

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ



ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΗΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΤΩΝ NO_3^- , PO_4^{3-}
 NH_4^+ ΣΤΟ ΘΡΕΠΤΙΚΟ ΔΙΑΛΥΜΑ ΚΛΕΙΣΤΗΣ ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ
ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΙΑΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΛΥΚΑΣ ΧΡΗΣΤΟΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΦΛΩΡΟΥ ΧΡΗΣΤΟΥ

ΒΟΛΟΣ 2021

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΤΩΝ NO_3^- , PO_4^{3-} , NH_4^+ ΣΕ
ΑΝΑΚΥΚΛΟΥΜΕΝΟ ΘΡΕΠΤΙΚΟ ΔΙΑΛΥΜΑ ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ
ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΦΛΩΡΟΥ ΧΡΗΣΤΟΥ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Χρήστος Λύκας (επιβλέπων, Αν. Καθηγητής)

Νικόλαος Κατσούλας (μέλος, Καθηγητής)

Σπύρος Πετρόπουλος (μέλος, Αν. Καθηγητής)

ΒΟΛΟΣ 2021

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Με την πάροδο του χρόνου γίνονται όλο και περισσότερο αντιληπτά τα οφέλη των κλειστών υδροπονικών συστημάτων καλλιέργειας, όπως η προστασία του περιβάλλοντος με ταυτόχρονη βελτιστοποίηση της παραγωγής.

Λαμβάνοντας υπόψιν την φυσιολογία των φυτών, το κλειστό υδροπονικό σύστημα μπορεί να τροποποιηθεί περαιτέρω με τελικό σκοπό την ωφέλεια τόσο του παραγωγού όσο και του περιβάλλοντος. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με εναλλαγή θρεπτικών διαλυμάτων σύμφωνα με τις περιβαλλοντικές συνθήκες που επικρατούν. Για παράδειγμα, σε περιόδους με περιορισμένη ηλιοφάνεια τα φυτά παρουσιάζουν μειωμένη φωτοσύνθεση με αποτέλεσμα να χρειάζονται λιγότερα θρεπτικά στοιχεία (δηλαδή μειωμένη χρήση λιπασμάτων από τον παραγωγό).

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη της διακύμανσης των συγκεντρώσεων και της συνολικής ποσότητας των NO_3^- , PO_4^{3-} , NH_4^+ , στο θρεπτικό διάλυμα κλειστού υδροπονικού συστήματος, που χρησιμοποιήθηκε για την άρδευση θερμοκηπιακής καλλιέργειας τριανταφυλλιάς σε θερμοκήπιο στην περιοχή του Βελεστίου. Η ποικιλία τριαντάφυλλου που μελετήθηκε ήταν η MissPiggy σε υπόστρωμα περλίτη. Οι μετρήσεις έγιναν στο εργαστήριο ανθοκομίας σε δείγματα που αντιπροσώπευαν το ημερήσιο θρεπτικό διάλυμα. Τα δείγματα αναλύθηκαν με τη βοήθεια φασματοφωτομέτρου με σκοπό να βρεθούν οι ημερήσιες μεταβολές της συγκέντρωσης των NO_3^- , PO_4^{3-} , NH_4^+ σε ppm. Με τη βοήθεια του πεχάμετρου και του αγωγιμόμετρου μετρήθηκαν και οι τιμές pH και ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC), αντίστοιχα.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις μετρήσεις βοήθησαν στη δημιουργία ενός μοντέλου που προσδιορίζει την σχέση της απορρόφησης μεταξύ των NH_4^+ και των PO_4^{3-} . Το συγκεκριμένο μοντέλο θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ταυτόχρονα με άλλα μοντέλα που προβλέπουν την ποσότητα των PO_4^{3-} στο θρεπτικό διάλυμα, με σκοπό να προβλεφτούν τα NH_4^+ του διαλύματος ή και αντίστροφα.

1. Εισαγωγή

1.1 Γενικά στοιχεία της τριανταφυλλιάς

1.1.1 Η καλλιέργειας της τριανταφυλλιάς

Η τριανταφυλλιά είναι πολυετές, θαμνώδες, φυλλοβόλο φυτό το οποίο καλλιεργείται κυρίως για δρεπτό άνθος αλλά και ως γλαστρικό φυτό με καλλωπιστικό ενδιαφέρον. Επίσης καλλιεργείται και για τα αιθέρια έλαιά του, τα οποία προσδίδουν το χαρακτηριστικό άρωμα του άνθους και χρησιμοποιούνται στις βιομηχανίες καλλυντικών, σαπουνιών και αρωμάτων. Επιπλέον τα έλαιά του έχουν ήπια αντιμικροβιακή, χαλαρωτική δράση και χρησιμοποιούνται ως θεραπευτικά σε περιπτώσεις κόπωσης, αναιμίας και δυσλειτουργίας του ήπατος λόγω της θετικής του επίδρασης στο νευρικό σύστημα του ανθρώπου (Zandi, 2015).

Η τριανταφυλλιά είναι ένα φυτό με μεγάλη ποικιλομορφία όσον αφορά το παραγόμενο άνθος, αφού αυτό μπορεί να έχει διαφορετικά χρώματα, μεγέθη, σχήματα (εικόνα 2) καθώς και αιθέρια έλαια που προσδίδουν το μοναδικό άρωμα του. Από πολλούς θεωρείται ως η βασίλισσα των ανθέων, τόσο με βάση την ομορφιά και το κύρος του, όσο και με βάση τη ζήτηση και τις αμέτρητες πωλήσεις του παγκοσμίως.



Εικόνα 1: Τριανταφυλλιά ποικιλίας MissPiggy (πηγή: AdobeStock).



Εικόνα 2: Άνθη διαφορετικών ποικιλιών τριανταφυλλιάς και το σχήμα των φύλλων τους (Smulders, 2013).

1.1.2 Η προέλευση της τριανταφυλλιάς και τα βοτανικά της χαρακτηριστικά

Η τριανταφυλλιά φαίνεται πως προέρχεται από την Ασία, με εξαίρεση κάποια είδη που μάλλον φέρουν τις ρίζες τους από την Ευρώπη και Βόρεια Αμερική. Ανήκει στην οικογένεια Rosaceae, υποοικογένεια Rosoidea και το γένος Rosa και έχει πάνω από 300 είδη. Η ανάπτυξη της τριανταφυλλιάς διαφέρει από ποικιλία σε ποικιλία αφού κάποιες αναπτύσσονται ως χαμηλοί θάμνοι και κάποιες ως αναρριχόμενα φυτά. Όλες βέβαια έχουν ξυλώδεις βλαστούς που προσδίδουν ανθεκτικότητα στο φυτό κατά τις δυσμενείς συνθήκες των χειμερινών μηνών. Οι βλαστοί και σε κάποιες ποικιλίες οι άκρες των φύλλων φέρουν αγκάθια, τα οποία είναι μεταμορφωμένα φύλλα, με σκοπό να αποτρέπουν ανεπιθύμητους φυτοφάγους εχθρούς από την κατανάλωση του φυτού από αυτούς. Αρχικά τα αγκάθια είναι πράσινα και μαλακά (ανώριμα αγκάθια) ενώ αργότερα γίνονται καστανά και σκληρά (ώριμα αγκάθια). Τα φύλλα είναι σύνθετα με 3 έως 13 οδοντωτά φυλλάκια με διάφορα σχήματα, ανάλογα με την ποικιλία. Τα άνθη εκπτύσσονται στις κορυφές των βλαστών και είναι μονήρη ή σε

ταξιανθίες. Ο κάλυκας του άνθους φέρει 4-5 σέπαλα ενώ η στεφάνη πολυάριθμα πέταλα. Πολυάριθμοι είναι και οι στήμονες. Μετά τη γονιμοποίηση προκύπτει ένα ψευδοκάρπιο στο εσωτερικό του οποίου βρίσκονται οι καρποί της τριανταφυλλιάς που βοτανικά ονομάζονται αχαίνια. Τα ψευδοκάρπια χρησιμοποιούνται σε αφεψήματα και είναι πλούσια σε βιταμίνη C και κιτρικό οξύ (Σκουτέλη, 2016).

1.1.3 Οι συνθήκες περιβάλλοντος για την καλλιέργεια τριανταφυλλιάς

Όσον αφορά τις συνθήκες του περιβάλλοντος, ένας παραγωγός πρέπει να έχει τον απόλυτο έλεγχο τους αφού αυτές καθορίζουν σε πολύ μεγάλο βαθμό την ανάπτυξη του φυτού (και άρα το ύψος παραγωγής), επηρεάζοντας πολλές διεργασίες του φυτού όπως την φωτοσύνθεση, διαπνοή κτλ. Βέβαια για τον έλεγχο των κλιματικών συνθηκών στο τέλειο επίπεδο για την καλλιέργεια, πρέπει πάντα να λαμβάνεται υπόψιν το στάδιο ανάπτυξης της καλλιέργειας, η εκάστοτε ποικιλία, (Σάββας, 2003) καθώς και ο σκοπός για τον οποίο προορίζεται η καλλιέργεια (δρεπτό άνθος, γλαστρικό φυτό κτλ.). Για παράδειγμα η βέλτιστη θερμοκρασία αέρα σε καλλιέργεια που προορίζεται για δρεπτό άνθος είναι 21 °C κατά τη διάρκεια της ημέρας και 18 °C τις νυχτερινές ώρες (Sancho, 1989). Επίσης ο βέλτιστος ρυθμός φωτοσύνθεσης γίνεται ανάμεσα στους 20-25 °C (de Hoog, 2001). Όπως αναφέρει ο de Hoog, η τριανταφυλλιά είναι ένα φυτό το οποίο χρειάζεται αρκετή ηλιακή ακτινοβολία και για να φτάσει η φωτοσύνθεση στο μέγιστο ρυθμό χρειάζονται πολύ υψηλά επίπεδα φωτός. Επιπρόσθετα, σημαντικό ρόλο παίζει και η σχετική υγρασία του περιβάλλοντος, αφού επηρεάζει τον ρυθμό διαπνοής, αλλά και άλλους παράγοντες όπως η ανάπτυξη μυκήτων και προσβολής της καλλιέργειας από ασθένειες όπως το ωίδιο, το οποίο ευνοείται σε υγροθερμικές συνθήκες (deHoog, 2001).

1.1.4 Ο πολλαπλασιασμός της τριανταφυλλιάς

Όπως είναι γνωστό από την αρχαιότητα, ο άνθρωπος διάλεγε τα φυτά με τα καλύτερα χαρακτηριστικά με σκοπό να τα πολλαπλασιάσει στον κήπο του, χωρίς όμως να καταλαβαίνει ότι αυτή η ενέργεια δημιουργούσε σταδιακά ποικιλίες με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά. Οι ποικιλίες κάθε περιοχής βέβαια, σιγά σιγά αναμίχθηκαν με αυτές άλλων περιοχών μέσω μεταφορών ανάμεσα στα διαφορετικά μέρη. Σήμερα υπάρχουν πολλές ποικιλίες τριαντάφυλλου με τεράστια διαφοροποίηση στα χαρακτηριστικά τους, διευκολύνοντας τον παραγωγό να διαλέξει αυτή με τα επιθυμητά για αυτόν χαρακτηριστικά, ανάλογα με τον σκοπό της καλλιέργειας του. Πλέον ο πολλαπλασιασμός της τριανταφυλλιάς γίνεται :

- i. **Με σπόρο**, κυρίως για τη δημιουργία νέων ποικιλιών (εγγενής πολλαπλασιασμός).
- ii. **Με καταβολάδες**, μια χρονοβόρα μέθοδος η οποία χρησιμοποιείται από ελάχιστους πλέον. Καταβολάδες είναι τμήματα ενός φυτού, τα οποία με συγκεκριμένους χειρισμούς, ριζοβολούν και στη συνέχεια κόβονται και φυτεύονται αποτελώντας πλέον αυτόνομα φυτά (αγενής πολλαπλασιασμός).
- iii. **Με μοσχεύματα**, δηλαδή τμήματα βλαστού (συνήθως μερικώς ξυλοποιημένα), τα οποία κάτω από κατάλληλες συνθήκες (συνήθως σε ριζωτήριο), ριζοβολούν και δίνουν νέα θυγατρικά φυτά. Το αρνητικό της συγκεκριμένης μεθόδου είναι η πιθανή μετάδοση ασθενειών από το μητρικό στο θυγατρικό φυτό. Το θυγατρικό φυτό επίσης είναι αντίγραφο του μητρικού επειδή η συγκεκριμένη μέθοδος αποτελεί αγενή τρόπο πολλαπλασιασμού και είναι από τις συνηθέστερες. Η διαδικασία είναι σχετικά γρήγορη, με υψηλό ποσοστό επιτυχίας.
- iv. **Με ιστοκαλλιέργεια**, κύριο πλεονέκτημα της οποίας είναι η παραγωγή πολλαπλασιαστικού υλικού χωρίς προσβολές, λόγω των ασηπτικών συνθηκών που εφαρμόζονται στη συγκεκριμένη μέθοδο. Το αρνητικό όμως είναι ότι έχει αυξημένο κόστος.
- v. **Με εμφολιασμό** (εικόνα 3), δηλαδή με ενσωμάτωση ενός φυτού εμφολίου σε ένα φυτό υποκείμενο (το οποίο φέρει κάποια επιθυμητά χαρακτηριστικά, όπως αντοχή σε ασθένειες, έντομα κτλ.), κυρίως με την μέθοδο του ενοφθαλμισμού με όρθιο T (Σκουτέλη, 2016).



Εικόνα 3: Η μέθοδος του ενοφθαλισμού με όρθιο T.

1.2 Η μέθοδος καλλιέργειας σε υδροπονικό σύστημα

1.2.1 Η σημασία του υδροπονικού συστήματος

Λόγω της έντονης αστικοποίησης των τελευταίων ετών, της κλιματικής αλλαγής, της μείωσης της καλλιεργούμενης έκτασης, της μόλυνσης του περιβάλλοντος κτλ., ο άνθρωπος έψαξε νέες μεθόδους καλλιέργειας οι οποίες θα είχαν κάποια συγκεκριμένα χαρακτηριστικά. Για παράδειγμα, η καλλιέργεια θα έπρεπε να μην επηρεάζεται από την κλιματική αλλαγή ή να μην επιβαρύνει περαιτέρω το περιβάλλον. Έτσι άρχισε να αναπτύσσεται σιγά σιγά η υδροπονία. Η υδροπονία είναι η μέθοδος καλλιέργειας η οποία βασίζεται στην ανάπτυξη του φυτού εκτός εδάφους, σε υποστρώματα όπως ο περλίτης, ο πετροβάμβακας, η τύρφη και μίγματα αυτών (Sharma, et al.). Σε υδροπονικά συστήματα μπορούν να καλλιεργηθούν πληθώρα φυτών όπως τα περισσότερα λαχανοκομικά (πχ. αγγούρι, ντομάτα), ανθοκομικά (πχ. τριαντάφυλλο, χρυσάνθεμο, ζέρμπερα) αλλά και αρωματικά (πχ. βασιλικός, δυόσμος). Συνήθως τα υποστρώματα είναι χημικώς αδρανή (φυσικά ή έπειτα από βιομηχανική επεξεργασία), που σημαίνει ότι τα ιόντα των θρεπτικών στοιχείων που χορηγούνται μέσω άρδευσης δεν δεσμεύονται απ' το υπόστρωμα (Σάββας, 2011). Σύμφωνα με αυτό, ο παραγωγός μπορεί να χορηγεί συγκεκριμένη ποσότητα θρεπτικών στοιχείων που ξέρει ότι θα απορροφηθεί σχεδόν εξολοκλήρου από το φυτό και άρα δεν χρειάζεται να ξοδεύει χρήματα σε διάφορων ειδών λιπάσματα τα οποία έχουν χαμηλή απόδοση, συμβάλλοντας ταυτόχρονα στην χαμηλότερη περιβαλλοντική ρύπανση. Η χορήγηση των θρεπτικών στοιχείων γίνεται μέσω του θρεπτικού διαλύματος το οποίο συντίθεται με ανάμειξη συγκεκριμένων ποσοτήτων υδατοδιαλυτών λιπασμάτων (ανάλογα με το

είδος του καλλιεργούμενου φυτού), με νερό. Δύο υδροπονικά συστήματα μπορεί να διαφέρουν ως προς την διαχείριση της απορροής τους, αφού το ένα μπορεί να θεωρείται ανοιχτό υδροπονικό σύστημα (με αποβολή της απορροής στο εξωτερικό περιβάλλον) και το άλλο κλειστό υδροπονικό σύστημα όπου η απορροή συλλέγεται και χορηγείται ξανά στην καλλιέργεια συνήθως με συμπλήρωση κάποιων θρεπτικών στοιχείων που ίσως βρίσκονται σε έλλειψη. Με το πέρασμα του χρόνου, λόγω αυξημένης ανάγκης για μείωση των περιβαλλοντικών ρύπων και ταυτόχρονη μείωση του κόστους παραγωγής, ο παραγωγός στρέφεται όλο και περισσότερο στο κλειστό υδροπονικό σύστημα (Bugbee, 2004). Βέβαια το κλειστό υδροπονικό σύστημα έχει και τα αρνητικά του, όπως για παράδειγμα σε περίπτωση αλατούχων υδάτων (Σάββας, 2011). Επίσης απαιτεί μεγάλη προσοχή αφού η παρακολούθηση των θρεπτικών στοιχείων και η επανατροφοδότηση της απορροής με τις σωστές ποσότητες θρεπτικών στοιχείων αποτελούν δύσκολα κομμάτια (Bugbee, 2004) και πρέπει να γίνονται από άτομα με εμπειρία και γνώση.

1.2.2 Τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της υδροπονίας

Κάθε μέθοδος καλλιέργειας όπως είναι λογικό έχει κάποια πλεονεκτήματα, για τα οποία την επιλέγει ένας παραγωγός, έναντι μιας άλλης μεθόδου. Πιο συγκεκριμένα τα πλεονεκτήματα της υδροπονίας είναι :

- a) **Η ριζική αντιμετώπιση εδαφικών ασθενειών**, λόγω της απουσίας εδάφους, το οποίο έχει ως αποτέλεσμα το τελικό προϊόν σε πολλές περιπτώσεις να έχει λιγότερα υπολείμματα γεωργικών φαρμάκων αφού γίνονται μηδενικοί ψεκασμοί για τέτοιου είδους ασθένειες. Πολλές φορές σε περιπτώσεις εκτάσεων με σημαντικά προβλήματα εδαφογενών ασθενειών όπως φουζάριο, βερτισίλλιο κτλ., ο παραγωγός το αντιμετωπίζει αλλάζοντας τον τρόπο καλλιέργειας σε υδροπονία, αποφεύγοντας το πρόβλημα αυτό.
- b) **Η εκμετάλλευση εκτάσεων με προβλήματα γονιμότητας**, κάτι το οποίο θα απασχολήσει πολύ τον παραγωγό στο μέλλον αφού τα εδάφη έχουν αρχίσει να “εξαντλούνται” λόγω των συνεχών καλλιέργειών, χωρίς συνήθως αγρανάπαυση.
- c) **Η ικανότητα χρήσης αρδευτικού νερού με υψηλή αλατότητα** (ηλεκτρική αγωγιμότητα πάνω από 1-1,5 dS/m), που επιτυγχάνεται με

μεγάλη συχνότητα άρδευσης και μεγάλο βαθμό απορροής με σκοπό να μην συσσωρεύονται άλατα στο επίπεδο της ρίζας του φυτού.

- d) **Το μειωμένο κόστος θέρμανσης** τόσο για τη ριζόσφαιρα, όσο και για τον υπόλοιπο χώρο του θερμοκηπίου. Το πρώτο οφείλεται στο γεγονός ότι το φυτό πλέον αναπτύσσεται σε περιορισμένο χώρο (άρα είναι ευκολότερο να αυξηθεί η θερμοκρασία του αν χρειαστεί και δυσκολότερο να πέσει) και ο χώρος αυτός δεν έρχεται σε επαφή με το έδαφος (Σάββας, 2011; Olympios, 1999). Το δεύτερο οφείλεται στο γεγονός ότι η επιφάνεια του θερμοκηπίου συνήθως είναι καλυμμένη με φύλλα πλαστικού, άρα η θερμοκρασία δεν μειώνεται τόσο.
- e) **Η θρέψη της καλλιέργειας είναι σχετικά εύκολο να ελέγχεται** με μεγάλη ακρίβεια, κυρίως λόγω της χημικής αδράνειας του υποστρώματος. Με άλλα λόγια ο παραγωγός μπορεί να τροποποιεί το θρεπτικό διάλυμα που χορηγείται στα φυτά, ανάλογα με τις ανάγκες της καλλιέργειας (Oki and Lieth, 2004), έτσι ώστε οι συγκεντρώσεις των στοιχείων στους φυτικούς ιστούς (Gent, 2003) και τα διαλυτά σάκχαρα των καρπών να βρίσκονται σε βέλτιστα επίπεδα (Buck et al., 2008).
- f) **Η πρωίμιση και αύξηση της παραγωγής**, που οφείλεται κυρίως στην αυξημένη θερμοκρασία ριζοστρώματος που αναφέρθηκε παραπάνω. Η θερμοκρασία ριζοστρώματος δεν πρέπει να είναι χαμηλότερη των 18 και υψηλότερη των 28 °C, αλλιώς ίσως υπάρξουν αρνητικές επιδράσεις στη απορρόφηση θρεπτικών στοιχείων και στη ριζική ανάπτυξη των φυτών (Bar-Yosef, 2008). Άλλος ένας λόγος στον οποίο ίσως οφείλεται η πρωίμιση είναι η ταχύτερη ανάπτυξη του φυτού, αφού στην υδροπονία τα θρεπτικά παρέχονται κατευθείαν στη ρίζα του φυτού και άρα αναπτύσσεται γρηγορότερα χωρίς να αναπτύσσει εκτενές ριζικό σύστημα. Αντίθετα, η καλλιέργεια εδάφους αναγκάζει το φυτό να αναπτύξει βαθύ και εκτενές ριζικό σύστημα με σκοπό την αναζήτηση θρεπτικών στοιχείων στο έδαφος, υστερώντας έτσι στην συνολική ανάπτυξη (Sardare and Admane, 2013).
- g) **Η παραγωγή καλύτερης ποιότητας προϊόντων**, κυρίως λόγω του ικανοποιητικού βαθμού στον έλεγχο της θρέψης των φυτών και πρόληψης ορισμένων ασθενειών (Benoit and Ceustermans, 1995).

h) **Ο ευκολότερος έλεγχος των περιβαλλοντικών συνθηκών** εντός του θερμοκηπίου και η διαφοροποίηση των συνθηκών αυτών από τις εξωτερικές συνθήκες. Ιδιαίτερα σημαντικό είναι να επηρεάζεται όσο λιγότερο γίνεται η παραγωγή από τις εξωτερικές περιβαλλοντικές συνθήκες αφού εξαιτίας του φαινομένου του θερμοκηπίου οι συνθήκες γίνονται καθημερινά λιγότερο ευνοϊκές για τις περισσότερες καλλιέργειες. Αυτό επίσης σημαίνει ότι δίνεται η δυνατότητα στον παραγωγό να καλλιεργήσει ένα φυτό εκτός της εποχής που καλλιεργείται φυσιολογικά, όπως για παράδειγμα η ντομάτα τον χειμώνα (Manzocco et al., 2011).

Τα περισσότερα πλεονεκτήματα που αναφέρθηκαν είναι φανερό πως εξυπηρετούν στην προστασία του περιβάλλοντος και σε ορισμένες περιπτώσεις δίνεται η δυνατότητα εκμετάλλευσης κάποιων μη-ευνοϊκών συνθηκών προς όφελος του παραγωγού, που σε άλλες περιπτώσεις δεν θα ήταν εφικτό. Αντίθετα η υδροπονία κυοφορεί και κάποια αρνητικά, τα οποία πολλές φορές απωθούν έναν παραγωγό από τη συγκεκριμένη μέθοδο καλλιέργειας. Αναλυτικότερα κάποια από τα μειονεκτήματα είναι :

- a) **Το υψηλό κόστος εγκατάστασης (κεφάλαιο)** που χρειάζεται η συγκεκριμένη μέθοδος σε σχέση με το κόστος συμβατικής καλλιέργειας σε έδαφος.
- b) **Το υψηλό επίπεδο γνώσης** και η προσοχή που χρειάζεται για τον χειρισμό ενός τέτοιου συστήματος. Σε περίπτωση που ο επιβλέπων κάνει κάποιο λάθος χειρισμό, η καλλιέργεια μπορεί να πάθει σοβαρή ζημιά, κάτι που δεν είναι απίθανο αφού υπάρχουν πολλοί σημαντικοί παράγοντες. Για παράδειγμα, η παρακολούθηση των θρεπτικών στοιχείων είναι ιδιαίτερα δύσκολη όταν αυτά βρίσκονται σε χαμηλές συγκεντρώσεις στο θρεπτικό διάλυμα, οι οποίες αποσκοπούν στην αποφυγή τοξικοτήτων στους φυτικούς ιστούς της καλλιέργειας (Bugbee, 2004). Πολλές φορές βέβαια, με την πάροδο του χρόνου, το αποτέλεσμα είναι τα κλειστά υδροπονικά συστήματα να παρουσιάζουν προβλήματα από συσσώρευση θρεπτικών στοιχείων στο θρεπτικό διάλυμα (Ehret, et al., 2005). Αντίθετα η συνολική ποσότητα των θρεπτικών μπορεί να μετρηθεί με μεγάλη ακρίβεια και ευκολία βρίσκοντας την ηλεκτρική αγωγιμότητα του θρεπτικού διαλύματος (Electrical conductivity- EC) (Bugbee, 2004).

- c) **Η εξάπλωση μιας ασθένειας** σε περίπτωση κλειστού υδροπονικού συστήματος. Μια ασθένεια μπορεί να μολύνει ολόκληρη την καλλιέργεια αφού το θρεπτικό διάλυμα ανακυκλώνεται και επαναχρησιμοποιείται μαζί με τα πιθανά μολύσματα της ασθένειας (Sharma et al., 2018).
- d) Για να είναι ολοκληρωμένη η θρέψη του φυτού σε υδροπονική καλλιέργεια πρέπει να γίνει χορήγηση θρεπτικών στοιχείων μέσω λιπασμάτων, τα οποία σε περίπτωση συμβατικής καλλιέργειας σε έδαφος περιέχονται ήδη σε αυτό (Σάββας, 2011).

1.2.3 Το θρεπτικό διάλυμα και ο ανταγωνισμός των θρεπτικών στοιχείων

Το θρεπτικό διάλυμα όπως προαναφέρθηκε, αποτελεί μίγμα υδατοδιαλυτών λιπασμάτων σε συγκεκριμένες αναλογίες με βάση το είδος της καλλιέργειας. Τα περισσότερα υδροπονικά συστήματα λειτουργούν με μια συγκεκριμένη σύνθεση (“συνταγή”), η οποία θεωρείται η βέλτιστη για την εκάστοτε καλλιέργεια (Bugbee, 2004). Πλέον όμως γίνονται έρευνες και υπάρχει η τάση να εναλλάσσονται πολλαπλά θρεπτικά διαλύματα κατά την διάρκεια του βιολογικού κύκλου του φυτού, αλλά και κατά τη διάρκεια της ημέρας. Αυτό οφείλεται κυρίως στις διαφορετικές θρεπτικές ανάγκες του φυτού κατά τη διάρκεια του βιολογικού του κύκλου. Ο βιολογικός κύκλος όλων των φυτών θα μπορούσε να χωριστεί σε τρία στάδια:

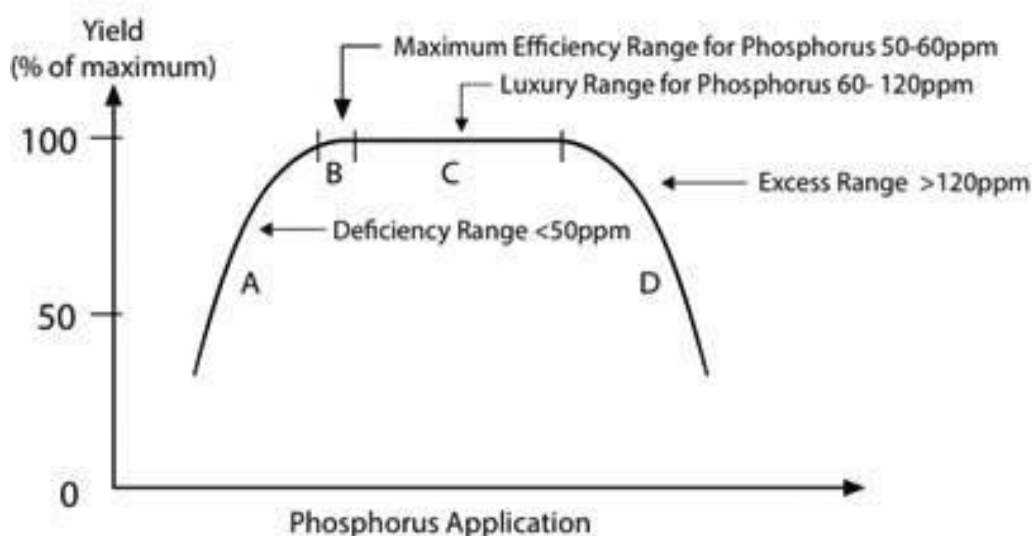
- 1) το στάδιο της νεαρής βλάστησης κατά το οποίο το φυτό αναπτύσσει κυρίως το φύλλωμα του
- 2) το στάδιο της μεταγενέστερης βλάστησης κατά το οποίο το φυτό αναπτύσσει βλαστούς και φύλλωμα
- 3) το στάδιο της αναπαραγωγής κατά το οποίο η ανάπτυξη του φυλλώματος ελαχιστοποιείται και όλα τα θρεπτικά στοιχεία μεταφέρονται στους καρπούς με σκοπό να διαιωνιστεί το είδος του φυτού (Bugbee, 2004).

Αυτό σημαίνει πως σε κάθε στάδιο θα μπορούσε να υπάρχει ένα διαφορετικό θρεπτικό διάλυμα, το οποίο θα περιέχει διαφορετικές αναλογίες θρεπτικών στοιχείων ανάλογα με τη ζήτηση του φυτού. Με αυτόν τον τρόπο, το φυτό θα μπορούσε να απορροφήσει ακριβώς τις ποσότητες των θρεπτικών στοιχείων που χρειάζεται και ταυτόχρονα θα αυξανόταν η αποδοτικότητα (efficiency) των λιπασμάτων. Επιπλέον κατά τη διάρκεια ενός 24ώρου, οι βιολογικές διεργασίες του φυτού αλλάζουν και

άρα διαφορετικές ποσότητες θρεπτικών χρειάζεται την ημέρα και διαφορετικές τη νύχτα. Σύμφωνα με τους Van Ieperen (1996) και Santamaria et al. (2004) η χορήγηση πυκνότερου θρεπτικού διαλύματος κατά τη διάρκεια της νύχτας αύξησε τη συγκέντρωση των διαλυτών στερεών σε καρπούς ντομάτας χωρίς την παρουσία δυσμενών επιπτώσεων. Αντίθετα η χορήγηση πυκνότερου θρεπτικού διαλύματος κατά τη διάρκεια της ημέρας μείωσε την ποιότητα του καρπού και την συνολική παραγωγή (Adams and Ho, 1989). Κάτι αντίστοιχο ισχύει και για δύο διαφορετικές ημέρες κατά τις οποίες οι καιρικές συνθήκες διαφέρουν. Μια ηλιόλουστη μέρα ο φωτοσυνθετικός ρυθμός για παράδειγμα αυξάνεται ενώ μια συννεφιασμένη μειώνεται, σε περίπτωση που δεν υπάρχει κάποιος περιοριστικός παράγοντας (Ahmad et al., 2019). Ακόμα σημαντικό είναι (κυρίως σε κλειστά υδροπονικά συστήματα) η συγκέντρωση του κάθε στοιχείου στο θρεπτικό διάλυμα να ισούται με τον λόγο απορρόφησης του κάθε στοιχείου προς την απορρόφηση νερού. Αυτό αποσκοπεί στην αποφυγή εξάντλησης ή συσσώρευσης θρεπτικών στοιχείων στο θρεπτικό διάλυμα (Rorokis et al., 2019). Σε περίπτωση συσσώρευσης θρεπτικών στο θρεπτικό διάλυμα προκαλούνται προβλήματα όπως η συγκέντρωσή τους στο περιβάλλον της ρίζας, προκαλώντας σοβαρά προβλήματα στην ανάπτυξη του φυτού. (Rorokis et al., 2017). Το παραπάνω μπορεί να συμβεί αφού πολύ συχνά υπάρχει η λανθασμένη αντίληψη πως αυξάνοντας την συγκέντρωση των θρεπτικών πάνω από το βέλτιστο επίπεδο που συστήνεται, αυξάνεται και η παραγωγή (Rouphael and Colla, 2009). Αυτό έχει αρνητικές επιπτώσεις στην καλλιέργεια λόγω ανταγωνισμού των θρεπτικών στοιχείων. Όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 4, η περιοχή A συμβολίζει την έλλειψη P, η περιοχή B δείχνει το επίπεδο του P που είναι βέλτιστο, δηλαδή δίνει την μέγιστη απόδοση με την μικρότερη δυνατή χορήγηση P. Η περιοχή C (luxury consumption) δείχνει την κατανάλωση P από την καλλιέργεια χωρίς καμία επίδραση στην παραγωγή. Τέλος η περιοχή D παρουσιάζει την υπερβολική χορήγηση P κατά την οποία πιθανόν προκαλούνται τοξικότητες, λόγω των οποίων μειώνεται η παραγωγή (Raviv and Leith, 2008). Για παράδειγμα σε πειράματα που αφορούν καλλιέργειες γερανιού και ζέρμπερας, οι Zheng et al., (2005) και Rouphael et al., (2008) αντίστοιχα, απέδειξαν πως η συγκέντρωση των θρεπτικών στοιχείων στο θρεπτικό διάλυμα μπορεί να μειωθεί κατά 50% χωρίς δυσμενείς επιπτώσεις στη βιομάζα και στην ποιότητα των συγκεκριμένων καλλιεργειών. Επιπρόσθετα, έρευνες δείχνουν πως η παρουσία μιας ποσότητας πυριτίου (Si) στο θρεπτικό διάλυμα μειώνει το στρες των φυτών, όπως η ανισορροπία των θρεπτικών στοιχείων και η τοξικότητα

λόγω μετάλλων (Erstein, 1994, 1999). Όλα αυτά δείχνουν πως για βελτιστοποίηση της χρήσης των λιπασμάτων και ταυτόχρονη μεγιστοποίηση της παραγωγής, χρειάζεται εναλλαγή των θρεπτικών διαλυμάτων, με προσεκτικούς χειρισμούς λαμβάνοντας υπόψιν τα παραπάνω.

Hypothetical Nutrient Response Curve for Phosphorus in Hydroponics



Εικόνα 4: Η επίδραση των διαφορετικών βαθμών χορήγησης P στην παραγωγή της καλλιέργειας. Η περιοχή A συμβολίζει την έλλειψη P με αντίστοιχη χαμηλή παραγωγή. Η περιοχή B δείχνει το βέλτιστο επίπεδο, στο οποίο η καλλιέργεια έχει την μέγιστη απόδοση με την ελάχιστη δυνατή χορήγηση P. Η περιοχή C συμβολίζει την κατανάλωση P χωρίς καμία επίδραση στην παραγωγή. Η περιοχή D δείχνει την υπερβολική χορήγηση P, η οποία προκαλεί τοξικότητες, μειώνοντας την παραγωγή. (Raviv and Leith, 2008).

Η αλληλεπίδραση των θρεπτικών στοιχείων είναι μέγιστης σημασίας για την πρόοδο της καλλιέργειας. Η αλληλεπίδραση θρεπτικών στοιχείων συμβαίνει όταν η χορήγηση ενός θρεπτικού στοιχείου παρεμποδίζει την απορρόφηση, διανομή ή λειτουργία ενός άλλου στοιχείου, το οποίο ανάλογα με την σημαντικότητα του μπορεί να επηρεάσει ή όχι την καλλιέργεια (Fageria, 2014) και χωρίζεται σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη είναι ο συνεργισμός (synergism), και υπάρχει όταν ο συνδυασμός δύο θρεπτικών στοιχείων δίνει μεγαλύτερες αποδόσεις σε σχέση με την χορήγηση των στοιχείων ξεχωριστά (Aulakh and Malhi, 2005). Η δεύτερη αλληλεπίδραση είναι ο ανταγωνισμός (antagonism), ο οποίος έχει ως αποτέλεσμα την μικρότερη παραγωγή σε περίπτωση

συνδυασμού κάποιων θρεπτικών στοιχείων έναντι της ξεχωριστής χορήγησης αυτών των στοιχείων (Aulakh and Malhi, 2005; Sumner and Farina, 1986). Έτσι, η απορρόφηση με έναν συγκεκριμένο μηχανισμό περισσότερων από ένα θρεπτικό στοιχείο οδηγεί στο φαινόμενο του ανταγωνισμού των θρεπτικών στοιχείων (Heinen et al., 2017). Για παράδειγμα το κάλιο (K) απορροφάται ταχύτατα από το θρεπτικό διάλυμα. Αυτό σημαίνει πως σε περίπτωση μεγαλύτερης συγκέντρωσης του στο θρεπτικό διάλυμα θα λειτουργήσει ως ανταγωνιστής των Ca, Mg προκαλώντας ελλείψεις στην καλλιέργεια χωρίς όμως να βρίσκεται σε έλλειψη στο θρεπτικό διάλυμα (Bugbee, 2004). Αυτό επίσης έχει ως αποτέλεσμα την συσσώρευση των Ca και Mg στο θρεπτικό διάλυμα, αφού δεν απορροφούνται στον σωστό βαθμό από την καλλιέργεια.

1.2.4 Η σημασία του pH και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας EC στην υδροπονία

Το pH ή αλλιώς ενεργός οξύτητα, εκφράζει την συγκέντρωση ιόντων υδρογόνου σε ένα διάλυμα. Το pH στην υδροπονία επηρεάζει σε τεράστιο βαθμό την παραγωγή και μπορεί να επηρεάσει την ανάπτυξη του φυτού (Roosta, 2011), αφού σε διαφορετικές από τη βέλτιστη τιμή pH του θρεπτικού διαλύματος, το φυτό δεν μπορεί να απορροφήσει κάποια θρεπτικά στοιχεία τα οποία γίνονται περιοριστικά, δηλαδή είναι αδύνατον να απορροφηθούν από τα φυτά (Mengel and Kirkby, 1987). Για παράδειγμα σε υψηλό pH περιορίζεται η διαθεσιμότητα των Fe, Cu, Zn, Mn ενώ σε χαμηλό pH των P, K, Ca, Mg (Bugbee, 2004; Marschner, 1995). Άλλος ένας τρόπος με τον οποίο μπορεί το pH να επηρεάσει τη διαθεσιμότητα των θρεπτικών είναι μέσω ιζηματοποίησης. Η ιζηματοποίηση συμβαίνει όταν κατιόντα και ανιόντα αντιδρούν μεταξύ τους και το αποτέλεσμα είναι μια αδιάλυτη ουσία (ίζημα). Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η μείωση της διαθεσιμότητας του PO_4^{3-} η οποία προκαλείται σε pH μικρότερο του 7, λόγω ιζηματοποίησης (Sambo et al., 2019). Πειράματα σε καλλιέργεια μαρουλιού έχουν δείξει πως το υψηλό pH μπορεί να μειώσει την φυλλική επιφάνεια, τον αριθμό των φύλλων και την αγωγιμότητα των στομάτων (Whipker et al., 1996). Επίσης, όπως έδειξαν τα πειράματα των Roosta και Rezaei το 2013, μια αύξηση του pH από 4,5 σε 6,5 αύξησε τη συγκέντρωση του P στο φυτό, ενώ περαιτέρω αύξηση του pH σε 8 μείωσε τη συγκέντρωση του στους φυτικούς ιστούς της καλλιέργειας. Άλλος ένας παράγοντας που πρέπει να προσέχει ο παραγωγός και επηρεάζει εξίσου σημαντικά την ανάπτυξη της παραγωγής, είναι η ηλεκτρική

αγωγιμότητα (Electrical conductivity – EC). Η ηλεκτρική αγωγιμότητα δείχνει την συνολική περιεκτικότητα του διαλύματος σε θρεπτικά στοιχεία. Χρειάζεται όμως ιδιαίτερη προσοχή αφού η ηλεκτρική αγωγιμότητα δείχνει το σύνολο των θρεπτικών στοιχείων και όχι την συγκέντρωση του κάθε θρεπτικού στοιχείου στο θρεπτικό διάλυμα. Για παράδειγμα τα μικροθρεπτικά στοιχεία αυξάνουν σταδιακά την ηλεκτρική αγωγιμότητα σε μικρό όμως βαθμό, που σημαίνει ότι μπορεί να φτάσουν επικίνδυνα για την καλλιέργεια επίπεδα χωρίς να μπορεί ο παραγωγός να το παρατηρήσει έχοντας μόνο μια τιμή ηλεκτρικής αγωγιμότητας (Rorokis et al., 2017). Ακόμα έχει βρεθεί ότι υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα (όπως σε περίπτωση αλατούχων υδάτων), μπορεί να μειώσει την παραγωγή της καλλιέργειας (Adams, 2015).

1.2.5 Η απορρόφηση των θρεπτικών στοιχείων σε υδροπονικό σύστημα και οι παράγοντες που την επηρεάζουν.

Τα απαραίτητα για το φυτό θρεπτικά στοιχεία χωρίζονται σε 3 κατηγορίες με βάση την ταχύτητα απορρόφησης τους από το θρεπτικό διάλυμα. Στην πρώτη κατηγορία κατατάσσονται τα πολύ δραστήρια στοιχεία τα οποία χρειάζονται μερικές ώρες για να απορροφηθούν από το θρεπτικό διάλυμα. Στην δεύτερη κατηγορία ανήκουν τα στοιχεία που απορροφούνται με μέτρια ταχύτητα ενώ στην τρίτη κατηγορία ταξινομούνται τα στοιχεία που απορροφούνται παθητικά (Bugbee, 2004).

Πίνακας 1: Οι τρεις κατηγορίες στις οποίες κατατάσσονται τα θρεπτικά στοιχεία με βάση την ταχύτητα απορρόφησης τους από το θρεπτικό διάλυμα (Bugbee, 2004).

Κατηγορία 1: Ταχεία απορρόφηση	NO ₃ , NH ₄ , P, K, Mn
Κατηγορία 2: Μέτρια ταχύτητα απορρόφησης	Mg, S, Fe, Zn, Cu, Mo, Cl
Κατηγορία 3: Παθητική απορρόφηση	Ca, B

Τα θρεπτικά στοιχεία απορροφούνται με τη μορφή ιόντων, τα οποία πρέπει να βρίσκονται κοντά στη ρίζα. Αυτό επιτυγχάνεται με 3 τρόπους:

- 1) Μέσω μαζικής ροής, δηλαδή με ροή των ιόντων προς τις ρίζες μέσω του θρεπτικού διαλύματος. Ο συγκεκριμένος τρόπος βοηθάει σε ποσοστό 80% να εφοδιαστεί το φυτό με τα απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία.
- 2) Μέσω διάχυσης, η οποία επιτυγχάνεται λόγω διαφοράς συγκεντρώσεων ενός θρεπτικού στοιχείου στα σημεία του υποστρώματος.
- 3) Μέσω επιμήκυνσης των ριζών με σκοπό να επεκταθούν σε σημεία του υποστρώματος που υπάρχουν θρεπτικά στοιχεία.

Έρευνες έχουν δείξει πως όσο περνάει ο χρόνος μετά από μια άρδευση τα θρεπτικά στοιχεία απομακρύνονται από την ρίζα του φυτού (έκπλυση) και γίνονται λιγότερο διαθέσιμα στο φυτό. Αυτό μπορεί να αντιμετωπιστεί με συχνότερες αρδεύσεις μειώνοντας τον χρόνο ανάμεσα στις αρδεύσεις κατά τον οποίο απορρέει το θρεπτικό διάλυμα ενώ ταυτόχρονα εξασφαλίζεται η ομοιόμορφη χορήγηση των θρεπτικών στοιχείων κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου (manicbotanix.com/plant-nutrient-interactions/). Η διακύμανση της απορρόφησης μπορεί να οφείλεται και σε άλλους παράγοντες όπως η ηλικία του φυτού. Πιο συγκεκριμένα σε έρευνες που σχετίζονταν με την απορρόφηση N, P, βρέθηκε πως η απορρόφηση τους μειώθηκε καθώς το φυτό μεγάλωνε ηλικιακά (Albornoz and Lieth, 2015). Αυτή η μείωση μπορεί να οφείλεται στη μειωμένη δραστηριότητα του ριζικού συστήματος των φυτών (Gao et al., 1998) καθώς αυτά μεγαλώνουν σε ηλικία ή λόγω μειωμένης ζήτησης του ανώτερου τμήματος του φυτού σε θρεπτικά στοιχεία (Albornoz and Lieth 2015). Για παράδειγμα, οι Andre et al., το 1978 σε πειράματα καλαμποκιού παρατήρησαν πως η μειωμένη απορρόφηση θρεπτικών άρχισε να εμφανίζεται λίγο μετά την έκπτυξη της φόβης. Παρόμοια αποτελέσματα έδειξαν τα πειράματα των Mattson and Lieth οι οποίοι παρατήρησαν αυξημένη απορρόφηση N, NO₃⁻ κατά την περίοδο φυλλικής ανάπτυξης του φυτού (δηλαδή πριν την ανθοφορία) και μειωμένη απορρόφηση των ίδιων θρεπτικών στοιχείων με ταυτόχρονη αύξηση της απορρόφησης του K⁺. Κατά τη διάρκεια ενός 24ωρου όμως δεν παρατηρείται σημαντική διαφορά στην πρόσληψη των θρεπτικών στοιχείων της καλλιέργειας (Albornoz and Lieth, 2015). Άλλος ένας παράγοντας που επηρεάζει σημαντικά τον ρυθμό απορρόφησης των θρεπτικών στοιχείων είναι η θερμοκρασία του θρεπτικού διαλύματος (Xu and Huang, 2006) και του ριζοστρώματος. Σημαντικό όμως είναι να τονιστεί ότι η επίδραση που θα έχει η θερμοκρασία στην απορρόφηση των θρεπτικών στοιχείων εξαρτάται από το θρεπτικό στοιχείο στο οποίο αναφερόμαστε. Αναλυτικότερα, όσον αφορά το NO₃⁻ η απορρόφηση του φαίνεται να είναι

περισσότερο ευαίσθητη στην χαμηλή θερμοκρασία απ' ότι του NH_4^+ γεγονός που ίσως οφείλεται στην μικρότερη ενεργειακή απαίτηση του NH_4^+ για να απορροφηθεί (Clarkson and Warner, 1979; Macduff et al., 1987; Kafkafi, 2008). Επιπλέον οι Rachmilevitch et al., 2006 αναφέρουν πως η υψηλή θερμοκρασία ριζοστρώματος μειώνει την απορρόφηση N. Επιπρόσθετα, αυξημένη συγκέντρωση CO_2 βοηθάει στην καλύτερη χρήση του νερού και των θρεπτικών στοιχείων από το φυτό (Pokluda and Frantisek, 2001). Τέλος ο παραγωγός θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη τις κλιματικές συνθήκες καθώς και τις τεχνικές θέρμανσης που χρησιμοποιεί αφού επηρεάζουν σημαντικά την διαπνοή και μπορεί να επηρεάσουν την απορρόφηση θρεπτικών στοιχείων (Castilla and Montero, 2008).

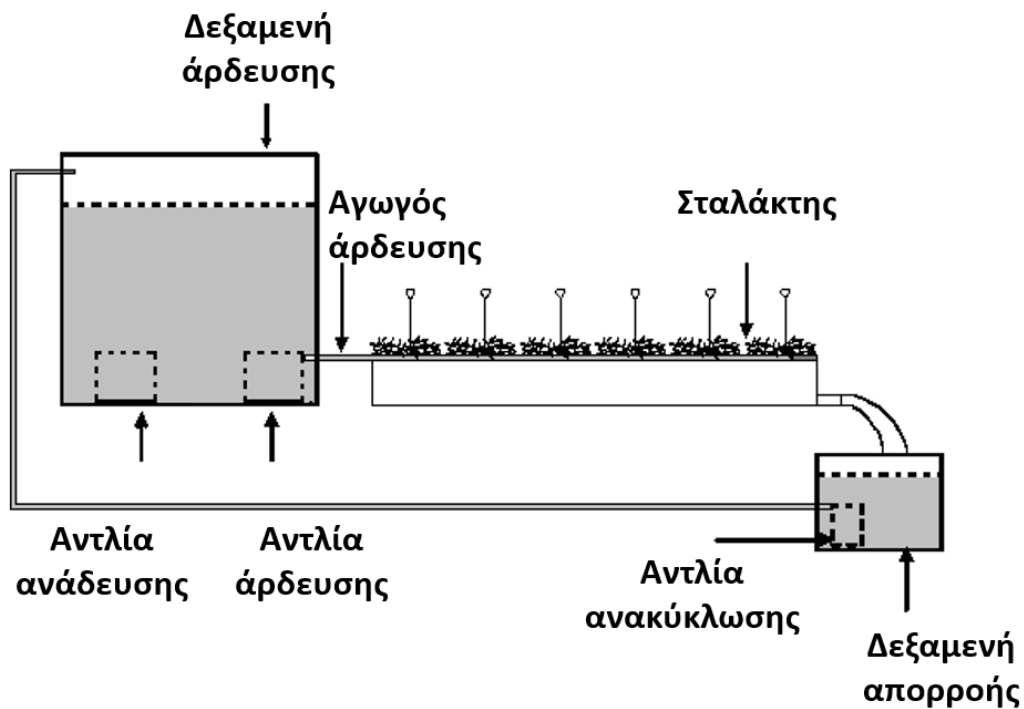
2. Υλικά και μέθοδοι

2.1 Πειραματικό σχέδιο

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε σε τοξωτό θερμοκήπιο καλυμμένο με πλαστικό φιλμ και έκτασης 300m^2 στο Αγρόκτημα της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, στο Βελεστίνο. Η καλλιέργεια εγκαταστάθηκε όταν τα φυτά τριανταφυλλιάς ποικιλίας MissPiggy ήταν στο στάδιο των 2-3 φύλλων, τον Μάιο του 2018 σε κλειστό υδροπονικό σύστημα και το υπόστρωμα που χρησιμοποιήθηκε ήταν περλίτης τοποθετημένος σε 60 σάκους που ο καθένας είχε χωρητικότητα 33L (διαστάσεις 1m μήκος 0,2m πλάτος και 0,2m ύψος) και ήταν τοποθετημένοι σε 2 σειρές. Κατά την εγκατάσταση τοποθετήθηκαν 300 φυτά με πυκνότητα 5 φυτά/σάκο. Η διάταξη του υδροπονικού συστήματος περιγράφεται παρακάτω και παρουσιάζεται σχεδιαγραμματικά στην Εικόνα 4.

- 1) **Δεξαμενή άρδευσης** με χωρητικότητα 800L στην οποία τοποθετήθηκε το θρεπτικό διάλυμα που χρησιμοποιήθηκε για την άρδευση της καλλιέργειας και περιείχε τα απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία. Η **αντλία άρδευσης** (1,5hp) τοποθετήθηκε για την διανομή του θρεπτικού διαλύματος στην καλλιέργεια και η **αντλία ανάδευσης** για την ομογενοποίηση του θρεπτικού διαλύματος και την αποφυγή δημιουργίας ιζημάτων.
- 2) **Αγωγό άρδευσης** που συνέδεε την δεξαμενή άρδευσης με την καλλιέργεια.

- 3) Η διανομή του θρεπτικού διαλύματος σε κάθε φυτό γινόταν με τη χρήση **σταλακτών 2L**, οι οποίοι ήταν τοποθετημένοι κοντά στο ριζικό σύστημα του φυτού.
- 4) Η απορροή του θρεπτικού διαλύματος συγκεντρωνόταν στην **δεξαμενή απορροής** και με τη βοήθεια της **αντλίας ανακύκλωσης (0,5hr)** επανερχόταν στην δεξαμενή άρδευσης.



Εικόνα 4: Η διάταξη του κλειστού υδροπονικού συστήματος καλλιέργειας.

2.2 Σύνθεση θρεπτικού διαλύματος και καλλιεργητικές τεχνικές

Η σύνθεση του θρεπτικού διαλύματος που χρησιμοποιήθηκε για την άρδευση των φυτών παρουσιάζεται στον πίνακα 2. Για τη σύνθεση του θρεπτικού διαλύματος λήφθηκαν υπόψιν η ηλικία και το στάδιο ανάπτυξης του φυτού, η εποχή και το υπόστρωμα στο οποίο αναπτύσσεται η καλλιέργεια (Sonneveld and Straver, 1994).

Πίνακας 2: Τα χαρακτηριστικά του θρεπτικού διαλύματος που χρησιμοποιείται για καλλιέργεια τριανταφυλλιάς σε υπόστρωμα περλίτη.

Χαρακτηριστικά	Τιμή
pH	5,5
EC	1,7-2-2 mS cm ⁻¹
NO ₃ ⁻	763 ppm
NH ₄ ⁺	18 ppm
K	253 ppm
PO ₄ ³⁻	97 ppm
Ca	160 ppm
Mg	36 ppm
SO ₄ ²⁻	72 ppm
Fe	1,7-2,2 ppm
Cu	0,6 ppm
Mn	0,5 ppm
B	0,28 ppm
Zn	0,23 ppm
Mo	0,015 ppm

Αυστηρό κλάδεμα πραγματοποιήθηκε στις 3/6/2019 και στις 25/10/2019, με σκοπό τα φυτά να έχουν την ελάχιστη φυλλική επιφάνεια, ενώ για τα διαστήματα από 6/6/2019 έως 25/6/2019 και 2/11/2019 έως 6/12/2019 λήφθηκαν καθημερινά δείγματα από το διάλυμα τροφοδοσίας της καλλιέργειας και υποβλήθηκαν σε χημικές αναλύσεις. Να σημειωθεί ότι η ανανέωση του θρεπτικού διαλύματος της δεξαμενής γινόταν όταν η τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) ήταν περίπου 3 mS/cm και του pH περίπου 8, ενώ η λήψη δειγμάτων πραγματοποιούταν σε 24ωρη βάση.

2.3 Οι χημικές αναλύσεις των δειγμάτων

Τα ληφθέντα δείγματα υποβλήθηκαν σε χημικές αναλύσεις στο εργαστήριο ανθοκομίας της σχολής γεωπονικών επιστημών του πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Οι χημικές αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση του φασματοφωτόμετρου LaMotteSMART2 Colorimeter, με σκοπό τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης των ιόντων NO₃⁻, PO₄³⁻, NH₄⁺. Επιπλέον, με τη χρήση αγωγιμόμετρου και πεχαμέτρου

μετρήθηκε η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) και το pH αντίστοιχα, καθημερινά κατά την περίοδο των μετρήσεων. Παράλληλα καταγράφονταν κάθε 10 min η θερμοκρασία (T, °C) και υγρασία αέρα (RH, %), η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας στο ύψος των φυτών (Rs, Wm⁻²), καθώς και ο όγκος του νερού στην δεξαμενή άρδευσης ώστε να εκτιμηθεί η διαπνοή των φυτών της καλλιέργειας.

Για λόγους ευκολίας και συντομίας τα διαστήματα που μελετήθηκαν στο πείραμα ονοματίζονται ως εξής:

J1: 6/6 – 24/6

J2: 6/6 – 12/6

J3: 13/6 – 16/6

J4: 17/6 – 24/6

N1: 2/11 – 25/11

N2: 2/11 – 14/11

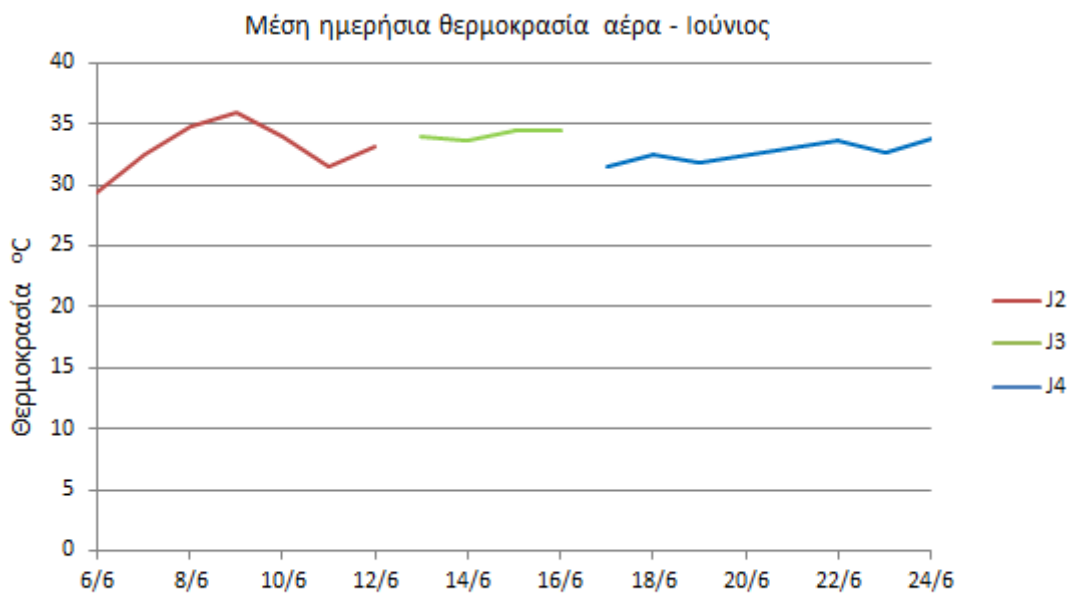
N3: 15/11 – 25/11

N4: 26/11 – 6/12

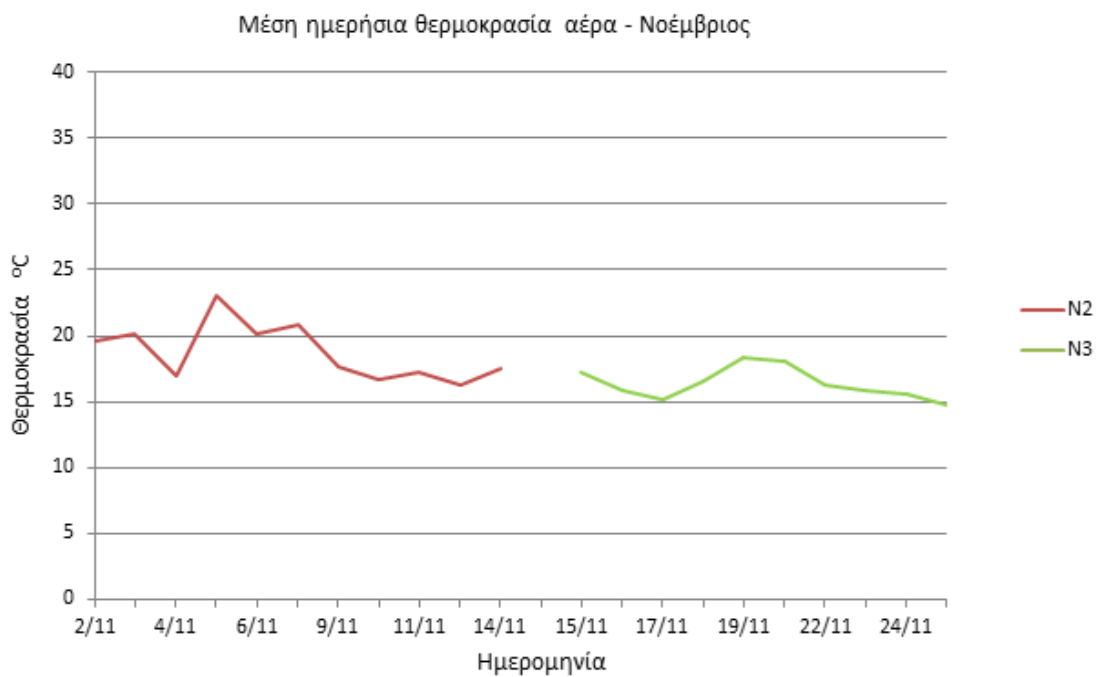
3. Αποτελέσματα και συζήτηση

3.1 Η διακύμανση της θερμοκρασίας αποτυπωμένη σε γραφήματα

Στα γραφήματα 1, 2 παρουσιάζεται η μεταβολή της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου για την περίοδο των μετρήσεων. Όπως φαίνεται στο γράφημα 1 η θερμοκρασία κατά το διάστημα J1 παρέμεινε σε σχετικά σταθερά επίπεδα με μικρές αυξήσεις και μειώσεις. Παρόμοια διακύμανση παρουσιάστηκε και κατά το διάστημα N1 με χαμηλότερες βέβαια τιμές θερμοκρασίας αφού σημειώθηκαν τον μήνα Νοέμβριο (γραφήματα 4, 5).



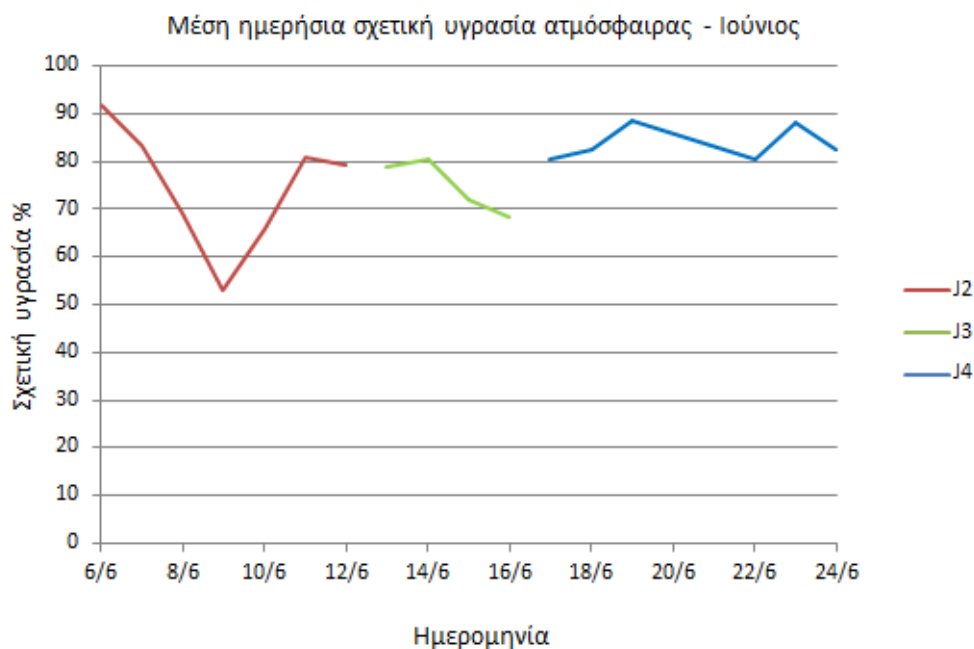
Γράφημα 1: Η μεταβολή της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου κατά τον μήνα Ιούνιο.



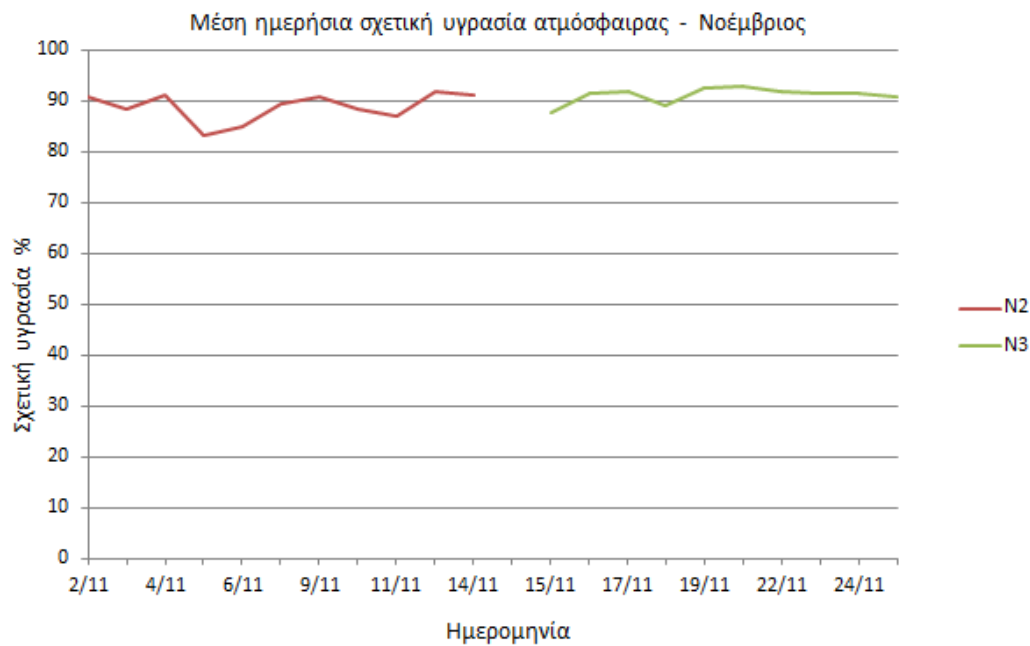
Γράφημα 2: Η μεταβολή της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου κατά τον μήνα Νοέμβριο.

3.2 Η διακύμανση της σχετικής υγρασίας αποτυπωμένη σε γραφήματα

Στα γραφήματα 3, 4 παρουσιάζεται η μεταβολή της μέσης ημερήσιας ατμοσφαιρικής σχετικής υγρασίας του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου. Γενικά παρατηρήθηκε σχετικά σταθερή σχετική ατμοσφαιρική υγρασία με εξαίρεση το διάστημα 6/6 έως 12/6 κατά το οποίο σημειώθηκε σημαντική μείωση της υγρασίας (γράφημα 6).



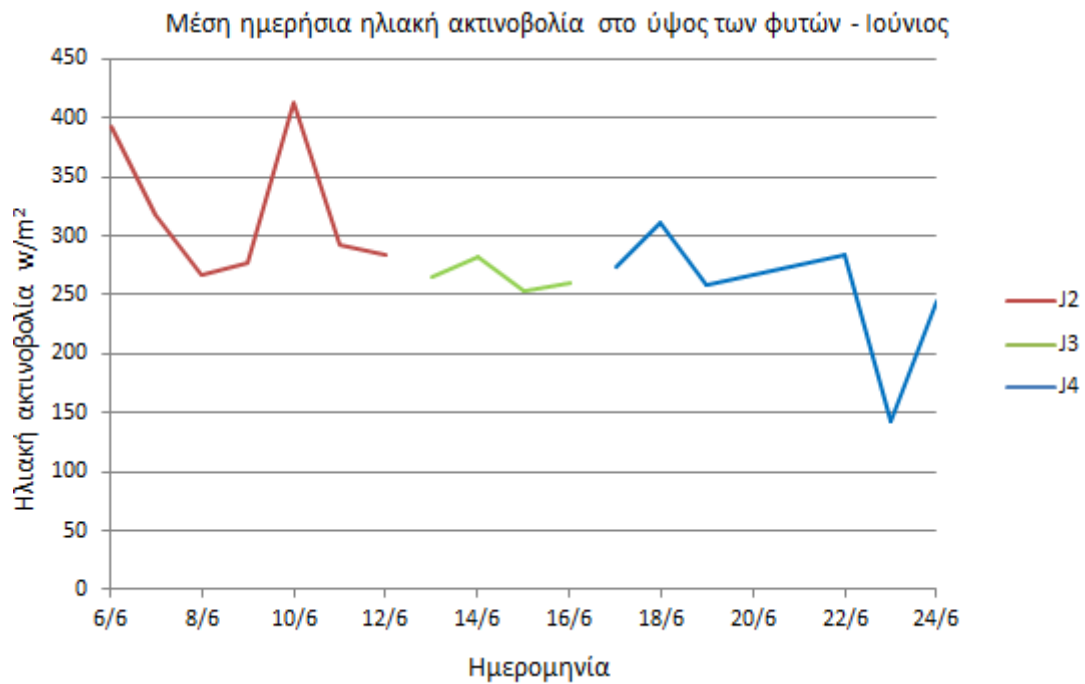
Γράφημα 3: Η μεταβολή της μέσης ημερήσιας ατμοσφαιρικής σχετικής υγρασίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου κατά τον μήνα Ιούνιο.



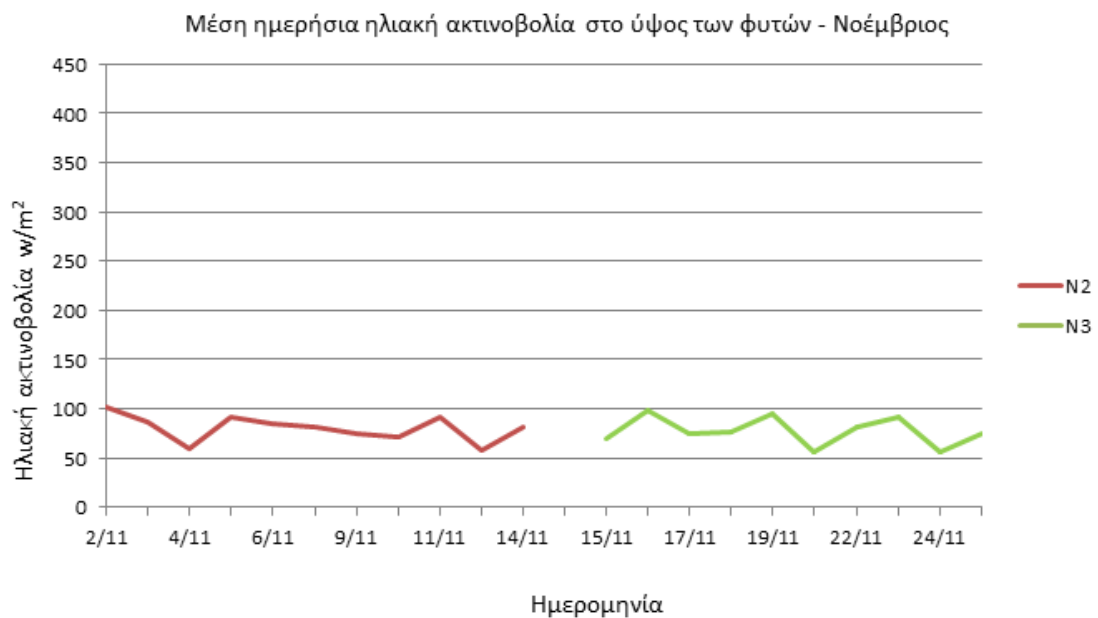
Γράφημα 4: Η μεταβολή της μέσης ημερήσιας ατμοσφαιρικής σχετικής υγρασίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου κατά τον μήνα Νοέμβριο.

3.3 Η διακύμανση της ηλιακής ακτινοβολίας αποτυπωμένη σε γραφήματα

Στα γραφήματα 5, 6 παρουσιάζεται η μέση ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου στο ύψος των φυτών. Όπως είναι αναμενόμενο οι τιμές κατά τους θερινούς μήνες είναι σημαντικά υψηλότερες σε σχέση με τους φθινοπωρινούς μήνες. Οι τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου δεν ξεπέρασαν τα 450 w/m^2 κατά την περίοδο του καλοκαιριού και τα 150 w/m^2 κατά την περίοδο του φθινοπώρου γιατί η οροφή του θερμοκηπίου ήταν ασπρισμένη για όλη την παραπάνω περίοδο.



Γράφημα 5: Η μεταβολή της μέσης ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας στο ύψος των φυτών (W/m^2) που προσπίπτει στο θερμοκήπιο κατά τον μήνα Ιούνιο.



Γράφημα 6: Η μεταβολή της μέσης ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας στο ύψος των φυτών (W/m^2) που προσπίπτει στο θερμοκήπιο κατά τον μήνα Νοέμβριο.

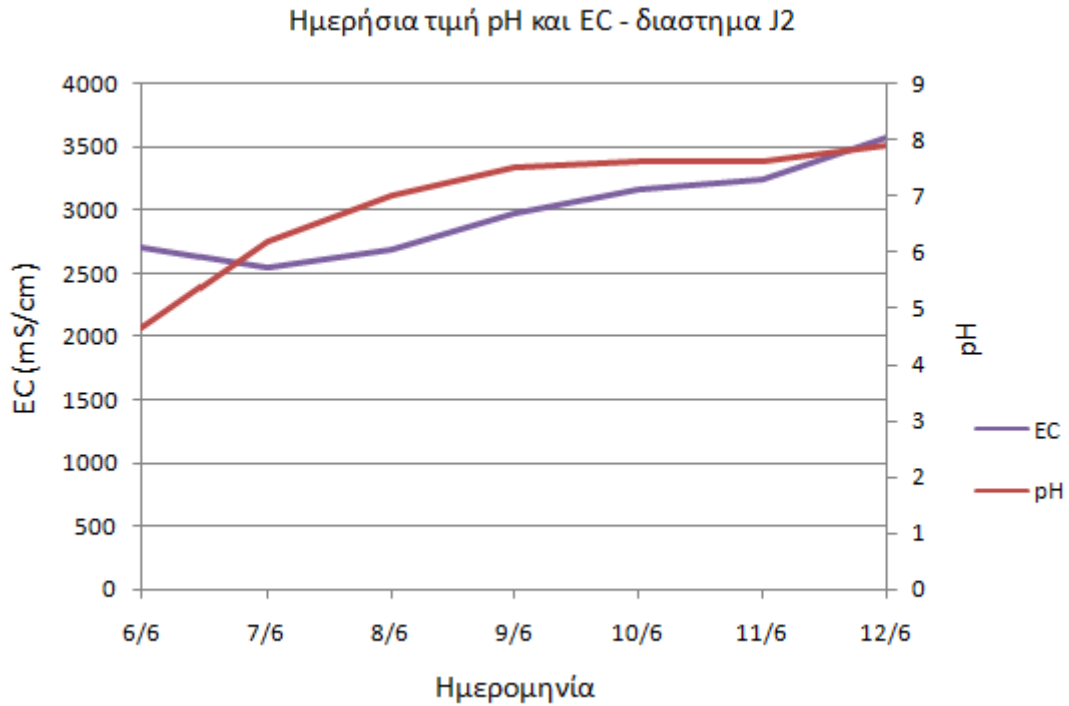
3.4 Η διακύμανση του pH και της EC

Στα γραφήματα 7, 8, 9, 10, 11, 12 παρουσιάζεται η μεταβολή της ημερήσιας τιμής του pH και της EC (mS/cm) του θρεπτικού διαλύματος. Όπως φαίνεται στα γραφήματα η τιμή τόσο του pH όσο και της EC αυξάνει με την πάροδο του χρόνου, σε κάποιες περιπτώσεις σε μικρό βαθμό ενώ σε άλλες σε μεγαλύτερο βαθμό. Η αύξηση της τιμής pH είναι λογική, όσο περνάνε οι μέρες από την ημέρα παρασκευής του θρεπτικού διαλύματος, αφού τα περισσότερα θρεπτικά στοιχεία τα οποία απορροφώνται με την πάροδο του χρόνου από τα φυτά, έχουν ελαφρώς όξινο χαρακτήρα. Επίσης το pH αυξάνεται σε υψηλές θερμοκρασίες λόγω της μεγαλύτερης εξάτμισης CO₂ από το θρεπτικό διάλυμα (McKeil, 2020).

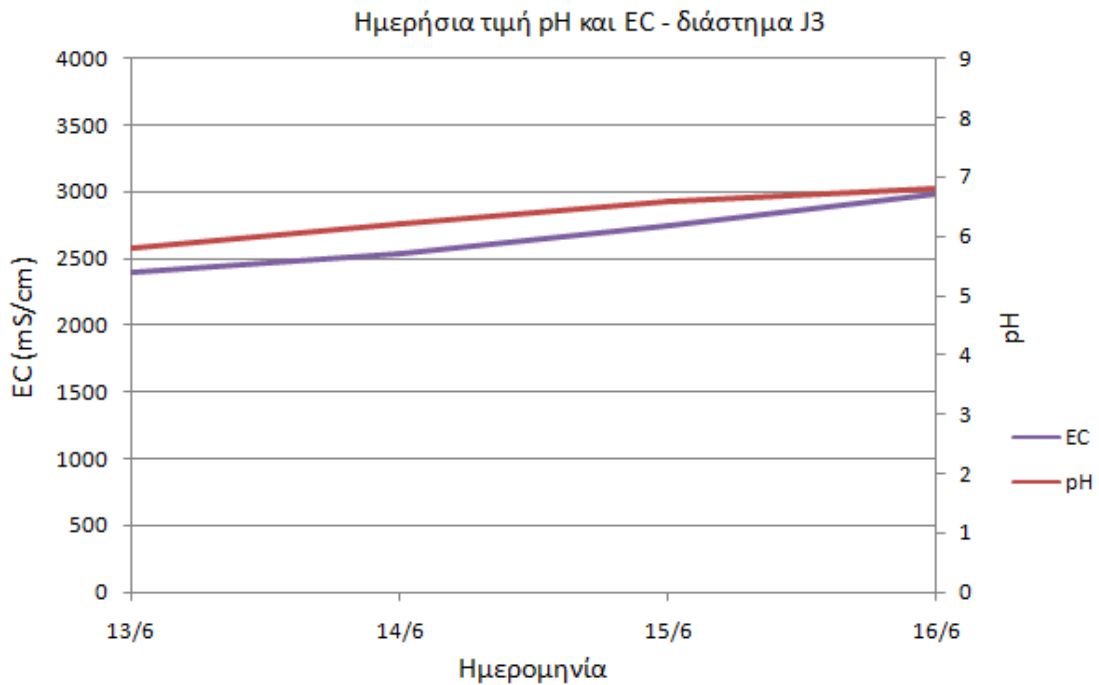
Στα διαστήματα J2, J3, N2, N3 των παρακάτω γραφημάτων παρατηρείται σταδιακή αύξηση της EC που οφείλεται στο φαινόμενο της συμπύκνωσης του θρεπτικού διαλύματος και οφείλεται σε δύο φαινόμενα:

- 1) **Τη διαπνοή των φυτών** η οποία απομακρύνει νερό από το θρεπτικό διάλυμα χωρίς ανάλογη απομάκρυνση θρεπτικών στοιχείων. Αποτέλεσμα αυτού είναι η συμπύκνωση του διαλύματος και άρα η αύξηση της τιμής EC. Αυξημένη διαπνοή παρατηρείται σε συνθήκες αυξημένης θερμοκρασίας, αυξημένης ηλιοφάνειας και μειωμένης σχετικής υγρασίας του αέρα (Nasser, 2018).
- 2) **Τη μειωμένη απορρόφηση θρεπτικών στοιχείων** από τα φυτά κατά τα συγκεκριμένα διαστήματα με ταυτόχρονη απομάκρυνση νερού από το θρεπτικό διάλυμα λόγω διαπνοής, έχει ως αποτέλεσμα την συμπύκνωση του διαλύματος.

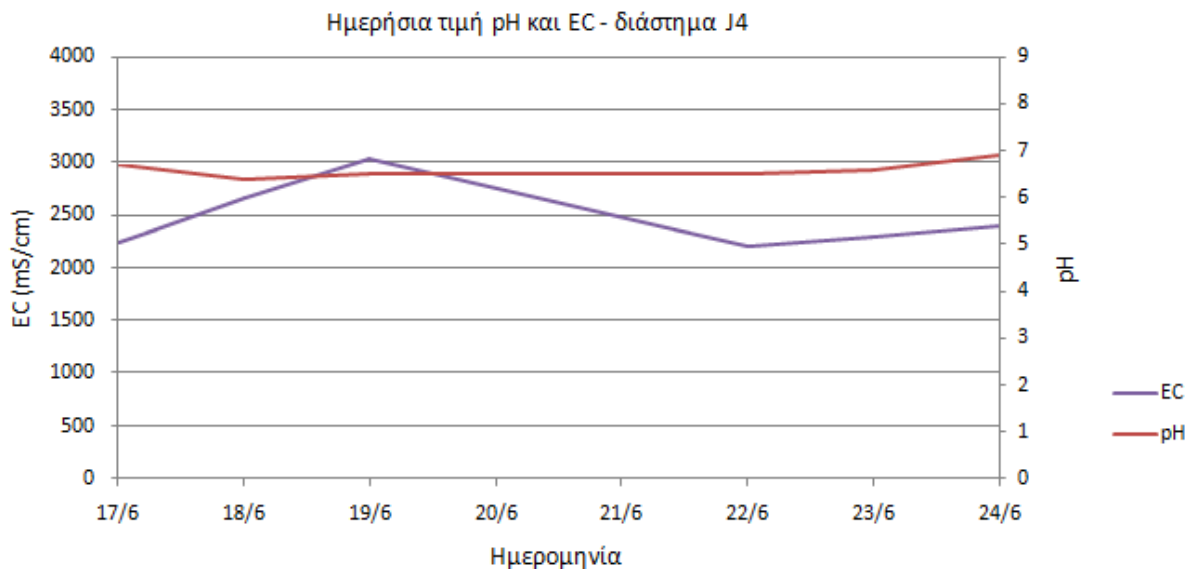
Αυξημένη EC παρατηρείται και στο γράφημα 9 και συγκεκριμένα κατά τις ημερομηνίες από 17/6 έως 19/6. Η συγκεκριμένη αύξηση πιθανόν να οφείλεται σε μερική διάλυση των λιπασμάτων, κατά τις πρώτες μέρες μετά την παρασκευή του νέου θρεπτικού διαλύματος.



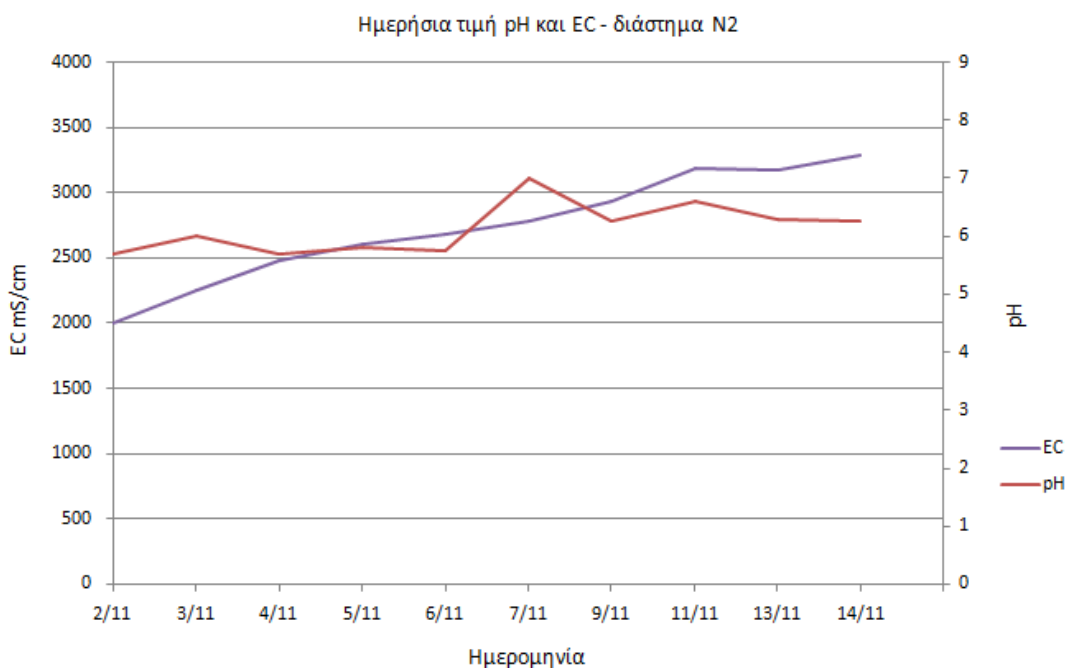
Γράφημα 7: Η μεταβολή της ημερήσιας τιμής του pH και της EC του θρεπτικού διαλύματος κατά το διάστημα J2.



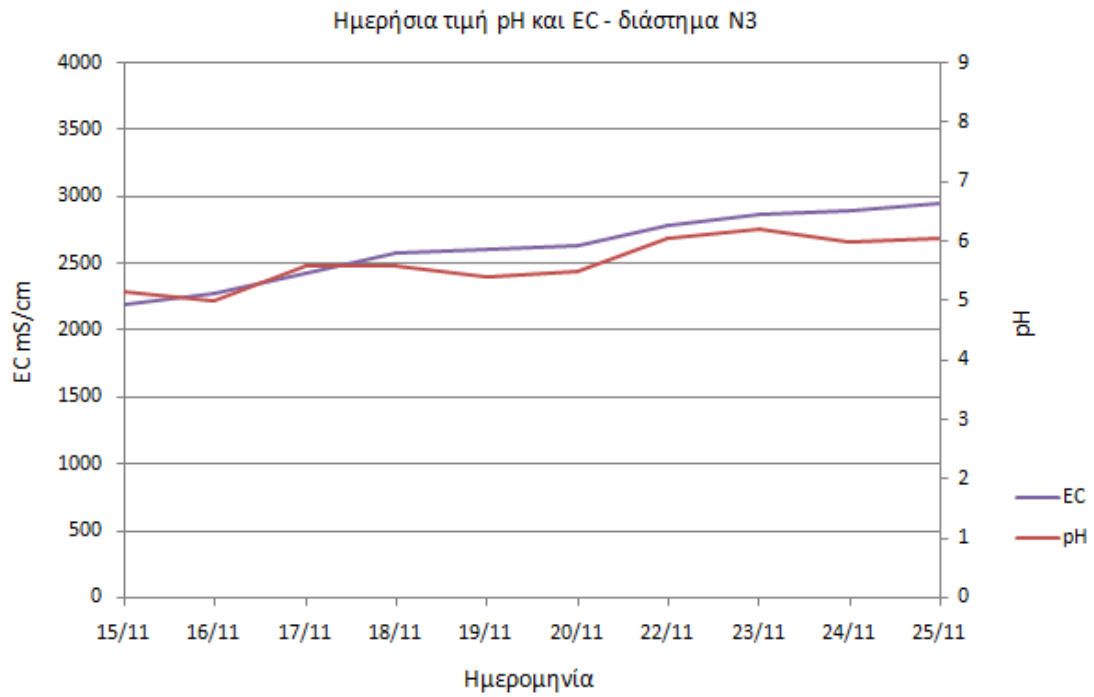
Γράφημα 8: Η μεταβολή της ημερήσιας τιμής του pH και της EC του θρεπτικού διαλύματος κατά το διάστημα J3.



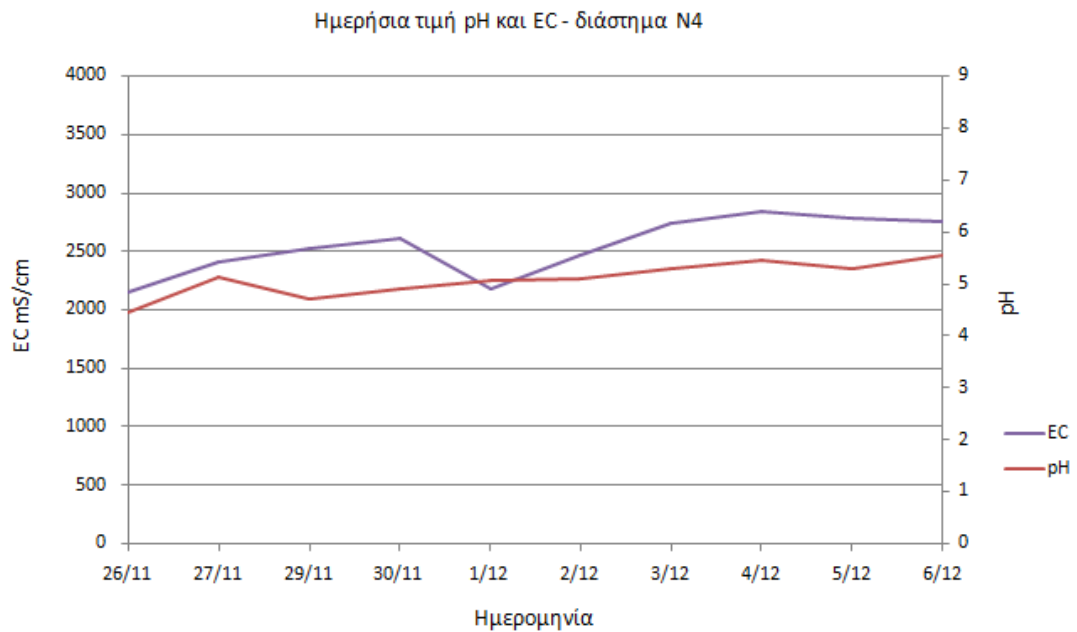
Γράφημα 9: Η μεταβολή της ημερήσιας τιμής του pH και της EC του θρεπτικού διαλύματος κατά το διάστημα J4.



Γράφημα 10: Η μεταβολή της ημερήσιας τιμής του pH και της EC του θρεπτικού διαλύματος κατά το διάστημα N2.



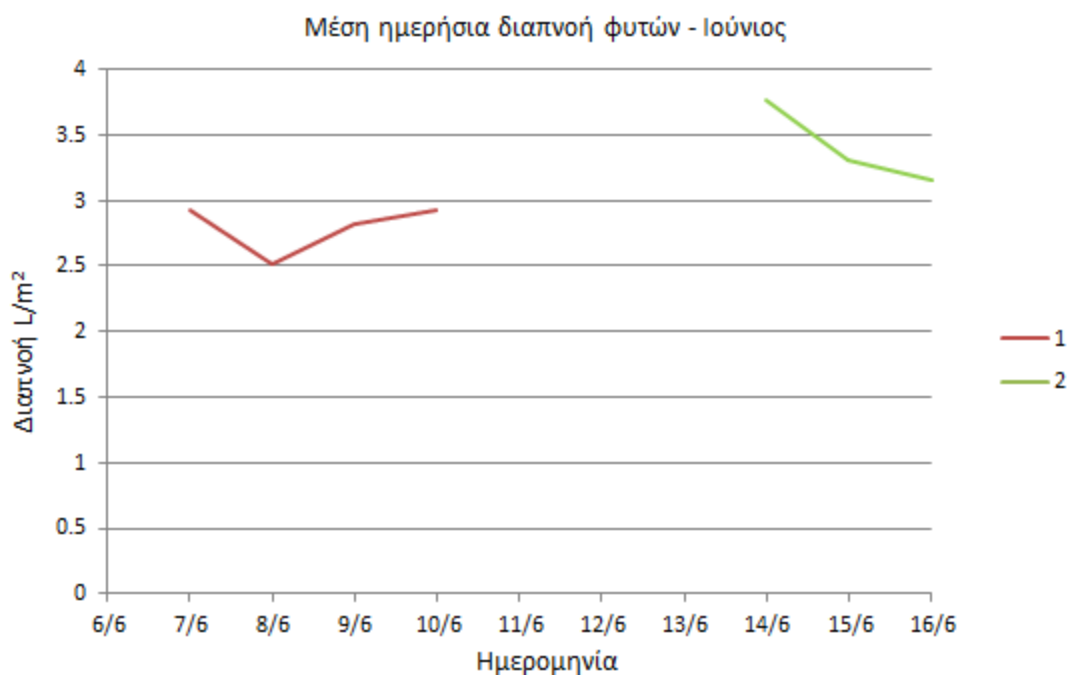
Γράφημα 11: Η μεταβολή της ημερήσιας τιμής του pH και της EC του θρεπτικού διαλύματος κατά το διάστημα N3.



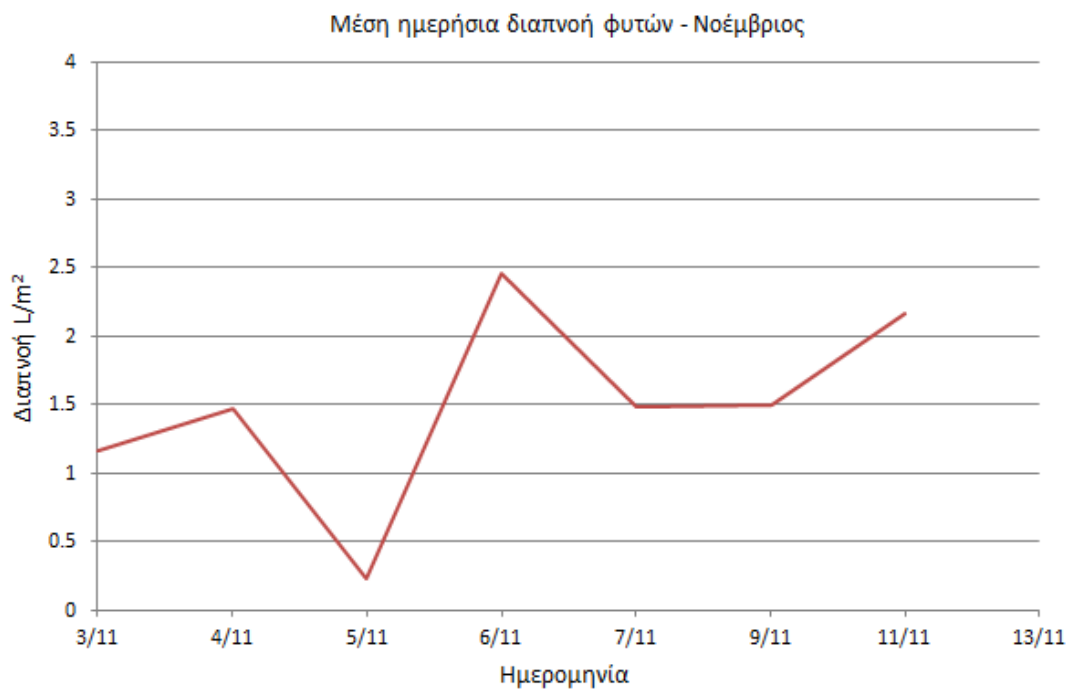
Γράφημα 12: Η μεταβολή της ημερήσιας τιμής του pH και της EC του θρεπτικού διαλύματος κατά το διάστημα N4.

3.5 Η διακύμανση της διαπνοής της καλλιέργειας αποτυπωμένη σε γραφήματα

Στα γραφήματα 13, 14 παρουσιάζεται η ημερήσια διαπνοή των φυτών σε L/m^2 . Όπως φαίνεται παρακάτω η τιμή της διαπνοής διαφέρει από ημέρα σε ημέρα, κάτι που συνήθως οφείλεται σε διάφορους περιβαλλοντικούς παράγοντες όπως η θερμοκρασία, η ηλιακή ακτινοβολία και η σχετική υγρασία της ατμόσφαιρας. Το μοντέλο της διαπνοής που χρησιμοποιήθηκε για να υπολογιστούν κάποιες από τις τιμές της διαπνοής ήταν: $TR = 0,62 R_{gi} + 0,34 VPD$ (1) (Lykas et al., 2006), όπου οι τιμές 0,62 και 0,34 προκύπτουν από τα χαρακτηριστικά του θερμοκηπίου και της καλλιέργειας. Οι τιμές R_{gi} και VPD συμβολίζουν την ηλιακή ακτινοβολία και την διαφορά ανάμεσα στην ποσότητα υγρασίας του αέρα μια δεδομένη στιγμή και την ποσότητα υγρασίας που μπορεί να διατηρήσει ο αέρας όταν είναι κορεσμένος και μετρούνται σε $W m^{-2}$ και kPa , αντίστοιχα. Οι τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας και της σχετικής υγρασίας βρέθηκαν με την βοήθεια αισθητήρων στο εσωτερικό του θερμοκηπίου.



Γράφημα 13: Η μεταβολή της ημερήσιας διαπνοής των φυτών κατά τα διαστήματα 1: 7/6 έως 10/6 (κόκκινη γραμμή) και 2: 14/6 έως 16/6 (πράσινη γραμμή).

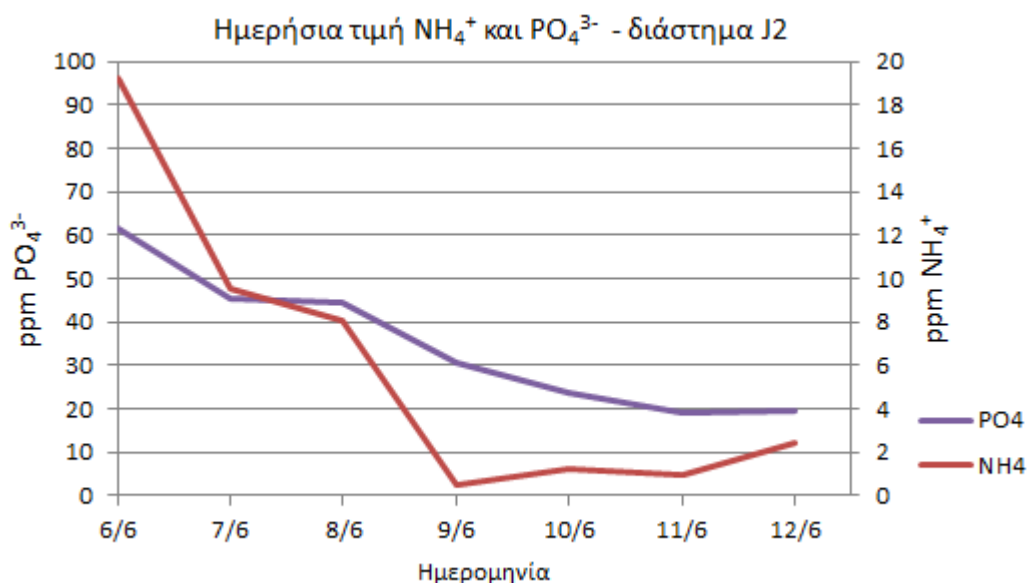


Γράφημα 14: Η μεταβολή της ημερήσιας διαπνοής των φυτών κατά το διάστημα από 3/11 έως 11/11.

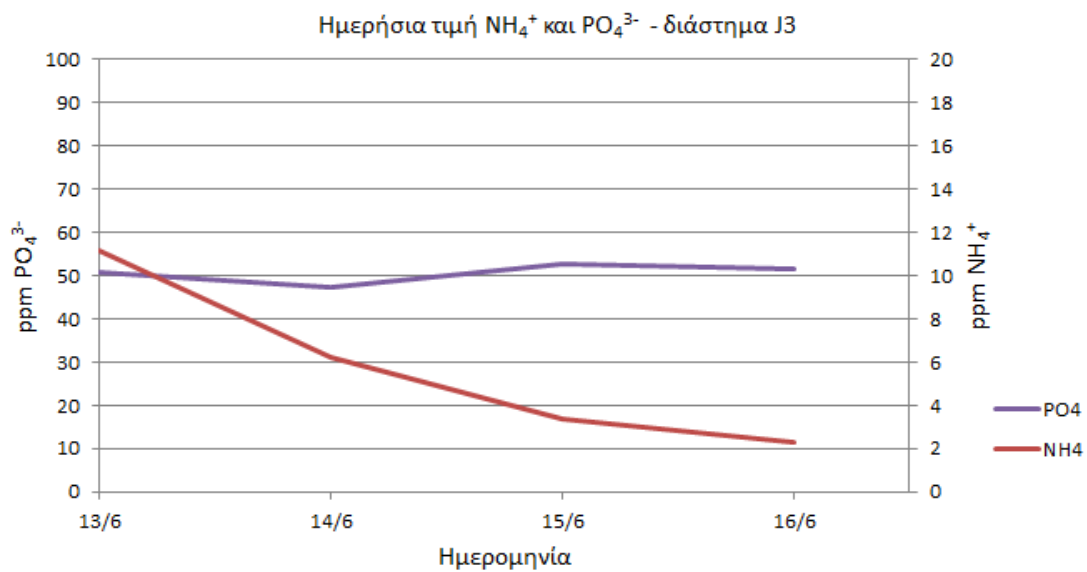
3.6 Η διακύμανση της συγκέντρωσης (ppm) και το βάρος (g) των θρεπτικών στοιχείων PO_4^{3-} , NH_4^+ , NO_3^- στο θρεπτικό διάλυμα αποτυπωμένη σε γραφήματα

Στα γραφήματα που ακολουθούν φαίνονται οι ημερήσιες συγκεντρώσεις των θρεπτικών στοιχείων PO_4^{3-} και NH_4^+ στο θρεπτικό διάλυμα και η μεταβολή αυτών με την πάροδο του χρόνου.

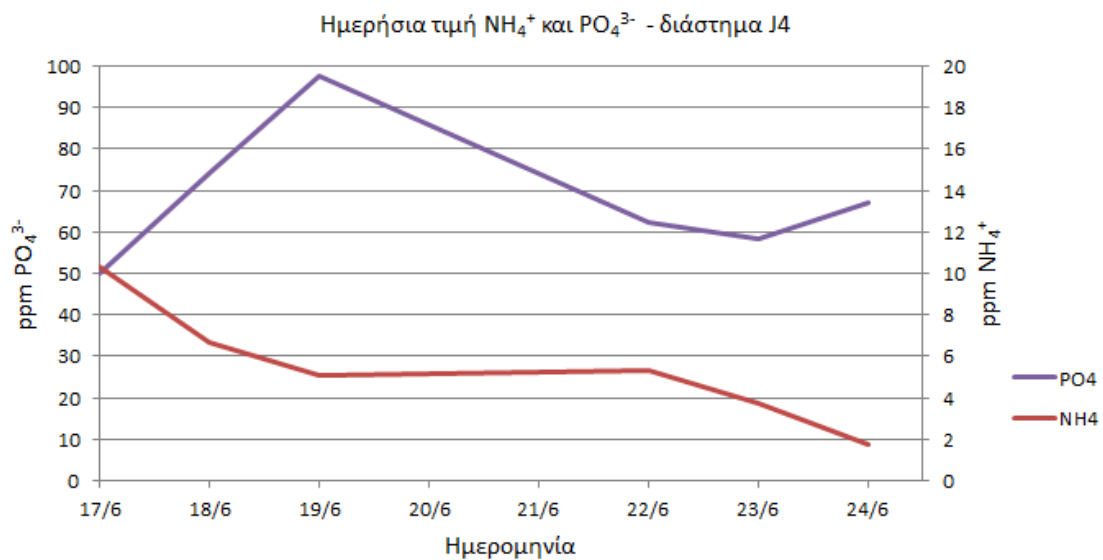
Πιο συγκεκριμένα στα γραφήματα 15, 16, 17 η συγκέντρωση των NH_4^+ την πρώτη ημέρα που παρασκευάζεται το νέο θρεπτικό διάλυμα είναι ανάμεσα σε 10-18 ppm που είναι πολύ κοντά στο επιθυμητό επίπεδο (βλ. πίνακα 2). Πρώτη ημέρα παρασκευής νέου θρεπτικού διαλύματος θεωρείται η πρώτη ημέρα κάθε γραφήματος. Λόγω της υψηλής διαλυτότητας των NH_4^+ στο θρεπτικό διάλυμα η αύξηση της συγκέντρωσης τους παρατηρείται σε γρήγορο χρονικό διάστημα από την προσθήκη των λιπασμάτων. Τελικά η συγκέντρωση των NH_4^+ φθίνει δραματικά και στα τρία διαγράμματα, γεγονός που οφείλεται στην υψηλή απορρόφηση του συγκεκριμένου ιόντος από την καλλιέργεια. Αντίθετα η συγκέντρωση των PO_4^{3-} την πρώτη ημέρα παρασκευής των νέων θρεπτικών διαλυμάτων δεν είναι ικανοποιητική σε μεγάλο βαθμό αφού είναι περίπου 50-60 ppm (βλ. πίνακα 2). Η συγκέντρωση των PO_4^{3-} στο θρεπτικό διάλυμα φαίνεται άλλοτε να μειώνεται λόγω συνεχούς απορρόφησης τους από τα φυτά (γράφημα 15) και άλλοτε να αυξάνεται ελαφρώς λόγω μικρότερης απορρόφησης τους από τα φυτά (γράφημα 17). Η μείωση της συγκέντρωσης των PO_4^{3-} στο γράφημα 15 ίσως να οφείλεται και στο pH του διαλύματος κατά το συγκεκριμένο διάστημα γιατί όταν το pH είναι μεγαλύτερο του 7 τότε μειώνεται η διαθεσιμότητα των PO_4^{3-} (Brunno and Kevin, 2016). Στο γράφημα 17 παρατηρείται απότομη αύξηση της συγκέντρωσης των PO_4^{3-} στο θρεπτικό διάλυμα, το οποίο πιθανόν να οφείλεται σε μερική διάλυση κάποιων από τα λιπάσματα, κατά τις πρώτες ημέρες παρασκευής του θρεπτικού διαλύματος.



Γράφημα 15: Οι ημερήσιες τιμές της συγκέντρωσης σε ppm των PO_4^{3-} , NH_4^+ για το διάστημα J2.

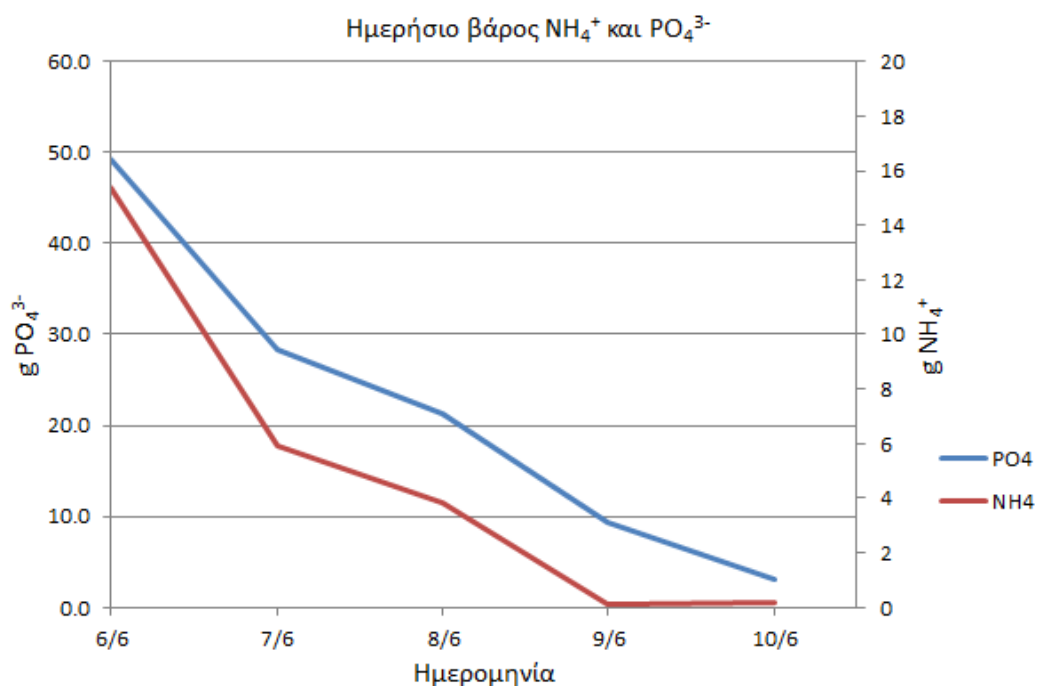


Γράφημα 16: Οι ημερήσιες τιμές της συγκέντρωσης σε ppm των PO_4^{3-} , NH_4^+ για το διάστημα J3.

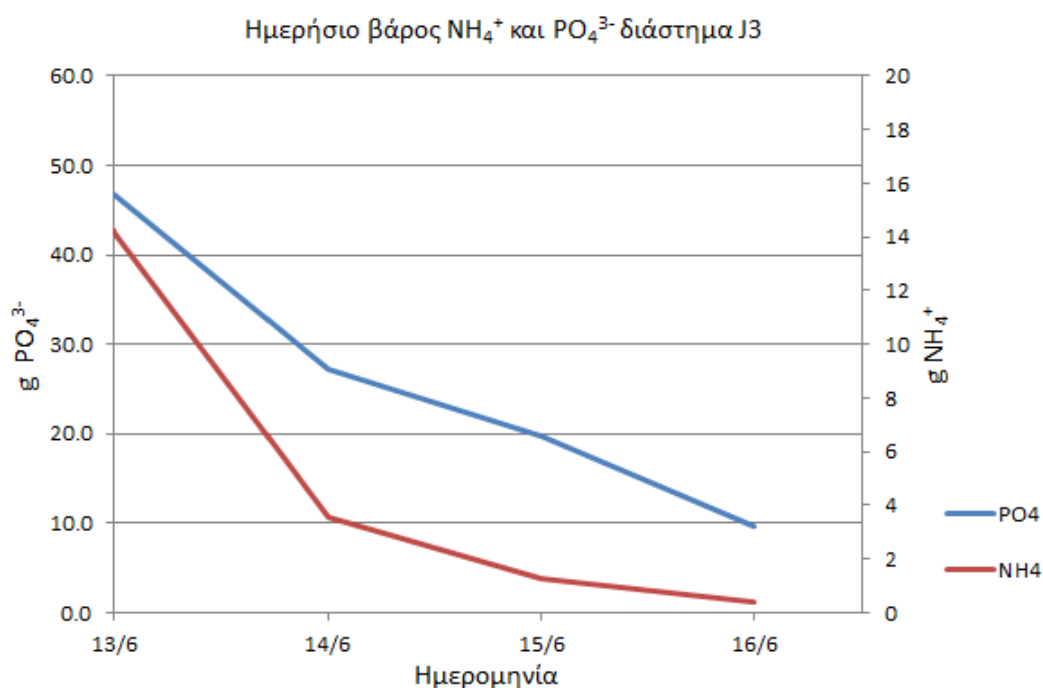


Γράφημα 17: Οι ημερήσιες τιμές της συγκέντρωσης σε ppm των PO_4^{3-} , NH_4^+ για το διάστημα J4.

Τα διαγράμματα 18, 19 που ακολουθούν δείχνουν την μεταβολή της ημερήσιας τιμής του βάρους των θρεπτικών στοιχείων PO_4^{3-} , NH_4^+ στο θρεπτικό διάλυμα, μετρημένη σε γραμμάρια (g). Τόσο το βάρος των PO_4^{3-} όσο και των NH_4^+ μειώνεται με την πάροδο του χρόνου και στα δύο διαγράμματα γεγονός που οφείλεται στην απορρόφηση των συγκεκριμένων ιόντων από την καλλιέργεια.



Γράφημα 18: Το βάρος σε g των PO_4^{3-} , NH_4^+ ανά ημέρα, για το διάστημα από 6/6 έως 10/6.



Γράφημα 19: Το βάρος σε g των PO_4^{3-} , NH_4^+ ανά ημέρα, για το διάστημα από 13/6 έως 16/6.

3.6.1 Το μοντέλο συσχέτισης απορρόφησης των NH_4^+ , PO_4^{3-}

Βλέποντας τον ρυθμό απορρόφησης των δύο ιόντων που είναι παρόμοιος στα γραφήματα 18, 19 δημιουργείται η υποψία ότι θα μπορούσε να διατυπωθεί ένα μοντέλο το οποίο θα υπολογίζει με σχετικά μεγάλη ακρίβεια την ποσότητα των PO_4^{3-} , NH_4^+ στο θρεπτικό διάλυμα. Το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε έχει την μορφή $y = \alpha + \beta x - \gamma z$, όπου:

- α , β , γ : σταθερές τιμές

- y : η ποσότητα των NH_4^+ μετρημένη σε g

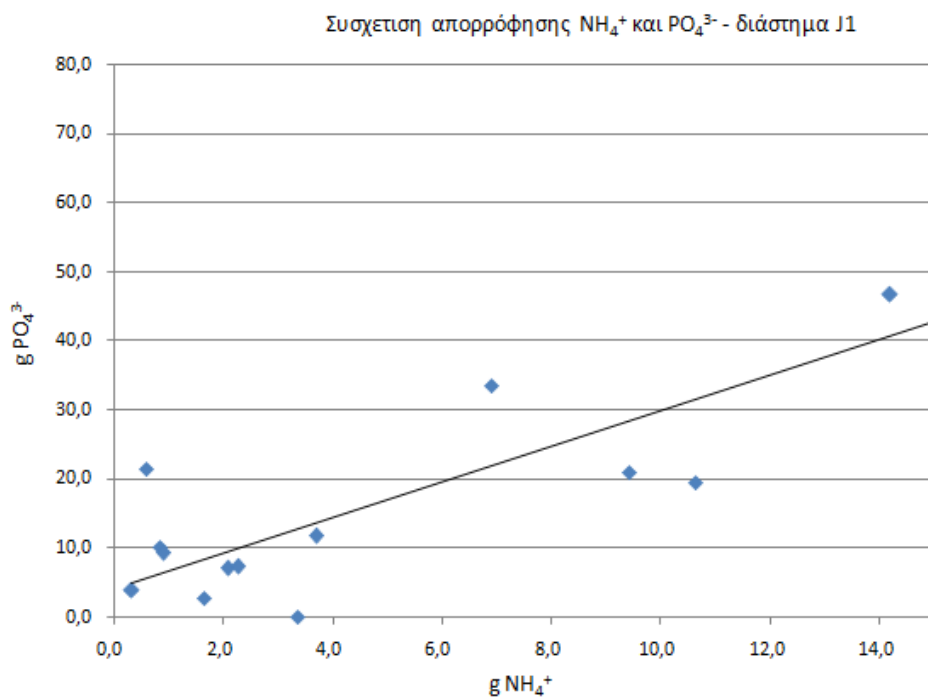
- x : η ποσότητα των PO_4^{3-} μετρημένη σε g

- z : η τιμή του pH

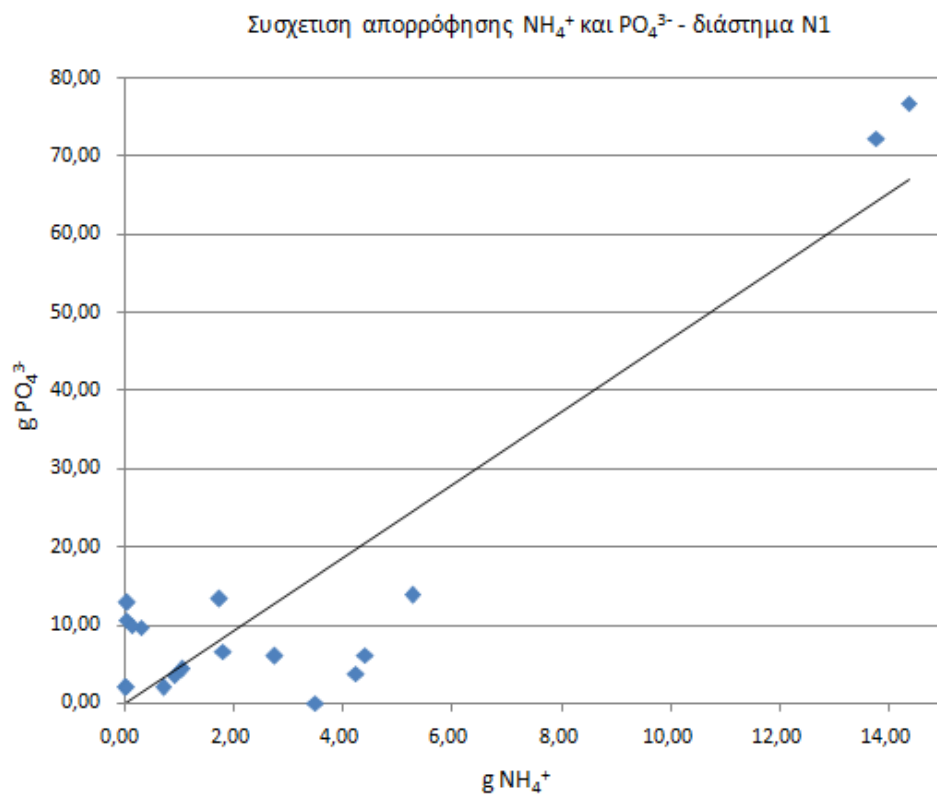
Έτσι το μοντέλο παίρνει την μορφή : $\text{NH}_4^+ = 18,8 + 0,39 \text{PO}_4^{3-} - 2,8 \text{pH}$, $R^2 = 80,2$.

(2)

Το μοντέλο συσχέτισης απορρόφησης των NH_4^+ , PO_4^{3-} φαίνεται στα γραφήματα 20, 21.

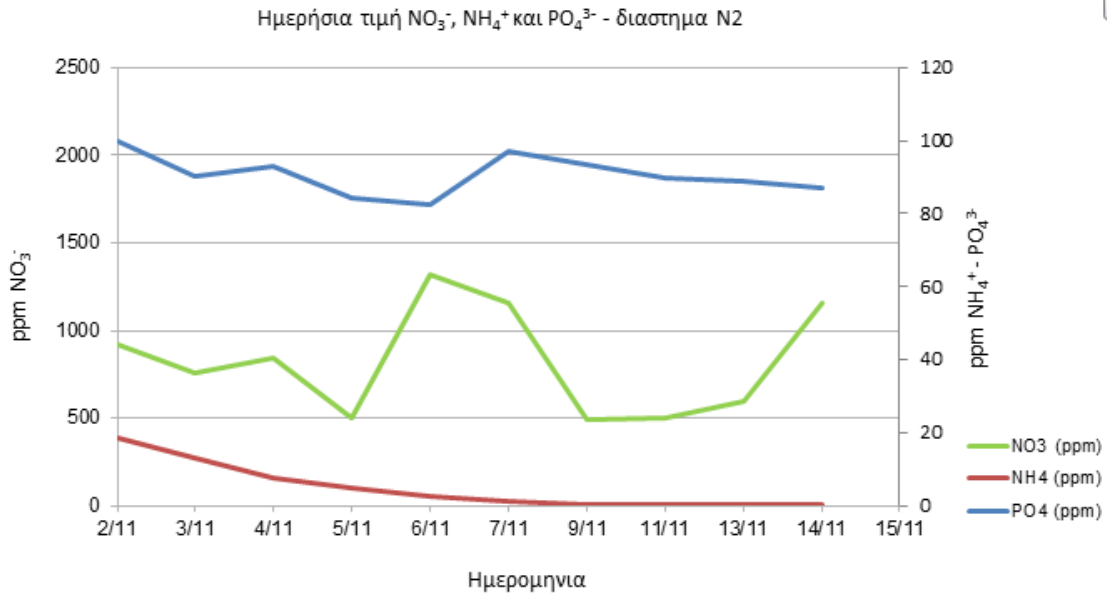


Διάγραμμα 20: Η συσχέτιση της απορρόφησης των NH_4^+ και PO_4^{3-} κατά το διάστημα J1.

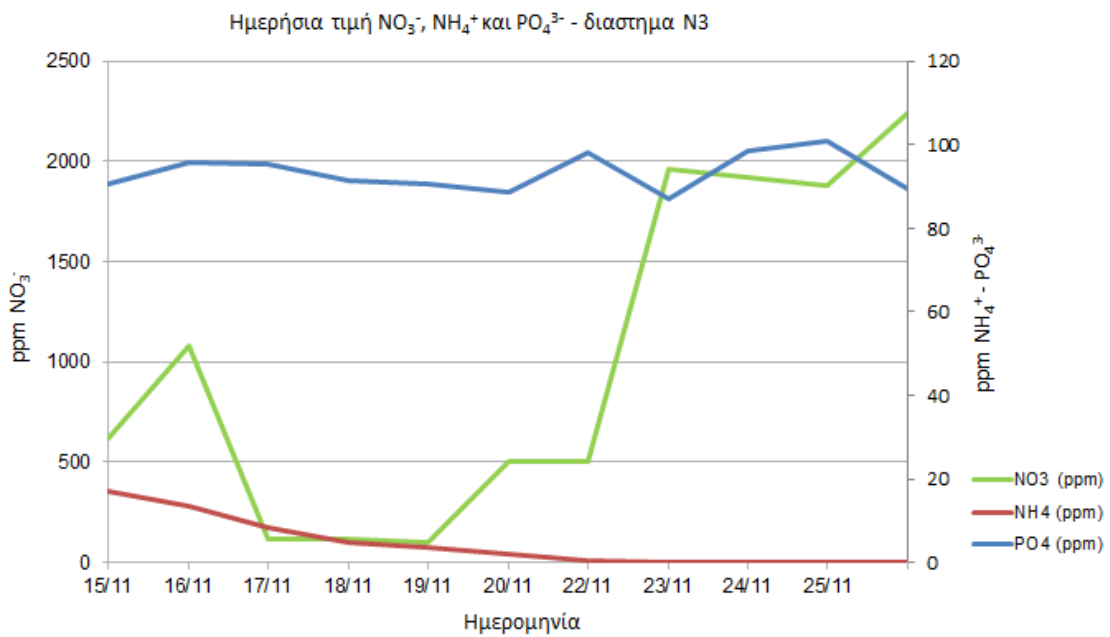


Διάγραμμα 21: Η συσχέτιση της απορρόφησης των NH_4^+ και PO_4^{3-} κατά το διάστημα N1.

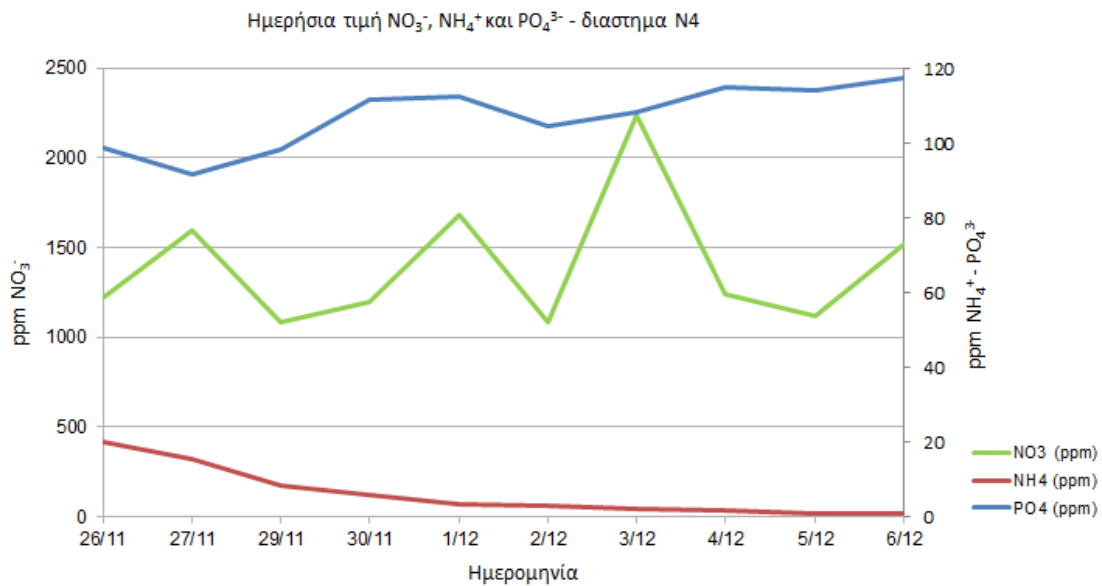
Τα επόμενα διαγράμματα (20, 21, 22) δείχνουν την ημερήσια συγκέντρωση των θρεπτικών στοιχείων PO_4^{3-} , NH_4^+ , NO_3^- στο θρεπτικό διάλυμα τον μήνα Νοέμβριο. Αναλυτικότερα, η συγκέντρωση των NO_3^- την πρώτη ημέρα παρασκευής των νέων θρεπτικών διαλυμάτων έχει αρκετά ικανοποιητική τιμή περίπου στα 1000 ppm (βλ. πίνακα 2), ενώ παρουσιάζει αύξηση και στα τρία από τα προαναφερθέντα διαγράμματα με την πάροδο του χρόνου. Η αύξηση της συγκέντρωσης κατά τα διαστήματα 5/11 έως 9/11, 22/11 έως 25/11 και καθ' όλη τη διάρκεια του N4, πιθανώς οφείλεται σε μειωμένη απορρόφηση του συγκεκριμένου ιόντος από την καλλιέργεια κατά το διάστημα αυτό, με παράλληλη μείωση του νερού της δεξαμενής. Βέβαια πρέπει να ληφθούν υπόψιν και τα σφάλματα τα οποία μπορεί να οφείλονται στο όργανο μέτρησης (φασματοφωτόμετρο). Όσον αφορά τα NH_4^+ η συγκέντρωση τους την πρώτη ημέρα παρασκευής των νέων θρεπτικών διαλυμάτων ήταν άριστη (πολύ κοντά στα 20 ppm). Επίσης η συγκέντρωση τους στο θρεπτικό διάλυμα μειώνεται σταδιακά με παρόμοιο τρόπο και στα τρία γραφήματα που σημαίνει πως η καλλιέργεια παρουσιάζει μια συνεχή απορρόφηση NH_4^+ . Η συγκέντρωση των PO_4^{3-} την πρώτη ημέρα μετά την παρασκευή των νέων θρεπτικών διαλυμάτων είναι πολύ ικανοποιητική (90-100 ppm). Ακόμα παρουσιάζει μια σχετικά σταθερή τιμή στα γραφήματα 20, 21 ενώ στο γράφημα 22 παρουσιάζει αύξηση με την πάροδο του χρόνου που μάλλον οφείλεται σε μειωμένη απορρόφηση του θρεπτικού στοιχείου κατά την συγκεκριμένη περίοδο.



Γράφημα 21: Οι ημερήσιες τιμές της συγκέντρωσης σε ppm των PO_4^{3-} , NH_4^+ , NO_3^- για το διάστημα N2.

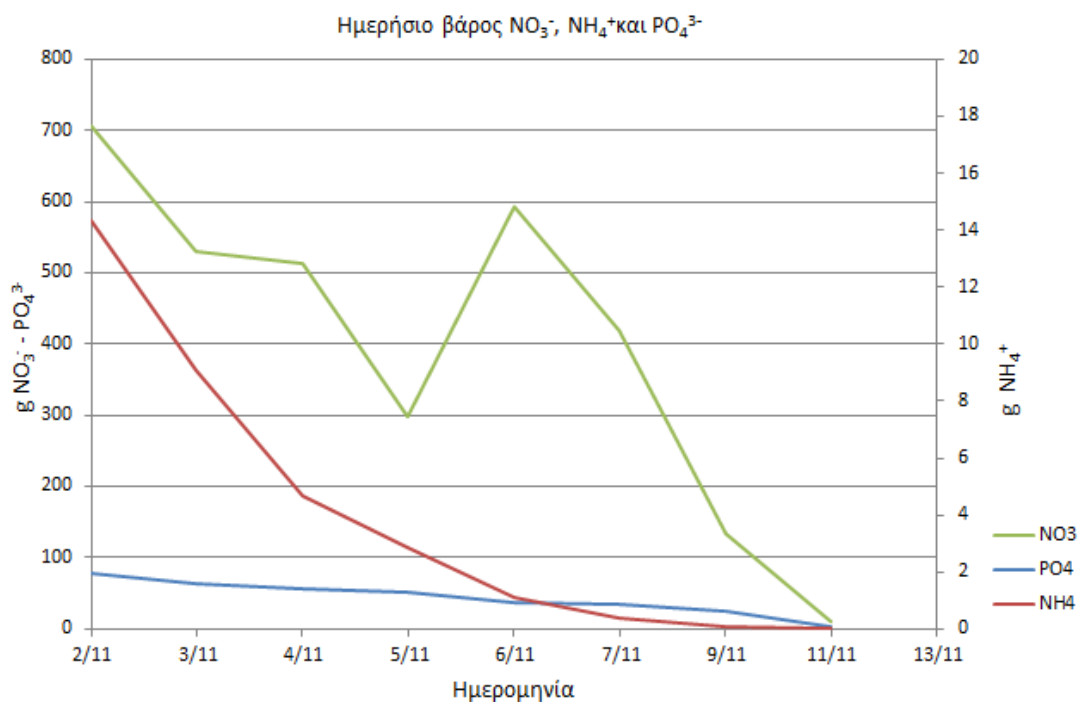


Γράφημα 22: Οι ημερήσιες τιμές της συγκέντρωσης σε ppm των PO_4^{3-} , NH_4^+ , NO_3^- για το διάστημα N3.



Γράφημα 23: Οι ημερήσιες τιμές της συγκέντρωσης σε ppm των PO_4^{3-} , NH_4^+ , NO_3^- για το διάστημα N4.

Στο γράφημα 24 που ακολουθεί παρουσιάζεται η μεταβολή της ημερήσιας τιμής του βάρους των θρεπτικών στοιχείων PO_4^{3-} , NH_4^+ , NO_3^- στο θρεπτικό διάλυμα, μετρημένη σε γραμμάρια (g). Όπως είναι λογικό όλες οι τιμές του βάρους των θρεπτικών στοιχείων μειώνονται όσο περνάνε ημέρες αφού απορροφάται μέρος τους από τα φυτά. Αναφορά πρέπει να γίνει στην τιμή των NO_3^- στις 6/11, η οποία είναι σημαντικά αυξημένη. Αυτό είναι αδύνατον αφού δεν προστέθηκαν λιπάσματα σε αυτό το χρονικό διάστημα, οπότε πιθανόν οφείλεται σε σφάλμα των οργάνων μέτρησης.



Γράφημα 24: Το βάρος σε g των PO_4^{3-} , NH_4^+ , NO_3^- ανά ημέρα, για το διάστημα από 2/11 έως 11/11.

4. Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία παρουσιάστηκε η καλλιέργεια τριανταφυλλιάς σε κλειστό υδροπονικό σύστημα αναλύοντας κυρίως την θρέψη του φυτού. Κατά τη διάρκεια του πειράματος έγιναν διάφορες μετρήσεις χρησιμοποιώντας αισθητήρες (θερμοκρασία, υγρασία κ.α), με τελικό σκοπό να βρεθούν οι συγκεντρώσεις και το βάρος των NO_3^- , PO_4^{3-} , NH_4^+ στο θρεπτικό διάλυμα. Σε αυτό συνέβαλε και το μοντέλο υπολογισμού της διαπνοής (1) όπως προαναφέρθηκε.

Τα γραφήματα που προηγήθηκαν έδειξαν έντονες διακυμάνσεις στη συγκέντρωση και την ποσότητα των NO_3^- σε g στο θρεπτικό διάλυμα. Για αυτόν τον λόγο η πρόβλεψη της ποσότητας των NO_3^- μέσω μοντέλου ήταν αδύνατη. Αντίθετα οι άριστες τιμές συγκέντρωσης και ποσότητας σε g των NH_4^+ και των PO_4^{3-} που καταγράφονται στα αντίστοιχα γραφήματα, δίνουν τη βάση για την διατύπωση ενός μοντέλου μέσω του οποίου μπορούν να προσδιοριστούν οι ποσότητες των NH_4^+ και των PO_4^{3-} , με μεγάλη ακρίβεια. Το συγκεκριμένο μοντέλο θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ταυτόχρονα με άλλα μοντέλα που προβλέπουν την ποσότητα των PO_4^{3-} στο θρεπτικό διάλυμα, με σκοπό να προβλεφτούν τα NH_4^+ του διαλύματος ή και αντίστροφα.

Τέλος αναφορά πρέπει να γίνει στο γεγονός ότι η συγκέντρωση των ιόντων που μελετήθηκαν δεν συσχετίστηκε με τις κλιματικές συνθήκες του περιβάλλοντος του

θερμοκηπίου. Για παράδειγμα μια σημαντική αύξηση της θερμοκρασίας θα έπρεπε να προκαλεί έντονη αύξηση στη διαπνοή της καλλιέργειας, η οποία με τη σειρά της να οδηγούσε σε συμπύκνωση του θρεπτικού διαλύματος και άρα αύξηση της συγκέντρωσης των ιόντων που περιέχονταν σε αυτό. Αντίστοιχα αυξημένη υγρασία θα σήμαινε μειωμένη διαπνοή και άρα μειωμένη συμπύκνωση του θρεπτικού διαλύματος σε σχέση με την προηγούμενη περίπτωση. Τα παραπάνω δεν μπόρεσαν να επιβεβαιωθούν μέσω των μετρήσεων του πειράματος. Αντίθετα η τιμή της συγκέντρωσης κάποιων ιόντων φάνηκε πως επηρεάζεται από συγκεκριμένες τιμές pH του θρεπτικού διαλύματος (όπως τιμές $\text{pH} > 7$ προκαλούσαν μείωση στη διαθεσιμότητα των φωσφορικών ιόντων στο θρεπτικό διάλυμα και άρα μειωμένο βαθμό απορρόφησης του ιόντος από την καλλιέργεια).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. MM Sedibe & J Allemann, 2012. Yield and quality response of rose geranium (*Pelargonium graveolens* L.) to sulphur and phosphorus application. *South African Journal of Plant and Soil*, 29:3-4, 151-156.
2. F. Albornoz & J. Lieth, 2016. Daily macronutrient uptake patterns in relation to plant age in hydroponic lettuce. *Journal of Plant Nutrition*, 39:10, 1357-1364.
3. B. Bugbee, 2004. Nutrient Management in Recirculating Hydroponic Culture. In: *Proceedings of the South Pacific Soilless Culture Conference*. M. Nichols (ed.). *Acta Hort* 648: 99-112.
4. Robert Pokluda and F. Kobza, 2001. Effect of climate conditions on properties of hydroponic nutrient solution. *Acta Hort* 559:611-617
5. David Sanjuan-Delmás et al., 2020. Applying nutrient dynamics to adjust the nutrient-water balance in hydroponic crops. A case study with open hydroponic tomato crops from Barcelona. *Scientia Horticulturae*, Volume 261.
6. Mattson, N.S. and Heinrich Lieth, J., 2007. Modeling macronutrient absorption Of Hydroponically-grown cut flower roses. *Acta Hort*. 751, 129-135.
7. Ropokis, A., Savvas, D., Giagtzoglou, P., Ginosatis, S., Ntatsi, G., Kittas, C. and Katsoulas, N. 2017. Nutrient uptake concentrations of a pepper crop under Mediterranean climate conditions. *Acta Hort*. 1170, 687-694.
8. David L. Ehret, James G. Menzies, Tom Helmer, 2005. Production and quality of greenhouse roses in recirculating nutrient systems. *Scientia Horticulturae*, Volume 106, Issue 1, Pages 103-113.
9. Mamta Deorao Sardare, 2013. A review on plant without soil-hydroponics. *International Journal of Research in Engineering and Technology* 02(03): 299-304.
10. Ropokis A., Ntatsi G., Kittas C., Katsoulas N., Savvas D. Effects of Temperature and Grafting on Yield, Nutrient Uptake, and Water Use Efficiency of a Hydroponic Sweet Pepper Crop. *Agronomy* 2019, 9, 110.
11. van der Sar, D.M., de Visser, P.H.B. and Vos, J., 2014. Nutrient uptake of four cut rose varieties. *Acta Hort*. 1034, 559-566.
12. M Silberbush, J.H Lieth, 2004. Nitrate and potassium uptake by greenhouse roses (*Rosa hybrida*) along successive flower-cut cycles: a model and its calibration, *Scientia Horticulturae*, Volume 101, Issues 1–2, Pages 127-141.

13. Ángeles Calatayud, Elisa Gorbe, Dolors Roca, Pedro F. Martínez, 2008. Effect of two nutrient solution temperatures on nitrate uptake, nitrate reductase activity, NH₄⁺ concentration and chlorophyll a fluorescence in rose plants, *Environmental and Experimental Botany*, Volume 64, Issue 1, Pages 65-74.
14. Gorbe Sánchez Elisa, 2010. STUDY OF NUTRIENT SOLUTION MANAGEMENT IN SOILLESS ROSE CULTIVATION THROUGH THE ANALYSIS OF PHYSIOLOGICAL PARAMETERS AND NUTRIENT ABSORPTION.
15. Hyun Ju Kim, Young-Son Cho , Oh-Keun Kwon , Myung-Whan Cho , Jae-Bok Hwang , Soon-Do Bae and Weon-Tae Jeon , 2005. Effect of pH and EC of Hydroponic Solution on the Growth of Greenhouse Rose. *Asian Journal of Plant Sciences*, 4: 348-355.
16. Hamid R. Roosta & Iman Rezaei, 2014. Effect of Nutrient Solution PH on the Vegetative and Reproductive Growth and Physiological Characteristics of Rose Cv. ‘Grand Gala’ in Hydroponic System. *Journal of Plant Nutrition*, 37:13, 2179-2194.
17. Francisco Albornoz, J. Heinrich Lieth, Jose Antonio Gonzalez Fuentes, 2014. Effect of different day and night nutrient solution concentrations on growth, photosynthesis, and leaf NO₃⁻ content of aeroponically grown lettuce.
18. René P. J. J. Rietra, Marius Heinen, Chistian O. Dimkpa & Prem S. Bindraban, 2017. Effects of Nutrient Antagonism and Synergism on Yield and Fertilizer Use Efficiency, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 48:16, 1895-1920.
19. Sambo Paolo, Nicoletto Carlo, Giro Andrea, Pii Youry, Valentinuzzi Fabio, Mimmo Tanja, Lugli Paolo, Orzes Guido, Mazzetto Fabrizio, Astolfi Stefania, Terzano Roberto, Cesco Stefano, 2019. Hydroponic Solutions for Soilless Production Systems: Issues and Opportunities in a Smart Agriculture Perspective *Frontiers in Plant Science*, Vol 10.
20. Vader, S.K., 2017. Varietal performance and economics of rose cultivation under protected conditions.
21. P. Zandi, 2015. The genus Rosa: The aristocrat from the plant family with class, color and fragrance.
22. Πτυχιακή εργασία Αριστίτσας Σαϊνίδου, 2011. Παραγωγή ροδέλαιου από το Δαμάσκηνο Ρόδο.
23. Πτυχιακή εργασία Σκουτελη Εμμανουέλας, 2016. Καταγραφή των περιβαλλοντικών συνθηκών κατά τη καλλιέργεια και χονδρική διάθεση των δρεπτών τριαντάφυλλων δυνητικές επιδράσεις στη διατηρησιμότητα.
24. Meng, J., Fougère-Danezan, M., Zhang, LB. et al., 2011. Untangling the hybrid origin of the Chinese tea roses: evidence from DNA sequences of single-copy nuclear and chloroplast genes. *Plant Syst Evol* 297, 157–170.
25. Abdul Jalil Leghari, Umed Ali Laghari, Abdul Hafeez Laghari, Tofi que Ahmed Bhutto, 2016. Cultivation of rose (*Rosa indica* L.).

26. Brenna Aegerter, J. J. NuñezR., M. Davis, 2003. Environmental Factors Affecting Rose Downy Mildew and Development of a Forecasting Model for a Nursery Production System.
27. Πτυχιακή εργασία Κουτσοφλινη Αλεξανδρας, 2004.
28. Sharma Nishal, Acharya Somen, Kumar Kaushal, Singh Narendra, Chaurasia O.P., 2019. Journal of Soil and Water Conservation Year : 2018, Volume : 17, Issue : 4 (364-371).
29. QIN, Y., YAN, Z., GU, H., WANG, Z., JIANG, X., CHEN, Z., YANG, F., & YANG, C. (2019). Effects of Different Shading Rates on the Photosynthesis and Corm Weight of Konjac Plant. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 47(3), 716-721.
30. Libia I. Trejo-Téllez and Fernando C. Gómez-Merino (2012). Nutrient Solutions for Hydroponic Systems, *Hydroponics - A Standard Methodology for Plant Biological Researches*, Toshiki Asao, IntechOpen
31. Mattson, N. S., & van Iersel, M. W. (2011). Application of the “4R” Nutrient Stewardship Concept to Horticultural Crops: Applying Nutrients at the “Right Time”, *HortTechnology hortte*, 21(6), 667-673.
32. Pokluda, R. and Kobza, F., (2001). EFFECT OF CLIMATE CONDITIONS ON PROPERTIES OF HYDROPONIC NUTRIENT SOLUTION. *Acta Hortic.* 559, 611-617.
33. Πτυχιακή εργασία Ζωνζηλου Γαρυφαλλιάς, 2005.
34. Σάββας Δημήτριος, 2011. Καλλιέργειες εκτός εδάφους: Υδροπονία, Υποστρώματα. Αθήνα, Εκδόσεις ΑγροΤύπος, 528 σελ.
35. <https://www.happyhydro.com/blogs/news/what-is-ph-and-why-does-it-rise> , 2020.
36. <https://manicbotanix.com/plant-nutrient-interactions/> - Copyright Manic Botanix, 2020.
37. <https://manicbotanix.com/ph-in-hydroponics/> - Copyright Manic Botanix, 2020
38. N. Katsoulas, C. Kittas, G. Dimokas, Ch. Lykas 2006. Effect of Irrigation Frequency on Rose Flower Production and Quality Volume 93, Issue 2.