



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

**ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ: ΑΝΘΟΚΟΜΙΑΣ ΚΑΙ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΤΟΠΙΟΥ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**‘ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΗΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΤΟΥ K^+ , Ca^{2+}
ΚΑΙ Mg^{2+} ΣΤΟ ΘΡΕΠΤΙΚΟ ΔΙΑΛΥΜΑ ΚΛΕΙΣΤΗΣ ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΗΣ
ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΙΑΣ’**

ΟΝΟΜΑ ΦΟΙΤΗΤΡΙΑΣ: ΚΥΡΙΤΣΗ ΕΛΕΥΘΕΡΙΑ

ΟΝΟΜΑ ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΑ ΚΑΘΗΓΗΤΗ: ΛΥΚΑΣ ΧΡΗΣΤΟΣ

ΒΟΛΟΣ, 2020

**‘ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΗΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΤΟΥ K^+ , Ca^{2+}
ΚΑΙ Mg^{2+} ΣΤΟ ΘΡΕΠΤΙΚΟ ΔΙΑΛΥΜΑ ΚΛΕΙΣΤΗΣ ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΗΣ
ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΙΑΣ’**

**‘STUDY ON THE ALTERATION OF K^+ , Ca^{2+} AND Mg^{2+} CONCENTRATIONS
IN NUTRIENT SOLUTION OF ROSE CROP GROWN IN A CLOSED
HYDROPONIC SYSTEM’**

Η ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΘΑ ΑΠΟΤΕΛΕΙΤΑΙ ΑΠΟ ΤΟΥΣ:

κ. Χρήστο Λύκα (επιβλέπων, Επ. Καθηγητής)

κ. Νικόλαο Κατσούλα (μέλος, Καθηγητής)

κ. Σπύρο Πετρόπουλο (μέλος, Αν.Καθηγητής)

<< Βεβαιώνω ότι είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής εργασίας, η οποία εκπονήθηκε σύμφωνα με τον Κανονισμό Εκπόνησης Πτυχιακής Εργασίας του ΤΓΦΠΑΠ >>

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1.1. ΣΠΟΥΔΑΙΟΤΗΤΑ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΙΑΣ ΚΑΙ ΣΚΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	1
1.1.2. ΕΝΝΟΙΕΣ ΥΔΡΟΠΟΝΙΑΣ.....	1
1.1.3. Η ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΤΗΣ ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΙΑΣ	2
1.1.4. Η ΔΙΑΛΥΤΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ.....	3
1.1.5. Η ΙΖΗΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ.....	4
1.1.6. Η ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΤΗΝ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ.....	5

1.2.ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

1.2.1. Η ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ.....	11
1.2.2. ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ.....	11
1.2.3. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ.....	12

1.3.ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ

1.3.1. ΚΛΙΜΑΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ 1 ^η ΠΕΡΙΟΔΟ.....	13
1.3.2. ΑΛΛΟΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΓΙΑ ΤΗΝ 1 ^η ΠΕΡΙΟΔΟ.....	15
1.3.3. Η ΔΙΑΠΝΟΗ ΓΙΑ ΤΗΝ 1 ^η ΠΕΡΙΟΔΟ.....	17
1.3.4. Η ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΚΑΙ Η ΑΠΟΛΥΤΗ ΤΙΜΗ ΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΤΟ ΘΡΕΠΤΙΚΟ ΔΙΑΛΥΜΑ ΓΙΑ ΤΗΝ 1 ^η ΠΕΡΙΟΔΟ	18
1.3.5. ΚΛΙΜΑΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ 2 ^η ΠΕΡΙΟΔΟ.....	22
1.3.6. ΑΛΛΟΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΓΙΑ ΤΗΝ 2 ^η ΠΕΡΙΟΔΟ.....	25

1.3.7. Η ΔΙΑΠΝΟΗ ΓΙΑ ΤΗΝ 2 ^η ΠΕΡΙΟΔΟ.....	27
1.3.8. Η ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΚΑΙ Η ΑΠΟΛΥΤΗ ΤΙΜΗ ΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΤΟ ΘΡΕΠΤΙΚΟ ΔΙΑΛΥΜΑ ΓΙΑ ΤΗΝ 2 ^η ΠΕΡΙΟΔΟ	28
1.4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	31
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	33

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη της μεταβολή της συγκέντρωσης των K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} σε κλειστό υδροπονικό σύστημα καλλιέργειας τριανταφυλλιάς. Για την πραγματοποίηση της εργασίας λήφθηκαν δείγματα θρεπτικού διαλύματος σε καθημερινή βάση κατά την διάρκεια της περιόδου 6/6/2019-25/6/2019 και της περιόδου 2/11/2019-6/12/2019 από την καλλιέργεια που εγκαταστάθηκε σε κλειστό υδροπονικό σύστημα. Οι μετρήσεις των συγκεντρώσεων του K^+ , του Ca^{2+} και του Mg^{2+} πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση φωτόμετρου, καθώς και της θερμοκρασίας, της σχετική υγρασία και της έντασης ακτινοβολίας με την βοήθεια αισθητήρων, οι οποίοι τοποθετήθηκαν πάνω από τα φυτά. Ταυτόχρονα, έγιναν μετρήσεις για τον προσδιορισμό του pH και της EC του θρεπτικού διαλύματος κατά την παραλαβή των δειγμάτων. Από τα αποτελέσματα των μετρήσεων προέκυψε ότι το pH και η EC αυξάνονται προοδευτικά στο θρεπτικό διάλυμα τροφοδοσίας μέχρι να εξαντληθεί το θρεπτικό διάλυμα στην δεξαμενή. Αμέσως μετά την παρασκευή του θρεπτικού διαλύματος η συγκέντρωση του Mg^{2+} ήταν η επιθυμητή, ενώ, η συγκέντρωση του Ca^{2+} και του K^+ ήταν διαφορετικές από την επιθυμητή. Η μεταβολή της συγκέντρωσης του Ca^{2+} σημειώνει μεγάλες διακυμάνσεις και μπορεί να οφείλεται στον σχηματισμό ιζημάτων αλλά και σε άλλους παράγοντες. Μείωση της ποσότητας K^+ στο θρεπτικό διάλυμα σημειώθηκε λίγες ημέρες μετά από αυστηρό κλάδεμα. Τέλος, η συγκέντρωση του K^+ και του Mg^{2+} στο θρεπτικό διάλυμα εξελίσσονται με αντιστρόφως ανάλογο τρόπο κατά την παρέλευση των ημερών.

1.2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.2.1. ΣΠΟΥΔΑΙΟΤΗΤΑ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΙΑΣ ΚΑΙ ΣΚΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η τριανταφυλλιά ανήκει στο γένος Rosa της οικογένειας Rosaceae με υποκλάση Rosidae και κλάση MAGNOLIOPSIDA. Η τριανταφυλλιά περιλαμβάνει θαμνώδη, δενδρώδη και αναρριχώμενα φυτά. Τα σχήματα των μπουμπουκιών, των τριανταφύλλων και το χρώμα των πετάλων αποτελούν χαρακτηριστικό γνώρισμα της ποικιλίας. Η τριανταφυλλιά είναι ιδιαίτερα δημοφιλής φυτό με παγκόσμια φήμη για τα δρεπτά άνθη, για τα γλαστρικά φυτά και τα καλλωπιστικά φυτά κήπων. Έτσι, καθίσταται ως ένα από τα πιο διαδομένα ανθοκομικά είδη προς τους καταναλωτές και αποτελεί την πρώτη επιλογή τους συγκριτικά με άλλα είδη δρεπτών ανθών για διάφορες περιστάσεις, δίνοντας στον τομέα της ανθοκομίας τεράστια οικονομική σημασία.

Η πλειονότητα των ανθοκομικών καλλιέργειών βασίζεται στην τριανταφυλλιά. Ωστόσο, έχει παρατηρηθεί ότι γίνεται εμπειρική θρέψη της καλλιέργειας τριανταφυλλιάς με αποτέλεσμα η παραγωγή πολλές φορές να μην είναι ικανοποιητική ή ακόμη να προκαλέσει οικονομική ζημιά. Αυτό συμβαίνει διότι υπάρχουν αρκετοί παράγοντες (βιοτικοί και αβιοτικοί) που μπορούν να διαταράξουν την θρέψη της καλλιέργειας της τριανταφυλλιάς, που μειώνει την παραγωγή και την ποιότητα των δρεπτών ανθών. Αύτη η νοοτροπία είναι αναγκαία να μεταβληθεί μέσω μίας πιο έξυπνης θρέψης που θα λαμβάνει υπόψη την επίδραση αυτών των παραγόντων και θα έχει πρόθεση την βέλτιστη πρόσληψη των θρεπτικών στοιχείων. Ταυτόχρονα, η σωστή θρέψη μπορεί να συμβάλει στην μείωση των εξόδων της καλλιέργειας, στην οικονομία των λιπασμάτων και στον περιορισμό των εκροών προς το περιβάλλον. Γι' αυτούς τους λόγους είναι σημαντική η βελτιστοποίηση της θρέψης της καλλιέργειας.

Σκοπός της εργασίας είναι η διερεύνηση της μεταβολή της συγκέντρωσης των K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} σε κλειστό υδροπονικό σύστημα καλλιέργειας τριανταφυλλιάς και η συσχέτισή της με ορισμένους φυσιολογικούς και μη παράγοντες όπως η διαπνοή των φυτών και η διαλυτότητα των λιπασμάτων.

1.1.2. ΕΝΝΟΙΕΣ ΥΔΡΟΠΟΝΙΑΣ

Η υδροπονία αποτελεί μια σύγχρονη μέθοδο καλλιέργειας φυτών και ορίζεται ως καλλιέργεια που αναπτύσσεται εκτός του φυσικού εδάφους. Για την σωστή θρέψη των

φυτών είναι βασικό να παρασκευαστεί ένα υδατικό διάλυμα με όλα τα απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία σε συγκεκριμένες ποσότητες. Αυτό το διάλυμα αποτελεί το θρεπτικό διάλυμα του υδροπονικού συστήματος. Επίσης, το υδροπονικό σύστημα διακρίνεται σε ανοιχτό ή κλειστό ανάλογα με την διαχείριση της απορροής. Στο κλειστό υδροπονικό σύστημα γίνεται ανακύκλωση του θρεπτικού διαλύματος.

Στις υδροπονικές καλλιέργειες το υπόστρωμα χρησιμοποιείται ως μέσο αντικατάστασης του εδάφους. Το υπόστρωμα μπορεί να είναι οργανικό, ανόργανο ή μείγμα ανόργανων και οργανικών υλικών. Ανόργανο υπόστρωμα θεωρείται ο περλίτης ο οποίος εμφανίζει αρκετά θετικά χαρακτηριστικά (Πίνακας 1). Λόγω ύπαρξης σημαντικών κοιτασμάτων στα ελληνικά νησιά, ο περλίτης χρησιμοποιείται σε μεγάλη συχνότητα στην χώρα μας. Ο περλίτης έχει ηφαιστειακή προέλευση και αποτελείται από 75% διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2) και 13% από οξείδιο του αργίλου (Al_2O_3) (Σάββας, 2011). Αυτό το ανόργανο υπόστρωμα είναι χημικά αδρανές, έχει αμελητέα ανταλλακτική ικανότητα και υψηλή ικανότητα συγκράτησης νερού (Θεριός, 2005, Σάββας, 2009). Ο περλίτης είναι ένα υπόστρωμα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για πολλά χρόνια και σε περισσότερες από μία καλλιέργειες με την προϋπόθεση της απολύμανσης.

Πίνακας 1: Φυσικές ιδιότητες του διογκωμένου περλίτη (Θεριός Ι., 2005).

Χρώμα-οσμή	Λευκοί-άοσμή κόκκοι
Μέγιστη ελεύθερη υγρασία	0,5%
Ph	6,5-7,5
Σημείο τήξεως	1300°C
Ειδική θερμότητα	0,2 cal gr ⁻¹
Ειδικό βάρος	30-90 kg m ⁻³
Κοκκομετρία	Κλάσματα ως 5 mm

1.1.3. Η ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΤΗΣ ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΙΑΣ

Η τριανταφυλλιά (*Rosa hybrid L.*) καλλιεργείται ως πολυετές φυτό, περίπου 5 χρόνια για την παραγωγή δρεπτών ανθέων. Η καλλιέργεια τριανταφυλλιάς ευνοείται σε θερμοκρασίες από 15°C ως 27°C και απαιτεί υψηλά επίπεδα φωτός. Σχεδόν για όλες τις ποικιλίες τριανταφυλλιάς είναι βασικό να διατηρείται η νυχτερινή θερμοκρασία στους 16°C για την βέλτιστη παραγωγή. Μείωση παραγωγής παρατηρείται με

νυχτερινές θερμοκρασίες κάτω από 10°C. Οι ανάγκες για νερό εξαρτώνται από το στάδιο ανάπτυξης των φυτών. Η καλλιέργεια τριανταφυλλιάς απαιτεί pH από 5,5 μέχρι 6,5 (Σάββας, 2011). Υπογραμμίζεται ότι το φυτό της τριανταφυλλιάς εμφανίζει μέτρια ευαισθησία προς την αλατότητα και επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από την υψηλή συγκέντρωση NaCl στο χώρο των ριζών (Massa et al., 2008). Έτσι, έχει αναφερθεί πως η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) που εκφράζει την συνολική συγκέντρωση αλάτων, στο περιβάλλον των ριζών θα πρέπει να έχει τιμή μέχρι 2,5 dSm⁻¹, ενώ στο νερό άρδευσης μέχρι 2 dSm⁻¹ (Os et al., 2016).

Οι θρεπτικές απαιτήσεις είναι μικρές για την καλλιέργεια τριανταφυλλιάς συγκριτικά με τα λαχανικά είδη υδροπονικής καλλιέργειας (Σάββας, 2011). Τα φυτά απορροφούν με μικρότερο ρυθμό το Ca²⁺ και το Mg²⁺ από το K⁺ και έχουν μεγαλύτερες απαιτήσεις σε K⁺ μετά από αυτή του N (Caliskan B. and Caliskan A., 2017). Το νερό στην Ελλάδα εμφανίζει μεγάλες ποσότητες Mg²⁺ με αποτέλεσμα να απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή της συγκέντρωσης του στο θρεπτικό διάλυμα κλειστού υδροπονικού συστήματος (Lykas et al., 2001). Έτσι, στο θρεπτικό διάλυμα τροφοδοσίας η αναλογία K:Ca:Mg ανέρχεται σε 0,48:0,36:0,16 για τις συνθήκες της Ελλάδας και η αναλογία N:K είναι λίγο υψηλότερη από 2,32 (Σάββας, 2011). Η αναλογία NH₄-N στο διάλυμα τροφοδοσίας διαμορφώνεται ανάλογα με την εποχή, το υπόστρωμα και την διατήρηση του pH του θρεπτικού διαλύματος ριζοστρώματος εντός των επιθυμητών ορίων (Σάββας, 2011). Ακόμη, η καλλιέργεια τριανταφυλλιάς ευνοείται από την προσθήκη πυριτίου στο θρεπτικό διάλυμα αυξάνοντας την παραγωγή και ποιότητα ανθών (Voogt and Sonneveld 2001), ενώ μικρές είναι απαιτήσεις βορίου (Kreij, 1995).

1.1.4. Η ΔΙΑΛΥΤΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Ως διαλυτότητα λιπασμάτων ορίζεται η ποσότητα του λιπάσματος που είναι δυνατόν να διαλυθεί πλήρως στην μονάδα όγκου του διαλύτη και εκφράζεται σε kg L⁻¹. Το ποσοστό των διαλυμένων λιπασμάτων εκφράζεται ως συγκέντρωση στο θρεπτικό διάλυμα (Καντούρη-Παπαστεφάνου, 2012). Επίσης, η διαλυτότητα των λιπασμάτων εξαρτάται από φυσικούς και χημικούς παράγοντες. Έτσι, είναι πιθανόν να μην πραγματοποιηθεί πλήρης διάλυση των αλάτων και να δημιουργηθεί ίζημα στο θρεπτικό διάλυμα.

Η διαλυτότητα επηρεάζεται κυρίως από την θερμοκρασία του διαλύτη και για την συγκεκριμένη περίπτωση του νερού (Πίνακας 2). Ωστόσο, η διαλυτότητα μπορεί να χαρακτηρίζεται είτε ενδοθερμική είτε εξωθερμική. Για παράδειγμα, το νιτρικό ασβέστιο έχει μέγιστη διαλυτότητα στους 30°C αλλά η θερμοκρασία του διαλύματος μειώνεται κατά την διάλυση (ενδοθερμική αντίδραση) με αποτέλεσμα να διαλύεται μόνο το 50% της επιθυμητής ποσότητας με τιμές θερμοκρασίας από 2°C έως 30°C (Kant and Kafkafi, 2013).

Πίνακας 2: Τα λιπάσματα που χρησιμοποιήθηκαν για το θρεπτικό διάλυμα και η διαλυτότητα τους στους 1°C και στους 20°C (Σάββας, 2011, Trejo-Téllez L.I. and Gómez-Merino, 2012).

Λίπασμα	Χημικός τύπος	Θρεπτικά στοιχεία (%)	Διαλυτότητα (kg/L, 1°C)	Διαλυτότητα (kg/L, 20°C)
Νιτρικό αμμώνιο	NH ₄ NO ₃	N:35	1,18	1,92
Νιτρικό ασβέστιο	5[CaNO ₃] ₂ 2H ₂ O] NH ₄ NO ₃	N:15.5, Ca:19	1,02	1,29
Νιτρικό κάλιο	KNO ₃	N:13, K:38	0,13	0,31
Νιτρικό μαγνήσιο	Mg (NO ₃) ₂ 6H ₂ O	N:11, Mg:9	0,62	0,76
Θεικό κάλιο	K ₂ SO ₄	K:45, S:18	0,07	0,11
Θεικό μαγνήσιο	MgSO ₄ 7H ₂ O	Mg:9.7, S:13	0,71	0,33
Θεικό χαλκός	CuSO ₄ 5H ₂ O	Cu:25	0,23	-
Βόρακας	Na ₂ MoO ₄ 2H ₂ O	B:11	-	0,047

Ακόμη, η συγκέντρωση του Ca²⁺ αυξάνεται προοδευτικά στο θρεπτικό διάλυμα και η διακύμανση της συγκέντρωσης του σχετίζεται με τη διάλυση λιπασμάτων αλλά και με το εύρος τιμών του pH, τη πρόσληψη του νερού και την απορρόφησή Ca²⁺ από την καλλιέργεια (Lykas et al., 2006). Η διαλυμένη ποσότητα Ca(NO₃)₂ 4H₂O είναι πολύ χαμηλή στο θρεπτικό διάλυμα όταν αυτό έχει pH μεγαλύτερο του 5,9 για περισσότερες από μια ημέρα (Lykas et al., 2006). Η αναμενόμενη συγκέντρωση Ca²⁺ παρατηρείται με διάλυση CaNO₃ λίγες ημέρες μετά την προσθήκη νέου θρεπτικού διαλύματος στην δεξαμενή (Giaglaras et al., 1998). Αντίθετα, η επίτευξη της επιθυμητής συγκέντρωσης

του K^+ δεν απαιτεί χρόνο γιατί η διαλυτότητα του KNO_3 είναι πολύ υψηλή. Το K^+ λαμβάνει ικανοποιητικές τιμές σε όλη την διάρκεια ζωής του θρεπτικού διαλύματος (Lykas et al., 2001)

1.1.5. Η ΙΖΗΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ

Στην υδροπονία επιλέγονται λιπάσματα με υψηλή διαλυτότητα για την αποφυγή δημιουργίας ιζημάτων. Πιο συγκεκριμένα, κατά την παρασκευή του θρεπτικού διαλύματος αποφεύγεται η ανάμειξη φωσφορικών, θεικών και αμμωνιακών με λιπάσματα Ca^{2+} , διότι δεν πραγματοποιείται ολική διάλυση και δημιουργούνται ιζήματα. Επίσης, αποφεύγεται η χρήση νερού υψηλής ποσότητας αλάτων Ca^{2+} (υψηλής σκληρότητας), καθώς παρουσιάζει προβλήματα ιζηματοποίησης κατά την διάλυση λιπασμάτων.

Το K^+ , το Mg^{2+} και το Ca^{2+} είναι διαθέσιμα σε μεγάλο εύρος pH στα φυτά (Caliskan B. and Caliskan A.C., 2017, Maucieri et al., 2019). Ωστόσο, είναι δυνατόν να σχηματιστούν αδιάλυτες ενώσεις οι οποίες χαρακτηρίζονται ως ιζήματα όταν οι τιμές του pH είναι υψηλές στο θρεπτικό διάλυμα (Trejo-Téllez and Gómez-Merino, 2012). Το Mg^{2+} και το Ca^{2+} δημιουργούν ίζημα ως ανθρακικό μόριο στην περίπτωση που το pH ανέρχεται σε υψηλές τιμές και η συγκέντρωση διαλυμένου CO_2 είναι υψηλή στο θρεπτικό διάλυμα (Maucieri et al., 2019, Yeo et al., 2016). Ακόμη, το Ca^{2+} δημιουργεί ιζήματα με το P και το S όταν οι τιμές του pH είναι υψηλότερες από τις επιθυμητές.

1.1.6. Η ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΤΗΝ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ

Η απορρόφησή ιόντων από το ριζικό σύστημα των φυτών πραγματοποιείται μετά την διάλυση αλάτων. Ως απορρόφηση ορίζεται η διαδικασία με την οποία τα θρεπτικά στοιχεία εισέρχονται με μορφή ιόντος στο φυτό. Η απορρόφηση στοιχείων δεν πραγματοποιείται με σταθερό ρυθμό αλλά μεταβάλλεται λόγω της επίδρασης ορισμένων παραγόντων σε αυτή.

A) Η ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΚΑΙ Ο ΡΟΛΟΣ ΤΟΥ K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} ΣΤΑ ΦΥΤΑ

Το K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} αποτελούν απαραίτητα στοιχεία για την φυσιολογική ανάπτυξη και αύξηση των φυτών και είναι αναγκαία η προσθήκη τους στο θρεπτικό διάλυμα. Το K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} είναι μακροστοιχεία με αποτέλεσμα να απαιτούνται σε μεγάλες ποσότητες. Επίσης, το K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} αποτελούν στοιχεία τα οποία βρίσκονται είτε ως ελεύθερα

ίόντα στο φυτικό χυμό των ιστών είτε ως ίόντα συνδεδεμένα ηλεκροστατικά με διάφορες ενώσεις.

Πιο συγκεκριμένα, το κάλιο προσλαμβάνεται ως K^+ από τα φυτά. Μέσω του καλίου δίνεται η δυνατότητα για την αύξηση των μεριστωμάτων. Ακόμη, το στοιχείο του K^+ έχει σημαντικό ρόλο ως συμπαράγοντας σε τουλάχιστον 40 ένζυμα που εμπλέκονται σε σημαντικές λειτουργίες των φυτών όπως η αναπνοή και η φωτοσύνθεση (Taiz et al., 2017). Το K^+ είναι βασικό κατιόν για την διαμόρφωση της κυτταρικής σπαργής και συμβάλει στην σταθερότητα της ηλεκτρικής ουδετερότητας του κύτταρου. Επομένως, το K^+ είναι υπεύθυνο για την ρύθμιση του ωσμωτικού δυναμικού των φυτικών κυττάρων.

Το Mg^{2+} είναι ένα στοιχείο που εντοπίζεται στο κέντρο του τετραπυρρολικού δακτυλίου της χλωροφύλλης με αποτέλεσμα να αποτελεί συστατικό του μορίου της. Το Mg^{2+} έχει επίδραση στις φωτεινές και σκοτεινές αντιδράσεις της φωτοσύνθεσης (Gorde-Calatayud 2010). Επίσης, το Mg^{2+} είναι αναγκαίο στοιχείο για πολλά ένζυμα. Αποτελεί στοιχείο με εξειδικευμένο ρόλο στην ενεργοποίηση ενζύμων που αφορούν την αναπνοή, τη φωτοσύνθεση και την σύνθεση του DNA και του RNA (Taiz et al., 2017).

Το ασβέστιο είναι ένα δυσκίνητο στοιχείο και προσλαμβάνεται ως Ca^{2+} από τα φυτά. Το Ca^{2+} αποτελεί σημαντικό στοιχείο για τον σχηματισμό των κυτταρικών τοιχωμάτων και τη σύνθεση πρωτεΐνης. Το Ca^{2+} έχει σπουδαίο ρόλο ως συμπαράγοντας σε ορισμένα ένζυμα τα οποία συμμετέχουν στην υδρόλυση της ATP και των φωσφολιπιδίων (Taiz et al., 2017).

B) ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΜΟΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Ένα θρεπτικό διάλυμα είναι βασικό να περιέχει όλα τα απαιτούμενα θρεπτικά στοιχεία, μακροστοιχεία και μικροστοιχεία, σε ισορροπία. Τονίζεται πως δίνεται ιδιαίτερη σημασία στη σχετική αναλογία μεταξύ των στοιχείων και όχι μόνο στην ποσότητα. Διαφορετικά, σημειώνεται ανταγωνισμός ιόντων διότι η περίσσεια ιόντος στο θρεπτικό διάλυμα μπορεί να προκαλέσει την παρεμπόδιση απορρόφησης κάποιων άλλων στοιχείων (Gorde E. and Calatayud A., 2010). Πιο συγκεκριμένα, το K^+ ανταγωνίζεται το Mg^{2+} και το Mg^{2+} ανταγωνίζεται το K^+ για την απορρόφηση τους (Maucieri et al., 2019). Δηλαδή, παρεμπόδιση απορρόφησης Mg^{2+} από τις ρίζες παρατηρείται με την υψηλή διαθεσιμότητα K^+ (Sambo et al., 2019). Επομένως, ιδιαίτερα στα κλειστά

υδροπονικά συστήματα, επισημαίνεται ο έλεγχος αναλογίας στο θρεπτικό διάλυμα ανάμεσα σε K^+ , Mg^{2+} και Ca^{2+} για την αποφυγή έλλειψης Mg^{2+} (Sambo et al., 2019). Επιπρόσθετα, το πλεόνασμα του Mg^{2+} περιορίζει το Ca^{2+} και το πλεόνασμα του Ca^{2+} περιορίζει διάφορα ιχνοστοιχεία (Maucieri et al., 2019, Sambo et al., 2019). Επιπλέον, η περίσσεια NH_4 προκαλεί έλλειψη Ca^{2+} .

Γ) ΟΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Η εκτός εδάφους καλλιέργεια τριανταφυλλιάς προϋποθέτει την βελτιστοποίηση της θρέψης με βάση τις επικρατούσες κλιματικές συνθήκες για την μεγιστοποίηση της παραγωγής. Η απορρόφηση θρεπτικών στοιχείων διαμορφώνεται με βάση τις κλιματικές συνθήκες αφού έχει σημειωθεί ότι η ηλιακή ακτινοβολία και οι θερμοκρασίες από $18^{\circ}C$ έως $28^{\circ}C$ επιδρούν θετικά στην πρόσληψή τους (Sánchez, 2009). Γενικά, υποστηρίζεται ότι η απορρόφηση θρεπτικών στοιχείων επηρεάζεται κυρίως από την θερμοκρασία του αέρα, του υποστρώματος, την σχετική υγρασία και τη μικρή θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ αέρα και υποστρώματος, ευνοώντας την καλύτερη ανάπτυξη της καλλιέργειας (Maucieri et al., 2019). Είναι αξιοσημείωτο ότι ο καθημερινός ρυθμός πρόσληψης θρεπτικών στοιχείων αυξάνεται την άνοιξη μέχρι αρχές καλοκαιριού, μειώνεται κατά την διάρκεια του καλοκαιριού και παραμένει σταθερός το φθινόπωρο-χειμώνα με χαμηλές τιμές. Οι Cabrera et al (1995) αναφέρουν ότι η πρόσληψη θρεπτικών στοιχείων σε καλλιέργεια τριανταφυλλιάς είναι διπλάσια το καλοκαίρι σε σχέση με το χειμώνα. Ακόμη, η απορρόφηση Ca^{2+} δεν σημειώνει σημαντικές διακυμάνσεις μεταξύ των τεσσάρων εποχών. Αντίθετα, το Mg^{2+} εμφανίζει διαφορές ανάμεσα σε χειμώνα-άνοιξη και καλοκαίρι. Η πρόσληψη K^+ διαφέρει μεταξύ χειμώνα και καλοκαιριού και η συσσώρευση K^+ παρεμποδίζεται από τις χαμηλές θερμοκρασίες στο περιβάλλον των ριζών. Σε απότομη μείωση θερμοκρασίας παρατηρείται έντονη έλλειψη K^+ . Όμως, οι πολύ υψηλές θερμοκρασίες και υψηλή ένταση φωτός πυροδοτεί τη μη ισορροπημένη απορρόφηση νερού και θρεπτικών στοιχείων τους καλοκαιρινούς μήνες. Αντίθετα, οι Duchein et al (1995) αναφέρουν ότι 'η ηλιακή ακτινοβολία αξιοποιείται σε μεγαλύτερο βαθμό από την καλλιέργεια τριανταφυλλιάς κατά την διάρκεια του χειμώνα'. Με αυτό το τρόπο υποστηρίζεται πως η απορρόφηση θρεπτικών είναι καλύτερη τον χειμώνα συγκριτικά με το καλοκαίρι.

Η πρόσληψη νιτρικών ευνοείται από την αύξηση της ακτινοβολία (Cabrera et al., 1995). Η επαρκής ένταση φωτισμού προκαλεί απορρόφηση ανιόντων η οποία

υπερβαίνει αυτή των κατιόντων (Savvas et al., 2009). Ορισμένοι συγγραφείς παρατήρησαν αύξηση της συνολικής απορρόφηση του K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} με την αύξηση της ακτινοβολίας (Cabrera et al., 1995, Gorde E. and Calatayud A., 2010, Sánchez E.G., 2009). Αντίθετα, έχει διατυπωθεί και η άποψη, ότι η πρόσληψη K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} αυξάνεται αμελητέα με την αύξηση ακτινοβολίας με αποτέλεσμα να θεωρείται ότι η ένταση ακτινοβολίας δεν επηρεάζει την πρόσληψη των στοιχείων (Cabrera et al., 1995).

Δ) ΤΟ pH

Κατά την απορρόφηση ιόντων απελευθερώνονται πρωτόνια ή υδροξείδια τα οποία προκαλούν αλλαγή στην τιμή του pH του θρεπτικού διαλύματος. Με την απορρόφηση $H_2PO_4^-$, SO_4^{2-} , NO_3^- απελευθερώνονται OH^- προκαλώντας την αύξηση του pH. Ενώ με την απορρόφηση K^+ , Ca^{2+} , NH_4^+ απελευθερώνονται H^+ , που μειώνουν το pH του θρεπτικού διαλύματος (Yeo K. Et al., 2016, Maucieri et al., 2019). Το pH μειώνεται με ανεπαρκές συνθήκες φωτισμού λόγω άνισης απορρόφησης ιόντων από τα φυτά της καλλιέργειας (Savvas et al., 2009). Αποτελέσματα που πιθανόν να προκαλέσουν προβλήματα στην απορρόφηση θρεπτικών στοιχείων. Δηλαδή, τιμές του pH μικρότερου του 5,5 έχουν ως αποτέλεσμα την ακινητοποίηση του Mg^{2+} το οποίο ανταγωνίζεται και την απορρόφηση Ca^{2+} και K^+ . Αντίθετα, υποστηρίζεται και η άποψη πως η συγκέντρωση Mg^{2+} φαίνεται να επηρεάζεται μόνο από την ηλεκτρική αγωγιμότητα και δεν επενεργεί η τιμή pH του θρεπτικού διαλύματος (Lykas et al., 2006). Επιπλέον, οι μεγάλες διακυμάνσεις στην τιμή του pH μπορούν να προκληθούν από τις χαμηλές συγκεντρώσεις K^+ και η σταθερή διακύμανση του pH προκύπτει από τις υψηλές συγκεντρώσεις K^+ . Το pH του θρεπτικού διαλύματος και η απορρόφηση Ca^{2+} από την καλλιέργεια σχετίζεται με την διακύμανση της συγκέντρωσης Ca^{2+} (Lykas et al., 2001). Επομένως, το pH είναι αναγκαίο να ελέγχεται και να διατηρείται στα επιθυμητά όρια.

Ε) Η EC

Υποστηρίζεται ότι καλλιέργειες εκτός εδάφους ενδέχεται να έχουν υψηλότερη αντοχή στη αλατότητα (Massa et al., 2009). Υψηλά επίπεδα ηλεκτρικής αγωγιμότητας είναι δυνατόν να προκαλέσουν έλλειψη Ca^{2+} . Επίσης, η συγκέντρωση NaCl δεν επηρεάζει την απορρόφηση K^+ . Ακόμη, το στρες λόγω αλατότητας επηρεάζει την ριζική ανάπτυξη προκαλώντας ελλείψεις στοιχείων όπως του Ca^{2+} και του K^+ . Εκτός από την

χρήση καλής ποιότητας νερού, το πρόβλημα της αλατότητας μπορεί να εξυγιανθεί και με την κατάλληλη αναλογία K:Ca:Mg στο θρεπτικό διάλυμα, την σωστή προγραμματισμένη άρδευση και την ρύθμιση επιθυμητής ηλεκτρικής αγωγιμότητας (Savvas et al., 2009). Η EC του θρεπτικού διαλύματος σε κλειστό υδροπονικό σύστημα μεταβάλλεται σταθερά όταν ο όγκος του θρεπτικού διαλύματος είναι ίσος ή διπλάσιος από την συνολική κατανάλωση νερού της καλλιέργειας (Lykas et al., 2006)

ΣΤ) ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΠΡΟΣΛΗΨΗΣ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΘΡΕΠΤΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Αρκετοί θεωρούν ότι η πρόσληψη νερού συνδέεται με την απορρόφηση ιόντων (Duchain et al., 1995, Massa et al., 2009). Οι Duchain et al. (1995) αναφέρουν ‘η πρόσληψη νερού πραγματοποιείται καλύτερα το χειμώνα και είναι στενά συνδεδεμένη με την πρόσληψη θρεπτικών στοιχείων’. Η υψηλότερη συγκράτησή θρεπτικών στην επιφάνεια των ριζών είναι αποτέλεσμα υψηλής απορρόφησης νερού που εν τέλει οδηγεί στην αύξηση απορρόφησης ιόντων (Sánchez E.G, 2009).

Ζ) Η ΔΙΑΠΝΟΗ

Μια σημαντική λειτουργία για τα φυτά είναι η διαπνοή, η οποία είναι η απώλεια νερού από τα φυτά. Σύμφωνα με τους Amsing et al., 2001, Baille et al., 1994, Suya et al., εξαρτάται από την ηλιακή ακτινοβολία και την πίεση υδρατμών ή το VPD (έλλειμα κορεσμού). Όταν η τιμή της VPD είναι μεγαλύτερη από 1,5kPa, τότε η διαπνοή σταθεροποιείται. Υποστηρίζεται ότι η μεταφορά Ca^{2+} , η οποία γίνεται μέσω του ξυλώματος, επηρεάζεται από την διαπνοή (Kreij, 1995). Επομένως, κάθε παράγοντας που επηρεάζει την διαπνοή, έχει επίδραση και στην απορρόφηση Ca^{2+} (Amsing et al., 2001, Baille et al., 1994). Έτσι, την περίοδο του χειμώνα σημειώνονται χαμηλές τιμές VPD και χαμηλή διαπνοή των φυτών με αποτέλεσμα την έλλειψη Ca^{2+} . Το πρόβλημα δεν μπορεί να μετριασθεί με την αύξηση συγκέντρωσης Ca^{2+} στο περιβάλλον της ρίζας. Η λύση δίνεται αποκλειστικά με την υψηλή διαπνοή των φυτών (Kreij, 1995). Ακόμη, η υψηλή ηλιακή ακτινοβολία προκαλεί το άνοιγμα των στομάτων γεγονός που οδηγεί στην μικρή αντίσταση διάχυσης των υδρατμών και την απώλεια μεγάλων ποσοτήτων νερού. Επομένως, η ακτινοβολία επηρεάζει την διαπνοή με δυο τρόπους.

Η ανεπαρκής πρόσληψη νερού από την καλλιέργεια προκαλεί το κλείσιμο των στομάτων με αποτέλεσμα τα φυτά να ελέγχουν τις απώλειες νερού μέσω της διαπνοής.

Ενώ, η τιμή της αποδοτικότητας χρήσης νερού (WUE) είναι υψηλή. Υποστηρίζεται πως η WUE είναι σχεδόν τρεις φορές υψηλότερη το χειμώνα σε σχέση με το καλοκαίρι, εξαιτίας της θερμοκρασίας του αέρα, την υγρασία του θερμοκηπίου και τις χαμηλές ή μέτριες συνθήκες φωτός που περιορίζουν τις ανάγκες του φυτού (Duchein et al., 1995). Στην περίπτωση ανεπαρκούς πρόσληψης νερού προκαλείται η έλλειψη K^+ προκαλώντας προβλήματα στην θρέψη της καλλιέργειας.

Η)ΤΟ ΣΤΑΔΙΟ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

Η απορρόφηση θρεπτικών στοιχείων επηρεάζεται από το στάδιο ανάπτυξης της καλλιέργειας. Στην αύξηση και στην ανάπτυξη έχει σημαντικό ρόλο το K^+ αφού ελέγχει την σπαργή και την ώσμωση των κυττάρων με αποτέλεσμα να απαιτείται στο στάδιο που εμφανίζονται τα μπουμπούκια (Sánchez, 2009). Δηλαδή, αυξημένες απορροφήσεις καλίου πραγματοποιούνται στο στάδιο μεταξύ του κοψίματος ανθών και την εμφάνιση οφθαλμών (Kreij,1995, Sánchez, 2009) . Αφού προηγηθεί η συγκομιδή των εμπορεύσιμων ανθών σημειώνεται αύξηση πρόσληψης K^+ διότι τα φυτά προβαίνουν σε έντονη ανάπτυξη των βλαστών τους. Ακόμη, έχει διατυπωθεί άλλη μια θεωρία που υποστηρίζει, ότι όταν τα άνθη βρίσκονται στο τελικό στάδιο ωρίμανσης, λίγο πριν την συγκομιδή, τα φυτά απορροφούν την μέγιστη ποσότητα θρεπτικών στοιχείων (Cabrera et al., 1995). Η ελάχιστη απορρόφηση θρεπτικών στοιχείων πραγματοποιείται όταν τα φυτά έχουν αναπτύξει πλήρως τους βλαστούς (Cabrera et al., 1995). Γενικά, υποστηρίζεται ότι αρκετές ημέρες νωρίτερα διενεργείται η αύξηση απορρόφησης K^+ συγκριτικά με τα υπόλοιπα ιόντα, ενώ ο ρυθμός διαπνοής συνδέεται στενά με την πρόσληψη καλίου (Cabrera et al., 1995).

1.2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

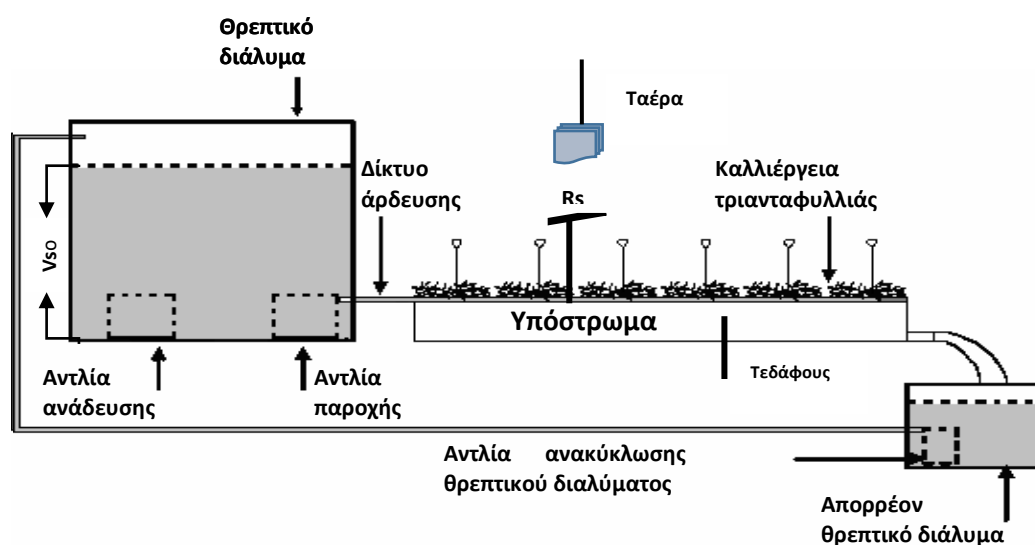
1.2.1. Η ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ

Η διεξαγωγή του πειράματος πραγματοποιήθηκε σε κλειστό υδροπονικό σύστημα και καλλιεργήθηκαν φυτά τριανταφυλλιάς (var. Miss Piggy) σε τοξωτό θερμοκήπιο 200 m² με κάλυμμα πολυαιθυλενίου, στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας που βρίσκεται στο Βελεστίνο. Το πείραμα πραγματοποιήθηκε από 6 Ιουνίου 2019 ως 25 Ιουνίου 2019 (1^η περίοδος) και από 2 Νοεμβρίου ως 6 Δεκεμβρίου 2019 (2^η περίοδος).

Η καλλιέργεια τριανταφυλλιάς φυτεύτηκε τον Μάιο 2018 σε σάκους που περιείχαν περλίτη και τα φυτά βρισκόντουσαν στο στάδιο 2-3 φύλλων. Πιο συγκεκριμένα, τοποθετήθηκαν 60 σάκοι περλίτη σε 2 σειρές μέσα στο θερμοκήπιο και εγκαταστάθηκαν 5 φυτά ανά σάκο. Αυστηρό κλάδεμα εφαρμόστηκε στην καλλιέργεια στις 3/6/2019 και στις 25/10/2019 με αποτέλεσμα τα φυτά να διαμορφωθούν με ελάχιστη φυλλική επιφάνεια. Μετά το κλάδεμα και για τα διαστήματα από 6/6/2019 έως 25/6/2019 και 2/11/2019 έως 6/12/2019 πραγματοποιήθηκαν χημικές αναλύσεις των στοιχείων του K^+ , του Ca^{2+} και του Mg^{2+} στο θρεπτικό διάλυμα τροφοδοσίας της καλλιέργειας.

1.2.2. ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ

Το σύστημα καλλιέργειας συγκροτείται από δεξαμενή 800 L και μία δεξαμενή συλλογής απορρέοντος θρεπτικού διαλύματος, το οποίο επέστρεφε πίσω στην δεξαμενή τροφοδοσίας. Η άρδευση της καλλιέργειας γίνονταν με αντλίες 1,5 hr και η επιστροφή του απορρέοντος θρεπτικού διαλύματος πραγματοποιήθηκε με αντλίες 0,5 hr. Επίσης, η άρδευση των φυτών γίνεται με σταλάκτες 2 L. Το κλειστό υδροπονικό σύστημά, όπου εγκαταστάθηκαν τα φυτά της καλλιέργειας τριανταφυλλιάς, αποτελείται από το θρεπτικό διάλυμα, την αντλία ανάδευσης, την αντλία παροχής, το δίκτυο άρδευσης, το υπόστρωμα, το φυτικό είδος, το απορρέον θρεπτικό διάλυμα και την αντλία ανακύκλωσης θρεπτικού διαλύματος. Η διάταξη του συστήματος φαίνεται στην Εικόνα 1.



Εικόνα 1: Σχηματική αναπαράσταση του κλειστού υδροπονικού συστήματος όπου εγκαταστάθηκαν τα φυτά της καλλιέργειας τριανταφυλλιάς

Το θρεπτικό διάλυμα, που χρησιμοποιείται για την λίπανση των φυτών, είχε pH 5,5 και EC από 1,7 έως 2,2 mS cm⁻¹. Η σύνθεση θρεπτικού διαλύματος που χρησιμοποιήθηκε για την καλλιέργεια τριανταφυλλιάς σε υπόστρωμα περλίτη είναι η έξης: 763 ppm NO₃⁻, 18 ppm NH₄⁺, 253 ppm K⁺, 97ppm PO₄⁻, 160 ppm Ca²⁺, 36 ppm Mg²⁺, 72 ppm SO₄, 1.7 ppm Fe, 0.6 ppm Cu, 0.5ppm Mn, 0.28 ppm B, 0.23 ppm Zn, 0.015 ppm Mo.

Κατά την διάρκεια της πειραματικής περιόδου γίνονταν αντικατάσταση του θρεπτικού διαλύματος περίπου κάθε 5 ημέρες για την 1^η περίοδο και περίπου κάθε 11 ημέρες για την 2^η περίοδο ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του θρεπτικού διαλύματος.

1.2.3. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Κατά την διάρκεια των δύο περιόδων, γίνονταν καθημερινά λήψη δειγμάτων θρεπτικού διαλύματος, το οποίο στη συνέχεια χρησιμοποιούνταν για τις χημικές αναλύσεις. Οι μετρήσεις pH και EC πραγματοποιήθηκαν με μικρά, κινητά, εύκολης χρήσης όργανα και οι μετρήσεις λαμβάνονταν απευθείας στην δεξαμενή του θρεπτικού διαλύματος τροφοδοσίας κάθε φορά πριν από τη λήψη δείγματος.

Οι συγκεντρώσεις K⁺, Mg²⁺ και Ca²⁺ μετρήθηκαν με την βοήθεια του φασματοφωτόμετρο, Palintest 7000. Για την 1^η περίοδο πραγματοποιήθηκαν περίπου 22 μετρήσεις ανά στοιχείο και για την 2^η περίοδο πραγματοποιήθηκαν περίπου 34 μετρήσεις για κάθε στοιχείο. Δηλαδή, γίνονταν μόνο μια μέτρηση ανά στοιχείο καθημερινά.

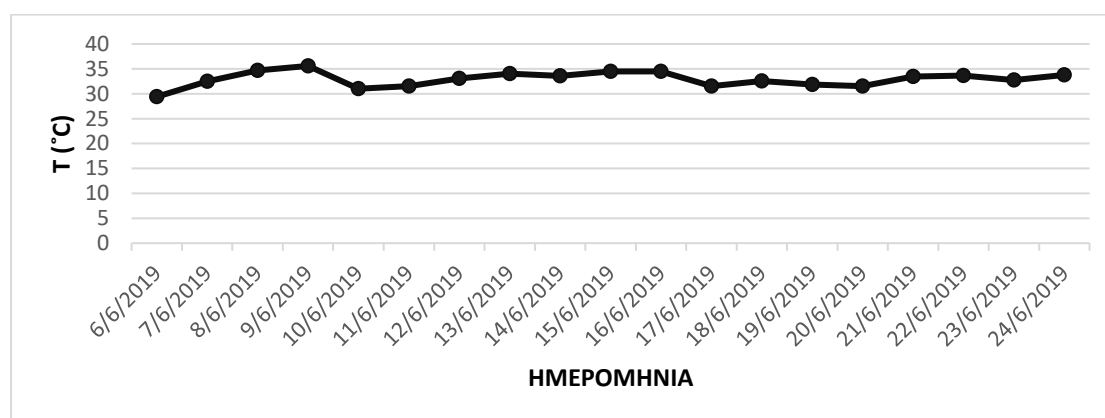
Η θερμοκρασία του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου (T, °C) και η σχετική υγρασία (RH, %) μετρήθηκαν με αισθητήρες θερμοκρασίας και υγρασίας (μοντέλο HD9008TR, Delta Ohm, Italy). Η ένταση ακτινοβολίας (Rs, Wm⁻²) μέσα στο θερμοκήπιο μετρήθηκε με την χρήση πυρομέτρου SKS 1110, Skye instruments, Powys, UK. Όλοι οι αισθητήρες τοποθετήθηκαν πάνω από τα φυτά. Ακόμη, οι τιμές (VPD σε kPa) υπολογίστηκαν από τις τιμές της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας.

Ο όγκος του θρεπτικού διαλύματος στη δεξαμενή τροφοδοσίας της καλλιέργειας μετρούνταν συνεχώς και υπολογίστηκε με την διαφορά όγκου ανά ημέρα. Η διαπνοή της καλλιέργειας υπολογίστηκε με τη διαφορά στάθμης (cm) του θρεπτικού διαλύματος στη δεξαμενή.

1.3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ

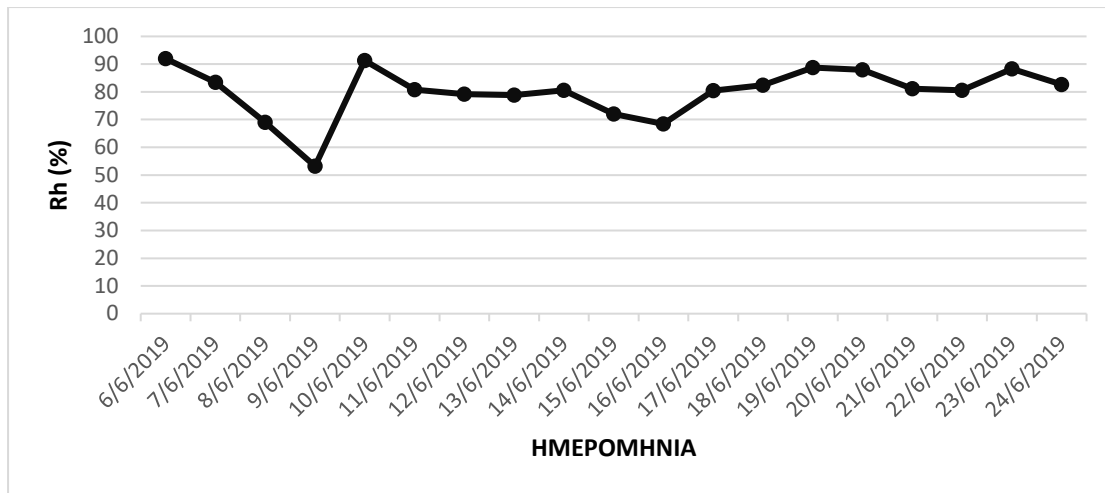
1.3.1. ΚΛΙΜΑΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ 1^η ΠΕΡΙΟΔΟ

Στο Σχήμα 1 παρουσιάζεται η μεταβολή της θερμοκρασίας σε °C στο εσωτερικό του θερμοκηπίου από 6/6/2019 έως 24/6/2019. Την 1^η περίοδο σημειώνονται υψηλές τιμές θερμοκρασιών με εύρος από 29°C έως 35 °C. Οι θερμοκρασίες είναι ελάχιστα υψηλότερες από τις επιθυμητές, αλλά χωρίς να θεωρούνται επιζήμιες (Sánchez, 2009). Στο Σχήμα 1 δεν παρατηρούνται μεγάλες και απότομες μεταβολές τιμών. Στις 10/6/2019 σημειώνεται η μεγαλύτερη φθίνουσα μεταβολή της θερμοκρασίας για την 1^η περίοδο.



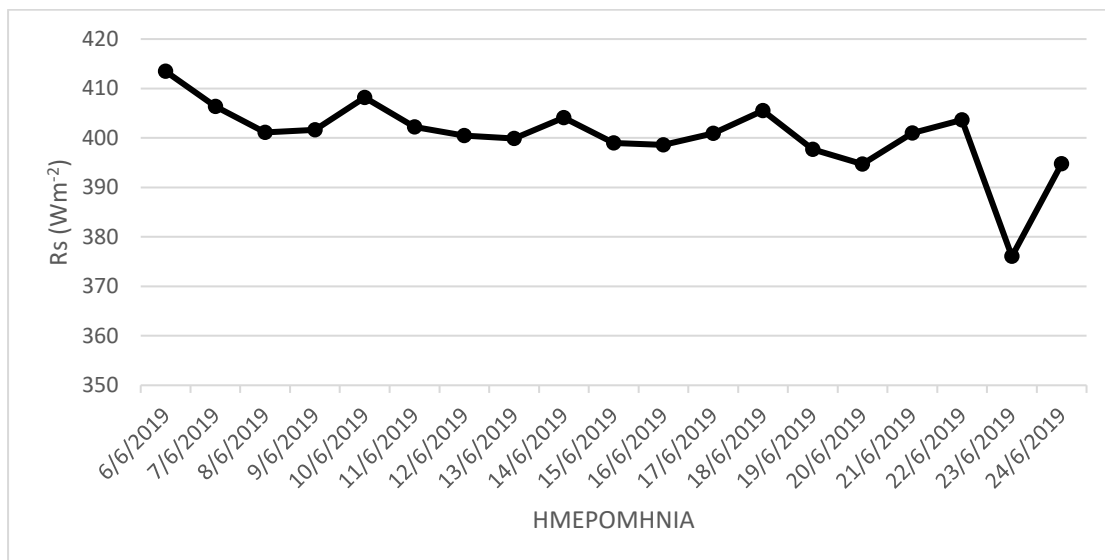
Σχήμα 1: Η μεταβολή της θερμοκρασία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου κατά την 1^η περίοδο.

Στο Σχήμα 2 παρουσιάζεται η μεταβολή της σχετικής υγρασίας για την 1^η περίοδο. Η σχετική υγρασία λαμβάνει τιμές από 50% έως 90%, γεγονός που δείχνει ότι η σχετική υγρασία σημειώνει μεγάλη διακύμανση τιμών. Πιο συγκεκριμένα, από τις 6/6/2019 μέχρι 9/6/2019 σημειώνεται συνεχής μείωση της σχετικής υγρασίας. Το αυστηρό κλάδεμα της καλλιέργειας μπορεί να προκάλεσε την φθίνουσα μεταβολή της σχετικής υγρασία γιατί τα φυτά διαμορφώθηκαν με μικρή φυλλική επιφάνεια. Στις 10/6/2019 σημειώνεται μεγάλη αύξηση της σχετική υγρασία κατά 40%. Ωστόσο, σημειώνονται και ημέρες με αμελητέα μεταβολή της σχετικής υγρασίας (11/6/2019-14/6/2019).



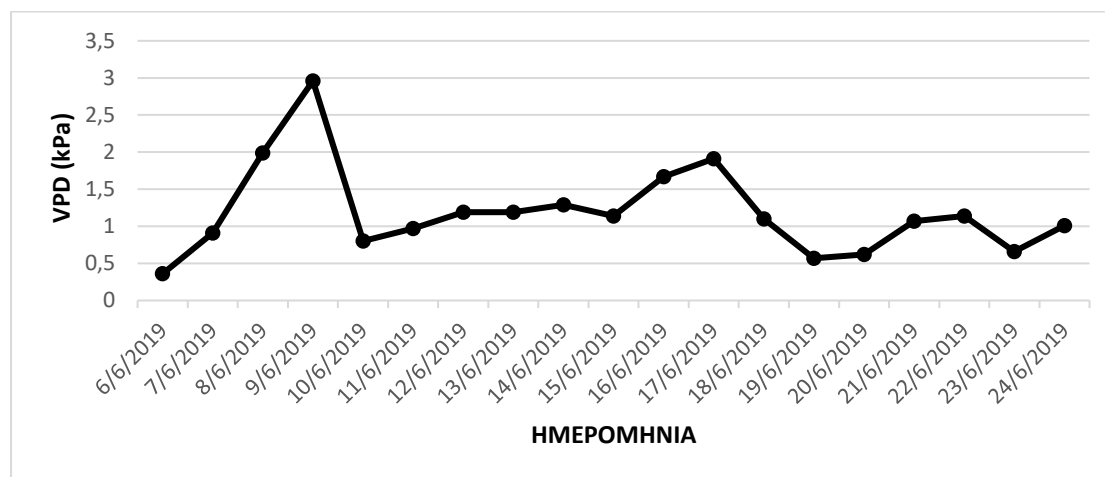
Σχήμα 2: Η μεταβολή της σχετικής υγρασίας για την περίοδο 6/6/2019-24/6/2019.

Στο Σχήμα 3 παρουσιάζεται η μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας σε Wm^{-2} μέσα στο θερμοκήπιο. Οι τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας δεν είναι πολύ ψηλές γιατί στο θερμοκήπιο εφαρμόστηκε μπογιά λευκού χρώματος με αποτέλεσμα να μειωθεί η περατότητα του υλικού κάλυψης. Δεν σημειώνονται μεγάλες μεταβολές τιμών ηλιακής ακτινοβολίας. Εξάιρεση αποτελεί η ημερομηνία 23/6/2019, που πραγματοποιείται η μεγαλύτερη φθίνουσα μεταβολή. Ταυτόχρονα, αποτελεί και την μικρότερη τιμή ηλιακής ακτινοβολίας κατά την 1^η περίοδο.



Σχήμα 3: Η μεταβολής της έντασης ακτινοβολίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου.

Στην συνέχεια, παρουσιάζεται η μεταβολή της VPD σε kPa στο Σχήμα 4. Η VPD λαμβάνει τιμές από 0,36 kPa έως 3 kPa και η τιμή της δεν είναι σταθερή, αλλά μεταβάλλεται συνεχώς. Η VPD σημειώνει μεγάλες διακυμάνσεις τιμών για την 1^η περίοδο. Για παράδειγμα, τεράστια φθίνουσα μεταβολή πραγματοποιείται στις 10/6/2019.



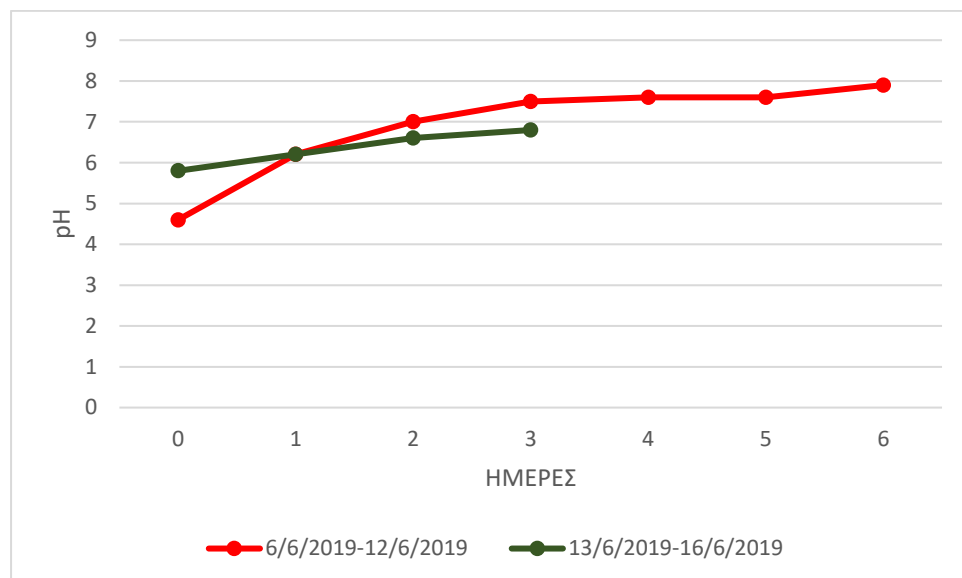
Σχήμα 4: Η τιμή της VPD κάθε ημέρας και η μεταβολή της για την περίοδο 6/6/2019-24/6/2019.

1.3.2. ΑΛΛΟΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΓΙΑ ΤΗΝ 1^η ΠΕΡΙΟΔΟ

Στο Σχήμα 5 φαίνεται η εξέλιξη του pH των θρεπτικών διαλυμάτων για δυο διαφορετικά διαστήματα κατά την διάρκεια της 1^η περιόδου. Την ημέρα 0 πραγματοποιήθηκε η παρασκευή του θρεπτικού διαλύματος και η προσθήκη του στην δεξαμενή του συστήματος καλλιέργειας. Την ημέρα 0 σημειώνεται διαφορετική τιμή pH του θρεπτικού διαλύματος από την επιθυμητή για τις 6/6/2019 (κόκκινο σημείο-Σχήμα 5). Ως επιθυμητή τιμή ορίζεται η τιμή 5,5 η οποία ρυθμίστηκε κατά την παρασκευή του θρεπτικού διαλύματος. Η χαμηλή τιμή του pH ίσως οφείλεται σε αστοχία ανάδευσης των λιπασμάτων ή λόγω περίσσειας νιτρικού διαλύματος. Ακόμη, η τιμή του pH του θρεπτικού διαλύματος είναι πολύ κοντά στην επιθυμητή για την ημέρα 0 του διαστήματος 13/6/2019-16/6/2019 (πράσινο σημείο-Σχήμα 5). Το pH αυξάνεται προοδευτικά στο θρεπτικό διάλυμα (Σχήμα 5). Αποτέλεσμα που οφείλεται στην μη ισορροπημένη απορρόφηση ανιόντων και κατιόντων από τα φυτά που έχουν εγκατασταθεί στο υδροπονικό σύστημα. Τα φυτά απαιτούν και απορροφούν πολύ μεγάλες ποσότητες αζώτου, το οποίο προκαλεί την αύξηση του pH, αφού εκλύονται OH^- με την απορρόφηση του (Yeo K. Et al., 2016, Maucieri et al., 2019). Η

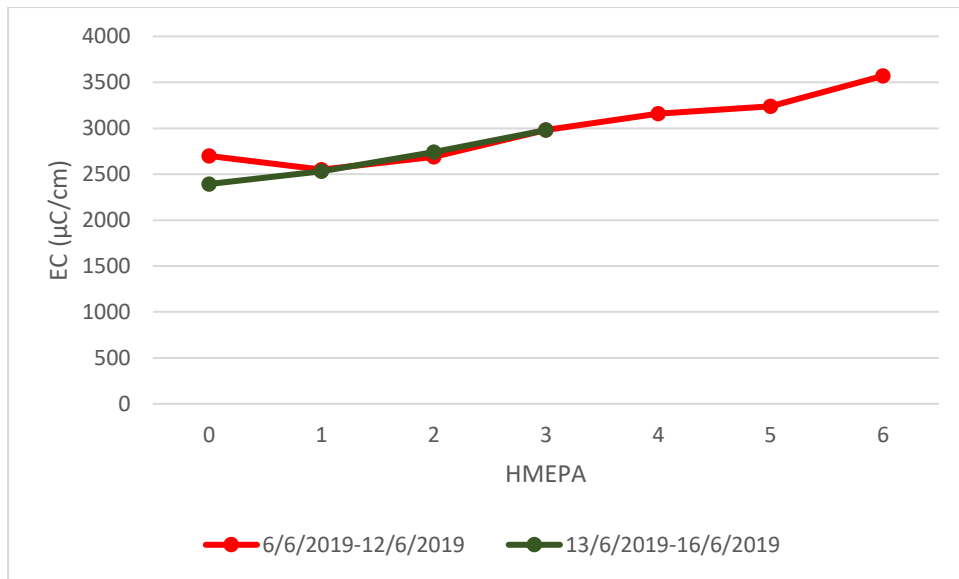
απορρόφηση του αζώτου είναι πιο έντονη από τα φυτά, όταν η ένταση ακτινοβολίας αυξάνεται (Cabrera et al., 1995, Savvas et al., 2009).

Την 3^η και 4^η ημέρα σημειώνονται υψηλές τιμές pH, που μπορούν να πυροδοτήσουν τον σχηματισμό ιζημάτων για τα στοιχεία του Ca^{2+} και του Mg^{2+} (Maucieri et al., 2019, Trejo-Téllez and Gómez-Merino, 2012, Yeo et al., 2016)



Σχήμα 5: Η μεταβολή του pH του θρεπτικού διαλύματος για δυο διαφορετικά διαστήματα κατά την 1^η περίοδο.

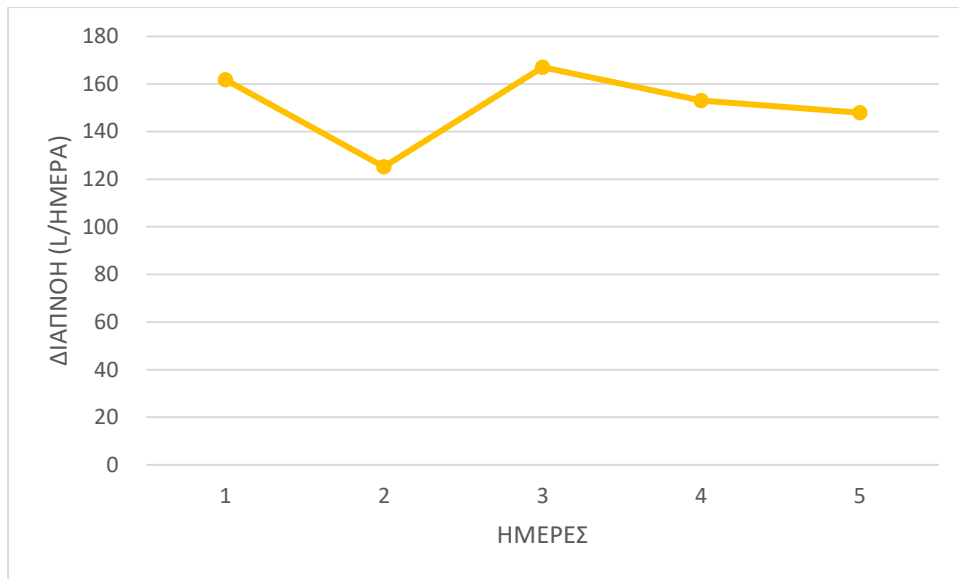
Στο Σχήμα 6 παρουσιάζεται η μεταβολή της EC του θρεπτικού διαλύματος κατά την 1^η περίοδο για δυο διαφορετικά διάστημα. Την ημέρα 0 δεν λαμβάνεται η επιθυμητή τιμή EC για το διάστημα 6/6/2019-12/6/2019 και για το διάστημα 13/6/2019-16/6/2019 (Σχήμα 6). Η EC τείνει να αυξάνεται καθημερινά λόγω της συσσώρευσης ιόντων στο θρεπτικό διάλυμα. Στις 3/6/2019 πραγματοποιήθηκε αυστηρό κλάδεμα της καλλιέργεια με αποτέλεσμα τα φυτά να διαμορφωθούν με μικρή φυλλική επιφάνεια. Από αυτό προέκυψε περιορισμός των λειτουργιών τους. Η τιμή της EC επηρεάζεται από τις λειτουργίες των φυτών (Lykas et al., 2006). Έτσι, στο Σχήμα 6, η εξέλιξη της EC δεν επηρεάστηκε από τα φυτά αλλά από τα θρεπτικά στοιχεία (διάλυση, αλληλοεπίδραση).



Σχήμα 6: Η μεταβολή της EC του θρεπτικού διαλύματος για δυο διαφορετικά διαστήματα κατά την διάρκεια της 1^η περιόδου.

1.3.3. Η ΔΙΑΠΝΟΗ ΓΙΑ ΤΗΝ 1^η ΠΕΡΙΟΔΟ

Στην συνέχεια, παρουσιάζεται η μεταβολή της διαπνοής σε L ανά ημέρα για την 1^η περίοδο (Σχήμα 7). Η διαπνοή της καλλιέργειας δεν είναι σταθερή κάθε ημέρα, αλλά μεταβάλλεται συνεχώς. Η διαπνοή εξαρτάται από την ηλιακή ακτινοβολία και το VPD (Amsing et al., 2001, Baille et al., 1994, Suya et al., 2002). Επομένως, η τιμή της διαμορφώνεται από τους κλιματικού παράγοντες. Για παράδειγμα, η ημέρα 4 σημειώνει μείωση της διαπνοής και αντιστοιχεί στην ημερομηνία 10/6/2019, όπου σημειώθηκε πτώση της θερμοκρασίας και του VPD.



Σχήμα 7: Η μεταβολή της διαπνοής για το διάστημα 6/6/2019-12/6/2019 κατά την διάρκεια της 1^η περιόδου.

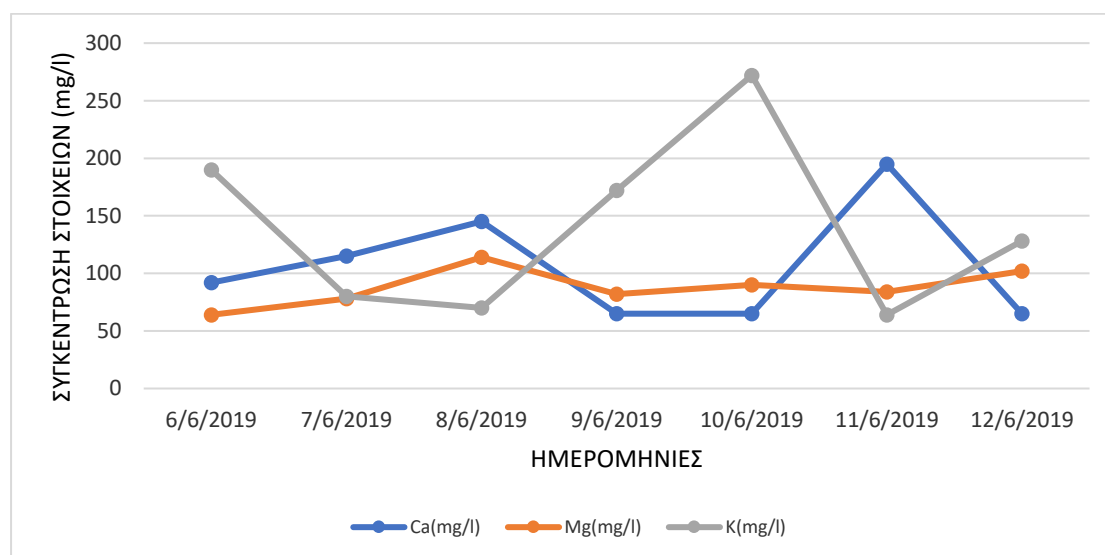
1.3.4. Η ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΚΑΙ Η ΑΠΟΛΥΤΗ ΤΙΜΗ ΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΤΟ ΘΡΕΠΤΙΚΟ ΔΙΑΛΥΜΑ ΓΙΑ ΤΗΝ 1^η ΠΕΡΙΟΔΟ

Στα Σχήματα 8 και 9 παρουσιάζονται οι μεταβολές των συγκεντρώσεων των στοιχείων στο θρεπτικό διάλυμα τροφοδοσίας για δυο διαφορετικά διαστήματα την 1^η περίοδο.

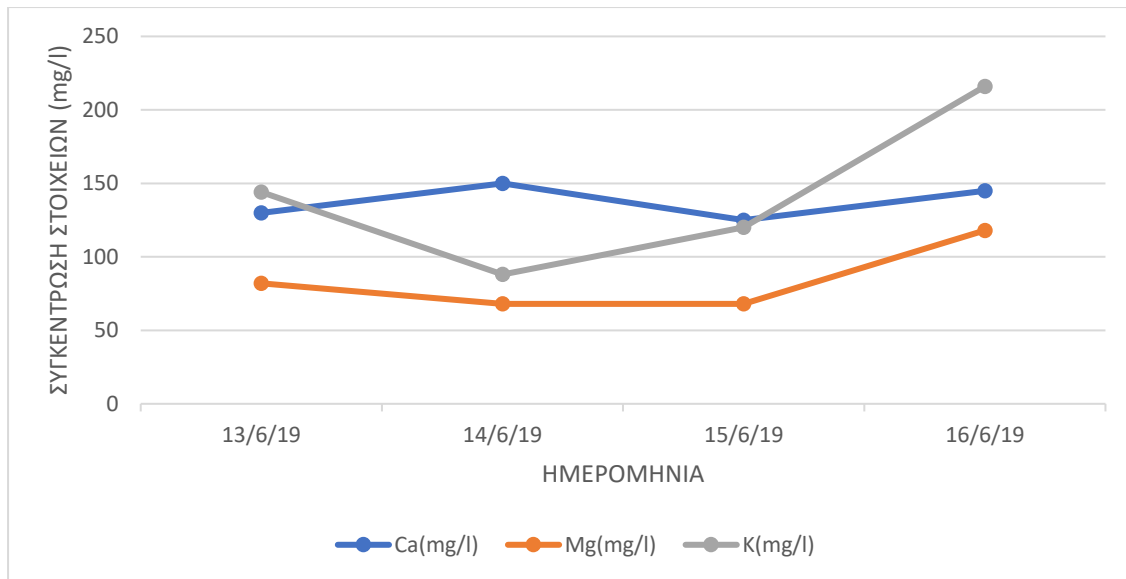
Η συγκέντρωση του Mg^{2+} στο θρεπτικό διάλυμα λαμβάνει τιμή σχεδόν ίση με την τιμή που ρυθμίστηκε κατά την παρασκευή του διαλύματος, γεγονός που υποδηλώνει την πλήρη διάλυση του στοιχείου. Δεν συμβαίνει το ίδιο για την συγκέντρωση του Ca^{2+} και του K^+ . Οι τιμές που λαμβάνουν είναι αρκετά μικρότερες από τις επιθυμητές γεγονός, που υποδηλώνει την μη πλήρη διάλυση των στοιχείων. Η θερμοκρασία μπορεί να επηρεάζει την διαλυτότητα των στοιχείων (Σάββας, 2011, Trejo-Téllez L.I. and Gómez-Merino, 2012). Για παράδειγμα, το K_2SO_4 σημειώνει μεγαλύτερη διαλυτότητα στους $30^{\circ}C$ σε σχέση με τον $1^{\circ}C$ (Σάββας, 2011, Trejo-Téllez and Gómez-Merino, 2012). Ακόμη, η επιθυμητή συγκέντρωση Ca^{2+} παρατηρείται με διάλυση $CaNO_3$ λίγες ημέρες μετά (Giaglaras et al., 1998). Η συγκέντρωση του Ca^{2+} λαμβάνει την επιθυμητή τιμή στις 8/6/2019 (3^η ημέρα) για το Σχήμα 8 και στις 14/6/2019 (2^η ημέρα) για το Σχήμα 9.

Το K^+ και το Ca^{2+} παρουσιάζουν μεγάλες μεταβολές στην συγκέντρωσή τους. Ίσως οφείλεται στην άνιση απορρόφηση νερού και στοιχείων από την καλλιέργεια ή στην ιζηματοποίηση του Ca^{2+} , επειδή το Ca^{2+} δημιουργεί ίζημα ως ανθρακικό μόριο, όταν το pH ανέρχεται σε υψηλές τιμές. Επίσης, μπορεί να οφείλεται στη υψηλή συγκέντρωση διαλυμένου CO_2 στο θρεπτικό διάλυμα (Maucieri et al., 2019, Trejo-Téllez and Gómez-Merino, 2012, Yeo et al., 2016). Η συγκέντρωση Ca^{2+} μπορεί να εμφανίζει διακύμανση, που οφείλεται στην διάλυση λιπασμάτων (Lykas et al., 2006). Το στοιχείο του Mg^{2+} δεν σημειώνει μεγάλες μεταβολές στην συγκέντρωσή του στο θρεπτικό διάλυμα τροφοδοσίας (Σχήμα 8, 9). Πραγματοποιείται ομοιόμορφη απορρόφηση νερού και απορρόφηση του στοιχείου από τα φυτά με αποτέλεσμα η συγκέντρωση του θρεπτικού διαλύματος να μην σημειώνει μεγάλες μεταβολές.

Η υψηλή διαθεσιμότητα K^+ προκαλεί παρεμπόδιση απορρόφησης Mg^{2+} από τις ρίζες των φυτών (Maucieri et al., 2019, Sambo et al., 2019). Σημειώνεται ανταγωνισμός ιόντων για το K^+ και Mg^{2+} . Στο Σχήμα 8 παρατηρείται ότι οι συγκεντρώσεις του K^+ και του Mg^{2+} εξελίσσονται με αντίθετο τρόπο (αύξηση συγκέντρωσης K^+ - μείωση συγκέντρωσης Mg^{2+}).



Σχήμα 8: Οι μεταβολές των συγκεντρώσεων των θρεπτικών στοιχείων σε mg/l από 6/6/2019 έως 12/6/2019.

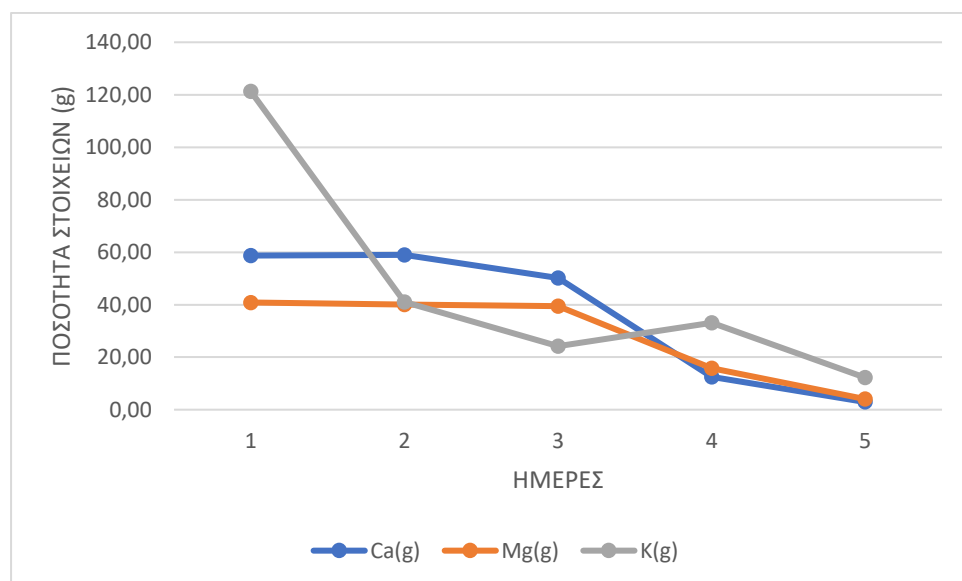


Σχήμα 9: Η μεταβολή της συγκέντρωσης των στοιχείων του K^+ , του Ca^{2+} και του Mg^{2+} από 13/6/2019 έως 16/6/2019.

Στο Σχήμα 10 παρουσιάζεται η εξέλιξη της ποσότητας των στοιχείων στο θρεπτικό διάλυμα για το διάστημα 7/6/2019 μέχρι 11/6/2019. Η επιθυμητή εξέλιξη των στοιχείων είναι η μείωση των ποσοτήτων λόγω απορρόφησης τους από τις ρίζες των φυτών ή ιζηματοποίησης του Ca^{2+} και του Mg^{2+} . Η ποσότητα Mg^{2+} και Ca^{2+} στο θρεπτικό διάλυμα παρουσιάζουν σχεδόν ίδια εξέλιξη. Την ημέρα 1 και 2 δεν μεταβάλλονται οι ποσότητες τους και στην συνέχεια σημειώνουν φθίνουσα μεταβολή. Αντίθετα, η ποσότητα K^+ εξελίσσεται με έντονη φθίνουσα μεταβολή για τις ημέρες 1, 2 και 3. Η διαφορά στην εξέλιξη των ποσοτήτων μεταξύ του K^+ , του Ca^{2+} και του Mg^{2+} ίσως οφείλεται στο στάδιο ανάπτυξης των φυτών. Ιδιαίτερα το K^+ που κατέχει σημαντικό ρόλο στην αύξηση των φυτών και η απορρόφηση του πραγματοποιείται αρκετές ημέρες νωρίτερα συγκριτικά με τα υπόλοιπα ιόντα (Cabrera et al., 1995, Taiz et al., 2017). Έτσι, παρατηρείται αύξηση πρόσληψης K^+ μετά από το κλάδεμα διότι τα φυτά προβαίνουν σε έντονη ανάπτυξη των βλαστών τους (Cabrera et al., 1995, Kreij, 1995, Sánchez, 2009).

Την ημέρα 4 σημειώνεται μια μη αναμενόμενη αύξηση της ποσότητας του K^+ . Η διάλυση λιπασμάτων, που θα προκαλούσε την αύξηση της ποσότητας, δεν είναι εφικτή, καθώς διαμεσολαβεί μεγάλο χρονικό διάστημα από την ανάδευση λιπασμάτων και την προσθήκη του θρεπτικού διαλύματος στην δεξαμενή με την ημέρα 4. Αυτή η λανθάνουσα εξέλιξη ίσως οφείλεται σε κάποια αστοχία.

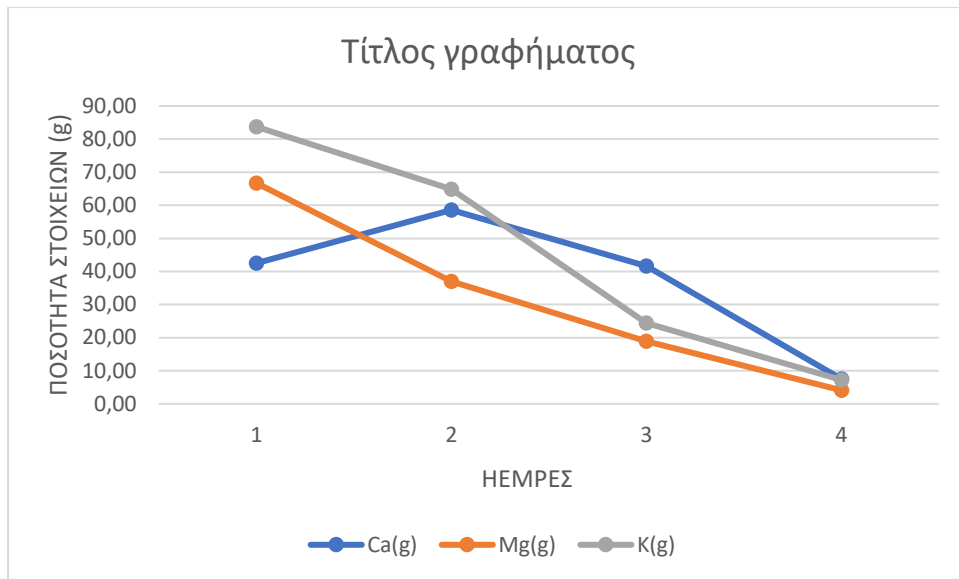
Την ημέρα 4 σημειώνεται τεράστια μεταβολή της ποσότητας Ca^{2+} σε g, που ίσως οφείλεται στην απορρόφηση του ή στην δημιουργία ιζημάτων. Όπως έχει αναφερθεί και πιο πάνω στο Σχήμα 7, την ημέρα 4 παρατηρείται μείωση στην διαπνοή η οποία σχετίζεται με την απορρόφηση του Ca^{2+} με ανάλογο τρόπο (Amsing et al., 2001, Baille et al., 1994). Τις συγκεκριμένες ημέρες σημειώνονται πολύ υψηλές τιμές pH στο Σχήμα 5, που μπορούν να πυροδοτήσουν τον σχηματισμό ιζημάτων (Maucieri et al., 2019, Sambo et al., 2019).



Σχήμα 10: Η εξέλιξη της ποσότητας των στοιχείων στις 7/6/2019-11/6/2019.

Στο Σχήμα 11 παρουσιάζεται η εξέλιξη των ποσοτήτων του K^+ , Ca^{2+} και Mg^{2+} από 13/6/2019 μέχρι 16/6/2019 κατά την διάρκεια της 1^η περιόδου.

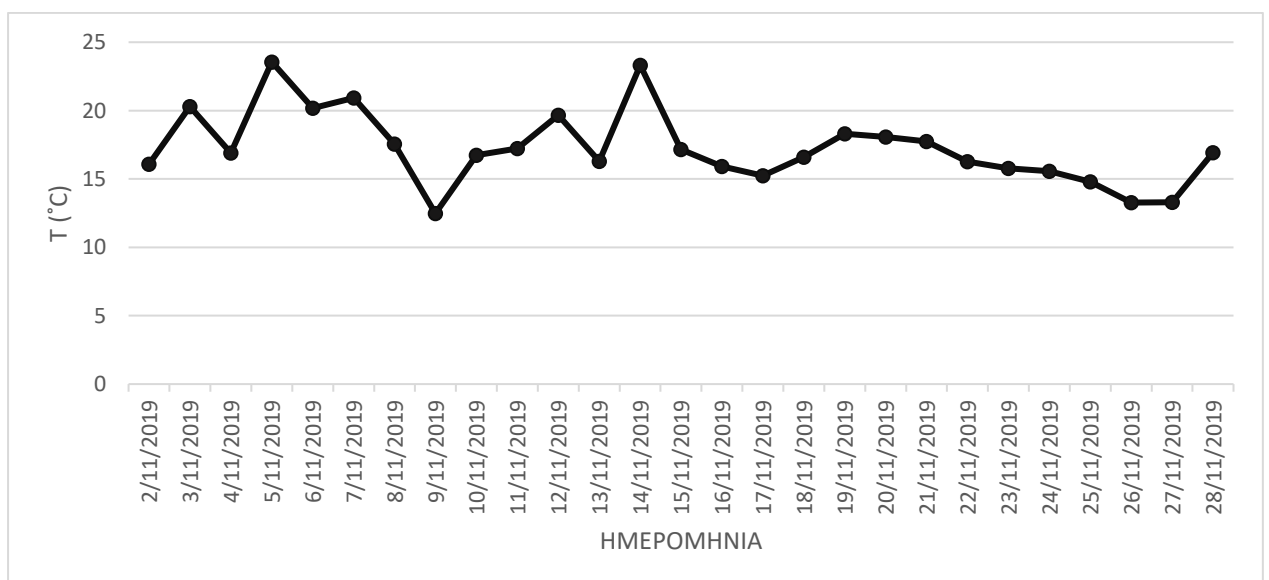
Η ποσότητα Mg^{2+} και K^+ σημειώνουν φθίνουσα μεταβολή ανά ημέρα. Αυτή η εξέλιξη των ποσοτήτων των στοιχείων είναι η επιθυμητή αφού τα φυτά απορροφούν θρεπτικά στοιχεία από το διάλυμα ή το Mg^{2+} δημιουργεί αδιάλυτες ενώσεις (Maucieri et al., 2019, Sambo et al., 2019). Την ημέρα 2 αυξάνεται η ποσότητα Ca^{2+} , που οφείλεται στον χρόνο που απαιτεί η διάλυση λιπάσματος. Στην συνέχεια, σημειώνεται μείωση της ποσότητας Ca^{2+} λόγω απορρόφησης ή δημιουργία ιζημάτων.



Σχήμα 11: Η μεταβολή της ποσότητας των στοιχείων από 13/6/2019 μέχρι 16/6/2019.

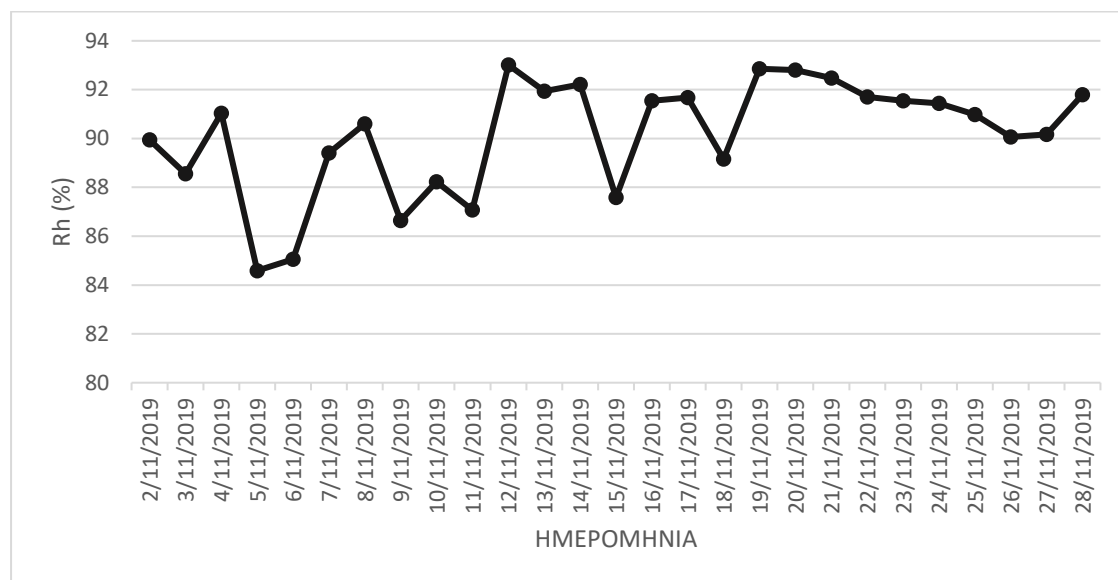
1.3.5. ΚΛΙΜΑΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ 2^η ΠΕΡΙΟΔΟ

Στο Σχήμα 12 παρουσιάζονται οι τιμές των θερμοκρασιών στο εσωτερικό του θερμοκηπίου από 2/11/2019 έως 28/11/2019. Η θερμοκρασία λαμβάνει τιμές από 12,5°C έως 23 °C και σημειώνονται αύξουσες ή φθίνουσες μεταβολές στην τιμή της οι οποίες είναι απότομες. Στις 9/11/2019 σημειώνεται χαμηλή θερμοκρασία, η οποία δεν είναι επιθυμητή για την καλλιέργεια τριανταφυλλιάς.



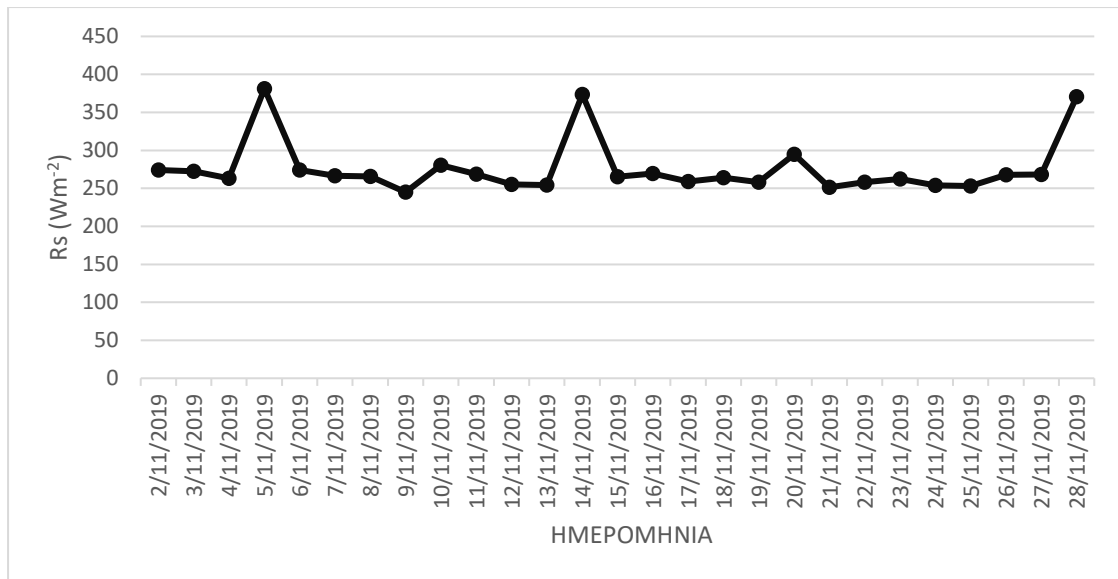
Σχήμα 12: Η μεταβολή θερμοκρασίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου για την περίοδο 2/11/2019 έως 28/11/2019.

Στο Σχήμα 13 παρουσιάζεται η σχετική υγρασία και οι μεταβολές της ανά ημέρα. Την 2^η περίοδο σημειώνονται υψηλές τιμές σχετικής υγρασίας. Η σχετική υγρασία λαμβάνει τιμές από 84,6% έως 93%, γεγονός που φανερώνει ότι η τιμή της σχετικής υγρασίας δεν σημειώνει μεγάλες διακυμάνσεις. Ωστόσο, η τιμή της μεταβάλλεται συνεχώς με αύξηση ή μείωση.



Σχήμα 13: Η μεταβολή της σχετικής υγρασίας για την 2^η περίοδο.

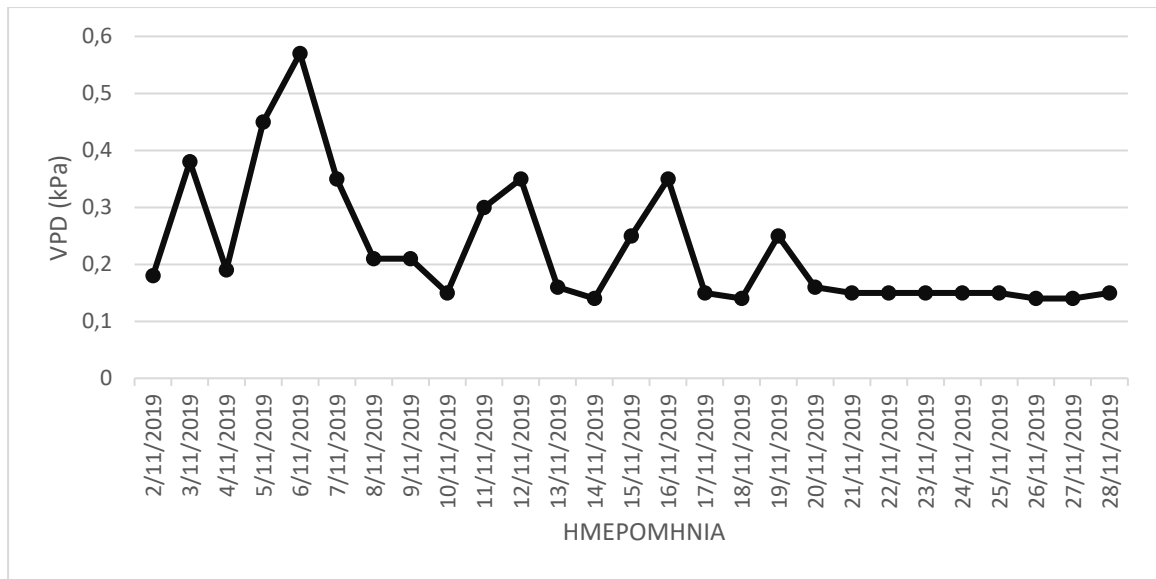
Στο Σχήμα 14 παρουσιάζεται η μεταβολή της έντασης ακτινοβολίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, στο οποίο εφαρμόστηκε μπογιά λευκού χρώματος. Η ένταση ακτινοβολίας λαμβάνει μεγάλο εύρος τιμών, από 244 Wm^{-2} έως 381 Wm^{-2} . Σημειώνονται έντονες φθίνουσες ή αύξουσες μεταβολές της τιμής της. Στις 4/11/2019 σημειώνεται μείωση της έντασης ηλιακής ακτινοβολίας, που επηρεάζει την απορρόφηση Mg^{2+} . Στις 5/11/2019 αυξάνεται η ένταση ακτινοβολίας λαμβάνοντας υψηλή τιμή.



Σχήμα 14: Η μεταβολής της έντασης ακτινοβολίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου.

Η τιμή της VPD λαμβάνει πολύ χαμηλές τιμές, από 0,14 kPa έως 0,57 kPa (Σχήμα 15). Το χειμώνα σημειώνονται χαμηλές τιμές VPD (Kreij, 1995). Ακόμη, η τιμή της μεταβάλλεται συνεχώς με το ίδιο τρόπο δημιουργώντας ένα μοτίβο επανάληψης μεταβολών. Ενώ, η τιμή της VPD παραμένει σχεδόν σταθερή από 20/11/2019 έως 28/11/2019.

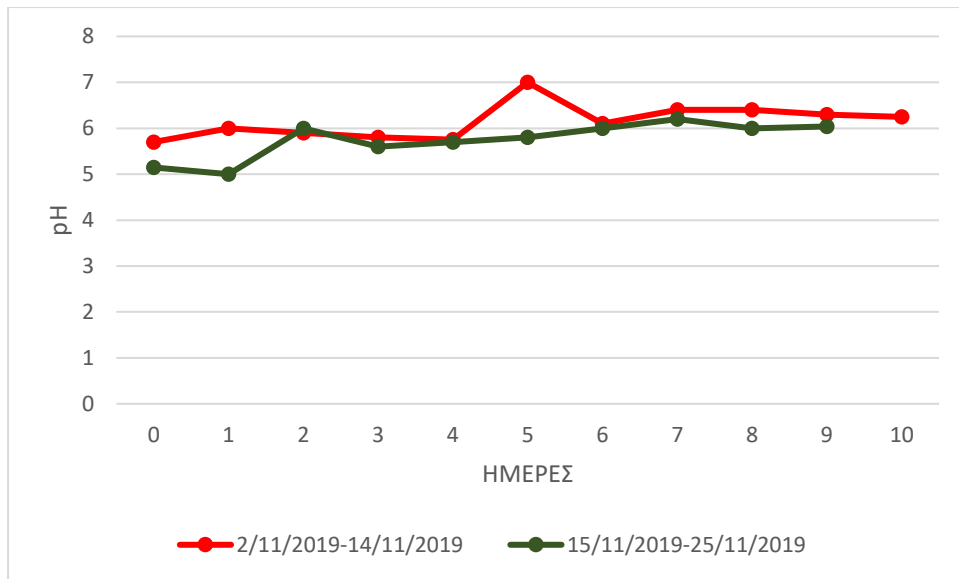
Στις 5/11/2019 σημειώνεται μεγάλη αύξηση της τιμής του VPD και στις 6/11/2019 σημειώνεται η υψηλότερη τιμή του για την 2^η περίοδο. Το VPD έχει επίδραση στην διαπνοή της καλλιέργειας με ανάλογο τρόπο (Amsing et al., 2001, Baille et al., 1994, Suya et al., 2002).



Σχήμα 15: Η τιμή της VPD κάθε ημέρας και η μεταβολή της για την περίοδο 2/11/2019-28/11/2019.

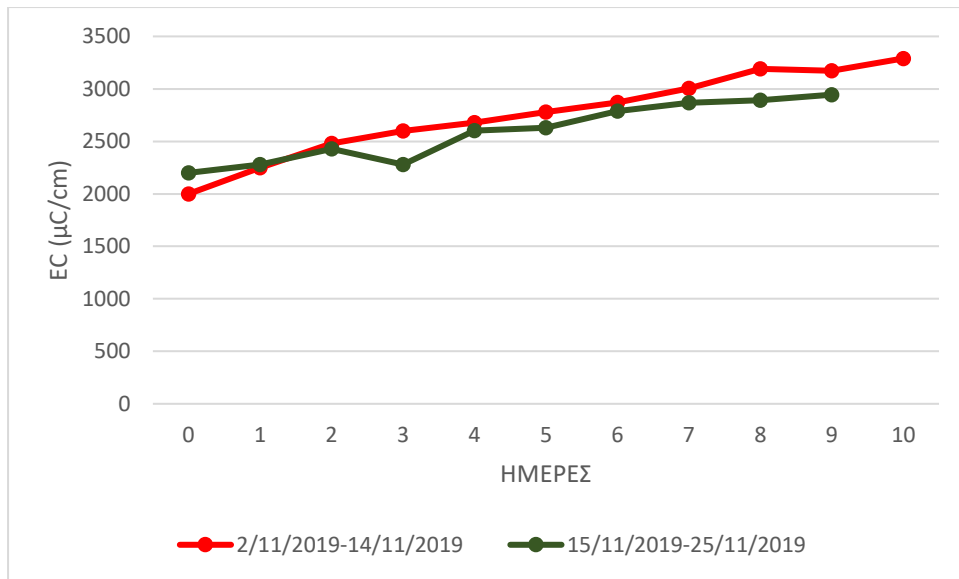
1.3.6. ΑΛΛΟΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΓΙΑ ΤΗΝ 2^η ΠΕΡΙΟΔΟ

Στο Σχήμα 16 παρουσιάζεται η μεταβολή του pH των θρεπτικών διαλυμάτων κατά την 2^η περίοδο για δύο διαστήματα. Η ημέρα 0 λαμβάνει τιμή πολύ κοντά στην επιθυμητή για το διάστημα 2/11/2019-14/11/2019 και για το διάστημα 15/11/2019-25/11/2019 (κόκκινο και πράσινο σημείο-Σχήμα 16). Η μεταβολή του pH δεν αυξάνεται προοδευτικά, αλλά σημειώνει διακυμάνσεις. Φθίνουσες μεταβολές σημειώνονται στο γράφημα γεγονός που οφείλεται στην απορρόφηση περισσότερων κατιόντων από ανιόντων, που πυροδοτεί την μείωση του pH (Yeo K. et al., 2016, Maucieri et al., 2019). Το pH μειώνεται με ανεπαρκείς συνθήκες φωτισμού λόγω άνισης απορρόφησης ιόντων (Savvas et al., 2009). Ωστόσο, τις ημέρες που σημειώνεται μείωση στην τιμή του pH στο Σχήμα 16, δεν παρατηρήθηκε ταυτόχρονη μείωση της έντασης ακτινοβολίας τις αντίστοιχες ημερομηνίες.



Σχήμα 16: Η μεταβολή του pH κατά την 2^η περίοδο

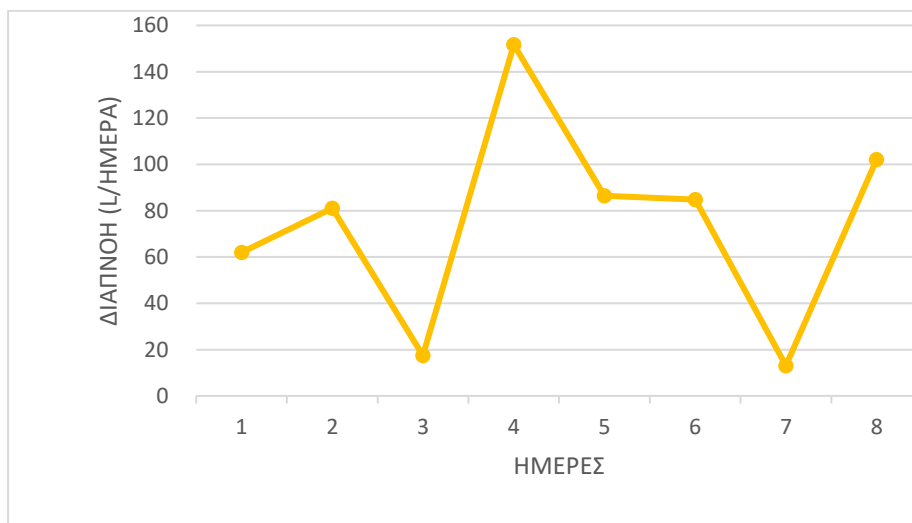
Στο Σχήμα 17 σημειώνεται η εξέλιξη της EC στο θρεπτικό διάλυμα για δυο διαφορετικά διαστήματα της 2^η περιόδου. Η ημέρα 0 λαμβάνει επιθυμητή τιμή για το διάστημα 2/11/2019-14/11/2019 και κοντά στην επιθυμητή για το διάστημα 15/11/2019-25/11/2019. Η μεταβολή της EC δεν αυξάνεται προοδευτικά για τα διαστήματα της 2^η περιόδου. Σημειώνονται φθίνουσες μεταβολές της τιμής της, που στην συνέχεια ακολουθούν αύξηση. Οι διακυμάνσεις της EC δείχνουν ότι τα φυτά επηρεάζουν την τιμή της μέσω των λειτουργιών τους (Lykas et al., 2006). Επομένως, η εξέλιξη της EC διαμορφώθηκε από την επίδραση των φυτών και των θρεπτικών στοιχείων.



Σχήμα 17: Η μεταβολή EC δυο διαφορετικών διαστημάτων, που την ημέρα 0 γίνεται νέο θρεπτικό διάλυμα.

1.3.7. Η ΔΙΑΠΝΟΗ ΓΙΑ ΤΗΝ 2^η ΠΕΡΙΟΔΟ

Στο Σχήμα 18 παρουσιάζεται η διαπνοή της καλλιέργεια κλειστού υδροπονικού συστήματος. Η διαπνοή της καλλιέργειας δεν είναι σταθερή γιατί εξαρτάται από κλιματικούς παράγοντες όπως η ηλιακή ακτινοβολία (Amsing et al., 2001, Baille et al., 1994, Suyu et al., 2002). Την ημέρα 4 σημειώνεται έντονη αύξηση διαπνοής καλλιέργεια λόγω αύξησης της ηλιακής ακτινοβολίας και του VPD την αντίστοιχη ημερομηνία.



Σχήμα 18: Η μεταβολή της διαπνοής από 2/11/2019 μέχρι 14/11/2019.

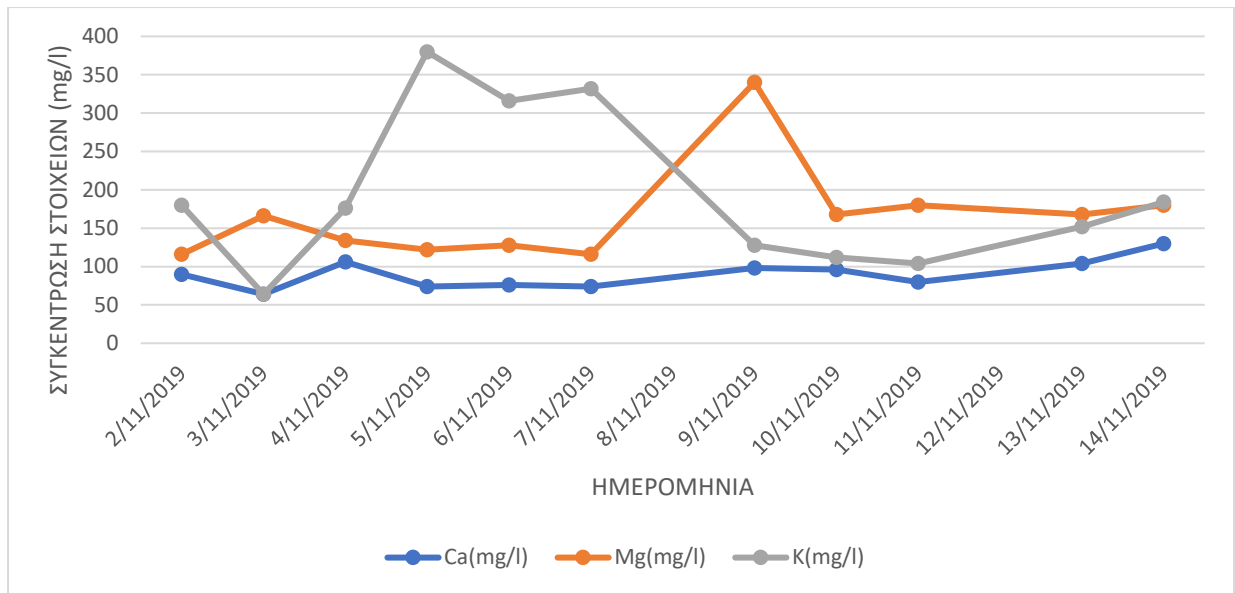
1.3.8. Η ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΚΑΙ Η ΑΠΟΛΥΤΗ ΤΙΜΗ ΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΤΟ ΘΡΕΠΤΙΚΟ ΔΙΑΛΥΜΑ ΓΙΑ ΤΗΝ 2^η ΠΕΡΙΟΔΟ

Στα Σχήμα 19 παρουσιάζονται οι μεταβολές των συγκεντρώσεων των στοιχείων στο θρεπτικό διάλυμα τροφοδοσίας για την 2^η περίοδο. Την πρώτη ημέρα του νέου θρεπτικού διαλύματος δεν λαμβάνονται οι επιθυμητές τιμές των συγκεντρώσεων του K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} γεγονός που ίσως οφείλεται σε αστοχία διάλυσης λιπασμάτων. Το Ca^{2+} λαμβάνει την επιθυμητή τιμή στις 4/11/2019. Η αναμενόμενη συγκέντρωση ασβεστίου παρατηρείται με διάλυση $CaNO_3$ λίγες ημέρες μετά την προσθήκη του θρεπτικού διαλύματος (Giaglaras et al., 1998).

Η συγκέντρωση Ca^{2+} δεν σημειώνει μεγάλες μεταβολές για την 2^η περίοδο. Αντίθετα, η συγκέντρωση K^+ παρουσιάζει μεγάλες και απότομες μεταβολές. Για παράδειγμα, στις 5/11/2011 σημειώνεται έντονη αύξουσα μεταβολή της συγκέντρωσης του και στις 9/11/2019 σημειώνεται έντονη φθίνουσα μεταβολή της συγκέντρωσης του. Η συγκέντρωση Mg^{2+} δεν σημειώνει έντονες μεταβολές με εξαίρεση την ημερομηνία 9/11/2019.

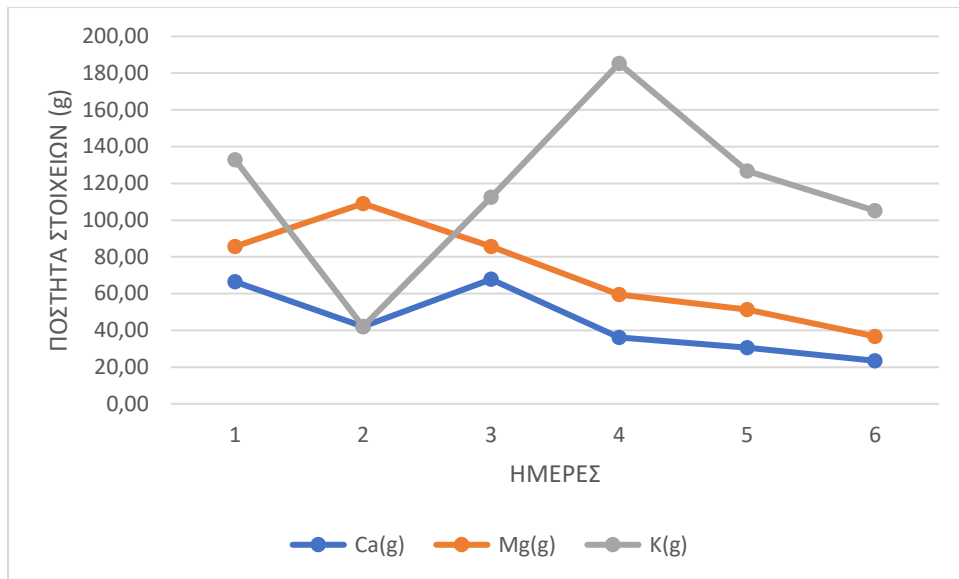
Η υψηλή διαθεσιμότητα K^+ παρεμποδίζει την απορρόφηση του Mg^{2+} από τις ρίζες των φυτών (Maucieri et al., 2019, Sambo et al., 2019). Στο Σχήμα 19 παρατηρείται ότι όταν η συγκέντρωση K^+ είναι υψηλή τότε η συγκέντρωση Mg^{2+} είναι χαμηλή και το αντίθετο. Έτσι, παρατηρείται ανταγωνισμός μεταξύ των στοιχείων στο θρεπτικό διάλυμα τροφοδοσίας.

Στις 4/11/2019 σημειώνεται μείωση της συγκέντρωσης του Mg^{2+} στο θρεπτικό διάλυμα. Όπως, έχει αναφερθεί και πιο πάνω, η ένταση ακτινοβολίας μειώνεται στις 4/11/2019. Η απορρόφηση Mg^{2+} εξαρτάται από την ηλιακή ακτινοβολία αφού το Mg^{2+} αποτελεί σημαντικό μόριο της χλωροφύλλης επηρεάζοντας την φωτοσύνθεση και έχοντας μεγάλη επίδραση στις φωτεινές και σκοτεινές αντιδράσεις της φωτοσύνθεσης (Gorde and Calatayud 2010, Taiz et al., 2017).



Σχήμα 19: Οι μεταβολές συγκεντρώσεων του K^+ , του Ca^{2+} και του Mg^{2+} στο θρεπτικό διάλυμα τροφοδοσίας από 2/11/2019 έως 14/11/2019.

Στην συνέχεια, παρουσιάζεται η μεταβολή της απόλυτης τιμής των στοιχείων από 3/11/2019 μέχρι 8/11/2019 για την 2^η περίοδο (Σχήμα 20). Η εξέλιξη των μεταβολών των ποσοτήτων Mg^{2+} και ιδιαίτερα του K^+ δεν είναι η επιθυμητή. Η μεταβολή του K^+ σημειώνει μεγάλες διακυμάνσεις και ίσως οφείλεται σε αστοχία ανάδευσης των λιπασμάτων. Ακόμη, την ημέρα 3 αυξάνεται η ποσότητα Ca^{2+} πιθανόν λόγω καθυστερημένης διάλυσης λιπασμάτων. Τις υπόλοιπες ημέρες πραγματοποιείται μείωση της ποσότητας Ca^{2+} που οφείλεται στην απορρόφηση του ή στην δημιουργία ιζημάτων (Maucieri et al., 2019, Trejo-Télez and Gómez-Merino, 2012, Yeo et al., 2016). Στις συγκεκριμένες ημέρες δεν σημειώνονται υψηλές τιμές pH που θα προκαλούσαν τον σχηματισμό ιζημάτων.



Σχήμα 20: Η μεταβολή ποσότητας των στοιχείων κατά την διάρκεια της 2^η περιόδου.

1.5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην συνέχεια, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα για την μεταβολή της συγκέντρωσης του K^+ , του Ca^{2+} και του Mg^{2+} σε κλειστό υδροπονικό σύστημα καλλιέργειας τριανταφυλλιάς και για τους παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν την τιμή του pH, της EC και την ποσότητα του K^+ , του Ca^{2+} , του Mg^{2+} στο θρεπτικό διάλυμα. Επομένως, συμπεραίνονται τα έξης:

- Όταν γίνει προσθήκη νέου θρεπτικού διαλύματος στη δεξαμενή, τότε το pH και η EC λαμβάνουν τιμή σχεδόν κοντά στην επιθυμητή. Το pH και η EC αυξάνονται προοδευτικά στο θρεπτικό διάλυμα τροφοδοσίας μέχρι να εξαντληθεί το θρεπτικό διάλυμα στην δεξαμενή.
- Η συγκέντρωση του Mg^{2+} είναι η επιθυμητή μετά την παρασκευή του θρεπτικού διαλύματος.
- Η συγκέντρωση του Mg^{2+} δεν σημειώνει μεγάλες διακυμάνσεις στο θρεπτικό διάλυμα τροφοδοσίας ανά ημέρα.
- Η συγκέντρωση του Ca^{2+} και του K^+ είναι μικρότερη από την επιθυμητή μετά την παρασκευή του θρεπτικού διαλύματος, πιθανόν λόγω της θερμοκρασίας.
- Η συγκέντρωση του Ca^{2+} λαμβάνει την επιθυμητή τιμή λίγες ημέρες μετά την παρασκευή του θρεπτικού διαλύματος.
- Η συγκέντρωση του Ca^{2+} και του K^+ σημειώνουν μεγάλη διακύμανση στο θρεπτικό διάλυμα τροφοδοσίας ανά ημέρα.
- Οι υψηλές τιμές pH μάλλον προκαλούν τον σχηματισμό ιζημάτων στο θρεπτικό διάλυμα.
- Η διαπνοή επηρεάζεται από την εποχή του έτους. Η διαπνοή είναι υψηλότερη το καλοκαίρι συγκριτικά με το χειμώνα λόγω των διαφορετικών κλιματικών συνθηκών.
- Η διάρκεια ζωής του θρεπτικού διαλύματος διαφέρει μεταξύ των περιόδων 6/6/2019-24/6/2019 και 2/11/2019-25/11/2019 (1^η περίοδος και 2^η περίοδος αντίστοιχα).
- Η υψηλή διαπνοή προκαλεί αύξηση της απορρόφησης του Ca^{2+} .
- Παρατηρήθηκε έντονη φθίνουσα μεταβολή της ποσότητας K^+ μετά από αυστηρό κλάδεμα της καλλιέργειας, γεγονός που ίσως οφείλεται στην

απορρόφηση του στοιχείου από το ριζικό σύστημα των φυτών. Η απορρόφηση του K^+ πιθανόν εξαρτάται από το στάδιο ανάπτυξης της καλλιέργειας.

- Η συγκέντρωση του K^+ και του Mg^{2+} στο θρεπτικό διάλυμα εξελίσσονται με αντιστρόφως ανάλογο τρόπο. Σημειώνεται ανταγωνισμός μεταξύ των δυο στοιχείων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική:

- Θεριός Ι., 2005. Ανόργανη θρέψη και λιπάσματα. Εκδόσεις Γαρταγάνη, Θεσσαλονίκη.
- Καντούρη Μ.Α., Παπαστεφάνου Σ., 2012. ΓΕΝΙΚΗ ΚΑΙ ΑΝΟΡΓΑΝΗ ΧΗΜΕΙΑ. Έκδοσης ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη.
- Μαυρογιαννόπουλος Γ., 2006. Υδροπονικές Εγκαταστάσεις. Εκδόσεις Σταμούλη, Αθήνα.
- Νεοκλέους Δ., Σάββας Δ., Μιχαήλ Ν., Νικολάου Γ., Σωτηρίου Σ., Ανδρέου Χ., Λουκαϊδής Α., Λάμπρου Σ., Παρασκευάς Γ., Κύζας Γ., Κάμαρης Κ., Παλού Α., 2012. Εγχειρίδιο Υδροπονίας Εκπαιδευτικό Κέντρο Υδροπονίας ΠΕ. Ινστιτούτο Γεωργικών Ερευνών.
- Σάββας Δ., 2003. ΓΕΝΙΚΗ ΑΝΘΟΚΟΜΙΑ. ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΕΜΒΡΥΟ, Αθήνα.
- Σάββας Δ., 2011. Καλλιέργειες εκτός εδάφους: Υδροπονία, Υποστρώματα. Εκδόσεις ΑγροΤύπος, Αθήνα.

Διεθνή:

- Baille M., Baille a., Delmon D., 1994. Microclimate and transpiration of greenhouse rose culture. *Agricultural and Forest Meteorology*, 71:83-97.
- Cabrera R., Evans R.Y., Paul J.L., 1995. Cyclic nitrogen uptake by greenhouse roses. *Scientia Horticulturae*, 63:57-66.
- Caliskan B., Caliskan A.C., 2017. Potassium Nutrition in Plants and Its Interactions with Other Nutrients in Hydroponic Culture. *Potassium-Improvement of Quality in Fruits and Vegetables Through*, 2:9-21.
- Duchein M.C., Baille M., Baille A., 1995. Water Use Efficiency and Nutrient Consumption of a Greenhouse Rose Crop Grown in Rockwool. *Acta Horticulture*, 807:271-276.
- Giaglaras P., Lykas Ch., Kittas C., 1998. Dynamic Simulation of Nutrient Solution Composition in a Closed Hydroponics System. *IFAC Proceedings Volumes*, 31:291-224.
- Gorde E., Calatayud, 2010. Optimization of Nutrition in Soilless System: A Review. *Advances in Botanical Research*, 53:193-245.
- Hoog jr j., 2001. Handbook for Modern Greenhouse Rose Cultivation. *Applied Plant research*.

- Kant S., Kafkafi U., 2013. Fertigation. Reference Module in Earth Systems and Environmental Science, pp.1-9.
- Kim H.J., Cho Y.S., Know O. K., Cho M.W., Hwang J.B., Jeon W.T., Bae S.D., 2005. Effect of Hydroponics Solution on the Growth of Greenhouse Rose. Asian journal of Plants Sciences, 1:17-22.
- Kittas C., Katsoulas N., Baille M., Transpiration and energy balance of a greenhouse rose crop in Mediterranean summer conditions. Acta horticulturae, 559:395-400.
- Kramer, P.J. 1983. Drought Tolerance and Water Use Efficiency. In: Water Relation of plants, pp. 390-415.
- Kramer, P.J. 1983. Transpiration. In: Water Relation of plants, pp. 291-341.
- Kreij C., 1995. Latest insights into water and nutrient control in soilless cultivation. Acta horticulturae, 408:47-61.
- Lykas Ch., Giaglaras P., Kittas C., 2001. NUTRIENT SOLUTION MANAGMENTN RECIRCULATING SOILLESS CULTURE OF ROSE IN MILD WINTER CLIMATES. Acta horticulturae, 559:543-548.
- Lykas Ch., Katsoulas N., Giaglaras P., 2006. Electrical Conductivity and pH Prediction in a Recirculated Nutrient Solution of a Greenhouse Soilless Rose Crop. Journal of Plants nutrition, 29:1585-1599.
- Lykas Ch., Katsoulas N., Kittas C., 2006. Calcium, Magnesium and Potassium Concentrations prediction in a Recirculated Nutrient Solution of a Greenhouse Soilless Rose Crop. Acta horticulturae, 718:419-498.
- Massa D., Mattson N.S., Lieth H.J., 2008. An empirical model to stimulate sodium absorption in roses growing in a hydroponic system. Scientia Horticulturae, 79:228-235.
- Massa D., Mattson N.S., Lieth H.J., 2009. Effects of saline (NaCl) on nitrate and potassium uptake kinetics for rose plants: a Michaelis-Menten modeling approach. Plant Soil, 318:101-115
- Maucieri C., Nikolleto C., Os E., Anseeum D., Havermaet R.V., Jungle R., 2019. Hydroponic Technologies. In: Aquaponics Food Production Systems, pp. 77-110.
- Os E., Block C., Voogt W., Waked L., 2006. Water quality and salinity aspects in hydroponics cultivation.

- Sambo P., Nicoletto C., Giro A., Pii Y., Valentinuzzi F., Mimmo T., Lugli P., Orzes G., Mazzetto F., Astolfi S., Terzano R., Cesto S., 2019. Hydroponic Solutions for soilless Production Systems: Issues and Opportunities in a Smart Agriculture Perspective. *Frontiers in Plant Science*.
- Sánchez E.G., 2009. Study of nutrient solution management in soilless rose cultivation, through the analysis of physiological parameters and nutrient absorption. Universidad Politécnica Valencia Departamento de Producción Vegetal, Valencia.
- Savvas D., Olympios C., Passam H.C., 2009. Management and Irrigation in Soli-grown and Soilless Cultivation in Mild-winter Climates. Problems, Constraints and Trends in the Mediterranean Region. *Acta Horticulturae* 807:415-426.
- Sonneveld C., Straver N., 1994. Nutrients solutions for Vegetables and Flowers grown in water or substrates. Glasshouse Crops Research Station.
- Suya R., Martinez PF., Roca D., Ramos C., 2002. Measurement and estimation of transpiration on soilless rose crop and application to irrigation management. *Acta horticulturae*, 641:625-630.
- Taiz L., Zeiger E., Moller I.M., Murphy A., 2014. *Plant Physiology and Development*. Sinauer Associates. Sixth Edition.
- Trejo-Téllez L.I., Gómez-Merino F., 2012. Nutrient Solutions for Hydroponic Systems. In: *Hydroponics-A standard Methodology for Plant Biological Researches*, Published by InTech, Croatia, pp.1-22.
- Yeo K.K.H., Choi K.Y, Rhee H.C., Choi G.L., Lee Y.B., 2016. Optimal levels of N, P, K for the cultivation of single- of single-stemmed roses in a closed hydroponic system. *Horticulture, Environment and Biotechnology*, 57:580-588.
- Voogt, W. Sonneveld, C., 2001. Silicon in horticultural crops in soilless culture. *Silicon in Agriculture*, 8:115-131.