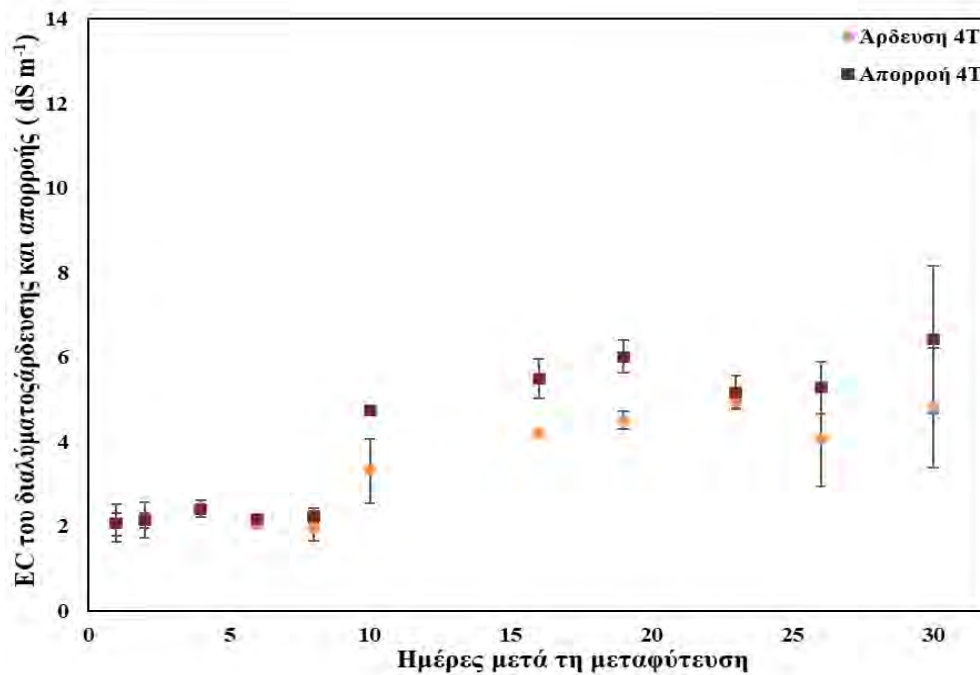
3.1.3 Ηλεκτρική αγωγιμότητα

Στα παρακάτω διαγράμματα (Διάγραμμα 7, 8, 9, 10) παρουσιάζεται η μεταβολή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του απορρέοντος θρεπτικού διαλύματος και του θρεπτικού διαλύματος άρδευσης σε επίπεδο ημέρας για κάθε μεταχείριση ξεχωριστά (2T, 4T, 6T, 8T) από την ημέρα της μεταφύτευσης κι έπειτα. Γενικά, μετά την προσθήκη NaCl, παρατηρήθηκε αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του διαλύματος απορροής και στις 4 μεταχειρίσεις. Η μεγαλύτερη αύξηση παρατηρήθηκε στην μεταχείριση 6T (Διάγραμμα 8), ενώ η μικρότερη στη μεταχείριση 8T (Διάγραμμα 9). Πιο συγκεκριμένα, τα επίπεδα της EC στο θρεπτικό διάλυμα απορροής της μεταχείρισης 2T αυξήθηκαν στατιστικά σημαντικά την 13^η ημέρα μετά την προσθήκη NaCl σε σχέση με την 3^η με τιμή 3.72, δηλαδή 23 ημέρες μετά τη μεταφύτευση. Όπως παρατηρείται στο Διάγραμμα 6, την τελευταία ημέρα του πειράματος η EC του θρεπτικού διαλύματος απορροής της μεταχείρισης 2T έφτασε στα 4.52 dS m⁻¹. Παρόλα αυτά, δεν υπήρξε κάποια στατιστικά σημαντική διαφορά.

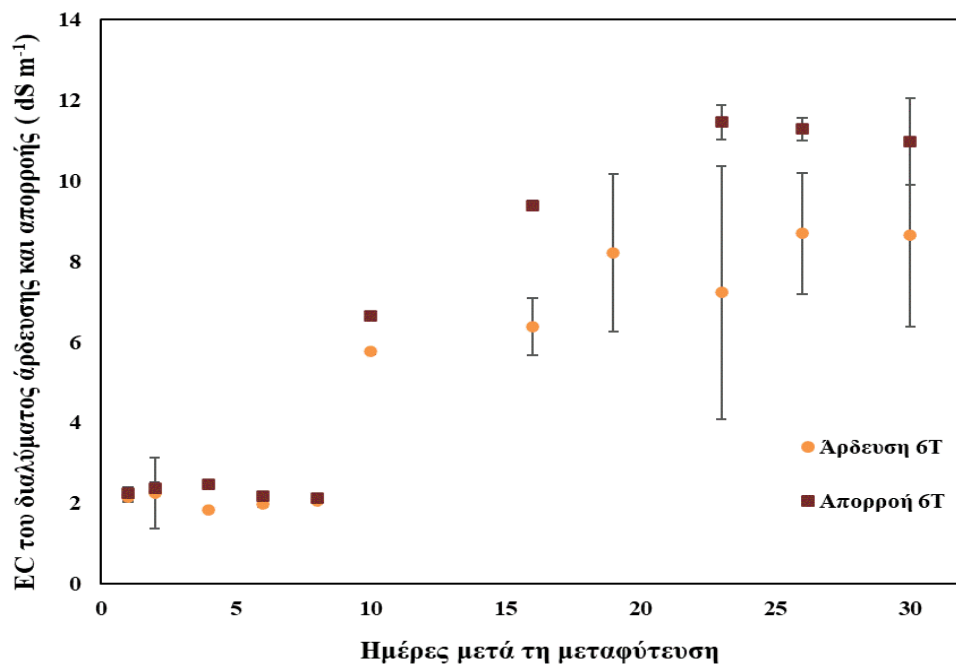


Διάγραμμα 6. Μεταβολή της τιμής της EC του διαλύματος άρδευσης και απορροής της μεταχείρισης 2T (2 dS m⁻¹)

Η αύξηση της EC του θρεπτικού διαλύματος απορροής της μεταχείρισης 4T (Διάγραμμα 7) ήταν μικρότερη σε σχέση με τις μεταχειρίσεις 2T και 6T. Το μεγαλύτερο ποσοστό αύξησης που σημειώθηκε ήταν 26.06% φτάνοντας την τιμή 6.42 dS m⁻¹ την τελευταία ημέρα του πειράματος σε σχέση αντίστοιχη τιμή της πρώτης ημέρας που ήταν 4.74 dS m⁻¹. Επιπλέον, κατά τη διάρκεια της 16^{ης} ημέρας μετά τη μεταφύτευση, η ηλεκτρική αγωγιμότητα του απορρέοντος διαλύματος αυξήθηκε στατιστικά σημαντικά με τιμή 5.49 dS m⁻¹ σε σχέση με το θρεπτικό διάλυμα άρδευσης της 10^{ης} ημέρας όπου είχε τιμή 3.81 dS m⁻¹.



Διάγραμμα 7. Μεταβολή της τιμής της EC του διαλύματος άρδευσης και απορροής της μεταχείρισης 4T (4 dS m⁻¹)

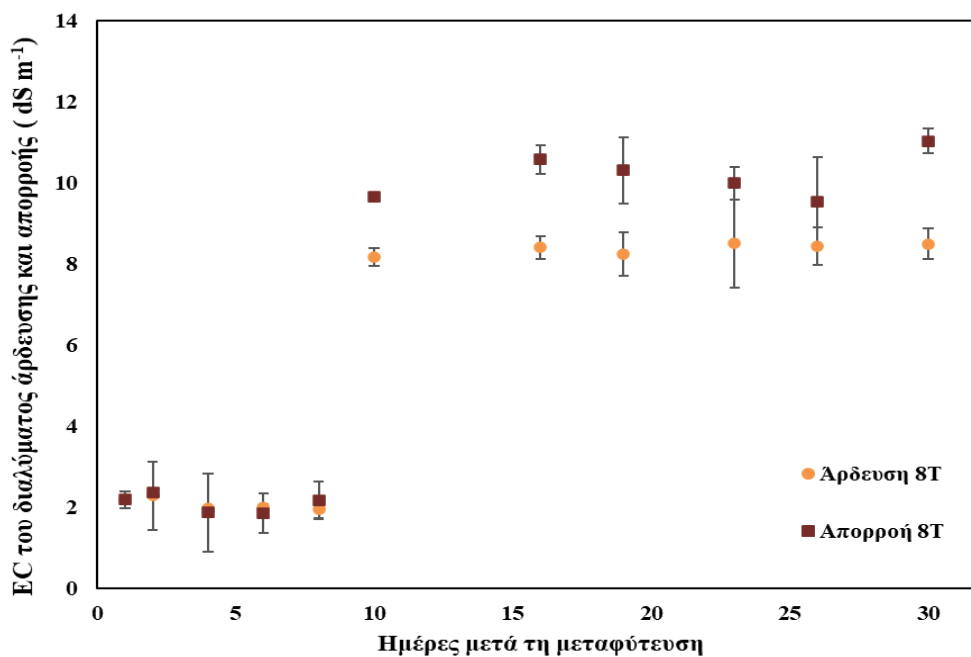


Διάγραμμα 8. Μεταβολή της τιμής της EC του διαλύματος άρδευσης και απορροής της μεταχείρισης 6T (6 dS m⁻¹)

Η μεταχείριση 6T παρουσίασε τη μεγαλύτερη αύξηση της EC καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος σε σχέση με τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις. Πιο συγκεκριμένα, την 13^η ημέρα μετά την προσθήκη NaCl, δηλαδή την 23^η ημέρα μετά τη μεταφύτευση όπως φαίνεται και στο Διάγραμμα 8, η EC του απορρέοντος θρεπτικού διαλύματος αυξήθηκε στατιστικά σημαντικά κατά 41.94%, με τιμή 11.45 dS m⁻¹ σε σχέση με την 3^η ημέρα (10 ημέρες μετά τη

μεταφύτευση) όπου η τιμή ήταν 6.65 dS m^{-1} . Επίσης, 16 ημέρες μετά τη μεταφύτευση η EC του απορρέοντος θρεπτικού διαλύματος σημείωσε αύξηση 38.5% με τιμή 9.39 dS m^{-1} σε σχέση με την αρχική τιμή άρδευσης της καλλιέργειας την 10^η ημέρα όπου ήταν 5.77 dS m^{-1} .

Όσον αφορά στη μεταχείριση 8T, την 6^η ημέρα μετά την προσθήκη NaCl (16 ημέρες μετά τη μεταφύτευση), η ηλεκτρική αγωγιμότητα του απορρέοντος θρεπτικού διαλύματος αυξήθηκε στατιστικά σημαντικά κατά 22.6% με τιμή 10.58 dS m^{-1} σε σχέση με το θρεπτικό διάλυμα άρδευσης της 3^{ης} ημέρας, όπου είχε τιμή 8.18 dS m^{-1} ($p < 0.05$). Επίσης, την τελευταία ημέρα του πειράματος σημειώθηκε αύξηση 23.47% φτάνοντας την τιμή 11.03 dS m^{-1} στο απορρέον θρεπτικό διάλυμα σε σχέση με το θρεπτικό διάλυμα άρδευσης της 17^{ης} ημέρας, δηλαδή 26 ημέρες μετά τη μεταφύτευση. Τα αποτελέσματα αυτά διαφέρουν μεταξύ τους στατιστικά σημαντικά ($p < 0.05$). Γενικά, η αύξηση της EC του απορρέοντος θρεπτικού διαλύματος την τελευταία ημέρα του πειράματος σε σχέση με την 1^η ημέρα μετά την προσθήκη NaCl, ήταν της τάξης του 12.38%.

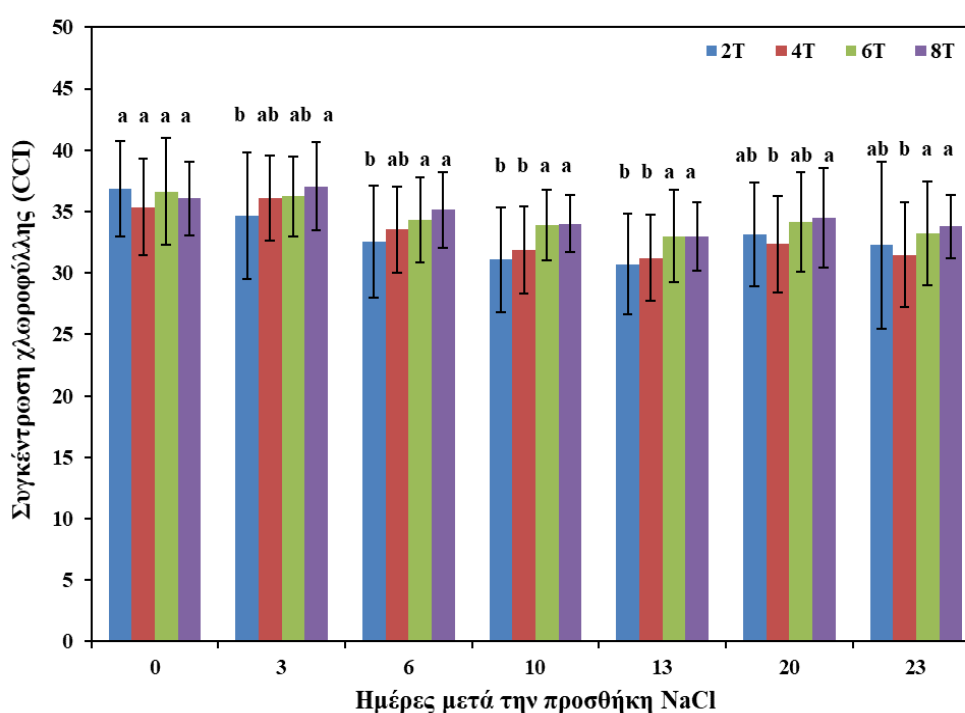


Διάγραμμα 9. Μεταβολή της τιμής της EC του διαλύματος άρδευσης και απορροής της μεταχείρισης 8T (8 dS m^{-1})

3.2 Μετρήσεις των φυτών

3.2.1 Χλωροφύλλη

Η προσθήκη NaCl επηρέασε σημαντικά την περιεκτικότητα των φυτών σε χλωροφύλλη. Όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 10, η περιεκτικότητα της χλωροφύλλης στα φύλλα του βασιλικού μειώθηκε σε όλες τις μεταχειρίσεις. Την τελευταία ημέρα του πειράματος όπου η καλλιέργεια βρισκόταν στην πλήρη ανάπτυξη της, τα φυτά που αρδεύονταν με διάλυμα συγκέντρωσης 8 dS m⁻¹ παρουσίασαν τη μεγαλύτερη συγκέντρωση χλωροφύλλης (33.8mg.g⁻¹). Αντίθετα, την ίδια ημέρα, η χλωροφύλλη των φυτών τη μεταχείρισης 4T ήταν 31.48mg.g⁻¹ αποτελώντας την χαμηλότερη συγκέντρωση μεταξύ των μεταχειρίσεων.



Διάγραμμα 10. Συγκέντρωση χλωροφύλλης στα φύλλα των φυτών του βασιλικού

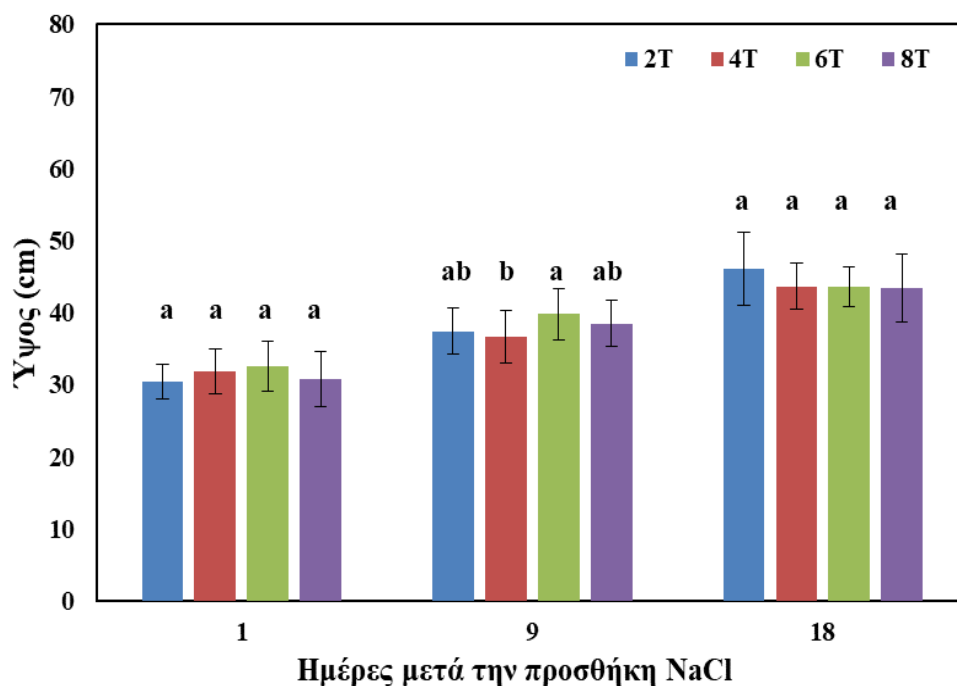
Την 23^η ημέρα μετά την προσθήκη αλατιού, δηλαδή την τελευταία μέρα του πειράματος, η συγκέντρωση χλωροφύλλης στη μεταχείριση 2T μειώθηκε στατιστικά σημαντικά κατά 12.41% με τιμή 32.26 mg.g⁻¹ σε σχέση με την 1^η ημέρα όπου προστέθηκε το αλάτι όπου η τιμή της συγκέντρωσης της χλωροφύλλης ήταν 36.83 mg.g⁻¹ ($p < 0.05$). Επίσης, την 23^η ημέρα παρατηρήθηκε μια στατιστικά σημαντική μείωση στη χλωροφύλλη των φύλλων των φυτών της μεταχείρισης 4T όπου η τελική καταγραφή ήταν 31.48 mg.g⁻¹ σε σχέση με την 3^η ημέρα μετά την προσθήκη αλατιού όπου η συγκέντρωση χλωροφύλλης ήταν 36.09 mg.g⁻¹. Ωστόσο, μεταξύ της 3^{ης} και της 13^{ης} ημέρας η περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη στις μεταχειρίσεις 4T και 8T μειώθηκε κατά 4.87 mg.g⁻¹ και 4.06 mg.g⁻¹ αντίστοιχα. Στη

μεταχείριση 6T, υπήρξε στατιστικά σημαντική μείωση της τάξης του 9.89% με τιμή 32.98 mg.g⁻¹ τη 13^η ημέρα σε σχέση με την 1^η, υπό την επίδραση του χλωριούχου νατρίου.

Η σύγκριση της περιεκτικότητας σε χλωροφύλλη των φυτών μεταξύ των μεταχειρίσεων ανά ημέρα, οδήγησε σε στατιστικά σημαντικά αποτελέσματα. Συγκεκριμένα, την 3^η ημέρα η μεταχείριση 8T είχε περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη 2.43 mg.g⁻¹ περισσότερο σε σχέση με τον μάρτυρα. Τη 10^η ημέρα η μεταχείριση 8T είχε περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη 2.9 mg.g⁻¹ περισσότερο σε σχέση με τη μεταχείριση 2T, όπως και στη μεταχείριση 6T όπου η συγκέντρωση χλωροφύλλης ήταν 2.85 mg.g⁻¹ περισσότερη σε σχέση με τον μάρτυρα. Επίσης, η περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη της μεταχείρισης 8T, την 23^η ημέρα μετά την προσθήκη NaCl ήταν 2.31 mg.g⁻¹ περισσότερη σε σχέση με τη μεταχείριση 4T. Τα αποτελέσματα αυτά υποδεικνύουν ότι η περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη υπερτερούσε στις μεταχειρίσεις με υψηλή συγκέντρωση αλατότητας, καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος.

3.2.2 Ύψος

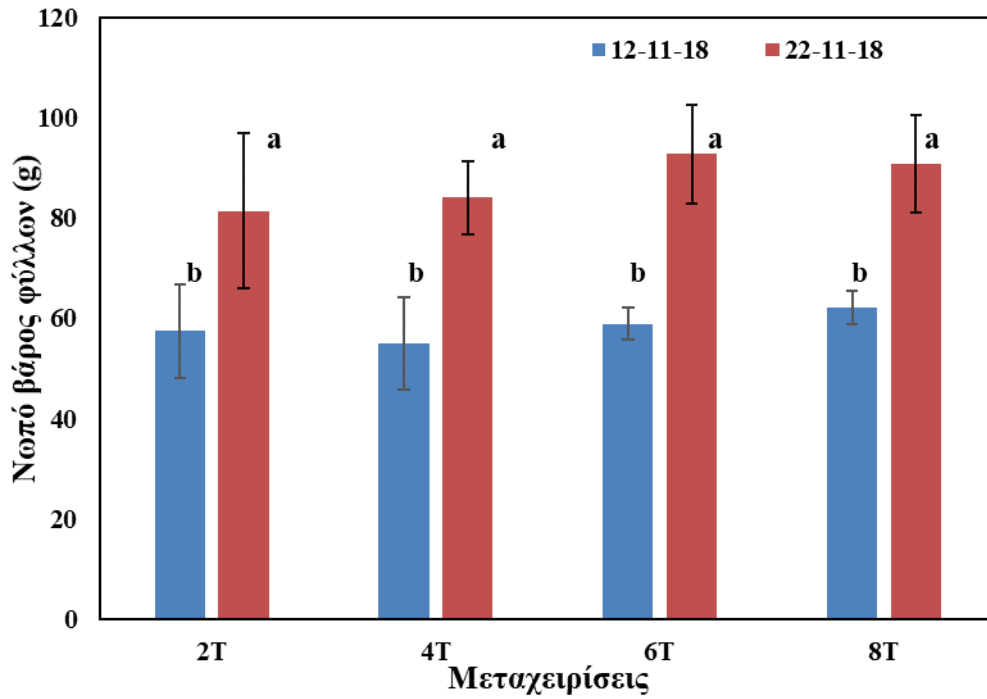
Το Διάγραμμα 11 παρουσιάζει την μεταβολή του ύψους των φυτών μεταξύ των μεταχειρίσεων κατά την εξέλιξη του πειράματος υπό την καταπόνηση της αλατότητας. Σε αντίθεση με τα αποτελέσματα της χλωροφύλλης, παρατηρήθηκε ότι η μεγαλύτερη ανάπτυξη των φυτών αντιστοιχούσε στον μάρτυρα, δηλαδή τη μεταχείριση 2T, με τελικό ύψος 46.1 cm και ποσοστό μεταβολής 34% σε σχέση με το αρχικό ύψος των φυτών την ημέρα της μεταφύτευσης όπου ήταν 30.4 cm. Το ύψος των φυτών των υπόλοιπων μεταχειρίσεων κυμαινόταν περίπου στα 43 cm, χωρίς καμία εμφανή διαφορά μεταξύ τους. Αξίζει να σημειωθεί ότι 9 ημέρες μετά την προσθήκη NaCl τα φυτά της μεταχείρισης 6T παρουσίασαν στατιστικά σημαντική αύξηση ύψους κατά 3.1 cm περισσότερο σε σχέση με τη μεταχείριση 4T. ($p < 0.05$).



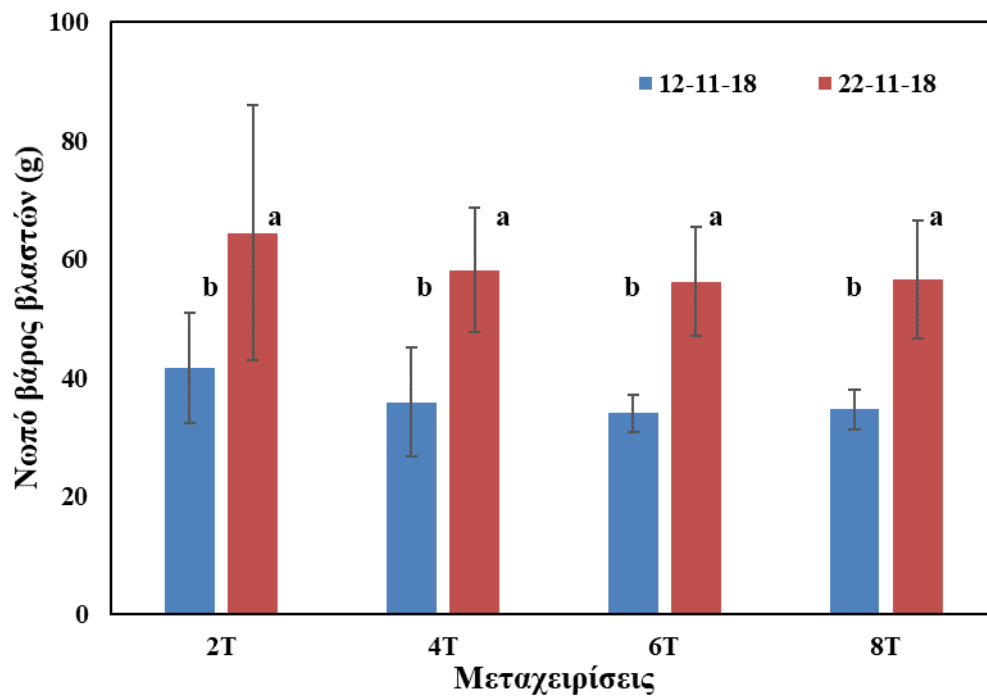
Διάγραμμα 11. Μεταβολή του ύψους (cm) των φυτών του βασιλικού σε κάθε μεταχείριση (2T, 4T, 6T, 8T)

3.2.3 Νωπό βάρος φύλλων

Στο Διάγραμμα 12 παρουσιάζεται το νωπό βάρος των φύλλων του βασιλικού μεταξύ των 2 καταστροφικών μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν με διαφορά 10 ημερών. Πρέπει να αναφερθεί πως δεν υπήρξε κάποιο σημαντικό αποτέλεσμα. Παρόλα αυτά, παρατηρήθηκε ότι στην πρώτη συγκομιδή των φυτών, η υψηλότερη τιμή του νωπού βάρους αντιστοιχούσε στη μεταχείριση 8T με τιμή 62g, ενώ στη δεύτερη συγκομιδή το μεγαλύτερο βάρος των φύλλων αντιστοιχούσε στη μεταχείριση 6T με συνολικό βάρος 92.7g.



Διάγραμμα 12. Μεταβολή του νωπού βάρους των φύλλων του βασιλικού (g) μεταξύ των 2 συγκομιδών σε κάθε μεταχείριση (2T, 4T, 6T, 8T)



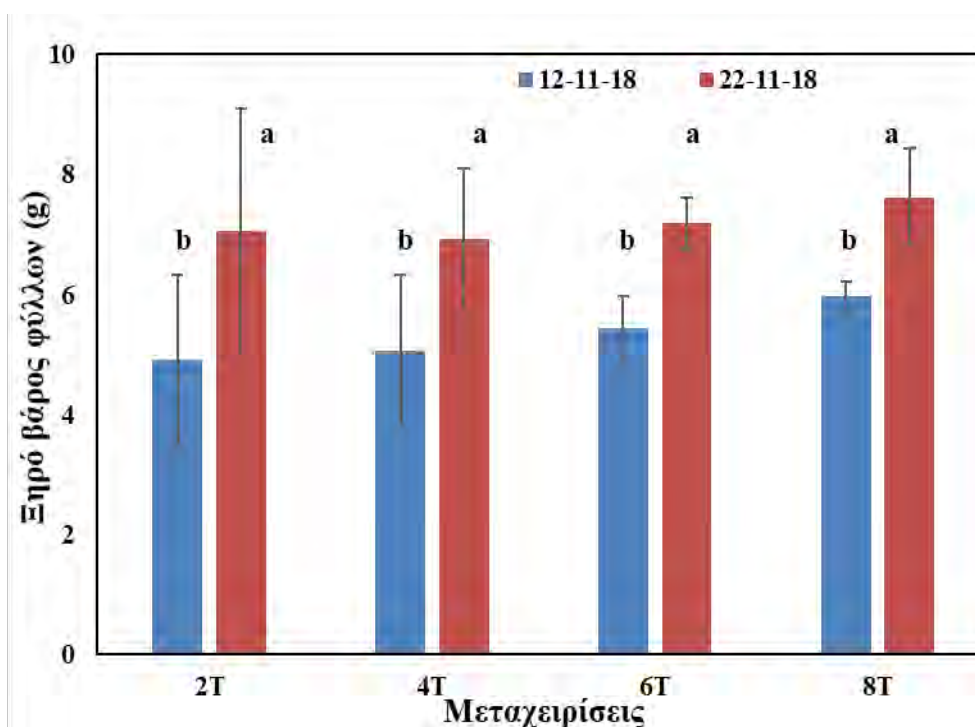
Διάγραμμα 13. Μεταβολή του νωπού βάρους (g) των βλαστών του βασιλικού μεταξύ των 2 συγκομιδών σε κάθε τη μεταχείριση (2T, 4T, 6T, 8T)

Το νωπό βάρος των βλαστών του βασιλικού παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 13, όπου πραγματοποιήθηκε η σύγκριση μεταξύ των 2 συγκομιδών. Το μεγαλύτερο βάρος βλαστών αντιστοιχούσε στη μεταχείριση 2T και στις 2 περιπτώσεις, με συνολικό βάρος 42g στην πρώτη καταστροφική μέτρηση και 64g στη δεύτερη, ενώ και στις 2 περιπτώσεις το μικρότερο

βάρος αντιστοιχούσε στη μεταχείριση 6T με βάρος 34g και 56g αντίστοιχα. Ωστόσο, τα αποτελέσματα αυτά δεν διαφέρουν μεταξύ τους στατιστικά σημαντικά ($p > 0.05$).

3.2.4 Ξηρό βάρος φύλλων

Μετά την αποξήρανση των φύλλων του βασιλικού, καταγράφηκε το ξηρό βάρος των φύλλων όπου και παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 14 για τις 2 καταστροφικές μετρήσεις. Σύμφωνα με τη στατιστική ανάλυση δεν υπάρχει κάποια στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των μεταχειρίσεων σε καμία από τις 2 καταστροφικές μετρήσεις. Ωστόσο, το μεγαλύτερο ξηρό βάρος των φύλλων καταγράφηκε για τα φυτά της μεταχείρισης 8T και στις 2 περιπτώσεις, με τελική τιμή τα 6g στην πρώτη συγκομιδή και 7.6g στη δεύτερη. Από την άλλη μεριά, στην πρώτη καταστροφική μέτρηση, το μικρότερο ξηρό βάρος αντιστοιχούσε στη μεταχείριση 2T με βάρος 4.9 g, ενώ στη δεύτερη καταστροφική το μικρότερο ξηρό βάρος αντιστοιχούσε στη μεταχείριση 6T, με βάρος 6.9 g.

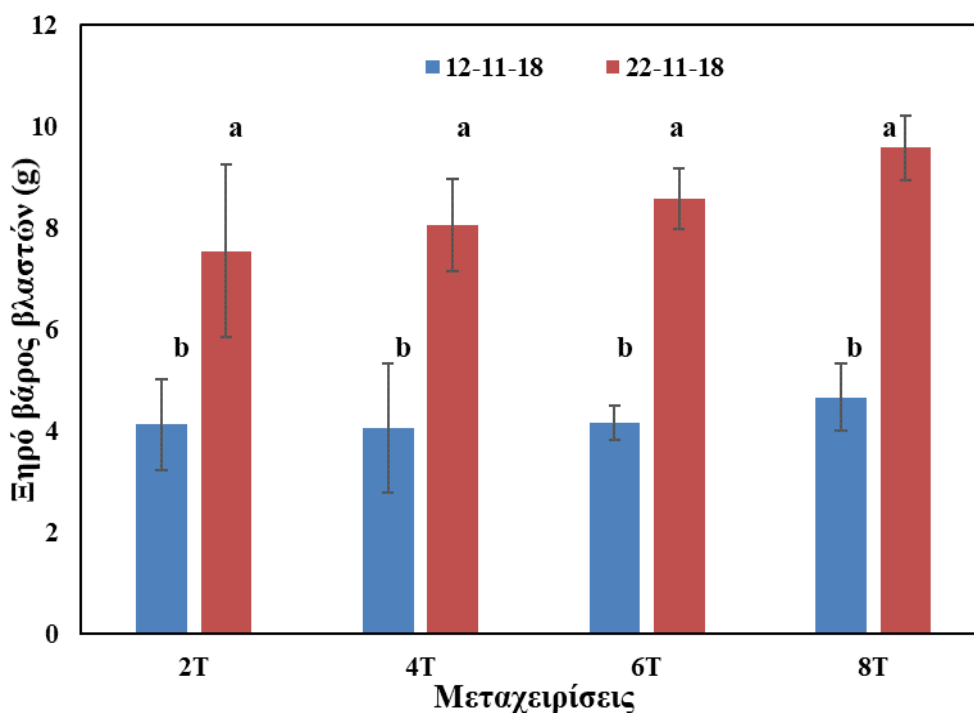


Διάγραμμα 14. Μεταβολή του ξηρού βάρους (g) των φύλλων του βασιλικού μεταξύ των 2 συγκομιδών σε κάθε μεταχείριση (2T, 4T, 6T, 8T)

3.2.5 Ξηρό βάρος βλαστών

Όπως φαίνεται και στο Διάγραμμα 15, το ξηρό βάρος των βλαστών στην πρώτη καταστροφική μέτρηση κυμαίνονταν περίπου στα 4g σε όλες τις μεταχειρίσεις, ενώ στη δεύτερη συγκομιδή η υψηλότερη τιμή του ξηρού βάρους παρουσιάστηκε στη μεταχείριση 8T

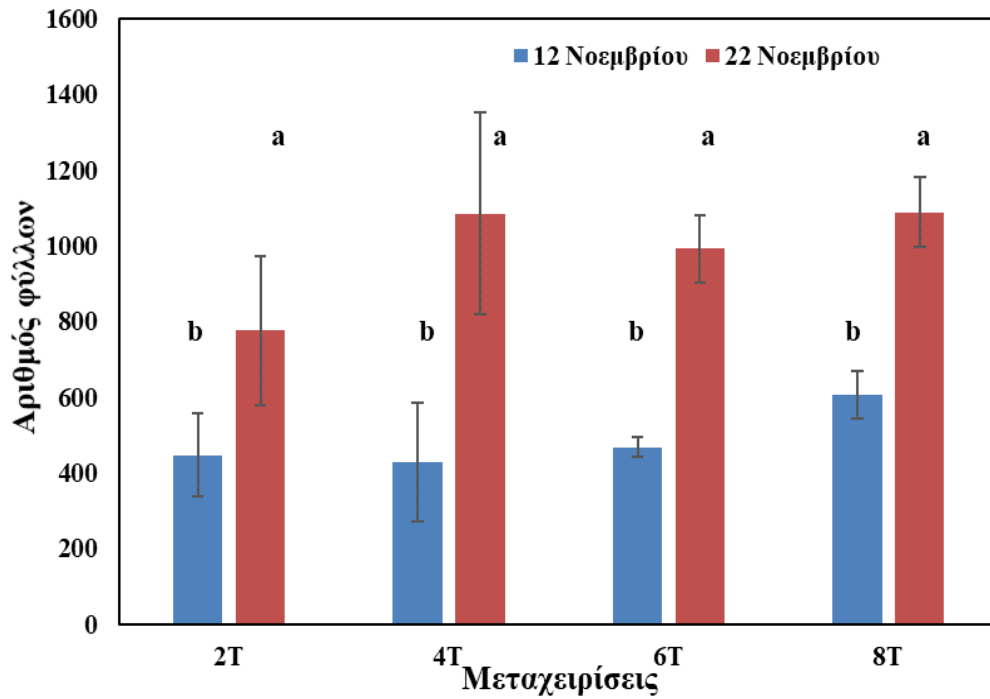
(9.58 g), ενώ η μικρότερη αντιστοιχούσε στον μάρτυρα (2T) με τιμή 7.55g. Ωστόσο, τα αποτελέσματα δεν διαφέρουν στατιστικά σημαντικά ($p > 0.05$).



Διάγραμμα 15. Μεταβολή του ξηρού βάρους (g) των βλαστών του βασιλικού μεταξύ των 2 συγκομιδών σε κάθε μεταχείριση (2T, 4T, 6T, 8T)

3.2.6 Αριθμός φύλλων

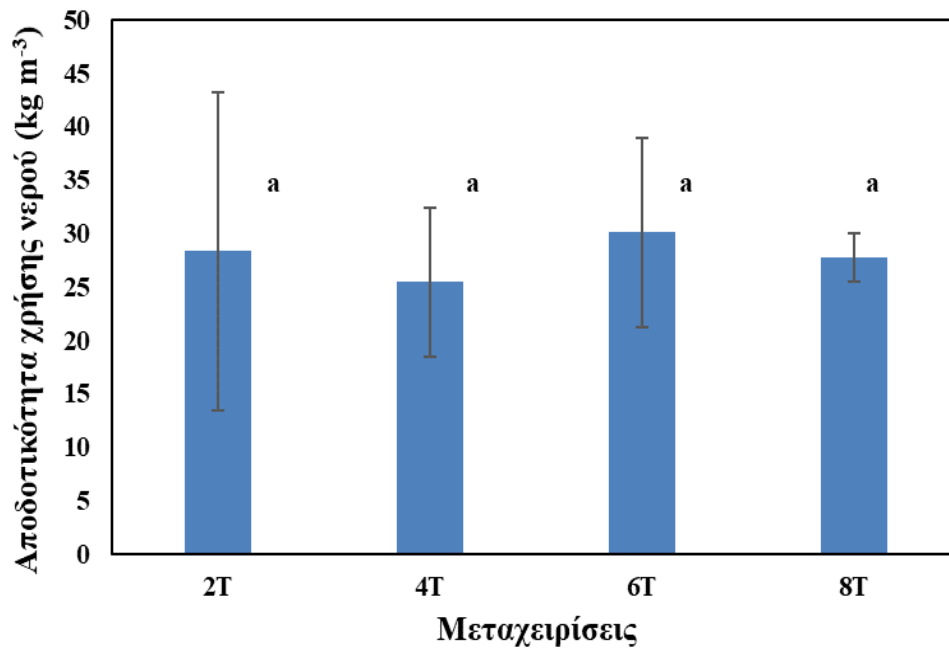
Στο Διάγραμμα 16 παρουσιάζεται ο συνολικός αριθμός των φύλλων του βασιλικού από τις 2 καταστροφικές μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια του πειράματος. Στις 12 Νοεμβρίου όπου έλαβε χώρα η πρώτη συγκομιδή, τα φυτά της μεταχείρισης 8T είχαν περισσότερα φύλλα σε σχέση με αυτά της μεταχείρισης 6T κατά 23.13%. Επιπλέον, τα φυτά της μεταχείρισης 8T φαίνεται να παρουσίασαν συνολικά το μεγαλύτερο αριθμό φύλλων συγκριτικά με τις υπόλοιπες τρεις μεταχειρίσεις. Ομοίως, στην 2^η καταστροφική μέτρηση (22 Νοεμβρίου) όπου φαίνεται και η τελική ανάπτυξη του φυτού, ο μεγαλύτερος αριθμός φύλλων αντιστοιχεί στα φυτά της μεταχείρισης 8T με μια μέση τιμή 1088 φύλλα ανά φυτό, ενώ τα λιγότερα φύλλα καταγράφηκαν για τον μάρτυρα (2T) με μέση τιμή 775.



Διάγραμμα 16. Αριθμός των φύλλων του βασιλικού μεταξύ των 2 συγκομιδών σε κάθε μεταχείριση (2T, 4T, 6T, 8T)

3.3 Αποδοτικότητα χρήσης νερού

Όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 17, τα αποτελέσματα της αποδοτικότητα χρήσης νερού (WUE) δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων ($p > 0.05$). Η τιμή του WUE και στις τέσσερις μεταχειρίσεις κυμαινόταν κατά μέσο όρο στα 28 kg m^{-3} , με τη μεγαλύτερη αύξηση της απόδοσης να αντιστοιχεί στη μεταχείριση 6T (30.09 kg m^{-3}) και τη μικρότερη στη μεταχείριση 4T (25.47 kg m^{-3}).



Διάγραμμα 17. Αποδοτικότητα χρήσης νερού (kg m⁻³) σε κάθε μεταχείριση (2T, 4T, 6T, 8T).

4 Συζήτηση

Παρόλο που η επίδραση της αλατότητας στις υδροπονικές καλλιέργειες αρωματικών και λαχανοκομικών καλλιεργειών είναι ένα ζήτημα που απασχολεί ευρέως το επιστημονικό κοινό, λίγες είναι οι μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί για την αξιολόγηση του θέματος ώστε να υπάρξει σωστή εκμετάλλευση των αλατούχων υδάτων. Όσον αφορά στην παρούσα μελέτη η οποία επικεντρώνεται στην επίδραση των υψηλών συγκεντρώσεων αλατότητας στην καλλιέργεια του βασιλικού, υπάρχουν μερικές μελέτες όπου σχετίζονται με αυτήν. Σύμφωνα με τους Maia et al. (2017), το ύψος των φυτών σε καλλιέργεια βασιλικού μειώθηκε κατά 34.6% ενώ αρδεύονταν με θρεπτικό διάλυμα όπου η EC ήταν 5 dS m^{-1} . Αντίθετα, στην παρούσα έρευνα, δεν υπήρξαν σημαντικές διαφορές μεταξύ του ύψους των φυτών, παρόλο που το μεγαλύτερο ύψος αντιστοιχούσε στον μάρτυρα (2T) με μικρή διαφορά σε σχέση με τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις. Το ίδιο αποτέλεσμα παρουσίασαν και οι Bione et al. (2014), όπου το ύψος των φυτών του βασιλικού δεν παρουσίασε σημαντικές διαφορές, καθώς καταγράφηκε μόνο μια μείωση κατά 2.09% ανά μονάδα αύξησης της EC με τη μέγιστη συγκέντρωση αλατότητας να φτάνει τα 8.48 dS m^{-1} , 49 ημέρες μετά την προσθήκη NaCl. Αυτή η σημαντική διαφορά μεταξύ των δυο ερευνών μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι στην πρώτη περίπτωση η καλλιέργεια έγινε σε θερμοκήπιο στο έδαφος, ενώ στην δεύτερη περίπτωση η καλλιέργεια έγινε σε κλειστό υδροπονικό σύστημα NFT. Στην υδροπονική καλλιέργεια τα φυτά τείνουν να είναι πιο ανθεκτικά στην αλατότητα (Maia et al., 2017).

Στην παρούσα μελέτη, μετά την αξιολόγηση του νωπού βάρους, διαπιστώθηκε ότι 23 ημέρες μετά την προσθήκη NaCl η μεταχείριση όπου τα φυτά αρδεύονταν με διάλυμα περιεκτικότητας 6 dS m^{-1} παρουσίασε το μεγαλύτερο μέσο νωπό βάρος φύλλων (92.8g), ενώ τα φυτά του μάρτυρα (2T) παρουσίασαν το μεγαλύτερο μέσο νωπό βάρος βλαστών (64g). Ωστόσο, το μεγαλύτερο συνολικό καθαρό βάρος αντιστοιχούσε στη μεταχείριση 6T (148g) με μικρή διαφορά σε σχέση με τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις. Αντίθετα, σύμφωνα με τους Bione et al. (2017), μετά την άρδευση του βασιλικού για 49 ημέρες με διάλυμα συγκέντρωσης 6 dS m^{-1} , παρατηρήθηκε μείωση του νωπού βάρους του βασιλικού κατά 47%. Όμοια αποτελέσματα παρουσιάστηκαν από τους Heidari (2011) όπου το βάρος των φυτών μειώθηκε κατά 17.8% στα 6 dS m^{-1} , 20 ημέρες μετά την προσθήκη NaCl.

Σύμφωνα με τους Santos et al. (2019), σε καλλιέργεια βασιλικού που έγινε σε σύστημα DFT, 18 ημέρες μετά την προσθήκη NaCl, παρατηρήθηκε μείωση του ξηρού βάρους των φύλλων κατά 28.24% όταν τα φυτά αρδεύονταν με EC 6 dS m^{-1} σε σχέση με τη μεταχείριση όπου δεν είχε χορηγηθεί NaCl, ενώ υπήρξε μείωση και στο ξηρό βάρος των βλαστών κατά 44.34%, στην ίδια μεταχείριση αντίστοιχα. Στην παρούσα μελέτη, το ξηρό βάρος των φύλλων 23 ημέρες μετά την προσθήκη χλωριούχου νατρίου, έμεινε ίδιο τόσο στη μεταχείριση όπου η

EC ήταν 6 dS m^{-1} , όσο και στον μάρτυρα (2 dS m^{-1}), ενώ το ξηρό βάρος του βλαστού ήταν υψηλότερο στη μεταχείριση με 6T σε σχέση με το μάρτυρα. Στην ίδια μελέτη, ο αριθμός των φύλλων του βασιλικού μειώθηκε κατά 23.69% στη μεταχείριση όπου η EC του θρεπτικού διαλύματος ήταν 6 dS m^{-1} , 30 ημέρες μετά την προσθήκη NaCl σε αντίθεση με την παρούσα μελέτη, όπου ο μικρότερος αριθμός των φύλλων αντιστοιχούσε στον μάρτυρα (2 dS m^{-1}) και ο μεγαλύτερος στη μεταχείριση 8T (8 dS m^{-1}) με μια διαφορά μεταξύ τους κατά 28.79%.

Στην παρούσα μελέτη, τα επίπεδα της χλωροφύλλης μειώθηκαν και στις τέσσερις μεταχειρίσεις, με τη μεγαλύτερη μείωση να αντιστοιχεί στη μεταχείριση 4T. Παρόλα αυτά, στο τέλος του πειράματος η μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη παρουσιάστηκε στα φυτά της μεταχείρισης 8T. Σύμφωνα με τον Heidari (2011), σε υδροπονική καλλιέργεια όπου καλλιεργήθηκαν δυο διαφορετικοί γενότυποι βασιλικού υπό την καταπόνηση αλατότητας, το μεγαλύτερο ποσοστό μείωσης της χλωροφύλλης αντιστοιχούσε στα φυτά που δέχονταν διάλυμα συγκέντρωσης 6 dS m^{-1} , σε σχέση με τον μάρτυρα και τη μεταχείριση όπου το θρεπτικό διάλυμα είχε EC 3 dS m^{-1} . Σε μελέτη όπου καλλιεργήθηκαν 6 διαφορετικά είδη της οικογένειας Lamiaceae στο θερμοκήπιο, δεν υπήρξε σημαντική μείωση της χλωροφύλλης μεταξύ των ειδών, παρά μόνο στο είδος Mexican oregano με μείωση 18% σε επίπεδο αλατότητας 5 dS m^{-1} και στο είδος Cherry skullcap, όπου συγκέντρωση χλωροφύλλης μειώθηκε κατά 26% στην ίδια μεταχείριση (Wu et al., 2016). Η μείωση της συγκέντρωσης χλωροφύλλης στα φύλλα μπορεί να οφείλεται στην απώλεια της φωτοσυνθετικής ικανότητας και της ανασταλτικής επίδρασης των συσσωρευμένων ιόντων στη βιοσύνθεση της (Hakim et al., 2014).

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα του διαλύματος απορροής στην παρούσα μελέτη αυξήθηκε περισσότερο στη μεταχείριση 6T σε σχέση με τη μεταχείριση 2T. Σύμφωνα με τους Wu et al. (2016), η ηλεκτρική αγωγιμότητα απορροής στις μεταχειρίσεις όπου η αλατότητα του θρεπτικού διαλύματος ήταν 5 dS m^{-1} και 10 dS m^{-1} αυξήθηκε περίπου 50%, σε σχέση με τον μάρτυρα όπου η EC του θρεπτικού διαλύματος ήταν 1.2 dS m^{-1} . Παρόμοια αποτελέσματα παρουσιάζονται και στη μελέτη των Savvas et al. (2007), σε καλλιέργεια κόκκινης πιπεριάς σε κλειστό υδροπονικό σύστημα σε θερμοκήπιο, όπου η ηλεκτρική αγωγιμότητα είχε μεγαλύτερη αύξηση στη μεταχείριση όπου η συγκέντρωση του NaCl στην άρδευση ήταν 6 dS m^{-1} σε σχέση με τον μάρτυρα όπου είχε συγκέντρωση 0.8 dS m^{-1} . Το γεγονός ότι η ηλεκτρική αγωγιμότητα στο θρεπτικό διάλυμα άρδευσης αυξήθηκε, υποδεικνύει ότι τα άλατα συσσωρεύονται στο ριζικό σύστημα των φυτών (Wu et al., 2016).

Όσον αφορά την αποδοτικότητα της χρήσης νερού, στην παρούσα μελέτη δεν υπήρξαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων, ενώ η μεγαλύτερη απόδοση αντιστοιχούσε στη μεταχείριση 6T. Σύμφωνα με τους Qaryouti et al. (2007), σε ανοιχτό υδροπονικό

σύστημα όπου εφαρμόστηκαν 5 διαφορετικά επίπεδα αλατότητας σε καλλιέργεια τομάτας, με το υψηλότερο επίπεδο EC να φτάνει τα 7 dS m^{-1} , η αποδοτικότητα χρήσης νερού δεν επηρεάστηκε σημαντικά από την αλατότητα. Παρόμοια αποτελέσματα έδειξε η μελέτη των Signore et al. (2008), σε υδροπονική καλλιέργεια τομάτας, καθώς αναφέρουν ότι η απόδοση της χρήσης νερού υπό την επίδραση της αλατότητας δεν διαφέρει από την απόδοση της χρήσης νερού στον μάρτυρα. Σε μελέτη όπου έγινε σύγκριση μεταξύ δυο διαφορετικών ποικιλιών βασιλικού υπό την επίδραση της αλατότητας σε κλειστό θάλαμο ανάπτυξης, η απόδοση της χρήσης νερού ήταν υψηλότερη σε επίπεδο αλατότητας 200 mM NaCl και για τις δυο ποικιλίες, σε σχέση με τον μάρτυρα όπου δεν είχε γίνει προσθήκη NaCl . Η υψηλή αποδοτικότητα χρήσης νερού σχετίζεται με την χαμηλή στοματική αγωγιμότητα των φύλλων. Αυτό υποδηλώνει ότι η χαμηλή στοματική αγωγιμότητα μπορεί να επιφέρει θετικά αποτελέσματα για την βελτίωση της απόδοσης της χρήσης νερού υπό συνθήκες αλατότητας (Barbieri et al., 2012).

Η απορρόφηση του θρεπτικού διαλύματος άρδευσης στην παρούσα μελέτη, μειώθηκε σημαντικά μετά την προσθήκη NaCl . Η μεγαλύτερη μείωση απορρόφησης σημειώθηκε στη μεταχείριση 8T. Παρόμοια αποτελέσματα έδειξε η μελέτη των Schwarz και Kuchenbuch (1998), σε υδροπονική καλλιέργεια τομάτας υπό την επίδραση της αλατότητας, όπου η απορρόφηση του θρεπτικού διαλύματος μειώθηκε κατά 60% σε επίπεδο αλατότητας 9 dS m^{-1} σε σχέση με τη μεταχείριση όπου η EC ήταν 1 dS m^{-1} . Το ίδιο αναφέρουν και οι Qaryouti et al. (2007), όπου η απορρόφηση του θρεπτικού διαλύματος μειώθηκε με την αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, σε υδροπονικό σύστημα καλλιέργειας τομάτας. Η μείωση της απορρόφησης του θρεπτικού διαλύματος σχετίζεται με την αύξηση της EC, σύμφωνα με τους Chadirin et al. (2007), όπου ανέφεραν ότι όσο αυξάνεται η EC του θρεπτικού διαλύματος, τόσο μειώνεται η απορρόφηση του.

Το pH του θρεπτικού διαλύματος απορροής αυξήθηκε στατιστικά σημαντικά σε σχέση με το θρεπτικό διάλυμα άρδευσης, καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος. Η μεγαλύτερη αύξηση του απορρέοντος θρεπτικού διαλύματος αντιστοιχούσε στη μεταχείριση 8T σε σχέση με το θρεπτικό διάλυμα άρδευσης. Σύμφωνα με τους Frick και Mitchell (1993), το pH του θρεπτικού διαλύματος σε ένα υδροπονικό σύστημα μπορεί να μεταβάλλεται, λόγω της μη ισορροπημένης αντίδρασης της ανταλλαγής ανιόντων και κατιόντων. Συγκεκριμένα, σύμφωνα με μελέτη των Yosef et al. (2009) όπου χορηγήθηκαν διαφορετικές αναλογίες $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ και ουρίας σε καλλιέργεια τριαντάφυλλου σε κλειστό υδροπονικό σύστημα, παρατηρήθηκε ότι η μεγαλύτερη αύξηση pH αντιστοιχούσε στις μεταχειρίσεις όπου η συγκέντρωση NO_3^- ήταν μεγαλύτερη σε σχέση με την αμμωνία και την ουρία. Αυτό σημαίνει ότι το pH του θρεπτικού διαλύματος ήταν μεγαλύτερο, λόγω της μεγαλύτερης απορρόφησης

ανιόντων από την καλλιέργεια. Σε μελέτη όπου καλλιεργήθηκε βασιλικός σε υδροπονικό σύστημα υπό την επίδραση διαφορετικών οξέων για τη ρύθμιση του pH, παρατηρήθηκε ότι μετά την πρώτη εβδομάδα ανάπτυξης του βασιλικού, η τιμή του pH του θρεπτικού διαλύματος απορροής αυξήθηκε σημαντικά. Συγκεκριμένα, η μεγαλύτερη αύξηση του pH παρατηρήθηκε στο θρεπτικό διάλυμα όπου χρησιμοποιήθηκε οξικό οξύ ή κιτρικό οξύ, με τιμές που ξεπερνούσαν το 7.5 (Singh et al., 2015). Αντίθετα, σε θρεπτικό διάλυμα που χρησιμοποιήθηκε φωσφορικό οξύ για την ρύθμιση του pH, η τιμή του ήταν σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος (5.5-6.5).

5 Συμπεράσματα

Τα υψηλά επίπεδα αλατότητας φαίνεται να μην επηρέασαν σημαντικά την καλλιέργεια του βασιλικού. Το θρεπτικό διάλυμα με EC 8 dS m⁻¹ είχε θετική επίδραση στον αριθμό των φύλλων του βασιλικού, καθώς στο νωπό και ξηρό βάρος των βλαστών. Παράλληλα, τόσο το νωπό, όσο και το ξηρό βάρος των φύλλων επηρεάστηκε θετικά από την υψηλή περιεκτικότητα NaCl με συγκέντρωση 6 dS m⁻¹. Η θετική αλληλεπίδραση της αλατότητας και της ανάπτυξης της καλλιέργειας φαίνεται και από την χαμηλότερη τιμή του βάρους των βλαστών η οποία αντιστοιχούσε στη μεταχείριση του μάρτυρα με EC 2 dS m⁻¹. Επίσης, το θρεπτικό διάλυμα με συγκέντρωση 6 dS m⁻¹ οδήγησε στην μεγαλύτερη αύξηση της EC του διαλύματος απορροής, καθώς επίσης και στην μεγαλύτερη αποδοτικότητα χρήσης νερού. Η άρδευση των φυτών με 2 dS m⁻¹ οδήγησε σε μια μη στατιστικά σημαντική μείωση της συγκέντρωσης της χλωροφύλλης σε σχέση με τις άλλες τρεις μεταχειρίσεις, ενώ η μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη αντιστοιχούσε στη μεταχείριση 8T. Τα φυτά του βασιλικού είχαν την μεγαλύτερη ανάπτυξη ύψους όταν αρδεύονταν με θρεπτικό διάλυμα όπου η συγκέντρωση NaCl ήταν 2 dS m⁻¹. Επίσης, στη μεταχείριση 2T αντιστοιχούσε το μεγαλύτερο ποσοστό απορρόφησης. Τέλος, η μεταχείριση 4T δεν οδήγησε σε στατιστικά σημαντικά αποτελέσματα σε καμία από τις ποσοτικές και ποιοτικές μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια του πειράματος, αλλά ούτε και στα μορφολογικά χαρακτηριστικά των φυτών. Συνεπώς, η καλλιέργεια του βασιλικού σε κλειστό υδροπονικό σύστημα θα μπορούσε να είναι αποδοτική με θρεπτικό διάλυμα άρδευσης με ηλεκτρική αγωγιμότητα κατά μέσο όρο 6 dS m⁻¹, καθώς είναι δυνατόν να παραχθούν φυτά με υψηλής ποιότητας χαρακτηριστικά και με υψηλή αποδοτικότητα χρήσης νερού. Σαφώς, μια καλλιέργεια υπό την καταπόνηση με νερό χαμηλής ποιότητας προϋποθέτει τον πλήρη έλεγχο του θρεπτικού διαλύματος, αλλά και των συνθηκών ανάπτυξης.

6 Βιβλιογραφία

- Abd-elmoniem, E.M., 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. *Proceedings 2nd International Conference on Water Resources and Arid Environments, Riyadh, Saudi Arabia, King Saud University*, 28:1–8.
- Afzal, A., Faisalabad, A., Farooq, M., Wien, T.U., 2006. Alleviation of salinity stress in spring wheat by hormonal priming with ABA, salicylic acid and ascorbic acid. *Int. J. Agric. Biol.* 1560–8530/2006/08–1–23–28
- Ahmed, H.A., Yu-Xin, T., Qi-Chang, Y., 2020. Optimal control of environmental conditions affecting lettuce plant growth in a controlled environment with artificial lighting: A review. *South African J. Bot.* <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2019.12.018>
- Ahuja, I., de Vos, R.C.H., Bones, A.M., Hall, R.D., 2010. Plant molecular stress responses face climate change. *Trends Plant Sci.* 15, 664–674. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2010.08.002>
- Al-Maskri, A., Al-Kharusi, L., Al-Miqbali, H., Khan, M.M., 2010. Effects of salinity stress on growth of lettuce (*Lactuca sativa*) under closed-recycle nutrient film technique. *Int. J. Agric. Biol.* 12, 377–380.
- Attia, H., Karray, N., Ellili, A., Msilini, N., Lachaâl, M., 2009. Sodium transport in basil. *Acta Physiol. Plant.* 31, 1045–1051. <https://doi.org/10.1007/s11738-009-0324-1>
- Attia, H., Ouhibi, C., Ellili, A., Msilini, N., Bouzaïen, G., Karray, N., Lachaâl, M., 2011. Analysis of salinity effects on basil leaf surface area, photosynthetic activity, and growth. *Acta Physiol. Plant.* 33, 823–833. <https://doi.org/10.1007/s11738-010-0607-6>
- Barbieri, G., 2012. Stomatal density and metabolic determinants mediate salt stress adaptation and water use efficiency in basil (*Ocimum basilicum* L.). *J. Plant Physiol.*, 169, pp. 1737-1746
- Bar-Yosef, B., Mattson, N.S., Lieth, H.J., 2009. Effects of NH₄:NO₃:urea ratio on cut roses yield, leaf nutrients content and proton efflux by roots in closed hydroponic system. *Sci. Hortic. (Amsterdam)*. 122, 610–619. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.06.019>
- Bian, Z.H., Yang, Q.C., Liu, W.K., 2015. Effects of light quality on the accumulation of phytochemicals in vegetables produced in controlled environments: A review. *J. Sci. Food Agric.* 95, 869–877. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6789>
- Bione, M.A.A., Paz, V.P. da S., Silva, F. da, Ribas, R.F., Soares, T.M., 2014. Crescimento e produção de manjeriço em sistema hidropônico NFT sob salinidade. *Rev. Bras. Eng. Agrícola e Ambient.* 18, 1228–1234. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v18n12p1228-1234>

- Bradley, P., Marulanda, C., 2001. Simplified hydroponics to reduce global hunger, in: *Acta Horticulturae. International Society for Horticultural Science (ISHS)*, Leuven, Belgium, pp. 289–296. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2001.554.31>
- Brunings, A.M., Liu, G., Simonne, E.H., Zhang, S., Li, Y., 2012. Are Phosphorous and Phosphoric Acids Equal Phosphorous Sources for Plant Growth? *Univ. Florida IFAS Ext.* 7.
- Carmassi, G., Incrocci, L., Maggini, R., Malorgio, F., Tognoni, F., Pardossi, A., 2005. Modeling salinity build-up in recirculating nutrient solution culture. *J. Plant Nutr.* 28, 431–445. <https://doi.org/10.1081/PLN-200049163>
- Chadirin, Y., Matsuoka, T., Suhardiyanto, H., 2008. Application of deep sea water for multi-trusses cultivation of tomato using a nutrient film technique. *Hayati J. Biosci.* 15, 49–55. <https://doi.org/10.4308/hjb.15.2.49>
- Christie, E., 2014. Water and nutrient reuse within closed hydroponic systems. *Electronic Theses and Dissertations.* 1096.
- Delavari, M., Enteshari, S., Kalantari, K.M., 1994. Effects of response of *Ocimum basilicum* to the interactive effect of salicylic acid and salinity stress. *Iranian Journal of Plant Physiology* 4 (2), 983–990.
- Despommier, D., 2010. *The Vertical Farm: Feeding the World in the 21st Century*. New York, NY: St. Martins Press.
- Dörr, O.S., Brezina, S., Rauhut, D., Mibus, H., 2020. Plant architecture and phytochemical composition of basil (*Ocimum basilicum* L.) under the influence of light from microwave plasma and high-pressure sodium lamps. *J. Photochem. Photobiol. B Biol.* <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2019.111678>
- dos Santos, J.F., Filho, M.A.C., Cruz, J.L., Soares, T.M., Cruz, A.M.L., 2019. Growth, water consumption and basil production in the hydroponic system under salinity. *Rev. Ceres* 66, 45–53. <https://doi.org/10.1590/0034-737X201966010007>
- Dou, H., Niu, G., Gu, M., Masabni, J.G., 2018. Responses of sweet basil to different daily light integrals in photosynthesis, morphology, yield, and nutritional quality. *HortScience* 53, 496–503. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI12785-17>
- Dreesen, D.R., Langhans, R.W., 2019. Temperature effects on growth of impatiens plug seedlings in controlled environments. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 117, 209–215. <https://doi.org/10.21273/jashs.117.2.209>
- FAO, 2011. The state of the worlds land and water resurces for food and agriculture. https://doi.org/10.1007/978-3-319-92049-8_31
- FAO, 2002. Statistics.

- Frick, J., Mitchell, C.A., 1993. Stabilization of pH in solid-matrix hydroponic systems. *HortScience* 28, 981–984. <https://doi.org/10.21273/hortsci.28.10.981>
- Garrido, Y., Tudela, J.A., Marín, A., Mestre, T., Martínez, V., Gil, M.I., 2014. Physiological, phytochemical and structural changes of multi-leaf lettuce caused by salt stress. *J. Sci. Food Agric.* 94, 1592–1599. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6462>
- Graves, 1983. The Nutrient Film Technuique *Hortic. Rev* 5:1–44
- 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. *Agric. Water Manag.* 98, 841–846. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.12.010>
- Hakim, M.A., Juraimi, A.S., Hanafi, M.M., Ismail, M.R., Rafii, M.Y., Asiani, F., Selamat, A., 2014. The effect of salinity on chlorophyll, proline and mineral nutrients in common weeds of coastal rice fields in Malaysia. *J. Environ. Biol.* 35, 855–864.
- H. Singh, Johana del Rosario Rangel, 2015. Fertilizer and cultivar selection of different vegetable crops and evaluation of different pH buffers in hydroponics. *Hortic. Sci.*
- Helmy, H., Nursyahid, A., Setyawan, T.A., Hasan, A., 2016. Nutrient Film Technique (NFT) Hydroponic Monitoring System. *J. Appl. Inf. Commun. Technol.* 1, 1–6.
- Hu, Y., Schmidhalter, U., 2005. Drought and salinity: A comparison of their effects on mineral nutrition of plants. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 168, 541–549. <https://doi.org/10.1002/jpln.200420516>
- Hussain, A., Iqbal, K., Aziem, S., Mahato, P., Negi, A.K., 2014. A review on the science of growing crops without soil (Soilless Culture) – A Novel Alternative For Growing Crops. *Int. J. Agric. Crop Sci.* 7, 833–842.
- Jenks, 2007. Advances in molecular breeding toward drought and salt tolerant crops. *Dordrecht, The Netherlands: Springer*, 73-90.
- Jones, J.B., 1985. Growing plants hydroponically. *Am. Biol. Teach.* 47, 356–358. <https://doi.org/10.2307/4448083>
- Kaiser, E., Morales, A., Harbinson, J., Kromdijk, J., Heuvelink, E., Marcelis, L.F.M., 2015. Dynamic photosynthesis in different environmental conditions. *J. Exp. Bot.* 66, 2415–2426. <https://doi.org/10.1093/jxb/eru406>
- Kim, H., Jeong, H., Jeon, J., Bae, S., 2016. Effects of irrigation with saline water on crop growth and yield in greenhouse cultivation. *Water (Switzerland)* 8, 1–9. <https://doi.org/10.3390/w8040127>
- Koyro, H.W., 2006. Effect of salinity on growth, photosynthesis, water relations and solute composition of the potential cash crop halophyte *Plantago coronopus* (L.). *Environ. Exp. Bot.* 56, 136–146. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2005.02.001>

- Kozai, T., 2013. Resource use efficiency of closed plant production system with artificial light: concept, estimation and application to plant factory. *Proc. Japan Acad. Ser. B Phys. Biol. Sci.* 89, 447–461. <https://doi.org/10.2183/pjab.89.447>
- Kumar, K.G.S., Hao, X., Khosla, S., Guo, X., Bennett, N., 2016. Comparison of HPS lighting and hybrid lighting with top HPS and intra-canopy LED lighting for high-wire mini-cucumber production. *Acta Hortic.* 1134, 111–117. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2016.1134.15>
- Leach, J.E., 1979. Some effects of air temperature and humidity on crop and leaf photosynthesis, transpiration and resistance to gas transfer. *Ann. Appl. Biol.* 92, 287–297. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1979.tb03876.x>
- Lee, S.J., Umamo, K., Shibamoto, T., Lee, K.G., 2005. Identification of volatile components in basil (*Ocimum basilicum* L.) and thyme leaves (*Thymus vulgaris* L.) and their antioxidant properties. *Food Chem.* 91, 131–137. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.05.056>
- Li, Q., Kubota, C., 2009. Effects of supplemental light quality on growth and phytochemicals of baby leaf lettuce. *Environ. Exp. Bot.* 67, 59–64. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2009.06.011>
- Liu, H., Fu, Y., Wang, M., Liu, H., 2017. Green light enhances growth, photosynthetic pigments and CO₂ assimilation efficiency of lettuce as revealed by ‘knock out’ of the 480–560 nm spectral waveband. *Photosynthetica* 55, 144–152. <https://doi.org/10.1007/s11099-016-0233-7>
- Luna, M.C., Martínez-Sánchez, A., Selma, M. V., Tudela, J.A., Baixauli, C., Gil, M.I., 2013. Influence of nutrient solutions in an open-field soilless system on the quality characteristics and shelf life of fresh-cut red and green lettuces (*Lactuca sativa* L.) in different seasons. *J. Sci. Food Agric.* 93, 415–421. <https://doi.org/10.1002/jsfa.5777>
- Luz, J.M.Q., de Resende, R.F., Silva, S.M., de Santana, D.G., Camilo, J.S., Blank, A.F., Haber, L.L., 2014. Production of *Ocimum basilicum* L. essential oil in different seasons, systems of planting and types of fertilizers | Produção de óleo essencial de *Ocimum basilicum* L. em diferentes épocas, sistemas de cultivo e adubações. *Bol. Latinoam. y del Caribe Plantas Med. y Aromat.* 13.
- 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. *J. Plant Nutr.* 29, 1585–1599. <https://doi.org/10.1080/01904160600848904>
- Maharana L, K.D., 2011. The emergence of hydroponics. *Yojana (June)*. 55: 39-40.
- Maia, S.S.S., Silva, R.C.P. da, Oliveira, F. de A. de, Silva, O.M. dos P. da, Silva, A.C. da,

- Candido, W. dos S., 2017. Responses of basil cultivars to irrigation water salinity. *Rev. Bras. Eng. Agrícola e Ambient.* 21, 44–49. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n1p44-49>
- Monje, O., Stutte, G.W., Goins, G.D., Porterfield, D.M., Bingham, G.E., 2003. Farming in space: environmental and biophysical concerns. *Adv. Sp. Res.* [https://doi.org/10.1016/S0273-1177\(02\)00751-2](https://doi.org/10.1016/S0273-1177(02)00751-2)
- Morales, M.R. and J.E.S., 1996. New basil selections with compact inflorescences for the ornamental market. p. 543-546. In: J. Janick (ed.), *Progress in new crops. ASHS Press, Arlington, VA.* <https://hort.purdue.edu/newcrop/proceedings1996/V3>.
- Mostafa Heidari, 2011. Effects of salinity stress on growth, chlorophyll content and osmotic components of two basil (*Ocimum basilicum* L.) genotypes. *African J. Biotechnol.* 11, 379–384. <https://doi.org/10.5897/ajb11.2572>
- Munns, R., 2002. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell Environ.* 25, 239–250. <https://doi.org/10.1046/j.0016-8025.2001.00808.x>
- Munns, R., James, R.A., Läuchli, A., 2006. Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. *J. Exp. Bot.* 57, 1025–1043. <https://doi.org/10.1093/jxb/erj100>
- Munns, R., Tester, M., 2008. Mechanisms of Salinity Tolerance. *Annu. Rev. Plant Biol.* 59, 651–681. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911>
- Nederhoff, E., Stanghellini, C., 2010. Water use efficiency of tomatoes. *Pract. Hydroponics Greenhouses* 52–59.
- Nelson, B.R.L., 2008. Aquaponic equipment, the bio filter. *Aquaponics J.* 1, 22–23.
- Nikolaou, G., Neocleous, D., Katsoulas, N., Kittas, C., 2017. Effect of irrigation frequency on growth and production of a cucumber crop under soilless culture. *Emirates J. Food Agric.* 29, 863–871. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2017.v29.i11.1496>
- Nitz, G.M., Schnitzler, W.H., 2004. Effect of par and UV-B radiation on the quality and quantity of the essential oil in sweet basil (*Ocimum basilicum* L.), in: *Acta Horticulturae. International Society for Horticultural Science (ISHS)*, Leuven, Belgium, pp. 375–381. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2004.659.50>
- Okayama, T., Okamura, K., Park, J.E., Ushada, M., Murase, H., 2008. A simulation for precision airflow control using multi-fan in a plant factory. *Environ. Control Biol.* <https://doi.org/10.2525/ecb.46.183>
- Paradiso, R., Buonomo, R., Dixon, M.A., Barbieri, G., De Pascale, S., 2014. Soybean cultivation for bioregenerative life support systems (BLSSs): The effect of hydroponic system and nitrogen source. *Adv. Sp. Res.* 53, 574–584. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2013.11.024>

- Parida, A.K., Das, A.B., 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants: A review. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 60, 324–349. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2004.06.010>
- Park, I.S., Cho, K.J., Kim, J., Cho, J.Y., Lim, T.J., Oh, W., 2016. Growth and flowering responses of petunia to various artificial light sources with different light qualities. *Hortic. Sci. Technol.* 34, 55–66. <https://doi.org/10.12972/kjhst.20160016>
- Park, Y.G., Park, J.E., Hwang, S.J., Jeong, B.R., 2012. Light source and CO₂ concentration affect growth and anthocyanin content of lettuce under controlled environment. *Hortic. Environ. Biotechnol.* 53, 460–466. <https://doi.org/10.1007/s13580-012-0821-9>
- Pitann, B., Schubert, S., Mühling, K.H., 2009. Decline in leaf growth under salt stress is due to an inhibition of H⁺-pumping activity and increase in apoplastic pH of maize leaves. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 172, 535–543. <https://doi.org/10.1002/jpln.200800349>
- Qaryouti, M.M., Qawasmi, W., Hamdan, H., Edwan, M., 2007. Influence of NaCl salinity stress on yield, plant water uptake and drainage water of tomato grown in soilless culture in: *Acta Horticulturae. International Society for Horticultural Science (ISHS)*, Leuven, Belgium, pp. 539–545. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2007.747.70>
- Randall, W.C., Lopez, R.G., 2014. Comparison of supplemental lighting from high-pressure sodium lamps and light-emitting diodes during bedding plant seedling production. *HortScience* 49, 589–595. <https://doi.org/10.21273/hortsci.49.5.589>
- Reina-Sánchez, A., Romero-Aranda, R., Cuartero, J., 2005. Plant water uptake and water use efficiency of greenhouse tomato cultivars irrigated with saline water, in: *Agricultural Water Management*. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2005.04.021>
- Resh, H., 2013. Hobby Hydroponics. *CRC Press*. <https://doi.org/10.1201/b13737>
- Rubio, J.S., Rubio, F., Martínez, V., García-Sánchez, F., 2010. Amelioration of salt stress by irrigation management in pepper plants grown in coconut coir dust. *Agric. Water Manag.* 97, 1695–1702. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.05.026>
- Rufí-Salís, M., Calvo, M.J., Petit-Boix, A., Villalba, G., Gabarrell, X., 2020. Exploring nutrient recovery from hydroponics in urban agriculture: An environmental assessment. *Resour. Conserv. Recycl.* <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104683>
- Salt Farm Foundation, 2018. <https://saltfarmfoundation.com/nl/>.
- Santos Junior, J.A., Gheyi, H.R., Filho, D.H.G., Soares, F.A.L., Dias, N.D.S., 2013. Efficiency of water use in sunflower grown in hydroponic system under saline stress. *Eng. Agric.* 33, 718–729. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162013000400011>
- Savvas, D., Stamati, E., Tsirogiannis, I.L., Mantzos, N., Barouchas, P.E., Katsoulas, N., Kittas, C., 2007. Interactions between salinity and irrigation frequency in greenhouse pepper grown in closed-cycle hydroponic systems. *Agric. Water Manag.*

<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2007.05.001>

- Schwarz, D., Kuchenbuch, R., 1998. Water uptake by tomato plants grown in closed hydroponic systems dependent on the EC-level. *Acta Horticulturae. International Society for Horticultural Science (ISHS)*, Leuven, Belgium, pp. 323–328. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1998.458.41>
- Shannon, M.C., Grieve, C.M., Lesch, S.M., Draper, J.H., 2000. Analysis of salt tolerance in nine leafy vegetables irrigated with saline drainage water, *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*
- Shibata, T., Iwao, K., Takano, T., 1995. Effect on vertical air flowing on lettuce growing in a plant factory, in: *Acta Horticulturae. International Society for Horticultural Science (ISHS)*, Leuven, Belgium, pp. 175–182. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1995.399.20>
- Sifola, M.I., Barbieri, G., 2006. Growth, yield and essential oil content of three cultivars of basil grown under different levels of nitrogen in the field. *Sci. Hortic. (Amsterdam)*. 108, 408–413. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.02.002>
- Signore, A., Santamaria, P., Serio, F., 2008. Influence of salinity source on production, quality and environmental impact of tomato grown in a soilless closed system. *J. Food, Agric. Environ.* 6, 357–361.
- Silva, M.G. da, Soares, T.M., Gheyi, H.R., Oliveira, I. de S., Silva Filho, J.A. da, Carmo, F.F. do, 2016. Frequency of recirculation of nutrient solution in hydroponic cultivation of coriander with brackish water. *Rev. Bras. Eng. Agrícola e Ambient.* .
- Simon, J. E.; Quinn, J.; Murray, J.G., 1990. Basil: A Source of Essential Oils. *Adv. New Crop*. 484–489.
- Spiertz, H., 2010. Food production, crops and sustainability: Restoring confidence in science and technology. *Curr. Opin. Environ. Sustain.* 2, 439–443. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2010.10.006>
- Tarchoune, I., Degl’Innocenti, E., Kaddour, R., Guidi, L., Lachaâl, M., Navari-Izzo, F., Ouerghi, Z., 2012. Effects of NaCl or Na₂SO₄ salinity on plant growth, ion content and photosynthetic activity in *Ocimum basilicum* L. *Acta Physiol. Plant.* 34, 607–615. <https://doi.org/10.1007/s11738-011-0861-2>
- Tian, L., Meng, Q., Wang, L., Dong, J., Control, I., 2014. A study on crop growth environment control system, *International Journal of Control and Automation* 7, 357–374.
- Walters, K.J., Currey, C.J., 2015. Hydroponic greenhouse basil production: comparing systems and cultivars. *HortTechnology*. 25 (5):645–650
- Wei, Y., Xu, X., Tao, H., Wang, P., 2006. Growth performance and physiological response in

- the halophyte *Lycium barbarum* grown at salt-affected soil. *Ann. Appl. Biol.* 149, 263–269. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2006.00092.x>
- Wogiatzi, E., Papachatzis, A., Kalorizou, H., Chouliara, A., Chouliaras, N., 2011. Evaluation of essential oil yield and chemical components of selected basil cultivars. *Biotechnol. Equip.* 25, 2525–2527. <https://doi.org/10.5504/bbeq.2011.0067>
- Wolf, M.M., Spittler, a., Ahern, J., 2005. A profile of farmers market consumers and the perceived advantages of produce sold at farmers markets. *J. Food Distrib. Res.* 36, 192–201.
- Wu, S., Sun, Y., Niu, G., Lizette, G., Pantoja, G., Rocha, A.C., 2016. Responses of six Lamiaceae landscape species to saline. *J. Environ. Hort.* 34(1):30–35.
- Yolanda, D., Hindersah, H., Hadiatna, F., Triawan, M.A., 2017. Implementation of real-time fuzzy logic control for NFT-based hydroponic system on internet of things environment. 2016 6th Int. Conf. Syst. Eng. Technol. 153–159. <https://doi.org/10.1109/icsengt.2016.7849641>
- Yoshiaki Kitaya, Johshin Tsuruyama, Masayuki Kawai, T.S. and M.K., 2000. Effects of air current on transpiration and net photo-synthetic rates of plants in a closed plant production. *Transplant Production in the 21 st Century*, 83-90.
- Zhang, X., He, D., Niu, G., Yan, Z., Song, J., 2018. Effects of environment lighting on the growth, photosynthesis, and quality of hydroponic lettuce in a plant factory. *Int. J. Agric. Biol. Eng.* 11, 33–40. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20181102.3420>
- Zörb, C., Noll, A., Karl, S., Leib, K., Yan, F., Schubert, S., 2005. Molecular characterization of Na⁺/H⁺ antiporters (ZmNHX) of maize (*Zea mays* L.) and their expression under salt stress. *J. Plant Physiol.* 162, 55–66. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2004.03.010>