

**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΚΗΠΕΥΤΙΚΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

**Επίδραση της καλλιεργητικής ποικιλίας και του υποκειμένου
εμβολιασμού στην απορρόφηση θρεπτικών μακροστοιχείων από
πιπεριά καλλιεργούμενη σε κλειστό υδροπονικό σύστημα**

**ΓΙΑΓΤΖΟΓΛΟΥ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ
ΓΕΩΠΟΝΟΣ**



ΑΘΗΝΑ 2015

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΚΗΠΕΥΤΙΚΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Επίδραση της καλλιεργητικής ποικιλίας και του υποκειμένου
εμβολιασμού στην απορρόφηση θρεπτικών μακροστοιχείων από
πιπεριά καλλιεργούμενη σε κλειστό υδροπονικό σύστημα

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

Σάββας Δημήτριος
Καθηγητής

Μέλη Συμβουλευτικής Επιτροπής

Ακουμιανάκης Κωνσταντίνος
Καθηγητής

Καραπάνος Ιωάννης
Λέκτορας

ΑΘΗΝΑ 2015

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Αναπληρωτή Καθηγητή και επιβλέπων της παρούσας διατριβής κ. Σάββα Δημήτριο για την πολύτιμη ευκαιρία που μου έδωσε να εντρυφήσω στην επιστήμη της υδροπονίας αλλά και για την σημαντική καθοδήγηση του τόσο κατά τη διάρκεια του πειράματος όσο και κατά την εκπόνηση της διατριβής αυτής.

Ευχαριστώ επίσης τον υποψήφιο Διδάκτωρ κ. Ροπόκη Ανδρέα για την διαρκή επαγρύπνηση, καθοδήγηση και επίβλεψή του σε όλα τα στάδια του πειράματος καθώς επίσης και την Διδάκτωρ κ. Ντάτση Γεωργία για τις χρησιμότερες συμβουλές της και την συνεισφορά της στη συγγραφή αυτής της μελέτης.

Τις θερμές μου ευχαριστίες στους καθηγητές μου κ. Ακουμιανάκη Κωνσταντίνο, κ. Καραπάνο Ιωάννη και κ. Πάσσαμ Χάρολντ καθώς επίσης στους συναδέλφους μου Γκινοςάντη Στέφανο, Τρυφονόπουλο Ιωάννη και Όλγα Δαρβίρη για την συμβολή τους στην επιτυχή περάτωση του πειράματος.

Θα ήταν μεγάλη παράληψή μου να μην ευχαριστήσω τις υποψήφιες Διδάκτορες κ. Κοντοπούλου Χαριτίνη και κ. Μακρογιάννη Δέσποινα καθώς επίσης τον υπεύθυνο του εργαστηρίου Εδαφολογίας κ. Γεροντίδη Στυλιανό για την βοήθειά τους και τις χρήσιμες οδηγίες τους κατά τη διάρκεια των εργαστηριακών αναλύσεων.

Κλείνοντας, υπερευχαριστώ τους γονείς μου για την απaráμιλλη υποστήριξή τους και την τυφλή πίστη τους σε μένα, μα πάνω απ' όλα *τριών τούτων ἔνεκα χάριν ἔχειν τῇ Τύχῃ· πρῶτον μὲν ὅτι ἄνθρωπος ἐγενόμην καὶ οὐ θηρίον, εἴτα ὅτι ἀνὴρ καὶ οὐ γυνή, τρίτον ὅτι Ἕλλην καὶ οὐ βάρβαρος.*

Γιατζόγλου Παναγιώτης

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	4
SUMMARY	5
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	6
1.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ & ΟΡΙΣΜΟΙ	6
1.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΕΚΤΟΣ ΕΔΑΦΟΥΣ	7
1.2.1 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΕΚΤΟΣ ΕΔΑΦΟΥΣ	7
1.2.2 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΕΚΤΟΣ ΕΔΑΦΟΥΣ	9
1.3 ΘΡΕΠΤΙΚΑ ΔΙΑΛΥΜΑΤΑ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ	10
1.3.1 ΕΙΔΙΚΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ (EC)	11
1.3.2 ΔΕΙΚΤΗΣ ΟΞΥΤΗΤΑΣ (pH)	12
1.4 ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΣΕ ΡΗΧΟ ΡΕΥΜΑ ΘΡΕΠΤΙΚΟΥ ΔΙΑΛΥΜΑΤΟΣ (NFT)	13
1.5 ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΟΣ ΡΟΛΟΣ ΜΑΚΡΟΣΤΟΙΧΕΙΩΝ (N, P, K, Ca, Mg)	15
1.5.1 ΑΖΩΤΟ (N)	15
1.5.2 ΦΩΣΦΟΡΟΣ (P)	16
1.5.3 ΚΑΛΙΟ (K)	18
1.5.4 ΑΣΒΕΣΤΙΟ (Ca)	19
1.5.5 ΜΑΓΝΗΣΙΟ (Mg)	20
1.6 ΠΙΠΕΡΙΑ (<i>Capsicum annuum</i> var. <i>annuum</i> L.)	22
1.6.1 ΚΑΤΑΓΩΓΗ-ΙΣΤΟΡΙΚΟ	22
1.6.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΙΚΗ ΚΑΤΑΤΑΞΗ	22
1.6.3 ΒΟΤΑΝΙΚΟΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΕΣ	24
1.6.3.1 Στέλεχος	24
1.6.3.2 Ριζικό σύστημα	25
1.6.3.3 Φύλλα	25
1.6.3.4 Άνθη	25
1.6.3.5 Καρπός	26
1.6.4 ΔΙΑΙΤΗΤΙΚΗ - ΘΡΕΠΤΙΚΗ ΑΞΙΑ	27
1.6.5 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ	27
1.6.6 ΛΙΠΑΝΣΗ ΚΑΙ ΘΡΕΨΗ	28
1.7 ΕΜΒΟΛΙΑΣΜΟΣ	30
1.7.1 ΙΣΤΟΡΙΚΟ	30
1.7.2 ΟΡΙΣΜΟΣ	31
1.7.3 ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ ΕΜΒΟΛΙΑΣΜΟΥ	31
1.7.4 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΕΜΒΟΛΙΑΣΜΟΥ ΣΤΑ ΛΑΧΑΝΙΚΑ	32
1.7.4.1 Ανθεκτικότητα στις βιοτικές καταπονήσεις	32
1.7.4.2 Ανθεκτικότητα στις αβιοτικές καταπονήσεις	32

1.7.5 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΕΜΒΟΛΙΑΣΜΟΥ ΣΤΑ ΛΑΧΑΝΙΚΑ	34
1.7.6 ΕΜΒΟΛΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΛΗΨΗ ΘΡΕΠΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ	34
2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	37
2.1 ΦΥΤΙΚΟ ΥΛΙΚΟ	37
2.2 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	37
2.3 ΣΥΣΤΗΜΑ ΥΠΟΣΤΥΛΩΣΗΣ ΚΑΙ ΨΕΚΑΣΜΟΙ	42
2.4 ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΜΕΤΑΧΕΙΡΙΣΕΙΣ	42
2.5 ΟΡΓΑΝΑ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	44
2.5.1 ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ (EC) & ΔΕΙΚΤΗΣ ΟΞΥΤΗΤΑΣ (pH)	44
2.5.2 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΜΑΚΡΟΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΤΟΥΣ ΙΣΤΟΥΣ - ΔΙΑΛΥΜΑΤΑ	45
2.5.2.1 Φασματοφωτομετρία Ατομικής Απορρόφησης (Ca^{+2} , Mg^{+2})	45
2.5.2.2 Φασματομετρία Ατομικής Εκπομπής (K^{+})	47
2.5.2.3 Φασματοφωτομετρία (P, NO_3^{-})	47
2.5.2.4 Διαδικασία μέτρησης ολικού φωσφόρου (P) στους ιστούς	48
2.5.2.5 Διαδικασία μέτρησης νιτρικών (NO_3^{-}) στα διαλύματα	49
2.5.3 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ ΘΡΕΠΤΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ	51
2.6 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	51
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	53
3.1 ΔΕΙΚΤΗΣ ΟΞΥΤΗΤΑΣ (pH)	53
3.2 ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ (EC)	54
3.3 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΜΑΚΡΟΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΤΙΣ ΡΙΖΕΣ	55
3.3.1 Συγκέντρωση Ασβεστίου (Ca^{+2}) στις ρίζες	55
3.3.2 Συγκέντρωση Μαγνησίου (Mg^{+2}) στις ρίζες	57
3.3.3 Συγκέντρωση Καλίου (K^{+}) στις ρίζες	59
3.3.4 Συγκέντρωση Φωσφόρου (P) στις ρίζες	60
3.4 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΜΑΚΡΟΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΤΑ ΦΥΛΛΑ	63
3.4.1 Συγκέντρωση Ασβεστίου (Ca^{+2}) στα φύλλα	63
3.4.2 Συγκέντρωση Μαγνησίου (Mg^{+2}) στα φύλλα	65
3.4.3 Συγκέντρωση Καλίου (K^{+}) στα φύλλα	67
3.4.4 Συγκέντρωση Φωσφόρου (P) στα φύλλα	68
3.5 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΜΑΚΡΟΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΤΟΥΣ ΚΑΡΠΟΥΣ	71
3.5.1 Συγκέντρωση Ασβεστίου (Ca^{+2}) στους καρπούς	71
3.5.2 Συγκέντρωση Μαγνησίου (Mg^{+2}) στους καρπούς	72
3.5.3 Συγκέντρωση Καλίου (K^{+}) στους καρπούς	74
3.5.3 Συγκέντρωση Φωσφόρου (P) στους καρπούς	75

3.6 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ ΜΑΚΡΟΣΤΟΙΧΕΙΩΝ	78
3.6.1 Συγκέντρωση απορρόφησης Ασβεστίου (Ca^{+2})	78
3.6.2 Συγκέντρωση απορρόφησης Μαγνησίου (Mg^{+2})	79
3.6.3 Συγκέντρωση απορρόφησης Καλίου (K^{+})	81
3.6.4 Συγκέντρωση απορρόφησης Φωσφόρου (P)	83
3.6.5 Συγκεντρώσεις απορρόφησης Νιτρικών (NO_3^-)	84
4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ	87
4.1 ΑΣΒΕΣΤΙΟ (Ca^{+2})	87
4.2 ΜΑΓΝΗΣΙΟ (Mg^{+2})	89
4.3 ΚΑΛΙΟ (K^{+})	90
4.4 ΦΩΣΦΟΡΟΣ (P)	91
4.5 ΝΙΤΡΙΚΑ (NO_3^-)	92
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	93
A. ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	95
B. ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	102

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα μελέτη, τέσσερις ποικιλίες πιπεριάς (*Capsicum annuum* L.) καλλιεργήθηκαν σε κλειστό υδροπονικό σύστημα NFT: δύο ποικιλίες τύπου φλάσκας (Orangery, Sondela) και δύο ποικιλίες επιμήκους σχήματος (Bellisa, Sammy) εκ των οποίων η μία (Sammy) ήταν, είτε αυτεμβολιασμένη, είτε εμβολιασμένη σε υποκείμενο RS10 (*Capsicum annuum*). Οι τρεις αυτόρριζες ποικιλίες και οι δύο μορφές της ποικιλίας Sammy συνιστούσαν πέντε πειραματικές επεμβάσεις.

Σκοπός της παρούσας μελέτης ήταν να διερευνηθεί αν υπάρχουν διαφορές στην απορρόφηση θρεπτικών στοιχείων μεταξύ διαφορετικών ποικιλιών, καθώς και μεταξύ αυτεμβολιασμένων και εμβολιασμένων φυτών ίδιας ποικιλίας, όταν τα φυτά σε όλες τις επεμβάσεις τροφοδοτούνται με ένα θρεπτικό διάλυμα τυπικής σύστασης για πιπεριά κάτω από μεσογειακές, κλιματικές συνθήκες. Πιο συγκεκριμένα, μετρήθηκαν οι συγκεντρώσεις των K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , P στις ρίζες, στα φύλλα και στους καρπούς αλλά και οι αναλογίες απορρόφησης μεταξύ των μακροστοιχείων αυτών και του νερού από τα φυτά (συγκεντρώσεις απορρόφησης σε $mmol L^{-1}$), συμπεριλαμβανομένης και της συγκέντρωσης απορρόφησης των NO_3^- .

Τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης υπέδειξαν ότι η ποικιλία Sondela (G) παρουσίασε τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις απορρόφησης NO_3^- , Mg^{+2} και Ca^{+2} διαφέροντας σημαντικά από τις υπόλοιπες ποικιλίες, κάτι που επιβεβαιώθηκε από τις μικρότερες τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας που μετρήθηκαν στο ανακυκλούμενο θρεπτικό διάλυμα κατά τη διάρκεια του πειράματος. Καθίσταται, λοιπόν, σαφής η ανάγκη παροχής θρεπτικών διαλυμάτων με υψηλότερες συγκεντρώσεις NO_3^- , Mg^{+2} και Ca^{+2} σε υδροπονικές καλλιέργειες, κλειστού τύπου, για την ποικιλία Sondela.

Αντιθέτως, καμία σημαντική διαφορά δεν παρουσιάστηκε στις συγκεντρώσεις απορρόφησης όλων των μακροστοιχείων μεταξύ της εμβολιασμένης και αυτεμβολιασμένης ποικιλίας Sammy, κάτι που πρέπει οφείλεται τόσο στον γονότυπο του υποκειμένου όσο και στον συγκεκριμένο συνδυασμό εμβολίου-υποκειμένου.

SUMMARY

In the present study, four pepper cultivars (*Capsicum annuum* L.) were grown in recirculating nutrient solution according to the principles of the Nutrient Film Technique (NFT). Two cultivars of the bell type (Orangery, Sondela) and two of the elongated form (Bellisa, Sammy), one of which (Sammy) was either self-grafted or grafted on a rootstock RS10 (*Capsicum annuum*). The three non-grafted cultivars and the two versions of 'Sammy' i.e. grafted and non-grafted, constituted five experimental treatments.

The purpose of this study was to assess if there are any differences in the nutrient uptake among different pepper cultivars and also between self-grafted and grafted plants of the same cultivar when all plants were supplied with a nutrient solution of a typical composition for pepper, under Mediterranean, climate conditions. More specifically, the concentrations of K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , PO_4^- in the roots, leaves and fruits were measured and the macronutrient to water uptake ratios were estimated, including that of NO_3^- .

The results of this study indicated that 'Sondela' exhibited the highest uptake concentrations of NO_3^- , Mg^{+2} and Ca^{+2} in comparison with all other treatments. This was confirmed by the lowest means of Electric Conductivity in the recycling nutrient solution during the experiment in this treatment. These results point to the need to provide nutrient solutions with higher NO_3^- , Mg^{+2} and Ca^{+2} concentrations in closed-hydroponic crops of 'Sondela'.

In contrast, the uptake concentrations of all macroelements were similar in the grafted and the self-grafted 'Sammy' plants and that must be due to the genotype of the rootstock and the specific combination of the rootstock-scion.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ & ΟΡΙΣΜΟΙ

Καλλιέργεια εκτός εδάφους καλείται κάθε μέθοδος καλλιέργειας φυτών των οποίων το ριζικό σύστημα αναπτύσσεται εκτός του φυσικού εδάφους. Στις σύγχρονες καλλιέργειες εκτός εδάφους, η τροφοδότηση των φυτών με νερό και θρεπτικά στοιχεία βασίζεται στη χορήγηση ενός τεχνητά παρασκευασμένου θρεπτικού διαλύματος. Οι ρίζες αναπτύσσονται είτε απευθείας στο θρεπτικό διάλυμα είτε σε πορώδη, αδρανή, στερεά υλικά τα οποία καλούνται υποστρώματα και διαβρέχονται τακτικά με θρεπτικό διάλυμα το οποίο καλύπτει παράλληλα και τις αρδευτικές ανάγκες των φυτών.

Το θρεπτικό διάλυμα είναι ένα αραιό υδατικό διάλυμα όλων των θρεπτικών στοιχείων που είναι απαραίτητα για τα φυτά. Τα θρεπτικά στοιχεία βρίσκονται διαλυμένα στο νερό κατά κανόνα ως ιόντα ανόργανων αλάτων. Εξαιρέση αποτελούν το βόριο, το οποίο περιέχεται ως ευδιάλυτη ανόργανη χημική ένωση (βορικό οξύ) και ο σίδηρος ο οποίος περιέχεται σε μορφή ευδιάλυτων οργανικών χημικών ενώσεων (διάφοροι τύποι χηλικού σιδήρου).

Ως υπόστρωμα υδροπονικών καλλιεργειών μπορεί να θεωρηθεί κάθε φυσικό προερχόμενο από βιομηχανική επεξεργασία πορώδες υλικό, εκτός από το φυσικό χώμα, το οποίο χάρις στην ύπαρξη των πόρων είναι σε θέση να συγκρατεί νερό (θρεπτικό διάλυμα) και αέρα σε κατάλληλες για την ανάπτυξη των φυτών αναλογίες, με συνέπεια να μπορεί να υποκαθιστά το έδαφος ως μέσο ανάπτυξης του ριζικού συστήματος (Σάββας, 2012).

Στη διεθνή βιβλιογραφία αλλά και στην Ελληνική το σύστημα καλλιέργειας φυτών εκτός εδάφους (soilless culture) αναφέρεται συχνά και με τον όρο υδροπονία (hydroponics), ενώ οι καλλιέργειες αυτού του τύπου καλούνται «υδροπονικές καλλιέργειες» (Steiner, 1976; Jensen and Collins, 1985; Raviv and Lieth, 2008).

1.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΕΚΤΟΣ ΕΔΑΦΟΥΣ

Τα συστήματα καλλιέργειας φυτών εκτός εδάφους χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τα ανοιχτά και τα κλειστά συστήματα. Τα ανοικτά συστήματα καλλιέργειας εκτός εδάφους είναι συστήματα καλλιέργειας σε υποστρώματα. Η πορώδης φύση των υποστρωμάτων τα καθιστά ικανά να συγκρατούν σημαντικές ποσότητες θρεπτικού διαλύματος. Όταν μία καλλιέργεια σε υπόστρωμα ποτίζεται, η ποσότητα θρεπτικού διαλύματος που της παρέχεται μπορεί να υπερβαίνει την ικανότητα του υποστρώματος να το συγκρατήσει. Από τον συνολικό όγκο του διαλύματος που παρέχεται στην καλλιέργεια, ένα ποσοστό δεν συγκρατείται στο υπόστρωμα αλλά απορρέει. Το ποσοστό αυτό καλείται θρεπτικό διάλυμα απορροής ή διάλυμα απορροής ή κλάσμα απορροής ενώ συχνά καλείται και κλάσμα έκπλυσης επειδή το κλάσμα απορροής συμβάλλει στην έκπλυση των αλάτων από το υπόστρωμα. Στην περίπτωση που το διάλυμα απορροής δεν συλλέγεται αλλά απορρίπτεται στο περιβάλλον (συνήθως απορροφάται από το έδαφος του περιβάλλοντος χώρου του θερμοκηπίου), το σύστημα καλλιέργειας καλείται ανοιχτό υδροπονικό σύστημα.

Αντίστοιχα, το σύστημα καλλιέργειας εκτός εδάφους στο οποίο το κλάσμα απορροής, που απομακρύνεται από το χώρο των ριζών συλλέγεται, συμπληρώνεται κατάλληλα με νέο διάλυμα και με τη βοήθεια μιας αντλίας οδηγείται ξανά στα φυτά προς επαναχρησιμοποίηση, καλείται κλειστό υδροπονικό σύστημα. Ουσιαστικά, στα κλειστά συστήματα, οι απορροές νερού και θρεπτικών στοιχείων που προέρχονται από την υδρολίπανση ανακυκλώνονται (Σάββας, 2012).

1.2.1 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΕΚΤΟΣ ΕΔΑΦΟΥΣ

Το σημαντικότερο πλεονέκτημα της υδροπονίας και το πιο εμφανές είναι η ριζική αντιμετώπιση των προβλημάτων που προκαλούνται στις θερμοκηπιακές καλλιέργειες από μεταδιδόμενες μέσω του εδάφους ασθένειες (φουζάριο, βερτισίλλιο, πύθιο, έντομα εδάφους, νηματώδεις κ.λπ.). Γενικά η καλλιέργεια εκτός εδάφους θεωρείται σήμερα ως μία αξιόπιστη εναλλακτική λύση αντιμετώπισης των εδαφικών ασθενειών στα θερμοκήπια,

έναντι της απολύμανσης του εδάφους με χρήση τοξικών χημικών ουσιών, όπως το βρωμιούχο μεθύλιο (Batchelor, 2004).

Με το υδροπονικό σύστημα καλλιέργειας λύνεται ριζικά 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. πολύ βαριά εδάφη) (Σάββας, 2012).

Ιδιαίτερα χρήσιμη είναι η υδροπονία στις περιπτώσεις εκείνες που το χρησιμοποιούμενο νερό άρδευσης έχει υψηλή περιεκτικότητα σε άλατα (ηλεκτρική αγωγιμότητα πάνω από 1-1,5 dS m⁻¹). Στις περιπτώσεις αυτές είναι ίσως ο μόνος τρόπος επιτυχούς αντιμετώπισης του προβλήματος (μόνο για τα ανοιχτά συστήματα) (Σάββας, 2012). Επίσης έχει αποδειχθεί επανειλημμένα στην πράξη ότι η καλλιέργεια τόσο σε καλής ποιότητας υποστρώματα, όσο και σε καθαρό θρεπτικό διάλυμα (π.χ. NFT) πρωιμίζει σημαντικά την πρώτη συγκομιδή (Benoit and Ceustermans, 1995).

Στις υδροπονικές καλλιέργειες το κόστος θέρμανσης είναι μειωμένο καθότι η εξάτμιση του νερού συνοδεύεται πάντοτε από κατανάλωση ενέργειας υπό μορφή λανθάνουσας θερμότητας. Σε ένα θερμοκήπιο που καλλιεργείται υδροπονικά όμως, η εξάτμιση του νερού από την επιφάνεια του εδάφους είναι πρακτικά αμελητέα, δεδομένου ότι αυτό είναι πλήρως καλυμμένο με φύλλο πλαστικού πολυαιθυλενίου. Συνεπώς, οι ανάγκες σε ενέργεια για θέρμανση του αέρα μειώνονται. Εκτός όμως από την εξοικονόμηση ενέργειας λόγω ελαχιστοποίησης της εξάτμισης του νερού από το έδαφος, μειωμένες δαπάνες για θέρμανση προκύπτουν και από το γεγονός ότι η καλλιέργεια παύει να εξαρτάται από την θερμοκρασία του εδάφους του θερμοκηπίου.

Στις καλλιέργειες εκτός εδάφους η θρέψη των φυτών είναι πολύ πιο ακριβής καθώς μπορεί να ελέγχεται και να εποπτεύεται καλύτερα και πιο αξιόπιστα και επίσης μπορεί να διορθώνεται ευκολότερα και ταχύτερα σε περίπτωση που έχει διαπραχθεί κάποιο λάθος. Επίσης με τις υδροπονικές καλλιέργειες ο καλλιεργητής απαλλάσσεται από τις εργασίες της προετοιμασίας του εδάφους (όργωμα, φρεζάρισμα, βασική λίπανση, κ.λπ.) με αποτέλεσμα, αφενός μεν να μειώνονται οι ανάγκες σε εργατικά και αφετέρου να είναι δυνατή η φύτευση νέας καλλιέργειας αμέσως μετά την απομάκρυνση

της προηγούμενης ειδικά όταν το θερμοκήπιο αξιοποιείται όλο το χρόνο (Σάββας, 2012).

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 της ψυχρής εποχής του έτους έχουν σαν τελικό αποτέλεσμα την αύξηση των αποδόσεων στις υδροπονικές καλλιέργειες (Verwer, 1978; van Os, 1982; Vogel and Göhler, 1991; Benoit and Ceustermans, 1995). Η αριστοποίηση της θρέψης αλλά και η αποφυγή μιας σειράς προβλημάτων τα οποία έχουν εκτεθεί πιο πάνω δίνουν τη δυνατότητα παραγωγής λαχανικών και καλλωπιστικών φυτών καλύτερης ποιότητας (Benoit and Ceustermans, 1995).

Ένα άλλο πλεονέκτημα της υδροπονίας είναι οι αυξημένες δυνατότητες μηχανοποίησης και αυτοματοποίησης των καλλιεργητικών εργασιών (Benoit and Ceustermans, 1995) όπως επίσης και η δυνατότητα αποτελεσματικότερης προστασίας του περιβάλλοντος, όταν η καλλιέργεια λαμβάνει χώρα σε κλειστό υδροπονικό σύστημα. Το πλεονέκτημα αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε περιοχές στις οποίες το πόσιμο νερό είναι επιφανειακό ή προέρχεται από μικρό βάθος με συνέπεια να ρυπαίνεται εύκολα όταν μέρος των λιπασμάτων ξεπλένεται και απομακρύνεται από το ανώτερο στρώμα του εδάφους (Savvas, 2002).

1.2.2 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΕΚΤΟΣ ΕΔΑΦΟΥΣ

Όπως όλες σχεδόν οι τεχνικές που έχουν αναπτυχθεί και εφαρμοσθεί από τον άνθρωπο, η υδροπονία έχει και αυτή ορισμένα μειονεκτήματα. Καταρχάς, το κόστος της αρχικής εγκατάστασης μιας υδροπονικής μονάδας είναι υψηλότερο σε σύγκριση με το αντίστοιχο κόστος για μια καλλιέργεια που λαμβάνει χώρα στο έδαφος. Το κόστος αυτό αποτελεί κυρίως η δαπάνη αγοράς των πάγιων εγκαταστάσεων παρασκευής και τροφοδοσίας του θρεπτικού διαλύματος καθώς και τα έξοδα προμήθειας του υποστρώματος καλλιέργειας (εφόσον χρησιμοποιείται υπόστρωμα).

Η εμφάνιση των δυσμενών επιδράσεων ενός λανθασμένου χειρισμού είναι πιο γρήγορη και συχνά πιο έντονη στις υδροπονικές καλλιέργειες. Στην προκειμένη περίπτωση πρόκειται για μία ιδιότητα της υδροπονίας (την

ταχύτερη αντίδραση σε ορισμένους καλλιεργητικούς χειρισμούς σε σύγκριση με τις καλλιέργειες στο έδαφος) η οποία αποτελεί και πλεονέκτημα (όταν πρόκειται για επιθυμητούς χειρισμούς που αποσκοπούν σε συγκεκριμένο αποτέλεσμα) αλλά συγχρόνως και μειονέκτημα (όταν πρόκειται για λανθασμένους ή άστοχους χειρισμούς).

Η επάρκεια ενός ελάχιστου μορφωτικού επιπέδου του επικεφαλής της επιχείρησης για την σωστή εφαρμογή της υδροπονίας σε μία θερμοκηπιακή μονάδα είναι απαραίτητη. Η ισχύς αυτής της προϋπόθεσης είναι σχετική, δεδομένου ότι υπάρχει η κατάλληλη υποστήριξη από ειδικευμένο σύμβουλο-γεωπόνο, η εφαρμογή υδροπονίας είναι δυνατή ακόμη και από έναν επιμελή αγρότη με στοιχειώδες επίπεδο γραμματικών γνώσεων (Σάββας, 2012).

Στα κλειστά υδροπονικά συστήματα ενέχει ο κίνδυνος εύκολης εξάπλωσης μιας μόλυνσης μέσω του ανακυκλούμενου θρεπτικού διαλύματος εφόσον προσβληθεί ένα φυτό. Στην πράξη βέβαια ο κίνδυνος αυτός είναι σχετικά μικρός έως σπάνιος (van Os, 1982). Τέλος, στα ανοιχτά υδροπονικά συστήματα η κατανάλωση λιπασμάτων είναι αυξημένη σε σύγκριση με το έδαφος ενώ στην πραγματικότητα οι μόνες ποσότητες λιπασμάτων που είναι αναγκαίες αποκλειστικά και μόνο στις υδροπονικές καλλιέργειες, ενώ στο έδαφος εξοικονομούνται, είναι αυτές που αφορούν τα λιπάσματα ασβεστίου (κατά κανόνα υδατοδιαλυτό νιτρικό ασβέστιο) καθώς και τα σχετικά υψηλού κόστους χηλικά λιπάσματα σιδήρου (Σάββας, 2012).

1.3 ΘΡΕΠΤΙΚΑ ΔΙΑΛΥΜΑΤΑ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ

Γενικά, η σύνθεση του θρεπτικού διαλύματος τροφοδοσίας που χρησιμοποιείται στις υδροπονικές καλλιέργειες, προκύπτει από τη βασική αναλογία των ανόργανων θρεπτικών στοιχείων του φυτού και το βαθμό απορρόφησης των διάφορων στοιχείων από το ριζικό σύστημα. Η βασική αναλογία του θρεπτικού διαλύματος τροφοδοσίας προσδιορίζει την ποσοτική σχέση που πρέπει να έχουν τα διάφορα ιόντα στο διάλυμα, η οποία είναι διαφορετική για κάθε φυτό. Για την παρασκευή του θρεπτικού διαλύματος η σύνθεση αυτή διορθώνεται ανάλογα, με τα αντίστοιχα ιόντα που τυχόν υπάρχουν στο νερό άρδευσης, όπως προκύπτουν και από τη χημική ανάλυση του νερού (Μαυρογιαννόπουλος, 2006).

Η ημερήσια απορρόφηση των θρεπτικών στοιχείων από την καλλιέργεια έχει σημαντικές διακυμάνσεις, που επηρεάζονται από τις συνθήκες καλλιέργειας και κυρίως από τις συνθήκες του περιβάλλοντος. Αφού η ακτινοβολία επηρεάζει άμεσα τη διαπνοή και τη φωτοσύνθεση των φυτών, είναι επόμενο να επηρεάζει και την απορρόφηση των θρεπτικών στοιχείων. Το στάδιο ανάπτυξης των φυτών και το μέγεθος της καρποφορίας επηρεάζουν επίσης την απορρόφηση. Έτσι, αυτή μεταβάλλεται σημαντικά κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας.

Η σύνθεση επομένως του θρεπτικού διαλύματος, κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης των φυτών, αναπροσαρμόζεται ανάλογα με το βλαστικό στάδιο των φυτών και τις κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν (Sonneveld *et al*, 1990). Συνήθως οι ποσότητες διαφόρων θρεπτικών μονάδων (iónτων) που χρησιμοποιούνται στα θρεπτικά διαλύματα μετρούνται σε mmol L⁻¹ ή σε mg L⁻¹, μια και οι μονάδες αυτές, που εκφράζουν αριθμό íόντων ή αριθμό ηλεκτρικών φορτίων και όχι βάρη, διευκολύνουν τους υπολογισμούς των σχέσεων και των ισοζυγίων.

Η ιοντική ισορροπία του διαλύματος επιβάλλει το άθροισμα των θετικών στοιχειωδών ηλεκτρικών φορτίων που προέρχονται από τα κατιόντα του διαλύματος να είναι ίσα με το άθροισμα των αρνητικών στοιχειωδών ηλεκτρικών φορτίων που προέρχονται από τα ανιόντα. Έτσι, το άθροισμα των κατιόντων στο διάλυμα πρέπει να είναι ίσο με το άθροισμα των ανιόντων, εκφρασμένα σε mg L⁻¹ (Μαυρογιαννόπουλος, 2006).

1.3.1 ΕΙΔΙΚΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ (EC)

Η συνολική συγκέντρωση των íόντων στο διάλυμα που βρίσκεται στην περιοχή της ρίζας εκφράζεται συνήθως με την ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα του διαλύματος (EC). Η ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα χάριν συντομίας αναφέρεται απλώς ως ηλεκτρική αγωγιμότητα και εκφράζει την ικανότητα ενός ηλεκτρολυτικού διαλύματος βρισκόμενου εντός κύβου πλευράς ίση με την μονάδα του μήκους να άγει το ηλεκτρικό ρεύμα, αν μέσω δύο ηλεκτροδίων τεθεί υπό διαφορά δυναμικού (Μαυρογιαννόπουλος, 2006).

Σε μία συγκεκριμένη θερμοκρασία, η ηλεκτρική αγωγιμότητα ενός υδατικού διαλύματος είναι ανάλογη της συγκέντρωσης των íόντων που

βρίσκονται διαλυμένα σε αυτό. Έτσι, στην περίπτωση των νερών άρδευσης και των θρεπτικών διαλυμάτων, η EC είναι μέτρο της περιεκτικότητάς τους σε θρεπτικά στοιχεία και άλλα ανόργανα άλατα (Σάββας, 2012). Η τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας όμως δεν δίνει καμία ένδειξη για το είδος των ιόντων που βρίσκονται στο διάλυμα. Για την ακρίβεια, η ηλεκτρική αγωγιμότητα δεν συνδέεται με την ίδια ακριβώς σχέση με τη συγκέντρωση των ιόντων επειδή τα διάφορα ιόντα φέρουν διαφορετικά ηλεκτρικά φορτία στο υδατικό διάλυμα. Για πρακτικούς όμως σκοπούς μπορεί να εκτιμηθεί η συνολική συγκέντρωση των συνηθισμένων αλάτων μέσω της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, με τη βοήθεια της εμπειρικής σχέσης $C \approx 10 \cdot EC$, όπου C είναι η συνολική συγκέντρωση αλάτων στο νερό σε mg L^{-1} και EC η ηλεκτρική αγωγιμότητα σε dS m^{-1} .

Η μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας ενός διαλύματος γίνεται με ειδικό όργανο που ονομάζεται αγωγιμόμετρο. Πρόκειται για μία απλή συσκευή η οποία διαθέτει δύο πόλους από τους οποίους διέρχεται ασθενές ηλεκτρικό ρεύμα. Όταν οι δύο πόλοι βυθισθούν σε ένα διάλυμα, το αγωγιμόμετρο μετράει την αντίσταση (I) του ηλεκτρικού ρεύματος που διέρχεται από το διάλυμα μεταξύ των δύο πόλων. Μέσω της σχέσης $I = U/R$ υπολογίζεται αυτόματα μέσω επεξεργαστή η αντίσταση του διαλύματος και στη συνέχεια εμφανίζεται η ηλεκτρική αγωγιμότητα σε dS m^{-1} στην οθόνη του οργάνου (Μαυρογιαννόπουλος, 2006).

1.3.2 ΔΕΙΚΤΗΣ ΟΞΥΤΗΤΑΣ (pH)

Το pH είναι το μέτρο της ενεργού οξύτητας του διαλύματος, δηλαδή το μέτρο της περιεκτικότητας ενός διαλύματος σε ιόντα υδρογόνου. Το pH δηλαδή δείχνει πόσο όξινο ή πόσο αλκαλικό είναι ένα διάλυμα. Ένας εύκολος και γρήγορος ποσοτικός προσδιορισμός της οξύτητας ή της αλκαλικότητας ενός διαλύματος, χρησιμοποιεί το pH που εκφράζεται από τον αρνητικό δεκαδικό λογάριθμο του πλήθους των οξονίων σε ένα διάλυμα ($\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$). Ο όρος pH προέρχεται από τις λέξεις *potenz* (Γερμανικά), *potential* (Αγγλικά), *potence* (Γαλλικά) και το χημικό σύμβολό του υδρογόνου (H) (Μαυρογιαννόπουλος, 2006).

Το pH είναι ένα μέγεθος καθοριστικής σημασίας για την θρεπτική καταλληλότητα ενός διαλύματος. Όταν το pH είναι υψηλότερο από κάποια κρίσιμα ανώτατα όρια, πολλά θρεπτικά στοιχεία καθίστανται δυσδιάλυτα ή μετατρέπονται σε μη αφομοιώσιμες μορφές για τα φυτά (κυρίως P, Fe, Mn, Zn, Cu), οπότε η διαθεσιμότητά τους για τα φυτά ελαττώνεται σημαντικά (Adams, 2002; Savvas et al., 2003). Αντίστοιχα, όταν το pH πέφτει κάτω από κρίσιμα κατώτατα όρια, ορισμένα θρεπτικά στοιχεία, όπως π.χ. το Mn, καθώς και μη θρεπτικά στοιχεία, όπως π.χ. το Al, καθίστανται πολύ πιο ευδιάλυτα, με συνέπεια η διαθεσιμότητά τους για τα φυτά να αυξάνεται σε τοξικά επίπεδα (Marschner, 1995; Sonneveld, 2002).

Για σχεδόν όλα τα καλλιεργούμενα είδη φυτών, το pH του θρεπτικού διαλύματος στον χώρο των ριζών θα πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 5,5 και 6,3 για να μην υπάρχει πρόβλημα υψηλής ή χαμηλής διαλυτοποίησης κάποιου θρεπτικού ή άλλου χημικού στοιχείου. Τα περισσότερα είδη καλλιεργούνται χωρίς προβλήματα σε ένα εύρος τιμών pH από 5 έως 7 περίπου στο θρεπτικό διάλυμα που περιβάλλει τις ρίζες (Σάββας, 2012).

1.4 ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΣΕ ΡΗΧΟ ΡΕΥΜΑ ΘΡΕΠΤΙΚΟΥ ΔΙΑΛΥΜΑΤΟΣ (NFT)

Η καλλιέργεια σε ρηχό ρεύμα θρεπτικού διαλύματος (Σάββας, 2012) ή σε μεμβράνη θρεπτικού διαλύματος (Μαυρογιαννόπουλος, 2006) είναι γνωστή διεθνώς με το ακρώνυμο NFT (Nutrient Film Technique) και είναι μία υδροπονική μέθοδος καλλιέργειας φυτών στην οποία δεν γίνεται καθόλου χρήση στερεού υποστρώματος. Οι ρίζες των φυτών αναπτύσσονται μέσα σε καθαρό θρεπτικό διάλυμα, το οποίο όμως ρέει συνεχώς, σε αντίθεση με τα προαναφερθέντα συστήματα καλλιέργειας σε λεκάνες γεμισμένες με στάσιμο θρεπτικό διάλυμα. Για να επιτυγχάνεται καλή οξυγόνωση του ριζικού συστήματος, το βάθος του ρέοντος θρεπτικού διαλύματος μέσα στα κανάλια δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τα 2-4 mm (Cooper, 1979).

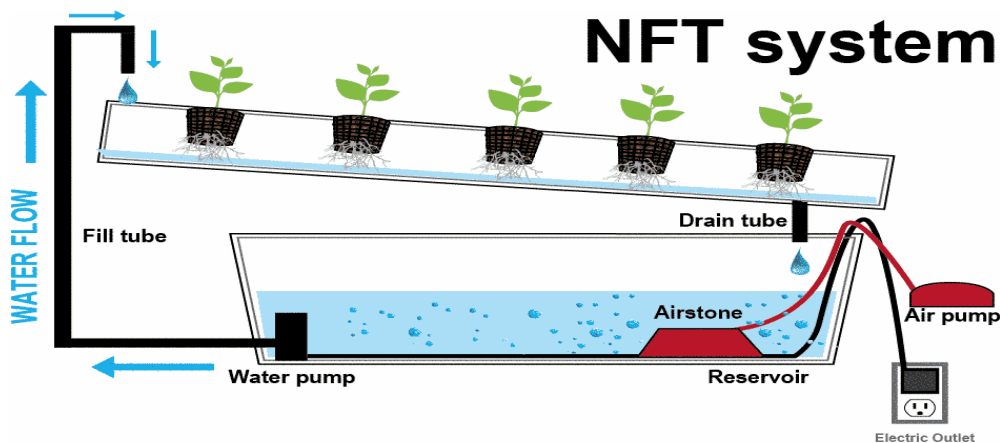
Με την ανάπτυξη της ρίζας σχηματίζεται ένα παχύ πλέγμα ριζών, στο οποίο συμπλέκονται οι ρίζες από όλα τα φυτά του καναλιού και το οποίο αποτελεί το κάτω στήριγμα των φυτών. Το ρηχό ρεύμα του θρεπτικού διαλύματος περνά κάτω από το ριζικό πλέγμα, ενώ το επάνω μέρος του

ριζικού πλέγματος, αν και είναι υγρό, βρίσκεται περισσότερο στον αέρα που του επιτρέπει καλή οξυγόνωση.

Τα κανάλια ή υδρορροές που βρίσκονται οι ρίζες των φυτών έχουν συνήθως πλάτος 0,25-0,3 cm, με κλίση 1,5-2% και είναι συνήθως κατασκευασμένα από λαμαρίνα (Μαυρογιαννόπουλος, 2006) ή από προπυλένιο, από PVC ή άλλη πλαστική ύλη ή ακόμη και από γαλβανισμένο μέταλλο (Σάββας, 2012) που στερεώνεται επάνω σε σιδερένιο σκελετό.

Το θρεπτικό διάλυμα τροφοδοτείται με τη βοήθεια μιας αντλίας στο υψηλότερο σημείο του καναλιού και με την βαρύτητα καταλήγει στο χαμηλότερο σημείο, απ' όπου με σωληνώσεις επιστρέφει στη δεξαμενή θρεπτικού διαλύματος (Μαυρογιαννόπουλος, 2006). Η περιεκτικότητα του θρεπτικού διαλύματος σε οξυγόνο μειώνεται σημαντικά στην πορεία της ροής του μέσα στο κανάλι με συνέπεια να δημιουργούνται προβλήματα υποξίας στα φυτά που βρίσκονται σε απόσταση μεγαλύτερη από 18-20m από το σημείο εισόδου του θρεπτικού διαλύματος στο κανάλι (Puerta *et al.*, 2007). Γι' αυτό, το μήκος των καναλιών στις καλλιέργειες σε συστήματα NFT δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τα 20m (Schwartz, 1995).

Μια μεταβολή στο ρυθμό διαπνοής των φυτών, που συνήθως οφείλεται στη μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας ή του μεγέθους της φυλλικής επιφάνειας, επιβάλλει να υπάρξει επαναρρύθμιση της παροχής, γιατί είναι πιθανό να μην επαρκεί ή να γίνει υπερβολική και να δημιουργήσει έλλειψη οξυγόνου (Μαυρογιαννόπουλος, 2006). Η συνεχής ρύθμιση της παροχής, ανάλογα με την διαπνοή των φυτών, είναι απαραίτητη φροντίδα στην περίπτωση της καλλιέργειας με NFT (Cooper, 1996).



Εικ. 1.1: Υδροπονικό σύστημα καλλιέργειας NFT.

1.5 ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΟΣ ΡΟΛΟΣ ΜΑΚΡΟΣΤΟΙΧΕΙΩΝ (N, P, K, Ca, Mg)

1.5.1 ΑΖΩΤΟ (N)

Το άζωτο (N) είναι ένα θρεπτικό στοιχείο το οποίο είναι απολύτως αναγκαίο για όλους τους ζώντες οργανισμούς και όχι μόνο για τα φυτά. Η ονομασία άζωτο χρησιμοποιήθηκε ακριβώς για να υποδηλώσει ότι χωρίς αυτό το χημικό στοιχείο όχι μόνο δεν υφίσταται αλλά ούτε νοείται ζωή, ούτε ακόμη και σε στοιχειώδη μορφή όπως αυτή των ιών (Σάββας, 2012).

Το άζωτο αποτελεί συστατικό όλων των πρωτεϊνών καθότι είναι απαραίτητο συστατικό των αμινοξέων στα οποία συμμετέχει υπό μορφή αμινομάδας (-NH₂). Έχει υπολογιστεί ότι οι πρωτεΐνες περιέχουν κατά μέσο όρο περίπου 12% N. Επίσης το άζωτο συμμετέχει στη δομή των 5 βάσεων που συνιστούν τα νουκλεϊκά οξέα [αδενίνη (A), θυμίνη (T), γουανίνη (G), κυτοσίνη (C), ουρακίλη (U)] καθώς και στο μόριο ορισμένων συνενζύμων και άλλων μεταβολιτών, μεταξύ των οποίων και της χλωροφύλλης (Mengel and Kirkby, 2001).

Οι μεγαλύτερες πηγές ανόργανου αζώτου για τα φυτά είναι τα νιτρικά και τα αμμωνιακά ιόντα, που απορροφώνται από τη ρίζα. Η αμμωνία είναι τοξική και σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις μέσα στο κύτταρο, γι' αυτό με την είσοδό της σχηματίζονται αμινοξέα και αμίδια, ώστε να μην υπάρξει τοξικότητα. Συνήθως σχηματίζεται πρώτα το γλουταμινικό οξύ και μετά όλα τα άλλα. Η αμμωνία επομένως ενσωματώνεται σε οργανικές ενώσεις στη ρίζα, πριν μετακινηθεί από εκεί, ενώ τα νιτρικά ιόντα μετακινούνται μέσω των ξυλωδών σωλήνων ή μπορούν να αποθηκευτούν στα χυμοτόπια των κυττάρων.

Για να χρησιμοποιηθούν και να ενσωματωθούν τα νιτρικά σε οργανικές ουσίες πρέπει πρώτα να αναχθούν σε αμμωνία μέσα στο φυτό. Η αναγωγή αυτή αποτελεί μία ισχυρή ενδεργονική βιοχημική αντίδραση η οποία απαιτεί ενέργεια ίση περίπου με 120 cal/mol. Αρχικά η ρεδουκτάση των νιτρικών ανάγει τα νιτρικά σε νιτρώδη και στη συνέχεια η ρεδουκτάση των νιτρωδών σε αμμωνία (Μαυρογιαννόπουλος, 2006).

Σε περιπτώσεις τροφοπενίας αζώτου η αύξηση του φυτού επιβραδύνεται ενώ παρατηρείται υδρόλυση των πρωτεϊνών στα παλαιά φύλλα

και μεταφορά των αμινοξέων που απελευθερώνονται στα νέα και τις περιοχές ανάπτυξης. Η έλλειψη αζώτου επιδρά στη μείωση της παραγωγής πρωτεϊνών και επομένως και χλωροπλαστών, γι' αυτό με την έλλειψη εμφανίζεται ένα γενικό κιτρίνισμα των φύλλων καθώς επίσης επιταχύνεται η γήρανση των παλαιών φύλλων.

Η περίσσεια αζώτου στα φυτά έχει ως επακόλουθο την έντονη χρησιμοποίηση των υδατανθράκων για τη σύνθεση οργανικών ενώσεων στα φύλλα, που στη συνέχεια μεταφέρονται στα μέρη αύξησης του φυτού, που είναι οι μεγάλοι καταναλωτές των πρωτεϊνών. Αυτό έχει ως συνέπεια τη ζωηρή ανάπτυξη των φυτών και τη μειωμένη άνθηση και καρπόδεση (Huett, 1996; Marschner, 1995).

1.5.2 ΦΩΣΦΟΡΟΣ (P)

Το οξειδίο του φωσφόρου (P) σε αντίθεση με το N δεν ανάγεται στο φυτό, αλλά παραμένει στην πιο οξειδωμένη μορφή του (Carswell et al., 1996; Ratjen and Gerendás, 2009). Η κυρίαρχη μορφή διαλυτού P στα εδάφη είναι τα φωσφορικά ιόντα, τα οποία προέρχονται από την διαλυτοποίηση φωσφορικών ορυκτών (Sanyal and de Datta, 1991). Οι περισσότερες μορφές του εδαφικού P είναι λίαν δυσδιάλυτες και γι' αυτό οι συγκεντρώσεις διαλυτού εδαφικού P δεν υπερβαίνουν, κατά κανόνα, τα $0,3\text{mg L}^{-1}$ ή $0,01\text{mmol L}^{-1}$ (Schachtman et al., 1998). Λόγω των πολύ χαμηλών συγκεντρώσεων P στο εδαφικό νερό (διαλυτός φώσφορος), τα φυτά έχουν αναγκαστεί στην πορεία της εξέλιξής τους να αναπτύξουν ιδιαίτερα αποτελεσματικούς μηχανισμούς ενεργού απορρόφησης P (Raghothama, 1999).

Η λειτουργία του P σαν συστατικό μακρομοριακών δομών είναι πιο σημαντική στα νουκλεϊκά οξέα, τα οποία, σαν συστατικά του DNA αποτελούν φορείς της γενετικής πληροφορίας και σαν μονάδα του RNA αποτελούν τις δομές, υπεύθυνες για την μετάφραση της γενετικής πληροφορίας. Οι μορφές των οξειδίων του φωσφόρου σχηματίζουν μία γέφυρα μεταξύ νουκλεοσιδικών μονάδων για να συνθέσουν μακρομόρια καθώς επίσης είναι υπεύθυνα για την ισχυρή όξινη φύση των νουκλεϊκών οξέων και ως εκ τούτου για τις υψηλές συγκεντρώσεις κατιόντων στο DNA και στο RNA (Marschner, 2012).

Το ποσοστό του P στα ριβονουκλεϊκά οξέα προς τον συνολικό οργανικά δεσμευμένο P διαφέρει μεταξύ των ιστών και κυττάρων όντας υψηλός στα νεαρά φύλλα, όπου απαιτείται μία μεγάλη ποσότητα rRNA για ταχεία πρωτεϊνοσύνθεση, χαμηλότερη στα ώριμα φύλλα και πολύ χαμηλή στα γερασμένα φύλλα (Suzuki *et al.*, 2001).

Ο φώσφορος, εκτός από βασικό συστατικό των νουκλεϊκών οξέων, αποτελεί επίσης συστατικό των φωσφορολιπιδίων, των φωσφοριωλμένων υδατανθράκων, πολλών συνενζύμων καθώς και προσθετικών ομάδων (πυριδινονουκλεοτίδια, φλαβινοπαράγωγα, FMN, FAD, πυροφωσφορική θειαμίνη, φωσφορική πυριδοξάλη, ADP, ATP, κ.λπ.) και των φυτινικών αλάτων. Με εξαίρεση τον δομικό ρόλο του P στα νουκλεϊκά οξέα και των φυτινικών αλάτων τα οποία συνιστούν μορφή αποθησαυρισμού θρεπτικών στοιχείων, ο κύριος ρόλος του φωσφόρου στα φυτικά κύτταρα είναι συνήθως λειτουργικός (Σάββας, 2012)

Ο απαιτούμενος P για άριστη ανάπτυξη κυμαίνεται από 3-5 mg/g DW κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης του βλαστικού σταδίου, αλλά μερικά φυτά τα οποία έχουν εξελιχθεί σε ιδιαίτερα φτωχά από P εδάφη περιέχουν μία τάξη μεγέθους μικρότερη σε P στα φύλλα τους (Lambers *et al.*, 2010). Η πιθανότητα τοξικότητας P αυξάνεται σε συγκεντρώσεις υψηλότερες από 10 mg g⁻¹ DW. Η τοξικότητα P στα φυτά είναι σπάνια, επειδή τα φυτά ρυθμίζουν μειωτικά τους μεταφορείς των ιόντων P που εμπλέκονται στο δίκτυο πρόσληψης P από το περιβάλλον της ρίζας όταν σε αυτήν παρέχεται περισσότερος P απ' ό τι απαιτείται για άριστη ανάπτυξη (Dong *et al.*, 1999).

Οι αποκρίσεις των φυτών σε τροφοπενία P γίνεται διαμέσου σηματοδότησης σακχάρων (Karthikeyan *et al.*, 2007) και είναι πιο συχνό φαινόμενο σε σχέση με την τοξικότητα P. Σε φυτά με τροφοπενία P, η μείωση της φυλλικής επιφάνειας (Fredeen *et al.*, 1989) καθώς επίσης και ο αριθμός των φύλλων (Lynch *et al.*, 1991), είναι τα πιο εμφανή συμπτώματα. Η επιβράδυνση της ανάπτυξης, ο βιολετί χρωματισμός των φύλλων λόγω επιτάχυνσης σχηματισμού ανθοκυανών, η μειωμένη υδραυλική αγωγιμότητα της ρίζας, ο μειωμένος αριθμός ανθέων στην ταξιανθία και η επιβράδυνση της διαφοροποίησης των οφθαλμών ακριβώς επειδή ο P επιδρά στην ισορροπία του φυτοχρώματος αποτελούν, σύμφωνα με τον Μαυρογιαννόπουλο (2006), χαρακτηριστικά συμπτώματα τροφοπενίας P.

1.5.3 ΚΑΛΙΟ (Κ)

Το κάλιο (Κ) είναι ένα μονοσθενές κατιόν με μία ενυδατωμένη ιοντική ακτίνα 0,331 nm και με ενέργεια ενυδάτωσης 314J/mol. Η απορρόφησή του είναι πολύ επιλεκτική και συνδέεται σε μεγάλο βαθμό με τη μεταβολική δραστηριότητα. Χαρακτηρίζεται από υψηλή κινητικότητα σε όλα τα επίπεδα, μέσα στα κύτταρα, τους ιστούς καθώς επίσης μεταφέρεται σε μεγάλες αποστάσεις μέσω του ξύλου και του φλοιού (Marschner, 2012).

Για πολλούς λόγους, το Κ έχει έναν εξαιρετικό ρόλο στις σχέσεις των φυτών με το νερό (Hsiao and Läuchli, 1986). Το Κ δεν μεταβολίζεται και σχηματίζει μόνο ασθενή σύμπλοκα στα οποία είναι άμεσα ανταλλάξιμο (Wyn Jones *et al.*, 1979). Γενικά, οι συγκεντρώσεις του Κ διατηρούνται στα 100 και 200mM στο κυτταρόπλασμα και στους χλωροπλάστες, αντίστοιχα.

Ένας μεγάλος αριθμός ενζύμων είτε εξαρτώνται τελείως από το Κ είτε ενεργοποιούνται από αυτό (Suelter, 1970). Το Κ είναι απαραίτητο σε υψηλότερες συγκεντρώσεις για την πρωτεϊνοσύνθεση απ' ό,τι για την ενεργοποίηση ενζύμων, η οποία μεγιστοποιείται περίπου στα 50mM.

Το Κ επηρεάζει την φωτοσύνθεση σε πολλά επίπεδα. Η θρεπτική κατάσταση Κ επηρεάζει τη φωτοσύνθεση μέσω της λειτουργίας του στη ρύθμιση των στοματίων με την ανεπάρκεια του Κ να αυξάνει την αντοχή των στοματίων στο CO₂ (Marschner, 2012).

Η επέκταση των κυττάρων, όχι μόνο στα φύλλα αλλά και στις ρίζες (Dolan and Davies, 2004), συσχετίζεται θετικά με τις συγκεντρώσεις του σε Κ. Σε ανεπάρκεια Κ παρατηρήθηκε σημαντικά, μείωση της σπαργής, του κυτταρικού μεγέθους και της φυλλικής επιφάνειας σε επεκταμένα φύλλα φυτών φασολιού (Mengel and Arneke, 1982). Γενικά, στο επίπεδο μεμονωμένων κυττάρων ή συγκεκριμένων ιστών, οι ίδιοι μηχανισμοί είναι υπεύθυνοι για την επέκταση των κυττάρων και ποικίλων ειδών κίνησης. Το Κ, ως η πιο πολλά υποσχόμενη διαλυμένη ουσία, παίζει καίριο ρόλο σε αυτές τις διαδικασίες (Hsiao and Läuchli, 1986).

Αρκετές παρατηρήσεις έχουν υποδείξει ότι το Κ αυξάνει την αντοχή των φυτών στο βιοτικό (Prabhu *et al.*, 2007) και αβιοτικό stress (Cakmak, 2005). Τα στοιχεία όμως αυτά είναι αμφισβητήσιμα σε πολλές περιπτώσεις.

Παρ' όλα αυτά, ισχύει ότι φυτά με έλλειψη Κ είναι πιο επιρρεπή σε βιοτικό και αβιοτικό stress.

Το Κ αυξάνει το οσμωτικό δυναμικό στο χυμοτόπιο και ταυτόχρονα σταθεροποιεί το pH στο κυτόπλασμα ενώ απαιτείται για τη διαδικασία μεταφοράς οργανικών ενώσεων μέσω των μεμβρανών όπως επίσης απαιτείται για τη σύνθεση της ρεδουκτάση των νιτρικών, ένζυμο το οποίο και ενεργοποιεί. Σε έλλειψη Κ η ανάπτυξη του φυτού επιβραδύνεται ενώ οι αλλαγές που προκαλούνται στα ένζυμα και στις οργανικές συνθέσεις αυξάνουν την ευαισθησία στις μυκητολογικές ασθένειες (Μαυρογιαννόπουλος, 2006).

1.5.4 ΑΣΒΕΣΤΙΟ (Ca)

Το ασβέστιο (Ca) είναι το πέμπτο κατά σειρά σε αφθονία χημικό στοιχείο στον στερεό φλοιό της γης με περιεκτικότητα που ανέρχεται περίπου στο 3% της συνολικής του μάζας. Η υψηλή περιεκτικότητα σε Ca οφείλεται στο γεγονός ότι το χημικό αυτό στοιχείο είναι συστατικό πολλών ασβεστολιθικών πετρωμάτων τα οποία είναι πολύ διαδεδομένα στο στερεό φλοιό της γης όπως ο ασβεστίτης, ο δολομίτης, το φωσφορικό διασβέστιο κ.λπ. Τα παραπάνω είναι δυσδιάλυτα στο νερό με αποτέλεσμα το Ca που περιέχουν να μην είναι άμεσα διαθέσιμο για τα φυτά (Σάββας, 2012).

Το Ca πρόκειται για ένα σχετικά μεγάλο δισθενές κατιόν. Η ακτίνα του ενυδατωμένου ιόντος είναι 0,412nm και η ενέργεια ενυδάτωσης είναι 1577J/mol ενώ συνδέεται με μορφή που μπορεί να ανταλλάσσεται εύκολα στα κυτταρικά τοιχώματα και την εξωτερική πλευρά των κυτταρικών μεμβρανών (Marschner, 2012).

Σε αντίθεση με άλλα μακροστοιχεία, ένα υψηλό ποσοστό του συνολικού Ca στους φυτικούς ιστούς συχνά εντοπίζεται στα κυτταρικά τοιχώματα. Αυτή η μοναδική κατανομή είναι κυρίως αποτέλεσμα ενός μεγάλου αριθμού θέσεων πρόσδεσης για το Ca στα κυτταρικά τοιχώματα (Mostafa and Ulrich, 1976). Σε απουσία εξωγενούς παροχής Ca, η επέκταση της ρίζας παύει μέσα σε μερικές ώρες. Αυτό οφείλεται σε διατάραξη της κυτταρικής επιμήκυνσης απ' ότι σε έλλειψη κυτταρικής διαίρεσης (Carpita and McCann, 2000).

Το Ca παίζει βασικό ρόλο στην σταθερότητα των μεμβρανών και στην κυτταρική ακεραιότητα ενώ σταθεροποιεί τις κυτταρικές μεμβράνες γεφυρώνοντας φωσφορικές και καρβοξυλικές ομάδες φωσφολιπιδίων και πρωτεϊνών. Το Ca μπορεί να ανταλλαχτεί με άλλα κατιόντα σε αυτές τις θέσεις πρόσδεσης (Cramer, 2002; Horst *et al.*, 2010). Σε αντίθεση με το ρόλο του στην σταθεροποίηση των μεμβρανών, το Ca του χυμοτοπίου δρα ως δευτερεύων σηματοδότης στην ενεργοποίηση επισκευής των μεμβρανών (Scharire *et al.*, 2009) και των αποκρίσεων προσαρμογής στον παγετό, στις χαμηλές θερμοκρασίες και την αναρεοβίωση (White and Broadley, 2003; Ruelland *et al.*, 2009).

Στα κύτταρα του χυμοτοπίου των φύλλων, συγκεκριμένα, ένα μεγάλο ποσοστό του Ca εντοπίζεται στα χυμοτόπια, όπου μπορεί να συνεισφέρει στην ισορροπία ανιόντων-κατιόντων δρώντας σαν αντι-ιόν σε ανόργανα και οργανικά ανιόντα (White and Broadley, 2003).

Η περιεκτικότητα σε Ca των διαφόρων φυτών ποικίλλει από 0,1 και 5,0% ξηράς ουσίας και εξαρτάται από τις συνθήκες ανάπτυξης, το είδος και το όργανο. Το απαιτούμενο Ca για άριστη ανάπτυξη είναι πολύ λιγότερο στα μονοκοτυλήδωνα απ' ό,τι στα δικοτυλήδωνα (Loneragan *et al.*, 1968, Loneragan and Snowball, 1969) και εξαρτάται από την συγκέντρωση των άλλων κατιόντων που ανταγωνίζονται τις θέσεις του Ca στις μεμβράνες.

Επειδή το Ca αντικαθίσταται εύκολα από άλλα κατιόντα στις θέσεις πρόσδεσης της εξωτερικής επιφάνειας της πλασματικής μεμβράνης, η απαίτηση Ca αυξάνεται με την αύξηση των εξωτερικών συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων (Wallace *et al.*, 1966), του αργιλίου (Al), του νατρίου (Na) (LaHaye and Epstein, 1971) ή των πρωτονίων.

1.5.5 ΜΑΓΝΗΣΙΟ (Mg)

Η ιοντική ακτίνα του μαγνησίου (Mg) είναι ουσιαστικά μικρότερη (0,065nm) και η ακτίνα ενυδάτωσής του ουσιαστικά μεγαλύτερη (0,476nm) απ' ό,τι είναι του K και Ca. Επιπλέον, ο όγκος του ενυδατωμένου ιόντος Mg είναι περίπου 400 φορές μεγαλύτερος από αυτόν του αφυδατωμένου ιόντος (Maguire and Cowan, 2002). Το Mg έχει πολύ υψηλή ενέργεια ενυδάτωσης (1908 J mol⁻¹) και ο ρυθμός απορρόφησής του μπορεί να περιοριστεί πολύ

από άλλα κατιόντα όπως τα K^+ , NH_4^+ , Ca^{2+} , Mn^{2+} και H^+ (Μαυρογιαννόπουλος, 2006).

Οι λειτουργίες του Mg στα φυτά σχετίζονται κυρίως με την ιδιότητά του να αλληλεπιδρά με ισχυρά νουκλεοφιλικά προσδέματα. Μία σημαντική λειτουργία του Mg στα πράσινα φύλλα είναι ότι αποτελεί το κεντρικό άτομο του μορίου της χλωροφύλλης. Το ποσοστό του συνολικού δεσμού του Mg με τη χλωροφύλλη εξαρτάται από τα εφόδια Mg (Michael, 1941).

Το Mg έχει επίσης μια ουσιώδη λειτουργία ως στοιχείο γεφύρωσης για την συσσωμάτωση των ριβοσομικών υπομονάδων (Cammарano *et al.*, 1972), μια διαδικασία απαραίτητη για την πρωτεϊνσύνθεση. Σε ανεπάρκεια Mg, ή με την παρουσία υψηλών συγκεντρώσεων K (Sperrazza and Spremulli, 1983), οι υπομονάδες διασπώνται και η πρωτεϊνσύνθεση σταματάει. Το Mg παίζει σημαντικό ρόλο στην σταθεροποίηση συγκεκριμένων διαμορφώσεων των νουκλεϊκών οξέων που είναι απαραίτητες για την σύνθεση και λειτουργία τους και για τις δραστηριότητες των νουκλεοξικών πολυμερασών και νουκλεασών (Sreedhara and Cowan, 2002).

Η συσσώρευση μη δομικών υδατανθράκων (άμυλο, σάκχαρα) είναι ένα τυπικό χαρακτηριστικό σε φύλλα φυτών με έλλειψη Mg (Fischer and Bussler, 1988; Cakmak *et al.*, 1994a) και μπορεί να εντοπιστεί εύκολα σε αντίθεση με την εμφάνιση συμπτωμάτων έλλειψης Mg και αναστολής της φωτοσύνθεσης (Hermans *et al.*, 2004; Hermans and Verbruggen, 2005).

Επιπλέον, η αναστολή της φωτοσύνθεσης φαίνεται να αποτελεί μία απόκριση στην αυξανόμενη συγκέντρωση σακχάρων εξυπηρετώντας ως σημαντικά σήματα στην ρύθμιση του μεταβολισμού και στην ανάπτυξη των φυτών (Wingler and Roitsch, 2008).

Η χλώραση των πλήρως ανεπτυγμένων φύλλων είναι το πιο προφανές ορατό σύμπτωμα σε έλλειψη Mg. Υψηλές συγκεντρώσεις Mg στα φύλλα μπορεί να είναι επιζήμιο υπό συνθήκες υδατικού stress αλλά σε γενικές γραμμές, υψηλές συγκεντρώσεις Mg βελτιώνουν την θρεπτική ποιότητα των φυτών (Marschner, 2012).

Η ανεπαρκής πρόσληψη Mg με τη διατροφή του ανθρώπου που οδηγεί στο σύνδρομο ανεπάρκειας Mg έχει αποτελέσει αντικείμενο προσοχής σε μεγάλο βαθμό (Tong and Rude, 2005).

1.6 ΠΙΠΕΡΙΑ (*Capsicum annuum* var. *annuum* L.)

1.6.1 ΚΑΤΑΓΩΓΗ-ΙΣΤΟΡΙΚΟ

Η πιπεριά είναι ενδογενές φυτό των τροπικών περιοχών της Ν. Αμερικής. Σπόροι πιπεριάς ηλικίας πέραν των 5.000 π.Χ. έχουν βρεθεί και αναγνωρισθεί σε αρχαιολογικές ανασκαφές στο TaHuakan του Μεξικού, πιθανόν από άγρια φυτά του γένους *Capsicum annuum*. Στο Περού βρέθηκαν υπολείμματα του γένους *C. baccatum* ηλικίας 2.000 π.Χ. Κατά μια εκδοχή, η πιπεριά διείσδυσε από το Περού στο Μεξικό, κατά μια δεύτερη εκδοχή το Μεξικό αποτελεί ανεξάρτητο ξεχωριστό κέντρο, όπου υπάρχει και αρκετή διαφοροποίηση βοτανικών ποικιλιών (Heizer, 1979).

Η πρώτη Ευρωπαϊκή αναφορά για την πιπεριά γίνεται το 1493 από τον Peter Martyr, που αναφέρει ότι ο Κολόμβος βρήκε πολύ καυτερές πιπεριές. Με τα ταξίδια του Κολόμβου η πιπεριά ήρθε στην Ευρώπη και έγινε αμέσως αποδεκτή. Η σχετικά μεγάλη περίοδος διατήρησης της βλαστικής ικανότητας του σπόρου και η ευκολία της διακίνησής του συνέβαλαν στην ευρεία διάδοση της πιπεριάς σε πολλές άλλες τροπικές και υποτροπικές περιοχές του κόσμου.

Στην Ινδία έγινε ευρέως δεκτή και ήδη το 1542 αναφέρεται ότι ήταν γνωστά 3 είδη πιπεριάς. Σήμερα η Ινδία αποτελεί και την πρώτη χώρα εξαγωγής κόκκινης πιπεριάς. Στις ΗΠΑ η καλλιέργεια της πιπεριάς δεν διαδόθηκε γρήγορα, αλλά σήμερα αποτελεί προϊόν μεγάλης οικονομικής κλίμακας (Ολύμπιος, 2001).

1.6.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΙΚΗ ΚΑΤΑΤΑΞΗ

Στις αρχές του εικοστού αιώνα αναγνωρίζονται μόνο δύο είδη καλλιεργούμενης πιπεριάς, τα *C. annuum* και *C. frutescens*, σήμερα όμως έχει γίνει αποδεκτό ότι υπάρχουν 4 ή 5 είδη. Πρόσθετα σε αυτά τα καλλιεργούμενα είδη υπάρχουν και 20 περίπου άγρια είδη που συναντώνται κυρίως στην Ν. Αμερική. Σύμφωνα με τον Purseglove (1979), τα καλλιεργούμενα είδη είναι τα παρακάτω:

- I. *Capsicum annuum* : Είναι το είδος που σήμερα είναι πιο διαδεδομένο και έχει τη μεγαλύτερη οικονομική σημασία. Περιλαμβάνει τις γλυκιές πιπεριές καθώς επίσης τις περισσότερες καυτερές γεύσης, που ξηραίνονται και μετατρέπονται σε πιπέρι σκόνη.
- II. *Capsicum baccatum* : Καλλιεργείται κυρίως στη Ν. Αμερική και ελάχιστα σε άλλες περιοχές. Τα καλλιεργούμενα είδη κατατάσσονται στο *C. baccatum* var. *pendulum* και τα άγρια είδη στο *C. baccatum* var. *baccatum*.
- III. *Capsicum frutescens* : Το άγριο είδος συναντάται στις χαμηλού υψομέτρου τροπικές περιοχές της Ν. Αμερικής. Το καλλιεργούμενο είδος είναι λιγότερο διαδεδομένο σε σύγκριση με το *C. annuum*.
- IV. *Capsicum chinense* : Το άγριο είδος είναι διασκορπισμένο στην τροπική ζώνη της Ν. Αμερικής και καλλιεργείται κυρίως στην περιοχή του Αμαζόνιου. Μερικές ποικιλίες του είδους αυτού καλλιεργούνται στην Αφρική και αναφέρεται ότι είναι οι πιο καυτερές από όλα τα άλλα είδη.
- V. *Capsicum pubescens* : Συναντάται στα υψίπεδα των Άνδεων και είναι το μόνο είδος που έχει ευδιάκριτα μορφολογικά χαρακτηριστικά.

Όλα τα καλλιεργούμενα είδη, όπως επίσης και τα άγρια στα οποία έχουν γίνει παρατηρήσεις, διαθέτουν διπλοειδή $2n=24$ αριθμό χρωμοσωμάτων ενώ μεταξύ των τεσσάρων πρώτων ειδών, έχουν γίνει διασταυρώσεις σε πολλούς συνδυασμούς και έχουν προκύψει πολλά υβρίδια (Ολύμπιος, 2001).

1.6.3 ΒΟΤΑΝΙΚΟΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΕΣ

1.6.3.1 Στέλεχος

Η πιπεριά είναι ένα φυτό μονοετές ή διετές, ποώδες, με κορμό και βλαστούς ελαφρά ξυλώδεις στη βάση (τα γηραιότερα στελέχη), διακλαδίζεται αρκετά και έχει την τάση να αναπτύσσεται προς τα πάνω (ορθόκλαδο). Χωρίς επεμβάσεις οι βλαστοί αναπτύσσονται σε ύψος 0,3-0,8 m, είναι εύθραυστοι και με το βάρος της καρποφορίας πολλές φορές σπάζουν. Στις εύκρατες περιοχές η πιπεριά είναι μονοετής ενώ στις τροπικές χώρες είναι πολυετής.



Εικ. 1.2: Η αρχιτεκτονική του στελέχους φυτού πιπεριάς στο σημείο διακλάδωσης.

Αρχικά το φυτό αναπτύσσεται μονοστέλεχο, σχηματίζει δηλαδή κορμό (κύριο βλαστό) στη συνέχεια διακλαδίζεται, χωρίζεται δηλαδή και σχηματίζει δύο, σπανιότατα 3 βλαστούς (βλαστοί πρώτης τάξης). Μεταξύ των δύο αυτών βλαστών, σχηματίζεται ο πρώτος οφθαλμός-άνθος που θα δώσει τον πρώτο καρπό, ο οποίος και λέγεται βασικός οφθαλμός (crown bud).

Κάθε βλαστός πρώτης τάξης, μετά την παραγωγή ενός ή δύο φύλλων, διακλαδίζεται και δίνει δύο βλαστούς (βλαστοί δεύτερης τάξης), που στη διακλάδωση φέρουν ανθοφόρους οφθαλμούς (Εικ. 2.2). Η διεργασία αυτή συνεχίζεται με τον ίδιο τρόπο και το φυτό ελεύθερο (χωρίς επεμβάσεις) παίρνει θαμνώδη μορφή. Το φυτό της πιπεριάς δεν φέρει βλασάνουσα κορυφή ενώ εάν τα φυτά κλαδευτούν το φθινόπωρο ή αρχές άνοιξης, αναβλαστάνουν σαν διετή.

1.6.3.2 Ριζικό σύστημα

Το ριζικό σύστημα όταν αναπτύσσεται ελεύθερα σε βαθύ έδαφος με διαπερατούς ορίζοντες φθάνει σε βάθος 60-120cm. Το φυτό έχει την ικανότητα να αναπτύσσει δυνατή κεντρική ρίζα, αλλά συνήθως αυτή κόβεται ή σταματά να αναπτύσσεται, μετά τη φύτευση και δημιουργούνται πλευρικές διακλαδιζόμενες ρίζες που φθάνουν επίσης σε ανάλογο βάθος.

1.6.3.3 Φύλλα

Είναι απλά, λεπτά, ελλειπτικά, οξύληκτα, ακέραια με βαθύ πράσινο χρώμα στην άνω επιφάνεια, και πιο ανοικτό πράσινο στην κάτω. Ο μίσχος των φύλλων έχει μήκος 3-5cm.

1.6.3.4 Άνθη

Τα άνθη εμφανίζονται μονήρη στις διακλαδώσεις των βλαστών και φέρουν μίσχο 1,5cm μήκος. Φέρουν κωδωνοειδή κάλυκα με 5 ή περισσότερα οδοντωτά σέπαλα, που συνήθως μεγαλώνουν και περιβάλλουν τη βάση του άνθους. Φέρουν στεφάνη διαμέτρου 8-15mm με 5 ή περισσότερα πέταλα, που συνήθως είναι λευκά ή λευκοπράσινα. Φέρουν 5 ή περισσότερους στήμονες που βρίσκονται κοντά στη βάση της στεφάνης. Οι ανθήρες έχουν ιώδη απόχρωση και σχίζονται κατά μήκος. Η ωοθήκη είναι δίχωρος ή τρίχωρος ή τετράχωρος και φέρει στύλο που είναι απλός άσπρος ή ιώδης.



Εικ. 1.3: Ανοικτό άνθος της πιπεριάς

Τα άνθη είναι ερμαφρόδιτα, αυτογονιμοποιούμενα και μερικώς σταυρογονιμοποιούμενα. Είναι φυτό ουδέτερο στον φωτοπεριοδισμό, η ωρίμανση του στίγματος και των ανθέρων είναι ταυτόχρονη και η επικονίαση και γονιμοποίηση μπορεί να γίνει μετά το άνοιγμα του άνθους. Το άνθος παραμένει ανοικτό για 2-3 ημέρες.

Η αυτογονιμοποίηση ευνοείται γιατί ο ποδίσκος του άνθους κυρτώνεται ώστε το άνθος να βλέπει προς τα κάτω, έτσι πιο εύκολα η γύρη πέφτει πάνω στο στίγμα. Επίσης, κατά το άνοιγμα του άνθους ο στύλος κυρτώνεται, περνά και αγγίζει τους ανθήρες. Τα έντομα και τα μυρμήγκια μπορεί να προκαλέσουν κάποια σταυρογονιμοποίηση, αλλά είναι γνωστό ότι τα άνθη της πιπεριάς δεν ελκύουν τις μέλισσες και τα έντομα.

1.6.3.5 Καρπός

Ο καρπός είναι ράγα ο οποίος ποικίλλει σε μορφή και μέγεθος ανάλογα με την ποικιλία, είναι πολύχωρος και πολύσπερμος και φέρει κοιλότητα μεταξύ του πλακούντα και των τοιχωμάτων του καρπού. Αρχικά το χρώμα

είναι πράσινο ή πρασινοϊώδες και όταν ωριμάσει χρωματίζει ερυθρός, καστανέρυθρος, κίτρινος, κιτρινοπράσινος, πορτοκαλής ιώδης (Ολύμπιος, 2001).

1.6.4 ΔΙΑΙΤΗΤΙΚΗ - ΘΡΕΠΤΙΚΗ ΑΞΙΑ

Η διαιτητική αξία της πιπεριάς ως λαχανικού οφείλεται στην δροσιστική, αρωματική και πικάντικη γεύση που προσδίδει στις σαλάτες και στα λοιπά νωπά ή μαγειρευμένα φαγητά στα οποία προστίθεται. Από άποψη θρεπτικής αξίας θα πρέπει να σημειωθεί η ιδιαίτερη αυξημένη περιεκτικότητα των νωπών καρπών πιπεριάς σε βιταμίνη C, η σημαντική περιεκτικότητα των κίτρινων και κόκκινων καρπών σε προβιταμίνη A, λυκοπένιο και διάφορα άλλα καροτενοειδή και τέλος η υψηλή συγκέντρωση ανόργανων στοιχείων και κυρίως καλίου στη σάρκα τους (Navarro *et al.*, 2006).

1.6.5 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ

Η εκτός εδάφους καλλιέργεια της πιπεριάς κατά κανόνα λαμβάνει χώρα σε υποστρώματα. Η υδροκαλλιέργεια σε σύστημα NFT έχει επίσης δοκιμαστεί με επιτυχία (Tadesse *et al.*, 1999) αλλά στη καλλιεργητική πράξη σπάνια εφαρμόζεται. Ο πλέον διαδεδομένος τρόπος καλλιέργειας της πιπεριάς εκτός εδάφους διεθνώς είναι η καλλιέργεια σε πλάκες πετροβάμβακα. Εκτός από τον πετροβάμβακα, η πιπεριά καλλιεργείται με επιτυχία και σε άλλα υποστρώματα, όπως ο κόκος, η ελαφρόπετρα, ο περλίτης, η σκωρία, καθώς και σε διάφορα άλλα κοκκώδη υλικά που παράγονται τοπικά σε διάφορες χώρες (Σάββας, 2012).

Δύο είναι τα πιο συνηθισμένα συστήματα υποστύλωσης της πιπεριάς θερμοκηπίου, το σύστημα V το οποίο έχουν αναπτύξει οι Ολλανδοί και το σύστημα υποστύλωσης σε δικτυωτά πλέγματα που έχουν αναπτύξει οι Ισπανοί. Το σύστημα V, το οποίο απαιτεί την ύπαρξη δύο συρμάτων υποστύλωσης πάνω από κάθε γραμμή φυτών, βασίζεται στην ανάπτυξη δύο στελεχών ανά φυτών τα οποία προσδένονται εναλλάξ ένα στο δεξί και ένα

στο αριστερό σύρμα (Bosland and Votana, 2000). Το σύστημα υποστύλωσης σε δικτυωτά πλέγματα δεν απαιτεί καθόλου κλάδεμα.

Οι Jovicich *et al.* (2004) σύγκριναν τα δύο αυτά συστήματα υποστύλωσης σε υδροπονική καλλιέργεια στην Φλόριντα των ΗΠΑ και διαπίστωσαν ότι κανένα από τα δύο δεν πλεονεκτούσε όσον αφορά την συνολική παραγωγή καρπών. Το σύστημα υποστύλωσης με δίκτυ όμως έδωσε μεγαλύτερο ποσοστό καρπών μεγάλου μεγέθους και μικρότερο αριθμό καρπών με «ξηρή σήψη κορυφής» ενώ επιπλέον απαιτούσε 75% λιγότερα εργατικά αφού τα φυτά δεν κλαδεύονταν.

1.6.6 ΛΙΠΑΝΣΗ ΚΑΙ ΘΡΕΨΗ

Η πιπεριά μοιάζει με την αγγουριά ως προς την αλατότητα, η οποία είναι σημαντικά χαμηλότερη από αυτή της τομάτας (Sonneveld and van der Burg, 1991). Σύμφωνα με τον Sonneveld (2000), η παραγωγή καρπών πιπεριάς μειώνεται κατά 7,6% περίπου για κάθε μονάδα αύξησης της EC πάνω από το επίπεδο των 2,8 dS m⁻¹.

Γενικά, μια EC θρεπτικού διαλύματος ίση με 1,8-2,0 dS m⁻¹ στο περιβάλλον των ριζών είναι αρκετή για να καλύψει τις θρεπτικές ανάγκες της πιπεριάς, εφόσον η σύνθεση του διαλύματος σε θρεπτικά στοιχεία είναι ισορροπημένη (de Kreij, 1999). Τιμές EC μεταξύ 2,0-2,8 dS m⁻¹ στο ριζικό περιβάλλον δεν επηρεάζουν δυσμενώς την παραγωγή καρπών πιπεριάς αλλά σε υψηλότερα επίπεδα από 2,8 dS m⁻¹ μειώνεται τόσο το μέσο βάρος όσο και ο αριθμός των παραγόμενων καρπών ανά φυτό (Sonneveld and van der Burg, 1991). Τιμές αρκετά υψηλότερες από 2,8 dS m⁻¹ στο ριζόστρωμα πιπεριάς μειώνουν όχι μόνο την συνολική παραγωγή αλλά και τα ποσοστά των εμπορεύσιμων καρπών και των καρπών 1^{ης} ποιοτικής κατηγορίας. Κυρίως επειδή αυξάνουν την συχνότητα εμφάνισης καρπών με BER, δηλαδή με ξηρή σήψη κορυφής (Navarro *et al.*, 2002; Savvas *et al.*, 2007a).

Από την άλλη όμως, μία μικρή αύξηση της EC στο περιβάλλον των ριζών στις εκτός εδάφους καλλιέργειας πιπεριάς βελτιώνει την γεύση των καρπών και μειώνει την συχνότητα εμφάνισης ορισμένων άλλων φυσιολογικών διαταραχών των καρπών και ειδικότερα του σχισίματος και των λευκών ή πράσινων κηλίδων (de Kreij, 1995; Jovicich *et al.*, 2007).

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, οι τιμές της EC που συνιστώνται για το θρεπτικό διάλυμα ριζοστρώματος στις καλλιέργειες πιπεριάς είναι σαφώς υψηλότερες από το προαναφερθέν ελάχιστο επίπεδο επάρκειας (1,8-2,0 dS m⁻¹) με στόχο την βελτίωση της ποιότητας.

Η πιπεριά αντιδρά θετικά με αύξηση της παραγωγής καρπών στις καλλιέργειες εκτός εδάφους όταν ανυψώνεται μέχρι κάποιο όριο η συγκέντρωση αζώτου στο θρεπτικό διάλυμα (Schon *et al.*, 1994). Η υπερβολική, όμως, παροχή αζώτου είναι επίσης βλαπτική για την πιπεριά δεδομένου ότι μπορεί να προκαλέσει υπέρμετρη βλαστική ανάπτυξη σε βάρος της παραγωγής και να καθυστερήσει την ωρίμανση των καρπών (Bosland and Votana, 2000).

Η μορφή αζώτου που παρέχεται στις καλλιέργειες πιπεριάς εκτός εδάφους, το μεγαλύτερο μέρος του δίνεται σε νιτρική μορφή, ενώ μόνο ένα μικρό μέρος του χορηγείται σε αμμωνιακή μορφή το οποίο δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τα 1,3 mmol L⁻¹.

Η BER (Blossom End Rot) οφείλεται σε τοπική έλλειψη Ca στους καρπούς. Με δεδομένο ότι η πιπεριά είναι απαιτητική σε Ca και ευαίσθητη στην εμφάνιση BER, η συγκέντρωση Ca που παρέχεται στα θρεπτικά διαλύματα πρέπει να είναι σχετικά αυξημένη, ώστε να μειώνεται η εμφάνιση BER. Κατά τα λοιπά, η πιπεριά φαίνεται ότι δεν είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη στην αναλογία K:Ca:Mg στο θρεπτικό διάλυμα (Sonneveld and Voogt, 1985).

Η συγκέντρωση των ιχνοστοιχείων στο θρεπτικό διάλυμα είναι σημαντική για την πιπεριά. Χαμηλές συγκεντρώσεις σιδήρου στο διάλυμα ριζοστρώματος της τάξεως των 1 έως 3 μM έχει αποδειχθεί ότι μειώνουν την ανάπτυξη της πιπεριάς ακόμη και όταν δεν προκαλούν ορατά συμπτώματα τροφοπενίας, ενώ η ανύψωσή τους σε επίπεδα 10 - 30 μM αυξάνει την παραγωγή καρπών (Anchondo *et al.*, 2002). Όσον αφορά τα υπόλοιπα ιχνοστοιχεία, αξίζει να αναφερθεί η αξιοσημείωτη ευαισθησία της πιπεριάς σε τοξικότητες Zn και Cu (Cornillon and Palloix, 1997; Zheng *et al.*, 2005).

1.7 ΕΜΒΟΛΙΑΣΜΟΣ

1.7.1 ΙΣΤΟΡΙΚΟ

Ήδη από την αρχαιότητα, στα κείμενα του Ιπποκράτη, του Θεόφραστου και του Αριστοτέλη έχουν βρεθεί αναφορές για τον εμβολιασμό ενώ η απαρχή του συναντάται στην Κίνα περίπου το 1560 π.Χ. όπου και χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά σε οπωροφόρα δένδρα.

Στα τέλη του 19^{ου} αιώνα στην Αμερική και έπειτα στην Ελλάδα, (Υπουργείο Γεωργίας, 2009) η φυλλοξήρα προκάλεσε σοβαρές καταστροφές σε αμπελώνες με αποτέλεσμα ο εμβολιασμός στο αμπέλι (*Vitis vinifera*) να χρησιμοποιήθηκε κατά κόρον ενώ λίγο καιρό αργότερα εφαρμόστηκε και στα εσπεριδοειδή. Στις μέρες μας πλέον, η χρήση του εμβολιασμού επεκτείνεται και στα λαχανικά ξεκινώντας από την Ιαπωνία όπου υπάρχει για πρώτη φορά αναφορά για εμβολιαζόμενο καρπούζι σε κολοκύθα (*Cucurbita moschata*) (Kubota *et al.*, 2008; Oda, 2002) και στην Κορέα όπου υπάρχουν επίσης αναφορές καρπουζιού εμβολιασμένου σε υποκείμενο νεροκολοκυθιάς (*Lagenaria siceraria*), τη δεκαετία του 1920, παρόλο που υπάρχουν αναφορές για τον εμβολιασμό λαχανικών στην αρχαία Κίνα (Mudge *et al.*, 2009). Από την Άπω Ανατολή ο εμβολιασμός εξαπλώθηκε στην Ευρώπη όπου και χρησιμοποιείται ευρύτατα από την δεκαετία του 1990 όταν και εισήχθη στον ευρωπαϊκό χώρο (Oda, 2002).

Στην Ελλάδα, το 100% του παραγόμενου καρπουζιού προέρχεται από εμβολιασμένα φυτά όπως και το 80% του πεπονιού και το 2-3% της τομάτας (*Solanum lycopersicum* L.) και της μελιτζάνας (*Solanum melongena*) (Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης). Επίσης και η πιπεριά εμβολιάζεται, σε μικρή όμως κλίμακα με το ποσοστό της συνολικά καλλιεργούμενης έκτασης των εμβολιασμένων φυτών να καταλαμβάνει στην Ιαπωνία το 5%, στην Κίνα το 10% και στην Ταϊβάν το 2,5%. (Lee *et al.*, 2010).

Στην Βόρεια Αμερική ο εμβολιασμός των λαχανικών άρχισε να χρησιμοποιείται πρόσφατα αλλά υπόσχεται πολλά στον τομέα έρευνας και ανάπτυξης (R&D) στο μέλλον ως τεχνική παραγωγής, παρόλο που υπάρχουν κάποιοι περιορισμοί που αφορούν κυρίως την έλλειψη τεχνικής κατάρτισης των καλλιεργητών, την ανάγκη παραγωγής μεγάλων αριθμών εμβολιασμένων

φυτών ανά παραγγελία και τις μεγάλες αποστάσεις που πρέπει να διανύσουν αυτές οι παραγγελίες προκειμένου να φτάσουν στον καλλιεργητή-παραλήπτη (Kubota *et al.*, 2008).

1.7.2 ΟΡΙΣΜΟΣ

Ο εμβολιασμός είναι η ένωση δύο φυτικών μερών με σκοπό να δημιουργηθεί μία αγγειώδης σύνδεση μεταξύ τους. Το εμβολιασμένο φυτό που προκύπτει τελικά λειτουργεί ως ένας οργανισμός παρόλο που τα δύο φυτικά μέρη που τον αποτελούν διατηρούν την γενετική τους ταυτότητα καθ' όλη τη διάρκεια της ζωής του, αν και στην πραγματικότητα αποτελείται από δύο φυτικά μέρη που μπορεί να ανήκουν στο ίδιο ή σε διαφορετικά είδη (Mudge *et al.*, 2009; Pina and Errea, 2005).

Ο όρος εμβόλιο αναφέρεται στο κομμάτι του βλαστού ή του οφθαλμού που τοποθετείται και μεγαλώνει στο επάνω μέρος του εμβολιασμένου φυτού ενώ ο όρος υποκείμενο αναφέρεται στο φυτό το οποίο δέχεται το εμβόλιο και ενώνεται με αυτό παρέχοντας όμως στο εμβολιασμένο φυτό μόνο το ριζικό σύστημα (Mudge *et al.*, 2009). Το εμβόλιο και το υποκείμενο μπορεί να προέρχονται από φυτά του ίδιου είδους ή γένους (ενδο-ειδικός εμβολιασμός) αλλά και από φυτά που απέχουν γενετικά/ταξινομικά και ανήκουν ακόμα και σε διαφορετικές βοτανικές οικογένειες (διδειδικός εμβολιασμός) (Lee *et al.*, 2010).

1.7.3 ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ ΕΜΒΟΛΙΑΣΜΟΥ

Η ένωση στο σημείο του εμβολιασμού βασίζεται στην αύξηση και τον πολλαπλασιασμό της στοιβάδας του καμβίου. Δημιουργείται από την ανάμειξη και σύνδεση του κάλλου ιστού που παράγεται από το κάμβιο, υποκειμένου και εμβολίου, ως απόκριση στον τραυματισμό. Υπό την επίδραση του υπάρχοντος καμβίου, ο κάλλος ιστός διαφοροποιείται σε νέο ιστό καμβίου, ο οποίος επαναδιαφοροποιείται σε αγγεία ξύλου και ηθμού, σχηματίζοντας έτσι μία ζωντανή ένωση μεταξύ εμβολίου και υποκειμένου

Κατά τον εμβολιασμό τα κύτταρα που έχουν καταστραφεί σχηματίζουν μι νεκρωτική ζώνη η οποία στη συνέχεια εξαφανίζεται. Τα ζωντανά κύτταρα του υποκειμένου αλλά και του εμβολίου, επεκτείνονται σε αυτήν τη νεκρωτική ζώνη δημιουργώντας με μιτωτικές διαιρέσεις μία γέφυρα από παρεγχυματικά κύτταρα. Από αυτό το στάδιο αρχίζει και αυξάνεται η φυσική συνοχή μεταξύ υποκειμένου και εμβολίου. Ακολουθεί η διαφοροποίηση των παρεγχυματικών κυττάρων σε νέο αγγειακό κάμβιο και η παραγωγή δευτερογενών αγγείων του ξύλου και του ηθμού από το κάμβιο που έχει ανασυσταθεί. Έτσι δημιουργείται η αγγειακή σύνδεση μεταξύ των δύο συμβαλλόμενων μερών (Andrews and Serrano Marquez, 1993).

1.7.4 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΕΜΒΟΛΙΑΣΜΟΥ ΣΤΑ ΛΑΧΑΝΙΚΑ

1.7.4.1 Ανθεκτικότητα στις βιοτικές καταπονήσεις

Ο κυριότερος στόχος του εμβολιασμού είναι η απόκτηση ποικιλιών με μεγαλύτερη παραγωγή καρπών, καλύτερης ποιότητας (Lee, 1994). Ωστόσο, ο πρωταρχικός στόχος της εφαρμογής του εμβολιασμού στα λαχανικά ήταν η προστασία ευαίσθητων ποικιλιών από παθογόνα και εδαφογενή παράσιτα μέσω της χρήσης υποκειμένων, άγριων, ανθεκτικών ποικιλιών. Τα λαχανικά εμβολιάζονται σε υποκείμενα ανθεκτικά στους μύκητες εδάφους όπως μύκητες του γένους *Verticillium* spp. και *Fusarium* spp., σε βακτήρια του γένους *Ralstonia solanacearum* που προκαλούν βακτηριακό μαρασμό στα σολανώδη και στους νηματώδεις του γένους *Meloidogyne* (Louws *et al.*,

1.7.4.2 Ανθεκτικότητα στις αβιοτικές καταπονήσεις

Τα εμβολιασμένα φυτά λαχανικών, σε σύγκριση με τις ποικιλίες είναι, αρχικά, πιο ανθεκτικά σε συνθήκες αυξημένης αλατότητας λόγω αυξημένης συγκέντρωσης σε NaCl αλλά και σε άλλες ενώσεις νατρίου όπως Na₂SO₄. Έχουν γίνει πολλές μελέτες για την συμπεριφορά και τις αποδόσεις των εμβολιασμένων φυτών σε συνθήκες αλατότητας σε διάφορα είδη λαχανικών

όπως στο πεπόνι (Colla *et al.*, 2006a; Edelstein *et al.*, 2005; Edelstein *et al.*, εμβολιασμένων φυτών έναντι της αλατότητας στην διατήρηση υψηλής φωτοσυνθετικής ικανότητας κάτω από συνθήκες ήπιας καταπόνησης, η οποία επιτυγχάνεται κυρίως μέσω της προστασίας διαφόρων αντιοξειδωτικών ενζύμων και μη ενζυμικών αντιοξειδωτικών παραγόντων στα κύτταρα των φύλλων, στην υψηλότερη συγκέντρωση προλίνης και σακχάρων που εξισορροπούν το ωσμωτικό δυναμικό στο κυτόπλασμα των κυττάρων και στην μειωμένη είσοδο και μεταφορά ιόντων Na⁺ και Cl⁻ στα φωτοσυνθετικά ενεργά φύλλα (Colla *et al.*, 2010).

Επίσης, τα εμβολιασμένα υποκείμενα είναι ανθεκτικότερα σε συνθήκες ξηρασίας. Ο εμβολιασμός σε φυτά καρπουζιού τύπου μίνι σε υποκείμενο *C. moschata* έδωσε αυξημένη παραγωγή κατά 60% κάτω από συνθήκες έλλειψης νερού στο έδαφος σε σχέση με τα μη εμβολιασμένα φυτά καρπουζιού, κάτι που αποδόθηκε στην καλύτερη απορρόφηση νερού και θρεπτικών στοιχείων καθώς και στην υψηλότερη αφομοίωση του CO₂

Στα κολοκυνθοειδή και συγκεκριμένα στο καρπούζι, ο εμβολιασμός σε ανθεκτικά σε χαμηλές θερμοκρασίες υποκείμενα επιτρέπει την πιο πρώιμη μεταφύτευση λόγω της μεγαλύτερης ανθεκτικότητας των εμβολιασμένων φυτών σε συνθήκες χαμηλών θερμοκρασιών εδάφους (Davis *et al.*, 2008). Προσπάθειες για τον εντοπισμό ή την δημιουργία ανθεκτικών υποκειμένων στις χαμηλές θερμοκρασίες γίνονται επίσης και με την τομάτα. Πιο συγκεκριμένα, εμβολιασμένα φυτά τομάτας σε υποκείμενα LA 1777 φαίνεται να παρουσιάζουν αυξημένα επίπεδα αντιοξειδωτικών ενώσεων στους βλαστούς και με αυτόν τον τρόπο βελτιώνεται η προσαρμογή των φυτών στις χαμηλές θερμοκρασίες (Ntatsi *et al.*, 2014).

Αρκετές μελέτες έχουν δείξει μειωμένη συσσώρευση βαρέων μετάλλων όπως το κάδμιο, ο μόλυβδος, ο υδράργυρος και ο χαλκός στους βρώσιμους καρπούς λαχανικών που έχουν εμβολιαστεί σε υποκείμενα μειωμένης πρόσληψης και μετακίνηση αυτών των μετάλλων στους

υπέργειους φυτικούς ιστούς (Arao *et al.*, 2008; Mori *et al.*, 2009; Royphael *et al.*, 2010).

Η επιστημονική κοινότητα έχει αποδείξει την σημαντική επίδραση του εμβολιασμού στην απορρόφηση των θρεπτικών στοιχείων στα λαχανικά. Εκτενέστερη αναφορά στο συγκεκριμένο θέμα γίνεται στην παράγραφο

1.7.5 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΕΜΒΟΛΙΑΣΜΟΥ ΣΤΑ ΛΑΧΑΝΙΚΑ

Σημαντικό μειονέκτημα της τεχνικής του εμβολιασμού σε ευρύτερη χρήση είναι το αυξημένο κόστος παραγωγής εμβολιασμένων φυταρίων καθώς απαιτείται εξειδικευμένο προσωπικό και αγορά περισσότερου σπόρου λόγω των υποκειμένων. Ωστόσο η αυτοματοποίηση του εμβολιασμού μπορεί να μειώσει αρκετά το κόστος και μέχρι σήμερα έχουν κατασκευαστεί πολλά ρομπότ εμβολιασμού που μπορούν να εμβολιάσουν εκατοντάδες έως χιλιάδες φυτών σε μία ώρα.

Η αυτοματοποίηση του εμβολιασμού που καθιστά τον εμβολιασμό γρηγορότερο, πιο αξιόπιστο και πιο ευέλικτο θεωρείται μία από τις τεχνολογίες του μέλλοντος (Lee *et al.*, 2010). Επιπλέον μείωση του κόστους παραγωγής εμβολιασμένων φυταρίων μπορεί να επιτευχθεί και με τον συνδυασμό του μικρο-εμβολιασμού με τον μικροπολλαπλασιασμό (τεχνολογία M+M) όπως έχει γίνει επιτυχώς στην τομάτα και στο κολοκύθι από ερευνητικές ομάδες του INEB (Grigoriadis *et al.*, 2005; Sapountzakis and

1.7.6 ΕΜΒΟΛΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΛΗΨΗ ΘΡΕΠΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ

Τα τελευταία 50 χρόνια, η παραγωγή λαχανικών με τη χρήση εμβολιασμένων φυταρίων είναι πλέον συνηθισμένη τακτική σε πολλά μέρη του κόσμου. Στο βαθμό που ο εμβολιασμός μειώνει την εισαγωγή των αγροχημικών στις καλλιέργειες, μπορεί να θεωρηθεί μια περιβαλλοντικά φιλική συνιστώσα στην ολοκληρωμένη διαχείριση των καλλιεργειών (Rivard

Τα εμβολιασμένα φυτά τομάτας φαίνεται να έχουν μεγαλύτερη αποδοτικότητα απορρόφησης θρεπτικών συστατικών από τα μη εμβολιασμένα φυτά τομάτας (Fernandez-Garcia *et al.*, 2002), ωστόσο όμως,

βασική προϋπόθεση για τον επιτυχή εμβολιασμό αποτελεί η επιλογή υποκειμένων (rootstocks) που δεν επηρεάζουν αρνητικά την θρέψη των φυτών, την απόδοση σε καρπούς και την ποιότητα παραγωγής.

Αρκετοί μελετητές βρήκαν την ύπαρξη αλληλεπίδρασης μεταξύ υποκειμένου και εμβολίου η οποία οδήγησε στη δημιουργία πιο ενεργητικού ριζικού συστήματος και σε υψηλότερη απορρόφηση νερού και θρεπτικών στοιχείων, αυξάνοντας την παραγωγή και βελτιώνοντας την ποιότητα των καρπών (Lee, 1994; Oda, 1995; Bersi, 2002; Leoni *et al.*, 1990). Ο Öztekin *et al.* (2009) βρήκαν μία σημαντική αύξηση της πυκνότητας της ρίζας, κατά μέσο όρο 25,3%, σε φυτά τομάτας, εμβολιασμένα σε υποκείμενα He-Man και Beaufort, σε σύγκριση με μη εμβολιασμένα φυτά. Επίσης ο εμβολιασμός σε κατάλληλα υποκείμενα επηρέασε την αξιοποίηση και τον μεταβολισμό των μακροστοιχείων (Ruiz *et al.*, 1996; Ruiz and Romero, 1999).

Όπως αναφέρθηκε από τον Edelstein και Ben-Hur (2007), οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων και των μικροστοιχείων, συμπεριλαμβανομένου του Mn, Zn, Cu και του B σε εμβολιασμένα φυτά πεπονιού ήταν σημαντικά χαμηλότερες από εκείνες που μετρήθηκαν σε μη εμβολιασμένα φυτά της ίδιας ποικιλίας. Ο Rouphael *et al.* (2008) βρήκαν ότι ο εμβολιασμός μπορεί να επηρεάσει αισθητά την πρόσληψη των μικροστοιχείων όπως ο Cu στο αγγούρι. Η μείωση των ρυθμών πρόσληψης θρεπτικών στοιχείων από υποκείμενα στα οποία εμβολιάζονται κάποια λαχανικά θερμοκηπίου, μπορεί να επηρεάζει δυσμενώς την απόδοση του φυτού υπό συνθήκες ανεπαρκούς παροχής (Savvas *et al.*, 2009). Οι αντιδράσεις των εμβολιασμένων φυτών σε ανεπαρκείς ή υπερβολικές εξωτερικές συγκεντρώσεις θρεπτικών στοιχείων και βαρέων μετάλλων εξαρτώνται από το εμβόλιο, από τον γονότυπο του υποκειμένου και από την φυσιολογική αλληλεπίδραση του εμβολίου-υποκειμένου (Savvas *et al.*, 2010).

Η Janina *et al.* (2010) βρήκαν ότι η συνολική ποσότητα εμπορεύσιμων καρπών ήταν υψηλότερη σε εμβολιασμένα φυτά τομάτας, όπως επίσης υψηλότερη ήταν η συγκέντρωση K και η περιεκτικότητα σε ξηρά ουσία και ολικά σάκχαρα. Επιπλέον ο Pulgar *et al.* (2000) βρήκαν ότι φυτά καρπουζιού εμβολιασμένα σε συγκεκριμένα υποκείμενα κολοκυθιάς είχαν μεγαλύτερη ικανότητα αφομοίωσης N η οποία μάλιστα οδήγησε και σε μεγαλύτερη ανάπτυξη, σε σύγκριση με τα μη εμβολιασμένα φυτά.

Οι Edelstein και Ben-Hur (2007) έδειξαν ότι το υποκείμενο σε εμβολιασμένο φυτό πεπονιάς επέβαλλε αξιοσημείωτες αλλαγές στην αποτελεσματικότητα της απορρόφησης του Mg, K, Fe και Cu. Σε παρόμοια συμπεράσματα κατέληξε ο Rourhael *et al.* (2008) και ο Savvas *et al.* (2009) σε εμβολιασμένα φυτά αγγουριάς και τομάτας, αντίστοιχα.

Ο εμβολιασμός προάγει την απορρόφηση και μεταφορά των P, N, Mg και Ca (Gluscenko and Drobkov, 1952; Ikeda *et al.*, 1986; Kim and Lee, 1989; 1997), παρόλα αυτά ο εμβολιασμός μπορεί να μειώσει την μεταφορά ιόντων προς την κορυφή λόγω μηχανικών επιδράσεων που προκαλούνται από την τομή (Kawaguchi *et al.*, 2008; Martínez-Ballesteros *et al.*, 2010). Βρεθεί πως τα εμβολιασμένα φυτά ανταποκρίνονται σε υπερβολικά υψηλά ή χαμηλά επίπεδα μακροστοιχείων και μικροστοιχείων στο περιβάλλον της ρίζας (Savvas *et al.*, 2009) και για να γίνει αυτό είναι σημαντικό ο συνδυασμός εμβολίου-υποκειμένου να επιλεγθεί προσεκτικά λαμβάνοντας υπόψη συγκεκριμένες κλιματικές και γεωγραφικές συνθήκες (Davis *et al.*, 2008).

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Κηπευτικών Καλλιεργειών του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών (Γ.Π.Α.) από τις 16 Ιανουαρίου του 2014 έως και τις 16 Ιουλίου του 2014.

2.1 ΦΥΤΙΚΟ ΥΛΙΚΟ

Στις 14 Ιανουαρίου 2014 παραλήφθηκαν από την AGROSYSTEM A.E 200 σπορόφυτα πιπεριάς στο στάδιο των έξι πραγματικών φύλλων. Τα 120 από αυτά τα σπορόφυτα ήταν αυτόρριζα και ανά 40 ανήκαν σε μία από τις εξής τρεις διαφορετικές ποικιλίες: Sondela, Bellisa, Orangery. Από τα υπόλοιπα 80 σπορόφυτα, 40 ήταν αυτεμβολιασμένα ποικιλίας Sammy και 40 της ίδιας ποικιλίας (Sammy) ήταν εμβολιασμένα στο εμπορικό υποκείμενο RS10. Οι βλαστημένοι σπόροι φυτεύτηκαν σε υπόστρωμα bioJan με 60% BVB και 40% βερμικουλίτη και περλίτη. Περισσότερες πληροφορίες για τις ποικιλίες που παραλήφθηκαν αναφέρονται παρακάτω.

- **Sondela** *Capsicum annuum* Bell pepper (**G**): πιπεριά τύπου φλάσκα πράσινη. Ημερομηνία σποράς 16/11/2013.
- **Bellisa** *Capsicum annuum* Kappy type (**F**): πιπεριά τύπου φλωρίνης. Ημερομηνία σποράς 16/11/2013.
- **Sammy** *Capsicum annuum* Charleston type (**SS**): πιπεριά τύπου κέρατο. Ημερομηνία σποράς 16/11/2013.
- **Orangery** *Capsicum annuum* California wonder (**O**): πιπεριά έγχρωμη τετράγωνη. Ημερομηνία σποράς 16/11/2013.
- **Υποκείμενο RS10** *Capsicum annuum*. Ημερομηνία σποράς 11/11/2013 - **Εμβόλιο Sammy** *Capsicum annuum* Charleston type (**SG**). Ημερομηνία εμβολιασμού 19/11/2013.

2.2 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

Την πειραματική εγκατάσταση αποτελούσε ένα υαλόφρακτο θερμοκήπιο 70m², με φυσικό εξαερισμό και με παράθυρα πλευρικά και οροφής. Για τα πλευρικά παράθυρα υπήρχε αυτόματο σύστημα ελέγχου

προσαρμοσμένο στις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας. Το θερμοκήπιο βρίσκεται σε υψόμετρο 38m με γεωγραφικές συντεταγμένες ΓΠ=37,58° ΓΜ=23,42°.

Το πείραμα έλαβε μέρος σε κλειστό υδροπονικό σύστημα NFT. Για κάθε ποικιλία υπήρχαν τέσσερις επαναλήψεις. Συνολικά υπήρξαν 20 μεταχειρίσεις. Κάθε μεταχείριση αποτελείτο από ένα κανάλι καλυμμένο με διπλωμένο αγροτικό πλαστικό AGROLIN (Άσπρο - Μαύρο) μέσα στο οποίο είχαν τοποθετηθεί εννέα σπορόφυτα σε σειρά. Οι διαστάσεις των καναλιών ήταν 3m μήκος και 0,30m πλάτος.

Το κάθε κανάλι ήταν κατά μήκος δεμένο με ένα πλαστικό σωλήνα άρδευσης, που η μία άκρη του ήταν δεμένη με το αγροτικό πλαστικό και ενωμένο με μία στρόφιγγα για τη ρύθμιση της παροχής. Η άλλη άκρη του πλαστικού σωλήνα κατέληγε μέσα σε μία μπλε δεξαμενή (ανακύκλωσης) συνδεδεμένη με μία αντλία παροχής. Ο όγκος της δεξαμενής ήταν 50L και είχε προσαρμοσμένο μέσα της ένα πλωτήρα ρυθμισμένο ώστε η στάθμη του διαλύματος να διατηρείται σταθερά στα 20L ενώ επικοινωνούσε, μέσω σωλήνα, με μία μαύρη δεξαμενή (συμπλήρωσης), ίδιου όγκου, χωρίς πλωτήρα, τοποθετημένη ακριβώς από πάνω.



Εικόνα 2.1: Δεξαμενή συμπλήρωσης (μαύρη) και ανακυκλούμενου (μπλε) θρεπτικού διαλύματος καθώς και η σύνδεση των δοχείων όπου παρεμβάλλεται ο πλωτήρας.

Κατά την έναρξη του πειράματος προστέθηκαν 20L αρχικό διάλυμα τροφοδοσίας (starter) συγκεκριμένης σύστασης (Πίνακας 1) στη δεξαμενή ανακύκλωσης όλων των μεταχειρίσεων και έπειτα προστέθηκαν 40L διαλύματος συμπλήρωσης (replenishment) (Πίνακας 3) στις δεξαμενές συμπλήρωσης. Όλες οι δεξαμενές ήταν βαθμονομημένες. Η κλίση των καναλιών ήταν κατηφορική (2%) με αποτέλεσμα να δημιουργείται ένα συνεχές, κλειστό κύκλωμα ροής θρεπτικού διαλύματος.



Εικ. 2.2: Η πειραματική εγκατάσταση κατά την έναρξη του πειράματος.

Κάθε Δευτέρα, Τετάρτη και Παρασκευή, από την αρχή μέχρι το τέλος του πειράματος καταγραφόταν η στάθμη της βαθμονομημένης δεξαμενής συμπλήρωσης, συμπληρωνόταν θρεπτικό διάλυμα εάν χρειαζόταν και καταγραφόταν εκ νέου η στάθμη, ούτως ώστε να μετρηθεί η διαφορά κατανάλωσης των φυτών σε αυτά τα χρονικά διαστήματα και σε όλα τα στάδια ανάπτυξής τους. Επίσης καταγραφόταν ο δείκτης οξύτητας (pH), η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) και γίνονταν τυχόν διορθώσεις με KOH και

HNO₃ ώστε το pH να διατηρείται κατά το δυνατό σταθερά στην τιμή βάσης (5,6).

Κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας οι δεξαμενές κενώθηκαν τέσσερις φορές (33^η, 61^η, 89^η, 117^η 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^η ημέρα) όπου αλλάχτηκε και η σύσταση του θρεπτικού διαλύματος συμπλήρωσης (replenishment) λόγω σημαντικής αύξησης της αγωγιμότητας από την τιμή βάσης (2,6 dS m⁻¹). Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε ειδικό πρόγραμμα H/Y (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.

Πίνακας 1. Διάλυμα έναρξης (starter) με το οποίο πληρώθηκαν

Επιθυμητά χαρακτηριστικά Θ.Δ.	
E_{II}^*	2.60 dS/m
pH opt.	5.6
[K]	6.000 mmol/l
[Ca]	6.500 mmol/l
[Mg]	2.000 mmol/l
[NO ₃]	15.600 mmol/l
[NH ₄]	0.500 mmol/l
[H ₂ PO ₄ ⁻]	1.200 mmol/l
[Fe] _f	15.00 μmol/l
[Mn] _f	10.00 μmol/l
[Zn] _f	7.00 μmol/l
[Cu] _f	0.80 μmol/l
[B] _f	50.00 μmol/l
[Mo] _f	0.50 μmol/l
[Si]	0.00 mmol/l

Πίνακας 2. Χημική σύσταση νερού άρδευσης

Χημική σύσταση νερού	
E_w	0,32 dS/m
pH	7,3
Ca ²⁺	0,90 mmol/l
Mg ²⁺	0,30 mmol/l
K ⁺	0,00 mmol/l
NH ₄ ⁺	0,00 mmol/l
Na ⁺	0,60 mmol/l
SO ₄ ²⁻	0,20 mmol/l
NO ₃ ⁻	0,00 mmol/l
H ₂ PO ₄ ⁻	0,00 mmol/l
HCO ₃ ⁻	2,20 mmol/l
Cl ⁻	0,40 mmol/l
Fe	0,00 μmol/l
Mn ⁺⁺	0,00 μmol/l
Zn ⁺⁺	2,15 μmol/l
Cu ⁺⁺	0,00 μmol/l
B	0,00 μmol/l
Mo	0,00 μmol/l
Si	0,00 mmol/l

Πίνακας 3: Διαλύματα συμπλήρωσης (replenishment)

Αρχικό		Τελικό	
Επιθυμητά χαρακτηριστικά Θ.Δ.		Επιθυμητά χαρακτηριστικά Θ.Δ.	
E_{II}^*	1.80 dS/m	E_{II}^*	1.80 dS/m
pH opt.	5.6	pH opt.	5.6
[K]	8.000 mmol/l	[K]	8.400 mmol/l
[Ca]	2.200 mmol/l	[Ca]	2.700 mmol/l
[Mg]	1.100 mmol/l	[Mg]	1.400 mmol/l
[NO ₃]	11.500 mmol/l	[NO ₃]	13.000 mmol/l
[NH ₄]	1.000 mmol/l	[NH ₄]	1.000 mmol/l
[H ₂ PO ₄ ⁻]	1.100 mmol/l	[H ₂ PO ₄ ⁻]	1.100 mmol/l
[Fe] _f	15.00 μmol/l	[Fe] _f	15.00 μmol/l
[Mn] _f	10.00 μmol/l	[Mn] _f	10.00 μmol/l
[Zn] _f	4.00 μmol/l	[Zn] _f	4.00 μmol/l
[Cu] _f	0.70 μmol/l	[Cu] _f	0.70 μmol/l
[B] _f	25.00 μmol/l	[B] _f	25.00 μmol/l
[Mo] _f	0.50 μmol/l	[Mo] _f	0.50 μmol/l
[Si]	0.00 mmol/l	[Si]	0.00 mmol/l

2.3 ΣΥΣΤΗΜΑ ΥΠΟΣΤΥΛΩΣΗΣ ΚΑΙ ΨΕΚΑΣΜΟΙ

Τα φυτά υποστυλώθηκαν διατηρώντας δύο βλαστούς ανά φυτό που στερεώνονταν με σπάγκους στα σύρματα ενώ κλαδεύονταν μια με δύο φορές την εβδομάδα αφαιρώντας τους υπόλοιπους βλαστούς για να αναπτυχθεί ο καρπός που βρίσκεται στη βάση της διακλάδωσης. Κάθε βλαστός που δεν κλαδευόταν, δενόταν με ξεχωριστό σπάγκο στα οριζόντια σύρματα.

Η καθαριότητα του θαλάμου ήταν επιβεβλημένη και για την αντιμετώπιση εχθρών και ασθενειών έγιναν προληπτικοί ψεκασμοί με χημικά και βιολογικά σκευάσματα. 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 της καλλιέργειας, εξαπολύθηκαν έντομα φύλακες του γένους *Orius laevigatus* (αρπακτικό του Θρίπα) και του γένους *Amblyseius swirskii* (αρπακτικό του Αλευρώδη) ενώ 60 ημέρες από την έναρξη του πειράματος εξαπολύθηκαν ξανά έντομα φύλακες του γένους *Orius laevigatus*. Τέλος, 15 ημέρες πριν το τέλος του πειράματος πραγματοποιήθηκε ψεκασμός με Pirimor για την καταπολέμηση της αφίδας.

2.4 ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΜΕΤΑΧΕΙΡΙΣΕΙΣ

Κατά την εγκατάσταση της καλλιέργειας, ένα φυτό από κάθε μεταχείριση σημαδεύονταν κάθε μήνα και τα σημαδεμένα φυτά μεταφέρονταν στο εργαστήριο για περεταίρω μετρήσεις. Μέχρι το τέλος του πειράματος πραγματοποιήθηκαν συνολικά 6 δειγματοληψίες (Πίν. 4). Κατά την ημέρα της δειγματοληψίας λαμβανόταν και δείγμα θρεπτικού διαλύματος από τις δεξαμενές ανακύκλωσης όλων των μεταχειρίσεων αλλά και δείγμα από τις δεξαμενές συμπλήρωσης. Στο εργαστήριο, καταγραφόταν το μήκος του μεγαλύτερου βλαστού, η φυλλική επιφάνεια και έπειτα τα φυτά τεμαχίζονταν και διαχωρίζονταν σε φύλλα, βλαστούς, ρίζες και καρπούς. Σημειωνόταν το χλωρό τους βάρος ξεχωριστά ενώ στους καρπούς γινόταν ποιοτική κατάταξη σε ώριμους και ανώριμους καρπούς, σε καρπούς Α και Β κατηγορίας, σε μη εμπορεύσιμους καρπούς και σε καρπούς με ξηρή σήψη κορυφής (BER).

Στη συνέχεια οι ιστοί των σηματοδωμένων φυτών τοποθετούνταν σε θάλαμο ξήρανσης στους 70 °C για τουλάχιστον 2 ώρες ώστε να εξατμιστεί η υγρασία και να μείνει η ξηρά ουσία η οποία και ζυγίζόταν. Μετά από επεξεργασία στον Μύλο (MF-10), τα δείγματα μετατρέπονταν σε σκόνη και 0,5gr δείγματος κάθε ιστού τοποθετούνταν στο πυραντήριο μέσα σε ειδικές, αριθμημένες κάψες για 8 ώρες στους 550 °C. Ειδική μεταχείριση απαιτούσε το δείγμα των ριζών το οποίο διαβρεχόταν ελαφρά με H₂SO₄ 1M πριν τοποθετηθεί στο πυραντήριο.

Πίνακας 4: Ημερομηνίες δειγματοληψιών

Δειγματοληψίες	Ημερομηνία
μάρτυρας-1η	20/01/2014
2η	17/02/2014
3η	17/03/2014
4η	14/04/2014
5η	12/05/2014
6η	09/06/2014

Στην εναπομείνασα, πλέον, τέφρα προστέθηκε αραιωμένο διάλυμα HCL 10ml και το μείγμα διηθήθηκε μέσα σε φλάσκα των 100ml (πυκνά διαλύματα). Έπειτα πραγματοποιήθηκε αραιώση του διαλύματος 1:100 για τη μέτρηση των μακροστοιχείων K⁺, Ca⁺² και Mg⁺² ενώ για τα NO₃⁻ και P χρησιμοποιήθηκαν τα πυκνά τους διαλύματα. Την ημέρα λήξης του πειράματος τα εναπομείναντα φυτά τεμαχίστηκαν και διαχωρίστηκαν σε φύλλα, βλαστούς, ρίζες και καρπούς, ζυγίστηκε το χλωρό τους βάρος και μετρήθηκε η συνολική βιομάζα.

2.5 ΟΡΓΑΝΑ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

2.5.1 ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ (EC) & ΔΕΙΚΤΗΣ ΟΞΥΤΗΤΑΣ (pH)

Οι συσκευές που χρησιμοποιήθηκαν για την μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και του pH είναι το φορητό αγωγιμόμετρο Crison cm25 και το φορητό πεχάμετρο Crison pH25.



Εικόνα 2.3: Πεχάμετρο (αριστερά) - Αγωγιμόμετρο (δεξιά)

Το αγωγιμόμετρο είναι μια απλή συσκευή η οποία διαθέτει δύο πόλους από τους οποίους διέρχεται ασθενές ηλεκτρικό ρεύμα. Όταν οι δύο πόλοι βυθισθούν σε ένα διάλυμα, το αγωγιμόμετρο μετράει την αντίσταση (I) του ηλεκτρικού ρεύματος που διέρχεται από το διάλυμα μεταξύ των δύο πόλων. Μέσω της σχέσης $I = U/R$ υπολογίζεται αυτόματα μέσω επεξεργαστή η αντίσταση του διαλύματος και στη συνέχεια εμφανίζεται η ηλεκτρική αγωγιμότητα σε $dS\ m^{-1}$ στην οθόνη του οργάνου.

Το αισθητήριο του πεχάμετρου από την άλλη, προσδιορίζει τη διαφορά δυναμικού που αναπτύσσεται μεταξύ της ποσότητας οξονίων που περιέχει το μετρούμενο διάλυμα και γνωστής ποσότητας οξονίων ενός διαλύματος αναφοράς που περιέχει το αισθητήριο.

Το όργανο γενικά, ανιχνεύοντας τις μεταβολές στο δυναμικό που αναπτύσσουν τα οξόνια του αγνώστου διαλύματος, παρουσιάζει τιμές pH που προσδιορίζει βάσει του νόμου του Nerst. Επειδή η τιμή του pH επηρεάζεται από την θερμοκρασία του διαλύματος, ταυτόχρονα με τη μέτρηση του pH μετράται και η θερμοκρασία του, με αισθητήριο θερμοκρασίας και ανάγεται η μετρηθείσα τιμή του pH στη θερμοκρασία αναφοράς (25 °C), ώστε να είναι δυνατές οι συγκρίσεις (Μαυρογιαννόπουλος, 2006).

2.5.2 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΜΑΚΡΟΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΤΟΥΣ ΙΣΤΟΥΣ - ΔΙΑΛΥΜΑΤΑ

2.5.2.1 Φασματοφωτομετρία Ατομικής Απορρόφησης (Ca^{+2} , Mg^{+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_0 = η ισχύς της ακτινοβολίας που προσπίπτει στο νέφος των ατόμων,

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

k_ν = συντελεστής ατομικής απορρόφησης, ο οποίος είναι ανάλογος προς τον αριθμό των ατόμων που απορροφούν την ακτινοβολία συχνότητας, άρα και της συγκέντρωσης του διαλύματος,

λ_1, λ_2 = 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).

2.5.2.2 Φασματομετρία Ατομικής Εκπομπής (K⁺)

Για τον προσδιορισμό των συγκεντρώσεων K 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.

2.5.2.3 Φασματοφωτομετρία (P, NO₃⁻)

Το φασματοφωτόμετρο χρησιμοποιείται για να μετρήσει το φως που απορροφά ένα δείγμα. Το όργανο λειτουργεί στέλνοντας μια δέσμη φωτός μέσα από ένα δείγμα, μετρώντας την ένταση του φωτός που φθάνει σε ένα ανιχνευτή. Η δέσμη φωτός αποτελείται από φωτόνια. Όταν ένα φωτόνιο συναντά ένα μόριο αναλυτή (ο αναλυτής είναι το μόριο που μελετάται), υπάρχει περίπτωση ο αναλυτής να απορροφήσει το φωτόνιο. Αυτή η απορρόφηση μειώνει τον αριθμό των φωτονίων στην φωτεινή δέσμη και με αυτόν τον τρόπο μειώνει την ένταση της φωτεινής δέσμης.

Αρχικά, μετριέται η ένταση του φωτός (I_0) που περνάει μέσα από κενό. Η ένταση είναι ο αριθμός των φωτονίων ανά δευτερόλεπτο. Το κενό είναι ένα διάλυμα το οποίο είναι πανομοιότυπο με διάλυμα του δείγματος με τη διαφορά ότι το κενό δεν περιέχει τη διαλυμένη ουσία που απορροφά φως.

Στη συνέχεια, μετριέται η ένταση του φωτός (I) που περνάει μέσα από το διάλυμα του δείγματος. Στην πράξη, το όργανο μετράει την ισχύ παρά την ένταση του φωτός. Η ισχύς είναι η ενέργεια ανά δευτερόλεπτο η οποία αποτελεί το προϊόν της έντασης (φωτόνια ανά δευτερόλεπτο) και την ενέργεια ανά φωτόνιο.

Τελικά, χρησιμοποιούνται πειραματικά δεδομένα για να υπολογιστούν δύο ποσότητες: η διαπερατότητα (T) και η απορρόφηση (A).

$$T = I / I_0$$

$$A = - \log_{10} T$$

Η διαπερατότητα είναι απλά ο φραγμός του φωτός στην αρχική δέσμη που περνάει μέσα από το δείγμα και φτάνει στον ανιχνευτή. Το φως που υπολείπεται, $1 - T$, είναι ο φραγμός του φωτός που απορροφήθηκε από το δείγμα.

2.5.2.4 Διαδικασία μέτρησης ολικού φωσφόρου (P)

Όσον αφορά τον χρωματομετρικό προσδιορισμό του ολικού φωσφόρου (P) σε φυτικούς ιστούς εφαρμόσθηκε η μέθοδος κυανού φωσφομολυβδαινικού συμπλόκου κατά Eaton et al. (1995) με χρήση φασματοφωτόμετρου (Perkin-Elmer Lambda 1A) σε μήκος κύματος 880 nm. Αρχικά έγινε η παρασκευή των αντιδραστηρίων, απαραίτητα για την επιτυχή ολοκλήρωση της διαδικασίας. Ειδικότερα, 4,8 gr μολυβδαινικό αμμώνιο διαλύθηκαν σε 100ml θερμό H₂O αποτελώντας το αντιδραστήριο A. Ενώ, 0,1097gr αντιμονουλοτρυγικό κάλιο διαλύθηκαν σε 100ml θερμό H₂O αποτελώντας το αντιδραστήριο B. Τα παραπάνω αντιδραστήρια αναμίχθηκαν σε κωνική φιάλη που περιείχε 55,5 ml H₂SO₄ διαλυμένα σε 1 L H₂O αφού πρώτα κρύωσαν και προστέθηκαν 52,8gr (26,4gr/500ml) ασκορβικό οξύ ώστε να σχηματιστεί το διάλυμα ανάπτυξης χρώματος Murphy-Riley το οποίο αποθηκεύτηκε στο σκοτάδι σε μπουκάλι χρώματος ήλεκτρον μακριά από το φως.

Η εκτέλεση της διαδικασίας περιγράφεται στα ακόλουθα βήματα:

1. 2 ml δείγματος (διαλύματα φύλλων, ριζών βλαστών, καρπών) προστίθενται σε φιάλη των 50 ml.
2. 3-4 σταγόνες νιτροφαινόλης (δείκτης).
3. Αφιονισμένο νερό (μικρή ποσότητα για να ανέβει η στάθμη της φιάλης).

4. Λίγες σταγόνες NaOH 1M (το χρώμα γίνεται κίτρινο).
5. 10 ml διαλύματος Murphy-Riley. Στο σημείο αυτό το διάλυμα αναδεύεται.
6. Συμπλήρωση του όγκου με αφιονισμένο νερό.
7. Το νέο διάλυμα αφήνεται σε ηρεμία για 20 min (παρατηρείται η ανάπτυξη μπλε χρώματος)
8. Μέτρηση διαπερατότητας στο φασματοφωτόμετρο στα 880 nm.

2.5.2.5 Διαδικασία μέτρησης νιτρικών (NO_3^-) στα διαλύματα

Η μέτρηση των NO_3^- έγινε με τη μέθοδο Griess-Ilosvay κατά την οποία τα NO_3^- μετατρέπονται σε NO_2^- μέσω στήλης ενεργοποιημένου Cd, όπως αυτή περιγράφεται από τους Page et al. (1982).

- **Αντιδραστήρια που χρησιμοποιήθηκαν:**

1. Διάλυμα χλωριούχου καλίου (KCl), 2M
2. Ενεργοποιημένο Cd: Αρχικά προστέθηκαν 50gr δείγματος Cd σε 250ml υδροχλωρικού οξέος (HCl) 6N για ένα λεπτό και αφού το HCl μεταγγίστηκε ακολουθήθηκε σχολαστικό ξέπλυμα με αφιονισμένο νερό. Στη συνέχεια προστέθηκε δύο φορές διάλυμα πενταϋδρικού θειικού χαλκού ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) 2% (wt/vol) το οποίο διαχωρίστηκε με έκπλυση με αφιονισμένο νερό. Το διάλυμα πενταϋδρικού θειικού χαλκού μεταγγίστηκε και το ενεργοποιημένο Cd ξεπλύθηκε σχολαστικά έως ότου το μπλε-γκρίζο χρώμα εξαφανιστεί. Τέλος το ενεργοποιημένο Cd τοποθετήθηκε στις στήλες αναγωγής.
3. Διάλυμα χλωριούχου αμμωνίου (NH_4Cl) συμπυκνωμένο: Διαλύθηκαν 100gr NH_4Cl σε 500ml αφιονισμένο νερό και αποθηκεύτηκε σε γυάλινο μπουκάλι.
4. Διάλυμα χλωριούχου αμμωνίου (NH_4Cl), αραιωμένο: Αραιώθηκαν 50ml συμπυκνωμένου NH_4Cl σε 2L αφιονισμένου νερού και αποθηκεύτηκε σε γυάλινο μπουκάλι.

5. Διαζωτοποιημένο αντιδραστήριο: Διαλύθηκαν 0,5gr σουλφανιλαμίνης σε 100ml HCl 2M και το διάλυμα αποθηκεύτηκε στο ψυγείο στους 4 °C.
6. Αντιδραστήριο σύζευξης: Διαλύθηκαν 0,3gr [N-(1-naphthyl)-ethylenediamine] υδροχλωριδίου σε 100ml HCl 0,2M και το διάλυμα αποθηκεύτηκε σε σκουρόχρωμο, γυάλινο μπουκάλι στο ψυγείο.
7. Πρότυπο διάλυμα νιτρικών NO₃⁻ : Διαλύθηκαν 0,3609 νιτρικού καλίου (KNO₃) σε αφιονισμένο νερό και αραιώθηκε σε ένα λίτρο και τοποθετήθηκε σε διαφανές, γυάλινο μπουκάλι στο ψυγείο.

- **Προετοιμασία στήλης αναγωγής:**

Σε στήλες Pyrex εισήχθη αραιωμένο διάλυμα NH₄Cl και μετά προστέθηκε ικανή ποσότητα ενεργοποιημένου Cd ώστε να γεμίσουν τα πρώτα 20cm της στήλης. Απομακρύνθηκαν τυχόν φουσκάλες και στραγγίστηκε το διάλυμα NH₄Cl. Στη συνέχεια η στήλη εκπλύθηκε σχολαστικά με αραιό NH₄Cl ενώ όταν η στήλη δεν χρησιμοποιούταν, το Cd ήταν πάντα καλυμμένο με αραιό NH₄Cl τουλάχιστον πάνω από 1cm σε βάθος.

- **Εκτέλεση διαδικασίας:**

Αμέσως πριν την χρήση της στήλης για την ανάλυση των νιτρικών προστέθηκε 1ml διαλύματος συμπυκνωμένου NH₄Cl και χαμηλώθηκε η στήλη του υγρού στην άκρη της στήλης. Στη συνέχεια προστέθηκαν 75ml αραιού διαλύματος NH₄Cl στον πάνω ελεύθερο χώρο της στήλης ενώ ακριβώς κάτω από τη στήλη τοποθετήθηκε μια φλάσκα των 100ml ώστε να συλλεχθεί το απόσταγμα από τη ροή του NH₄Cl μέσα από το ενεργοποιημένο Cd ελέγχοντας την ροή (με ρυθμό περίπου 110ml min⁻¹) με την στρόφιγγα της στήλης.

Μετά την ολοκλήρωση της έκλουσης προστέθηκε και ανακατεύθηκε στην φλάσκα 2ml διαζωτοποιημένο αντιδραστήριο. Μετά από 5' προστέθηκαν 2ml αντιδραστηρίου σύζευξης, το διάλυμα ανακατεύτηκε και παρέμεινε ακίνητο για 20'. Τέλος, μετρήθηκε η απορρόφηση του διαλύματος στα 540nm

στο φασματοφωτόμετρο. Για τον καθορισμό της συγκέντρωσης των $\text{NO}_3^- - \text{N}$ του διαλύματος φυτικού ιστού χρειάστηκε καμπύλη αναφοράς που περιείχε δείγματα της τάξης των 0,2,4,6,10 και 20 $\mu\text{g NO}_3^- - \text{N}$.

2.5.3 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ ΘΡΕΠΤΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Ο προσδιορισμός της απορρόφησης των συγκεντρώσεων των μακροστοιχείων υπολογίστηκε με βάση την απομάκρυνση των θρεπτικών στοιχείων από το θρεπτικό διάλυμα. Συγκεκριμένα, η μέση συγκέντρωση απορρόφησης του x μακροστοιχείου (C_{xu} σε mmol L^{-1} , όπου $x = \text{Ca}^{+2}, \text{K}^+, \text{Mg}^{+2}, \text{NO}_3^-, \text{P}$) 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 (L) = ο ολικός όγκος του θρεπτικού διαλύματος ανακύκλωσης σε κάθε πειραματική μονάδα (σε κάθε φυτό).

V_{ui} (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} (mmol L^{-1}) = οι συγκεντρώσεις του x μακροστοιχείου στο θρεπτικό διάλυμα ανακύκλωσης την πρώτη και την τελευταία μέρα του i μεσοδιαστήματος ($i = 1..5$)

C_{xa} (mmol L^{-1}) = δηλώνει τη συγκέντρωση του x μακροστοιχείου στο θρεπτικό διάλυμα συμπλήρωσης που χρησιμοποιήθηκε σε κάθε μεταχείριση

2.6 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

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.

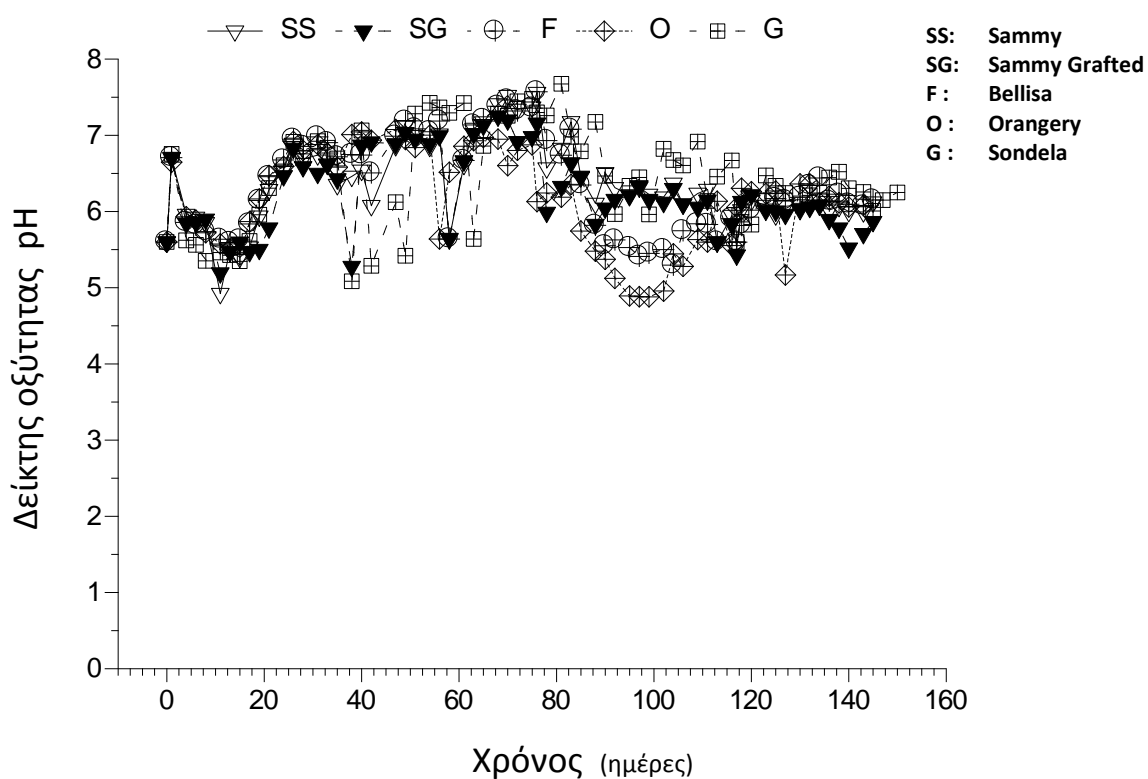
Κάθε μεταχείριση αντιστοιχούσε σε ένα κανάλι κατά μήκος του οποίου είχαν εγκατασταθεί εννέα φυτά της αντίστοιχης επέμβασης (ποικιλίας). Το σύνολο των φυτών - 180 φυτά - αποτέλεσε και το ολικό φυτικό υλικό που χρησιμοποιήθηκε.

Για την στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό *Statistica* v.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 multiple range test* (MRT) σε επίπεδο σημαντικότητας 5%. Η απεικόνιση των δεδομένων σε γραφήματα έγινε με το πρόγραμμα Plot-It 3.2.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 ΔΕΙΚΤΗΣ ΟΞΥΤΗΤΑΣ (pH)

Παρακάτω αποτυπώνεται γραφικά η διαβάθμιση του δείκτη οξύτητας pH στις πέντε επεμβάσεις από την έναρξη του πειράματος μέχρι και το πέρας αυτού (Εικ. 3.1).



Εικόνα 3.1. Διακύμανση του δείκτη οξύτητας (pH) στο χρόνο

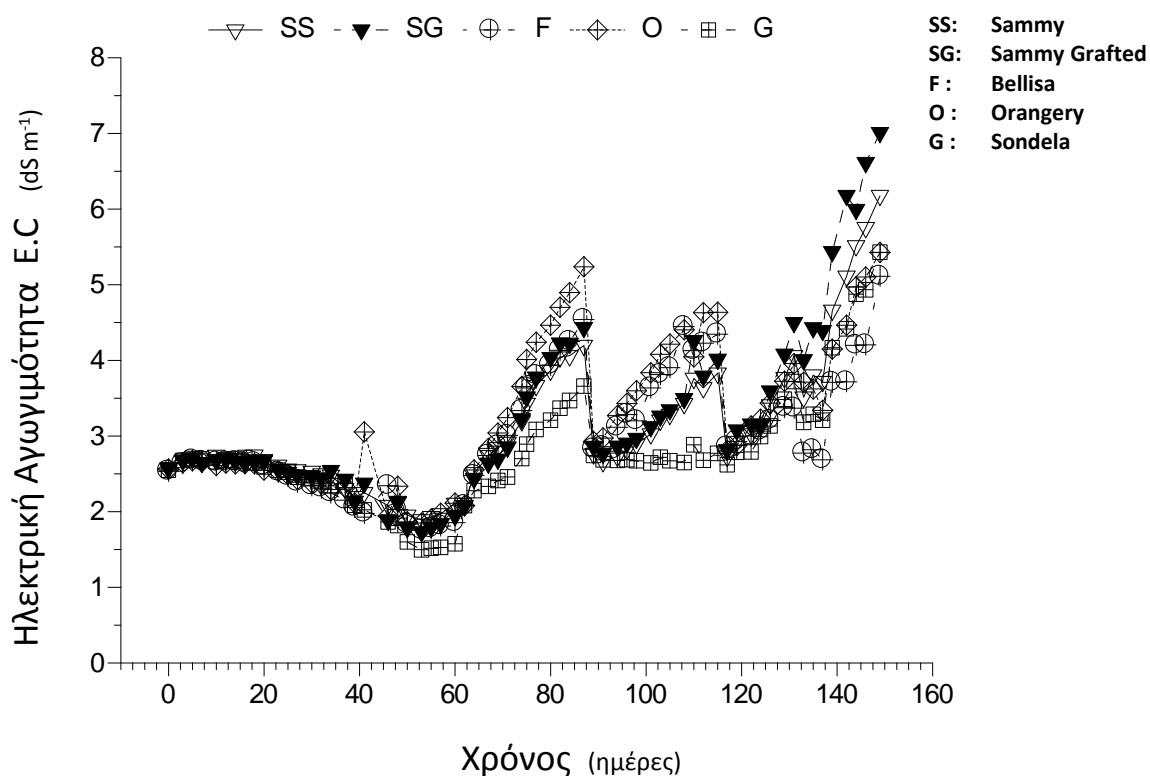
M.O	F	G	O	SG	SS
pH	6,281791	6,4329241	6,047164179	6,1537313	6,294664

Πίνακας 5. Μέσοι όροι του δείκτη οξύτητας (pH) των επεμβάσεων

Μέχρι και την 91^η ημέρα, όπου για πρώτη φορά αλλάχτηκε η συνταγής θρέψης στο διάλυμα συμπλήρωσης, το pH κυμάνθηκε σε σχετικά υψηλά επίπεδα σε σύγκριση με την τιμή βάσης (5,6). Από το χρονικό σημείο εκείνο και έπειτα το pH κυμάνθηκε σε φυσιολογικά επίπεδα.

3.2 ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ (EC)

Παρακάτω αποτυπώνεται γραφικά η διαβάθμιση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας EC στις πέντε επεμβάσεις από την έναρξη του πειράματος μέχρι και το πέρας αυτού (Εικ 3.2).



Εικόνα 3.2. Διακύμανση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (E.C) στο χρόνο

M.O	F	G	O	SG	SS
EC	3,013783	2,7796449	3,250953846	3,2306231	3,107535

Πίνακας 6. Μέσοι όροι της ηλεκτρικής αγωγιμότητας EC των επεμβάσεων

Από το παραπάνω γράφημα είναι φανερό ότι μέχρι τις πρώτες 61 ημέρες η αγωγιμότητα αρχικά κυμαίνεται σε φυσιολογικά επίπεδα αλλά στη συνέχεια και μέχρι το τέλος της περιόδου αυτής, μειώνεται βαθμιαία μέχρι το επίπεδο των 1,7-2,1 dS m⁻¹ το οποίο είναι σημαντικά χαμηλότερο από την τιμή βάσης (2,6 dS m⁻¹). Από την 61^η μέχρι και την 89^η ημέρα, δηλαδή μέχρι και την αλλαγή του θρεπτικού διαλύματος συμπλήρωσης, όπου η αγωγιμότητα επανέρχεται στην τιμή βάσης, παρατηρείται μία απότομη αύξηση της EC σε όλες τις επεμβάσεις.

Από την 89^η μέχρι και την 117^η ημέρα, όπου πραγματοποιείται και η τελευταία αλλαγή των θρεπτικών διαλυμάτων στις δεξαμενές, η πορεία της EC παραμένει σταθερή για την επέμβαση G ενώ αυξάνεται απότομα για τις υπόλοιπες τέσσερις επεμβάσεις. Από την 117^η ημέρα μέχρι και το τέλος του πειράματος η αγωγιμότητα αυξάνεται σε όλες τις επεμβάσεις με την επέμβαση G να παρουσιάζει τις χαμηλότερες τιμές.

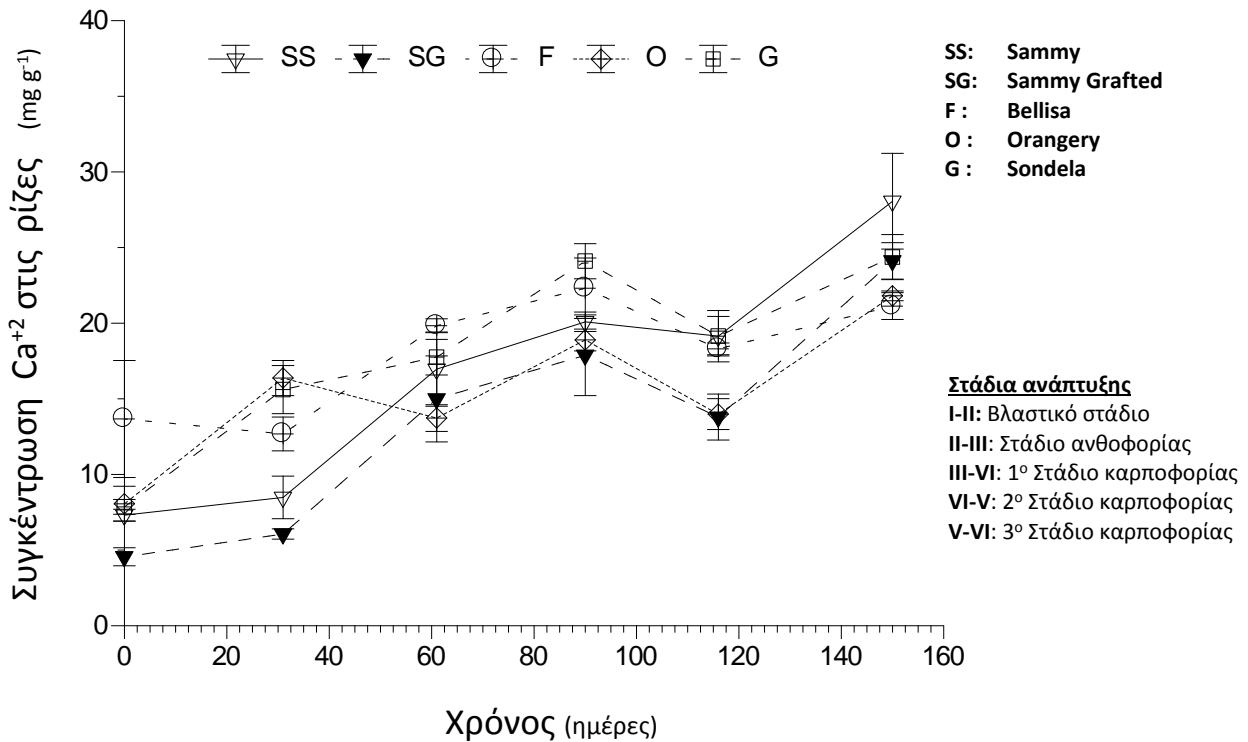
3.3 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΜΑΚΡΟΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΤΙΣ ΡΙΖΕΣ

3.3.1 Συγκέντρωση Ασβεστίου (Ca²⁺) στις ρίζες

Τα αποτελέσματα της στατιστικής σύγκρισης των μέσων όρων των συγκεντρώσεων Ca στις ρίζες των φυτών μεταξύ των επεμβάσεων, στα διαδοχικά στάδια καλλιέργειας της πιπεριάς φαίνονται στον Πίνακα 7 ενώ η διαγραμματική τους απεικόνιση φαίνεται στην Εικόνα 3.3.

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

Πίνακας 7. Συγκρίσεις μέσων όρων των συγκεντρώσεων Ca 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%



Εικόνα 3.3. Διακύμανση των συγκεντρώσεων Ca στις ρίζες των φυτών, μεταξύ των επεμβάσεων, ανά δειγματοληψία

Κατά την έναρξη του βλαστικού σταδίου, οι επεμβάσεις SS και SG παρουσίασαν τις μικρότερες συγκεντρώσεις σε Ca και διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά σε επίπεδο 5% ενώ η επέμβαση F σημείωσε τη μέγιστη τιμή συγκέντρωσης (13,67 mg gr⁻¹) (Πιν.7).

Κατά την έναρξη του σταδίου της άνθισης, παρατηρήθηκε μια γενική αύξηση της συγκέντρωσης Ca στις ρίζες των φυτών όλων των επεμβάσεων με εξαίρεση την επέμβαση F της οποίας η συγκέντρωση μειώθηκε. Οι επεμβάσεις SS και SG σημείωσαν τις ελάχιστες τιμές διαφέροντας μάλιστα στατιστικώς σημαντικά σε επίπεδο 0,1% από τις υπόλοιπες επεμβάσεις (Πιν.7).

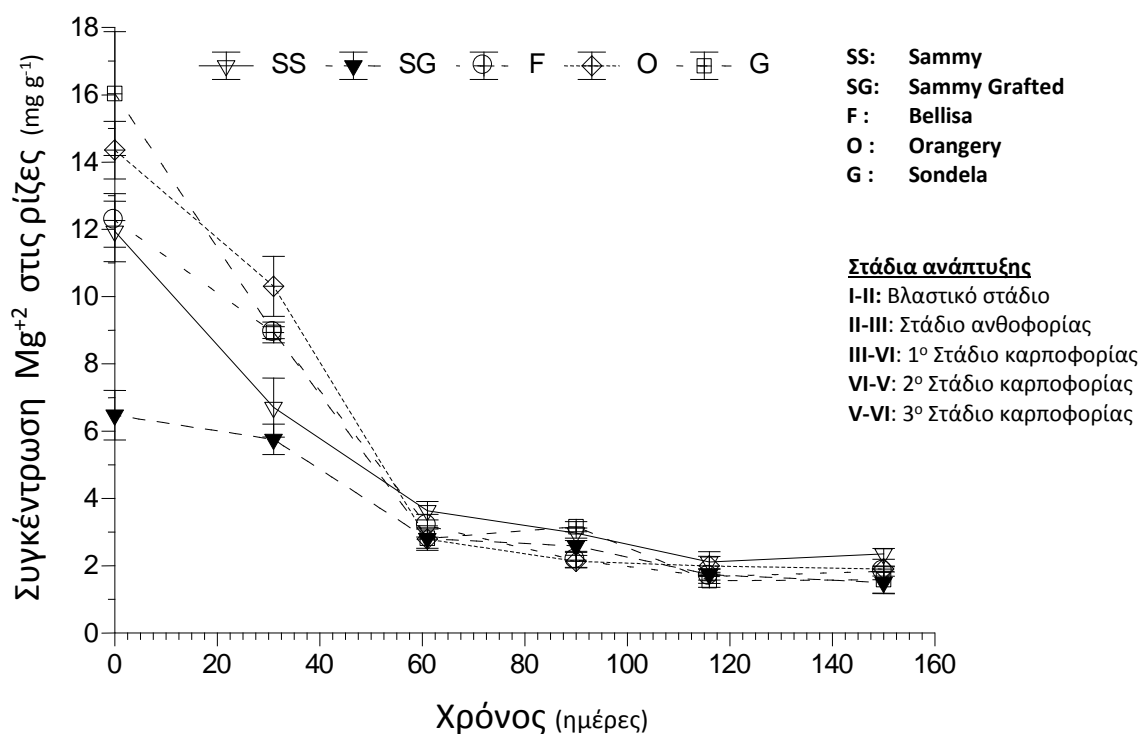
Στην τρίτη και τέταρτη δειγματοληψία, σημειώθηκε μια γενική αύξηση των συγκεντρώσεων Ca στις ρίζες όλων των επεμβάσεων, χωρίς να διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά. Εξαίρεση αποτελεί η επέμβαση O όπου στην τρίτη δειγματοληψία η συγκέντρωση Ca μειώθηκε αισθητά και μάλιστα σημείωσε ελάχιστο ενώ στην τέταρτη δειγματοληψία ακολούθησε και πάλι ανοδική πορεία.

Κατά την έναρξη του δεύτερου σταδίου καρποφορίας, παρατηρήθηκε μια γενική κάθοδος των συγκεντρώσεων Ca σε όλες τις επεμβάσεις με τις SG και O να σημειώνουν τις χαμηλότερες τιμές διαφέροντας μάλιστα στατιστικώς σημαντικά από τις υπόλοιπες σε επίπεδο 5% (Πιν.7).

Στο τέλος της καλλιέργειας οι συγκεντρώσεις όλων των επεμβάσεων αυξήθηκαν αισθητά χωρίς όμως να διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά.

3.3.2 Συγκέντρωση Μαγνησίου (Mg^{+2}) στις ρίζες

Τα αποτελέσματα της στατιστικής σύγκρισης των μέσων όρων των συγκεντρώσεων Mg στις ρίζες των φυτών, μεταξύ των επεμβάσεων, στα διαδοχικά στάδια καλλιέργειας της πιπεριάς φαίνονται στον Πίνακα 8 ενώ η διαγραμματική τους απεικόνιση φαίνεται στην Εικόνα 3.4.



Εικόνα 3.4. Διακύμανση των συγκεντρώσεων Mg στις ρίζες των φυτών, μεταξύ των επεμβάσεων, ανά δειγματοληψία

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

Πίνακας 8. Συγκρίσεις μέσων όρων των συγκεντρώσεων Mg 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 3.4**, στην πρώτη δειγματοληψία, είναι εμφανής η διαφοροποίηση των συγκεντρώσεων Mg μεταξύ των επεμβάσεων ενώ η επέμβαση SG σημείωσε την ελάχιστη τιμή, (6,47 mg g⁻¹). Με την εξαίρεση των επεμβάσεων F και SS που δεν διαφέρουν σημαντικά, όλες οι υπόλοιπες διαφέρουν μεταξύ τους στατιστικώς σημαντικά σε επίπεδο 0,1% (**Πιν.8**).

Κατά την έναρξη του σταδίου ανθοφορίας, οι συγκεντρώσεις Mg όλων των επεμβάσεων παρουσιάζουν πτωτική πορεία με αυτές των επεμβάσεων SS και SG να διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά από τις υπόλοιπες σε επίπεδο 0,1% (**Πιν.8**).

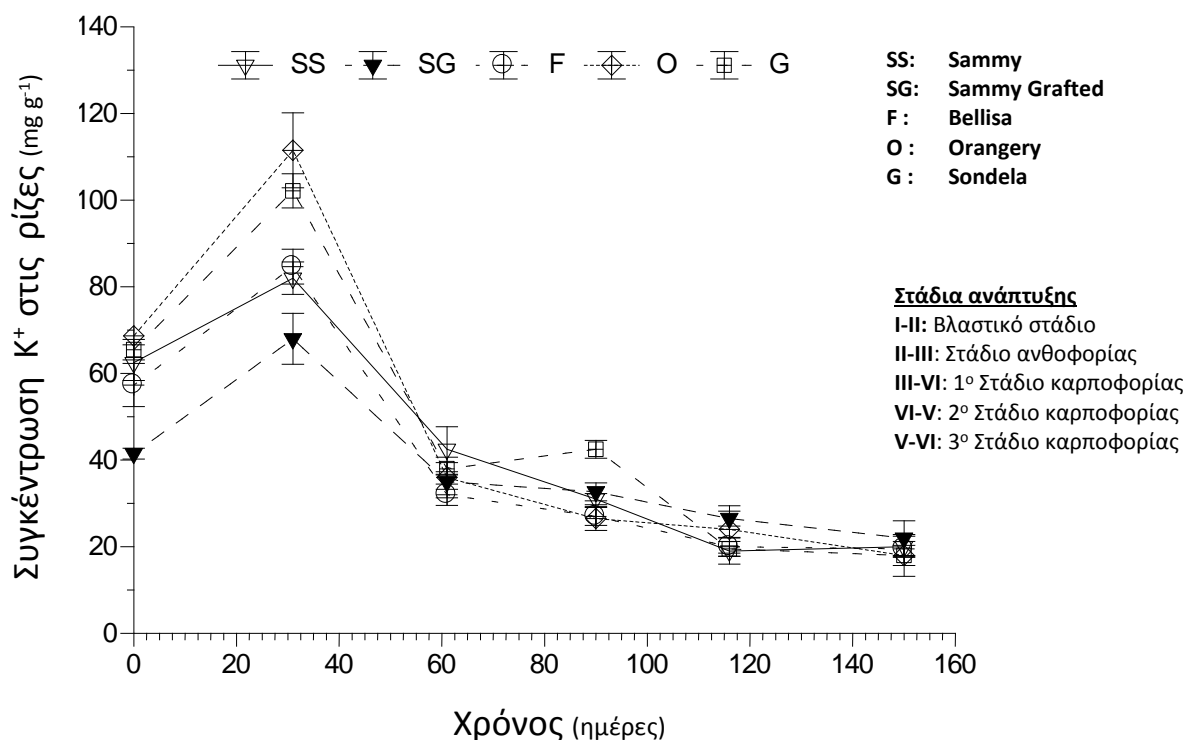
Η καθοδική πορεία συνεχίστηκε και στην τρίτη δειγματοληψία χωρίς όμως οι τιμές των συγκεντρώσεις Mg, όλων των επεμβάσεων, να διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους.

Κατά την έναρξη του δεύτερου σταδίου καρποφορίας, οι συγκεντρώσεις Mg όλων των επεμβάσεων κυμάνθηκαν στα ίδια επίπεδα. Οι συγκεντρώσεις των επεμβάσεων SS και G διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά με αυτές των επεμβάσεων O και F σε επίπεδο 1%. Αντίστοιχα, η συγκέντρωση Mg της επέμβασης SG διαφέρει στατιστικώς σημαντικά, σε επίπεδο 1%, μόνο με αυτήν της επέμβασης G (**Πιν.8**).

Κατά την έναρξη του τρίτου σταδίου καρποφορίας αλλά και στο τέλος της καλλιέργειας, οι συγκεντρώσεις Mg όλων των επεμβάσεων βρέθηκαν στα ίδια περίπου επίπεδα, με τις τιμές τους να κυμαίνονται από 1,5 - 2,5 mg g⁻¹, χωρίς να διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά (**Πιν.8**).

3.3.3 Συγκέντρωση Καλίου (K⁺) στις ρίζες

Τα αποτελέσματα της στατιστικής σύγκρισης των μέσων όρων των συγκεντρώσεων K στις ρίζες των φυτών, μεταξύ των επεμβάσεων, στα διαδοχικά στάδια καλλιέργειας της πιπεριάς φαίνονται στον Πίνακα 9 ενώ διαγραμματική τους απεικόνιση φαίνεται στην Εικόνα 3.5.



Εικόνα 3.5. Διακύμανση των συγκεντρώσεων K στις ρίζες των φυτών, μεταξύ των επεμβάσεων, ανά δειγματοληψία

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

Πίνακας 9. Συγκρίσεις μέσων όρων των συγκεντρώσεων K 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, όλες οι επεμβάσεις κυμάνθηκαν στα ίδια επίπεδα εκτός από την SG που σημείωσε την χαμηλότερη συγκέντρωση K ($41,5 \text{ mg g}^{-1}$). Οι συγκεντρώσεις των επεμβάσεων SG, O και F διαφέρουν μεταξύ τους στατιστικώς σημαντικά σε επίπεδο 0,1% (Πιν. 9).

Κατά έναρξη του σταδίου ανθοφορίας, παρατηρήθηκε μία γενική άνοδος των συγκεντρώσεων K σε όλες τις επεμβάσεις ενώ η επέμβαση SG σημείωσε ξανά, την μικρότερη συγκέντρωση (68 mg g^{-1}). Επιπλέον, η συγκέντρωση της επέμβασης SG διαφέρει στατιστικώς σημαντικά, σε επίπεδο 0,1%, από τις συγκεντρώσεις όλων των άλλων επεμβάσεων, εκτός από αυτήν της επέμβασης SS (Πιν. 9).

Στην τρίτη δειγματοληψία, σημειώθηκε μία απότομη μείωση των συγκεντρώσεων K στις ρίζες των φυτών, σε όλες τις επεμβάσεις, χωρίς όμως να διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους.

Στην τέταρτη δειγματοληψία, η μείωση των συγκεντρώσεων K στις ρίζες συνεχίστηκε σε πολύ μικρό ποσοστό για όλες τις επεμβάσεις. Εξαιρεση αποτελεί η συγκέντρωση της επέμβασης G, η οποία αυξήθηκε και μάλιστα διαφέρει στατιστικώς σημαντικά από τις συγκεντρώσεις των υπολοίπων επεμβάσεων σε επίπεδο 0,1% (Πιν. 9).

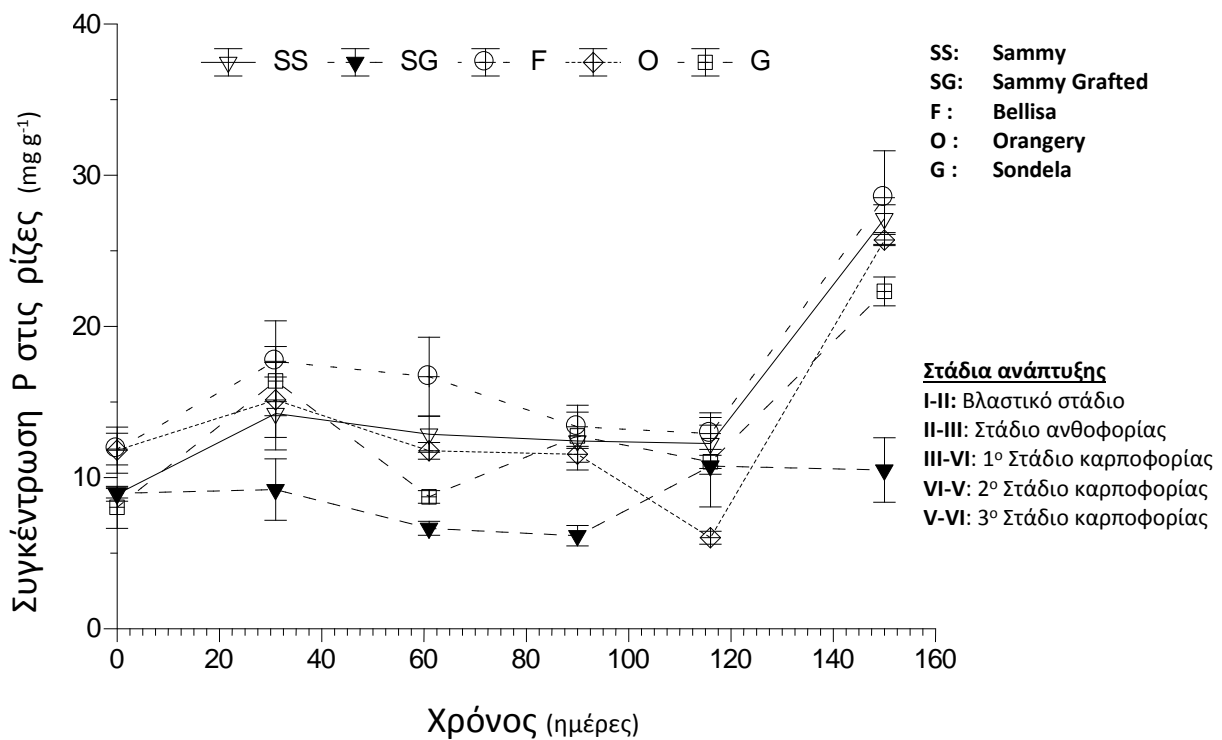
Κατά την έναρξη του τρίτου σταδίου καρποφορίας αλλά κατά το τέλος του πειράματος, η πτώση των συγκεντρώσεων K στις ρίζες όλων των επεμβάσεων συνεχίστηκε σε πολύ μικρά ποσοστά χωρίς όμως υπάρχουν σημαντικές διαφορές.

3.3.4 Συγκέντρωση Φωσφόρου (P) στις ρίζες

Τα αποτελέσματα της στατιστικής σύγκρισης των μέσων όρων των συγκεντρώσεων P στις ρίζες των φυτών, μεταξύ των επεμβάσεων, στα διαδοχικά στάδια καλλιέργειας της πιπεριάς φαίνονται στον Πίνακα 10 ενώ διαγραμματική τους απεικόνιση φαίνεται στην Εικόνα 3.6.

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

Πίνακας 10. Συγκρίσεις μέσων όρων των συγκεντρώσεων P 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%



Εικόνα 3.6. Διακύμανση των συγκεντρώσεων P στις ρίζες των φυτών, μεταξύ των επεμβάσεων, ανά δειγματοληψία

Από την πρώτη έως τη δεύτερη δειγματοληψία, παρατηρήθηκε μία απότομη άνοδος της συγκέντρωσης P στις ρίζες όλων των επεμβάσεων, με εξαίρεση την συγκέντρωση της επέμβαση SG της οποίας η άνοδος ήταν ανεπαίσθητη. Και στις δύο δειγματοληψίες οι τιμές των συγκεντρώσεων P μεταξύ των επεμβάσεων δεν ήταν στατιστικά σημαντικές.

Κατά την έναρξη του πρώτου σταδίου καρποφορίας οι συγκεντρώσεις P στις ρίζες όλων των επεμβάσεων μειώθηκαν. Η συγκέντρωση της επέμβασης SG σημείωσε την ελάχιστη τιμή ($6,64 \text{ mg g}^{-1}$) η οποία διαφέρει στατιστικώς σημαντικά από όλες τις υπόλοιπες, εκτός αυτής της επέμβασης G, σε επίπεδο 0,1% (Πιν.10).

Στην τέταρτη δειγματοληψία, οι τιμές των συγκεντρώσεων P στις ρίζες των επεμβάσεων F, O, SS και SG σημείωσαν πτώση σε αντίθεση με την επέμβαση G της οποίας η συγκέντρωση αυξήθηκε αισθητά. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι η τιμή της συγκέντρωσης P της επέμβασης SG διαφέρει στατιστικώς σημαντικά από όλες τις υπόλοιπες σε επίπεδο 1%, συνεχίζοντας να διατηρεί, ταυτοχρόνως, την ελάχιστη τιμή ($6,15 \text{ mg g}^{-1}$).

Κατά την έναρξη του τρίτου σταδίου καρποφορίας οι συγκεντρώσεις P των επεμβάσεων G, F, O και SS στις ρίζες σημείωσαν πτώση εκτός από αυτήν της επέμβασης SG της οποίας η συγκέντρωση αυξήθηκε απότομα. Οι διαφορές μεταξύ των συγκεντρώσεων δεν ήταν στατιστικώς σημαντικές.

Κατά το τέλος της καλλιέργειας σημειώθηκε μία απότομη αύξηση των συγκεντρώσεων P όλων των επεμβάσεων, εκτός αυτής της επέμβασης SG, όπου η τιμή της σημείωσε μία πολύ μικρή πτώση διαφέροντας στατιστικώς σημαντικά από όλες τις υπόλοιπες σε επίπεδο 0,1%.

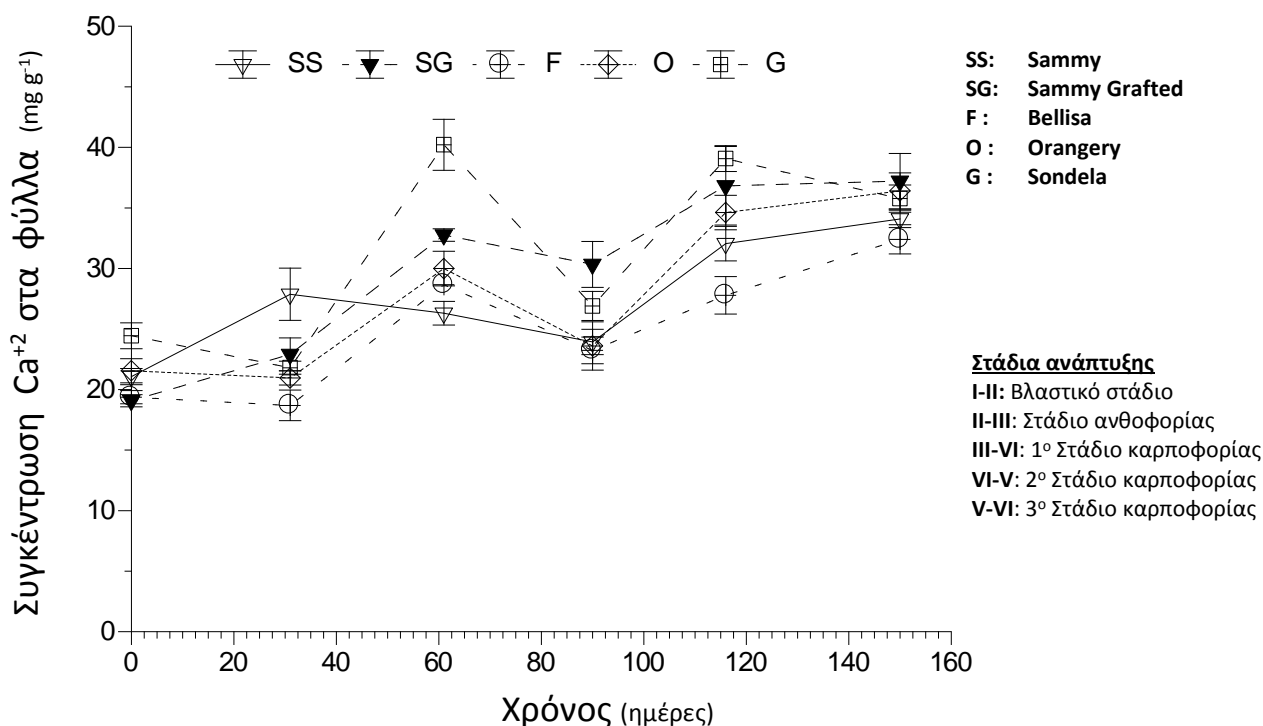
3.4 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΜΑΚΡΟΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΤΑ ΦΥΛΛΑ

3.4.1 Συγκέντρωση Ασβεστίου (Ca²⁺) στα φύλλα

Τα αποτελέσματα της στατιστικής σύγκρισης των μέσων όρων των συγκεντρώσεων Ca στα φύλλα των φυτών, μεταξύ των επεμβάσεων στα διαδοχικά στάδια καλλιέργειας της πιπεριάς φαίνονται στον Πίνακα 11 ενώ διαγραμματική τους απεικόνιση φαίνεται στην **Εικόνα 3.7**.

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

Πίνακας 11. Συγκρίσεις μέσων όρων των συγκεντρώσεων Ca 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%



Εικόνα 3.7. Διακύμανση των συγκεντρώσεων Ca στα φύλλα των φυτών, μεταξύ των επεμβάσεων, ανά δειγματοληψία

Κατά την έναρξη της καλλιέργειας, οι συγκεντρώσεις Ca όλων των επεμβάσεων στα φύλλα κυμάνθηκαν στα ίδια περίπου επίπεδα με εξαίρεση την συγκέντρωση της επέμβασης G που σημείωσε την μέγιστη τιμή (24,4 mg g⁻¹) και η οποία διαφέρει στατιστικώς σημαντικά από τις υπόλοιπες σε επίπεδο 1% (Πιν.11).

Στη δεύτερη δειγματοληψία, οι συγκεντρώσεις Ca των επεμβάσεων O, F και G μειώθηκαν ενώ αυτές των επεμβάσεων SS και SG σημείωσαν αύξηση. Η επέμβαση SS σημείωσε την μεγαλύτερη συγκέντρωση Ca στα φύλλα (22,9 mg g⁻¹) η οποία, μάλιστα, διαφέρει στατιστικώς σημαντικά από όλες τις υπόλοιπες σε επίπεδο 1% (Πιν.11).

Κατά την έναρξη του πρώτου σταδίου καρποφορίας, οι συγκεντρώσεις Ca όλων των επεμβάσεων στα φύλλα παρουσίασαν απότομη άνοδο με εξαίρεση την συγκέντρωση της επέμβασης SS η οποία μειώθηκε και σημείωσε την ελάχιστη τιμή (26,3 mg g⁻¹). Η συγκέντρωση Ca της επέμβασης G ήταν η υψηλότερη (40,2 mg g⁻¹) και διαφέρει στατιστικώς σημαντικά από όλες τις υπόλοιπες σε επίπεδο 0,1% (Πιν.11).

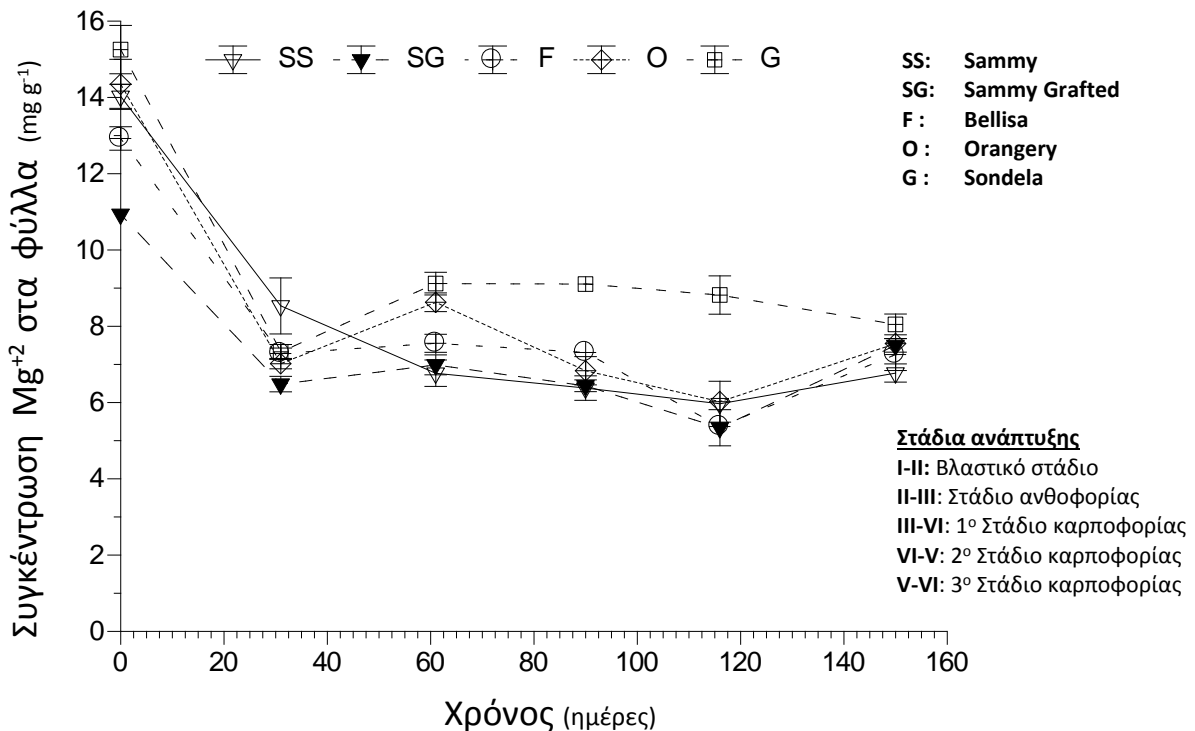
Στην τέταρτη δειγματοληψία, οι τιμές των συγκεντρώσεων Ca στα φύλλα όλων των επεμβάσεων παρουσίασαν μείωση, με την συγκέντρωση της επέμβασης SG να διαφέρει στατιστικώς σημαντικά από αυτές των επεμβάσεων SS, O και F σε επίπεδο 5% (Πιν.11).

Κατά την έναρξη του τρίτου σταδίου καρποφορίας, παρατηρήθηκε μία συνολική άνοδος των συγκεντρώσεων Ca στα φύλλα όλων των επεμβάσεων, με την συγκέντρωση της επέμβασης F να διαφέρει στατιστικώς σημαντικά από όλες τις υπόλοιπες, εκτός αυτής της επέμβασης SS, σε επίπεδο 1% (Πιν.11).

Κατά το τέλος του πειράματος, σημειώθηκε αύξηση των συγκεντρώσεων Ca στα φύλλα των επεμβάσεων SS, SG, F, O, ενώ η συγκέντρωση της επέμβασης G μειώθηκε. Οι διαφορές των συγκεντρώσεων Ca, μεταξύ των επεμβάσεων, δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά.

3.4.2 Συγκέντρωση Μαγνησίου (Mg^{+2}) στα φύλλα

Τα αποτελέσματα της στατιστικής σύγκρισης των μέσων όρων των συγκεντρώσεων Mg στα φύλλα των φυτών, μεταξύ των επεμβάσεων, στα διαδοχικά στάδια καλλιέργειας της πιπεριάς φαίνονται στον Πίνακα 12 ενώ η διαγραμματική τους απεικόνιση φαίνεται στην Εικόνα 3.8.



Εικόνα 3.8. Διακύμανση των συγκεντρώσεων Mg στα φύλλα των φυτών, μεταξύ των επεμβάσεων, ανά δειγματοληψία

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

Πίνακας 12. Συγκρίσεις μέσων όρων των συγκεντρώσεων Mg 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%

Κατά την έναρξη του πειράματος και όταν τα φυτά βρίσκονταν στο βλαστικό στάδιο ανάπτυξης, η συγκέντρωση Mg της επέμβασης SG στα φύλλα ήταν η ελάχιστη ($10,93 \text{ mg g}^{-1}$), η οποία μάλιστα διαφέρει στατιστικώς σημαντικά από τις υπόλοιπες σε επίπεδο 0,1% (Πιν.12).

Κατά την έναρξη του σταδίου ανθοφορίας, παρατηρήθηκε απότομη μείωση των συγκεντρώσεων Mg στα φύλλα όλων των επεμβάσεων, με την συγκέντρωση της επέμβασης SG να παραμένει στο κατώτερο επίπεδο ($6,48 \text{ mg g}^{-1}$). Αντιθέτως, η συγκέντρωση Mg της επέμβασης SS σημείωσε την ανώτερη τιμή ($8,53 \text{ mg g}^{-1}$) και διαφέρει στατιστικώς σημαντικά από όλες τις υπόλοιπες σε επίπεδο 5% (Πιν.12).

Στην τρίτη δειγματοληψία, η συγκέντρωση Mg της επέμβασης SS σημείωσε περαιτέρω μείωση σε αντίθεση με όλες τις υπόλοιπες συγκεντρώσεις που αυξήθηκαν. Οι τιμές των συγκεντρώσεων Mg των επεμβάσεων O και G διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά από αυτές των SS, SG και F σε επίπεδο 0,1% (Πιν.12).

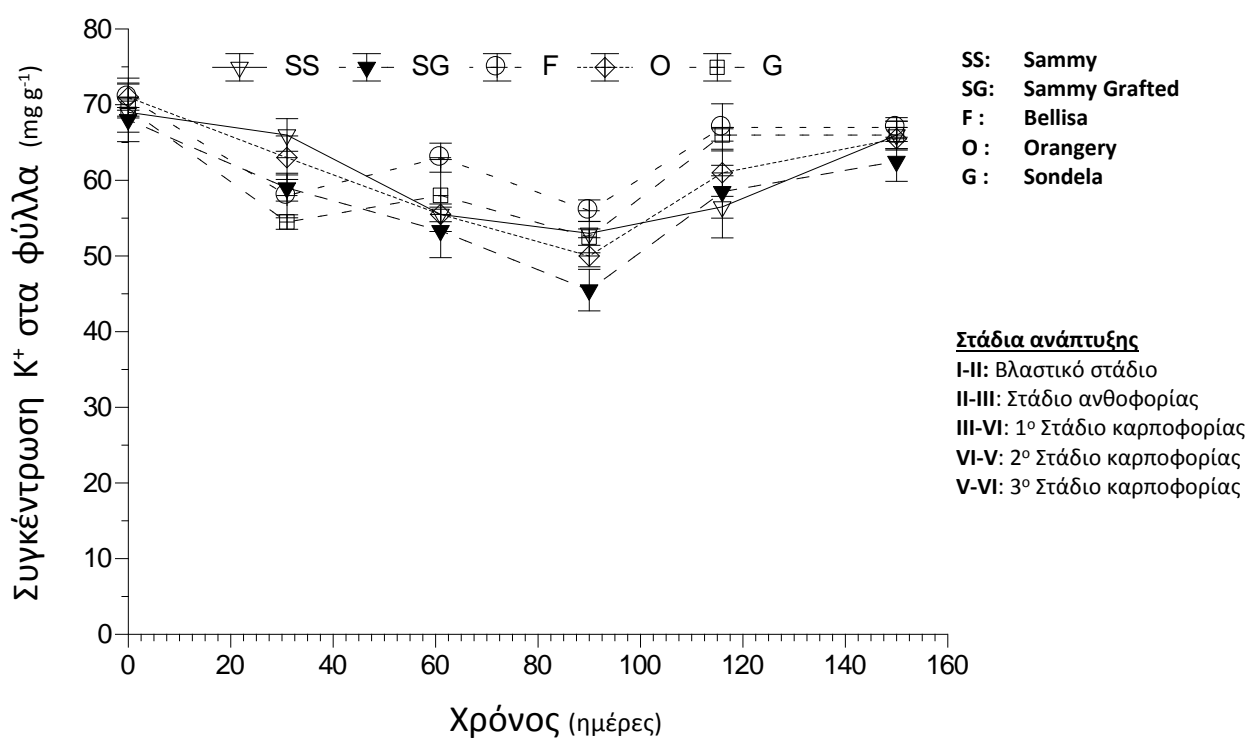
Κατά την έναρξη του δεύτερου σταδίου καρποφορίας, οι συγκεντρώσεις Mg όλων των επεμβάσεων μειώθηκαν εκτός της επέμβασης G η οποία παρέμεινε σε σταθερό επίπεδο διατηρώντας την υψηλότερη τιμή ($9,1 \text{ mg g}^{-1}$). Οι συγκεντρώσεις των επεμβάσεων F και G διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά τόσο μεταξύ τους όσο και με τις επεμβάσεις SS και SG σε επίπεδο 0,1% (Πιν.12).

Στην πέμπτη δειγματοληψία, η πτώση των συγκεντρώσεων Mg στα φύλλα συνεχίστηκε σε όλες τις επεμβάσεις, με την επέμβαση G να σημειώνει, για άλλη μια φορά, την υψηλότερη τιμή ($8,82 \text{ mg g}^{-1}$), η οποία διαφέρει στατιστικώς σημαντικά από όλες τις υπόλοιπες σε επίπεδο 0,1% (Πιν.12).

Κατά το τέλος του τρίτου σταδίου καρποφορίας, σημειώθηκε άνοδος των συγκεντρώσεων Mg στα φύλλα όλων των επεμβάσεων εκτός από την επέμβαση G, της οποίας η συγκέντρωση μειώθηκε και η οποία διαφέρει στατιστικώς σημαντικά από αυτήν της επέμβασης SS σε επίπεδο 5% (Πιν.12).

3.4.3 Συγκέντρωση Καλίου (K⁺) στα φύλλα

Τα αποτελέσματα της στατιστικής σύγκρισης των μέσων όρων των συγκεντρώσεων K στα φύλλα των φυτών, μεταξύ των επεμβάσεων, στα διαδοχικά στάδια καλλιέργειας της πιπεριάς φαίνονται στον Πίνακα 13 ενώ η διαγραμματική τους απεικόνιση φαίνεται στην Εικόνα 3.9.



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

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

Πίνακας 13. Συγκρίσεις μέσων όρων των συγκεντρώσεων K 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%

Κατά την έναρξη του πειράματος, δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των συγκεντρώσεων Κ στα φύλλα όλων των επεμβάσεων, οι τιμές των οποίων κυμάνθηκαν στα ίδια περίπου επίπεδα.

Κατά την έναρξη του σταδίου ανθοφορίας, οι συγκεντρώσεις Κ όλων των επεμβάσεων στα φύλλα μειώθηκαν ενώ οι διαφορές των συγκεντρώσεων των επεμβάσεων SS και G είναι στατιστικώς σημαντικές σε επίπεδο 5% (Πιν.13).

Στην τρίτη δειγματοληψία, οι συγκεντρώσεις Κ των επεμβάσεων F και G παρουσίασαν αύξηση σε αντίθεση με τις συγκεντρώσεις των επεμβάσεων SS, SG και O που παρουσίασαν μείωση χωρίς όμως να υπάρχουν μεταξύ τους στατιστικώς σημαντικές διαφορές.

Κατά την έναρξη του δεύτερου σταδίου καρποφορίας, η μείωση των συγκεντρώσεων Κ συνεχίστηκε ακόμα περισσότερο σε όλες, όμως, τις επεμβάσεις. Η συγκέντρωση της επέμβασης SG διαφέρει από αυτές των SS, F και G στατιστικώς σημαντικά, σε επίπεδο 5%.

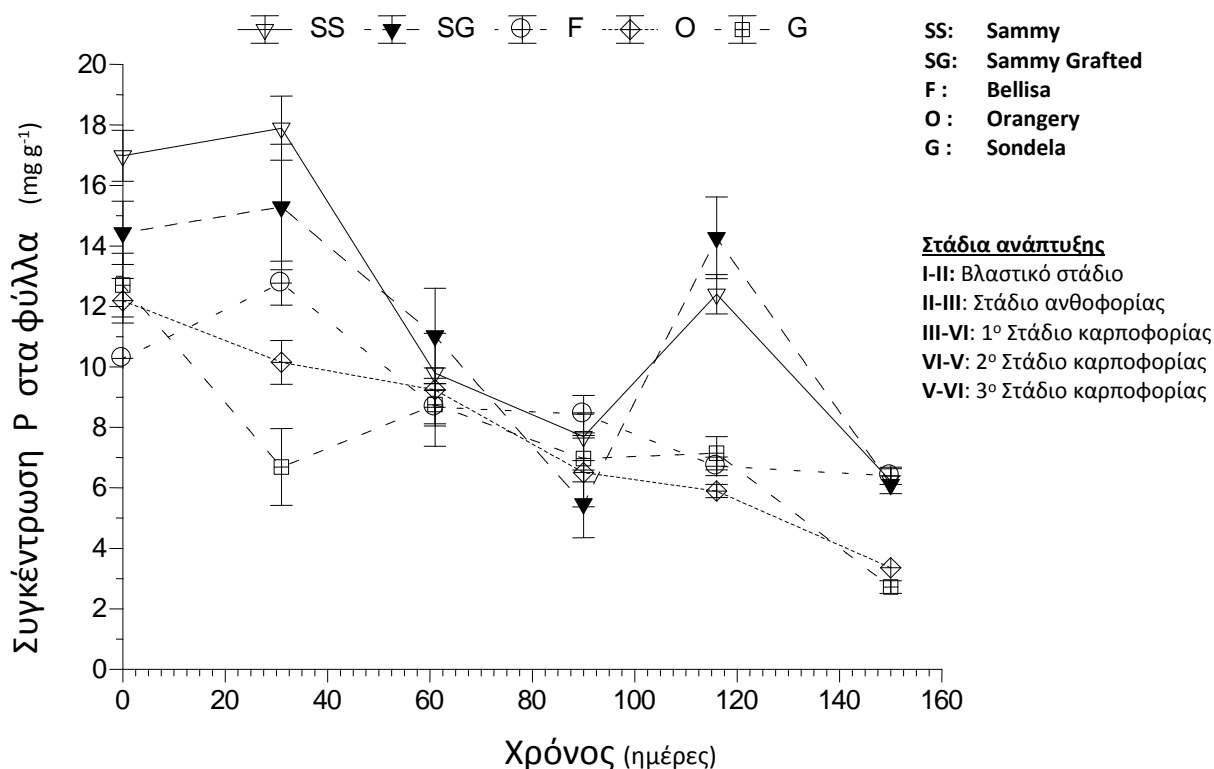
Κατά την έναρξη του τρίτου σταδίου καρποφορίας παρατηρήθηκε μία γενική άνοδος των συγκεντρώσεων Κ όλων των επεμβάσεων χωρίς όμως να υπάρχουν σημαντικές διαφορές σε στατιστικό επίπεδο. Προς το τέλος της καλλιέργειας, οι τιμές των συγκεντρώσεων Κ όλων των επεμβάσεων στα φύλλα, κυμάνθηκαν μεταξύ 62,5 - 67 mg g⁻¹ χωρίς να διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους (Πιν.13).

3.4.4 Συγκέντρωση Φωσφόρου (P) στα φύλλα

Τα αποτελέσματα της στατιστικής σύγκρισης των μέσων όρων των συγκεντρώσεων P στα φύλλα των φυτών, μεταξύ των επεμβάσεων, στα διαδοχικά στάδια καλλιέργειας της πιπεριάς φαίνονται στον Πίνακα 14 ενώ η διαγραμματική τους απεικόνιση φαίνεται στην Εικόνα 3.10.

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

Πίνακας 14. Συγκρίσεις μέσων όρων των συγκεντρώσεων P 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%



Εικόνα 3.10. Διακύμανση των συγκεντρώσεων P στα φύλλα των φυτών, μεταξύ των επεμβάσεων, ανά δειγματοληψία

Κατά την έναρξη του βλαστικού σταδίου, παρατηρήθηκαν υψηλές συγκεντρώσεις P στα φύλλα όλων των επεμβάσεων, ενώ η επέμβαση SS σημείωσε την υψηλότερη συγκέντρωση ($16,98 \text{ mg g}^{-1}$) η οποία, μάλιστα, διαφέρει στατιστικώς σημαντικά από τις υπόλοιπες σε επίπεδο 0,1% (Πιν. 14).

Κατά την έναρξη του σταδίου ανθοφορίας, οι συγκεντρώσεις P των επεμβάσεων SS, SG και F αυξήθηκαν, ενώ μείωση σημείωσαν οι συγκεντρώσεις των επεμβάσεων O και G. Η επέμβαση SS διατήρησε την υψηλότερη τιμή συγκέντρωσης ($17,89 \text{ mg g}^{-1}$) διαφέροντας στατιστικώς σημαντικά από την συγκέντρωση της επέμβασης G σε επίπεδο 0,1%. Επίσης, σε στατιστικό επίπεδο 0,1% διαφέρουν οι συγκεντρώσεις των επεμβάσεων SG και O (Πιν. 14).

Κατά την έναρξη του πρώτου σταδίου καρποφορίας, οι συγκεντρώσεις P όλων των επεμβάσεων μειώθηκαν σημαντικά, εκτός από την επέμβαση G της οποίας η συγκέντρωση αυξήθηκε. Οι διαφορές μεταξύ των συγκεντρώσεων δεν ήταν στατιστικώς σημαντικές.

Κατά την έναρξη του δεύτερου σταδίου καρποφορίας, η πτώση των συγκεντρώσεων P στα φύλλα συνεχίστηκε σε όλες τις επεμβάσεις εκτός από την επέμβαση F της οποίας η συγκέντρωση αυξήθηκε ελάχιστα. Για άλλη μια φορά, οι διαφορές των συγκεντρώσεων P μεταξύ των επεμβάσεων δεν είναι στατιστικώς σημαντικές.

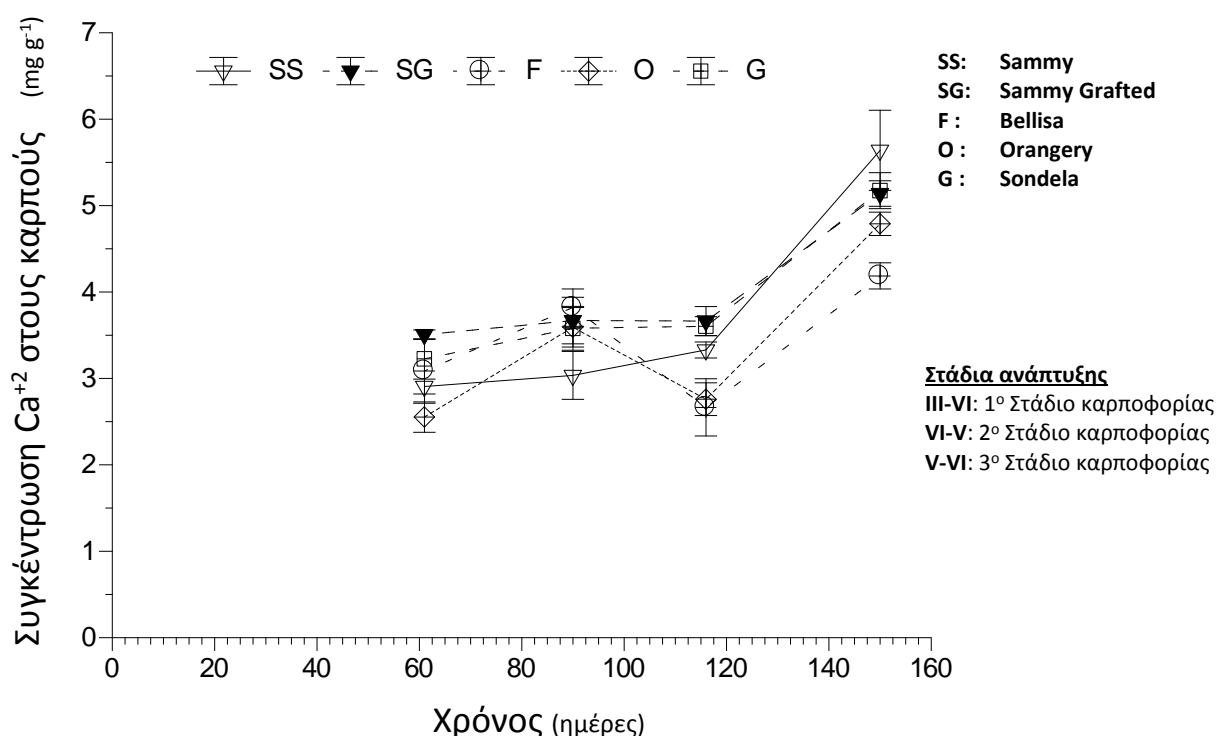
Στην πέμπτη δειγματοληψία, η μείωση των συγκεντρώσεων P στα φύλλα συνεχίστηκε για τις επεμβάσεις F,G και O ενώ στις επεμβάσεις SS και SG παρατηρήθηκε μια απότομη αύξηση. Οι συγκεντρώσεις P των επεμβάσεων F,G και O διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά από αυτές των επεμβάσεων SS και SG σε επίπεδο 0,1% (Πιν. 14).

Κατά το τέλος της καλλιέργειας, η συγκέντρωση P στα φύλλα μειώθηκε σε όλες τις επεμβάσεις με την ύπαρξη στατιστικά σημαντικών διαφορών μεταξύ των συγκεντρώσεων, των επεμβάσεων O, G και SS, SG, F σε επίπεδο 0,1% (Πιν. 14).

3.5 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΜΑΚΡΟΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΤΟΥΣ ΚΑΡΠΟΥΣ

3.5.1 Συγκέντρωση Ασβεστίου (Ca^{+2}) στους καρπούς

Τα αποτελέσματα της στατιστικής σύγκρισης των μέσων όρων των συγκεντρώσεων Ca στους καρπούς των φυτών, μεταξύ των επεμβάσεων, στα διαδοχικά στάδια καλλιέργειας της πιπεριάς φαίνονται στον Πίνακα 15 ενώ η διαγραμματική τους απεικόνιση φαίνεται στην Εικόνα 3.11.



Εικόνα 3.11. Διακύμανση των συγκεντρώσεων Ca στους καρπούς των φυτών, μεταξύ των επεμβάσεων, ανά δειγματοληψία

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

Πίνακας 15. Συγκρίσεις μέσων όρων των συγκεντρώσεων Ca στους καρπούς των φυτών, μεταξύ των επεμβάσεων, ανά δειγματοληψία όπου SS, SG, O, F, G = επεμβάσεις, III-VI= δειγματοληψίες, NS: Non-Significant, α= επίπεδο σημαντικότητας, *= 5%, **= 1%, ***= 0,1%

Κατά την έναρξη του πρώτου σταδίου καρποφορίας, οι συγκεντρώσεις Ca στους καρπούς όλων των επεμβάσεων κυμάνθηκαν από 2,5 - 3,5 mg g⁻¹. Οι τιμές των συγκεντρώσεων των επεμβάσεων SG, G διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά από αυτήν της επέμβασης O σε επίπεδο 5% (Πιν.15).

Στην τέταρτη δειγματοληψία, οι συγκεντρώσεις Ca στους καρπούς αυξήθηκαν σε όλες τις επεμβάσεις χωρίς όμως να διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους. Κατά την έναρξη του τρίτου σταδίου καρποφορίας, οι συγκεντρώσεις Ca των επεμβάσεων SS, SG και G αυξήθηκαν ελάχιστα σε αντίθεση με αυτές των επεμβάσεων O και F που μειώθηκαν σημαντικά. Στατιστικώς σημαντικά διαφέρουν οι συγκεντρώσεις των επεμβάσεων SS, SG και G με την συγκέντρωση της επέμβασης F, σε επίπεδο 1% (Πιν.15).

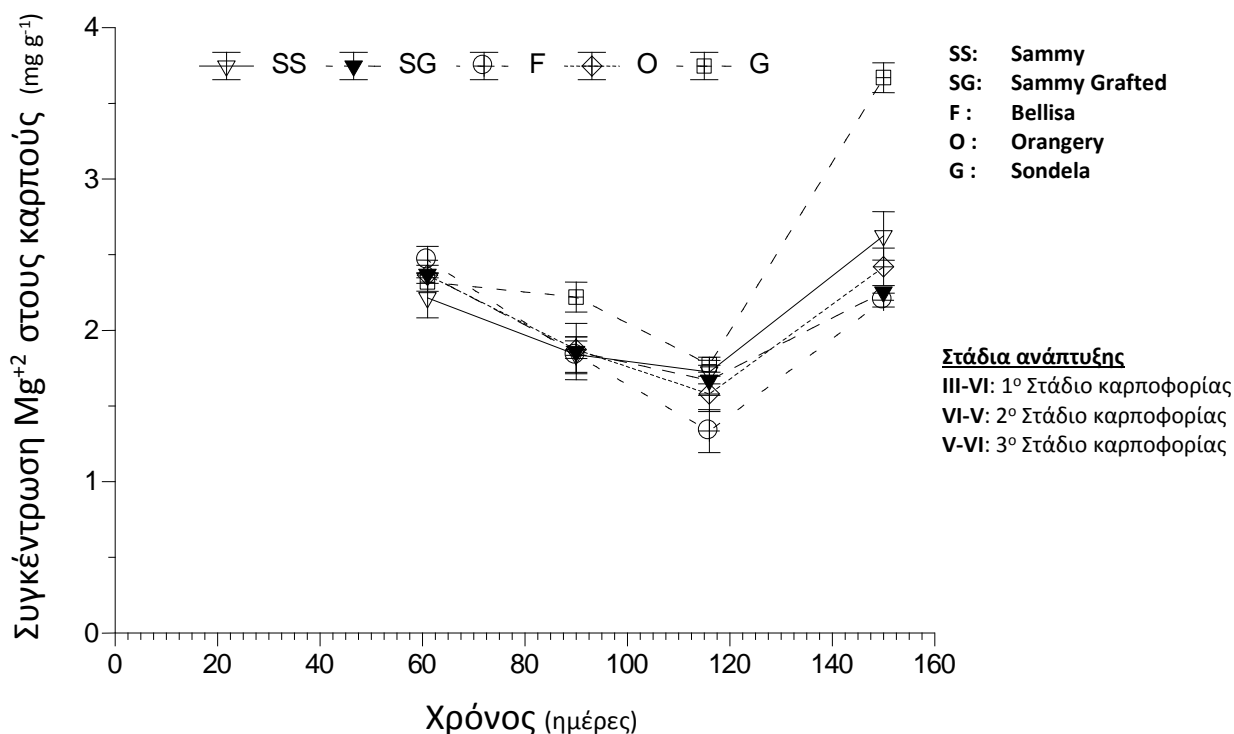
Κατά το τέλος του πειράματος, οι συγκεντρώσεις Ca στους καρπούς αυξήθηκε απότομα σε όλες τις επεμβάσεις. Η επέμβαση F σημείωσε την ελάχιστη συγκέντρωση (4,18 mg g⁻¹) η οποία μάλιστα διαφέρει στατιστικώς σημαντικά από τις συγκεντρώσεις των επεμβάσεων SS, SG και G σε επίπεδο 5% (Πιν.15).

3.5.2 Συγκέντρωση Μαγνησίου (Mg⁺²) στους καρπούς

Τα αποτελέσματα της στατιστικής σύγκρισης των μέσων όρων των συγκεντρώσεων Mg στους καρπούς των φυτών, μεταξύ των επεμβάσεων, στα διαδοχικά στάδια καλλιέργειας της πιπεριάς φαίνονται στον Πίνακα 16 ενώ η διαγραμματική τους απεικόνιση φαίνεται στην Εικόνα 3.12.

Mg	SS	SG	O	F	G	α
III	NS					
IV	NS					
V	NS					
VI	b	b	b	b	a	***

Πίνακας 16. Συγκρίσεις μέσων όρων των συγκεντρώσεων Mg στους καρπούς των φυτών, μεταξύ των επεμβάσεων, ανά δειγματοληψία όπου SS, SG, O, F, G = επεμβάσεις, III-VI= δειγματοληψίες, NS: Non-Significant, α= επίπεδο σημαντικότητας, *= 5%, **= 1%, ***= 0,1%



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

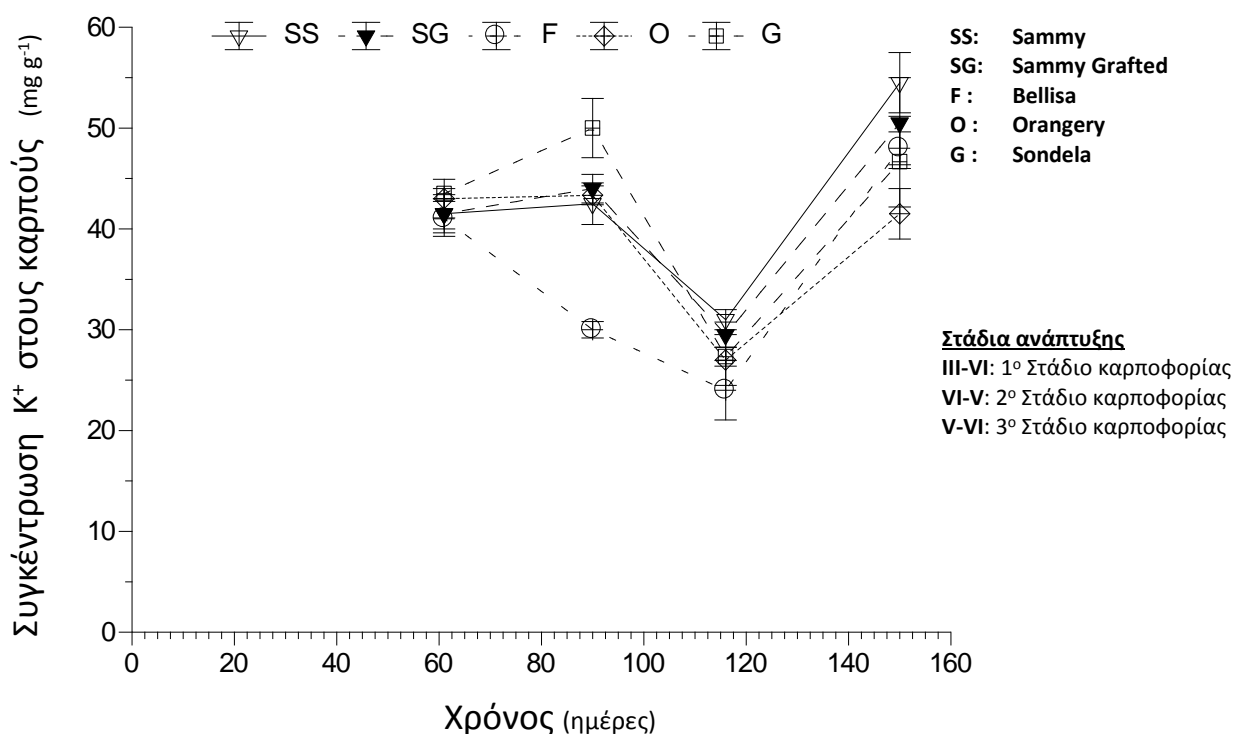
Στην τρίτη δειγματοληψία, οι τιμές των συγκεντρώσεων Mg στους καρπούς όλων των επεμβάσεων κυμάνθηκαν από 2-3 mg g⁻¹, χωρίς οι μεταξύ τους διαφορές να είναι στατιστικώς σημαντικές.

Κατά την έναρξη του δεύτερου σταδίου καρποφορίας, οι συγκεντρώσεις Mg μειώθηκαν και στις πέντε επεμβάσεις χωρίς όμως οι διαφορές τους να είναι και πάλι στατιστικώς σημαντικές. Η πτώση των συγκεντρώσεων Mg στους καρπούς συνεχίστηκε και στην πέμπτη δειγματοληψία, σε όλες τις επεμβάσεις, χωρίς, πάλι, να υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ τους.

Ωστόσο, προς το τέλος της καλλιέργειας, παρατηρήθηκε μία απότομη αύξηση των συγκεντρώσεων Mg στους καρπούς όλων των επεμβάσεων με την συγκέντρωση της επέμβασης G να σημειώνει την σαφώς μεγαλύτερη τιμή (3,67 mg g⁻¹), η οποία μάλιστα και διαφέρει στατιστικώς σημαντικά από όλες τις υπόλοιπες σε επίπεδο 0,1% (Πιν. 16).

3.5.3 Συγκέντρωση Καλίου (K⁺) στους καρπούς

Τα αποτελέσματα της στατιστικής σύγκρισης των μέσων όρων των συγκεντρώσεων K στους καρπούς των φυτών, μεταξύ των επεμβάσεων, στα διαδοχικά στάδια καλλιέργειας της πιπεριάς φαίνονται στον Πίνακα 17 ενώ διαγραμματική τους απεικόνιση φαίνεται στην Εικόνα 3.13.



Εικόνα 3.13. Διακύμανση των συγκεντρώσεων K στους καρπούς των φυτών, μεταξύ των επεμβάσεων, ανά δειγματοληψία

K	SS	SG	O	F	G	α
III	NS					
IV	NS					
V	b	b	b	c	a	***
VI	NS					

Πίνακας 17. Συγκρίσεις μέσων όρων των συγκεντρώσεων K στους καρπούς των φυτών, μεταξύ των επεμβάσεων, ανά δειγματοληψία όπου SS, SG, O, F, G = επεμβάσεις, III-VI= δειγματοληψίες, NS: Non-Significant, α= επίπεδο σημαντικότητας, *= 5%, **= 1%, ***= 0,1%

Κατά την έναρξη του πρώτου σταδίου καρποφορίας, οι συγκεντρώσεις Κ στους καρπούς των επεμβάσεων κυμάνθηκαν μεταξύ 41 - 43,5 mg g⁻¹, χωρίς να υπάρχουν μεταξύ τους στατιστικώς σημαντικές διαφορές.

Στην τέταρτη δειγματοληψία, οι συγκεντρώσεις Κ στους καρπούς αυξήθηκαν για τις επεμβάσεις SS, SG, G και O, εκτός από την επέμβαση F της οποίας η συγκέντρωση μειώθηκε. Οι διαφορές μεταξύ των συγκεντρώσεων δεν είναι σημαντικές σε στατιστικό επίπεδο.

Κατά την έναρξη του τρίτου σταδίου καρποφορίας, οι συγκεντρώσεις Κ στους καρπούς όλων των επεμβάσεων μειώθηκαν απότομα. Η επέμβαση F διατήρησε την ελάχιστη τιμή συγκέντρωσης (24 mg g⁻¹) η οποία μάλιστα διαφέρει από όλες τις υπόλοιπες σημαντικά, σε επίπεδο 0,1%.

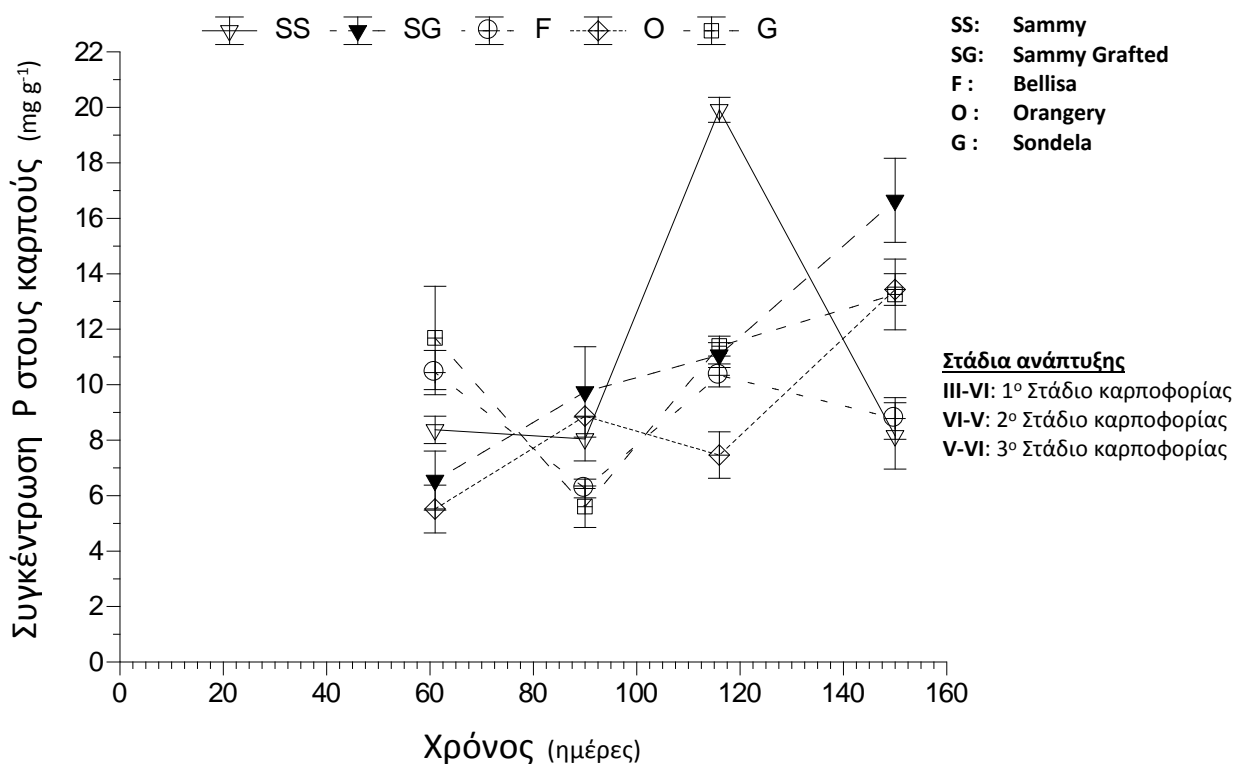
Κατά το τέλος της καλλιέργειας, οι συγκεντρώσεις Κ στους καρπούς όλων των επεμβάσεων αυξήθηκαν απότομα, χωρίς όμως να διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους.

3.5.3 Συγκέντρωση Φωσφόρου (P) στους καρπούς

Τα αποτελέσματα της στατιστικής σύγκρισης των μέσων όρων των συγκεντρώσεων P στους καρπούς των φυτών, μεταξύ των επεμβάσεων, στα διαδοχικά στάδια καλλιέργειας της πιπεριάς φαίνονται στον Πίνακα 18 ενώ η διαγραμματική τους απεικόνιση φαίνεται στην Εικόνα 3.14.

P	SS	SG	O	F	G	α
III	ab	b	b	a	a	**
IV	abc	a	ab	bc	c	*
V	a	b	c	b	b	***
VI	b	a	a	b	a	***

Πίνακας 18. Συγκρίσεις μέσων όρων των συγκεντρώσεων P στους καρπούς των φυτών, μεταξύ των επεμβάσεων, ανά δειγματοληψία όπου SS, SG, O, F, G = επεμβάσεις, III-VI= δειγματοληψίες, NS: Non-Significant, α= επίπεδο σημαντικότητας, *= 5%, **= 1%, ***= 0,1%



Εικόνα 3.14. Διακύμανση των συγκεντρώσεων P στους καρπούς των φυτών, μεταξύ των επεμβάσεων, ανά δειγματοληψία

Κατά την έναρξη του πρώτου σταδίου καρποφορίας, παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές στις συγκεντρώσεις P μεταξύ των επεμβάσεων F, G και SG, O και μάλιστα σε στατιστικό επίπεδο 1% (Πιν. 18).

Στην τέταρτη δειγματοληψία, οι συγκεντρώσεις P στους καρπούς των επεμβάσεων G, F και SS σημείωσαν μείωση, σε αντίθεση με τις συγκεντρώσεις των επεμβάσεων SG και O οι οποίες αυξήθηκαν. Η συγκέντρωση της επέμβασης G διαφέρει στατιστικώς σημαντικά με τις συγκεντρώσεις των επεμβάσεων SG και O σε επίπεδο 5% (Πιν. 18).

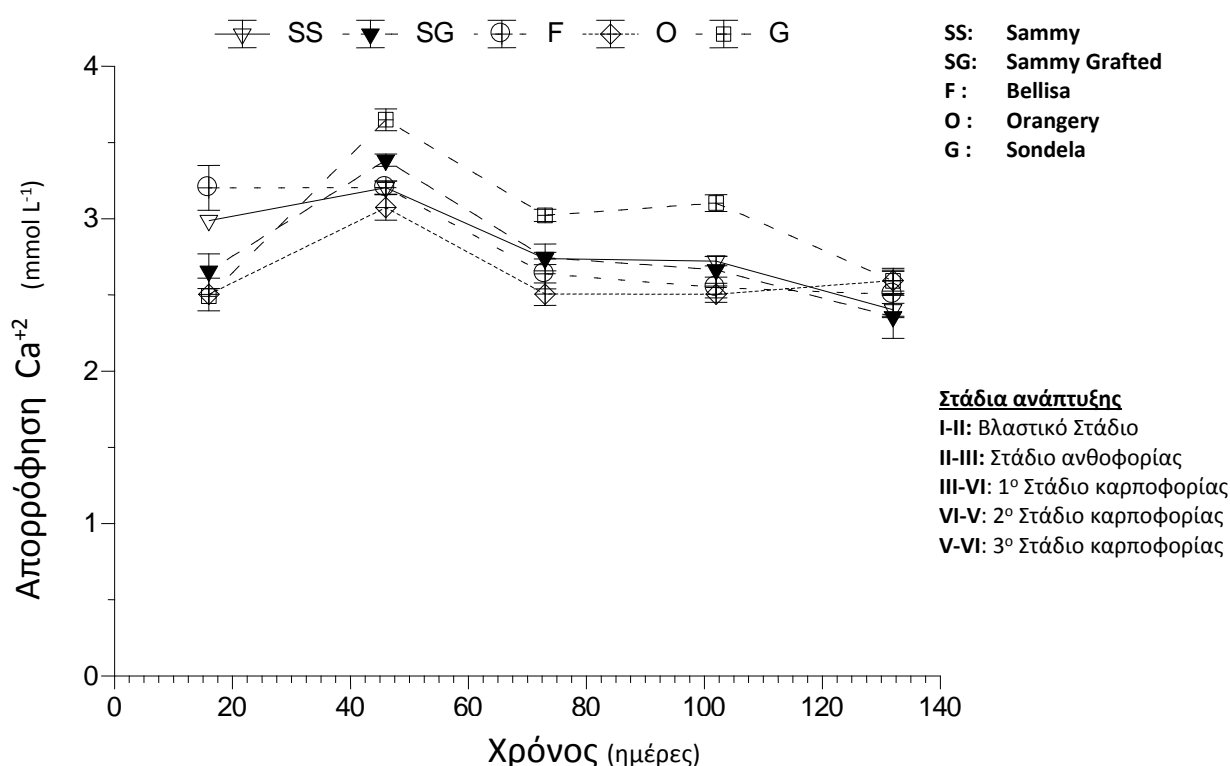
Στην πέμπτη δειγματοληψία, οι συγκεντρώσεις P στους καρπούς των επεμβάσεων αυξήθηκαν, εκτός της επέμβασης O της οποίας η συγκέντρωση μειώθηκε, σημειώνοντας μάλιστα την μικρότερη τιμή (7,46 mg g⁻¹). Αξιοσημείωτη είναι η μεγάλη απόκλιση της συγκέντρωσης P της επέμβασης SS η οποία σημείωσε τη μέγιστη τιμή (19,9 mg g⁻¹). Τόσο η συγκέντρωση της επέμβασης O όσο και της επέμβασης SS διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους αλλά και με τις υπόλοιπες επεμβάσεις σε επίπεδο 0,1% (Πιν. 18).

Κατά το τέλος της καλλιέργειας, οι συγκεντρώσεις P στους καρπούς των επεμβάσεων SS και F μειώθηκαν, σε αντίθεση με τις επεμβάσεις SG, G και O των οποίων οι συγκεντρώσεις σημείωσαν αύξηση. Οι συγκεντρώσεις των επεμβάσεων SS και F διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά από αυτές των επεμβάσεων SG, O και G σε επίπεδο 0,1% (Πιν. 18).

3.6 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ ΜΑΚΡΟΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

3.6.1 Συγκέντρωση απορρόφησης Ασβεστίου (Ca²⁺)

Οι μέσοι όροι των συγκεντρώσεων απορρόφησης Ca που υπολογίσθηκαν για τα πέντε διαδοχικά στάδια ανάπτυξης των τεσσάρων αυτόρριζων ποικιλιών και των εμβολιασμένων φυτών πιπεριάς, απεικονίζονται διαγραμματικά στην **Εικόνα 3.15** ενώ η στατιστική αξιολόγηση της σημαντικότητας των μεταξύ τους διαφορών παρατίθεται στον **Πίνακα 19**.



Εικόνα 3.15. Διακύμανση της συγκέντρωσης απορρόφησης Ca στα φυτά των επεμβάσεων, στα μεσοδιαστήματα των δειγματοληψιών

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

Πίνακας 19. Συγκρίσεις μέσων όρων των συγκεντρώσεων απορρόφησης Ca των φυτών, μεταξύ των επεμβάσεων, στα μεσοδιαστήματα των δειγματοληψιών όπου SS, SG, O, F, G = επεμβάσεις, 1^ο - 5^ο = στάδια ανάπτυξης, NS: Non-Significant, α= επίπεδο σημαντικότητας, * = 5%, ** = 1%, *** = 0,1%

Κατά το πρώτο στάδιο ανάπτυξης, τα φυτά των επεμβάσεων SS και F απορρόφησαν τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις Ca σε σχέση με τις υπόλοιπες επεμβάσεις και μάλιστα διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά σε επίπεδο 0,1% (Πιν. 19).

Κατά το στάδιο της άνθισης, η συγκέντρωση απορρόφησης Ca της επέμβασης F μειώθηκε ελάχιστα σε αντίθεση με τις συγκεντρώσεις απορρόφησης των υπολοίπων επεμβάσεων των οποίων αυξήθηκαν απότομα. Η επέμβαση G σημείωσε την μέγιστη τιμή απορρόφησης ($3,65 \text{ mmol L}^{-1}$) η οποία, μάλιστα, διαφέρει στατιστικώς σημαντικά από τις υπόλοιπες σε επίπεδο 0,1% (Πιν. 19).

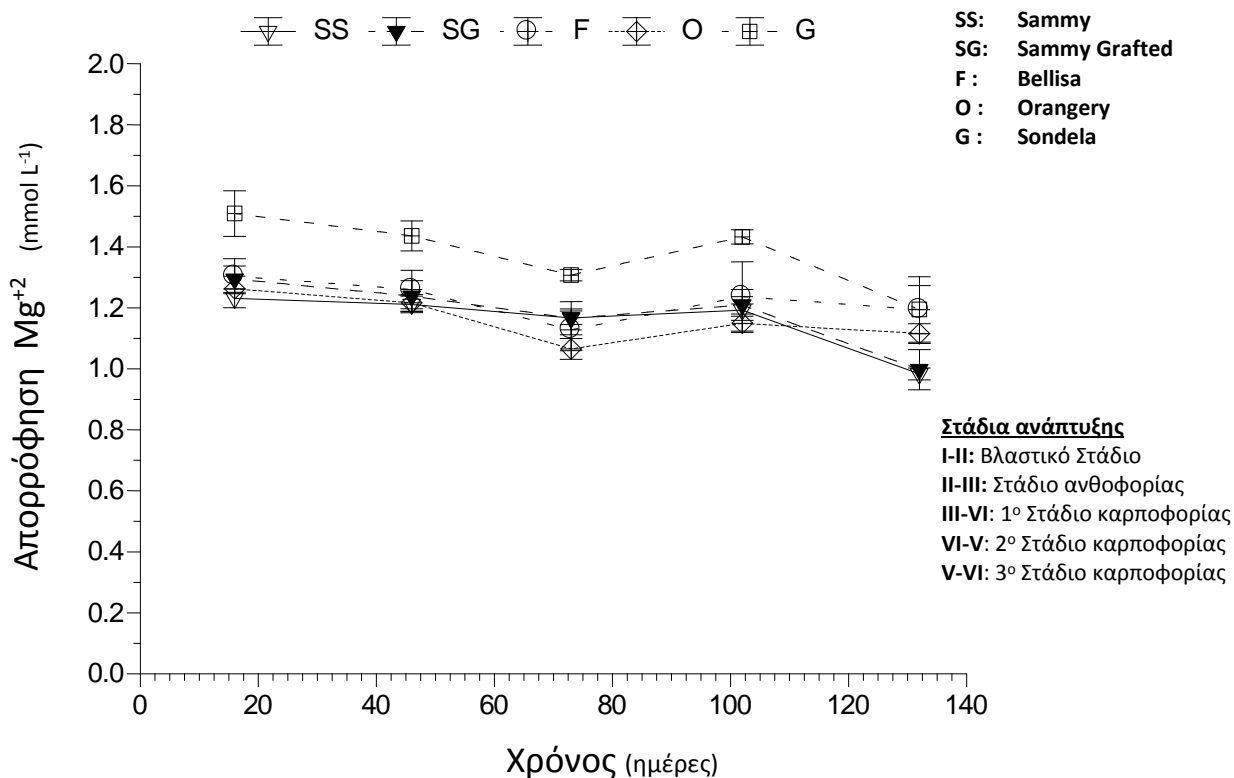
Κατά το πρώτο στάδιο καρποφορίας οι συγκεντρώσεις απορρόφησης Ca μειώθηκαν σε όλες τις επεμβάσεις. Η επέμβαση G διατήρησε τη μέγιστη τιμή απορρόφησης ($3,02 \text{ mmol L}^{-1}$) η οποία διαφέρει στατιστικώς σημαντικά από τις υπόλοιπες σε επίπεδο 1% (Πιν. 19).

Κατά το δεύτερο στάδιο καρποφορίας, οι συγκεντρώσεις απορρόφησης Ca παρέμειναν στα ίδια περίπου επίπεδα εκτός από την συγκέντρωση της επέμβασης G που αυξήθηκε ($3,10 \text{ mmol L}^{-1}$) και η οποία διαφέρει στατιστικώς σημαντικά από τις υπόλοιπες σε επίπεδο 0,1% (Πιν. 19).

Κατά το τρίτο στάδιο καρποφορίας, οι συγκεντρώσεις απορρόφησης Ca μειώθηκαν σε όλες τις επεμβάσεις εκτός από την επέμβαση O, η οποία σημείωσε αύξηση. Οι διαφορές των συγκεντρώσεων απορρόφησης Ca μεταξύ των επεμβάσεων δεν είναι στατιστικώς σημαντικές.

3.6.2 Συγκέντρωση απορρόφησης Μαγνησίου (Mg^{+2})

Οι μέσοι όροι των συγκεντρώσεων απορρόφησης Mg που υπολογίσθηκαν για τα πέντε διαδοχικά στάδια ανάπτυξης των τεσσάρων αυτόρριζων ποικιλιών και των εμβολιασμένων φυτών πιπεριάς απεικονίζονται διαγραμματικά στην **Εικόνα 3.16** ενώ η στατιστική αξιολόγηση της σημαντικότητας των μεταξύ τους διαφορών παρατίθεται στον **Πίνακα 20**.



Εικόνα 3.16. Διακύμανση των συγκεντρώσεων απορρόφησης Mg στα φυτά των επεμβάσεων, στα μεσοδιαστήματα των δειγματοληψιών

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

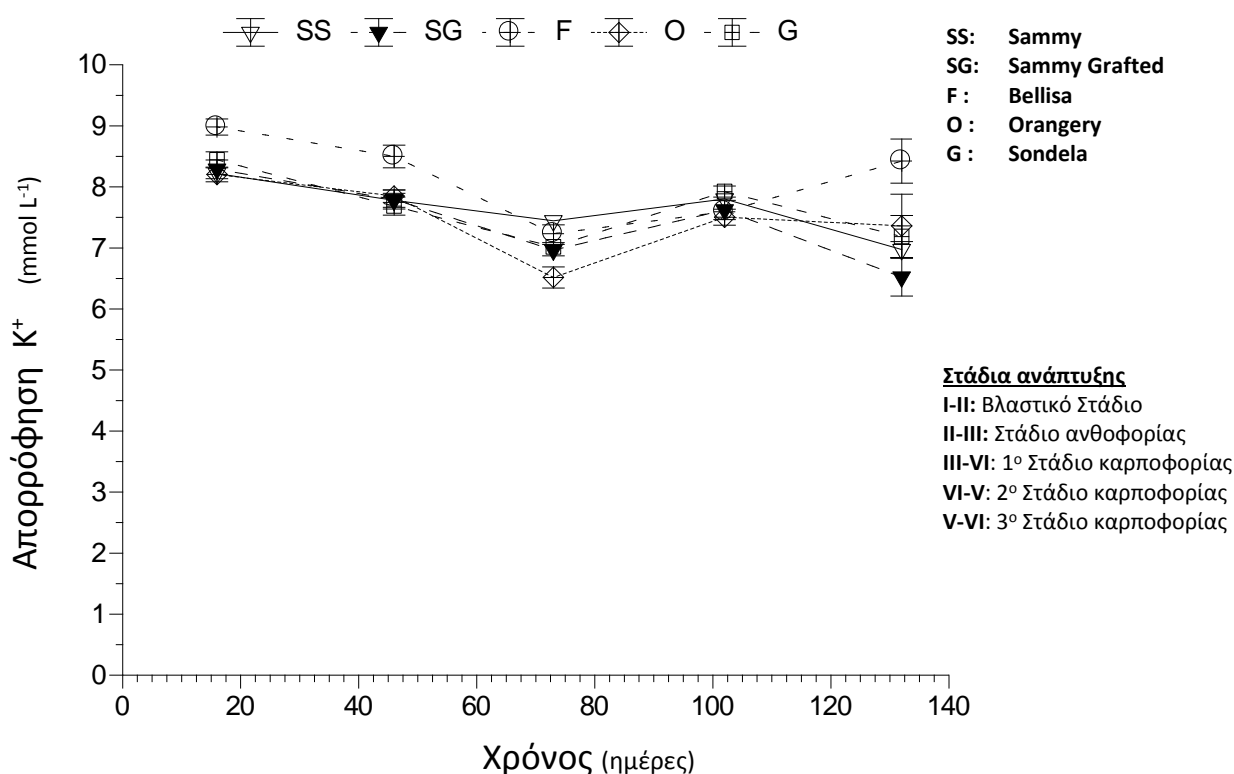
Πίνακας 20. Συγκρίσεις μέσω των όρων των συγκεντρώσεων απορρόφησης Mg των φυτών, μεταξύ των επεμβάσεων, στα μεσοδιαστήματα των δειγματοληψιών όπου SS, SG, O, F, G = επεμβάσεις, 1^ο - 5^ο = στάδια ανάπτυξης, NS: Non-Significant, α= επίπεδο σημαντικότητας, * = 5%, ** = 1%, *** = 0,1%

Η διαβάθμιση της συγκέντρωσης απορρόφησης Mg διατήρησε μία σταθερή πορεία καθ' όλη τη διάρκεια της καλλιέργειας, με εξαίρεση το 2^ο και 3^ο στάδιο ανάπτυξης στα οποία μειώθηκε σε όλες τις επεμβάσεις.

Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι η συγκέντρωση απορρόφησης Mg της επέμβασης G ήταν η υψηλότερη καθ' όλη τη χρονική περίοδο και μάλιστα μέχρι και το 4^ο στάδιο ανάπτυξης διαφέρει από τις υπόλοιπες στατιστικώς σημαντικά.

3.6.3 Συγκέντρωση απορρόφησης Καλίου (K⁺)

Οι μέσοι όροι των συγκεντρώσεων απορρόφησης K που υπολογίσθηκαν για τα πέντε διαδοχικά στάδια ανάπτυξης των τεσσάρων αυτόρριζων ποικιλιών και των εμβολιασμένων φυτών πιπεριάς απεικονίζονται διαγραμματικά στην **Εικόνα 3.17** ενώ η στατιστική αξιολόγηση της σημαντικότητας των μεταξύ τους διαφορών παρατίθεται στον **Πίνακα 21**.



Εικόνα 3.17. Διακύμανση των συγκεντρώσεων απορρόφησης K στα φυτά των επεμβάσεων, στα μεσοδιαστήματα των δειγματοληψιών

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

Πίνακας 21. Συγκρίσεις μέσων όρων των συγκεντρώσεων απορρόφησης K των φυτών, μεταξύ των επεμβάσεων, στα μεσοδιαστήματα των δειγματοληψιών όπου SS, SG, O, F, G = επεμβάσεις, 1^ο - 5^ο = στάδια ανάπτυξης, NS: Non-Significant, α= επίπεδο σημαντικότητας, * = 5%, ** = 1%, *** = 0,1%

Κατά το βλαστικό στάδιο ανάπτυξης, οι συγκεντρώσεις απορρόφησης K των επεμβάσεων κυμάνθηκαν από 8,2 - 8,44 mmol L⁻¹ ενώ η επέμβαση F σημείωσε την μέγιστη τιμή (8,98 mmol L⁻¹), η οποία διαφέρει στατιστικώς σημαντικά από τις υπόλοιπες σε επίπεδο 1% (Πιν.21).

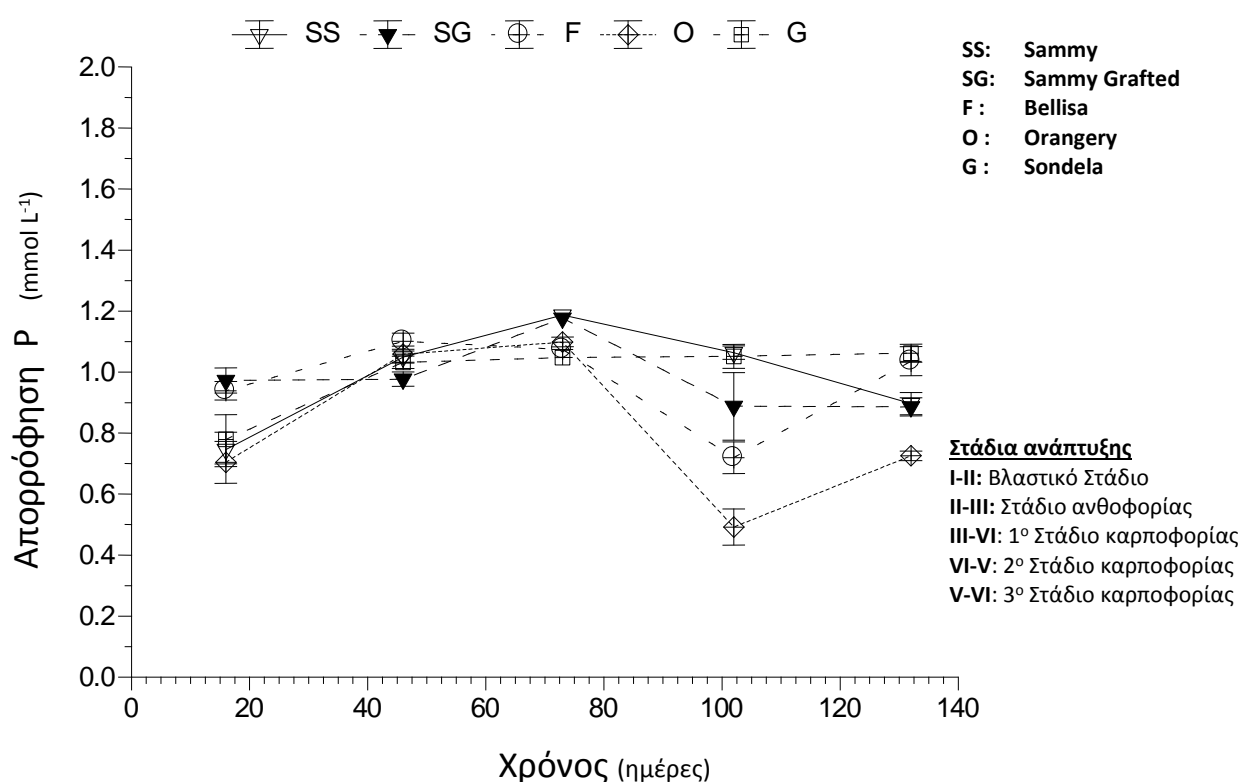
Κατά το στάδιο της άνθισης, η πορεία της συγκέντρωσης απορρόφησης K σε όλες τις επεμβάσεις ήταν πτωτική, ενώ η επέμβαση F διατήρησε την μέγιστη συγκέντρωση απορρόφησης (8,49 mmol L⁻¹), η οποία διαφέρει στατιστικώς σημαντικά από τις υπόλοιπες σε επίπεδο 1% (Πιν.21).

Κατά το πρώτο στάδιο καρποφορίας, η πτώση της συγκέντρωσης απορρόφησης K συνεχίστηκε σε όλες τις επεμβάσεις ενώ η επέμβαση O σημείωσε την ελάχιστη συγκέντρωση (6,51 mmol L⁻¹) η οποία, μάλιστα, διαφέρει στατιστικώς σημαντικά από τις υπόλοιπες σε επίπεδο 0,1% (Πιν.21).

Κατά το δεύτερο στάδιο καρποφορίας, σημειώθηκε άνοδος της συγκέντρωσης απορρόφησης K σε όλες τις επεμβάσεις χωρίς όμως να υπάρχουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές. Κατά το τέλος της καλλιέργειας, η συγκέντρωση απορρόφησης K της επέμβασης F συνέχισε την ανοδική της πορεία σε σύγκριση με τις υπόλοιπες επεμβάσεις των οποίων οι συγκεντρώσεις μειώθηκαν. Η συγκέντρωση απορρόφησης της επέμβασης F διαφέρει στατιστικώς σημαντικά από τις υπόλοιπες, εκτός από αυτήν της επέμβασης O, σε επίπεδο 5% (Πιν.21).

3.6.4 Συγκέντρωση απορρόφησης Φωσφόρου (P)

Οι μέσοι όροι των συγκεντρώσεων απορρόφησης P που υπολογίσθηκαν για τα πέντε διαδοχικά στάδια ανάπτυξης των τεσσάρων αυτόρριζων ποικιλιών και των εμβολιασμένων φυτών πιπεριάς απεικονίζονται διαγραμματικά στην **Εικόνα 3.18** ενώ η στατιστική αξιολόγηση της σημαντικότητας των μεταξύ τους διαφορών παρατίθεται στον **Πίνακα 22**.



Εικόνα 3.18. Διακύμανση των συγκεντρώσεων απορρόφησης P στα φυτά των επεμβάσεων, στα μεσοδιαστήματα των δειγματοληψιών

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

Πίνακας 22. Συγκρίσεις μέσων όρων των συγκεντρώσεων απορρόφησης P των φυτών, μεταξύ των επεμβάσεων, στα μεσοδιαστήματα των δειγματοληψιών όπου SS, SG, O, F, G = επεμβάσεις, 1° - 5° = στάδια ανάπτυξης, NS: Non-Significant, α= επίπεδο σημαντικότητας, * = 5%, ** = 1%, *** = 0,1%

Κατά το βλαστικό στάδιο, οι συγκεντρώσεις απορρόφησης P όλων των επεμβάσεων κυμάνθηκαν μεταξύ 0,7 - 1 mmol L⁻¹. Οι συγκεντρώσεις απορρόφησης των επεμβάσεων SS και O διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά από εκείνες των επεμβάσεων SG και F σε επίπεδο 5% (Πιν. 22).

Κατά το στάδιο της άνθισης, παρατηρήθηκε μία αύξηση των συγκεντρώσεων απορρόφησης P σε όλες τις επεμβάσεις, εκτός από την επέμβαση SG, η οποία παρέμεινε στο ίδιο επίπεδο και η οποία μάλιστα διαφέρει στατιστικώς σημαντικά από τις συγκεντρώσεις απορρόφησης των επεμβάσεων O και F σε επίπεδο 5% (Πιν. 22).

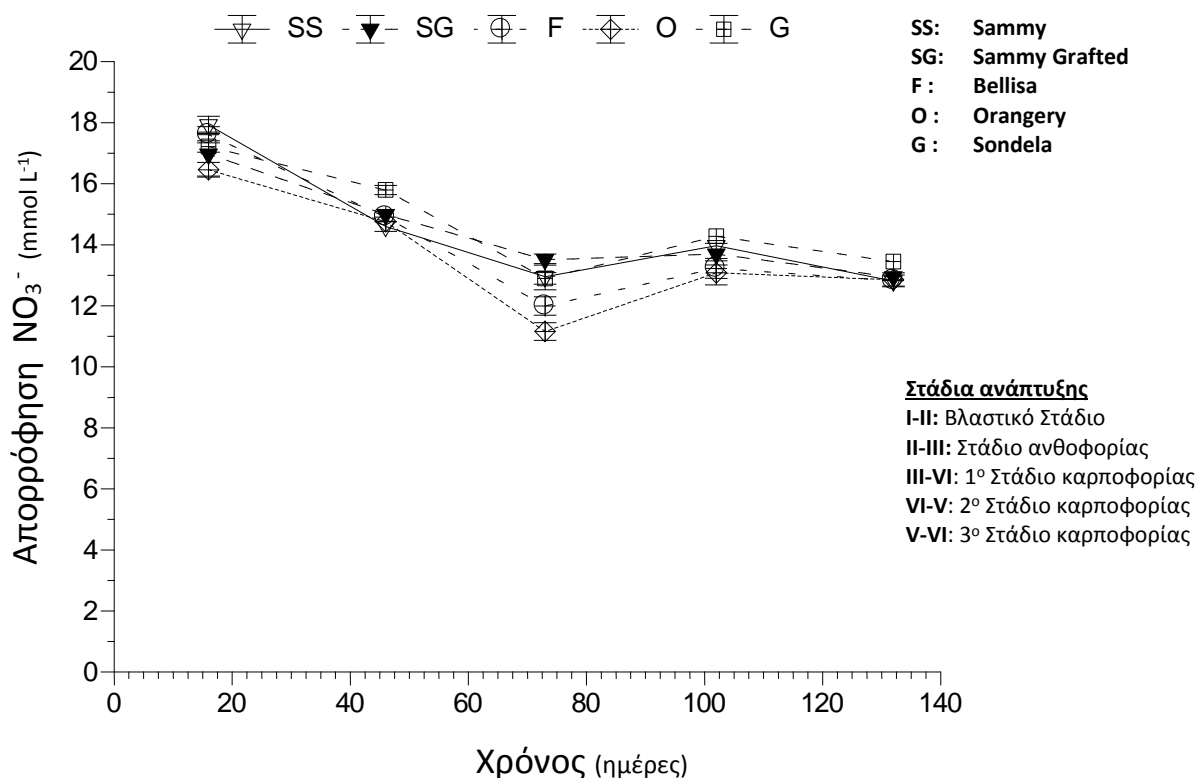
Κατά το πρώτο στάδιο καρποφορίας, παρατηρήθηκε μία άνοδος των συγκεντρώσεων απορρόφησης P σε όλες τις επεμβάσεις. Οι συγκεντρώσεις των επεμβάσεων SS και SG διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά από εκείνες των επεμβάσεων F και G σε επίπεδο 0,1%

Κατά το δεύτερο στάδιο καρποφορίας, οι συγκεντρώσεις απορρόφησης P όλων των επεμβάσεων μειώθηκαν εκτός από αυτήν της επέμβασης G η οποία σημείωσε μία πολύ μικρή άνοδο. Η συγκέντρωση απορρόφησης της επέμβασης O σημείωσε την μικρότερη τιμή (0,49 mmol L⁻¹) και μάλιστα, διαφέρει στατιστικώς σημαντικά από τις υπόλοιπες σε επίπεδο 0,1% (Πιν. 22).

Κατά το τρίτο στάδιο καρποφορίας, οι συγκεντρώσεις απορρόφησης P των επεμβάσεων O, F και G σημείωσαν άνοδο, ενώ η επέμβαση O διατήρησε την μικρότερη τιμή (0,72 mmol L⁻¹). Οι συγκεντρώσεις απορρόφησης των επεμβάσεων SS και SG μειώθηκαν, διαφέροντας, μάλιστα, σημαντικά από τις υπόλοιπες σε επίπεδο 0,1% (Πιν. 22).

3.6.5 Συγκεντρώσεις απορρόφησης Νιτρικών (NO₃⁻)

Οι μέσοι όροι των συγκεντρώσεων απορρόφησης NO₃ που υπολογίσθηκαν για τα πέντε διαδοχικά στάδια ανάπτυξης των τεσσάρων αυτόρριζων ποικιλιών και των εμβολιασμένων φυτών πιπεριάς απεικονίζονται διαγραμματικά στην **Εικόνα 3.19** ενώ η στατιστική αξιολόγηση της σημαντικότητας των μεταξύ τους διαφορών παρατίθεται στον **Πίνακα 23**.



Εικόνα 3.19. Διακύμανση των συγκεντρώσεων απορρόφησης NO_3^- στα φυτά των επεμβάσεων, στα μεσοδιαστήματα των δειγματοληψιών

NO3	SS	SG	O	F	G	α
1 ^ο (I-II)	NS					
2 ^ο (II-III)	b	b	b	b	a	***
3 ^ο (III-IV)	a	a	b	b	a	***
4 ^ο (IV-V)	NS					
5 ^ο (V-VI)	b	b	b	b	a	*

Πίνακας 23. Συγκρίσεις μέσω όρων των συγκεντρώσεων απορρόφησης NO_3^- των φυτών, μεταξύ των επεμβάσεων, στα μεσοδιαστήματα των δειγματοληψιών όπου SS, SG, O, F, G = επεμβάσεις, 1^ο - 5^ο = στάδια ανάπτυξης, NS: Non-Significant, α= επίπεδο σημαντικότητας, * = 5%, ** = 1%, *** = 0,1%

Κατά το βλαστικό στάδιο, οι συγκεντρώσεις απορρόφησης NO_3^- όλων των επεμβάσεων κυμάνθηκαν από 16,4 - 17,9 mmol L⁻¹, χωρίς να διαφέρουν μεταξύ τους σημαντικά.

Κατά το στάδιο της άνθισης, παρατηρήθηκε μείωση των συγκεντρώσεων απορρόφησης NO_3^- σε όλες τις επεμβάσεις. Η συγκέντρωση απορρόφησης της επέμβασης G παρουσίασε τη μεγαλύτερη τιμή (15,79

mmol L⁻¹) οποία, μάλιστα, διαφέρει σημαντικά από τις υπόλοιπες σε επίπεδο 0,1% (Πιν.23).

Κατά το πρώτο στάδιο καρποφορίας, η μείωση των συγκεντρώσεων απορρόφησης NO₃ συνεχίστηκε σε όλες τις επεμβάσεις, με την συγκέντρωση απορρόφησης της επέμβασης G να διαφέρει στατιστικώς σημαντικά από τις υπόλοιπες σε επίπεδο 0,1% (Πιν.23).

Κατά το δεύτερο στάδιο καρποφορίας, σημειώθηκε αύξηση των συγκεντρώσεων απορρόφησης NO₃ σε όλες τις επεμβάσεις, με την επέμβαση G να διατηρεί την μέγιστη τιμή (14,27 mmol L⁻¹), χωρίς όμως να διαφέρει στατιστικώς σημαντικά από τις υπόλοιπες.

Κατά το τρίτο στάδιο καρποφορίας, παρατηρήθηκε μία μικρή μείωση των συγκεντρώσεων απορρόφησης NO₃ σε όλες τις επεμβάσεις. Η επέμβαση G διατήρησε, για άλλη μια φορά, τη μέγιστη συγκέντρωση απορρόφησης (13,44 mmol L⁻¹), και η οποία διαφέρει στατιστικώς σημαντικά από τις υπόλοιπες σε επίπεδο 5% (Πιν.23).

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

4.1 ΑΣΒΕΣΤΙΟ (Ca²⁺)

Σύμφωνα με την επεξεργασία των αποτελεσμάτων φαίνεται ξεκάθαρα (Εικ. 3.3) ότι από την αρχή μέχρι το τέλος του πειράματος η συγκέντρωση Ca στις ρίζες των φυτών όλων των ποικιλιών έχει αυξηθεί κατά μέσο όρο περίπου 10mg L⁻¹, κάτι που ήταν αναμενόμενο. Η επέκταση και η πάχυνση της ρίζας κατά την ανάπτυξη του φυτού πραγματοποιείται με συνεχή πάχυνση των κυτταρικών τοιχωμάτων τα οποία είναι οι κύριες θέσεις συσσώρευσης Ca στους φυτικούς ιστούς (Μαυρογιαννόπουλος, 2006). Με την έλλειψη τροφοδοσίας Ca στο εξωτερικό διάλυμα, η επέκταση τη ρίζας σταματά μέσα σε λίγες ώρες (Marschner, 2012).

Η συγκέντρωση Ca στα φύλλα των φυτών ακολουθεί επίσης ανοδική πορεία καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος (Εικ. 3.7) και 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. Όσο περισσότερο νερό διαπνέουν τα φυτά, τόσο μεγαλύτερες είναι οι ποσότητες Ca που μεταφέρονται στα φύλλα, δεδομένου ότι το Ca κινείται ανοδικά με μαζική ροή μέσω του ρεύματος διαπνοής που περνά μέσα από τα αγγεία του ξύλου. Ο ανταγωνισμός στην διαθεσιμότητα Ca από τις ρίζες, μέσω των αγγείων του ξύλου απευθείας προς τα φύλλα και τους καρπούς, λειτουργεί υπέρ των φύλλων, διότι διαπνέουν εντονότερα καθότι διαθέτουν περισσότερα στομάτια (Savvas and Passam, 2002).

Η παραπάνω θεωρία επιβεβαιώνεται και από την Εικόνα 3.11 όπου η συγκέντρωση Ca στους καρπούς των φυτών όλων των ποικιλιών κυμαίνεται σε επίπεδα πολύ χαμηλότερα από την συγκέντρωση στα φύλλα και μάλιστα σταθερά, καθ' όλη την περίοδο της καλλιέργειας, εκτός από το τρίτο στάδιο καρποφορίας όπου η συγκέντρωση Ca αυξήθηκε κατά μέσο όρο περίπου 1,5 mg g⁻¹.

Σε επίπεδο ποικιλιών, από το πρώτο στάδιο καρποφορίας και έπειτα - πιο συγκεκριμένα, από την 48^η έως την 90^η ημέρα (Εικ. 3.7) - η εμβολιασμένη ποικιλία Sammy (SG) σημείωσε υψηλότερες συγκεντρώσεις Ca στα φύλλα σε

σχέση με την αυτεμβολιασμένη ποικιλία Sammy (SS) και μάλιστα με στατιστικώς σημαντική διαφορά (Πίν. 11). Σε αντίστοιχο αποτέλεσμα κατέληξε και ο Mohammed *et al.* (2009) σε εμβολιασμένα φυτά τομάτας.

Σύμφωνα με το διάγραμμα της **Εικόνας 3.15** παρατηρείται μία αύξηση της αναλογίας απορρόφησης Ca προς νερό (συγκέντρωση απορρόφησης) μέχρι τις πρώτες 50 μέρες, δηλαδή μέχρι το πρώτο στάδιο καρποφορίας. Από το σημείο εκείνο μέχρι και το τέλος του πειράματος η απορρόφηση Ca βαίνει μειούμενη. Τα παραπάνω επιβεβαιώνονται από το διάγραμμα της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) (**Εικ. 3.2**) όπου μέχρι τις πρώτες 50 μέρες η EC μειώνεται ελαφρώς από την τιμή βάσης ενώ από το χρονικό διάστημα εκείνο μέχρι και το τέλος του πειράματος αυξάνεται σημαντικά, που σημαίνει ότι μια μεγάλη ποσότητα Ca δεν απορροφάται από το φυτό αλλά έχει συσσωρευτεί στην περιοχή της ρίζας.

Τα ευρήματα αυτά ταυτίζονται με εκείνα του Teshome *et al.* (1999) όπου η επίδραση της ιοντικής ισχύς του θρεπτικού διαλύματος στην απορρόφηση του Ca αλλά και η αύξηση της αγωγιμότητας σε υψηλά επίπεδα σε φυτά πιπεριάς μείωσε την συνολική απορρόφηση του Ca. Παρόμοια αποτελέσματα ανέφεραν οι Ehart & Ho (1986a) και ο Adams (1991) σε φυτά τομάτας. Το γεγονός αυτό πιθανόν να οφείλεται στον ανταγωνισμό μεταξύ του Ca και του K κατά την απορρόφησή τους από την επιφάνεια της ρίζας (Kirkby, 1979) ή/και στο μειωμένο οσμωτικό δυναμικό του θρεπτικού διαλύματος το οποίο επηρεάζει την απορρόφηση νερού από τις ρίζες (Teshome *et al.*, 1999).

Επίσης από το στάδιο ανθοφορίας μέχρι το δεύτερο στάδιο καρποφορίας, οι συγκεντρώσεις απορρόφησης Ca της ποικιλίας Sondela (G) ήταν οι μεγαλύτερες (**Εικ. 3.15**) και μάλιστα με στατιστικώς σημαντική διαφορά από τις υπόλοιπες (Πίν. 19).

4.2 ΜΑΓΝΗΣΙΟ (Mg⁺²)

Στο διάγραμμα της **Εικόνας 3.4** φαίνεται ότι στα αρχικά στάδια ανάπτυξης των φυτών η συγκέντρωση Mg στις ρίζες διαφοροποιείται, ανάλογα με την ποικιλία. Φαίνεται επίσης ότι κατά την έναρξη του σταδίου ανθοφορίας, οι ρίζες περιέχουν Mg σε σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις, ενώ από το πρώτο στάδιο καρποφορίας μέχρι και το τέλος του πειράματος οι συγκεντρώσεις Mg στις ρίζες βαίνουν, αισθητά, μειούμενες. Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω αλλά και την ανοδική πορεία της συγκέντρωσης του Ca στις ρίζες των φυτών (**Εικ. 3.3**) μπορούμε να υποθέσουμε ότι η σαφής αυτή αντίστροφη σχέση οφείλεται στην ανταγωνιστικότητα μεταξύ των δύο στοιχείων (Δροσόπουλος, 1998). Με ανάλογο τρόπο εξηγείται το γεγονός ότι η συγκέντρωση Mg στα φύλλα των φυτών ακολούθησε επίσης πτωτική πορεία (**Εικ. 3.8**) σε αντίθεση με την ανοδική πορεία της συγκέντρωσης Ca (**Εικ. 3.7**).

Στο βλαστικό στάδιο αλλά και στο στάδιο ανθοφορίας η εμβολιασμένη ποικιλία Sammy (SG) σημείωσε μικρότερες συγκεντρώσεις Mg από την αυτεμβολιασμένη (SS) στα φύλλα των φυτών, οι οποίες μάλιστα διέφεραν και στατιστικώς σημαντικά υποδεικνύοντας την επίδραση του υποκειμένου (**Εικ. 3.8**). Αντίστοιχα αποτελέσματα ανέφερε ο Mohammed *et al* (2009) σε εμβολιασμένα φυτά τομάτας αλλά και άλλοι μελετητές σε εμβολιασμένα φυτά καρπουζιού, υποδεικνύοντας την σημαντικότητα του κατάλληλου συνδυασμού εμβολίου-υποκειμένου (Colla *et al.*, 2010b).

Σύμφωνα με την **Εικόνα 3.16** η συνολική συγκέντρωση απορρόφησης Mg ακολουθεί μία ελαφρώς πτωτική πορεία. Το γεγονός αυτό μπορεί να οφείλεται στο ότι ο ρυθμός απορρόφησης του Mg μπορεί να περιοριστεί πολύ από άλλα κατιόντα, όπως τα K⁺, NH₄⁺, Ca⁺², Mn⁺² (Μαυρογιαννόπουλος, 2006).

Επίσης είναι φανερό ότι από το βλαστικό στάδιο μέχρι το δεύτερο στάδιο καρποφορίας, η ποικιλία Sondela (G) απορρόφησε την μεγαλύτερη ποσότητα Mg ανά λίτρο νερό σε σχέση με τις υπόλοιπες και μάλιστα διαφέροντας στατιστικώς σημαντικά (**Πιν. 20**). Το παραπάνω επιβεβαιώνεται από το διάγραμμα της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (**Εικ. 3.2**) στο οποίο η

ποικιλία Sondela (G) σημείωσε τις μικρότερες τιμές σε σύγκριση με τις υπόλοιπες.

4.3 ΚΑΛΙΟ (K⁺)

Είναι γνωστό ότι το K είναι ένα πολύ ευκίνητο θρεπτικό στοιχείο μέσα στο φυτό και η μεταφορά του σε μεγάλες αποστάσεις γίνεται δια μέσου του ξύλου και του ηθμού (Δροσόπουλος, 1998) ενώ από τα φύλλα στους καρπούς μεταφέρεται μέσω του ηθμού (Savvas and Passam, 2002). Επίσης το K ρυθμίζει το άνοιγμα των στοματίων κατά τη διαπνοή των φυτών (Μαυρογιαννόπουλος, 2006).

Από τα παραπάνω γίνεται κατανοητό ότι καθώς τα φυτά άρχισαν να καρποφορούν, μέρος της συγκέντρωσης καλίου από τις ρίζες (**Εικ. 3.5**) και τα φύλλα (**Εικ. 3.9**) άρχισαν να μετακινούνται προς τους καρπούς. Η απότομη πτώση της συγκέντρωσης K στους καρπούς που σημειώθηκε κατά το δεύτερο στάδιο καρποφορίας (**Εικ. 3.13**) με την αντίστοιχη αύξησή της στα φύλλα (**Εικ. 3.9**) πιθανόν να οφείλεται στο συνδυασμό υπερβολικού φορτίου και υψηλών θερμοκρασιών (δηλ. υψηλού ρυθμού διαπνοής) την περίοδο αυτή (Ιούνιος) με αποτέλεσμα την καταπόνηση των φυτών.

Σύμφωνα με την **Εικόνα 3.17** φαίνεται πως η συνολική συγκέντρωση απορρόφησης K κατά τη διάρκεια του πειράματος ακολούθησε πτωτική πορεία. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι η αυξημένη φυλλική επιφάνεια κατά το πέρασμα του χρόνου οδήγησε στην αυξημένη απορρόφηση νερού χωρίς όμως ουσιαστική μείωση της πραγματικής απορρόφησης K, με αποτέλεσμα ο λόγος K/H₂O να μειώθηκε. Μία άλλη πιθανή εξήγηση είναι ότι αρκετές μελέτες έχουν δείξει πως η συγκέντρωση K στους φυτικούς ιστούς μειώνεται καθώς η αλατότητα-Na ή ο λόγος Na⁺ : Ca⁺² στην περιοχή της ρίζας αυξάνεται ως αποτέλεσμα διαδικασίας ανταγωνισμού απορρόφησης (Lopez and Satti, 1996; Perez *et al.*, 1996; Song and Fujiyama, 1996).

Σε επίπεδο ποικιλιών φαίνεται καθαρά (**Εικ. 3.17**) ότι από το βλαστικό στάδιο μέχρι το πρώτο στάδιο καρποφορίας η ποικιλία Bellisa (F) σημείωσε τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις απορρόφησης K σε σχέση με τις υπόλοιπες ποικιλίες και μάλιστα με στατιστικώς σημαντικές διαφορές (**Πιν. 21**). Μεταξύ της εμβολιασμένης ποικιλίας Sammy (SG) και της αυτεμβολιασμένης Sammy

(SS) δεν υπήρχαν σημαντικές διαφορές στην συνολική απορρόφηση Κ επιβεβαιώνοντας αντίστοιχες αναφορές του Huang *et al.* (2010) στο αγγούρι και του Edelstein *et al.* (2005) στο πεπόνι.

4.4 ΦΩΣΦΟΡΟΣ (P)

Σύμφωνα με την **Εικόνα 3.6**, η πορεία της συγκέντρωσης P στις ρίζες των φυτών βαίνει, κατά μέσο όρο, σταθερή μέχρι το δεύτερο στάδιο καρποφορίας, ενώ από το σημείο εκείνο μέχρι και το τέλος του πειράματος αυξάνεται αισθητά στις περισσότερες ποικιλίες.

Δεν ισχύει το ίδιο και για την συγκέντρωση P στα φύλλα όπου η γενική της πορεία είναι πτωτική για όλες τις ποικιλίες (**Εικ. 3.10**). Όσον αφορά τους καρπούς, στις ποικιλίες Bellisa (F) και αυτοεμβολιασμένη Sammy (SS) η συγκέντρωση P σημείωσε μείωση σε αντίθεση με τις υπόλοιπες ποικιλίες των οποίων οι συγκεντρώσεις P στους καρπούς αυξήθηκαν (**Εικ. 3.14**).

Η αντίστροφη σχέση της συγκέντρωσης P στα φύλλα και στις ρίζες των φυτών πιθανόν να οφείλεται στο ότι με την πάροδο της ηλικίας η φυτική μάζα σε μεγάλο βαθμό αυξάνεται επειδή τα κύτταρα μεγεθύνονται λόγω μεγέθυνσης του χυμοτοπίου. Ο φώσφορος όμως περιέχεται κυρίως στο κυτόπλασμα όπου διαδραματίζει ενεργό ρόλο στην ενεργοποίηση διαφόρων ουσιών του μεταβολισμού και όχι στα χυμοτόπια.

Σε επίπεδο ποικιλιών (**Εικ. 3.6**), από το πρώτο στάδιο καρποφορίας μέχρι και το τέλος του πειράματος η συγκέντρωση P στις ρίζες των φυτών της εμβολιασμένης ποικιλίας Sammy (SG) ήταν χαμηλότερη από αυτήν της αυτεμβολιασμένης (SS) διαφέροντας, μάλιστα, στατιστικώς σημαντικά (με εξαίρεση το δεύτερο στάδιο καρποφορίας) (**Πιν. 10**) υποδεικνύοντας την επίδραση του υποκειμένου. Αντίθετα αποτελέσματα βρήκε ο Ruiz *et al.* (1996) σε φυτά πεπονιού ενώ ο Kawaguchi *et al.* (2008) συμπέραναν ότι το είδος του υποκειμένου ήταν ο βασικός παράγοντας που επηρέασε την απορρόφηση και μετακίνηση αυτού του μακροστοιχείου προς τα εμβόλια στα Σολανώδη φυτά. Επίσης στο δεύτερο και τρίτο στάδιο καρποφορίας σημαντικές διαφορές σε στατιστικό επίπεδο παρατηρούνται στις συγκεντρώσεις P στους καρπούς της αυτεμβολιασμένης (SS) και εμβολιασμένης (SG) ποικιλίας Sammy (**Πιν. 18**).

Από την έναρξη του πειράματος μέχρι το πρώτο στάδιο καρποφορίας (Εικ. 3.18), παρατηρείται ότι η συνολική συγκέντρωση απορρόφησης P αυξάνεται. Από το σημείο εκείνο μέχρι το τέλος του πειράματος η πορεία της συνολικής συγκέντρωσης απορρόφησης P είναι φθίνουσα με τις ποικιλίες να σημειώνουν υψηλότερες συγκεντρώσεις απορρόφησης σε σχέση με τις αρχικές, πλην της εμβολιασμένης ποικιλίας Sammy (SG) που σημειώνει χαμηλότερη.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, το γεγονός ότι από το πρώτο στάδιο καρποφορίας και έπειτα, οι συγκεντρώσεις P μειώθηκαν οφείλεται στο γεγονός ότι με το πέρασμα του χρόνου η συνολική βιομάζα αυξήθηκε και οδήγησε στην αυξημένη απορρόφηση νερού χωρίς όμως ουσιαστική μείωση της πραγματικής απορρόφησης P με αποτέλεσμα ο λόγος P/H₂O να μειώθηκε.

4.5 ΝΙΤΡΙΚΑ (NO₃⁻)

Η συνολική συγκέντρωση απορρόφησης NO₃ ακολούθησε πτωτική πορεία σε όλες τις ποικιλίες εκτός από το χρονικό διάστημα μεταξύ του δεύτερου και τρίτου σταδίου καρποφορίας όπου σημείωσε μία μικρή άνοδο (Εικ. 3.19).

Η συνολική μείωση της συγκέντρωσης απορρόφησης των NO₃ πρέπει να οφείλεται στην αυξημένη κατανάλωση νερού λόγω αύξησης του ρυθμού διαπνοής από την απόλυτη αύξηση της ολικής απορρόφησης N, οδηγώντας στη μείωση του κλάσματος απορρόφησης NO₃/H₂O.

Σε επίπεδο ποικιλιών υπάρχουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές στην συγκέντρωση απορρόφησης NO₃ μεταξύ της ποικιλίας Sondela (G) και των υπολοίπων, από το στάδιο της άνθισης έως το πρώτο στάδιο καρποφορίας και κατά το τρίτο στάδιο καρποφορίας (Πιν. 23). Αντιθέτως, καμία σημαντική διαφορά δεν βρέθηκε μεταξύ της αυτεμβολιασμένης Sammy (SS) και της εμβολιασμένης Sammy (SG), κάτι που επιβεβαιώνεται από τον Kawaguchi *et al.* (2008) σε αντίστοιχες συγκρίσεις στην τομάτα και την πιπεριά όταν μελέτησαν την συμβατότητα εμβολίου-υποκειμένου σε σχέση με την θρέψη των φυτών στα Σολανώδη.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης υπέδειξαν ότι η ποικιλία Sondela (G) παρουσίασε τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις απορρόφησης NO_3^- , Mg^{+2} και Ca^{+2} διαφέροντας σημαντικά από τις υπόλοιπες ποικιλίες, κάτι που επιβεβαιώνεται από τις μικρότερες τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας που μετρήθηκαν στο διάλυμα απορροής κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας. Καθίσταται, λοιπόν, σαφής η ανάγκη διαφοροποίησης της σύστασης του θρεπτικού διαλύματος τροφοδοσίας (starter) και η αναπροσαρμογή του με βάση τα δεδομένα του πειράματος αυτού για την συγκεκριμένη ποικιλία.

Αντιθέτως, καμία σημαντική διαφορά δεν παρουσιάστηκε στις συγκεντρώσεις απορρόφησης όλων των μακροστοιχείων μεταξύ της εμβολιασμένης και αυτεμβολιασμένης ποικιλίας Sammy, κάτι που πρέπει οφείλεται τόσο στον γονότυπο του υποκειμένου όσο και στον συγκεκριμένο συνδυασμό εμβολίου-υποκειμένου.

Η συνολική συγκέντρωση απορρόφησης Ca^{+2} σε όλες τις ποικιλίες αρχικά σημείωσε αύξηση αλλά στη συνέχεια ακολούθησε πτωτική πορεία συμβάλλοντας στην αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στο ανακυκλούμενο θρεπτικό διάλυμα. Οι συγκεντρώσεις απορρόφησης του P και NO_3^- μειώθηκαν με την πάροδο της ηλικίας των φυτών, κάτι που φαίνεται να οφείλεται κυρίως σε μεγαλύτερη αύξηση των ρυθμών απορρόφησης νερού σε σύγκριση με την αύξηση των ρυθμών απορρόφησης των δύο αυτών θρεπτικών στοιχείων με την πάροδο του χρόνου.

Η συγκέντρωση απορρόφησης Mg^{+2} ακολούθησε μία ελαφρώς πτωτική πορεία λόγω ανταγωνισμού από άλλα κατιόντα στο θρεπτικό διάλυμα στο περιβάλλον της ρίζας. Η συγκέντρωση απορρόφησης K^+ σημείωσε επίσης πτωτική πορεία εξαιτίας της αυξημένης φυλλικής επιφάνειας που οδήγησε στην αύξηση απορρόφησης του νερού μειώνοντας τον λόγο $\text{K}^+/\text{H}_2\text{O}$.

Η συγκέντρωση Ca^{+2} στις ρίζες και στα φύλλα αυξήθηκε με το πέρασμα του χρόνου ενώ σταθερή πορεία παρουσίασε στους καρπούς, εκτός από το τρίτο στάδιο καρποφορίας όπου σημείωσε αύξηση. Τούτο οφείλεται στην μεγέθυνση της ρίζας με την πάροδο της ηλικίας των φυτών αλλά και

στην μεταφορά μεγαλύτερων ποσοτήτων Ca^{+2} από τις ρίζες προς τα φύλλα σε σχέση με τους καρπούς, λόγω αυξημένης διαπνοής.

Η συγκέντρωση Mg^{+2} στα φύλλα και τις ρίζες των ποικιλιών ακολούθησε πτωτική πορεία ενώ πτωτική πορεία ακολούθησε και στους καρπούς εκτός από το τρίτο στάδιο καρποφορίας όπου σημειώθηκε απότομη αύξηση. Το παραπάνω πιθανώς να οφείλεται στον ανταγωνισμό του Mg^{+2} με το Ca^{+2} στο θρεπτικό διάλυμα στην περιοχή της ρίζας.

Η συγκέντρωση K^{+} στα φύλλα και τις ρίζες των ποικιλιών ακολούθησε, επίσης, πτωτική πορεία σε αντίθεση με τους καρπούς που σημείωσε αύξηση και αυτό οφείλεται στο αυξημένο φορτίο των φυτών που είχε ως αποτέλεσμα την μεταφορά ποσοτήτων K από τις ρίζες και τα φύλλα προς τους καρπούς. Πρέπει να αναφερθεί ότι κατά το δεύτερο στάδιο καρποφορίας ο συνδυασμός υψηλού φορτίου και υψηλών θερμοκρασιών είχε ως αποτέλεσμα την καταπόνηση των φυτών καταγράφοντας μια απότομη μείωση της συγκέντρωσης K^{+} στους καρπούς.

Η συγκέντρωση P στα φύλλα ακολούθησε πτωτική πορεία ενώ κυμάνθηκε σε σταθερά επίπεδα στις ρίζες εκτός από το τρίτο στάδιο καρποφορίας όπου σημείωσε απότομη αύξηση κάτι που οφείλεται στην αύξηση της φυτικής βιομάζας με το πέρασμα του χρόνου. Όσον αφορά την συγκέντρωση P στους καρπούς φαίνεται ότι διαφοροποιείται ανάλογα με την ποικιλία χωρίς να εξάγονται σημαντικά συμπεράσματα.

A. ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Adams, P., 1991: Effect of increasing the salinity of the nutrient solution with major nutrients or sodium chloride on yield, fruit quality and composition of tomatoes grown in rockwool. *Journal of Horticultural Science* **66**: 201-207.
- Adams, P., 2002. Nutritional control in hydroponics. In: Savvas, D., Passam, H.C. (eds.). *Hydroponic Production of Vegetables and Ornamentals*. Embryo Publications, Athens, Greece, pp. 211-261.
- Anchondo, J.A., Wall, M.M., Gutschick, V.P., Smith, D.W., 2002. Growth and yield of iron-deficient Chilepeppers in sand culture. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* **127**, 205-210.
- Andrews, P.K. & Serrano Marquez, C., 1993. Graft Incompatibility. In *Horticultural Reviews*. John Wiley & Sons, Inc., pp. 183-232.
- Arao, T., Takeda, H. Nishihara, E. 2008. Reduction of cadmium translocation from roots to shoots in eggplant (*Solanum melongena*) by grafting onto *Solanum torvum* rootstock. *Soil Sci. Plant Nutr.* **54**, 555-559.
- Batchelor, T.A., 2004. The impact of the Montreal Protocol and European Union controls on methyl bromide. In: proceedings of 5th International Conference on Alternatives to Methyl Bromide. Lisbon, Portugal, 27-30 Sept. 2004, pp. 21-25.
- Benoit, F., Ceustermans, N., 1995. A decade of research on ecologically sound substrates. *Acta Hort.* **408**, 17-29.
- Bosland, P.W., Votana, E.J., 2000. Peppers: Vegetable and Spice Capsicums. *Crop Production Science in Horticulture Series (Vol 12)*. CABI Publishing, Oxon, UK.
- Cakmak, I., 2005. The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stresses in plants. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* **168**, 521-530.
- Cakmak, I., Hengeler, C. and Marschner, H., 1994a. Partitioning of shoot and root dry matter and carbohydrates in bean plants suffering from phosphorus, potassium and magnesium deficiency *J. Exp. Bot.* **45**, 1245-1250.
- Cammarano, P., Felsani, A., Gentile, M., Gualerzi, C., Romeo, C. and Wolf, G., 1972. Formation of active hybrid 80-S particles from subunits of pea seedlings and mammalian liver ribosomes. *Biochim. Biophys. Acta* **281**, 625-642.
- Carpita, N. and McCann, M., 2000. The cell wall. In *Biochemistry and Molecular Biology of Plants* (B. B. Buchanan, W. Gruissem and R. L. Jones, eds), pp. 52-108. American Society of Plant Physiologists, Rockville, MD.
- Carswell, C., Grant, B. R., Theodorou, M. E., Harris, J., Niere, J. O. and Plaxton W. C., 1996. The fungicide phosphonate disrupts the phosphate-starvation response in *Brassica nigra* seedlings. *Plant Physiol.* **110**, 105-110.
- Colla, G., Roupahel, Y., Cardarelli, M., Massa, D., Salerno A., Rea, E. 2006a. Yield, fruit quality and mineral composition of grafted melon plants grown under saline conditions. *J. Hortic. Sci. Biotech.* **81**, 146-152.

- Colla, G., Roupahel, Y., Cardarelli, M., Rea, E. 2006b. Effect of Salinity on Yield, Fruit Quality, Leaf Gas Exchange, and Mineral Composition of Grafted Watermelon Plants, *HortSci.* **41**, 622-627.
- Colla, G., Roupahel, Y., Leonardi, C., Bie, Z. 2010. Role of grafting in vegetables crops grown under saline conditions. *Sci. Hort.* **127**, 147-155.
- Colla, G., Roupahel, Y., Cardarelli, M., Salerno, A., Rea, E., 2010b. The effectiveness of grafting to improve alkalinity tolerance in watermelon. *Environ. Exp. Bot.* **68**, 283-291.
- Cooper, A., 1979. Commercial application of NFT, Grower Books, London.
- Cornillon, P., Palloix, A., 1997. Influence of sodium chloride on the growth and mineral nutrition of pepper cultivars. *J. Plant Nutr.* **20**, 1085-1094.
- Cramer, G. R., 2002. Sodium-calcium interactions under salinity stress. In *Salinity: Environment - Plants - Molecules* (A. Läuchli and U. Lüttge, eds.), pp. 205-277. Kluwer, Netherlands.
- Davis, A.R., Perkins-Veazie, P., Sakata, Y., Lopez-Galarza, S., Maroto, J.V., Lee, S.-G., Huh, Y.-C., Sun, Z., Miguel, A., King, S.R., Cohen, R., Lee, J.-M. 2008. Cucurbit Grafting. *Crit. Rev. Plant Sci.* **27**, 50-74.
- De Kreij, C., 1995. Latest insights into water and nutrient control in soilless cultivation. *Acta Hort.* **408**, 47-61.
- De Kreij, C., 1999. Production, blossom-end rot, and cation uptake of sweet pepper as affected by sodium, cation ratio, and EC of the nutrient solution. *Gartenbauwissenschaft* **64**, 158-164.
- Dolan, L. and Davies, J., 2004. Cell expansion in roots. *Curr. Opin. Plant Biol.* **7**, 33-39.
- Dong, B., Ryan, P. R., Rengel, Z. and Delhaize, E., 1999. Phosphate uptake in *Arabidopsis thaliana*: dependence of uptake on the expression of transporter genes and internal phosphate concentrations. *Plant, Cell Environ.* **22**, 1455-1461.
- Eaton, A.D., Clesceri, L.S., Greenberg, A.E. (Eds.), 1995. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. , 19th ed. Am. Public Health Assoc., Washington, USA.
- Edelstein, M., Ben-Hur, M. 2007. Preventing contamination of supply chains by using grafted plants under irrigation with marginal water. Proc. 2nd IASTED Intern. Confer. Water Res. Manage., 20-22 Aug. 2007, Honolulu, HI. p. 150-154.
- Edelstein, M., Ben-Hur, M., Cohen, R., Burger, Y., Ravina, I. 2005. Boron and salinity effects on grafted and non-grafted melon plants. *Plant and Soil* **269**, 273-284.
- Edelstein, M., Plaut, Z., Ben-Hur, M. 2011. Sodium and chloride exclusion and retention by non-grafted and grafted melon and *Cucurbita* plants. *J. Exp. Bot.* **62**, 177-184.
- Ehert, D. L., Ho, L. C. 1986a: The effect of salinity on the dry matter partitioning and fruit growth in tomatoes grown in nutrient film culture. *Journal of Horticultural Science* **61**: 361-367.
- Estañ, M.T., Martinez-Rodriguez, M.M., Perez-Alfocea, F., Flowers, T.J., Bolarin, M.C. 2005. Grafting raises the salt tolerance of tomato through limiting the transport of sodium and chloride to the shoot. *J. Exp. Bot.* **56**, 703-712.

- Fernandez-Garcia, N., V. Martinez, A. Cerdai, and M. Carvajal. 2002. Water and nutrient uptake of grafted tomato plants grown under saline conditions. *J. Plant Physiol.* **159**: 899-905.
- Fernandez-Garcia, N., Martinez, V., Cerda, A., Carvajal, M. 2002. Water and nutrient uptake of grafted tomato plants grown under saline conditions. *J. Plant Physiol.* **159**, 899-905.
- Fischer, E. S. and Bussler, W., 1988. Effects of magnesium deficiency on carbohydrates in *Phaseolus vulgaris*. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* **151**, 295-298.
- Fredeen, A. L., Rao, I. M. and Terry, N., 1989. Influence of phosphorus nutrition on growth and carbon partitioning in *Glycine max*. *Plant Physiol.* **89**, 225-230.
- Goreta, S., Bucevic-Popovic, V., Selak, G.V., Gabriela, Pavela-Vrancic, M., Maja, Perica, S. 2008. Vegetative growth, superoxide dismutase activity and ion concentration of salt-stressed watermelon as influenced by rootstock. *J. Agr. Sci.* **146**, 695-704.
- Grigoriadis, L. Nianiou-Obeidat, I., Tsaftaris, A.S. 2005. Shoot regeneration and micrografting of micropropagated hybrid tomatoes. *J. Hort. Sci. Biotech.* **80**, 183-186.
- He, Y., Zhu, Z., Yang, J., Ni, X., Zhu, B. 2009. Grafting increases the salt tolerance of tomato by improvement of photosynthesis and enhancement of antioxidant enzymes activity. *Environ. Exp. Bot.* **66**, 270-278.
- Heiser, C.B. Jr., 1979. Peppers. Published by N.W. Simmonds in *Evolution of Crop Plants*. Longman Group Limited. pp: 339.
- Hermans, C. and Verbruggen, N., 2005. Physiological characterization of Mg deficiency in *Arabidopsis thaliana*. *J. Exp. Bot.* **56**, 2153-2161.
- Hermans, C., Johnson, G. N., Strasser, R. J. and Verbruggen, N., 2004. Physiological characterisation of magnesium deficiency in sugar beet: acclimation to low magnesium differentially affects photosystems I and II. *Planta* **220**, 344-355.
- Horst, W. J., Wang, Y. X. and Eticha, D., 2010. The role of the root apoplast in aluminium-induced inhibition of root elongation and in aluminium resistance of plants: a review. *Ann. Bot.* **106**, 185-197.
- Hsiao, T. C. and Läuchli, A., 1986. Role of potassium in plant-water relations. In *Advances in Plant Nutrition*, Vol. 2 (B. Tinker and A. Läuchli, eds.), pp. 281-312. Praeger Scientific Publ., New York .
- Huang, Y., Bie, Z., He, S., Hua, B., Zhen, A., Liu, Z., 2010. Improving cucumber tolerance to major nutrients induced salinity by grafting onto *Cucurbita ficifolia*. *Environ. Exp. Bot.* **69**, 32-38.
- Huang, Y., Tang, R., Cao, Q., Bie, Z. 2009. Improving the fruit yield and quality of cucumber by grafting onto the salt tolerant rootstock under NaCl stress, *Sci.Hort.* **122**, 26-31.
- Huett, D.O., 1996. Prospects for manipulating the vegetative-reproductive balance in horticultural crops through nitrogen nutrition: a review, *Aust. J. Agric. Res.*, **47**: 47-46.
- Janick, J., 1986. *Horticultural science*. 4th edition, W.H. Freeman and Co.
- Janina G.W., Mariola, Ł., Teresa, Z. 2010. The Influence of Grafting and Biostimulators on the Yield and Fruit Quality of Greenhouse Tomato cv. (*Lycopersicon esculentum* mill.) Grown in the Field. Department of

- Vegetable and Medicinal Plants Warsaw University of Life Sciences. Vol. 72, 63-70.
- Jensen, M.H., Collins, W.L., 1985. Hydroponic vegetable production. Hort. Rev. 7, 483-558.
- Jovicich, E., Cantliffe, D.J., Stoffella, P.J., 2004. Fruit yield and quality of greenhouse grown bell pepper as influenced by density, container, and trellis system. HortTechnology 14, 507-513.
- Jovicich, E., Cantliffe, D.J., Stoffella, P.J., Haman, D.Z., 2007. Bell pepper fruit yield and quality as influenced by solar radiation-based irrigation and container media in a passively ventilated greenhouse. HortScience 42, 642-652.
- Karthikeyan, A. S., Varadarajan, D. K., Jain, A., Held, M. A., Carpita, N. C., Raghothama, K. G., 2007. Phosphate starvation responses are mediated by sugar signaling in Arabidopsis. *Planta* 225, 907-918.
- Kawaguchi, M., Taji, A., Backhouse, D., Oda, M., 2008. Anatomy and physiology of graft incompatibility in solanaceous plants. J. Hortic. Sci. Biotechnol. 83, 581-588.
- Kirkby, E. A. 1979. Maximizing calcium uptake by plants. *Communication in Soil Science and Plant Analysis* 10: 89-110.
- Kubota, C., McClure, M.A., Kokalis-Burelle, N., Bausher, M.G., Roskopf, E.N. 2008. Vegetable grafting: History, use and current technology status in North America. HortSci. 43, 1664-1669.
- LaHaye, P. A. and Epstein, E., 1971. Calcium and salt tolerance by bean plants. *Physiol. Plant.* 25, 213-218.
- Lambers, H., Brundrett, M. C., Raven, J. A. and Hopper, S. D., 2010. Plant mineral nutrition in ancient landscapes: high plant species diversity on infertile soils is linked to functional diversity for nutritional strategies. *Plant Soil* 334, 11-31.
- Lee J.M. 1994. Cultivation of grafted vegetables I. Current status, grafting methods, and benefits. HortScience 29: 235-239.
- Lee, J.M., Kubota, C., Tsao, S.J., Bie, Z., Echevarria, P.H., Morra, L., Oda, M. 2010. Current status of vegetable grafting: Diffusion, grafting techniques, automation. Sci.Hort. 127, 93-105.
- Loneragan, J. F. and Snowball, K., 1969. Calcium requirements of plants. *Austr. J. Agric. Res.* 20, 465-478.
- Loneragan, J. F., Snowball, K. and Simmons, W. J., 1968. Response of plants to calcium concentration in solution culture. *Aust. J. Agric. Res.* 19, 845-857.
- Lopez, M.V. and S.M.E. Satti, 1996. Calcium and potassium-enhanced growth and yield of tomato under sodium-chloride stress. Plant Sci., 114: 19-27.
- Louws, F.J., Rivard, C.L, Kubota, C. 2010. Grafting fruiting vegetables to manage soilborne pathogens, foliar pathogens, arthropods and weeds. Sci. Hort. 127, 127-146.
- Lynch, J., Läuchli, A. and Epstein, E., 1991. Vegetative growth of the common bean in response to phosphorus nutrition. *Crop Sci.* 31, 380-387.
- Maguire, M. E. and Cowan., J. A., 2002. Magnesium chemistry and biochemistry. *Biometals* 15, 203-210.
- Marschner, H., 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd Edition. Academic Press, London, U.k. pp. 204-218.

- Marschner, H., 2012. Mineral Nutrition of Higher Plants. 3rd Edition. Elsevier. pp: 135-189.
- Martinez-Rodriguez, M.M., Estan, M.T., Moyano, E., Garcia-Abellan, J.O., Flores, F.B., Campos, J.F., Al-Azzawi, M.J., Flower, T.J., Bolarin, M.C. 2008. The effectiveness of grafting to improve salt tolerance in tomato when an “excluder” genotype is used as scion. *Environ. Exp. Bot.* **63**, 392-401.
- Mengel, K. and Arneke, W. W., 1982. Effect of potassium on the water potential, the osmotic potential, and cell elongation in leaves of *Phaseolus vulgaris*. *Physiol. Plant.* **54**, 402-408.
- Mengel, K., Kirkby, E.A., 2001. Principles of Plant Nutrition. (5th Edn), Springer, New York, USA.
- Michael, G., 1941. Über die Aufnahme und Verteilung des Magnesiums und dessen Rolle in der höheren grünen Pflanze. *Z. Pflanzenernaehr., Dueng., Bodenkd.* **25**, 65-120.
- Mohammed, S.M.T., Humidan, M., Boras, M., Abdalla, O.A. 2009. Effect of Grafting Tomato on Different Rootstocks on Growth and Productivity under Glasshouse Conditions. *Asian Journal of Agricultural Research*. Malaysia. Knowledge Review. 1819-1894.
- Mori, S., Uruguchi, S., Ishikawa, S., Arai, T. 2009. Xylem loading process is a critical factor in determining Cd accumulation in the shoots of *Solanum melongena* and *Solanum torvum*. *Environ. Exp. Bot.* **67**, 127-132.
- Mostafa, M. A. E. and Ulrich, A., 1976. Absorption, distribution and form of Ca in relation to Ca deficiency (tip burn) of sugarbeets. *Crop Sci.* **16**, 27-30.
- Mudge, K., Janick, J., Scofield, S., Goldschmidt, E.E., 2009. A history of grafting. In horticultural reviews (John Wiley & Sons, Inc.), 437-493.
- Navarro, J.M., Flores, P., Garrido, C., Martinez, V., 2006. Changes in the contents of antioxidant compounds in pepper fruits at different ripening stages, as affected by salinity. *Food Chem.*, **96**, 66-73.
- Navarro, J.M., Garrido, C., Carvajal, M., Martinez, V., 2002. Yield and fruit quality of pepper plants under sulphate and chloride salinity. *J. Hort. Sci. Biotechn.* **77**, 52-57.
- Oda, M. 2002. Grafting of vegetable crops. *Sci. Rep. Agric & Biol. Sci.* **54**, 49-72.
- Page, A.L., 1982. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America.
- Pérez-Alfocea F., Balibrea M.E., Santa Cruz A., Estan M.T., 1996. Agronomical and physiological characterization of salinity tolerance in a commercial tomato hybrid, *Plant and Soil* **180**, 251-257.
- Pina, A., Errea, P. 2005. A review of new advances in mechanism of graft compatibility-incompatibility. *Sci. Hort.* **106**, 1-11.
- Prabhu, A. S., Fageria, N. K., Huber, D. M. and Rodrigues, F. A., 2007. Potassium nutrition and plant diseases. In *Mineral Nutrition and Plant Disease* (Datnoff, L. E., Elmer, W. H. and Huber, D. M., eds.). The American Phytopathological Society Press, Saint Paul, USA.
- Puerta, A.R., Sato, S., Shinohara, Y., Maruo, T., 2007. A modified nutrient film technique system offers a more uniform nutrient supply to plants. *HortTechnology* **17**, 227-233.

- Purseglove, J.W., 1979. Tropical crops. Dicotyledons. Longman Group Limited London. pp: 719.
- Raghothama, K.G., 1999. Phosphate acquisition. Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. **50**, 665-693.
- Ratjen, A. M. and Gerendás, J., 2009. A critical assessment of the suitability of phosphite as a source of phosphorus. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* **172**, 821-828.
- Raviv, M., Lieth, J.H., 2008. Significance of soilless culture in agriculture. In: Raviv, M., Lieth, J.H. (Eds). Soilless Culture. Theory and Practice. Elsevier B.V., Amsterdam, The Netherlands, pp. 1-11.
- Rivard, C.L. and F.J. Louws. 2008. Grafting to manage soilborne diseases in heirloom tomato production. HortScience **43**: 2104-2111.
- Roupahel, Y., Cardarelli, M., Colla, G., Rea, E. 2008a. Yield, Mineral Composition, Water Relations, and Water Use Efficiency of Grafted Mini-watermelon Plants Under Deficit Irrigation. HortSci. **43**, 730-736.
- Roupahel, Y., Cardarelli, M., Rea, E., Colla, G. 2008b. Grafting of cucumber as a means to minimize copper toxicity. Environ. Exp. Bot. **63**, 49-58.
- Rouphael, Y., M. Cardarelli, E. Rea, and G. Colla. 2008. Grafting of cucumber as a means to minimize copper toxicity. Environ. Exp. Bot. **63**:49-58.
- Ruelland, E., Vaultier, M. N., Zachowski, A. and Hurry, V. 2009. Cold signalling and cold acclimation in plants. *Adv. Bot. Res.* **49**, 35-150.
- Ruiz, J.M., Belakbir, A., Romero, L., 1996. Foliar level of phosphorus and its bioindicators in Cucumis melo grafted plants. A possible effect of rootstocks. J. Plant Physiol. **149**, 400-404.
- Santa-Cruz, A., Martinez-Rodriguez, M.M., Perez-Alfocea, F., Romero-Aranda, R., Bolarin, M.C. 2002. The rootstock effect on the tomato salinity response depends on the shoot genotype. Plant Sci. **162**, 825-831.
- Sanyal, S.K., de Datta, S.K., 1991. Chemistry of phosphorus transformations in soil. Adv. Soil Sci. **16**, 1-120.
- Sapountzakis, G., Tsaftaris, A.S. 2002. Combination of micropropagation with microrrafting in cucumber. Acta Hort. **579**: 233-236.
- 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.
- Savvas, D., Karagianni, V., Kotsiras, A., Demopoulos, V., Karkamisi I., Pakou, P., 2003. Interactions between ammonium and pH of the nutrient solution supplied to gerbera (*Gerbera jamesonii*) grown in soilless culture. Plant Soil **254**, 393-402.
- Savvas, D., Ntatsi, G., Barouchas, P., 2013. Impact of Cd and Ni on cation uptake by cucumber grafted onto four commercial rootstocks. Scientia Horticulturae **149**, 86-96.
- Savvas, D., Papastavrou, D., Ntatsi, G., Ropokis. A., Olympios. C., 2009. Interactive Effects of Grafting and Manganese Supply on Growth, Yield, and Nutrient Uptake by Tomato. HortSci. **44(7)**: 1978-1982.
- Savvas, D., Passam, H., 2002. Hydroponic Production of Vegetables and Ornamentals. Embryo Publications. Athens, 159-278.
- Savvas, D., Stamati, E., Tsirogiannis, I.L., Mantzos, N., Barouchas, P.E., Kittas, K., Katsoulas, N., 2007a. Interactions between salinity and

- irrigation frequency in greenhouse pepper grown in a closed-loop hydroponic system. *Agric. Water Manage.* **91**, 102-111.
- Schachtman, D.P., Reid, R.J., Ayling, S.M., 1998. Phosphorus uptake by plants: From soil to cell. *Plant Physiol.* **116**, 447-453.
- Schapiro, A. L., Valpuesta, V. and Botella, M. A., 2009. Plasma membrane repair in plants. *Trends Plant Sci.* **14**, 645-652.
- Schon, M.K., Compton, M.P., Bell, E., Burns, I., 1994. Nitrogen concentrations affect pepper yield and leachate nitrate-nitrogen from rockwool culture. *HortScience* **29**, 1139-1142.
- Song J.Q., Fujiyama H., 1996. Difference in response of rice and tomato subjected to sodium salinization to the addition of calcium, *Soil Sci. Plant Nutr.* **42**, 503-510.
- Sonneveld, C., 2000. Effects of salinity on substrate grown vegetables and ornamentals in greenhouse horticulture. PhD. Thesis. University of Wageningen, The Netherlands.
- Sonneveld, C., van der Burg, A.M.M., 1991. Sodium chloride salinity in fruit vegetable crops in soilless culture. *Netherlands J. Agric. Sci.* **39**, 115-122.
- Sonneveld, C., W., Voogt. 1985. Growth and cation absorption of some fruit-vegetable crops grown on rockwool as affected by different cation ratios in the nutrient solution. *J. Plant Nutr.* **8**, 585-602.
- Sonneveld, C., W., Voogt. 1990. Responses of tomatoes to an unequal distribution of nutrients in the root zone. In Van Beusichem, M.I. (ed). *Plant nutrition - Physiology and Applications*. Kluwer Academic Publishers:: pp. 509-514.
- Sonneveld, C., 2002. Composition of nutrient solutions. In: Savvas, D., Passam, H. (eds). *Hydroponic Production of Vegetables and Ornamentals*. Embryo Publications, Athens, Greece, pp. 179-210.
- Sperrazza, J. M. and Spremulli, L. L., 1983. Quantitation of cation binding to wheat germ ribosomes: influences on subunit association equilibria and ribosome activity. *Nucleic Acid Res.* **11**, 2665-2679.
- Sreedhara, A. and Cowan, J. A., 2002. Structural and catalytic roles for divalent magnesium in nucleic acid biochemistry. *Biometals* **15**, 211-223.
- Steiner, A.A., 1976. Nomenclature with hydroponics. In: Proceed., 4th Internat. Congress on Soilless Cult. IWOSC, Wageningen, The Netherlands, pp. 19-20.
- Suelter, C. H., 1970. Enzymes activated by monovalent cations. *Science* **168**, pp: 789-795.
- Suzuki, Y., Makino, A. and Mae, T., 2001. An efficient method for extraction of RNA from rice leaves at different ages using benzyl chloride. *J. Exp. Bot.* **52**, 1575-1579.
- Tadesse, T., Nichols, M.A., Fisher, K.J., 1999. Nutrient conductivity effects on sweet pepper plants growing using a nutrient film technique 1. Yield and fruit quality. *New Zealand J. Crop Hort. Sci.* **27**, 229-237.
- Teshome, T., Nichols, A.M., Fisher, J.K. 1999. Nutrient conductivity effects on sweet pepper plants grown using a nutrient film technique. *New Zealand. Journal of Crop and Horticultural Science.* **27:3**. 239-247.
- Tong, G. M. and Rude, R. K., 2005. Magnesium deficiency in critical illness. *J. Intensive Care Med.* **20**, 3-17.

- Tzerakis, C., Savvas, D., Sigrimis, N., Mavrogiannopoulos, G., 2013.** Uptake of Mn and Zn by Cucumber Grown in Closed Hydroponic Systems as Influenced by the Mn and Zn Concentrations in the Supplied Nutrient Solution. *HortScience* **48**(3): 373-379.
- Van Os, E.A., 1982.** Dutch developments in soilless culture. *Outlook on Agric.* **11**, 165-171.
- Verwer, F.L.J.A.W., 1978.** Research and results with horticultural crops in rockwool and nutrient film. *Acta Hort.* **82**, 141-147.
- Vogel, G., Göhler, F., 1991.** Anwendung erdeloser Kulturverfahren - ein Erfordernis unserer Zeit. *Gartendau* **38**(8), 4-7.
- Wallace, A., Frolich, E. and Lunt, O. R., 1966.** Calcium requirements of higher plants. *Nature* **209**, 634.
- White, P. J. and Broadley, M. R., 2003.** Calcium in plants. *Ann. Bot.* **92**, 487-511.
- Wingler, A. and Roitsch, T., 2008.** Metabolic regulation of leaf senescence: interactions of sugar signaling with biotic and abiotic stress responses. *Plant Biol.* **10**, 50-62.
- Wyn Jones, R. G., Brady, C. J. and Speirs, J., 1979.** Ionic and osmotic relations in plant cells. In *Recent Advances in the Biochemistry of Cereals* (D. L. Laidman and R. G. Wyn Jones, eds.), pp. 63-103. Academic Press, London and Orlando.
- Zheng, Y., Wang, L., Dixon, M., 2005.** Greenhouse pepper growth and yield response to copper application. *HortScience* **40**, 2132-2134.

B. ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Δροσόπουλος Β. Ιωάννης, 1998.** Φυσιολογία Φυτών, Μέρος II, Αθήνα, Εκδόσεις Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών. pp: 22-40.
- Μαυρογιαννόπουλος Ν. Γεώργιος, 2006.** Υδροπονικές Εγκαταστάσεις. Β Έκδοση. Αθήνα. Εκδόσεις Σταμούλη Α.Ε. pp: 87-187.
- Σάββας Δημήτριος, 2012.** Καλλιέργειες εκτός Εδάφους: Υδροπονία, Υποστρώματα. Αθήνα. Εκδόσεις ΑγρόΤύπος. pp: 13-435.
- Χρίστος Μ. Ολύμπιος, 2001.** Η Τεχνική της Καλλιέργειας των Κηπευτικών στα Θερμοκήπια, Αθήνα. Εκδόσεις Σταμούλη. pp: 211-260.