



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

Σχολή Γεωπονικών Επιστημών

**Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού
Περιβάλλοντος**

Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος

Πτυχιακή Διατριβή

**«Επίδραση της αλατότητας και της επάλληλης χρήσης απορροών
στην παραγωγή και την αποτελεσματικότητα χρήσης νερού
υδροπονικής καλλιέργειας μέντας»**

Παναηλίδου Αικατερίνη

Επιβλέπων: Κατσούλας Νικόλαος, Καθηγητής

Βόλος, 2022

«Επίδραση της αλατότητας και της επάλληλης χρήσης απορροών στην παραγωγή και την αποτελεσματικότητα χρήσης νερού υδροπονικής καλλιέργειας μέντας»

«Effect of salinity on mint crop yield and water use efficiency grown in a cascade hydroponic system»

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:

Κατσούλας Νικόλαος (Επιβλέπων), Καθηγητής, Γεωργικές Κατασκευές-Θερμοκήπια,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Λεβίζου Ευθυμία (Μέλος), Επίκουρος Καθηγήτρια, Φυσιολογία Φυτών,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Κίττα Ευαγγελινή (Μέλος), Γεωπόνος, Μ.Δ.Ε, Διδάκτορας Γεωργικών Κατασκευών,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Βεβαιώνω ότι είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής εργασίας, η οποία εκπονήθηκε σύμφωνα με τον Κανονισμό Εκπόνησης Πτυχιακής Εργασίας του ΤΓΦΠΑΠ.

Νικολαέττη Παναγιώττου

Ευχαριστίες

Με το πέρας της παρούσας διπλωματικής εργασίας, νιώθω την ανάγκη να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου για όλα τα άτομα η συμβολή των οποίων ήταν καταλυτική για την ολοκλήρωση της παρούσας διατριβής.

Αρχικά ευχαριστώ θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή και μέλος της τριμελούς επιτροπής κ. Κατσούλα Νικόλαο, για την ανάθεση αυτού του θέματος πτυχιακής διατριβής και την ευκαιρία που μου έδωσε να επεκτείνω τις γνώσεις μου στον κλάδο των θερμοκηπίων και της υδροπονίας.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω την Δρ. Ευαγγελινή Κίττα για τη συμμετοχή της στην επιτροπή εξέτασης της παρούσας διατριβής, καθώς και την κα. Ευθυμία Λεβίζου για τη συμμετοχή της στην επιτροπή εξέτασης και τις χρήσιμες συμβουλές της στο αντικείμενο των καταπονήσεων των φυτών.

Δε μπορώ να παραλείψω τις ευχαριστίες που αξίζουν όλα τα μέλη του εργαστηρίου Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος, και ειδικότερα τη Φαλιάγκα Σοφία, για τη μεγάλη στήριξη και βοήθεια που μου παρείχαν κατά την εκπόνηση της διατριβής.

Ευχαριστώ θερμά την Καρατσιβου Ελένη για την πολύωρη συμπαράσταση και βοήθεια τόσο στην εκπόνηση του πειράματος όσο και στην διαδικασία συγγραφής της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Η συμβολή της ήταν καθοριστικής σημασίας για την ολοκλήρωση αυτού του κύκλου σπουδών μου.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω τα μέλη της οικογένειάς μου για την ακράδαντη υποστήριξή τους σε όλες τις επιλογές μου και τους φίλους μου, η παρουσία και βοήθεια των οποίων ήταν ανεκτίμητη. Ευχαριστώ συγκεκριμένα τη Βαγγελιώ, τον Θοδωρή και τον Βασίλη, συνοδοιπόρους μου στην εκπόνηση των πτυχιακών διατριβών μας και χωρίς την βοήθεια και συμπαράσταση των οποίων δε θα μπορούσα να τα καταφέρω.

Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη.....	viii
1. Εισαγωγή.....	9
1.1. Υδροπονικά Συστήματα Καλλιεργειών.....	10
1.1.1. Ανοιχτό Σύστημα Επάλληλων Καλλιεργειών	12
1.2. Υπόστρωμα Πετροβάμβακα.....	13
1.3. Θρεπτικό Διάλυμα.....	14
1.3.1. pH.....	14
1.3.2. Ηλεκτρική Αγωγιμότητα- Αλατότητα.....	15
1.3.2.1. Επιπτώσεις Αλατότητας στα Φυτά.....	15
1.3.2.2. Επίδραση αλατότητας στη διαπνοή και τη φωτοσυνθετική ικανότητα.....	16
1.3.2.3. Επίδραση αλατότητας στη παραγωγή	17
1.3.2.4. Ανθεκτικότητα Φυτών στην Αλατότητα	18
1.3.2.5. Εκμετάλλευση της Αντίδρασης των Φυτών στη Καταπόνηση Υψηλής Αλατότητας.....	18
1.4. Αποδοτικότητα Χρήσης Νερού- Water Use Efficiency (WUE)	19
1.5. Καλλιέργειες.....	20
1.5.1. Τομάτα.....	20
1.5.2. Μέντα	21
1.6. Σκοπός.....	22
2. Υλικά και Μέθοδοι.....	23
2.1. Εγκαταστάσεις θερμοκηπίου και καλλιέργειες	23
2.2. Πειραματικός σχεδιασμός και οι διαφορετικές μεταχειρίσεις του πειράματος... ..	25
2.2.1. Λοιπές επεμβάσεις.....	28
2.3. Αγρονομικές μετρήσεις	28
2.3.1. Μετρήσεις ύψους.....	28
2.3.2. Μετρήσεις χλωροφύλλης.....	29
2.3.3. Μετρήσεις φωτοσυνθετικής ικανότητας	29
2.4. Καταστροφικές μετρήσεις – Συγκομιδές.....	30
2.5. Υπολογισμός Αποδοτικότητας Χρήσης Νερού.....	31
2.6. Στατιστική επεξεργασία	32
3. Αποτελέσματα	32
3.1. Μετρήσεις Ύψους	32
3.2. Μετρήσεις Συγκέντρωσης Ολικής Χλωροφύλλης	33
3.3. Φωτοσυνθετική Ικανότητα	35

3.3.1.	Ρυθμός ανταλλαγής CO ₂	35
3.3.2.	Ρυθμός Διαπνοής.....	36
3.4.	Αποδοτικότητα Χρήσης Νερού (WUE)	37
3.5.	Καταστροφικές Μετρήσεις.....	39
3.5.1.	Ολικό Νωπό Βάρος	39
3.5.2.	Ολικό Ξηρό βάρος.....	39
3.5.3.	Νωπό Βάρος Βλαστών και Φύλλων	41
3.5.4.	Ξηρό Βάρος Βλαστών και Φύλλων	44
3.5.5.	Αριθμός Φύλλων	47
3.6.	Μορφολογικές Μακροσκοπικές Παρατηρήσεις.....	47
4.	Συζήτηση.....	49
5.	Συμπεράσματα.....	53
6.	Βιβλιογραφία.....	54

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1 Σύσταση νερού γεώτρησης

Πίνακας 2 Σύνθεση των διαλυμάτων σε μακροστοιχεία και ιχνοστοιχεία (οι συγκεντρώσεις των μακροστοιχείων σε mmol L^{-1} και των ιχνοστοιχείων σε $\mu\text{mol L}^{-1}$) για τη καλλιέργεια μέντας, ανά μεταχείριση. Δείγματα θρεπτικού διαλύματος συγκεντρώθηκαν από τις δεξαμενές άρδευσης, μια εβδομάδα μετά την αρχή των μεταχειρίσεων, 07 Νοεμβρίου 2019 και πριν τη δεύτερη συγκομιδή, 19 Δεκεμβρίου 2019.

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1 Κάτοψη εγκατάστασης καλλιέργειας (πράσινο) σε δύο θαλάμους του θερμοκηπίου, με διαφορετικές μεταχειρίσεις (T0, T1, T2 και T3) και τρεις επαναλήψεις η κάθε μία (A, B και C). Στην υπόλοιπη καλλιεργούμενη επιφάνεια (γκρι) ήταν εγκατεστημένη η καλλιέργεια δυόσμου.

Εικόνα 2 Όργανο μέτρησης Ολικής Χλωροφύλλης SPAD

Εικόνα 3 Όργανο Μέτρησης Φωτοσύνθεσης

Εικόνα 4 Φούρνος Ξήρανσης

Εικόνα 5 Πτώση Φύλλων στα φυτά της μεταχείρισης πρότυπου διαλύματος με τη προσθήκη άλατος (Πράσινο: T0, Κίτρινο: T1) (Ημ/νία 16 Ιανουαρίου 2020)

Εικόνα 6 Πτώση Φύλλων στα φυτά μεταχειρίσεων απορροών (Ροζ: T2, Μπλε: T3) (Ημ/νία 16 Ιανουαρίου 2020)

Εικόνα 7 Ενδεικτικές φωτογραφίες Ξήρανσης και Πτώσης Φύλλων (από αριστερά προς δεξιά: T0, T1, T2, T3) (Ημ/νία 16 Ιανουαρίου 2020)

Κατάλογος Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1 Μέσες τιμές μετρήσεων Ύψους, ανά ημέρα καταγραφής και ανά μεταχείριση

Διάγραμμα 2 Μέσες τιμές μετρήσεων Ολικής Συγκέντρωσης χλωροφύλλης, ανά ημέρα καταγραφής και ανά μεταχείριση

Διάγραμμα 3 Μέσες τιμές μετρήσεων Ρυθμού Ανταλλαγής CO₂, ανά ημέρα καταγραφής και ανά μεταχείριση

Διάγραμμα 4 Μέσες τιμές μετρήσεων Ρυθμού Διαπνοής, ανά ημέρα καταγραφής και ανά μεταχείριση

Διάγραμμα 5 Μέσες τιμές Αποδοτικότητας Χρήσης Νερού- WUE, ανά ημέρα και ανά μεταχείριση

Διάγραμμα 6 Μέσες τιμές μετρήσεων Ολικού Νωπού Βάρους, ανά ημέρα καταγραφής και ανά μεταχείριση

Διάγραμμα 7 Μέσες τιμές μετρήσεων Ολικού Ξηρού Βάρους, ανά ημέρα καταγραφής και ανά μεταχείριση

Διάγραμμα 8 Λόγος Ολικού Ξηρού Βάρους/Ολικό Νωπό Βάρος

Διάγραμμα 9 Μέσες τιμές μετρήσεων Νωπού Βάρους Βλαστών, ανά ημέρα καταγραφής και ανά μεταχείριση

Διάγραμμα 10 Μέσες τιμές μετρήσεων Νωπού Βάρους Φύλλων, ανά ημέρα καταγραφής και ανά μεταχείριση

Διάγραμμα 11 Λόγος Νωπού Βάρους Βλαστών/Νωπό Βάρος Φύλλων

Διάγραμμα 12 Μέσες τιμές μετρήσεων Ξηρού Βάρους Βλαστών, ανά ημέρα καταγραφής και ανά μεταχείριση

Διάγραμμα 13 Μέσες τιμές μετρήσεων Ξηρού Βάρους Φύλλων, ανά ημέρα καταγραφής και ανά μεταχείριση

Διάγραμμα 14 Λόγος Ξηρού Βάρους Βλαστών/Νωπό Βάρος Φύλλων

Διάγραμμα 15 Μέσες τιμές μετρήσεων Αριθμού Φύλλων, ανά ημέρα καταγραφής και ανά μεταχείριση

Περίληψη

Οι μέθοδοι και ο σχεδιασμός των υδροπονικών συστημάτων καλλιέργειας χαίρουν βελτίωσης ειδικά στη διαχείριση των απορροών της καλλιέργειας, με στόχο την εξοικονόμηση φυσικών πόρων. Λαμβάνοντας υπόψη, την αυξημένη ηλεκτρική αγωγιμότητα των απορροών μιας καλλιέργειας τομάτας (*Solanum lycopersicum* cv. Elpida), μελετήθηκε η επαναχρησιμοποίηση των εκροών ως εισροές σε μια δεύτερη, πιο ανθεκτική στην αλατότητα, καλλιέργεια μέντας (*Mentha x piperita*), σε ένα ανοιχτό σύστημα επάλληλων καλλιεργειών με στατική ανακυκλοφορία. Για τη μελέτη επίδρασης της αλατότητας στην καλλιέργεια μέντας, με επαναχρησιμοποίηση απορροών από την καλλιέργεια της τομάτας, εφαρμόστηκαν διαφορετικές στρατηγικές άρδευσης. Συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκαν τέσσερις μεταχειρίσεις για την υδρολίπανση της καλλιέργειας μέντας. Η μεταχείριση του πρότυπου διαλύματος (T0), με τιμή ηλεκτρικής αγωγιμότητας 2.1 dS m^{-1} , αποτελούσε το μάρτυρα της πειραματικής μελέτης στο πεδίο και επιπλέον, μέτρο σύγκρισης με τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις, ως μονοκαλλιέργεια. Οι υπόλοιπες τρεις μεταχειρίσεις αφορούσαν την επίδραση λίπανσης με κοινό παράγοντα, την τιμή ηλεκτρικής αγωγιμότητας μέχρι την τιμή, 8 dS m^{-1} . Η πρώτη μεταχείριση (T1) λάμβανε το πρότυπο διάλυμα μέντας με προσθήκη ποσότητας χλωριούχου νατρίου (NaCl). Η δεύτερη μεταχείριση (T2), αποτελούνταν από ένα μείγμα πρότυπου διαλύματος και απορροών τομάτας, σε σταθερή αναλογία 1:1 και προσθήκη άλατος. Τέλος, η τελευταία μεταχείριση του πειράματος (T3), αρδευόταν εξ ολοκλήρου από τις απορροές της τομάτας, με προσθήκη ποσότητας NaCl, έως την τιμή στόχου της ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των μετρήσεων, η μέγιστη απόδοση σε βιομάζα παρουσιάστηκε στις μεταχειρίσεις T1 και T3, χωρίς στατιστικά σημαντικές διαφορές. Η μέγιστη αποδοτικότητα χρήσης νερού παρουσιάστηκε στη μεταχείριση T1. Συμπερασματικά, η καλλιέργεια της μέντας αποτελεί βέλτιστη επιλογή, ως δευτερεύουσα καλλιέργεια, ενός συστήματος επάλληλων καλλιεργειών, μέχρι την τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας των 8 dS m^{-1} , με επαναχρησιμοποίηση απορροών.

1. Εισαγωγή

Με τον πληθυσμό της γης να προβλέπεται ότι θα αυξηθεί κατά 34% μέχρι το 2050, δηλαδή περί των 9.1 δισεκατομμυρίων, η ανάγκη για τροφή θα αυξηθεί. Ωστόσο, με τη πάροδο των χρόνων οι διαθέσιμοι πόροι, όπως η ποιότητα και η συνολική έκταση καλλιεργήσιμου εδάφους, η ποιότητα και διαθεσιμότητα νερού ή το εργατικό δυναμικό, υποβαθμίζονται ποιοτικά και ποσοτικά. Έτσι, η απόδοση της γεωργίας θα πρέπει να αυξηθεί, ώστε να καλύπτει τις επικείμενες ανάγκες της ανθρωπότητας, ενώ θα υπάρχει ταυτόχρονη μείωση των αναγκαίων για αυτή πόρων. Οπότε, καθίσταται προφανής η ανάγκη για εδραίωση νέων αποδοτικών τεχνικών και πρακτικών καλλιέργειας (FAO, 2009).

Κατά κανόνα, το χρησιμοποιούμενο από τον άνθρωπο νερό προέρχεται από τις διάφορες φάσεις του υδρολογικού κύκλου του νερού, όπως από ποταμούς, λίμνες, από συλλογή νερού της βροχής ή τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα. Ωστόσο, υπάρχουν μεγάλα αποθέματα, είτε φυσικά είτε παραγόμενα από ανθρώπινες εργασίες, τα οποία δύνανται υπό όρους να επαναχρησιμοποιηθούν για άλλες χρήσεις. Τα διαθέσιμα αποθέματα νερού αποτελούν οι απορροές βρόχινου νερού στους υπονόμους, νερό που χρησιμοποιείται ως ψυκτικό μέσο σε βιομηχανίες, θαλασσινό ή υφάλμυρο νερό και νερό που αποτελεί απορροές άρδευσης καλλιεργειών (Chen et al., 2021).

Η συνολική κατανάλωση νερού για τη γεωργία στις χώρες της Νότιας και Ανατολικής Μεσογείου είναι πολύ μεγαλύτερη συγκριτικά με τη μέση κατανάλωση σε παγκόσμιο επίπεδο. Το 80% των υδάτινων πόρων χρησιμοποιείται για άρδευση και περισσότερο από το μισό αποδίδεται σε απώλειες (Postel, 1999). Ωστόσο, οι απώλειες αυτές δεν είναι το μόνο πρόβλημα που δημιουργείται. Οι αγροτικές δραστηριότητες εντείνουν το φαινόμενο του ευτροφισμού και αλάτωσης των υδάτων, καθώς και της μόλυνσης των υπόγειων υδάτων, με απορροές χημικών που χρησιμοποιούνται ευρέως, κυρίως σε μεγάλης κλίμακας καλλιέργειες, όπως εντομοκτόνα, μυκητοκτόνα αλλά και μεγάλες ποσότητες θρεπτικών από λιπάσματα (Larous, 2004).

Σε περιοχές, όπου το καλλιεργήσιμο έδαφος και νερό είναι ελλιπή, συναντώνται όλο και πιο συχνά μέθοδοι και τεχνολογίες εντατικής γεωργίας υψηλών αποδόσεων, όπως τα υδροπονικά συστήματα καλλιεργειών σε θερμοκήπια, με σκοπό την ανάπτυξη πιο ποιοτικών και βιώσιμων καλλιεργειών. Συγκεκριμένα η υδροπονία

προσφέρει τη δυνατότητα παραγωγής τροφής, που υπερέχει συγκριτικά με αυτή των καλλιεργειών εδάφους, όχι μόνο ποιοτικά και ποσοτικά, αλλά και ως προς την αποδοτική αξιοποίηση των διαθέσιμων εισροών. Αυτό, σε συνεργασία με τη δυνατότητα ελέγχου των καλλιεργητικών πρακτικών και του κλίματος του θερμοκηπίου, μέσω των συνεχώς εξελισσόμενων διαθέσιμων τεχνολογιών, οδηγεί στη δραστική μείωση των απωλειών και των επιπτώσεων στο περιβάλλον (Bradley et al., 2001; Van Delden et al., 2021).

Ωστόσο, παρά τη στροφή σε πιο βιώσιμες καλλιεργητικές πρακτικές, η γεωργία εξακολουθεί να είναι καταλυτικός παράγοντας στην υποβάθμιση της ποιότητας του εδάφους και των διαθέσιμων υδατικών πόρων (Rockström et al., 2017). Έτσι, με σκοπό τη διατήρηση και εξέλιξη της βιωσιμότητας των καλλιεργητικών πρακτικών και με γνώμονα τους περιβαλλοντικούς περιορισμούς και τις μελλοντικές ανάγκες του πληθυσμού, απαιτείται επανασχεδιασμός των υπαρχόντων συστημάτων διαχείρισης της γεωργίας. Στόχος αποτελεί η διαχείριση και κατανομή των εισροών, αλλά και η εξέλιξη των μεθόδων καλλιέργειας (Pretty et al., 2018).

Συγκεκριμένα για την υδροπονία, προτείνεται ο σχεδιασμός ενός συστήματος επάλληλων υδροπονικών καλλιεργειών, όπου οι απορροές μιας καλλιέργειας επαναχρησιμοποιούνται για την άρδευση μιας δεύτερης, ανθεκτικότερης στην αλατότητα καλλιέργειας. Σκοπός αυτού είναι η ελαχιστοποίηση της διάθεσης θρεπτικών στοιχείων προς το περιβάλλον, όπως θα γινόταν σε ένα ανοιχτό σύστημα, ως μονοκαλλιέργεια. Απώτερος σκοπός η διατήρηση της ποιότητας και ποσότητας παραγωγής (Katsoulas et al, 2014; Garcia-Caparros, et al, 2018).

1.1. Υδροπονικά Συστήματα Καλλιεργειών

Ο όρος υδροπονία αναφέρεται σε εκτός εδάφους καλλιέργειες, όπου τα φυτά αναπτύσσονται με τη βοήθεια θρεπτικών διαλυμάτων με ή χωρίς τη χρήση κάποιου μέσου ανάπτυξης (Resh, 2013). Στα υδροπονικά συστήματα καλλιεργειών χρησιμοποιείται 5-20 φορές λιγότερο νερό σε σύγκριση με τις καλλιέργειες εδάφους, αλλά και απαιτούν πολύ μικρότερη καλλιεργητική έκταση για να παραχθεί η ίδια ποσότητα προϊόντος (Al Shrouf, 2017). Εκτός αυτού, υδροπονικές καλλιέργειες που αναπτύσσονται υπό κάλυψη έχοντας τις υποδομές για έλεγχο και προσαρμογή των κλιματικών συνθηκών καθίστανται ικανές να αποδίδουν υψηλής ποιότητας

παραγωγή, χωρίς εποχικό περιορισμό (Brechner et al., 1996). Σημαντική είναι επίσης, η έλλειψη των παραγόντων των παθογόνων εδάφους, αλλά και της γονιμότητας αυτού, που επηρέαζαν καταλυτικά την τελική παραγωγή της καλλιέργειας (Maucieri et al., 2019).

Υπάρχουν πολλές κατηγοριοποιήσεις των υδροπονικών συστημάτων, ως μονοκαλλιέργειες. Όσο αφορά τον τρόπο διαχείρισης των απορροών της καλλιέργειας, αυτά χωρίζονται σε ανοιχτά, κλειστά και ημίκλειστα συστήματα.

Στο ανοιχτό σύστημα, το σύνολο των απορροών της καλλιέργειας απορρίπτονται απευθείας στο περιβάλλον και η καλλιέργεια τροφοδοτείται με νέο θρεπτικό διάλυμα σε κάθε κύκλο άρδευσης. Αυτό προκαλεί μόλυνση του υδροφόρου ορίζοντα και του εδάφους, αλλά και σπατάλη τόσο νερού όσο και λιπασμάτων, αυξάνοντας έτσι και, το κόστος άρδευσης της καλλιέργειας (Σάββας, 2011).

Τα κλειστού τύπου υδροπονικά συστήματα δίνουν τη δυνατότητα συλλογής και επαναχρησιμοποίησης του όγκου των απορροών της καλλιέργειας, αυξάνοντας έτσι, την αποδοτικότητα της χρήσης του νερού στις θερμοκηπιακές καλλιέργειες (Savvas, 2002), με ταυτόχρονη μείωση της μόλυνσης του υδροφόρου ορίζοντα. Επιπλέον, οι οικονομία πόρων σχετικά με την χρήση λιπασμάτων μπορεί να ανέλθει ανέλθει ακόμη και στο 40-50% της συνολικής ποσότητας, εξαρτώμενο από το πρόγραμμα άρδευσης, το είδος της καλλιέργειας και τη σύσταση του διαλύματος τροφοδοσίας (Savvas, 2002; Carmassi et al., 2005).

Η επαναχρησιμοποίηση όμως, του θρεπτικού διαλύματος οδηγεί στη αύξηση της συγκέντρωσης των ιόντων αλάτων στο περιβάλλον της ρίζας, πράγμα που μπορεί να επηρεάσει τις φυσιολογικές λειτουργίες των καλλιεργούμενων φυτών και πιθανώς να μειώσει τη παραγωγή (Shahbaz et al., 2012; Gruda et al., 2018). Στο φαινόμενο αυτό συμβάλλει και η ήδη αυξημένη περιεκτικότητα αλάτων στο αρδευτικό νερό σε ιόντα Na, Cl, Ca, Mg και SO₄ (Sonneveld και Voogt, 2009). Έτσι, δυσχεραίνεται ακόμη περισσότερο η εδραίωση των πλήρως κλειστών υδροπονικών συστημάτων (Van Os et al., 2008), αφού εν τέλη είναι αναπόφευκτη η απόρριψη του διαλύματος τροφοδοσίας. Με σκοπό τον περιορισμό της αύξησης της συγκέντρωσης αλάτων στη ριζόσφαιρα από τη μακροχρόνια επανακυκλοφορία του θρεπτικού διαλύματος, είναι

δυνατή η απόρριψη μέρους ή του συνόλου του θρεπτικού διαλύματος και η πλήρωσή του με νέο.

Στο ημίκλειστο αυτό σύστημα υδροπονικής καλλιέργειας, το θρεπτικό διάλυμα επαναχρησιμοποιείται έως ότου να προβλέπεται μείωση της ανάπτυξης και της παραγωγής της εκάστοτε καλλιέργειας. Το σημείο, όπου είναι αναγκαία η απόρριψη του διαλύματος εξαρτάται από το είδος της καλλιέργειας και την ανθεκτικότητάς της μέχρι μια μέγιστη τιμή ηλεκτρικής αγωγιμότητας αλλά και πιθανώς από τις κατωφλικές συγκεντρώσεις μεμονωμένων ιόντων που προκαλούν τοξικότητα.

Η χρήση ημίκλειστων συστημάτων καλλιέργειας αυξάνουν την απόδοση χρήσης νερού, αφού το διάλυμα δεν ανανεώνεται σε κάθε κύκλο άρδευσης. Όμως εξακολουθεί να έχει σοβαρό αντίκτυπο στην περιβαλλοντική μόλυνση αφού το υψηλής αγωγιμότητας διάλυμα, πλούσιο σε θρεπτικά στοιχεία, εξακολουθεί να απορρίπτεται στο περιβάλλον (Carmassi et al., 2007).

1.1.1. Ανοιχτό Σύστημα Επάλληλων Καλλιεργειών

Όπως προαναφέρθηκε, και στα δύο συστήματα καλλιεργειών (ανοιχτό και κλειστό) εκτός εδάφους η απόρριψη του θρεπτικού διαλύματος τροφοδοσίας είναι αναπόφευκτη σε κάποια στιγμή της παραγωγικής διαδικασίας. Με αυτό το τρόπο υποβαθμίζεται η ποιότητα του εδάφους, αλλά και απορρίπτοντας στο περιβάλλον σημαντικές συγκεντρώσεις θρεπτικών που διαταράσσουν την ισορροπία των οικοσυστημάτων (Elvanidi et al., 2020). Οπότε, παρά τα πολλαπλά οφέλη σχετικά με την αυξημένη παραγωγικότητα και την βελτιστοποίηση χρήσης χώρου και πόρων για τη παραγωγή καλλιεργειών, η αποδοτικότητα των συστημάτων εξακολουθεί να έχει περιθώρια βελτίωσης (Gruda, 2019; Savvas et al., 2018).

Με σκοπό την μείωση των απορριφθέντων συγκεντρώσεων θρεπτικών ουσιών που αποβάλλονται στο περιβάλλον, προτάθηκε η χρησιμοποίηση ενός συστήματος υδροπονικής καλλιέργειας, όπου οι απορροές μιας καλλιέργειας δεν απορρίπτονται στο περιβάλλον, αλλά συλλέγονται και, έπειτα από τη διόρθωση του pH θρεπτικού διαλύματος ικανοποιούν τις αρδευτικές ανάγκες μιας δεύτερης διαφορετικής καλλιέργειας, με τη δυνατότητα επανάληψης του κύκλου και προς μια τρίτη καλλιέργεια (Elvanidi et al., 2020; Garcia-Caparrós et al., 2018).

Με την επαναχρησιμοποίηση του θρεπτικού διαλύματος μιας καλλιέργειας, μειώνεται η ποσότητα εκροών προς το περιβάλλον. Έτσι, μειώνεται η ρύπανση του εδάφους και μόλυνση του νερού και αποφεύγεται ο ευτροφισμός, λόγω των συγκεντρώσεων N, P (Incrocchi et al., 2006; Gutiérrez et al., 2007).

1.2. Υπόστρωμα Πετροβάμβακα

Τα μέσα ανάπτυξης ή υποστρώματα είναι τα στερεά υλικά τα οποία χρησιμοποιούνται στις υδροπονικές καλλιέργειες για επίτευξη καλύτερων συνθηκών ανάπτυξης, συγκριτικά με το έδαφος. Αποτελούνται από ανόργανα ή οργανικά υλικά, τα οποία προσφέρουν στα φυτά μηχανική υποστήριξη του ριζικού συστήματος, ευκολότερη απορρόφηση νερού και θρεπτικών, αλλά και επαρκή αερισμό της ριζόσφαιρας (Gruda et al., 2006).

Τα ανόργανα υποστρώματα προέρχονται από θερμική επεξεργασία πετρωμάτων, στην οποία οφείλεται η πορώδης υφή τους. Λόγω των υψηλών θερμοκρασιών, η χημική σύσταση των υποστρωμάτων είναι διαφορετική από αυτή των ορυκτών από τα οποία προέρχονται, αλλά και είναι απαλλαγμένα από βιολογικούς παράγοντες που θα μπορούσαν να μολύνουν τη καλλιέργεια. Τα οργανικά υποστρώματα προέρχονται, κυρίως από αποδομημένα φυτικά υπολείμματα, σπανιότερα ζωικά. Η σύσταση τους χαρακτηρίζεται από υψηλές συγκεντρώσεις άνθρακα και πολυσακχαριτών, πράγμα που αυξάνει την αντοχή και τη σταθερότητα της δομής και των χαρακτηριστικών του υποστρώματος (Σάββας, 2011).

Τα υποστρώματα χωρίζονται κυρίως σε ινώδη και κοκκώδη υποστρώματα. Τα ινώδη αποτελούνται από ίνες διαφόρων μεγεθών, προερχόμενες από οργανικά (κοκκοφοίνικας) ή ανόργανα υλικά (πετροβάμβακας). Έχουν υψηλή ικανότητα συγκράτησης νερού (60-80%) και ικανοποιητικό αερισμό. Δεν υπάρχουν μεταβολές πυκνότητας του υλικού και της συγκράτησης νερού, άρα το ριζικό σύστημα αναπτύσσεται ομοιόμορφα σε όλο τον όγκο του υποστρώματος (Wallach, 2008).

Συγκεκριμένα ο πετροβάμβακας είναι ένα εξαιρετικά ελαφρύ ανόργανο υπόστρωμα ($0.07-0.1 \text{ g cm}^{-3}$), κυρίαρχο σε καλλιέργειες άνθεων και λαχανικών στην Ευρώπη. Κύριο χαρακτηριστικό του είναι η σχεδόν απόλυτη χημική αδράνεια, με εξαίρεση κάποιων μεταβολών του pH, με την αρχική τιμή του υλικού να είναι 7-8 (Smith, 1987). Μπορεί να αξιοποιηθεί για παραπάνω από μία καλλιεργητικές περιόδους, ανάλογα τη ποιότητα και τη συγκέντρωση τμημάτων του ριζικού

συστήματος της προηγούμενης καλλιέργειας, το οποίο διαταράσσει την ομοιομορφία και το πορώδες του υποστρώματος (Maucieri et al., 2019).

Τα κοκκώδη υποστρώματα είναι συνήθως ανόργανα (περλίτης, διογκωμένη άργιλος, άμμος κ.ά.). Έχουν ποικιλία διαμέτρου κόκκων ανάλογα το υλικό, υψηλό πορώδες και εύκολη στράγγιση. Η κατακράτηση νερού είναι σημαντικά μικρότερα συγκριτικά με τα ινώδη υποστρώματα (10-40%) (Maher et al., 2008).

1.3. Θρεπτικό Διάλυμα

Στην υδροπονία, όλα τα απαραίτητα θρεπτικά συστατικά για την ανάπτυξη του φυτού γίνονται διαθέσιμα μέσω του θρεπτικού διαλύματος τροφοδοσίας, εκτός από τον άνθρακα, το υδρογόνο και το οξυγόνο, τα οποία παραλαμβάνονται από την ατμόσφαιρα και το νερό. Πέρα από αυτά τα 3 στοιχεία, υπάρχουν άλλα 6, τα μακροστοιχεία, που είναι απαραίτητα σε μεγάλες ποσότητες για την ανάπτυξη των φυτών. Αυτά είναι το άζωτο, ο φώσφορος, το κάλιο, το θείο, το μαγνήσιο και το ασβέστιο.

Επιπλέον απαραίτητα για την ολοκλήρωση του βιολογικού κύκλου είναι ο σίδηρος, το μαγγάνιο, ο χαλκός, το χλώριο, το βόριο, το μολυβδαίνιο και ο ψευδάργυρος, αλλά σε μικρότερες ποσότητες, ονομαζόμενα ισχοστοιχεία (Σάββας, 2011). Για τη παρασκευή των διαλυμάτων τροφοδοσίας, συνήθως χρησιμοποιούνται ανόργανα λιπάσματα για τα περισσότερα στοιχεία, με εξαίρεση το σίδηρο, ο οποίος προστίθεται σε χειλική μορφή για αυξημένη διαθεσιμότητα. Ο τύπος των λιπασμάτων είναι συνήθως ανόργανα άλατα και σπανιότερα οξέα (Ramazzotti et al., 2013).

Τα κύρια χαρακτηριστικά ενός διαλύματος τροφοδοσίας είναι το pH και η ηλεκτρική του αγωγιμότητα, τα οποία επηρεάζονται κατά κύριο λόγο από τη σύνθεση του διαλύματος και τις συγκεντρώσεις των στοιχείων αυτού (Trejo-Tellez και Gomez, 2012).

1.3.1. pH

Ο όρος pH εκφράζει την οξύτητα του διαλύματος τροφοδοσίας, με τιμές κλίμακας από 1 έως 14. Στις περισσότερες των περιπτώσεων, το θρεπτικό διάλυμα προτείνεται να κυμαίνεται σε τιμές περίπου από 5.5 έως 6.5, ώστε να παραμένουν διαθέσιμα, τα περισσότερα διαλυτά συστατικά του θρεπτικού διαλύματος. Ωστόσο, οι τιμές αυτές διαφέρουν με βάση τα όρια ανθεκτικότητας της εκάστοτε καλλιέργειας, καθώς και τις βέλτιστες τιμές αυτών.

Εάν η τιμή του pH ξεπεράσει το 7, η διαλυτότητα του σιδήρου και του H_2PO_4 μειώνεται, δημιουργώντας ιζήματα ασβεστίου και μαγνησίου και προκαλώντας διάφορες αντιδράσεις που εμποδίζουν την απορρόφηση σιδήρου, βορίου, χαλκού, ψευδαργύρου ή μαγγανίου. Από την άλλη πλευρά, εάν το pH είναι κάτω από 5, εμποδίζεται η προσρόφηση αζώτου, φωσφόρου, καλίου, ασβεστίου, μαγνησίου και μολυβδαινίου (Trejo-Tellez and Gomez, 2012).

1.3.2. Ηλεκτρική Αγωγιμότητα- Αλατότητα

Ο όρος αλατότητα αναφέρεται στις υψηλές συγκεντρώσεις ιόντων στο αρδευτικό νερό ή στο έδαφος. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC_w) αποτελεί δείκτη της αλατότητας στο νερό μέσω της συγκέντρωσης των αλάτων σε αυτό (Läuchli και Grattan, 2014). Τα αυξημένα ποσοστά αλατότητας επηρεάζουν, τόσο τις καλλιέργειες εδάφους όσο και τις εκτός εδάφους καλλιέργειες, ανοιχτού και κλειστού συστήματος (Plaut et al., 2013).

Η ιδανική τιμή ηλεκτρικής αγωγιμότητας στο διάλυμα τροφοδοσίας μιας καλλιέργειας βασίζεται στο είδος της και το περιβάλλον ανάπτυξής της. Γενικά, στις υδροπονικές καλλιέργειες, οι τιμές αγωγιμότητας του θρεπτικού διαλύματος κυμαίνονται από 1.5 dS m^{-1} έως 2.5 dS m^{-1} . Αυξημένες τιμές αγωγιμότητας μειώνουν την απορρόφηση θρεπτικών ουσιών λόγω αύξησης της οσμωτικής πίεσης, ενώ χαμηλότερες επηρεάζουν την ανάπτυξη της καλλιέργειας (Sonneveld & Voogt, 2009; Samarakoon et al., 2006).

1.3.2.1. Επιπτώσεις Αλατότητας στα Φυτά

Τα φυτά που αναπτύσσονται κάτω από συνθήκες αυξημένης αλατότητας είτε εδάφους είτε νερού, εκτίθενται και σε ιοντική καταπόνηση και τοξικότητα αλλά και σε υδατική (οσμωτική) καταπόνηση (Cabot et al., 2014; Shahid et al., 2020).

Τα πρώτα συμπτώματα της καταπόνησης των φυτών από αλατότητα προκαλούνται από την οσμωτική καταπόνηση. Έτσι, μειώνεται ο ρυθμός ανάπτυξης των φυτών, παρατηρούνται αλλαγές στο χρώμα των φύλλων, μεταβάλλεται ο λόγος υπέργειου προς υπόγειου τμήματος του φυτού και αλλάζει ο ρυθμός ωρίμανσης του φυτού. Η αντίδραση και τα αποτελέσματα της καταπόνησης εξαρτώνται από το είδος των φυτών και σε μικρότερο βαθμό από τη ποικιλία (Shannon et al., 1994).

Ανάλογα με τη σύσταση σε ιόντα του αρδευτικού νερού, προκαλείται τοξικότητα ή ελλείψεις σε στοιχεία, λόγω της ανταγωνιστικότητας των ανιόντων και κατιόντων, ως προς την απορρόφησή τους από τα φυτά (Bernstein et al., 1974). Οι επιπτώσεις της ιοντικής καταπόνησης γίνονται εντονότερα εμφανείς στα φύλλα και το μερίστωμα ή με συμπτώματα τροφοπενιών. Μεγάλες συγκεντρώσεις νατρίου και χλωρίου μπορεί να συσσωρευτούν στα φύλλα και να προκαλέσουν «εγκαύματα» και κηλιδώσεις. Όταν υπάρχουν υψηλές συγκεντρώσεις νατρίου στο αρδευτικό νερό είναι πολύ συχνή και η έλλειψη ασβεστίου, παρόμοιων συμπτωμάτων με την έλλειψη ασβεστίου χωρίς την καταπόνηση (Shannon και Grieve, 1998).

Ως αποτέλεσμα όλων αυτών των φυσιολογικών και μεταβολικών διαταραχών, που επηρεάζουν μεταξύ άλλων μορφολογικά και βιοχημικά χαρακτηριστικά των φυτών και την ανταλλαγή αερίων κατά τις φυσιολογικές λειτουργίες του φυτού, υπάρχει αντίκτυπο στην ανάπτυξη και παραγωγή της καλλιέργειας (Shahbaz et al., 2012; Tarchoune et al., 2011).

1.3.2.2. Επίδραση αλατότητας στη διαπνοή και τη φωτοσυνθετική ικανότητα

Μια από τις πιο άμεσες και προφανείς αντιδράσεις των φυτών στην υψηλή αλατότητα είναι η μείωση του ρυθμού της φωτοσύνθεσης και της στοματικής αγωγιμότητας (Brugnoti και Lauteri, 1991). Η στοματική αγωγιμότητα επηρεάζεται όχι μόνο λειτουργικά, μέσω του κλεισίματος των στομάτων, και την αποτροπή ανταλλαγής αερίων και τη μεταφορά νερού, αλλά και δομικά, με τη μείωση του μεγέθους και της πυκνότητάς τους στα φύλλα. Αυτό είναι αποτέλεσμα κυρίως της οσμωτικής καταπόνησης, που διαταράσσει το δυναμικό νερού κατά την διαπνοή (Munns και Tester, 2008). Μειώνοντας τις απώλειες νερού, από τα στόματα κατά την ανταλλαγή αερίων της διαπνοής, μειώνονται και οι ανάγκες απορρόφησης νερού από το περιβάλλον των ριζών, πράγμα που θα προκαλούσε αύξηση συγκεντρώσεων αλάτων, που είναι διαλυμένα σε αυτό (Munns et al., 2000).

Στα φύλλα φυτών, υπό καταπόνηση υψηλής αλατότητας παρατηρείται έκπτυση μικρότερων και παχύτερων φύλλων οδηγώντας σε αυξημένη συγκέντρωση χλωροπλαστών. Επιπλέον, λόγω των δομικών αλλαγών που παρατηρούνται στη μορφολογία των φύλλων και της κατανομής των χλωροπλαστών σε αυτά, η μείωση

την φωτοσυνθετικής ικανότητας δεν παρατηρείται εύκολα σε επίπεδο φύλλου, αλλά είναι εμφανής συνολικά στο φυτό (Munns και Tester, 2008).

Με το κλείσιμο των στομάτων η συγκέντρωση CO₂ στο εσωτερικό του φύλλου μειώνεται άρα δεν μπορεί να ολοκληρωθεί η διαδικασία της φωτοσύνθεσης στο έπακρο, συγκριτικά με τη διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία που δέχονται οι χλωροπλάστες. Ως αποτέλεσμα, υπάρχει συσσώρευση ελεύθερων ριζών οξυγόνου (Miller et al. 2010). Εκτός αυτού, η αλυσίδα ηλεκτρονίων της φωτοσυνθετικής διαδικασίας στους χλωροπλάστες πιθανώς να διαταράσσεται από τη παρουσία ιόντων στον υποκυττάριο χώρο. Έτσι, αντί να διεγείρονται οι χλωροφύλλες ως μέρος της φωτοσυνθετικής διαδικασίας, διεγείρονται μόρια οξυγόνου, παράγοντας εκ νέου ελεύθερες ρίζες οι οποίες συσσωρεύονται και αλλοιώνουν τις κυτταρικές δομές (Kumari et al. 2014; Chen et al. 2015).

1.3.2.3. Επίδραση αλατότητας στη παραγωγή

Η ανάπτυξη μιας καλλιέργειας και η απόδοσή της σε παραγωγή είναι στενά συνδεδεμένες με τις αβιοτικές καταπονήσεις. Αν η καταπόνηση εφαρμοστεί από την αρχή της ανάπτυξης, η παραγωγή θα είναι σημαντικά μειωμένη και τα προϊόντα της καλλιέργειας ποιοτικά υποβαθμισμένα. Ωστόσο, οι επιπτώσεις της καταπόνησης μπορεί να μην είναι πάντα μορφολογικά εμφανή στο φυτό, λόγω των διαφορετικών επιπέδων ανθεκτικότητας που παρουσιάζουν τα είδη.

Η ανθεκτικότητα κάθε είδους καθορίζει την ικανότητα πρόσληψης νερού και θρεπτικών καθώς και την αποτροπή και αντιμετώπιση συσσώρευσης ιόντων στους φυτικούς ιστούς (Ahmad et al. 2017; Khan et al. 2017; Kaleem et al. 2018). Υπό φυσιολογικές συνθήκες, η ενέργεια και τα φωτοσυνθετικά προϊόντα αναλώνονται κατά κύριο λόγο στην ανάπτυξη και την ολοκλήρωση του βιολογικού κύκλου του φυτού. Σε περιπτώσεις καταπόνησης, μεγάλο μέρος αυτών των πόρων αναλώνεται στην αντιμετώπιση των δυσμενών καταστάσεων περιβάλλοντος και την επιβίωση του φυτού σε αυτές, αφήνοντας σε δεύτερη μοίρα την ανάπτυξη του φυτικού ιστού προς την αύξηση παραγωγής (Zörfb et al., 2019).

Συμπερασματικά, λόγω της αναστολής των διαφόρων φυσιολογικών διαδικασιών ανάπτυξης, σε συνεργασία με τους μειωμένους ρυθμούς διαπνοής και φωτοσύνθεσης, η τελική παραγωγή μια καλλιέργειας, υπό καταπόνηση είναι σημαντικά μειωμένη.

1.3.2.4. Ανθεκτικότητα Φυτών στην Αλατότητα

Τα διαφορετικά είδη φυτών παρουσιάζουν και διαφορές στην ανθεκτικότητα τους, ως προς την αλατότητα. Τα φυτά μπορούν να κατηγοριοποιηθούν στα γλυκόφυτα, τα οποία δεν παρουσιάζουν σημαντική ανθεκτικότητα, όπως τα περισσότερα καλλιεργούμενα φυτά, με κάποια να είναι λιγότερο ευαίσθητα από άλλα και τα ανθεκτικά αλόφυτα, φυτά που διέπουν σε αλατούχα περιβάλλοντα. Παρά την διαφορετική αντοχή τους, όλα τα φυτά χρησιμοποιούν ίδιους βασικούς μηχανισμούς ως αντίδραση στην αλατότητα και ως προσπάθεια εγκλιματισμού τους σε αυτή (Cabot et al., 2014).

Αναφορικά, κάποιοι από αυτούς τους μηχανισμούς είναι ο έλεγχος του δυναμικού νερού του κυττάρου μέσω οσμωτικής εξισορρόπησης, μηχανισμοί ελέγχου της ομοιόστασης συγκεντρώσεων ιόντων, αλλά και η διαχείριση των τοξικών ουσιών. Έμμεσο αποτέλεσμα αυτών των λειτουργιών είναι η παραγωγή, μέσω «μονοπατιών» δευτερογενούς μεταβολισμού των φυτών, διαφόρων αντιοξειδωτικών ουσιών και οσμωλυτών, όπως η προλίνη (Shahid et al., 2020).

Όσο αφορά τα αρωματικά φυτά, η ανάπτυξή τους και η σύνθεση και ποσότητα των ελαίων που παράγουν, επηρεάζονται σημαντικά από βιοτικούς και αβιοτικούς παράγοντες, με σημαντικότερους αυτών την υψηλή αλατότητα και την οσμωτική καταπόνηση που αυτή προκαλεί (Heidari et al., 2008). Ωστόσο, οι αντιδράσεις των αρωματικών φυτών στην αλατότητα ποικίλουν ανάλογα τα είδη και την ένταση της καταπόνησης.

Η αύξηση της αλατότητας οδήγησε σε μείωση της συνολικής ανάπτυξης της *Nigella Sativa* και τη μικρότερη μείωση κάποιων παραμέτρων ανάπτυξης και συγκέντρωσης αιθέριων ελαίων του χαμομηλιού στα 4000 ppm NaCl (Razmjoo et al., 2008). Παρόμοια αποτελέσματα είχε και η συγκέντρωση ελαίων του μελισσόχορτου στα 4 dS m⁻¹ (Ozturk et al., 2004), αλλά παρατηρήθηκε αύξηση κάποιων συστατικών του ελαίου λουΐζας (Tabatabaie and Nazari, 2007).

1.3.2.5. Εκμετάλλευση της Αντίδρασης των Φυτών στη Καταπόνηση Υψηλής Αλατότητας

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, μέσω της αλατότητας επιτυγχάνεται η παραγωγή βιοενεργών ουσιών, η παρουσία των οποίων στα φυτικά μέρη είναι συχνά και ο λόγος καλλιέργειας και κατανάλωσής τους από τους ανθρώπους (Gruda et al.,

2018; Selmar et al., 2013). Οπότε, η εγκατάσταση καλλιεργειών ανθεκτικών σε υψηλά επίπεδα αλατότητας μπορεί να βελτιστοποιήσει τα αποτελέσματα χρήσης νερού άρδευσης προερχόμενο από απορροές μιας άλλης καλλιέργειας. Ο κίνδυνος ωστόσο, έγκειται στην ευαίσθητη ισορροπία ανάμεσα στον όγκο παραγωγής βιομάζας με τη ποσότητα και ποιότητα των βιοενεργών ουσιών (Gruda, 2009).

Τα αρωματικά φυτά αποτελούν ιδανική επιλογή για εγκατάσταση σε μια τέτοια καλλιέργεια, λόγω του φάσματος αντοχής που παρουσιάζουν σε διαφορετικές τιμές αλατότητας, χωρίς να επηρεάζεται σημαντικά η παραγωγή βιομάζας τους (Tanaka et al., 2018; Petropoulos et al., 2017).

1.4. Αποδοτικότητα Χρήσης Νερού- Water Use Efficiency (WUE)

Η ανάπτυξη των φυτών είναι αδιάσπαστα συνδεδεμένη με την παροχή νερού λόγω της διαπνοής, φαινόμενο που προκαλείται από την ανάγκη εισόδου CO₂ στα φυτικά κύτταρα για τη φωτοσύνθεση (Kramer, 1969).

Πέρα από τα λίγα αποθέματα διαθέσιμου νερού, τα οποία συνεχώς μειώνονται, η κλιματική αλλαγή και οι αυξημένες θερμοκρασίες οδηγούν σε αυξημένη λειτουργία των διαδικασιών της εξατμισοδιαπνοής (Jones and Vaughan, 2010). Έτσι, βελτιστοποίηση της χρήσης του νερού κατά τη παραγωγική διαδικασία είναι αναγκαία.

Γενικά, η απόδοση μιας διαδικασίας ανάγεται στο λόγο μεταξύ του παραγόμενου προϊόντος προς τη πηγή ή πόρο που καταναλώθηκε. Για την έννοια της Απόδοσης Χρήσης Νερού στη γεωργία, το παράγωγο θα είναι ο άνθρακας, ενώ ο πόρος το νερό. Υπάρχουν πολλοί τρόποι έκφρασης της WUE, ανάλογα σε ποια λειτουργία του φυτού θα αναφέρεται. Έτσι, μπορεί να υπάρχει η σύγκριση στο τελευταίο στάδιο παραγωγής ανάμεσα στη βιομάζα που παράχθηκε προς το νερό που χρησιμοποιήθηκε συνολικά (Abbate et al., 2004). Η αποτελεσματικότητα χρησιμοποίησης του νερού (WUE) αποτελεί ένα αξιόπιστο δείκτη παραγωγικότητας και προσαρμογής των φυτών σε συνθήκες θερμοκηπίου και εκφράζεται από τη σχέση του λόγου φωτοσύνθεσης προς διαπνοή. Σε κλίμακα φύλλου, η αποδοτικότητα χρήσης νερού εκφράζεται ως ο λόγος του CO₂, που εισαγόταν στα στόματα προς το νερό που εξαγόταν την ίδια στιγμή (Bacon, 2004).

1.5. Καλλιέργειες

1.5.1. Τομάτα

Η τομάτα (*Solanum lycopersicum* L.), είναι ένα από τα περισσότερα από 3000 είδη της οικογένειας Solanaceae. Είναι ποώδες φυτό, με καρπό ράγα. Μετά τη πατάτα, είναι η πιο σημαντική καλλιέργεια, με παγκόσμια παραγωγή το 2020 περί των 3.7 τόνους το στρέμμα, σε συνολική καλλιεργήσιμη έκταση 50.519.830 στρεμμάτων (FAOSTAT, 2022). Λόγω της εκτεταμένης χρήσης και κατανάλωσής της, η τομάτα είναι από τις πιο κερδοφόρες καλλιέργειες, γι' αυτό και είναι συχνό αντικείμενο γενετικών μελετών προς την αύξηση παραγωγής και βελτίωση της ποιότητας καρπών. Ο καρπός της τομάτας είναι πλούσιος σε αντιοξειδωτικές ουσίες όπως το λυκοπένιο, το ασκορβικό οξύ και τη βιταμίνη A (β-καροτένιο) (Bergougnoux, 2014), αλλά οι διασταυρώσεις με σκοπό την αύξηση των συγκεντρώσεων αυτών οδήγησαν σε μικρότερες συνολικές παραγωγές, με αποτέλεσμα να μην εξαπλωθούν σαν μόνιμες καλλιέργειες (Causse et al., 2007).

Η καλλιέργεια της τομάτας ευδοκimei και αποδίδει καλύτερα σε ξηρό και δροσερό περιβάλλον. Στον αγρό καλλιεργείται σε πιο θερμές περιόδους. Λόγω της μεγάλης ζήτησής της ωστόσο, με την εδραίωση και συνεχή εξέλιξη των υπό κάλυψη καλλιεργειών, πλέον παράγεται όλο το χρόνο. Οι ιδανικές θερμοκρασίες ανάπτυξης των φυτών κυμαίνονται στους 20-27°C, με τα φυτά να μην μπορούν να αντέξουν θερμοκρασίες άνω των 38 °C και κάτω των 10 °C. Νυχτερινή θερμοκρασία κάτω των 21 °C μπορεί να οδηγήσει σε πτώση των καρπών (Naika et al., 2005). Η καλλιέργεια τομάτας υπό κάλυψη εγκυμονεί κινδύνους σχετικά με την αυξημένη θερμοκρασία και υγρασία που συχνά παρατηρείται στο εσωτερικό των θερμοκηπίων, πράγμα που αντιμετωπίζεται με την ρύθμιση του κλίματος μέσω αερισμού και δροσισμού του θερμοκηπίου (Nicola et al., 2009).

Η τομάτα ανήκει στα ευαίσθητα φυτά όσο αφορά την αλατότητα. Η κατωφλική τιμή που της αντιστοιχεί είναι στα 2.5 dS m⁻¹. Πράγμα που σημαίνει ότι για κάθε μονάδα αύξησης της αλατότητας, η παραγωγή του φυτού μειώνεται κατά 9.9% περίπου (Hanson, 1990). Επιπλέον, η τομάτα παρουσιάζει ευαισθησίες και σε πολλούς άλλους παράγοντες, όπως μυκητολογικές και εντομολογικές προσβολές, και έχει αρκετές απαιτήσεις λίπανσης ώστε να αποδώσει ικανοποιητική παραγωγή.

Συγκεκριμένα, οι αποδόσεις παραγωγής της τομάτας σε κλειστά συστήματα καλλιέργειών ήταν μικρότερες από εκείνες, στα ανοιχτά (Uronen, 1995).

Οπότε, αν και δε θα μπορέσει να αποδώσει ικανοποιητικά σε ένα κλειστό σύστημα υδροπονικής μονοκαλλιέργειας, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως πρωτεύουσα καλλιέργεια, οι απορροές της οποίας θα χρησιμοποιούνταν σε κάποια άλλη, μεγαλύτερης ανθεκτικότητας (Incrocci et al., 2003).

1.5.2. Μέντα

Η οικογένεια των Labiatae (Lamiaceae), αποτελείται από περίπου 3500 είδη ετήσιων ή πολυετών φυτών ή θάμνων, που συναντώνται κατά κύριο λόγο σε Μεσογειακές χώρες. Μερικά από τα είδη αυτής της οικογένειας είναι ευρέως γνωστά λόγω της εκτενούς χρήσης τους στη μαγειρική και στις βιομηχανίες τροφίμων λόγω της γεύσης αλλά και σε πολλές περιπτώσεις παραδοσιακής ιατρικής λόγω των αιθέριων ελαίων τους. Παρατηρούνται έντονες διαφορές τόσο ποσοτικά όσο και ποιοτικά στη παραγωγή των αιθέριων ελαίων ανάμεσα στα διάφορα είδη, επηρεαζόμενες από την εποχή συγκομιδής, το γενετικό υπόβαθρο αλλά κυρίως των περιβαλλοντικών συνθηκών (Kokkini et al., 2003).

Συγκεκριμένα για το γένος *Mentha*, ο διαχωρισμός των ειδών είναι εξαιρετικά δύσκολος λόγω του συχνού υβριδισμού ανάμεσα στα είδη. Η *Mentha x piperita* L. (peppermint) αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτού του φαινομένου ως υβρίδιο των *Mentha aquatica* L. και *Mentha spicata* (Πετρόπουλος, 2018). Σύμφωνα με στοιχεία του FAO, η παγκόσμια παραγωγή μέντας το 2020 ανερχόταν στα 4264.42 kg ανά στρέμμα, με τη συνολική έκταση που συγκομίστηκε να είναι τα 26510 στρέμματα. Η συντριπτική πλειονότητα της παραγωγής προερχόταν από την Ιαπωνία, το Μαρόκο και το Μεξικό.

Η μέντα καλλιεργείται για βιομάζα, αποξηραμένα φύλλα ή απόσταξη για αιθέριο έλαιο. Χρησιμοποιείται από βιομηχανίες τροφίμων για να προσδίδει άρωμα ή γεύση σε τρόφιμα, αλλά και από φαρμακοβιομηχανίες (Bahadori et al., 2018). Περιέχει πολλαπλά βιοενεργά συστατικά, ανάμεσά τους αντιοξειδωτικά και φαινόλες, χρησιμοποιούμενα ευρέως στη παραδοσιακή ιατρική και στη παρασκευή φαρμάκων, πράγμα που για πολλούς τη καθιστά φαρμακευτικό φυτό (Pavlić et al., 2021; Cam et al., 2020).

Παρά τις πολλαπλές χρήσεις της, ακόμη και σε κλινικές μελέτες και στη φαρμακοβιομηχανία, η μέντα δεν καλλιεργείται εντατικά (Teng και Shen, 2015). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της μελέτης των Al-Karaki και Othman το 2009, η καλλιέργεια μέντας σε εκτός εδάφους συστήματα καλλιέργειας ανερχόταν στα 3208 g m⁻². Αντιστοίχως, το 2002 οι Sari και Oguz σημείωσαν παραγωγή 1320 g m⁻² σε καλλιέργεια μέντας σε έδαφος. Η απόδοση της υδροπονικής καλλιέργειας μέντας έναντι της καλλιέργειας εδάφους ήταν αυξημένη κατά 243% (Al-Karaki και Othman, 2009). Είναι οπότε προφανές το μεγάλο όφελος από την ανάπτυξη και εδραίωση της ανάπτυξης της καλλιέργειας σε υδροπονικά συστήματα.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, τα αρωματικά φυτά αποτελούν ιδανική επιλογή για καλλιέργεια υπό υψηλά επίπεδα αλατότητας, λόγω του ευρέως φάσματος αντοχής που παρουσιάζουν. Ωστόσο, δεν υπάρχουν αρκετά στοιχεία για τον ακριβή ορισμό των ορίων αλατότητας, για το κάθε είδος. Οι Tabatabaie και Nazari (2007) μετά από μελέτη της ανάπτυξης και ποιοτικών χαρακτηριστικών της μέντας, πρότειναν ως βέλτιστη τιμή αγωγιμότητας τα 2.8 dS m⁻¹. Οι Çoban et al. (2016) κατέγραψαν μείωση στην ανάπτυξη, τις βιοχημικές και μεταβολικές διεργασίες της μέντας σε συνθήκες καταπόνησης από αλατότητα. Συγκεκριμένα παρατηρήθηκε μείωση στα ξηρά βάρη φύλλων και βλαστών με την αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας από την επίδραση της συγκέντρωσης NaCl (επίπεδα αγωγιμότητας 0, 10 και 15 dS m⁻¹), με τη τελευταία συγκέντρωση να οδηγεί στο θάνατο των φυτών.

1.6. Σκοπός

Σκοπός της παρούσας πειραματικής διαδικασίας ήταν η εκτίμηση της αποδοτικότητας της μέντας σ' ένα υδροπονικό σύστημα επάλληλων καλλιεργειών, με πρωτεύουσα καλλιέργεια τομάτας και δευτερεύουσα τη μέντα. Μέσω ποσοτικής προσεγγιστικής μεθόδου στο πεδίο, εξετάστηκε η αποτελεσματικότητα νερού της μέντας, ως καλλιέργεια αρδευόμενη με απορροές από υδροπονική καλλιέργεια τομάτας, με επίδραση στη λίπανση.

Η καλλιέργεια της μέντας εξετάστηκε ως προς το ύψος, τη συγκέντρωση συνολικής χλωροφύλλης (a και b), το ρυθμό ανταλλαγής CO₂ και το ρυθμό διαπνοής, την αποδοτικότητα χρήσης του νερού, το ολικό νωπό και ξηρό βάρος, το νωπό βάρος βλαστών και φύλλων, το ξηρό βάρος βλαστών και φύλλων και τον αριθμό των φύλλων.

2. Υλικά και Μέθοδοι

2.1. Εγκαταστάσεις θερμοκηπίου και καλλιέργειες

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε στο θερμοκήπιο του Εργαστηρίου Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας (39°22', 22°44', 85 m).

Το θερμοκήπιο είναι γοθτικού τύπου και αποτελείται συνολικά από 5 θαλάμους διαστάσεων 25 m μήκος, 9.6 m πλάτος και 7.4 m ύψος, με συνολική καλλιεργήσιμη έκταση τα 200 m². Η οροφή καλύπτεται από διπλό φύλλο πολυαιθυλενίου, με συνεχές άνοιγμα οροφής σε κάθε θάλαμο. Τα πλαϊνά τοιχώματα καλύπτονται από πολυκαρβονικά κυψελωτά φύλλα πολυαιθυλενίου, με 70% διαπερατότητα. Το σύστημα ψύξης των θαλάμων αποτελείται από υγρή παρειά και έναν ανεμιστήρα σε κάθε θάλαμο του θερμοκηπίου. Ο αερισμός των θαλάμων επιτυγχάνεται από πλαϊνά ανοίγματα οροφής, ελεγχόμενα μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή. Οι εσωτερικές συνθήκες των θαλάμων του θερμοκηπίου ελέγχονται μέσω ενδείξεων από αισθητήρες σχετικής υγρασίας και θερμοκρασίας (Sercom, Netherlands) και ρυθμίζονται αυτόματα μέσω λογισμικού μικροκλίματος.

Στο θερμοκήπιο είναι εγκατεστημένο υδροπονικό σύστημα άρδευσης καλλιέργειών με τη δυνατότητα συλλογής των απορροών. Στο πρώτο θάλαμο είναι εγκατεστημένες οι δεξαμενές των μητρικών διαλυμάτων και των διαλυμάτων τροφοδοσίας, καθώς και το λογισμικό ελέγχου της υδρολίπανσης. Το νερό προερχόταν από γεώτρηση του αγροκτήματος. Τα μητρικά διαλύματα ήταν κατά 100 φορές πιο συμπυκνωμένα από εκείνα της τροφοδοσίας. Τα διαλύματα τροφοδοσίας παρασκευάζονταν με τη χρήση δοσομετρικών αντλιών εξασφαλίζοντας αραίωση των μητρικών και με έλεγχο, μέσω της κεφαλής υδρολίπανσης. Η προσθήκη του πυκνού διαλύματος NaCl για τη παρασκευή των διαλυμάτων τροφοδοσίας, πραγματοποιούνταν με χρήση της βαθμονομημένης δοσομετρικής αντλίας, έως την τιμή στόχου της ηλεκτρικής αγωγιμότητας.

Πίνακας 1 Σύσταση νερού γεώτρησης

EC	mmol L ⁻¹	0.55
[K⁺]	mmol L ⁻¹	0.00
[Ca²⁺]	mmol L ⁻¹	1.40
[Mg²⁺]	mmol L ⁻¹	1.60
[NH₄⁺]	mmol L ⁻¹	0.00
[Na⁺]	mmol L ⁻¹	1.10
[SO₄²⁻]	mmol L ⁻¹	0.15
[NO₃⁻]	mmol L ⁻¹	0.10
[H₂PO₄⁻]	mmol L ⁻¹	0.00
[Cl⁻]	μmol L ⁻¹	1.00
[Fe]	μmol L ⁻¹	0.00
[Mn]	μmol L ⁻¹	1.30
[Zn]	μmol L ⁻¹	1.20
[Cu]	μmol L ⁻¹	0.00
[B]	μmol L ⁻¹	0.00
[Mo]	μmol L ⁻¹	0.00

Ως πρωτεύουσα καλλιέργεια χρησιμοποιήθηκε η τομάτα (*Solanum lycopersicum*, cv. Elrida) που είχε εγκατασταθεί στον δεύτερο και τρίτο θάλαμο του θερμοκηπίου. Ως μέσο ανάπτυξης χρησιμοποιήθηκαν πλάκες πετροβάμβακα. Ο κάθε θάλαμος αποτελούταν από 6 κανάλια κατά πλάτος, μήκους 22 m το καθένα, εγκατεστημένα υπό κλίση και εξοπλισμένα με υδρορροές και δεξαμενές συλλογής των απορροών της καλλιέργειας. Η πυκνότητα φύτευσης των φυτών τομάτας ήταν 3 φυτά ανά σάκο πετροβάμβακα. Συνολικά υπήρχαν 19 σάκοι ανά κανάλι καλλιέργειας. Η λίπανση της καλλιέργειας γινόταν με βάση πρότυπη συνταγή άρδευσης καλλιέργειας τομάτας σε υδροπονική καλλιέργεια με αγωγιμότητα 2.1 dS m⁻¹ και τιμή pH στα 5.8.

Ως δευτερεύουσα καλλιέργεια επιλέχθηκε η μέντα (*Mentha x piperita* L.) η οποία εγκαταστάθηκε στους δύο επόμενους θαλάμους. Σε κάθε θάλαμο ήταν εγκατεστημένα 6 κανάλια κατά πλάτος, συνολικού μήκους 22 m, τα οποία διαχωρίστηκαν σε δύο κανάλια ίσου μήκους, για την καλλιέργεια μέντας και δυόσμου (Εικόνα 1). Οι καλλιέργειες αναπτύχθηκαν σε πλάκες πετροβάμβακα τοποθετημένους πάνω στα υπό κλίση εγκατεστημένα κανάλια, στα οποία υπήρχαν ενσωματωμένες υδρορροές, που κατέληγαν σε δεξαμενές συλλογής των απορροών. Οπότε, συνολικά υπήρχαν 12 γραμμές φύτευσης για την καλλιέργεια μέντας.

Χάρη στη διάταξη του θερμοκηπίου, κάθε κανάλι είχε τη δυνατότητα τροφοδοσίας και έπειτα συλλογής των απορροών ξεχωριστά. Η άρδευση γινόταν μέσω σωλήνων ($\Phi 20$) και σταλάκτες παροχής 2L h^{-1} , ένα για κάθε φυτό της καλλιέργειας, στην άκρη του οποίου υπήρχε μία λόγχη. Η κάθε λόγχη στερεώνονταν στο κύβο πετροβάμβακα με τρύπα στο κέντρο για τη φύτευση του φυτού.

Ως δευτερεύουσα καλλιέργεια, για τη λίπανση της μέντας αξιοποιούνταν και ποσότητα των συλλεγόμενων απορροών από την καλλιέργεια τομάτας. Οι απορροές αποθηκεύονταν σε μια μεγαλύτερη δεξαμενή (300L). Εν συνεχεία, για την παρασκευή διαλυμάτων με επαναχρησιμοποίηση απορροών, ακολουθούσε η διαδικασία φιλτραρίσματος και απολύμανσης ακτινοβολίας UV και καταγραφής, τόσο της τιμής του pH, όσο και την τιμή της αγωγιμότητας (dS m^{-1}), μέσω βαθμονομημένων οργάνων.

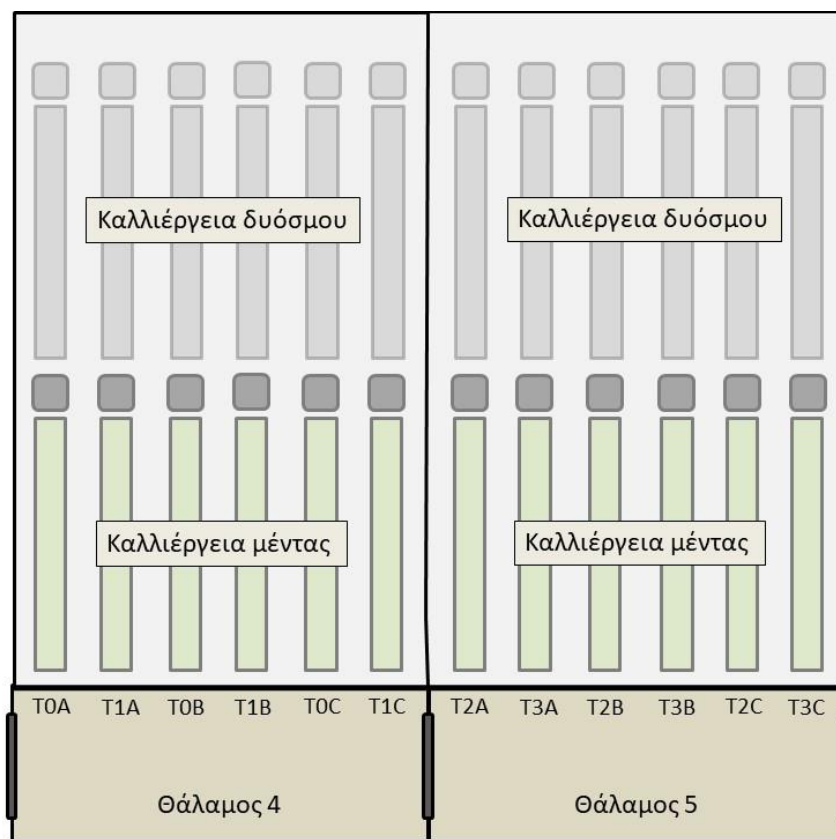
2.2. Πειραματικός σχεδιασμός και οι διαφορετικές μεταχειρίσεις του πειράματος

Τα φυτά φυτεύτηκαν σε κύβους (Grodan Delta, NL) ($7,5*7,5*6,5$ cm) και σάκους πετροβάμβακα (Grodan Classic MY, NL) ($100*15*7,5$ cm). Σε κάθε κανάλι της καλλιέργειας υπήρχαν από 9 σάκοι πετροβάμβακα, ο καθένας από τους οποίους έφερε από 4 φυτά, άρα συνολικά 36 φυτά στο κάθε κανάλι (4 φυτά ανά m^2). Αυτός ο αριθμός αντιστοιχεί σε 108 φυτά ανά μεταχείριση και σε 216 ανά θάλαμο. Συνολικά στο πείραμα χρησιμοποιήθηκαν 432 φυτά μέντας. Η μεταφύτευση των φυτών στους κύβους έγινε στις 25 Οκτωβρίου 2019 και η πρώτη μέρα υδρολίπανσης με τα διαλύματα των εκάστοτε μεταχειρίσεων έγινε στις 31 Οκτωβρίου 2019 (DAT 1) (DAT: Days after Treatment). Συνολικά, το πείραμα ολοκληρώθηκε στη διάρκεια 80 ημερών, μέχρι τις 18 Ιανουαρίου 2020.

Οι σάκοι πετροβάμβακα προϋπήρχαν από προηγούμενο κύκλο ανάπτυξης πειραματικής καλλιέργειας, άρα υπήρχαν ήδη οπές για τη τοποθέτηση των κύβων καθώς και τη στράγγιση των απορροών του θρεπτικού διαλύματος από τους σάκους. Ωστόσο, πριν τη φύτευση της καλλιέργειας μέντας πραγματοποιήθηκε πότισμα των σάκων με τα αντίστοιχα διαλύματα θρέψης των μεταχειρίσεων μέχρι σημείο κορεσμού του υποστρώματος.

Στο πείραμα υπήρχαν 4 διαφορετικές μεταχειρίσεις λίπανσης με ειδική σήμανση, «ταμπελάκια» ανά γραμμή φύτευσης (FS, FS+NaCl, 50% Dr+50% FS+NaCl και 100% Dr+NaCl) με 3 επαναλήψεις (A, B και C) για τη κάθε μία. Στον

κάθε θάλαμο αντιστοιχούσαν από δύο μεταχειρίσεις στις τρεις επαναλήψεις τους. Έτσι, στον ένα θάλαμο υπήρχαν οι μεταχειρίσεις FS και (FS+NaCl), διαταγμένες εναλλάξ κατά πλάτος του θερμοκηπίου στις τρεις επαναλήψεις τους. Αντίστοιχη διάταξη υπήρχε και στον άλλο θάλαμο με τις μεταχειρίσεις (50% Dr+50% FS + NaCl) και (100% Dr + NaCl) καθώς και τις αντίστοιχες επαναλήψεις τους. Η αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας πραγματοποιήθηκε σταδιακά, με την αρχική τιμή 6 dS m⁻¹ για τις μεταχειρίσεις εκτός του μάρτυρα και μετά την ημερομηνία, 7 Νοεμβρίου 2019 αυξήθηκε στα 8 dS m⁻¹, έως το τέλος της καλλιέργειας.



Εικόνα 1 Κάτοψη εγκατάστασης καλλιέργειας (πράσινο) σε δύο θαλάμους του θερμοκηπίου, με διαφορετικές μεταχειρίσεις (T0, T1, T2 και T3) και τρεις επαναλήψεις η κάθε μία (A, B και C). Στην υπόλοιπη καλλιεργούμενη επιφάνεια (γκρι) ήταν εγκατεστημένη η καλλιέργεια δυόσμου.

Οι διαφορετικές μεταχειρίσεις ήταν οι ακόλουθες:

- T0: Θρεπτικό διάλυμα αναφοράς για την λίπανση μέντας υδροπονικής μονοκαλλιέργειας (Fresh Solution, FS), με ηλεκτρική αγωγιμότητα 2.1 dS m^{-1} (μεταχείριση FS)
- T1: Μείγμα πρότυπου διαλύματος με προσθήκη ποσότητας χλωριούχου νατρίου, έως τη τιμή EC 8 dS m^{-1} (μεταχείριση FS+NaCl)
- T2: Μείγμα αποτελούμενο κατά 50% από το πρότυπο διάλυμα λίπανσης (FS) και 50% από απορροές καλλιέργειας τομάτας (Drainage solution, Dr), με προσθήκη άλατος ως τη τιμή EC 8 dS m^{-1} (μεταχείριση 50% FS +50% Dr +NaCl)
- T3: Διάλυμα 100% απορροών από τη καλλιέργεια της τομάτας (Dr), με προσθήκη άλατος μέχρι τη τιμή EC 8 dS m^{-1} (μεταχείριση 100% Dr + NaCl)

Πίνακας 2 Σύνθεση των διαλυμάτων σε μακροστοιχεία και ιχνοστοιχεία (οι συγκεντρώσεις των μακροστοιχείων σε mmol L^{-1} και των ιχνοστοιχείων σε $\mu\text{mol L}^{-1}$) για τη καλλιέργεια μέντας, ανά μεταχείριση. Δείγματα θρεπτικού διαλύματος συγκεντρώθηκαν από τις δεξαμενές άρδευσης, μια εβδομάδα μετά την αρχή των μεταχειρίσεων, 07 Νοεμβρίου 2019 και πριν τη δεύτερη συγκομιδή, 19 Δεκεμβρίου 2019.

07/11/2019		T0	T1	T2	T3
NO3	mmol/l	10.1	9.9	11.5	10.6
P	mmol/l	0.6	0.5	0.6	0.4
K	mmol/l	2.8	2.8	2.9	1.6
Ca	mmol/l	4.0	3.7	3.9	3.4
Na	mmol/l	6.1	48.0	46.5	49.6
Mg	mmol/l	2.1	1.9	1.9	2.1
Fe	$\mu\text{mol/l}$	2.6	5.0	5.9	11.3
Zn	$\mu\text{mol/l}$	1.9	1.4	1.6	1.6
Mn	$\mu\text{mol/l}$	0.9	0.8	1.6	2.7
Cu	$\mu\text{mol/l}$	6.1	1.4	3.0	5.3
19/12/2019		T0	T1	T2	T3
NO3	mmol/l	10.5	9.8	11.9	9.8
P	mmol/l	0.6	0.5	0.7	0.4
K	mmol/l	3.9	3.8	4.2	2.4
Ca	mmol/l	4.6	4.5	3.8	3.3
Na	mmol/l	1.3	63.9	62.7	66.7
Mg	mmol/l	2.2	1.9	2.1	2.1
Fe	$\mu\text{mol/l}$	5.1	3.4	6.4	7.5
Zn	$\mu\text{mol/l}$	3.3	1.8	2.6	1.9
Mn	$\mu\text{mol/l}$	1.7	0.7	1.9	2.0
Cu	$\mu\text{mol/l}$	5.2	1.0	2.4	2.7

Στον Πίνακα 2, φαίνεται η σύνθεση των συνταγών θρέψης, με ανάλυση διαλυμάτων, με χρήση φλογοφωτόμετρου και φασματοφωτόμετρου, του Εργαστηρίου Γεωργικών Κατασκευών, ανά μεταχείριση κατά τη διάρκεια της πρώτης εβδομάδας μετά την έναρξη των μεταχειρίσεων και πριν τη δεύτερη συγκομιδή, 7 Νοεμβρίου 2019 και 19 Δεκεμβρίου 2019, αντίστοιχα. Οι συνταγές θρέψης δεν τροποποιήθηκαν μέχρι την τελευταία συγκομιδή της μέντας, 18 Ιανουαρίου 2020. Οι αρδευτικές ανάγκες της καλλιέργειας μειώθηκαν κατά 67.3% από 1 Δεκεμβρίου 2019, έως το τέλος του βιολογικού κύκλου της καλλιέργειας.

2.2.1. Λοιπές επεμβάσεις

Λόγω της αρχικής αδυναμίας των φυτών της μέντας να αναπτύξουν ικανοποιητικό ριζικό σύστημα, έγιναν επιπλέον ριζοποτίσματα σε όλα τα φυτά της μέντας με το χέρι. Χρησιμοποιήθηκε το σκεύασμα HUMI-PLUS ΦΩΣΦΟΡΟΥ (8.9-30-0 +Χουμικά οξέα). Τα ριζοποτίσματα πραγματοποιήθηκαν στις 4, 12 και 27 Νοεμβρίου 2019, σε DAT 5, 13, και 28 αντίστοιχα. Επιπλέον έγιναν ψεκασμοί με εντομοκτόνο για την καταπολέμηση του θρίπα και με μυκητοκτόνο για το ωίδιο.

2.3. Αγρονομικές μετρήσεις

2.3.1. Μετρήσεις ύψους

Οι μετρήσεις του ύψους πραγματοποιούνταν 2 φορές την εβδομάδα, σε 10 φυτά τα οποία επιλέχτηκαν τυχαία από κάθε επανάληψη όλων των μεταχειρίσεων. Ως αποτέλεσμα καταγράφηκαν 30 μετρήσεις από κάθε μεταχείριση, για κάθε μέρα μετρήσεων. Για το χρόνο διεξαγωγής του πειράματος καταγράφηκαν συνολικά 15 ημέρες μετρήσεων με τη πρώτη ημέρα καταγραφής ύψους να είναι στις 31 Οκτωβρίου 2019. Η τιμή που καταγραφόταν σε κάθε μέτρηση αντιστοιχούσε στο μήκος του μεγαλύτερου κατά αυτό το παράγοντα βλαστού του κάθε φυτού, από το σημείο έκφυσης από το κύβο πετροβάμβακα μέχρι το ακραίο μερίστωμα του εκάστοτε βλαστού, μετρημένο με δεκαδικό μέτρο.

2.3.2. Μετρήσεις χλωροφύλλης

Για τη καταγραφή των τιμών χλωροφύλλης στα φυτά του πειράματος χρησιμοποιήθηκε το όργανο Chlorophyll Meter SPAD-502Plus (Konica Minolta Europe). Η ένδειξη του οργάνου αποτελεί μια μονοδιάστατη αριθμητική τιμή SPAD που εκφράζει αναλογικά την περιεκτικότητα της ολικής χλωροφύλλης του φύλλου.

Οι μετρήσεις πραγματοποιούνταν μια φορά την εβδομάδα τις πρωινές ώρες, σε 10 τυχαία επιλεγμένα φυτά από κάθε επανάληψη των μεταχειρίσεων, άρα συνολικά από 30 φυτά μέντας ανά μεταχείριση. Η αναγραφόμενη τιμή αποτελούσε

το μέσο όρο τριών διαφορετικών ενδείξεων του οργάνου, από τρία διαφορετικά υγιή φύλλα σε διάφορα μέρη του κάθε φυτού. Υπάρχουν καταγραφές μετρήσεων από συνολικά 7 ημέρες στη διάρκεια του πειράματος, αφού το αρχικά μικρό μέγεθος των φύλλων των φυτών δεν επέτρεπε την ορθή χρήση του οργάνου, με τη πρώτη μέτρηση να είναι δυνατή 11 ημέρες μετά τη πρώτη εφαρμογή μεταχείρισης (DAT 12), στις 11 Νοεμβρίου 2019.



Εικόνα 2 Όργανο μέτρησης Ολικής Χλωροφύλλης SPAD

2.3.3. Μετρήσεις φωτοσυνθετικής ικανότητας

Οι μετρήσεις της φωτοσύνθεσης των φυτών μέντας διεξάγονταν μία φορά την εβδομάδα για συνολικά 5 ημέρες μετρήσεων. Σε ημέρες με ηλιοφάνεια, στις μεσημεριανές έως απογευματινές ώρες, διαλέγονταν τυχαία 5 φυτά από κάθε επανάληψη, άρα συνολικά 15 από κάθε μεταχείριση. Η τιμή που καταγράφονταν



Εικόνα 3 Όργανο Μέτρησης Φωτοσύνθεσης

αποτελούσε την ένδειξη «Α» του οργάνου LCpro+ 1.0 ADC (Bioscientific Ltd., Hoddesdon, Hertfordshire, UK) η οποία αντιστοιχούσε στο στιγμιαίο ρυθμό ανταλλαγής CO₂ ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) που ανιχνευόταν στον θάλαμο του φύλλου. Επιπλέον, καταγραφόταν από το όργανο και η τιμή «Ε», η οποία αντιστοιχούσε στον στιγμιαίο ρυθμό διαπνοής ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Ένα φύλλο από κάθε επιλεγόμενο φυτό τοποθετούνταν στην καθορισμένη θέση στον βραχίονα του οργάνου (θάλαμος φύλλου) με την άνω πλευρά του βραχίονα, άρα και του φύλλου, να προσανατολίζονται στην ανάλογη κατεύθυνση ώστε οι ακτίνες του ήλιου να προσπίπτουν σε αυτά κατά το μεγαλύτερο, θεωρητικά, ποσοστό τους κάθετα.

Οι μετρήσεις ξεκίνησαν όταν η επιφάνεια των φύλλων και η συνολική ανάπτυξη των φυτών επέτρεπαν την αποτελεσματική διεξαγωγή της διαδικασίας μέτρησης φωτοσύνθεσης με το συγκεκριμένο όργανο. Η πρώτη μέτρηση καταγράφηκε στις 18 Νοεμβρίου 2019 (DAT 19), ώστε μέχρι την ολοκλήρωση του πειράματος να έχουν καταγραφεί συνολικά 5 μετρήσεις.

2.4. Καταστροφικές μετρήσεις – Συγκομιδές

Πέρα από τις παραπάνω αγρονομικές μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν και τρεις καταστροφικές μετρήσεις νωπού και ξηρού βάρους των φυτών στις 11 Δεκεμβρίου 2019, 08 Ιανουαρίου 2020 και 18 Ιανουαρίου 2020 (DAT 42, DAT 70 και DAT 80 αντίστοιχα). Για τις μετρήσεις έγινε τυχαία επιλογή 9 φυτών από κάθε μεταχείριση του πειράματος, 3 από κάθε επανάληψη. Συνολικά σε κάθε συγκομιδή κόπηκαν 36 φυτά μέντας.

Η κοπή έγινε κόβοντας το σύνολο της υπέργειας μάζας του κάθε φυτού, που εκπτυσσόταν από το πάνω μέρος του εκάστοτε κύβου πετροβάμβακα. Αμέσως μετά τη κοπή, κάθε φυτό ζυγίστηκε σε ζυγό ακριβείας (Kern EMB 500-1) για τη καταγραφή του ολικού νωπού βάρους του φυτού σε g. Έπειτα διαχωρίστηκαν τα φύλλα από τους μίσχους σε όλα τα στελέχη των φυτών που αποκόπηκαν, τα οποία έπειτα ζυγίστηκαν ξεχωριστά και αποθηκεύτηκαν σε χάρτινες σακούλες τύπου Kraft. Στις δύο πρώτες καταστροφικές μετρήσεις καταγράφηκε επίσης, και ο αριθμός των φύλλων του κάθε φυτού. Ακολούθησε η ξήρανση των φύλλων και των μίσχων μέσα στις χάρτινες σακούλες σε φούρνο



Εικόνα 4 Φούρνος Ξήρανσης

ξήρανσης (Elvem IKE) στους 70°C για περίπου 2 μέρες, ώσπου να απομακρυνθεί το σύνολο της υγρασίας από τους ιστούς. Μετά τη ξήρανση, οι μίσχοι και τα φύλλα ζυγίστηκαν εκ νέου με το ζυγό ακριβείας, με τα τελευταία να θρυμματίζονται και να αποθηκεύονται σε σακουλάκια, αεροστεγώς κλεισμένα, προς περαιτέρω εργαστηριακή ανάλυση των θρεπτικών στοιχείων τους.

2.5. Υπολογισμός Αποδοτικότητας Χρήσης Νερού

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, κατά τη διάρκεια των μετρήσεων με το όργανο LCpro+ 1.0 ADC, γινόταν η καταγραφή δύο τιμών, της «Α» και «Ε».

Η τιμή «Α» εκφράζει το στιγμιαίο ρυθμό φωτοσύνθεσης, και πιο συγκεκριμένα το ρυθμό ανταλλαγής CO₂ (μmolCO₂ m⁻² s⁻¹) που ανιχνευόταν στον θάλαμο του φύλλου. Υπολογιζόταν από το όργανο με βάση τη σχέση:

$$A = u_s * \Delta c$$

όπου η τιμή u_s (mol m⁻²s⁻¹) αντιστοιχεί στη μαζική ροή αέρα ανά m² φυλλικής επιφάνειας και η τιμή Δc (μmol mol⁻¹) στη διαφορά συγκέντρωσης CO₂ στο θάλαμο του φύλλου.

Η τιμή «Ε» εκφράζει το στιγμιαίο ρυθμό διαπνοής (mmol H₂O m⁻² s⁻¹). Υπολογιζόταν από το όργανο με βάση την εξίσωση:

$$E = \frac{\Delta e * u_s}{p}$$

Όπου η τιμή Δe (mbar) αντιστοιχεί στη διαφορά συγκέντρωσης υδρατμών (H₂O), η τιμή u_s (mmol m⁻²s⁻¹) αντιστοιχεί στη μαζική ροή αέρα ανά m² φυλλικής επιφάνειας και η τιμή p (mbar) την ατμοσφαιρική πίεση (LCi Instruction Manual, 2004).

Σύμφωνα με τον Bacon (2004), η αποδοτικότητα χρήσης νερού σε κλίμακα φύλλου εκφράζεται ως ο λόγος του CO₂ που εισαγόταν στα στόματα προς το νερό που εξαγόταν την ίδια στιγμή. Άρα, για να υπολογιστεί η αποδοτικότητα χρήσης νερού στη συγκεκριμένη πειραματική διαδικασία, υπολογίστηκε ο λόγος των τιμών A/E (μmol CO₂ (mmol H₂O)⁻¹).

2.6. Στατιστική επεξεργασία

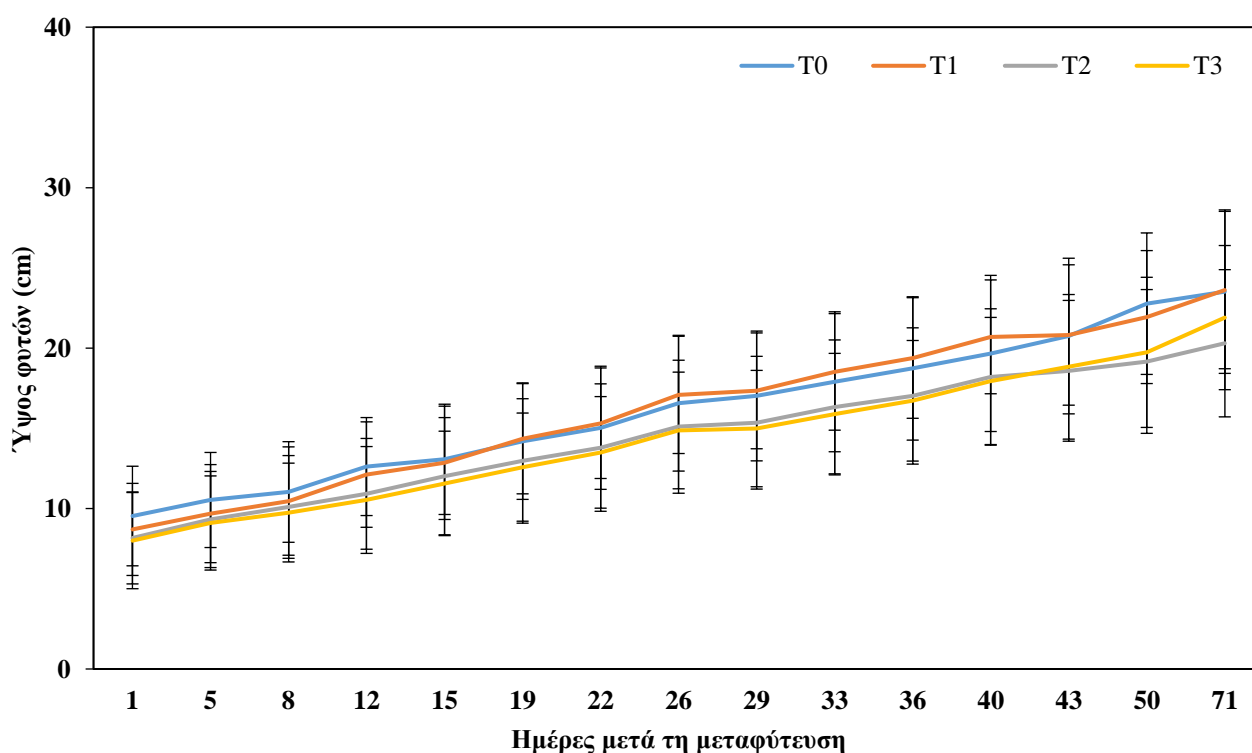
Η επεξεργασία των μετρήσεων προς εξαγωγή συμπερασμάτων έγινε μέσω του στατιστικού πακέτου IBM SPSS Statistics 26 (Statistical Package for the Social Sciences, IBM, Armonk, NY, USA) με τη χρήση One-Way-Anova και ελέγχου LSD. Η σύγκριση όλων των παραμέτρων για τις τέσσερις μεταχειρίσεις έγινε με βαθμό εμπιστοσύνης 95% ($p \leq 0,05$).

Παραθέτονται τα διαγράμματα των μέσων τιμών των εκάστοτε μετρήσεων της κάθε ημέρας και οι αντίστοιχες τυπικές αποκλίσεις. Οι δείκτες a, b και c υποδηλώνουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των καταγραφών των μεταχειρίσεων για κάθε μέρα μετρήσεων. Ο δείκτης a αντιστοιχεί στη μεταχείριση με την υψηλότερη μέση τιμή της κάθε μέτρησης, συγκριτικά με τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις, καθώς και τις μεταχειρίσεις οι τιμές των οποίων δε παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές με αυτή.

3. Αποτελέσματα

3.1. Μετρήσεις Ύψους

Στη διάρκεια ολοκλήρωσης του πειράματος έγινε καταγραφή του ύψους των φυτών ανά 4 ημέρες και συνολικά 15 μετρήσεις. Στο Διάγραμμα 1, απεικονίζονται οι μέσες τιμές της αύξησης του ύψους, ανά ημέρα καταγραφής και ανά μεταχείριση.



Διάγραμμα 1 Μέσες τιμές μετρήσεων Ύψους, ανά ημέρα καταγραφής και ανά μεταχείριση

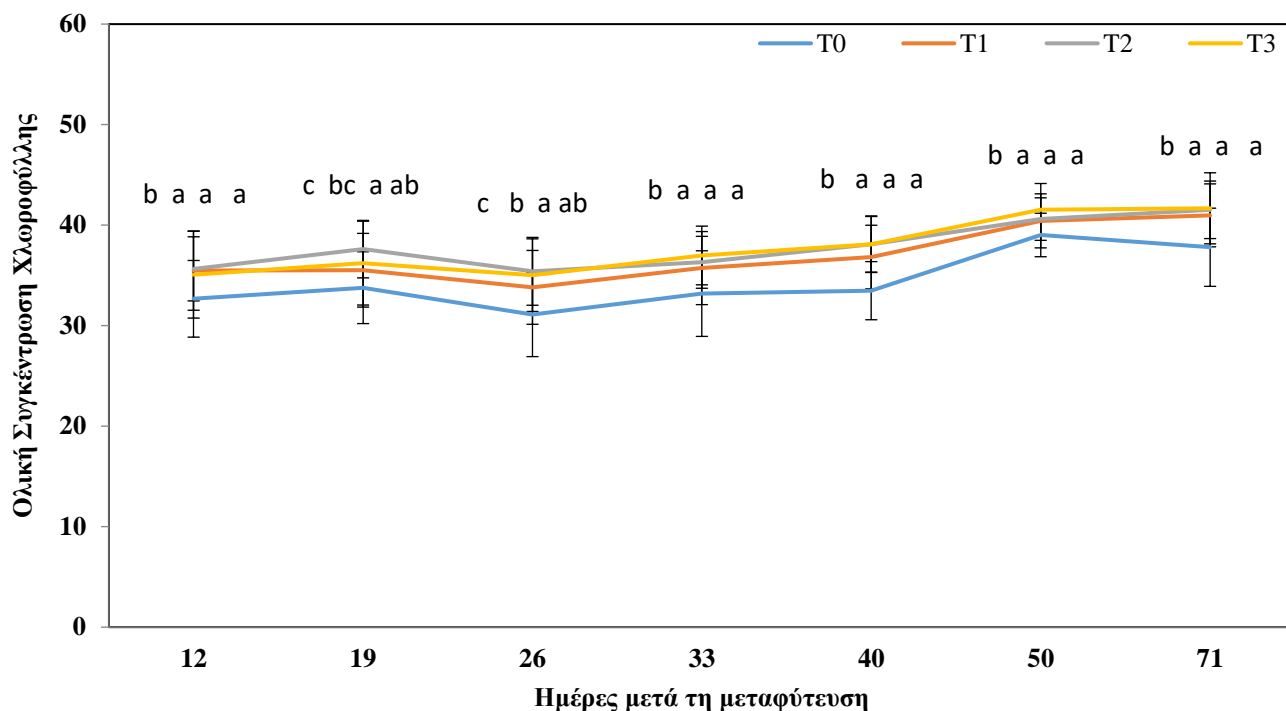
Από την έναρξη της πειραματικής διαδικασίας μέχρι και την 22^η ημέρα μετά την εφαρμογή των μεταχειρίσεων, δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις καταγραφές από τις διαφορετικές μεταχειρίσεις. Εξάιρεση αποτέλεσε η DAT 12, όπου παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα στην μεταχείριση του πρότυπου διαλύματος άρδευσης (T0) και των δύο μεταχειρίσεων αξιοποίησης των απορροών από τη καλλιέργεια της τομάτας (T2 και T3). Η μεταχείριση του πρότυπου διαλύματος με τη προσθήκη άλατος (T1) δε παρουσίασε στατιστικά σημαντικές διαφορές με καμία από τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις.

Από την 26^η μέχρι την 71^η ημέρα παρουσιάζονταν στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις μεταχειρίσεις, με μόνη εξάιρεση την DAT 43. Οι μεγαλύτερες μέσες τιμές παρουσιάζονταν ανάμεσα στις δύο μεταχειρίσεις αξιοποίησης του πρότυπου διαλύματος, με (T1) και χωρίς (T0) την προσθήκη άλατος, χωρίς να παρουσιάζονται στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσά τους. Οι δύο μεταχειρίσεις αξιοποίησης των απορροών τομάτας (T2 και T3) είχαν εμφανώς πιο χαμηλές μέσες τιμές ύψους, παρουσιάζοντας στην πλειοψηφία των καταγραφών στατιστικά σημαντικές διαφορές με τη πρότυπη μεταχείριση (T0), όχι πάντα όμως και με την μεταχείριση του πρότυπου διαλύματος με τη προσθήκη άλατος (T1).

Στην τελευταία ημέρα καταγραφών (DAT 71), η μεταχείριση με τη μικρότερη καταγραφή μέσης τιμής ύψους ήταν η T2, η οποία είχε και στατιστικά σημαντικές διαφορές συγκριτικά με τις δύο μεταχειρίσεις του πρότυπου διαλύματος (T0 και T1). Ωστόσο, η T3 δε παρουσίασε στατιστικά σημαντικές διαφορές με καμία από τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις. Συνολικά, προκύπτει ότι οι μεταχειρίσεις T1, T3 και μάρτυρας έχουν τις λιγότερες στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους για το σύνολο των ημερών, με τη T1 να παρουσιάζει μαζί με τον μάρτυρα T0 τις περισσότερες μέγιστες τιμές ύψους.

3.2. Μετρήσεις Συγκέντρωσης Ολικής Χλωροφύλλης

Οι μετρήσεις της ολικής συγκέντρωσης χλωροφύλλης πραγματοποιήθηκαν σε 7 διαφορετικές ημέρες μετρήσεων, ανά 7 περίπου ημέρες. Στο Διάγραμμα 2 απεικονίζονται οι μέσες τιμές των μετρήσεων, ανά ημέρα καταγραφής και ανά μεταχείριση.



Διάγραμμα 2 Μέσες τιμές μετρήσεων Ολικής Συγκέντρωσης χλωροφύλλης, ανά ημέρα καταγραφής και ανά μεταχείριση

Κατά κύριο λόγο, οι μεγαλύτερες τιμές ολικής χλωροφύλλης καταγράφηκαν στις μεταχειρίσεις των καταπονήσεων (T1, T2 και T3). Πιο συγκεκριμένα, από τη πρώτη καταγραφή μέτρησης στη 12^η ημέρα μετά την εφαρμογή των μεταχειρίσεων, μέχρι και την 26^η ημέρα, η μέγιστη τιμή αντιστοιχούσε στη μεταχείριση του διαλύματος με μείξη των απορροών τομάτας με το πρότυπο διάλυμα θρέψης μέντας και τη προσθήκη άλατος (T2).

Από τη 33^η μέχρι και τη τελευταία μέτρηση στις 71 ημέρες μετά την εφαρμογή των μεταχειρίσεων, η μέγιστη τιμή συγκέντρωσης ολικής χλωροφύλλης αντιστοιχούσε στη μεταχείριση η οποία αξιοποιούσε 100% των απορροών από τη καλλιέργεια τομάτας με την επιπλέον προσθήκη άλατος (T3). Δεν υπήρχαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις τρεις μεταχειρίσεις καταπονήσεων, αλλά οι μέσες τιμές των παρατηρήσεων της μεταχείρισης του πρότυπου διαλύματος θρέψης (T0) ήταν σημαντικά μικρότερες από αυτές των υπόλοιπων

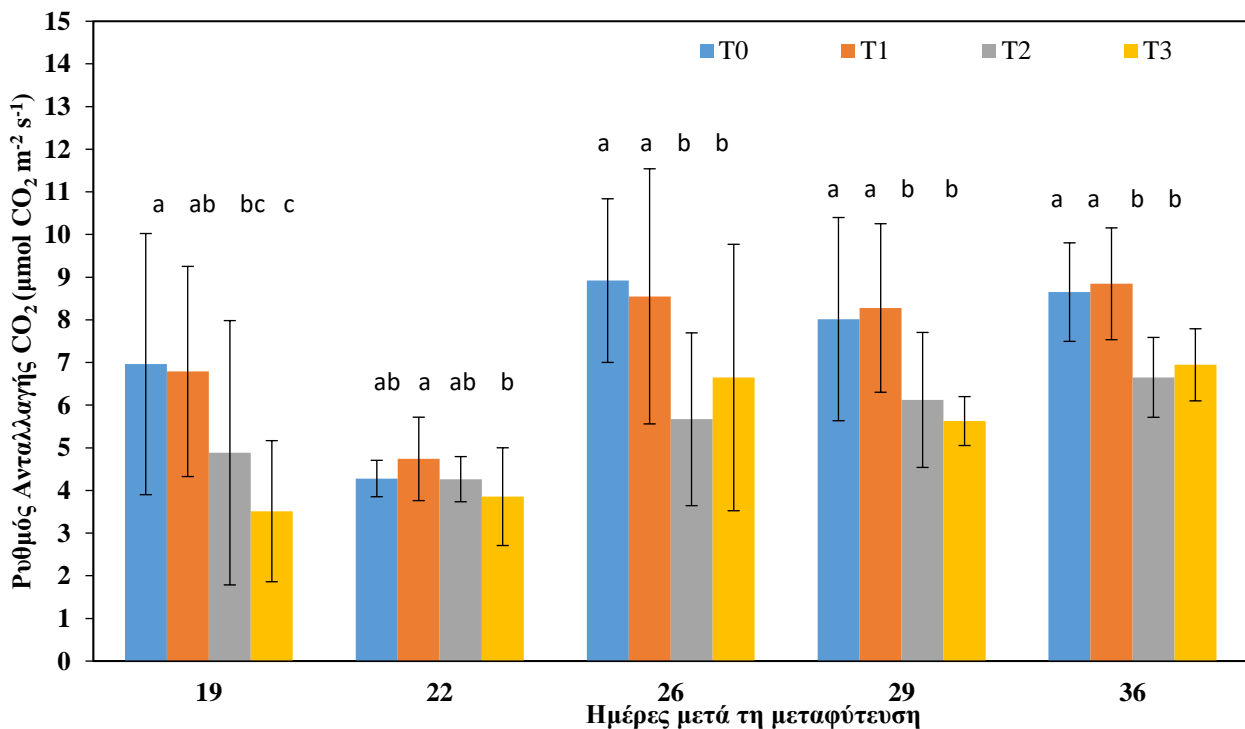
μεταχειρίσεων. Συνολικά, οι μεταχειρίσεις T1, T2 και T3 δεν παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους, με τη μέγιστη τιμή ολικής χλωροφύλλης να αποδίδεται κυρίως στην T3.

3.3. Φωτοσυνθετική Ικανότητα

Στη διάρκεια του πειράματος έγιναν συνολικά 5 καταγραφές μετρήσεων σχετικών με τη φωτοσύνθεση. Τα παρακάτω διαγράμματα απεικονίζουν τις μέσες τιμές των καταγραφών που αντιστοιχούν σε κάθε ημέρα μετρήσεων και σε κάθε μεταχείριση.

3.3.1. Ρυθμός ανταλλαγής CO₂

Στη πρώτη καταγραφή, τη 19^η ημέρα μετά την εφαρμογή των μεταχειρίσεων, ο μέγιστος ρυθμός αντιστοιχεί στη μεταχείριση του πρότυπου διαλύματος θρέψης καλλιέργειας μέντας (T0), με μη στατιστικά σημαντικές διαφορές με τις καταγραφές της μεταχείρισης πρότυπου διαλύματος με τη προσθήκη άλατος (T1). Στις δύο άλλες μεταχειρίσεις αξιοποίησης απορροών (T2 και T3) οι τιμές ήταν σημαντικά μικρότερες, χωρίς να εμφανίζουν μεταξύ τους στατιστικά σημαντικές διαφορές. Την 22^η ημέρα, μέγιστη μέση τιμή ρυθμού απέδωσε η μεταχείριση πρότυπου διαλύματος με τη προσθήκη άλατος (T1), έχοντας στατιστικά σημαντικές διαφορές μόνο με τη



Διάγραμμα 3 Μέσες τιμές μετρήσεων Ρυθμού Ανταλλαγής CO₂, ανά ημέρα καταγραφής και ανά μεταχείριση

μεταχείριση 100% απορροών από τη καλλιέργεια τομάτας με την επιπλέον προσθήκη άλατος (T3).

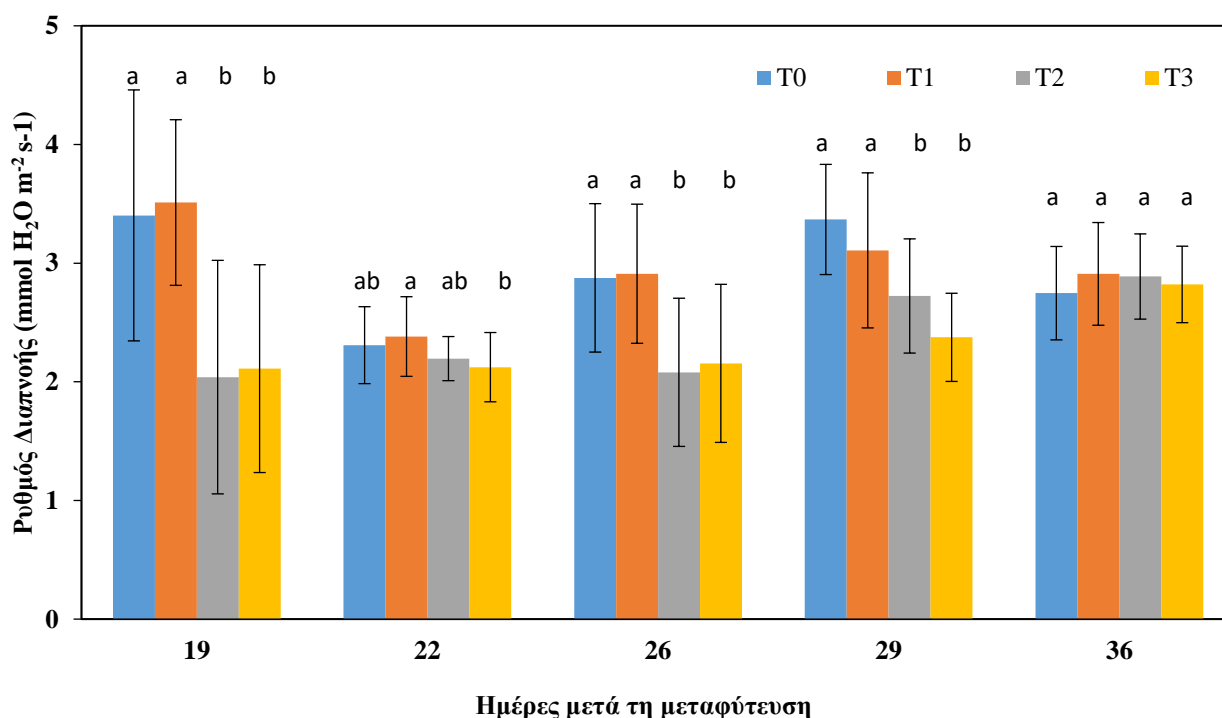
Για τις υπόλοιπες ημέρες μετρήσεων (DAT 26, 29 και 36) παρατηρείται ότι η μέγιστη μέση τιμή ρυθμού ανταλλαγής CO₂ εντοπίζεται στη μεταχείριση πρότυπου διαλύματος με τη προσθήκη άλατος (T1), με εξαίρεση τη DAT 26 όπου αποδίδεται στη μεταχείριση πρότυπου διαλύματος (T0). Και στις τρεις ημέρες μέχρι το τέλος του πειράματος, δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις δύο μεταχειρίσεις πρότυπου διαλύματος με (T1) και χωρίς (T0) προσθήκη άλατος, αλλά και ανάμεσα στις δύο μεταχειρίσεις αξιοποίησης απορροών (T2 και T3). Παρατηρήθηκαν ωστόσο διαφορές μεταξύ των δύο προαναφερθέντων ζευγών μεταχειρίσεων. Συνολικά, η μεταχείριση T1 παρουσιάζει τη μεγαλύτερη τιμή φωτοσυνθετικής ικανότητας χωρίς στατιστικές διαφορές με τη μεταχείριση του μάρτυρα T0.

3.3.2. Ρυθμός Διαπνοής

Ταυτόχρονα με τις μετρήσεις Ρυθμού Ανταλλαγής CO₂ γινόταν από το όργανο η καταγραφή του αντίστοιχου στιγμιαίου Ρυθμού Διαπνοής.

Τη πρώτη ημέρα καταγραφών, τη 19^η ημέρα μετά την εφαρμογή των μεταχειρίσεων, η μέγιστη τιμή αντιστοιχούσε στη μεταχείριση του πρότυπου διαλύματος με τη προσθήκη άλατος (T1), χωρίς να έχει στατιστικά σημαντικές διαφορές με αυτή του πρότυπου διαλύματος (T0). Αντίστοιχα, δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις δύο άλλες μεταχειρίσεις (T2 και T3).

Την 22^η ημέρα, η μέγιστη τιμή αντιστοιχούσε πάλι στη μεταχείριση πρότυπου διαλύματος με τη προσθήκη άλατος (T1), έχοντας στατιστικές διαφορές μόνο με την μεταχείριση διαλύματος απορροών με τη προσθήκη άλατος (T3). Για τις DAT 26 και 29, οι μέγιστες τιμές παρατηρήθηκαν στη μεταχείριση του πρότυπου διαλύματος με τη προσθήκη άλατος (T1) και αυτή του πρότυπου διαλύματος αντίστοιχα (T0), χωρίς να υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων στη κάθε ημέρα.

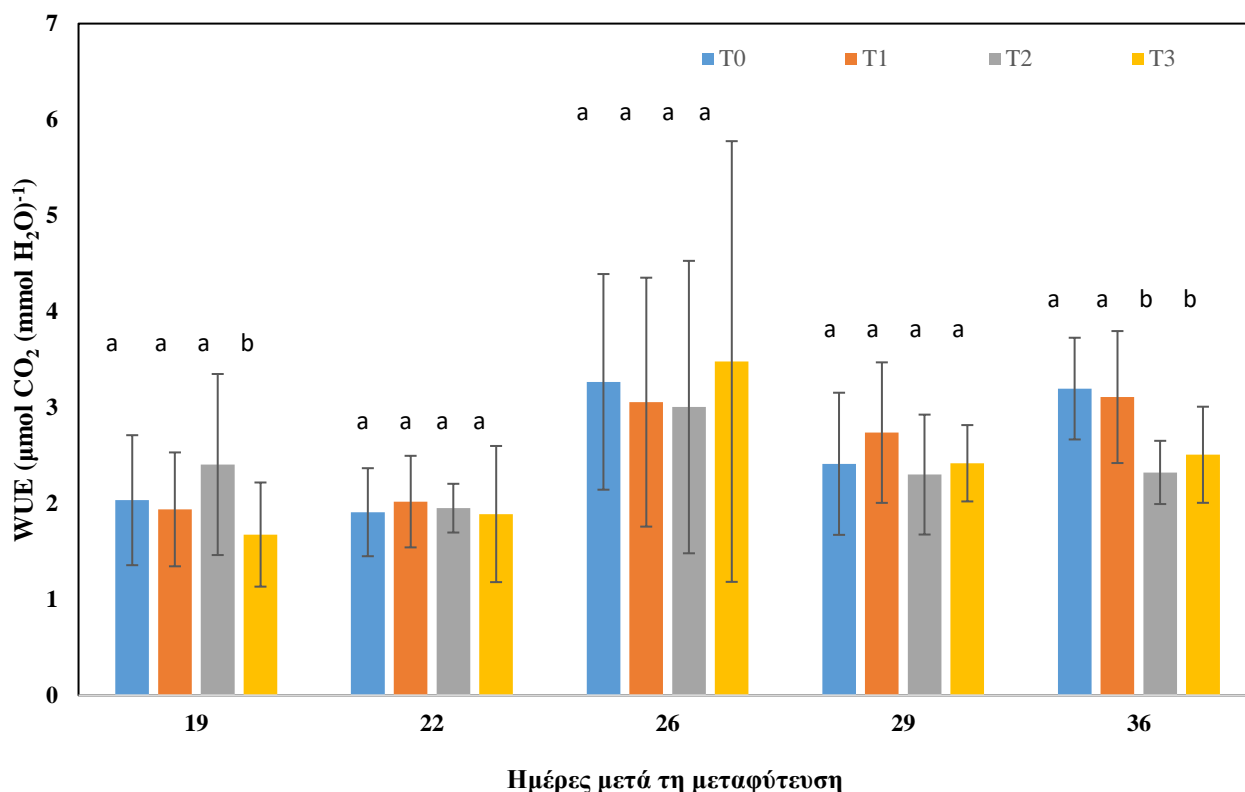


Διάγραμμα 4 Μέσες τιμές μετρήσεων Ρυθμού Διαπνοής, ανά ημέρα καταγραφής και ανά μεταχείριση

Τη τελευταία ημέρα μετρήσεων (DAT 36), αν και η μέγιστη μέση τιμή Ρυθμού Διαπνοής καταγράφηκε στη μεταχείριση τροφοδοσίας της καλλιέργειας με πρότυπο διάλυμα θρέψης μέντας με προσθήκη άλατος (T1), δεν σημειώθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις διαφορετικές μεταχειρίσεις. Για το σύνολο των καταγραφών, η μέγιστη τιμή διαπνοής αποδιδόταν συχνότερα στη μεταχείριση T1, χωρίς να εμφανίζει στατιστικά σημαντικές διαφορές με τον μάρτυρα T0.

3.4. Αποδοτικότητα Χρήσης Νερού (WUE)

Υπολογίζοντας τον λόγο Ρυθμού Ανταλλαγής CO₂ προς το Ρυθμό Διαπνοής, προκύπτει η τιμή που εκφράζει την Αποδοτικότητα Χρήσης Νερού ως προς την κατανάλωση CO₂ που αντιστοιχεί στην αντίστοιχη απώλεια νερού από το φυτό κατά τη διαπνοή.



Διάγραμμα 5 Μέσες τιμές Αποδοτικότητας Χρήσης Νερού- WUE, ανά ημέρα και ανά μεταχείριση

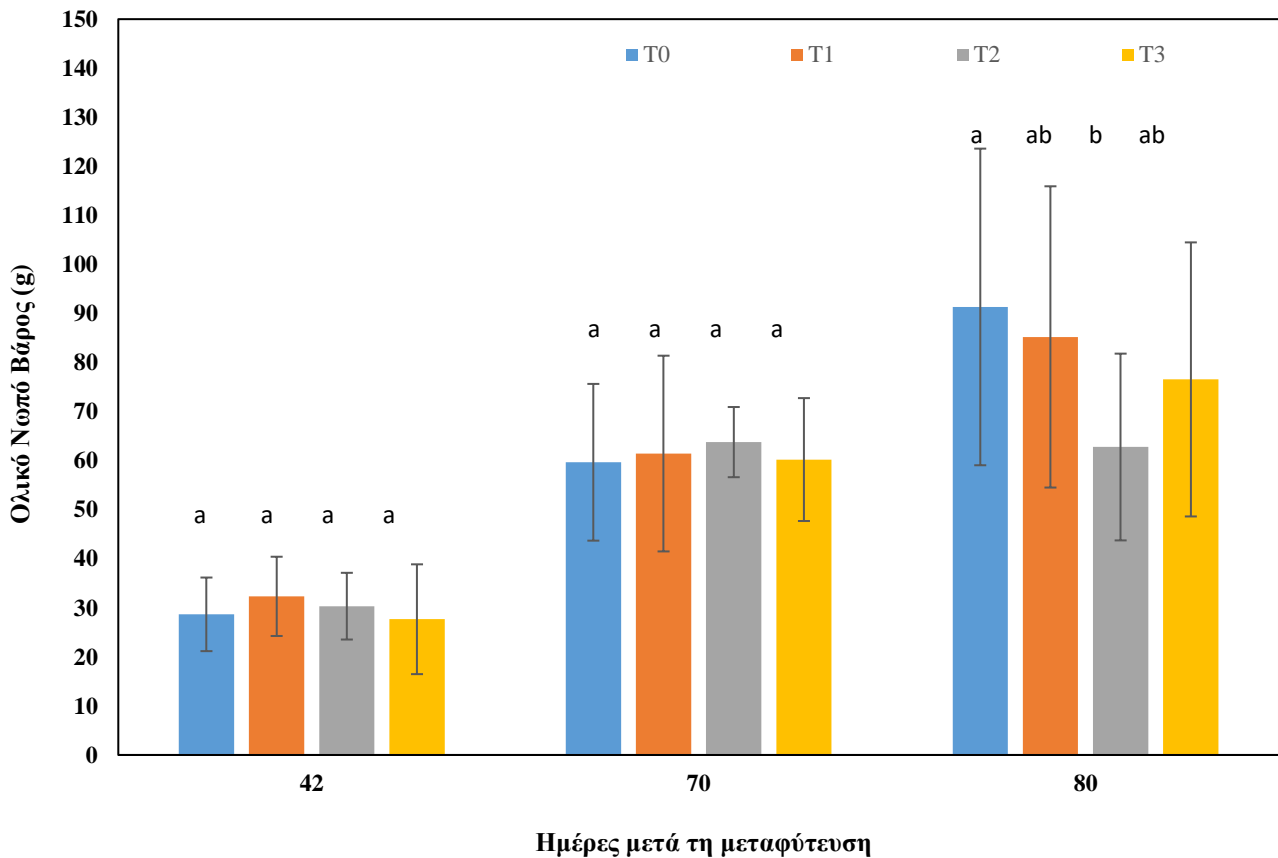
Για τη πλειοψηφία των καταγραφών αποδοτικότητας χρήσης νερού δεν υπήρχαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις διαφορετικές μεταχειρίσεις. Ωστόσο, στη τελευταία ημέρα καταγραφών (DAT 36) οι μέσες τιμές αποδοτικότητας χρήσης νερού που αντιστοιχούσαν στις μεταχειρίσεις εκμετάλλευσης απορροών T2 και T3 ήταν μικρότερες από αυτές των άλλων δύο μεταχειρίσεων, T0 και T1, παρουσιάζοντας στατιστικά σημαντικές διαφορές. Συνολικά, δεν παρουσιάστηκαν έντονες στατιστικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων, αλλά η μεταχείριση T1 παρουσίασε την μεγαλύτερη ταύτιση με τις μετρήσεις του μάρτυρα T0.

3.5. Καταστροφικές Μετρήσεις

3.5.1. Ολικό Νωπό Βάρος

Στη πρώτη συγκομιδή (DAT 42) δεν παρουσιάστηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στο Ολικό Νωπό Βάρος των φυτών. Στη δεύτερη (DAT 70), αν και αυξήθηκαν οι μέσες τιμές νωπού βάρους, εξακολουθούν να μην υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων.

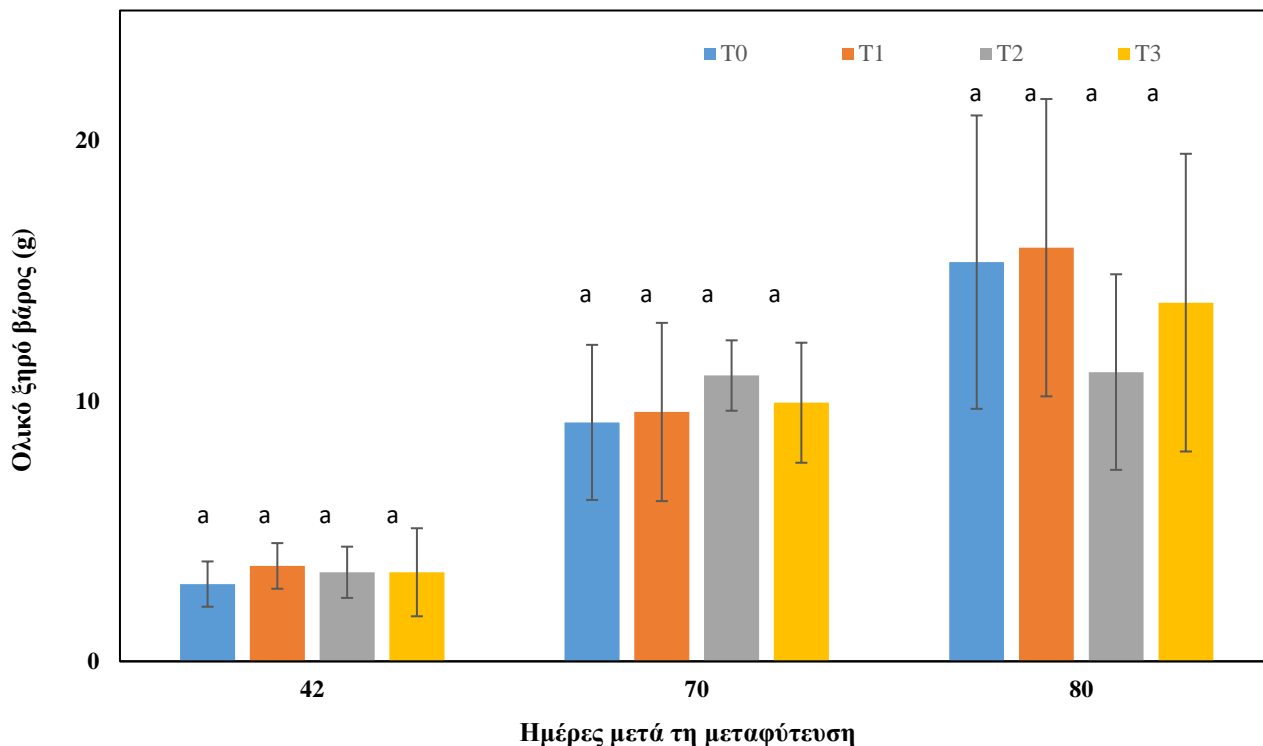
Στη τελευταία καταγραφή του νωπού βάρους (DAT 80) η μέγιστη μέση τιμή αντιστοιχούσε στη μεταχείριση του πρότυπου διαλύματος (T0), παρουσιάζοντας



Διάγραμμα 6 Μέσες τιμές μετρήσεων Ολικού Νωπού Βάρους, ανά ημέρα καταγραφής και ανά μεταχείριση

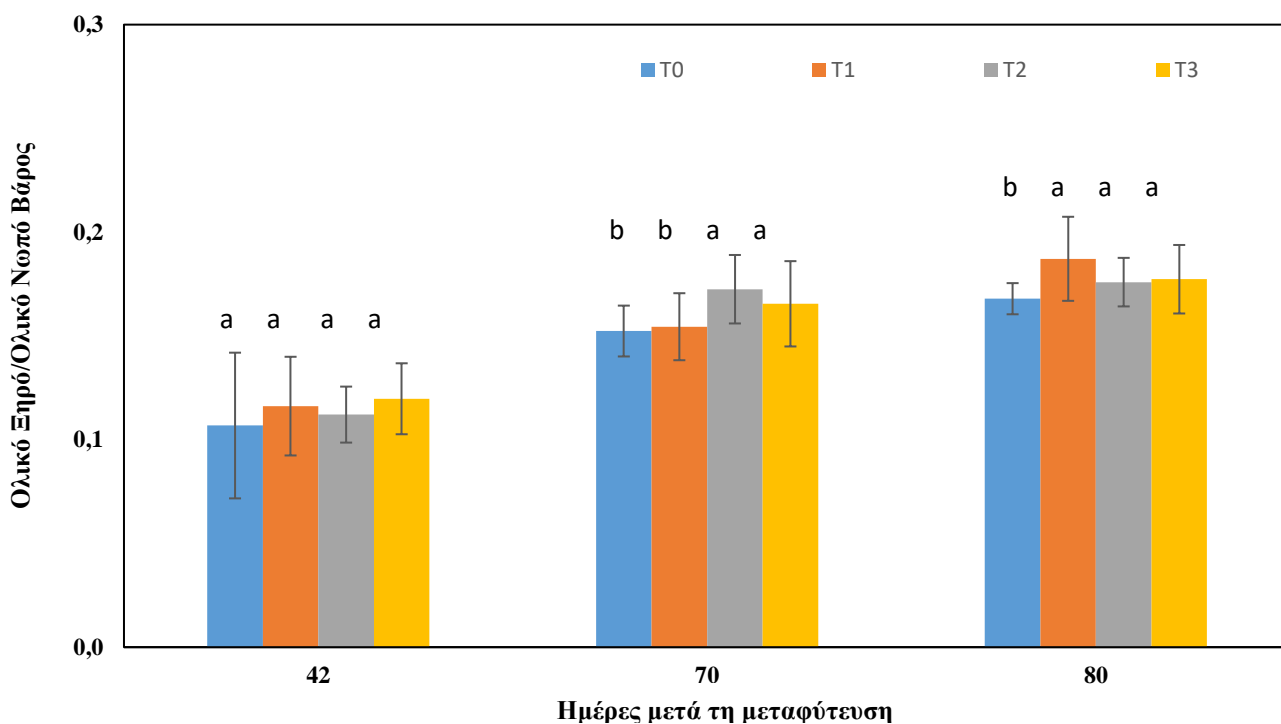
στατιστικά σημαντικές διαφορές με τη μεταχείριση διαλύματος 50% απορροών και 50% πρότυπου διαλύματος με προσθήκη άλατος (T2). Συνολικά, οι μεταχειρίσεις T1 και T3 παρουσίασαν τις λιγότερες στατιστικά σημαντικές διαφορές σε σύγκριση με τον μάρτυρα T0, στον οποίο καταγράφηκε η τελική μέγιστη τιμή ολικού βάρους.

3.5.2. Ολικό Ξηρό βάρος



Διάγραμμα 7 Μέσες τιμές μετρήσεων Ολικού Ξηρού Βάρους, ανά ημέρα καταγραφής και ανά μεταχείριση

Όσο αφορά το Ολικό Ξηρό Βάρος των φυτών μέντας στις τρεις ημέρες καταστροφικών μετρήσεων, δε παρουσιάστηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις διαφορετικές μεταχειρίσεις, με τη T1 να σημειώνει τη τελική μέγιστη τιμή ξηρού βάρους.

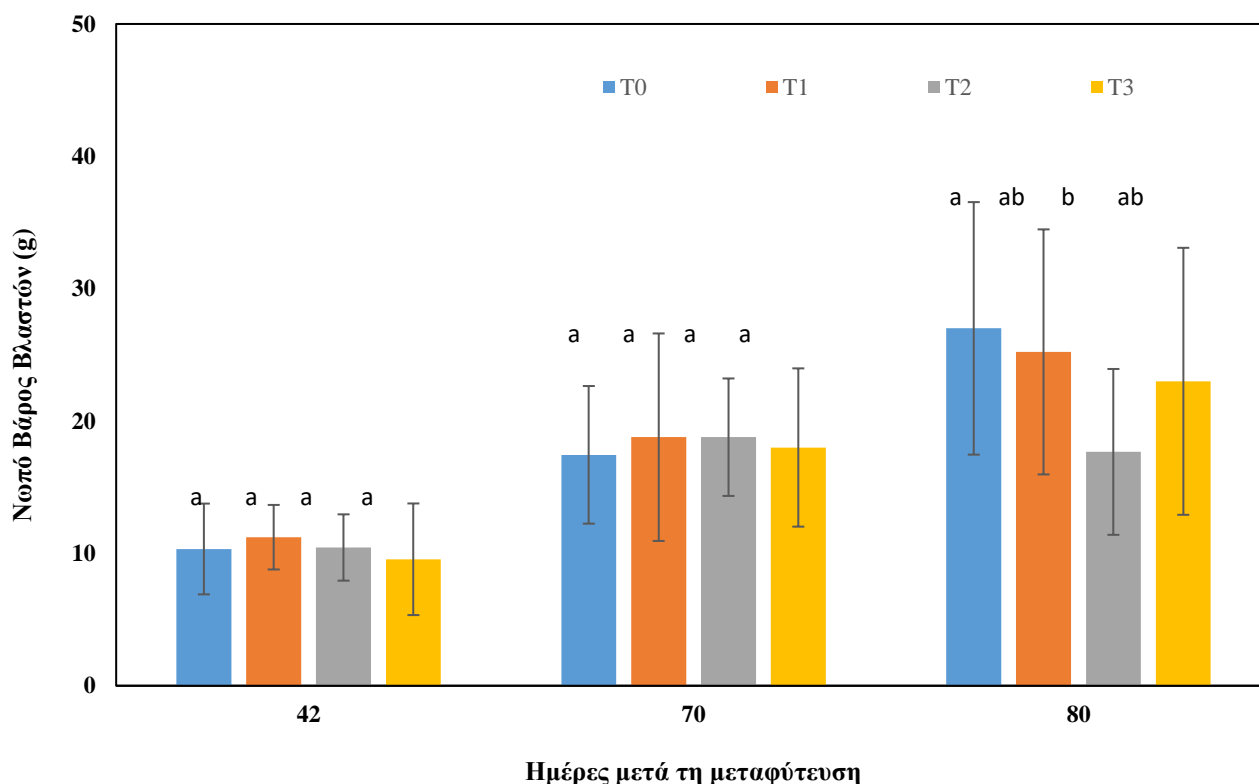


Διάγραμμα 8 Λόγος Ολικού Ξηρού Βάρους/ Ολικό Νωπό Βάρος

Υπολογίζοντας τον λόγο Ολικού Ξηρού Βάρους προς το αντίστοιχο Ολικό Νωπό Βάρος για τη κάθε μεταχείριση και μέρα, δε παρατηρούνται στατιστικά σημαντικές διαφορές στη πρώτη μέρα συγκομιδής. Στη DAT 70, παρατηρούνται στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στα ζεύγη μεταχειρίσεων αξιοποίησης πρότυπου διαλύματος (T0 και T1) με αυτές αξιοποίησης των απορροών (T2 και T3). Όσο για τη τελευταία ημέρα μέτρησης (DAT 80), παρουσιάστηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις μεταχειρίσεις καταπονήσεων (T1, T2 και T3) και τη μεταχείριση του μάρτυρα (T0), στην οποία αντιστοιχούσε η μικρότερη τιμή του λόγου. Συνολικά, δεν υπήρχαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων, με τη τελική μέγιστη τιμή να αποδίδεται στη μεταχείριση T1.

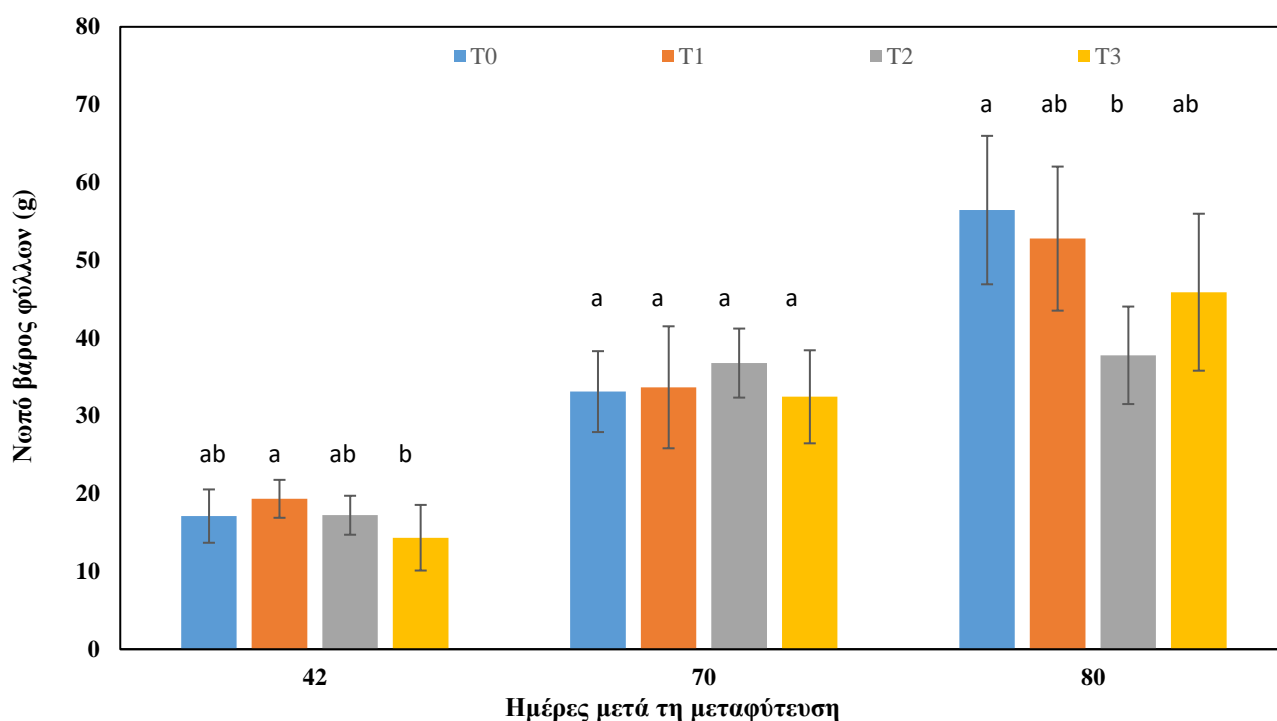
3.5.3. Νωπό Βάρος Βλαστών και Φύλλων

Στις δύο πρώτες ημέρες καταστροφικών μετρήσεων, δεν παρουσιάστηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις μέσες τιμές Νωπού Βάρους Βλαστών των διαφορετικών μεταχειρίσεων.



Διάγραμμα 9 Μέσες τιμές μετρήσεων Νωπού Βάρους Βλαστών, ανά ημέρα καταγραφής και ανά μεταχείριση

Στη τρίτη ημέρα καταστροφικών μετρήσεων, η μέγιστη μέση τιμή αντιστοιχούσε στη μεταχείριση πρότυπου διαλύματος (T0), έχοντας στατιστικά σημαντικές διαφορές με τη μεταχείριση διαλύματος 50% απορροών, 50% πρότυπου διαλύματος και προσθήκη άλατος (T2). Οι μεταχειρίσεις πρότυπου διαλύματος με προσθήκη άλατος (T1) και απορροών με προσθήκη άλατος (T3) δε παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές με τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις. Συνολικά, η μέγιστη τιμή νωπού βάρους βλαστών σημειώθηκε στον μάρτυρα T0, χωρίς να παρουσιάζει στατιστικά σημαντικές διαφορές συχνά με τη T3 και χωρίς διαφορές στο σύνολο των μετρήσεων με τη T1.

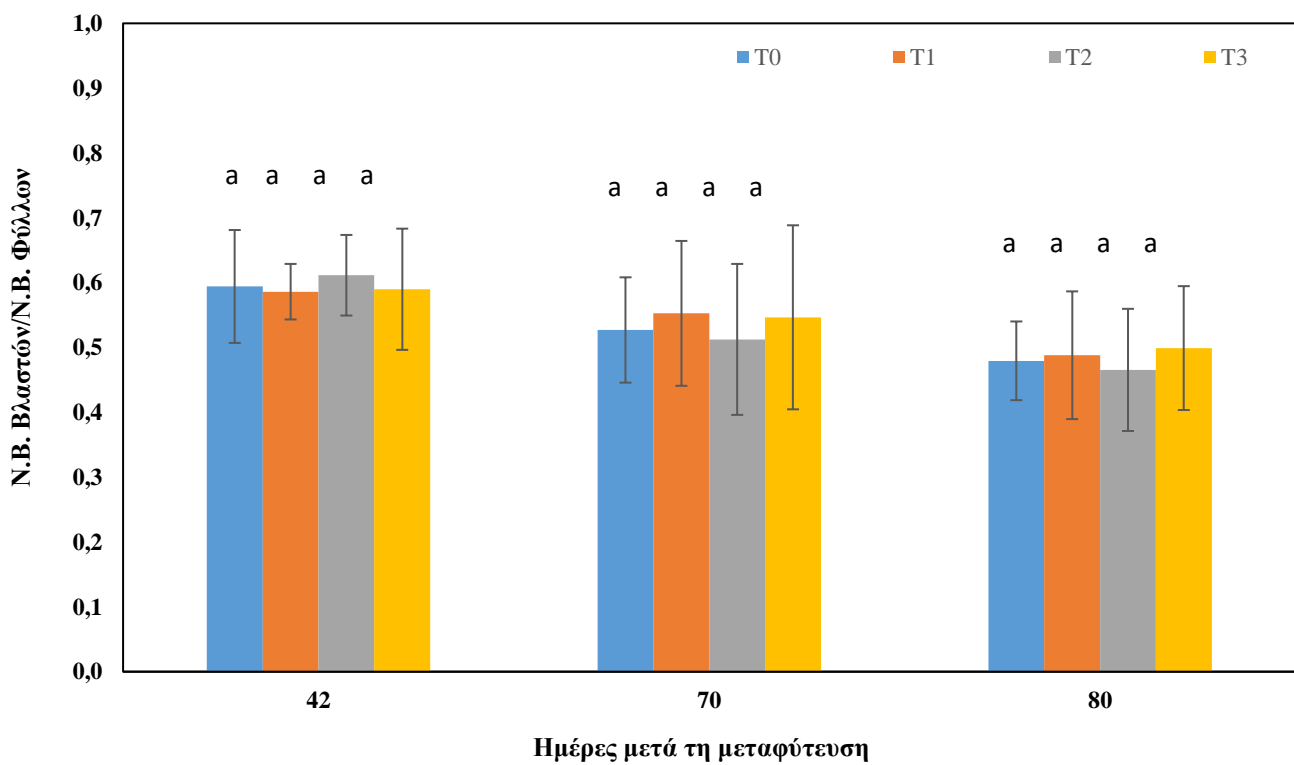


Διάγραμμα 10 Μέσες τιμές μετρήσεων Νωπού Βάρους Φύλλων, ανά ημέρα καταγραφής και ανά μεταχείριση

Στη DAT 42, η μέγιστη τιμή Νωπού Βάρους Φύλλων αποδόθηκε στη μεταχείριση πρότυπου διαλύματος με τη προσθήκη άλατος (T1), έχοντας στατιστικά σημαντικές διαφορές με τη μεταχείριση τροφοδοσίας της καλλιέργειας με διάλυμα απορροών από τη καλλιέργεια της τομάτας, με τη προσθήκη άλατος (T3). Την επόμενη ημέρα καταστροφικών μετρήσεων, την 70^η από την εφαρμογή των μεταχειρίσεων, η μέγιστη μέση τιμή βάρους φύλλων σημειώθηκε στη μεταχείριση διαλύματος 50% απορροών και 50% πρότυπου με τη προσθήκη άλατος (T2), χωρίς να υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές με τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις. Την 80^η ημέρα από την εφαρμογή των μεταχειρίσεων και τελευταία των καταστροφικών

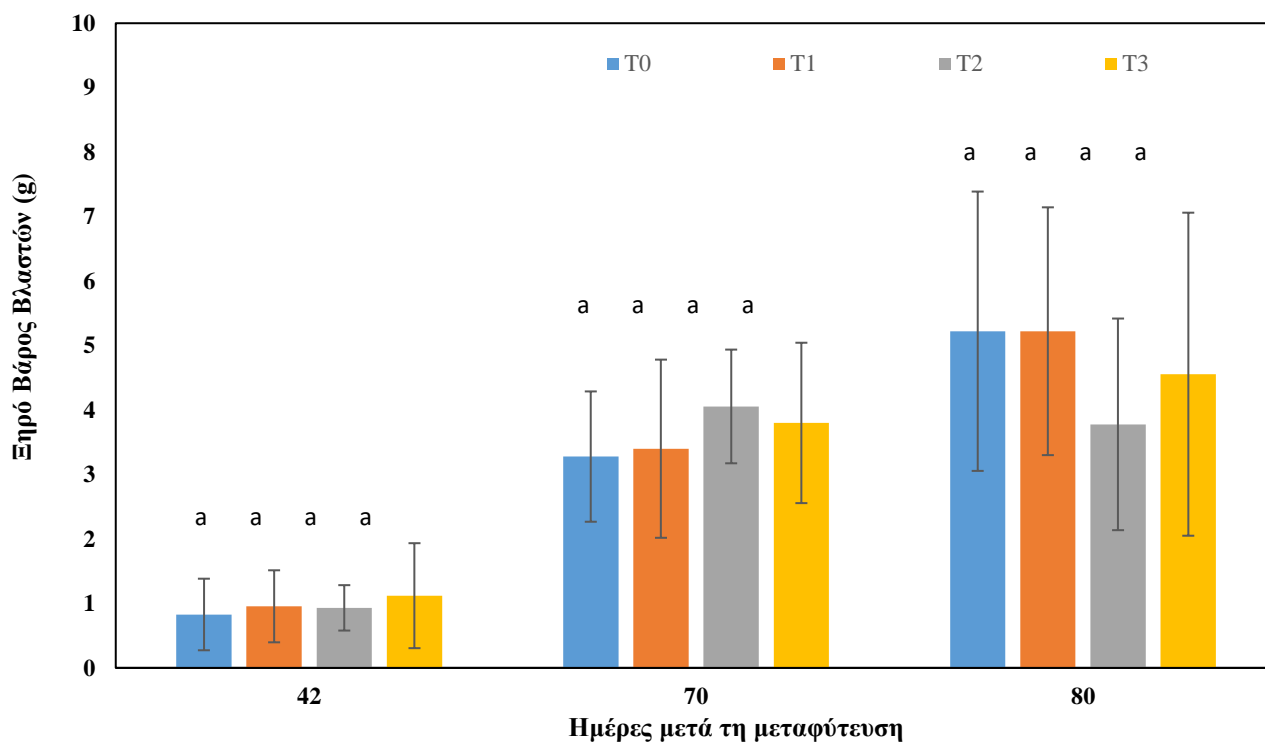
μετρήσεων, η μέγιστη τιμή σημειώθηκε στη μεταχείριση πρότυπου διαλύματος τροφοδοσίας (T0), έχοντας στατιστικά σημαντικές διαφορές με τη μεταχείριση διαλύματος 50% απορροών τομάτας και 50% πρότυπου με τη προσθήκη άλατος (T2). Τελικά, δε παρουσιάστηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στον μάρτυρα T0, τη μεταχείριση T3 και κυρίως τη μεταχείριση T1.

Υπολογίζοντας τον λόγο των μέσων τιμών Νωπού Βάρους Βλαστών προς το αντίστοιχο για κάθε μέρα και μεταχείριση Νωπό Βάρος Φύλλων, δε παρατηρούνται στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις μεταχειρίσεις.



Διάγραμμα 7 Λόγος Νωπού Βάρους Βλαστών/Νωπό Βάρος Φύλλων

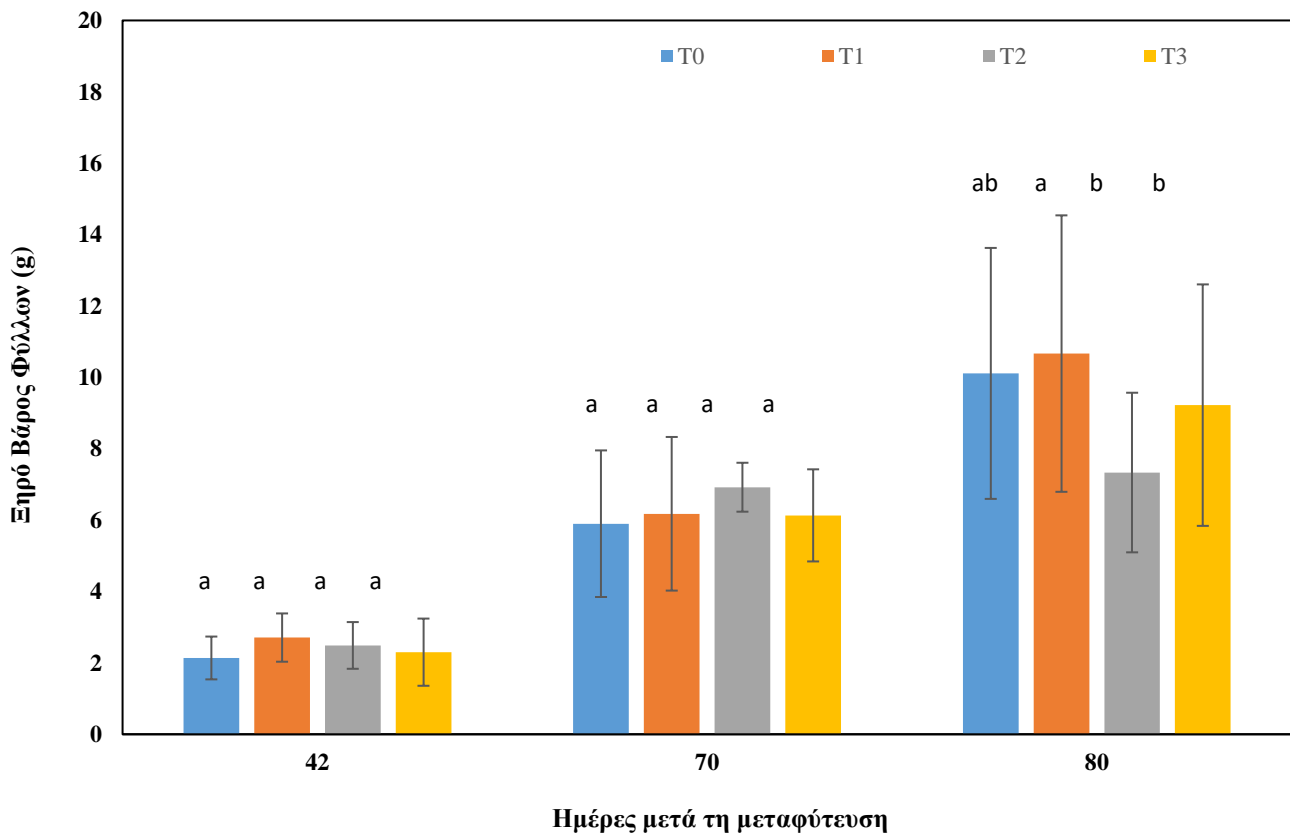
3.5.4. Ξηρό Βάρος Βλαστών και Φύλλων



Διάγραμμα 12 Μέσες τιμές μετρήσεων Ξηρού Βάρους Βλαστών, ανά ημέρα καταγραφής και ανά μεταχείριση

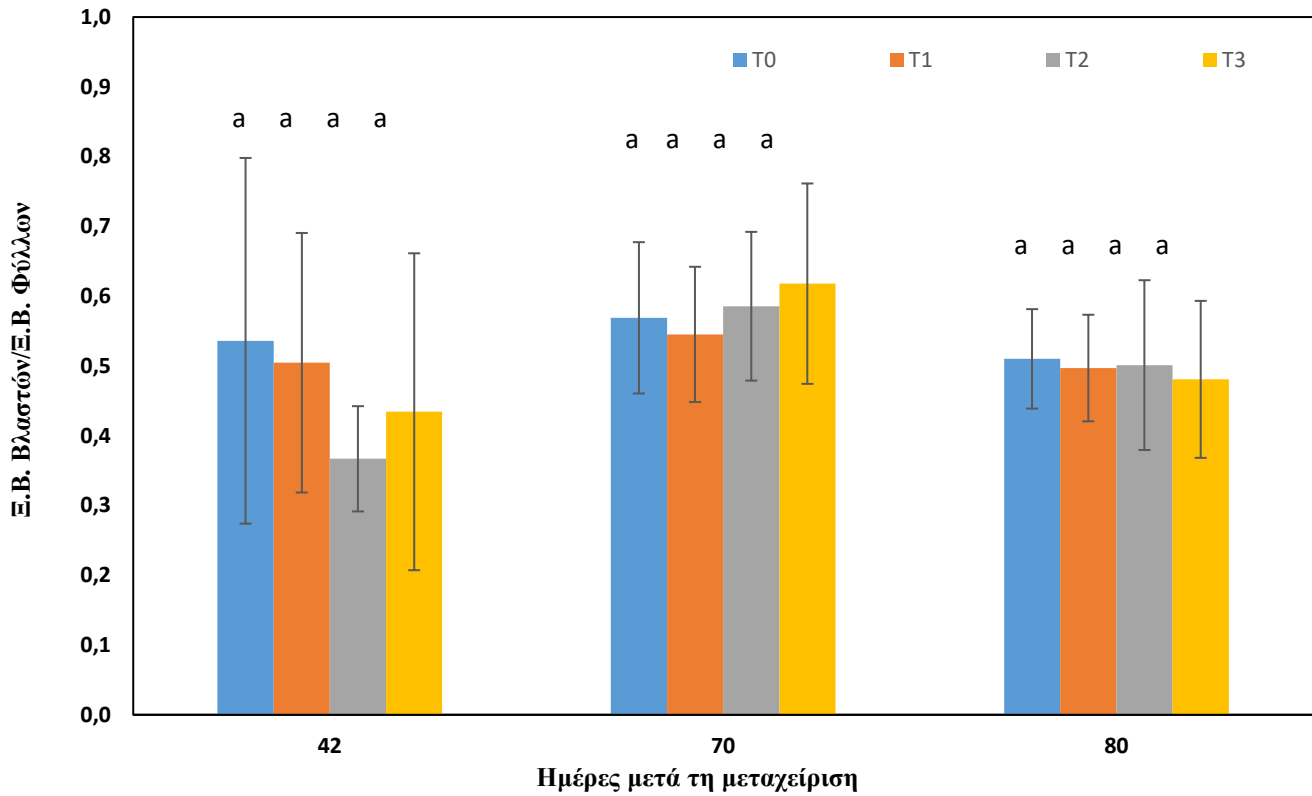
Οι μέγιστες τιμές για τις τρεις ημέρες παρατηρήσεων σημειώθηκαν στη μεταχείριση διαλύματος απορροών με προσθήκη άλατος (T3) για τη DAT 42, στη μεταχείριση διαλύματος απορροών και προτύπου με τη προσθήκη άλατος (T2) για τη DAT 70 και στις μεταχειρίσεις προτύπου διαλύματος με (T1) και χωρίς (T0) τη προσθήκη άλατος για τη DAT 80. Στο σύνολο των ημερών καταστροφικών μετρήσεων σχετικά με το Ξηρό Βάρος Βλαστών δεν σημειώθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές, μεταξύ των μεταχειρίσεων.

Σχετικά με τις μέσες τιμές Ξηρού Βάρους Φύλλων, δεν παρουσιάστηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις μεταχειρίσεις στις δύο πρώτες ημέρες καταστροφικών μετρήσεων. Τη τρίτη ημέρα (DAT 80), η μέγιστη τιμή ξηρού βάρους φύλλων σημειώθηκε στη μεταχείριση πρότυπου διαλύματος με τη προσθήκη άλατος (T1), έχοντας στατιστικά σημαντικές διαφορές με τις δύο μεταχειρίσεις αξιοποίησης των απορροών από τη καλλιέργεια τομάτας (T2 και T3). Η μεταχείριση του πρότυπου διαλύματος (T0) δε παρουσίασε στατιστικά σημαντικές διαφορές με καμία από τις άλλες μεταχειρίσεις. Συνολικά, η μέγιστη τιμή ξηρού βάρους φύλλων αποδόθηκε στη T1, χωρίς στατιστικά σημαντικές διαφορές με τον μάρτυρα, T0.



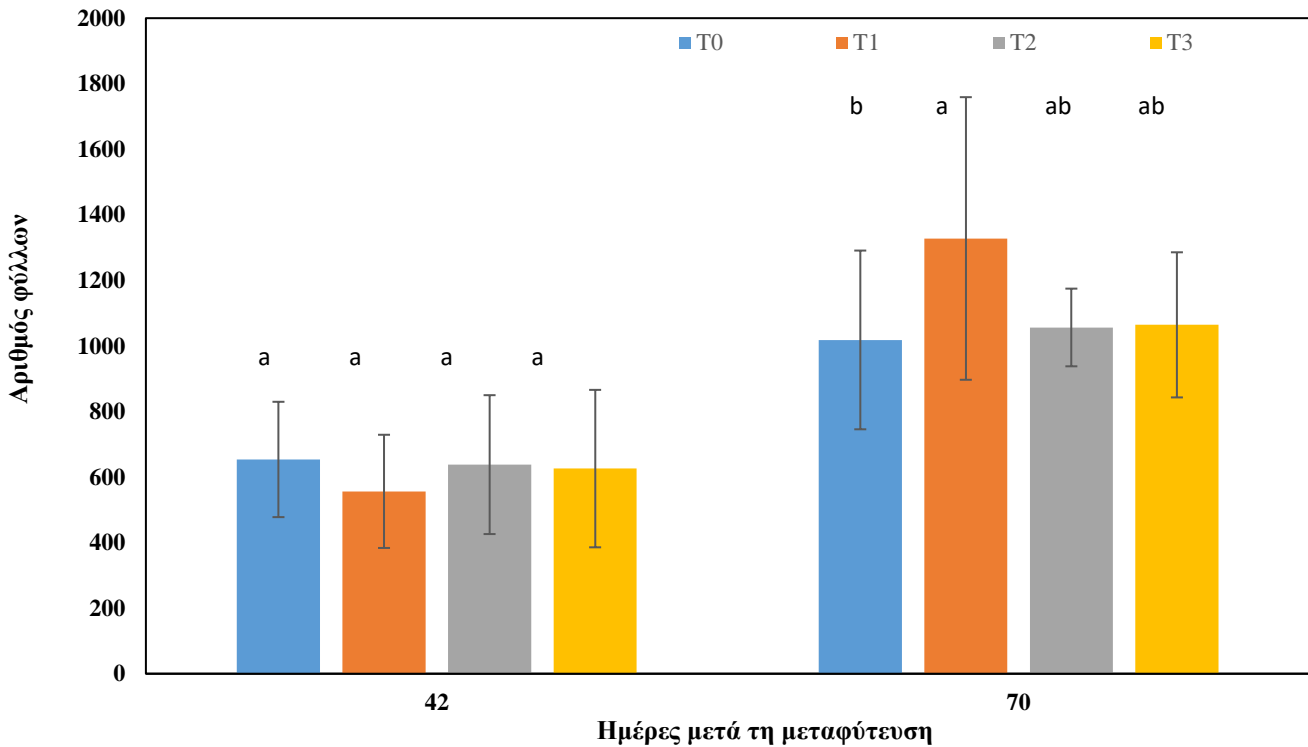
Διάγραμμα 83 Μέσες τιμές μετρήσεων Ξηρού Βάρους Φύλλων, ανά ημέρα καταγραφής και ανά μεταχείριση

Εκφράζοντας τον λόγο της μέσης τιμής Ξηρού Βάρους Βλαστών προς το αντίστοιχο Ξηρό Βάρος Φύλλων της κάθε μεταχείρισης ανά ημέρα, δε παρατηρούνται στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις μεταχειρίσεις για το σύνολο των ημερών.



Διάγραμμα 9 Λόγος Ξηρού Βάρους Βλαστών/Ξηρό Βάρος Φύλλων

3.5.5. Αριθμός Φύλλων



Διάγραμμα 10 Μέσες τιμές μετρήσεων Αριθμού Φύλλων, ανά ημέρα καταγραφής και ανά μεταχείριση

Σχετικά με τις μετρήσεις Αριθμού Φύλλων που πραγματοποιήθηκαν για τη πρώτη και δεύτερη καταστροφική, δεν παρουσιάστηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές, ανάμεσα στις μεταχειρίσεις για τη DAT 42. Στη DAT 70, ο μέγιστος αριθμός φύλλων αντιστοιχούσε στη μεταχείριση πρότυπου διαλύματος με τη προσθήκη άλατος (T1) και υπήρχαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα αυτής και της μεταχείρισης του πρότυπου διαλύματος λίπανσης (T0). Συνολικά, δε παρουσιάστηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων T1, T2, και T3, με το μέγιστο αριθμό φύλλων να σημειώνεται τελικά στη T1.

3.6. Μορφολογικές Μακροσκοπικές Παρατηρήσεις

Τα αυξημένα επίπεδα αλατότητας στο περιβάλλον της ρίζας διαταράσσουν την απορρόφηση νερού και οδηγούν σε συμπτώματα υδατικής καταπόνησης. Στο συγκεκριμένο πείραμα, τα επίπεδα αλατότητας αυξάνονταν σταδιακά σε όλη τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου, μέχρι τα 8 dS m⁻¹.

Από τη DAT 30 και προοδευτικά μέχρι το πέρας της πειραματικής περιόδου με τη τρίτη συγκομιδή (DAT 80), παρατηρήθηκε έντονη ξήρανση και έπειτα πτώση των παλαιότερων φύλλων της καλλιέργειας στις μεταχειρίσεις καταπόνησης. Η

ένταση ξήρανσης του φαινομένου αυξανόταν, με τη πιο ήπια ξήρανση και πτώση να παρατηρείται στη μεταχείριση πρότυπου διαλύματος με τη προσθήκη άλατος (T1) και πιο έντονη στη μεταχείριση απορροών με τη μέγιστη προσθήκη άλατος (T3).



Εικόνα 5 Πτώση Φύλλων στα φυτά της μεταχείρισης πρότυπου διαλύματος με τη προσθήκη άλατος (Πράσινο: T0, Κίτρινο: T1) (Ημ/νία 18 Ιανουαρίου 2020)



Εικόνα 6 Πτώση Φύλλων στα φυτά μεταχειρίσεων απορροών (Ροζ: T2, Μπλε: T3) (Ημ/νία 18 Ιανουαρίου 2020)



Εικόνα 7 Ενδεικτικές φωτογραφίες Ξήρανσης και Πτώσης Φύλλων (από αριστερά προς δεξιά: T0, T1, T2, T3) (Ημ/νία 18 Ιανουαρίου 2020)

4. Συζήτηση

Τα μεγάλα ποσοστά θρεπτικών που απορρίπτονται στο περιβάλλον από τις υδροπονικές καλλιέργειες, μολύνουν και υποβαθμίζουν το περιβάλλον. Έτσι, μελετήθηκε η αποδοτικότητα ενός συστήματος συγκαλλιέργειας, όπου οι απορροές από την καλλιέργεια τομάτας θα τροφοδοτούν, μετά από απολύμανση την καλλιέργεια μέντας. Η μέντα, ως αρωματικό φυτό, παρουσιάζει ανθεκτικότητα στην αλατότητα. Γι' αυτό, επιλέχθηκε ως η δευτερεύουσα καλλιέργεια στο συγκεκριμένο πείραμα.

Στις μετρήσεις ύψους της καλλιέργειας, παρατηρήθηκε μείωση της ανάπτυξης συγκριτικά με τη μεταχείριση του μάρτυρα, λόγω της επίδρασης της λίπανσης. Κατά κύριο λόγο, τα ύψη των φυτών των μεταχειρίσεων πρότυπου διαλύματος (T0 και T1) δεν έφεραν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους, παρά τη μεγάλη διαφορά τους σε ηλεκτρική αγωγιμότητα (2.1 dS m^{-1} στη μεταχείριση πρότυπου, έως 8 dS m^{-1} στη μεταχείριση πρότυπου με τη προσθήκη άλατος).

Οι μεταχειρίσεις αξιοποίησης των απορροών τομάτας κατά το ήμισυ (T2) ή αμιγώς (T3), έτειναν να έχουν μικρότερη μέση τιμή ύψους. Ειδικότερα τις τελευταίες ημέρες ανάπτυξης, η μεταχείριση απορροών με τη προσθήκη άλατος (T3), δεν έφερε στατιστικά σημαντικές διαφορές με το πρότυπο διάλυμα (T0). Σε παρόμοια αποτελέσματα κατέληξε και η ομάδα του Veras (2017), όπου τα φυτά μέντας που αρδεύονταν με νερό αγωγιμότητας 5 dS m^{-1} είχαν μικρότερο μέσο ύψος από τα φυτά που αρδεύονταν με νερό μικρότερων τιμών αγωγιμότητας, από 1 dS m^{-1} έως 4 dS m^{-1} .

Κατά κύριο λόγο, η περιεκτικότητα των φωτοσυνθετικών χρωστικών σε φυτά που αναπτύσσονται υπό συνθήκες αυξημένης αλατότητας είναι μειωμένες συγκριτικά με την αντίστοιχη περιεκτικότητα φυτών αναπτυγμένα σε ιδανικές συνθήκες. Στο πείραμα των Hosseini et al. (2021), προσδιορίστηκε μεταξύ άλλων η συγκέντρωση φωτοσυνθετικών χρωστικών σε 5 διαφορετικά είδη *Mentha*, μεταξύ αυτών και η *Mentha x piperita*, ανεπτυγμένα υπό συνθήκες υψηλής αλατότητας μέχρι 7.5 dS m^{-1} , μέσω εκχύλισης και μέτρηση απορρόφησης. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι στο σύνολο των μετρήσεων, οι μικρότερες τιμές συγκέντρωσης ολικής χλωροφύλλης ανήκε στη μεταχείριση της μέγιστης καταπόνησης (7.5 dS m^{-1}). Ωστόσο, αξίζει να σημειωθεί ότι το είδος *Mentha x piperita* παρουσίασε τη μικρότερη μείωση της συγκέντρωσης των ολικών χλωροφυλλών συγκριτικά με τα υπόλοιπα είδη.

Οι μετρήσεις περιεκτικότητας συνολικής χλωροφύλλης έδειξαν αυξημένες τιμές στις μεταχειρίσεις επίδρασης της αλατότητας. Συγκεκριμένα, οι μέγιστες μέσες τιμές ολικής συγκέντρωσης χλωροφύλλης, για το σύνολο των μετρήσεων, αποδίδονταν σε μία από τις μεταχειρίσεις απορροών (T2 και T3). Στις αρχικές μετρήσεις μέγιστες τιμές αποδίδονταν στη μεταχείριση αξιοποίησης και πρότυπου διαλύματος και απορροών με προσθήκη άλατος (T2), ενώ αργότερα αυξήθηκαν οι τιμές της μεταχείρισης απορροών με τη προσθήκη άλατος (T3). Στις περισσότερες των ημερών, δεν υπήρχαν σημαντικές διαφορές στις μεταχειρίσεις καταπόνησης (T1, T2 και T3), αλλά η μεταχείριση του πρότυπου διαλύματος (T0) είχε πάντα τη μικρότερη τιμή.

Εξαιτίας της έλλειψης νερού που παρουσιάζεται λόγω του μειωμένου δυναμικού στο περιβάλλον της ρίζας, παρατηρείται η έκπτυξη φύλλων μικρότερου μεγέθους ακόμη και σε κυτταρικό επίπεδο. Ταυτόχρονα, το πάχος των φύλλων αυξάνεται (Terry και Waldron, 1984), οδηγώντας στην αύξηση του όγκου φυτικού ιστού ανά μονάδα επιφάνειας. Λαμβάνοντας υπόψη, ότι το όργανο που χρησιμοποιήθηκε για τη μέτρηση της ολικής χλωροφύλλης αξιοποιεί την ανακλαστικότητα συγκεκριμένης επιφάνειας του φύλλου, μπορεί να καταγραφεί μεγαλύτερη τιμή ολικής χλωροφύλλης, λόγω του αυξημένου όγκου ανά επιφάνεια, συγκριτικά με φυτά που αναπτύσσονται, υπό ιδανικές κλιματικές συνθήκες.

Κατά μέσο όρο, ο ρυθμός ανταλλαγής CO_2 ήταν αυξημένος στις μεταχειρίσεις του πρότυπου διαλύματος (T0 και T1) και μικρότερος στις μεταχειρίσεις των

απορροών (T2 και T3). Ο ρυθμός διαπνοής ακολουθούσε το ίδιο μοτίβο, αλλά με μικρότερες διαφορές ανάμεσα στα δύο ζεύγη μεταχειρίσεων. Υπολογίζοντας τον λόγο των δύο προαναφερθέντων μετρήσεων, προκύπτει η αποδοτικότητα χρήσης νερού.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των Shannon και Grieve (1999), η μείωση της στοματικής αγωγιμότητας σε αυξημένη αλατότητα δικαιολογείται, ως αιτία της μειωμένης ανάπτυξης που παρατηρείται στα φυτά. Η αποδοτικότητα χρήσης νερού, υπολογισμένη από τον λόγο των δύο προαναφερθεισών μονάδων, είναι αυξημένη στις μεταχειρίσεις του πρότυπου διαλύματος (T0 και T1) έναντι στις δύο άλλες (T2 και T3), επηρεασμένη λογικά περισσότερο από τις τιμές του ρυθμού ανταλλαγής CO₂, παρά της διαπνοής.

Τα ολικά νωπά και ξηρά βάρη των φυτών κατά κύριο λόγο δεν είχαν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Οι τιμές της μεταχείρισης διαλύματος ανάμιξης πρότυπου και απορροών με τη προσθήκη άλατος (T2) ήταν αρκετά μικρότερες από τις υπόλοιπες τη τελευταία ημέρα, με στατιστική σημασία μόνο στο νωπό βάρος. Οι μέσες τιμές σε ξηρά και νωπά βάρη φύλλων και βλαστών ακολουθούν κατά κύριο λόγο παρόμοια τάση με τα ολικά βάρη. Οι μικρότερες τιμές του νωπού βάρους μπορούν να ερμηνευτούν από τη τοξικότητα που προκαλούν τα ιόντα νατρίου και χλωρίου σε μεγάλες συγκεντρώσεις, μειώνοντας την απορρόφηση νερού και θρεπτικών (Nivas et al., 2011).

Μειωμένη απόδοση σε ξηρό βάρος φύλλων και βλαστών παρατήρησαν και οι Ghorbani et al. (2018), σε φυτά μέντας ανεπτυγμένα στα 6 dS m⁻¹. Σκεπτόμενοι ότι οι μεταχειρίσεις των απορροών (T2 και T3) είχαν διαφορετική σύσταση διαλύματος τροφοδοσίας, είναι πιθανό οι συγκεντρώσεις όλων των ιόντων να επηρέασαν την απορρόφηση των φυτών. Σύμφωνα με τους Clark και Menary το 1980, καλλιέργειες μέντας που αναπτύσσονται σε εδάφη που περιέχουν περισσότερο από 0.3% NaCl ή αλλιώς με EC μεγαλύτερη των 7.5 dS m⁻¹ αποδίδουν μικρότερη παραγωγή σε βιομάζα και αιθέρια έλαια.

Παρόμοια αποτελέσματα έλαβαν και η ομάδα των Roodbari et al. (2013), σημειώνοντας μειωμένη ανάπτυξη με βάση τη συνολική βιομάζα και τα ξηρά και νωπά βάρη βλαστών και φύλλων, όσο αυξανόταν η αλατότητα από τα 0, στα 50, 100 και 200 mmol NaCl, με τη τελευταία μεταχείριση να οδηγεί στη νέκρωση των φυτών. Ωστόσο, λαμβάνοντας υπόψη ότι μετά από πολλά χρόνια καλλιέργειας της μέντας σε

αλατούχα εδάφη, υπάρχουν πλέον ποικιλίες ανθεκτικές στη καταπόνηση από την αλατότητα, όπως η ποικιλία Keyuan-1, η οποία μπορεί να αναπτυχθεί φυσιολογικά σε εδάφη μέχρι και 0.8% περιεκτικότητας σε NaCl, 15 dS m⁻¹ (Li et al. 2014a, b).

Συγκρίνοντας την περιεκτικότητα σε νερό των φυτών τις 3 ημέρες των καταστροφικών μετρήσεων, υπάρχει τάση μείωσης. Το μεγαλύτερο ποσοστό και για τις 3 ημέρες σημειώνεται στη μεταχείριση του πρότυπου διαλύματος (T0) στα 89%, 85% και 83% κατά μέσο όρο αντίστοιχα για τις τρεις καταστροφικές μετρήσεις (DAT 42, 70, 80) σε συμφωνία με τα αποτελέσματα των Ghorbani et al. Αν και υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα σε κάποιες μεταχειρίσεις, κυρίως με τη μεταχείριση πρότυπου με αλάτι (T1) και της μεταχείρισης μείξης πρότυπου και απορροής με αλάτι (T2), δεν εντοπίζεται μία μεταχείριση με τη μεγαλύτερη τάση μείωσης, πράγμα που μπορεί να ερμηνευτεί από την υδατική καταπόνηση που δημιουργείται όταν η σταδιακή αύξηση των συγκεντρώσεων ιόντων μειώνει το δυναμικό του νερού στο περιβάλλον της ρίζας, καθιστώντας πολύ δύσκολη την απορρόφησή του.

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα των μεταχειρίσεων του πειράματος αυξανόταν σταδιακά και με τον ίδιο ρυθμό και στις τρεις μεταχειρίσεις. Πιο συγκεκριμένα, για τη μεταχείριση πρότυπου διαλύματος με τη προσθήκη άλατος (T1) τα κατά μέσο όρο ποσοστά περιεκτικότητας νερού για τις τρεις ημέρες καταστροφικών ανέρχονταν στο 88%, 84% και 83%. Για τη μεταχείριση μείξης πρότυπου διαλύματος με απορροές και τη προσθήκη άλατος (T2) τα ποσοστά ήταν 88%, 83% και 82% (DAT 42, 70 και 80 αντίστοιχα) και στη μεταχείριση απορροών με τη προσθήκη άλατος (T3), 88%, 83% και 82%.

Η παρατήρηση της ξήρανσης των φυτών στις μεταχειρίσεις καταπόνησης μπορεί να ερμηνευτεί από την παραδοχή ότι για πολλά στοιχεία υπάρχει το φαινόμενο ανταγωνισμού για την απορρόφηση τους από τα φυτά. Αν υπάρχουν υψηλές συγκεντρώσεις νατρίου στη περιοχή της ρίζας, δυσχεραίνεται η απορρόφηση ασβεστίου. Επιπλέον, υψηλές συγκεντρώσεις χλωρίου στα φύλλα δημιουργούν εγκαύματα. Η ξήρανση των φύλλων όμως μπορεί να προκληθεί και από έλλειψη νερού (οσμωτική καταπόνηση από την σταδιακά αυξανόμενη αλατότητα), κατά την οποία το φυτό συχνά ρίχνει τα παλαιότερα φύλλα του (Munns, 2002).

5. Συμπεράσματα

Η επίδραση της αλατότητας στην παραγωγή και στην αποδοτικότητα χρήσης νερού, με βάση τις διαφορετικές στρατηγικές λίπανσης που εφαρμόστηκαν έδειξε ενθαρρυντικά αποτελέσματα, κυρίως ως προς την παραγωγή, η οποία δε φαίνεται να επηρεάστηκε σημαντικά από την αυξημένη αλατότητα των διαλυμάτων τροφοδοσίας. Η αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας πραγματοποιήθηκε με προσθήκη NaCl, προσομοίωση καταπόνησης από αλατότητα. Τα επίπεδα αλατότητας του πειράματος ήταν αρχικά στην τιμή των 6 και εν συνεχεία, μετά από μία εβδομάδα στην τιμή στόχου 8 dS m⁻¹. Η τελική τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας από τη συγκέντρωση NaCl ήταν 8 dS m⁻¹, χωρίς να παρατηρείται νέκρωση των φυτών.

Η καλλιέργεια της μέντας δύναται να αποδώσει σε υψηλές συνθήκες αλατότητας, ακόμη και στα 8 dS m⁻¹, με ικανοποιητικά αποτελέσματα σε όλες τις παραμέτρους που εξετάστηκαν. Ωστόσο, όταν η καλλιέργεια αρδεύεται με διάλυμα κατά το ήμισυ (T2) ή πλήρως (T3) από απορροές καλλιέργειας τομάτας με τη προσθήκη άλατος, οι μέσες τιμές των μετρήσεων ήταν συνήθως, σημαντικά μικρότερες. Ανάμεσα στις δύο αυτές μεταχειρίσεις, η T2 είχε συχνά τις μικρότερες μέσες τιμές μετρήσεων, ενώ η T3 δεν είχε πάντα στατιστικά σημαντικές διαφορές με τουλάχιστον μία από τις μεταχειρίσεις του πρότυπου διαλύματος.

Η αποδοτικότητα χρήσης του νερού ήταν μειωμένη στις μεταχειρίσεις T2 και T3. Ωστόσο, αυτό το αποτέλεσμα πιθανώς να εξαρτήθηκε περισσότερο από τις τιμές του ρυθμού ανταλλαγής CO₂ παρά του ρυθμού διαπνοής, αφού οι τιμές του τελευταίου στη πλειοψηφία τους δεν είχαν μεγάλες διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων. Όσο αφορά, την παραγωγή, οι καλύτερες αποδόσεις ήταν αυτές των μεταχειρίσεων T1 και T3, οι οποίες είχαν σπάνια στατιστικά σημαντικές διαφορές με τη μεταχείριση T0 του μάρτυρα, αν και ήταν ποσοτικά μικρότερες συγκριτικά με αυτόν.

Συμπερασματικά, η καλλιέργεια της μέντας αποτελεί βιώσιμη επιλογή ως δευτερεύουσα καλλιέργεια ενός υδροπονικού συστήματος επάλληλων καλλιεργειών, με μικρές πτώσεις στη παραγωγή και την αποδοτικότητα χρήσης νερού της καλλιέργειας σε καταπόνηση αλατότητας μέχρι και 8 dS m⁻¹.

6. Βιβλιογραφία

Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

Abbate, P.E., Dardanelli, J.L., Cantarero, M.G., Maturano, M., Melchiori, R.J.M., Suero, E.E., 2004. Climatic and water availability effects on water use efficiency in wheat. *Crop Sci.* 44, 474483.

Ahmad R., Jamil S., Shahzad M., Zörb C., Irshad U., Khan N., Younas M., Khan S.A., 2017. Metabolic profiling to elucidate genetic elements due to salt stress. *Clean - Soil Air Water*, 45, 1600574.

Al Shrouf, A., 2017. Hydroponics, Aeroponic and Aquaponic as Compared with Conventional Farming. *American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences (ASRJETS)*, 27(1), 246-255.

Al-Karaki GN and Othman Y., 2009. Soilless cultivation of some medicinal and aromatic herb plants under the conditions of Arabian Gulf region. *Emir. J. Food Agric.*, 21 (2): 64–70. (<https://doi.org/10.9755/ejfa.v21i2.5165>)

Bacon M.A., 2004. Water use efficiency in plant biology, p. 1-26. In: *Water Use Efficiency in Plant Biology* (M.A. Bacon, ed). Blackwell Publishing, UK.

Bahadori, M.B.; Zengin, G.; Bahadori, S.; Dinparast, L.; Movahhedin, N., 2018. Phenolic composition and functional properties of wild mint (*Mentha longifolia* var. *calliantha* (Stapf) Briq.). *Int. J. Food Prop.*, 21, 198–208.

Ball MC, Anderson JM, 1986. Sensitivity of photosystem II to NaCl in relation to salinity tolerance. Comparative studies with thylakoids of the salt-tolerant mangrove, *Avicennia marina*, and the salt-sensitive pea, *Pisum sativum*. *Aust J Plant Physiol* 13: 689-698

Ball MC, Farquhar GD, 1984. Photosynthetic and stomatal response of two mangrove species, *Aegiceras corniculatum* and *Avicennia marina* to long term salinity and humidity conditions. *Plant Physiol* 74: 1-6

Bergougnoux, V., 2014. The history of tomato: from domestication to biopharming. *Biotechnology advances*, 32(1), 170-189.

Bernstein L., L.E. Francois, R.A. Clark, 1974. Interactive effects of salinity and fertility on yields of grains and vegetables *Agron. J.*, 66, pp. 412-421

Bosques, J., 2010. Curso básico de hidroponía. Capá, Moca.

Bradley, P., & Marulanda, C., 2000. Simplified hydroponics to reduce global hunger. In *World Congress on Soilless Culture: Agriculture in the Coming Millennium* 554. 289-296.

Brechner, M., Both, A. J., & Staff, C. E. A., 1996. Hydroponic lettuce handbook. *Cornell Controlled Environment Agriculture*, 834, 504-509.

Brugnoli, E., and Lauteri, M., 1991. Effects of salinity on stomatal conductance, photo-synthetic capacity, and carbon isotope discrimination of salt-tolerant (*Gossypium hirsutum* L.) and salt-sensitive (*Phaseolus vulgaris* L.) C(3) non-halophytes. *Plant Physiol.* 95, 628–635. doi: 10.1104/pp.95.2.628

Cabot, C.; Sibole, J.V.; Barceló, J.; Poschenrieder, C., 2014. Lessons from crop plants struggling with salinity. *Plant Sci.* 226, 2–13.

Cam, M.; Basyigit, B.; Alasalvar, H.; Yilmaztekin, M.; Ahhmed, A.; Sagdic, O.; Konca, Y.; Telci, I., 2020. Bioactive properties of powdered peppermint and spearmint extracts: Inhibition of key enzymes linked to hypertension and type 2 diabetes. *Food Biosci.*, 35, 100577.

Carmassi, G., Incrocci, L., Maggini, R., Malorgio, F., Tognoni, F., & Pardossi, A., 2005. Modeling salinity build-up in recirculating nutrient solution culture. *Journal of plant nutrition*, 28(3), 431-445.

Carmassi, G., Incrocci, L., Maggini, R., Malorgio, F., Tognoni, F., & Pardossi, A., 2007. An aggregated model for water requirements of greenhouse tomato grown in closed rockwool culture with saline water. *Agricultural water management*, 88(1-3), 73-82.

Causse, M., Chaïb, J., Lecomte, L., & Buret, M., 2007. Both additivity and epistasis control the genetic variation for fruit quality traits in tomato. *Theoretical and Applied Genetics*, 115(3), 429-442.

Chen T.W., Kahlen K., Stützel H., 2015. Disentangling the contributions of osmotic and ionic effects of salinity on stomatal, mesophyll, biochemical and light limitations to photosynthesis. *Plant Cell & Environment*, **38**, 1528–1542.

Chen, C. Y., Wang, S. W., Kim, H., Pan, S. Y., Fan, C., & Lin, Y. J., 2021. Non-conventional water reuse in agriculture: A circular water economy. *Water Research*, 199, 117193.

Clark RJ, Menary RC, 1980. Environmental effects on peppermint, I. Effect of day length, photon flux density, night temperature and day temperature on the yield and composition of peppermint oil. *Australian J Plant Physiol* 7:685–692

Çoban, Ö., & Baydar, N. G., 2016. Brassinosteroid effects on some physical and biochemical properties and secondary metabolite accumulation in peppermint (*Mentha piperita* L.) under salt stress. *Industrial Crops and Products*, 86, 251-258.

D. Savvas, H.C. Passam (Eds.), 2002. *Hydroponic Production of Vegetables and Ornamentals*, Embryo Publications, Athens, Greece, pp. 299-343

Dabour, N., 2006. Water Resources and their Use in Agriculture in Arab Countries. *Journal of Economic Cooperation among Islamic Countries*, 27(1).

E. Van Os, T.H. Gieling, H.J. Lieth, 2008. Technical equipment in soilless production systems M. Raviv, H.J. Lieth (Eds.), *Soilless Culture: Theory and Practice*, Elsevier, Amsterdam, pp. 157-207

Elvanidi, A.; Reascos, C.B.; Gourzoulidou, E.; Kunze, A.; Max, J.; Katsoulas, N., 2020 Implementation of the Circular Economy Concept in Greenhouse Hydroponics for Ultimate Use of Water and Nutrients. *Horticulturae*, 6, 83.

FAO, 2009. How to Feed the World in 2050. www.fao.org (http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert_paper/How_to_Feed_the_World_in_2050.pdf)

Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2022. AQUASTAT database (12/4/2022)

Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2022. FAOSTAT database, Crops and livestock products (14/4/2022)

- Garcia-Caparrós, P.; Llanderal, A.; Maksimovic, I.; Lao, M.T., 2018. Cascade Cropping System with Horticultural and Ornamental Plants under Greenhouse Conditions. *Water*, 10, 125.
- Ghorbani, M., Movahedi, Z., Kheiri, A., & Rostami, M., 2018. Effect of salinity stress on some morpho-physiological traits and quantity and quality of essential oils in Peppermint (*Mentha piperita* L.). *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 11(2), 413-420.
- Gruda, N., 2009. Do Soilless Culture Systems Have an Influence on Product Quality of Vegetables? *J. Appl. Bot. Food Qual.*, 82, 141–147.
- Gruda, N., Prasad, M. & Maher, M.J., 2006. Soilless Culture. In: R. Lal (ed.) *Encyclopedia of soil sciences*. Taylor & Francis, Boca Raton, FL, USA.
- Gruda, N.; Savvas, D.; Colla, G.; Roupshael, Y., 2018. Impacts of genetic material and current technologies on product quality of selected greenhouse vegetables—A review. *Eur. J. Hortic. Sci.*, 83, 319–328.
- Gruda, N.S., 2019. Increasing Sustainability of Growing Media Constituents and Stand-Alone Substrates in Soilless Culture Systems. *Agronomy*, 9, 298.
- Gutiérrez, M., Alegret, S., Cáceres, R., Casadesús, J., Marfa, O., & Del Valle, M., 2007. Application of a potentiometric electronic tongue to fertigation strategy in greenhouse cultivation. *Computers and Electronics in Agriculture*, 57(1), 12-22.
- Hanson, A. A., 1990. *Practical handbook of agricultural science*. CRC Press. Boca Raton, Florida
- Heidari, F., S. Zehtab Salmasi, A. Javanshir, H. Aliari and M.R. Dadpoor., 2008. The Effects of Application Microelements and Plant Density on Yield and Essential oil of Peppermint (*Mentha piperita* L.). *Iranian J. Med. Aromatic Plants*, 24, 1-9.
- Hosseini, S. J., Tahmasebi-Sarvestani, Z., Pirdashti, H., Modarres-Sanavy, S. A. M., Mokhtassi-Bidgoli, A., Hazrati, S., & Nicola, S., 2021. Investigation of yield, phytochemical composition, and photosynthetic pigments in different mint ecotypes under salinity stress. *Food Science & Nutrition*, 9(5), 2620-2643.

Incrocci L., A. P., 2003. Cascade Cropping System for Greenhouse Soilless Culture. *Acta Horticulturae*, 297-300.

Incrocci, L., Carmassi, G., Maggini, R., Massa, D., Tognoni, F., Pardossi, A., & Malorgio, F., 2006. Simplified models for the water relations of soilless cultures: what they do or suggest for sustainable water use in intensive horticulture. In III International Symposium on Models for Plant Growth, Environmental Control and Farm Management in Protected Cultivation 718 (pp. 425-434).

Jones, H.G., Vaughan, R.A., 2010. Remote Sensing of Vegetation: Principles, Techniques, and Applications. Oxford University Press, Oxford.

Kaleem F., Shabir G., Aslam K., Rasul S., Manzoor H., Shah S.M., Khan A.R., 2018. An overview of the genetics of plant response to salt stress: present status and the way forward. *Applied Biochemistry and Biotechnology*. <https://doi.org/10.1007/s12010-018-2738-y>

Khan A., Tan D.K.Y., Afridi M.Z., Luo H., Tung S.A., Ajab M., Fahad S., 2017. Nitrogen fertility and abiotic stresses management in cotton crop: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 24, 14551– 14566.

Kramer, P., 1969. Plant and soil water relationship: a modern synthesis. *Plant and soil water relationship: a modern synthesis*.

Kumari A., Jewaria P.K., Bergmann D.C., Kakimoto T. (2014) Arabidopsis reduces growth under osmotic stress by decreasing SPEECHLESS protein. *Plant Cell Physiology*, **55**, 2037– 2046.

Laraus, J., 2004. The problems of sustainable water use in the Mediterranean and research requirements for agriculture. *Annals of Applied Biology*, 144(3), 259-272.

Läuchli, A., Grattan, S.R., 2014. Encyclopedia of Agriculture and Food Systems || Plant Abiotic Stress: Salt., 313–329.

LCi Portable Photosynthesis System Instruction Manual, 2004. ADC BioScientific Ltd. Hoddesdon, Herts.

- Li Z, Wu XQ, Wei YL, Li JS, Yang HT, 2014a Effects of NaCl stress on the growth and antioxidant system of peppermint (*Mentha piperita* L.). *Guangdong Agricul. Sci* 41:46–51
- Li Z, Wu XQ, Zhao XY, Wei YL, Li JS, Yang HT, 2014b Impacts of NaCl stress on photosynthesis and PSII photochemical activity of peppermint (*Mentha piperita* L.). *Shandong Sci* 27:56–62
- Maher MJ, Prasad M, Raviv M., 2008. Organic soilless media components. In: Raviv, Lieth (eds) *Soilless culture, theory and practice*. Elsevier, Amsterdam, pp 459–504
- Maucieri, C., Nicoletto, C., Van Os, E., Anseeuw, D., Van Havermaet, R., & Junge, R., 2019. Hydroponic technologies. *Aquaponics food production systems*, 77.
- Miller G., Suzuki N., Ciftci-Yilmaz S., Mittler R., 2010. Reactive oxygen species homeostasis and signalling during drought and salinity stresses. *Plant Cell & Environment*, **33**, 453– 467.
- Munns, R. (2002). Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, cell & environment*, 25(2), 239-250.
- Munns, R., and Tester, M., 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *Ann. Rev. Plant Biol.* 59, 651–681. doi: 10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911
- Munns, R., Guo, J., Passioura, J. B., and Cramer, G. R., 2000. Leaf water status controls day-time but not daily rates of leaf expansion in salt-treated barley. *Aust. J. Plant Physiol.* 27, 949–957.
- Naika, S. V., 2005. *Cultivation of tomato. Production, processing and marketing*. Wageningen, The Netherlands: Digigrafi.
- Nicola, S., Tibaldi, G., Fontana, E., Crops, A. V., & Plants, A., 2009. Tomato production systems and their application to the tropics. *Acta horticulturae*, 821(821), 27-34.
- Nivas D, Gaikwad DK, Chavn PD, 2011. Physiological responses of two *Morinda* Species under saline conditions. *Am. J. Plant Phys.* 6(8):1-10.

Ozturk, A., A. Unlukara, A. Ipek and B. Gurbuz., 2004. Effects of Salt Stress and Water Deficit on Plant Growth and Essential Oil Content of Lemon Balm (*Melissa officinalis* L.). *Pak. J. Bot.*, 36(4), 787- 792.

Pavlić, B.; Teslić, N.; Zengin, G.; Đurović, S.; Rakić, D.; Cvetanović, A.; Gunes, A.K.; Zeković, Z., 2021. Antioxidant and enzyme-inhibitory activity of peppermint extracts and essential oils obtained by conventional and emerging extraction techniques. *Food Chem.*, 338, 127724.

Petropoulos, S.A.; Levizou, E.; Ntatsi, G.; Fernandes, Â.; Petrotos, K.; Akoumianakis, K.; Barros, L.; Ferreira, I.C., 2017. Salinity effect on nutritional value, chemical composition and bioactive compounds content of *Cichorium spinosum* L. *Food Chem.*, 214, 129–136.

Plaut, Z.; Edelstein, M.; Ben-Hur, M., 2013. Overcoming Salinity Barriers to Crop Production Using Traditional Methods. *Crit. Rev. Plant Sci.*, 32, 250–291.

Postel, S., 1999. *Pillar of sand: can the irrigation miracle last?* WW Norton & Company.

Pretty J, Benton T G, Bharucha Z P, Dicks L, Butler Flora C, Hartley S, Lampkin N, Morris C, Pierzynski G, Prasad P V V, Reganold J, Rockström J, Smith P, Thorne P, Wratten S., 2018. Global assessment of agricultural system redesign for sustainable intensification. *Nature Sustainability* 1: 441–446.

Ramazzotti, S.; Gianquinto, G.; Pardossi, A.; Muñoz, P.; Savvas, D., 2013. *Good Agricultural Practices for Greenhouse Vegetable Crops*; FAO: Rome, Italy.

Razmjoo, K., P. Heydarizadeh and M.R. Sabzalian., 2008. Effect of Salinity and Drought Stresses on Growth Parameters and Essential Oil Content of *Matricaria chamomila*. *Int. J. Agri. Biol.*, 10, 451-4.

Resh, H.M., 2013. *Hydroponic Food Production: a Definitive Guidebook for the Advanced Home Gardener and the Commercial Hydroponic Grower*. CRC Press, Boca Raton, FL.

Rockström, J., J. Williams, G. Daily, A. Noble, N. Matthews, L. Gordon, H. Wetterstrand, F. DeClerck, M. Shah, P. Steduto, C. Fraiture, N. Hatibu, O. Unver,

- J. Bird, L. Sibanda, and J. Smith, 2017. Sustainable intensification of agriculture for human prosperity and global sustainability. *Ambio* 46: 4–17.
- Roodbari, N., Roodbari, S., Ganjali, A., & Ansarifard, M., 2013. The effect of salinity stress on growth parameters and essential oil percentage of peppermint (*Mentha piperita* L.). *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, 1(9), 1009-1015.
- Samarakoon, U.C.; Weerasinghe, P. A. & Weerakkody, A. P., 2006. Effect of Electrical Conductivity [EC] of the Nutrient Solution on Nutrient Uptake, Growth and Yield of Leaf Lettuce (*Lactuca sativa* L.) in Stationary Culture. *Tropical Agricultural Research*, Vol.18, No. 1, (Jan 2006), pp. 13-21 ISSN 1016.1422
- Sari A.O. and Oguz. B., 2002. Report of a Working Group on Medicinal and Aromatic Plants First Meeting, 12–14 September 2002, Gozd Martuljek, Slovenia. PP. 121-127.
- Savvas, D., 2002. Nutrient solution recycling. Hydroponic production of vegetables and ornamentals. Embryo Publications, Athens, Greece, 299-343.
- Savvas, D.; Gruda, N., 2018. Application of soilless culture technologies in the modern greenhouse industry—A review. *Eur. J. Hortic. Sci.*, 83, 280–293.
- Selmar, D., & Kleinwächter, M., 2013. Influencing the product quality by deliberately applying drought stress during the cultivation of medicinal plants. *Industrial Crops and Products*, 42, 558-566.
- Shahbaz, M.; Ashraf, M.; Al-Qurainy, F.; Harris, P.J.C., 2012. Salt Tolerance in Selected Vegetable Crops. *Crit. Rev. Plant Sci.*, 31, 303–320.
- Shahid, M.A.; Sarkhosh, A.; Khan, N.; Balal, R.M.; Ali, S.; Rossi, L.; Gómez, C.; Mattson, N.; Nasim, W.; Garcia-Sanchez, F., 2020. Insights into the Physiological and Biochemical Impacts of Salt Stress on Plant Growth and Development. *Agronomy*, 10, 938.
- Shannon, M. C., & Grieve, C. M., 1998. Tolerance of vegetable crops to salinity. *Scientia horticultrae*, 78(1-4), 5-38.

- Shannon, M.C., Grieve, C.M., Francois, L.E., 1994. Whole-plant response to salinity. In: Wilkinson, R.E. (Ed.), *Plant-Environment Interactions*. Marcel Dekker, New York, pp. 199–244
- Sharkey TD, Loreto F, Vasey T, 1990. Effects of stress on photosynthesis. In M Baltscheffsky, ed, *Current Research in Photosynthesis, Vol IV*. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, pp 549-556
- Smith, D.L., 1987. *Rockwool in horticulture*. Grower Books. London, UK.
- Sonneveld C., Voogt W., 2009. *Plant Nutrition of Greenhouse Crops* Springer, Dordrecht, Heidelberg, London, New York. 431
- Tabatabaie, S. J., & Nazari, J., 2007. Influence of nutrient concentrations and NaCl salinity on the growth, photosynthesis, and essential oil content of peppermint and lemon verbena. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 31(4), 245-253.
- Tanaka, H., Yamada, S., Masunaga, T., Yamamoto, S., Tsuji, W., & Murillo-Amador, B., 2018. Comparison of nutrient uptake and antioxidative response among four Labiatae herb species under salt stress condition. *Soil Sci. Plant Nutr.* 2018, 64, 589–597.
- Tanaka, H., Yamada, S., Masunaga, T., Yamamoto, S., Tsuji, W., & Murillo-Amador, B., 2018. Comparison of nutrient uptake and antioxidative response among four Labiatae herb species under salt stress condition. *Soil Science and Plant Nutrition*, 64(5), 589-597.
- Tarchoune, I.; Degl’Innocenti, E.; Kaddour, R.; Guidi, L.; Lachaâl, M.; Navari-Izzo, F.; Ouerghi, Z., 2011. Effects of NaCl or Na₂SO₄ salinity on plant growth, ion content and photosynthetic activity in *Ocimum basilicum* L. *Acta Physiol. Plant.*, 34, 607–615.
- Teng, Z.Q.; Shen, Y., 2015. Research progress of genetic engineering on medicinal plants. *China J. Chin. Mater. Med.*, 40, 594–601.
- Terry, N., & Waldron, L. (1984). Salinity, photosynthesis, and leaf growth. *California Agriculture*, 38(10), 38-39.

Trejo-Tellez, L.I. and Gomez, M.F.C. 2012. Nutrient Solutions for Hydroponics Systems, Hydroponics - A Standard Methodology for Plant Biological Researches, Dr. Toshiki Asao (eds). ISBN 978-953-51-0386-8.

Uronen, K. R., 1994. Leaching of nutrients and yield of tomato in peat and rockwool with open and closed system. In International Symposium on Growing Media & Plant Nutrition in Horticulture 401. pp. 443-450.

Van Delden, S. H., SharathKumar, M., Butturini, M., Graamans, L. J. A., Heuvelink, E., Kacira, M., ... & Marcelis, L. F. M., 2021. Current status and future challenges in implementing and upscaling vertical farming systems. Nature Food, 2(12), 944-956.

Veras, M. L. M., de Melo Filho, J. S., de Sousa Alves, L., Silva, K. B., de Mesquita, E. F., Andrade, R., ... & Linhares, A. S. F., 2017. Morphophysiology of peppermint irrigated with salt water and bovine biofertilizer. African Journal of Biotechnology, 16(23), 1314-1323.

Wallach J., 2008. Physical characteristics of soilless media. In: Raviv, Lieth (eds) Soilless culture, theory and practice. Elsevier, Amsterdam, pp 41–116

Zörb, C., Geilfus, C. M., & Dietz, K. J., 2019. Salinity and crop yield. Plant biology, 21, 31-38.

Ελληνική Βιβλιογραφία

Σάββας Δ., 2011. Καλλιέργειες εκτός Εδάφους Υδροπονία, Υποστρώματα. Αθήνα: Αγρότυπος Α.Ε.