



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
& ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Αριθμ. Πρωτοκ.

409

Ημερ. Πρωτοκ.

25-2-2015

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ
ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΚΑΙ
ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

«Επίδραση κλειστών και ημίκλειστων υδροπονικών συστημάτων στην
ανάπτυξη και παραγωγή θερμοκηπιακής καλλιέργειας τομάτας»

Μαρία Σπυριδάκη

Επιβλέπων: Επίκουρος

Καθηγητής Κατσούλας Νικόλαος

ΠΑΠ
5
Υ

ΒΟΛΟΣ 2015



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.: 13871/1
Ημερ. Εισ.: 13/3/2015
Δωρεά: Συγγραφέα
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ-ΦΠΑΠ
2015
ΣΠΥ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ
ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΚΑΙ
ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

**«Επίδραση κλειστών και ημίκλειστων υδροπονικών
συστημάτων στην ανάπτυξη και παραγωγή θερμοκηπιακής
καλλιέργειας τομάτας»**



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΣΠΥΡΙΔΑΚΗ ΜΑΡΙΑ

Επιβλέπων Επ.Καθηγητής κ.Κατσούλας Νικόλαος

ΒΟΛΟΣ 2015

Ευχαριστίες

Προτού προχωρήσω στην ανάλυση της πτυχιακής μου διατριβής, θα ήθελα να ευχαριστήσω τα άτομα που με στήριξαν και με βοήθησαν καθόλη την διάρκεια διεξαγωγής του πειράματος.

Αρχικά θέλω να ευχαριστήσω τον *Κ.Κατσούλα Νικόλαο*, Επίκουρο Καθηγητή του Τμήματος Γεωπονίας και Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, για την πολύτιμη βοήθειά και στήριξη που μου παρείχε σε όλη την διάρκεια του πειράματος καθώς και για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με το αντικείμενο των υδροπονικών καλλιεργειών.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον *Κ.Κίττα Κωνσταντίνο*, Καθηγητή και Διευθυντή του Εργαστηρίου Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος, καθώς και τον *Κ.Λύκα Χρήστο*, Λέκτορα Ανθοκομίας του Τμήματος Γεωπονίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας για την συμμετοχή τους στη συμβουλευτική επιτροπή.

Ακόμη ευχαριστώ την *Κ.Γκόλια Ευαγγελία*, μέλος ΕΔΙΠ του Τμήματος Γεωπονίας και Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, τον *Γιαννακό Ηλία*, υπεύθυνο διαχείρισης θερμοκηπίων στο Αγρόκτημα του Πανεπιστημίου στο Βελεστίνο καθώς και την *Ντούλα Ευλαμπία*, μεταπτυχιακή φοιτήτρια στο τμήμα Γεωπονίας στο Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, για την πολύτιμη βοήθεια τους και για τα εφόδια και γνώσεις που μου έδωσαν ώστε να καταφέρω να ολοκληρώσω το πείραμα μου.

Θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στη στενή μου φίλη και συμφοιτήτρια μου, *Αδάμου Ελένη*, για την συμπαράσταση και την υποστήριξη της καθόλη την διάρκεια των σπουδών μου.

Τέλος, ευχαριστώ πολύ την οικογένεια μου για την υπομονή και την υποστήριξή τους καθώς και για τα εφόδια που μου παρείχαν ώστε να μπορέσω να ολοκληρώσω με επιτυχία τις σπουδές μου.

Σπυριδάκη Μαρία

Βόλος 2015

Περίληψη

Ο κλάδος των θερμοκηπίων στην Ελλάδα έχει γνωρίσει μεγάλη ανάπτυξη λόγω του ήπιου κλίματος της σε πολλές περιοχές αλλά και λόγω των πολλών πλεονεκτημάτων που διαθέτει συγκριτικά με την καλλιέργεια στο έδαφος. Όμως τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μια στασιμότητα του κλάδου η οποία οφείλεται στην αύξηση του διεθνούς ανταγωνισμού και στο υψηλό κόστος παραγωγής προϊόντων εκτός εποχής σε περιοχές όπου οι κλιματικές συνθήκες δεν είναι τόσο ευνοϊκές.

Η μέθοδος της υδροπονίας με τη σωστή διαχείριση των απορροών και την σωστή εφαρμογή των γνώσεων που απαιτούνται, καθιστά τον κλάδο των θερμοκηπίων ανταγωνιστικό και βιώσιμο.

Η ανακύκλωση του θρεπτικού διαλύματος στην υδροπονική μέθοδο καλλιέργειας είναι φιλική προς το περιβάλλον, αφού η σπατάλη νερού και η απόρριψη των θρεπτικών συστατικών στο περιβάλλον μειώνονται σημαντικά. Όμως η μακροπρόθεσμη ανακύκλωση των απορροών προκαλεί τη συσσώρευση Na^+ και Cl^- στο ανακυκλώσιμο θρεπτικό διάλυμα με αποτέλεσμα να δημιουργείται αυξημένη αλατότητα στο περιβάλλον της ρίζας των φυτών.

Σύμφωνα με μελέτες έχει βρεθεί ότι η αυξανόμενη αλατότητα επηρεάζει αρνητικά τόσο την ανάπτυξη των φυτών όσο και την μετέπειτα παραγωγή τους.

Σκοπός αυτής της εργασίας είναι η μελέτη της επίδρασης της αλατότητας στην ανάπτυξη, στη φυλλική επιφάνεια καθώς και στην παραγωγή φυτών ντομάτας που καλλιεργήθηκαν με υδροπονική μέθοδο. Για την μελέτη αυτή χρησιμοποιήθηκαν και συγκρίθηκαν με βάση τους παραπάνω παράγοντες 3 διαφορετικές μεταχειρίσεις, ένα κλειστό, ένα ανοιχτό και ένα ημίκλειστο σύστημα.

Η πειραματική περίοδος διήρκεσε από τον Μάρτιο του 2012 ως τον Ιούλιο του 2012.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την συγκεκριμένη μελέτη, δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές στατιστικά διαφορές μεταξύ των παραπάνω παραγόντων οι οποίοι υποβλήθηκαν στις 3 διαφορετικές μεταχειρίσεις.

Οπότε μπορούμε να θεωρήσουμε ότι είναι δυνατή η καθιέρωση της φιλοσοφίας ενός κλειστού και ημίκλειστου συστήματος καλλιέργειας έτσι ώστε να εξασφαλίσουμε τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα στην παραγωγή πετυχαίνοντας ταυτόχρονα εξοικονόμηση νερού και προστασία του περιβάλλοντος.

Όμως θα χρειαστούν ακόμα αρκετές μελέτες και έρευνες πάνω στο συγκεκριμένο θέμα ώστε να δημιουργηθεί μια πιο ολοκληρωμένη άποψη.

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	6
1.1. ΓΕΝΙΚΑ.....	7
1.1.1. ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ.....	7
1.1.2. ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....	8
1.2. ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ.....	10
1.2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ.....	10
1.2.2. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΥΔΡΟΠΟΝΙΑΣ.....	10
1.2.3. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ.....	11
1.2.4. ΚΑΛΛΙΕΡΓΟΥΜΕΝΕΣ ΕΚΤΑΣΕΙΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ ΥΔΡΟΠΟΝΙΑΣ.....	12
1.3. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ.....	14
2.1. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ.....	15
2.2. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ.....	16
2.3. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗ ΦΥΛΛΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ.....	17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	18
3.1. ΤΟΠΟΣ ΔΙΕΞΑΓΩΓΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ.....	19
3.2. ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ.....	19
3.2.1. ΥΛΙΚΟ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ.....	19
3.2.2. ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ.....	19
3.2.3. ΑΕΡΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ.....	19
3.3. Η ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ.....	19
3.4. ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΙΚΕΣ ΦΡΟΝΤΙΔΕΣ.....	20
3.5. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ.....	21
3.6. ΘΡΕΠΤΙΚΟ ΔΙΑΛΥΜΑ.....	22
3.7. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ.....	23
3.7.1. ΥΨΟΣ ΦΥΤΩΝ.....	23
3.7.2. ΦΥΛΛΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ.....	23
3.7.3. ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ.....	23
3.7.4. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ.....	24
3.7.5. ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.....	24
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	25

4.1. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ ΓΙΑ ΤΙΣ 3 ΜΕΤΑΧΕΙΡΙΣΕΙΣ.....	26
4.2. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ ΓΙΑ ΤΙΣ 3 ΜΕΤΑΧΕΙΡΙΣΕΙΣ.....	27
4.3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΦΥΛΛΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΓΙΑ ΤΙΣ 3 ΜΕΤΑΧΕΙΡΙΣΕΙΣ.....	29
4.4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.....	31
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	41
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	44

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1.ΓΕΝΙΚΑ

1.1.1. ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ

Θερμοκήπιο είναι μια κατασκευή, η οποία καλύπτεται με διαφανές υλικό, ώστε να είναι δυνατή η είσοδος όσο το δυνατόν περισσότερου φυσικού φωτισμού, που είναι απαραίτητος στην ανάπτυξη των φυτών.

Τα θερμοκήπια μπορεί να είναι εξοπλισμένα με συμβατικό σύστημα θέρμανσης ή όχι. Διαφέρουν από άλλες παρόμοιες κατασκευές, όπως π.χ. τα χαμηλά σκέπαστρα, τα σπορεία και τα θερμοσπορεία, στο ότι είναι αρκετά ευρύχωρα, έτσι ώστε να μπορεί ο άνθρωπος να εργάζεται μέσα σε αυτά.

Πλην των άλλων χαρακτηριστικών τους που αφορούν την παραγωγή των φυτών, το θερμοκήπιο προσφέρει και προστασία των εργαζόμενων μέσα σε αυτό από αντίξοες καιρικές συνθήκες.

Ο σκοπός χρησιμοποίησης των θερμοκηπίων στην παραγωγή γεωργικών προϊόντων είναι η τροποποίηση ή η ρύθμιση πολλών από τους παράγοντες του περιβάλλοντος που επιδρούν στην ανάπτυξη και παραγωγή των φυτών.

Με το θερμοκήπιο γενικά:

- Αποφεύγονται ζημιές από χαλάζι, αέρα, βροχή και χιόνι
- Ανάλογα με τον εξοπλισμό του, παρέχεται η δυνατότητα ρύθμισης των παραγόντων του περιβάλλοντος της κόμης των φυτών, όπως της ακτινοβολίας, της θερμότητας, της υγρασίας και του διοξειδίου του άνθρακα.
- Παρέχεται η δυνατότητα ρύθμισης των παραγόντων του περιβάλλοντος της ρίζας των φυτών, όπως της υγρασίας, του οξυγόνου, της θερμότητας, των ανόργανων θρεπτικών στοιχείων και του ΡΗ, που με τη χρήση κατάλληλων εδαφικών υποστρωμάτων ή υδροπονικών καλλιεργειών, μπορούν να φθάσουν με ακρίβεια τις απαιτήσεις των φυτών.
- Παρέχεται η δυνατότητα αποτελεσματικότερης φυτοπροστασίας από ασθένειες και έντομα, λόγω περιορισμένου χώρου και εξειδικευμένου εξοπλισμού.

Ειδικότερα σε θερμοκήπια στα οποία γίνεται μια απλή τροποποίηση του περιβάλλοντος των φυτών μόνο με τη κατασκευή, χωρίς εξειδικευμένο εξοπλισμό, επιτυγχάνεται συνήθως:

- Πρώιμη ή όψιμη παραγωγή φυτικών προϊόντων
- Αποφυγή ζημιών στα φυτά και την παραγωγή από αέρα, βροχή, χαλάζι κ.τ.λ.

Στα θερμοκήπια στα οποία γίνεται ακριβής ρύθμιση των παραγόντων του περιβάλλοντος των φυτών, με εξειδικευμένο εξοπλισμό στην κάθε περίπτωση, μπορεί να επιτευχθεί:

- Χρονικός προγραμματισμός της παραγωγής, ώστε να σταλεί στην αγορά σε συγκεκριμένη χρονική στιγμή, ανεξάρτητα από τις καιρικές συνθήκες που θα επικρατήσουν στον έξω χώρο.
- Αύξηση της παραγωγής και βελτίωση της ποιότητας, λόγω της βελτίωσης των συνθηκών του περιβάλλοντος και της προστασίας που προσφέρει το θερμοκήπιο από τα αντίζοα καιρικά φαινόμενα.

Επιπλέον, ένα σύγχρονο θερμοκήπιο δεν αρκεί μόνο να προσφέρει τη δυνατότητα για τη δημιουργία και διατήρηση του ευνοϊκού περιβάλλοντος για την ανάπτυξη και παραγωγή των φυτών, αλλά θα πρέπει να παρέχει και τη δυνατότητα κάθε φορά για την παραγωγή φυτικών προϊόντων με το μικρότερο δυνατό κόστος.

Η ακρίβεια με την οποία ρυθμίζεται το περιβάλλον ανάπτυξης των φυτών και η δαπάνη για τη δημιουργία αυτού του περιβάλλοντος στο θερμοκήπιο προσδιορίζεται από:

- Τη σωστή κατασκευή
- Τον κατάλληλο εξοπλισμό
- Την ικανότητα του καλλιεργητή να χειριστεί και να καταναείμει τα διαθέσιμα εφόδια

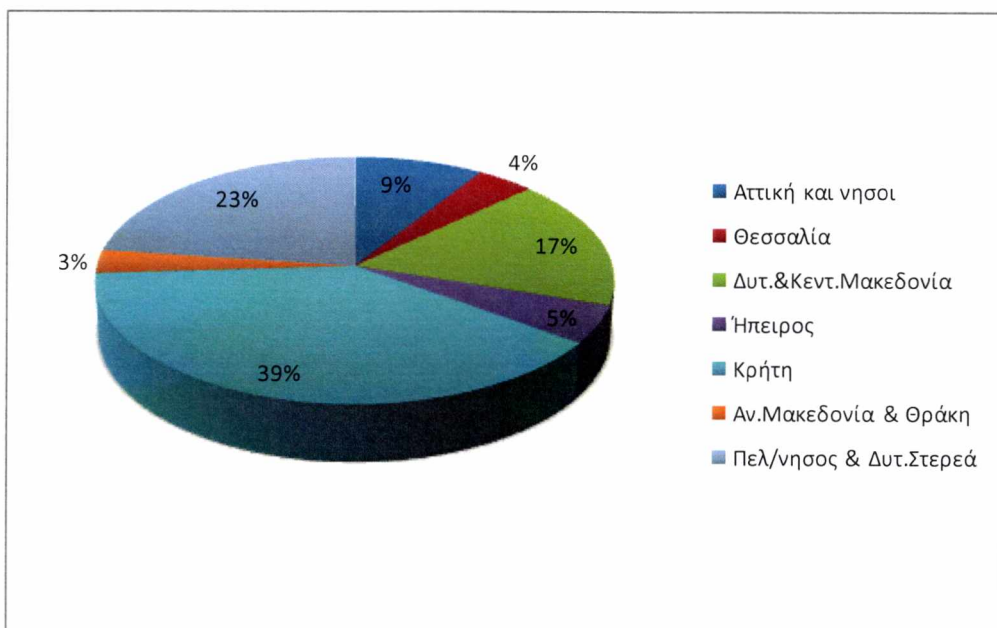
1.1.2. ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Στη χώρα μας οι πρώτες συστηματικές εγκαταστάσεις θερμοκηπίων ξεκίνησαν το 1955 και αποτελούνταν από υαλόφρακτα θερμοκήπια για παραγωγή καλλωπιστικών φυτών. Η σημαντική όμως εξάπλωσή τους αρχίζει μετά το 1961, με τη χρησιμοποίηση του πλαστικού φύλλου πολυαιθυλενίου ως υλικού κάλυψης των θερμοκηπίων. Η ευκολία προσαρμογής του υλικού αυτού σε οποιοδήποτε σχήμα σκελετού και η χαμηλή του τιμή επέτρεψαν στους καλλιεργητές να κατασκευάσουν μόνοι τους θερμοκήπια για παραγωγή πρώιμων κηπευτικών, χωρίς να χρειάζονται μεγάλα κεφάλαια.

Αργότερα δημιουργήθηκαν και αρκετές βιομηχανίες κατασκευής θερμοκηπίων, οι οποίες βελτίωσαν σημαντικά τις κατασκευές. Έτσι παρατηρήθηκε μια σημαντική ανάπτυξη των θερμοκηπίων, τα οποία έφτασαν στα 46.441 στρέμματα το 2003 (Γ.Ν.Μαυρογιαννόπουλος, 2005).

Οι σημαντικότεροι παράγοντες που συνετέλεσαν στην αύξηση των θερμοκηπιακών εκτάσεων στην Ελλάδα είναι:

- Οι εδαφοκλιματικές συνθήκες της χώρας
- Το ήπιο κλίμα που επικρατεί σε πολλές περιοχές είναι ευνοϊκό και παρέχει τη δυνατότητα καλλιέργειας σε πολύ απλές κατασκευές χωρίς ακριβό εξοπλισμό.
- Η ανάγκη εξασφάλισης υψηλότερου εισοδήματος από μικρής έκτασης γεωργικό έδαφος
- Η αύξηση της ζήτησης των θερμοκηπιακών προϊόντων στην εσωτερική αγορά
- Η γεωργική πολιτική του κράτους που ενθάρρυνε την προώθηση των καλλιεργειών αυτών με τη θέσπιση οικονομικών κινήτρων και την εκτέλεση αρδευτικών και άλλων έργων.



Πίνακας 1 Κατανομή των θερμοκηπιακών εκτάσεων στην Ελλάδα

1.2. ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ

1.2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

Υδροπονία ή χωρίς έδαφος καλλιέργεια είναι η χρήση οποιασδήποτε μεθόδου καλλιέργειας φυτών που δεν έχει σχέση με το φυσικό έδαφος ή με ειδικά μείγματα εδάφους. Αναφέρεται μερικές φορές και ως τεχνητή καλλιέργεια και ανέδαφος γεωργία. Ο τελευταίος όρος χρησιμοποιείται ιδιαίτερα, όταν χρησιμοποιούνται οργανικά ή άλλα μη αδρανή υποστρώματα.

Με τη μέθοδο της υδροπονίας τα φυτά καλλιεργούνται είτε πάνω σε πορώδη αδρανή υποστρώματα στα οποία προστίθεται θρεπτικό διάλυμα ή σε σκέτο θρεπτικό διάλυμα.

Υποστρώματα είναι πορώδη υλικά που δεν προκαλούν φυτοτοξικότητα και χρησιμοποιούνται για να υποκαταστήσουν το έδαφος ως μέσου ανάπτυξης του ριζικού συστήματος των φυτών. Διακρίνονται σε:

- Χημικά αδρανή υποστρώματα (χωρίς ανταλλαγή κατιόντων)
- Χημικά ενεργά υποστρώματα (με ανταλλαγή κατιόντων)

Θρεπτικό διάλυμα είναι ένα αραιό υδατικό διάλυμα όλων των θρεπτικών στοιχείων που είναι απαραίτητα για τα φυτά, τα οποία βρίσκονται διαλυμένα στο νερό.

1.2.2. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΥΔΡΟΠΟΝΙΑΣ

Τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει η υδροπονική καλλιέργεια είναι:

- Με τη βελτιστοποίηση του περιβάλλοντος της ρίζας που επιτυγχάνεται, αυξάνονται οι αποδόσεις των φυτών και βελτιώνεται η ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων.
- Παρέχει τη δυνατότητα καλλιέργειας φυτών σε περιοχές με πολύ κακής ποιότητας εδάφη.
- Παρέχει στη ρίζα άφθονο οξυγόνο και άφθονο νερό το οποίο έχει διαλυμένα όλα τα απαραίτητα ανόργανα θρεπτικά στοιχεία στη σωστή τους αναλογία.
- Διαθεσιμότητα θρεπτικών στοιχείων στη ρίζα
- Απαλλαγή των φυτών από ασθένειες εδάφους και επομένως μείωση του κόστους απολύμανσης που επιβαρύνει την επιχείρηση.
- Εξοικονόμηση νερού και θρεπτικών στοιχείων
- Αποφυγή ρύπανσης του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα με λιπαντικά στοιχεία.
- Ευκολότερη τεχνικά ρύθμιση του θερμικού περιβάλλοντος της ρίζας.
- Δημιουργία ευχάριστου περιβάλλοντος για τον εργαζόμενο
- Περιορισμός της σκληρής χειρωνακτικής εργασίας
- Απλοποίηση του προγράμματος των εργασιών της παραγωγικής επιχείρησης.

Τα σημαντικότερα μειονεκτήματα που παρουσιάζει η υδροπονική καλλιέργεια είναι:

- Είναι σχετικά ευαίσθητα συστήματα καλλιέργειας
- Απαιτούνται εξειδικευμένες γνώσεις του καλλιεργητή
- Απαιτεί μεγαλύτερο βαθμό τεχνικής επιδεξιότητας και καλή γνώση των επιπτώσεων των παραγόντων του περιβάλλοντος στην ανάπτυξη και παραγωγή των φυτών.

Η άποψη ότι στην υδροπονία τα φυτά καλλιεργούνται σε ανόργανα χημικά διαλύματα και επομένως είναι κατώτερης θρεπτικής αξίας είναι απλοϊκή, γιατί και στην καλλιέργεια του εδάφους, με εξαίρεση την οργανική καλλιέργεια, τα φυτά καλλιεργούνται με τη χρήση χημικών λιπασμάτων και μάλιστα στην υδροπονία τα λιπάσματα που χρησιμοποιούνται είναι πολύ πιο καθαρά και απαλλαγμένα βαρέων μετάλλων.

Γενικά τα προϊόντα της υδροπονικής καλλιέργειας δεν διαφέρουν σε γεύση και σε άρωμα από αυτά που καλλιεργούνται στο έδαφος και μάλιστα έχει αποδειχθεί ότι περιέχουν ανόργανα στοιχεία και βιταμίνες ακριβώς στην ίδια ποσότητα με τα υψηλής ποιότητας προϊόντα του εδάφους.

1.2.3. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ

Σε όλες τις μεθόδους υδροπονικών καλλιεργειών το νερό και τα ανόργανα θρεπτικά στοιχεία (λιπάσματα) τροφοδοτούνται μαζί στη ρίζα των φυτών. Το διάλυμα νερού και ανόργανων θρεπτικών στοιχείων είναι το θρεπτικό διάλυμα. Για την διάθεση του θρεπτικού διαλύματος στα φυτά χρησιμοποιούνται δύο τρόποι:

A) Τα κλειστά συστήματα (ανακύκλωση του θρεπτικού διαλύματος)

B) Τα ανοιχτά συστήματα (χωρίς ανακύκλωση του θρεπτικού διαλύματος)

A) Κλειστά συστήματα:

Στα κλειστά συστήματα το θρεπτικό διάλυμα οδηγείται με το σύστημα άρδευσης στα φυτά και αυτό που στραγγίζει από το περιβάλλον της ρίζας τους οδηγείται πίσω στη δεξαμενή, διορθώνεται ως προς το PH και την ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) και ξαναχρησιμοποιείται για την τροφοδοσία των φυτών.

Όλα τα ιόντα που υπάρχουν στο θρεπτικό διάλυμα απορροφώνται από το ριζικό σύστημα ή παραμένουν στο διάλυμα με αποτέλεσμα να αυξάνουν συνεχώς την αλατότητα του. Για αυτό τον λόγο σε αυτά τα συστήματα απαιτείται καλύτερης ποιότητας νερό (μπορεί να περιέχει άχρηστα ιόντα π.χ Na) και η καθαρότητα των λιπασμάτων καθώς και η παρασκευή των διαλυμάτων χρειάζεται μεγαλύτερη προσοχή.

Στα κλειστά συστήματα μπορεί να χρησιμοποιηθεί πορώδες υπόστρωμα ή όχι. Όταν χρησιμοποιείται πορώδες υπόστρωμα, η ροή του θρεπτικού διαλύματος είναι συνήθως ασυνεχής, γιατί το υπόστρωμα παίζει το ρόλο μικρής δεξαμενής θρεπτικού διαλύματος για τη ρίζα. Όταν δεν χρησιμοποιείται πορώδες υπόστρωμα, τότε η ροή του θρεπτικού διαλύματος στη ρίζα είναι συνήθως συνεχής.

Γενικά ο ρυθμός ροής του θρεπτικού διαλύματος είναι μεγάλος και έτσι δεν παρουσιάζεται έλλειψη θρεπτικών στοιχείων στο ριζικό σύστημα.

B) Ανοιχτά συστήματα:

Στα ανοιχτά συστήματα το θρεπτικό διάλυμα που στραγγίζει από τις ρίζες μετά την τροφοδοσία των φυτών απορριπτεται. Γενικά, οι απώλειες κατιόντων στα ανοιχτά υδροπονικά συστήματα είναι μεγαλύτερες από ότι στα κλειστά και περίπου ίδιες με αυτές των αρδευόμενων καλλιεργειών εδάφους.

Τα συστήματα αυτά είναι πολύ εύκολο να τα διαχειριστεί κάποιος, γιατί το περιβάλλον της ρίζας επηρεάζεται περισσότερο από τη σύνθεση του θρεπτικού διαλύματος με το οποίο τροφοδοτούνται. Οποιαδήποτε υπερβολική συγκέντρωση κάποιου ιόντος υπέρχει στην περιοχή της ρίζας, λόγω μειωμένης απορρόφησης, θα παρασυρθεί με το νερό της στράγγισης και θα απομακρυνθεί από το περιβάλλον της ρίζας.

Σχεδόν σε όλα τα ανοιχτά συστήματα χρησιμοποιείται πορώδες υπόστρωμα για την καλλιέργεια και η ροή του θρεπτικού διαλύματος στη ρίζα είναι ασυνεχής. Για να μην παρουσιαστεί πρόσκαιρη έλλειψη θρεπτικών στοιχείων στη ρίζα ούτε μεγάλη σπατάλη, η συχνότητα άρδευσης θα πρέπει να είναι σε άμμεση σχέση με το ρυθμό απορρόφησης του νερού και των θρεπτικών στοιχείων από τη ρίζα.

1.2.4. ΚΑΛΛΙΕΡΓΟΥΜΕΝΕΣ ΕΚΤΑΣΕΙΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ ΥΔΡΟΠΟΝΙΑΣ

Η υδροπονική καλλιέργεια φυτών έχει γίνει σήμερα δημοφιλής σε πάρα πολλές περιοχές του κόσμου. Οι καλλιεργούμενες εκτάσεις στην Ολλανδία έχουν φτάσει σήμερα πάνω από 100.000 στρέμματα (Γ.Ν.Μαυρογιαννόπουλος, 2006). Σχεδόν όλα τα παραγόμενα κηπευτικά σε αυτή τη χώρα παράγονται υδροπονικά. Στη Βόρειο Αμερική εκτιμάται ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των καρποφόρων λαχανικών, που καταναλώνονται, παράγονται υδροπονικά.

Η καλλιεργούμενη έκταση στην Ελλάδα είναι περίπου 2.000 στρέμματα και γίνεται με τη μέθοδο του ορυκτοβάμβακα, μεμβράνης θρεπτικού διαλύματος, σάκων περλίτη, σάκων ελαφρόπετρας κ.τ.λ.

Η συνολική έκταση σε όλον τον κόσμο εκτιμάται κάπως μικρότερη από 600.000 στρέμματα (Γ.Ν.Μαυρογιαννόπουλος, 2006).

1.3. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κύριος σκοπός αυτής της εργασίας είναι να αναλύσει και να συγκρίνει την αύξηση και την ανάπτυξη των φυτών ντομάτας μεταξύ κλειστού, ημίκλειστου και ανοιχτού υδροπονικού συστήματος.

Επίσης στόχος της παρούσας εργασίας αποτελεί και η σύγκριση των αποτελεσμάτων παραγωγής της καλλιέργειας ντομάτας μεταξύ των παραπάνω υδροπονικών συστημάτων.

Το Κεφάλαιο 1 περιλαμβάνει μια γενική εισαγωγή για τον κλάδο των θερμοκηπιακών καλλιεργειών στη χώρα μας καθώς και τους τύπους θερμοκηπίων που υπάρχουν. Στη συνέχεια γίνεται αναφορά για τις υδροπονικές καλλιέργειες, τα οφέλη και τα μειονεκτήματά τους, τα υδροπονικά συστήματα καθώς και τις καλλιεργούμενες εκτάσεις με τη συγκεκριμένη μέθοδο.

Στο Κεφάλαιο 2 γίνεται μια βιβλιογραφική ανασκόπηση σύμφωνα με διεθνείς έρευνες σχετικά με την επίδραση της αλατότητας στη φυλλική επιφάνεια των φυτών αλλά και με την επίδραση των υδροπονικών συστημάτων στην παραγωγή και την ανάπτυξη των φυτών.

Στο Κεφάλαιο 3 αναφέρονται όλα τα υλικά και οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν ώστε να ολοκληρωθεί με επιτυχία το πείραμα.

Στο Κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται όλα τα αποτελέσματα του πειράματος, η ανάλυση και ο σχολιασμός τους και γίνεται μια σύγκριση με προυπάρχοντα αποτελέσματα.

Στο Κεφάλαιο 5 παρατίθενται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τα αποτελέσματα του πειράματος και προτείνονται λύσεις για βελτιστοποίηση της χρήσης της υδροπονικής μεθόδου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

2.1.ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ

Οι περισσότεροι καρποί λαχανικών είναι ευαίσθητοι ή μέτρια ευαίσθητοι στην αλατότητα (υψηλή EC) και η μείωση παραγωγής είναι αναμενόμενη στα μέτρια επίπεδα αλατότητας στο περιβάλλον της ρίζας. (*Maas and Hoffman, 1977*).

Με σκοπό να εμποδιστεί η μείωση παραγωγής λόγω αλατότητας, η υιοθέτηση ενός «κλειστού» συστήματος θα χρειαστεί πιθανότητα περιοδικές εκκενώσεις του ανακυκλωμένου θρεπτικού διαλύματος, ώστε να διατηρηθεί η αλατότητα στο περιβάλλον της ρίζας κάτω από το κρίσιμο όριο (*Magan et al., 2005*), σχηματίζοντας έτσι ένα «ημί-κλειστό» σύστημα.

Σε γενικές γραμμές, η αντίδραση της παραγωγής ντομάτας στην αυξανόμενη αλατότητα ακολουθεί το μοντέλο των *Mass and Hoffman* (*Mass and Hoffman, 1977*), όπου η παραγωγή μειώνεται γραμμικά όταν η ηλεκτρική αγωγιμότητα στο περιβάλλον της ρίζας ξεπεράσει το άριστο επίπεδο. Η παραγωγή εκφράζεται ως ποσοστό μιας δεδομένης μέσης αλατότητας στο περιβάλλον της ρίζας (EC_e) που ξεπερνάει το άριστο επίπεδο και υπολογίζεται από τον τύπο:

$$Y_r = 100 - s(EC_e - EC_t)$$

όπου s =η ποσοστιαία μείωση παραγωγής ανά μονάδα αύξησης της αλατότητας πάνω από το άριστο επίπεδο

EC_t =η μέγιστη αλατότητα που μπορεί να υπάρξει στο περιβάλλον της ρίζας χωρίς μείωση της παραγωγής

Στην Ισπανία οι *Magan, Gallardo, Thompson* και *Lorenzo* πραγματοποίησαν 3 πειράματα σχετικά με την επίδραση της αλατότητας στην παραγωγή ντομάτας και για την ποιότητα των καρπών σε πλαστικά θερμοκήπια με την υδροπονική μέθοδο με διαφορετικές μεταχειρίσεις.

Στο πρώτο πείραμα μελετήθηκε η αντίδραση της παραγωγής σε 7 διαφορετικά επίπεδα ηλεκτρικής αγωγιμότητας (2.5-8.0 ds m⁻¹) και στα πειράματα 2&3 σε 5 επίπεδα ηλεκτρικής αγωγιμότητας (2.5-8.5 ds m⁻¹).

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η συνολική και εμπορεύσιμη παραγωγή μειώθηκε σημαντικά καθώς η αλατότητα αυξανόταν και στα 3 πειράματα. Η παραγωγή παρέμενε σταθερή όσο η τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) κυμαινόταν από 3 ως 4 ds m⁻¹ και μειωνόταν γραμμικά με περαιτέρω αυξήσεις της EC. Τα άριστα όρια της EC για την συνολική παραγωγή για τα πειράματα 1, 2, 3 ήταν 3.6, 3.1, 2.9 ds m⁻¹ αντίστοιχα με μέσο όρο 3.2 ds m⁻¹.

Τέλος πρέπει να σημειωθεί ότι η υψηλή αλατότητα μειώνει εκτός από την παραγωγή και το μέγεθος του καρπού αλλά βελτιώνει τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά ποιότητας του (*Sonneveld and van der Burg, 1991, Cuartero and Fernandez-Munoz, 1999, Eltez et al., 2002*).

2.2.ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ

Σύμφωνα με μελέτες η αλατότητα επηρεάζει όχι μόνο την παραγωγή των φυτών ντομάτας, όπως προαναφέρθηκε στο υποκεφάλαιο 2.1, αλλά και την ανάπτυξή τους.

Η αλατότητα έχει μεγάλη επίδραση στην αύξηση και στην ανάπτυξη (Munns, 2002). Υψηλή συγκέντρωση άλατος στο περιβάλλον της ρίζας μειώνει το υδατικό δυναμικό του εδάφους και τη διαθεσιμότητα του νερού (Arndt et al., 2000). Ως αποτέλεσμα αυτού, η μείωση περιεκτικότητας σε νερό οδηγεί σε αφυδάτωση σε κυτταρικό επίπεδο και παρατηρείται οσμωτικό στρες. Επίσης οι υψηλές θερμοκρασίες και η χαμηλή σχετική υγρασία συμβάλλουν στην αναστολή ανάπτυξης και μεγέθυνσης των φυτών (Sato et al., 2006). Η σχετική περιεκτικότητα ενός φυτού σε νερό (relative water content-RWC) μπορεί να υπολογιστεί από τον τύπο:

$$RWC(\%) = (FW - DW / FW) * 100$$

Όπου **FW** (fresh weight)= χλωρό βάρος

DW (dry weight)= ξηρό βάρος

Στην Ιορδανία οι *S.M.Shiyab et al.* πραγματοποίησαν ένα πείραμα σχετικά με την επίδραση της αλατότητας στην ανάπτυξη των φυτών ντομάτας.

Σύμφωνα με το πείραμα, σπορόφυτα 28 ημερών τοποθετήθηκαν για 37 μέρες σε γυάλινα φλασκιά των 1000 mL που περιείχαν το διάλυμα του Hoagland (Hoagland and Arnon, 1950). Τα φυτά ήρθαν σε επαφή με διαφορετικά επίπεδα αλατότητας τα οποία προκλήθηκαν από τις διαφορετικές περιεκτικότητες NaCl (0.0, 50, 100, 150, 200 mM) στο θρεπτικό διάλυμα.

Τα αποτελέσματα του πειράματος έδειξαν ότι αυξάνοντας τα επίπεδα της αλατότητας μειώθηκαν οι περισσότεροι παράμετροι ανάπτυξης (μήκος βλαστού, αριθμού βλαστών, αριθμού φύλλων και ξηρό βάρος). Οι σημαντικότερες μειώσεις έγιναν όταν η αλατότητα ήταν 150 mM ή υψηλότερη. Το ύψος των φυτών που υποβάλλονταν σε υψηλή αλατότητα (200 mM) υπολογίστηκε ότι ήταν 22% χαμηλότερο συγκρινόμενο με τα φυτά-μάρτυρες. Επίσης τα συνολικά χλωρά και ξηρά βάρη των φυτών μειώθηκαν σημαντικά.

Η αυξημένη αλατότητα μείωσε σημαντικά την ακατέργαστη πρωτεΐνη και τις ίνες σε βλαστούς και ρίζα. Η περιεκτικότητα σε νερό μειώθηκε κατά 2.3% για τους βλαστούς και 3.2% για τις ρίζες όταν η αλατότητα έφτασε τα 200 mM.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η αλατότητα όχι μόνο καθυστερεί την ανάπτυξη της ρίζας αλλά αυξάνει το μήκος νεκρών ριζών σε γενοτύπους πολύ ευαίσθητους σε αυτή (Snapp and Shennan, 1992).

Τέλος πρέπει να αναφέρουμε ότι οι μειώσεις στην ανάπτυξη λόγω αύξησης της αλατότητας θα μπορούσαν να οφείλονται στην προσαρμογή του οσμωτικού

δυναμικού (Gangopadhyay et al., 1997; Arndt et al., 2000; Kerepesi and Galiba, 2002).

2.3. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗ ΦΥΛΛΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ

Οι *Li et al.* πραγματοποίησαν 3 πειράματα όπου μελετήθηκαν οι επιδράσεις της αλατότητας στην φυλλική επιφάνεια σύμφωνα με διαφορετικές μεταχειρίσεις (EC: 6.5, 8 και 9.5 dS m⁻¹) και τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν με μια EC αναφοράς 2 dS m⁻¹.

Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι μειώσεις παρατηρήθηκαν μόλις η EC υπερέβη το όριο του 6.5 dS m⁻¹. Η αθροιστική φυλλική επιφάνεια μειωνόταν κατά 8% για κάθε μονάδα EC που ξεπερνούσε τα 6.5 dS m⁻¹. Αυτό εν μέρει αντισταθμίστηκε από μια μικρή αύξηση (2% ανά μονάδα EC) του αριθμού των φύλλων, το οποίο εξηγεί γιατί η αθροιστική φυλλική επιφάνεια μειώθηκε με την αύξηση της EC πάνω από 6.5 dS m⁻¹.

Συνεπώς ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI) μειώθηκε κατά 20% συγκρινόμενος με τον LAI της EC αναφοράς (2 dS m⁻¹).

Στα ίδια συμπεράσματα είχε καταλήξει και ο *van Ieperen (1996)* όπου διαπίστωσε μια μείωση της συνολικής φυλλικής επιφάνειας των φυτών ντομάτας κατά 20-28% σε νεαρά φυτά και 25% σε μια καλλιέργεια στο στάδιο της παραγωγής.

Τέλος αξίζει να σημειωθεί ότι παρατηρήθηκε μια αύξηση του ρυθμού σχηματισμού φύλλων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

3.1. ΤΟΠΟΣ ΔΙΕΞΑΓΩΓΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Το πείραμα διεξάχθηκε σε ένα από τα θερμοκήπια του Εργαστηρίου Γεωργικών Κατασκευών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου στο Βελεστίνο. Απέχει 17 km από τον Βόλο και το υψόμετρο της περιοχής είναι 85 m.

3.2. ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ

3.2.1. ΥΛΙΚΟ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

Το πειραματικό θερμοκήπιο είναι κατασκευασμένο από γαλβανισμένο χάλυβα και το υλικό κάλυψής του είναι πλαστικό φύλλο πολυαιθυλενίου. Ο τύπος του θερμοκηπίου είναι τροποποιημένο τοξωτό. Οι διαστάσεις του θερμοκηπίου είναι οι εξής: ύψος κορφιά 4.1 m, ύψος ορθοστάτη 2.4 m, ολικό πλάτος 8 m και ολικό μήκος 20 m. Η καλυμμένη επιφάνεια εδάφους (εμβαδόν) είναι 160 m^2 ($20 \text{ m} * 8 \text{ m}$) και καταλαμβάνει όγκο 572 m^3 .

3.2.2. ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

Το σύστημα θέρμανσης του θερμοκηπίου αποτελείται από πλαστικούς σωλήνες θέρμανσης (PVC) οι οποίοι είναι τοποθετημένοι πάνω από το έδαφος και δίπλα στο υπόστρωμα των φυτών. Επίσης υπάρχει και ένα αερόθερμο που είναι τοποθετημένο στη βόρεια πλευρά του θερμοκηπίου, 2.6 m πάνω από το έδαφος.

3.2.3. ΑΕΡΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

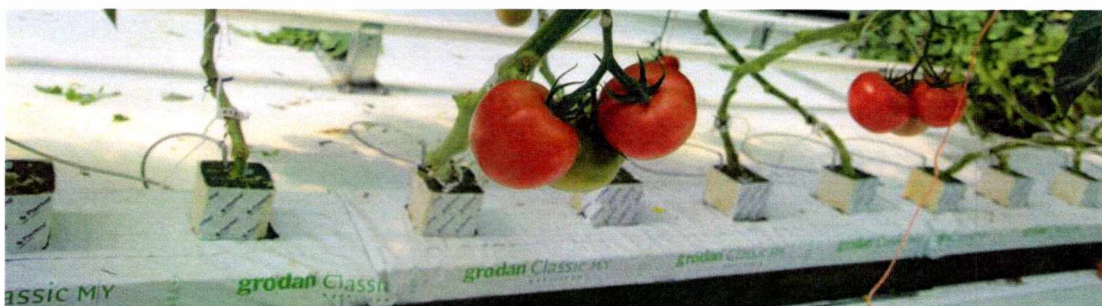
Το θερμοκήπιο περιλαμβάνει πλευρικά παράθυρα κατά μήκος των δύο μεγάλων πλευρών του, σε απόσταση 0.6 m πάνω από το έδαφος. Η μέγιστη ανοιχτή επιφάνεια των δύο παραθύρων είναι 27 m^2 . Επίσης υπάρχει και ένα παράθυρο οροφής με μέγιστη ανοιχτή επιφάνεια 18 m^2 . Όλα τα παράθυρα του θερμοκηπίου ελέγχονται αυτόματα μέσω αισθητήρων που συνδέονται με ηλεκτρονικό υπολογιστή και ανοίγουν αυτόματα αν η θερμοκρασία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου ξεπεράσει τους 21° C .

3.3. Η ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ

Για την διεξαγωγή του πειράματος χρησιμοποιήθηκε καλλιέργεια ντομάτας. Τα φυτά αναπτύχθηκαν με τη χρήση υδροπονικής μεθόδου και το υπόστρωμα που χρησιμοποιήθηκε ήταν ο πετροβάμβακας. Ο κάθε σάκος του υποστρώματος είχε 1m μήκος, 0.2m πλάτος και 0.075m ύψος. Οι σάκοι του υποστρώματος ήταν τοποθετημένοι 40cm από το έδαφος, πάνω σε μεταλλικά κανάλια.

Η καλλιέργεια εγκαταστάθηκε σε τέσσερις διπλές σειρές, οι δύο εξωτερικές χρησιμοποιήθηκαν ως μάρτυρες και οι έξι εσωτερικές χρησιμοποιήθηκαν για την μελέτη των μεταχειρίσεων.

Η άρδευση των φυτών γινόταν με σταλακτήρες οι οποίοι ελέγχονταν από ηλεκτρονικό υπολογιστή. Όσον αφορά για την διαμόρφωση των φυτών, εφαρμόστηκε το μονοστέλεχο σύστημα που θεωρείται πιο διαδεδομένο στον κλάδο των θερμοκηπιακών καλλιεργειών.



Εικόνα 3.1 Εγκατεστημένα φυτά ντομάτας σε υπόστρωμα πετροβάμβακα

3.4.ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΙΚΕΣ ΦΡΟΝΤΙΔΕΣ

Η υποστήλωση των φυτών πραγματοποιήθηκε με τη χρήση σπάγγων και μεταλλικών συρμάτων. Τα μεταλλικά σύρματα τοποθετήθηκαν το καθένα οριζοντίως πάνω από κάθε γραμμή. Στη συνέχεια το ένα άκρο του κάθε σπάγγου δενόταν στη βάση του φυτού χωρίς να σφίγγει τον κορμό ώστε να αποφεύγονται οι τραυματισμοί του. Ο σπάγγος τυλιγόταν γύρω γύρω από το φυτό και το μήκος που περίσσευε τυλιγόταν σε ένα ειδικό κλιπ τύπου «Α» και στερεωνόταν στο μεταλλικό σύρμα. Όταν τα φυτά έφταναν στο ύψος του μεταλλικού σύρματος, τότε ξετυλιγόταν σπάγγος από το ειδικό κλιπ, ώστε το ύψος των φυτών να κατέβει σε χαμηλότερο επίπεδο με σκοπό να διευκολύνονται οι απαραίτητες μετρήσεις και περιποιήσεις.

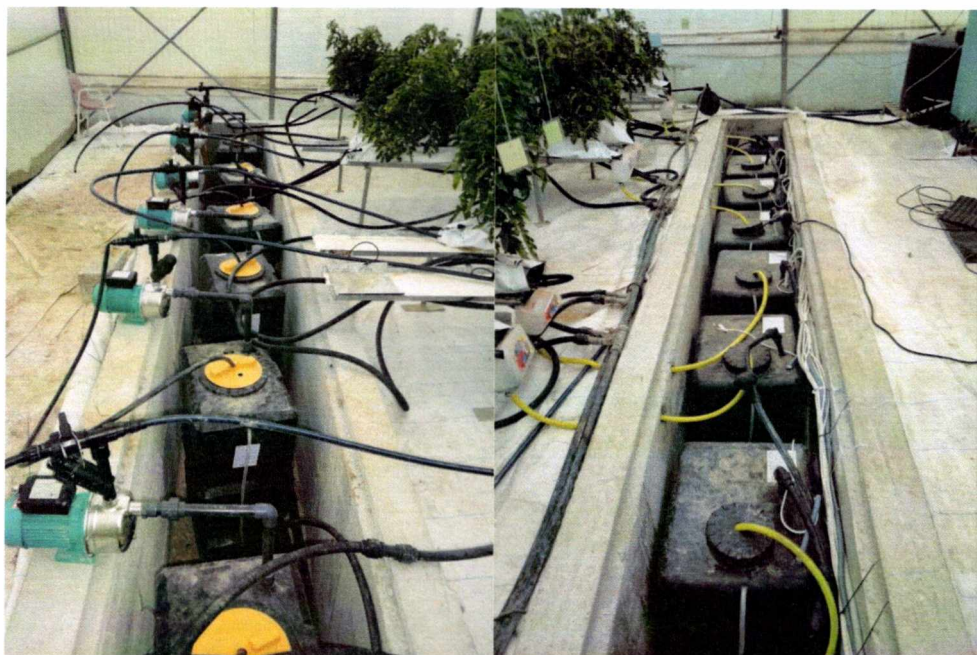
Ακόμα μια καλλιεργητική φροντίδα για τα φυτά αποτέλεσε το κλάδεμα το οποίο κρίθηκε απαραίτητο λόγω της συνεχούς εμφάνισης πλάγιων βλαστών από οφθαλμούς που βρίσκονταν στις μασχάλες των φύλλων. Έτσι εφαρμόστηκε βλαστολόγημα (αφαίρεση πλάγιων βλαστών) το οποίο γινόταν με το χέρι. Επίσης εφαρμόστηκε αποφύλλωση στο στάδιο της ωρίμανσης της 1^{ης} ταξικαρπίας, δηλαδή γινόταν αφαίρεση των φύλλων που βρίσκονταν κάτω από αυτή. Με τη αποφύλλωση επιτυγχάνεται ο καλύτερος φωτισμός των καρπών που βρίσκονται κοντά στο στάδιο της ωρίμανσης. Η διαδικασία επαναλαμβανόταν όταν άρχιζε να ωριμάζει η αμέσως επόμενη ταξικαρπία. Τέλος λήφθηκαν και κάποια μέτρα φυτοπροστασίας για μυκητολογικές και εντομολογικές ασθένειες.

3.5. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

Το υδροπονικό σύστημα που εγκαταστάθηκε στο πειραματικό θερμοκήπιο αποτελούταν από:

- Τις δεξαμενές άρδευσης οι οποίες βρίσκονταν στη νότια πλευρά του θερμοκηπίου
- Τις δεξαμενές απορροής οι οποίες βρίσκονταν στη βόρεια πλευρά του θερμοκηπίου
- Τις οχτώ γραμμές με τα φυτά οι οποίες βρίσκονταν ανάμεσα στις παράπανω δεξαμενές

Η κάθε γραμμή με τα φυτά είχε από μια δεξαμενή απορροής και μια άρδευσης στις άκρες της. Οι δύο γραμμές που βρίσκονταν στα δύο άκρα του θερμοκηπίου χρησιμοποιήθηκαν ως μάρτυρες.



Εικόνα 3.2 Απεικόνιση των δεξαμενών άρδευσης (αριστερά) και των δεξαμενών απορροής (δεξιά)

Στις υπόλοιπες γραμμές φυτών εφαρμόστηκαν και μελετήθηκαν τρεις διαφορετικές μεταχειρίσεις υδροπονίας. Αυτές οι μεταχειρίσεις ήταν οι εξής:

- Το ανοιχτό σύστημα, στο οποίο δεν γίνεται ανακύκλωση του θρεπτικού διαλύματος της καλλιέργειας
- Το κλειστό σύστημα, στο οποίο γίνεται ανακύκλωση του θρεπτικού διαλύματος της καλλιέργειας
- Το ημίκλειστό σύστημα, στο οποίο γίνεται ανακύκλωση του θρεπτικού διαλύματος της καλλιέργειας μέχρι ορισμένοι παράμετροι να φτάσουν σε ένα καθορισμένο επίπεδο. Αυτοί οι παράμετροι είναι η ηλεκτρική αγωγιμότητα

(EC) με όριο υψηλότερο από 5 dS m^{-1} στο θρεπτικό διάλυμα και η συγκέντρωση Na^+ στο διάλυμα υψηλότερη από 15 mmol .

Οι μεταχειρίσεις που αναφέρθηκαν παραπάνω, είχαν από 2 επαναλήψεις η κάθε μία. Η κάθε γραμμή φυτών ήταν χωρισμένη σε δύο μπλοκ και περιείχε 13 σάκους υποστρώματος πετροβάμβακα οπότε το μήκος της κάθε γραμμής ήταν 13 m. Ο αριθμός των φυτών επί της κάθε γραμμής ήταν 33 και η πυκνότητα φύτευσης $2,5 \text{ φυτά/m}^2$.

3.6. ΘΡΕΠΤΙΚΟ ΔΙΑΛΥΜΑ

Για την άρδευση της καλλιέργειας χρησιμοποιήθηκαν σωλήνες Φ20, ένας για κάθε διπλή γραμμή φύτευσης. Οι σωλήνες είχαν ενσωματωμένους σταλακτήρες όπου αντιστοιχούσε ένας σταλακτήρας για κάθε φυτό.

Για τις δύο εξωτερικές γραμμές (μάρτυρες), η παρασκευή και η τροφοδότηση του θρεπτικού διαλύματος στα φυτά γινόταν με μια κεντρική κεφαλή MACQU, ενώ για τις 6 εσωτερικές γραμμές γινόταν με έναν άλλο αυτόματο σύστημα ελέγχου της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) και των στοιχείων που απορροφήθηκαν από τα φυτά. Η άρδευση της καλλιέργειας γινόταν σε διαφορετικούς χρόνους για κάθε γραμμή φύτευσης.



Εικόνα 3.3 Σύστημα παρασκευής και τροφοδότησης θρεπτικού διαλύματος

3.7.ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

3.7.1. ΥΨΟΣ ΦΥΤΩΝ

Για τις μετρήσεις ύψους των φυτών επιλέχθηκαν 24 φυτά, 4 από κάθε γραμμή και 2 από κάθε μπλοκ. Στα επιλεγμένα φυτά τοποθετήθηκε κόκκινη κορδέλα ώστε να είναι ευδιάκριτα σε σχέση με τα υπόλοιπα.

Οι μετρήσεις ύψους ξεκίνησαν τον Μάρτιο του 2012 και τελείωσαν τον Ιούλιο του ίδιου έτους. Γίνονταν κάθε 15νθήμερο και τελικά συνολικά έγιναν 9 μετρήσεις.

Για την μέτρηση χρησιμοποιήθηκε μεζούρα από χαρτί ώστε να αποφευχθούν οι τυχόν ζημιές. Η αρχή της μεζούρας τοποθετούταν στο λαμίο του φυτού, δηλαδή στο σημείο επαφής του φυτού με το πετροβάμβακα, και τεντωνόταν κατά μήκος του φυτού μέχρι το υψηλότερο φύλλο, όπου και καταγραφόταν το ύψος.

3.7.2. ΦΥΛΛΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ

Για την μέτρηση της φυλλικής επιφάνειας χρησιμοποιήθηκαν τα 24 φυτά που αναφέρθηκαν παραπάνω στο 3.7.1 και ομοίως γίνονταν κάθε 15νθήμερο.

Σε κάθε μέτρηση για την φυλλική επιφάνεια γινόταν καταγραφή του μήκους ενός φύλλου ανά ταξιανθία και του αριθμού των φύλλων ανά ταξιανθία.

Τέλος με τη βοήθεια του MS Excel έγινε η καταγραφή όλων των δεδομένων και υπολογίστηκε ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας (leaf area index, LAI).

3.7.3. ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Οι καταστροφικές μετρήσεις γίνονταν μία φορά κάθε μήνα. Η 1^η έγινε τον Απρίλιο του 2012 και η τελευταία τον Ιούλιο του ίδιου έτους. Συνολικά πραγματοποιήθηκαν 4 καταστροφικές μετρήσεις.

Κατά τη διάρκεια μιας καταστροφικής μέτρησης λαμβάνονταν 2 φυτά από κάθε μεταχείριση (συμπεριλαμβανομένων και των επαναλήψεων), ένα από κάθε μπλοκ. Οπότε συνολικά σε κάθε καταστροφική μέτρηση λαμβάνονταν 12 φυτά τα οποία ξεριζώνονταν από το υπόστρωμα πετροβάμβακα.

Στη συνέχεια γινόταν καταγραφή του ύψους και του αριθμού φύλλων για το κάθε φυτό ξεχωριστά. Έπειτα τα φυτά χωρίζονταν στα επιμέρους τμήματα τους (φύλλα, καρποί, βλαστοί) και γινόταν καταγραφή του χλωρού βάρους τους.

Το επόμενο βήμα των καταστροφικών μετρήσεων λάμβανε χώρα στο εργαστήριο, όπου τα επιμέρους τμήματα των φυτών τοποθετούνταν στον κλίβανο ξήρανσης για 2 μέρες στους 90⁰. Μετά την ξήρανση τους γινόταν καταγραφή του ξηρού βάρους τους.

Τέλος από τα ξηρά φύλλα του κάθε φυτού παρασκευάζονταν εκχυλίσματα ανιόντων και κατιόντων. Για τα εκχυλίσματα ανιόντων χρησιμοποιούσαμε διάλυμα μεθανόλης

(1:1) ενώ για τα εκχυλίσματα κατιόντων διάλυμα υδροχλωρικού οξέος (1:1). Στη συνέχεια τα ανιόντα (F,Cl,Br,NO₂,NO₃,PO₄,SO₄) υπολογίζονταν σε χρωματογράφο HPLC και τα δεδομένα καταγράφονταν στο MSExcel ώστε να γίνουν οι κατάλληλοι υπολογισμοί. Τα κατιόντα (Na,K) υπολογίζονταν σε φλογοφωτόμετρο και τα δεδομένα καταγράφονταν επίσης στο MSExcel.

3.7.4. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Η παραγωγή των φυτών ντομάτας ξεκίνησε τον Μάρτιο-Μάιο του 2012 και τελείωσε στα μέσα Ιουλίου του ίδιου έτους. Η συγκομιδή των καρπών γινόταν για κάθε μεταχείριση ξεχωριστά (συμπεριλαμβανομένων και των επαναλήψεων), όταν οι καρποί κατα κύριο λόγο βρίσκονταν στο στάδιο ωρίμανσης.

Η κάθε γραμμή-μεταχείριση χωριζόταν σε 2 μπλοκ (A-B) από όπου γινόταν η συγκομιδή. Η συχνότητα συγκομιδής ήταν 3-4 μέρες ανά βδομάδα με σκοπό τη μείωση απωλειών λόγω υπερωρίμανσης. Στη συνέχεια γινόταν καταγραφή του χλωρού βάρους των καρπών και του αριθμού καρπών ξεχωριστά για κάθε γραμμή-μεταχείριση και αντίστοιχα για κάθε μπλοκ της. Στην πορεία υπολογιζόταν και το μέσο βάρος καρπών της κάθε γραμμής ώστε να δημιουργηθεί μια ολοκληρωμένη άποψη για την παραγωγή των φυτών σε κάθε μεταχείριση.

3.7.5. ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

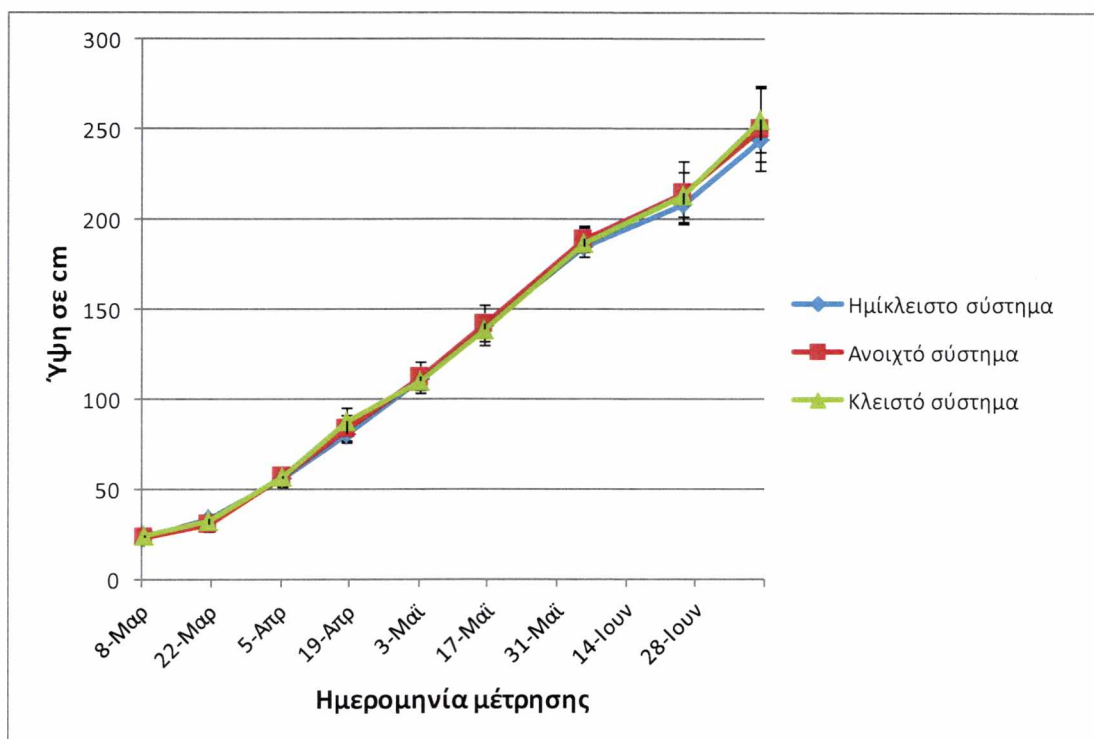
Όλες οι μετρήσεις που αναφέρθηκαν παραπάνω δηλαδή το ύψος φυτών, η φυλλική επιφάνεια, οι καταστροφικές μετρήσεις και τα εκχυλίσματα, και οι μετρήσεις παραγωγής αποθηκεύονταν και υπολογίζονταν σε φύλλα του MSExcel.

Η στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων που προέκυπταν από το excel έγινε με το στατιστικό πακέτο SPSS αλλά και από το excel. Στο SPSS χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της two-way ANOVA (Analysis of Variance) ώστε να μπορούμε να συγκρίνουμε και να βγάλουμε συμπεράσματα για την επίδραση της κάθε μεταχείρισης στην ανάπτυξη των φυτών και στην παραγωγή καθώς και για την επίδραση της αλατότητας στην φυλλική επιφάνεια.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

4.1. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ ΓΙΑ ΤΙΣ 3 ΜΕΤΑΧΕΙΡΙΣΕΙΣ

Η ανάπτυξη των φυτών μελετήθηκε μετρώντας το ύψος των φυτών για τις 3 μεταχειρίσεις. Στο παρακάτω διάγραμμα (Σχήμα 4.1) αναλύεται η αύξηση του ύψους των φυτών ντομάτας σε συνάρτηση με το χρόνο για τις 3 μεταχειρίσεις του υδροπονικού συστήματος του πειράματος (ημίκλειστο, ανοιχτό και κλειστό σύστημα).



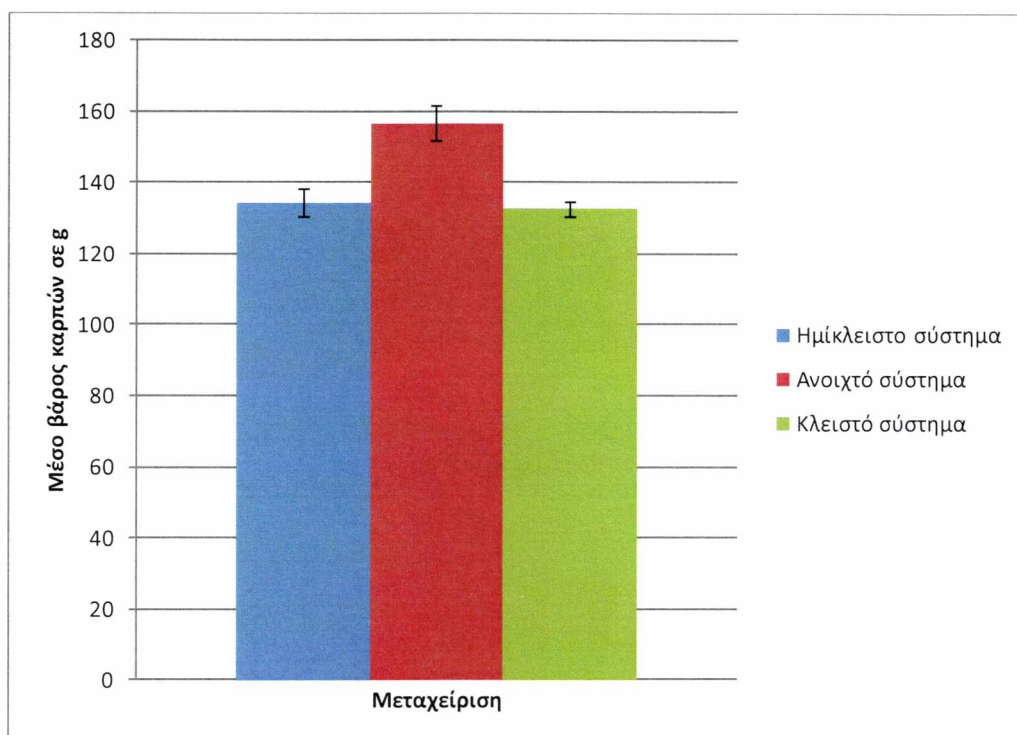
Σχήμα 4.1 Αύξηση του ύψους των φυτών ντομάτας για τις 3 μεταχειρίσεις. Οι κατακόρυφες γραμμές υποδηλώνουν την τυπική απόκλιση των τιμών.

Όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα η πορεία της αύξησης του ύψους των φυτών είναι παρόμοια και για τις 3 μεταχειρίσεις. Από την στατιστική ανάλυση των δεδομένων προέκυψε παρόμοιο αποτέλεσμα αφού δεν υπήρξαν μεταξύ τους σημαντικές στατιστικά διαφορές. Στο τέλος των μετρήσεων ο μέσος όρος ύψους για το ημίκλειστο σύστημα ήταν 120,201 cm, για το ανοιχτό σύστημα 122,321 cm και για το κλειστό σύστημα 122,711 cm.

4.2. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ ΓΙΑ ΤΙΣ 3 ΜΕΤΑΧΕΙΡΙΣΕΙΣ

Όσον αφορά την παραγωγή των φυτών ντομάτας, μετρήθηκε ο αριθμός των καρπών και το μέσο βάρος των καρπών ανά φυτό για κάθε από τις 3 μεταχειρίσεις και τέλος υπολογίστηκε η παραγωγή τους ανά m².

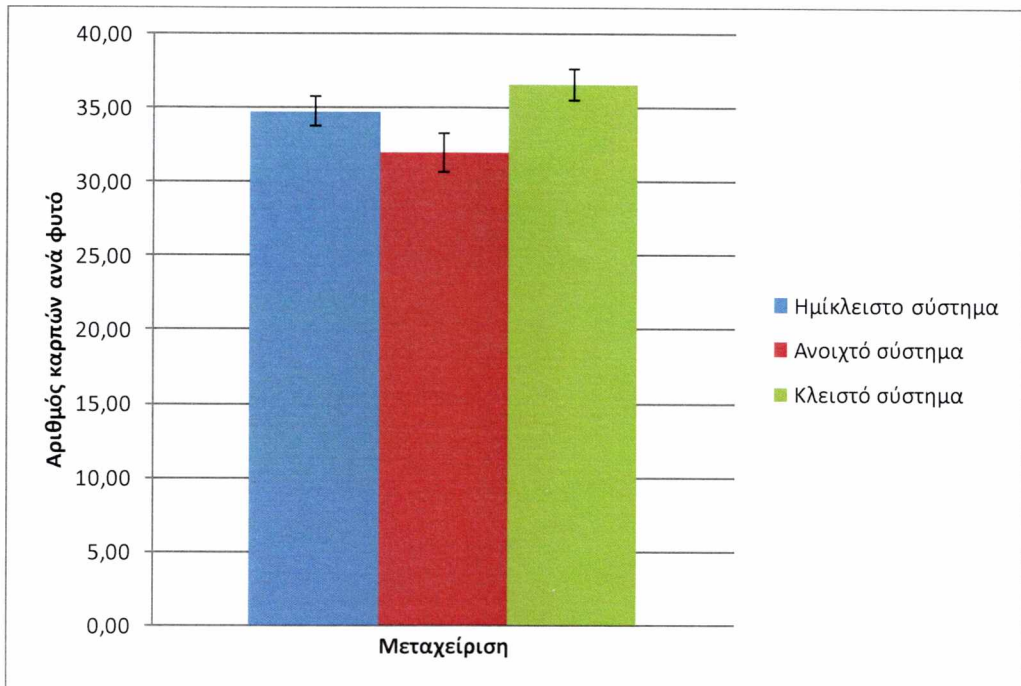
Στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 4.2) φαίνεται το μέσο βάρος καρπών ανά φυτό για κάθε μεταχείριση.



Σχήμα 4.2 Απεικόνιση μέσου βάρους καρπών ανά φυτό για κάθε μεταχείριση. Οι κατακόρυφες γραμμές υποδηλώνουν την τυπική απόκλιση των τιμών.

Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4.2 το μέσο βάρος καρπών για το ημίκλειστο σύστημα είναι 134,23 g, για το ανοιχτό σύστημα είναι 156,58 g όπου είναι και το μεγαλύτερο και για το κλειστό σύστημα είναι 132,45 g.

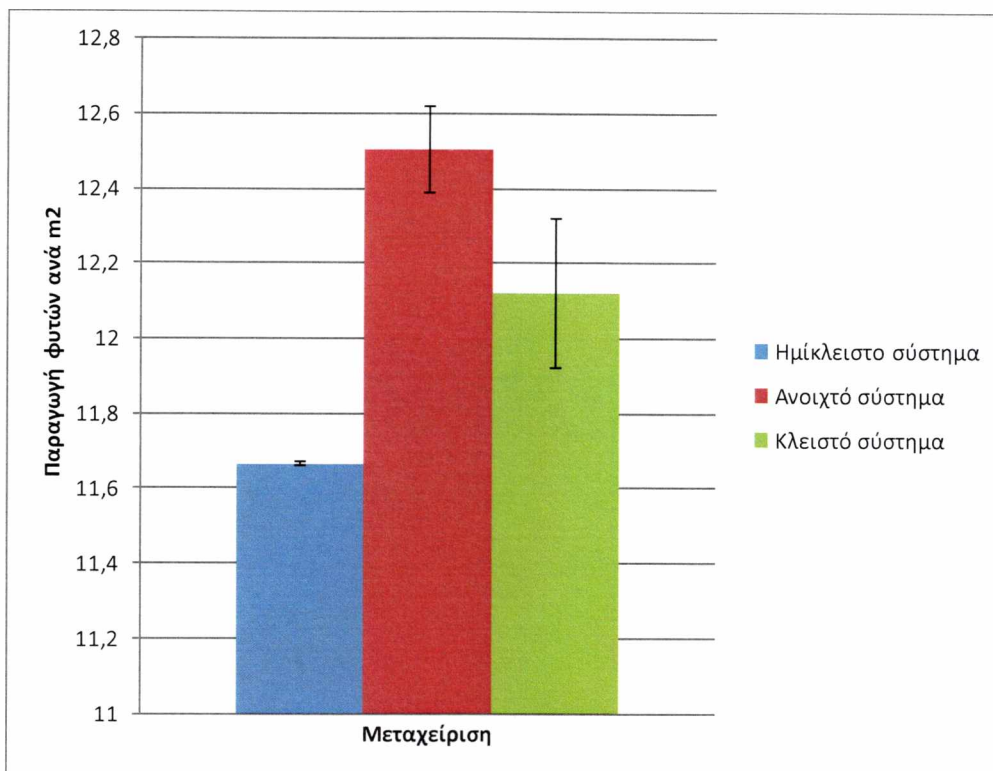
Στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 4.3) φαίνονται τα αποτελέσματα για τον αριθμό καρπών ανά φυτό για κάθε μεταχείριση.



Σχήμα 4.3 Αριθμός καρπών ανά φυτό για κάθε μεταχείριση. Οι κατακόρυφες γραμμές υποδηλώνουν την τυπική απόκλιση των τιμών.

Όπως φαίνεται και στο σχήμα, ο αριθμός καρπών/φυτό για το ημίκλειστο σύστημα ήταν 34,79, για το ανοιχτό σύστημα 31,98 και για το κλειστό σύστημα 36,61 όπου ήταν και ο μεγαλύτερος.

Τέλος στο Σχήμα 4.4 φαίνεται η παραγωγή (kg/m^2) των φυτών ντομάτας για τις 3 μεταχειρίσεις.

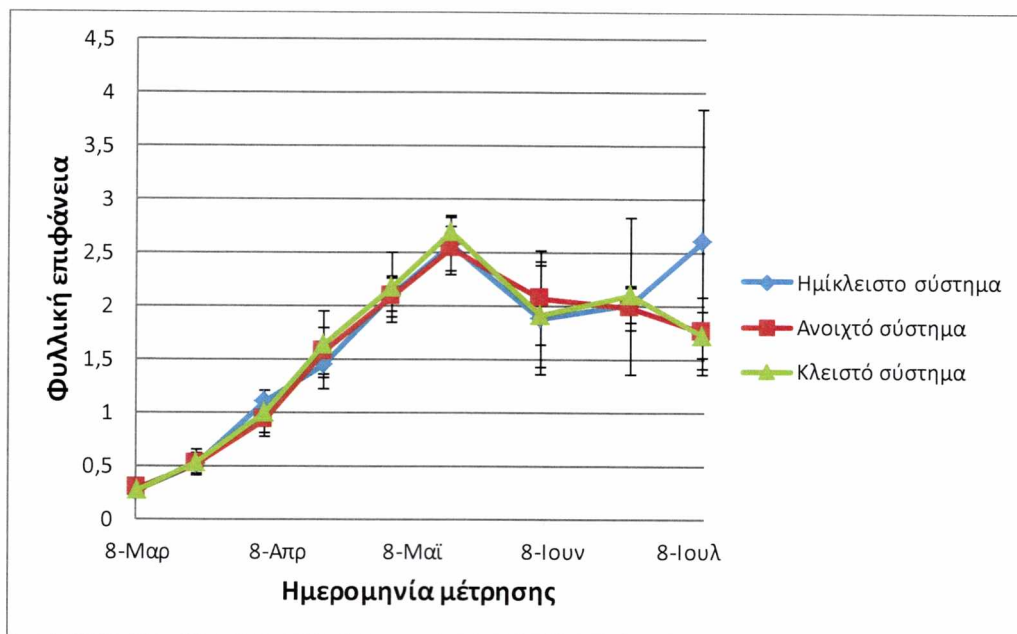


Σχήμα 4.4 Απεικόνιση συνολικής παραγωγής (kg/m²) για κάθε μεταχείριση.

Όπως φαίνεται και στο σχήμα η συνολική παραγωγή για το ημίκλειστο σύστημα ήταν 11,66 kg/m², για το ανοιχτό σύστημα 12,5 kg/m² όπου ήταν και η μεγαλύτερη τιμή και για το κλειστό σύστημα 12,12 kg/m².

4.3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΦΥΛΛΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΓΙΑ ΤΙΣ 3 ΜΕΤΑΧΕΙΡΙΣΕΙΣ

Για τον υπολογισμό της φυλλικής επιφάνειας μετρήθηκαν για κάθε φυτό το μήκος φύλλου και αριθμός φύλλων ανά ταξιανθία. Στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 4.5) φαίνεται η πορεία του δείκτη φυλλικής επιφάνειας (Leaf Area Index) των φυτών ντομάτας και για τις 3 μεταχειρίσεις του πειράματος.



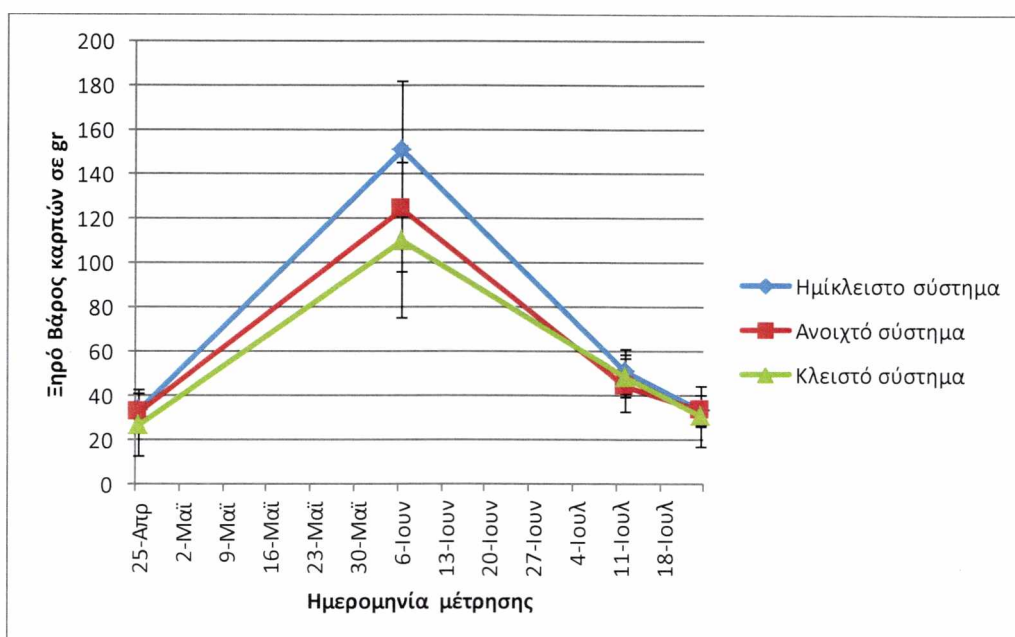
Σχήμα 4.5 Απεικόνιση της πορείας του δείκτη φυλλικής επιφάνειας των φυτών για τις 3 μεταχειρίσεις κατά τη διάρκεια των μετρήσεων.

Όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα η φυλλική επιφάνεια είναι παρόμοια για τις 3 μεταχειρίσεις στην αρχή των μετρήσεων. Στην πορεία σημειώνονται ελάχιστες διαφορές μεταξύ τους, όπου φαίνεται ότι το κλειστό σύστημα έχει το προβάδισμα, και η μεγαλύτερη διαφορά σημειώνεται στην τελευταία μέτρηση όπου το ημίκλειστο σύστημα έχει την μεγαλύτερη φυλλική επιφάνεια.

Η στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων έδειξε ότι δεν υπάρχει σημαντική στατιστικά διαφορά μεταξύ των μεταχειρίσεων. Στο τέλος των μετρήσεων ο μέσος όρος φυλλικής επιφάνειας για το ημίκλειστο σύστημα ήταν $1,607 \text{ cm}^2/\text{cm}^2$, για το ανοικτό σύστημα ήταν $1,525 \text{ cm}^2/\text{cm}^2$ και για το κλειστό σύστημα ήταν $1,559 \text{ cm}^2/\text{cm}^2$.

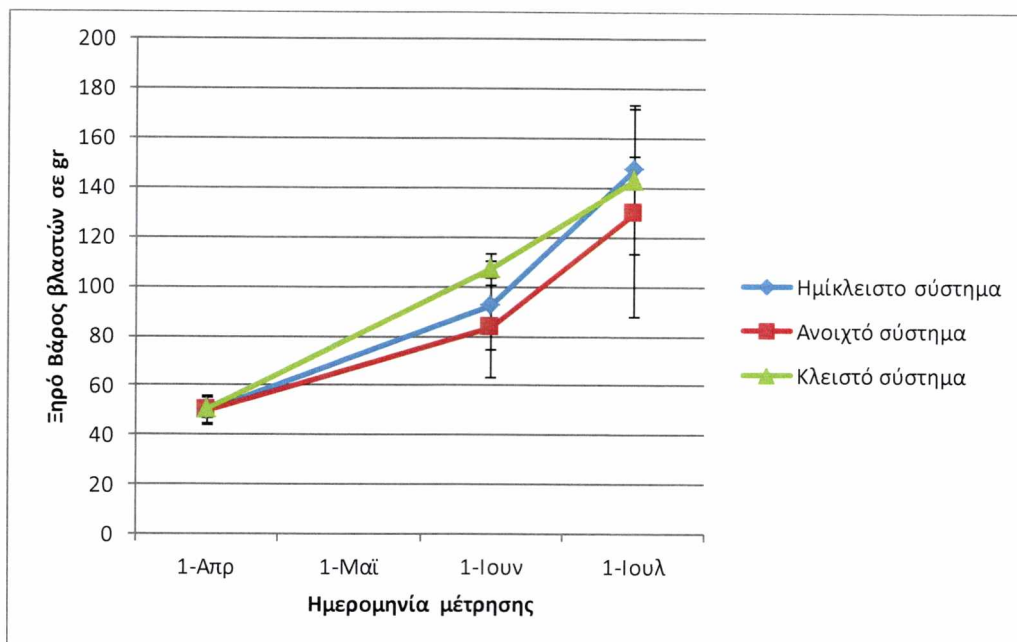
4.4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Στη διάρκεια του πειράματος έγιναν 4 καταστροφικές μετρήσεις όπου σε κάθε μία μετρήθηκαν το ύψος των φυτών, το χλωρό βάρος και το ξηρό βάρος των επιμέρους τμημάτων τους (φύλλα, καρποί, βλαστοί). Στα παρακάτω σχήματα (Σχήμα 4.6, 4.7, 4.8) φαίνεται η πορεία του ξηρού βάρους των επιμέρους τμημάτων των φυτών κατά την διάρκεια κάθε καταστροφικής μέτρησης.



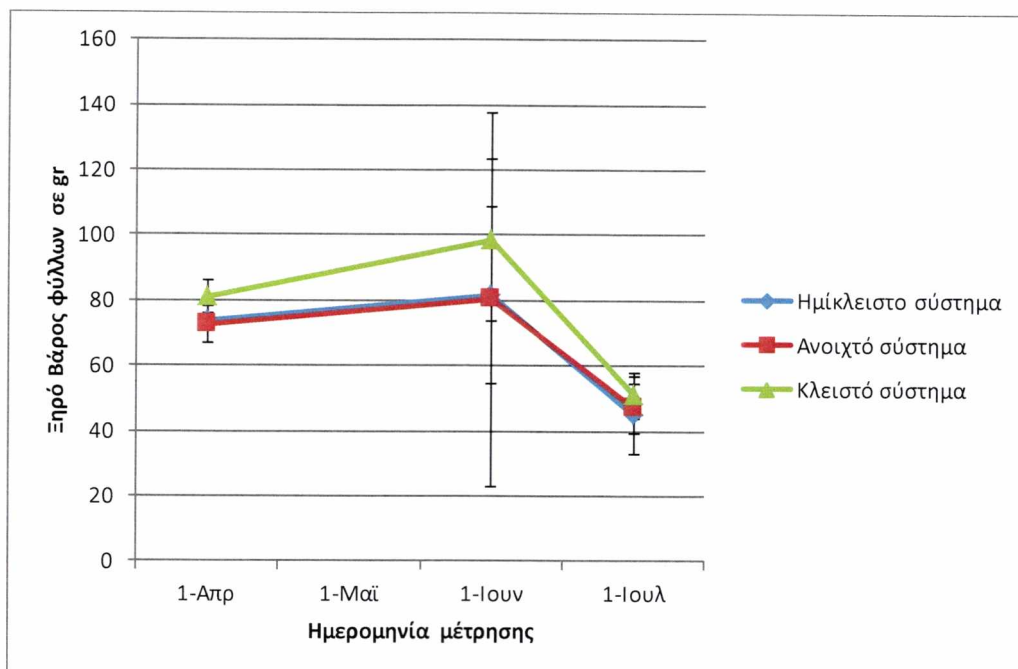
Σχήμα 4.6 Απεικόνιση του ξηρού βάρους των καρπών των φυτών για κάθε μεταχείριση

Όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα η πορεία του ξηρού βάρους των καρπών για το ανοιχτό και κλειστό σύστημα είναι σχεδόν παρόμοια και η διαφορά σημειώνεται στο ημίκλειστο σύστημα που διαθέτει το μεγαλύτερο ξηρό βάρος καρπών. Η στατιστική ανάλυση έδειξε ότι δεν υπήρχε σημαντική στατιστικά διαφορά ανάμεσα στις μεταχειρίσεις. Ο μέσος όρος ξηρού βάρους καρπών για το ημίκλειστο σύστημα ήταν 67,3 gr, για το ανοιχτό 58,76 gr και για το κλειστό 54,11 gr.



Σχήμα 4.7 Απεικόνιση του ξηρού βάρους των βλαστών για κάθε μεταχείριση

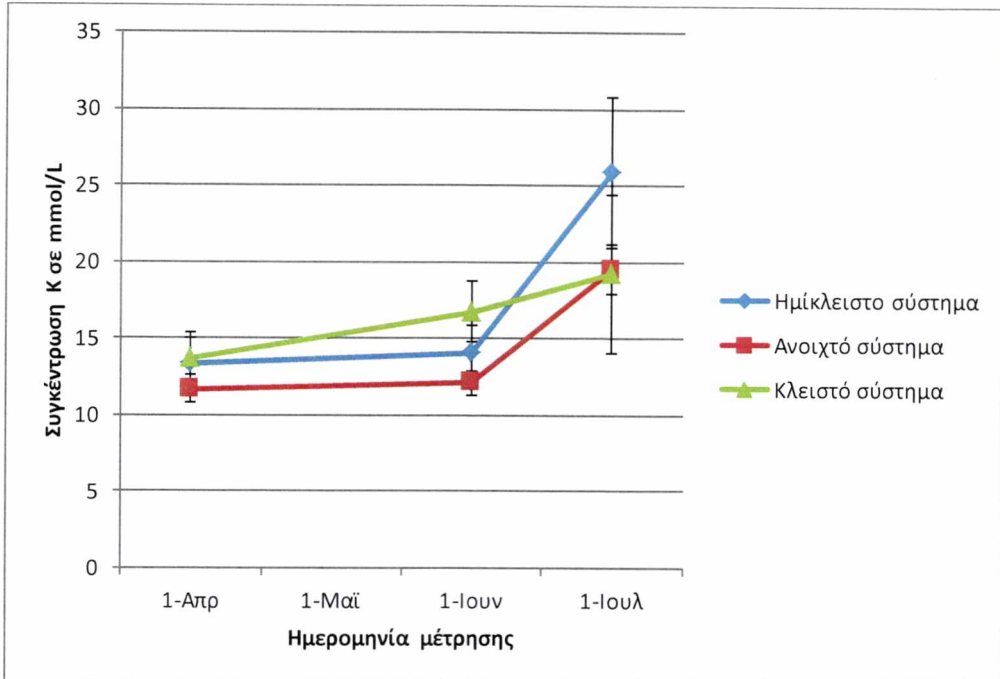
Όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.7 τα ξηρά βάρη στην 1^η καταστροφική μέτρηση είναι παρόμοια και για τις 3 μεταχειρίσεις στην πορεία όμως το κλειστό σύστημα φαίνεται να έχει τις μεγαλύτερες τιμές. Η στατιστική ανάλυση που έγινε έδειξε ότι δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ τους. Στο τέλος των μετρήσεων ο μέσος όρος ξηρού βάρους βλαστών για το ημίκλειστο σύστημα ήταν 96,48 gr, για το ανοιχτό 87,57 gr και για το κλειστό 100,25 gr.



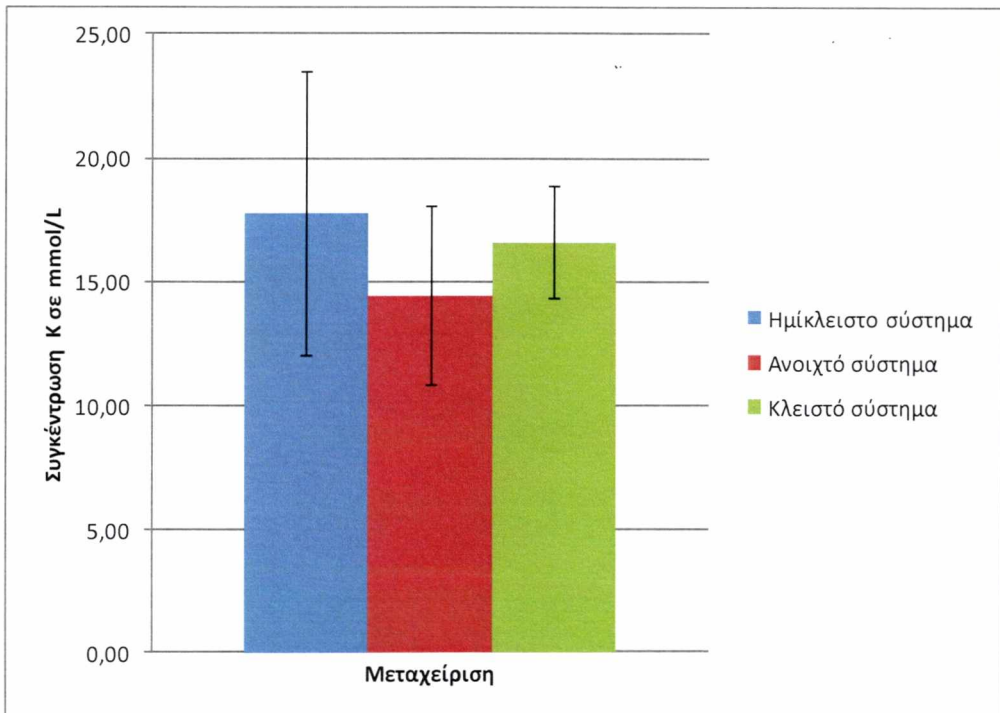
Σχήμα 4.8 Απεικόνιση του ξηρού βάρους των φύλλων για κάθε μεταχείριση

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.8 η πορεία του ξηρού βάρους των φύλλων είναι παρόμοια για το ημίκλειστο και για το ανοιχτό σύστημα. Διαφορά παρουσιάζει το κλειστό σύστημα όπου σημειώνονται και οι μεγαλύτερες τιμές. Η στατιστική ανάλυση έδειξε ότι δεν υπάρχουν σημαντικές στατιστικά διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων του πειράματος. Στο τέλος των μετρήσεων ο μέσος όρος ξηρού βάρους φύλλων για το ημίκλειστο σύστημα ήταν 66,71 gr, για το ανοιχτό σύστημα 66,67 gr και για το κλειστό 76,88 gr.

Από τα φυτά που συλλέχθηκαν για τις καταστροφικές μετρήσεις παρασκευάστηκαν εκχυλίσματα κατιόντων (K^+ , Na^+) και ανιόντων (F , Cl , Br , NO_2 , NO_3 , PO_4 , SO_4) ώστε να υπολογιστούν τα αντίστοιχα θρεπτικά στοιχεία. Στα παρακάτω σχήματα φαίνεται η συγκέντρωση του Na^+ , του K^+ και του Cl στα φυτά για κάθε μεταχείριση.

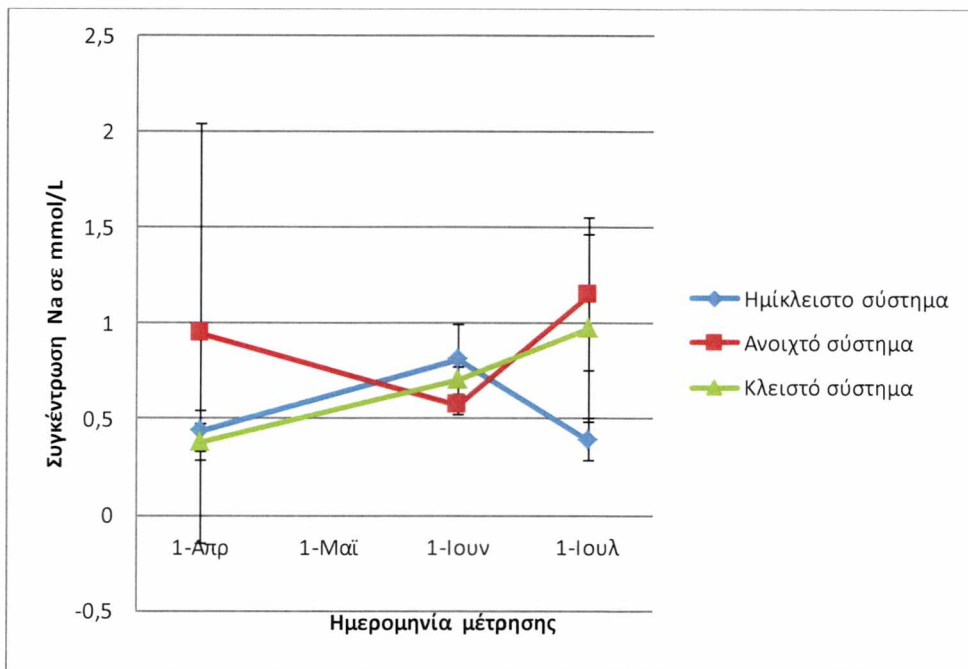


Σχήμα 4.9 Απεικόνιση της πορείας της συγκέντρωσης K^- των φυτών για κάθε μεταχείριση



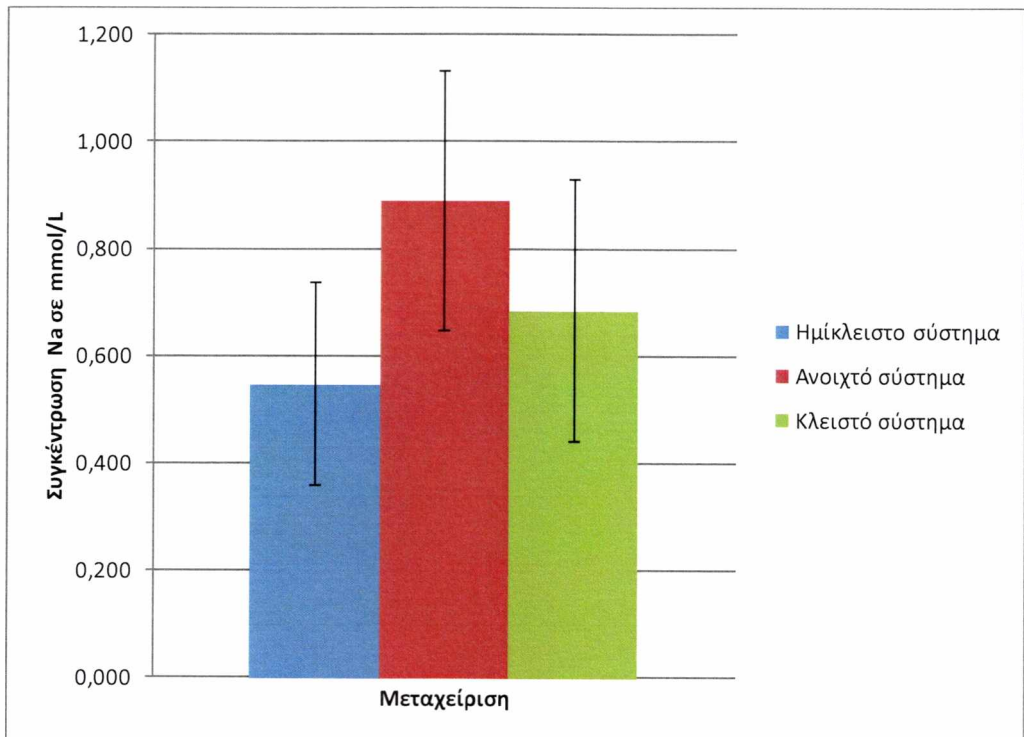
Σχήμα 4.10 Απεικόνιση του μέσου όρου της συγκέντρωσης K^- στο τέλος των μετρήσεων για κάθε μεταχείριση

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.9 η συγκέντρωση του K διατηρείται σχεδόν στα ίδια επίπεδα για κάθε μεταχείριση κατά την 1^η και την 2^η μέτρηση όμως η διαφορά εμφανίζεται κατά την 3^η μέτρηση όπου η συγκέντρωση K αυξάνεται και για τις 3 μεταχειρίσεις όπου το ημίκλειστο σύστημα εμφάνισε την μεγαλύτερη αύξηση. Στο Σχήμα 4.10 απεικονίζονται οι μέσοι όροι της συγκέντρωσης K για κάθε μεταχείριση όπου το ημίκλειστο σύστημα εμφανίζει την μεγαλύτερη συγκέντρωση. Οι μέσοι όροι για το ημίκλειστο σύστημα είναι 17,81 mmol/L, για το ανοιχτό 14,46 mmol/L και για το κλειστό 16,57 mmol/L. Η στατιστική ανάλυση έδειξε ότι δεν υπήρξαν σημαντικές στατιστικά διαφορές.



Σχήμα 4.11 Απεικόνιση της πορείας της συγκέντρωσης Na^+ των φυτών για κάθε μεταχείριση

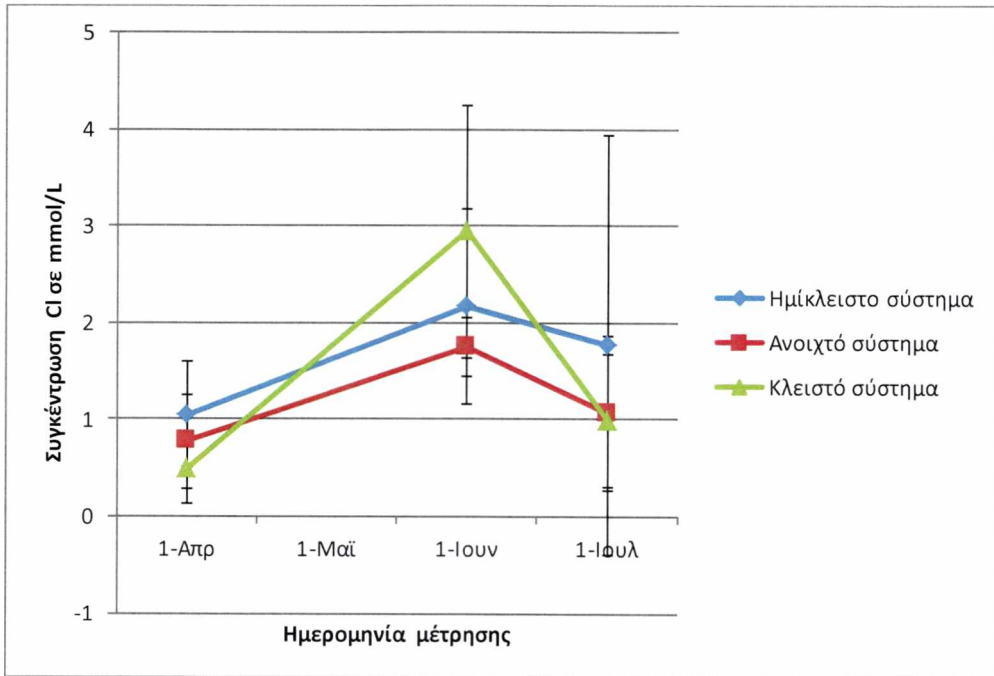
Όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα η πορεία της συγκέντρωσης του Na παρουσιάζει αυξομειώσεις κατά την διάρκεια των μετρήσεων με εξαίρεση το κλειστό σύστημα το οποίο αυξάνεται γραμμικά. Στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 4.12) παρουσιάζονται οι μέσοι όροι συγκέντρωσης Na για κάθε μεταχείριση.



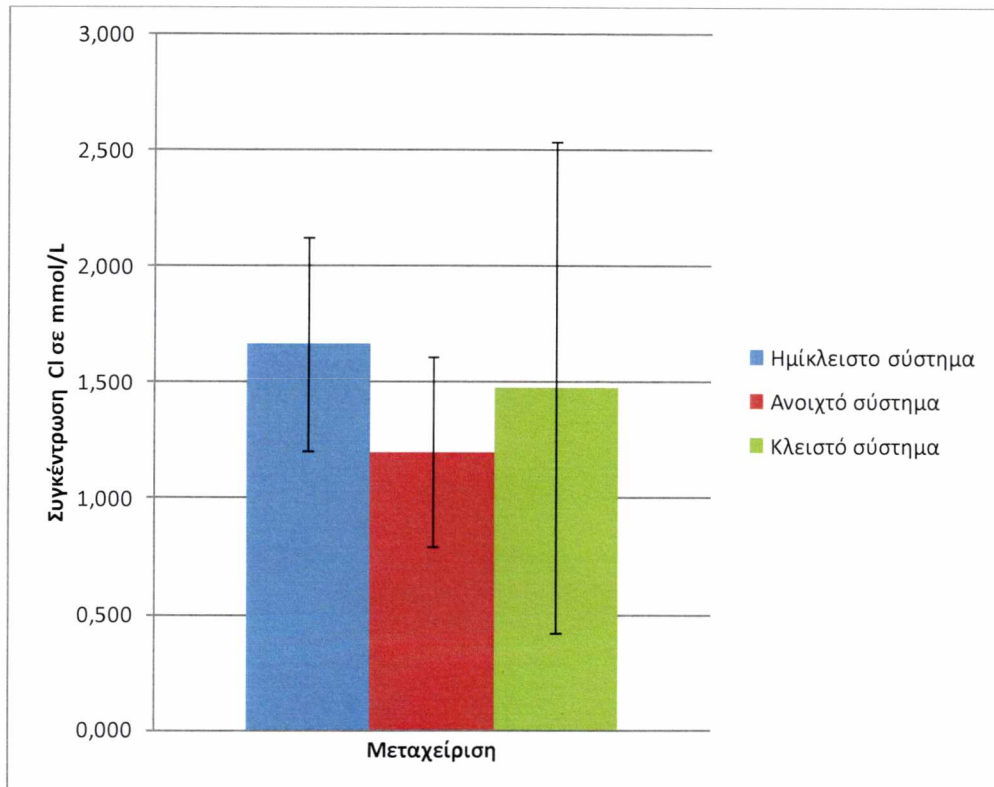
Σχήμα 4.12 Απεικόνιση του μέσου όρου της συγκέντρωσης Na^+ στο τέλος των μετρήσεων για κάθε μεταχείριση

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.12, την μεγαλύτερη συγκέντρωση Na παρουσιάζει το ανοιχτό σύστημα. Οι μέσοι όροι για το ημίκλειστο σύστημα είναι 0,546 mmol/L, για το ανοιχτό 0,889 mmol/L και για το κλειστό 0,684 mmol/L. Η στατιστική ανάλυση που έγινε έδειξε ότι δεν υπήρξαν σημαντικές στατιστικά διαφορές.

Στα σχήματα 4.13 και 4.14 φαίνεται η πορεία της συγκέντρωσης του Cl και οι μέσοι όροι συγκέντρωσης για κάθε μεταχείριση αντίστοιχα.



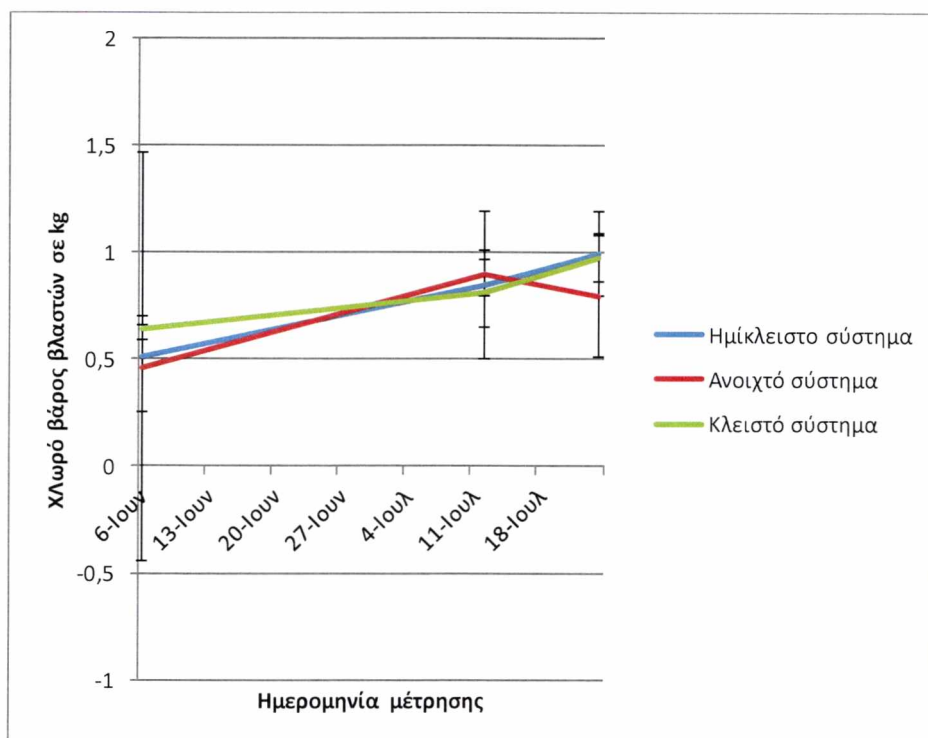
Σχήμα 4.13 Απεικόνιση της πορείας της συγκέντρωσης CI των φυτών για κάθε μεταχείριση



Σχήμα 4.14 Απεικόνιση του μέσου όρου της συγκέντρωσης CI στο τέλος των μετρήσεων για κάθε μεταχείριση

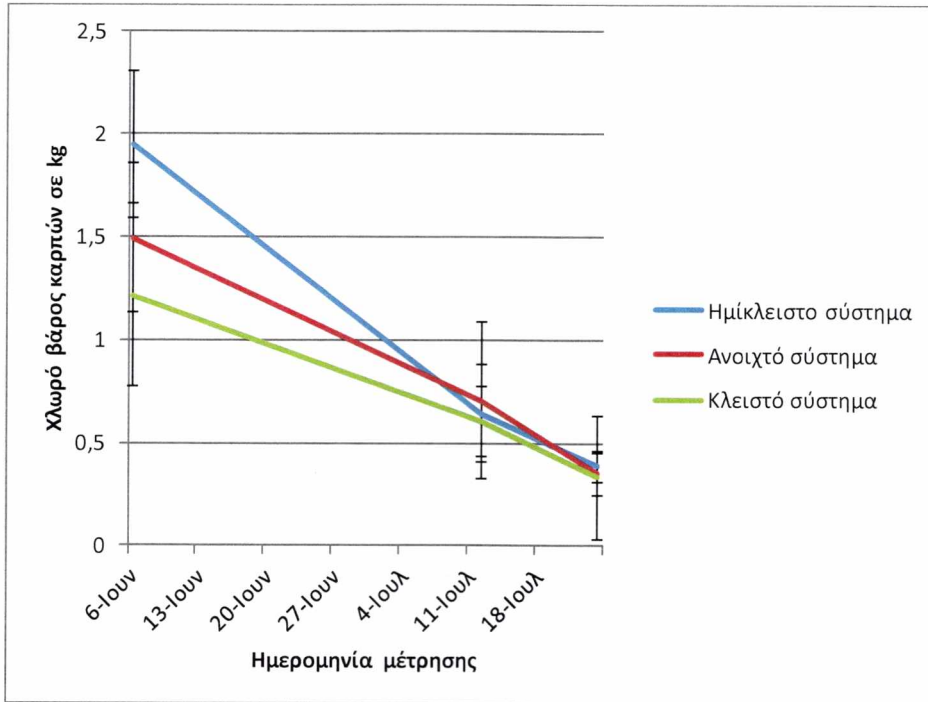
Όσον αφορά την συγκέντρωση του Cl, στο Σχήμα 4.13 φαίνεται ότι και 3 μεταχειρίσεις παρουσιάζουν άνοδο μέχρι και την 2^η καταστροφική μέτρηση με υψηλότερο το κλειστό σύστημα και έπειτα μια κάθοδο στην 3^η μέτρηση με υψηλότερο το ημίκλειστο σύστημα το οποίο είναι υψηλότερο και στην 1^η μέτρηση. Στο τέλος των μετρήσεων ο μέσος όρος συγκέντρωσης Cl για το ημίκλειστο σύστημα είναι 1,664 mmol/L, όπου είναι και το μεγαλύτερο, για το ανοιχτό 1,198 mmol/L και για το κλειστό 1,476 mmol/L όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4.14. Η στατιστική ανάλυση που έγινε έδειξε ότι δεν υπήρξαν σημαντικές στατιστικά διαφορές.

Στα σχήματα (Σχήμα 4.15, 4.16, 4.17) που ακολουθούν απεικονίζεται η πορεία του χλωρού βάρους των επιμέρους τμημάτων των φυτών για κάθε μεταχείριση.



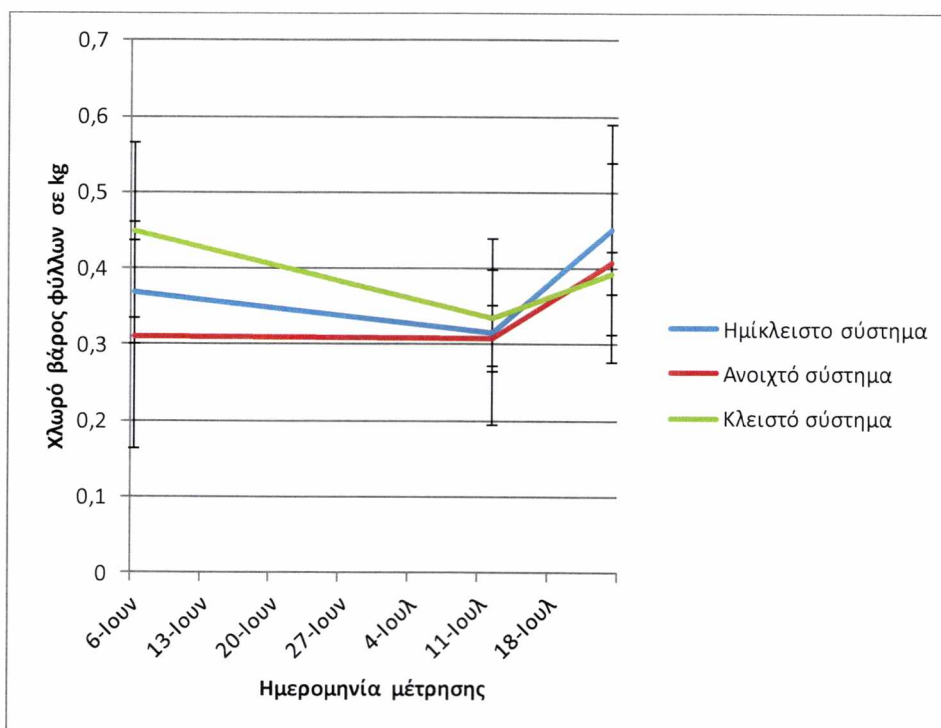
Σχήμα 4.15 Απεικόνιση της πορείας του χλωρού βάρους των βλαστών για κάθε μεταχείριση

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.15 η πορεία του χλωρού βάρους των βλαστών είναι σχεδόν παρόμοια για τις 3 μεταχειρίσεις εκτός από την τελευταία μέτρηση όπου το ανοιχτό σύστημα βρίσκεται χαμηλότερα από τις άλλες δύο μεταχειρίσεις. Ο μέσος όρος για το ημίκλειστο σύστημα είναι 0,785 kg, για το ανοιχτό 0,719 kg και για το κλειστό 0,811 kg. Η στατιστική ανάλυση που έγινε έδειξε ότι δεν υπήρξαν σημαντικές στατιστικά διαφορές.



Σχήμα 4.16 Απεικόνιση της πορείας του χλωρού βάρους καρπών για κάθε μεταχείριση

Στο παραπάνω σχήμα φαίνεται ότι και οι 3 μεταχειρίσεις μειώνονται σχεδόν γραμμικά κατά τη διάρκεια των μετρήσεων και κατά τις 2 τελευταίες μετρήσεις βρίσκονται σχεδόν στο ίδιο επίπεδο. Ο μέσος όρος για το ημίκλειστο σύστημα είναι 0,992 kg, για το ανοιχτό 0,849 kg και για το κλειστό 0,716 kg. Η στατιστική ανάλυση έδειξε ότι δεν υπήρξαν σημαντικές στατιστικά διαφορές.



Σχήμα 4.17 Απεικόνιση της πορείας του χλωρού βάρους φύλλων για κάθε μεταχείριση

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.17 η πορεία του χλωρού βάρους για το ημίκλειστο και το κλειστό σύστημα μειώνεται μέχρι την 2^η μέτρηση ενώ το βάρος του ανοιχτού συστήματος παραμένει σταθερό. Στη συνέχεια μέχρι την τελευταία μέτρηση η πορεία αυξάνεται και στις 3 μεταχειρίσεις με το ημίκλειστο σύστημα να προηγείται. Ο μέσος όρος χλωρού βάρους φύλλων για το ημίκλειστο σύστημα είναι 0,379 kg, για το ανοιχτό 0,342 kg και για το κλειστό σύστημα 0,393 kg. Η στατιστική ανάλυση που έγινε έδειξε ότι δεν υπήρξαν σημαντικές στατιστικά διαφορές.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα διατριβή αναπτύχθηκε με σκοπό να μελετηθεί η αύξηση και η ανάπτυξη φυτών ντομάτας που καλλιεργήθηκαν σε θερμοκήπιο με υδροπονική μέθοδο εφαρμόζοντας 3 διαφορετικές μεταχειρίσεις στην καλλιέργεια τους, με απώτερο στόχο να σχηματιστεί μια άποψη σχετικά με τη διαχείριση των απορροών του θρεπτικού διαλύματος του συστήματος.

Τα 3 διαφορετικά συστήματα που εφαρμόστηκαν στο πείραμα ήταν το κλειστό, το ανοιχτό και το ημίκλειστο σύστημα και σε κάθε ένα από αυτά παίρνονταν μετρήσεις σχετικά με την ανάπτυξη των φυτών, με την παραγωγή τους αλλά και καταστροφικές μετρήσεις όπως αναφέρθηκε αναλυτικότερα στο Κεφάλαιο 3.

Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων των μετρήσεων διαπιστώνεται ότι:

- Το ύψος των φυτών δεν επηρεάστηκε από τις 3 διαφορετικές μεταχειρίσεις αφού η πορεία του ήταν παρόμοια και στις 3 και η στατιστική ανάλυση έδειξε ότι δεν υπήρχαν σημαντικές στατιστικά διαφορές μεταξύ τους.
- Η παραγωγή των φυτών επηρεάστηκε από την επίδραση του κάθε συστήματος, με το ανοιχτό σύστημα να συγκεντρώνει την μεγαλύτερη παραγωγή γεγονός που οφείλεται στην συσσωρευμένη αλατότητα των άλλων 2 συστημάτων. Η ίδια επίδραση υπήρξε και στο μέσο βάρος των καρπών όπου το ανοιχτό σύστημα είχε το μεγαλύτερο μέσο βάρος καρπών. Διαφορετικό αποτέλεσμα παρουσίασε ο αριθμός των καρπών παραγωγής με το κλειστό σύστημα να συγκεντρώνει τον μεγαλύτερο αριθμό.
- Η φυλλική επιφάνεια των φυτών ντομάτας δεν επηρεάστηκε από την επίδραση των 3 μεταχειρίσεων αφού η πορεία του δείκτη φυλλικής επιφάνειας (LAI) ήταν παρόμοια και για τις 3 και δεν υπήρξαν σημαντικές στατιστικά διαφορές μεταξύ τους.
- Όσον αφορά τις καταστροφικές μετρήσεις, το χλωρό βάρος των βλαστών σημείωσε μια παρόμοια πορεία και για τις 3 μεταχειρίσεις με το κλειστό σύστημα να έχει τον μεγαλύτερο μέσο όρο βάρους χωρίς να υπάρχουν σημαντικές στατιστικά διαφορές. Το χλωρό βάρος των καρπών παρουσίασε μια γραμμική σχεδόν μείωση κατά την διάρκεια των μετρήσεων και για τις 3 μεταχειρίσεις χωρίς να υπάρχουν ξανά σημαντικές στατιστικά διαφορές. Το ημίκλειστο σύστημα συγκέντρωσε τον μεγαλύτερο μέσο όρο βάρους. Τέλος το χλωρό βάρος των φύλλων παρουσίασε μια μείωση μέχρι την 2^η μέτρηση για το κλειστό και ημίκλειστο σύστημα και ύστερα μια αύξηση μέχρι την τελευταία μέτρηση. Οι μέσοι όροι ήταν σχεδόν παρόμοιοι και για τις 3 μεταχειρίσεις και δεν υπήρξαν σημαντικές στατιστικές διαφορές.
- Το ξηρό βάρος των καρπών είχε μια ανοδική πορεία μέχρι την 2^η καταστροφική μέτρηση και έπειτα μια καθοδική πορεία μέχρι την τελευταία μέτρηση παρόμοια και για τις 3 μεταχειρίσεις. Δεν σημειώθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους αλλά στο ημίκλειστο σύστημα σημειώθηκε η μεγαλύτερη τιμή. Όσον αφορά το ξηρό βάρος των βλαστών, η πορεία των τιμών ήταν συνεχώς ανοδική και για τις 3 μεταχειρίσεις με το κλειστό

σύστημα να έχει την μεγαλύτερη τιμή χωρίς να υπάρχουν βέβαια σημαντικές στατιστικά διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων. Τέλος, το ξηρό βάρος των φύλλων παρουσίασε μια ανοδική πορεία μέχρι την 2^η καταστροφική μέτρηση και έπειτα μια καθοδική πορεία μέχρι την τελευταία μέτρηση παρομοίως και στις 3 μεταχειρίσεις. Το κλειστό σύστημα συγκέντρωσε την μεγαλύτερη τιμή χωρίς βέβαια να σημειωθούν ξανά σημαντικές στατιστικά διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων.

- Όσον αφορά τα αποτελέσματα από τα εκχυλίσματα κατιόντων και ανιόντων από τα φυτά των καταστροφικών μετρήσεων, η μεγαλύτερη μέση συγκέντρωση K σημειώθηκε στο ημίκλειστο σύστημα και ιδιαίτερα κατά την τελευταία καταστροφική μέτρηση. Η μεγαλύτερη μέση συγκέντρωση Na σημειώθηκε στο ανοιχτό σύστημα το οποίο είχε τις μεγαλύτερες τιμές κατά την 1^η και την τελευταία μέτρηση. Η μεγαλύτερη μέση συγκέντρωση Cl σημειώθηκε στο ημίκλειστο σύστημα αν και κατά την 2^η καταστροφική μέτρηση το κλειστό σύστημα είχε υψηλότερες τιμές με αισθητή διαφορά από τα υπόλοιπα συστήματα. Η στατιστική ανάλυση που έγινε και για τα 3 στοιχεία έδειξε ότι δεν υπήρξαν σημαντικές στατιστικά διαφορές.

Συνοψίζοντας, σύμφωνα με την ανάλυση των παραπάνω αποτελεσμάτων, φαίνεται ότι δεν σημειώθηκαν ιδιαίτερες διαφορές μεταξύ των 3 μεταχειρίσεων όσον αφορά τους παράγοντες που μετρήθηκαν. Φαίνεται ότι η αλατότητα που υπήρχε δεν επηρέασε σημαντικά τους παραπάνω παράγοντες αν και σημειώθηκαν κάποιες αλλαγές π.χ. στην παραγωγή των φυτών και στο μέσο βάρος καρπών όπου το ανοιχτό σύστημα είχε τις μεγαλύτερες τιμές.

Πρέπει να αναφέρουμε ότι πράγματι το κλειστό σύστημα υδροπονίας συνέβαλε στην εξοικονόμηση νερού και θρεπτικών στοιχείων γεγονός που οφείλεται στην συνεχόμενη ανακύκλωση του θρεπτικού διαλύματος και στην μηδενική απόρριψη του. Αντιθέτως το ανοιχτό σύστημα έχει υψηλό κόστος λειτουργίας και είναι μολυντικός παράγοντας του περιβάλλοντος αφού το απορρέον θρεπτικό διάλυμα απορρίπτεται.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης, είναι αισιόδοξο για τον τομέα παραγωγής με υδροπονική μέθοδο το γεγονός ότι δεν παρουσιάστηκαν μεγάλες διαφορές μεταξύ των 3 μεταχειρίσεων αφού ως συμπέρασμα μπορεί να υιοθετηθεί και να εφαρμοστεί ο τρόπος λειτουργίας ενός κλειστού/ημίκλειστου συστήματος ώστε να υπάρχουν τα επιθυμητά αποτελέσματα σε ποιότητα και ποσότητα έχοντας ταυτόχρονα εξοικονόμηση νερού και προστασία του περιβάλλοντος. Τέλος πρέπει να σημειωθεί ότι χρειάζονται περισσότερες μελέτες πάνω στο συγκεκριμένο θέμα ώστε να μπορεί να εγκατασταθεί ένα σύστημα που να συνδυάζει την φιλοσοφία ενός κλειστού και ημίκλειστου συστήματος ώστε να επιτευχθούν τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα μειώνοντας ταυτόχρονα τα προβλήματα συσσώρευσης αλάτων στο περιβάλλον της ρίζας των φυτών αποφεύγοντας έτσι τα δυσάρεστα αποτελέσματα στην παραγωγή και στην ανάπτυξη των φυτών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Γ.Μαυρογιαννόπουλος, 2005. Θερμοκήπια. Δ Έκδοση, Εκδόσεις Σταμούλης, Αθήνα (σελ.22-24, 36-38)
2. Γ.Μαυρογιαννόπουλος, 2006. Υδροπονικές Εγκαταστάσεις. Β Έκδοση, Εκδόσεις Σταμούλης, Αθήνα (σελ.15-17,21-22,124-126)
3. N.G. Tzortzakis, 2009. Alleviation of Salinity-Induced Stress in Lettuce Growth by potassium sulphate using nutrient film technique, *International Journal of Vegetable Science*, 15:3, 226-239
4. I.H. Lycoskoufis, D. Savvas, G. Mavrogianopoulos, 2004. Growth, gas exchange, and nutrient status in pepper (*Capsicum annuum* L.) grown in recirculating nutrient solution as affected by salinity imposed to half of the root system, *Elsevier Scientia Horticulturae* 106, 147-161
5. C. Sonneveld, R. Baas, H. M. C. Nijssen, J. de Hoog, 1999. Salt tolerance of flower crops grown in soilless culture, *Journal of Plant Nutrition*, 22:6, 1033-1048
6. Jesus Cuartero, Rafael Fernandez-Munoz, 1999. Tomato and salinity, *Elsevier Scientia Horticulturae* 78, 83-125
7. Ya Ling Li, Cecilia Stanghellini, 2001. Analysis of the effect of EC and potential transpiration on vegetative growth of tomato, *Elsevier Scientia Horticulturae* 89, 9-21
8. Martine Dorais, Athanasios P. Papadopoulos, André Gosselin, 2001. Influence of electrical conductivity management on greenhouse tomato yield and fruit quality, *Agronomie* 21, 367-383
9. N. Katsoulas. Recent trends in Salinity Control for Soilless Growing Systems Management
10. Ya Ling Li, Cecilia Stanghellini, Hugo Challa, 2001. Effect of electrical conductivity and transpiration on production of greenhouse tomato (*Lycopersicon esculentum* L.), *Elsevier Scientia Horticulturae* 88, 11-29
11. J.J. Magan, M. Gallardo, R.B. Thompson, P. Lorenzo, 2008. Effects of salinity on fruit yield and quality of tomato grown in soil-less culture in greenhouse in Mediterranean climatic conditions, *Elsevier Agricultural Water Management* 95, 1041-1055
12. N. Katsoulas, C. Kittas, D. Savvas, T. Bartzanas. Development and Evaluation of a DSS for Drainage Management in Semi-closed Hydroponic Systems
13. Safwan M. Shiyab, Mohamad A. Shatnawi, Rida A. Shibli, Nihad G. Al Smeirat, Jamal Ayad, Muhanad W. Akash, 2013. Growth, nutrient acquisition, and physiological responses of hydroponic grown tomato to sodium chloride salt induced stress, *Journal of Plant nutrition*, 36:9, 665-676



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ



004000123193