

Τμήμα φυτικής παράγωγης  
Εργαστήριο κηπευτικών καλλιεργειών

ΠΜΣ «ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ»

ΘΕΜΑ: «ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΘΡΕΠΤΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ  
ΑΥΤΟΡΡΙΖΗΣ ΚΑΙ ΕΜΒΟΛΙΑΣΜΕΝΗΣ ΠΙΠΕΡΙΑΣ ΣΕ  
ΙΧΝΟΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΣΕ ΚΛΕΙΣΤΑ ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΑ  
ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ».

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΣΑΒΒΑΣ



ΓΚΙΝΟΣΑΤΗΣ ΣΤΕΦΑΝΟΣ

ΑΘΗΝΑ 2015

Αφιέρωση,

Στον παππού μου τον Στέφανο, που δεν βρίσκεται πια δίπλα μου.....

## Ευχαριστίες,

Η παρούσα διατριβή εκπονήθηκε στα πλαίσια του μεταπτυχιακού προγράμματος σπουδών (Π.Μ.Σ) του τμήματος φυτικής παραγωγής, στο εργαστήριο κηπευτικών καλλιεργειών, υπό την επίβλεψη του κ. Σάββα Δημήτριου, Καθηγητή του Εργαστηρίου Κηπευτικών καλλιεργειών του Γ.Π.Α.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Σάββα Δημήτριο, ως επιβλέποντα της εργασίας για την συνεχή καθοδήγηση καθ'όλη την διάρκεια του πειράματος και της συγγραφής της μελέτης. Επίσης, θα ήθελα να τον ευχαριστήσω για έναν ακόμα λόγο, όπως και τους κ. Κ. Ακουμιανάκη, τον κ. Ι. Καραπάνο και τον κ. Χ. Πάσσαμ για την ευκαιρία που μου έδωσαν να παρακολουθήσω και να φέρω εις πέρας το μεταπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών και για τις πολύτιμες γνώσεις που μου έδωσαν.

Θα ήθελα, να ευχαριστήσω θερμά τον συμφοιτητή μου Γιατζόγλου Π. για την συνεργασία μας κατά την διάρκεια του πειράματος.

Επίσης, ένα μεγάλο ευχαριστώ στον υποψήφιο διδάκτορα κ. Ανδρέα Ροτόκη και την κ. Γ. Ντάτση για την πολύτιμη βοήθεια καθ'όλη την διάρκεια των σπουδών μου.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και την Κατερίνα μου, για την υπομονή και την ψυχολογική συμπαράσταση που έδειξαν κατά τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας αυτής.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη της επίδρασης απορρόφησης ιχνοστοιχείων σε υδροπονική καλλιέργεια πιπεριάς. Τα πειραματικά δεδομένα προέρχονται από καλλιέργεια σε κλειστό υδροπονικό σύστημα NFT, μέσω θρεπτικού διαλύματος συγκεκριμένων συγκεντρώσεων με βάση τις απαιτήσεις των φυτών (Savvas, Adamidis, 1999).

Το φυτικό υλικό που χρησιμοποιήθηκε, αποτελείται από ποικιλίες τεσσάρων από τους πιο αντιπροσωπευτικούς τύπους «γλυκών πιπεριών» (*capsicum annuum* L.) που καλλιεργούνται στην Ελλάδα. Οι τύποι αυτοί είναι, California wonder (Orangery), Charleston (Sammy), Bell (Sondela) Φλωρίνης (Bellisa). Επίσης, χρησιμοποιήθηκε και μια ποικιλία (Sammy) εμβολιασμένων με το υποκείμενο RS10. Με βάση την συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων Mn, Zn, Fe, B και του Na στο διάλυμα τροφοδοσίας και στους ιστούς των φυτών (ρίζα, φύλλα, καρποί), τις αθροιστικές καταναλώσεις ύδατος και τα χλωρά – ξηρά βάρη των φυτών σε συνάρτηση με τον χρόνο, έγινε υπολογισμός των συγκεντρώσεων απορρόφησης.

Οι συγκεντρώσεις όλων των ιχνοστοιχείων ελήφθησαν με διάφορες χημικές μεθόδους (φασματομετρία ατομικής εκπομπής, φασματοφωτομετρία ατομικής απορρόφησης, φασματοφωτόμετρο, πυραντήριο κ.α).

Τα φυτά πιπεριάς, παρουσίασαν υψηλές καταναλώσεις νερού κατά την περίοδο των υψηλών θερμοκρασιών που οφείλεται στην έντονη διαπνοή των φυτών. Σε σύγκριση μεταξύ εμβολιασμένων και αυτόρριζων φυτών, παρατηρήθηκε ότι τα εμβολιασμένα φυτά παρουσίασαν μεγαλύτερη κατανάλωση νερού σε σχέση με τα μη –εμβολιασμένα φυτά.

Όσον αφορά στις συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων, ιδιαίτερα στοιχεία ελήφθησαν στις συγκεντρώσεις Na, στο πώς επηρεάζει την βιομάζα των φυτών και πως η αλληλεπίδραση με το Ca επηρέασε τις συγκεντρώσεις στους ιστούς. Από τα μεταλλικά στοιχεία, διαπιστώθηκε πόσο επηρεάζεται η διαλυτότητα τους στο ριζόστρωμα από το pH και από τον ανταγωνισμό των μακροστοιχείων με αποτέλεσμα την μειωμένη απορρόφηση από τα υπέργεια τμήματα. Το βόριο επηρεάστηκε λιγότερο από τις τιμές pH, αλλά παρεμποδίστηκε ιδιαιτέρως από τις συγκεντρώσεις Ca. Σε επίπεδο ποικιλιών οι συγκεντρώσεις χλωρού και ξηρού βάρους στους ιστούς ήταν μεγαλύτερες για τα μη εμβολιασμένα φυτά σε σχέση με εμβολιασμένα.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	8
1. Καλλιέργειες εκτός εδάφους.....	8
1.1 ιστορικά στοιχεία.....	8
1.2 Εξάπλωση των υδροπονικών καλλιεργειών .....	10
1.3 Συστήματα καλλιεργειών εκτός εδάφους.....	11
1.4 Πλεονεκτήματα - μειονεκτήματα καλλιεργειών εκτός εδάφους.....	13
1.4.1 Πλεονεκτήματα.....	13
1.4.2 Μειονεκτήματα .....	14
1.5 σύστημα NFT καλλιέργειας.....	14
1.6 Θρεπτικά διαλύματα καλλιεργειών εκτός εδάφους.....	16
1.6.1 Οξύτητα (pH) θρεπτικών διαλυμάτων .....	17
1.6.2 Ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) θρεπτικών διαλυμάτων .....	18
1.7 Θρεπτικά στοιχεία που εφαρμόζονται σε διαλύματα καλλιεργειών εκτός εδάφους.....	18
1.8 Ιχνοστοιχεία .....	19
1.8.1 Βόριο (B).....	20
1.8.2 Σίδηρος (Fe) .....	22
1.8.3 Μαγγάνιο (Mn).....	24
1.8.4 Ψευδάργυρος (Zn) .....	25
1.8.5 Μολυβδαίνιο (Mo) .....	26
1.8.6 Χαλκός (Cu) .....	27
1.8.7 Νάτριο (Na).....	27
1.9 Διαθεσιμότητα ιχνοστοιχείων στο θρεπτικό διάλυμα.....	28
1.10 Καλλιέργεια πιπεριάς.....	30
1.10.1 Ιστορικά .....	30
1.10.2 Βοτανικοί χαρακτήρες (Capsicumannum) .....	31
1.10.3 Ποικιλίες πιπεριάς.....	34

1.11 Εμβολιασμός.....	34
1.11.1 Η σημασία του εμβολιασμού στη λαχανοκομία .....	34
1.11.2 Εμβολιασμός πιπεριάς.....	36
1.12 Σκοπός του πειράματος.....	37
2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ .....	38
2.1 Εκτέλεση πειράματος στο θερμοκήπιο .....	38
2.1.1 Εγκατάσταση καναλιών NFT .....	38
2.1.2 Παρασκευή και διανομή θρεπτικού διαλύματος .....	39
2.1.3 Εγκατάσταση της καλλιέργειας και δειγματοληψίες.....	42
2.1.4 καλλιεργητικές φροντίδες της καλλιέργειας .....	43
2.1.5 Λήψη μέτρων για την αντιμετώπιση των προσβολών .....	44
2.2 Εκτέλεση πειράματος στο εργαστήριο .....	45
2.2.1 Προσδιορισμός ιχνοστοιχείων σε ιστούς – διαλύματα.....	47
2.2.1.1 Φασματοφωτομετρία Ατομικής Απορρόφησης ( $Fe^{+2}$ , $Zn^{+2}$ , $Mn^{+2}$ )... ..	47
2.2.1.2 Φασματομετρία Ατομικής Εκπομπής ( $Na^{+}$ ).....	48
2.2.1.3 προσδιορισμός συγκέντρωσης βορίου (B).....	49
2.2.2 Προσδιορισμός απορρόφησης ιχνοστοιχείων .....	49
2.2.3 Ποιοτικά χαρακτηριστικά καρπών πιπεριάς .....	50
2.3 Στατιστική ανάλυση αποτελεσμάτων.....	51
3. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ .....	53
3.1. Αθροιστική κατανάλωση νερού .....	53
3.2. Χλωρό βάρος.....	54
3.2.1 Χλωρό βάρος φύλλων .....	54
3.2.2 Χλωρό βάρος ριζών .....	56
3.2.3. Χλωρό βάρος βλαστών.....	57
3.3. Ξηρό βάρος .....	58
3.3.1 Ξηρό βάρος φύλλων .....	58

3.3.2	Συνολικό ξηρό βάρος ριζών .....	60
3.3.3	Συνολικό ξηρό βάρος βλαστών.....	62
3.4	Βόριο .....	64
3.4.1	Συγκέντρωση Βορίου (B) στους καρπούς.....	64
3.4.2	Συγκέντρωση Βορίου (B) στα φύλλα.....	66
3.4.3	Συγκέντρωση Βορίου (B) στις ρίζες .....	68
3.4.4	Συνολική συγκέντρωση απορρόφησης Βορίου (B).....	70
3.5	Σίδηρος (Fe) .....	72
3.5.1	Συγκέντρωση Σιδήρου (Fe) στους καρπούς .....	72
3.5.2	Συγκέντρωση Σιδήρου (Fe) στα φύλλα.....	73
3.5.3	Συγκέντρωση Σιδήρου (Fe) στις ρίζες.....	75
3.5.4	Συνολική συγκέντρωση απορρόφησης Σιδήρου (Fe).....	77
3.6	Μαγγάνιο (Mn).....	79
3.6.1	Συγκέντρωση Μαγγανίου (Mn) στους καρπούς .....	79
3.6.2	Συγκέντρωση Μαγγανίου (Mn) στα φύλλα.....	81
3.6.3	Συγκέντρωση Μαγγανίου (Mn) στις ρίζες.....	83
3.6.4	Συνολική συγκέντρωση απορρόφησης Μαγγανίου (Mn).....	86
3.7	Ψευδάργυρος (Zn).....	88
3.7.1	Συγκέντρωση Ψευδαργύρου (Zn) στους καρπούς.....	88
3.7.2	Συγκέντρωση Ψευδαργύρου (Zn) στα φύλλα.....	90
3.7.3	Συγκέντρωση Ψευδαργύρου (Zn) στις ρίζες .....	92
3.7.4	Συνολική συγκέντρωση απορρόφησης Ψευδάργυρου (Zn).....	94
3.8	Νάτριο (Na).....	96
3.8.1	Συγκέντρωση Νατρίου (Na) στους καρπούς.....	96
3.8.2	Συγκέντρωση Νατρίου (Na) στα φύλλα.....	98
3.8.3	Συγκέντρωση Νατρίου (Na) στις ρίζες.....	100
3.8.4	Συνολική συγκέντρωση απορρόφησης Νατρίου (Na).....	102

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	104
4.1 Συζήτηση και συμπεράσματα στην αθροιστική κατανάλωση ύδατος ...	104
4.2 Συζήτηση κα συμπεράσματα στην χημική ανάλυση.....	105
4.2.1 Σίδηρος Fe.....	105
4.2.2 Μαγγάνιο Mn .....	106
4.2.3 Ψευδάργυρος Zn .....	107
4.2.4 Βόριο (B).....	108
4.2.5 Νάτριο (Na).....	109
4.3 Συζήτηση και συμπεράσματα στην παραγωγή βιομάζας.....	111
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	112



# ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1. Καλλιέργειες εκτός εδάφους

### 1.1 ιστορικά στοιχεία

Οι περίφημοι κρεμαστοί κήποι της Βαβυλώνας, ένα από τα επτά θαύματα, πιστεύεται πως λειτουργούσαν σύμφωνα με τις αρχές λειτουργίας της υδροπονίας. Επίσης, Αιγυπτιακά ιερογλυφικά αρχαία εκατοντάδων χρόνων π.Χ., περιγράφουν την καλλιέργεια φυτών μέσα στο νερό. Κατά την εποχή εκείνη, για να τραφεί ο μεγάλος αριθμός σκλάβων που δούλευαν για την κατασκευή των πυραμίδων, ήταν απαραίτητη η καλλιέργεια τροφής ακόμα και μέσα στο νερό, στις όχθες του ποταμού Νείλου. Η χρήση της υδροπονίας ήταν επίσης αρκετά διαδομένη, ως μορφή καλλιέργειας, στην Ασία από τα αρχαία χρόνια και ιδιαίτερα στην Κίνα. Οι πλωτοί κήποι που δημιούργησαν οι Αζτέκοι στο Μεξικό (14<sup>ο</sup>–16<sup>ο</sup> αιώνα μ.Χ.) ήταν καλλιέργειες που έφεραν κάποια από τα χαρακτηριστικά των σημερινών υδροπονικών καλλιεργειών. Οι κρεμαστοί κήποι της Βαβυλώνας, οι πλεύσιμοι κήποι των Αζτέκων στο Μεξικό και οι κήποι στην Κίνα είναι παραδείγματα υδροπονικών καλλιεργειών. (Howard M. Resh, 1997).



Εικόνα 1.1 προέλευση καλλιεργειών εκτός εδάφους (πηγή <http://www.aquaponics.org.uk>).

Η πρώτη δημοσιευμένη εργασία για την καλλιέργεια χερσαίων φυτών χωρίς χώμα ήταν το 1627 το βιβλίο 'Sylva Sylvarum' του Francis Bacon, τυπωμένο ένα χρόνο μετά το θάνατό του. Τον 17<sup>ο</sup> αιώνα, η πρώτη αναφορά για τις καλλιέργειες εκτός εδάφους γίνεται από τον Ιρλανδό Robert Boyle το 1666, ο

οποίος καλλιέργησε σε φυτοδοχεία που περιείχαν μόνο νερό, χωρίς να υπάρχει στέρεο μέσο στον χώρο ανάπτυξης των ριζών (Cooper, 1979). Η υδροπονία, με την πλήρη έννοια του όρου, γεννήθηκε από τους φυσιολόγους Sachs (1859 ,1861) και Κνορ (1859), οι οποίοι προσπάθησαν να βρουν ποιά θρεπτικά στοιχεία και σε ποιές ποσότητες χρειάζονται για την ολοκλήρωση του βιολογικού κύκλου των φυτών. Γι' αυτό και δίκαια σήμερα θεωρείται ότι οι Sachs και Κνορ είναι εκείνοι που έθεσαν τις επιστημονικές βάσεις της υδροπονίας. Ο καθηγητής Gericke (1929), του πανεπιστημίου της Καλιφόρνιας, ήταν ο πρώτος που χρησιμοποίησε θρεπτικά διαλύματα για εκτός εδάφους καλλιέργεια για εμπορική κλίμακα. Ο όρος "υδροπονία" χρησιμοποιήθηκε βέβαια πρώτη φορά το 1937, από τον ο Gericke, για την περιγραφή εκτός εδάφους καλλιέργειες . Η λέξη hydroponics προέρχεται από το συνδυασμό δυο Ελληνικών λέξεων, hydro που σημαίνει νερό και ropos που έχει την έννοια της εργασίας. Κατά τη διάρκεια του Β' παγκοσμίου πολέμου, στρατεύματα που βρίσκονταν σε νησιά του Νότιου Ειρηνικού παρήγαγαν τα αναγκαία φρέσκα φρούτα και λαχανικά σε μονάδες υδροπονίας (Eastwood, 1947).

Με την εξέλιξη της επιστήμης πάνω σε νέες συσκευές χημικών αναλύσεων και νέες πιο ακριβείς μεθόδους αναλύσεων, διευκόλυναν τον ακριβέστερο προσδιορισμό των θρεπτικών στοιχείων. Παρόλα αυτά, μέχρι τα τέλη του '60 η υδροπονία έβρισκε μικρή εφαρμογή και σε περιορισμένη κλίμακα στην Αμερική και την Βρετανία. Από τις αρχές του '70 η χρήση υδροπονίας εξαπλώθηκε σε εμπορική κλίμακα στην Αγγλία, Σκανδιναβία και στην Ολλανδία. Επιπλέον, η έρευνα γύρω από την υδροπονία στις διάφορες χώρες αυξανόταν διαρκώς. Ενδεικτικά μόνο αναφέρεται ότι κατά την δεκαετία 1975-1984 υπήρξαν περίπου 1.500 δημοσιεύσεις ερευνητικών εργασιών σχετικά με την υδροπονία. Οι περισσότερες από αυτές προέρχονται από τις Η.Π.Α., την Ιαπωνία, την Ολλανδία, την Ιταλία και τις χώρες της πρώην Σοβιετικής Ένωσης. Μια από τις πιθανές εφαρμογές της υδροπονίας που οδήγησαν την έρευνα ήταν για την καλλιέργεια φρέσκων προϊόντων στις άγονες περιοχές του πλανήτη. Επίσης, στα τέλη του αιώνα η υδροπονία ενσωματώθηκε στο διαστημικό πρόγραμμα, καθώς η NASA χρηματοδότησε έρευνα παραγωγής προϊόντων στο φεγγάρι, ή και σε άλλους πλανήτες, ένα πρόγραμμα το οποίο είναι υπό εξέλιξη. Προσπαθώντας η NASA να χτίσει διαστημικό σταθμό σε άλλο πλανήτη ή στο Φεγγάρι, η υδροπονία είναι η μόνη μέθοδος καλλιέργειας.

## 1.2 Εξάπλωση των υδροπονικών καλλιεργειών

Από το 1980 και έπειτα, η καλλιέργεια της υδροπονίας ήταν διαδεδομένη για την παραγωγή προϊόντων υψηλής ποιότητας απαλλαγμένων από διάφορα προβλήματα που παρουσιάζονταν στις καλλιέργειες στο έδαφος. Στην Ολλανδία, η εξέλιξη των υδροπονικών καλλιεργειών ανήλθαν στα 15.000 στρέμματα το 1984 (SonneveldandWelles, 1984), στα 25.000 το 1989 (Sonneveld, 1989). Στην Ολλανδία (1995) και στο Βέλγιο (1994), η καλλιέργεια λαχανικών σε θερμοκήπια καταλαμβάνει 44.980 και 10.160 στρέμματα αντίστοιχα. Από αυτά το 75% περίπου (33.735 και 7.620 στρέμματα, αντίστοιχα) καταλαμβάνουν οι καλλιέργειες τομάτας, πιπεριάς και αγγουριού που στην πλειοψηφία τους, καλλιεργούνται σε υδροπονικά συστήματα. Οι καλλιέργειες εκτός εδάφους στην Ολλανδία ανήλθαν τα 55.000 το 1998 (Sonneveld, 2000), ενώ σήμερα το σύνολο των καρποδετικών λαχανικών στο θερμοκήπιο προέρχεται από υδροπονικές καλλιέργειες (VansOsetal.,2008). Η συνολική έκταση στον κόσμο εκτιμάται κάπως μικρότερη από 600.000 στρέμματα. Το μεγαλύτερο ποσοστό των εκτάσεων καλλιεργούνται σε χώρες, που λόγω της υπεράντλησης των εδαφίων θρεπτικών στοιχείων, είτε της απαγόρευσης χρήσης του βρωμιούχου μεθυλίου (σύμφωνα με το πρωτόκολλο του Μόντρεαλ για απαγόρευση στις ανεπτυγμένες χώρες το 2005), ή λόγω της άντλησης με νερό υψηλής περιεκτικότητας σε άλατα, στράφηκαν στις καλλιέργειες εκτός εδάφους. Για τους παραπάνω λόγους, στις ανεπτυγμένες χώρες όπως η Ολλανδία, το Ισραήλ, το Βέλγιο κ.α., η μεταπήδηση στην υδροπονία ήταν επιβεβλημένη και ευκολότερη (Σάββας, 2003) σε σχέση με την μεσογειακή Ευρώπη που παράγει εκτός εποχής προϊόντα σε χαμηλού κόστους εγκαταστάσεις.

Για την Ελλάδα και τις υπόλοιπες χώρες του μεσογειακού νότου, η εξάπλωση της υδροπονίας καθυστέρησε αρκετά και με πιο αργούς ρυθμούς (Σάββας, 2003). Σύμφωνα με στοιχεία του IRTC (InternationalResearchandTrainingCentreforSustainability), η καλλιέργεια υδροπονίας στην Ελλάδα καλύπτει 1.750 στρέμματα περίπου, συμπεριλαμβανομένων ανθοκομικών καλλιεργειών. Έτσι από τα 1.750 συνολικά στρέμματα, στα 1.450 έχει αναπτυχθεί η καλλιέργεια των κηπευτικών

και στα υπόλοιπα 300 η ανθοκομία. Στην Βόρεια Ελλάδα, η υδροπονία έχει αναπτυχθεί σε έκταση 400 στρεμμάτων, στην Κεντρική Ελλάδα στα 150 στρέμματα, στην Αττική και στα νησιά στα 300 στρέμματα, στην Πελοπόννησο στα 450 στρέμματα, στη Δυτική Ελλάδα στα 100 και τέλος στην Κρήτη η υδροπονία καλύπτει έκταση 350 στρεμμάτων.

Οι κυριότερες εμπορικές μέθοδοι καλλιέργειας είναι: καλλιέργεια σε υπόστρωμα πετροβάμβακα, όπου έχει την μεγαλύτερη αποδοχή και είναι το κυριότερο θρεπτικό υπόστρωμα (44% της συνολικής υδροπονικής καλλιέργειας), καλλιέργεια σε σάκους κοκκοφοίνικα (φλοιός ινδικής καρύδας), καλλιέργεια σε περλίτη και καλλιέργεια σε ρηχό ρεύμα θρεπτικού διαλύματος (NFT).

### 1.3 Συστήματα καλλιεργειών εκτός εδάφους

Στην υδροπονία τα συστήματα καλλιεργειών, διαχωρίζονται σε: **α) καλλιέργεια σε υποστρώματα, β) συστήματα υδροκαλλιέργειας**. Επίσης, τα υδροπονικά συστήματα διαχωρίζονται σε ανοιχτά συστήματα στα όποια το απορρέον θρεπτικό διάλυμα δεν χρησιμοποιείται και απορρίπτεται και σε κλειστά στα οποία το απορρέον θρεπτικό διάλυμα επαναχρησιμοποιείται μέσω συλλογής, φιλτραρίσματος και συμπλήρωσης με νέο θρεπτικό διάλυμα.

Η **καλλιέργεια σε υποστρώματα**, πρέπει να πληροί κάποια κριτήρια. Η ανάπτυξη των φυτών σε ένα πορώδες υπόστρωμα καλλιέργειας εξαρτάται όχι μόνο από έναν αλλά από πολλούς παράγοντες, οι οποίοι καθορίζουν τη διαθεσιμότητα νερού και θρεπτικών στοιχείων για τα φυτά (Σάββας, 2010).

Το πρώτο σε σπουδαιότητα επιθυμητό χαρακτηριστικό είναι η απουσία παθογόνων μικροοργανισμών ιδιαίτως του εδάφους και σπόροι ζιζανίων. Όσον αφορά την καλλιεργητική συμπεριφορά, κατ' αρχήν ένα καλό υπόστρωμα θα πρέπει να συγκρατεί αρκετό νερό μετά το πότισμα και στην συνέχεια να το αποδίδει εύκολα στα φυτά. Το δεύτερο αυτό κριτήριο είναι επίσης πολύ σημαντικό για την αξιολόγηση ενός υποστρώματος γιατί ορισμένα από αυτά, ενώ συγκρατούν ικανοποιητικά ποσοστά υγρασίας, αποδίδουν μόνο ένα μικρό μέρος αυτής στα φυτά ενώ την υπόλοιπη την συγκρατούν με πολύ ισχυρές δυνάμεις. Εκτός από το νερό, μέσα στο υπόστρωμα θα πρέπει να υπάρχει

αρκετή επάρκεια αέρα ακόμη και μετά από ένα καλό πότισμα. Επομένως, το ζητούμενο για να θεωρηθεί ένα υπόστρωμα κατάλληλο για καλλιέργεια εκτός εδάφους είναι να υπάρχει μια ισορροπημένη σχέση μεταξύ των όγκων που καταλαμβάνει το νερό και ο αέρας μέσα στο πορώδες του, χωρίς να υπερτερεί το ένα σε βάρος του άλλου (Σάββας, 2010).

Ένα άλλο χαρακτηριστικό, που πρέπει να αξιολογείται σε ένα υπόστρωμα καλλιέργειας είναι η ομοιομορφία του, την οποία δεν συναντάμε στο έδαφος. Εκτός από ομοιόμορφη σύσταση, ένα καλό υπόστρωμα θα πρέπει επίσης να έχει και σταθερή δομή, ώστε να μην αποσυντίθεται στη διάρκεια της καλλιέργειας. (Σάββας, 2010)

Τα κύρια υποστρώματα (ανόργανα, οργανικά) που χρησιμοποιούνται είναι:

- καλλιέργεια σε πλάκες πετροβάμβακα
- καλλιέργεια σε ελαφρόπετρα
- καλλιέργεια σε διογκωμένο περλίτη
- καλλιέργεια σε κοκκοφοίνικα

Άλλα υποστρώματα που χρησιμοποιούνται, καλλιέργεια σε άμμο (sand culture), καλλιέργεια σε βερμικουλίτη, καλλιέργεια σε χαλίκι (gravel culture), καλλιέργεια σε διογκωμένη άργιλο, καλλιέργεια σε πλάκες ορυκτοβάμβακα, καλλιέργεια σε πλάκες υαλοβάμβακα, , καλλιέργεια σε πολυεστέρα κ.α.

Από την άλλη, τα κύρια **συστήματα υδροπονικών καλλιεργειών**, που χρησιμοποιούνται είναι τα εξής:

- Συστήματα επίπλευσης (Floating system)
- Καλλιέργεια σε ρηχό ρεύμα θρεπτικού διαλύματος (NFT)
- Αεροπονία
- Καλλιέργεια σε βαθύ ρεύμα θρεπτικού διαλύματος (DeepFlowtechnique)
- Επιδαπέδια υδροπονία (PlantPlaneHydroponics)

## 1.4 Πλεονεκτήματα - μειονεκτήματα καλλιεργειών εκτός εδάφους

### 1.4.1 Πλεονεκτήματα

- Το πρώτο και προφανέστερο πλεονέκτημα της υδροπονίας είναι η ριζική αντιμετώπιση των προβλημάτων που προκαλούν στις θερμοκηπιακές καλλιέργειες οι μεταδιδόμενες μέσω του εδάφους ασθένειες (φουζάριο, βερτισίλλιο, πύθιο, έντομα εδάφους, νηματώδεις, ορισμένα βακτήρια κ.λπ.), οι οποίες είναι εντονότερες με την απαγόρευση του βρωμιούχου μεθυλίου (πρωτόκολλο Μόντρεαλ).
- Μέσω της υδροπονίας λύνεται το πρόβλημα της χαμηλής γονιμότητας που εμφανίζουν πολλά εδάφη θερμοκηπίου, είτε λόγω της υπερεντατικής τους εκμετάλλευσης και της μονοκαλλιέργειας (κόπωση εδαφών) είτε λόγω δυσμενών φυσικών ιδιοτήτων (π.χ. χαμηλή περιεκτικότητα σε οργανική ουσία, εναλατωμένα εδάφη κ.λπ.).
- Ιδιαίτερα χρήσιμη είναι η υδροπονία στις περιπτώσεις εκείνες που το χρησιμοποιούμενο για άρδευση νερό έχει χαμηλή περιεκτικότητα σε άλατα (ηλεκτρική αγωγιμότητα πάνω από 1-1,5 dS/m). Στις περιπτώσεις αυτές η υδροπονία είναι ίσως ο μόνος τρόπος επιτυχούς αντιμετώπισης του προβλήματος. Όμως σε νερό με υψηλή περιεκτικότητα αλάτων προτιμάται ανοικτό σύστημα.
- Στις υδροπονικές καλλιέργειες το κόστος θέρμανσης είναι μειωμένο. Όπως είναι γνωστό, η εξάτμιση νερού συνοδεύεται πάντοτε από κατανάλωση ενέργειας υπό μορφή λανθάνουσας θερμότητας.
- Έχει αποδειχθεί επανειλημμένα στην πράξη ότι η καλλιέργεια τόσο σε καλής ποιότητας υπόστρωμα, όσο και σε καθαρό θρεπτικό διάλυμα (π.χ. NFT), πρωιμίζει σημαντικά την πρώτη συγκομιδή (BenoitandGeustermans, 1995).
- Στις υδροπονικές καλλιέργειες, η θρέψη των φυτών είναι πολύ πιο ακριβής, μπορεί να ελέγχεται και με μεγαλύτερη αξιοπιστία και επίσης μπορεί να διορθώνεται ευκολότερα και ταχύτερα σε περίπτωση που έχει δημιουργηθεί κάποιο λάθος.
- Η καλλιέργεια των φυτών εκτός εδάφους απαλλάσσει τον καλλιεργητή από τις εργασίες της προετοιμασίας του εδάφους (όργωμα, φρεζάρισμα, βασική λίπανση κ.ά.) με αποτέλεσμα την μείωση των εργατικών.
- Οι καλύτερες φυσικοχημικές ιδιότητες των υποστρωμάτων σε σύγκριση με το έδαφος, η αριστοποίηση της θρέψης και η διατήρηση υψηλότερων θερμοκρασιών στο ριζόστρωμα κατά τη διάρκεια των

χαμηλών θερμοκρασιών με αποτέλεσμα την αύξηση των αποδόσεων στις υδροπονικές καλλιέργειες.

- Στις υδροπονικές καλλιέργειες, η αριστοποίηση της θρέψης αλλά και η αποφυγή μιας σειράς προβλημάτων δίνουν τη δυνατότητα παραγωγής λαχανικών και καλλωπιστικών φυτών καλύτερης ποιότητας (BenoitandGeustermans, 1995). Τα κυριότερα ποιοτικά χαρακτηριστικά τα οποία βρέθηκαν να υπερτερούν τα προερχόμενα από υδροπονικές καλλιέργειες προϊόντα, είναι η περιεκτικότητα σε βιταμίνη C, η οποία αυξάνεται (SonneveldandWelles, 1984), η περιεκτικότητα σε νιτρικά η οποία μειώνεται (Wendt, 1982, AndersenandNielsen, 1992) και ο χρόνος διατήρησής τους ο οποίος αυξάνεται (SonneveldandWelles, 1984).
- Ένα άλλο πλεονέκτημα της υδροπονίας είναι οι αυξημένες δυνατότητες μηχανοποίησης και αυτοματοποίησης των καλλιεργητικών εργασιών (BenoitandGeustermans, 1995).
- Η δυνατότητα αποτελεσματικότερης προστασίας του περιβάλλοντος, όταν η καλλιέργεια λαμβάνει χώρα σε κλειστό υδροπονικό σύστημα (Savvas, 2002).

#### 1.4.2 Μειονεκτήματα

- Το υψηλό κόστος αρχικής εγκατάστασης μιας υδροπονικής μονάδας.
- Είναι πιο γρήγορη και πιο άμεση η εμφάνιση των δυσμενών επιπτώσεων ενός λάθους χειρισμού.
- Χρειάζεται ένα ελάχιστο μορφωτικό επίπεδο, για την εφαρμογή υδροπονίας σε μια θερμοκηπιακή μονάδα.
- Υψηλό κόστος παραγωγής από την κατανάλωση λιπασμάτων σε σύγκριση με το έδαφος. Το κόστος αυτό είναι ιδιαίτερα ψηλό στα ανοικτά συστήματα υδροπονίας.
- Στα κλειστά συστήματα υπάρχει ο κίνδυνος μόλυνσης και εξάπλωσης μιας μόλυνσης αν και σύμφωνα με τον VanOs (1982) ο κίνδυνος είναι σχετικά μικρός.

#### 1.5 σύστημα NFT καλλιέργειας

Η καλλιέργεια σε ρηχό ρεύμα θρεπτικού διαλύματος (NFT), προέρχεται από τα αρχικά του Αγγλικού όρου NutrientFilmTechnique. Το σύστημα αυτό αναπτύχθηκε στα τέλη της δεκαετίας του 1960 και στις αρχές του 1970 από τον

Cooper (1975, 1977, 1979). Η καλλιέργεια NFT είναι μια υδροπονική μέθοδος καλλιέργειας φυτών στην οποία δεν γίνεται χρήση στερεού υποστρώματος. Οι ρίζες των φυτών αναπτύσσονται μέσα σε καθαρό θρεπτικό διάλυμα το οποίο ρέει συνεχώς, χωρίς να υπάρχει κανένα πορώδες υπόστρωμα. Για την καλή οξυγόνωση του ριζικού συστήματος, το βάθος δεν πρέπει να ξεπερνάει τα 2-4 mm (Cooper, 1979). Μια εγκατάσταση NFT αποτελείται από:

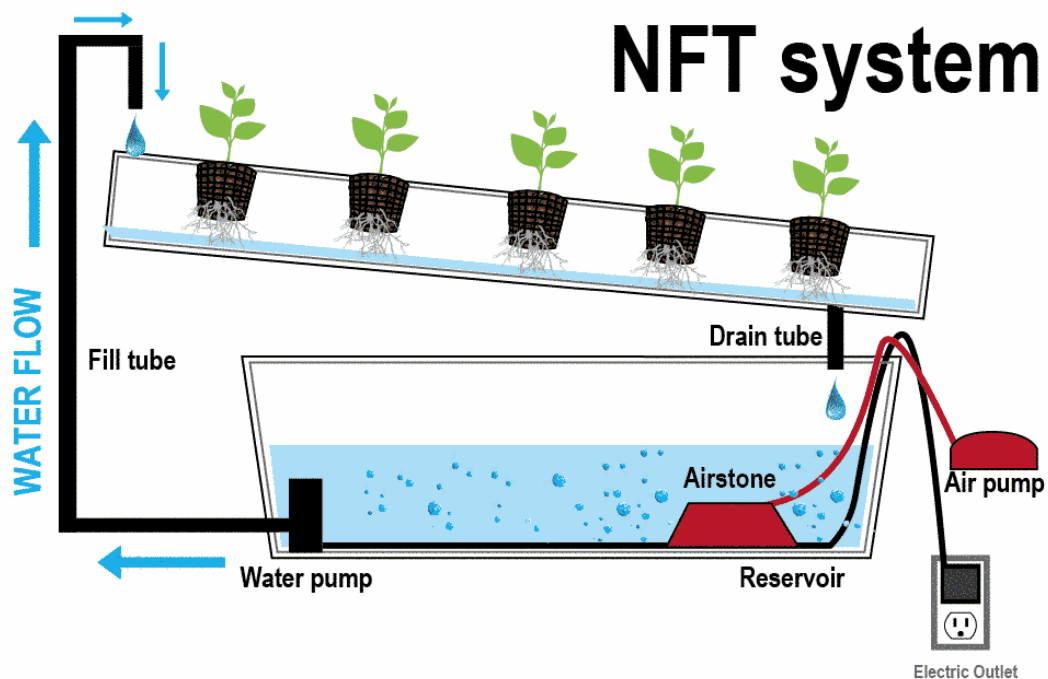
- ένα σύστημα παράλληλα τοποθετημένων υδρορροών (καναλιών), μέσα στις οποίες κυλάει θρεπτικό διάλυμα
- ένα σύστημα παρασκευής (κεφαλή υδρολίπανσης) και διανομής του θρεπτικού διαλύματος στις υδρορροές
- εγκαταστάσεις συλλογής του διαλύματος από τις υδρορροές και επιστροφής του πίσω στην κεφαλή υδρολίπανσης, ώστε να ανακυκλώνεται. Για να είναι δυνατή η ροή του διαλύματος μέσα στις υδρορροές, αυτές θα πρέπει να έχουν κατά μήκος μια μικρή κλίση γύρω στο 1-2% (Graves, 1983, Schwartz, 1995).

Η περιεκτικότητα του θρεπτικού διαλύματος σε οξυγόνο μειώνεται σημαντικά στην πορεία της ροής του μέσα στο κανάλι με συνέπεια να δημιουργούνται προβλήματα υποξίας. Γι' αυτό, το μήκος των καναλιών στις καλλιέργειες σε συστήματα NFT δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τα 20m (Schwartz, 1995). Σε όλες τις εκδοχές ενός συστήματος NFT, υπάρχει ένα δοχείο (δεξαμενή) παροχής θρεπτικού διαλύματος. Από το δοχείο αυτό, το θρεπτικό διάλυμα μεταφέρεται με την βοήθεια μιας αντλίας στα κανάλια που φέρουν τα φυτά. Το δοχείο παροχής θρεπτικού διαλύματος είναι ταυτόχρονα και δοχείο συλλογής των απορροών, δεδομένου ότι σε αυτό καταλήγει το θρεπτικό διάλυμα που επιστρέφει από τα κανάλια. Σε καλλιέργειες κάτω από μεσογειακές κλιματικές συνθήκες αυτός ο όγκος είναι καλύτερα να είναι μεγαλύτερος (π.χ. για την τομάτα 3L/φυτό). Το ύψος του ρέοντος θρεπτικού διαλύματος μέσα στα κανάλια δεν ξεπερνά τα λίγα χιλιοστά, το ύψος των ριζών των πλήρως ανεπτυγμένων φυτών μπορεί να φτάσει τα 2 – 3 cm (Hurd 1998). Επομένως, οι ρίζες μέσα στα κανάλια είναι σε θέση να προσλαμβάνουν τόσο νερό και θρεπτικά στοιχεία, όσο και οξυγόνο. Πάνω σε αυτήν ακριβώς την αρχή βασίζεται η μέθοδος NFT (Cooper, 1979). Σύμφωνα με τον αρχικό σχεδιασμό του συστήματος NFT, τα φυτά τοποθετούνται γυμνόριζα μέσα στις υδρορροές (Cooper, 1979).

Εκτός από πλεονεκτήματα, το NFT παρουσιάζει και όλα τα μειονεκτήματα των κλειστών υδροπονικών συστημάτων, δηλαδή αναγκαιότητα συχνών αναλύσεων και εκτεταμένων αναπροσαρμογών στην σύνθεσή του μετά από



κάθε ανάλυση, συσσώρευση ιόντων Na και Cl σε περίπτωση που το χρησιμοποιούμενο νερό έχει αυξημένη περιεκτικότητα στα δύο αυτά ιόντα κ.λπ. Όπως σε όλα τα κλειστά υδροπονικά συστήματα είναι υπαρκτός ο κίνδυνος διασποράς μολυσμάτων. Απέναντι σε αυτά τα μειονεκτήματα αντιπαρατίθεται κυρίως το πλεονέκτημα του μηδενικού κόστους κήσης υποστρώματος και της μη επιβάρυνσης του περιβάλλοντος μέσω υπερβολικής λίπανσης, όπως γίνεται στα ανοιχτά συστήματα καλλιέργειας (Σάββας, 2010).



Εικόνα 1.2 σύστημα NFT καλλιέργειας

## 1.6 Θρεπτικά διαλύματα καλλιεργειών εκτός εδάφους

Το θρεπτικό διάλυμα που χρησιμοποιείται για την λίπανση των υδροπονικών καλλιεργειών παίζει σημαντικό ρόλο για την απόδοση της καλλιέργειας και την ποιότητα των προϊόντων. Το πρόβλημα της λίπανσης σήμερα επικεντρώνεται στον προσδιορισμό των απαιτούμενων ποσοτήτων των θρεπτικών στοιχείων που πρέπει να προστεθούν για την κάλυψη των αναγκών των φυτών. Η

σύσταση των θρεπτικών διαλυμάτων εξαρτάται από τον τύπο του συστήματος της καλλιέργειας. Τα δυο συστήματα είναι:

- Τα ανοικτά συστήματα καλλιέργειας εκτός εδάφους, στα οποία χρησιμοποιούνται αποκλειστικά σε υποστρώματα και το θρεπτικό διάλυμα χρησιμοποιείται μια φορά και η περίσσεια θρεπτικού διαλύματος (κλάσμα απορροής) απορρίπτεται.
- Τα κλειστά συστήματα καλλιέργειας εκτός εδάφους, στα οποία το διάλυμα του κλάσματος απορροής μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί αφού συμπληρωθεί και απολυμανθεί.

Σε όλα τα συστήματα, η διαχείριση και η παρασκευή του θρεπτικού διαλύματος θα πρέπει να γίνεται με μεγάλη προσοχή. Οι συγκεντρώσεις των στοιχείων μεταβάλλονται ανάλογα με το στάδιο ανάπτυξης, την παραγωγή και τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Ανεξάρτητα από την συγκέντρωση των θρεπτικών συστατικών του θρεπτικού διαλύματος, η ποιότητα του θρεπτικού διαλύματος εξαρτάται από την **οξύτητα** (pH) θρεπτικών διαλυμάτων και από την **ηλεκτρική αγωγιμότητα** (EC) των θρεπτικών διαλυμάτων. Τα δύο αυτά μεγέθη χρησιμοποιούνται ευρύτατα για τον καθημερινό έλεγχο της ποιότητας του διαλύματος σε ένα σύστημα καλλιέργειας εκτός εδάφους.

### 1.6.1 Οξύτητα (pH) θρεπτικών διαλυμάτων

Το pH του θρεπτικού διαλύματος που αποτελεί μέτρο της περιεκτικότητας ενός σε ιόντα υδρογόνου και παίζει καθοριστικό ρόλο για την καταλληλότητα ενός θρεπτικού διαλύματος καλλιέργειας εκτός εδάφους. Όταν το pH, είναι ψηλότερο από κάποιες τιμές που θεωρούνται ως ανώτερα επιθυμητά όρια, πολλά θρεπτικά στοιχεία που είναι ευδιάλυτα μέσα σε ένα σχετικά στενό εύρος τιμών pH παύουν να είναι διαθέσιμα για τα φυτά. Τέτοια στοιχεία είναι ο **φώσφορος** (P), ο **σίδηρος** (Fe), το **μαγγάνιο** (Mn), ο **ψευδάργυρος** (Zn) και ο **χαλκός** (Cu) που καθίστανται δυσδιάλυτα για την θρέψη των φυτών. Αντίθετα, όταν το pH είναι χαμηλότερο από κάποια κρίσιμα κατώτερα όρια, κάποια θρεπτικά στοιχεία, όπως το **μαγγάνιο** (Mn), απορροφώνται ταχύτερα από ότι συνήθως, γιατί αυξάνεται η διαλυτότητα τους (Marschner, 1995, Sonneveld, 2002).

### 1.6.2 Ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) θρεπτικών διαλυμάτων

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα (Electrical Conductivity - E.C.) σαν φυσικό μέγεθος είναι το αντίστροφο της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης ενός υλικού, ανά μονάδα μήκους. Σε μια συγκεκριμένη θερμοκρασία, η ηλεκτρική αγωγιμότητα ενός υδατικού διαλύματος είναι ανάλογη της συγκέντρωσης των ιόντων που βρίσκονται σε αυτό. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα δε μας δίνει καμία πληροφορία για το είδος των αλάτων που είναι διαλυμένα σε ένα διάλυμα, αλλά μόνο για την συνολική τους συγκέντρωση. Οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων στα θρεπτικά διαλύματα δεν παίζουν πρακτικά κανένα ρόλο στο ύψος της συνολικής συγκέντρωσης αλάτων σε αυτά. Η συνολική συγκέντρωση ιχνοστοιχείων είναι περίπου το 1/500 σε σύγκριση με αυτές των μακροστοιχείων. Γι' αυτό, κατά τον καθορισμό της σύνθεσης ενός θρεπτικού διαλύματος οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων καθορίζονται ανεξάρτητα από αυτές των μακροστοιχείων (Σάββας, 2005). Μέσω της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) μπορεί να εκτιμηθεί η συνολική συγκέντρωση των θρεπτικών συστατικών που περιέχονται στα θρεπτικά διαλύματα με την εμπειρική σχέση :  $C = 9,819 E - 1,462$  (Savvas and Adamidis).

### 1.7 Θρεπτικά στοιχεία που εφαρμόζονται σε διαλύματα καλλιεργειών εκτός εδάφους

Τα χημικά στοιχεία που έχουν απαντηθεί στους φυτικούς οργανισμούς είναι πάνω από εξήντα (60). Μερικά από αυτά χαρακτηρίζονται ως απαραίτητα, ενώ κάποια άλλα απαντούνται στα φυτά ασκώντας θετική ή αρνητική επίδραση σε αυτά, όπως το **νάτριο** (Na), **πυρίτιο** (Si), **νικέλιο** (Ni) κ.α. Τα απαραίτητα χημικά στοιχεία, τα οποία είναι αναγκαία και αναντικατάστατα για την ανάπτυξη και την ολοκλήρωση του βιολογικού κύκλου των φυτών, είναι 16. Από τα στοιχεία αυτά, 9 είναι απαραίτητα σε μεγάλες ποσότητες ονομάζονται μακροστοιχεία και τα υπόλοιπα 7 είναι απαραίτητα σε ίχνη. Τα μακροστοιχεία είναι ο **άνθρακας** (C), το **οξυγόνο** (O), το **υδρογόνο** (H), το **άζωτο** (N), ο **φώσφορος** (P), το **θειό**(S), το **κάλιο** (K), το **ασβέστιο** (Ca) και το **μαγνήσιο** (Mg). Τα ιχνοστοιχεία είναι ο **σίδηρος** (Fe), το **μαγγάνιο** (Mn), ο

**ψευδάργυρος**(Zn), ο **χαλκός**(Cu) , το **βόριο** (B), το **μολυβδαίνιο** (Mo) και το **χλώριο** (Cl). Τα θρεπτικά διαλύματα πρέπει να περιέχουν όλα τα θρεπτικά στοιχεία που θεωρούνται απαραίτητα για την ανάπτυξη των φυτών, εκτός από τον άνθρακα ο οποίος προσλαμβάνεται από την ατμόσφαιρα (Co<sub>2</sub>). Το υδρογόνο και το οξυγόνο λαμβάνονται από το νερό, ενώ οξυγόνο προσλαμβάνεται από τον ατμοσφαιρικό αέρα για τις ανάγκες της αναπνοής. Το χλώριο περιέχεται σε επαρκείς ποσότητες ως χλωριούχο ανιόν στο νερό που χρησιμοποιείται για την θρέψη των φυτών (Σάββας, 2012).

Τα απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία θα πρέπει να πληρούν τα παρακάτω κριτήρια που θέσπισαν οι Arnon και Stout (1939).

- Η έλλειψη του δεν πρέπει να εμποδίζει την ολοκλήρωση του βιολογικού κύκλου του φυτού.
- Να είναι αδύνατη η αντικατάσταση του από κάποιο άλλο με παρόμοιες ιδιότητες.
- Να συμμετέχει άμεσα στο μεταβολισμό του φυτού π.χ. σε μία ενζυμική αντίδραση.

## 1.8 Ιχνοστοιχεία

Οι απαιτήσεις των φυτών είναι ελάχιστες σε μικροστοιχεία, αλλά πρέπει να εφαρμόζονται για τη διατήρηση της ισορροπίας στη θρέψη του φυτού. Οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων είναι σε  $\mu\text{mol l}^{-1}$  ενώ τα μακροστοιχεία βρίσκονται σε συγκεντρώσεις  $\text{mmol l}^{-1}$ . Από αυτά διαπιστώνουμε ότι τα μακροστοιχεία, βρίσκονται σε πολύ μεγαλύτερες ποσότητες στα θρεπτικά διαλύματα από τα ιχνοστοιχεία. Είναι σημαντική η ικανότητα ελέγχου και διαχείρισης των ποσοτήτων τους στο διάλυμα γιατί απαιτείται μεγάλη ακρίβεια. Αν εφαρμοστούν σε μικρότερες ή μεγαλύτερες συγκεντρώσεις, κυρίως σε καλλιέργεια εκτός εδάφους, μπορούν να παρουσιάσουν συμπτώματα τροφοπενίας ή τοξικότητας αντίστοιχα. Επίσης τα ιχνοστοιχεία δεν επηρεάζουν την αγωγιμότητα ενός θρεπτικού διαλύματος.

### 1.8.1 Βόριο (B)

Το βόριο είναι απαραίτητο για την σύνθεση των πρωτεϊνών, τη διαίρεση των κυττάρων και την κυκλοφορία των σακχάρων στο φυτό. Η έλλειψη βορίου προκαλεί παραμορφώσεις, απώλεια χρώματος, σκούρες κηλίδες και εμφάνιση ρωγμών. Εντοπίζεται σε συγκεντρώσεις 10-50 mg/kg του ξηρού βάρους στα φύλλα (MillsandJones, 1996). Το κλασικό λίπασμα που εφαρμόζεται είναι ο βόρακας, αλλά παρουσιάζει χαμηλή διαλυτότητα και περιεκτικότητα σε καθαρό βόριο. Επίσης στο θρεπτικό διάλυμα χρησιμοποιούνται το βορικό οξύ και το οκταβορικό νάτριο. Το δεύτερο είναι πιο ευδιάλυτο από τα άλλα και χαρακτηρίζεται από μεγάλη ποσότητα σε καθαρό βόριο, γι' αυτό και έχει καθιερωθεί ως το πλέον συνηθισμένο λίπασμα B για υδροπονική καλλιέργεια (Σάββας, 2012).

Το μεγαλύτερο ποσοστό του βορίου περνάει μέσα στη ρίζα παθητικά με το ρεύμα της διαπνοής ως αδιάστατο βορικό οξύ ( $H_3BO_3$ ). Όμως, μικρές ποσότητες βορίου προσλαμβάνονται ενεργά. Οι παράγοντες που μειώνουν την διαπνοή, όπως η υψηλή σχετική υγρασία ή η ξηρασία μειώνουν την πρόσληψη του βορίου και την μετακίνηση του. Το βόριο είναι σχετικά δυσκίνητο μέσα στο φυτό και μεταφέρεται με μαζική ροή και διάχυση. Κινείται κυρίως στο ξύλο ως σύμπλοκο σακχάρων-βορικού, ενώ η κίνηση του στον φλοιό είναι περιορισμένη.

Οι λειτουργίες του βορίου στο φυτό σχετίζονται με την μεριστωματική αύξηση και εμπλέκονται άμεσα στην διαφοροποίηση των κυττάρων, την ωρίμανση, την διαίρεση και την επιμήκυνση. Η μοριακή βάση αυτής της λειτουργίας βρίσκεται στο ότι το βόριο είναι αναγκαίο για την σύνθεση της ουρακίλης, η οποία είναι συστατικό του RNA και η πρόδρομη ένωση της ουριδινο-διφωσφορο-γλυκόζης. Όταν περιορίζεται η στάθμη του βορίου, οι ρυθμοί της κυτταρικής διαίρεσης μειώνονται και αυξάνει ο αριθμός των αδιαφοροποίητων κυττάρων. Επιπλέον, το βόριο επηρεάζει την αύξηση του υπέρου, πιθανώς με αύξηση της απορρόφησης και του μεταβολισμού των σακχάρων και αύξηση της αναπνοής. Επομένως, το βόριο ασκεί ένα έμμεσο έλεγχο στη βλάστηση.

Η μέση περιεκτικότητα των θρεπτικών διαλυμάτων σε βόριο κυμαίνεται από 20 έως 40  $\mu\text{mol l}^{-1}$  (deKreijetal.,1999). Το βόριο κατανέμεται ακανόνιστα μέσα στο

φυτό. Τα υψηλότερα επίπεδα βορίου βρίσκονται στα αναπαραγωγικά φυτικά μέρη, όπως τους ανθήρες, το στίγμα και τις ωοθήκες (μερικές φορές σε επίπεδα διπλάσια από εκείνα των βλαστών). Το περισσότερο από το βόριο των φύλλων συσσωρεύεται στην περιφέρεια και στα άκρα, σε επίπεδα 5 έως 10 φορές υψηλότερα από εκείνα του ελάσματος.

Τροφopenία βορίου από το φυτό οδηγεί σε νανισμό, παρεμπόδιση της ανάπτυξης και μεταχρωματισμούς στα φύλλα. Τα νεαρά φύλλα είναι παραμορφωμένα, ζαρωμένα, παχύτερα και σκουρότερα στο χρώμα. Τελικά, τα ακραία σημεία αύξησης θανατώνονται. Τα φύλλα και οι βλαστοί μπορεί να γίνουν εύθραυστα, είτε επειδή επηρεάζεται ο σχηματισμός του κυτταρικού τοιχώματος, είτε επειδή συσσωρεύονται φαινόλες. Η συσσώρευση αυξινών και φαινόλων επάγει την νέκρωση των φύλλων και άλλων φυτικών μερών. Οι ρίζες είναι γλοιώδεις, παχιές, με εξογκώματα και έχουν νεκρωμένες άκρες. Επίσης η ανάπτυξη των καρπών είναι πολύ αργή έως ανύπαρκτη, ανάλογα και τις ανάγκες του φυτού.

Περίσσεια βορίου μπορεί να δημιουργήσει συμπτώματα τοξικότητας. Έτσι είναι σημαντικός ο έλεγχος των συγκεντρώσεων του κατά την παρασκευή του θρεπτικού διαλύματος καθώς σε κάποιες περιοχές εντοπίζεται και στο νερό. Επίπεδα πάνω από  $50 \mu\text{mol l}^{-1}$  βορίου στο διάλυμα είναι τοξικά για τα περισσότερα φυτά. Τα συμπτώματα της τοξικότητας είναι η χλώρωση και η νέκρωση των άκρων των φύλλων και τελικά το καψάλισμα και το κάψιμο των φύλλων. Χαμηλά επίπεδα βορίου στο φυτό επηρεάζουν την ενσωμάτωση φωσφόρου στα νουκλεϊκά οξέα και μειώνουν τα επίπεδα άλλων ενώσεων που περιέχουν φωσφόρο, όπως το ATP.

Η απορρόφηση του φωσφόρου από τις ρίζες των ελλειμματικών σε βόριο φυτών μπορεί να μειωθεί στο μισό. Υψηλά επίπεδα καλίου έχει βρεθεί ότι μειώνουν την περιεκτικότητα του βορίου στο φυτό. Το βόριο και το ασβέστιο πρέπει να είναι σε ισορροπία για την σωστή αύξηση του φυτού. Αυξημένες ποσότητες Ca στο φυτό δημιουργούν, υψηλές απαιτήσεις βορίου (BentonJ, 2012). Η παρεμπόδιση του ασβεστίου στην πρόσληψη του βορίου είναι ιδιαίτερα αξιοσημείωτη σε υψηλό pH. Η ανεπαρκής ποσότητα βορίου στα φυτά μπορεί να οδηγήσει σε μειωμένη απορρόφηση K, Ca και N από αυτό και να προκαλέσει μειωμένη παραγωγή (Davisetal.,2003).



Εικόνα 1.3 Τροφοπενία βορίου σε φύλλα πιπεριάς

### 1.8.2 Σίδηρος (Fe)

Ο σίδηρος δρα ως καταλύτης για τη σύνθεση της χλωροφύλλης και είναι απαραίτητος για την ανάπτυξη των νέων βλαστών και την πρόληψη των τροφοπενιών. Από όλα τα θρεπτικά στοιχεία μόνο ο σίδηρος προστίθεται σε χηλική μορφή και όχι σε ανόργανη μορφή. Η αναγκαιότητα αυτή απορρέει από την ιδιότητα των ιόντων Fe να αντιδρούν με τα φωσφορικά ιόντα και να καταβυθίζονται με αποτέλεσμα να παύουν να είναι διαθέσιμα για τα φυτά (Σάββας, 2012). Η περιεκτικότητα των φύλλων στα περισσότερα φυτά είναι από 50 έως 300 mg/kg της ξηράς ουσίας τους (Mills and Jones, 1996). Ο σίδηρος απορροφάται από τα φυτά ως δισθενής ( $Fe^{+2}$ ), ως τρισθενής ( $Fe^{+3}$ ) και ως οργανικό σύμπλοκο, μολονότι η δισθενής μορφή του είναι η πιο κινητική και διαθέσιμη για να χρησιμοποιηθεί στις μεταβολικές διεργασίες του φυτού. Ο Fe πιθανόν παίζει σημαντικό ρόλο σε λειτουργίες που αφορούν τη μεταφορά ενέργειας, γεγονός που οφείλεται στην ευκολία αλλαγής σθένους. Επίσης συμμετέχει στη διαδικασία της φωτοσύνθεσης και στο σχηματισμό της χλωροφύλλης (Benton, 2005). Ο Fe, προωθεί την βιοσύνθεση της χλωροφύλλης, χωρίς να αποτελεί συστατικό του μορίου της, και ενεργεί ως φορέας οξυγόνου.

Αποτελεί συστατικό της πρωτεΐνης φερρεδοξίνης, που παίζει ρόλο στην αναγωγή των νιτρικών και θειικών, στην αφομοίωση του αζώτου και στην παραγωγή ενέργειας (NAPD), (Benton, 2012).

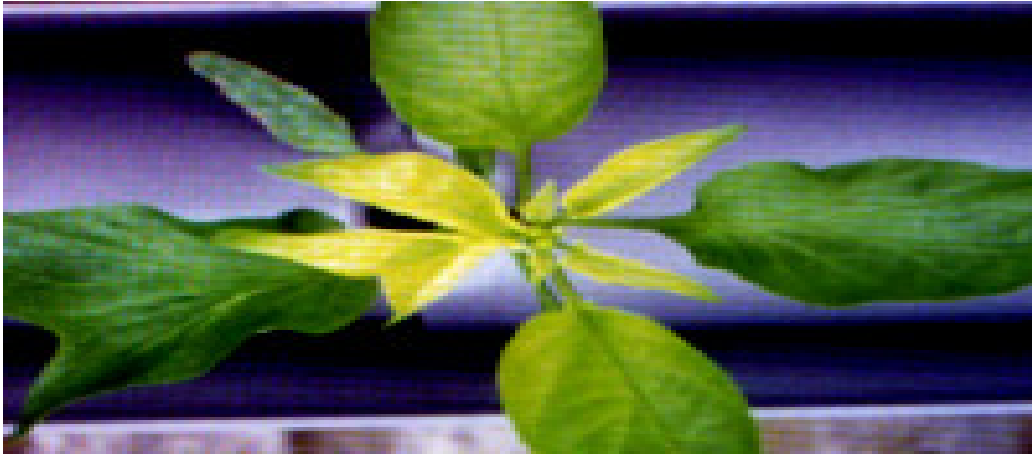
Τροφοπενία σιδήρου είναι το πιο συχνό πρόβλημα θρέψης που παρουσιάζεται όταν τα επίπεδα του pH στην περιοχή των ριζών είναι πολύ υψηλά. Το πιο συνηθισμένο σύμπτωμα τροφοπενίας αφορά την παρεμπόδιση του πράσινου χρώματος εξαιτίας της απώλειας χλωροφύλλης. Τα συμπτώματα της χλώρωσης του σιδήρου εμφανίζονται σε πρώτα στάδια με κιτρίνισμα του ελάσματος μεταξύ των νεύρων, ενώ τα νεύρα παραμένουν πράσινα. Όταν η έλλειψη είναι μεγαλύτερη, η χλώρωση επεκτείνεται σε ολόκληρο το φύλλο. Αυτό εμφανίζεται κυρίως στη νέα βλάστηση, διαφοροποιώντας κατά κάποιο τρόπο από τα συμπτώματα τροφοπενίας Mg.

Γενικότερα η έλλειψη σιδήρου συσχετίζεται και με συμπτώματα άλλων στοιχείων όπως Mn, Zn και Cu. Επίσης, μερικά είδη μπορεί να ανταποκριθούν σε συνθήκες έλλειψης Fe με την απελευθέρωση ιόντων υδρογόνου δημιουργώντας μια όξινη περιοχή κοντά στη ρίζα. Η αντιμετώπιση των συμπτωμάτων αυτών και η δημιουργία νέας υγιούς βλάστησης, είναι πιο εύκολη να γίνει σε μια υδροπονική καλλιέργεια (SonneveldandVoogt, 2009). Πολύ υψηλά επίπεδα καλίου, μειώνουν την κινητικότητα και διαλυτότητα του Fe, ενώ το άζωτο επιτείνει την τροφοπενία Fe (Benton, 2012).

Το Ca επίσης, προκαλεί μη απορρόφηση του σιδήρου, με αποτέλεσμα την τροφοπενία σιδήρου. Επίσης, όταν έχουμε μεγάλη απέκκριση  $\text{HCO}_3^-$  και λόγω της ρυθμιστικής ικανότητας που δεν επιτρέπει την πτώση του pH στην ριζόσφαιρα έχει ως αποτέλεσμα την τροφοπενία  $\text{Fe}^{2+}$  (Marschner, 1995).

Περίσσεια ποσότητα σιδήρου (Fe), στα θρεπτικά διαλύματα δεν προκαλεί άμεσα τοξικότητα σιδήρου (Fe). Μπορεί όμως να προκαλέσει διαταραχές θρέψης γιατί το χηλικό μόριο μπορεί να δεσμεύσει τον ψευδάργυρο (Zn) και τον χαλκο (Cu) (deRijckandSchrevens, 1998b).





Εικόνα 1.4 Τροφοπενία σιδήρου σε νεαρά φύλλα πιπεριάς

### 1.8.3 Μαγγάνιο (Mn)

Το μαγγάνιο συμμετέχει στη διαθεσιμότητα του σιδήρου μέσα στο φυτό. Τα φυτά προσλαμβάνουν μόνο τη διασπασμένη μορφή του ( $Mn^{2+}$ ) το οποίο απαντάται σε όξινα εδάφη. Στην υδροπονία εφαρμόζεται σε ποσότητες 0,5 mg/L και απορροφάται εύκολα από τα φυτά (Benton, 2005). Το θειικό μαγγάνιο αποτελεί το κατά κανόνα χρησιμοποιούμενο λίπασμα Mn για την παρασκευή θρεπτικών διαλυμάτων (Σάββας, 2012). Η περιεκτικότητα του στα φύλλα είναι περίπου 30-250 mg/kg του ξηρούς βάρους τους (MillsandJones, 1996). Απορροφάται από τα φυτά ως  $Mn^{+2}$  αλλά και υπό τη μορφή συμπλόκων. Το μαγγάνιο είναι απαραίτητο στις διαδικασίες οξειδοαναγωγής στο φωτοσυνθετικό σύστημα μεταφοράς ηλεκτρονίων. Επίσης, ενεργεί ως γέφυρα για την ATP και τα ενζυμικά σύμπλοκα φωσφοκινάση, φωσφοτρανσφεράση και ενεργοποιεί IAA οξειδάση (BentonJ., 2012).

Η τροφοπενία εμφανίζεται αρχικά στα φύλλα που είναι χαμηλά, στη βάση του φυτού. Έχει διαπιστωθεί ότι έλλειψη μαγγανίου εμποδίζει την αναγωγή των  $NO_2^-$  προς αμμωνιακά. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την αναστολή και της δράσης της ρεδοκτάσης των  $NO_3^-$ . Άρα ούτε τα νιτρικά μπορούν να αναχθούν προς νιτρώδη και αμμωνιακά. Το μαγγάνιο δεν μετακινείται εύκολα στο φυτό και, επομένως, τα πρώτα συμπτώματα εμφανίζονται στα νεαρότερα φύλλα σαν

χλώρωση μεταξύ των νεύρων. Σε ορισμένες περιπτώσεις, το ριζικό σύστημα γίνεται ευπαθές στις ασθένειες. Τομαγγάνιο (Mn) ανταγωνίζεται από τα μακροστοιχεία Ca, Mg, P και K. Σε περιπτώσεις τροφοπενίας ή περίσσειας Mn διαταράσσεται γενικότερα η θρέψη του φυτού. Το μαγγάνιο (Mn) απαιτεί προσοχή γιατί η ελάττωση της συγκέντρωσης του στο θρεπτικό διάλυμα μπορεί να προκαλέσει λανθάνουσα τροφοπενία χωρίς ορατά συμπτώματα αλλά με σημαντική πτώση παραγωγής (Savvasetal. 2009a). Περίσσεια συγκέντρωσης μαγγανίου στα φυτά, προκαλεί έλλειψη σιδήρου λόγω, ότι δρουν ανταγωνιστικά στο θρεπτικό διάλυμα.



Εικόνα 1.5 Τροφοπενία μαγγανίου Mn σε πιπεριά.

#### 1.8.4 Ψευδάργυρος (Zn)

Το εύρος των συγκεντρώσεων του ψευδαργύρου (Zn) στα φύλλα κυμαίνεται μεταξύ 20 και 250 mg/kg της ξηρής ουσίας τους (MillsandJones, 1996). Μικρές μεταβολές στην ποσότητά του μπορούν να προκαλέσουν φυσιολογικές διαταραχές και αυξημένη ευαισθησία σε ασθένειες. Βασική πηγή Zn στις υδροπονικές καλλιέργειες αποτελεί ο θειικός ψευδάργυρος και πιο συγκεκριμένα ο επταυδρικός θειικός ψευδάργυρος ο οποίος περιέχει μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε καθαρό Zn (Σάββας, 2012). Ο

ψευδάργυρος συμμετέχει σε πολλές ενζυμικές διεργασίες και παίζει ρόλο στη σύνθεση της τρυπτοφάνης. Η τρυπτοφάνη είναι απαραίτητο συστατικό ορισμένων πρωτεϊνών καθώς και στη σύνθεση αυξινών. Η μείωση των ορμονών αυτών, λόγω έλλειψης ψευδαργύρου στο φυτό, προκαλεί μείωση των μεσογονατιών διαστημάτων και του μεγέθους των φύλλων. Τα συμπτώματα αυτά εμφανίζονται στα επάκρια τμήματα του φυτού, λόγω του ότι ο ψευδάργυρος δε μετακινείται εύκολα μέσα στο φυτό.

Η τροφοπενία Zn εμφανίζει χλωρώσεις και παραμορφώσεις στα φύλλα, οι οποίες μπορούν να συσχετιστούν και με συμπτώματα τροφοπενιών άλλων στοιχείων. Περίσσεια συγκέντρωσης Zn, μπορεί να προκαλέσει τροφοπενία σιδήρου, ιδιαίτερα σε ευαίσθητα σε Fe φυτά (Benton J., 2012). Επιπλέον, επιτυγχάνεται πρόωμη φυλλόπτωση ή αποχρωματισμός περιοχών των φύλλων, νέκρωση των ιστών και κακός σχηματισμός των καρπών που συνεπάγεται με μικρή ή και καθόλου παραγωγή.

### 1.8.5 Μολυβδαίνιο (Mo)

Οι απαιτήσεις των φυτών σε μολυβδαίνιο είναι ελάχιστες. Κύρια λιπάσματα για την παρασκευή του θρεπτικού διαλύματος είναι το επταμολυβδαινικό αμμώνιο και το μολυβδαινικό νάτριο (Σάββας, 2012). Το μολυβδαίνιο απαιτείται για τον σχηματισμό των ενζύμων «ρεδουκτάση νιτρικών», τα οποία ανάγουν τα νιτρικά σε νιτρώδη ( Marschner, 1995). Χρειάζεται, επίσης, για την μετατροπή των ανόργανων φωσφορικών, σε αφομοιώσιμες οργανικές μορφές για τα φυτά.

Τροφοπενίες μολυβδαίνιου (Mo) έχουν σαν αποτέλεσμα τη μειωμένη πρόσληψη και μεταβολισμό του αζώτου, παρόλο που οι συγκεντρώσεις του επαρκούν. Σε καλλιέργειες σε αδρανή υποστρώματα, ακόμη και μηδενικές συγκεντρώσεις Mo στο θρεπτικό διάλυμα είναι δυνατόν σε ορισμένες περιπτώσεις να μην προκαλέσουν προβλήματα θρέψης των φυτών (Adamsetal., 1989, SonneveldandVoogt, 1997). Πολλές φορές τα συμπτώματα έλλειψης είναι παρόμοια με του αζώτου.

### 1.8.6 Χαλκός (Cu)

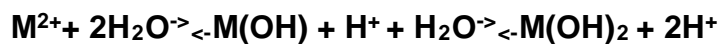
Το εύρος των συγκεντρώσεων του χαλκού (Cu) στα φύλλα κυμαίνεται μεταξύ 6 και 30 mg/kg της ξηρής ουσίας τους (MillsandJones, 1996). Ο χαλκός απορροφάται από τα φυτά ως κατιόν ( $\text{Cu}^{+2}$ ), αλλά και ως συστατικό φυσικών ή συνθετικών οργανικών συμπλόκων. Το 70% του χαλκού βρίσκεται στους χλωροπλάστες και αποτελεί συστατικό της πρωτεΐνης τους. Επίσης, ο χαλκός συμβάλλει στην πρωτεϊνοσύνθεση καθώς και την βιοσύνθεση σακχάρων (Σάββας, 2000). Παίξει σημαντικό ρόλο στην αναπαραγωγική φάση του φυτού, γιατί βοηθάει στη βλάστηση της γύρης και στη σωστή ανάπτυξη του γυρεοσωλήνα. Επειδή ο χαλκός δεν μετακινείται εύκολα μέσα στο φυτό, τα συμπτώματα τροφοπενίων εμφανίζονται αρχικά στα νεότερα φύλλα.

### 1.8.7 Νάτριο (Na)

Το νάτριο βρίσκεται σε αφθονία στον στερεό φλοιό της γης. Υπολογίζεται ότι το 2,8% του στερεού φλοιού της γης συνίσταται από Na. Το νάτριο σε μικρές ποσότητες προσφέρει ιονική ισορροπία στα φυτά, που είναι απαραίτητη για την απορρόφηση των ορυκτών θρεπτικών συστατικών και τη φωτοσύνθεση. Σε ορισμένα όμως φυτά το νάτριο ασκεί επωφελή δράση, ενώ για ορισμένες άλλες κατηγορίες φυτών το νάτριο θεωρείται απαραίτητο θρεπτικό στοιχείο (C4, CAM, τεύτλο) (Σάββας, 2000). Επειδή όμως το νάτριο είναι άφθονο στη φύση, συνήθως δημιουργούνται προβλήματα έκθεσης των φυτών σε υπερβολικές συγκεντρώσεις του χημικού αυτού στοιχείου. Περίσσεια  $\text{Na}^+$ , μειώνει την αφομοίωση  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{P}$ ,  $\text{Fe}^{+2}$  και  $\text{Zn}^{+2}$  στα φυτά. Αντιθέτως, οι αρνητικές επιδράσεις του νατρίου περιορίζονται όταν τα ιόντα Mg και Ca βρίσκονται σε υψηλές συγκεντρώσεις (McGrath, 2002, Salt, 1998).

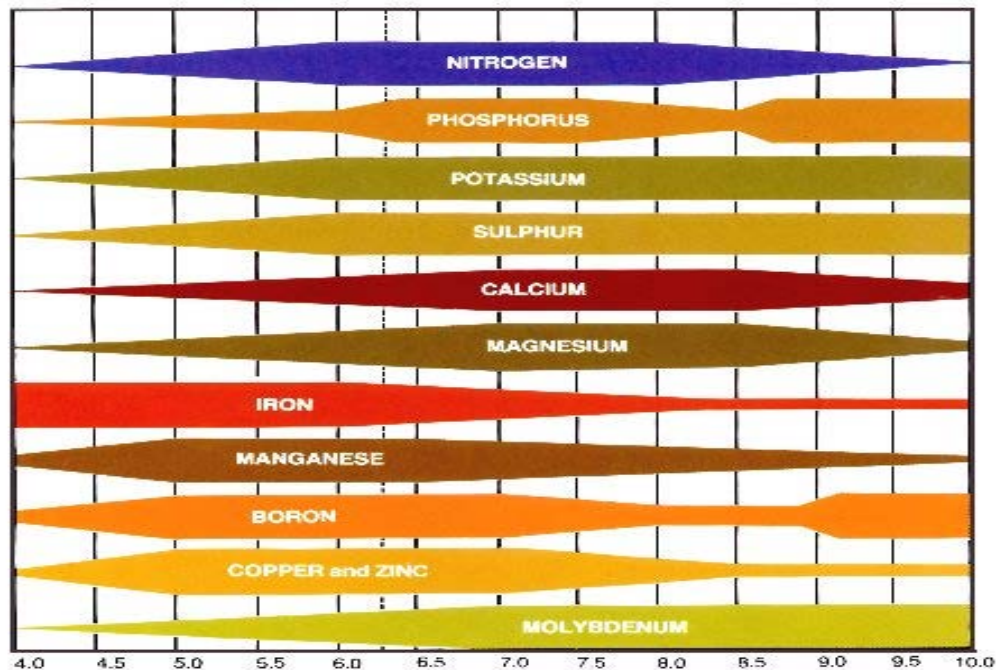
## 1.9 Διαθεσιμότητα ιχνοστοιχείων στο θρεπτικό διάλυμα

Η ανεπάρκεια ενός θρεπτικού συστατικού μπορεί να οφείλεται στην μειωμένη περιεκτικότητα του στοιχείου. Πολλές φορές μπορεί να ενισχύεται ή και να προκαλείται ακόμα και από άλλους παράγοντες, όπως: **η μη αφομοιώσιμη μορφή των στοιχείων, pH κ.ά.** (Marschner, 1995). Οι περισσότερες φυσιολογικές δράσεις των μεταλλικών στοιχείων  $Fe^{+2}$ ,  $Zn^{+2}$ ,  $Cu^{+2}$  βασίζονται στην ιδιότητα τους να μεταβάλλουν τον αριθμό οξειδωσης τους με συνέπεια να λειτουργούν ως αντιστρεπτά οξειδοαναγωγικά συστήματα. Αντίθετα το  $Mn^{+2}$  λειτουργεί ως ενεργοποιητής ορισμένων ενζύμων (Taiz and Zeiger, 2002). Κοινό χαρακτηριστικό και των τεσσάρων μεταλλικών ιχνοστοιχείων είναι ο σχηματισμός ασθενών βάσεων του τύπου  $M(OH)_2$ . Παρακάτω η εξίσωση, η οποία οδηγεί σε χημικές ισορροπίες.



Τα φυτά απορροφούν  $Fe^{+2}$ ,  $Zn^{+2}$ ,  $Cu^{+2}$ ,  $Mn^{+2}$  σε μορφές δισθενών μορίων (Marschner, 1995). Όσο χαμηλότερο είναι το pH και ιδιαίτερα σε τιμές περίπου στο 6,5, η ισορροπία μετατοπίζεται προς τα αριστερά με αποτέλεσμα την αύξηση των συγκεντρώσεων  $M^{2+}$  και την μικρή έκτασης συγκέντρωση  $M(OH)_2$ , η οποία δεν απορροφάται από τα φυτά.

Αντίθετα, δεν συμβαίνει το ίδιο και με τον σίδηρο (Fe), ο οποίος δεν βρίσκεται μόνο σε δισθενή αλλά και σε τρισθενή μορφή. Ο  $Fe^{+3}$  αρχίζει να μετατρέπεται σε μη διαλυτό  $Fe(OH)_3$  από τιμές pH 3 και πάνω. Ο  $Fe^{+3}$  υπερτερεί έναντι του  $Fe^{+2}$  σε τιμές pH κάτω από 7,5 σύμφωνα με τον τύπο:  $Fe^{2+} \rightleftharpoons Fe^{3+} + e^-$  (Mengel, 1984, Taiz and Zeiger, 2002). Το πρόβλημα αυτό επιλύθηκε με την χρήση χηλικών μορίων σιδήρου, τα οποία είναι ευδιάλυτα και μετακινούνται μέσω διάχυσης μέχρι τις κυτταρικές μεμβράνες και εκεί διασπώνται με ταυτόχρονη αναγωγή του  $Fe^{+3}$  σε  $Fe^{+2}$  μέσω ενεργοποίησης ενός ενζύμου, της ρεδοκτάσης του χηλικού σιδήρου. (Yuan et al., 2005, Jeong and Conolly, 2009).

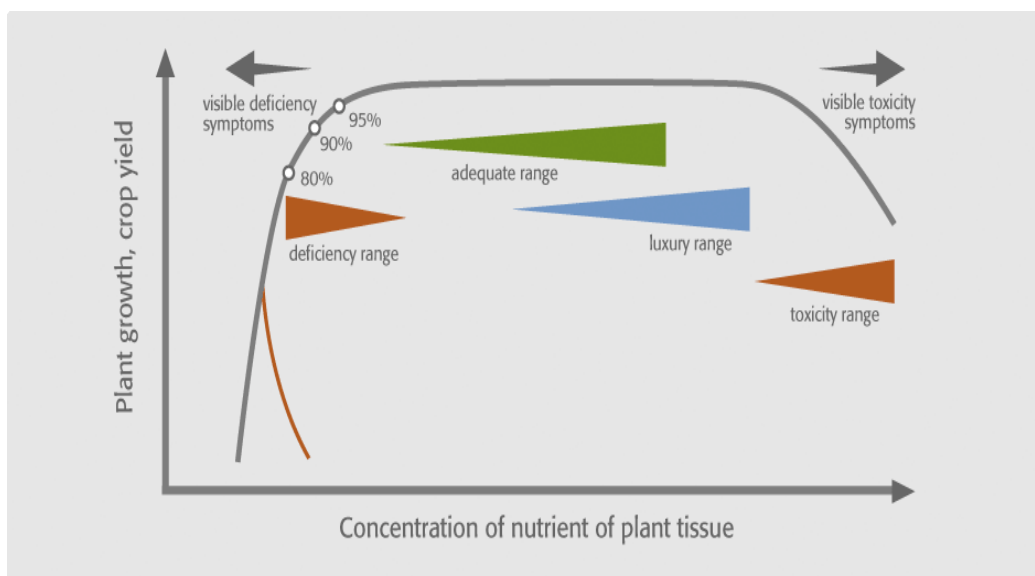


Εικόνα 1.6 Απορρόφησης θρεπτικών στοιχείων – συνάρτηση του pH.

Στα υδατικά διαλύματα το βόριο συναντάται κυρίως με τη μορφή του βορικού οξέως ( $H_3BO_3$ ). Το  $H_3BO_3$  είναι ένα ασθενές οξύ το οποίο αρχίζει να δίστανται σε ιόντα μόνο όταν το pH υπερβεί το 8. Έτσι τα φυτά έχουν αναπτύξει μηχανισμούς απορρόφησης του Β Βορίου σε μορφή αδιάστατου  $H_3BO_3$  (Marschner, 1995).

Ένας άλλος παράγοντας, που καθορίζει σε ορισμένες περιπτώσεις τη διαθεσιμότητα ενός θρεπτικού στοιχείου, είναι οι ανταγωνιστικές σχέσεις που αναπτύσσονται μεταξύ των στοιχείων που επηρεάζουν τη διαθεσιμότητα ενός άλλου (Shuman, 1994). Οι συγκεντρώσεις σιδήρου που συνιστώνται για τα θρεπτικά διαλύματα είναι συνήθως υψηλότερες από αυτές του Mn και Zn. Αυτό δεν οφείλεται τόσο στις υψηλότερες απαιτήσεις του Fe, αλλά κυρίως στην μερική αντικατάσταση του Fe από Mn, Zn και Cu στο χηλικό μόριο. (deRijckandSchevens, 1998b). Αντίθετα, η επάρκεια των θρεπτικών στοιχείων αποτελεί παράγοντα σημαντικό για την ανάπτυξη των φυτών. Η υπέρβαση των συνιστώμενων συγκεντρώσεων Mn, Zn και B μπορεί εύκολα να οδηγήσει σε τοξικότητες ενώ αντίθετα ο κίνδυνος εμφάνισης τοξικότητας Fe, Cu και Mo είναι πολύ μικρότερος. (SonneveldanddeBes, 1994). Επομένως, με την αύξηση των

θρεπτικών στοιχείων η ισορροπία των φυτών επηρεάζεται αρνητικά με συνέπεια τη μείωση του ρυθμού ανάπτυξης. (Marschner, 1995).



Εικόνα 1.7 Τα όρια επάρκειας ανεπάρκειας και τοξικότητας των φυτών, (Marschner, 1995).

## 1.10 Καλλιέργεια πιπεριάς

### 1.10.1 Ιστορικά

Αρχαιολογικές ανασκαφές στο Περού, δείχνουν ότι οι ιθαγενείς κάτοικοι της περιοχής χρησιμοποιούσαν το συγκεκριμένο φυτό πριν χιλιάδες χρόνια. Πιστευτέ ότι καλλιεργούνται περισσότερο από 9.000 χρόνια στη Νότια και Κεντρική Αμερική. Σπόροι πιπεριάς, πέρα των 5.000 π.Χ έχουν βρεθεί και αναγνωριστεί σε αρχαιολογικές ανασκαφές στο Μεξικό πιθανόν από άγρια φυτά του *Capsicumannum*. Μια πρώτη εκδοχή, αναφέρεται στο ότι η πιπέρια διείσδυσε από το Περού στο Μεξικό, ή ότι το Μεξικό αποτελεί ξεχωριστό και ανεξάρτητο κέντρο, όπου υπάρχει αρκετή διαφοροποίηση βοτανικών ποικιλιών

(Heizer, 1979). Στην Ευρώπη μεταφέρθηκε από τον 15<sup>ο</sup> αιώνα κυρίως με τα ταξίδια του Κολόμβου, όπου και την συγκεκριμένη εποχή, γίνεται και η πρώτη αναφορά για την ύπαρξη της πιπεριάς στην Ευρώπη από τον Peter Martyr. Χρωστούν το όνομά τους στους Ευρωπαίους αποίκους της Βόρειας Αμερικής οι οποίοι και τις μετέφεραν στην Ευρώπη γύρω στα 1500-1600 και το αρχικό τους όνομα στα ισπανικά ήταν pimienta (πιπέρι).

Η πιπεριά είναι αγγειόσπερμο, δικότυλο, ποώδες και θαμνώδες φυτό του γένους *Capsicum*. Ανήκει στην τάξη **Solanales** της οικογένειας **Στρυχνοειδών (Solanaceae)**. Τα είδη πιπεριάς του γένους *Capsicum* ανά τον κόσμο σήμερα απαντώνται σε 4-5 είδη. Επίσης, υπάρχουν και 20 περίπου άγρια είδη που συναντώνται κυρίως στην Ν. Αμερική. Τα κυριότερα καλλιεργούμενα είδη, είναι: ***Capsicum annuum***, ***Capsicum frutescens***, ***Capsicum baccatum* Jack**, ***Capsicum chinense* Jack**, ***Capsicum pubescens* Ruiz and Pan** και απαντώνται άλλοτε με γλυκούς και άλλοτε με καυτερούς καρπούς (Ολύμπιος, 2008).

### 1.10.2 Βοτανικοί χαρακτήρες (*Capsicum annuum*)

Η πιπεριά είναι φυτό μονοετές ή διετές, ποώδες, με κορμό και βλαστούς, αρχικά ποώδεις και αργότερα ελαφρώς ξυλώδεις στην βάση. Το φυτό, αρχικά, διακλαδίζεται και έχει την τάση να αναπτύσσεται προς τα πάνω. Σχηματίζει αρχικά ένα κεντρικό στέλεχος, το οποίο στα πρώτα 10-15 cm διακλαδίζεται, σχηματίζοντας 3-4 βλαστούς που ονομάζονται βλαστοί πρώτης τάξης. Ο κάθε βλαστός πρώτης τάξης διακλαδίζεται σχηματίζοντας δυο βλαστούς δεύτερης τάξης, οι οποίοι στο σημείο διακλάδωσης φέρουν ένα ανθοφόρο οφθαλμό. Η ίδια διαδικασία συνεχίζεται, με το φυτό να σχηματίζει συνεχώς πλευρικούς βλαστούς παίρνοντας θαμνώδη μορφή. Το φυτό της πιπεριάς, χωρίς καλλιεργητικές επεμβάσεις, αναπτύσσεται σε θαμνώδη μορφή δεν ξεπερνά το ύψος 30–80 εκατοστών. Σε πλήρη ανάπτυξη, οι βλαστοί είναι ελαφρά ξυλώδης στη βάση, είναι εύθραυστοι και με το βάρος της καρποφορίας πολλές φορές σπάζουν (Ολύμπιος, 2008).

**Τα φύλλα** είναι απλά, λεπτά, ελλειπτικά, οξύληκτα, με βαθύ πράσινο χρώμα στην άνω επιφάνεια και πιο ανοιχτό πράσινο χρώμα στην κάτω επιφάνεια.



Επίσης τα φύλλα δεν έχουν χνούδι όπως τα άλλα φυτά της οικογένειας Solanaceae (τομάτα, πατάτα, μελιτζάνα). Ο μίσχος των φύλλων έχει μήκος 3-5cm.

Το **ριζικό σύστημα** του φυτού αποτελείται από μία ισχυρή κεντρική ρίζα και αρκετές δευτερεύουσες και ριζικά τριχίδια. Η ρίζα είναι πασσάλωδης και φτάνει σε βάθος 60-80cm. Το φυτό έχει την ικανότητα να αναπτύσσει δυνατή κεντρική ρίζα, αλλά συνήθως αυτή κόβεται ή σταματά να αναπτύσσεται. Κατά την μεταφύτευση, δημιουργούνται πλευρικές διακλαδιζόμενες ρίζες που φτάνουν σε ανάλογο βάθος.

Τα **άνθη** είναι μονήρη, ερμαφρόδιτα και εμφανίζονται στις διακλαδώσεις των βλαστών και φέρουν μίσχο με 1,5cm μήκος. Έχουν συνήθως λευκό ή λευκοπράσινο κι είναι αυτογονιμοποιούμενα ή μερικώς σταυρογονιμοποιούμενα. Έχουν κωδωνοειδή κάλυκα με 5 ή περισσότερα οδοντωτά σέπαλα, που συνήθως μεγαλώνουν και περιβάλλουν την βάση του άνθους. Έχουν στεφάνη διαμέτρου 8-15mm με 5 ή περισσότερα πέταλα, που είναι συνήθως λευκά ή λευκοπράσινα. Φέρουν 5 ή περισσότερους στήμονες που βρίσκονται κοντά στη βάση της στεφάνης. Οι ανθήρες έχουν ιώδη απόχρωση και σκίζονται κατά μήκος. Η ωοθήκη είναι δίχωρη ή τριχωρη ή τετράχωρη και φέρει στύλο που είναι απλός άσπρος ή ιώδης και διαφέρει ως προς την τομάτα στο ότι ο στύλος είναι πιο μακρύς.

Είναι φυτό ουδέτερο στο φωτοπεριοδισμό δηλαδή για να σχηματιστούν και να εμφανιστούν τα άνθη δεν επηρεάζονται σημαντικά από το μήκος της ημέρας. Στα άνθη της πιπεριάς, η ωρίμανση του στίγματος και των ανθέρων είναι ταυτόχρονη, η επικονίαση και η γονιμοποίηση γίνεται μετά το άνοιγμα του άνθους. Η αυτογονιμοποίηση ευνοείται στην πιπεριά σε σχέση με την τομάτα, λόγω ότι ο ποδίσκος του άνθους κυρτώνεται προς τα κάτω, έτσι η γύρη πέφτει πάνω στο στίγμα. Παράγοντες όπως θερμοκρασία (<math><16^{\circ}\text{C}</math> και <math>>32^{\circ}\text{C}</math>) και σχετική υγρασία επηρεάζουν την βλαστικότητα της γύρης με αποτέλεσμα την μη γονιμοποίηση των ανθών.

Ο **καρπός** της πιπεριάς είναι ράγα, έχει τα χαρακτηριστικό ότι είναι κοίλος στο εσωτερικό του σχηματίζοντας σπόρους στο κενό αυτό. Το σχήμα του καρπού ποικίλει από επίμηκες, κωνικό ή σφαιρικό και υποβαστάζεται από έναν ποδίσκο λίγο ως πολύ μακρύ και εμφανίζεται όρθιος ή κυρτός προς τα κάτω. Αρχικά το χρώμα του είναι πράσινο ή πρασινοιώδες και οφείλεται στην χλωροφύλλη.

Όταν ωριμάσει το χρώμα γίνεται ερυθρό, καστανέρυθρο, κίτρινο, κιτρινοπράσινο, πορτοκαλί. Το χρώμα του καρπού οφείλεται σε μείγμα καροτινοειδών, με κυριότερη ουσία την καψανθίνη ( $C_{40}H_{58}O_3$ ), και σε μικρότερο βαθμό στα α και β καροτίνια, ξανθοφύλλη, ζεαξανθίνη, κρυπτοφάνη. Η καυστικότητα των καρπών οφείλεται στο αλκαλοειδές καψαϊκίνη ( $C_{18}H_{27}NO_3$ ), η οποία είναι ουσία άοσμη και άγευστη με έντονη δραστική ουσία που χρησιμοποιείται για φαρμακευτικούς σκοπούς. Ο πολλαπλασιασμός της πιπεριάς γίνεται με σπόρο. Ο αριθμός των σπόρων σε 1 gr είναι περίπου 150-200 σπόρους.

Η Κίνα είναι μακράν ο μεγαλύτερος παραγωγός πιπεριών ακολουθούμενη από το Μεξικό και τις Ηνωμένες Πολιτείες. Η πιπεριά σήμερα καλλιεργείται σε πολλά μέρη του κόσμου τόσο σε ανοιχτές καλλιέργειες όσο και υπό κάλυψη. Όσον αφορά τις υπό κάλυψη εκτάσεις στην Ευρώπη, αναφέρεται ότι στην Ολλανδία καλλιεργείται κυρίως σε υαλόφρακτα θερμοκήπια σε 5.000 στρέμματα το χρόνο, που παράγονται περίπου 23.000 τόνους προϊόντος με μέση απόδοση 4,6 τόνους/στρέμμα. Στην Ιταλία, η καλλιέργεια της πιπεριάς υπό κάλυψη (υαλόφρακτα θερμοκήπια, πλαστικά τούνελ, χαμηλά τούνελ) καταλαμβάνει 25.000 στρέμματα, με μέση απόδοση 3.500 τόνους/στρέμμα. Η Ισπανία είναι χώρα που εξαγει τις μεγαλύτερες ποσότητες (376.793 τόνους το 1996) με δεύτερη την Ολλανδία (με 226.806 τόνους). Χώρες όπως η Τουρκία και η Ιορδανία εμφανίζονται με τις μεγαλύτερες εξαγωγές το 1996, με 29.632 τόνους και 13.234 τόνους αντίστοιχα. Η κατανάλωση πράσινης πιπεριάς στη Βορειοδυτική Ευρώπη είναι της τάξης των 430.000 τόνων, από τους οποίους περίπου το 1/3 παράγεται στην Ευρώπη υπό προστασία ενώ το υπόλοιπο ποσό παράγεται σε ανοιχτές καλλιέργειες στην Ιταλία, Γαλλία, Ισπανία και σε μικρότερο βαθμό εισάγεται από Ισραήλ, Βόρεια Αφρική και ΗΠΑ. Συγκεκριμένα, η Γερμανία εισάγει τις μεγαλύτερες ποσότητες πιπεριάς (244.986 τόνους το 1996) και ακολουθούν η Γαλλία (με 75.827 τόνους), το Ηνωμένο Βασίλειο (57.819 τόνους), η Ιταλία (31.587 τόνους).

### 1.10.3 Ποικιλίες πιπεριάς

Οι πιπεριές του είδους *capsicumannuum*L. διαχωρίζονται σε δυο κατηγορίες γλυκές, καυτερές ανάλογα αν περιέχουν καψαϊκίνη που προσδίδει την καυτερή γεύση. Οι κυριότεροι τύποι πιπεριών που καλλιεργούνται στην Ελλάδα :

- **Τύπος Φλωρίνης:** οι πιπεριές αυτές καλλιεργούνται σε μικρές εκτάσεις. Αποφέρουν μεγάλη παραγωγή με ανθεκτικότητα στις ασθένειες. Είναι μικρές, επιμήκεις, γλυκές, παχύσαρκες και προορίζονται για νωπή κατανάλωση και για βιομηχανική χρήση. Στο στάδιο της πλήρους ωρίμανσης αποκτούν έντονο κόκκινο χρώμα και η εξωτερική επιφάνεια του περικαρπίου γίνεται λεία και γυαλιστερή.
- **Belltype:** οι καρποί του τύπου αυτού συνήθως έχουν χρώμα πράσινο όταν είναι άγουροι και κόκκινο όταν είναι ώριμοι.
- **Californiawonder:** πρόκειται για παραγωγική ποικιλία με τετράγωνους καρπούς και σε πολλές περιπτώσεις τετράλοβους. Στο άγουρο στάδιο έχουν σκούρο πράσινο χρώμα, ενώ κατά την ωρίμανση τους κόκκινο ή κίτρινο, πορτοκαλί.
- **Charlestontype**(κέρατο): αυτός ο τύπος περιλαμβάνει πιπεριές μακριές, ανοικτού πράσινου χρώματος.
- **Lamujo:** οι καρποί αυτού του τύπου μοιάζουν με σκουροπράσινες φλάσκες πιπεριές, αλλά είναι πιο επιμήκεις.

## 1.11 Εμβολιασμός

### 1.11.1 Η σημασία του εμβολιασμού στη λαχανοκομία

Με τον όρο εμβολιασμός εννοούμε την τεχνική που χρησιμοποιείται για να ενώσουμε διαφορετικά μέρη φυτών, φέρνοντας σε επαφή τα κάμβια τους για την δημιουργία, κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες, ενός δισυπόστατου φυτού. Ιστορικά, ο εμβολιασμός ανάγεται στην αρχαιότητα αφού γίνονται αναφορές για αυτόν στην Κίνα από το 1560 π.χ και στην Ελλάδα από αρχαία συγγράμματα του Αριστοτέλη. Στην νεότερη ιστορία, οι εφαρμογές στα λαχανοκομικά είδη εμφανίστηκε τον 20<sup>ο</sup> αιώνα.

Στη λαχανοκομία, η τεχνική του εμβολιασμού χρησιμοποιείται για να επιτευχθεί ο συνδυασμός του υπογείου μέρους του φυτού (ρίζα, λαιμός) που είναι ανθεκτικό σε διάφορες εδαφογενείς ασθένειες καθώς και άλλα είδη βιοτικής και αβιοτικής καταπόνησης, με ένα υπέργειο μέρος που δίνει υψηλή παραγωγή και καλή ποιότητα. Η ανάγκη εμβολιασμού προέκυψε για εκείνα τα λαχανοκομικά φυτά, για τα οποία η γενετική βελτίωση δεν είχε κατορθώσει να δημιουργήσει ανθεκτικές ποικιλίες ή υβρίδια ενάντια σε ορισμένες καταστροφικές εδαφογενείς ασθένειες. (Savvas, 2013).

Τα τελευταία χρόνια όμως, η εφαρμογή εμβολιασμού στις καλλιέργειες καρποδοτικών λαχανικών έχει αυξηθεί εντυπωσιακά λόγω των πολλών άλλων πλεονεκτημάτων πέρα από την προστασία από εδαφογενείς ασθένειες (Crinó et al., 2007, BletsosandOlymprios, 2008). Ειδικότερα, μέσω του εμβολιασμού μπορεί:

- να αυξηθεί η αντοχή των φυτών σε χαμηλές θερμοκρασίες εδάφους (Venemaetal., 2008)
- να αυξηθεί η αντοχή των φυτών στην αλατότητα (Eldesteinetal., 2005)
- να αυξηθεί η αντοχή των φυτών τα βαρέα μέταλλα (Savvasetal., 2010, 2012)
- να αυξηθεί η αντοχή των φυτών στην υπερβολή εδαφική υγρασία (Schwarzetal., 2010)
- να αυξηθεί η ικανότητα απορρόφησης νερού και θρεπτικών στοιχείων και η αποτελεσματικότητα της αξιοποίησής τους (Ruizetal., 1997, Collaetal., 2010, Rourphaeletal., 2008)
- να αυξηθεί η ζωηρότητα της βλάστησης των φυτών (Schwarzetal., 2010)
- να επεκταθεί η διάρκεια της περιόδου συγκομιδής τους (Floresetal., 2010)
- να βελτιωθεί η ποιότητα των παραγόμενων καρπών (Rourphaeletal., 2010).

Εκτός από τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει ο εμβολιασμός στην παραγωγή, ανοχή σε καταπονήσεις, ανάπτυξη στα φυτά, ο κύριος λόγος που ο εμβολιασμός άρχισε να αποκτά σημαντικό ενδιαφέρον και να εφαρμόζεται σε μεγάλη κλίμακα με την απαγόρευση της χρήσης βρωμίουχου μεθυλίου. Αυτό είχε ως συνέπεια την μη αποτελεσματική αντιμετώπιση ασθενειών όπως το φουζάριο, βερτισίλλιο, πύθιο, νηματώδης κ.α.

Τα κύρια μειονεκτήματα του εμβολιασμού εντοπίζονται στην χειρονακτική εργασία για την δημιουργία των εμβολιασμένων φυτών. Επίσης, απαιτεί περισσότερο χρόνο για την παράγωγή σπορόφυτων και το κόστος είναι ιδιαίτερα υψηλό.

### 1.11.2 Εμβολιασμός πιπεριάς

Ο εμβολιασμός εφαρμόζεται στα νεαρά σπορόφυτα πριν από την μεταφύτευσή τους στο χωράφι ή το θερμοκήπιο. Προϋπόθεση για την επιτυχία του εμβολιασμού, το υποκείμενο θα πρέπει να έχει συμβατότητα με το καλλιεργούμενο φυτό (εμβόλιο), ανθεκτικότητα στις σημαντικότερες μεταδιδόμενες μέσω του ριζικού συστήματος ασθένειες που προσβάλλουν το εμβολιαζόμενο φυτό και διαφύλαξη των ιδιοτήτων του εμβολίου μετά τον εμβολιασμό όσον αφορά την παραγωγικότητα του και την ποιότητα του συγκομιζόμενου προϊόντος (π.χ. γεύση του βρώσιμου τμήματος, μέγεθος και σχήμα καρπών, κ.λπ.), (Savvas, 2013).

Υπάρχουν δύο μέθοδοι εμβολιασμού που χρησιμοποιούνται στα σολανώδη και επομένως στην πιπεριάς:

- **ο εμβολιασμός με πλάγια τομή**
- **εμβολιασμός με οριζόντια τομή**

Ο εμβολιασμός με πλάγια η οριζόντια τομή πραγματοποιείται όταν το υποκείμενο και το εμβόλιο έχουν αποκτήσει 1-2 πραγματικά φύλλα. Για να επιτευχθεί ο εμβολιασμός, η κοπή πραγματοποιείται 1-1,5 cm πάνω από τις κοτυλιδώνες τόσο στο υποκείμενο όσο και στο εμβόλιο. Για την συνένωση του εμβολίου με το υποκείμενο χρησιμοποιούνται κεραμικές καρφίτσες, ειδικά μανταλάκια ή ελαστικοί σωλήνες για την συγκράτηση των φυτικών τμημάτων. Όταν ολοκληρωθεί ο εμβολιασμός, τα εμβολιασμένα φυτά μεταφέρονται σε συνθήκες 26-27 °C και σχετική υγρασία 90-95 % μέχρι να επιτευχθεί η συγκόλληση.

Μερικά από τα υποκείμενα που χρησιμοποιούνται για τον εμβολιασμό πιπεριάς στην Ελληνική αγορά, και παρουσιάζουν ανοχή σε ασθένειες και έχουν υψηλή παράγωγη, είναι : **RS10 (agrosystem), Terrano (Syngenta), Robusto (syngenta), Roca (Agrosem)** κλπ.

## 1.12 Σκοπός του πειράματος

Σκοπός της παρούσας εργασίας αποτελεί ο προσδιορισμός ιχνοστοιχείων σε τέσσερις ποικιλίες αυτόρριζες και μιας εμβολιασμένης, από τους πιο αντιπροσωπευτικούς τύπους πιπεριών ( Californiawonder, Belltype, Charleston, Φλωρίνης), σε καλλιέργεια NFT σε Ελληνικά δεδομένα. Τα ιχνοστοιχεία, στα οποία έγινε χημική ανάλυση για εξαγωγή συμπερασμάτων, ήταν ο ψευδάργυρος (Zn), ο σίδηρος (Fe), το μαγγάνιο (Mn), το νάτριο (Na) και το βόριο (B). Σε αυτά μελετήθηκαν, ο τρόπος που επηρέασαν την κάθε ποικιλία, όσον αφορά τις συγκεντρώσεις του κάθε ιχνοστοιχείου στους καρπούς, ρίζες και βλαστούς. Επίσης, μελετήθηκε η διαφοροποίηση μεταξύ αυτόρριζων και εμβολιασμένων φυτών. Τέλος, πραγματοποιήθηκε προσδιορισμός της αθροιστικής κατανάλωσης και το συνολικό ξηρό, χλωρό βάρος (βλαστών, ριζών, φύλλων) των φυτών για κάθε ποικιλία ξεχωριστά.

## 2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Η παρούσα μελέτη πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Κηπευτικών Καλλιεργειών, του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, από 16/1/14 έως και 16/6 του 2014. Το βασικό μέρος του πειράματος εκτελέστηκε σε υαλόφρακτο, πλήρως αυτοματοποιημένο, θερμοκήπιο ενώ παράλληλα έγιναν μετρήσεις στο χώρο του εργαστηρίου, αξιοποιώντας τα κατάλληλα όργανα.

### 2.1 Εκτέλεση πειράματος στο θερμοκήπιο

Το θερμοκήπιο περιείχε όλες τις λειτουργίες και τα όργανα, καθιστώντας το σύγχρονο και πλήρως εξοπλισμένο. Η συνολική έκταση του θερμοκηπίου που χρησιμοποιήθηκε για το παρόν πείραμα ανέρχεται στα 70 m<sup>2</sup>. Το θερμοκήπιο είναι εξοπλισμένο με σύστημα αυτόματης διαχείρισης του κλίματος, ώστε να διατηρείται η θερμοκρασία στα επιθυμητά επίπεδα με βάση τις ανάγκες του εν λόγω πειράματος. Διαθέτει αυτόματο αερισμό, με το άνοιγμα και το κλείσιμο των παραθύρων, και θέρμανση, με κυκλοφορία ζεστού νερού εντός σωληνώσεων. Επίσης, περιλαμβάνει όργανα μέτρησης θερμοκρασίας, υγρασίας και ένταση ακτινοβολίας. Στα παράθυρα και στην είσοδο του θερμοκηπίου είχαν τοποθετηθεί εντομοστεγή δίχτυα για τον έλεγχο των εντόμων (αλευρώδης, αφίδες, κλπ.).

#### 2.1.1 Εγκατάσταση καναλιών NFT

Για την εκτέλεση του πειράματος εφαρμόστηκε υδροπονικό σύστημα NFT. Χρησιμοποιήθηκαν 20 κανάλια, μήκους 3 m και πλάτους 30 cm το καθένα. Τα κανάλια τοποθετήθηκαν παράλληλα (**Εικόνα 2.1**) με κλίση προς τις βαθμονομημένες δεξαμενές ανακύκλωσης θρεπτικού διαλύματος, προκειμένου το διάλυμα που απομακρύνεται από τα κανάλια να καταλήγει στις δεξαμενές ανακύκλωσης. Το διάλυμα μεταφέρεται στις δεξαμενές και, στην συνέχεια,

επαναχρησιμοποιείται από αντλίες, που βρίσκονται στον πάτο των δεξαμενών ανακύκλωσης θρεπτικού διαλύματος. Το διάλυμα, το οποίο απορροφήθηκε από τα φυτά, συμπληρώθηκε από τις δεξαμενές αναπλήρωσης διαλύματος, οι οποίες ήταν τοποθετημένες επάνω στις δεξαμενές διαλύματος ανακύκλωσης, και μέσω ενός φλοτέρ γινόταν η αναπλήρωση του διαλύματος.



Εικόνα 2.1 Δεξαμενές διαλυμάτων starter, replacement της καλλιέργειας πιπεριάς.

### 2.1.2 Παρασκευή και διανομή θρεπτικού διαλύματος

Τα πυκνά διαλύματα τα οποία είναι 100-200 ή και περισσότερες φορές πυκνότερα από το θρεπτικό διάλυμα με το οποίο θα τροφοδοτηθούν τα φυτά. Τα πυκνά αυτά διαλύματα (μητρικά διαλύματα) στη συνέχεια αραιώνονται σε μία καθορισμένη αναλογία με το νερό άρδευσης, οπότε τελικά προκύπτει το κανονικό διάλυμα με το οποίο τροφοδοτούνται τα φυτά. Πρέπει απαραίτητα να



χρησιμοποιούνται διαφορετικά δοχεία πυκνών διαλυμάτων, γιατί το νιτρικό ασβέστιο δεν μπορεί να τοποθετηθεί στο ίδιο δοχείο με φωσφορικά και θειικά λιπάσματα σε τόσο μεγάλες συγκεντρώσεις, λόγω της κατακρήμνισης  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  και  $\text{CaSO}_4$ , εξαιτίας της χαμηλής διαλυτότητας που έχουν αυτά τα δύο άλατα. Συνήθως χρησιμοποιείται και βαρέλι μητρικού διαλύματος, στο οποίο τοποθετείται αποκλειστικά και μόνο οξύ (κατά κανόνα  $\text{HNO}_3$ ) για τον έλεγχο του pH του διαλύματος.

Το θρεπτικό διάλυμα παρασκευάστηκε με βάση το στάδιο ανάπτυξης των φυτών. Κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας, οι δεξαμενές κενώθηκαν τέσσερις φορές (33<sup>η</sup>, 61<sup>η</sup>, 89<sup>η</sup>, 117<sup>η</sup> ημέρα από έναρξη καλλιέργειας) και πληρώθηκαν με τις ίδιες ποσότητες διαλύματος starter και replenishment όπως ακριβώς πραγματοποιήθηκε κατά την έναρξη του πειράματος, εκτός από την τρίτη φορά (89<sup>η</sup> ημέρα) όπου αλλάχτηκε και η σύσταση του θρεπτικού διαλύματος συμπλήρωσης (replenishment) λόγω σημαντικής αύξησης της αγωγιμότητας από την τιμή βάσης (2,6  $\text{dSm}^{-1}$ ). Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε ειδικό πρόγραμμα Η/Υ (**Savvas and Adamidis, 1999**).

Το θρεπτικό διάλυμα παρασκευαζόταν σε βαρέλια όγκου 198 lt. όπου στη συνέχεια μεταφερόταν στις βαθμονομημένες δεξαμενές συμπλήρωσης. Επίσης, σε καθημερινή βάση καταγράφτηκαν όλες οι τυχόν απώλειες των θρεπτικών διαλυμάτων εξαιτίας τεχνικού προβλήματος και συμπεριλήφθηκαν στις τελικές μετρήσεις. Αρχικά, παρασκευάστηκαν πυκνά για τα διαλύματα starter και replenishment και, στην συνέχεια, γινόταν αραιώση 1/100 με τη βοήθεια ογκομετρικού κυλίνδρου για τη δημιουργία του αραιού, το οποίο μεταφέρθηκε σε βαρέλι όγκου 198 lt και μετά στις δεξαμενές. Κατά την παρασκευή του τελικού διαλύματος που θα μοιραζόταν στα φυτά, ήταν απαραίτητη η μέτρηση και η ρύθμιση της αγωγιμότητας (αγωγιμόμετρο τύπου Crison Cm25) και του pH (πεχάμετρο τύπου Crison pH 25) με χρήση πυκνού οξέος ( $\text{HNO}_3$ ) για ρύθμιση του pH των θρεπτικών στοιχείων.

Επιθυμητά χαρακτηριστικά Θ.Δ.		Επιθυμητά χαρακτηριστικά Θ.Δ.	
$E_{II}^*$	2.60 dS/m	$E_{II}^*$	1.80 dS/m
pH opt.	5.6	pH opt.	5.6
[K]	6.000 mmol/l	[K]	8.000 mmol/l
[Ca]	6.500 mmol/l	[Ca]	2.200 mmol/l
[Mg]	2.000 mmol/l	[Mg]	1.100 mmol/l
[NO3]	15.600 mmol/l	[NO3]	11.500 mmol/l
[NH4]	0.500 mmol/l	[NH4]	1.000 mmol/l
[H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ]	1.200 mmol/l	[H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ]	1.100 mmol/l
[Fe] <sub>r</sub>	15.00 μmol/l	[Fe] <sub>r</sub>	15.00 μmol/l
[Mn] <sub>r</sub>	10.00 μmol/l	[Mn] <sub>r</sub>	10.00 μmol/l
[Zn] <sub>r</sub>	7.00 μmol/l	[Zn] <sub>r</sub>	4.00 μmol/l
[Cu] <sub>r</sub>	0.80 μmol/l	[Cu] <sub>r</sub>	0.70 μmol/l
[B] <sub>r</sub>	50.00 μmol/l	[B] <sub>r</sub>	25.00 μmol/l
[Mo] <sub>r</sub>	0.50 μmol/l	[Mo] <sub>r</sub>	0.50 μmol/l
[Si]	0.00 mmol/l	[Si]	0.00 mmol/l

Πίνακας 2.1 θρεπτικού διαλύματος starter και replacement από 16/1/14- 17/3/14

Επιθυμητά χαρακτηριστικά Θ.Δ.		Επιθυμητά χαρακτηριστικά Θ.Δ.	
$E_{II}^*$	2.60 dS/m	$E_{II}^*$	1.80 dS/m
pH opt.	5.6	pH opt.	5.6
[K]	6.000 mmol/l	[K]	8.400 mmol/l
[Ca]	6.500 mmol/l	[Ca]	2.700 mmol/l
[Mg]	2.000 mmol/l	[Mg]	1.400 mmol/l
[NO3]	15.600 mmol/l	[NO3]	13.000 mmol/l
[NH4]	0.500 mmol/l	[NH4]	1.000 mmol/l
[H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ]	1.200 mmol/l	[H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ]	1.100 mmol/l
[Fe] <sub>r</sub>	15.00 μmol/l	[Fe] <sub>r</sub>	15.00 μmol/l
[Mn] <sub>r</sub>	10.00 μmol/l	[Mn] <sub>r</sub>	10.00 μmol/l
[Zn] <sub>r</sub>	7.00 μmol/l	[Zn] <sub>r</sub>	4.00 μmol/l
[Cu] <sub>r</sub>	0.80 μmol/l	[Cu] <sub>r</sub>	0.70 μmol/l
[B] <sub>r</sub>	50.00 μmol/l	[B] <sub>r</sub>	25.00 μmol/l
[Mo] <sub>r</sub>	0.50 μmol/l	[Mo] <sub>r</sub>	0.50 μmol/l
[Si]	0.00 mmol/l	[Si]	0.00 mmol/l

Πίνακας 2.2 θρεπτικού διαλύματος starter και replacement από 17/3/14- 16/6/14.

**Savvas, D. and Adamidis, K. (1999).** Automated Management of Nutrient Solution in Hydroponics Based on Target Electrical Conductivity, pH and Nutrient Concentration Ratios. JOURNAL OF PLANT NUTRITION, **22(9)**, 1415-1432

### 2.1.3 Εγκατάσταση της καλλιέργειας και δειγματοληψίες

Στις 14 Ιανουαρίου 2014 παραλήφθηκαν από την AGROSYSTEMA.E 200 σπορόφυτα πιπεριάς, πέντε υβριδίων στο στάδιο των έξι φύλλων, εκ των οποίων ένα από αυτά εμβολιάστηκε σε υποκείμενο (RS10). Οι βλαστημένοι σπόροι φυτεύτηκαν σε υπόστρωμα bioJan με 60% BVB και 40% βερμικουλίτη και περλίτη. Τα υβρίδια που χρησιμοποιήθηκαν, αναφέρονται παρακάτω.

- **Sondela** Capsicum annuum, Bell pepper (**G**): πιπεριάτύπουφλάσκαπράσινη. Ημερομηνίασποράς 16/11/2013.
- **Bellisa** Capsicum annuum, Kappy type (**F**): πιπεριάτύπουφλωρίνης. Ημερομηνία σποράς 16/11/2013.
- **Sammy** Capsicum annuum Charleston type (**SS**): πιπεριάτύπουκέρατο. Ημερομηνία σποράς 16/11/2013.
- **Orangery** Capsicumannuum, California wonder (**O**): πιπεριάέγχρωμητετράγωνη. Ημερομηνίασποράς 16/11/2013.
- **Υποκείμενο RS10** Capsicum annuum. Ημερομηνίασποράς 11/11/2013 - **ΕμβόλιοSammy** Capsicum annuum Charleston type (**SG**). Ημερομηνίαεμβολιασμού 19/11/2013.

Στις 16/1/2014 έγινε η μεταφύτευση 180 φυτών πιπεριάς, στα 20 κανάλια NFT. Τα φυτά διαχωρίστηκαν στις πέντε (5) επιμέρους κατηγορίες ανάλογα με το είδος της πιπεριάς. Εν συνεχεία, η κάθε ποικιλία καταλάμβανε 4 κανάλια NFT των εννέα φυτών το κάθε ένα, τα οποία κατανέμονταν τυχαία στον χώρο του θερμοκηπίου. Τα υπόλοιπα 20 φυτά χρησιμοποιήθηκαν για τις περαιτέρω χημικές αναλύσεις της πρώτης δειγματοληψίας.

Οι μετρήσεις **pH** και αγωγιμότητας (**EC**), των διαλυμάτων των δεξαμενών λαμβάνονταν τρεις φορές την εβδομάδα (Δευτέρα, Τετάρτη , Παρασκευή). Η παρακολούθηση των τιμών pH στην καλλιέργεια και τυχόν αποκλίσεις ως προς τις τιμές pH διορθώθηκαν με χρήση νιτρικού οξέος **HNO<sub>3</sub>** ή καυστικού καλίου **KOH** με σύριγγα, μέσα στα κανάλια NFT. Η πρώτη συγκομιδή καρπών πραγματοποιήθηκε στις 17/3/2014 και, στην συνέχεια, ανάλογα των καρπών, γινόταν μία φορά την εβδομάδα. Οι αφαιρέσεις ενός φυτού για τις δειγματοληψίες και την περαιτέρω χημική ανάλυση τους πραγματοποιήθηκαν την 1<sup>η</sup>, 33<sup>η</sup>, 61<sup>η</sup>, 89<sup>η</sup>, 117<sup>η</sup> και την 152<sup>η</sup>, έπειτα έγινε αφαίρεση όλων των φυτών.



Εικόνα 2.2 Μεταφύτευση της καλλιέργειας πιπεριάς

#### 2.1.4 καλλιεργητικές φροντίδες της καλλιέργειας

Κατά την διάρκεια του πειράματος, οι καλλιεργητικές φροντίδες που πραγματοποιήθηκαν ήταν **υποσύλωση** και **κλάδεμα**. Αυτές οι δυο καλλιεργητικές φροντίδες ήταν ιδιαίτερα σημαντικές καθώς βελτιώνουν τις συνθήκες ανάπτυξης του φυτού και των καρπών και τις συνθήκες ανάπτυξης ασθενειών. Για την υποσύλωση των φυτών πιπεριάς χρησιμοποιήθηκε σπάγκος που τυλίχθηκε ελικοειδώς γύρω από τον βλαστό του φυτού ανά τακτά χρονικά διαστήματα ανάλογα με την ανάπτυξη των φυτών. Η υποσύλωση των φυτών έγινε σε σχηματισμό διστέλεχου φυτού, όπου σε κάθε φυτό επιλέχθηκαν 2 πλάγιοι βλαστοί. Μεταξύ των δύο αυτών βλαστών σχηματίζεται ο πρώτος οφθαλμός – άνθος που δίνει τον πρώτο καρπό. Ο οφθαλμός αυτός λέγεται βασικός οφθαλμός (crown bud). Το άνθος, στην πρώτη διακλάδωση, αφαιρέθηκε για την καλύτερη ανάπτυξη των φυτών.

Το κλάδεμα των φυτών γινόταν ανάλογα με την ανάπτυξη των φυτών μια φορά την εβδομάδα ή και συχνότερα αν το απαιτούσε η καλλιέργεια. Εκτός από τους βλαστούς που αφέθηκαν για την δημιουργία διστέλεχων φυτών, οι υπόλοιποι βλαστοί που αναπτύχθηκαν κλαδευτήκαν στο πρώτο ή δεύτερο φύλλο για τον σχηματισμό του καρπού στην βάση τους. Για την καλύτερη επικοινωνία των ανθέων και την καρπόδεση γίνονταν δόνηση των ανθοταξιών με δονητή τρεις με τέσσερις φορές την εβδομάδα σε κάθε άνθος.



Εικόνα 2.3 Υποσύλωση της καλλιέργειας πιπερίας

### 2.1.5 Λήψη μέτρων για την αντιμετώπιση των προσβολών

Η καθαριότητα του θαλάμου ήταν επιβεβλημένη και για την αντιμετώπιση εχθρών και ασθενειών. Για τον λόγο αυτό, έγιναν προληπτικοί ψεκασμοί με χημικά και βιολογικά σκευάσματα. Αρχικά, τοποθετήθηκαν εντομοστεγή δίχτυα σε πόρτες και παράθυρα 50 mesh, για την μη είσοδο θρίπτα, αφίδες, κ.ά. Πριν και κατά την έναρξη του πειράματος, έγινε προληπτικός ψεκασμός με Θείο (S) Sulfolac 80 WG: 24gr/8L νερό, για το Ωίδιο και το άκαρι του γένους *Polyphagotarsonemus* ενώ 7, 44 και 51 ημέρες από την έναρξη του πειράματος επαναλήφθηκε ο ίδιος ψεκασμός. Δεκαέξι ημέρες από την έναρξη, εξαπολύθηκαν έντομα φύλακες του γένους *Oriuslaevigatus* (αρπακτικό του

Θρίππα) και του γένους *Amblyseiuswirskaa* (αρπακτικό του Αλευρώδη) ενώ, 60 ημέρες μετά την έναρξη του πειράματος, εξαπολύθηκαν ξανά έντομα φύλακες του γένους *Oriuslaevigatus*. Τέλος, 15 ημέρες πριν το τέλος του πειράματος πραγματοποιήθηκε ψεκασμός με Pirimor για την καταπολέμηση της αφίδας.

## 2.2 Εκτέλεση πειράματος στο εργαστήριο

Οι μετρήσεις στα σημαδεμένα φυτά που απομακρύνθηκαν από τον χώρο του θερμοκηπίου, πραγματοποιήθηκαν σε έξι επεμβάσεις: την 1<sup>η</sup>, 33<sup>η</sup>, 61<sup>η</sup>, 89<sup>η</sup>, 117<sup>η</sup> και την 152<sup>η</sup> ημέρα.

Τα σημαδεμένα φυτά, αφού αφαιρέθηκαν, μετρήθηκαν στο ύψος. Έπειτα, με τη χρήση ζυγαριάς ακριβείας μετρήθηκαν νωπό βάρος ριζών, καρπών και φύλλων. Στα φύλλα πραγματοποιήθηκε μέτρηση της φυλλικής επιφάνειας. Έπειτα, οι ιστοί διατηρήθηκαν σε ξηραντήρα στους 65 °C, ώστε να απομακρυνθεί η υγρασία των δειγμάτων και να μετρηθεί το ξηρό βάρος των ιστών. Στην συνέχεια, τα δείγματα αλέσθηκαν στον **μύλο** και τοποθετήθηκαν στο **πυριαντήριο**.

- **Μύλος για το άλεσμα των δειγμάτων**

Φύλλα, ρίζες και καρποί αλέσθηκαν στον μύλο, στον οποίο μπαίνουν τα δείγματα από ένα άνοιγμα στην κορυφή του. Μετά την εισαγωγή του, το δείγμα αλέθεται λόγω της ύπαρξης λεπίδων στο εσωτερικό του μύλου και, αφού περάσει από το κόσκινο που υπάρχει στο κάτω μέρος, συλλέγεται σε πλαστικά σακουλάκια και κλείνεται αεροστεγώς, προκειμένου να μην υπάρξει υψηλή υγρασία. Στο συγκεκριμένο πείραμα χρησιμοποιήθηκε κόσκινο με οπές διαμέτρου 0.5mm

- **Πυραντήριο**

Αρχικά, ζυγίστηκαν 0.5 gr αλεσμένου δείγματος και, στην συνέχεια, τοποθετήθηκαν σε αριθμημένες κάψες πυραντηρίου. Για τις ρίζες, πραγματοποιήθηκε επιπλέον κατεργασία με διαβροχή της κάψας με πυκνό  $\text{HNO}_3$  και θέρμανση. Οι κάψες τοποθετήθηκαν στο πυραντήριο για 8 ώρες στους  $500^\circ\text{C}$ . Στην συνέχεια οι κάψες παρέμειναν για 24 ώρες να κρυώσουν μέσα στο πυραντήριο και μετά την εξαγωγή τους προστέθηκαν σε κάθε μια 10ml  $\text{HCl}$  1N. Έπειτα, και μετά από ανάδευση, έγινε διήθηση όλου του περιεχομένου της κάψας με χρήση διηθητικού φίλτρου και συλλέχθηκαν τα δείγματα σε ογκομετρικές φιάλες των 100ml, φροντίζοντας να ξεπλυθούν καλά οι κάψες με αποσταγμένο νερό. Τέλος, αφού συμπληρώθηκαν τα φιαλίδια με αποσταγμένο νερό ως τα 100ml και αναδεύτηκαν, μεταφέρθηκε το περιεχόμενο της κάθε φιάλης σε αριθμημένα φιαλίδια. Για κάθε επέμβαση ληφθήκαν 60 δείγματα. Μετά από αυτή την διαδικασία έγινε αραίωση 1:100 στα δείγματα, μεταφέρθηκαν σε καινούρια φιαλίδια των 100 ml και ήταν έτοιμα για ανάλυση με την χρήση του φλογοφωτόμετρου και του οργάνου της ατομικής απορρόφησης.



Εικόνα 2.4 Πυραντηρίου

## 2.2.1 Προσδιορισμός ιχνοστοιχείων σε ιστούς – διαλύματα

### 2.2.1.1 Φασματοφωτομετρία Ατομικής Απορρόφησης ( $\text{Fe}^{+2}$ , $\text{Zn}^{+2}$ , $\text{Mn}^{+2}$ )

Η φασματοφωτομετρία ατομικής απορρόφησης (ΦΑΑ) βασίζεται στη μέτρηση της απορρόφησης ακτινοβολίας χαρακτηριστικού μήκους κύματος από ελεύθερα ουδέτερα άτομα ενός στοιχείου που βρίσκονται στη θεμελιώδη κατάσταση.

Η ατομοποίηση του προσδιοριζόμενου στοιχείου γίνεται είτε με φλόγα (οπότε έχουμε την φλογοφασματοφωτομετρία ατομικής απορρόφησης, ΦΦΑΑ), είτε με ηλεκτρικά θερμαινόμενο κλίβανο (οπότε έχουμε την άφλογη φασματοφωτομετρία ατομικής απορρόφησης, ΑΦΑΑ).

Η διέγερση των ατόμων γίνεται με απορρόφηση ακτινοβολίας, η οποία παράγεται από μία εξωτερική πηγή, και διαβιβάζεται μέσα από το νέφος των ατόμων. Η ενέργεια που παρέχεται αντιστοιχεί σε αυτή που απαιτείται για μία ηλεκτρονική μετάπτωση από την θεμελιώδη κατάσταση σε μία διεγερμένη κατάσταση. Η θερμοκρασία της φλόγας πρέπει να διατηρείται κατά το δυνατό χαμηλή σε τέτοιο επίπεδο, ώστε η ενέργεια της φλόγας να επαρκεί για την ατομοποίηση του προσδιοριζόμενου στοιχείου. Στην ΦΑΑ ενδιαφέρει ο αριθμός των ατόμων στη θεμελιώδη κατάσταση, ο οποίος αντιπροσωπεύει την πλειονότητα των ατόμων μέσα στη φλόγα. Στην τεχνική αυτή, ο νόμος του Beer διατυπώνεται με την σχέση:

$$A = \log(P_0/P) = 0.434 k_v L = \lambda_1 N_0 L = \lambda_2 C$$

όπου:

**A** = απορρόφηση,

**P<sub>0</sub>** = η ισχύς της ακτινοβολίας που προσπίπτει στο νέφος των ατόμων,

**P** = η ισχύς της εξερχόμενης ακτινοβολίας, μετά την διόδο από το νέφος,

**k<sub>v</sub>** = συντελεστής ατομικής απορρόφησης, ο οποίος είναι ανάλογος προς τον αριθμό των ατόμων που απορροφούν την ακτινοβολία συχνότητας, άρα και της συγκέντρωσης του διαλύματος,

**λ<sub>1</sub>, λ<sub>2</sub>** = σταθερές αναλογίας που σχετίζονται με τον συντελεστή ατομικής απορρόφησης και εξαρτώνται από τις πειραματικές συνθήκες,



$L$  = το μήκος της διαδρομής που διανύθηκε μέσα στο νέφος των ατόμων,  
 $N_0$  = ο αριθμός των ατόμων που βρίσκονται στη θεμελιώδη κατάσταση ανά μονάδα όγκου του νέφους,

$C$  = η συγκέντρωση του προσδιοριζόμενου στοιχείου στο εισαγόμενο διάλυμα.

Επειδή τελικά  $A = f(C) = \lambda C$ , η χρήση της εξίσωσης στην ανάλυση γίνεται με σχετικές μετρήσεις, με την βοήθεια καμπύλης αναφοράς.

Ο συντελεστής ατομικής απορρόφησης εξαρτάται από το μήκος κύματος της απορροφημένης ακτινοβολίας και από τις πειραματικές συνθήκες ατομοποίησης. Η ένταση ενός σήματος απορρόφησης εξαρτάται (1) από τον αριθμό των ατόμων που απορροφούν και (2) από την ισχύ του ταλαντωτή (δηλαδή την πιθανότητα ένα άτομο να υποστεί μία ηλεκτρονική μετάπτωση στη μονάδα του χρόνου και να απορροφήσει ένα φωτόνιο).

Η φασματική γραμμή μέγιστης απορρόφησης δεν είναι απαραίτητα και η γραμμή μέγιστης εκπομπής. Όταν η γραμμή μέγιστης απορρόφησης δεν συμπίπτει με την γραμμή μέγιστης εκπομπής, η πρώτη έχει μήκος κύματος μικρότερο από την δεύτερη. Ο σίδηρος έχει γραμμή μέγιστης απορρόφησης 248.3 και γραμμή μέγιστης εκπομπής 372.0 nm, ενώ στο ασβέστιο οι δύο γραμμές συμπίπτουν (422.7 nm).

### 2.2.1.2 Φασματομετρία Ατομικής Εκπομπής ( $Na^+$ )

Για τον προσδιορισμό των συγκεντρώσεων  $Na^+$  χρησιμοποιήθηκε φλογοφωτόμετρο, η λειτουργία του ακολουθεί τις αρχές της μεθόδου Φασματομετρίας Ατομικής Εκπομπής (AES).

Η Φασματομετρία Ατομικής Εκπομπής (AES) χρησιμοποιεί το φάσμα εκπομπής διεγερμένων ατόμων για την ποσοτικοποίηση συγκεντρώσεων χημικών στοιχείων σε διαλύματα. Η πρώτη μορφή της τεχνικής ήταν η φλογοφωτομετρία εκπομπής. Με τη χρήση φλογοφωτόμετρου, οι δυνατότητες ανάλυσης περιορίζονται στον προσδιορισμό των αλκαλίων K και Na, καθώς οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στη φλόγα δεν είναι ικανές να διεγείρουν τα άτομα μη αλκαλικών μετάλλων.

### 2.2.1.3 προσδιορισμός συγκέντρωσης βορίου (B)

Για τον προσδιορισμό του Βορίου, παρασκευάσαμε τα εξής αντιδραστήρια:

- Ρυθμιστικό διάλυμα B (buffer), 250 gr οξικού αμμωνίου-ammoniumacetate, 15 gr EDTA-ethylenediaminetetracetic acid, 125 glacial οξικό οξύ και συμπλήρωση με H<sub>2</sub>O μέχρι τα 400 ml]
- Διάλυμα αζομεθίνης (0,45 g azo methin , 1 gr ασκορβικού οξέος-ascorbic acid, διαλυμένα σε 100 ml H<sub>2</sub>O).
- Standard B συγκέντρωσης 100 ppm (0,05716 gr άνυδρο βορικό οξύ / 100 ml H<sub>2</sub>O).
- Standard B συγκέντρωσης 0.1, 0.25, 0.5 και 1.0 ppm

Η διαδικασία Βορίου που ακολουθήθηκε ήταν η εξής: Σε δείγμα νερού 1 ml, σε πλαστικό φιαλίδιο των 50 ml, έγινε προσθήκη 2 ml ρυθμιστικού διαλύματος Βορίου (buffer) και 2 ml διαλύματος αζομεθίνης . Έπειτα από 45 min αναμονή, στη διάρκεια της οποίας αναπτύχθηκε κίτρινο χρώμα, πραγματοποιήθηκε μέτρηση στο φασματοφωτόμετρο στα 420 nm.

- **Το φασματοφωτόμετρο** (spectrophotometer)

Είναι όργανο το οποίο μετρά την ένταση μιας επιλεγμένης συχνότητας ακτινοβολίας. Το πρώτο τμήμα του φασματοφωτομέτρου, αποτελείται από την πηγή παραγωγής ακτινοβολίας. Το δεύτερο τμήμα είναι αυτό που διαχωρίζει το επιθυμητό μήκος κύματος (συχνότητα) από τα υπόλοιπα που παράγει η πηγή, παρέχοντας έτσι στο τρίτο μέρος μονοχρωματική ακτινοβολία. Το τρίτο είναι αυτό που τοποθετείται το προς μέτρηση δείγμα και το τελευταίο είναι ο μετρητής της ακτινοβολίας που τελικά "περνά" (δεν απορροφάτε) από το δείγμα.

Με τις τιμές που σημειώσαμε για όλα τα δείγματα μας και για όλες τις παραπάνω συγκεντρώσεις κατασκευάσαμε την καμπύλη αναφοράς, για να βρεθούν οι συγκεντρώσεις Βορίου όλων των επεμβάσεων.

### 2.2.2 Προσδιορισμός απορρόφησης ιχνοστοιχείων

Ο προσδιορισμός της απορρόφησης των συγκεντρώσεων των ιχνοστοιχείων υπολογίστηκε με βάση την απομάκρυνση των θρεπτικών στοιχείων από το

θρεπτικό διάλυμα. Συγκεκριμένα, η μέση συγκέντρωση απορρόφησης του ιχνοστοιχείων ( $C_{xu}$  σε  $\mu\text{molL}^{-1}$ , όπου  $x = \text{Fe}^{+2}, \text{Zn}^+, \text{Mn}^{+2}, \text{B}$  και  $\text{Na}^+$  σε  $\text{mmolL}^{-1}$ ) προσδιορίστηκε για διαδοχικά χρονικά μεσοδιαστήματα (κάθε μήνα από την έναρξη του πειράματος) χρησιμοποιώντας τον ακόλουθο τύπο (Tzerakis *et al.*, 2013)

$$C_{xu} = \frac{V_r(C_{xbi} - C_{xei}) + V_{ui}C_{xa}}{V_{ui}}$$

$V_r(\text{L})$  = ο ολικός όγκος του θρεπτικού διαλύματος ανακύκλωσης σε κάθε πειραματική μονάδα (σε κάθε φυτό).

$V_{ui}(\text{L})$  = ο ολικός όγκος του θρεπτικού διαλύματος που απορροφήθηκε από τα φυτά σε κάθε πειραματική μονάδα κατά τη διάρκεια  $i$  μεσοδιαστημάτων ( $i= 1..5$ )

$C_{xbi}, C_{xei}(\mu\text{molL}^{-1})$  = οι συγκεντρώσεις του  $x$  ιχνοστοιχείου στο θρεπτικό διάλυμα ανακύκλωσης την πρώτη και την τελευταία μέρα του  $i$  μεσοδιαστήματος ( $i= 1..5$ )

$C_{xa}(\mu\text{molL}^{-1})$  = δηλώνει τη συγκέντρωση του  $x$  ιχνοστοιχείου στο θρεπτικό διάλυμα συμπλήρωσης που χρησιμοποιήθηκε σε κάθε μεταχείριση.

### 2.2.3 Ποιοτικά χαρακτηριστικά καρπών πιπεριάς

Στους καρπούς που συγκομίστηκαν μελετήθηκαν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά (χρώμα, συνεκτικότητα, ολικά διαλυτά στερεά) στο εργαστήριο προκειμένου να εντοπιστούν διαφορές μεταξύ των ποικιλιών

- **Χρώμα**

Το εξωτερικό χρώμα μετρήθηκε με το χρωματόμετρο Minolta μοντέλο CR 200, που δίνει αριθμητικές τιμές για τρεις παραμέτρους μέτρησης του φωτός  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  που αποτελούν καλές προσεγγίσεις των τιμών  $x, y, z$  του σιεθνο΄τα συστήματος CIE. Η παράμετρος  $L^*$  μετρά την φωτεινότητα σε μια κλίμακα από 0 (μαύρο) ως 100 (λευκό), η  $a^*$  δηλώνει πράσινο χρώμα όταν έχει αρνητικές

τιμές και κόκκινο για θετικές τιμές, ενώ η  $b^*$  όταν έχει αρνητικές τιμές υποδηλώνει μπλε χρώμα ενώ με θετικές τιμές εκφράζεται το κίτρινο.

- **Ολικά διαλυτά στερεά**

Ο προσδιορισμός των διαλυτών στερεών έγινε με διαθλασίμετρο χειρός μοντέλο Schmidt&HaenschHR32B. Οι καρποί από κάθε υπόστρωμα τεμαχίζονταν με ανοξείδωτο μαχαίρι και ακολούθως πολτοποιούνταν με blender και με τη βοήθεια μεταλλικής σπάτουλας μεταφέρονταν μια σταγόνα χυμού στην ειδική υποδοχή του οργάνου. Ακολούθησε καταγραφή με ακρίβεια 0,2 Brix. Για κάθε δείγμα-πολλά σημειώνονταν τέσσερις μετρήσεις και στο τέλος υπολογίστηκαν οι μέσοι όροι. Λόγω της επίδρασης της θερμοκρασίας στις μετρήσεις των ολικών διαλυτών στερεών με το διαθλασίμετρο, οι μετρήσεις πραγματοποιούνται σε συγκεκριμένη θερμοκρασία (δωματίου, 22°C).



Εικόνα 2.5 Πιπεριά Φλωρίνης

### 2.3 Στατιστική ανάλυση αποτελεσμάτων

Η εγκατάσταση των φυτών στο πειραματικό τεμάχιο έγινε σύμφωνα με το σχέδιο των τυχαιοποιημένων πλήρων ομάδων. Οι πέντε ποικιλίες αποτελούσαν

τις πέντε επεμβάσεις που στην κάθε μία αντιστοιχούσαν τέσσερις επαναλήψεις, ήτοι είκοσι μεταχειρίσεις συνολικά.

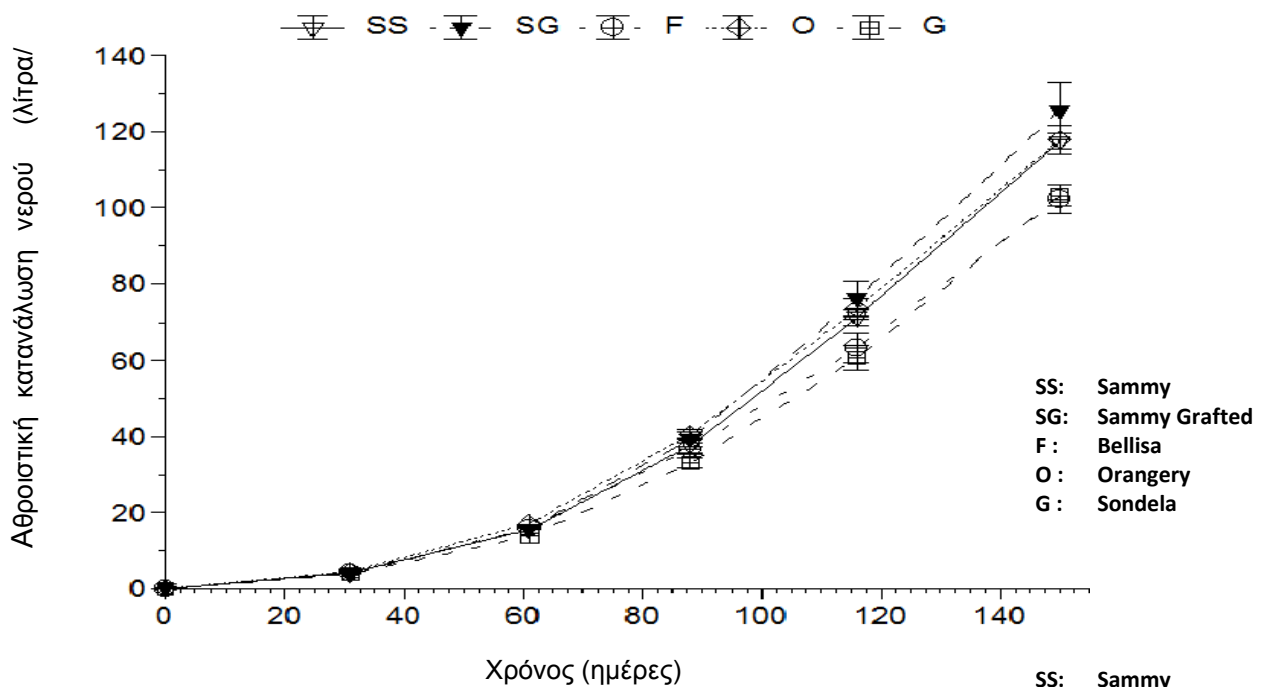
Κάθε μεταχείριση αντιστοιχούσε σε ένα κανάλι κατά μήκος του οποίου είχαν εγκατασταθεί εννέα φυτά της αντίστοιχης επέμβασης (ποικιλίας). Το σύνολο των φυτών – 180 φυτά - αποτέλεσε και το ολικό φυτικό υλικό που χρησιμοποιήθηκε.

Για την στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό *Statistica*.7. Πραγματοποιήθηκε ανάλυση διασποράς (ANOVA) για την εύρεση πιθανής στατιστικής, σημαντικής διαφοράς και στις περιπτώσεις όπου η διαφορά αυτή ήταν υπαρκτή σε επίπεδο σημαντικότητας 5%, 1%, 0,1% ακολούθησε η σύγκριση των μέσων τιμών σύμφωνα με τη δοκιμασία *Duncan multiplier range test* (MRT) σε επίπεδο σημαντικότητας 5%. Η απεικόνιση των δεδομένων σε γραφήματα έγινε με το πρόγραμμα Plot-It 3.2.

### 3. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

#### 3.1. Αθροιστική κατανάλωση νερού

Παρακάτω αποτυπώνεται γραφικά η διαβάθμιση της αθροιστικής κατανάλωσης στις πέντε επεμβάσεις από την έναρξη του πειράματος μέχρι και το πέρας αυτού (Εικ. 3.1).



Εικόνα 3.1 Αθροιστική κατανάλωση νερού στο χρόνο

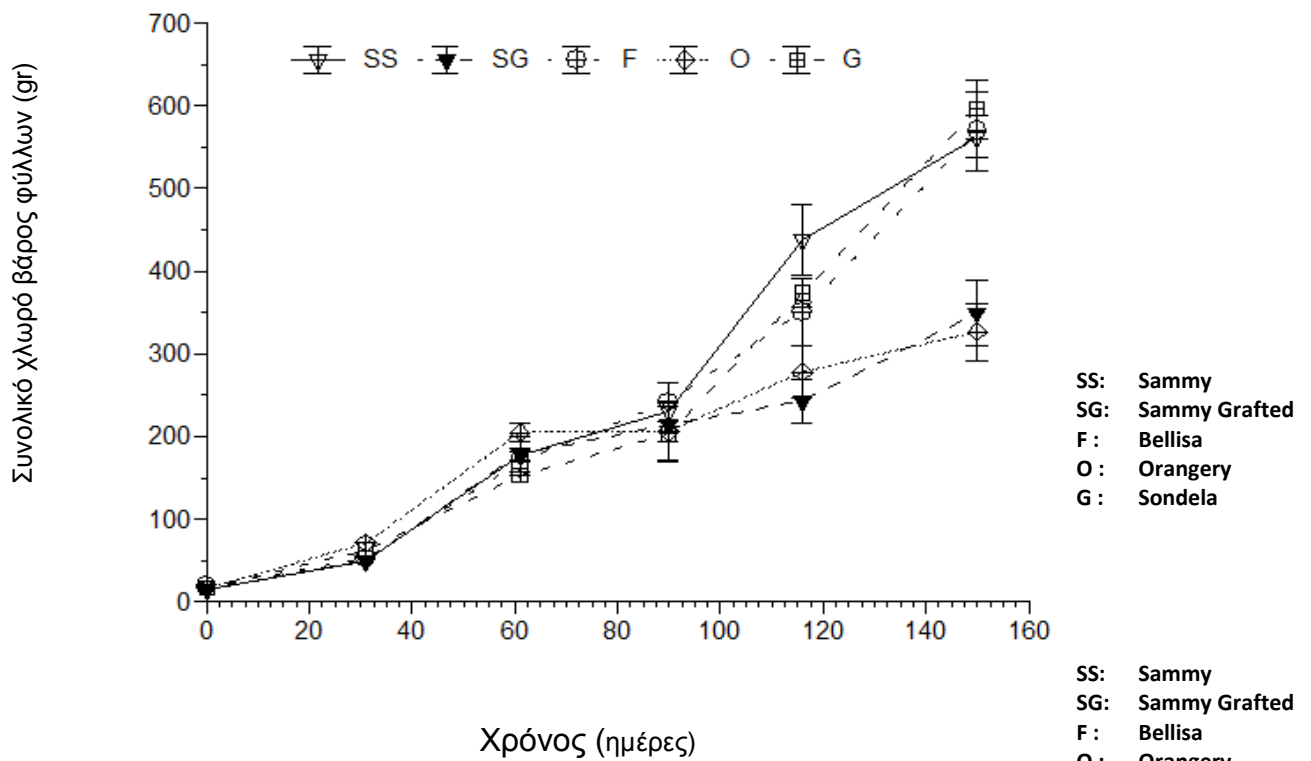
Από το παραπάνω γράφημα είναι φανερό ότι η κατανάλωση νερού, μέχρι τις πρώτες 61 ημέρες είναι παρόμοια για όλες τις ποικιλίες. Από την 61η ημέρα μέχρι και την 89 ημέρα, δηλαδή κατά το πρώτο στάδιο καρποφορίας παρατηρείται μια διαφοροποίηση ως προς την απορρόφηση από την G σε σχέση με τις υπόλοιπες ποικιλίες. Ο μ.ο κατανάλωσης για την G είναι 33,015 λίτρα/φυτό, ο οποίος είναι και ο χαμηλότερος. Από την 89 ημέρα και μέχρι την 117 ημέρα, στο δεύτερο στάδιο καρποφορίας, η κατανάλωση νερού στις ποικιλίες F και G είναι χαμηλότερη σε σχέση με τις άλλες ποικιλίες πιπεριάς. Από την 119 ημέρα μέχρι και το τέλος της καλλιέργειας η κατανάλωση,

αυξάνεται σε όλες τις ποικιλίες με την επέμβαση SG και την G να παρουσιάζουν, μέγιστη (125,58 λίτρα/φυτό) και ελάχιστη (103,21 λίτρα/φυτό) τιμές αντίστοιχα.

### 3.2. Χλωρό βάρος

#### 3.2.1 Χλωρό βάρος φύλλων

Παρακάτω αποτυπώνεται γραφικά η διαβάθμιση του χλωρού βάρους των φύλλων στις πέντε επεμβάσεις από την έναρξη του πειράματος μέχρι και το πέρας αυτού (Εικ. 3.2).



Εικόνα 3.2 Συνολικό χλωρό βάρος φύλλων στον χρόνο

FWL	SS	SG	O	F	G	α
I						NS
II	b	b	a	b	a	***
III						NS
IV						NS
V	a	c	ab	bc	bc	**
VI	a	b	b	a	a	***

SS: Sammy  
SG: Sammy Grafted  
F: Bellisa  
O: Orangery  
G: Sondela  
SS: Sammy  
SG: Sammy Grafted  
F: Bellisa  
O: Orangery  
G: Sondela  
SS: Sammy  
SG: Sammy Grafted  
F: Bellisa  
O: Orangery  
G: Sondela  
SS: Sammy  
SG: Sammy Grafted  
F: Bellisa  
O: Orangery  
G: Sondela

**Πίνακας 3.1** Συγκρίσεις μέσων όρων του συνολικού χλωρού βάρους των φύλλων, μεταξύ των επεμβάσεων, ανά δειγματοληψία όπου SS, SG, O, F, G = επεμβάσεις, I-VI= δειγματοληψίες, NS: Non-Significant, α= επίπεδο σημαντικότητας, \*= 5%, \*\*= 1%, \*\*\*= 0,1%

Από το παραπάνω γράφημα συνολικού χλωρού βάρους φύλλων, διαπιστώνουμε ότι μέχρι και τις πρώτες 61 ημέρες, το χλωρό βάρος των φύλλων για όλες τις ποικιλίες κυμάνθηκε στα ίδια επίπεδα. Από την 61 ημέρα μέχρι και την 89 ημέρα, δηλαδή μέχρι και την αλλαγή της σύστασης του θρεπτικού διαλύματος συμπλήρωσης, έχουμε μικρές διακυμάνσεις στις ποικιλίες με μέγιστη να παρουσιάζεται στην SS ποικιλία, χωρίς όμως να έχουμε στατιστική διαφορά μεταξύ τους (**Πιν. 3.1**).

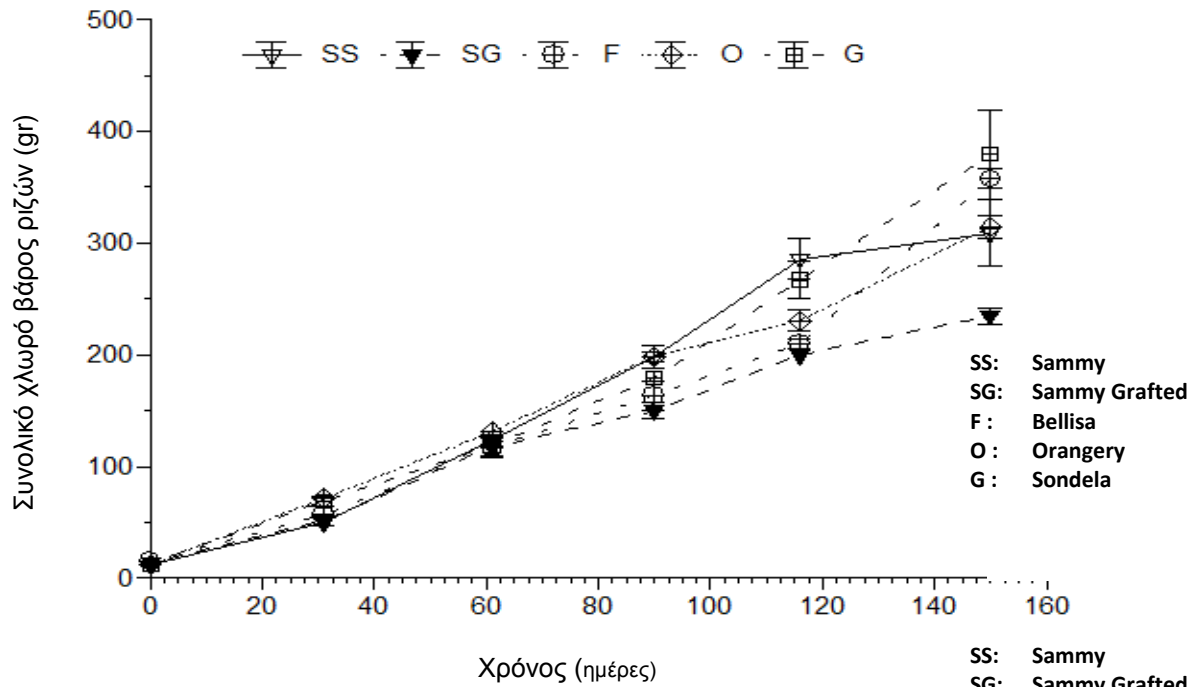
Από την 89 ημέρα μέχρι και την 117 ημέρα, όπου πραγματοποιείται και η τελευταία αλλαγή θρεπτικών διαλυμάτων, το συνολικό χλωρό βάρος των φύλλων αυξάνεται με μέγιστη τιμή την SS (562,46 gr), η οποία διαφέρει στατιστικώς σημαντικά με SG σε επίπεδο 1% .

Από την 117 ημέρα μέχρι και το τέλος του πειράματος το συνολικό βάρος των φύλλων αυξάνεται σε όλες τις ποικιλίες με την επέμβαση G (595,7gr) να παρουσιάζει μέγιστη τιμή. Επίσης έχουμε μεγάλη διαφορά μεταξύ μη εμβολιασμένων SS (562,47gr) και εμβολιασμένων SG (349,26gr) ποικιλιών, παρουσιάζοντας στατιστικώς σημαντική διαφορά σε επίπεδο 0,1% (**Πιν. 3.1**).



### 3.2.2 Χλωρό βάρος ριζών

Παρακάτω αποτυπώνεται γραφικά η διαβάθμιση του χλωρού βάρους των ριζών στις πέντε επεμβάσεις από την έναρξη του πειράματος μέχρι και το αυτού (Εικ. 3.3).



Εικόνα 3.3 Συνολικό χλωρό βάρος ριζών στον χρόνο

FWR	SS	SG	O	F	G	$\alpha$
I						NS
II	b	b	a	b	a	***
III						NS
IV						NS
V	a	c	ab	bc	bc	**
VI	a	b	b	a	a	***

Πίνακας 3.2 Συγκρίσεις μέσω των όρων του συνολικού χλωρού βάρους των ριζών, μεταξύ των επεμβάσεων, ανά δειγματοληψία όπου SS, SG, O, F, G = επεμβάσεις, I-VI= δειγματοληψίες, NS: Non-Significant,  $\alpha$ = επίπεδο σημαντικότητας, \* = 5%, \*\* = 1%, \*\*\* = 0,1%

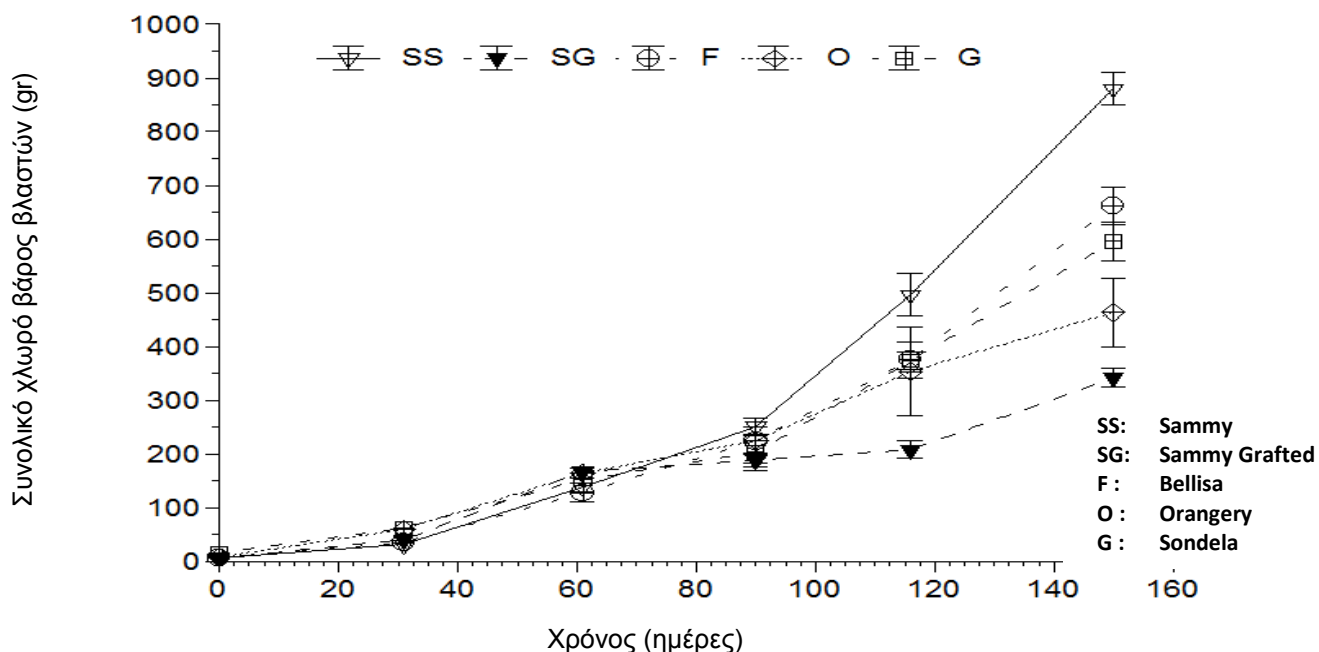
Από το παραπάνω γράφημα συνολικού χλωρού βάρους ριζών, διαπιστώνουμε ότι μέχρι και τις πρώτες 61 ημέρες, το χλωρό βάρος των ριζών

για όλες τις ποικιλίες είναι στα ίδια επίπεδα. Από την 61 ημέρα μέχρι και την 89 ημέρα, δηλαδή μέχρι και την αλλαγή της σύστασης του θρεπτικού διαλύματος συμπλήρωσης, έχουμε μικρές διακυμάνσεις στις ποικιλίες με την ελάχιστη τιμή να παρουσιάζεται στην SG ποικιλία (149,55 gr), η οποία δεν διαφέρει στατιστικώς σημαντικά με τις υπόλοιπες επεμβάσεις (Πιν. 3.2).

Από την 89 ημέρα μέχρι και την 117 ημέρα, κατά το δεύτερο στάδιο καρποφορίας, το συνολικό χλωρό βάρος των ριζών αυξάνεται με μέγιστη τιμή το SS η οποία διαφέρει στατιστικώς σημαντικά με τις επεμβάσεις SG,F και G σε επίπεδο 1%(Πιν. 3.2). Από την 117 ημέρα μέχρι και το τέλος του πειράματος το συνολικό βάρος των ριζών αυξάνεται σε όλες τις ποικιλίες με την επέμβαση G (379,43gr) και SG (234,85gr) να παρουσιάζουν μέγιστη και ελάχιστη τιμή αντίστοιχα, διαφέροντας στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους σε επίπεδο 0,1%(Πιν. 3.2).

### 3.2.3. Χλωρό βάρος βλαστών

Παρακάτω αποτυπώνεται γραφικά η διαβάθμιση του χλωρού βάρους των βλαστών στις πέντε επεμβάσεις από την έναρξη του πειράματος μέχρι και το πέρας αυτού (Εικ. 3.4).



Εικόνα 3.4 Συνολικό χλωρό βάρος βλαστών στον χρόνο

FWBr	SS	SG	O	F	G	$\alpha$
I						NS
II	c	b	a	bc	b	***
III						NS
IV						NS
V	ab	c	b	ab	a	**
VI	a	c	c	b	a	***

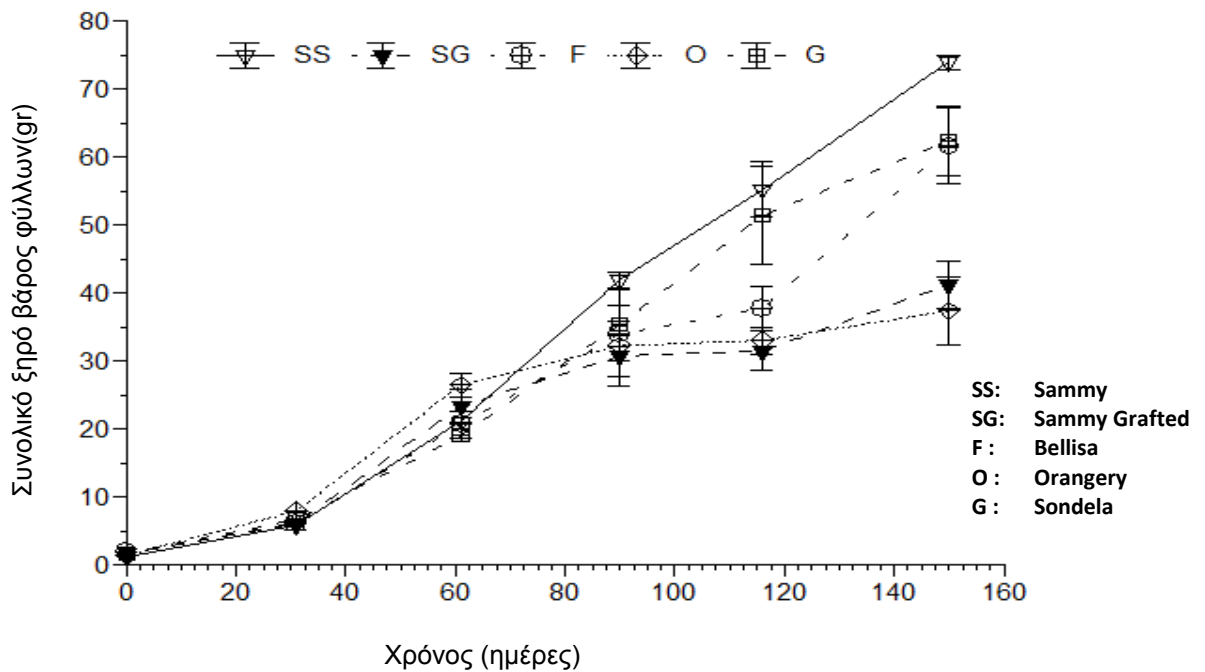
**Πίνακας 3.3** Συγκρίσεις μέσω των όρων του συνολικού χλωρού βάρους των βλαστών, μεταξύ των επεμβάσεων, ανά δειγματοληψία όπου SS, SG, O, F, G = επεμβάσεις, I-VI= δειγματοληψίες, NS: Non-Significant,  $\alpha$ = επίπεδο σημαντικότητας, \*= 5%, \*\*= 1%, \*\*\*= 0,1%

Από το παραπάνω γράφημα συνολικού χλωρού βάρους βλαστών, διαπιστώνουμε στο βλαστικό στάδιο, δεν έχουμε στατιστικώς σημαντικές διαφορές (**Πιν. 3.3**) και το χλωρό βάρος των βλαστών για όλες τις ποικιλίες είναι στα ίδια επίπεδα. Από την 61 ημέρα μέχρι και την 89 ημέρα, κατά το πρώτο στάδιο, δεν έχουμε στατιστικώς σημαντικές διαφορές στις ποικιλίες (**Πιν. 3.3**). Από την 89 ημέρα μέχρι και την 117 ημέρα, κατά το δεύτερο στάδιο καρποφορίας το συνολικό χλωρό βάρος των βλαστών αυξάνεται με μέγιστη τιμή το SS, το οποίο διαφέρει στατιστικώς σημαντικά με τις επεμβάσεις O και SG σε επίπεδο σημαντικότητας 1% (**Πιν. 3.3**). Από την 117 ημέρα μέχρι και το τέλος του πειράματος το συνολικό βάρος των ριζών αυξάνεται σε όλες τις ποικιλίες με την επέμβαση SS (879,6gr) και SG (342,18gr) να παρουσιάζουν μέγιστη και ελάχιστη τιμή αντίστοιχα και να διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά σε επίπεδο 0,1% (**Πιν. 3.3**).

### 3.3. Ξηρό βάρος

#### 3.3.1 Ξηρό βάρος φύλλων

Παρακάτω αποτυπώνεται γραφικά η διαβάθμιση του ξηρού βάρους των φύλλων στις πέντε επεμβάσεις από την έναρξη του πειράματος μέχρι και το πέρας αυτού (**Εικ. 3.5**).



**Εικόνα 3.5** Συνολικό ξηρό βάρος φύλλων στον χρόνο

DWL	SS	SG	O	F	G	α
I						NS
II	b	b	a	b	b	**
III	b	ab	a	b	b	*
IV						NS
V	a	b	b	b	a	**
VI	a	b	b	a	a	***

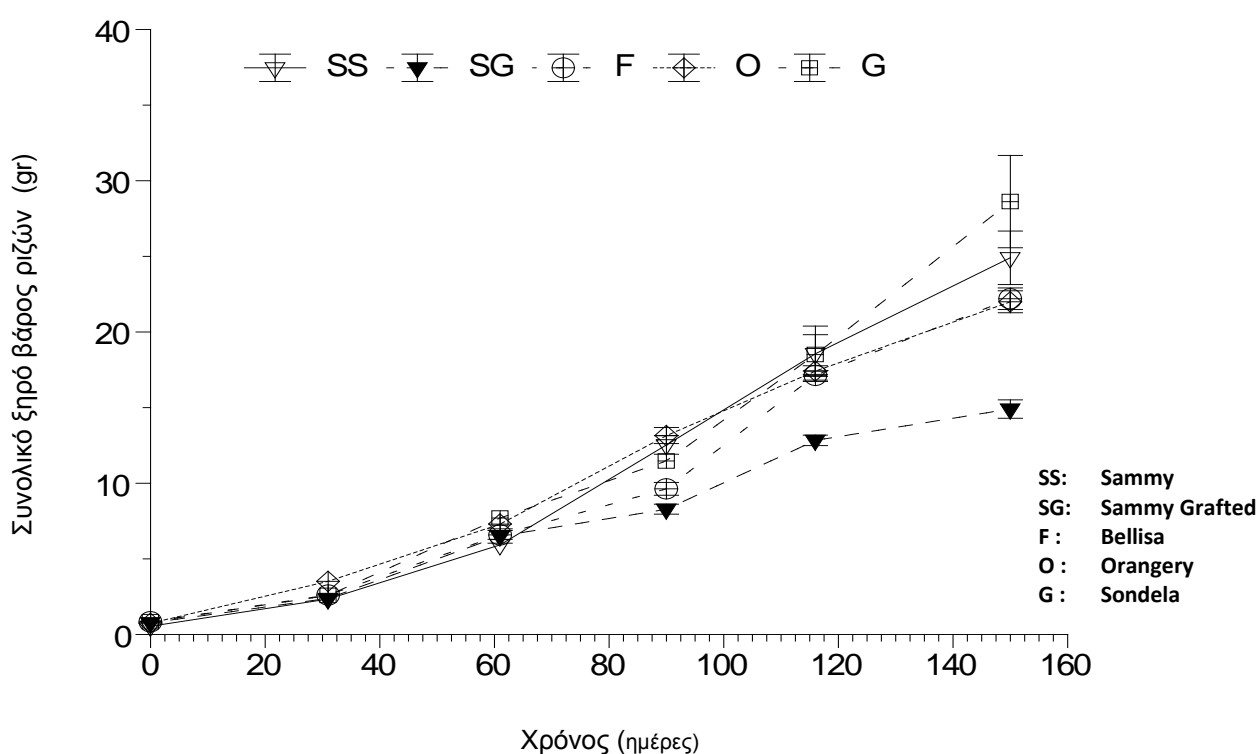
**Πίνακας 3.4** Συγκρίσεις μέσω των όρων του συνολικού ξηρού βάρους των φύλλων, μεταξύ των επεμβάσεων, ανά δειγματοληψία όπου SS, SG, O, F, G = επεμβάσεις, I-VI= δειγματοληψίες, NS: Non-Significant, α= επίπεδο σημαντικότητας, \*= 5%, \*\*= 1%, \*\*\*= 0,1%

Από το παραπάνω γράφημα συνολικού ξηρού βάρους βλέπουμε ότι κατά το στάδιο ανθοφορίας δεν είχαμε στατιστικώς σημαντικές διαφορές στις επεμβάσεις (Πιν. 3.4). Κατά το βλαστικό στάδιο, μέχρι και την 61 ημέρα διαπιστώθηκε ότι ο μ.ο ξηρού βάρους των φυτών παρουσίασε υψηλότερες τιμές στις ποικιλίες O και SG, με την ποικιλία O να διαφέρει να στατιστικώς σημαντικά με τις υπόλοιπες επεμβάσεις σε επίπεδο 1%(Πιν. 3.4). Από την 61<sup>η</sup> ημέρα μέχρι και την 86<sup>η</sup> ημέρα βλέπουμε μια αύξηση του ξηρού βάρους στο SS σε σχέση με τις υπόλοιπες ποικιλίες, χωρίς όμως να διαφέρει στατιστικώς σημαντικά με τις υπόλοιπες επεμβάσεις (Πιν. 3.4). Στην συνέχεια παρατηρούμε

ότι από την 89<sup>η</sup> ημέρα μέχρι και την 119<sup>η</sup> ημέρα, στο δεύτερο στάδιο καρποφορίας έχουμε μια σημαντική αύξηση του ξηρού βάρους των φύλλων στις ποικιλίες SS και G διαφέροντας στατιστικώς σημαντικά σε σχέση με τις άλλες ποικιλίες σε επίπεδο 1% (Πιν. 3.4). Από την 119 ημέρα και μέχρι το τέλος των πειραματικών μετρήσεων έχουμε αύξηση σε όλες τις ποικιλίες, με τις ποικιλίες SS 73.93 gr/φυτό και SG 41.26 gr/φυτό μ.ο να παρουσιάζουν μέγιστη και ελάχιστη τιμή αντίστοιχα και να διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά σε επίπεδο 0,1% (Πιν. 3.4).

### 3.3.2 Συνολικό ξηρό βάρος ριζών

Παρακάτω αποτυπώνεται γραφικά η διαβάθμιση του ξηρού βάρους των ριζών στις πέντε επεμβάσεις από την έναρξη του πειράματος μέχρι και το πέρας αυτού (Εικ. 3.6).



Εικόνα 3.6 Συνολικό ξηρό βάρος ριζών στον χρόνο

DWR	SS	SG	O	F	G	$\alpha$
I	b	a	ab	a	a	*
II	b	b	a	b	b	***
III	c	bc	ab	b	a	**
IV	ab	d	a	c	b	***
V	b	a	b	b	b	**
VI	ab	c	b	b	a	***

**Πίνακας 3.5** Συγκρίσεις μέσων όρων του συνολικού ξηρού βάρους των ριζών, μεταξύ των επεμβάσεων, ανά δειγματοληψία όπου SS, SG, O, F, G = επεμβάσεις, I-VI= δειγματοληψίες, NS: Non-Significant,  $\alpha$ = επίπεδο σημαντικότητας, \*= 5%, \*\*= 1%, \*\*\*= 0,1%

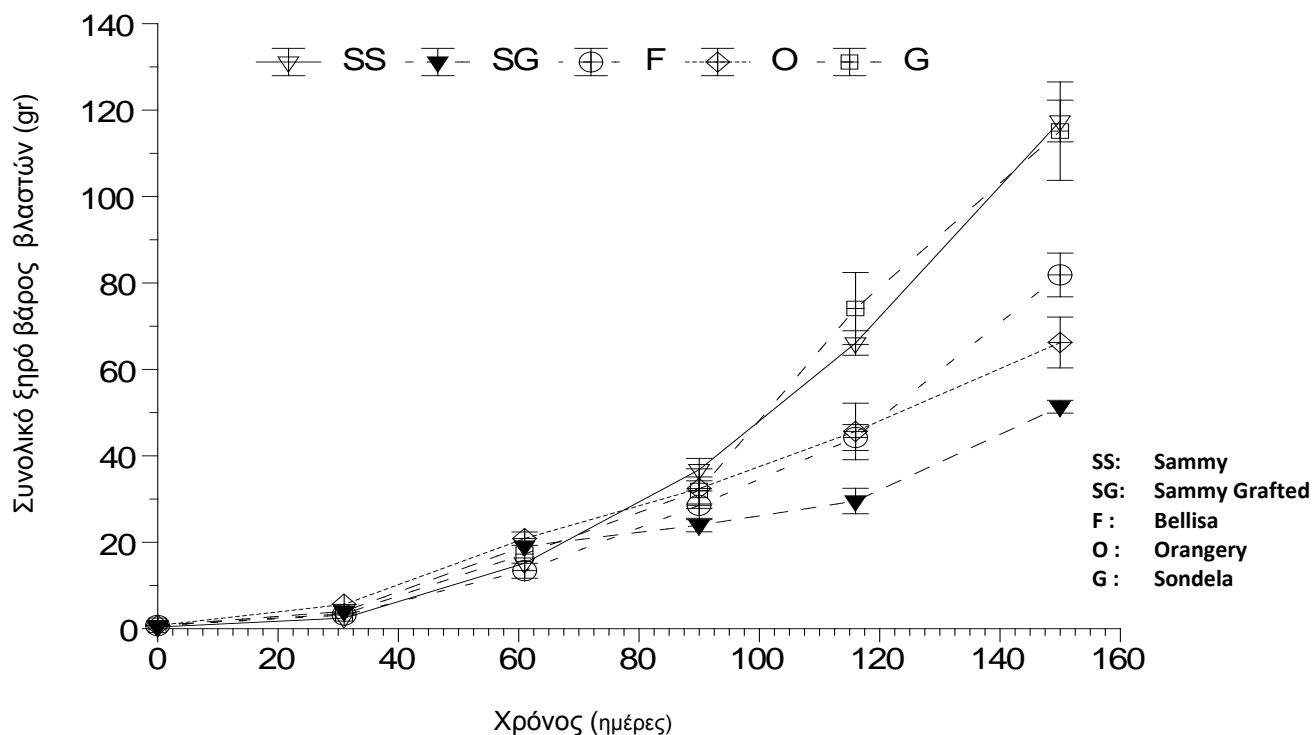
Από το παραπάνω γράφημα συνολικού ξηρού βάρους ριζών, διαπιστώνουμε ότι μέχρι και το στάδιο της ανθοφορίας, το ξηρό βάρος των ριζών για όλες τις ποικιλίες είναι στα ίδια επίπεδα, με τις ποικιλίες SS, SG να διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά σε επίπεδο 5%(Πιν. 3.5).

Κατά την δεύτερη δειγματοληψία, η επέμβαση O διαφέρει στατιστικώς σημαντικά με όλες τις υπόλοιπες ποικιλίες σε επίπεδο 0,1%(Πιν. 3.5). Κατά την τρίτη δειγματοληψία, η επέμβαση G λαμβάνει την μέγιστη τιμή και διαφέρει στατιστικώς σημαντικά με τις υπόλοιπες ποικιλίες σε επίπεδο 1%(Πιν. 3.5).

Από την 61 ημέρα μέχρι και την 89 ημέρα, δηλαδή μέχρι και την αλλαγή της σύστασης του θρεπτικού διαλύματος συμπλήρωσης, έχουμε μικρές διακυμάνσεις στις ποικιλίες με την ελάχιστη τιμή να παρουσιάζεται στην SG ποικιλία (8,29 gr), η οποία διαφέρει στατιστικώς σημαντικά σε επίπεδο 0,1%(Πιν. 3.5). Από την 89 ημέρα μέχρι και την 117 ημέρα, όπου πραγματοποιείται και η τελευταία αλλαγή θρεπτικών διαλυμάτων, το συνολικό ξηρό βάρος των ριζών όλων των ποικιλιών κυμαίνεται στα ίδια περίπου επίπεδα (17,13-18,56 gr), με εξαίρεση την επέμβαση SG που παρουσιάζει ιδιαίτερα χαμηλή τιμή και διέφερε στατιστικώς σημαντικά σε επίπεδο 1% σε σχέση με τις υπόλοιπες επεμβάσεις. Από την 117 ημέρα μέχρι και το τέλος του πειράματος το συνολικό βάρος των ριζών αυξάνεται σε όλες τις ποικιλίες με την επέμβαση G (28,62 gr) και SG (14,91 gr) να παρουσιάζουν μέγιστη και ελάχιστη τιμή αντίστοιχα και να διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους σε επίπεδο 0,1%(Πιν. 3.5).

### 3.3.3 Συνολικό ξηρό βάρος βλαστών

Παρακάτω αποτυπώνεται γραφικά η διαβάθμιση του ξηρού βάρους των βλαστών στις πέντε επεμβάσεις από την έναρξη του πειράματος μέχρι και το πέρας αυτού (Εικ. 3.7)



Εικόνα 3.7 Συνολικό ξηρό βάρος βλαστών στον χρόνο

DWBr	SS	SG	O	F	G	$\alpha$
I	b	a	a	a	a	**
II	c	b	a	bc	b	***
III	b	a	a	b	ab	**
IV						NS
V	a	b	b	b	a	***
VI	c	a	bc	a	a	***

**Πίνακας 3.6** Συγκρίσεις μέσων όρων του συνολικού ξηρού βάρους των βλαστών, μεταξύ των επεμβάσεων, ανά δειγματοληψία όπου SS, SG, O, F, G = επεμβάσεις, I-VI= δειγματοληψίες, NS: Non-Significant,  $\alpha$ = επίπεδο σημαντικότητας, \*= 5%, \*\*= 1%, \*\*\*= 0,1%

Από το παραπάνω γράφημα συνολικού ξηρού βάρους βλαστών, διαπιστώνουμε ότι μέχρι και το στάδιο της ανθοφορίας, το ξηρό βάρος των ριζών για όλες τις ποικιλίες είναι στα ίδια επίπεδα, με την ποικιλία SG να διαφέρει στατιστικώς σημαντικά με όλες τις επεμβάσεις σε επίπεδο 1%(**Πιν. 3.6**).

Κατά την δεύτερη δειγματοληψία, η επέμβαση O διαφέρει στατιστικώς σημαντικά με όλες τις υπόλοιπες ποικιλίες σε επίπεδο 0,1%(**Πιν. 3.5**). Κατά την τρίτη δειγματοληψία, οι επεμβάσεις O και SG λαμβάνουν τις μέγιστες τιμές και διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά με τις υπόλοιπες ποικιλίες σε επίπεδο 1%(**Πιν. 3.6**).

Από την 61 ημέρα μέχρι και την 89 ημέρα, δηλαδή μέχρι και την αλλαγή της σύστασης του θρεπτικού διαλύματος συμπλήρωσης, έχουμε μικρές διακυμάνσεις στις ποικιλίες που κυμαίνονται μεταξύ 23,98- 36,82 gr, με τις ποικιλίες να μην διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους (**Πιν. 3.6**).

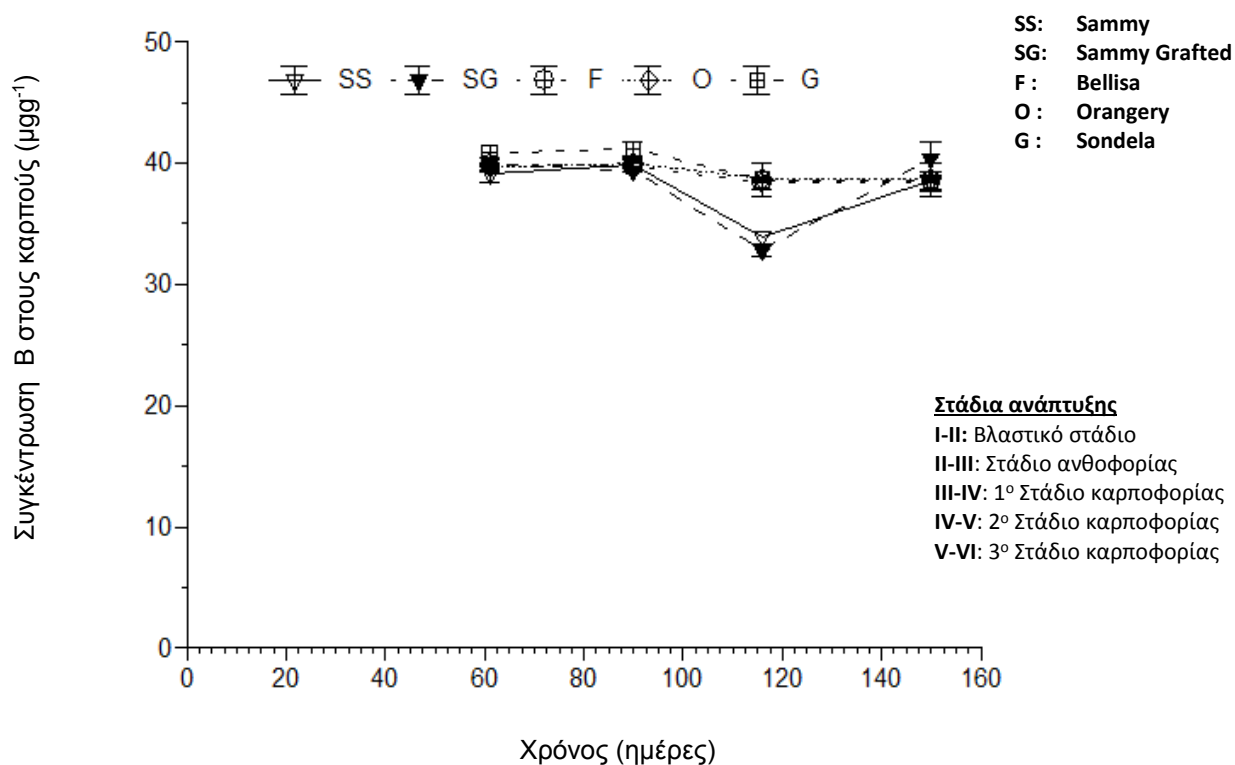
Από την 89 ημέρα μέχρι και την 117 ημέρα, όπου πραγματοποιείται και η τελευταία αλλαγή θρεπτικών διαλυμάτων, το συνολικό χλωρό βάρος των ριζών αυξάνεται, παρουσιάζοντας μέγιστη τιμή το G και ελάχιστη το SG, διαφέροντας στατιστικώς σημαντικά σε επίπεδο 0,1% (**Πιν. 3.6**). Από την 117 ημέρα μέχρι και το τέλος του πειράματος το συνολικό βάρος των ριζών αυξάνεται σε όλες τις ποικιλίες, με την επέμβαση SS (117,49gr) και SG (51,39gr), να παρουσιάζουν μέγιστη και ελάχιστη τιμή αντίστοιχα και να διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά επίπεδο 0,1%(**Πιν. 3.6**).



### 3.4 Βόριο

#### 3.4.1 Συγκέντρωση Βορίου (B) στους καρπούς

Τα αποτελέσματα της στατιστικής σύγκρισης των μέσων όρων των συγκεντρώσεων B στους καρπούς των φυτών, μεταξύ των επεμβάσεων, στα διαδοχικά στάδια καλλιέργειας της πιπεριάς φαίνονται στον **Πίνακα 3.1** ενώ η διαγραμματική τους απεικόνιση φαίνεται στην **Εικόνα 3.8**



**Εικόνα 3.8** Διακύμανση των συγκεντρώσεων B στους καρπούς των φυτών, μεταξύ των επεμβάσεων, ανά δειγματοληψία.

B	SS	SG	O	F	G	α
I						
II						
III						NS
IV						NS
V	b	b	a	a	a	***
VI						NS

**Πίνακας 3.1** Συγκρίσεις μέσων όρων των συγκεντρώσεων B στους καρπούς των φυτών, μεταξύ των επεμβάσεων, ανά δειγματοληψία όπου SS, SG, O, F, G = επεμβάσεις, I-VI= δειγματοληψίες, NS: Non-Significant, α= επίπεδο σημαντικότητας, \*= 5%, \*\*= 1%, \*\*\*= 0,1%

Σύμφωνα με το διάγραμμα της **Εικόνας 3.8**, στις τρεις πρώτες δειγματοληψίες δεν έχουμε μετρήσεις λόγω ότι το φυτό βρίσκεται στο βλαστικό στάδιο και στο στάδιο ανθοφορίας και επομένως δεν λαμβάνονται πειραματικά δεδομένα για τους καρπούς.

Στην τρίτη δειγματοληψία, η οποία είναι η αρχή του σταδίου της καρποφορίας, οι συγκεντρώσεις B σε όλες οι επεμβάσεις δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά (**πιν. 3.1**).

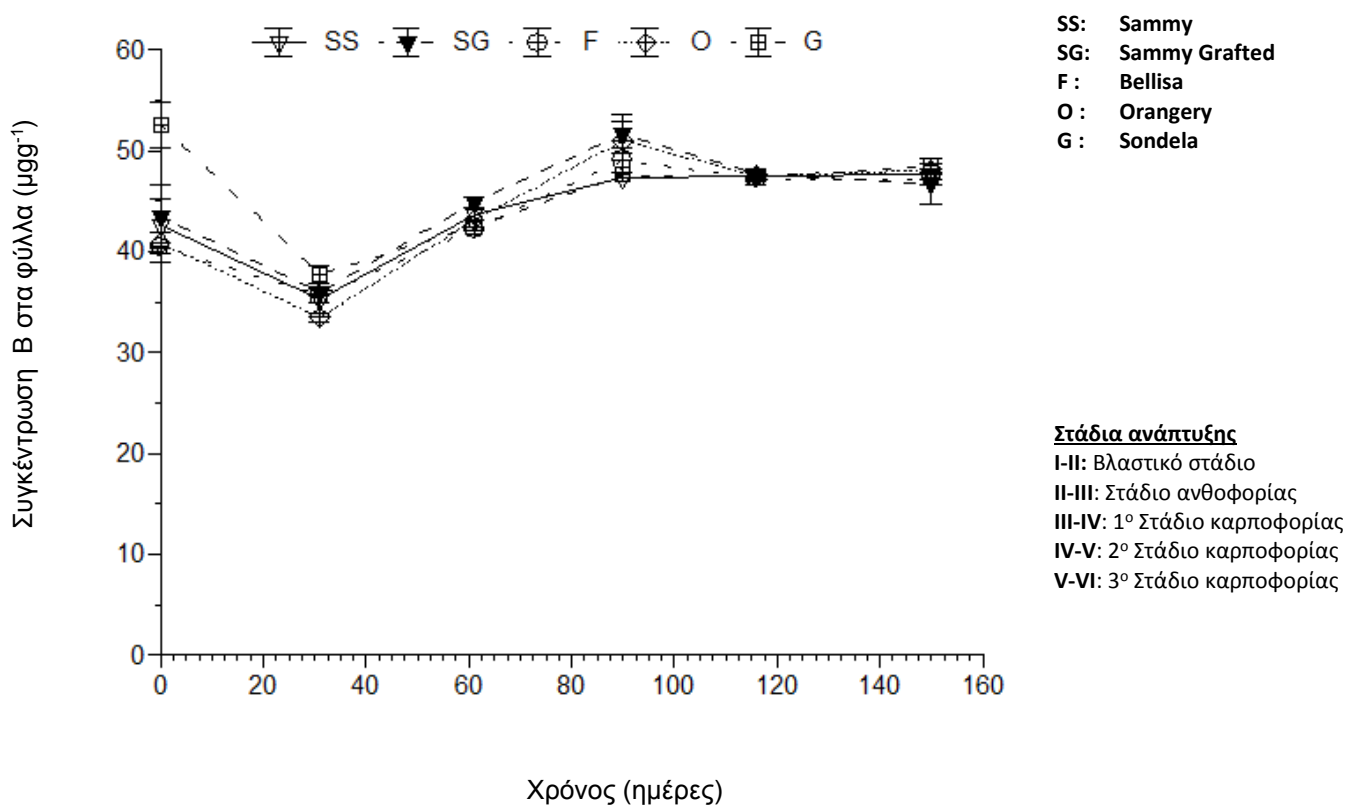
Ομοίως, στην αρχή του δευτέρου σταδίου της καρποφορίας, στην τέταρτη δειγματοληψία οι συγκεντρώσεις B στις επεμβάσεις δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους.

Κατά την πέμπτη δειγματοληψία, είναι εμφανής η διαφοροποίηση των συγκεντρώσεων B μεταξύ των επεμβάσεων, με την SG επέμβαση να λαμβάνει ελάχιστη τιμή (30,81  $\mu\text{g g}^{-1}$ ). Οι επεμβάσεις SS και SG, έχουν πτωτική πορεία και διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά με αυτές των επεμβάσεων O, F και G σε επίπεδο 0,1% (**πιν. 3.1**).

Τέλος κατά την τελευταία δειγματοληψία στο τέλος της καλλιέργειας, οι συγκεντρώσεις B στους καρπούς δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά με τις τιμές να κυμαίνονται από 38,45-40,35  $\mu\text{g g}^{-1}$ .

### 3.4.2 Συγκέντρωση Βορίου (B) στα φύλλα

Τα αποτελέσματα της στατιστικής σύγκρισης των μέσων όρων των συγκεντρώσεων B στα φύλλα των φυτών, μεταξύ των επεμβάσεων, στα διαδοχικά στάδια καλλιέργειας της πιπεριάς φαίνονται στον **Πίνακα 3.2** ενώ η διαγραμματική τους απεικόνιση φαίνεται στην **Εικόνα 3.9**



**Εικόνα 3.9** Διακύμανση των συγκεντρώσεων B στα φύλλα των φυτών, μεταξύ των επεμβάσεων, ανά δειγματοληψία.

B	SS	SG	O	F	G	α
I	b	b	b	b	a	**
II	b	a	b	b	ab	*
III	b	a	bc	c	c	***
IV						NS
V						NS
VI						NS

**Πίνακας 3.2** Συγκρίσεις μέσων όρων των συγκεντρώσεων B στα φύλλα των φυτών, μεταξύ των επεμβάσεων, ανά δειγματοληψία όπου SS, SG, O, F, G = επεμβάσεις, I-VI= δειγματοληψίες, NS: Non-Significant, α= επίπεδο σημαντικότητας, \*= 5%, \*\*= 1%, \*\*\*= 0,1%

Σύμφωνα με το διάγραμμα της **Εικόνας 3.9**, στην πρώτη δειγματοληψία είναι εμφανής η διαφοροποίηση των συγκεντρώσεων B μεταξύ των επεμβάσεων ενώ η επέμβαση G λαμβάνει την μεγαλύτερη τιμή (52,57  $\mu\text{g g}^{-1}$ ). Όλες οι επεμβάσεις διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους σε επίπεδο 1% (**Πιν. 3.2**).

Κατά την έναρξη της περιόδου της ανθοφορίας, οι συγκεντρώσεις B παρουσιάζουν πτωτική πορεία με αυτές των επεμβάσεων SS, O, F να διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά με την επέμβαση SG σε επίπεδο 5%.

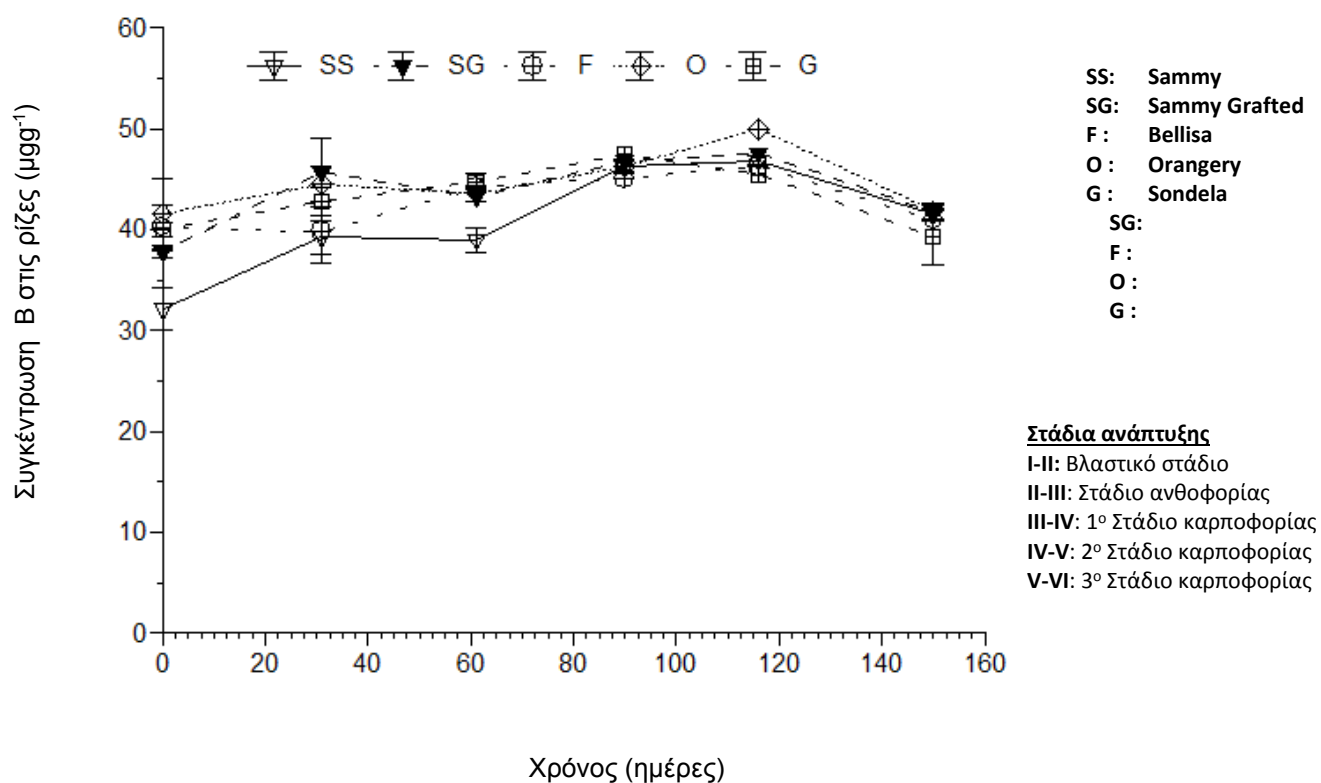
Κατά την τρίτη δειγματοληψία, έχουμε μια αύξουσα πορεία των συγκεντρώσεων B. Με την εξαίρεση των επεμβάσεων F, G οι οποίες δεν διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους, διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά με τις επεμβάσεις SS και SG, σε επίπεδο 0.1% (**Πιν. 3.2**).

Κατά την έναρξη του δευτέρου σταδίου της καρποφορίας, οι συγκεντρώσεις B όλων των επεμβάσεων δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά με την επέμβαση SG να παρουσιάζει μεγίστη τιμή (47,61  $\mu\text{g g}^{-1}$ ).

Κατά την έναρξη του τρίτου σταδίου της καρποφορίας και μέχρι την τελευταία δειγματοληψία στο τέλος της καλλιέργειας, οι συγκεντρώσεις B όλων των επεμβάσεων βρέθηκαν στα ίδια περίπου επίπεδα, με τις τιμές στο τέλος της καλλιέργειας να κυμαίνονται από 46,7-48,46  $\mu\text{g g}^{-1}$  χωρίς να διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά (**Πιν.3.2**).

### 3.4.3 Συγκέντρωση Βορίου (B) στις ρίζες

Τα αποτελέσματα της στατιστικής σύγκρισης των μέσων όρων των συγκεντρώσεων B στις ρίζες των φυτών, μεταξύ των επεμβάσεων, στα διαδοχικά στάδια καλλιέργειας της πιπεριάς φαίνονται στον Πίνακα 3.3, ενώ η διαγραμματική τους απεικόνιση φαίνεται στην Εικόνα 3.10.



**Εικόνα 3.10** Διακύμανση των συγκεντρώσεων B στις ρίζες των φυτών, μεταξύ των επεμβάσεων, ανά δειγματοληψία.

B	SS	SG	O	F	G	α
I						NS
II						NS
III	b	a	a	a	a	***
IV	ab	a	ab	b	a	*
V	bc	b	a	cd	d	***
VI						NS

**Πίνακας 3.3** Συγκρίσεις μέσων όρων των συγκεντρώσεων B στις ρίζες των φυτών, μεταξύ των επεμβάσεων, ανά δειγματοληψία όπου SS, SG, O, F, G = επεμβάσεις, I-VI= δειγματοληψίες, NS: Non-Significant, α= επίπεδο σημαντικότητας, \*= 5%, \*\*= 1%, \*\*\*= 0,1%

Σύμφωνα με το διάγραμμα της **Εικόνας 3.10**, στην πρώτη δειγματοληψία και κατά την δεύτερη δειγματοληψία όπου συνεπάγεται με την έναρξη του σταδίου της ανθοφορίας, οι συγκεντρώσεις B όλων των επεμβάσεων δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους.

Κατά την έναρξη του σταδίου της καρποφορίας στην τρίτη δειγματοληψία, οι συγκεντρώσεις B της επέμβασης SS παρουσιάζει ελάχιστη τιμή ( $38,98 \mu\text{gg}^{-1}$ ) και διαφέρει στατιστικώς σημαντικά από τις άλλες επεμβάσεις, σε επίπεδο 0,1% (**Πιν.3.3**).

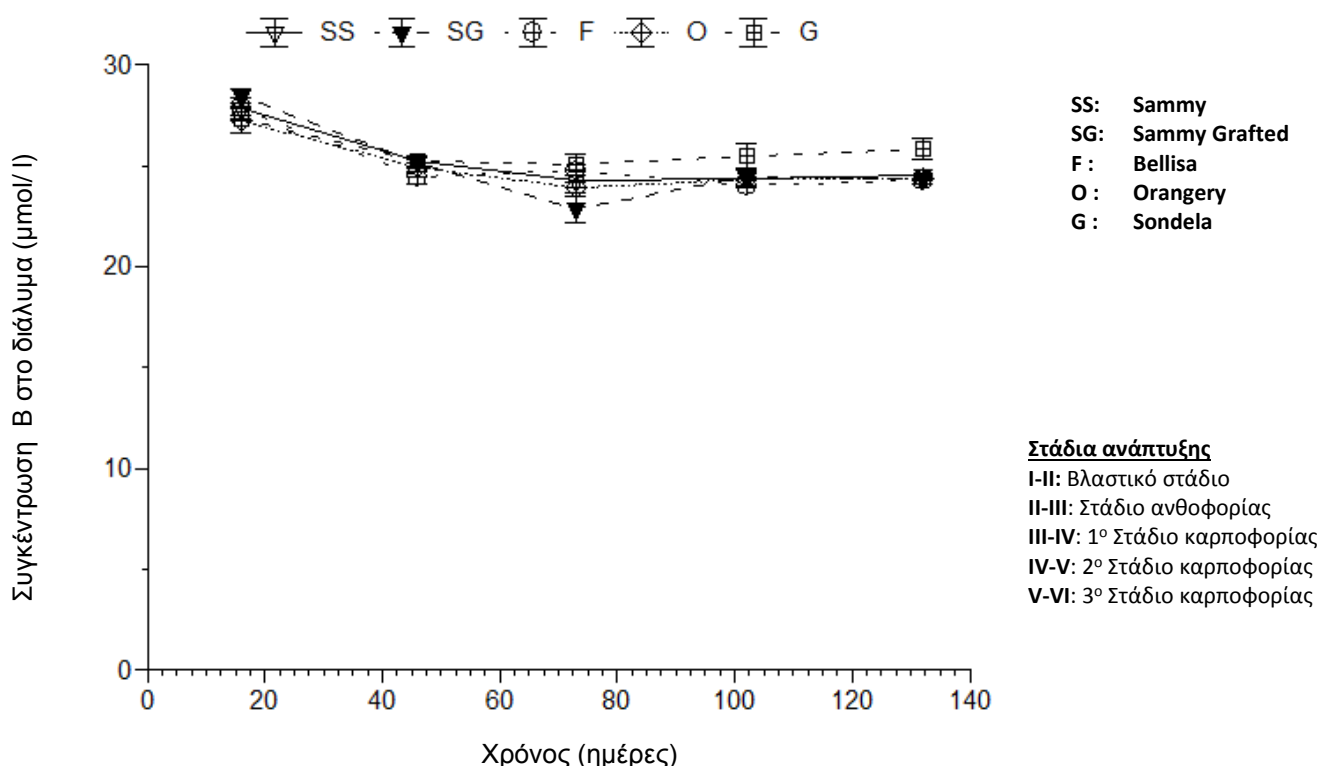
Στην έναρξη του δευτέρου σταδίου καρποφορίας, οι συγκεντρώσεις B των επεμβάσεων SG, G παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες τιμές και διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά με την επέμβαση F σε επίπεδο 5%.

Κατά την έναρξη του τρίτου σταδίου καρποφορίας, οι συγκεντρώσεις B των επεμβάσεων SS, SG διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά με αυτές των επεμβάσεων G, F σε επίπεδο 0,1%. Αντίστοιχα, η συγκέντρωση B της επέμβασης O διαφέρει στατιστικώς σημαντικά, σε επίπεδο 0,1% με όλες τις υπόλοιπες επεμβάσεις (**Πιν.3.3**).

Στην έκτη δειγματοληψία και αντίστοιχα στο τέλος της καλλιέργειας, οι συγκεντρώσεις B όλων των επεμβάσεων παρουσιάζουν μια πτωτική πορεία με τις τιμές τους να κυμαίνονται στα ίδια περίπου επίπεδα μεταξύ  $39,29-41,82 \mu\text{gg}^{-1}$ , χωρίς να διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους (**Πιν.3.3**)

### 3.4.4 Συνολική συγκέντρωση απορρόφησης Βορίου (B)

Τα αποτελέσματα της στατιστικής σύγκρισης των μέσων όρων των συγκεντρώσεων Β στο διάλυμα απορρόφησης των φυτών, μεταξύ των επεμβάσεων, στα διαδοχικά στάδια καλλιέργειας της πιπεριάς φαίνονται στον Πίνακα 3.4, ενώ η διαγραμματική τους απεικόνιση φαίνεται στην **Εικόνα 3.11**.



**Εικόνα 3.11** Διακύμανση των συνολικών συγκεντρώσεων Β, μεταξύ των επεμβάσεων, ανά δειγματοληψία.

B	SS	SG	O	F	G	α
1° (I-II)						NS
2° (II-III)						NS
3° (III-IV)						NS
4° (IV-V)	ab	ab	ab	b	a	*
5° (V-VI)	b	b	b	b	a	**

**Πίνακας 3.4** Συγκρίσεις μέσων όρων των συνολικών συγκεντρώσεων Β των φυτών, μεταξύ των επεμβάσεων, ανά δειγματοληψία όπου SS, SG, O, F, G = επεμβάσεις, I-VI= δειγματοληψίες, NS: Non-Significant, α= επίπεδο σημαντικότητας, \*= 5%, \*\*= 1%, \*\*\*= 0,1%

Κατά το βλαστικό στάδιο, οι συγκεντρώσεις απορρόφησης Β όλων των επεμβάσεων κυμάνθηκαν σε παρόμοια επίπεδα μεταξύ των τιμών 27,196-28,42  $\mu\text{molL}^{-1}$ . Οι συγκεντρώσεις απορρόφησης δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ των επεμβάσεων (**Πιν. 3.4**).

Κατά το στάδιο της άνθισης, παρατηρήθηκε μια μείωση των συγκεντρώσεων των επεμβάσεων χωρίς να όμως να έχουμε στατιστικώς σημαντική διαφορά (**Πιν. 3.4**). Η πτωτική πορεία των συγκεντρώσεων Β των επεμβάσεων, συνεχίστηκε και στο πρώτο στάδιο της καρποφορίας, με την επέμβαση SG να λαμβάνει την ελάχιστη τιμή (22,84  $\mu\text{molL}^{-1}$ ). Οι συγκεντρώσεις Β, όλων των επεμβάσεων δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά (**Πιν. 3.4**).

Κατά το δεύτερο στάδιο καρποφορίας, οι συγκεντρώσεις απορρόφησης Β σημείωσαν μια μικρή άνοδο. Η επέμβαση G έλαβε την μεγαλύτερη τιμή (25,46  $\mu\text{molL}^{-1}$ ) και μάλιστα, διαφέρει στατιστικώς σημαντικά από την επέμβαση F σε επίπεδο 5% (**Πιν. 3.4**).

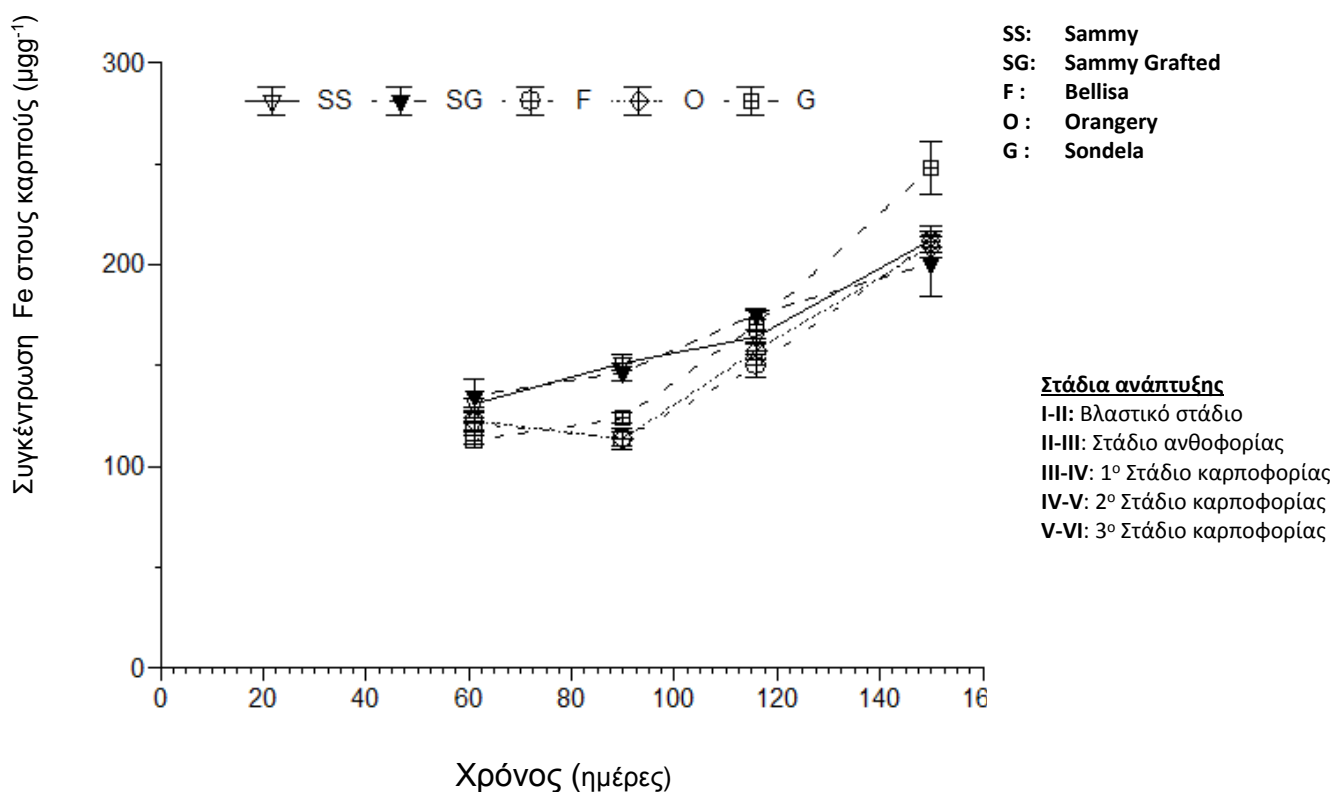
Κατά το τρίτο στάδιο καρποφορίας, οι συγκεντρώσεις απορρόφησης Β των επεμβάσεων συνέχισαν την ανοδική τους πορεία. Η συγκέντρωση απορρόφησης της επέμβασης G είχε την μέγιστη τιμή (25,79  $\mu\text{molL}^{-1}$ ) και επίσης διάφερε στατιστικώς σημαντικά με τις υπόλοιπες επεμβάσεις σε επίπεδο 1% (**Πιν. 3.4**).



### 3.5 Σίδηρος (Fe)

#### 3.5.1 Συγκέντρωση Σιδήρου (Fe) στους καρπούς

Τα αποτελέσματα της στατιστικής σύγκρισης των μέσων όρων των συγκεντρώσεων Fe στους καρπούς των φυτών, μεταξύ των επεμβάσεων, στα διαδοχικά στάδια καλλιέργειας της πιπεριάς φαίνονται στον **Πίνακα 3.5** ενώ η διαγραμματική τους απεικόνιση φαίνεται στην **Εικόνα 3.12**.



**Εικόνα 3.12** Διακύμανση των συγκεντρώσεων Fe στους καρπούς των φυτών, μεταξύ των επεμβάσεων, ανά δειγματοληψία.

Fe	SS	SG	O	F	G	α
I						
II						
III	a	a	ab	ab	b	*
IV	a	a	b	b	b	***
V	abc	a	bc	c	ab	*
VI						NS

**Πίνακας 3.5** Συγκρίσεις μέσων όρων των συγκεντρώσεων Fe στους καρπούς των φυτών, μεταξύ των επεμβάσεων, ανά δειγματοληψία όπου SS, SG, O, F, G = επεμβάσεις, I-VI= δειγματοληψίες, NS: Non-Significant, α= επίπεδο σημαντικότητας, \*= 5%, \*\*= 1%, \*\*\*= 0,1%

Σύμφωνα με το διάγραμμα της **Εικόνας 3.12**, στις τρεις πρώτες δειγματοληψίες δεν έχουμε μετρήσεις λόγω ότι το φυτό βρίσκεται στο βλαστικό στάδιο και στο στάδιο ανθοφορίας και επομένως δεν λαμβάνονται πειραματικά δεδομένα για τους καρπούς.

Κατά την έναρξη της καρποφορίας στην τρίτη δειγματοληψία, οι συγκεντρώσεις Fe δεν έχουμε έντονες διαφοροποιήσεις μεταξύ των επεμβάσεων. Η επέμβαση G παρουσιάζει την ελάχιστη τιμή ( $113,0 \mu\text{g g}^{-1}$ ) και διαφέρει στατιστικώς σημαντικά με τις επεμβάσεις SS, SG σε επίπεδο 5% (**Πιν. 3.5**).

Στο πρώτο στάδιο της καρποφορίας παρουσιάζεται μια ανοδική τάση για τις επεμβάσεις SS, SG με τις υπόλοιπες επεμβάσεις G, O και F να μην διαφοροποιούνται ιδιαίτερα. Στην τέταρτη δειγματοληψία, οι συγκεντρώσεις Fe των επεμβάσεων SS και SG διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά με αυτές των άλλων επεμβάσεων σε επίπεδο 0,1% (**Πιν. 3.5**).

Κατά το δεύτερο στάδιο καρποφορίας συνεχίζεται η αυξητική τάση για όλες τις επεμβάσεις, με την τιμή SG να παρουσιάζει μέγιστη τιμή ( $175,45 \mu\text{g g}^{-1}$ ). Στην Πέμπτη δειγματοληψία οι συγκεντρώσεις Fe είναι σε παρόμοια επίπεδα με τις επεμβάσεις SG, O να διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά σε επίπεδο 5%. Αντίστοιχα και η επέμβαση F διαφέρει με την G σε επίπεδο 5% (**Πιν. 3.5**).

Κατά την έναρξη του τρίτου σταδίου καρποφορίας αλλά και στο τέλος της καλλιέργειας, οι συγκεντρώσεις Fe όλων των επεμβάσεων βρέθηκαν περίπου στο ίδιο επίπεδα, με τις τιμές τους να κυμαίνονται από  $200,55-218,1 \mu\text{g g}^{-1}$ , χωρίς να διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά στην τελευταία δειγματοληψία (**Πιν. 3.5**).

### 3.5.2 Συγκέντρωση Σιδήρου (Fe) στα φύλλα

Τα αποτελέσματα της στατιστικής σύγκρισης των μέσων όρων των συγκεντρώσεων Fe στα φύλλα των φυτών, μεταξύ των επεμβάσεων, στα



επεμβάσεων ενώ η επέμβαση SS σημείωσε την ελάχιστη τιμή, ( $138,25 \mu\text{g g}^{-1}$ ). Οι επεμβάσεις G και SS που δεν διαφέρουν μεταξύ τους, διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά με τις υπόλοιπες επεμβάσεις σε επίπεδο 1% (**Πιν. 3.6**).

Κατά την έναρξη του σταδίου ανθοφορίας, οι συγκεντρώσεις Fe παρουσιάζουν έντονη διαφοροποίηση με την επέμβαση SS να παρουσιάζει ελάχιστη τιμή, και να διαφέρει στατιστικώς σημαντικά με τις SG, O, και F σε επίπεδο 5% και αντίστοιχα να μην διαφέρει σημαντικά με την επέμβαση G.

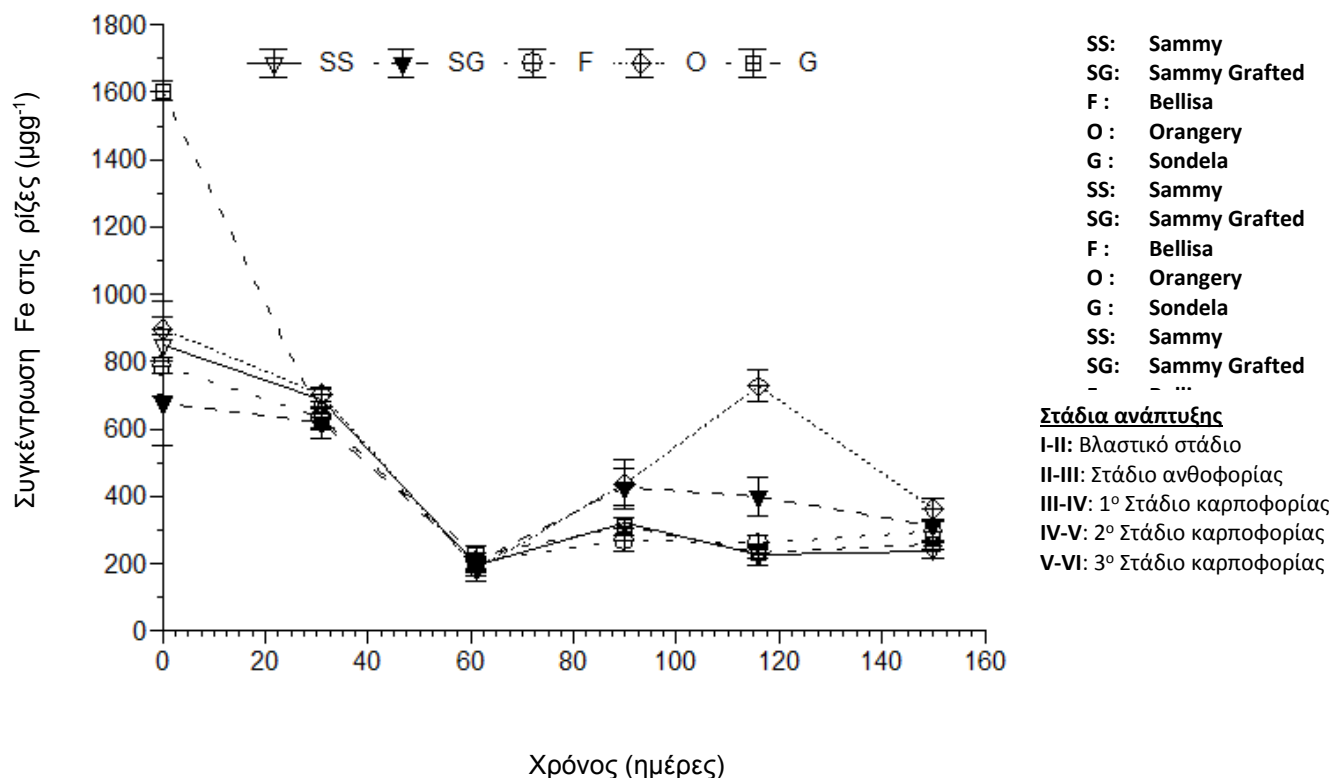
Κατά την έναρξη του σταδίου καρποφορίας, στην τρίτη δειγματοληψία οι συγκεντρώσεις Fe όλων των επεμβάσεων παρουσιάζουν πτωτική πορεία, με τις επεμβάσεις να μην διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους (**Πιν. 3.6**).

Κατά την έναρξη του δεύτερου σταδίου καρποφορίας, οι συγκεντρώσεις Fe στις επεμβάσεις παρουσιάζουν μια μικρή αυξητική πορεία εκτός από την επέμβαση G που παρουσιάζει ελάχιστη τιμή ( $84,7 \mu\text{g g}^{-1}$ ). Η επέμβαση G διαφέρει σημαντικά με τις επεμβάσεις SS, SG και F σε επίπεδο σημαντικότητας 1%. Αντίστοιχα η SG διαφέρει στατιστικώς σημαντικά με την επέμβαση O και G σε επίπεδο 1% (**Πιν. 3.6**). Τέλος οι επεμβάσεις SS, SG και F δεν διαφέρουν μεταξύ τους σημαντικά, ομοίως και η G με την O επέμβαση.

Η αυξητική πορεία συνεχίστηκε και κατά την έναρξη του τρίτου σταδίου καρποφορίας αλλά και στο τέλος της καλλιέργειας. Κατά την έκτη δειγματοληψία οι συγκεντρώσεις Fe όλων των επεμβάσεων κυμάνθηκαν στα ίδια περίπου επίπεδα, με τις τιμές τους να κυμαίνονται από  $131,9-148 \mu\text{g g}^{-1}$ , χωρίς να διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά (**Πιν. 3.6**).

### 3.5.3 Συγκέντρωση Σιδήρου (Fe) στις ρίζες

Τα αποτελέσματα της στατιστικής σύγκρισης των μέσων όρων των συγκεντρώσεων Fe στις ρίζες των φυτών, μεταξύ των επεμβάσεων, στα διαδοχικά στάδια καλλιέργειας της πιπεριάς φαίνονται στον **Πίνακα 3.7** ενώ η διαγραμματική τους απεικόνιση φαίνεται στην **Εικόνα 3.14**.



**Εικόνα 3.14** Διακύμανση των συγκεντρώσεων Fe στις ρίζες των φυτών, μεταξύ των επεμβάσεων, ανά δειγματοληψία.

Fe	SS	SG	O	F	G	α
I	b	b	b	b	a	***
II						NS
III						NS
IV						NS
V	b	b	α	b	b	***
VI						NS

**Πίνακας 3.7** Συγκρίσεις μέσω των όρων των συγκεντρώσεων Fe στις ρίζες των φυτών, μεταξύ των επεμβάσεων, ανά δειγματοληψία όπου SS, SG, O, F, G = επεμβάσεις, I-VI= δειγματοληψίες, NS: Non-Significant, α= επίπεδο σημαντικότητας, \*= 5%, \*\*= 1%, \*\*\*= 0,1%

Κατά την έναρξη του βλαστικού σταδίου οι επεμβάσεις παρουσιάζουν μεγάλη διακύμανση με την επέμβαση G να παρουσιάζει μέγιστη τιμή πολύ

υψηλή ( $1603,27 \mu\text{g g}^{-1}$ ). Επίσης η επέμβαση G, διαφέρει στατιστικώς σημαντικά με όλες τις επεμβάσεις σε επίπεδο σημαντικότητας 0,1% (**Πιν. 3.7**).

Κατά την έναρξη του σταδίου της ανθοφορίας, οι συγκεντρώσεις έχουν μικρή πτωτική τάση με τις επεμβάσεις να μην διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους.

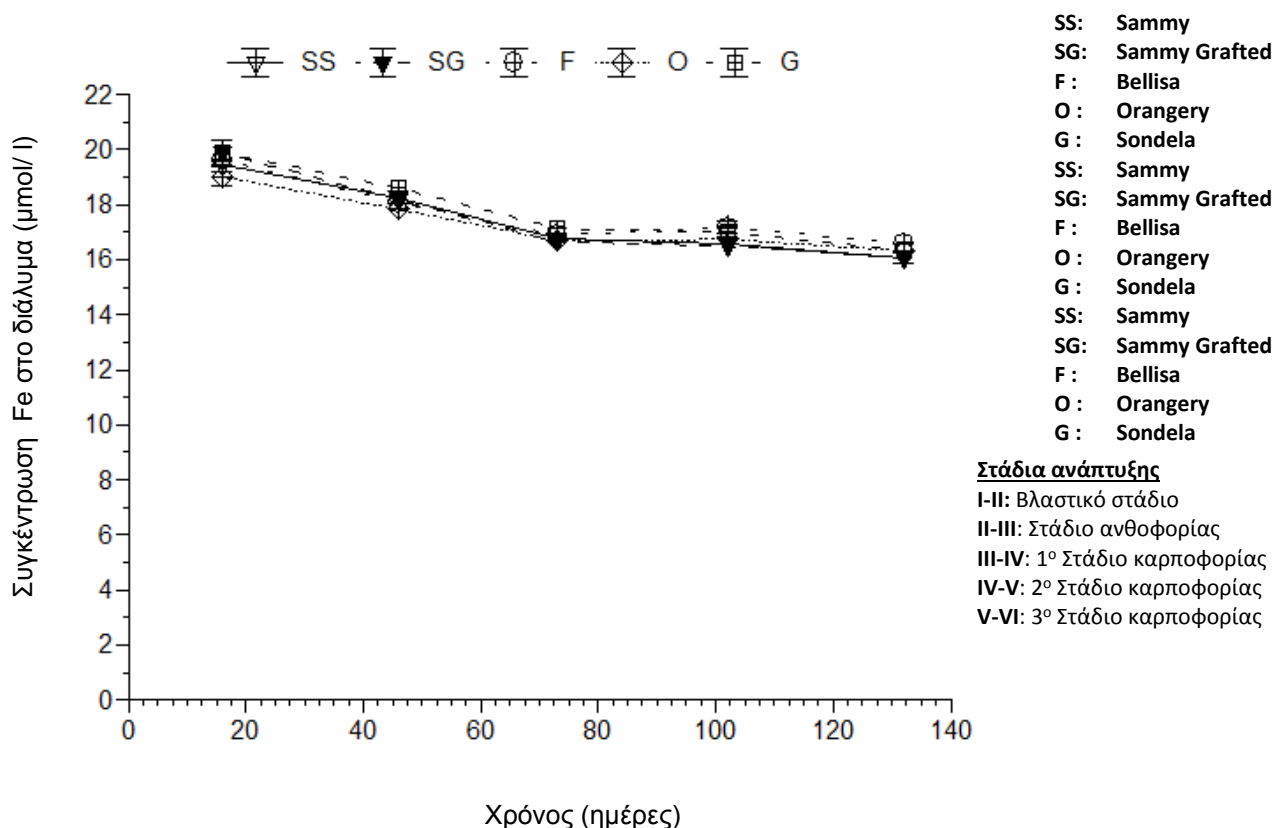
Η πτωτική πορεία συνεχίστηκε σε μεγάλο βαθμό κατά το πρώτο στάδιο καρποφορίας, χωρίς όμως οι τιμές των συγκεντρώσεις Fe, όλων των επεμβάσεων, να διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους (**Πιν. 3.7**).

Κατά την πέμπτη δειγματοληψία, οι συγκεντρώσεις Fe όλων των επεμβάσεων κυμάνθηκαν στα ίδια επίπεδα. Η συγκέντρωση της επέμβασης O διαφέρει στατιστικώς σημαντικά, με αυτές των υπολοίπων επεμβάσεων σε επίπεδο 1% (**Πιν. 3.7**).

Στο τέλος του σταδίου της τρίτης καρποφορίας και την έκτη δειγματοληψία, οι συγκεντρώσεις όλων των επεμβάσεων βρέθηκαν στα ίδια περίπου επίπεδα, με τις τιμές τους να κυμαίνονται από  $238,9\text{-}361,45 \mu\text{g g}^{-1}$ , χωρίς να διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά (**Πιν. 3.7**).

#### **3.5.4 Συνολική συγκέντρωση απορρόφησης Σιδήρου (Fe)**

Τα αποτελέσματα της στατιστικής σύγκρισης των μέσων όρων των συγκεντρώσεων Fe στο διάλυμα απορρόφησης, μεταξύ των επεμβάσεων, στα διαδοχικά στάδια καλλιέργειας της πιπεριάς φαίνονται στον **Πίνακα 3.8**, ενώ η διαγραμματική τους απεικόνιση φαίνεται στην **Εικόνα 3.15**



**Εικόνα 3.15** Διακύμανση των συνολικής απορρόφησης συγκεντρώσεων Fe μεταξύ των επεμβάσεων, ανά δειγματοληψία.

Fe	SS	SG	O	F	G	α
1 <sup>ο</sup> (I-II)						NS
2 <sup>ο</sup> (II-III)	ab	bc	c	bc	a	*
3 <sup>ο</sup> (III-IV)	b	b	b	ab	a	*
4 <sup>ο</sup> (IV-V)	bc	c	bc	a	ab	*
5 <sup>ο</sup> (V-VI)	b	b	ab	a	ab	*

**Πίνακας 3.8** Συγκρίσεις μέσω των όρων των συγκεντρώσεων Fe στους καρπούς των φυτών, μεταξύ των επεμβάσεων, ανά δειγματοληψία όπου SS, SG, O, F, G = επεμβάσεις, I-VI= δειγματοληψίες, NS: Non-Significant, α= επίπεδο σημαντικότητας, \*= 5%, \*\*= 1%, \*\*\*= 0,1%

Κατά το βλαστικό στάδιο, οι συγκεντρώσεις απορρόφησης Fe όλων των επεμβάσεων κυμάνθηκαν μεταξύ 19,01-19,89  $\mu\text{mol l}^{-1}$ . οι συγκεντρώσεις απορρόφησης όλων των επεμβάσεων δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά (Πιν. 3.8).

Κατά το στάδιο ανθοφορίας, παρατηρήθηκε μια μείωση των συγκεντρώσεων απορρόφησης Fe σε όλες τις επεμβάσεις. Οι συγκεντρώσεις της επέμβασης G διαφέρει στατιστικώς σημαντικά με αυτές των επεμβάσεων SG, O και F, σε επίπεδο 5% (**Πιν. 3.8**).

Κατά το πρώτο στάδιο της καρποφορίας, συνεχίστηκε η πτωτική πορεία των συγκεντρώσεων Fe σε όλες τις επεμβάσεις. Η συγκέντρωση της επέμβασης G παρουσίασε μέγιστη  $17,13 \mu\text{mol l}^{-1}$  και διαφέρει στατιστικώς σημαντικά με τις επεμβάσεις SS, SG και O, σε επίπεδο 5% (**Πιν. 3.8**).

Κατά το δεύτερο στάδιο καρποφορίας, οι συγκεντρώσεις απορρόφησης Fe, παρουσίασαν μια μικρή μείωση στις συγκεντρώσεις των επεμβάσεων. Οι επεμβάσεις SS, SG και O, διάφεραν στατιστικώς σημαντικά με την επέμβαση F σε επίπεδο 5% (**Πιν. 3.8**).

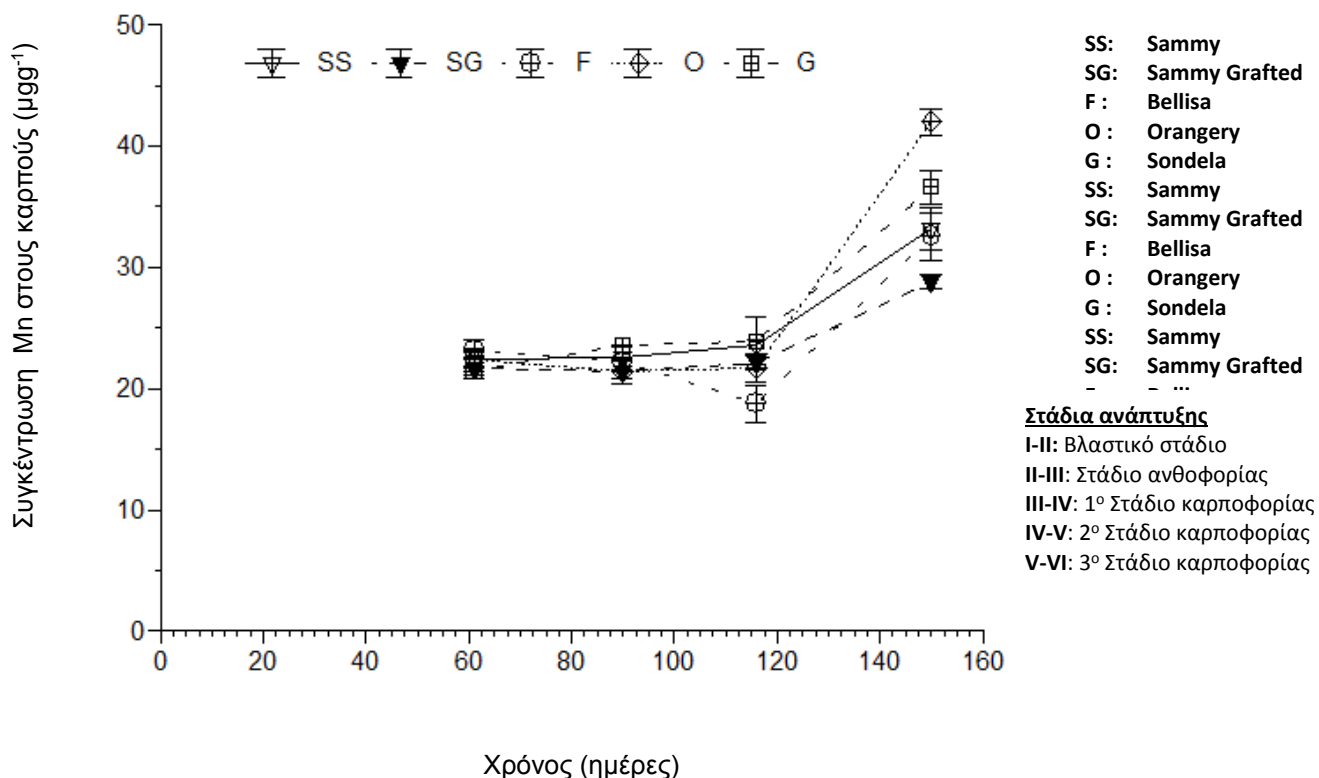
Κατά το στάδιο καρποφορίας, οι συγκεντρώσεις απορρόφησης Fe όλων των επεμβάσεων συνέχισαν την πτωτική τους πορεία, με τις συγκεντρώσεις να κυμαίνονται μεταξύ  $16,06- 16,58 \mu\text{mol l}^{-1}$ . Η συγκέντρωση της επέμβασης F παρουσίασε την μέγιστη τιμή και επίσης διάφερε στατιστικώς σημαντικά με τις επεμβάσεις SS και SG σε επίπεδο 5% (**Πιν. 3.8**).

### 3.6 Μαγγάνιο (Mn)

#### 3.6.1 Συγκέντρωση Μαγγανίου (Mn) στους καρπούς

Τα αποτελέσματα της στατιστικής σύγκρισης των μέσων όρων των συγκεντρώσεων Mn στους καρπούς των φυτών, μεταξύ των επεμβάσεων, στα διαδοχικά στάδια καλλιέργειας της πιπεριάς φαίνονται στον **Πίνακα 3.9** ενώ η διαγραμματική τους απεικόνιση φαίνεται στην **Εικόνα 3.16**.





**Εικόνα 3.16.** Διακύμανση των συγκεντρώσεων Mn στους καρπούς των φυτών, μεταξύ των επεμβάσεων, ανά δειγματοληψία.

Mn	SS	SG	O	F	G	α
I						
II						
III						NS
IV						NS
V						NS
VI						NS

**Πίνακας 3.9** Συγκρίσεις μέσων όρων των συγκεντρώσεων Mn στους καρπούς των φυτών, μεταξύ των επεμβάσεων, ανά δειγματοληψία όπου SS, SG, O, F, G = επεμβάσεις, I-VI= δειγματοληψίες, NS: Non-Significant, α= επίπεδο σημαντικότητας, \*= 5%, \*\*= 1%, \*\*\*= 0,1%

Σύμφωνα με το διάγραμμα της **Εικόνας 3.16**, στις τρεις πρώτες δειγματοληψίες δεν έχουμε μετρήσεις λόγω ότι το φυτό βρίσκεται στο βλαστικό στάδιο και στο στάδιο ανθοφορίας και επομένως δεν λαμβάνονται πειραματικά δεδομένα για τους καρπούς (**Πιν. 3.9**).

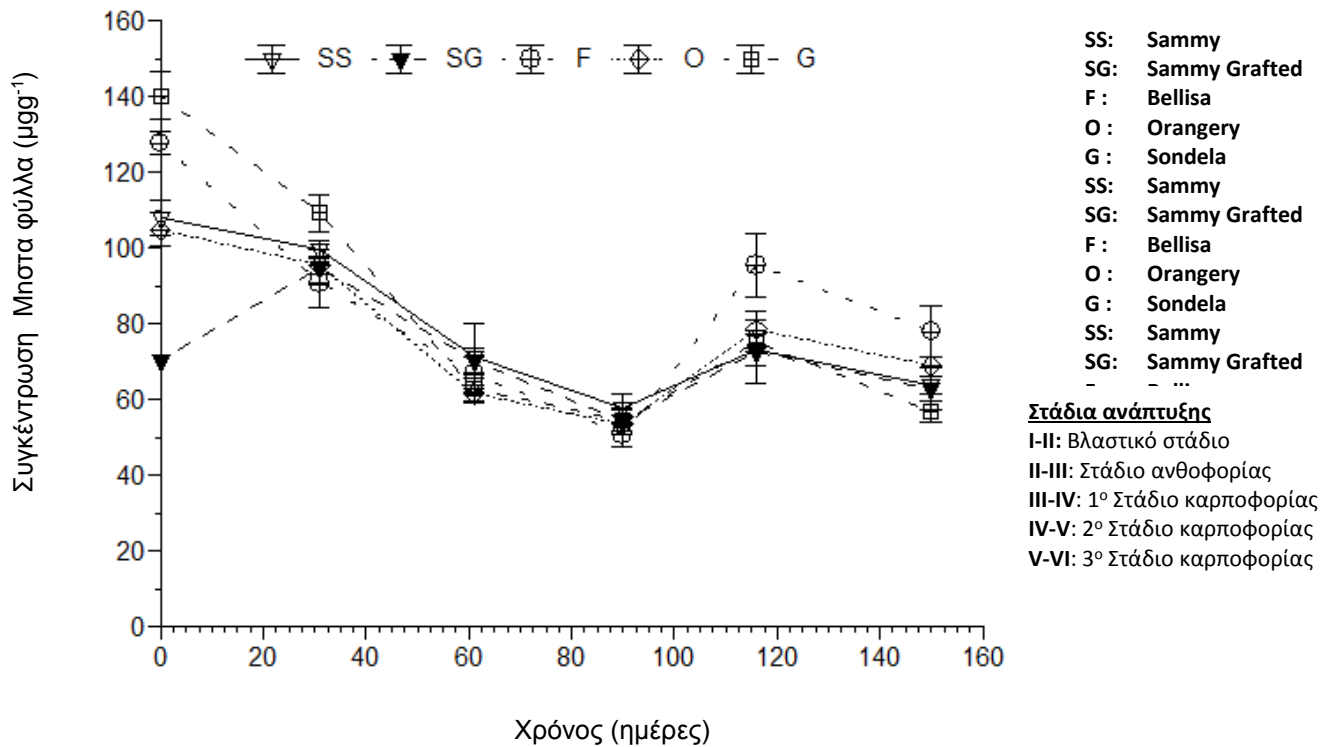
Κατά την έναρξη και στο τέλος του πρώτου σταδίου καρποφορίας, στην τρίτη και τέταρτη δειγματοληψία, οι συγκεντρώσεις Mn όλων των επεμβάσεων κυμάνθηκαν στα ίδια περίπου επίπεδα. Οι επεμβάσεις παρουσιάζουν μια σταθερή πορεία στο πρώτο στάδιο καρποφορίας, με τιμές να κυμαίνονται από 21,4-23,53  $\mu\text{g g}^{-1}$ , χωρίς όμως να διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους (**Πιν. 3.9**).

Κατά την πέμπτη δειγματοληψία, οι συγκεντρώσεις Mn όλων των συγκεντρώσεων δεν παρουσίασαν στατιστικώς σημαντική διαφορά, με την τιμή F να έχει μια μικρή πτωτική πορεία και να παρουσίασε ελάχιστη τιμή 18,75  $\mu\text{g g}^{-1}$ .

Στο τρίτο στάδιο καρποφορίας, όλες οι επεμβάσεις παρουσίασαν μια αυξητική πορεία, με τις συγκεντρώσεις Mn όλων των επεμβάσεων στην έκτη δειγματοληψία να μην διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους. Οι τιμές των O (36,85  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) και SG (33,8  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) παρουσιάζουν μέγιστη και ελάχιστη τιμή αντίστοιχα.

### **3.6.2 Συγκέντρωση Μαγγανίου (Mn) στα φύλλα**

Τα αποτελέσματα της στατιστικής σύγκρισης των μέσων όρων των συγκεντρώσεων Mn στα φύλλα των φυτών, μεταξύ των επεμβάσεων, στα διαδοχικά στάδια καλλιέργειας της πιπεριάς φαίνονται στον **Πίνακα 3.10** ενώ η διαγραμματική τους απεικόνιση φαίνεται στην **Εικόνα 3.17**.



**Εικόνα 3.17** Διακύμανση των συγκεντρώσεων Mn στα φύλλα των φυτών, μεταξύ των επεμβάσεων, ανά δειγματοληψία.

Mn	SS	SG	O	F	G	α
I	b	c	b	a	a	***
II	a	b	b	b	a	*
III						NS
IV						NS
V	b	b	b	a	b	*
VI	b	b	ab	a	b	*

**Πίνακας .** Συγκρίσεις μέσω των όρων των συγκεντρώσεων Mn στα φύλλα των φυτών, μεταξύ των επεμβάσεων, ανά δειγματοληψία όπου SS, SG, O, F, G = επεμβάσεις, I-VI= δειγματοληψίες, NS: Non-Significant, α= επίπεδο σημαντικότητας, \*= 5%, \*\*= 1%, \*\*\*= 0,1%

Σύμφωνα με το διάγραμμα της **Εικόνας 3.17**, στην πρώτη δειγματοληψία, υπάρχει διαφοροποίηση των συγκεντρώσεων Mn μεταξύ των επεμβάσεων ενώ

η επέμβαση SG σημείωσε την ελάχιστη τιμή, ( $70,4 \mu\text{g g}^{-1}$ ). ΗSG επέμβαση διαφέρει μεταξύ τους στατιστικώς σημαντικά με τις υπόλοιπες επεμβάσεις σε επίπεδο 0,1% . Οι επεμβάσεις SS και O δεν διαφέρουν μεταξύ τους, αλλά διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά με τις επεμβάσεις G, F σε επίπεδο 0,1%(Πιν. 3.10).

Κατά την έναρξη του σταδίου της ανθοφορίας, οι συγκεντρώσεις Mn στις επεμβάσεις SS και G δεν διάφεραν σημαντικά μεταξύ τους, αλλά διάφεραν στατιστικώς σημαντικά με τις υπόλοιπες επεμβάσεις σε επίπεδο 5% (Πιν. 3.10).

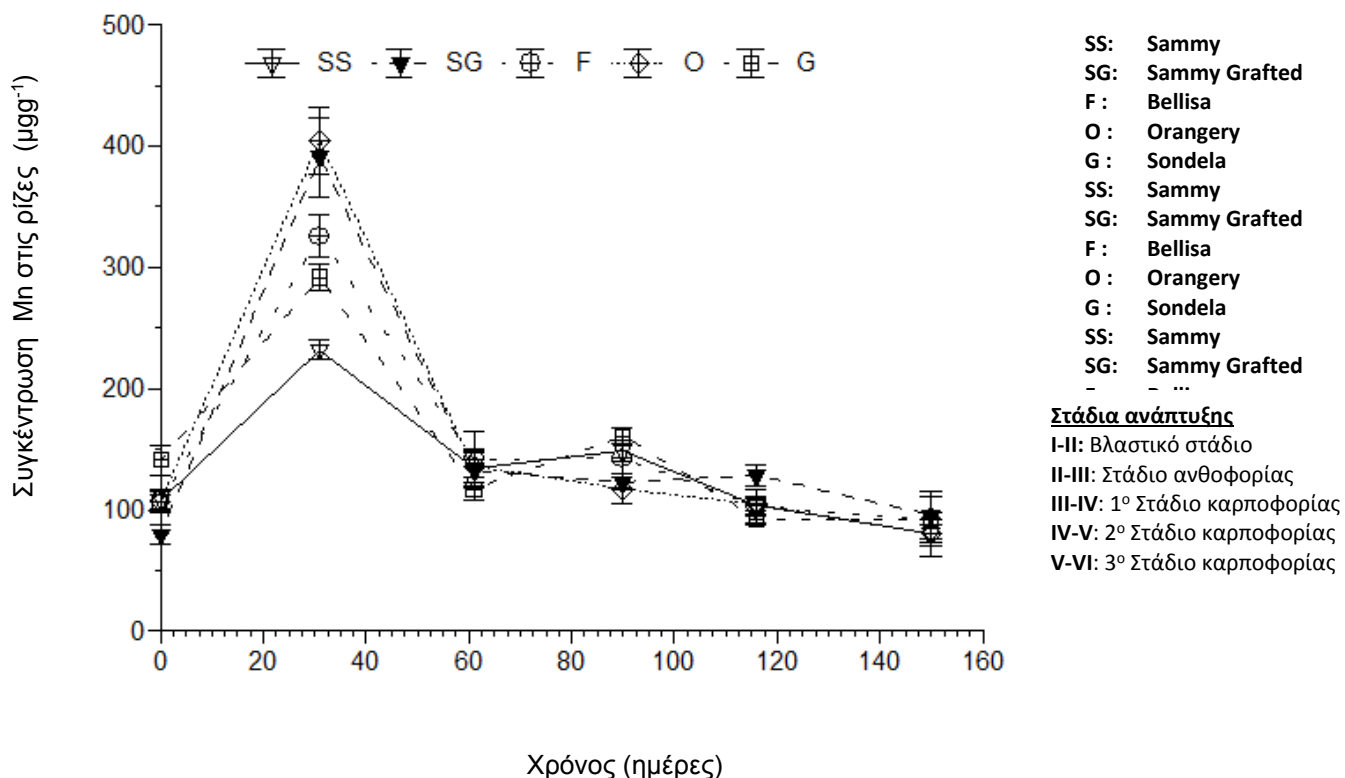
Κατά την έναρξη του πρώτου σταδίου καρποφορίας, αλλά και στην τέταρτη δειγματοληψία, οι συγκεντρώσεις Mn όλων των επεμβάσεων παρουσίασαν πτωτική πορεία με τις επεμβάσεις να μην διάφεραν στατιστικώς σημαντικά (Πιν. 3.10).

Κατά την έναρξη του τρίτου σταδίου καρποφορίας, οι συγκεντρώσεις Mn της επέμβασης F διάφερε στατιστικώς σημαντικά με αυτές των υπόλοιπων επεμβάσεων σε επίπεδο 5% (Πιν. 3.10).

Στο τέλος της καλλιέργειας, η συγκέντρωση Μνης επέμβασης F παρουσίασε μέγιστη τιμή  $78,0 \mu\text{g g}^{-1}$ . Η επέμβαση F, διάφερε στατιστικώς σημαντικά με τις υπόλοιπες επεμβάσεις σε επίπεδο 5% (Πιν. 3.10).

### 3.6.3 Συγκέντρωση Μαγγανίου (Mn) στις ρίζες

Τα αποτελέσματα της στατιστικής σύγκρισης των μέσων όρων των συγκεντρώσεων Mn στις ρίζες των φυτών, μεταξύ των επεμβάσεων, στα διαδοχικά στάδια καλλιέργειας της πιπεριάς φαίνονται στον Πίνακα 3.11, ενώ η διαγραμματική τους απεικόνιση φαίνεται στην Εικόνα 3.18.



**Εικόνα 3.18** Διακύμανση των συγκεντρώσεων Mn στις ρίζες των φυτών, μεταξύ των επεμβάσεων, ανά δειγματοληψία.

Mn	SS	SG	O	F	G	α
I	b	b	b	b	a	**
II	c	a	a	b	bc	**
III						NS
IV	ab	bc	c	abc	a	*
V						NS
VI						NS

**Πίνακας 3.11** Συγκρίσεις μέσω των όρων των συγκεντρώσεων Mn στις ρίζες των φυτών, μεταξύ των επεμβάσεων, ανά δειγματοληψία όπου SS, SG, O, F, G = επεμβάσεις, I-VI= δειγματοληψίες, NS: Non-Significant, α= επίπεδο σημαντικότητας, \*= 5%, \*\*= 1%, \*\*\*= 0,1%

Σύμφωνα με το διάγραμμα της **Εικόνας 3.18**, στην πρώτη δειγματοληψία, η επέμβαση G παρουσιάζει μέγιστη τιμή 141,1  $\mu\text{g g}^{-1}$  και διαφέρει στατιστικώς σημαντικά με τις υπόλοιπες επεμβάσεις σε επίπεδο 1% (**Πιν. 3.11**).

Κατά το βλαστικό στάδιο και μέχρι την αρχή του σταδίου της ανθοφορίας, έχουμε μια αυξητική πορεία στις συγκεντρώσεις Mn σε όλες τις επεμβάσεις. Οι επεμβάσεις SS και O που δεν διαφέρουν σημαντικά, όλες οι υπόλοιπες διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά σε επίπεδο 1% (Πιν. 3.11).

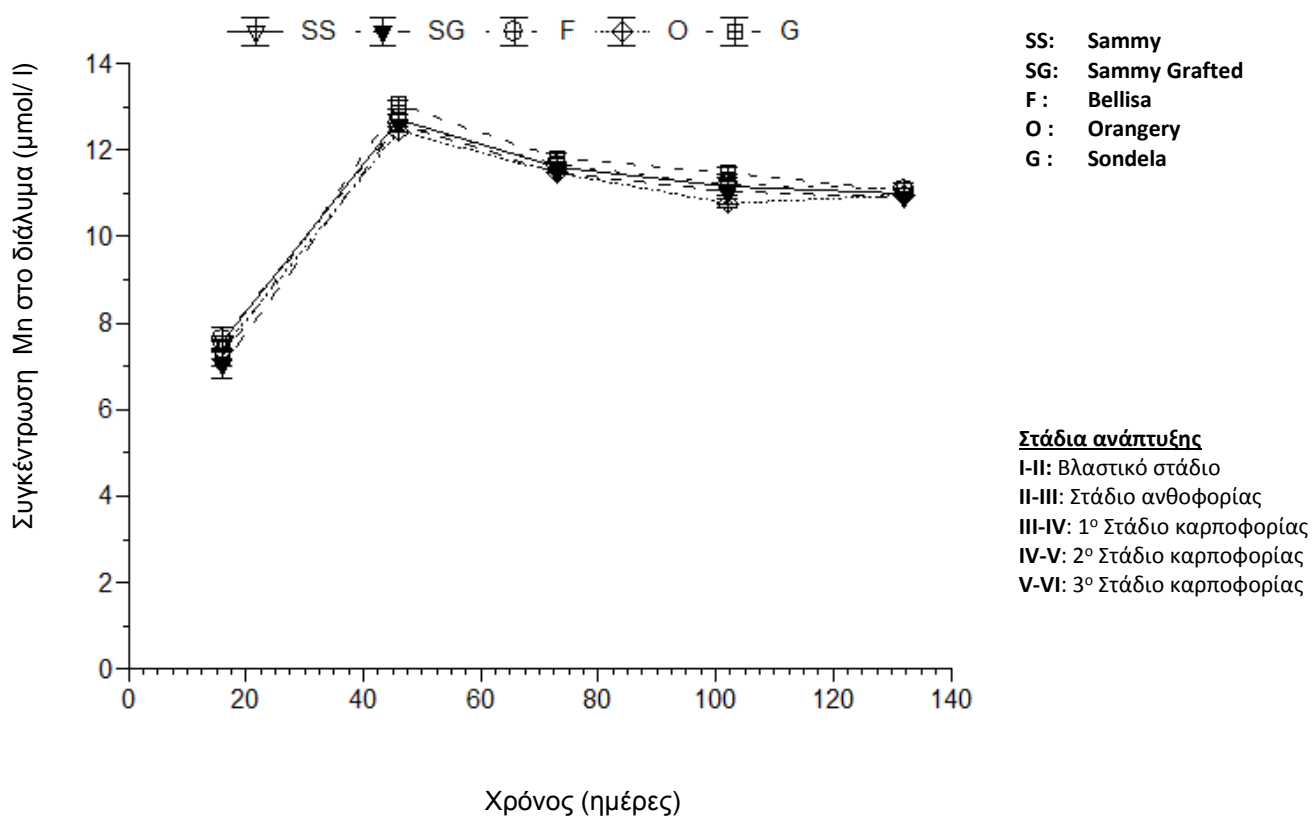
Στην συνέχεια και στο πρώτο στάδιο καρποφορίας, οι συγκεντρώσεις Mn όλων των επεμβάσεων παρουσίασαν πτωτική πορεία, χωρίς όμως να διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους (Πιν. 3.11).

Κατά την τέταρτη δειγματοληψία, είναι εμφανής η διαφοροποίηση των συγκεντρώσεων Mn μεταξύ των επεμβάσεων ενώ η επέμβαση G σημείωσε την μέγιστη τιμή, ( $160,65 \mu\text{g g}^{-1}$ ). Με την εξαίρεση των επεμβάσεων G και SS διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά με αυτές των επεμβάσεων O και SG σε επίπεδο 5% (Πιν. 3.11).

Κατά την έναρξη του τρίτου σταδίου καρποφορίας αλλά και στο τέλος της καλλιέργειας, οι συγκεντρώσεις Mn όλων των επεμβάσεων δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους. Ενώ στην έκτη δειγματοληψία οι συγκεντρώσεις βρέθηκαν σε ίδια περίπου επίπεδα, με τις τιμές τους να κυμαίνονται από  $79,9 - 92,8 \mu\text{g g}^{-1}$ , χωρίς να διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά (Πιν. 3.11).

### 3.6.4 Συνολική συγκέντρωση απορρόφησης Μαγγανίου (Mn)

Τα αποτελέσματα της στατιστικής σύγκρισης των μέσων όρων των συγκεντρώσεων Mn στο διάλυμα απορρόφησης, μεταξύ των επεμβάσεων, στα διαδοχικά στάδια καλλιέργειας της πιπεριάς φαίνονται στον Πίνακα 3.12, ενώ η διαγραμματική τους απεικόνιση φαίνεται στην Εικόνα 3.19.



**Εικόνα 3.19** Διακύμανση της συνολικής συγκέντρωσης Mn μεταξύ των επεμβάσεων, ανά δειγματοληψία.

Mn	SS	SG	O	F	G	α
1 <sup>ο</sup> (I-II)						NS
2 <sup>ο</sup> (II-III)	a	a	a	a	b	**
3 <sup>ο</sup> (III-IV)						NS
4 <sup>ο</sup> (IV-V)	ab	bc	c	ab	a	*
5 <sup>ο</sup> (V-VI)						NS

**Πίνακας 3.12** Συγκρίσεις μέσω των όρων των συγκεντρώσεων απορρόφησης Μn στα διαλύματα των φυτών, μεταξύ των επεμβάσεων, ανά δειγματοληψία όπου SS, SG, O, F, G = επεμβάσεις, I-VI= δειγματοληψίες, NS: Non-Significant, α= επίπεδο σημαντικότητας, \*= 5%, \*\*= 1%, \*\*\*= 0,1%

Κατά το βλαστικό στάδιο, οι συγκεντρώσεις απορρόφησης Μnόλων των επεμβάσεων κυμάνθηκαν μεταξύ 7,03 - 7,62  $\mu\text{molL}^{-1}$ . Οι συγκεντρώσεις απορρόφησης των επεμβάσεων δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά (Πιν.3.12).

Κατά το στάδιο της άνθισης, παρατηρήθηκε μία σημαντική αύξηση των συγκεντρώσεων απορρόφησης Μnσε όλες τις επεμβάσεις. Η συγκέντρωση της επέμβασης G, διαφέρει στατιστικώς σημαντικά από τις συγκεντρώσεις απορρόφησης των υπόλοιπων επεμβάσεων, σε επίπεδο 5% (Πιν. 3.12).

Κατά το πρώτο στάδιο καρποφορίας, παρατηρήθηκε μία πτώση των συγκεντρώσεων απορρόφησης Μnσε όλες τις επεμβάσεις. Οι συγκεντρώσεις των επεμβάσεων, δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά (Πιν. 3.12).

Κατά το δεύτερο στάδιο καρποφορίας, οι συγκεντρώσεις απορρόφησης Μnόλων των επεμβάσεων μειώθηκαν. Η συγκέντρωση απορρόφησης της επέμβασης O σημείωσε την μικρότερη τιμή (10,76  $\mu\text{molL}^{-1}$ ) και μάλιστα, διαφέρει στατιστικώς σημαντικά από τις επεμβάσεις SS, G και F σε επίπεδο 5% (Πιν. 3.12).

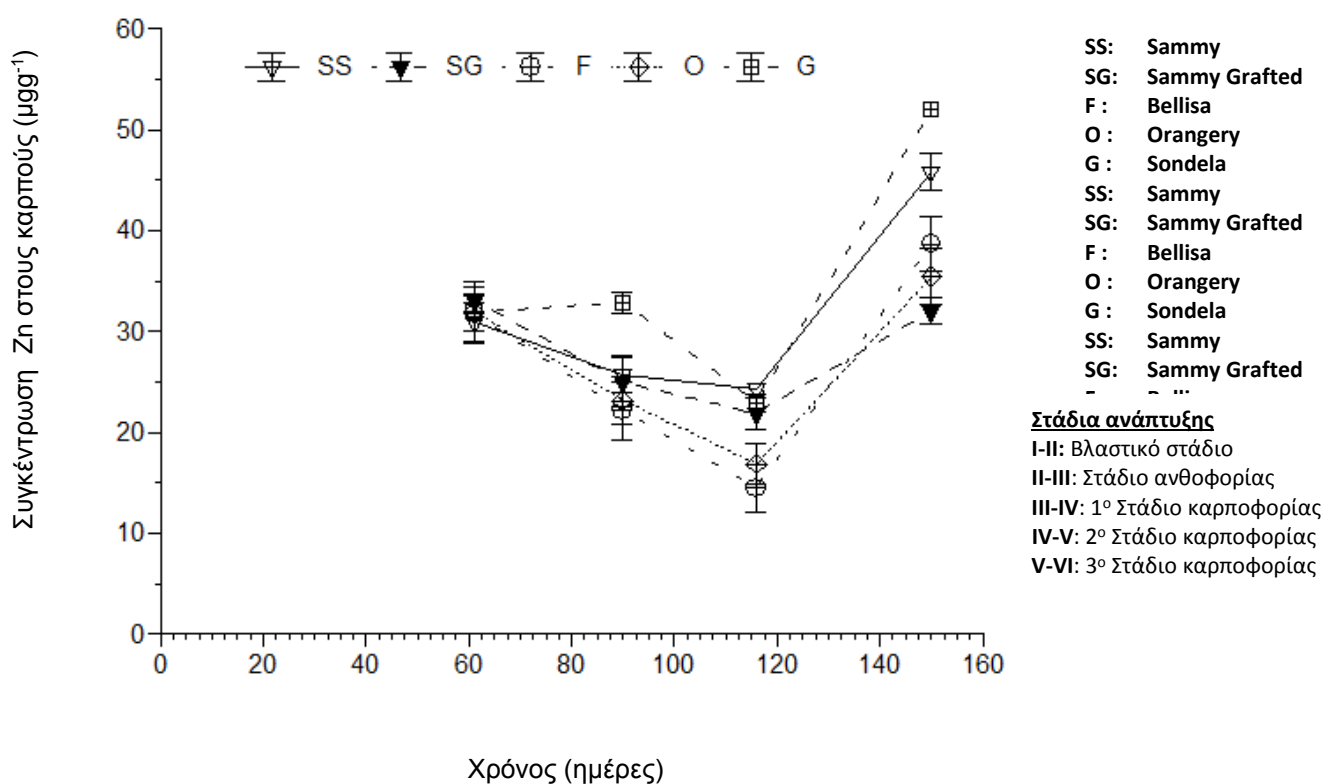
Κατά το τρίτο στάδιο καρποφορίας, οι συγκεντρώσεις απορρόφησης Μnτων επεμβάσεων παρουσίασαν παρόμοιες τιμές, που κυμάνθηκαν μεταξύ 10,91-11,10  $\mu\text{molL}^{-1}$ . Οι συγκεντρώσεις απορρόφησης των επεμβάσεων δεν παρουσίασαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές (Πιν. 3.12).



### 3.7 Ψευδάργυρος (Zn)

#### 3.7.1 Συγκέντρωση Ψευδαργύρου (Zn) στους καρπούς

Τα αποτελέσματα της στατιστικής σύγκρισης των μέσων όρων των συγκεντρώσεων Zn στους καρπούς των φυτών, μεταξύ των επεμβάσεων, στα διαδοχικά στάδια καλλιέργειας της πιπεριάς φαίνονται στον **Πίνακα 3.13** ενώ η διαγραμματική τους απεικόνιση φαίνεται στην **Εικόνα 3.20**.



**Εικόνα 3.20** Διακύμανση των συγκεντρώσεων Zn στους καρπούς των φυτών, μεταξύ των επεμβάσεων, ανά δειγματοληψία.

Zn	SS	SG	O	F	G	α
I						
II						
III						NS
IV	b	b	b	b	a	*
V	a	a	b	b	a	**
VI	b	b	b	b	a	*

**Πίνακας 3.13** Συγκρίσεις μέσων όρων των συγκεντρώσεων Zn στους καρπούς των φυτών, μεταξύ των επεμβάσεων, ανά δειγματοληψία όπου SS, SG, O, F, G = επεμβάσεις, I-VI= δειγματοληψίες, NS: Non-Significant, α= επίπεδο σημαντικότητας, \*= 5%, \*\*= 1%, \*\*\*= 0,1%

Σύμφωνα με το διάγραμμα της **Εικόνας 3.20**, στις τρεις πρώτες δειγματοληψίες δεν έχουμε μετρήσεις λόγω ότι το φυτό βρίσκεται στο βλαστικό στάδιο και στο στάδιο ανθοφορίας και επομένως δεν λαμβάνονται πειραματικά δεδομένα για τους καρπούς.

Κατά το αρχικά πρώτο στάδιο καρποφορίας, στην τρίτη δειγματοληψία οι συγκεντρώσεις Zn σε όλες οι επεμβάσεις δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους (**Πιν.3.13**).

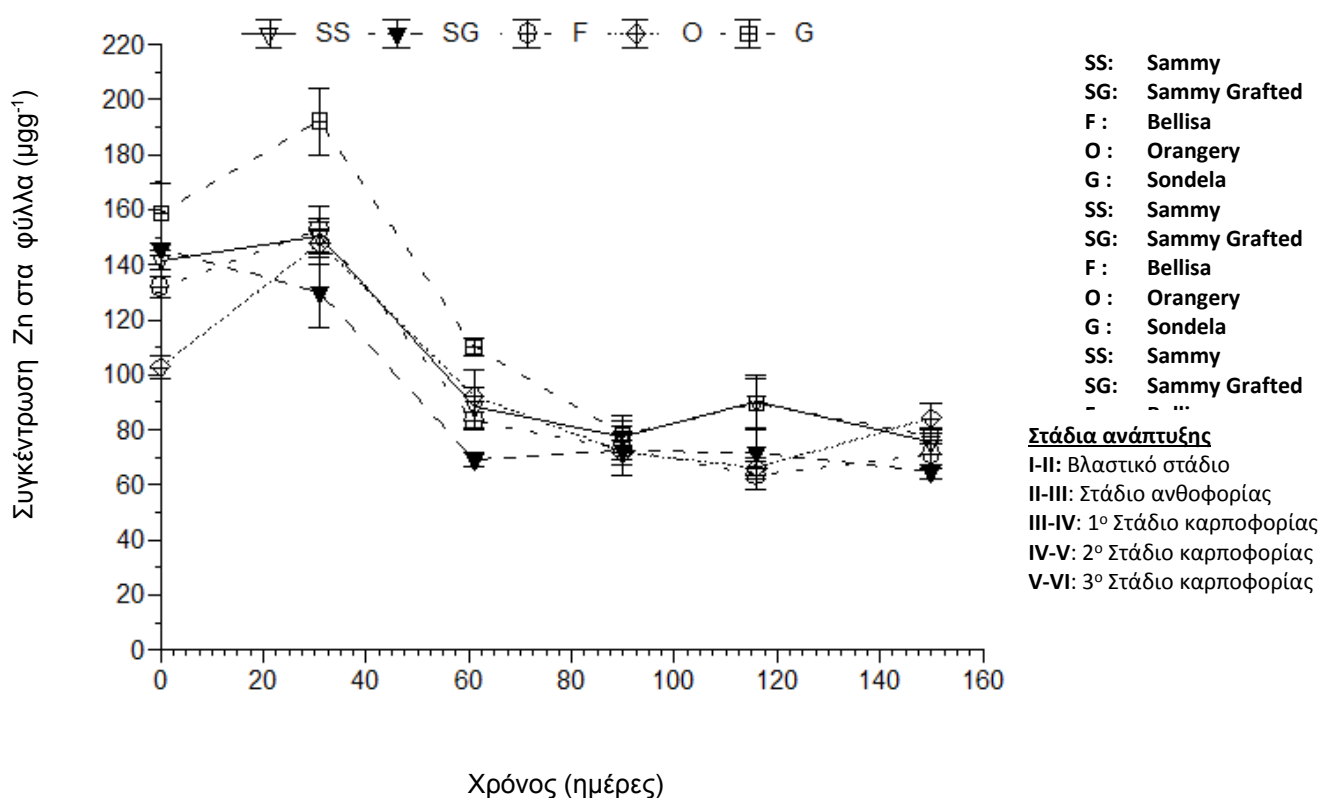
Στην τέταρτη δειγματοληψία, οι επεμβάσεις παρουσίασαν καθοδική πορεία, εκτός από την επέμβαση G που είχε ανοδική τάση, με τιμή ( $32,8 \mu\text{g g}^{-1}$ ). Η συγκέντρωση Zn της G επέμβασης, διαφέρει στατιστικώς σημαντικά με όλες τις επεμβάσεις σε επίπεδο 5% (**Πιν.3.13**).

Κατά το δεύτερο στάδιο καρποφορίας, η καθοδική πορεία συνεχίστηκε για όλες τις επεμβάσεις. Οι συγκεντρώσεις Zn των επεμβάσεων F και O διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά με αυτές των υπολοίπων επεμβάσεων, σε επίπεδο 1% (**Πιν.3.13**).

Κατά την έναρξη του τρίτου σταδίου καρποφορίας αλλά και στο τέλος της καλλιέργειας, παρουσιάστηκε ανοδική τάση για όλες τις επεμβάσεις. Στην έκτη δειγματοληψία η συγκέντρωση Zn στην επέμβαση G, διάφερε στατιστικώς σημαντικά με αυτές των υπολοίπων επεμβάσεων σε επίπεδο 5% (**Πιν.3.13**).

### 3.7.2 Συγκέντρωση Ψευδαργύρου (Zn) στα φύλλα

Τα αποτελέσματα της στατιστικής σύγκρισης των μέσων όρων των συγκεντρώσεων Zn στους καρπούς των φυτών, μεταξύ των επεμβάσεων, στα διαδοχικά στάδια καλλιέργειας της πιπεριάς φαίνονται στον Πίνακα 3.14 ενώ η διαγραμματική τους απεικόνιση φαίνεται στην Εικόνα 3.21.



**Εικόνα 3.21** Διακύμανση των συγκεντρώσεων Zn στα φύλλα των φυτών, μεταξύ των επεμβάσεων, ανά δειγματοληψία.

Zn	SS	SG	O	F	G	α
I	ab	ab	c	b	a	***
II	b	b	b	b	a	**
III	b	c	b	bc	a	**
IV						NS
V						NS
VI						NS

**Πίνακας 3.14** Συγκρίσεις μέσων όρων των συγκεντρώσεων Zn στα φύλλα των φυτών, μεταξύ των επεμβάσεων, ανά δειγματοληψία όπου SS, SG, O, F, G = επεμβάσεις, I-VI= δειγματοληψίες, NS: Non-Significant, α= επίπεδο σημαντικότητας, \*= 5%, \*\*= 1%, \*\*\*= 0,1%

Σύμφωνα με το διάγραμμα της **Εικόνας 3.21**, στην πρώτη δειγματοληψία, είναι εμφανής η διαφοροποίηση των συγκεντρώσεων Ζημεταξύ των επεμβάσεων ενώ η επέμβαση O σημείωσε την ελάχιστη τιμή, ( $102,8 \mu\text{g g}^{-1}$ ). Με την εξαίρεση των επεμβάσεων SG και SS που δεν διαφέρουν σημαντικά, όλες οι υπόλοιπες διαφέρουν μεταξύ τους στατιστικώς σημαντικά σε επίπεδο 0,01% (**Πιν. 3.14**).

Κατά την έναρξη του σταδίου ανθοφορίας, οι συγκεντρώσεις Zn της επέμβασης G, διαφέρει στατιστικώς σημαντικά από τις υπόλοιπες επεμβάσεις σε επίπεδο 1% (**Πιν. 3.14**).

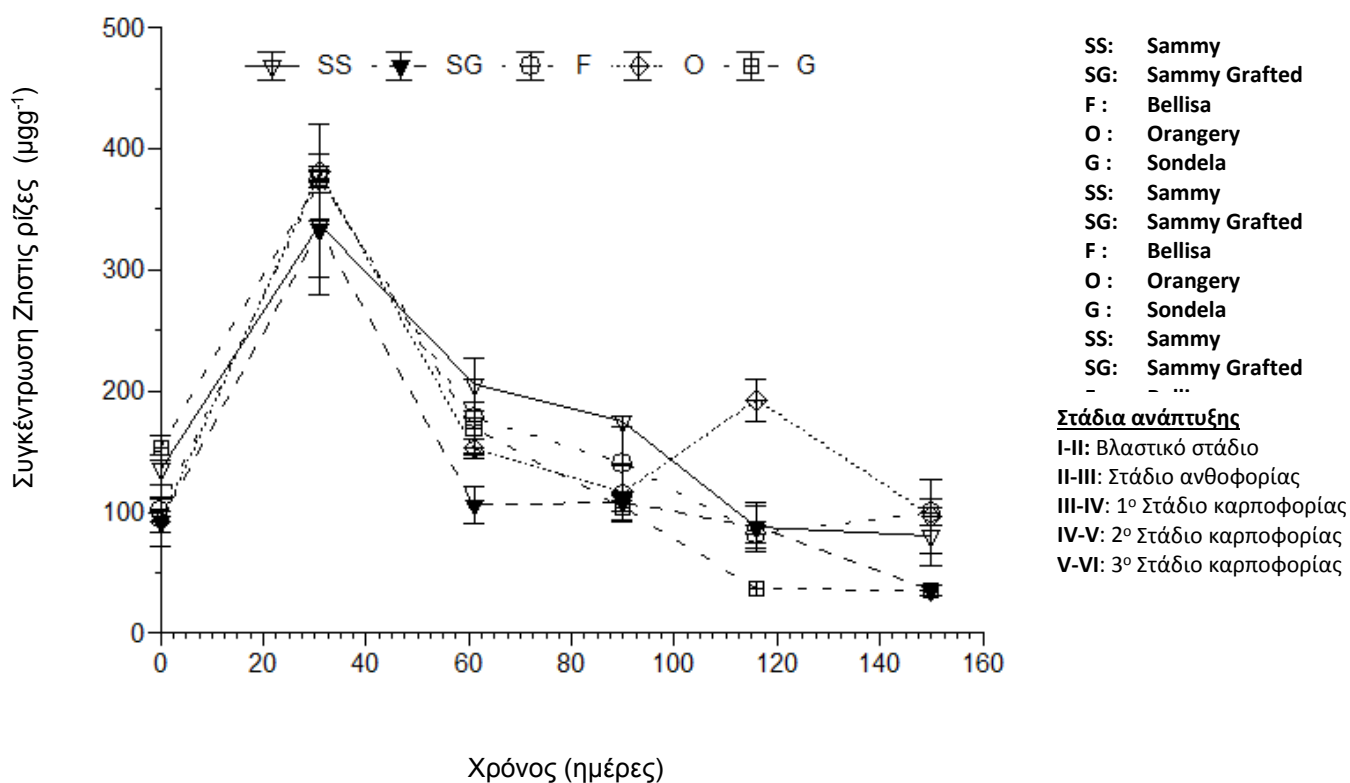
Κατά το στάδιο της ανθοφορίας, οι συγκεντρώσεις Zn των επεμβάσεων παρουσίασαν πτωτική πορεία. Στην τρίτη δειγματοληψία, οι συγκεντρώσεις των επεμβάσεων SS και O, διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά με τις επεμβάσεις SG, G σε επίπεδο 1% . Αντίστοιχα, η επέμβαση F διαφέρει στατιστικώς σημαντικά, σε επίπεδο 1% μόνο με την επέμβαση G.

Η καθοδική πορεία συνεχίστηκε και στο πρώτο στάδιο καρποφορίας. Στην τέταρτη δειγματοληψία οι συγκεντρώσεις Zn όλων των επεμβάσεων βρέθηκαν στα ίδια περίπου επίπεδα, με τις τιμές να κυμαίνονται από  $71,85- 78,20 \mu\text{g g}^{-1}$ , χωρίς να διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά (**Πιν. 3.14**).

Κατά την έναρξη του τρίτου σταδίου καρποφορίας αλλά και στο τέλος της καλλιέργειας, οι συγκεντρώσεις Zn όλων των επεμβάσεων στην πέμπτη και έκτη δειγματοληψία δεν παρουσίασαν στατιστικώς σημαντική διαφορά (**Πιν. 3.14**).

### 3.7.3 Συγκέντρωση Ψευδαργύρου (Zn) στις ρίζες

Τα αποτελέσματα της στατιστικής σύγκρισης των μέσων όρων των συγκεντρώσεων Zn στους καρπούς των φυτών, μεταξύ των επεμβάσεων, στα διαδοχικά στάδια καλλιέργειας της πιπεριάς φαίνονται στον Πίνακα 3.15, ενώ η διαγραμματική τους απεικόνιση φαίνεται στην Εικόνα 3.22.



Εικόνα 3.22 Διακύμανση των συγκεντρώσεων Zn στις ρίζες των φυτών, μεταξύ των επεμβάσεων, ανά δειγματοληψία.

Zn	SS	SG	O	F	G	α
I	ab	c	c	bc	a	*
II						NS
III	a	b	ab	a	ab	*
IV						NS
V	b	b	a	ab	b	**
VI	ab	b	a	a	b	*

**Πίνακας 3.15** Συγκρίσεις μέσω όρων των συγκεντρώσεων Zn στις ρίζες των φυτών, μεταξύ των επεμβάσεων, ανά δειγματοληψία όπου SS, SG, O, F, G = επεμβάσεις, I-VI= δειγματοληψίες, NS: Non-Significant, α= επίπεδο σημαντικότητας, \*= 5%, \*\*= 1%, \*\*\*= 0,1%

Σύμφωνα με το διάγραμμα της **Εικόνας 3.22**, στην πρώτη δειγματοληψία, οι συγκεντρώσεις Zn των επεμβάσεων SG και O, διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά από τις SS και G επεμβάσεις σε επίπεδο 5%. Αντίστοιχα η επέμβαση F, διαφέρει στατιστικώς σημαντικά με την επέμβαση G σε επίπεδο 5% (**Πιν. 3.15**).

Κατά την έναρξη του σταδίου ανθοφορίας, στην δεύτερη δειγματοληψία οι τιμές των συγκεντρώσεων Zn κυμάνθηκαν σε πολύ υψηλά επίπεδα, με τις επεμβάσεις να μην παρουσιάζουν στατιστικώς σημαντική διαφορά (**Πιν.**).

Στην διάρκεια του σταδίου της ανθοφορίας, μέχρι την τρίτη δειγματοληψία, υπήρχε μια καθοδική πορεία σε όλες τις επεμβάσεις. Οι συγκεντρώσεις Zn στην επέμβαση SG διαφέρει στατιστικώς σημαντικά μόνο με τις επεμβάσεις SS και F, σε επίπεδο 5% (**Πιν. 3.15**).

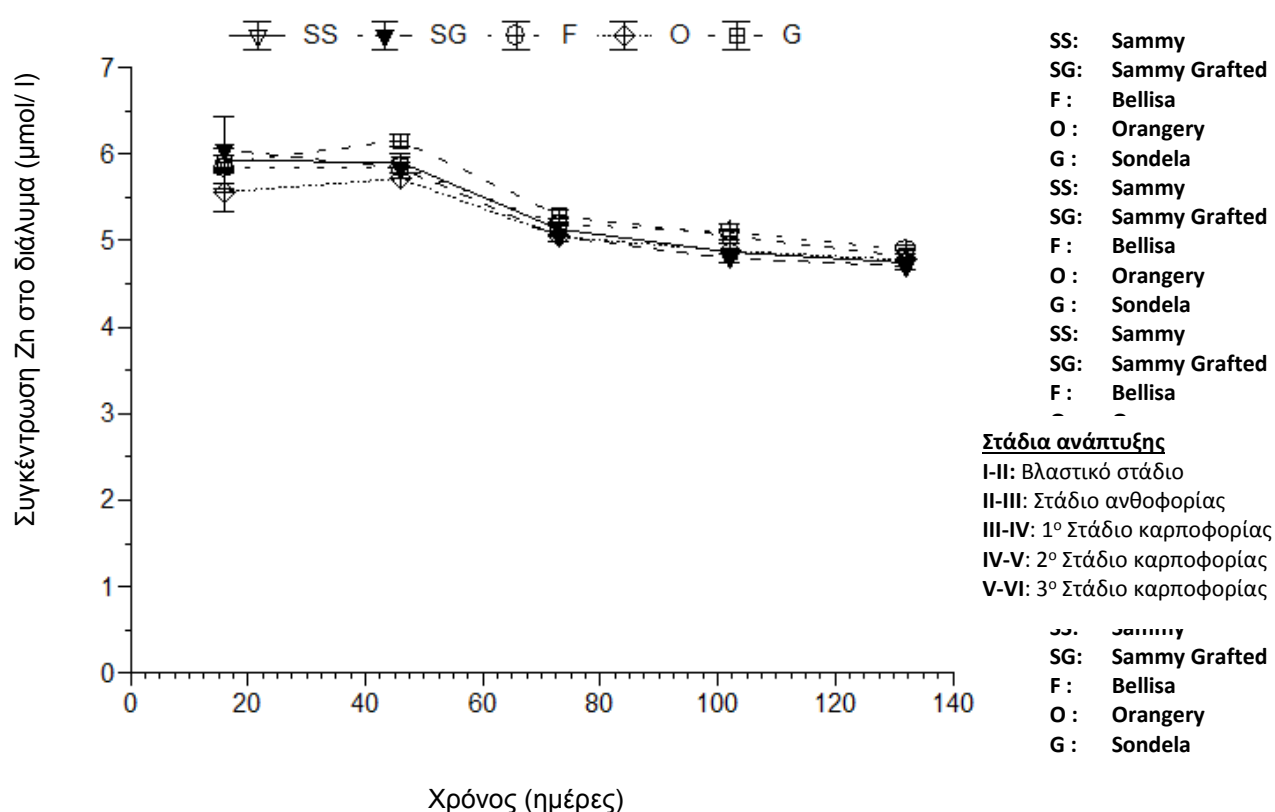
Κατά το πρώτο στάδιο καρποφορίας, η καθοδική πορεία συνεχίστηκε. Στην τέταρτη δειγματοληψία όλες οι συγκεντρώσεις Zn των επεμβάσεων δεν παρουσιάζουν στατιστικώς σημαντική διαφορά (**Πιν. 3.15**).

Κατά την έναρξη του δευτέρου σταδίου καρποφορίας, οι συγκεντρώσεις Zn της επέμβασης O, παρουσίασε την μέγιστη τιμή (224,45  $\mu\text{g g}^{-1}$ ). Η επέμβαση O, διαφέρει στατιστικώς σημαντικά με τις επεμβάσεις SS, SG και G, σε επίπεδο 1% (**Πιν. 3.15**).

Στο τέλος του σταδίου της τρίτης καρποφορίας, στην τελευταία δειγματοληψία, οι συγκεντρώσεις Zn των επεμβάσεων O και F διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά με τις επεμβάσεις SG και G σε επίπεδο 5% (**Πιν. 3.15**).

### 3.7.4 Συνολική συγκέντρωση απορρόφησης Ψευδάργυρου (Zn)

Τα αποτελέσματα της στατιστικής σύγκρισης των μέσων όρων των συγκεντρώσεων Zn στο διάλυμα απορρόφησης, μεταξύ των επεμβάσεων, στα διαδοχικά στάδια καλλιέργειας της πιπεριάς φαίνονται στον **Πίνακα 3.16**, ενώ η διαγραμματική τους απεικόνιση φαίνεται στην **Εικόνα 3.23**.



**Εικόνα 3.23** Διακύμανση της συνολικής συγκέντρωσης Zn μεταξύ των επεμβάσεων, ανά δειγματοληψία.

Zn	SS	SG	O	F	G	α
1° (I-II)						NS
2° (II-III)	b	b	b	b	a	**
3° (III-IV)						NS
4° (IV-V)	bc	c	bc	a	ab	*
5° (V-VI)	a	a	ab	b	ab	*

**Πίνακας 3.16** Συγκρίσεις μέσω των όρων των συγκεντρώσεων απορρόφησης Zn στα διαλύματα των φυτών, μεταξύ των επεμβάσεων, ανά δειγματοληψία όπου SS, SG, O, F, G = επεμβάσεις, I-VI= δειγματοληψίες, NS: Non-Significant, α= επίπεδο σημαντικότητας, \*= 5%, \*\*= 1%, \*\*\*= 0,1%

Κατά το βλαστικό στάδιο, οι συγκεντρώσεις απορρόφησης Znόλων των επεμβάσεων κυμάνθηκαν μεταξύ 5,56 – 6,05  $\mu\text{molL}^{-1}$ . Οι συγκεντρώσεις απορρόφησης των επεμβάσεων δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά (**Πιν. 3.16**).

Κατά το στάδιο της άνθισης, παρατηρήθηκε μία μικρή μείωση των συγκεντρώσεων απορρόφησης Zn στις επεμβάσεις SS και SG. Αντίθετα οι επεμβάσεις O, F και G παρουσιάζουν μια μικρή αύξηση. Η συγκέντρωση της επέμβασης G, διαφέρει στατιστικώς σημαντικά από τις συγκεντρώσεις απορρόφησης των υπόλοιπων επεμβάσεων, σε επίπεδο 1% (**Πιν. 3.16**).

Κατά το πρώτο στάδιο καρποφορίας, παρατηρήθηκε μία πτώση των συγκεντρώσεων απορρόφησης Znσε όλες τις επεμβάσεις. Οι συγκεντρώσεις των επεμβάσεων, δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά (**Πιν. 3.16**).

Κατά το δεύτερο στάδιο καρποφορίας, οι συγκεντρώσεις απορρόφησης Znόλων των επεμβάσεων μειώθηκαν. Η συγκέντρωση απορρόφησης της επέμβασης SG σημείωσε την μικρότερη τιμή (4,79  $\mu\text{molL}^{-1}$ ) και μάλιστα, διαφέρει στατιστικώς σημαντικά από τις επεμβάσεις G και F σε επίπεδο 5% (**Πιν. 3.16**).

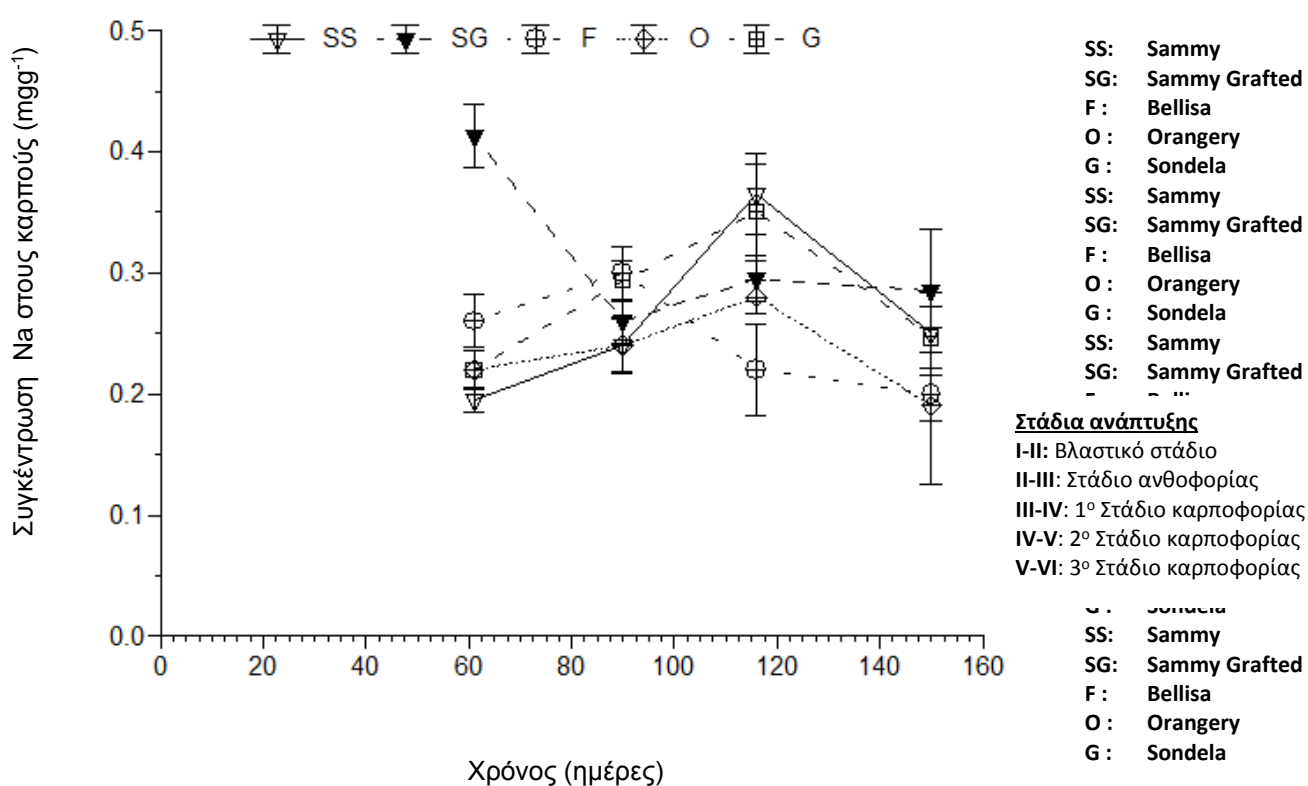
Κατά το τρίτο στάδιο καρποφορίας, οι συγκεντρώσεις απορρόφησης Znτων επεμβάσεων παρουσίασαν παρόμοιες τιμές, που κυμάνθηκαν μεταξύ 4,71-4,89  $\mu\text{molL}^{-1}$ . Οι συγκεντρώσεις απορρόφησης των επεμβάσεων SS και SG παρουσίασαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές με την επέμβαση F, σε επίπεδο 5% (**Πιν. 3.16**).



### 3.8 Νάτριο (Na)

#### 3.8.1 Συγκέντρωση Νατρίου (Na) στους καρπούς

Τα αποτελέσματα της στατιστικής σύγκρισης των μέσων όρων των συγκεντρώσεων Na στους καρπούς των φυτών, μεταξύ των επεμβάσεων, στα διαδοχικά στάδια καλλιέργειας της πιπεριάς φαίνονται στον Πίνακα 3.17 ενώ η διαγραμματική τους απεικόνιση φαίνεται στην **Εικόνα 3.24**.



**Εικόνα 3.24** Διακύμανση των συγκεντρώσεων Na στους καρπούς των φυτών, μεταξύ των επεμβάσεων, ανά δειγματοληψία.

Na	SS	SG	O	F	G	α
I						
II						
III						NS
IV						NS
V	a	ab	ab	b	a	*
VI						NS

**Πίνακας 3.17** Συγκρίσεις μέσων όρων των συγκεντρώσεων Na στους καρπούς των φυτών, μεταξύ των επεμβάσεων, ανά δειγματοληψία όπου SS, SG, O, F, G = επεμβάσεις, I-VI= δειγματοληψίες, NS: Non-Significant, α= επίπεδο σημαντικότητας, \*= 5%, \*\*= 1%, \*\*\*= 0,1%

Σύμφωνα με το διάγραμμα της **Εικόνας 3.24**, στις τρεις πρώτες δειγματοληψίες δεν έχουμε μετρήσεις λόγω ότι το φυτό βρίσκεται στο βλαστικό στάδιο και στο στάδιο ανθοφορίας και επομένως δεν λαμβάνονται πειραματικά δεδομένα για τους καρπούς.

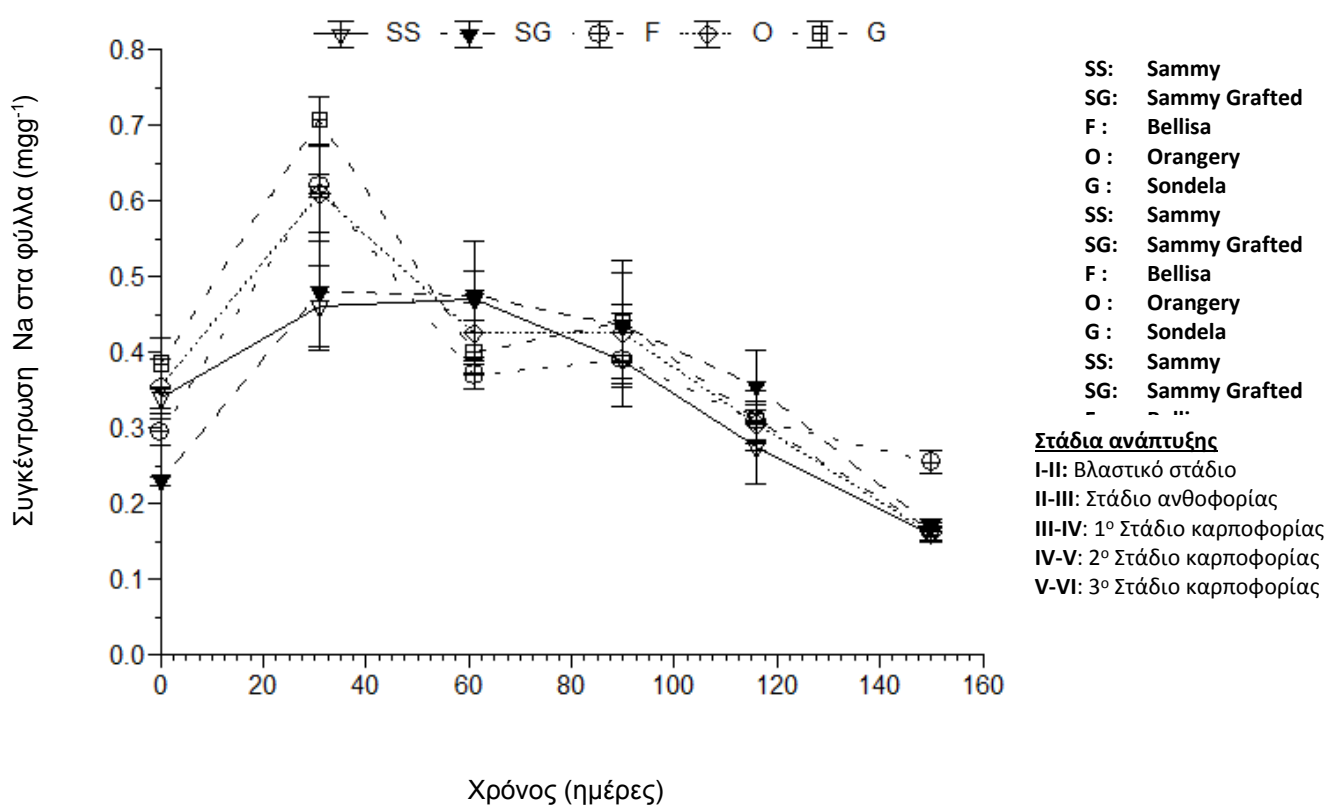
Κατά την διάρκεια του πρώτου σταδίου καρποφορίας, στην τρίτη και τέταρτη δειγματοληψία, οι συγκεντρώσεις Na στις επεμβάσεις δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά (**Πιν. 3.17**).

Κατά την έναρξη του τρίτου σταδίου της καρποφορίας, στην Πέμπτη δειγματοληψία, είναι εμφανής η διαφοροποίηση των συγκεντρώσεων Na. Η επέμβαση F σημείωσε την ελάχιστη τιμή (0,22 mgg<sup>-1</sup>). Η επέμβαση F διαφέρει στατιστικώς σημαντικά με τις επεμβάσεις SS και G σε επίπεδο 5% (**Πιν. 3.17**).

Κατά το τέλος της τρίτης καρποφορίας, στο τέλος της καλλιέργειας, οι τιμές των συγκεντρώσεων Na, όλων των επεμβάσεων δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους, με την επέμβαση SG να παρουσιάζει μέγιστη τιμή (0,285 mgg<sup>-1</sup>) (**Πιν. 3.17**).

### 3.8.2 Συγκέντρωση Νατρίου (Na) στα φύλλα

Τα αποτελέσματα της στατιστικής σύγκρισης των μέσων όρων των συγκεντρώσεων Na στα φύλλα των φυτών, μεταξύ των επεμβάσεων, στα διαδοχικά στάδια καλλιέργειας της πιπεριάς φαίνονται στον Πίνακα 3.18, ενώ η διαγραμματική τους απεικόνιση φαίνεται στην Εικόνα 3.25.



**Εικόνα 3.25** Διακύμανση των συγκεντρώσεων Na στα φύλλα των φυτών, μεταξύ των επεμβάσεων, ανά δειγματοληψία.

Na	SS	SG	O	F	G	α
I	ab	c	ab	bc	a	**
II						NS
III						NS
IV						NS
V						NS
VI						NS

**Πίνακας 3.18** Συγκρίσεις μέσων όρων των συγκεντρώσεων Na στα φύλλα των φυτών, μεταξύ των επεμβάσεων, ανά δειγματοληψία όπου SS, SG, O, F, G = επεμβάσεις, I-VI= δειγματοληψίες, NS: Non-Significant, α= επίπεδο σημαντικότητας, \*= 5%, \*\*= 1%, \*\*\*= 0,1%

Σύμφωνα με το διάγραμμα της **Εικόνας 3.25**, στην πρώτη δειγματοληψία, είναι εμφανής η διαφοροποίηση των συγκεντρώσεων Na μεταξύ των επεμβάσεων ενώ η επέμβαση SG σημείωσε την ελάχιστη τιμή, (0,23 mgg<sup>-1</sup>). Οι επεμβάσεις O και SS που δεν διαφέρουν σημαντικά, διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά με την επέμβαση SG σε επίπεδο 1%. Αντίστοιχα, η επέμβαση G διαφέρει με τις επεμβάσεις F και SG, στατιστικώς σημαντικά σε επίπεδο 0,1% (**Πιν.3.18**).

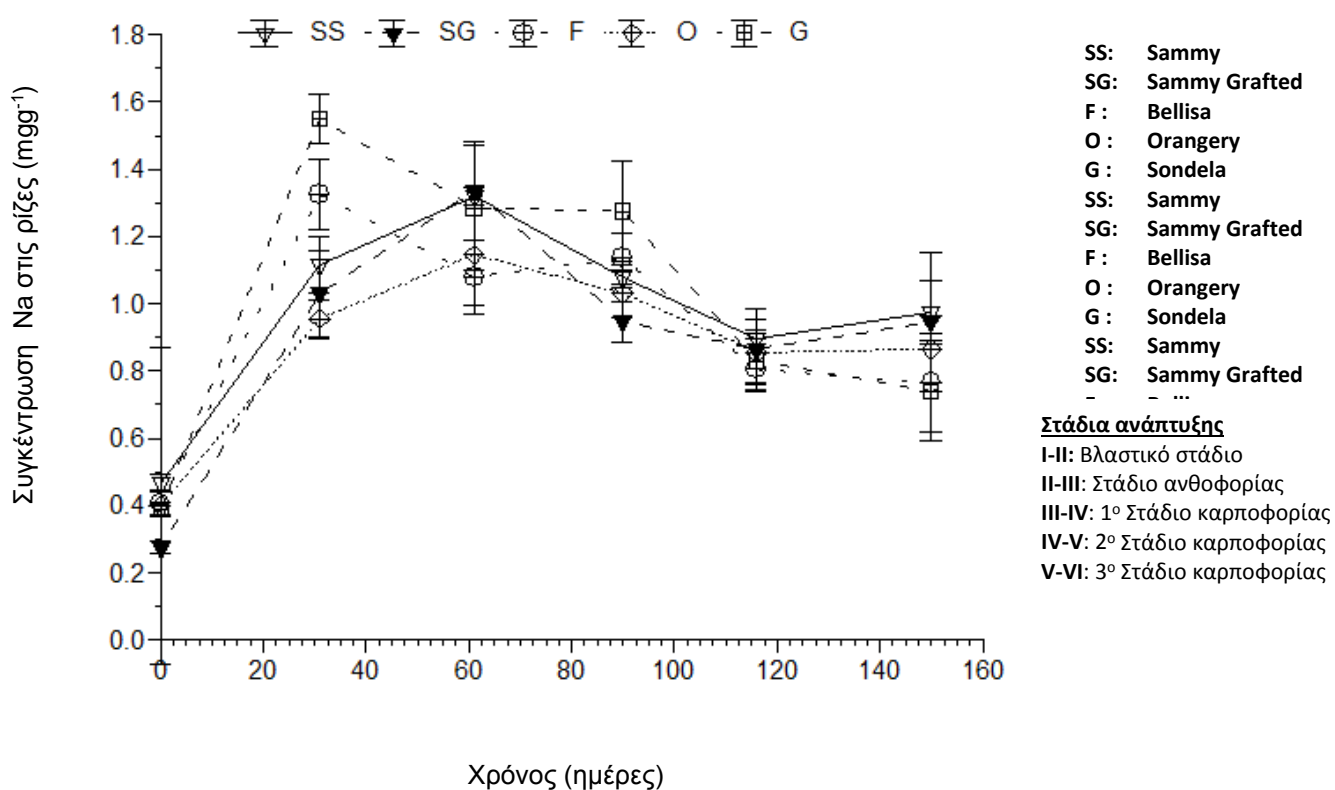
Κατά το βλαστικό στάδιο, παρατηρήθηκε μια αυξητική πορεία στις συγκεντρώσεις Na σε όλες τις επεμβάσεις. Στην συνέχεια στο στάδιο της καρποφορίας, κατά την δεύτερη και τρίτη δειγματοληψία δεν είχαμε στατιστικώς σημαντική διαφορά στις συγκεντρώσεις Na όλων των επεμβάσεων (**Πιν. 3.18**).

Στο δεύτερο στάδιο καρποφορίας, οι συγκεντρώσεις Na όλων των επεμβάσεων παρουσίασαν πτωτική πορεία. Επίσης στην τέταρτη και πέμπτη δειγματοληψία δεν παρουσιάστηκε στατιστικώς σημαντική διαφορά μεταξύ των επεμβάσεων (**Πιν. 3.18**).

Κατά την έκτη δειγματοληψία, στο τέλος του τέλους της καλλιέργειας, οι επεμβάσεις δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους, με την τιμή F να λαμβάνει την μέγιστη τιμή ( 0,255 mgg<sup>-1</sup>).

### 3.8.3 Συγκέντρωση Νατρίου (Na) στις ρίζες

Τα αποτελέσματα της στατιστικής σύγκρισης των μέσων όρων των συγκεντρώσεων Na στις ρίζες των φυτών, μεταξύ των επεμβάσεων, στα διαδοχικά στάδια καλλιέργειας της πιπεριάς φαίνονται στον **Πίνακα 3.19**, ενώ η διαγραμματική τους απεικόνιση φαίνεται στην **Εικόνα 3.26**.



**Εικόνα 3.26** Διακύμανση των συγκεντρώσεων Na στις ρίζες των φυτών, μεταξύ των επεμβάσεων, ανά δειγματοληψία.

Na	SS	SG	O	F	G	α
I	a	b	a	a	a	*
II	bc	c	c	ab	a	**
III						NS
IV						NS
V						NS
VI						NS

**Πίνακας 3.19** Συγκρίσεις μέσω των όρων των συγκεντρώσεων Na στις ρίζες των φυτών, μεταξύ των επεμβάσεων, ανά δειγματοληψία όπου SS, SG, O, F, G = επεμβάσεις, I-VI= δειγματοληψίες, NS: Non-Significant, α= επίπεδο σημαντικότητας, \*= 5%, \*\*= 1%, \*\*\*= 0,1%

Σύμφωνα με το διάγραμμα της **Εικόνας 3.26**, στην πρώτη δειγματοληψία, οι συγκεντρώσεις Na όλων των επεμβάσεων κυμάνθηκαν περίπου στα ίδια επίπεδα. Οι συγκεντρώσεις της επέμβασης SG διαφέρει στατιστικώς σημαντικά με αυτές των επεμβάσεων O, SS, G και F σε επίπεδο 5% (**Πιν.3.19**).

Κατά το βλαστικό στάδιο, μέχρι την δεύτερη δειγματοληψία, οι συγκεντρώσεις Na των επεμβάσεων έχουν αυξητική τάση. Οι συγκεντρώσεις των επεμβάσεων SG και O, διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά με αυτές των επεμβάσεων G και F σε επίπεδο 1% (**Πιν.3.19**).

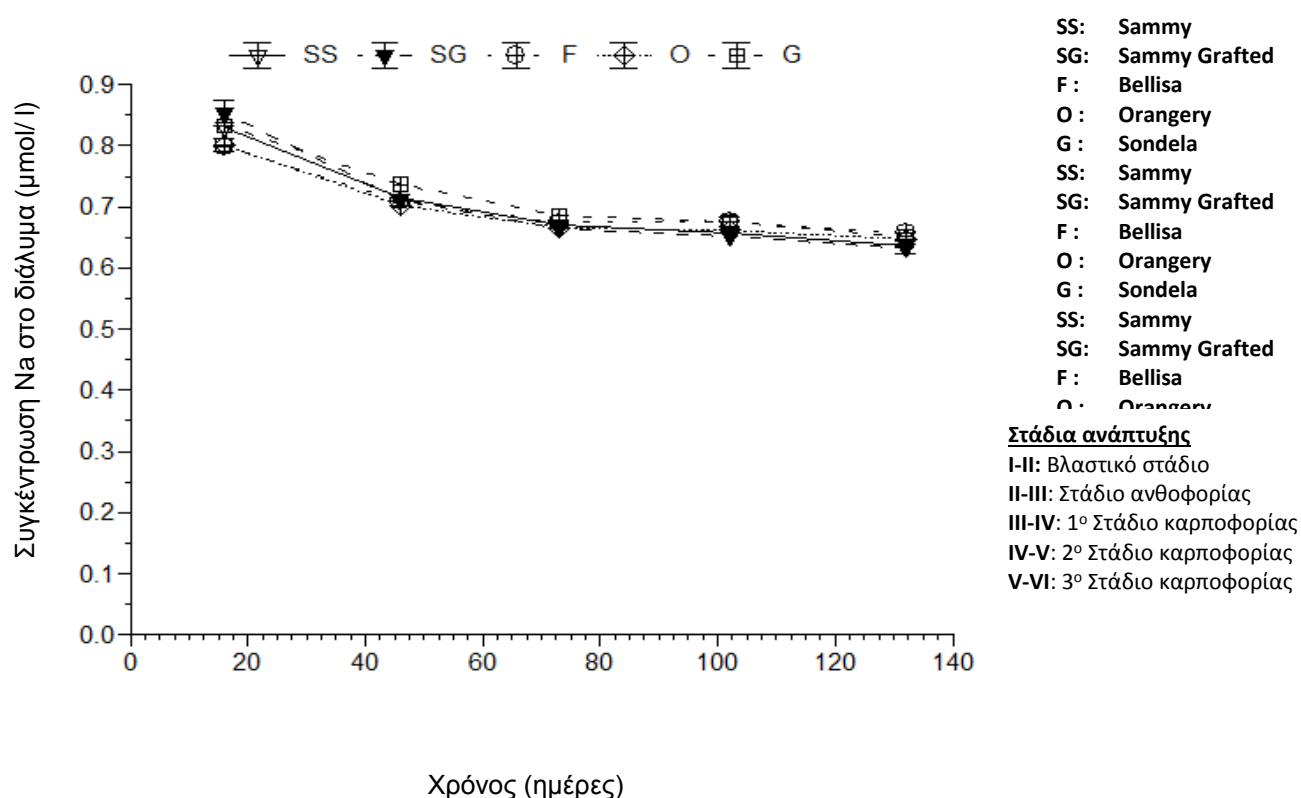
Κατά το πρώτο στάδιο καρποφορίας, η αυξητική τάση συνεχίστηκε για τις επεμβάσεις SS, SG, και O, ενώ για τις επεμβάσεις G και F υπήρχε καθοδική πορεία. Στην τρίτη δειγματοληψία οι συγκεντρώσεις Na όλων των επεμβάσεων δεν παρουσιάζουν στατιστικώς σημαντική διαφορά (**Πιν.3.19**).

Κατά δεύτερο στάδιο καρποφορίας, οι συγκεντρώσεις Na όλων των επεμβάσεων στην τετάρτη και πέμπτη δειγματοληψία, δεν παρουσιάζουν στατιστικώς σημαντική διαφορά (**Πιν.3.19**). Οι συγκεντρώσεις όλων των επεμβάσεων στην πέμπτη δειγματοληψία βρέθηκαν στα ίδια περίπου επίπεδα, με τις τιμές τους να κυμαίνονται από 0,805 – 0,895 mgg<sup>-1</sup>.

Στο τέλος του τρίτου σταδίου καρποφορίας, στην έκτη δειγματοληψία οι συγκεντρώσεις Na όλων των επεμβάσεων δεν παρουσιάζουν στατιστικώς σημαντική διαφορά (**Πιν.3.19**).

### 3.8.4 Συνολική συγκέντρωση απορρόφησης Νατρίου (Na)

Τα αποτελέσματα της στατιστικής σύγκρισης των μέσων όρων των συγκεντρώσεων Na στο διάλυμα απορρόφησης, μεταξύ των επεμβάσεων, στα διαδοχικά στάδια καλλιέργειας της πιπεριάς φαίνονται στον **Πίνακα 3.20**, ενώ η διαγραμματική τους απεικόνιση φαίνεται στην **Εικόνα 3.27**.



**Εικόνα 3.27** Διακύμανση των συνολικών συγκεντρώσεων Na μεταξύ των επεμβάσεων, ανά δειγματοληψία.

Na	SS	SG	O	F	G	α
1° (I-II)	ab	a	b	b	ab	*
2° (II-III)	b	bc	c	bc	a	***
3° (III-IV)						NS
4° (IV-V)	b	b	ab	a	a	*
5° (V-VI)	bc	c	abc	a	ab	*

**Πίνακας 3.20** Συγκρίσεις μέσω όρων των συγκεντρώσεων απορρόφησης Na στα διαλύματα των φυτών, μεταξύ των επεμβάσεων, ανά δειγματοληψία όπου SS, SG, O, F, G = επεμβάσεις, I-VI= δειγματοληψίες, NS: Non-Significant, α= επίπεδο σημαντικότητας, \*= 5%, \*\*= 1%, \*\*\*= 0,1%

Κατά το βλαστικό στάδιο, οι συγκεντρώσεις απορρόφησης Ναόλων των επεμβάσεων κυμάνθηκαν μεταξύ 0,799 – 0,853 mmolL<sup>-1</sup>. Οι συγκεντρώσεις απορρόφησης των επεμβάσεων F και O διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά από εκείνη της επέμβασης SG σε επίπεδο 5% (**Πιν. 3.20**).

Κατά το στάδιο της άνθισης, παρατηρήθηκε μείωση των συγκεντρώσεων απορρόφησης Na σε όλες τις επεμβάσεις. Η επέμβαση G διαφέρει στατιστικώς σημαντικά με όλες τις υπόλοιπες επεμβάσεις σε επίπεδο 0,1%. Αντίθετα, η επέμβαση O διαφέρει στατιστικώς σημαντικά από τις συγκεντρώσεις απορρόφησης των επεμβάσεων SS και G σε επίπεδο 0,1% (**Πιν. 3.20**).

Κατά το πρώτο στάδιο καρποφορίας, συνεχίστηκε η πτωτική πορεία των συγκεντρώσεων απορρόφησης Na σε όλες τις επεμβάσεις. Οι συγκεντρώσεις των επεμβάσεων δεν διαφέρουν στατιστικώς (**Πιν. 3.20**).

Κατά το δεύτερο στάδιο καρποφορίας, οι συγκεντρώσεις απορρόφησης Ναόλων των επεμβάσεων μειώθηκαν εκ νέου. Η συγκέντρωση απορρόφησης των επεμβάσεων SS και SG διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά από τις επεμβάσεις F και G σε επίπεδο 5% (**Πιν. 3.20**).

Κατά το τρίτο στάδιο καρποφορίας, οι συγκεντρώσεις απορρόφησης Νατων επεμβάσεων κυμαίνονται στα ίδια επίπεδα (0,632-0,656 mmolL<sup>-1</sup>). Η επέμβαση F διαφέρει στατιστικώς σημαντικά, με τις επεμβάσεις SS, SG σε επίπεδο 5%.

Αντίθετα η επέμβαση SG που παρουσίασε την μικρότερη τιμή (0,632 mmolL<sup>-1</sup>), διαφέρει στατιστικώς σημαντικά από τις επεμβάσεις F και G σε επίπεδο 5% (**Πιν. 3.20**).



## 4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

### 4.1 Συζήτηση και συμπεράσματα στην αθροιστική κατανάλωση ύδατος

Σύμφωνα με την επεξεργασία των αποτελεσμάτων φαίνεται ξεκάθαρα (**Εικ. 3.1**) ότι από την αρχή μέχρι το τέλος του πειράματος η κατανάλωση ύδατος από τα φυτά για όλες τις ποικιλίες παρουσιάζουν μια αύξουσα πορεία σε όλη την διάρκεια της καλλιέργειας, κάτι το οποίο ήταν αναμενόμενο. Η απορρόφηση των ποικιλιών, κυμανθήκαν στα ίδια περίπου επίπεδα μέχρι και την 89η . Οι διαφοροποιήσεις στην κατανάλωση παρουσιάστηκαν κατά το επόμενο διάστημα, που είχε ως συνέπεια την αύξηση της αθροιστικής κατανάλωσης ύδατος είναι κάτι που οφείλεται στο γεγονός ότι καθώς τα φυτά αναπτύσσονται και πλησιάζουν προς το καλοκαίρι, η θερμοκρασία του περιβάλλοντος αυξάνεται, αναγκάζοντάς τα να διαπνέουν όλο και περισσότερο για να διατηρήσουν την θερμοκρασία τους σταθερή. Κατά το τελευταίο στάδιο της καλλιέργειας, λόγω των υψηλών τιμών στην  $E_c$ , τα φυτά μείωσαν την κατανάλωση ύδατος. Σε αντίστοιχα αποτελέσματα κατέληξε και ο TeshomeTadesseetal. (1999) σε καλλιέργεια πιπεριάς σε NFT σύστημα. Επίσης σε αντίθεση ο D. Schwarzetal. (1998), συμπέρανε ότι η πρόσληψη νερού από φυτά τομάτας σε κλειστά υδροπονικά εξαρτάται από το επίπεδο της  $E_c$ . Σε επίπεδο ποικιλιών, κατά το τελευταίο στάδιο της καλλιέργειας η εμβολιασμένη SG ποικιλία είχε αποδοτικότερη πρόσληψη νερού σε σχέση με την αυτόρριζη SS, παρά την έκθεση σε υψηλότερες τιμές  $E_c$ . Παρόμοια αποτελέσματα, ως προς την αντοχή των εμβολιασμένων φυτών στην αλατότητα και την αύξηση της ικανότητας απορρόφησης νερού παρατηρήθηκαν από τους Eldestein, etal., 2005 και Ruizet. al., 1997, Collaet. al 2010, Roupheetal.,2008 αντίστοιχα.

## 4.2 Συζήτηση κα συμπεράσματα στην χημική ανάλυση

### 4.2.1 Σίδηρος Fe

Σύμφωνα με την επεξεργασία των αποτελεσμάτων φαίνεται ξεκάθαρα (**Εικόνα 3.14**) ότι από την αρχή μέχρι το τέλος του πειράματος η συγκέντρωση Fe στις ρίζες των φυτών όλων των ποικιλιών παρουσιάζει μια μείωση. Παρά τις αρχικές υψηλές συγκεντρώσεις Fe, στην συνέχεια έχουμε μια πτωτική πορεία κατά την διάρκεια του πειράματος. Αυτό ήταν αναμενόμενο αποτέλεσμα, ιδιαίτερος κατά το διάστημα 60<sup>η</sup>-89<sup>η</sup> ημέρα και οφείλεται στο ότι το συγκεκριμένο διάστημα οι τιμές του pH παρουσίασαν μέγιστες τιμές στο πείραμα (pH>7). Ο σίδηρος απορροφάται από τα φυτά στην δισθενή μορφή του Fe<sup>+2</sup> (Marschner, 1995, Yuanetal., 2005) και έχει την τάση να καταβυθίζεται όταν οι τιμές του pH βρίσκονται κοντά στο 7 (Mengel, 1984). Στην συνέχεια του πειράματος και παρόλο την πτώση των τιμών του pH σε χαμηλότερα επίπεδα του 7, συνεχίστηκαν τα χαμηλά επίπεδα συγκεντρώσεων στις ρίζες των φυτών, η οποία οφείλεται στις υψηλές συγκεντρώσεις Ca στο ριζόστρωμα που παρουσιάζουν τα φυτά ή λόγω ανταγωνισμού στην διαθεσιμότητα Fe από τα φύλλα και τους καρπούς λόγω της έντονης διαπνοής.

Όσον αφορά τις ποικιλίες, η orangery παρουσιάζει υψηλές τιμές στην πέμπτη δειγματοληψία και αυτό οφείλεται στις τιμές του pH που παρουσιάζουν μια πτωτική τάση κοντά στο 5 με αποτέλεσμα την υψηλότερη διαθεσιμότητα Fe. Επίσης, στο τρίτο στάδιο καρποφορίας η μειωμένη απορρόφηση Fe στις ποικιλίες Sammy, Bellisa μπορεί να οφείλετε στο ότι η συγκέντρωση P στις ρίζες, στις συγκεκριμένες ποικιλίες παρουσιάζει πολύ υψηλές τιμές. Ο φώσφορος σε πολύ υψηλές συγκεντρώσεις, δρα ανταγωνιστικά ως προς τον Fe και μειώνει την απορρόφηση του από τα φυτά (BentonJ., 2012).

Η συγκέντρωση Fe στα φύλλα των φυτών, σύμφωνα με την εικόνα **Εικόνα 3.13**, παρουσιάζει υψηλές τιμές στο βλαστικό στάδιο που οφείλεται στο ότι το pH βρίσκεται σε επίπεδα χαμηλά <6,5. Στην συνέχεια και μέχρι το πρώτο στάδιο καρποφορίας οι συγκεντρώσεις στα φύλλα παρουσιάζουν ελάχιστες τιμές λόγω της αύξησης του pH. Έπειτα η συγκεντρώσεις Fe παρουσιάζουν μια ανοδική πορεία η οποία οφείλεται στο ότι τα φυτά αναπτύσσονται και

πλησιάζοντας προς το καλοκαίρι τα φυτά έχουν έντονη διαπνοή. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την έντονη κινητοποίηση του δυσκίνητου σιδήρου μέσω μαζικής ροής, λόγω της έντονης διαπνοής προς τα φύλλα. Η συγκέντρωση Fe στους καρπούς των φυτών όλων των ποικιλιών παρουσιάζει μια αυξητική τάση που σχεδόν διπλασιάζεται από την αρχή συγκομιδής καρπών μέχρι το τέλος του πειράματος.

Η συνολική συγκέντρωση απορρόφησης σιδήρου Fe στην **Εικόνα 3.15**, παρουσιάζει μια ελαφρώς πτωτική πορεία, η οποία μπορεί να οφείλεται στο ότι ο ρυθμός απορρόφησης του Fe μπορεί να περιοριστεί από άλλα δισθενή κατιόντα, όπως τα μεταλλικά στοιχεία  $Mn^{+2}Zn^{+2}Cu^{+2}$  λόγω της μερικής αντικατάστασης στο χηλικό μόριο από αυτά (deRijckandSchrevens, 1998b). Επίσης, τα μακροστοιχεία Ca, P και Mg δρουν ανταγωνιστικά και μειώνουν τον ρυθμό απορρόφησης του Fe (Benton, 2012).

#### 4.2.2 Μαγγάνιο Mn

Σύμφωνα με την **Εικόνα 3.18**, οι συγκεντρώσεις Mn στις ρίζες παρά την αρχική αύξηση που παρουσιάστηκε, οι συγκεντρώσεις παρουσιάζουν πτωτική πορεία. Στο διάστημα 60-89<sup>η</sup> ημέρα όπως και στα μεταλλικά στοιχεία Fe και Zn το pH που βρίσκεται σε επίπεδα κοντά στο 7. Η διαθεσιμότητα των στοιχείων μειώνεται στα φυτά, διότι απορροφούν μόνο σε μορφές δισθενών στοιχείων και σε τιμές  $pH > 7$  ο Mn δεν καταβυθίζεται και παραμένει στην μορφή  $M(OH)_2$ , όπου  $M = Fe, Zn, Mn$  (Marschner, 1995, Yuan et al., 2005). Η μείωση των συγκεντρώσεων συνεχίστηκε μέχρι το τέλος του πειράματος και παρόλο την εξισορρόπηση του pH σε επίπεδα που βοηθούν την απορρόφηση του  $Mn^{+2}$ . Αυτό μπορεί να οφείλεται στο ότι λόγω της ανάπτυξης των φυτών και την έντονη διαπνοή λόγω συνθηκών που παρουσιάζουν ή από τον ανταγωνισμό λόγω των υψηλών συγκεντρώσεων Ca που παρουσιάζονται στις ρίζες, έχουμε μια πτωτική τάση στις συγκεντρώσεις Mn.

Σύμφωνα με την **Εικόνα 3.17** στα φύλλα, η συγκέντρωση Mn παρουσίασε πτωτική τάση μέχρι το τέλος του πρώτου σταδίου καρποφορίας και στην συνέχεια είχαμε αυξητική τάση για όλες τις ποικιλίες. Αυτό είναι φυσιολογικό και

οφείλεται, όπως προαναφερθήκαμε στην έντονη διαπνοή που παρουσιάζουν τα φυτά την συγκεκριμένη περίοδο. Το Mn μετακινείται εύκολα από την ρίζα προς το υπέργειο μέρος μέσα στον χυμό του ξύλου, μέσω του ρεύματος διαπνοής (Ionerağan, 1988). Επίσης, το Mn, έχει την τάση να συσσωρεύεται στο υπέργειο μέρος του φυτού και λιγότερο στο ριζικό σύστημα και αυτό φαίνεται και στα αποτελέσματα μας, όπου το Mn παρουσιάζεται σε υψηλές συγκεντρώσεις στα φύλλα και στους καρπούς.

Η παραπάνω θεωρία επιβεβαιώνεται και από την **Εικόνα 3.16** στους καρπούς έχουμε μια αυξητική τάση η οποία είναι ιδιαιτέρως υψηλή κατά το τελευταίο στάδιο καρποφορίας.

Σε επίπεδο ποικιλιών, η Orangery παρουσίασε υψηλές τιμές στην συνολική συγκέντρωση, ιδιαιτέρως στο διάστημα μεταξύ περίπου 40<sup>η</sup>-50<sup>η</sup> ημέρα. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο ότι το συγκεκριμένο διάστημα, οι τιμές pH παρουσίασαν ιδιαίτερα χαμηλές τιμές pH, με αποτέλεσμα την αύξηση της διαλυτότητας του Mn (Benton J. 2012).

Σύμφωνα με την **Εικόνα 3.19**, η συνολική συγκέντρωση απορρόφησης Mn ακολουθεί μία ελαφρώς πτωτική πορεία. Το γεγονός αυτό μπορεί να οφείλεται στο ότι ο ρυθμός απορρόφησης του Mn, μειώνεται κατά το στάδιο καρποφορίας λόγω μικρότερης ανάγκης των καρπών σε Mn σε σχέση με το βλαστικό στάδιο. Επίσης το Mn μπορεί να περιοριστεί πολύ από άλλα κατιόντα, όπως τα K<sup>+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> (Μαυρογιαννόπουλος, 2006).

#### 4.2.3 Ψευδάργυρος Zn

Σύμφωνα με την επεξεργασία των αποτελεσμάτων, (**Εικ. 3.22**) φαίνεται ότι, όπως και στα υπόλοιπα δισθενή στοιχεία (Fe – Mn), οι συγκεντρώσεις στις ρίζες, παρουσίασαν μια αυξητική τάση στη συγκέντρωση στο βλαστικό στάδιο. Στην συνέχεια, οι συγκεντρώσεις Zn ακολούθησαν μια πτωτική πορεία ως το τέλος του πειράματος. Κατά το πρώτο στάδιο καρποφορίας, αυτό μπορεί να οφείλεται από το pH το οποίο είναι υψηλό σε τιμές pH>7 και ο Zn δεν είναι διαθέσιμος για απορρόφηση λόγω του ότι δεν βρίσκεται στη δισθενή του

μορφή. Στην συνέχεια, η πτωτική τάση οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στις υψηλές συγκεντρώσεις Ca το οποίο παρεμποδίζει την απορρόφηση Zn. Επίσης, κατά το τρίτο στάδιο καρποφορίας η απορρόφηση Zn μπορεί να επηρεάζεται από την υψηλή συγκέντρωση P στις ρίζες. Αυτό είναι συχνά εμφανίζεται στην υδροπονία και έχουμε τη δημιουργία αλάτων  $PO_4Zn$  (Sonneveld, 2002).

Στα φύλλα, σύμφωνα με την **εικόνα 3.21**, ο Zn με εξαίρεση το βλαστικό στάδιο που παρουσιάζει μια ανοδική πορεία στις συγκεντρώσεις του, έχουμε μια πτωτική πορεία μέχρι το τέλος του πειράματος. Παρά το γεγονός ότι ο Zn έχει υψηλή κινητικότητα από τα φύλλα στις ρίζες, στους βλαστούς και στους καρπούς (Rengel, 2001), παρουσιάζονται χαμηλές συγκεντρώσεις Zn. Αυτό μπορεί να οφείλεται στην παρεμπόδιση από τα μεταλλικά κατιόντα Mn, Fe, Cu ή στην παρεμπόδιση από το Ca ή το Mg.

Σύμφωνα με το διάγραμμα της εικόνας, στους καρπούς παρά την αρχική πτωτική πορεία μέχρι το τέλος του δεύτερου σταδίου καρποφορίας είχαμε μια αύξηση των συγκεντρώσεων μέχρι το τέλος του πειράματος. Σε επίπεδο ποικιλιών, η εμβολιασμένη Sammy παρουσίασε την ελάχιστη τιμή στο τέλος του τρίτου σταδίου καρποφορίας και διαφέρει στατιστικώς σημαντικά με την αυτόρριζη Sammy.

Σύμφωνα με την **Εικόνα** η συνολική συγκέντρωση απορρόφησης Zn ακολουθεί μία πτωτική πορεία. Το γεγονός αυτό μπορεί να οφείλεται στο ότι ο ρυθμός απορρόφησης του Zn μπορεί να περιοριστεί πολύ από άλλα κατιόντα, όπως τα  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$  (Μαυρογιαννόπουλος, 2006) ή από τον ανταγωνισμό από τα μεταλλικά κατιόντα  $Mn^{+2}$ ,  $Cu^{+2}$  και  $Fe^{+2}$ .

#### 4.2.4 Βόριο (B)

Σύμφωνα με την επεξεργασία των αποτελεσμάτων φαίνεται ξεκάθαρα (**Εικ.3.1**) ότι από την αρχή μέχρι το τέλος του πειράματος η συγκέντρωση B παρουσίασε μια σταθερή πορεία με αυξητική τάση μέχρι και την 89<sup>η</sup> ημέρα και στην συνέχεια και μέχρι το τέλος του πειράματος παρουσιάστηκε μια μείωση στις συγκεντρώσεις του B. Σε αντίθεση με τα μεταλλικά στοιχεία που επηρεάστηκαν από τις τιμές του pH κατά το στάδιο μεταξύ 60<sup>η</sup> – 89<sup>η</sup> ημέρας, το

B παρουσιάζει υψηλές συγκεντρώσεις. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο ότι τα φυτά έχουν αναπτύξει μηχανισμούς απορρόφησης B σε μορφή ασθενούς οξέος  $H_3BO_3$  που αρχίζει να διίστανται μόνο όταν το pH υπερβεί το 8 (Marschner, 1995). Αντίθετα, η μείωση που παρουσίασαν οι συγκεντρώσεις B σε όλες τις επεμβάσεις κατά το τελευταίο στάδιο καρποφορίας οφείλεται στην μεγάλη αύξηση της συγκέντρωσης Ca στις ρίζες, που μειώνει την διαθεσιμότητα B.

Η συγκέντρωση B στα φύλλα των φυτών ακολουθεί επίσης ανοδική πορεία καθ'όλη τη διάρκεια του πειράματος (**Εικ.3.1**) και οφείλεται στο γεγονός ότι καθώς τα φυτά μεγαλώνουν και πλησιάζοντας προς το καλοκαίρι, τα φυτά παρουσιάζουν έντονη διαπνοή. Το B είναι πολύ δυσκίνητο στοιχείο και περνάει στη ρίζα παθητικά με ρεύμα διαπνοής ως  $H_3BO_3$ . Επίσης, η κίνηση του B είναι ανοδική και δεν μετακινείται από τα φύλλα προς τις ρίζες και αποθηκεύεται στα παλαιότερα φύλλα. Από τα παραπάνω, επιβεβαιώνεται η αύξηση των συγκεντρώσεων B στα φύλλα καθώς αυξάνονται οι θερμοκρασίες περιβάλλοντος.

Σύμφωνα με την **Εικόνα**, η συγκέντρωση B στους καρπούς παρουσιάζει μια σταθερή πορεία με εξαίρεση τις ποικιλίες Sammy εμβολιασμένες και μη εμβολιασμένες κατά το τέλος του δεύτερου σταδίου και αρχές του τρίτου σταδίου καρποφορίας. Το B παρόλο που δεν είναι ευκίνητο στοιχείο μέσα στο φυτό υπάρχουν ενδείξεις μεταφοράς του από τα φύλλα σε αναπτυσσόμενους καρπούς.

Σύμφωνα με την **Εικόνα** η συνολική συγκέντρωση απορρόφησης B ακολουθεί μία πτωτική πορεία, βρίσκεται όμως πάνω από το κρίσιμο όριο των  $20 \mu\text{mol l}^{-1}$ , που κάτω από αυτά τα όρια μπορούν να εμφανιστούν τροφοπενίες (deKreijetal.,1999). Το γεγονός της πτωτικής πορείας, μπορεί να οφείλεται στο ότι ο ρυθμός απορρόφησης του B μπορεί να περιοριστεί πολύ από άλλα κατιόντα, όπως τα  $Ca^{+2}$ ,  $K^+$ .

#### 4.2.5 Νάτριο (Na)

Σύμφωνα με την επεξεργασία των αποτελεσμάτων, φαίνεται ξεκάθαρα (**Εικ. 3.26**) ότι από την αρχή μέχρι το τέλος του πειράματος η συγκέντρωση Na στις

ρίζες των φυτών όλων των ποικιλιών ότι παρά τις υψηλές συγκεντρώσεις τις πρώτες 60 ημέρες στην συνέχεια παρουσίασε μια πτωτική πορεία. Η αύξηση ιδιαίτερος από την 33<sup>η</sup> μέχρι την 61<sup>η</sup>, ημέρα μπορεί να οφείλεται στο ότι, επειδή το σύστημα ήταν κλειστό είχε ως αποτέλεσμα την βαθμιαία αύξηση των συγκεντρώσεων Na<sup>+</sup>. Στο συγκεκριμένο διάστημα, οι συγκεντρώσεις των Mg<sup>+2</sup> και Ca<sup>+2</sup> είχαν χαμηλές συγκεντρώσεις στα φύλλα και στις ρίζες, που μπορεί να οφείλεται στον ανταγωνισμό από τις υψηλές συγκεντρώσεις Na στις ρίζες (Sannaset.al, 2009). Επίσης, υπάρχουν αναφορές που δείχνουν σημαντική μείωση του Ca<sup>+2</sup> λόγω της αλατότητας (Mavrogianopoulosetal., 2002). Αντιθέτως, μετά την τρίτη δειγματοληψία οι συγκεντρώσεις Na παρουσίασαν πτωτική πορεία. Αυτή η μείωση της συγκέντρωσης Na, οφείλεται στην αύξηση των συγκεντρώσεων Ca στο περιβάλλον της ρίζας σε υψηλά επίπεδα. Τα ιόντα Ca, αντικαθιστούν τα ιόντα Na από την επιφάνεια ανταλλαγής ( McGrath,2002, Salt, 1998).

Η παραπάνω θεωρία επιβεβαιώνεται και από την **Εικόνα 3.25**, όπου η συγκέντρωση Na στα φύλλα των φυτών όλων των ποικιλιών κυμαίνεται σε επίπεδα πολύ χαμηλά και ακολουθεί μια πτωτική πορεία, καθ' όλη την περίοδο της καλλιέργειας. Οι ελάχιστες τιμές που παρουσιάζονται στις συγκεντρώσεις Na στα φύλλα, οφείλονται στο ότι παρουσιάζονται μέγιστες τιμές στις συγκεντρώσεις Ca στα φύλλα. Όμως, κατά το διάστημα 20<sup>η</sup>-40<sup>η</sup> ημέρες η συγκέντρωση Na παρουσίασε υψηλές τιμές, που οφείλετε στην υψηλή συγκέντρωση στις ρίζες. Αυτό αποδεικνύεται και από τους BethkeandDrew, 1992, οι οποίοι σε πειράματα σε πιπεριά διαπίστωσαν, ότι υψηλές συγκεντρώσεις Na στην περιοχή της ρίζας αυξάνει την περιεκτικότητα των ιστών των φυτών.

Η συγκέντρωση Na στους καρπούς, σε όλη την διάρκεια του πειράματος παρουσίασε χαμηλές τιμές, παρουσιάζοντας υψηλές συγκεντρώσεις (**Εικ. 3.24**) στην αρχή του τρίτου σταδίου καρποφορίας. Αντίστοιχα, οι συγκεντρώσεις απορρόφησης Ca την ίδια περίοδο παρουσίασαν ελάχιστες τιμές στις συγκεντρώσεις.

Σύμφωνα με την **Εικόνα 3.27** η συνολική συγκέντρωση απορρόφησης Na ακολουθεί μία πτωτική πορεία. Το γεγονός αυτό μπορεί να οφείλεται στο ότι ο ρυθμός απορρόφησης του Na μπορεί να περιοριστεί πολύ από το Ca<sup>+2</sup>, λόγω ότι το Ca<sup>+2</sup> επηρεάζει καθοριστικά την εκλεκτική ικανότητα της κυτταρικής

μεμβράνης, στο να απεκκρίνει βλαπτικά στοιχεία όπως το Na (SonnedandWelles, 1998). Επίσης το Na<sup>+</sup>, δρα ανταγωνιστικά ως προς την αφομοίωση των στοιχείων K<sup>+</sup>, P, Fe<sup>+2</sup> και Zn<sup>+2</sup> (BentonJ.,2012).

#### 4.3 Συζήτηση και συμπεράσματα στην παραγωγή βιομάζας

Σύμφωνα με την επεξεργασία των αποτελεσμάτων, διαπιστώνεται ότι (**Εικ. 3.2**), ότι στο συνολικό χλωρό βάρος φύλα παρουσιάστηκε μια αυξητική τάση καθ'όλη την διάρκεια της καλλιέργειας. Στο διάστημα μεταξύ 60<sup>η</sup> - 89<sup>η</sup> ημέρας το συνολικό χλωρό βάρος φύλλων αλλά και των βλαστών (**Εικ. 3.2, 3.4**) παρουσίασαν μια πορεία σταθερή ή και ελάχιστα που οφείλετε στην αυξημένη EC του θρεπτικού διαλύματος. Ο EviatarHyeretal., 2012, διαπίστωσε ότι αυξανόμενης των τιμών της EC τα φυτά μειώνουν τους ρυθμούς διαπνοής με αποτέλεσμα την μείωση της βιομάζας. Επίσης, την συγκεκριμένη περίοδο οι συγκεντρώσεις Na στις ρίζες παρουσίασαν τις μέγιστες τιμές και αυτό είχε ως αποτέλεσμα την μείωση του χλωρού- ξηρού βάρους στα φύλλα (**Εικ. 3.5**) και τους βλαστούς (**Εικ. 3.7**). Σε αντίστοιχα αποτελέσματα κατέληξαν οι K. Chartzoulakis, G. Klaraki, 2000, σε πείραμα σε πιπεριά τύπου lamuyo. Οι ρίζες επηρεάστηκαν ως προς το συνολικό χλωρό βάρος (**Εικ. 3.3**) από τις συγκεντρώσεις αλάτων όταν οι τιμές τους ήταν ιδιαίτερα υψηλές. Παρόμοια αποτελέσματα, έδειξε σε πειράματα του, ο AyidinGunezet. al., 1996, που έδειξε ότι η υψηλή συγκέντρωση Na μείωσε εκτός της ανάπτυξη των φυτών και το ξηρό βάρος των ριζών. Επίσης, ο EviatarHyeretal., 2012, έδειξε σε πειράματα σε πιπεριά ότι αυξημένη EC είχε ως αποτέλεσμα την μείωση της διαπνοής, με αποτέλεσμα την μείωση της μάζας της ρίζας. Σε επίπεδο ποικιλιών παρατηρείτε ότι τα εμβολιασμένα φυτά παρουσίασαν χαμηλότερα συνολικά χλωρά βάρη σε φύλλα, βλαστούς και ρίζες σε σχέση με τα αυτόρριζα φυτά και μάλιστα οι διαφορές ήταν στατιστικώς σημαντικές, ιδιαίτερος κατά το τρίτο στάδιο καρποφορίας στο χλωρό βάρος των ιστών (ρίζα, βλαστός, φύλλα). Αντιστοίχως, το ξηρό βάρος παρέμεινε σε χαμηλότερα επίπεδα στους ιστούς (**Εικ. 3.5, 3.6, 3.7**) σε σχέση με τα μη εμβολιασμένα φυτά.



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Adams, P., 1994. Nutrition of greenhouse vegetables in NFT and hydroponic system. *Acta Hort.* 361, 145-257.
- Aydin Gunes et al., 1996. Effect of salinity on stomatal resistance, proline and mineral composition of pepper. *Journal of Plant Nutrition* 19(2):389-396.
- Adams P. 2002. Nutritional control in hydroponics. In: Savvas D, Passam H, eds. *Hydroponic production of vegetables and ornamentals*. Athens, Greece: Embryo Publications, 211–261.
- Cansuelo Penella, et. al., 2013. Evaluation for salt stress tolerance of pepper genotypes to be used as rootstocks. *Journal of Food, Agriculture & Environment* 1101-1107.
- Chartzoulakis K., Klapaki G., 2000. Response of two greenhouse pepper hybrids to NaCl salinity during different growth stages. *Sci. Hort.*, pages 247-260.
- Cooper, A. 1979. *The ABC of NFT*. London, UK: Grower Books.
- Cooper, A.J. 1975. Crop production in recirculating nutrient solution. *Sci. Hort.*, 3, 251–258.
- C. Stanghellini, F. Kempkes, E. Heuvelink, A. Bonasia, A. Karas 2003. Water and nutrient uptake of sweet pepper and tomato as affected by watering regime and salinity. *Acta Hort.* 614.88 .
- D. Savvas, V. A. Pappa, A. Kotsiras and G. Gizas. NaCl Accumulation in a Cucumber Crop Grown in a Completely Closed Hydroponic System as Influenced by NaCl Concentration in Irrigation Water. *European Journal of Horticultural Science*, 217-223.
- De Kreij, C. 1995. Latest insights into water and nutrient control in soilless cultivation. *Acta Hort.*, 408:47-61.
- De Kreij, C. and van Leeuwen, G.J.L. 2001. Growth of pot plants in treated coir dust as compared to peat. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 32, 2255–2265.
- De Kreijk, C., 1999. Production blossom-end rot, and cation uptake of sweet pepper as affected by sodium, Catio ratio, and EC of the nutritient solution, *Gartenbaunwissenschaft* 64, 158-164.
- Eastwood, T. 1947. *Soilless Growth of Plants*. 2nd Edition. Reinhold Publishing, New York.
- Eviatar Ityel, et al. 2012. An artificial capillary barrier to improve root-zone conditions for horticultural crops: Response of pepper plants to matric head and irrigation water salinity. *Agricultural water management* p.g. 13-20.

- Gericke, W.F. 1937. Hydroponics – crop production in liquid culture media. *Science*, 85, 177–178.
- H Lycoskoufis, D. Savvas, G. Mavrogianoulos, 2005. Growth, gas exchange, and nutrient status in pepper (*Capsicum annuum* L.) grown in recirculating nutrient solution as affected by salinity imposed to half of the root system. *Scientia Hort.* Pages 147–161.
- High Electrical Conductivity and Radiation-based Water Management Improve Fruit Quality of Greenhouse Tomatoes Grown in Rockwool Simon Chrétien and André Gosselin. 2005. Martine Dorais
- Marschner, H., 1995, *Mineral Nutrition of Higher Plants*, Academic Press, New York
- 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, 557-564
- 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, 557-564
- Olympios C.M 2008 Protected Cultivation in Greece 2nd Coordinating Meeting of the Regional FAO Working Group on Greenhouse Crop Production in the SEE Countries p:30
- Olympios, C.M. 1992. Soilless media under protected cultivation: rockwool, peat, perlite and other substrates. *Acta Hort. (ISHS)*, 323, 215–234.
- SAVVAS, D., CHATZIEUSTRATIOU, E., PASCHALIDIS, C. and SIGRIMIS, N. (2009). Impact of a progressive Na and Cl accumulation in the root zone on pepper grown in a closed-cycle hydroponic system. *Acta Hort.* 807, 451-456.
- SAVVAS, D., PAPPA, V.A., GIZAS, G. and MAGLARAS, L. (2006). Influence of NaCl concentration in the irrigation water on salt accumulation in the root zone and yield in a cucumber crop grown in a closed hydroponic system. *Acta Hort.* 697: 93-99.
- Savvas D., Passam H.C. (Embryo Publications, Athens, Greece), pp 25–101.
- Savvas, Dimitrios et al., 2010. *Impact of grafting on product quality of fruit vegetables*,
- Savvas D. and Adamidis K. 1999: Automated management of nutrient solutions based on target electrical conductivity, pH and nutrient concentration ratios. *J. Plant Nutr.* 22(9):1414-1432.
- Savvas, D. 2001 Nutritional management of gerbera (*Gerbera jamesoni*) grown in a closed soilless culture system. *Acta Hort.* 554:175–182.

- Schwarz D., R. Kuchenbuch 1998. Water uptake by tomato plants grown in closed hydroponic system dependend on the ec-level. ActaHortic.458.41
- Sonneveld, C,2000. Effects of salinity on substrade grown vegetables and organomental in greenhouse horticulture. PhD. Thesis. University of Wageningen, The Netherlands.
- Taiz L. and Zeiger E. 1991. Plant Physiology. Sunderland: Sinauer Associates.
- Taiz L. and Zeiger E. 1998. Plant Physiology. Sunderland: Sinauer Associate
- Teshome Tadesse, Michael A. Nichols & Keith J. Fisher (1999). Nutrient conductivity effects on sweet pepper plants grown using a nutrient film technique, New Zealand. Journal of Crop and Horticultural Science, 27:3, 229-23
- Γιαννόπουλος Ι. 2010, πτυχιακή εργασία: Οι επιπτώσεις του NaCl του θρεπτικού διαλύματος, κλειστού συστήματος υδροπονικών καλλιέργειων, στο βαθμό αξιοποίησης του νερού και των θρεπτικών στοιχείων.
- Καραμπουρνιώτης Γεώργιος Α., 2003, Φυσιολογία καταπονήσεων των φυτών, οι λειτουργίες των φυτών κάτω από αντίξοες συνθήκες, σελ 31-132Κοσμάς Κ., 2005.Σημειώσεις γενικής εδαφολογίας. Εκδόσεις Γ.Π.Α
- Μουστάκας Ν., 2009. Σημειώσεις προβληματικά εδάφη - βελτίωση
- Μαυρογιαννόπουλος Γ. 2006. Υδροπονικές εγκαταστάσεις. Εκδόσεις Αθ. Σταμούλη, Αθήνα-Πειραιάς.
- Πατεράκης Π. 2013, πτυχιακή εργασία: συγκριτική αξιολόγηση εγχώριων υποστρωμάτων καλλιέργειας εκτός εδάφους για παραγωγή τομάτας σε θερμοκήπιο
- Ολύμπιος, Χ., 2001. Η τεχνική της καλλιέργειας των κηπευτικών στα θερμοκήπια. Εκδόσεις Σταμούλη Α,Ε. Αθήνα.
- Ολύμπιος Χρήστος Μ., 2001, Η Τεχνική της καλλιέργειας των κηπευτικών στα θερμοκήπια. Αθήνα, σελ. 144-265
- Ρουμπελάκη-Αγγελάκη, Κ., 2004. *Φυσιολογία Φυτών - Από το μόριο στο περιβάλλον*, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης
- Σάββας Δημήτριος, 2012. Καλλιέργειες εκτός εδάφους: υδροπονία, υποστρώματα. Εκδόσεις Αγρότυπος.
- Σάββας Δημήτριος, 2012. Καλλιέργειες εκτός εδάφους: υδροπονία, υποστρώματα. Εκδόσεις Αγρότυπος. σελ. 276-285
- Σάββας Δημήτριος. 2007. Εισαγωγή στις καλλιέργειες εκτός εδάφους.
- Σάββας Δ. 2003. Γενική Ανθοκομία. ΤΕΙ Ηπείρου Τμήμα Ανθοκομίας και Αρχιτεκτονικής Τοπίου
- Σάββας Δ. 2005. Θρεπτικά Διαλύματα,. ΤΕΙ Ηπείρου Τμήμα Ανθοκομίας και Αρχιτεκτονικής Τοπίου
- Σάββας Δημήτριος. 2013. Γενική λαχανοκομίας. Εκδόσεις Γ.Π.Α.

- Τσαπικούνης, Φ. 1997. Θρέψη-Λίπανση των φυτών. Μέρος Λ'. Λαχανικά-Βιομηχανικά φυτά, Φυτά μεγάλης καλλιέργειας. Εκδόσεις Σταμούλης. Αθήνα,