



ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ  
& ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ  
Αριθμ. Πρωτοκ. 389  
Ημερομηνία 5-7-12

## ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

### ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος

«Μελέτη της επίδρασης της μεθόδου διαχείρισης των απορροών στην παραγωγή και την ποιότητα υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας»



**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ**

**Φυντανής Απόστολος**

**Επιβλέπων**

**Επ. Καθηγητής Κατσούλας Νικόλαος**

**Νέα Ιωνία, 2012**



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

Αριθ. Εισ.: 10937/1

Ημερ. Εισ.: 10-09-2012

Δωρεά: Συγγραφέα

Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ - ΦΠΑΠ

2012

ΦΥΝ



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**

**ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ  
ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

**Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος**

«Μελέτη της επίδρασης της μεθόδου διαχείρισης των απορροών στην παραγωγή  
και την ποιότητα υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας»



**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ**

**Φυντανής Απόστολος**

**Επιβλέπων**

**Επ. Καθηγητής Κατσούλας Νικόλαος**

**Νέα Ιωνία, 2012**

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**  
**ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ**  
**ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**  
**Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ**

«Μελέτη της επίδρασης της μεθόδου διαχείρισης των απορροών στην παραγωγή και την ποιότητα υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας»

**ΦΥΝΤΑΝΗΣ ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ**

**Νέα Ιωνία, 2012**

### **Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή**

Ν. Κατσούλας (Επιβλέπων)  
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Επ. Καθηγητής  
Γεωργικές Κατασκευές

Κ. Κίττας (Μέλος)  
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Καθηγητής  
Γεωργικές Κατασκευές

Σπ. Φουντάς (Μέλος)  
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Επ. Καθηγητής  
Γεωργική Μηχανολογία

## **ΦΥΝΤΑΝΗΣ ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ**

**«Μελέτη της επίδρασης της μεθόδου διαχείρισης των απορροών στην παραγωγή και την ποιότητα υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας»**

LACEC ISBN no: xxx

## Περίληψη

Στην παρούσα διατριβή μελετάται η επίδραση της αλατότητας στην παραγωγή και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά φυτών τομάτας. Πιο συγκεκριμένα μελετάται ο τρόπος που πρέπει να διαχειριστούν τρία διαφορετικά υδροπονικά συστήματα, έτσι ώστε να μην αποτελεί πρόβλημα η συγκέντρωση της αλατότητας στο περιβάλλον της ρίζας. Τα τρία διαφορετικά συστήματα είναι το ανοικτό, το κλειστό και το ημίκλειστο. Στο ημίκλειστο σύστημα, η ανανέωση του θρεπτικού διαλύματος γίνεται κάθε φορά που η συγκέντρωση του νατρίου υπερβεί το ανώτατο όριο των 15 mmol l<sup>-1</sup>. Το πείραμα πραγματοποιήθηκε στο Αγρόκτημα του Πανεπιστήμιου Θεσσαλίας, στο Βελεστίνο.

Έτσι, παρακάτω γίνεται μία μικρή αναφορά στα θερμοκήπια του Ελλαδικού χώρου και στα συστήματα υδροπονίας που είναι πιο διαδεδομένα στους παραγωγούς αλλά και που χρησιμοποιούνται στο παρόν πείραμα. Ακολούθως παρατίθενται οι δυσμενείς επιπτώσεις, της υψηλής αλατότητας στο περιβάλλον της ρίζας, στα φυτά και γίνεται μια αναφορά στα μορφολογικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά των φυτών τομάτας. Επίσης, αφού παρουσιαστούν λεπτομερώς τα υλικά και οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για την διεκπεραίωση του πειράματος, ακολουθεί η παρουσίαση των αποτελεσμάτων.

Τέλος παρατίθενται τα συμπεράσματα τα οποία συμφωνούν και με τα συμπεράσματα άλλων παρόμοιων πειραμάτων, στο ότι το κλειστό σύστημα, εκτός ότι είναι η πιο οικονομική μέθοδος, κάτω από την σωστή διαχείριση δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα, όσον αφορά την ποιότητα.



## Ευχαριστίες

Προτού, προχωρήσω στην καταγραφή της πτυχιακής διατριβής μου, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά, τα άτομα που με στήριξαν και με βοήθησαν όχι μόνο κατά την διάρκεια διεξαγωγής του πειράματος, αλλά και καθόλη την διάρκεια των σποδών μου.

Αρχικά θέλω να ευχαριστήσω τον Κο Κατσούλα Νικόλαο, Επίκουρο Καθηγητή του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, για την στήριξη του και την πολύτιμη βοήθεια του, από την αρχή μέχρι και το τέλος του πειράματος, αλλά και για την υπομονή του για την συγγραφή αυτής την πτυχιακής.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον Κο Κωνσταντίνο Κίττα Καθηγητή και Διευθυντή του Εργαστηρίου Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος, καθώς και τον Κο Σπύρο Φουντά Επίκουρο Καθηγητή, του εργαστηρίου Γεωργικής Μηχανολογίας, Τμήματος Γεωπονίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας για τη συμμετοχή τους στη συμβουλευτική επιτροπή.

Ευχαριστώ επίσης τον Κο Νάνο Γεώργιο Αναπληρωτή Καθηγητή του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, για την παραχώρηση του εργαστηρίου του και την εμπιστοσύνη του, για την διεξαγωγή των μετρήσεων του πειράματος.

Ακόμη ευχαριστώ τον Γιαννακό Ηλία, υπεύθυνο διαχείρισης του θερμοκηπίου στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου στο Βελεστίνο, για την πολύτιμη βοήθεια του και τον Κακαβηκάκη Γεώργιο μεταπτυχιακό φοιτητή του Τμήματος Γεωπονίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, που συμμετείχε μάλιστα στο ίδιο πείραμα, για την καθοδήγηση στην ανάλυση των αποτελεσμάτων. Επίσης σημαντική ήταν και η βοήθεια της Μαλετσίκα Περσεφόνης υποψήφια διδάκτορας στο τμήμα Γεωπονίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Δεν θα μπορούσα να ξεχάσω, να εκφράσω την ευχαρίστηση μου στον στενό μου φίλο και συμφοιτητή, Τρυφονόπουλο Ιωάννη, για την συμπαράσταση και υποστήριξη καθόλη την διάρκεια.

Επιπλέον θα ήθελα να αναφέρω ότι η εργασία αυτή έγινε στο πλαίσιο του ερευνητικού έργου Sirrimed, το οποίο υλοποιείται από το Κέντρο Έρευνας Τεχνολογίας και Ανάπτυξης Θεσσαλίας σε συνεργασία με το Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος, στο πλαίσιο των προγραμμάτων FP7.

Τέλος, ευχαριστώ την οικογένειά μου και ιδιαίτερα την αγαπημένη μου αδελφή, Φυντανή Βασιλική που με την υπομονή της και την υποστήριξή της κατάφερα να ολοκληρώσω ευχάριστα και με μεγάλη επιτυχία τις σπουδές μου.

*Φυντανής Απόστολος*

*Βόλος, 2012*

Δήλωση: Δηλώνω υπεύθυνα ότι το παρόν κείμενο αποτελεί προϊόν προσωπικής μελέτης και εργασίας και πώς όλες οι πηγές που χρησιμοποιήθηκαν για τη συγγραφή της δηλώνονται σαφώς είτε στις παραπομπές είτε στο βιβλιογραφικό κατάλογο.

Υπογραφή

---

## Πίνακας Περιεχομένων

<b>Κεφάλαιο 1 . Γενική Εισαγωγή.....</b>	<b>11</b>
1.1 Γενικά για τα θερμοκήπια .....	11
1.2 Υδροπονική καλλιέργεια .....	13
1.2.1 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα υδροπονίας.....	15
1.3 Επίδραση της αλατότητας.....	16
1.4 Λαχανικά που καλλιεργούνται υδροπονικά στο θερμοκήπιο. ....	17
1.5 Μορφολογικά κ ποιοτικά χαρακτηριστικά, τομάτας .....	17
1.6 Αντικείμενο και δομή της εργασίας.....	21
<b>Κεφάλαιο 2 . Βιβλιογραφική Ανασκόπηση.....</b>	<b>22</b>
2.1 Μοντελοποίηση της πρόσληψης Na <sup>+</sup> και Cl <sup>-</sup> στη τομάτα σε κλειστό υδροπονικό σύστημα.....	22
2.2 Επίδραση της αλατότητας στην παραγωγή.....	23
2.3 Επίδραση της αλατότητας στα Οργανοληπτικά χαρακτηριστικά .....	25
2.4 Επίδραση της αλατότητας στο Χρώμα. ....	26
2.5 Επίδρασή της αλατότητας στην ανάπτυξη του φυτού.....	27
<b>Κεφάλαιο 3 . Υλικά και Μέθοδοι.....</b>	<b>29</b>
3.1 Τοποθεσία πειράματος.....	29
3.2 Θερμοκήπιο .....	29
3.3 Αερισμός.....	30
3.4 Θέρμανση .....	30
3.5 Καλλιέργεια. ....	32
3.5.1 Ποικιλία και εγκατάσταση καλλιέργειας .....	32
3.5.2 Άρδευση .....	34
3.5.3 Υπολογισμός συγκέντρωσης Na <sup>+</sup> .....	37
3.5.4 Θρεπτικό διάλυμα .....	38
3.5.5 Καλλιεργητικές φροντίδες.....	40
3.6 Μετρήσεις .....	40
3.6.1 Χρώμα .....	42
3.6.2 Ογκομετρούμενη οξύτητα .....	45
3.6.3 Περιεκτικότητα των καρπών σε διαλυτά στερεά συστατικά (ΔΣΣ) .....	46
3.6.4 Περιεκτικότητα των καρπών σε ασκορβικό οξύ.....	46
3.6.5 Περιεκτικότητα των καρπών σε λυκοπένιο.....	46
3.6.6 Στατιστική ανάλυση .....	47

<b>Κεφάλαιο 4 . Αποτελέσματα και Συζήτηση.....</b>	<b>48</b>
4.1 Καθαρή ποσότητα νερού που καταναλώθηκε .....	50
4.2 Ποσότητα θρεπτικού διαλύματος που απορροφήθηκε από τα φυτά (διαπνοή) .....	51
4.3 Συγκέντρωση Νατρίου (Na) .....	51
4.4 Επίδραση της αλατότητας στην παραγωγή.....	52
4.5 Επίδραση της αλατότητας στο χρώμα .....	53
4.6 Επίδραση της αλατότητας στην Ογκομετρούμενη Οξύτητα .....	54
4.7 Επίδραση της αλατότητας στην περιεκτικότητα των καρπών σε Ασκορβικό οξύ.....	55
4.8 Επίδραση της αλατότητας στη σύνθεση Λυκοπενίου.....	56
4.9 Επίδραση της αλατότητας, στη περιεκτικότητα των καρπών σε διαλυτά στερεά .....	57
<b>Κεφάλαιο 5 . Συμπεράσματα.....</b>	<b>59</b>
<b>Κεφάλαιο 6 . Βιβλιογραφία .....</b>	<b>61</b>

# Κεφάλαιο 1. Γενική Εισαγωγή

## 1.1 Γενικά για τα θερμοκήπια

Μετά το τέλος του 2<sup>ου</sup> παγκοσμίου πολέμου, οι οικονομικές και κοινωνικές δομές τροποποιήθηκαν σημαντικά. Παρατηρήθηκε μια συνεχώς αυξανόμενη αστικοποίηση του πληθυσμού και αύξηση της αγοραστικής δύναμης. Αυτές οι αλλαγές επηρέασαν ακόμη και τις διαιτητικές συνήθειες, αυξάνοντας έτσι την κατανάλωση των οπωροκηπευτικών. Η ζήτηση ήταν μεγάλη, ενώ η τροφοδοσία της αγοράς ελλιπής, καθόλη την διάρκεια του χρόνου. Έτσι δημιουργήθηκε η ανάγκη για παραγωγή προϊόντων “εκτός εποχής”, δηλαδή προϊόντα που θα παράγονται, μαζικά κ με σταθερή ποιότητα, καθόλη τη διάρκεια του έτους. Αυτή η επιτακτική ανάγκη μπορούσε να γίνει εφικτή με την υπό κάλυψη καλλιέργεια. Επομένως, άρχισαν να καλλιεργούνται φυτά (κηπευτικά) μέσα σε θερμοκήπια.

Το θερμοκήπιο είναι μια κατασκευή, η οποία περικλείει μια καλλιεργούμενη έκταση και είναι καλυμμένη με ένα διαφανές υλικό (γυαλί ή πλαστικό), πετυχαίνοντας έτσι τη δημιουργία ενός διαφορετικού κλίματος στο εσωτερικό της κατασκευής αυτής, από αυτήν στο εξωτερικό της. Προφανώς το εσωτερικό περιβάλλον του θερμοκηπίου είναι στενά εξαρτημένο από το εξωτερικό περιβάλλον. Υπάρχουν στιγμές που στο εσωτερικό του θερμοκηπίου δημιουργούνται οι κατάλληλες συνθήκες για την ανάπτυξη της καλλιέργειας (ενώ στο εξωτερικό περιβάλλον επικρατούν δυσμενής) και στιγμές που γίνεται το αντίθετο (π.χ. υψηλή σχετική υγρασία, υψηλές θερμοκρασίες, κ.α.). Γι’ αυτό είναι απαραίτητη η γνώση των βασικών αρχών που καθορίζουν τις καλλιεργητικές απαιτήσεις, αλλά και ο εφοδιασμός του θερμοκηπίου με βοηθητικά συστήματα – μέσα που προσαρμόζουν το επιθυμητό περιβάλλον ανάπτυξης τις καλλιέργειας, όπως συστήματα θέρμανσης και ψύξης, παράθυρα, κ.α..

Τα θερμοκήπια διαφέρουν από άλλες παρόμοιες κατασκευές, όπως τα χαμηλά σκέπαστρα και τα σπορεία, στο ότι είναι αρκετά υψηλά (ως και 7 μέτρα) και ευρύχωρα. Υπάρχουν διάφοροι τύποι θερμοκηπίων και υλικών κάλυψης, με διαφορετικές ιδιότητες ο κάθε τύπος.

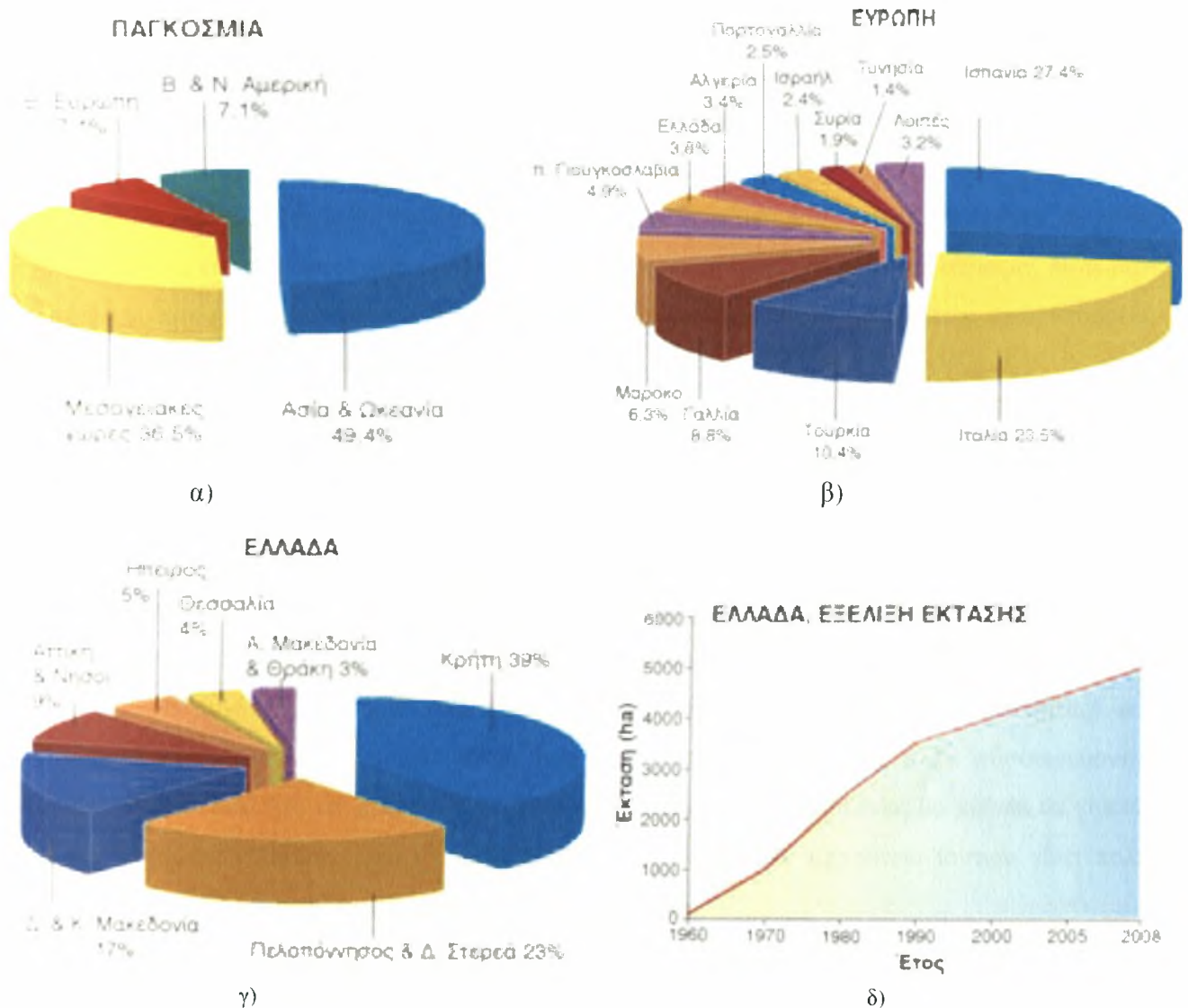
Θα πρέπει να επισημανθεί, ότι τα προϊόντα θερμοκηπίου στη χώρα μας, αποτελούν περισσότερο συμπλήρωμα των καλλιεργειών του ανοιχτού αγρού, ενώ είναι ανταγωνιστικά σε σχέση με τις βόρειο-ευρωπαϊκές χώρες, λόγω εποχής.

Επίσης το θερμοκήπιο, δεν εξασφαλίζει μόνο την παραγωγή προϊόντων “εκτός εποχής”, αλλά και α) πρωίμιση ή οψίμιση της παραγωγής που δίνει την δυνατότητα στον παραγωγό να προγραμματίσει την διάθεση του προϊόντος στην αγορά, β) αύξηση της παραγωγής και βελτιστοποίηση της ποιότητας λόγω της βελτίωσης των συνθηκών περιβάλλοντος (ιδανικές

συνθήκες), προστασία από αντίξοες συνθήκες και ελεγχόμενη-αποτελεσματικότερη φυτοπροστασία.

Βέβαια σημαντικό είναι η παραγωγή των φυτικών προϊόντων να γίνεται με το μικρότερο δυνατό κόστος. Αυτό κατορθώνεται με την σωστή κατασκευή του θερμοκηπίου, τον σωστό εξοπλισμό και την ικανότητα του καλλιεργητή να χειριστεί και να καταναίμει τα διαθέσιμα εφόδια, έτσι ώστε να δημιουργείται και να διατηρείται το ευνοϊκό περιβάλλον, για την ανάπτυξη και παραγωγή των φυτών.

Τα τελευταία χρόνια, οι προσπάθειες για περαιτέρω βελτίωση, οδήγησαν στη χρήση νέων υλικών κάλυψης, νέων μεθόδων κλιματισμού, νέων μεθόδων-συστημάτων καλλιέργειας και τη χρήση της τεχνολογίας των Η/Υ στο χώρο του θερμοκηπίου.



**Σχήμα.** α) Τα ποσοστά θερμοκηπίων παγκόσμια, β) στην Ευρώπη, γ) στην Ελλάδα και δ) εξέλιξη θερμοκηπιακών καλλιέργειών στην Ελλάδα.



## 1.2 Υδροπονική καλλιέργεια

Υδροπονική καλλιέργεια, είναι ένα σύγχρονο σύστημα καλλιέργειας εκτός εδάφους που εφαρμόζεται στα θερμοκήπια. Σε αυτόν τον τύπο καλλιέργειας περιλαμβάνεται κάθε σύστημα, κατά το οποίο ένα τεχνητά παρασκευαζόμενο θρεπτικό δ/μα (αραιό υδατικό δ/μα όλων των θρεπτικών στοιχείων που είναι απαραίτητα για τα φυτά) χορηγείται στις ρίζες, οι οποίες είτε αναπτύσσονται απευθείας σε αυτό, είτε μέσα σε πορώδη στερεά υλικά, που καλούνται υποστρώματα και διαβρέχονται τακτικά με το θρεπτικό δ/μα.

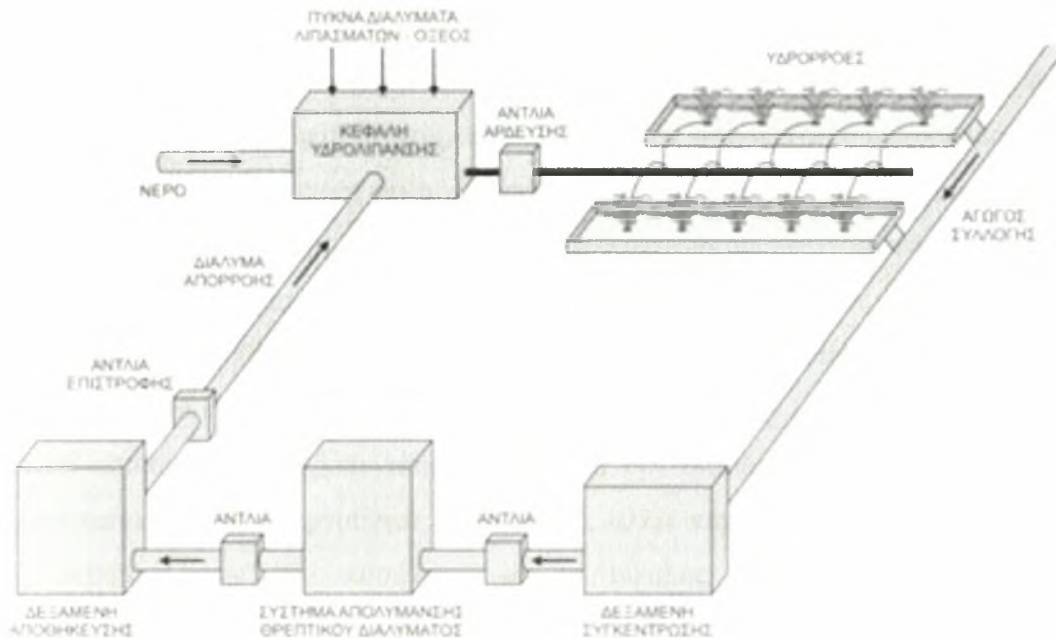
Ως υπόστρωμα θεωρείται οποιοδήποτε πορώδες υλικό, εκτός από το φυσικό χώμα, που είτε είναι φυσικό, είτε προερχόμενο από βιομηχανική επεξεργασία και είναι σε θέση να συγκρατεί τον αέρα και το νερό, άρα και το θρεπτικό δ/μα, σε κατάλληλες αναλογίες για την ανάπτυξη των φυτών, με συνέπεια να υποκαθιστά το έδαφος ως μέσο ανάπτυξης τους.

Τα περισσότερα υποστρώματα είναι χημικά αδρανή υλικά στις συνηθισμένες συνθήκες καλλιέργειας, το οποίο σημαίνει ότι ούτε αποδίδουν θρεπτικά στοιχεία στο θρεπτικό δ/μα, αλλά ούτε δεσμεύουν ιόντα που υπάρχουν είδη σε αυτό.

Όταν μια καλλιέργεια σε υπόστρωμα ποτίζεται, το θρεπτικό δ/μα που της παρέχεται συνήθως υπερβαίνει την ποσότητα που μπορεί να συγκρατήσει το συγκεκριμένο υπόστρωμα, διότι έτσι γίνεται και η έκπλυση των αλάτων. Η ποσότητα του θρεπτικού διαλύματος που απορρέει, ονομάζεται διάλυμα απορροής.

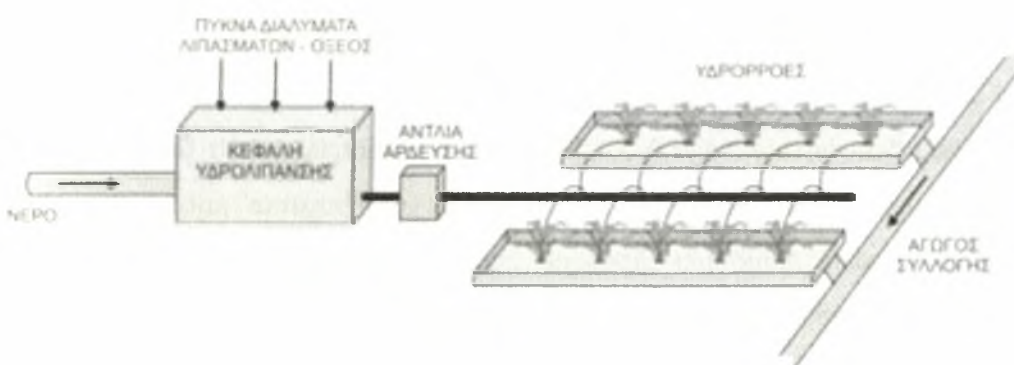
Χρησιμοποιούνται δύο τρόποι, για την διάθεση του θρεπτικού διαλύματος στα φυτά. Ο πρώτος τρόπος είναι, με ανακύκλωση του θρεπτικού διαλύματος (κλειστό υδροπονικό σύστημα), ενώ ο δεύτερος, χωρίς την ανακύκλωσή του (ανοικτό υδροπονικό σύστημα).

Στο κλειστό σύστημα, το θρεπτικό δ/μα οδηγείται με το σύστημα άρδευσης στα φυτά και αυτό που στραγγίζει από το περιβάλλον της ρίζας, συλλέγεται και αφού απολυμανθεί, συμπληρώνεται με νερό και θρεπτικά στοιχεία, διορθώνεται το pH του και χορηγείται ξανά στα φυτά. Για αυτό το σύστημα, απαιτείται καλής ποιότητας νερό (χαμηλής αλατότητας) και καθαρά λιπάσματα, διότι κάποια ιόντα (π.χ. Na<sup>+</sup>) δεν απορροφούνται, αλλά συσσωρεύονται συνεχώς στο διάλυμα και έτσι αυξάνεται συνεχώς η αλατότητα. Επομένως θα πρέπει να γίνεται συχνά χημική ανάλυση, έτσι ώστε όταν η συγκέντρωση των άχρηστων ιόντων γίνει πολύ μεγάλη, ένα μέρος του δ/τος ή το σύνολο να απορριφθεί.



*Εικόνα 1. Σχηματική αναπαράσταση ενός κλειστού συστήματος καλλιέργειας φυτών εκτός εδάφους.*

Στο ανοικτό σύστημα, το διάλυμα απορροής απορρίπτεται, γι' αυτό και σε όλα τα ανοικτά συστήματα χρησιμοποιείται πορώδες υπόστρωμα, ενώ η ροή του θρεπτικού δ/τος στη ρίζα είναι ασυνεχής. Αυτό το σύστημα είναι ευκολότερο να το διαχειριστεί ο καλλιεργητής, σε σχέση με το κλειστό σύστημα, διότι σε αυτήν την περίπτωση το περιβάλλον της ρίζας επηρεάζεται μόνο από τη σύνθεση του θρεπτικού δ/τος με το οποίο τροφοδοτείται, άρα η περίσσεια κάποιου ιόντος απομακρύνεται με την έκπλυση και δεν προκαλεί κάποιο πρόβλημα. Ωστόσο οι απώλειες κατιόντων είναι μεγαλύτερες των κλειστών και περίπου ίδιες με αυτές των αρδευόμενων καλλιιεργειών εδάφους.



*Εικόνα 2 Σχηματική αναπαράσταση ενός ανοικτού συστήματος καλλιέργειας φυτών εκτός εδάφους.*



Βέβαια θα μπορούσε να αξιολογηθεί αρνητικά η ανάπτυξη των φυτών απουσία του φυσικού εδάφους, γιατί είναι μια διαδικασία που απομακρύνει την παραγωγή των τροφίμων από το φυσικό περιβάλλον. Όμως η άποψη ότι η υδροπονία δίνει προϊόντα κατώτερης θρεπτικής αξίας, από την καλλιέργεια στο έδαφος, επειδή τα φυτά καλλιεργούνται σε ανόργανα θρεπτικά δ/τα, δεν είναι σωστή, αφού και στην άλλη περίπτωση χρησιμοποιούνται χημικά λιπάσματα (Μαυρογιαννόπουλος, 2006). Μάλιστα τα λιπάσματα που χρησιμοποιούνται στην υδροπονία είναι πολύ πιο καθαρά και απαλλαγμένα από βαρέα μέταλλα.

Γενικά τα προϊόντα της υδροπονικής καλλιέργειας δεν διαφέρουν ως προς τη γεύση και άρωμα, από αυτά που καλλιεργούνται στο έδαφος, αλλά περιέχουν ανόργανα στοιχεία και βιταμίνες ακριβώς στην ίδια ποσότητα, με τα υψηλής ποιότητας προϊόντα εδάφους (Μαυρογιαννόπουλος, 2006).

### **1.2.1 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα υδροπονίας**

Με την βελτιστοποίηση του περιβάλλοντος της ρίζας που επιτυγχάνεται, αυξάνονται οι αποδόσεις των φυτών και βελτιώνεται η ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων. Η καλλιέργεια εκτός εδάφους, εξασφαλίζει την απουσία παθογόνων εδάφους στον περιβάλλον της ρίζας και έτσι παρέχεται ένα καθαρό ξεκίνημα (εφόσον το και το δ/μα είναι καθαρό) για την καλλιέργεια, χωρίς το επιπλέον κόστος και την επιβάρυνση του περιβάλλοντος με την χρήση τοξικών χημικών ουσιών. Εάν το υπόστρωμα ξαναχρησιμοποιηθεί, μπορεί να απολυμανθεί πολύ πιο εύκολα και φθηνότερα από το έδαφος. Επίσης με την υδροπονία εξασφαλίζεται η υψηλή παραγωγή σε υποβαθμισμένα και άγονα εδάφη, αλλά σημαντικά οφέλη παρέχει και στις περιπτώσεις εκείνες που το νερό άρδευσης έχει υψηλή περιεκτικότητα σε άλατα (1-1,5 dS/m), (Σάββας 2011). Η μείωση του κόστους θέρμανσης είναι ένα άλλο πλεονέκτημα, λόγω της κάλυψης του εδάφους, η οποία οδηγεί σε μειωμένη εξάτμιση νερού και συνεπώς στον περιορισμό της κατανάλωσης ενέργειας σε μορφή λανθάνουσας θερμότητας. Μειωμένες δαπάνες για θέρμανση προκύπτουν επίσης και από το γεγονός ότι οι υδροπονικές καλλιέργειες δεν εξαρτώνται από τη θερμοκρασία του εδάφους, αλλά του υποστρώματος, που είναι εύκολο να ρυθμιστεί. Ακόμη πετυχαίνεται εξοικονόμηση νερού και θρεπτικών στοιχείων, γιατί περιορίζονται οι απώλειες από επιφανειακές απορροές και βαθιά διείσδυση του νερού στο έδαφος, αλλά και επειδή παρέχονται μόνο οι βέλτιστες ποσότητες θρεπτικών που χρειάζεται το φυτό και όχι παραπανίσιες. Άρα έτσι προστατεύεται και το περιβάλλον, αποφεύγοντας προβλήματα νιτρορύπανσης και ευτροφισμού, αν χρησιμοποιείται κλειστό υδροπονικό σύστημα. Επιπλέον, ένα σημαντικό πλεονέκτημα, αποτελεί και η πρωίμιση της πρώτης

συγκομιδής, λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που διατηρούνται εύκολα στο περιβάλλον της ρίζας. Τέλος, με την υδροπονία περιορίζεται η σκληρή χειρονακτική εργασία όπως αυτής της καλλιέργειας του εδάφους (όργωμα, φρεζάρισμα, βασική λίπανση κτλ), που είναι αναγκαία στις καλλιέργειες εδάφους, με αποτέλεσμα να μειώνονται οι ανάγκες σε εργατικά και παράλληλα, να είναι δυνατή η φύτευση νέας καλλιέργειας, αμέσως μετά την απομάκρυνση της προηγούμενης.

Όμως εκτός από τα πλεονεκτήματα, η υδροπονία παρουσιάζει και κάποια μειονεκτήματα. Το σημαντικότερο από αυτά είναι το υψηλό αρχικό κόστος εγκατάστασης, που αφορά τις εγκαταστάσεις παρασκευής και τροφοδοσίας του θρεπτικού διαλύματος, αλλά και τα έξοδα για την αγορά του υποστρώματος (εφόσον χρησιμοποιείται υπόστρωμα στην καλλιέργεια). Ένα εξίσου σημαντικό μειονέκτημα, είναι η ταχύτερη εμφάνιση των δυσμενών επιδράσεων ενός λανθασμένου χειρισμού στα φυτά, σε αντίθεση με την καλλιέργεια στο έδαφος, όπου συγχωρούνται τυχόν λάθη, αφού το έδαφος είναι από μόνο του μια τεράστια αποθήκη θρεπτικών και νερού και αντιστέκεται σε μια οποιαδήποτε αλλαγή των ιδιοτήτων του (π.χ. αλλαγή pH). Επίσης, αν η απολύμανση του ανακυκλωμένου θρεπτικού διαλύματος (στα κλειστά συστήματα) δεν είναι επαρκείς, τότε είναι πολύ εύκολο να εξαπλωθούν παθογόνα. Άρα συμπεραίνεται, ότι ο καλλιεργητής που θα πρέπει να αναλάβει ένα υδροπονικό σύστημα θα πρέπει να έχει την απαιτούμενη γνώση και εμπειρία.

### **1.3 Επίδραση της αλατότητας**

Τα άλατα που συσσωρεύονται στην περιοχή της ρίζας, προέρχονται είτε από το νερό της άρδευσης (π.χ. Na και Cl), είτε από τα λιπάσματα που χρησιμοποιούνται. Επομένως με την διαπνοή, το νερό που χάνεται στην ατμόσφαιρα είναι καθαρό νερό (χωρίς άλατα), που αφαιρείται από την ρίζα, με συνέπεια να αυξάνεται η συγκέντρωση των αλάτων στην περιοχή αυτή. Έτσι με την αύξηση των αλάτων, μειώνεται το καθαρό νερό (χαμηλό υδατικό δυναμικό), με συνέπεια τα φυτά να δυσκολεύονται να απορροφήσουν το αναγκαίο νερό. Όταν επικρατεί ηλιοφάνεια και υψηλή θερμοκρασία ευνοείται ο υψηλός ρυθμός διαπνοής, άρα αυξάνονται πολύ γρήγορα η συμπύκνωση των αλάτων στο υπόστρωμα. Επομένως είναι πολύ σημαντικό, με την άρδευση η συγκέντρωση των αλάτων στην περιοχή της ρίζας να κρατιέται σταθερή και όχι να αυξάνει, (Γ. Ν. Μαυρογιαννόπουλος, 2011).

Η αλατότητα στο θρεπτικό διάλυμα μπορεί εύκολα να μετρηθεί με το αγωγιμόμετρο, που δίδει τιμές ειδικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC). Η ηλεκτρική αγωγιμότητα σε μια συγκεκριμένη θερμοκρασία είναι ανάλογη της συγκέντρωσης των αλάτων που βρίσκονται στο διάλυμα, δεν δίνει καμία ένδειξη όμως για το είδος των αλάτων που είναι διαλυμένα.

Ανεπαρκής περιεκτικότητα σε ανόργανα θρεπτικά στοιχεία, συμβαίνει όταν η ηλεκτρική αγωγιμότητα του διαλύματος στο περιβάλλον του ριζικού συστήματος, είναι χαμηλότερη από μια συγκεκριμένη τιμή. Αντίθετα, υψηλή συγκέντρωση αλάτων και χαμηλή ποσότητα καθαρού διαθέσιμου νερού στα φυτά, συμβαίνει όταν η ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι υψηλότερη από μια συγκεκριμένη τιμή, το οποίο φέρει αρνητικές επιπτώσεις στην ανάπτυξη και παραγωγή των φυτών.

Γενικά πρέπει να επιδιώκεται, να διατηρείται σταθερή η ηλεκτρική αγωγιμότητα του διαλύματος στην περιοχή της ρίζας. Επομένως θα πρέπει στην άρδευση να διατηρείται αρκετή ποσότητα εύκολα διαθέσιμου καθαρού νερού στην περιοχή αυτή και τα απαραίτητα ανόργανα θρεπτικά στοιχεία.

#### **1.4 Λαχανικά που καλλιεργούνται υδροπονικά στο θερμοκήπιο.**

Ένας σημαντικός αριθμός λαχανικών, καλλιεργείται σήμερα, υδροπονικά στα θερμοκήπια. Είδη στις οικονομικά αναπτυγμένες χώρες, όπως η Ολλανδία, η υδροπονία έχει γίνει πολύ δημοφιλής, αφού μέχρι και το 2006 σχεδόν όλα τα παραγόμενα κηπευτικά παράγονταν υδροπονικά σε πάνω από 100.000 στρέμματα. Στην χώρα μας, κάποια από τα παραγόμενα λαχανοκομικά φυτά (αλλά και δρεπτά άνηθη) καλλιεργούνται υδροπονικά, σε έκταση περίπου 2500 στρεμμάτων. Τα πιο συνηθισμένα από αυτά τα λαχανοκομικά φυτά, είναι η τομάτα, το αγγούρι, το μαρούλι, η μελιτζάνα, η πιπεριά, το καρπούζι, το πεπόνι και η φράουλα. Αυτό όμως που καλλιεργείται, επί το πλείστον, υδροπονικά, στο θερμοκήπιο, είναι η τομάτα, αφού, αποτελεί περίπου το 60% των παραγόμενων λαχανοκομικών, στα υδροπονικά θερμοκήπια.

Οι κυριότεροι εμπορικοί μέθοδοι, με τους οποίους καλλιεργούνται τα παραπάνω λαχανοκομικά, είναι α) καλλιέργεια σε υπόστρωμα ορυκτοβάμβακα (rockwool Culture), β) καλλιέργεια σε περλίτη και γ) καλλιέργεια σε φιλμ θρεπτικού διαλύματος (NFT). Επίσης, άλλες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται σε σημαντικό βαθμό, είναι η καλλιέργεια σε άμμο (ή χαλίκι μικρής διαμέτρου) και σε σάκους ινών καρύδας.

#### **1.5 Μορφολογικά κ ποιοτικά χαρακτηριστικά, τομάτας**

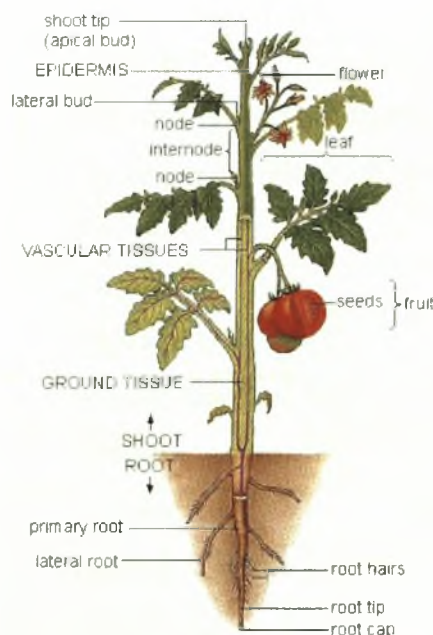
Η τομάτα ανήκει στο είδος *Lycopersicon esculentum* Mill., και στην οικογένεια Solanaceae. Κατάγεται από την κεντρική και νότια αμερική. Είναι μονοετές και διετές φυτό (σπανιότερα πολυετές), και μάλιστα θερμοφιλό και ηλιόφιλο. Έχει θαμνώδη μορφή, που βγάζει πολλούς πλευρικούς βλαστούς, οι οποίοι, όπως και ο κεντρικός βλαστός, είναι τεφροπράσινοι και γουδωτοί. Τα φύλλα είναι σύνθετα, τεφροπράσινου χρώματος και κατανέμονται ελικοειδώς

πάνω στον βλαστό, ενώ τα φυλλάρια, έχουν άνισο μέγεθος, είναι ακέραια ή τα κάτω έλλοβα, συνήθως αυλακωτά και διπλωμένα. Το άνθος φέρει πράσινο δερματώδη κάλυκα, που αποτελείται από 5 ή περισσότερα σέπαλα, στεφάνη κίτρινη με 5 ή περισσότερα ενωμένα πέταλα και 5 ή περισσότερους στήμονες, ενωμένους στην βάση τους με την στεφάνη και ενωμένους κατά μήκος μεταξύ τους, ώστε να σχηματίζουν κώνο γύρω από τον στύλο, που είναι συνήθως πιο κοντός, εγκλωβισμένος από τους ανθήρες.



*Εικόνα 3. Άνθος φυτού τομάτας.*

Η ωθήκη είναι πολύχωρη (2-7 ή και περισσότερους χώρους) και κάθε χώρος έχει πολλά ωάρια. Ο καρπός, είναι πολύχωρος ράγα, με ποικίλα σχήματα και χρώμα πράσινο όταν ο καρπός είναι άωρος, ενώ κοκκινίζει όταν ωριμάσει. Ο καρπός ποικιλιών με δύο χωρίσματα, είναι συνήθως στρογγυλός, ενώ αυτών με 3, 4, 5 ή περισσότερα χωρίσματα είναι πεπλατυσμένος και πιθανόν ακανόνιστος.



*Εικόνα 4. Μορφολογία φυτού τομάτας.*

Καλλιεργείται ως ετήσιο φυτό, για τον καρπό της, ο οποίος καταναλώνεται ώριμος, νωπός, αποξηραμένος, σε άλμη, ακέραιος ή σε πολτό. Ακόμη και οι άωροι καρποί (που είναι τοξικοί αν καταναλωθούν νωποί), συντηρούνται σε άλμη ή ξύδι ('τουρσί').

Η καλλιέργεια της καταλαμβάνει την τρίτη θέση, μετά την πατάτα και γλυκοπατάτα, σε διεθνή κλίμακα, ενώ στην Ελλάδα, έρχεται δεύτερη σε έκταση μετά την πατάτα.

Η καλής ποιότητας καρποί περιέχουν 94-94,5% νερό, ενώ η εκατοστιαία σύσταση των καρπών της τομάτας αποτελείται από 97% χυμό, 1% φλοιό και 2% σπέρματα, (Καραουλάνης, 2003). Επίσης η περιεκτικότητα των ώριμων καρπών σε ξηρή ουσία κυμαίνεται μεταξύ 5-7,5% και 100gr νωπής τομάτας περιέχουν 20 θερμίδες.

Οι καταναλωτές θεωρούν καλής ποιότητας τομάτες, αυτές που έχουν καλή εμφάνιση, είναι σταθερές (σφικτές), που έχουν καλή γεύση και υψηλή θρεπτική αξία, (Grieson et al., 1986). Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα κυριότερα συστατικά του καρπού της τομάτας ως ποσοστό της ξηρής ουσίας:

**Πίνακας 1.** Σύσταση ώριμου καρπού (% ξηρής ουσίας), (Davis & Hobson, 1981).

Κατηγορίες	Συστατικά	% ξηρής ουσίας
Σάκχαρα	Γλυκόζη	22
	Φρουκτόζη	25
	Σουκρόζη	1
Στερεά μη διαλυτά στην αλκοόλη	Πρωτεΐνες	8
	Πηκτίνες (Pectic substances)	7
	Ημικυτταρίνη (Hemicellulose)	4
	Κυτταρίνη (Cellulose)	6
Οργανικά οξέα	Κιτρικό οξύ	9
	Μηλικό οξύ	4
Μέταλλα	(κυρίως K+, Ca+, Mg <sup>2+</sup> , P)	8
Άλλα	Λιπίδια	2
	Δικαρβοξυλικά αμινοξέα (Dicarboxylic amino acids)	2
	Χρωστικές	0,4
	Ασκορβικό οξύ	0,5
	Πτητικές ουσίες (volatiles)	0,1



	Άλλα αμινοξέα, βιταμίνες και πολυφαινόλες	1
--	---	---

Από τον παραπάνω πίνακα, παρατηρούνται οι μεγάλες αναλογίες σακχάρων και οργανικών οξέων, τα οποία συμβάλλουν καθοριστικά στην γεύση του καρπού. Όσον αφορά τις βιταμίνες, παρόλο που αποτελούν ένα μικρό ποσοστό της συνολικής ξηράς ουσίας, σε σχέση με τα υπόλοιπα, είναι πολύ σημαντικές για την διατροφή και βρίσκονται σε καλές αναλογίες στον καρπό της τομάτας. Στον παρακάτω πίνακα, παρουσιάζεται η περιεκτικότητα του ώριμου καρπού σε βιταμίνες.

**Πίνακας 2.** Περιεκτικότητα του ώριμου καρπού τομάτας σε βιταμίνες (μονάδες ανά 100g καρπού), (Davis & Hobson, 1981).

<b>Βιταμίνες</b>	<b>περιεκτικότητα</b>
Βιταμίνη Α (β-καροτένιο)	540-763 μg
Βιταμίνη Β1 (θειαμίνη)	50-60 μg
Βιταμίνη Β2 (ριβοφλαβίνη)	20-50 μg
Βιταμίνη Β3 (παντοθενικό οξύ)	50-750 μg
Σύμπλοκο βιταμίνης Β6	80-110 μg
Νικοτινικό οξύ (νιασίνη)	500-700 μg
Φολικό οξύ	6,4-20 μg
Βιοτίνη	1,2-4 μg
Βιταμίνη C	15000-23000 μg
Βιταμίνη E (α-τοκοφερόλη)	40-1200 μg

Επίσης υπάρχουν περισσότερα από 200 πτητικά συστατικά, των οποίων η σημαντικότητα στη γεύση και το άρωμα δεν είναι ξεκάθαρα, (Grieson et al., 1986).

Ακόμη έχει βρεθεί, ότι οι κόκκινοι και ώριμοι καρποί περιέχουν 0,14-0,15% άμυλο, (Καραουλάνης, 2003).

Τέλος, σημαντικό είναι να αναφερθεί, ότι η εκτεταμένη συσσώρευση των καροτενοειδών (β-καροτένιο και λυκοπένιο), που ακολουθεί μετά από την καταστροφή της χλωροφύλλης, προκαλεί το κόκκινο χρώμα του ώριμου καρπού. Το πορτοκαλί χρώμα του μισο-ώριμου καρπού, έχει να κάνει με την αύξηση της περιεκτικότητας του β-καροτενίου, ενώ το κόκκινο με την γρήγορη συσσώρευση του λυκοπενίου. Το λυκοπένιο δρα ως αντιοξειδοτικό,

αντικαρκινικό και αντιμεταλλαξιγόνο, (Arias et al., 2000). Άλλες χρωστικές μικρότερης σημασίας, που επιδρούν στη ποιότητα της τομάτας, είναι τα φλαβονοειδή και οι φλαβόνες.

## **1.6 Αντικείμενο και δομή της εργασίας**

Τα τελευταία χρόνια εξαιτίας της υπεράντλησης (τα θαλασσινό νερό, σε παραθαλάσσιες περιοχές εισέρχεται στον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα, εξαιτίας ανισοκατανομής της πίεσης) και της αλόγιστης λίπανσης, έχει αυξηθεί η αγωγιμότητα του αρδευτικού νερού, λόγω της υψηλής περιεκτικότητας σε  $\text{Na}^+$  και  $\text{Cl}^-$ , αλλά και σε  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  και  $\text{SO}_4^{2-}$ . Το πρόβλημα αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό στην περιοχή της Μαγνησίας, αλλά και σε πολλές παραμεσόγειες περιοχές και μάλιστα το πρόβλημα εντείνεται, όταν καλλιεργούνται φυτά σε υδροπονικά συστήματα και πόσο μάλλον σε κλειστά υδροπονικά συστήματα, (Savvas, 2002, van Os et al., 2008).

Επομένως για να καλλιεργήσει κανείς με ασφάλεια, σε κλειστό υδροπονικό σύστημα, σε περιοχές που παρατηρείται, τέτοιου είδους πρόβλημα, ή θα πρέπει να εγκαταστήσει ένα σύστημα αφαλάτωσης του νερού (π.χ. φίλτρα αντίστροφης ώσμωσης), ή να καλλιεργήσει με τέτοιον τρόπο, ώστε μόλις η συγκέντρωση των αλάτων στο νερό, αρχίσει να γίνεται επικίνδυνη για την καλλιέργεια, να ανανεώνει το θρεπτικό διάλυμα. Η δεύτερη περίπτωση, είναι πιο οικονομική και πιστεύεται ότι μπορεί να υιοθετηθεί πιο εύκολα, από τους καλλιεργητές.

Έτσι, σκοπός αυτής της διατριβής, είναι η καλλιέργεια φυτών τομάτας, σε τρία διαφορετικά συστήματα υδροπονικής καλλιέργειας (ανοικτό, κλειστό και ημι-κλειστό), κάτω από συνθήκες συνεχούς αύξησης της αλατότητας του θρεπτικού διαλύματος, έτσι ώστε να υπολογιστούν, ποια είναι εκείνα τα όρια, πάνω από τα οποία τα φυτά δεν μπορούν να αναπτυχθούν φυσιολογικά, φτιάχνοντας έτσι ένα μοντέλο διαχείρισης. Στην παρούσα διατριβή, μελετάται, μόνο, η σταδιακή, επίδραση της αλατότητας στην παραγωγή και ποιότητα της τομάτας.

Παρακάτω αναφέρονται, με ποιο τρόπο στήθηκε το πείραμα, πως έγιναν οι διάφορες καλλιεργητικές φροντίδες, με ποιο τρόπο λήφθηκαν οι μετρήσεις και τα αποτελέσματα και ποια είναι τα συμπεράσματα.

## Κεφάλαιο 2. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

### 2.1 Μοντελοποίηση της πρόσληψης Na<sup>+</sup> και Cl<sup>-</sup> στη τομάτα σε κλειστό υδροπονικό σύστημα

Η συσσώρευση Na<sup>+</sup> και Cl<sup>-</sup> στο νερό της άρδευσης, προκαλούν την αλατότητα και κατεπέκταση τα προβλήματα αυτής, στα κλειστά υδροπονικά συστήματα (Massa et al., 2008). Οι Sonneveld et al. (1999) εγκατέστησαν ένα μοντέλο συσχετισμού μεταξύ των συγκεντρώσεων Na<sup>+</sup> και Cl<sup>-</sup> στο περιβάλλον της ρίζας και των αντίστοιχων ιόντων στο νερό άρδευσης που προσλαμβάνουν τα φυτά. Οι Savvas et al. (2005, 2007, 2008) εγκατέστησαν παρόμοιο μοντέλο για το αγγούρι, το φασόλι και τη πιπεριά αλλά αυτό βασίστηκε σε δεδομένα που προέρχονταν από προχωρημένο στάδιο ανάπτυξης όταν τα φυτά βρίσκονταν σε στάδιο παραγωγής.

Όσον αφορά την τομάτα λίγες πληροφορίες είναι διαθέσιμες που αναφέρονται στις συγκεντρώσεις πρόσληψης Na<sup>+</sup> και Cl<sup>-</sup> και τη σχέση αυτών με τη συσσώρευση αλάτων στα κλειστά υδροπονικά συστήματα. Οι Carmassi et al. (2005) χρησιμοποίησαν μια γραμμική σχέση για να περιγράψουν τη πρόσληψη του Na<sup>+</sup> ως συνάρτηση της συγκέντρωσης του, στη ζώνη της ρίζας σε υδροπονική καλλιέργεια τομάτας. Όμως οι Sonneveld et al. (1999) και Savvas et al. (2007), έδειξαν ότι η σχέση αυτή μπορεί να περιγραφεί με περισσότερη ακρίβεια μέσω εκθετικών συναρτήσεων. Οι Massa et al. (2008) επίσης βρήκαν εκθετική σχέση μεταξύ της συγκέντρωσης του Na<sup>+</sup> που προσλαμβάνουν τα φυτά τριανταφυλλιάς με τη συγκέντρωση του Na<sup>+</sup> στη ζώνη της ρίζας.

Οι Savvas et al. (2007) χρησιμοποίησαν ένα εμπειρικό μοντέλο το οποίο βαθμονομήθηκε, στοχεύοντας στη βελτιστοποίηση της συγκέντρωσης παροχής των θρεπτικών και στην ελαχιστοποίηση απόρριψης του νερού απορροής στα κλειστά υδροπονικά συστήματα. Αξιολογήθηκαν δύο μοντέλα το ένα γραμμικό και το άλλο εκθετικό. Το γραμμικό μοντέλο ήταν ακατάλληλο για το Cl<sup>-</sup> διότι δεν λάμβανε υπόψη το Na<sup>+</sup> παρά μόνο σε υψηλές συγκεντρώσεις. Το εκθετικό μοντέλο μπορούσε να προσομοιώσει αποτελεσματικά τη πρόσληψη του Na<sup>+</sup> για τα διάφορα επίπεδα του στη ζώνη της ρίζας με εύρος από 0,3 – 170 mol m<sup>-3</sup>. Η εγκυρότητα του εκθετικού μοντέλου ήταν ικανοποιητική για συγκεντρώσεις Cl<sup>-</sup> από 0,3 – 155 mol m<sup>-3</sup> στη ζώνη της ρίζας. Η αύξηση της συγκέντρωσης NaCl πάνω από 19 mol m<sup>-3</sup> στο ανακυκλούμενο θρεπτικό διάλυμα σε καλλιέργεια τομάτας, η οποία θεωρείται η μέγιστη αποδεκτή, θα επιβάλλει συγκεντρώσεις τόσο υψηλές όσο 0,53 mol m<sup>-3</sup> για το Na<sup>+</sup> και 0,71 mol m<sup>-3</sup> για το Cl<sup>-</sup>.



## 2.2 Επίδραση της αλατότητας στην παραγωγή

Οι Mass and Hoffman (1997) έδειξαν ότι η παραγωγή ντομάτας μειώθηκε γραμμικά αφότου η ηλεκτρική αγωγιμότητα στη ζώνη του ριζικού συστήματος έφτασε σε ένα συγκεκριμένο σημείο.

Σε μελέτες που έγιναν σε ντομάτες υδροπονικών καλλιεργειών σε πιο ψυχρά κλίματα (π.χ. ΒΔ Ευρώπη) υπήρχε ποικιλία στις τιμές των ορίων της ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Για παράδειγμα, οι Sonneveld and Welles (1998) και Sonneveld and van der Burg (1991) ανέφεραν ηλεκτρική αγωγιμότητα 2,5-3 dS m<sup>-1</sup> ενώ οι Adams (1989), Gough and Hobson (1990) ανέφεραν ηλεκτρική αγωγιμότητα της τάξης των 5-6 dS m<sup>-1</sup>.

Η παραγωγή τομάτας επηρεάζεται από την αύξηση της αλατότητας σύμφωνα με το μοντέλο των Maas and Hoffman (Maas and Hoffman, 1977) με γραμμική μείωση όταν η ηλεκτρική αγωγιμότητα ξεπεράσει το άριστο επίπεδο. Η παραγωγή εκφράζεται ως ποσοστό της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και υπολογίζεται από τη σχέση:

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

Όπου  $s$  το ποσοστό μείωσης της παραγωγής ανά μονάδα αύξησης της αλατότητας πάνω από το άριστο επίπεδο και  $EC_t$  η μέγιστη ηλεκτρική αγωγιμότητα στη ζώνη της ρίζας του φυτού χωρίς μείωση της παραγωγής.

Οι Magan et al. (2003) πραγματοποίησαν πείραμα με τρεις διαφορετικές μεταχειρίσεις με πέντε ή επτά επίπεδα ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η συνολική παραγωγή καρπών τομάτας μειώθηκε σημαντικά με αύξηση της EC για κάθε μία από τις τρεις μεταχειρίσεις. Η παραγωγή παρέμενε σταθερή όταν το επίπεδο της EC κυμαινόταν μεταξύ 3 και 4 dS m<sup>-1</sup> και στη συνέχεια μειωνόταν γραμμικά με επιπλέον αύξηση της EC. Το κρίσιμο επίπεδο EC για τη συνολική παραγωγή καρπών και για τις τρεις μεταχειρίσεις ήταν 3.6, 3.1 και 2.9 dS m<sup>-1</sup> με μέσο όρο 3.2 dS m<sup>-1</sup>.

Οι Mass and Hoffman (1997) παρατήρησαν πως η συνολική παραγωγή αλλά και η παραγωγή εμπορεύσιμης ντομάτας παρέμεινε σταθερή μέχρις ότου η ηλεκτρική αγωγιμότητα να είναι μεταξύ 3 και 4 dS m<sup>-1</sup> και μετά μειώθηκε γραμμικά με περαιτέρω αυξήσεις της ηλεκτρικής αγωγιμότητας.

Οι ίδιοι παρατήρησαν ότι σε ένα πείραμά τους με ηλεκτρική αγωγιμότητα 2,7 dS m<sup>-1</sup> η παραγωγή εμπορεύσιμης ντομάτας ήταν πολύ μικρότερη (εν συγκρίσει με άλλο πείραμα στο

οποίο η ηλεκτρική αγωγιμότητα ήταν  $3,2 \text{ dS m}^{-1}$ ) εξαιτίας της υψηλής συχνότητας (ποσοστού) κηλιδωμένης ωρίμανσης (δηλ. ήταν γεμάτα κοκκινίλες). Επίσης, οι σημαντικές διαφορές μεταξύ των πειραμάτων τους όσον αφορά τη μείωση της παραγωγής με την αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας πάνω από  $4 \text{ dS m}^{-1}$  περίπου, τους έδειξαν ότι και η ποικιλία και το κλήμα επηρέασαν τη μείωση της παραγωγής με αυξημένη αλατότητα.

Ακόμη διαπίστωσαν πως το βάρος και ο αριθμός των φρούτων επηρεάστηκαν, επίσης αρνητικά, από τις υψηλές τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Το βάρος των φρούτων συγκεκριμένα αποδείχθηκε πιο ευαίσθητο στην αυξημένη αλατότητα (με οριακή τιμή ηλεκτρικής αγωγιμότητας  $3,0 \text{ dS m}^{-1}$ ) από τον αριθμό των φρούτων (με οριακή τιμή ηλεκτρικής αγωγιμότητας  $4,4 \text{ dS m}^{-1}$ ). Επίσης, παρουσιάστηκε ένας σημαντικός αριθμός (μερικώς) κούφιων φρούτων σε χαμηλότερη ηλεκτρική αγωγιμότητα το χειμώνα, ενώ δε συνέβη το ίδιο σε υψηλότερη ηλεκτρική αγωγιμότητα.

Τα αποτελέσματα αυτά συνάδουν και με των Adams and Ho (1989) και van Ieperen (1996) που παρατήρησαν ότι ο αριθμός των φρούτων ανά φυτό μειώθηκε με την αλατότητα σε αντίθεση με τους Sonneveld and Welles (1988), Li et al. (2001) και Eltez et al. (2002) οι οποίοι αναφέρουν πως ο αριθμός των φρούτων ήταν ανεπηρέαστος σε μέτρια αλατότητα και ότι η μειωμένη παραγωγή ήταν εξαιτίας του μικρότερου μεγέθους του φρούτου. Επίσης, η μείωση του αριθμού των φρούτων στη συγκεκριμένη μελέτη φαίνεται να σχετίζεται με την υπόθεση ότι το στρες αλατότητας περιορίζει τον αριθμό των ανθέων ανά ταξιανθία (Cuartero and Fernández-Muñoz (1999) και Magan (2005).

Επίσης, η ποικιλία “Daniela” ήταν ευαίσθητη στην κηλιδωμένη ωρίμανση σε χαμηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα ενώ η ποικιλία “Boludo” ήταν ευαίσθητη στη σήψη υπό συνθήκες υψηλής αλατότητας. Το ποσοστό των φρούτων με BER (τροφοπενεία ασβεστίου) αυξήθηκε γραμμικά με την αύξηση της αλατότητας ενώ το ποσοστό αυτό ήταν συνεχώς πολύ χαμηλό σε τιμές αλατότητας κάτω του κατώτατου ορίου. Η ποικιλία “Boludo” (πείραμα 2+3) ήταν πιο ευπαθής σε σχέση με την ποικιλία “Daniela” (πείραμα 1) έχοντας κατώτατο όριο ηλεκτρικής αγωγιμότητας για τροφοπενεία ασβεστίου το  $3,0-3,7 \text{ dS m}^{-1}$  (ενώ η “Daniela”  $4,4 \text{ dS m}^{-1}$ ) και καθώς αυξανόταν η ηλεκτρική αγωγιμότητα, αυξανόταν και ο αριθμός των φρούτων με τροφοπενεία ασβεστίου (BER). (Mass and Hoffman, 1997)

### 2.3 Επίδραση της αλατότητας στα Οργανοληπτικά χαρακτηριστικά

Ανάμεσα στις διαφορετικές προτιμήσεις των καταναλωτών υπάρχει μια μεγάλη ζήτηση για πιο γλυκές ντομάτες (Aoki, 2003). Γι' αυτό οι καλλιεργητές προκαλούν στρες με αλατότητα ή ξηρασία (Ehret and Ho, 1986; Adams and Ho, 1992).

Οι Petersen et al. (1998) ανέφεραν, ότι οι ντομάτες που καλλιεργήθηκαν υδροπονικά και το θρεπτικό τους διάλυμα εμπλουτίστηκε με χλωριούχο νάτριο είχαν υψηλότερη καταναλωτική προτίμηση, αυξημένη γλυκύτητα και γεύση αλλά ήταν πιο σκληρές. Ο εμπλουτισμός αλατιού στο θρεπτικό διάλυμα είναι γνωστό ότι αυξάνει το ασκορβικό οξύ το οποίο προσθέτει όξινη γεύση στο φρούτο (Zushi and Matsuzoe, 1998).

Έχει προταθεί (Adams, 1991) να χρησιμοποιείται η αναλογία ζάχαρης/οξέος ως δείκτης για τη γεύση της ντομάτας. Όμως, έχουν επίσης υπάρξει αντιφατικά αποτελέσματα εξαιτίας της εξουδετερωτικής δράσης των κατιόντων και των ιόντων (Kader et al., 1978).

Οι καλλιεργητές συχνά χρησιμοποιούν την τιμή Brix για να δείξουν την περιεκτικότητα σε σάκχαρα της ντομάτας, όμως αυτό μπορεί να είναι παραπλανητικό γιατί η τιμή Brix δεν δείχνει μόνο τα σάκχαρα αλλά και άλλα διαλυτά στερεά, συμπεριλαμβανομένου τα οργανικά οξέα. Επίσης, η γλυκύτητα δεν αντανakλά μόνο τη συγκέντρωση σακχάρου επειδή η αντίληψη της γλυκύτητας είναι διαφορετική για κάθε τύπο σάκχαρου. Για παράδειγμα, η φρουκτόζη είναι ο γλυκύτερος φυσικός υδατάνθρακας και η γλυκόζη είναι μόνο κατά 60% γλυκιά σε σχέση με τη φρουκτόζη (Hanover and White, 1993). Εκτός από τα σάκχαρα και τα οξέα, κάποια ελεύθερα αμινοξέα επηρεάζουν σημαντικά τη γεύση της ντομάτας. Το L-γλουταμινικό (L-Glutamate), ένα αμινοξύ, έχει αποδειχθεί ως ένα κύριο συστατικό για τη νόστιμη γεύση (Ikeda, 1909) και έχει χαρακτηριστεί ο υποδοχέας του στην ανθρώπινη γλώσσα (Chaudhari et al., 2000).

Επομένως, η σχέση μεταξύ βιοχημικού υπόβαθρου και καταναλωτικής προτίμησης της ντομάτας δεν έχει αποσαφηνιστεί πλήρως.

Οι Magán, Gallardo και άλλοι, κατέληξαν στο ότι, η οργανοληπτική ποιότητα των εμπορεύσιμων φρούτων βελτιώθηκε σημαντικά με την αύξηση της αλατότητας. Η περιεκτικότητα σε διαλυτά στερεά και η ογκομετρούμενη οξύτητα αυξήθηκαν γραμμικά με την ηλεκτρική αγωγιμότητα (κατά 5,4% και 9,2% ανά  $\text{dS m}^{-1}$  αντίστοιχα) ενώ το pH μειώθηκε γραμμικά (0,7%). Άρα η περιεκτικότητα σε διαλυτά στερεά και η ογκομετρούμενη οξύτητα είναι περισσότερο ευαίσθητα στην αυξημένη αλατότητα παρά το pH.

Οι Buitery et al. (1987) συζήτησαν πως το χλωριούχο νάτριο θα επιβράδυνε την κατάρρευση (σπάσιμο, ανάλυση) των πτητικών ενώσεων απενεργοποιώντας σχετικά ένζυμα, γεγονός που υποδηλώνει ότι η γεύση της ντομάτας με χλωριούχο νάτριο θα διατηρούνταν. Οι Petersen et al. (1998) ανέφεραν ότι η μέθοδος με χλωριούχο νάτριο βελτίωσε τη γλυκύτητα της ντομάτας

περισσότερο από κάθε άλλο στοιχείο. Είναι εμπειρικά γνωστό πως σε ορισμένες περιπτώσεις το αλάτι καταστέλλει την πικράδα έτσι ώστε να ενισχύεται η γλυκύτητα (Pszczola, 2004). Επίσης, η προσθήκη χλωριούχου νατρίου τριπλασίασε τη συγκέντρωση ιόντων χλωρίου στο φυτό. Η αναλογία νατρίου και της συγκέντρωσης ιόντων χλωρίου στο φρούτο και τα φύλλα των φυτών που καλλιεργήθηκαν υπό μακροπρόθεσμη αλατούχα άρδευση είναι σχεδόν 1:1 (Maggio et al., 2004). Λογικά θεωρείται ότι η συγκέντρωση ιόντων νατρίου ήταν παρόμοια με αυτή των ιόντων χλωρίου.

Οι Sakamoto et al. (1999) κατέληξαν στο ότι η μείωση του μεγέθους των καρπών υπό στρες αλατότητας, προκλήθηκε από την αναχαίτιση της απορρόφησης του νερού από τη ρίζα και επομένως τη μείωση της μεταφοράς του νερού στον καρπό. Η συγκέντρωση των διαλυτών στερεών αυξήθηκε αλλά το ποσό ανά καρπό δεν αυξήθηκε ούτε μειώθηκε. Ομοίως, αυξήθηκαν σημαντικά τα σάκχαρα αλλά όχι η σακχαρόζη. Αυτό μπορεί να σημαίνει, ότι η αύξηση των διαλυτών στερεών με την προσθήκη χλωριούχου νατρίου, δεν ήταν από απλή συνολική συμπύκνωση αλλά ενεργό οσμωτική προσαρμογή.

Η αύξηση της προλίνης φάνηκε σε διάφορα μέρη του φυτού και με διάφορα στρες (Hare et al., 1999; Claussen, 2005). Για παράδειγμα, η συγκέντρωση προλίνης ήταν 10πλάσια και 18πλάσια στους βλαστούς και τις ρίζες όταν τα φυτά υπέστησαν σε θρεπτικό διάλυμα που περιείχε 100 Mm χλωριούχο νάτριο (Storey and Wyn Jones, 1975). Ένας από τους κύριους ρόλους της συσσώρευσης προλίνης είναι για να ρυθμίσει το υδατικό δυναμικό του φυτού να αντιμετωπίσει τη δυσκολία διαθεσιμότητας και μεταφοράς του νερού υπό στρες (Hare et al., 1999). Είναι όμως ασαφές το μέχρι ποιο βαθμό η προλίνη παίζει ρόλο ως οσμωτικός ρυθμιστής στο φρούτο της ντομάτας. Ίσως είναι λογικό να υιοθετηθεί ότι δεν χρειάζεται να συσσωρευτεί περισσότερη προλίνη στο φρούτο που υπόκειται σε προσθήκη χλωριούχου νατρίου επειδή η περιεκτικότητα σε άλλα διαλυτά στερεά ήταν ήδη υψηλή και κάποια αυξήθηκαν πολύ μετά την προσθήκη χλωριούχου νατρίου.

#### **2.4 Επίδραση της αλατότητας στο Χρώμα.**

Ο γενότυπος, η ηλιακή ακτινοβολία (φως), η καλιούχος λίπανση και η θερμοκρασία, είναι παράγοντες που επιδρούν στο χρώμα κατά την ωρίμανση (Grieson et al. 1986).

Το χρώμα οφείλεται σε δύο χρωστικές, που είναι η λυκοπίνη και η καροτίνη. Η σύνθεση αυτών, επηρεάζεται από την θερμοκρασία η οποία δεν πρέπει να ξεπερνά τους 30° C και να είναι χαμηλότερη από 10° C. Επίσης για την σύνθεση της λυκοπίνης το φως δεν είναι απαραίτητο (δηλ. σύνθεση και υπό σκιά), ενώ για την καροτίνη είναι απαραίτητο (Ολύμπιος 2001).

Καρποί που δεν ωριμάζουν κάτω από τις κατάλληλες θερμοκρασίες, μπορεί να έχουν πιο πορτοκαλί χρώμα, από το επιθυμητό (για την χώρα μας κόκκινο), εξαιτίας της αλλαγής του λόγου β-καροτενίου και λυκοπενίου.

Ανωμαλίες στο χρωματισμό του καρπού κατά την ωρίμανση, οφείλονται σε κλιματικούς παράγοντες αλλά και σε ανισορροπία στη θρέψη του φυτού. Θα πρέπει να αποφεύγεται η έλλειψη καλίου και μαγνησίου, ενώ ο φώσφορος δεν πρέπει να χορηγείται σε μεγάλες ποσότητες, ούτε και σε μειωμένες. Το άζωτο έχει πολύπλοκη δράση και το ασβέστιο έχει μικρή επίδραση στον χρωματισμό. (Ολύμπιος 2001).

## **2.5 Επίδρασή της αλατότητας στην ανάπτυξη του φυτού**

Εκτός από τη μείωση της ολικής παραγωγής, η αλατότητα επηρεάζει δυσμενώς τον ρυθμό ανάπτυξης του φυτού καθώς και την έκταση της φυλλικής επιφάνειας (Perez et al. 1993).

Ο Dara (2009) ανέφερε ότι οι ρίζες των ντοματών που καλλιεργήθηκαν σε υδροπονικό σύστημα με άνιση κατανομή αλάτων καταστράφηκαν τελείως όταν βυθίστηκαν σε 120 Mm διαλύματος χλωριούχο νατρίου.

Οι Sonneveld and de Kreij (1999) ανέφεραν ότι με άνιση κατανομή αλάτων στη ρίζα αγγουριάς, η απορρόφηση νερού ήταν υψηλότερη στο μέρος της ρίζας που βυθίστηκε στο διάλυμα με τη χαμηλότερη αλατότητα. Η αυξημένη σύνθεση απισιικού οξέος στη ρίζα και το βλαστό της ντομάτας ίσως είναι ο κύριος λόγος της μειωμένης απορρόφησης νερού στα 40 mM χλωριούχου νατρίου.

Οι Kidra et al. (2004), Maggio et al. (2007), Maggio et al. (2006) υποστήριξαν ότι η αυξημένη παραγωγή απισιικού οξέος (ABA) υπό συνθήκες αλατότητας οδήγησε σε λιγότερη απορρόφηση νερού από το φυτό.

Οι Tardieu et al. (2010) ισχυρίζονται ότι η αυξημένη περιεκτικότητα σε απισιικό οξύ (ABA) στους φυτικούς ιστούς συνήθως μειώνει την υδρολική αγωγιμότητα της ρίζας και επομένως αυξάνει την αποδοτική χρήση του νερού [δηλαδή ενεργοποιούνται οι εσωτερικοί μηχανισμοί ανοχής στην αλατότητα (από την ενισχυμένη παραγωγή απισιικού οξέος) και επομένως βελτιώνεται η οικονομία στο νερό.

Παρατηρήθηκε ότι κάποιες περιβαλλοντικές μεταβλητές επηρεάζουν την ανθεκτικότητα του φυτού στην αλατότητα όπως η θερμοκρασία του ριζικού συστήματος (Dalton et al., 1997), η ηλιακή ακτινοβολία (Dalton et al., 2000) ή το διοξείδιο του άνθρακα της ατμόσφαιρας (Maggio et al., 2002).

Ο Albino Maggio et al.(2002), υσχυρίζονται πως η αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του θρεπτικού διαλύματος προκάλεσε βαθμιαία μείωση της βιομάζας του φυτού

[έχοντας μεγαλύτερη τιμή βιομάζας στα 2,5 dS m<sup>-1</sup>. Έως τα 9 dS m<sup>-1</sup> η βιομάζα μειώθηκε κατά 6% ανά dS m<sup>-1</sup> ενώ μετά τα 9 dS m<sup>-1</sup> η βιομάζα μειώθηκε κατά 1,4% ανά dS m<sup>-1</sup>] ενώ το βάρος της ρίζας ήταν μεγαλύτερο σε αυξημένη ηλεκτρική αγωγιμότητα (ειδικά μετά τα 9 dS m<sup>-1</sup>).

Επίσης ο Albino Maggio et al.(2002), πιστεύουν ότι το συνολικό νερό στα φύλλα και οι οσμωτικές δυνατότητες μειώθηκαν με την αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του θρεπτικού διαλύματος. Η μειωμένη ανάπτυξη του φυτού συνδέθηκε με την μείωση της στοματικής αγωγιμότητας που παρατηρήθηκε κατά την υφαλμύρωση, γεγονός που οδήγησε στη μειωμένη ανάπτυξη των φύλλων. Ακόμη Το ασβέστιο και το κάλιο στα φύλλα μειώθηκαν με την αύξηση της αλατότητας.



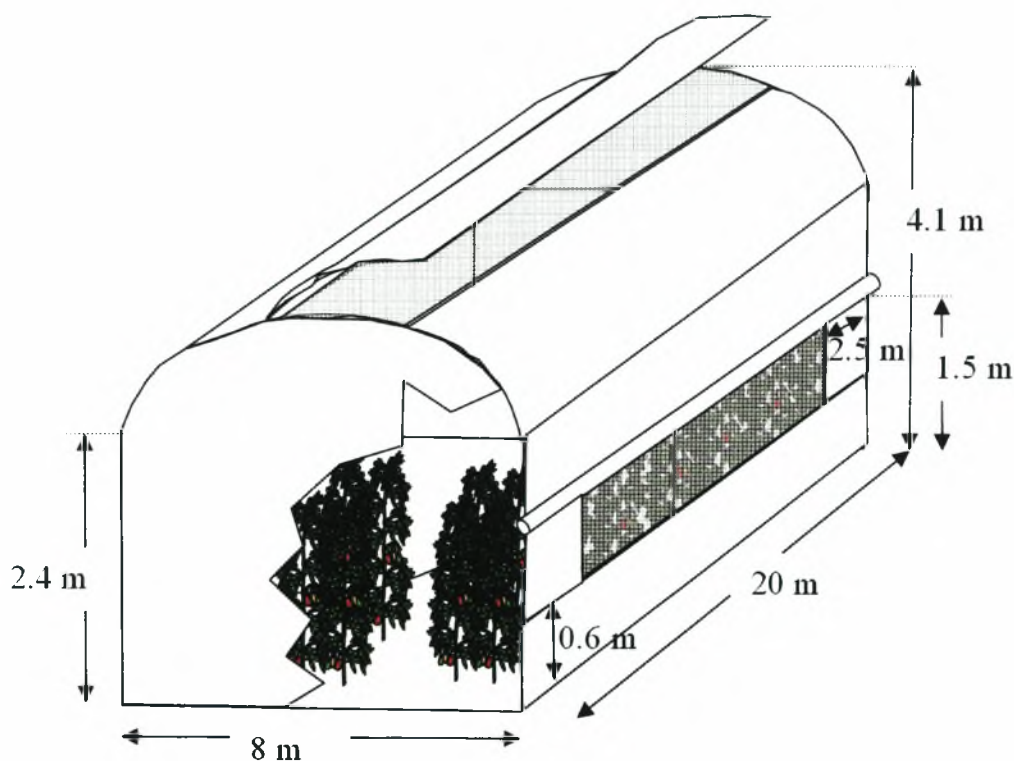
## Κεφάλαιο 3. Υλικά και Μέθοδοι

### 3.1 Τοποθεσία πειράματος

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε, στις εγκαταστάσεις του αγροκτήματος του πανεπιστήμιου Θεσσαλίας, στο Βελεστίνο, 18 km δυτικά του βόλου. Η περιοχή έχει γεωγραφικό πλάτος  $39^{\circ} 22'$ , γεωγραφικό μήκος  $22^{\circ} 44'$  και υψόμετρο 85 μέτρα.

### 3.2 Θερμοκήπιο

Το θερμοκήπιο στο οποίο πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις, είχε σκελετό από γαλβανισμένο χάλυβα και κάλυψη από πλαστικό φύλλο πολυαιθυλενίου (τύπου PE-EVA-film TUV 3945, πάχους 180  $\mu\text{m}$ , Πλαστικά Κρήτης S.A.), ο προσανατολισμός του ήταν B-N, με απόκλιση του άξονα τους από τον Β  $36^{\circ}$  ανατολικά. Ήταν τύπου «τροποποιημένου τοξωτού» με καλυμμένη επιφάνεια εδάφους  $160 \text{ m}^2$  (20m x 8m), με μέγιστο ύψος 4,1 m στον κορυφιά και 2,4 m ύψος ορθοστάτη. Το έδαφος του θερμοκηπίου ήταν πλήρως καλυμμένο με αδιαφανές πλαστικό, χρώματος άσπρου.



Εικόνα 5. Διάσταση του θερμοκηπίου, όπου έγινε το πείραμα.

### 3.3 Αερισμός

Για τον αερισμό, το θερμοκήπιο διέθετε δύο πλαϊνά παράθυρα (ένα από κάθε πλευρά), κατά μήκος των δύο μεγάλων πλαϊνών πλευρών του, με διαστάσεις 0,9 m (ύψος) x 15 m (μήκος), όπως φαίνεται και στο παραπάνω σχήμα. Επίσης διέθετε και ένα παράθυρο οροφής, με μέγιστο άνοιγμα περίπου τα 18 m<sup>2</sup>. Όλα τα παράθυρα του θερμοκηπίου ελέγχονταν αυτόματα και άνοιγαν σε διάφορα επίπεδα όταν η θερμοκρασία εντός του θερμοκηπίου ξεπερνούσε τους 21°C.

Στα πλαϊνά παράθυρα είχε τοποθετηθεί δίκτυ εντομοστεγανότητας (antithrip).



*Εικόνα 6. Το θερμοκήπιο με ανοικτά τα παράθυρα.*

### 3.4 Θέρμανση

Για τη θέρμανση, χρησιμοποιήθηκε ένας καυστήρας (καύσιμη ύλη το πετρέλαιο), από τον οποίο η θερμότητα μεταδίδονταν στο χώρο του θερμοκηπίου με την βοήθεια ενός αερόθερμου, που τοποθετήθηκε στην βόρεια πλευρά του θερμοκηπίου σε ύψος 2,6 m, αλλά και με την βοήθεια πλαστικών σωλήνων θέρμανσης PVC, που τοποθετήθηκαν πάνω από το έδαφος, πλάι στο υπόστρωμα των φυτών. Έτσι με την θέρμανση, η θερμοκρασία διατηρήθηκε στους 13°C κατά την διάρκεια της νύκτας, ενώ στους 17°C κατά την διάρκεια της ημέρας.





*Εικόνα 7 Αερόθερμο.*



*Εικόνα 8. Καυστήρας*



*Εικόνα 9. Σπιδάλ μεταφοράς θερμότητας, με ζεστό νερό.*

### 3.5 Καλλιέργεια.

#### 3.5.1 Ποικιλία και εγκατάσταση καλλιέργειας

Τα φυτά τομάτας (*Lycopersicon esculentum*, cv. Belladonna), μεταφυτεύτηκαν στο θερμοκήπιο στις 23 Δεκεμβρίου το έτος 2010 και παρέμειναν έως μέσα του Ιούλη του επόμενου έτους (2011). Τα φυτά αναπτύχθηκαν σε υδροπονικό σύστημα, όπου σαν υπόστρωμα χρησιμοποιήθηκε σάκος πετροβάμβακα (rockwool - Grodan Expert®), με διαστάσεις 1m μήκος, 0,2m πλάτος και 0,075m ύψος. Οι σάκοι ήταν τοποθετημένοι πάνω σε μεταλλικά κανάλια, 40 cm πάνω από το έδαφος. Η πυκνότητα φύτευσης ήταν 2,5 φυτά/ m<sup>2</sup>, ενώ οι σάκοι και ο λαϊμός των φυτών 'τυλιχτήκαν' με άσπρο αδιαφανές πλαστικό (για παρεμπόδιση της εξάτμισης).



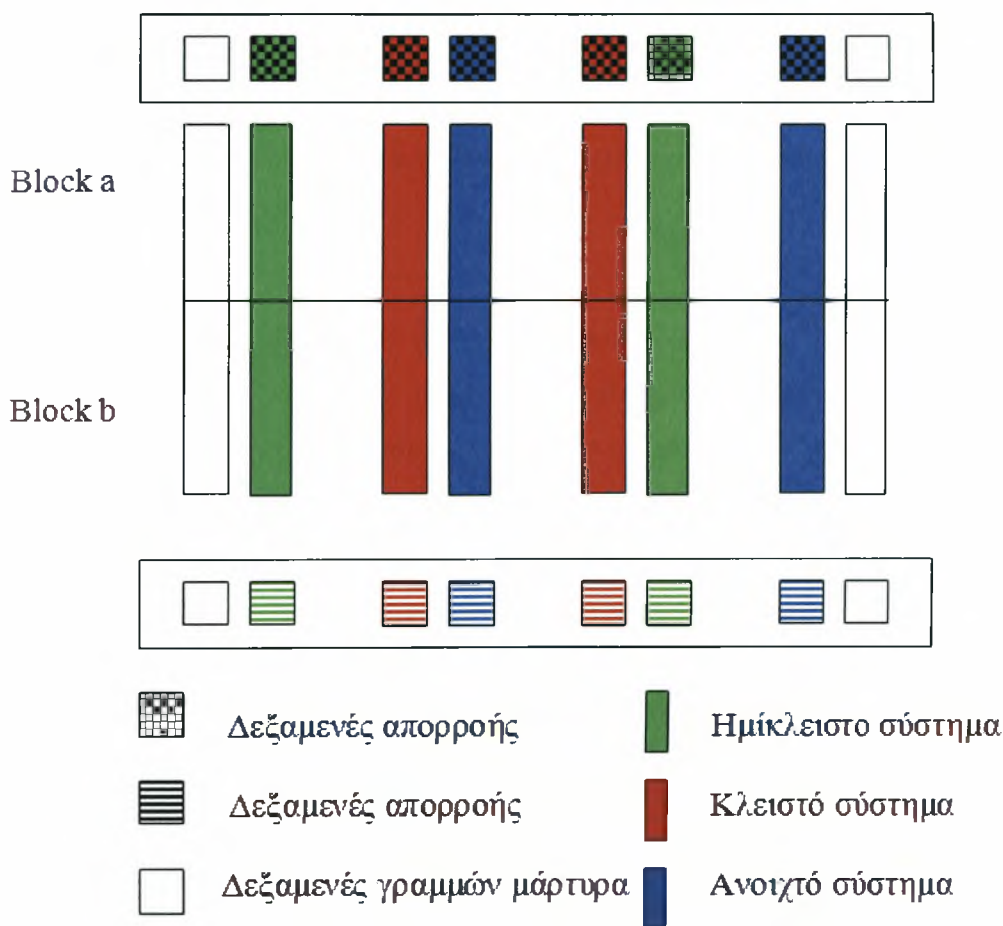
*Εικόνα 10. Χρήση πλαστικού για παρεμπόδιση εξάτμισης.*

Η καλλιέργεια εγκαταστάθηκε σε 4 διπλές σειρές (δηλαδή 8 γραμμές συνολικά), με τα φυτά των δύο εξωτερικών γραμμών να χρησιμοποιούνται ως μάρτυρες, ενώ των έξι εσωτερικών για μελέτη των διαφόρων μεταχειρίσεων. Για τις δύο εξωτερικές γραμμές χρησιμοποιήθηκε ανοικτό υδροπονικό σύστημα. Για αυτές τις γραμμές χρησιμοποιήθηκε ξεχωριστός υδρολιπαντήρας και καλής ποιότητας νερό, ενώ για τις έξι εσωτερικές, χρησιμοποιήθηκε ανοικτό, κλειστό και ημίκλειστο υδροπονικό σύστημα, χρησιμοποιώντας άλλο υδρολιπαντήρα και νερό με υψηλή περιεκτικότητα σε Na<sup>+</sup>.

Στο ημίκλειστο υδροπονικό σύστημα, γίνεται ανακύκλωση του θρεπτικού διαλύματος, όταν συγκεκριμένοι παράμετροι φτάσουν σε ένα καθορισμένο επίπεδο. Οι παράμετροι αυτοί είναι η

EC με ανώτατο όριο τα  $5 \text{ dS m}^{-1}$  στο θρεπτικό διάλυμα και η συγκέντρωση  $\text{Na}^+$  όχι πάνω από  $15 \text{ mmol l}^{-1}$ . Η πρώτη φορά που το θρεπτικό διάλυμα απορρίφθηκε από τη δεξαμενή απορροής, έγινε όταν η συγκέντρωση του  $\text{Na}^+$  ξεπέρασε τα  $25 \text{ mmol l}^{-1}$ , ενώ στη συνέχεια η διαδικασία επαναλαμβανόταν όταν η συγκέντρωση του  $\text{Na}^+$  ξεπερνούσε τα  $15 \text{ mmol l}^{-1}$ . Όσο τα παραπάνω όρια δεν ξεπερνιόντουσαν το σύστημα συμπλήρωνε νερό και θρεπτικά ανάλογα με τα ποσά που απορροφούσαν τα φυτά.

Για τις έξι εσωτερικές γραμμές, επιλέχθηκαν τυχαία οι τρεις διαφορετικές μεταχειρίσεις, μαζί με τη κάθε επανάληψη ανά μεταχείριση (για κάθε μεταχείριση δύο επαναλήψεις). Επίσης κάθε γραμμή ανεξαρτήτως μεταχείρισης, ήταν χωρισμένη σε 2 μπλόκ (blocks). Σχηματικά η απεικόνιση του πειραματικού σχεδίου φαίνεται παρακάτω.



*Εικόνα 11. Σχηματική αναπαράσταση εγκατάστασης πειράματος.*





*Εικόνα 12. Απεικόνιση της καλλιέργειας στο θερμοκήπιο.*

### **3.5.2 Άρδευση**

Η άρδευση των φυτών (δόση άρδευσης, χρόνος άρδευσης και λίπανση) , ελέγχονταν αυτόματα μέσω Η/Υ και ενός συστήματος ελέγχου των θρεπτικών διαλυμάτων που αναπτύχθηκε στο πλαίσιο του έργου Sirrimed. Το μοντέλο αυτό, προγραμματίζει την άρδευση των συστημάτων, σύμφωνα με το στάδιο ανάπτυξης (για λίπανση), την διαπνοή των φυτών, την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία και του ελλείμματος κορεσμού του αέρα. Ενώ πραγματοποιούταν με στάγδην άρδευση, χρησιμοποιώντας σωλήνες φ20 και σταλάκτες, παροχής 1 L/h.



*Εικόνα 13. Τρόπος άρδευσης με σταλάκτη.*

Για την παροχή του θρεπτικού διαλύματος, στα φυτά χρειάστηκαν, α) μία αντλία για την άρδευση του νερού, β) μία μεγάλη δεξαμενή, για να υπάρχει πάντα διαθέσιμο νερό για την άρδευση της καλλιέργειας, η οποία γέμιζε από την αντλία κάθε φορά που η στάθμη της έπεφτε κάτω από ένα επίπεδο, γ) ένας υδρολιπαντήρας, ο οποίος έφτιαχνε τις επιθυμητές συγκεντρώσεις, για το θρεπτικό διάλυμα, δ) έξι δεξαμενές (μικρές) για το πυκνό μητρικό θρεπτικό διάλυμα (δύο για τη λίπανση του ημι-κλειστού, δύο για τη λίπανση του ανοικτού, μία για το οξύ και μία για το άλας, ε) έξι δεξαμενές 'άρδευσης' (μία για κάθε μεταχείριση), οι οποίες γέμιζαν κάθε φορά που άδειαζαν, για να μπορούν πάντα τα φυτά να αρδεύονται όποτε απαιτούνταν. στ) έξι αντλίες που ενεργοποιούνταν την κατάλληλη στιγμή και τροφοδοτούσαν το θρεπτικό διάλυμα στις γραμμές, από τις δεξαμενές 'άρδευσης', ζ) έξι δεξαμενές απορροής, οι οποίες συγκέντρωναν το απορρέων θρεπτικό διάλυμα και το έστελναν πίσω στον υδρολιπαντήρα για την διόρθωσή του και ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής.



*Εικόνα 14. Οι Η/Υ από τους οποίους ρυθμιζόταν η άρδευση των τριών υδροπονικών συστημάτων.*



*Εικόνα 15. Ο υδρολιπαντήρας και οι δεξαμενές με τα πυκνά διαλύματα, για την παρασκευή των θρεπτικών διαλυμάτων.*

Το κάθε κανάλι αρδεύεται από τη δική του δεξαμενή άρδευσης και το νερό της απορροής κατέληγε στην αντίστοιχη δεξαμενή απορροής.



*Εικόνα 16. Αριστερά οι δεξαμενές τροφοδοσίας του θρεπτικού διαλύματος, δεξιά οι δεξαμενές απορροής.*



### 3.5.3 Υπολογισμός συγκέντρωσης Na<sup>+</sup>

Σύμφωνα με το μοντέλο μάζας ισοζυγίου που χρησιμοποιήθηκε, η συγκέντρωση Na<sup>+</sup> στο ανακυκλώσιμο θρεπτικό διάλυμα, συσχετίζεται, με τη ποσότητα νερού που προσλαμβάνεται από τα φυτά. Το μοντέλο αυτό βασίζεται στον πειραματικό προσδιορισμό μιας εμπειρικής σχέσης μεταξύ της συγκέντρωσης ιόντων Na<sup>+</sup> στο ριζόστρωμα (CN<sub>s</sub>) με τον αντίστοιχο λόγο ιόντων Na<sup>+</sup> στη πρόσληψη νερού (CN<sub>au</sub>) από συγκεκριμένα είδη φυτών. Σύμφωνα με τους Sonneveld et al. (1999) και Savvas et al. (2005b), η σχέση μεταξύ CN<sub>s</sub> και CN<sub>au</sub> μπορεί να περιγράφεται από μια γραμμική συνάρτηση, αλλά για τα περισσότερα είδη φυτών που καλλιεργούνται σε θερμοκήπια η γραμμική σχέση είναι :

$$C_{Nau} = aC_{Nas}^b \quad (1)$$

όπου  $a$  και  $b$  είναι σταθερές τιμές που εξαρτώνται από τα καλλιεργούμενα είδη.

Όταν η συνολική ποσότητα του νερού απορροής συλλέγεται και ανακυκλώνεται σε μια υδροπονική καλλιέργεια, η μόνη εισροή Na<sup>+</sup> και νερού στο κλειστό σύστημα προέρχεται από το αρδευτικό δίκτυο και μόνο, και η μόνη εκροή Na<sup>+</sup> από το σύστημα οφείλεται στην πρόσληψή του από το φυτό. Επομένως, ο λόγος εισροής Na<sup>+</sup> ανά ποσότητα νερού ισούται με τη συγκέντρωση Na<sup>+</sup> στο νερό άρδευσης που χρησιμοποιείται για το θρεπτικό διάλυμα (C<sub>Naw</sub>), καθώς ο λόγος εισροής Na<sup>+</sup> ανά ποσότητα νερού είναι ίσος με C<sub>Nau</sub> και αναφέρεται συνήθως ως συγκέντρωση πρόσληψης (Sonneveld, 2002). Υπό αυτές τις συνθήκες, οποιαδήποτε αύξηση του C<sub>Nas</sub> είναι ανάλογη με την αύξηση της συνολικής ποσότητας του εισερχόμενου νερού στην καλλιέργεια (V<sub>w</sub>) και της διαφοράς μεταξύ του ρυθμού του εισρέοντος Na<sup>+</sup> και του εκρέοντος Na<sup>+</sup> (C<sub>Naw</sub>-C<sub>Nau</sub>) και αντιστρόφως ανάλογη του συνολικού όγκου του θρεπτικού διαλύματος που περιέχεται στο κλειστό σύστημα (V<sub>s</sub>). Η σχέση αυτή γράφεται μαθηματικά στη μορφή μάζας ισοζυγίου ως εξής:

$$dC_{Nas} = dV_w (C_{Naw} - C_{Nau}) / V_s \quad (2)$$

από την οποία προκύπτει η διαφορική εξίσωση:

$$dC_{Nas} / dV_w = (C_{Naw} - C_{Nau}) / V_s \quad (3)$$

Με αντικατάσταση της εξίσωσης (1) στην (3) προκύπτει:

$$dC_{Nas} / dV_w = (C_{Naw} - aC_{Nas}^b) / V_s \quad (4)$$

Στην εξίσωση (4) η μεταβλητή  $C_{Nas}$  δείχνει τη συσσώρευση του  $Na^+$  στο κλειστό σύστημα, η  $V_w$  είναι μια αυξανόμενη μεταβλητή που είναι δυνατόν να παρακολουθείται αυτόματα με χρήση κατάλληλου εξοπλισμού,  $C_{Naw}$  είναι γνωστή σταθερά μέσω χημικής ανάλυσης και  $V_s$  είναι η τιμή που παραμένει σχεδόν σταθερή κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Επιπλέον, οι σταθερές  $a$  και  $b$  έχουν καθοριστεί πειραματικά για την τομάτα (Varlagas et al., 2010). Επομένως, η εξίσωση (4) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη της  $C_{Nas}$  ως σχέση της συνεχώς παρακολουθούμενης μεταβλητής  $V_w$ . Στη γενική περίπτωση, δεν υπάρχει αναλυτική λύση που να ικανοποιεί τη διαφορική εξίσωση (4) και ως εκ τούτου, ο Savvas et al. (2005a), εφήρμοσε μια αριθμητική μέθοδο σύμφωνα με τον Butcher (1987).

#### 3.5.4 Θρεπτικό διάλυμα

Για την παρασκευή του θρεπτικού διαλύματος, χρειάστηκε πρώτα μια ανάλυση του αρδευόμενου νερού, έτσι ώστε με την προσθήκη των επιθυμητών συγκεντρώσεων των στοιχείων, να προστεθούν μόνο όσα υπολείπονται και στις συγκεκριμένες ποσότητες. Το θρεπτικό διάλυμα του ανοικτού συστήματος διαφέρει από αυτό του κλειστού και ημίκλειστου, διότι δεν ανακυκλώνεται το θρεπτικό διάλυμα. Παρακάτω δίδεται, η ανάλυση του αρδευόμενου νερού και οι επιθυμητές συγκεντρώσεις των θρεπτικών διαλυμάτων, για τα τρία συστήματα.



Composition of water	
$E_w$	0.55 dS/m
Ion	$C_{iw}$
$Ca^{2+}$	1.40 mmol/L
$Mg^{2+}$	1.60 mmol/L
$K^+$	0.00 mmol/L
$NH_4^+$	0.00 mmol/L
$Na^+$	1.10 mmol/L
$SO_4^{2-}$	0.15 mmol/L
$NO_3^-$	0.10 mmol/L
$H_2PO_4^-$	0.00 mmol/L
$HCO_3^-$	5.70 mmol/L
$Cl^-$	1.00 mmol/L
Fe	0.00 $\mu$ mol/L
Mn	1.30 $\mu$ mol/L
Zn	1.20 $\mu$ mol/L
Cu	0.00 $\mu$ mol/L
B	0.00 $\mu$ mol/L
Mo	0.00 $\mu$ mol/L

Εικόνα 17. Ανάλυση αρδευτικού νερού.

Quantity	Target value	Quantity	Target value
$E_t$ (initial)	2.40 dS/m	$E_t$ (initial)	1.80 dS/m
$pH_t$	5.6	$pH_t$	5.6
[K]	7.30 mmol/L	[K]	6.00 mmol/L
[Ca]	4.30 mmol/L	[Ca]	2.00 mmol/L
[Mg]	2.10 mmol/L	[Mg]	1.40 mmol/L
[NO3]	13.00 mmol/L	[NO3]	9.25 mmol/L
[NH4]	1.50 mmol/L	[NH4]	1.50 mmol/L
$[H_2PO_4^-]$	1.30 mmol/L	$[H_2PO_4^-]$	1.40 mmol/L
$C_{NaCl}$	2.00 mmol/L	$C_{NaCl}$	2.00 mmol/L
$C_{Fe}$	15.00 $\mu$ mol/L	$C_{Fe}$	15.00 $\mu$ mol/L
$C_{Mn}$	10.00 $\mu$ mol/L	$C_{Mn}$	10.00 $\mu$ mol/L
$C_{Zn}$	6.00 $\mu$ mol/L	$C_{Zn}$	5.00 $\mu$ mol/L
$C_{Cu}$	1.20 $\mu$ mol/L	$C_{Cu}$	1.00 $\mu$ mol/L
$C_B$	30.00 $\mu$ mol/L	$C_B$	20.00 $\mu$ mol/L
$C_{Mo}$	0.50 $\mu$ mol/L	$C_{Mo}$	0.50 $\mu$ mol/L
HNO <sub>3</sub> content	68 (% w/w)	HNO <sub>3</sub> content	68 (% w/w)
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> content	85 (% w/w)	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> content	85 (% w/w)
Fe in Fe chelate	6 (% w/w)	Fe in Fe chelate	6 (% w/w)

Εικόνα 18. Αριστερά η συγκέντρωση του θρεπτικού διαλύματος για το ανοικτό σύστημα, δεξιά η συγκέντρωση του θρεπτικού διαλύματος για το κλειστό και ημίκλειστο σύστημα.

### 3.5.5 Καλλιεργητικές φροντίδες

Όσον αφορά τις καλλιεργητικές φροντίδες, τα φυτά αφού εγκαταστάθηκαν στο θερμοκήπιο, κλαδεύτηκαν με τέτοιο τρόπο και δέθηκαν, ώστε να αναπτυχθούν μονοστέλεχα. Για την στήριξη των φυτών εγκαταστάθηκαν οριζόντια σύρματα, πάνω από την καλλιέργεια και σπάγκος ο οποίος περιτυλίγονταν γύρω από το φυτό και δένονταν στα οριζόντια σύρματα, με 'κλιπ', για ευκολία. Καθόλη την διάρκεια της καλλιέργειας τα φυτά βλαστολογούνταν συνεχώς, για να μη χάσουν το μονοστέλεχο σχήμα τους. Για την γονιμοποίηση των καρπών, χρησιμοποιήθηκαν βομβίνοι. Επίσης, μόλις τα φυτά ξεπέρασαν σε ύψος το σύρμα, ξεκρεμάστηκαν, πλαγιάστηκαν και ξαναδέθηκαν, σε παράπλευρο μέρος, έτσι ώστε να διευκολύνονται οι λοιπές μεταχειρίσεις, ενώ μόλις ξεπέρασαν τα δύο μέτρα σε ύψος (μετά την 8<sup>η</sup> ταξιανθία), κορυφολογήθηκαν. Στην κάθε ταξικαρπία οι περισσότεροι των πέντε καρπών, απομακρύνονταν, με σκοπό να αναπτύσσονται μόνο οι πέντε καρποί ανά ταξικαρπία. Ακόμη, πριν την συγκομιδή των καρπών της κάθε ταξικαρπίας, αφαιρούνταν όλα τα φύλλα από την συγκεκριμένη ταξικαρπία και κάτω, για να βελτιώνεται το μικρο-περιβάλλον της περιοχής, να πάψουν να σκιάζονται οι καρποί (δεν υπήρχε ο κίνδυνος για εγκαύματα) και άρα να κοκκινίζουν πιο γρήγορα. Οι καρποί συγκομιζόταν, στο ελαφρά κόκκινο στάδιο ωρίμανσης σύμφωνα με την κατάταξη USDA (USDA 1997). Τέλος για τον έλεγχο των εχθρών και ασθενειών, λαμβάνονταν τα κατάλληλα μέτρα πρόληψης και καταπολέμησης με χημικούς, μηχανικούς και βιοτεχνικούς μεθόδους.

### 3.6 Μετρήσεις

Για την μελέτη της επίδρασης της αλατότητας, στην παραγωγή και ποιότητα των καρπών τομάτας, στις τρεις μεταχειρίσεις, έπρεπε να γίνει ανάλυση των καρπών και ανάλογα με τα αποτελέσματα αυτής της ανάλυσης, να βγουν κάποια συμπεράσματα. Οι καρποί θα έπρεπε να προέρχονται και από τις τρεις διαφορετικές επεμβάσεις, αλλά και από τις επαναλήψεις τους, έτσι ώστε να συγκριθούν τα συμπεράσματα μεταξύ τους. Για να είναι, όμως, τα συμπεράσματα αυτά, όσο το δυνατόν πιο αξιόπιστα, έπρεπε η ανάλυση να γίνει σε καρπούς που δέχτηκαν τις ίδιες ακριβώς μεταχειρίσεις, άρα θα έπρεπε οι καρποί να ήταν της ίδιας ηλικίας.

Επομένως, οι καρποί στους οποίους έγιναν οι μετρήσεις, είχαν σηματοθετεί την η μέρα της ταυτόχρονης γονιμοποίησής τους ( $\pm$  μια ημέρα), έτσι μόλις ωριμάσουν (τουλάχιστον τα 2/3), να συγκομιστούν και να αναλυθούν. Η σήμανση των καρπών, έγινε με ειδικά ταμπελάκια, τα οποία εφάρμοζαν πάνω σε κάθε άνθος και αναγράφονταν πάνω σε αυτά η ημερομηνία γονιμοποίησης. Παρακάτω φαίνονται οι ημέρες γονιμοποίησης και συγκομιδής. Επιλέχτηκαν

μόνο τα πρώτα άνθη, της ταξιανθίας. Συνολικά έγιναν έξι συγκομιδές. Ο αριθμός των καρπών που προορίζονταν για ανάλυση, ήταν τρεις (3) από κάθε μπλοκ, δηλαδή έξι (6) ανά γραμμή ή τριάντα έξι (36) συνολικά, ανά συγκομιδή. Κάθε είκοσι (20) μέρες περίπου γινότανε η σήμανση.

**Πίνακας 3.** Παραθέτονται οι ημερομηνίες σήμανσης των ανθέων και συγκομιδής των καρπών.

	Ημέρα γονιμοποίησης	Ημέρα συγκομιδής
1 <sup>η</sup>	08/02/2011	17/04/2011
2 <sup>η</sup>	23/02/2011	05/05/2011
3 <sup>η</sup>	16/03/2011	16/05/2011
4 <sup>η</sup>	05/04/2011	30/05/2011
5 <sup>η</sup>	26/04/2011	30/05/2011
6 <sup>η</sup>	17/05/2011	21/06/2011

Οι μετρήσεις στους καρπούς, αφορούσαν, το χρώμα, την ογκομετρούμενη οξύτητα και την περιεκτικότητα σε σάκχαρα, λυκοπένιο και βιταμίνη C (ασκορβικό οξύ). Για όλες τις μετρήσεις εκτός από το χρώμα, οι τρεις καρποί του κάθε μπλοκ (αφού απομακρύνθηκε από αυτούς το άνω και κάτω άκρο), πολτοποιήθηκαν και ομογενοποιήθηκαν, έτσι ώστε να γίνει μία μέτρηση και για τους τρεις καρπούς, δηλαδή μια μέτρηση ανά μπλοκ. Για το λυκοπένιο και τη βιταμίνη C, ο πολτός (από όλες τις συγκομιδές) που χρειάστηκε για τις αναλύσεις, καταψύχθηκε μέχρι τέλη Ιούνη.



*Εικόνα 19. Αριστερά φαίνεται ένα σημαδεμένο άνθος, αφού γονιμοποιήθηκε, δεξιά ένα σημαδεμένος καρπός λίγο πριν τη συγκομιδή του.*

### **3.6.1 Χρώμα**

Η μέτρηση του χρώματος έγινε με το χρωματόμετρο MiniScan XE Plus της HunterLab, (μοντέλο 4500 L), σύμφωνα με το σύστημα μέτρησης CIELAB.



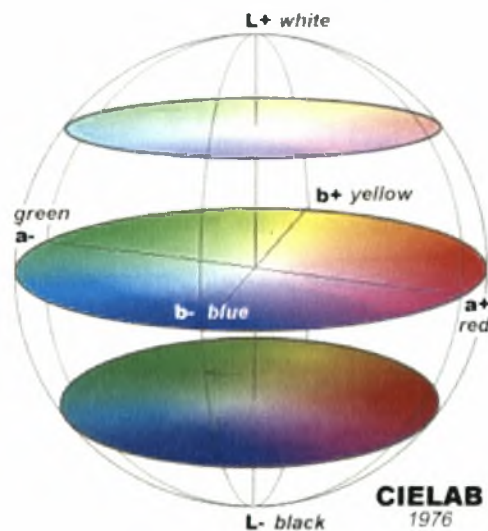
*Εικόνα 20. Χρωματόμετρο (MiniScan XE Plus της HunterLab, (μοντέλο 4500 L)).*

Έγιναν τέσσερις μετρήσεις ανά καρπό, (μια σε κάθε τεταρτημόριο του καρπού) και τα αποτελέσματα πάρθηκαν ξεχωριστά για τους τρεις καρπούς του κάθε μπλοκ.



*Εικόνα 21. Διαδικασία μέτρησης χρώματος.*

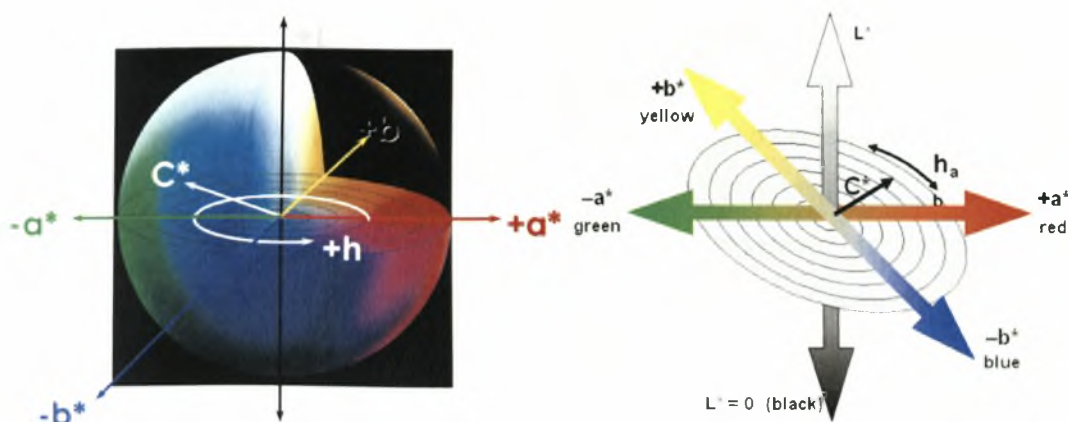
Ουσιαστικά το όργανο με την κάθε μέτρηση έδινε τρεις τιμές και με βάση αυτές τις τιμές υπολογιζόταν το χρώμα του καρπού. Η πρώτη τιμή, ήταν ο συντελεστής φωτεινότητας L οι άλλες δύο τιμές, ήταν οι συντεταγμένες a και b. Ο συντελεστής φωτεινότητας L κυμαίνεται μεταξύ 0(=μαύρο) και 100(=λευκό), ενώ για κάθε μέτρηση της φωτεινότητας, οι συντεταγμένες, δίνουν το χρώμα σε ένα ορθογώνιο σύστημα συντεταγμένων κάθετων στον L άξονα, στο L. Το χρώμα στην αρχή των αξόνων, ( $\alpha=0$ ,  $\beta=0$ ), είναι γκρι. Στον οριζόντιο άξονα, θετικές τιμές του a, υποδεικνύουν ένα κόκκινο-μωβ, ενώ οι αρνητικές τιμές του a, μπλε-πράσινο. Στον κάθετο άξονα, θετικές τιμές του b, υποδεικνύουν ένα χρώμα κίτρινο και οι αρνητικές μπλε.



Η σωστή ποσοτικοποίηση των τρισδιάστατων χρωματικών στοιχείων βασίζεται σε τριγωνομετρικές εξισώσεις. Ένας χρωματικός κύκλος έχει  $360^\circ$ , με το κόκκινο-μωβ να



βρίσκεται στο δεξιό άκρο (ή σε μία γωνία  $0^\circ$ ), το κίτρινο, πράσινο και μπλε ακολουθούν αντίθετα προς την φορά των δεικτών του ρολογιού στις  $90^\circ$ ,  $180^\circ$  και  $270^\circ$  (Εικόνα).



Η μέτρηση του χρώματος μπορεί να βρεθεί κατά τον υπολογισμό της γωνίας του χρώματος, hue angle ( $Hue^\circ$ ) και της έντασης, Chroma C, που υπολογίζονται από τα a και b. Το Chroma C, υπολογίζεται ως εξής:

$$C = (a^2 + b^2)^{1/2}$$

και αντιπροσωπεύει την υποτείνουσα ενός ορθογωνίου τριγώνου που δημιουργείται από την ένωση των τριών σημείων (0,0), (a,b) και (a,0).

Η γωνία hue angle, είναι η γωνία μεταξύ της υποτείνουσας και του άξονα του a. Το  $H^\circ$  υπολογίζεται από το τόξο της εφαπτομένης του b/a, ως εξής, (Raymond et al. 1992):

$$H^\circ = \arctan(b/a), \text{ όταν } a > 0 \text{ και } b \geq 0$$

$$H^\circ = 180^\circ + \arctan(b/a), \text{ όταν } a < 0 \text{ και } b \geq 0$$

Τα στάδια ωρίμανσης αποτυπώνονται σε διάφορες κλίμακες ή χρωματικούς χάρτες, (Grieson et al., 1986). Στο πείραμα ακολουθήθηκε η κατάταξη σύμφωνα με την κλίμακα, όπως φαίνεται στον πίνακα που ακολουθεί.

**Πίνακας 4.** Στάδια ωρίμανσης καρπού κατά USDA, (USDA 1997).

Διαβάθμιση	Στάδιο	Περιγραφή
1	Ώριμο πράσινο	Ολόκληρη η επιφάνεια του καρπού παρουσιάζει πλήρως πράσινο χρώμα.
2	Έναρξη αλλαγής χρώματος	Παρατηρείται μια αλλαγή στο χρώμα από πράσινο σε ανοικτό



		κίτρινο, ροζ, κόκκινο ή συνδυασμό αυτών αλλά σε λιγότερο από 10% της επιφάνειας.
3	Αλλαγή χρωματισμού	Περισσότερο από 10% αλλά όχι περισσότερο από 30% της επιφάνειας δείχνει μια αλλαγή στο χρώμα από πράσινο σε ανοικτό κίτρινο, ροζ, κόκκινο ή συνδυασμό αυτών.
4	Ρόδινο	Περισσότερο από 30% αλλά όχι περισσότερο από 60% της επιφάνειας είναι ροζ ή κόκκινο.
5	Ελαφρά κόκκινο	Περισσότερο από 60% της επιφάνειας είναι ροζ-κόκκινο ή κόκκινο αλλά λιγότερο από 90% κόκκινο.
6	κόκκινο	Περισσότερο από 90% της επιφάνειας είναι κόκκινο.

Ο καθορισμός του χρώματος των καρπών, έγινε με αυτό τον τρόπο, διότι, έτσι προσδιορίζονται με μεγαλύτερη ακρίβεια οι διαφορές μεταξύ των καρπών και τα αποτελέσματα δεν εξαρτώνται από την υποκειμενικότητα του πειραματιστή.

### 3.6.2 Ογκομετρούμενη οξύτητα

Για τον προσδιορισμό της ογκομετρούμενης οξύτητας, 5 g πολτοποιημένου δείγματος τομάτας, αναμιγνύονταν με 15 g νερό και στη συνέχεια γινόταν ογκομέτρηση με 0,1 N NaOH, μέχρις ότου το pH του διαλύματος να φτάσει το 8,3. Η ογκομετρούμενη οξύτητα εκφράζεται ως ποσοστό του κιτρικού οξέως.

### 3.6.3 Περιεκτικότητα των καρπών σε διαλυτά στερεά συστατικά (ΔΣΣ)

Η μέτρηση των διαλυτών στερεών (σάκχαρα), πραγματοποιήθηκε με το φορητό διαθλασίμετρο, μοντέλο 53000 C, της εταιρίας SOLO STRUMENTI PROFESSIONALI, tr. Τα χαρακτηριστικά του οργάνου αυτού είναι, διαβάθμιση της κλίμακας Brix από 0-32%, αυτόματη αντιστάθμιση της θερμοκρασίας, ανάλυση 0,2%.

Για την μέτρηση τους, χρειαζότανε μικρή ποσότητα πολτοποιημένου δείγματος, η οποία τοποθετούνταν σε συγκεκριμένο σημείο στο διαθλασίμετρο, το οποίο μετρά την περιεκτικότητα των σακχάρων και την ερμηνεύει σε Brix%.

### 3.6.4 Περιεκτικότητα των καρπών σε ασκορβικό οξύ

Για την μέτρηση του ασκορβικού οξέος, 15 g πολτοποιημένου δείγματος ομογενοποιούνταν με 10 ml διαλύματος οξαλικού οξέος 1%, σε ομογενοποιητή. Μετά γινότανε φυγοκέντρηση, στα 5000g για 20 min. Ο προσδιορισμός της περιεκτικότητας του ασκορβικού οξέος στο εκχύλισμα, έγινε με το ρεφλεκτόμετρο RQflex (Merck, Darmstadt, Germany), σε mg/l. Η μετατροπή της σε mg/100g νωπού βάρους καρπού, γινότανε με αναγωγή στον γνωστό όγκο και βάρος του δείγματος.

### 3.6.5 Περιεκτικότητα των καρπών σε λυκοπένιο

Για τον προσδιορισμό της περιεκτικότητας του λυκοπενίου, στον καρπό, 1 g πολτοποιημένου δείγματος ομογενοποιούνταν με 25 ml ακετόνης, σε ειδικά μαύρα φιαλίδια. Ακολουθούσε ανακίνηση διάρκειας μίας ώρας, στις 150 στροφές/λεπτό σε σκοτάδι (παρεμποδιζόταν η φωτοεπαγωγική οξείδωση του λυκοπενίου) και στη συνέχεια φυγοκέντρηση στα 5000 g για 20 min. Το υπερκείμενο διάλυμα μεταφέρονταν σε ογκομετρική φιάλη των 25 ml και συμπληρώνονταν με ακετόνη μέχρι τη χαραγή. Τέλος, η απορρόφηση του εκχυλίσματος μετρούνταν με φασματοφωτόμετρο, σε μήκος κύματος τα 503 nm. Επομένως η περιεκτικότητα σε λυκοπένιο υπολογιζόταν με βάση την εξίσωση της απορρόφησης:

$$A=\varepsilon*c*d$$

Όπου:

A, η απορρόφηση,

- Ε, ο συντελεστής μοριακής απόσβεσης  $17,2 \cdot 10^4$  mol/cm
- ς, η ζητούμενη συγκέντρωση του καρπού σε λυκοπένιο mol/l
- δ, το πάχος της κυψελίδας που είναι 1 cm.

Η συγκέντρωση σε λυκοπένιο, εκφράστηκε σε mg/100g νωπού βάρους καρπού.

### 3.6.6 Στατιστική ανάλυση

Για την στατιστική επεξεργασία των μετρήσεων που μόλις προαναφέρθηκαν, έγινε χρήση του αρχείου MSexcel και του στατιστικού πακέτου SPSS.

Κατά την επεξεργασία των δεδομένων, στο στατιστικό πακέτο αυτό, πραγματοποιήθηκε one-way Anova (Analysis of Variance), και για την απόφαση αν υπάρχουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές, το κριτήριο Duncan.

## Κεφάλαιο 4. Αποτελέσματα και Συζήτηση

Παρακάτω παρατίθενται τα αποτελέσματα με σχεδιαγραμματική απεικόνιση και ο σχολιασμός αυτών, με βάση την στατιστική ανάλυση και τους παράγοντες που τα επηρέασαν.

Για την παρουσίαση των αποτελεσμάτων, χρησιμοποιήθηκε ο μέσος όρος και η τυπική απόκλιση των τιμών και από τις δύο επαναλήψεις, για κάθε μεταχείριση, έτσι ώστε τα αποτελέσματα να παρουσιαστούν, συγκριτικά μεταξύ των τριών μεταχειρίσεων μόνο. Δηλαδή να γίνει σύγκριση μεταξύ του ανοικτού με το ημίκλειστο και κλειστό σύστημα.

Ο πίνακας που ακολουθεί, επεξηγεί σε ποιες ημερομηνίες αντιστοιχούν οι αριθμοί στα σχεδιαγράμματα.

**Πίνακας 5.** Ημέρες συγκομιδής

	Ημέρα συγκομιδής
1	17/04/2011
2	05/05/2011
3	16/05/2011
4	30/05/2011
5	30/05/2011
6	21/06/2011

Η δεύτερη συγκομιδή, έγινε προτού να ωριμάσουν οι καρποί, επειδή κάποια φυτά είχαν προσβληθεί από μια σοβαρή ασθένεια, οπότε έπρεπε να απομακρυνθούν από το θερμοκήπιο τα προσβεβλημένα φυτά, από τα οποία μερικά, φέραν τους σημαδεμένες καρπούς. Έτσι προκειμένου να χαθούν αυτοί οι καρποί, άρα και οι μετρήσεις αυτών συγκομίστηκαν όλοι οι καρποί ταυτόχρονα. Δεν συγκομίστηκαν ξεχωριστά οι καρποί, δηλαδή να συγκομιστούν πρώτα αυτοί που είχαν πρόβλημα να σαπίσουν και μετά οι υπόλοιποι μόλις θα ωρίμαζαν, γιατί έτσι τα αποτελέσματα δεν θα ήταν τόσο έγκυρα, αφού έτσι δεν θα εξεταζόταν οι επιδράσεις των ίδιων παραγόντων.

Όπως φαίνεται στον πίνακα 5, αλλά και παρακάτω στα γραφήματα, δύο συγκομιδές, η 4η και 5η, έγιναν την ίδια μέρα, δηλαδή (30 Μαΐου 20011), διότι είχε εμφανιστεί έντονο πρόβλημα τροφοπενίας ασβεστίου (τάπα ασβεστίου), λόγω της υψηλής συγκέντρωσης των αλάτων στο ριζόστρωμα των φυτών, επομένως για να μην σαπίσουν και πέσουν οι καρποί, συγκομίστηκαν την ίδια μέρα. Αυτό ισχύει για όλα τα επόμενα γραφήματα, που ακολουθούν παρακάτω.

Στην 5<sup>η</sup> και 6<sup>η</sup> συγκομιδή, οι περισσότεροι καρποί που συγκομίστηκαν, ήταν ανώριμοι, διότι, όπως προαναφέρθηκε και προηγουμένως, οι καρποί εμφάνισαν τάπα ασβεστίου, αλλά κατά την 6<sup>η</sup> συγκομιδή, η καλλιέργεια προσβλήθηκε και σχεδόν καταστράφηκε, από ένα άκαρι, οπότε πάλι οι περισσότεροι καρποί από αυτούς που συγκομίστηκαν, ήταν ανώριμοι. Η τροφοπενία ασβεστίου (τάπα ασβεστίου), εμφανίστηκε έντονα, μετά από της 20 Μαΐου

Επίσης, οι διαφορές στα αποτελέσματα της πρώτης με τις υπόλοιπες συγκομιδές, μπορεί να οφείλονται και στο γεγονός, ότι οι ταξικαρπίες που έδωσαν τους καρπούς της πρώτης συγκομιδής, αραιώθηκαν (αφήνονταν 5 καρποί ανά ταξικαρπία) 26 μέρες μετά από την γονιμοποίηση των ανθέων, σε αντίθεση με τις επόμενες ταξικαρπίες που έδωσαν τους καρπούς για τις επόμενες συγκομιδές, που αραιώθηκαν 10 μέρες μετά από τη γονιμοποίηση.

Οι καρποί που συγκομιζόταν, δεν είχαν παρόμοιο μέγεθος μεταξύ τους, αλλά κάποιοι ήταν πολύ μικροί, ενώ κάποιοι άλλοι πολύ μεγάλοι. Συνήθως μικρότεροι ήταν οι καρποί στο κλειστό σύστημα και ιδιαίτερα προς το τέλος της καλλιέργειας.

Ακόμη οι συγκομισμένοι καρποί, δεν ήταν όλοι στο ίδιο στάδιο ωριμότητας, δηλαδή όταν συγκομιζόταν δεν είχαν όλοι το ίδιο χρώμα, αφού άλλοι είχαν ωριμάσει και κινδύνευαν να σαπίσουν, ενώ άλλοι ήταν ακόμη πράσινοι. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο διαφορετικό φορτίο του κάθε φυτού ή το μέγεθος των καρπών, αλλά και στο ότι εμφανίστηκε η τροφopenία ασβεστίου (κυρίως στο κλειστό σύστημα), όπου άλλοι καρποί από αυτούς που συγκομιζόταν είχαν σχεδόν σαπίσει, ενώ άλλοι ήταν ακόμη άγουροι.

Μάλιστα, από τους 36 καρπούς που έπρεπε να συγκομίζονται κάθε φορά (6 καρποί ανά μεταχείριση ή 3 ανά block), συγκομιζόταν λιγότεροι, επειδή κάποιοι σάπιζαν λόγω τάπας ασβεστίου, άλλοι λόγω προσβολής από ασθένεια. Στον παρακάτω πίνακα, παρατίθενται ο αριθμός των συγκομισμένων καρπών και η ποσοστιαία αναλογία τους στα στάδια ανάπτυξης αυτών, με βάση το χρώμα κατά USDA, (προσεγγιστικά).

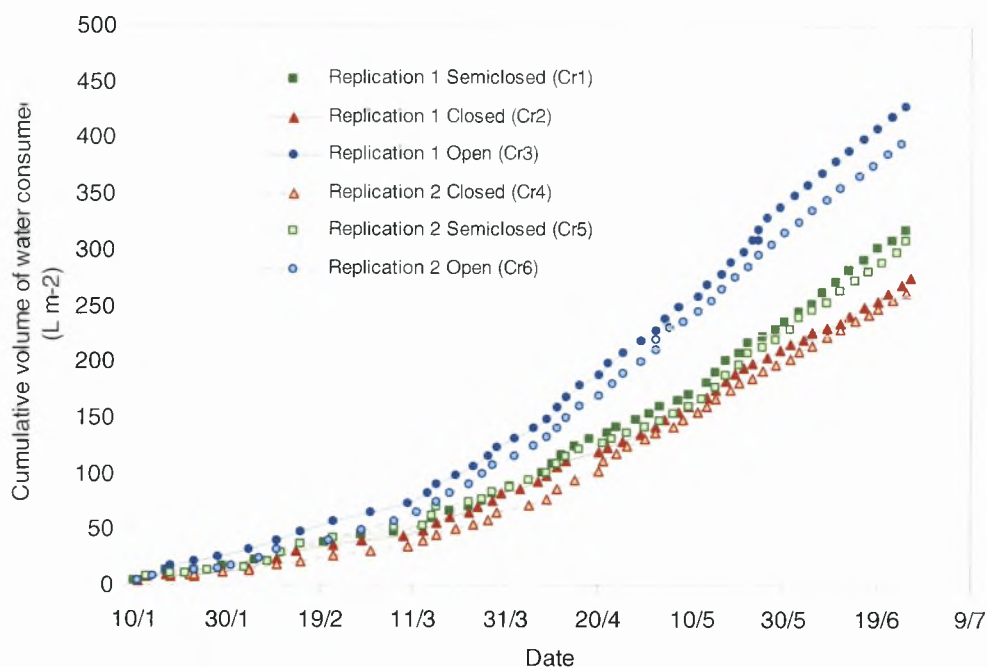
**Πίνακας 6.** Αριθμός συγκομισμένων καρπών και στάδια ανάπτυξης (κατά USDA, 1997).

Στάδιο ανάπτυξης	Συνολικός αριθμός καρπών	Στάδια ανάπτυξης		
		3	4-5	6
1 <sup>η</sup>	36	8,3%	5,6%	86,1%
2 <sup>η</sup>	33	57,6%	6%	36,4%
3 <sup>η</sup>	23	21,7%	8,7%	69,6%
4 <sup>η</sup>	24	37,5%	0	62,5%
5 <sup>η</sup>	32	50%	15,6%	34,4%
6 <sup>η</sup>	26	53,8%	0	46,2%

Η πλειοψηφία των καρπών ως προς τις απώλειες ή την διαφορά στην ωριμότητα αυτών δεν συνέπυται με κάποια μεταχείριση συγκεκριμένα, δηλαδή οι απώλειες ή η διαφορά ως προς το στάδιο ωρίμανσης δεν προέρχονταν από συγκεκριμένη μεταχείριση κάθε φορά, αλλά η παραλλακτικότητα αυτή κατανέμονταν τυχαία, σύμφωνα με τις παρατηρήσεις κατά την συγκομιδή.

Οι καρποί που υπολείπονταν δεν αντικαταστήθηκαν από άλλους, επομένως τα αποτελέσματα διεξήχθησαν και γενικεύθηκαν ανά μεταχείριση, με βάση τους υπόλοιπους καρπούς από τα συγκεκριμένα block, που είχαν συγκομισθεί.

#### 4.1 Καθαρή ποσότητα νερού που καταναλώθηκε

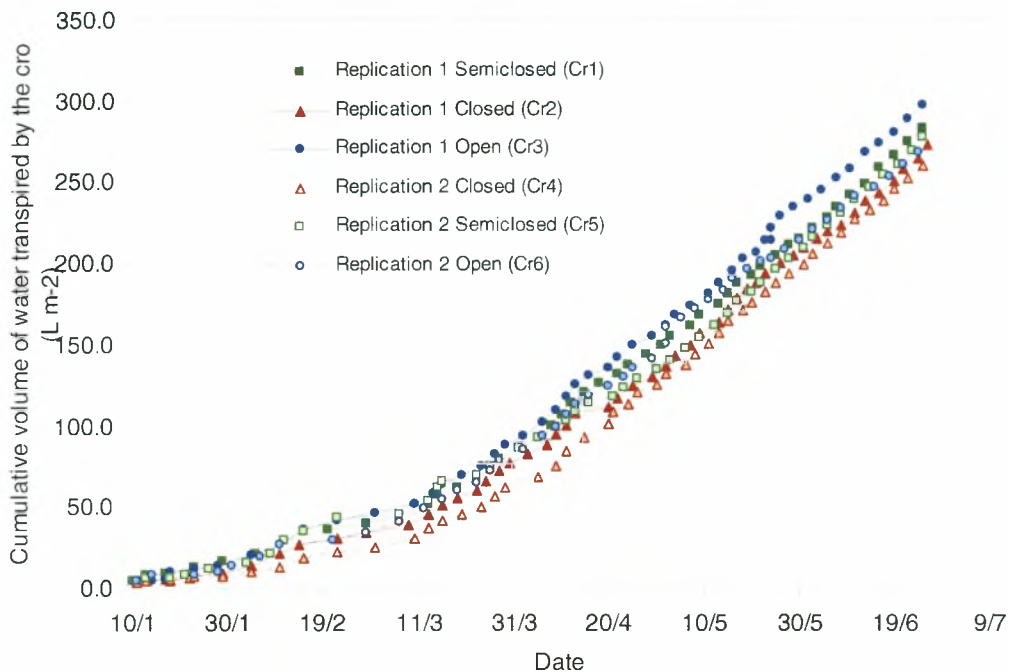


**Γράφημα 4.1.** Καθαρή ποσότητα νερού που καταναλώθηκε

Στο παραπάνω διάγραμμα παρουσιάζεται, αναλυτικά, από την μέρα της εγκατάστασης της καλλιέργειας ως και τη μέρα της απεγκατάστασης, πόσο νερό (θρεπτικό διάλυμα) καταναλώθηκε. Είναι φανερό λοιπόν ότι το κλειστό σύστημα, είναι το πιο οικονομικό σύστημα, ως προς την κατανάλωση νερού, ενώ το ανοικτό το πιο 'σπάταλο', αφού κατανάλωσε επιπλέον το 50% το νερό του κλειστού. Το ημίκλειστο κατανάλωσε λίγο περισσότερο νερό, από το κλειστό, διότι στις 10 Μαΐου έγινε αντικατάσταση του θρεπτικού διαλύματος με νέο, λόγω της συγκέντρωσης του Na.



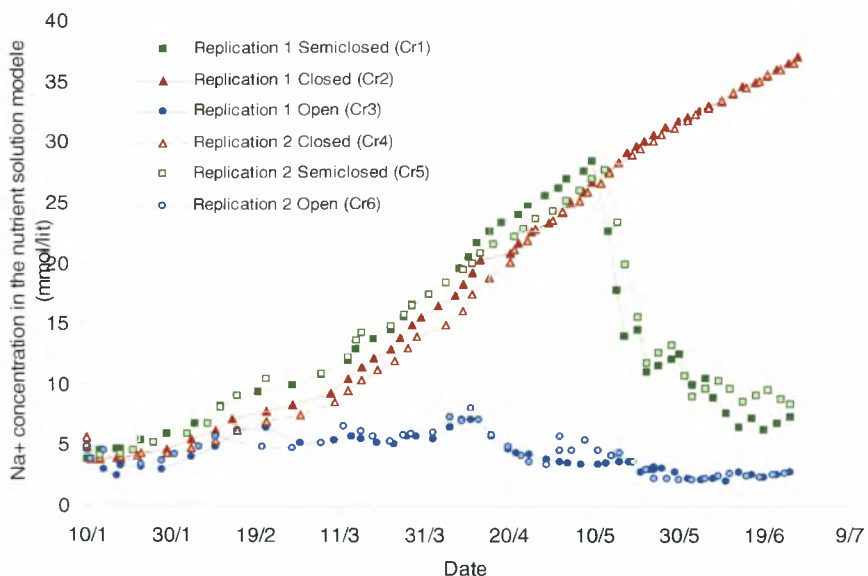
## 4.2 Ποσότητα θρεπτικού διαλύματος που απορροφήθηκε από τα φυτά (διαπνοή)



Γράφημα 4.2. Ποσότητα θρεπτικού διαλύματος που απορροφήθηκε από τα φυτά

Σε αυτό το διάγραμμα, φαίνεται η ποσότητα του θρεπτικού διαλύματος που απορροφήθηκε από τα φυτά, διαμέσου της διαπνοής. Στο κλειστό σύστημα τα φυτά απορρόφησαν λιγότερο νερό από ότι στο ανοικτό, δηλαδή διέπνευσαν λιγότερο στο κλειστό από ότι στο ανοικτό. Αυτό οφείλεται στο στρες λόγω της υψηλής συγκέντρωσης του Na στο κλειστό σύστημα.

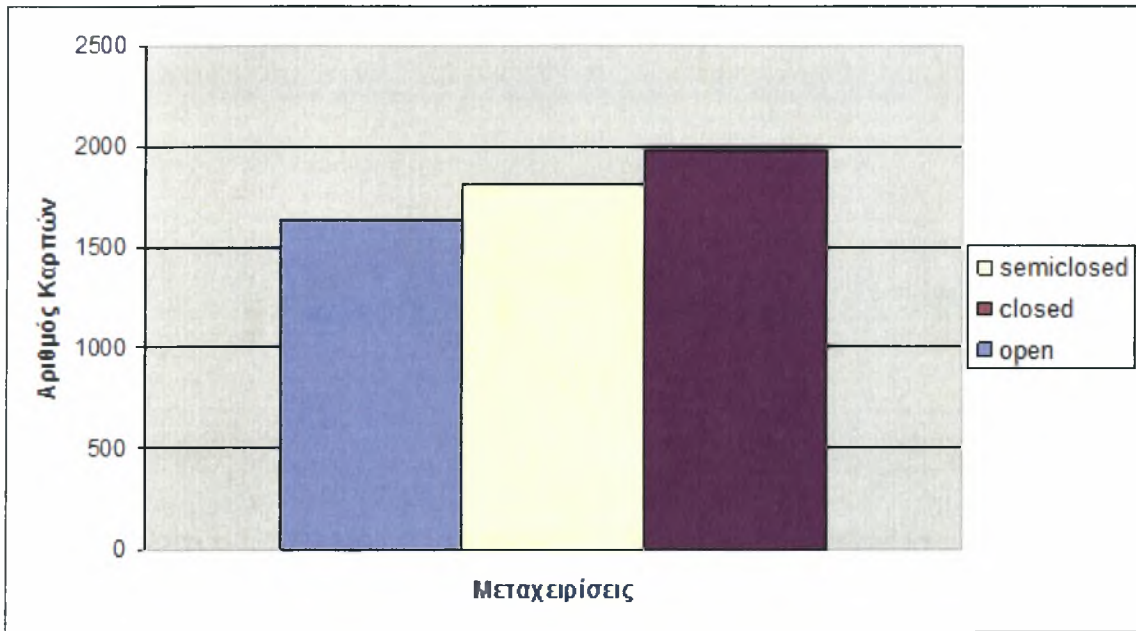
## 4.3 Συγκέντρωση Νατρίου (Na)



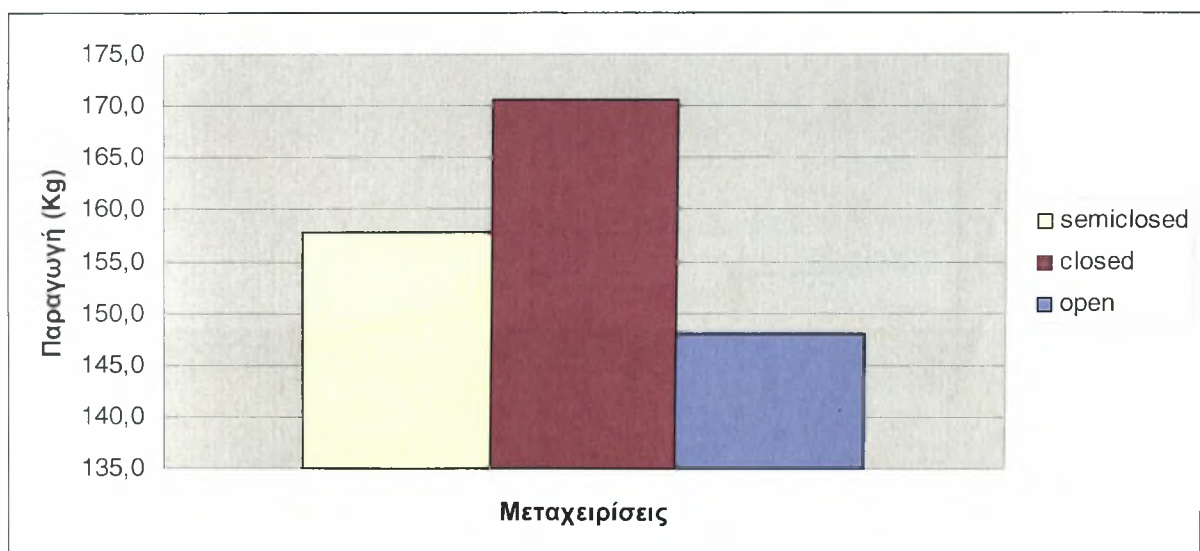
Γράφημα 4.3. Συγκέντρωση Na

Στο παραπάνω διάγραμμα φαίνεται η συγκέντρωση Na, στο θρεπτικό διάλυμα και των τριών συστημάτων. Στο ανοικτό σύστημα δεν παρατηρείται σταδιακή αύξηση, όπως στο κλειστό και στο ημίκλειστο, αλλά παραμένει σε σταθερό επίπεδο σχεδόν. Στο ημίκλειστο σύστημα, μόλις η συγκέντρωση του Na ξεπέρασε τα 25 mmol/l, έγινε ολική αντικατάσταση του θρεπτικού διαλύματος με νέο.

#### 4.4 Επίδραση της αλατότητας στην παραγωγή



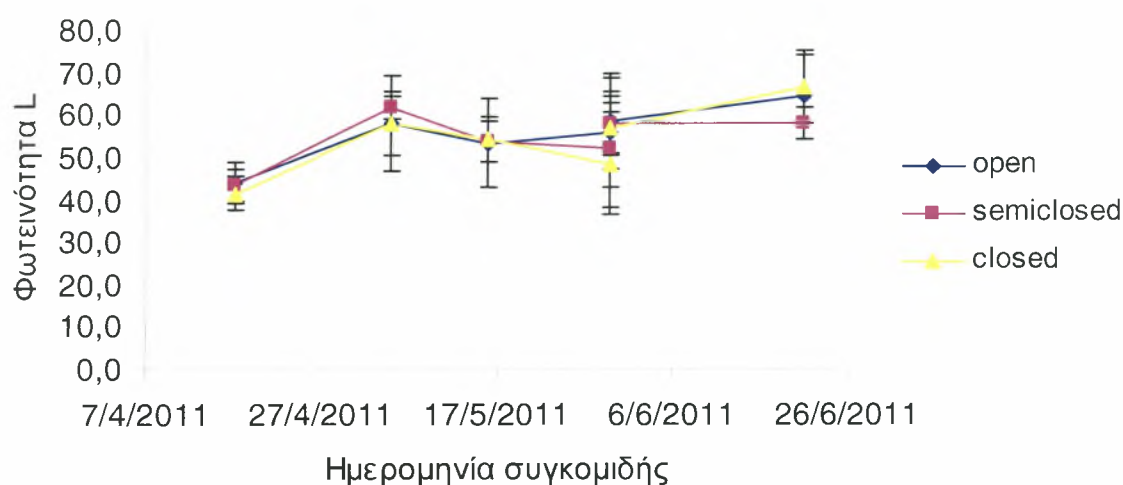
Γράφημα 4.1. Αριθμός καρπών τομάτας ανά μεταχείριση (26 m<sup>2</sup>) καλλιέργειας.



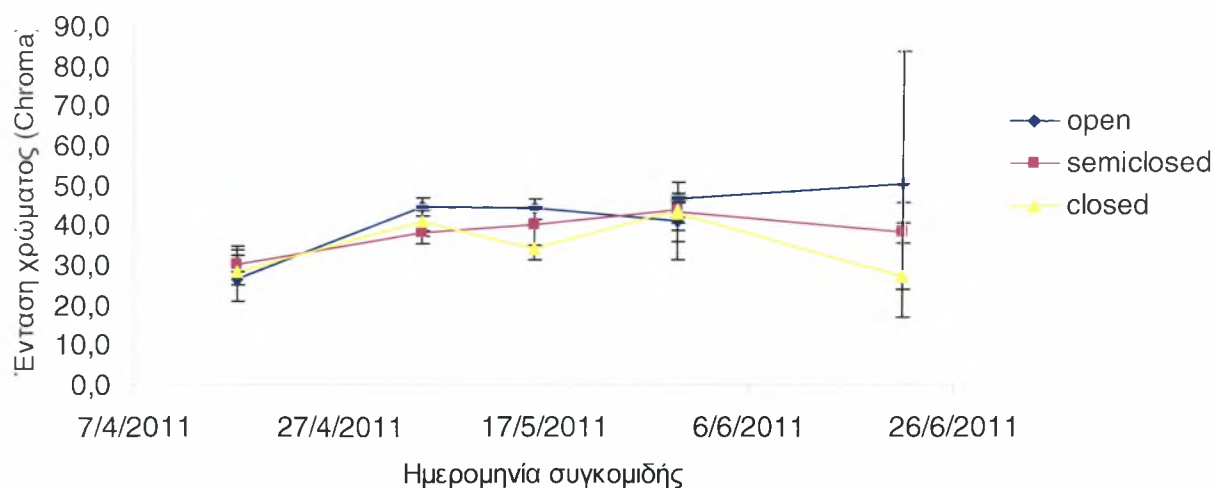
Γράφημα 4.2. Συνολική παραγωγή τομάτας σε κιλά καρπών, ανά μεταχείριση (26 m<sup>2</sup>).

Όπως φαίνεται στο γράφημα 4.1, ο αριθμός των καρπών στο κλειστό σύστημα ήταν πολύ μεγαλύτερος από αυτούς στο ανοικτό σύστημα, (βέβαια αυτή η απόδοση, οφείλεται και στις αρχές ακόμη, όπου η αλατότητα ήταν σε χαμηλές συγκεντρώσεις). Παρόλα αυτά όμως, σύμφωνα με το γράφημα 4.2, η παραγωγή σε κιλά καρπών δεν διέφερε εξίσου σημαντικά. Αυτό σημαίνει ότι οι καρποί στο κλειστό σύστημα ήταν μικρότεροι από αυτούς στο ανοικτό σύστημα. Όσον αφορά το ημίκλειστο σύστημα, φαίνεται μια σταθερή υπεροχή σε σχέση με το ανοικτό σύστημα και ως προς τον αριθμό αλλά και ως προς τα κιλά παραγόμενου καρπού.

#### 4.5 Επίδραση της αλατότητας στο χρώμα



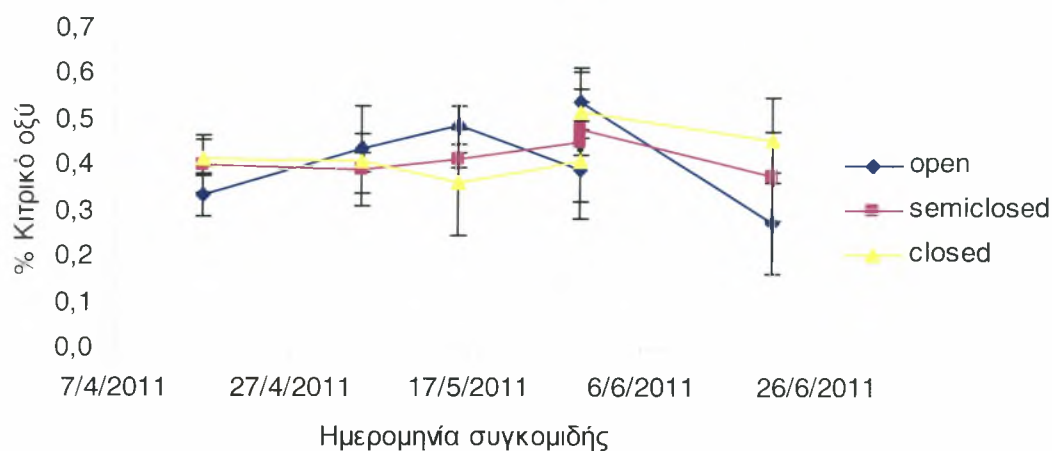
**Γράφημα 4.5.1.** Φωτεινότητα του χρώματος των καρπών



**Γράφημα 4.5.2.** Ένταση του χρώματος των καρπών.

Το χρώμα των καρπών, είναι άρρηκτα συνδεδεμένο με το στάδιο ωρίμανσης του καρπού, αφού αποτέλεσμα της ωρίμανσης είναι ο χρωματισμός. Ανάμεσα στα τρία συστήματα, για το χρώμα δεν παρουσιάστηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές ( $p \gg 0,05$ ). Δηλαδή δεν παρουσιάστηκαν διαφορές ούτε ως προς την ένταση του χρώματος, αλλά ούτε και ως προς την φωτεινότητα. Αυτό ίσως να οφείλεται ότι το χρώμα επηρεάζεται κυρίως από κλιματικούς παράγοντες (φως) και ελάχιστα από ανωμαλίες στην θρέψη.

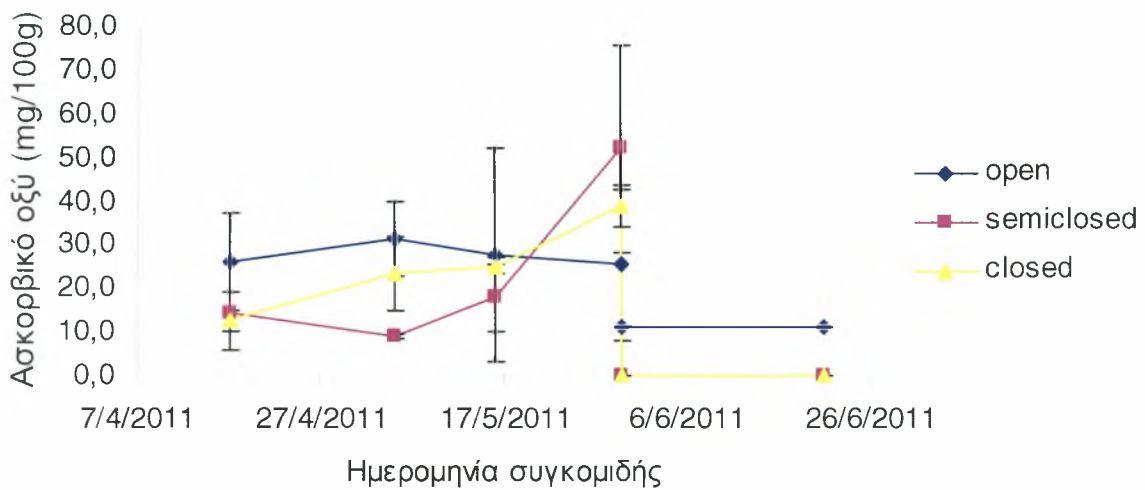
#### 4.6 Επίδραση της αλατότητας στην Ογκομετρούμενη Οξύτητα



**Γράφημα 4.6.** Ογκομετρούμενη οξύτητα ως ποσοστό κιτρικού οξέος.

Όπως φαίνεται στο γράφημα 4.6, αλλά και σύμφωνα με την στατιστική ανάλυση ( $p \gg 0,05$ ), δεν παρατηρείται κάποια διαφορά ανάμεσα στα τρία συστήματα. Η ογκομετρούμενη οξύτητα μάλιστα, στο κλειστό και ημίκλειστο σύστημα, φαίνεται να διατηρείται σταθερή και όχι να αυξάνεται, αφού έτσι υποστηρίζουν πολλοί ερευνητές ότι συμβαίνει, με την αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, στο θρεπτικό διάλυμα. Το αποτέλεσμα αυτό, άρα, δεν συμφωνεί με την βιβλιογραφία.

#### 4.7 Επίδραση της αλατότητας στην περιεκτικότητα των καρπών σε Ασκορβικό οξύ



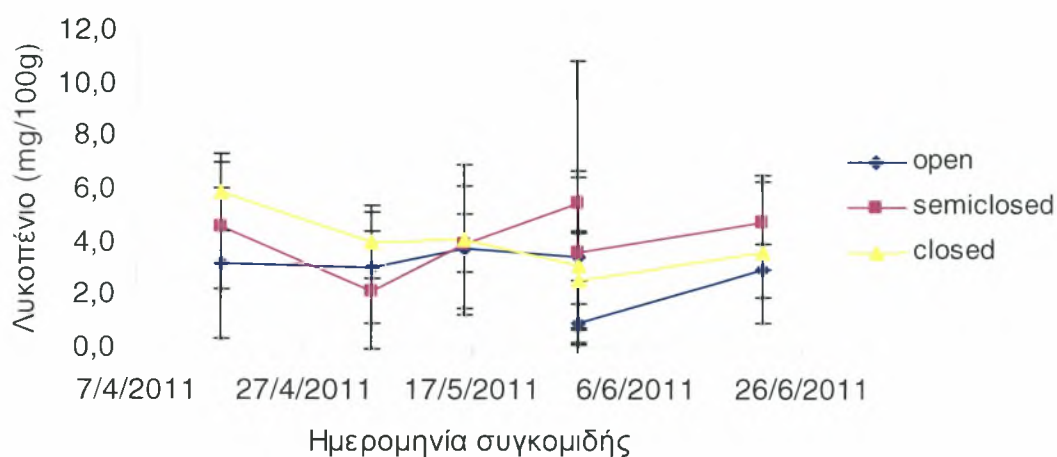
**Γράφημα 4.7.** Περιεκτικότητα ασκορβικού οξέος, ανά 100g νωπού βάρους καρπού.

Σύμφωνα με την στατιστική ανάλυση, στατιστικώς σημαντικές διαφορές δεν υπάρχουν μεταξύ των τριών συστημάτων. Παρόλα αυτά, για το κλειστό και το ημίκλειστο σύστημα, παρατηρείται μια αύξηση των τιμών μέχρι και την 4<sup>η</sup> συγκομιδή, το οποίο οφείλεται στην σταδιακή αύξηση της αλατότητας στο θρεπτικό διάλυμα. Το αποτέλεσμα αυτό συνάπτει με την βιβλιογραφία, όπου ερευνητές, σε παρόμοια πειράματα, έχουν αποδείξει ότι η περιεκτικότητα των καρπών σε ασκορβικό οξύ, αυξάνεται με την αύξηση της συγκέντρωσης των αλάτων στο θρεπτικό διάλυμα και συνάμα στο ριζόστρωμα.

Για την 5<sup>η</sup> και 6<sup>η</sup> συγκομιδή, ο πολτός των καρπών για όλες τις επαναλήψεις και μεταχειρίσεις, είχε εκτεθεί πριν τη μέτρηση, περίπου για δύο ώρες σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και σε ατμοσφαιρικό αέρα, οπότε, το ασκόρβικό οξύ οξειδώθηκε και έπεσε κάτω από τα 25 mg/l, οπότε δεν μπορούσε να μετρήσει το ρεφλεκτόμετρο, την περιεκτικότητά του.

Επίσης πρέπει να αναφερθεί, ότι το ρεφλεκτόμετρο που χρησιμοποιήθηκε για την μέτρηση του ασκορβικού οξέος, παρουσίαζε σημαντική απόκλιση (σφάλμα), σύμφωνα με τον έλεγχο που πραγματοποιήθηκε με γνωστή συγκέντρωση, η οποία δεν υπολογίστηκε στο τελικό αποτέλεσμα.

#### 4.8 Επίδραση της αλατότητας στη σύνθεση Λυκοπενίου



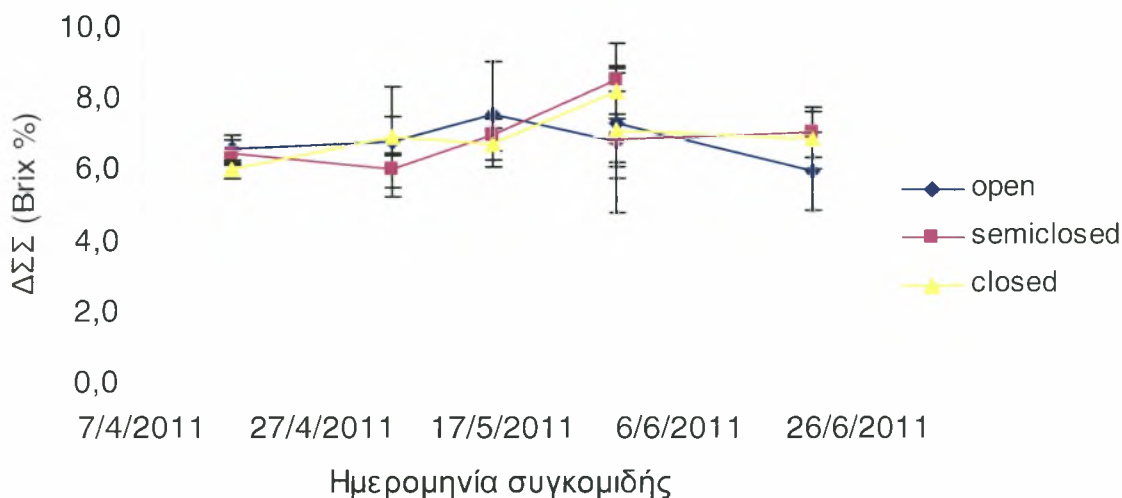
**Γράφημα 4.8.** Περιεκτικότητα των καρπών σε λυκοπένιο, ανά 100g νωπού βάρους καρπού.

Σύμφωνα με το γράφημα 4.8 και την στατιστική ανάλυση ( $p >> 0,05$ ), δεν παρατηρήθηκαν διαφορές ανάμεσα στα τρία συστήματα, ως προς την περιεκτικότητα του λυκοπενίου στους καρπούς. Σύμφωνα με το γράφημα όμως, φαίνεται μια σταδιακή μείωση στη περιεκτικότητα των καρπών σε λυκοπένιο, στο κλειστό σύστημα, παράλληλα με την αύξηση της συγκέντρωσης του Na στο θρεπτικό διάλυμα. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο, ότι την τελευταία περίοδο οι καρποί ήταν μικρότεροι.

Πάντως σύμφωνα με την βιβλιογραφία, η σύνθεση του λυκοπενίου, επηρεάζεται κυρίως από την θερμοκρασία.



#### 4.9 Επίδραση της αλατότητας, στη περιεκτικότητα των καρπών σε διαλυτά στερεά



**Γράφημα 4.9.** Περιεκτικότητα των καρπών σε διαλυτά στερεά συστατικά (ΔΣΣ).

Σύμφωνα με το γράφημα 4.9 και την στατιστική ανάλυση ( $p \gg 0,05$ ) δεν παρατηρείται καμία διαφορά μεταξύ των τριών συστημάτων. Παρόλα αυτά, παρατηρείται μια αύξηση στη περιεκτικότητα των καρπών σε διαλυτά στερεά συστατικά, στο κλειστό αλλά και στο ημίκλειστο σύστημα, με το οποίο συμφωνούν και άλλοι ερευνητές. Επομένως η αύξηση της αλατότητας στο θρεπτικό διάλυμα, αυξάνει και την περιεκτικότητα των καρπών σε σάκχαρα. Η περιεκτικότητα σε διαλυτά στερεά συστατικά, στην 5η και 6η συγκομιδή, είναι χαμηλότερη, διότι, όπως προαναφέρθηκε στην αρχή, οι περισσότεροι καρποί όταν συγκομίστηκαν ήταν ανώριμοι ακόμη.



## Κεφάλαιο 5. Συμπεράσματα

Σκοπός της διατριβής αυτή, ήταν η μελέτη της επίδρασης της μεθόδου διαχείρισης των απορροών στην παραγωγή και την ποιότητα υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας. Δηλαδή η μελέτη της επίδρασης της αλατότητας (ουσιαστικά του Na), που εμφανίζεται στο αρδευτικό νερό και αυξάνεται όλο και περισσότερο τα τελευταία χρόνια στη χώρα μας, ως προς την παραγωγή και την ποιότητα των καρπών, σε υδροπονική καλλιέργεια τομάτας.

Έτσι σε ένα πειραματικό θερμοκήπιο, εγκαταστάθηκαν τρία διαφορετικά υδροπονικά συστήματα, με τέτοιο τρόπο ώστε να μελετηθεί η επίδραση της αλατότητας και να γίνει σύγκριση μεταξύ των τριών διαφορετικών συστημάτων, κάτω από την επίδραση των ίδιων παραγόντων.

Τα τρία διαφορετικά υδροπονικά συστήματα ήταν το ανοικτό, το κλειστό και το ημίκλειστο.

Επομένως, με βάση τα αποτελέσματα που προέκυψαν, ορίζονται τα ακόλουθα συμπεράσματα.

Όσον αφορά την παραγωγή, στο κλειστό σύστημα ο αριθμός των καρπών ήταν λίγο περισσότερος από το ημίκλειστο σύστημα και πολύ περισσότερος από το ανοικτό σύστημα. Επίσης και η συνολική παραγωγή σε κιλά καρπού ήταν μεγαλύτερη από τα άλλα δύο συστήματα. Η απόδοση αυτή οφείλεται, πρώτον στο ότι η συγκέντρωση των αλάτων στο θρεπτικό διάλυμα του κλειστού υδροπονικού συστήματος καθόλη την καλλιεργητική περίοδο, ήταν μεγαλύτερη από τα άλλα δύο συστήματα, αλλά και δεύτερον στο ότι το κλειστό σύστημα είχε αποδώσει περισσότερους καρπούς πριν, ακόμη, να αυξηθεί σε πολύ υψηλά επίπεδα η αλατότητα. Όμως, επειδή η διαφορά στα κιλά δεν ήταν τόσο μεγάλη όσο και στον αριθμό των καρπών, αυτό σημαίνει ότι οι καρποί στο κλειστό σύστημα είχαν μικρότερο μέγεθος από τα άλλα δύο.

Όσον αφορά τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του καρπού, δεν υπήρξαν διαφορές ανάμεσα στα τρία υδροπονικά συστήματα, για κανένα ποιοτικό χαρακτηριστικό. Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά που μελετήθηκαν ήταν το χρώμα των καρπών, η ογκομετρούμενη οξύτητα των καρπών και η περιεκτικότητα σε λυκοπένιο, διαλυτά στερεά συστατικά και ασκορβικό οξύ (βιταμίνη C). Ωστόσο παρουσιάστηκε στο κλειστό και ημίκλειστο σύστημα, αύξηση σε διαλυτά στερεά συστατικά και σε ασκορβικό οξύ, με το οποίο συμφωνούν και άλλοι ερευνητές που ασχολήθηκαν με παρόμοια πειράματα.

Αυτό οφείλεται στην αύξηση της συγκέντρωσης της αλατότητας στο θρεπτικό διάλυμα και στο κλειστό και στο ημίκλειστο σύστημα, ενώ στο ανοικτό, όπου η αλατότητα κυμαινόταν σε σταθερά επίπεδα, δεν παρατηρήθηκε αύξηση σε αυτά τα ποιοτικά χαρακτηριστικά. Μολονότι, όμως πολύ ερευνητές υποστηρίζουν ότι με την αύξηση της αλατότητας στο θρεπτικό διάλυμα, αυξάνεται και η οξύτητα, στην παρούσα διατριβή αποδείχθηκε ότι στο κλειστό σύστημα η οξύτητα φαίνεται να παραμένει σταθερή με την αύξηση της συγκέντρωσης της αλατότητας, στο θρεπτικό διάλυμα. όσον, αφορά τη περιεκτικότητα των καρπών σε λυκοπένιο, η αλατότητα φαίνεται να μην την επηρεάζει, αφού επηρεάζεται κυρίως από κλιματολογικούς παράγοντες.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί, πάλι, ότι λόγω της τροφοπενίας ασβεστίου που εμφανίστηκε, οι καρποί δεν συγκομιζόταν στο κατάλληλο στάδιο ωρίμανσης και μάλιστα υπήρχαν σημαντικές διαφορές, ως προς αυτό, μεταξύ των καρπών, αλλά παρουσιάστηκαν και αρκετές απώλειες καρπών. Επίσης, εξαιτίας ενός μύκητα, η δεύτερη συγκομιδή έγινε πιο πρόωρα, το ίδιο και η έκτη, εξαιτίας ενός εχθρού. Επομένως, εξαιτίας αυτών των προβλημάτων, τα αποτελέσματα, δεν μπορεί να θεωρηθούν απολύτως αξιόπιστα.

Τελειώνοντας, πρέπει να αναφερθεί ακόμη ότι, το κλειστό υδροπονικό σύστημα, λόγω της μηδενικής απόρριψης του θρεπτικού διαλύματος, συνέβαλε στην εξοικονόμηση νερού και θρεπτικών συστατικών, ενώ σε αντίθεση το ανοικτό, συνέβαλε σε μεγάλη σπατάλη και υψηλό κόστος. Από ότι φαίνεται, πάντως, για την διαχείριση της αλατότητας, πιο συμφέρον και αποτελεσματικό σύστημα, φαίνεται να είναι το ημίκλειστο, διότι πρώτον έχει χαμηλότερο κόστος λειτουργίας από το ανοικτό, δεύτερον ωφελείται από την επίδραση της αλατότητας, ως προς τα ποιοτικά χαρακτηριστικά και την παραγωγή, αλλά και τρίτον δεν επηρεάζεται από τις αρνητικές επιδράσεις της αλατότητας, όταν αυτή ξεπεράσει το ανώτατο ανεκτό όριο, όπως επηρεάζεται αρνητικά το κλειστό. Βέβαια χρειάζεται περαιτέρω έρευνα και μελέτη, πριν καταλήξουμε σε κάποιο τελικό αποτέλεσμα.

## Κεφάλαιο 6. Βιβλιογραφία

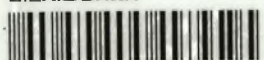
1. Κίττας Κ., 2000. Θερμοκήπια, Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής και Ζωικής Παραγωγής, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, σελ. 150.
2. Μαλετσίκα Περσεφόνη, 2004. Επίδραση της υπερϊόδους ακτινοβολίας στα ποιοτικά χαρακτηριστικά, υδροπονικά παραγόμενης τομάτας σε πλαστικό θερμοκήπιο. Μεταπτυχιακή διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας. Βόλος.
3. Κίττα Ε., 2009. Επίδραση της σκίασης και της αλατότητας στις ανταλλαγές ενέργειας και μάζας υδροπονικής καλλιέργειας αγγουριού. Μεταπτυχιακή διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας. Βόλος.
4. Μαυρογιαννόπουλος Γ., 2005. Θερμοκήπια. Δ Έκδοση, Εκδόσεις Σταμούλης, Αθήνα.
5. Μαυρογιαννόπουλος Γ., 2006. Υδροπονικές Εγκαταστάσεις. Β Έκδοση, Εκδόσεις Σταμούλης, Αθήνα.
6. Ολύμπιος Χ.Μ., 2001. Η τεχνική της καλλιέργειας των κηπευτικών στα θερμοκήπια. Εκδόσεις Σταμούλης, Αθήνα.
7. Κοσμάς Π. Παρασκευόπουλος, 2009. Σύγχρονη λαχανοκομία. Εκδόσεις Ψυχάλου. Αθήνα.
8. Ιμπραχίμ Αβραάμ Χα, 2007. Στοιχεία γενικής και ειδικής καλλιέργειας κηπευτικών. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας. Βόλος.
9. Κίττας Κ., Κατσούλας Ν., Μπαρτζάνας Θ., 2011. Δυνατότητες και προοπτικές εξάπλωσης θερμοκηπίων στην Ελλάδα. Εκδόσεις ΑγροΤύπος 10: 19-28, Αθήνα.
10. ADC, 2004. LCpro+ Portable Photosynthesis System, Instruction Manual, ADC BioScientific Ltd., Hoddesdon, Herts, EN11 ODB, 84pp.
11. Savvas D., E. Chatzieustratiou, G. Pervolaraki, G. Gizas, N. Sigrimis, 2008. Modelling Na and Cl concentrations in the recycling nutrient solution of a closed-cycle pepper cultivation. *Biosystems Engineering*, 99: 282-291.
12. Savvas D. Manos G. 1998. Automated Composition Control of Nutrient Solution in Closed Soilless Culture Systems. *J. Agric. Engng Res.* (1999) 73, 29}33.
13. D. Savvas, F. Lenz, 2000. Effects of NaCl or nutrient-induced salinity on growth, yield and composition of eggplants grown in rockwool. *Scientia Hort.* 84: 37-47.



14. D. Savvas, N. Mantzos, P.E. Barouchas, I.L. Tsirogiannis, C. Olympios, H.C. Passam, 2007. Modelling salt accumulation by a bean crop grown in a closed hydroponic system in relation to water uptake. *Scientia Hort.* 111: 311-318.
15. N. Geissler, S. Hussin et al, 2008. Interactive effects of NaCl salinity and elevated atmospheric CO<sub>2</sub> concentration on growth, photosynthesis, water relations and chemical composition of the potential cash crop halophyte *Aster tripolium* L. *Environmental and Experimental Botany*.
16. D. Savvas, E. Stamati, I.L. Tsirogiannis, N. Mantzos, P.E. Barouchas, N. Katsoulas, C. Kittas, 2007. Interactions between salinity and irrigation frequency in greenhouse pepper grown in closed-cycle hydroponic systems. *Agricultural Water Management* 91: 102-111.
17. H. Varlagas, D. Savvas, G. Mouzakis, C. Liotsos, I. Karapanos, N. Sigrimis, 2010. Modelling uptake of Na<sup>+</sup> and Cl<sup>-</sup> by tomato in closed-cycle cultivation systems as influenced by irrigation water salinity. *Agricultural Water Management* 97: 1242-1250.
18. Harsharn S. Grewal, Basant Maheshwari, Sophie E. Parks, 2011. Water and nutrient use efficiency of a low-cost hydroponic greenhouse for a cucumber crop: An Australian case study. *Agricultural Water Management* 98: 841-846.
19. D. Savvas, 2002. Automated Replenishment of Recycled Greenhouse Effluents with Individual Nutrients in Hydroponics by Means of Two Alternative Models. *Biosystems Engineering* 83: 225-236.
20. Bardossi A, Tongoni F, Incrocci L, Mediterranean greenhouse technology. *Chronica Horticulturae*, 44/2, 28-34, 2004.
21. G. Carmassi, L. Incrocci, R. Maggini, F. Malorgio, F. Tognoni, A. Pardossi, 2007. An aggregated model for water requirements of greenhouse tomato grown in closed rockwool culture with saline water. *Agricultural Water Management* 88: 73-82.
22. 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 greenhouses in Mediterranean climatic conditions. *Agricultural Water Management* 95: 1041-1055.
23. Ya Ling Li, Cecilia Stanghellini, 2001. Analysis of the effect of EC and potential transpiration on vegetative growth of tomato. *Scientia Horticulturae* 89: 9-21.

24. Xu H.L, Gauthier L., Gosselin A., 1995. Effects of fertigation management on growth and fotosynthesis of tomato plants grown in peat, rockwool and NFT. *Scientia Hort.* 63: 11-20.
25. Pieter A.C.M van de Sanden, Bob W. Veen, 1992. Effects of air humidity and nutrient solution concentration on growth, water potential and stomatal conductance of cucumber seedlings. *Scientia Horticulturae* 50: 173-186.
26. Sonneveld C., 2000. Effects of salinity on substrate grown vegetables and ornamentals in greenhouse horticulture. Ph.D. Thesis. University of Wageningen, Netherlands.
27. Chartzoulakis K., 1994. Photosynthesis, water relations and leaf growth of cucumber exposed to salt stress. *Scientia Hort.* 59: 27-35.
28. Lycoskoufis I.H., Savvas D., Mavrogianopoulos G., 2005. 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. *Scientia Hort.* 106: 147-161.
29. D. Massa, L. Incrocci, R. Maggini, G. Carmassi, C.A. Campiotti, A. Pardossi, 2010. Strategies to decrease water drainage and nitrate emission from soilless cultures of greenhouse tomato. *Agricultural Water Management* 97: 971-980.
30. M.C. Shannon\*, C.M. Grieve, 1999. Tolerance of vegetable crops to salinity. *Scientia Horticulturae* 78 (1999) 5±38.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ



004000111661

