

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ: Γεωπονικών Επιστημών

ΤΜΗΜΑ: Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ: Τεχνολογίες και Διαχείριση Θερμοκηπίων και
Θερμοκηπιακών Καλλιεργειών



ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

**«Κλειστά συστήματα υδροπονίας με επαναχρησιμοποίηση
απορροών του ίδιου ή διαφορετικού φυτού: Επιδράσεις σε
αναπτυξιακά και φυσιολογικά χαρακτηριστικά της
καλλιέργειας»**

Καραχάλιου Ζωή

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: Λεβίζου Ευθυμία

Βόλος, Φεβρουάριος 2024

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΣΥΜΒΟΥΛΕΥΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

1. **Λεβίζου Ευθυμία**, Επίκουρη Καθηγήτρια Φυσιολογίας Φυτών, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
2. **Κατσούλας Νικόλαος**, Καθηγητής Γεωργικών Κατασκευών με έμφαση στα Θερμοκήπια, Τμήμα Γεωπονίας Φυτική Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
3. **Λύκας Χρήστος**, Αναπληρωτής Καθηγητής Ανθοκομίας, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω από καρδιάς την κα. Λεβίζου Ευθυμία για την εμπιστοσύνη και την καθοδήγηση της. Καθώς επίσης και την Υποψήφια διδάκτορα Μουρατιάν Αναστασία για την πολύτιμη βοήθεια και τον Ναουνούλη Ιωάννη για την άρτια συνεργασία κατά την εκπόνηση του πειράματος.



Copyright © ΚΑΡΑΧΑΛΙΟΥ ΖΩΗ, 2024.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας διατριβής, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης.

Η έγκριση της Μεταπτυχιακής Διατριβής Ειδίκευσης από το Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δε δηλώνει αποδοχή των γνώμων του συγγραφέα.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το σύστημα επάλληλων καλλιεργειών ανοικτού τύπου αποτελείται από μια πρωτεύουσα καλλιέργεια συνήθως τομάτα ή αγγούρι και μια δευτερεύουσα καλλιέργεια η οποία έχει μειωμένες απαιτήσεις σε θρέψη και ανθεκτικότητα στην αλατότητα. Η δευτερεύουσα καλλιέργεια αρδεύεται αποκλειστικά με απορροές από την πρωτεύουσα καλλιέργεια. Αυτή η υδροπονική μέθοδος στοχεύει στην μείωση κατανάλωσης νερού και λιπασμάτων. Στην παρούσα εργασία καλλιεργήθηκε πεπονιά ως δευτερεύουσα καλλιέργεια με πρωτεύουσα καλλιέργεια αγγουριού, με σκοπό να αξιολογηθεί η επίδραση της χρήσης απορροών στη πεπονιά μέσω της αξιολόγησης των αναπτυξιακών και κάποιων λειτουργικών αποκρίσεων του φυτού, αλλά και της ποιότητας καρπού. Τα φυτά της πεπονιάς αρδεύτηκαν με δύο διαφορετικά θρεπτικά διαλύματα: α) θρεπτικό διάλυμα κατάλληλης σύστασης για την καλλιέργεια και το αναπτυξιακό της στάδιο (μάρτυρας) και β) διάλυμα που περιείχε κατά 100% την απορροή αγγουριού (μεταχείριση). Το πείραμα πραγματοποιήθηκε στις θερμοκηπιακές εγκαταστάσεις του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Βελεστίνο και διήρκεσε 3 μήνες. Σε ότι αφορά τις αναπτυξιακές παραμέτρους του φυτού, μετρήθηκαν η παραγωγή υπέργειας βιομάζας (με διάκριση σε φύλλα, βλαστό και καρπό), η φυλλική επιφάνεια, καθώς και ανατομικά χαρακτηριστικά όπως το πάχος φύλλου και ο δείκτης ξηροφιλίας (LSM). Επίσης, εκτιμήθηκαν οι συγκεντρώσεις των φωτοσυνθετικών χρωστικών (χλωροφύλλη α και β, καροτενοειδή), οι δείκτες SPAD, και PRI σε τακτά χρονικά διαστήματα καθόλη την αναπτυξιακή περίοδο. Πραγματοποιήθηκε τρεις φορές συγκομιδή καρπών για την αξιολόγηση των ποσοτικών και ποιοτικών χαρακτηριστικών του καρπού (σκληρότητα, pH του χυμού, συγκέντρωση των ολικών διαλυτών στερεών % και χρώμα). Οι τιμές των δεικτών SPAD και PRI εμφάνισαν μία διακύμανση κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου που πιθανώς οφειλόταν σε αναπτυξιακούς λόγους. Εντούτοις, δεν παρατηρήθηκε διαφορά στην αποδοτικότητα χρήσης φωτός μεταξύ μεταχείρισης και μάρτυρα. Παρόμοιες τιμές στην περιεκτικότητα σε φωτοσυνθετικές χρωστικές καταγράφηκε μεταξύ των δύο ομάδων φυτών. Αυτό οδήγησε και σε απουσία διαφορών στους λόγους chl_a/chl_b και chl/car. Η ανάπτυξη των φυτών, όπως καταγράφηκε στη συσσώρευση βιομάζας στα διάφορα φυτικά μέρη, αλλά και στα ανατομικά χαρακτηριστικά των φύλλων ήταν παρόμοια μεταξύ των δύο ομάδων φυτών. Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του καρπού δεν παρουσίασαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ μεταχειρίσεων. Μόνη εξαίρεση αποτέλεσε η σκληρότητα της σάρκας που ήταν μειωμένη στην ομάδα της απορροής. Συμπερασματικά λοιπόν, τα αναπτυξιακά και λειτουργικά χαρακτηριστικά των φυτών και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των καρπών που μελετήθηκαν υποδεικνύουν ότι το πεπόνι μπορεί

να χρησιμοποιηθεί ως δευτερεύουσα καλλιέργεια σε ανοιχτού τύπου υδροπονικό σύστημα επάλληλων καλλιεργειών.

ABSTRACT

The hydroponic cascade system utilizes the drainage solution of a primary crop, typically tomato or cucumber, to irrigate a secondary crop with lower nutrient requirements and greater salinity tolerance. This method is used in soilless cultivation systems to maximize crop yield, while minimizing water and fertilizer usage. This study evaluates the growth and functional responses, as well as the fruit quality of melons (*Cucumis melon*) grown as a secondary crop receiving drainage solution of cucumbers in the primary cropping system. The melon plants were irrigated with two different nutrient solutions: i) a nutrient solution suitable for their cultivation and developmental stage (control), and ii) a solution containing 100% cucumber drainage (treatment). The experiment was conducted in the greenhouse facilities of the University of Thessaly in Velestino and lasted for 3 months. The growth parameters of the plant were measured, including above ground biomass production (leaves, stems, and fruit), leaf area, and anatomical characteristics such as leaf thickness and specific leaf mass (LSM). Additionally, concentrations of photosynthetic pigments (chlorophyll a and b, carotenoids), SPAD and PRI indices were estimated at regular intervals throughout the growing period. Fruit harvest was conducted three times to assess quantitative and qualitative fruit characteristics (hardness, pH, total soluble solids content, and color). Throughout the growing season, the SPAD and PRI indices exhibited some variation, which may be attributed to developmental reasons, since the profile of change was similar in both plant groups. Pigment concentrations were also close between treatment and control melons, resulting in an absence of differences in chl_a/chl_b and chl/car ratios. Plant growth, as recorded by the biomass accumulation in the various plant parts, as well as by the anatomical leaf characteristics was similar between the two groups of plants. There were no statistically significant differences in the qualitative characteristics of the fruit between treatments, except for a reduction in flesh hardness in the treatment group. In conclusion, the study suggests that melon can be used as a secondary crop in an open-loop hydroponic cascade system, based on its developmental and functional characteristics as well as the quality of its fruits.

Εγώ, η Ζωή Καραχάλιου, είμαι η συγγραφέας αυτής της Μ.Δ.Ε. Αυτή η Μ.Δ.Ε. αντικατοπτρίζει την έρευνα που έγινε από εμένα και δεν έχει υποβληθεί (εξ ολοκλήρου ή μέρος της) σαν προπτυχιακή διατριβή ή Μ.Δ.Ε. ή ως μέρος Διδακτορικής Διατριβής σε αυτό ή άλλο Προπτυχιακό ή Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών Ιδρυμάτων Τριτοβάθμιας Εκπαίδευσης του εσωτερικού ή του εξωτερικού. Όποια συνεργασία καθώς και το μέγεθος αυτής δηλώνονται επακριβώς στο αντίστοιχο πεδίο αυτής της διατριβής. Επίσης έχω διαβάσει όλες τις βιβλιογραφικές αναφορές που παρατίθενται στο τέλος.

Η Συγγραφέας

Καραχάλιου Ζωή

Ως επιβλέπων ζα ηρ έπεσναρ πος πεπιγπάθεηαι ζε ασηή ηη διαηπιβή, δηλώνυ
όη όλοι οι όπα ης Εζυηεπικού Κανονισμού ης Μεηρηησιακού
Ππαγπάμμαηρρ Σποςδών ης Τμήμαηρ Γευπονίαρ Φσηκήρ Παπαγυγήρ και
Αγπαηκού Πεπιβάλλονηρρ έσοςν ηηπηθεί από ηην Ζυή Καπασάλιος.

Επιβλέποςζα Καθηγήηια

Λεβίζου Ευθυμία

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	12
1.Υδροπονία	12
1.2.Κλειστού τύπου υδροπονικά συστήματα	14
1.3.Ημίκλειστο υδροπονικό σύστημα	14
1.4.Σύστημα επάλληλων καλλιεργειών ανοικτού τύπου (cascade hydroponic system)	14
1.5.Καλλιέργεια	15
1.6.Σκοπός της εργασίας	17
2.ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	18
2.1. Θερμοκηπιακές Εγκαταστάσεις και καλλιέργεια.....	18
2.2.Πειραματικός σχεδιασμός.....	22
2.3.Μετρήσεις	23
2.3.1.Μέτρηση συγκέντρωση χλωροφύλλης με το δείκτη SPAD.....	23
2.3.3.Μέτρηση πάχους φύλλων.....	24
2.3.4.Μέτρηση LSM (Leaf Specific Mass)	24
2.3.5.Καταστροφικές συγκομιδές, υπολογισμός φυλλικής επιφάνειας και ξηρού βάρους.....	26
2.3.6.Μετρήσεις για τον προσδιορισμό των φωτοσυνθετικών χρωστικών των φύλλων.....	27
2.3.7.Μέτρηση σκληρότητας καρπού	27
2.3.8.Μέτρηση pH καρπού.....	28
2.3.9.Μέτρηση ολικών διαλυτών στερεών καρπού.....	28
2.3.10.Μέτρηση χρώματος καρπού	29
2.4.Στατιστική ανάλυση	29
3.Αποτελέσματα.....	30
3.1. Δείκτης SPAD	30
3.2. Δείκτης PRI.....	31
3.3.Πάχος φύλλων.....	32
3.4. Δείκτης ξηροφιλίας LSM.....	33
3.5. Φυλλική επιφάνεια	34
3.6. Υπέργριο ξηρό βάρος	35

3.7. Συγκέντρωση των φωτοσυνθετικών χρωστικών των φύλλων.....	38
3.8.Μετρήσεις ποιότητας καρπού	44
4.Συζήτηση	50
5. Συμπεράσματα	54
6.Βιβλιογραφία	55

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1. Υδροπονία

Η υδροπονία είναι ένα σύστημα εκτός εδάφους καλλιέργειας. Το φυτό είτε καλλιεργείται σε πορώδες αδρανές υπόστρωμα, το οποίο τροφοδοτείται με θρεπτικό διάλυμα που περιέχει θρεπτικά στοιχεία (λιπάσματα) και νερό, είτε καλλιεργείται απευθείας στο θρεπτικό διάλυμα.

Η υδροπονία ξεκίνησε τον 18ο αιώνα για επιστημονική χρήση και μετέπειτα κατά τον 20ο αιώνα χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή. Το 1938 γίνονται οι πρώτες αναφορές για εμπορική υδροπονία στις ΗΠΑ και στην Β. Ευρώπη όμως εγκαταλείπεται γρήγορα λόγω του υψηλού κόστους των λιπασμάτων και της έλλειψης τεχνογνωσίας (Γεωργιος Ν. Μαυρογιαννόπουλος, 2014). Μετά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο γίνεται αναφορά για υδροπονική καλλιέργεια σε στρώμα άμμου, το 1950 αναπτύχθηκε από τον Steiner η καλλιέργεια σε NFT (Nutrient Film Technique), ενώ το 1976 στην Δανία γίνεται ανάπτυξη καλλιέργειας σε αδρανές μέσο ορυκτοβάμβακα. Πλέον η υδροπονία έχει αναπτυχθεί σε όλο τον κόσμο και εφαρμόζονται πολλές διαφορετικές μέθοδοι. Είναι ένα αναπτυσσόμενο κομμάτι της αγροτικής παραγωγής, με επιστημονικό και ερευνητικό ενδιαφέρον (Μαυρογιαννόπουλος, 2014).

Οι λόγοι που οδήγησαν τους ανθρώπους στην χρήση της υδροπονίας ως μέθοδο παραγωγής υποδεικνύουν και την αναγκαιότητά της. Η αύξηση του πληθυσμού και η ολοένα και μεγαλύτερη ανάγκη των ανθρώπων να μετακινούνται στα αστικά κέντρα δημιουργεί αύξηση της ζήτησης σε προϊόντα όπως είναι τα φρέσκα φρούτα και λαχανικά (Μαυρογιαννόπουλος, 2014). Για την κάλυψη της ζήτησης ο άνθρωπος εκχερσώνει τεράστιες εκτάσεις δασών, καλλιεργεί εντατικά συνεχώς τα εδάφη με αποτέλεσμα την υποβάθμιση αυτών. Σε αυτή συντείνει η αλόγιστη χρήση λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων, τα οποία είναι επιβαρυντικά τόσο για το έδαφος όσο και για το παραγόμενο προϊόν. Η αναγκαιότητα που προέκυψε για αύξηση της παραγωγής, βελτιστοποίηση της ποιότητας και παραγωγή εποχιακών προϊόντων όλο τον χρόνο ήταν το ισχυρό κίνητρο για την περαιτέρω ανάπτυξη της υδροπονίας (Brechtner et al., 1996).

Η χρήση της υδροπονίας εφαρμόζεται ιδιαίτερα στις οικονομικά αναπτυγμένες χώρες, όπου οι αντίστοιχες εκτάσεις αυξάνονται συνεχώς. Για παράδειγμα, στην Ολλανδία ενώ το 1981-82 καλλιεργούνταν 6.000 στρέμματα, το

2010 έφτασαν πάνω από 100.000 στρέμματα (Γεωργιος Ν. Μαυρογιαννόπουλος, 2014). Οι χώρες με τις μεγαλύτερες εκτάσεις υδροπονικών θερμοκηπίων είναι η Ιαπωνία, η Αυστραλία, η Ολλανδία, η Ισπανία και η Γαλλία. Στην Ελλάδα καλλιεργούνται περίπου 2.000 στρέμματα ενώ παγκοσμίως περίπου 600.000 στρέμματα (Γεωργιος Ν. Μαυρογιαννόπουλος, 2014).

Η υδροπονική καλλιέργεια σε θερμοκηπιακό χώρο επιτρέπει στον παραγωγό τον ακριβή έλεγχο του περιβάλλοντος των φυτών συγκεκριμένα κλίμα, άρδευση, pH, αλατότητα, θρεπτικά συστατικά και υγρασία (Μαυρογιαννόπουλος, 2014). Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η βελτιστοποίηση της ανάπτυξης και της παράγωγης των φυτών και των προϊόντων. Επίσης, παρέχει την δυνατότητα αξιοποίησης περιοχών με άγονα εδάφη, απαλλάσσεται το φυτό από εδαφικές ασθένειες (Maucieri et al., 2019), εξοικονομείται νερό (AlShrouf, 2017) και θρεπτικά στοιχεία και με τα κλειστού τύπου συστήματα μειώνεται η ρύπανση του υδροφόρου ορίζοντα. Τα βασικά μειονεκτήματά της υδροπονίας είναι αρχικά το κόστος εγκατάστασης, η ευαισθησία του συστήματος σε καλλιεργητικά λάθη και τέλος η γνώση και εξειδίκευση που χρειάζεται για να επιτευχθεί.

Οι πιο σημαντικές μέθοδοι καλλιέργειας είναι η καλλιέργεια σε υπόστρωμα ορυκτοβάμβακα, η καλλιέργεια σε σάκους ινών καρύδας, καλλιέργεια σε περλίτη, και η καλλιέργεια NFT. Επίσης, χρησιμοποιείται και η μέθοδος καλλιέργειας σε σάκους άμμου, σε πριονίδι, ενώ σε κάποιες περιπτώσεις γίνεται χρήση και χαλικιού τεχνητού ή φυσικού μικρής διαμέτρου.

Συστήματα υδροπονίας ως προς την διαχείριση της απορροής του θρεπτικού διαλείμματος

1.1.Ανοιχτού τύπου υδροπονικά συστήματα

Το θρεπτικό διάλυμα που απορρέει μετά το πότισμα των φυτών δεν επαναχρησιμοποιείται αλλά απορρίπτεται στο περιβάλλον, με αποτέλεσμα την περαιτέρω επιβάρυνση του. Τα φυτά τροφοδοτούνται με θρεπτικό διάλυμα συγκεκριμένης σύστασης, ενώ εάν οι ανάγκες των φυτών αλλάξουν το διάλυμα μπορεί με ευκολία να τροποποιηθεί για να τις καλύψει. Ο λόγος που η χρήση του συγκεκριμένου συστήματος είναι πιο απλή είναι ότι η απορροή απορρίπτεται και δεν επηρεάζει την θρέψη. Το σύστημα αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο σε περιοχές με υψηλή αλατότητα στο νερό άρδευσης. Έχει μειωμένες πιθανότητες από προσβολές παθογόνων μικροοργανισμών που μπορούν να μεταφερθούν στην καλλιέργεια από

τις απορροές. Το κόστος εγκατάστασης είναι πιο οικονομικό. Το βασικό όμως και πολύ σημαντικό μειονέκτημα του ανοιχτού συστήματος είναι η σπατάλη νερού, αγαθό που δεν υπάρχει σε αφθονία, και η σπατάλη λιπασμάτων. Τα λιπάσματα απορρίπτονται στο περιβάλλον και προκαλούν ρύπανση με νιτρικά και φωσφορικά ιόντα (Abd-Elmoniem et al., 2006).

1.2.Κλειστού τύπου υδροπονικά συστήματα

Το θρεπτικό διάλυμα στα κλειστά συστήματα συλλέγεται, έπειτα απολυμαίνεται για την αποφυγή της μετάδοσης ασθενειών. Τέλος γίνεται ο έλεγχος των συγκεντρώσεων των λιπασμάτων. Σε περίπτωση που δεν είναι ενδεδειγμένες για τη συγκεκριμένη καλλιέργεια, γίνονται οι ανάλογες προσθήκες. Έπειτα το ρυθμισμένο και απολυμασμένο πλέον θρεπτικό διάλυμα τροφοδοτεί και πάλι την καλλιέργεια. Αυτό το σύστημα επιτυγχάνει την ανακύκλωση του νερού και οδηγεί σε αύξηση της αποδοτικότητας χρήσης αυτού (WUE). Επίσης επιτυγχάνει την μείωση λιπασμάτων που επιβαρύνουν το περιβάλλον συνεπώς και του κόστους αυτών και αυξάνει την αποδοτικότητα της χρήσης των λιπασμάτων (NUE) (Massa et al., 2020). Το κλειστό σύστημα έχει κάποια μειονεκτήματα. Είναι πιο δύσκολο στην χρήση, απαιτεί πιο κοστοβόρα εγκατάσταση, η διαδικασία της ρύθμισης των λιπασμάτων στις απορροές με τις κατάλληλες ποσότητες θρεπτικών είναι περίπλοκη, είναι λιγότερο ανεκτικό στα λάθη. Το πιο σημαντικό και σύννηθες μειονέκτημα είναι η συσσώρευση των αλάτων που δημιουργείται με την ανακύκλωση του θρεπτικού διαλύματος και μπορεί να επιφέρει αρνητικές συνέπειες στην καλλιέργεια και μείωση της παραγωγής (Varlagas et al., 2010).

1.3.Ημίκλειστο υδροπονικό σύστημα

Σε πολλές περιοχές το νερό άρδευσης έχει υψηλή περιεκτικότητα σε άλατα. Επομένως, με την χρήση κλειστού συστήματος έχουμε ως αποτέλεσμα την υπερσυσσώρευση αλάτων στο θρεπτικό διάλυμα και την αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας σε επίπεδα βλαπτικά για την καλλιέργεια. Σε αυτή την περίπτωση τα ημίκλειστα συστήματα μπορούν να λειτουργήσουν ως συμφέρουσα λύση για την διαχείριση της αλατότητας με την μερική ή την ολική αντικατάσταση του θρεπτικού διαλύματος (Massa et al., 2020).

1.4.Σύστημα επάλληλων καλλιεργειών ανοικτού τύπου (cascade hydroponic system)

Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν παραπάνω όλα τα συστήματα έχουν οφέλη, καθώς βοηθούν στην πιο σωστή χρήση των πόρων, αυξάνουν την παραγωγή και αξιοποιείται βέλτιστα ο χώρος. Όμως έχουν και μειονεκτήματα, επιδέχονται βελτίωση και εγείρουν το επιστημονικό ενδιαφέρον (Savvas & Gruda, 2018). Οι

επιστήμονες τα τελευταία χρόνια εστιάζουν στην εξερεύνηση τεχνικών υδροπονικών καλλιεργειών που θα είναι φιλικότερες για το περιβάλλον και παράλληλα θα μετριάσουν μειονεκτήματα όπως η υψηλή περιεκτικότητα αλάτων στο θρεπτικό διάλυμα. Έτσι λοιπόν, αναπτύχθηκε ένα πιο βιώσιμο σύστημα, αυτό των επάλληλων καλλιεργειών το οποίο κερδίζει έδαφος τόσο στον τομέα της έρευνας όσο και στον τομέα της παραγωγής (Elvanidi et al., 2020). Το σύστημα αυτό αποτελείται από μια πρωτεύουσα καλλιέργεια, η οποία έχει συγκεκριμένες ανάγκες σε θρέψη και είναι συνήθως η τομάτα ή το αγγούρι (Elvanidi et al., 2020). Οι απορροές αυτής της καλλιέργειας, αφού διορθωθεί το pH, επανατροφοδοτούνται σε μία ή περισσότερες δευτερεύουσες καλλιέργειες οι οποίες είναι πιο ευέλικτες ως προς την θρέψη και την ανεκτικότητα τους στην αλατότητα. Σύμφωνα με Elvanidi et al., 2020 ως δευτερεύουσες καλλιέργειες θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν η μέντα και ο βασιλικός. Σκοπός αυτού του συστήματος είναι η μείωση των ρύπων από τις εκροές, η αυξημένη αποτελεσματικότητα χρήσης του θρεπτικού διαλύματος με υψηλή αλατότητα και η δημιουργία ενός κυκλικού τρόπου άρδευσης που αρχικά θα ποτίζεται η πρωτεύουσα και κύρια καλλιέργεια και έπειτα οι λιγότερο απαιτητικές δευτερεύουσες καλλιέργειες.

1.5. Καλλιέργεια

Πεπόνι

Το πεπόνι ανήκει στην οικογένεια των Cucurbitaceae και στο είδος *Cucumis melon*. Προέρχεται από την αρχαία Αίγυπτο και έπειτα εμφανίστηκε στην Περσία πιθανόν την 2η χιλιετία π.Χ. (Βασίλειος Μπέης, 2017). Υπάρχει πληθώρα ποικιλιών, τα οποία διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους όσον αφορά το χρώμα της σάρκας, αλλά και του φλοιού, τη γεύση, το μέγεθος, το σχήμα του καρπού, την πρωιμότητα, την ανθεκτικότητα σε εχθρούς και ασθένειες. Επίσης, σημαντικές διαφορές μεταξύ ποικιλιών εμφανίζονται ως προς το ρυθμό ανάπτυξης και ωρίμανσης (90-120 ημέρες), το βάρος (300-2500 γραμμάρια), καθώς και το ποσοστό των βιταμινών (β-καροτίνη - βιταμίνη Α, ασκορβικό οξύ - βιταμίνη C, φολικό οξύ - βιταμίνη Β9) και των θρεπτικών στοιχείων (K, Ca, Mg, Fe) που περιέχουν στη σάρκα τους (Βασίλειος Μπέης, 2017). Σήμερα, οι κύριες χώρες παραγωγής πεπονιού παγκοσμίως είναι η Κίνα, η Τουρκία, το Ιράν, η Αίγυπτος και η Ινδία, με τις σημαντικότερες χώρες κατανάλωσης να περιλαμβάνουν την Κίνα και τις Ηνωμένες Πολιτείες. Η Ασία το 2014 κατέχει πάνω από το 70% της παγκόσμιας παραγωγής πεπονιού, ενώ ακολουθούν η Αμερική και η Ευρώπη (<http://www.fao.org/>).

Το φυτό παρουσιάζει ενδιαφέροντα χαρακτηριστικά, καθώς είναι ετήσιο και μόνοικο δίκλινο, με βλαστούς που εκτείνονται σε μήκος 2-3 μέτρα ή ακόμη και

περισσότερο, είναι τριχωτοί, διακλαδιζόμενοι και έρποντες, φέρουν έλικες. Τα φύλλα του είναι μεγάλα, τριχωτά, έλλοβα (3-5 λοβοί) ή απλά πενταγωνικά ή καρδιόσχημα, συνήθως οδοντωτά. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η διαφοροποίηση των ανθών, όπου τα αρσενικά εμφανίζονται πριν από τα θηλυκά, φέροντας 5 στήμονες, ενώ τα θηλυκά έχουν μονήρη ή διπλή εμφάνιση και φέρουν στίγμα με 3-5 λοβούς. Η άνθηση είναι εντυπωσιακή, με τα αρσενικά άνθη να διαρκούν μία ημέρα και τα θηλυκά, εάν δεν γονιμοποιηθούν, για 2-3 ημέρες. Η διαδικασία της γονιμοποίησης οδηγεί στη δημιουργία καρπών με ιδιαίτερη κοιλότητα, συνήθως με 400-600 σπόρους κιτρινωπούς, ελλειψοειδείς και πλατείς. Μέσω αυτών των σπόρων πραγματοποιείται ο αποτελεσματικός πολλαπλασιασμός του φυτού. Εμπορικά αξιοποιήσιμοι είναι οι καρποί της πεπονιάς, που συγκομίζονται ώριμοι για νωπή κατανάλωση (Raven P., Evert Ray F., Eichhorn S. E., (, 2014).

Υδροπονική καλλιέργεια πεπονιού

Η υδροπονική καλλιέργεια πεπονιού έχει ως στόχο να επεκτείνει την παραγωγική περίοδό του. Η υπαίθρια παραγωγή του είναι κυρίως από Ιούλιο έως Σεπτέμβρη. Η υδροπονία στοχεύει στην πρώιμη και όψιμη παραγωγή πεπονιού. Είναι ένα φυτό ιδιαίτερα ευαίσθητο ως προς τις συνθήκες θερμοκρασίας, καθώς είναι θερμόφιλο. Κατά τα πρώτα στάδια ανάπτυξης του έχει μηδενική αντοχή στο ψύχος. Επιθυμητή μέση θερμοκρασία κατά την διάρκεια της καλλιέργειας είναι 18-24°C (Ολύμπιος, 2001). Οι πιο υψηλές νυχτερινές θερμοκρασίες κατά το στάδιο της αναπαραγωγής αυξάνουν την καρπόδεση και την παραγωγή. Από την άλλη, θερμοκρασίες κοντά στους 40°C επιφέρουν αρνητικά αποτελέσματα στην καλλιέργεια και υποβαθμίζουν την ποιότητα των καρπών. Τα επίπεδα υγρασίας πρέπει να είναι 70-80% κατά την διάρκεια της καλλιέργειας εκτός από το στάδιο της ωρίμανσης που επιδιώκεται η μείωσή της για την αποφυγή εμφάνισης σχισίματος στους καρπούς. Είναι φυτό ιδιαίτερα απαιτητικό σε νερό, όχι όσο το αγγούρι, ιδιαίτερη προσοχή χρειάζεται και μείωση του νερού κατά το στάδιο της ανάπτυξης και αύξησης του καρπού. Γενικά οι τεχνικές εγκατάστασης της πεπονιάς είναι παρόμοιες με αυτές της αγγουριάς. Η πυκνότητα φύτευσης είναι πολύ μεγαλύτερη από τον αγρό και ανέρχεται στα 2-2,5 φυτά ανά m² και οι τεχνικές υποστύλωσης και κλαδέματος είναι ίδιες με αυτές που εφαρμόζονται στο έδαφος θερμοκηπίου (Ολύμπιος, 2001). Τα επιθυμητά επίπεδα της ηλεκτρικής αγωγιμότητας κυμαίνονται από 1,9-2,9 και του pH από 5,50-6 ανάλογα το στάδιο ανάπτυξης που βρίσκεται το φυτό. Η λίπανση είναι παρόμοια με το αγγούρι εκτός από κάποιες διαφορές. Οι τιμές του Ca και Mg είναι πιο υψηλές (Bar-Yosef, 2008). Το Ca είναι πολύ σημαντικό για την καλλιέργεια και συγκεκριμένα για την ανάπτυξη των καρπών. Κατά τις πρώτες δύο εβδομάδες μετά την καρπόδεση το φυτό αποθηκεύει το 80% του Ca που έχουν ανάγκη οι καρποί

(Bemadac et al., 1996). Σημαντική επίσης είναι και η επαρκής διαθεσιμότητα Ρ και Κ γιατί αυτά τα δυο στοιχεία είναι υπεύθυνα για την μεταφορά των σακχάρων από τα φύλλα στους καρπούς (Rincón Sánchez et al., 1993).

1.6.Σκοπός της εργασίας

Το σύστημα επάλληλων καλλιεργειών έχει ιδιαίτερο επιστημονικό ενδιαφέρον τα τελευταία χρόνια και έχουν γίνει διάφορα πειράματα σε καλλιέργειες. Δεν έχει όμως πραγματοποιηθεί πείραμα σε καλλιέργεια πεπονιού. Ο σκοπός του συγκεκριμένου πειράματος ήταν η εφαρμογή ενός υδροπονικού συστήματος επαναχρησιμοποίησης απορροών (cascade system) με πρωτεύουσα καλλιέργεια το αγγούρι και δευτερεύουσα το πεπόνι. Εστιάσαμε στην καλλιέργεια της πεπονιάς και στις αποκρίσεις του φυτού που αποτελούσε την δευτερεύουσα καλλιέργεια και ποτιζόταν με απορροές από το αγγούρι, οι οποίες πιθανόν να εμφανίσουν υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα. Πιο συγκεκριμένα στην εργασία μελετήθηκαν αναπτυξιακά και φυσιολογικά χαρακτηριστικά του πεπονιού. Το πείραμα διεξήχθη στις σύγχρονες θερμοκηπιακές εγκαταστάσεις του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στην περιοχή του Βελεστίνου.

2.ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Θερμοκηπιακές Εγκαταστάσεις και καλλιέργεια

Η εκπόνηση του πειράματος πραγματοποιήθηκε στις θερμοκηπιακές εγκαταστάσεις του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας που βρίσκονται στην περιοχή του Βελεστίνου. Το θερμοκήπιο που χρησιμοποιήθηκε για το πεπόνι είναι μονοτοξωτό με προσανατολισμό βορρά-νότου, διαθέτει κάλυψη από φιλμ πολυαιθυλενίου και η συνολική έκταση του είναι 160 m². Το περιβάλλον στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, δηλαδή η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία ελέγχεται απομακρυσμένα μέσω ειδικού software. Συγκεκριμένα, μέσω συστήματος αυτοματισμού ρυθμίζεται ο αερισμός από παράθυρα που είναι τοποθετημένα στην οροφή και παράπλευρα. Εκτός από τον αερισμό ρυθμίζεται και η σχετική υγρασία ενεργοποιώντας το σύστημα υδρονέφωσης που είναι τοποθετημένο κατά μήκος της οροφής του θερμοκηπίου.



Εικόνα 1: Άποψη του θερμοκηπίου του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας όπου πραγματοποιήθηκε το πείραμα.

Η έναρξη του πειράματος ξεκίνησε με την φύτευση των σπορόφυτων της πεπονιάς στις 10 Απριλίου του 2023 και ολοκληρώθηκε στις 7 Ιουλίου του 2023, η συνολική διάρκεια του πειράματος ήταν τρεις μήνες.

Το συγκεκριμένο πείραμα επικεντρώνεται στην δευτερεύουσα καλλιέργεια πεπονιάς και στις αποκρίσεις της μετά από την εφαρμογή των απορροών της αγγουριάς.

Στο θερμοκήπιο φυτεύτηκαν σπορόφυτα τα οποία ήταν σε κύβους πετροβάμβακα διαστάσεων 7,5 x 7,5 cm και στην συνέχεια τοποθετήθηκαν σε σάκους περλίτη 33 lt. Οι σάκοι περλίτη χρησιμοποιήθηκαν σαν υπόστρωμα για την

καλλιέργεια και ως μέσο στήριξης. Τα σπορόφυτα ήταν εμβολιασμένα, με το υποκείμενο Masada και είχαν 4-6 πραγματικά φύλλα. Επρόκειτο για εύρωστη ποικιλία με αντοχή στο ωίδιο, ιδανική για πρώιμες φυτεύσεις.



Εικόνα 2: Σπορόφυτο *Masada* σε κύβο πετροβάμβακα.



Εικόνα 3: Φύτευση της καλλιέργειας στις 10 Απριλίου 2023.

Η τροφοδοσία της καλλιέργειας με θρεπτικό διάλυμα πραγματοποιούνται με την χρήση στάγδην άρδευσης. Κάτω από τα κανάλια που είναι τοποθετημένοι οι

σάκοι περλίτη, βρίσκονται στερεωμένοι σωλήνες διαμέτρου $\phi 20$ για την άρδευση. Σε κάθε σάκο αναλογούν πέντε σταλάχτες για να επιτυγχάνεται ο επιθυμητός κορεσμός του σάκου με θρεπτικό διάλυμα.



Εικόνα 4: Στάγδην άρδευση με 5 σταλάχτες ανα σάκο.

Κατά την διάρκεια του πειράματος έγιναν και απαραίτητες φροντίδες για την κατακόρυφη καλλιέργεια. Όταν τα φυτά ξεκίνησαν να αυξάνονται πραγματοποιήθηκε υποστύλωσή τους διότι οι βλαστοί δεν έχουν την κατάλληλη



Εικόνα 5: Γνλκνπνίεζε ζει πθνύ άλζνπο από βνκβίλν.

μηχανική αντοχή για κατακόρυφη ανάπτυξη. Κατά μήκος του θερμοκηπίου εκτείνεται ένα οριζόντιο σύρμα, στα δύο μέτρα πάνω από κάθε γραμμή φύτευσης και από εκεί στερεώνονται οι σπάγκοι που δένονται τα φυτά και βοηθούν στην υποστύλωσή τους. Όταν το φυτό έφτασε το ύψος των δυο μέτρων έγινε κορφολόγημα για να περιοριστεί η αύξηση ύψους. Επίσης, πραγματοποιήθηκε κλάδεμα των λαίμαργων βλαστών και αποφύλλωση των γερασμένων ή προσβεβλημένων φύλλων. Η πεπονιά καρποφορεί στους πλάγιους βλαστούς, για αυτό και αφαιρέθηκαν όλοι οι πλάγιοι βλαστοί έως τα 60cm και αφέθηκαν να αναπτυχθούν όλοι οι υπόλοιποι. Έπειτα τοποθετήθηκε στο θερμοκήπιο το μελίσσι με τους βομβίνους (*Bombus terrestris*) για να συμβάλουν στην γονιμοποίηση των θηλυκών ανθέων. Τέλος, καθ' ύψος του φυτού κρατήσαμε 3 γονιμοποιημένους καρπούς στα 60cm και έναν στα 2m, άρα σύνολο 4 πλάγιων βλαστών οι οποίοι κλαδεύονται με την σειρά τους 2cm μετά τον πρώτο καρπό.



Εικόνα 6: *Κι άδεκα πι αγίνπ βια ζηνύ κεγά από ηελ γνληκνπνίεζε ηνπ θαζπνύ.*

Όταν ο καρπός αποκτήσει μέγεθος πορτοκαλιού υποστυλώνεται για να μην αποκολληθεί από τον μίσχο. Η υποστύλωση πραγματοποιείται με πλαστικό δίχτυ και δέσιμο με σπάγκο στο κεντρικό σύρμα.

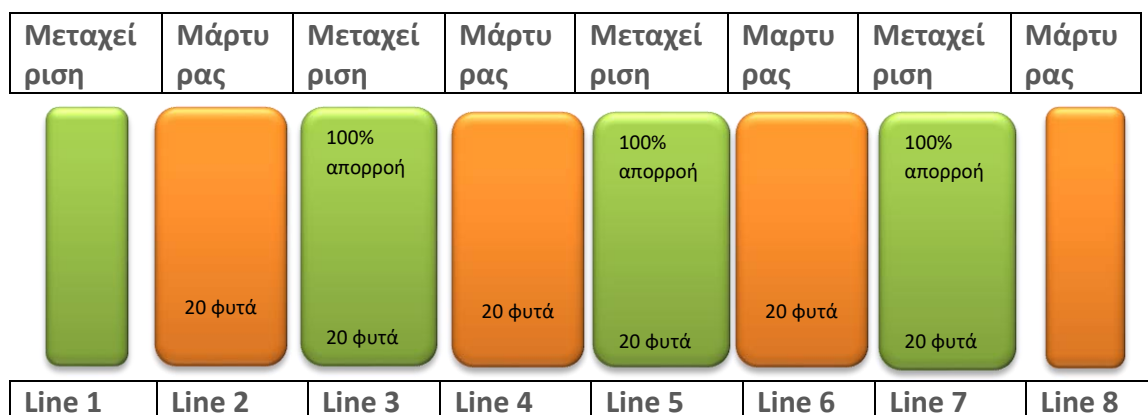


Εικόνα 9: *Υπνζήνιωζε θαζπώλ κε πι αζηηηθό δρηπ.*

Επιπρόσθετα στο θερμοκήπιο τοποθετήθηκαν κολλητικές εντομοπαγίδες σε μπλε και κίτρινο χρώμα για την παρατήρηση και τον έλεγχο από βλαβερά έντομα. Κατά την διάρκεια του πειράματος έγιναν ψεκασμοί με χαλκό προληπτικά για την αποφυγή μυκητολογικών ασθενειών, το σκεύασμα που χρησιμοποιήθηκε ήταν το Disper CU 50g/10L. Όταν όμως εμφανίστηκαν οι πρώτες ενδείξεις από μυκητολογικές ασθένειες χρησιμοποιήθηκε το Serenade 500ml σε 100lt νερού. Για την ενίσχυση όλων των ομάδων φυτών έγινε χρήση του βιολογικού σκευάσματος που λειτουργεί ως βοηθητικό ανάπτυξης A free σε αναλογία 1:1.

2.2. Πειραματικός σχεδιασμός

Στην αρχή προετοιμάστηκε το θερμοκήπιο, καθαρίστηκε και ελέγχτηκε το αρδευτικό σύστημα. Στην συνέχεια τοποθετήθηκαν οι σάκοι περλίτη 33lt πάνω στα 8 κανάλια. Κάθε κανάλι αποτελείτο από 12 σάκους και στον κάθε σάκο φυτεύτηκαν 2 φυτά. Σε κάθε σάκο αντιστοιχούσαν 5 σταλάχτες. Το πείραμα αποτελείται από μια μεταχείριση η οποία ποτίζεται με τις απορροές από το αγγούρι και τον μάρτυρα που εφαρμόζεται η ενδεδειγμένη συνταγή για το κάθε στάδιο ανάπτυξης της πεπονιάς. Τα δυο ακριανά κανάλια που είναι κοντά στο υλικό κάλυψης δεν συμπεριλαμβάνονται στις μετρήσεις καθώς δεν θεωρούνται αντιπροσωπευτικά. Στις 7 Απριλίου τέθηκε σε λειτουργία το αρδευτικό σύστημα και διαβρέχτηκε ο περλίτης μέχρι το σημείο του κορεσμού ώστε να είναι έτοιμος για την φύτευση, έπειτα έγιναν οι κατάλληλες εγκοπές για να μπορεί να βρίσκει διαφυγή το θρεπτικό που είναι σε περίσσεια. Στις 10 Απριλίου έγινε η μεταφύτευση των φυτών πεπονιού που ήταν σε κύβους πετροβάμβακα πάνω στους σάκους του περλίτη και έπειτα ακολούθησε πότισμα. Η συνολική διάρκεια του πειράματος ήταν 90 μέρες. Σύνολο για τις μετρήσεις του πειράματος και για παρατήρηση χρησιμοποιήθηκαν 60 φυτά από τα κανάλια που εφαρμόζοταν απορροή και 60 φυτά από τον μάρτυρα.



Σχήμα 1 : Απεικόνιση της διάταξης μέσα στο θερμοκήπιο

2.3.Μετρήσεις

2.3.1.Μέτρηση συγκέντρωση χλωροφύλλης με το δείκτη SPAD

Συνολικά πραγματοποιήθηκαν 6 μετρήσεις σε όλη την διάρκεια του πειράματος. Οι μετρήσεις ξεκίνησαν στις 19 Απριλίου και ολοκληρώθηκαν 3 Ιουλίου. Η συχνότητα που επαναλαμβάνονταν η μέτρηση ήταν περίπου κάθε 15 ημέρες. Χρησιμοποιήθηκαν 15 φυτά από την μεταχείριση και από τον μάρτυρα για να ληφθεί ικανοποιητικός αριθμός μετρήσεων. Για την μέτρηση επιλεγόταν το πιο πρόσφατα τέλεια ανεπτυγμένο φύλλο, ώριμο, το οποίο είναι υγιές και δεν φέρει αλλοιώσεις. Η μέτρηση έγινε με την χρήση του οργάνου SPAD-502Plus (KONICA-MINOLTA) το οποίο δίνει τον δείκτη SPAD που σχετίζεται με την συνολική περιεκτικότητα της χλωροφύλλης στα φύλλα της καλλιέργειας. Γίνονταν 3 μετρήσεις στο ίδιο φύλλο και έπειτα υπολογιζόταν ο μέσος όρος από αυτές τις μετρήσεις για να μειωθεί το σφάλμα απόκλισης.



Εικόνα 10: Συσκευή μέτρησης συγκέντρωσης χλωροφύλλης SPAD-502 Plus, Konica Minolta

2.3.2.Μέτρηση PRI

Συνολικά πραγματοποιήθηκαν 6 μετρήσεις και όλες έγιναν την ίδια ώρα γύρω στις 10 π.μ., σε όλη την διάρκεια του πειράματος. Οι μετρήσεις ξεκίνησαν στις 19 Απριλίου και ολοκληρώθηκαν 3 Ιουλίου. Η συχνότητα που επαναλαμβανόταν η μέτρηση ήταν περίπου κάθε 15 ημέρες. Χρησιμοποιήθηκαν 15 φυτά και από την μεταχείριση και από τον μάρτυρα για να ληφθεί ικανοποιητικός αριθμός μετρήσεων. Για την μέτρηση επιλεγόταν το πιο πρόσφατο τέλεια ανεπτυγμένο φύλλο, ώριμο, το οποίο ήταν υγιές και δεν έφερε αλλοιώσεις. Η μέτρηση έγινε με την



Εικόνα 11: Συσκευή μέτρησης του δείκτη φωτοχημικής ανάκλασης PRI

χρήση του οργάνου Plan Pen PRI 210 (PSI, Czech Republic), το οποίο μετράει τον δείκτη της ανάκλασης PRI.

2.3.3. Μέτρηση πάχους φύλλων

Συνολικά πραγματοποιήθηκαν 3 μετρήσεις σε όλη την διάρκεια του πειράματος. Οι μετρήσεις ξεκίνησαν στις 19 Απριλίου και ολοκληρώθηκαν 3 Ιουλίου. Η συχνότητα που επαναλαμβανόταν η μέτρηση ήταν περίπου κάθε 30 ημέρες. Χρησιμοποιήθηκαν 9 φυτά και από την μεταχείριση και από τον μάρτυρα για να ληφθεί ικανοποιητικός αριθμός μετρήσεων. Για την μέτρηση επιλεγόταν το πιο πρόσφατο τέλεια ανεπτυγμένο φύλλο, ώριμο, υγιές και χωρίς αλλοιώσεις. Το παχύμετρο που χρησιμοποιήθηκε ήταν ωρολογιακού τύπου (Mitutoyo, Japan)

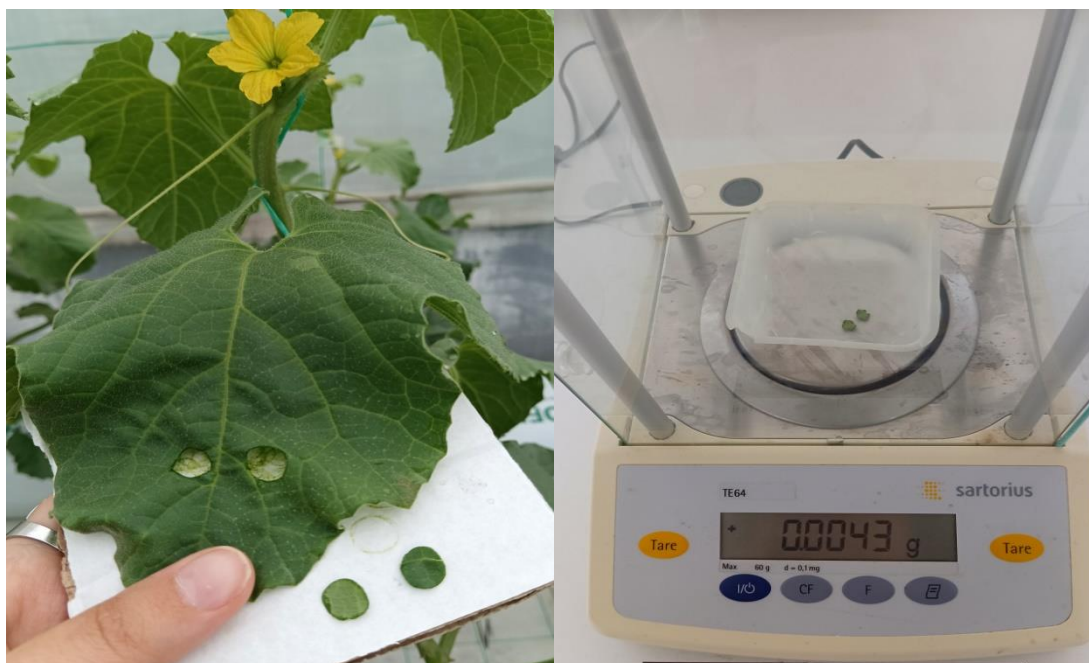


Εικόνα 12: Συσκευή μέτρησης του πάχους φύλλων (Mitutoyo)

ακριβείας 0,01 mm και κατά τη διαδικασία μέτρησης τοποθετούταν σημείο του φύλλου χωρίς νευρώσεις στο άνοιγμα και όταν σταθεροποιούνταν ο δείκτης καταγράφαμε την μέτρηση.

2.3.4. Μέτρηση LSM (Leaf Specific Mass)

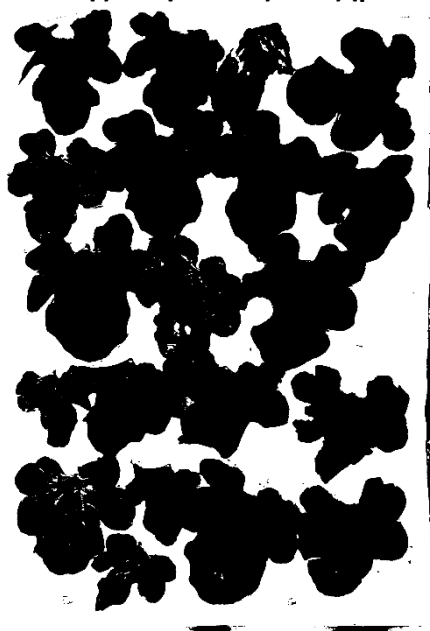
Συνολικά πραγματοποιήθηκαν 6 μετρήσεις σε όλη την διάρκεια του πειράματος. Οι μετρήσεις ξεκίνησαν στις 19 Απριλίου και ολοκληρώθηκαν 3 Ιουλίου. Η συχνότητα που επαναλαμβανόταν η μέτρηση ήταν περίπου κάθε 15 ημέρες. Χρησιμοποιήθηκαν 15 φυτά και από την μεταχείριση και από τον μάρτυρα για να ληφθεί ικανοποιητικός αριθμός μετρήσεων. Για την μέτρηση επιλεγόταν το πιο πρόσφατο τέλεια ανεπτυγμένο φύλλο, ώριμο, υγιές και χωρίς αλλοιώσεις. Με την βοήθεια φυλλοτρυπητήρα διαμέτρου $0,64 \text{ cm}^2$ γινόταν λήψη από δυο δισκία, το ένα αριστερά και το άλλο δεξιά από το κεντρικό νεύρο. Τα δείγματα αυτά ταξινομούνταν και τοποθετούνταν σε φούρνο στους 70°C για 2 ημέρες και μετά το ζεύγος δισκίων ζυγίζονταν σε ψηφιακή ζυγαριά ακριβείας για τον υπολογισμό του ξηρού τους βάρους. Η τιμή του LSM προκύπτει από τον λόγο βάρους σε g προς επιφάνεια σε dm^2 .



Εικόνα 13: Δείγμα δισκίων απο φυλλοτρυπητήρα διαμέτρου $0,64\text{ cm}^2$ και ζύγιση των δισκίων σε ζυγαριά ακριβείας έπειτα από ξήρανση.

2.3.5. Καταστροφικές συγκομιδές, υπολογισμός φυλλικής επιφάνειας και ξηρού βάρους

Πραγματοποιήθηκαν συνολικά 4 καταστροφικές δειγματοληψίες. Η πρώτη ήταν στα σπορόφυτα που παραλάβαμε και στην συνέχεια μια κάθε μήνα με την τελική να είναι την ημέρα λήξης του πειράματος. Ο σχεδιασμός ήταν 4 φυτά από την μεταχείριση και 4 από τον μάρτυρα σε κάθε καταστροφική. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν η εξής: Επιλέγονταν με τυχαίο τρόπο τα φυτά, κόβονταν στη βάση του βλαστού και έπειτα γινότανε διαχωρισμός του βλαστού από τα φύλλα. Μετά τα φύλλα τοποθετούνται σε λευκή επιφάνεια και φωτογραφίζονται από το ίδιο σταθερό σημείο για να επεξεργαστεί η φωτογραφία με την χρήση του προγράμματος ImageJ και να υπολογιστεί η συνολική φυλλική επιφάνεια του φυτού.



Εικόνα 14: Επεξεργασία φωτογραφίας από το πρόγραμμα ImageJ για την φυλλική επιφάνεια.

Τα φύλλα, οι βλαστοί και οι καρποί ζυγίζονταν για να καταγραφεί το νωπό βάρος του φυτού. Μετά μεταφέρονταν στον φούρνο στους 70°C μέχρι να απομακρυνθεί όλη η υγρασία και ξαναζυγίζονταν μέχρι να σταθεροποιηθεί η τιμή της ζύγισης και να επιβεβαιωθεί ότι η τιμή της ζύγισης είναι το τελικό ξηρό βάρος. Το συνολικό ξηρό βάρος του φυτού είναι το άθροισμα των ξηρών βαρών των φύλλων, των βλαστών και των καρπών για τις δυο τελευταίες καταστροφικές όπου τα φυτά είχαν καρπούς.



Εικόνα 15: Μέτρηση σε ζυγαριά ακριβείας νωπού βάρους φύλλων και βλαστών αντίστοιχα σε g.

2.3.6.Μετρήσεις για τον προσδιορισμό των φωτοσυνθετικών χρωστικών των φύλλων

Συνολικά πραγματοποιήθηκαν 4 μετρήσεις σε όλη την διάρκεια του πειράματος. Οι μετρήσεις ξεκίνησαν στις 19 Απριλίου και ολοκληρώθηκαν 3 Ιουλίου. Η συχνότητα που επαναλαμβανόταν η μέτρηση ήταν περίπου κάθε 30 ημέρες. Χρησιμοποιήθηκαν 12 φυτά και από την μεταχείριση και από τον μάρτυρα για να ληφθεί ικανοποιητικός αριθμός μετρήσεων. Για την μέτρηση επιλέγονταν το πιο πρόσφατο τελεία ανεπτυγμένο φύλλο, ώριμο, υγιές χωρίς αλλοιώσεις. Με την βοήθεια φυλλοτρυπητήρα διαμέτρου $0,64\text{cm}^2$ γινόταν λήψη δυο δίσκων το ένα αριστερά και το άλλο δεξιά από το κεντρικό νεύρο. Η εργαστηριακή ανάλυση ήταν η ακόλουθη: τα δύο δίσκία τοποθετούνταν στο γουδί μαζί με ελάχιστη ποσότητα από ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3) και άμμο. Έπειτα προσθέτονταν σταδιακά 6ml ακετόνης 80%, ακολουθούσε η λειοτρίβηση και η μεταφορά του περιεχομένου από το γουδί σε φυγοκεντρικούς σωλήνες καλά κλεισμένους και μετά στην φυγόκεντρο για 10 λεπτά. Στην συνέχεια τα δείγματα τοποθετούνταν σε ογκομετρικούς σωλήνες για την καταγραφή του όγκου τους και μετά σε κυψελίδες στην κατάλληλη υποδοχή του φασματομέτρου (UV-1900Shimadzu, Japan) με τυφλό διάλυμα ακετόνης 80%. Η φωτομέτρηση πραγματοποιήθηκε στα ακόλουθα μήκη κύματος: 470, 646, 663 και 720. Τέλος οι μετρήσεις επεξεργάστηκαν στο excel και με την χρήση των εξισώσεων των Lichtenthalerand Wellburn (1983) υπολογίστηκαν οι συγκεντρώσεις των φωτοσυνθετικών χρωστικών σε $\mu\text{g}/\text{cm}^2$.

2.3.7.Μέτρηση σκληρότητας καρπού

Για την μέτρηση της σκληρότητας το πεπόνι τεμαχίστηκε σε δυο ημισφαίρια και η μέτρηση επαναλήφθηκε 2 φορές με και χωρίς την φλούδα. Η μέτρηση ξεκίνησε στις 9 Ιουνίου και ολοκληρώθηκε στις 3 Ιουλίου. Συνολικά πραγματοποιήθηκε 3 φορές σε 5 καρπούς από την μεταχείριση και 5 από τον μάρτυρα. Το όργανο που χρησιμοποιήθηκε ήταν το ηλεκτρονικό πενετρόμετρο (Turon 53205) το οποίο διαθέτει έμβολο διαμέτρου 6mm κυλινδρικό που βυθίζεται σε μια πλευρά του καρπού και με αυτό υπολογιζόταν η αντίσταση του περικαρπίου ή της φλούδας στην πίεση. Η μέτρηση πραγματοποιήθηκε δυο φορές σε κάθε δείγμα σε ίσες αποστάσεις από τον ισημερινό του καρπού και καταγράφηκε ο μέσος όρος τους. Η



Εικόνα 16: Συσκευή μέτρησης σκληρότητας καρπού, πενετρόμετρο (Turon 53205).

τιμή που αναγραφόταν στο όργανο ήταν εκφρασμένη σε Newton(N).

2.3.8.Μέτρηση pH καρπού

Για την μέτρηση του pH, το πεπόνι τεμαχιζόταν σε κομμάτια και έπειτα με στίφτη χειρός συλλεγόταν η απαραίτητη ποσότητα χυμού σε πλαστικά ποτήρια ζέσεως. Η μέτρηση ξεκίνησε στις 9 Ιουνίου και ολοκληρώθηκε στις 3 Ιουλίου συνολικά πραγματοποιήθηκε 3 φορές σε 5 καρπούς από την μεταχείριση και 5 από τον μάρτυρα. Το όργανο που χρησιμοποιήθηκε ήταν το πεχάμετρο pH (HI 9024, HANNA instruments). Το ηλεκτρόδιο του οργάνου βυθιζότανε μέσα στο ποτήρι με τον χυμό του καρπού ανακινώντας για κάποια δευτερόλεπτα. Όταν η τιμή σταθεροποιούνταν καταγραφόταν και γινόταν καθαρισμός με απιονισμένο νερό για να ακολουθήσει το επόμενο δείγμα.



Εικόνα 17: Συσκευή μέτρησης pH, πεχάμετρο pH (HI 9024, HANNA instruments).

2.3.9.Μέτρηση ολικών διαλυτών στερεών καρπού



Εικόνα 18: Συσκευή μέτρησης ολικών διαλυτών στερεών, ρεφρακτόμετρο (PAL-1, ATAGO).

Για την μέτρηση των ολικών διαλυτών στερεών, το πεπόνι τεμαχιζόταν σε κομμάτια και έπειτα με τον στίφτη χειρός συλλεγόταν η απαραίτητη ποσότητα χυμού σε πλαστικά ποτήρια ζέσεως. Η μέτρηση ξεκίνησε στις 9 Ιουνίου και ολοκληρώθηκε στις 3 Ιουλίου. Συνολικά πραγματοποιήθηκε 3 φορές σε 5 καρπούς από την μεταχείριση και 5 από τον μάρτυρα. Το όργανο που χρησιμοποιήθηκε ήταν ρεφρακτόμετρο (PAL-1, ATAGO). Στον αισθητήρα του με μια πιπέτα τοποθετούταν ελάχιστη ποσότητα χυμού και έπειτα καταγραφόταν η τιμή η οποία ήταν εκφρασμένη σε % Brix.

2.3.10. Μέτρηση χρώματος καρπού

Η μέτρηση ξεκίνησε στις 9 Ιουνίου και ολοκληρώθηκε στις 3 Ιουλίου. Συνολικά πραγματοποιήθηκε 3 φορές σε 5 καρπούς από την μεταχείριση και 5 από τον μάρτυρα. Το όργανο που χρησιμοποιήθηκε ήταν το χρωματόμετρο CR-400 της KONICA MINOLTA OPTICS INC. Έγιναν 3 μετρήσεις από κάθε δείγμα και καταγραφόταν ο μέσος όρος των τιμών a , L και b . Η ένδειξη του a αν είναι θετική και αποτυπώνει πόσο κόκκινος είναι ο καρπός. Αν είναι αρνητική εκφράζει πόσο



Εικόνα 17: Συσκευή μέτρησης χρώματος καρπού, χρωματόμετρο CR-400 της KONICA MINOLTA OPTICS INC.

μπλε είναι ο καρπός. Η ένδειξη L όσο πιο αυξημένη είναι τόσο πιο φωτεινός είναι ο καρπός. Τέλος, η ένδειξη b αν είναι θετική προσδιορίζει ποσό κίτρινος είναι ο καρπός και αν είναι αρνητική πόσο μπλε είναι.

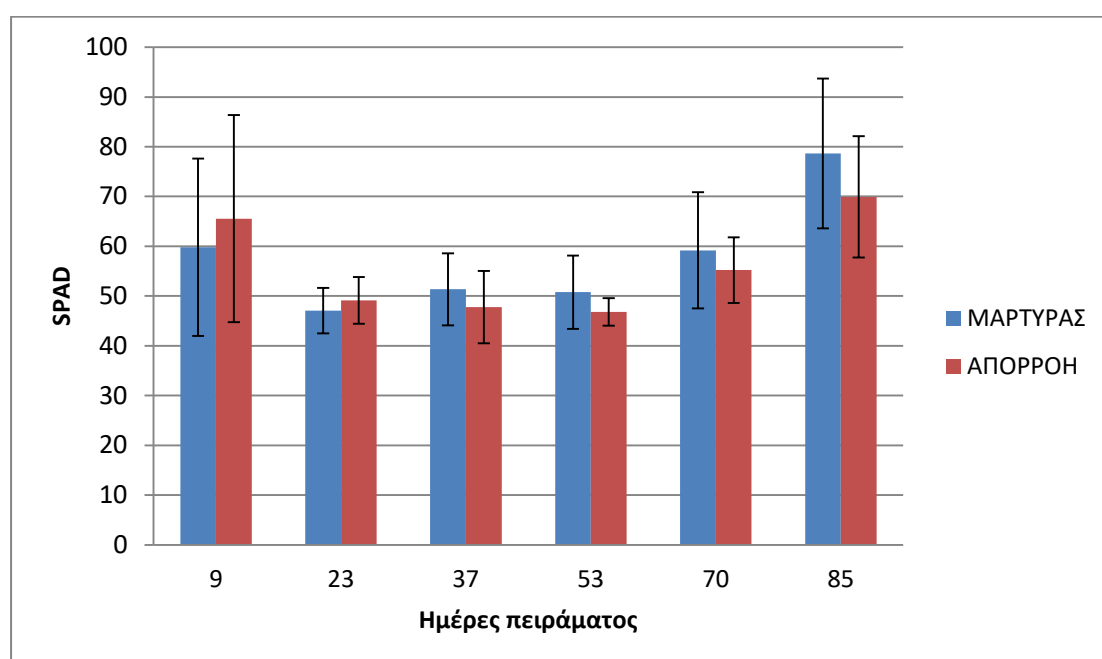
2.4. Στατιστική ανάλυση

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων αναλύθηκαν στατιστικά μέσω του προγράμματος JASP 0.18.1 (JASP team 2021, Computer Software). Στις μετρήσεις εφαρμόστηκε One- Way ANOVA για τον έλεγχο στατιστικά σημαντικών διαφορών μεταξύ μεταχειρίσεων σε επίπεδο $p \leq 0,05$, αφού επιβεβαιώθηκε η κανονικότητα των τιμών (Shapiro-Wilk test) και η ομοιογένεια των διασπορών (Levene's test).

3.Αποτελέσματα

Ακολούθως παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων και η στατιστική ανάλυση αυτών. Τα αποτελέσματα αναλύονται με τη μορφή γραφημάτων. Στα διαγράμματα απεικονίζεται με μπλε χρώμα ο μάρτυρας και με κόκκινο η μεταχείριση της χρήσης απορροής αγγουριού.

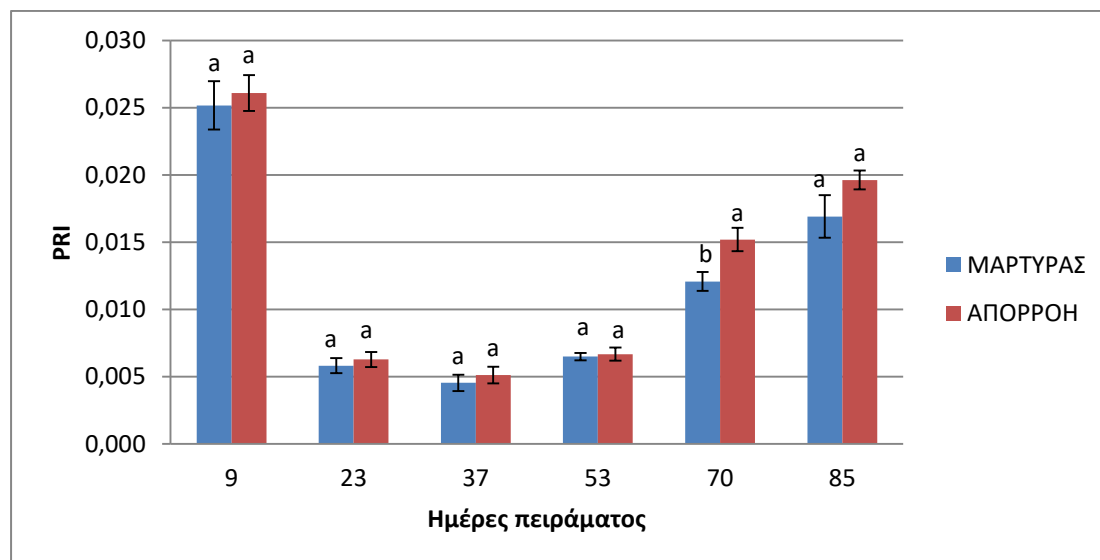
3.1. Δείκτης SPAD



Γράφημα 1: Δείκτης SPAD για τον μάρτυρα και της μεταχείρισης χρήσης απορροής σε 6 πειραματικές μετρήσεις (Μ.Ο. $\pm$ Sd, n=15).

Οι τιμές του SPAD όπως απεικονίζεται στο γράφημα 1 δεν εμφανίζουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ μάρτυρα και μεταχείρισης, σε κανένα χρονικό σημείο μέτρησης. Ο δείκτης SPAD του μάρτυρα αρχικά είναι μικρότερος σε σχέση με την απορροή και αυτό με το πέρασμα των ημερών αντιστρέφεται. Παρατηρείται μια μείωση των τιμών μεταξύ της πρώτης και της δεύτερης μέτρησης και έπειτα σταδιακή αύξηση των τιμών στον μάρτυρα και στην μεταχείριση.

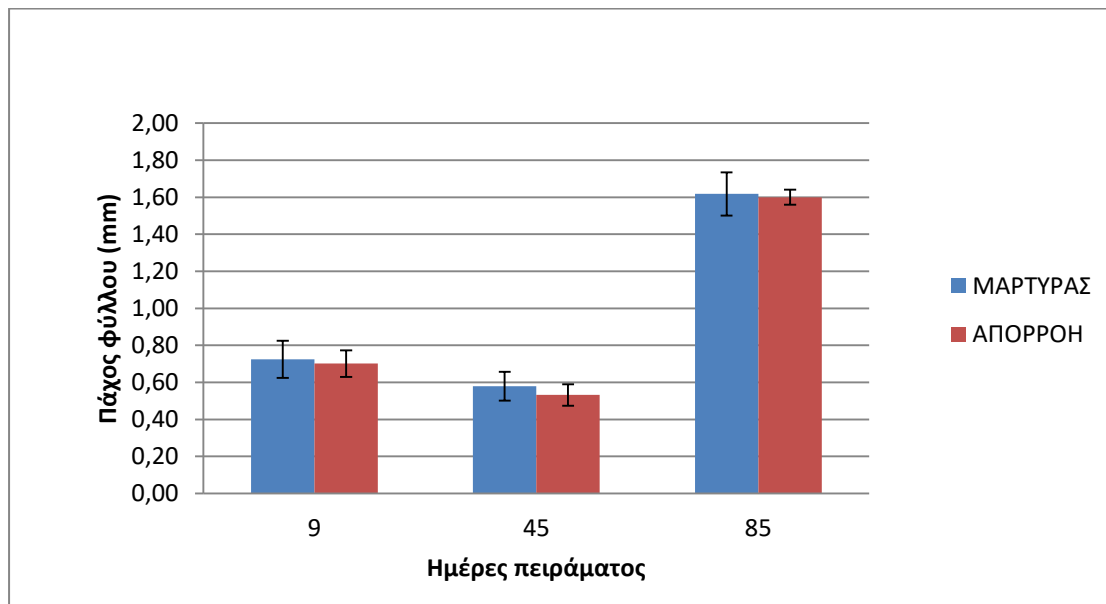
3.2. Δείκτης PRI



Γράφημα 2: Δείκτης PRI σε φυτά για μάρτυρα και απορροή σε 6 πειραματικές μετρήσεις (Μ.Ο. $\pm$ Sd, $n=15$). Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές σε επίπεδο $p<0,05$.

Οι τιμές του PRI όπως απεικονίζεται στο γράφημα 2, δείχνουν ότι παρουσιάζει στατιστικώς σημαντικές διαφορές ο μάρτυρας σε σύγκριση με την μεταχείριση μόνο κατά την ημέρα 70 του πειράματος. Οι μετρήσεις του μάρτυρα είναι ελαφρώς μικρότερες σε όλη την διάρκεια του πειράματος σε σχέση με την απορροή. Παρατηρείται μεγάλη μείωση των τιμών μεταξύ της πρώτης μέτρησης και της δεύτερης μέτρησης και έπειτα σταδιακή αύξηση των τιμών χωρίς όμως να ξεπερνούν την αρχική μέτρηση.

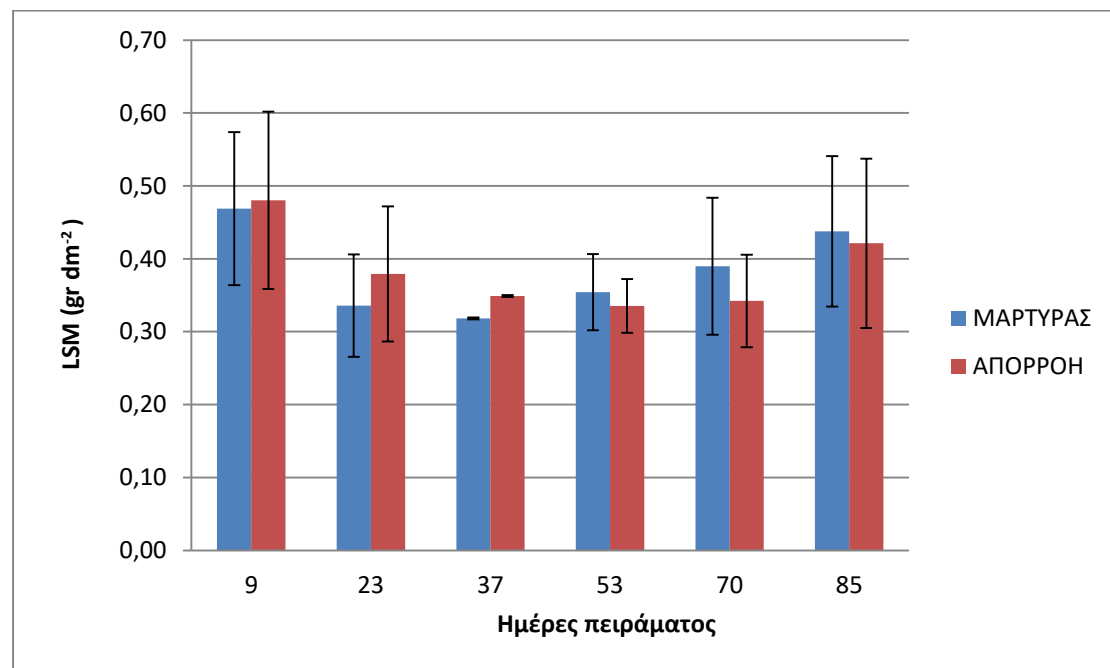
3.3. Πάχος φύλλων



Γράφημα 3: Πάχος φύλλων σε φυτά μάρτυρα και απορροής σε 3 πειραματικές μετρήσεις ($M.O. \pm Sd$, $n=9$).

Οι μετρήσεις του πάχους φύλλων όπως απεικονίζονται στο γράφημα 3 δεν παρουσιάζουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές στο μάρτυρα σε σύγκριση με την μεταχείριση. Οι μετρήσεις του μάρτυρα είναι ελάχιστα μεγαλύτερες σε όλη την διάρκεια του πειράματος σε σχέση με την απορροή. Παρατηρείται διακύμανση των τιμών μεταξύ των πρώτων δύο μετρήσεων και της τελευταίας που παρουσιάζει σημαντική αύξηση σε σχέση με τις άλλες μετρήσεις.

3.4. Δείκτης ξηροφιλίας LSM

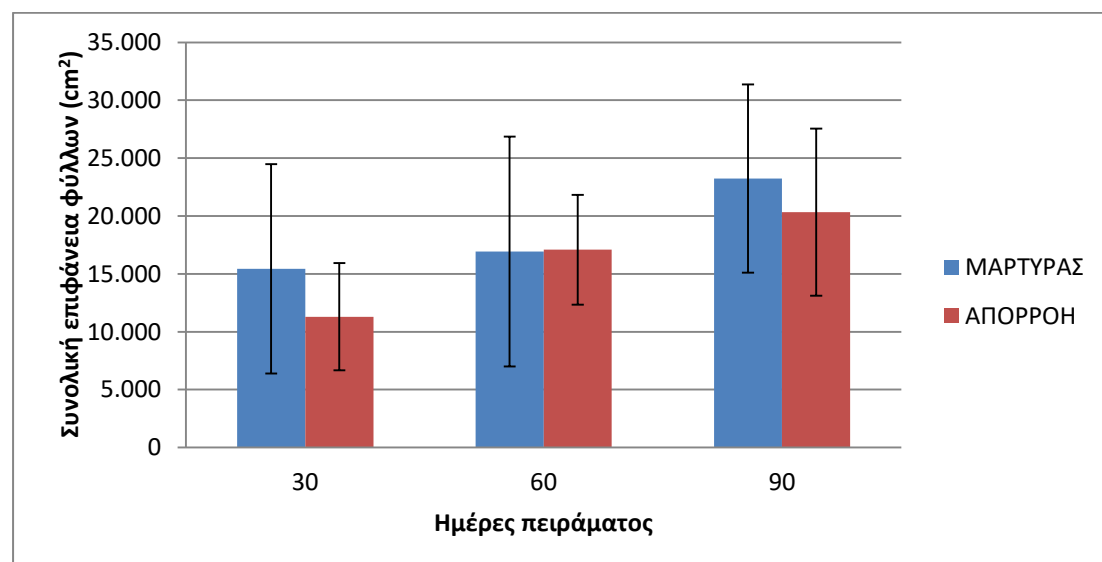


Γράφημα 4: Δείκτης LSM σε φυτά μάρτυρα και απορροής σε 6 πειραματικές μετρήσεις (Μ.Ο. $\pm$ Sd, n=15).

Οι μετρήσεις του LSM όπως απεικονίζεται στο γράφημα 4 υποδηλώνουν ότι δεν παρουσιάζει στατιστικώς σημαντικές διαφορές ο μάρτυρας σε σύγκριση με την μεταχείριση σε κανένα χρονικό σημείο. Παρατηρείται διακύμανση των τιμών, ενώ μετά την πρώτη μέτρηση παρουσιάζεται μια σταδιακή πτώση και την 53η ημέρα του πειράματος, δηλαδή στην 4η μέτρηση, οι τιμές αυξάνονται σταδιακά.

3.5. Φυλλική επιφάνεια

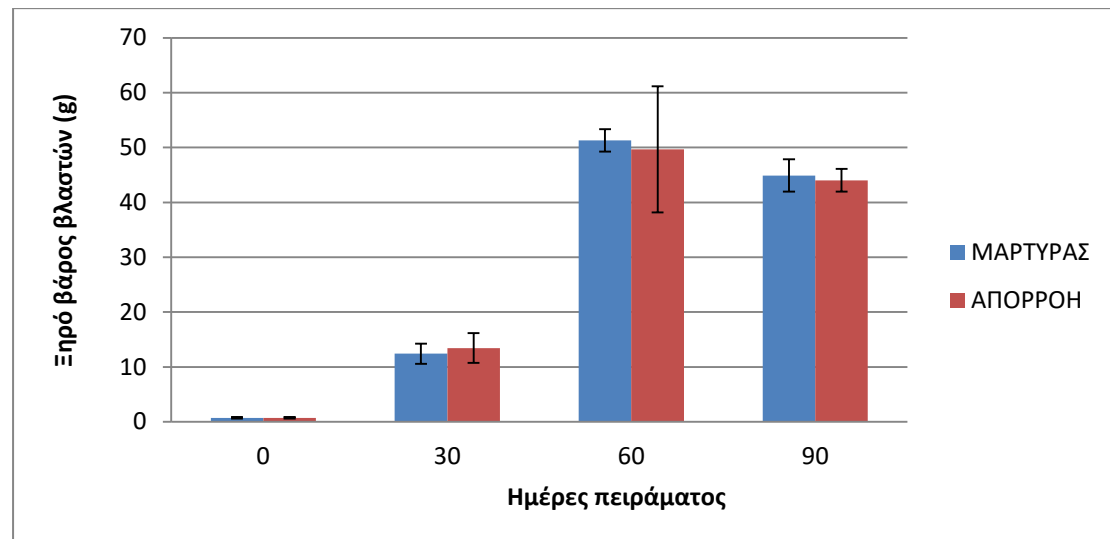
Οι μετρήσεις της φυλλικής επιφάνειας όπως απεικονίζεται στο γράφημα 5 δείχνουν ότι δεν παρουσιάζει στατιστικώς σημαντικές διαφορές ο μάρτυρας σε σύγκριση με την μεταχείριση. Η πρώτη και η τελευταία μέτρηση του μάρτυρα είναι ελαφρώς μεγαλύτερες σε σχέση με την απορροή. Συνολικά οι τιμές έχουν αυξητική τάση από μέτρηση σε μέτρηση και για τις δύο ομάδες φυτών.



Γράφημα 5: Συνολική επιφάνεια φύλλων σε 4 φυτά για μάρτυρα και απορροή σε 3 πειραματικές μετρήσεις ($M.O. \pm Sd$).

3.6. Υπέργειο ξηρό βάρος

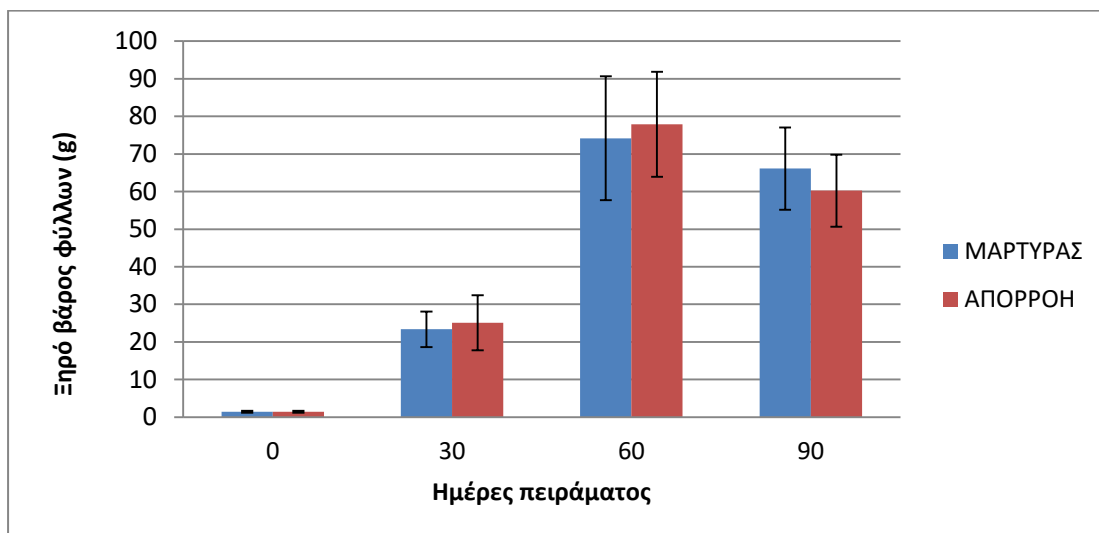
Ξηρό βάρος βλαστού



Γράφημα 6: Ξηρό βάρος βλαστών σε φυτά μάρτυρα και απορροής σε 4 πειραματικές μετρήσεις ($M.O. \pm Sd$, $n=4$).

Οι μετρήσεις του ξηρού βάρους βλαστών όπως απεικονίζεται στο γράφημα 6 δεν παρουσιάζουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές στον μάρτυρα σε σύγκριση με την μεταχείριση. Παρατηρείται μία συνεχής αύξηση του βάρους και στις δύο ομάδες φυτών, εντούτοις στην 4^η μέτρηση φαίνεται το ξηρό βάρος των βλαστών να μειώνεται. Αυτό οφείλεται στο ότι την ημέρα 90 που είναι και η ημέρα της 4ης μέτρησης έχει ήδη πραγματοποιηθεί κορφολόγημα των φυτών για να αποτραπεί η περαιτέρω κάθετη ανάπτυξή τους.

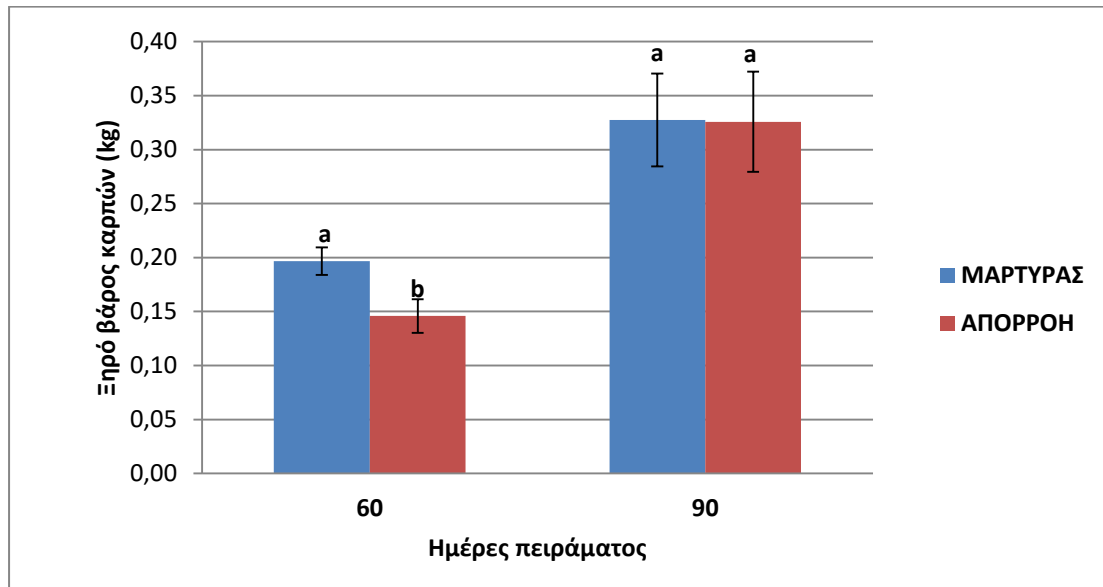
Ξηρό βάρος φύλλων



Γράφημα 7: Ξηρό βάρος φύλλων σε φυτά μάρτυρα και απορροής σε 4 πειραματικές μετρήσεις ($M.O. \pm Sd, n=4$).

Οι τιμές του ξηρού βάρους των φύλλων όπως απεικονίζεται στο γράφημα 7 δεν παρουσιάζουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές στο μάρτυρα σε σύγκριση με την μεταχείριση. Και εδώ παρατηρείται παρόμοια διακύμανση των τιμών και των δύο ομάδων στη διάρκεια του πειράματος με αυτή που καταγράφηκε στο ξηρό βάρος των βλαστών. Εμφανίζεται συνεχής αύξηση του βάρους, με την εξαίρεση της 4ης μέτρησης, όπου οι τιμές μειώνονται, τόσο για τον μάρτυρα όσο και για τα φυτά που ποτίστηκαν με την απορροή του αγγουριού.

Ξηρό βάρος καρπού

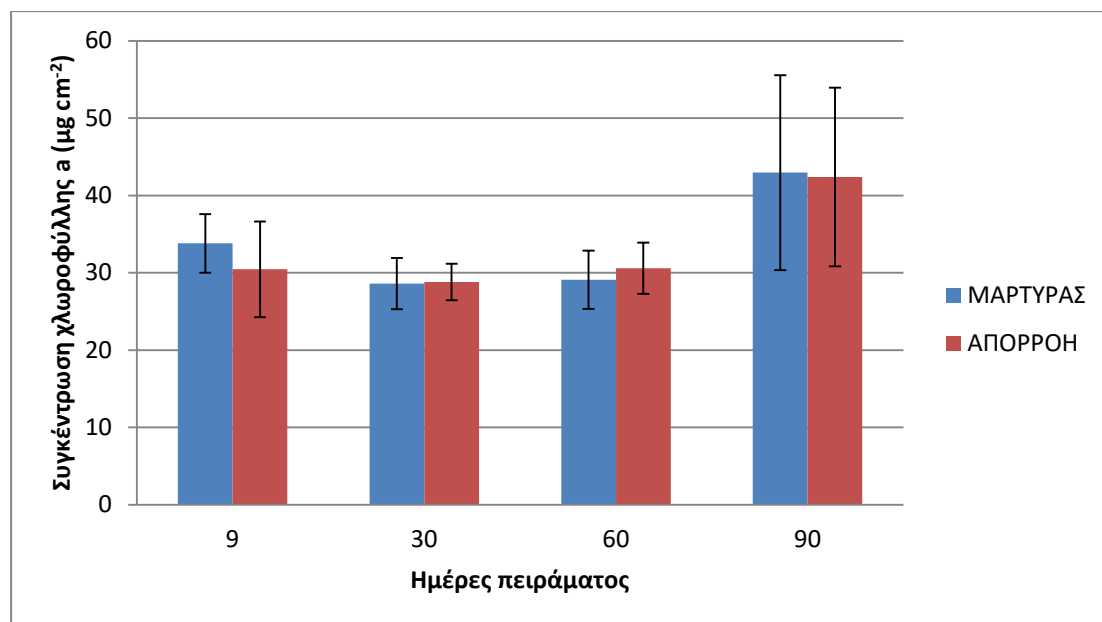


Γράφημα 8: Ξηρό βάρος καρπών σε φυτά μάρτυρα και απορροής σε 2 πειραματικές μετρήσεις ($M.O. \pm Sd$, $n=4$). Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές σε επίπεδο $p<0,05$.

Το ξηρό βάρος των καρπών εμφανίζεται υψηλότερο στα φυτά του μάρτυρα σε σχέση με την απορροή κατά την ημέρα 60 του πειράματος, με τη διαφορά αυτή να είναι στατιστικώς σημαντική (γράφημα 8). Εντούτοις, απολύτως όμοιες τιμές παρουσιάζονται στην τελική μέτρηση κατά την ημέρα 90.

3.7. Συγκέντρωση των φωτοσυνθετικών χρωστικών των φύλλων

Συγκέντρωση χλωροφύλλης α

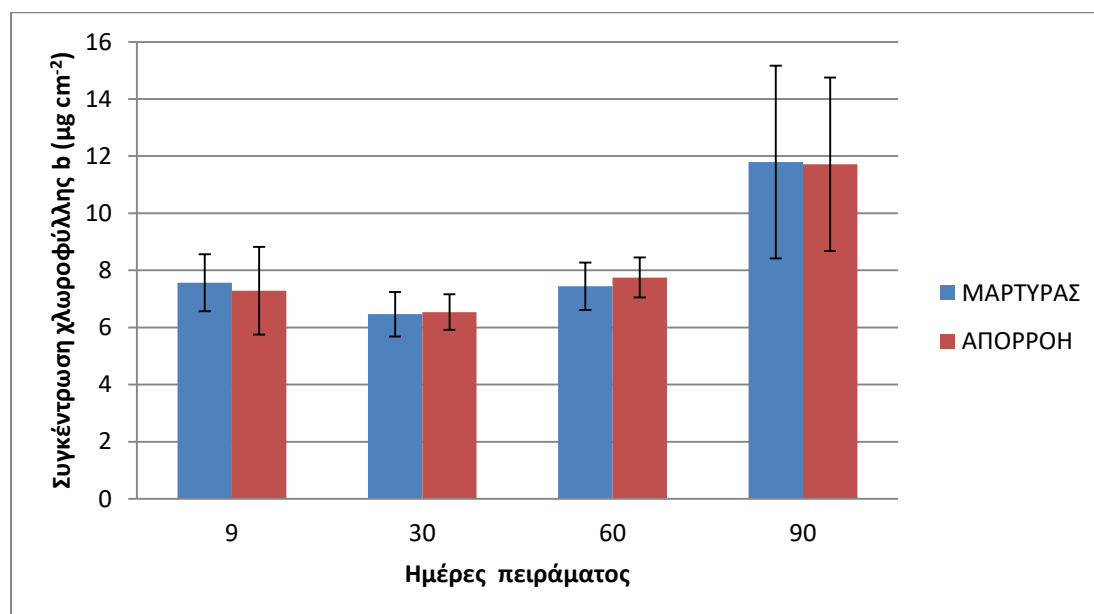


Γράφημα 9: Συγκέντρωση χλωροφύλλης α σε 9 φυτά για μάρτυρα και απορροή σε 4 πειραματικές μετρήσεις ($M.O. \pm Sd$).

Οι μετρήσεις της χλωροφύλλης α στα φύλλα όπως απεικονίζονται στο γράφημα 9 δεν παρουσιάζουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές στο μάρτυρα σε σύγκριση με την μεταχείριση. Οι τιμές των μετρήσεων παρουσιάζουν μία σχετική σταθερότητα από την ημέρα 9 έως την ημέρα 60, ενώ η τελική μέτρηση παρουσιάζει σημαντική αύξηση που αφορά όμως και τις δύο ομάδες φυτών.

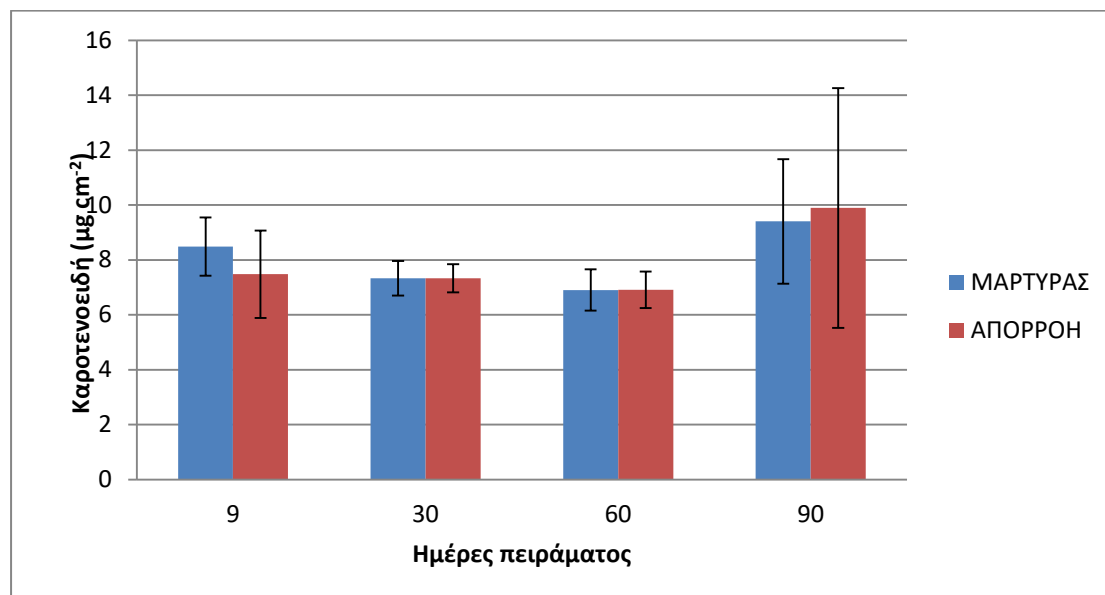
Συγκέντρωση χλωροφύλλης b

Οι μετρήσεις της χλωροφύλλης b στα φύλλα όπως απεικονίζονται στο γράφημα 10 δεν παρουσιάζουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές στο μάρτυρα σε σύγκριση με την μεταχείριση. Γενικώς ακολουθείται η διακύμανση που παρατηρήθηκε και στη συγκέντρωση της χλωροφύλλης a, με την σημαντική αύξηση την ημέρα 90.



Γράφημα 10: Συγκέντρωση χλωροφύλλης b σε 9 φυτά για μάρτυρα και απορροή σε 4 πειραματικές μετρήσεις (Μ.Ο. ± Sd).

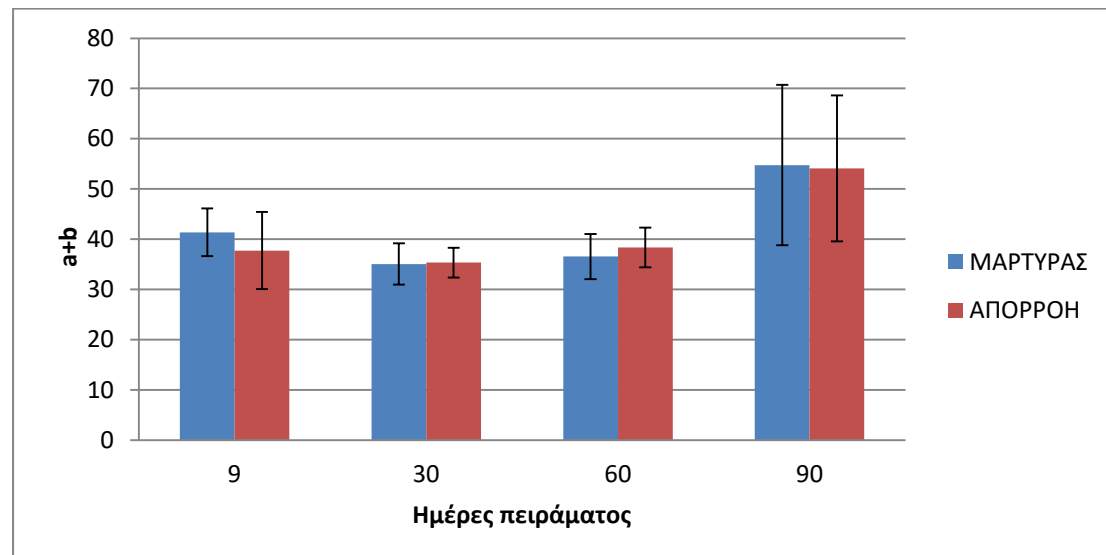
Συγκέντρωση καροτενοειδών



Γράφημα 11: Συγκέντρωση καροτενοειδων σε 9 φυτά για μάρτυρα και απορροή σε 4 πειραματικές μετρήσεις ($M.O. \pm Sd$)

Οι μετρήσεις των καροτενοειδών στα φύλλα όπως απεικονίζονται στο γράφημα 11 δεν παρουσιάζουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές στο μάρτυρα σε σύγκριση με την μεταχείριση. Παρόμοιο με τις χλωροφύλλες α και β πρότυπο αλλαγών ανάμεσα στις μετρήσεις παρατηρείται και εδώ, εντούτοις με μικρότερης κλίμακας μεταβολές.

Συγκέντρωση ολικών χλωροφυλλών (χλωροφύλλης a+b)

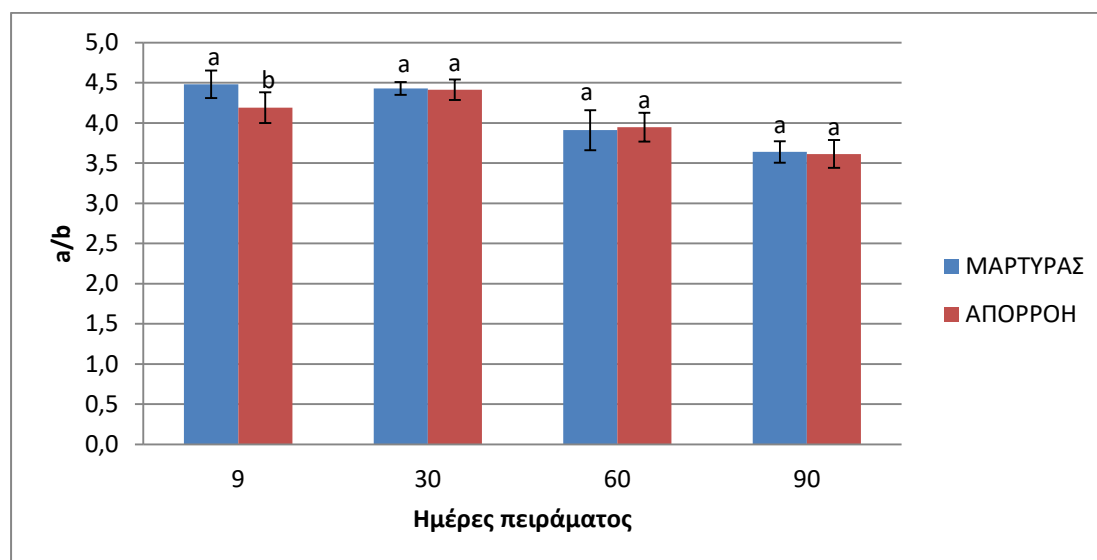


Γράφημα 12: Συγκεντρώσεις ολικών χλωροφυλλών (a+b) σε 9 φυτά για μάρτυρα και απορροή σε 4 πειραματικές μετρήσεις (Μ.Ο. $\pm$ Sd)

Οι μετρήσεις των χλωροφυλλών a+b στα φύλλα όπως απεικονίζονται στο γράφημα 12 δεν παρουσιάζουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές στο μάρτυρα σε σύγκριση με την μεταχείριση.

Λόγος χλωροφύλλης a/b

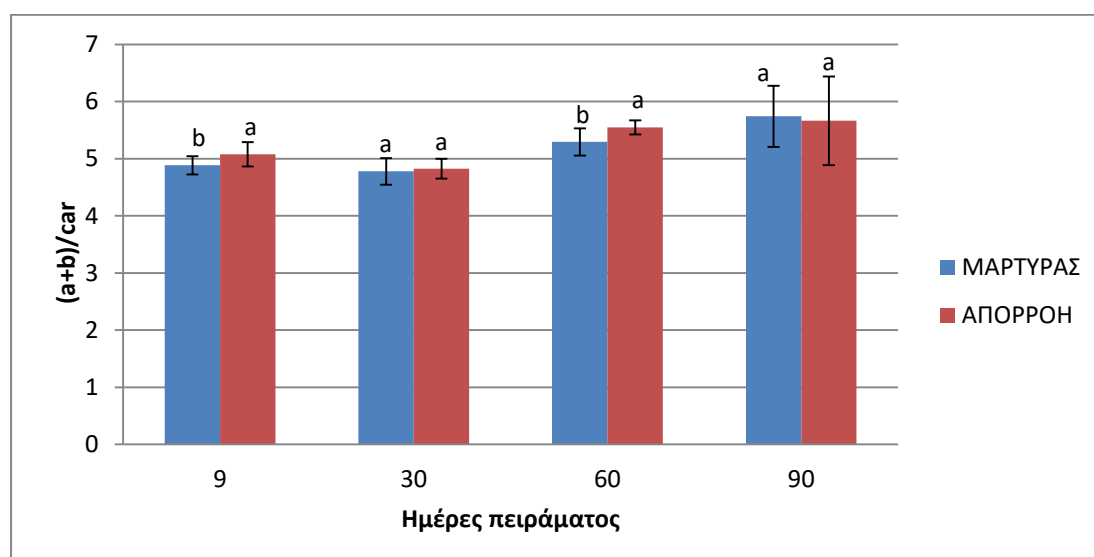
Ο λόγος των συγκεντρώσεων των χλωροφυλλών a/b στα φύλλα όπως απεικονίζονται στο γράφημα 13 παρουσιάζουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές στο μάρτυρα σε σύγκριση με την μεταχείριση μόνο την ημέρα 9, με τις τιμές στον μάρτυρα να είναι μεγαλύτερες. Οι τιμές παρουσιάζουν ελάχιστη μείωση στις 2 τελευταίες μετρήσεις σε σχέση με τις 2 πρώτες μετρήσεις, γενικώς όμως κυμαίνονται στα αναμενόμενα επίπεδα.



Γράφημα 13: Λόγος συγκεντρώσεων χλωροφύλλης a/b σε 9 φυτά για μάρτυρα και απορροή σε 4 πειραματικές μετρήσεις (Μ.Ο. $\pm$ Sd). Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές σε επίπεδο $p < 0,05$.

Λόγος συγκεντρώσεων ολικών χλωροφυλλών/ καροτενοειδή

Οι μετρήσεις των χλωροφυλλών $a+b$ /καροτενοειδή στα φύλλα όπως απεικονίζονται στο γράφημα 14 παρουσιάζουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές στο μάρτυρα σε σύγκριση με την μεταχείριση και πιο συγκεκριμένα την ημέρα 9 και 60. Οι μετρήσεις του μάρτυρα είναι μικρότερες και στις δύο συγκεκριμένες ημέρες. Οι τιμές παρουσιάζουν αύξηση στις 2 τελευταίες μετρήσεις σε σχέση με τις 2 πρώτες μετρήσεις.

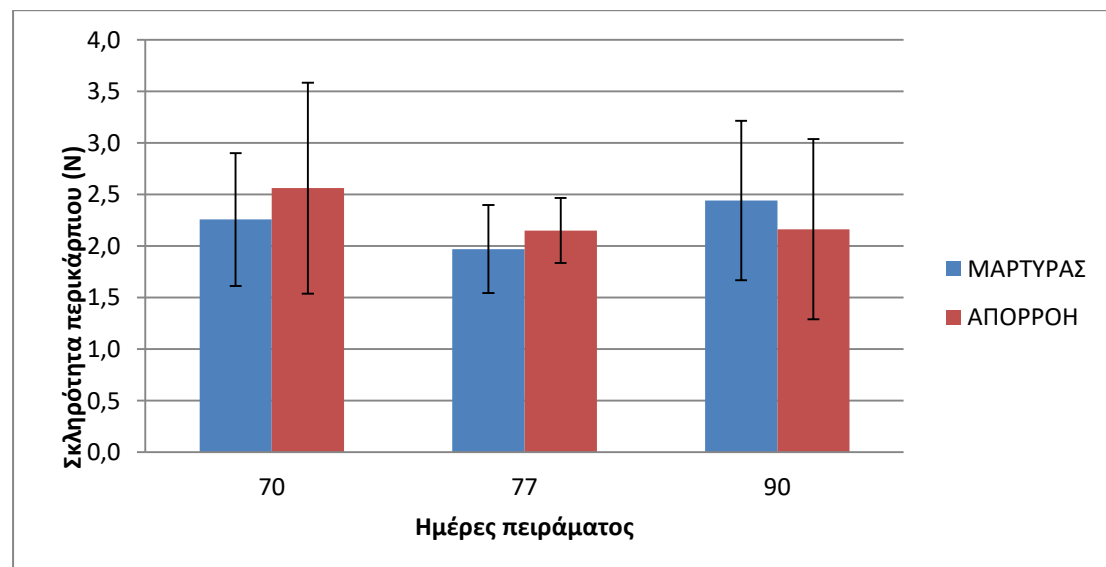


Γράφημα 14: Λόγος συγκεντρώσεων χλωροφύλλης $a+b/car$ σε 9 φυτά για μάρτυρα και απορροή σε 4 πειραματικές μετρήσεις ($M.O. \pm Sd$). Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές σε επίπεδο $p < 0,05$.

3.8.Μετρήσεις ποιότητας καρπού

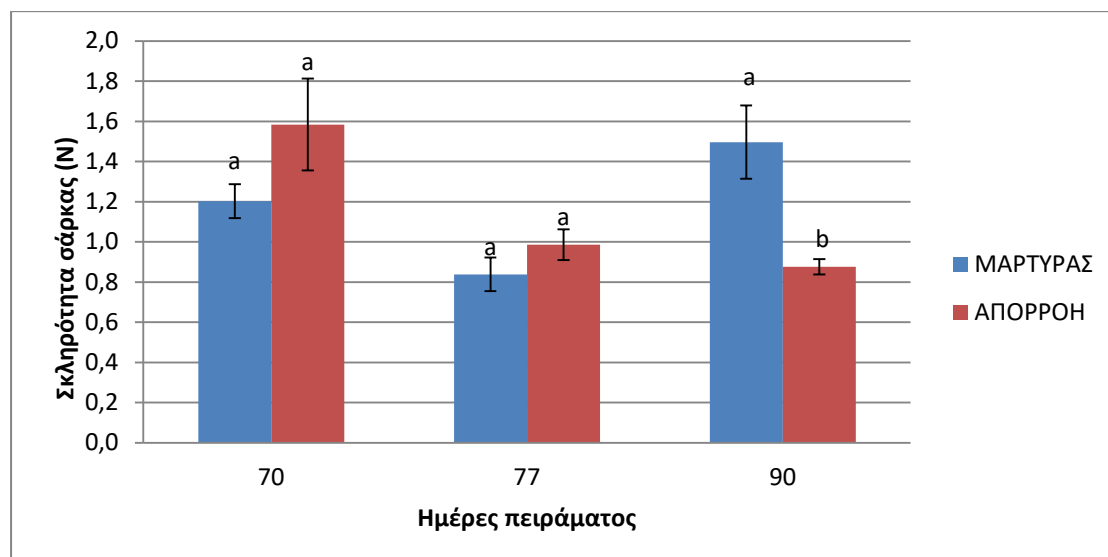
Μέτρηση σκληρότητας περικαρπίου καρπών

Οι μετρήσεις της σκληρότητας περικαρπίου όπως απεικονίζονται στο γράφημα 15 δεν παρουσιάζουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές στο μάρτυρα σε σύγκριση με την μεταχείριση. Διατηρούνται μάλιστα σε σχετικά σταθερά επίπεδα σε όλες τις μετρήσεις και για τις δύο ομάδες φυτών.



Γράφημα 15: Σκληρότητα περικαρπίου σε 5 καρπούς για μάρτυρα και απορροή σε 3 πειραματικές μετρήσεις (Μ.Ο. $\pm$ Sd).

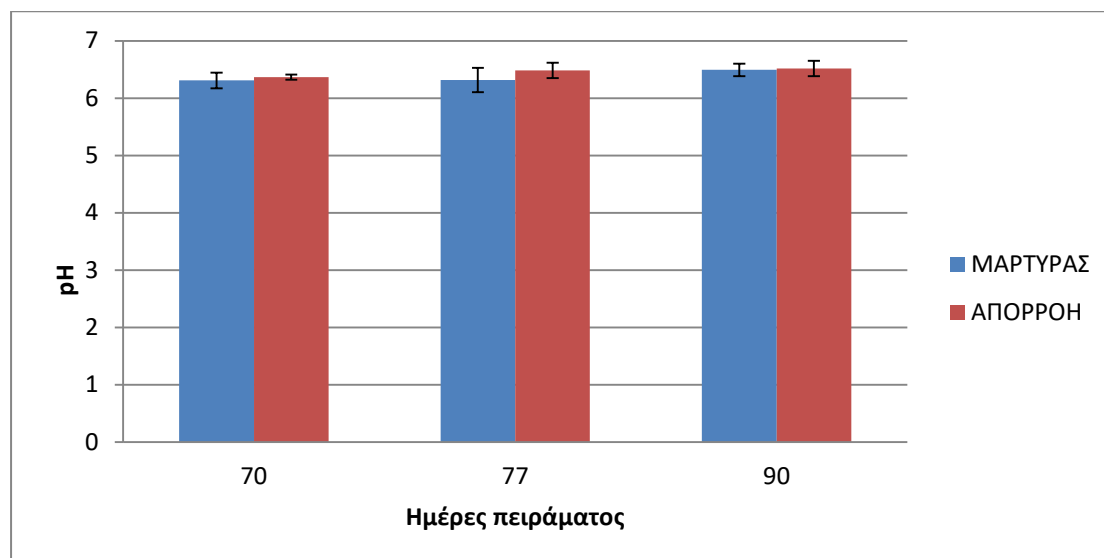
Μέτρηση σκληρότητας σάρκας καρπών



Γράφημα 16: Σκληρότητας της σάρκας σε 5 καρπούς για μάρτυρα και απορροή σε 3 πειραματικές μετρήσεις ($M.O. \pm Sd$). Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές σε επίπεδο $p < 0,05$.

Οι μετρήσεις της σκληρότητας σάρκας όπως απεικονίζονται στο γράφημα 16 παρουσιάζουν στατιστικώς σημαντική αύξηση στο μάρτυρα σε σύγκριση με την μεταχείριση μόνο κατά την ημέρα 90 του πειράματος. Σε όλες τις προηγούμενες μετρήσεις ο μάρτυρας εμφάνιζε τάση για μικρότερες τιμές, χωρίς όμως να είναι σημαντική η διαφορά του από τα φυτά που ποτίζονταν με την απορροή του αγγουριού.

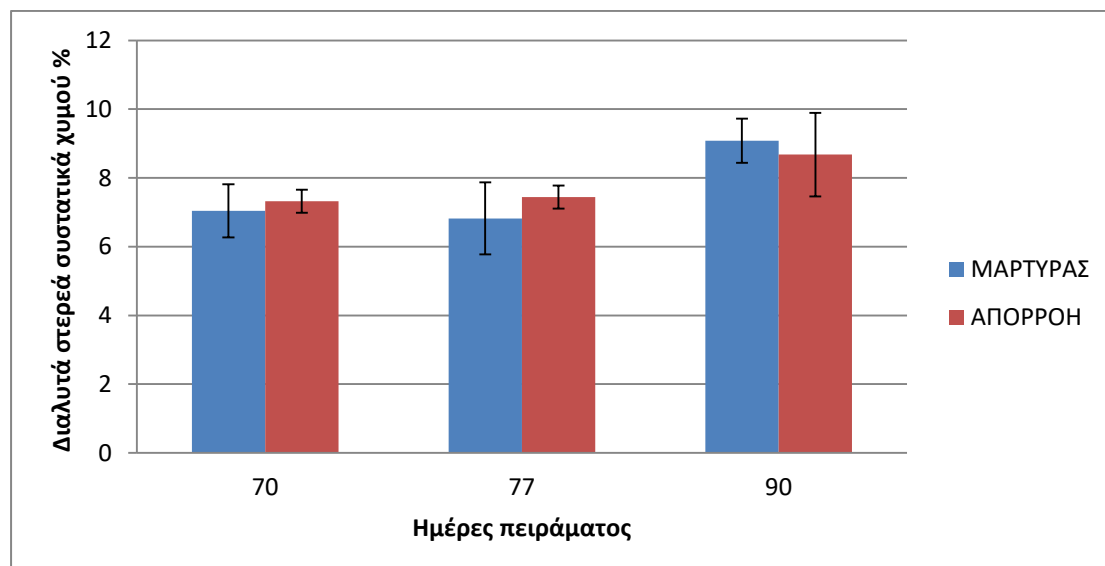
Μέτρηση pH καρπών



Γράφημα 17: Το pH καρπών μετρημένο σε 5 καρπούς για μάρτυρα και απορροή σε 3 πειραματικές μετρήσεις (Μ.Ο. $\pm$ Sd).

Οι μετρήσεις του pH όπως απεικονίζεται στο γράφημα 17 δεν παρουσιάζουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές στο μάρτυρα σε σύγκριση με την μεταχείριση. Επίσης, και στις 3 μετρήσεις εμφανίζει μία σταθερότητα κυμαινόμενο μεταξύ 6,3-6,5 και για τις δύο ομάδες φυτών.

Μέτρηση ολικών διαλυτών στερεών καρπών



Γράφημα 18: Ολικά διαλυτά στερεά σε 5 καρπούς για μάρτυρα και απορροή σε 3 πειραματικές μετρήσεις (Μ.Ο. $\pm$ Sd).

Οι μετρήσεις των ολικών διαλυτών στερεών όπως απεικονίζονται στο γράφημα 18 δεν παρουσιάζουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές στο μάρτυρα σε σύγκριση με την μεταχείριση. Οι τιμές είναι ελαφρώς αυξημένες κατά την τελευταία μέτρηση και για τις δύο ομάδες φυτών.

Μέτρηση χρώματος καρπών

Δείκτης L

DAT	ΜΑΡΤΥΡΑΣ			ΑΠΟΡΡΟΗ		
L	average	sd	SE	average	sd	SE
70	61,06	2,10	0,94	64,53	4,59	2,05
77	63,83	2,89	1,29	63,64	0,92	0,41
90	65,19	3,22	1,44	67,23	1,24	0,55

Πίνακας 1: Μέσος όρος δείκτη L σε σε 5 καρπούς για μάρτυρα και απορροή σε 3 πειραματικές μετρήσεις.

Οι τιμές του δείκτη L όπως απεικονίζεται στον πίνακα δεν εμφανίζουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των φυτικών ομάδων. Οι τιμές της μεταχείρισης κυμαίνονται από 63,64 – 67,23 και από 63,38- 65,19 στον μάρτυρα.

Δείκτης a

DAT	ΜΑΡΤΥΡΑΣ			ΑΠΟΡΡΟΗ		
a	average	sd	SE	average	sd	SE
70	- 3,82	1,54	0,69	- 2,57	2,97	1,33
77	- 1,94	0,84	0,38	- 4,19	0,84	0,38
90	1,01	0,98	0,44	0,70	1,05	0,47

Πίνακας 2: Μέσος όρος δείκτη a σε σε 5 καρπούς για μάρτυρα και απορροή σε 3 πειραματικές μετρήσεις.

Οι τιμές του δείκτη a όπως απεικονίζεται στον πίνακα 2 δεν εμφανίζουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των φυτικών ομάδων. Οι τιμές της μεταχείρισης κυμαίνονται από -2,57-0,70 και από -3,82-1,01 στον μάρτυρα. Η αρνητικές τιμές του a υποδεικνύουν την διαβάθμιση του πράσινου χρώματος και οι θετικές του κόκκινου.

Δείκτης b

DAT	ΜΑΡΤΥΡΑΣ			ΑΠΟΡΡΟΗ		
b	average	sd	SE	average	sd	SE
70	33,77	4,98	2,23	40,40	11,20	5,01
77	38,07	5,86	2,62	37,17	1,34	0,60
90	41,34	5,56	2,49	48,29	1,79	0,80

Πίνακας 3: Μέσος όρος δείκτη b σε σε 5 καρπούς για μάρτυρα και απορροή σε 3 πειραματικές μετρήσεις.

Οι τιμές του δείκτη b όπως απεικονίζεται στον πίνακα 3 δεν εμφανίζουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των φυτικών ομάδων. Οι τιμές της μεταχείρισης κυμαίνονται από 37,17-48,29 και από 33,77-41,34 στον μάρτυρα. Οι αρνητικές τιμές του b υποδεικνύουν την διαβάθμιση του μπλε χρώματος και οι θετικές του κίτρινου.

4.Συζήτηση

Το ερευνητικό πείραμα που εκπονήθηκε στα πλαίσια της πτυχιακής εργασίας είχε ως στόχο να αξιολογηθεί η χρήση της πεπονιάς ως δευτερεύουσα καλλιέργεια σε ανοιχτού τύπου υδροπονικό σύστημα επάλληλων καλλιεργειών. Μελετήθηκε συγκεκριμένα η απόκριση των αναπτυξιακών, και κάποιων λειτουργικών χαρακτηριστικών των φυτών της δευτερεύουσας καλλιέργειας καθώς και η ποιότητα των καρπών αυτής. Επιπλέον, επιχειρήθηκε να απαντηθεί το ερώτημα αν η χρήση απορροής που σε cascade σύστημα ενδεχομένως να έχει αυξημένη αλατότητα επιδρά αρνητικά στη λειτουργία και την απόδοση του φυτού. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων αναφέρονται σε διαφορές ή ομοιότητες του μάρτυρα συγκριτικά με την μεταχείριση η οποία αρδεύεται 100% με απορροή από την αγγουριά.

Ο δείκτης SPAD είναι ανάλογος με τη συγκέντρωση ολικών χλωροφυλλών στα φύλλα των φυτών. Η περιεκτικότητα σε ολικές χλωροφύλλες βοηθάει στην εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την φωτοσυνθετική λειτουργία των φύλλων και αποτυπώνει αλλαγές στην φυσιολογία του φυτού. Η μείωση των τιμών του SPAD μπορεί να σχετίζεται με ανεπάρκεια θρεπτικών στοιχείων ή/και αποτελεί ένδειξη για υδατική καταπόνηση και καταπόνηση λόγω υψηλής ακτινοβολίας (Monje & Bugbee, 1992). Στο πείραμα μας δεν παρατηρήθηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων. Υπήρξαν κάποιες διακυμάνσεις των τιμών στην διάρκεια του πειράματος, οι οποίες πιθανόν να σχετίζονται με το αναπτυξιακό στάδιο του φυτού. Σύμφωνα με τον Ναουνούλη (2024), η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) του διαλύματος με το οποίο ποτίζονταν η μεταχείριση της απορροής ήταν παρόμοια με αυτή του μάρτυρα καθόλη τη διάρκεια του πειράματος, με μία μέση τιμή 2,6 dS/m. Η EC αυτή είναι σχετικά χαμηλή για να προκαλέσει μειώσεις στις τιμές του SPAD. Σύμφωνα με την βιβλιογραφία οι επιθυμητές τιμές EC σε μια καλλιέργεια πεπονιάς κυμαίνονται μεταξύ 2-2,5 dS/m (Δημήτριος Σάββας, 2012). Οι Farsaraei et al., 2020 με την χρήση του οργάνου SPAD-502 συμπέραναν ότι στην μεταχείριση που δεν είχε καθόλου αλατότητα παρατηρήθηκαν οι πιο υψηλές τιμές χλωροφύλλης ($40,95 \text{ mg cm}^{-2}$) ενώ σε αλατότητα 120 mM NaCl καταγράφηκαν οι πιο χαμηλές τιμές (26.73 mg cm^{-2}).

Ο δείκτης PRI (Photochemical Reflectance Index) σχετίζεται με τις βιοχημικές και φυσιολογικές λειτουργίες του φυτού και αποτυπώνει την αποτελεσματικότητα χρήσης της φωτοσυνθετικά ενεργής ακτινοβολίας από το φυτό (Garrity et al., 2011). Σχετίζεται ουσιαστικά με τις αλλαγές των καροτενοείδων στα φύλλα και μέσω αυτής μας βοηθάει να εξαγάγουμε ασφαλή συμπεράσματα σχετικά με την αποδοτικότητα χρήσης φωτοσυνθετικού φωτός, τον ρυθμό πρόσληψης CO_2 και της καταπόνησης του φυτού από το νερό. Επηρεάζεται από παραμέτρους που επιδρούν στην φωτοσυνθετική λειτουργία των φύλλων, όπως είναι η υδατική καταπόνηση, η ένταση της ακτινοβολίας, οι τροφοπενίες, το κλείσιμο των

στομάτων, προσβολές κ.α. Στο πείραμα μας οι τιμές της μεταχείρισης εμφάνισαν τάση για πιο αυξημένες σε σχέση με τον μάρτυρα καθόλη την διάρκεια της αναπτυξιακής περιόδου, αλλά χωρίς στατιστικώς σημαντικές διαφορές. Φαίνεται λοιπόν ότι σε όλα τα φυτά η φωτοσυνθετική συσκευή λειτουργούσε ικανοποιητικά. Σύμφωνα με τον (Κονάτς et al., 2018) ο δείκτης PRI δύναται να καταγράψει μικρές αλλαγές στην αποδοτικότητα χρήσης του φωτός LUE όταν επικρατούν συνθήκες μεταβαλλόμενης ηλιακής ακτινοβολίας. Πιθανώς λοιπόν οι διακυμάνσεις που φαίνονται μεταξύ των μετρήσεων στις διάφορες ημέρες του πειράματος να αντικατοπτρίζουν αντίστοιχα διακυμάνσεις στη φωτεινή ακτινοβολία που δέχονταν τα φυτά. Ασφαλώς, το προφίλ του PRI επηρεάζουν και αναπτυξιακές διεργασίες του φυτού που μπορεί να σχετίζονται με την ωρίμανση της φωτοσυνθετικής συσκευής.

Ο δείκτης LSM (Leaf Specific Mass) ονομάζεται δείκτης ξηροφιλίας και υπολογίζεται ως συσσώρευση ξηρής ουσίας (σε g) στη μονάδα επιφάνειας φύλλου (dm^2). Εκφράζει την επένδυση του φυτού σε παραγωγή βιομάζας και επηρεάζει την φωτοσυνθετική λειτουργία του φυτού. Στο πείραμα διακρίνουμε μικρές διακυμάνσεις στις τιμές, με τις μεγαλύτερες τιμές και για τις δύο μεταχειρίσεις να εμφανίζονται στην αρχή της αναπτυξιακής περιόδου. Οι μεταβολές του δείκτη ξηροφιλίας, σύμφωνα με τη θεωρία μπορεί να σχετίζονται είτε με υδατική καταπόνηση λόγω της ανάγκης για οικονομία νερού, είτε σε θρεπτική καταπόνηση που σχετίζεται με την αδυναμία επένδυσης σε βιομάζα (Καραμπουρνιώτης Γ., Λιακόπουλος Γ. και Νικολόπουλος Δ., 2012). Σχετίζεται και με το πάχος των φύλλων, χωρίς όμως ευθεία συσχέτιση. Σε συνθήκες χαμηλής διαθεσιμότητας θρεπτικών συστατικών σε επίπεδα που μπορούν να περιορίσουν την ανάπτυξη του φυτού, η αναστολή των διεργασιών των κυττάρων έχει ως αποτέλεσμα μικρότερα φύλλα και υψηλότερη LSM (Tsoumalakou et al., 2023). Να σημειωθεί εδώ ότι σύμφωνα με τις καταγραφές του πάχους των φύλλων, δεν υπήρξαν ούτε σε αυτή την παράμετρο σημαντικές διαφορές μεταξύ μεταχειρίσεων.

Η φυλλική επιφάνεια και το ξηρό βάρος είναι αναπτυξιακές παράμετροι που σχετίζονται με την αύξηση της φυτικής μάζας. Αντικατοπτρίζουν λειτουργικές παραμέτρους όπως την φωτοσυνθετική ικανότητα καθώς και την επάρκεια σε θρεπτικά στοιχεία για το φυτό. Συνολικά δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ μεταχειρίσεων ως προς το ξηρό βάρος των επιμέρους μερών του φυτού (βλαστός και φύλλα), αλλά ούτε και στο ξηρό βάρος των καρπών. Επίσης, δεν υπήρχαν διαφορές στην συνολική φυλλική επιφάνεια. Υπήρξε σε όλες τις παραπάνω παραμέτρους μία αύξηση του βάρους καθώς προχωρούσε η αναπτυξιακή περίοδος, όπως προέκυψε από τις διαδοχικές καταστροφικές δειγματοληψίες. Αυτό αντανάκλα την αύξηση συνολικά του φυτού κατά την ωρίμανση τους και δεν επηρεάστηκε από την μεταχείριση. Φαίνεται ότι η διατήρηση της EC στα επίπεδα που προαναφέρθηκαν δεν προκάλεσε καταπόνηση στα φυτά, άρα αποσοβήθηκαν αρνητικές επιπτώσεις στην ανάπτυξή τους. Σύμφωνα

με την Avdouli et al., 2021 και τα δεδομένα του πειράματος με δευτερεύουσα καλλιέργεια τον βασιλικό σε cascade system συμπεραίνουν ότι όλες οι παράμετροι που σχετίζονται με την ανάπτυξη της καλλιέργειας, επηρεάστηκαν από την αλατότητα σε διαφορετικό βαθμό. Παρατηρήθηκε 20% μείωση της επιφάνειας φύλλων από την προβλεπόμενη και 42% μείωση του ξηρού βάρους.

Η συγκέντρωση της χλωροφύλλης α (Chl a) στα φωτοσυνθετικά όργανα, που αποτελεί την κύρια χρωστική της φωτοσύνθεσης, υπερέχει της συγκέντρωσης της χλωροφύλλης b (Chl b), η οποία λειτουργεί ως βοηθητική χρωστική, ευρισκόμενες μάλιστα σε αναλογία συνήθως 4:1. Η περιεκτικότητα της χλωροφύλλης α στα φυτά της απορροής δεν διέφερε σημαντικά από αυτήν του μάρτυρα, με αντίστοιχες να είναι και ποσότητες χλωροφύλλης b στην καλλιέργεια. Η αθροιστική συγκέντρωση χλωροφυλλών (Chl a+b) ήταν μέγιστη την ημέρα 90 του πειράματος, με τα φυτά του μάρτυρα να έχουν $54,74 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ και της μεταχείρισης να έχει $54,08 \mu\text{g}/\text{cm}^2$, μικρή διαφορά. Ο λόγος χλωροφύλλης a προς χλωροφύλλη b (Chl a/b) σχετίζεται με τη φωτοσυνθετική λειτουργία του φυτού και συγκεκριμένα με την ανάγκη για φωτοσυλλογή (Li et al., 2018). Μειωμένοι λόγοι παραπέμπουν σε ανάγκη για αυξημένη φωτοσυλλογή από τις βοηθητικές χρωστικές της φωτοσυλλεκτικής κεραίας και είναι απόκριση σε χαμηλές εντάσεις φωτός. Σε όλες τις μετρήσεις, ο λόγος a/b δεν παρουσίασε σημαντικές διαφορές, εμφανίζοντας μία τάση για χαμηλότερο λόγο καθώς προχωρούσε η αναπτυξιακή περίοδος. Η συγκέντρωση των καροτενοειδών εμφάνισε μέγιστες τιμές κατά την ημέρα 90, με τις τιμές να κυμαίνονται από $5,78 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ έως $12,76 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ για τον μάρτυρα και από $3,82 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ έως $19,92 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ για τη μεταχείριση. Τα καροτενοειδή αποτελούν μια ομάδα βοηθητικών χρωστικών και συμβάλλουν στην απορρόφηση της φωτεινής ενέργειας και τη μετάδοσή της στη χλωροφύλλη α. Επιπλέον, αποτελούν ουσιαστικό μέρος της αντίδρασης του φυτού σε περιβαλλοντικές συνθήκες (Garrity et al., 2011). Η συγκέντρωσή τους στα φύλλα επηρεάζεται από παράγοντες καταπόνησης, προστατεύοντας τις χλωροφύλλες από φωτοοξειδωτικές βλάβες σε περίοδο υψηλής έντασης φωτός ή καταπονήσεις (Raven P et al., 2014). Ο λόγος χλωροφύλλης/καροτενοειδών (Chl/car) μπορεί να υποδείξει την καταπόνηση στα φυτά (Gitelson & Merzlyak, 1994). Ο λόγος για όλες τις μεταχειρίσεις αρχικά μειώθηκε και μετά παρουσίασε μικρή αύξηση σταδιακά, χωρίς όμως διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων.

Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά μαζί με το βάρος και το σχήμα του πεπονιού είναι υπεύθυνα για την εμπορευσιμότητά του. Στην παρούσα εργασία μετρήθηκαν αρκετές παράμετροι που σχετίζονται με την ποιότητα του καρπού. Αρχικά, η σκληρότητα του καρπού μετρήθηκε και στο περικάρπιο, αλλά και μετά την αφαίρεση αυτού, στη σάρκα. Καμία από τις παραπάνω παραμέτρους δεν φάνηκε να επηρεάζεται από τις μεταχειρίσεις, με μόνη εξαίρεση την στατιστικά χαμηλότερη τιμή σκληρότητας σάρκας που καταγράφηκε για την μεταχείριση της απορροής στην τελική μέτρηση.

Το pH του χυμού των καρπών έδειξε μικρές διαφορές ανάμεσα σε μάρτυρα και απορροή. Ο μάρτυρας κυμαίνεται από 6,04 έως 6,57 και η απορροή από 6,30 έως 6,70, χωρίς ωστόσο να καταγραφούν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ μεταχειρίσεων. Οι Schmautz et al., 2016 εφάρμοσαν τρεις μεθόδους καλλιέργειας εκτός εδάφους (NFT, στάγδην άρδευσης και σύστημα επίπλευσης) σε ίδες ποικιλίες τομάτας και τα συγκρίναν με τομάτες εμπορίου. Οι καρποί της τελευταίας κατηγορίας είχαν παρόμοιες τιμές pH με τις ντομάτες που καλλιεργούνται σε υδροπονία. Τα αποτελέσματά τους αποδεικνύουν ότι το pH στους καρπούς δεν εξαρτάται από το σύστημα καλλιέργειας.

Η περιεκτικότητα σε σάκχαρα στο πεπόνι είναι το σημαντικότερο κριτήριο για την κατανάλωση. Τα σάκχαρα αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος των ολικών διαλυτών στερεών (Brix%) (Μπαμπατζάνης, 2006). Στο πείραμά μας, ο μάρτυρας κυμαίνεται από 5,40% έως 10% και η απορροή από 6,60% έως 9,50%, χωρίς να υπάρχουν διαφορές μεταξύ των ομάδων φυτών. Οι Piñero et al., 2020 ερεύνησαν την επίδραση στους καρπούς πεπονιού της ενυδροπονικής μεθόδου με και χωρίς την χρήση συμπληρωματικών λιπασμάτων. Η μεταχείριση της ενυδροπονίας με λιπάσματα είχε μικρότερες τιμές. Αντίθετα, η βιβλιογραφία αναφέρει πολλούς μελετητές που αποδεικνύουν ότι τα λιπάσματα επηρεάζουν τα ολικά διαλυτά στερεά. Ένας από αυτούς ο (Barrett κ.ά., 2007) αναφέρει ότι η απορρόφηση έδειξαν ότι ο σμύρνημα προς παπαζκες άζηηκε από βιολογικά παπαγόμενερ ημάηερ ήηρν ζημανηκά ζτ ηλόηεπορ ζε διαλζηά ζηεπεά (°Brix) ζε ζσέζη με ζζμβαηική καλλιέηγείά ηομάηερ.

Τέλος, σύμφωνα με τους Neocleous et al., 2017, η αλατότητα έως 2,5 mM NaCl είναι εφικτή σε καλλιέργειες πεπονιού που καλλιεργούνται σε υδροπονικά συστήματα κλειστού τύπου, χωρίς απώλειες στην απόδοση και της ποιότητας. Στο δικό μας πείραμα με σύστημα επάλληλων καλλιεργειών ανοικτού τύπου οι τιμές EC ήταν σχετικά χαμηλές και καθώς ήταν παρόμοιες μεταξύ μεταχειρίσεων δεν μπορούμε αποδώσουμε σε αυτές κάποια επίδραση στην ποιότητα των καρπών που μετρήσαμε.

5. Συμπεράσματα

- Σε όλες τις παραμέτρους που καταγράφηκαν, τα φυτά της μεταχείρισης δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές με τα φυτά του μάρτυρα.
- Οι τιμές των δεικτών SPAD και PRI εμφάνισαν μία διακύμανση κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου που πιθανώς οφειλόταν σε αναπτυξιακούς λόγους. Εντούτοις, δεν παρατηρήθηκε διαφορά στην αποδοτικότητα χρήσης φωτός και την αποδοτικότητα της φωτοσυνθετικής λειτουργίας.
- Παρόμοιες τιμές στην περιεκτικότητα σε φωτοσυνθετικές χρωστικές καταγράφηκε μεταξύ των δύο ομάδων φυτών. Αυτό οδήγησε και σε απουσία διαφορών στους λόγους $chl a/chl b$ και chl/car .
- Η ανάπτυξη των φυτών, όπως καταγράφηκε από τα ξηρά βάρη φύλλων, βλαστών και καρπών, η φυλλική επιφάνειά των φύλλων, αλλά και ανατομικά χαρακτηριστικά των φύλλων όπως ο δείκτης ξηροφιλίας και το πάχος των φύλλων ήταν παρόμοια μεταξύ των δύο ομάδων φυτών.
- Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του καρπού, όπως το χρώμα, η συγκέντρωση ολικών διαλυτών στερεών, το pH και η σκληρότητα περικαρπίου δεν παρουσίασαν στατισκώς σημαντικές διαφορές μεταξύ μεταχειρίσεων. Μόνη εξαίρεση αποτέλεσε η σκληρότητα της σάρκας που ήταν μειωμένη στην ομάδα της απορροής.
- Τα αναπτυξιακά και λειτουργικά χαρακτηριστικά των φυτών και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των καρπών που μελετήθηκαν υποδεικνύουν ότι το πεπόνι μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δευτερεύουσα καλλιέργεια σε ανοιχτού τύπου υδροπονικό σύστημα επάλληλων καλλιεργειών.

6.Βιβλιογραφία

- Βαζίλειος Μπέης. (2017). *Επίδραζε η εο εθαζκν γήο βηοδεζρεηθώλ νζγαλνζκώλ ζελ ζίδα πεπλνγύθνι ηεζνύκελνπ ζε πδζνπλ ληθό ζύζθεα*. Μεηαπηςςιακή Γιαηπιβή Διδίκεςζηρ, Πανεπιζηήμιο Θεζζαλίαρ.
- Γεωργιορ Ν. Μαςπογιαννόποζλορ. (2014). *Υδζνπνλ ηθέο Εθαηζζήάζεηο* Δκδ. Αθ. Σηαμούληηρ
- Γημήηιορ Σάββαρ. (2012). *Και ηέζρεηο εθθόδαθνπο: Υδζνπνλ ία, πνλζζώκαηα*. Δκδ. Αγοτύπορ
- Εγρεζζηνλ πδζνπνλ ίαο ΙΓΕ*. (2014).
- Καπαμποςπνιώηηρ Γ., Λιακόποζλορ Γ. και Νικολόποζλορ Γ. (2012). *Φπζηνγία θαη πνλζζώκωλ ηωλ θηηώλ, νη κηηηπζγίεο ηωλ θηηώλ θάηω από αλκίμεο ζπλζήθεο πεζήβαη νληνα* Δκδ. Έμβπςο.
- Μπαμπαζζάνηηρ Κωνζηανηίνορ. (2006). *Σπυθζηηθή αμηνόγ εζε πνηόηεηαο θαζώλ κειηάο από δηαθνζεηθέο πεζηνγύθνι ηαι ηέζρεηα*. Πηςςιακή Γιαηπιβή, Πανεπιζηήμιο Θεζζαλίαρ.
- Ναοζνύληηρ Ι. (2024). *Μειέηε επίδραζεο ηεο επάηεηεο ρήζεο ηνπ απνζζέ νληνο ζζε πηθνύ δηαύκαηνο ζελ απνηεζκαηθόηεηα ρήζεο λεζνύ θαη ηηαζκάωλ κηαο δεπρεζύνπζαο θαη ηέζρεηα*. Μεηαπηςςιακή Γιαηπιβή Διδίκεςζηρ, Πανεπιζηήμιο Θεζζαλίαρ.
- Ολύμιορ Χ.Μ. (2001). *Η ηθλνθόηεηο Και ηέζρεηα ηωλ Κεπεηηθώλ ζην Θεζκνθήην*. Δκδ. Αθ. Σηαμούληηρ

- Abd-Elmoniem, E. M., Abdrabbo, M., Farag, A., & Medany, M. (2006). *Hydroponics for food production: Comparison of open and closed systems on yield and consumption of water and nutrient*. 1–8.
- AlShrouf, A. (2017). Hydroponics, aeroponic and aquaponic as compared with conventional farming. *Am. Sci. Res. J. Eng. Technol. Sci*, 27(1), 247–255.
- Avdouli, D., Max, J. F., Katsoulas, N., & Levizou, E. (2021). Basil as secondary crop in cascade hydroponics: Exploring salinity tolerance limits in terms of growth, amino acid profile, and nutrient composition. *Horticulturae*, 7(8), 203.
- Barrett, D. M., Weakley, C., Diaz, J. V., & Watnik, M. (2007). Qualitative and nutritional differences in processing tomatoes grown under commercial organic and conventional production systems. *Journal of food science*, 72(9), C441–C451.
- Bar-Yosef, B. (2008). Fertigation management and crops response to solution recycling in semi-closed greenhouses. *Soilless culture: Theory and practice*, 343–424.
- Brechner, M., Both, A., & Staff, C. (1996). Hydroponic lettuce handbook. *Cornell Controlled Environment Agriculture*, 834, 504–509.
- Elvanidi, A., Benitez Reascos, C. M., Gourzoulidou, E., Kunze, A., Max, J. F., & Katsoulas, N. (2020). Implementation of the circular economy concept in greenhouse hydroponics for ultimate use of water and nutrients. *Horticulturae*, 6(4), 83.
- Farsaraei, S., Moghaddam, M., & Pirbalouti, A. G. (2020). Changes in growth and essential oil composition of sweet basil in response of salinity stress and superabsorbents application. *Scientia Horticulturae*, 271, 109465.
- Garrity, S. R., Eitel, J. U., & Vierling, L. A. (2011). Disentangling the relationships between plant pigments and the photochemical reflectance index reveals a new

- approach for remote estimation of carotenoid content. *Remote Sensing of Environment*, 115(2), 628–635.
- Gitelson, A., & Merzlyak, M. N. (1994). Spectral reflectance changes associated with autumn senescence of *Aesculus hippocastanum* L. and *Acer platanoides* L. leaves. Spectral features and relation to chlorophyll estimation. *Journal of plant physiology*, 143(3), 286–292.
- Kováč, D., Veselovská, P., Klem, K., Večeřová, K., Ač, A., Peñuelas, J., & Urban, O. (2018). Potential of photochemical reflectance index for indicating photochemistry and light use efficiency in leaves of European beech and Norway spruce trees. *Remote Sensing*, 10(8), 1202.
- Massa, D., Magán, J. J., Montesano, F. F., & Tzortzakis, N. (2020). Minimizing water and nutrient losses from soilless cropping in southern Europe. *Agricultural water management*, 241, 106395.
- Maucieri, C., Nicoletto, C., Van Os, E., Anseeuw, D., Van Havermaet, R., & Junge, R. (2019). Hydroponic technologies. *Aquaponics food production systems*, 10, 978–3.
- Monje, O. A., & Bugbee, B. (1992). Inherent limitations of nondestructive chlorophyll meters: A comparison of two types of meters. *HortScience*, 27(1), 69–71.
- Muir, C. D., Hangarter, R. P., Moyle, L. C., & Davis, P. A. (2014). Morphological and anatomical determinants of mesophyll conductance in wild relatives of tomato (*Solanum* sect. *Lycopersicon*, sect. *Lycopersicoides*; Solanaceae). *Plant, Cell & Environment*, 37(6), 1415–1426.
- Neocleous, D., Ntatsi, G., & Savvas, D. (2017). Physiological, nutritional and growth responses of melon (*Cucumis melo* L.) to a gradual salinity built-up in recirculating nutrient solution. *Journal of Plant Nutrition*, 40(15), 2168–2180.

- Piñero, M. C., Otálora, G., Collado-González, J., López-Marín, J., & Del Amor, F. M. (2020). Differential effects of aquaponic production system on melon (*Cucumis melo* L.) fruit quality. *Journal of agricultural and food chemistry*, 68(24), 6511–6519.
- Rincón Sánchez, L., Sáez Sironi, J., Pérez Crespo, J., & Madrid, R. (1993). *Growth and nutrient absorption by muskmelon crop under greenhouse conditions*. 153–160.
- Savvas, D., & Gruda, N. (2018). Application of soilless culture technologies in the modern greenhouse industry—A review. *Eur. J. Hortic. Sci*, 83(5), 280–293.
- Schmautz, Z., Loeu, F., Liebisch, F., Graber, A., Mathis, A., Griessler Bulc, T., & Junge, R. (2016). Tomato productivity and quality in aquaponics: Comparison of three hydroponic methods. *Water*, 8(11), 533.
- Tsoumalakou, E., Mente, E., Vlahos, N., & Levizou, E. (2023). Spinach Responds to Minimal Nutrient Supplementation in Aquaponics by Up-Regulating Light Use Efficiency, Photochemistry, and Carboxylation. *Horticulturae*, 9(3), 291.
- Varlagas, H., Savvas, D., Mouzakis, G., Liotsos, C., Karapanos, I., & Sigrimis, N. (2010). Modelling uptake of Na⁺ and Cl[−] by tomato in closed-cycle cultivation systems as influenced by irrigation water salinity. *Agricultural water management*, 97(9), 1242–1250.