ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

«ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΣΧΕΣΗΣ Ν/Κ ΚΑΙ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΘΡΕΠΤΙΚΟΥ ΔΙΑΛΥΜΑΤΟΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΕΔΩΔΙΜΟΥ ΑΥΤΟΦΥΟΥΣ ΦΥΤΟΥ ΤΗΣ ΚΡΗΤΙΚΗΣ ΧΛΩΡΙΔΑΣ ΑΣΚΟΛΥΜΡΟΥ (*Scolymus hispanicus* L. Asteraceae) ΣΕ ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ»

Μανωλακάκης Ν. Μιχαήλ

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών

"Εφαρμοσμένη Επιστήμη και Τεχνολογία στη Γεωπονία"

Ηράκλειο 2022

ΜΕΛΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

1. ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ: ΔΡ. ΔΡΑΓΑΣΑΚΗ ΜΑΓΔΑΛΗΝΗ

ΙΔΙΟΤΗΤΑ: ΕΠΙΚΟΥΡΗ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ

ΙΔΡΥΜΑ/ΦΟΡΕΑΣ: ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

2. ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ: ΔΡ. ΚΟΝΤΑΞΑΚΗΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ

ΙΔΙΟΤΗΤΑ: ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΙΔΡΥΜΑ/ΦΟΡΕΑΣ: ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

3. ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ: ΔΡ. ΠΑΠΑΔΗΜΗΤΡΙΟΥ ΜΙΧΑΛΗΣ

ΙΔΙΟΤΗΤΑ: ΟΜΟΤΙΜΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΙΔΡΥΜΑ/ΦΟΡΕΑΣ: ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΤΟ ΕΡΓΟ ΑΥΤΟ ΥΛΟΠΟΙΗΘΗΚΕ ΣΤΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ
ΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ,
ΤΗΣ ΣΧΟΛΗΣ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΟΥ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ
ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟΥ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ

Στον Νίκο και την Αργυρούλα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η καλλιέργεια (εδαφική ή υδροπονική) λαχανευόμενων αυτοφυών χόρτων και βοτάνων είναι μια νέα και ενδιαφέρουσα από οικονομικής άποψης δραστηριότητα. Η υδροπονική καλλιέργεια έχει δοκιμαστεί με σημαντικά θετικά αποτελέσματα στην καλλιέργεια άγριων λαχανευόμενων φυτών όπως: το σταμναγκάθι *Cichorium spinosum,* κοινή αγριαγκυνάρα (*Cynara cardunculus*)), το κρίταμο (*Crithmum maritima*) κ.λ.π.. Ο ασκόλυμπρος (*Scolymus hispanicus*) είναι ένα αυτοφυές στην Ελλάδα περιζήτητο λαχανευόμενο χόρτο για τις θρεπτικές, γευστικές και φαρμακευτικές του ιδιότητες για τον οποίο υπάρχουν ελάχιστα δημοσιευμένα στοιχεία εδαφικής μόνο καλλιέργειας. Από την αρχαιότητα ο ασκόλυμπρος χρησιμοποιήθηκε ως εδώδιμο λαχανικό (τρώγονταν οι σαρκώδεις ρίζες, τα φύλλα και οι τρυφεροί βλαστοί του). Βιβλιογραφικά αναφέρεται ότι το φυτό περιέχει βιταμίνες, λίγες πρωτεΐνες και αρκετούς υδατάνθρακες και αποτελεί σημαντική πηγή K, Ca, και Mg (Garcia-Herrera et al., 2014).

Στόχος της διατριβής είναι η διερεύνηση της επίδρασης της σχέσης N/K και της αλατότητας του θρεπτικού διαλύματος υδροπονικής καλλιέργειας του ασκόλυμπρου στην βελτίωση των ποσοτικών και ποιοτικών χαρακτηριστικών του εδώδιμου μέρους του (ριζοκόνδυλος και κεντρικό νεύρο φύλλων). Για το σκοπό αυτό μελετήθηκε η υδροπονική καλλιέργεια ασκόλυμπρου ανοικτού συστήματος σε υπόστρωμα υδροπονικού περλίτη που τοποθετήθηκε σε αδιαφανείς πλαστικούς σάκους 30 λ., μήκους 80 εκ., με 4 φυτά ανά σάκο οι οποίοι τοποθετήθηκαν σε υπερυψωμένα μεταλλικά λούκια. Η καλλιέργεια υδρολιπαίνονταν καθημερινά με 4 θρεπτικά διαλύματα που παρασκευάζονταν αυτόματα μια σύγχρονη υδροπονική κεφαλή και τα οποία διέφεραν στην αναλογία N/K (χαμηλή ή υψηλή σχέση N/K, 1.59 και 2.38 mol/mol, αντίστοιχα) και στην αλατότητα (ηλεκτρική αγωγιμότητα 2,2 και 2,8 mS) του θρεπτικού διαλύματος. Για την αξιολόγηση των επεμβάσεων μετρήθηκε μετά από 4 μήνες καλλιέργειας ο αριθμός των φύλλων, ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας, η διάμετρος του ρόδακα, η πυκνότητα, ο φθορισμός της χλωροφύλλης των φύλλων, το νωπό και ξηρό βάρος του υπέργειου και υπόγειου μέρους των φυτών καθώς και η συγκέντρωση των κυριότερων ανόργανων θρεπτικών στοιχείων στα φύλλα του φυτού. Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων του πειράματος προέκυψε ότι δεν υπήρξαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο επιπέδων αγωγιμότητας του θρεπτικού διαλύματος στον αριθμό και το νωπό βάρος φύλλων και ριζοκόνδυλων ενώ η

υψηλότερη σχέση N/K, αύξησε σημαντικά το νωπό βάρος των ριζοκόνδυλων καθώς και τον αριθμό και το νωπό βάρος των φύλλων της καλλιέργειας. Οι επεμβάσεις του πειράματος δεν επηρέασαν την πυκνότητα και τον σχετικό φθορισμό της χλωροφύλλης των φύλλων των φυτών.

.

Λεξεις κλειδιά: Ασκόλυμπρος, θρεπτικό διάλυμα, ηλεκτρική αγωγιμότητα , σχέση N/K

ASTRACTS

The cultivation (on soil or hydroponics) of wild greens and herbs is a new and economically interesting activity. Hydroponic cultivation has been used with significantly positive results in the cultivation of wild plants such as: stamnagathi (*Cichorium spinosum*), wild artichoke (*Cynara cardunculus*)), etc. Golden thistle (*Scolymus hispanicus*), is a native edible plant in Greece with nutritional and medicinal properties, for which there are few published data, only in soil cultivation. From ancient times golden thistle (greek name askolymbros) has been used as an edible vegetable. This plant contains vitamins, few proteins and several carbohydrates and is an important source of K, Ca, and Mg (Garcia-Herrera et al., 2014).

The aim of this dissertation is to investigate the effect of the N / K ratio and the electrical conductivity of the nutrient solution of ascolymbros in hydroponic culture, on the effect of the quantitative and qualitative characteristics of its edible part (tap root and central leaf vein). For this purpose, an open asclepidous system of hydroponic cultivation on perlite was studied. Perlite was placed in opaque plastic bags of 30 l, 80 cm long, with 4 plants per bag, which were placed on elevated metal gutters. The culture was festigated daily with 4 nutrient solutions automatically prepared in a modern hydroponic head. The solutions differed in N / K ratio (low or high N/K ratio, 1.59 and 2.38 mol/mol, respectively and electrical conductivity of 2.2 and 2.8 mS). After 4 months of cultivation, the number of leaves, the diameter of the rosette, the concentration and the relative fluorescence of the leaf chlorophyll and the fresh and dry weight of the above-ground and underground part of the plants and the concentrations of the main inorganic nutrients in the leaves of the plant were measured.

Statistical analysis of the results showed that there were no significant differences between the two levels of conductivity of the nutrient solution on the fresh weight, and the number of leaves, while the higher N / C ratio significantly increased the fresh weight of the fleshy root as well as the number and fresh weight of the leaves. Treatments did not significantly affect the concentration (spad), and relative (Fv / Fm) fluorescence of the leaf chlorophyll (photosynthetic capacity of the leaves).

Keywords: *Scolymus hispanicus*; nitrogen; potassium; electrical conductivity; nutrient solution

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα ερευνητική Πτυχιακή Διατριβή εκπονήθηκε σε θερμοκήπιο υδροπονικών καλλιεργειών του Αγροκτήματος του Ελληνικού Μεσογειακού Πανεπιστημίου με την επιστημονική υποστήριξη του εργαστηρίου Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής την περίοδο από Φεβρουάριο-Μάιο του 2020 και είχε ως αντικείμενο στόχο τη διερεύνηση της επίδρασης διαφόρων χειρισμών υδρολίπανσης με στόχο την βέλτιστη σύνθεση του θρεπτικού διαλύματος στην υδροπονική καλλιέργεια του ασκόλυμπρου.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον ομότιμο καθηγητή Δρ. Παπαδημητρίου Μιχάλη, για την καθοδήγηση του καθ' όλη τη διάρκεια της μεταπτυχιακής μου εργασίας, την αμέριστη βοήθεια του και τις πολύτιμες συμβουλές του.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον υποψήφιο διδάκτορα Δημήτρη Παπαδημητρίου για την πολύ καλή συνεργασία και υποστήριξη της εργασίας μου, καθώς επίσης και το εκπαιδευτικό προσωπικό του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Εφαρμοσμένη Επιστήμη και Τεχνολογία στη Γεωπονία» του Ελληνικού Μεσογειακού Πανεπιστημίου, για την μετάδοση των πολύτιμων γνώσεων τους, που θα αποτελούν στο εξής για εμένα, σημαντικό επιστημονικό εφόδιο.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω τους συναδέλφους μου για αυτό το όμορφο ταξίδι, καθώς και την οικογένεια μου για την στήριξή της.

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ **7**

ASTRACTS **9**

ΠΡΟΛΟΓΟΣ **10**

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ **12**

1.1 Υδροπονικη καλλιεργεια του ασκολυμπρου. 12

1.2 Ιστορικη εξελιξη της εκτος εδαφους καλλιεργειας 13

1.3 Συστηματα καλλιεργειων εκτος εδαφους 15

1.3.1 Συστηματα καλλιεργειων με βαση τον τροπο διαχειρισης των απορροων – Συστηματα ανοικτου και κλειστου τυπου 15

1.3.2 Συστηματα καλλιεργειας αναλογα με το υποστρωμα καλλιεργειας και τους υποδοχεις υποστρωματος 17

1.4 Θρεπτικα διαλυματα υδροπονιας και χρησιμοποιουμενα λιπασματα 20

1.4.1 Ο ρολος του αζωτου στην θρεψη υδροπονικης καλλιεργειας 22

1.4.2 Ο ρολος του καλιου στην υδροπονικη καλλιεργεια 24

1.4.3 pH και ηλεκτρικη αγωγιμοτητα θρεπτικου διαλυματος 25

1.4.4 Αλατοτητα του θρεπτικου διαλυματος 27

1.4.5 Παρασκευη θρεπτικου διαλυματος υδροπονικης καλλιεργειας 28

1.7 Βιβλιογραφικη ανασκοπηση της σχεσης N/K και της ηλεκτρικης αγωγιμοτητας (EC) σε υδροπονικες καλλιεργειες 32

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ **35**

2.1. Υλικα και εγκατασταση του πειραματος 35

2.2 Λιπαντικες επεμβασεις πειραματος 39

2.3 Μετρησεις και στατιστικη αναλυση των αποτελεσματων 41

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ **43**

3.1 Αποτελεσματα αγρονομικων χαρακτηριστικων και φυσιολογικων παραμετρων του υπεργειου και υπογειου τμηματος των φυτων του ασκολυμπρου κατα το σταδιο συγκομιδης 43

3.2 Αποτελεσματα φυλλοδιαγνωστικης αναλυσης των κυριων θρεπτικων στοιχειων των φυλλων 51

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ- ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ **53**

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ **55**

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ **59**

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Υδροπονική καλλιέργεια του ασκόλυμπρου.

Η καλλιέργεια (εδαφική ή υδροπονική) λαχανευόμενων αυτοφυών χόρτων και βοτάνων είναι μια νέα και ενδιαφέρουσα από οικονομικής άποψης δραστηριότητα. Η υδροπονική καλλιέργεια έχει δοκιμαστεί με σημαντικά θετικά αποτελέσματα στην καλλιέργεια άγριων λαχανευόμενων φυτών όπως: α) το σταμναγκάθι (*Cichorium spinosum* (Klados and Tzortzakis, 2014), β) την αγκινάρα (*Cynara cardunculus*) (Colla et al., 2012), γ) το πικρομάρουλο (*Cichorium intybus*) (Filho et al., 2015) κ.λπ. Ο ασκόλυμπρος (*Scolymus hispanicus*) είναι ένα αυτοφυές στην Ελλάδα περιζήτητο λαχανευόμενο χόρτο για τον οποίο υπάρχουν ελάχιστα δημοσιευμένα στοιχεία. Από την αρχαιότητα ο ασκόλυμπρος χρησιμοποιήθηκε ως εδώδιμο λαχανικό (τρώγονταν οι σαρκώδεις ρίζες, τα φύλλα και οι τρυφεροί βλαστοί του). Η ρίζα του χρησιμοποιείτο ως φάρμακο για διάφορες παθήσεις (διουρητική δράση, γαστρεντερικά προβλήματα, δερματοπάθειες, νεφρολιθιάσεις και αρθρίτιδες Βιβλιογραφικά αναφέρεται ότι το φυτό περιέχει βιταμίνες, λίγες πρωτεΐνες και αρκετούς υδατάνθρακες και αποτελεί σημαντική πηγή K, Ca, και Mg (Garcia-Herrera etal., 2014). Περιέχει ακόμη φλαβονοειδή και χλωροφύλλη. Ο ασκόλυμπρος φυτρώνει τον χειμώνα και ανθίζει από τον Μάιο μέχρι τον Σεπτέμβριο. Κατάλληλη εποχή για τη συλλογή τρυφερών φύλλων και βλαστών είναι η περίοδος του χειμώνα και μέχρι και αρχές της άνοιξης, πριν αρχίσει να αναπτύσσεται το στέλεχος του φυτού ενώ η ρίζα συλλέγεται από το φθινόπωρο του δεύτερου έτους.

Στόχος της διατριβής είναι η διερεύνηση της επίδρασης της σχέσης N/K και της αλατότητας του θρεπτικού διαλύματος υδροπονικής καλλιέργειας του ασκόλυμπρου στην βελτίωση των ποσοτικών και ποιοτικών χαρακτηριστικών του εδώδιμου μέρους του (ριζοκόνδυλος και κεντρικό νεύρο φύλλων). Για το σκοπό αυτό τον Οκτώβριο του 2018 εγκαταστάθηκαν σπορόφυτα ασκόλυμπρου σε ανοικτού συστήματος υδροπονική καλλιέργεια σε πλαστικό θερμοκήπιο του Αγροκτήματος του ΕΛΜΕΠΑ το οποίο ήταν εφοδιασμένο με μια σύγχρονη υδροπονική κεφαλή με την οποία γίνονταν η υδρολίπανση των φυτών και επίσης εγκατάσταση υπερυψωμένου ανοικτού συστήματος υποδοχέων υποστρώματος καλλιέργειας των φυτών.

1.2 Ιστορική εξέλιξη της εκτός εδάφους καλλιέργειας

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών η επισιτιστική ασφάλεια έχει καταστεί ζωτικής σημασίας παγκόσμια ανησυχία που οφείλεται στις προβλέψεις αύξησης του πληθυσμού και επιδεινώνεται από την επικείμενη πίεση της κλιματικής αλλαγής στη γεωργία. Οι φυτικές καλλιέργειες αντιπροσωπεύουν ένα θεμελιώδες συστατικό της ανθρώπινης διατροφής λόγω της υψηλής θρεπτικής τους αξίας, θα μπορούσαν να χρησιμεύσουν για την βελτίωση των τροφίμων και της θρεπτικής ποιότητας, ειδικά όταν διαχειρίζονται υπό πολύ εντατικά συστήματα καλλιέργειας σε ελεγχόμενα περιβάλλοντα. Οι μονάδες καλλιέργειας θερμοκηπίου και εσωτερικού χώρου όχι μόνο επιτρέπουν σημαντικά υψηλότερες αποδόσεις σε σύγκριση με τα συστήματα καλλιέργειας ανοιχτού χωριού, αλλά μπορούν επίσης να διευκολύνουν την παραγωγή εκτός εποχής και ουσιαστικό χειρισμό της χημικής σύνθεσης και των βιοενεργών συστατικών του τελικού προϊόντος.

Μια κύρια πρόκληση για τις σύγχρονες καλλιεργητικές πρακτικές είναι η ανάγκη προμήθειας τροφίμων για τον αυξανόμενο παγκόσμιο πληθυσμό, που προβλέπεται να φτάσει τα 10 δισεκατομμύρια έως το 2050. Ταυτόχρονα οι παραγωγοί οπωροκηπευτικών προϊόντων και ιδιαίτερα οι καλλιεργητές λαχανικών πρέπει να αντιμετωπίσουν τις συνθήκες καλλιέργειας που επιβάλλονται από τις σημαντικές κλιματικές αλλαγές. Η εντατική παραγωγή συστημάτων τροφίμων όπως η προστατευόμενη καλλιέργεια αποσκοπούν στην αύξηση της παραγωγικότητας χωρίς επιβλαβείς επιπτώσεις στην ποιότητα των προϊόντων, το περιβάλλον και την ασφάλεια του παραγωγού και του καταναλωτή

Τα πλεονεκτήματα του θερμοκηπίου και των εσωτερικών μονάδων καλλιέργειας περιλαμβάνουν:

i. την ποιοτική παραγωγή λαχανικών εκτός εποχής,
ii. την καλύτερη προστασία της καλλιέργειας από τις εξωτερικές συνθήκες
iii. την τυποποίηση και αποθήκευση των προϊόντων σε εσωτερικούς χώρους ανεξαρτήτως καιρικών συνθηκών,

Τις δύο τελευταίες δεκαετίες, η ζήτηση για ποιοτικά προϊόντα λαχανοκομικών καλλιεργειών αυξάνεται, με αυξανόμενο ενδιαφέρον της κοινωνίας για φρέσκα προϊόντα υψηλής οργανοληπτικής, θρεπτικής και ποιοτικής αξίας (Rouphael, et al., 2018).

Τα παραδοσιακά γεωργικά συστήματα αμφισβητούνται από παγκόσμια μείωση των πόρων που προκύπτουν από την κλιματική αλλαγή και τον αυξανόμενο πληθυσμό. Εναλλακτικές γεωργικές πρακτικές όπως το aquaponics (περιλαμβάνει φυτικά φυτά και υδρόβια είδη) και τα υδροπονικά (περιλαμβάνει μόνο φυτικά φυτά) έχουν τη δυνατότητα να παράγουν υψηλή απόδοση ανά μονάδα επιφάνειας χρησιμοποιώντας περιορισμένη γη, νερό και χωρίς έδαφος.

Ο ανθρώπινος πληθυσμός παγκοσμίως σήμερα υπερβαίνει τα 7 δισεκατομμύρια, και προβλέπεται να φτάσει τα 9,7 δισεκατομμύρια έως το 2050 (ΟΗΕ, 2016). Με έναν ταχέως αυξανόμενο παγκόσμιο πληθυσμό, η ζήτηση γης για καλλιέργειες φυτών είναι πιθανό να αυξηθεί και προβλέπεται περισσότερη ανάπτυξη των αστικών περιοχών. Η καλλιεργήσιμη γη της Γης είναι πεπερασμένη και προκλήσεις όπως η υποβάθμιση του εδάφους, η λειψυδρία και η ανάπτυξη αστικών περιοχών πρέπει να αντιμετωπιστούν με την ανάπτυξη νέων και τροποποιημένων γεωργικών συστημάτων. Εναλλακτικά συστήματα παραγωγής τροφίμων που απαιτούν περιορισμένη γη, έδαφος και νερό, και τα οποία μπορούν να αναπτυχθούν σε αστικές περιοχές μπορεί να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στη μελλοντική γεωργία. Τα υδροπονικά γεωργικά συστήματα είναι εξαιρετικά παραγωγικά, κατάλληλα για αστικές περιοχές και μπορούν να αντιμετωπίσουν το πρόβλημα της έλλειψης γης σε σχέση με την αυξανόμενη ζήτηση για παραγωγή τροφίμων (Saha, Monroe, & Day, 2016).

Η υδροπονία είναι μια τεχνική καλλιέργειας φυτών σε θρεπτικά διαλύματα με ή χωρίς τη χρήση ενός αδρανές μέσο όπως χαλίκι, βερμικουλίτη, πετροβάμβακας, τύρφη, σκόνη πριονιού, σκόνη κοκοφοίνικα, ίνες καρύδας κ.λπ. το οποίο παρέχει μηχανική υποστήριξη. Ο όρος υδροπονία προήλθε από τις ελληνικές λέξεις «υδρο» που σημαίνει νερό και «πόνος» σημαίνει εργασία και κυριολεκτικά σημαίνει εργασία νερού. Η λέξη υδροπονία ή υδροπονική καλλιέργεια επινοήθηκε από τον καθηγητή William Gericke στις αρχές του 1930 και περιέγραφε την καλλιέργεια φυτών με τις ρίζες τους να αιωρούνται σε νερό που περιέχει κάποιο ορυκτό με θρεπτικές ουσίες. Τα περισσότερα υδροπονικά συστήματα λειτουργούν αυτόματα ελέγχοντας την ποσότητα του νερού, των θρεπτικών συστατικών και την φωτοπερίοδο βασιζόμενοι στις απαιτήσεις των διαφορετικών φυτά της καλλιέργειας. Λόγω της ταχείας αστικοποίησης και εκβιομηχάνισης, όχι μόνο μειώνεται η καλλιεργήσιμη γη αλλά και οι συμβατικές γεωργικές πρακτικές προκαλούν μια σειρά αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον (Resh, 2012).

Οι πιο μοντέρνες καλλιεργητικές τεχνικές εκτός εδάφους βρίσκουν την προέλευση τους από ήδη από την εποχή των Κρεμαστών Κήπων της Βαβυλώνας, όπου υπήρχε σύστημα ποτίσματος. Από εκείνες τις μέρες μέχρι σήμερα, η επιστήμη της υδροπονίας εξελίσσεται, ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια, με θετικά αποτελέσματα.

Οι πρόσφατες τάσεις στη επιστήμη της βιομηχανίας των τροφίμων, καθώς επίσης και οι προτιμήσεις των καταναλωτών για μια διαφορετική δίαιτα, προτείνουν την κατανάλωση άγριων βρώσιμων χόρτων, όχι μονάχα ως συμπλήρωμα διατροφής αλλά ως βασικό στοιχείο για μια υγιεινή και ολοκληρωμένη διατροφή. Οι διαφορετικές κλιματικές συνθήκες και η μορφολογία του εδάφους στην λεκάνη της Μεσογείου έχουν συμβάλει στην υπάρχουσα ποικιλομορφία στα διάφορα είδη. Πολλά από αυτά τα είδη χρησιμοποιούνται ως φυλλώδη χόρτα και αποτελούντα βασικά συστατικά σε πολλά παραδοσιακά πιάτα και τοπικές συνταγές, οι οποίες αποτελούν τη λεγόμενη "μεσογειακή διατροφή" που βρίσκεται στο επίκεντρο της επιστημονικής έρευνας τις τελευταίες δεκαετίες. Λαμβάνοντας υπόψη την αυξημένη παγκόσμια αλλαγή του κλίματος και τις έντονες συνθήκες που κυριαρχούν σε όλο τον κόσμο, φαίνεται όλο και περισσότερο η ανάγκη για στροφή σε εναλλακτικούς τρόπους καλλιέργειας, πέρα της συμβατικής, ακόμα και σε άγρια βρώσιμα χόρτα (Petropoulos, et al., 2018).

1.3 Συστήματα καλλιεργειών εκτός εδάφους

1.3.1 Συστήματα καλλιεργειών με βάση τον τρόπο διαχείρισης των απορροών – Συστήματα ανοικτού και κλειστού τύπου

Για να καλυφθούν ανάγκες του αυξανόμενου πληθυσμού στον πλανήτη, θα πρέπει να εξελιχθούν βιώσιμο μέθοδοι για την ανάπτυξη επαρκούς τροφής. Η τροποποίηση στο μέσο ανάπτυξης είναι μια εναλλακτική λύση για βιώσιμη παραγωγή και διατήρηση στην εξάντληση της γης και των διαθέσιμων υδάτινων πόρων (Sharma et al., 2018).
Τις τελευταίες δεκαετίες έχουν δημιουργηθεί και εκσυγχρονιστεί αρκετά διαφορετικά συστήματα καλλιέργειας εκτός εδάφους. Το κοινό τους χαρακτηριστικό είναι ο περιορισμένος όγκος του ριζικού περιβάλλοντος που αντιστοιχεί σε κάθε φυτό, σε σχέση με τις καλλιέργειες στο έδαφος. Από την άλλη, οι διαφορές που μπορούμε να συναντήσουμε σε συστήματα καλλιεργειών εκτός εδάφους συνήθως σχετίζονται με το

περιβάλλον που αναπτύσσεται το ριζικό σύστημα και τα χαρακτηριστικά του, τον τρόπο άρδευσης και τα θρεπτικά στοιχεία από τα οποία αποτελείται το θρεπτικό διάλυμα, την δυνατότητα ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης του, καθώς επίσης και με τα υλικά που έχουν χρησιμοποιηθεί αλλά και τον τρόπο κατασκευής τους. Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα σε μια υδροπονική καλλιέργεια είναι η απουσία παθογόνων εδάφους στο ριζικό περιβάλλον, όπως για παράδειγμα, βερτιτσίλιο και φουζάριο και η απαλλαγή ζιζανίων στην καλλιέργεια μας. Η υδροπονική καλλιέργεια συντελεί στην αύξηση στην απόδοση της παραγωγής μας λόγω της θερμοκρασίας και της δυνατότητας ρύθμισης της σύνθεσης του θρεπτικού διαλύματος, καθώς επίσης μπορεί να επιφέρει και σημαντική πρωίμιση της συγκομιδής μέσω της ρύθμισης της θερμοκρασίας του υποστρώματος. Ένα ακόμα σημαντικό πλεονέκτημα είναι η μείωση των εργασιών σε ότι αφορά την κατεργασία του εδάφους και τις βασικές καλλιεργητικές φροντίδες, ενώ η καλλιέργεια και η θρέψη σε ένα μεγάλο μέρος γίνονται με την βοήθεια αυτοματισμών. Από την άλλη μεριά, τα μειονεκτήματα των υδροπονικών καλλιεργειών είναι το υψηλό κόστος της αρχικής εγκατάστασης, καθώς και ο δύσκολος χειρισμός στην άρδευση των θρεπτικών διαλυμάτων, αφού ένας λάθος χειρισμός μπορεί να αποβεί μοιραίος για την καλλιέργεια. Ιδιαίτερα σε υδροπονικά συστήματα κλειστού τύπου ο κίνδυνος εξάπλωσης μιας ασθένειας από ένα προσβεβλημένο φυτό σε όλη την καλλιέργεια είναι μεγαλύτερος, ενώ στα υδροπονικά συστήματα ανοιχτού τύπου η μόλυνση του εδάφους από το θρεπτικό διάλυμα μετά την αποστράγγιση έχει μεγαλύτερη πιθανότητα να συμβεί. Λαμβάνοντας υπ' όψη τον τρόπο διαχείρισης των απορροών σε ένα υδροπονικό σύστημα καλλιέργειας εκτός εδάφους, μπορούμε να κάνουμε τον διαχωρισμό σε υδροπονικά συστήματα ανοικτού και κλειστού τύπου.

Το κοινό χαρακτηριστικό στα **ανοιχτού τύπου** συστήματα καλλιέργειας είναι ότι χρησιμοποιούν υποστρώματα, γεγονός που τους προσδίδει την ικανότητα να συγκρατούν στο πορώδες ανάμεσα στα ποτίσματα, νερό και αέρα, ανάλογα με την ανάπτυξη του φυτού. Βάσει των αναγκών των φυτών μπορούμε να χορηγήσουμε διάλυμα του οποίου είμαστε σε θέση να γνωρίζουμε την σύσταση του, και ανάλογα τις ανάγκες του φυτού είμαστε σε θέση να την κρατάμε σταθερή ή και να την τροποποιήσουμε. Επίσης η διαχείριση της απορροής του θρεπτικού διαλύματος δεν μας επιβαρύνει γιατί φεύγει εκτός της καλλιέργειας του θερμοκηπίου, γεγονός που βοηθάει και στην μείωση του κόστους στην επένδυση μας. με κύριο μειονέκτημα την σπατάλη

του νερού και των λιπασμάτων, ενώ το θρεπτικό διάλυμα που φεύγει στο περιβάλλον προκαλεί μόλυνση στον υδροφόρο ορίζοντα (Σάββας, 2012).

Σε αντίθεση με τα ανοικτά συστήματα υδροπονίας, **στα κλειστού τύπου** συστήματα το θρεπτικό διάλυμα που απορρέει έπειτα από την άρδευση της καλλιέργειας συλλέγεται και μετά από επεξεργασία επιστρέφεται στην ίδια υδροπονική καλλιέργεια. Με αυτό τον τρόπο γίνεται οικονομία στο θρεπτικό μας διάλυμα και δεν μολύνεται το περιβάλλον και ο υδροφόρος ορίζοντας με νιτρικά και φωσφορικά λιπάσματα. Θα πρέπει όμως να δοθεί μεγάλη βαρύτητα στην απολύμανση του θρεπτικού διαλύματος απορροής που ανακυκλώνεται και επαναχρησιμοποιείται στην καλλιέργεια. Με αυτό τον τρόπο αποφεύγεται η μετάδοση ασθενειών στην καλλιέργεια.

1.3.2 Συστήματα καλλιέργειας ανάλογα με το υπόστρωμα καλλιέργειας και τους υποδοχείς υποστρώματος

1.5.2.1 Συστήματα καλλιέργειας σε στερεά υποστρώματα

Μια από τις πιο γνωστές και ευρύ διαδεδομένες μεθόδους για καλλιέργεια φυτών σε υποστρώματα είναι οι σάκοι, οι οποίοι είναι κατασκευασμένο από πολυαιθυλένιο, συνήθως λευκού χρώματος, ενώ η εσωτερική τους επιφάνεια είναι μαύρη ούτος ώστε να παρεμποδίζει πλήρως τη διέλευση του ηλιακού φωτός στο εσωτερικό του. Το υπόστρωμα με το οποίο μπορούν να γεμίσουν οι σάκοι είναι από κόκκους άμμου, περλίτη, τύρφη, ελαφρόπετρα κ.ά., καθώς επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια πλέξη ινωδών επιμήκων τεμαχιδίων τα οποία ενωμένα μεταξύ τους σχηματίζουν μια σταθερή σε σχήμα πορώδη πλάκα, όπως για παράδειγμα ο πετροβάμβακας, η πολυουρεθάνη κ.ά.

Η χρήση φυτοδοχείων είναι εξίσου διαδεδομένη στις καλλιέργειες εκτός εδάφους. Τα φυτοδοχεία είναι συνήθως κατασκευασμένα από πολυαιθυλένιο ή πολυστερίνη, ενώ το σχήμα τους ποικίλει ανάλογα και με την καλλιέργεια. Όσο αφορά τα υποστρώματα που χρησιμοποιούνται σε αυτές τις περιπτώσεις είναι σε κοκκώδη μορφή, όπως για παράδειγμα ο περλίτης και η ελαφρόπετρα.

1.3.2.2 Καλλιέργεια σε στατικό θρεπτικό υπόστρωμα

Χαρακτηριστικό αυτού του συστήματος είναι οι μεγάλες λεκάνες είτε μικρότερα ατομικά φυτοδοχεία, όπου σε ένα διαμορφωμένα κατάλληλο πλέγμα, τοποθετούνται τα φυτά για να αναπτυχθούν. Η λεκάνη είναι γεμάτη με το θρεπτικό διάλυμα το οποίο

και συμπληρώνεται ανά τακτά χρονικά διαστήματα είτε αντικαθίσταται, ανάλογα με τις ανάγκες της καλλιέργειας (Lee & Lee, 2006).

1.3.2.3 Σύστημα επίπλευσης (Floating system)

Μεταξύ των συστημάτων υδροπονικής καλλιέργειας, η καλλιέργεια συστήματος επίπλευσης είναι η παλαιότερη και η ευκολότερη τεχνική καλλιέργεια.

Τα φυτά τοποθετούνται πάνω σε πλατφόρμες από πολύ ελαφρύ υλικό (συνήθως χρησιμοποιούνται πλάκες διογκωμένης πολυστερίνης), οι οποίες επιπλέουν ελεύθερα πάνω από το θρεπτικό διάλυμα, σε ένα πλωτό σύστημα με διαφορετικές συγκεντρώσεις θρεπτικού διαλύματος.

Το σύστημα αποτελείται από μια λεκάνη που περιέχει το θρεπτικό διάλυμα, ένα ελαφρύ υλικό ικανό να επιπλέει πάνω από το θρεπτικό διάλυμα για να κρατάει τους σπόρους ή τα φυτά και μια αντλία αέρα για τον αερισμό του συστήματος. Με αυτό τον τρόπο το καλλιεργούμενο είδος δεν χρειάζεται στήριξη πάνω από το στατικό θρεπτικό διάλυμα (Öztekin, Uludağ, & Tüzel, 2018).

1.3.2.4 Καλλιέργεια σε ρηχό ρεύμα θρεπτικού διαλύματος (NFT)

Η καλλιέργεια σε ρηχό ρεύμα θρεπτικού διαλύματος είναι γνωστή διεθνώς με το ακρώνυμο NFT. Χρησιμοποιείται ιδιαίτερα σε φυλλώδη λαχανικά και απαιτεί σωστή διαχείριση του κλίματος και τη χρήση με καλά ισορροπημένες λύσεις άρδευσης που ικανοποιούν τις θρεπτικές απαιτήσεις των συγκεκριμένων καλλιεργειών. Για να αποφευχθεί η συσσώρευση σε τοξίνες, η ανεπάρκεια ανόργανων συστατικών, οι διατροφικές ανωμαλίες και η εξάπλωση νόσου που μπορεί να μεταφερθεί από το έδαφος, αρκετοί παραγωγοί χρησιμοποιούν την τεχνική καλλιέργειας σε ρηχό ρεύμα θρεπτικού διαλύματος (NFT). Οι ρίζες των φυτών αναπτύσσονται μέσα σε καθαρό θρεπτικό διάλυμα, το οποίο όμως ρέει συνεχώς σε βάθος που δεν υπερβαίνει τα 2-4 mm, σε αντίθεση με τα προαναφερθέντα συστήματα καλλιέργειας σε λεκάνες γεμισμένες με στατικό διάλυμα (Lennard & Leonard, 2006).

1.3.2.5 Καλλιέργεια σε βαθύ ρεύμα θρεπτικού διαλύματος (Deep Flow Technique)

Στο συγκεκριμένο σύστημα καλλιέργειας το θρεπτικό διάλυμα μεταφέρεται μέσω αντλιών σε κανάλια ή λεκάνες καλλιέργειας διαφόρων διαστάσεων, μέσα στις οποίες είναι τοποθετημένα τα φυτά. Η στάθμη του θρεπτικού διαλύματος μέσα στα κανάλια ή τις λεκάνες καλλιέργειας διατηρείται σε ένα σταθερό ύψος μέσω της ύπαρξης σωλήνων

υπερχείλισης. Το διάλυμα που θα απομακρυνθεί από την καλλιέργεια, συλλέγεται και συμπληρώνεται με τα απαραίτητα θρεπτικά συστατικά και μέσω μιας αντλίας επιστρέφει στην καλλιέργεια (Park et al., 2010).

1.3.2.6 Επιδαπέδια υδροπονία (Plant Plane Hydroponics)

Το 1987 ξεκίνησαν έρευνες για έναν νέο τύπο υδροπονικού συστήματος - «επιδαπέδια υδροπονία» (PPH) - στο οποίο χρησιμοποιείται ένα απορροφητικό υλικό με τριχοειδείς ιδιότητες ως στερεό μέσο. Το υλικό αυτό τοποθετείται ανάμεσα σε δύο στρώσεις πλαστικών φύλλων. Με αυτό τον τρόπο το θρεπτικό διάλυμα ρέει σε επίπεδο και όχι σε στενό κανάλι. Μια σειρά από σωλήνες παροχής θρεπτικού διαλύματος στην ανώτερη άκρη του θερμοκηπίου εξασφαλίζουν την παροχή του θρεπτικού διαλύματος στα φυτά, με την βοήθεια διαμορφωμένης κλήσης που έχει δοθεί στην επιφάνεια του θερμοκηπίου. Το ενδιάμεσο απορροφητικό υλικό εξασφαλίζει την ομοιόμορφη κατανομή του διαλύματος σε όλη την καλλιέργεια, ενώ το θρεπτικό διάλυμα συλλέγεται στην κάτω μεριά και επαναχρησιμοποιείται , δημιουργώντας με αυτό τον τρόπο ένα κλειστό υδροπονικό σύστημα. Το σύστημα επιτρέπει την εναλλαγή καλλιεργειών με είδη που απαιτούν διαφορετική απόσταση φυτών, όπως ντομάτα και μαρούλι. Το καθορισμένο επίπεδο διαλυμένου οξυγόνου του διαλύματος στο περιβάλλον ρίζας πρέπει να είναι κατά μέσο όρο περισσότερο από 80%. Επομένως, αυτό το σύστημα φαίνεται να έχει θετική επίδραση στην ανάπτυξη και την απόδοση των ριζών (Schröder, 1993).

1.3.2.7 Αεροπονία

Η αεροπονία είναι μια εναλλακτική μέθοδος καλλιέργειας σε ελεγχόμενο περιβάλλον στην οποία δεν χρησιμοποιείται έδαφος. Η αεροπονία βελτιστοποιεί τον αερισμό των ριζών, ο οποίος είναι ένας σημαντικός παράγοντας που οδηγεί σε μεγαλύτερη απόδοση της καλλιέργειας σε σύγκριση με την κλασική υδροπονία. Σημαντικά πλεονεκτήματα όπως η ανακύκλωση του διαλύματος, η περιορισμένη ποσότητα νερού που χρησιμοποιείται και καλή παρακολούθηση θρεπτικών συστατικών και pH, συμβάλλουν στην αποτελεσματικότητα του συστήματος. Θα πρέπει όμως να τονίσουμε την μικρή ποσότητα θρεπτικού διαλύματος που παρέχεται στο ριζικό σύστημα και τυχόν απώλειες ισχύος στις αντλίες μπορεί να προκαλέσει ζημιές μη αναστρέψιμες (Farran & Mingo-Castel, 2006).

1.3.2.8 Aquaponics

Η εναλλακτική γεωργική πρακτική «aquaponics», περιλαμβάνει φυτά και υδρόβια είδη, και έχει τη δυνατότητα παραγωγή υψηλής απόδοση ανά μονάδα επιφάνειας χρησιμοποιώντας περιορισμένη γη, νερό και χωρίς έδαφος.

Πραγματοποιήσαμε μια μελέτη θερμοκηπίου που συγκρίνει τα υδατοπονικά συστήματα με βάση τους συστήματα με έμφαση στο βασικό φυτό. Οι παράμετροι που μελετήθηκαν περιελάμβαναν την ανάπτυξη των φυτών βασιλικού, την απόδοση, την ποιότητα και τη διατροφή (Saha et al., 2016).

1.4 Θρεπτικά διαλύματα υδροπονίας και χρησιμοποιούμενα λιπάσματα

Τα ορυκτά στοιχεία, τα οποία αφομοιώνονται από τα φυτά και τα οποία θεωρούνται απαραίτητα για την ζωή και την ανάπτυξη των φυτών, κατατάσσονται με βάση την χρησιμότητα τους αλλά και την ποσότητα που αφομοιώνει το ίδιο το φυτό, σε **"μακροθρεπτικά συστατικά"** και **"μικροθρεπτικά συστατικά".** Ένα θρεπτικό συστατικό θεωρείται απαραίτητο για την καλλιέργεια όταν η έλλειψη του επηρεάζει αρνητικά την ανάπτυξη του φυτού, μπορεί να καθορίσει τον πρόωρο του θάνατο, είτε δρα ως κύριο συστατικό σε μια εξειδικευμένη λειτουργεία του φυτού. Τα φυτικά θρεπτικά συστατικά που χρησιμοποιούνται στην υδροπονία είναι διαλυμένα σε νερό και είναι κυρίως ανόργανο και ιοντικές μορφές. Με βάση τα παραπάνω, έχουν κατηγοριοποιηθεί 16 ορυκτά στοιχεία, τα οποία είναι βασικά για τις ουσιώδεις λειτουργείες των φυτών. Στα μακροστοιχεία, τα οποία το φυτό χρειάζεται σε μεγάλες ποσότητες, διακρίνουμε το άζωτο (N), το φώσφορο (P), το κάλλιο (K), το ασβέστιο (Ca), το μαγνήσιο (Mg), το θείο (S), το οξυγόνο (O), το υδρογόνο (H) και τον άνθρακα (C). Στα μικροστοιχεία, τα οποία το φυτό απορροφά μικρές ποσότητες, διακρίνονται ο σίδηρος (Fe), ο χαλκός (Cu), το μαγνήσιο (Mn), το βόριο (B), ο ψευδάργυρος (Zn), το μολυβδαίνιο (Mo) και το χλώριο (Cl) (Leoni, 2003).

Πίνακας 1. Ατομικά βάρη των κυριότερων ανόργανων στοιχείων που εμπλέκονται στην θρέψη των φυτών

Στοιχείο	Ατομικό βάρος	Στοιχείο	Ατομικό βάρος
Άζωτο (N)	14	Νάτριο (Na)	23
Άνθρακας (C)	12	Οξυγόνο (O)	16
Ασβέστιο (Ca)	40,1	Πυρίτιο (Si)	28,1
Βόριο (B)	10,8	Σίδηρος (Fe)	55,9
Θείο (S)	32,1	Υδρογόνο (H)	1
Κάλιο (K)	39,1	Φώσφορος (P)	31
Μαγγάνιο (Mn)	54,9	Χαλκός (Cu)	63,6
Μαγνήσιο (Mg)	24,3	Χλώριο (Cl)	35,5
Μολυβδαίνιο(Mo)	95,9	Ψευδάργυρος (Zn)	65,4

Τα ανώτερα φυτά έχουν ανάγκη από 16 χημικά στοιχεία για να αναπτυχθούν και να ολοκληρώσουν τον βιολογικό τους κύκλο. Τα μακροστοιχεία είναι απαραίτητα σε μεγάλες ποσότητες, ενώ τα μικροστοιχεία είναι απαραίτητα μόνο σε ίχνη (ιχνοστοιχεία).

Για την θρέψη των υδροπονικών καλλιέργειών χρησιμοποιούνται κυρίως απλά υδατοδιαλυτά άλατα, καθώς επίσης και ορισμένα οξέα, ενώ ειδικά ο σίδηρος χορηγείται σε μορφή οργανομεταλλικών συμπλόκων (χηλικές ενώσεις σιδήρου). Η θρεπτική αξία και η εξωτερική εμφάνιση ενός φυτού καθορίζεται από τη διαθεσιμότητα και τη συγκέντρωση των θεμελιωδών θρεπτικών στοιχείων και των τοξικών ενώσεων. Για να παρασκευασθεί ένα πλήρες θρεπτικό διάλυμα με μια δεδομένη σύνθεση θα πρέπει να προστεθεί στο νερό ένα μείγμα από λιπάσματα όπως φαίνεται στον πίνακα 1 (Θεριός, 1996).

Τα συνήθη λιπάσματα σε υδροπονικές καλλιέργειες είναι τα παρακάτω :

- Νιτρική αμμωνία είναι ένα ευδιάλυτο στο νερό άλας. Η προσθήκη της επιφέρει μικρή μείωση του pH στο θρεπτικό διάλυμα λόγω της απελευθέρωσης των ιόντων αμμωνίου το οποίο συμπεριφέρεται ως ασθενές οξύ.
- Νιτρικό ασβέστιο αποτελείται από δυο απλά άλατα, το $Ca(NO_3)_2$ σε δεκαπλάσια περιεκτικότητα σε σχέση με το NH_4NO_3, ενώ είναι το μοναδικό σχεδόν λίπασμα το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την προσθήκη Ca στο θρεπτικό διάλυμα.

- Νιτρικό κάλιο χορηγείται συνήθως σε μορφή KNO_3 για την χορηγήσει K, ενώ η προσθήκη Νιτρικού μαγνησίου είναι απαραίτητη όταν η προσθήκη Mg^{2+} υπερβαίνει αριθμητικά αυτή του SO_4^{2-}. Το Νιτρικό οξύ, αν και αρκετά επικίνδυνο δηλητήριο, χρησιμοποιείται ως κύριο σκοπό την μείωση του pH του διαλύματος στα επίπεδα που θεωρούνται επιθυμητά για τα φυτά, μεταξύ των τιμών 5,5-6,0. Επομένως καταληκτικός παράγοντας για την προσθήκη Νιτρικού οξέος στο διάλυμα είναι η συγκέντρωση ιόντων υδρογόνου που είναι αναγκαία για να μειωθεί το pH στο επιθυμητό επίπεδο.
- Φωσφορικό μονοαμμώνιο, το οποίο λόγο της συνδυασμένης απελευθέρωσης ιόντων NH_4^+ και $H_2PO_4^-$ μειώνει αισθητά το pH του διαλύματος. Η χρήση του είναι σπάνια σε καλλιέργειες εκτός εδάφους, το συναντάμε μονάχα ως μια εναλλακτική πηγή χορήγησης NH_4^+ στο διάλυμα όταν δεν είναι επιθυμητή ή δεν είναι δυνατή η προσθήκη νιτρικής αμμωνίας.
- Φωσφορικό μονοκάλιο, το οποίο έχει την ιδιότητα να μειώνει ελαφρώς το pH του διαλύματος λόγω των ιόντων $H_2PO_4^-$ που απελευθερώνει.
- Φωσφορικού οξύ ως πηγή φωσφόρου για τα θρεπτικά διαλύματα. Χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή στις περιπτώσεις όπου η περιεκτικότητα του νερού σε όξινα ανθρακικά είναι χαμηλή, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε πτώση του pH του θρεπτικού διαλύματος σε επίπεδα κάτω από 5,0-5,5 το οποίο είναι ακατάλληλο για την καλλιέργεια των φυτών.

Η συγκέντρωση NO_3^- στα φυτά είναι φυσικό φαινόμενο που προκύπτει από την απορρόφηση των νιτρικών ιόντων σε μεγαλύτερη ποσότητα από αυτή που ανάγεται και η οποία εξαρτάται από τον γενότυπο, την περιεκτικότητα του εδάφους σε NO_3^- και τις κλιματικές συνθήκες κάτω από τις οποίες αναπτύσσονται τα φυτά. Τα NO_3^- και NO_2^- σε υψηλές συγκεντρώσεις ή κάτω από ειδικές συνθήκες μπορούν να προκαλέσουν μεγάλες οικονομικές απώλειες, ακόμη και το θάνατο (Chatzigianni et al., 2019).

1.4.1 Ο ρόλος του αζώτου στην θρέψη υδροπονικής καλλιέργειας

Το άζωτο (N) είναι συστατικό όλων των πρωτεϊνών, δεδομένου ότι είναι απαραίτητο συστατικό των αμινοξέων στα οποία συμμετέχει σε μορφή αμινομάδας ($-NH_2$). Υπολογίζεται ότι οι πρωτεΐνες περιέχουν κατά μέσο όρο 12% N περίπου, ενώ είναι

βασικό στοιχείο των 5 βάσεων που συνιστούν τα νουκλεοξέα. Το μεγαλύτερο μέρος του αζώτου υπάρχει στον ατμοσφαιρικό αέρα σε μορφή N_2, η οποία μορφή όμως είναι αδρανής και δεν είναι άμεσα αφομοιώσιμη από τα ανώτερα φυτά. Οι μορφές αζώτου που απορροφούν τα φυτά και αξιοποιούν για τη θρέψη τους είναι τα ανόργανα ιόντα NO_3^- και NO_4^+ που είναι διαλυμένα στο εδαφικό νερό, και είναι αυτά που πρέπει να προστίθενται στα θρεπτικά διαλύματα. Σημαντικό είναι να γνωρίζουμε ότι τα νιτρικά ιόντα, σε αντίθεση με τα αμμωνιακά ιόντα, σχηματίζουν ένα ισχυρό οξύ, το HNO_3, και επομένως δεν υδρολύονται στα υδατικά διαλύματα. Συνεπώς το pH των θρεπτικών διαλυμάτων δεν επηρεάζει την συγκέντρωση των νιτρικών ιόντων σε αυτά. Υψηλές συγκεντρώσεις NO_3^- θα πρέπει να αποφεύγονται γιατί μπορεί να προκαλέσουν υπερβολικά υψηλή συγκέντρωση αλάτων στο περιβάλλον της ρίζα, υπερβολική βλαστική ανάπτυξη σε βάρος της παραγωγής και υποβάθμιση των παραγόμενων προϊόντων. Τα περισσότερα φυτά μπορούν να προσλάβουν το άζωτο και σε μορφή ουρίας την οποία στη συνέχεια υδρολύουν και αξιοποιούν στον μεταβολισμό μέσω της επίδρασης του ενζύμου της ουρεάσης. Στα κλειστά υδροπονικά συστήματα η ουρία έχει χρόνο να υδρολυθεί στο ριζόστρωμα και συνεπώς να αξιοποιηθεί από τα φυτά, σε αντίθεση με τα ανοικτά υδροπονικά συστήματα, όπου για αντίθετο λόγο αποφεύγεται η χρήση της (Σάββας, 2011).

Η διατροφή των φυτών εξαρτάται από την διαθεσιμότητα και πρόσληψη μακρο και μικροθρεπτικών συστατικών που περιέχονται στο έδαφος. Το άζωτο (N) είναι υπεύθυνο για την ανάπτυξη της φυλλικής επιφάνειας και είναι σημαντικό ορυκτό στοιχείο που χρησιμοποιείται στη γεωργική λίπανση. Στην αλληλεπίδραση μεταξύ των θρεπτικών συστατικών πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι επιπτώσεις της αύξησης της συγκέντρωσης ενός θρεπτικού συστατικού στην απορρόφηση κάποιου άλλου θρεπτικού συστατικού και την αντίστοιχη απόκριση της καλλιέργειας.

Η έλλειψη αζώτου (N) προκαλεί αδύναμα στελέχη ενώ η περίσσια αζώτου (N) προκαλεί πλούσιο και χυμώδεις φύλλωμα, κατά συνέπεια δημιουργεί ευνοϊκές συνθήκες για την ανάπτυξη διαφόρων ασθενειών.

Το άζωτο (N) είναι το στοιχείο που απορροφάται περισσότερο στο έδαφος από τα φυτά που αναπτύσσονται υπό κανονικές συνθήκες.

Στην υδροπονία, οι ποσότητες του NH_4^+ που ενσωματώνονται στα θρεπτικά διαλύματα ποικίλλουν από 5% έως 10% του N και μετά βίας υπερβαίνει το 15% (Torres-Olivar et al., 2014).

1.4.2 Ο ρόλος του καλίου στην υδροπονική καλλιέργεια

Ένα σημαντικό στοιχείο που είναι απαραίτητο θρεπτικό συστατικό και το οποίο επηρεάζει τις περισσότερες από τις βιοχημικές και φυσιολογικές διεργασίες που επηρεάζουν τα φυτά στην ανάπτυξη και τον μεταβολισμός τους είναι το Κάλιο (K).

Συμβάλλει επίσης στην επιβίωση των φυτών που εκτίθενται σε διάφορα βιοτικά και αβιοτικά στρες συμπεριλαμβανομένων ασθενειών, παρασίτων, ξηρασίας, αλατότητας, κρύο και παγετό. Η εφαρμογή λιπάσματος Καλίου μπορεί να μειώσει την συχνότητα εμφάνισης ασθενειών στις περισσότερες περιπτώσεις, αλλά μερικές φορές δεν είχε καμία επίδραση ή μπορεί να εμφανίσει ακόμα και το αντίθετο αποτέλεσμα.

Επιπλέον, το Κάλιο είναι απαραίτητο για την ανάπτυξη στη ρίζα. Ο κύριος περιορισμός για την ανάπτυξη των φυτών και την παραγωγή καλλιεργειών σε άνυδρες και ημι-άνυδρες περιοχές είναι το νερό του εδάφους. Οι προκύπτουσες χαμηλότερες συγκεντρώσεις Καλίου μπορούν επίσης να μειώσουν περαιτέρω την αντοχή των φυτών στο στρες της ξηρασίας, καθώς και την απορρόφηση του Καλίου. Η διατήρηση επάρκειας του Καλίου στο φυτού είναι επομένως κρίσιμη για την ανθεκτικότητα στην ξηρασία των φυτών, γιατί το Κάλιο όχι μόνο μπορεί να αυξήσει τη συνολική ξυλώδες μάζα του φυτού και την φυλλώδη επιφάνεια, αλλά μπορεί να βελτιώσει επίσης την κατακράτηση του νερού στους ιστούς των φυτών μέσω του σωστού ελέγχου στη λειτουργία των στοματίων στη διαπνοή του φυτού (Wang, Zheng, Shen, & Guo, 2013).

Τη στιγμή που στις καλλιέργειες οι οποίες αναπτύσσονται στο έδαφος, ο όγκος του ριζοστρώματος ανά φυτό είναι σχετικά μεγάλος και το φορτίο στην ανταλλάξιμη σύνθεση ιόντων είναι τόσο μικρή, που η αλλαγή είναι αμελητέα με συνέπεια η συγκέντρωση K στο εδαφικό διάλυμα να μην μεταβάλλεται γρήγορα παρά τους υψηλούς ρυθμούς απορρόφησης του, και σε αυτή τη ρυθμιστική λειτουργεία βοηθάνε τα κολλοειδή του εδάφους, εξισορροπώντας τις μεταβολές που προκαλεί η απορρόφηση από τα φυτά. Σημαντικός παράγοντας στην ισορροπία συγκέντρωσης και στο ρυθμό κατακράτησης του K είναι και η σύσταση του εδάφους, όπου παρατηρούνται σημαντικές διαφορές μεταξύ των εδαφών (Wada & Odahara, 1993).

Στις καλλιέργειες εκτός εδάφους όμως, ο όγκος του ριζοστρώματος που αντιστοιχεί σε κάθε φυτό είναι περιορισμένος, ενώ ειδικά στις υδροπονικές καλλιέργειες απουσιάζει και η ρυθμιστική επίδραση της ανταλλαγής κατιόντων. Για να υπάρχει επομένως ένα ρυθμιστικό απόθεμα K στα θρεπτικά διαλύματα που χρησιμοποιούνται στις καλλιέργειες εκτός εδάφους, θα πρέπει να είναι μεταξύ 3 και 11 mmol L^{-1}, ανάλογα με το είδος του φυτού, το στάδιο ανάπτυξης, κ.λπ. (Σάββας, 2011).

1.4.3 pH και ηλεκτρική αγωγιμότητα θρεπτικού διαλύματος

Το pH είναι μια παράμετρος που μετρά την οξύτητα ή την αλκαλικότητα ενός διαλύματος. Αυτή η τιμή δείχνει τη σχέση μεταξύ της συγκέντρωσης των ελεύθερων ιόντων H^+ και OH^- που υπάρχουν στο διάλυμα και κυμαίνεται μεταξύ 0 και 14. Ομοίως, η αλλαγή του pH ενός θρεπτικού διαλύματος επηρεάζει τη σύστασή του και την βιοδιαθεσιμότητα του. Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό των θρεπτικών διαλυμάτων είναι ότι πρέπει να περιέχουν τα ιόντα στο διάλυμα σε χημικές μορφές, τις οποίες θα μπορούν να απορροφήσουν τα φυτά. Η παραγωγικότητα συνδέεται στενά με την πρόσληψη θρεπτικών συστατικών και τη ρύθμιση του pH, επειδή κάθε θρεπτικό συστατικό παρουσιάζει διαφορικές αποκρίσεις στις αλλαγές του pH του θρεπτικού διαλύματος. Για παράδειγμα, σε ένα θρεπτικό διάλυμα, η NH_3 σχηματίζει σύμπλοκο μόνο με το H^+. Για ένα εύρος pH μεταξύ 2 και 7, η NH_3 είναι εντελώς παρούσα ως NH_4^+ . Αυξάνοντας το pH πάνω από 7 η συγκέντρωση του NH_4^+ μειώνεται, ενώ η συγκέντρωση της NH_3 αυξάνεται. Σε πειραματικές μελέτες έχει διαπιστωθεί ότι η νιτροποίηση επηρεάζεται σημαντικά από το pH του νερού. Ο φώσφορος είναι ένα στοιχείο που εμφανίζεται σε μορφές που εξαρτώνται έντονα από το pH του περιβάλλοντος. Στην περιοχή της ρίζας αυτό το στοιχείο μπορεί να βρεθεί ως ιόντα PO_4^{3}, HPO_4^{2-} και $H_2PO_4^-$. Τα δύο τελευταία ιόντα είναι οι κύριες μορφές του P που λαμβάνονται από τα φυτά σε αδρανή υποστρώματα. Η μεγαλύτερη ποσότητα P που είναι διαθέσιμη σε ένα θρεπτικό διάλυμα παρουσιάζεται όταν το pH του είναι ελαφρώς όξινο (pH 5), ενώ σε αλκαλικά και πολύ όξινα διαλύματα η συγκέντρωση του P μειώνεται (Trejo-Téllez & Gómez-Merino, 2012).

Τα επιθυμητά επίπεδα του pH και ηλεκτρικής αγωγιμότητας στο θρεπτικό διάλυμα είναι πολύ σημαντικά ώστε να μπορούμε να πετύχουμε τα βέλτιστα αποτελέσματα για την εγκαταστημένη καλλιέργεια. Το βέλτιστο εύρος τιμών της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και του pH για διαφορετικές υδροπονικές καλλιέργειες φαίνονται στον Πίνακα 2.

Πίνακας 2: Βέλτιστο εύρος τιμών ηλεκτρικής αγωγιμότητας και pH στις καλλιέργειες

Είδος καλλιέργειας	EC (dSm^{-1})	pH
Σπαράγγι	1,4 έως 1,8	6,0 έως 6,8
Αφρικανική βιολέτα	1.2 έως 1.5	6.0 έως 7.0
Βασιλικός	1.0 έως 1.6	5.5 έως 6.0
Μπανάνα	1,8 έως 2,2	5,5 έως 6,5
Μπρόκολο	2,8 έως 3,5	6,0 έως 6,8
Λάχανο	2,5 έως 3,0	6,5 έως 7,0
Σέλινο	1.8 έως 2.4	6.5
Γαρύφαλλο	2.0 έως 3.5	6.0
Κολοκύθια	1.8 έως 2.4	6.0
Αγγούρι	1,7 έως 2,0	5,0 έως 5,5
Μελιτζάνα	2.5 έως 3.5	6.0
Φίκος	1.6 έως 2.4	5.5 έως 6.0
Πράσο	1,4 έως 1,8	6,5 έως 7,0
Μαρούλι	1.2 έως 1.8	6.0 έως 7.0
Κινέζικο λάχανο	1.5 έως 2.0	7.0
Πιπεριές	0,8 έως 1,8	5,5 έως 6,0
Μαϊντανός	1.8 έως 2.2	6.0 έως 6.5
Ραβέντι	1.6 έως 2.0	5.5 έως 6.0
Τριαντάφυλλο	1,5 έως 2,5	5,5 έως 6,0
Σπανάκι	1,8 έως 2,3	6,0 έως 7,0
Φασκομηλιά	1,0 έως 1,6	5,5 έως 6,5
Τομάτα	2.0 έως 4.0	6.0 έως 6.5

Οι ιδανικές τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας για τις περισσότερες υδροπονικές καλλιέργειες κυμαίνονται μεταξύ 1,5 και 2,5 dS m^{-1}. Υψηλότερες τιμές θα δυσκόλευαν την απορρόφηση των θρεπτικών ουσιών λόγω ωσμωτικής πίεσης, ενώ χαμηλότερα επίπεδα θα επηρεάσουν σοβαρά την υγεία των φυτών καθώς και την απόδοση τους. Επομένως, η κατάλληλη διαχείριση της υδροπονικής τεχνικής μπορεί να είναι ένα αποτελεσματικό εργαλείο για την βελτίωση της απόδοσης και της ποιότητας των καλλιεργούμενων φυτών. Επίσης όσο τα φυτά μεγαλώνουν και υπάρχουν διαφορετικές ανάγκες σε θρεπτικά συστατικά και συγκεκριμένα θρεπτικά συστατικά εξαντλούνται πιο γρήγορα από κάποια άλλα, μπορούμε να αλλάξουμε τη σύνθεση του θρεπτικού διαλύματος με βάση τις ανάγκες της καλλιέργειας (Sharma et al., 2018).

1.4.4 Αλατότητα του θρεπτικού διαλύματος

Η αλατότητα αναστέλλει τη βλάστηση των σπόρων και την ανάπτυξη των φυτών, επηρεάζει την ανατομία των φύλλων και τη φυσιολογία των φυτών και, επομένως, επηρεάζει τη φωτοσύνθεσή τους, ενώ επιδρά αρνητικά στη σχέση νερού και σύνθεση πρωτεϊνών, παραγωγής ενέργειας και στο μεταβολισμό των λιπιδίων. Επίσης η αλατότητα περιορίζει την ανάπτυξη των ριζών μέσω ωσμωτικών επιδράσεων και τοξικής επιδράσεις των ιόντων, με αποτέλεσμα τη χαμηλότερη πρόσληψη θρεπτικών ουσιών και αναστέλλει την πρόληψη των ορυκτών θρεπτικών συστατικών, ιδίως του Καλίου. Ως συνέπεια της ανεπάρκειας παρατηρείται η σημαντική μείωση του άζωτου, μείωση της φωτοσυνθετικής αφομοίωσης του άνθρακα και ανεπαρκείς ποσοστά Na στα φύλλα (Wang et al., 2013)

Τα φυλλώδη λαχανικά κατέχουν μια πολύ σημαντική θέση στην ανθρώπινη διατροφή, αλλά δυστυχώς αποτελούν μια ομάδα τροφίμων που συμβάλλει στη μέγιστη κατανάλωση νιτρικών από τα ζωντανά όντα. Κάτω από την υπερβολική εφαρμογή λιπασμάτων αζώτου, αυτά τα λαχανικά μπορούν να συσσωρευτούν υψηλά επίπεδα νιτρικών αλάτων και, όταν καταναλώνονται από τον άνθρωπο, ενέχουν σοβαρούς κινδύνους για την υγεία. Επομένως, απαιτούνται προσπάθειες για την ελαχιστοποίηση του συσσώρευση νιτρικών αλάτων σε φυλλώδη λαχανικά και την κατάποσή του από ανθρώπους. Η ημερήσια ρύθμιση της εισροής νιτρικών στο φυτό πρέπει να βασίζεται στα είδη αμινοξέων και νιτρικών που εξομοιώνουν το νιτρικό άλας κυρίως στους βλαστούς. Ειδικότερα, το ισοζύγιο άνθρακα και όχι το νιτρικό άλας είναι ο πρωταρχικός παράγοντας που καθορίζει τη συσσώρευση νιτρικών αλάτων σε καλλιέργεια με φυλλώδη λαχανικά, ενώ η ένταση του φωτός καθορίζει την παραγωγή υδατανθράκων και επηρεάζει την αφομοίωση των νιτρικών. Ο ρυθμός αφομοίωσης νιτρικών αλάτων μειώνεται περίπου στο μισό όσο μειώνεται το φως, ενώ είναι αμελητέα κατά τη διάρκεια της νύχτας. Αντίθετα, η πρόσληψη νιτρικών στις ρίζες παραμείνει υψηλή καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας και θα πέσει μόνο κατά 30% κατά τη διάρκεια της νύχτας. Το νιτρικό άλας που παραλαμβάνεται κατά τη διάρκεια της νύχτας χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά για την ανανέωση στα φύλλα (Anjana & Iqbal, 2007). Σε φυτά που καλλιεργήθηκαν σε περλίτη, η συνολική περιεκτικότητα σε φαινόλη αυξήθηκε με εφαρμογή υψηλής αλατότητας (120 mmol L-1 NaCl), ενώ δεν παρατηρήθηκαν διαφορές σε εφαρμογή 40 mmol L-1 NaCl. Παρατηρήθηκαν ανεπιθύμητες ενέργειες για την περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες. Έτσι, η υψηλή

αλατότητα προκαλεί σοβαρές βλάβες στα φυτά, συμπεριλαμβανομένης της αναστολής της ανάπτυξης, του μειωμένου μεταβολισμού, της νέκρωσης, της απώλειας παραγωγής και ποιότητας καθώς και ανισορροπία των θρεπτικών συστατικών στα φυτά. Η ανισορροπία που προκαλείται από την αλατότητα επηρεάζει τα θρεπτικά συστατικά που εμπλέκονται στη σύνθεση πρωτεϊνών και τη φωτοσύνθεση, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε αναστολή αυτών των διεργασιών καθώς και στις χρωστικές της χλωροφύλλης a και b. Η αυξημένη αλατότητα γενικά μειώνει την απόδοση των λαχανικών, αλλά μπορεί να βελτιώσει την ποιότητα, όπως παρατηρείται σε φυτά που καλλιεργούνται τόσο σε χώμα όσο και σε καλλιέργεια χωρίς έδαφος (Klados & Tzortzakis, 2014). Επίσης σε περιοχές που τα επίπεδα αλατότητας είναι χαμηλά, όπως ορεινές περιοχές, παρατηρούνται φυτά ανώτερης θρεπτικής αξίας και παρουσία φύλλων με καλύτερη υφή (πιο τραγανά) λόγω της σημαντικά υψηλότερης περιεκτικότητας σε ξηρά ουσία των βρώσιμων βλαστών τους, ενώ συναντάμε μεγαλύτερη περιεκτικότητα ολικών φαινολών, φλαβονοειδή και καροτενοειδή. Επί πλέον η χαμηλή συγκέντρωση νιτρικών αλάτων στον εδώδιμο βλαστό συνηγορεί υπέρ μιας υψηλότερης διατροφικής ποιότητας (Chatzigianni et al., 2019).

1.4.5 Παρασκευή θρεπτικού διαλύματος υδροπονικής καλλιέργειας

Ένα θρεπτικό διάλυμα για τα υδροπονικά συστήματα είναι ένα υδατικό διάλυμα που περιέχει κυρίως ανόργανα ιόντα από διαλυτά άλατα βασικών στοιχείων για τα φυτά. Ένα βασικό στοιχείο έχει σημαντικό ρόλο και η απουσία του εμποδίζει τον πλήρη κύκλο ζωής του φυτού. Όπως γνωρίζουμε, 17 στοιχεία θεωρούνται απαραίτητα για τα περισσότερα φυτά, και αυτά είναι ο άνθρακας, το υδρογόνο, το οξυγόνο, το άζωτο, ο φώσφορος, το κάλιο, το ασβέστιο, το μαγνήσιο, το θείο, ο σίδηρος, ο χαλκός, ο ψευδάργυρος, το μαγγάνιο, το μολυβδαίνιο, το βόριο, το χλώριο και το νικέλιο. Με εξαίρεση τον άνθρακα (C) και το οξυγόνο (O), τα οποία το φυτό μπορεί να τα προσλάβει από την ατμόσφαιρα, τα υπόλοιπα στοιχεία θα πρέπει να υπάρχουν σε κάποιο υπόστρωμα, είτε να χορηγηθούν με κάποιο θρεπτικό διάλυμα (Trejo-Téllez & Gómez-Merino, 2012). Σημαντικό είναι να αναφερθούμε σε ένα πρακτικό ζήτημα που σχετίζεται με τη χρήση αζώτου στην υδροπονία και τις συνέπειες για το pH του θρεπτικού διαλύματος. Στις υδροπονικές καλλιέργειες χρησιμοποιούνται κυρίως δύο μορφές αζώτου : Η αμμωνιακή μορφή (NH_4^+) και το νιτρικό άλας (NO_3^-), όπου συνήθως περιλαμβάνονται και οι δύο μορφές στα θρεπτικά διαλύματα. Όταν και τα δύο μόρια υπάρχουν σε ένα διάλυμα ανάπτυξης, τα κατιόντα NH_4^+ συχνά απορροφώνται

κατά προτίμηση από τις ρίζες των φυτών έναντι των ανιόντων NO_3^-. Οι διαφορετικοί ρυθμοί εξάντλησης των NH_4^+ και NO_3^- έχει ως αποτέλεσμα να οδηγήσουν σε μεταβολή του pH στο διάλυμα ανάπτυξης, ενώ τόσο υψηλές συγκεντρώσεις αμμωνίου μπορούν επίσης να είναι επιβλαβές για την ανάπτυξη των φυτών. Το θρεπτικό διάλυμα των υδροπονικών καλλιεργειών είναι ένα αραιό υδατικό διάλυμα όλων των θρεπτικών στοιχείων που είναι απαραίτητα για τα φυτά, τα οποία βρίσκονται διαλυμένα στο νερό είτε ως ιόντα ανόργανων αλάτων, είτε ως ευδιάλυτες χημικές ενώσεις, είτε ως ευδιάλυτες οργανικές ενώσεις.

Πίνακας 3: Μορφές θρεπτικών στοιχείων στα θρεπτικά διαλύματα.

Μακροστοιχεία	**Χημική μορφή**	**Ιχνοστοιχεία**	**Χημική μορφή**
Άζωτο (N)	NO^-_3 , NO^+_4	Σίδηρος (Fe)	Fe^{2+}
Φώσφορος (P)	$H_2PO^-_4$	Μαγγάνιο (Mn)	Mn^{2+}
Θείο (S)	SO_4^{-2}	Ψευδάργυρος (Zn)	Zn^{2+}
Κάλιο (K)	K^+	Χαλκός (Cu)	Cu^{2+}
Ασβέστιο (Ca)	Ca^{2+}	Βόριο (B)	H_3BO_3
Μαγνήσιο (Mg)	Mg^{2+}	Μολυβδαίνιο (Mo)	SO_4^{-2}

Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε από τον παραπάνω πίνακα, τα θρεπτικά στοιχεία βρίσκονται μέσα στο διάλυμα υπό την μορφή ανόργανων ιόντων. Τα λιπάσματα που χρησιμοποιούνται ως πηγές μακροστοιχείων κατά την παρασκευή θρεπτικών διαλυμάτων είναι ανόργανα άλατα ή οξέα, τα οποία αποτελούνται από δυο ιόντα θρεπτικών στοιχείων, ένα κατιόν και ένα ανιόν. Επίσης όλα τα λιπάσματα που χρησιμοποιούνται θα πρέπει να είναι πλήρως υδατοδιαλυτά σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Για την παρασκευή ενός θρεπτικού διαλύματος σε υγρή μορφή είναι σημαντικό να έχουμε κατανοήσει τις έννοιες που σχετίζονται με τις συγκεντρώσεις των θρεπτικών στοιχείων ώστε να μπορούμε να υπολογίζουμε τις ποσότητες τους στα θρεπτικά διαλύματα. Το γραμμομόριο ή mol μιας χημικής ένωσης ονομάζεται μια ποσότητα ίση με το μοριακό της βάρος σε γραμμάρια. Όταν εργαζόμαστε με θρεπτικά διαλύματα δεν χρησιμοποιούμε το γραμμομόριο (mol) αλλά τις υποδιαιρέσεις του, δηλαδή το mmol (χιλιοστογραμμομόριο) και το μmol (μικρογραμμομόριο).

Η σχέση που συνδέει το mol με τις υποδιαιρέσεις του είναι :

1 mol = 1.000 mmol = 1.000.000 μmol

Αφού σύμφωνα με τον ορισμό το βάρος ενός ιόντος ή μιας χημικής ένωσης που αντιστοιχεί σε ένα mol είναι της τάξεως των γραμμαρίων το βάρος ενός mmol θα είναι της τάξεως των mg και του mol της τάξεως των μg. Για παράδειγμα, στην περίπτωση του KNO_3, με μοριακό βάρος M.B.=101, ισχύει : 1mmol KNO_3 = 101 mg

Η προσθήκη ανόργανων αλάτων και οξέων στο νερό άρδευσης για την παρασκευή θρεπτικού διαλύματος έχει ως αποτέλεσμα την πλήρη διίσταση τους σε κατιόντα και ανιόντα. Το πρόβλημα που πρέπει να αντιμετωπίσουμε είναι όταν για παράδειγμα, διίσταται 1 mol απλού άλατος, τα mol των κατιόντων που προκύπτουν δεν ισούνται πάντοτε με τα mol των ανιόντων. Έννοιες όπως το χημικό ισοδύναμο ιόντος και χημικής ένωσης έχουν ιδιαίτερη σημασία για τον υπολογισμό των στοιχείων που συνθέτουν ένα θρεπτικό διάλυμα. Το χημικό ισοδύναμο ιόντος είναι ίσο με το πηλίκο του μοριακού βάρους του ιόντος διά του σθένους του, ενώ το χημικό ισοδύναμο μιας χημικής ένωσης, για ενώσεις οι οποίες όταν διαλύονται στο νερό συμπεριφέρονται ως διαλύτες, ορίζεται το πηλίκο του μοριακού βάρους της χημικής ένωσης διά του ολικού σθένους των ανιόντων ή κατιόντων που προκύπτουν κατά την διάσταση της. Στο πείραμα που πραγματοποιήθηκε, ο τρόπος έκφρασης των συγκεντρώσεων των χημικών ουσιών στα υδατικά διαλύματα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν η γραμμομοριακή συγκέντρωση ή μοριακότητα (M ή mol/L ή υποδιαίρεση mmol L^{-1}) η οποία εκφράζει τον αριθμό των γραμμομορίων (ή χιλιοστογραμμομορίων mmol) διαλυμένης ουσίας που περιέχονται σε ένα λίτρο διαλύματος. Για τα θρεπτικά στοιχεία θα πρέπει να ισχύει ότι: 1 meq/l ανιόντων=1 meq/l κατιόντων.

Σημαντικά σημεία που θα πρέπει να λαμβάνουμε υπ’ όψη για την παρασκευή του θρεπτικού διαλύματος είναι :

- το είδος του φυτού που θέλουμε να καλλιεργήσουμε και το στάδιο ανάπτυξης
- η συνολική συγκέντρωση αλάτων (EC) και pH στο θρεπτικό διάλυμα.
- η χημική σύσταση του νερού που θα χρησιμοποιηθεί στο θρεπτικό διάλυμα. Θα πρέπει να γνωρίζουμε όλα τα θρεπτικά στοιχεία που περιέχονται στο νερό, έτσι ώστε να μειωθούν οι αντίστοιχες ποσότητες θρεπτικών στοιχείων που είχαν υπολογιστεί για την δημιουργία του τελικού διαλύματος

οι αναλογίες των θρεπτικών στοιχείων του τελικού διαλύματος (Dimitrios Savvas & Adamidis, 1999).

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα κυριότερα υδατοδιαλυτά λιπάσματα, τα οποία χρησιμοποιούνται για την παρασκευή θρεπτικών διαλυμάτων υδροπονίας.

Πίνακας 4: Συνοπτική περιγραφή των κυριότερων απλών υδατοδιαλυτών λιπασμάτων που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή θρεπτικών διαλυμάτων.

Λιπάσματα	Χημικός τύπος	Θρεπτικά στοιχεία (%)	Διαλυτότητα, g L-1 στους 20 ºC
Νιτρικό ασβέστιο	$Ca(NO_3)24H2O$	N: 15.5; Ca: 19	1290
Νιτρικό κάλιο	KNO3	N: 13; K:38	316
Νιτρικό μαγνήσιο	Mg(NO3)2 6H2O	N: 11; Mg:9	760
Νιτρικό αμμώνιο	NH4NO3	N:35	1920
Φωσφορικό μονοκάλιο	KH2PO4	P: 23; K: 28	226
Φωσφορικό μονοαμμώνιο	NH4H2PO4	N; 12; P: 60	365
Θειικό κάλιο	K2SO4	K: 45; S: 18	111
Θειικό μαγνήσιο	$MgSO_4$ $7H_2O$	Mg: 10; S: 13	335
Θειικό αμμώνιο	$(NH_4)_2SO_4$	N: 21; S: 24	754
Χλωριούχο κάλιο	KCl	K: 60; Cl: 48	330

(Trejo-Téllez & Gómez-Merino, 2012)

Όλα σχεδόν τα λιπάσματα του παραπάνω πίνακα 4, τα οποία χρησιμοποιούνται κατά την παρασκευή θρεπτικών διαλυμάτων αποτελούνται από δυο ιόντα θρεπτικών στοιχείων, ένα κατιόν και ένα ανιόν. Υδατοδιαλυτά άλατα, των οποίων το ένα ιόν είναι θρεπτικό μακροστοιχείο ενώ το άλλο όχι (π.χ. KCL, $NaNO_3$, κ.τ.λ.) δεν χρησιμοποιούνται σχεδόν ποτέ ως λίπασμα μακροστοιχείων λόγω της επιβάρυνσης του διαλύματος με ένα ανεπιθύμητο ιόν υψηλές σχετικά συγκεντρώσεις. Αντίθετα, για τα ιχνοστοιχεία δεν υφίσταται τέτοιο πρόβλημα, δεδομένου ότι οι ποσότητες λιπασμάτων ιχνοστοιχείων που προστίθενται στο διάλυμα είναι πολύ χαμηλές (Σάββας, 2011).

Για την θρέψη των φυτών στην καλλιέργεια μας, χρησιμοποιούνται πυκνά θρεπτικά διαλύματα, έως και 200 φορές πυκνότερα σε συγκέντρωση. Μέσω αραίωσης με το νερό άρδευσης προκύπτει το διάλυμα που θα χρησιμοποιήσουμε στην καλλιέργεια μας. Στο

πρώτο δοχείο πυκνού διαλύματος προστίθεται το νιτρικό ασβέστιο, το νιτρικό αμμώνιο, το νιτρικό κάλιο και τον χηλικό σίδηρο. Στο δεύτερο δοχείο προστίθεται το θειικό κάλι, το θειικό μαγνήσιο, το φωσφορικό μονοαμμώνιο, το φωσφορικό μονοκάλιο, το φωσφορικό οξύ και τα υπόλοιπα ιχνοστοιχεία εκτός του σιδήρου. Βασικός στόχος της χρήσης δυο διαφορετικών δοχείων για τα μητρικά διαλύματα είναι η αποφυγή πρόσμειξης του ασβεστίου με τα φωσφορικά και τα θειικά, και η δημιουργία αδιάλυτων ενώσεων. Στο τρίτο δοχείο προστίθεται το νιτρικό οξύ, το οποίο χρησιμοποιείται για τον έλεγχο του pH στο θρεπτικό διάλυμα, ώστε αυτό να διατηρείται μεταξύ των τιμών 5,5 και 6,0 (Σάββας, 2011).



Εικόνα 1&2 : Κεφαλή υδρολίπανσης η οποία παρασκευάζει θρεπτικό διάλυμα μέσω εισαγωγής πυκνών διαλυμάτων και νερού σε κάδο ανάμειξης με την βοήθεια δοσομετρικών αντλιών με βάση προκαθορισμένες τιμές EC και pH στο εξερχόμενο διάλυμα (αριστερά) και δοχεία πυκνών και αραιών θρεπτικών διαλυμάτων (δεξιά).

1.7 Βιβλιογραφική ανασκόπηση της σχέσης N/K και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) σε υδροπονικές καλλιέργειες

Σε ερευνητική εργασία σε υδροπονική καλλιέργεια μελιτζάνας σε πετροβάμβακα, οι επιδράσεις υψηλών επιπέδων NaCl δεν επηρέασαν αρνητικά στην ανάπτυξη, την απόδοση και τη σύνθεση των θρεπτικών συστατικών στα φυτά. Παρατηρήθηκε μείωση συστατικών στον καρπό της μελιτζάνας, αποτέλεσμα του χαμηλότερου δυναμικού νερού στο φυτό. (D Savvas & Lenz, 2000).

Σε άλλη εργασία, ο οργανοληπτικός έλεγχος που πραγματοποιήθηκε σε φυτά τομάτας, τα οποία καλλιεργήθηκαν υδροπονικά, έδειξε ότι οι καρποί ντομάτας που καλλιεργήθηκαν σε υψηλά επίπεδα αλατότητας προτιμήθηκαν περισσότερο από τους καταναλωτές λόγω της βελτίωσης ορισμένων οργανοληπτικών χαρακτηριστικών. Η αλατότητα ενίσχυσε την ποιότητα των καρπών και βελτίωσε τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά της καλλιέργειας, ενώ η κατάλληλη αναλογία νιτρικών σε συνδυασμό με την βέλτιστη τιμή του pH μπόρεσε να περιορίσει τις αρνητικές επιπτώσεις της αλατότητας στη θρεπτική κατάσταση των φυτών (Tzortzakis, Pitsikoulaki, Stamatakis, & Chrysargyris, 2022).

Επίσης, σε δύο διαδοχικές καλλιέργειες μαρουλιού κλειστού υδροπονικού συστήματος μελετήθηκαν οι επιδράσεις αμμωνιακού αζώτου στο μαρούλι, το οποίο καλλιεργήθηκε σε υπόστρωμα ελαφρόπετρας σε κλειστό υδροπονικό σύστημα. Κατά την θρέψη των με αυξημένες συγκεντρώσεις αζώτου στο θρεπτικό διάλυμα, δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά αξιόλογες διαφορές στα φυτά. Οι συγκεντρώσεις των στοιχείων K, Ca, Mg και Fe δεν επηρεάστηκαν κατά την εφαρμογή αυξημένης συγκέντρωσης NH_4^+ στο θρεπτικό διάλυμα (D Savvas et al., 2006).

Σε φυτά *Solanum tuberosum* var. *Sava*, μια μικρή αύξηση της περιεκτικότητας του αζώτου στο θρεπτικό διάλυμα προκάλεσε πολλαπλάσια αύξηση στους βλαστούς των φυτών, ενώ στην ανάπτυξη των κονδύλων ήταν λιγότερο έντονη. Ωστόσο παρατηρήθηκε ότι η αύξηση της συγκέντρωσης των ενώσεων αζώτου στο θρεπτικό διάλυμα, δεν είχε μεγάλη σημασία για την μεγαλύτερη ανάπτυξη των κονδύλων (Mäck & Schjoerring, 2002).

Σε άλλη πειραματική εργασία σε τρεις ποικιλίες ρόκας (Cultivada, Folha Larga και Selvática), η επίδραση της εφαρμογής τεσσάρων διαφορετικών συγκεντρώσεων αζώτου στο θρεπτικό διάλυμα (60,8/121,6/182,5/243,5 mg/l), είχε ως αποτέλεσμα την δημιουργία υψηλότερων φυτών, μεγαλύτερων φύλλων, ενώ επηρέασε θετικά το νωπό και ξηρό βάρος φύλλων και ρίζας. Οι διαφορετικές σχέσεις N/K στα θρεπτικά διαλύματα δεν έδειξαν σημαντικές στατιστικές διαφορές στην ανάπτυξη των φυτών και στην ξηρή φυτομάζα των ριζών. Η αύξηση της συγκέντρωσης του N στο θρεπτικό διάλυμα επηρέασε τις συγκεντρώσεις των μακροστοιχείων στα φύλλα , με τις περιεκτικότητες σε Mg, S και K στους ιστούς των φυτών να έχουν μειωθεί. Η περίσσεια N μείωσε την ποιότητα των φυτών, ως αποτέλεσμα της σημαντικής αύξησης της περιεκτικότητας σε νιτρικά άλατα στους ιστούς των φύλλων, η οποία ενέχει κίνδυνο

για την υγεία του καταναλωτή (Cavarianni, Cecílio Filho, Cazetta, May, & Corradi, 2008).

Η μορφή της αζωτούχου λίπανσης θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη μαζί με την περίοδο ανάπτυξης και το στάδιο συγκομιδής του φυτού. Η διαθεσιμότητα και η περιεκτικότητα αζώτου στο θρεπτικό διάλυμα επιδρούν σημαντικά στην απόδοση και την ποιότητα του φυτού, σε όλη την καλλιεργητική περίοδο, και ως εκ τούτου μπορεί να συμβάλλει σε υψηλότερες συνολικές αποδόσεις. Είναι σημαντικό να επιλέγετε η σωστή η βέλτιστη αναλογία N/K στο θρεπτικό διάλυμα για την ανάπτυξη των φυτών, πάντα σε συνδυασμό με την χημική σύνθεση του διαλύματος, καθώς και την ποιότητα των φυτών, προκειμένου να αξιολογηθούν πιθανές επιδράσεις τοξικότητας, καθώς και ανταγωνιστικές επιδράσεις με άλλα θρεπτικά συστατικά στο θρεπτικό διάλυμα (Spyridon Petropoulos et al., 2018).

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Υλικά και εγκατάσταση του πειράματος

Οι σπόροι του ασκόλυμπρου (scolymus hispanicus) συλλέχτηκαν από την περιοχή της Μονής Αγκαράθου, η οποία βρίσκεται 23χλμ νοτιοανατολικά του Ηρακλείου (35°13′37.7″N 25°14′58.3″E), σε υψόμετρο 538 μ. Η σπορά έγινε στο Εργαστήριο Ανθοκομίας του Τμήματος Γεωπονίας του Ελληνικού Μεσογειακού Πανεπιστημίου την 28η Νοεμβρίου 2018, σε δίσκους-σπορεία πολλαπλών θηκών στο ριζωτήριο του θερμοκήπιου και δύο μήνες μετά (τέλος Ιανοουαρίου 2019) έγινε μεταφύτευση των σποροφύτων σε πλαστικούς σάκους χωρητικότητας 32 L, μήκους 90 cm και ύψους υποστρώματος 15 γεμισμένους με υδροπονικό περλίτη κοκομετρίας 0,5-2,5mm, (εικ. 3 και 4).



Εικόνα 3 : Δίσκοι σποροφύτων ασκόλυμπρου ηλικίας 1 μηνός στο ριζωτήριο



Εικόνα 4. Σάκοι χωρητικότητας 30 λίτρων οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν ως υποδοχείς του υποστρώματος (περλίτης) φύτευσης του ασκόλυμπρου με 4 φυτά ανά σάκο.

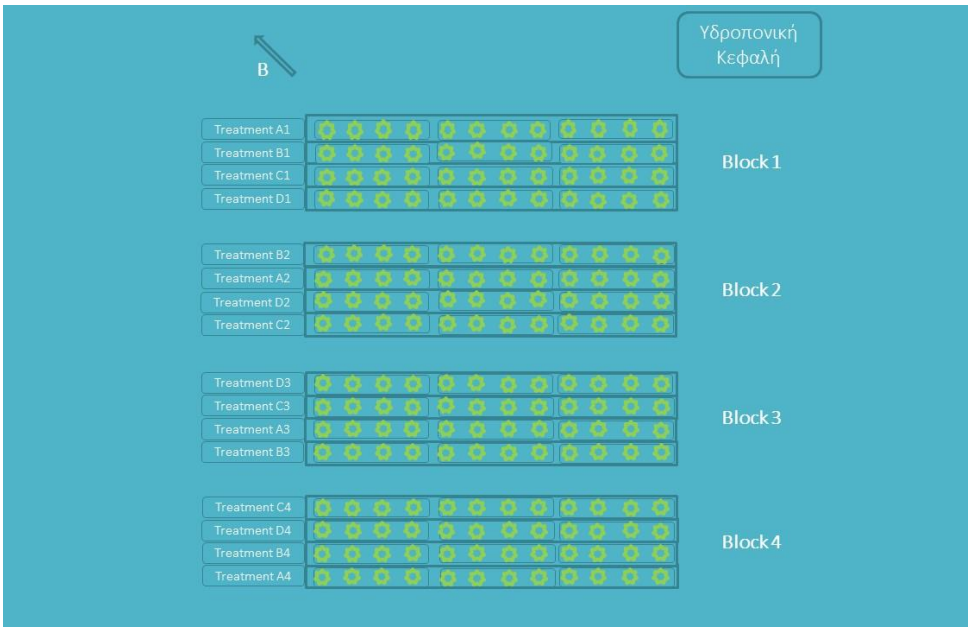
Ο υδροπονικός περλίτης επιλέχθηκε λόγω της βιομηχανικής του επεξεργασίας σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες, το οποίο εγγυάται την απουσία παθογόνων και σπόρων ζιζανίων και λόγω της ομοιόμορφης κοκομετρίας του που μπορεί να συγκρατήσει ικανοποιητικά ποσοστά υγρασίας, η οποία αποδίδεται εύκολα στα φυτά. Η ομοιομορφία και η σταθερή του δομή, εγγυάται την μη αποσύνθεση του και την σταθερή του συμπεριφορά στο πείραμα, καθ' όλη την καλλιεργητική του περίοδο (Asaduzzaman et al., 2013).
Τα φυτά μεταφέρθηκαν σε θερμοκήπιο κατασκευής αμφίρριχτου πολλαπλού τύπου και τοποθετήθηκαν σε διαμορφωμένους πάγκους, στο νότιο διαμέρισμα του θερμοκηπίου.



Εικόνα 5: Εξωτερική όψη του θερμοκηπίου στο οποίο πραγματοποιήθηκε το πειραματικό μέρος της πτυχιακής εργασίας.

Για την εγκατάσταση της καλλιέργειας μας σε σάκους με υπόστρωμα περλίτη, αρχικά ισοπεδώθηκε το έδαφος του θερμοκηπίου και καλύφθηκε με φύλο πλαστικού πολυαιθυλενίου, για να παραμείνει καθαρό το δάπεδο και χωρίς ζιζάνια.
Οι σάκοι τοποθετήθηκαν σε υπερυψωμένα κανάλια, από γαλβανισμένη και προβαμένη λαμαρίνα, πάχους 0,7 cm, πλάτους 30 cm και μήκους 300 cm και με κλίση 2% για την απορροή του πλεονάζοντος θρεπτικού αρδευτικού διαλύματος και τοποθετήθηκαν στο χώρο σε ίσες αποστάσεις μεταξύ τους με κατεύθυνση Βορρά-Νότο και ρυθμίστηκαν σε κατάλληλο ύψος για να βοηθούν τους χειρισμούς του πειράματος. Στη συνέχεια, εγκαταστάθηκε το δίκτυο στάγδην άρδευσης με μικροσωλήνες 2 l/h, ένας ανά φυτό, και με την βοήθεια της κεφαλής υδρολίπανσης ποτίστηκε το υπόστρωμα με το

αντίστοιχο για την κάθε επέμβαση θρεπτικό διάλυμα μέχρι το υπόστρωμα να κορεσθεί πλήρως.



Εικόνα 6: Πειραματικό σχέδιο τοποθέτησης των επεμβάσεων του πειράματος

Σε κάθε σάκο φυτεύθηκαν 4 σπορόφυτα ασκόλυμπρου ηλικίας 2 μηνών σε απόσταση 25 cm μεταξύ τους . Στη συνέχεια με σκοπό την απορροή του πλεονάζοντος θρεπτικού διαλύματος κάθε άρδευσης έγιναν σχισμές γωνίας 45° μήκους 4 cm περίπου, και σε ύψος λίγο πιο πάνω από το σημείο όπου ο σάκος ακουμπάει την σιδερένια κατασκευή, έτσι ώστε να παραμένει πάντα λίγο θρεπτικό διάλυμα (Σάββας, 2012).





Εικόνα 7&8 : Αναπτυγμένα φυτά ασκόλυμπρου κατά τη διάρκεια καλλιέργειας σε ανοικτό σύστημα καλλιέργειας εκτός εδάφους.

Τα φυτά του ασκόλυμπρου καλλιεργήθηκαν σε ανοικτό σύστημα καλλιέργειας εκτός εδάφους, δηλαδή υπήρχε περίπου 30% απορροή του παρεχόμενου θρεπτικού διαλύματος που απομακρύνονταν από τον χώρο των ριζών. Με αυτό τον τρόπο

επιτυγχάνονταν η έκπλυση των αλάτων (NaCl) αλλά και κάποιων θρεπτικών ιόντων, τα οποία δεν απορροφώνται εύκολα από τα φυτά και τείνουν να συσσωρεύονται με το χρόνο στο ριζικό σύστημα, ενώ παράλληλα επιτυγχάνεται και η διασφάλιση επαρκούς θρεπτικού διαλύματος σε όλα τα φυτά, ακόμα και σε εκείνα τα φυτά στα οποία για διάφορους λόγους λαμβάνεται μικρότερη ποσότητα θρεπτικού διαλύματος (Lieth & Oki, 2019). Έτσι διασφαλίζονται οι σταθερές συνθήκες θρέψης των φυτών μέσω της παροχής θρεπτικού διαλύματος με γνωστή και σταθερή σύνθεση. Βασικό μειονέκτημα είναι η σπατάλη νερού και λιπασμάτων που προκαλεί η απορροή στο περιβάλλον. Στο συγκεκριμένο πείραμα, το ποσοστό του θρεπτικού διαλύματος που είχε απορρεύσει, συλλέγονταν ώστε στη συνέχεια να μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τις υδατικές ανάγκες φυτών διαφορετικών καλλιεργειών.

Το νερό που χρησιμοποιείται για την άρδευση-λίπανση των υδροπονικών καλλιεργειών πρέπει να είναι καλής ποιότητας με χαμηλή αλατότητα και NaCl. Στο πείραμα μας χρησιμοποιήθηκε νερό του Δήμου Ηρακλείου με την παρακάτω χημική σύσταση, pH και EC (πίνακας 5).

Πίνακας 5 : Χημική σύσταση νερού

E.C.	**0.51 dS/m**	**Fe**	**0.00 µmol/l**
pH	8.02	Mn^{++}	0.00 µmol/l
Ca^{2+}	1.52 mmol/l	Zn^{++}	2.29 µmol/l
Mg^{2+}	0.76 mmol/l	Cu^{++}	0.00 µmol/l
K^{+}	0.03 mmol/l	B	1.85 µmol/l
NH_4^{+}	0.00 mmol/l	Mo	0.00 µmol/l
Na^{+}	0.31 mmol/l	Si	0.00 µmol/l
SO_4^{2-}	0.84 mmol/l	Σcat_w	4.90 meq/l
NO_3^{-}	0.10 mmol/l	Σan_w	5.09 meq/l
$H_2PO_4^{-}$	0.00 mmol/l		
HCO_3^{-}	2.75 mmol/l		
Cl^{-}	0.56 mmol/l		

2.2 Λιπαντικές επεμβάσεις πειράματος

Η σωστή παροχή νερού και θρεπτικών συστατικών είναι πολύ σημαντική στα συστήματα υδροπονικής καλλιέργειας για την αποτελεσματική χρήση του νερού και των λιπασμάτων και την αποφυγή καταστάσεων άγχους. Συνήθως, σε χαμηλού κόστους υδροπονικά θερμοκήπια που χρησιμοποιούν ανοιχτά υδροπονικά συστήματα, η παροχή νερού και θρεπτικών ουσιών πραγματοποιείται με σταθερή συχνότητα άρδευσης, αλλάζοντας τη δόση για να διασφαλίζεται ότι κάθε κύκλος άρδευσης (κάθε μέρα) παρέχει την ποσότητα θρεπτικού διαλύματος που απαιτείται για τα φυτά, συν ένα επιπλέον κλάσμα έκπλυσης 20 έως 30%. Αυτός ο τύπος ελέγχου άρδευσης μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα μη βέλτιστες συνθήκες σε πολλές χρονικές περιόδους, αν και η συνολική ποσότητα του διαλύματος άρδευσης που παρέχεται στην καλλιέργεια μπορεί να είναι πολύ μεγαλύτερη από την απαιτούμενη. Στα ανοιχτά υδροπονικά συστήματα υπάρχει σημαντική δυνατότητα διατήρησης του νερού και των θρεπτικών συστατικών υπολογίζοντας την άρδευση σύμφωνα με την ποσότητα του χρησιμοποιημένου υποστρώματος στη σακούλα, τα χαρακτηριστικά του υποστρώματος και τη συγκέντρωση άλατος του χρησιμοποιημένου νερού. Η διαχείριση της άρδευσης είναι ζωτικής σημασίας για υψηλή αποτελεσματικότητα στην εφαρμογή άρδευση σε συστήματα που βασίζονται στην υδροπονία. Γενικά, ο κύριος στόχος στην άρδευση είναι η διατήρηση επαρκούς παροχής εύκολα διαθέσιμου νερού (υψηλή υδατικό δυναμικό), για την παροχή βασικών μεταλλικών στοιχείων στα φυτά και για τη βελτίωση της συγκέντρωσης οξυγόνου στη ριζική ζώνη (Mavrogianopoulos, 2015).

Στο πείραμα μας τα φυτά υδρολιπαίνονταν καθημερινά με 4 θρεπτικά διαλύματα που παρασκεύαζε αυτόματα σύγχρονη υδροπονική κεφαλή και τα οποία διέφεραν στην αναλογία N/K και την ηλεκτρική αγωγιμότητα του θρεπτικού διαλύματος.

Συγκεκριμένα έγινε εφαρμογή 4 θρεπτικών διαλυμάτων, χαμηλής και υψηλής σχέσης N/K (1.59 και 2.38 mol/mol, αντίστοιχα) σε δύο επίπεδα ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC), (2.2 και 2.8 dS m^{-1}, αντίστοιχα) του θρεπτικού διαλύματος x 4 επαναλήψεις κατάλληλα τυχαιοποιημένες στον χώρο σε ένα πείραμα συνδυασμένων παραγόντων 2X2. Στον πίνακα 6 εμφανίζονται τα 4 θρεπτικά διαλύματα. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε το θρεπτικό διάλυμα Α, που χαρακτηρίζεται από χαμηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα EC και χαμηλή σχέση N/K (συμβολισμός S1N1), το διάλυμα Β που χαρακτηρίζεται από χαμηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα EC και υψηλή σχέση N/K

(συμβολισμός S1N2), το διάλυμα C που χαρακτηρίζεται από υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα EC και χαμηλή σχέση N/K(συμβολισμός S2N1) , και το διάλυμα D που χαρακτηρίζεται από υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα EC και υψηλή σχέση N/K.(συμβολισμός S2N2). Σε όλες τις λιπαντικές επεμβάσεις το pH ρυθμίστηκε στο 5,6 μέσω της υδροπονικής κεφαλής.

Πίνακας 6 : Συγκεντρώσεις θρεπτικών στοιχείων στα 4 θρεπτικά διαλύματα του πειράματος

Τύπος θρεπτικού διαλύματος	Διάλυμα A Χαμηλή EC, Χαμηλή σχέση N/K	Διάλυμα B Χαμηλή EC, Υψηλή σχέση N/K	ΔιάλυμαC Υψηλή EC, Χαμηλή σχέση N/K	ΔιάλυμαD Υψηλή EC, Υψηλή σχέση N/K
E_t	2.20 dS/m	2.20 dS/m	2.80 dS/m	2.80 dS/m
pH opt.	5.6	5.6	5.6	5.6
X: (K)	0.5	0.5	0.5	0.5
Y: (Ca)	0.32	0.32	0.32	0.32
Z: (Mg)	0.18	0.18	0.18	0.18
$[NO_3]$	9.00 mmol/l	14.00 mmol/l	9.00 mmol/l	14.00 mmol/l
$[NO_4]$	1.00 mmol/l	1.00 mmol/l	1.00 mmol/l	1.00 mmol/l
$[H_2PO_4^-]$	1.30 mmol/l	1.30 mmol/l	1.30 mmol/l	1.30 mmol/l
$[Fe]_t$	20.00 μmol/l	20.00 μmol/l	20.00 μmol/l	20.00 μmol/l
$[Mn]_t$	10.00 μmol/l	10.00 μmol/l	10.00 μmol/l	10.00 μmol/l
$[Zn]_t$	7.00 μmol/l	7.00 μmol/l	7.00 μmol/l	7.00 μmol/l
$[Cu]_t$	0.80 μmol/l	0.80 μmol/l	0.80 μmol/l	0.80 μmol/l
[B]	25.00 μmol/l	25.00 μmol/l	25.00 μmol/l	25.00 μmol/l
$[Mo]_t$	0.60 μmol/l	0.60 μmol/l	0.60 μmol/l	0.60 μmol/l
[Si]	0.00 μmol/l	0.00 μmol/l	0.00 μmol/l	0.00 μmol/l

Πίνακας 7 : Ποσότητες λιπασμάτων στα πυκνά θρεπτικά διαλύματα καλλιέργειας ασκόλυμπρου

		Τύπος Α	Τύπος Β	Τύπος Γ	Τύπος Δ
α/α	**Είδος Λιπάσματος**	**ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΜΑΖΕΣ ΛΙΠΑΣΜΑΤΩΝ**			
	E.C.	2.20 dS/m	2.20 dS/m	2.80 dS/m	2.80 dS/m
	pH	5.60	5.60	5.60	5.60
		Πυκνό διάλυμα Α 1000 ΛΙΤΡΑ			
1	Νιτρικό ασβέστιο	54.348 Kg	54.348 Kg	81.630 Kg	81.630 Kg
2	Νιτρικό κάλιο	7.872 Kg	22.45 Kg	0.000 Kg	25.627 Kg
3	Νιτρικό αμμώνιο	3.979 Kg	3.979 Kg	1.957 Kg	1.957 Kg
4	Χηλικός σίδηρος	1.863 Kg	1.863 Kg	1.863 Kg	1.863 Kg
		Πυκνό διάλυμα Β 1000 ΛΙΤΡΑ			
1	Νιτρικό κάλιο	0.000 Kg	27.558 Kg	0.000 Kg	7.268 Kg
2	Θειικό μαγνήσιο	36.493 Kg	26.246 Kg	53.767 Kg	53.767 Kg
3	Νιτρικό μαγνήσιο	0.000 Kg	10.662 Kg	0.000 Kg	0.000 Kg
4	Φωσφορικό μονοκάλιο	17.693 Kg	17.693 Kg	17.693 Kg	17.693 Kg
5	Θειικό κάλιο	36.324 Kg	0.000 Kg	60.224 Kg	31.868 Kg
6	Φωσφορικό οξύ	0.000 λίτρα	0.000 λίτρα	0.000 λίτρα	0.000 λίτρα
7	Θειικό μαγγάνιο	169.00 g	169.00 g	169.00 g	169.00 g
8	Θειικός ψευδάργυρος	135.31 g	135.31 g	135.31 g	135.31 g
9	Θειικός χαλκός	19.98 g	19.98 g	19.98 g	19.98 g
10	Βορικό οξύ	143.06 g	143.06 g	143.06 g	143.06 g
11	Βόρακας	0.00 g	0.00 g	0.00 g	0.00 g
12	Solubor	0.00 g	0.00 g	0.00 g	0.00 g
13	Επταμολυβδαινικό αμμώνιο	0.00 g	0.00 g	0.00 g	0.00 g
14	Μολυβδαινικό νάτριο	14.51 g	14.51 g	14.51 g	14.51 g
	Πυκνό διάλυμα οξέος	**1000 ΛΙΤΡΑ**			
1	Νιτρικό οξύ	14.885 λίτρα	14.885 λίτρα	3.492 λίτρα	14.885 λίτρα

2.3 Μετρήσεις και στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων

Στα φυτά του ασκόλυμπρου, την ημέρα της συλλογής και εξαγωγής τους από το θρεπτικό υπόστρωμα, πραγματοποιήθηκαν οι παρακάτω μετρήσεις με σκοπό την αξιολόγηση της καλλιέργειας των φυτών.

Για τις μετρήσεις χρησιμοποιήθηκαν:

- Spadmeter MINOLTA (Εικόνα 14) για την μέτρηση της πυκνότητα της χλωροφύλλης στα φύλλα, σε μονάδες SPAD.
- Fluorimeter OS-30 (Εικόνα 15), για την μέτρηση του σχετικού φθορισμού της χλωροφύλλης των φυλλών Fv/Fmax, η οποία εκφράζει η ενεργότητα

φωτοσυστήματος ΙΙ της χλωροφύλλης των φύλλων, δηλαδή η φωτοσυνθετική ικανότητα των φύλλων.

επίσης μετρήθηκαν τα παρακάτω:

- Αριθμός φύλλων: η μέτρηση για κάθε πλήρως σχηματισμένο φύλλο από το φυτό του ασκόλυμπρου έγινε αφαιρώντας τα φύλλα από το φυτό με το χέρι Νωπό βάρος φύλλων: Τα φύλλα κάθε φυτού ζυγίστηκαν σε ζυγαριά ακριβείας,
- Αριθμός και βάρος ρίζοκόνδυλων: Οι ριζοκόνδυλοι μετά την εξαγωγή τους από το θρεπτικό υπόστρωμα, αποκόπηκαν από τα φύλλα και ζυγίστηκαν σε ζυγαριά ακριβείας,
- Διάμετρος ροζέτας: Ο υπολογισμός της διαμέτρου της ροζέτας του κάθε φυτού έγινε με την βοήθεια χάρακα σε εκατοστά
- Φυλλική επιφάνεια σε τετραγωνικά εκατοστά
- Τέλος έγινε ανάλυση της συγκέντρωσης των κύριων θρεπτικών στοιχείων των φυλλών με την βοήθεια της φυλλοδιαγνωστικής





Εικόνα 9 & 10: Όργανο μέτρησης πυκνότητας χλωροφύλλης στα φύλλα (spadmeter) και δεξιά όργανο μέτρησης του φθορισμού χλωροφύλλης (Chlorophyll Fluorimeter)

Το πείραμα σχεδιάστηκε ως παραγοντικό (factorial) 2 παραγόντων (σχέση N/K και ηλεκτρική αγωγιμότητα) σε 2 επίπεδα ο κάθε παράγοντας άρα συνολικά έγιναν 2X2=4 επεμβάσεις.

Τα αποτελέσματα αναλύθηκαν με τη βοήθεια του προγράμματος στατιστικής ανάλυσης SPSS, έγινε ανάλυση της διακύμανσης των τιμών (ANOVA) και η δοκιμή σημαντικότητας των διαφορών των μέσων όρων με το κριτήριο Duncan.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στην παρακάτω ενότητα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των τεσσάρων λιπαντικών μεταχειρίσεων, οι οποίες διαφέρουν στην αναλογία N/K (χαμηλή ή υψηλή σχέση N/K) και στην αλατότητα (ηλεκτρική αγωγιμότητα 2,2 και 2,8 mS).

3.1 Αποτελέσματα αγρονομικών χαρακτηριστικών και φυσιολογικών παραμέτρων του υπέργειου και υπόγειου τμήματος των φυτών του ασκόλυμπρου κατά το στάδιο συγκομιδής

Πίνακας 8 : Αποτελέσματα των μετρήσεων της επίδρασης των 4 θρεπτικών διαλυμάτων στον αριθμό των φύλλων, του νωπού βάρους των φύλλων και των ριζών (gr), της διάμετρου της ροζέτας των φύλλων, του σχετικού φθορισμού και της πυκνότητας της χλωροφύλλης των φύλλων.

Επίπεδα κύριων δράσεων	Αριθμός φύλλων	Νωπό βάρος φύλλων (g)	Νωπό βάρος ρίζας (g)	Διάμετρος ρόδακα φύλλων (cm)	Σχετικός φθορισμός χλωροφύλλης (fv/fm)	Πυκνότητα χλωροφύλλης (SPAD)
Σχέση N/K (mol/mol)	**p ≤ 0,05**	**p ≤ 0,05**	**p ≤ 0,05**	**p ≤ 0,05**	**p ≥ 0,05**	**p ≥ 0,05**
Χαμηλή σχέση N:K (1,59 mol/mol)	30,75b	269,96 b	147,50 b	57,24 b	0,735 a	50,78 a
Υψηλή σχέση N:K (2,23 mol/mol)	37,62 a	358,94 a	175,40 a	64,05 a	0,739 a	54,74 a
Ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC)	**p ≥ 0,05**	**p ≥ 0,05**	**p ≥ 0,05**	**p ≥ 0,05**	**p ≥ 0,05**	**p ≥ 0,05**
Χαμηλή EC (2.2 dS m^{-1})	33,38 a	308,72 a	188,52 a	62,09 a	0,747 a	57,07 a
Υψηλή EC (2.8 dS m^{-1})	35,00 a	320,18 a	170,22 a	59,19 a	0,757 a	57,52 a
Αλληλεπίδραση σχέσης N/K X EC	**p ≥ 0,05**	**p ≥ 0,05**	**p ≥ 0,05**	**p ≥ 0,05**	**p ≥ 0,05**	**p ≥ 0,05**

Οι μέσοι όροι της ίδιας στήλης ακολουθούμενοι από διαφορετικά γράμματα διαφέρουν στατιστικά σημαντικά με βάση το κριτήριο τ Duncan (p=0,05)

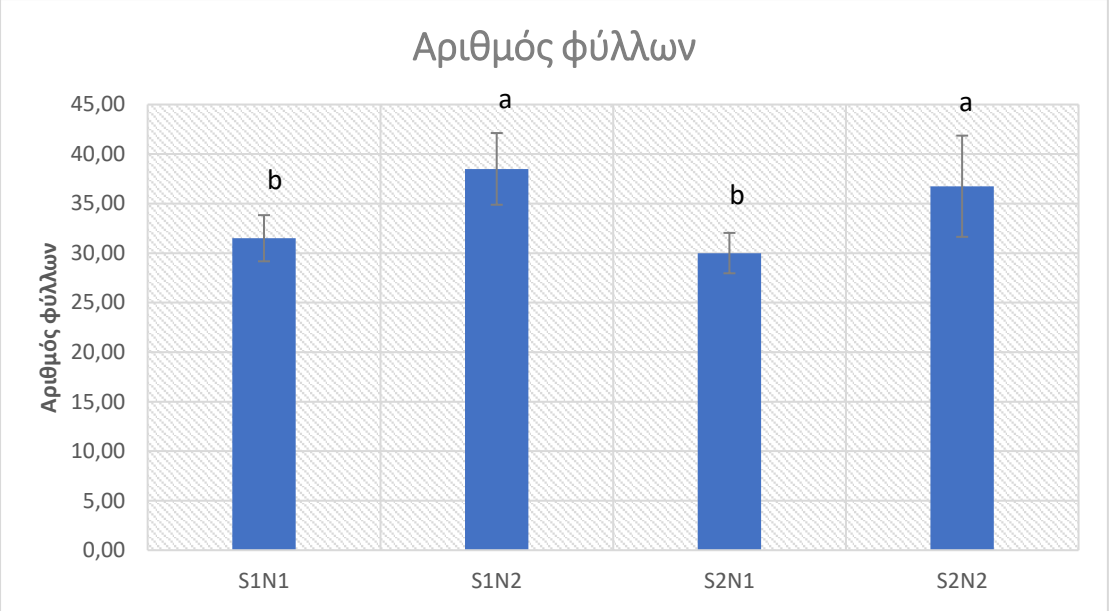




<u>Εικόνα 11 & 12</u> : Μέτρηση πυκνότητας χλωροφύλλης στα φύλλα με spadmeter και φθορισμού χλωροφύλλης με Chlorophyll Fluorimeter σε φυτά ασκολύμπρου

Στον πίνακα 8 , παρατηρούμε ότι ο μεγαλύτερο αριθμό φύλλων και διάμετρο ροζέτας έδοσαν τα διαλύματα με την υψηλή σχέση N/K ανεξάρτητα από το μέγεθος της ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Κατ' αναλογία μεγαλύτερο νωπό βάρος φύλλων και ριζοκόνδυλου έδωσαν τα διαλύματα με την υψηλή σχέση N/K ενώ και πάλι η ηλεκτρική τους αγωγιμότητα δεν επηρέασε καμιά από τις παραπάνω παραμέτρους.

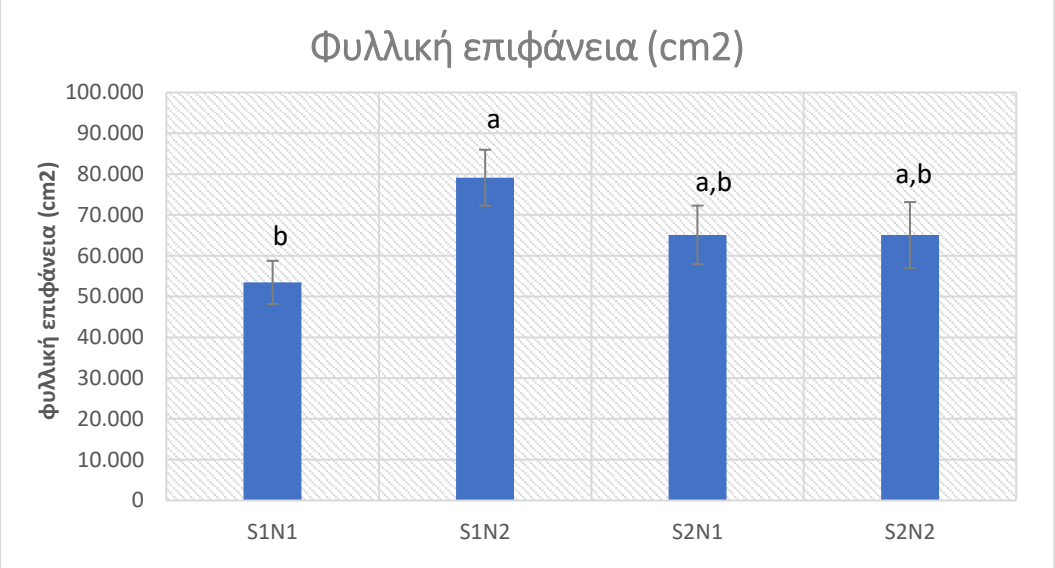
Στα παρακάτω γραφήματα παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα της εφαρμογής των 4 θρεπτικών διαλυμάτων για κάθε αγρονομική παράμετρο που μετρήθηκε με μονόδρομο (one way) ανάλυση της παραλλακτικότητα των μέσων όρων.



<u>Γράφημα 1</u> : Επίδραση της σχέσης N/K (χαμηλή N1 ή υψηλή N2) και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας S1 και S2 αντίστοιχα (2,2 και 2,8 mS) στον αριθμό των φύλλων σε φυτά ασκολύμπρου (*Scolymus hispanicus* L. Asteraceae).

Τα διαφορετικά γράμματα στις μπάρες υποδηλώνουν στατιστικά σημαντική διαφορά κατά Duncan (p=0,05). Οι γραμμές στις μπάρες παριστούν το τυπικό σφάλμα των μέσων όρων των επεμβάσεων με 4 επαναλήψεις

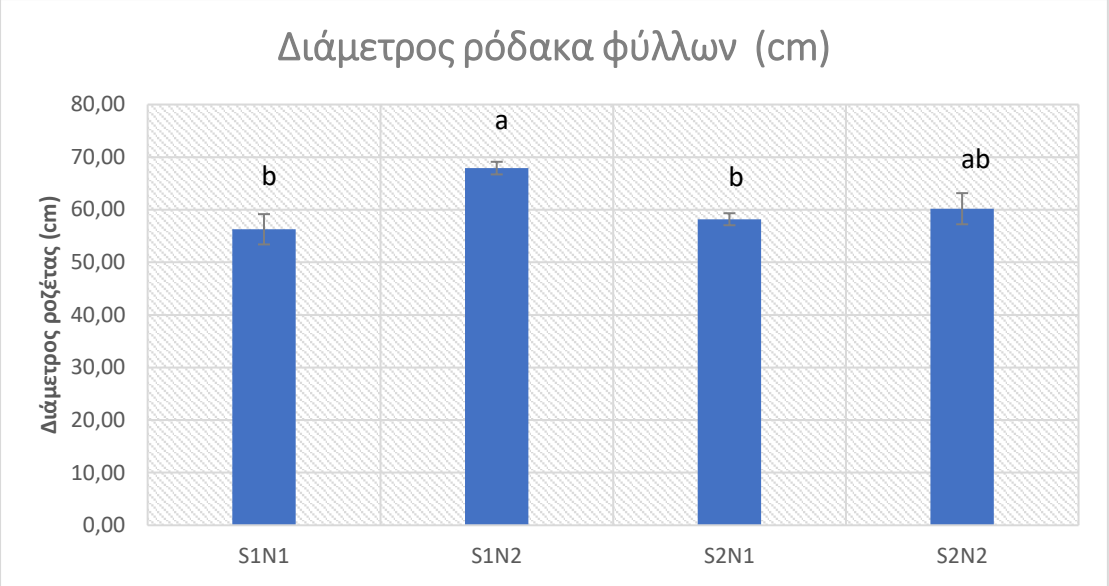
Όπως παρατηρούμε στο γράφημα 1, ο αριθμός των φύλλων ήταν σημαντικά μεγαλύτερος στις επεμβάσεις της υψηλής σχέσης N/K και στις δύο ηλεκτρικές αγωγιμότητας που εφαρμόστηκαν στα θρεπτικά διαλύματα του πειράματος φυτά ασκόλυμπρου, δεν παρατηρούνται σημαντικές στατιστικές διαφορές μεταξύ των διαφορετικών επεμβάσεων.



Γράφημα 2 : Επίδραση της σχέσης N/K (χαμηλή N1 ή υψηλή N2) και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας S1 και S2 αντίστοιχα (2,2 και 2,8 mS) στην φυλλική επιφάνεια σε φυτά ασκολύμπρου (*Scolymus hispanicus* L. Asteraceae)

Τα διαφορετικά γράμματα στις μπάρες υποδηλώνουν στατιστικά σημαντική διαφορά κατά Duncan (p=0,05). Οι γραμμές στις μπάρες παριστούν το τυπικό σφάλμα των μέσων όρων των επεμβάσεων με 4 επαναλήψεις

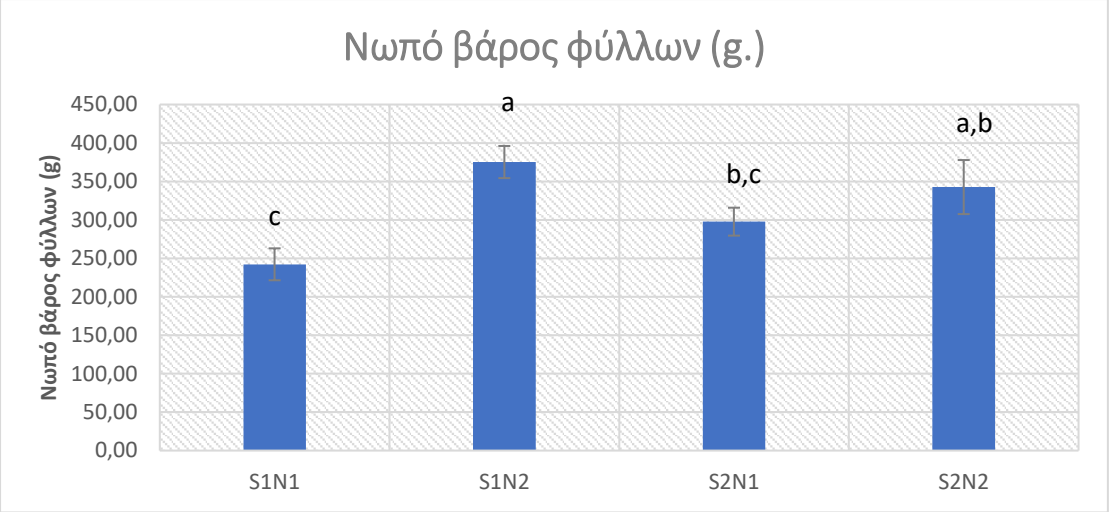
Όπως παρατηρούμε στο το γράφημα 2, στην ολική φυλλική επιφάνεια των φυτών του ασκόλυμπρου παρατηρήθηκαν σημαντικές στατιστικές διαφορές μεταξύ των διαφορετικών επεμβάσεων. Η μικρότερη ολική φυλλική επιφάνεια καταγράφηκε στην επέμβαση της χαμηλής ηλεκτρικής αγωγιμότητας (S1) και χαμηλής σχέσης N/K (N2) με σημαντική μείωση μόνο από την επέμβαση της χαμηλής αγωγιμότητας και υψηλής σχέσης N/K ενώ οι άλλες 3 επεμβάσεις δεν διέφεραν σημαντικά μεταξύ τους.



<u>Γράφημα 3</u>: Επίδραση της σχέσης N/K (χαμηλή N1 ή υψηλή N2) και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας S1 και S2 αντίστοιχα (2,2 και 2,8 mS) στο μέγεθος της διαμέτρου ροζέτας σε φυτά ασκολύμπρου (*Scolymus hispanicus* L. Asteraceae)

Τα διαφορετικά γράμματα στις μπάρες υποδηλώνουν στατιστικά σημαντική διαφορά κατά Duncan (p=0,05). Οι γραμμές στις μπάρες παριστούν το τυπικό σφάλμα των μέσων όρων των επεμβάσεων με 4 επαναλήψεις

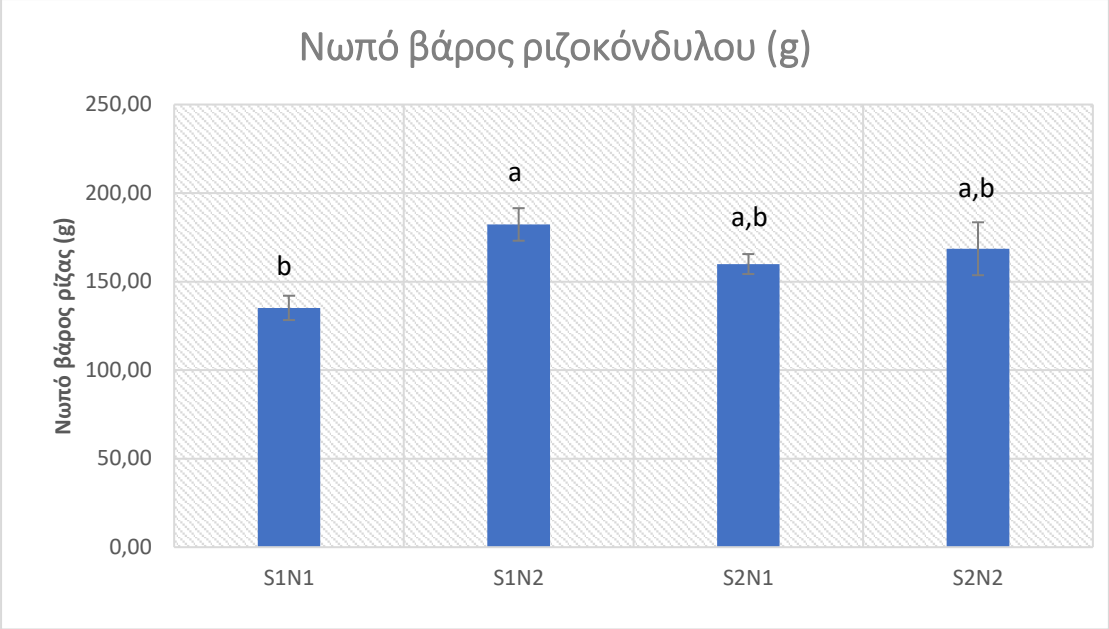
Όπως παρατηρούμε στο γράφημα 3 στις μετρήσεις της διαμέτρου ρόδακα (ή ροζέτας) των φύλλων στα φυτά του ασκόλυμπρου, σημαντικά καλύτερα αποτελέσματα καταγράφηκαν στις επέμβασεις της υψηλής σχέσης N/K χωρίς σημαντικές διαφορές μεταξύ τους και ότι η διαφορετική EC δεν επηρέασε σημαντικά τα αποτελέσματα



Γράφημα 4 : Επίδραση της σχέσης N/K (χαμηλή N1 ή υψηλή N2) και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας S1 και S2 αντίστοιχα (2,2 και 2,8 mS) στο νωπό βάρος των φύλλων σε φυτά ασκολύμπρου (*Scolymus hispanicus* L. Asteraceae)

Τα διαφορετικά γράμματα στις μπάρες υποδηλώνουν στατιστικά σημαντική διαφορά κατά Duncan (p=0,05). Οι γραμμές στις μπάρες παριστούν το τυπικό σφάλμα των μέσων όρων των επεμβάσεων με 4 επαναλήψεις

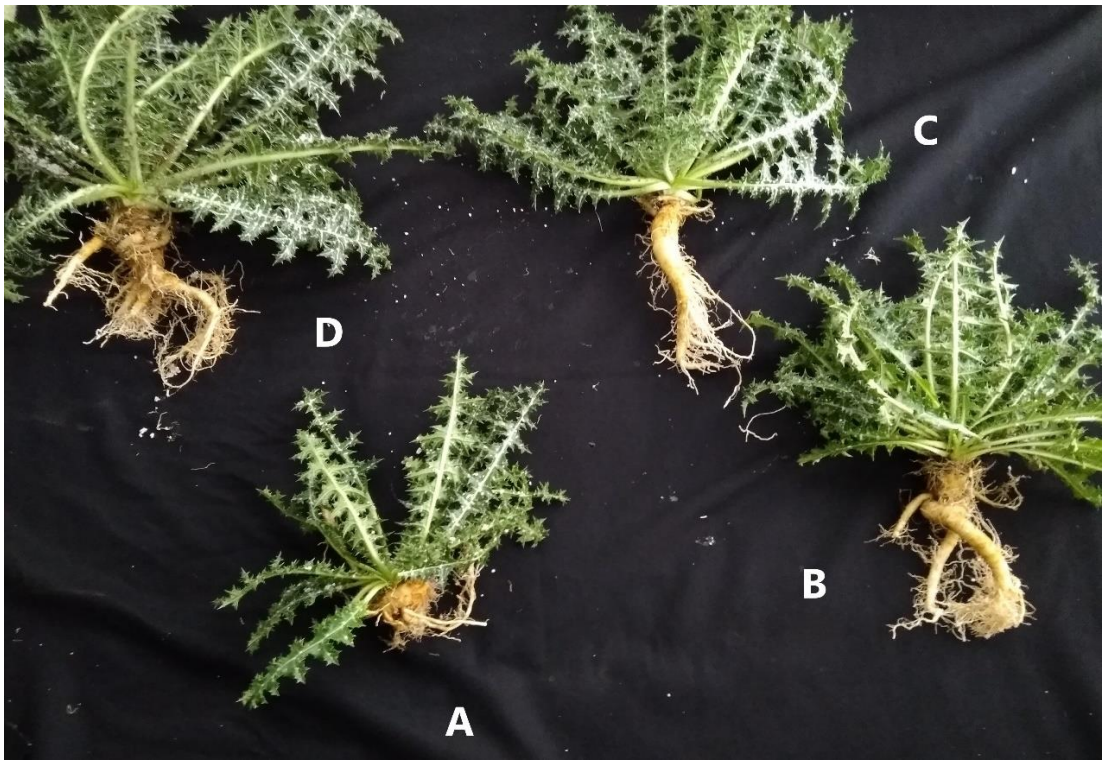
Όπως παρατηρούμε στο γράφημα 4,. Τα καλύτερα αποτελέσματα καταγράφηκαν στις επεμβάσεις της υψηλής σχέσης N/K ανεξάρτητα από το ύψος της ηλεκτρικής αγωγιμότηητας



<u>Γράφημα 5</u> : Επίδραση της σχέσης N/K (χαμηλή N1 ή υψηλή N2) και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας S1 και S2 αντίστοιχα (2,2 και 2,8 mS) στο νωπό βάρος της ρίζας σε φυτά ασκολύμπρου (*Scolymus hispanicus* L. Asteraceae)

Τα διαφορετικά γράμματα στις μπάρες υποδηλώνουν στατιστικά σημαντική διαφορά κατά Duncan (p=0,05). Οι γραμμές στις μπάρες παριστούν το τυπικό σφάλμα των μέσων όρων των επεμβάσεων με 4 επαναλήψεις

Όπως παρατηρούμε από το γράφημα 5 η χαμηλή αγωγιμότητα και χαμηλή σχέση N/K .έδωσαν το μικρότερο νωπό βάρος ριζοκόνδυλων αλλά με σημαντική διαφορά μόνο από την επέμβαση με την χαμηλή αγωγιμότητα (S1) και υψηλή σχέση N/K (N2) ενώ οι άλλες 3 επεμβάσεις δεν διέφεραν σημαντικά μεταξύ τους.



Εικόνα 13 : Αντιπροσωπευτικά φυτά ασκόλυμπρου, ένα από κάθε επέμβαση (A,B.C,D).

3.2 Αποτελέσματα φυλλοδιαγνωστικής ανάλυσης των κυρίων θρεπτικών στοιχείων των φύλλων

Πίνακας 9. Συγκέντρωση θρεπτικών στοιχείων των φύλλων και θρεπτικών στοιχείων ριζοκόνδυλων σε χειμερινή καλλιέργεια ασκόλυμπρου

Συγκέντρωση θρεπτικών στοιχείων των φύλλων						
Επεμβάσεις		**N %**	**P %**	**K %**	**Ca %**	**Mg %**
Χαμηλή αγωγιμότητα (S1)	Χαμηλή σχέση N:K	2,87 b	3,11 a	8,03 a	1,40 a	0,16 a
	Υψηλή σχέση N:K	3,79 a	2,87 a	4,92 b	1,78 a	0,21 a
Υψηλή αγωγιμότητα (S2)	Χαμηλή σχέση N:K	2,70 b	2,93 a	8,16 a	1,40 a	0,14 a
	Υψηλή σχέση N:K	3,85 a	2,92 a	8,37 a	1,35 a	0,15 a
Συγκέντρωση θρεπτικών στοιχείων ριζοκόνδυλων						
Επεμβάσεις		**N %**	**P %**	**K %**	**Ca %**	**Mg %**
Χαμηλή αγωγιμότητα (S1)	Χαμηλή σχέση N:K	2,27 b	3,75 a	1,40 a	0,50 a	0,05 a
	Υψηλή σχέση N:K	2,79 a	3,41,a	1,41 a	0.48 a	0,06 a
Υψηλή αγωγιμότητα (S2)	Χαμηλή σχέση N:K	2,42 b	3,87 a	2,35 a	0,41 α	0,07 a
	Υψηλή σχέση N:K	2,89 a	3,62 a	1,33 a	0,42 α	0,06 a

Οι μέσοι όροι της ίδιας στήλης ακολουθούμενοι από διαφορετικά γράμματα διαφέρουν στατιστικά σημαντικά με βάση το κριτήριο Duncan (p=0,05)

Όπως φαίνεται στον πίνακα 9 η συγκέντρωση του N στα φύλλα του ασκόλυμπρου ήταν σημαντικά αυξημένη στις επεμβάσεις της υψηλής σχέσης N/K και στις δύο ηλεκτρικές αγωγιμότητες του θρεπτικού διαλύματος ενώ το K των φύλλων βρέθηκε σημαντικά μειωμένο μόνο στην επέμβαση της χαμηλής ηλεκτρικής αγωγιμότητας και υψηλής σχέσης N/K και επίσης δεν υπήρξαν σημαντικές διαφορές στην περιεκτικότητα των φύλλων ν στα θρεπτικά στοιχεία P, Ca και Mg. Σχετικά με την συγκέντρωση των θρεπτικών στοιχείων των ριζοκόνδυλων το N ήταν αυξημένο στις επεμβάσεις της

υψηλής σχέσης N/K και στις δύο ηλεκτρικές αγωγιμότητες, ενώ δεν υπήρξαν σημαντικές διαφορές στην περιεκτικότητα των ριζοκόνδυλων στα θρεπτικά στοιχεία P, K, Ca και Mg.

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ- ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα πειραματική εργασία μελετήθηκε η επίδραση 4 θρεπτικών διαλυμάτων τα οποία διαφέρουν στην αναλογία N/K (χαμηλή ή υψηλή σχέση N/K) και στην αλατότητα (ηλεκτρική αγωγιμότητα 2,2 και 2,8 mS) στην υδροπονική καλλιέργεια ασκόλυμπρου ανοικτού συστήματος σε υπόστρωμα υδροπονικού περλίτη. Μετρήθηκε μετά από 4 μήνες καλλιέργειας, ο αριθμός των φύλλων, η φυλλική επιφάνεια, η πυκνότητα και ο φθορισμός της χλωροφύλλης, το νωπό και ξηρό βάρος του υπέργειου και υπόγειου τμήματος των φυτών και έγινε ανάλυση των ανόργανων θρεπτικών στοιχείων των φυτικών ιστών στα φύλλα και τους ριζοκόνδυλους των φυτών.

Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων, όπως αυτά παρουσιάστηκαν στην προηγούμενη ενότητα, προέκυψαν συγκεντρωτικά τα παρακάτω :

- Ο αριθμός των φύλλων, η ολική φυλλική επιφάνεια και η διάμετρος του ρόδακα των φύλλων ήταν σημαντικά αυξημένες στις λιπαντικές μεταχειρίσεις των 4 θρεπτικών διαλυμάτων με την υψηλή σχέση N/K (όπου τα επίπεδα του K παρέμεναν σταθερά και άλλαζαν μόνο τα επίπεδα του προστιθέμενου N στο διάλυμα}. Το αποτέλεσμα αυτό είναι σε συμφωνία με δημοσιευμένη εργασία όπου η επίδραση της εφαρμογής τεσσάρων διαφορετικών συγκεντρώσεων αζώτου στο θρεπτικό διάλυμα καλλιέργειας ρόκας, είχε ως αποτέλεσμα την δημιουργία υψηλότερων φυτών, μεγαλύτερων φύλλων, ενώ επηρέασε θετικά το νωπό και ξηρό βάρος φύλλων και ρίζας (Cavarianni et al., 2008).
- Το νωπό βάρος τόσο των φύλλων όσο και των ριζοκόνδυλων των φυτών του ασκόλυμπρου, αυξήθηκε με την αύξηση της εφαρμογής του N (οι επέμβασεις με την υψηλή σχέση N/K) ανεξάρτητα από το μέγεθος της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, όπως φαίνεται από την παραγοντική ανάλυση του πειράματος που έδειξε ότι δεν υπήρχαν σημαντικές διαφορές στις παραπάνω παραμέτρους μεταξύ των δύο διαφορετικών επιπέδων αλατότητας των θρεπτικών διαλυμάτων. Παρόμοια, σε πείραμα φυτά *Solanum tuberosum* var. *Sava* των (Mäck & Schjoerring, 2002), μια μικρή αύξηση της περιεκτικότητας του αζώτου στο θρεπτικό διάλυμα προκάλεσε σημαντική αύξηση στους βλαστούς των φυτών, ενώ στην ανάπτυξη των κονδύλων δεν είχε μεγάλη σημασία για την μεγαλύτερη ανάπτυξη τους. Επίσης η σχετικά υψηλή αλατότητα φαίνεται να βελτιώνει τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των καρπών όπως έδειξε ό

έλεγχος που πραγματοποιήθηκε σε φυτά τομάτας, όπου η αλατότητα ενίσχυσε την ποιότητα των καρπών και βελτίωσε τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά της καλλιέργειας, ενώ η κατάλληλη αναλογία νιτρικών σε συνδυασμό με την βέλτιστη τιμή του pH μπόρεσε να περιορίσει τις αρνητικές επιπτώσεις της αλατότητας στη θρεπτική κατάσταση των φυτών (Tzortzakis et al., 2022).

- Η συγκέντρωση και ο σχετικός φθορισμός της χλωροφύλλης (Fv/Fm) των φύλλων (=λειτουργικότητα του φωτοσυστήματος ΙΙ της χλωροφύλλης) δεν επηρεάστηκε από τις επεμβάσεις του πειράματος και ήταν σε κανονικά επίπεδα που σημαίνει ότι καμμιά από τις επεμβάσεις δεν είχε αρνητική επίδραση στην φωτοσυνθετική λειτουργία των φύλλων των φυτών.
- Η συγκέντρωση του Ν στα φύλλα του ασκόλυμπρου αυξήθηκε στις επεμβάσεις της υψηλής σχέσης Ν/Κ και στις δύο ηλεκτρικές αγωγιμότητες του θρεπτικού διαλύματος ενώ το Κ των φύλλων μειώθηκε στην επέμβαση της χαμηλής ηλεκτρικής αγωγιμότητας και υψηλής σχέσης Ν/Κ μάλλον λόγω του ανταγωνισμού των δύο στοιχείων στο θρεπτικό διάλυμα (Samarakoon et al., 2006), ενώ δεν υπήρξαν σημαντικές διαφορές στην περιεκτικότητα των φύλλων στα θρεπτικά στοιχεία Ρ, Ca και Mg. Στην προαναφερθείσα εργασία του Cavarianni et al.(2008) η αύξηση της συγκέντρωσης του Ν στο θρεπτικό διάλυμα αύξησε την συγκέντρωση του Ν στα φύλλα, με αντίστοιχη μείωση του Κ και Mg στους ιστούς των φυτών.
- Η συγκέντρωση του Ν στους ριζοκόνδυλους των φυτών ήταν αυξημένη στις επεμβάσεις της υψηλής σχέσης Ν/Κ και στις δύο ηλεκτρικές αγωγιμότητες, ενώ δεν υπήρξαν σημαντικές διαφορές στην περιεκτικότητα των ριζοκόνδυλων στα θρεπτικά στοιχεία Ρ, Κ, Ca και Mg.

Συμπερασματικά από την ανάλυση των αποτελεσμάτων του πειράματος προέκυψε ότι δεν υπήρξαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο επιπέδων αγωγιμότητας του θρεπτικού διαλύματος στον αριθμό και το νωπό βάρος φύλλων και ριζοκόνδυλων ενώ η υψηλότερη σχέση Ν/Κ, αύξησε σημαντικά το νωπό βάρος των ριζοκόνδυλων καθώς και τον αριθμό και το νωπό βάρος των φύλλων της καλλιέργειας. Οι επεμβάσεις του πειράματος δεν επηρέασαν την πυκνότητα και τον σχετικό φθορισμό της χλωροφύλλης των φύλλων των φυτών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Anjana, S. U., & Iqbal, M. (2007). Nitrate accumulation in plants, factors affecting the process, and human health implications. A review. *Agronomy for sustainable development, 27*(1), 45-57.

Asaduzzaman, M., Kobayashi, Y., Mondal, M. F., Ban, T., Matsubara, H., Adachi, F., & Asao, T. (2013). Growing carrots hydroponically using perlite substrates. *Scientia horticulturae, 159*, 113-121.

Cavarianni, R. L., Cecílio Filho, A. B., Cazetta, J. O., May, A., & Corradi, M. M. (2008). Nutrient contents and production of rocket as affected by nitrogen concentrations in the nutritive solution. *Scientia Agricola, 65*(6), 652-658.

Chatzigianni, M., Ntatsi, G., Theodorou, M., Stamatakis, A., Livieratos, I., Rouphael, Y., & Savvas, D. (2019). Functional quality, mineral composition and biomass production in hydroponic spiny chicory (Cichorium spinosum L.) are modulated interactively by ecotype, salinity and nitrogen supply. *Frontiers in plant science*, 1040.

Farran, I., & Mingo-Castel, A. M. (2006). Potato minituber production using aeroponics: effect of plant density and harvesting intervals. *American Journal of Potato Research, 83*(1), 47-53.

Klados, E., & Tzortzakis, N. (2014). Effects of substrate and salinity in hydroponically grown Cichorium spinosum. *Journal of soil science and plant nutrition, 14*(1), 211-222.

Lee, J. G., Lee, B. Y., & Lee, H. J. (2006). Accumulation of phytotoxic organic acids in reused nutrient solution during hydroponic cultivation of lettuce (Lactuca sativa L.). *Scientia horticulturae, 110*(2), 119-128.

Lennard, W. A., & Leonard, B. V. (2006). A comparison of three different hydroponic sub-systems (gravel bed, floating and nutrient film technique) in an aquaponic test system. *Aquaculture International, 14*(6), 539-550.

Leoni, S. (2003). *Colture senza suolo in ambiente mediterraneo*: Edagricole.

Lieth, J. H., & Oki, L. R. (2019). Irrigation in soilless production *Soilless Culture* (pp. 381-423): Elsevier.

Mäck, G., & Schjoerring, J. (2002). Effect of NO3-supply on N metabolism of potato plants (Solanum tuberosum L.) with special focus on the tubers. *Plant, cell & environment, 25*(8), 999-1009.

Mavrogianopoulos, G. N. (2015). Irrigation dose according to substrate characteristics, in hydroponic systems. *Open Agriculture*, *1*(1).

Öztekin, G., Uludağ, T., & Tüzel, Y. (2018). Growing spinach (Spinacia oleracea L.) in a floating system with different concentrations of nutrient solution. *Appl. Ecol. Env. Res*, *16*, 3333-3350.

Park, J., Ohashi, K., Kurata, K., & Lee, J. (2010). Promotion of lettuce growth by application of microbubbles in nutrient solution using different rates of electrical conductivity and under periodic intermittent generation in a deep flow technique culture system. *European Journal of Horticultural Science, 75*(5), 198.

Petropoulos, S., Fernandes, Â., Karkanis, A., Antoniadis, V., Barros, L., & Ferreira, I. C. (2018). Nutrient solution composition and growing season affect yield and chemical composition of Cichorium spinosum plants. *Scientia horticulturae, 231*, 97-107.

Petropoulos, S., Karkanis, A., Martins, N., & Ferreira, I. C. (2018). Edible halophytes of the Mediterranean basin: Potential candidates for novel food products. *Trends in food science & technology, 74*, 69-84.

Resh, H. M. (2012). *Hydroponic food production: a definitive guidebook for the advanced home gardener and the commercial hydroponic grower*: CRC Press.

Rouphael, Y., Kyriacou, M. C., Petropoulos, S. A., De Pascale, S., & Colla, G. (2018). Improving vegetable quality in controlled environments. *Scientia horticulturae, 234*, 275-289.

Saha, S., Monroe, A., & Day, M. R. (2016). Growth, yield, plant quality and nutrition of basil (Ocimum basilicum L.) under soilless agricultural systems. *Annals of Agricultural Sciences, 61*(2), 181-186.

Samarakoon, U., Weerasinghe, P., & Weerakkody, W. (2006). Effect of electrical conductivity (EC) of the nutrient solution on nutrient uptake, growth and yield of leaf lettuce (Lactuca sativa L.) in stationary culture.

Savvas, D., & Adamidis, K. (1999). Automated management of nutrient solutions based on target electrical conductivity, pH, and nutrient concentration ratios. *Journal of Plant Nutrition, 22*(9), 1415-1432.

Savvas, D., & Lenz, F. (2000). Effects of NaCl or nutrient-induced salinity on growth, yield, and composition of eggplants grown in rockwool. *Scientia horticulturae, 84*(1-2), 37-47.

Savvas, D., Passam, H., Olympios, C., Nasi, E., Moustaka, E., Mantzos, N., & Barouchas, P. (2006). Effects of ammonium nitrogen on lettuce grown on pumice in a closed hydroponic system. *HortScience, 41*(7), 1667-1673.

Schröder, F. (1993). *Technological development, plant growth and root environment of the plant plane hydroponic system.* Paper presented at the International Symposium on New Cultivation Systems in Greenhouse 361.

Sharma, N., Acharya, S., Kumar, K., Singh, N., & Chaurasia, O. (2018). Hydroponics as an advanced technique for vegetable production: An overview. *Journal of Soil and Water Conservation, 17*(4), 364-371.

Torres-Olivar, V., Villegas-Torres, O. G., Domínguez-Patiño, M. L., Sotelo-Nava, H., Rodríguez-Martínez, A., Melgoza-Alemán, R. M., . . . Alia-Tejacal, I. (2014). Role of nitrogen and nutrients in crop nutrition. *Journal of Agricultural Science and Technology. B, 4*(1B), 29.

Trejo-Téllez, L. I., & Gómez-Merino, F. C. (2012). Nutrient solutions for hydroponic systems. *Hydroponics-a standard methodology for plant biological researches*, 1-22.

Tzortzakis, N., Pitsikoulaki, G., Stamatakis, A., & Chrysargyris, A. (2022). Ammonium to Total Nitrogen Ratio Interactive Effects with Salinity Application on Solanum lycopersicum Growth, Physiology, and Fruit Storage in a Closed Hydroponic System. *Agronomy, 12*(2), 386.

Wada, S.-I., & Odahara, K. (1993). Potassium-calcium exchange in five Ap soils from paddy fields and its effect on potassium concentration in soil solution. *Soil science and plant nutrition, 39*(1), 129-138.

Wang, M., Zheng, Q., Shen, Q., & Guo, S. (2013). The critical role of potassium in plant stress response. *International journal of molecular sciences, 14*(4), 7370-7390.

Θεριός, I. (1996). Ανόργανη θρέψη και λιπάσματα. *Εκδόσεις Γαρταγάνη, Θεσσαλονίκη, Ελλάς, ΕΕ*.

Σάββας, Δ. (2011). Καλλιέργειες εκτός εδάφους: υδροπονία, υποστρώματα. *Αθήνα: Εκδόσεις Αγρότυπος*, 127-305.

Σάββας, Δ. (2012). Καλλιέργειες εκτός εδάφους: υδροπονία, υποστρώματα. *Εκδόσεις ΑγροΤύπος, σελ*, 175-201.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Πίνακας 10: Αποτελέσματα των 4 λιπαντικών επεμβάσεων (σε 4 επαναλήψεις) στον αριθμό δευτερευόντων ριζών, περιστροφή ρίζας, όγκο ριζών,νωπό βάρους φύλλων και ρίζοκόνδυλων (gr), αριθμό φύλλων και διάμετρο ροζέτας,

Επεμβάσεις	BLOCK - μεταχειρίσεις	Δευτερεύουσες ρίζες	Περιστροφή ρίζας	Όγκος ριζών	Βάρος φρέσκιας ρίζας	Αριθμός ροζέτας	Αριθμός φύλλων	Διάμετρος ροζέτας	Βάρος Φρέσκων φύλλων
A	1	3	3	130	110,5 gr	1	27	42,5 cm	89,7 gr
A	1	4	2	70	77,2 gr	1	21	52 cm	103,7 gr
A	1	4	3	60	75,2 gr	4	52	56 cm	248 gr
A	1	4	1	90	104,6 gr	3	42	58 cm	283,9 gr
A	2	1	1	110	107,4 gr	1	22	57 cm	164,1 gr
A	2	8	1	120	126,7 gr	2	31	75 cm	304,8 gr
A	2	9	2	100	123,8 gr	2	20	62 cm	211,1 gr
A	2	9	1	230	257,1 gr	1	26	65 cm	328 gr
A	3	6	1	160	155,7 gr	1	23	52 cm	197,8 gr
A	3	8	1	140	153,7 gr	1	23	56,5 cm	284,4 gr
A	3	7	1	230	236,4 gr	4	48	60 cm	334,2 gr
A	3	5	1	120	130,1 gr	3	32	44,5 cm	233,6
A	4	5	3	90	140 gr	5	55	56 cm	224,8
A	4	3	1	110	116,8 gr	2	26	57,5 cm	259,8
A	4	3	3	70	63,6 gr	1	22	43 cm	101,4
A	4	9	3	180	183,6 gr	1	28	63,5 cm	506,5
B	1	5	1	230	263,1 gr	3	78	78 cm	685,4
B	1	3	1	60	65,6 gr	3	34	66 cm	276,1
B	1	4	1	110	117,7 gr	3	21	58 cm	286,2
B	1	8	1	200	228,5 gr	4	53	77 cm	496,3
B	2	8	2	200	212 gr	3	28	66 cm	325,5
B	2	4	2	160	159,1 gr	4	43	69 cm	396,3
B	2	7	3	100	97,2 gr	2	26	73	312,6
B	2	6	1	200	205,2 gr	1	21	72	331,2
B	3	6	1	180	204,3 gr	1	29	71,5	371
B	3	3	1	50	68,7 gr	2	32	63,5	305,1
B	3	10	2	110	153,2 gr	5	58	65	228,8
B	3	5	3	140	217,2 gr	4	25	60	556,8
B	4	11	2	140	301,6 gr	5	46	75	475,5
B	4	8	2	160	172,8 gr	1	22	78	414,2
B	4	9	3	160	157,8 gr	6	70	51	300,7
B	4	6	1	170	172,2 gr	3	24	63,5	241,6
C	1	3	1	170	182,1 gr	1	24	56	255,3
C	1	3	2	190	154,8 gr	4	58	80	682,8
C	1	7	1	150	76,9 gr	2	32	55	312,8

C	1	3	1	50	66,1 gr	2	24	57	196,3
C	2	8	1	190	213,5 gr	1	23	54	228
C	2	5	2	100	111 gr	2	22	53	292,5
C	2	11	2	320	389,5 gr	1	25	74	431,6
C	2	4	1	110	116,4 gr	1	21	52	164,6
C	3	4	1	130	124,3 gr	2	40	39	193,1
C	3	4	1	80	75,6 gr	1	22	49,5	231
C	3	7	2	190	261,3 gr	6	56	70,5	522,3
C	3	3	2	110	104,7 gr	5	58	54	238,2
C	4	8	1	240	248,8 gr	4	52	56,5	448,3
C	4	6	1	170	186,1 gr	1	23	66	255,1
C	4	8	1	240	249,3 gr	1	55	85	721,3
C	4	7	1	130	136,2 gr	2	50	61,5	309,5
D	1	6	2	120	127,6 gr	1	31	56	238,1
D	1	3	1	180	196,6 gr	8	53	75	362,3
D	1	3	1	110	135 gr	3	36	75	233,9
D	1	4	1	90	99,2 gr	3	23	23	219
D	2	6	1	270	280,5 gr	3	24	60	491,5
D	2	3	1	80	84,8 gr	2	31	56,5	174,2
D	2	3	1	120	121,2 gr	1	27	61,5	243
D	2	6	1	170	191,7 gr	2	31	45	204
D	3	3	1	120	141,3 gr	3	24	62	293,1
D	3	10	2	190	203,8 gr	1	30	65,5	456,1
D	3	7	2	140	151,1 gr	2	28	58,5	281,6
D	3	6	2	180	198,5 gr	1	27	58,5	354,6
D	4	5	1	90	96,1 gr	3	34	53	194
D	4	5	2	120	170,7 gr	1	22	56,5	356,2
D	4	3	1	110	112,6 gr	1	26	62	281,4
D	4	9	1	240	246,9 gr	2	34	63	380

Πίνακας 11: Μέσοι Όροι των επεμβάσεων και επαναλήψεων του πειράματος

Εφαρμογή	Επαναλήψεις	Δευτερεύουσες ρίζες	Περιστροφή ρίζας	Όγκος ριζών	Βάρος Φρέσκιας ρίζας	Αριθμός ροζέτας	Αριθμός φύλλων	Διάμετρος ροζέτας	Φρέσκο βάρος φύλλου
1	1	3,75	2,25	87,5	91,875	2,25	35,5	52,125	181,325
1	2	6,75	1,25	140	153,75	1,5	24,75	64,75	252
1	3	6,5	1	162,5	168,975	2,25	31,5	53,25	262,5
1	4	5	2,5	112,5	126	2,25	32,75	55	273,125
2	1	5	1	150	168,725	3,25	46,5	69,75	436
2	2	6,25	2	165	168,375	2,5	29,5	70	341,4
2	3	6	1,75	120	160,85	3	36	65	365,425
2	4	8,5	2	157,5	201,1	3,75	40,5	66,875	358
3	1	4	1,25	140	119,975	2,25	34,5	62	361,8
3	2	7	1,5	180	207,6	1,25	22,75	58,25	279,175
3	3	4,5	1,5	127,5	141,475	3,5	44	53,25	296,15
3	4	7,25	1	195	205,1	2	45	67,25	433,55
4	1	4	1,25	125	139,6	3,75	35,75	57,25	263,325
4	2	4,5	1	160	169,55	2	28,25	55,75	278,175
4	3	6,5	1,75	157,5	173,675	1,75	27,25	61,125	346,35
4	4	5,5	1,25	140	156,575	1,75	29	58,625	302,9

Πίνακας 12: Αποτελέσματα μετρήσεων με φθορίμετρο και χλωροφυλλόμετρο,

Επέμβαση	BLOCK	Φθορίμετρο	Spad
1	1	0,8	68,1
1	1	0,831	50,8
1	1	0,814	79
1	1	0,819	
1	1	0,811	
2	1	0,742	49,1
2	1	0,694	59,8
2	1	0,761	57,8
2	1	0,735	
2	1	0,801	
3	1	0,721	57,2
3	1	0,725	68,4
3	1	0,719	61,9
3	1	0,743	
3	1	0,728	
4	1	0,712	42,7
4	1	0,7	48,5
4	1	0,763	46,9
4	1	0,765	
4	1	0,731	
2	2	0,703	69,5
2	2	0,665	39,1
2	2	0,81	55,1
2	2	0,806	
2	2	0,697	
1	2	0,739	59,9
1	2	0,711	38,9
1	2	0,689	45,1
1	2	0,771	
1	2	0,767	
4	2	0,728	59,7
4	2	0,694	62,3
4	2	0,777	64,2
4	2	0,733	
4	2	0,752	
3	2	0,754	69,3
3	2	0,695	52,7
3	2	0,733	68,4
3	2	0,706	
3	2	0,721	
4	3	0,749	40,3
4	3	0,776	57,4
4	3	0,718	67,9
4	3	0,76	

4	3	0,811	
3	3	0,736	51,7
3	3	0,739	44,5
3	3	0,765	55,2
3	3	0,752	
3	3	0,768	
1	3	0,747	63,9
1	3	0,711	54,2
1	3	0,694	37,8
1	3	0,732	
1	3	0,699	
2	3	0,71	49,7
2	3	0,713	33,8
2	3	0,721	53
2	3	0,733	
2	3	0,771	
3	4	0,76	57,8
3	4	0,758	55,8
3	4	0,769	61,4
3	4	0,763	
3	4	0,725	
4	4	0,776	45,9
4	4	0,729	72,4
4	4	0,757	48,6
4	4	0,76	
4	4	0,755	
2	4	0,742	74,3
2	4	0,717	53,7
2	4	0,738	55,3
2	4	0,721	
2	4	0,718	
1	4	0,759	37,9
1	4	0,77	36,7
1	4	0,759	57,1
1	4	0,757	
1	4	0,753	