



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

**ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ
ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΝΘΟΚΟΜΙΑΣ ΚΑΙ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ
ΤΟΠΙΟΥ**

Πτυχιακή εργασία με θέμα:

**«Προσδιορισμός της συγκέντρωσης των Ca, K, PO₄³⁻ στο θρεπτικό
διάλυμα υδροπονικής καλλιέργειας τριανταφυλλιάς, συναρτήσει του
pH και των παραμέτρων του κλίματος του θερμοκηπίου»**



Φοιτήτρια: Βάθη Βασιλική ΑΕΜ 02122

Επιβλέπον καθηγητής: Λύκας Χρήστος,

ΒΟΛΟΣ 2023



UNIVERSITY OF THESSALY

SCHOOL OF AGRICULTURAL SCIENCES

**DEPARTMENT OF AGRICULTURE, CROP PRODUCTION
AND RURAL ENVIRONMENT**

FLORICULTURE AND LANDSCAPE ARCHITECTURE

WORKSHOP

THESIS

«Determination of the concentration of Ca, K, PO₄³⁻ in the nutrient solution of a soilless rose crop, in correlation to pH and the greenhouse climate parameters»



Student: Vathi Vasiliki

Responsible professor: Lykas Christos.

Volos 2023

1

«Προσδιορισμός της συγκέντρωσης των Ca, K, PO₄³⁻ στο θρεπτικό διάλυμα υδροπονικής καλλιέργειας τριανταφυλλιάς, συναρτήσει του pH και των παραμέτρων του κλίματος του θερμοκηπίου»

«Determination of the concentration of Ca, K, PO₄³⁻ in the nutrient solution of a soilless rose crop, in correlation to pH and the greenhouse climate parameters»

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή:

Λύκας Χρήστος, Αναπληρωτής Καθηγητής Ανθοκομίας και Αρχιτεκτονικής Τοπίου, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, **Επιβλέπον.**

Κατσούλας Νικόλαος, Καθηγητής Γεωργικών Κατασκευών με έμφαση στα Θερμοκήπια, , Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, **Μέλος.**

Λεβίζου Ευθυμία, Επίκουρη Καθηγήτρια Φυσιολογίας Φυτών, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, **Μέλος.**

«Βεβαιώνω ότι εγώ, η Βάθη Βασιλική, είμαι η συγγραφέας αυτής της πτυχιακής εργασίας,
η οποία εκπονήθηκε σύμφωνα με τον Κανονισμό Πτυχιακής Εργασίας του ΤΓΦΠΑΠ»

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά όσους συμμετείχαν στην πραγματοποίηση της πτυχιακής εργασίας και βοήθησαν στην διεξαγωγή του πειράματος. Αρχικά κρίνεται απαραίτητο να ευχαριστήσω για την βοήθεια, στήριξη και καθοδήγηση τον Επίκουρο Καθηγητή του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής & Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας κύριο Χρήστο Λύκα, καθώς και την κυρία Μαρία Ζωγράφου, για την πολύτιμη βοήθειά της για την ολοκλήρωση του πρακτικού και του θεωρητικού μέρους της πτυχιακής εργασίας. Τέλος, μεγάλο ευχαριστώ στους συμφοιτητές που βοήθησαν κατά τη διεξαγωγή του πειράματος.

Περιεχόμενα	
Περίληψη	10
Abstract	12
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ	15
ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ	15
1.1. <i>Τριαντάφυλλο (Rosa sp.)</i>	15
1.2. <i>Υδροπονική καλλιέργεια</i>	16
1.3. <i>Υδροπονικά συστήματα</i>	17
1.4. <i>Κλειστά υδροπονικά συστήματα</i>	18
1.5. <i>Υποστρώματα</i>	20
1.6. <i>Θρεπτικό Διάλυμα</i>	22
1.7. <i>Ηλεκτρική αγωγιμότητα θρεπτικού διαλύματος</i>	22
1.8. <i>Ενεργός οξύτητα (pH) θρεπτικού διαλύματος.</i>	23
1.9. <i>Καλλιέργεια τριαντάφυλλου για δρεπτά άνθη σε κλειστό υδροπονικό σύστημα.</i>	24
1.10. <i>Διαπνοή.</i>	25
1.11. <i>Εξάτμιση νερού.</i>	26
1.12. <i>Απαιτήσεις καλλιέργειας σε θρεπτικά συστατικά</i>	27
1.13. <i>Παράγοντες που επηρεάζουν το ποσοστό απορρόφησης θρεπτικών στοιχείων από τα φυτά και τη διαθεσιμότητα στο θρεπτικό διάλυμα.</i>	30
ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	33
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ	34
ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	34
2.1. <i>Πειραματικό υπόβαθρο.</i>	34
2.2. <i>Θερμοκήπιο και εξοπλισμός υδροπονικού συστήματος.</i>	34

2.3.	Καλλιέργεια.	35
2.4.	Σύνθεση θρεπτικού διαλύματος.	36
2.5.	Πειραματική διαδικασία.	38
2.6.	Προσδιορισμός θρεπτικών στοιχείων.	38
2.7.	Επεξεργασία δεδομένων.	39
2.8.	Προσδιορισμός της μεταβολής του όγκου του θρεπτικού διαλύματος κλειστής υδροπονικής καλλιέργειας τριανταφυλλιάς με βάση τη διαπνοή των φυτών.	39
2.9.	Υπολογισμός εξάτμισης νερού.	39
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ		41
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ- ΣΥΖΗΤΗΣΗ		41
3.1.	Εκτίμηση της διαπνοής της καλλιέργειας.	43
3.2.	Εκτίμηση της συγκέντρωσης του Ca^{2+} στο θρεπτικό διάλυμα σε συνάρτηση με την διαπνοή της καλλιέργειας.	45
3.3.	Εκτίμηση της συγκέντρωσης του Ca^{2+} στο θρεπτικό διάλυμα σε συνάρτηση με το pH του θρεπτικού διαλύματος.	46
3.4.	Εκτίμηση της συγκέντρωσης των PO_4^{3-} στο θρεπτικό διάλυμα.	49
3.5.	Εκτίμηση της συγκέντρωσης K^+ στο θρεπτικό διάλυμα.	53
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ		57
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ		57
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ		58
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ		58

Περιεχόμενα διαγραμμάτων

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3.1 Μεταβολή της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου κατά την περίοδο από 7/6/2021 έως 13/6/2021. _____	41
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3.2 Μεταβολή της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου κατά την περίοδο από 26/6/2021 έως 3/7/2021. _____	42
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3.3 Μεταβολή της ημερήσιας τιμής του pH και της EC του θρεπτικού διαλύματος κατά την χρονική περίοδο από 7/6/2021 έως 13/6/2021. _____	42
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3.4 Μεταβολή της ημερήσιας τιμής του pH και της EC του θρεπτικού διαλύματος κατά την χρονική περίοδο από 26/6/2021 έως 3/7/2021. _____	43
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3.5 Μετρημένη και υπολογισμένη μεταβολή διαπνοής στο θρεπτικό διάλυμα της δεξαμενής για την περίοδο από 8/6/2021 έως 13/6/2021 _____	44
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3.6 1:1 συσχέτιση μετρημένης και υπολογισμένης διαπνοής _____	44
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3.7 Μετρημένη και υπολογισμένη μεταβολή συγκέντρωσης Ca^{2+} στο θρεπτικό διάλυμα της δεξαμενής για την περίοδο 26/6/2021 έως 3/7/2021 _____	47
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3.8 Ποσοστό απόκλισης της μετρημένης τιμής των ιόντων Ca από την υπολογισμένη τιμή ιόντων Ca σε ημερήσια βάση. _____	48
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3.9 1:1 συσχέτιση συγκέντρωσης Ca^{2+} (ppm) στο θρεπτικό διάλυμα που μετρήθηκε στο εργαστήριο με τη συγκέντρωση Ca^{2+} (ppm) που υπολογίστηκε θεωρητικά. _____	48
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3.10. Μεταβολή συγκέντρωσης Ca^{2+} (ppm) και PO_4^{3-} (ppm) στο θρεπτικό διάλυμα και για τις δύο χρονικές περιόδους (7/6/2021-13/6/2021, 26/6/2021-3/7/2021). _____	50
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3.11 Μετρημένη και υπολογισμένη μεταβολή συγκέντρωσης PO_4^{3-} στο θρεπτικό διάλυμα της δεξαμενής για την περίοδο από 8/6/2021 έως 13/6/2021 _____	51
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3.12 Μετρημένη και υπολογισμένη μεταβολή συγκέντρωσης PO_4^{3-} στο θρεπτικό διάλυμα της δεξαμενής για την περίοδο από 27/6/2021 έως 3/7/2021 _____	51
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3.13 Ποσοστό απόκλισης της μετρημένης τιμής των ιόντων PO_4^{3-} από την υπολογισμένη τιμή ιόντων PO_4^{3-} σε ημερήσια βάση για την περίοδο από 8/6/2021 έως 13/6/2021 _____	52
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3.14 Ποσοστό απόκλισης της μετρημένης τιμής των ιόντων PO_4^{3-} από την υπολογισμένη τιμή ιόντων PO_4^{3-} σε ημερήσια βάση για την περίοδο από 27/6/2021 έως 3/7/2021 _____	52
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3.15 1:1 συσχέτιση συγκέντρωσης PO_4^{3-} (ppm) στο θρεπτικό διάλυμα που μετρήθηκε στο εργαστήριο με τη συγκέντρωση PO_4^{3-} (ppm) που υπολογίστηκε θεωρητικά. _____	53
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3.16 Σύγκριση των συγκεντρώσεων Ca^{2+} (ppm) και K^+ (ppm) στο θρεπτικό	

διάλυμα και για τις δύο χρονικές περιόδους (7/6/2021-13/6/2021, 26/6/2021-3/7/2021).	54
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3.17 Μετρημένη και υπολογισμένη μεταβολή συγκέντρωσης K^+ (mg) στο θρεπτικό διάλυμα της δεξαμενής για την περίοδο από 8/6/2021 έως 13/6/2021	55
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3.18 Ποσοστό απόκλισης της μετρημένης τιμής των ιόντων K από την υπολογισμένη τιμή ιόντων K σε ημερήσια βάση.	56
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3.19 Συσχέτιση συγκέντρωσης K^+ (ppm) στο θρεπτικό διάλυμα που μετρήθηκε στο εργαστήριο με τη συγκέντρωση K^+ (ppm) που υπολογίστηκε θεωρητικά	56

Περιεχόμενα Πινάκων.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.1 Στρέμματα υδροπονικών καλλιεργειών στην Ελλάδα.....	17
ΠΙΝΑΚΑΣ 1.2 Ευρέως χρησιμοποιούμενα λιπάσματα και η λειτουργία τους.	22
ΠΙΝΑΚΑΣ 2. 1 Σύσταση Θρεπτικού Διαλύματος και του Νερού (Sonneveld and Straver, 1994).....	37

Περιεχόμενα Εικόνων

ΕΙΚΟΝΑ 2.1 Σχηματική απεικόνιση του κλειστού υδροπονικού συστήματος όπου εγκαταστάθηκαν τα φυτά της καλλιέργειας τριανταφυλλιάς για τις ανάγκες του πειράματος.	35
ΕΙΚΟΝΑ 2.2 Καλλιέργεια τριαντάφυλλων ποικιλίας Amanda στις θερμοκηπιακές εγκαταστάσεις του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Βελεστίνο.	35
ΕΙΚΟΝΑ 2.3 Καλλιέργεια τριαντάφυλλων ποικιλίας Amanda στις θερμοκηπιακές εγκαταστάσεις του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Βελεστίνο.	36

Περίληψη

Σήμερα, λόγω των αυξημένων απαιτήσεων σε μεγάλο αριθμό φυτών και δρεπτών άνθεων τριαντάφυλλων καθ'όλη τη διάρκεια του έτους, είναι ευρέως διαδεδομένη η καλλιέργεια τους σε υδροπονικά συστήματα εντός θερμοκηπιακών εγκαταστάσεων. Υδροπονία, είναι η μέθοδος καλλιέργειας φυτών χωρίς την παρουσία εδάφους. Η εφαρμογή καλλιεργειών εκτός εδάφους σε θερμοκήπια, δίνει τη δυνατότητα τροποποίησης και διαχείρισης όλων των συνθηκών του περιβάλλοντος αυξάνοντας την απόδοση της καλλιέργειας. Για την επίτευξη μίας παραγωγικής υδροπονικής καλλιέργειας, θα πρέπει τα φυτά να εφοδιάζονται διαρκώς με τα κατάλληλα θρεπτικά στοιχεία. Λόγω όμως των περιβαλλοντικών παραμέτρων αλλά και την ίδια την φύση των στοιχείων, του θρεπτικού διαλύματος και του καλλιεργούμενου φυτού, η ορθή θρέψη μπορεί να αποτελέσει δύσκολη διαδικασία. Κρίνεται λοιπόν αναγκαία η συνεχής παρακολούθηση των θρεπτικών συστατικών στο διάλυμα τροφοδοσίας των φυτών, κάτι το οποίο δεν είναι εφικτό με τα διαθέσιμα συστήματα και εργαλεία.

Διεξήχθη πείραμα σε συνεργασία με το εργαστήριο Ανθοκομίας και Αρχιτεκτονικής τοπίου, με σκοπό τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης των Ca^{2+} , K^+ , και PO_4^{3-} στο θρεπτικό διάλυμα υδροπονικής καλλιέργειας τριανταφυλλιάς, συναρτήσει του pH και των παραμέτρων του κλίματος του θερμοκηπίου. Στόχος ήταν η καλύτερη διαχείριση του θρεπτικού διαλύματος. Έγινε, λοιπόν, εγκατάσταση καλλιέργειας τριανταφυλλιάς ποικιλίας Amanda, σε κλειστό υδροπονικό σύστημα σε εγκατάσταση του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, στο Βελεστίνο. Εκεί πραγματοποιήθηκαν καθημερινές μετρήσεις στον χώρο σχετικά με τις συνθήκες του περιβάλλοντος, το pH και την EC του θρεπτικού διαλύματος, καθώς και για διαπνοή των φυτών και λαμβάνονταν καθημερινά δείγματα. Το πείραμα διεξήχθη κατά την χρονική περίοδο από τον Ιούνιο ως τον Ιούλιο του 2021.

Από την παραπάνω πειραματική διαδικασία, προέκυψαν αποτελέσματα που οδήγησαν στη δημιουργία ενός μοντέλου που προσδιορίζει και υπολογίζει την διαπνοή της καλλιέργειας καθώς και την απορρόφηση των στοιχείων Ca^{2+} , K^+ , και PO_4^{3-} σε συνάρτηση με την συγκέντρωση του Ca και το pH. Το pH και η θερμοκρασία διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην συγκέντρωση των στοιχείων και την απορρόφηση του θρεπτικού διαλύματος.

Λέξεις κλειδιά

Υδροπονία, θερμοκήπιο, κλειστό υδροπονικό σύστημα, τριαντάφυλλο, σύσταση θρεπτικού διαλύματος, συγκέντρωση Ca^{2+} , K^+ , PO_4^{3-} , θερμοκρασία, σχετική υγρασία, ηλεκτρική αγωγιμότητα EC, pH, διαπνοή.

Abstract

Due to today's increased demands on a large number of plants and rose flowers throughout the year, their cultivation in hydroponic systems within greenhouse facilities is widespread. Hydroponics is the method of growing plants without the presence of soil. The application of crops outside the soil in greenhouses, allows the modification and management of all environmental conditions, increasing the yield of the crop. In order to achieve an efficient hydroponic cultivation, the plants should be constantly supplied with the appropriate nutrients. However, due to the environmental parameters and the very nature of the elements, the nutrient solution and the cultivated plant, feeding with nutrients can be a difficult process. It is therefore necessary to continuously monitor the nutrients in the plant feeding solution, which is not possible with the available systems and tools.

An experiment was carried out, as part of completing my undergraduate studies, in collaboration with the Floriculture and Landscape Architecture laboratory, with the aim of determining the concentration of Ca^{2+} , K^+ , and PO_4^{3-} in the nutrient solution of hydroponic rose cultivation, as a function of pH and greenhouse climate parameters. The aim was to manage the nutrient solution better. An installation was made to grow Amanda variety roses, in a closed hydroponic system at a facility of the University of Thessaly, in Velestino. Daily field measurements of environmental conditions, pH and EC of the nutrient solution, as well as plant transpiration were made and samples were taken daily. The experiment was conducted during the period from June to July 2021.

The results that were obtained led to the creation of a model that determines and calculates the transpiration of the culture as well as the absorption of the elements Ca^{2+} , K^+ , and PO_4^{3-} in function of the concentration of Ca and the pH. pH and temperature have an important role in the concentration of elements and the absorption of the nutrient solution.

Key Words

Hydroponics, greenhouse, rose, composition of nutrient solution, concentration of Ca^{2+} , K^+ , PO_4^{3-} , temperature, relative humidity, electrical conductivity EC, pH, transpiration

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η σύγχρονη εποχή χαρακτηρίζεται από αυξημένες απαιτήσεις σε κάθε τομέα της καθημερινότητας, ειδικότερα στην φυτική παραγωγή, είτε αφορά τον τομέα των τροφίμων και των λαχανικών, είτε την παραγωγή ανθοκομικών και κηπευτικών φυτών. Στην δεύτερη περίπτωση, σημειώνονται απαιτήσεις μεγάλου αριθμού καλλωπιστικών φυτών εποχής και δρεπτών άνθων καθ'όλη τη διάρκεια του έτους. Χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιου φυτού αποτελεί το τριαντάφυλλο, το οποίο αντιπροσωπεύει μια κατηγορία καλλωπιστικού φυτού που χαρακτηρίζεται κυρίαρχο στην παραγωγή δρεπτών ανθέων με μεγάλους θαυμαστές ανά τον κόσμο. Παράλληλα είναι αναπόσπαστο στοιχείο για την ολοκλήρωση ενός παραδοσιακού σχεδίου αρχιτεκτονικής τοπίου και διακόσμησης κήπων.

Για την μαζική παραγωγή όλων των χρόνων, είναι ευρέως διαδεδομένη η μέθοδος καλλιέργειας φυτών εκτός εδάφους, δηλαδή σε υδροπονικά συστήματα. Με αυτού του είδους την καλλιέργεια επιτυγχάνεται συνεχή και μεγάλου εύρους συγκομιδή στελεχών με τα καλύτερα δυνατά ποιοτικά χαρακτηριστικά σε σύγκριση με τις παραδοσιακές καλλιέργειες εδάφους και υποστρώματος. Έτσι, ο παραγωγός δύναται να ανταπεξέλθει στις ανάγκες του ανταγωνισμού, της αγοράς και της ζήτησης (Giancarlo Fascella, 2009). Στα υδροπονικά συστήματα, η χρήση των οποίων έχει επεκταθεί στις θερμοκηπιακές καλλιέργειες, δίνεται η δυνατότητα ρύθμισης όλων των περιβαλλοντικών συνθηκών καθώς και παροχής θρεπτικών συστατικών και νερού έγκαιρα και εύκολα. Παράλληλα, η χρήση τους συμβάλλει στην προστασία του περιβάλλοντος, ενώ ταυτόχρονα συνδράμουν στον περιορισμό του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής, στην μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος και της εξαφάνισης των ειδών λόγω υπερεκμετάλλευσης και εντατικής καλλιέργειας. Επιπλέον το νερό και οι υπόλοιποι μη ανανεώσιμοι πόροι χρησιμοποιούνται με πιο ορθολογικό πλάνο. Το πρόβλημα, ωστόσο, έγκειται στο γεγονός ότι κάθε καλλιέργεια έχει διαφορετικές απαιτήσεις και λαμβάνοντας υπόψη τον τεχνολογικό εξοπλισμό και τις φθορές του, θα πρέπει να δημιουργηθεί ένα ολοκληρωμένο πρόγραμμα διαχείρισης για την εκάστοτε καλλιέργεια βασισμένο στις πραγματικές ανάγκες και απαιτήσεις του φυτού. Πολλές φορές καθίσταται δύσκολη η διατήρηση των θρεπτικών συστατικών του διαλύματος στις σωστές συγκεντρώσεις για τα φυτά, αλλά και των παραμέτρων του διαλύματος όπως το pH και η ηλεκτρική αγωγιμότητα, στις σωστές τιμές. Επιπλέον, κάθε φυτό, ανάλογα τις συνθήκες στις οποίες εκτίθεται, διαφοροποιεί τις φυσιολογικές διεργασίες του και απορροφά θρεπτικά στοιχεία εκλεκτικά.

Παράλληλα, δύσκολη είναι η παρακολούθηση των θρεπτικών στοιχείων στο διάλυμα

τροφοδοσίας, αφού η πορεία τους δεν είναι καθοριστική. Για παράδειγμα, η διαλυτότητά τους μεταβάλλεται ή αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους λόγω ανταγωνιστικών ή συνεργιστικών σχέσεων. Έτσι, κρίνεται αναγκαίο να είναι γνωστός ο μηχανισμός και ο ρυθμός απορρόφησης των θρεπτικών συστατικών από τα φυτά, ο τρόπος που οι περιβαλλοντικοί παράγοντες και οι ιδιότητες του θρεπτικού διαλύματος επηρεάζουν την φυσιολογία και την ανάπτυξη του φυτού καθώς και το πως μεταβάλλονται τα στοιχεία και οι παράμετροι του διαλύματος τροφοδοσίας σε σχέση με την ανάπτυξη του φυτού και τις συνθήκες του περιβάλλοντος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

1.1.Τριαντάφυλλο (*Rosa* sp.)

Το τριαντάφυλλο, είναι ένα καλλωπιστικό φυτό που ανήκει στο γένος *Rosa*, μέλος της οικογένειας Rosaceae. Πρόκειται για πολυετή, θαμνώδη, φυλλοβόλα φυτά. Αναγνωρίζονται περίπου 100-250 είδη. Η πλειοψηφία αυτών των ειδών υπάρχουν ως αποτέλεσμα υβριδισμού, συχνά με τη συνοδεία πολυπλοειδίας (Smulders κ.ά.,2011). Υπάρχουν πάνω από 20.000 ποικιλίες που αποτελούν αποτέλεσμα των διασταυρώσεων ανάμεσα στις διάφορες ποικιλίες. Ο διαφορετικός αυτός συνδυασμός μπορεί να οδηγήσει σε φυτά με διαφορετικό μέγεθος, χρώμα, συνολικό αριθμό πετάλων, μήκος στελέχους, άρωμα και χρόνο συντήρησης μετά την συγκομιδή (Τσαούσης, 2005). Η παραγωγή των ανθέων είναι δυνατή και κατά την διάρκεια θερμών περιόδων και το φυτό χαρακτηρίζεται ως συνεχούς ανθοφορίας. Αναπτύσσεται άριστα σε θερμοκρασία ημέρας 2°C και νύχτας 18°C όταν προορίζεται για παραγωγή δρεπτών άνθεων. (Sancho, 1989). Στους 20-25 °C τα φυτά φωτοσυνθέτουν στο βέλτιστο ρυθμό, ενώ απαιτούν αρκετή ηλιακή ακτινοβολία για την ανάπτυξή τους. (de Hoog, 2001).

Τα φυτά φέρουν ανθοφόρα χαρακτηριστικά που επιβεβαιώνουν την εμπορική αξία τους. Πιο συγκεκριμένα, συνδράμουν στην αρχιτεκτονική τοπίου, αναπτύσσουν όμορφα λουλούδια και συντελούν διεργασίες όπως η βιοσύνθεση πλούσιων αρωμάτων, η αναπαραγωγή και η αντοχή σε βιοτικές και αβιοτικές καταπονήσεις. Καλλιεργούνται κυρίως για τα δρεπτά άνθη του καθώς και για την χρήση τους ως γλαστρικά και καλλωπιστικά φυτά. Παράλληλα χρησιμοποιούνται στον κλάδο της αρωματοποιίας, σαπωνοποιίας και των καλλυντικών.

Τα τριαντάφυλλα καλλιεργούνται τόσο στον αγρό όσο και στο θερμοκήπιο, για παραγωγή δρεπτών ανθέων (Dubois κ.ά., 2011). Η Rose (*Rosa hybrida* L.) καταλαμβάνει σε παγκόσμια κλίμακα την τρίτη θέση ανάμεσα στα καλλιεργούμενα είδη για δρεπτά άνθη και αξίζει περίπου 11 δισεκατομμύρια δολάρια κάθε χρόνο στις ΗΠΑ. (International Trade Center ,1987, Short και Roberts 1991). Η καλλιέργεια τους για δρεπτά άνθη γίνεται κατά προτίμηση γενικά σε συστήματα καλλιέργειας εκτός εδάφους, σε προστατευμένα περιβάλλοντα (θερμοκήπια) στην Ευρώπη και αλλού (Brun και Tramier, 1988).

Υπάρχει μεγάλη στροφή προς την εξαγωγή δρεπτόν ανθέων από την Ελλάδα προς χώρες της Δυτικής Ευρώπης καθώς και στις ΗΠΑ, τα Αραβικά Εμιράτα και την Ασία. Συνεταιρισμοί που πραγματοποιούν τέτοιες εξαγωγές είναι αυτές της Χερσονήσου και του Θραψάνου στην Κρήτη καθώς και διάφορες ιδιωτικές εταιρίες. Το χρονικό διάστημα κατά το οποίο γίνονται αυτές οι εξαγωγές μπορεί να είναι από Νοέμβριο ως Απρίλιο για καλύτερη ποιότητα προϊόντος και καθώς η Βόρεια Ευρώπη την περίοδο αυτή έχει μειωμένη παραγωγή (Κωνσταντίνου, 2005). Στατιστικά στοιχεία του υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων για το έτος 2018 για την καλλιέργεια της τριανταφυλλιάς αναφέρουν ότι καταλαμβάνει 738 στρέμματα στην Ελλάδα, σε σχέση με το 2017 που ο αριθμός ήταν περί τα 646 στρέμματα και αναγνωρίζεται μία συνεχής αύξηση στον αριθμό των στρεμμάτων για την καλλιέργεια του εν λόγω φυτού (Γιαγνάμ, 2015, Καρατοσίδου, 2020). Η καλλιέργεια των τριαντάφυλλων γίνεται ως επί των πλείστων σε θερμοκήπια, σε καλλιέργειες εκτός εδάφους (S Nanda κ.ά., 2015).

1.2.Υδροπονική καλλιέργεια

Υδροπονία είναι μέθοδος καλλιέργειας φυτών εκτός εδάφους, κατά την το ριζικό σύστημα αναπτύσσεται είτε εντός θρεπτικού διαλύματος για την τροφοδότησή τους με θρεπτικά στοιχεία και νερό (Maharana κ.ά., 2011), είτε σε στερεά πορώδη υποστρώματα που διαποτίζονται τακτικά με το θρεπτικό διάλυμα, παρέχοντας στα φυτά μηχανική στήριξη (Σάββας, 2011). Ο όρος προέρχεται από τις ελληνικές λέξεις ύδωρ - νερό και πόνημα – έργο (Gericke κ.ά., 1937). Ως ορολογία χρησιμοποιήθηκε το 1929 για πρώτη φορά από τον Δρ. Gericke, καθηγητή στην Καλιφόρνια που άρχισε να αναπτύσσει κάτι που προηγουμένως αποτελούσε απλώς μία εργαστηριακή τεχνική σε ένα εμπορικό μέσο καλλιέργειας φυτών. Άλλες ονομασίες είναι επίσης και υδροκαλλιέργεια, χημική καλλιέργεια, εκτός εδάφους καλλιέργεια, καλλιέργεια σε υπόστρωμα κ.α. Μέχρι το 1950, υπήρχαν βιώσιμα εμπορικά αγροκτήματα στην Αμερική, την Ευρώπη, την Αφρική και την Ασία (Therios, 1996). Στον ελληνικό χώρο καταλαμβάνονται μεγάλες εκτάσεις για την εγκατάσταση υδροπονικών καλλιέργειών. Συνολικά καταλαμβάνονται 1.450 στρέμματα που είναι κατανεμημένα όπως φαίνεται στον πίνακα 1.1.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.1 Στρέμματα υδροπονικών καλλιεργειών στην Ελλάδα

Περιοχή	Στρέμματα
Βόρεια Ελλάδα	400
Στερεά Ελλάδα	150
Πελοπόννησος	450
Αττική	300
Δυτική Ελλάδα	100
Κρήτη	350

Η διάδοση της υδροπονίας, συμβάλλει τόσο στην εντατικοποίηση των καλλιεργειών και στην αύξηση των αποδόσεων, όσο και στη διατήρηση του περιβάλλοντος. Η μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος αποτελεί μία από τις μεγάλες προκλήσεις που αντιμετωπίζει η κοινωνία και ορισμένες από τις τρέχουσες μορφές γεωργίας αποτελούν απειλή. Η αποψίλωση των δασών, που προκαλείται σε μεγάλο βαθμό από τη χρήση του εδάφους για γεωργική χρήση και οι εκπομπές του φαινομένου του θερμοκηπίου που παράγονται από τα ίδια τα αγροκτήματα θέτουν υπό αμφισβήτηση τη βιωσιμότητα της συμβατικής μεθόδου καλλιέργειας. Ωστόσο, υπάρχουν βιώσιμες εναλλακτικές όπως η υδροπονία. Προτείνεται ως λύση για την μείωση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής, για τον περιορισμό της περιβαλλοντικής ζημίας και της εξαφάνισης των ειδών που οφείλονται στην υπερ εκμετάλλευση των εδαφών και την εντατική γεωργία. Επιτρέπει επίσης μια πιο ορθολογική χρήση του νερού, ενός πόρου που γίνεται όλο και πιο σπάνιος.

Σε συνδυασμό με τα θερμοκήπια, η υδροπονία γίνεται ολοένα και πιο δημοφιλής, ειδικά στις Ηνωμένες Πολιτείες, τον Καναδά, τη Δυτική Ευρώπη και την Ιαπωνία. Χαρακτηρίζεται ως μια βιώσιμη μέθοδος παραγωγής λαχανικών όπως ντομάτες, αγγούρια, μαρούλι, πιπεριές καθώς και καλλωπιστικών καλλιεργειών όπως τριαντάφυλλα, βότανα και φυλλώδη φυτά (Jensen, 1999).

1.3.Υδροπονικά συστήματα

Τα υδροπονικά συστήματα διακρίνονται σε διάφορες κατηγορίες και έχουν μεγάλες διαφορές

που αφορούν την ύπαρξη ή όχι υποστρώματος, τα χαρακτηριστικά και τις ιδιότητες του, τον τρόπο διοχέτευσης θρεπτικών συστατικών και άρδευσης της καλλιέργειας. Στην περίπτωση που δεν υπάρχει υπόστρωμα, τα φυτά βρίσκονται σε απευθείας επαφή με το θρεπτικό διάλυμα. Ανάλογα με τον τρόπο διάθεσης και απομάκρυνσης του θρεπτικού διαλύματος από τα φυτά, γίνεται διάκριση των συστημάτων υδροκαλλιέργειας σε ανοιχτά και κλειστά. Στα ανοιχτά συστήματα, το πλεονάζον θρεπτικό διάλυμα, αφότου απομακρυνθεί από τα φυτά, απορρέει, απομακρύνεται από τον χώρο των ριζών και απορρίπτεται. (Benton, 2005, Κανδήλα, 2010). Στα κλειστά συστήματα, το θρεπτικό διάλυμα επανακυκλοφορεί και χρησιμοποιείται ξανά για απροσδιόριστη χρονική διάρκεια (Lykas, 2006). Συλλέγεται, λοιπόν, με κατάλληλο δίκτυο συλλογής, ανανεώνεται, συμπληρώνεται και μέσω αντλίας παροχής επιστρέφει στα φυτά (Emerson, 2014). Στην Ελλάδα, ο κυριότερος τύπος υδροπονικών συστημάτων που χρησιμοποιείται είναι τα ανοιχτά συστήματα (Lieth, 1996), ωστόσο είναι αποδεδειγμένο ότι δεν παρατηρούνται σημαντικές διαφορές ανάμεσα στους δύο τύπους ως προς την ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων (Savvas και Passam, 2002).

1.4. Κλειστά υδροπονικά συστήματα

Τα κλειστά υδροπονικά συστήματα και η επαναχρησιμοποίηση στραγγισμένου θρεπτικού διαλύματος αρχίζουν να εδραιώνονται στις θερμοκηπιακές καλλιέργειες στις μεσογειακές χώρες, αφού επιτρέπουν πιο οικονομική χρήση νερού και λιπασμάτων και παρέχουν νερό σε αφθονία στην καλλιέργεια (Sonneveld και Welles, 1984, Lykas, 2006)

Τα συστήματα αυτά, απαιτούν συνεχή και προσεκτική παρακολούθηση. Οφείλουν να πραγματοποιούνται αυστηροί έλεγχοι των παραμέτρων του θρεπτικού διαλύματος, όπως το pH και η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) με σκοπό την ρύθμισή τους, ώστε να βρίσκονται σε επιθυμητά επίπεδα. Η διόρθωση γίνεται με προσθήκη νερού, οξέος ή διαλυμάτων που είναι σε απόθεμα. Σημαντική είναι η απολύμανση, σε αυτή τη περίπτωση, του υποστρώματος, με μεθόδους όπως η παστερίωση, η αργή διήθηση σε άμμο, η υπεριώδης ακτινοβολία κ.α.

Παρότι ανακυκλώνεται, το θρεπτικό διάλυμα δεν είναι αναντικατάστατο και πρέπει να ανανεωθεί ή και αντικατασταθεί εξ' ολοκλήρου μετά από κάποιο χρονικό διάστημα. Σε πολλές περιπτώσεις, ιόντα όπως το Na^+ και το Cl^- από το νερό που προστίθεται για διορθωτικούς σκοπούς (π.χ. διόρθωση pH) συσσωρεύονται, και παραμένουν ως ελεύθερα ιόντα στο νερό, χωρίς να προσλαμβάνονται από τα φυτά. Παράλληλα, όσο περισσότερο καιρό χρησιμοποιείται το διάλυμα, το pH και η EC δεν είναι εύκολο να ρυθμιστούν με τους συνηθισμένους τρόπους, λόγω διατροφικών

ανισορροπιών των φυτών, καθιστώντας την αντικατάσταση του θρεπτικού διαλύματος απαραίτητη. Τέλος, ορισμένα συστατικά, έχουν την τάση να καθιζάνουν με αποτέλεσμα να μην είναι διαθέσιμα για τα φυτά και να μην μπορούν να διαλυθούν στο υπάρχον διάλυμα, παρά μόνο με αλλαγές στο pH. Τέτοια στοιχεία είναι για παράδειγμα τα CaCO_3 , CaHPO_4 , MgHPO_4 και $\text{FePO}_4 \cdot \text{KSO}_4$ (Wohanka, 2002, Emerson, 2014, Σάββας, 2020).

Πλεονεκτήματα κλειστών υδροπονικών συστημάτων

- Το νερό και τα θρεπτικά μπορούν να ανακυκλώνονται και να χρησιμοποιούνται με αποτέλεσμα τη μείωση του κόστους της καλλιέργειας (Dunn, 2013, Σάββας, 2020).
- Δεν υφίσταται το φαινόμενο μόλυνσης περιβάλλοντος από λιπάσματα και φάρμακα που διαρρέουν στο περιβάλλον, διότι το θρεπτικό διάλυμα ξαναχρησιμοποιείται (Savvas, 2002). Το πλεονέκτημα αυτό είναι σημαντικό ειδικά όπου υπάρχει πόσιμο νερό, αφού για παράδειγμα τα νιτρικά, με την έκπλυσή τους, αυξάνουν τα άλατα στο νερό, σε τέτοιο επίπεδο που να είναι επιζήμιο για την υγεία (Bloom-Zandstra, 1989, Savvas, 2002).
- Οι ρίζες έχουν διαθέσιμο περισσότερο οξυγόνο, οπότε η ανάπτυξη είναι ταχύτερη.
- Μπορούν να καλλιεργηθούν φυτά εκτός εποχής, με αποτέλεσμα υψηλότερες απολαβές για τον παραγωγό (Pandey κ.ά., 2009).

Μειονεκτήματα κλειστών υδροπονικών συστημάτων

- Το κόστος εγκατάστασης είναι υψηλό (Dunn, 2013)
- Απαιτούνται εξειδικευμένες επιστημονικές γνώσεις και ικανότητες από τους παραγωγούς (Pandey κ.ά., 2009), καθώς και εξειδικευμένος εξοπλισμός.
- Απαιτείται νερό υψηλής ποιότητας
- Είναι δυνατή η συσσώρευση φυτοτοξικών μεταβολιτών και οργανικών ουσιών στο ανακυκλώσιμο θρεπτικό διάλυμα (Maucieri, 2019)
- Το αποτέλεσμα μιας αλλαγής, ειδικά ένα αρνητικό, στην διαδικασία της παραγωγής εμφανίζεται ταχύτατα σε ολόκληρη την υδροπονική καλλιέργεια (Savvas, 2002). Είναι

εύκολη η μεταφορά παθογόνων μέσω του θρεπτικού διαλύματος σε όλα τα φυτά, αφού το μοιράζονται (Pandey κ.ά., 2009, Sardare κ.ά., 2019)

- Σύμφωνα με την μελέτη των Miller κ.ά., (2020) η συνεχής ανακύκλωση θρεπτικού διαλύματος, σε κλειστό σύστημα, με κλασσικό νερό βρύσης που περιέχει μέτρια έως υψηλά επίπεδα αλκαλικότητας, μπορεί να οδηγήσει σε εμφανή αύξηση της EC του διαλύματος, ελλείψεις θρεπτικών συστατικών στα φυτά και μείωση της ανάπτυξης των βλαστών.

1.5.Υποστρώματα

Τα φυτά που είναι εγκατεστημένα σε ένα υδροπονικό σύστημα βρίσκουν στήριξη εντός του υποστρώματος. Αυτό, μπορεί να είναι είτε φυσικό, είτε τεχνητό και προερχόμενο από βιομηχανική επεξεργασία. Το υπόστρωμα διαβρέχεται από το θρεπτικό διάλυμα, το οποίο παρέχει όλα τα απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία στα φυτά (Κίττας, 2002). Το θρεπτικό διάλυμα, καθώς και ο αέρας, συγκρατούνται στα υποστρώματα χάρη στο μεγάλο αριθμό πόρων που διαθέτουν. Με τον τρόπο αυτό παρέχονται στις ρίζες οι απαραίτητες δοσολογίες. Τα ευρέως χρησιμοποιούμενα υποστρώματα είναι ο πετροβάμβακας, ο περλίτης, το κοκκόχωμα και η ελαφρόπετρα. Συχνά χρησιμοποιούνται η άμμος, ο ζεόλιθος και η διογκωμένη άργιλος (Σάββας, 2020).

Τα χαρακτηριστικά ενός ιδανικού υποστρώματος είναι:

- Εύκολη χρήση
- Διαθεσιμότητα υλικών
- Απουσία ασθενειών, παθογόνων, μικροοργανισμών και σπόρων ζιζανίων.
- Επάρκεια αέρα
- Επάρκεια συγκράτησης νερού
- Ομοιόμορφη, σταθερή δομή
- Χαμηλό κόστος
- Χημική αδράνεια
- Μη τοξικότητα
- Εύκολη απόδοση και καλή αναλογία H₂O (Lykas, 2006, Σάββας, 2020).

Ενώ οι ιδιότητες ενός ιδανικού υποστρώματος είναι:

Χημικές Ιδιότητες

- Χημική σύσταση
- Ικανότητα ανταλλαγής ιόντων
- Αλκαλικότητα
- Ενεργός Οξύτητα (pH)
- Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (EC)
- Άμεσα διαθέσιμα θρεπτικά στοιχεία (Sonneveld και Voogt, 2001, Dunn, 2016, Σάββας, 2020)

Φυσικές Ιδιότητες

- Ολικό πορώδες
- Κοκκομετρική σύσταση
- Φαινόμενο ειδικό βάρος
- Υδατοχωρητικότητα
- Αεροπερατότητα
- Ικανότητα συγκράτησης νερού
- Υδραυλική αγωγιμότητα
- Ειδική επιφάνεια.

1.6.Θρεπτικό Διάλυμα

Τα θρεπτικά διαλύματα είναι αραιά υδατικά διαλύματα τα οποία συμπεριλαμβάνουν όλα τα απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία για την ολοκλήρωση του βιολογικού κύκλου των φυτών, εκτός από τον άνθρακα που δεσμεύεται από τα φυτά μέσω του διοξειδίου του άνθρακα της ατμόσφαιρα. Ο εμπλουτισμός του διαλύματος με θρεπτικά συστατικά πραγματοποιείται με την εφαρμογή λιπασμάτων ως ιόντα ανόργανων αλάτων και με τη μορφή ευδιάλυτων ανόργανων ή οργανικών χημικών ενώσεων. Τα περισσότερα έχουν την μορφή υδατοδιαλυτών αλάτων ή οξέων (Σάββας, 2020). Το Si εφαρμόζεται με την μορφή οργανομεταλλικών συμπλόκων. Στον πίνακα 1.2 αναφέρονται λιπάσματα που χρησιμοποιούνται στην υδροπονία και η λειτουργία τους. Έχουν αναπτυχθεί αρκετοί συνδυασμοί και «φόρμουλες» από μακροθρεπτικά και μικροθρεπτικά συστατικά που έχουν στόχο να ενισχύσουν την πρόσληψη θρεπτικών ουσιών και την ανάπτυξη των φυτών. Σημαντικά κριτήρια για την καλή σύσταση και θρεπτική αξία των διαλυμάτων αυτών αποτελούν η ηλεκτρική αγωγιμότητα και το pH.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.2 Ευρέως χρησιμοποιούμενα λιπάσματα και η λειτουργία τους.

Λιπάσματα	Εφαρμογή
H_3PO_4	Πηγή φωσφόρου και εξουδετέρωσης των διττανθρακικών του νερού άρδευσης
K_3PO_4	Πηγή καλίου και αζώτου
$Mg(NO_3)_2$	Πηγή μαγνησίου και αζώτου
$Ca(NO_3)_2$	Νιτρικό ασβέστιο Πηγή ασβεστίου και αζώτου
NH_4NO_3	Πηγή αζώτου και ρυθμιστής του PH
HNO_3	Πηγή αζώτου και εξουδετέρωση των διττανθρακικών του νερού άρδευσης

1.7. Ηλεκτρική αγωγιμότητα θρεπτικού διαλύματος

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα, αλλιώς Electrical Conductivity (EC) αποτελεί έκφραση της ικανότητας

που έχει ένα υδατικό διάλυμα να άγει το ηλεκτρικό ρεύμα, πράγμα που επιτυγχάνεται μέσω των ιόντων που εμπεριέχονται σε αυτό. Μετράται για να προσδιοριστεί η θρεπτική κατάσταση του θρεπτικού διαλύματος. (Brun κ.ά., 2000; Christie, 2014; Jones, 2016) και αυτό γιατί η μέτρηση της είναι ένας έμμεσος και γρήγορος τρόπος υπολογισμού της συνολικής συγκέντρωσης ιόντων, συμπεριλαμβανομένων των θρεπτικών συστατικών, διαλυμένων σε ένα διάλυμα (Graves, 1983, Nemali, 2018). Αναφέρεται μόνο στις συγκεντρώσεις των διαλυμένων στο υπόστρωμα αλάτων και όχι στο είδος αυτών. Μια κοινή πρακτική στην υδροπονία είναι η διατήρηση της τιμής της ηλεκτρικής αγωγιμότητας σε επιθυμητά επίπεδα, στο ανακυκλούμενο διάλυμα με συχνή μέτρηση και προσαρμογή της χρησιμοποιώντας νερό και θρεπτικά συστατικά. Θεωρείται ότι επαρκής ποσότητα θρεπτικών ουσιών μπορεί να διατεθεί στα φυτά διατηρώντας την ηλεκτρική αγωγιμότητα στο διάλυμα ανακύκλωσης στο επιθυμητό επίπεδο. Η EC εκφράζεται σε dS m^{-1} ή $1 \text{ mS/m} = 1 \text{ mS/cm} = 1 \text{ mmhos/cm} = 1000 \text{ }\mu\text{mhos/cm} = 1000 \text{ }\mu\text{S/cm}$. Η μέτρησή της γίνεται με απλά όργανα. Υψηλές τιμές υποδηλώνουν υψηλή περιεκτικότητα σε άλατα με αποτέλεσμα την καταπόνηση των φυτών, ενώ χαμηλές τιμές μαρτυρούν ανεπάρκεια θρεπτικών στοιχείων (Marschner, 1995, Neil κ.ά., 2014, Σάββας, 2020).

1.8. Ενεργός οξύτητα (pH) θρεπτικού διαλύματος.

Με το pH δηλώνεται η οξύτητα του θρεπτικού διαλύματος. Σε ιδανικές συνθήκες πρέπει η τιμή του στο διάλυμα να κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 5,5 έως 6 (συνήθως 5,5). Σε αυτές τις τιμές αυξάνεται η διαθεσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων για τα φυτά (Dunn, 2016). Το pH επηρεάζει την διαλυτότητα των θρεπτικών στοιχείων στο διάλυμα καθώς και την απορρόφηση τους από τα φυτά (Σάββας Δημήτριος, 2020). Αν, για παράδειγμα, το pH βρεθεί σε τιμές πολύ πιο χαμηλές από τις φυσιολογικές και επιθυμητές, ορισμένα θρεπτικά, ελευθερώνονται σε ποσότητες τοξικές για τα φυτά. Επιπλέον, όταν το pH έχει τιμή κοντά στο 8,5 αυξάνεται η συγκέντρωση των κατιόντων, ενώ τα ανιόντα αποκτούν μικρότερο ρυθμό απορρόφησης (Τσαούσης, 2005, Marschner, 1995) Μελέτες για διάφορες καλλιέργειες απέδειξαν ότι χαμηλό pH δίνει στα φυτά υψηλότερη συγκέντρωση μικροθρεπτικών συστατικών στους βλαστούς τους από εκείνα που έλαβαν υψηλότερο pH (Roosta, 2011). Με την αύξηση του pH διαθεσιμότητα των Fe, Cu, Zn, Mn στα φυτά μειώνεται ενώ σε χαμηλό pH περιορίζεται η διαθεσιμότητα των P, K, Ca, Mg (Bugbee, 2004; Marschner, 1995). Οι διακυμάνσεις του pH τείνουν να επηρεάζουν πολύ την απορρόφηση του P, ο οποίος είναι περισσότερο διαθέσιμος σε pH από 6 ως 7. Ο P απορροφάται πιο εύκολα με τη μορφή ορθοφωσφορικού (H_2PO_4^-) των οποίων οι θέσεις απορρόφησης είναι τάξης μεγέθους του HPO_4^{2-} . Η αναλογία εξαρτάται από το

pH και τις συνθήκες του έδαφος. Είναι ευκίνητο στους νεαρής ηλικίας φυτικούς ιστούς και εμφανίζεται η μέγιστη διαλυτότητά του σε pH 6,0–6,5 (Marschner, 1995, Pertwee, 1999)

1.9. Καλλιέργεια τριαντάφυλλου για δρεπτά άνθη σε κλειστό υδροπονικό σύστημα.

Τόσο σε διεθνές όσο και σε εθνικό επίπεδο, η καλλιέργεια καλλωπιστικών φυτών τριανταφυλλιάς για την παραγωγή δρεπτών ανθέων είναι από τις πιο σημαντικές (Pertwee, 1999). Σχεδόν παγκοσμίως, η καλλιέργεια των τριαντάφυλλων γίνεται εκτός εδάφους, ενώ υπάρχουν ελάχιστες εξαιρέσεις όπου γίνεται παραδοσιακά, στο έδαφος. Αυτό συμβαίνει διότι το φυτό αυτό τείνει να προσαρμόζεται καλά στις συνθήκες αυτής της μεθόδου καλλιέργειας και να αποδίδει αποτελεσματικότερα. Στα εκτός εδάφους συστήματα, καλλιεργείται ως πολυετές φυτό, με πυκνότερη φύτευση πράγμα που οδηγεί σε μεγαλύτερη παραγωγή (van Os. κ.ά., 2008, Σάββας, 2011).

Όταν πρόκειται για την εγκατάσταση καλλιέργειας τριαντάφυλλου, προτιμάται η χρήση υποστρώματος και όχι απευθείας υδροκαλλιέργεια, λόγω του μεγάλου ριζικού συστήματος του φυτού που εμποδίζει την ροή του θρεπτικού διαλύματος. Ως υποστρώματα χρησιμοποιούνται ο πετροβάμβακας, ο περλίτης, ο κόκκος και διάφορα άλλα ηφαιστιογενή υλικά όπως σκωρία και ελαφρόπετρα. Ο περλίτης είναι ένα ηφαιστειακό, υαλώδες αργιλοπυριτικό ορυκτό. Στα υδροπονικά συστήματα χρησιμοποιείται μέγεθος κόκκων 0-3 mm σε διάμετρο, ολικό πορώδες 95%, ικανότητα συγκράτησης νερού 200-450% του βάρους του, και ειδικό βάρος 40- 150 Kg/m³. Τοποθετείται σε σάκους ή γλάστρες ή κάθε είδους φυτοδοχεία ή απλώνεται σε υδρορροές καλυμμένες με φύλλο πλαστικού πολυαιθυλενίου (Κανδήλα, 2010, Σάββας, 2020).

Το νερό σε μία υδροπονική καλλιέργεια τριαντάφυλλων χρησιμοποιείται για την άρδευση, για την ψύξη, για την εφαρμογή των φυτοφαρμάκων, τον καθαρισμό και την προετοιμασία του χώρου των ριζών. Χρησιμοποιούνται περί τα 12-16m² νερού την μέρα, κατά μέσο όρο. Σχεδόν όλη η ποσότητα χρησιμοποιείται για την άρδευση και ο ρυθμός χρήσης του νερού εξαρτάται από την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, την σκίαση του θερμοκηπίου, την κίνηση του αέρα, το είδος του καλλιεργούμενου φυτού, το σύστημα άρδευσης και τον βαθμό έκπλυσης θρεπτικών. Στην περίπτωση του κλειστού υδροπονικού συστήματος, επιτυγχάνεται πιο ομοιόμορφη άρδευση και εξοικονόμηση νερού ανακυκλώνοντας και επαναχρησιμοποιώντας την περίσσεια. Μέσω της πραγματικής εξατμισιοδιπανοής προσδιορίζονται οι ανάγκες καλλιέργειας σε νερό, και καθορίζεται και ο ρυθμός αρδεύσεων, αφού υποδηλώνει το ρυθμό κατανάλωσης νερού και θρεπτικών στοιχείων από αυτή (Λόλας, 2000, Stanghellini κ.ά., 2019).

Το τριαντάφυλλο είναι φυτό μέτριας ευαισθησίας στην αλατότητα, και υψηλής ευαισθησίας σε υψηλές συγκεντρώσεις NaCl στο ριζόστρωμα (Massa κ.ά., 2008). Η ιδανική για παραγωγή δρεπτών ανθέων, ηλεκτρική αγωγιμότητα στο θρεπτικό διάλυμα είναι 2,1dS m⁻¹, ενώ για κάθε μονάδα αύξησης από αυτή την τιμή, σημειώνεται μείωση κατά 5,3% στην παραγωγή (Sonneveld κ.ά., 1999).

1.10. Διαπνοή.

Τα θρεπτικά συστατικά, είτε προέρχονται από το έδαφος, είτε σχηματίζονται στα φύλλα μέσω της φωτοσύνθεσης, μεταφέρονται εντός των αγγείων των φυτών με την μετακίνηση του νερού. Τα φυτά, σε καθημερινή βάση, πραγματοποιούν την φυσιολογική διεργασία της διαπνοής. Μέσω αυτής, απορροφούν νερό παθητικά. Η διαδικασία αυτή επηρεάζει άμεσα το μικροκλίμα στον χώρο του θερμοκηπίου (Λόλας, 2000). Η επίδραση αυτή είναι σημαντική στον μεσογειακό χώρο, όπου την θερινή περίοδο επικρατούν συνθήκες υψηλών θερμοκρασιών και έντονης ακτινοβολίας.

Η διαπνοή διαδραματίζει πολύ σημαντικό ρόλο στα συστήματα επαναχρησιμοποίησης θρεπτικού διαλύματος, αφού χάρη σε αυτή προβλέπεται ο ρυθμός απομάκρυνσης θρεπτικών από το διάλυμα και επομένως καθορίζεται η σύστασή του. Η επίγνωση, λοιπόν, της κατάστασης της διαπνοής των φυτών οδηγεί στην δημιουργία καλύτερων θρεπτικών διαλυμάτων. (Κατσούλας κ.ά., 2000). Μπορεί να παρατηρηθεί τόσο σε επίπεδο ενός φύλλου, όσο ολόκληρης της καλλιέργειας.

Η διαδικασία της διαπνοής επηρεάζεται από μεταβολές στη θερμοκρασία, από την ένταση της ακτινοβολίας, την σχετική υγρασία του θερμοκηπίου, τα χαρακτηριστικά του φυτού, της ποικιλίας και τις καλλιεργητικές πρακτικές (Dayan κ.α., 2001, Θάνος, 2017).

Τα τριαντάφυλλα αρχίζουν να υπόκεινται σε θερμικό στρες όταν εκτεθούν σε υψηλές θερμοκρασίες. Θερμοκρασίες άνω των 28°C θεωρούνται επικίνδυνες για τα φυτά (Dayan κ.ά. 2000.) Μάλιστα σε θερμοκρασίες 40°C και άνω, σταματούν λειτουργίες όπως η αναπνοή και σταματά η απορρόφηση θρεπτικών (Salisbury και Ross, 1969)

Η αύξηση της θερμοκρασίας, επιταχύνει την εξάτμιση από τα φύλλα, αυξάνοντας την ανάγκη για νερό στους φυτικούς ιστούς. Η εξάτμιση διαδραματίζεται στα στόματα των φύλλων. Αυτή η εξάτμιση είναι ο τρόπος με τον οποίο χάνεται τελικά το μεγαλύτερο μέρος του νερού στο φυτό, αφήνοντας σε αυτό μόνο το 25%. Τα στόματα διαθέτουν προστατευτικά κύτταρα που τα ανοίγουν και τα κλείνουν. Αυτά τα κύτταρα πρέπει να περικλείονται με νερό για να λειτουργήσουν. Όταν χάνουν την ακαμψία τους λόγω της γρήγορης χρήσης του νερού, δεν μπορούν πλέον να κάνουν τη δουλειά

τους και τα στόματα κλείνουν, παρουσιάζοντας το φαινόμενο αντίστασης των στομάτων. εμποδίζοντας την διαδικασία της διαπνοής. Επίσης, μια αύξηση στη θερμοκρασία των φύλλων θα οδηγήσει σε αύξηση του VPD (Vapor Pressure Deficit) μεταξύ του φύλλου και του περιβάλλοντος αέρα, η οποία μπορεί τελικά να επηρεάσει την λειτουργία των στομάτων (Willmer και Fricker, 1996).

Ο παράγοντας VPD (Vapor Pressure Deficit), είναι το έλλειμα πίεσης ατμού του αέρα. Αντιπροσωπεύει την «πίεση» που ασκεί ο αέρας στο φυτό για να διαπνεύσει και να μετακινήσει τον αέρα από τις ρίζες μέσα από το φυτό και έξω από τα στόματα στα φύλλα τους. Όταν ο αέρας είναι ξηρός (χαμηλή υγρασία) και το VPD είναι υψηλό, θα υπάρχει μεγαλύτερη πίεση στο φυτό να διαπνέει και να συμβαδίζει με τον υψηλότερο ρυθμό εξάτμισης από τα στόματα. Όταν ο αέρας είναι υγρός και το VPD είναι χαμηλό, θα υπάρχει λιγότερη πίεση στο φυτό για διαπνοή. Στην περίπτωση που ο ρυθμός διαπνοής είναι πραγματικά γρήγορος, τότε τα φυτά μπορεί να μην είναι σε θέση να μεταφέρουν θρεπτικά συστατικά αποτελεσματικά στα διάφορα μέρη των φυτών. Η ανεπάρκεια ασβεστίου είναι το πιο κοινό αβιοτικό σύμπτωμα των πραγματικά υψηλών ρυθμών διαπνοής.

Παράλληλα, σημαντική είναι η σχετική υγρασία του θερμοκηπίου (RH), που είναι η ποσότητα υδρατμών στον αέρα σε σύγκριση με την ποσότητα υδρατμών που θα μπορούσε να συγκρατήσει ο αέρας σε μια δεδομένη θερμοκρασία. Ένα ενυδατωμένο φύλλο θα έχει RH κοντά στο 100%, ακριβώς όπως θα είχε η ατμόσφαιρα σε μια βροχερή μέρα. Οποιαδήποτε μείωση του νερού στην ατμόσφαιρα δημιουργεί μια κλίση για τη μετακίνηση του νερού από το φύλλο στην ατμόσφαιρα. Όσο χαμηλότερη είναι η RH, τόσο λιγότερο υγρή είναι η ατμόσφαιρα και επομένως, τόσο μεγαλύτερη είναι η κινητήρια δύναμη για τη διαπνοή. Όταν η σχετική υγρασία είναι υψηλή, η ατμόσφαιρα περιέχει περισσότερη υγρασία, μειώνοντας την κινητήρια δύναμη για τη διαπνοή.

1.11. Εξάτμιση νερού.

Εξάτμιση νερού είναι το φαινόμενο που διαδραματίζεται όταν το νερό, από μία ελεύθερη επιφάνεια που έρχεται σε επαφή με τον αέρα, μετατρέπεται σε υδρατμούς. Πρόκειται για μόρια νερού από το έδαφος ή από επιφάνειες νερού που μετατρέπονται από την υγρή φάση στην αέρια. Η ηλιακή ακτινοβολία, η διακύμανση της θερμοκρασίας και η πίεση των υδρατμών αποτελούν παράγοντες που επηρεάζουν το φαινόμενο αυτό.

Σε μία υδροπονική καλλιέργεια, όπου η τροποποίηση της θερμοκρασίας δεν είναι εφικτή και οι θερμοκρασίες εντός του θερμοκηπίου μπορεί να είναι υψηλές, μπορεί να υφίσταται το φαινόμενο

εξάτμισης θρεπτικού διαλύματος. Εάν η δεξαμενή δεν καλύπτεται ή δεν προστατεύεται σωστά από το περιβάλλον. Για να μπορέσει να γίνει υπολογισμός της πραγματικής ποσότητας του θρεπτικού διαλύματος που απορρόφησαν τα φυτά, χάρη στη διαπνοή είναι απαραίτητος ο υπολογισμός της ποσότητας του θρεπτικού διαλύματος που απομακρύνθηκε με την εξάτμιση. Κατ' επέκταση υπολογίζεται η ποσότητα θρεπτικών που δεν είναι πια διαθέσιμη στα φυτά.

1.12. Απαιτήσεις καλλιέργειας σε θρεπτικά συστατικά

Για να μπορέσουν να αναπτυχθούν και να περάσουν από όλα τα στάδια του βιολογικού τους κύκλου, τα φυτά χρειάζεται να προσλάβουν δεκαέξι απαραίτητα στοιχεία. Απαραίτητα χαρακτηρίζονται εκείνα τα στοιχεία που αποτελούν ενδογενή συστατικά του μεταβολισμού ή της δομής των φυτών και η απουσία ή παρουσία τους εντός του φυτού καθορίζει την ομαλή εξέλιξη του βιολογικού τους κύκλου (Dunn, 2013). Οποιαδήποτε συμπτώματα προκληθούν από την έλλειψή τους, αντιμετωπίζονται μόνο με την χορήγησή τους. Τα στοιχεία αυτά, παρουσιάζονται σε συγκεντρώσεις μέσα στο φυτό που καταλαμβάνουν ένα εύρος τιμών. Όταν οι τιμές αντιπροσωπεύουν το 90% της μέγιστης συγκέντρωσης ενός στοιχείου στον ιστό, τότε κάνουμε λόγο για κριτική συγκέντρωση στοιχείου. Όταν η συγκέντρωση ξεπεράσει αυτή την τιμή, το θρεπτικό δεν είναι επιπλέον ωφέλιμο, ενώ όταν έχει τιμές μικρότερες της κριτικής, παρουσιάζονται συμπτώματα τροφопενίας. Στον πίνακα 1.3 παρουσιάζονται ορισμένες από τις κριτικές συγκεντρώσεις των πιο σημαντικών στοιχείων.

Απαραίτητα είναι τα μακροστοιχεία (C, O, H, N, P, S, K, Ca, Mg) και τα ιχνοστοιχεία (Fe, Zn, B, Mn, Cu, Cl, Mo). Από αυτά τα στοιχεία, το H απορροφάται από το νερό, ενώ το O και ο C, από την ατμόσφαιρα. Τα φυτά απορροφούν τα θρεπτικά συστατικά ανάλογα με τις δικές τους ανάγκες και όχι ανάλογα με τις συγκεντρώσεις που αυτά έχουν στο θρεπτικό διάλυμα (Steiner, 1980, Morard και Benavides 1990), χάρη στο μηχανισμό ενεργούς μεταφοράς θρεπτικών στοιχείων, μέσω των κυτταρικών μεμβρανών, στο εσωτερικό των κυττάρων στη ρίζα (Taiz και Zeiger, 2022, Marschner, 1995). Με βάση αυτή την εκλεκτικότητα, η σύσταση του θρεπτικού διαλύματος μεταβάλλεται στα μεσοδιαστήματα μεταξύ των ποτισμάτων με ταχείς ρυθμούς στις καλλιέργειες εκτός εδάφους (Sooneveld και Voogt, 2009). Έτσι, οι επιθυμητές συγκεντρώσεις θρεπτικών στοιχείων στο περιβάλλον της ρίζας διαφέρουν από αυτές στο διάλυμα τροφοδοσίας. Τα θρεπτικά στοιχεία που είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη των φυτών μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε τρεις ομάδες, με βάση την ταχύτητα με την οποία απορροφώνται από το θρεπτικό διάλυμα. Υπάρχουν αυτά που απορροφώνται σε διάστημα λίγων ωρών, όπως για παράδειγμα ο P και το K και άλλα, αυτά με μέτρια

ταχύτητα απορρόφηση όπως το Mg και Cu και αυτά που απορροφώνται παθητικά όπως το Ca (Bugbee, 2004).

Κατά την εγκατάσταση έχουμε δύο είδη θρεπτικών διαλυμάτων. Αρχικά, υπάρχει το θρεπτικό διάλυμα ριζοστρώματος, που περιβάλλει το ριζικό σύστημα και εισάγεται στο υπόστρωμα πριν την εισαγωγή των φυτών. Έπειτα, υπάρχει το θρεπτικό διάλυμα τροφοδοσίας που χορηγείται στην καλλιέργεια μετά την εγκατάσταση των φυτών. Στην περίπτωση κλειστών συστημάτων, το διάλυμα τροφοδοσίας παρουσιάζει ιδιαιτερότητες, λόγω της διαδικασίας επαναχρησιμοποίησης του από την καλλιέργεια και καθορίζει τις ποσότητες λιπασμάτων που θα χρησιμοποιηθούν. Στα τριαντάφυλλα, το ποσοστό πρόσληψης των ανόργανων θρεπτικών στοιχείων είναι κάθε φορά διαφορετικό και επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες όπως το pH και το στάδιο ανάπτυξης.

Όσον αφορά τις συγκεντρώσεις των κύριων θρεπτικών στοιχείων που απαιτούνται, πρέπει να λάβουμε υπόψη τον τρόπο απορρόφησής τους και τη σημασία τους για την καλλιέργεια (Starkey κ.ά., 1997).

Κάλιο

Το K, απορροφάται ευκολότερα από στοιχεία όπως το Ca και το Mg, τόσο παθητικά, όσο και ενεργητικά και διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στην μετασυλλεκτική συντήρηση των δρεπτών ανθέων, επομένως χρειάζεται να είναι διαθέσιμο στα φυτά σε υψηλότερες συγκεντρώσεις (Starkey και Pedersen, 1997, Bar-Tal, κ.ά., 2001). Λαμβάνει μέρος στο μεταβολισμό υδατανθράκων και στη σύνθεση αμύλου, ενεργοποιεί ένζυμα, αποτελεί παράγοντα ανοίγματος των στοματίων, συμμετέχει στην αναπνοή και την διαπνοή, ενώ ταυτόχρονα βελτιώνει την ποιότητα και την αντοχή των φυτών. Τα φύλλα περιέχουν συνήθως K σε ποσοστό 1-5% της ξηράς ουσίας, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί το ποσοστό καλίου να φτάσει έως και το 10%. Η ποσότητα του καλίου στον φυτικό ιστό εξαρτάται από την περιεκτικότητα σε άλλα κατιόντα, καθώς το κάλιο παρουσιάζει ανταγωνιστική σχέση με άλλα θρεπτικά όπως το Ca (Κουκουλάκης και Παπαδόπουλος, 2003). Μειωμένη περιεκτικότητα καλίου μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένη περιεκτικότητα άλλων στοιχείων και αντίστροφα (Grimme κ.ά. 1974).

Σε περίπτωση τροφοπενίας, παρατηρείται στα περιφερειακά και κορυφαία τμήματα φύλλων και αργότερα στην βάση, το σύμπτωμα περιφερειακής ή διάστικτης χλώρωσης που γίνεται νέκρωση, καθώς κατσάρωμα και ζάρωμα. Παράλληλα ο βλαστός γίνεται ασθενικός και αδύναμος (Therios,

1996, Morard κ.ά., 1990, Kim, Hyun κ.ά., 2005).

Φώσφορος

Ο P αποτελεί συστατικό ενώσεων υψηλής ενέργειας, φωσφολιπιδίων, νουκλεοτιδίων, συνενζύμων κ.α. Ρυθμίζει παράλληλα το pH στα κύτταρα επηρεάζει την αύξηση της ρίζας και την καταβολή αναπαραγωγικών οργάνων. Είναι στοιχείο που απορροφάται παθητικά, με διάχυση και με ενεργητική απορρόφηση. Οι μορφές υπό τις οποίες συναντάται είναι PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} και H_2PO_4^- και εξαρτάται από το pH. Το ποσοστό απορρόφησης του P επηρεάζεται από την παρουσία κατιόντων στο διάλυμα, όπου όσο αυξάνονται, αυξάνεται και η απορρόφηση. Παράλληλα, η ποσότητα φωσφόρου μεταβάλλεται από την υδατική καταπόνηση, που μειώνει την απορρόφηση. Το ποσοστό περιεκτικότητας σε φώσφορο είναι 0,2-0,4% της ξηράς ουσίας ώριμων φύλλων, αλλά διαφέρει ανάλογα το είδος, το στάδιο του βιολογικού κύκλου του φυτού και τις περιβαλλοντικές συνθήκες. (Jones, 1998) Ο P παρουσιάζει σχέση αλληλεπίδρασης με το N που προέρχεται από NH_4^+ και το K. Οι χαμηλές θερμοκρασίες οδηγούν σε μειωμένη απορρόφηση φωσφόρου (Grimme κ.ά, 1974).

Σε περίπτωση τροφοπενίας φωσφόρου, προάγεται η ανάπτυξη ανθοκυανών προσδίδοντας στα φυτά κοκκινωπό χρώμα. Το φυτό παρουσιάζει μειωμένη ανάπτυξη και τα φύλλα μαραζώνουν. Τέλος, ο βλαστοί γίνονται ισχυροί (Morard κ.ά., 1990, Therios, 1996).

Ασβέστιο

Το Ca διαδραματίζει σημαντικό ενδο- και εξωκυτταρικό ρόλο σε όλα τα στάδια ανάπτυξης των φυτών, αφού επηρεάζει πολλές διεργασίες (Ferguson και Drobak, 1988). Βρίσκεται σε μεγάλες ποσότητες εντός του φυτού, της τάξεως των 5-30 mg Ca/g ξηρού βάρους. Είναι, επίσης γνωστό ότι η ικανοποιητική συγκέντρωση ασβεστίου στο θρεπτικό διάλυμα περιορίζει την ευαισθησία του συγκομισμένου τριαντάφυλλου σε ασθένειες (Volpin και Elad, 1991), αυξάνει τη διάρκεια ζωής του άνθους και βελτιώνει την ποιότητά τους μετά τη συγκομιδή (Michalzuk κ.ά., 1989; Starkey και Pedersen, 1997, Torre κ.ά., 1999; Torre κ.ά., 2001; Mortensen κ.ά., 2001). Απορροφάται παθητικά από τα φυτά (Clarkson, 1984, Jeschke και Pate, 1991, Marschner, 1995). Στην τριανταφυλλιά, η συγκέντρωση Ca κατά μήκος του στελέχους, δεν ακολουθεί το γενικό πρότυπο κατανομής όπως σε άλλα φυτά, πιθανώς επειδή το Ca μπορεί να μετατοπιστεί μέσω του φυλλώματος από ώριμα προς νεότερα φύλλα ή επειδή τα νεαρά φύλλα έχουν υψηλότερο ρυθμό διαπνοής από τα μεγαλύτερα (Baas κ.ά., 2003). Η απορρόφησης του συχνά περιορίζεται από την απορρόφηση των NH_4^+ και K, που

προσλαμβάνονται με ταχείς ρυθμούς από την ρίζα και έχουν ανταγωνιστική σχέση. Μια επαρκής συγκέντρωση Ca στα φυτά που επιτρέπει έναν ικανοποιητικό ρυθμό ανάπτυξης είναι τουλάχιστον 10 mg Ca/g ξηρής ουσίας (De Kreij κ.ά., 1992, Oertli, 1966).

Σε περίπτωση τροφοπενίας, μπορεί να αλλάξει ο κυτταρικός μεταβολισμός σε φυτά τριανταφυλλιάς, να υπάρξουν ορατά συμπτώματα όπως κιτρίνισμα των φύλλων και απώλεια της κυτταρικής σάρωσης με αποτέλεσμα τον μαρασμό (Bush, 1995). Σταματάει η ανάπτυξη του ριζικού συστήματος, των μεριστωματικών ιστών, των μίσχων και των ανθέων (Morard, 1990).

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.3 Οι συγκεντρώσεις (ppm) των κυριότερων στοιχείων και μικροθρεπτικών στον ιστό των ώριμων φύλλων χαρακτηριζόμενα ως ελλειπή, επαρκή ή τοξικά για τα διάφορα είδη (Munson,1988)

ΘΡΕΠΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	% ΕΛΛΕΙΨΗ	% ΕΠΑΡΚΕΙΑ	% ΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑ
ΑΖΩΤΟ	<2,5	2,5-4,5	>6
ΦΩΣΦΟΡΟΣ	<0,15	0,2-0,75	>1
ΚΑΛΙΟ	<1	1,5-5,5	>6
ΑΣΒΕΣΤΙΟ	<0,5	1,00-4,00	>5
ΜΑΓΝΗΣΙΟ	<0,2	0,25-1,00	>1,5
ΘΕΙΟ	<0,2	0,25-1,00	>3
ΒΟΡΕΙΟ	5,0-30,0	10-200	50-200
ΧΛΩΡΙΟ	<100	100-500	500-1000
ΧΑΛΚΟΣ	2,0-5,0	5,0-30,0	20-100
ΣΙΔΗΡΟΣ	<50	100-500	>500
ΜΑΓΓΑΝΙΟ	15,0-25,0	20-30	300-500
ΜΟΛΥΒΔΕΝΙΟ	0,03-0,15	0,1-2,0	>100
ΨΕΥΔΑΡΓΥΡΟΣ	10,0-20,0	27-100	100-400

1.13. Παράγοντες που επηρεάζουν το ποσοστό απορρόφησης θρεπτικών στοιχείων από τα φυτά και τη διαθεσιμότητα στο θρεπτικό διάλυμα.

Σε ένα κλειστό υδροπονικό σύστημα εντός θερμοκηπίου, οι παράγοντες που επηρεάζουν το ποσοστό απορρόφησης των θρεπτικών από τα καλλιεργούμενα φυτά καθώς και τη διαθεσιμότητά τους σε αυτά διακρίνονται σε αυτούς εντός και εκτός του θερμοκηπίου, στα χαρακτηριστικά της καλλιέργειας.

Θερμοκρασία

Η απορρόφηση θρεπτικών ευνοείται σε θερμοκρασίες κάτω από τους 40 °C, ενώ πάνω από αυτή την θερμοκρασία, η απορρόφηση μειώνεται, πιθανότατα λόγω της μείωσης της αναπνοής.

Παράλληλα, η θερμοκρασία καθορίζει και την αναλογία ανιόντων και κατιόντων (Salisbury και Ross, 1969). Εντός του θερμοκηπίου, με την μείωση της θερμοκρασίας του αέρα παρατηρείται μείωση στην απορρόφηση των K, Ca, Mg από τα φυτά (Nkasnsah και Ito, 1995). Πειραματικές διαδικασίες, απέδειξα ότι η επικράτηση χαμηλών θερμοκρασιών στον χώρο γύρω από τις ρίζες μπορεί να παρεμποδίσει την πρόσληψη των στοιχείων από τα φυτά ενώ θερμοκρασίες άνω των 30 °C μπορεί να προκαλέσουν συσσώρευση κάποιων ιόντων, όπως ο φώσφορος (Daskalaki και Burrage, 1998).

Ακτινοβολία – Φως

Η ηλιακή ακτινοβολία, σχετίζεται άμεσα με την φωτοσύνθεση και την απορρόφηση θρεπτικών. Η φωτοσύνθεση, αυξάνεται και έτσι παράγεται ενέργεια με την οποία απορροφώνται ταχύτατα τα θρεπτικά από τα φυτά, ενεργητικά (Salisbury και Ross, 1969). Το ποσοστό K που απορροφάται, συνδέεται πιθανότατα άμεσα με την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας (Brun κ.ά., 1995, Brun και Chazell, 1996).

Διαθέσιμο O₂

Όσο αυξάνεται η ποσότητα του διαθέσιμου O₂ υπάρχει στον χώρο των ριζών (εξαρτάται από ιδιότητες και χαρακτηριστικά του υποστρώματος), τόσο πιο εύκολη είναι η απορρόφηση θρεπτικών.

Το pH του υποστρώματος

Το pH επηρεάζει άμεσα την απορρόφηση θρεπτικών συστατικών, λόγω της ύπαρξης H⁺ και OH⁻ στο θρεπτικό διάλυμα. Η μείωση του pH, οδηγεί σε αύξηση των H⁺, τα οποία ανταγωνίζονται τα υπόλοιπα κατιόντα του θρεπτικού διαλύματος, εμποδίζοντας την απορρόφηση τους, με αποτέλεσμα τα ανιόντα να προσλαμβάνονται σε μεγάλο ποσοστό. Με την αύξηση του pH, από την άλλη, αυξάνεται ο ανταγωνισμός μεταξύ των ανιόντων του θρεπτικού διαλύματος, μειώνεται η απορρόφησή τους και των κατιόντων αυξάνεται. Έντονη πτώση ή αύξηση του pH, μπορεί να οδηγήσει σε τροφοπενίες ή τοξικότητα (Kim, Hyun κ.ά., 2005).

Τα διαθέσιμα ιόντα

Ανάλογα με το είδος της καλλιέργειας, χρησιμοποιούνται θρεπτικά διαλύματα με την κατάλληλη συνταγή που παρέχει στα φυτά τις κατάλληλες συγκεντρώσεις ιόντων. Ωστόσο, διαφορετικές συγκεντρώσεις είναι διαθέσιμες στα φυτά. Τα στοιχεία που βρίσκονται στο θρεπτικό διάλυμα παρουσιάζουν σχέσεις αλληλεπίδρασης. Ο τρόπος που αλληλεπιδρούν, εξαρτάται από το

φυτικό είδος και τις συγκεντρώσεις των διαθέσιμων θρεπτικών στοιχείων. Κάποια στοιχεία αλληλεπιδρούν μεταξύ τους λόγω βιοχημικών διεργασιών, όπου όταν ένα στοιχείο απαντάται σε υψηλές συγκεντρώσεις, ανταγωνίζεται για τις θέσεις προσρόφησης, μειώνοντας έτσι την απορρόφηση ενός άλλου θρεπτικού (Π.Χ Κουκουλάκης και Α.Η. Παπαδόπουλος, 2003). Για παράδειγμα, όταν η συγκέντρωση του Ca στο διάλυμα αυξάνεται, μειώνεται η απορρόφηση του Mg (Bell κ.ά., 1989). Επιπλέον, πολλά στοιχεία αντιδρούν χημικά μεταξύ τους με αποτέλεσμα να σχηματιστεί ίζημα, τα θρεπτικά να καθιζάνουν, δηλαδή, στον πάτο της δεξαμενής και η συγκέντρωση που είναι διαθέσιμη στα φυτά να μειώνεται. Τέτοια σχέση είναι αυτή του Ca με το HPO_4^+ . Ωστόσο, υπάρχουν περιπτώσεις όπου η σχέσεις αλληλεπίδρασης μεταξύ των διάφορων στοιχείων να έχουν θετικές επιδράσεις, με την ύπαρξη κάποιων στοιχείων στο διάλυμα να ευνοεί την απορρόφηση ορισμένων άλλων στοιχείων.

Το είδος, την ποικιλία και το στάδιο ανάπτυξης του φυτού

Η απορρόφηση θρεπτικών είναι διαφορετική ανάμεσα σε διαφορετικά είδη ή σε ποικιλίες ενός είδους. Νεότεροι ιστοί απορροφούν θρεπτικά με ταχύτερο ρυθμό και περιέχουν περισσότερο N, ενώ πιο ώριμα φυτά παρουσιάζουν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις Ca, Mn, Fe και B (Μήτσιος, 2004).

Τη θρεπτική κατάσταση εντός του φυτικού ιστού

Όταν τα φυτά έχουν επάρκεια θρεπτικών στοιχείων αποθηκευμένα εντός των ιστών τους ή στις ρίζες, η απορρόφηση μειώνεται.

Διαπνοή

Η διαπνοή μπορεί να επηρεάσει έμμεσα την απορρόφηση ορισμένων θρεπτικών στοιχείων. Η μετακίνηση ιόντων Ca, για παράδειγμα, από το θρεπτικό διάλυμα στη ρίζα, ευνοείται από την διαπνοή. Το ίδιο ισχύει και για άλλα στοιχεία που δεν συγκεντρώνονται επιλεκτικά στα χυμοτόπια της ρίζας. Αντίθετα, για στοιχεία όπως ο P, η διαπνοή δεν επηρεάζει την ταχύτητα απορρόφησης και μετακίνησης εντός του φυτού. Σε περίπτωση που υπάρχει έλλειψη θρεπτικών στο θρεπτικό διάλυμα, η διαπνοή δεν επηρεάζει σε τίποτα την απορρόφηση. Όταν πρόκειται για κλειστό υδροπονικό σύστημα, η επίδραση της διαπνοής στην ένταση της απορρόφησης είναι σημαντική.

Διαθεσιμότητα Ca

Το διαθέσιμο ασβέστιο διαδραματίζει σημαντικό ρόλο, αφού έχει την ιδιότητα να προλαμβάνει τις δυσμενείς επιδράσεις του χαμηλού pH στον χώρο των ριζών. Ρυθμίζει την επιλεκτική

μεταφορά ιόντων και αποτελεί παράγοντα αύξησης ή μείωσης της απορρόφησης στοιχείων.

Τρόπος απορρόφησης στοιχείων

Στοιχεία όπως το K, και ο P απορροφώνται παθητικά, επομένως προσλαμβάνονται με άνεση από τα φυτά, ενώ το Ca, απορροφάται με μεγαλύτερη δυσκολία, αφού προσλαμβάνεται ενεργητικά και η κίνησή του στο φυτό εξαρτάται από το μέγεθος της διαπνοής (Mengel και Kirkby, 1987). Παράλληλα, κάποια στοιχεία, όταν αυξάνουν τον ρυθμό απορρόφησης τους, τείνουν να μειώσουν τον ρυθμό απορρόφησης κάποιου άλλου στοιχείου και αντίστροφα.

ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Οι αυξανόμενες απαιτήσεις για διαρκή παραγωγή φυτών τριανταφυλλιάς όλον τον χρόνο, καθιστά απαραίτητο τον προγραμματισμό της υδροπονικής καλλιέργειας και την ορθή διαχείριση της, καθώς και τη διαμόρφωση κατάλληλων συνθηκών στο θερμοκήπιο για καλύτερη απόδοση και παραγωγή. Διεξήχθη, λοιπόν, πείραμα κατά το θερινό εξάμηνο του έτους 2020-2021, στο εργαστήριο Ανθοκομίας και Αρχιτεκτονικής Τοπίου. Στόχος του πειράματος και της παρούσας εργασίας ήταν ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης των Ca^{2+} , K^+ , PO_4^{3-} στο θρεπτικό διάλυμα υδροπονικής καλλιέργειας τριανταφυλλιάς, συναρτήσει του pH και των παραμέτρων του κλίματος του θερμοκηπίου, με την χρήση πειραματικών μοντέλων. Τα τριαντάφυλλα ήταν ποικιλίας Amanda, Παράλληλα, παρακολουθούταν και η διακύμανση των θρεπτικών συστατικών στο θρεπτικό διάλυμα τροφοδοσίας. Για τον προσδιορισμό των τιμών, λαμβάνονταν υπόψη και οι περιβαλλοντικές συνθήκες που επικρατούσαν την συγκεκριμένη περίοδο στο θερμοκήπιο στις εγκαταστάσεις του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Βελεστίνο καθώς και οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, του pH και της διαπνοής των φυτών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

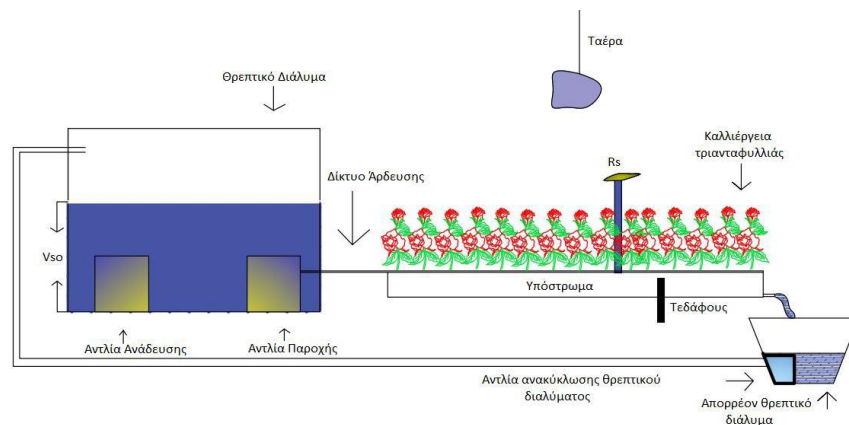
ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Πειραματικό υπόβαθρο.

Κατά την χρονική περίοδο Ιουνίου-Ιουλίου 2021, έγιναν μετρήσεις σε κλειστό σύστημα υδροπονικής καλλιέργειας τριανταφυλλιάς για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης των K^+ , PO_4^{3-} και Ca^{2+} στο θρεπτικό διάλυμα. Οι μετρήσεις έγιναν σε θερμοκήπιο στις εγκαταστάσεις του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Βελεστίνο. Για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης και τελικά των απαιτήσεων της καλλιέργειας, έγινε συσχέτιση με τις περιβαλλοντικές παραμέτρους (θερμοκρασία, υγρασία, ηλιακή ακτινοβολία), τα χαρακτηριστικά του θρεπτικού διαλύματος (pH, EC, συνταγή διαλύματος) και τη διαπνοή του φυτού. Οι αναλύσεις από τα δείγματα έγιναν στο εργαστήριο Ανθοκομίας και Αρχιτεκτονικής Τοπίου της σχολής Γεωπονικών Επιστημών του τμήματος Γεωπονίας, Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

2.2. Θερμοκήπιο και εξοπλισμός υδροπονικού συστήματος.

Το θερμοκήπιο που χρησιμοποιήθηκε για την πραγματοποίηση του πειράματος, είναι πλαστικό, τοξωτό 200 m² και αποτελείται από 5 σειρές φυτών στο εσωτερικό του. Στις σειρές αυτές, τοποθετήθηκαν σάκοι περλίτη με αναλογίες 20 cm ύψος και 20 cm πλάτος. Για την τροφοδότηση των φυτών με θρεπτικό διάλυμα, εγκαταστάθηκε δεξαμενή χωρητικότητας 800 L, καθώς και μία δεξαμενή για την συλλογή του απορρέοντος θρεπτικού διαλύματος, το οποίο επέστρεφε πίσω στη δεξαμενή τροφοδοσίας. Για την άρδευση των τριαντάφυλλων χρησιμοποιήθηκαν αντλίες 1,5 hp και σταλάκτες 4 Lt./h, ένας για κάθε φυτό και για την επιστροφή του απορρέοντος θρεπτικού διαλύματος χρησιμοποιήθηκαν αντλίες ανακύκλωσης 0,5 hp. Στην εικόνα 2.1 απεικονίζεται η διάταξη της εγκατάστασης που χρησιμοποιήθηκε για την διεξαγωγή του πειράματος.



ΕΙΚΟΝΑ 2.1 Σχηματική απεικόνιση του κλειστού υδροπονικού συστήματος όπου εγκαταστάθηκαν τα φυτά της καλλιέργειας τριανταφυλλιάς για τις ανάγκες του πειράματος.

2.3. Καλλιέργεια.

Έγινε εγκατάσταση καλλιέργειας τριαντάφυλλων της ποικιλίας Amanda. Τα φυτά που εγκαταστάθηκαν είχαν ριζοβολήσει αρχικά σε πετροβάμβακα. Σε σάκο περλίτη χωρητικότητας 33L και διαστάσεων 1m μήκος 0,2m πλάτος και 0,2m ύψος, τοποθετήθηκαν 5 φυτά σε στάδιο ανάπτυξης των 2-3 φύλλων. Το σύνολο των φυτών που αξιοποιήθηκαν για τις ανάγκες του πειράματος ήταν 79 και αντιπροσώπευαν 2 από τις 5 διαθέσιμες σειρές του θερμοκηπίου. Η αναλογία φυτών ήταν 5 φυτά ανά τετραγωνικό μέτρο.



ΕΙΚΟΝΑ 2.2 Καλλιέργεια τριαντάφυλλων ποικιλίας Amanda στις θερμοκηπιακές εγκαταστάσεις του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Βελεστίνο.



ΕΙΚΟΝΑ 2.3 Καλλιέργεια τριαντάφυλλων ποικιλίας Amanda στις θερμοκηπιακές εγκαταστάσεις του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Βελεστίνο.

2.4. Σύνθεση θρεπτικού διαλύματος.

Μελέτες των Sonneveld & Straver (1994) έδειξαν πως κατά την λίπανση των φυτών, σημειώθηκαν καλά αποτελέσματα όταν το θρεπτικό διάλυμα που εφαρμόστηκε αποτελούταν από τα στοιχεία σε αναλογία όπως αυτή που αναγράφεται στον πίνακα 2.1. Η καταλληλότερη τιμή του pH είναι 5,5 ενώ η ηλεκτρική αγωγιμότητα πρέπει να παίρνει τιμές από 1,6 έως 2,2 mS cm⁻¹. Οι τιμές αυτές είναι ενδεικτικές και διαφοροποιούνται με βάση τα μορφολογικά και φυσιολογικά χαρακτηριστικά του φυτού όπως το στάδιο ανάπτυξης και η ηλικία, από τις περιβαλλοντικές συνθήκες αλλά και από το υπόστρωμα που έχει επιλεγεί για την ανάπτυξη της καλλιέργειας.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2. 1 Σύσταση Θρεπτικού Διαλύματος και του Νερού (Sonneveld and Straver, 1994).

	Νερό	Περλίτης
pH	7	5,5
EC (ms/cm)		1,7-2,2
NO ₃ ⁻	25	763
Nh ₄ ⁺	0,06	18
K	1,5	253
PO ₄ ²⁻	5	97
Ca ²⁺	68	160
Mg ²⁺	18	36
SO ₄ ²⁻	11	72
Fe ²⁺	0,15	1,7
Cu ²⁺	0	0,6
Mn ²⁺	0	0,5
B ⁺	0	0,28
Zn	0	0,23
Mo	0	0,015

Η σύνθεση του πρώτου διαλύματος έγινε στις 6/6/2021 το βράδυ και 7/6/2021 είναι η ημερομηνία έναρξης των μετρήσεων. Κατά την εκτέλεση του πειράματος, οι τιμές της EC και του pH ελέγχονταν καθημερινά στις 21:00 το βράδυ στη δεξαμενή, καθώς και την επόμενη μέρα σε αντιπροσωπευτικό δείγμα 500 mL στο εργαστήριο με τη χρήση μετρητή αγωγιμότητας νερού (TDS- Total Dissolved Solids meter). Στην περίπτωση απόκλισης από τις επιθυμητές τιμές, γινόταν διόρθωση τόσο του pH όσο και της EC. Κάτι τέτοιο κρίθηκε απαραίτητο, για παράδειγμα, στις 09/06/2021 όπου η διόρθωση έγινε με τη προσθήκη 200 L νερού μετά την λήψη δείγματος. Το θρεπτικό διάλυμα, αντικαταστάθηκε με καινούριο θρεπτικό διάλυμα στις 26/6/2021 το βράδυ, μία μέρα πριν την έναρξη των μετρήσεων της δεύτερης πειραματικής περιόδου που διήρκησε έως τις

2.5. Πειραματική διαδικασία.

Πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις για την παρακολούθηση της συγκέντρωσης των στοιχείων στο θρεπτικό διάλυμα που τροφοδοτούνταν στα φυτά στο θερμοκήπιο. Τα δεδομένα αυτά θα συσχετιστούν με τις συνθήκες υγρασίας, θερμοκρασίας και ηλιακής ακτινοβολίας που επικρατούσαν εκείνη την περίοδο καθώς και την ικανότητα διαπνοής των φυτών. Αυτοί οι παράγοντες, μαζί με το pH και την EC καταγράφονταν καθημερινά και καθ' όλη την διάρκεια της μέρας. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε δύο χρονικές περιόδους. Η πρώτη περίοδος αφορά το χρονικό διάστημα από 7/6/2021 έως 13/6/2021 και η δεύτερη αφορά το χρονικό διάστημα από 26/6/2021 έως 3/7/2021. Από την δεύτερη χρονική περίοδο αποκλείεται η ημερομηνία 30/6/2021 λόγω ελλιπών πληροφοριών για τις συνθήκες που επικρατούσαν στο θερμοκήπιο. Καθ' όλη αυτή τη διάρκεια, πραγματοποιούταν καθημερινά μέτρηση, κάθε 3 λεπτά, της θερμοκρασίας, της ηλιακής ακτινοβολίας και της υγρασίας με την χρήση κατάλληλων οργάνων, όπως πυρανόμετρα και θερμοαισθητήρες στο χώρο του θερμοκηπίου. Τέλος, έγινε, καταγραφή του ωριαίου μέσου όρου τους και του ημερήσιου μέσου όρου σε data logger.

Για την ανάλυση του θρεπτικού διαλύματος, λαμβάνονταν δείγμα 500mL καθημερινά, την ίδια ώρα (21:00), από την δεξαμενή τροφοδοσίας. Το δείγμα αυτό διατηρούνταν στο ψυγείο και την επόμενη μέρα, σε θερμοκρασία δωματίου, χρησιμοποιούνταν για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης ιόντων Ca^{2+} , K^+ , και PO_4^{3-} αλλά και για την μέτρηση του pH και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC).

Για τον προσδιορισμό των PO_4^{3-} χρησιμοποιήθηκε φασματοφωτόμετρο ορατού φάσματος SMART Spectro™ Spectrophotometer της εταιρίας LaMotte με εύρος μήκους κύματος 350-1000 nm, ενώ για τα στοιχεία Ca^{2+} και K^+ , χρησιμοποιήθηκε φασματοφωτόμετρο Palintest 7000 Interface Photometer.

2.6. Προσδιορισμός θρεπτικών στοιχείων.

Για τον ακριβή προσδιορισμό των θρεπτικών στοιχείων Ca^{2+} , K^+ , και PO_4^{3-} ήταν απαραίτητο να υπολογιστούν οι τιμές τόσο πρακτικά, στο εργαστήριο, με τη χρήση οργάνων, όσο και να εκτιμηθούν θεωρητικά, για να μπορέσει να γίνει επιβεβαίωση των τιμών. Έτσι, λοιπόν, έγινε μέτρηση των δειγμάτων με τη χρήση των φασματοφωτόμετρων και έπειτα ακολούθησε η επεξεργασία των

δεδομένων που προέκυψαν και η ενσωμάτωσή τους σε μοντέλα υπολογισμών.

2.7. Επεξεργασία δεδομένων.

Η επεξεργασία των δεδομένων έγινε σε υπολογιστικά προγράμματα EXCEL του πακέτου Microsoft Office και StatGraphics.

2.8. Προσδιορισμός της μεταβολής του όγκου του θρεπτικού διαλύματος κλειστής υδροπονικής καλλιέργειας τριανταφυλλιάς με βάση τη διαπνοή των φυτών.

Για τον υπολογισμό και την εκτίμηση της διαπνοής, έγινε καταγραφή δεδομένων από τις περιβαλλοντικές συνθήκες εντός του θερμοκηπίου σε καθημερινή βάση. Στις τιμές αυτές συμπεριλαμβάνονταν η στάθμη του νερού από την ελεύθερη επιφάνεια της ανοιχτής δεξαμενής, η ηλιακή ακτινοβολία και το έλλειμα κορεσμού του αέρα. Με βάσει τις προαναφερθείσες μετρήσεις, έγινε βαθμονόμηση της απλοποιημένης εξίσωσης των Penmant-Monteith (Valiantzas, 2013). και στη συνέχεια προσδιορίστηκε η ημερήσια διαπνοή της κλειστής υδροπονικής καλλιέργειας TR (L m⁻²), σε συνάρτηση με την ηλιακή ακτινοβολία Gi (mm h⁻¹) και του ελλείμματος κορεσμού του αέρα Di (kPa) στο εσωτερικό του θερμοκηπίου. (Λύκας, Χρ., 2004)

Ο υπολογισμός έγινε σύμφωνα με την εξίσωση:

$$TR = A \cdot Gi + B \cdot Di \quad (2.1)$$

Όπου

TR (L m⁻²) η ημερήσια διαπνοή της κλειστής υδροπονικής καλλιέργειας

A= 0,62088 και B=0,034.

Gi (mm h⁻¹) η ηλιακή ακτινοβολία

Di (kPa) το έλλειμμα κορεσμού του αέρα

2.9.Υπολογισμός εξάτμισης νερού.

Στο χώρο του θερμοκηπίου, η θερμοκρασία συχνά ξεπερνούσε τους 40°C. Σε αυτή την περίπτωση, κρίνεται απαραίτητο στην διαδικασία της διαπνοής να συμπεριλαμβάνεται και ο παράγοντας της εξάτμισης ως αίτιο απομάκρυνσης ποσότητας νερού.

Για τον υπολογισμό της εξάτμισης χρησιμοποιούνται μεγέθη όπως η λανθάνουσα θερμότητα

και η αισθητή θερμότητα.

Είναι:

$$\lambda = 2501 - 2.361T_s \left[\frac{kJ}{kg} \right] \quad (2.2)$$

Όπου

λ η λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης του νερού [kJ/Kg]

T_s η θερμοκρασία που έχει η επιφάνεια του νερού σε °C.

Η λανθάνουσα και η αισθητή θερμότητα συνδέονται με τον λόγο Bowen.

$$B = \frac{H}{\Lambda} \quad (2.3)$$

Όπου:

H η αισθητή θερμότητα

Λ η λανθάνουσα θερμότητα.

Επομένως η εξάτμιση μπορεί να υπολογιστεί από την σχέση:

$$Et = -\frac{dh}{dt} = \frac{\Lambda}{\lambda} = \frac{Rn}{\lambda(1+B)} \left[\frac{Kg}{m^2d} \right] \quad (2.4)$$

Όπου:

$Et = dh/dt =$ η εξάτμιση σε kg νερού ανά ημέρα και m² επιφάνειας

$\lambda =$ η λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης του νερού [kJ/Kg]

$Rn =$ η καθαρή ακτινοβολία στη μάζα του νερού [kJ/(m²d)]

$B =$ ο λόγος Bowen (αδιάστατο μέγεθος)

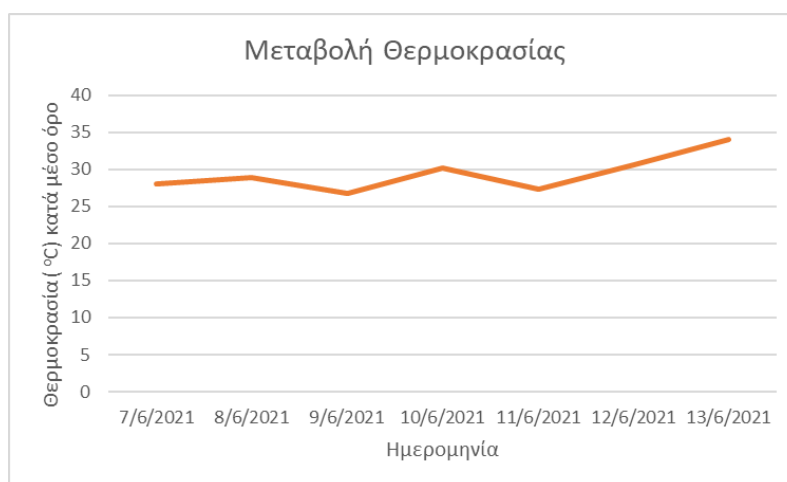
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ- ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στο κεφάλαιο αυτό παρατίθενται και αναλύονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια του πειράματος, και τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την στατιστική ανάλυση. Στόχος είναι η σύγκριση των τιμών των K, Ca και PO_4^{3-} που μετρήθηκαν πειραματικά με τις τιμές που προέκυψαν βάσει του μοντέλου διαπνοής για τον υπολογισμό του όγκου της δεξαμενής.

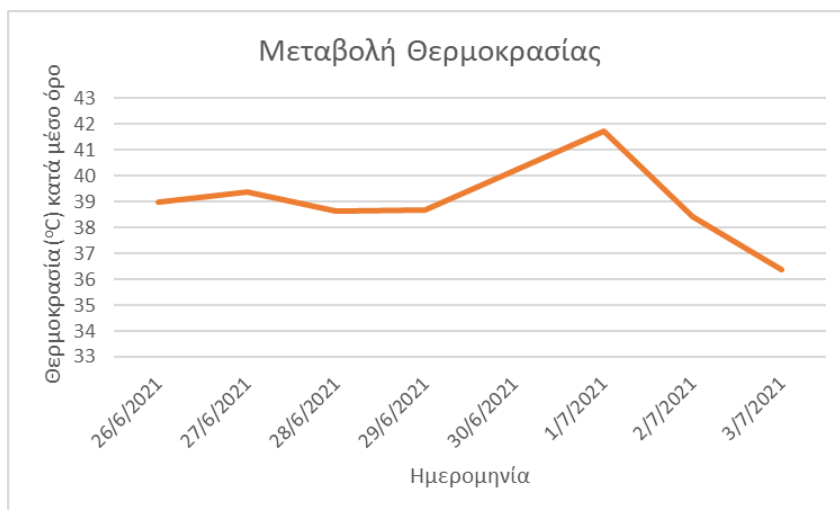
3.1. Ημερήσια Μεταβολή Θερμοκρασίας

Στο διάγραμμα 3.1 παρουσιάζεται η μεταβολή της θερμοκρασίας αέρα, κατά μέσο όρο ημερησίως στο εσωτερικό του θερμοκηπίου κατά την περίοδο από 7/6/2021 έως 13/6/2021. Η θερμοκρασία αυτή την περίοδο παραμένει κάτω από 40°C.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3.1 Μεταβολή της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου κατά την περίοδο από 7/6/2021 έως 13/6/2021.

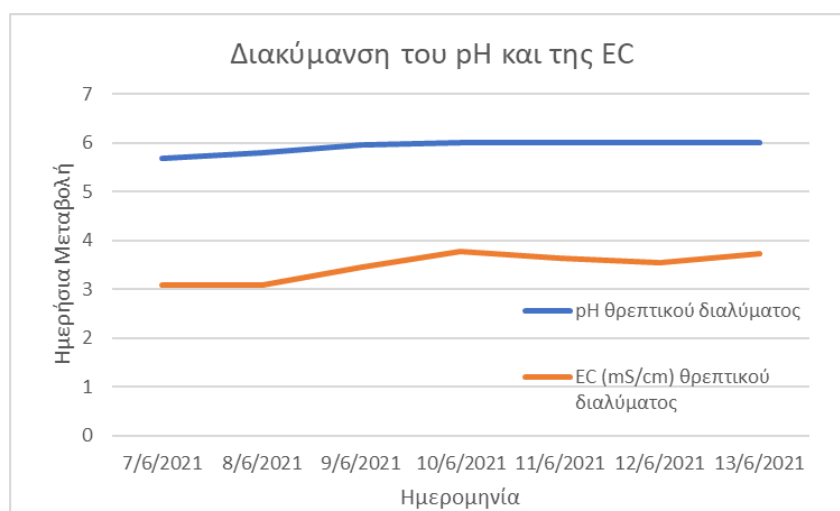
Στο διάγραμμα 3.2 παρατίθεται η μεταβολή της θερμοκρασίας, κατά μέσο όρο ημερησίως για το χρονικό διάστημα από 26/6/2021 έως 3/7/2021. Κατά την περίοδο αυτή σημειώνονται υψηλότερες θερμοκρασίες, ενώ κατά τη διάρκεια της ημέρας οι τιμές της θερμοκρασίας ξεπερνούν τους 40°C. Ειδικότερα, στη 1/7/2021 καταγράφονται οι υψηλότερες θερμοκρασίες, με μέσο όρο τους 41°C.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3.2 Μεταβολή της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου κατά την περίοδο από 26/6/2021 έως 3/7/2021.

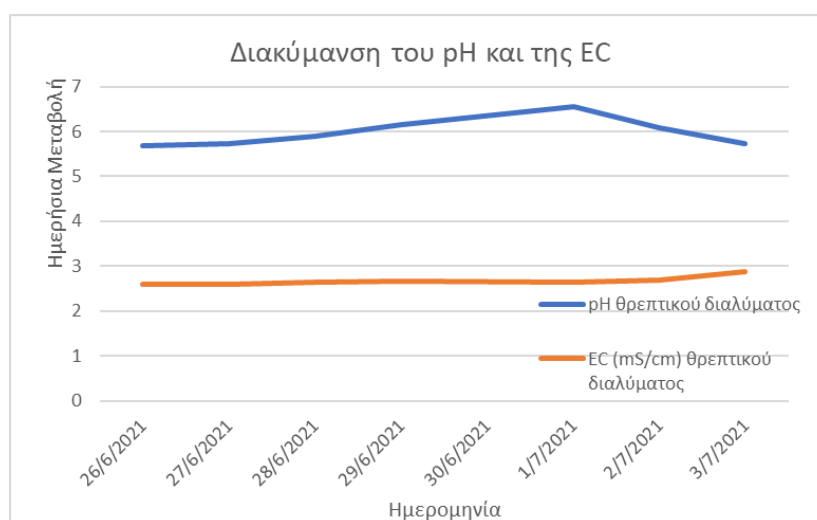
3.2. Διακύμανση του pH και της EC

Στο διάγραμμα 3.3 παρουσιάζεται η διακύμανση του pH και της EC (mS cm^{-1}) του θρεπτικού διαλύματος κατά την περίοδο από 7/6/2021 έως 13/6/2021. Το pH παρουσιάζει μικρή αύξηση στην αρχή της χρονικής περιόδου και σταθεροποιείται στις 10/6/2021. Στο διάστημα αυτό η EC παρουσιάζει μικρές αυξομειώσεις.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3.2 Μεταβολή της ημερήσιας τιμής του pH και της EC του θρεπτικού διαλύματος κατά την χρονική περίοδο από 7/6/2021 έως 13/6/2021.

Στο διάγραμμα 3.4 παρουσιάζεται η μεταβολή του pH και της EC κατά το διάστημα από 26/6/2021 έως 3/7/2021. Το pH τη χρονική αυτή περίοδο σημειώνει μικρή αύξηση με μέγιστο στη 1/7/2021. Η αύξηση αυτή οφείλεται στις υψηλότερες θερμοκρασίες που σημειώνονται κατά το χρονικό αυτό διάστημα, αφού το pH, σε υψηλές θερμοκρασίες αυξάνεται, λόγω έντονης εξάτμισης CO₂ από το θρεπτικό διάλυμα (McKeil, 2020). Η EC κατά το διάστημα αυτό παραμένει σχετικά σταθερή.

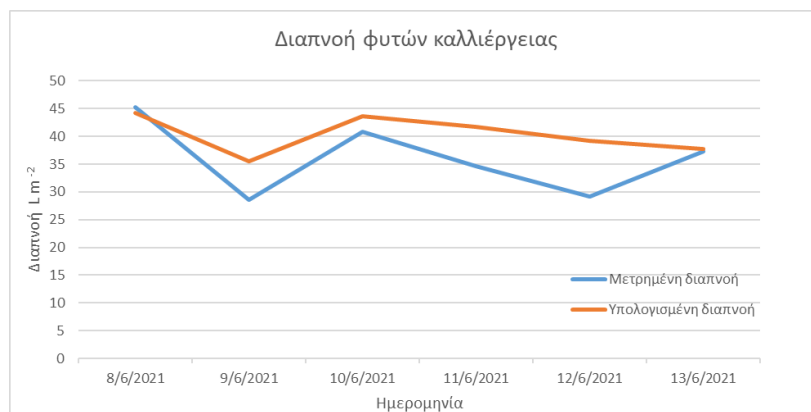


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3.3 Μεταβολή της ημερήσιας τιμής του pH και της EC του θρεπτικού διαλύματος κατά την χρονική περίοδο από 26/6/2021 έως 3/7/2021.

3.3. Εκτίμηση της διαπνοής της καλλιέργειας.

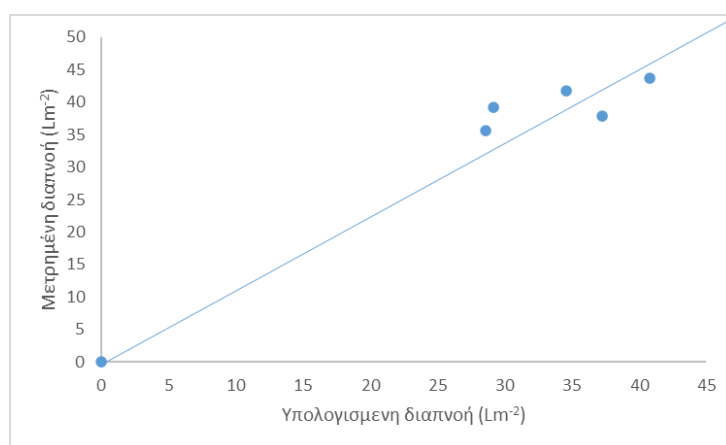
Για την εκτίμηση της ημερήσιας διαπνοής της καλλιέργειας TR ($L\ m^{-2}$), χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση 2.1, όπου συμπεριλαμβάνει την ηλιακή ακτινοβολία G_i ($mm\ h^{-1}$) και το έλλειμα κορεσμού του αέρα D_i (kPa) στο εσωτερικό του θερμοκηπίου. Οι τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας και της σχετικής υγρασίας του θερμοκηπίου μετρήθηκαν με αισθητήρες στο θερμοκήπιο. Στην πραγματικότητα η ποσότητα του νερού που απομακρύνεται ημερησίως με την διαπνοή πρόκειται για την ημερήσια μεταβολή του όγκου του θρεπτικού διαλύματος της δεξαμενής. Κατά την μέτρηση της διαπνοής πειραματικά, παρατηρήθηκαν τιμές που δεν ήταν αναμενόμενες. Οι υψηλές θερμοκρασίες του θερμοκηπίου που ξεπερνούσαν τους 40°C υποδηλώνουν ότι η απομάκρυνση νερού από την δεξαμενή οφείλεται όχι μόνο στην διαπνοή, αλλά και στην εξάτμιση από την ελεύθερη επιφάνεια της δεξαμενής, καθώς σε τόσο υψηλές θερμοκρασίες σταματούν λειτουργικές δραστηριότητες όπως η αναπνοή και σταματά η απορρόφηση θρεπτικών στοιχείων (Salisbury και Ross, 1969). Τα φυτά

παύουν να απορροφούν θρεπτικά με την διαπνοή και έτσι η μεταβολή του όγκου της δεξαμενής οφείλεται στην απομάκρυνσή του νερού με εξάτμιση, επομένως κατά τον υπολογισμό του όγκου της δεξαμενής και κατ' επέκταση της συγκέντρωσης των θρεπτικών στοιχείων σε αυτή, λαμβάνεται υπόψιν ο παράγοντας αυτός με την χρήση της εξίσωσης 2.4. Στο διάγραμμα 3.5 παρουσιάζεται η διαπνοή της καλλιέργειας στην πάροδο του χρόνου όπως μετρήθηκε πειραματικά και όπως υπολογίστηκε χωρίς την επίδραση των υψηλών θερμοκρασιών και της εξάτμισης. Η υπολογισμένη, ακολουθεί φθίνουσα πορεία, καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία στο θερμοκήπιο.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3.4 Μετρημένη και υπολογισμένη μεταβολή διαπνοής στο θρεπτικό διάλυμα της δεξαμενής για την περίοδο από 7/6/2021 έως 13/6/2021.

Οι υπολογισμένες και μετρημένες τιμές διαπνοής παρουσιάζουν ικανοποιητική συσχέτιση της τάξεως του 92% ($R^2=0,92$) όπως φαίνεται στο διάγραμμα 3.6. Επομένως προκύπτει μοντέλο υπολογισμού διαπνοής που υπολογίζει με ακρίβεια την διαπνοή της καλλιέργειας.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3.5 1:1 συσχέτιση μετρημένης και υπολογισμένης διαπνοής.

3.4. Εκτίμηση της συγκέντρωσης του Ca^{2+} στο θρεπτικό διάλυμα σε συνάρτηση με την διαπνοή της καλλιέργειας.

Ο όγκος του θρεπτικού διαλύματος που βρίσκεται στην δεξαμενή μεταβάλλεται ημερησίως και η μεταβολή αυτή αντιστοιχεί στην ποσότητα του νερού που απομακρύνεται καθημερινά από την διαπνοή των φυτών. Έστω η υπόθεση ότι η μεταβολή του pH, η απορρόφηση από τα φυτά και οι αντιδράσεις με τα άλλα στοιχεία του θρεπτικού διαλύματος είναι αμελητέοι παράγοντες, δεν επιδρούν στο θρεπτικό διάλυμα και κατ' επέκταση στην συγκέντρωση του Ca ($[Ca^{2+}]$, $mg L^{-1}$) μεταξύ δύο διαδοχικών ημερών i και $i+1$ ($i = 1, 2, 3, \dots, n$). Επομένως, ο μοναδικός παράγοντας που συμβάλει στην μεταβολή στη συγκέντρωση του ασβεστίου είναι η διαπνοή της καλλιέργειάς ($d[Ca^{2+}]_{TR}$, $mg L^{-1}$) και μπορεί να εκτιμηθεί από την εξίσωση 3.1.

$$d[Ca^{2+}]_{TR} = [Ca^{2+}]_i \cdot \left(\frac{V_i}{(V_i - \Sigma TR)} - 1 \right) \quad (3.1)$$

Όπου:

$d[Ca^{2+}]_{TR}$ η μεταβολή της συγκέντρωσης του ασβεστίου με την επίδραση της διαπνοής

$[Ca^{2+}]_i$ η συγκέντρωση του ασβεστίου την ημέρα i .

V_i ο όγκος του διαλύματος για χρονικό διάστημα soi διαδοχικών ημερών.

ΣTR το άθροισμα της διαπνοής της καλλιέργειας για το χρονικό αυτό διάστημα.

Επομένως, για χρονικό διάστημα $i+1$, η συγκέντρωση του Ca^{2+} σε θρεπτικό διάλυμα στο οποίο επιδρά μόνο η διαπνοή των φυτών ($[Ca^{2+}]_{TR, i+1}$, $mg L^{-1}$) υπολογίζεται από τη σχέση:

$$[Ca^{2+}]_{TRi+1} = [Ca^{2+}]_i + d[Ca^{2+}]_{TR} \quad (3.2)$$

Όπου

$[Ca^{2+}]_{TR, i+1}$ η συγκέντρωση του ασβεστίου με την επίδραση της διαπνοής για την ημέρα $i+1$

$[Ca^{2+}]_i$ η συγκέντρωση του ασβεστίου την ημέρα i .

$d[Ca^{2+}]_{TR}$ η μεταβολή της συγκέντρωσης του ασβεστίου με την επίδραση της διαπνοής.

(Λύκας, 2004)

3.5. Εκτίμηση της συγκέντρωσης του Ca^{2+} στο θρεπτικό διάλυμα σε συνάρτηση με το pH του θρεπτικού διαλύματος.

Χρησιμοποιήθηκαν μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν σε θρεπτικό διάλυμα που δεν προοριζόταν για χρήση στην καλλιέργεια. Πειραματικά δεδομένα απέδειξαν ότι η μεταβολή της συγκέντρωσης του Ca^{2+} ($d[Ca^{2+}]_{pH}$) σε ένα θρεπτικό διάλυμα, το οποίο δε προορίζεται για την άρδευση της καλλιέργειας, μπορεί να εκφραστεί σε συνάρτηση με τη μεταβολή του pH (d_{pH}), για το εύρος των τιμών από 5,5 έως 7,0, από την εξίσωση 3.3.

$$d[Ca^{2+}]_{pH} = 58.624 \cdot d_{pH}^2 - 14.653 \cdot d_{pH} - 3.726 \quad (3.3)$$

Όπου:

$d[Ca^{2+}]_{pH}$ η μεταβολή της συγκέντρωσης του ασβεστίου με την επίδραση του pH.

d_{pH} : η μεταβολή του pH σε σχέση με την πρώτη ημέρα μέτρησης του.

Σύμφωνα με την εξίσωση 3.3 προκύπτει $[Ca^{2+}]_{pH=0} = 0$, όταν $pH=5.9$. Όταν ισχύει $pH < 5.9$, παίρνει αρνητικές τιμές και θετικές τιμές για $pH > 5.9$. Όταν η αρχική συγκέντρωση Ca^{2+} σε ένα θρεπτικό διάλυμα που έχει υποστεί μεταβολή στο pH (d_{pH}), είναι μικρότερη από την επιθυμητή ($[Ca^{2+}]_{init} < [Ca^{2+}]_{Th}$) θα έχει μία τελική συγκέντρωση Ca^{2+} ($[Ca^{2+}]_{i+1}$) η οποία μπορεί να υπολογιστεί από την εξίσωση 3.4.

$$[Ca^{2+}]_{i+1} = [Ca^{2+}]_{init} + d[Ca^{2+}]_{pH} \quad (3.4)$$

Όπου:

$[Ca^{2+}]_{i+1}$ η συγκέντρωση του ασβεστίου για την ημέρα $i+1$

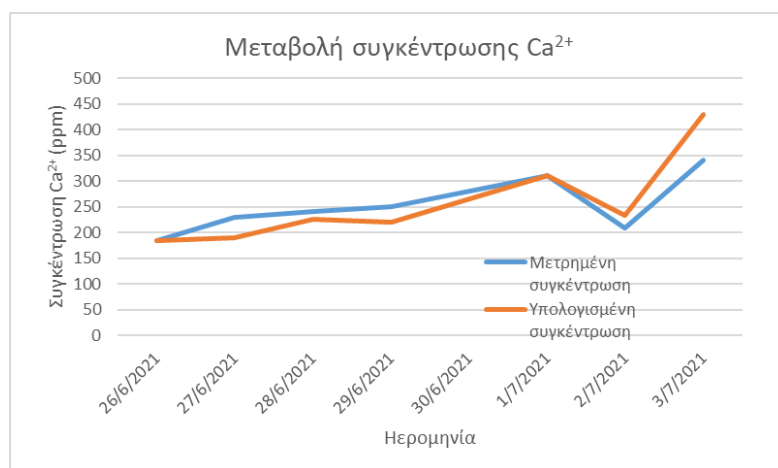
$[Ca^{2+}]_{init}$ η συγκέντρωση του ασβεστίου την ημέρα i .

$d[Ca^{2+}]_{pH}$ η μεταβολή της συγκέντρωσης του ασβεστίου με την επίδραση του pH.

Στην περίπτωση που η συγκέντρωση του Ca^{2+} γίνει για πρώτη φορά ίση με την επιθυμητή, ($[Ca^{2+}]_i = [Ca^{2+}]_{Th}$), δηλαδή αφ'ότου διαλυθεί όλη η ποσότητα του λιπάσματος που έχει προστεθεί

στο διάλυμα για τον εμπλουτισμό του σε Ca, η εξίσωση 3.4 χρησιμοποιείται για την απευθείας έκφραση της συγκέντρωσης του Ca^{2+} ($[\text{Ca}^{2+}]_{\text{pH}}$, mgL^{-1}) στο θρεπτικό διάλυμα (Λύκας, 2004).

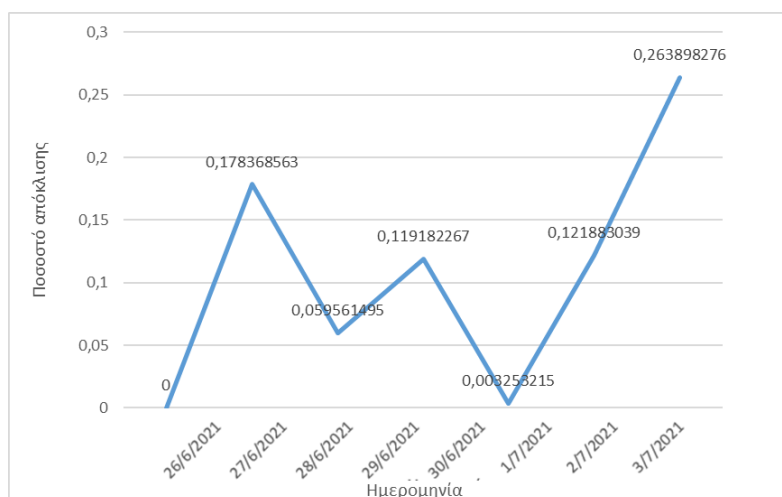
Η εκτίμηση της συγκέντρωσης του ασβεστίου έγινε λαμβάνοντας υπόψιν τις τιμές όγκου της δεξαμενής που προέκυψαν από το μοντέλο διαπνοής (εξίσωση 2.1). Με την εφαρμογή της εξίσωσης 3.2 και της εξίσωσης 3.4 προκύπτει πως την δεύτερη περίοδο του πειράματος (26/6/2021 έως 3/7/2021) η μετρημένη στο εργαστήριο μεταβολή της συγκέντρωσης του Ca στο θρεπτικό διάλυμά της δεξαμενής, ακολουθεί αναμενόμενη πορεία (διάγραμμα 3.7). Κατά την πρώτη ημέρα μετρήσεων (26/6/2021) η συγκέντρωση του Ca είναι σε επιθυμητά επίπεδα (πίνακας 2.1) και στη συνέχεια παρατηρείται αύξηση της συγκέντρωσης του Ca στο θρεπτικό διάλυμα, λόγω μειωμένης απορρόφησης από τα φυτά ή διάλυσης λιπασμάτων στο θρεπτικό διάλυμα μεταγενέστερα



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3.6 Μετρημένη και υπολογισμένη μεταβολή συγκέντρωσης Ca^{2+} στο θρεπτικό διάλυμα της δεξαμενής για την περίοδο 26/6/2021 έως 3/7/2021.

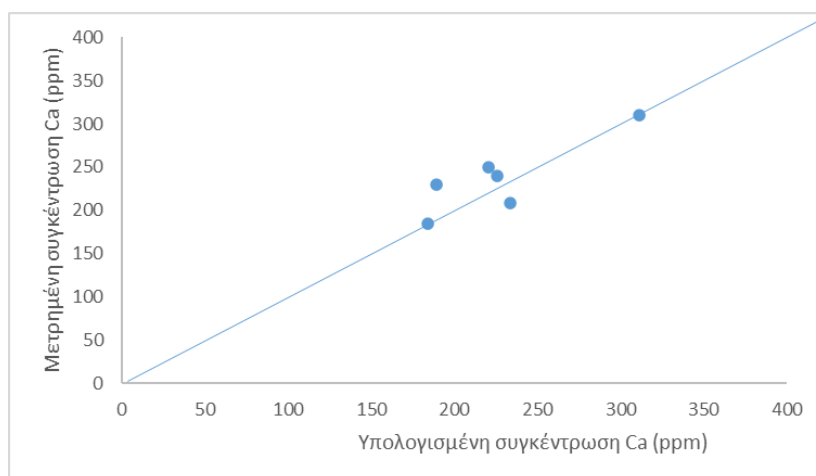
Οι αποκλίσεις ανάμεσα στις τιμές δεν είναι μεγάλες, όπως φαίνεται στο διάγραμμα 3.8, με μεγαλύτερη την απόκλιση της τάξης του 26%. Αν, για παράδειγμα, στις 2/7 το pH αντί για 5,48 είχε μετρηθεί με τιμή 6, το d_{pH} , δηλαδή η διαφορά του pH σε σχέση με την πρώτη μέτρηση στις 27/6 ανέρχεται στο 0,32 και η απόκλιση από την μετρημένη τιμή μεταβάλλεται από 15% σε 10%. Οποιαδήποτε λάθος μέτρηση του pH έστω και με απόκλιση κατά μισή μονάδα, αν ήταν στην εξίσωση θα μετέβαλλε σημαντικά την περιεκτικότητα σε ασβέστιο στο θρεπτικό διάλυμα. Η ακρίβεια, επομένως, στη μέτρηση του pH είναι καθοριστική για τον προσδιορισμό του ασβεστίου. Σε παρόμοια αποτελέσματα για την επίδραση του pH στην συγκέντρωση του ασβεστίου κατέληξαν οι Fimbres-Acedo κ.ά (Fimbres-Acedo, κ.ά.,2023), όπου με την αύξηση του pH η συγκέντρωση και

διαθεσιμότητα του ασβεστίου μειωνόταν αισθητά.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3.7 Ποσοστό απόκλισης της μετρημένης τιμής των ιόντων Ca από τη υπολογισμένη τιμή ιόντων Ca σε ημερήσια βάση.

Οι υπολογισμένες με βάση τις εξισώσεις 2.1, 3.2 και 3.4 τιμές συγκεντρώσεις του ασβεστίου και μετρημένες στο εργαστήριο, χρησιμοποιώντας παρουσιάζουν ικανοποιητική συσχέτιση της τάξεως του 82% ($R^2=0,82$) όπως φαίνεται στο διάγραμμα 3.9. Επομένως το μοντέλο που διατυπώθηκε υπολογίζει ικανοποιητικά την ποσότητα του Ca^{2+} στο θρεπτικό διάλυμα.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3.8 1:1 συσχέτιση συγκέντρωσης Ca^{2+} (ppm) στο θρεπτικό διάλυμα που μετρήθηκε στο εργαστήριο με τη συγκέντρωση Ca^{2+} (ppm) που υπολογίστηκε θεωρητικά.

3.6. Εκτίμηση της συγκέντρωσης των PO_4^{3-} στο θρεπτικό διάλυμα.

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα 3.10, όπου παρουσιάζεται η μεταβολή της συγκέντρωσης του Ca^{2+} σε σχέση με των ιόντων PO_4 κάθε φορά που η ποσότητα του ενός στοιχείου αυξάνεται, η ποσότητα του άλλου μειώνεται και αντίστροφα. Πειραματικά δεδομένα έδειξαν πως καθώς η πρόσληψη ασβεστίου αυξάνεται η απορρόφηση του φωσφόρου μειώνεται και ο κίνδυνος ανεπάρκειας φωσφόρου αυξάνεται. (Robert P Heaney & BEC Nordin, 2002). Επιπλέον, τα δύο αυτά στοιχεία αντιδρούν χημικά μεταξύ τους, προς σχηματισμό ιζήματος. Τα θρεπτικά παύουν να είναι διαθέσιμα για τα φυτά, αφού καθιζάνουν στον πάτο της δεξαμενής . Συγχρόνως, οι τιμές pH που λαμβάνει το θρεπτικό καθορίζουν την μορφή με την οποία απορροφάται ο φώσφορος (Σάββας, 2011), ενώ συμπληρωματικά επηρεάζουν άμεσα την συγκέντρωση του ασβεστίου. Επομένως τόσο η συγκέντρωση του ασβεστίου $[Ca^{2+}]$ τόσο το pH επηρεάζουν την περιεκτικότητα των ιόντων PO_4 στο θρεπτικό διάλυμα, καθώς και την απορρόφησή του από τα φυτά και επομένως εισάγονται στην εξίσωση υπολογισμού της συγκέντρωσης ιόντων PO_4 στο θρεπτικό διάλυμα η οποία είναι:

$$[PO_4^{2-}] = a \cdot [Ca^{2+}] + b \cdot [Ca^{2+}] + c \cdot d_{pH} \quad (3.5)$$

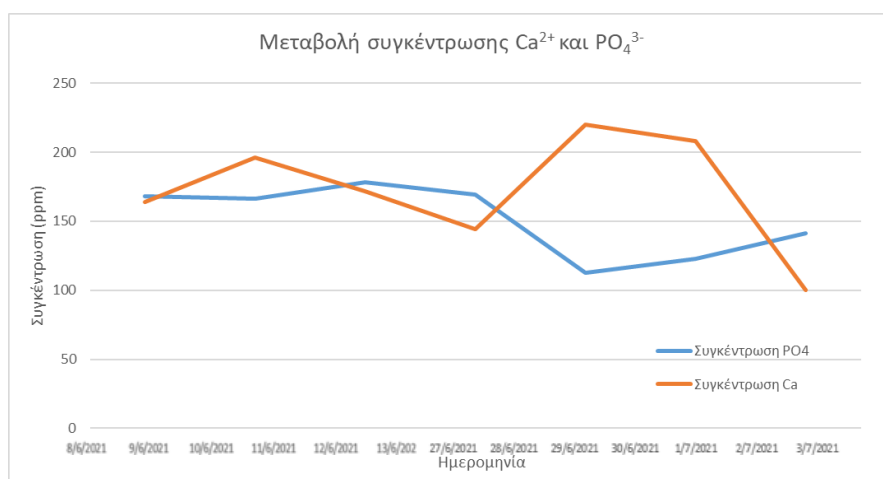
Όπου:

$$a = -0,011656, \quad b = 3,43345, \quad c = 252,576$$

$[PO_4^{2-}]$ Η συγκέντρωση των ιόντων PO_4

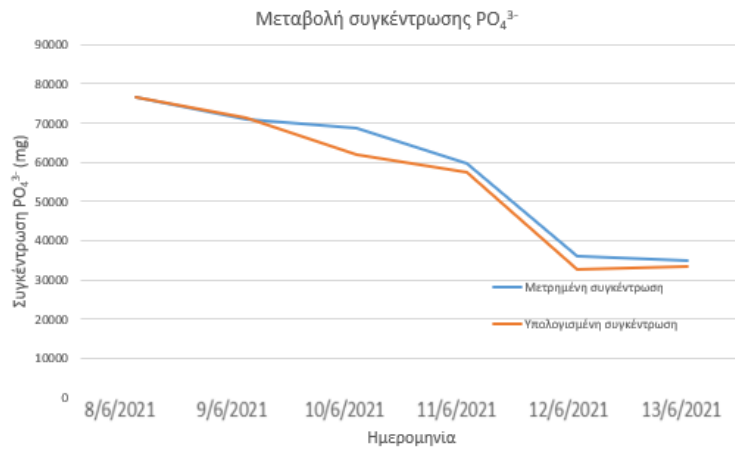
$[Ca^{2+}]$ η συγκέντρωση του ασβεστίου.

d_{pH} η μεταβολή του pH σε σχέση με την πρώτη ημέρα μέτρησης του.

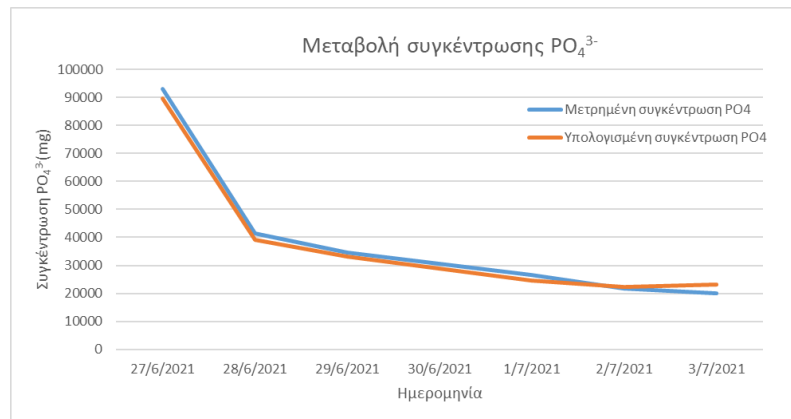


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3.9. Μεταβολή συγκέντρωσης Ca²⁺ (ppm) και PO₄³⁻ (ppm) στο θρεπτικό διάλυμα και για τις δύο χρονικές περιόδους (7/6/2021-13/6/2021, 26/6/2021-3/7/2021).

Έγινε, λοιπόν, εκτίμηση της συγκέντρωσης των ιόντων PO₄ στο θρεπτικό διάλυμα, λαμβάνοντας υπόψη την μεταβολή του pH (d_{pH}) σε σχέση με την αρχική μέτρησή του και της συγκέντρωσης του ασβεστίου [Ca²⁺]. Οι μετρήσεις έγιναν με βάση τις τιμές που προέκυψαν από το μοντέλο διαπνοής. Στα διαγράμματα 3.11 και 3.12 παρουσιάζεται η μεταβολή της μετρημένης στο εργαστήριο συγκέντρωσης ιόντων PO₄ και της υπολογισμένης από την εξίσωση συγκέντρωσης. Η ποσότητα των PO₄³⁻ στις 8/6/2021 είναι μικρότερη από την αναμενόμενη (πίνακας 2.1), λόγω μη διάλυσης λιπασμάτων κατά την Παρασκευή του θρεπτικού διαλύματος και στη συνέχεια μειώνεται, λόγω απορρόφησης από τα φυτά. Παρατηρούνται, ωστόσο, ορισμένες αυξήσεις, πιθανότατα λόγω διάλυσης των λιπασμάτων που χρησιμοποιήθηκαν για την παρασκευή του θρεπτικού διαλύματος. Η μετρημένη ποσότητα των φωσφορικών ιόντων λαμβάνει μεγαλύτερες τιμές από την υπολογισμένη. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε πιθανή διάλυση των λιπασμάτων ή ιζημάτων που μπορεί να είχαν δημιουργηθεί στη δεξαμενή, αφού σε pH μικρότερο του 7 τα PO₄³⁻ ιζηματοποιούνται. (Sambo et al., 2019).

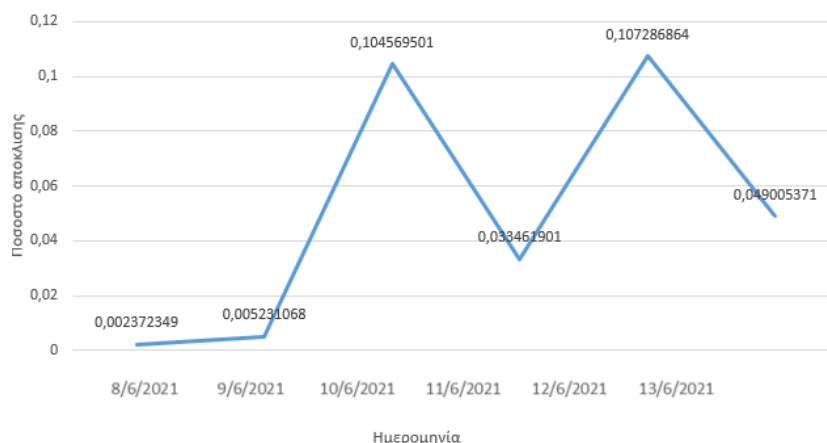


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3.10 Μετρημένη και υπολογισμένη μεταβολή συγκέντρωσης PO₄³⁻ στο θρεπτικό διάλυμα της δεξαμενής για την περίοδο από 8/6/2021 έως 13/6/2021.



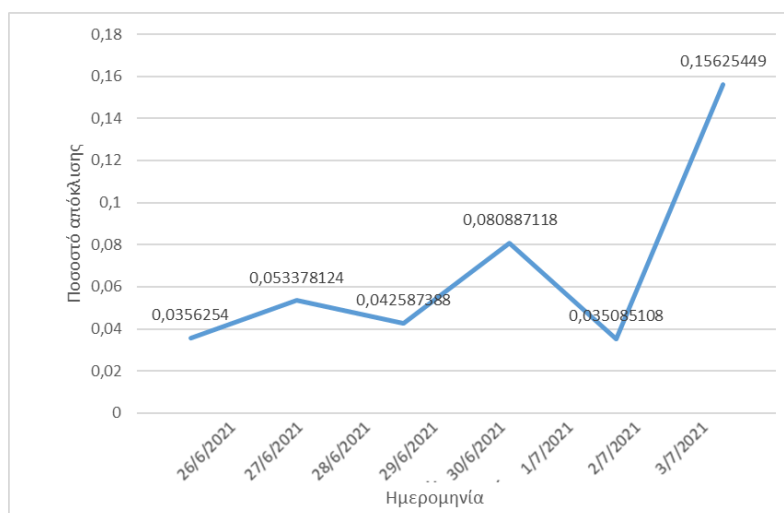
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3.12 Μετρημένη και υπολογισμένη μεταβολή συγκέντρωσης PO₄³⁻ στο θρεπτικό διάλυμα της δεξαμενής για την περίοδο από 27/6/2021 έως 3/7/2021.

Σύμφωνα με το διαγράμματα 3.13, το ποσοστό απόκλισης των τιμών που παρουσιάζουν η μετρημένη και η υπολογισμένη συγκέντρωση φωσφορικών ιόντων, για το διάστημα 7/6/2021 έως 13/6/2021 είναι σχετικά μικρό.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3.13 Ποσοστό απόκλισης της μετρημένης τιμής των ιόντων PO_4^{3-} από την υπολογισμένη τιμή ιόντων PO_4^{3-} σε ημερήσια βάση για την περίοδο από 8/6/2021 έως 13/6/2021.

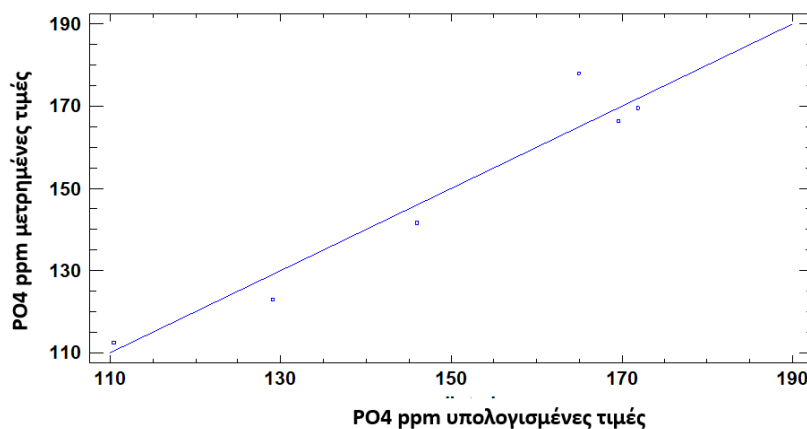
Κατά την δεύτερη περίοδο, οι αποκλίσεις λαμβάνουν επίσης χαμηλές τιμές με την πάροδο του χρόνου, φτάνοντας περί το 15% (διάγραμμα 3.14).



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3.14 Ποσοστό απόκλισης της μετρημένης τιμής των ιόντων PO_4^{3-} από την υπολογισμένη τιμή ιόντων PO_4^{3-} σε ημερήσια βάση για την περίοδο από 27/6/2021 έως 3/7/2021.

Βρέθηκε πως υπάρχει ικανοποιητική συσχέτιση της τάξεως του 93 % ($R^2 = 0,93$) μεταξύ των συγκεντρώσεων Ca^{2+} και PO_4^{3-} στο θεραπευτικό διάλυμα, σε συνάρτηση με το pH. Το μοντέλο που διατυπώθηκε επομένως υπολογίζει ικανοποιητικά την ποσότητα των PO_4^{3-} στο θεραπευτικό διάλυμα. Στο

διάγραμμα 3.15 παρουσιάζεται η 1:1 συσχέτιση της μετρημένης και της υπολογισμένης συγκέντρωσης των PO_4^{2-} .



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3.11 1:1 συσχέτιση συγκέντρωσης PO_4^{3-} (ppm) στο θρεπτικό διάλυμα που μετρήθηκε στο εργαστήριο με τη συγκέντρωση PO_4^{3-} (ppm) που υπολογίστηκε θεωρητικά.

3.7. Εκτίμηση της συγκέντρωσης K^+ στο θρεπτικό διάλυμα.

Στα τριαντάφυλλα αποδεικνύεται ότι το κάλιο και το ασβέστιο παρουσιάζουν σχέσεις ανταγωνισμού ως προς την απορρόφηση. (Baas et al., 1998). Επομένως, ως επακόλουθο η μεταβολή της συγκέντρωσής του στο θρεπτικό διάλυμα επηρεάζεται από την απορρόφηση του ασβεστίου. (Κουκουλάκης Π.Χ. και Παπαδόπουλος Α.Η., 2003). Όπως φαίνεται στο διάγραμμα 3.16, τα δύο αυτά στοιχεία αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους. Όταν η συγκέντρωση του ενός αυξάνεται του άλλου μειώνεται. Επομένως η συγκέντρωση του ασβεστίου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης του καλίου. Παράλληλα, το pH επηρεάζει άμεσα την συγκέντρωση και τον τρόπο απορρόφησης του ασβεστίου, επομένως μπορεί να ενσωματωθεί στην εξίσωση υπολογισμού του καλίου. Η εξίσωση αυτή είναι:

$$[K^+] = a \cdot [Ca^{2+}] + b \cdot [Ca^{2+}] + c \cdot d_{\text{pH}} \quad (3.6)$$

Όπου:

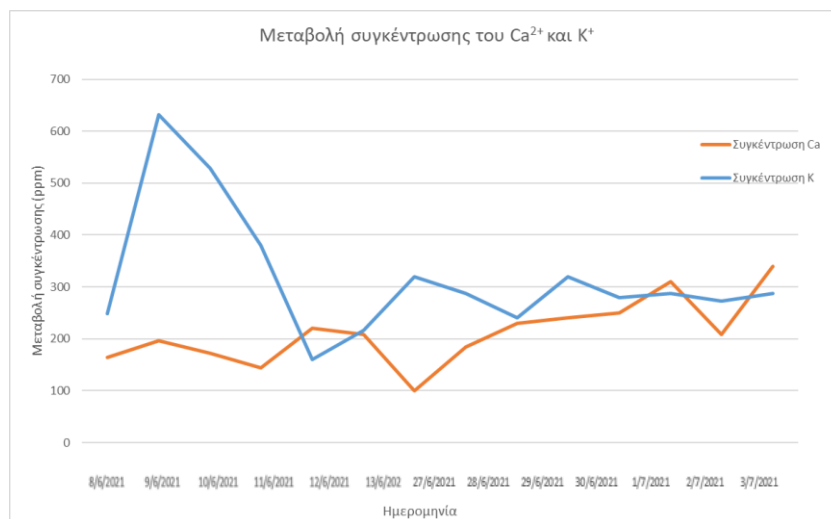
$$a = -0,0635033, b = 19,0765, c = 3028,65$$

$[K^+]$ η συγκέντρωση του καλίου

$[Ca^{2+}]$ η συγκέντρωση του ασβεστίου

d_{pH} η μεταβολή του pH σε σχέση με την πρώτη ημέρα μέτρησης του

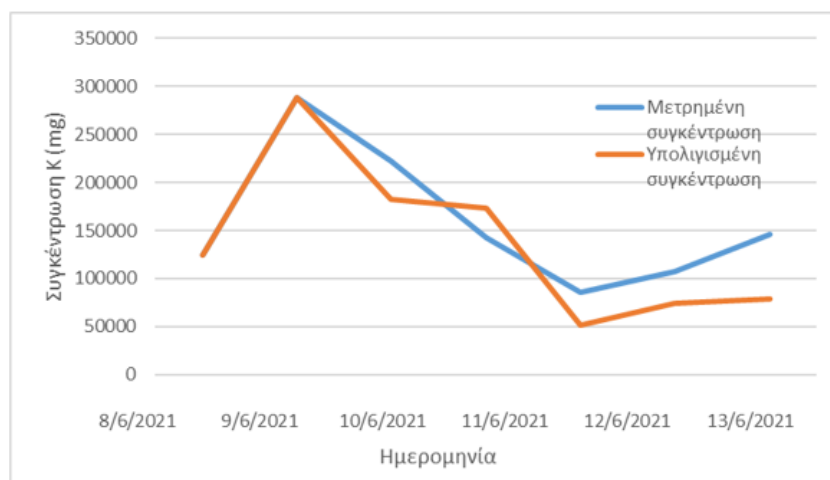
Η εξίσωση 3.6 θα γινόταν πιο ακριβής αν συμπεριλαμβανόταν η τιμή της συγκέντρωσης των ιόντων Mg του θρεπτικού διαλύματος. Το μαγνήσιο έχει άμεση σχέση με την πρόσληψη καλίου, επομένως η μεταβολή της συγκέντρωσής του θα επηρέαζε σημαντικά την απορρόφηση του καλίου. (Jones, J. Benton, 1930)



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3.12 Σύγκριση των συγκεντρώσεων Ca^{2+} (ppm) και K^+ (ppm) στο θρεπτικό διάλυμα και για τις δύο χρονικές περιόδους (7/6/2021-13/6/2021, 26/6/2021-3/7/2021).

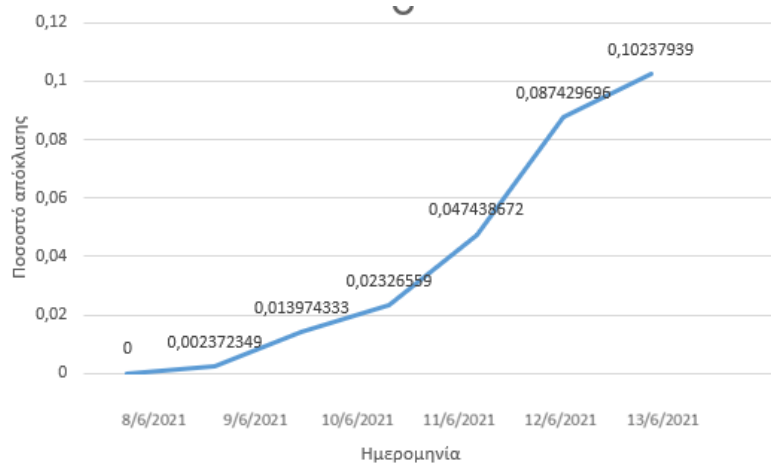
Έγινε εκτίμηση της ποσότητας των ιόντων K στο θρεπτικό διάλυμα, λαμβάνοντας υπόψη την μεταβολή του pH (d_{pH}) και της συγκέντρωσης του ασβεστίου. Οι τιμές που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης του καλίου, προέκυψαν από το μοντέλο διαπνοής. Στο διάγραμμα 3.17 απεικονίζεται η σχέση ανάμεσα στην μετρημένη και την υπολογισμένη συγκέντρωση ιόντων καλίου. Η ποσότητα του καλίου στο θρεπτικό διάλυμα κατά την έναρξη των μετρήσεων (8/6/2021) είναι σε επιθυμητά επίπεδα (πίνακας 2.1). Στη συνέχεια παρατηρείται αύξηση της ποσότητας του καλίου στο

θρεπτικό διάλυμα λόγω μη απορρόφησης από τα φυτά και περαιτέρω διάλυσης λιπάσματος που μπορεί να μην είχε διαλυθεί στο θρεπτικό διάλυμα. Παράλληλα, το ίδιο διάστημα, η απορρόφηση Ca^{2+} από τα φυτά ήταν αυξημένη, περιορίζοντας την απορρόφηση του K^+ .



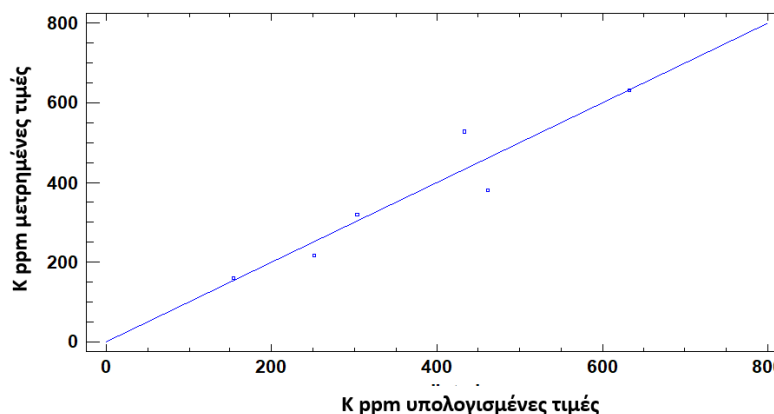
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3.13 Μετρημένη και υπολογισμένη μεταβολή συγκέντρωσης K^+ (mg) στο θρεπτικό διάλυμα της δεξαμενής για την περίοδο από 8/6/2021 έως 13/6/2021.

Οι αποκλίσεις ανάμεσα στις τιμές που λαμβάνουν η μετρημένη και η υπολογισμένη συγκέντρωση καλίου φαίνονται στο διάγραμμα 3.18. Παρατηρούνται μικρά ποσοστά, με την μεγαλύτερη απόκλιση να ανέρχεται σε ποσοστό της τάξης του 10% στις 13/6/2021. Αυτή είναι και η τελευταία μέρα χρήσης του θρεπτικού διαλύματος για την πρώτη χρονική περίοδο του πειράματος (7/6/2021-13/6/2021).



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3.14 Ποσοστό απόκλισης της μετρημένης τιμής των ιόντων Κ από την υπολογισμένη τιμή ιόντων Κ σε ημερήσια βάση.

Στο διάγραμμα 3.19 παρουσιάζεται η 1:1 συσχέτιση τη συγκέντρωσης των ιόντων καλίου όπως μετρήθηκε στο εργαστήριο και όπως υπολογίστηκε σε συνάρτηση με τη συγκέντρωση του ασβεστίου και το pH του θρεπτικού διαλύματος. Συμπεραίνεται πως υπάρχει ικανοποιητική συσχέτιση της τάξεως του 89,6% ($R^2 = 0,8996$) μεταξύ των συγκεντρώσεων Ca^{2+} και K^+ στο θρεπτικό διάλυμα, σε συνάρτηση με το pH. Επομένως το μοντέλο που διατυπώθηκε υπολογίζει ικανοποιητικά την ποσότητα του K^+ στο θρεπτικό διάλυμα.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3.15 Συσχέτιση συγκέντρωσης K^+ (ppm) στο θρεπτικό διάλυμα που μετρήθηκε στο εργαστήριο με τη συγκέντρωση K^+ (ppm) που υπολογίστηκε θεωρητικά

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από το πείραμα για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης των Ca, K και PO₄ στο θρεπτικό διάλυμα υδροπονικής καλλιέργειας τριανταφυλλιάς, συναρτήσε του pH και των παραμέτρων του κλίματος του θερμοκηπίου, προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα:

- Το μοντέλο διαπνοής μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό του όγκου της δεξαμενής.
- Η εκτίμηση της συγκέντρωσης των στοιχείων πραγματοποιήθηκε λαμβάνοντας υπόψη τις τιμές του μοντέλου διαπνοής.
- Όταν η θερμοκρασία στον χώρο του θερμοκηπίου λαμβάνει υψηλές τιμές (για παράδειγμα 40°C) πρέπει να συνεκτιμηθεί η εξάτμιση κατά τον προσδιορισμό του όγκου της δεξαμενής και των συγκεντρώσεων των στοιχείων στο θρεπτικό διάλυμα.
- Η περιεκτικότητα της δεξαμενής σε κατιόντα ασβεστίου μπορεί να εκτιμηθεί από τον όγκο του θρεπτικού διαλύματος της δεξαμενής και το pH του.
- Η ακρίβεια στην μέτρηση του pH του θρεπτικού διαλύματος είναι καθοριστική για τον προσδιορισμό των συγκεντρώσεων των θρεπτικών στοιχείων.
- Η περιεκτικότητα της δεξαμενής σε ιόντα PO₄ μπορεί να εκτιμηθεί σε συνάρτηση με τη συγκέντρωση του Ca στο θρεπτικό διάλυμα καθώς και την μεταβολή του pH (dpH) από την πρώτη μέρα.
- Το διαθέσιμο K στην δεξαμενή μπορεί να εκτιμηθεί σε συνάρτηση με τη συγκέντρωση του Ca στο θρεπτικό διάλυμα καθώς και την μεταβολή του pH (dpH) από την πρώτη μέρα.
- Οι εκτιμήσεις από όλα τα μοντέλα προσεγγίζουν σε μεγάλο βαθμό τις τιμές που προέκυψαν από τις μετρήσεις του πειράματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Γιαγνάμ Τaráση, Μ. (2015) Προοπτικές ανάπτυξης διεθνούς κόμβου εφοδιασμού και εμπορίας ανθέων και φυτών στην Ελλάδα. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
2. Θάνος Κ,(2017) Φυσιολογία και Ανάπτυξη Φυτών, 6 Αμερικάνικη-2η Ελληνική Έκδοση,, Εκδόσεις Utopia, ISBN: 978-618-5173-16-6, σς 385-409
3. Κανδήλα Α. (2010). «Συγκριτική μελέτη τεσσάρων υποστρωμάτων υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας» Πτυχιακή Διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος.
4. Καρατσίδου Χαρούλα-Μαρία (2020), Επίδραση διαφορετικών φυτορρυθμιστικών ουσιών στη δημιουργία κάλου και εκβλαστημάτων από βλαστικά μέρη φυτών τριανταφυλλιάς (*Rosa sp.*)» Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών
5. Κατσούλας Ν. , Λύκας Χρ., Γιαγλάρας Π., Κίττας Κ. , Διαχείριση Θρεπτικού διαλύματος σε κλειστό υδροπονικό σύστημα με καλλιέργεια τριανταφυλλιάς στη Μαγνησία. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος 2000
6. Κίττας Κ. (2002). Υδροπονία και Υδροπονικές Καλλιέργειες. Σημειώσεις: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας, Βόλος, σελ 6-9
7. Κουκουλάκης Π.Χ. και Παπαδόπουλος Α.Η. (2003). Η ερμηνεία της φυλλοδιαγνωστικής. Εκδόσεις Αθ. Σταμούλης, Αθήνα. σελ. 47-52,515.
8. Κωνσταντίνου Ευάγγελος. (2005) Η καλλιέργεια της τριανταφυλλιάς σε θερμοκήπιο στο νομό Φθιώτιδας, Τμήμα Θερμοκηπιακών Καλλιεργειών και Ανθοκομίας, Μεσσολόγι.
9. Λόλας, Π. Φυσιολογία Φυτού (Σημειώσεις Μαθήματος). Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, ρρ. 95- 140.
10. Λύκας, Χρ. (2004). Επίδραση των παραγόντων του μικροκλίματος στη διαχείριση νερού σε μεσογειακά θερμοκήπια. Εφαρμογή σε υδροπονική καλλιέργεια τριανταφυλλιάς (μη δημοσιευμένη διδακτορική διατριβή). Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

11. Μήτσιος, Ιωάννης Κ. (2004), Γονιμότητα εδαφών Θρεπτικά στοιχεία φυτών: Μακροθρεπτικά, μικροθρεπτικά και βαρέα μέταλλα. Μέθοδοι και εφαρμογές, Εκδόσεις Zymel ISBN: 9789607116352
12. Πογιατζής Αντώνης, Η καλλιέργεια της τριανταφυλλιάς
13. Σάββας Δημήτριος (2011). Καλλιέργειες εκτός εδάφους: Υδροπονία, Υποστρώματα,. Αθήνα, Εκδόσεις Αγρότυπος, 528 σελ.
14. Σάββας Δημήτριος(2020). Γενική Ανθοκομία. Εκδόσεις Πεδίο Α.Ε. Αθήνα.456 σελ.
15. Τσαούσης Δημήτρης (2005), Υδροπονική Καλλιέργεια Τριανταφυλλιάς Σε Ελαφρόπετρα Με Ανακύκλωση Του Θρεπτικού Διαλύματος Στην Τριφυλία Μεσσηνίας Και Τεχνοοικονομική Ανάλυση, Πτυχιακή Εργασία, Τ.Ε.Ι. ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ Σ.Τ.Ε.Γ. ΘΕ.Κ.Α
16. Φώτιος Π. Μάρης, Τεχνική Υδρολογία Κεφάλαιο 3ο Εξάτμιση – Διαπνοή. Τμήμα Δασολογίας & Διαχείρισης Περιβάλλοντος & Φυσικών Πόρων Εργαστήριο Διευθέτησης Ορεινών Υδάτων και Διαχείρισης Κινδύνου, Προπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

17. 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.
18. Baas, Rob & Marissen, Nollie. (2000). Cut rose quality as affected by Calcium supply and translocation. Acta horticulturae. 518. 45. 10.17660/ActaHortic.2000.518.5.
19. Bar-Tal,A.,Baas,R.,Ganmore Neumann,R.,2001c. Rose flower production and quality as affected by Ca concentration in the flower. Agronomie 21, 393-402
20. Bar-Yosef, Benayahu & Mattson, N.S. & Lieth, H.J.. (2009). Effects of NH₄:NO₃:urea ratio on cut roses yield, leaf nutrients content and proton efflux by roots in closed hydroponic system. Scientia Horticulturae. 122. 610-619.
21. Bell, R.W., Edwards, D.G. and Asher, C. J. Effects of Calcium Supply on Uptake of Calcium

- and Selected Mineral Nutrients by Tropical Food Legumes in Solution Culture. *Australian Journal of Agricultural Research* 40, pp.1003-1013, 1989.
22. Benoit, F., Ceustermans, N., (1995). A decade of research on ecologically sound substrates. *Acta Hort.* 408, 17-29.
 23. Benton Jones J. (1998). *Plant nutrition manual* CRC. Edition Boca Raton, USA.
 24. Benton Jones Jr (2005). *Hydroponics, a practical guide for the soilless grower*. CRC Press, pp : 4- 5, 120, 220
 25. Brun, R., Chazell L., Tarere Y., Voisin S., 1995. Nychthermal uptake of water and (No₃-) during the growth of rose plants in hydroponic culture. *Acta Horticulturae* 424, pp. 59-65.
 26. Brun, R., Settembrino, A., and Couve, C. (2000). Recycling of nutrient solutions for rose (*Rosa hybrida*) in soilless culture. *Acta Hortic.* 554, 183–192. doi: 10.17660/actahortic.2001.554.19
 27. Bugbee B. 2003. Nutrient management in recirculating hydroponic culture. *Acta Horticulture* 648: 99–112
 28. C. Stanghellini, A. van 't Ooster, E. Heuvelink (2019) *Greenhouse horticulture: Technology for optimal crop production*, ISBN: 978-90-8686-329-7 <https://doi.org/10.3920/978-90-8686-879-7> pp 16-28, 144-166
 29. Carolyn Elgar (2021), *Summertime Rose Dangers*, American Rose Society.
 30. Christie, Emerson, "Water and Nutrient Reuse within Closed Hydroponic Systems" (2014). *Electronic Theses and Dissertations.* 1096. <https://digitalcommons.georgiasouthern.edu/etd/1096>
 31. Colin Willmer, Mark Fricker, 1996, *Stomata* 2nd Edition, Springer Dordrecht Publication, Hardcover ISBN 978-0-412-72500-5, pp 149-150
 32. D. Saraswathi, P. Manibharathy, R. Gokulnath, E. Sureshkumar and K. Karthikeyan, "Automation of Hydroponics Green House Farming using IOT," 2018 IEEE International Conference on System, Computation, Automation and Networking (ICSCA), 2018, pp. 1-4, doi: 10.1109/ICSCAN.2018.8541251.

33. D. T. Clarkson, Marschner H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. second edition. 889pp. London: Academic Press, £29.95 (paperback). , *Annals of Botany*, Volume 78, Issue 4, October 1996, Pages 527–528, <https://doi.org/10.1006/anbo.1996.0155>
34. Daskalaki, A. and Burrage, S.W. (1998). Solution Temperature And The Uptake Of Water And Nutrients By Cucumber (*Cucumis sativus* L.) In Hydroponics. *Acta Hort.* 458, 317-322 DOI: 10.17660/ActaHortic.1998.458.40 <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1998.458.40>
35. Dayan, Engin & Fuchs, Marcel & Plaut, Z. & Presnov, Eugene & Grava, A & Matan, E & Solphoy, A & Mugira, U & Pines, N. (2001). Transpiration of roses in greenhouses. *Acta horticulturae*. 554. 239-249. 10.17660/ActaHortic.2001.554.25.
36. Dayan, Engin & Fuchs, Marcel & Plaut, Z. & Presnov, Eugene & Grava, A & Matan, E & Solphoy, A & Mugira, U & Pines, N. (2000). Cooling of roses in greenhouses. *Acta horticulturae*. 534. 351-360. 10.17660/ActaHortic.2000.534.41.
37. Dubois A, Remay A, Raymond O, Balzergue S, Chauvet A, Maene M, et al. (2011) Genomic Approach to Study Floral Development Genes in *Rosa* sp. *PLoS ONE* 6(12): e28455. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0028455>
38. Dunn, Bruce & Singh, Hardeep. (2016). Electrical Conductivity and pH Guide for Hydroponics. 10.13140/RG.2.2.20271.94885
39. Dunn, Bruce. (2013). Hydroponics. HLA-6442 Affiliation: Oklahoma State University
40. Ferguson, I.B.; Drobak, B.K.; (1988) Calcium and the regulation of plant growth and senescence, *Hort Science (USA)* Volume:23 Issue2 pp 262-266 ISSN : 0018-5345
41. Fimbres-Acedo, Y.E.; Traversari, S.; Cacini, S.; Costamagna, G.; Ginepro, M.; Massa, D. Testing the Effect of High pH and Low Nutrient Concentration on Four Leafy Vegetables in Hydroponics. *Agronomy* 2023, 13, 41. <https://doi.org/10.3390/agronomy13010041>
42. Gericke, William F. (1937). «Hydroponics - crop production in liquid culture media». *Science* 85 (2198): 177–178.
43. Giancarlo Fascella (2009) Long-Term Culture of Cut Rose Plants in Perlite-Based Substrates, *Roses. Floriculture and Ornamental Biotechnology* 3 (Special Issue 1)Chapter:

Long-term culture of cut rose plants in perlite-based substrates
Publisher: Global Science Books
Editors: Zlesak DC

44. Graves, C. J. (1983). The nutrient film technique. *Hort Rev.* 5, 1–44. doi: 10.1002/9781118060728.ch1
45. Grimme H., von Braunschweig L.C. and Nemeth K. (1974). Potassium, calcium and magnesium interactions as related to cation uptake and yield. *Landw.Forsch*, 30/II Sonderh. p. 93-100
46. Halevy, A.H. & Torre, S. & Borochoy, A. & Porat, R. & Philosoph-Hadas, Sonia & Meir, Shimon & Friedman, Haya. (2001). Calcium in regulation of postharvest life of flowers. *Acta Horticulturae*. 543. 345-351. 10.17660/ActaHortic.2001.543.42.
47. Hydroponics, a crop technique allied to sustainability, <https://www.iberdrola.com/sustainability/what-is-hydroponics-and-advantages>
48. Islam, A. K. M. S., D. G. Edwards, and C. J. Asher. 1980. pH optima for crop growth. Results of a flowing
49. Jensen, M.e.r.l.e. .H. (1999). HYDROPONICS WORLDWIDE. *Acta Hortic.* 481, 719-730
DOI: 10.17660/ActaHortic.1999.481.87 <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1999.481.87>
50. Joeyongo, Considerations for Maintaining Optimal Water Volume, besthydroponictips.com
51. Kim, Hyun & Young-Son, Cho & Oh-Keun, Kwon & Myung-Whan, Cho & Jae-Bok, Hwang & Soon-Do, Bae & Weon-Tae, Jeon. (2005). Effect of pH and EC of Hydroponic Solution on the Growth of Greenhouse Rose. *Asian Journal of Plant Sciences*. 10.3923/ajps.2005.348.355
52. Lieth, J.H.,(1996), Irrigation Systems. In:Reed, D.W.(Ed.). *Water, Media, and Nutrition for Greenhouse Crops*. Ball Publishing, Batavia, IL, USA, pp. 1-29.
53. Lykas, Christos & Katsoulas, Nikolaos & Giaglaras, Panagiotis & Kittas, Constantinos. (2006). Electrical Conductivity and pH Prediction in a Recirculated Nutrient Solution of a Greenhouse Soilless Rose Crop. *Journal of Plant Nutrition*. 29. 1585-1599. 10.1080/01904160600848904.

54. Maharana, L. and Koul, D.N.. The emergence of Hydroponics. Yojana (June). 55 : 39-40.(2011)
55. Marschner, H. (1995). Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd Edition. Academic Press, London UK.
56. Massa,D.,Mattson,N.S.,Lieth,H.,2008. An empirical model to simulate sodium absorption in roses growing in hydroponic system. Sci.Hort.118,228-235
57. Maucieri, Carmelo & Nicoletto, Carlo & van Os, Erik & Anseeuw, Dieter & Van Havermaet, Robin & Junge, Ranka. (2019). Hydroponic Technologies. 10.1007/978-3-030-15943-6_4.
58. Miller Alexander, Adhikari Ranjeeta, Nemali Krishna, (2020) Recycling Nutrient Solution Can Reduce Growth Due to Nutrient Deficiencies in Hydroponic Production Frontiers in Plant Science Volume 11 <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2020.607643>
DOI=10.3389/fpls.2020.607643
59. Morard,P., Benavides, B., (1990). Relative accumulation of macronutrient ions in different parts of cucumber (Cucumis sativus). Sci.Hort.44,17-30.
60. NEIL S. MATTSON & CARI PETER. A Recipe for Hydroponic Success. InsideGrower (January 2014) , pp 17-19:36
61. Nemali, K. (2018). Details of Electrical Conductivity measurements in Greenhouse Production. Purdue: Purdue University.
62. Nkansah G.O and Ito T. 1995. Comparison of mineral absorption and nutrient composition of heat- tolerant and non heat-tolerant tomato plants at different root-zone temperatures. Journal of Horticultural Science, 70 (3), pp. 453-460
63. Nutrient Content of Plants: Ανακτήθηκε από: <https://aesl.ces.uga.edu/publications/plant/Nutrient.html>
64. Nutrient Content of Plants: Ανακτήθηκε από: <https://aesl.ces.uga.edu/publications/plant/Nutrient.html>

65. Pandey, Renu & Jain, Vanita & Singh, K. (2009). Hydroponics Agriculture: Its Status, Scope and Limitations.
66. Pertwee, J., (1999) International Cut Flower Manual 1999. Pathfast Publishing. Essex, UK.
67. Pokluda, R. and Kobza, F., (2001). EFFECT OF CLIMATE CONDITIONS ON PROPERTIES OF HYDROPONIC NUTRIENT SOLUTION. *Acta Hortic.* 559, 611-617.
68. Roosta, H. R. 2011. Interaction between water alkalinity and nutrient solution pH on the vegetative growth, chlorophyll fluorescence and leaf Mg, Fe, Mn and Zn concentrations in lettuce. *Journal of Plant Nutrition* 34: 717–731
69. Roosta, Hamid Reza & Rezaei, Iman. (2013). Effect of Nutrient Solution PH on the Vegetative and Reproductive Growth and Physiological Characteristics of Rose Cv. ‘Grand Gala’ in Hydroponic
70. S Nanda, PK Das; Medicinal Efficacy of Rose Plant: A Mini Review; *PharmaTutor*; 2015; 3(10); 23-26, Vol. 3, Issue 10 | magazine.pharmatutor.org
71. S Torre, T Fjeld, H.R Gislserød, Effects of air humidity and K/Ca ratio in the nutrient supply on growth and postharvest characteristics of cut roses, *Scientia Horticulturae*, Volume 90, Issues 3– 4, 2001, Pages 291-304, ISSN 0304-4238, [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(01\)00230-8](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(01)00230-8).
72. Salisbury, F., Ross, C., 1969. *Plant Physiology*. Wadsworth Publishing Company, Inc., Belmont, California
73. 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.
74. Sardare, Mamta & Admane, Shraddha. (2019). A REVIEW ON PLANT WITHOUT SOIL - HYDROPONICS.
75. Savvas D., and Passam, H.C.(Eds) (2002) *Hydroponic production of Vegetables and Ornamentals*. Embryo Publications, Athens Greece, pp. 463

76. Silberbush, Moshe & Lieth, J.H. (2004). Nitrate and potassium uptake by greenhouse roses (*Rosa hybrida*) along successive flower-cut cycles: A model and
77. Smulders, M.J.M. et al. (2011). *Rosa*. In: Kole, C. (eds) *Wild Crop Relatives: Genomic and Breeding Resources*. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-21201-7_12
78. Sonneveld, C. and Voogt, W. (2001). CHEMICAL ANALYSIS IN SUBSTRATE SYSTEMS AND HYDROPONICS - USE AND INTERPRETATION. *Acta Hort.* 548, 247-260 DOI: 10.17660/ActaHortic.2001.548.28
79. Sonneveld,C., de Kreij, C., (1999). Response of cucumber (*Cucumis sativus* L.) to an unequal distribution of salts in the root environment. *Plant Soil* 209, 47-56
80. Starkey,R.K.,Pedersem,.A.R.,1997 Increased levels of calcium in the nutrient solution improve the post-harvest life of potted roses. *J.amer.Soc.Hort.Sci.*122,863-868
81. Taiz,L., Zeiger,E.,(2002). *Plant Physiology*. 3rd Edition. Sinauer Associates, Inc., Publishers. Sunderland, Massachusetts, USA.
82. Therios I.(1996). *Mineral nutrition and thertilizers*. Gartaganis Publications. Thessaloniki. Greece. E.U
83. Valiantzas, J. (2013). "Simple ET0 Forms of Penman's Equation without Wind and/or Humidity Data. I: Theoretical Development." *J. Irrig. Drain Eng.*, 139(1), 1–8.
84. Van Os., E., Gieling Th.H., Lietg. H.J., (2008) Technical equipment in soilless production systems. In: Raviv,M., Lieth,.H.J.(eds) (2019). *Soilles Culture Theory and Practice Theory and Practic*, Elsevier, 587-635, Edition 2nd ISBN (Electronic) 9780444636966
85. Volpin, Hanne & Elad, Yigal. (1991). Influence of calcium nutrition on susceptibility of rose flowers to *Botrytis* blight. 81. 1390-1394.
86. VPD: The Pressure to Transpire, doctorgreenhouse.com
87. Wohanka W (2002), Nutrient solution disinfection. In: Savvas & H.C. Passam (Eds), *Hydroponic production of Vegetables and Ornamentals*. Embryo Publications, Athens

Greece, pp. 345-372

