

**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ  
ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ**

**ΠΜΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ**



**Μεταπτυχιακός Φοιτητής : Χαρίλαος Ι. Γιαννόπουλος**

**Επιβλέπων Καθηγητής : Γ. Ν. Μαυρογιαννόπουλος**

**Αθήνα, 2010**



## **ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ**

<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b>	<b>5</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>6</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.1</b>	<b>7</b>
<b>Περί υδροπονίας</b>	<b>7</b>
1.1.1 Υδροπονία – Ιστορική αναδρομή	7
1.1.2 Σημασία της υδροπονίας για τη σύγχρονη κοινωνία	8
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.2</b>	<b>10</b>
<b>Περί αλατότητας</b>	<b>10</b>
1.2.1 Γενικά περί αλατότητας	10
1.2.2 Παράγοντες δημιουργίας αλατότητας	11
1.2.3 Ποιότητα νερού και αλατότητα	13
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.3</b>	<b>19</b>
<b>Επιδράσεις της αλατότητας στα φυτά</b>	<b>19</b>
1.3.1 Κατηγοριοποίηση των φυτών με βάση την αντοχή τους στο NaCl	19
1.3.2 Συμπτώματα από την επίδραση του NaCl	20
1.3.3 Διατάραξη της φυσιολογικής ωσμωτικής ισορροπίας	21
1.3.4 Διατάραξη της ιονικής ισορροπίας	21
1.3.5 Αντοχή των καλλιεργούμενων φυτών στα άλατα	22
1.3.6 Επίδραση της αλατότητας στην παραγωγή των φυτών	24
1.3.7 Θρεπτικές επιδράσεις της αλατότητας	29
1.3.8 Οι επιπτώσεις της αλατότητας στη καλλιέργεια της τομάτας	35
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.4</b>	<b>38</b>
<b>Σκοπός της διατριβής</b>	<b>38</b>
1.4.1 Η σημασία της αλατότητας ως αντικείμενο έρευνας	38
1.4.2 Τοποθέτηση του θέματος	38
<b>ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ</b>	<b>40</b>
<b>Υλικά και μέθοδος πειραματισμού</b>	<b>41</b>
Γενετικό υλικό	41
Θερμοκήπιο	41
Σύστημα καλλιέργειας	41
Οι απαιτούμενες χημικές ενώσεις	42
Εξοπλισμός και επιστημονικά όργανα	42
Ο πειραματικός σχεδιασμός - Στατιστική ανάλυση	43

<b>Μέθοδος καλλιέργειας</b>	<b>45</b>
Εγκατάσταση και περιγραφή της μεθόδου καλλιέργειας	45
Οι επεμβάσεις του πειράματος	47
Υπολογισμός της σύνθεσης των θρεπτικών διαλυμάτων	47
Καλλιεργητικές φροντίδες	50
Καρποί	53
Υπολογισμός φυλλικής επιφάνειας	53
Εμφάνιση ασθενειών και καταπολέμησή τους	54
Πρακτικά προβλήματα λειτουργίας του πειράματος	56
<b>Μέθοδοι προσδιορισμού των ανόργανων στοιχείων θρεπτικών διαλυμάτων και φυτικών ιστών</b>	<b>57</b>
<b>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ</b>	<b>59</b>
<b>Τα αποτελέσματα στην ανάπτυξη της καλλιέργειας</b>	<b>60</b>
Επιφάνεια Φύλλων	60
Μέση φυλλική επιφάνεια ανά φυτό	61
Ύψος του φυτού	62
<b>Τα αποτελέσματα στην παραγωγή της βιομάζας</b>	<b>64</b>
Βλαστοί	64
Φύλλα	65
Παραγωγή καρπών	66
Ξηρή ουσία καρπών	69
Βιομάζα – Συνολικό ξηρό βάρος	70
<b>Συντελεστής αξιοποίησης νερού</b>	<b>72</b>
<b>Αξιοποίηση θρεπτικών στοιχείων</b>	<b>74</b>
<b>Τα αποτελέσματα στην απορρόφηση του νατρίου (Na<sup>+</sup>)</b>	<b>77</b>
Περιεκτικότητα νατρίου (Na <sup>+</sup> ) στο θρεπτικό διάλυμα	77
Περιεκτικότητα (Na <sup>+</sup> ) στα φύλλα	79
<b>Τα αποτελέσματα στην απορρόφηση του καλίου (K<sup>+</sup>)</b>	<b>80</b>
Περιεκτικότητα καλίου (K <sup>+</sup> ) στο θρεπτικό διάλυμα	80
Περιεκτικότητα (K <sup>+</sup> ) στα φύλλα	82
<b>Τα αποτελέσματα στην απορρόφηση του ασβεστίου (Ca<sup>++</sup>)</b>	<b>84</b>
Περιεκτικότητα ασβεστίου (Ca <sup>++</sup> ) στο θρεπτικό διάλυμα	84
Περιεκτικότητα ασβεστίου (Ca <sup>++</sup> ) στα φύλλα	86
<b>Τα αποτελέσματα στην απορρόφηση του μαγνησίου (Mg<sup>++</sup>)</b>	<b>87</b>
Περιεκτικότητα μαγνησίου (Mg <sup>++</sup> ) στο θρεπτικό διάλυμα	87
Περιεκτικότητα (Mg <sup>++</sup> ) στα φύλλα	89
<b>Τα αποτελέσματα στην απορρόφηση ολικού αζώτου (N)</b>	<b>90</b>
Περιεκτικότητα αζώτου στα φύλλα	90
<b>Τα αποτελέσματα στην απορρόφηση του σιδήρου (Fe)</b>	<b>91</b>



Περιεκτικότητα σιδήρου (Fe) στο θρεπτικό διάλυμα	91
Περιεκτικότητα (Fe) στα φύλλα	93
<b>Τα αποτελέσματα στην απορρόφηση του μαγγανίου (Mn)</b>	<b>94</b>
Περιεκτικότητα μαγγανίου (Mn) στο θρεπτικό διάλυμα	94
Περιεκτικότητα (Mn) στα φύλλα	96
<b>Τα αποτελέσματα στην απορρόφηση του ψευδαργύρου (Zn)</b>	<b>97</b>
Περιεκτικότητα ψευδαργύρου (Zn) στο θρεπτικό διάλυμα	97
Περιεκτικότητα (Zn) στα φύλλα	99
<b>ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b>	<b>100</b>
<b>Συζήτηση και συμπεράσματα στην ανάπτυξη της καλλιέργειας</b>	<b>101</b>
Μέσο μέγεθος φύλλων και μέση φυλλική επιφάνεια	101
Ύψος φυτού	101
Απαιτήση νερού ανά μονάδα παραγόμενου προϊόντος (WUE)	102
<b>Συζήτηση και συμπεράσματα στην παραγωγή βιομάζας</b>	<b>104</b>
Βλαστός και φύλλα	104
Καρποφορία	104
Βιομάζα – Συνολικό ξηρό βάρος	105
<b>Συζήτηση και συμπεράσματα στη χημική ανάλυση</b>	<b>107</b>
Μακροστοιχεία	107
▯ Νάτριο (Na <sup>+</sup> )	107
▯ Κάλιο (K <sup>+</sup> )	108
▯ Ασβέστιο (Ca <sup>+2</sup> )	109
▯ Μαγνήσιο (Mg <sup>+2</sup> )	110
▯ Ολικό άζωτο (N)	110
Ιχνοστοιχεία (Fe-Mn-Zn)	111
<b>Συμπέρασμα</b>	<b>112</b>
<b>ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ...</b>	<b>113</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ</b>	<b>114</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b>	<b>118</b>

## Περίληψη

Σε θερμοκήπιο του εργαστηρίου γεωργικών κατασκευών του Γ.Π.Α., εγκαταστάθηκε μια πειραματική διάταξη για να διερευνηθεί, σε υδροπονική καλλιέργεια τομάτας, η επίδραση της αλατότητας στην αξιοποίηση του νερού και των λιπαντικών στοιχείων.

Το πείραμα έλαβε μέρος από 15/02/2009 έως 16/05/2009 σε κλειστό σύστημα NFT. Η έρευνα έγινε με δύο επεμβάσεις (κάθε μία σε ξεχωριστό κανάλι) και τροφοδοτήθηκαν η μία (μάρτυρας) με θρεπτικό διάλυμα με τιμή EC 2,5 dS m<sup>-1</sup>, και την άλλη (αλατούχα επέμβαση) με θρεπτικό διάλυμα όμοιο με του μάρτυρα στο οποίο προστέθηκε τόσο NaCl ώστε να αποκτηθεί τελικά συγκέντρωση NaCl 80 mM.

Έγιναν μετρήσεις ανάπτυξης των φυτών, κατανάλωσης νερού και θρεπτικών στοιχείων, παραγωγής νωπού βάρους καρπών, παραγωγής ξηράς ουσίας καρπών και παραγωγής υπέργειας νωπής και ξηρής βιομάζας.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η αύξηση της συγκέντρωσης του NaCl προκάλεσε μείωση του ύψους του στελέχους, μείωση της φυλλικής επιφάνειας κατά 56% περίπου, μείωση της παραγωγής του νωπού βάρους καρπών κατά 42% περίπου και μείωση της παραγόμενης υπέργειας νωπής (40%) και ξηρής (14%) βιομάζας (καρποί, φύλλα, βλαστός).

Όσον αφορά την αξιοποίηση νερού και θρεπτικών στοιχείων, το NaCl προκάλεσε αύξηση του απαιτούμενου νερού ανά μονάδα νωπού παραγόμενου προϊόντος κατά 15% περίπου (νωπός καρπός) (WUE 1), μείωση σχεδόν 32% ανά μονάδα ξηρού παραγόμενου προϊόντος (ξηρά ουσία καρπού) (WUE 2), αύξηση της απαίτησης σε λιπαντικά στοιχεία ανά μονάδα νωπού παραγόμενου προϊόντος (απαιτούνταν σχεδόν διπλάσια ποσότητα σε σχέση με την ποσότητα που απορρόφησε ο μάρτυρας), ενώ δεν υπήρξε διαφοροποίηση όσον αφορά την απαίτηση σε λιπαντικά στοιχεία ανά μονάδα ξηρού παραγόμενου προϊόντος. Τέλος, οι αναλύσεις που έγιναν στους ιστούς του φύλλου έδειξαν ότι το NaCl προκάλεσε αύξηση της συγκέντρωσης του Na<sup>+</sup> (87%) και του Zn (12%), και μείωση του K<sup>+</sup> (12%) στα φύλλα.

## Abstract

An experiment was carried out in a greenhouse of the Agricultural University of Athens from 15/02/2009 till 16/05/2009 to examine the effects of NaCl on water use efficiency, element efficiency, plant growth and yield. Tomato plants were cultivated in a closed soilless system using the Nutrient Film Technique and were supplied with a nutrient solution with 0 (treatment A) or 80 mM (treatment B) NaCl.

Water absorption, nutrient element absorption, plant growth, fresh and dry fruit production and fresh and dry biomass production (leaves, fruits, stem) were recorded.

It was found that NaCl caused a decrement in stem height, a 56% decrease in leaf area, 42% decrease in fresh fruit weight production as well as a reduction in biomass, fresh (40%) and dry (14%) weight.

Salinity also caused a rise in water use efficiency (15%) and nutrient element efficiency (almost doubled) per fruit fresh weight, and a reduction in water use efficiency per fruit dry weight (32%). Conversely, there was no difference in nutrient element efficiency per fruit dry weight. In conclusion, NaCl raised Na<sup>+</sup> (87%), Zn (12%) and decreased K<sup>+</sup> (12%) concentration in the leaf tissues.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.1

### Περί υδροπονίας

#### 1.1.1 Υδροπονία – Ιστορική αναδρομή

Η υδροπονία προέρχεται από τις ελληνικές λέξεις “ύδωρ” = νερό, και “πόνος” = εργασία. Υδροπονία ονομάζεται το σύστημα καλλιέργειας των φυτών σύμφωνα με το οποίο τα φυτά καλλιεργούνται εκτός εδάφους, είτε σε αδρανή πορώδη υποστρώματα (ανόργανα ή οργανικά) στα οποία προστίθεται θρεπτικό διάλυμα, ή σε σκέτο 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, φωσφόρος, κάλιο, θείο, μαγνήσιο και ασβέστιο, και τα ιχνοστοιχεία όπως σίδηρος, μαγγάνιο, χαλκός, ψευδάργυρος, μολυβδαίνιο, και βόριο.

Η υδροπονία ξεκίνησε μετά το 18<sup>ο</sup> αιώνα, ως εργαλείο για ακαδημαϊκή έρευνα στη θρέψη των φυτών και πολύ αργότερα (20<sup>ο</sup> αιώνα) εξελίχθηκε σε μέθοδο παραγωγής.

Το 1938 άρχισε η πρώτη εμπορική εκμετάλλευση της υδροπονικής καλλιέργειας στις ΗΠΑ και τη Β. Ευρώπη, όπου γύρω από τις μεγάλες πόλεις αρκετοί καλλιεργητές ξεκίνησαν υδροπονική καλλιέργεια στο θερμοκήπιο. Ωστόσο, γρήγορα την εγκατέλειψαν, λόγω διάφορων τεχνικών προβλημάτων και της υψηλής τιμής των χημικών ενώσεων που χρησιμοποιούσαν.

Από το ΄Β παγκόσμιο πόλεμο και μετά γίνονται στις ΗΠΑ μερικές εγκαταστάσεις υδροπονικής καλλιέργειας, για παραγωγικούς σκοπούς, σε υποστρώματα άμμου. Η τεχνική καλλιέργειας σε φιλμ θρεπτικού διαλύματος (NFT) αναπτύχθηκε το 1950 από τον Steiner (Wabben & Steiner, 1953, patent), που από το 1966 πήρε σημαντική εξάπλωση στη Μ. Βρετανία, με τις προσπάθειες του A. Cooper. Το 1976 αναπτύχθηκε στη Δανία η τεχνική καλλιέργειας με αδρανές υλικό τον ορυκτοβάμβακα, που είναι η περισσότερο χρησιμοποιούμενη εμπορική μέθοδος στη β. Ευρώπη σήμερα.

Σήμερα χρησιμοποιούνται σε εμπορική κλίμακα, σ' όλο τον κόσμο, πάρα πολλές μέθοδοι υδροπονικής καλλιέργειας. Ο διεθνής οργανισμός International Society for Soilless Culture (ISOSC), καθώς και πολλά εθνικά Ινστιτούτα, ασχολούνται δραστήρια με το θέμα των υδροπονικών καλλιεργειών και προωθούν την έρευνα στον τομέα αυτό.

### **1.1.2 Σημασία της υδροπονίας για τη σύγχρονη κοινωνία**

Η υδροπονική μέθοδος καλλιέργειας ήρθε να δώσει λύση σε πολλά και ποικίλα προβλήματα που έχουν προκύψει από την ολοένα εντατικότερη καλλιέργεια εδαφών, προκειμένου να ικανοποιείται ο συνεχώς αυξανόμενος πληθυσμός παγκοσμίως. Αναφέρουμε χαρακτηριστικά:

- Την εκχέρσωση τεράστιων εκτάσεων δασών.
- Την καταστροφή του εδάφους λόγω της συνεχούς εντατικής καλλιέργειάς του.
- Τη χρήση μεγάλων ποσοτήτων φυτοφαρμάκων τα οποία περνούν στα τρόφιμα ζημιώνοντας την υγεία των καταναλωτών, ενώ τα υπολείμματά τους διαφεύγοντας στον υδροφόρο ορίζοντα μολύνουν τα υπόγεια νερά.
- Τη μόλυνση του υδροφόρου ορίζοντα από τη διείδυση χημικών ενώσεων των λιπασμάτων που χρησιμοποιούνται αλόγιστα.
- Την αλόγιστη χρήση του νερού, πόρος του οποίου μειώνεται αδιάκοπα η διαθεσιμότητα (είτε λόγω μόλυνσης, είτε λόγω εισχώρησης θαλάσσιου νερού στον υδροφόρο ορίζοντα εξαιτίας της υπερβολικής άντλησής του για χρήση σε καλλιέργειες).

#### Σημασία της υδροπονίας για την Ελλάδα

Η υδροπονία θα μπορούσε να δώσει πολύτιμες λύσεις στην Ελλάδα, που είναι κατ' εξοχήν αγροτική χώρα, της οποίας τα εδάφη έχουν φτάσει σε οριακά επίπεδα. Έντονο παρουσιάζεται το πρόβλημα της αλατότητας σε πολλές περιοχές. 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 πεδιάδα του ποταμού Πηνειού, η πεδιάδα στη Σκάλα Λακωνίας, η πεδιάδα του ποταμού Σπερχειού, η πεδιάδα του ποταμού Αχελώου, κλπ. Αξίζει να αναφερθεί τέλος και η περίπτωση της Αργολίδας, που αντιμετωπίζει σοβαρά προβλήματα διείσδυσης υφάλμυρων νερών.

Σημαντικά οφέλη έχει να αποκομίσει και ο έλληνας καλλιεργητής, καθώς μπορεί να έχει πολύ μεγαλύτερες αποδόσεις στην ίδια έκταση εδάφους. Αυτό επιτυγχάνεται με τη μεγιστοποίηση της παραγωγής και της ποιότητας του παραγόμενου προϊόντος, και τη μείωση του κόστους παραγωγής λόγω της ελαχιστοποίησης των φυτοφαρμάκων και της ορθολογικότερης χρήσης λιπασμάτων και νερού.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.2

### Περί αλατότητας

#### 1.2.1 Γενικά περί αλατότητας

Ο όρος αλατότητα αναφέρεται στην ύπαρξη υψηλής συγκέντρωσης διαλυτών αλάτων (ανόργανων ιόντων) στο περιβάλλον των ριζών των φυτών και μετριέται συνήθως έμμεσα μέσω της μέτρησης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) ( $\text{dS m}^{-1}$ ). Τα κατιόντα που βρίσκονται στο νερό και συνήθως σχετίζονται με την αύξηση της αλατότητας είναι το νάτριο, το ασβέστιο, και το μαγνήσιο, ενώ από τα ανιόντα είναι το χλώριο, τα θειικά και τα ανθρακικά. Βέβαια εκείνα τα ιόντα που ευθύνονται κυρίως για την αύξηση της αλατότητας με τη συσσώρευσή τους είναι του νατρίου και του χλωρίου.

Η αλατότητα αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά του νερού. Αυτό συμβαίνει καθώς η περιεκτικότητά του σε ολικά διαλυτά άλατα προσδιορίζει παράλληλα και την ποιότητά του. Το αρδευτικό νερό πρέπει να έχει ηλεκτρική αγωγιμότητα μικρότερη από  $1,0 \text{ dS m}^{-1}$  για να θεωρείται καλής ποιότητας. Άλλη κύρια πηγή αλάτων αποτελούν τα λιπάσματα, τα οποία συσσωρεύονται στη ριζόσφαιρα των φυτών μετά από κακή στράγγιση, και ανεπαρκή έκπλυση στο τέλος της καλλιέργειας.

Η αλατότητα μπορεί να ζημιώσει τα φυτά με την υψηλή ωσμωτική πίεση του εδαφικού διαλύματος, η οποία δυσχεραίνει την πρόσληψη νερού και θρεπτικών στοιχείων ή μειώνει τους ρυθμούς παραγωγής βιομάζας. Ζημιώνονται επίσης και με την άμεση τοξικότητα που συμβαίνει λόγω της συσσώρευσης κάποιων ιόντων αλάτων στους ιστούς, και με τη δημιουργία θρεπτικής ανισορροπίας, λόγω του ανταγωνισμού των διαλυτών αλάτων με τα θρεπτικά στοιχεία, ως προς την απορρόφηση και κατανομή τους μέσα στο φυτό.

Υψηλές συγκεντρώσεις νατρίου και χλωρίου στο έδαφος προκαλούν αυξημένες αναλογίες  $\text{Na}^+/\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}/\text{Mg}^{++}$ , και  $\text{Cl}^-/\text{NO}_3^-$ , που έχουν ως αποτέλεσμα τη δημιουργία θρεπτικών διαταραχών στα φυτά και την

περαιτέρω μείωση της ανάπτυξης, παραγωγής και ποιότητας τους. Γενικότερα υπάρχει ανταγωνισμός μεταξύ των ομοίου σθένους και διαμέτρου ιόντων, λόγω του ότι η μεταφορά των ιόντων μέσω της μεμβράνης γίνεται από συγκεκριμένες θέσεις για το κάθε ιόν, οι οποίες είναι λίγες σε σχέση με τον αριθμός ιόντων στο διάλυμα.

### **1.2.2 Παράγοντες δημιουργίας αλατότητας**

Οι παράγοντες που ευθύνονται για την αύξηση της αλατότητας στην περιοχή της ριζόσφαιρας των φυτών είναι δύο, και περιλαμβάνουν την άρδευση με νερό χαμηλής ποιότητας, και τις ξηρές κλιματικές συνθήκες που ευνοούν το αρνητικό ισοζύγιο νερού.

#### Νερό χαμηλής ποιότητας

Η εντατικοποίηση της γεωργίας προκειμένου να ικανοποιήσει τις ανάγκες του συνεχώς αυξανόμενου πληθυσμού αφορά κυρίως την εύρεση νέων καλλιεργητικών μεθόδων και τη βελτίωση του υπάρχοντος φυτικού γενετικού υλικού, και είναι στενά συνδεδεμένη με τις ολοένα μεγαλύτερες ανάγκες για αρδευτικό νερό. Ο βαθμός αλατότητας αρχίζει να γίνεται πρόβλημα όταν η ποσότητα των αλάτων που προστίθενται με το νερό άρδευσης είναι μεγαλύτερη αυτής που εκπλύνεται και απορροφάται από τα φυτά.

Το πρόβλημα λύνεται με χρήση ποσότητας ικανής να προκαλεί έκπλυση στο έδαφος. Ωστόσο, η άρδευση έκτασης με λιγότερη απ' την απαιτούμενη ποσότητα επιφέρει ανεπαρκή έκπλυση και συγκέντρωση αλάτων. Το πρόβλημα έτσι μπορεί να γιγαντωθεί σε σύντομο χρονικό διάστημα.

#### Ξηρές κλιματικές συνθήκες

Η κίνηση των αλάτων στην περιοχή της ρίζας σχετίζεται με την κίνηση του νερού. Έτσι, όταν το ανοδικό ρεύμα που προκαλείται μέσω της εξατμισοδιαπνοής υπερσχύει του καθοδικού ρεύματος που επιφέρει την επιθυμητή έκπλυση των υδατοδιαλυτών αλάτων, συσσωρεύονται διαλυτά



άλατα, τα οποία εναποτίθενται κατά τη συμπύκνωση και εξάτμιση του εδαφικού διαλύματος (διάλυμα που κυκλοφορεί μεταξύ του εδαφικού πορώδους) ή του θρεπτικού διαλύματος (διάλυμα που κυκλοφορεί σε υδροπονικό υπόστρωμα ή ριζόστρωμα).

Εδώ πρέπει να αναφέρουμε και τον ισχυρό ρόλο που διαδραματίζει και το φαινόμενο 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 εξαμισοδιαπνοή (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 εξαμισοδιαπνοή (ET), δηλαδή κάτω από ξηρές και θερμές συνθήκες, το νερό μπορεί να μην 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 εξαμισοδιαπνοή. Το αποτέλεσμα είναι το ποσοστό έκπλυσης των συγκεντρωθέντων αλάτων να είναι μεγαλύτερο, αμβλύνοντας τα συμπτώματα της αλατότητας.

### 1.2.3 Ποιότητα νερού και αλατότητα

Η ποιότητα του νερού άρδευσης υποβαθμίζεται όταν περιέχει ουσίες (κυρίως υδατοδιαλυτά άλατα) που έχουν αρνητικές επιπτώσεις στην ανάπτυξη και παραγωγή των φυτών. Το είδος και η περιεκτικότητα των αλάτων καθορίζουν την καταλληλότητα του νερού για άρδευση. Οι υψηλές συγκεντρώσεις των ιόντων νατρίου, χλωρίου και βορίου στο νερό άρδευσης έχουν αρνητικές επιπτώσεις στα φυτά.

Οι επιπτώσεις αυτές αφορούν: α) την αύξηση της ωσμωτικής πίεσης του εδαφικού διαλύματος (osmotic effect), με αποτέλεσμα να δυσχεραίνεται η απορρόφηση νερού από το φυτό, β) τη συγκέντρωση τοξικών ιόντων (κυρίως Na και Cl) στους φυτικούς ιστούς (specific ion effect) που μπορεί να προκαλέσουν μέχρι και ξήρανση των φυτικών ιστών, και γ) την έλλειψη θρεπτικών στοιχείων λόγω ανταγωνισμού των ιόντων (nutrient deficiencies) και την εμφάνιση τροφοπενιών.

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 που 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 την ηλεκτρική αγωγιμότητά 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/lit.

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

Ανθρακικά:  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ , και  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$

Θειικά:  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{MgSO}_4$ , 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 δίνονται επαρκείς ποσότητες νερού για να γίνει έκπλυση του ριζοστρώματος.

### Νάτριο

Όταν το νερό άρδευσης περιέχει πολύ νάτριο, ώστε η αναλογία  $\text{Na}/\text{Ca}+\text{Mg}$  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 – το λεγόμενο “πηλίκιο προσρόφησης Na”). Η τιμή της βρίσκεται με προσδιορισμό του περιεχομένου του νερού άρδευσης σε νάτριο, ασβέστιο και μαγνήσιο σε meq/lit. Η SAR υπολογίζεται με τον τύπο:

$$\text{SAR} = [\text{Na}^+] / \left( \frac{[\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}]}{2} \right)^{1/2}$$

Όπου οι συγκεντρώσεις εκφράζονται σε meq  $\text{lt}^{-1}$ .

Όταν τα στοιχεία Ca+Mg, βρίσκονται σε δυσμενή με το Na αναλογία στο νερό άρδευσης, τότε απαιτείται η προσθήκη σ' αυτό θειικού ασβεστίου. Η ζημιογόνος επίδραση του Na<sup>+</sup> περιορίζεται όταν τα ιόντα Ca<sup>2+</sup> και Mg<sup>2+</sup> απαντώνται σε σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις. Πρέπει να διευκρινίσουμε ότι το Ca<sup>2+</sup> συνήθως δε συμβάλλει ουσιαστικά στο φαινόμενο της αλατότητας διότι τα άλατά 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:

- 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 οξέος και
- Με τη 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 οξέος (Μαυρογιαννόπουλος Γ., 2006).

### Τοξικά ιόντα

Ορισμένα ιόντα που ενδεχομένως υπάρχουν στο νερό άρδευσεως είναι δυνατόν, σε ορισμένες συγκεντρώσεις, να επηρεάσουν τα ευαίσθητα σε αυτά φυτά. Οι μέγιστες επιτρεπτές συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων (σε mg/lit) που μπορούν να δράσουν τοξικά δίνονται στον πίνακα 1:

ΣΤΟΙΧΕΙΟ	Νερό που χρησιμοποιείται συνεχώς σ' όλα τα υποστρώματα (mg/l)
Αλουμίνιο	5,00
Αρσενικό	0,10
Βηρύλλιο	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

Πίνακας 1: Μέγιστες επιτρεπτές συγκεντρώσεις Ιχνοστοιχείων στο νερό άρδευσης (Θερίος, 1996).

### 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 (2) αξιολόγησης του νερού αρδεύσεως (Ayres & Westcot, 1985):

ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΡΔΕΥΣΗ				ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ			
				Μονάδες	Καμία	Μικρή έως μέση	Μεγάλη
<b>Αλατότητα (επηρεάζει τη διαθεσιμότητα του νερού)</b>							
ECνα				dS/m	<0,7	0,7-3,0	>3,0
ή							
TDS				mg/lt	<450	450-2000	>2000
<b>Διήθηση (επηρεάζει το βαθμό διήθησης του νερού στο έδαφος)</b>							
SAR	= 0-3	ECνα	=		>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 (επηρεάζει τις ευαίσθητες καλλιέργειες)</b>							
Νάτριο (Na)				me/lt	<3	3-9	>9
				me/lt	<3	>3	
Χλώριο (Cl)				me/lt	<4	4-10	>10
				me/lt	<3	>3	
Βόριο (B)				mg/lt	<0,7	0,7-3,0	>3
<b>Άλλοι παράγοντες (επηρεάζουν τις ευαίσθητες καλλιέργειες)</b>							
Άζωτο (NO <sub>3</sub> -N)				mg/lt	<5	5-30	>30
Διπτανθρακικά (HCO <sub>3</sub> )				mg/lt	<1,5	1,5-8,5	>8,5
pH				Φυσιολογικό εύρος 6,5 - 8,4			

Πίνακας 2: Αξιολόγηση του νερού αρδεύσεως (Ayres & Wextcot, 1985).

Οι επιπτώσεις από τη χρήση του νερού αρδεύσεως, όπως φαίνεται στον πίνακα αξιολόγησης (πίνακας 2), διαιρούνται σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με το ύψος των τιμών, ως καμία, 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 καμία 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 δε 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 επίπτωσή τους στα καλλιεργούμενα φυτά, αποτελούν πλαίσιο μέσα στο οποίο μπορεί να συμπεριληφθεί η πλειονότητα των καλλιεργούμενων φυτών. Ο πίνακας προϋποθέτει ότι η αρδευόμενη περιοχή έχει κλίμα ημίξηρο έως ξηρό 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 η εμπειρία, τα πειραματικά στοιχεία και οι επιστημονικές παρατηρήσεις, τότε ο πίνακας μπορεί να τροποποιηθεί ώστε να ανταποκρίνεται στις τοπικές συνθήκες (Μισοπολινός, 1991).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.3

### Επιδράσεις της αλατότητας στα φυτά

#### 1.3.1 Κατηγοριοποίηση των φυτών με βάση την αντοχή τους στο NaCl

Τα φυτά κατατάσσονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες ανάλογα με την ικανότητά τους να αναπτύσσονται σε αλατούχα περιβάλλοντα ή όχι. Η μια κατηγορία ονομάζεται αλόφυτα, και η άλλη γλυκόφυτα (Sairam and Tyagi, 2004). Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν τα φυτά που μπορούν να αναπτυχθούν σε περιβάλλον αλατότητας (Yokoi et al, 2002). Υπάρχουν μάλιστα μερικά είδη αλοφύτων που μπορούν να αναπτυχθούν σε περιβάλλον υψηλής αλατότητας, έως και 400 mM NaCl, χωρίς να ανασταλεί η ανάπτυξή τους (Tester and Davenport, 2003).

Τα φυτά της οικογένειας Solanaceae θεωρούνται μέτρια ευαίσθητα στην αλατότητα. Παράδειγμα αποτελεί η καλλιέργεια της πιπεριάς και της μελιτζάνας των οποίων η απόδοση αρχίζει να πέφτει στις τιμές των EC 2,4 dS m<sup>-1</sup> (10 mM NaCl) και 3,4 dS m<sup>-1</sup> (25 mM NaCl) αντίστοιχα. Σε μεγάλες συγκεντρώσεις NaCl (150 mM) παρατηρήθηκε μείωση της απόδοσης 95% και 88% αντίστοιχα (Chartzoulakis and Loupassaki, 1997). Στην πατάτα (*Solanum tuberosum*) από την άλλη παρατηρήθηκαν απώλειες στην απόδοση έως και 50% σε EC 6,2 dS m<sup>-1</sup> (Shannon and Grieve, 1999).

Οι περισσότερες εμπορικές ποικιλίες τομάτας (*Lycopersicon esculentum*) είναι μέτρια ευαίσθητες στην αλατότητα σε όλα τα στάδια της ανάπτυξης (Foolad, 2004). Η απόδοση των φυτών αρχίζει να μειώνεται όταν αυτά αναπτύσσονται σε θρεπτικό διάλυμα 2,5 dS m<sup>-1</sup> ή μεγαλύτερο. Σε EC μεγαλύτερο από 3,0 dS m<sup>-1</sup> για κάθε αύξηση της τάξης του 1 dS m<sup>-1</sup> παρατηρείται 9-10% μείωση της απόδοσης. Σε χαμηλές τιμές ECs (3-5 dS m<sup>-1</sup>) η απόδοση μειώνεται κυρίως λόγω μείωσης του μέσου βάρους του καρπού ενώ σε μεγαλύτερα ECs κυρίως λόγω του μειωμένου αριθμού καρπών (Cuartero & Fernández-Muñoz, 1998). Η ανάπτυξη της ρίζας αρχίζει να μειώνεται σε EC από 4-6 dS m<sup>-1</sup> (Papadopoulos & Rendig, 1983).



### 1.3.2 Συμπτώματα από την επίδραση του NaCl

Στα ευαίσθητα στην αλατότητα φυτά, μέσα σε λίγες ώρες μετά την εφαρμογή της καταπόνησης από υψηλή αλατότητα, επηρεάζεται περισσότερο η ανάπτυξη του βλαστού και σε μικρότερο βαθμό η ανάπτυξη της ρίζας. Αυτή η επίδραση του NaCl εξαρτάται από τη συγκέντρωση του Na<sup>+</sup> στους αναπτυσσόμενους ιστούς, και από την αντίδραση του φυτού στην ωσμωτική πίεση του εξωτερικού διαλύματος (Munns, 2002).

Η ζημιά που προκαλείται από το Na<sup>+</sup> συνδέεται με τη συσσώρευση Na<sup>+</sup> στους φυλλικούς ιστούς. Το αποτέλεσμα είναι η νέκρωση των παλαιότερων φύλλων, που ξεκινά από την κορυφή του φύλλου και συνεχίζει προς τα κάτω. Κατά συνέπεια η μείωση της ανάπτυξης και της απόδοσης είναι αποτέλεσμα του μικρότερου κύκλου ζωής των μεμονωμένων φύλλων (Munns, 2002).

Η χρονική στιγμή κατά την οποία θα παρατηρηθεί η ζημιά από το Na<sup>+</sup> εξαρτάται από το ρυθμό συσσώρευσης του Na<sup>+</sup> στα φύλλα και από την αποτελεσματικότητα του μηχανισμού διαμερισματοποίησης στο χυμοτόπιο. Οι επιπτώσεις από την τοξική επίδραση του Na<sup>+</sup> του NaCl και παρουσιάζουν μεγαλύτερη παραλλακτικότητα μεταξύ των διαφόρων ειδών σε σχέση με την επίδραση της ωσμωτικής καταπόνησης (Munns, 2002). Τα φύλλα είναι πιο ευάλωτα από τις ρίζες στο Na<sup>+</sup> γιατί αυτό και το Cl<sup>-</sup> συσσωρεύονται σε υψηλότερες συγκεντρώσεις στους βλαστούς παρά στις ρίζες. Οι ρίζες έχουν την τάση να διατηρούν σταθερά τα επίπεδα NaCl με το να το εξαγάγουν προς το έδαφος ή το βλαστό. Το Na<sup>+</sup> μετατοπίζεται συνήθως στο βλαστό διαμέσου των αγγείων του ξύλου με το ταχύτατο ρεύμα που ελέγχεται από τη διαπνοή. Αντίθετα μπορεί να επιστρέψει στη ρίζα μόνο μέσω του φλοιού. Στη βιβλιογραφία είναι λίγες οι περιπτώσεις που παρατηρείται έντονη επανακυκλοφορία του Na<sup>+</sup> στη ρίζα, γεγονός που υποδεικνύει ότι η κίνηση του Na<sup>+</sup> είναι προς μια κατεύθυνση με αποτέλεσμα την προοδευτική συσσώρευσή του στα φύλλα καθώς αυτά ωριμάζουν (Tester & Davenport, 2003).

### 1.3.3 Διατάραξη της φυσιολογικής ωσμωτικής ισορροπίας

Η απορρόφηση και η ροή του νερού μέσα στο φυτό ρυθμίζεται από το υδατικό δυναμικό. Έτσι το νερό κινείται από ένα υψηλότερο προς ένα χαμηλότερο υδατικό δυναμικό και πιο συγκεκριμένα από μια περιοχή με λιγότερο αρνητικές τιμές του υδατικού δυναμικού, προς την περιοχή με περισσότερη αρνητικές τιμές (Δροσόπουλος, 1998) μετρούμενο σε μονάδες πίεσης mega Pascals. Έτσι, για να μετακινηθεί το νερό από το έδαφος μέσα στους φυτικούς ιστούς, το υδατικό δυναμικό του φυτού πρέπει να είναι μικρότερο ή περισσότερο αρνητικό από αυτό του εδάφους.

Το υδατικό δυναμικό του εδάφους καθορίζεται μερικά από τη συγκέντρωση διαφόρων διαλυτών ενώσεων σε αυτό. Η παρουσία διαλυτών ενώσεων όπως του NaCl, μειώνει το υδατικό δυναμικό του εδάφους και εξουδετερώνει (ή εξαλείφει πλήρως) την ισορροπία του υδατικού δυναμικού. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τα αλατούχα εδάφη να συγκρατούν το νερό “ωσμωτικά” καθιστώντας το μη διαθέσιμο για τα φυτά. Καθώς το εδαφικό νερό εξατμίζεται η συγκέντρωση του NaCl γίνεται ακόμη μεγαλύτερη επιδεινώνοντας ακόμη περισσότερο το πρόβλημα.

Το χημικό δυναμικό του περιβάλλοντος αλατότητας (και ξηρασίας) καθιερώνει αρχικά μια δυσαναλογία υδατικού δυναμικού μεταξύ του αποπλάστη και του συμπλάστη που οδηγεί σε μείωση της σπαργής (Serrano et al., 1999, Yokoi et al., 2002), η οποία εάν είναι σημαντική μπορεί να προκαλέσει ανάσχεση της ανάπτυξης (Bohnert et al., 1995). Διακοπή της αύξησης του φυτού παρατηρείται όταν η σπαργή του κυττάρου φτάνει σε σημείο χαμηλότερο από το κατώτατο ανεκτό όριο του κυτταρικού τοιχώματος. Η κυτταρική αφυδάτωση αρχίζει όταν η διαφορά υδατικού δυναμικού είναι μεγαλύτερη από αυτή που μπορεί να αντισταθμιστεί από την απώλεια σπαργής (Yokoi et al., 2002).

### 1.3.4 Διατάραξη της ιονικής ισορροπίας

Εκτός από την ωσμωτική καταπόνηση, η αλατότητα δημιουργεί και πρόβλημα τοξικότητας λόγω αυξημένης ενδοκυτταρικής συγκέντρωσης

ιόντων  $\text{Cl}^-$  και  $\text{Na}^+$  τα οποία και έχουν καταστροφικές επιδράσεις στα κυτταρικά συστήματα. Υψηλές συγκεντρώσεις αλάτων αναστέλλουν τη δράση των περισσότερων ενζύμων λόγω διαταραχής της υδροφοβικής-ηλεκτροστατικής ισορροπίας μεταξύ των δυνάμεων που διατηρούν τη δομή των πρωτεϊνών (Serrano et al., 1999).

Τα ιόντα  $\text{Cl}^-$  μπορεί να παρεμποδίζουν μεταβολικά μονοπάτια τα οποία εμπλέκονται στη βιοσύνθεση RNA και άλλων ανιονικών μεταβολιτών. Τα ιόντα  $\text{Na}^+$  μπορεί να παρεμποδίζουν “κατιονικά” μεταβολικά μονοπάτια που σχετίζονται με τη δέσμευση  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ , ή  $\text{Mg}^{+2}$  (Serrano et al., 1999).

Η περίσσεια ενδοκυτταρική συγκέντρωση  $\text{Na}^+$  δημιουργεί άμεσα σημαντικά προβλήματα στο κύτταρο:

A. Αναστέλλει τη λειτουργία ενζύμων που ενεργοποιούνται από το  $\text{K}^+$ , καθώς το  $\text{Na}^+$  ανταγωνίζεται το πρώτο στις θέσεις δέσμευσης (binding sites). Περισσότερα από 50 ένζυμα ενεργοποιούνται από το  $\text{K}^+$  το οποίο δεν μπορεί να αντικατασταθεί σε αυτό του το ρόλο από το  $\text{Na}^+$  (Tester & Davenport, 2003).

B. Μειώνει την αφομοίωση άλλων στοιχείων από το έδαφος ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ , P,  $\text{Fe}^{+2}$  και  $\text{Zn}^{+2}$ ), είτε άμεσα με μείωση της απορρόφησης αυτών των στοιχείων αναστέλλοντας τη λειτουργία μεταφορέων (πρωτεϊνών) που βρίσκονται στην κυτταροπλασματική μεμβράνη των κυττάρων της ρίζας, όπως τα επιλεκτικά κανάλια ιόντων  $\text{K}^+$ , είτε έμμεσα αναστέλλοντας την ανάπτυξη της ρίζας κυρίως λόγω της ωσμωτικής επίδρασης του  $\text{Na}^+$  αλλά και λόγω των καταστροφικών επιδράσεων του  $\text{Na}^+$  στη δομή του εδάφους (Tester & Davenport, 2003).

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

Τα καλλιεργούμενα φυτά 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 επίδραση στο φυτό και με βάση την έλλειψη της σταθερότητάς 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 ποικίλουν, 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 καμία φυσιολογική παράμετρος μόνη της δε 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:

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

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

Γ) Με βάση τη συγκέντρωση  $K^+$  (Al-Karaki G.N., 2000) ή του  $Na^+$  (Chookhampaeng et al., 2007) ή το λόγο  $K^+/Na^+$  (Taha et al., 2000, Lopez & Satti, 1997) ή τη συσσώρευση  $Na^+$  και  $Cl^-$  (Alfocea et al., 1993).

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

Δ) Το υδατικό ισοζύγιο (Moghaieb et al., 2001).

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

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

Ζ) Με βάση τη σχέση των Mass-Hoffman (Caro 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 να 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.

### **1.3.6 Επίδραση της αλατότητας στην παραγωγή των φυτών**

Ο βαθμός μείωσης της παραγωγής εξαρτάται από τη συνολική συγκέντρωση αλάτων στο περιβάλλον των ριζών, το είδος των αλάτων, την ανθεκτικότητα του συγκεκριμένου φυτικού είδους ή και της ποικιλίας στην αλατότητα (Cusido et al., 1987, Chartzoulakis & Klapaki, 2000, Botia et al., 1998, Cornillon & Palloix, 1997), τον τρόπο διαχείρισης της άρδευσης (Plaut, 1997), το στάδιο ανάπτυξης των φυτών, τη διάρκεια έκθεσης των φυτών, τη διάρκεια έκθεσης των φυτών στην αλατότητα (del Amor et al., 1999, 2001), και τις επικρατούσες κλιματικές συνθήκες (Cornillon & Palloix, 1997, Sonneveld & Welles, 1988, Pasternak, 1987).

Η αλατότητα ελαττώνει την απόδοση των καλλιεργούμενων καρποδοτικών λαχανικών μέσω κυρίως της μείωσης του μεγέθους των

καρπών και λιγότερο μέσω της μείωσης του αριθμού των καρπών ανά φυτό (Plaut, 1997).

Σε επίπεδα υψηλής αλατότητας η παραγωγή της τομάτας περιορίζεται εξαιτίας της μείωσης τόσο του αριθμού των καρπών ανά φυτό, όσο και του μέσου βάρους των καρπών. Σύμφωνα με τους Manrogiannopoulos et al. (2002) και del Amor et al. (2001) η αλατότητα περιορίζει κυρίως το μέσο βάρος του καρπού, ενώ αντίθετα οι Carnajal et al. (1999) αναφέρουν μεγαλύτερη μείωση του αριθμού των καρπών ανά φυτό.

Στην πιπεριά ο αριθμός των καρπών ανά φυτό παραμένει σταθερός σε μέτρια επίπεδα αλατότητας, ενώ το μέσο βάρος τους μειώνεται σημαντικά (Chartzoulakis, 2000). Οι Gomez et al. (1996) υποστηρίζουν ότι παρατηρείται μια σημαντική μείωση στον αριθμό των καρπών της πιπεριάς ανά φυτό και σημαντικότερη μείωση στο μέσο νωπό βάρος των καρπών της με την αύξηση της αλατότητας.

Η μείωση στην παραγωγή της μελιτζάνας λόγω αυξημένης αλατότητας είναι αποτέλεσμα της μείωσης του μέσου βάρους των καρπών της και όχι του περιορισμού του αριθμού των καρπών ανά φυτό (Savvas & Lenz, 2000).

Στο πεπόνι, η μείωση της απόδοσης σχετίζεται περισσότερο με τον αριθμό των καρπών ανά φυτό παρά με το μέσο βάρος αυτών (del Amor et al., 1999).

Στο αγγούρι, αν και το μέσο βάρος των καρπών μειώνεται σημαντικά με την αύξηση της αλατότητας, τη μέγιστη συμβολή στη μείωση της απόδοσης φαίνεται ότι την έχει ο αριθμός των καρπών ανά φυτό. Έτσι, σε ένα πείραμα του Chartzoulakis (1992) παρήχθησαν 67% λιγότεροι καρποί ενώ το μέσο βάρος του καρπού μειώθηκε μόνο κατά 16% όταν η ηλεκτρική αγωγιμότητα ήταν  $5 \text{ dS m}^{-1}$  σε σύγκριση με το μάρτυρα ( $1,2 \text{ dS m}^{-1}$ ).

Παρατηρούμε ότι τα αποτελέσματα των διαφόρων ερευνητών όσον αφορά τον τρόπο με τον οποίο μειώνεται η παραγωγή των κηπευτικών είναι αμφιλεγόμενη, ίσως λόγω των διαφορετικών επιπέδων αλατότητας που χρησιμοποιήθηκε. Στην παρούσα εργασία σε επίπεδα αλατότητας  $80 \text{ mM NaCl}$ , τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η παραγωγή τομάτας μειώθηκε με την άνοδο της αλατότητας λόγω της μείωσης του βάρους των καρπών, και όχι λόγω μείωσης του αριθμού τους.

Οι Mass 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<sub>e</sub>**: η μετρούμενη ηλεκτρική αγωγιμότητα σε mS/cm, όπου η αλατότητα του υποστρώματος συνδέεται με το καθορισμένο ποσοστό απόδοσης Y,

**C<sub>o</sub>**: η ηλεκτρική αγωγιμότητα για την οποία η φυτική παραγωγή μηδενίζεται και

**C<sub>100</sub>**: η ηλεκτρική αγωγιμότητα στην οποία αντιστοιχεί απόδοση 100%.

Όπωρ/κά	ΠΡΟΒΛΕΠΟΜΕΝΗ ΑΠΟΔΟΣΗ									
	100%		90%		75%		50%		0%	
	ECe	ECw	ECe	ECw	ECe	ECw	ECe	ECw	ECe	ECw
Κολοκυθάκια	4,7	3,1	5,8	3,8	7,4	4,9	10,0	6,7	15,0	10,0
Τεύτλα	4,0	2,7	5,1	3,4	6,8	4,5	9,6	6,4	15,0	10,0
Κολοκύθι	3,2	2,1	3,8	2,6	4,8	3,2	6,3	4,2	9,4	6,3
Μπρόκολα	2,8	1,9	3,9	2,6	5,5	3,7	8,2	5,5	14,0	9,1
Τομάτα	2,5	1,7	3,5	2,3	5,0	3,4	7,6	5,0	13,0	8,4
Αγγούρι	2,5	1,7	3,3	2,2	4,4	2,9	6,3	4,2	10,0	6,8
Σπανάκι	2,0	1,3	3,3	2,2	5,3	3,5	8,6	5,7	15,0	10,0
Σέλινο	1,8	1,2	3,4	2,3	5,8	3,9	9,9	6,6	18,0	12,0
Λάχανο	1,8	1,2	2,8	1,9	4,4	2,9	7,0	4,6	12,0	8,1
Πατάτα	7,1	1,1	2,5	1,7	3,8	2,5	5,9	3,9	10,0	6,7
Γλυκοπατάτα	1,5	1,0	2,4	1,6	3,8	2,5	6,0	4,0	11,0	7,1
Πιπεριά	1,5	1,0	2,2	1,5	3,3	2,2	5,1	3,4	8,6	5,8
Μαρούλι	1,3	0,9	2,1	1,4	3,2	2,1	5,1	3,4	9,0	6,0
Ρεπάνι	1,2	0,8	2,0	1,3	3,1	2,1	5,0	3,4	8,9	5,9
Κρεμμύδι	1,2	0,8	1,8	1,2	2,8	1,8	4,3	2,9	7,4	5,0
Καρότο	1,0	0,7	1,7	1,1	2,8	1,9	4,6	3,0	8,1	5,4
Φασόλι	1,0	0,7	1,5	1,0	2,3	1,5	3,6	2,4	6,3	4,2
Γογγύλι	0,9	0,6	2,0	1,3	3,7	2,5	6,5	4,3	12,0	8,0

Πίνακας 3: 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).

Τα στοιχεία του πίνακα ελήφθησαν από τις εργασίες των Maas & 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 τη 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, η σχέση της συγκέντρωσης μεταξύ της αλατότητας του νερού αρδεύσεως (ECw) και της αλατότητας του υποστρώματος (ECe) δεν είναι εφαρμόσιμη.

Οι τιμές όμως της ECe που δίνονται στον πίνακα 3 εξακολουθούν να είναι χρήσιμες αλλά θα πρέπει να αλλάξει η αλατότητα του νερού (ECw) στον πίνακα. Πρέπει να τονιστεί ότι η αλατότητα του υποστρώματος (ECe) 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  $ECe=1,5ECw$ .

Οι τιμές της αλατότητας (ECe) του πίνακα των Maas & 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 παρουσιάζονται για απόδοση 100, 90, 75, 50 και 0%, και υπολογίστηκαν από την εξίσωση των Maas & Hoffman (1977). Η μηδενική απόδοση δείχνει τη θεωρητική αλατότητα (ECe) 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 δεδομένα από τους αγρούς 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) εμφανίζεται από πειραματικά δεδομένα η ποσοτική επίδραση διαφόρων επιπέδων αλατότητας επί της παραγωγικότητας επιλεγμένων ειδών (Σιμώνης και Γραφιαδέλλης, 1985).

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

Πίνακας 4: Αποτελέσματα επίδρασης της αλατότητας των διαφόρων λιπαντικών επεμβάσεων σε καλλιεργούμενα φυτά (Σιμώνης και Γραφιαδέλλης, 1985).

Η πλειονότητα των στοιχείων απόδοσης σε αυτόν τον πίνακα 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 & 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 E<sub>ce</sub> (3<sup>η</sup> στήλη).

### 1.3.7 Θρεπτικές επιδράσεις της αλατότητας

Οι υψηλές συγκεντρώσεις Na<sup>+</sup> και Cl<sup>-</sup> στο εδαφικό διάλυμα μπορεί να μειώσουν τη δραστηριότητα των θρεπτικών ιόντων και να δημιουργήσουν αυξημένους λόγους Na<sup>+</sup>/Ca<sup>+2</sup>, Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>, Ca<sup>+2</sup>/Mg<sup>+2</sup> και Cl<sup>-</sup>/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Σε συνέπεια αυτών το φυτό γίνεται ευαίσθητο σε επιβλαβείς ωσμωτικές και ιοντικές επιδράσεις, καθώς και σε θρεπτικές διαταραχές που μπορεί να έχουν ως αποτέλεσμα τη μείωση της απόδοσης ή της ποιότητας των παραγόμενων προϊόντων. Με άλλα λόγια, από τις θρεπτικές επιδράσεις της αλατότητας στα φυτά διακρίνουμε :

- I. Την άμεση τοξικότητα εξαιτίας της υπερβολικής συσσώρευσης ιόντων στους ιστούς και
- II. Τη θρεπτική ανισορροπία που προκαλείται από μια περίσσεια ή έλλειψη μερικών συγκεκριμένων ιόντων.

Οι θρεπτικές ανισορροπίες μπορεί να προκύψουν στα φυτά, που αναπτύσσονται σε συνθήκες αλατότητας, με πολλούς τρόπους. Ανισορροπίες μπορεί να προκύψουν από την επίδραση της αλατότητας στη διαθεσιμότητα, στην ανταγωνιστική απορρόφηση, στη μεταφορά ή την κατανομή των θρεπτικών στοιχείων μέσα στο φυτό ή μπορεί να προκληθούν από φυσιολογική αδρανοποίηση ενός θρεπτικού στοιχείου, προκαλώντας την αυξημένη ζήτηση για αυτό το απαραίτητο στοιχείο από το φυτό. Είναι λογικό να θεωρείται ότι δύο ή περισσότερες από αυτές τις διαδικασίες μπορούν να συμβούν την ίδια στιγμή, αλλά αν αυτές τελικά επηρεάζουν την απόδοση της καλλιέργειας ή την ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων, εξαρτάται από το επίπεδο της αλατότητας, τη σύνθεση των αλάτων, το είδος της καλλιέργειας, το υπό συζήτηση θρεπτικό στοιχείο και από έναν αριθμό περιβαλλοντικών παραγόντων.

Οι αλληλεπιδράσεις που επηρεάζουν τη διαθεσιμότητα, την απορρόφηση και την κατανομή των θρεπτικών στοιχείων, είναι πολύ σύνθετες ακόμα και κάτω από συνθήκες απουσίας αλατότητας ή άλλων παραγόντων καταπόνησης. Η παρουσία της αλατότητας προσθέτει ένα νέο επίπεδο περιπλοκής στην ανόργανη θρέψη των φυτών (Grattan & Grieve, 1998).

### Αλατότητα-K

Η διατήρηση επαρκών επιπέδων  $K^+$  είναι ουσιαστικής σημασίας για την επιβίωση των φυτών σε συνθήκες αλατότητας. Το  $K^+$  είναι το πιο σημαντικό ανόργανο διαλυτό στοιχείο των φυτών, διότι έχει μεγάλη συνεισφορά στη δημιουργία χαμηλού ωσμωτικού δυναμικού στη στήλη των ριζών, πράγμα που είναι προαπαιτούμενο για τη διατήρηση της πίεσης σπαραγγής και της υδατικής ισορροπίας των φυτών.

Η επιλεκτικότητα του ριζικού συστήματος για  $K^+$  αντί για  $Na^+$  πρέπει να είναι επαρκής για να εξασφαλίζει τα επίπεδα του  $K^+$  που απαιτούνται για τις μεταβολικές διαδικασίες, για τη ρύθμιση μεταφοράς των ιόντων και για την ωσμωτική ρύθμιση. Ενώ, η αύξηση της συγκέντρωσης του  $Na^+$  στα φύλλα μπορεί να βοηθήσει ώστε να διατηρηθεί η σπαραγγή του φυτού, το  $Na^+$  δεν μπορεί να υποκαταστήσει το  $K^+$  σε εξειδικευμένες φυσιολογικές διεργασίες, όπως η πρωτεϊνοσύνθεση και η ενεργοποίηση ενζύμων (Marschner, 1995). Οι υψηλές συγκεντρώσεις  $K^+$  στο στρώμα των χλωροπλαστών είναι απαραίτητες για τη διατήρηση της άριστης φωτοσυνθετικής ικανότητας σε συνθήκες καταπόνησης (Grattan & Grieve, 1998).

Για τις περισσότερες καλλιέργειες φαίνεται ότι η συγκέντρωση του  $K^+$  στους φυτικούς ιστούς μειώνεται καθώς η αλατότητα  $NaCl$  στο μέσο ανάπτυξης της ρίζας αυξάνεται (Shibli et al., 2007, Silberbush et al., 2005) ενώ ταυτόχρονα, άλλες έρευνες αποδεικνύουν ότι το  $K^+$  μπορεί να απορροφάται και να μετακινείται εύκολα σε υψηλά επίπεδα εξωτερικού  $Na^+$  (Grattan & Grieve, 1998).

Σε συνθήκες αλατότητας, τα υψηλά επίπεδα του εξωτερικού  $Na^+$  δεν παρεμβαίνουν μόνο στην απορρόφηση του  $K^+$  από τις ρίζες, αλλά διαταράσσουν και την ακεραιότητα των μεμβρανών της ρίζας με συνέπεια να αλλάζουν την επιλεκτικότητά τους στην απορρόφηση ανόργανων ιόντων. Η παρουσία επαρκούς  $Ca^{+2}$  στο υπόστρωμα επηρεάζει την επιλεκτικότητα των

μεμβρανών για  $K^+$  και  $Na^+$ , αυξάνοντας την αναλογία απορρόφησης υπέρ του  $K^+$  και εις βάρος του  $Na^+$ . Η αύξηση των επιπέδων  $Ca^{+2}$  συμβάλλει στη διατήρηση της ακεραιότητας των μεμβρανών και οδηγεί στη μείωση διαρροής  $K^+$  από τα κύτταρα της ρίζας και σε βελτίωση τη συγκέντρωση του  $K^+$  στη ρίζα (Grattan & Grieve, 1998). Η περατότητα των μεμβρανών (των φύλλων) αυξάνεται σημαντικά με την αλατότητα στην πιπεριά (Kaya et al., 2001) και στο αγγούρι (Alpaslan & Gunes, 2001, Kaya et al., 2001), ενώ δεν παρατηρείται σημαντική αύξηση στην τομάτα (Alpaslan & Gunes, 2001).

Η περιοριστική δράση του NaCl στην απορρόφηση του καλίου μπορεί να οφείλεται τόσο σε ανταγωνιστικά φαινόμενα μεταξύ των μονοσθενών κατιόντων ( $K^+$ - $Na^+$ ) όσο και στο χαμηλότερο ωσμωτικό δυναμικό διαλύματος εξαιτίας της υψηλής συγκέντρωσης NaCl (Kawasaki et al., 1983).

### Αλατότητα-Ca

Μια συχνά εμφανιζόμενη ανωμαλία των καρπών (τομάτας, πιπεριάς, πεπονιού) είναι η ξηρά κορυφή. Ως κύρια αιτία της ανωμαλίας αυτής έχει αναγνωρισθεί η μειωμένη απορρόφηση  $Ca^{+2}$  από τις ρίζες και η αυξημένη αντίσταση μεταφοράς του μέσα στον καρπό. Τα συμπτώματα οφείλονται σε διαφορές της συσσώρευσης του  $Ca^{+2}$  στις διαφορετικές περιοχές ανάπτυξης. Καθώς η συγκέντρωση των αλάτων αυξάνει στην περιοχή της ρίζας, η απορρόφηση  $Ca^{+2}$  μπορεί να μειώνεται εξαιτίας αλληλεπίδρασης ιόντων, κατακρήμνισης, και δυσμενούς ανταγωνισμού με μονοσθενή κατιόντα. Αυτοί οι παράγοντες μειώνουν τη διαθεσιμότητα  $Ca^{+2}$  στο διάλυμα και επομένως μειώνουν τη διαθεσιμότητα  $Ca^{+2}$  στα φυτά (Grattan & Grieve, 1998).

Το  $Ca^{+2}$  παίζει έναν ουσιαστικό ρόλο στις διαδικασίες που προστατεύουν τη δομική και λειτουργική ακεραιότητα των μεμβρανών των φυτών, σταθεροποιώντας τις δομές των κυτταρικών τοιχωμάτων, ρυθμίζοντας τη μεταφορά ιόντων και την επιλεκτικότητα των μεμβρανών, και ελέγχοντας τις ανταλλαγές των ιόντων καθώς και τη δραστηριότητα των ενζύμων των κυτταρικών τοιχωμάτων (Grattan & Grieve, 1998). Η αύξηση της αλατότητας μειώνει σημαντικά τη συγκέντρωση Ca στις ρίζες της αγγουριάς, ενώ η μείωση της συγκέντρωσης στους βλαστούς δεν είναι σημαντική. Αυτό μπορεί να οφείλεται στην αντικατάσταση του ασβεστίου των κυτταρικών μεμβρανών από το νάτριο, σε συνθήκες αλατότητας (Al-Harbi, 1995).

Οι Sonneveld & Welles (1988) υποστηρίζουν ότι σε αυξημένη αλατότητα του θρεπτικού διαλύματος, λόγω υψηλής συγκέντρωσης θρεπτικών στοιχείων, η συγκέντρωση του Ca στα φύλλα της τομάτας μειώνεται. Το μέγεθος της μείωσης του Ca εξαρτάται από τη σχετική υγρασία της ατμόσφαιρας, η υψηλή υγρασία μειώνει την περιεκτικότητα του Ca στα φύλλα προκαλώντας τροφopenία Ca η οποία μειώνει την παραγωγή (Sonneveld & Welles, 1988).

Η υψηλή συγκέντρωση NaCl στο θρεπτικό διάλυμα μειώνει την περιεκτικότητα των ριζών της τομάτας σε Ca (Al-Harbi, 1995, Carvajal et al., 1999, Mavrogianopoulos et al., 2002). Οι Savvas & Lenz (1994) υποστηρίζουν ότι τα επίπεδα  $Ca^{+2}$  στους καρπούς μειώνεται σημαντικά στην υψηλή αλατότητα και οι καρποί εμφανίζουν εσωτερική ξηρή σήψη, παρόλο που τα επίπεδα  $Ca^{+2}$  στα φύλλα δεν επηρεάζονται. Τα μέτρια επίπεδα αλατότητας NaCl δεν επηρεάζουν τη συγκέντρωση του Ca ούτε στα φύλλα, ούτε στις ρίζες της μελιτζάνας (Savvas & Lenz, 2000). Αν και η ολική συγκέντρωση ασβεστίου στην αγγουριά μειώνεται κατά 13% για κάθε μονάδα αύξησης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, η περιεκτικότητα των νεαρών βλαστών της σε ασβέστιο μειώνεται κατά 16,6%, σε σύγκριση με τους άλλους καρπούς όπου μειώνεται κατά 11% (Ho & Adams, 1994). Η υψηλή αλατότητα μειώνει την απορρόφηση ασβεστίου στην αγγουριά και την ίδια στιγμή αυξάνει την περιεκτικότητα Ca στα φύλλα, ενώ μειώνει την περιεκτικότητα Ca στους καρπούς και το βλαστό (Adams & Ho, 1995). Η περιεκτικότητα των φύλλων της αγγουριάς σε  $Ca^{+2}$  είναι υψηλότερη, όταν το θρεπτικό διάλυμα περιέχει μόνο  $NO_3$ , σε σχέση με αυτό που περιέχει  $NH_4^+NO_3$  (Cerdá & Martinez, 1988). Οι del Amor et al. (1999, 2000) δεν διαπίστωσαν επίδραση της αλατότητας στη συγκέντρωση του Ca στα φύλλα πεπονιάς. Αντίθετα, οι Botia et al. (1998) υποστηρίζουν ότι η αλατότητα μειώνει την περιεκτικότητα των φύλλων της πεπονιάς σε Ca, ενώ η συγκέντρωση του Ca στις ρίζες δεν επηρεάζεται.

#### Αλατότητα-Mg

Η αυξημένη αλατότητα NaCl μειώνει τη συγκέντρωση του  $Mg^{+2}$  στα φύλλα της πιπεριάς (Gomez et al., 1996) και της μελιτζάνας (Savvas & Lenz, 1996, 2000). Οι Savvas & Lenz (2000) υποστηρίζουν ότι η συγκέντρωση του

Mg<sup>+2</sup> στα φύλλα της μελιτζάνας μειώνεται στον ίδιο βαθμό είτε η αλατότητα οφείλεται σε υψηλή συγκέντρωση NaCl, είτε σε αυξημένη συγκέντρωση θρεπτικών στοιχείων. Αυτό δείχνει ότι η επίδραση αυτή της αλατότητας δεν οφείλεται σε ανταγωνισμό του Na στην απορρόφηση του Mg. Αντίθετα, η υψηλή αλατότητα φαίνεται να μην επηρεάζει την περιεκτικότητα του Mg στα φύλλα του φασολιού (Seemann & Critchley, 1985), του πεπονιού (del Amor et al., 1999, 2000) και της τομάτας (Cerdá & Martinez, 1988, Carvajal et al., 1999, del Amor et al., 2000, 2001, Flores et al., 2001, Mavrogianopoulos et al., 2002). Στην περίπτωση όμως, που η υψηλή αλατότητα οφείλεται σε υψηλή συγκέντρωση θρεπτικών στοιχείων, η συγκέντρωση του Mg στα φύλλα της τομάτας μειώνεται (Sonneveld & Welles, 1988). Οι Cerdá & Martinez (1988) αναφέρουν ότι η συγκέντρωση του Mg στα φύλλα της αγγουριάς, σε συνθήκες αυξημένης αλατότητας, μειώνεται μόνο όταν υπάρχει αυξημένη αναλογία NH<sub>4</sub><sup>+</sup> ως προς τα NO<sub>3</sub><sup>-</sup> στο θρεπτικό διάλυμα. Η αυξημένη συγκέντρωση NaCl στο θρεπτικό διάλυμα δεν επηρεάζει την περιεκτικότητα του Mg στις ρίζες της τομάτας (Mavrogianopoulos et al., 2002), της μελιτζάνας (Savvas & Lenz, 2000), της πεπονιάς (Botia et al., 1998) και του φασολιού (Seemann & Critchley, 1985).

### Αλατότητα-N

Το άζωτο, υπό τη μία του μορφή (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) ή την άλλη (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), αποτελεί περίπου το 80% του συνόλου των ανόργανων θρεπτικών στοιχείων που απορροφώνται από τη ρίζα.

Υπάρχει ένας αριθμός εργαστηριακών και θερμοκηπιακών μελετών που δείχνουν ότι η αλατότητα μπορεί να μειώσει τη συσσώρευση του N στα φυτά. Αυτό δεν αποτελεί έκπληξη, αφού η αύξηση της απορρόφησης και της συσσώρευσης του Cl<sup>-</sup>, συχνά συνδέεται με τη μείωση της συγκέντρωσης των NO<sub>3</sub><sup>-</sup> στους βλαστούς (Martinez & Cerdá, 1989). Πολλοί αποδίδουν αυτή τη μείωση στον ανταγωνισμό στην απορρόφηση ανάμεσα στο Cl<sup>-</sup> και τα NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, ενώ άλλοι αποδίδουν την αντίδραση αυτή στην επίδραση της αλατότητας στη μειωμένη απορρόφηση νερού (Grattan & Grieve, 1998).

Η πλειονότητα των μελετών δείχνει ότι, η απορρόφηση του N ή συσσώρευσή του στους βλαστούς μπορεί να μειωθεί κάτω από συνθήκες αλατότητας, αν και υπάρχουν άλλες μελέτες, που βρίσκουν το αντίθετο ή

έλλειψη αντίδρασης (Grattan & Grieve, 1998). Το ολικό άζωτο (N) μειώνεται σημαντικά στα φύλλα της πιπεριάς όταν αυτή αναπτύσσεται σε υψηλή συγκέντρωση NaCl (Gomez et al., 1996, Gunes et al., 1996). Η υψηλή αλατότητα του θρεπτικού διαλύματος έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του ολικού N μόνο στα παλιά φύλλα της τομάτας (Mavrogianopoulos et al., 2002). Η έκθεση των φυτών σε συνθήκες αλατότητας έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των  $\text{NO}_3^-$  στα φύλλα του πεπονιού (del Amor et al., 1999), στα φύλλα τομάτας (Flores et al., 2001), στα φύλλα της αγγουριάς (Al-Harbi, 1995, Cerdá & Martinez, 1988), ενώ δεν παρατηρείται μείωση των επιπέδων ολικού N στις παραπάνω περιπτώσεις. Η συγκέντρωση των  $\text{NO}_3^-$  μειώνεται στις ρίζες της τομάτας (Flores et al., 2002) και της μελιτζάνας (Savvas & Lenz, 2000), ενώ η συγκέντρωση του ολικού αζώτου παραμένει ανεπηρέαστη (Mavrogianopoulos et al., 2002, Savvas & Lenz, 2000).

Φυτά που αναπτύσσονται σε θρεπτικό διάλυμα με  $\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$  ως πηγή N συσσωρεύουν περισσότερο  $\text{Cl}^-$  στα φύλλα τους σε συνθήκες αλατότητας, από φυτά που εφοδιάζονται μόνο με  $\text{NO}_3^-$  στην περιοχή της ρίζας. Όταν το θρεπτικό διάλυμα περιέχει ως πηγή αζώτου  $\text{NH}_4^+ \text{NO}_3^-$ , η περιεκτικότητα των φύλλων σε νάτριο  $\text{Na}^+$  είναι χαμηλότερη στην τομάτα αλλά, υψηλότερη στο αγγούρι, σε σχέση με το διάλυμα που έχει μόνο  $\text{NO}_3^-$  (Cerdá & Martinez, 1988).

Μια ενδιαφέρουσα παρατήρηση είναι ότι ο ρυθμός πρόσληψης των  $\text{NO}_3^-$  (Kafkafi et al., 1992) ή ακόμα και η αλληλεπίδραση ανάμεσα στα  $\text{NO}_3^-$  και το  $\text{Cl}^-$  μπορούν να συνδεθούν με την ανθεκτικότητα μερικών καλλιεργειών στα άλατα. Οι Kafkafi et al. (1992) βρήκαν ότι οι πιο ανθεκτικές στα άλατα ποικιλίες τομάτας και πεπονιού είχαν υψηλότερο ρυθμό απορρόφησης  $\text{NO}_3^-$  από τις ευαίσθητες ποικιλίες.

### Αλατότητα-ιχνοστοιχεία

Σε αλατούχα και νατριωμένα εδάφη, η διαλυτότητα των ιχνοστοιχείων είναι ιδιαίτερα χαμηλή, και συχνά τα φυτά εμφανίζουν τροφοπενίες σε αυτά τα στοιχεία, αλλά όχι σε όλες τις περιπτώσεις. Οι διαφορές μπορεί να οφείλονται στον τύπο του φυτού, στο φυτικό ιστό, στη σύνθεση και το επίπεδο της αλατότητας, στη συγκέντρωση των ιχνοστοιχείων, στις καλλιεργητικές συνθήκες και στη διάρκεια του πειράματος. Συνεπώς, η σχέση ανάμεσα στην

αλατότητα και τη θρέψη με ιχνοστοιχεία είναι πολύπλοκη, με συνέπεια να εμφανίζονται περιπτώσεις όπου η αλατότητα αυξάνει, μειώνει ή δεν έχει επίδραση στη συγκέντρωση των ιχνοστοιχείων στους βλαστούς (Grattan & Grieve, 1998). Έτσι, η αλατότητα αυξάνει τη συγκέντρωση του Zn στους ιστούς της πιπεριάς (Cornillon & Palloix, 1997), ενώ τη μειώνει στους ιστούς της τομάτας (Al-Harbi, 1995).

### 1.3.8 Οι επιπτώσεις της αλατότητας στη καλλιέργεια της τομάτας

Οι Caines & Shennan (1999) αναφέρουν ότι το ύψος του βλαστού και η ανάπτυξη των φύλλων είναι τα χαρακτηριστικά που επηρεάζονται περισσότερο στην καλλιέργεια της τομάτας από την ύπαρξη NaCl στο εδαφικό διάλυμα. Η επίδραση της αλατότητας στο ριζικό σύστημα της τομάτας δεν έχει ακόμη ξεκαθαριστεί (Lopez & Satti, 1996). Η ευαισθησία στην αλατότητα, που χαρακτηρίζει ορισμένες ποικιλίες τομάτας, μπορεί να οφείλεται τόσο στην τοξική επίδραση των ιόντων  $\text{Na}^+$  και  $\text{Cl}^-$ , όσο και στην διατάραξη της ισορροπίας θρέψης που προκαλείται από την υψηλή αλατότητα (Alfocea et al., 1993). Επίσης οι Alfocsea et al. (1993) έδειξαν ότι η ανάπτυξη των φυτών τομάτας έχει αρνητική συσχέτιση με την περιεκτικότητα του βλαστού σε  $\text{Na}^+$  και  $\text{Cl}^-$  και θετική συσχέτιση με την περιεκτικότητά του σε  $\text{Ca}^{+2}$  και  $\text{K}^+$ .

Παρόμοια αποτελέσματα αποκόμισαν και οι Alarcon et al. (1994) μελετώντας την επίδραση της αλατότητας για σύντομο χρονικό διάστημα σε δύο φαινοτυπικά ανόμοιες ποικιλίες τομάτας *Lycopersicon esculentum* cv *New Yorker* και *Lycopersicon esculentum* var. *cerasiforme*. Και στις δύο ποικιλίες ο σχετικός ρυθμός ανάπτυξης καθώς και η αναλογία φυλλικής επιφάνειας μειώθηκε κατά τη διάρκεια της καταπόνησης αλατότητας.

Επίσης παρατηρήθηκε μείωση στον ίδιο βαθμό, της σπαργής των κυττάρων των φύλλων, καθώς και του ωσμωτικού δυναμικού σε πλήρη σπαργή και για τις δύο ποικιλίες. Ωστόσο με την άρση της καταπόνησης εξαφανίστηκε η υδατική καταπόνηση ενώ αντίθετα διατηρήθηκαν οι τοξικές επιδράσεις των ιόντων  $\text{Na}^+$  και  $\text{Cl}^-$  και δεν ανέκαμψε ο ρυθμός ανάπτυξης.

Σε μια άλλη μελέτη οι Phillips et al. (1979) μελέτησαν παράλληλα την επίδραση του NaCl σε διάφορα είδη *Lycopersicon* και *Solanum* και



διαπίστωσαν ότι τα διάφορα είδη *Lycopersicon* διέφεραν όσον αφορά στην ανάπτυξη και τη συγκέντρωση διαφόρων στοιχείων στα φύλλα σε σχέση με τα διάφορα επίπεδα NaCl.

Ειδικότερα σε όλα τα είδη σημειώθηκε αύξηση της συγκέντρωσης των ιόντων Na<sup>+</sup> και Cl<sup>-</sup> στα φύλλα σε σχέση με το επίπεδο αλατότητας. Οι σπόροι των περισσότερων εμπορικών ποικιλιών τομάτας είναι ευαίσθητοι στις περιβαλλοντικές καταπονήσεις, όπως οι υψηλές συγκεντρώσεις NaCl στο έδαφος κατά τη διάρκεια της βλάστησης (Foolad & Lin, 1997b). Το τελευταίο γεγονός αποτρέπει την απευθείας σπορά τομάτας σε χωράφια τα οποία έχουν υψηλή συγκέντρωση αλάτων (Foolad & Lin, 1999, Cuartero & Fernández-Muñoz, 1998).

Σε συγκέντρωση 80 mM NaCl οι Cuartero & Fernández-Muñoz (1998) παρατήρησαν μείωση στη βλαστικότητα των σπόρων διαφόρων ειδών τομάτας, η οποία ήταν σημαντικά μεγαλύτερη στις ποικιλίες “Mex-112” και “PE-47” απ’ ότι στις υπόλοιπες λόγω ωσμωτικής καταπόνησης. Αυτό δεν μπορεί να θεωρηθεί ως σημαντικό πρόβλημα όταν χρησιμοποιείται η μέθοδος της απευθείας σποράς λόγω του μεγάλου αριθμού σπόρων που χρησιμοποιούνται. Ωστόσο σε υψηλότερες συγκεντρώσεις 190 mM η βλαστικότητα σημείωσε γενική πτώση με εξαίρεση την ποικιλία “Edkawy” (Πίνακας 5).

Γονότυπος	NaCl (mM)			
	80	190	265	330
Edkawy ( <i>L. esculentum</i> )	102 a	102 a	59 b	30 c
Volgogradiskij ( <i>L. esculentum</i> )	105 a	89 a	40 b	2 c
Pera ( <i>L. esculentum</i> )	88 a	76 b	31 c	2 d
PE-64 ( <i>L. esculentum</i> var. <i>cerasiforme</i> )	100 a	87 a	17 b	2 c
Muchamiel ( <i>L. esculentum</i> )	94 a	50 b	22 c	0 d
Mex-112 ( <i>L. esculentum</i> var. <i>cerasiforme</i> )	61 a	0 b	0 b	0 b
PE-22 ( <i>L. peruvianum</i> )	93 a	2 b	0 b	0 b
PE-47 ( <i>L. pennellii</i> )	74 a	21 b	0 b	0 c

Πίνακας 5: Βλαστικότητα στα 80, 190, 265 και 330 mM NaCl σε σχέση με τη βλαστικότητα στο μάρτυρα (% μάρτυρα) σε οκτώ γονότυπους *Lycopersicon* (Cuartero & Fernández-Muñoz, 1998). Οι μέσοι που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα εντός μιας στήλης δε διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά ( $p > 0,95$ ).

Σε ακόμη υψηλότερες συγκεντρώσεις μόνο λίγοι γονότυποι είναι ικανοί να βλαστήσουν και αυτοί σε μικρό ποσοστό (Curtero & Fernández-Muñoz, 1999). Το γεγονός ότι υπάρχουν διαφορές στη βλαστικότητα σ περιβάλλον ωσμωτικής καταπόνησης μέσα στο είδος *Lycopersicon esculentum*, ακόμη και στις χαμηλότερες συγκεντρώσεις NaCl, μας δίνει τη δυνατότητα επιλογής μέσα στα καλλιεργούμενα είδη (Curtero & Fernández-Muñoz, 1999).

Γονότυπος	NaCl (mM)		
	0	80	190
Edkawy ( <i>L. esculentum</i> )	3,7 a	4,7 a	7,2 a
Volgogradiskij ( <i>L. esculentum</i> )	3,3 a	4,7 a	9,7 a
Pera ( <i>L. esculentum</i> )	6,5 a	9,0 a	16,0 b
PE-64 ( <i>L. esculentum</i> var. <i>cerasiforme</i> )	3,7 a	4,7 a	10,0 a,b
Muchamiel ( <i>L. esculentum</i> )	4,7 a	7,0 a	-
Mex-112 ( <i>L. esculentum</i> var. <i>cerasiforme</i> )	7,3 a	-	-
PE-22 ( <i>L. peruvianum</i> )	6,3 a	6,3 a	-
PE-47 ( <i>L. pennellii</i> )	5,7 a	-	-

Πίνακας 6: Ο χρόνος που χρειάζεται για τη βλάστηση του 80% των σπόρων οκτώ γονότυπων *Lycopersicon* σε συγκεντρώσεις 0, 80, και 190 mM NaCl στους 25 °C (Curtero & Fernández-Muñoz, 1999). Οι μέσοι που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα εντός μιας στήλης δε διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά ( $p > 0,95$ ).

Όπως έχει ήδη αναφερθεί η ύπαρξη NaCl στο έδαφος εκτός από τη βλαστικότητα επηρεάζει επίσης και το χρόνο που απαιτείται για τη βλάστηση των σπόρων διάφορων ειδών συμπεριλαμβανομένου και του *Lycopersicon esculentum*. Οι σπόροι τομάτας χρειάζονται περίπου 50% περισσότερο χρόνο να βλαστήσουν σε συγκέντρωση 80 mM NaCl σε σχέση με το χρόνο που χρειάζονται στον μάρτυρα και 100% περισσότερο χρόνο στα 190 mM (Πίνακας 6) (Cuartero & Fernández-Muñoz, 1998).

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.4**

### **Σκοπός της διατριβής**

#### **1.4.1 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:

- Της μειούμενης ανανέωσης του υπόγειου νερού, των μειωμένων βροχοπτώσεων και της διείσδυσης υφάλμυρου νερού στους υδροφορείς, σε πολλές περιοχές της χώρας μας που οδηγούν σε υποβάθμιση της ποιότητας του νερού άρδευσης. Σημαντική ευθύνη φέρει η τάση του κλίματος για θερμότερο και ξηρότερο κλίμα κατά τις τελευταίες δεκαετίες.

- Της τάσης της σύγχρονης γεωργίας για χρησιμοποίηση όλου του διαθέσιμου νερού και η άρδευση όσο το δυνατόν 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 & εισαγωγή στην καλλιέργεια νέων πιο παραγωγικών ποικιλιών 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.

#### **1.4.2 Η επιλογή του θέματος**

Η έρευνα που σχετίζεται με την αξιοποίηση του νερού και των λιπαντικών στοιχείων των φυτών, σε συνθήκες υψηλής αλατότητας δεν έχει πλήρως διερευνηθεί στη περίπτωση της υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας

για εμπορική εκμετάλλευση. Η μελέτη του φαινομένου είναι πολύπλοκη γιατί η απόκριση των φυτών στα άλατα είναι συνάρτηση κλιματικών, γενετικών, φυσιολογικών και παθολογικών παραγόντων.

Το νερό είναι ο πιο ουσιώδης φυσικός πόρος για τις υδροπονικές καλλιέργειες. Όσο περνούν τα χρόνια, η διαθεσιμότητα του καλής ποιότητας νερού υποβαθμίζεται. Ως εκ τούτου, η συντήρηση και το κόστος του νερού στις θερμοκηπιακές μονάδες αποτελεί ένα σημαντικό στοιχείο πλέον.

Η ποιότητα του νερού από τις γεωτρήσεις και τα πηγάδια συνεχώς υποβαθμίζεται με την πάροδο του χρόνου. Κυρίαρχο πρόβλημα της υποβάθμισης αποτελεί η υψηλή αλατότητα του νερού, γεγονός που έχει δημιουργήσει ενδιαφέρον για την ορθολογική διαχείρισή του.

Η καταναλισκόμενη ενέργεια για τη παραγωγή λιπασμάτων είναι υψηλή και η εξοικονόμηση φυσικών πόρων και ενέργειας είναι σήμερα μια αναγκαία δράση για την αειφορία.

Οι επιδράσεις της αλατότητας στα φυτά έχουν μελετηθεί σε μεγάλο βαθμό από διάφορους ερευνητές. Έτσι, ήταν αναμενόμενες οι συνέπειες στην ανάπτυξη των φυτών, την απορρόφηση του νερού και των περισσότερων θρεπτικών στοιχείων, όχι όμως και του βαθμού αξιοποίησης του νερού και των θρεπτικών στοιχείων, καθώς λίγες έρευνες αναφέρουν μετρήσεις σε αυτό το πεδίο.

Εδώ θα εξετάσουμε τη συμπεριφορά του *Lycopersicon esculentum* οικ. *Solanaceae* σε αλατούχο περιβάλλον υδροπονικής καλλιέργειας διερευνώντας τις απαιτήσεις που παρουσιάζει σε νερό και λιπαντικά στοιχεία, όπως επίσης και τις επιπτώσεις της αλατότητας στην ανάπτυξη και παραγωγή των φυτών.

# **ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ**

## Υλικά και μέθοδος πειραματισμού

### Γενετικό υλικό

Για το πείραμά μας αγοράσθηκαν φυτάρια τομάτας (*Lycopersicon esculentum* οικ. *Solanaceae*) του υβριδίου F1, με την εμπορική ονομασία Rally, του σποροπαραγωγικού οίκου ΣΠΥΡΟΥ-ΣΠΥΡΟΥ.

### 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 αμφικλινές
- Υλικό κάλυψης το πολυκαρβονικό (PC)
- Είναι διπλής γραμμής, δηλαδή αποτελείται από δύο σειρές θερμοκηπιακών κατασκευαστικών μονάδων που έχουν συνδεθεί μεταξύ τους στη μια πλευρά.
- Ο εξαερισμός του θερμοκηπίου ήταν φυσικός και πραγματοποιήθηκε με δύο παράθυρα οροφής και δύο πλευρικά παράθυρα.

### Σύστημα καλλιέργειας

Στο πείραμα εφαρμόσαμε καλλιέργεια σε μεμβράνη θρεπτικού διαλύματος (NFT), με ανακύκλωση του θρεπτικού διαλύματος (κλειστό σύστημα).

## Οι απαιτούμενες χημικές ενώσεις

Η επόμενη στήλη περιλαμβάνει τα λιπάσματα που χρησιμοποιήθηκαν για τη σύνθεση των θρεπτικών διαλυμάτων (μακροστοιχεία, ιχνοστοιχεία, οξέα) καθώς και το άλας (NaCl) που χρησιμοποιήθηκε επιπλέον στην υδροπονική καλλιέργεια:

<b>ΧΗΜΙΚΗ ΕΝΩΣΗ</b>	<b>ΕΤΑΙΡΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ</b>
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Nitrogal cuf abudos de Portugal
MgSO <sub>4</sub>	MEE
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	MEE
Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Nitrogal cuf abudos de Portugal
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	Nitrogal cuf abudos de Portugal
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	Hoechst
KNO <sub>3</sub>	Haifa multi-K GG
HNO <sub>3</sub>	Riedal-de Haen
HCl	MERCK
Χηλικός σίδηρος Fe-DTPA (9% Fe)	AGRI-Fe
MnSO <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O (32% Mn)	Riedel-de Haen
ZnSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O (23% Zn)	Fluka Chemika
Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> ·10H <sub>2</sub> O (11% B)	MERCK
CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O (25% Cu)	Fluka Chemika
NaMoO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O (40% Mo)	Mallinckrodt
NaCl	Panreac Quimica Sau

## Εξοπλισμός και επιστημονικά όργανα

Στο θερμοκήπιο χρησιμοποιήθηκαν μαύροι πλαστικοί κεντρικοί σωλήνες διαμέτρου 25 mm της εταιρίας 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. Σε κάθε δεξαμενή θρεπτικού διαλύματος υπήρχε υποβρύχια αντλία της εταιρίας DAB μοντέλο NOVA 300, η συγκεκριμένη αντλία έχει παροχή  $Q=13,02 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Το σύστημα θέρμανσης περιλάμβανε δύο ηλεκτρικά αερόθερμα της εταιρίας Βαλιάδης κ Σία. Η λειτουργία των δύο αερόθερμων ρυθμιζόταν από θερμοστάτη χώρου, με κατώτερο επίπεδο θερμοκρασίας τους  $12 \text{ }^\circ\text{C}$ , καθώς η τομάτα είναι ετήσιο λαχανικό με απαιτήσεις θερμού κλίματος.

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

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

Τέλος, η αποξήρανση των φυτικών ιστών (για τον υπολογισμό ξηρού βάρους και υγρασίας) πραγματοποιήθηκε με κλίβανο elnem, η καύση σε κλίβανο της F.11, GALLI G&P ενώ για τη λειοτρίβηση μύλος της εταιρίας IKA μοντέλο A 11 basic.

## **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 ανήκαν στο ίδιο γενετικό υλικό F1 “Rally”) και ανταποκρίνεται στις προϋποθέσεις του σχεδίου. Η τυχαιοποίηση έγινε με τη χρήση πινάκων τυχαίων αριθμών (Π.Ι. Καλτσίκη Πίνακες Γεωργικού Πειραματισμού, 1990).



Για λόγους ομοιόμορφων συνθηκών, οι γραμμές των φυτών στην περιφέρεια αποκλείστηκαν από τις μετρήσεις.

Στο σύνολο των μετρήσεων του πειράματος έγινε στατιστική επεξεργασία με τη βοήθεια του στατιστικού πακέτου STATISTICA (version 5.0), χρησιμοποιώντας της διαδικασία One-way ANOVA. Για τη δημιουργία των γραφικών παραστάσεων χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Excel του Microsoft Office 2003. Η αξιολόγηση της σημαντικότητας των αποτελεσμάτων ανάμεσα στις επεμβάσεις (κανονικό θρεπτικό διάλυμα, αλατούχο θρεπτικό διάλυμα) του πειράματος πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του test LSD Fisher, για επίπεδο σημαντικότητας 5% ( $\alpha=0,05$ ).

## **Μέθοδος καλλιέργειας**

### **Εγκατάσταση και περιγραφή της μεθόδου καλλιέργειας**

Οι υδροπονικές καλλιέργειες ταξινομούνται σε διάφορα συστήματα και μεθόδους αναλόγως της τεχνολογίας και των υλικών που χρησιμοποιούνται. Στην προκειμένη περίπτωση χρησιμοποιήσαμε το σύστημα καλλιέργειας χωρίς πορώδες υπόστρωμα, και πιο συγκεκριμένα τη μέθοδο μεμβράνης θρεπτικού διαλύματος (NFT).

Προτιμήθηκε η μέθοδος NFT λόγω της ομοιομορφίας που παρουσιάζει στα χαρακτηριστικά του θρεπτικού διαλύματος με το οποίο εφοδιάζονται τα φυτά, προκειμένου να έχουμε ίδιο pH και ίδια EC σε όλη τη μάζα του. Με αυτό τον τρόπο είχαμε πιο εύκολο έργο και ακριβέστερα αποτελέσματα στη λήψη μετρήσεων απορρόφησης νερού και θρεπτικών στοιχείων από τα φυτά, και στην καθημερινή διόρθωση του θρεπτικού διαλύματος.

#### Περιγραφή μεθόδου NFT

Με τη μέθοδο αυτή τα φυτά αναπτύσσονται σε μακριά αδιάβροχα κανάλια, όπου ρέει ένα πολύ ρηχό ρεύμα ανακυκλούμενου 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, στο οποίο συμπλέκονται οι ρίζες από όλα τα φυτά του καναλιού και το οποίο αποτελεί το κάτω στήριγμα των φυτών. Το ρηχό ρεύμα 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).

Τα κανάλια που βρίσκονται οι ρίζες των φυτών έχουν πλάτος 30 cm, συνολικό μήκος 7 μέτρα, και είναι κατασκευασμένα από λαμαρίνα που στερεώνεται επάνω σε σιδερένιο σκελετό. Τα κανάλια αδιαβροχοποιούνται με

πλαστικό φύλλο διπλής όψης. Το πλαστικό φύλλο διπλώνει και κλείνει στο επάνω μέρος δημιουργώντας ένα σκοτεινό περιβάλλον στη ρίζα. Μέσα στο χώρο που σχηματίζει το πλαστικό φύλλο αναπτύσσονται οι ρίζες των φυτών. Η κλίση των καναλιών διαμορφώνεται σε 2%.

#### Στάδιο μεταφύτευσης (Πέμπτη 22 Ιανουαρίου 2009):

Από κιβώτιο σποράς (κατασκευασμένο από φελιζόλ) διαστάσεων (30x50) cm περίπου προήλθαν τα φυτάρια, που χρησιμοποιήθηκαν στην καλλιέργειά μας. Το κάθε φυτάριο βρισκόταν σε ένα κελί που ήταν γεμάτο με απολυμασμένο συνθετικό μίγμα (ορυκτοβάμβακας).

Τα φυτάρια μεταφέρθηκαν αρχικώς στις 24 Δεκεμβρίου 2008 σε κυπελάκια πλαστικά χωρητικότητας 100 ml της μιας χρήσεως, τα οποία γέμισαν με περλίτη, αφού πρώτα έγιναν 6 τρύπες στη βάση τους για να τελείται ομαλά η στράγγιση. Στο σημείο αυτό τα φυτά ποτίζονταν με τα μισά θρεπτικά στοιχεία απ' το κανονικό, χωρίς αμμωνιακά ( $\text{NH}_4^+$ ). Η εξαγωγή του φυταρίου από το φελιζόλ έγινε με προσοχή για να αποφευχθεί η ζημιά στο ριζικό σύστημα, και αμέσως μετά την πλήρωση του ποτηριού με περλίτη ακολούθησε πότισμα.

Στη συνέχεια, στις 22/01/2009 και ενώ τα φυτά είχαν αναπτύξει πλήρως 5-6 πραγματικά φύλλα, μεταφυτεύθηκαν σε κανάλια NFT μήκους 7 m και πλάτους 0,3 m., αφού προηγουμένως αφαιρέσαμε τον περλίτη από το ριζικό σύστημα του κάθε φυταρίου, με προσεκτική πλύση του κάθε ενός σε δοχείο γεμάτο με καθαρό κάθε φορά νερό. Η απόσταση μεταξύ των θέσεων τοποθέτησης επί της γραμμής ήταν 30 cm., μεταξύ των καναλιών 2 m και κάθε κανάλι είχε 22 φυτά.

## Οι επεμβάσεις του πειράματος

Η μεταφύτευση (Πέμπτη 22 Ιανουαρίου 2009) πραγματοποιήθηκε σε 2 κανάλια NFT, τα οποία χωρίστηκαν σε 2 κλειστά υδροπονικά συστήματα.

**A (Μάρτυρας)** : Αποτελείται από 2 κανάλια NFT, που απαρτίζεται από 22 φυτά

**B (NaCl)** : Αποτελείται από 2 κανάλια NFT, που απαρτίζεται από 22 φυτά

Μετά την τοποθέτηση των φυτών στα κανάλια NFT, όλα τα φυτά αναπτύχθηκαν μέχρι την Κυριακή 15 Φεβρουαρίου 2009 με κανονικό θρεπτικό διάλυμα ( $\text{pH}=5,5-6,0$  και ηλεκτρική αγωγιμότητα  $2000 \text{ dS m}^{-1}$ ).

Την ίδια ημερομηνία πραγματοποιήθηκε η B επέμβαση με προσθήκη  $2,4 \text{ gr NaCl/lit}$  θρεπτικού διαλύματος και αντίστοιχη αύξηση της συγκέντρωσης NaCl στα  $40 \text{ mM}$ . 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 στην παραγωγή και κατανάλωση  $\text{H}_2\text{O}$  και θρεπτικών στοιχείων.

Την Κυριακή 15 Μαρτίου 2009 πραγματοποιήθηκε αύξηση της αναλογίας της επέμβασης του NaCl σε  $4,7 \text{ gr NaCl/lit}$  θρεπτικού διαλύματος με αντίστοιχη αύξηση της συγκέντρωσης NaCl στα  $80 \text{ mM}$ . Τέλος, Σάββατο 16 Μαΐου 2009 τερματίστηκε η καλλιεργητική περίοδος.

## 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 διάλυμα που επιστρέφει στη δεξαμενή, 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 τη διαδικασία

που περιγράφεται στο σύγγραμμα “Υδροπονικές εγκαταστάσεις” του Καθηγητή Γ. Μαυρογιαννόπουλου και αποτελείται από δύο μέρη.

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

Το δεύτερο μέρος των υπολογισμών αφορά στα 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.

#### Υπολογισμός των απαιτούμενων λιπασμάτων

Τα πυκνά διαλύματα που παρασκευάσαμε για τη λίπανση των φυτών τοποθετούνται σε τρία δοχεία. Το πρώτο δοχείο (Α), περιέχει το νιτρικό ασβέστιο και μια ποσότητα από το νιτρικό κάλιο και τον χηλικό σίδηρο. Το δεύτερο δοχείο (Β) περιέχει όλα τα υπόλοιπα ιχνοστοιχεία και μακροστοιχεία, και το τρίτο δοχείο (Ο) περιέχει τα οξέα νιτρικό και φωσφορικό για τη διόρθωση του pH. Το νιτρικό ασβέστιο δεν τοποθετείται μαζί με τα θειικά λιπάσματα, γιατί το θειικό ασβέστιο που σχηματίζεται είναι αδιάλυτο άλας και απομακρύνεται από το διάλυμα, καθιζάνοντας ως ίζημα στον πυθμένα του δοχείου. Η χωρητικότητα των δοχείων είναι 30 λίτρα.

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

Στον πίνακα η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) που έχει το θρεπτικό διάλυμα τροφοδοσίας υπολογίστηκε σε  $1,726 \text{ dS m}^{-1}$ . Για να τροφοδοτήσουμε τα φυτά με θρεπτικό διάλυμα υψηλότερης ηλεκτρικής αγωγιμότητας  $2,5 \text{ dS m}^{-1}$  θα χρειαστεί να πολλαπλασιάσουμε τις ποσότητες της βασικής σύνθεσης της τρίτης γραμμής του πίνακα με το συντελεστή διόρθωσης.

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

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

ΔΟΧΕΙΟ Α		ΔΟΧΕΙΟ Β		ΔΟΧΕΙΟ Ο	
<b>Μακροστοιχεία</b>					
Είδος Λιπάσματος	kg	Είδος Λιπάσματος	kg	Είδος Λιπάσματος	ΛΙΤΡΑ
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	2,485	$\text{MgSO}_4$	0,885	$\text{H}_3\text{PO}_4$ 85%	0,308
$\text{KNO}_3$	0,700	$\text{K}_2\text{SO}_4$	1,441	$\text{HNO}_3$ 67%	0,139
$\text{NH}_4\text{NO}_3$	0,174	$\text{KNO}_3$	0,700		
		$\text{KH}_2\text{PO}_4$	0,000		
		$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$	0,000		
<b>Ιχνοστοιχεία</b>					
Είδος Λιπάσματος	g	Είδος Λιπάσματος	g	Είδος λιπάσματος	g
$\text{Fe}$ -Χηλ.8%	74,52	Θειϊκό Mn	10,14		
		Θειϊκός Zn	3,45		
		Βόρακας	5,718		
		Θειϊκός Cu	0,375		
		Μολ/κό Na	0,363		

Πίνακας 7: Σύνθεση λιπασμάτων για 30 lt πυκνού θρεπτικού διαλύματος.

Τα πυκνά διαλύματα παρασκευάζονται και αποθηκεύονται σε δοχεία 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 διατηρούνταν σταθερή με διακόπτη στάθμης (φλοτέρ).

Μετά από 30 λεπτά μετρίεται 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 επεμβαίνουμε και πάλι με πρόσθεση γνωστών ποσοτήτων οξέος 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.

Επομένως η σύνθεση στη δεξαμενή 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 (A, B, O), μαζί με καθαρό νερό και το διάλυμα που στραγγίζει και επιστρέφει από τα φυτά.

Για να διατηρείται η επιθυμητή συγκέντρωση ιόντων στην περιοχή της ρίζας και να αποφευχθεί συσσώρευση κάποιου στοιχείου καταστρέφοντας με αυτόν τον τρόπο την ισορροπία των λιπαντικών στοιχείων στο διάλυμα, απορρίπταμε όλο το διάλυμα κάθε δύο εβδομάδες και το αντικαθιστούσαμε με νέο (λαμβάνοντας ταυτόχρονα δείγματα για τις αναλύσεις).

### **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 και 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 οριζοντιοποίηση 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 ζυγροί, που με δυσκολία διακρίνεται ο κεντρικός και ο πλευρικός βλαστός. Τα φυτά της πειραματικής καλλιέργειας μορφώθηκαν με το μονοστέλεχο σύστημα που είναι και το πιο δημοφιλές στα θερμοκήπια της χώρας μας.

Όπως ειπώθηκε το φυτό της τομάτας έχει την τάση να σχηματίζει πολλούς πλάγιους βλαστούς από οφθαλμούς που βρίσκονται στις μασχάλες των φύλλων, και γι' αυτό όταν το μήκος τους φτάσει 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 υποστύλωσης

Η υποστύλωση των φυτών πραγματοποιήθηκε με τη χρήση σπάγκου και μεταλλικών κλιπ. Για την υποστύλωση χρειάστηκαν και μεταλλικά σύρματα στερεωμένα στο σκελετό του θερμοκηπίου, τοποθετημένα οριζόντια πάνω από το 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 και να υπάρχει περιθώριο περιέλιξης του σπάγκου στο φυτό καθώς αυτό μεγαλώνει. Επομένως όταν χρειαστεί να είναι εφικτό το λύσιμο και χαλάρωμα του σπάγκου. Για την εφαρμογή του συστήματος αυτού έγινε χρήση ειδικού μεταλλικού 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, 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 ή δύο περιελίξεις (βήματα) στο χώρο μεταξύ δύο ταξιανθιών κατά την εβδομαδιαία περιποίηση, κατά την οποία γίνονται και το βλαστολόγημα.

Όταν η κορυφή του φυτού κόντευε να φθάσει το οριζόντιο σύρμα ή λίγο 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 κλπ). Μέχρι να πλησιάσει η κορυφή του φυτού το οριζόντιο σύρμα, οι καρποί των κατώτερων ταξιανθιών έχουν συγκομισθεί και τα κατώτερα φύλλα έχουν αφαιρεθεί. Έτσι, το κάτω μέρος του βλαστού είναι ουσιαστικά γυμνό και δεν ενοχλεί αν αγγίζει το δάπεδο.

### 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 τη 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.

### Καρπόδεση – Επικονίαση – Γονιμοποίηση

Τα πρώτα άνθη των φυτών μας παρατηρήθηκαν στις 27/01/2009, τα οποία ωστόσο αφαιρέθηκαν για τις ανάγκες του πειράματος. 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 τη στεφάνη και ενωμένους κατά μήκος μεταξύ τους, ώστε να σχηματίζουν κώνο γύρω από τον στύλο, που είναι συνήθως πιο κοντός, εγκλωβισμένος από τους ανθήρες. Η ωοθήκη είναι πολύχωρος (2-7 χώρους).

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 (κόλλα ή γύρη) και η θερμοκρασία χαμηλή (<18°C) υπάρχουν δυσκολίες στην εκτίναξη της γύρης και στη φυσιολογική επικοινωνία, γεγονός που επιτείνεται με την άπνοια που επικρατεί συνήθως στο θερμοκήπιο (συνθήκες που επικρατούν κατά τη διάρκεια του χειμώνα).

### Καρποί

Ο καρπός της τομάτας είναι πολύχωρος ράγα, με σχήμα που κυμαίνεται από στρογγυλό προς πεπλατυσμένο. Η συγκομιδή ξεκίνησε στις 11/04/2009 και η συχνότητά της στο πείραμα ήταν μία φορά την εβδομάδα, με εξαίρεση τις πρώτες δύο συγκομιδές που έχουν διάστημα δύο εβδομάδων μεταξύ τους, με κριτήριο τη έναρξη αλλαγής χρώματος από το πράσινο στο ελαφρώς κόκκινο. Η συγκομιδή γινόταν με το χέρι.

Στη συγκομιδή των καρπών ενδιέφερε τόσο το ύψος της παραγωγής (αριθμός καρπών και βάρος καρπού) όσο και η ποιότητα του καρπού (υγιής 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 της βάσης του ποδίσκου. Για τη συγκομιδή χρησιμοποιήθηκε μεταλλικός δίσκος.

Οι καρποί που εμφάνισαν καθυστέρηση στο ρυθμό ανάπτυξης σε σχέση με την πλειοψηφία των καρπών της ταξικαρπίας αφαιρέθηκαν αμέσως.

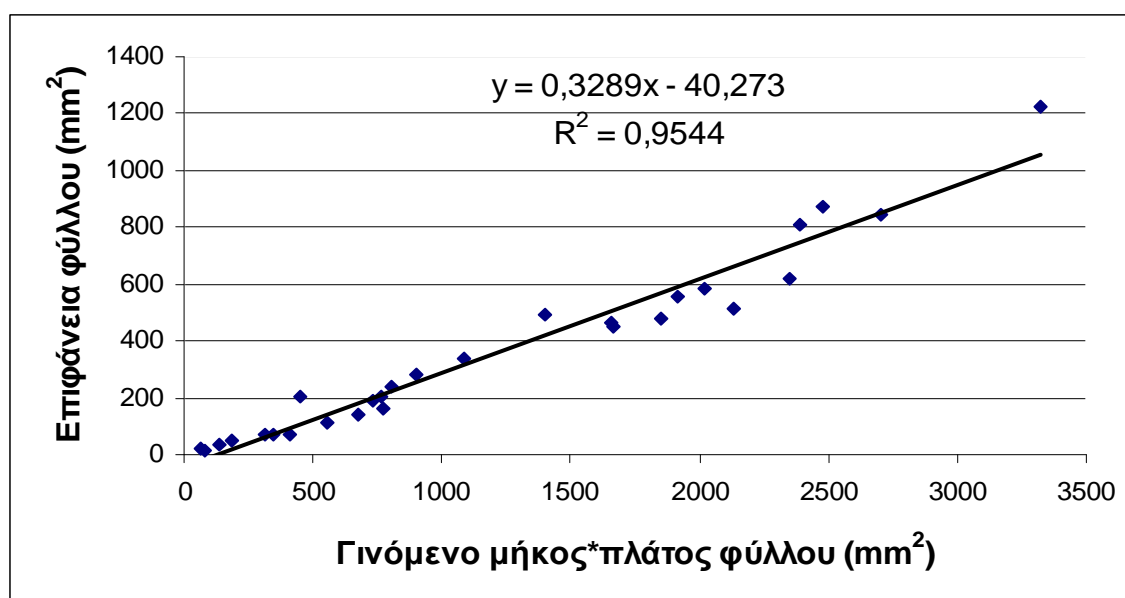
### **Υπολογισμός φυλλικής επιφάνειας**

Η εξίσωση της επιφάνειας του φύλλου (y), συναρτήσεως του γινομένου του μήκους και του πλάτους του (x), ήταν κοινή για τις δύο επεμβάσεις και είναι της μορφής  $y=0,3289*x-40,273$ ,  $R^2=0,9544$ . Όπου  $R^2=0,9544$  ο

συντελεστής προσδιορισμού που σημαίνει ότι το 95,44 % της διακύμανσης της επιφάνειας του φύλλου (y) μπορεί να εξηγηθεί με βάση το γινόμενο του μήκους και του πλάτους του φύλλου (x).

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 τους φύλλου απαιτείται το τέντωμά του, και κρατώντας το ακραίο φυλλάριο μετράμε την απόστασή του από το σημείο του φύλλου που εκφύεται από τον κεντρικό βλαστό (μίσχος). Η ίδια διαδικασία (τέντωμα) ισχύει για τα δύο αντίθετα άκρα του μεγαλύτερου ζεύγους φυλλαρίων, ώστε να υπολογιστεί το πλάτος.

Στο κάτωθεν διάγραμμα (1) παρατηρούμε τη 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 σε όργανο προσδιορισμού φυλλικής επιφάνειας μοντέλου Li Cor LI 3100 σε μονάδες τετραγωνικών χιλιοστών (mm<sup>2</sup>).



Διάγραμμα 1: Εξίσωση της φυλλικής επιφάνειας.

## Εμφάνιση ασθενειών και καταπολέμησή τους

Στην παράγραφο αυτή αναφέρονται και περιγράφονται συνοπτικά οι ασθένειες και εχθροί που παρουσιάστηκαν στην πειραματική καλλιέργεια καθώς και η αντιμετώπισή τους.

- 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 ωμομυκήτων των γενών *Pythium* και *Phytophthora*.
- II. Εμφάνιση της πράσινης αφίδας (*Myzus persicae*). Κύρια συμπτώματα ήταν η εμφάνιση στο στέλεχος, στο μίσχο, στα νεύρα, και στο έλασμα των φύλλων. Μεγαλύτεροι πληθυσμοί βρίσκονταν κάτω από τις επιφάνειες των φύλλων, αλλά καταπολεμήθηκε εγκαίρως και αποτελεσματικά με χημικό σκεύασμα.
- III. Εμφάνιση πράσινου σκουληκιού (*Helicoverpa armigera*), νεαρής προνύμφης που τρέφεται από τα φύλλα. Η επισήμανσή τους ήταν εύκολη, μιας και το μήκος της φθάνει τα 40 mm, ενώ παρατηρήθηκε μικρός αριθμός και σχεδόν καθόλου ζημιές από την παρουσία του. Για το λόγο αυτό προτιμήσαμε να μη χρησιμοποιήσουμε χημικό σκεύασμα, αλλά να τα αφαιρούμε με το χέρι.

Αντίστοιχα χρησιμοποιήθηκαν τα εξής φυτοπροστατευτικά προϊόντα:

- I. Για την αντιμετώπιση ασθενειών του ριζικού συστήματος και του λαιμού (σήψεις) των φυτών που προκαλούνται από είδη Ωμομυκήτων των γενών *Pythium* και *Phytophthora* χρησιμοποιήθηκαν:
  - a. Σκεύασμα με εμπορικό όνομα *Previcure* (δραστική ουσία *propramocarb*).
  - b. Σκεύασμα με εμπορικό όνομα *Terazzole* (δραστική ουσία *etr Diazole*) διασυστηματικό μυκητοκτόνο με προληπτική και θεραπευτική δράση.
- II. Για την αντιμετώπιση της πράσινης αφίδας χρησιμοποιήθηκε το διασυστηματικό νεονικοτινοειδές εντομοκτόνο επαφής και στομάχου σκεύασμα με εμπορικό όνομα *Confidor* (δραστική ουσία *imidacloprid*).

Για τη χρήση των φυτοπροστατευτικών προϊόντων χρησιμοποιήθηκε χειροκίνητος εμβολοφόρος ψεκαστήρας της MATABI (μοντέλο SUPER GREEN 12). Παρακάτω δίνονται οι ημερομηνίες εφαρμογής των φυτοπροστατευτικών προϊόντων:

- Πέμπτη 22 Ιανουαρίου 2009: προληπτική επέμβαση 50 ml Previcure για κάθε κανάλι NFT.
- Παρασκευή 6 Μαρτίου 2009: 1,5 ml Confidor για κάθε κανάλι NFT.
- Τρίτη 24 Μαρτίου 2009: 50 gr Terazzole για κάθε κανάλι NFT.

### **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 αντιμετώπισή τους και οι ημερομηνίες εμφάνισης.

- 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.
- Διακοπή παροχής ηλεκτρικού ρεύματος λόγω βραχυκυκλώματος και παύση της λειτουργίας των αντλιών από Παρασκευή 24 Απριλίου 2009 απόγευμα, έως Σάββατο 25 Απριλίου 2009 ώρα 10:00.
- Διακοπή παροχής ηλεκτρικού ρεύματος λόγω βραχυκυκλώματος και παύση της λειτουργίας των αντλιών από Παρασκευή 8 Μαΐου 2009 απόγευμα έως Σάββατο 9 Μαΐου 2009 ώρα 10:00.

## **Μέθοδοι προσδιορισμού των ανόργανων στοιχείων θρεπτικών διαλυμάτων και φυτικών ιστών**

Στις 16 Μαΐου 2009 τερματίστηκε το πειραματικό μέρος στο θερμοκήπιο, τα φυτά του δείγματός μας χωρίστηκαν σε φύλλα και βλαστούς, και αποθηκεύτηκαν σε χάρτινες σακούλες. Στη συνέχεια οι σακούλες μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο για μέτρηση του νωπού βάρους των φυτικών ιστών, και στη συνέχεια ξήρανση και μέτρηση του ξηρού βάρους των ιστών.

Για τον προσδιορισμό της χημικής σύστασης των ιστών (φύλλων) των φυτών, πραγματοποιήθηκε τυχαία δειγματοληψία επτά με οχτώ φυτών από κάθε επέμβαση, σε έξι διαφορετικές ημερομηνίες.

Όλα τα φύλλα ζυγίστηκαν 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, και τέλος, τα 3<sup>α</sup> φύλλα απ' την κορυφή υπέστησαν άλεση σε μύλο ώστε να κονιοποιηθούν και να μετρηθεί η περιεκτικότητά τους σε θρεπτικά στοιχεία.

Για τον προσδιορισμό του ολικού (οργανικού) αζώτου (N), 0,5 gr δείγματος τριμμένου ιστού τοποθετήθηκε σε φιάλη Kjeldahl μαζί με 20 ml πυκνού H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> και μια ταμπλέτα καταλύτη (της εταιρίας MERCK). Οι φιάλες αρχικώς τοποθετήθηκαν στη συσκευή καύσης της Kjeldahl για μία ώρα, και στη συνέχεια αφέθηκαν να κρυώσουν για 30 λεπτά περίπου. Ακολούθως, κάθε φιάλη χωριστά τοποθετούνταν στη συσκευή απόσταξης της Kjeldahl. Η απόσταξη διαρκούσε έξι (6) λεπτά. Το απόσταγμα αμμωνίας συλλεγόταν σε κωνική φιάλη η οποία περιείχε 25 ml διαλύματος βορικού οξέος 2%. Πριν την έναρξη της απόσταξης το H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> που περιείχαν οι φιάλες της Kjeldahl εξουδετερώνονταν με διάλυμα NaOH 30%. Στο ληφθέν απόσταγμα προστίθεντο 12 σταγόνες δείκτη (στην επόμενη παράγραφο αναφέρεται η διαδικασία παρασκευής του), και στη συνέχεια ακολουθούσε τιτλοδότηση με διάλυμα HCl κανονικότητας 0,1 N. Η τιτλοδότηση σταματούσε με την αλλαγή του χρώματος του διαλύματος.

Ο δείκτης παρασκευάζεται ως εξής: 0,35 gr bromokresol green τοποθετούνται σε ογκομετρική φιάλη των 250 ml μαζί με 10 ml αιθυλικής

αλκοόλης. Ακολούθως γίνεται προσθήκη 10 ml NaOH 0,1 N, περίπου 150 ml H<sub>2</sub>O και 0,22 gr ronceau 2R. Τέλος, διαλύουμε 0,75 gr 4-nitrophenol σε 5 ml αιθυλικής αλκοόλης και το προσθέτουμε στη φιάλη. Όταν το διάλυμα έχει πλήρως ομογενοποιηθεί, συμπληρώνουμε μέχρι τη χαραγή και φυλάσσεται σε σκοτεινή φιάλη.

Η περιεκτικότητα του ολικού αζώτου (N) υπολογίστηκε με βάση τη σχέση:  $\text{mmol N / gr D.M.} = (\text{ml HCl 0,1 N}) / 0,5 \text{ gr}$ .

Προτού οι αλεσμένοι φυτικοί ιστοί αναλυθούν στις φασματοσκοπικές μεθόδους για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης κατιόντων (K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>, Zn<sup>++</sup>, Fe<sup>++</sup>, Mn<sup>++</sup>) έπρεπε να υποστούν την ακόλουθη προετοιμασία: Πάρθηκαν 3 δείγματα 0,5 gr κονιοποιημένου ιστού και τοποθετήθηκαν στον κλίβανο στους 500 °C για ξηρή καύση. Η τέφρα που δημιουργήθηκε εκχυλίστηκε σε 20 ml διαλύματος οξέος HCl 1N και στη συνέχεια ακολούθησε διήθηση του εκχυλίσματος με διηθητικό χαρτί (Whatman No 1) σε πλαστικά μπουκαλάκια των 50 ml, τα οποία διατηρούνταν στο ψυγείο.

Για τον υπολογισμό των K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Mg<sup>++</sup>, Ca<sup>++</sup> απαιτήθηκε αραιώση κατά 100 φορές. Για τον προσδιορισμό των Zn<sup>++</sup>, Fe<sup>++</sup>, Mn<sup>++</sup> δεν απαιτήθηκε αραιώση. Οι αραιώσεις πραγματοποιήθηκαν σε γυάλινες ογκομετρικές φιάλες των 100 ml.

Ο προσδιορισμός του Na<sup>+</sup> πραγματοποιήθηκε με φλογοφωτόμετρο (FLAME PHOTOMETER 410C, Sherwood Scientific Ltd), ενώ όλων των υπόλοιπων κατιόντων πραγματοποιήθηκαν με τη βοήθεια φασματοφωτομέτρου ατομικής απορρόφησης (VARIAN, SpectrAA-200).

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 δείγματα του θρεπτικού διαλύματος. Τα κύρια όργανα χημικής ανάλυσης που χρησιμοποιήθηκαν στην έρευνά μας είναι αυτά της ατομικής φασματοσκοπίας: (i) Φασματοσκοπία Ατομικής Απορρόφησης, (ii) Φασματοσκοπία με φλογοφωτόμετρο.

# **ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ**

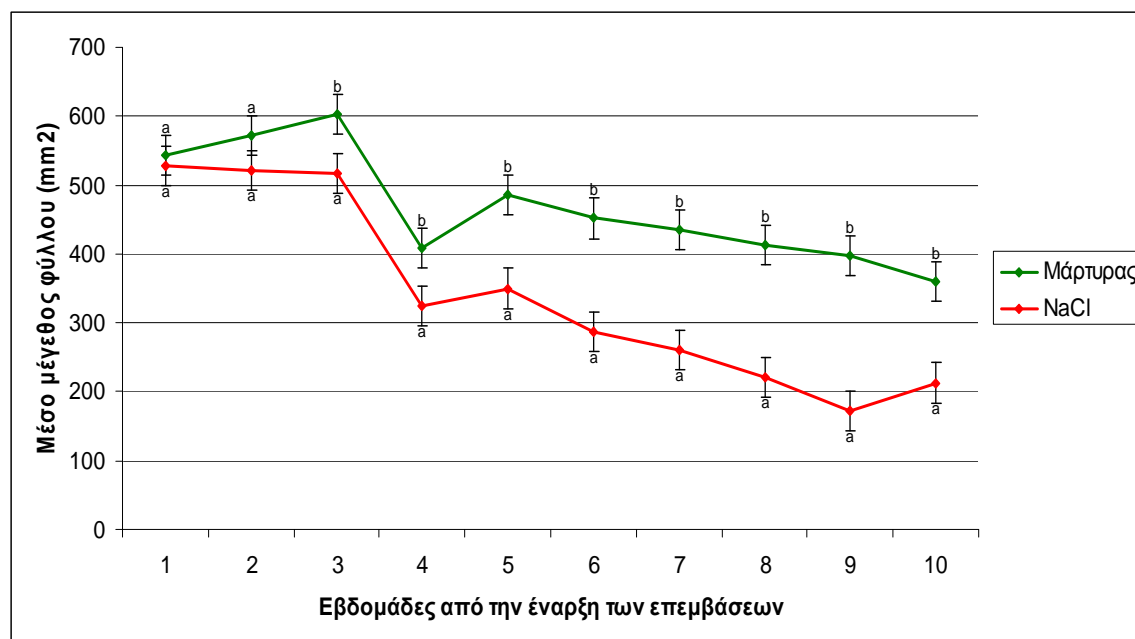


## Τα αποτελέσματα στην ανάπτυξη της καλλιέργειας

### Επιφάνεια Φύλλων

Στο αμέσως επόμενο διάγραμμα (2) παρουσιάζεται το μέσο μέγεθος φύλλου της κάθε επέμβασης (κάθετος άξονας) σε  $\text{mm}^2$ , όπως εξελίσσεται στο χρόνο. Ο χρόνος ως ανεξάρτητος παράγων υπολογίζεται σε εβδομάδες από την έναρξη των επεμβάσεων (προσθήκη NaCl). Οι μετρήσεις έγιναν σύμφωνα με την προαναφερόμενη διαδικασία υπολογισμού της φυλλικής επιφάνειας.

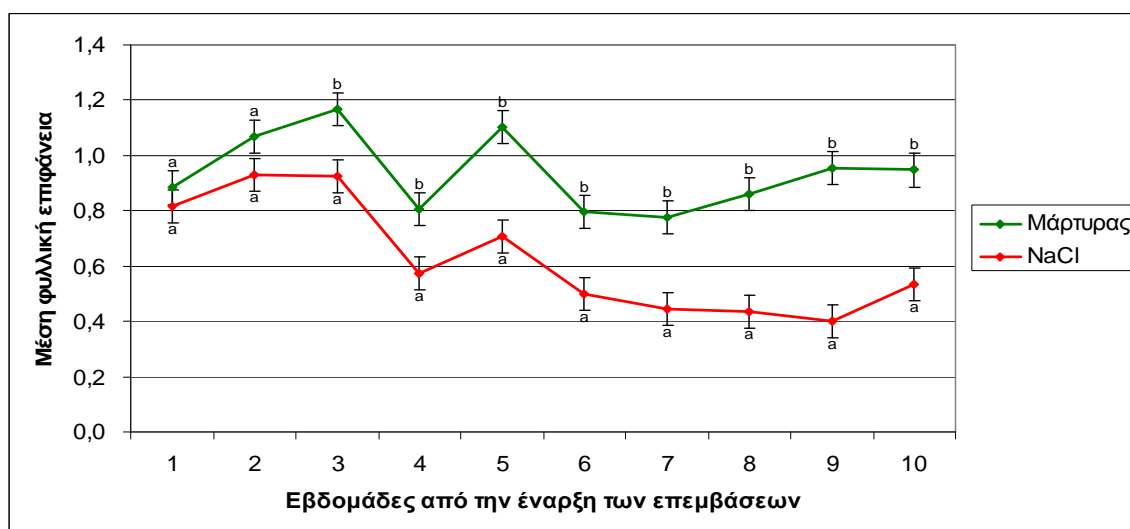
Το μέσο μέγεθος του φύλλου μειώνεται στο μάρτυρα και την αλατούχα επέμβαση όσο περνάνε οι εβδομάδες καθώς προχωράμε από το Φλεβάρη στο Μάη, αυξάνει η θερμοκρασία, και αυξάνει η διαπνοή. Είναι φανερό ότι ο μάρτυρας παρουσιάζει πολύ μεγαλύτερη επιφάνεια στο μέσο φύλλο των φυτών του συγκριτικά με την επέμβαση με NaCl. Η διαφορά αυτή του μάρτυρα είναι στατιστικά σημαντική ( $p=0,000000$ ).



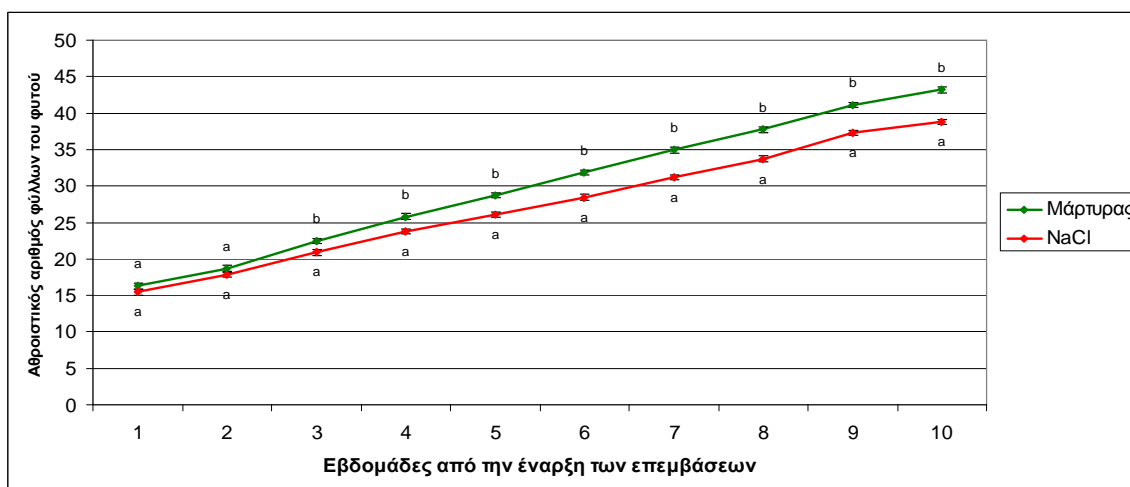
Διάγραμμα 2: Πορεία του μέσου μεγέθους φύλλου ( $\text{m}^2$ ) ανά φυτό στις επεμβάσεις (όσα σημεία δεν ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα είναι στατιστικώς διαφορετικά το ένα από το άλλο για επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha=0,05$ ).

## Μέση φυλλική επιφάνεια ανά φυτό

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 στο προηγούμενο υποκεφάλαιο. Τα μεγέθη της μέσης φυλλικής επιφάνειας δείχνουν μεγάλη διαφορά του μάρτυρα σε σχέση με την επέμβαση με NaCl ( $p=0,000000$ ). Εάν σκεφτούμε ότι ο μάρτυρας παρουσιάζει στατιστικά σημαντική υπεροχή στο μέσο μέγεθος του φύλλου, όπως και στον αριθμό φύλλων ανά φυτό αθροιστικά ( $p=0,016078$ ) (διάγραμμα 4), είναι επόμενο αυτό να μεταφέρεται στη μέση φυλλική επιφάνεια.



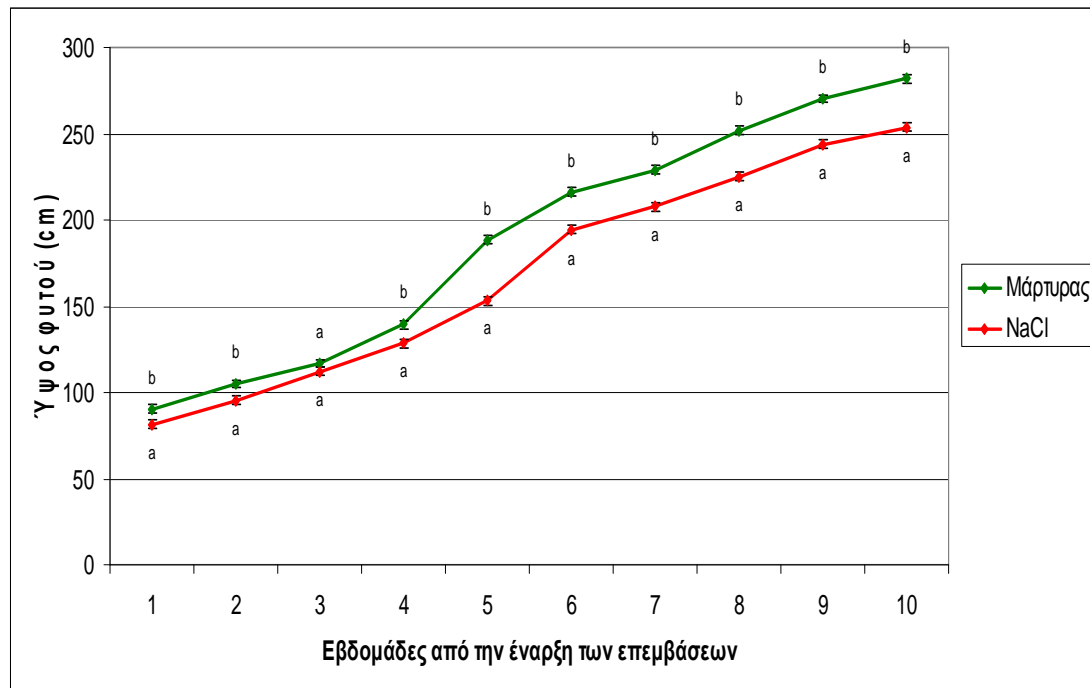
Διάγραμμα 3: Η μέση φυλλική επιφάνεια ( $\text{mm}^2$ ) των φυτών των επεμβάσεων (όσα σημεία δεν ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα είναι στατιστικώς διαφορετικά το ένα από το άλλο για επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha=0,05$ ).



Διάγραμμα 4: Πορεία του αριθμού φύλλων αθροιστικά στις δύο επεμβάσεις (όσα σημεία δεν ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα είναι στατιστικώς διαφορετικά το ένα από το άλλο για επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha=0,05$ ).

## Ύψος του φυτού

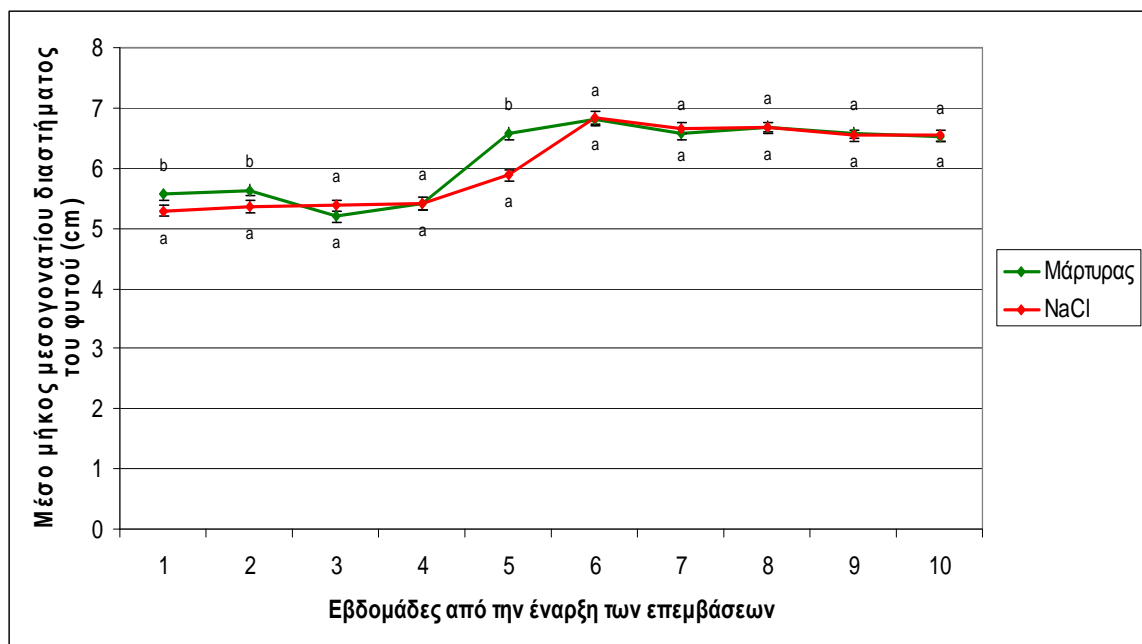
Στο διάγραμμα 5 που ακολουθεί παρουσιάζεται η πορεία αύξησης του ύψους των φυτών σε συνάρτηση με τις εβδομάδες από την εγκατάσταση των επεμβάσεων.



Διάγραμμα 5: Πορεία αύξησης του ύψους (cm), σε φυτά που το ριζικό τους σύστημα τροφοδοτούταν με κανονικό θρεπτικό διάλυμα και σε φυτά που το ριζικό τους σύστημα τροφοδοτούταν με αλατούχο θρεπτικό διάλυμα (όσα σημεία δεν ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα είναι στατιστικώς διαφορετικά το ένα από το άλλο για επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha=0,05$ ).

Από το διάγραμμα 5 φαίνεται ότι η έκθεση ολόκληρου του ριζικού συστήματος σε συγκέντρωση 40 mM NaCl αρχικά (τις πρώτες τέσσερις εβδομάδες), και 80 mM NaCl στη συνέχεια, προκάλεσε μείωση του ρυθμού ανάπτυξης του ύψους των φυτών. Η αρχική αύξηση της αλατότητας προκάλεσε μείωση της σπαργής των φυτών για αρκετές ημέρες, γεγονός που εξηγεί τη διαφορά από την πρώτη μέτρηση (1 εβδομάδα μετά την έναρξη των επεμβάσεων). Η διαφορά μεταξύ των δύο επεμβάσεων είναι στατιστικώς σημαντική ( $p=0,028146$ ), και η διεύρυνση της διαφοράς από την πέμπτη μέτρηση και μετά οφείλεται στην υψηλότερη αλατότητα που εφαρμόστηκε.

Από τα διαγράμματα 4 και 5 γίνεται φανερό ότι η αλατότητα επέδρασε καίρια στο ύψος του στελέχους των φυτών μειώνοντας σημαντικά τον αριθμό των φύλλων ανά φυτό ( $p=0,016078$ ), και όχι το μήκος του μεσογονάτιου διαστήματος ( $p=0,294996$ ) που κυμάνθηκε στα 6,16 cm κατά μέσο όρο στο μάρτυρα και 6,06 cm στην επέμβαση με το αλατούχο θρεπτικό διάλυμα (διάγραμμα 6).



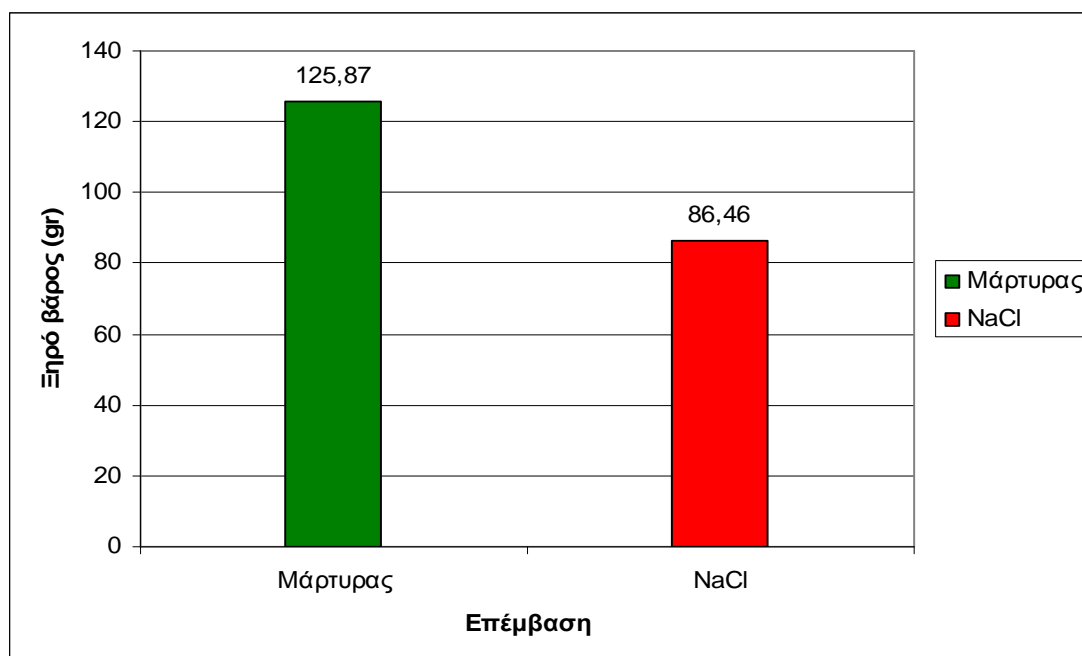
Διάγραμμα 6: Πορεία της μέσης τιμής μεσογονάτιου διαστήματος ανά φυτό στις δύο επεμβάσεις (όσα σημεία δεν ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα είναι στατιστικώς διαφορετικά το ένα από το άλλο για επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha=0,05$ ).

## Τα αποτελέσματα στην παραγωγή της βιομάζας

### Βλαστοί

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

Ξηρό βάρος βλαστών : Το ξηρό βάρος των βλαστών μετρήθηκε μετά το τέλος του πειράματος στο θερμοκήπιο. Το σύνολο των βλαστών για κάθε φυτό του δείγματος συλλέχθηκαν σε χάρτινες σακούλες και οδηγήθηκαν στο φούρνο για πλήρη ξήρανση (στους 80°C για 48 ώρες). Το παραγόμενο ξηρό βάρος υπολογίστηκε με τα εξής αποτελέσματα που παρουσιάζονται στο ραβδόγραμμα 1:



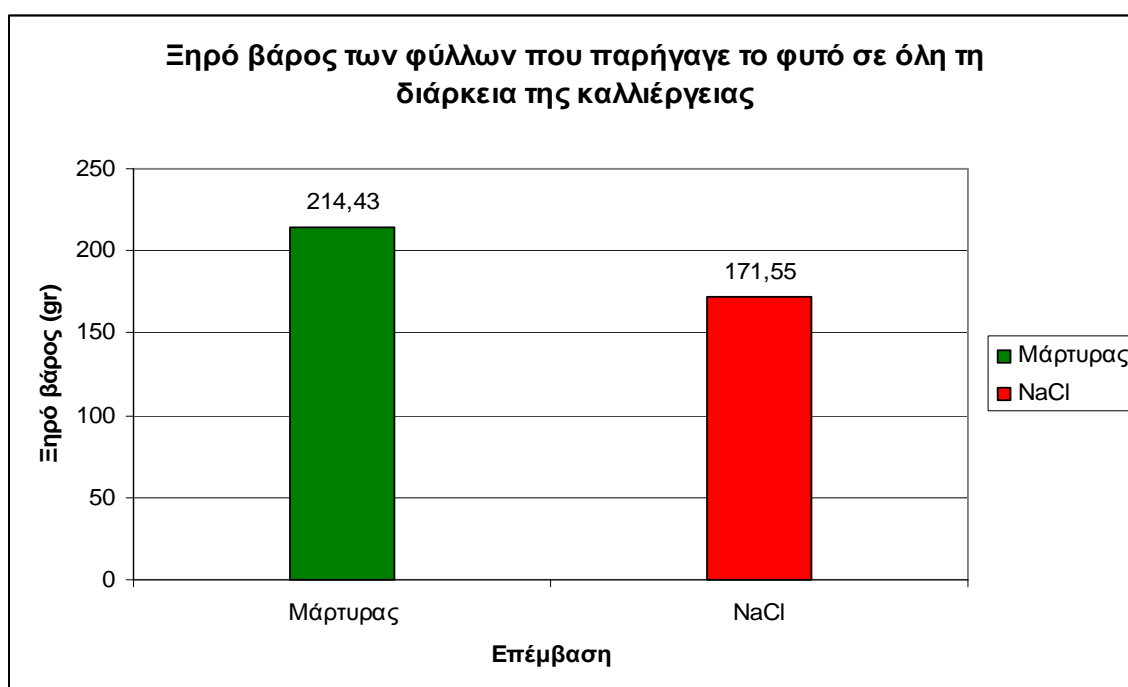
Ραβδόγραμμα 1: Το ξηρό βάρος (gr) των βλαστών των δύο επεμβάσεων.

Τα φυτά που ανήκουν στο μάρτυρα παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη παραγωγή ξηρού βάρους βλαστών, ενώ η επέμβαση με NaCl παρουσιάζεται μειωμένη σε σχέση με το μάρτυρα περίπου 31%.

## Φύλλα

Κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας αφαιρούνταν τα παλαιότερα φύλλα, και μετρούνταν το νωπό και ξηρό τους βάρος ανά φυτό. Επίσης στις 16 Μαΐου όπου πραγματοποιήθηκε η τελική κοπή των φυτών του δείγματος, το σύνολο των φύλλων συγκομίσθηκε και υπολογίστηκε το νωπό και το ξηρό βάρος τους. Οι τιμές αυτές χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό του ποσοστού του ξηρού βάρους προς το νωπό βάρος (Dry matter Content %) των φύλλων, και για την εύρεση του ξηρού βάρους όλων των φύλλων που παρήγαγε το φυτό κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας, αναλυτικά:

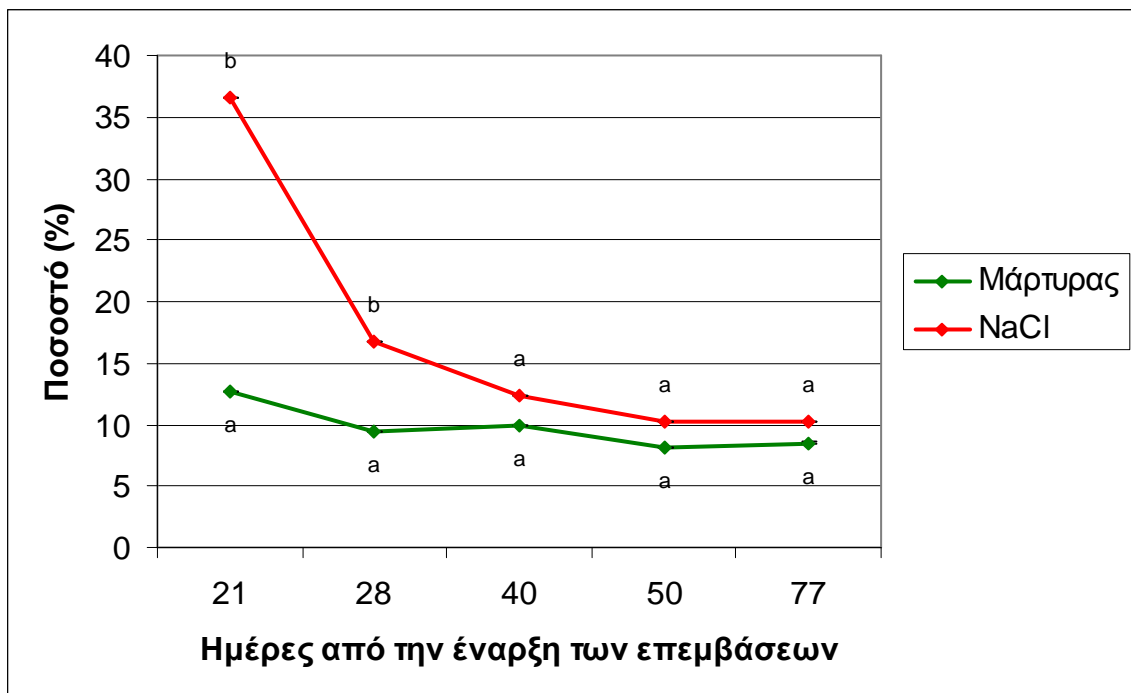
Ξηρό βάρος φύλλων από ολόκληρο το φυτό: Η προαναφερόμενη τάση της υψηλής συγκέντρωσης NaCl για διαφοροποίηση του ξηρού βάρους επιβεβαιώνεται στατιστικά στη συνέχεια από το ξηρό βάρος του συνόλου των φύλλων του φυτού στο τέλος της καλλιέργειας (16 Μαΐου). Ωστόσο, παρότι τελικώς υπήρξε διαφορά μεταξύ του αθροιστικού ξηρού βάρους των φύλλων των δύο επεμβάσεων, η στατιστική ανάλυση έδειξε πως δεν υπήρξε σημαντική διαφορά στην παραγωγή ξηράς ουσίας φύλλων μεταξύ των επεμβάσεων ( $p=0,072617$ ).



Ραβδόγραμμα 2: Το ξηρό βάρος του συνόλου των φύλλων που παρήγαγε το φυτό (gr).

### Ποσοστό ξηρού προς νωπό βάρος των φύλλων (Dry Matter Content %):

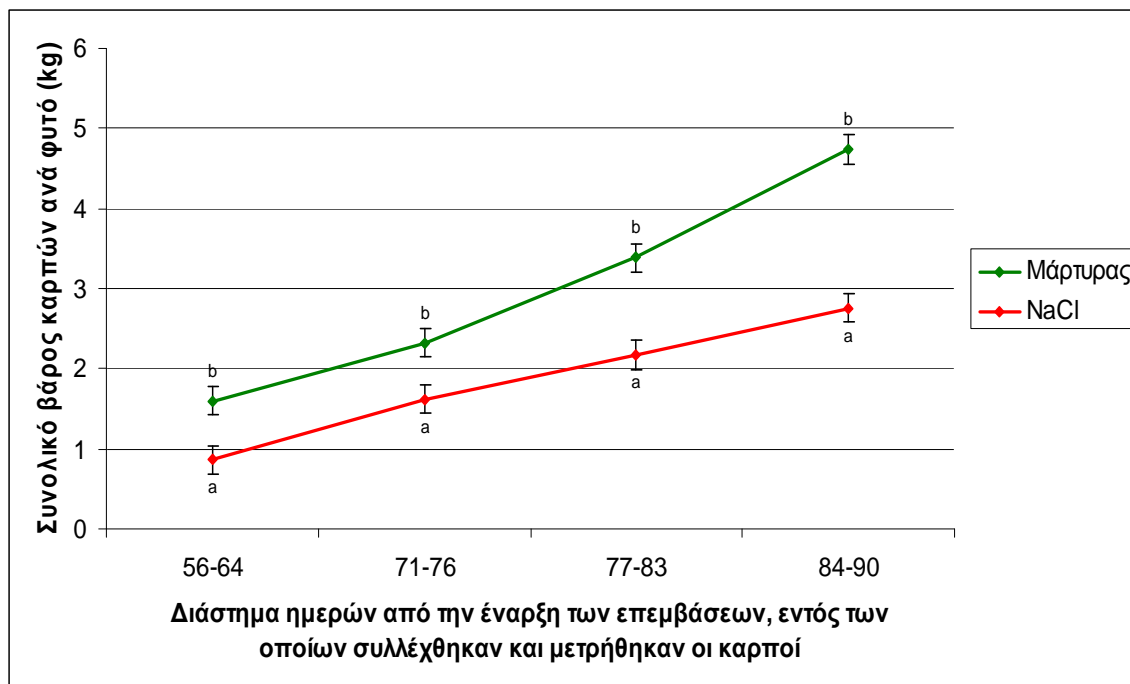
Το ποσοστό αυτό υπολογίζεται με το λόγο του ξηρού βάρους των φύλλων προς το νωπό βάρος των ιδίων φύλλων. Τα αποτελέσματα του ποσοστού ξηρού προς νωπού βάρους των φύλλων που αφαιρούνταν σταδιακά από τα φυτά παρουσιάζονται στο διάγραμμα 7, όπου όπως βλέπουμε ο μάρτυρας παρουσιάζει καθ' όλη την πορεία του πειράματος το μικρότερο ποσοστό (%). Η διαφορά αυτή του μάρτυρα είναι στατιστικά σημαντική ( $p=0,000061$ ).



Διάγραμμα 7: Ποσοστό του ξηρού προς το νωπό βάρος των αφαιρούμενων φύλλων του φυτού (όσα σημεία δεν ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα είναι στατιστικώς διαφορετικά το ένα από το άλλο για επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha=0,05$ ).

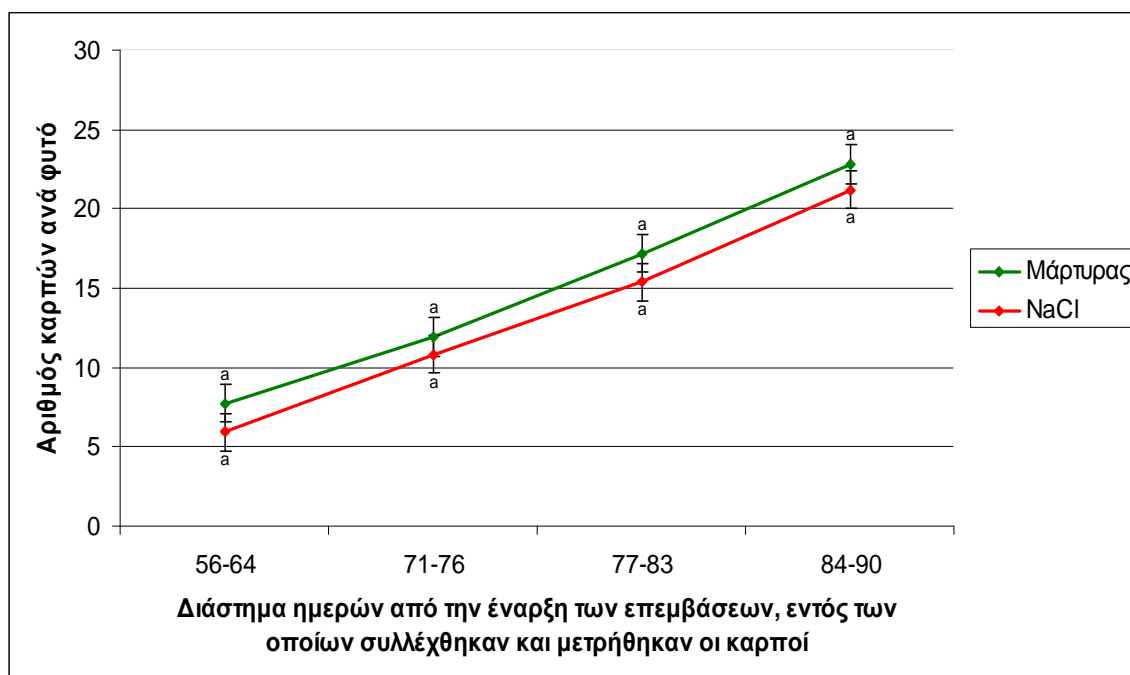
### Παραγωγή καρπών

Στο διάγραμμα 8 παρουσιάζεται αθροιστικά η παραγωγή του κάθε φυτού, δηλαδή η τιμή στον κάθετο άξονα αντιπροσωπεύει τη συνολική παραγωγή νωπών καρπών (kg) του φυτού το αντίστοιχο διάστημα ημερών:



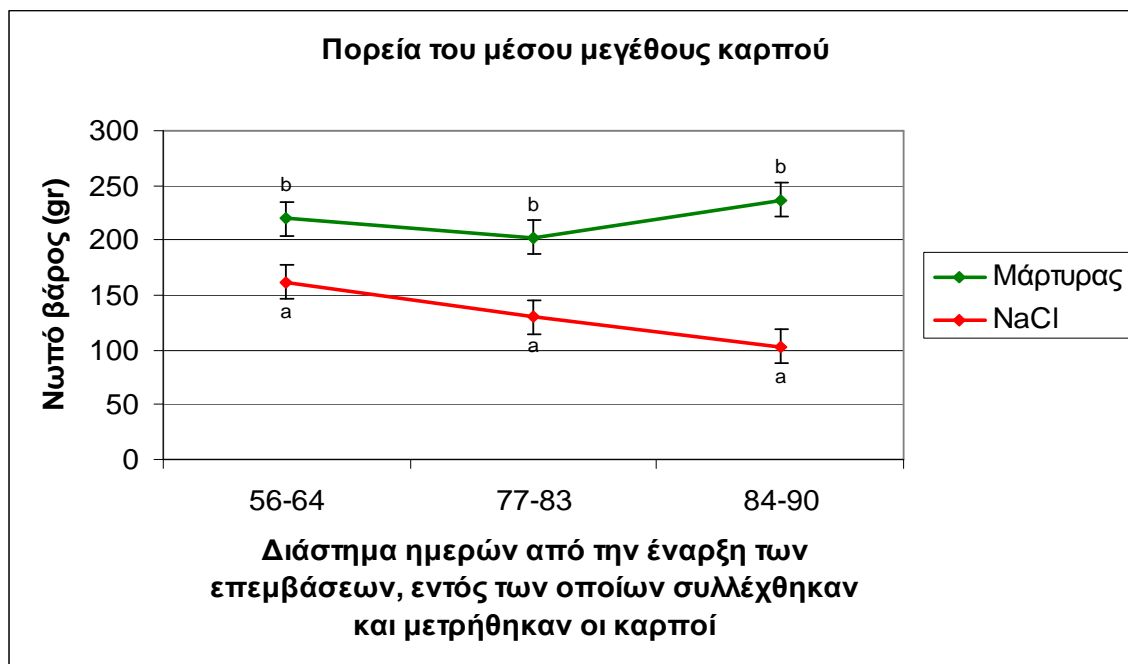
Διάγραμμα 8: Η αθροιστική παραγωγή (kg) των καρπών ανά φυτό (όσα σημεία δεν ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα είναι στατιστικώς διαφορετικά το ένα από το άλλο για επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha=0,05$ ).

Παρατηρούμε ότι η παραγωγή του μάρτυρα είναι σαφώς μεγαλύτερη από την παραγωγή που είχε το αντίστοιχο χρονικό διάστημα η επέμβαση με NaCl ( $p=0,000007$ ).



Διάγραμμα 9: Αριθμός των καρπών αθροιστικά ανά φυτό (όσα σημεία δεν ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα είναι στατιστικώς διαφορετικά το ένα από το άλλο για επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha=0,05$ ).





Διάγραμμα 10: Πορεία του μέσου μεγέθους καρπού (όσα σημεία δεν ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα είναι στατιστικώς διαφορετικά το ένα από το άλλο για επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha=0,05$ ).



Ραβδόγραμμα 3: Μέσο μέγεθος του νωπού καρπού που παρήγαγε το φυτό σε όλη τη διάρκεια του πειράματος.

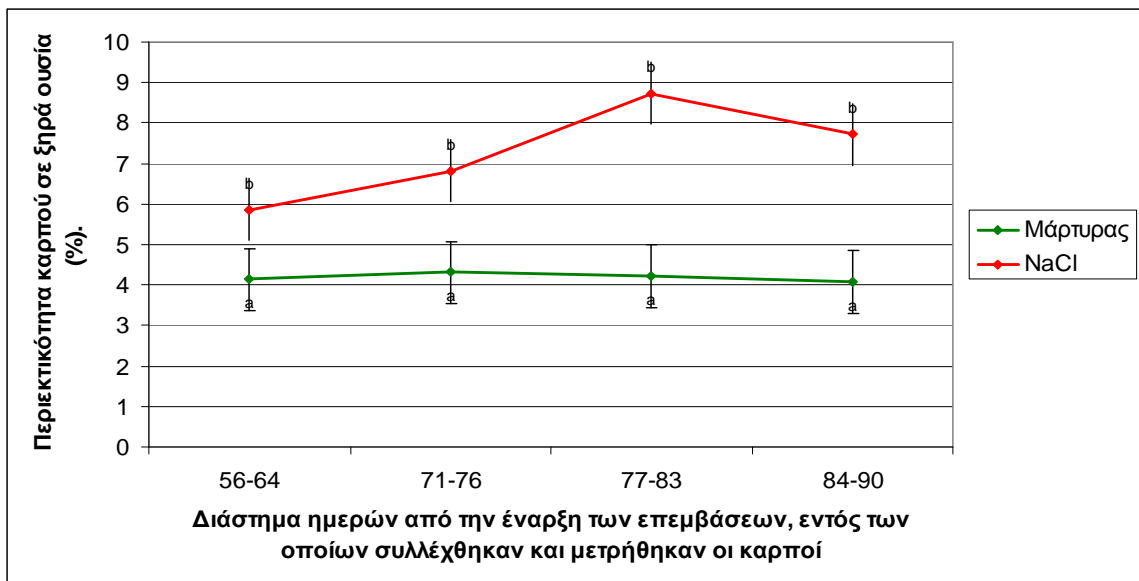
Λαμβάνοντας υπόψη το διάγραμμα 9 που παρουσιάζει τον αριθμό των καρπών αθροιστικά που παρήχθησαν από το κάθε φυτό των δύο επεμβάσεων στο ίδιο χρονικό διάστημα, και στο οποίο δεν παρατηρείται στατιστικώς σημαντική διαφορά μεταξύ των επεμβάσεων ( $p=0,281039$ ),

εύκολα αντιλαμβανόμαστε πως η μεγαλύτερη αθροιστική παραγωγή του μάρτυρα δεν οφείλεται τόσο στο μεγαλύτερο αριθμό καρπών, αλλά στο μεγαλύτερο νωπό βάρος που παρουσίασαν οι καρποί του. Στο διάγραμμα 10 παρουσιάζεται η πορεία του μέσου μεγέθους καρπού ( $p=0,000000$ ), ενώ στο ραβδόγραμμα 3 βλέπουμε το μέσο μέγεθος καρπού που παράγαγε το φυτό σε όλη τη διάρκεια του πειράματος.

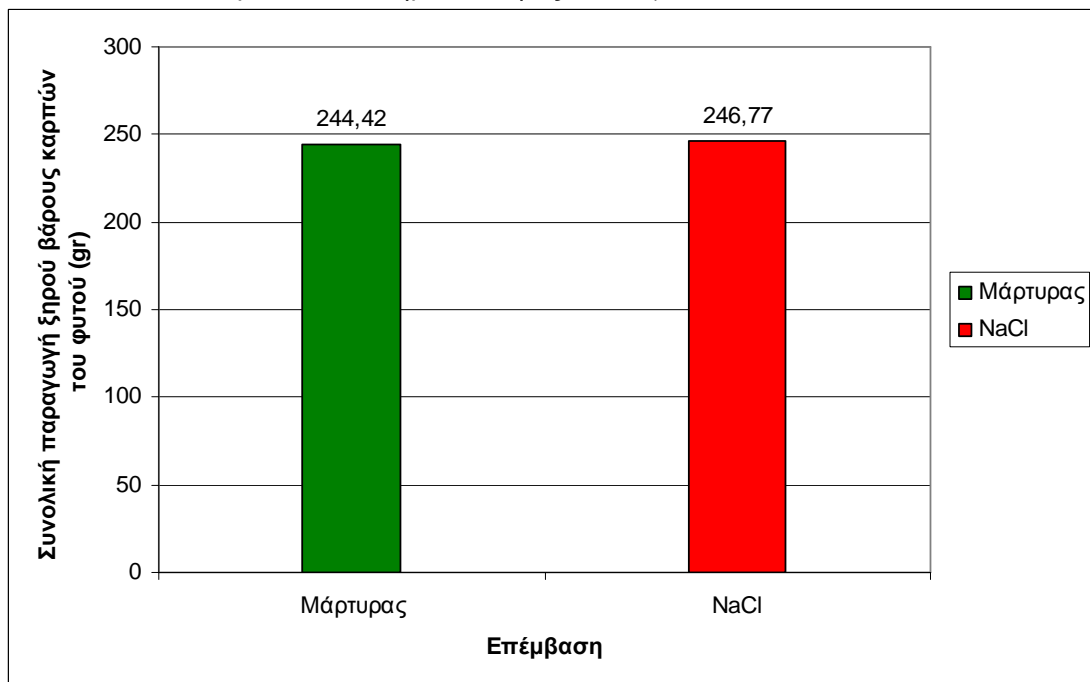
### **Ξηρή ουσία καρπών**

Για τον υπολογισμό του ποσοστού ξηρής ουσίας των καρπών μετρήσαμε το νωπό βάρος καρπών από τις δύο επεμβάσεις ξεχωριστά, σε τέσσερα διαφορετικά χρονικά διαστήματα, και έπειτα από ξήρανσή τους μετρήσαμε και το ξηρό βάρος τους. Τέλος, ο λόγος του ξηρού προς το νωπό βάρος των ιδίων καρπών μας δίνει το (%) ποσοστό ξηρής ουσίας που περιέχουν οι καρποί της κάθε επέμβασης τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο.

Η πορεία του ποσοστού ξηρής ουσίας των καρπών των επεμβάσεων παρουσιάζεται στο διάγραμμα 11. Φαίνεται ξεκάθαρα ότι η συγκέντρωση ξηρής ουσίας αυξάνεται σε μεγάλο ποσοστό στην επέμβαση με NaCl, φτάνοντας μέχρι και σε υπερδιπλασιασμό της σε σχέση με του μάρτυρα που παραμένει σταθερή στο 4%, 77-83 ημέρες από την έναρξη των επεμβάσεων. Η στατιστική επεξεργασία επιβεβαιώνει τη σημαντικότητα της διαφοράς μεταξύ των επεμβάσεων ( $p=0,000000$ ). Στο ραβδόγραμμα 4 παρουσιάζεται η συνολική παραγωγή ξηράς ουσίας καρπών του φυτού, δείχνοντας τη μεγαλύτερη παραγωγικότητα του φυτού της αλατούχας επέμβασης μόνο κατά 2,35 gr περίπου. Τελικώς, τα φυτά των δύο επεμβάσεων παρά τις διαφορές που παρουσίασαν στην παραγωγή καρπών, κατέληξαν να έχουν παράγει την ίδια σχεδόν ποσότητα ξηράς ουσίας καρπών.



Διάγραμμα 11: Πορεία του ποσοστού ξηρής ουσίας των καρπών (gr) από την έναρξη των επεμβάσεων (όσα σημεία δεν ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα είναι στατιστικώς διαφορετικά το ένα από το άλλο για επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha=0,05$ ).



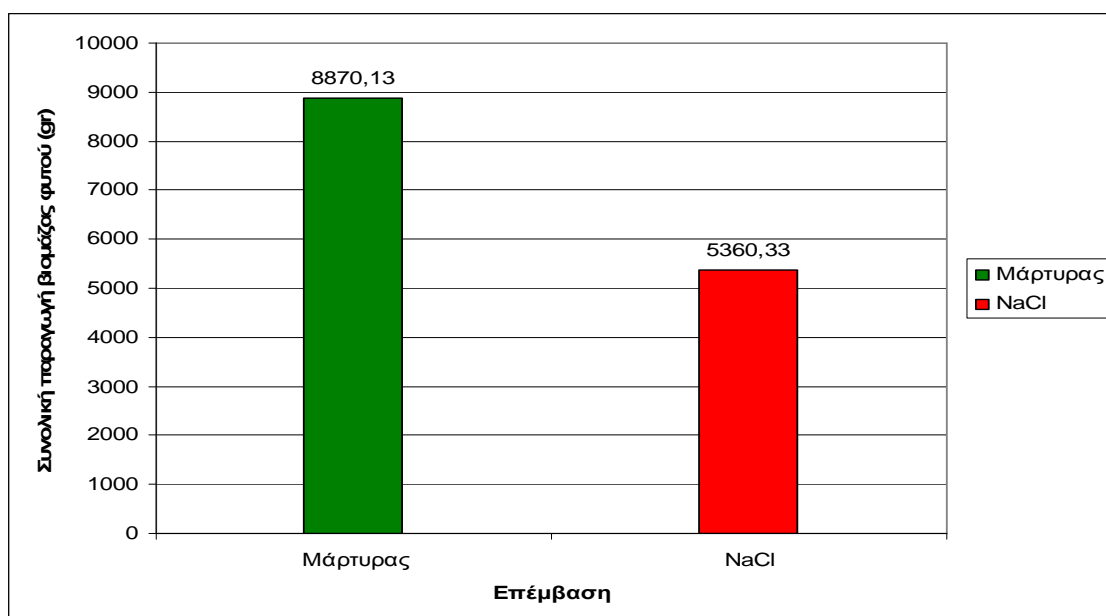
Ραβδόγραμμα 4: Συνολική παραγωγή ξηρού βάρους καρπών του φυτού (gr).

## Βιομάζα – Συνολικό ξηρό βάρος

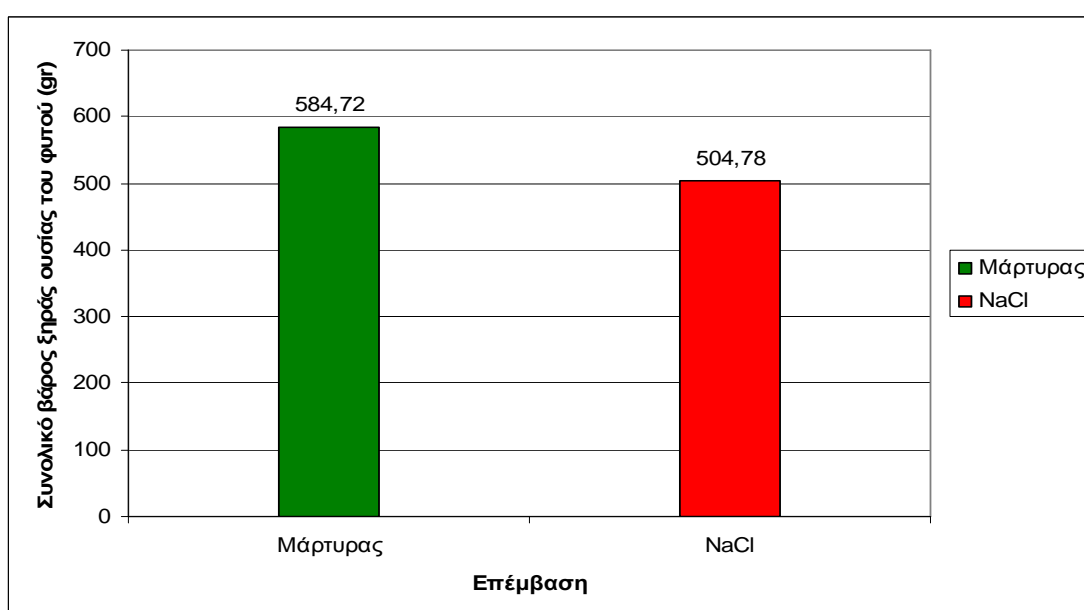
Για τον υπολογισμό της παραγωγής βιομάζας των φυτών προσθέσαμε το τελικό νωπό βάρος των βλαστών, το νωπό βάρος της συνολικής παραγωγής φύλλων, και το νωπό βάρος της συνολικής παραγωγής καρπών

του φυτού. Αντίστοιχα, για τον υπολογισμό του συνολικού ξηρού βάρους των φυτών προσθέσαμε τα ξηρά βάρη των παραπάνω συντελεστών.

Στα ραβδόγραμμα 6 και 7 (επόμενη σελίδα) φαίνεται καθαρά η μεγαλύτερη παραγωγή νωπής βιομάζας και ξηράς ουσίας των φυτών του μάρτυρα, σε σχέση με τα φυτά της επέμβασης με το αλατούχο διάλυμα. Η διαφορά στην παραγωγή νωπής βιομάζας οφείλεται καθαρά στη σχεδόν διπλάσια παραγωγή νωπού βάρους καρπών του μάρτυρα σε σχέση με την αλατούχα επέμβαση, που είναι ο συντελεστής με τη μεγαλύτερη βαρύτητα.



Ραβδόγραμμα 5: Συνολική παραγωγή νωπής βιομάζας του φυτού



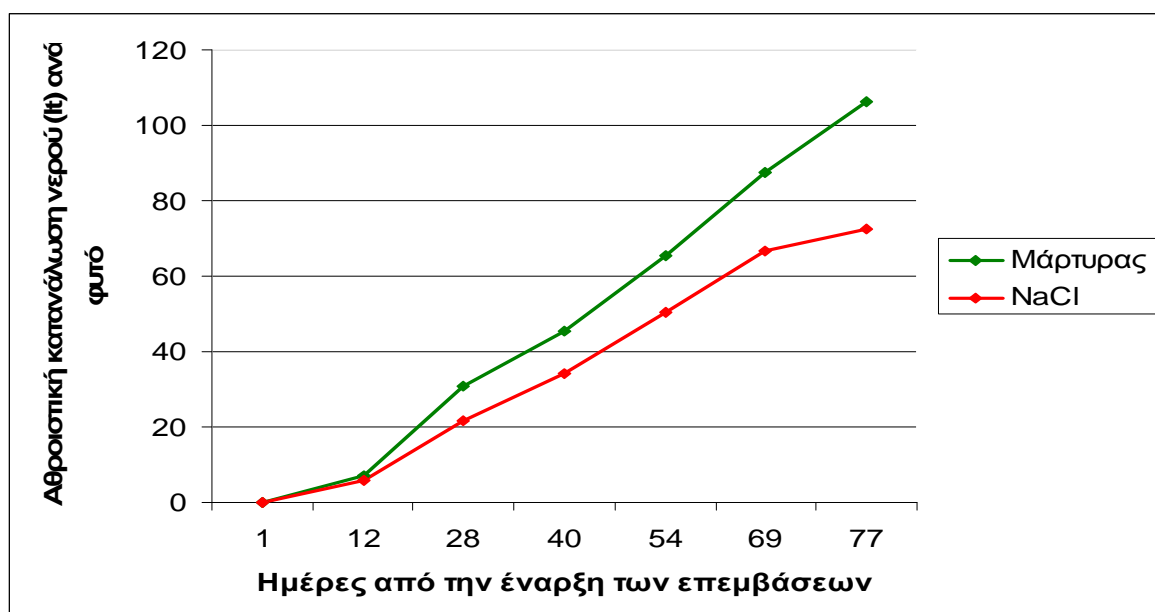
Ραβδόγραμμα 6: Συνολικό βάρος ξηράς ουσίας του φυτού

## Συντελεστής αξιοποίησης νερού

Η απαίτηση νερού ανά μονάδα παραγόμενου νωπού προϊόντος (Water Use Efficiency-WUE) ορίζεται ως η ποσότητα νερού (σε λίτρα) που απαιτείται από το φυτό για να παραχθεί συγκεκριμένη ποσότητα καρπού (ξηρού ή νωπού σε γραμμάρια). Στη συγκεκριμένη περίπτωση το WUE υπολογίστηκε με δύο τρόπους, ως η μέση κατανάλωση νερού ανά εβδομάδα προς την αντίστοιχη εβδομαδιαία παραγωγή νωπού καρπού (lt/gr) (WUE 1), και προς την αντίστοιχη εβδομαδιαία παραγωγή ξηράς ουσίας καρπών (lt/gr) (WUE 2).

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 τη συγκεκριμένη δεξαμενή.

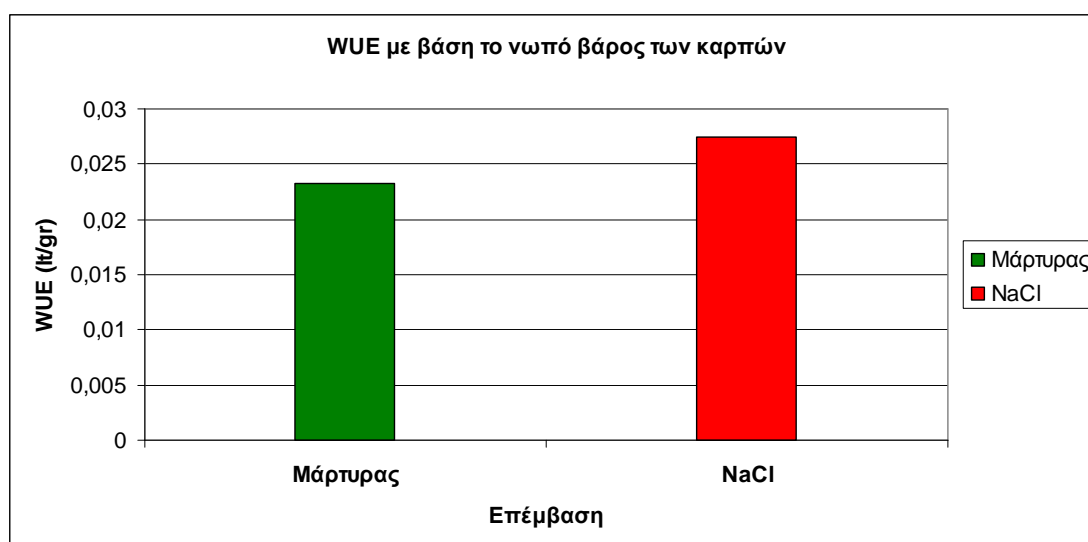
Στο διάγραμμα 12 παριστάνεται αθροιστικά η ποσότητα ύδατος που αναλογεί στο κάθε φυτό (κάθετος άξονας) κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου (οριζόντιος άξονας). Η κάθε τιμή της κατανάλωσης στο διάγραμμα αντιπροσωπεύει τη συνολική κατανάλωση νερού του φυτού από την έναρξη των επεμβάσεων έως την ημέρα που αντιστοιχεί στον οριζόντιο άξονα.



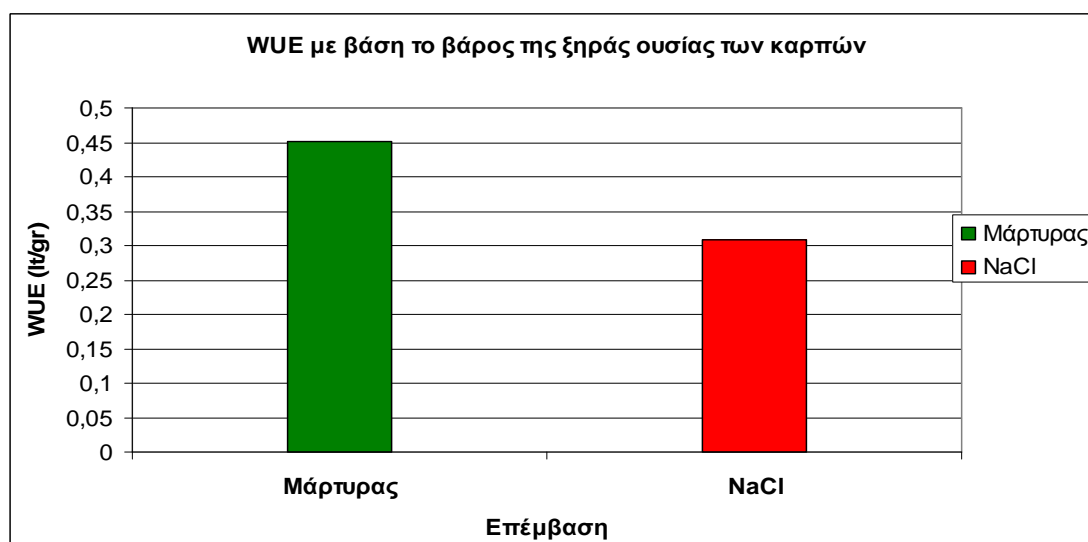
Διάγραμμα 12: Η κατανάλωση νερού αρδεύσεως (lt) ανά φυτό (αθροιστικά)

Αξίζει να σημειωθεί ότι η κατανάλωση νερού ανά φυτό κατά τις πρώτες ημέρες του Μαρτίου (μέχρι και τις 12 Μαρτίου) παρουσιάζει σχεδόν τον ίδιο ρυθμό ανεξαρτήτως επέμβασης. Η κατάσταση αλλάζει με την άνοδο της θερμοκρασίας όπου υπάρχει αυξανόμενος ρυθμός κατανάλωσης νερού με μεγαλύτερο στο μάρτυρα και μικρότερο στην επέμβαση με το αλατούχο θρεπτικό διάλυμα.

Για τον υπολογισμό του WUE στο πείραμά μας υπολογίσαμε το λόγο της κατανάλωσης νερού ανά φυτό σε όλη τη διάρκεια της καλλιέργειας, προς την παραγωγή νωπών καρπών (WUE 1) (ραβδόγραμμα 7) ή ξηράς ουσίας καρπών (WUE 2) (ραβδόγραμμα 8) που έδωσε το φυτό σε όλη την καλλιεργητική περίοδο (Απρίλιο-Μάιο).

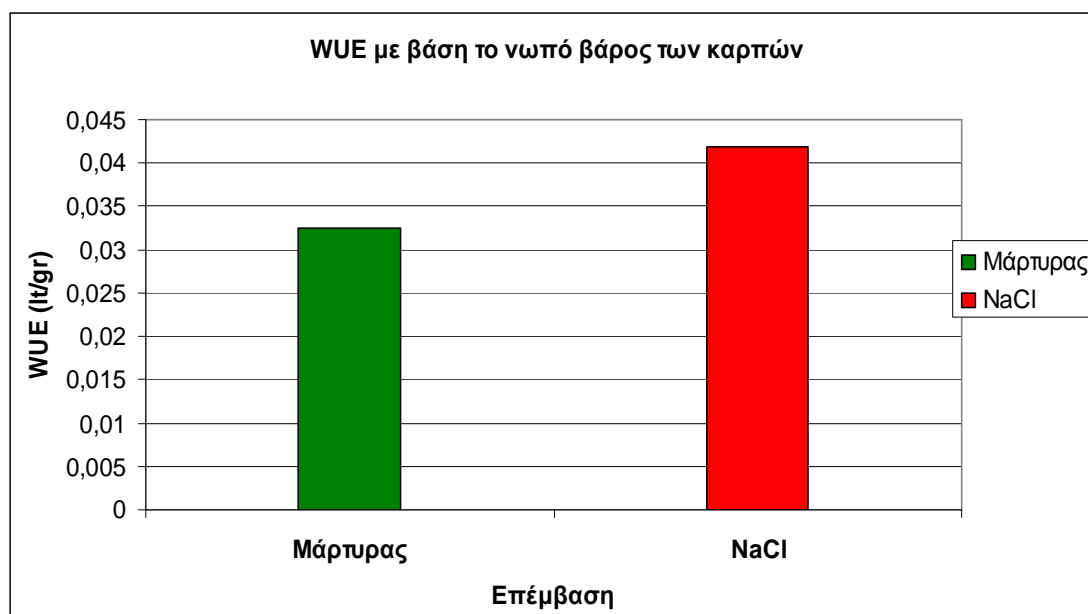


Ραβδόγραμμα 7: Απαίτηση νερού ανά μονάδα παραγόμενου νωπού προϊόντος (lt/gr).

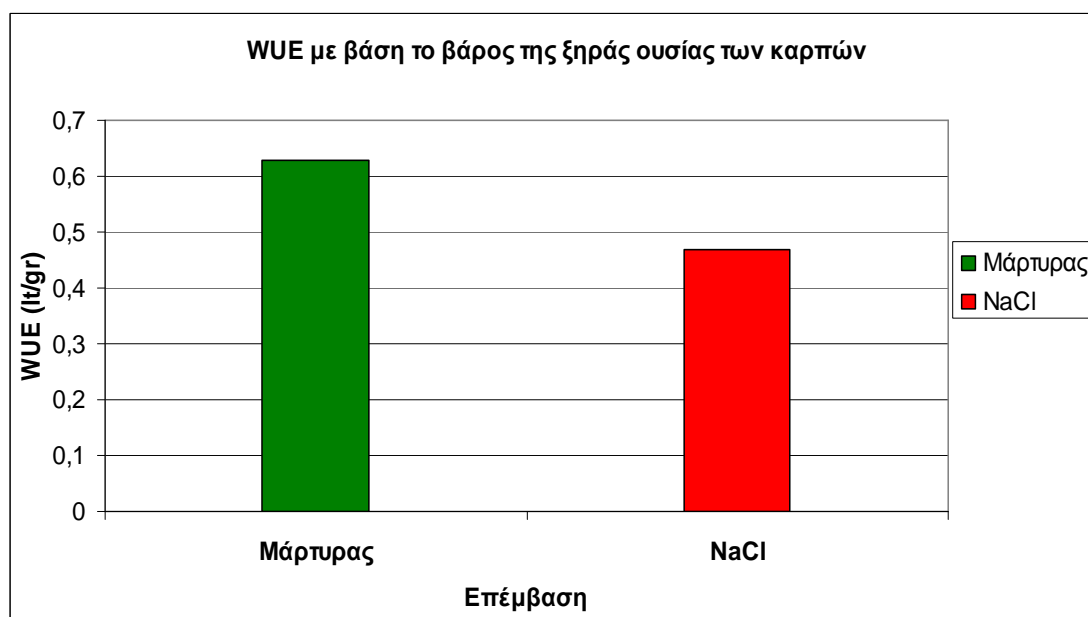


Ραβδόγραμμα 8: Απαίτηση νερού ανά μονάδα παραγόμενης ξηράς ουσίας καρπών (lt/gr).

Στα δύο ραβδόγραμμα που ακολουθούν, παρουσιάζονται οι WUE υπολογισμένες με τον τρόπο που αναφέρθηκε παραπάνω, με τη διαφορά ότι στην ποσότητα του νερού που απορροφήθηκε από το φυτό προστέθηκε η ποσότητα που απορρίφθηκε από το κάθε φυτό, κάθε φορά που ανανεωνόταν το θρεπτικό διάλυμα των δεξαμενών (κάθε δεκαπενθήμερο). Έτσι βλέπουμε την αξιοποίηση του νερού από τα φυτά με μια πιο “πρακτική” ματιά.



Ραβδόγραμμα 9: Απαίτηση νερού (σύνολο νερού που προσφέρθηκε στο φυτό της επέμβασης – ποσότητα που απορροφήθηκε και ποσότητα που απορρίφθηκε) ανά μονάδα παραγόμενου νωπού προϊόντος (lt/gr).



Ραβδόγραμμα 10: Απαίτηση νερού (σύνολο νερού που προσφέρθηκε στο φυτό της επέμβασης – ποσότητα που απορροφήθηκε και ποσότητα που απορρίφθηκε) ανά μονάδα παραγόμενης ξηράς ουσίας καρπών (lt/gr).

## Αξιοποίηση λιπαντικών στοιχείων

Στους πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζονται οι ποσότητες λιπαντικών στοιχείων που απορροφήθηκαν από τα φυτά για την παραγωγή 1 kg νωπού βάρους καρπών και για την παραγωγή 1 kg ξηράς ουσίας καρπού.

Αξιοποίηση θρεπτικών στοιχείων		Για παραγωγή 1 kg νωπού βάρους καρπού		Για παραγωγή 1 kg ξηράς ουσίας καρπού	
		Μάρτυρας	NaCl	Μάρτυρας	NaCl
ΔΟΧΕΙΟ A	$Ca(NO_3)_2$	8,609 gr	15,794 gr	166,7 gr	176,6 gr
	$KNO_3$	4,85 gr	8,898 gr	93,9 gr	99,5 gr
	$NH_4NO_3$	0,603 gr	1,106 gr	11,7 gr	12,4 gr
	<i>Fe-Χηλ.8%</i>	0,258 gr	0,474 gr	5,0 gr	5,3 gr
ΔΟΧΕΙΟ B	$MgSO_4$	3,066 gr	5,625 gr	59,4 gr	62,3 gr
	$K_2SO_4$	4,992 gr	9,158 gr	96,7 gr	102,4 gr
	<i>Θειϊκό Mn</i>	0,0351 gr	0,0644 gr	0,680 gr	0,720 gr
	<i>Θειϊκός Zn</i>	0,0120 gr	0,0219 gr	0,231 gr	0,245 gr
	<i>Βόρακας</i>	0,0198 gr	0,0363 gr	0,384 gr	0,406 gr
	<i>Θειϊκός Cu</i>	0,0013 gr	0,0024 gr	0,025 gr	0,027 gr
	<i>Μολ/κο Na</i>	0,0013 gr	0,0023 gr	0,024 gr	0,026 gr
ΔΟΧΕΙΟ O	$H_3PO_4$ 85%	2,880 ml	4,648 ml	55,808 ml	51,964 ml
	$HNO_3$ 67%	1,300 ml	2,098 ml	25,186 ml	23,451 ml

Πίνακας 8: Ποσότητα λιπαντικών στοιχείων που απορρόφησε το φυτό της επέμβασης για να παράγει 1 kg νωπού ή ξηρού βάρους καρπού.

Παρατηρούμε ότι ενώ για την παραγωγή νωπών καρπών το φυτό της αλατούχας επέμβασης χρειάζεται σχεδόν διπλάσια ποσότητα λιπαντικών στοιχείων από το φυτό του μάρτυρα, για την παραγωγή της ξηράς ουσίας των καρπών οι ποσότητες λιπαντικών στοιχείων που χρησιμοποίησαν τα φυτά και των δύο επεμβάσεων ήταν παραπλήσιες. Το αποτέλεσμα αποκτάει λογική αν συνδεθεί με το γεγονός πως ενώ στην παραγωγή νωπού βάρους καρπών ο μάρτυρας υπερτερούσε κατά 42% περίπου, στην παραγωγή ξηράς ουσίας καρπών οι δύο επεμβάσεις παρουσίασαν παραπλήσιες τιμές.

Παρόμοια αποτελέσματα έχουμε αν υπολογίσουμε την αξιοποίηση των λιπαντικών στοιχείων που χρησιμοποιήθηκαν συνολικά. Αν δηλαδή προσθέσουμε στην ποσότητα των λιπαντικών στοιχείων που απορρόφησε το φυτό και τις ποσότητες που του προσφέρονταν και απορρίπτονταν κάθε φορά



που ανανεωνόταν το περιεχόμενο το δεξαμενών (κάθε δεκαπενθήμερο), και διαιρέσουμε το σύνολο με την παραγωγή (πίνακας 9).

Αξιοποίηση θρεπτικών στοιχείων		Για παραγωγή 1 kg νωπού βάρους καρπού		Για παραγωγή 1 kg ξηράς ουσίας καρπού	
		Μάρτυρας	NaCl	Μάρτυρας	NaCl
ΔΟΧΕΙΟ A	$Ca(NO_3)_2$	16,367 gr	27,365 gr	317,2 gr	305,9 gr
	$KNO_3$	9,221 gr	15,417 gr	178,7 gr	172,3 gr
	$NH_4NO_3$	1,146 gr	1,916 gr	22,2 gr	21,4 gr
	Fe-Χηλ.8%	0,491 gr	0,821 gr	9,5 gr	9,2 gr
ΔΟΧΕΙΟ B	$MgSO_4$	5,829 gr	9,746 gr	113,0 gr	108,9 gr
	$K_2SO_4$	9,491 gr	15,868 gr	184,0 gr	177,4 gr
	Θειικό Mn	0,0668 gr	0,1117 gr	1,294 gr	1,248 gr
	Θειικός Zn	0,0227 gr	0,0380 gr	0,440 gr	0,425 gr
	Βόρακας	0,0377 gr	0,0630 gr	0,730 gr	0,704 gr
	Θειικός Cu	0,0025 gr	0,0041 gr	0,048 gr	0,046 gr
	Μολ/κο Na	0,0024 gr	0,0040 gr	0,046 gr	0,045 gr
ΔΟΧΕΙΟ O	$H_3PO_4$ 85%	3,708 ml	5,997 ml	71,865 ml	67,039 ml
	$HNO_3$ 67%	1,674 ml	2,706 ml	32,433 ml	30,255 ml

Πίνακας 9: Ποσότητα λιπαντικών στοιχείων που προσφέρθηκε στο φυτό της επέμβασης (ποσότητα που απορρόφησε και ποσότητα που απορρίφθηκε) για να παράγει 1 kg νωπού ή ξηρού βάρους καρπού.

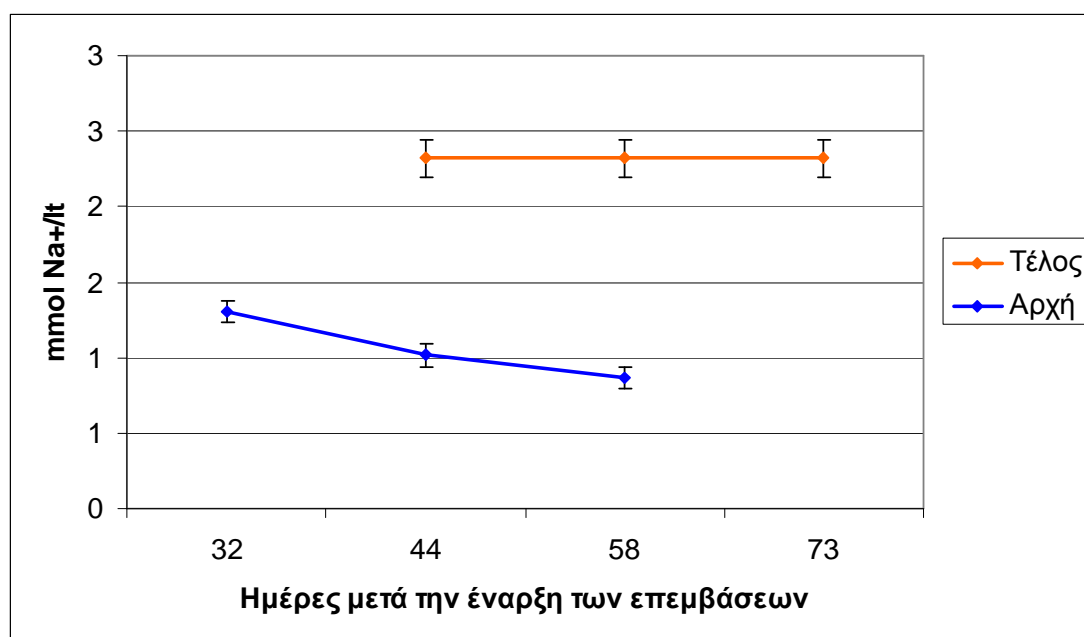
Τελικά, η αλατούχα επέμβαση αξιοποίησε το 58% των λιπαντικών στοιχείων που της προσφέρθηκαν ανά κιλό νωπού ή ξηρού βάρους καρπού, ενώ ο μάρτυρας αξιοποίησε το 53%. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός πως δεν υπάρχει διαφορά στην αξιοποίηση των οξέων (φωσφορικού – νιτρικού), καθώς και οι δύο επεμβάσεις αξιοποίησαν το 78% που τους προσφέρθηκαν ανά κιλό νωπού ή ξηρού βάρους καρπού.

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

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

Στο παρόν υποκεφάλαιο θα εξετάσουμε τις συγκεντρώσεις του ιόντος νατρίου ( $\text{Na}^+$ ) στο θρεπτικό διάλυμα. Όπως είδαμε στην παρασκευή και τον υπολογισμό της σύνθεσης των θρεπτικών διαλυμάτων ανά δύο εβδομάδες απορρίπταμε το διάλυμα και το αντικαθιστούσαμε με νέο, λαμβάνοντας προηγουμένως δείγμα για χημική ανάλυση. Στα 2 επόμενα διαγράμματα θα παρακολουθήσουμε την εξέλιξη του στοιχείου στην κάθε δεξαμενή, όπου οι μπλε γραμμές αντιπροσωπεύουν τη συγκέντρωση του στοιχείου στο νέο διάλυμα ενώ οι πορτοκαλί στο απορριπτόμενο.

- Δεξαμενή του μάρτυρα

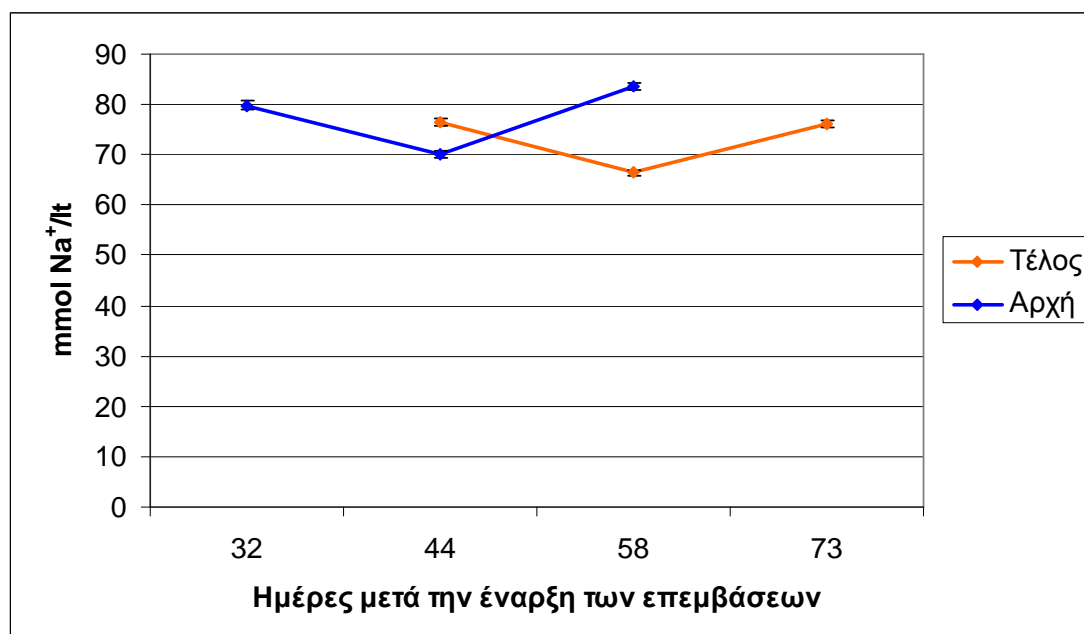


Διάγραμμα 13: Δεξαμενή του μάρτυρα.

Στη δεξαμενή του μάρτυρα 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  $\text{NaCl}$  το νερό του δικτύου περιέχει μικρές ποσότητες  $\text{NaCl}$ . Επακόλουθο είναι έστω και με

τις μικρές αυτές ποσότητες να υπάρχει μια στοιχειώδης απορρόφηση του στοιχείου από τα φυτά.

- Δεξαμενή της επέμβασης με το αλατούχο διάλυμα



Διάγραμμα 14: Δεξαμενή της επέμβασης με το αλατούχο διάλυμα.

Στο διάγραμμα 14 παρακολουθούμε την εξέλιξη του νατρίου ( $\text{Na}^+$ ) στο θρεπτικό διάλυμα της επέμβασης με το αλατούχο διάλυμα, που αποτελείται από θρεπτικά στοιχεία και  $\text{NaCl}$ . Η μπλε γραμμή όπως σε όλα τα επόμενα διαγράμματα απεικονίζει την προσπάθεια να δημιουργήσουμε σταθερές συνθήκες αλατότητας στο περιβάλλον της ρίζας, γύρω στα  $80 \text{ mmol Na}^+/\text{lt}$ .

Οι τιμές της πορτοκαλί γραμμής δεν απέχουν και πολύ από τις αντίστοιχες της μπλε, γεγονός που υποδηλώνει ότι δεν υπήρξε συσσώρευση του στοιχείου κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ  $66,38 \text{ mmol Na}^+/\text{lt}$  και  $83,77 \text{ mmol Na}^+/\text{lt}$  στο απορριπτόμενο διάλυμα. Επομένως παρατηρείται μια σχετική σταθερότητα στην απορρόφηση του νατρίου.

## Περιεκτικότητα ( $\text{Na}^+$ ) στα φύλλα

Κατά τη διάρκεια της πειραματικής καλλιέργειας όπως αναφέρθηκε πραγματοποιούνταν λήψη του 3<sup>ου</sup> φύλλου από την κορυφή του φυτού για χημική ανάλυση. Στο διάγραμμα 15 παρουσιάζεται η περιεκτικότητα νατρίου σε κάθε παραγόμενο γραμμάριο ξηρού βάρους αυτού του φύλλου:



Διάγραμμα 15: Η πορεία της συγκέντρωσης του  $\text{Na}^+$  των φύλλων, εκφρασμένη σε mmol/gr ξηρού βάρους, σε φυτά που αναπτύσσονταν με κανονικό θρεπτικό διάλυμα και σε φυτά που αναπτύσσονταν με αλατούχο θρεπτικό διάλυμα (όσα σημεία δεν ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα είναι στατιστικώς διαφορετικά το ένα από το άλλο για επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha=0,05$ ).

Η έκθεση των φυτών σε αλατούχο θρεπτικό διάλυμα προκάλεσε στατιστικά σημαντική αύξηση της συγκέντρωσης του  $\text{Na}^+$  στα φύλλα της τομάτας ( $p=0,000000$ ).

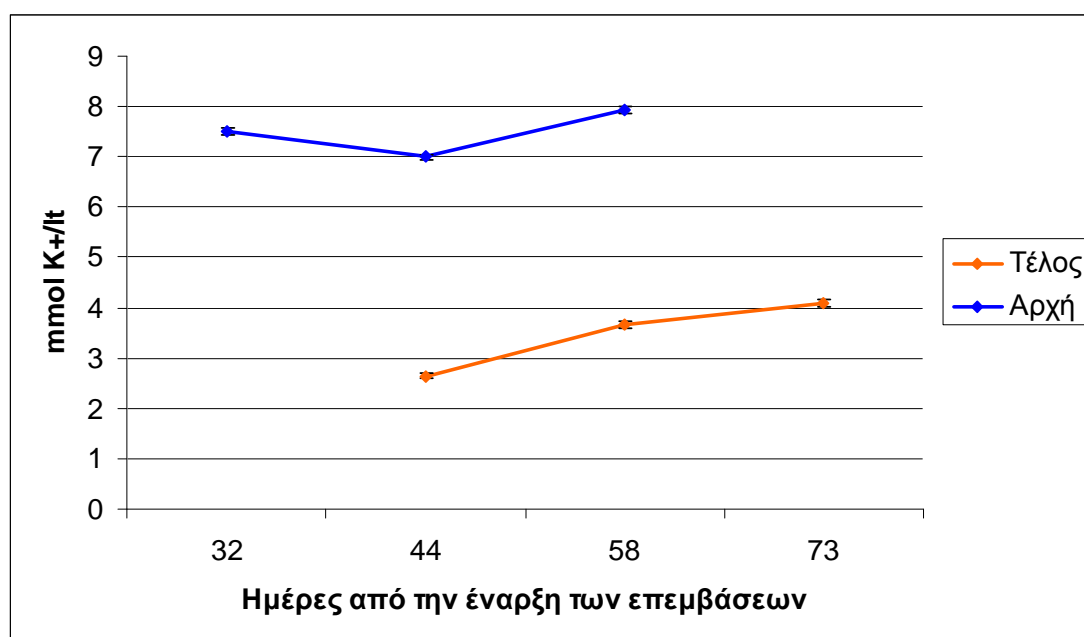
Η μέση περιεκτικότητα σε  $\text{Na}^+$  των φυτών που αναπτύσσονταν με κανονικό θρεπτικό διάλυμα, στις 5 τελευταίες μετρήσεις, ήταν 0,048 mmol/gr ξηρού βάρους, ενώ στην επέμβαση που χρησιμοποιήθηκε το αλατούχο θρεπτικό διάλυμα η μέση συγκέντρωση του  $\text{Na}^+$  στα φύλλα έφτασε τα 0,367 mmol/gr ξηρού βάρους.

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

### Περιεκτικότητα καλίου ( $K^+$ ) στο θρεπτικό διάλυμα

Το κάλιο ( $K^+$ ) ως θρεπτικό μακροστοιχείο προερχόταν από την καθημερινή προσθήκη ποσοτήτων πυκνού θρεπτικού διαλύματος 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 δύο εβδομάδες.

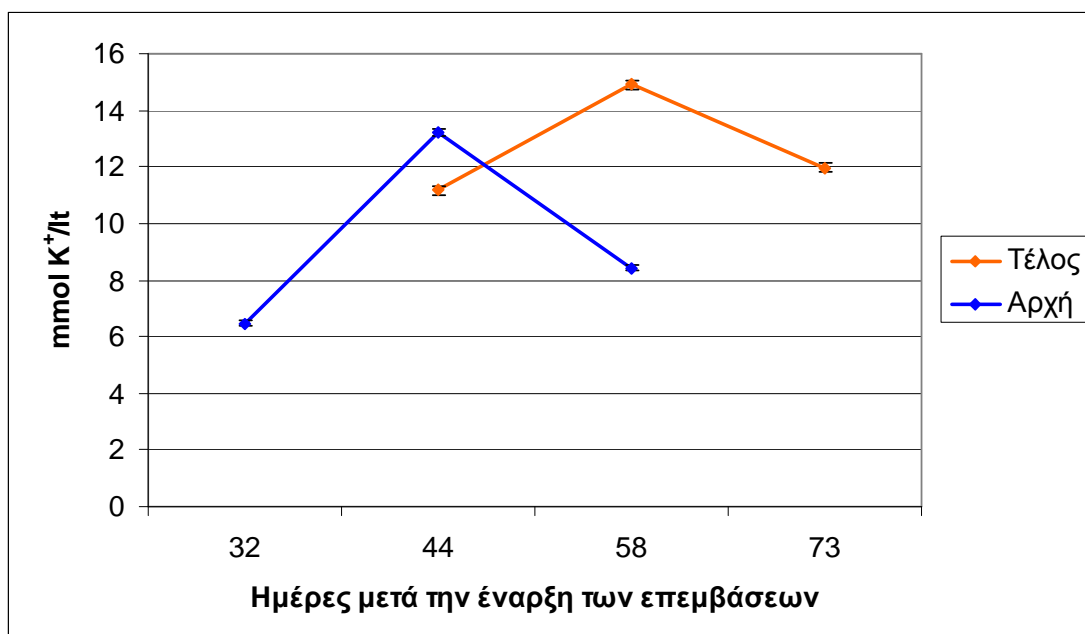
- Δεξαμενή του μάρτυρα



Διάγραμμα 16: Δεξαμενή του μάρτυρα.

Στη δεξαμενή του μάρτυρα δεν παρατηρείται καμία συσσώρευση καλίου ( $K^+$ ), αντίθετα υπάρχει απορρόφησή του σε όλη τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου (διάγραμμα 16). Οι τιμές του στοιχείου στο απορριπτόμενο διάλυμα είναι πάντα χαμηλότερες από το νέο.

- Δεξαμενή της επέμβασης με το αλατούχο διάλυμα

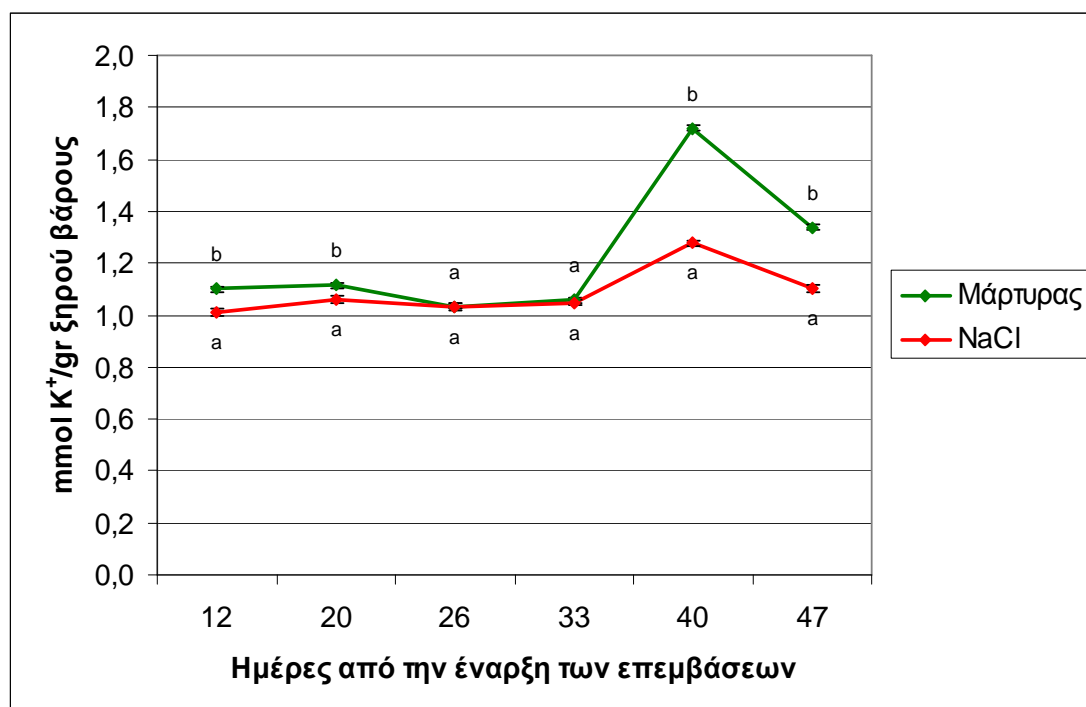


Διάγραμμα 17: Δεξαμενή της επέμβασης με το αλατούχο διάλυμα.

Στη δεξαμενή της επέμβασης με το αλατούχο διάλυμα έχουμε συσσώρευση του καλίου ( $K^+$ ) η οποία παραμένει σχεδόν σταθερή. Οι τιμές στο απορριπτόμενο διάλυμα κυμαίνονται μεταξύ 10,83 mmol  $K^+$ /lt και 11,98 mmol  $K^+$ /lt. Αυτό σημαίνει ότι η συνολική προσθήκη  $K^+$  καθ' όλο το δεκαπενθήμερο ήταν μεγαλύτερη από την απορροφημένη.

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

Κατά τη διάρκεια της πειραματικής καλλιέργειας όπως αναφέρθηκε πραγματοποιούνταν λήψη του 3<sup>ου</sup> φύλλου από την κορυφή του φυτού για χημική ανάλυση. Στο διάγραμμα 18 παρουσιάζεται η περιεκτικότητα καλίου σε κάθε παραγόμενο γραμμάριο ξηρού βάρους αυτού του φύλλου:



Διάγραμμα 18: Η πορεία της συγκέντρωσης του K των φύλλων, εκφρασμένη σε mmol/gr ξηρού βάρους, σε φυτά που αναπτύσσονταν με κανονικό θρεπτικό διάλυμα και σε φυτά που αναπτύσσονταν με αλατούχο θρεπτικό διάλυμα (όσα σημεία δεν ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα είναι στατιστικώς διαφορετικά το ένα από το άλλο για επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha=0,05$ ).

Η έκθεση των φυτών σε αλατούχο θρεπτικό διάλυμα προκάλεσε στατιστικά σημαντική μείωση της συγκέντρωσης του K<sup>+</sup> στα φύλλα της τομάτας ( $p=0,005540$ ).

Παρατηρούμε ότι 40 ημέρες από την έναρξη των επεμβάσεων υπάρχει κορύφωση στη διαφορά μεταξύ των 2 επεμβάσεων, γεγονός που δικαιολογείται από την αύξηση της περιεκτικότητας σε NaCl από 40mM σε 80 mM στην αλατούχα επέμβαση, 29 ημέρες από την έναρξη των επεμβάσεων. Η αύξηση της περιεκτικότητας καλίου στα φύλλα όλων των φυτών εκείνες τις

ημέρες οφείλεται πιθανώς στην αύξηση της θερμοκρασίας, που ενέτεινε την απορρόφηση νερού και θρεπτικών στοιχείων.

Η μέση περιεκτικότητα σε  $K^+$  των φυτών που αναπτύσσονταν με κανονικό θρεπτικό διάλυμα, στις 5 τελευταίες μετρήσεις, ήταν 1,252 mmol/gr ξηρού βάρους, ενώ στην επέμβαση που χρησιμοποιήθηκε το αλατούχο θρεπτικό διάλυμα η μέση συγκέντρωση του  $K^+$  στα φύλλα έφτασε τα 1,104 mmol/gr ξηρού βάρους.

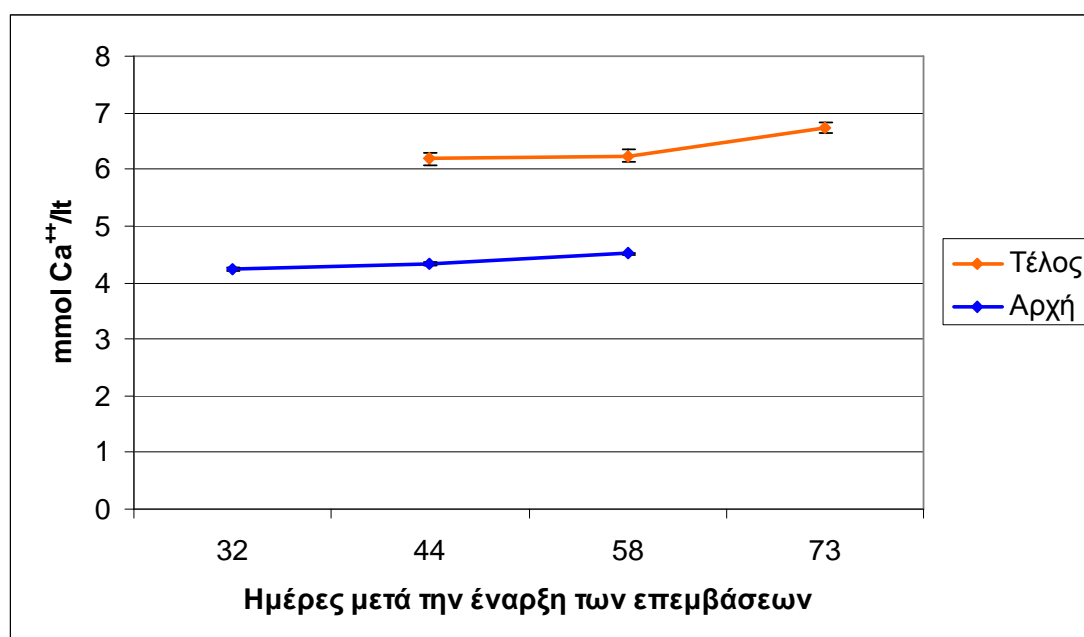


## Τα αποτελέσματα στην απορρόφηση του ασβεστίου ( $\text{Ca}^{++}$ )

### Περιεκτικότητα ασβεστίου ( $\text{Ca}^{++}$ ) στο θρεπτικό διάλυμα

Το ασβέστιο ( $\text{Ca}^{++}$ ) ως θρεπτικό μακροστοιχείο προερχόταν από την καθημερινή προσθήκη ποσοτήτων πυκνού θρεπτικού διαλύματος στις δεξαμενές. Για την ομοιόμορφη ισορροπία των λιπαντικών στοιχείων στο περιβάλλον της ρίζας όλων των φυτών, γινόταν αντικατάσταση του διαλύματος όπως είδαμε σε προηγούμενο κεφάλαιο ανά δύο εβδομάδες.

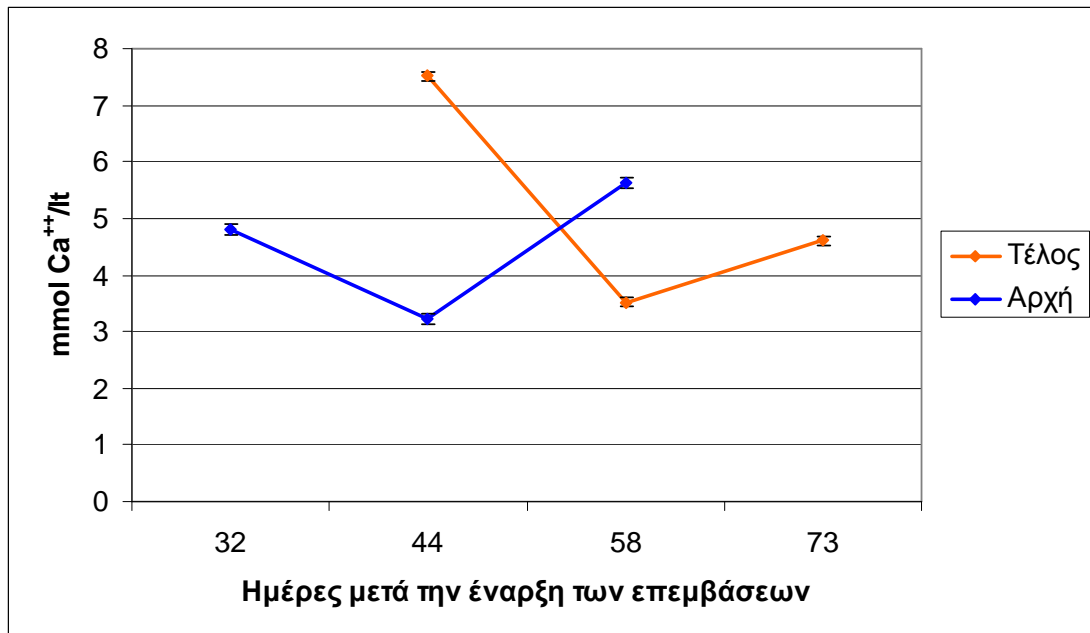
- Δεξαμενή του μάρτυρα



Διάγραμμα 19: Δεξαμενή του μάρτυρα.

Στη δεξαμενή του μάρτυρα παρατηρείται συσσώρευση ασβεστίου ( $\text{Ca}^{++}$ ), σε όλη τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου (διάγραμμα 19). Οι τιμές του στοιχείου στο απορριπτόμενο διάλυμα είναι πάντα υψηλότερες από το νέο.

- Δεξαμενή της επέμβασης με το αλατούχο διάλυμα

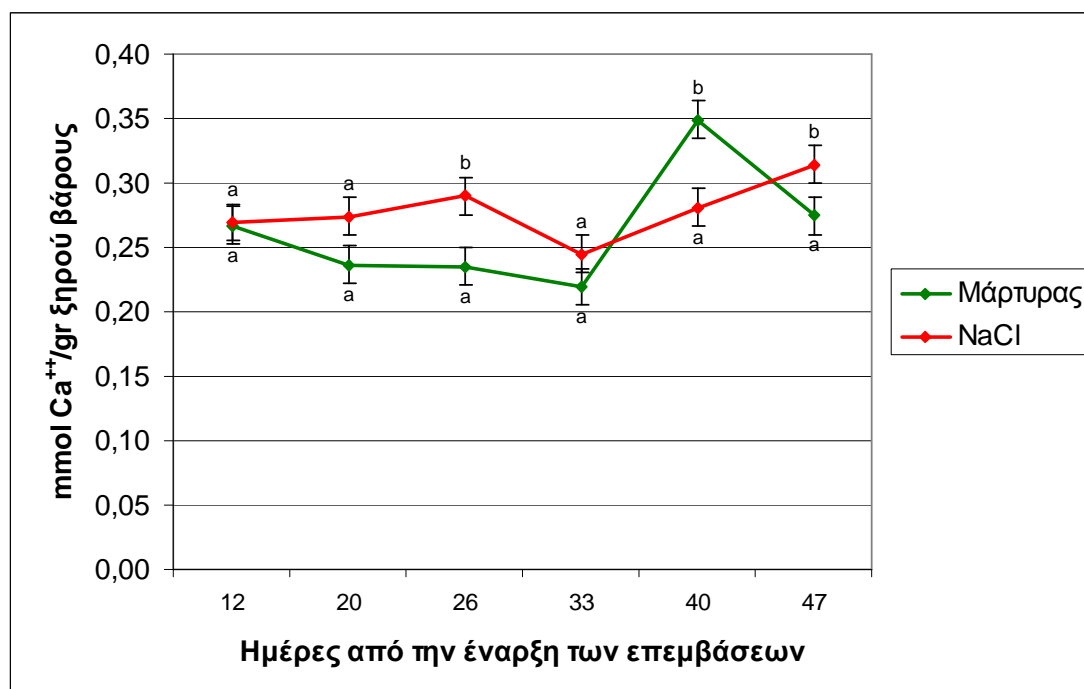


Διάγραμμα 20: Δεξαμενή της επέμβασης με το αλατούχο διάλυμα.

Στη δεξαμενή της επέμβασης με το αλατούχο διάλυμα παρατηρούμε ότι μόνο αρχικά υπήρξε σημαντική συσσώρευση του ασβεστίου ( $\text{Ca}^{++}$ ) (διάστημα μεταξύ 32 και 44 ημερών από την έναρξη των επεμβάσεων), ενώ στη συνέχεια έχουμε μικρή διακύμανση του στοιχείου. Οι τιμές στο απορριπτόμενο διάλυμα κυμαίνονται μεταξύ 3,514 mmol  $\text{Ca}^{++}$ /lt και 8,473 mmol  $\text{Ca}^{++}$ /lt.

## Περιεκτικότητα ασβεστίου ( $\text{Ca}^{++}$ ) στα φύλλα

Κατά τη διάρκεια της πειραματικής καλλιέργειας όπως αναφέρθηκε πραγματοποιούνταν λήψη του 3<sup>ου</sup> φύλλου από την κορυφή του φυτού για χημική ανάλυση. Στο διάγραμμα 21 παρουσιάζεται η περιεκτικότητα καλίου σε κάθε παραγόμενο γραμμάριο ξηρού βάρους αυτού του φύλλου:



Διάγραμμα 21: Η πορεία της συγκέντρωσης του Ca των φύλλων, εκφρασμένη σε mmol/gr ξηρού βάρους, σε φυτά που αναπτύσσονταν με κανονικό θρεπτικό διάλυμα και σε φυτά που αναπτύσσονταν με αλατούχο θρεπτικό διάλυμα (όσα σημεία δεν ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα είναι στατιστικώς διαφορετικά το ένα από το άλλο για επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha=0,05$ ).

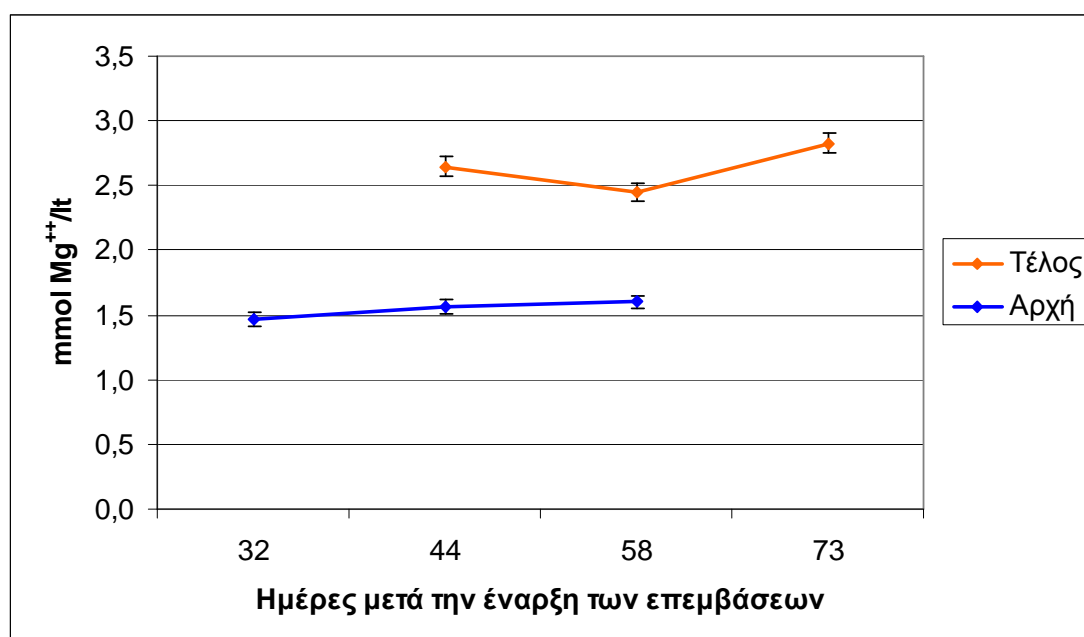
Η διαφορά μεταξύ των δύο επεμβάσεων δεν είναι στατιστικώς σημαντική ( $p=0,192929$ ). Η μέση περιεκτικότητα σε  $\text{Ca}^{++}$  των φυτών που αναπτύσσονταν με κανονικό θρεπτικό διάλυμα, στις 5 τελευταίες μετρήσεις, ήταν 0,263 mmol/gr ξηρού βάρους, ενώ στην επέμβαση που χρησιμοποιήθηκε το αλατούχο θρεπτικό διάλυμα η μέση συγκέντρωση του  $\text{Ca}^{++}$  στα φύλλα έφτασε τα 0,281 mmol/gr ξηρού βάρους.

## Τα αποτελέσματα στην απορρόφηση του μαγνησίου ( $Mg^{++}$ )

### Περιεκτικότητα μαγνησίου ( $Mg^{++}$ ) στο θρεπτικό διάλυμα

Το μαγνήσιο ( $Mg^{++}$ ) ως θρεπτικό μακροστοιχείο προερχόταν από την καθημερινή προσθήκη ποσοτήτων πυκνού θρεπτικού διαλύματος στις δεξαμενές. Για την ομοιόμορφη ισορροπία των λιπαντικών στοιχείων στο περιβάλλον της ρίζας όλων των φυτών, γινόταν αντικατάσταση του διαλύματος όπως είδαμε σε προηγούμενο κεφάλαιο ανά δύο εβδομάδες.

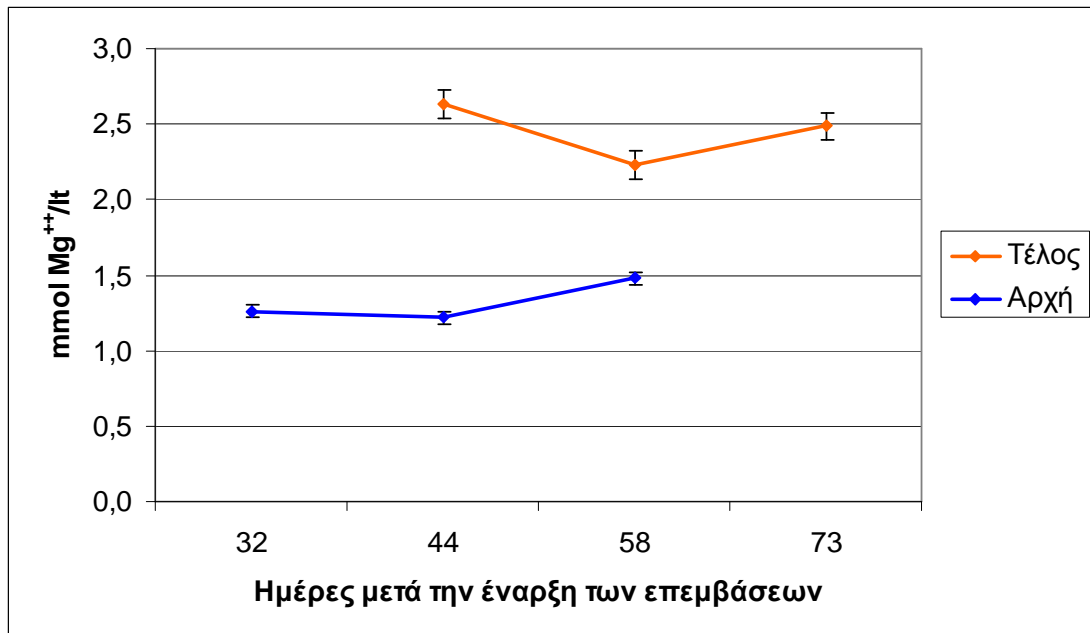
- Δεξαμενή του μάρτυρα



Διάγραμμα 22: Δεξαμενή του μάρτυρα.

Στη δεξαμενή του μάρτυρα παρατηρείται συσσώρευση μαγνησίου ( $Mg^{++}$ ), σε όλη τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου (διάγραμμα 22). Οι τιμές του στοιχείου στο απορριπτόμενο διάλυμα είναι πάντα υψηλότερες από το νέο.

- Δεξαμενή της επέμβασης με το αλατούχο διάλυμα

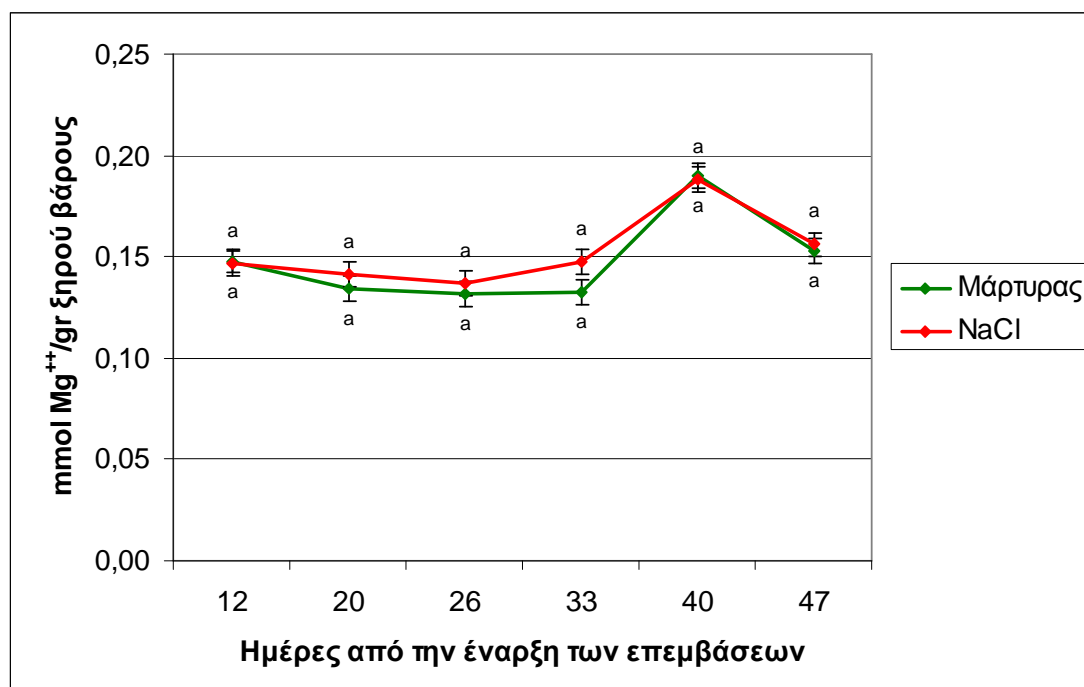


Διάγραμμα 23: Δεξαμενή της επέμβασης με το αλατούχο διάλυμα.

Στη δεξαμενή της επέμβασης με το αλατούχο διάλυμα παρατηρούμε επίσης συσσώρευση μαγνησίου ( $Mg^{++}$ ), όπως συνέβη και στο μάρτυρα. Οι τιμές στο απορριπτόμενο διάλυμα κυμαίνονται μεταξύ 2,273 mmol  $Mg^{++}$ /lt και 3,286 mmol  $Mg^{++}$ /lt.

## Περιεκτικότητα ( $Mg^{++}$ ) στα φύλλα

Κατά τη διάρκεια της πειραματικής καλλιέργειας όπως αναφέρθηκε πραγματοποιούνταν λήψη του 3<sup>ου</sup> φύλλου από την κορυφή του φυτού για χημική ανάλυση. Στο διάγραμμα 24 παρουσιάζεται η περιεκτικότητα μαγνησίου σε κάθε παραγόμενο γραμμάριο ξηρού βάρους αυτού του φύλλου:



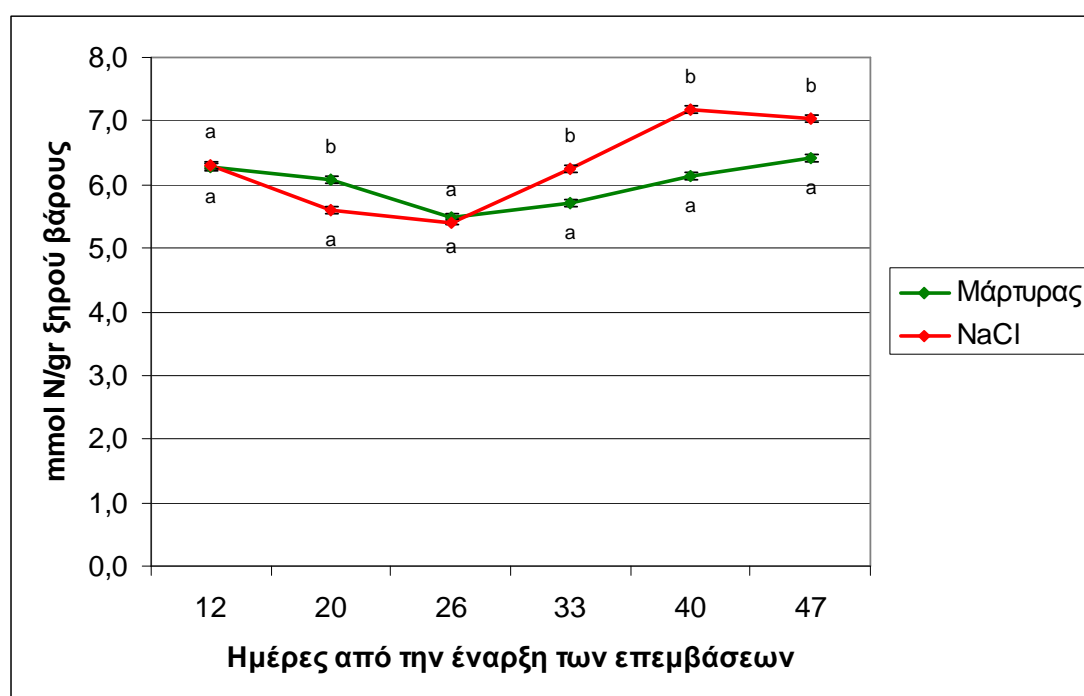
Διάγραμμα 24: Η πορεία της συγκέντρωσης του Mg των φύλλων, εκφρασμένη σε mmol/gr ξηρού βάρους, σε φυτά που αναπτύσσονταν με κανονικό θρεπτικό διάλυμα και σε φυτά που αναπτύσσονταν με αλατούχο θρεπτικό διάλυμα (όσα σημεία δεν ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα είναι στατιστικώς διαφορετικά το ένα από το άλλο για επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha=0,05$ ).

Η διαφορά μεταξύ των δύο επεμβάσεων δεν είναι στατιστικώς σημαντική ( $p=0,436520$ ). Η μέση περιεκτικότητα σε  $Mg^{++}$  των φυτών που αναπτύσσονταν με κανονικό θρεπτικό διάλυμα, στις 5 τελευταίες μετρήσεις, ήταν 0,148 mmol/gr ξηρού βάρους, ενώ στην επέμβαση που χρησιμοποιήθηκε το αλατούχο θρεπτικό διάλυμα η μέση συγκέντρωση του  $Mg^{++}$  στα φύλλα έφτασε τα 0,154 mmol/gr ξηρού βάρους.

## Τα αποτελέσματα στην απορρόφηση ολικού αζώτου (N)

### Περιεκτικότητα αζώτου στα φύλλα

Κατά τη διάρκεια της πειραματικής καλλιέργειας όπως αναφέρθηκε πραγματοποιούνταν λήψη του 3<sup>ου</sup> φύλλου από την κορυφή του φυτού για χημική ανάλυση. Στο διάγραμμα 25 παρουσιάζεται η περιεκτικότητα αζώτου σε κάθε παραγόμενο γραμμάριο ξηρού βάρους αυτού του φύλλου:



Διάγραμμα 25: Η πορεία της συγκέντρωσης του N των φύλλων, εκφρασμένη σε mmol/gr ξηρού βάρους, σε φυτά που αναπτύσσονταν με κανονικό θρεπτικό διάλυμα και σε φυτά που αναπτύσσονταν με αλατούχο θρεπτικό διάλυμα (όσα σημεία δεν ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα είναι στατιστικώς διαφορετικά το ένα από το άλλο για επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha=0,05$ ).

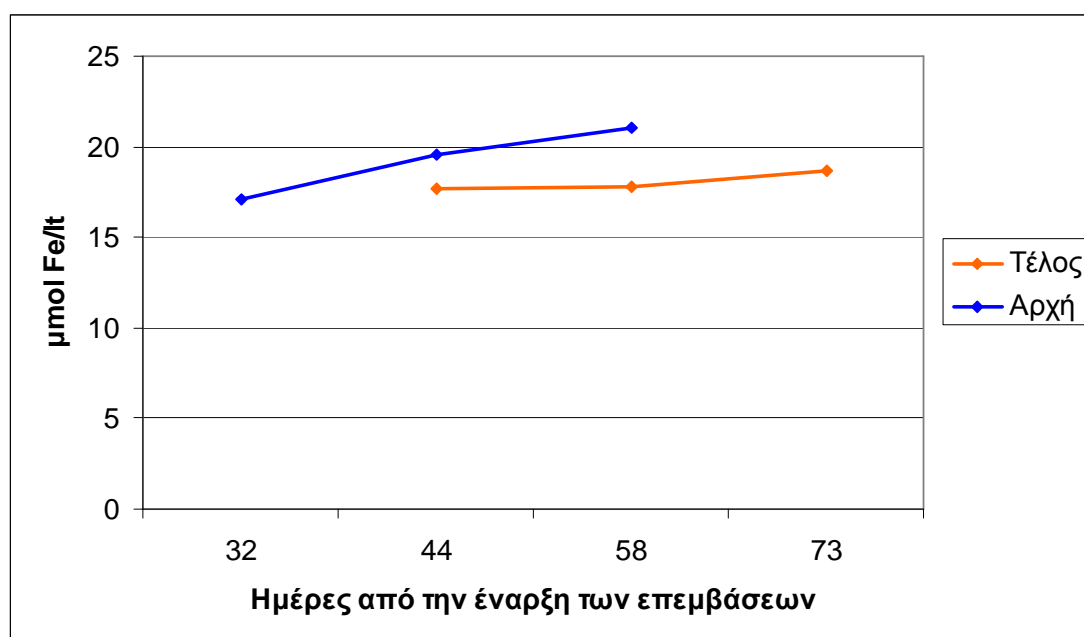
Η διαφορά μεταξύ των δύο επεμβάσεων δεν είναι στατιστικώς σημαντική ( $p=0,132647$ ). Η μέση περιεκτικότητα σε N των φυτών που αναπτύσσονταν με κανονικό θρεπτικό διάλυμα, στις 5 τελευταίες μετρήσεις, ήταν 2,983 mmol/gr ξηρού βάρους, ενώ στην επέμβαση που χρησιμοποιήθηκε το αλατούχο θρεπτικό διάλυμα η μέση συγκέντρωση του N στα φύλλα έφτασε τα 3,147 mmol/gr ξηρού βάρους.

## Τα αποτελέσματα στην απορρόφηση του σιδήρου (Fe)

### Περιεκτικότητα σιδήρου (Fe) στο θρεπτικό διάλυμα

Ο σίδηρος (Fe) ως θρεπτικό ιχνοστοιχείο προερχόταν από την καθημερινή προσθήκη ποσοτήτων πυκνού θρεπτικού διαλύματος 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 δύο εβδομάδες.

- Δεξαμενή του μάρτυρα

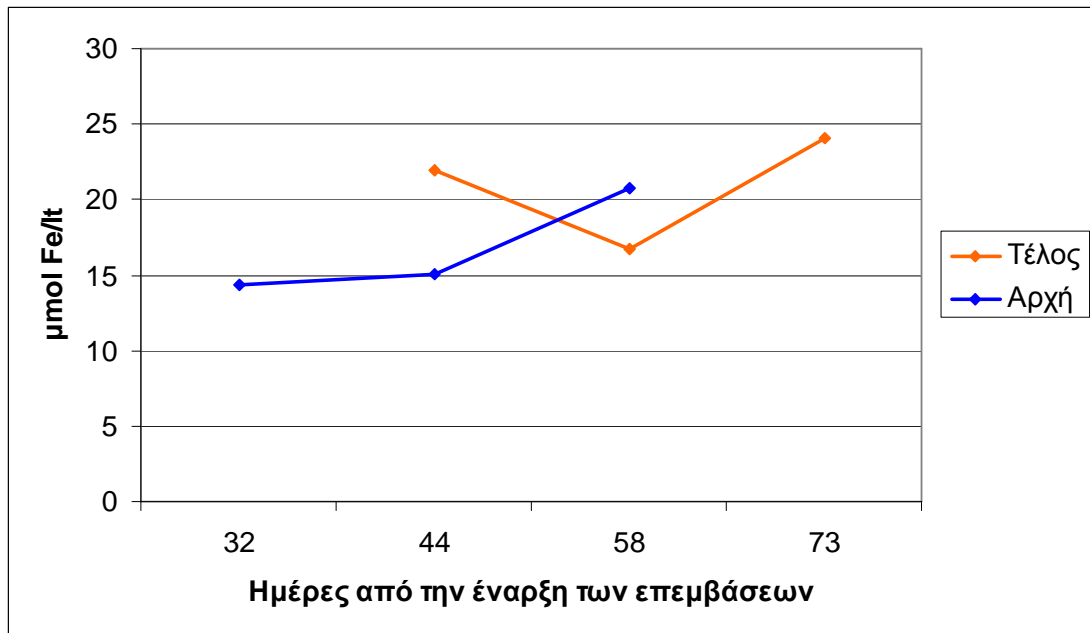


Διάγραμμα 26: Δεξαμενή του μάρτυρα.

Στη δεξαμενή του μάρτυρα δεν παρατηρείται συσσώρευση σιδήρου (Fe) παρά μόνο στην πρώτη μέτρηση σε πάρα πολύ μικρή ποσότητα (της τάξεως των 0,64 μmol/lt), ενώ υπάρχει απορρόφησή του στην υπόλοιπη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου (διάγραμμα 26).



- Δεξαμενή της επέμβασης με το αλατούχο διάλυμα

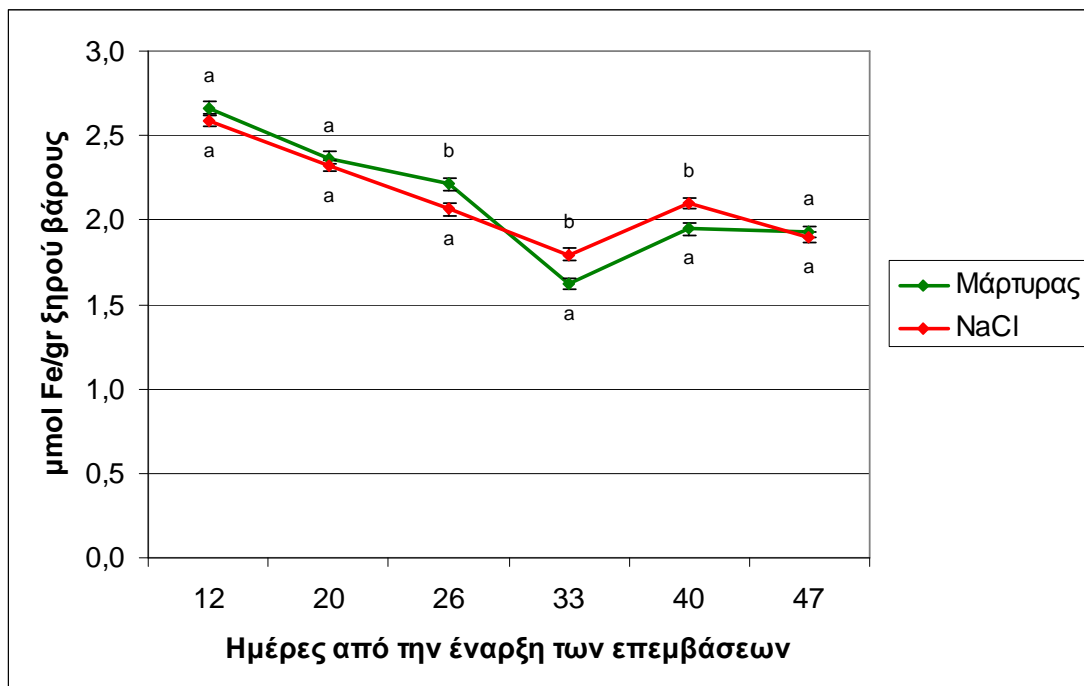


Διάγραμμα 27: Δεξαμενή της επέμβασης με το αλατούχο διάλυμα.

Στη δεξαμενή της επέμβασης με το αλατούχο διάλυμα έχουμε σε όλη τη διάρκεια του πειράματος συσσώρευση του σιδήρου (Fe). Οι τιμές στο απορριπτόμενο διάλυμα κυμαίνονται μεταξύ 16,67  $\mu\text{mol Fe/lt}$  και 25,17  $\mu\text{mol Fe/lt}$ .

## Περιεκτικότητα (Fe) στα φύλλα

Κατά τη διάρκεια της πειραματικής καλλιέργειας όπως αναφέρθηκε πραγματοποιούνταν λήψη του 3<sup>ου</sup> φύλλου από την κορυφή του φυτού για χημική ανάλυση. Στο διάγραμμα 28 παρουσιάζεται η περιεκτικότητα σιδήρου σε κάθε παραγόμενο γραμμάριο ξηρού βάρους αυτού του φύλλου:



Διάγραμμα 28: Η πορεία της συγκέντρωσης του Fe των φύλλων, εκφρασμένη σε  $\mu\text{mol}/\text{gr}$  ξηρού βάρους, σε φυτά που αναπτύσσονταν με κανονικό θρεπτικό διάλυμα και σε φυτά που αναπτύσσονταν με αλατούχο θρεπτικό διάλυμα (όσα σημεία δεν ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα είναι στατιστικώς διαφορετικά το ένα από το άλλο για επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha=0,05$ ).

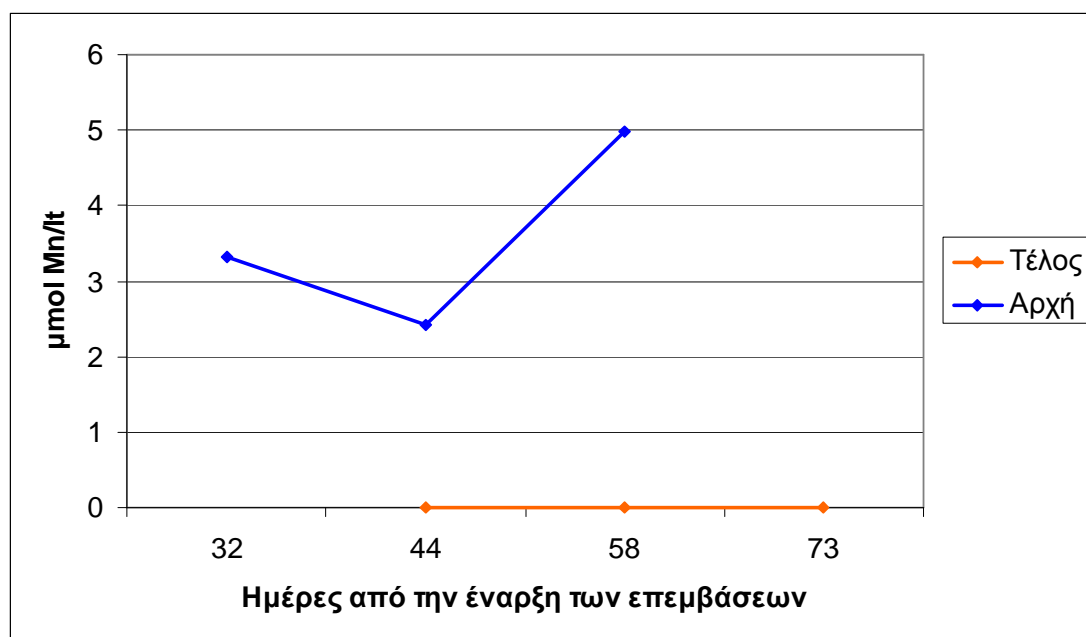
Η διαφορά μεταξύ των επεμβάσεων δεν είναι στατιστικώς σημαντική ( $p=0,963468$ ). Η μέση περιεκτικότητα σε Fe των φυτών που αναπτύσσονταν με κανονικό θρεπτικό διάλυμα, στις 5 τελευταίες μετρήσεις, ήταν  $2,016 \mu\text{mol}/\text{gr}$  ξηρού βάρους, ενώ στην επέμβαση που χρησιμοποιήθηκε το αλατούχο θρεπτικό διάλυμα η μέση συγκέντρωση του Fe στα φύλλα έφτασε τα  $2,036 \mu\text{mol}/\text{gr}$  ξηρού βάρους.

## Τα αποτελέσματα στην απορρόφηση του μαγγανίου (Mn)

### Περιεκτικότητα μαγγανίου (Mn) στο θρεπτικό διάλυμα

Το μαγγάνιο (Mn) ως θρεπτικό ιχνοστοιχείο προερχόταν από την καθημερινή προσθήκη ποσοτήτων πυκνού θρεπτικού διαλύματος 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 δύο εβδομάδες.

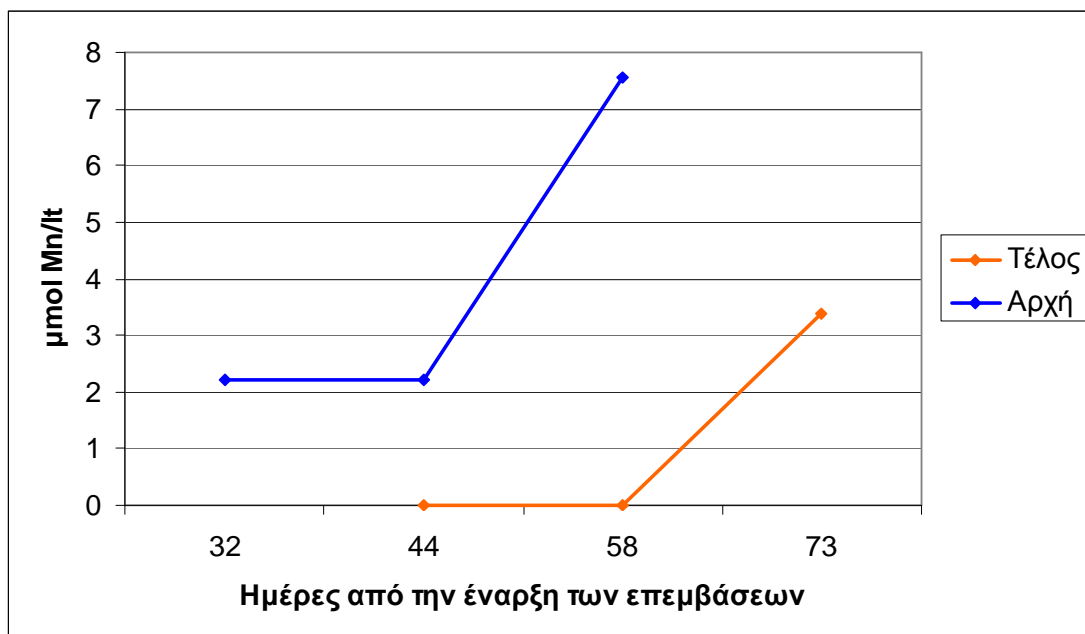
- Δεξαμενή του μάρτυρα



Διάγραμμα 29: Δεξαμενή του μάρτυρα.

Στη δεξαμενή του μάρτυρα παρατηρείται ότι η αρχική ποσότητα Mn κυμάνθηκε από 3,31 έως 4,97 μολ/lt, ενώ η συνταγή που χρησιμοποιήθηκε προέβλεπε αρχική συγκέντρωση της τάξεως των 20 μολ/lt (διάγραμμα 29). Το σφάλμα παρατηρείται και στη δεξαμενή της επέμβασης με το αλατούχο διάλυμα, και είναι πιθανό να προκλήθηκε από μη καλή διάλυση του στερεού  $MnSO_4 \cdot H_2O$  που χρησιμοποιήθηκε σαν πηγή μαγγανίου.

### Δεξαμενή της επέμβασης με το αλατούχο διάλυμα

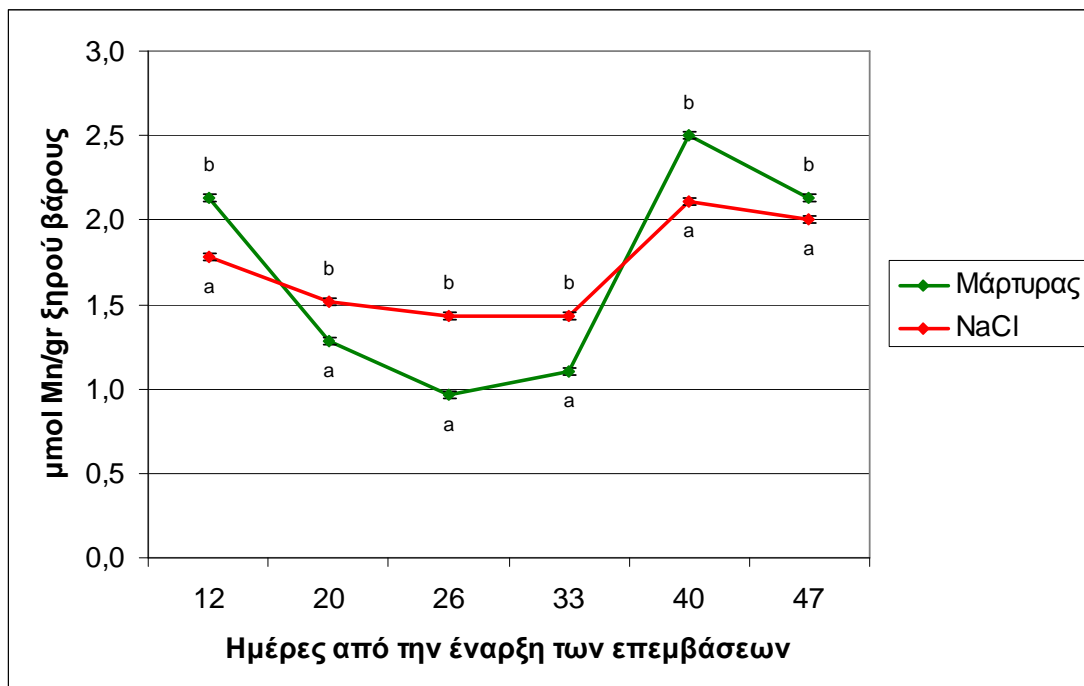


Διάγραμμα 30: Δεξαμενή της επέμβασης με το αλατούχο διάλυμα.

Στη δεξαμενή της επέμβασης με το αλατούχο διάλυμα έχουμε σε όλη τη διάρκεια του πειράματος απορρόφηση μαγγανίου (Mn), η οποία στα διαστήματα 32-44, και 44-58 ημέρες ήταν ολική. Στις 58 ημέρες το θρεπτικό διάλυμα εφοδιάστηκε με 7,55  $\mu\text{mol/l}$  Mn και στο τέλος του διαστήματος (την 73<sup>η</sup> ημέρα) είχε 3,39  $\mu\text{mol/l}$  Mn. Οι τιμές στο απορριπτόμενο διάλυμα κυμαίνονται μεταξύ 0  $\mu\text{mol Mn/l}$  και 3,39  $\mu\text{mol Mn/l}$ .

## Περιεκτικότητα (Mn) στα φύλλα

Κατά τη διάρκεια της πειραματικής καλλιέργειας όπως αναφέρθηκε πραγματοποιούνταν λήψη του 3<sup>ου</sup> φύλλου από την κορυφή του φυτού για χημική ανάλυση. Στο διάγραμμα 31 παρουσιάζεται η περιεκτικότητα μαγγανίου σε κάθε παραγόμενο γραμμάριο ξηρού βάρους αυτού του φύλλου:



Διάγραμμα 31: Η πορεία της συγκέντρωσης του Mn των φύλλων, εκφρασμένη σε  $\mu\text{mol}/\text{gr}$  ξηρού βάρους, σε φυτά που αναπτύσσονταν με κανονικό θρεπτικό διάλυμα και σε φυτά που αναπτύσσονταν με αλατούχο θρεπτικό διάλυμα (όσα σημεία δεν ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα είναι στατιστικώς διαφορετικά το ένα από το άλλο για επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha=0,05$ ).

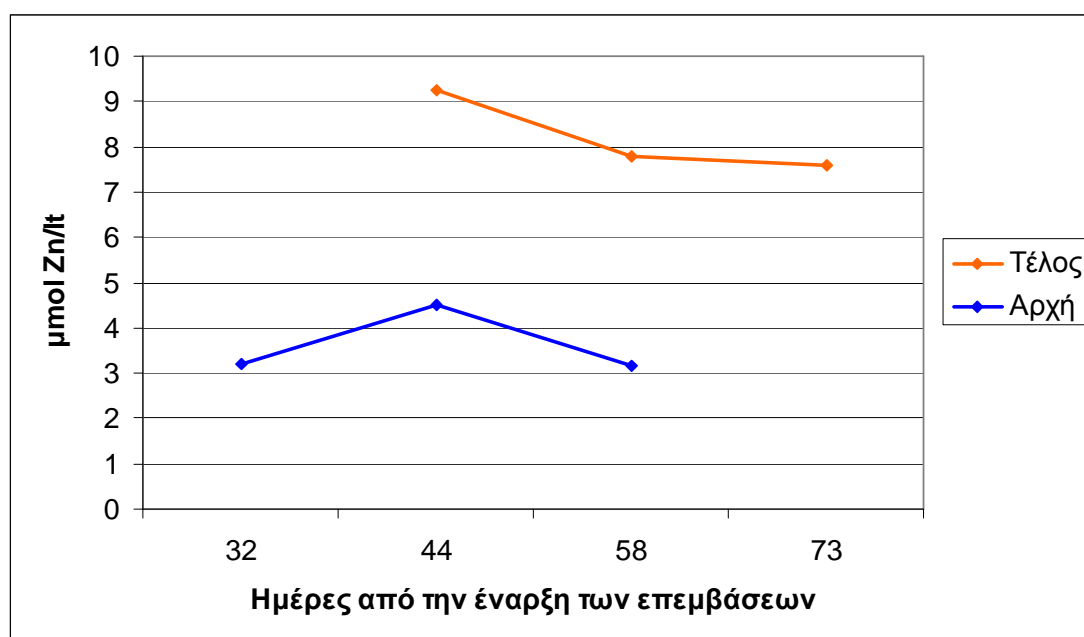
Η διαφορά μεταξύ των επεμβάσεων δεν είναι στατιστικώς σημαντική ( $p=0,797007$ ). Η μέση περιεκτικότητα σε Mn των φυτών που αναπτύσσονταν με κανονικό θρεπτικό διάλυμα, στις 5 τελευταίες μετρήσεις, ήταν  $1,594 \mu\text{mol}/\text{gr}$  ( $87,574 \text{ ppm}$ ) ξηρού βάρους, ενώ στην επέμβαση που χρησιμοποιήθηκε το αλατούχο θρεπτικό διάλυμα η μέση συγκέντρωση του Mn στα φύλλα έφτασε τα  $1,700 \mu\text{mol}/\text{gr}$  ( $93,398 \text{ ppm}$ ) ξηρού βάρους. Το εύρος άριστης επάρκειας Mn στην τομάτα κυμαίνεται από  $50-250 \text{ ppm}$  (Κουκουλάκης Π.Χ. και Παπαδόπουλος Α.Η., 2003).

## Τα αποτελέσματα στην απορρόφηση του ψευδαργύρου (Zn)

### Περιεκτικότητα ψευδαργύρου (Zn) στο θρεπτικό διάλυμα

Ο ψευδάργυρος (Zn) ως θρεπτικό ιχνοστοιχείο προερχόταν από την καθημερινή προσθήκη ποσοτήτων πυκνού θρεπτικού διαλύματος 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 δύο εβδομάδες.

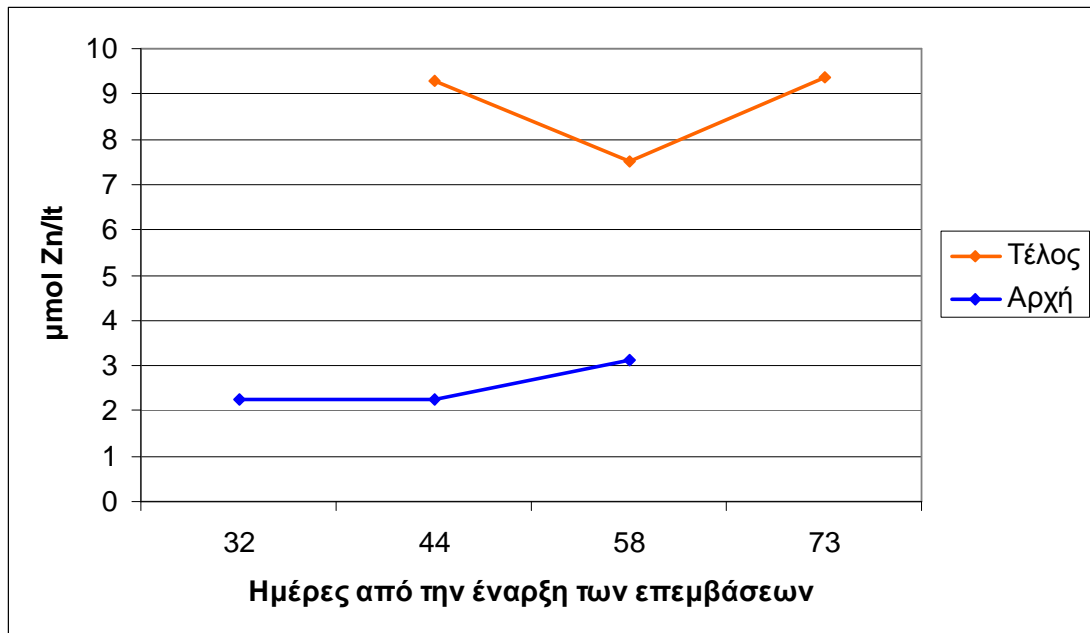
- Δεξαμενή του μάρτυρα



Διάγραμμα 32: Δεξαμενή του μάρτυρα.

Στη δεξαμενή του μάρτυρα παρατηρείται συσσώρευση ψευδαργύρου (Zn) σε όλη τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου (διάγραμμα 32). Οι τιμές του στοιχείου στο απορριπτόμενο διάλυμα είναι πάντα υψηλότερες από το νέο.

- Δεξαμενή της επέμβασης με το αλατούχο διάλυμα

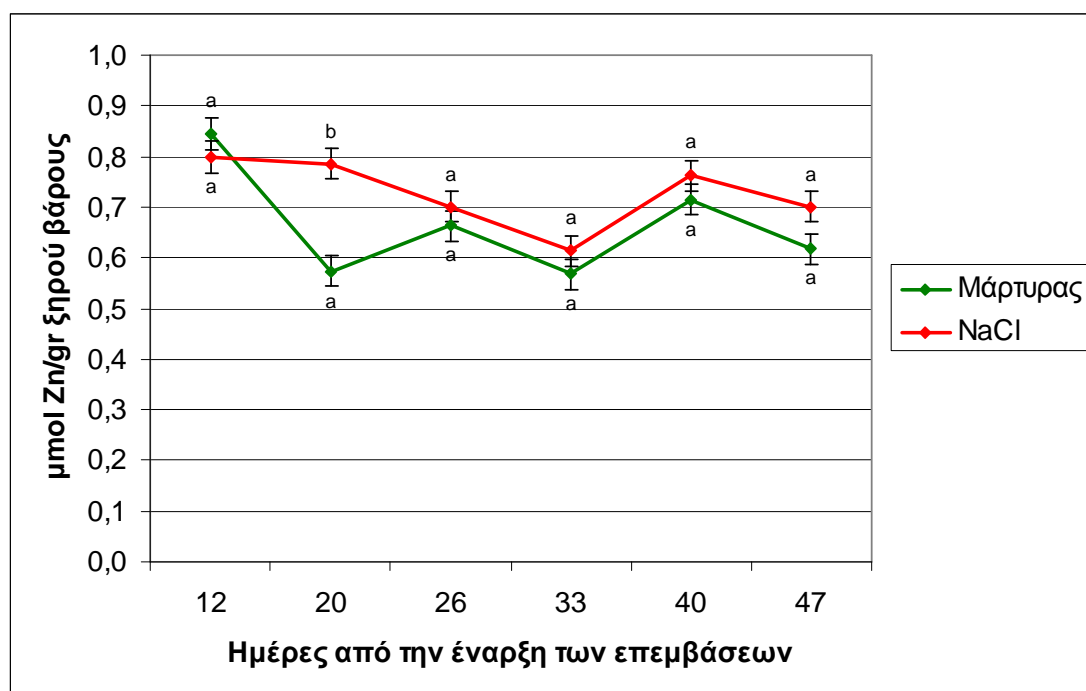


Διάγραμμα 33: Δεξαμενή της επέμβασης με το αλατούχο διάλυμα.

Στη δεξαμενή της επέμβασης με το αλατούχο διάλυμα έχουμε σε όλη τη διάρκεια του πειράματος συσσώρευση του ψευδαργύρου (Zn). Οι τιμές στο απορριπτόμενο διάλυμα κυμαίνονται μεταξύ 7,53  $\mu\text{mol Zn/lt}$  και 9,9  $\mu\text{mol Zn/lt}$ .

## Περιεκτικότητα (Zn) στα φύλλα

Κατά τη διάρκεια της πειραματικής καλλιέργειας όπως αναφέρθηκε πραγματοποιούνταν λήψη του 3<sup>ου</sup> φύλλου από την κορυφή του φυτού για χημική ανάλυση. Στο διάγραμμα 34 παρουσιάζεται η περιεκτικότητα ψευδαργύρου σε κάθε παραγόμενο γραμμάριο ξηρού βάρους αυτού του φύλλου:



Διάγραμμα 34: Η πορεία της συγκέντρωσης του Zn των φύλλων, εκφρασμένη σε  $\mu\text{mol/gr}$  ξηρού βάρους, σε φυτά που αναπτύσσονταν με κανονικό θρεπτικό διάλυμα και σε φυτά που αναπτύσσονταν με αλατούχο θρεπτικό διάλυμα (όσα σημεία δεν ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα είναι στατιστικώς διαφορετικά το ένα από το άλλο για επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha=0,05$ ).

Η διαφορά μεταξύ των επεμβάσεων είναι στατιστικώς σημαντική ( $p=0,021061$ ). Η μέση περιεκτικότητα σε Zn των φυτών που αναπτύσσονταν με κανονικό θρεπτικό διάλυμα, στις 5 τελευταίες μετρήσεις, ήταν  $0,627 \mu\text{mol/gr}$  ξηρού βάρους, ενώ στην επέμβαση που χρησιμοποιήθηκε το αλατούχο θρεπτικό διάλυμα η μέση συγκέντρωση του Zn στα φύλλα έφτασε τα  $0,712 \mu\text{mol/gr}$  ξηρού βάρους.



# **ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΚΑΙ** **ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

## Συζήτηση και συμπεράσματα στην ανάπτυξη της καλλιέργειας

### Μέσο μέγεθος φύλλων και μέση φυλλική επιφάνεια

Η υψηλή συγκέντρωση NaCl μείωσε το μέσο μέγεθος των φύλλων και τη μέση φυλλική επιφάνεια ανά φυτό. Αυτό επιβεβαιώνεται και από τους Ghanem et al. (2009) που διερεύνησαν τις επιπτώσεις της ανόδου της αλατότητας σε δύο διαφορετικά στάδια ανάπτυξης, σε καλλιέργεια τομάτας. Στο πρώτο καλλιεργητικό στάδιο (προ της άνθισης) ελάχιστα επηρέασε τη φυλλική επιφάνεια των πλήρως ανεπτυγμένων φύλλων, ενώ αντιθέτως η ανάπτυξη των νεαρών φύλλων μειώθηκε δραστικά. Στο δεύτερο στάδιο (κατά την ανάπτυξη της πρώτης ταξιανθίας) μειώθηκε σημαντικά η επιφάνεια και των μισοανεπτυγμένων φύλλων, και των νεαρών. Οι Najla et al. (2009) αναφέρουν ότι το τελικό μήκος των φυλλαρίων τομάτας μειώθηκε με την αύξηση της αλατότητας, μειώνοντας συνεπώς τη φυλλική επιφάνεια του φυτού κατά 25% σε σχέση με τη φυλλική επιφάνεια του μάρτυρα.

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 et al., 2001, Al-Karaki, 2000, Katerji et al., 1998, McCall & Brazaityte, 1997).

### Ύψος φυτού

Στην παρούσα εργασία η υπερβολική αλατότητα προκάλεσε την επιβράδυνση του ρυθμού ανάπτυξης των φυτών, με αποτέλεσμα τη μείωση του τελικού ύψους. Η μείωση αυτή προκλήθηκε από το μειωμένο αριθμό φύλλων στα φυτά της αλατούχας επέμβασης και όχι από τη μείωση του μήκους των μεσογονατίων διαστημάτων. Η μείωση του ύψους λόγω της αλατότητας στα φυτά της τομάτας είναι καθολικά διαπιστωμένη (Psarras et al., 2008, Hajer et al., 2006, Romero-Aranda R., 2001, Mohammad et al., 1998, McCall & Brazaityte, 1997). Οι Nadja et al. (2009) αναφέρουν για το συγκεκριμένο θέμα πως η μείωση του ύψους σε αλατούχο περιβάλλον

προκαλείται περισσότερο από τη μείωση του μήκους του μεσογονατίου διαστήματος των φυτών παρά από τη μείωση του αριθμού των φύλλων. Οι Li & Stanghellini (2001) βρήκαν πως η αυξημένη αλατότητα αύξησε των αριθμό φύλλων σε φυτά τομάτας. Υπάρχουν ωστόσο αρκετές αναφορές στη βιβλιογραφία που υποστηρίζουν ότι ο αριθμός των φύλλων μειώνεται σε στατιστικώς σημαντικό βαθμό σε αλατούχο περιβάλλον (Azarmi et al., 2010, Mohammed et al., 2007, Romero-Aranda et al., 2001, Mohammad et al., 1998).

### **Απαίτηση νερού ανά μονάδα παραγόμενου προϊόντος (WUE)**

Η απαίτηση σε νερό ανά μονάδα παραγόμενου 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 (WUE 1) ή ξηράς ουσίας καρπών (WUE 2). Στη βιβλιογραφία ωστόσο έχουν αναφερθεί κι άλλοι τρόποι υπολογισμού της πέραν των αναφερόντων (Karlberg et al., 2006, Reina-Sánchez et al., 2005, Yurtseven et al., 2005, Kütük et al., 2004), όπως ο λόγος του νωπού βάρους της παραγωγής προς την καταναλισκόμενη ποσότητα νερού (Wan et al., 2007, Reina-Sánchez et al., 2005), ή ο λόγος της συνολικής ξηράς ουσίας του φυτού προς την καταναλισκόμενη ποσότητα νερού (Reina-Sánchez et al., 2005).

Τα φυτά του μάρτυρα που τροφοδοτούνταν μόνο με θρεπτικό διάλυμα είχαν μεγαλύτερη απόδοση καρπών (παραγωγή νωπών προϊόντων). Η υψηλή συγκέντρωση NaCl στο θρεπτικό διάλυμα επέφερε μικρότερη παραγωγή νωπών προϊόντων, αλλά και μικρότερη κατανάλωση νερού από τα φυτά (σε σχέση με το μάρτυρα), με αποτέλεσμα το WUE 1 να εμφανίσει μεγαλύτερη τιμή αυτής του μάρτυρα. Το WUE 2, που προβάλλεται στο ραβδόγραμμα 8, δείχνει ότι τα φυτά του μάρτυρα χρειάστηκαν περισσότερο νερό από τα φυτά της αλατούχας επέμβασης για να παράγουν την ίδια ποσότητα ξηράς ουσίας καρπών. Οπότε η αλατότητα είχε αρνητική επίδραση στην απαίτηση νερού ανά μονάδα παραγόμενου νωπού προϊόντος. Αν όμως ληφθεί υπόψη η παραγωγή ξηράς ουσίας το αποτέλεσμα αντιστρέφεται.

Στο ίδιο αποτέλεσμα καταλήξαμε όταν χρησιμοποιήσαμε σαν απαιτούμενη ποσότητα νερού από το φυτό το άθροισμα της ποσότητας που απορρόφησε, συν την ποσότητα που “απέρριψε” το φυτό, μέσω της ανανέωσης του θρεπτικού διαλύματος των δεξαμενών που γινόταν κάθε δεκαπενθήμερο.

Σε συμπεράσματα που έχουν καταλήξει ερευνητές για την απαίτηση νερού ανά μονάδα παραγόμενου νωπού προϊόντος έχει προσδιοριστεί θετική επιρροή της αλατότητας (Wan et al., 2007, Yurtseven et al., 2005) και αρνητική (Reina-Sánchez et al., 2005). Η WUE εξαρτάται από τις περιβαλλοντικές συνθήκες υπό τις οποίες αναπτύσσονται τα φυτά, και από τη σχέση της διάρκειας της περιόδου συγκομιδής προς τη διάρκεια όλης της καλλιεργητικής περιόδου (Reina-Sánchez et al., 2005).

## Συζήτηση και συμπεράσματα στην παραγωγή βιομάζας

### Βλαστός και φύλλα

Στην παρούσα εργασία βρέθηκε ότι η έκθεση των φυτών σε υψηλή συγκέντρωση NaCl μείωσε σημαντικά τόσο το ξηρό βάρος των βλαστών, όσο και των φύλλων. Καθολικά διαπιστωμένη είναι η μείωση του ξηρού βάρους φύλλων και βλαστών σε αλατούχο περιβάλλον (Hajer et al., 2006, Reina-Sánchez et al., 2005, Moghaieb et al., 2001, Romero-Aranda et al., 2001). Το ποσοστό ξηρού βάρους προς νωπό βάρος των φύλλων (Dry Matter Content %) αυξήθηκε με την έκθεση των φυτών στην υπερβολική αλατότητα. Στο ίδιο αποτέλεσμα κατέληξαν οι Tuna et al. (2007) και Romero Aranda et al. (2001).

### Καρποφορία

Μέσα από το πείραμά μας προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα που προκαλεί η υψηλή συγκέντρωση NaCl:

1. Μείωση της παραγωγής των καρπών: Στο πείραμά μας παρατηρήθηκε μείωση του νωπού βάρους της παραγωγής ανά φυτό, η οποία δεν οφείλεται τόσο στον αριθμό των παραγόμενων καρπών ανά φυτό, αλλά περισσότερο στο συνολικό βάρος τους. Μάλιστα η διαφορά παραγωγής μεταξύ των δύο επεμβάσεων φαίνεται να διευρύνεται 77 ημέρες μετά την έναρξη των επεμβάσεων και έπειτα. Οι απόψεις δίστανται ωστόσο στη βιβλιογραφία, καθώς κάποιοι ερευνητές βρήκαν ότι η μείωση της παραγωγής από αλατότητα οφείλεται σε μεγάλο ποσοστό στον αριθμό καρπών ανά φυτό (Magán et al., 2008, Malash et al., 2008), ενώ άλλοι δεν αναφέρουν κάτι τέτοιο (Yurtseven et al., 2005, Satti et al., 1996). Οι Al-Busaidi et al. (2009) βρήκαν ότι η αλατότητα μειώνει την παραγωγή νωπού βάρους καρπών ανά φυτό, αλλά εξαρτάται από την ποικιλία της τομάτας αν αυτό θα

συμβεί μόνο με μείωση του συνολικού βάρους τους, ή και από μείωση του αριθμού των παραγόμενων καρπών.

Αξίζει εδώ να σημειώσουμε πως η SAR (Sodium Absorption Ratio) του νερού του πειράματος κυμαινόταν κοντά στα 36,7 meq  $l^{-1}$ , τιμή που θα θεωρούνταν αρκετά υψηλή αν επρόκειτο για εδαφικό διάλυμα. Οι Lantzke et al. (2007) αναφέρουν ότι η τομάτα είναι απ' τα πιο ανθεκτικά φυτά σε υψηλές τιμές SAR. Ο Wood Marcia (2009) βρήκε ωστόσο, ότι η τομάτα μειώνει την παραγωγή της σε αμελητέα επίπεδα σε τιμές SAR από 15 και πάνω σε εδαφική καλλιέργεια, κάτι που δε συνέβη στην περίπτωση μας, αφού η μείωση της παραγωγής νωπού βάρους καρπών που προκάλεσε ήταν περίπου 42%.

2. Ξηρό βάρος καρπών: Στο πείραμά μας παρατηρήθηκε αύξηση της περιεκτικότητας της ξηράς ουσίας των καρπών που προήλθαν απ' τα φυτά της επέμβασης που εφοδιαζόταν με το αλατούχο θρεπτικό διάλυμα. Τα ίδια αποτελέσματα αναφέρει η βιβλιογραφία (Magán et al., 2008, Malash et al., 2008, Yurtseven et al., 2005, Plaut et al., 2004). Ωστόσο, παρά τη διαφορά στην περιεκτικότητα ξηράς ουσίας των καρπών, η διαφορά στη συνολική παραγωγή ξηράς ουσίας των καρπών του φυτού μεταξύ των δύο επεμβάσεων παραμένει χαμηλή (2,35 gr. – ραβδόγραμμα 4). Το γεγονός οφείλεται εμφανώς στη μεγαλύτερη συνολική παραγωγή νωπών καρπών που είχε ο μάρτυρας σε σχέση με την αλατούχα επέμβαση.

### **Βιομάζα – Συνολικό ξηρό βάρος**

Στο πείραμά μας παρατηρήθηκε πολύ αυξημένη παραγωγή νωπής βιομάζας στα φυτά του μάρτυρα σε σχέση με τα φυτά της αλατούχας επέμβασης, και αυξημένη παραγωγή συνολικής ξηράς ουσίας σε μικρότερο ποσοστό.

Οι Gaytán-Mascorro et al. (2008) αναφέρουν ότι δεν υπάρχει διαφορά στην παραγωγή βιομάζας φυτών που αναπτύχθηκαν σε τιμές EC 2,5 και σε τιμές 3,5. Η πλειονότητα της βιβλιογραφίας ωστόσο συμφωνεί με τα αποτελέσματα στα οποία καταλήξαμε για το ξηρό και το νωπό βάρος του φυτού σε μεγάλες διαφορές συγκέντρωσης NaCl στο θρεπτικό διάλυμα (Ghanem et al., 2009, Giuffrida et al., 2009, Chookhampaeng et al., 2008, Karlberg et al., 2006, Fernández-García et al., 2004).

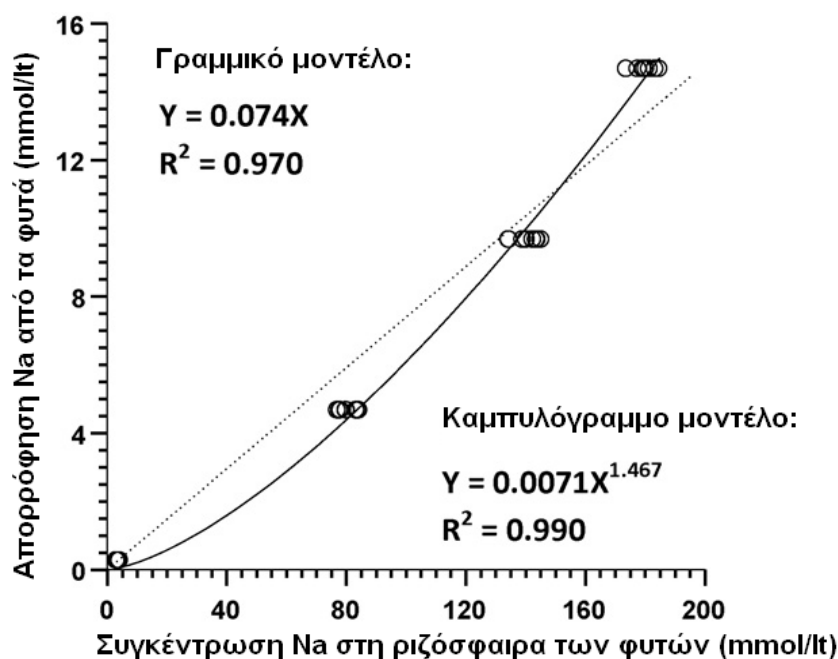
## Συζήτηση και συμπεράσματα στη χημική ανάλυση

### Μακροστοιχεία

- **Νάτριο ( $\text{Na}^+$ )**

Η υψηλή συγκέντρωση του  $\text{NaCl}$  στο θρεπτικό διάλυμα οδήγησε σε αυξημένη πρόσληψη νατρίου ( $\text{Na}^+$ ) από τα φυτά και στη μεγαλύτερη συσσώρευσή του στα φύλλα, όπως επιβεβαιώνουν τα αποτελέσματά μας. Στο ίδιο συμπέρασμα κατέληξαν πολλοί ερευνητές σε πειραματικές καλλιέργειες τομάτας (Parra et al., 2007, Debouba et al., 2006, Romero-Aranda et al., 2001, Zhang & Blumwald, 2001, Cuartero & Fernández-Muñoz, 1998).

Οι Varlagas et al. (2010) που πειραματίστηκαν με τη συγκέντρωση του  $\text{Na}^+$  στο θρεπτικό διάλυμα κλειστού υδροπονικού συστήματος και την ποσότητα απορρόφησής του από τα φυτά, κατέληξαν στο κάτωθι μοντέλο απορρόφησης  $\text{Na}^+$  από τα φυτά (διάγραμμα 35).



Διάγραμμα 35: Μοντέλο απορρόφησης  $\text{Na}$  από τα φυτά σε σχέση με τη συγκέντρωση  $\text{Na}^+$  στη ριζόσφαιρά τους (Varlagas et al., 2010).



Γενικά, η περιεκτικότητα των ιστών των φυτών σε νάτριο ( $\text{Na}^+$ ) αυξάνει με την αύξηση της συγκέντρωσης  $\text{NaCl}$  στην περιοχή της ρίζας. Για όλα τα είδη φυτών υπάρχουν αναφορές που αποδεικνύουν την αύξηση στην περιεκτικότητα του  $\text{Na}^+$  π.χ. στην πιπεριά (Bethke & Drew, 1992, Gunes et al., 1996, Gomez et al., 1996, Cornillon & Palloix, 1997, Chartzoulakis & Klapaki, 2000, Kaya et al., 2001), στην τομάτα (Al-Harbi, 1995, Carvajal et al., 1999, del Amor et al., 2001, Alpaslan & Gunes, 2001, Mavrogianopoulos et al., 2002, Flores et al., 2003), στη μελιτζάνα (Savvas & Lenz, 1996, 2000), στο αγγούρι (Chartzoulakis, 1992, Al-Harbi & Burrage, 1993a, Al-Harbi, 1995, Sonneveld & De Kreij, 1999, Alpaslan & Gunes, 2001), στο πεπόνι (Botia et al., 1998, del Amor et al., 1999), στο φασόλι (Seeman & Critchley, 1985).

Οι Kaya et al. (2001) υποστηρίζουν ότι, η συγκέντρωση του νατρίου στους ιστούς της πιπεριάς και του αγγουριού μειώνεται σημαντικά, σε συνθήκες αλατότητας, αν εφαρμοστεί λίπανση με αυξημένα επίπεδα φωσφόρου και καλίου. Επίσης, η αύξηση των επιπέδων ασβεστίου σε θρεπτικό διάλυμα υψηλής αλατότητας λόγω  $\text{NaCl}$ , περιορίζει την αύξηση της συγκέντρωσης νατρίου στα φύλλα της αγγουριάς (Al-Harbi & Burrage, 1993a).

- **Κάλιο ( $\text{K}^+$ )**

Τα αποτελέσματα της χημικής ανάλυσης έδειξαν ότι η περιεκτικότητα των φύλλων σε κάλιο ( $\text{K}^+$ ) μειώθηκε όταν τα φυτά τροφοδοτούνταν με θρεπτικό διάλυμα υψηλής συγκέντρωσης  $\text{NaCl}$ .

Οι Giuffrida et al. (2009) υποστηρίζουν ότι παρά τον ανταγωνισμό που δέχονται τα μακροστοιχεία από το χλώριο και το νάτριο, σε αλατούχο περιβάλλον, δε φτάνουν σε ανεπαρκή επίπεδα ώστε να επηρεάσουν τη διαδικασία της ανάπτυξης με εξαίρεση το κάλιο.

Η περιεκτικότητα των φύλλων πιπεριάς σε  $\text{K}^+$ , σε συνθήκες αλατότητας, είτε δε μεταβάλλεται (Bethke & Drew, 1992, Chartzoulakis & Klapaki, 2000), είτε μειώνεται (Gomez et al., 1996, Cornillon & Palloix, 1997, Kaya et al., 2001). Η περιεκτικότητα των φύλλων της τομάτας σε  $\text{K}^+$ , σε συνθήκες αυξημένης αλατότητας  $\text{NaCl}$ , είτε μειώνεται (Carvajal et al., 1999, del Amor et al., 2001, Mavrogianopoulos et al., 2002), είτε παραμένει αμετάβλητη (del Amor et al., 2000, Alpaslan & Gunes, 2001, Flores et al.,

2001). Η συγκέντρωση του  $K^+$  στα φύλλα της τομάτας αυξάνεται σε συνθήκες αλατότητας που προκαλείται από υπερβολικά υψηλή συγκέντρωση θρεπτικών στοιχείων (Sonneveld & Welles, 1998). Η συγκέντρωση  $K^+$  στα φύλλα της αγγουριάς μειώνεται σημαντικά με την αύξηση του NaCl στο θρεπτικό διάλυμα (Cerdá & Martinez, 1988, Alpaslan & Gunes, 2001). Οι del Amor et al. (1999) αναφέρουν μείωση της συγκέντρωσης του  $K^+$  στα φύλλα του πεπτονιού με την αλατότητα. Συμπερασματικά, μπορεί να ειπωθεί ότι η συγκέντρωση του K στους φυτικούς ιστούς κάτω από συνθήκες αλατότητας οφειλόμενης σε NaCl εξαρτάται από το είδος του φυτού, από το ύψος της αλατότητας, και από τη συγκέντρωση άλλων ιόντων όπως το  $Ca^{+2}$ .

- **Ασβέστιο ( $Ca^{+2}$ )**

Τα αποτελέσματα της χημικής ανάλυσης έδειξαν ότι η περιεκτικότητα των φύλλων των φυτών μεταξύ των επεμβάσεων σε ασβέστιο ( $Ca^{+2}$ ) δεν παρουσίασαν σταθερά διαφορές υπέρ της μιας ή της άλλης κατά τη διάρκεια του πειράματος, ούτε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο επεμβάσεων. Αμελητέας σημασίας είναι επομένως και το γεγονός ότι στο τέλος βρέθηκε μεγαλύτερη συγκέντρωση στα φυτά που τροφοδοτούνταν με θρεπτικό διάλυμα υψηλής συγκέντρωσης NaCl σε σχέση με τα φυτά του μάρτυρα.

Η βιβλιογραφία αναφέρει ότι τα αυξημένα επίπεδα NaCl στο θρεπτικό διάλυμα προκαλούν μείωση στη συγκέντρωση του  $Ca^{+2}$  στα φύλλα της πιπεριάς (Bethke & Drew, 1992, Gomez et al., 1996). Η επίδραση της υψηλής αλατότητας στη συγκέντρωση του  $Ca^{+2}$  στα φύλλα της τομάτας ποικίλει όπως δείχνουν οι απόψεις διαφόρων ερευνητών. Υπάρχουν αναφορές που δείχνουν σημαντική μείωση του  $Ca^{+2}$  (Mavrogianopoulos et al., 2002, del Amor et al., 2001, Cerdá & Martinez, 1988) λόγω της αλατότητας, άλλες που δείχνουν έλλειψη επίδρασης (Flores et al., 2001, del Amor et al., 2000, Carvajal et al., 1999), και άλλες που δείχνουν αύξηση (Satti et al., 1996).

- **Μαγνήσιο ( $Mg^{+2}$ )**

Τα αποτελέσματα της χημικής ανάλυσης έδειξαν ότι η περιεκτικότητα σε μαγνήσιο ( $Mg^{+2}$ ) των φύλλων των φυτών της επέμβασης με το αλατούχο θρεπτικό διάλυμα κυμάνθηκε στα ίδια επίπεδα με τα φυτά του μάρτυρα.

Η βιβλιογραφία αναφέρει ότι η υψηλή αλατότητα φαίνεται να μην επηρεάζει την περιεκτικότητα του  $Mg^{+2}$  στα φύλλα του φασολιού (Seemann & Critchley, 1985), του πεπονιού (del Amor et al., 1999, 2000) και της τομάτας (Mavrogianopoulos et al., 2002, Flores et al., 2001, del Amor et al., 2000, 2001, Carvajal et al., 1999, Cerdá & Martinez, 1988).

- **Ολικό άζωτο (N)**

Τα αποτελέσματα της χημικής ανάλυσης έδειξαν ότι η περιεκτικότητα των φύλλων σε ολικό άζωτο (N) ήταν μεγαλύτερη στα φυτά της επέμβασης με το αλατούχο θρεπτικό διάλυμα, αλλά όχι σε στατιστικά σημαντικό βαθμό. Στη βιβλιογραφία αναφέρεται ότι:

Οι Gomez et al., 1996, Günes et al., 1996 αναφέρουν ότι το ολικό άζωτο (N) μειώνεται σημαντικά στα φύλλα της πιπεριάς όταν αυτή αναπτύσσεται σε υψηλή συγκέντρωση NaCl. Οι Mavrogianopoulos et al. (2002) αναφέρουν πως η υψηλή αλατότητα του θρεπτικού διαλύματος έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του ολικού N μόνο στα παλιά φύλλα της τομάτας, ενώ οι Giuffrida et al., (2009) αναφέρουν ότι η υψηλή αλατότητα επιφέρει γραμμική μείωση της περιεκτικότητας των φύλλων σε ολικό άζωτο στην τομάτα.

Αντιθέτως, οι Al-Harbi, 1995, Cerdá & Martinez, 1988 αναφέρουν ότι η έκθεση των φυτών σε συνθήκες αλατότητας έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των  $NO_3^-$  στα φύλλα του πεπονιού (del Amor et al., 1999), στα φύλλα τομάτας (Flores et al., 2001), στα φύλλα της αγγουριάς, ενώ δεν παρατηρείται μείωση των επιπέδων ολικού N στις παραπάνω περιπτώσεις.

## Ιχνοστοιχεία (Fe-Mn-Zn)

Τα αποτελέσματα της χημικής ανάλυσης έδειξαν ότι η περιεκτικότητα των φύλλων σε σίδηρο (Fe) και μαγγάνιο (Mn) δε διέφερε σημαντικά μεταξύ των δύο επεμβάσεων, ενώ αντιθέτως, σημαντικά επηρεάστηκε η περιεκτικότητα των φύλλων σε ψευδάργυρο (Zn) από το NaCl του θρεπτικού διαλύματος. Η έρευνα της βιβλιογραφίας αποκαλύπτει συγκρουόμενες απόψεις πάνω στο θέμα της απορρόφησης ιχνοστοιχείων σε αλατούχο περιβάλλον. Έτσι:

Οι Navarro-Pedreño et al. (1996) βρήκαν ότι η αλατότητα επηρεάζει σημαντικά τις συγκεντρώσεις του Fe και του Zn, αμφιβάλλοντας για το Mn. Οι Shibli et al. (2007) αναφέρουν ότι με την άνοδο της αλατότητας μειώνεται η συγκέντρωση των Fe, Mn, και Zn, αλλά το φαινόμενο γίνεται έντονα φανερό σε συγκεντρώσεις των 100 mM NaCl και άνω. Οι Flores et al. (2001) βρήκαν ότι η αλατότητα δεν επηρέασε τη συγκέντρωση του Fe σε φυτά τομάτας, και προχωρώντας τις έρευνές τους ανακάλυψαν συσχέτιση της απορρόφησης Fe από τα φυτά με την αναλογία νιτρικών προς αμμωνιακών ιόντων στο θρεπτικό διάλυμα, καθώς μεγαλύτερη απορρόφηση παρουσίασαν φυτά που αναπτύχθηκαν σε διάλυμα με αναλογία 10:4 ( $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ ) από ότι σε 12:2, και ακόμα μεγαλύτερη από φυτά που αναπτύχθηκαν σε διάλυμα με αναλογία 14:0.

Οι διαφορές των αποτελεσμάτων μας με τη βιβλιογραφία οφείλονται πιθανότατα στον τρόπο με τον οποίο έγινε η καλλιέργεια των φυτών τομάτας από τους διάφορους ερευνητές. Οι Navarro-Pedreño et al. εγκατέστησαν τα φυτά τους σε ασβεστούχο έδαφος, το οποίο λίπαναν με δύο τύπους οργανικού λιπάσματος πριν προχωρήσουν στο πότισμα με νερό διαφορετικής αλατότητας. Οι Shilbi et al. μελέτησαν την επίδραση της αλατότητας στη μικροβλάστηση φυτών τομάτας *in vitro*, και όχι σε συνθήκες θερμοκηπίου, σε διάφορα στάδια της ανάπτυξης του φυτού.

Η βιβλιογραφία παρουσιάζει κενά όσον αφορά την απορρόφηση ιχνοστοιχείων από φυτά τομάτας σε αλατούχο περιβάλλον υδροπονικής καλλιέργειας, και είναι ένα θέμα το οποίο θα μπορούσε να διερευνηθεί περαιτέρω.

## Συμπέρασμα

Η αύξηση της αλατότητας προκάλεσε μείωση σε όλους τους δείκτες της ανάπτυξης των φυτών, αύξηση της συγκέντρωσης  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Zn}$  και μείωση  $\text{K}^+$  στους ιστούς του φύλλου, όπως και μείωση στην παραγωγή νωπού βάρους καρπών. Δεν υπήρξε ωστόσο διαφορά στην παραγωγή ξηράς ουσίας καρπών, γεγονός που εξηγεί γιατί η αξιοποίηση νερού και θρεπτικών στοιχείων έδωσε διαφορετικά αποτελέσματα όταν υπολογίστηκε ανά μονάδα νωπού βάρους καρπών και όταν υπολογίστηκε ανά μονάδα ξηράς ουσίας καρπών.

## 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. Μαυρογιαννόπουλου.

Η εργασία αυτή δεν θα ήταν δυνατό να ολοκληρωθεί χωρίς τη βοήθεια πολλών ανθρώπων, τους οποίους θεωρώ υποχρέωση 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.

Το συνάδελφο Αγγλογάλλο Ευάγγελο-Παρασκευά για τη βοήθεια που μου προσέφερε σε ολόκληρη την πορεία του πειράματος, την υποψήφια διδάκτορα Γεωργία Ντάτση για τη βοήθεια που μου παρείχε στις αναλύσεις που χρειάστηκε να γίνουν κατά την εκπόνηση αυτής της εργασίας, τον υποψήφιο διδάκτορα Μιλτιάδη Χριστόπουλο που με βοήθησε στη στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων, και ιδιαίτερα 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 οικογένειά μου καθώς και όλους τους φίλους μου για την αμέριστη συμπαράσταση, ψυχολογική υποστήριξη και ανεκτικότητα που επέδειξαν κατά τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας αυτής.

Αθήνα, 2010

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ



Εικόνες 1-6: Φωτογραφίες από την προετοιμασία του θερμοκηπίου και των καναλιών για την εγκατάσταση της υδροπονικής καλλιέργειας.





Εικόνες 7-12: Στις εικόνες 7,8,9 (από πάνω αριστερά με δεξιόστροφη φορά) βλέπουμε τα φυτάρια τομάτας που καλλιεργήθηκαν, και τα κύπελλα που χρησιμοποιήθηκαν στα πρώτα στάδια της ανάπτυξής τους. Στις εικόνες 10,11,12 παρακολουθούμε την εισαγωγή των φυτών στα κανάλια NFT, και τον τρόπο με τον οποίο έγινε η υποσύλωσή τους.





Εικόνες 13-18: Στις εικόνες 13,14,15,16 (από πάνω αριστερά με δεξιόστροφη φορά) βλέπουμε το στάδιο στο οποίο βρίσκονταν τα φυτά στις 09/02/2009. Στις 2 τελευταίες εικόνες παρακολουθούμε την καλλιέργεια στην κατάσταση στην οποία βρισκόταν στις 17/04/2009.





Εικόνες 19-24: Στις εικόνες βλέπουμε τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση των στοιχείων των φυτικών ιστών. Στην εικόνα 19, πάνω αριστερά βρίσκεται η ατομική απορρόφηση, ενώ στην εικόνα 2, δεξιά της 1, βρίσκεται το φλογοφωτόμετρο. Στις εικόνες 21, 22, 23 βλέπουμε τους επιμέρους μηχανισμούς της συσκευής kjeldahl, ενώ στην τελευταία (24) παρακολουθούμε την τιτλοδότηση διαλύματος για την εύρεση της συγκέντρωσης ολικού αζώτου.

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Adams P., Ho L.C. (1995). Differential effects of salinity and humidity on growth and Ca status of tomato and cucumber grown in hydroponic culture. *Acta horticulturae* 401, 357-364.
- Al-Busaidi A., Al-Rawahy S., Ahmed M. (2009). Response of different tomato cultivars to diluted seawater salinity. *Asian journal of crop science* 1 (2), 77-86.
- Al-Harbi A.R. (1995). Growth and nutrient composition of tomato and cucumber seedlings as affected by sodium chloride salinity and supplemental calcium. *Journal of plant nutrition* 18 (7), 1403-1416.
- Al-Harbi A.R., Burrage S.W. (1993a). Effect of NaCl salinity on growth of cucumber *Cucumis sativus* L. grown in NFT. *Acta horticulturae* 323, 39-50.
- Al-Karaki G.N. (2000). Growth, sodium, and potassium uptake and translocation in salt stressed tomato. *Journal of plant nutrition* 23 (3), 369-379.
- Alarcon J.J., Sanchez-Blanco M.J., Bolarin M.C., Torrecillas A. (1994). Growth and osmotic adjustment of two tomato cultivars during and after saline stress. *Plant and soil* 166 (1), 75-82.
- Alfocea F.P., Estan M.T., Caro M., Bolarin M.C. (1993). Response of tomato cultivars to salinity. *Plant and soil* 150 (2), 203-211.
- Alpaslan M., Gunes A. (2001). Interactive effects of boron and salinity stress on the growth, membrane permeability and mineral composition of tomato and cucumber plants. *Plant and soil* 236 (1), 123-128.
- Ayres R.S., Westcot D.W. (1985). Water quality for agriculture. Irrigation and drainage paper No 29. FAO, Rome.
- Azarmi R., Taleshmikail R.D., Gikloo A. (2010). Effects of salinity on morphological changes and yield of tomato in hydroponics system. *Journal of food, agriculture and environment* 8 (2), 573-576.
- Bethke P.C., Drew M.C. (1992). Stomatal and nonstomatal components to inhibition of photosynthesis in leaves of *Capsicum annuum* during

- progressive exposure to NaCl salinity. *Plant physiology* 99 (1), 219-226.
- Bohnert H.J., Nelson D.E., Jensen R.G. (1995). Adaptations to environmental stresses. *The plant cell* 7, 1099-1111.
- Botia P., Carvajal M., Cerdá A., Martínez V. (1998). Response of eight *Cucumis melo* cultivars to salinity during germination and early vegetative growth. *Agronomie* 18 (8-9), 503-513.
- Caines A.M., Shennan C. (1999). Interactive effects of Ca<sup>+2</sup> and NaCl salinity on the growth of two tomato genotypes differing in Ca<sup>+2</sup> use efficiency. *Plant physiology and biochemistry* 37 (7-8), 569-576.
- 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), 249-255.
- Carvajal M., Martínez V., Cerdá A. (1999). Influence of magnesium and salinity on tomato plants grown in hydroponic culture. *Journal of plant nutrition* 22 (1), 177-190.
- Cerdá A., Martínez V. (1988). Nitrogen fertilization under saline conditions in tomato and cucumber plants. *Journal of horticultural science* 63 (3), 451-458.
- Chartzoulakis K. (1992). Effects of NaCl salinity on germination, growth and yield of greenhouse cucumber. *Journal of horticultural science* 67 (1), 115-119.
- Chartzoulakis K., Klapaki G. (2000). Response of two greenhouse pepper hybrids to NaCl salinity during different growth stages. *Scientia Horticulturae* 86 (3), 247-260.
- Chartzoulakis S.K., Loupassaki H.M. (1997). Effects of NaCl salinity on germination, growth, gas exchange and yield of greenhouse eggplant. *Agricultural water management* 32 (3), 215-225.
- Chookhampaeng S., Pattanagul W., Theerakulpisut P. (2007). Screening some tomato commercial cultivars from Thailand for salinity tolerance. *Asian journal of plant sciences* 6 (5), 788-794.
- Chookhampaeng S., Pattanagul W., Theerakulpisut P. (2008). Effects of salinity on growth, activity of antioxidant enzymes and sucrose content

- in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) at the reproductive stage. *ScienceAsia* 34 (1), 69-75.
- Cornillon P., Palloix A. (1997). Influence of sodium chloride on the growth and mineral nutrition of pepper cultivars. *Journal of plant nutrition* 20 (9), 1085-1094.
- Γραφιαδέλλης Μ. (1990). Σύγχρονα θερμοκήπια. ISBN: 9607013069. Εκδόσεις Γαρταγάνη, Θεσσαλονίκη.
- Cuartero J., Fernández-Muñoz R. (1998). Tomato and salinity. *Scientia horticulturae* 78 (1-4), 83-125.
- Cusido R.M., Palazon J., Altabella T., Morales C. (1987). Effect of salinity on soluble protein, free amino acids and nicotine contents in *Nicotiana rustica* L.. *Plant and soil* 102 (1), 55-60.
- 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), 297-307.
- del Amor F.M., Martinez V., Cerdá A. (1999). Salinity duration and concentration affect fruit yield and quality, and growth and mineral composition of melon plants grown in perlite. *HortScience* 34 (7), 1234-1237.
- del Amor F.M., Martinez V., Cerdá A. (2001). Salt tolerance of tomato plants as affected by stage of plant development. *HortScience* 36 (7), 1260-1263.
- del Amor F.M., Ruiz-Sanchez M.C., Martinez V., Cerdá A. (2000). Gas exchange, water relation, and ion concentrations of salt-stressed tomato and melon plants. *Journal of plant nutrition* 23 (9), 1315-1325.
- Δροσόπουλος Ι.Β. (1998). Φυσιολογία φυτών. Πανεπιστημιακή έκδοση.
- Gaytán-Mascorro A., Castellanos-Ramos J. Z., Villalobos-Reyes S., Díaz-Pérez J. C., Camacho-Ferre F. (2008). Response of grafted tomato plants (*Lycopersicon esculentum* Mill.) to leaf pruning and nutrient solution concentration. *Journal of food, agriculture & environment* 6 (3-4), 269-277.
- Giuffrida F., Martorana M., Leonardi C. (2009). How sodium chloride concentration the nutrient solution influences mineral composition of tomato and fruits. *HortScience* 44 (3), 707-711.

- Gómez I., Navarro Pedreño J., Moral R., Iborra Ma.R., Palacios G., Mataix J. (1996). Salinity and nitrogen fertilization affecting the macronutrient content and yield of sweet pepper plants. *Journal of plant nutrition* 19 (2), 353-359.
- Fernández-García N., Martínez 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), 616-622.
- Flores P., Carvajal M., Cerdá A., Martínez V. (2001). Salinity and ammonium/nitrate interactions on tomato plant development, nutrition, and metabolites. *Journal of plant nutrition* 24 (10), 1561-1573.
- Flores P., Navarro J.M., Carvajal M., Cerdá A., Martínez V. (2003). Tomato yield and quality as affected by nitrogen source and salinity. *Agronomie* 23 (3), 249-256.
- Foolad M.R., Lin G.Y. (1997). Genetic potential for salt tolerance during germination in *Lycopersicon* species. *HortScience* 32 (2), 296-300.
- Foolad M.R., Lin G.Y. (1999). Relationships between cold- and salt-tolerance during seed germination in tomato: Germplasm evaluation. *Plant breeding* 118 (1), 45-48.
- Foolad M.R. (2004). Recent advances in genetics of salt tolerance in tomato. *Plant cell tissue and organ culture* 76 (2), 101-119.
- Ghanem M.E., van Elteren J., Albacete A., Quinet M., Martínez-Andújar C., Kinet J.-M., Pérez-Alfocea F., Lutts S. (2009). Impact of salinity on early reproductive physiology of tomato (*Solanum lycopersicum*) in relation to a heterogeneous distribution of oxalic ions in flower organs. *Functional Plant Biology* 36 (2), 125-136.
- Giuffrida F., Martorana M., Leonardi C. (2009). How sodium chloride concentration the nutrient solution influences mineral composition of tomato and fruits. *HortScience* 44 (3), 707-711.
- Gomez I., Navarro J., Morai R., Iborra R., Palacios G., Mataix J. (1996). Salinity and nitrogen fertilization affecting the macronutrient content and yield of sweet pepper plants. *Journal of plant nutrition* 19 (2), 353-359.
- Grattan S.R., Grieve C.M. (1998). Salinity-mineral nutrient relations in horticultural crops. *Scientia horticultrae* 78 (1-4), 127-157.

- Günes A., Inal A., Alpaslan M. (1996). Effect of salinity on stomatal resistance, proline, and mineral composition of pepper. *Journal of plant nutrition* 19 (2), 389-396.
- 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), 855-861.
- Ho L.C., Adams P. (1994). Regulations of the partitioning of dry matter and calcium in cucumber in relation to fruit growth and salinity. *Annals of botany* 73 (5), 539-545.
- Θεριός I.N. (1996). Ανόργανη θρέψη και λιπάσματα. ISBN: 960-74111-01-3. Εκδόσεις Γ. Δεδούση, Θεσσαλονίκη, 188-215.
- Καλτσίκης Π.Ι. (1990). Πίνακες γεωργικού πειραματισμού. ISBN: 960-74111-01-3. Εκδόσεις Δεδούση, Θεσσαλονίκη, 188-215.
- Kafkafi U., Siddiqi M.Y., Ritchie R.J., Glass A.D.M., Ruth T.J. (1992). Reduction of nitrate ( $^{13}\text{NO}_3$ ) influx and nitrogen ( $^{13}\text{N}$ ) translocation by tomato and melon varieties after short exposure to calcium and potassium chloride salts. *Journal of plant nutrition* 15 (6-7), 959-975.
- Karlberg L., Ben-Gal A., Janson P.-E., Shani U. (2006). Modeling transpiration and growth in salinity-stressed tomato under different climatic conditions. *Ecological modeling* 190 (1-2), 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), 59-68.
- Kawasaki T., Akiba T., Moritsugu M. (1983). Effects of high concentrations of sodium chloride and polyethylene glycol on the growth and ion absorption in plants. *Plant and soil* 75 (1), 75-85.
- Kaya C., Kirnak H., Higgs D. (2001). Effects of supplementary potassium and phosphorus on physiological development and mineral nutrition of cucumber and pepper cultivars grown at high salinity (NaCl). *Journal of plant nutrition* 24 (9), 1457-1471.
- Κουκουλάκης Π.Χ., Παπαδόπουλος Α.Η. (2003). Η ερμηνεία της φυλλοδιαγνωστικής. ISBN: 960-351-440-3. Εκδόσεις Αθ. Σταμούλη. Θεσσαλονίκη σελ. 92.

- Kütük C., Çayci G., Heng L.K. (2004). Effects of increasing salinity and <sup>15</sup>N-labelled urea levels on growth, N uptake, and water use efficiency of young tomato plants. *Australian journal of soil research* 42 (3), 345-351.
- Lantzke N., Calder T., Burt J., Prince R. (2007). Water salinity and plant irrigation. Department of agriculture and food, note 234.
- Li Y.L., Stanghellini C. (2001). Analysis of the effect of EC and potential transpiration on vegetative growth of tomato. *Scientia horticulturae* 89 (1), 9-21.
- Lopez M.V., Satti S.M.E. (1996). Calcium and potassium-enhanced growth and yield of tomato under sodium chloride stress. *Plant science* 114 (1), 19-27.
- 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), 313-318.
- Maas E.V. (1984). Salt tolerance of plants. *The handbook of plant science in agriculture*. B.R. Christie (ed), CRC press, Boca raton, Florida.
- Maas E.V., Hoffman G.J. (1977). Crop salt tolerance - current assessment. *ASCE J Irrig Drain Div* 103 (2), 115-134.
- Magán 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), 1041-1055.
- Malash N.M., Flowers T.J., Ragab R. (2008). Effect of irrigation methods, management and salinity of irrigation water on tomato yield, soil moisture and salinity distribution. *Irrigation science* 26 (4), 313-323.
- Marshner H. (1995). Mineral nutrition of higher plants. Academic press, London, σελ. 889.
- Mavrogianopoulos G., Savvas D., Vogli V. (2002). Influence of NaCl-salinity imposed on half of the root system of hydroponically grown tomato on growth, yield, and tissue mineral composition. *Journal of horticultural science and biotechnology* 77 (5), 557-564.
- Μαυρογιαννόπουλος Γ. (2006). Υδροπονικές εγκαταστάσεις. ISBN: 960-351-675-9. Εκδόσεις Αθ. Σταμούλη, Αθήνα-Πειραιάς, σελ. 140, 141, 157, 191-216.



- 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), 248-252.
- Μισοπολινός Ν. (1991). Προβληματικά εδάφη. Μελέτη. Πρόληψη. Βελτίωση. Εκδόσεις Γιαχούδη, Θεσσαλονίκη, 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), 377-385.
- Mohammed A.N., Alsadon A.A., Alharbi A.R., Wahb-Allah M.A., Rahman M.H. (2007). Salinity tolerance of tomato cultivars using in vitro techniques. *Acta horticulturae* 760, 259-268.
- 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), 1667-1680.
- Munns R. (2002). Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, cell and environment* 25 (2), 239-250.
- Nadja S., Vercambre G., Pagés L., Grasselly D., Gautier H., Génard M. (2009). Tomato plant architecture as affected by salinity: Descriptive analysis and integration in a 3-D simulation model. *Botany* 87 (10), 893-904.
- Navarro-Pedreño J., Gómez I., Mataix J. (1996). Micronutrient concentration in tomato plants affected by salinity and organic waste fertilization. *Agrochimica* 40 (5-6), 257-262.
- Ολύμπιος Χ. (2001). Η τεχνική της καλλιέργειας των κηπευτικών στο θερμοκήπιο. Εκδόσεις Α. Σταμούλης, Αθήνα, σελ. 260-262.
- Papadopoulos I., Rendig V.V. (1983). Interactive effects of salinity and nitrogen on growth and yield of tomato plants. *Plant and soil* 73 (1), 47-57.
- 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), 77-85.
- Pasternak D. (1987). Salt tolerance and crop production - a comprehensive approach. *Annual review of phytopathology* 25, 271-291.

- Phills B.R., Peck N.H., MacDonald G.E., Robinson R.W. (1979). Differential response of *Lycopersicon* and *Solanum* species to salinity. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 104 (3), 349-352.
- Plaut Z. (1997). Irrigation with low-quality water: effects on productivity, fruit quality and physiological processes of vegetable crops. *Acta Horticulturae* 449 (2), 591-597.
- 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 (4), 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), 149-153.
- Reina-Sánchez 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), 54-66.
- Romero-Aranda R., Soria T., Cuartero J. (2001). Tomato plant-water uptake and plant-water relationships under saline growth conditions. *Plant science* 160 (2), 265-272.
- Sairam K.R., Tyagi A. (2004). Physiology and molecular biology of salinity stress tolerance in plants. *Current science* 86 (3), 407-421.
- 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), 65-71.
- Satti S.M., 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), 705-715.
- Savvas D., Lenz F. (1994). Influence of salinity on the incidence of the physiological disorder 'internal fruit rot' in hydroponically-grown eggplants. *Angewandte botanik* 68 (1-2), 32-35.
- Savvas D., Lenz F. (1996). Influence of NaCl concentration in the nutrient solution on mineral composition of eggplants grown in sand culture. *Journal of applied botany* 70 (3-4), 124-127.

- Savvas D., Lenz F. (2000). Effects of NaCl or nutrient-induced salinity on growth, yield, and composition of eggplants grown in rockwool. *Scientia horticulturae* 84 (1-2), 37-47.
- Seemann J., Critchley C. (1985). Effects of salt stress on the growth, ion content, stomatal behaviour and photosynthetic capacity of a salt-sensitive species, *Phaseolus vulgaris* L.. *Planta* 164 (2), 151-162.
- Serrano R., Mulet J.M., Rios G., Marquez J.A., Larrinoa I.F., Leube M.P., Mendizabal I., Pascual-Ahuir A., Proft M., Ros R., Montesinos C. (1999). A glimpse of the mechanisms of ion homeostasis during salt stress. *Journal of experimental botany* 50, 1023-1036.
- Shannon M.C., Grieve C.M. (1998). Tolerance of vegetable crops to salinity. *Scientia horticulturae* 78 (1-4), 5-38.
- Shibli R.A., Kushad M., Yousef G.G., Lila M.A. (2007). Physiological and biochemical responses of tomato microshoots to induced salinity stress with associated ethylene accumulation. *Plant growth regulation* 51 (2), 159-169.
- Silberbush M., Ben-Asher J., Ephrath J.E. (2005). A model for nutrient and water flow and their uptake by plants grown in a soilless culture. *Plant and soil* 271, 309-319.
- Sonneveld C., De Kreij C. (1999). Response of cucumber (*Cucumis sativus* L.) to an unequal distribution of salts in the root environment. *Plant and soil* 209 (1), 47-56.
- Sonneveld C., Welles G.W.H. (1988). Yield and quality of rockwool-grown tomatoes as affected by variations in EC-value and climatic conditions. *Plant and soil* 111 (1), 37-42.
- 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), 59-64.
- Tester M., Davenport R. (2003). Na<sup>+</sup> tolerance and Na<sup>+</sup> transport in higher plants. *Annals of botany* 91 (5), 503-527.
- Tuna L.A., Kaya C., Ashraf M., Altunlu H., Yokas I., Yagmur B. (2007). The effects of calcium sulphate on growth, membrane stability and nutrient uptake of tomato plants grown under salt stress. *Environmental and experimental botany* 59 (2), 173-178.

- Varlagas H., Savvas D., Mouzakis G., Liotsos C., Karapanos I., Sigrimis N. (2010). Modelling uptake of Na<sup>+</sup> and Cl<sup>-</sup> by tomato in closed-cycle cultivation systems as influenced by irrigation water salinity. *Agricultural water management* 97 (9), 1242-1250.
- Wabben G., Steiner A.A. (1953). Soilless cultures, Serial number 175,588, application July 24, 1950. United States Patent Office, no 2639549.
- 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), 63-74.
- Wood Marcia (2009). Tomato cannery tackles tough water – Reuse issues. *Agricultural research*, issue 01/01/2009.
- Yokoi S., Bressan R.A., Hasegawa P.M. (2002). Salt stress tolerance of plants. *Jircas Working Report*, 25-33.
- Yurtseven E., Kesmez G.D., Ünlükara A. (2005). The effects of water salinity and potassium levels on yield, fruit quality and water consumption of a native central anatolian tomato species (*Lycopersicon esculantum*). *Agricultural water management* 78 (1-2), 128-135.
- Zhang H.-X., Blumwald E. (2001). Transgenic salt-tolerant tomato plants accumulate salt in foliage but not in fruit. *Nature biotechnology* 19 (8), 765-768.

