

**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ**  
**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ: ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ**  
**ΕΙΔΙΚΕΥΣΗ: ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ**

Μιχαήλ Χ. Κόντης

**ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟΥ ΔΙΠΛΩΜΑΤΟΣ**

**«Έρευνα των επιπτώσεων της υψηλής συγκέντρωσης κλωριούχου νατρίου (NaCl) στο θρεπτικό διάλυμα υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας»**



ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Γεώργιος Μαυρογιαννόπουλος (Επιβλέπων Καθηγητής)

Ιωάννης Ασημακόπουλος (Καθηγητής)

Χαρίκλεια Καλλιάνου (Καθηγήτρια)

Σπυρίδων Βάλμης (Καθηγητής)

Σταύρος Αλεξανδρής (Λέκτορας)

ΑΘΗΝΑ 2009

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ  
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
ΤΜΗΜΑ: ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ  
ΕΙΔΙΚΕΥΣΗ: ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

«Έρευνα των επιπτώσεων της υψηλής συγκέντρωσης χλωριούχου νατρίου (NaCl) στο θρεπτικό διάλυμα υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας»

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Γεώργιος Μαυρογιαννόπουλος (Επιβλέπων Καθηγητής)

Ιωάννης Ασημακόπουλος (Καθηγητής)  
Χαρίκλεια Καλλιάνου (Καθηγήτρια)  
Σπυρίδων Βάλμης (Καθηγητής)  
Σταύρος Αλεξανδρής (Λέκτορας)

ΑΘΗΝΑ 2009

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	6
SUMMARY.....	8

### ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ – ΕΙΣΑΓΩΓΗ

<b>Κεφάλαιο 1.1 : Το φαινόμενο της αλατότητας.....</b>	<b>11</b>
1.1.1 Γενικά.....	11
1.1.2 Ορισμός.....	11
1.1.3 Ιστορική αναδρομή.....	12
1.1.4 Το πρόβλημα της αλατότητας σήμερα στην Ελλάδα.....	12
1.1.5 Παράγοντες γένεσης της αλατότητας.....	13
1.1.6 Περιοχές εμφάνισης του φαινομένου.....	14
1.1.7 Το νερό άρδευσης ως παράγοντας της αλατότητας.....	15
1.1.8 Η λίπανση ως παράγοντα της αλατότητας.....	21
1.1.9 Τρόποι περιορισμού του φαινομένου της αλατότητας.....	22
<b>Κεφάλαιο 1.2 : Η φυσιολογία του φυτού στην αλατότητα.....</b>	<b>25</b>
1.2.1 Η αλατότητα ως μη παρασιτική ασθένεια.....	25
1.2.2 Τρόπος δράσης των αλάτων στο φυτό.....	26
1.2.3 Ενεργειακό κόστος της αλατότητας.....	30
1.2.4 Σύνθεση οσμορρυθμιστικών οργανικών ουσιών.....	30
1.2.5 Αντοχή των καλλιεργούμενων φυτών στα άλατα.....	31
1.2.6 Επίδραση της αλατότητας στην παραγωγή.....	33
1.2.7 Επίδραση της αλατότητας στην ανάπτυξη του φυτού.....	41
<b>Κεφάλαιο 1.3 : Σκοπός της διατριβής.....</b>	<b>44</b>
1.3.1 Η σημασία της αλατότητας ως αντίκειμενο έρευνας.....	44
1.3.2 Η τοποθέτηση του θέματος.....	44

## ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ – ΥΛΙΚΑ – ΜΕΘΟΔΟΙ

<b>Κεφάλαιο 2.1 : Υλικά &amp; μέθοδος πειραματισμού.....</b>	<b>47</b>
2.1.1 Γενετικό υλικό.....	47
2.1.2 Θερμοκήπιο.....	47
2.1.3 Οι απαιτούμενες χημικές ενώσεις .....	48
2.1.4 Εξοπλισμός και επιστημονικά όργανα .....	49
2.1.5 Ο πειραματικός σχεδιασμός-Στατιστική ανάλυση.....	50
<b>Κεφάλαιο 2.2 : Η μέθοδος καλλιέργειας.....</b>	<b>52</b>
2.2.1 Υδροπονία.....	52
2.2.2 Η εγκατάσταση και η περιγραφή της μεθόδου καλλιέργειας.....	52
2.2.3 Οι επεμβάσεις του πειράματος.....	55
2.2.4 Υπολογισμός της σύνθεσης των θρεπτικών διαλυμάτων.....	57
2.2.5 Καλλιεργητικές φροντίδες.....	63
2.2.6 Εμφάνιση ασθενειών και καταπολέμηση τους.....	69
2.2.7 Πρακτικά προβλήματα λειτουργίας του πειράματος.....	71
<b>Κεφάλαιο 2.3 : Μέθοδοι προσδιορισμού των ανόργανων στοιχείων θρεπτικών διαλυμάτων &amp; φυτικών ιστών.....</b>	<b>72</b>
2.3.1 Εισαγωγή.....	72
2.3.2 Τεχνικές Ανάλυσης της Ατομικής Φασματοσκοπίας.....	73
2.3.2.1 Φασματοσκοπία ατομικής απορρόφησης.....	74
2.3.2.2 Φασματοσκοπία ατομικής εκπομπής φλόγας.....	79

## ΜΕΡΟΣ ΤΡΙΤΟ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

<b>Κεφάλαιο 3.1 : Τα αποτελέσματα στην ανάπτυξη της καλλιέργειας.....</b>	<b>83</b>
3.1.1 Υπολογισμός Φυλλικής Επιφάνειας.....	83
3.1.2 Μέσο μέγεθος φύλλων.....	85
3.1.3 Αριθμός φύλλων .....	86
3.1.4 Μέση Φυλλική επιφάνεια.....	87
3.1.5 Ύψος του φυτού.....	88

3.1.6 Απαίτηση νερού ανά μονάδα παραγόμενου νωπού προϊόντος.....	89
<b>Κεφάλαιο 3.2 : Τα αποτελέσματα στην παραγωγή βιομάζας.....</b>	<b>91</b>
3.2.1 Ρίζες.....	91
3.2.2 Βλαστοί.....	94
3.2.3 Φύλλα.....	95
3.2.4 Καρποί.....	97
3.2.4.1 Παραγωγή των καρπών .....	98
3.2.4.2 Μέσο βάρος νωπού καρπού .....	99
3.2.4.3 Αριθμός των καρπών.....	100
3.2.4.4 Ξηρή σήψη κορυφής των καρπών.....	101
<b>Κεφάλαιο 3.3 : Τα αποτελέσματα στην απορρόφηση του Νατρίου (Na<sup>+</sup>).....</b>	<b>103</b>
3.3.1 Περιεκτικότητα Νατρίου (Na <sup>+</sup> ) στο θρεπτικό διάλυμα.....	103
3.3.2 Περιεκτικότητα Νατρίου (Na <sup>+</sup> ) στα φύλλα.....	106
3.3.3 Περιεκτικότητα Νατρίου (Na <sup>+</sup> ) στις ρίζες.....	108
<b>Κεφάλαιο 3.4 : Τα αποτελέσματα στην απορρόφηση του Καλίου (K<sup>+</sup>).....</b>	<b>110</b>
3.4.1 Περιεκτικότητα Καλίου (K <sup>+</sup> ) στο θρεπτικό διάλυμα.....	110
3.4.2 Περιεκτικότητα Καλίου (K <sup>+</sup> ) στα φύλλα .....	113
3.4.3 Περιεκτικότητα Καλίου (K <sup>+</sup> ) στις ρίζες.....	113
<b>Κεφάλαιο 3.5 : Τα αποτελέσματα στην απορρόφηση του Πυριτίου (Si<sup>+</sup>).....</b>	<b>115</b>
3.5.1 Περιεκτικότητα Πυριτίου (Si <sup>+4</sup> ) στο θρεπτικό διάλυμα.....	115
3.5.2 Περιεκτικότητα Πυριτίου (Si <sup>+4</sup> ) στα φύλλα.....	116
 <b>ΜΕΡΟΣ ΤΕΤΑΡΤΟ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ &amp; ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ</b>	
<b>Κεφάλαιο 4.1 : Συζήτηση &amp; Συμπεράσματα των αποτελεσμάτων.....</b>	<b>118</b>
4.1.1 Συζήτηση και συμπεράσματα στην ανάπτυξη της καλλιέργειας .....	118
4.1.2 Συζήτηση και συμπεράσματα στην παραγωγή βιομάζας.....	120
4.1.3 Συζήτηση και συμπεράσματα στην χημική ανάλυση.....	124
 <b>ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....</b>	<b>127</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>128</b>

## Περίληψη

---

Στα πλαίσια της εργασίας αυτής, ερευνήθηκαν τα αποτελέσματα της υψηλής αλατότητας λόγω NaCl στο θρεπτικό διάλυμα υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας, υβριδίου F1 "ΕΛΠΙΔΑ", επειδή η χρησιμοποίηση νερού με υψηλή συγκέντρωση NaCl αποτελεί συχνό πρόβλημα στις εμπορικές θερμοκηπιακές καλλιέργειες.

Μελετήθηκε η παραγωγή καρπών (αθροιστική παραγωγή, αριθμός και μέσο βάρος νωπών καρπών, εμφάνιση ξηρής σήψης κορυφής), η ανάπτυξη της καλλιέργειας (μέση φυλλική επιφάνεια, αριθμός φύλλων, ύψος φυτού) και η απαίτηση νερού ανά μονάδα παραγόμενου νωπού προϊόντος (WUE). Στο ίδιο πείραμα εκτιμήθηκε η ικανότητα του πυριτίου ( $\text{SiO}_2$ ) ως προστιθέμενη ουσία για πιθανή βελτίωση της απόδοσης της τομάτας σε συνθήκες υψηλής αλατότητας (NaCl). Τέλος πραγματοποιήθηκε χημική ανάλυση σε θρεπτικά διαλύματα, φύλλα και ρίζες ( $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Si}^{+4}$ ).

Τα φυτά αναπτύχθηκαν σε θερμοκήπιο με κάλυμμα πολυαιθυλενίου χρησιμοποιώντας την μέθοδο NFT, οι επεμβάσεις στα φυτά εφαρμόστηκαν για χρονική περίοδο 5 ½ μηνών (13/12/07 – 10/6/08).

Το πείραμα αποτελείται από τις εξής 4 επεμβάσεις:

- επέμβαση (A) με διαχωρισμό του ριζικού συστήματος σε δύο τμήματα, όπου το ένα τμήμα εφοδιαζόταν με κανονικό θρεπτικό διάλυμα ( $\text{EC } 2,0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ), υψηλή συγκέντρωση NaCl ( $100 \text{ mmol NaCl}$ ,  $\text{EC } 10,0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ), ενώ το άλλο με κανονικό θρεπτικό διάλυμα ( $\text{EC } 2,0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ), υψηλή συγκέντρωση NaCl ( $100 \text{ mmol NaCl}$ ,  $\text{EC } 10,0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ) και  $\text{SiO}_2$  ( $2,9 \text{ mmol SiO}_2$ ).
- επέμβαση (B) με εφοδιασμό ολόκληρου του ριζικού συστήματος με κανονικό θρεπτικό διάλυμα ( $\text{EC } 2,0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ )
- επέμβαση (E) με εφοδιασμό ολόκληρου του ριζικού συστήματος με κανονικό θρεπτικό διάλυμα ( $\text{EC } 2,0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ) και υψηλή συγκέντρωση NaCl ( $100 \text{ mmol NaCl}$ ,  $\text{EC } 10,0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ )

- καλλιέργεια (D) με εφοδιασμό ολόκληρου του ριζικού συστήματος με κανονικό θρεπτικό διάλυμα ( $EC\ 2,0\ dS\cdot m^{-1}$ ), υψηλή συγκέντρωση NaCl ( $100\ mmol\ NaCl$ ,  $EC\ 10,0\ dS\cdot m^{-1}$ ) και  $2,9\ mmol\ SiO_2$

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η υψηλή συγκέντρωση NaCl μείωσε σε μεγάλο βαθμό την παραγωγή ξηρού βάρους (φύλλων, βλαστών), την ανάπτυξη της καλλιέργειας (μέση φυλλική επιφάνεια, αριθμός των φύλλων, ύψος φυτού) και την απαίτηση νερού ανά παραγόμενο νωπού προϊόντος (WUE) ενώ αύξησε τον αριθμό των καρπών και προκάλεσε το φαινόμενο της ξηρής σήψης των καρπών.

Η θετική επίδραση του  $SiO_2$  σε υψηλή συγκέντρωση NaCl ήταν σημαντική στον περιορισμό του φαινομένου της ξηρής σήψης των καρπών. Διαφοροποίηση υπήρξε επίσης και στην απαίτηση νερού ανά παραγόμενο νωπού προϊόντος (WUE) που ήταν αυξημένη. Στα υπόλοιπα μεγέθη της παραγωγής και ανάπτυξης της καλλιέργειας δεν ήταν στατιστικά σημαντική.

Τα φυτά με υψηλή συγκέντρωση NaCl στο θρεπτικό διάλυμα είχαν την μεγαλύτερη συγκέντρωση νατρίου ( $Na^+$ ) τόσο στις ρίζες όσο και στα φύλλα. Αντίθετα στα φυτά με  $SiO_2$  βρέθηκε ότι οι συγκεντρώσεις του νατρίου ( $Na^+$ ) μειώθηκαν σημαντικά σε ρίζες και φύλλα.

Τα προαναφερόμενα αποτελέσματα της επέμβασης του  $SiO_2$  που χρησιμοποιήσαμε, στα φυτά της τομάτας σε συνθήκες υψηλής συγκέντρωσης NaCl, είναι περιορισμένα, παρόλα αυτά απαιτείται περαιτέρω πειραματισμός και με άλλες μορφές πυριτικών αλάτων για να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα.

## Summary

---

In the frame of this work, the effects of salinity stress conditions (high concentration NaCl) which often occur during greenhouse commercial hydroponic cultivation have been investigated in tomato (*Lycopersicon esculentum*).

The effect of salinity (high concentration NaCl) on fruit yield (total yield, number and weight fruit, appearance blossom-end rot), dry weight (leaves, shoot), growth (number of leaves, plant leaf area, plant height) and water use efficiency of tomato hybrid F1 "Elpida" was evaluated. In the same experiment was carried out to evaluate the effect of silicon ( $\text{SiO}_2$ ) used as a companion nutrient to improve greenhouse tomato (*Lycopersicon esculentum*) performance under saline conditions. Finally,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Si}^{+4}$  content were investigated in nutrient solutions, leaves and roots.

Plants were grown in polyethylene covered greenhouse using a nutrient film technique, and the treatments was over a period of 5 ½ months (13/12/07 – 10/6/08).

The experiment consisted of 4 experimental treatments:

- treatment (A): the root system being split into two compartments, one receiving standard nutrient solution ( $\text{EC } 2,0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ) to which 100 mmol NaCl (saline solution  $\text{EC } 10,0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ) was added and the second standard nutrient solution ( $\text{EC } 2,0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ), 100 mmol NaCl (saline solution  $\text{EC } 10,0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ) and 2,9mmol  $\text{SiO}_2$ .
- treatment (B): the entire root system being supplied with a standard nutrient solution,  $\text{EC } 2,0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ,
- treatment (E): the entire root system supplied with a standard nutrient solution ( $\text{EC } 2,0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ) to which 100 mmol NaCl (saline solution  $\text{EC } 10,0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ) was added



- treatment (D): the entire root system supplied with a standard nutrient solution (EC 2,0 dS·m<sup>-1</sup>) to which 100 mmol NaCl (saline solution EC 10,0 dS·m<sup>-1</sup>) was added and 2,9mmol SiO<sub>2</sub>.

The effect of salinity on the growth, fruit yield and dry weight production of tomato plants (*Lycopersicon esculentum*) was studied. Salinity in general reduced: total fruit yield, fruit weight and quality of fruits by appearance of blossom-end rot, dry weight of leaves and shoots, number of leaves, plant leaf area, plant height and water use efficiency.

The influence of silicon (SiO<sub>2</sub>) treatment under saline conditions of tomato plants was considerable remarkable in water use efficiency. Silicon (SiO<sub>2</sub>) was found to decrease blossom-end rot considerably. There were no significant differences in plant leaf area, number of leaves, plant height, number of fruits, fruit weight, total fruit yield, dry weight of leaves and dry weight of shoots.

Roots and leaves concentrations of sodium (Na<sup>+</sup>) were higher in salinized (NaCl) plants, while the same concentrations (sodium Na<sup>+</sup>) were found to decrease in roots and leaves when added silicon (SiO<sub>2</sub>) in nutrient solution.

The effects of silicon (SiO<sub>2</sub>) treatment, which we used on tomato plants under high saline conditions were limited. Although, they demand further experimentation and with other forms silicon salts for a extracted safe conclusions.

# **A. ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

## ► ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.1:

### Το φαινόμενο της αλατότητας

---

#### 1.1.1 Γενικά

Ένα σημαντικό πρόβλημα που αντιμετωπίζει η χώρα μας, σε ολοένα αυξανόμενη έκταση είναι η συσσώρευση αλάτων σε καλλιεργούμενες εκτάσεις (φαινόμενο της αλατότητας). Η παρατηρούμενη αύξηση του προβλήματος οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στη χρησιμοποίηση αρδευτικών υδάτων πλουσίων σε άλατα. Λόγω της επέκτασης των αρδεύσεων, τα τελευταία χρόνια το νερό άρδευσης πολλές φορές είναι κακής ποιότητας.

Στη χώρα μας η οικονομική σημασία και τα προβλήματα της αλατότητας στη γεωργία δεν έτυχαν της δέουσας προσοχής. Πολλές φορές δεν είναι σπάνιο οι παραγωγοί να χρησιμοποιούν νερό αποστράγγισης (που κατά κανόνα έχει υψηλές συγκεντρώσεις αλάτων) ή υφάλμυρο νερό, με αποτέλεσμα τη συσσώρευση περισσότερων αλάτων.

Η καλλιέργεια φυτών κάτω από συνθήκες υψηλής αλατότητας δημιουργεί προβλήματα λόγω των δυσμενών δράσεων τους στα καλλιεργούμενα φυτά, που κατά πλειονότητα είναι ευπαθή στα άλατα. Απώλειες, όπως ποιοτική και ποσοτική μείωση της παραγωγής, μπορούν να παρουσιαστούν ακόμη και με συγκέντρωση αλάτων μικρότερη από την κρίσιμη για μία καλλιέργεια.

#### 1.1.2 Ορισμός

Με τον όρο αλατότητα εννοούμε το σύνολο των υδατοδιαλυτών αλάτων στο ριζόστρωμα του φυτού που είναι τα ανθρακικά, δισανθρακικά, θειικά, χλωριούχα, νιτρικά και βορικά άλατα με Ca, Mg, Na, K, και  $\text{NH}_4$ , κυρίως. Από αυτά το  $\text{CaCO}_3$  (Ca, Mg)  $\text{CO}_3$  είναι δυσδιάλυτα.

Επειδή τα υδατοδιάλυτα άλατα όταν υπερβούν μια κρίσιμη ποσότητα έχουν δυσμενείς επιπτώσεις στην ανάπτυξη των καλλιεργειών, είναι εμφανής η σημασία της γνώσης της περιεκτικότητας της περιοχής της ρίζας σε ολικά υδατοδιαλυτά άλατα με στόχο την βελτίωση και την εφαρμογή της κατάλληλης καλλιέργειας.

### **1.1.3 Ιστορική αναδρομή**

Για να κατανοήσουμε την σπουδαιότητα του φαινομένου της αλατότητας στην εξέλιξη της γεωργίας θα δούμε μερικά ιστορικά χαρακτηριστικά παραδείγματα.

Στη νότια Μεσοποταμία όπου οι Σουμέριοι εφάρμοζαν τις αρδεύσεις σε εκτεταμένη κλίμακα ή μείωση της γεωργικής παραγωγής λόγω της αλατότητας είχε αρχίσει να γίνεται αισθητή από το 2400 π.Χ. Η μείωση αυτή συνεχίστηκε για αιώνες για να οδηγήσει τελικά γύρω στο 1700 π.Χ. στην ουσιαστική εγκατάλειψη των περιοχών αυτών. Σε επιγραμμένες πλάκες της περιόδου αυτής περιέχονται εξαιρετικά παραστατικές περιγραφές και στοιχεία που αποδεικνύουν τη βαθμιαία μείωση της απόδοσης των καλλιεργουμένων φυτών (Willcocks 1911).

Η υποβάθμιση αυτή των εδαφών θεωρείται σαν η βασική αιτία της παρακμής της αυτοκρατορίας των Σουμερίων που ακολουθήθηκε από τη μετατόπιση της γεωργικής, πολιτιστικής και πολιτικής δραστηριότητας στη κεντρική Μεσοποταμία, στη Βαβυλωνία, και αργότερα στις Ασσυριακές πόλεις της βόρειας Μεσοποταμίας. Και οι περιοχές αυτές δοκιμάστηκαν από την αλατότητα που στην κεντρική Μεσοποταμία άρχισε να γίνεται αισθητή από το 1300 π.Χ. ενώ στη βόρειο Μεσοποταμία από το 1200 π.Χ.

Οι δυσμενείς αυτές επιδράσεις της αλατότητας δεν παρατηρήθηκαν μόνο στις περιοχές που η άρδευση τους είχε αρχίσει από τους χρόνους της αρχαιότητας αλλά και σε περιοχές όπου σχετικά πρόσφατα αναπτύχθηκε η αρδευόμενη γεωργία. Σαν χαρακτηριστικό παράδειγμα μπορούν να αναφερθούν οι δυτικές πολιτείες των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής όπου η εφαρμογή της άρδευσης για ένα σχετικά βραχύ χρονικό διάστημα προκάλεσε προβλήματα αλατότητας σε μεγάλη κλίμακα (Soil Salinity Laboratory Riverside, USA).

### **1.1.4 Το πρόβλημα της αλατότητας στην Ελλάδα**

Το πρόβλημα της αλατότητας είναι έντονο και σε πολλές περιοχές της Ελλάδος. Το μεγαλύτερο πρόβλημα αντιμετωπίζει η Θεσσαλία που είναι η μεγαλύτερη καλλιεργούμενη περιοχή στην Ελλάδα. Σαν συνέπεια της εφαρμογής υψηλών ποσοτήτων λιπασμάτων ετησίως και της ανεπαρκούς έκπλυσης με νερό καλής ποιότητας.

Άλλες περιοχές που αντιμετωπίζουν προβλήματα αλατότητας σε μικρότερο βέβαια βαθμό είναι: η Σκάλα Λακωνίας, η πεδιάδα του ποταμού Σπερχειού, η πεδιάδα του ποταμού Αχελώου,

κλπ, (Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων). Αξίζει εδώ να αναφερθεί επίσης και η περίπτωση της Αργολίδας, που αντιμετωπίζει σοβαρά προβλήματα διείσδυσης υφάλμυρων νερών. Προκειμένου να καλυφθούν οι μεγάλες απαιτήσεις σε νερό και να προστατευθούν οι εντατικά καλλιεργούμενες εκτάσεις χρησιμοποιείται η πρακτική της βελτίωσης της ποιότητας του υπόγειου νερού. Ο εμπλουτισμός του υπόγειου νερού επιτυγχάνεται με την παροχή νερού πηγών καλής ποιότητας μέσω φρεατίων κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου.

### **1.1.5 Παράγοντες γένεσης της αλατότητας**

Οι βασικοί παράγοντες που ευνοούν την συγκέντρωση των αλάτων στην περιοχή της ρίζας είναι: η άρδευση με χαμηλής ποιότητας νερό, (εξαιτίας της υπερ-άντλησης του υπόγειου νερού και την διείσδυση του θαλάσσιου νερού) και οι ξηρές κλιματικές συνθήκες που ευνοούν το αρνητικό ισοζύγιο νερού.

Αναλυτικότερα οι παράγοντες της αλατότητας συνοψίζονται ως εξής:

#### **→Κακή ποιότητα στο νερό άρδευσης:**

Η ανάπτυξη της γεωργίας και η αναζήτηση νέων ποικιλιών και καλλιεργητικών μεθόδων για τη μεγιστοποίηση της παραγωγής είναι στενά συνδεδεμένη με τις διαρκώς αυξανόμενες ανάγκες σε αρδευτικό νερό. Το νερό που χρησιμοποιείται για τις αρδεύσεις προέρχεται από επιφανειακά (ποταμοί ή λίμνες) ή υπόγεια νερά. Τα άλατα συγκεντρώνονται στην περιοχή της ρίζας όταν η ποσότητα αυτών που προστίθεται με το νερό άρδευσης είναι μεγαλύτερη από αυτή που εκπλύνεται.

Το νερό άρδευσης περιέχει διάφορες ποσότητες αλάτων, μέρος από αυτά απορροφάται από τα φυτά, ένα άλλο μέρος εκπλύνεται και το υπόλοιπο παραμένει στο ριζόστρωμα. Η άρδευση έκτασης με λιγότερο από το απαιτούμενο νερό επιφέρει ανεπαρκή έκπλυση και συγκέντρωση αλάτων. Έτσι σημαντικές ποσότητες υδατοδιαλυτών αλάτων μπορούν να προστεθούν στο ριζόστρωμα, σε βραχύ χρονικό διάστημα.

#### **→Εξατμισοδιαπνοή:**

Η κίνηση των αλάτων στην περιοχή της ρίζας σχετίζεται με την κίνηση του νερού. Γενικότερα, όταν το ανοδικό ρεύμα της εξατμισοδιαπνοής υπερಿಸχύει του καθοδικού ρεύματος της έκπλυσης των υδατοδιαλυτών αλάτων, συσσωρεύονται διαλυτά άλατα, τα οποία εναποθέτονται κατά τη συμπύκνωση και εξάτμιση του εδαφικού διαλύματος (το διάλυμα που

κυκλοφορεί μεταξύ του εδαφικού πορώδους) ή του θρεπτικού διαλύματος (το διάλυμα που κυκλοφορεί σε υδροπονικό υπόστρωμα ή ριζόστρωμα).

Σε αυτό το σημείο πρέπει να σημειώσουμε ότι στην εξάτμιση περιλαμβάνεται και ο παράγοντας της αποστράγγισης. Κάτω από συνθήκες κακής αποστράγγισης η ύπαρξη υψηλής υπόγειας στάθμης επιτρέπει την ανοδική κίνηση του αλατούχου υπόγειου νερού στη ζώνη του ριζοστρώματος. Το ποσό των αλάτων συγκεντρώνεται στην περιοχή του ριζοστρώματος λόγω της άντλησης μεγάλης ποσότητας νερού (και κατά συνέπεια συμπύκνωση των αλάτων) για τις ανάγκες του φυτού. Με την πάροδο του χρόνου και τη συμπύκνωση του διαλύματος στην περιοχή των ριζών, το φυτό αναζητώντας νέες ποσότητες νερού συμπυκνώνει όλο και περισσότερο το διάλυμα.

Το αρνητικό ισοζύγιο νερού επομένως δημιουργείται όταν η εξατμισοδιαπνοή (ET) γίνεται μεγαλύτερη από τη βροχόπτωση (P) και την άρδευση (I) ( $ET > P + I$ ) συνεπώς το αρνητικό ισοζύγιο νερού παρατηρείται τους θερινούς μήνες. Στις περιόδους με μεγάλη ανάγκη νερού για την εξατμισοδιαπνοή (ET), δηλαδή κάτω από ξηρές και θερμές συνθήκες, το νερό μπορεί να μη είναι αρκετό για αραίωση ή την απομάκρυνση των αλάτων από την περιοχή του ριζοστρώματος. Κάτω από τέτοιες συνθήκες τα φυτά παρουσιάζουν συμπτώματα υδατικής καταπόνησης και είναι ακόμα εντονότερα όταν συνδυάζονται με ξηρούς ανέμους.

Γενικά το κλίμα επηρεάζει το ισοζύγιο του νερού. Σε υγρές περιοχές ή κατά την ψυχρότερη περίοδο του έτους έχουμε υψηλότερη βροχόπτωση και μικρότερη εξατμισοδιαπνοή. Το αποτέλεσμα είναι το ποσοστό έκπλυσης των συγκεντρωθέντων αλάτων να είναι μεγαλύτερο, αμβλύνοντας τα συμπτώματα της αλατότητας.

### **1.1.6 Περιοχές εμφάνισης του φαινομένου**

Οι περιοχές στις οποίες είναι προσφορότερες οι προϋποθέσεις δημιουργία συνθηκών αλατότητας είναι:

#### **1) Περιοχές παραθαλάσσιες ή με ημίξηρο και ξηρό κλίμα.**

Αναφέρθηκε προηγουμένως ότι το νερό κακής ποιότητας, που περιέχει πολλά άλατα, δυνατόν να δημιουργήσει συνθήκες υψηλής αλατότητας. Οι παραθαλάσσιες περιοχές λόγω της συνεχούς επαφής τους με το θαλασσινό νερό καθίστανται ευπαθή στο φαινόμενο. Το θαλασσινό

νερό περιέχει άλατα με κυριαρχούν στοιχείο το  $\text{Na}^+$  υπό μορφή  $\text{NaCl}$ . Συνέπεια της επαφής των περιοχών αυτών με το θαλασσινό νερό είναι να συγκεντρώνεται μεγάλη ποσότητα αλάτων. Τις παραπάνω περιοχές τις συναντάμε σε όλα σχεδόν τα πλάτη της γης.

Συνθήκες αλατότητας παρατηρούνται και σε περιοχές με ημίξηρο και ξηρό κλίμα όπου, η μεν εξατμισοδιαπνοή είναι μεγάλη ενώ η βροχόπτωση, η οποία θα βοηθούσε στη έκπλυση και απομάκρυνση των αλάτων από το περιβάλλον της ρίζας, μικρή (Μισοπολινός 1991).

## **2) Θερμοκήπια.**

Στα θερμοκήπια, το πρόβλημα της αλατότητας παρουσιάζεται σε ακόμα μεγαλύτερο βαθμό. Η έλλειψη βροχοπτώσεων σε συνδυασμό με την αυξανόμενη προσθήκη νερού άρδευσης κακής ποιότητας και των υψηλότερων θερμοκρασιών που επικρατούν συμβάλλει στην ένταση του φαινομένου με αποτέλεσμα να καθιστά ακόμη πιο δύσκολη την έκπλυση των αλάτων (Magan et al., 2008). Προβλήματα αλατότητας συναντάμε και σε συστήματα υδροπονικών καλλιεργειών λόγω της συσσώρευσης αλάτων που περιέχονται στο θρεπτικό διάλυμα. Η αλατότητα στα μικρού όγκου υποστρώματα ανάπτυξης της ρίζας που χρησιμοποιούνται στην υδροπονία είναι ιδιαίτερα έντονη, καθώς η συσσώρευση των αλάτων είναι ταχύτερη σε μικρό χρονικό διάστημα. Ιδιαίτερα, όταν οι καλλιέργειες αναπτύσσονται σε κλειστά συστήματα, με ανακύκλωση του θρεπτικού διαλύματος, η συσσώρευση των αλάτων πραγματοποιείται με μεγάλη ταχύτητα (Sonneveld et al., 1999).

### **1.1.7 Το νερό άρδευσης ως παράγοντας της αλατότητας**

Αναφέρθηκε προηγουμένως ότι το νερό κακής ποιότητας, που περιέχει πολλά άλατα, δυνατόν να δημιουργήσει συνθήκες αλατότητας. Τα κύρια χαρακτηριστικά που καθορίζουν την ποιότητα του νερού άρδευσης είναι τα εξής:

- Η συγκέντρωση των υδατοδιαλυτών αλάτων.
- Η συγκέντρωση  $\text{Na}^+$
- Η συγκέντρωση  $\text{HCO}_3^-$
- Η συγκέντρωση τοξικών ιόντων

Για να αξιολογήσει κανείς το νερό το οποίο πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για να αρδευτεί μια συγκεκριμένη περιοχή θα πρέπει να έχει υπόψη του τις μεταβολές που θα δημιουργηθούν στο περιβάλλον του φυτού. Οι μεταβολές αυτές προκύπτουν από τις ιδιότητες που έχει το νερό αρδεύσεως.

Για παράδειγμα το pH του νερού αρδεύσεως (που κυμαίνεται από 6,0 έως 8,5) θα καθορίσει και το pH στο περιβάλλον της ρίζας. Νερό καλής ποιότητας επίσης δεν πρέπει να περιέχει τοξικές συγκεντρώσεις ιόντων. Στη συνέχεια γίνεται ανάλυση των παραπάνω χαρακτηριστικών.

► **Υδατοδιαλυτά άλατα:** Η περιεκτικότητα του νερού αρδεύσεως σε υδατοδιαλυτά άλατα εκφράζεται:

- (1) με τη ηλεκτρική αγωγιμότητα του (EC) που τη μετράμε σε millisiemens ανά cm (mS/cm) στους 25°C και
- (2) με το ποσό των διαλυμένων αλάτων στο νερό σε mg/l.

Το είδος και η περιεκτικότητα σε άλατα καθορίζει την καταλληλότητα του νερού για πότισμα. Τα πιο συχνά απαντώμενα άλατα στο νερό άρδευσης είναι τα εξής:

Ανθρακικά:	$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$	και	$\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$
Θειϊκά:	$\text{CaSO}_4, \text{MgSO}_4$	και	$\text{Na}_2\text{CO}_3$
Χλωριούχα:	$\text{CaCl}_2, \text{MgCl}_2$	και	$\text{NaCl}$

Η χρήση νερού με υψηλή συγκέντρωση υδατοδιαλυτών αλάτων συνεπάγεται με τη συσσώρευση αλάτων. Προβλήματα όμως από υδατοδιαλυτά άλατα μπορούν να εμφανιστούν και με σχετικά καλής ποιότητας νερό αν δεν δίνεται επαρκές ποσότητες νερού για να γίνει έκπλυση του ριζοστρώματος.

► **Νάτριο:** Όταν το νερό άρδευσης περιέχει πολύ νάτριο, ώστε η αναλογία Na/Ca+Mg να είναι υψηλή, τότε τα εδάφη έχουν μειωμένη διαπερατότητα στο νερό και τον αέρα, κακή αποστράγγιση και σχίζονται όταν στεγνώσουν.

Παράλληλα με τη δυσμενή δράση του νατρίου στις φυσικές ιδιότητες του εδάφους, μπορεί επίσης να παρατηρηθεί τοξικότητα νατρίου στα φυτά. Από τα διάφορα άλατα, αυτά που περιέχουν νάτριο είναι και τα πιο επιβλαβή.



⇒SAR: Για τη διάγνωση της καταλληλότητας του νερού άρδευσης προσδιορίζεται η τιμή του χαρακτηριστικού δείκτη SAR (Sodium Adsorption Ratio– SAR το λεγόμενο «Πηλίκο Προσρόφησης Na»).

Η τιμή της βρίσκεται με προσδιορισμό του περιεχομένου του νερού άρδευσης σε νάτριο, ασβέστιο και μαγνήσιο σε meq/l. Η SAR υπολογίζεται από τον τύπο:

$$SAR = [Na] / \{ [Ca^{++}] + [Mg^{++}] \}^{1/2}$$

όπου οι συγκεντρώσεις εκφράζονται σε mmoles Lit<sup>-1</sup>.

Όταν τα στοιχεία Ca+Mg, βρίσκονται σε δυσμενή με το Na αναλογία στο νερό της άρδευσης, τότε απαιτείται η προσθήκη σ' αυτό θειϊκού ασβεστίου. Η ζημιογόνος επίδραση του Na<sup>+</sup> περιορίζεται όταν τα ιόντα Ca<sup>2+</sup> και Mg<sup>2+</sup> απαντώνται σε σχετικά ψηλές συγκεντρώσεις. Πρέπει να διευκρινίσουμε ότι το Ca<sup>2+</sup> συνήθως δεν συμβάλλει ουσιαστικά στο φαινόμενο της αλατότητας διότι τα άλατα του, ο γύψος και κατά μείζονα λόγο το ανθρακικό ασβέστιο είναι σχετικά δυσδιάλυτα (Μισοπολινός 1991).

►HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> : Η ύπαρξη δισανθρακικών (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) στο νερό προκαλεί πολλά προβλήματα στις καλλιέργειες όπως:

- (1) Την αύξηση του PH σε υποστρώματα καλλιέργειας, λόγω της αλκαλικής του δράσης στο νερό άρδευσης [ HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> ↔ CO<sub>2</sub> + OH<sup>-</sup> ], το πρόβλημα διορθώνεται με την προσθήκη κατάλληλης ποσότητας οξέως και
- (2) Με την δημιουργία ιζημάτων με ασβέστιο (Ca<sup>+2</sup>) και μαγνήσιο (Mg<sup>+2</sup>), ειδικά όταν χρησιμοποιείται το νερό για υδρονέφωση. Ο σχηματισμός των ανθρακικών αλάτων πάνω στα φύλλα των φυτών λόγω υδρονέφωσης προκαλεί την κακή εμφάνιση που αποτελεί σοβαρό πρόβλημα για τα καλλωπιστικά φυτά που προορίζονται. Επίσης και εδώ η λύση του προβλήματος είναι η προσθήκη κατάλληλης ποσότητας οξέως (Μαυρογιαννόπουλος 2006).

► **Τοξικά ιόντα:** Ορισμένα ιόντα που ενδεχομένως υπάρχουν στο νερό αρδεύσεως είναι δυνατόν, σε ορισμένες συγκεντρώσεις, να επηρεάσουν τα ευαίσθητα σ' αυτά φυτά. Τέτοια ιόντα είναι ιχνοστοιχεία ή θρεπτικά στοιχεία ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ,  $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{PO}_4\text{-P}$ ,  $\text{K}^+$ ). Οι μέγιστες συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων (σε mg/l) που μπορούν να δράσουν τοξικά δίνονται στον πίνακα 2:

Πίνακας 2: Μέγιστες επιτρεπτές συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων στο νερό άρδευσης (Θέριος 1996).

Στοιχείο	Νερό που χρησιμοποιείται συνεχώς σ' όλα τα υποστρώματα (mg/l)
Αλουμίνιο	5,00
Αρσενικό	0,10
Βερύλλιο	0,10
Βόριο	0,75
Κάδμιο	0,01
Χρώμιο	0,10
Κοβάλτιο	0,05
Χαλκός	0,20
Φθόριο	1,00
Σίδηρος	5,00
Μόλυβδος	5,00
Λίθιο	2,50
Μαγγάνιο	0,20
Μολυβδαίνιο	0,01
Νικέλιο	0,20
Σελήνιο	0,02
Βανάδιο	0,10
Ψευδάργυρος	2,00

### ► Η αξιολόγηση του νερού αρδεύσεως

Οι ιδιότητες του νερού αρδεύσεως και οι μεταβολές που θα επέλθουν στο υπόστρωμα και κατά συνέπεια στο φυτό, συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα (3) αξιολόγησης του νερού αρδεύσεως (Ayres και Westcot, 1985):

ΠΙΝΑΚΑΣ 3: Αξιολόγηση του νερού αρδεύσεως (Ayres και Westcot, 1985).

Προβλήματα από την άρδευση	Μονάδες	Επιπτώσεις		
		καμμία	μικρή έως μέση	μεγάλη
<b>Αλατότητα</b> (επηρεάζει τη διαθεσιμότητα του νερού)				
EC <sub>να</sub>	dS/m	<0,7	0,7-3,0	>3,0
Ή TDS	mg/l	<450	450-2000	>2000
<b>SAR</b> = 0 - 3 και <b>EC</b> <sub>να</sub> =		>0,7	0,7 - 0,2	<0,2
= 3 - 6 =		>1,2	1,2 - 0,3	<0,3
= 6 - 12 =		>1,9	1,9 - 0,5	<0,5
= 12 - 20 =		>2,9	2,9 - 1,3	<1,3
= 20 - 40 =		>5,0	5,0 - 2,9	<2,9
<b>Τοξικότητα ιόντων</b> (επηρεάζει τα ευαίσθητα)				
<b>Νάτριο (Na)</b>				
επιφανειακή άρδευση	me/l	<3	3 - 9	>9
Καταιωνισμός	me/l	<3	>3	
<b>Χλωριούχα (Cl)</b>				
επιφανειακή άρδευση	me/l	<4	4 - 10	>10
Καταιωνισμός	me/l	<3	>3	
<b>Βόριο (B)</b> <b>Ιχνοστοιχεία</b>	mg/l	<0,7	0,7 - 3,0	>3

Οι επιπτώσεις από τη χρήση του νερού αρδεύσεως όπως φαίνεται στον πίνακα αξιολόγησης (πίνακα 3) διαιρούνται σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με το ύψος των τιμών, ως καμμία, μικρή έως μέση και μεγάλη. Ασφαλώς η μετάβαση από τη μια κατηγορία στην άλλη είναι σταδιακή.

Η μέγιστη απόδοση για όλες τις καλλιέργειες επιτυγχάνεται όταν το νερό αρδεύσεως δεν έχει καμιά επίπτωση σύμφωνα με τα δεδομένα του πίνακα. Επίπτωση μικρή ή μεγάλη σημαίνει ότι πρέπει να επιλεγεί η κατάλληλη καλλιέργεια ή ότι χρειάζεται ειδική μεταχείριση προκειμένου να επιτευχθεί η μέγιστη απόδοση. Ασφαλώς κάποια επίπτωση μικρή ή μεγάλη που προκύπτει από τον πίνακα 3 δεν σημαίνει υποχρεωτικά ότι το νερό είναι ακατάλληλο για χρήση.

Η αξιολόγηση του νερού αρδεύσεως καλύπτει ένα ευρύ φάσμα συνθηκών στην αρδευόμενη γεωργία. Όλα τα προηγούμενα στοιχεία, σχετικά με τις ιδιότητες του νερού αρδεύσεως τις μεταβολές που θα προκύψουν στο υπόστρωμα και τελικά την επίπτωση τους στα καλλιεργούμενα φυτά, αποτελούν πλαίσιο μέσα στο οποίο μπορεί να συμπεριληφθεί η πλειονότητα των καλλιεργούμενων φυτών. Ο πίνακας 3 προϋποθέτει ότι η αρδευόμενη περιοχή έχει κλίμα ημίξηρο έως ξερό με χαμηλή βροχόπτωση και άρδευση που επαρκεί όμως για τις ετήσιες ανάγκες για ξέπλυμα των αλάτων (leaching requirement). Σε κάθε περίπτωση εάν υπάρχει σε κάποια περιοχή τόσο η εμπειρία όσο και πειραματικά στοιχεία καθώς επίσης και επιστημονικές παρατηρήσεις, τότε ο πίνακας 3 θα μπορεί να τροποποιηθεί ώστε να ανταποκρίνεται στις τοπικές συνθήκες. (Μισοπολινός 1991).

### 1.1.8 Η λίπανση ως παράγοντα της αλατότητας

Τα λιπάσματα (υδατοδιαλυτά άλατα) ενεργούν ως πηγή θρεπτικών ουσιών για το φυτό, όταν όμως οι ποσότητες τους υπερβούν τις κανονικές και τοποθετηθούν σε ακατάλληλη χρονική περίοδο τότε είναι δυνατόν να εντείνουν το πρόβλημα της αλατότητας στα φυτά.

Εκείνο που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τις λιπάνσεις είναι ο δείκτης αλατότητας του λιπάσματος (Rader, 1943). Τι επίδραση έχει δηλαδή στο φαινόμενο της αλατότητας η χρήση συγκεκριμένης ποσότητας ενός λιπάσματος. Δείκτης αλατότητας θεωρείται για τα λιπάσματα όταν αυτά εφαρμόζονται σε ίσες ποσότητες (βάρη). Το νιτρικό νάτριο με δείκτη 100 χρησιμεύει ως αφετηρία για τον δείκτη αλατότητας. Όσο μικρότερος είναι ο δείκτης του λιπάσματος τόσο μικρότερος ο κίνδυνος εγκαυμάτων στα φυτάρια από το λίπασμα.

**Δείκτες αλατότητας λιπασμάτων (Rader, 1943)**

Λίπασμα	Δείκτης αλατ.	Μερικός δείκτης αλατ./μονάδα θρεπτικού στοιχείου
Άνυδρη αμμωνία	47,1	0,572
Ασβεστόλιθος	4,7	0,083
Γύψος	8,1	0,247
Δολομίτης	0,8	0,042
Θεική αμμωνία	69,0	3,253
Θεικό κάλιο	46,1	0,853
Θεικό κάλιο – μαγνήσιο	43,2	1,971
Κυαναμίδη του ασβεστίου	31,0	1,476
Νιτρική αμμωνία	104,6	2,990
Νιτρικό ασβέστιο	52,5	4,409
Νιτρικό κάλιο	73,6	5,336
Νιτρικό νάτριο	100,0	6,060
Ουρία	75,4	1,618
Ουραμόν (ουρία – νιτρικό αμμώνιο)	66,4	1,579
Υπερφωσφορικό (16%)	7,8	0,487
Υπερφωσφορικό (20%)	7,8	0,390
Υπερφωσφορικό (45%)	10,1	0,224
Υπερφωσφορικό (48%)	10,1	0,210
Φωσφορική αμμωνία (11–48)	26,9	2,442
Φωσφορικό διαμμώνιο	29,9	1,614
Φωσφορικό μονοαμμώνιο	34,2	2,453
Φωσφορικό μονοασβέστιο	15,4	0,274
Χλωριούχο κάλιο (50%)	109,4	2,189
Χλωριούχο κάλιο (60%)	116,3	1,936
Χλωριούχο κάλιο (63%)	114,3	1,812
Χλωριούχο νάτριο	153,8	2,899

Πηγή: Μισοπολινός 1991

### 1.1.9 Τρόποι περιορισμού του φαινομένου της αλατότητας

Οι τεχνικές καλλιέργειας οι οποίες μπορούν να εφαρμοστούν για να περιορίσουν τα βλαβερά αποτελέσματα της αλατότητας αποτελεί σήμερα πεδίο έρευνας, μέσα από την σημερινή βιβλιογραφία μπορούν να συνοψισθούν ως εξής:

- i. Στη δημιουργία ανθεκτικών στα άλατα γονοτύπων (Zhang, H.-X. and Blumwald, E. 2001) (Cuartero, J., et al., 2006) ή με χημικά προτρεπτικά (Flors, V., et al., 2007) όπως είναι η DAAME (1,3 διαμινοπροπάνιο) που επιδρά στη φυσιολογία του φυτού και αυξάνει την ανθεκτικότητα.
- ii. Με εγκατάσταση στραγγιστικού δικτύου, έκπλυση της περίσσειας των αλάτων (Leaching Requirements-LR) κατά την περίοδο μικρής κατανάλωσης ύδατος εκ μέρους των φυτών και παρακολούθηση του φαινομένου της αλατότητας στις ημίξηρες κλιματικές ζώνες.

Με την κατασκευή του στραγγιστικού δικτύου μειώνεται η υπόγεια στάθμη και αρχίζει η έκπλυση των αλάτων. Βελτίωση της καλλιέργειας σημαίνει απομάκρυνση των υδατοδιαλυτών αλάτων, με έκπλυση καλής ποιότητας νερού. Οι ποσότητες του νερού που θα χρειαστούν, εξαρτώνται από την διηθητικότητα του εδάφους. Δεν θα πρέπει η παροχή να ξεπερνά την διήθηση γιατί στην αντίθετη περίπτωση δύναται να υπάρξει εξάτμιση και συνεπώς συμπύκνωση αλάτων. Συνεπώς, θα πρέπει να αποφεύγονται οι θερμοί μήνες για βελτίωση επειδή τότε η εξάτμιση είναι μεγάλη (Μισοπολινός 1991). Η πιστή τήρηση των προαναφερθέντων μέτρων εφαρμόστηκε με επιτυχία στην περίπτωση της ανάκτησης 3.000 εκταρίων έκτασης υψηλής αλατότητας στην περιοχή Kalaat Landelous της Τυνησίας (Hachicha, M., et al., 2000).
- iii. Επέμβαση στη θρέψη του φυτού, όπως:

⇒ ενσωμάτωση οργανικών υπολειμμάτων στο επιφανειακό στρώμα του εδάφους (Navarro-Pedreno, J., et al., 1996) (Wan, S., et al., 2007) με ικανοποιητικά αποτελέσματα,

- ⇒ αύξηση της αναλογίας των επιπέδων των νιτρικών και αμμωνιακών ιόντων με ισχνά όμως αποτελέσματα (Mori, M., et al., 2008) (Flores, P., et al., 2004) (Flores, P., et al., 2003),
- ⇒ αύξηση της αναλογίας των επιπέδων των ιόντων καλίου που επιφέρει μείωση των συμπτωμάτων τοξικότητας του NaCl στα φύλλα (Psarras, G., et al., 2008) (Botrini, L., et al., 2000),
- ⇒ αύξηση της αναλογίας των επιπέδων των φωσφορικών ιόντων με θετικά αποτελέσματα στο ριζικό σύστημα των φυτών (Mohammad, M., et al., 1998)
- ⇒ αύξηση της αναλογίας των επιπέδων των ιόντων Βορίου με αρνητικά αποτελέσματα (Ben-Gal, A., and Shani, U. 2002)
- ⇒ με συνδυασμό αμμωνίας, όξινου ανθρακικού οξέος και ασβεστίου όπου μείωσαν το αρνητικό αποτέλεσμα της αλατότητας σε φυτά της τομάτας (Navarro, J.M., et al., 2000).
- iv. Με προσαρμογή της φυσιολογίας των φυτών σε ξηρασία ως επέμβαση στο στάδιο των πέντε (5) φύλλων, με θετικό αποτέλεσμα την αύξηση της αντίστασης του φυτού στο αλάτι (Cayela, E., et al., 2007).
- v. Εμβολιάζοντας καλλιεργητικές ποικιλίες επάνω σε κατάλληλο ρίζωμα προμηθεύει επίσης έναν εναλλακτικό τρόπο αύξησης της αντίστασης στο αλάτι (Estan, M.T., et al., 2005) (Fernandez-Garcia, N., et al., 2004) (Chen, G., et al., 2003) (Fernandez-Garcia, N., et al., 2002).
- vi. Η αρδευτική διαχείριση ανάμειξης υφάλμυρου και επιφανειακού γλυκού νερού στην κατάλληλη αναλογία (1/6) αποτελεί στρατηγική σε πολλές χώρες καθώς προσδίδει αυξημένα ποιοτικά χαρακτηριστικά στους καρπούς των τοματών (Kan, I.2008) (Malash, N., et al., 2005).
- vii. Με εμβολιασμό πληθυσμού δενδρόμορφων φλυκταινωδών - μυκορριζών μυκητών (VAM) (Copeman, R.H., et al., 1996).

- viii. Με εφαρμογή της υδρονέφωσης στα φυτά βελτιώνοντας την ανάπτυξη και σοδειά σε συνθήκες αλατότητας (An, P., et al., 2005) (Romero-Aranda, R., et al., 2002).
- ix. Χρήση της στάγδην μεθόδου στην άρδευση (Wan, S., et al., 2007) (Abdel Gawad, G., et al., 2005).
- x. Εμβάπτιση και προσαρμογή των σποροφύτων ηλικίας (5) ημερών σε υφάλμυρο διάλυμα (Parra, M., et al., 2007) (Del Amor, F.M., et al., 2001) (Katerji, N., et al., 1998).
- xi. Με την κατάλληλη πυκνότητα φύτευσης των φυτών στην καλλιέργεια (Saito, T., et al., 2006).
- xii. Ο εμπλουτισμός με διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) σε συνθήκες αλατότητας αυξάνει τη σοδειά σε καλλιέργεια τομάτας (Li, J.-H., et al., 1999).
- xiii. Τέλος η εναλλαγή ημέρας/νύχτας στην κατανάλωση νερού χαμηλής/υψηλής ηλεκτρικής αγωγιμότητας αντίστοιχα είχε ενθαρρυντικά αποτελέσματα μόνο στην ποιότητα των καρπών (Santamaria, P., et al., 2004)

Το Εθνικό Σχέδιο Δράσης για την Καταπολέμηση της Ερημοποίησης προτείνει τις ακόλουθες δράσεις για την πρόληψη και αντιμετώπιση του προβλήματος της αλατότητας:

- Περιοδικό έλεγχο της ποιότητας του νερού άρδευσης.
- Συνεχή έλεγχο και προσδιορισμό των διαλυτών αλάτων σε καλλιεργούμενες εκτάσεις με τάσεις δημιουργίας συνθηκών υψηλής αλατότητας.
- Άρδευση με περίσσεια νερού και κατασκευή δικτύων αποστράγγισης προκειμένου να καλυφθούν οι ανάγκες των φυτών για την κανονική ανάπτυξη και την έκπλυση των διαλυτών αλάτων (ειδικά σε περιπτώσεις όπου το νερό άρδευσης είναι κακής ποιότητας).
- Αυστηρό έλεγχο της άντλησης νερού από τους υδροφορείς που έρχονται σε επαφή με το θαλάσσιο νερό για την αποφυγή διείσδυσης υφάλμυρου νερού.



## ► ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.2:

### Η φυσιολογία του φυτού στην αλατότητα

---

#### 1.2.1 Η αλατότητα ως μη παρασιτική ασθένεια

Τα φυτά αναπτύσσονται κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες περιβάλλοντος, οι άριστοι περιβαλλοντικοί παράγοντες αναπτύξεως των φυτών αποτελούν αναγκαία προϋπόθεση για μία επιτυχή, παραγωγική και ποιοτική γεωργία. Σημαντικές αποκλίσεις στις παραμέτρους των βασικών αυτών παραγόντων είναι υπεύθυνες για περιορισμένες ή εκτεταμένες ζημιές σε μία ή περισσότερες από τις λειτουργίες του φυτού. Πρόκειται για τις *μη παρασιτικές ασθένειες* των φυτών που οδηγούν σε απώλεια της παραγωγής και σε μερική ή ολική καταστροφή του φυτικού κεφαλαίου.

Η αλατότητα παρουσιάζει τα χαρακτηριστικά μη παρασιτικής ασθένειας (Τζάμος 2004), αναφορικά οι ιδιαιτερότητες των μη παρασιτικών ασθενειών σε σύγκριση με τις παρασιτικές ασθένειες είναι:

- Τα φυτά και τα φυτικά προϊόντα ζημιώνονται σε όλα τα στάδια της αναπτύξεως τους.
- Τα φυτά και τα φυτικά προϊόντα ζημιώνονται λόγω ελλείψεως ή υπερβολικής ποσότητας ενός των παραγόντων που είναι αναγκαία για την ανάπτυξη και την επιβίωση των φυτών.
- Οι μη παρασιτικές ασθένειες οφείλονται σε αίτια που δεν χαρακτηρίζονται από την ιδιότητα της μεταδοτικότητας τους από ασθενές προς το υγιές φυτό.
- Η ένταση και η έκταση των συμπτωμάτων μη παρασιτικών ασθενειών ποικίλλει αναλόγως του βαθμού αποκλίσεως του περιβαλλοντικού παράγοντα από τις φυσιολογικές του παραμέτρους.

Οι μη παρασιτικές ασθένειες εκδηλώνονται τόσο σε φυσικά όσο και σε τεχνητά περιβάλλοντα (φυτείες, δένδροκομεία, θερμοκήπια, υδροπονικές καλλιέργειες) και όπως είδαμε προηγουμένως είναι απόρροια αποκλίσεων περιβαλλοντικών παραγόντων αναπτύξεως των φυτών στο χώρο καλλιέργειας.

Πολλές φορές η μακροσκοπική παρατήρηση των φυτών μπορεί να δώσει πληροφορίες για την ύπαρξη του προβλήματος των αλάτων. Σε φυτά που ζημιώθηκαν από άλατα παρατηρούνται τα εξής συμπτώματα (Ιωάννης Ν. Θέριος 1995):

- Μείωση του μεγέθους του φυτού καθώς και της παραγωγής.
- Χλώρωση των φύλλων.
- Ξήρανση των φύλλων, λόγω της συγκέντρωσης  $Cl^-$ . Η ζημιά αρχίζει σαν κάψιμο της κορυφής και εκτείνεται κατά μήκος του περιθωρίου των φύλλων, μέχρι που να περιλάβει το μεγαλύτερο μέρος του ελάσματος.
- Αποφύλλωση και νέκρωση των νεαρών βλαστών.

Τα συμπτώματα των μη παρασιτικών ασθενειών ποικίλλουν ως προς τον τύπο και ως προς την ένταση, ανάλογα με το βαθμό που απομακρύνθηκε ο παράγοντας που τα προκάλεσε από τα επιθυμητά για το φυτό όρια.

Παρόλο αυτά τα μακροσκοπικά συμπτώματα δεν είναι αξιόπιστος οδηγός της διάγνωσης του προβλήματος των αλάτων. Η ορθή διάγνωση απαιτεί εργαστηριακή ανάλυση, γιατί άλλα αίτια όπως ζημιά από ξηρασία και η ζιζανιοκτονία μπορεί να δώσουν όμοια συμπτώματα με την τοξικότητα των αλάτων.

### **1.2.2 Τρόπος δράσης των αλάτων στο φυτό**

Οι μηχανισμοί της δράσης των αλάτων στα φυτά, είναι τα κύρια προβλήματα για έρευνα. Η επίδραση της αλατότητας (Salt effect) στην ανάπτυξη των φυτών οφείλεται κυρίως σε ανεπαρκή τροφοδοσία ύδατος λόγω της υψηλής οσμωτικής του πίεσης, και στις άμεσες ιοντικές επιδράσεις. Η δυσμενή συνέπεια της υψηλής συγκεντρώσεως των αλάτων στην περιοχή της ρίζας είναι η οσμωτική δέσμευση του νερού που το καθιστά λιγότερο διαθέσιμο στα φυτά. Επίσης, διακρίνουμε και την απ' ευθείας τοξική δράση των αλάτων.

Αναλυτικότερα, τα άλατα μπορούν να ζημιώσουν τα φυτά με δύο τρόπους:

- Οσμωτική δράση.
- Τοξικότητα ιόντος.

**1. Οσμωτική δράση:** Η υψηλή οσμωτική πίεση (OP) διαταράσσει το ισοζύγιο σε νερό των φυτών. Η επίδραση των υδατοδιαλυτών αλάτων στην ανάπτυξη των φυτών, απουσία τοξικών φαινομένων, λειτουργεί μέσω του υδατικού δυναμικού. Το **υδατικό δυναμικό** (που συμβολίζεται με το γράμμα  $\Psi$ ), έναν όρο που καθιερώθηκε για πρώτη φορά το 1960 από τους Slatyer και Taylor, χρησιμοποιείται για να ερμηνεύει τη συμπεριφορά του νερού σε διάφορα φαινόμενα. Το υδατικό δυναμικό ισούται με τη διαφορά της υδροστατικής πίεσης P και της οσμωτικής πίεσης ΩΠ ( $\Psi = P - \Omega\Pi$ ), και εκφράζεται με μονάδες πίεσης (atm ή Pascals). Σημείο αναφοράς λαμβάνεται το καθαρό νερό κατά συνθήκη ίσο με το μηδέν  $\Psi_w = 0$ . Αυτό σημαίνει ότι οι τιμές του κάθε διαλύματος θα είναι αρνητικές, το νερό δηλαδή κινείται από μια περιοχή με υψηλότερο υδατικό δυναμικό, προς μια περιοχή με χαμηλότερο. Στην περίπτωση μας για να απορροφήσει το φυτό νερό θα πρέπει το συνολικό υδατικό δυναμικό να ισούται:

$$\Psi = \Psi_p + \Psi_s + \Psi_m \quad (1)$$

Όπου  $\Psi_p$  μεταξύ των κυτταρικών τοιχωμάτων και του κυτταρικού περιεχόμενου, το  $\Psi_s$  αφορά τους περιορισμούς στην ελεύθερη κίνηση των μορίων νερού λόγω επίδρασης των διαλυτών μορίων και  $\Psi_m$  ως αποτέλεσμα της προσρόφησης του νερού στις επιφάνειες στερεών συστατικών του εδάφους ή του υδροπονικού υποστρώματος. Το συνολικό υδατικό δυναμικό όσο αυξάνεται τόσο δυσκολεύονται τα φυτά να προσλάβουν νερό.

Το  $\Psi_s$  εξαρτάται από τη συγκέντρωση των ιόντων στο διάλυμα του ριζοστρώματος και υπολογίζεται εμπειρικά από την σχέση (2) που εξήγαγαν οι Zur και Bresler (1973) χρησιμοποιώντας διαγράμματα του Agriculture Hand-book No 6 (U.S. Salinity Laboratory Staff 1954).

$$\Psi_s = 0,32 \cdot (0,8 + 0,109 Ct)^{1,08} \quad (2)$$

Όπου Ct η συγκέντρωση των ιόντων σε meq/l του διαλύματος. Κατά τον Richards το  $\Psi_s$  σε ατμόσφαιρες προκύπτει δια πολλαπλασιασμού της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του προαναφερθέντος διαλύματος επί τον εμπειρικό συντελεστή -0,36:

$$\Psi_s = (-0,36) \times EC$$

Η αλατότητα αυξάνει την ενέργεια που καταβάλλουν τα φυτά για την απορρόφηση νερού. Η περίσσεια της καταβαλλόμενης ενέργειας για την υπερνίκηση της αυξημένης οσμωτικής πίεσης του διαλύματος αποβαίνει σε βάρος της ανάπτυξης των φυτών.

Η υψηλή οσμωτική πίεση μειώνει την ικανότητα του φυτού να απορροφά νερό και το φυτό υποφέρει από έλλειψη. Συμβαίνει δηλαδή κάτι παρόμοιο με ένα ναυαγό που βρίσκεται στον ωκεανό και πεθαίνει από τη δίψα. Οι ζημιές από τα άλατα επιτείνονται στα θερμά κλίματα, απ' ό,τι στα ψυχρά. Αυτό όμως δεν μπορεί να γενικευτεί, γιατί όλα τα φυτά δε συμπεριφέρονται κατά τον ίδιο τρόπο, σε ίδιες κλιματικές συνθήκες.

Σε μελέτες που πραγματοποιήθηκαν σε καλλιέργειες τομάτας βρέθηκε ότι οι επιπτώσεις της αλατότητας είναι ίδιες με εκείνες της υδατικής καταπόνησης (Plaut, Z., et al., 2004), ενώ φαίνεται να μην υπάρχει ευκρινής διαφορά στην παραγωγή και περιεχόμενο των διαλυτών στερεών μεταξύ των δύο καταπονήσεων στα φύλλα και καρπούς (Sarkar, S., et al., 2008).

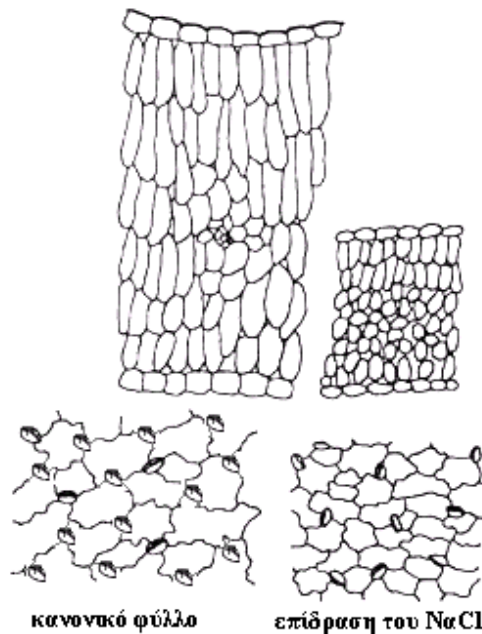
**2.Τοξικότητα ιόντος:** Επίσης τα άλατα σε υψηλές συγκεντρώσεις δρουν τοξικά στο πρωτόπλασμα. Ο μηχανισμός της τοξικής δράσης των αλάτων στα φυτά περιγράφεται ως εξής: Τα άλατα διαταράσσουν το μεταβολισμό και επιδρούν στη δράση των ενζύμων αυξάνοντας τη συγκέντρωση των τοξικών ουσιών. Σαν συνέπεια, να προκαλούν συμπτώματα τοξικότητας.

Οι μεταβολές που επιφέρει η δράση του NaCl στην οργάνωση και στην δομή των ιστών του φύλλου και γενικότερα στα κύτταρα είναι στο σχήμα και μέγεθος του κυττάρου, στον όγκο των μεσοκυττάρων διαστημάτων και στον αριθμό των χλωροπλαστών. Κατασκευαστικές αλλαγές παρατηρούνται ακόμη στον αριθμό και στο μέγεθος των κόκκων αμύλου, στη κατασκευή των μιτοχονδρίων και χλωροπλαστών, και στο αριθμό των πλαστοσφαιριδίων. (Sam, O., et al., 2004).

Άμεση συνέπεια των παραπάνω αλλαγών στην φυσιολογία του φύλλου παρατηρούμε (Romero-Aranda, R., et al., 2001):

- Αγωγό σύστημα διαφοροποιημένο, με πολλά αγγεία μικρής διαμέτρου.
- Φύλλα μετρίου πάχους με μικρό αριθμό στομάτων ανά μονάδα επιφάνειας.

- Ελάττωση της ταχύτητας διαπνοής. Ο επαρκής εφοδιασμός σε νερό των φύλλων επιτυγχάνεται με αύξηση της οσμωτικής πίεσης του χυμού τους.



Σχήμα 1: Η μείωση του πάχους του ελάσματος και η μεταβολή της ανατομίας του μετά από επίδραση NaCl

Κάτω από συνθήκες αλατότητας τα καλλιεργούμενα φυτά αντιδρούν στην υψηλή συγκέντρωση αλάτων με μείωση της απορρόφησης αλάτων. Για να καταστεί δυνατή η επιβίωση των φυτών σε συνθήκες αλατότητας, πρέπει να απορροφήσουν ποσότητα αλάτων που δεν υπερβαίνει όμως την αντοχή τους, για να αυξήσουν την οσμωτική του πίεση. Μερικά φυτά αυξάνουν την οσμωτική πίεση συγκεντρώνοντας στους ιστούς προϊόντα αφομοίωσης.

Σε υψηλή συγκέντρωση άλατος το πρωτόπλασμα των φυτικών κυττάρων ζημιώνεται και σαν αποτέλεσμα η ενεργητική απορρόφηση των ιόντων μετατρέπεται σε παθητική. Αυτό συνεπάγεται την αύξηση της συγκέντρωσης ορισμένων ιόντων, στα φυτικά όργανα (Bolarin, M.C., et al., 2001).

Είναι δύσκολο να διαχωριστούν τα οσμωτικά από τα τοξικά αποτελέσματα των αλάτων. Κατά τη διάρκεια της προσαρμογής των φυτών στην αλατότητα οι πρωτεΐνες σχηματίζουν ένα σύμπλοκο με τα ανιόντα και τα κατιόντα στα κύτταρα. Συνέπεια αυτού είναι ότι η διαπερατότητα του πρωτοπλάσματος και η απορρόφηση ιόντων μειώνονται, ο ρυθμός μεταβολισμού επιβραδύνεται και η αντοχή στα άλατα αυξάνεται.

Η υψηλότερη οσμωτική πίεση του ριζικού συστήματος, σε σχέση με αυτή του διαλύματος του υποστρώματος, είναι που απαιτείται για να διευκολύνεται η απορρόφηση νερού από το περιβάλλον της ρίζας (Rodriguez, P., et al., 1997).

### 1.2.3 Ενεργειακό κόστος της αλατότητας

Τα φυτά αντλούν το νερό με απορροφητική δύναμη μεγαλύτερη από αυτή με την οποία συγκρατείται το νερό από το υπόστρωμα. Εάν το φυτό δεν είναι σε θέση να ρυθμίσει τις λειτουργίες του (τους μηχανισμούς του) έτσι ώστε να εξασφαλίσει την ισχύ αυτή, δεν είναι σε θέση να αντλήσει αρκετή ποσότητα νερού για τις ανάγκες του και ασφαλώς υποφέρει από υδατική καταπόνηση.

Τα άλατα στο υπόστρωμα (έδαφος ή υδροπονικό υλικό) αυξάνουν τη δύναμη που απαιτείται από τα φυτά για την άντληση νερού και η δύναμη αυτή αναφέρεται ως **οσμωτικό δυναμικό**. Αν για παράδειγμα δύο κατά τα άλλα όμοια υποστρώματα έχουν την ίδια περιεκτικότητα σε νερό αλλά το ένα είναι υψηλής αλατότητας ενώ το άλλο χαμηλής, τότε τα φυτά είναι σε θέση να αντλήσουν περισσότερο νερό από το χαμηλής αλατότητας υπόστρωμα. Αυτό διότι υπάρχει συγγένεια μεταξύ νερού και αλάτων. Εάν το νερό περιέχει άλατα τότε απαιτείται μεγαλύτερη ενέργεια ανά μονάδα όγκου νερού προκειμένου το φυτό να αντλήσει νερό απαλλαγμένο αλάτων από το διάλυμα του υποστρώματος.

Η προσαρμογή των φυτών στην αλατότητα μπορεί να καταλήξει στην εξάντληση των ενεργειακών αποθεμάτων που χρησιμοποιούνται για ανάπτυξη. Η απώλεια ενέργειας μπορεί να προέρχεται από τη παροχέτευση των φωτοσυνθετικών προϊόντων από τις λειτουργίες της ανάπτυξης στην οσμωτική ρύθμιση. Φαίνεται να υπάρχει ομοφωνία μεταξύ των ερευνητών στο ότι η οσμωτική ρύθμιση μπορεί να αποσπά ενέργεια από την ανάπτυξη (Pasternak, 1987)

### 1.2.4 Σύνθεση οσμωρυθμιστικών οργανικών ουσιών

Τα φυτά δεν παρουσιάζουν την ίδια αντίδραση στην αλατότητα. Ορισμένα φυτά έχουν αξιόλογη απόδοση σε περιβάλλον υψηλής αλατότητας από ότι άλλα. Αυτό συμβαίνει διότι έχουν την ικανότητα να ρυθμίζουν την οσμωτική τους πίεση ώστε να μπορούν να εκμεταλλεύονται μεγαλύτερες ποσότητες νερού σε ένα υπόστρωμα (Termaat et al., 1985, Pasternak, 1987).

Η ικανότητα αυτή ορισμένων καλλιεργειών είναι πολύ χρήσιμη. Σε περιοχές όπου η αλατότητα δεν είναι δυνατόν να μειωθεί σε ικανοποιητικά επίπεδα για τα φυτά που ήδη υπάρχουν, υπάρχει η λύση της εναλλακτικής καλλιέργειας η οποία είναι περισσότερο ανθεκτική στο συγκεκριμένο επίπεδο αλατότητας και μπορεί να έχει οικονομική απόδοση.

Το γεγονός αυτό επιτρέπει ευρύτερη χρήση αρδευτικών νερών με μεγαλύτερες συγκεντρώσεις αλάτων από ότι στο παρελθόν. Γενικά όμως στις περιπτώσεις αμφιβολιών, είναι προτιμότερη η εγκατάσταση ενός πειραματικού (πλότου) για να διαπιστωθεί πρώτον κατά πόσο είναι εφικτή η οικονομικότητα της συγκεκριμένης καλλιέργειας.

Τα τελευταία χρόνια έγινε γνωστό ο σημαντικός ρόλος της αντοχής στην αλατότητα, σε κυτταρικό επίπεδο. Η ικανότητα των φυτών να ανέχονται υψηλή συγκέντρωση αλάτων φαίνεται ότι εξαρτάται από την οσμωτική εξισορρόπηση που επιτυγχάνεται κυρίως με ιόντα  $\text{Na}^+$  και  $\text{Cl}^-$ . Επειδή αυτά τα 2 ιόντα είναι τοξικά η συγκέντρωσή τους στο κυτόπλασμα επιτυγχάνεται με σύνθεση οργανικών ουσιών.

Στα καλλιεργούμενα φυτά η οσμωτική πίεση αναπτύσσεται κυρίως με τη βοήθεια των οργανικών ουσιών που συγκεντρώνονται, όπως προλίνη και πουτρεσκίνη, με παράλληλη συμβολή των ενώσεων του γλουταμινικού οξέως και αργινίνης (Santa-Cruz, A., et al., 1999), ενώ σε άγρια είδη χρησιμοποιούνται τα ιόντα  $\text{K}^+$  για τον ίδιο σκοπό (Taha, R., et al., 2000).

Τα κύτταρα των φυτών πρέπει να έχουν χαμηλότερο υδατικό δυναμικό σε σχέση με το εξωτερικό περιβάλλον γι' αυτό η συγκέντρωση στο χυμοτόπιο  $\text{Na}^+$  και  $\text{Cl}^-$  είναι μεγαλύτερη από την εξωτερική συγκέντρωση. Έτσι η οσμωρύθμιση (οσμωτική προσαρμογή) επιτυγχάνεται κατά μήκος του τονοπλάστη με τη συγκέντρωση στο κυτόπλασμα οργανικών οσμωρυθμιστικών, μη τοξικών ουσιών (Flors, V., et al., 2007).

### **1.2.5 Αντοχή των καλλιεργούμενων φυτών στα άλατα**

Τα καλλιεργούμενα φυτά όπως είδαμε προηγουμένως διαφέρουν στην αντοχή τους στα άλατα και αντιδρούν με διαφορετικό τρόπο στη συγκέντρωσή τους στο διάλυμα του ριζοστρώματος. Με βάση το γεγονός ότι πολλοί παράγοντες έχουν δυσμενή δράση στο φυτό και με βάση την έλλειψη της σταθερότητας τους κάτω από συνθήκες αλατότητας είναι δύσκολο να καθοριστεί επακριβώς η συγκέντρωση αλάτων στην οποία το φυτό είναι πιο ανθεκτικό. Ο

βαθμός αντοχής των φυτών στα άλατα μεταβάλλεται και εξαρτάται από διάφορους φυσιολογικούς μηχανισμούς.

Τα ποσοτικά κριτήρια της αντοχής των φυτών στα άλατα και η παραγωγικότητα των διαφόρων φυτών ποικίλλουν, ανάλογα με τις βιολογικές ιδιότητες. Σε μερικά φυτά η ιδιότητα της μεγάλης αντοχής στα άλατα συνδέεται με χαμηλή παραγωγικότητα, ενώ σε άλλα με σχετικά υψηλή παραγωγικότητα.

Γενικά είναι δύσκολο να επινοηθούν τρόποι προσδιορισμού της αντοχής με βάση βιοχημικές και φυσιολογικές μετρήσεις, γιατί καμιά φυσιολογική παράμετρος μόνη της δεν συσχετίζεται άμεσα με την αντοχή στα άλατα. Αναφορικά οι προσπάθειες και οι προτάσεις που γίνονται για διάφορα κριτήρια ταξινόμησης της αντοχής των φυτών στην αλατότητα είναι:

(i) Στην οπτική εμφάνιση της ζημιάς του φυτού και τα φυτά προσδιορίζονται σε κλίμακα από 1 (περισσότερο ανεκτικό) μέχρι το 4 (περισσότερο ευαίσθητο). (Chookhampaeng, S., et al., 2007).

(ii) Με την αντοχή στην αλατότητα του θαλασσινού νερού (Hajer, A.S., et al., 2006).

(iii) Με βάση την συγκέντρωση  $K^+$  (Al-Karaki, G.N. 2000) ή του  $Na^+$  (Chookhampaeng, S., et al., 2007) ή τον λόγο  $K^+/Na^+$  (Taha, R., et al., 2000) & (Lopez, M.V., and Satti, M.E. 1997) ή την συσσώρευση  $Na^+$  και  $Cl^-$  (Alfocea, F.P., et al., 1993).

Επειδή τα περισσότερα ανώτερα φυτικά είδη έχουν αναπτύξει υψηλή εκλεκτικότητα στην πρόσληψη του  $K^+$ , η ανθεκτικότητα τους στην παρουσία του  $Na^+$ , εξετάζεται με βάση τον βαθμό αντικατάστασης του  $K^+$  από το  $Na^+$ , χωρίς να παραβλάπτονται οι φυσιολογικές τους λειτουργίες.

(iv) Το υδατικό ισοζύγιο (Moghaieb, R.E., et al., 2001).

(v) Με τη μείωση στο ξηρό βάρος ρίζας/βλαστού (Chookhampaeng, S., et al., 2007).



(vii) Με τις φυσιολογικές αλλαγές στα φύλλα με μεταβολή των επιπέδων συγκέντρωσης προλίνης, πουτρεσκίνης, γλουταμινικού οξέως και αργινίνης (Santa-Cruz, A., et al., 1999).

(viii) Με βάση την σχέση των Mass-Hoffman (Caro, M., et al., 1991).

Για τη γεωργία είναι ειδικά πολύτιμα όχι αυτά τα φυτά που δείχνουν υψηλή αντοχή στα άλατα, αλλά αυτά των οποίων η αντοχή συσχετίζεται με υψηλές αποδόσεις. Έτσι εισάγονται οι όροι βιολογική και αγρονομική αντοχή στα άλατα:

- *Βιολογική αντοχή στα άλατα* είναι η ικανότητα των φυτών να ζουν και συμπληρώνουν το βιολογικό τους κύκλο κάτω από συνθήκες αλατότητας. Σε τέτοια φυτά η αύξηση και η παραγωγή επιβραδύνονται. Τα φυτά εξωτερικά φαίνονται νάνα και από γεωργικής πλευράς δεν είναι αξιόλογα.
- *Αγρονομική αντοχή στα άλατα* είναι η ικανότητα των φυτών, κάτω από ορισμένες συνθήκες αλατότητας, να συμπληρώνουν το βιολογικό τους κύκλο και συγχρόνως να παράγουν ικανοποιητικά.

### 1.2.6 Επίδραση της αλατότητας στην παραγωγή

Οι Maas και Hoffman (1977), πρότειναν την ακόλουθη εξίσωση η οποία εκφράζει τη σχέση της αλατότητας με την απόδοση των καλλιεργούμενων φυτών:

$$Y = 100 (C_o - C_e) / (C_o - C_{100})$$

Όπου Y η σχετική % απόδοση παραγωγής,

$C_e$  η μετρούμενη ηλεκτρική αγωγιμότητα σε mS/cm, όπου η αλατότητα του υποστρώματος συνδέεται με το καθορισμένο ποσοστό απόδοσης Y

$C_o$  η ηλεκτρική αγωγιμότητα για την οποία η φυτική παραγωγή μηδενίζεται και

$C_{100}$  η ηλεκτρική αγωγιμότητα στην οποία αντιστοιχεί απόδοση 100%.

Τα στοιχεία του πίνακα 4 ελήφθησαν από τις εργασίες των Maas και Hoffman (1977) και Maas (1984). Η ECe αποτελεί τη μέση αλατότητα του ριζοστρώματος όπως προσδιορίστηκε από τη μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του υποστρώματος σε mS/cm στους 25°C και ECw η αντίστοιχη του νερού αρδεύσεως.

Η σχέση μεταξύ της ECe και της ECw είναι  $ECe = 1,5 ECw$  και προϋποθέτει ότι η αλατότητα του υποστρώματος (ECe) προέρχεται από την συγκέντρωση των αλάτων που υπάρχουν στο νερό αρδεύσεως. Εάν υφίσταται και άλλη πηγή αλάτων, όπως για παράδειγμα υψηλή στάθμη υπόγειου νερού, η σχέση της συγκέντρωσης μεταξύ της αλατότητας του νερού αρδεύσεως (ECw) και της αλατότητας του υποστρώματος (ECe) δεν είναι εφαρμόσιμη.

Πίνακας 4: Αντοχή των φυτών στα άλατα και προβλεπόμενη απόδοση ορισμένων καλλιεργειών όπως επηρεάζονται από την ποιότητα του νερού αρδεύσεως (ECw) και την αλατότητα του υποστρώματος (ECe) (Maas Hoffman, 1977; Maas, 1984).

Πηγή: Maas και Hoffman (1977) και Maas (1984)	ΠΡΟΒΛΕΠΟΜΕΝΗ ΑΠΟΔΟΣΗ									
	100%		90%		75%		50%		0%	
Λαχανοκομικά	ECe	ECw	ECe	ECw	ECe	ECw	ECe	ECw	ECe	ECw
Κολοκυθάκια ( <i>Curcubita perom.</i> )	4,7	3,1	5,8	3,8	7,4	4,9	10,0	6,7	15,0	10,0
Τεύτλα ( <i>Beta vulgaris</i> )	4,0	2,7	5,1	3,4	6,8	4,5	9,6	6,4	15,0	10,0
Κολοκύθι ( <i>Curcubita perom.</i> )	3,2	2,1	3,8	2,6	4,8	3,2	6,3	4,2	9,4	6,3
Μπρόκολα ( <i>Brassica oleracea</i> )	2,8	1,9	3,9	2,6	5,5	3,7	8,2	5,5	14,0	9,1
Τομάτα ( <i>Lycopersicon escul.</i> )	2,5	1,7	3,5	2,3	5,0	3,4	7,6	5,0	13,0	8,4
Αγγούρι ( <i>Cucumis sativus</i> )	2,5	1,7	3,3	2,2	4,4	2,9	6,3	4,2	10,0	6,8
Σπανάκι ( <i>Spinacea oleracea</i> )	2,0	1,3	3,3	2,2	5,3	3,5	8,6	5,7	15,0	10,0
Σέλινο ( <i>Arium graveolens</i> )	1,8	1,2	3,4	2,3	5,8	3,9	9,9	6,6	18,0	12,0
Λάχανο ( <i>Brassica oler. capitata</i> )	1,8	1,2	2,8	1,9	4,4	2,9	7,0	4,6	12,0	8,1
Πατάτα ( <i>Solanum tuberosum</i> )	7,1	1,1	2,5	1,7	3,8	2,5	5,9	3,9	10,0	6,7
Γλυκοπατάτα ( <i>Impomoea batatas</i> )	1,5	1,0	2,4	1,6	3,8	2,5	6,0	4,0	11,0	7,1
Πιπεριά ( <i>Capsicum annuum</i> )	1,5	1,0	2,2	1,5	3,3	2,2	5,1	3,4	8,6	5,8
Μαρούλι ( <i>Lactuca sativa</i> )	1,3	0,9	2,1	1,4	3,2	2,1	5,1	3,4	9,0	6,0
Ρεπάνι ( <i>Raphanus sativus</i> )	1,2	0,8	2,0	1,3	3,1	2,1	5,0	3,4	8,9	5,9
Κρεμμύδι ( <i>Allium cepa</i> )	1,2	0,8	1,8	1,2	2,8	1,8	4,3	2,9	7,4	5,0
Καρότο ( <i>Daucus carota</i> )	1,0	0,7	1,7	1,1	2,8	1,9	4,6	3,0	8,1	5,4
Φασόλι ( <i>Phaseolus vulgaris</i> )	1,0	0,7	1,5	1,0	2,3	1,5	3,6	2,4	6,3	4,2
Γογγύλι ( <i>Brassica rapa</i> )	0,9	0,6	2,0	1,3	3,7	2,5	6,5	4,3	12,0	8,0

Οι τιμές όμως της  $EC_e$  που δίνονται στον πίνακα 4 εξακολουθούν να είναι χρήσιμες αλλά θα πρέπει να αλλάξει η αλατότητα του νερού ( $EC_w$ ) στον πίνακα. Πρέπει να τονισθεί ότι η αλατότητα του υποστρώματος ( $EC_e$ ) που αναμένεται να προέλθει μετά από χρήση για αρκετά χρόνια ενός νερού, προέρχεται κυρίως από τα υδατοδιαλυτά άλατα. Εάν υπάρχει υψηλή υπόγεια στάθμη, αυτή αποτελεί μια επιπρόσθετη πηγή η οποία δεν περιέχεται στη σχέση  $EC_e=1,5 EC_w$ .

Οι τιμές της αλατότητας ( $EC_e$ ) του πίνακα των Maas και Hoffman (1977) και Maas (1984) για την αντοχή των καλλιεργειών θεωρείται ότι αποτελούν τα προσφορότερα στοιχεία που υπάρχουν, καθώς προέκυψαν από πολύχρονη έρευνα και έχουν δοκιμασθεί σε παγκόσμια κλίμακα.

Η απόδοση των φυτών, όταν αρδεύονται με ένα συγκεκριμένο νερό, κυμαίνεται από 100 έως 0%. Οι τιμές στον πίνακα 4 παρουσιάζονται για απόδοση 100, 90, 75, 50 και 0%, και υπολογίστηκαν από την εξίσωση των Maas και Hoffman (1977). Η μηδενική απόδοση δείχνει την θεωρητική αλατότητα ( $EC_e$ ) στην οποία μηδενίζεται η ανάπτυξη των φυτών.

Οι τιμές δείχνουν ότι ο βαθμός απόδοσης των καλλιεργούμενων φυτών μειώνεται γραμμικά καθώς η αλατότητα αυξάνεται πάνω από μια οριακή συγκέντρωση. Η γραμμική αυτή μείωση της απόδοσης βρίσκεται σε συμφωνία με τα πειραματικά δεδομένα μέσα στα συνήθη όρια αλατότητας. Αποκλίσεις από τη γραμμική μείωση υπάρχουν σε αποδόσεις αισθητά μικρότερες από 50% της κανονικής, όριο το οποίο είναι μη οικονομικά αποδεκτό.

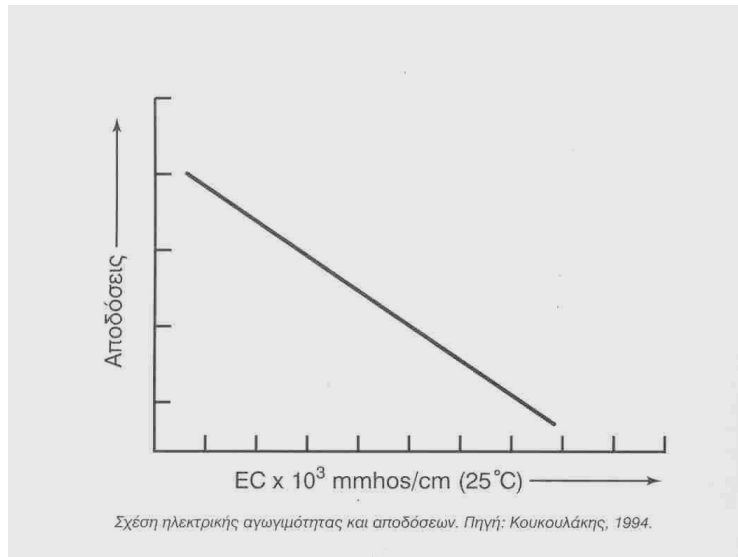
Στον επόμενο πίνακα (4<sup>α</sup>) εμφανίζεται από πειραματικά δεδομένα η ποσοτική επίδραση διαφόρων επιπέδων αλατότητας επί της παραγωγικότητας συμπεριφοράς επιλεγμένων ειδών (Σιμώνης και Γραφιαδέλλης 1985).

Επεμβάσεις λιπανσης	Καλλιέργεια Υβριδία	Ηλεκτρική αγωγιμότητα υπο/τας EC 10 <sup>-1</sup> mmhos/cm (M.O.)	Απόδοση καλλιέργειας/ περ. τεμάχιο	Σχετική απόδοση καλλιέργειας	Αριθμός καρπών/περ. τεμάχιο (M.O)	Βάρος καρπού gr (M.O.)	Εξίσωση συμμεταβολής για τη σχέση μεταξύ ηλεκτρ. αγωγιμότητας (x) και σχετικής απόδοσης καλλιεργειών (y)	Συντελεστής συσχέτισης (r)
1	αγγουριά astrid (ολ. παραγ.)	2,1	128	100	330	388	y=123,9-11,1x	r =0,993
2		3,8	109	85	294	372		
3		4,2	96	75	263	364		
4		6,4	68	53	194	352		
1	πιπεριά γεμιστή (π-14) πρώιμ. παρ. (μεχ. 15 Ιουνίου)	1,8	7	100	122	57,4	y=119,3-11,2x	r =0,994
2		2,4	6,5	93	113	57,2		
3		3,6	5,3	76	92	57,2		
4		5,4	4,2	60	78	54		
1	τομάτα υβρ. 735/72 Bruisma (ολ παραγ)	2,5	40,7	100	194	209	y=111,3-4,2x	r =0,991
2		3,4	39,9	98	195	205		
3		4,2	38,3	94	188	203		
4		5,7	35,4	87	176	201		
1	τομάτα υβρ. 493 Bruisma (ολ παραγ)	2,5	51,7	100	209	248	y=110,9-3,9x	r =0,964
2		3,2	51,2	99	204	251		
3		4,3	49,6	96	205	242		
4		5,6	45,5	88	180	253		
1	τομάτα μικρόκαρπος π-14 (ολ παραγ)	2,3	48,3	100	399	121	y=103,1-1,7x	r =0,936
2		3,1	46,9	97	412	114		
3		4	46,4	96	380	122		
4		5,1	45,9	95	392	117		
1	τομάτα υβρ. 493 Bruisma (ολ παραγ)	2,4	19,7	100	109	181	y=116,5-6,6x	r =0,998
2		3,5	18,5	94	105	176		
3		5	16,5	84	95	174		
4		6,5	14,3	73	89	161		

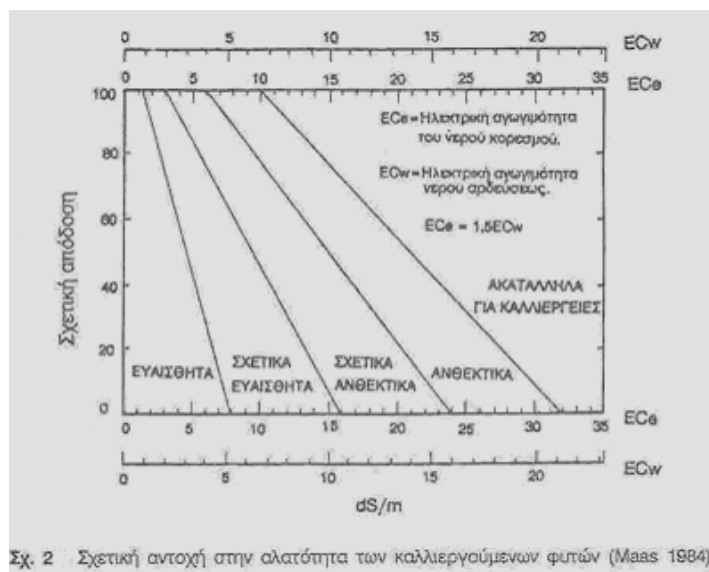
Πίνακας 4<sup>α</sup>: Αποτελέσματα επίδρασης της αλατότητας των διαφόρων λιπαντικών επεμβάσεων σε καλλιεργούμενα φυτά (πηγή: Σιμώνης και Γραφιαδέλλης 1985).

Η πλειονότητα των στοιχείων απόδοσης σε αυτόν τον πίνακα (4<sup>α</sup>) προέρχονται από πειραματικά στοιχεία για αποδόσεις από 50% έως 100% και χρησιμοποιήθηκαν στη γραμμική σχέση (8<sup>η</sup> στήλη). Η γραμμική σχέση προήλθε με ανασχηματισμό της εξίσωσης των Maas και Hoffman (1977) και εκφράζει τη σχέση της αλατότητας με την απόδοση.

Η γραμμική εξίσωση προβλέπει με επιτυχία αυτές τις αποδόσεις, γι' αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την πρόβλεψη της κατά προσέγγιση θεωρητικής τιμής της αλατότητας ECe (3<sup>η</sup> στήλη).



Εάν τα στοιχεία του πίνακα που προέκυψαν από δεδομένα των Maas και Hoffman (1977) και Maas (1984) παρουσιασθούν σε γραφική μορφή, τότε σχηματίζουν ομάδες καλλιέργειας με όμοια αντοχή στα άλατα, οπότε φαίνονται τα όρια και η σχετική διαβάθμιση της αντοχής των καλλιεργειών. Το σχήμα 2 αποδίδει τη διαβάθμιση της σχετικής αντοχής που υπάρχει στον πίνακα 4. Οι υποδιαιρέσεις, είναι χρήσιμες για γενικούς σχεδιασμούς και συγκρίσεις μεταξύ των καλλιεργειών. Στις περιπτώσεις όπου δεν υπάρχουν αρκετά στοιχεία, δίνεται μια σχετική διαβάθμιση αντοχής για την καλλιέργεια που στηρίζεται στην καλύτερη δυνατή εκτίμηση από πειράματα και από παρατηρήσεις. Σύμφωνα με το διάγραμμα του σχήματος 2, η αντοχή των καλλιεργειών έχει ομαδοποιηθεί ως εξής:



Η σχετική ανθεκτικότητα των περισσότερων από τα καλλιεργούμενα φυτά είναι γνωστή πλέον και αυτό επιτρέπει να υπάρχει ένας γενικός οδηγός σχετικός με την αντοχή τους στην αλατότητα. Για λόγους καθαρά συγκριτικούς δίδεται στον πίνακα 5 μια διαβάθμιση ανθεκτικότητας πολλών καλλιεργειών, χαμηλών, δενδρωδών ή λαχανικών.

Πίνακας 5: Ανθεκτικότητας καλλιεργειών στα αλάτα		
Πολύ ανθεκτικά	Μέτρια ανθεκτικά	Ευαίσθητα
<b>A. Δενδρομικά</b>		
(15-20 mmhos/cm) Αρμυρίκι Χουρμαδιά Φοίνικας Φυστικιά	(4-10 mmhos/cm) Ελιά Αμπέλι Ροδιά Συκιά	(<4 mmhos/cm) Αμυγδαλιά Δαμασκηνιά Αχλαδιά Μηλιά Πορτοκαλιά Βερικοκιά Ροδακινιά Λεμονιά
<b>B. Λαχανικά</b>		
(10-12 mmhos/cm) Σπανάκι Σπαράγγι	(4-10 mmhos/cm) Ντομάτα Καρότο Μπιζέλι Αγγουριά Λάχανο Μαρούλι Κρεμμύδι Κολοκυθιά	(3-4 mmhos/cm) Ραδίκι
<b>Γ. Φυτά Μεγάλης Καλλιέργειας</b>		
(10-16 mmhos/cm) Κριθάρι Κτηνοτροφικά τεύτλα Ζαχαρότευτλα Βαμβάκι	(6-10 mmhos/cm) Βρώμη Σιτάρι Ρύζι Καλαμπόκι Καπνός Σόγια Σίκαλη Σόργος Ηλιάνθος	(<3-4 mmhos/cm) Πατάτα Φασολιά
<b>Δ. Ανθοκομικά</b>		
(8-12 mmhos/cm) Βιολέτες Αμαρυλλίδα	(3-8 mmhos/cm) Γαρίφαλλα Τριαντάφυλλα Γλαδιόλοι Φιλόδενδρο Βιγκόνια	(<3 mmhos/cm) Γαρδένια Καμέλια Αζαλέα Γεράνια Καλσεολάρια Χρυσάνθεμα

### ► Η οικονομική πλευρά του προβλήματος:

Τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει αρκετές μελέτες ώστε να μελετηθεί η οικονομική πλευρά της αλατότητας πάνω στην παραγωγή, οι προσπάθειες επικεντρώνονται κυρίως στη συσχέτιση της αλατότητας με την παραγωγή και την ποιότητα των καρπών.

Στις επόμενες παραγράφους για να σχηματίσουμε μια εικόνα για το οικονομικό μέγεθος της αλατότητας στη γεωργία, θα δούμε τις κυριότερες μελέτες που πραγματοποιήθηκαν τελευταία πάνω στις επιπτώσεις της αλατότητας στην καλλιέργεια της τομάτας (*Lycopersicon esculentum* οικογ. *Solanaceae*) δημοφιλή σε κατανάλωση λαχανικό.

⇒ Έρευνα σε θερμοκηπιακή καλλιέργεια τομάτας έδειξε ότι η παραγωγή που εκπληρεί τα κριτήρια της αγοράς μειώνεται γραμμικά όταν αυξάνεται η αλατότητα πάνω από την κρίσιμη τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας ECt. Η μείωση της παραγωγής των νωπών καρπών λόγω της αλατότητας ως επί το πλείστον οφείλεται στη γραμμική μείωση του βάρους του καρπού (6,1% ανά  $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ), ενώ η ελάττωση του αριθμού των καρπών είχε μικρότερη σχετική συνεισφορά στη μείωση της παραγωγής. Αυξανόμενη η αλατότητα βελτιώνει διάφορες όψεις της ποιότητας των καρπών που προσδιορίζουν την εμπορική του τιμή όπως:

- (i) Την αναλογία των καρπών κατηγορίας "Extra" (υψηλή οπτική ποιότητα).
- (ii) Το περιεχόμενο των διαλυτών στερεών και της οξύτητας..

Η οικονομική ανάλυση έδειξε ότι η κρίσιμη τιμή EC της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στο νερό άρδευσης πάνω από την οποία το κέρδος από την παραγωγή μειώνεται ήταν  $3,3 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ , το όφελος που προέρχεται από την τιμή της αυξανόμενης οπτικής ποιότητας του καρπού δεν αντισταθμίζει την χαμηλή παραγωγή και το μικρότερο μέγεθος του καρπού. (Magan, J.J., et al., 2008)

⇒ Στην Καλιφόρνια καθορίστηκε η τακτική διαχείριση του προβλήματος σε περιφερειακή κλίμακα. Μελετητές εφάρμοσαν μαθηματική συνάρτηση που σχετίζει την αλατότητα με πίνακες κατάταξης της ποιότητας των προϊόντων. Η μέθοδος εστιάζεται στο περιεχόμενο του ολικού διαλυτού στερεού ως καταμέτρηση της ποιότητας για συμφωνημένες τιμές στους καλλιεργητές.

Οι ικανοποιητικές τιμές ποιότητας που υπολογίστηκαν από την μαθηματική συνάρτηση εισήχθησαν σε ένα μαθηματικό μοντέλο προγραμματισμού. Το μοντέλο υπολογίζει την βέλτιστη υδατική διαχείριση (ανάμειξη γλυκού επιφανειακού νερού με υφάλμυρο νερό από στραγγιστική απομάκρυνση) που απαιτείται για το επιθυμητό οικονομικό αποτέλεσμα (Kan, I.2008).

⇒ Σε άλλη έρευνα μελετήθηκε η επίδραση της αλατότητας στα καταναλωτικά χαρακτηριστικά του καρπού της τομάτας (*Lycopersicon esculentum* Mill). Ο κατάλογος διαβάθμιση της γεύσης και της χημικής σύνθεσης του καρπού που δημιουργήθηκε δηλώνει την σχέση μεταξύ ποικίλων καταναλωτικών προτιμήσεων με τον τρόπο μεταχείρισης NaCl στον προϊόν. Ο κατάλογος περιλαμβάνει τον βαθμό της γλυκύτητας, της οξύτητας, των στερεών διαλυτών (σακχάρων, εξόζη, οργανικά οξέα, αμινοξέα), του umami (i.e. η γεύση της νοστιμιάς). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ο βαθμός κατανάλωσης επηρεάστηκε από την μεταχείριση με NaCl (Sato, S., et al., 2006).

⇒ Σε φυτά τομάτας που εκτέθηκαν σε υψηλή συγκέντρωση NaCl σε δύο στάδια ωρίμανσης των καρπών (το άγουρο πράσινο στάδιο και το στάδιο μεταχρωματισμού), έδειξε ότι η αλατότητα βελτίωσε την ποιότητα του καρπού περισσότερο στο άγουρο πράσινο στάδιο από το στάδιο μεταχρωματισμού (Sakamoto, Y., et al., 1999).

Η αλατότητα αύξησε τη συγκέντρωση των διαλυμένων στερεών: κιτρικό οξύ, ασκορβικό οξύ,  $K^+$ , χλωροφύλλη a, χλωροφύλλη b, λυκοπένιο, καροτένιο και άλλων μεταλλικών στοιχείων στο καρπό, (Satti, S.M.E., et al., 1996).

⇒ Η βιομηχανική τομάτα είναι το σημαντικότερο λαχανικό στη βραζιλιάνικη αγροτική οικονομία, τοπική έρευνα εκτίμησε την ανεκτικότητα της σοδειάς σε συνθήκες αλατότητας. Η αύξηση της αλατότητας του νερού άνω του  $1 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$  μείωσε την συνολική συγκομιδή 11,0%, αυξάνοντας ταυτόχρονα την συγκέντρωση των διαλυτών στερεών και της οξύτητας των καρπών 13,9% και 9,4% αντίστοιχα.

Η μελέτη προτείνει ότι νερό με μέτριο επίπεδο αλατότητας, μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην άρδευση βιομηχανικής τομάτας, χωρίς σημαντικές απώλειες της σοδειάς. (Brasiliano Campos, C.A., et al., 2006).



Η σχετική παραγωγικότητα τομάτας υπό την επίδραση αυξανόμενων συγκεντρώσεων αλάτων στη ζώνη της ρίζας (Carter, 1982)								
Είδος Φυτού Τομάτα	Ηλεκτρική αγωγιμότητα (mmhos/cm)							Κατώφλιο Αλατότητας (mmhos/cm)
	1	2	4	6	8	12	16	
	100	100	85	65	46	6	0	2,5

### 1.2.7 Επίδραση της αλατότητας στην ανάπτυξη του φυτού

Η αλατότητα επηρεάζει δυσμενώς και την ανάπτυξη των φυτών. Πειράματα δείχνουν τα βλαβερά αποτελέσματα της αλατότητας στη φύτευση σπερμάτων και στον πολλαπλασιασμό με μόσχευμα (Hegazy, H. S., and Abdulhafez, A. 2004).

Κάτω από συνθήκες αλατότητας η φύτευση επιβραδύνεται, η αύξηση μειώνεται και δημιουργούνται νάνα φυτά. Τα φυτά είναι πιο ευαίσθητα στην αλατότητα του υποστρώματος (εμβολιασμένα και μη εμβολιασμένα) κατά τη διάρκεια των πρώτων σταδίων αύξησης, απ' ότι αργότερα, επειδή δε γίνεται οσμωτική εξισορρόπηση (Fernandez-Garcia, N., et al., 2004).

Η αντοχή των φυτών στα άλατα συνήθως είναι μεγαλύτερη όσο προχωρεί η βλαστική αύξηση, διότι ενισχύεται η ικανότητα των φυτών να αυξάνουν την οσμωτική πίεση του κυτταρικού τους χυμού. Μπορεί να εμποδίσει ή να καθυστερήσει τη βλάστηση και την ανάπτυξη του βλαστιδίου κατά τα πρώτα στάδια. (Debouba, M., et al., 2006).

Η αλατότητα επηρεάζει ακόμα και την ανθοφορία προκαλώντας πρωιμότητα της παραγωγής των καρπών (McCall, D., and Brazaityte, A. 1997). Η παρουσία υψηλής συγκέντρωσης υδατοδιαλυτών αλάτων στη ζώνη της ρίζας, επιδρούν αρνητικά στην ανάπτυξη των φυτών ανεξάρτητα από την φύση τους, με επιβράδυνση της αυξητικής δραστηριότητας. Κάτω από συνθήκες αλατότητας η ταχύτητα κινητοποίησης των αποθησαυριστικών ουσιών μειώνεται σημαντικά.

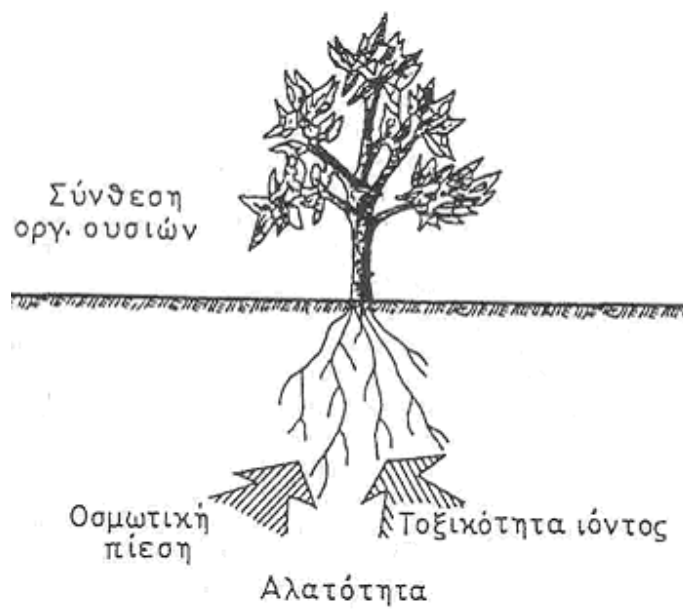
Η μείωση της ανάπτυξης για τα διάφορα φυτά, ταξινομείται σε κατηγορίες ευαισθησίας ανάλογα με το όριο αλατότητας στο οποίο εμφανίζεται η μείωση αυτή. Η ευαισθησία αυτή προσδιορίζεται με πειραματισμούς σε μικρές επιφάνειες ή δοχεία υπό ελεγχόμενες συνθήκες υγρασίας του ριζοστρώματος, γονιμότητας και φυτοπροστασίας. Στον πίνακα 6 δίδονται ποιοτικώς οι σχέσεις αλατότητας του ριζοστρώματος και οι συνέπειες της στα φυτά.

ΠΙΝΑΚΑΣ 6: ΕΠΙΠΕΔΑ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΡΙΖΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΑΥΤΗΣ ΣΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ (κατά Bernstein)

ECe ds/m	Οσμωτική Πίεση bar	Ανάπτυξη Φυτών
0	0	κανονική
2	1	μείωση στα ευαίσθητα φυτά
4	2	μείωση σε πολλές καλλιέργειες
8	4	ικανοποιητική μόνο σε ανθεκτικές καλλιέργειες
16	8	ικανοποιητική μόνο σε λίγες πολύ ανθεκτικές καλλιέργειες

Πολλές έρευνες επικεντρώνονται στο να προσπαθούν να προβλέψουν την πορεία των διαφόρων φυσιολογικών μηχανισμών του φυτού και την επίδραση τους στην ανάπτυξη σε συνθήκες αλατότητας, όπως:

- Συσχέτιση της διαπνοής, αναπνοής, φωτοσύνθεσης με την ανάπτυξη του φυτού (Karlberg, L., et al., 2006).
- Πρόσληψη, μεταφορά νερού και αφομοίωσης θρεπτικών στοιχείων από το φυτό (Reina-Sanchez, A., et al., 2005), (Plaut, Z., et al., 2004), (Bolarin, M.C., et al., 2001), (Romero-Aranda, R., et al., 2001), (Ho, L.C., and Adams, P. 1989).
- Συσχέτιση της συγκέντρωσης των θρεπτικών στοιχείων με την ανάπτυξη του φυτού (Carvajal, M., et al., 2000).



## ► ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.3:

### Σκοπός της διατριβής

---

#### 1.3.1 Η σημασία της αλατότητας ως αντικείμενο έρευνας

Το ενδιαφέρον για την αντοχή στα άλατα των φυτών οικονομικής σημασίας αυξάνεται, καθώς νέα προβλήματα που σχετίζονται με την αλατότητα προκύπτουν στη σύγχρονη Γεωργία. Τα προβλήματα αυτά ειδικά στην Ελλάδα αναμένεται να γίνουν σοβαρότερα στο μέλλον λόγω:

(α) της μειούμενης ανανέωσης του υπόγειου νερού, των μειωμένων βροχοπτώσεων και της διεύδυσης υφάλμυρου νερού στους υδροφορείς, σε πολλές περιοχές της χώρας μας που οδηγούν σε υποβάθμιση της ποιότητας του νερού άρδευσης (βλ υποκεφάλαιο 1.1.4). Σημαντική ευθύνη φέρει η τάση του κλίματος για θερμότερο και ξηρότερο κλίμα κατά τις τελευταίες δεκαετίες.

(β) της τάσης της σύγχρονης Γεωργίας για χρησιμοποίηση όλου του διαθέσιμου νερού και η άρδευση όσο το δυνατό μεγαλύτερης έκτασης προκειμένου να ικανοποιηθούν οι αυξανόμενες απαιτήσεις σε τρόφιμα και πρώτες ύλες. Για την κάλυψη των αναγκών της αγοράς η αύξηση της παραγωγής μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσα από περισσότερη αποδοτική γεωργία (επέκταση αρδευόμενων εκτάσεων & εισαγωγή στην καλλιέργεια νέες πιο παραγωγικές ποικιλίες φυτών, οι οποίες συνήθως είναι περισσότερο απαιτητικές σε νερό).

Συνεπώς, αναμένεται στο μέλλον να ενταθεί το ενδιαφέρον της γεωπονικής έρευνας στο θέμα της αλατότητας και ο προσανατολισμός για την τεχνολογική βελτίωση του προβλήματος

#### 1.3.2 Η τοποθέτηση του θέματος

Η έρευνα που σχετίζεται με την επιβίωση των φυτών σε συνθήκες υψηλής αλατότητας έχει πολλά άλυτα προβλήματα, η υποβολή των φυτών σε διαταραχή της φυσιολογίας τους κάνουν την υπόθεση εξαιρετικά δύσκολη στη δοκιμασία. Η μελέτη του φαινομένου είναι πολύπλοκη γιατί η αντοχή των φυτών στα άλατα είναι συνάρτηση κλιματικών, γενετικών, φυσιολογικών και παθολογικών παραγόντων.

Τα περισσότερα βιβλιογραφικά δεδομένα που έχουν συλλεχθεί είναι σε πλήρως ελεγχόμενο περιβάλλον (θερμοκήπιο) και σε μικρότερη κλίμακα σε ανοιχτό αγρό. Η πληρέστερη

μελέτη του προβλήματος πρέπει να περιλάβει τις φυσικές και χημικές ιδιότητες του υποστρώματος, τη συγκέντρωση, το είδος και τη σχετική αναλογία των αλάτων στο νερό άρδευσης, και την ανθεκτικότητα των φυτών στα άλατα. Στο εισαγωγικό μέρος της εργασίας γίνεται προσπάθεια προσέγγισης και ανάλυσης του θέματος σε όλες τις πτυχές (υπόστρωμα, φυσιολογία φυτών, άρδευση, οικονομία) με παράλληλη ανασκόπηση της τελευταίας βιβλιογραφίας.

Σκοπός της διατριβής είναι η μελέτη των επιπτώσεων της υψηλής αλατότητας NaCl στη παραγωγικότητα, στην ανάπτυξη και στη θρεπτική κατάσταση υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας. Επίσης στην παρούσα εργασία θελήσαμε να διερευνήσουμε την παρουσία της χημικής ένωσης SiO<sub>2</sub> στο θρεπτικό διάλυμα της υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας.

Το SiO<sub>2</sub> σε σχέση με το θέμα της επίδρασης της αλατότητας στα φυτά αποτελεί ένα σχετικό νέο αντικείμενο στη γεωπονική έρευνα. Παρόλο που το συγκεκριμένο στοιχείο (Si<sup>+4</sup>) βρίσκεται σε αφθονία στη φύση (ως συστατικό των ορυκτών), οι σχετικές έρευνες και βιβλιογραφίες αναφορικά για τον ρόλο του στα φυτά είναι πρόσφατες και λίγες. Σημαντικό ρόλο έχει η σχετική ευαισθησία και δυσκολία στη ανάλυση του (φασματοσκοπία ατομικής απορρόφησης) σε σχέση με υπόλοιπα χημικά στοιχεία, επομένως αποτελεί ένα πεδίο πρόκλησης.

Αναλυτικότερα στην παρούσα διατριβή μελετώνται οι επιπτώσεις της αλατότητας στα εξής:

1. Το ύψος και ο αριθμός φύλλων των φυτών.
2. Φυλλική επιφάνεια (μέσο μέγεθος φύλλου, μέση φυλλική επιφάνεια ανά φυτό mm<sup>2</sup>).
3. Παραγόμενο ξηρό βάρος των βλαστών, ριζών και φύλλων.
4. Η απαίτηση νερού ανά μονάδα παραγόμενου νωπού προϊόντος (Water Use Efficiency).
5. Ποσοστό ξηρού βάρους προς νωπό των φύλλων (Dry Matter Content %).
6. Η χημική ανάλυση ανόργανων στοιχείων (K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Si<sup>+4</sup>) των φυτικών ιστών (φύλλων, ριζών) και των θρεπτικών διαλυμάτων.
7. Αριθμός, μέσο βάρος και αθροιστική παραγωγή των καρπών.
8. Η ταχύτητα αύξησης της ρίζας.
9. Ξηρή Σήψη Κορυφής καρπού.

## **B. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ**

## ► ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.1:

### Υλικά & μέθοδος πειραματισμού

---

#### 2.1.1 Γενετικό υλικό

Για το πείραμα μας αγοράσθηκαν φυτάρια τομάτας (*Lycopersicon esculentum* οικογ. Solanaceae) του υβριδίου F1 "ΕΛΠΙΔΑ" από τον σποροπαραγωγικό οίκο ΣΠΥΡΟΥ-ΣΠΥΡΟΥ.

#### 2.1.2 Θερμοκήπιο

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε σε θερμοκήπιο του εργαστηρίου «Γεωργικών Κατασκευών» του ΓΠΑ, βρίσκεται σε υψόμετρο 38 m από την επιφάνεια της θάλασσας και με Γεωγραφικές Συντεταγμένες (ΓΠ=37,59° ΓΜ=23,42°). Στη συνέχεια δίνονται μερικά κατασκευαστικά στοιχεία που το χαρακτηρίζουν:

- Το σχήμα της κατασκευής είναι αμφικλινής
- Υλικό κάλυψης το πολυαιθυλένιο (PE)
- Είναι διπλής γραμμής δηλαδή αποτελείται από δύο σειρές θερμοκηπιακών κατασκευαστικών μονάδων που έχουν συνδεθεί μεταξύ τους στην μια πλευρά.
- Ο εξαερισμός του θερμοκηπίου ήταν φυσικός και πραγματοποιήθηκε με δύο παράθυρα οροφής και δύο πλευρικά παράθυρα.



Εικόνα 1-2: Εσωτερική και εξωτερική όψη του θερμοκηπίου

### 2.1.3 Οι απαιτούμενες χημικές ενώσεις

Η επόμενη στήλη περιλαμβάνει τα λιπάσματα που χρησιμοποιήθηκαν για την σύνθεση των θρεπτικών διαλυμάτων (μακροστοιχεία, ιχνοστοιχεία, οξέα) καθώς και τις επιπλέον ενώσεις που προσθέσαμε στις υδροπονικές καλλιέργειες (NaCl, SiO<sub>2</sub>):

Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> της εταιρείας nitrogal cuf abudos de Portugal
MgSO <sub>4</sub> της εταιρείας MEE
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> της εταιρείας MEE
Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> της εταιρείας nitrogal cuf abudos de Portugal
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> της εταιρείας nitrogal cuf abudos de Portugal
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> της εταιρείας Hoechst
KNO <sub>3</sub> <sup>-</sup> της εταιρείας Haifa multi – K GG
HNO <sub>3</sub> <sup>-</sup> της εταιρείας Riedal –de Haen
HCL της εταιρείας MERCK
Χηλικός σίδηρος Fe-DTPA (9% Fe) της εταιρείας AGRI-Fe
MnSO <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O (32% Mn) της εταιρείας Riedel-de Haen
ZnSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O (23% Zn) της εταιρείας Fluka Chemika
Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> ·10H <sub>2</sub> O (11% B) της εταιρείας MERCK
CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O (25% Cu) της εταιρείας Fluka Chemika
NaMoO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O (40% Mo) της εταιρείας Mallinckrodt
NaCl της εταιρείας PANREAC QUIMICA SAU
Πυρίτιο με περιεκτικότητα κατά βάρος K <sub>2</sub> O 2% SiO <sub>2</sub> 5% ήταν κοινό της αγοράς



### 2.1.4 Εξοπλισμός και επιστημονικά όργανα

Στο θερμοκήπιο χρησιμοποιήθηκαν μαύροι πλαστικοί κεντρικοί σωλήνες διαμέτρου 25Φ της εταιρείας POLVGLAS που τοποθετήθηκαν στην επιφάνεια του εδάφους. Το ένα άκρο είναι συνδεδεμένο με την υποβρύχια αντλία που βρίσκεται στη δεξαμενή και παραλαμβάνει το θρεπτικό διάλυμα, το άλλο επιστρέφει το περισσευούμενο θρεπτικό διάλυμα που δεν διοχετεύθηκε στο κανάλι NFT. Πάνω στους κεντρικούς σωλήνες ξεκινούν σωληνάρια 20 Φ που καταλήγουν σε σταλάκτες όπου παρέχουν το θρεπτικό διάλυμα στην υδροπονική καλλιέργεια. Σε κάθε δεξαμενή θρεπτικού διαλύματος υπήρχε υποβρύχια αντλία της εταιρείας DAB μοντέλο NOVA 300, η συγκεκριμένη αντλία έχει παροχή Q: 13,02 m<sup>3</sup>/h.

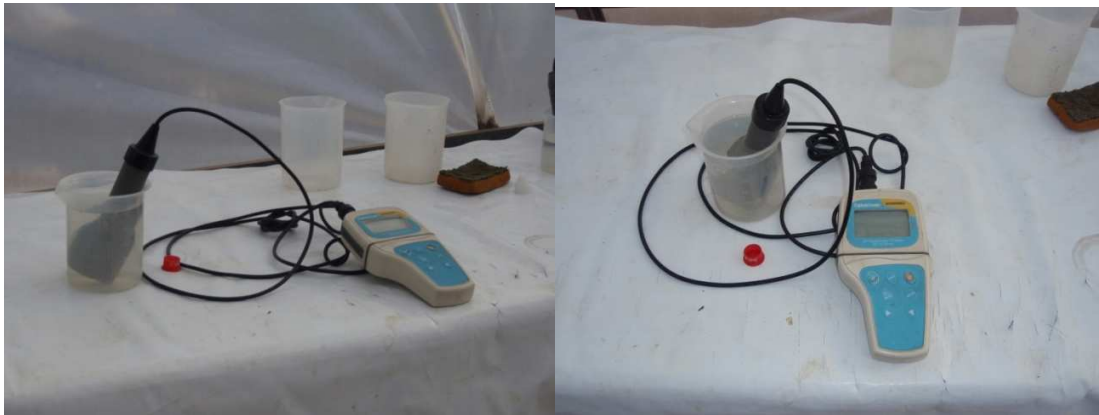
Το σύστημα θέρμανσης περιλάμβανε δύο ηλεκτρικά αερόθερμα της εταιρείας Βαλιάδη Σία. Η λειτουργία των δύο αερόθερμων ρυθμιζόταν από θερμοστάτη χώρου, με κατώτερο επίπεδο θερμοκρασίας τους 12°C, καθώς η τομάτα είναι ετήσιο λαχανικό με απαιτήσεις θερμού κλίματος.



Εικόνα 4-5: Αερόθερμο και θερμοστάτης χώρου

Οι ζυγίσεις των δειγμάτων προς χημική ανάλυση και των ιχνοστοιχείων για την παρασκευή πυκνών θρεπτικών διαλυμάτων έγιναν με ζυγό, ακρίβειας τεσσάρων δεκαδικών της εταιρείας SCALTEC μοντέλο SBA32. Ενώ για την ζύγιση των μακροστοιχείων χρησιμοποιήθηκε ζυγός ακρίβειας ενός δεκαδικού της εταιρείας Electronic Scale.

Οι μετρήσεις του pH και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας EC πραγματοποιήθηκαν από φορητό όργανο της εταιρείας Cyber Scan μοντέλο waterproof το οποίο επέτρεπε την παράλληλη μέτρηση των δύο τιμών, για την βαθμονόμηση του pH χρησιμοποιήθηκαν πρότυπα διαλύματα pH=2,4,7,10.



Εικόνα 6-7: Φορητό όργανο μέτρησης PH και ηλεκτρικής αγωγιμότητας EC

Τέλος η αποξήρανση των φυτικών ιστών (για τον υπολογισμό ξηρού βάρους & υγρασίας) πραγματοποιήθηκε με κλίβανο elvem, η καύση σε κλίβανο της F.11, GALLI G&P ενώ για την λειοτρίβηση μύλος της εταιρείας IKA μοντέλο A11 basic.

### **2.1.5 Ο πειραματικός σχεδιασμός-Στατιστική ανάλυση**

Χρησιμοποιήθηκε το πειραματικό σχέδιο τύπου Εντελώς Τυχαιοποιημένο Σχέδιο καθώς οι πειραματικές μονάδες χαρακτηρίζονται από ομοιογένεια (ομοιόμορφες συνθήκες φωτισμού, υγρασίας, θερμοκρασίας και όλα τα αρχικά φυτά είχαν το ίδιο βάρος και άνηκαν στο ίδιο γενετικό υλικό F1 "Ελπίδα") και ανταποκρίνεται στις προϋποθέσεις του σχεδίου.

Το Εντελώς Τυχαιοποιημένο Σχέδιο (ΕΤΣ) είναι απλό και εύχρηστο πειραματικό σχέδιο, χρησιμοποιείται σε πειραματικές μονάδες που χαρακτηρίζονται από ομοιογένεια. Η προϋπόθεση της ομοιογένειας καθιστά το σχέδιο ιδανικό σε πειράματα θερμοκηπίου. Οι επεμβάσεις μοιράζονται στις πειραματικές μονάδες με εντελώς τυχαίο τρόπο. Κάθε πειραματική μονάδα έχει την ίδια πιθανότητα να δεχθεί κάθε επέμβαση. Η τυχαιοποίηση έγινε με τη χρήση πινάκων τυχαίων αριθμών (Π. Ι Καλτσίκη Πίνακες Γεωργικού Πειραματισμού, 1990).

Στο σύνολο των μετρήσεων του πειράματος έγινε στατιστική επεξεργασία με τη βοήθεια του στατιστικού πακέτου STATISTICA (version 5.0). Το ίδιο στατιστικό πακέτο χρησιμοποιήθηκε και για δημιουργία των γραφικών παραστάσεων. Η αξιολόγηση της σημαντικότητας των αποτελεσμάτων ανάμεσα στις επεμβάσεις (κανονικό θρεπτικό διάλυμα,

διαχωρισμένη ρίζα, θρεπτικό διάλυμα  $\text{NaCl}$ , θρεπτικό διάλυμα  $\text{NaCl}$  &  $\text{SiO}_2$ ) του πειράματος πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του test LSD Fisher, για επίπεδο σημαντικότητας 5% ( $\alpha=0,05$ ).



## ► ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.2:

### Η μέθοδος καλλιέργειας

---

#### 2.2.1 Υδροπονία

Η υδροπονία (από τις ελληνικές λέξεις «ύδωρ», νερό, και «πόνος», εργασία) επιλέχθηκε ως μέθοδος καλλιέργειας για την πραγματοποίηση του πειράματος. Η υδροπονία είναι το σύστημα καλλιέργειας των φυτών σύμφωνα με το οποίο τα φυτά καλλιεργούνται αντί σε έδαφος σε πορώδη αδρανή υποστρώματα (ανόργανο ή οργανικό) με προσθήκη θρεπτικού διαλύματος ή χωρίς την μηχανική υποστήριξη ενός αδρανούς μέσου δηλαδή μόνο με θρεπτικό διάλυμα.

Το θρεπτικό διάλυμα αποτελείται από διάφορες χημικές ενώσεις που περιέχουν τα κυριότερα στοιχεία που είναι αναγκαία για την ανάπτυξη του φυτού τα μακροστοιχεία, όπως άζωτο, φώσφορο, κάλιο, θείο, μαγνήσιο και ασβέστιο και τα μικροστοιχεία ή ιχνοστοιχεία όπως σίδηρος, μαγγάνιο, χαλκός, ψευδάργυρος, μολυβδαίνιο και βόριο.

Η καλλιέργεια φυτών σε υδατικά διαλύματα πλούσια σε θρεπτικά στοιχεία έχει επιτευχθεί στο εργαστήριο εδώ και πολλά χρόνια για επιστημονικές έρευνες. Οι δυνατότητες της τεχνικής αυτής προκάλεσαν μεγάλο ενδιαφέρον, και οι πρώτες σε εμπορική κλίμακα υδροπονικές καλλιέργειες αποτέλεσαν εξέλιξη των εργαστηριακών μεθόδων που οι επιστήμονες χρησιμοποιούσαν επί χρόνια.

#### 2.2.2 Η εγκατάσταση και η περιγραφή της μεθόδου καλλιέργειας

Ανάλογα με την τεχνολογία και τα υλικά που χρησιμοποιούνται στην υδροπονία οι υδροπονικές καλλιέργειες ταξινομούνται σε διάφορα συστήματα και μεθόδους. Στην περίπτωση μας χρησιμοποιήσαμε σύστημα καλλιέργειας χωρίς πορώδη υπόστρωμα και συγκεκριμένα την μέθοδο της μεμβράνης θρεπτικού διαλύματος (NFT).

**Περιγραφή της μεθόδου (NFT):** Με τη μέθοδο αυτή τα φυτά αναπτύσσονται σε μακριά αδιάβροχα κανάλια, όπου ρέει ένα πολύ ρηχό ρεύμα ανακυκλούμενο θρεπτικού διαλύματος. Η ρίζα αναπτύσσεται επάνω στο θρεπτικό διάλυμα, χωρίς να υπάρχει κανένα πορώδες υπόστρωμα.

Με την ανάπτυξη της ρίζας δημιουργείται ένα παχύ πλέγμα ριζών (Εικ. 8), στο οποίο συμπλέκονται οι ρίζες από όλα τα φυτά του καναλιού και το οποίο αποτελεί το κάτω στήριγμα των φυτών. Το ρηχό ρεύμα του θρεπτικού διαλύματος περνά κάτω από το ριζικό πλέγμα, ενώ το επάνω μέρος του ριζικού πλέγματος, αν και είναι υγρό, βρίσκεται περισσότερο στον αέρα που του επιτρέπει καλή οξυγόνωση. Το θρεπτικό διάλυμα τροφοδοτείται στο υψηλότερο σημείο του καναλιού και με τη βαρύτητα καταλήγει στο χαμηλότερο σημείο, απ' όπου με σωληνώσεις επιστρέφει στη δεξαμενή θρεπτικού διαλύματος (Μαυρογιαννόπουλος 2006).



Εικόνα 8: Το παχύ πλέγμα των ριζών

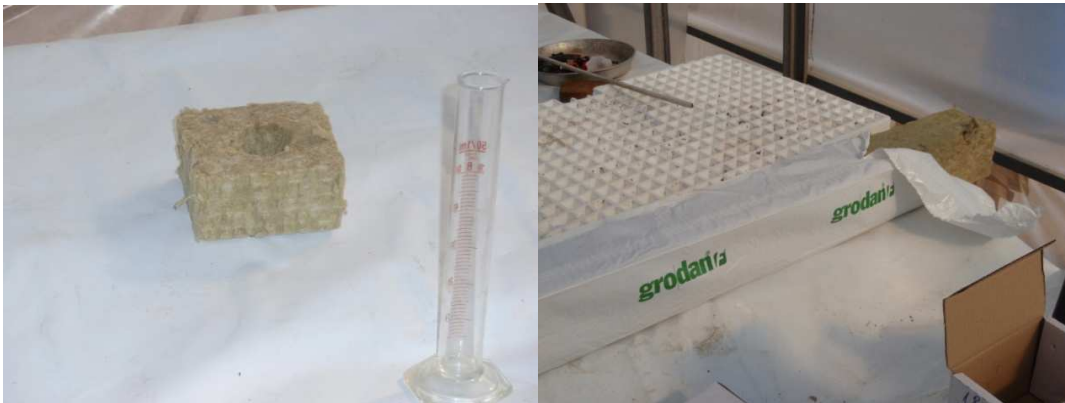
Τα κανάλια που βρίσκονται οι ρίζες των φυτών έχουν πλάτος 30 cm., και συνολικό μήκος 7 μέτρα, είναι κατασκευασμένα από λαμαρίνα που στερεώνεται επάνω σε σιδερένιο σκελετό (Εικ 9). Τα κανάλια αδιαβροχοποιούνται με πλαστικό φύλλο διπλής όψεως. Το πλαστικό φύλλο διπλώνει και κλείνει στο επάνω μέρος δημιουργώντας ένα σκοτεινό περιβάλλον στη ρίζα (Εικ. 10). Μέσα στο χώρο που σχηματίζει το πλαστικό φύλλο αναπτύσσονται οι ρίζες των φυτών. Η κλίση των καναλιών διαμορφώνεται σε 2%.



Εικόνα 9-10: κανάλι NFT – πλαστικό φύλλο διπλωμένο

⇒ **Στάδιο Μεταφύτευσης** (Πέμπτη 15 Νοεμβρίου 2007): Από κιβώτιο σποράς (κατασκευασμένο από φελιζόλ) διαστάσεων 30 x 50 cm περίπου προήλθαν τα φυτάρια που χρησιμοποιήθηκαν στην καλλιέργεια μας, το κάθε φυτάριο βρισκόταν σε ένα κελί που ήταν γεμάτο με απολυμασμένο συνθετικό μίγμα (τύρφη + άμμος). Τα φυτάρια μεταφέρθηκαν σε κύβους ορυκτοβάμβακα (Εικ. 11), με όσο το δυνατόν περισσότερο από το ριζικό τους σύστημα, σε τρύπα που είχε ανοιχτεί με ένα "φυτευτήρι". Το βάθος της φύτευσης αυτής της τρύπας ήταν ελαφρώς πιο βαθιά από το σημείο που ξεκινά να διακλαδίζεται η ρίζα (όχι περισσότερο).

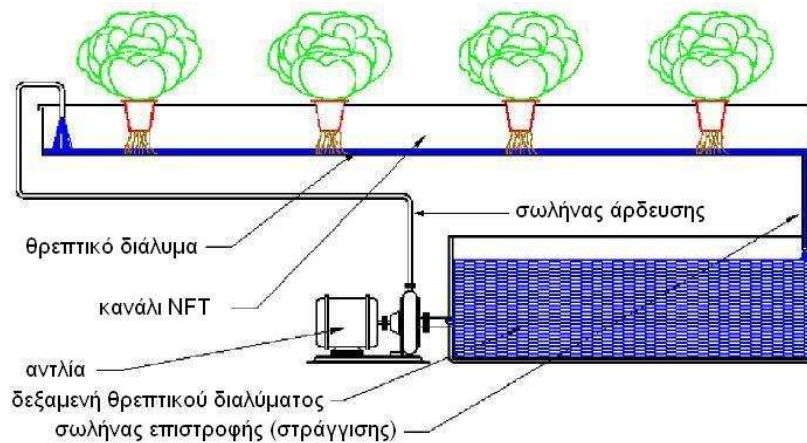
Η εξαγωγή του φυταρίου από το φελιζόλ (Εικ. 12), γινόταν με προσοχή για να αποφευχθεί η ζημιά στο ριζικό σύστημα, και αφού τοποθετηθεί στο κύβο, πιέζεται ελαφρά. Μετά την τοποθέτηση του νεαρού φυτού ακολούθησε ελαφρά πίεση του υποστρώματος, για να έρθουν σε επαφή ρίζα και ορυκτοβάμβακα, και ακολουθεί πότισμα. Οι κύβοι προήλθαν από τεμαχισμό στήλης ορυκτοβάμβακα της εταιρείας Grodan (Εικ 12).



Εικόνα 11-12: κύβος και στήλη ορυκτοβάμβακα (δίπλα βρίσκεται το κιβώτιο σποράς)

Επειδή τις ημέρες που ακολούθησαν την μεταφύτευση επικρατούσε μεγάλη ηλιοφάνεια, τα φυτά ποτίζονταν 2 φορές την ημέρα (πρωί-απόγευμα) για να αυξηθεί η υγρασία και να μειωθεί η ένταση (καταπόνηση) στο ριζικό σύστημα του φυτού. Οι ατομικοί κύβοι ορυκτοβάμβακα των φυτών τοποθετήθηκαν σε κανάλια NFT σε αποστάσεις 15 cm μεταξύ των θέσεων τοποθέτησης που απέχουν επί της γραμμής.





Σχήμα 4: Υδροπονική μέθοδος μεμβράνης θρεπτικού διαλύματος (NFT)

### 2.2.3 Οι επεμβάσεις του πειράματος

Η μεταφύτευση (Πέμπτη 15 Νοεμβρίου 2007) πραγματοποιήθηκε σε συνολικά 6 κανάλια NFT, τα κανάλια χωρίστηκαν σε 4 κλειστά υδροπονικά συστήματα:

A: Αποτελείται από 2 κανάλια NFT που απαρτίζεται από 23 φυτά.

B: Αποτελείται από 2 κανάλια NFT που το καθένα αποτελείται από 24 φυτά σύνολο 48 φυτά.

D: Αποτελείται από 1 κανάλι NFT που απαρτίζεται από 24 φυτά

E: Αποτελείται από 1 κανάλι NFT που απαρτίζεται από 24 φυτά.

Μετά την τοποθέτηση των φυτών στα κανάλια NFT, όλα τα φυτά αναπτύχθηκαν μέχρι την Πέμπτη 13 Δεκεμβρίου 2007 με κανονικό θρεπτικό διάλυμα (PH=5,5-6 και ηλεκτρική αγωγιμότητα EC=1900-2000 $\mu$ S/mm).

Την ίδια ημερομηνία πραγματοποιήθηκαν οι δύο επεμβάσεις: η πρώτη με βάση το NaCl στις δεξαμενές των A,D και E (προσθήκη 2,922 gr NaCl/lit θρεπτικού διαλύματος και αντίστοιχη αύξηση της τιμής της ηλεκτρικής αγωγιμότητας EC μεταξύ 6,6 και 6,8 mS/cm). Σκοπός της επέμβασης του NaCl είναι η δημιουργία συνθηκών υψηλής συγκέντρωσης NaCl (συνεπώς υψηλή αλατότητα) στο περιβάλλον της ρίζας ώστε να μελετηθούν οι επιπτώσεις της.

Ταυτόχρονα πραγματοποιήθηκε και η δεύτερη επέμβαση με βάση το  $\text{SiO}_2$  στη δεξαμενή του D (προσθήκη 0,385 gr διάλυμα  $\text{SiO}_2/\text{lt}$  θρεπτικού διαλύματος), την ίδια μέρα πραγματοποιήθηκε *διαχωρισμός του ριζικού συστήματος* του A σε δύο ίσα τμήματα, το ένα τμήμα συνδέθηκε με την δεξαμενή του D (θρεπτικά στοιχεία +  $\text{NaCl}$  +  $\text{SiO}_2$ ) και το άλλο με τη δεξαμενή A (θρεπτικά στοιχεία +  $\text{NaCl}$ ).



Εικόνα 13-14: διαχωρισμός του ριζικού συστήματος σε δύο τμήματα

Η αναλογία της επέμβασης του  $\text{NaCl}$  στις δεξαμενές των A, D και E αυξήθηκε σε 5,844 gr  $\text{NaCl}/\text{lt}$  θρεπτικού διαλύματος και αντίστοιχα η τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας EC στους 12 mS/cm (Σάββατο 22 Δεκεμβρίου 2007), η πρώτη αναλογία του  $\text{NaCl}$  στο θρεπτικό διάλυμα αποτέλεσε στάδιο προσαρμογής της φυσιολογίας των φυτών στο τελικό επίπεδο της αλατότητας.

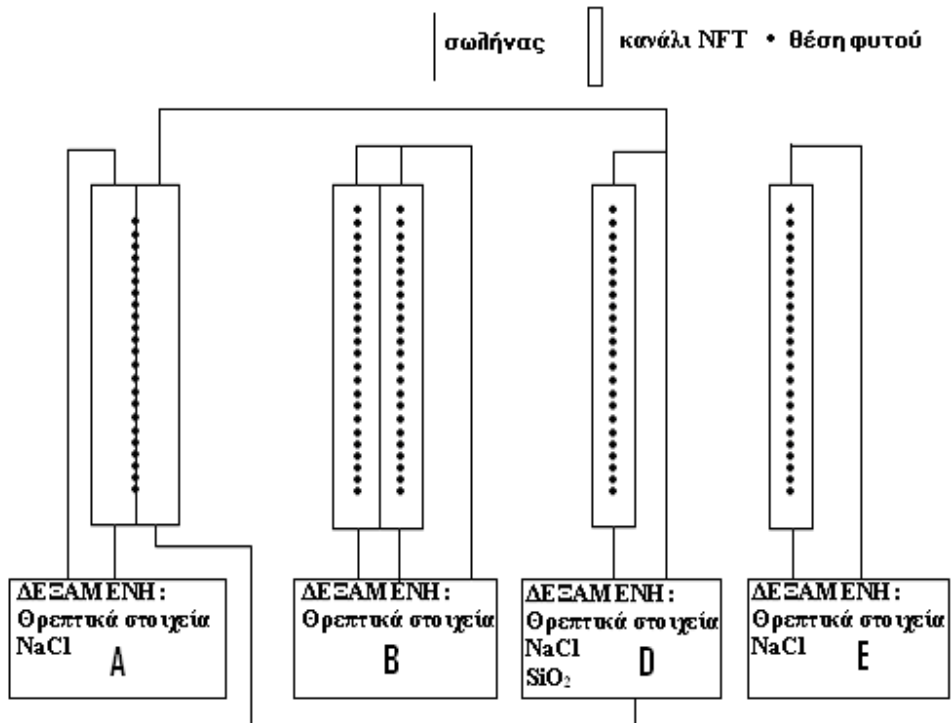
Η αναλογία της επέμβασης του  $\text{SiO}_2$  στη δεξαμενή του D αυξήθηκε διαδοχικά σε 1,2 gr διάλυμα  $\text{SiO}_2/\text{lt}$  θρεπτικού διαλύματος (Δευτέρα 4 Φεβρουαρίου 2008) και σε 2,4 gr διάλυμα  $\text{SiO}_2/\text{lt}$  θρεπτικού διαλύματος (Τρίτη 11 Μαρτίου 2008).

Το Σάββατο 10 Μαΐου 2008 πραγματοποιήθηκε μείωση της αναλογίας της επέμβασης του  $\text{NaCl}$  στις δεξαμενές A, D και E σε 3,5 gr  $\text{NaCl}/\text{lt}$  θρεπτικού διαλύματος με αντίστοιχη μείωση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας EC στους 8 mS/cm (από  $\text{EC}=12$  mS που ήταν πριν), ενώ παρέμεινε σταθερή η αναλογία της επέμβασης του  $\text{SiO}_2$  στη δεξαμενή του D (2,4 gr  $\text{SiO}_2/\text{lt}$  θρεπτικού διαλύματος). Η μείωση της αναλογίας του  $\text{NaCl}$  στο θρεπτικό διάλυμα αποσκοπούσε στην άμβλυνση της καταπόνησης των φυτών λόγω των υψηλών θερμοκρασιών στο θερμοκήπιο ( $35^\circ\text{C}$ - $40^\circ\text{C}$ ).

Σε όλη τη διάρκεια του πειράματος τα φυτά λάμβαναν αδιάκοπτα το κανονικό θρεπτικό διάλυμα (PH=5,5-6 και ηλεκτρική αγωγιμότητα  $\text{EC}=1800$ - $1900\mu\text{S}/\text{mm}$ ) παράλληλα με τις



εκάστοτε επεμβάσεις. Τέλος την Τρίτη 10 Ιουνίου 2008 τερματίστηκε η καλλιεργητική περίοδος.



Σχήμα 5: Παραστατικό σχέδιο της πειραματικής καλλιέργειας

#### 2.2.4 Υπολογισμός της σύνθεσης των θρεπτικών διαλυμάτων

Στα κλειστά υδροπονικά συστήματα όπως είδαμε το διάλυμα που προωθείται στα φυτά είναι ένα μείγμα που προέρχεται από το επιστρέφον διάλυμα, την προσθήκη καθαρού νερού και τα λιπαντικά στοιχεία που προστίθενται στο διάλυμα από τα πυκνά θρεπτικά διαλύματα.

Ο υπολογισμός της σύνθεσης των θρεπτικών διαλυμάτων στην υδροπονική μας καλλιέργεια πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με την διαδικασία που περιγράφεται στο σύγγραμμα «Υδροπονικές Εγκαταστάσεις» του Καθηγητή Γ. Μαυρογιαννόπουλο και αποτελείται από δύο μέρη.

Το πρώτο μέρος αφορά στον υπολογισμό των μακροστοιχείων και το δεύτερο μέρος αφορά τα ιχνοστοιχεία. Στον υπολογισμό των μακροστοιχείων η προσθήκη μιας ποσότητας λιπάσματος θα πρέπει να υπολογιστούν οι μεταβολές δύο ή περισσότερων θρεπτικών στοιχείων.

Το δεύτερο μέρος των υπολογισμών αφορά τα ιχνοστοιχεία. Σε αυτήν την περίπτωση οι υπολογισμοί είναι πολύ απλούστεροι, γιατί το κάθε άλας με το οποίο γίνεται η προσθήκη ιχνοστοιχείων δεν περιέχει άλλα ιχνοστοιχεία παρά σε ασήμαντη μόνο ποσότητα και συγκριτικά με τα μακροστοιχεία είναι αμελητέα.

#### ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΜΑΚΡΟΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Παρακάτω στον πίνακα (1) αναφέρεται ο υπολογισμός των μακροστοιχείων του θρεπτικού διαλύματος τροφοδοσίας, χρησιμοποιώντας νερό από την παρούσα περιοχή (δίκτυο ύδρευσης του ΓΠΑ).

Πίνακας (1)

στήλη 1	στήλη 2	ΒΑΣΙΚΗ ΣΥΝΘΕΣΗ									
		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>
	mmol/l										
	γραμμή 3	10,5	1,5	2,5	0,5	7	3,75	1	0		
		ΔΙΟΡΘΩΣΗ									
Ανάλυση Νερού	γραμμή 5	0	0	0	0	0	0,85	0,25	2,2	0,26	0,26
		ΠΡΟΣΘΗΚΗ									
	γραμμή 7	10,5	1,5	2,5	0,5	7	2,9	0,75	2,2		
ΛΙΠΑΣΜΑ mmol/l											
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	2,9	5,8					2,9				
MgSO <sub>4</sub>	0,75			0,75				0,75			
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1,75			1,75		3,5					
Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>											
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,5	0,5			0,5						
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	1,5		1,5						1,5		
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>											
KNO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	3,5	3,5				3,5					
HNO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,7	0,7							0,7		

Στην τρίτη γραμμή του πίνακα (1) δίνεται η βασική σύνθεση σε ιόντα (ποσότητες σε mmol/l) του θρεπτικού διαλύματος που θα χρησιμοποιήσουμε στη πειραματική καλλιέργεια μας κατάλληλη για τομάτα.

Το νερό που χρησιμοποιήθηκε για την παρασκευή των θεραπευτικών διαλυμάτων περιείχε όμως διάφορες ποσότητες ιόντων, στην πέμπτη γραμμή του πίνακα αναφέρονται οι αντίστοιχες ποσότητες των ιόντων που περιέχονται στο νερό (ποσότητες σε mmol/l).

Από τις ποσότητες των ιόντων της βασικής σύνθεσης (τρίτη γραμμή) αφαιρούνται οι αντίστοιχες ποσότητες των ιόντων ( $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ) που περιέχονται στο νερό (πέμπτη γραμμή), ενώ για την εξουδετέρωση του  $\text{HCO}_3^-$  (αλκαλική αντίδραση του νερού) προστίθενται τα οξέα  $\text{HNO}_3^-$  και  $\text{H}_3\text{PO}_4^-$ . Επομένως, η σύνθεση των ιόντων που απαιτούνται, για να παρασκευαστεί το επιθυμητό θεραπευτικό διάλυμα, αναφέρονται πλέον στην έβδομη γραμμή του πίνακα.

Στην πρώτη στήλη αναγράφονται με σειρά τα λιπάσματα που είναι διαθέσιμα για την παρασκευή του θεραπευτικού διαλύματος. Στις στήλες κάτω από κάθε ιόν αναγράφεται η ποσότητα του ιόντος που θα καλυφθεί από το κάθε λίπασμα. Στη δεύτερη στήλη του πίνακα αναγράφεται η προκύπτουσα ποσότητα σε mmol του λιπάσματος που απαιτείται.

Μετά τη συμπλήρωση του πίνακα αθροίζονται οι τιμές της κάθε στήλης, όλων των ιόντων, για να γίνει η επαλήθευση με τις τιμές της βασικής σύνθεσης (τρίτη γραμμή). Το άθροισμα των αρνητικά φορτισμένων ιόντων σε meq/l πρέπει να είναι ίσο με το άθροισμα των θετικά φορτισμένων στο θεραπευτικό διάλυμα.

$$[0,5 \text{ mmol/l NH}_4^+ \times 1] + [7 \text{ mmol/l K}^+ \times 1] + [3,75 \text{ mmol/l Ca}^{2+} \times 2] + [1 \text{ mmol/l Mg}^{2+} \times 2] + [0,26 \text{ mmol/l Na}^+ \times 1]^* = [10,5 \text{ mmol/l NO}_3^- \times 1] + [1,5 \text{ mmol/l H}_2\text{PO}_4^- \times 1] + [2,5 \text{ mmol/l SO}_4^{2-} \times 2] + [0,26 \text{ Cl}^- \text{ mmol/l} \times 1]^* = 17,26 \text{ meq/l}$$

\*Το νερό πλην αυτών που αναφέρθηκαν περιέχει και ιόντα NaCl, τότε η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) του θεραπευτικού διαλύματος είναι το άθροισμα της EC που προέρχεται από τα ανόργανα θεραπευτικά στοιχεία συν αυτή που προέρχεται από τα ιόντα του NaCl.

Από τα meq/l που υπολογίστηκαν προηγουμένως για τη βασική σύνθεση γίνεται η εκτίμηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) που πρέπει να έχει το θεραπευτικό διάλυμα, ώστε τα απαιτούμενα ιόντα να βρίσκονται στις επιθυμητές συγκεντρώσεις:

$$EC \approx 17,26 \text{ meq l}^{-1} / 10 \approx 1,726 \text{ dS/m.}$$

Τελικά, η ηλεκτρική αγωγιμότητα EC που διαμορφώνεται είναι το άθροισμα της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του νερού και αυτής που δημιουργούν τα αναγκαία θεραπευτικά στοιχεία.

## ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΙΧΝΟΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Η διαδικασία υπολογισμού των ιχνοστοιχείων είναι ίδια με εκείνη των μακροστοιχείων με την διαφορά ότι εκφράζονται σε  $\mu\text{mol/l}$ .

Πίνακας: (2)

	$\mu\text{mol/l}$	Fe	Mn	Zn	B	Cu	Mo
Επιθυμητή Σύνθεση		40	20	4	20	0,5	0,5
Ανάλυση Νερού		0	0	0	0	0	0
Διόρθωση		0	0	0	0	0	0
Προσθήκη		40	20	4	20	0,5	0,5
Είδος Λιπάσματος							
Fe-DTPA (9% Fe)	40	40					
MnSO <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O (32% Mn)	20		20				
ZnSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O (23% Zn)	4			4			
Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> ·10H <sub>2</sub> O (11% B)	5				20		
CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O (25% Cu)	1					1	
NaMoO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O (40% Mo)	1						1

## ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΩΝ ΛΙΠΑΣΜΑΤΩΝ

Τα πυκνά διαλύματα που παρασκευάσαμε για τη λίπανση των φυτών τοποθετούνται σε τρία δοχεία (Εικ. 13-14-15). Το πρώτο δοχείο (Α), περιέχει το νιτρικό ασβέστιο και μια ποσότητα από το νιτρικό κάλιο και χηλικό σίδηρο το δεύτερο δοχείο (Β) περιέχει όλα τα άλλα ιχνοστοιχεία και μακροστοιχεία και το τρίτο δοχείο (Ο) περιέχει τα οξέα νιτρικό και φωσφορικό για τη διόρθωση του PH. Το νιτρικό ασβέστιο Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> δεν τοποθετείται μαζί με τα θειικά λιπάσματα, γιατί το θειικό ασβέστιο που σχηματίζεται είναι αδιάλυτο άλας και απομακρύνεται από το διάλυμα, πέφτοντας ως ίζημα στον πυθμένα του δοχείου. Η χωρητικότητα των δοχείων είναι 30 λίτρα.



Εικόνες 13-14-15: Δοχείο Α – Δοχείο Β – Δοχείο Ο

Επειδή θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε υψηλότερης ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) θρεπτικό διάλυμα τροφοδοσίας, από αυτό που προκύπτει με τη βασική σύνθεση, τότε αυξάνουμε κατά το αντίστοιχο ποσοστό την ποσότητα των ιόντων της βασικής σύνθεσης και μετά υπολογίζεται η ποσότητα των λιπασμάτων που απαιτούνται για να δημιουργηθεί το διάλυμα.

Στο πίνακα η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) που έχει το θρεπτικό διάλυμα τροφοδοσίας υπολογίστηκε σε 1,726 dS/m για να τροφοδοτούμε τα φυτά με θρεπτικό διάλυμα υψηλότερης ηλεκτρικής αγωγιμότητας 2,0 dS/m, θα χρειαστεί να πολλαπλασιάσουμε τις ποσότητες της βασικής σύνθεσης της τρίτης γραμμής του πίνακα 1 με το συντελεστή διόρθωσης.

**ΜΑΚΡΟΣΤΟΙΧΕΙΑ:** Ο υπολογισμός των συγκεκριμένων ποσοτήτων λιπασμάτων σε  $\text{kg}/\text{m}^3$  γίνεται μέσω μετατροπής των  $\text{mmol}/\text{l}$  της συγκέντρωσης σε μονάδες βάρους (πολλαπλασιασμός με το γραμμομόριο του άλατος-λιπάσματος) και αναγωγής στο συγκεκριμένο όγκο διαλύματος που πρόκειται να παρασκευαστεί.

**ΙΧΝΟΣΤΟΙΧΕΙΑ:** Για να υπολογιστούν οι ποσότητες των λιπασμάτων που περιέχουν τα ιχνοστοιχεία, ώστε να παρασκευαστεί δεδομένος όγκος πυκνού διαλύματος ιχνοστοιχείων, μπορεί απλώς να πολλαπλασιαστεί η επιζητούμενη συγκέντρωση του εκάστοτε ιχνοστοιχείου ( $\mu\text{mol}/\text{l}$ ) από τον πίνακα 2 με το μοριακό βάρος του λιπάσματος και την αναγωγή του όγκου σε λίτρα του διαλύματος, στα οποία αντιστοιχεί το πυκνό διάλυμα που παρασκευάζεται.

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τους υπολογισμούς των ποσοτήτων που αναφέρθηκαν προηγουμένως, παρουσιάζονται στον πίνακα (3) της επόμενης σελίδας.

Πίνακας (3): ΣΥΝΘΕΣΗ ΛΙΠΑΣΜΑΤΩΝ ΓΙΑ 30 lt ΠΥΚΝΟΥ ΘΡΕΠΤΙΚΟΥ ΔΙΑΛΥΜΑΤΟΣ

ΔΟΧΕΙΟ Α		ΔΟΧΕΙΟ Β		ΔΟΧΕΙΟ Ο	
Μακροστοιχεία					
Είδος λιπάσματος	kg	Είδος λιπάσματος	kg	Είδος λιπάσματος	ΛΙΤΡΑ
<i>Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub></i>	1,901	<i>MgSO<sub>4</sub></i>	0,6725	<i>H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 85%</i>	0,3079
<i>KNO<sub>3</sub></i>	0,591	<i>K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></i>	0,11035	<i>HNO<sub>3</sub> 67%</i>	0,139
<i>NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub></i>	0,139	<i>KNO<sub>3</sub></i>	0,591		
		<i>KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub></i>	0,000		
		<i>Mg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub></i>	0,000		
Ιγνοστοιχεία					
Είδος λιπάσματος	gr	Είδος λιπάσματος	gr	Είδος λιπάσματος	g
<i>Fe-Χηλ.8%</i>	74,52	<i>Θειϊκός Mn</i>	10,14		
		<i>Θειϊκός Zn</i>	3,45		
		<i>Βόρακας</i>	5,718		
		<i>Θειϊκός Cu</i>	0,375		
		<i>Μολ/κό Na</i>	0,363		

Τα πυκνά διαλύματα παρασκευάζονται και αποθηκεύονται σε δοχεία (εικ.13-14-15) από τα οποία λαμβάνονταν μικρές ποσότητες οι οποίες αραιώνονται κατάλληλα με το νερό της άρδευσης για να δημιουργήσουν τα θρεπτικά διαλύματα τροφοδοσίας των φυτών. Η προσθήκη μικρών ποσοτήτων από τα πυκνά διαλύματα πραγματοποιήθηκε χειρωνακτικά κατευθείαν στη δεξαμενή, χρησιμοποιώντας ογκομετρικό δοχείο, μετά από καθημερινή μέτρηση του pH και της ειδικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) του θρεπτικού διαλύματος. Η δεξαμενή γέμιζε αυτόματα με νερό και η στάθμη της διατηρούταν σταθερή με διακόπτη στάθμης (φλότερ).

Μετά από 30 λεπτά μετράται ξανά η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) και το pH του διαλύματος ώστε αν χρειαστεί να γίνει νέα ρύθμιση στο θρεπτικό διάλυμα. Όταν το PH και η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) είναι έξω από την επιθυμητή περιοχή τιμών τότε επέμβουμε και πάλι με πρόσθεση γνωστών ποσοτήτων οξέως και πυκνού διαλύματος. Το PH και η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) του διαλύματος τροφοδοσίας ελέγχονταν κάθε μέρα την ίδια ώρα (12:00), παίρνοντας δείγματα από τις δεξαμενές, ώστε να διαπιστωθεί η καταλληλότητα του διαλύματος.



Εικόνα 16-17: Δεξαμενή θρεπτικού διαλύματος-ογκομετρικό δοχείο

Επομένως στη δεξαμενή η σύνθεση του θρεπτικού διαλύματος που οδηγείται τελικά στις ρίζες των φυτών προκύπτει από κατάλληλες ποσότητες των πυκνών διαλυμάτων που περιέχουν την απαιτούμενη αναλογία των ανόργανων θρεπτικών στοιχείων από τα δοχεία (Α,Β,Ο) μαζί με καθαρό νερό και το διάλυμα που στραγγίζει και επιστρέφει από τα φυτά.

Για την διατήρηση της επιθυμητής συγκέντρωσης ιόντων στην περιοχή της ρίζας και για να αποφευχθεί συσσώρευση κάποιου στοιχείου καταστρέφοντας με αυτόν τον τρόπο την ισορροπία των λιπαντικών στοιχείων στο διάλυμα: απορρίπταμε όλο το διάλυμα σε χρονικό διάστημα κάθε 2 εβδομάδες και το αντικαθιστούσαμε με νέο (λαμβάνοντας ταυτόχρονα δείγματα για τις αναλύσεις).



Εικόνα 18-19: Σωλήνας επιστροφής (στράγγισης) του θρεπτικού διαλύματος στη δεξαμενή- στράγγιση θρεπτικού διαλύματος από το κανάλι NFT

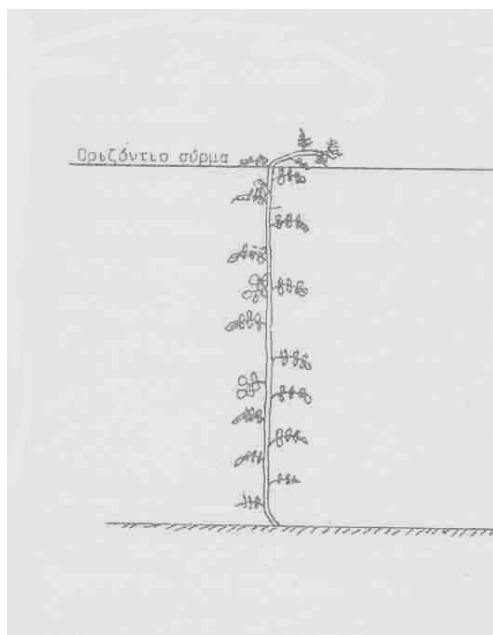
### 2.2.5 Καλλιεργητικές φροντίδες

Οι καλλιεργητικές φροντίδες είναι εργασίες επιβεβλημένες και η εφαρμογή τους στα φυτά αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για την πραγματοποίηση του πειράματος.

Η χρησιμότητά τους είναι πολλαπλή: εξασφάλιση ομοιογένειας, εξισορρόπηση του φυτού, καλύτερος φωτισμός & αερισμός, διευκόλυνση των καλλιεργητικών εργασιών. Για την εφαρμογή τους ακολουθήθηκαν οι οδηγίες όπως περιγράφονται από τον Καθηγητή Χ. Ολύμπιο (Η τεχνική της καλλιέργειας των κηπευτικών στα θερμοκήπια 2001).

#### ⇒Κλάδεμα:

Μετά την οριζοντοποίηση των κοτυληδονόφυλλων παράγεται ο κεντρικός βλαστός. Ο κεντρικός βλαστός φέρει τα πραγματικά φύλλα στις μασχάλες των οποίων υπάρχουν οφθαλμοί που δίνουν πλευρικούς βλαστούς. Η τομάτα έχει την τάση να σχηματίζει πολλούς βλαστούς. Οι πλευρικοί βλαστοί που βρίσκονται κοντά στην κορυφή του φυτού, είναι τόσο ζωηροί, που με δυσκολία διακρίνεται ο κεντρικός και ο πλευρικός βλαστός. Τα φυτά της πειραματικής καλλιέργειας μορφώθηκαν με το μονοστέλεχο σύστημα (σχήμα 5) που είναι και το πιο δημοφιλές στα θερμοκήπια της χώρας μας.



Σχήμα 5: Μονοστέλεχο σύστημα κλαδέματος

Όπως ελέχθη το φυτό της τομάτας έχει την τάση να σχηματίζει πολλούς πλάγιους βλαστούς από οφθαλμούς που βρίσκονται στις μασχάλες των φύλλων, όταν το μήκος τους φθάσει περίπου τα 5-10 cm αφαιρούνται όλοι οι πλάγιοι βλαστοί (βλαστολόγημα). Η αφαίρεση των νεαρών πλάγιων βλαστών γίνεται εύκολα με το χέρι, γιατί είναι τρυφεροί και εύθραυστοι (πίεση μεταξύ αντίχειρος και δείκτη και κάμψη προς αριστερά ή δεξιά).

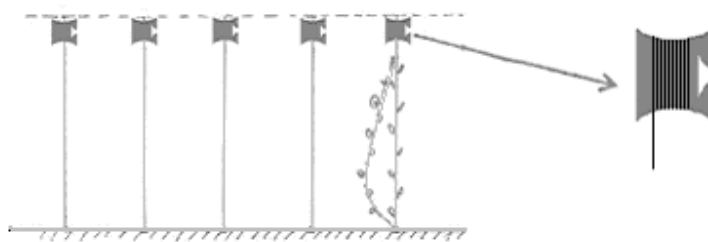


Όταν ο βλαστός μεγαλώσει περισσότερο τότε η αφαίρεση με το χέρι δεν είναι τόσο εύκολη και χρειάζεται η χρήση εργαλείου (μικρό κλαδευτήρι). Το βλαστολόγημα επαναλαμβάνονταν σε τακτά χρονικά διαστήματα (μια φορά την εβδομάδα) για να αφαιρούνται οι νέοι πλευρικοί βλαστοί που παράγονται συνέχεια από το φυτό όταν μεγαλώνει η κορυφή του.

#### ⇒ Σύστημα Υποστήλωσης:

Η υποστήλωση των φυτών πραγματοποιήθηκε με την χρήση σπάγκου και μεταλλικών κλιπ. Για την υποστήλωση χρειάστηκαν και μεταλλικά σύρματα στερεωμένα στο σκελετό του θερμοκηπίου, τοποθετημένα οριζόντια πάνω από την κάθε κανάλι NFT των φυτών σε ύψος 2,1 μέτρα.

Το ένα άκρο του σπάγκου ήταν στερεωμένο στη βάση του φυτού. Το δέσιμο ήταν σταθερό αλλά και προσωρινό ώστε ο σπάγκος να είναι χαλαρός για να υπάρχει περιθώριο περιέλιξης του σπάγκου στο φυτό καθώς το φυτό μεγαλώνει. Επομένως όταν χρειαστεί να είναι εφικτό το λύσιμο και χαλάρωμα του σπάγκου. Για την εφαρμογή του συστήματος αυτού έγινε χρήση ειδικού μεταλλικού κλιπ (σχήμα. 6).



Σχήμα 6: Σύστημα υποστήλωσης με κλιπ

Το μήκος του σπάγκου ήταν το προβλεπόμενο του ολικού μήκους του φυτού μέχρι το τέλος της συγκομιδής, και το μεν ένα άκρο δεμένο πιο πάνω στη βάση του φυτού, και το άλλο άκρο του δένεται στο κλιπ και τυλίγεται (σχήμα 6), ώστε όταν κρεμαστεί το κλιπ από το οριζόντιο σύρμα, ο σπάγκος να είναι σχετικά τεντωμένος. Για κάθε φυτό χρησιμοποιήθηκε και ένα κλιπ. Το φυτό περιελίσσεται γύρω από τον σπάγκο μια η δύο περιελίξεις (βήματα) στο χώρο μεταξύ δύο ταξιανθιών κατά την εβδομαδιαία περιποίηση, κατά την οποία γινόταν και το βλαστολόγημα.

Όταν η κορυφή του φυτού κόντευε να φθάσει το οριζόντιο σύρμα ή λίγο πιο πριν η κορυφή ξεπεράσει το επιθυμητό ύψος, τότε ξετυλίγεται μέρος του σπάγκου από το κλιπ, με αποτέλεσμα το στέλεχος του φυτού να πάρει κλίση και η κορυφή να χαμηλώσει σε επίπεδο που

εύκολα δέχεται τις απαραίτητες περιποιήσεις (κλάδεμα κτλ). Μέχρι να πλησιάσει η κορυφή του φυτού το οριζόντιο σύρμα, οι καρποί των κατώτερων ταξιανθιών έχουν συγκομιστεί και τα κατώτερα φύλλα έχουν αφαιρεθεί, έτσι το κάτω μέρος του βλαστού είναι ουσιαστικά γυμνό και δεν ενοχλεί αν αγγίζει το δάπεδο (εικ. 22-23).



Εικόνες 20-21: κλιπ υποστήλωσης

#### ⇒ Αποφύλλωση:

Μετά την ωρίμανση της πρώτης ταξικαρπίας, αρχίζει η διαδικασία της αποφύλλωσης, δηλαδή της αφαίρεσης των φύλλων που βρίσκονται κάτω από αυτή. Η αποφύλλωση έχει στόχο τον καλύτερο φωτισμό των καρπών που βρίσκονται πλησίον του σταδίου ωρίμανσης. Η αποφύλλωση συνεχίζεται μετά την συγκομιδή των καρπών της κατώτερης ταξικαρπίας και όταν αρχίζει να ωριμάζει η αμέσως επόμενη ταξικαρπία.

Για την αποφυγή διάδοσης ασθενειών και κυρίως ιώσεων, πριν από κάθε επέμβαση κλαδέματος στα φυτά, γίνεται απολύμανση των εργαλείων σε υγρή χλωρίνη, ενώ ο χειρισμός πραγματοποιείται με πλαστικά γάντια μιας χρήσεως.

#### ⇒ Αραίωμα καρπών:

Οι καρποί που εμφανίζουν καθυστέρηση στον ρυθμό ανάπτυξης σε σχέση με την πλειοψηφία των καρπών της ταξικαρπίας αφαιρούνται αμέσως.



Εικόνα 22-23: Αποφύλλωση κάτω από την πρώτη ταξικαρπία

#### ⇒Υποβοήθησης Καρπόδεσης-Επικονίαση-Γονιμοποίηση:

Τα άνθη της τομάτας εμφανίζονται σε ταξιανθίες, ο μέσος αριθμός ανθέων ανά ταξιανθία, που εξελίσσονται σε καρπούς είναι 6-8 άνθη. Οι ταξιανθίες εμφανίζονται επί των βλαστών του φυτού και διακλαδίζονται. Το άνθος φέρει πράσινο δερματώδη κάλυκα, που αποτελείται από 5 σέπαλα, στεφάνη κίτρινη με 5 πέταλα και 5 στήμονες, ενωμένους στη 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 (σχήμα 7, εικ. 24-25-26). Η ωοθήκη είναι πολύχωρος (2-7 χώρους).



Σχήμα 7: Το άνθος της τομάτας.



Εικόνες 24-25-26: Ταξιανθίες στη πειραματική μας καλλιέργεια

Τα άνθη της τομάτας αυτογονιμοποιούνται σε μεγάλο βαθμό. Για να γίνει αυτό θα μεταφερθεί η γύρη από τους ανθήρες στο στίγμα, και αυτό γίνεται εύκολα όταν επικρατούν ευνοϊκές περιβαλλοντικές συνθήκες και υπάρχει κάποια κίνηση του αέρα. Όταν όμως η υγρασία είναι πολύ υψηλή (κολλά η γύρη) και η θερμοκρασία χαμηλή (<18°C) υπάρχουν δυσκολίες στην εκτίναξη της γύρης και στη φυσιολογική επικονίαση, γεγονός που επιτείνεται με την άπνοια που επικρατεί συνήθως στο θερμοκήπιο (συνθήκες που επικρατούν κατά τη διάρκεια του χειμώνα).

Για την υποβοήθηση της επικονίασης και γονιμοποίησης της τομάτας στο πείραμα μας χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της εισαγωγής εντόμων στο θερμοκήπιο, τα οποία συμβάλλουν στη φυσική επικονίαση. Το είδος εντόμου που χρησιμοποιήθηκε ήταν ο βομβύνος (Bumble Bee) συγγενές είδος με τη μέλισσα, και συγκεκριμένα ο "Βομβύνος της γης" "*Bombus terrestris*", υμενόπτερο της υπερικογένειας των Apoidea, της οικογένειας Apidae και υποοικογένειας Bombinae.



Εικόνες 27-28-29: Η επικονίαση των ανθέων από τους βομβύνους

Ο βομβύνος εισήχθη στο θερμοκήπιο σε μορφή "αποικίας" μέσα σε ειδική κυψέλη που αγοράστηκε από την εταιρεία NATURAL KOPPERT BIOLOGICAL SYSTEMS. Η κυψέλη τοποθετήθηκε στο μέσο του θερμοκηπίου, στο διάδρομο και σε χώρο ελεύθερο από φυτά ή άλλα αντικείμενα. Η κυψέλη τοποθετήθηκε σε ύψος περίπου 60 cm από το έδαφος σε οριζόντια θέση σε καρέκλα. Στη διάρκεια της εφαρμογής μέτρων προστασίας στο πείραμα (χρήση εντομοκτόνων και μυκητοκτόνων), η κυψέλη των βομβύνων μεταφέρθηκε για 2 με 3 μέρες έξω από το θερμοκήπιο. Η απομάκρυνση έγινε αφού επέστρεφαν οι βομβύνοι στην κυψέλη (κατά τη δύση του ηλίου), έπειτα πραγματοποιούταν ο ψεκασμός με το φυτοπροστατευτικό προϊόν.



Εικόνα 30: Η κυψέλη με τους βομβύνους

### 2.2.6 Εμφάνιση ασθενειών και καταπολέμηση τους

Στη παράγραφο αυτή αναφέρονται και περιγράφονται συνοπτικά οι ασθένειες που παρουσιάστηκαν στην πειραματική καλλιέργεια καθώς και η αντιμετώπιση τους. Η διάγνωση τους πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο Γεωργικής Ζωολογίας και Εντομολογίας (Καθηγητής Παπαδούλης). Οι εχθροί ήταν:

- I. Ασθένειες που προσβάλλουν το ριζικό σύστημα και το λαιμό των φυτών (δημιουργούν τις σήψεις λαιμού και ριζών ή αλλιώς τήξη των φυτών) που προκαλούνται από είδη ωομυκήτων των γενών *Pythium* και *Phytophthora*.
- II. Εμφάνιση του ακάρεος *Acarid Aculops*. Κύρια συμπτώματα ήταν η εμφάνιση στο στέλεχος, στο μίσχο, στα νεύρα, και στο έλασμα των φύλλων, μιας σκουριάς ανοιχτού χρώματος στην αρχή, σκούρου αργότερα. Επίσης αρχικά τα φυλλίδια των φύλλων και αργότερα ολόκληρα τα φύλλα, έστριβαν και ξηραίνονταν αρχίζοντας από τα κατώτερα φύλλα. Η προσβολή γινόταν έντονη με την άνοδο των θερμοκρασιών.
- III. Εμφάνιση του αλευρώδης (*Trialeurodes vaporariorum*), λευκή μύγα που απομυζά χυμό από τα φυτά. Προκαλεί έκκριση μελιτώματος πάνω στα φυτά, δημιουργώντας δευτερογενή μαύρη καπνιά πάνω στα φύλλα. Τα έντομα συγκεντρώνονταν στο κάτω μέρος των φύλλων και πετούσαν σε σμήνος, με το παραμικρό κούνημα των φύλλων.

Αντίστοιχα χρησιμοποιήθηκαν τα εξής φυτοπροστατευτικά προϊόντα:

- I. Για την αντιμετώπιση ασθενειών του ριζικού συστήματος και του λαιμού (σήψεις) των φυτών που προκαλούνται από είδη Ωομυκητών των γενών *Pythium* και *Phytophthora* χρησιμοποιήθηκαν:
  - (i) Σκεύασμα με εμπορικό όνομα Previcure (δραστική ουσία propamocarb).
  - (ii) Σκεύασμα με εμπορικό όνομα Terazzole (δραστική ουσία etridiazole) διασυστηματικό μυκητοκτόνο με προληπτική και θεραπευτική δράση.
  
- II. Για την αντιμετώπιση του *Acari Aculops* χρησιμοποιήθηκαν:
  - (i) το μη διασυστηματικό ακαρεοκτόνο επαφής σκεύασμα με εμπορικό όνομα του Omite (δραστική ουσία propargite) και
  - (ii) το ακαρεοκτόνο-εντομοκτόνο επαφής και στομάχου σκεύασμα με εμπορικό όνομα Vertimec (δραστική ουσία abamectin).
  
- III. Για την αντιμετώπιση του αλευρώδους χρησιμοποιήθηκε το διασυστηματικό νεονικοτινοειδές εντομοκτόνο επαφής και στομάχου σκεύασμα με εμπορικό όνομα Confidor (δραστική ουσία imidacloprid).

Για την χρήση των φυτοπροστατευτικών προϊόντων χρησιμοποιήθηκε χειροκίνητος εμβολοφόρος ψεκαστήρας της MATABI μοντέλο SUPER GREEN 12, παρακάτω δίνονται οι ημερομηνίες εφαρμογής των φυτοπροστατευτικών προϊόντων:

- Πέμπτη 22 Νοεμβρίου 2007: προληπτική επέμβαση 50 ml Previcure για κάθε κανάλι NFT.
- Κυριακή 2 Μαρτίου 2008: ψεκασμός με Omite (διάλυση 7,5gr σε 5 lt H<sub>2</sub>O).
- Παρασκευή 14 Μαρτίου 2008: 25 ml Previcure για κάθε κανάλι NFT.
- Παρασκευή 28 Μαρτίου 2008: ψεκασμός με Omite (δόση 10,20gr σε 5lt H<sub>2</sub>O).
- Τρίτη 1 Απριλίου 2008: 20gr Terazzole για κάθε κανάλι NFT.
- Δευτέρα 7 Απριλίου 2008: 1,5 ml Confidor για κάθε κανάλι NFT.
- Τετάρτη 30 Απριλίου 2008: 30 gr Terazzole για κάθε κανάλι NFT.
- Σάββατο 3 Μαΐου 2008: ψεκασμός 9 ml Vertimec σε 12 lt H<sub>2</sub>O.



### 2.2.7 Πρακτικά προβλήματα λειτουργίας του πειράματος

Το δυσκολότερο μέρος της έρευνας ήταν η διατήρηση των συνθηκών της πειραματικής καλλιέργειας στο επιθυμητό επίπεδο λειτουργίας, παρακάτω αναφέρονται οι δυσκολίες που παρουσιάστηκαν, η αντιμετώπιση τους και οι ημερομηνίες εμφάνισης.

- Μη ομοιόμορφη κλίση του καναλιού για ομοιόμορφη ροή του θρεπτικού διαλύματος σ' όλο το μήκος, χωρίς τοπικές ανωμαλίες. Επίσης ρύθμιση της βάσης του καναλιού ώστε να είναι τελείως επίπεδη και οριζόντια για αποφυγή διαρροής (Παρασκευή 18 Ιανουαρίου 2008 επέμβαση A – Σάββατο 16 Φεβρουαρίου 2008 επέμβαση A – Παρασκευή 14 Μαρτίου 2008 επέμβαση D – Παρασκευή 28 Μαρτίου 2008 επέμβαση A – Δευτέρα 7 Απριλίου 2008 επέμβαση D).
- Συνεχής ρύθμιση της παροχής του θρεπτικού διαλύματος, έτσι ώστε στο τέλος των καναλιών να υπάρχει πάντα μια μικρή ροή, χωρίς όμως να υψώνεται η στάθμη του διαλύματος στα κανάλια. Η ρύθμιση της παροχής ήταν καθημερινή ώστε να ακολουθεί τις απαιτήσεις των φυτών. Πολλές φορές τα λιπάσματα και το γλωριούχο νάτριο έφραζαν τους σταλάκτες.
- Διακοπή παροχής ηλεκτρικού ρεύματος λόγω βραχυκυκλώματος και παύση λειτουργίας των αντλιών από Σάββατο 24 Νοεμβρίου 2007 ώρα 17:00 μμ έως Κυριακή 25 Νοεμβρίου 2007 ώρα 12:00 πμ.
- Εισροή υδάτων στο χώρο του θερμοκηπίου από σημείο μη στεγανό (σκίσιμο στο υλικό κάλυψης) λόγω έντονων βροχοπτώσεων εξωτερικά (Κυριακή 9 Δεκεμβρίου 2007).
- Εμφάνιση φαινομένου επικοινωνίας των δύο διαμερισμάτων της διαχωριστικής ρίζας (κανάλι NFT A) και προσπάθειας πλήρους αφαίρεσης του ορυκτοβάμβακα από τις ρίζες (Τετάρτη 19 Δεκεμβρίου 2007) με προσοχή ώστε να μην προκαλέσει ζημιά στις ρίζες.

## ► ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.3:

### Μέθοδοι Προσδιορισμού των ανόργανων στοιχείων θρεπτικών διαλυμάτων & φυτικών ιστών

---

#### 2.3.1 Εισαγωγή

Στις 10 Ιουνίου 2008 τερματίστηκε το πειραματικό μέρος στο θερμοκήπιο, τα φυτά του δείγματος μας χωρίστηκαν σε φύλλα, βλαστούς και ρίζες και αποθηκεύθηκαν σε χάρτινες σακούλες (προηγουμένως οι ρίζες πλύθηκαν με άφθονο απιονισμένο νερό για απομάκρυνση αλάτων). Σε αυτήν την φάση ξεκινά το εργαστηριακό μέρος, οι χάρτινες σακούλες όπου συλλέχθηκαν οι φυτικοί ιστοί μεταφέρονται στο εργαστήριο.

Κάθε δείγμα φυτικού ιστού (δηλαδή περιεχόμενο χάρτινης σακούλας) ζυγίστηκε χωριστά ώστε να ληφθεί το νωπό βάρος και στη συνέχεια τοποθετήθηκαν στο φούρνο στους 80°C για 48 ώρες, για την απομάκρυνση της υγρασίας τους. Ακολούθησε ζύγιση για να ληφθεί το ξηρό βάρος των ιστών. Έπειτα οι ξηρές ρίζες και τα φύλλα έχουν αλεστεί σε ειδικό μύλο ώστε να αποκτήσουν μορφή κονιορτού και να είναι έτοιμα για χημική ανάλυση.

Για τον έλεγχο της θρεπτικής κατάστασης των φυτών γίνεται χημική ανάλυση των φυτικών ιστών και βρίσκεται η αναλογία των στοιχείων στην ξηρά ουσία, η χημική ανάλυση περιλαμβάνει και τα δείγματα του θρεπτικού διαλύματος. Τα κύρια όργανα χημικής ανάλυσης που χρησιμοποιήθηκαν στην έρευνα μας είναι αυτές της ατομικής φασματοσκοπίας: (i)Φασματοσκοπία Ατομικής Απορρόφησης και την (ii)Φασματοσκοπία Ατομικής Φλόγας (φλογοφωτομετρία). Στη συνέχεια θα περιγραφούν οι βασικές αρχές που διέπουν την Ατομική Φασματοσκοπία και τα βασικά μέρη των δύο οργάνων ανάλυσης που προαναφέραμε.

Προτού οι αλεσμένοι φυτικοί ιστοί αναλυθούν στις φασματοσκοπικές μεθόδους πρέπει να υποστούν την κατάλληλη προετοιμασία. Οι φυτικοί ιστοί έχουν προηγουμένως ξεραθεί στο φούρνο στους 65°C (ξηρή καύση) και παίρνουμε 3 φορές 0,5 gr λεπτοαλεσμένο φυτικό δείγμα σε χωνευτήριο πορσελάνης και το τοποθετούμε στο κλίβανο στους 500°C για 4 ώρες. Μετά την καύση η στάχτη διαλύεται σε 20 ml HCL 1N [παρασκευή: 83ml πυκνό HCL σε 1 lt απιονισμένου νερού]. Αφήνεται για 1 ώρα περίπου μέχρι να διαλυθεί τελείως η στάχτη και το ανακατεύουμε με μια πλαστική ράβδο.



Στη συνέχεια γίνεται διήθηση σε πλαστικά μπουκαλάκια. Για τη διήθηση τοποθετούνται διηθητικά χαρτιά μέσα σε χωνί που οδηγούν το δείγμα κατευθείαν στο πλαστικό μπουκάλι. Από το διήθημα αυτό παίρνουμε 1 ml σε φιάλη χωρητικότητας 100 ml (αραίωση 1:100). Συμπληρώνουμε τον όγκο με απιονισμένο νερό μέχρι τη χαραγή, το ανακινούμε καλά και το δείγμα είναι έτοιμο για μέτρηση σε όργανο της ατομικής φασματοσκοπίας.

### **2.3.2 Τεχνικές Ανάλυσης της Ατομικής Φασματοσκοπίας**

Οι ατομικές φασματοσκοπικές μέθοδοι ανάλυσης στηρίζονται στο γεγονός ότι τα φάσματα των ατόμων, σε αντίθεση με αυτά των μορίων, έχουν μορφή οξείας γραμμής εύρους μικρότερου από 0.01 nm, σε συνδυασμό με το ότι κάθε στοιχείο έχει το δικό του χαρακτηριστικό φάσμα με αποτέλεσμα τη μικρή πιθανότητα αλληλοεπικάλυψης των φασματικών γραμμών διαφόρων στοιχείων του ίδιου δείγματος.

Η αρχή των ατομικών φασματοσκοπικών μεθόδων περιλαμβάνει την ατομοποίηση του δείγματος σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες και τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης των ατόμων με μέτρηση της απορρόφησης ή της εκπομπής στο χαρακτηριστικό μήκος κύματος του κάθε στοιχείου.

Οι ατομικές φασματοσκοπικές μέθοδοι ανάλυσης χαρακτηρίζονται από υψηλή ευαισθησία, μεγάλη ταχύτητα και ευκολία στη ανάλυση και για το λόγο αυτό βρίσκονται στις πρώτες θέσεις των κυριότερων αναλυτικών τεχνικών για συγκεντρώσεις της τάξης των ppm και των ppb.

Στη συμβατική μοριακή φασματοσκοπία μετριέται η απορρόφηση του δείγματος το οποίο τοποθετείται στη φωτεινή δέσμη ή μετριέται ή φωταύγειά του, ο φθορισμός ή ο φωσφορισμός σε διεύθυνση κάθετη της αρχικής δέσμης που ακτινοβολεί το δείγμα. Οι ίδιες διεργασίες μπορούν να λάβουν χώρα με νέφος ατόμων και επιπρόσθετα μπορεί να μετρηθεί και η εκπομπή φωτονίων όταν τα άτομα από τη διεγερμένη ηλεκτρονική κατάσταση, λόγω της υψηλής θερμοκρασίας, επανέρχονται σε χαμηλότερες στάθμες.

Οι διεργασίες αυτές περιγράφονται στις επόμενες σελίδες και αποτελούν τα δύο είδη ατομικής φασματοσκοπίας που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διατριβή:

1. Τη φασματοσκοπία ατομικής απορρόφησης και
2. Τη φασματοσκοπία ατομικής εκπομπής φλόγας (φλογοφωτομετρία).

### 2.3.2.1 Φασματοσκοπία ατομικής απορρόφησης

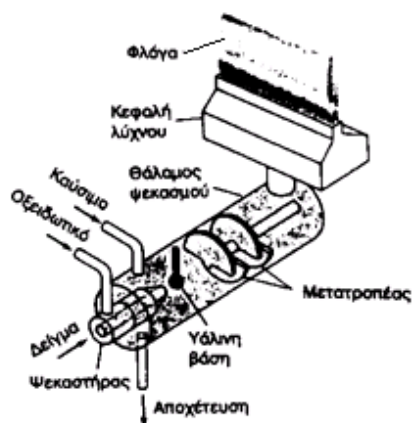
Τα στάδια της φασματοσκοπίας ατομικής απορρόφησης συνοψίζονται ως εξής:

- (i) Μέθοδος ατομοποίησης.
- (ii) Πηγή ακτινοβολίας.
- (iii) Μονοχρωμάτορας.
- (iv) Ανιχνευτής

Στις επόμενες σελίδες θα αναφερθούμε στα κυριότερα στοιχεία των σταδίων της ατομικής απορρόφησης χωρίς να γίνεται επέκταση σε τεχνικά χαρακτηριστικά που βρίσκονται εκτός των ορίων της παρούσας εργασίας:

- **ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΤΟΜΟΠΟΙΗΣΗΣ:** Το κύριο στάδιο που διαχωρίζει την ατομική φασματοσκοπία από την συμβατική μοριακή φασματοσκοπία είναι αυτό της ατομοποίησης, η οποία μπορεί να επιτευχθεί με φλόγα.

**Ατομοποίηση με φλόγα:** Στη φασματοσκοπία ατομικής απορρόφησης χρησιμοποιείται λύχνος προανάμιξης, όπως αυτός που δίνεται στο σχήμα 8, στον οποίο το δείγμα, το οξειδωτικό και το καύσιμο αέριο αναμιγνύονται πριν την εισαγωγή τους στη φλόγα.



Σχήμα 8: Λύχνος προανάμιξης.

Το υγρό δείγμα αναρροφάται στον ψεκάστήρα με ταχεία ροή οξειδωτικού, δηλαδή αέρα, και μετατρέπεται σε λεπτής υφής νέφος στην έξοδο του. Το νέφος κατευθύνεται με μεγάλη ταχύτητα σε διάταξη στην οποία τα σταγονίδια διασπώνται σε ακόμη μικρότερα σωματίδια.

Η όλη διεργασία αποτελεί τον ψεκάσμό. Στη συνέχεια το νέφος του δείγματος, το οξειδωτικό και το καύσιμο αέριο διέρχονται από μια σειρά εμποδίων που έχουν ως αποτέλεσμα την ανάμιξη και τη δέσμευση των σταγόνων μεγαλύτερου μεγέθους. Το υγρό που συγκεντρώνεται στον πυθμένα του θαλάμου ψεκάσμου απομακρύνεται στην αποχέτευση. Έτσι ένα νέφος που περιέχει περίπου 10% του αρχικού δείγματος φθάνει στη φλόγα. Τα σταγονίδια έχουν όσο το δυνατό μικρότερο μέγεθος και είναι ομοιόμορφα.

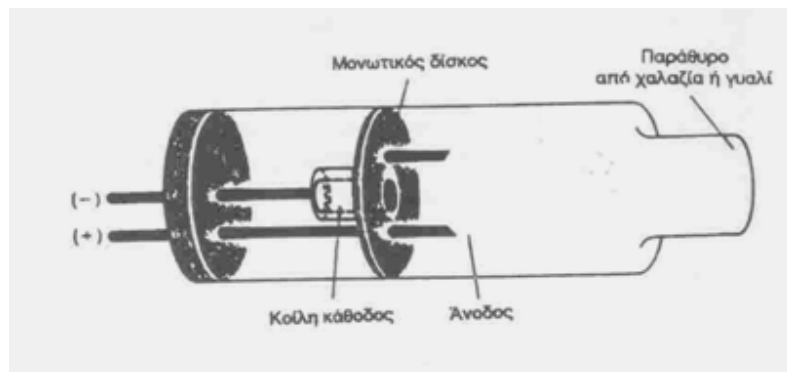
Η καύση ολοκληρώνεται εξωτερικά του λύχνου, όπου αντλείται αέρας από το περιβάλλον μέσα στη φλόγα. Όταν τα σταγονίδια εισέρχονται στη φλόγα, εξατμίζεται το νερό και το δείγμα που απομένει εξατμίζεται και διασπάται σε άτομα. Οι διεργασίες που λαμβάνουν χώρα από τη στιγμή που φθάνει το δείγμα στη φλόγα είναι οι ακόλουθες:

1. Εξάτμιση του διαλύτη.
2. Εξάχνωση-Μετατροπή του στερεού σε αέρια κατάσταση.
3. Διάσταση των μορίων σε ουδέτερα άτομα ή ρίζες.
4. Θερμική διέγερση μέρους των ουδετέρων ατόμων λόγω συγκρούσεων ή ιονισμός τους.

- **ΠΗΓΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ:** Στη φασματοσκοπία ατομικής απορρόφησης, ως πηγές ακτινοβολίας για την παραγωγή φασματικών γραμμών χρησιμοποιούνται συνήθως λυχνίες γραμμωτού φάσματος κοίλης καθόδου (HCL).

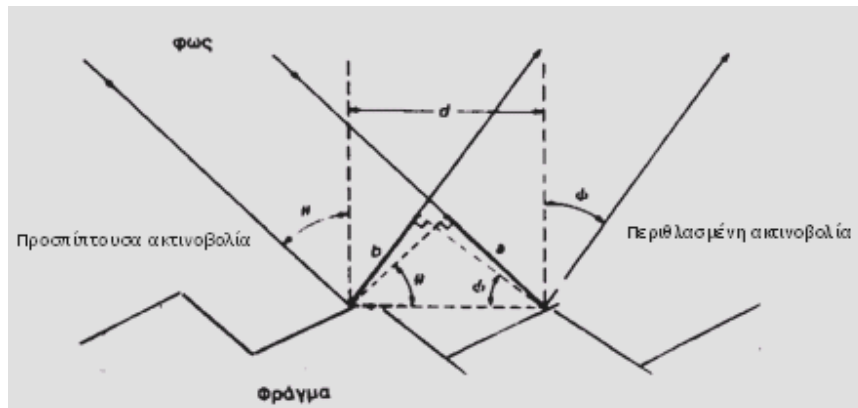
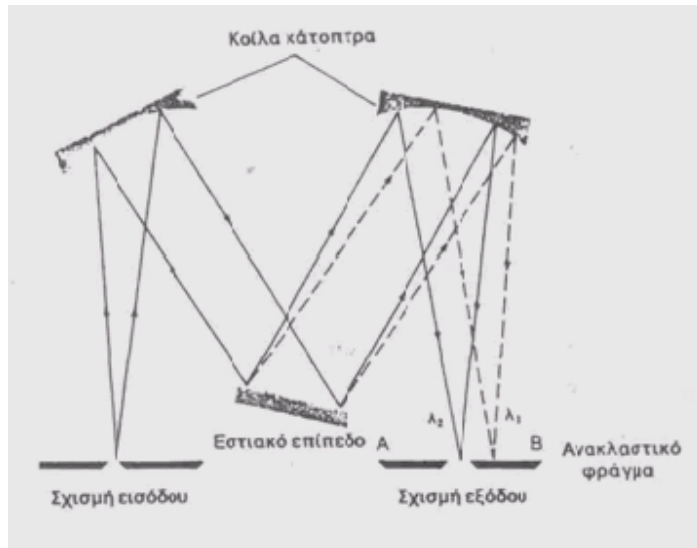
Οι λυχνίες κοίλης καθόδου (Σχήμα 9) αποτελούνται από δύο ηλεκτρόδια που καλύπτονται από γυάλινο περίβλημα με παράθυρο από χαλαζία στο ένα άκρο. Εσωτερικά υπάρχει καθαρό μονοατομικό αέριο για αποφυγή μοριακών συνεχών φασμάτων. Όταν ανάμεσα στην άνοδο και την κάθοδο εφαρμοστεί υψηλή διαφορά δυναμικού, το αέριο πλήρωσης ιονίζεται και τα θετικά φορτισμένα ιόντα επιταχύνονται προς την κάθοδο, η οποία είναι κατασκευασμένη από το μέταλλο που

πρόκειται να προσδιοριστεί. Καθώς συγκρούονται με την κάθοδο, με αρκετή ενέργεια, εκδιώκονται άτομα του στοιχείου στην αέρια φάση. Πολλά από τα άτομα αυτά που βρίσκονται σε διεγερμένη κατάσταση εκπέμπουν φωτόνια και επανέρχονται στη βασική κατάσταση. Η ακτινοβολία αυτή είναι της ίδιας συχνότητας με αυτή που απορροφούν τα άτομα του προσδιοριζόμενου συστατικού στη φλόγα. Για κάθε στοιχείο απαιτείται διαφορετική λυχνία.



Σχήμα 9: Λυχνία Κοίλης Καθόδου (HCL).

- **ΜΟΝΟΧΡΩΜΑΤΟΡΑΣ:** Στη φασματοσκοπία ατομικής απορρόφησης για την επιλογή και απομόνωση της κύριας (αναλυτικής) φασματικής γραμμής του στοιχείου χρησιμοποιούνται ο μονοχρωμάτορας. Ο μονοχρωμάτορας αποτελείται από διατάξεις *φραγμάτων*, τα φράγματα (σχήμα 10) είναι ανακλαστικές επιφάνειες με πολυάριθμες χαραγές για την ανάλυση της φωτεινής δέσμης, υποθέτοντας ότι η γωνία ανάμεσα στην προσπίπτουσα ακτινοβολία και στις δέσμες που έχουν περιθλαστεί είναι μικρή.



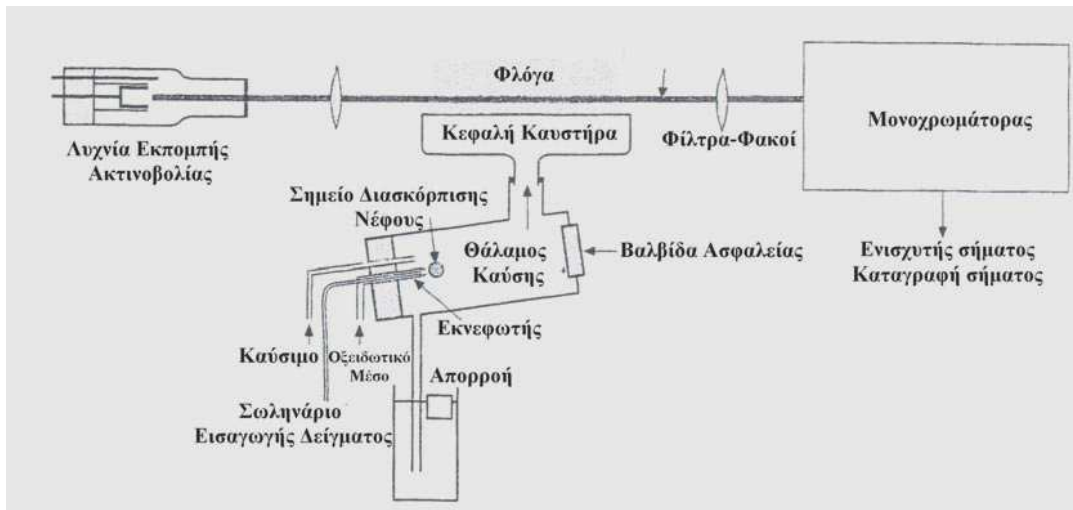
Σχήμα 10: Αρχή λειτουργίας του μονοχρωμάτορα και του φράγματος.

- **ΑΝΙΧΝΕΥΤΕΣ:** Οι ανιχνευτές στις φασματοσκοπικές μεθόδους ανάλυσης χρησιμοποιούνται με σκοπό η χαμηλή έντασης φωτεινή δέσμη να μετατρέπεται σε ισχυρό ηλεκτρικό σήμα.

Με ένα φασματοφωτόμετρο παρατηρείται ταυτόχρονα όλο το φάσμα, αποτελείται από μερικές χιλιάδες διόδους που μπορούν να το αναγνώσει σε κλάσματα δευτερολέπτου. Η πληροφορία κάθε διόδου μετατρέπεται σε ψηφιακό σήμα και αποθηκεύεται σε υπολογιστή. Για την ποσοτική αποτίμηση του σήματος μπορεί να μετρηθεί είτε το ύψος της κορυφής είτε το εμβαδό της.

Με τις τεχνικές αυτές η φασματική πληροφορία κωδικοποιείται έτσι ώστε ένας απλός ανιχνευτής να χρησιμοποιείται για ταυτόχρονη μέτρηση σε ευρεία περιοχή

μήκους κύματος. Τέλος το μοντέλο της ατομικής απορρόφησης που χρησιμοποιήθηκε για τις χημικές αναλύσεις των δειγμάτων μας ήταν το SIPS (Sample Introduction Pump System) SpectrAA-200 Varian.



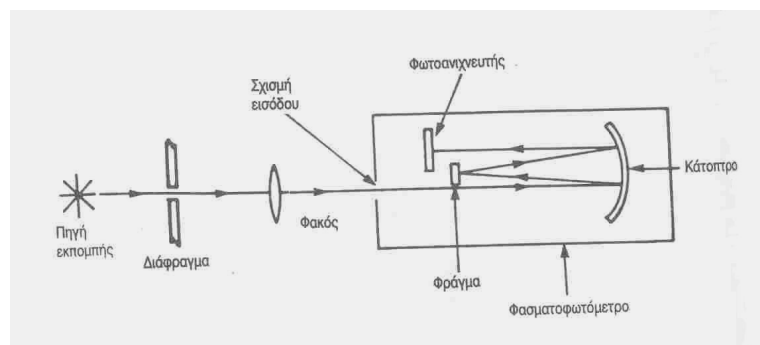
Σχήμα 11: Η αρχή λειτουργία της ατομικής απορρόφησης δίνεται στο σχήμα.

### 2.3.2.2 Φασματοσκοπία ατομικής εκπομπής φλόγας (φλογοφωτομετρία)

Η Φασματοσκοπία ατομικής εκπομπής φλόγας (φλογοφωτόμετρο) διέπεται από τις ίδιες αρχές με το προηγούμενο φασματοσκοπικό όργανο με την διαφορά ότι η ατομική απορρόφηση είναι πιο πολύπλοκη. Το παρόν φασματοσκοπικό όργανο δεν περιλαμβάνει όλα τα στάδια που απαρτίζουν την ατομική απορρόφηση, γι' αυτό θα προσπαθήσουμε να περιγράψουμε περιληπτικά τον τρόπο λειτουργίας της:

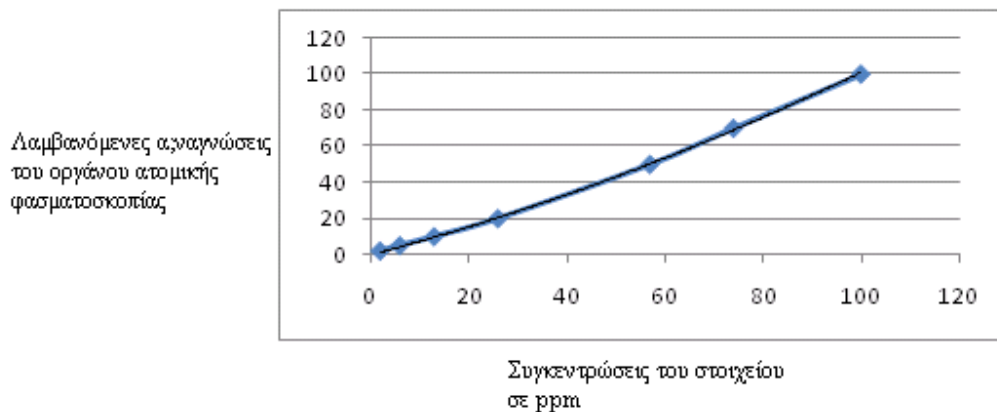
Το αερόλυμα του δείγματος μετά τον ψεκασμό εισάγεται στη φλόγα, όπου απομακρύνεται ο διαλύτης, εξατμίζεται και ατομοποιείται, με αποτέλεσμα τα άτομα να ανέρχονται στη διεγερμένη κατάσταση, λόγω θερμικών συγκρούσεων με τα συστατικά των αερίων καύσης. Καθώς επανέρχονται στη βασική ή σε χαμηλότερη ενεργειακή κατάσταση εκπέμπουν ακτινοβολία που είναι χαρακτηριστική.

Η ακτινοβολία που εκπέμπεται, διέρχεται από μονοχρώματα, οπότε απομονώνεται το επιθυμητό τμήμα του φάσματος, το οποίο περνά στο φωτοανιχνευτή και το σήμα εξόδου ενισχύεται και καταγράφεται. Στο σχήμα 12 δίνεται διαγραμματικά μια διάταξη φασματοφωτομετρικής εκπομπής φλόγας.



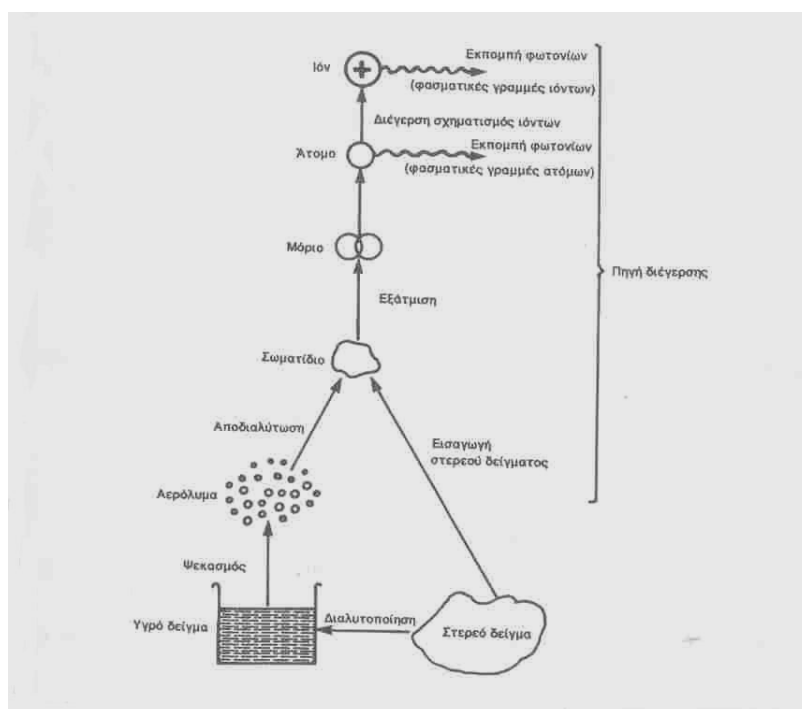
Σχήμα 12: Σχηματική διάταξη φασματοσκοπία ατομικής εκπομπής φλόγας.

Οι λαμβανόμενες αναγνώσεις του φλογοφωτομέτρου μετατρέπονται σε συγκεντρώσεις C, βάση της καμπύλης αναφοράς (σχήμα 13), κατασκευασμένη από παρόμοιες μετρήσεις σειράς διαλυμάτων γνωστών συγκεντρώσεων του στοιχείου που επιθυμούμε να προσδιορίσουμε.



Σχήμα 13: Καμπύλη αναφοράς.

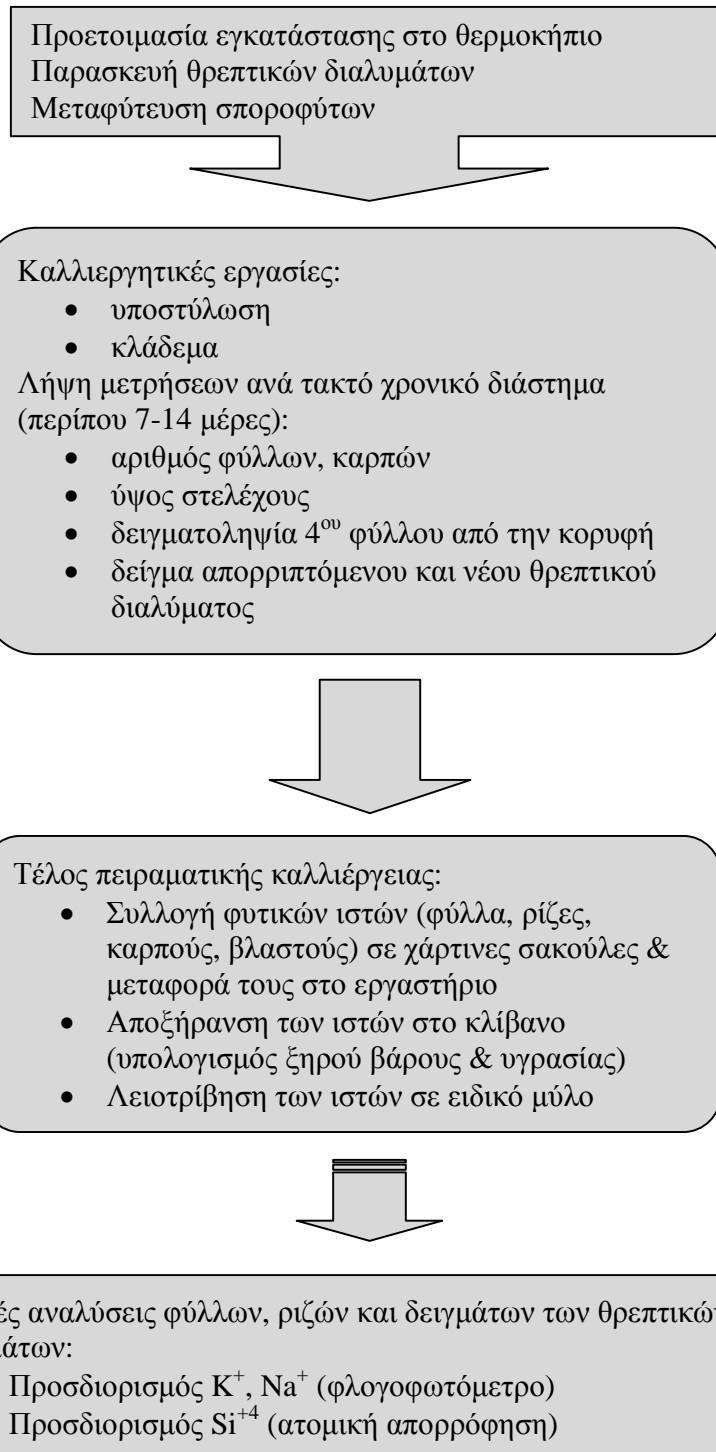
Το μοντέλο του φλογοφωτόμετρου που χρησιμοποιήθηκε για τις χημικές αναλύσεις των δειγμάτων μας ήταν το CORNING Flame Photometer 410.



Σχήμα 14: Διεργασίες που λαμβάνουν χώρα κατά την ατομική εκπομπή φλόγας.

Στο διάγραμμα της επόμενης σελίδας δίνεται παραστατικά ένα περίγραμμα της ερευνητικής διαδικασίας που ακολουθήθηκε στη συγκεκριμένη διατριβή.





Σχήμα 15: Παραστατικό διάγραμμα της γενικότερης πορείας που ακολουθήθηκε στη συγκεκριμένη διατριβή

## **Γ. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ**

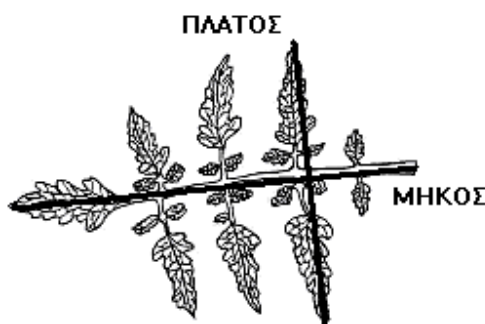
## ► ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.1:

### Τα αποτελέσματα στην ανάπτυξη της καλλιέργειας

---

#### 3.1.1 Υπολογισμός Φυλλικής Επιφάνειας

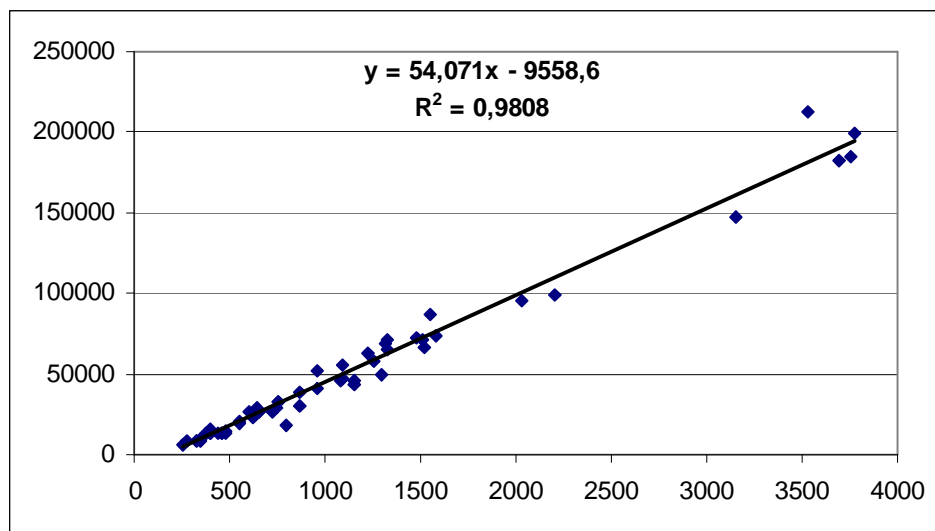
Η εξίσωση υπολογισμού της επιφάνειας του φύλλου ( $y$ ), συναρτήσει του γινομένου του μήκους και του πλάτους του ( $x$ ), ήταν κοινή για όλα τα φυτά του πειράματος και είναι της μορφής  $y=54,071*x-9558,6$  και  $R^2=0,9809$ . Όπου  $R^2=0,9809$  ο συντελεστής προσδιορισμού που σημαίνει ότι το 98,09% της διακύμανσης της επιφάνειας του φύλλου ( $y$ ) μπορεί να εξηγηθεί με βάση το γινόμενο του μήκους και του πλάτους του φύλλου ( $x$ ).



Σχήμα 2: Το μήκος και το πλάτος του φύλλου

**Υπολογισμός του μήκους και του πλάτους του φύλλου:** Τα πραγματικά φύλλα της τομάτας είναι σύνθετα. Κάθε φύλλο αποτελείται από ζεύγη φυλλαρίων και παράφυλλων, με ένα μόνο φυλλάριο στην άκρη. Τα φύλλα εμφανίζονται σε ελικοειδή διάταξη πάνω στο βλαστό. Η επάνω επιφάνεια των φύλλων έχει χρώμα λαμπερό βαθύ πράσινο και η κάτω, ελαιώδες ανοικτό πράσινο. Για τον υπολογισμό του μήκους του φύλλου απαιτείται το τέντωμα του, κρατώντας το ακραίο φυλλάριο μετρούμε την απόσταση του από το σημείο του φύλλου (μίσχος) που εκφύεται από τον κεντρικό βλαστό. Η ίδια διαδικασία (τέντωμα) ισχύει για τα δύο αντίθετα άκρα του μεγαλύτερου ζεύγους φυλλαρίων, ώστε να υπολογιστεί το πλάτος.

Στο διάγραμμα 1 παρατηρούμε την χάραξη της εξίσωσης υπολογισμού της επιφάνειας του φύλλου (y) σε σχέση με το γινόμενο του μήκους και του πλάτους του φύλλου (x). Η πραγματική επιφάνεια των φύλλων υπολογίστηκε με ειδικό πρόγραμμα σε Η/Υ, πρώτα εισήχθηκαν και αποθηκεύτηκαν ως εικόνες μέσω ανιχνευτή (scanner), έπειτα το πρόγραμμα επεξεργάστηκε τις εικόνες και υπολόγισε την επιφάνεια των φύλλων σε μονάδες τετραγωνικών χιλιοστών (mm<sup>2</sup>). Έτσι λοιπόν η εξίσωση υπολογίζει με ικανοποιητική ακρίβεια την φυλλική επιφάνεια (κάθετος άξονας στο διάγραμμα).

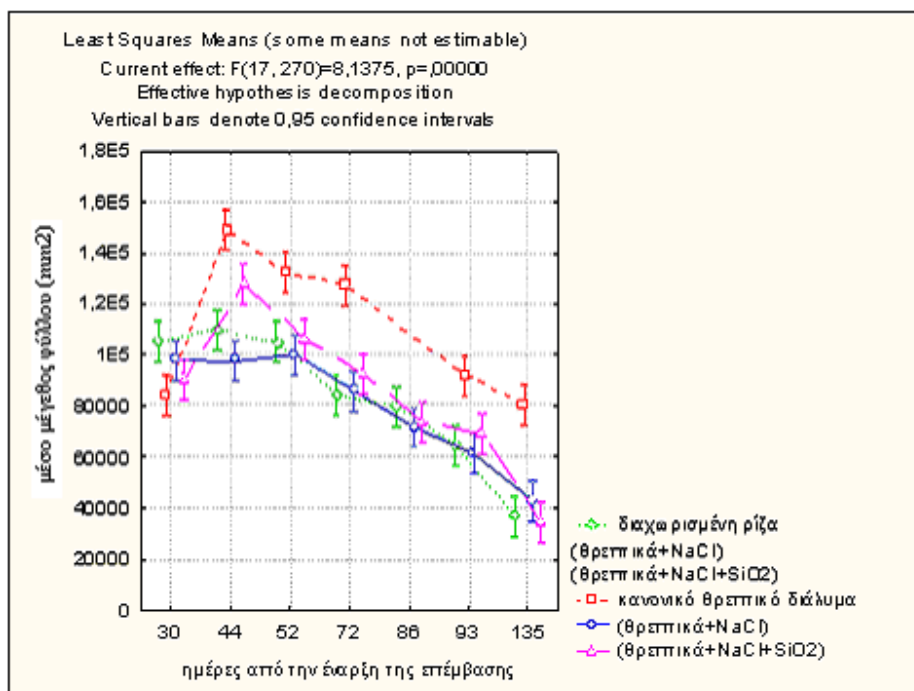


Διάγραμμα 1: Εξίσωση της φυλλικής επιφάνειας.

### 3.1.2 Μέσο μέγεθος φύλλου

Στο διάγραμμα 2 παρουσιάζεται το μέσο μέγεθος φύλλου της κάθε επέμβασης (κάθετος άξονας στο διάγραμμα) σε μονάδες  $\text{mm}^2$ , όπως εξελίσσεται στο χρόνο. Ο χρόνος ως ανεξάρτητος παράγοντας (οριζόντιος άξονας στο διάγραμμα) υπολογίζεται σε ημέρες από την έναρξη των επεμβάσεων (προσθήκη  $\text{NaCl}$  &  $\text{SiO}_2$ ). Οι μετρήσεις πάρθηκαν σύμφωνα με την προαναφερόμενη διαδικασία υπολογισμού της φυλλικής επιφάνειας.

Είναι εμφανή ότι ο μάρτυρας (B) δηλαδή η επέμβαση με θρεπτικά στοιχεία και νερό παρουσιάζει πολύ μεγαλύτερη επιφάνεια στο μέσο φύλλο των φυτών του συγκριτικά με τις υπόλοιπες επεμβάσεις (A,D,E). Η διαφορά αυτή του μάρτυρα είναι στατιστικά σημαντική (test LSD Fisher  $\alpha=0,05$ ), αντίθετα οι υπόλοιπες επεμβάσεις παρουσιάζουν στατιστικά το ίδιο μέγεθος φύλλου σε όλη τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου, η εμφάνιση τάσης αύξησης στην επέμβαση με  $\text{SiO}_2$  είναι ασήμαντη.

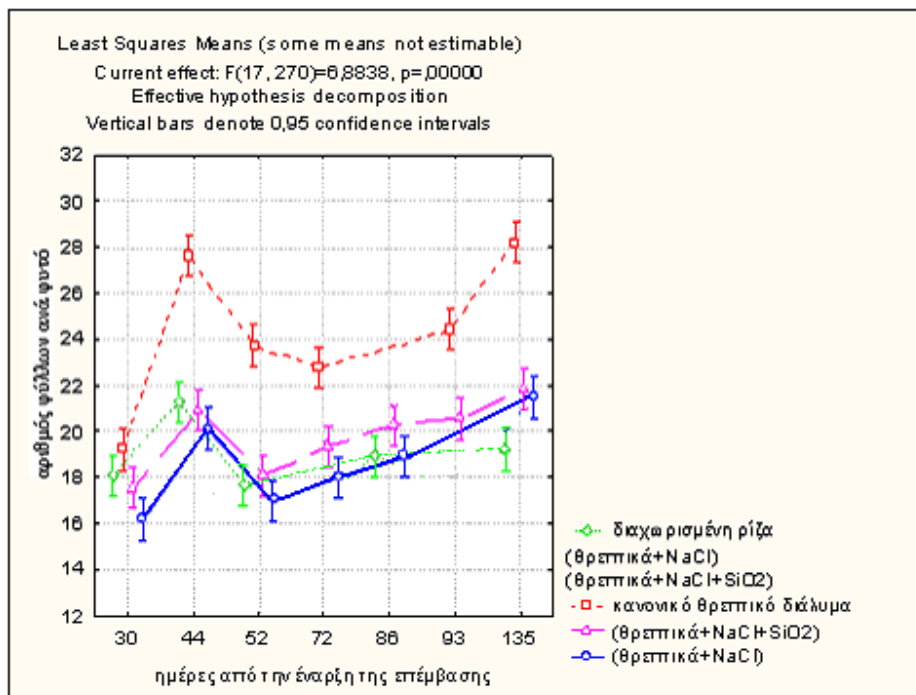


Διάγραμμα 2: Το μέσο μέγεθος φύλλου των φυτών ( $\text{mm}^2$ )

### 3.1.3 Αριθμός φύλλων

Στο διάγραμμα 3 παρατηρούμε ότι ο αριθμός των φύλλων των φυτών του μάρτυρα B (κανονικό θρεπτικό διάλυμα) διατηρεί μια σαφή γενική υπεροχή σε όλη τη διάρκεια του πειράματος (σημαντική στατιστικά).

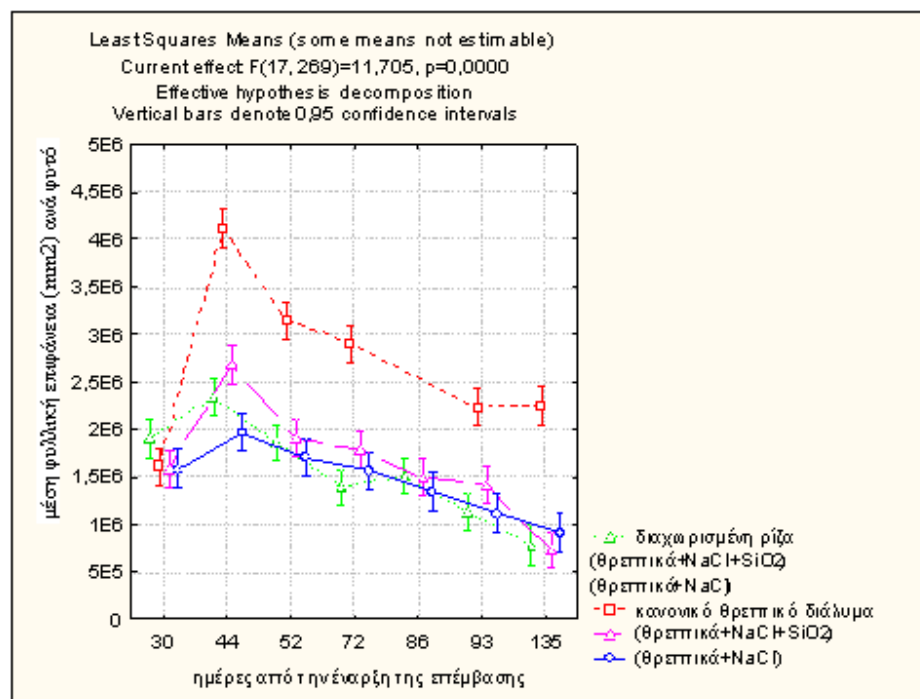
Στις επεμβάσεις με υψηλές συγκεντρώσεις NaCl δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα τους, ενώ παρατηρείται μια ασήμαντη τάση αύξησης της επέμβασης με SiO<sub>2</sub> σε ολόκληρη τη ρίζα (D) σε σχέση με τις υπόλοιπες επεμβάσεις NaCl (A, E).



Διάγραμμα 3: Ο αριθμός φύλλων ανά φυτό

### 3.1.4 Μέση φυλλική επιφάνεια

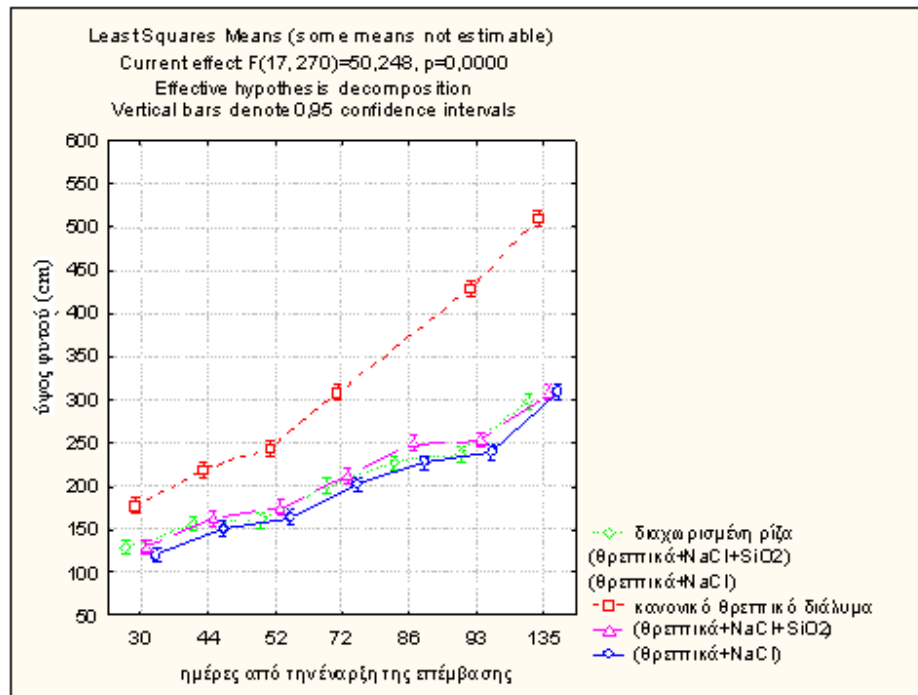
Η Μέση φυλλική επιφάνεια ( $\text{mm}^2$ ) ανά φυτό υπολογίζεται έμμεσα από το γινόμενο του αριθμού των φύλλων ανά φυτό επί το μέσο μέγεθος του φύλλου που είδαμε στα δύο προηγούμενα υποκεφάλαια. Τα μεγέθη της μέσης φυλλικής επιφάνειας δείχνουν μεγάλη διαφορά του μάρτυρα (B), σε σχέση με τις υπόλοιπες επεμβάσεις. Εάν σκεφτούμε ότι ο μάρτυρας (B) παρουσίαζε στατιστικά σημαντική υπεροχή σε αριθμό φύλλων ανά φυτό και στο μέσο μέγεθος του φύλλου είναι επόμενο αυτό να μεταφέρεται στη μέση φυλλική επιφάνεια (διάγραμμα 4). Στις επεμβάσεις με υψηλή συγκέντρωση NaCl (A,D,E) σύμφωνα με το test LSD Fisher δεν υπάρχουν ανάμεσα τους σημαντικές διαφορές.



Διάγραμμα 4: Η μέση φυλλική επιφάνεια ( $\text{mm}^2$ ) των φυτών

### 3.1.5 Ύψος του φυτού

Η πορεία της αύξησης του ύψους (cm) των φυτών σε όλες τις επεμβάσεις σε συνάρτηση με τις ημέρες από την έναρξη των επεμβάσεων παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα (5).



Διάγραμμα 5: Το ύψος των φυτών (cm)

Από το διάγραμμα φαίνεται καθαρά ότι η έκθεση του ριζικού συστήματος στην υψηλή συγκέντρωση NaCl τείνει να μειώσει σημαντικά την βλαστική ανάπτυξη των φυτών (A,D,E). Τα φυτά που το ριζικό τους σύστημα τροφοδοτούταν με κανονικό θρεπτικό διάλυμα (B) παρουσιάζουν στατιστικώς σημαντική διαφορά σε σχέση με το ύψος των φυτών των οποίων το ριζικό τους σύστημα εκτέθηκε στην υψηλή συγκέντρωση NaCl (με ή χωρίς την παρουσία SiO<sub>2</sub>) (A,D,E). Στις επεμβάσεις με υψηλή συγκέντρωση NaCl βλέπουμε μια ασήμαντη τάση αύξησης του ύψους των φυτών με παρουσία SiO<sub>2</sub> στο ριζικό σύστημα.

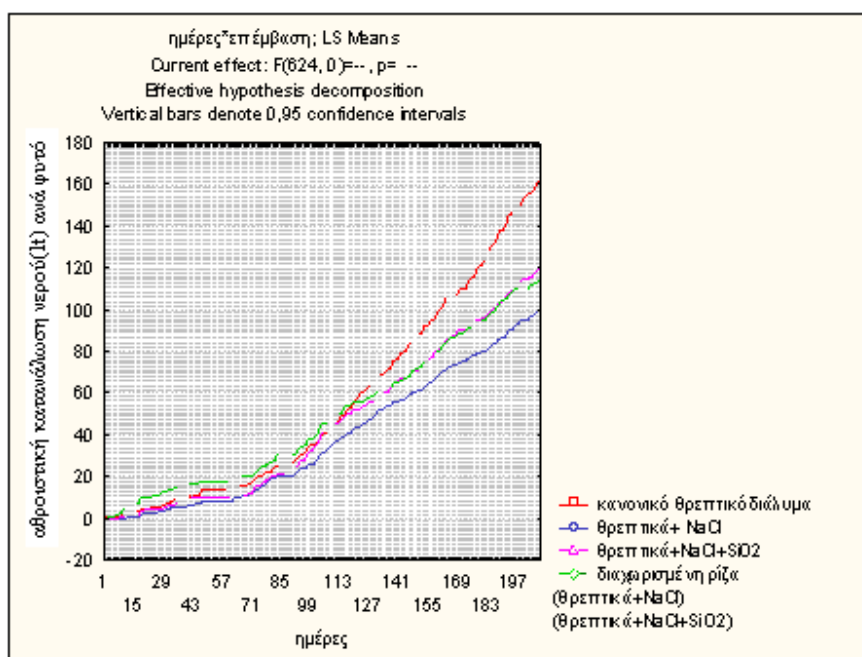


### 3.1.6 Απαίτηση νερού ανά μονάδα παραγόμενου νωπού προϊόντος

Η απαίτηση νερού ανά μονάδα παραγόμενου νωπού προϊόντος (Water Use Efficiency-WUE) ορίζεται ως η ποσότητα του νερού (σε λίτρα) που απαιτείται από το φυτό για να παραχθεί συγκεκριμένη ποσότητα νωπού καρπού (σε γραμμάρια). Στη συγκεκριμένη περίπτωση το WUE υπολογίστηκε ως η μέση κατανάλωση νερού ανά εβδομάδα προς την αντίστοιχη εβδομαδιαία παραγωγή νωπού καρπού (lt/gr).

Η κατανάλωση του νερού αρδεύσεως ανά φυτό υπολογίστηκε παίρνοντας καθημερινές μετρήσεις της κάθε δεξαμενής από το ρολόι του δικτύου νερού (κάθε δεξαμενή είχε ανεξάρτητο ρολόι). Τα λίτρα νερού που απαιτούνται για την πλήρωση της δεξαμενής διαιρέθηκαν με τον αριθμό των φυτών που τροφοδοτούταν από την συγκεκριμένη δεξαμενή.

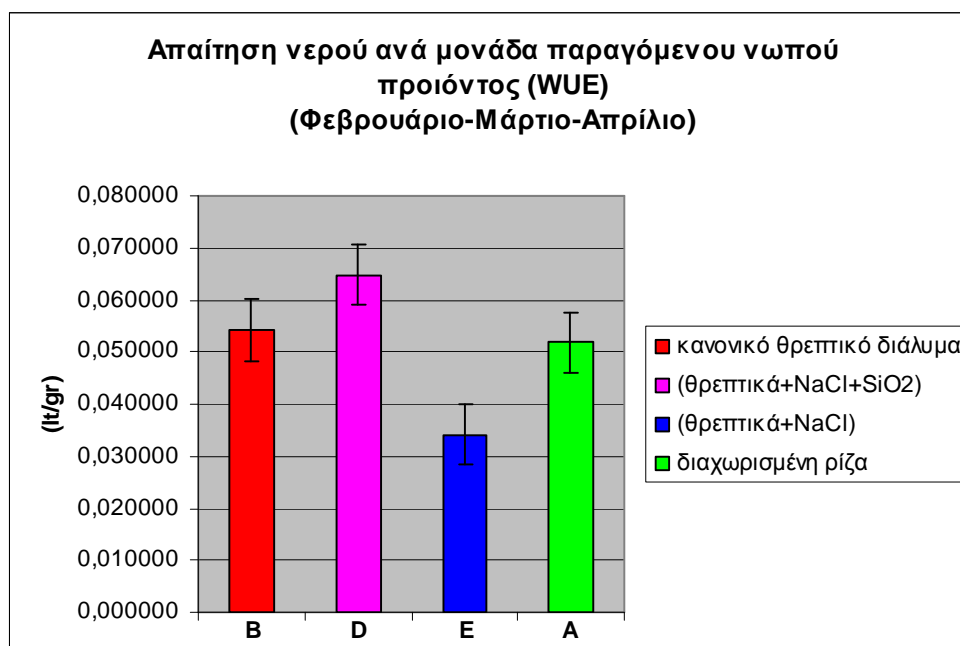
Στο διάγραμμα 6 παριστάνεται αθροιστικά η ποσότητα που αναλογεί στο κάθε φυτό (κάθετος άξονας) κατά την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου (οριζόντιος άξονας). Η κάθε τιμή της κατανάλωσης στο διάγραμμα αντιπροσωπεύει την συνολική κατανάλωση νερού του φυτού από την έναρξη έως την ημέρα που αντιστοιχεί στον οριζόντιο άξονα.



Διαγραμμα 6: Η κατανάλωση νερού αρδεύσεως (lt) ανά φυτό (αθροιστικά)

Αξίζει να σημειωθεί ότι η κατανάλωση νερού ανά φυτό κατά τα πρώτα στάδια ως τα τέλη Φεβρουαρίου (η τιμή στο διάγραμμα 99 ημέρες αντιστοιχεί στις 22 Φεβρουαρίου 2008) παρουσιάζει σχεδόν τον ίδιο ρυθμό ανεξαρτήτως επέμβασης. Η κατάσταση αλλάζει με την έναρξη της άνοιξης και την άνοδο της θερμοκρασίας όπου υπάρχει αυξανόμενος ρυθμός κατανάλωσης νερού με μεγαλύτερο στον μάρτυρα Β (κανονικό θρεπτικό διάλυμα) και μικρότερο στην επέμβαση Ε (θρεπτικό διάλυμα υψηλής συγκέντρωσης NaCl χωρίς την παρουσία του SiO<sub>2</sub>). Τα φυτά με έκθεση μέρους η ολόκληρου του ριζικού συστήματος στην παρουσία του SiO<sub>2</sub> παρουσιάζουν ενδιάμεσο ρυθμό κατανάλωσης (D,A).

Γνωρίζοντας την εβδομαδιαία κατανάλωση νερού και την αντίστοιχη χρονικά παραγωγή νωπού καρπού ανά φυτό, προσδιορίζεται η μέση απαίτηση νερού ανά μονάδα παραγόμενου νωπού προϊόντος (WUE) των επεμβάσεων κατά την διάρκεια του πειράματος (Φεβρουάριο-Μάρτιο-Απρίλιο).



Ραβδόγραμμα 1: Απαίτηση νερού ανά μονάδα παραγόμενου νωπού προϊόντος (lt/gr)

Σύμφωνα με το test LSD Fisher η επέμβαση Ε (θρεπτικά+NaCl) διαφέρει σημαντικά από τις υπόλοιπες επεμβάσεις καθώς παρουσιάζει την μικρότερη απαίτηση νερού ανά μονάδα παραγόμενου προϊόντος, ενώ οι υπόλοιπες επεμβάσεις βρίσκονται στο ίδιο στατιστικό επίπεδο (κανονικό θρεπτικό διάλυμα, θρεπτικά+NaCl+SiO<sub>2</sub>, διαχωρισμένη ρίζα).

## ► ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.2:

### Τα αποτελέσματα στην παραγωγή βιομάζας

---

#### 3.2.1 Ρίζες

Το φυτό της τομάτας παρόλο που αναπτύσσει ευδιάκριτη κεντρική ρίζα, όταν μεταφυτεύεται στο θερμοκήπιο, η κεντρική ρίζα τραυματίζεται και το φυτό αρχίζει να παράγει σε σύντομο χρονικό διάστημα πολλές δευτερεύουσες πλευρικές ρίζες ακόμη και από τον λαιμό του. Το γεγονός ότι η τομάτα παράγει εύκολα νέες ρίζες θεωρείται πλεονέκτημα, γιατί διευκολύνει την μεταφύτευση του φυτού και του επιτρέπει να ανακάμψει γρήγορα από την μεταφυτευτική διαταραχή. Την ιδιότητα αυτή του ριζικού συστήματος της τομάτας προσπαθήσαμε να εκμεταλλευτούμε, η αντίδραση αυτή σε συνθήκες υψηλής αλατότητας χρησιμοποιήθηκε ως δείκτης της φυσιολογίας των φυτών στα άλατα κατά το στάδιο αύξησης αν και αποτελεί υπεραπλουστευμένη εκδοχή.

Τα φυτά στην επέμβαση Α (διαχωρισμένη ρίζα) ως γνωστό το ριζικό τους σύστημα διαχωρίστηκε σε δύο ίσα μέρη, το ένα διαμέρισμα τροφοδοτούταν με θρεπτικό διάλυμα & NaCl και το άλλο με θρεπτικό διάλυμα, NaCl & SiO<sub>2</sub>. Για την μέτρηση της ταχύτητας αύξησης των ριζών αφαιρέθηκε ριζικό στρώμα ίσου εμβαδού και στα δύο διαμερίσματα όπως φαίνεται στην φωτογραφία.



Εικόνα 31: Στο πάνω διαμέρισμα του καναλιού οι ρίζες είναι εκτεθειμένες στο SiO<sub>2</sub>, ενώ στο κάτω όχι.

Το ποσοστό κάλυψης του διαμερίσματος χρησιμεύει σαν δείκτης της ταχύτητας αύξησης των ριζών στην αλατότητα. Στο διαμέρισμα με αλατούχο θρεπτικό διάλυμα χωρίς  $\text{SiO}_2$  παρατηρήθηκε καθυστέρηση της ταχύτητας αύξησης των ριζικών τριχιδίων σε σχέση με το αντίστοιχο διαμέρισμα με παρουσία  $\text{SiO}_2$ . Η διαφορά κάλυψης της επιφάνειας ανάμεσα στα δύο διαμερίσματα είναι εμφανής στις επόμενες φωτογραφίες.



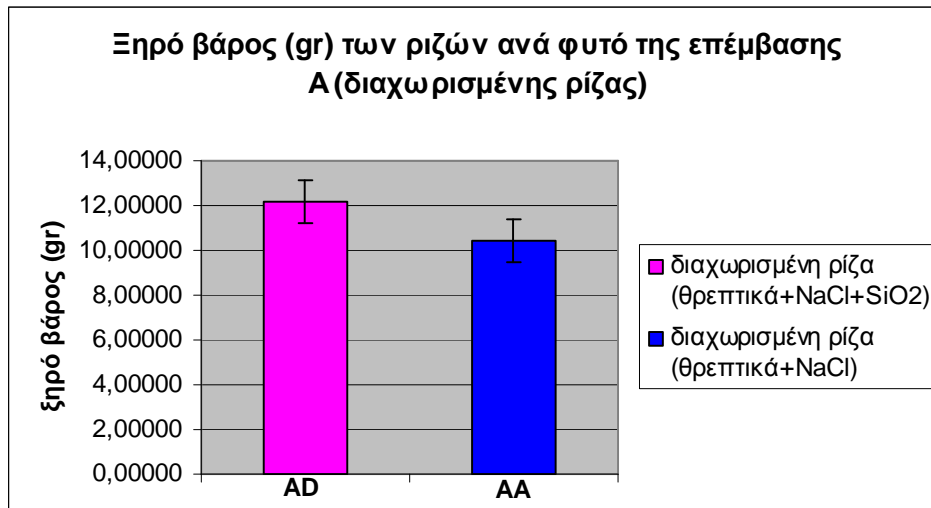
Εικόνα 32-33: Στην αριστερή πλευρά της διαχωριστικής ρίζας έχουμε επέμβαση  $\text{SiO}_2$  και στην δεξιά πλευρά όχι, η διαφορά στην ταχύτητα αύξησης της ρίζας και του ποσοστού κάλυψης του διαμερίσματος είναι εμφανή.



Εικόνα 34-35: Η ίδια εικόνα της διαχωρισμένης ρίζας από διαφορετική οπτική γωνιά.

Στις 10 Ιουνίου 2008 όπου τερματίστηκε το πείραμα πραγματοποιήθηκε η κοπή των φυτών, το ριζικό σύστημα στην επέμβαση Α συγκομίστηκε με τον εξής τρόπο: με απολυμασμένο ψαλίδι κόβεται το ριζόστρωμα του κάθε φυτού 5 cm πριν και 5 cm μετά από το λαιμό. Έπειτα πλένεται με άφθονο απιονισμένο νερό ώστε να φύγουν τα άλατα του θρεπτικού διαλύματος, και τέλος αφήνεται για 2-3 μέρες στον ήλιο για να στεγνώσει (η πλήρης ξήρανση γίνεται στο φούρνο στους  $65^\circ\text{C}$  για 48 ώρες). Σε αυτό το σημείο υπολογίζεται το ξηρό βάρος.

**Ξηρό βάρος των ριζών των φυτών με διαχωρισμένη ρίζα:** Με το τέλος της πλήρης ξήρανσης στο φούρνο όπως είδαμε οι ρίζες της επέμβασης A (διαχωρισμένη ρίζα) μετρήθηκαν σε ζυγό ακρίβειας και τα αποτελέσματα ήταν ως εξής:



Ραβδόγραμμα 2: Το ξηρό βάρος (gr) στα δύο διαμερίσματα της ρίζας στην επέμβαση με διαχωρισμό του ριζικού συστήματος (A)

Η αξιολόγηση της σημαντικότητας των αποτελεσμάτων ανάμεσα στα δύο διαμερίσματα της διαχωρισμένης ρίζας (θρεπτικό διάλυμα & NaCl & SiO<sub>2</sub> - θρεπτικό διάλυμα & NaCl) έδειξαν να μην υπάρχει σημαντική διαφορά, καθώς η παρουσία του SiO<sub>2</sub> δημιουργεί μια τάση αύξησης του ξηρού βάρους αλλά η τάση αυτή δεν ήταν στατιστικά σημαντική.



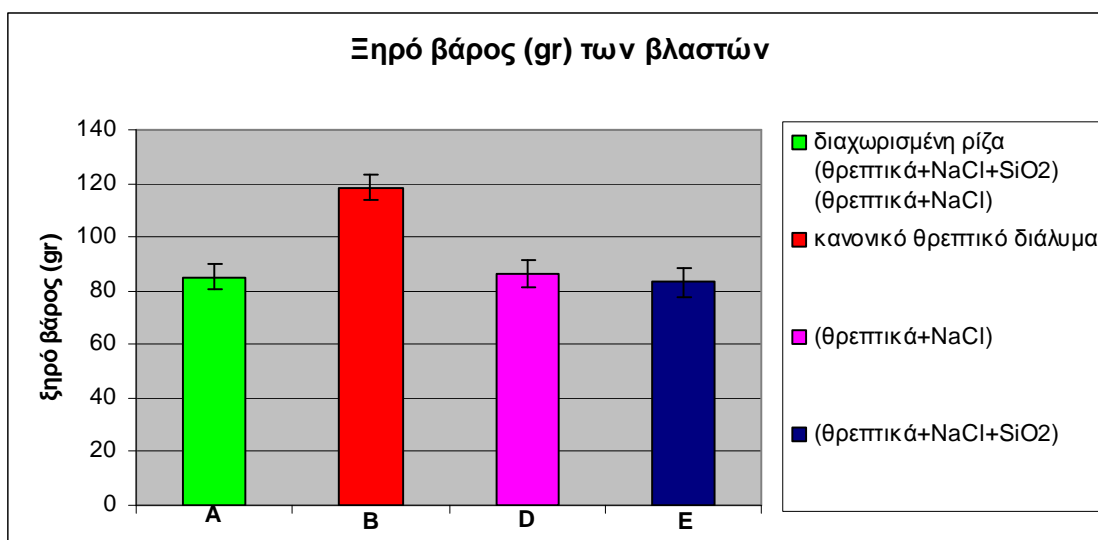
Εικόνα 36-37: Αποξηραμένο ριζικό σύστημα από το κανάλι NFT με διαχωρισμένη ρίζα (από το διαμέρισμα με επέμβαση SiO<sub>2</sub>)



### 3.2.2 Βλαστοί

Γενικά στοιχεία: Ο βλαστός της τομάτας έχει σχήμα κυλινδρικό και στο πρώτο στάδιο της ανάπτυξης του είναι τρυφερός, εύθραυστος, χυμώδης, μαλακός, αργότερα όμως γίνεται σταδιακά πιο σκληρός, αποκτά μηχανική αντοχή, χωρίς να ξυλοποιείται και είναι σχετικά εύθραυστος.

**Ξηρό βάρος των βλαστών:** Το ξηρό βάρος των βλαστών μετρήθηκε κατά το τέλος του πειράματος στο θερμοκήπιο (10 Ιουνίου). Το σύνολο των βλαστών για κάθε φυτό του δείγματος συλλέχθηκαν σε χάρτινες σακούλες και οδηγήθηκαν στο φούρνο για πλήρη ξήρανση (στους 65°C για 48 ώρες). Το παραγόμενο ξηρό βάρος υπολογίστηκε με τα εξής αποτελέσματα που παρουσιάζονται στο Ραβδόγραμμα 3:



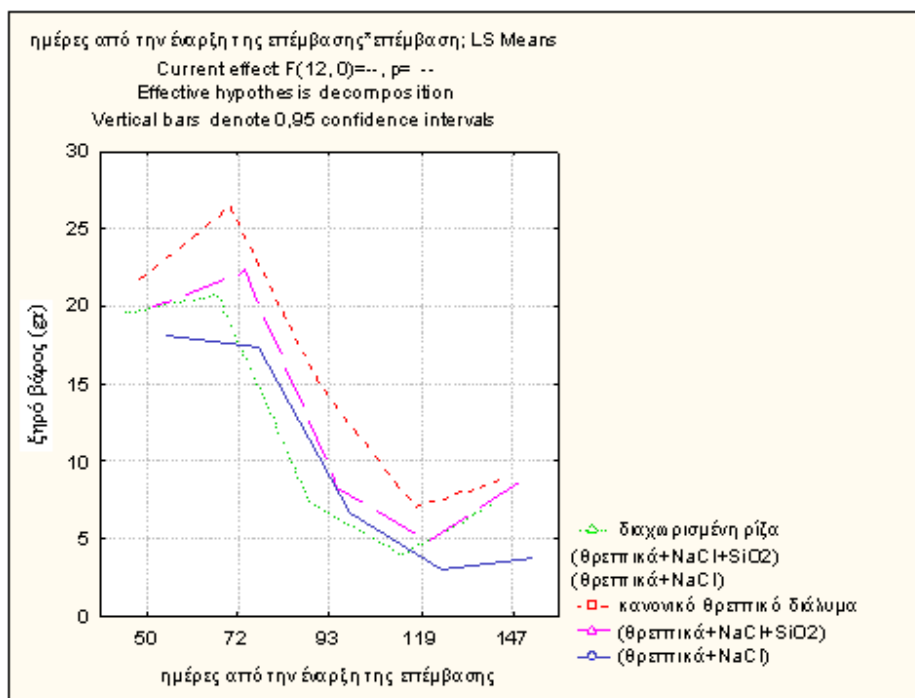
Ραβδόγραμμα 3: Το ξηρό βάρος (gr) των βλαστών των τεσσάρων επεμβάσεων

Τα φυτά που ανήκουν στον μάρτυρα B (κανονικό θρεπτικό διάλυμα) παρουσιάζουν την μεγαλύτερη παραγωγή ξηρού βάρους των βλαστών, αντίθετα οι υπόλοιπες επεμβάσεις (A,D,E) βρίσκονται στο ίδιο στατιστικό επίπεδο.

### 3.2.3 Φύλλα

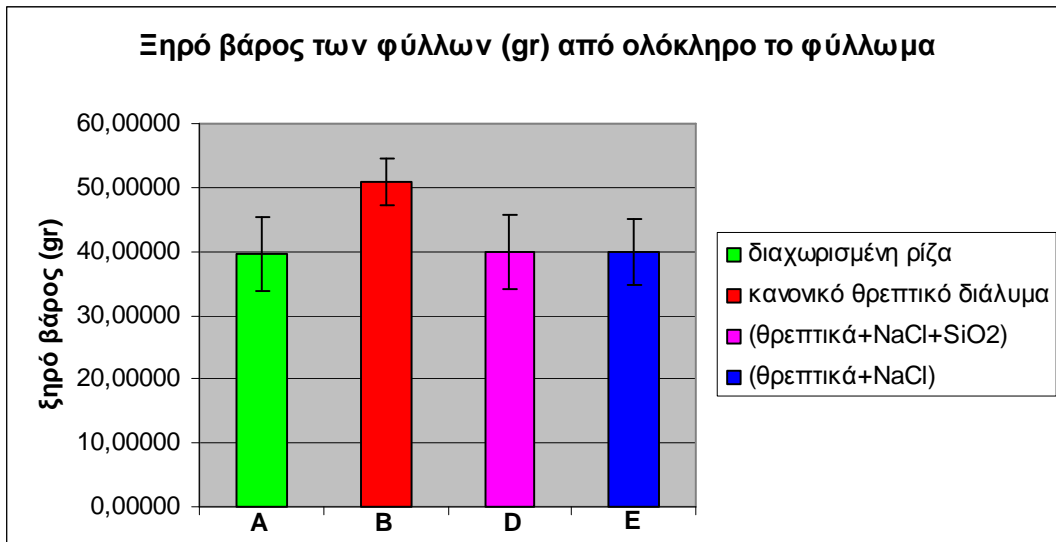
Κατά την διάρκεια της πειραματικής καλλιέργειας πάρθηκαν δείγματα φύλλων και συγκεκριμένα το 4<sup>ο</sup> φύλλο από την κορυφή του φυτού και υπολογίστηκε το ξηρό βάρος. Επίσης στις 10 Ιουνίου όπου πραγματοποιήθηκε η τελική κοπή των φυτών του δείγματος, το σύνολο των φύλλων συγκομίστηκε και υπολογίστηκε ξηρό και νωπό βάρος. Οι τιμές ξηρού και νωπού βάρους από το σύνολο του φυλλώματος χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό του ποσοστού του ξηρού βάρους προς το νωπό βάρος (Dry Matter Content %) των φύλλων, αναλυτικά:

**Ξηρό βάρος των φύλλων (4<sup>ο</sup> από κορυφή):** Στο διάγραμμα 7 παρατηρούμε ότι ο μάρτυρας Β (κανονικό θρεπτικό διάλυμα) σε όλη τη διάρκεια του πειράματος το 4<sup>ο</sup> φύλλο του από την κορυφή εμφανίζει τις υψηλότερες τιμές ξηρού βάρους ή αλλιώς ότι οι επεμβάσεις με υψηλή συγκέντρωση NaCl τείνουν να μειώσουν το ξηρό βάρος. Το test LSD Fisher όμως δεν θεωρεί σημαντική αυτή την τάση μείωσης που προκαλεί η υψηλή συγκέντρωση NaCl.



Διάγραμμα 7: Το ξηρό βάρος (gr) του 4<sup>ου</sup> φύλλου από την κορυφή του φυτού

**Ξηρό βάρος των φύλλων (από ολόκληρο το φύλλωμα):** Η προαναφερόμενη τάση της υψηλής συγκέντρωσης NaCl για διαφοροποίηση του ξηρού βάρους επιβεβαιώνεται στατιστικά στη συνέχεια από το ξηρό βάρος των φύλλων από το σύνολο του φυλλώματος στο τέλος της καλλιέργειας (10 Ιουνίου).

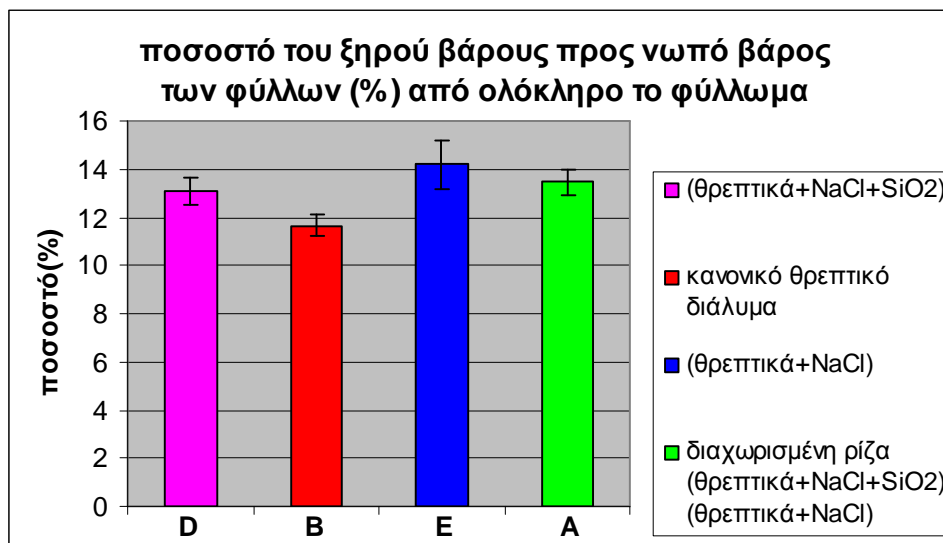


Ραβδόγραμμα 4: Το ξηρό βάρος (gr) των φύλλων από το σύνολο του φυλλώματος

Το test LSD Fisher θεωρεί στατιστικά σημαντική τη διαφορά ανάμεσα του μάρτυρα B (κανονικό θρεπτικό διάλυμα) με τις υπόλοιπες επεμβάσεις που βρίσκονται στο ίδιο στατιστικό επίπεδο (διαχωρισμένη ρίζα, θρεπτικό διάλυμα+NaCl, θρεπτικό διάλυμα+NaCl+SiO<sub>2</sub>).

**Ποσοστό ξηρού βάρους προς νωπό βάρος των φύλλων (Dry Matter Content %):** Το ποσοστό αυτό υπολογίζεται με το λόγο του ξηρού βάρους των φύλλων (δηλαδή οι προηγούμενες μετρήσεις) προς το αντίστοιχο νωπό βάρος των ίδιων φύλλων. Τα αποτελέσματα του ποσοστού ξηρού προς νωπού από το σύνολο των φύλλων (10 Ιουνίου) παρουσιάζεται στο ραβδόγραμμα 5:





Ραβδόγραμμα 5: Ποσοστό του ξηρού βάρους προς νωπό βάρος των φύλλων από ολόκληρο το φύλλωμα (10 Ιουνίου)

Ο μάρτυρας B (κανονικό θρεπτικό διάλυμα) στατιστικά παρουσιάζει το μικρότερο ποσοστό ξηρού βάρους προς νωπό βάρος των φύλλων (Dry Matter Content %), ενώ οι υπόλοιπες επεμβάσεις δηλαδή η επεμβάση A (διαχωρισμένη ρίζα), η D (θρεπτικό διάλυμα & NaCl & SiO<sub>2</sub>) και η E (θρεπτικό διάλυμα & NaCl) βρίσκονται στο ίδιο στατιστικό επίπεδο.

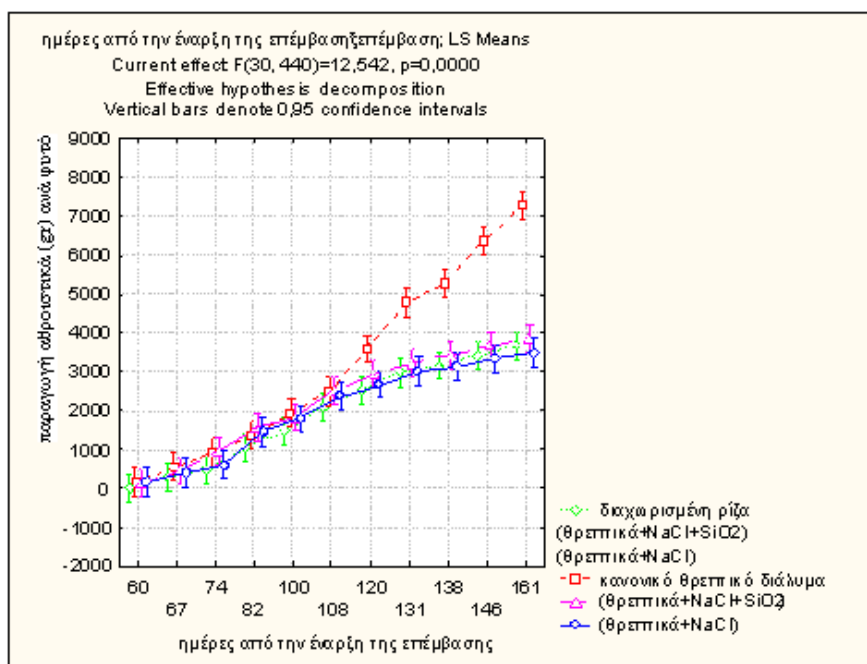
### 3.2.4 Καρποί

Ο καρπός της τομάτας είναι πολύχωρος ράγα, με σχήμα που κυμαίνεται από στρογγυλό προς πεπλατυσμένο. Η συχνότητα της συγκομιδής των καρπών στο πείραμα ήταν μια φορά την εβδομάδα, με κριτήριο την έναρξη αλλαγής του χρώματος από το πράσινο στο ελαφρώς κόκκινο και η συγκομιδή γινόταν με το χέρι.

Στη συγκομιδή των καρπών ενδιέφερε τόσο το ύψος της παραγωγής (αριθμός καρπών & βάρους καρπού) όσο και η ποιότητα του καρπού (υγιή εμφάνιση ή παρουσία ξηρής σήψης της κορυφής). Η κοπή του καρπού με μέρος του ποδίσκου πραγματοποιούνταν με πίεση του αντίχειρα επί του ποδίσκου, σε ενδιάμεση απόσταση μεταξύ του καρπού και βάσης του ποδίσκου. Για την συγκομιδή χρησιμοποιήθηκε μεταλλικός δίσκος και για τον υπολογισμό του νωπού βάρους ζυγαριά του εργαστηρίου.

### 3.2.4.1 Παραγωγή των καρπών

Στο τέλος κάθε εβδομάδας συγκομίζονταν οι καρποί σε κάθε φυτό που βρίσκονταν στο στάδιο του μεταχρωματισμού, αφού ζυγιστούν καταγράφηκαν σε αρχείο το νωπό τους βάρος και οποιαδήποτε άλλη αξιοσημείωτη παρατήρηση (π.χ. εμφάνιση ξηρής σήψης). Στο διάγραμμα 8 δίνεται η αθροιστική παραγωγή του κάθε φυτού, δηλαδή η τιμή στο κάθετο άξονα αντιπροσωπεύει την συνολική παραγωγή νωπών καρπών (gr) του φυτού την αντίστοιχη μέρα:



Διάγραμμα 8: Η αθροιστική παραγωγή (gr) των καρπών ανά φυτό

Στις 17 Φεβρουαρίου πραγματοποιήθηκε η πρώτη συγκομιδή καρπών, για περίπου ένα μήνα η αθροιστική παραγωγή νωπών καρπών (γραμμάρια) ανά φυτό ήταν στατιστικά ίδια ανεξαρτήτως επέμβασης.

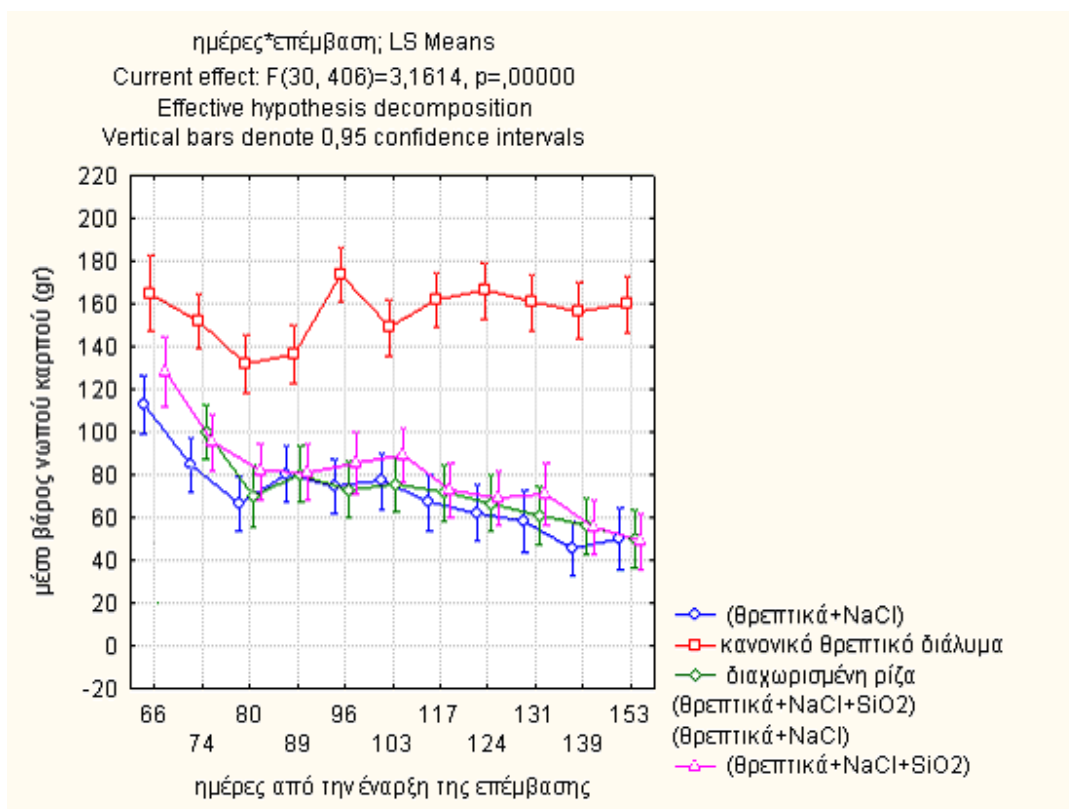
Στις 22 Μαρτίου παρατηρήθηκε αλματώδης αύξηση της παραγωγής νωπών καρπών του μάρτυρα B (κανονικό θρεπτικό διάλυμα) σε σχέση με τις υπόλοιπες επεμβάσεις, η διαφορά αυτή μεταξύ του μάρτυρα και των υπόλοιπων επεμβάσεων μεγάλωνε όσο περνούσε ο χρόνος μέχρι το τέλος των μετρήσεων.

Η διαφορά αθροιστικής παραγωγής του μάρτυρα B (κανονικό θρεπτικό διάλυμα) με τις υπόλοιπες επεμβάσεις επιβεβαιώνεται και στατιστικά, ενώ οι υπόλοιπες επεμβάσεις (A,D,E) είναι στατιστικές ίσες.

### 3.2.4.2 Μέσο βάρος νωπού καρπού

Το μέσο βάρος νωπού καρπού (σε γραμμάρια) του μάρτυρα Β (κανονικό θρεπτικό διάλυμα) ήταν από την αρχή έως το τέλος της καλλιεργητικής περιόδου το μεγαλύτερο από όλες τις επεμβάσεις (διάγραμμα 9). Η μεγάλη διαφορά του μάρτυρα Β σε σχέση με τις υπόλοιπες επεμβάσεις δηλαδή αυτές με διαλύματα NaCl αποδεικνύει χωρίς αμφιβολία ότι η υψηλή συγκέντρωση NaCl μειώνει το μέσο βάρος του νωπού καρπού (test LSD Fisher). Στις υπόλοιπες επεμβάσεις δηλαδή αυτές με υψηλή συγκέντρωση NaCl, δεν υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ τους και βρίσκονται στο ίδιο στατιστικό επίπεδο.

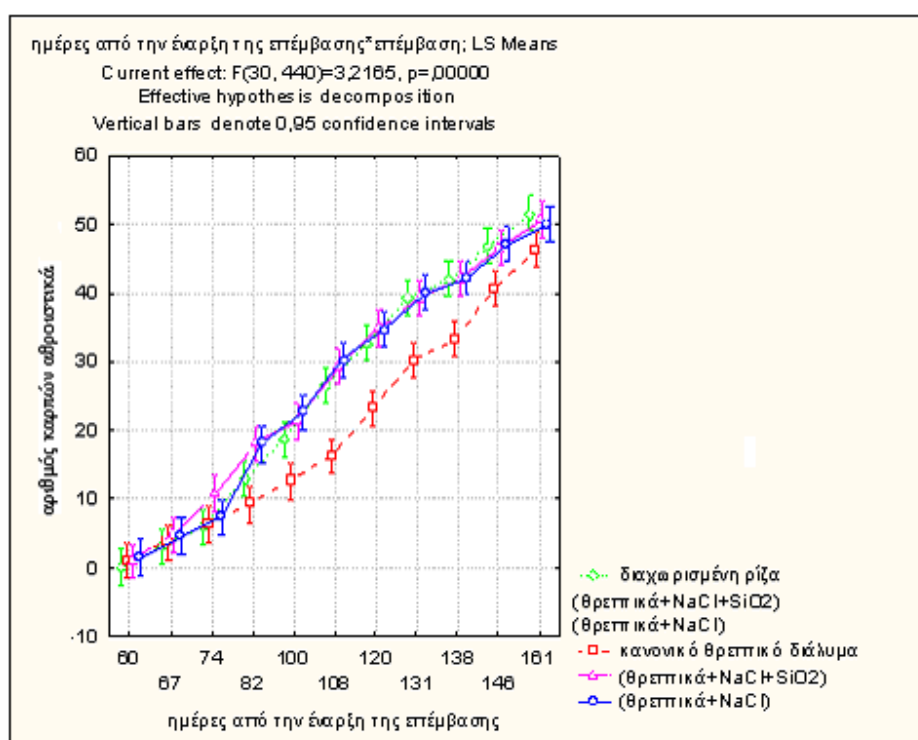
Σημειώνεται ότι κατά την συγκομιδή εφαρμόστηκε η τεχνική του αραιώματος, οι καρποί με βάρος νωπού καρπού μικρότερου των 20 γραμμαρίων (gr) αφαιρούνται από την ταξικαρπία χωρίς να λαμβάνονται υπόψη τα βάρη τους στις μετρήσεις μας.



Διάγραμμα 9: Το μέσο βάρος του νωπού καρπού (gr)

### 3.2.4.3 Αριθμός των καρπών

Στο παρών υποκεφάλαιο παρουσιάζεται αθροιστικά ο αριθμός των καρπών ανά φυτό της κάθε επέμβασης κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Επομένως η τιμή στο κάθετο άξονα στο διάγραμμα 10 εκφράζει το συνολικό αριθμό καρπών που απόδωσε το φυτό μέχρι τη ημερομηνία που αντιστοιχεί η τιμή.



Διάγραμμα 10: Ο αριθμός των καρπών αθροιστικά ανά φυτό

Οι μέτρησεις έδειξαν ότι στα πρώτα στάδια της καλλιεργείας (περίπου 3 εβδομάδες) όλα τα φυτά ανεξαρτήτως επέμβασης έδιναν τον ίδιο αριθμό καρπών στατιστικά, στη συνέχεια όμως τα φυτά με επίδραση υψηλής συγκέντρωσης NaCl είχαν απότομη αύξηση του αριθμού των καρπών. Με την εξέλιξη όμως του χρόνου η διαφορά αυτή μειώνεται σταδιακά χωρίς όμως να χάνει την σημαντικότητα του μέχρι την τελευταία μέτρηση στις 18 Μαΐου. Το συμπέρασμα αυτό επιβεβαιώνει το test LSD Fisher δηλαδή ο Μάρτυρας Β (κανονικό θρεπτικό διάλυμα) διαφέρει σημαντικά από τις υπόλοιπες επεμβάσεις με υψηλή συγκέντρωση NaCl (A,D,E) οι οποίες στατιστικά είναι ίσες.

#### 3.2.4.4 Ξηρή σήψη κορυφής καρπού (Blossom-end rot)

Η ξηρή σήψη κορυφής είναι η στεγνή ξήρανση στο αντίθετο του ποδίσκου άκρο του καρπού (θέση στύλου) όπως φαίνονται στις εικόνες 38-39 και οφείλεται σε διάφορους λόγους που θα αναλυθούν στο επόμενο μέρος της διατριβής (Μέρος Συζήτηση & Συμπεράσματα των αποτελεσμάτων).

Σε περιβάλλον με υπερβολικά υψηλά επίπεδα αλατότητας και υψηλές θερμοκρασίες, όπως στην περίπτωση μας, η ξηρή σήψη εμφανίζεται με μεγάλη συχνότητα, οι συνθήκες αυτές ευνοούν στην ένταση του φαινομένου (Τζάμος 2004).

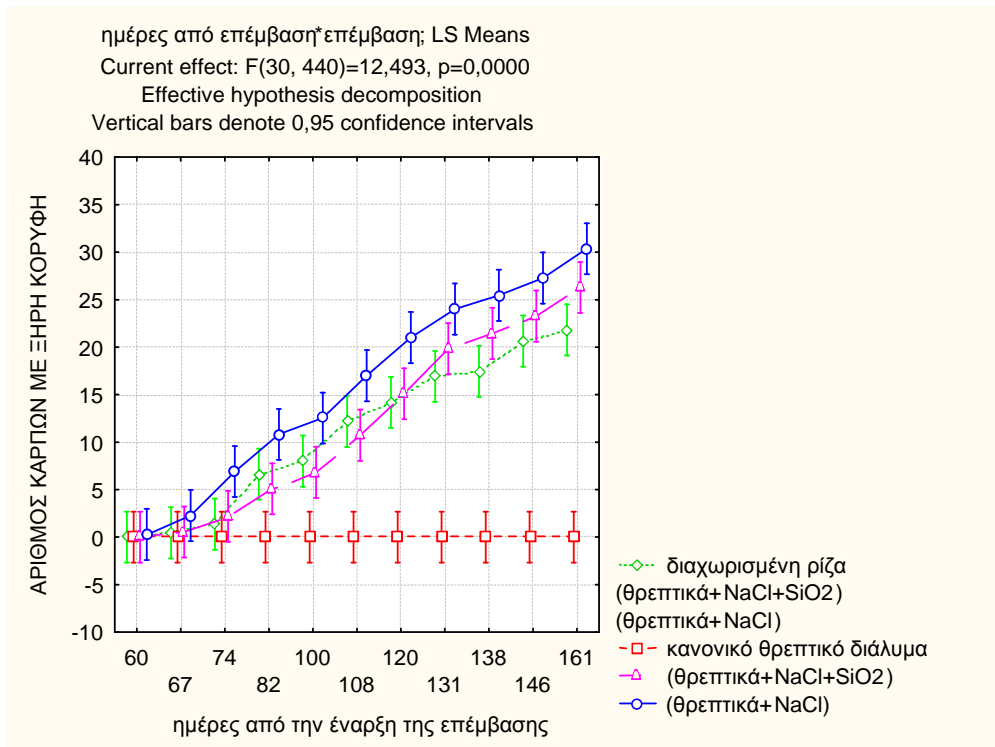


Εικόνα 38-39: Ξηρή σήψη κορυφής καρπού (Blossom-end rot)

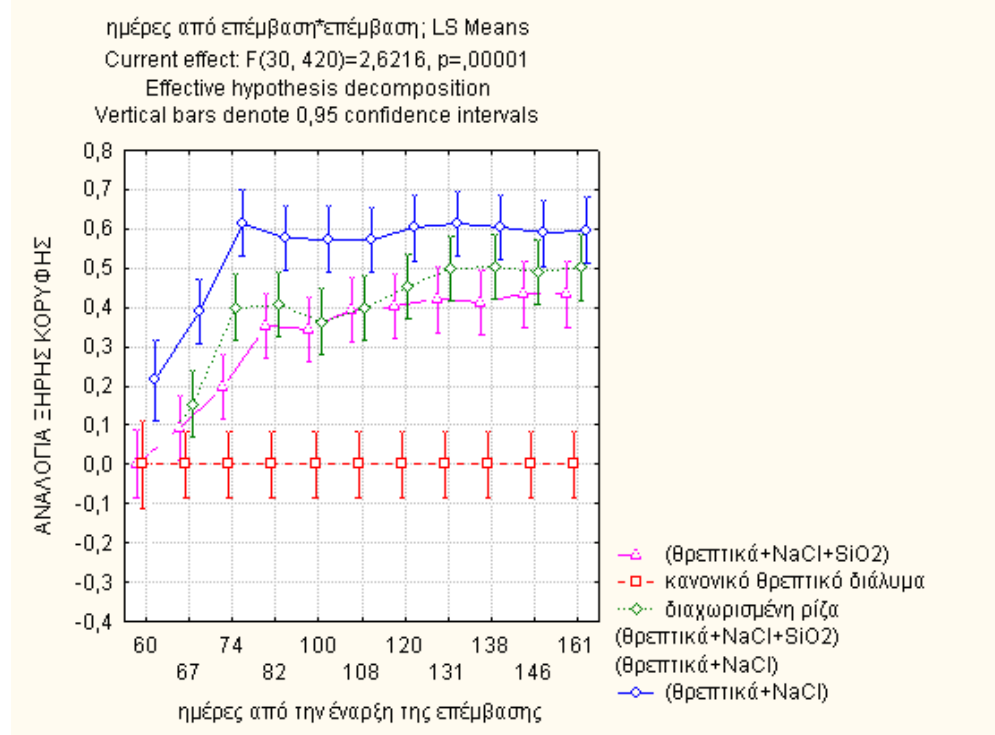
Στο πείραμα μας το φαινόμενο αυτό εμφανίστηκε σε όλα τα φυτά που δέχθηκαν την επίδραση υψηλής συγκέντρωσης NaCl, αντίθετα στα αντίστοιχα φυτά του μάρτυρα Β απουσίαζε παντελώς. Η ξηρή σήψη παρουσιάστηκε σχεδόν ταυτόχρονα με την αρχή της συγκομιδής (17 Φεβρουαρίου) και συνεχίστηκε μέχρι το τέλος της καλλιέργειας.

Το ενδιαφέρον της υπόθεσης αποτελεί η αισθητή μείωση της εμφάνισης του φαινομένου στους καρπούς των φυτών που εκτός από την τροφοδότηση του θρεπτικού διαλύματος & NaCl, δέχθηκαν και την επίδραση του SiO<sub>2</sub> στο ριζικό σύστημα. Η μείωση αυτή των καρπών με ξηρή σήψη κορυφής επιβεβαιώνεται και στατιστικά από το test LSD Fisher.

Στην συνέχεια παρατίθενται τα διαγράμματα που παρουσιάζουν τον αριθμό των καρπών με ξηρή σήψη κορυφή (διάγραμμα 11) και την αναλογία αυτών των καρπών στο σύνολο της παραγωγής σε κάθε επέμβαση (διάγραμμα 12).



Διάγραμμα 11: Ο αριθμός των καρπών με ξηρή σήψη κορυφής ανά φυτό σε κάθε επέμβαση



Διάγραμμα 12: Η αναλογία των καρπών με ξηρή σήψη κορυφής στο σύνολο της παραγωγής

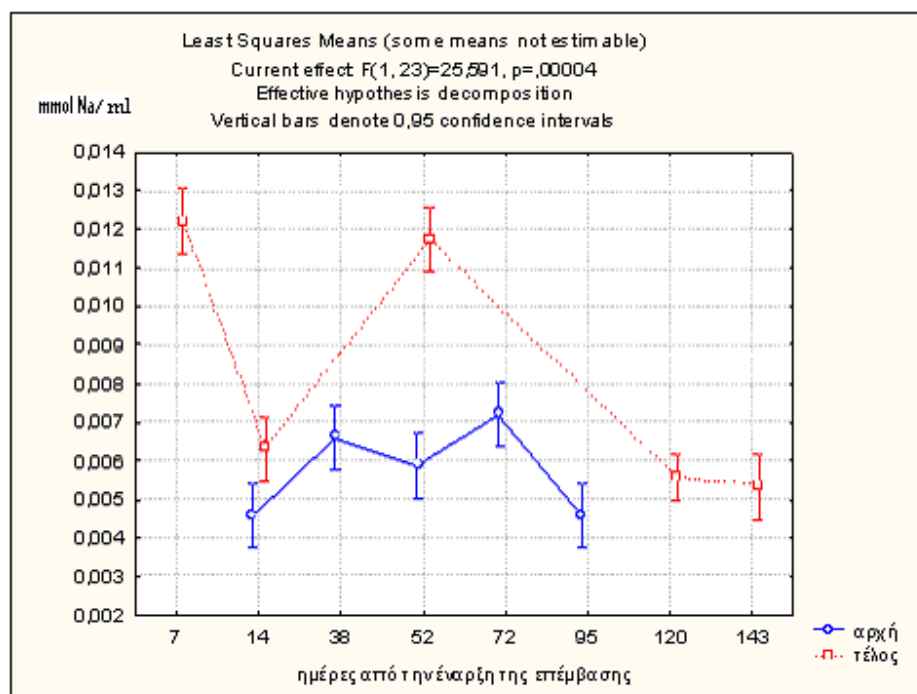
## ► ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.3:

### Τα αποτελέσματα στην απορρόφηση του Νατρίου ( $\text{Na}^+$ )

#### 3.3.1 Περιεκτικότητα Νατρίου ( $\text{Na}^+$ ) στο θρεπτικό διάλυμα

Στο παρών υποκεφάλαιο θα εξετάσουμε τις συγκεντρώσεις του ιόντος Νατρίου ( $\text{Na}^+$ ) στο θρεπτικό διάλυμα. Όπως είδαμε στην παρασκευή και υπολογισμό της σύνθεσης των θρεπτικών διαλυμάτων ανά 2 εβδομάδες απορρίπταμε το διάλυμα και το αντικαθιστούσαμε με νέο, ταυτόχρονα όμως λαμβανόταν δείγμα για χημική ανάλυση. Στα επόμενα διαγράμματα θα παρακολουθήσουμε την εξέλιξη του στοιχείου στην κάθε δεξαμενή, οι κόκκινες γραμμές αντιπροσωπεύουν την συγκέντρωση του στοιχείου στο απορριπτόμενο διάλυμα ενώ οι μπλέ την συγκέντρωση στο νέο διάλυμα

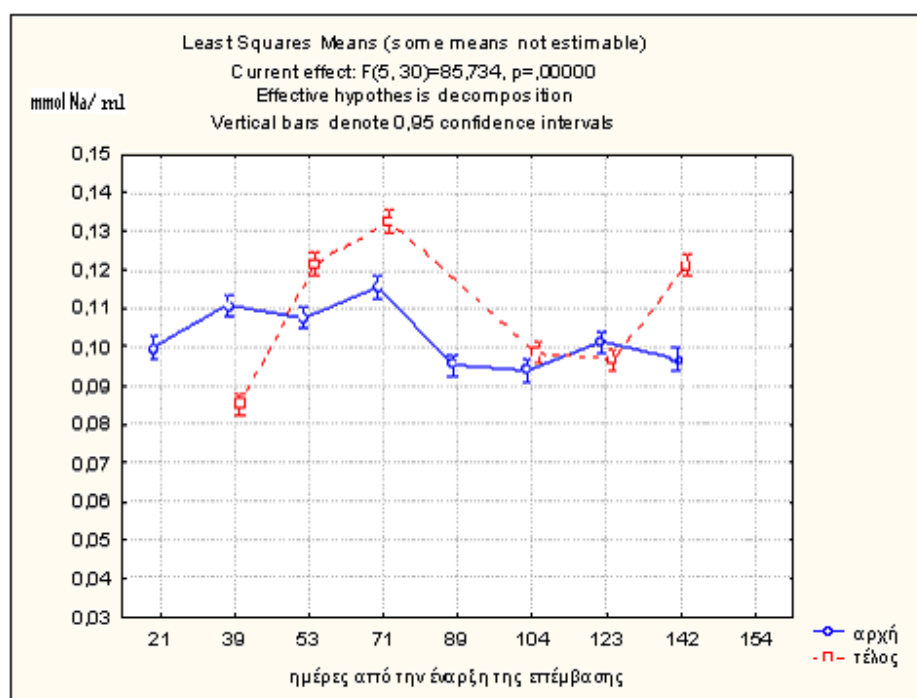
#### → ΔΕΞΑΜΕΝΗ Β (Θρεπτικά Στοιχεία)



Διάγραμμα 13: Δεξαμενή Β του μάρτυρα (θρεπτικό διάλυμα)

Στη δεξαμενή Β (Διάγραμμα 13) που είναι ο μάρτυρας Β το θρεπτικό διάλυμα αποτελείται από τα λιπαντικά στοιχεία που προσθέταμε και το νερό που προέρχεται από το υδρευτικό δίκτυο του ΓΠΑ, παρόλο που δεν υπήρχε επέμβαση NaCl το νερό του δικτύου περιέχει ποσότητες NaCl έστω και μικρές. Επακόλουθο είναι έστω και με τις μικρές αυτές ποσότητες να υπάρχει μια στοιχειώδης απορρόφηση του στοιχείου στα φυτά, η παρουσίαση του μάρτυρα χρησιμεύει κυρίως για λόγους συγκριτικούς με τις υπόλοιπες επεμβάσεις που θα δούμε παρακάτω.

### → ΔΕΞΑΜΕΝΗ Ε (Θρεπτικά Στοιχεία + NaCl)



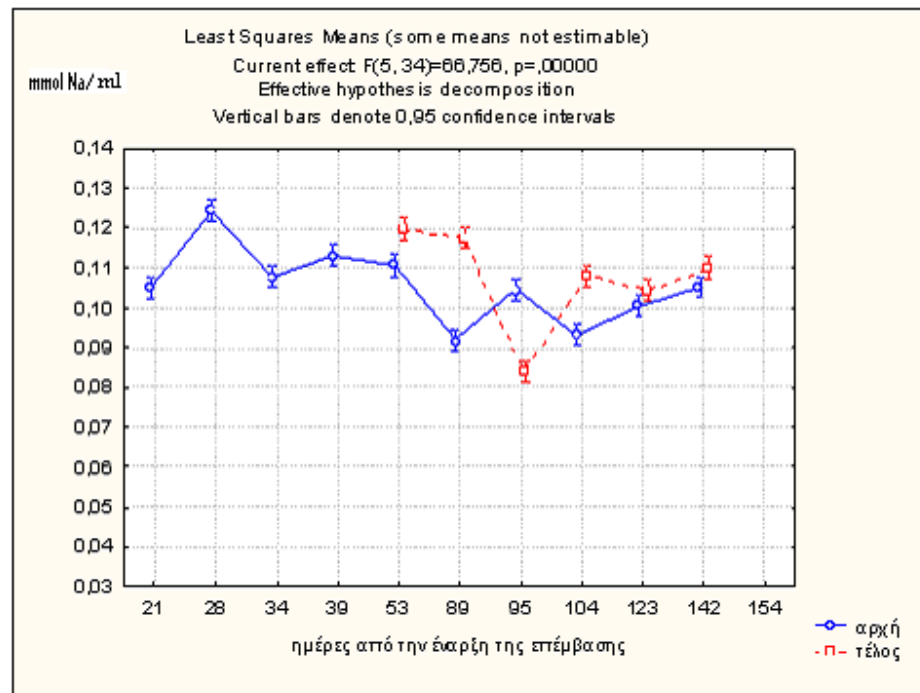
Διάγραμμα 14: Δεξαμενή Ε (θρεπτικά στοιχεία + NaCl)

Στο Διάγραμμα 14 παρακολουθούμε την εξέλιξη του Νατρίου (Na<sup>+</sup>) στο θρεπτικό διάλυμα της επέμβασης Ε που αποτελείται από λιπαντικά στοιχεία και NaCl. Η μπλέ γραμμή όπως σε όλα τα επόμενα διαγράμματα απεικονίζει την προσπάθεια να δημιουργήσουμε σταθερές συνθήκες αλατότητας στο περιβάλλον της ρίζας σε όλες τις επεμβάσεις με NaCl γύρω στο 0,10 mmol Na<sup>+</sup>/ml.

Οι τιμές της κόκκινης γραμμής δεν απέχουν και πολύ από τις αντίστοιχες του μπλέ που υποδηλώνει ότι δεν υπήρχε εντυπωσιακή συσσώρευση του στοιχείου κατά την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου, οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ 0,0838mmol Na<sup>+</sup>/ml και 0,134 mmol Na<sup>+</sup>/ml.



Επομένως υπάρχει μια σχετική σταθερότητα στην απορρόφηση του Νατρίου ( $\text{Na}^+$ ) σε αυτήν την επέμβαση.

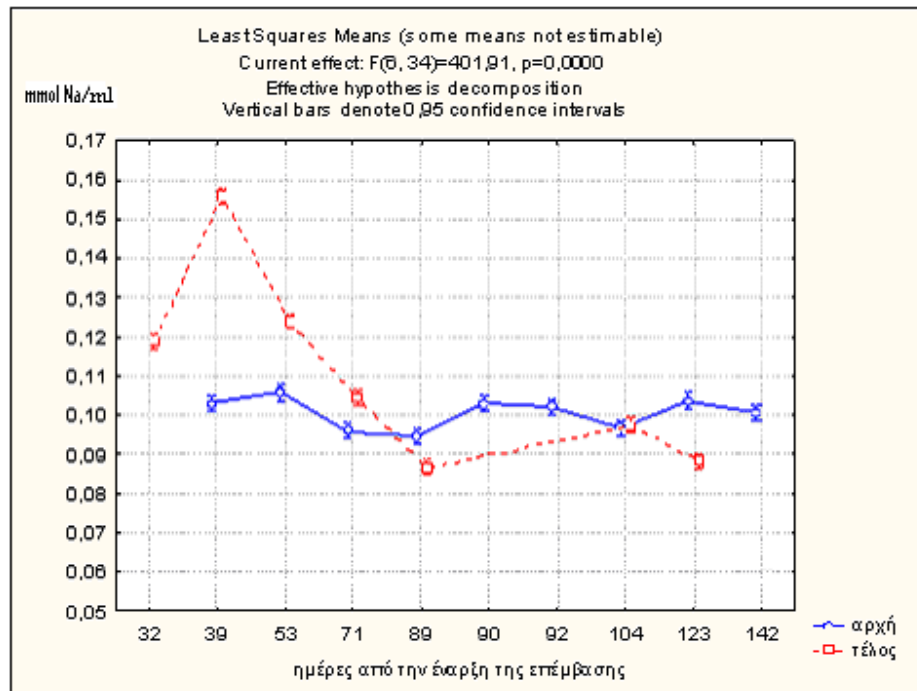


Διάγραμμα 15: Δεξαμενή της διαχωρισμένης ρίζας (A) του διαμερίσματος χωρίς την παρουσία του  $\text{SiO}_2$  (θρεπτικά στοιχεία +  $\text{NaCl}$ )

Παρόμοια εξέλιξη παρακολουθούμε εδώ (Διάγραμμα 15) στο θρεπτικό διάλυμα του διαμερίσματος της διαχωρισμένης ρίζας που αρδεύεται με θρεπτικό διάλυμα ίδιας συστάσεως με την επέμβαση E (θρεπτικά στοιχεία +  $\text{NaCl}$ ). Η κόκκινη γραμμή επίσης ακολουθεί την πορεία της μπλέ χωρίς μεγάλες αποκλίσεις, επομένως η απορρόφηση του Νατρίου ( $\text{Na}^+$ ) και εδώ χαρακτηρίζεται από σταθερότητα κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Οι τιμές κατά την απόρριψη του θρεπτικού διαλύματος κυμαίνονται περίπου στο ίδιο πλαίσιο με το προηγούμενο διάγραμμα, μεταξύ  $0,08175 \text{ mmol Na}^+/\text{ml}$  και  $0,1253 \text{ mmol Na}^+/\text{ml}$ .

### → ΔΕΞΑΜΕΝΗ D (Θρεπτικά Στοιχεία+ $\text{NaCl}$ + $\text{SiO}_2$ )

Στη δεξαμενή D το θρεπτικό διάλυμα αποτελείται από τα καθιερωμένα λιπαντικά στοιχεία, το  $\text{NaCl}$  και το  $\text{SiO}_2$ . Στην επόμενη σελίδα έχουμε το αντίστοιχο διάγραμμα 16:

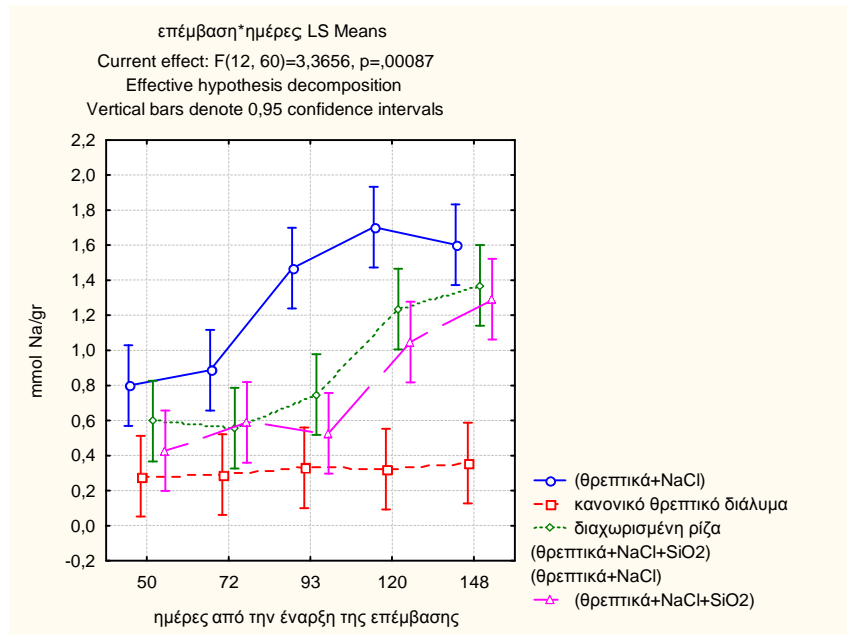


Διάγραμμα 16: Δεξαμενή D (θρεπτικά στοιχεία + NaCl + SiO<sub>2</sub>)

Σε αντίθεση με τις προηγούμενες δεξαμενές με NaCl, η παρούσα περιλαμβάνει και την ένωση του SiO<sub>2</sub>. Όπως παρατηρούμε στο διάγραμμα 16 στην αρχή της καλλιεργητικής περιόδου (χειμώνα) έχουμε συσσώρευση του Νατρίου (Na<sup>+</sup>), η μεγάλη κορυφή της κόκκινης γραμμής αντιπροσωπεύει την υψηλή συγκέντρωση του στοιχείου στο απορριπτόμενο διάλυμα λόγω της μη απορρόφησης του από το σύνολο των φυτών. Από τα τέλη Μαρτίου στη συσσώρευση έχουμε εξομάλυνση της κατάστασης μέχρι το τέλος της καλλιέργειας. Οι τιμές του απορριπτόμενου διαλύματος κυμαίνονται μεταξύ 0,0859 mmol Na<sup>+</sup>/ml και 0,1558 mmol Na<sup>+</sup>/ml.

### 3.3.2 Περιεκτικότητα Νατρίου (Na<sup>+</sup>) στα φύλλα

Κατά την διάρκεια της πειραματικής καλλιέργειας ως γνωστόν πραγματοποιούταν λήψη του 4<sup>ου</sup> φύλλου από την κορυφή του φυτού για χημική ανάλυση. Στο διάγραμμα 16 παρουσιάζεται η περιεκτικότητα Νατρίου για κάθε παραγόμενο γραμμάριο ξηρού βάρους του 4<sup>ου</sup> φύλλου:



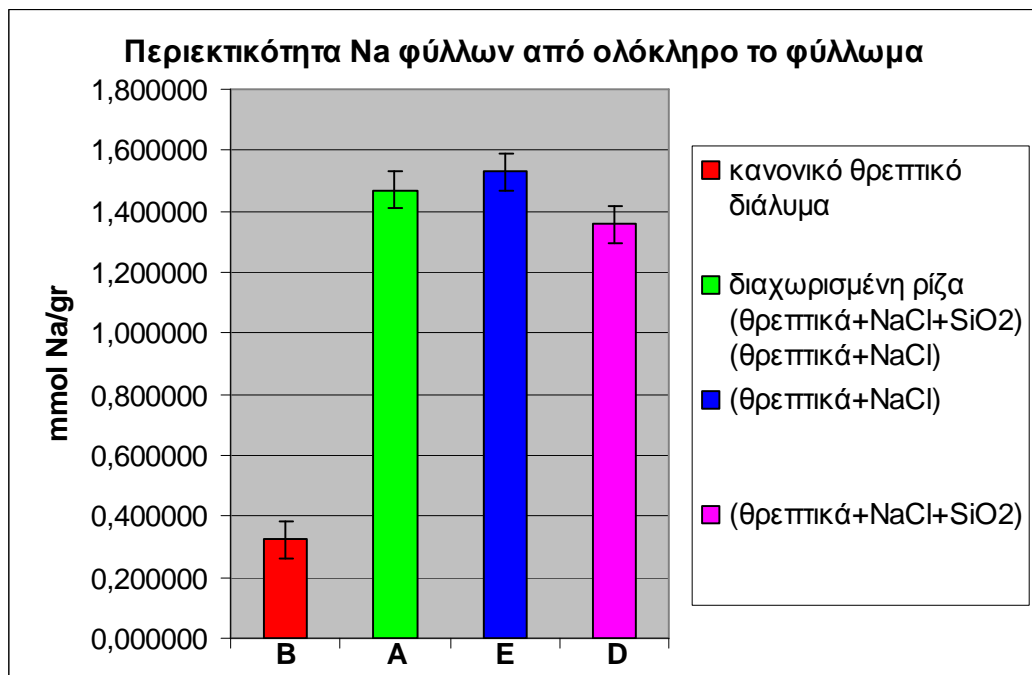
Διάγραμμα 16: Περιεκτικότητα του Νατρίου στο 4<sup>ο</sup> φύλλο (mmol Na/gr ξηρού βάρους φύλλου)

Η περιεκτικότητα του Νατρίου (Na<sup>+</sup>) του μάρτυρα B (κανονικό θρεπτικό διάλυμα) είναι σημαντικά η χαμηλότερη και παραμένει χαμηλή μέχρι και την τελευταία μέτρηση που είναι στις 8 Μαΐου (148 μέρες από την έναρξη των επεμβάσεων).

Αντίθετα τις μεγαλύτερες τιμές περιεκτικότητας Νατρίου (Na<sup>+</sup>) τις κατέχει η επέμβαση E (θρεπτικά στοιχεία + NaCl), ενώ οι επεμβάσεις (D,A) με υψηλή συγκέντρωση NaCl και παρουσία στο διάλυμα τους SiO<sub>2</sub> (ολόκληρη ή ήμισυ του ριζικού συστήματος) παρουσιάζουν ενδιάμεση κατάσταση. Η υπεροχή της επέμβασης E σε σχέση με τις υπόλοιπες επεμβάσεις επιβεβαιώνεται και στατιστικά από το test LSD Fisher, συνεπώς οι διαφορές μεταξύ των επεμβάσεων είναι σημαντικές στατιστικά και χωρίζονται σε τρία στατιστικά επίπεδα:

- Ο μάρτυρας B (κανονικό θρεπτικό διάλυμα).
- Οι επεμβάσεις D (θρεπτικό διάλυμα υψηλής συγκέντρωσης NaCl με παρουσία SiO<sub>2</sub> σε ολόκληρη το ριζικό σύστημα) και A (διαχωρισμένη ρίζα)
- Η επέμβαση E (θρεπτικό διάλυμα με υψηλή συγκέντρωση NaCl).

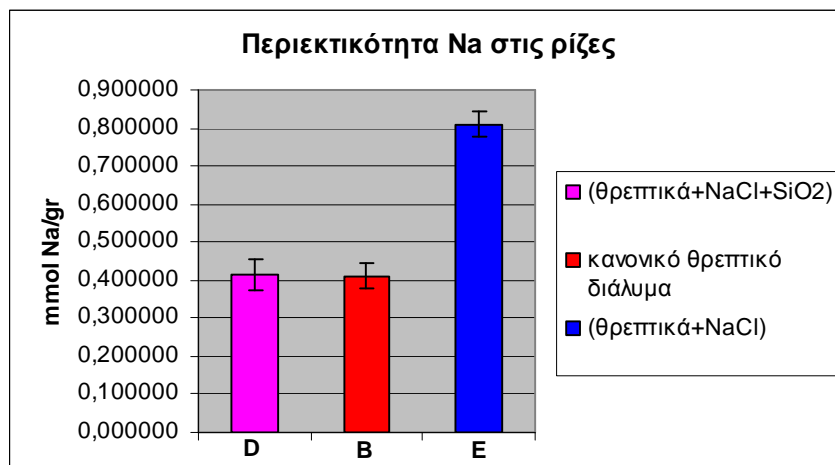
**Περιεκτικότητα Νατρίου ( $\text{Na}^+$ ) από ολόκληρο το φύλλωμα:** Αντίστοιχη εικόνα παρατηρήθηκε και στις 10 Ιουνίου όταν τερματίστηκε το πειραματικό μέρος της καλλιέργειας και συλλέχθηκε το σύνολο των φύλλων. Οι τάσεις που είδαμε στο 4<sup>ο</sup> φύλλο επιβεβαιώνεται και στατιστικά από δείγματα ολόκληρου του φυλλώματος των φυτών. Τα αποτελέσματα της χημικής ανάλυσης Νατρίου ( $\text{Na}^+$ ) είναι ως εξής:



Ραβδόγραμμα 6: Περιεκτικότητα Νατρίου των φύλλων από ολόκληρο το φύλλωμα (mmol Na/gr ξηρού βάρους φύλλου)

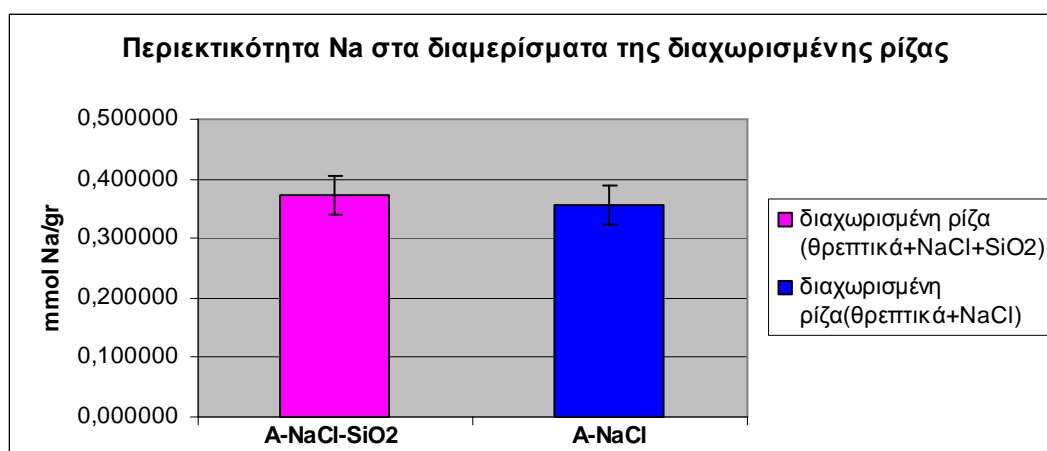
### 3.3.3 Περιεκτικότητα Νατρίου ( $\text{Na}^+$ ) στις ρίζες

Εκτός από το φύλλωμα στις 10 Ιουνίου πάρθηκαν δείγματα από τους ιστούς του ριζικού συστήματος των φυτών. Εντύπωση προκαλεί ότι η περιεκτικότητα του Νατρίου ( $\text{Na}^+$ ) όπως φαίνεται στη συνέχεια (ραβδογράμματα 7&8) των επεμβάσεων NaCl με SiO<sub>2</sub> (A,D) είναι στατιστικά ίσες (test LSD Fisher) με εκείνη του μάρτυρα B (κανονικό θρεπτικό διάλυμα). Συνεπώς παρατηρούμε ότι εξαιρουμένης της επέμβασης E (θρεπτικά στοιχεία + NaCl) οι υπόλοιπες επεμβάσεις δεν έχουν καμία στατιστική διαφορά.



Ραβδόγραμμα 7: Περιεκτικότητα Νατρίου των ριζών (mmol Na/gr ξηρού βάρους ρίζας)

Η ανάλυση των ριζών των φυτών με διαχωρισμένη ρίζα (επέμβαση A) δείχνει ότι η περιεκτικότητα του Νατρίου (Na<sup>+</sup>) στα δύο διαμερίσματα στατιστικά είναι ίσες και μεταξύ τους και με τις υπόλοιπες επεμβάσεις που είδαμε προηγουμένως πλην βεβαίως της επέμβασης E (θρεπτικά στοιχεία + NaCl).



Ραβδόγραμμα 8: Περιεκτικότητα Νατρίου των διαμερισμάτων της επέμβασης A (mmol Na/gr ξηρού βάρους ρίζας)

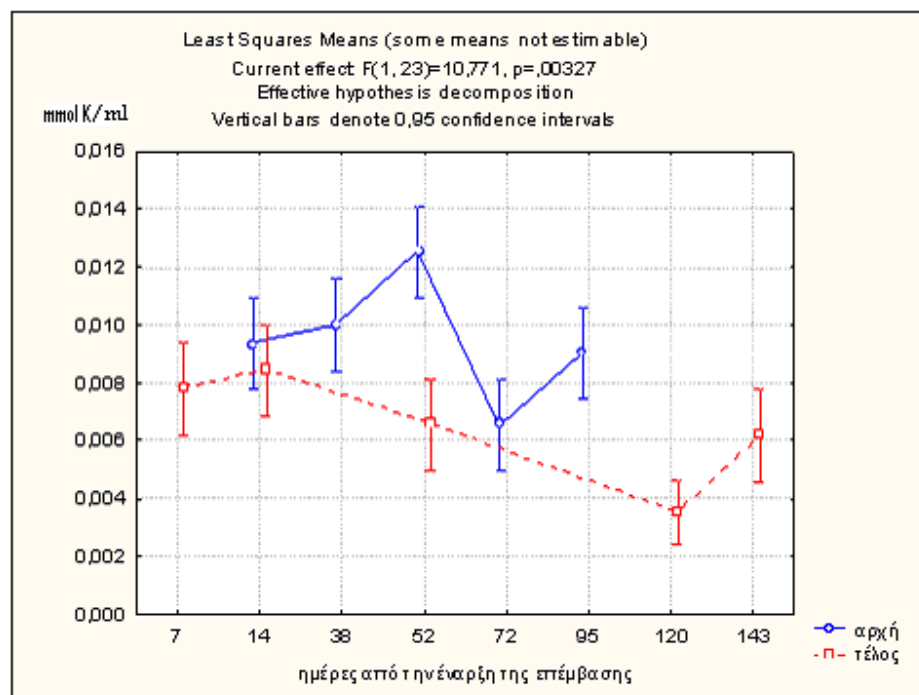
## ► ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.4:

### Τα αποτελέσματα στην απορρόφηση του Καλίου ( $K^+$ )

#### 3.4.1 Περικτικότητα Καλίου ( $K^+$ ) στο θρεπτικό διάλυμα

Το Κάλιο ( $K^+$ ) ως θρεπτικό μακροστοιχείο προερχόταν από την καθημερινή προσθήκη ποσοτήτων πυκνών θρεπτικών διαλυμάτων στις δεξαμενές. Για την ομοιόμορφη ισορροπία των λιπαντικών στοιχείων στο περιβάλλον της ρίζας όλων των φυτών, γινόταν αντικατάσταση του διαλύματος όπως είδαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο ανά τακτό χρονικό διάστημα (2 εβδομάδες).

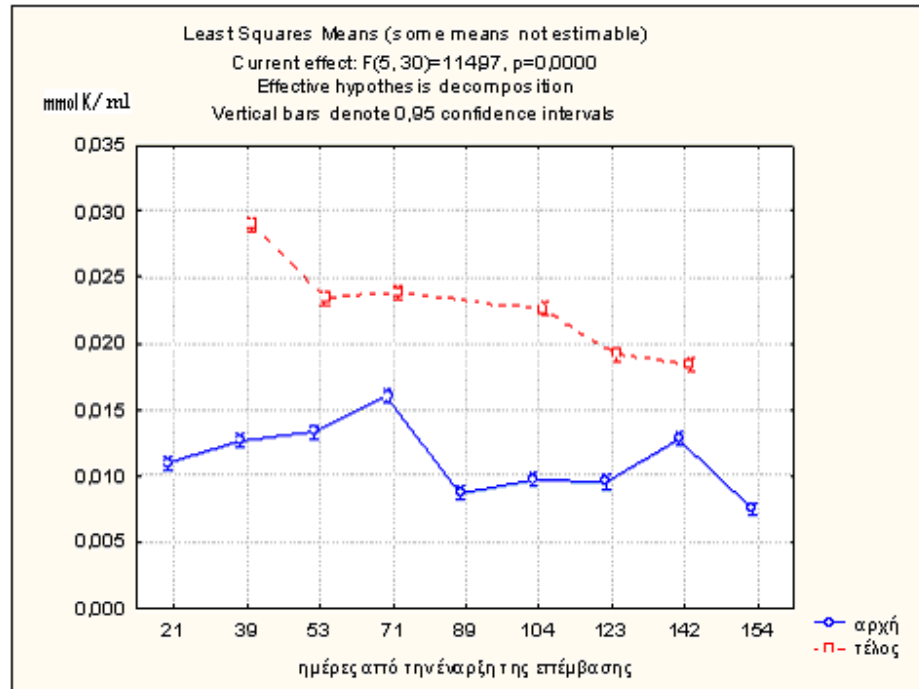
#### → ΔΕΞΑΜΕΝΗ Β (Θρεπτικά Στοιχεία)



Διάγραμμα 17: Δεξαμενή Β (θρεπτικά στοιχεία)

Στη δεξαμενή Β (μάρτυρας) δεν υπάρχει καμιά συσσώρευση του Καλίου ( $K^+$ ) αντίθετα υπάρχει απορρόφηση του σε όλη τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου (διάγραμμα 17). Οι τιμές του στοιχείου στο απορριπτόμενο διάλυμα είναι πάντα χαμηλότερες από το νέο.

→ ΔΕΞΑΜΕΝΗ Ε (Θρεπτικά Στοιχεία + NaCl)

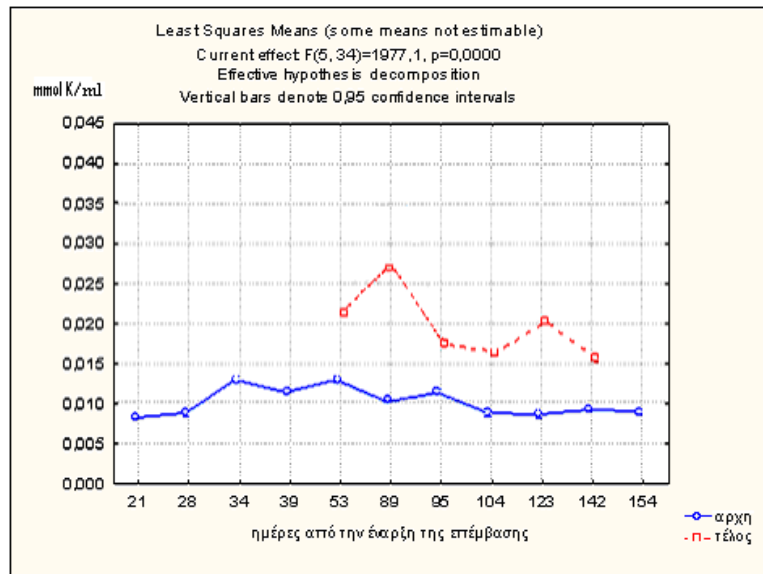


Διάγραμμα 18: Δεξαμενή Ε (θρεπτικά στοιχεία + NaCl)

Στη δεξαμενή Ε (διάγραμμα 18) σε γενικές γραμμές έχουμε συσσώρευση του Καλίου ( $K^+$ ) η οποία ακολουθεί σταθερή πορεία σε όλη τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Οι τιμές στο απορριπτόμενο διάλυμα κυμαίνονται μεταξύ  $0,0181 \text{ mmol } K^+/\text{ml}$  και  $0,0297 \text{ mmol } K^+/\text{ml}$ .

Το ίδιο ισχύει και στην περίπτωση του διαγράμματος 19 που απεικονίζει τη δεξαμενή Α που τροφοδοτεί το διαμέρισμα της διαχωρισμένης ρίζας χωρίς παρουσία  $\text{SiO}_2$ . Το θρεπτικό διάλυμα είναι όμοιο με το αντίστοιχο της προηγούμενης δεξαμενής Ε (θρεπτικά στοιχεία + NaCl) που είδαμε στο διάγραμμα 18.

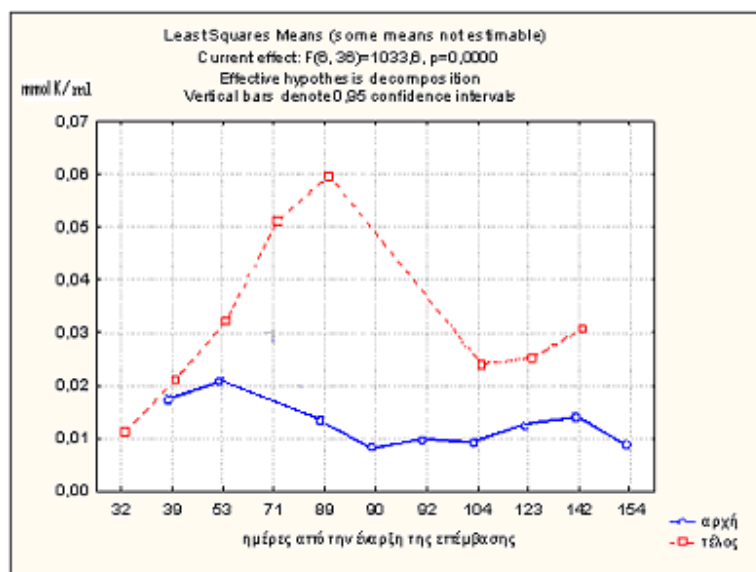
Οι τιμές του συσσωρευμένου Καλίου ( $K^+$ ) στο διάγραμμα 19 κυμαίνονται στα ίδια επίπεδα με την προηγούμενη δεξαμενή Ε και είναι μεταξύ  $0,01554 \text{ mmol } K^+/\text{ml}$  και  $0,02645 \text{ mmol } K^+/\text{ml}$ . Ομοίως έχουμε και εδώ μια σταθερότητα της συσσώρευσης του στοιχείου σε όλη τη διάρκεια του πειράματος.



Διάγραμμα 19: Δεξαμενή A της επέμβασης της διαχωρισμένης ρίζας (θρεπτικά στοιχεία + NaCl)

→ ΔΕΞΑΜΕΝΗ D (Θρεπτικά Στοιχεία+NaCl+SiO<sub>2</sub>)

Η δεξαμενή D (θρεπτικά στοιχεία + NaCl + SiO<sub>2</sub>) που απεικονίζει το διάγραμμα 20 εμφανίζει συνεχιζόμενη συσσώρευση του στοιχείου με μέγιστη τιμή στα μέσα Μαρτίου. Με την άνοδο της θερμοκρασίας και την είσοδο σε θερμότερους μήνες η συσσώρευση στο απορριπτόμενο διάλυμα υποχωρεί και συνεπώς αυξάνεται η απορρόφηση του από τα φυτά. Οι τιμές του Καλίου (K<sup>+</sup>) στο απορριπτόμενο διάλυμα είναι πολύ μεγαλύτερες από τις υπόλοιπες δεξαμενές με NaCl και κυμαίνονται μεταξύ 0,0097mmol K<sup>+</sup>/ml και 0,0605 mmol K<sup>+</sup>/ml.

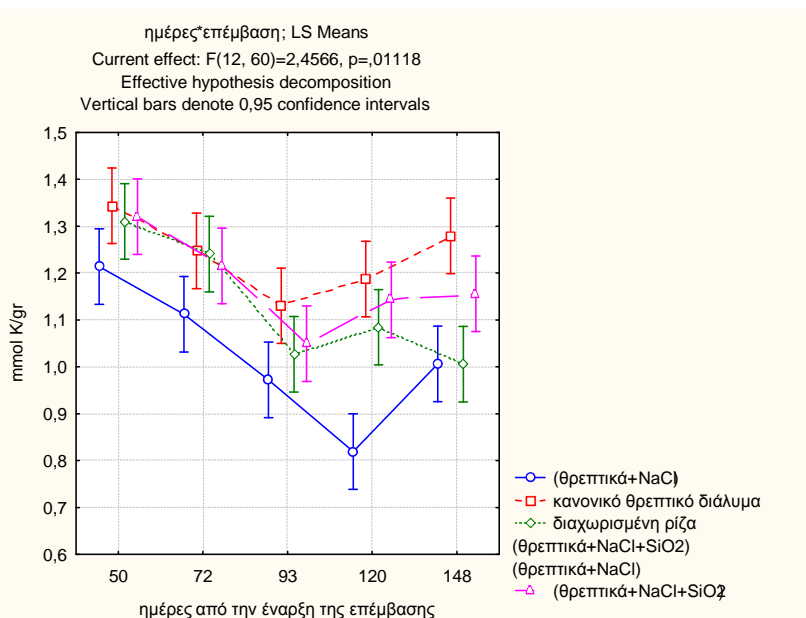


Διάγραμμα 20: Δεξαμενή D (θρεπτικά στοιχεία + NaCl + SiO<sub>2</sub>)



### 3.4.2 Περιεκτικότητα Καλίου (K<sup>+</sup>) στα φύλλα

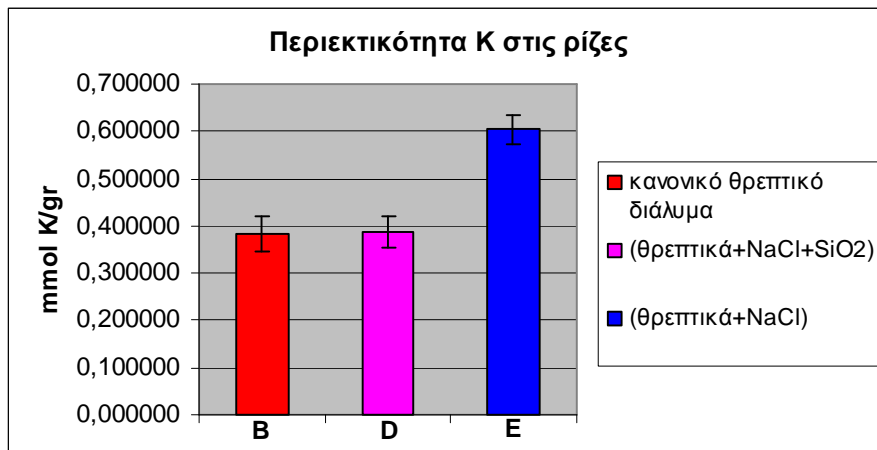
Όπως στο Νάτριο (Na<sup>+</sup>) έτσι λοιπόν και στο Κάλιο (K<sup>+</sup>) υπολογίστηκε η περιεκτικότητα του στοιχείου στο 4<sup>ο</sup> φύλλο από την κορυφή του φυτού (mmol K<sup>+</sup>/gr ξηρού βάρους) κατά τη διάρκεια της πειραματικής καλλιέργειας. Οι μετρήσεις δείχνουν ότι η επέμβαση E (θρεπτικά στοιχεία & υψηλή συγκέντρωση NaCl) έχει την μικρότερη περιεκτικότητα Καλίου (K<sup>+</sup>) από όλες τις επεμβάσεις με σημαντική στατιστική διαφορά, ενώ παρατηρείται μια ασήμαντη τάση αύξησης του μάρτυρα B (κανονικό θρεπτικό διάλυμα) σε σχέση με την επέμβαση D (θρεπτικά στοιχεία, υψηλή συγκέντρωση NaCl & SiO<sub>2</sub>) και σημαντική σε σχέση με τη επέμβαση A (διαχωρισμένη ρίζα).



Διάγραμμα 21: Περιεκτικότητα του Νατρίου στο 4<sup>ο</sup> φύλλο (mmol Na/gr ξηρού βάρους φύλλου)

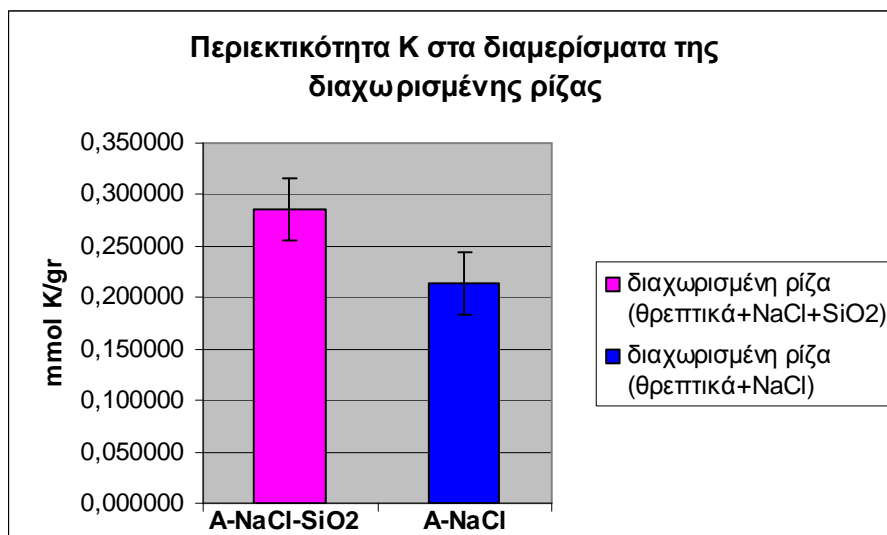
### 3.4.3 Περιεκτικότητα Καλίου (K<sup>+</sup>) στις ρίζες

Στις 10 Ιουνίου πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις Καλίου (K<sup>+</sup>) και στους ιστούς του ριζικού συστήματος των φυτών. Η επέμβαση E (υψηλή συγκέντρωση NaCl χωρίς SiO<sub>2</sub>) παρουσιάζει την μεγαλύτερη περιεκτικότητα K<sup>+</sup> (mmol) ανά γραμμάριο ξηρού βάρους από όλες τις επεμβάσεις, ενώ ο μάρτυρας B (κανονικό θρεπτικό διάλυμα) και η επέμβαση D (θρεπτικά+NaCl+SiO<sub>2</sub>) βρίσκονται στο ίδιο στατιστικό επίπεδο.



Ραβδόγραμμα 9: Περιεκτικότητα Καλίου των ριζών (mmol Na/gr ξηρού βάρους ρίζας)

Στα φυτά με διαχωρισμένη ρίζα (επέμβαση Α) οι αναλύσεις των ιστών του ριζικού συστήματος έδειξε ότι τα επίπεδα Καλίου στα δύο διαμερίσματα έχουν σημαντική στατιστική διαφορά μεταξύ τους. Το διαμέρισμα με παρουσία SiO<sub>2</sub> παρουσιάζει σημαντικά μεγαλύτερη περιεκτικότητα Καλίου (K<sup>+</sup>) από το άλλο διαμέρισμα, πιθανή ένδειξη της προτίμησης του φυτού ως πηγή θρέψης το συγκεκριμένο διαμέρισμα. Το διαμέρισμα με παρουσία SiO<sub>2</sub> στατιστικά δεν διαφέρει από τις αντίστοιχες περιεκτικότητες του μάρτυρα Β (κανονικό θρεπτικό διάλυμα) και της επέμβασης Δ (θρεπτικά+NaCl+SiO<sub>2</sub>)



Ραβδόγραμμα 10: : Περιεκτικότητα Καλίου (K<sup>+</sup>) των διαμερισμάτων της επέμβασης Α (mmol Na/gr ξηρού βάρους ρίζας)

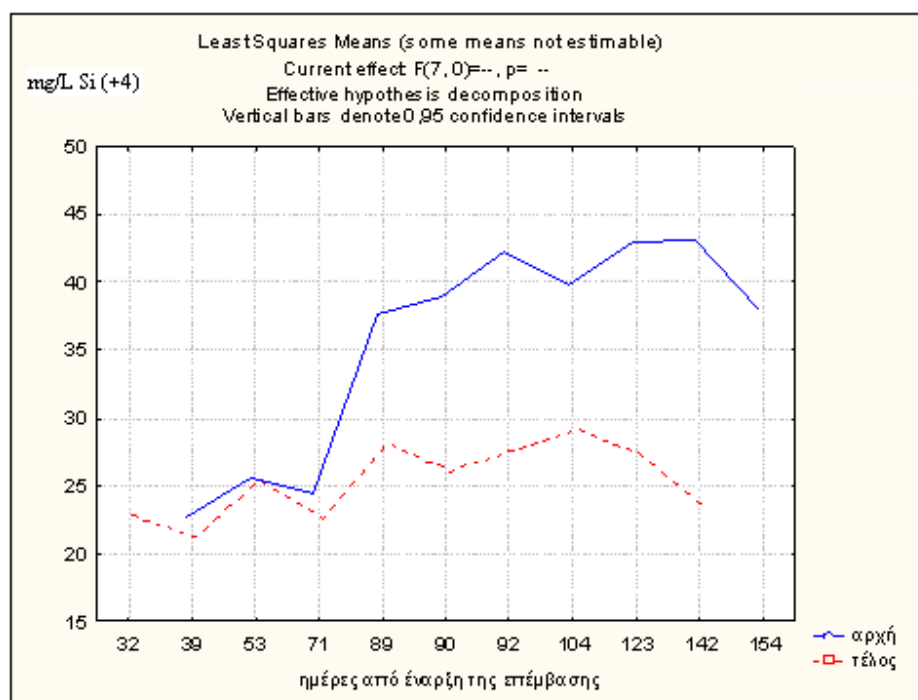
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.5:

### Τα αποτελέσματα στην απορρόφηση του Πυριτίου ( $\text{Si}^{+4}$ )

#### 3.5.1 Περιεκτικότητα Πυριτίου ( $\text{Si}^{+4}$ ) στο θρεπτικό διάλυμα

Το Πυρίτιο ( $\text{Si}^{+4}$ ) ως χημικό στοιχείο προερχόταν από την προσθήκη  $\text{SiO}_2$  κατά την αντικατάσταση του θρεπτικού διαλύματος με νέο στην δεξαμενή D. Η ανάλυση των δειγμάτων των νέων και απορριπτόμενων διαλυμάτων μας έδωσε τις μετρήσεις που απεικονίζει το διάγραμμα 22:

#### → ΔΕΞΑΜΕΝΗ D (Θρεπτικά Στοιχεία+NaCl+ $\text{SiO}_2$ )

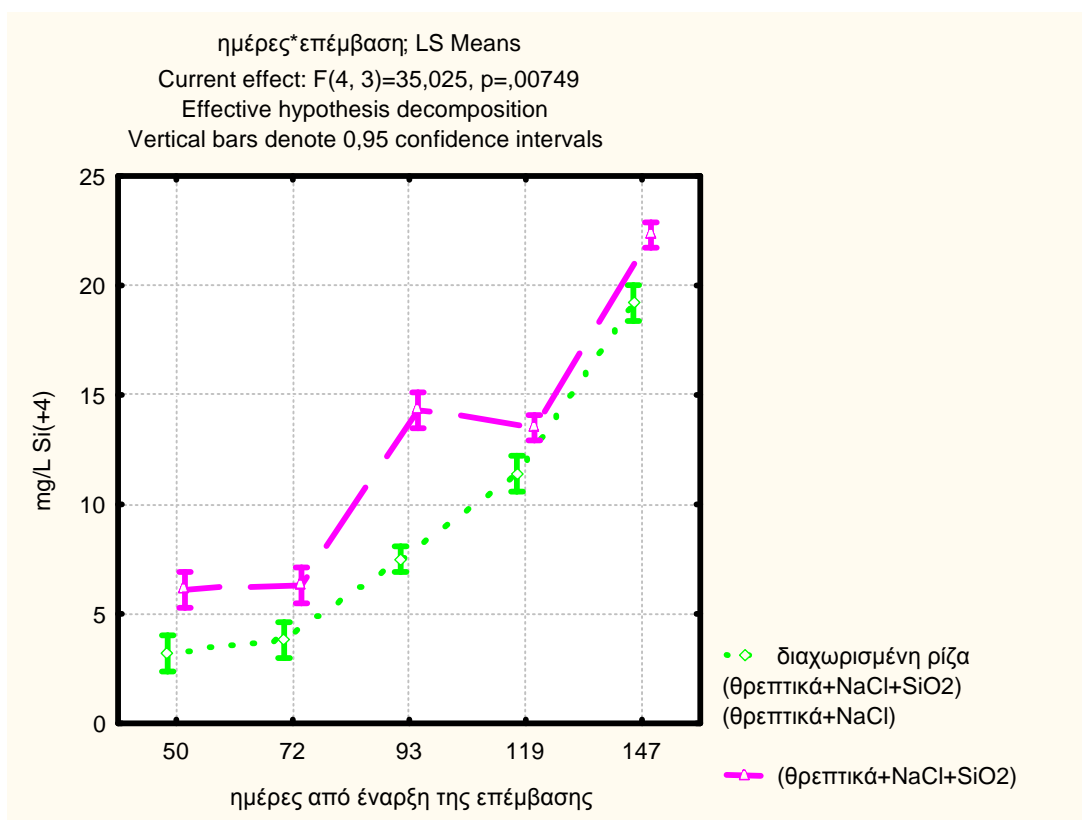


Διάγραμμα 22: Δεξαμενή D (θρεπτικά στοιχεία + NaCl +  $\text{SiO}_2$ )

Παρατηρούμε ότι υπάρχει ικανοποιητική απορρόφηση του στοιχείου στο θρεπτικό διάλυμα (κόκκινη γραμμή) σε όλο το διάστημα του πειράματος. Στη μπλε γραμμή που εμφανίζει την περιεκτικότητα του πυριτίου στην αρχή του θρεπτικού διαλύματος, η πραγματοποίηση της αύξησης της προσθήκης του  $\text{SiO}_2$  δηλαδή στις 11 Μαρτίου (89 ημέρες από την έναρξη της επέμβασης) είναι πασιφανής στο διάγραμμα 22.

### 3.5.2 Περιεκτικότητα Πυριτίου ( $\text{Si}^{+4}$ ) στα φύλλα

Ανά τακτικό χρονικό διάστημα (περίπου κάθε 20 ημέρες) το 4<sup>ο</sup> φύλλο από την κορυφή του φυτού όπως έγινε και στα προηγούμενα χημικά στοιχεία λαμβανόταν για ανάλυση και συγκεκριμένα από τις επεμβάσεις των φυτών με έκθεση μέρους ή ολόκληρου του ριζικού συστήματος στο  $\text{SiO}_2$  (A&D). Η ανάλυση των δειγμάτων των φύλλων στη φασματοσκοπία ατομικής απορρόφησης μας έδωσε τα εξής αποτελέσματα (Διάγραμμα 23):



Διάγραμμα 23: περιεκτικότητα πυριτίου ( $\text{Si}^{+4}$ ) στο 4<sup>ο</sup> φύλλο

Σύμφωνα με το test LSD Fisher δεν υπάρχει στατιστική διαφορά στη περιεκτικότητα του πυριτίου ( $\text{Si}^{+4}$ ) στο 4<sup>ο</sup> φύλλο ανάμεσα στη επέμβαση D (θρεπτικά στοιχεία+NaCl+SiO<sub>2</sub>) και στη επέμβαση A (διαχωρισμένη ρίζα). Οι δύο περιεκτικότητες ακολουθούν ανοδικό ρυθμό, επομένως έχουμε συνεχή συσσώρευση του στοιχείου στο 4<sup>ο</sup> φύλλο ανεξαρτήτως επέμβασης.

Στο διάγραμμα 23 βλέπουμε ότι κατά την ημέρα που έχουμε αύξηση της αναλογίας του  $\text{SiO}_2$  (11 Μαρτίου-89 ημέρες από την έναρξη των επεμβάσεων) ευνοούνται προσωρινά τα φυτά με παρουσία  $\text{SiO}_2$  σε όλο το ριζικό σύστημα σε βάρος αυτών της διαχωρισμένης ρίζας.

## **Δ. ΣΥΖΗΤΗΣΗ & ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ**

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.1:

### Συζήτηση & Συμπεράσματα των αποτελεσμάτων

---

#### 4.1.1 Συζήτηση και συμπεράσματα στην ανάπτυξη της καλλιέργειας

##### ► Αριθμός Φύλλων

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του πειράματος, η έκθεση των φυτών της τομάτας σε συνθήκες υψηλής αλατότητας (NaCl) μείωσε σε μεγάλο βαθμό τον αριθμό των φύλλων, επιβεβαιώνοντας τα αποτελέσματα προηγούμενων ερευνών στο ίδιο φυτό (Romero-Aranda, R., et al., 2001) (Mohammad, M., et al., 1998) (McCall, D., and Brazaityte, A. 1997). Η παρουσία του SiO<sub>2</sub> δεν είχε σημαντική επίδραση.

##### ► Μέσο Μέγεθος Φύλλων & Μέση Φυλλική Επιφάνεια ανά φυτό

Η υψηλή συγκέντρωση NaCl επίσης μείωσε το μέσο μέγεθος των φύλλων και την μέση φυλλική επιφάνεια ανά φυτό. Η μείωση του μέσου μεγέθους του φύλλου και της μέσης φυλλικής επιφάνειας ανά φυτό κάτω από συνθήκες έκθεσης των φυτών σε υπερβολική αλατότητα έχει αναφερθεί και σε άλλες έρευνες (Romero-Aranda, R., et al., 2001) (Al-Karaki, G.N. 2000) (Katerji, N., et al., 1998) (McCall, D., and Brazaityte, A. 1997).

Η *Μέση φυλλική επιφάνεια* (mm<sup>2</sup>) ανά φυτό όπως είδαμε υπολογίζεται έμμεσα από το γινόμενο του αριθμού των φύλλων ανά φυτό επί το μέσο μέγεθος του φύλλου. Συνεπώς η φυλλική επιφάνεια αποτελούμενη από δύο παράγοντες δέχεται έμμεσα την επίδραση της υψηλής συγκέντρωσης NaCl. Η μεγάλη μείωση του αριθμού των φύλλων ανά φυτό και του μεγέθους είχε σαν αποτέλεσμα την ανάλογη μείωση του γινομένου (μέση φυλλική επιφάνεια).

Η τροφοδότηση της τομάτας με θρεπτικό διάλυμα NaCl συν SiO<sub>2</sub> δεν περιόρισε την αρνητική επίδραση επίδραση του NaCl ως προς το μέγεθος της μέσης φυλλικής επιφάνειας, αντίθετα από ότι αναφέρουν στην εργασία τους οι Mercedes R. Romero - Aranda Oliva Jurado and Jesus Cuartero., (2006).

### ► Ύψος του Φυτού

Στη παρούσα εργασία η υπερβολική αλατότητα προκάλεσε την επιβράδυνση του ρυθμού ανάπτυξης τους, με αποτέλεσμα την μείωση του τελικού ύψους των φυτών. Η μείωση του ύψους λόγω αλατότητας στα φυτά της τομάτας είναι καθολικά διαπιστωμένη (Hajer, A.S., et al., 2006) (Romero-Aranda, R., 2001) (Mohammad, M., et al., 1998) (McCall, D., and Brazaityte, A. 1997) (Psarras, G., et al., 2008). Το SiO<sub>2</sub> στο πείραμα μας δεν είχε σημαντική επίδραση στη μείωση του ύψους που προκαλεί η υψηλή συγκέντρωση NaCl. Γενικά στη βιβλιογραφία παρατηρείται μικρή ή μεγάλη βελτίωση του ύψους των φυτών σε συνθήκες υψηλής αλατότητας (NaCl) από το SiO<sub>2</sub> (Mercedes R. Romero-Aranda Oliva Jurado and Jesus Cuartero, 2005).

### ► Απαίτηση νερού ανά μονάδα παραγόμενου νωπού προϊόντος (WUE)

Η απαίτηση σε νερό ανά μονάδα παραγόμενου νωπού προϊόντος (Water Use Efficiency) όπως είδαμε ορίζεται ως η ποσότητα του νερού (σε λίτρα) που απαιτείται από το φυτό για να παραχθεί συγκεκριμένη ποσότητα νωπού καρπού (σε γραμμάρια).

Τα φυτά του μάρτυρα που τροφοδοτούταν μόνο με θρεπτικό διάλυμα είχαν μεγαλύτερη απόδοση καρπών (παραγωγή νωπών προϊόντων) και μεγάλη κατανάλωση νερού, οι τιμές του στο WUE ήταν σε υψηλά επίπεδα.

Η υψηλή συγκέντρωση NaCl στο θρεπτικό διάλυμα είχε ως αποτέλεσμα μικρή παραγωγή νωπών προϊόντων και μείωση της κατανάλωσης νερού, προκαλώντας μείωση των τιμών της WUE δηλαδή μικρότερη απαίτηση σε ποσότητα νερού για να παραχθεί η ίδια ποσότητα νωπού καρπού με εκείνη του μάρτυρα..

Η προσθήκη SiO<sub>2</sub> στο θρεπτικό διάλυμα υψηλής συγκέντρωσης NaCl αύξησε την κατανάλωση νερού στα φυτά αλλά δεν είχε καμία επίπτωση στην παραγωγή νωπών προϊόντων, αυξάνοντας τις τιμές του WUE την επανέφερε στα επίπεδα του μάρτυρα.

Επομένως η υψηλή συγκέντρωση NaCl χωρίς την παρουσία SiO<sub>2</sub> επιφέρει την καλύτερη αξιοποίηση του νερού καθώς για την παραγωγή ίδιας ποσότητας νωπού προϊόντος απαιτεί μικρότερη ποσότητα νερού.

Σε συμπεράσματα που έχουν καταλήξει ερευνητές για το WUE έχει προσδιοριστεί θετική επιρροή της αλατότητας (Wan, S., et al., 2007) και αρνητική (Reina-Sanchez, A., et al., 2005), οι διαφορές αυτές εξαρτώνται κυρίως από τον τρόπο υπολογισμού της παραγωγής, την μορφή του υποστρώματος και το σύστημα της καλλιέργειας.

#### 4.1.2 Συζήτηση και συμπεράσματα στην παραγωγή βιομάζας

##### ► Η ταχύτητα αύξησης της ρίζας

Παρατηρήσαμε κατά την διάρκεια της πειραματικής καλλιέργειας την διαφορετική ταχύτητα αύξησης στο ριζικό σύστημα των φυτών της διαχωρισμένης ρίζας ανάμεσα στα δύο διαμερίσματα είναι αξιοπρόσεκτη. Το συμπέρασμα ότι οι ρίζες με απορρόφηση  $\text{SiO}_2$  δίνουν μεγαλύτερη ταχύτητα αύξησης σε σύγκριση με τις αντίστοιχες χωρίς επίδραση  $\text{SiO}_2$  (μικρότερο ποσοστό κάλυψης του διαμερίσματος) λόγω της επίδρασης της συγκεκριμένης ένωσης είναι παρακινδυνευμένη. Το φαινόμενο απλώς αναφέρεται στην παρούσα διατριβή, φυσικά απαιτεί περαιτέρω διερεύνηση με περισσότερα ακριβή στοιχεία, ώστε να τεκμηριωθεί ως συμπέρασμα.

##### ► Βλαστός & Φύλλα

Στην παρούσα εργασία βρέθηκε ότι, η έκθεση των φυτών σε υψηλή συγκέντρωση  $\text{NaCl}$  μείωσε σημαντικά και στον ίδιο βαθμό τόσο το ξηρό βάρος των βλαστών, όσο και των φύλλων. Ανάλογα αποτελέσματα έχουν βρεθεί και σε άλλες έρευνες (Hajer, A.S., et al., 2006) (Moghaieb, R.E., et al., 2001) (Romero-Aranda, R., et al., 2001). Το ποσοστό ξηρού βάρους προς νωπό βάρος των φύλλων (Dry Matter Content %) αυξήθηκε με την έκθεση των φυτών στην υπερβολική αλατότητα και υποδηλώνει την μείωση της περιεκτικότητας σε υγρασία των φύλλων που προκαλεί η υψηλή συγκέντρωση  $\text{NaCl}$ .

Επίσης στο πείραμα μας δεν βρέθηκε σημαντική επίδραση του  $\text{SiO}_2$  στο περιορισμό της μείωσης του ξηρού βάρους από το  $\text{NaCl}$  στους βλαστούς και στα φύλλα σε αντίθεση με άλλες έρευνες (Mercedes R. Romero-Aranda Oliva Jurado and Jesus Cuartero., 2006).

##### ► Καρπός

Μέσα από το πείραμα μας προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα που προκαλεί η υψηλή συγκέντρωση  $\text{NaCl}$ :

1. **Μείωση της παραγωγής των καρπών:** Στο πείραμα μας ένα μήνα μετά την αρχή της συγκομιδής, η μείωση της παραγωγής καρπών από τα φυτά που δέχθηκαν την επίδραση υψηλής συγκέντρωσης  $\text{NaCl}$  σε σχέση με τα φυτά του μάρτυρα ήταν εμφανής, όσο περνούσε ο χρόνος τόσο αυξανόταν η μείωση.



Τα αποτελέσματα αυτά επιβεβαιώνονται από το σύνολο σχεδόν των πειραματικών εργασιών που έχουν γίνει στην τομάτα, όπως και από τους Magan, J.J., et al., (2008), Psarras, G., et al., (2008), Cuartero, J., and Fernandez-Munoz, R. (1998), Brasiliano Campos, C.A., et al., (2006), Flores, P., et al., (2003).

2. **Μείωση του μέσου βάρους του νωπού καρπού:** Η διαφορά του μέσου βάρους του νωπού καρπού μεταξύ των φυτών με υψηλή συγκέντρωση NaCl και του μάρτυρα ήταν επίσης πασιφανής από την πρώτη μέρα της συγκομιδής και επιβεβαιώνεται βιβλιογραφικά (Plaut, Z., et al., 2004) (Del Amor, F.M., et al., 2001).
3. **Πρωίμιση των καρπών:** Οι μετρήσεις μας δείχνουν μία αύξηση στον *αριθμό των καρπών* που προκαλεί η υψηλή συγκέντρωση NaCl στα πρώτα στάδια της συγκομιδής και οδηγεί σε μία πρωίμιση μεγαλύτερου αριθμού καρπών της παραγωγής.

Τα φυτά με υψηλή αλατότητα λόγω της καταπόνησης ο βιολογικός του κύκλος ολοκληρώνεται σε μικρότερο χρονικό διάστημα από τα αντίστοιχα του μάρτυρα. Αντίθετα τα φυτά του μάρτυρα που δεν υπόκεινται σε καταπόνηση υψηλής αλατότητας συνεχίζουν να δίνουν νέους καρπούς. Συνεπώς στο σύνολο του βιολογικού κύκλου τα φυτά του μάρτυρα δίνουν μεγαλύτερο αριθμό καρπών (Magan, J.J., et al., 2008) (Del Amor, F.M., et al., 2001) (Cuartero, J., and Fernandez-Munoz, R. 1998) (Brasiliano Campos, C.A., et al., 2006).

Το νέο στοιχείο στην έρευνα μας, όσον αφορά τον αριθμό των καρπών, είναι ότι η υπερβολική αλατότητα (NaCl) οδηγεί σε πρωίμιση της παραγωγής με σημαντική υπεροχή του αριθμού των καρπών στα πρώτα στάδια της συγκομιδής σε σύγκριση με το μάρτυρα Β (κανονικό θρεπτικό διάλυμα). Το φαινόμενο αυτό πιθανώς να οφείλεται στην ανάγκη του φυτού για διαίωνηση του είδους καθώς η καταπόνηση από την αλατότητα ελαττώνει το βιολογικό του κύκλο. Το μέγεθος της παραγωγής βέβαια (συνολικό νωπό βάρος καρπών) είναι μειωμένο γιατί το μέσο βάρος καρπών είναι πολύ μικρότερο στις περιπτώσεις με το αλατούχο διάλυμα.



εικόνα 40-41: ταξικαρπίες τομάτας

**Το στοιχείο του πυριτίου ( $\text{SiO}_2$ ):** Το στοιχείο του πυριτίου ( $\text{SiO}_2$ ) δεν βρέθηκε να έχει σημαντική επίδραση στην παραγωγή των νωπών καρπών, η μόνη σημαντική επίδραση που παρατηρήθηκε ήταν στην βελτίωση της ποιότητας των καρπών (περιορισμό του φαινομένου της ξηρής σήψης κορυφής) όπως θα δούμε στη συνέχεια. Γενικά στη βιβλιογραφία αναφέρονται θετικά αποτελέσματα της επέμβασης του  $\text{SiO}_2$  στην παραγωγή καλλιεργούμενων φυτών όπως το ζαχαρότευτλο (Ashraf, M., et al., 2009) και το σιτάρι (Tahir, M.A., et al., 2006).

**Ξηρή σήψη κορυφής των καρπών:** Όπως είδαμε στα αποτελέσματα των καρπών, τα φυτά που δέχθηκαν την επίδραση της υψηλής συγκέντρωσης  $\text{NaCl}$  παρουσίασαν το φαινόμενο της ξηρής σήψης. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στους εξής λόγους (Τζάμος 2004):

- i. Σε έλλειψη ασβεστίου στο υπόστρωμα (θρεπτικό διάλυμα) ή δυσκολίες στην απορρόφηση και διακίνηση του από το φυτό,
- ii. Σε αίτιο (ασθένειες όπως *Pythium*, *Phytophthora*) που προκαλεί ζημιά στο ριζικό σύστημα και έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση της απορρόφησης νερού από το φυτό και επομένως και της ποσότητας του ασβεστίου που απορροφάται.
- iii. Σε δυσκολίες στις υδατικές σχέσεις φυτού-υποστρώματος, δηλαδή σε αδυναμία απορρόφηση νερού από το φυτό ώστε τα φύλλα να αφαιρούν νερό από τους καρπούς.

Στην περίπτωση μας είδαμε ότι στα φυτά του μάρτυρα Β (κανονικό θρεπτικό διάλυμα) η εμφάνιση ξηρή σήψης στους καρπούς ήταν μηδενική, αντίθετα στις υπόλοιπες επεμβάσεις το φαινόμενο ήταν εντονότατο. Επίσης ενδιαφέρον προκαλεί η παρατήρηση του μικρότερου βαθμού εμφάνισης του φαινομένου που είχαν τα φυτά με επίδραση  $\text{SiO}_2$ , με σημαντική διαφορά (test LSD Fisher). Παρακάτω θα προσπαθήσουμε να αναλύσουμε τις αιτίες εμφάνισης της ξηρής σήψης στους καρπούς και να τα συσχετίσουμε με την προαναφερόμενη παρατήρηση:

- i. Σε όλα τα φυτά το θρεπτικό διάλυμα ( $EC = 2 \text{ mS/cm}$ ) περιείχε την ίδια ποσότητα ασβεστίου (υποκεφάλαιο 2.2.3). Για την αποφυγή συσσώρευσης κάποιου κατιόντος κάθε 2 εβδομάδες πραγματοποιούταν ανανέωση με νέο θρεπτικό διάλυμα. Επομένως δεν υπήρχε ελλείψεις ασβεστίου στο θρεπτικό διάλυμα καθώς περιείχε την ίδια ποσότητα ασβεστίου με το αντίστοιχο του μάρτυρα.
- ii. Η εμφάνιση της ξηρής σήψης να σχετίζεται με ζημιές του ριζικού συστήματος απορρίπτεται καθώς εμφανίστηκε σε όλα τα φυτά με επέμβαση θρεπτικού διαλύματος υψηλής συγκέντρωσης  $\text{NaCl}$  ακόμα και στο αρχικό στάδιο όπου το ριζικό σύστημα των φυτών ήταν απόλυτα υγιές.
- iii. Ως τρίτη αιτία του φαινομένου αναφέρεται η ανωμαλία στις υδατικές σχέσεις του φυτού. Εάν συνυπολογίσουμε την υψηλή οσμωτική πίεση από την οσμωτική δράση της αλατότητας (Μέρος Εισαγωγής 1.2.2) τότε μπορούμε να υποθέσουμε ότι η αιτία αυτή έχει μεγαλύτερη βαρύτητα από τις άλλες. Χαρακτηριστικά το φαινόμενο γινόταν εντονότερο καθώς πλησιάζει το καλοκαίρι και είχαμε αύξηση της θερμοκρασίας, στο διάστημα αυτό οι ανάγκες του φυτού (διαπνοή) αυξανόταν χωρίς να υπήρχε αντίστοιχη αύξηση στην πρόσληψη νερού.  
Τα αποτελέσματα της κατανάλωσης νερού δείχνουν ότι τα φυτά με επίδραση  $\text{SiO}_2$  είχαν την δυνατότητα να προσλάβουν μεγαλύτερες ποσότητες νερού στην υψηλή αλατότητα από τα αντίστοιχα φυτά με επίδραση υψηλής συγκέντρωσης  $\text{NaCl}$  χωρίς  $\text{SiO}_2$ . Δυστυχώς όμως η υψηλότερη κατανάλωση νερού δεν είχε θετική επίπτωση στο μέγεθος της παραγωγής.

### 4.1.3 Συζήτηση και συμπεράσματα στην χημική ανάλυση

#### ► Νάτριο ( $\text{Na}^+$ )

Η υψηλή συγκέντρωση του  $\text{NaCl}$  στο θρεπτικό διάλυμα είναι φυσικό να συνεπάγεται με αυξημένη πρόσληψη νατρίου ( $\text{Na}^+$ ) από τα φυτά και μεγαλύτερη συσσώρευση του στα φύλλα και στις ρίζες όπως επιβεβαιώνουν τα αποτελέσματα μας. Στο ίδιο συμπέρασμα έχουν κατέλξαν πολλοί ερευνητές σε πειραματικές καλλιέργειες τομάτας (Parra, M., et al., 2007) (Cuartero, J., and Fernandez-Munoz, R.1998) (Debouba, M., et al., 2006) (Zhang, H.-X., and Blumwald, E. 2001) (Romero-Aranda, R., et al., 2001).

Υπάρχουν πολλά στοιχεία στην σημερινή βιβλιογραφία που αναφέρουν τον πιθανό θετικό ρόλο του πυριτίου ( $\text{SiO}_2$ ) στα φυτά που καλλιεργούνται σε συνθήκες υπερβολικής αλατότητας. Το πυρίτιο ( $\text{SiO}_2$ ) βελτιώνει την αντίσταση στην καταπόνηση της αλατότητας στο ρύζι (Yeo et al., 1999), στο κριθάρι (Matoh et al., 1986), (Bradbury and Ahmad, 1990)(Liang, 1999), και στο ζαχαροκάλαμο (Ashraf, M., et al., 2009). Η εφαρμογή του πυριτίου ( $\text{SiO}_2$ ) στη φασολιά μείωσε την συγκέντρωση του νατρίου ( $\text{Na}^+$ ) στα φύλλα (Zuccarini, P., et al., 2008).

Στο σιτάρι η εφαρμογή του πυριτίου ( $\text{SiO}_2$ ) επέφερε μείωση της συσσώρευσης του νατρίου ( $\text{Na}^+$ ) στα φύλλα αλλά και στις ρίζες (Tuna, A.L., et al., 2008)(Ahmad, R., et al., 1992). Ενώ σε άλλη έρευνα για το σιτάρι το πυρίτιο ( $\text{SiO}_2$ ) μείωσε την πρόσληψη του νατρίου ( $\text{Na}^+$ ) αυξάνοντας την αναλογία  $\text{K/Na}$  (Tahir, M.A., et al., 2006).

Στη τριανταφυλλιά το πυρίτιο ( $\text{SiO}_2$ ) μείωσε την συσσώρευση και τη συγκέντρωση του νατρίου ( $\text{Na}^+$ ) στα νεαρά φύλλα και βελτίωσε την ανάπτυξη και την ποιότητα της παραγωγής (άνθους) (Savvas, D., et al., 2007), τα ίδια αποτελέσματα παρατηρήθηκαν στη Ζέρμπερα (Savvas, D., et al., 2002).

Στην περίπτωση μας τα φυτά με θρεπτικό διάλυμα υψηλής συγκέντρωσης  $\text{NaCl}$  και  $\text{SiO}_2$  μείωσαν την συγκέντρωση του Νατρίου ( $\text{Na}^+$ ) σε στατιστικά σημαντικό βαθμό τόσο στα φύλλα όσο και στις ρίζες σε σχέση με τα φυτά με θρεπτικό διάλυμα υψηλής συγκέντρωσης  $\text{NaCl}$  χωρίς  $\text{SiO}_2$ . Το νέο στοιχείο είναι η μείωση της συγκέντρωσης του Νατρίου ( $\text{Na}^+$ ) στις ρίζες που προκαλεί το  $\text{SiO}_2$  φτάνει σε τιμές στατιστικά ίσες με τις αντίστοιχες τιμές του μάρτυρα B (κανονικό θρεπτικό διάλυμα).

## ► Κάλιο ( $K^+$ )

Τα αποτελέσματα της χημικής ανάλυσης έδειξαν ότι η περιεκτικότητα των φύλλων σε κάλιο ( $K^+$ ) μειώθηκε όταν τα φυτά τροφοδοτούταν με θρεπτικό διάλυμα υψηλής συγκέντρωσης NaCl, η προσθήκη  $SiO_2$  επανέφερε την περιεκτικότητα σε επίπεδα του μάρτυρα. Σε αντίστοιχη έρευνα στην τομάτα παρατηρήθηκε ανάλογη τάση του πυριτίου ( $SiO_2$ ) στην περιεκτικότητα του καλίου ( $K^+$ ) στα φύλλα χωρίς όμως να είναι στατιστικά σημαντική (Mercedes R. et al., 2005).

Εάν ανατρέξουμε στη βιβλιογραφία για το ρόλο του καλίου ( $K^+$ ) εκτός από το ενζυματικό του χαρακτήρα παίζει ένα κεντρικό ρόλο στην διαμόρφωση του οσμωτικού δυναμικού των κυττάρων και ιστών. Το κάλιο ( $K^+$ ) είναι πολύ ευκίνητο θρεπτικό στοιχείο μέσα στο φυτό σε επίπεδο κυττάρων ιστών αλλά και για μεταφορά σε μεγάλες αποστάσεις δια μέσου του ξύλου και του ηθμού. Επίσης γνωρίζουμε ότι το κάλιο ( $K^+$ ) του χυμοτοπίου είναι δυνατόν να αντικατασταθεί σε διάφορο βαθμό με ιόντα  $Na^+$ ,  $Mg^{++}$  και  $Ca^{++}$  (Δροσόπουλος 1998). Πιθανόν στα φύλλα των φυτών της επέμβασης D (θρεπτικά στοιχεία+NaCl+ $SiO_2$ ) η συγκέντρωση του καλίου ( $K^+$ ) στα επίπεδα του μάρτυρα B να εξυπηρετεί τις ανάγκες των ενζύμων και γενικά το μεταβολισμό του φυτού.

Στις ρίζες η περιεκτικότητα καλίου ( $K^+$ ) των φυτών με έκθεση του ριζικού συστήματος (μέρους η ολόκληρου) στο πυρίτιο ( $SiO_2$ ) βρίσκεται στο ίδιο στατιστικό επίπεδο με την αντίστοιχη του μάρτυρα. Το αποτέλεσμα της σύγκρισης των περιεκτικοτήτων ανάμεσα στα δύο διαμερίσματα των φυτών με διαχωρισμό του ριζικού τους σύστημα δείχνει σημαντική τάση διαφοροποίησης που προκαλεί το πυρίτιο ( $SiO_2$ ).

Η μεγάλη περιεκτικότητα καλίου ( $K^+$ ) στις ρίζες των φυτών που υπόκεινται σε καταπόνηση υπερβολικής αλατότητας (NaCl) χωρίς την προσθήκη  $SiO_2$  πιθανόν να μην οφείλεται σε επιλεκτική αλλά σε παθητική είσοδο του στοιχείου λόγω καταστροφής της ενδοδερμίδας (από ασθένειες όπως Pythium & Phytophthora) σε μεγάλο μέρος του ριζικού συστήματος.

Στη βιβλιογραφία έχει αναφερθεί η αποδιοργάνωση του πρωτοπλάσματος των φυτικών κυττάρων από την καταπόνηση υπερβολικής αλατότητας, το αποτέλεσμα ήταν η ενεργητική απορρόφηση ορισμένων ιόντων να μετατρέπεται σε παθητική και κατά συνέπεια την αύξηση της συγκέντρωσης τους σε φυτικά όργανα (Bolarin, M.C., et al., 2001).

Συνυπολογίζοντας τα αποτελέσματα στην απορρόφηση του νερού, στην ποιότητα του καρπού (εμφάνιση ξηρή σήψη κορυφής) και το ρόλο του καλίου ( $K^+$ ) ως στοιχείο συνδεδεμένο με την οσμωτική ισορροπία του φυτού είναι φυσικό να σκεφτούμε την ύπαρξη κάποιας σχέσης με το  $SiO_2$ .

### ► Πυρίτιο ( $Si^{+4}$ )

Τα αποτελέσματα της χημικής ανάλυσης των δειγμάτων του θρεπτικού διαλύματος από τη φασματοσκοπία ατομικής απορρόφησης μας πιστοποιούν την συνεχή απορρόφηση του στοιχείου από τα φυτά. Με την εξέλιξη του χρόνου έχουμε συνεχή και σταθερή συσσώρευση του στοιχείου στα φύλλα δείγμα της εκλεκτικότητας στην απορρόφηση του.

Οι αλλαγές που παρατηρήθηκαν στις συγκεντρώσεις Νατρίου ( $Na^+$ ) λόγω της επέμβασης του πυριτίου ( $SiO_2$ ) έχει σημαντικό αντίκτυπο στην ανθεκτικότητα των φυτών, καθώς πολλοί ερευνητές χρησιμοποιούν την συγκέντρωση του Νατρίου ( $Na^+$ ) ως κριτήριο της ανθεκτικότητας στην υψηλή αλατότητα (Chookhampaeng, S., et al., 2007) (Alfocea, F.P., et al., 1993).

Παρ' όλο που το πυρίτιο είχε μερικές επιπτώσεις όπως μείωση των συγκεντρώσεων Νατρίου ( $Na^+$ ) σε φύλλα και ρίζες, αύξηση των συγκεντρώσεων του Καλίου ( $K^+$ ) στα φύλλα στα επίπεδα του μάρτυρα και περιορισμού του αριθμού των καρπών με ξηρή σήψη, δυστυχώς δεν είχε κάποια θετική επίπτωση στο σύνολο της παραγωγής. Μια πιθανή ερμηνεία θα ήταν, ότι η μορφή του πυριτίου που χρησιμοποιήσαμε παρουσιάζει γρήγορο πολυμερισμό των μορίων της μειώνοντας έτσι τις δυνατότητες για θετικά αποτελέσματα.



Εικόνα 42: Η πειραματική καλλιέργεια

## Ευχαριστίες....

---

Η παρούσα διατριβή εκπονήθηκε στα πλαίσια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών (Π.Μ.Σ.) του Τμήματος Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών με ειδίκευση στον τομέα «Περιβάλλον θερμοκηπίου», υπό την επίβλεψη του καθηγητή Γ.Ν. Μαυρογιαννόπουλο.

Η εργασία αυτή δεν θα ήταν δυνατό να ολοκληρωθεί χωρίς τη βοήθεια πολλών ανθρώπων, τους οποίους θεωρώ υποχρέωση μου αλλά και χαρά μου, να τους αναφέρω και να τους ευχαριστήσω.

Πρώτα απ' όλους θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Επιβλέποντα Καθηγητή μου κ. Γεώργιο Μαυρογιαννόπουλο, για την ανάθεση του θέματος, την καθοδήγηση και την επιστημονική βοήθεια που προσέφερε κατά την εκπόνηση και συγγραφή της παρούσας διατριβής.

Τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής, αποτελούμενη από τον Καθηγητή Ιωάννη Ασημακόπουλο, την Καθηγήτρια Χαρίκλεια Καλλιάνου, τον Καθηγητή Σπυρίδων Βάλμη και τον Λέκτορα Σταύρο Αλεξανδρή.

Τον συνάδελφο Δημήτρη Ντάκουλα για την βοήθεια που μου προσέφερε στο θερμοκήπιο, τον τεχνικό Στυλιανό Δάλλα για τις αναλύσεις που χρειάστηκε να γίνουν κατά την εκπόνηση αυτής της εργασίας και ειδικά τον υποψήφιο διδάκτορα Ιωάννη Λυκοσκούφη για τις επιστημονικές του γνώσεις που μοιράστηκε μαζί μου και για το φιλικό κλίμα που είχε η συνεργασία μας στην πραγματοποίηση και ολοκλήρωση της εργασίας αυτής.

Τέλος, ευχαριστώ θερμά την οικογένεια μου καθώς και όλους τους φίλους μου για την αμέριστη συμπαράσταση, ψυχολογική υποστήριξη και ανεκτικότητα που επέδειξαν κατά την διάρκεια εκπόνησης της εργασίας αυτής.

Αθήνα, Νοέμβριος 2009

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ:

### Βιβλιογραφία

---

**Ahmad, R., Zaheer, S.H., Ismail, S.** (1992). Role of silicon in salt tolerance of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant and Science* 85 (1), pp. 43-50.

**Alfocea, F.P., Estan, M.T., Caro, M., Bolarin, M.C.** (1993). Response of tomato cultivars to salinity. *Plant and Soil* 150 (2), pp. 203-211.

**Al-Karaki, G.N.** (2000). Growth, sodium, and potassium uptake and translocation in salt stressed tomato. *Journal of Plant Nutrition* 23 (3), pp. 369-379.

**An, P., Inanaga, S., Xiang, J.L., Eneji, A.E., Nan, W.Z.** (2005). Interactive effects of salinity and air humidity on two tomato cultivars differing in salt tolerance. *Journal of Plant Nutrition* 28 (3), pp. 459-473.

**Ashraf, M., Rahmatullah, Ahmad, R., Afzal, M., Tahir, M.A., Kanwal, S., Maqsood, M.A.** (2009). Potassium and silicon improve yield and juice quality in sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) under salt stress. *Journal of Agronomy and Crop Science* 195 (4), pp. 284-291

**Ayres, R. S. and Branson R. L.,** (1975). Water quality, Guidelines for interpretation of water quality for agriculture, Univ. of Calif. Cooperative Extension.

**Ayres, R. S.,** (1976). Quality of irrigation water. In *Soil and plant. Tissue Testing in California*. Bul. 1879, pp. 49-50.

**Ayres, R. S., and Westcot, D.W.** (1985). Water quality for agriculture. Irrigation and drainage paper No. 29. FAO, Rome.



**Ben-Gal, A., Shani, U.** (2002). Yield, transpiration and growth of tomatoes under combined excess boron and salinity stress. *Plant and Soil* 247 (2), pp. 211-221.

**Bolarin, M.C., Estan, M.T., Caro, M., Romero-Aranda, R., Cuartero, J.** (2001). Relationship between tomato fruit growth and fruit osmotic potential under salinity. *Plant Science* 160 (6), pp. 1153-1159.

**Botrini, L., Lipucci di Paola, M., Graifenberg, A.** (2000). Potassium affects sodium content in tomato plants grown in hydroponic cultivation under saline-sodic stress. *HortScience* 35 (7), pp. 1220-1222.

**Bradbury, M., Ahmad, R.** (1990). The effect of silicon on the growth of *Prosopis juliflora* growing in saline soil. *Plant and Soil* 125 (1), pp. 71-74.

**Brasiliano Campos, C.A., Fernades, P.D., Gheyi, H.R., Blanco, F.F., Goncalves, C.B., Ferreira Campos, S.A.** (2006). Yield and fruit quality of industrial tomato under saline irrigation. *Scientia Agricola* 63 (2), pp. 146-152.

**Caro, M., Cruz, V., Cuartero, J., Estan, M.T., Bolarin, M.C.** (1991). Salinity tolerance of normal-fruited and cherry tomato cultivars. *Plant and Soil* 136 (2), pp. 249-255.

**Carvajal, M., Cerda, A., Martínez, V.** (2000). Modification of the response of saline stressed tomato plants by the correction of cation disorders. *Plant Growth Regulation* 30 (1), pp. 37-47.

**Cayela, E., Muñoz-Mayor, A., Vicente-Agullo, F., Moyano, E., Garcia-Abellan, J.O., Estan, M.T., Bolarin, M.C.** (2007). Drought pretreatment increases the salinity resistance of tomato plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 170 (4), pp. 479-484.

**Chen, G., Fu, X., Herman Lips, S., Sagi, M.** (2003). Control of plant growth resides in the shoot, and not in the root, in reciprocal grafts of flacca and wild-type tomato (*Lycopersicon esculentum*), in the presence and absence of salinity stress. *Plant and Soil* 256 (1), pp. 205-215.

**Chookhampaeng, S., Pattanagul, W., Theerakulpisut, P.** (2007). Screening some tomato commercial cultivars from Thailand for salinity tolerance. *Asian Journal of Plant Sciences* 6 (5), pp. 788-794.

**Copeman, R.H., Martin, C.A., Stutz, J.C.** (1996). Tomato growth in response to salinity and mycorrhizal fungi from saline or nonsaline soils. *HortScience* 31 (3), pp. 341-344.

**Cuartero, J., Bolarin, M.C., Asins, M.J., Moreno, V.** (2006). Increasing salt tolerance in the tomato. *Journal of Experimental Botany* 57 (5), pp. 1045-1058.

**Cuartero, J., Fernandez-Munoz, R.** (1998). Tomato and salinity. *Scientia Horticulturae* 78 (1-4), pp. 83-125.

**Γεωργόπουλος Σ.Γ.** (1984). «Βασικές Γνώσεις Φυτοπαθολογίας», Αθήνα , σελ 233-236

**Δροσόπουλος Ι.** (1998). Φυσιολογία Φυτών. Μέρος Ι. Εκδόσεις: ΓΠΑ, ΑΘΗΝΑ, σελ 28-32, 304-307

**Debouba, M., Gouia, H., Ghorbel, M.H.** (2006). NaCl effects growth, ions and water status of tomato (*Lycopersicon esculentum*) seedlings. *Acta Botanica Gallica* 153 (3), pp. 297-307.

**Del Amor, F.M., Martinez, V., Cerda, A.** (2001). Salt tolerance of tomato plants as affected by stage of plant development. *HortScience* 36 (7), pp. 1260-1263.

**Estan, M.T., Martinez-Rodriguez, M.M. Perez-Alfocea, F., Flowers, T.J., Bolarin, M.C.** (2005). Grafting raises the salt tolerance of tomato through limiting the transport of sodium and chloride to the shoot. *Journal of Experimental Botany* 56 (412), pp. 703-712.

**Flores, P., Navarro, J.M., Carvajal, M., Cerda, A., Martinez, V.** (2003). Tomato yield and quality as affected by nitrogen source and salinity. *Agronomie* 23 (3), pp. 249-256.

**Fernandez-Garcia, N., Martinez, V., Carvajal, M.** (2004). Effect of salinity on growth, mineral composition, and water relations of grafted tomato plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 167 (5), pp. 616-622.

**Fernandez-Garcia, N., Martinez, V., Cerda, A., Carvajal, M.** (2002). Water and nutrient uptake of grafted tomato plants grown under saline conditions. *Journal of Plant Physiology* 159 (8), pp. 899-905.

**Flores, P., Botella, M.A., Cerda, A., Martinez, V.** (2004). Influence of nitrate level on nitrate assimilation in tomato (*Lycopersicon esculentum*) plants under saline stress. *Canadian Journal of Botany* 82 (2), pp. 207-213.

**Hajer, A.S., Malibari, A.A., Al-Zahrani, H.S., Almaghrabi, O.A.** (2006). Responses of three tomato cultivars to sea water salinity 1. Effect of salinity on the seedling growth. *African Journal of Biotechnology* 5 (10), pp. 855-861.

**Hegazy, H. S., Abdulhafez, A.** (2004). Effect of NaCl on the growth of tomato plants (*C.V. Carpy*) and their micropropagated shoots. *Arab Gulf Journal of Scientific Research* 22 (2), pp. 81-85.

**Ho, L.C., Adams, P.** (1989). Effects of diurnal changes in the salinity of the nutrient solution on the accumulation of calcium by tomato fruit. *Annals of Botany* 64 (4), pp. 373-382.

**Θέρσιος Ιωάννης. Ν.** (1996). «Ανόργανη θρέψη και λιπάσματα». ISBN: 960-74111-01-3, ΕΚΔΟΣΕΙΣ Γ. ΔΕΔΟΥΣΗ, Θεσσαλονίκη, σελ 188-215.

**Καλτσίκης Π. Ι Πίνακες Γεωργικού Πειραματισμού.** (1990). ISBN: 960-74111-01-3, ΕΚΔΟΣΕΙΣ Γ. ΔΕΔΟΥΣΗ, Θεσσαλονίκη, σελ 188-215.

**Kan, I.** (2008). Yield quality and irrigation with saline water under environmental limitations: The case of processing tomatoes in California. *Agricultural Economics* 38 (1), pp. 57-66.

**Karlberg, L., Ben-Gal, A., Janson, P.-E., Shani, U.** (2006). Modelling transpiration and growth in salinity-stressed tomato under different climatic conditions. *Ecological Modelling* 190 (1-2), pp. 15-40.

**Katerji, N., Van Hoorn, J.W., Hamdy, A., Mastrorilli, M.** (1998). Response of tomatoes, a crop of indeterminate growth, to soil salinity. *Agricultural Water Management* 38 (1), pp. 59-68.

**Li, J.-H., Sagi, M., Gale, J., Volokita, M., Novoplansky, A.** (1999). Response of tomato plants to saline water as affected by carbon dioxide supplementation. I. Growth, yield and fruit quality. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 74 (2), pp. 232-237.

**Λυκοσκούφης Ι.** «Οι επιπτώσεις της υψηλής αλατότητας του θρεπτικού διαλύματος υδροπονικών καλλιεργειών στη φωτοσύνθεση και την αγωγιμότητα των στοματίων» Αθήνα 2003

**L. F. Rader.,** (1947). *Anal. Chem.*, 19 (4), pp. 229-235.

**Lopez, M.V., Satti, M.E.** (1997). The potential of using K/Na ratio as index of salinity tolerance in tomato. *Pakistan Journal of Botany* 29 (2), pp. 313-318.

**Maas E.V. and Hoffman G.J.** (1977). Crop salt tolerance – current assessment. *J. Irrigation Drainage Division, ASCE* 103, 115-134.

**Magan, J.J., Gallardo, M., Thompson, R.B., Lorenzo, P.** (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 (9), pp. 1041-1055.

**Μαυρογιαννόπουλος Γ.** (2005). «Θερμοκήπια». ISBN: 960-351-620-1, Δ' ΕΚΔΟΣΗ ΒΕΛΤΙΩΜΕΝΗ ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΑΘ. ΣΤΑΜΟΥΛΗΣ, Αθήνα – Πειραιάς, σελ 584-587

**Μαυρογιαννόπουλος Γ.** (2006). «Υδροπονικές Εγκαταστάσεις». ISBN: 960-351-675-9 Εκδόσεις Αθ. Σταμούλη, Αθήνα – Πειραιάς, σελ 140,141,157,191-216

**Matoh, T., Kairusmee, P., Takahashi, E., 1986** (1986). Salt-induced damage to rice plants and alleviation effect of silicate. *Soil Sci. Plant Nutr.* 32, pp. 295-304.

**McCall, D., Brazaityte, A.** (1997). Salinity effects on seedling growth and floral initiation in the tomato. *Acta Agriculturae Scandinavica – Section B Soil and Plant Science* 47 (4), pp. 248-252.

**Mercedes R. Romero-Aranda Oliva Jurado and Jesus Cuartero** (2006). Silicon alleviates the deleterious salt effect on tomato plant growth by improving plant water status. *Journal of Plant Physiology* 163 (8), pp 847-855

**Μισοπολινός Ν.** (1991) «Προβληματικά Εδάφη Μελέτη Πρόληψη Βελτίωση». Εκδόσεις Γιαχούδη, Θεσσαλονίκη, σελ 43-117.

**Moghaieb, R.E., Saneoka, H., Ito, J., Fujita, K.** (2001). Characterization of salt tolerance in tomato plant in terms of photosynthesis and water relations. *Soil Science and Plant Nutrition* 47 (2), pp. 377-385.

**Mohammad, M., Shibli, R., Ajlouni, M., Nimri, L.** (1998). Tomato root and shoot responses to salt stress under different levels of phosphorus nutrition. *Journal of Plant Nutrition* 21 (8), pp. 1667-1680.

**Mori, M., Amato, M., Di Mola, I., Caputo, R., Quaglietta Chiaranda, F., Di Tommaso, T.** (2008). Productive behaviour of "cherry"-type tomato irrigated with saline water in relation to nitrogen fertilisation. *European Journal of Agronomy* 29 (2-3), pp. 135-143.

**Navarro, J.M., Martinez, V., Carvajal, M.** (2000). Ammonium, bicarbonate and calcium effects on tomato plants grown under saline conditions. *Plant Science* 157 (1), pp. 89-96.

**Navarro-Pedreno, J., Gomez, I., Mataix, J.** (1996). Micronutrient concentration in tomato plants affected by salinity and organic waste fertilization. *Agrochimica* 40 (5-6), pp. 257-262.

**Ολύμπιος Χρίστος Μ.** (2001). «Η τεχνική της καλλιέργειας των κηπευτικών στα θερμοκήπια». ISBN: 960-351-375-X Εκδόσεις Αθ. Σταμούλη, Αθήνα – Πειραιάς, σελ 120-130, 133-139, 143-148, 155-164.

**Saito, T., Fukuda, N., Nishimura, S.** (2006). Effects of salinity treatment duration and planting density on size and sugar content of hydroponically grown tomato fruits. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science* 75 (5), pp. 392-398.

**Sakamoto, Y., Watanabe, S., Nakashima, T., Okano, K.** (1999). Effects of salinity at two ripening stages on the fruit quality of single-truss tomato grown in hydroponics. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 74 (6), pp. 690-693.

**Santa-Cruz, A., Acosta, M., Rus, A., Bolarin, M.C.** (1999). Short-term salt tolerance mechanisms in differentially salt tolerant tomato species. *Plant Physiology and Biochemistry* 37 (1), pp. 65-71.

**Sam, O., Ramirez, C., Coronado, M.J., Testillano, P.S., Risueno, M.C.** (2004). Changes in tomato leaves induced by NaCl stress: Leaf organization and cell ultrastructure. *Biologia Plantarum* 47 (3), pp. 361-366.

**Santamaria, P., Cantore, V., Conversa, G., Serio, F.** (2004). Effect of night salinity level on water use, physiological responses, yield and quality of tomato. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 79 (1), pp. 59-66.

**Satti, S.M.E., Al-Yhyai, R.A., Al-Said, F.** (1996). Fruit quality and partitioning of mineral elements in processing tomato in response to saline nutrients. *Journal of Plant Nutrition* 19 (5), pp. 705-715.

**Sato, S., Sakaguchi, S., Furukawa, H., Ikeda, H.** (2006). Effects of NaCl application to hydroponic nutrient solution on fruit characteristics of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Scientia Horticulturae* 109 (3), pp. 248-253.

**Sarkar, S., Kiriwa, Y., Endo, M., Uchino, S., Nukaya, A.** (2008). Possibility of high soluble solid content tomato production under water stress conditions controlled by matric potential. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science* 77 (3), pp. 251-258.

**Savvas D., Gizas, G., Karras, G., Lydakis-Simantiris, N., Salahas, G., Papadimitriou, M., Tsouka, N.** (2007). Interactions between silicon and NaCl-salinity in a soilless culture of roses in greenhouse. *European Journal of Horticultural Science* 72 (2), pp. 73-79.

**Savvas, D., Manos, G., Kotsiras, A., Souvaliotis, S.** (2002). Effects of silicon and nutrient-induced salinity on yield, flower quality and nutrient uptake of gerbera grown in a close hydroponic system. *Journal of Applied Botany* 76 (5-6), pp. 153-158.

**Tahir, M.A., Rahmatullah, Aziz, T., Ashraf, M., Kanwal, S., Maqsood, M.A.** (2006). Beneficial effects of silicon in wheat (*Triticum aestivum* L.) under salinity stress. *Pakistan Journal of Botany* 38 (5 SPEC. ISS.), pp. 1715-1722.

**Termaat A., Passioura J., Mnns R.** (1985). Shoot turgor does not limit growth of NaCl affected wheat and barley. *Plant Physiology* 77: 869-872.

**Tuna, A.L., Kaya, C., Higgs, D., Murillo-Amador, B., Aydemir, S., Girgin, A.R.** (2008). Silicon improves salinity tolerance in wheat plants. *Environmental and Experimental Botany* 62 (1), pp. 10-16.

**Shalhevet, J., Yaron, B.** (1973). Effect of soil and water salinity on tomato growth. *Plant and Soil* 39 (2), pp. 285-292.

**Sonneveld C., Bass R., Nijssen H.M.C., and Hoog J.** (1999). Salt tolerance of flower crops grown in soilless culture. *Journal of Plant Nutrition* 22 (6): 1033-1048.

**Taha, R., Mills, D., Heimer, Y., Tal, M.** (2000). The relation between low K<sup>+</sup>/NA<sup>+</sup> ratio and salt-tolerance in the wild tomato species *Lycopersicon pennellii*. *Journal of Plant Physiology* 157 (1), pp. 59-64.

**Parra, M., Albacete, A., Martinez-Andujar, C., Perez-Alfocea, F.** (2007). Increasing plant vigour and tomato fruit yield under salinity by inducing plant adaptation at the earliest seedling stage. *Environmental and Experimental Botany* 60 (1), pp. 77-85.

**Pasternak D.** (1987). Salt tolerance and crop production-a comprehensive approach. *Annual Review of Phytopathology* 25, pp. 271-291.

**Plaut, Z., Grava, A., Yehezkel, C., Matan, E.** (2004). How do salinity and water stress affect transport of water, assimilates and ions to tomato fruits? *Physiologia Plantarum* 122 (2), pp. 429-442.

**Psarras, G., Bertaki, M., Chartzoulakis, K.** (2008). Response of greenhouse tomato to salt stress and K<sup>+</sup> supplement. *Plant Biosystems* 142 (1), pp. 149-153.

**Παπαδόγιαννης Ι. Σαμανίδου Β.** (1996) «Ενόργανη Χημική Ανάλυση» ISBN: 960-317-023-2, 1<sup>η</sup> ΕΚΔΟΣΗ Α. ΣΙΜΩΝΗ-Σ. ΧΑΤΖΗΠΙΑΝΤΟΥ Ο.Ε, Θεσσαλονίκη.

**Πουλοβασίλης Α.** (1986) «Σημειώσεις Γεωργικής Υδραυλικής». Εκδόσεις: ΓΠΑ, σελ 240-250, Αθήνα.



**Wan, S., Kang, Y., Wang, D., Liu, S.-P., Feng, L.-P.** (2007). Effect of drip irrigation with saline water on tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) yield and water use in semi-humid area. *Agricultural Water Management* 90 (1-2), pp. 63-74.

**Reina-Sanchez, A., Romero-Aranda, R., Cuartero, J.** (2005). Plant water uptake and water use efficiency of greenhouse tomato cultivars irrigated with saline water. *Agricultural Water Management* 78 (1-2), pp. 54-66.

**Richards, L.A.** (1931). Capillary conduction of liquids through porous mediums. *Physics* 1, pp. 318-333.

**Richards, L.A.** (1947). Pressure membrane apparatus-construction and use. *Agr. Eng.* 28, pp. 451-454, 460.

**Richards, L.A. and Marsh, A.W.** (1961). Irrigation based on soil suction measurements. *Soil Sci. Soc. Amer. Pr.* 25, pp. 65-69.

**Rodriguez, P., Dell'amico, J., Morales, D., Sánchez Blanco, M.J., Alarcón, J.J.** (1997). Effects of salinity on growth, shoot water relations and root hydraulic conductivity in tomato plants. *Journal of Agricultural Science* 128 (4), pp. 439-444.

**Romero-Aranda, R., Soria, T., Cuartero, J.** (2001). Tomato plant-water uptake and plant-water relationships under saline growth conditions. *Plant Science* 160 (2), pp. 265-272.

**Romero-Aranda, R., Soria, T., Cuartero, J.** (2002). Greenhouse mist improves yield of tomato plants grown under saline conditions. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 127 (4), pp. 644-648.

**Yeo, A.R., Flowers, S.A., Rao, G., Welfare, K., Senanayake, N., Flowers, T.J.** (1999). Silicon reduces sodium uptake in rice (*Oryza sativa* L.) in saline conditions and this is accounted for by a reduction in the transpirational bypass flow. *Plant, Cell and Environment* 22 (5), pp. 559-565.

**Zhu, Z, Wei, G., Li, J., Qian, Q., Yu, J.,** (2004). Silicon alleviates salt stress and increase antioxidant enzymes activity in leaves of salt-stressed cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Plant Sci.* 167, pp. 527-533.

**Zuccarini, P.** (2008). Effects of silicon on photosynthesis, water relations and nutrient uptake of *Phaseolus vulgaris* under NaCl stress. *Biologia Plantarum* 52 (1), pp. 157-160.

