



ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΚΗΠΕΥΤΙΚΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ

**ΕΜΒΟΛΙΑΣΜΟΣ ΦΑΣΟΛΙΟΥ ΜΕ ΑΖΩΤΟΒΑΚΤΗΡΙΑ ΣΕ
ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΣΤΗΝ
ΣΥΜΒΙΩΤΙΚΗ ΔΕΣΜΕΥΣΗ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΥ ΑΖΩΤΟΥ ΚΑΙ
ΣΤΗΝ ΑΖΩΤΟΥΧΟ ΘΡΕΨΗ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ**



ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΕΠΙΦΑΝΙΟΣ Π. ΛΙΑΣΗΣ



ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΚΗΠΕΥΤΙΚΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ

**ΕΜΒΟΛΙΑΣΜΟΣ ΦΑΣΟΛΙΟΥ ΜΕ ΑΖΩΤΟΒΑΚΤΗΡΙΑ ΣΕ
ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΣΤΗΝ
ΣΥΜΒΙΩΤΙΚΗ ΔΕΣΜΕΥΣΗ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΥ ΑΖΩΤΟΥ ΚΑΙ
ΣΤΗΝ ΑΖΩΤΟΥΧΟ ΘΡΕΨΗ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΕΠΙΦΑΝΙΟΣ Π. ΛΙΑΣΗΣ

Επιστημονικός Υπεύθυνος του Π.Μ.Σ.: Νικόλαος Εμμανουήλ

Καθηγητής Γ.Π.Α.

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή:

.....
Δ. Σάββας

Αναπλ. Καθηγητής Γ.Π.Α.

.....
Χ. Πάσσαμ

Καθηγητής Γ.Π.Α.

.....
Κ. Ακουμιανάκης

Αναπλ. Καθηγητής Γ.Π.Α.

Αθήνα, 2014

Περίληψη

Κατά τη διάρκεια του περασμένου αιώνα, επιστήμονες και γεωπόνοι πειραματίστηκαν με διάφορες μεθόδους υδροπονικών καλλιεργειών. Μια από τις πιθανές εφαρμογές της υδροπονίας που οδήγησαν στην έρευνα, ήταν για την καλλιέργεια φρέσκων προϊόντων στις άγονες περιοχές του πλανήτη. Είναι γεγονός πως μερικοί άνθρωποι δεν μπορούν να καλλιεργήσουν το χώμα στην περιοχή τους (εάν και φυσικά υπάρχει χώμα). Αυτή η εφαρμογή της υδροπονίας δοκιμάστηκε κατά τη διάρκεια του Δευτέρου Παγκοσμίου Πολέμου, αφού οι στρατιώτες που έμεναν στα άγονα νησιά του Ειρηνικού Ωκεανού εφοδιάζονταν με φρέσκα προϊόντα που καλλιεργούσαν με υδροπονικά συστήματα. Στα τέλη του αιώνα, η Υδροπονία ενσωματώθηκε στο διαστημικό πρόγραμμα.

Η καλλιέργεια εκτός εδάφους σε σάκους υποστρωμάτων είναι διεθνώς η πιο διαδεδομένη μέθοδος ανάπτυξης φυτών σε υποστρώματα. Το πείραμα διεξήχθη σε κλειστό υδροπονικό σύστημα στον υδροπονικό θάλαμο ελεγχόμενων συνθηκών του υαλόφρακτου θερμοκηπίου. Στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή, μελετήθηκε η βιολογική αζωτοδέσμευση φυτών αναρριχόμενου φασολιού ποικιλίας Helder.

Αντικείμενο της μελέτης ήταν η σύγκριση και η αξιολόγηση της επίδρασης βιολογικής αζωτοδέσμευσης μέσω του εμβολιασμού με το αζωτοβακτήριο *Rhizobium tropici* σε διαφορετικές συγκεντρώσεις ανόργανου αζώτου. Εξετάστηκε η επίδραση της βιολογικής αζωτοδέσμευσης στην ανάπτυξη των φυτών, στην παραγωγή τους σε καρπούς, (μετρήσεις νωπών και ξηρών βαρών καρπών) και στην απορρόφηση των μακροστοιχείων (K, Ca & Mg). Στο τέλος απομονώθηκαν από τα φυμάτια των ριζών οι μικροοργανισμοί με τους οποίους εμβολιάστηκαν τα φυτά, όπου και καταμετρήθηκαν ο αριθμός τους και το βάρος τους.

Για τη σύνθεση του θρεπτικού διαλύματος παρασκευάστηκαν διαφορετικές «συνταγές» για κάθε επέμβαση, ενώ η συχνότητα και η ποσότητα των αρδεύσεων ήταν ίδια για όλα τα υποστρώματα, προσαρμοσμένη στις ανάγκες του φυτού.

Από τα αποτελέσματα διαπιστώθηκε ότι τα φυτά του μάρτυρα των οποίων η θρέψη γινόταν με θρεπτικό διάλυμα που περιείχε ολόκληρη την ποσότητα αζώτου, απαραίτητη για την ανάπτυξη των φυτών φασολιού, παρουσίασαν την καλύτερη

εικόνα σχετικά με την παραγωγή καρπών συγκριτικά με τα φυτά τα οποία είχαν ποσότητα 25% και 0% του συνολικού αζώτου και ήταν ταυτόχρονα εμβολιασμένα με *Rhizobium tropici*. Παρόμοια αποτελέσματα με τα φυτά του μάρτυρα εμφάνισαν και τα φυτά που είχαν την ίδια ποσότητα αζώτου με αυτόν, και ήταν ταυτόχρονα εμβολιασμένα με το βακτήριο *Rhizobium tropici*. Οι τιμές που προέκυψαν από τις συγκρίσεις αποτελούν στατιστικά σημαντικές διαφορές, δείχνοντας πως η ποσότητα αζώτου που χορηγήθηκε επηρέασε άμεσα την παραγωγή καρπών ενώ το αζωτοβακτήριο *Rhizobium tropici* δεν συνέβαλε στην τροφοδότηση των φυτών με βιολογικό άζωτο.

Η επί τοις εκατό ποσότητα του αζώτου που εφαρμόστηκε στο πείραμα στις 4 ομάδες φυτών επηρέασε άμεσα την ανάπτυξη και τον πολλαπλασιασμό των αζωτοβακτηρίων του *Rhizobium tropici*. Κατά την πρώτη μέτρηση παρατηρήθηκε μεγάλη διαφορά όσο αφορά τον αριθμό των φυματίων ανάμεσα στην εφαρμογή με άζωτο 25% σε σχέση με τις υπόλοιπες εφαρμογές. Η διαφορά αυτή αυξήθηκε κατά την δεύτερη μέτρηση, μιας και η μικρή ποσότητα αζώτου που χορηγείτο στα φυτά αυτά επηρέασε θετικά τον πολλαπλασιασμό τους. Όσο αφορά το βάρος των φυματίων τόσο τα φυτά με άζωτο 25% όσο και τα φυτά που ήταν χωρίς άζωτο εμφάνισαν στατιστικά σημαντικές διαφορές σε σχέση με τις άλλες δύο ομάδες φυτών.

Σχετικά με την επίδραση της βιολογικής αζωτοδέσμευσης στην ανάπτυξη των φυτών όσο αφορά την απορρόφηση των μακροστοιχείων (K, Ca & Mg) δεν βρέθηκε κάποια πληροφορία που να δείχνει την άμεση συσχέτιση της πορείας των στοιχείων αυτών με την ύπαρξη του πληθυσμού των φυματίων στο ριζικό τους σύστημα.

Κατά την γεωργική πράξη, η χρήση αζωτοβακτηρίων επιφέρει αρκετά πλεονεκτήματα διότι συμβάλλει στη βιολογική λίπανση του αζώτου. Για να σχηματιστούν ριζικά φυμάτια τα οποία θα μπορούν να ενσωματώνουν το αέριο άζωτο σε ενώσεις αζώτου μέσω αζωτοδέσμευσης είναι απαραίτητο να μολυνθεί η ρίζα με το κατάλληλο γένος των βακτηρίων. Σημαντική είναι, κατά την διάρκεια της καλλιέργειας, η χορήγηση μερικής δόσης αζώτου η οποία θα επιφέρει έντονο πολλαπλασιασμό φυματίων. Τόσο το είδος και η ποικιλία του αζωτοβακτηρίου όσο και του ψυχανθούς αποτελούν σημαντική παράμετρο για την ανάπτυξη των αζωτοδεσμευτικών αυτών μικροοργανισμών.

Summary

During the last century scientist and agriculturist made experiments with different types of hydroponic crops. One of the possible applications of hydroponics that guided thorough research was the culture of fresh products in barren regions of the planet. It's a fact that some people cannot have fertile ground in their region despite that soil ground exists. Hydroponics was successfully tested during World War II, where soldiers camping in barren Pacific Ocean Islands were able to have fresh agriculture products using their own hydroponic systems. By the end of the 20th century hydroponics was incorporated in the National Space Program of the USA.

A non ground culture, using substrate sacs is the most well known type of plant growth using substrate material. The current postgraduate thesis was experimentally investigated the biologic nitrogen bonding ability of the Helder climb bean plants. The current experiments took place in the close hydroponic system of the controlled parameters hydroponic chamber that belongs to the glass-fenced greenhouse.

The target of the study was to compare and evaluate the effect of biological nitrogen-bonding ability due to the injection of the nitrogen bacter *Rhizobium tropici* in different inorganic nitrogen concentrations environment. The study was aim to investigate the effects of biological nitrogen-bonding ability in plants growth, plants products (calculation of fresh and droughty product weight) and electrolyte absorption (K, Ca & Mg). In the end microorganisms that previously injected to the plants, were isolated from plants roots and had been through an absolute number and weight survey.

Different "recipes" adapted to each experiment, were used for the composition of the nutrient solution. The frequency and amount of irrigation itself was the same for all substrates tailored plants' needs.

The results showed that control group plants, whose nutrition was with nutrient solution contained the entire amount of nitrogen (essential for the growth of bean plants) showed the best picture on the fruit production compared with the plants which had a quantity of 25 % and 0% of the total nitrogen and were simultaneously inoculated with *Rhizobium tropici*. Plants that had the same amount of nitrogen with the control group and were simultaneously inoculated with the bacterium *Rhizobium*

tropici, had similar results to the control group. The resulting values of the comparisons are statistically significant differences, indicating that the amount of nitrogen administered directly affected fruit production and the nitrogen-bacter *Rhizobium tropici* not contributed to supply the plants with organic nitrogen.

Growth and proliferation of nitrogenbacter *Rhizobium tropici* were directly influenced by the percentage amount of nitrogen applied in the experiment on 4 groups of plants. During the first measurement significant differences regarding the number of nodules were observed between the injected with nitrogen 25% group and other groups. This difference increased during the second measurement, and a small amount of nitrogen administered in these plants positively affected their proliferation. As for the weight of nodules the groups of plants with nitrogen 25% and plants were without nitrogen showed statistically significant differences compared with the other two groups of plants.

Biological nitrogen-bonding ability was found to have no significant correlation regarding electrolyte (K, Ca & Mg) absorption.

In the agricultural practice, use of nitrogenbacter entails several advantages in that it contributes to the biological nitrogen fertilization. For the root nodules formation, which are responsible of the incorporation of gaseous nitrogen into nitrogen compounds, is essential to the root to get infected by suitable species of bacteria. It is important during cultivation, grant partial nitrogen dose administration which will produce intense proliferation of the root nodules. Both the type and variety of nitrogen bacter as well as type and variety of the legume are important parameters for the growth of these nitrogen-bonding microorganisms.

Ευχαριστίες

Με την συγγραφή της μεταπτυχιακής μου διατριβής θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Σάββα Δημήτριο, Αναπληρωτή Καθηγητή του Εργαστηρίου Κηπευτικών Καλλιεργειών του Γ.Π.Α., για την ευκαιρία που μου προσέφερε να εκπονήσω την μεταπτυχιακή μου μελέτη αλλά και για την καθοδήγηση τόσο κατά τη διάρκεια του πειραματικού μέρους όσο και κατά τη συγγραφή της παρούσας μελέτης, και την άμεση διόρθωση των κειμένων της.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους κυρίους Πάσσαμ Χάρολντ-Κρίστοφερ, Καθηγητή και Διευθυντή του εργαστηριακού τμήματος Κηπευτικών Καλλιεργειών και κ. Ακουμιανάκη Κωνσταντίνο Αναπληρωτή Καθηγητή του Εργαστηρίου Κηπευτικών Καλλιεργειών του Γ.Π.Α., οι οποίοι δέχθηκαν τη συμμετοχή τους στην εξεταστική επιτροπή.

Στην συνέχεια, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά, την Ντάτση Γεωργία, Διδάκτορα του Γ.Π.Α., για την συνεργασία και την επιστημονική της βοήθεια, καθώς και την Υποψήφια Διδάκτορα του Γ.Π.Α. Χαριτίνη Κοντοπούλου για την προσφορά και συνεργασία της κατά την διεξαγωγή του πειράματος.

Τις θερμότερες μου ευχαριστίες εκφράζω στον Χρίστο Αλεξανδρόπουλο για την άψογη συνεργασία και υπευθυνότητα κατά τόσο κατά το πείραμα όσο και για τις εργαστηριακές μετρήσεις της παρούσας μελέτης.

Τέλος ευχαριστώ το διδακτικό προσωπικό του Εργαστηρίου Κηπευτικών Καλλιεργειών για τις χρήσιμες συμβουλές και την υποστήριξή τους.

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα	8
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	11
2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ	14
2.1. ΥΔΡΟΠΟΝΙΑ	14
2.1.1. Ορισμός	14
2.1.2. Η υδροπονία στη Ελλάδα	15
2.1.3. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα καλλιεργειών εκτός εδάφους	16
2.1.4. Συστήματα καλλιεργειών εκτός εδάφους	18
2.1.5. Συστήματα υδροπονικών καλλιεργειών	19
2.1.6. Υποστρώματα	19
2.1.7. Διάκριση υποστρωμάτων	21
2.1.8. Καλλιέργεια σε ελαφρόπετρα	21
2.1.9. Καλλιέργεια σε σάκους	24
2.1.10. Ποιότητα νερού	25
2.1.11. Θρεπτικό διάλυμα καλλιεργειών εκτός εδάφους	26
2.1.12. Χαρακτηριστικά θρεπτικού διαλύματος	27
2.1.13. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα του θρεπτικού διαλύματος	28
2.1.14. Το pH του θρεπτικού διαλύματος	28
2.1.15. Θερμοκρασία θρεπτικού διαλύματος	29
2.1.16. Διαδικασία παρασκευής του θρεπτικού διαλύματος	29
2.1.17. Κατάρτιση σύνθεσης θρεπτικών διαλυμάτων	30
2.1.18. Φυτοπροστασία σε συστήματα καλλιέργειας εκτός εδάφους	32
2.2. Η ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΤΟΥ ΦΑΣΟΛΙΟΥ	34
2.2.1. Περιγραφή του φυτού	34
2.2.2. Βοτανικά χαρακτηριστικά	35
2.3. Ο ΚΥΚΛΟΣ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ	39
2.4. ΑΖΩΤΟΔΕΣΜΕΥΣΗ	41
2.4.1. Βιολογική δέσμευση του αζώτου	41
2.4.2. Μη βιολογική δέσμευση του αζώτου	42
2.4.3. Μη συμβιωτική αζωτοδέσμευση	42
2.4.4. Συμβιωτική αζωτοδέσμευση	43

2.4.5. Βακτήρια ριζικών φυματίων και συμβίωση με τα ψυχανθή.....	44
2.5.6. Σχηματισμός φυματίων (Μηχανισμός).....	44
2.4.7. Παράγοντες που επιδρούν στη φυματοποίηση και αζωτοδέσμευση	46
2.4.8. Η συμβίωση του Rhizobium με τα ψυχανθή και η γεωργική σημασία της.....	49
2.4.9. Παράγοντες που επιδρούν στη φυματοποίηση και αζωτοδέσμευση των ψυχανθών.	50
2.4.10. Φωτοσυνθετικοί παράγοντες	50
2.5. ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΦΑΣΟΛΙΟΥ.....	51
2.6. ΘΡΕΨΗ ΦΥΤΩΝ	56
2.6.1. Μακροστοιχεία	56
2.6.2. Μικροστοιχεία	61
3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	66
3.1. ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ.....	66
3.2. ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	66
3.3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ.....	67
3.4. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΠΟΡΟΦΥΤΩΝ.....	69
3.5.ΣΥΣΤΑΣΗ ΘΡΕΠΤΙΚΩΝ ΔΙΑΛΥΜΑΤΩΝ	71
3.6. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	74
3.6.1. Μετρήσεις παραγωγής.....	74
3.6.2. Μετρήσεις θρεπτικών στοιχείων	75
3.6.3. Προεργασία για τη μέτρηση των θρεπτικών στοιχείων.....	76
3.6.4. Περιγραφή μεθόδων μέτρησης συγκεντρώσεων σε φυτικούς ιστούς	77
4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	79
4.1. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	79
4.1.1. Παραγωγή νωπού βάρους καρπών ανά φυτό	80
4.1.2. Μέσο Νωπό Βάρος Καρπού Ανά Φυτό.....	81
4.1.3. Αριθμός Λοβών Ανά Φυτό	82
4.1.4. Ξηρό Βάρος Λοβών Ανά Φυτό.....	83
4.1.5. Περιεκτικότητα λοβών σε ξηρά ουσία	84
4.2. ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΘΡΕΠΤΙΚΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΩΝ ΦΥΛΛΩΝ, ΒΛΑΣΤΩΝ, ΛΟΒΩΝ ΚΑΙ ΡΙΖΩΝ.....	85
4.2.1. ΑΣΒΕΣΤΙΟ	86
4.2.2. ΜΑΓΝΗΣΙΟ	90
4.2.3. ΚΑΛΙΟ	94
4.3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΖΩΤΟΔΕΣΜΕΥΤΙΚΩΝ ΦΥΜΑΤΙΩΝ	98

4.3.1. Αριθμός φυματίων.....	98
4.3.2. Βάρος Φυματίων.....	99
4.3.3. Μέσο Βάρος Φυματίου.....	100
4.4. ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΟ ΥΛΙΚΟ ΑΠΟ ΤΑ ΡΙΖΙΚΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ.....	102
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ	104
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	114
6.1. ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	114
6.2. ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	127
6.3. ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	129

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ικανότητα του εδάφους να παράγει τροφές για τον άνθρωπο και τα ζώα, ανανεώσιμες πρώτες ύλες και παράλληλα να παρέχει θρεπτικά στοιχεία, νερό οξυγόνο και μηχανική στήριξη για την ανάπτυξη των φυτών είναι κοινώς γνωστό και αναμφισβήτητα συντελεί στην ευημερία του ανθρώπου (Jones & Hinsinger, 2008). Το έδαφος αποτελεί μέσο όπου αναπτύσσονται και προστατεύονται μεγάλοι πληθυσμοί κατώτερων και ανώτερων οργανισμών οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για την αναγέννηση και διατήρηση της ποιότητας του εδάφους, συνεισφέροντας στους κύκλους των θρεπτικών στοιχείων, στις μετατροπές οργανικής ουσίας και στη δημιουργία εδαφικής δομής. Αυτές οι λειτουργικές ομάδες των οργανισμών του εδάφους δίνουν στο έδαφος σταθερότητα ή δυνατότητα να επανέρχεται μετά από προσωρινές μεταβολές. (Prescott et. al., 1999).

Η υπερεκμετάλλευση των γεωργικών εκτάσεων και η μη ορθολογική χρήση της γεωργικής πράξης, τόσο με εντατικές καλλιέργειες όσο και με υπερβολική χρήση λιπασμάτων οδήγησαν στην καταστροφή της μικροχλωρίδας του εδάφους. Η τάση για βιολογική καλλιέργεια αλλά και η ανάγκη για ανάκτηση της βιολογικής και φυσικής δομής του εδάφους οδήγησαν στην χρήση γεωργικών πρακτικών που δεν θα αλλοιώνουν την αρχική κατάσταση του εδάφους.

Το άζωτο αποτελεί ένα εκ των βασικότερων χημικών στοιχείων που βρίσκονται στη φύση, δεδομένης της παρουσίας του σε πολλά βιομόρια όπως πρωτεΐνες, τα νουκλεϊκά οξέα και ορισμένα συνένζυμα. Το μεγαλύτερο ποσοστό του εδαφικού αζώτου βρίσκεται σε μη αφομοιώσιμη, από τους περισσότερους ανώτερους φυτικούς και ζωικούς οργανισμούς, οργανική ((Hubbel & Kidder, 2003), το δε ανόργανο άζωτο των εδαφών επηρεάζεται από τις καλλιεργητικές τεχνικές και περιβαλλοντικές συνθήκες (Below, 1995). Καθώς λίγα είναι τα είδη που μπορούν μέσω της αζωτοδέσμευσης να εξασφαλίσουν το απαραίτητο για την ανάπτυξη τους άζωτο, οι οργανισμοί έχουν αναπτύξει εξελικτικά, μηχανισμούς ώστε να μπορούν αφενός να ανταπεξέρχονται σε χαμηλές παροχές αζώτου, αφετέρου να αναπτύσσονται σε διαφορετικές πηγές αζώτου (Tischner, 2000).

Στη βιολογική καλλιέργεια, οι κύριες διαθέσιμες μέθοδοι διαχείρισης του N περιλαμβάνουν την προσθήκη οργανικών υλικών, την αμειψισπορά του φυτικού

είδους με καλλιέργειες κάλυψης και ενσωμάτωση της βιομάζας στο έδαφος (χλωρή λίπανση), τη συγκαλλιέργεια με ψυχανθή και τον εμβολιασμό του εδάφους με αζωτοδεσμευτικά βακτήρια. Η βιολογική δέσμευση του αζώτου πραγματοποιείται είτε με μη συμβιωτικούς μικροοργανισμούς που ζουν ελεύθερα είτε με ορισμένα βακτήρια, που συμβιώνουν με τα ανώτερα φυτά.

Μόλυνση της ρίζας ψυχανθούς με το κατάλληλο γένος οδηγεί στο σχηματισμό ριζικών φυματίων, τα οποία μπορούν να ενσωματώνουν αέριο άζωτο σε ενώσεις του αζώτου με τη διαδικασία της αζωτοδέσμευσης. Η δέσμευση αζώτου μέσω συμβίωσης των ψυχανθών με το *Rhizobium* είναι τεράστιας σημασίας για τη γεωργία, αφού αυξάνει τη διαθεσιμότητα του αζώτου στο έδαφος. Επειδή πολλά εδάφη είναι εκ φύσεως φτωχά σε άζωτο, τα ψυχανθή με ριζικά φυμάτια έχουν στις συγκεκριμένες συνθήκες συγκριτικό πλεονέκτημα και μπορούν να αναπτυχθούν καλά σε περιοχές στις οποίες άλλα φυτά αδυνατούν (Medigan et. al., 2007). Επίσης, λόγω της συμβιωτικής σχέσης τα φυτά καλύπτουν όχι μόνο τις δικές τους ανάγκες, αλλά αποδίδουν και τμήμα τους στο έδαφος για τις επόμενες καλλιέργειες με αποτέλεσμα να μειώνεται σημαντικά το κόστος λίπανσης.

Στις σύγχρονες καλλιέργειες συνιστάται η χρήση των μικροοργανισμών για τη λίπανση με άζωτο. Αρκετές, όμως, από τις ποικιλίες που χρησιμοποιούνται δεν είναι αποτελεσματικές και κατ' επέκταση αντιοικονομικές, με αποτέλεσμα οι γεωργοί να είναι απρόθυμοι να κάνουν χρήση εμβολισμών με βακτήρια στις καλλιέργειες τους. Η συμβιωτική σχέση ανάμεσα στα αζωτοβακτήρια και τα ψυχανθή είναι μία πολύπλοκη βιολογική διαδικασία, η επιτυχία της οποίας εξαρτάται από διάφορους παράγοντες που σχετίζονται τόσο με τα χαρακτηριστικά του φυτού ξενιστή και του αζωτοβακτηρίου όσο και με παράγοντες του περιβάλλοντος.

Σκοπός της παρούσας διατριβής είναι να διερευνηθεί η επίδραση εμβολίου σε υδροπονική καλλιέργεια φασολιού στη συμβιωτική δέσμευση ατμοσφαιρικού αζώτου και στην αζωτούχο θρέψη των φυτών.

Έγινε σύγκριση των φυτών που τροφοδοτούνται με μικρότερες ή ίδιες συγκεντρώσεις αζώτου σε σχέση με τους μάρτυρες, ενώ ταυτόχρονα είναι εμβολιασμένα με το βακτήριο *Rhizobium* και μπορούν να αποδώσουν όσο αφορά το μέγεθος παραγωγής. Συγκεκριμένα οι ομάδες των φυτών αναπτύσσονταν με συγκεντρώσεις αζώτου 25% σε σχέση με τον μάρτυρα 100% και χωρίς άζωτο. Ο διαχωρισμός αυτός των

εφαρμογών σε αυτές τις κατηγορίες χρησίμευσε στη μελέτη και σύγκριση της επίδρασης του εμβολίου όσο αφορά την απόδοση της παραγωγής.

Στην προκειμένη περίπτωση το αζωτοδεσμευτικό βακτήριο *Rhizobium tropici* δεν αποτέλεσε πηγή αζώτου για τα φυτά, αφού η απόδοση σε παραγωγή ήταν ανάλογη της χορηγούμενης συγκέντρωσης του αζώτου σε κάθε περίπτωση.

Επίσης, μελετήθηκαν η εγκατάσταση και ανάπτυξη των αζωτοδεσμευτικών βακτηρίων στα ριζικά συστήματα στις διαφορετικές συγκεντρώσεις. Αρχικά, οι μεταχειρίσεις εμβολιάστηκαν με το *Rhizobium tropici* και στην συνέχεια καταμετρήθηκε ο αριθμός των φυματίων στο κάθε ριζικό σύστημα και υπολογίστηκε το βάρος τους έτσι ώστε να μπορέσει να γίνει πλήρης μελέτη ανάπτυξης τους. Ο εμβολισμός των βακτηρίων στα ριζικά συστήματα σε σχέση με τις διαφορετικές συγκεντρώσεις αζώτου αποτέλεσε παράγοντα συσχέτισης της συγκέντρωσης του πληθυσμού των φυματίων. Τόσο στον πολλαπλασιασμό τους όσο και στην ανάπτυξη τους βρέθηκε πως η συγκέντρωση αζώτου αποτελεί κύριο παράγοντα. Έτσι στα φυτά που υπήρχε άζωτο συγκέντρωσης 100% μαζί με μόλυσμα, η εμφάνιση των φυματίων ήταν μικρότερη σε σχέση με τα φυτά που δεν είχαν καθόλου άζωτο, ενώ μεγαλύτερο πληθυσμό εμφάνισαν τα φυτά που είχαν άζωτο περιεκτικότητας 25%.

Βασικός στόχος της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής ήταν να μελετηθεί η αποδοτικότητα των αζωτοδεσμευτικών βακτηρίων στα ψυχανθή (Φασόλι) σχετικά με τη δέσμευση του ατμοσφαιρικού αζώτου από τα φυτά και την τροφοδότηση του στα φυτά, προκειμένου να επιδράσει θετικά στην ανάπτυξη και παραγωγή του φυτού.

2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

2.1. ΥΔΡΟΠΟΝΙΑ

2.1.1. Ορισμός

Ο πιο γνωστός και διαδεδομένος όρος διεθνώς, είναι η ελληνική λέξη υδροπονία (hydroponics). Ο όρος "υδροπονία- hydroponics" προέρχεται από τις ελληνικές λέξεις "ύδωρ" και "πόνημα". Η εκτός του φυσικού εδάφους καλλιέργεια είχε πραγματοποιηθεί ήδη από τα αρχαία χρόνια. Συγκεκριμένα από το Μεσαίωνα μέχρι το 18^ο αιώνα ήταν κοινή πίστη ότι τα φυτά τρέφονταν μόνο με το νερό και ότι το έδαφος έπαιζε στηρικτικό ρόλο. Ένα από τα Επτά Θαύματα του Κόσμου, οι κρεμαστοί κήποι της Βαβυλώνας, καθώς και οι πλωτοί κήποι των Αζτέκων του Μεξικού ήταν στην πραγματικότητα υδροπονικά συστήματα. Στην περίπτωση των Κρεμαστών Κήπων της Βαβυλώνας, τα φυτά αναπτύσσονταν πάνω σε αναβαθμίδες γεμισμένες με μείγμα άμμου και χώματος.

Σε όλες αυτές τις περιπτώσεις όμως, τα φυτά προσλάμβαναν τα απαραίτητα για την ανάπτυξή τους θρεπτικά στοιχεία από το φυσικό νερό του ποτίσματος, το οποίο όπως είναι γνωστό περιέχει μέσα του διαλυμένα διάφορα ανόργανα άλατα σε μικρότερες ή μεγαλύτερες ποσότητες, ανάλογα με την προέλευσή του. Σε περιπτώσεις χρήσης κάποιου φυσικού υποστρώματος, όπως π.χ. στους Κρεμαστούς Κήπους της Βαβυλώνας, ένα μέρος των απαραίτητων για την θρέψη των φυτών ανόργανων στοιχείων προερχόταν από το ίδιο το υπόστρωμα. Στην πραγματικότητα, το μόνο πραγματικά κοινό γνώρισμα αυτών των πρωτόγονων καλλιιεργειών εκτός εδάφους με την σημερινή υδροπονία είναι ο περιορισμός του όγκου ανάπτυξης των ριζών και ο στεγανός διαχωρισμός του ριζοστρώματος από τα βαθύτερα στρώματα του εδάφους και συνεπώς και από τον υδροφόρο ορίζοντα (Σάββας, 1998). Αντίθετα, η θρέψη στις πρωτόγονες εκτός εδάφους καλλιέργειες ήταν ελλιπής και ανισόρροπη και εξαρτιόταν από τυχαίους παράγοντες.

2.1.2. Η υδροπονία στη Ελλάδα

Με βάση στοιχεία του IRTC (International Research and Training Centre for Sustainability), του μη κερδοσκοπικού οργανισμού που συλλέγει στοιχεία και γενικά καταγράφει όλη την γνώση που υπάρχει πάνω στον τομέα την υδροπονίας στην Νοτιοανατολική Ευρώπη, αλλά και στον χώρο της Μέσης Ανατολής η υδροπονία στην Ελλάδα καλύπτει 1.750 στρέμματα περίπου. Η μέθοδος αυτή δεν εφαρμόζεται μόνο για την παραγωγή κηπευτικών προϊόντων, αλλά έχει επεκταθεί και στην ανθοκομία. Έτσι από τα 1.750 συνολικά στρέμματα, στα 1.450 έχει αναπτυχθεί η καλλιέργεια των κηπευτικών και στα υπόλοιπα 300 η ανθοκομία. Βάσει, λοιπόν, των στοιχείων που έχουμε στην διάθεση μας παρατηρούμε ότι στην Βόρεια Ελλάδα η υδροπονία έχει αναπτυχθεί σε έκταση 400 στρεμμάτων, στην Κεντρική Ελλάδα στα 150 στρέμματα, στην Αττική και στα νησιά στα 300 στρέμματα, στην Πελοπόννησο στα 450 στρέμματα, στη Δυτική Ελλάδα στα 100 και τέλος στην Κρήτη η υδροπονία καλύπτει έκταση 350 στρεμμάτων. Σχετικά τώρα με το μέγεθος που έχουν οι υδροπονικές μονάδες στην χώρα μας, πληροφορούμαστε ότι υπάρχουν 3 μονάδες που έχουν έκταση 100 στρέμματα και πάνω, 15 μονάδες έχουν έκταση 20-50 στρέμματα, ενώ από 3-20 στρέμματα υπάρχουν 115 μονάδες. Εντύπωση, ωστόσο, μας προκαλεί το στοιχείο ότι δεν υπάρχουν στην χώρα μας υδροπονικές μονάδες που να έχουν έκταση από 50-100 στρέμματα. Στο 50% των υδροπονικών μονάδων έχει αναπτυχθεί η καλλιέργεια της τομάτας όλων των τύπων όπως είναι η beef, η cluster, και η cherry, στο 25% η καλλιέργεια του αγγουριού, ενώ στο 10% καλλιεργούνται πιπεριές μαρούλι, κολοκύθι μελιτζάνα. Τέλος στο υπόλοιπο 15% της συνολικής υδροπονικής έκτασης έχει αναπτυχθεί η ανθοκομία με δημοφιλή είδη προς καλλιέργεια να είναι η ζέρμπερα, το γαρύφαλλο το χρυσάνθεμο το ανθούριο και η γυψοφίλη.

2.1.3. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα καλλιεργειών εκτός εδάφους

Πλεονεκτήματα

- Τα φυτά μπορούν να καλλιεργηθούν σε περιοχές που δεν υπάρχει κατάλληλο έδαφος εξαιτίας, του άγονου χαρακτήρα του, την πιθανή προσβολή από ασθένειες ή της αυξημένης εκμετάλλευσης με αποτέλεσμα να παρουσιάζονται μειωμένες αποδόσεις. Σε τέτοιες περιπτώσεις η υδροπονική καλλιέργεια είναι η ιδανική λύση.
- Αύξηση του αριθμού των καλλιεργειών, καθώς δεν απαιτείται χρόνο για την κατεργασία του εδάφους, απολύμανση και έτσι η μια καλλιέργεια διαδέχεται την άλλη. Αυτό συμβάλλει στην αύξηση του ετήσιου εισοδήματος.
- Η απολύμανση του εδάφους είναι μια δύσκολη, χρονοβόρα διαδικασία που απαιτεί υψηλό κόστος, κυρίως μετά και την απαγόρευση και του βρωμιούχου μεθυλίου. Χημικές μέθοδοι δημιουργούν αναθυμιάσεις και αυξάνουν την υπολειμματικότητα στο έδαφος. Βέβαια σε κλειστά συστήματα υδροπονίας, συνήθως λαμβάνονται μέτρα για την απολύμανση του διαλύματος.
- Οι μέγιστες αποδόσεις ενός υδροπονικού συστήματος, καθιστούν μια τέτοια επένδυση βιώσιμη ακόμα και σε πυκνοκατοικημένες περιοχές
- Διατήρηση του νερού στα ελάχιστα δυνατά επίπεδα κυρίως σε συστήματα που το διάλυμα επανακυκλοφορεί. Στο NFT για παράδειγμα ελέγχεται πλήρως η παροχή του νερού, ενώ σε όσα εφαρμόζεται υπόγεια άρδευση μειώνεται τα εργατικά καθώς δεν απαιτούν συχνό έλεγχο των σταλακτήρων. Επίσης απώλειες από στράγγιση και εξάτμιση περιορίζονται αρκετά.
- Πλήρης έλεγχος της διατροφής των φυτών καθώς οι ποσότητες των χημικών σκευασμάτων υπολογίζονται με βάση τις ανάγκες της καλλιέργειας και αποφεύγεται η αλόγιστη χρήση λιπασμάτων. Οι συγκεντρώσεις των θρεπτικών στοιχείων που εφαρμόζονται στο θρεπτικό διάλυμα προσαρμόζονται στις ανάγκες του φυτού. Εξασφάλιση ομοιομορφίας των θρεπτικών στοιχείων που προστίθενται.
- Στα κλειστά συστήματα περιορίζεται η ρύπανσης του εδάφους και των υπόγειων υδάτων (νιτρικά).
- Μείωση των προσβολών από εδαφογενείς ασθένειες και εχθρούς κυρίως με τη χρήση των κλειστών συστημάτων. Βέβαια σημαντικό ρόλο παίζει και ο είδος του συστήματος που θα εφαρμοστεί.

- Η καλλιέργεια φυτών εκτός εδάφους εξοικονομεί το χρόνο που απαιτεί για διάφορες καλλιεργητικές προετοιμασίες και φροντίδες, όπως η επανειλημμένη καλλιέργεια του εδάφους, η απολύμανση και η καταπολέμηση ζιζανίων
- Πλήρης έλεγχος του περιβάλλοντος ανάπτυξης των ριζών με την προσθήκη θρεπτικών στοιχείων και νερού με βάση τις ανάγκες τους.
- Νερό που περιέχει αυξημένες ποσότητες διαλυτών αλάτων μπορεί να χρησιμοποιηθεί με ιδιαίτερη προσοχή. Αν οι συγκεντρώσεις του διαλυτού άλατος στο νερό είναι μεγαλύτερες από 500 ppm, προτιμάται η εφαρμογή ανοικτού συστήματος καλλιέργειας υπό την προϋπόθεση ότι θα γίνεται συχνά έκπλυση για την απομάκρυνσή τους.
- Δυνατότητα ελέγχου του ριζικού συστήματος με μεγαλύτερη ακρίβεια σχετικά με τη θερμοκρασία, τον εφοδιασμό με οξυγόνο και τη διατροφή.
- Πλήρης έλεγχος του pH και της αγωγιμότητας του θρεπτικού διαλύματος.

Μειονεκτήματα

- Το υψηλό κόστος κατασκευής ανά στρέμμα είναι αρκετά υψηλό, καθώς πέρα από τον εξοπλισμό του υδροπονικού συστήματος, είναι απαραίτητη η κατασκευή ενός σύγχρονου, αυτοματοποιημένου θερμοκηπίου.
- Ανοιχτά συστήματα καλλιέργειας εκτός εδάφους με ανόργανα ή οργανικά υποστρώματα εμφανίζουν μεγάλη κατανάλωση νερού.
- Εκπαιδευόμενο προσωπικό θα πρέπει να ελέγχει τόσο τη λειτουργία του συστήματος όσο και τις ανάγκες θρέψης των φυτών, σε καθημερινή βάση.
- Πιθανή προσβολή εδαφογενών παθογόνων (*pythium*, *Fusarium*) ή νηματοδών μπορεί να εξαπλωθεί γρήγορα σε όλα τα φυτά καθώς μεταφέρεται το θρεπτικό διάλυμα.
- Η καλλιέργεια εκτός εδάφους δεν συγχωρεί λάθη που μπορούν να προκύψουν από τη θρέψη.
- Πιθανή μεταβολή του pH ή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας μπορεί να καταστρέψει την καλλιέργεια.
- Σε συστήματα με τρεχούμενο διάλυμα είναι πιθανή η δημιουργία ανοξικού περιβάλλοντος στις ρίζες, με αποτέλεσμα τη μειωμένη απορρόφηση ιόντων. Μονάχα

σε συστήματα αεροπονίας το πρόβλημα παύει να υπάρχει και το O₂ μεταφέρεται στις ρίζες.

➤ Σε περίπτωση που προκύψει κάποιο μηχανικό πρόβλημα, πρέπει να έχει λάβει τα κατάλληλα μέτρα ο παραγωγός (π.χ. πιθανή διακοπή σε ρεύμα ή νερό)

2.1.4. Συστήματα καλλιεργειών εκτός εδάφους

Στην υδροπονική ορολογία γίνεται διαχωρισμός των υδροπονικών συστημάτων σε δύο τύπους: στα ανοικτά υδροπονικά συστήματα και στα κλειστά υδροπονικά συστήματα. Ως ανοικτό χαρακτηρίζεται ένα υδροπονικό σύστημα όταν το μέρος του θρεπτικού διαλύματος που απορρέει ως πλεονάζον από το χώρο των ριζών δεν συλλέγεται αλλά αφήνεται να χαθεί στο περιβάλλον. Αντίθετα ως κλειστό χαρακτηρίζεται κάθε υδροπονικό σύστημα, στο οποίο το πλεονάζον θρεπτικό διάλυμα που απομακρύνεται από το χώρο των ριζών συλλέγεται, ανανεώνεται, συμπληρώνεται και οδηγείται ξανά στα φυτά για επαναχρησιμοποίηση. Υπάρχει δηλαδή μια συνεχής ανακύκλωση του θρεπτικού διαλύματος. Με αυτόν τον τρόπο η ποσότητα του νέου διαλύματος που εισάγεται στο σύστημα ισούται με την ποσότητα που καταναλώνεται από τα φυτά, στο βαθμό τουλάχιστον που δεν υπάρχουν διαρροές και οι αγωγοί, μέσα από τους οποίους ρέει το διάλυμα, είναι καλυμμένοι οπότε οι απώλειες από εξάτμιση είναι αμελητέες.

Το δεύτερο σημαντικό χαρακτηριστικό, με βάση το οποίο ταξινομούνται τα διάφορα υδροπονικά συστήματα είναι το χρησιμοποιούμενο υπόστρωμα, εφόσον γίνεται χρήση κάποιου στερεού υποστρώματος. Διάκριση των υδροπονικών συστημάτων μπορεί να γίνει επίσης και με βάση τα υλικά που χρησιμοποιούνται ως υποδοχείς υποστρωμάτων (φυτοδοχεία, υδρορροές, σάκκοι, κ.λπ.), με βάση τον τρόπο άρδευσης (στάγδην άρδευση και είδος σταλακτών, ροή του διαλύματος σε κανάλια, κ.λπ.). Τέλος, διάκριση των υδροπονικών συστημάτων μπορεί να γίνει επίσης και με βάση την τεχνική λειτουργίας του συστήματος εφόσον αυτή διακρίνεται από κάποια ιδιαίτερα τεχνικά χαρακτηριστικά ή έναν ιδιαίτερο τρόπο λειτουργίας (π.χ. σύστημα NFT, plant plane hydroponics, κ.λπ.) Κάτωθι παρατίθεται ένα μεικτό σύστημα ταξινόμησης, το οποίο λαμβάνει υπόψη όλα τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που διαχωρίζουν ένα υδροπονικό σύστημα από τα υπόλοιπα. Κυρίαρχο ρόλο για την ταξινόμηση παίζει όμως το υπόστρωμα, δεδομένου ότι αυτό είναι το σπουδαιότερο

συστατικό μέρος ενός υδροπονικού συστήματος, το οποίο το διαφοροποιεί από τα υπόλοιπα.

2.1.5. Συστήματα υδροπονικών καλλιεργειών

- Καλλιέργεια σε καθαρό θρεπτικό διάλυμα
- Καλλιέργεια σε δοχεία γεμισμένα με θρεπτικό διάλυμα
- Σύστημα NFT
- Αεροπονία
- Plant plane hydroponics (επιδαπέδια υδροπονία)
- Καλλιέργεια σε κοκκώδη ανόργανα υποστρώματα
- Καλλιέργεια σε άμμο (sand culture)
- Καλλιέργεια σε χαλίκι (gravel culture)
- Καλλιέργεια σε διογκωμένο περλίτη
- Καλλιέργεια σε διογκωμένη άργιλο
- Καλλιέργεια σε ελαφρόπετρα
- Καλλιέργεια σε πλάκες ορυκτοβάμβακα
- Καλλιέργεια σε πλάκες πετροβάμβακα
- Καλλιέργεια σε πλάκες υαλοβάμβακα
- Καλλιέργεια σε οργανικά ή μείγματα οργανικών – ανόργανων υλικών

2.1.6. Υποστρώματα

Η χρησιμότητα του εδάφους στα φυτά εξασφαλίζει την ανόργανη θρέψη των φυτών και παράλληλα παρέχει μηχανική στήριξη στα φυτά. Τα υποστρώματα που χρησιμοποιούνται στην υδροπονία πρέπει να ανταγωνίζονται τα χαρακτηριστικά ενός γόνιμου εδάφους. Τα χαρακτηριστικά αυτά είναι η καλή, ομοιόμορφη δομή, υφή και σύσταση του εδάφους. Επιπλέον απαραίτητο είναι το υπόστρωμα να έχει υψηλό επίπεδο ικανότητας ανταλλαγής κατιόντων, δηλαδή να μπορεί να συγκρατείται μεγάλη ποσότητα θρεπτικών ιόντων στο έδαφος και να παρέχονται στο ριζόστρωμα μέσω του εδαφικού διαλύματος όταν αυτό βρίσκεται σε συνθήκες ανεπάρκειας.

Το έδαφος παίζει σημαντικό ρόλο τόσο στην θρέψη των φυτών, με την παροχή θρεπτικών στοιχείων στο εδαφικό διάλυμα, όσο και στην ρύθμιση της διαθεσιμότητας των θρεπτικών στοιχείων. Η ρυθμιστική του αυτή ικανότητα οφείλεται στην ανταλλακτική του ικανότητα κατά την οποία αποθηκεύει μέρος των θρεπτικών στοιχείων που βρίσκονται σε περίσσεια και τα απελευθερώνει όταν παρατηρηθούν χαμηλές συγκεντρώσεις στο εδαφικό διάλυμα λόγω έκπλυσης ή απορρόφησης από τα φυτά. Αυτή η ιδιότητα του εδάφους ευνοεί την επιβίωση και ανάπτυξη των φυτών ακόμα και σε συνθήκες που η χορήγηση λίπανσης αποκλίνει σημαντικά σε σχέση με την απορρόφηση τους. Έτσι το έδαφος καθιστά τα φυτά μη εξαρτώμενα από την συχνή εξωτερική χορήγηση θρεπτικών στοιχείων.

Λόγω της ετερογένειας του εδάφους αλλά και της δυσκολίας πρόβλεψης των συνθηκών του περιβάλλοντος, αντιμετωπίζεται δυσκολία στο προσδιορισμό της θρέψης των φυτών. Η θρέψη εξαρτάται τόσο από τις χορηγούμενες ποσότητες λιπασμάτων αλλά όσο και από τις ιδιότητες του εδάφους. Για τους λόγους αυτούς στην υδροπονία η επιλογή υποστρωμάτων καθορίζεται από την χρήση υλικών που δεν ρυθμίζουν την θρέψη των φυτών σε αντίθεση με το έδαφος. Το υπόστρωμα δεν πρέπει να παίζει ρυθμιστικό ρόλο στην προσφορά θρεπτικών στοιχείων στα φυτά ώστε να μπορεί να γίνεται πλήρης έλεγχος της θρέψης μέσω της λίπανσης και μόνο. Πρέπει λοιπόν να χρησιμοποιούνται αδρανή υποστρώματα τα οποία να μην συγκρατούν αλλά και να μην αποδίδουν ανόργανα ιόντα στο περιεχόμενο σε αυτά θρεπτικό διάλυμα (Σάββας, 1998).

Τα υποστρώματα πρέπει να έχουν ομοιόμορφη σύσταση για την συμπεριφορά τους στην θρέψη των φυτών και να είναι απαλλαγμένα από ζωικούς εχθρούς, ζιζάνια και παθογόνα. Πρέπει να έχουν σταθερή δομή για να μην αποσυντίθενται εύκολα και να έχουν ικανοποιητική αναλογία μεταξύ νερού και αέρα στην κατάσταση της υδατοϊκανότητας. Επιπρόσθετα πρέπει να έχει σχετικά χαμηλό κόστος και να είναι εύκολο στη χρήση του και στους καλλιεργητικούς χειρισμούς. Ένα καλό υπόστρωμα μπορεί να είναι αδρανές ή χημικά ενεργό. Στην περίπτωση που το υπόστρωμα είναι χημικά ενεργό θα πρέπει να διαθέτει μεγάλη ανταλλακτική ικανότητα και κατάλληλο pH (Σάββας, 2003).

2.1.7. Διάκριση υποστρώματων

Τα υποστρώματα που χρησιμοποιούνται στην υδροπονία χωρίζονται, ανάλογα με τις ιδιότητες τους, τη χρήση τους και τις επιδράσεις τους σε δύο κατηγορίες, τα ανόργανα και τα οργανικά υλικά. Τα οργανικά υλικά περιλαμβάνουν συνθετικά υποστρώματα (όπως φαινολικές ρητίνες και πολυουρεθάνη) και φυσικά υποστρώματα (όπως τύρφη, καρύδα κοκοφοίνικα κ.α.). Τα υποστρώματα από ανόργανα υλικά μπορούν να ταξινομηθούν σαν μη επεξεργασμένα, προερχόμενα από φυσικές πηγές (άμμος, ελαφρόπετρα) και προϊόντα μεταποίησης (διογκωμένη άργιλος, περλίτης, βερμικουλίτης, πετροβάμβακας, υαλοβάμβακας). Σημαντικές ιδιότητες των υποστρώματων ανάπτυξης περιλαμβάνουν την χημική τους δραστηριότητα και το επιφανειακό τους ηλεκτρικό φορτίο το οποίο καθορίζει την ανταλλακτική τους ικανότητα και ιδιαίτερα την ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων (ΙΑΚ). Συνεπώς, τα υποστρώματα χαρακτηρίζονται ως ενεργά (π.χ. τύρφη) ή αδρανή (π.χ. άμμος και πετροβάμβακας) υλικά (Savvas and Passam, 2002).

2.1.8. Καλλιέργεια σε ελαφρόπετρα

Η ελαφρόπετρα είναι το κοινό όνομα του ορυκτού κιζιρίτης. Σε σύγκριση με άλλα πετρώματα, δεν φέρει συμπαγή υφή, αλλά εκτεταμένο πορώδες σε όλη της τη μάζα. Η ύπαρξη ενός τόσο εκτεταμένου πορώδους, καθιστά την ελαφρόπετρα ένα πέτρωμα με χαμηλό ειδικό βάρος. Σε αυτήν ακριβώς τη φυσική της ιδιότητα οφείλει και το όνομά της. Ο σχηματισμός των πόρων στην ελαφρόπετρα οφείλεται στη διαφυγή ηφαιστειακών αερίων μέσα από τη μάζα της κατά το χρόνο που ελάμβανε χώρα η ψύξη της λάβας. Είναι κοινή σε περιοχές με πλούσια ηφαιστειακή δραστηριότητα, όπως οι πορτογαλικές Αζόρες, τα ελληνικά νησιά, Ισλανδία, Ιαπωνία, Νέα Ζηλανδία, Ρωσία, Σικελία, Τουρκία και ΗΠΑ (Raviv, Wallach, Silber, Bar-Tal 2002).

Το πορώδες της προσφέρει άφθονους χώρους αέρα, οι οποίοι διατηρούν τις αερόβιες συνθήκες γύρω από τις ρίζες, ενώ το νερό περιέχεται μέσα στους πόρους. Η

επιφανειακή τάση γύρω από το εξωτερικό των σωματιδίων της ελαφρόπετρας αυξάνει την ικανότητα συγκράτησης νερού από το υπόστρωμα ανάπτυξης. Αυτό το πορώδες επιτρέπει την ελεύθερη αποστράγγιση ελαχιστοποιώντας έτσι τον κίνδυνο ασθενειών και σαπίσματος των ριζών.

Στην φύση, η ελαφρόπετρα συναντάται σε μορφή μεγάλων πλακών ή τεμαχίων. Για να χρησιμοποιηθεί για καλλιέργεια φυτών θα πρέπει να θρυμματίζεται σε λατομεία, σε μικρούς κόκκους, μεγέθους μέχρι 4 ή το πολύ μέχρι 8 mm. Αυτό όμως δεν αποτελεί πρόβλημα δεδομένου ότι η ελαφρόπετρα χρησιμοποιείται και ως οικοδομικό υλικό με αποτέλεσμα να υπάρχουν αρκετά λατομεία τα οποία την τεμαχίζουν σε μέγεθος ψηφίδας ή ακόμη και χονδρής άμμου.

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΛΑΦΡΟΠΕΤΡΑΣ - ΤΥΠΙΚΗ ΧΗΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Οξείδιο του Πυριτίου:	SiO ₂	71,91%
Οξείδιο του Αργιλίου:	Al ₂ O ₃	12,66%
Τριοξείδιο του Σιδήρου:	Fe ₂ O ₃	1,13%
Οξείδιο του Ασβεστίου:	CaO	1,46%
Οξείδιο του Μαγνησίου:	MgO	0,32%
Τριοξείδιο του θείου:	SO ₃	0,03%
Οξείδιο του Καλίου:	K ₂ O	4,30%
Οξείδιο του Νατρίου:	Na ₂ O	3,45%
Απώλεια Πυρώσεως:		4,53%
Απροσδιόριστα:		0,21%
Σύνολο:		100,00%

Πίνακας 1: Ποσοστά της χημικής σύστασης της Ελληνικής ελαφρόπετρας

Στην Ελλάδα υπάρχουν εκτεταμένα κοιτάσματα ελαφρόπετρας στα νησιά του Αιγαίου (Κυκλάδες, Δωδεκάνησα) από τα οποία τα σημαντικότερα βρίσκονται στην Νίσυρο. Ως εκ τούτου, η εξεύρεσή της είναι εύκολη σε ποσότητες που ξεπερνούν κατά πολύ την όποια ζήτηση αναμένεται να δημιουργηθεί για χρήση σε υδροπονικές

καλλιέργειες στη χώρα μας. Το μεγάλο πλεονέκτημα που έχει η ελαφρόπετρα είναι η πολύ χαμηλή τιμή της, η οποία είναι σημαντικά χαμηλότερη, ακόμη και από αυτή του περλίτη (2-3 φορές χαμηλότερη). Σε σύγκριση μάλιστα με το κόστος αγοράς διαφόρων εισαγομένων υποστρωμάτων (πετροβάμβακας, διογκωμένη άργιλλος, κ.λπ.) η δαπάνη αγοράς ελαφρόπετρας είναι θεαματικά μικρότερη.

Η ελαφρόπετρα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υπόστρωμα υδροπονίας είτε ως έχει είτε μετά από κοσκίνισμα (ώστε να απομακρυνθεί το κονιοποιημένο κλάσμα) είτε μετά από ξέπλυμα. Από τα μέχρι σήμερα δεδομένα που έχουν προκύψει, τόσο από την έρευνα όσο και από την καλλιεργητική τεχνική, φαίνεται ότι τόσο το κοσκίνισμα όσο και το ξέπλυμα δε βελτιώνουν την καλλιεργητική συμπεριφορά της ελαφρόπετρας ενώ αυξάνουν το κόστος εγκατάστασης της καλλιέργειας. Έχει διαπιστωθεί επίσης ότι το καταλληλότερο κοκκομετρικό κλάσμα ελαφρόπετρας για υδροπονικές καλλιέργειες είναι αυτό των 4-5 mm.



Ελαφρόπετρα 8-16mm



Ελαφρόπετρα 4-8mm

Εκτός από την χαμηλή τιμή και την πολύ καλή καλλιεργητική συμπεριφορά, η ελαφρόπετρα διαθέτει και ένα ακόμη πλεονέκτημα. Είναι ένα υλικό το οποίο μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί αρκετές φορές. Σε περίπτωση επαναχρησιμοποίησής της όμως, πριν την εγκατάσταση νέας καλλιέργειας, συνίσταται να απολυμαίνεται. Η ελαφρόπετρα μπορεί να απολυμανθεί εύκολα και αποτελεσματικά με ατμό (M. Abul Soud, E. Maloupa, U.A. Behairy 2003).

2.1.9. Καλλιέργεια σε σάκους

Σε πολλές καλλιέργειες, τα φυτά αναπτύσσονται σε πλαστικούς σάκους οι οποίοι βρίσκονται σε κανάλια υπεράνω του εδάφους. Το βασικό υλικό για την κατασκευή αυτών των υποδοχέων είναι το φύλλο πλαστικού πολυαιθυλενίου. Το χρώμα του είναι μαύρο στην εσωτερική πλευρά και λευκό (γαλακτώδες) στην εξωτερική πλευρά, έτσι ώστε να παρεμποδίζεται πλήρως η διέλευση φωτός στο εσωτερικό τους. Όταν χρησιμοποιείται μικρός αριθμός φυτών, οι σάκοι είναι συμπιεσμένοι με πλάτος 30-40 cm και το μήκος του κάθε σάκου ποικίλλει γύρω στο 1 με 1,5 m για 3 φυτά. Η διαμόρφωση κάθε σάκου γίνεται με τη συρραφή των δύο κατά μήκος άκρων των φύλλων του πλαστικού, αφού προηγουμένως τοποθετηθεί σ' αυτό το επιθυμητό υπόστρωμα (ελαφρόπετρα) (Σάββας 2009b).

Οι έτοιμοι σάκοι τοποθετούνται πάνω σε ειδικά διαμορφωμένα κανάλια, έχοντας κλίση 1,5% (έως και 3%), προκειμένου να διευκολύνεται η απορροή του αρδευτικού διαλύματος. Η άρδευση των φυτών στους σάκους γίνεται με σωλήνες πολυαιθυλενίου, μαύρου χρώματος συνήθως, διατομής Φ16 που περνούν από τους σάκους (ένας σταλάκτης / φυτό) ή με το σύστημα άρδευσης spaghetti.

Η στράγγιση των σάκων πραγματοποιείται δημιουργώντας τέσσερις ή έξι μικρές οπές (ανάλογα το μέγεθος του σάκου) στην κάτω επιφάνεια του κάθε σάκου, δηλαδή δύο οπές αντίστοιχα σε κάθε φυτό. Στην περίπτωση που προτιμάται να αποφευχθεί η πολύ συχνή άρδευση, τότε οι οπές στράγγισης γίνονται σε πλευρικές θέσεις του σάκου, περίπου δηλαδή να απέχουν 3-4 cm από το δάπεδο, έτσι ώστε να δημιουργείται μικρός αποθηκευτικός χώρος στο κάτω μέρος της επιφάνειας του σάκου, όπου εκεί θα συγκεντρώνεται μικρή ποσότητα θρεπτικού διαλύματος μετά από κάθε άρδευση και λίπανση. Αυτό εξυπηρετεί την κάλυψη των αναγκών των φυτών για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, με τριχοειδή αναρρόφηση.

2.1.10. Ποιότητα νερού

Σε όλα τα συστήματα καλλιέργειας εκτός εδάφους απαιτείται μεγάλη ποσότητα καθαρού νερού. Στις περισσότερες περιπτώσεις το νερό που χρησιμοποιείται στη γεωργία, περιέχει ουσίες και στοιχεία που μπορούν να επηρεάσουν την ανάπτυξη των φυτών (θετικά ή αρνητικά). Για παράδειγμα το βρόχινο νερό που συλλέγεται από το θερμοκήπιο μπορεί να περιέχει τόσο οργανικές όσο και ανόργανες ουσίες. Πολλά μέρη στον κόσμο αντιμετωπίζουν προβλήματα έλλειψης νερού ή χαμηλής ποιότητας εξαιτίας μόλυνσης από οργανικές ή ανόργανες ουσίες. Έτσι είναι απαραίτητη η χημική ανάλυση του νερού πριν γίνει η εγκατάσταση της καλλιέργειας (Benton, 2005)..

Σε περιοχές που το νερό λαμβάνεται από φυσικές πηγές, μπορεί να περιέχει σημαντικές συγκεντρώσεις από σημαντικά στοιχεία θρέψης όπως Ca και Mg. Όταν το νερό προέρχεται από ασβεστόλιθο είναι συνηθισμένο να περιέχει υψηλές συγκεντρώσεις Ca και Mg, περίπου 100 και 30 mg/L (ppm). Επίσης σε παράκτιες περιοχές λόγω της υπεράντλησης των υδάτων, παρουσιάζονται προβλήματα αλατότητας με αυξημένες ποσότητες Na, Cl⁻ και ανιόντων διττανθρακικού, όξινο ανθρακικού, θεικού. Ενώ και το βόριο συναντάται σε επαρκείς συγκεντρώσεις σε κάποιες περιπτώσεις. Επίσης η παρουσία σουλφιδίων κυρίως με το σίδηρο, δίνουν μια χαρακτηριστική οσμή στο νερό (Benton, 2005)..

Οι επιθυμητές αναλύσεις στο νερό προτάθηκαν από τους Verwer και Wellman (1980) ενώ οι Farnhand et al. (1985) θέσπισαν τα κριτήρια της καταλληλότητας του νερού με βάση την αλατότητα, μετρώντας την ηλεκτρική αγωγιμότητα. Στον πίνακα 1 δίνονται πληροφορίες για την καταλληλότητα του νερού για υδροπονική χρήση.

Επιφανειακά νερά ή από λίμνες μπορεί να περιέχουν παθογόνους οργανισμούς ή φύκια τα οποία μπορούν να δημιουργήσουν προβλήματα, καθώς έχουν πολύ καλή ανάπτυξη σε υδροπονικά συστήματα. Είναι σημαντικό το φιλτράρισμα και γενικότερα η απολύμανση του νερού ώστε να μην εισέρχονται ανεπιθύμητοι οργανισμοί στην καλλιέργεια. Με το φιλτράρισμα απομακρύνονται τα αιωρούμενα σωματίδια από το θρεπτικό διάλυμα. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση κλινών άμμου ή φίλτρα μικρών πόρων (Benton, 2005).. Επίσης υπάρχουν εξελιγμένα συστήματα που απομακρύνουν ιόντα μέσω ανταλλαγής ιόντων ή αντίστροφης όσμωσης (Anon.,

1997). Οργανικές ουσίες, όπως φυτοφάρμακα και ζιζανιοκτόνα μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά την ανάπτυξη των φυτών εάν βρίσκονται ακόμα και σε μικρές συγκεντρώσεις.

Γενικότερα οι όποιες ενέργειες γίνονται για τη βελτίωση της ποιότητας του νερού θα πρέπει να προστίθενται στο συνολικό κόστος λειτουργίας του υδροπονικού συστήματος. Οι χημικές αναλύσεις είναι απαραίτητες για την εξέταση των συγκεντρώσεων όλων των στοιχείων, ώστε να προσαρμοστεί στο θρεπτικό διάλυμα στις ανάγκες του φυτού.

Το pH του νερού μπορεί να παρουσιάζει μεγάλη απόκλιση στις μετρήσεις για μια συγκεκριμένη περιοχή και είναι δύσκολος ο προσδιορισμός του αν περιέχει πολλά ιόντα. Στο αποσταγμένο νερό το pH δεν είναι εύκολο να μετρηθεί καθώς αν είναι εκτεθειμένο στον αέρα, το pH του επηρεάζεται από την απορρόφηση CO₂. Η αναλογία κατιόντων προς ανιόντα, το είδος των ανιόντων και η συγκέντρωσή τους καθορίζουν τις τιμές τους. Ένα κορεσμένο διάλυμα σε CaSO₄ θα είναι όξινο επειδή είναι άλας μεταξύ ενός ισχυρού οξέος και μιας ισχυρής βάσης. Ένα διάλυμα με NaCl θα είναι κοντά σε ουδέτερο pH επειδή είναι άλας μεταξύ ενός ισχυρού οξέος και μιας ισχυρής βάσης. Νερό με μίγμα από ιόντα μπορεί να έχει μεγάλες διακυμάνσεις στο pH. Επίσης η ποσότητα του διαλυμένου CO₂ παίζει σημαντικό ρόλο, καθώς είναι μειωμένο σε νερό με μεγάλη περιεκτικότητα σε ιόντα (Benton, 2005).

2.1.11. Θρεπτικό διάλυμα καλλιεργειών εκτός εδάφους

Η λίπανση αποτελεί μια από τις σημαντικότερες καλλιεργητικές φροντίδες από μέρους των παραγωγών για την ανάπτυξη των φυτών και την ποιοτική και ποσοτική βελτίωση των αποδόσεων τους. Το πρόβλημα της λίπανσης σήμερα επικεντρώνεται στον προσδιορισμό των απαιτούμενων ποσοτήτων των θρεπτικών στοιχείων που πρέπει να προστεθούν για την κάλυψη των αναγκών των φυτών, αλλά και στην προστασία του περιβάλλοντος κυρίως σε ανοικτά συστήματα και το εισόδημα του παραγωγού (Τσαπικούνης, 1997).

Στις υδροπονικές καλλιέργειες εφαρμόζονται δυο τύποι κυκλοφορίας του θρεπτικού διαλύματος. Ο ένας περιλαμβάνει τα ανοικτά συστήματα στα οποία το θρεπτικό διάλυμα χρησιμοποιείται μια μόνο φορά, ακολουθεί μονόδρομη πορεία και

η περίσσεια του θρεπτικού διαλύματος καταλήγει στο έδαφος. Συναντάται περισσότερο σε καλλιέργειες που αναπτύσσονται σε υποστρώματα. Στο δεύτερο τύπο το διάλυμα επαναχρησιμοποιείται αφού συμπληρωθεί και απολυμανθεί, είναι τα λεγόμενα κλειστού τύπου υδροπονικά συστήματα, τα οποία έχουν και μεγαλύτερο κόστος εγκατάστασης. Σε όλα τα συστήματα, η διαχείριση και η παρασκευή του θρεπτικού διαλύματος θα πρέπει να γίνεται με μεγάλη προσοχή. Οι συγκεντρώσεις των στοιχείων μεταβάλλονται ανάλογα με το στάδιο ανάπτυξης, την παραγωγή και τις περιβαλλοντικές συνθήκες.

2.1.12. Χαρακτηριστικά θρεπτικού διαλύματος

Η ποιότητα του θρεπτικού διαλύματος εκτός βέβαια από την περιεκτικότητα στα επιμέρους θρεπτικά στοιχεία, εξαρτάται από το pH και την ηλεκτρική αγωγιμότητά του (E.C.). Το pH είναι μέτρο της συγκέντρωσης ιόντων υδρογόνου (H⁺) στο διάλυμα και η τιμή του επηρεάζει καθοριστικά την διαλυτότητα και συνεπώς την διαθεσιμότητα των περισσοτέρων ιόντων θρεπτικών στοιχείων στην καλλιέργεια. Αντίστοιχα, η ηλεκτρική αγωγιμότητα αποτελεί μέτρο της συνολικής συγκέντρωσης αλάτων στο διάλυμα και χρησιμοποιείται για την εκτίμηση του βαθμού επάρκειας θρεπτικών στοιχείων σε αυτό. Τα δύο αυτά μεγέθη χρησιμοποιούνται ευρύτατα για τον καθημερινό έλεγχο της ποιότητας του διαλύματος χάρις στην δυνατότητα που υπάρχει να μετρώνται εύκολα και γρήγορα με απλά φορητά όργανα.

Τα βασικά χαρακτηριστικά του θρεπτικού διαλύματος σύμφωνα με τον Faulkner (1998) είναι:

- Εφαρμογή μιας σωστής ισορροπημένης λίπανσης στην περιοχή της ρίζας.
- Ρύθμιση του pH ώστε να επιτυγχάνονται ευνοϊκότερες συνθήκες στη ρίζα για την απορρόφηση θρεπτικών στοιχείων.
- Ο έλεγχος των ιόντων ώστε να μην υπάρχουν σε ποσότητες που καθίστανται τοξικές για τα φυτά ή επηρεάζουν τις ποσότητες άλλων ιόντων.
- Η συνολική συγκέντρωση των αλάτων στο θρεπτικό διάλυμα να κυμαίνεται μεταξύ 1500 ppm και 4000 ppm.

➤ Εξασφάλιση καλού αερισμού (O₂) των ριζών και διατήρηση της θερμοκρασίας σε τιμές 18-24 ο C στην περιοχή των ριζών.

➤ Σωστή οξυγόνωση των ριζών.

2.1.13. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα του θρεπτικού διαλύματος

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα (Electrical Conductivity - E.C.) σαν φυσικό μέγεθος είναι το αντίστροφο της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης ενός υλικού, έχει δηλαδή διαστάσεις ηλεκτρικής αντίστασης ανά μονάδα μήκους. Στην πραγματικότητα πρόκειται για την ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα για συντομία όμως ονομάζεται απλώς ηλεκτρική αγωγιμότητα. Στην περίπτωση των ηλεκτρολυτικών διαλυμάτων εκφράζει την ικανότητα ενός διαλύματος ευρισκομένου εντός κύβου πλευράς μήκους ενός μέτρου να άγει το ηλεκτρικό ρεύμα, αν αυτό μέσω δύο ηλεκτροδίων τεθεί υπό διαφορά δυναμικού.

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα ενός υδατικού διαλύματος σε μία συγκεκριμένη θερμοκρασία είναι ανάλογη της συγκέντρωσης των ιόντων που βρίσκονται διαλυμένα σε αυτό. Έτσι στην περίπτωση των νερών άρδευσης και των θρεπτικών διαλυμάτων είναι μέτρο της περιεκτικότητάς τους σε θρεπτικά στοιχεία και άλλα ανόργανα άλατα. Βέβαια η ηλεκτρική αγωγιμότητα δε μας δίνει καμία πληροφορία για το είδος των αλάτων, που είναι διαλυμένα σε ένα διάλυμα αλλά μόνο για την συνολική τους συγκέντρωση. Όταν επικρατεί ζεστός καιρός και ηλιοφάνεια και γενικά συνθήκες που ευνοούν υψηλούς ρυθμούς διαπνοής οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας θα πρέπει να τείνουν προς τα κατώτερα όρια, ενώ σε συνθήκες χαμηλών ρυθμών διαπνοής ενδείκνυται τιμές κοντά στα ανώτερα όρια που συνιστώνται για το συγκεκριμένο φυτό και στάδιο καλλιέργειας.

2.1.14. Το pH του θρεπτικού διαλύματος

Το pH του θρεπτικού διαλύματος που αποτελεί μέτρο της περιεκτικότητάς του σε ιόντα υδρογόνου, δηλαδή της ενεργού οξύτητάς του, είναι καθοριστικής σημασίας κριτήριο για την καταλληλότητα του θρεπτικού διαλύματος. Όταν το pH είναι ψηλότερο ή χαμηλότερο από κάποιες τιμές που θεωρούνται ως ανώτερα ή κατώτερα

επιθυμητά όρια, πολλά θρεπτικά στοιχεία που είναι ευδιάλυτα μέσα σε ένα σχετικά στενό εύρος τιμών pH παύουν να είναι διαθέσιμα για τα φυτά, ενώ άλλα απορροφώνται ταχύτερα από ότι συνήθως, γιατί αυξάνεται η διαλυτότητα τους. Οι παραπάνω καταστάσεις έχουν σαν αποτέλεσμα την εμφάνιση διαταραχών στη θρέψη των φυτών όπως τροφopenίες και τοξικότητες. Αυτό είναι αποτέλεσμα της αδυναμίας απορρόφησης νερού και θρεπτικών στοιχείων από τις ρίζες και έτσι δεν καλύπτονται οι ανάγκες των φυτών.

2.1.15. Θερμοκρασία θρεπτικού διαλύματος

Γενικά η θερμοκρασία του θρεπτικού διαλύματος δεν πρέπει να είναι χαμηλότερη από τη θερμοκρασία του αέρα, ιδιαίτερα σε συστήματα όπου η ρίζα του φυτού εκτίθεται στο θρεπτικό διάλυμα. Σε ζεστές ημέρες αν η θερμοκρασία στις ρίζες είναι χαμηλότερη, προκαλεί καταπόνηση και μαρασμό των φυτών. Η συνεχόμενη έκθεση σε αυτές τις θερμοκρασίες, παρουσιάζει προβλήματα στην απόδοση και την παραγωγή, καθώς παρουσιάζουν μειωμένη καρπόδεση και αργή ωρίμανση. Έτσι είναι απαραίτητη η θέρμανση του θρεπτικού διαλύματος για να αποφευχθούν συνθήκες στρες (Benton, 2005). Επιπλέον αν η θέρμανση αυξήσει τις θερμοκρασίες περισσότερο από την ατμοσφαιρική θερμοκρασία μπορεί να έχει αρνητικά αποτελέσματα στην καλλιέργεια. Οι Tindall et al. (1990) διαπίστωσαν ότι υδροπονική καλλιέργεια τομάτας, με 21 ο C στο χώρο του θερμοκηπίου και 26,7 ο C θερμοκρασία διαλύματος, σημείωσε τη μέγιστη απορρόφηση θρεπτικών στοιχείων και τη μέγιστη ανάπτυξη ρίζας και βλαστών.

2.1.16. Διαδικασία παρασκευής του θρεπτικού διαλύματος

Όταν μία καλλιέργεια φυτών τροφοδοτείται για ένα σχετικά μεγάλο χρονικό διάστημα με θρεπτικό διάλυμα, οι ποσότητες που θα χρειαστεί να καταναλωθούν μπορεί να είναι σχετικά μεγάλες. Στην περίπτωση αυτή, για να αποφευχθεί η συχνή παρασκευή θρεπτικού διαλύματος, παρασκευάζονται πυκνά διαλύματα τα οποία είναι 100-200 ή και περισσότερες φορές πυκνότερα από το θρεπτικό διάλυμα με το οποίο θα τροφοδοτηθούν τα φυτά. Τα πυκνά αυτά διαλύματα (γνωστά και ως μητρικά

διαλύματα) στη συνέχεια αραιώνονται σε μία καθορισμένη αναλογία με το νερό άρδευσης, οπότε τελικά προκύπτει το κανονικό διάλυμα με το οποίο τροφοδοτούνται τα φυτά. Πρέπει απαραίτητα να χρησιμοποιούνται διαφορετικά δοχεία πυκνών διαλυμάτων, γιατί το νιτρικό ασβέστιο δεν μπορεί να τοποθετηθεί στο ίδιο δοχείο με φωσφορικά και θειικά λιπάσματα σε τόσο μεγάλες συγκεντρώσεις. Κάτι τέτοιο θα είχε σαν συνέπεια την κατακρήμνιση $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ και CaSO_4 , λόγω της χαμηλής διαλυτότητας που έχουν αυτά τα δύο άλατα. Συνήθως χρησιμοποιείται και βαρέλι μητρικού διαλύματος, στο οποίο τοποθετείται αποκλειστικά και μόνο οξύ (κατά κανόνα HNO_3), για τον έλεγχο του pH του διαλύματος. Τα δοχεία των πυκνών διαλυμάτων συνδέονται με ένα σύστημα μίξης, το οποίο αραιώνει (συνήθως στην ίδια αναλογία) τα πυκνά διαλύματα με νερό. Η αναλογία αραιώσεως είναι τόση, όσες φορές πιο πυκνά έχουν παρασκευασθεί τα μητρικά διαλύματα αναφορικά με το αραιό διάλυμα, με το οποίο θα τροφοδοτηθούν τα φυτά. Το αραιό διάλυμα που προκύπτει οδηγείται στον χώρο ανάπτυξης των φυτών με την βοήθεια μιας αντλίας. Στη συνέχεια διοχετεύεται η απαιτούμενη κάθε φορά ποσότητα οξέως στο αραιό διάλυμα ώστε το pH να συγκρατείται μεταξύ 5,5 και 6,0 (Σάββας, 2005).

2.1.17. Κατάρτιση σύνθεσης θρεπτικών διαλυμάτων

Η σύνθεση των θρεπτικών διαλυμάτων διαφοροποιείται ανάλογα με το ύψος των συγκεντρώσεων των επιμέρους θρεπτικών στοιχείων αφενός και με τις αναλογίες μεταξύ των συγκεντρώσεων αυτών αφετέρου. Η διαφοροποίηση της σύνθεσης είναι αναγκαία δεδομένου ότι οι ανάγκες των διαφόρων φυτικών ειδών σε θρεπτικά στοιχεία διαφέρουν, ενώ παράλληλα ακόμη και το ίδιο φυτό έχει διαφορετικές απαιτήσεις σε θρεπτικά στοιχεία ανάλογα με το στάδιο ανάπτυξης του καθώς και άλλους εξωγενείς παράγοντες (κλιματικές συνθήκες, κ.λπ.).

Οι συνθέσεις θρεπτικών διαλυμάτων που προτείνονται σε διάφορες βιβλιογραφικές πηγές μπορούν να χρησιμοποιηθούν αυτούσιες κατά τον υπολογισμό των απαιτούμενων ποσοτήτων λιπασμάτων μόνο στην περίπτωση που το νερό που χρησιμοποιείται είναι απιονισμένο ή βρόχινο με μηδενική πρακτικά συγκέντρωση αλάτων. Όταν όμως το νερό που χρησιμοποιείται για την παρασκευή θρεπτικών διαλυμάτων προέρχεται από γεωτρήσεις, φράγματα ή φυσικές πηγές, είναι σίγουρο

ότι περιέχει σημαντικές ποσότητες ανόργανων ιόντων. Γι αυτό, από τις ποσότητες λιπασμάτων που θα έπρεπε να προστεθούν σε αποσταγμένο νερό για να προκύψει θρεπτικό διάλυμα μιας δεδομένης σύστασης θα πρέπει να αφαιρούνται οι ποσότητες των θρεπτικών στοιχείων που περιέχονται στο χρησιμοποιούμενο νερό. Όπως είναι γνωστό, σε όλα τα υδατικά διαλύματα ισχύει η αρχή της ηλεκτρικής ουδετερότητας (το σύνολο των θετικών φορτίων ισούται με το σύνολο των αρνητικών φορτίων των ιόντων). Επομένως, κάθε προτεινόμενη σύνθεση θρεπτικού διαλύματος για να είναι εφαρμόσιμη θα πρέπει να είναι ισοσκελισμένη ως προς τις συγκεντρώσεις ανιόντων και κατιόντων που δίνονται. Οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων στα θρεπτικά διαλύματα δεν παίζουν πρακτικά κανένα ρόλο στο ύψος της συνολικής συγκέντρωσης αλάτων σ' αυτά, γιατί, είναι αμελητέες σε σύγκριση με αυτές των μακροστοιχείων (η συνολική συγκέντρωση ιχνοστοιχείων είναι περίπου το 1/500 αυτής των μακροστοιχείων). Γι αυτό κατά τον καθορισμό της σύνθεσης ενός θρεπτικού διαλύματος οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων καθορίζονται ανεξάρτητα από αυτές των μακροστοιχείων (Σάββας, 2005).

Συνοπτικά, σύμφωνα με τον Benton (2005) οι συγκεντρώσεις των στοιχείων μπορούν να μεταβληθούν με βάση:

- Το στάδιο ανάπτυξης των φυτών (βλαστικό στάδιο, στάδιο καρποφορίας).
- Τις περιβαλλοντικές συνθήκες.
- Τη συχνότητα εφαρμογής με βάση τις ανάγκες της καλλιέργειας.
- Αλλαγή των συνθηκών στρες των φυτών.
- Αλλαγές στο pH στην περιοχή της ρίζας.
- Την ανάγκη του φυτού να διαφοροποιεί τις συνθήκες θρέψης του.
- Την ανάγκη να μεταβληθεί η διατροφική κατάσταση του φυτού εξαιτίας των περιβαλλοντικών αλλαγών.

Για τον καθορισμό της σύνθεσης ενός θρεπτικού διαλύματος έχουν αναπτυχθεί ειδικά προγράμματα H/Y για τον υπολογισμό των ποσοτήτων λιπασμάτων που απαιτούνται για την παρασκευή ενός συγκεκριμένου θρεπτικού διαλύματος. Ένα τέτοιο πρόγραμμα μαζί με οδηγίες χρήσης δίνεται στην ιστοσελίδα του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών (<http://www.ekk.aua.gr/excel/index.htm>). Το μαθηματικό πρότυπο πάνω στο οποίο στηρίζονται οι υπολογισμοί με το προαναφερόμενο πρό-

γραμμα H/Y έχει περιγραφεί από τους Savvas and Adamidis (1999) και Savvas (2001).

2.1.18. Φυτοπροστασία σε συστήματα καλλιέργειας εκτός εδάφους

Στο παρελθόν υπήρχε η εσφαλμένη αντίληψη ότι με την αλλαγή από καλλιέργεια στο έδαφος σε καλλιέργεια εκτός εδάφους, ήταν δυνατό να περιοριστούν κάποιες ασθένειες. Δυστυχώς οι περισσότερες ασθένειες του ριζικού συστήματος συναντώνται και στις υδροπονικές καλλιέργειες. Λόγω της απουσίας βιολογικών ανταγωνιστών στα υποστρώματα και στα καθαρά υδροπονικά συστήματα, τα παθογόνα τα οποία εισέρχονται στο σύστημα δεν βρίσκουν καμία αντίδραση και επομένως η εγκατάσταση, ο πολλαπλασιασμός και η διάδοσή τους γίνεται με μεγάλη ταχύτητα. Το πρόβλημα μπορεί να γίνει μεγαλύτερο σε σχέση με την καλλιέργεια στο έδαφος, καθώς στα κλειστά συστήματα το διάλυμα επανακυκλοφορεί και η προσβολή μπορεί να εξαπλωθεί γρήγορα σε όλο το κανάλι. Ασθένειες που οφείλονται σε ιούς, μύκητες και βακτήρια μεταδίδονται πολύ εύκολα και οφείλονται είτε με τη μεταφύτευση μολυσμένων φυτών, είτε με την απελευθέρωση παθογόνων στο θρεπτικό διάλυμα.

Χημικά σκευάσματα δεν εφαρμόζονται καθώς σε περίπτωση επαφής τους με τις ρίζες και το θρεπτικό διάλυμα μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα φυτοτοξιοτήτας, τα οποία δεν συναντώνται σε καλλιέργεια εδάφους. Βιολογικά φίλτρα έχουν σχεδιαστεί για την απομάκρυνση των παθογόνων σε διαλύματα που ανακυκλώνονται, εφαρμόζοντας διήθηση και έκθεσή τους σε δυσμενής συνθήκες για την επιβίωσή τους. Αυτές περιλαμβάνουν ανταγωνιστική μικροχλωρίδα μέσα στο κλειστό υδροπονικό σύστημα ή με διαλυμένο οξυγόνο στο μήκος των καναλιών (Raviv and Lieth, 2008). Οι Kramer et al (2002) χρησιμοποίησαν ένα κλασικό φίλτρο άμμου με για τον καθαρισμό του διαλύματος με αργή διήθηση και ταχύτητα 0,2 mm/h. Με τη διήθηση είναι δυνατή η απομάκρυνση αδιάλυτων σωματιδίων που προκύπτουν κατά την ανάμειξη των λιπασμάτων. Άλλες τεχνικές είναι η χρήση όζοντος, το ενεργό υπεροξείδιο του υδρογόνου, η εφαρμογή υπεριώδους ακτινοβολίας και η παστερίωση με θέρμανση (Σάββας, 2012).

Σε περιπτώσεις που χρησιμοποιούνται υποστρώματα, εφαρμόζονται κάποιες τεχνικές για την επαναχρησιμοποίηση τους. Για παράδειγμα οι Van Assche Vangheed (1994) εξέτασαν την προσθήκη χημικών οξέων ή ανταγωνιστικών βακτηρίων, που μπορεί να περιορίσει η δράση των παθογόνων. Εφαρμογή ζεστού νερού ή ατμού (100-110 °C για 10 min) εντός των υποστρωμάτων στο τέλος της κάθε καλλιέργειας.

2.2. Η ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΤΟΥ ΦΑΣΟΛΙΟΥ

2.2.1. Περιγραφή του φυτού

Το φασόλι (*Phaseolus vulgaris* L.) είναι ένα ποώδες, ετήσιο εαρινό ψυχανθές φυτό της βοτανικής οικογένειας Leguminosae και της υποοικογένειας Papilionoideae, Papilionatae. Τα ψυχανθή είναι φυτά της οικογένειας των δικοτυλήδων, της τάξης των χεδρωπών. Ονομάστηκαν "ψυχανθή", γιατί το άνθος τους μοιάζει με πεταλούδα ("ψυχή"). Αποτελούνται από πάρα πολλά είδη, που φυτρώνουν σ' όλα σχεδόν τα μέρη του κόσμου. Μπορούν να έχουν τη μορφή μικρών ποωδών θάμνων κι ακόμα και δέντρων. Έχουν διάρκεια ζωής από ένα χρόνο ως τρία. Τα ψυχανθή είναι από τα πιο χρήσιμα στον άνθρωπο φυτά. Η χρησιμότητά τους είναι πολλαπλή. Πάνω από όλα είναι από τις πιο θρεπτικές τροφές και για τον ίδιο και για τα ζώα. Έχουν περισσότερο λεύκωμα από όσο τα σιτηρά και πιο πολλές θερμίδες (1 κ. όσπρια περίπου 2.660 θ.), περιέχουν σίδηρο, αλκαλικές βάσεις αναγκαίες για τον οργανισμό. Παράλληλα είναι και από τα πιο φτηνά, από οικονομική άποψη, προϊόντα γιατί η καλλιέργειά τους είναι εύκολη. Σαν ζωοτροφή, είναι εξίσου θρεπτική. Τα ζώα που τρέφονται με ψυχανθή, παράγουν καλύτερης ποιότητας γάλα και κρέας.

Λόγω του ότι τα ψυχανθή έχουν την ιδιότητα ν' αποθηκεύουν στις ρίζες τους άζωτο, χρησιμοποιούνται συχνά σαν λιπαντικό του εδάφους. Από τα ψυχανθή, που ο άνθρωπος καλλιεργεί για δική του τροφή, είναι: τα κουκιά, τα φασόλια, η φακή, τα ρεβίθια, τα μπιζέλια, η σόγια και η φάβα.

Τέλος τα ψυχανθή χρησιμοποιούνται και σε: φαρμακευτική, βιομηχανίες υφαντουργίας, χρωστικών ουσιών, ανθοκομία, ξυλουργική ακόμα και ως καλλωπιστικά διακοσμητικά φυτά.

2.2.2. Βοτανικά χαρακτηριστικά

2.2.2.1. Βλαστός

Οι ποικιλίες φασολιών ανάλογα με το μήκος του βλαστού χωρίζονται σε: α) νάνες, β) αναρριχώμενες, γ) ημιαναρριχώμενες. Στις νάνες ποικιλίες οι βλαστοί είναι πώδεις, όρθιας αναπτύξεως, κυλινδρικού σχήματος και ισχυρώς διακλαδιζόμενοι. Η επιμήκυνση του βλαστού σταματάει με το σχηματισμό της κορυφαίας ταξιανθίας. Το ύψος τους είναι 30-60 cm και είναι αυτοστήρικτα λόγω του σκληρού κεντρικού βλαστού.



Εικόνα 1: Απεικόνιση του φυτού φασολιού, με τον λοβό και άνθη

Στα φυτά των αναρριχώμενων ποικιλιών, ο βλαστός είναι λεπτότερος και σπάνια διακλαδίζεται. Τα μεσογονάτια διαστήματα είναι μεγάλα, δεν καταλήγει σε ταξιανθία αλλά συνεχίζει την ανάπτυξή του μέχρι τα 2-3 m. Στα κατώτερα γόνατα του κεντρικού βλαστού, μπορεί να σχηματισθούν μερικοί πλάγιοι βλαστοί.

Στα φυτά των ημιαναρριχώμενων ποικιλιών, ο βλαστός είναι μέσου μήκους και σχηματίζουν μερικούς βλαστούς. Επίσης, μπορούμε να πούμε ότι οι αναρριχώμενες ποικιλίες αναπτύσσονται με μικρότερη ταχύτητα ως προς τις νάνες.

2.2.2.2. Ρίζα

Τα περισσότερα ψυχανθή έχουν ισχυρό πασσαλώδες ριζικό σύστημα από το οποίο αναπτύσσονται πλάγιες διακλαδώσεις. Το βάθος του εδάφους στο οποίο εισχωρεί το ριζικό σύστημα εξαρτάται από τη μηχανική σύσταση και την υγρασία του. Στα ξηρότερα εδάφη η κύρια ρίζα εισχωρεί βαθύτερα. Στις ρίζες αποθηκεύονται υδατάνθρακες, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την αναβλάστηση των φυτών κατά την άνοιξη και μετά την απομάκρυνση της υπέργειας φυτομάζας λόγω κοπής ή βόσκησης. Στις ρίζες των ψυχανθών σχηματίζονται χαρακτηριστικές εξογκώσεις, τα φυμάτια, που είναι αποτέλεσμα της συμβίωσης των ψυχανθών με αζωτοδεσμευτικά βακτήρια (Παπακώστα-Τασοπούλου, 2005).



Εικόνα 2: Πασσαλώδες ριζικό σύστημα με ανεπτυγμένες πλάγιες διακλαδώσεις

2.2.2.3. Άνθη

Εμφανίζονται σε μασχαλιαίες ταξιανθίες που φέρουν 6-8 άνθη. Φέρουν κάλυκα πενταμερή, πενταμερή στεφάνη, 10 στήμονες και απλό ύπερο. Η τρόπιδα είναι ανεστραμμένη. Το χρώμα της στεφάνης ποικίλει από λευκό ως ρόδινο, ιώδες ή κίτρινο, αναλόγως ποικιλίας. Το άνοιγμα των ανθέων γίνεται συνήθως νωρίς το πρωί και αργά το απόγευμα. Σχεδόν πάντοτε γίνεται αυτογονιμοποίηση, εκτός ελάχιστων περιπτώσεων (2%), όπου γίνεται σταυρογονιμοποίηση με έντομα όταν το στίγμα είναι

εκτεθειμένο, (δηλ. δεν καλύπτεται από τη στεφάνη), κάτι που συμβαίνει κυρίως όταν οι θερμοκρασίες κατά την άνθηση είναι υψηλές.



Εικόνα 3: Ταξιανθία με ένα άνθος ανεπτυγμένο

2.2.2.4. Καρπός

Ο καρπός είναι λοβός, μήκους 8-20 cm και πλάτους 0,6-2,0 cm, με διατομή κυλινδρική ή πλατιά. Το χρώμα είναι από πράσινο διαφόρων αποχρώσεων ως κίτρινο. Έχει 4-9 σπόρους, όμως σπάνια περικλείει περισσότερους από 5 σπόρους. Ο σπόρος ποικίλλει σε μέγεθος, σχήμα και χρωματισμό περιβλήματος και αριθμό ανά λοβό.

2.2.2.5. Ποικιλίες φασολιών

Υπάρχει μεγάλος αριθμός ποικιλιών φασολιού που κατατάσσονται σε ομάδες, ανάλογα με τον τύπο βλαστικής ανάπτυξης, τα χαρακτηριστικά του λοβού και του σπόρου, καθώς και τον τρόπο κατανάλωσης.

Η βιομηχανία κατάψυξης προτιμά ποικιλίες νάνες, με πράσινο, ελλειπτικό ή στρογγυλής διατομής λοβό, χωρίς ίνες. Για κονσερβοποίηση, προτιμούνται ποικιλίες με λευκούς ή ανοιχτόχρωμους σπόρους, γιατί το επεξεργασμένο προϊόν έχει ελκυστικό χρώμα και επιπλέον, γιατί δε χρωματίζεται η υγρή φάση στην κονσέρβα από τις χρωστικές ουσίες των έγχρωμων σπόρων. Οι ποικιλίες φασολιάς που καλλιεργούνται για τους ξηρούς σπόρους είναι νάνες ή αναρριχώμενες, με σπόρους

που ποικίλλουν σε μέγεθος και χρώμα. Οι πιο αντιπροσωπευτικές ποικιλίες είναι: Cannelino, γίγαντας, φασόλι Πρεσπών μεγαλόσπερμα πλακέ φασόλια Πρεσπών, έγχρωμος γίγαντας φασόλι Πρεσπών, μαυρομάτικο. Στην Ελλάδα καλλιεργούνται και ποικιλίες *Phaseolus coccineus* που είναι αναρριχώμενες και παράγουν σπόρους λευκούς, μεγάλου μεγέθους (γίγαντες, ελέφαντες) που καταναλώνονται ξηροί.

Όσον αφορά τις ποικιλίες που καλλιεργούνται για νωπό φασόλι (φασολάκι) στην Ελλάδα, χρησιμοποιούνται αρκετοί γενότυποι που εισάγονται από το εξωτερικό και καλλιεργούνται κυρίως για τη βιομηχανία. Όμως, σε αρκετά μεγάλη κλίμακα, καλλιεργούνται για την αγορά νωπής κατανάλωσης και τοπικές παραδοσιακές ποικιλίες, όπως τα μπαμπούνια (νάνα και αναρριχώμενα), τα καναρίνια (αναρριχώμενα), οι αισέδες κ.λπ. Οι πιο αντιπροσωπευτικές ποικιλίες είναι: Kentucky, Wonder (Στενός Λοβός), Ζαργάνα Χρυσούπολης (Ενδιάμεσος Λοβός), Borloto L.D. F.2 (Πλατύς Λοβός), Καναρίνι Meraviglia (Πλατύς Λοβός), Contender.

Η τελευταία ποικιλία είναι πρώιμο νάνο φασόλι με στρογγυλή διατομή. Τα φυτά είναι ορθόκλαδα ανθεκτικά στους χειρισμούς της συγκομιδής. Οι λοβοί έχουν μήκος 16 cm και πλάτος 12 mm. Το χρώμα τους είναι βαθύ πράσινο. Περιέχουν 6 σπόρους και είναι τελείως άνευρα. Παραγωγική ποικιλία με ικανοποιητική περίοδο συγκομιδής. Στο συγκεκριμένο πείραμα χρησιμοποιήθηκε μεσοπρώιμη ποικιλία αναρριχώμενου φασολιού Helder ολλανδικής προέλευσης.

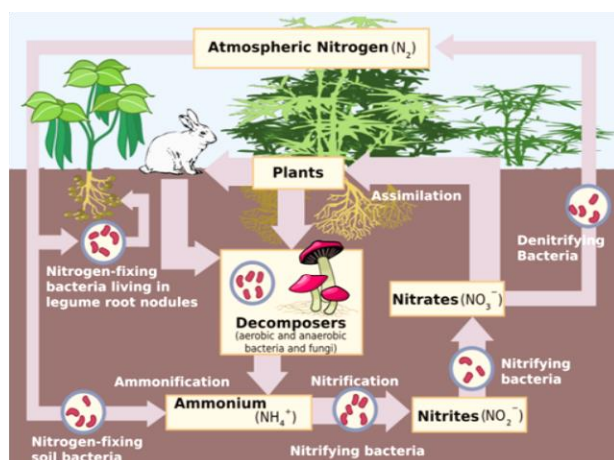


Εικόνα 4: Φυτό αναρριχώμενου φασολιού ποικιλίας Helde

2.3. Ο ΚΥΚΛΟΣ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ

Η γνώση και κατανόηση του κύκλου του αζώτου στα καλλιεργητικά συστήματα είναι πολύ σημαντική, τόσο για τη μέγιστη αξιοποίηση των αποθεμάτων του εδαφικού N (φυσικών ή πρόσθετων), όσο και για την εκτίμηση της απόκρισης του κύκλου του N στις διαταραχές που υφίσταται από τις ανθρωπογενείς παρεμβάσεις. Το Αζωτο βρίσκεται στο περιβάλλον σε μία ευρεία ποικιλία χημικών μορφών συμπεριλαμβανομένων του οργανικού αζώτου, αμμωνιακού (NH_4^+), νιτρώδους (NO_2^-), νιτρικού (NO_3^-), το υποξείδιο του αζώτου (N_2O), νιτρικού οξειδίου (NO) ή με τη μορφή ανόργανου αερίου αζώτου (N_2). Αρκετές από τις διεργασίες μετατροπής του αζώτου εκτελούνται από μικρόβια, είτε στην προσπάθειά τους να συγκομίσουν ενέργεια ή είτε συσσωρεύοντας άζωτο σε μία μορφή που απαιτείται για την ανάπτυξή τους.

Το πιο κάτω διάγραμμα δείχνει πώς αυτές οι διαδικασίες ταιριάζουν μεταξύ τους για να σχηματίσουν το κύκλο του αζώτου: η εισροή και προσθήκη του N στο έδαφος λαμβάνει χώρα μέσω της βιολογικής και βιομηχανικής δέσμευσης (λιπάσματα) του ατμοσφαιρικού N_2 και μέσω των κατακρημνισμάτων. Παράλληλα, το έδαφος εμπλουτίζεται με N και από την αποσύνθεση των φυτικών και ζωικών υπολειμμάτων. Η απομάκρυνση του N από το έδαφος πραγματοποιείται με τη συγκομιδή των προϊόντων της καλλιέργειας, την επιστροφή του στην ατμόσφαιρα ως αέριο και την έκπλυση (Ridley et al., 2004)



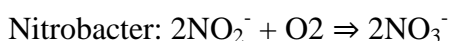
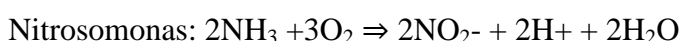
Εικόνα 5: Ο κύκλος του αζώτου στην φύση

Οι κυριότερες διεργασίες μετατροπής του αζώτου στο έδαφος είναι: ορυκτοποίηση, ακινητοποίηση, νιτροποίηση, απονιτροποίηση και εξαέρωση. Οι διεργασίες της απονιτροποίησης και της εξαέρωσης οδηγούν σε απώλεια του αζώτου από το έδαφος, ενώ αντίθετα οι διεργασίες της ορυκτοποίησης και της νιτροποίησης έχουν σαν αποτέλεσμα την εισροή αζώτου στο εδαφικό σύστημα (Χαϊντούτη Κ., 2006).

Η ορυκτοποίηση είναι η βιοχημική διαδικασία μετατροπής των οργανικών μορφών αζώτου σε ανόργανες κάτω από τη δράση των μικροοργανισμών του εδάφους. Περιλαμβάνει 2 στάδια: αμμινοποίηση και αμμωνιοποίηση. Η ορυκτοποίηση του αζώτου είναι αργή διαδικασία ευνοούμενη από αερόβιες συνθήκες, υψηλές θερμοκρασίες και επαρκή εδαφική υγρασία (Rahman and Rashid, 2002).

Η ακινητοποίηση του αζώτου λαμβάνει χώρα όταν το ανόργανο εδαφικό άζωτο μετατρέπεται σε οργανικό, μέσω μικροβιακής δραστηριότητας. Συμβαίνει όταν μεγάλες ποσότητες φυτικών υπολλειμάτων πλούσιες σε C και φτωχές σε N (π.χ άχυρο σιτηρών) προστίθενται στο έδαφος. Πολλοί ερευνητές θεωρούν ότι το φαινόμενο της ακινητοποίησης του αζώτου μπορεί να περιγραφεί ικανοποιητικά από το λόγο C/N, θέτοντας ως κρίσιμο όριο του λόγου αυτού 20-30 (Persson & Kirchmann, 1994).

Η νιτροποίηση του αμμωνιακού αζώτου οφείλεται στην δράση δύο ειδών βακτηρίων τα οποία μέσω της οξειδωσης των αμμωνιακών ιόντων σε νιτρώδη αρχικά και στη συνέχεια σε νιτρικά καλύπτουν τις ανάγκες τους σε ενέργεια. Τα βακτήρια αυτά δεν είναι αυτότροφα γιατί δεν διαθέτουν χλωροφύλλη και επομένως δεν μπορούν να δεσμεύσουν απευθείας την φωτεινή ενέργεια. Οι αντιδράσεις οξειδωσης του αμμωνιακού σε νιτρικό άζωτο είναι οι εξής:



Η απονιτροποίηση προκαλείται από αναερόβιους μικροοργανισμούς σε σημεία του εδάφους που δεν αερίζονται καλά με συνέπεια να επικρατούν αναερόβιες συνθήκες. Σχηματικά η απονιτροποίηση μπορεί να παρασταθεί ως εξής:



Η απονιτροποίηση επομένως έχει και αυτή σαν συνέπεια την απώλεια αφομοιώσιμου για τα φυτά αζώτου από το έδαφος.

Η εξαέρωση είναι η διαδικασία σχηματισμού αερίου αμμωνίας από NH_4^+ κατά την αντίδραση:

$\text{NH}_4^+ + \text{OH}^- \Rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{NH}_3$, η οποία NH_3 , ως πτητική, φεύγει στην ατμόσφαιρα. Απώλειες αζώτου κυρίως υπό μορφή αερίου αμμωνίας, έχουμε κατά την προσθήκη αμμωνιακών λιπασμάτων σε εδάφη που περιέχουν CaCO_3 (Μουστάκας Ν., 2008).

2.4. ΑΖΩΤΟΔΕΣΜΕΥΣΗ

Η χρήση του αερίου αζώτου (N_2) ως πηγή κυτταρικού αζώτου ονομάζεται καθήλωση ή δέσμευση αζώτου ή και αζωτοδέσμευση (nitrogen fixation). Η ικανότητα αυτή απελευθερώνει τον οργανισμό από την ανάγκη πρόσληψης και μεταβολισμού αζωτούχων ενώσεων, προσδίδοντάς του σημαντικό οικολογικό πλεονέκτημα, αφού για τις ενώσεις αυτές εκδηλώνεται έντονος ανταγωνισμός στα μικροβιακά οικοσυστήματα (Medigan et al., 2007).

2.4.1. Βιολογική δέσμευση του αζώτου

Η βιολογική δέσμευση του αζώτου πραγματοποιείται είτε με μη συμβιωτικούς μικροοργανισμούς που ζουν ελεύθερα είτε με ορισμένα βακτήρια, που συμβιώνουν με τα ανώτερα φυτά.

Στη βιολογική καλλιέργεια, οι κύριες διαθέσιμες μέθοδοι διαχείρισης του Ν περιλαμβάνουν την προσθήκη οργανικών υλικών, την αμειψισπορά του φυτικού είδους με καλλιέργειες κάλυψης και ενσωμάτωση της βιομάζας στο έδαφος (χλωρή λίπανση), τη συγκαλλιέργεια με ψυχανθή και τον εμβολιασμό του εδάφους με αζωτοδεσμευτικά βακτήρια.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η μέθοδος του εμβολιασμού του εδάφους στα ψυχανθή με ελεύθερα διαβιούντα διαζωτροφικά βακτήρια, η οποία διερευνάται τα τελευταία χρόνια ως μία ακόμη εναλλακτική πρακτική περιορισμού ή και αντικατάστασης των ανόργανων χημικών αζωτούχων λιπασμάτων (Park et al., 2005). Περιλαμβάνουν έναν μεγάλο αριθμό γενών αναερόβιων και αερόβιων βακτηρίων (Acetobacter, Arthrobacter, Azoarcus, Azospirillum, Azotobacter, Bacillus, Beijerinckia, Derxia, Enterobacter, Herbaspirillum, Klebsiella, Pseudomonas,

Zoogloea, Rhizobium), τα οποία έχουν απομονωθεί από τη ριζόσφαιρα πολλών φυτικών ειδών (Park et al., 2005). Οι πιθανοί μηχανισμοί που προάγουν τις αποδόσεις των φυτών δεν περιορίζονται μόνο στη δέσμευση και παροχή του αζώτου, αλλά αποδίδονται και στην παραγωγή φυτοορμονών και βιταμινών, στην πρόκληση ανθεκτικότητας σε παθογόνα σε αυξημένη πρόσληψη θρεπτικών στοιχείων και διαλυτοποίηση του φωσφόρου (Kennedy et al., 2004).

2.4.2. Μη βιολογική δέσμευση του αζώτου

Το ατμοσφαιρικό άζωτο μπορεί να δεσμευτεί χημικά με τη μέθοδο των Haber-Bosch κατά την οποία αέριο μοριακό άζωτο και υδρογόνο, υπό συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας και πίεσης αντιδρούν και δίνουν NH_3 . Είναι η βασική αντίδραση για την παραγωγή αζωτούχων λιπασμάτων αλλά τα δεσμευόμενα με τη μέθοδο αυτή ποσά είναι μικρότερα σε σχέση με τα ποσά που δεσμεύονται φυσικά από τους μικροοργανισμούς (Μπόβης, 1990).

Ένας δεύτερος τρόπος με τον οποίο το άζωτο μπορεί να δεσμευτεί είναι μέσω ηλεκτρικών εκκενώσεων που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια καταιγίδων. Σχηματίζονται οξείδια του αζώτου που στη συνέχεια ενυδατώνονται με υδρατμούς και πέφτουν στο έδαφος ως νιτρώδη και νιτρικά ιόντα (Θεριός 1996).

Αν και αυτές οι διεργασίες είναι σημαντικές στην οικονομία του αζώτου, το μέγιστο ποσό αζώτου δεσμεύεται από ζωντανούς οργανισμούς.

2.4.3. Μη συμβιωτική αζωτοδέσμευση

Παράλληλα με την συμβιωτική αζωτοδέσμευση, ένας μεγάλος αριθμός οργανισμών που διαβιούν ελεύθερα στη φύση δεσμεύει ατμοσφαιρικό άζωτο. Η συμβολή στην αζωτοδέσμευση των μη συμβιωτικών βακτηρίων σε παγκόσμια κλίμακα είναι μέτρια (Θεριός 1996).

2.4.4. Συμβιωτική αζωτοδέσμευση

Μόλυνση της ρίζας ψυχανθούς με το κατάλληλο γένος βακτηρίων οδηγεί στο σχηματισμό ριζικών φυματίων τα οποία μπορούν να ενσωματώνουν αέριο άζωτο σε ενώσεις του αζώτου με τη διαδικασία της αζωτοδέσμευσης. Η δέσμευση αζώτου μέσω συμβίωσης των ψυχανθών με το *Rhizobium* είναι τεράστιας σημασίας για τη γεωργία, αφού αυξάνει τη διαθεσιμότητα του αζώτου στο έδαφος (Medigan et al., 2007).

Επειδή πολλά εδάφη είναι εκ φύσεως φτωχά σε άζωτο, τα ψυχανθή με ριζικά φυμάτια έχουν στις συγκεκριμένες συνθήκες συγκριτικό πλεονέκτημα και μπορούν να αναπτυχθούν καλά σε περιοχές στις οποίες άλλα φυτά αδυνατούν (Medigan et al., 2007).

Τα ψυχανθή δεν είναι τα μόνα ανώτερα φυτά που δεσμεύουν άζωτο συμβιωτικά. Υπάρχουν τουλάχιστον 190 είδη δέντρων και θάμνων που δεσμεύουν άζωτο και ανήκουν σε άλλες οικογένειες πλην των ψυχανθών (Θεριός 1996).

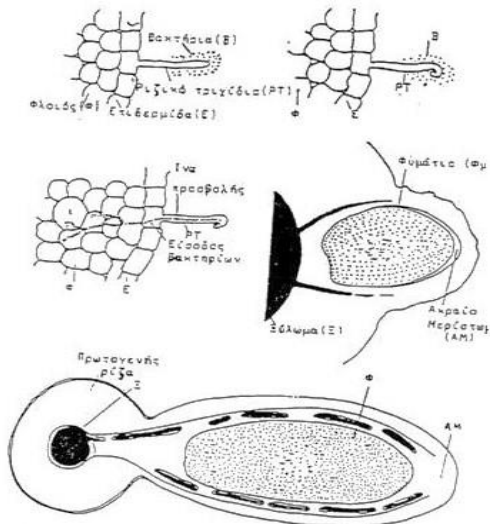
Βέβαια, για τα καλλιεργούμενα ψυχανθή, μολονότι συνίσταται ελαφρά αζωτούχος λίπανση στα πρώτα στάδια ανάπτυξης τους ώστε να δημιουργηθεί πλούσιο και υγιές ριζικό σύστημα πάνω στο οποίο θα αναπτυχθούν τα φυμάτια, θα πρέπει να συνεκτιμηθούν πλήθος παραμέτρων προτού αποφανθεί κανείς για την αναγκαιότητα κανονικών αζωτούχων λιπάνσεων. Οι παράμετροι αυτοί είναι το είδος και η ποικιλία του ψυχανθούς, η ύπαρξη κατάλληλων και αποδοτικών αζωτοδεσμευτικών αζωτοβακτηρίων στο έδαφος, οι συνθήκες υγρασίας και θερμοκρασίας (χαμηλές θερμοκρασίες περιορίζουν την δράση των ριζοβίων), η περιεκτικότητα του εδάφους σε ασβέστιο και σε μολυβδαίνιο (το στοιχείο αυτό είναι συστατικό της νιτρογενάσης), η φυσική κατάσταση του εδάφους που πρέπει να εξασφαλίζει στα φυμάτια επαρκή αερισμό και τέλος, η κατάσταση της καλλιέργειας.

2.4.5. Βακτήρια ριζικών φυματίων και συμβίωση με τα ψυχανθή

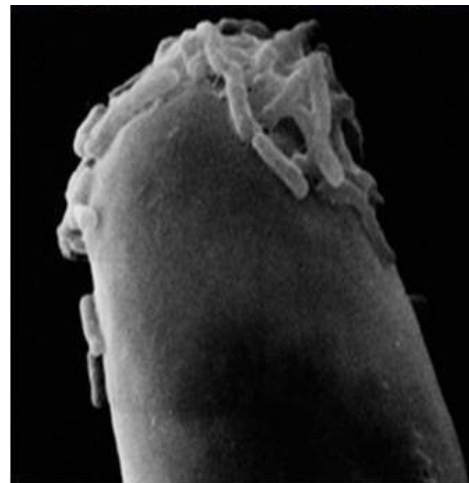
Μια από τις πιο ενδιαφέρουσες και σημαντικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ φυτών-βακτηρίων είναι η αναπτυσσόμενη μεταξύ ψυχανθών (π.χ. τριφύλλι, λούπινα, φασόλια, αρακάς κ.λπ.) και ορισμένων αρνητικών κατά Gram αζωτοδεσμευτικών βακτηρίων. Τα γένη *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Sinorhizobium*, *Mesorhizobium* και *Azorhizobium* είναι αρνητικά κατά Gram ραβδόμορφα βακτήρια με ικανότητα αυτοτελούς κίνησης.

2.5.6. Σχηματισμός φυματίων (Μηχανισμός)

Στη συμβίωση αυτή, το φυτό ξενιστής (το ψυχανθές) εφοδιάζει το βακτήριο (*Rhizobium*) με ενέργεια (ATP, NADPH) και το βακτήριο σε αντάλλαγμα εξασφαλίζει στον ξενιστή άζωτο από τον ατμοσφαιρικό αέρα. Σήμερα είναι πια καλά γνωστό, ότι υπάρχουν γενετικοί ή χημικοί παράγοντες στα κυτταρικά τοιχώματα των ριζών των ψυχανθών, ή των βακτηρίων ή και στα δύο, που καθορίζουν τη συγγένεια ανάμεσα στο ψυχανθές και το είδος ή τη φυλή του βακτηρίου. Με άλλα λόγια καθορίζουν το αν θα σχηματισθούν ή όχι φυμάτια, πάνω στις ρίζες και αν τελικά θα γίνει εκεί ή όχι, η δέσμευση του ατμοσφαιρικού αζώτου. Δηλαδή το ασυμβίβαστο (έλλειψη συγγένειας), μεταξύ ενός ψυχανθούς και ενός είδους ή φυλής *Rhizobium*, έχει σαν αποτέλεσμα είτε να μην σχηματισθούν φυμάτια πάνω στις ρίζες, είτε να σχηματισθούν, αλλά να μην έχουν την ιδιότητα (το μηχανισμό) να δεσμεύουν το ατμοσφαιρικό άζωτο.



Εικόνα 6



Εικόνα 7

Εικόνες 6 & 7: Σχηματισμός φυματίων στο ριζικό σύστημα

Στάδια σχηματισμού των ριζικών φυματίων

- Τα στάδια σχηματισμού των ριζικών φυματίων είναι:
- Σχηματισμός των ριζικών τριχιδίων.
- Συγκέντρωση και πολλαπλασιασμός ενός πληθυσμού *Rhizobium*, κοντά και γύρω στην επιφάνεια των ριζικών τριχιδίων, στη ριζόσφαιρα.
- Κάμψη της άκρης του ριζικού τριχιδίου σε σχήμα «άγκιστρο», από ερεθισμό του βακτηρίου.
- Είσοδος του βακτηρίου στο ριζικό τριχίδιο και ανάπτυξη « ινών προσβολής » από το φυτό.

2.4.7. Παράγοντες που επιδρούν στη φυματοποίηση και αζωτοδέσμευση

Η παρουσία των φυματίων δεν σημαίνει απαραίτητα ότι το φυτό θα ωφελείται κιόλας. Τα αζωτοβακτήρια μπορεί να μη δεσμεύουν καθόλου άζωτο και να ζουν σε βάρος των φυτών, εάν αποτελούνται από βιότυπους με καμία αζωτοδεσμευτική ικανότητα.

Οι αποτελεσματικοί βιότυποι αζωτοβακτηρίων δημιουργούν φυμάτια κυρίως στο κεντρικό ριζικό σύστημα τους που έχουν χρώμα ροζ έως κόκκινο. Οι βιότυποι αυτοί έχουν υψηλή αζωτοδεσμευτική ικανότητα και τέτοιοι βιότυποι είναι εκείνοι που προστίθενται με τους εμβολιασμούς. Ωστόσο μερικοί βιότυποι αζωτοβακτηρίων δημιουργούν πολλά, μικρά, λευκού χρώματος φυμάτια που συναντώνται στις πλάγιες ρίζες των φυτών. Οι βιότυποι αυτοί είναι ανεπιθύμητοι διότι δεσμεύουν λίγο άζωτο.

Η συμβιωτική σχέση ανάμεσα στα αζωτοβακτήρια και τα ψυχανθή είναι μία πολύπλοκη βιολογική διαδικασία, η επιτυχία της οποίας εξαρτάται από διάφορους παράγοντες που σχετίζονται τόσο με τα χαρακτηριστικά του φυτού ξενιστή και του αζωτοβακτηρίου, όσο και με παράγοντες του περιβάλλοντος (Ξένος Π., 2005).

α) *Επίδραση αζώτου*: Σε εδάφη που είναι πλούσια σε ωφέλιμο άζωτο παρατηρείται μικρή ή και καθόλου δέσμευση αζώτου από τα αζωτοβακτήρια. Σ' αυτά τα εδάφη τα ψυχανθή φαίνεται ότι προτιμούν να χρησιμοποιούν το ωφέλιμο άζωτο του εδάφους, ενώ τα αζωτοβακτήρια δεν ενθαρρύνονται στην αζωτοδεσμευτική τους δράση. Τα νιτρικά διεγείρουν την παραγωγή αιθυλενίου στις ρίζες των ψυχανθών (Mann et al. 2001), το οποίο μπορεί να έχει αρνητική επίδραση στον σχηματισμό και την λειτουργικότητα των φυματίων, όπως έχει αναφερθεί από πολλούς συγγραφείς (Fearn and La Rue 1991, Ligerio et al. 1991, Caba et al. 1998, Schmidt et al. 1999, Mann et al., 2001).

β) *Επίδραση θρεπτικών στοιχείων*: Η έλλειψη των απαραίτητων θρεπτικών στοιχείων όπως καλίου, φωσφόρου, ασβεστίου, είναι επίσης υπεύθυνα για την απουσία τους ή τους μικρότερους αριθμούς αζωτοβακτηρίων στο έδαφος. Ανεπάρκεια φωσφόρου είχε ως αποτέλεσμα την μείωση της μάζας των φυματίων, του σχηματισμού των φυματίων, της δραστηριότητας της νιτρογενάσης και του ολικού

δεσμευμένου αζώτου σε φυτά σόγιας (Israel 1987; Pongsakul & Jensen, 1991; Sa and Israel 1995, 1998; Bly and Woodard 1997). Το ασβέστιο χρειάζεται στα πρώτα στάδια της εισόδου των βακτηρίων (Munns 1970), επίσης αυξάνει τον αριθμό των φυματίων. Το βόριο χρειάζεται στα φυμάτια σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις σε σχέση με άλλους ιστούς του φυτού (Carpera et al 2000, Lowter and Loneragan 1968). Οι Bolanos et al., 2002 αναφέρουν ότι το βόριο και το ασβέστιο παίζουν σημαντικό ρόλο στην εγκατάσταση της συμβίωσης και στη λειτουργία των φυματίων. Ο αριθμός των φυματίων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το βόριο (Redondo-Nieto et al. 2001) και την διαθεσιμότητα του ασβεστίου (Lowter and Loneragan 1968). Άλλα στοιχεία όπως ο σίδηρος, ο χαλκός, το μολυβδαίνιο και το κοβάλτιο παίζουν ρόλο στα φυμάτια που τα αζωτοβακτήρια τους δεσμεύουν άζωτο.

γ) *Επίδραση της οξύτητας του εδάφους*: Μερικοί βιότυποι αζωτοβακτηρίων είναι ιδιαίτερα ευαίσθητοι στην οξύτητα του εδάφους. Οι Watkin et al., (1997), αναφέρουν ότι ο μέσος χρόνος γενεάς του βακτηρίου *Rhizobium leguminosarum* bv. *trifolli* ήταν μικρότερος κατά 50-60% σε pH 5 σε σχέση με pH 7. Οι υψηλές συγκεντρώσεις ιόντων υδρογόνου προκαλούν το θάνατο τους. Η φάση της εισόδου των αζωτοβακτηρίων στις ρίζες είναι το πιο ευαίσθητο στάδιο στην οξύτητα και το περισσότερο εξαρτώμενο από το ασβέστιο. Ως παράδειγμα μπορούμε να αναφέρουμε στο είδος *Medicago sativa*, στο οποίο τα φυμάτια σχηματίζονται από το βακτήριο *Sinorhizobium meliloti*, τα φυμάτια ήταν λιγότερα και εμφανίστηκαν αργότερα σε όξινα εδάφη, σε σύγκριση με τα φυμάτια που σχηματίστηκαν σε φυτά που αναπτύχθηκαν σε εδάφη ουδέτερα (Cheng et al, 2002). Χαμηλό pH μειώνει την προσρόφηση των βακτηριακών κυττάρων στις ρίζες (Caetano-Anolles et al. 1989; Howieson et al. 1993).

δ) *Επίδραση της υγρασίας του εδάφους*: Τα διάφορα είδη αζωτοβακτηρίων παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές ανάμεσά τους ως προς την αντοχή τους στην ξηρασία. Η περίσσεια ή η έλλειψη υγρασίας επηρεάζουν την δέσμευση του αζώτου δια της επιδράσεως που ασκούν στην ανάπτυξη του φυτού. Εδαφικές συνθήκες υγρασίας πέρα από τις άριστες μπορεί να μειώσουν την φωτοσύνθεση, να περιορίσουν τη μεταφορά του δεσμευμένου αζώτου από τα φυμάτια και να μειώσουν την δέσμευση του αζώτου λόγω της μείωσης της διάχυσης του οξυγόνου.

ε) *Επίδραση της θερμοκρασίας του εδάφους*: Η επίδραση της θερμοκρασίας είναι σύνθετη και επηρεάζει πολλές διαδικασίες της συμβιωτικής σχέσης. Η επίδραση αυτή μεταβάλλεται στα διάφορα είδη των ψυχανθών, στις ποικιλίες των ειδών και στα βακτηριακά στελέχη. Επίσης οι διάφορες συμβιωτικές διαδικασίες μπορεί να διαφέρουν ως προς τις άριστες και τις παρεμποδιστικές θερμοκρασίες. Για παράδειγμα θερμοκρασίες στη ριζόσφαιρα της σόγιας κάτω των 17,5 °C είχε σαν αποτέλεσμα την καθυστέρηση στη φυματιοποίηση (Zhang and Smith, 1994) ενώ για τη φακή υπήρξε ουσιαστική καθυστέρηση σε θερμοκρασία 10 °C ενώ ο σχηματισμός φυματίων στους 15 έως 25 °C πραγματοποιήθηκε κανονικά (Muechbauer et al. 1996). Όσον αφορά την συμβιωτική σχέση, οι θερμοκρασίες μπορούν να επηρεάσουν την ανάπτυξη του αζωτοβακτηρίου στη ριζόσφαιρα, τη δημιουργία των ριζικών τριχιδίων, την προσκόλληση των βακτηριακών κυττάρων στα κύτταρα των ριζών, τη δημιουργία των μολυσματικών προβολών, τη δομή και την ανάπτυξη των φυματίων και τέλος την δραστηριότητα της νιτρογενάσης. Οι συμβιωτικές διαδικασίες είναι πιο ευαίσθητες στην υψηλή θερμοκρασία σε σχέση με τις άλλες φυσιολογικές λειτουργίες του φυτού (Munevar 1981).

ζ) *Επίδραση της αλατότητας*: Μείωση του σχηματισμού των φυματίων (Zahran and Sprent 1986) και παρεμπόδιση της λειτουργίας της αζωτοδέσμευσης στα ψυχανθή (Cordovilla et al. 1994) είναι τυπικές επιδράσεις της αλατότητας. Υψηλή αλατότητα μπορεί άμεσα να ζημιώσει την αλληλεπίδραση μεταξύ αζωτοβακτηρίου και φυτού ξενιστή παρεμποδίζοντας την λειτουργία των φυματίων (Singleton and Bohlool 1984) και έμμεσα επιδρώντας στην συμβίωση μειώνοντας την ανάπτυξη του ξενιστή φυτού. Σε αλατούχα εδάφη προσθήκη βορίου και ασβεστίου είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση του αριθμού των φυματίων και την αποκατάσταση της δομής των φυματίων που είχαν ζημιωθεί από τα άλατα (Hamdaoui et al. 2003).

η) *Επίδραση άλλων παραγόντων*: Είναι αξιοσημάντες οι επιδράσεις των φυτοφαρμάκων και των συστημάτων εδαφοκατεργασίας. Επίσης, η αδυναμία του φυτού να προμηθεύσει τους απαιτούμενους υδατάνθρακες από οποιαδήποτε αιτία και εάν προέρχεται επηρεάζει την δέσμευση του αζώτου. Η δέσμευση του αζώτου μειώνεται όταν τα φυτά εισέλθουν από το βλαστικό στο αναπαραγωγικό στάδιο. Όπως φαίνεται οι καρποί των ψυχανθών και τα αζωτοβακτήρια των φυματίων ανταγωνίζονται για τα προϊόντα της φωτοσυνθέσεως. Στο μπιζέλι διατυπώθηκε ότι

αυτό οφείλεται στην περιορισμένη διαθεσιμότητα άνθρακα στα φυμάτια (Adgo and Schunze 2002). Η σκίαση των φυτών, η μειωμένη ένταση φωτισμού, οι θερμοκρασίες πέρα από τις άριστες και η αποφύλλωση των φυτών επηρεάζουν δυσμενώς την αζωτοδέσμευση στα ετήσια ψυχανθή. Τέλος, πολλοί ερευνητές έχουν αναφερθεί στην αρνητική επίδραση της αποφύλλωσης στα ψυχανθή.

2.4.8. Η συμβίωση του *Rhizobium* με τα ψυχανθή και η γεωργική σημασία της

Η σχέση του *Rhizobium* με τα ψυχανθή είναι αληθής συμβίωση, διότι κάθε συνεταιίρος προσφέρει καταφανώς κάτι συγκεκριμένο στον άλλο. Από τη μια μεριά το δεσμευμένο άζωτο ωφελεί τα φυτά που ζουν σε αζωτοπενικά εδάφη και από την άλλη το φυμάτιο παρέχει φυσική προστασία και αφθονία τροφής στα ριζόβια. Πουθενά αλλού στη μικροβιολογία δεν βλέπουμε μια τόσο καλά ανεπτυγμένη και αμοιβαία επωφελή σχέση φυτού-βακτηρίου (ή τουλάχιστον δε γνωρίζουμε κάποια άλλη καλύτερη) όσο τη συμβίωση των ριζοβίων-ψυχανθών. Επιπλέον, το όφελος για τη γεωργία από τους τουλάχιστον 120 εκατομμύρια τόνους ατμοσφαιρικού αζώτου που μετατρέπονται ετησίως σε αμμωνία είναι τεράστια. Στα φυτά του Πίνακα 2 περιλαμβάνονται η σόγια και το λούπινο (τα οποία έχουν μεγάλη σημασία στη βιομηχανία της σόγιας και την κτηνοτροφία αντίστοιχα), καθώς και τα φασόλια και ο αρακάς, δύο από τα σημαντικότερα διατροφικά φυτά για τον άνθρωπο. Επίσης, η καλλιέργεια των ψυχανθών στηρίζει αρκετές συναφείς γεωργικές βιομηχανίες, ενώ η ικανότητά τους να αναπτύσσονται χωρίς αζωτούχα λιπάσματα ανακουφίζει οικονομικά τους αγρότες (Medigan et al., 2007).

2.4.9. Παράγοντες που επιδρούν στη φυματοποίηση και αζωτοδέσμευση των ψυχανθών.

Σήμερα τα περισσότερα ερευνητικά δεδομένα, δείχνουν ότι η αναγνώριση της συγγένειας μεταξύ ενός ψυχανθούς και ενός είδους η φυλής του *Rhizobium*, γίνεται με τις φυτικές πρωτεΐνες Λεκτίνες, που σχηματίζουν σύμπλοκα με υδατάνθρακες στο κυτταρικό τοίχωμα του βακτηρίου και μόνο τότε το βακτήριο «προσβάλλει» το ριζικό τριχίδιο και εισέρχεται μέσα στα κύτταρα. Εκεί τα βακτήρια «μπαίνουν» σε μια γραμμή, περιβάλλονται από κυτταρίνη και πηκτίνη και έχουμε την ανάπτυξη των λεγομένων ινών προσβολής. Αυτές οι ίνες προσβολής, εκτείνονται μέχρι τα κύτταρα του φλοιού της ρίζας και ελευθερώνουν τα βακτήρια, πολύ μεγαλύτερα τώρα και διαφορετικού σχήματος απ' ό,τι όταν ήταν στο έδαφος (μεταμόρφωση). Τα φυμάτια σχηματίζονται από τα κύτταρα με πολλαπλασιασμό και αύξηση του μεγέθους τους (εξόγκωση) (Παλάτος Γ., Κυρκενίδης Ι., 2006). Σύμφωνα με μετρήσεις και υπολογισμούς που έγιναν, η δέσμευση του αζώτου είναι μια διεργασία με μεγάλες ανάγκες σε ενέργεια και ειδικότερα χρειάζονται 25 έως 28 μόρια ATP για να δεσμευθεί ένα μόριο N₂. Γίνεται λοιπόν φανερό ότι όποιος παράγοντας επηρεάζει τη φωτοσύνθεση επηρεάζει και τη δέσμευση του αζώτου. Οι παράγοντες γενικά μπορεί να είναι φωτοσυνθετικοί ή μη φωτοσυνθετικοί (Παλάτος Γ., Κυρκενίδης Ι., 2006).

2.4.10. Φωτοσυνθετικοί παράγοντες

Έχουν σχέση τόσο με την ποσότητα της φωτοσύνθεσης, όσο και με τη μετακίνηση του προϊόντος της φωτοσύνθεσης (σάκχαρο), μέσα στο φυτό. Για παράδειγμα: το φως (ένταση), οι θρεπτικές ανάγκες του φυτού, το στάδιο ανάπτυξής του, η υγρασία, οι STRESS καταστάσεις, η περιεκτικότητα της ατμόσφαιρας σε CO₂ και O₂.

Μη φωτοσυνθετικοί παράγοντες.

Περισσότερο γνωστοί και μελετημένοι είναι :

i) *Θερμοκρασία.* Σε χαμηλές θερμοκρασίες έχουμε μεγάλα φυμάτια, αλλά περιορισμένη δράση της νιτρογενάσης. Άριστη θερμοκρασία για τη σωστή λειτουργία των φυματίων είναι οι 25 ο C .

ii) *pH εδάφους και αερισμός (O₂)*. Γενικά, έχει πολύ μεγάλη σημασία και η δέσμευση του αζώτου ευνοείται, όταν το pH είναι ουδέτερο ή αλκαλικό. Σε χαμηλό pH, δεν μπορούν να ευδοκιμήσουν τα βακτήρια. Ο αερισμός είναι έμμεσα απαραίτητος. Σε όξινα εδάφη η ασβέστωση βοηθάει τη βιολογική δέσμευση του αζώτου. Άριστο pH=6-6,5.

iii) *Θρεπτική κατάσταση εδάφους και NO₃⁻*. Ψυχανθή σε εδάφη με πολύ άζωτο, σχηματίζουν λιγιστά φυμάτια και δεν δεσμεύουν πολύ N₂. Το ίδιο παρατηρείται και σε εδάφη πλούσια σε NO₃⁻. Είναι ολοφάνερο ότι έλλειψη Fe ή Mo (στοιχεία της νιτρογενάσης) περιορίζει τη δέσμευση του αζώτου.

2.5. ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΦΑΣΟΛΙΟΥ

Η καλλιέργεια του φασολιού (*Phaseolus vulgaris* L.) στο θερμοκήπιο γίνεται για παραγωγή νωπών λοβών (πράσινα φασολάκια) με κυριότερο κέντρο παραγωγής την Ευρώπη (κυρίως Ιταλία και Γαλλία) και ακολουθούν οι χώρες της Ανατολικής Ασίας. Από τα διαθέσιμα πειραματικά δεδομένα (π.χ. Hinze 1987, Savvas et al. 2007b, Urrestarazu and Garcia 2000) αποδεικνύεται ότι το φασόλι ευδοκίμει και αποδίδει πολύ καλά σε υδροπονική καλλιέργεια, όπου συνήθως χρησιμοποιούνται διάφορες ποικιλίες αναρριχώμενου φασολιού. Κατά περιόδους έχει δοκιμαστεί η καλλιέργεια του φασολιού σε διάφορα υποστρώματα, καθώς επίσης καθαρό διάλυμα χωρίς υπόστρωμα και ιδιαίτερα σε σύστημα NFT (Hinze 1987). Στην πράξη όμως, έχει επικρατήσει κυρίως η καλλιέργεια σε πετροβάμβακα, καθώς και σε ορισμένα χημικά αδρανή κοκκώδη υποστρώματα, όπως η ελαφρόπετρα και ο περλίτης.

Όταν το φασόλι καλλιεργείται σε πετροβάμβακα, συνήθως σπέρνεται σε κύβους πετροβάμβακα διαστάσεων 7,5x7,5x6,5 cm, ενώ σε κοκκώδη αδρανή υποστρώματα, τα σπορόφυτα προετοιμάζονται με τον ίδιο τρόπο όπως και στις καλλιέργειες φασολιού στο έδαφος του θερμοκηπίου. Γενικά η σπορά του φασολιού είναι εύκολη, λόγω μεγάλου μεγέθους και υψηλής βλαστικότητας του σπόρου του. Όμως, η σπορά του φασολιού στο σπορείο απαιτεί αρκετό κόπο και εργατικά λόγω του μεγάλου αριθμού φυτών που πρέπει να φυτευτούν ανά μονάδα καλλιεργούμενης επιφάνειας θερμοκηπίου. Γι' αυτό, όταν η εγκατάσταση της καλλιέργειας γίνεται την θερμή

εποχή του έτους προτιμάται απευθείας σπορά στο υπόστρωμα, προς αποφυγή κόστους μεταφύτευσης. Τα αναρριχώμενα φυτά φασολιού αναπτύσσονται κατακόρυφα καταλαμβάνοντας πολύ μικρή επιφάνεια, γιατί εκπτύσσουν πολύ λίγους πλάγιους βλαστούς μικρού μήκους, με συνέπεια να είναι σχεδόν μονοστέλεχα. Λόγω της μικρής επιφάνειας που καταλαμβάνει το κάθε φυτό φασολιάς, θα πρέπει να φυτεύεται μεγάλος αριθμός φυτών ανά μονάδα επιφάνειας, προς καλύτερη εκμετάλλευση του χώρου του θερμοκηπίου και αύξηση αποδόσεων. Οι πυκνότητες φύτευσης που εφαρμόζονται στις εκτός εδάφους καλλιέργειες αναρριχώμενου φασολιού στο θερμοκήπιο κυμαίνονται μεταξύ 6-10 φυτών ανά m².

Στις υδροπονικές καλλιέργειες φασολιού σε πετροβάμβακα, οι διαστάσεις των χρησιμοποιούμενων πλακών είναι ίδιες με αυτές που έχουν επικρατήσει και στις καλλιέργειες του αγγουριού, δηλαδή είτε 7,5x15x100 είτε 7,5x20x100 cm.

Στις καλλιέργειες φασολιού σε σάκους, φυτοδοχεία, ή κανάλια που περιέχουν κοκκώδη υποστρώματα, τα φυτά συνήθως διατάσσονται σε δύο σειρές, με τον ίδιο τρόπο και την ίδια πυκνότητα φύτευσης, όπως και στις καλλιέργειες φασολιάς σε πετροβάμβακα.

Για υδροπονικές καλλιέργειες φασολιάς σε ανοιχτά και κλειστά συστήματα, οι συνιστώμενες συνθέσεις θρεπτικών διαλυμάτων τροφοδοσίας καθώς και τιμές-στόχοι για το διάλυμα ριζοστρώματος παρατίθενται στον Πίνακα 3 βασίζονται σε συστάσεις Ολλανδών ερευνητών (de Kreij et al. 1999) αλλά έχουν τροποποιηθεί μερικώς, λαμβάνοντας υπόψη ανεπίσημα δεδομένα προερχόμενα από παραγωγικές καλλιέργειες στην Ελλάδα.

Η φασολιά είναι πολύ ευαίσθητο φυτό στην αλατότητα (Seemann & Critchley 1985, Brugnoli & Lauteri 1991). Γι' αυτό, η ηλεκτρική αγωγιμότητα στα διαλύματα τροφοδοσίας που προορίζονται για υδροπονικές καλλιέργειες φασολιάς, πρέπει είναι χαμηλή, ώστε να διατηρείται χαμηλή και στο διάλυμα ριζοστρώματος. Λόγω μεγάλης ευαισθησίας της φασολιάς στην αλατότητα, η καλλιέργειά της σε κλειστά υδροπονικά συστήματα συνιστάται μόνο όταν υπάρχει διαθέσιμο νερό καλής ποιότητας (Savvas et al. 2007b). Στη διάρκεια του βλαστικού σταδίου ανάπτυξης της φασολιάς, η ηλεκτρική αγωγιμότητα του διαλύματος τροφοδοσίας πρέπει να ανέρχεται περίπου 1,9- 2,0 dS/m την θερμή εποχή του έτους, ενώ κατά την ψυχρή εποχή και ιδιαίτερα όταν επικρατεί χαμηλή ηλιοφάνεια μπορεί να ανέρχεται έως 2,1 dS/m. Όμως, αμέσως μετά την πρώτη καρπόδεση, η EC του διαλύματος τροφοδοσίας πρέπει να μειώνεται κατά 0,2-0,3 dS/m. Η μικρότερη μείωση της EC εφαρμόζεται κατά τους ψυχρούς και

φτωχούς σε ηλιοφάνεια μήνες του έτους, ενώ η μεγαλύτερη σε συνθήκες σχετικά υψηλής ηλιοφάνειας και θερμού καιρού. Σε μεσογειακές κλιματικές συνθήκες, η τιμή-στόχος της EC στο διάλυμα ριζοστρώματος ανέρχεται σε 2,4-2,6 dS/m. Όταν όμως επικρατεί χαμηλή ηλιοφάνεια (π.χ. Ολλανδία), η EC του διαλύματος ριζοστρώματος αφήνεται να φτάσει μέχρι και το 2,8 dS/m (de Kreij et al. 1999).



Εικόνα 8: Εκτός εδάφους καλλιέργεια φασολιού σε σάκους ελαφρόπετρας στον υδροπονικό θάλαμο του πειράματος.

Αναφορικά με την αναλογία αζώτου προς κάλιο στα διαλύματα τροφοδοσίας που προορίζονται για καλλιέργειες φασολιάς, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι: α) τόσο τα φύλλα όσο και οι καρποί της φασολιάς περιέχουν Κ σε σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις (Tuma et al. 2004) και β) η συγκέντρωση Ν είναι υψηλότερη στα φύλλα της φασολιάς σε σύγκριση με τους λοβούς (Vadez et al. 1999). Για τους παραπάνω λόγους, η γραμμομοριακή αναλογία Ν:Κ στα θρεπτικά διαλύματα που

χρησιμοποιούνται για τη θρέψη της φασολιάς πρέπει να μειώνεται με την έναρξη κάθε νέου κύματος παραγωγής καρπών. Οι de Krij et al. (1999) συνιστούν μία γραμμομοριακή αναλογία N:K ίση με 2,1. Όσον αφορά την αναλογία μεταξύ των μακροκατιόντων, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι η συγκέντρωση του Ca είναι σχετικά υψηλή στα φύλλα της φασολιάς (για παράδειγμα οι Savvas et al. 2007c βρήκαν συγκεντρώσεις Ca της τάξεως των 25 mg/g στην ξηρή ουσία), ενώ είναι σχετικά χαμηλή στους καρπούς (Pomper & Grusak 2004). Γι' αυτό η αναλογία K:Ca είναι σκόπιμο να αυξάνεται κάθε φορά που ξεκινά ένα νέο κύμα παραγωγής καρπών. Σύμφωνα με τους de Krij et al. (1999), η αναλογία K:Ca:Mg θα πρέπει να ισούται με 0,51:0,35:0,14 κατά την διάρκεια των φάσεων βλαστικής ανάπτυξης της φασολιάς και να αναπροσαρμόζεται σε 0,61:0,28:0,11 κάθε φορά που ξεκινά ένα κύμα έντονης καρποφορίας. Το pH του διαλύματος ριζοστρώματος πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 5,5-6,5. Επειδή το φασόλι είναι σχετικά ευαίσθητο στο χαμηλό pH (Islam et al. 1980, Fageria et Baligar 1999) θα πρέπει να δίνεται προσοχή, ώστε η οξύτητα του διαλύματος ριζοστρώματος να μην πέφτει κάτω από 5,5. Για την επίτευξη αυτού, στο διάλυμα τροφοδοσίας των φυτών το pH θα πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 5,5 και 5,7 και το κλάσμα του αμμωνιακού N ως προς το συνολικό N να ρυθμίζεται κατάλληλα, λαμβάνοντας υπόψη το pH στο διάλυμα ριζοστρώματος ή απορροής. Οι Valdez-Aguilar & Reed (2010) διαπίστωσαν ότι το φασόλι έδωσε τη μέγιστη παραγωγή όταν $\text{NH}_4\text{-N}/\text{συνολικό-N}=0,19$, υπό αλκαλικές συνθήκες και υψηλή συγκέντρωση HCO_3^- στο ριζόστρωμα. Οι Sonnevel & Straver (1994) συνιστούν μία τιμή ίση με 0,08 για το κλάσμα $\text{NH}_4\text{-N}/\text{συνολικό-N}$ στα παρεχόμενα θρεπτικά διαλύματα για καλλιέργειες φασολιάς. Στη διεξαγωγή ενός φθινοπωρινού πειράματος σε Ελληνικές κλιματικές συνθήκες (Savvas et al. 2007b), το pH διατηρήθηκε σε επίπεδα μεταξύ 5,8 και 6,5 όταν το κλάσμα $\text{NH}_4\text{-N}/\text{συνολικό-N}$ ανερχόταν σε 0,11. Με βάση όλα τα παραπάνω εκτιμάται ότι, στις υδροπονικές καλλιέργειες φασολιάς που πραγματοποιούνται στις Ελληνικές κλιματικές συνθήκες, η διατήρηση του pH μεταξύ 5,5 και 6,5 στο διάλυμα ριζοστρώματος μπορεί να επιτευχθεί με τιμές $\text{NH}_4\text{-N}/\text{συνολικό-N}$ μεταξύ 0,07-0,12 στο διάλυμα τροφοδοσίας.

Επιθυμητά χαρακτηριστικά	Διαβροχή υποστρώ- ματος	Βλαστικό στάδιο			Στάδιο καρποφορίας		
		Δ.Τ.	Σ.Α.	Δ.Ρ.	Δ.Τ.	Σ.Α.	Δ.Ρ.
EC	2,20	2,00	1,60	2,40	1,80	1,50	2,60
pH	5,70	5,60	-	5,70- 6,50	5,60	-	5,70- 6,50
[K ⁺]	5,40	5,30	4,80	5,80	5,80	5,60	6,40
[Ca ²⁺]	4,60	3,75	2,50	5,60	3,00	1,90	5,70
[Mg ²⁺]	2,00	1,60	1,00	2,50	1,20	0,85	2,60
[NH ₄ ⁺]	0,50	1,20	1,40	<0,5	1,00	1,20	<0,3
[SO ₄ ²⁻]	2,00	1,45	0,90	2,60	1,45	0,80	2,90
[NO ₃ ⁻]	13,50	12,60	9,90	15,00	10,60	9,20	15,30
[H ₂ PO ₄ ⁻]	1,10	1,20	1,00	1,00	1,20	1,00	1,00
[Fe]	15,00	15,00	12,00	15,00	12,00	10,00	15,00
[Mn]	6,00	7,00	5,00	5,00	10,00	5,00	5,00
[Zn]	6,00	5,00	4,00	7,00	5,00	4,00	7,00
[Cu]	0,70	0,70	0,60	1,00	0,80	0,60	1,00
[B]	30,00	20,00	20,00	40,00	20,00	20,00	40,00
[Mo]	0,50	0,50	0,50	-	0,50	0,50	-
[K] : ([K]+[Ca]+[Mg])	0,45	0,50	0,58	0,42	0,58	0,67	0,44
[Ca] : ([K]+[Ca]+[Mg])	0,38	0,35	0,30	0,40	0,30	0,23	0,38
[Mg] : ([K]+[Ca]+[Mg])	0,17	0,15	0,12	0,18	0,12	0,10	0,18
([NH ₄]+[NO ₃]) [K]	2,60	2,60	2,35	2,60	2,00	1,85	2,40
[NH ₄] : ([NH ₄]+[NO ₃])	0,04	0,09	0,12	-	0,09	0,12	-

Πίνακας 2: Συνιστώμενες συνθέσεις διαλύματος τροφοδοσίας (Δ.Τ.) και διαλύματος ριζοστρώματος (Δ.Ρ.), καθώς και εκτιμώμενες συγκεντρώσεις απορρόφησης (Σ.Α.) για καλλιέργειες φασολιάς σε ανοιχτά και κλειστά υδροπονικά συστήματα. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) δίνεται σε dS/m, οι συγκεντρώσεις των μακροστοιχείων σε mmol/L, των ιχνοστοιχείων σε μmol/L και οι αναλογίες των μακροστοιχείων σε γραμμομοριακή βάση.

2.6. ΘΡΕΨΗ ΦΥΤΩΝ

2.6.1. Μακροστοιχεία

2.6.1.1. Άζωτο (N)

Γενικά η περιεκτικότητα σε N είναι μεγαλύτερη κατά τα αρχικά στάδια ανάπτυξης, σε σχέση με τα μεγαλύτερης ηλικίας φυτά. Είναι το στοιχείο που επηρεάζει περισσότερο την ανάπτυξη του φυτού, την απόδοση και την ποιότητα των παραγόμενων καρπών σε σχέση με τα υπόλοιπα μακροστοιχεία. Στα φύλλα παρουσιάζονται ποικίλες συγκεντρώσεις οι οποίες κυμαίνονται 2-5% του ξηρού βάρους τους.

Συμπτώματα έλλειψης αζώτου εντοπίζονται στο χρώμα των φύλλων, το οποίο δεν έχει το χαρακτηριστικό πράσινο χρώμα. Αρχικά τα πρώτα συμπτώματα εμφανίζονται στα μεγαλύτερης ηλικία φύλλα, τα οποία παίρνουν ανοιχτό πράσινο χρώμα, στη συνέχεια γίνεται κίτρινο και νεκρώνονται. Επίσης παρατηρείται μειωμένη ανάπτυξη των φυτών, πρόωμη ανθοφορία, μειωμένη και χαμηλής ποιότητας παραγωγή και σύντομη ολοκλήρωση του βιολογικού τους κύκλου. Τα συμπτώματα είναι πολύ έντονα κατά τα κρίσιμα στάδια ανάπτυξης. Σήμερα η για τη διάγνωση της συγκεκριμένης τροφοπενίας χρησιμοποιείται η μέθοδος της φυλλοδιαγνωστικής και χρήση οργάνου για τη μέτρησης της χλωροφύλλης (Wood et al., 1993). Παράλληλα υπάρχουν σοβαρές επιπτώσεις στην παραγωγή σε περιπτώσεις αυξημένης συγκεντρώσεις αζώτου. Περίσσεια N οδηγεί σε βλαστομανία και σκούρου χρώματος φύλλωμα, δημιουργώντας φυτά που προσβάλλονται εύκολα από παθογόνα, έντομα και είναι πιο ευαίσθητα σε ακραίες περιβαλλοντικές συνθήκες. Επίσης μειώνει τον αριθμό των ανθέων, την ανάπτυξη των φρούτων και την ποιότητα των καρπών (Benton, 2005).

Η μορφή με την οποία παρέχεται στα φυτά επηρεάζει το μεταβολισμό του φυτού (Raab and Terry, 1994; Gerendas et al., 1997) και την απορρόφηση και άλλων μακροστοιχείων λόγω ιοντικού ανταγωνισμού (Marschner, 1995). Η ταχύτερη απορρόφηση της μιας ή της άλλης μορφής εξαρτάται από το ίδιο το φυτό (βιοχημικές μεταβολές), το pH και τον τύπο του υποστρώματος ανάπτυξης, καθώς και διάφορους άλλους παράγοντες.

Στις ελληνικές θερμοκηπιακές συνθήκες (υδρολίπανση) τα λιπάσματα νιτρική αμμωνία, νιτρικό ασβέστιο και νιτρικό κάλιο, ανάλογα με το pH του εδάφους και το στάδιο ανάπτυξης των φυτών, θεωρούνται τα πιο κατάλληλα για προσθήκη αζώτου (Παναγιωτόπουλος, 1995α).

2.6.1.2. Φώσφορος (P)

Η συγκέντρωσή του στα νεαρά φυτά κυμαίνεται από 0,5 έως 1% και μειώνεται όσο φθάνουν στη γήρανση. Ο P παίζει σημαντικό ρόλο στη μεταφορά ενέργειας στα φυτά, ενώ πιθανή τροφопενία επιβραδύνει σημαντικά την ανάπτυξη. Στα παλαιά φύλλα εντοπίζονται μεταχρωματισμοί, χρώματος πορφυρού, οι οποίοι μπορεί να οφείλονται και σε συμπτώματα από χαμηλές θερμοκρασίες είτε του μέσου ανάπτυξης είτε της ατμόσφαιρας. Πιθανόν η πρόσληψη του από τα φυτά ίσως επηρεάζεται σε μικρό βαθμό από τη θερμοκρασία, ενώ τα συμπτώματα περιορίζονται όταν οι θερμοκρασίες επιστρέφουν στα κανονικά επίπεδα για την ανάπτυξη των φυτών. Τροφопενία φωσφόρου μπορεί εύκολα να εντοπιστεί με τη διαδικασία της φυλλοδιαγνωστικής (Sonneveld and Voogt, 2009).

Μέχρι πρόσφατα η περίσσεια φωσφόρου δεν ήταν πρόβλημα σε κάποια καλλιέργεια. Ωστόσο, με βάση τις υπάρχουσες μελέτες έδειξαν ότι επηρεάζει την ανάπτυξη των φυτών. Υπάρχουν ενδείξεις ότι όταν στο φυτό υπερβαίνει το 1% του ξηρού βάρους παρουσιάζει συμπτώματα τοξικότητας (Jones 1998b). Αυτό έχει έμμεση επίδραση στις λειτουργίες των άλλων στοιχείων όπως Fe, Mn και Zn. Τα συμπτώματα είναι πιο έντονα σε καλλιέργειες εκτός εδάφους, ενώ σε κάποια υποστρώματα ανάπτυξης η αρχική εφαρμογή λιπασμάτων P μπορεί να είναι αρκετή να ικανοποιήσει τις ανάγκες όλης της καλλιέργειας.

Στα περισσότερα συστήματα εκτός εδάφους εφαρμόζεται σε ποσότητες μεταξύ 30 και 50 mg/L, αν και υπάρχουν ενδείξεις ότι πρέπει να μειωθεί στα 10-20 mg/L. Βρίσκεται σε μορφή ανιόντος στο διάλυμα και σχετίζεται με το pH του διαλύματος. Επίσης ο φώσφορος μπορεί να δημιουργήσει ιζήματα κοντά στη ρίζα, με αποτέλεσμα τη δυσκολία απορρόφησής του P και άλλων στοιχείων που συγκεντρώνονται στα ιζήματα (Benton, 2005).

Η προσθήκη του γίνεται με φωσφορικό μονοαμμώνιο, φωσφορικό μονοκάλιο ή φωσφορικό οξύ. Το πρώτο είναι ευδιάλυτο λίπασμα το οποίο μειώνει αισθητά το pH του διαλύματος. Χρησιμοποιείται μόνο συμπληρωματικά και όχι ως αποκλειστική πηγή φωσφόρου. Μπορεί να αποτελέσει μια εναλλακτική μορφή χορήγησης αμμωνίας όταν δεν είναι επιθυμητή ή δυνατή η προσθήκη νιτρικής αμμωνίας. Το δεύτερο κατά σειρά λίπασμα, είναι ευδιάλυτο άλας το οποίο μειώνει και αυτό ελαφρώς το pH λόγω των ιόντων που απελευθερώνει. Αποτελεί την πλέον συνηθισμένη πηγή φωσφόρου για τα θρεπτικά διαλύματα. Τέλος το φωσφορικό οξύ μπορεί να χρησιμοποιηθεί στα θρεπτικά διαλύματα αλλά θέλει προσοχή γιατί η προσθήκη του μειώνει σημαντικά το pH (Σαββας, 2012).

2.6.1.3. Κάλιο (K)

Είναι το κυρίαρχο ανόργανο στοιχείο στο φυτό και αποτελεί το 1,25-3% της ξηράς ουσίας του φυτού, αν και άλλα είδη έχουν απαιτήσεις περισσότερες από 10%. Καλλιέργειες τομάτας, αγγουριού, πιπεριάς έχουν μεγάλες απαιτήσεις σε κάλιο. Η πρόσληψή του είναι πολύ σημαντική κατά τη βλαστική ανάπτυξη και μειώνεται αργότερα. Επίσης συμμετέχει στην ανάπτυξη των καρπών και των ανθοκομικών φυτών. Σε αντίθετη περίπτωση αν υπάρξει έλλειψη στο στάδιο ανάπτυξης των καρπών και των ανθέων, η ποιότητά τους είναι αρκετά χαμηλή. Επίσης επηρεάζει σημαντικά τη μετασυλλεκτική διατήρηση των αγροτικών προϊόντων (Sonneveld and Voogt, 2009).

Είναι απαραίτητο για τη διατήρηση της σωστής ισορροπίας ιόντων στο φυτό και πιθανόν συμμετέχει στη σύνθεση και την κίνηση των υδατανθράκων. Συμμετέχει στην ενεργοποίηση πολλών ενζύμων για στο οσμωτικό δυναμικό των κυττάρων. Είναι βασικό στοιχείο των κυττάρων στα στομάτια, ενώ έλλειψη K οδηγεί σε κλείσιμο των στοματίων, μειώνει τη διαπνοή και τη φωτοσύνθεση. Επίσης σε τροφопενία K μειώνεται η σπαργή των φυτικών ιστών, με αποτέλεσμα την μάρανση και ξήρανση τους, ενώ παράλληλα επιβραδύνεται η ανάπτυξη του φυτού. Αρχικά τα συμπτώματα εντοπίζονται στα παλαιά φύλλα και σε προχωρημένο στάδιο έχουν την μορφή καψίματος γύρο από το έλασμα των φύλλων (Benton, 2005).

Στις περισσότερες υδροπονικές ‘συνταγές’ εφαρμόζεται σε ποσότητες 200mg/L και έχει τη μορφή κατιόντος. Το μεγαλύτερο ποσοστό του K στα θρεπτικά διαλύματα προστίθεται με το νιτρικό κάλιο, το οποίο έχει μικρή διαλυτότητα. Σε κάποιες περιπτώσεις χρησιμοποιείται συμπληρωματικά το θειικό κάλιο, το οποίο είναι ευδιάλυτο (Σάββας, 2012).

2.6.1.4. Ασβέστιο (Ca)

Η περιεκτικότητα σε ασβέστιο στα φύλλα ποικίλει μεταξύ 0,5 και 3% του ξηρού βάρους τους. Έχει βρεθεί ότι οι ανάγκες των φυτών είναι πολύ μικρές αλλά με την απαίτηση υψηλών συγκεντρώσεων εξαιτίας της παρουσίας κατιόντων και ιδιαίτερα μετάλλων (Wallace, 1971). Η πρόσληψή του εξαρτάται από τη συγκέντρωσή του στην περιοχή της ρίζας και από τη διαπνοή. Κατά την ωρίμανση η μετακίνηση του ασβεστίου μειώνεται. Αποτελεί ένα σημαντικό δομικό στοιχείο του κυτταρικού τοιχώματος και έτσι διατηρείται η ακεραιότητα της μεμβράνης η οποία είναι πολύ σημαντική.

Συμπτώματα έλλειψης ασβεστίου εντοπίζονται σε φύλλα, αποκτώντας διαφορετικό σχήμα, μέγεθος και παρουσιάζουν καφέ μεταχρωματισμούς. Επίσης το ασβέστιο επηρεάζει σημαντικά την ανάπτυξη των ριζών, οι οποίες αποκτούν έντονο καφέ χρώμα. Από τα πιο συνηθισμένα συμπτώματα είναι στους καρπούς, το οποίο συνοδεύεται από σήψη. Συμμετέχει στην ανάπτυξη και το μεταβολισμό των κυττάρων. Αντιθέτως σε περιπτώσεις αυξημένης συγκεντρώσεις Ca, παρουσιάζει παρόμοια συμπτώματα στα φύλλα, ενώ πιθανόν επηρεάζει τις συγκεντρώσεις K και Mg (Sonneveld and Voogt, 2009).

Στο θρεπτικό διάλυμα εφαρμόζεται σε ποσότητες κοντά στα 200mg/L. Επίσης υπάρχει κίνδυνος δημιουργίας ιζήματος στην περιοχή των ριζών εγκλωβίζοντας και άλλα στοιχεία. Το μοναδικό λίπασμα το οποίο μπορεί να προστεθεί το Ca στο θρεπτικό διάλυμα είναι το νιτρικό ασβέστιο και μόνο σε ειδικές περιπτώσεις είναι δυνατή η συμπληρωματική χρησιμοποίηση του CaCl_2 , σε περιορισμένη ποσότητα (Σάββας, 2012).

2.6.1.5. Μαγνήσιο (Mg)

Η περιεκτικότητα του στα φύλλα κυμαίνεται από 0,2-0,5% ενώ μπορεί να φτάσει και το 5% του ξηρού τους βάρους. Κάποια είδη είναι πολύ ευαίσθητα σε περιπτώσεις τροφοπενίας, επηρεαζόμενα από το στάδιο ανάπτυξης και τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Είναι συστατικό της χλωροφύλλης και ενεργοποιεί μια σειρά από ένζυμα για τη μεταφορά ενέργειας. Πιθανή έλλειψή του επηρεάζει την ανάπτυξη, ενώ στα τύπου C3 φυτά μειώνει τη σύνθεση υδατανθράκων. Η μετακίνησή του γίνεται τόσο μέσω των αγγείων του ξύλου όσο και μέσω του φλοιού.

Τροφοπενίες μαγνησίου παρουσιάζουν ποικίλα συμπτώματα, όπως χλώρωση στα μεγαλύτερης ηλικίας φύλλα. Επίσης μπορεί να διαταράξει τόσο την ισορροπία μεταξύ των ιόντων όσο και την απορρόφησή τους από τη ρίζα. Επίσης σε μειωμένη πρόσληψη Mg το φυτό προσλαμβάνει μεγαλύτερες ποσότητες Mn προκειμένου να μην επηρεαστεί η λειτουργία σημαντικών βιοχημικών διεργασιών για το φυτό, οδηγώντας στην κατάρρευση και το θάνατο των κυττάρων. Έχει επιβεβαιωθεί ότι πιθανή τροφοπενία μαγνησίου, αυξάνει την ευαισθησία του φυτού στα παθογόνα.

Στις υδροπονικές καλλιέργειες βρίσκεται σε μια συγκέντρωση κοντά στα 50 mg/L, αν και θεωρείται αρκετά χαμηλή για κάποιες καλλιέργειες.. Επίσης έχει εντοπιστεί ότι κατακάθονται ποσότητες μαγνησίου σε μορφή ιζήματος κοντά στις ρίζες (Benton, 2005).

2.6.1.6. Θείο (S)

Βρίσκεται στα φύλλα σε ποσοστά κοντά στο 0,15-1% της ξηρής ουσίας τους. Είναι συστατικό βασικών αμινοξέων, όπως θειαμίνη και κυστίνη. Φυτά των οικογενειών Cruciferae και Leguminosae έχουν μεγαλύτερες ανάγκες. Περιέχουν ενώσεις του S οι οποίες αναγνωρίζονται από την έντονη οσμή τους και τη γεύση. Συμπτώματα τροφοπενίας διαταράσσουν τη συνολική θρέψη των φυτών, μεταχρωματισμοί στα φύλλα εντοπίζονται σε προχωρημένο στάδιο. Επίσης σε κάποιες μελέτες τονίζουν τη σημασία της αναλογίας N/S στην ανάπτυξη των φυτών (Benton, 2005).

Στα υδροπονικά συστήματα το θείο εφαρμόζεται σε συγκεντρώσεις 50 mg/L, και έχει τη μορφή ανιόντος στο διάλυμα. Προστίθεται στο θρεπτικό διάλυμα με θειικό κάλιο και θειικό μαγνήσιο (Σάββας, 2012)

2.6.2. Μικροστοιχεία

Οι απαιτήσεις των φυτών είναι ελάχιστες σε μικροστοιχεία, αλλά πρέπει να εφαρμόζονται για τη διατήρηση της ισορροπίας στη θρέψη του φυτού. Οι εφαρμοζόμενες συγκεντρώσεις του είναι κοντά στο 1/10.000 της συγκέντρωσης των μακροστοιχείων. Είναι σημαντική η ικανότητα ελέγχου και διαχείρισης των ποσοτήτων τους στο διάλυμα γιατί χρειάζεται μεγάλη ακρίβεια. Αν εφαρμοστούν σε μικρότερες ή μεγαλύτερες συγκεντρώσεις, κυρίως σε καλλιέργεια εκτός εδάφους, μπορούν να παρουσιάσουν συμπτώματα τροφopenίας ή τοξικότητας αντίστοιχα. Συμπτώματα τα οποία θα είναι δύσκολο να περιοριστούν. Επίσης στοιχεία όπως ο Fe, Mn και Zn μπορούν να μεταβάλλουν το pH και τις συγκεντρώσεις των μακροστοιχείων στο θρεπτικό διάλυμα .

2.6.2.1. Βόριο (B)

Εντοπίζεται σε συγκεντρώσεις 10-50 mg/kg του ξηρού βάρους στα φύλλα. Συσσωρεύεται κοντά στις νευρώσεις των φύλλων και είναι σημαντικό στη σύνθεση των υδατανθράκων, την ανάπτυξη και στη συμμετοχή στις λειτουργίες του κυττάρου. Πιθανή έλλειψη B οδηγεί σε νανισμό, παρεμπόδιση της ανάπτυξης και μεταχρωματισμούς στα φύλλα. Επίσης η ανάπτυξη των καρπών είναι πολύ αργή έως ανύπαρκτη, ανάλογα και τις ανάγκες του φυτού. Περίσσεια βορίου μπορεί να δημιουργήσει συμπτώματα τοξικότητας. Έτσι είναι σημαντικός ο έλεγχος των συγκεντρώσεων του κατά την παρασκευή του θρεπτικού διαλύματος καθώς σε κάποιες περιοχές εντοπίζεται και στο νερό.

Το κλασικό λίπασμα που εφαρμόζεται είναι ο βόρακας, αλλά παρουσιάζει χαμηλή διαλυτότητα και περιεκτικότητα σε καθαρό βόριο. Επίσης στο θρεπτικό διάλυμα χρησιμοποιούνται το βορικό οξύ και το οκταβορικό νάτριο. Το δεύτερο είναι

πιο ευδιάλυτο από τα άλλα και χαρακτηρίζεται από μεγάλη ποσότητα σε καθαρό βόριο, γι' αυτό και έχει καθιερωθεί ως το πλέον συνηθισμένο λίπασμα B για υδροπονική καλλιέργεια.

2.6.2.2. Σίδηρος (Fe)

Η περιεκτικότητα των φύλλων στα περισσότερα φυτά είναι από 50 έως 100 mg/kg της ξηράς ουσίας τους. Στα φυτά αποθηκεύεται ως φωσφοροπρωτεΐνη που ονομάζεται 'phytoferritin'. Προσπάθειες μέτρησης της συγκέντρωσής του έχουν γίνει από πολλούς, όπως η προσπάθεια υπολογισμού του 'ενεργού Fe' στα φύλλα από τον (Jones, 2001). Ο Fe πιθανόν παίζει σημαντικό ρόλο σε λειτουργίες που αφορούν τη μεταφορά ενέργειας, γεγονός που οφείλεται στην ευκολία αλλαγής σθένους. Επίσης συμμετέχει στη διαδικασία της φωτοσύνθεσης και στο σχηματισμό της χλωροφύλλης (Benton, 2005).

Το πιο συνηθισμένο σύμπτωμα αφορά την παρεμπόδιση του πράσινου χρώματος εξαιτίας της απώλειας χλωροφύλλης. Αυτό εμφανίζεται κυρίως στη νέα βλάστηση, διαφοροποιώντας κατά κάποιο τρόπο από τα συμπτώματα τροφοπενίας Mg. Γενικότερα η έλλειψη σιδήρου συσχετίζεται και με συμπτώματα άλλων στοιχείων όπως S, Mn Zn. Έτσι είναι απαραίτητη η εξέταση του ιστού στο εργαστήριο. Επίσης Μερικά είδη μπορεί να ανταποκριθούν σε συνθήκες έλλειψης Fe με την απελευθέρωση ιόντων υδρογόνου δημιουργώντας μια όξινη περιοχή κοντά στη ρίζα. Η αντιμετώπιση των συμπτωμάτων αυτών και η δημιουργία νέας υγιούς βλάστησης, είναι πιο εύκολη να γίνει σε μια υδροπονική καλλιέργεια (Sonneveld and Voogt, 2009).

Από όλα τα απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία μόνο ο σίδηρος προστίθεται σε χηλική μορφή στο θρεπτικό διάλυμα. Η αναγκαιότητα αυτή απορρέει από την ιδιότητα των ιόντων Fe να αντιδρούν με τα φωσφορικά ιόντα και να καταβυθίζονται με αποτέλεσμα να παύουν να είναι διαθέσιμα για τα φυτά (Σάββας, 2012).

2.6.2.3. Μαγγάνιο (Mn)

Η περιεκτικότητα του στα φύλλα είναι περίπου 20-100 mg/kg του ξηρού βάρους τους. Συμπτώματα τροφοπενίας εντοπίζονται κοντά στις νευρώσεις των φύλλων, όπως επίσης και σε περιπτώσεις αυξημένης πρόσληψης εμφανίζονται τοξικότητες στην ίδια περιοχή. Πιθανή έλλειψη από το φυτό επηρεάζει τη λειτουργία του χλωροπλάστη, προκαλεί μεσονεύρια χλώρωση κυρίως στον αναπτυσσόμενο ιστό. Προβλήματα που μπορούν εύκολα να αντιμετωπιστούν με την εφαρμογή διαφυλλικού ψεκασμού ή με ψεκασμό κοντά στη ρίζα. Σε περιπτώσεις τροφοπενίας ή περίσσειας Mn διαταράσσεται γενικότερα η θρέψη του φυτού. Στην υδροπονία εφαρμόζεται σε ποσότητες 0,5 mg/L και απορροφάται εύκολα από τα φυτά (Benton, 2005).

Το θεικό μαγγάνιο αποτελεί το κατά κανόνα χρησιμοποιούμενο λίπασμα Mn για την παρασκευή θρεπτικών διαλυμάτων (Σάββας, 2012).

2.6.2.4. Ψευδάργυρος (Zn)

Το εύρος των συγκεντρώσεων του ψευδαργύρου στα φύλλα κυμαίνεται μεταξύ 20 και 50 mg/kg της ξηρής ουσίας τους. Μικρές μεταβολές στην ποσότητά του μπορούν να προκαλέσουν φυσιολογικές διαταραχές και αυξημένη ευαισθησία σε ασθένειες. Συμμετέχει στην ενεργοποίηση και στη σωστή λειτουργία κάποιων ενζύμων. Παράλληλα η τροφοπενία Zn εμφανίζει χλωρώσεις και παραμορφώσεις στα φύλλα, οι οποίες μπορούν να συσχετιστούν και με συμπτώματα τροφοπενιών άλλων στοιχείων. Επιπλέον πολλά φυτά είναι ανθεκτικά σε μεγαλύτερες από τις επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις ψευδαργύρου.

Βασική πηγή Zn στις υδροπονικές καλλιέργειες αποτελεί ο θεικός ψευδάργυρος και πιο συγκεκριμένα ο επταυδρικός θεικός ψευδάργυρος ο οποίος περιέχει μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε καθαρό Zn (Σαββας, 2012).

2.6.2.5. Μολυβδαίνιο (Mo)

Οι απαιτήσεις των φυτών σε μολυβδαίνιο είναι ελάχιστες. Είναι συστατικό κάποιων ενζύμων, που εμπλέκονται στο μεταβολισμό του αζώτου. Επίσης σημαντικό ρόλο παίζει και στην σωστή λειτουργία της σχέσης μεταξύ βακτηρίων και αζώτου. Τροφοπενίες Mo έχουν σαν αποτέλεσμα τη μειωμένη πρόσληψη και μεταβολισμό του αζώτου, παρόλο που οι συγκεντρώσεις του επαρκούν. Είδη της οικογένειας Cruciferae είναι περισσότερο ευαίσθητα στην έλλειψη μολυβδαίνιου.

Κύρια λιπάσματα για την παρασκευή του θρεπτικού διαλύματος είναι το επταμολυβδαινικό αμμώνιο και το μολυβδαινικό νάτριο (Σάββας, 2012).

2.6.2.6. Χαλκός (Cu)

Μέσα στο φυτό ο χαλκός συμμετέχει στις εξής φυσιολογικές και βιοχημικές λειτουργίες: α) είναι συστατικό πλαστοκυανίνης, β) ενεργοποιεί οξειδάσες (π.χ. οξειδάση κυτοχρώματος c), γ) συμμετέχει στον μεταβολισμό των λιπαρών οξέων, δ) είναι συστατικό του ενζύμου υπεροξειδισμούτάση. Επιπλέον ο χαλκός συμβάλλει στην πρωτεϊνοσύνθεση καθώς και την βιοσύνθεση σακχάρων (Σάββας, 2000).

2.6.2.7. Νάτριο (Na)

Το νάτριο βρίσκεται σε αφθονία στον στερεό φλοιό της γης. Υπολογίζεται ότι το 2,8% του στερεού φλοιού της γης συνίσταται από Na. Το αντίστοιχο ποσοστό για το κάλιο είναι 2,6%. Εντούτοις, ενώ το κάλιο είναι απαραίτητο θρεπτικό στοιχείο το οποίο περιέχεται σε μεγάλες ποσότητες στα φυτά, δεν συμβαίνει το ίδιο και με το νάτριο. Το νάτριο είναι τοξικό για την ζώσα ύλη και γι αυτό τα φυτά έχουν αναπτύξει μηχανισμούς εκλεκτικής απέκκρισης του είτε εκτός των ζωντανών κυττάρων είτε εκτός συγκεκριμένων περιοχών αυτών όπου επιτελούνται ζωτικές βιοχημικές λειτουργίες, όπως π.χ. η φωτοσύνθεση. Επειδή όμως το νάτριο είναι άφθονο στη φύση, συνήθως δημιουργούνται προβλήματα έκθεσης των φυτών σε υπερβολικές συγκεντρώσεις του χημικού αυτού στοιχείου. Σε ορισμένα φυτά όμως φυτά το νάτριο

ασκεί επωφελή δράση, ενώ για ορισμένες άλλες κατηγορίες φυτών το νάτριο θεωρείται απαραίτητο θρεπτικό στοιχείο (C4, CAM, τεύτλο) (Σάββας, 2000).

3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

3.1. ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε στο υαλόφρακτο αμφικλινές θερμαινόμενο θερμοκήπιο του εργαστηρίου Κηπευτικών Καλλιεργειών, στην περιοχή του Βοτανικού το οποίο βρίσκεται σε υψόμετρο 38 m από την επιφάνεια της θάλασσας και με γεωγραφικές συντεταγμένες (Γ.Π.=37,58°/ Γ.Μ.=23,42°). Ο συγκεκριμένος θάλαμος διαθέτει πλαϊνά παράθυρα και παράθυρα οροφής με αυτόματο μηχανισμό..

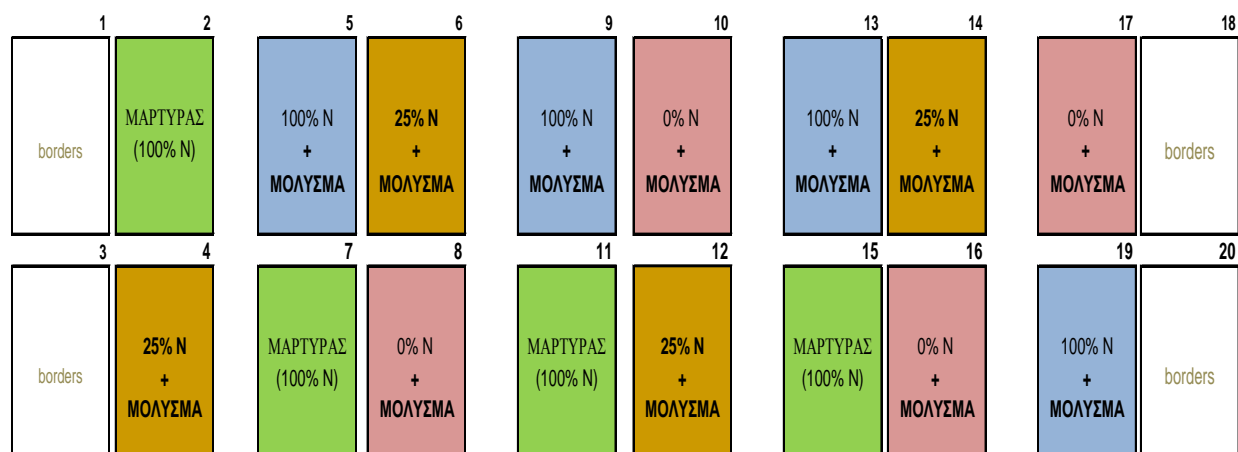
3.2. ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

Στο συγκεκριμένο χώρο εγκαταστάθηκε υδροπονικό σύστημα κλειστού τύπου με 20 παράλληλες τοποθετημένες υδρορροές (κανάλια) μήκους 3 m και πλάτους 20 cm, εντός των οποίων τοποθετήθηκαν τα φυτά βάσει του πειραματικού σχεδίου που παρατίθεται παρακάτω (εικόνα 9). Οι διαφορετικοί μεταχειρίσεις του πειραματικού σχεδίου που χρησιμοποιήθηκαν τοποθετήθηκαν στα κανάλια με τελείως τυχαιοποιημένη διάταξη.

Κάθε κανάλι ήταν συνδεδεμένο με μια αντλία, η οποία τροφοδοτούσε με θρεπτικό διάλυμα τα φυτά, με μια δεξαμενή, η οποία περιείχε το διάλυμα τροφοδοσίας έτσι ώστε να παρέχεται το θρεπτικό διάλυμα στα φυτά (μπλε δεξαμενή) και με μια δεξαμενή συμπλήρωσης θρεπτικού διαλύματος (μαύρη δεξαμενή) (εικόνα 8). Κάθε μπλε δεξαμενή ήταν συνδεδεμένη με την αντίστοιχη μαύρη με πλωτήρα (floater), έτσι ώστε η στάθμη της μπλε να παραμένει σταθερή στα 25 λίτρα θρεπτικού διαλύματος απορροής. Το θρεπτικό διάλυμα διανεμόταν στα φυτά μέσω σταλαχτών που φέρονταν πάνω στους πλευρικούς αγωγούς. Το διάλυμα απορροής, μέσω του καναλιού επέστρεφε στη δεξαμενή τροφοδοσίας. Με αυτό τον τρόπο γινόταν η ανακύκλωση του θρεπτικού διαλύματος στην παραπάνω υδροπονική διάταξη.

3.3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Διάταξη του υδροπονικού συστήματος κλειστού τύπου.

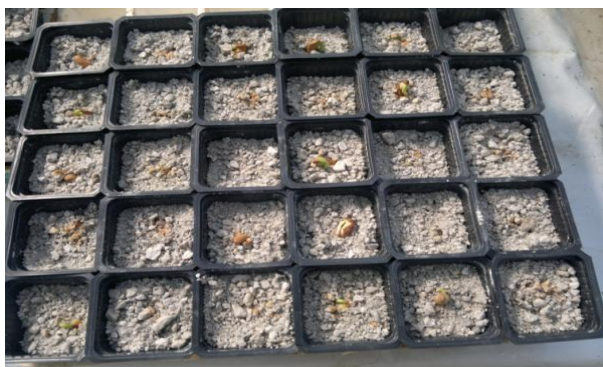


Εικόνα 9: Σχηματική απεικόνιση πειραματικού σχεδίου στο θερμοκήπιο.

Επεμβάσεις

1. Μάρτυρας (θρεπτικό διάλυμα με άζωτο)
2. 100%N + Μόλυσμα (θρεπτικό διάλυμα με άζωτο και εμβολιασμός με το στέλεχος *Rhizobium tropici*)
3. 25%N + Μόλυσμα (θρεπτικό διάλυμα με 25% της συνολικής ποσότητας αζώτου και με εμβολιασμό με το στέλεχος *Rhizobium tropici*)
4. 0%N + Μόλυσμα (θρεπτικό διάλυμα χωρίς την προσθήκη αζώτου και με τον εμβολιασμό στελέχους *Rhizobium tropici*)
5. Borders (φυτά περιθωρίου)

Καλλιεργήθηκε αναρριχόμενο φασόλι *Phaseolus vulgaris* Helda του σποροπαραγωγικού οίκου Agrogen. Στις 22/03/2013 πραγματοποιήθηκε σπορά στο θερμοκήπιο σε ατομικά πλαστικά γλαστράκια γεμισμένα με υπόστρωμα ελαφρόπετρας (εικόνα 10).



Εικόνα 10: Δίσκος σποράς γεμισμένος με υπόστρωμα ελαφρόπετρας.

Οι δίσκοι διαχωρίστηκαν σε τρεις κατηγορίες.. Η πρώτη κατηγορία περιελάμβανε τα φυτά τα οποία ποτίζονταν με θρεπτικό διάλυμα που περιείχε την κατάλληλη ποσότητα αζώτου (σύμφωνα με τις ανάγκες του φυτού) για την μεταχείριση του μάρτυρα. Η δεύτερη κατηγορία περιελάμβανε τα φυτά τα οποία ποτίζονταν με θρεπτικό διάλυμα που περιείχε ποσότητα αζώτου ίση με το $\frac{1}{4}$ της ποσότητας αζώτου που περιείχε το θρεπτικό διάλυμα του μάρτυρα (για τις μεταχειρίσεις των οποίων η θρέψη τους είχε οριστεί με άζωτο $\frac{1}{4}$ της συνολικής. Τέλος η τρίτη κατηγορία φυτών ποτιζόταν με θρεπτικό διάλυμα χωρίς άζωτο για τις μεταχειρίσεις των οποίων η θρέψη τους έχει οριστεί χωρίς καθόλου άζωτο.

Στις 28/03/2013 παρατηρήθηκε η πρώτη έκπτυξη σποροφύτων.

Η μεταφύτευση των σποροφύτων φασολιού έγινε στο στάδιο των δύο πραγματικών φύλλων στις 8/4/2013.



Εικόνα 11: Φυτό φασολιού σε ελαφρόπετρα στο στάδιο των 2 κοτυληδόνων.

3.4. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΠΟΡΟΦΥΤΩΝ

Πάνω σε κάθε κανάλι τοποθετήθηκαν 3 σάκοι ο οποίοι περιείχαν υπόστρωμα ελαφρόπετρας.

Η πάνω επιφάνεια των σάκων σκίστηκε σε 4 ισαπέχοντα σημεία-υποδοχές για τα φυτά. Έπειτα έγινε διαβροχή του υποστρώματος με τα αντίστοιχα θρεπτικά διαλύματα. Στη συνέχεια, δημιουργήθηκαν σχισμές στην κάτω επιφάνεια των σάκων σε 5 ισαπέχοντα σημεία για απορροή θρεπτικού διαλύματος. (εικόνα 12)



Εικόνα 12: Σάκοι υδροπονίας με υπόστρωμα ελαφρόπετρας έτοιμοι για μεταφύτευση σποροφύτων φασολιού

Σε κάθε σάκο μεταφυτεύθηκαν 4 φυτά. Έτσι τελικά σε κάθε κανάλι είχαν τοποθετηθεί 4 φυτά/σακί *3 σάκους = 12 φυτά/κανάλι. Άρα σε όλο το πείραμα χρησιμοποιήθηκαν 192 φυτά

Η κάθε πειραματική επέμβαση επαναλαμβάνονταν 4 φορές.

Όταν ολοκληρώθηκε η μεταφύτευση, έγινε ο εμβολιασμός των φυτών με πυκνό διάλυμα αζωτοβακτηρίου του στελέχους *Rhizobium tropici* (CIAT) (εικόνα 13). Σε όλες τις μεταχειρίσεις έγινε εφαρμογή του μολύσματος ,εκτός από την μεταχείριση του μάρτυρα (δηλαδή στις μεταχειρίσεις 100%N + Μόλυσμα, 25%N + Μόλυσμα και

0%N+ Μόλυσμα). Ο εμβολιασμός αυτός έγινε περιφερειακά του ριζικού συστήματος των φυτών με ποσότητα μολύσματος ίση με 10 ml για κάθε φυτό.



Εικόνα 13: Πυκνό διάλυμα αζωτοβακτηρίου στελέχους *Rhizobium tropici* (CIAT 899)

Τα φυτά αυτά παρέμειναν απότιστα για χρονικό διάστημα τριών ημερών έτσι ώστε να γίνει προσκόλληση των αζωτοβακτηρίων, ενώ στα φυτά της μεταχείρισης του μάρτυρα εφαρμοζόταν χειρονακτικά πότισμα επί καθημερινής βάσεως με το αντίστοιχο αραιό θρεπτικό διάλυμα . Μετά το πέρας των τριών ημερών όλες οι μεταχειρίσεις ποτίζονταν με τη χρήση αυτόματου συστήματος στάγδην άρδευσης.. (εικόνες 14 & 15). Για να επιτευχθεί μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα της εγκατάστασης του *Rhizobium*, έγινε επανάληψη του εμβολιασμού, 10 ημέρες μετά τον πρώτο. Η συχνότητα άρδευσης καθοριζόταν μέσω ηλεκτρονικών υπολογιστών και με τη χρήση αισθητήρα μέτρησης της ηλιακής ακτινοβολίας (kWh) και ανερχόταν κατά μέσο όρο σε 6-7 ποτίσματα/ημέρα. Ο χρόνος ποτίσματος ήταν ίδιος για όλες τις μεταχειρίσεις με διαφορετική συχνότητα άρδευσης η κάθε μια. Το θρεπτικό διάλυμα που εφαρμόστηκε σε κάθε μεταχείριση ήταν προκαθορισμένο με βάση το πρόγραμμα σύστασης και υπολογισμού θρεπτικών στοιχείων σε για υδροπονικά συστήματα σε H/Y που παρατίθενται παρακάτω (Savvas and Adamidis,1999) .



Εικόνα 14



Εικόνα 15

Εικόνες 14 & 15: Σύστημα στάγδην άρδευσης

3.5.ΣΥΣΤΑΣΗ ΘΡΕΠΤΙΚΩΝ ΔΙΑΛΥΜΑΤΩΝ

Πριν την έναρξη του πειράματος, ζυγίστηκαν τα λιπάσματα μακροστοιχείων και ιχνοστοιχείων σύμφωνα με τις συστάσεις και τους υπολογισμούς που έγιναν μέσω ειδικού προγράμματος H/Y (Savvas and Adamidis,1999).

Φτιάχτηκαν 3 διαφορετικά πυκνά θρεπτικά διαλύματα.. Το ένα θρεπτικό διάλυμα περιείχε Οι δυο με άζωτο 100% και 25% αντίστοιχα και η τρίτη χωρίς άζωτο. (πίνακες 3,4,5)

Πίνακας 3: Θρεπτικό διάλυμα για καλλιέργεια σε υπόστρωμα ελαφρόπετρας με άζωτο

ΘΡΕΠΤΙΚΟ ΔΙΑΛΥΜΑ ΓΙΑ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΣΕ ΕΛΑΦΡΟΠΕΤΡΑ - Προσδιορισμός βιολογικής αζωτοδέσμευσης									
ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ									
Πυκνά διαλύματα	V, m ³	A	Επιθυμητά χαρακτηριστικά Θ.Δ.			Χημική σύσταση νερού			
Πυκνό διάλυμα Α	0,02	100	E _c *	1,60 dSim	E.C.	0,32 dSim			
Πυκνό διάλυμα Β	0,02	100	pH opt.	5,6	pH	7,3			
Πυκνό διάλυμα οξέως	0,02	200	[K]	5,000 mmol/l	Ca ²⁺	1,00 mmol/l			
Επιλογή λιπάσματος φωσφορικό:			[Ca]	2,500 mmol/l	Mg ²⁺	0,30 mmol/l			
Επιλέξτε 1 για φωσφορικό μονοκάλιο ή 2 για φωσφορικό οξύ	2		[Mg]	1,200 mmol/l	K ⁺	0,00 mmol/l			
			[PNO3]	9,600 mmol/l	NH ₄ ⁺	0,00 mmol/l			
Επιλογή λιπάσματος βορικό:			[PNO2]	1,600 mmol/l	Na ⁺	0,30 mmol/l			
Επιλέξτε 1 για βορικό οξύ, 2 για κεραμοβορικό νάτριο (βόρακος) ή 3 για οκταβορικό νάτριο (σολούβ)	1		[BNO3]	1,800 mmol/l	SO ₄ ²⁻	0,20 mmol/l			
Επιλογή λιπάσματος μολυβδανικό:			[Fe]	12,00 μmol/l	NO ₃ ⁻	0,00 mmol/l			
Επιλέξτε 1 για εεταμολυβδανικό αμμώνιο ή 2 για μολυβδανικό νάτριο	2		[Mn]	6,00 μmol/l	H ₂ PO ₄ ⁻	0,00 mmol/l			
			[Zn]	4,00 μmol/l	HCO ₃ ⁻	2,20 mmol/l			
			[Cu]	0,50 μmol/l	Cl ⁻	0,30 mmol/l			
Επιθυμητές ημζ K, Ca, Mg: Επιλέξτε 1 για αναλογία K:Ca:Mg (πυκνότητα) ή 2 για αναλογία οξέως (πυκνότητα)	2		[B]	20,00 μmol/l	Fe	0,00 μmol/l			
			[Mo]	0,50 μmol/l	Mn ²⁺	0,00 μmol/l			
			[S]	0,00 mmol/l	Zn ²⁺	2,15 μmol/l			
Επιλέξτε 1 για αναγωγή επιθυμητής ημζ NH ₄ (πυκνότητα) ή 2 για επιθυμητή αναγωγή NH ₄ NO ₃ (πυκνότητα)	2		% καθαρό λίπασμα			Cu ²⁺	0,00 μmol/l		
			καθαρό HNO ₃	68 (% ημζ)	B	0,00 μmol/l			
			καθαρό H ₂ PO ₄	85 (% ημζ)	Mo	0,00 μmol/l			
Επιλέξτε 1 για αναγωγή επιθυμητής ημζ NH ₄ , NH ₄ ⁺ +NO ₃ ⁻ (πυκνότητα) ή 2 για επιθυμητή αναγωγή NH ₄ ⁺ (πυκνότητα)	2		Fe σε χηλικό Fe	6 (% ημζ)	Si	0,00 mmol/l			
			CaCl	0,00	ΣCa ₂₊	2,90 meq/l			
			Λιπάσματα (ημζ οξέως)	1,293	ΣMg ₂₊	2,90 meq/l			
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ									
Καπνότητα/κόνινα	C.C.S	C.C.W	C.A.F.	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	Si
C.A.S.	94,30			2,20	9,60	1,80	0,40	0,30	0,00
C.A.W		2,90		0,40	0,00	0,00	2,20	0,30	0,00
A.A.F.			13,20	1,80	9,60	1,80	0,00	0,00	0,00
Ca ²⁺	5,00	2,00	3,00	0,00	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mg ²⁺	2,40	0,60	1,80	1,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K ⁺	5,00	0,00	5,00	0,00	5,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NH ₄ ⁺	1,60	0,00	1,60	0,00	1,60	0,00	0,00	0,00	0,00
Na ⁺	0,30	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H ⁺	0,00	0,00	1,80	0,00	0,00	1,80	0,00	0,00	0,00
* Σημαντική παρατήρηση: Επιθυμητή τιμή ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) εισάγεται μόνο όταν καθορίζονται επιθυμητές αναλογίες για το μακροκαπνίνα (K:Ca:Mg). Όταν εισάγονται επιθυμητές συγκεντρώσεις K, Ca, Mg, τότε το πρόγραμμα θα υπολογίσει αυτόματα την EC που αντιστοιχεί σε αυτές τις συγκεντρώσεις.									

Καλλιέργειας: ΓΠΑ - LEGUME FUTURES			
Καλλιέργειομο είδος: Φασόλι			
Τύπος Θ.Δ.: Κοινωνική ανάπτυξη			
Ημερομηνία: 20-4-2011			
ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΜΑΖΕΣ ΛΙΠΑΣΜΑΤΩΝ			
E.C.	1,61 dSim		
pH	5,6		
Πυκνό διάλυμα Α 20 ΛΙΤΡΑ			
1 Ηπρικό σφέτιο	0,648 Kg		
7 Χλωροίχο σφέτιο	0,000 Kg		
2 Ηπρικό κόλι	0,414 Kg		
3 Ηπρικό αμμόλιο	0,208 Kg		
4 Χηλικός σόληρος	0,022 Kg		
Πυκνό διάλυμα Β 20 ΛΙΤΡΑ			
1 Ηπρικό κόλι	0,597 Kg		
2 Θεσικό μαγγάνιο	0,443 Kg		
3 Ηπρικό μαγγάνιο	0,001 Kg		
4 Φωσφορικό μονοκάλιο	0,000 Kg		
5 Θεσικό κόλι	0,000 Kg		
6 Φωσφορικό οξύ	0,246 λίτρα		
8 Θεσικό μαγγάνιο	2,03 g		
9 Θεσικό φευδωργιόμο	1,06 g		
10 Θεσικό χηλικός	0,25 g		
11 Βορικό οξύ	2,47 g		
12 Βόρακος	0,00 g		
13 Solubor	0,00 g		
14 Επταμολυβδανικό αμμώνιο	0,00 g		
15 Μολυβδανικό νάτριο	0,24 g		
Πυκνό διάλυμα οξέως 20 ΛΙΤΡΑ			
1 Ηπρικό οξύ	-0,001 λίτρα		
Υπολογισμοί (C ₂) για προσθήκη οξέως			
[H ₂ O] ⁻	5,012E-08		
B _π	11,01		
[CO ₂ ⁻]+[HCO ₃ ⁻]+[H ₂ CO ₃]	0,0024222		
[H ₂ O] ^{κακ}	2,512E-06		
B _{π=2}	1,1995302		
[K]	15,97	Σ _{καθίσταται}	14,30
[NH ₄]	76,8	Σ _{καθίσταται}	14,30

Τα πυκνά διαλύματα παρασκευάζονταν σε 3 δεξαμενές των 20L διαλύοντας μέσα τις ανάλογες ποσότητες λιπασμάτων στον νερό. Στη συνέχεια γινόταν αραιώση 1/100 με τη βοήθεια ογκομετρικού κυλίνδρου για τη δημιουργία του αραιού, το οποίο μεταφέρθηκε σε βαρέλι που συνδέεται με την αντλία (εικόνα 16). Κατά την παρασκευή του τελικού διαλύματος που θα μοιραζόταν στα φυτά, ήταν απαραίτητη η μέτρηση και η ρύθμιση της αγωγιμότητας (αγωγιμόμετρο τύπου Crison Cm25) και του pH (πεχάμετρο τύπου Crison pH 25) με χρήση πυκνού οξέος (H₃PO₄) για καλύτερη απορρόφηση των θρεπτικών στοιχείων.



Εικόνα 16: Μπλε και μαύρες δεξαμενές



Εικόνα 17: Αντλίες με συνδέσεις

ΘΡΕΠΤΙΚΟ ΔΙΑΛΥΜΑ ΓΙΑ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΣΕ ΕΛΑΦΡΟΠΕΤΡΑ - Προσδιορισμός βιολογικής αζωτοδέσμευσης									
ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ									
Πυκνά διαλύματα	V, m ³	A	Επιθυμητά χαρακτηριστικά θ.Δ.	Χημική σύσταση νερού					
Πυκνό διάλυμα Α	0,02	100	E _c *	1,60 dS/m	E.C.	0,32 dS/m			
Πυκνό διάλυμα Β	0,02	100	pH οφτ.	5,6	pH	7,3			
Πυκνό διάλυμα οξέως	0,02	200	[K ⁺]	5,000 mmol/l	Ca ²⁺	1,00 mmol/l			
Επιλογή λιπασμάτων φωσφορούς:			[Ca ²⁺]	2,500 mmol/l	Mg ²⁺	0,30 mmol/l			
Επιλέγει 1 για φωσφορικό μονοκάλιο ή 2 για φωσφορικό οξύ	2		[Mg ²⁺]	1,200 mmol/l	K ⁺	0,00 mmol/l			
Επιλογή λιπασμάτων βορίου: Επιλέγει 1 για βορικό οξύ, 2 για περσβορικό νάτριο (βόρικο) ή 3 για οκταβορικό νάτριο (βορικό)	1		[NO ₃ ⁻]	3,450 mmol/l	NH ₄ ⁺	0,00 mmol/l			
Επιλογή λιπασμάτων μαγνησίου: Επιλέγει 1 για μαγνησίου οξείδιο, 2 για περσβορικό νάτριο (μαγνησίου) ή 3 για οκταβορικό νάτριο (μαγνησίου)	1		[H ₂ PO ₄ ⁻]	0,300 mmol/l	Na ⁺	0,30 mmol/l			
Επιλογή λιπασμάτων μεταλλικών: Επιλέγει 1 για εμπορικό μεταλλικό ορυκτό ή 2 για μεταλλικό νάτριο	2		[Fe ²⁺]	12,00 mmol/l	SO ₄ ²⁻	0,20 mmol/l			
Επιλογή λιπασμάτων κοπριάς: Επιλέγει 1 για κοπριάς κοπριάς ή 2 για κοπριάς κοπριάς	2		[Mn ²⁺]	6,00 mmol/l	NO ₂ ⁻	0,00 mmol/l			
Επιλογή λιπασμάτων κοπριάς: Επιλέγει 1 για κοπριάς κοπριάς ή 2 για κοπριάς κοπριάς	2		[Zn ²⁺]	4,00 mmol/l	H ₂ PO ₄ ⁻	0,00 mmol/l			
Επιλογή λιπασμάτων κοπριάς: Επιλέγει 1 για κοπριάς κοπριάς ή 2 για κοπριάς κοπριάς	2		[Cu ²⁺]	0,50 mmol/l	HCO ₃ ⁻	2,20 mmol/l			
Επιλογή λιπασμάτων κοπριάς: Επιλέγει 1 για κοπριάς κοπριάς ή 2 για κοπριάς κοπριάς	2		[B ⁻]	20,00 mmol/l	Cl ⁻	0,30 mmol/l			
Επιλογή λιπασμάτων κοπριάς: Επιλέγει 1 για κοπριάς κοπριάς ή 2 για κοπριάς κοπριάς	2		[M ²⁺]	0,50 mmol/l	Fe	0,00 mmol/l			
Επιλογή λιπασμάτων κοπριάς: Επιλέγει 1 για κοπριάς κοπριάς ή 2 για κοπριάς κοπριάς	2		[S ²⁻]	0,00 mmol/l	Mn ²⁺	0,00 mmol/l			
Επιλέγει 1 για εμπορικό λιπασματικό ή 2 για εμπορικό λιπασματικό	2		% καθαρό λίπασμα		Zn ²⁺	2,15 mmol/l			
Επιλέγει 1 για εμπορικό λιπασματικό ή 2 για εμπορικό λιπασματικό	2		καθαρό HNO ₃	68 (% w/w)	Cu ²⁺	0,00 mmol/l			
Επιλέγει 1 για εμπορικό λιπασματικό ή 2 για εμπορικό λιπασματικό	2		καθαρό H ₂ PO ₄	85 (% w/w)	B	0,00 mmol/l			
Επιλέγει 1 για εμπορικό λιπασματικό ή 2 για εμπορικό λιπασματικό	2		Fe σε χημικό Fe	6 (% w/w)	Mn	0,00 mmol/l			
Επιλέγει 1 για εμπορικό λιπασματικό ή 2 για εμπορικό λιπασματικό	2		CaCl	0,00	Mg	0,00 mmol/l			
Επιλέγει 1 για εμπορικό λιπασματικό ή 2 για εμπορικό λιπασματικό	2		Λιπάσματα (kg/ha)	1,121	Si	0,00 mmol/l			
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ									
Κατόνη/απόνη	C.C.S	C.C.W.	C.A.F.	SO ₄ ²⁻	NO ₂ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	Si
C.A.S.	13,00			7,05	1,80	0,00	0,00	0,30	0,00
C.A.W.		2,90		0,00	0,00	0,00	2,20	0,30	0,00
A.A.F.			11,90	6,65	1,80	0,00	0,00	0,00	0,00
Ca ²⁺	5,00	2,00	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mg ²⁺	2,00	0,60	1,80	1,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K ⁺	5,00	0,00	5,00	4,05	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00
Na ⁺	0,30	0,00	0,30	0,00	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00
NH ₄ ⁺	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H ⁺	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,80	0,00	0,00	0,00
* Σημαντική παρατήρηση: Επιθυμητή τιμή ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) εκσέεται μόνο όταν καθορίζονται επιθυμητές αναλογίες για τα μακροστονία (K:Ca:Mg). Όταν εισάγονται επιθυμητές αναλογίες K, Ca, Mg, τότε το πρόγραμμα θα υπολογίσει αυτόματα την EC που αντιστοιχεί σε αυτές τις αναλογίες.									

Πίνακας 4: Θρεπτικό διάλυμα για καλλιέργεια σε υπόστρωμα ελαφρόπετρας χωρίς άζωτο

ΘΡΕΠΤΙΚΟ ΔΙΑΛΥΜΑ ΓΙΑ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΣΕ ΕΛΑΦΡΟΠΕΤΡΑ - Προσδιορισμός βιολογικής αζωτοδέσμευσης									
ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ									
Πυκνά διαλύματα	V, m ³	A	Επιθυμητά χαρακτηριστικά θ.Δ.	Χημική σύσταση νερού					
Πυκνό διάλυμα Α	0,02	100	E _c *	1,45 dS/m	E.C.	0,32 dS/m			
Πυκνό διάλυμα Β	0,02	100	pH οφτ.	5,6	pH	7,3			
Πυκνό διάλυμα οξέως	0,02	200	[K ⁺]	5,000 mmol/l	Ca ²⁺	1,00 mmol/l			
Επιλογή λιπασμάτων φωσφορούς:			[Ca ²⁺]	2,500 mmol/l	Mg ²⁺	0,30 mmol/l			
Επιλέγει 1 για φωσφορικό μονοκάλιο ή 2 για φωσφορικό οξύ	2		[Mg ²⁺]	1,200 mmol/l	K ⁺	0,00 mmol/l			
Επιλογή λιπασμάτων βορίου: Επιλέγει 1 για βορικό οξύ, 2 για περσβορικό νάτριο (βόρικο) ή 3 για οκταβορικό νάτριο (βορικό)	1		[NO ₃ ⁻]	0,000 mmol/l	NH ₄ ⁺	0,00 mmol/l			
Επιλογή λιπασμάτων μαγνησίου: Επιλέγει 1 για μαγνησίου οξείδιο, 2 για περσβορικό νάτριο (μαγνησίου) ή 3 για οκταβορικό νάτριο (μαγνησίου)	1		[H ₂ PO ₄ ⁻]	1,800 mmol/l	SO ₄ ²⁻	0,20 mmol/l			
Επιλογή λιπασμάτων μεταλλικών: Επιλέγει 1 για εμπορικό μεταλλικό ορυκτό ή 2 για μεταλλικό νάτριο	2		[Fe ²⁺]	12,00 mmol/l	NO ₂ ⁻	0,00 mmol/l			
Επιλογή λιπασμάτων κοπριάς: Επιλέγει 1 για κοπριάς κοπριάς ή 2 για κοπριάς κοπριάς	2		[Mn ²⁺]	6,00 mmol/l	H ₂ PO ₄ ⁻	0,00 mmol/l			
Επιλογή λιπασμάτων κοπριάς: Επιλέγει 1 για κοπριάς κοπριάς ή 2 για κοπριάς κοπριάς	2		[Zn ²⁺]	4,00 mmol/l	HCO ₃ ⁻	2,20 mmol/l			
Επιλογή λιπασμάτων κοπριάς: Επιλέγει 1 για κοπριάς κοπριάς ή 2 για κοπριάς κοπριάς	2		[Cu ²⁺]	0,50 mmol/l	Cl ⁻	0,30 mmol/l			
Επιλογή λιπασμάτων κοπριάς: Επιλέγει 1 για κοπριάς κοπριάς ή 2 για κοπριάς κοπριάς	2		[B ⁻]	20,00 mmol/l	Fe	0,00 mmol/l			
Επιλογή λιπασμάτων κοπριάς: Επιλέγει 1 για κοπριάς κοπριάς ή 2 για κοπριάς κοπριάς	2		[M ²⁺]	0,50 mmol/l	Mn ²⁺	0,00 mmol/l			
Επιλογή λιπασμάτων κοπριάς: Επιλέγει 1 για κοπριάς κοπριάς ή 2 για κοπριάς κοπριάς	2		[S ²⁻]	0,00 mmol/l	Zn ²⁺	2,15 mmol/l			
Επιλέγει 1 για εμπορικό λιπασματικό ή 2 για εμπορικό λιπασματικό	2		% καθαρό λίπασμα		Cu ²⁺	0,00 mmol/l			
Επιλέγει 1 για εμπορικό λιπασματικό ή 2 για εμπορικό λιπασματικό	2		καθαρό HNO ₃	68 (% w/w)	B	0,00 mmol/l			
Επιλέγει 1 για εμπορικό λιπασματικό ή 2 για εμπορικό λιπασματικό	2		καθαρό H ₂ PO ₄	85 (% w/w)	Mg	0,00 mmol/l			
Επιλέγει 1 για εμπορικό λιπασματικό ή 2 για εμπορικό λιπασματικό	2		Fe σε χημικό Fe	6 (% w/w)	Si	0,00 mmol/l			
Επιλέγει 1 για εμπορικό λιπασματικό ή 2 για εμπορικό λιπασματικό	2		CaCl	3,00	Σα _{Ca}	2,90 mg/l			
Επιλέγει 1 για εμπορικό λιπασματικό ή 2 για εμπορικό λιπασματικό	2		Λιπάσματα (kg/ha)	0,735	Σα _{Mg}	2,90 mg/l			
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ									
Κατόνη/απόνη	C.C.S	C.C.W.	C.A.F.	SO ₄ ²⁻	NO ₂ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	Si
C.A.S.	12,70			7,20	0,00	1,80	0,00	3,30	0,00
C.A.W.		2,90		0,00	0,00	0,00	2,20	0,30	0,00
A.A.F.			11,60	6,20	0,00	1,80	0,00	3,00	0,00
Ca ²⁺	5,00	2,00	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,00	0,00
Mg ²⁺	2,00	0,60	1,80	1,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K ⁺	5,00	0,00	5,00	5,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na ⁺	0,30	0,00	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NH ₄ ⁺	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H ⁺	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,80	0,00	0,00	0,00
* Σημαντική παρατήρηση: Επιθυμητή τιμή ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) εκσέεται μόνο όταν καθορίζονται επιθυμητές αναλογίες για τα μακροστονία (K:Ca:Mg). Όταν εισάγονται επιθυμητές αναλογίες K, Ca, Mg, τότε το πρόγραμμα θα υπολογίσει αυτόματα την EC που αντιστοιχεί σε αυτές τις αναλογίες.									

Πίνακας 5: Θρεπτικό διάλυμα για καλλιέργεια σε υπόστρωμα ελαφρόπετρας με 1/4 της ποσότητας αζώτου από το θρεπτικό διάλυμα της μεταχείρισης του μάρτυρα.

3.6. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Ανά τακτά χρονικά διαστήματα πραγματοποιούνταν μετρήσεις του pH αλλά και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας τόσο στην δεξαμενή συμπλήρωσης αλλά και στην δεξαμενή ανακύκλωσης. Όπως ήδη αναφέρθηκε προκειμένου οι τιμές του pH να διατηρούνται στα επιθυμητά επίπεδα χρησιμοποιήθηκε φωσφορικό οξύ (H_3PO_4).



Εικόνα 18: Φορητά όργανα μέτρησης PH & EC

3.6.1. Μετρήσεις παραγωγής

Καθ' όλη την καλλιεργητική περίοδο προκειμένου να υπολογιστεί η συνολική παραγωγή σε λοβούς φασολιού πραγματοποιήθηκαν οι εξής διαδοχικές συγκομιδές:

1^η συγκομιδή: 10/5/2013

2^η συγκομιδή: 14/5/2013

3^η συγκομιδή: 18/5/2013

4^η συγκομιδή: 25/5/2013

5^η συγκομιδή: 29/5/2013

6^η συγκομιδή: 1/6/2013

7^η συγκομιδή: 5/6/2013

8^η συγκομιδή: 8/6/2013

9^η συγκομιδή: 15/6/2013

10^η συγκομιδή: 20/6/201

Αριθμός καρπών ανά φυτό: επιλέχθηκαν 8 τυχαία φυτά από κάθε κανάλι από τα οποία συλλέχθηκαν οι καρποί στο στάδιο συγκομιδής εμπορικού μεγέθους (20-25 cm).

Νωπό βάρος καρπών ανά φυτό: αμέσως μετά τη συλλογή των καρπών ζυγίστηκαν σε ζυγαριά ακριβείας.

Ξηρό βάρος καρπών: Τοποθετήθηκαν σε φούρνο (θερμοκρασία 65 ° C) όπου παρέμειναν μέχρι τελικής σταθεροποίησης του βάρους τους. Στη συνέχεια σε ζυγαριά ακριβείας προσδιορίστηκε το ξηρό βάρος τους.

Φυμάτια: μετά από τον καθαρισμό των υπολειμμάτων ελαφρόπετρας στο ριζικό σύστημα κάθε φυτού, καταμετρήθηκαν τα σχηματισμένα φυμάτια και στην συνέχεια ζυγίστηκαν σε ζυγαριά ακριβείας

3.6.2. Μετρήσεις θρεπτικών στοιχείων

Για την μέτρηση και υπολογισμό των μακροστοιχείων K, Ca και Mg, πραγματοποιήθηκαν οι εξής 3 διαδοχικές καταστρεπτικές μετρήσεις.

1η μέτρηση: 5/5/2013

2η μέτρηση: 21/5/2013

3η μέτρηση: 11/6/2013

Για κάθε καταστρεπτική μέτρηση από κάθε κανάλι επιλεγόταν τυχαία ένα φυτό από τον 2^ο κατά σειρά σάκο. Σε κάθε περίπτωση μετρήθηκε το νωπό βάρος των φυτών για κάθε τμήμα ξεχωριστά με ηλεκτρονική ζυγαριά ακρίβειας 0,01 g (Mettler PE 600). Στην συνέχεια τα δείγματα φυτικών ιστών μεταφέρθηκαν σε φούρνο με θερμοκρασία 65° C μέχρι να σταθεροποιηθεί το βάρος τους. Μετά την σταθεροποίηση του βάρους τους τα δείγματα ζυγίστηκαν για τον προσδιορισμό του ξηρού βάρους τους. .

Κατόπιν οι ρίζες καθαρίστηκαν από τα υπολείμματα της ελαφρόπετρας και μεταφέρθηκαν σε φούρνο (θερμοκρασία 65° C) όπου παρέμειναν μέχρι τελικής σταθεροποίησης του βάρους τους. Στη συνέχεια σε ζυγαριά ακριβείας προσδιορίστηκε το ξηρό βάρος τους

3.6.3. Προεργασία για τη μέτρηση των θρεπτικών στοιχείων

- Αποσταγμένο νερό
- Γυάλινο ογκομετρητή 250 ml

ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΑ ΟΡΓΑΝΑ

- Ζυγαριά (με δύο δεκαδικά)
- Πυραντήριο
- 32 κάψες πορσελάνης (>18 ml)

ΑΚΟΛΟΥΘΟΥΜΕΝΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

1. Ζύγισμα 0,5 gr αλεσμένου με μύλο δείγματος που είχε τοποθετηθεί πιο πριν για 2h σε φούρνο 70 °C και τοποθέτησή του σε μια κάψα πορσελάνης.

2. Τοποθέτηση των καψών πορσελάνης στο πυραντήριο (για 8 ώρες στους 550 °C) (εικόνα 18).

3. Αφήνουμε τις πορσελάνινες κάψες να κρυώσουν μέσα στο πυραντήριο & ακολούθως προστίθενται 10 ml HCl IN σε κάθε κάψα.

4. Η στάχτη του δείγματος μεταφέρεται από τις κάψες σε ογκομετρικές φλάσκες των 100 ml αφού περάσει από ashless διηθητικό χαρτί. (Φροντίζουμε να ξεπλυθούν οι κάψες καλά με αποσταγμένο νερό και το υπόλειμμα από το ξέπλυμα να διοχετευτεί και αυτό στα φιαλίδια των 100 ml. Ακολούθως γεμίζουμε τις φλάσκες των 100 ml πλήρως (δηλ. στάθμη 100 ml) με αποσταγμένο νερό.

5. Ανακινούμε τις φλάσκες καλά και το διάλυμα του δείγματος ακολούθως μεταφέρεται σε πλαστικά μπουκαλάκια των 100 ml.

6. Έτοιμα πλέον τα δείγματα για περεταίρω ανάλυση (σε φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης)

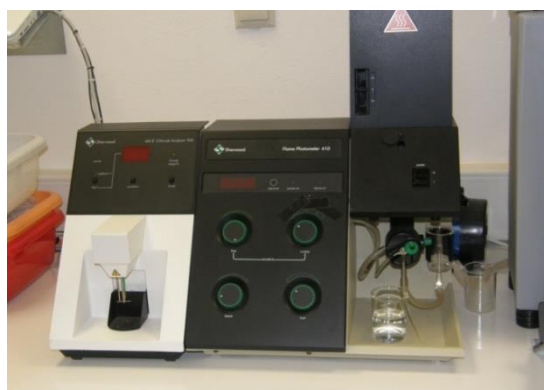


Εικόνα 19: Πυραντήριο

3.6.4. Περιγραφή μεθόδων μέτρησης συγκεντρώσεων σε φυτικούς ιστούς

3.6.4.1. Μέτρηση K

Για να μετρηθεί η συγκέντρωση των δειγμάτων σε K (κάλιο) χρησιμοποιήθηκε το φλογοφωτόμετρο. Έγινε αραίωση σε όλα τα δείγματα 1:100 για να είναι κατάλληλα για μέτρηση. Η χρήση του φλογοφωτόμετρου γίνεται για τον προσδιορισμό των αλκαλίων και των μετάλλων των αλκαλίων, στοιχεία που διεγείρονται εύκολα. Τα στοιχεία απορροφούν ενέργεια από μια οξειδωτική φλόγα αέρα-προπανίου και στην συνέχεια εκπέμπουν την απορροφούμενη ενέργεια με την μορφή ακτινοβολίας, δίνοντας φάσματα εκπομπής. Διαδικασία: Το στοιχείο που θέλουμε προσδιορίσουμε εισάγεται στην συσκευή ως διάλυμα ενός άλατος. Μέρος αυτού ψεκάζεται με μορφή νέφους στην οξειδωτική φλόγα, όπου ο διαλύτης εξατμίζεται. Τα ηλεκτρόνια της εξωτερικής στιβάδας των ατόμων του προσδιοριζόμενου στοιχείου διεγείρονται λόγω της θερμοκρασίας της φλόγας και κατά την αποδιέγερσή τους εκπέμπουν ακτινοβολία χαρακτηριστικού μήκους κύματος. Η ακτινοβολία που εκπέμπει το στοιχείο κατά την αποδιέγερσή του, με την βοήθεια φακών και κατόπτρων οδηγείται μέσω ενός φίλτρου σε φωτοκύτταρο. Το φωτοκύτταρο χρησιμοποιείται για την απόκλιση του γαλβανόμετρου, το οποίο είναι βαθμολογημένο σε αυθαίρετη κλίμακα. Η απόκλιση του γαλβανόμετρου είναι ανάλογη με την ένταση της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας, ανάλογη με την συγκέντρωση του προσδιοριζόμενου στοιχείου.



Εικόνα 20: Φλογοφωτόμετρο

3.6.4.2. Μέτρηση Ca και Mg

Τα μακροστοιχεία του Ca και Mg προσδιορίστηκαν με την τεχνική της φασματοσκοπίας ατομικής εκπομπής (AES) η οποία χρησιμοποιεί το φάσμα εκπομπής διεγερμένων ατόμων για την ποσοτικοποίηση συγκεντρώσεων χημικών στοιχείων σε διαλύματα. Για τον προσδιορισμό των συγκεντρώσεων των πιο πάνω στοιχείων χρησιμοποιήθηκε η αραιωμένη τους μορφή 1:100.

Στο φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης κάθε φορά επιλεγόταν η κατάλληλη λυχνία με το χαρακτηριστικό μήκος κύματος για το κάθε στοιχείο. Στην τεχνική αυτή, οι χρησιμοποιούμενες πηγές ακτινοβολίας είναι ίδιες με το στοιχείο προς ανίχνευση ή/και μέτρηση. Η φλόγα χρησιμοποιείται για τον «καθαρισμό» του δείγματος και την δημιουργία οπτικής επαφής μεταξύ της πηγής της ακτινοβολίας και των στοιχείων προς μέτρηση. Η πηγή της ακτινοβολίας αποτελείται συνήθως από μία κυλινδρική καθοδική λυχνία. Το εσωτερικό του κυλίνδρου αποτελείται από το στοιχείο προς ανίχνευση. Εφαρμόζοντας τάση στη λυχνία το αέριο που υπάρχει στο εσωτερικό της ιονίζεται. Τα κατιόντα του αερίου κατευθύνονται προς την κάθοδο της λυχνίας όπου συγκρούονται με τα άτομα του προς ανίχνευση στοιχείου. Τα παραπάνω έχουν ως αποτέλεσμα τα άτομα από την κάθοδο να απομακρύνονται ιονισμένα και τελικά να εκπέμπουν ακτινοβολία (μήκους κύματος από ορατό έως υπεριώδες) η οποία είναι χαρακτηριστική για το ανιχνευόμενο στοιχείο.



Εικόνα 21: Φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης.

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στο πείραμα περιλαμβάνονταν 4 διαφορετικές επεμβάσεις. Τα φυτά όλων των επεμβάσεων, εκτός από του μάρτυρα, είχαν εμβολιαστεί με το βακτήριο *Rhizobium tropici*. Η θρέψη των φυτών της επέμβασης του μάρτυρα γινόταν με αραιό θρεπτικό διάλυμα με άζωτο, η θρέψη στα φυτά της επέμβασης M+M (100% άζωτο + μόλυσμα) γινόταν επίσης με αραιό θρεπτικό διάλυμα με άζωτο, η θρέψη της επέμβασης 0,25N (25% άζωτο + μόλυσμα) γινόταν με αραιό θρεπτικό διάλυμα που περιείχε 0,25% άζωτο από την απαραίτητη ποσότητα για θρέψη του φυτού, ενώ η θρέψη στα φυτά της επέμβασης N-Free (χωρίς άζωτο) γινόταν με αραιό θρεπτικό διάλυμα χωρίς καθόλου άζωτο.

Τόσο για την στατιστική ανάλυση των δεδομένων όσο και για τη δημιουργία των σχεδιαγραμμάτων χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα στατιστικής ανάλυσης και γραφικών απεικονίσεων STATISTICA. Στα αποτελέσματα εφαρμόστηκε μονοπαραγοντικό τελείως τυχαίοποιημένο σχέδιο για την αξιολόγηση της επίδρασης της κάθε μεταχείρισης στο φασόλι. Για τον εντοπισμό πιθανών διαφορών μεταξύ των μεταχειρίσεων εφαρμόστηκε το κριτήριο Duncan, σε επίπεδο σημαντικότητας 5%.

4.1. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

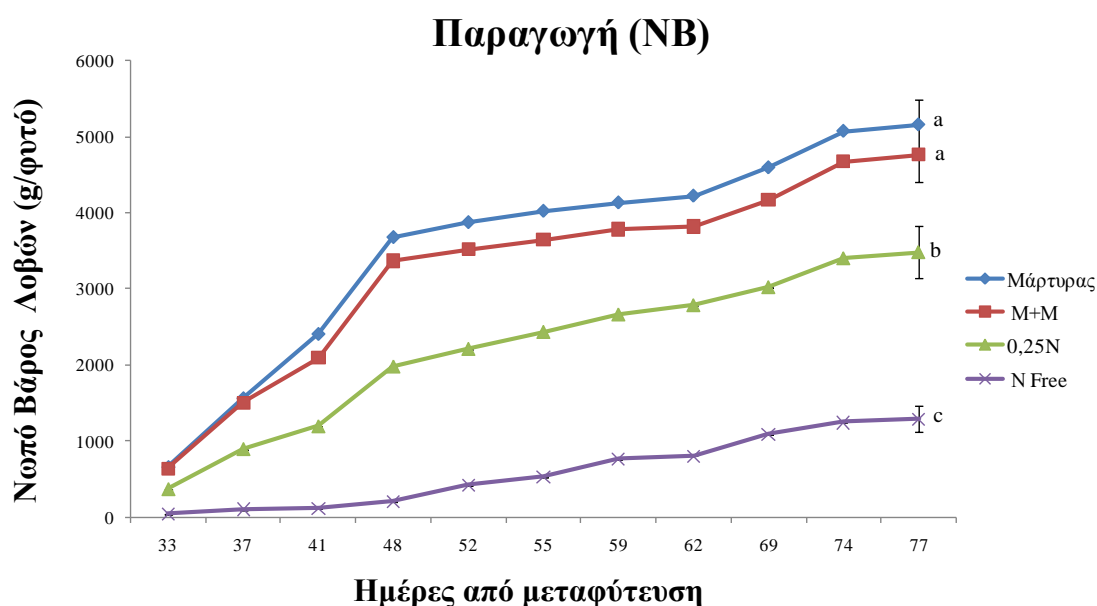
Οι μετρήσεις άρχισαν από τα αρχικά στάδια ανάπτυξης. Η επιλογή φυτών έγινε τυχαία έτσι ώστε οι δειγματοληψίες να αποτελούν αντικειμενικές ενδείξεις. Μετά τη συγκόμιση η οποία γινόταν σε συγκεκριμένες ώρες της ημέρας, έτσι ώστε να μειωθεί η πιθανότητα σφάλματος, γινόταν ζύγισμα. Οι λοβοί συγκομίζονταν όταν βρίσκονταν στο εμπορεύσιμο στάδιο. Μετρήθηκε ο αριθμός των λοβών και το νωπό βάρος τους.

Το ξηρό βάρος των λοβών αποτελεί έναν επιπλέον δείκτη φυτικής βιομάζας. Από τις 3 διαδοχικές συγκομιδές λοβών που πραγματοποιήθηκαν στις 28, 44 και 65 μέρες μετά τη μεταφύτευση, υπολογίστηκε ο μέσος όρος ξηρού βάρους λοβών/φυτό για τις τρεις διαφορετικές επεμβάσεις.

Μέσω μεθόδων αποξήρανσης μετρήθηκε το ξηρό βάρος και στη συνέχεια υπολογίστηκε η επί τις εκατό ξηρά ουσία. Έτσι ήταν δυνατή η μέτρηση της παραγωγής, ενώ τα δείγματα ζυγίστηκαν αμέσως για την αποφυγή τυχόν απωλειών.

Οι παρακάτω παράμετροι είναι βασικοί δείκτες παραγωγής. Οι υπολογισμοί τους έγιναν με βάση τις 3 διαδοχικές συγκομιδές λοβών για τις 4 διαφορετικές μεταχειρίσεις. Οι συγκομιδές έγιναν στις 28, στις 44 και στις 65 ημέρες μετά την μεταφύτευση.

4.1.1. Παραγωγή νωπού βάρους καρπών ανά φυτό



Γράφημα 1. Αποτελέσματα μέσω των όρων νωπού βάρους παραγωγής καρπών/φυτό για τις 4 διαφορετικές μεταχειρίσεις συναρτήσει του χρόνου. Διαφορετικά γράμματα, πάνω από τα ραβδογράμματα, υποδηλώνουν τιμές που διαφέρουν σημαντικά σε επίπεδο σημαντικότητας 5%. Οι κάθετες ράβδοι απεικονίζουν \pm τυπικά σφάλματα των μέσων.

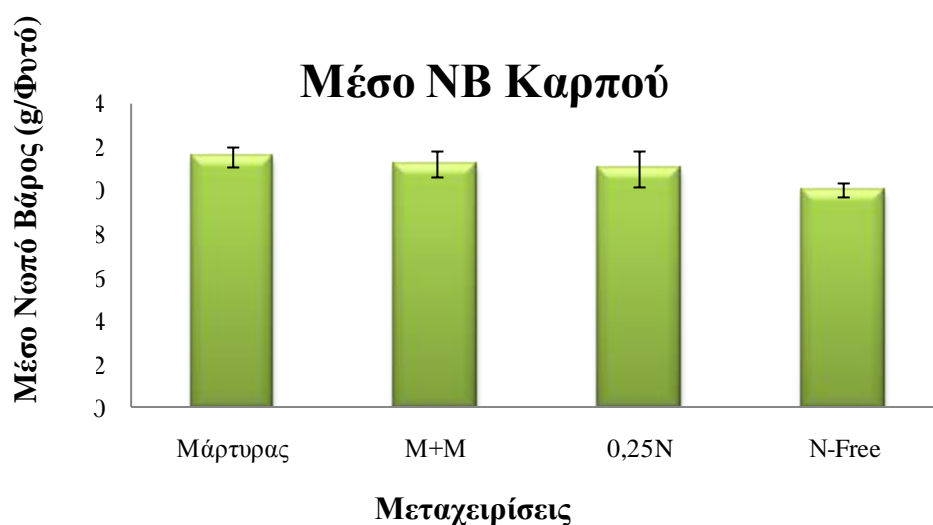
Στο γράφημα φαίνεται η εξέλιξη του βάρους της παραγωγής σε σχέση με το χρόνο. Τα φυτά του μάρτυρα αλλά και της εφαρμογής M+M είχαν καθ' όλη την διάρκεια του χρόνου μεγαλύτερη παραγωγή σε σχέση με τις εφαρμογές 0,25N και N-Free. Επίσης, η εφαρμογή 0,25N είχε μεγαλύτερη τιμή από αυτή του N-Free σε όλη

την πορεία του πειράματος. Κατά τις αρχικές μετρήσεις (33η - 48η ημέρα από μεταφύτευση), η παραγωγή νωπού βάρους στο Μάρτυρα, M+M και 0,25N ήταν αρκετά μεγάλη, ενώ στη συνέχεια του πειράματος μειώθηκε.

Με βάση τη συνολική τιμή, το μέσο νωπό βάρος του λοβού των φυτών του Μάρτυρα και M+M διαφέρει στατιστικά σημαντικά σε σχέση με τις μεταχειρίσεις των φυτών του 0,25N και N-Free. Επίσης η αντίστοιχη τιμή της εφαρμογής του 0,25N διαφέρει στατιστικά σημαντικά έναντι των φυτών του N-Free. Αν και ο αριθμός των λοβών των M+M και του μάρτυρα δεν αποτελεί στατιστικά σημαντική διαφορά σε σχέση με το N-Free (σύμφωνα με το διάγραμμα) εντούτοις το μέσο νωπό βάρος στις αντίστοιχες τιμές εμφανίζει σημαντική διαφορά.

4.1.2. Μέσο Νωπό Βάρος Καρπού Ανά Φυτό

Το μέσο νωπό βάρος καρπού ισούται με το λόγο μεταξύ του συνολικού βάρους όλων των καρπών ανά φυτό και του αριθμού των καρπών ανά φυτό για κάθε μεταχείριση.



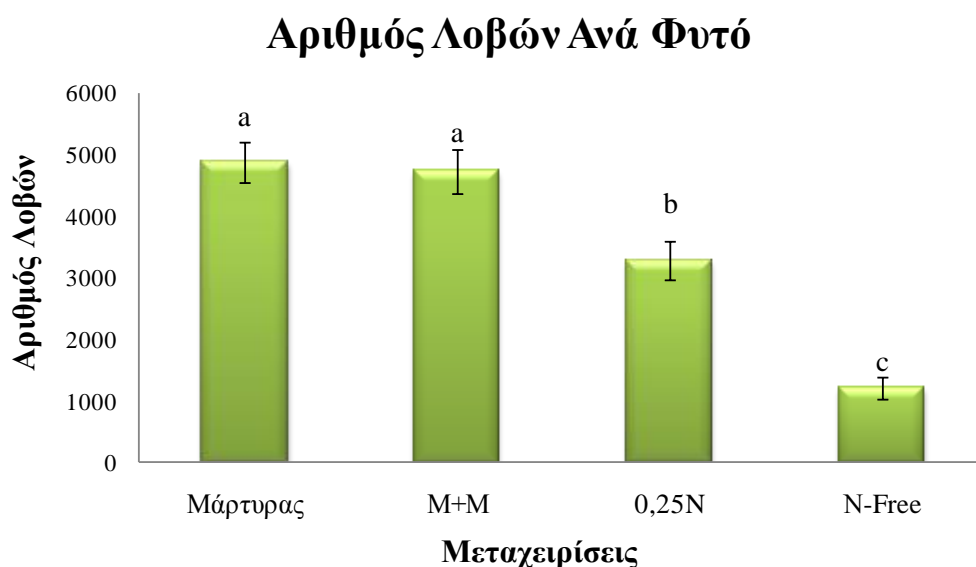
Γράφημα 2. Αποτελέσματα μέσων όρων νωπού βάρους ενός καρπού για τις 4 διαφορετικές μεταχειρίσεις.

Σύμφωνα με το γράφημα οι διαφορές του νωπού βάρους των επεμβάσεων ήταν ελάχιστες, με το N-Free να είναι λίγο πιο μικρό. Η στατιστική ανάλυση δεν έδειξε καμιά διαφορά σε καμιά από τις μετρήσεις του μέσου όρου νωπού βάρους που έγιναν

στους λοβούς.

4.1.3. Αριθμός Λοβών Ανά Φυτό

Οι λοβοί που επέφεραν τα φυτά συγκομίζονταν όταν βρίσκονταν στο εμπορεύσιμο στάδιο σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά της ποικιλίας (23 cm περίπου).



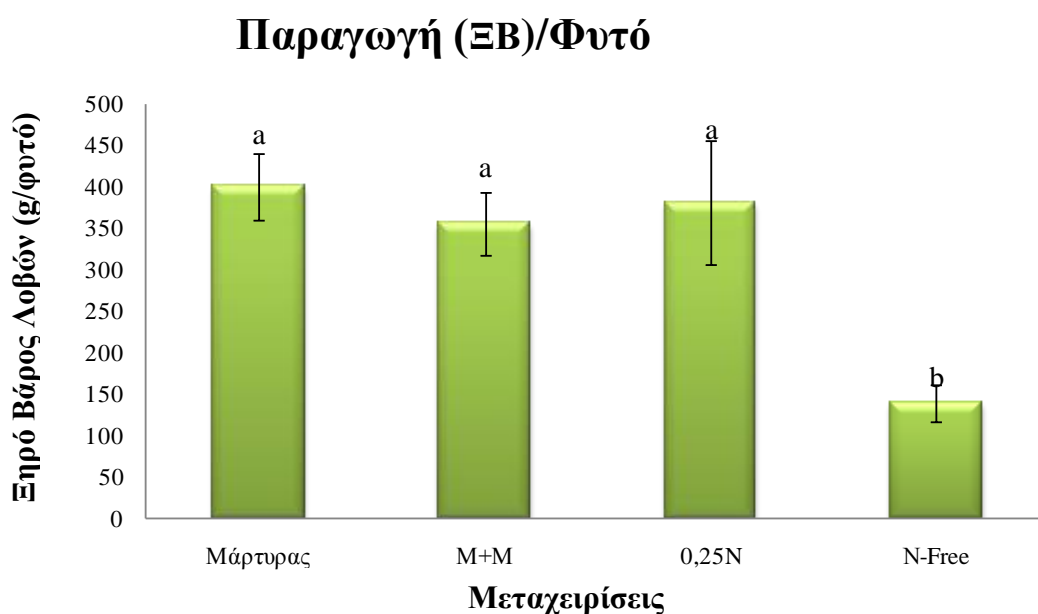
Γράφημα 3. Αποτελέσματα μέσου όρου του συνολικού αριθμού λοβών ανά φυτό. Διαφορετικά γράμματα, πάνω από τα ραβδογράμματα, υποδηλώνουν τιμές που διαφέρουν σημαντικά σε επίπεδο σημαντικότητας 5%. Οι κάθετες ράβδοι απεικονίζουν \pm τυπικά σφάλματα των μέσων. (M+M: άζωτο 100% + αζωτοβακτήριο *Rhizobium tropici*, 0,25N: άζωτο 0,25% της συνολικής ποσότητας του Μάρτυρα + αζωτοβακτήριο *Rhizobium tropici*, N-Free: χωρίς άζωτο, με αζωτοβακτήριο *Rhizobium tropici*)

Ο αριθμός του μέσου όρου των λοβών της μεταχείρισης του Μάρτυρα, M+M, είναι μεγαλύτερος και διαφέρει στατιστικά σημαντικά έναντι του μέσου όρου των λοβών των εφαρμογών 0,25N και N-Free, καθώς τα φυτά αυτά τροφοδοτούνταν με άζωτο περιεκτικότητας 100% και η παραγωγή τους σε καρπούς ήταν υψηλότερη συγκριτικά με τα φυτά των άλλων δύο μεταχειρίσεων. Επίσης παρατηρείται

στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα στις τιμές των εφαρμογών του 0,25 και N-Free. Η διαφορά αυτή αποτελεί στατιστικά σημαντική μέτρηση.

Η μέτρηση του νερού βάρους δεν είναι πάντα αξιόπιστη καθώς τα φυτά συγκεντρώνουν μεγάλες ποσότητες ύδατος στους ιστούς τους και επηρεάζονται πολύ από το περιβάλλον που βρίσκονται οι ρίζες. Εξαιτίας πιθανής ύπαρξης υγρασίας, πρέπει αμέσως μετά την εξαγωγή των δειγμάτων από το φούρνο (65 ° C), να υπολογιστεί το ξηρό βάρος τους. Γενικότερα το ξηρό βάρος αντικατοπτρίζει την περιεκτικότητα σε υδατάνθρακες, λίπη, πρωτεΐνες, ανόργανα άλατα βιταμίνες και αντιοξειδωτικά.

4.1.4. Ξηρό Βάρος Λοβών Ανά Φυτό

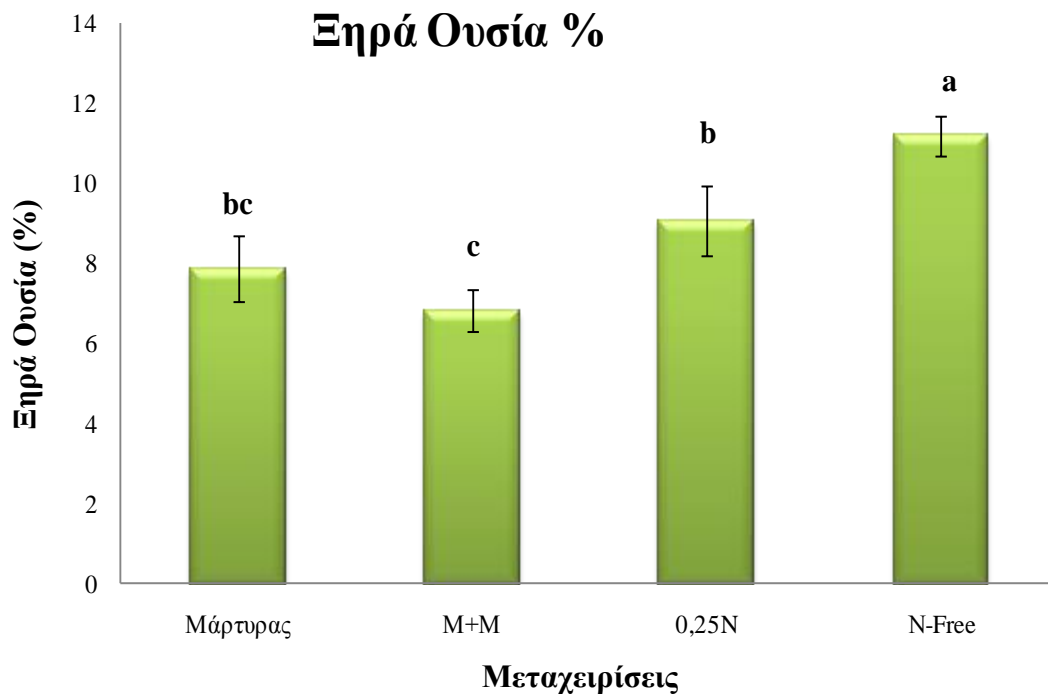


Γράφημα 4. Αποτελέσματα μέσων όρων ξηρού βάρους καρπών/φυτό για τις 4 διαφορετικές μεταχειρίσεις. Διαφορετικά γράμματα, πάνω από τα ραβδογράμματα, υποδηλώνουν τιμές που διαφέρουν σημαντικά σε επίπεδο σημαντικότητας 5%. Οι κάθετες ράβδοι απεικονίζουν \pm τυπικά σφάλματα των μέσων.

Διαφορές εντοπίστηκαν και στα ξηρά βάρη των βλαστών με βάση τις πληροφορίες που προέκυψαν από τη στατιστική ανάλυση. Με βάση το γράφημα, το ξηρό βάρος των λοβών της μεταχείρισης του Μάρτυρα, M+M, και 0,25N φαίνεται

να διαφέρει στατιστικά σημαντικά έναντι των λοβών του N-Free. Όμως δεν παρατηρούνται στατιστικά σημαντικές διαφορές αναμεταξύ του ξηρού βάρους των λοβών του Μάρτυρα, M+M και 0,25N μιας και οι τιμές τους διαφέρουν ελάχιστα. Συγκεκριμένα, η διαφορά του μέσου ξηρού βάρους λοβών/φυτό των φυτών του μάρτυρα, M+M και 0,25N οφείλεται στην κανονική ή μερική τους τροφοδοσία με άζωτο αντίστοιχα με αποτέλεσμα την υψηλότερη παραγωγή λοβών σε σύγκριση με τα φυτά του N-Free που αναπτύσσονταν απουσία αζώτου.

4.1.5. Περιεκτικότητα λοβών σε ξηρά ουσία



Γράφημα 4. Αποτελέσματα της ξηράς ουσίας (%) των καρπών/φυτό για τις 4 διαφορετικές μεταχειρίσεις.

Στη συνέχεια, μετά τη μέτρηση του νωπού και ξηρού βάρους των λοβών, υπολογίστηκε το ποσοστό της ξηρά ουσίας για κάθε επέμβαση. Τα αποτελέσματα μεταφέρθηκαν στο γράφημα, στο οποίο η στατιστική ανάλυση δεν έδειξε σημαντικές διαφορές. Οι τιμές της ξηρής ουσίας κυμάνθηκαν μεταξύ 7,87 % και 11,19 %. Σύμφωνα με τα παραπάνω δεδομένα, η εφαρμογή με το N-Free παρουσίασε την μεγαλύτερη διαφορά όσο αφορά το ποσοστό ξηράς ουσίας σε σχέση με τις εφαρμογές

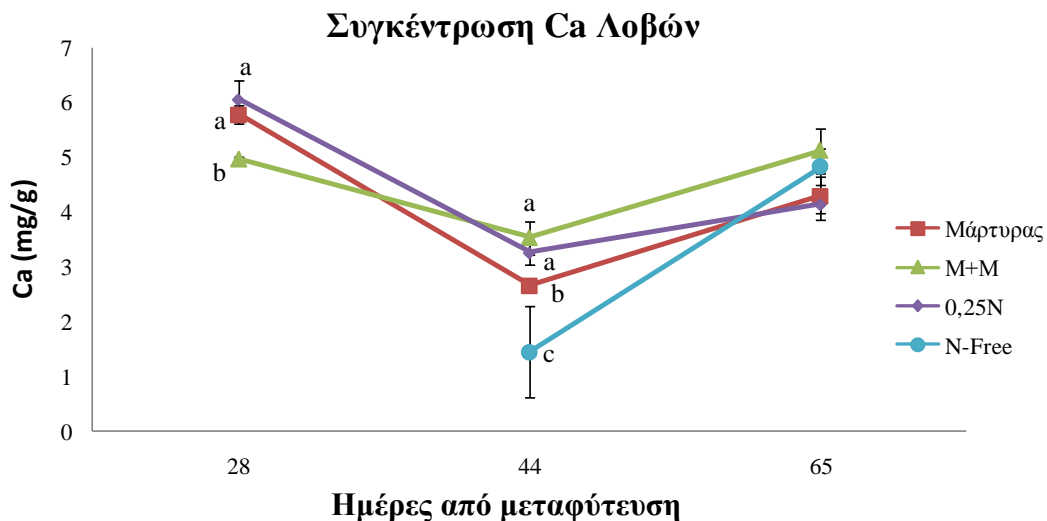
N-Free, 0,25N και M+M. Η διαφορά αυτή είναι στατιστικά σημαντική. Επίσης στατιστικά σημαντική διαφορά εμφανίζεται ανάμεσα στις εφαρμογές 0,25N και M+M. Σύμφωνα με το πρόγραμμα ανάλυσης δεδομένων Statistica τιμή ποσοστού ξηράς ουσίας του μάρτυρα δεν διαφέρει στατιστικά τόσο με την εφαρμογή 0,25N όσο και με την εφαρμογή M+M. Εντούτοις οι διαφορά μεταξύ των M+M και 0,25N είναι στατιστικά σημαντική.

4.2. ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΘΡΕΠΤΙΚΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΩΝ ΦΥΛΛΩΝ, ΒΛΑΣΤΩΝ, ΛΟΒΩΝ ΚΑΙ ΡΙΖΩΝ

Οι συγκεντρώσεις όλων των μακροστοιχείων των φυτικών ιστών μετρήθηκαν 3 φορές, 28, 44 και 65 μέρες μετά τη μεταφύτευση τους κατά τις αντίστοιχες τρεις καταστρεπτικές δειγματοληψίες. Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζονται οι μετρήσεις των μέσων όρων των συγκεντρώσεων όλων των μακροστοιχείων στους λοβούς κατά τη διάρκεια καλλιέργειας συναρτήσεως του χρόνου. Η απουσία τιμών στα διαγράμματα μακροστοιχείων στους λοβούς για τα φυτά του N-Free κατά την πρώτη μέτρηση (28 ημέρες) οφείλεται στο ότι τα φυτά αυτά δεν είχαν ακόμη αναπτύξει λοβούς σε εμπορικό στάδιο.

4.2.1. ΑΣΒΕΣΤΙΟ

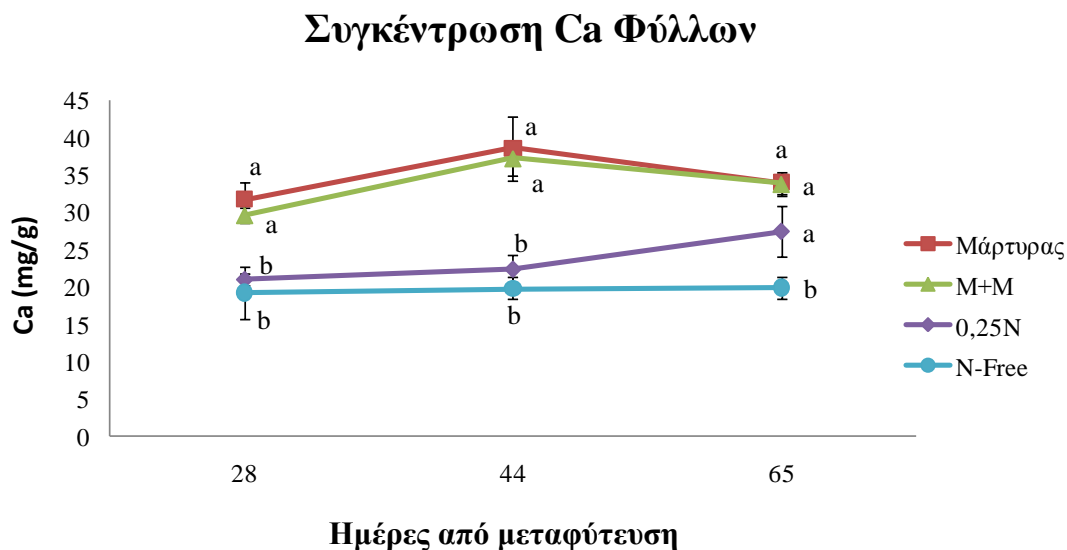
4.2.1.1. ΛΟΒΟΙ



Γράφημα 5. Μέσοι όροι συγκέντρωσης ασβεστίου των λοβών για τις 4 διαφορετικές επεμβάσεις στις τρεις καταστρεπτικές δειγματοληψίες. Διαφορετικά γράμματα, πάνω από τα ραβδογράμματα, υποδηλώνουν τιμές που διαφέρουν σημαντικά σε επίπεδο σημαντικότητας 5%. (M+M: άζωτο 100% + αζωτοβακτήριο *Rhizobium tropici*, 0,25N: άζωτο 0,25% της συνολικής ποσότητας του Μάρτυρα + αζωτοβακτήριο *Rhizobium tropici*, N-Free: χωρίς άζωτο, με αζωτοβακτήριο *Rhizobium tropici*).

Στο γράφημα απεικονίζεται η συγκέντρωση Ca, που ανιχνεύτηκε στους Λοβούς. Στις 28 ημέρες μετά την μεταφύτευση η απορρόφηση ασβεστίου στις μεταχειρίσεις Μάρτυρα και M+M ήταν σε υψηλά επίπεδα με αποτέλεσμα να διαφέρουν στατιστικά σημαντικά σε σχέση με την επέμβαση M+M. Από την 44 ημέρα μέχρι και την 65 ημέρα από την μεταφύτευση παρατηρείται αύξηση απορρόφησης ασβεστίου από την μεταχείριση N-Free που τελικά φαίνεται να αυξάνει και να γίνεται ίση με τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις.

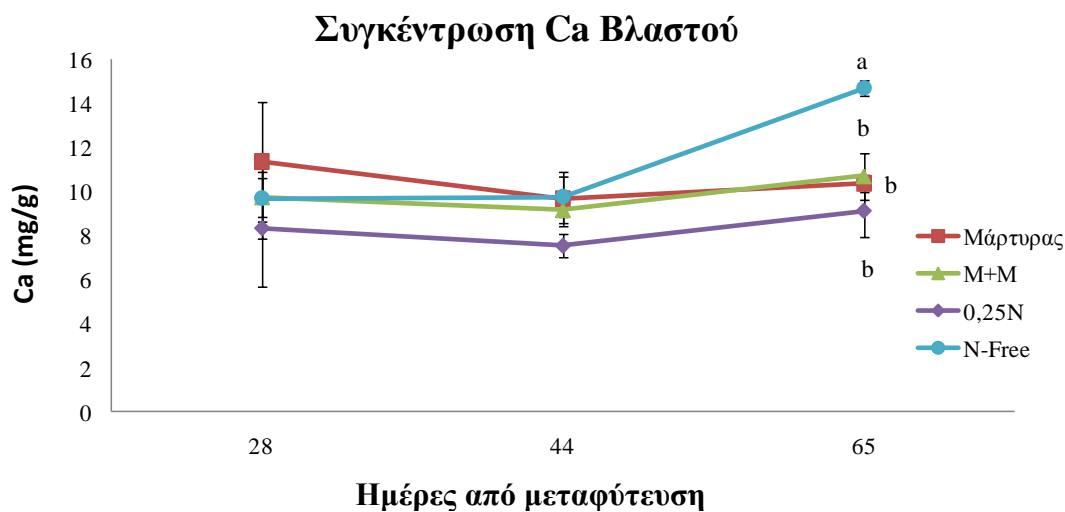
4.2.1.2. ΦΥΛΛΑ



Γράφημα 6. Μέσοι όροι συγκέντρωσης ασβεστίου των φύλλων για τις 4 διαφορετικές επεμβάσεις στις τρεις καταστρεπτικές δειγματοληψίες. Διαφορετικά γράμματα, πάνω από τα ραβδογράμματα, υποδηλώνουν τιμές που διαφέρουν σημαντικά σε επίπεδο σημαντικότητας 5%. (M+M: άζωτο 100% + αζωτοβακτήριο *Rhizobium tropici*, 0,25N: άζωτο 0,25% της συνολικής ποσότητας του Μάρτυρα + αζωτοβακτήριο *Rhizobium tropici*, N-Free: χωρίς άζωτο, με αζωτοβακτήριο *Rhizobium tropici*).

Τα φυτά της μεταχείρισης του Μάρτυρα και M+M ήταν σε όλη τη διάρκεια του πειράματος είχαν υψηλότερη συγκέντρωση ασβεστίου στα φύλλα σε σχέση με τις μεταχειρίσεις 0,25N και N-Free. Στη 44η ημέρα μετά τη μεταφύτευση μέχρι και το τέλος του πειράματος παρατηρείται μια σημαντική αύξηση της συγκέντρωσης ασβεστίου στα φυτά του 0,25N με αποτέλεσμα στις 65 ημέρες μετά την μεταφύτευση η τιμή του να μην διαφέρει στατιστικά σημαντικά από τις μεταχειρίσεις του Μάρτυρα και M+M σε αντίθεση με του N-Free που δεν παρουσιάζει αύξηση απορρόφησης.

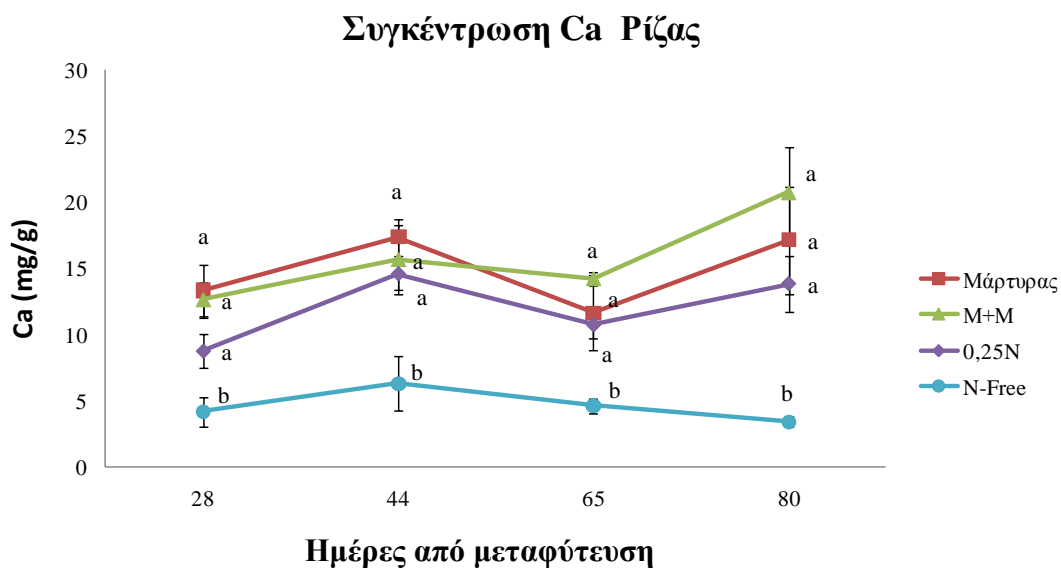
4.2.1.3. ΒΛΑΣΤΟΣ



Γράφημα 7. Μέσοι όροι συγκέντρωσης ασβεστίου στο Βλαστό για τις 4 διαφορετικές επεμβάσεις στις τρεις καταστρεπτικές δειγματοληψίες. Διαφορετικά γράμματα, πάνω από τα ραβδογράμματα, υποδηλώνουν τιμές που διαφέρουν σημαντικά σε επίπεδο σημαντικότητας 5%.

Στο γράφημα κατά τις πρώτες 44 ημέρες μετά την μεταφύτευση δεν παρατηρείται στατιστικά σημαντική διαφορά στις μεταχειρίσεις. Από την 44η ημέρα μέχρι και την 65η παρατηρείται σημαντική αύξηση στην μεταχείριση του N-Free, δημιουργώντας έτσι στατιστικά σημαντική διαφορά σε σχέση με τις μεταχειρίσεις του Μάρτυρα, M+M και 0,25N.

4.2.1.4. PIZA

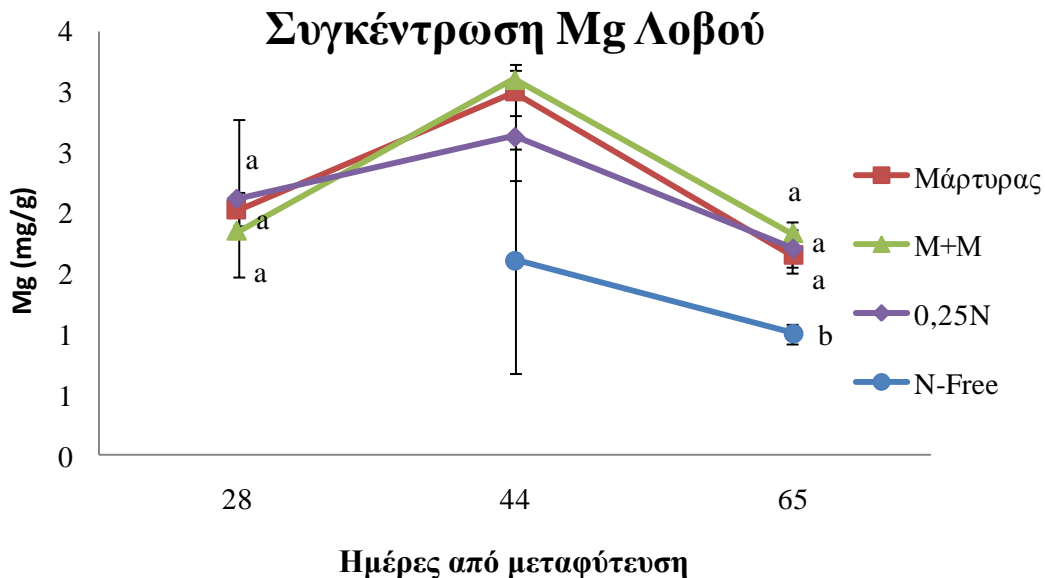


Γράφημα 8: Μέσοι όροι συγκέντρωσης ασβεστίου στη ρίζα για τις 4 διαφορετικές επεμβάσεις στις τρεις καταστρεπτικές δειγματοληψίες. Διαφορετικά γράμματα, πάνω από τα ραβδογράμματα, υποδηλώνουν τιμές που διαφέρουν σημαντικά σε επίπεδο σημαντικότητας 5%.

Στο γράφημα παρατηρείται πως οι μεταχειρίσεις του Μάρτυρα, M+M και 0,25N όσο αφορά την απορρόφηση ασβεστίου παρουσίασαν ιδιαίτερες διακυμάνσεις. Από την 28η ημέρα μετά την μεταφύτευση μέχρι και την 44η, παρουσίασαν αύξηση στις τιμές απορρόφησης, από την 44η ημέρα μέχρι και την 65η ημέρα παρουσίασαν μείωση και τελικά μέχρι το τέλος του πειράματος παρουσίασαν αύξηση τιμών. Οι μεταχειρίσεις του Μάρτυρα, M+M και 0,25N σε όλες τις δειγματοληψίες παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική διαφορά σε σχέση με αυτή του N-Free η οποία παραμένει σε χαμηλές τιμές καθ' όλη την διάρκεια του πειράματος. Οι τιμές που σημείωσαν οι ρίζες της επέμβασης N-Free είναι αρκετά χαμηλές σε αντίθεση με τις πολύ ψηλές τιμές των ιδίων φυτών που σημείωσε ο βλαστός.

4.2.2. ΜΑΓΝΗΣΙΟ

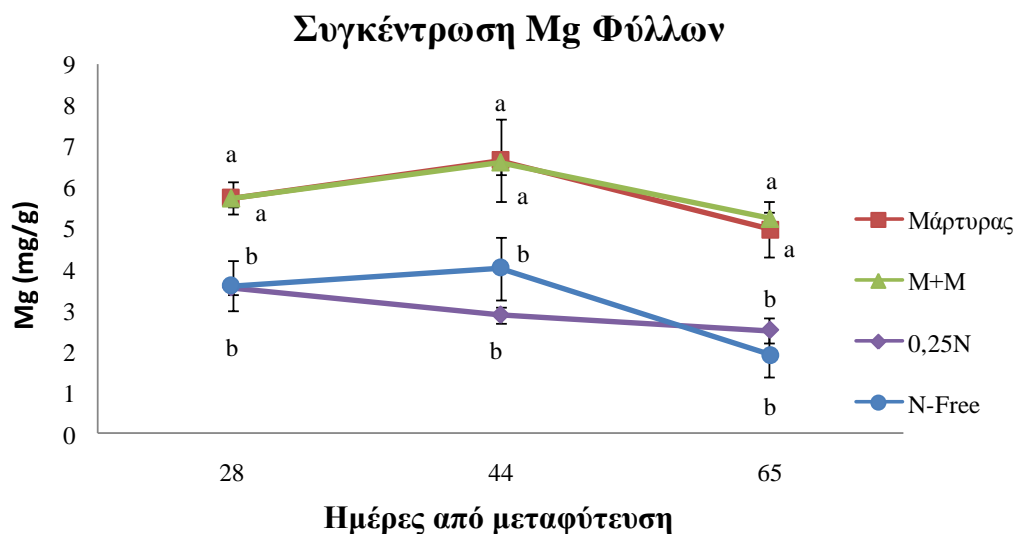
4.2.2.1. ΛΟΒΟΙ



Γράφημα 9. Μέσοι όροι συγκέντρωσης μαγνησίου των λοβών για τις 4 διαφορετικές επεμβάσεις στις τρεις καταστρεπτικές δειγματοληψίες. Διαφορετικά γράμματα, πάνω από τα ραβδογράμματα, υποδηλώνουν τιμές που διαφέρουν σημαντικά σε επίπεδο σημαντικότητας 5%. (M+M: άζωτο 100% + αζωτοβακτήριο *Rhizobium tropici*, 0,25N: άζωτο 0,25% της συνολικής ποσότητας του Μάρτυρα + αζωτοβακτήριο *Rhizobium tropici*, N-Free: χωρίς άζωτο, με αζωτοβακτήριο *Rhizobium tropici*).

Στο Γράφημα παρατηρείται πως στις 28 ημέρες μετά τη μεταφύτευση, η απορρόφηση μαγνησίου στις μεταχειρίσεις του Μάρτυρα, M+M και 0,25N ήταν σε παρόμοια επίπεδα. Στις 44 ημέρες μια μικρή διαφορά τιμών όσο αφορά την απορρόφηση ασβεστίου στο N-Free σε σχέση με τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις η οποία δεν είναι στατιστικά σημαντική. Στις 65 ημέρες μετά την μεταφύτευση, η τιμή του N-Free παρουσιάζει μια μικρή μείωση με αποτέλεσμα οι επεμβάσεις του Μάρτυρα, M+M και 0,25N να παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική διαφορά σε σχέση με την μεταχείριση του N-Free.

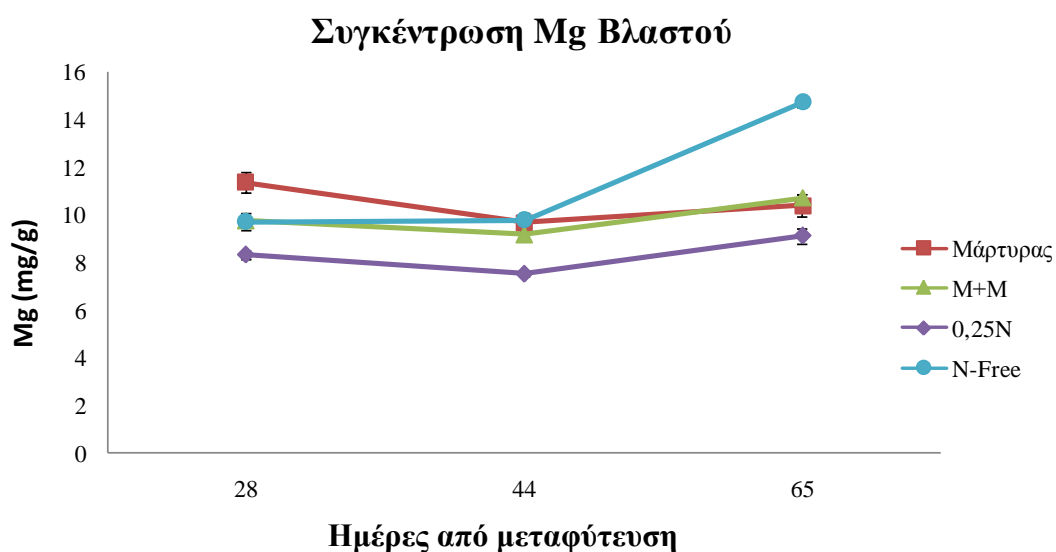
4.2.2.2. ΦΥΛΛΑ



Γράφημα 10. Μέσοι όροι συγκέντρωσης μαγνησίου των φύλλων για τις 4 διαφορετικές επεμβάσεις στις τρεις καταστρεπτικές δειγματοληψίες. Διαφορετικά γράμματα, πάνω από τα ραβδογράμματα, υποδηλώνουν τιμές που διαφέρουν σημαντικά σε επίπεδο σημαντικότητας 5%.

Τα φυτά της μεταχείρισης του Μάρτυρα και M+M σε όλη τη διάρκεια του πειράματος είχαν υψηλότερη συγκέντρωση μαγνησίου στα φύλλα σε σχέση με τις μεταχειρίσεις 0,25N και N-Free.

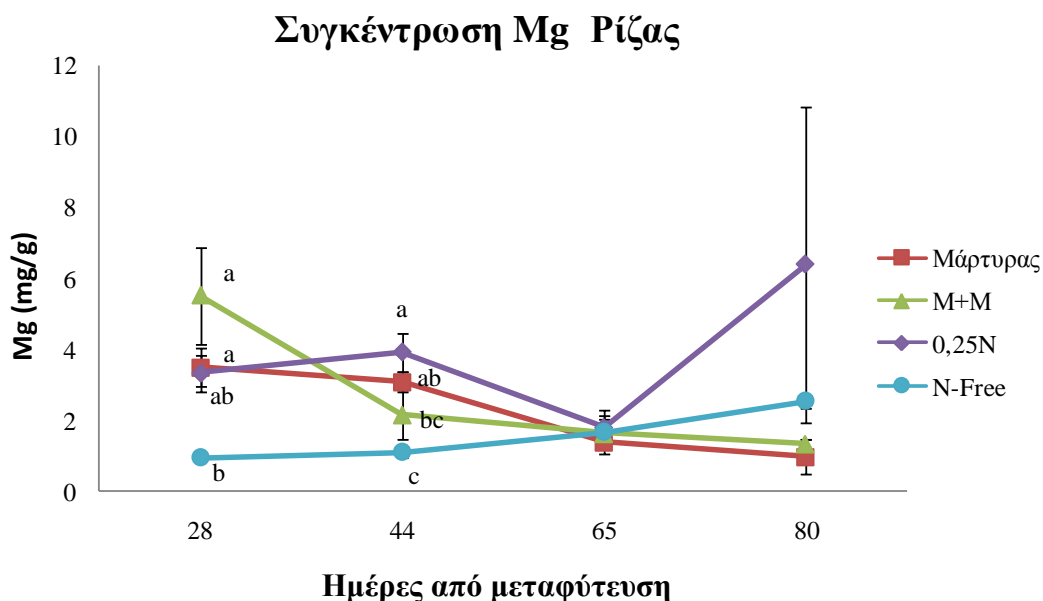
4.2.2.3. ΒΛΑΣΤΟΣ



Γράφημα 11. Μέσοι όροι συγκέντρωσης μαγνησίου των φύλλων για τις 4 διαφορετικές επεμβάσεις στις τρεις καταστρεπτικές δειγματοληψίες. Διαφορετικά γράμματα, πάνω από τα ραβδογράμματα, υποδηλώνουν τιμές που διαφέρουν σημαντικά σε επίπεδο σημαντικότητας 5%.

Στο γράφημα η τιμή της απορρόφησης μαγνησίου στα φύλλα σε όλες τις μεταχειρίσεις δεν παρουσιάζει στατιστικά σημαντική διαφορά. Από την 44η ημέρα μέχρι και την 65η παρατηρείται μια μικρή αύξηση στην τιμή απορρόφησης στα φυτά της μεταχείρισης N-Free.

4.2.2.4. PIZA

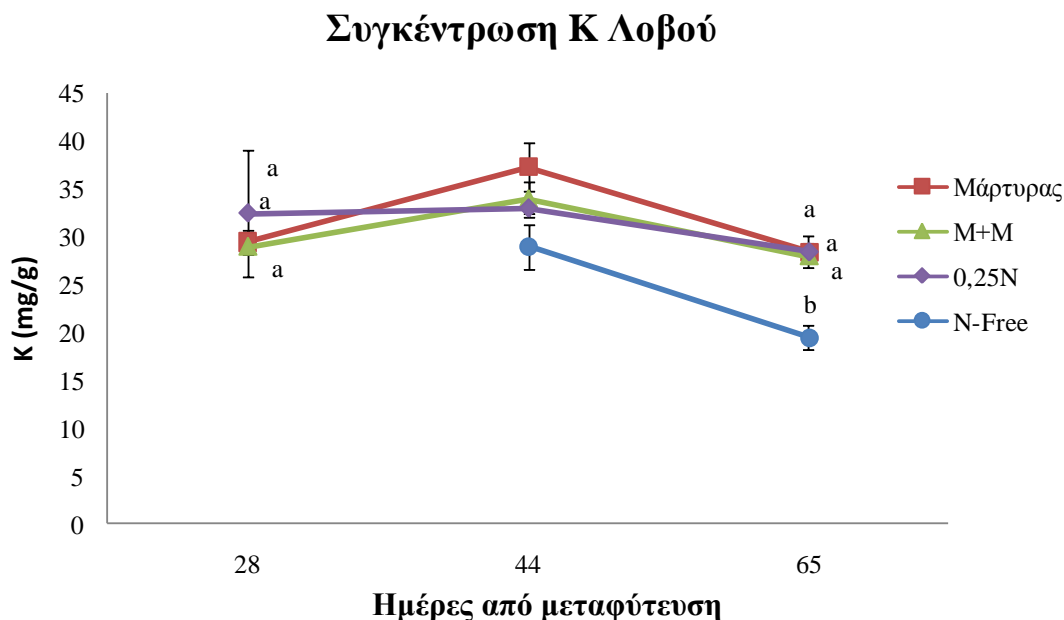


Γράφημα 12. Μέσοι όροι συγκέντρωσης μαγνησίου στις ρίζες για τις 4 διαφορετικές επεμβάσεις στις τρεις καταστρεπτικές δειγματοληψίες. Διαφορετικά γράμματα, πάνω από τα ραβδογράμματα, υποδηλώνουν τιμές που διαφέρουν σημαντικά σε επίπεδο σημαντικότητας 5%.

Στο γράφημα παρατηρείται ότι η τιμή απορρόφησης των μεταχειρίσεων του Μάρτυρα και M+M στις 28 ημέρες μετά την μεταφύτευση διαφέρουν στατιστικά σημαντικά με αυτές του N-Free. Στις 44 ημέρες μετά τη μεταφύτευση παρατηρείται πως οι τιμές απορρόφησης της μεταχείρισης 0,25N διαφέρουν στατιστικά σημαντικά απ' αυτές του N-Free και του Μάρτυρα. Οι τιμές του Μάρτυρα και του M+M στην διάρκεια του πειράματος παρουσιάζουν σταδιακή μείωση σε αντίθεση με της μεταχείρισης του N-Free που παρουσίαζε μικρή σταδιακή αύξηση της απορρόφησης. Αξιοσημείωτη είναι η αύξηση που παρουσιάζει η μεταχείριση του 0,25N στην τελευταία μέτρηση, 80 ημέρες μετά την μεταφύτευση η οποία παρουσιάζει την μεγαλύτερη τιμή από όλες τις μεταχειρίσεις.

4.2.3. ΚΑΛΙΟ

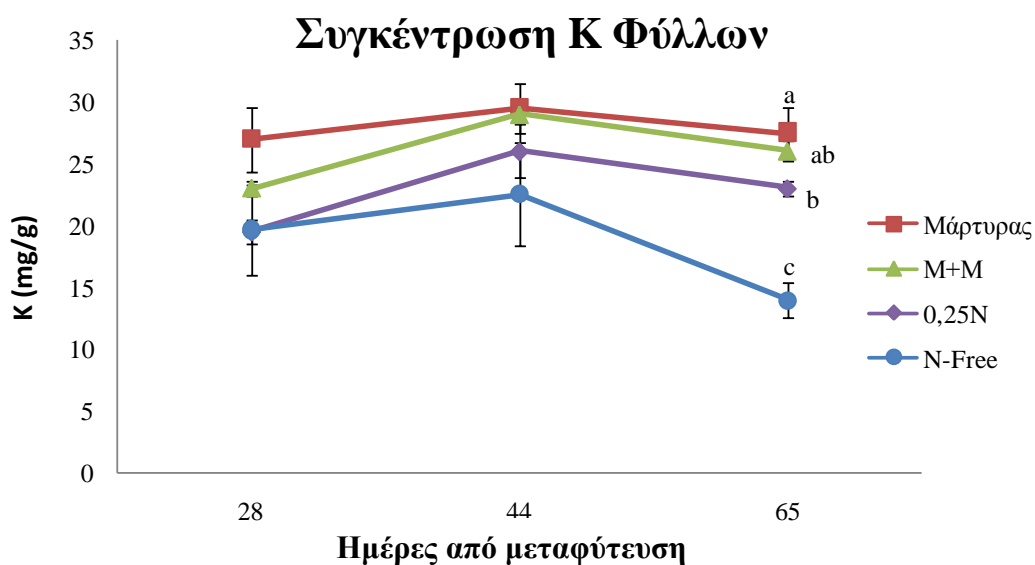
4.2.3.1. ΛΟΒΟΙ



Γράφημα 13. Μέσοι όροι συγκέντρωσης καλίου των λοβών για τις 4 διαφορετικές επεμβάσεις στις τρεις καταστρεπτικές δειγματοληψίες. Διαφορετικά γράμματα, πάνω από τα ραβδογράμματα, υποδηλώνουν τιμές που διαφέρουν σημαντικά σε επίπεδο σημαντικότητας 5%. (M+M: άζωτο 100% + αζωτοβακτήριο *Rhizobium tropici*, 0,25N: άζωτο 0,25% της συνολικής ποσότητας του Μάρτυρα + αζωτοβακτήριο *Rhizobium tropici*, N-Free: χωρίς άζωτο, με αζωτοβακτήριο *Rhizobium tropici*).

Στο γράφημα παρατηρείται, πως καθ' όλη την διάρκεια του πειράματος η, απορρόφηση καλίου στους λοβούς όσο αφορά τις εφαρμογές M+M, 0,25N και Μάρτυρα βρισκόταν σε παραπλήσιες τιμές με αποτέλεσμα να μην παρουσιάσουν καθόλου στατιστικά σημαντικές διαφορές. Στις 44 ημέρες μετά την μεταφύτευση η εφαρμογή N-Free ενώ δείχνει να έχει τιμή παραπλήσια των άλλων εφαρμογών, εντούτοις στη συνέχεια παρουσιάζει μείωση απορρόφησης με αποτέλεσμα στην τελευταία μέτρηση να δημιουργείται στατιστικά σημαντική διαφορά αναμεταξύ τους.

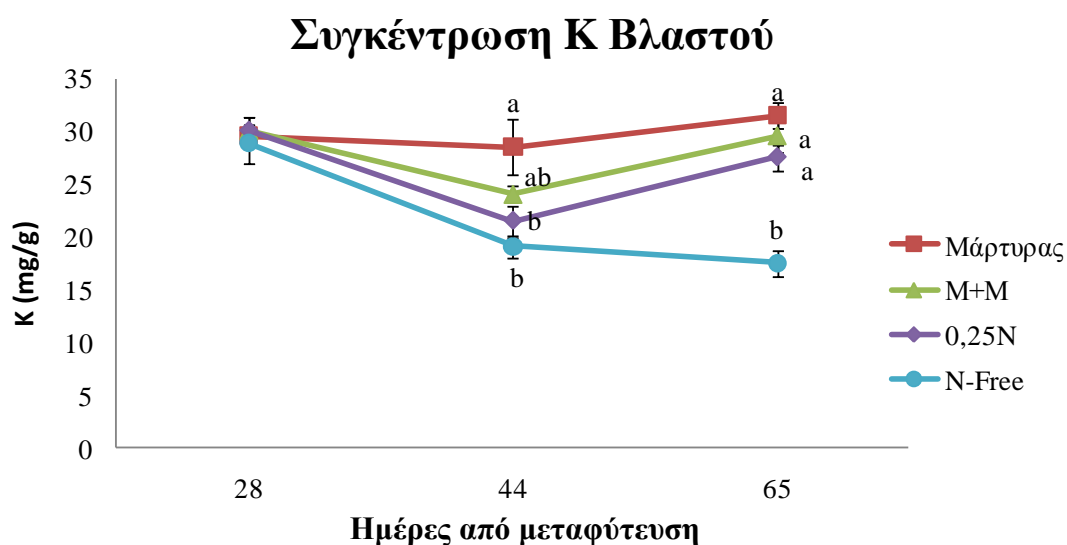
4.2.3.2. ΦΥΛΛΑ



Γράφημα 14. Μέσοι όροι συγκέντρωσης καλίου των φύλλων για τις 4 διαφορετικές επεμβάσεις στις τρεις καταστρεπτικές δειγματοληψίες. Διαφορετικά γράμματα, πάνω από τα ραβδογράμματα, υποδηλώνουν τιμές που διαφέρουν σημαντικά σε επίπεδο σημαντικότητας 5%.

Η μεταχείριση του μάρτυρα καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος είχε τις μεγαλύτερες τιμές σε σχέση με τις αντίστοιχες των μεταχειρίσεων M+M, 0,25N και N-Free. Στις 28 ημέρες μετά τη μεταφύτευση οι τιμές απορρόφησης των μεταχειρίσεων του 0,25N και N-Free δεν είχαν σημαντική διαφορά σε αντίθεση με την τελευταία μέτρηση που δείχνει τη μεταχείριση του N-Free να διαφέρει σημαντικά από τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις. Επίσης, στην 65^η ημέρα μετά τη μεταφύτευση φαίνεται πως η μεταχείριση του 0,25N δεν διαφέρει στατιστικά σημαντικά απ' αυτή του M+M, η οποία αντιστοίχως δεν διαφέρει απ' αυτή του Μάρτυρα.

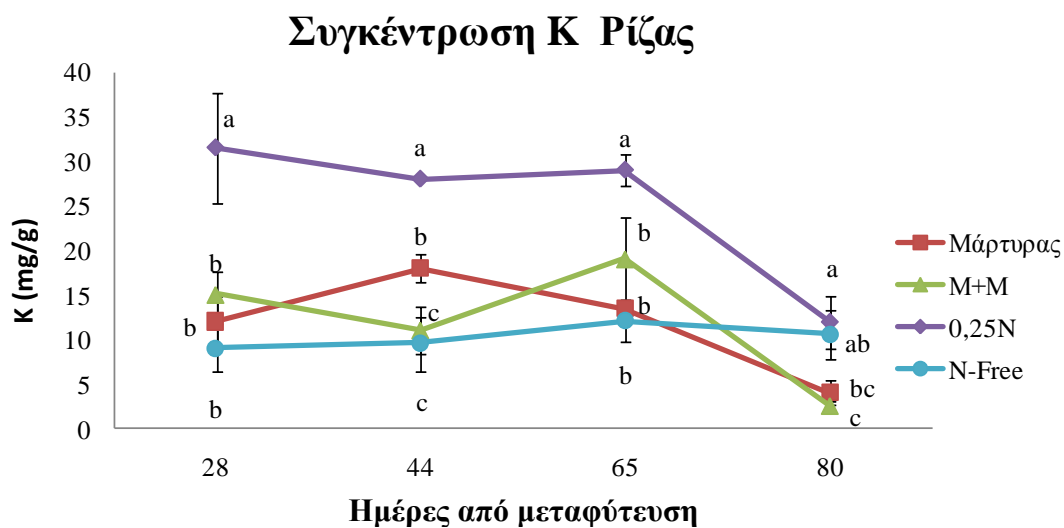
4.2.3.3. ΒΛΑΣΤΟΣ



Γράφημα 15. Μέσοι όροι συγκέντρωσης καλίου στο βλαστό για τις 4 διαφορετικές επεμβάσεις στις τρεις καταστρεπτικές δειγματοληψίες. Διαφορετικά γράμματα, πάνω από τα ραβδογράμματα, υποδηλώνουν τιμές που διαφέρουν σημαντικά σε επίπεδο σημαντικότητας 5%.

Παρατηρείται στο γράφημα πως οι τιμές απορρόφησης καλίου στην 28η ημέρα μετά την μεταφύτευση ήταν σχεδόν ίσες σε όλες τις μεταχειρίσεις. Στην 44η ημέρα οι τιμές των επεμβάσεων N-Free και 0,25N παρουσιάζουν μείωση η οποία είναι στατιστικά σημαντική με τις τιμές απορρόφησης του μάρτυρα, αλλά μη σημαντικές με αυτές της μεταχείρισης του M+M. Στις 65 ημέρες μετά τη μεταφύτευση οι τιμές απορρόφησης των μεταχειρίσεων του Μάρτυρα, M+M και 0,25N δεν διαφέρουν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους, ενώ διαφέρουν στατιστικά σημαντικά σε σχέση με τη μεταχείριση του N-Free η οποία παρουσιάζει σταδιακή μείωση απορρόφησης από την αρχή του πειράματος.

4.2.3.4. PIZA



Γράφημα 16. Μέσοι όροι συγκέντρωσης καλίου στη ρίζα για τις 4 διαφορετικές επεμβάσεις στις τρεις καταστρεπτικές δειγματοληψίες. Διαφορετικά γράμματα, πάνω από τα ραβδογράμματα, υποδηλώνουν τιμές που διαφέρουν σημαντικά σε επίπεδο σημαντικότητας 5%.

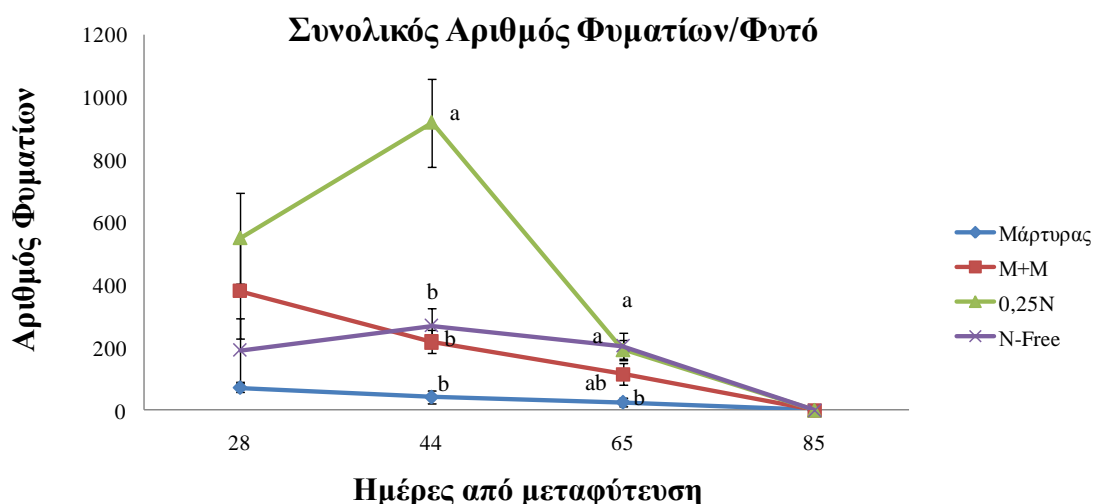
Καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος η επέμβαση με το N-Free είχε τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις. Με βάση τη στατιστική παρατήρηση οι διαφορές των μεταχειρίσεων είναι σημαντικές στην επέμβαση με το 0,25N σε σχέση με τις υπόλοιπες επεμβάσεις, από την 28η ημέρα μετά τη μεταφύτευση, μέχρι και την 65η. Τόσο ο μάρτυρας όσο και η εφαρμογή M+M παρουσιάζουν μεγάλη μείωση της απορρόφησης τους κατά την τελευταία μέτρηση ενώ η εφαρμογή N-Free παραμένει σχετικά σταθερή.

4.3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΖΩΤΟΔΕΣΜΕΥΤΙΚΩΝ ΦΥΜΑΤΙΩΝ

Οι παρακάτω παράμετροι δείχνουν την επίδραση της βιολογικής αζωτοδέσμευσης στα χαρακτηριστικά του ριζικού συστήματος. Οι προσδιορισμοί αυτοί πραγματοποιήθηκαν στις τρεις καταστρεπτικές δειγματοληψίες, 28, 44, 65 ημέρες (και η 4η στις 85 ημέρες για τον αριθμό φυματίων) μετά τη μεταφύτευση για να είναι δυνατή η σύγκριση των εμβολιασμένων φυτών στις μεταχειρίσεις M+M, 0,25N και N-Free έναντι του μάρτυρα. Τα διαγράμματα που παρατίθενται παρουσιάζουν ξεχωριστά τους προσδιορισμούς αυτούς σε κάθε καταστρεπτική δειγματοληψία.

4.3.1. Αριθμός φυματίων

Ο αριθμός των ώριμων σχηματισμένων φυματίων στις ρίζες των φυτών αποτελεί σημαντική παράμετρο καθώς επηρεάζει το δυναμικό της αζωτοδέσμευσης. Η μέτρηση αφορούσε τα αζωτοδεσμευτικά ενεργά φυμάτια (εξαιρούνταν αυτά που είχαν λευκό χρώμα).

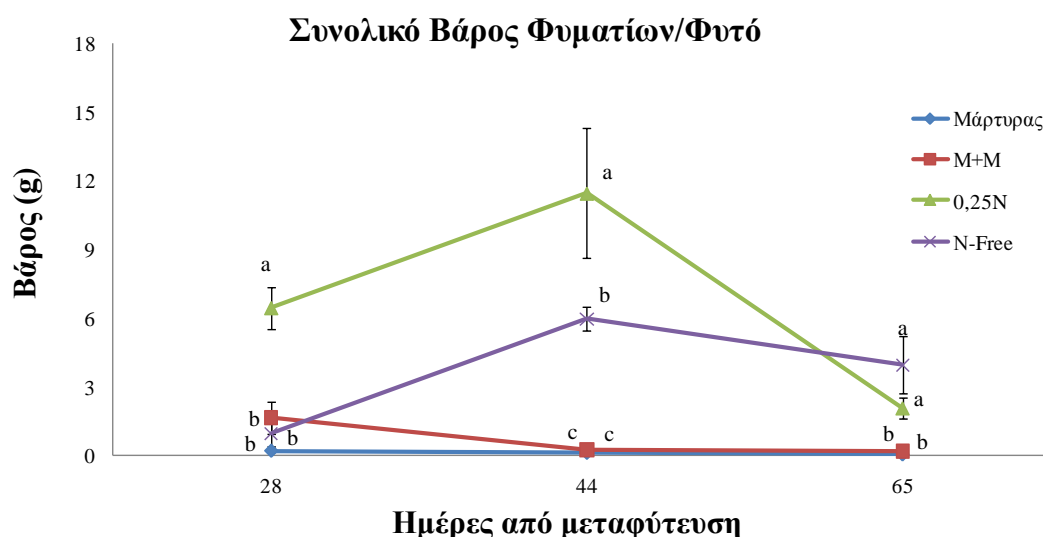


Γράφημα 17. Αποτελέσματα του μέσου όρου αριθμού φυματίων/φυτό για τις 4 επεμβάσεις στις 4 καταστρεπτικές δειγματοληψίες της ρίζας. Διαφορετικά γράμματα,

πάνω από τα ραβδογράμματα, υποδηλώνουν τιμές που διαφέρουν σημαντικά σε επίπεδο σημαντικότητας 5%. (M+M: άζωτο 100% + αζωτοβακτήριο *Rhizobium tropici*, 0,25N: άζωτο 0,25% της συνολικής ποσότητας του Μάρτυρα + αζωτοβακτήριο *Rhizobium tropici*, N-Free: χωρίς άζωτο, με αζωτοβακτήριο *Rhizobium tropici*).

Κατά την πρώτη μέτρηση που έγινε την 28η ημέρα παρατηρείται ότι η εφαρμογή 0,25N έχει το μεγαλύτερο αριθμό φυματίων, στη συνέχεια η εφαρμογή M+M, μετά η εφαρμογή N-Free και το μικρότερο αριθμό εμφάνισε ο μάρτυρας, ο οποίος είχε την μικρότερη τιμή σε όλες τις μετρήσεις. Κατά τη δεύτερη μέτρηση φαίνεται η μεγάλη διαφορά ανάμεσα στην εφαρμογή 0,25N σε σχέση με τα υπόλοιπα όπου η διαφορά αυτή είναι και στατιστικά σημαντική. Στην μέτρηση αυτή βλέπουμε την επέμβαση M+M να παρουσιάζει μια μικρή μείωση, ενώ η εφαρμογή N-Free να παρουσιάζει μικρή αύξηση αριθμού φυματίων. Στην 65η ημέρα από τη μεταφύτευση η εφαρμογή 0,25N παρουσιάζει μεγάλη μείωση αριθμού φυματίων με αποτέλεσμα η τιμή να πλησιάσει τις τιμές των N-Free και M+M, ενώ στην τελευταία μέτρηση ο αριθμός των φυματίων είναι σε όλες τις επεμβάσεις αρκετά μικρός σε σχέση με τις αρχικές.

4.3.2. Βάρος Φυματίων

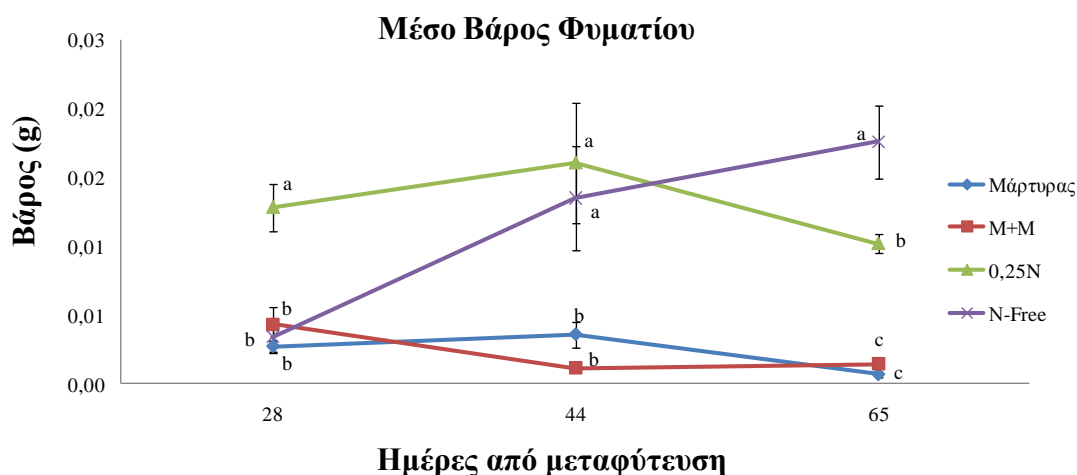


Γράφημα 18. Αποτελέσματα του μέσου βάρους φυματίων/φυτό για τις 4 επεμβάσεις στις 3 καταστρεπτικές δειγματοληψίες της ρίζας. Διαφορετικά γράμματα, πάνω από τα ραβδογράμματα, υποδηλώνουν τιμές που διαφέρουν σημαντικά σε επίπεδο σημαντικότητας 5%.

Σύμφωνα με το πρόγραμμα ανάλυσης δεδομένων Statistica, κατά την πρώτη μέτρηση, το συνολικό βάρος φυματίων της εφαρμογή 0,25N διαφέρει σημαντικά σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές των εφαρμογών του μάρτυρα, M+M και N-Free. Στη 44η ημέρα από τη μεταφύτευση, όπως φαίνεται και στο γράφημα, η τιμή της εφαρμογής 0,25N παρουσιάζει μεγάλη αύξηση η οποία διαφέρει στατιστικά σημαντικά σε σχέση με τις υπόλοιπες εφαρμογές ενώ κατά την ίδια χρονική στιγμή η εφαρμογή 0,25N διαφέρει στατιστικά σημαντικά σε σχέση με τις εφαρμογές του μάρτυρα και M+M. Στην τελευταία μέτρηση η τιμή του 0,25N δεν διαφέρει σημαντικά σε σχέση με το N-Free, αλλά οι δύο αυτές εφαρμογές παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική διαφορά σε σχέση με τις εφαρμογές του μάρτυρα και M+M.

Παρόλο που το μέσο βάρος φυματίων στην εφαρμογή με το N-Free είχε αρχικά μικρή τιμή εντούτοις, στη συνέχεια παρουσίασε αύξηση η οποία είναι στατιστικά σημαντική σε σχέση με τον μάρτυρα και M+M.

4.3.3. Μέσο Βάρος Φυματίου



Γράφημα 19. Αποτελέσματα του μέσου βάρους φυματίου/φυτό για τις 4 επεμβάσεις στις 3 καταστρεπτικές δειγματοληψίες της ρίζας. Διαφορετικά γράμματα, πάνω από τα ραβδογράμματα, υποδηλώνουν τιμές που διαφέρουν σημαντικά σε επίπεδο σημαντικότητας 5%.

Σημαντικές διαφορές εμφανίστηκαν μεταξύ των εφαρμογών σχετικά με το βάρος φυματίου ανά φυτό. Σύμφωνα με το γράφημα οι εφαρμογές που εμφάνισαν μικρή τιμή, όσο αφορά το βάρος φυματίου, ήταν αυτές του Μάρτυρα και M+M οι οποίες είχαν στατιστικά σημαντική διαφορά σε σχέση με την εφαρμογή 0,25N καθ'όλη τη διάρκεια του πειράματος. Αξιοσημείωτη είναι η αύξηση του μέσου βάρους φυματίου που εμφανίζει η εφαρμογή N-Free όπου στην πρώτη μέτρηση παρουσιάζει αρκετά μικρή τιμή, στη συνέχεια αυξάνει έτσι ώστε στη 2η μέτρηση να διαφέρει στατιστικά σημαντικά από το μάρτυρα και M+M και τελικά στις 65 ημέρες από τη μεταφύτευση εμφανίζει περαιτέρω αύξηση, έτσι ώστε να δημιουργεί στατιστικά σημαντική διαφορά σε σχέση με την εφαρμογή 0,25N.

4.4. ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΟ ΥΛΙΚΟ ΑΠΟ ΤΑ ΡΙΖΙΚΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ



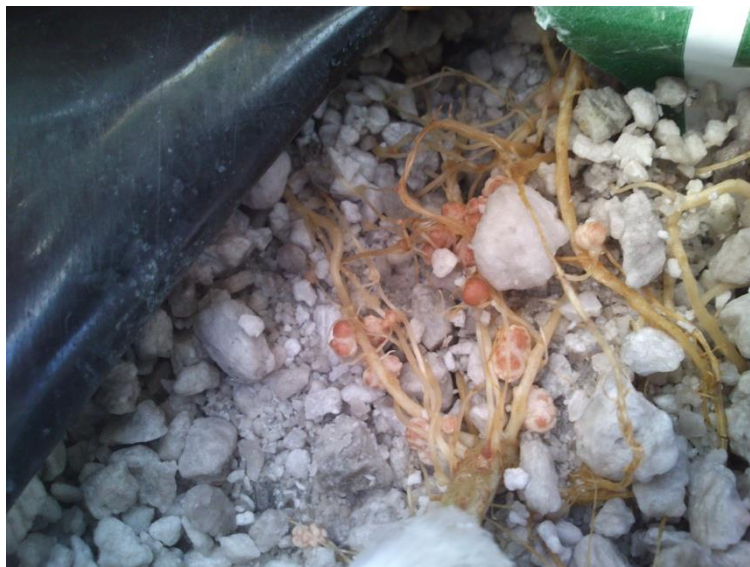
Εικόνα 22. Ριζικό σύστημα στις 28 ημέρες μετά την μεταφύτευση. α) M+M, β) N-Free



Εικόνα 23. Ριζικό σύστημα 0,25N, 44 ημέρες μετά την μεταφύτευση.



Εικόνα 24. Ριζικό σύστημα του M+M, 44 ημέρες μετά την μεταφύτευση



Εικόνα 25. Φυμάτια σε ριζικό σύστημα 0,25N 24 ημέρες μετά τη μεταφύτευση

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Το κοινό φασόλι, *Phaseolus vulgaris* αποτελεί το πιο σημαντικό όσπριο για την ανθρώπινη κατανάλωση σε όλο τον κόσμο, ειδικά στην Λατινική Αμερική και Αφρική (CIAT 1992) όπου η καλλιέργεια του εκτείνεται σε πολύ μεγάλες εκτάσεις. Για την ανάπτυξη του κοινού φασολιού και γενικότερα των ψυχανθών γίνονται μελέτες όσο αφορά τις ιδανικές συνθήκες καλλιέργειας για να βρεθεί έτσι η βέλτιστη λύση ανάμεσα στη αυξημένη αλλά και οικονομική παραγωγή.

Ένα πρόβλημα που εντοπίστηκε από νωρίς είναι η συμβιωτική αζωτοδέσμευση του φυτού η οποία θεωρείται πως βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα σε σύγκριση με άλλα ψυχανθή (Pereira και Bliss 1987). Στις σύγχρονες καλλιέργειες συνιστάται η χρήση των μικροοργανισμών για την λίπανση με άζωτο. Αρκετές όμως από τις ποικιλίες που χρησιμοποιούνται δεν είναι αποτελεσματικές και κατ' επέκταση αντικοινομικές, με αποτέλεσμα οι γεωργοί να είναι απρόθυμοι να χρησιμοποιήσουν το *Rhizobium* στις καλλιέργειες τους. Το μεγαλύτερο ποσοστό εμβολίου που παράγεται σήμερα στον κόσμο είναι κακής ποιότητας και απ' αυτό το 90% του όγκου της συνολικής παραγωγής δεν έχει κανένα απολύτως αποτέλεσμα όσο αφορά την παραγωγικότητα των καλλιεργούμενων φυτών. Παρά το γεγονός όμως ότι εκατομμύρια εκτάρια εμβολιάστηκαν από την αρχή της πρακτικής, δεν υπάρχουν διαθέσιμα ακριβή στοιχεία σχετικά με την αγορά του εμβολίου στο εμπόριο και οι πρόοδοι στην τεχνολογία και αξιολόγηση του εμβολίου βρίσκονται σε στατική φάση (Brockwell and Bottomley et al., 1995).

Σκοπός του πειράματος αυτού, ήταν να διερευνηθεί η επίδραση της βιολογική αζωτοδέσμευσης στην παραγωγή καρπών και την απορρόφηση κύριων θρεπτικών στοιχείων σε υδροπονική καλλιέργεια φασολιού σε ελαφρόπετρα. Για κάθε παράμετρο που μελετήθηκε στο πείραμα, παρακάτω αναλύονται τα αντίστοιχα συμπεράσματα.

Η επιλογή του θρεπτικού διαλύματος επιλέχθηκε λαμβάνοντας υπόψη σχετικά βιβλιογραφικά δεδομένα με βάση τις ανάγκες του συγκεκριμένου φυτικού είδους (φασόλι) και τις καιρικές συνθήκες (άνοιξη στην Αττική). Σύμφωνα με τους Rennie και Kemp, 1984 έχουν παρατηρηθεί διαφορές μεταξύ τοποθεσιών και εποχών καλλιέργειας στο ποσοστό αζώτου που δεσμεύεται από την ατμόσφαιρα. Αυτές οι διαφορές αντανακλούν την ευαισθησία της συμβίωσης φασολιού/αζωτοβακτηρίου σε

πολλούς περιβαλλοντικούς παράγοντες οι οποίοι μπορούν να επαυξήσουν ή να μειώσουν την βιοσύνθεση αζώτου. Παράγοντες όπως η σκίαση των φυτών, η μειωμένη ένταση φωτισμού, οι θερμοκρασιακές πέραν των άριστων και η αποφύλλωση των φυτών, επηρεάζουν την φωτοσύνθεση και την μετακίνηση των υδατανθράκων μέσα στο φυτό και μειώνουν την αζωτοδέσμευση (Δαλιάνης, 1983). Η εγκατάσταση τη υδροπονικής καλλιέργειας η οποία έγινε στο θερμοκήπιο είχε ως θετικό αποτέλεσμα την αποφυγή των ανεπιθύμητων καιρικών συνθηκών. Υψηλή ικανότητα συμβιωτικής δέσμευσης έχει αναφερθεί σπάνια σε συνθήκες αγρού (Eaglesham and Dart, 1974, Westermann et al., 1981) αλλά συχνότερα σε συνθήκες θερμοκηπίου, υπό άριστες συνθήκες (Awonaike et al., 1980, Graham, 1981).

Στο παρόν πείραμα χωρίστηκαν τα φυτά σε 4 ομάδες. Μιας και ο στόχος του πειράματος ήταν η μελέτη του αζώτου, οι παράμετροι που άλλαζαν σε κάθε ομάδα ήταν η διαφορετική περιεκτικότητα των θρεπτικών διαλυμάτων σε άζωτο. Έτσι οι 2 ομάδες από τις 4 (του μάρτυρα και M+M) περιείχαν το συνολικό άζωτο που είναι απαραίτητο για την ανάπτυξη του κοινού φασολιού. Η 3η ομάδα φυτών (0,25N) αποτελούσε την επέμβαση που η συγκέντρωση αζώτου στο θρεπτικό διάλυμα της ήταν το $\frac{1}{4}$ της συνολικής ποσότητας του μάρτυρα και M+M, ενώ στην τέταρτη ομάδα (N-Free) η περιεκτικότητα σε άζωτο ήταν 0%. Κατά την ανάπτυξη των φυταρίων στα υδροπονικά συστήματα, στα πρώτα στάδια ανάπτυξης τους εφαρμόστηκε υγρή καλλιέργεια *Rhizobium* έτσι ώστε να γίνει εγκατάσταση συμβιωτικής αζωτοδέσμευσης. Σύμφωνα με τον Thies et al., (1991) ο εμβολιασμός των οκτώ ψυχανθών αύξησε τον αριθμό των φυματίων Μέσο υγρής καλλιέργειας, τοποθετήθηκε στο ριζικό σύστημα ποσότητα αζωτοβακτηρίων του γένους *Rhizobium* τα οποία εγκαθιστούν συμβιωτικές σχέσεις στις ρίζες των ψυχανθών σχηματίζοντας τα φυμάτια. Με αυτό τον τρόπο μπορεί το ριζικό σύστημα να εμπλουτιστεί με αζωτοβακτήρια. Σε καλλιέργειες που στο ριζικό σύστημα έχουν λίγο διαθέσιμο άζωτο ο εμβολιασμός με αζωτοβακτήρια αυξάνει τις αποδόσεις σε σχέση με μη εμβολιασμένους μάρτυρες (La Rue and Patterson, 1981).

Έτσι δημιουργήθηκαν οι παράμετροι για την δημιουργία των κατάλληλων συνθηκών μελέτης της ανάπτυξης φυτών φασολιού με διαφορετικές συγκεντρώσεις αζώτου με την παρουσία ή όχι αζωτοβακτηρίων (M+M, 0,25N N-Free και Μάρτυρας αντίστοιχα).

Τα φυτά αναπτύχθηκαν πάνω σε υδροπονική ελαφρόπετρα η οποία βρισκόταν σε σάκου. Η ελαφρόπετρα είναι ένα υπόστρωμα με πολύ μεγάλο πορώδες σε όλη τη

μάζα του και είναι αποτελεσματική σε πλήθος καλλιεργούμενων φυτών. Η επάρκεια των απαραίτητων θρεπτικών στοιχείων όπως καλίου, φωσφόρου, ασβεστίου και μαγγανίου είναι υπεύθυνα τόσο για την παρουσία όσο και για τον πολλαπλασιασμό των αζωτοβακτηρίων, όσο και για την προβολή ριζικών τριχιδίων για την ανάπτυξη του φυτού. Μέσο του υδροπονικού συστήματος σε ελαφρόπετρα ήταν δυνατή η επάρκεια των πιο πάνω στοιχείων μιας και η χημική σύσταση του θρεπτικού διαλύματος που παρείχε τις απαραίτητες θρεπτικές ουσίες δεν επηρεαζόταν από το υπόστρωμα. Όσο αφορά τη χημική του σύσταση είναι ουδέτερο υλικό και σχεδόν αδρανές, καθώς ανάλογα την κοκκομετρική σύσταση μπορεί να παρουσιάσει μια ελάχιστη ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων (Νικολετάκης, 2008). Αναφέρεται (Tsai et al., 1993) ότι το ποσοστό ατμοσφαιρικού αζώτου που δεσμεύτηκε από φυτά φασολιού ήταν μεγαλύτερο σε εδάφη μέτριας γονιμότητας από ότι σε εδάφη φτωχά.

Στα καλλιεργούμενα ψυχανθή, συνίσταται ελαφρά αζωτούχος λίπανση στα πρώτα στάδια ανάπτυξης τους ώστε να δημιουργηθεί πλούσιο και υγιές ριζικό σύστημα πάνω στο οποίο θα αναπτυχθούν τα φυμάτια. Κάτω από ορισμένες συνθήκες, το φασόλι είναι σε θέση να προσλάβει μεγάλες ποσότητες ατμοσφαιρικού αζώτου. Συνήθως όμως είναι απαραίτητη η χρήση κάποιου ανόργανου λιπάσματος αζώτου (Ruschel et. al, 1979, Graham et. al., 1981). Σύμφωνα με το γράφημα 17 ο αριθμός των φυματίων στην εφαρμογή με την μειωμένη ποσότητα αζώτου (0,25N) κατά την 2η μέτρηση (44 ημέρες μετά την μεταφύτευση) παρουσίασε την μέγιστη τιμή σε σχέση με τις άλλες μετρήσεις της ίδιας της εφαρμογής όσο και σε σχέση με τις άλλες επεμβάσεις. Η μέση αυτή τιμή (917,75) διέφερε στατιστικά σημαντικά σε σχέση με τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις. Η εφαρμογή με την ολική ποσότητα αζώτου και μολύσματος φαίνεται να έχει αναπτύξει ένα μικρό αριθμό φυματίων. Ο αριθμός αυτός διαφέρει στατιστικά σημαντικά σε σχέση εφαρμογή 0,25N. Αν η προστιθέμενη ποσότητα ανόργανου αζώτου έχει μεγάλες τιμές, τότε θα υπάρξει καταστολή στην δημιουργία φυματίων. (Ruschel et. al, 1979, Graham et. al., 1981). Επίσης κατά την τελευταία μέτρηση στις 85 ημέρες από την μεταφύτευση ο μάρτυρας εμφάνισε την μικρότερη τιμή του πειράματος όσο αφορά τον αριθμό των φυματίων με μέση τιμή 0,5 gr. Σε καλλιέργειες που διαθέτουν αυξημένη γονιμότητα στο ριζικό σύστημα το άζωτο του εδάφους παρεμποδίζει το σχηματισμό φυματίων και τη δέσμευση (La Rue andi Patterson, 1981).

Σε εδάφη που είναι πλούσια σε αφομοιώσιμο άζωτο παρατηρείται μικρή ή και μηδενική δέσμευση αζώτου από τα αζωτοβακτήρια. Στα εδάφη αυτά το φασόλι φαίνεται ότι μπορεί να χρησιμοποιεί το ωφέλιμο άζωτο του εδάφους ενώ τα αζωτοβακτήρια δεν ενθαρρύνονται στην αζωτοδεσμευτική τους δράση. Η παρουσία αζώτου στο περιβάλλον του βακτηρίου μειώνει την αφομοιώσιμη μορφή του ατμοσφαιρικού αζώτου και την παραγωγή αμμωνίας (Smith and Hume, 1985, Afza et al., 1987). Αν και η αρχικά προστιθέμενη συγκέντρωση καλλιέργειας αζωτοβακτηρίων ήταν ίδια στις επεμβάσεις 0,25, μάρτυρα και M+M, (γραφήματα 18 & 19) εντούτοις από την πρώτη μέτρηση η εφαρμογή (0,25N) παρουσιάζει μεγαλύτερη τιμή μέσου βάρους σε σχέση με τις επεμβάσεις με την ολική περιεκτικότητα σε άζωτο. Η διαφορά αυτή η οποία αποτελεί και στατιστικά σημαντική μέτρηση αυξάνεται κατά την δεύτερη μέτρηση. Σύμφωνα με το γράφημα 19, η δεύτερη μέτρηση η οποία έγινε στις 44 ημέρες μετά την μεταφύτευση εμφανίζει την μέγιστη τιμή μέσου βάρους φυματίων ανά φυτό το οποίο είναι 15,50 gr. Όταν αζωτούχα λιπάσματα χορηγούνται σε ψυχανθή, μειώνεται ο αριθμός φυματίων στις ρίζες, το βάρος φυματίων/φυτό και κατά συνέπεια το πόσο του δεσμευμένου αζώτου (Streeter, 1985a).

Τα ανώτερα φυτά είναι ικανά να χρησιμοποιήσουν νιτρικά και αμμωνιακά ιόντα ως πηγές αζώτου ενώ τα ψυχανθή χρησιμοποιούν το συμβιωτικά δεσμευμένο ατμοσφαιρικό άζωτο. Η πηγή αζώτου επηρεάζει πλήθος φυσιολογικών διαδικασιών, συμπεριλαμβανομένου όχι μόνος της αφομοίωσης του N και άλλων μακροστοιχείων αλλά και της αναπνοής των ριζών, τις υδατικές σχέσεις και τη φωτοσύνθεση (Lasa et al., 2001). Έτσι τα φυτά που αναπτύσσονται αποκλειστικά με NH_4^+ περιέχουν μικρότερες συγκεντρώσεις Ca, Mg, K και υψηλότερες συγκεντρώσεις P και S.

Έχει παρατηρηθεί ότι η χορήγηση ορισμένης ποσότητας αζώτου αύξησε την παραγωγή ξηρού σπόρου φασολιού σε σχέση με τα φυτά μάρτυρες. Επίσης η ξηρά ουσία και ο αριθμός των λοβών ανά φυτό παρουσίασαν παρόμοια αύξηση (Rana and Singh, 1998). Στο γράφημα 4 παρατηρήθηκε ότι το ποσοστό ξηράς ουσίας τόσο του μάρτυρα όσο και της εφαρμογής M+M ήταν μικρότερο σε σχέση με το N-Free και το 0,25N. Η μικρή δόση που χορηγήθηκε στο 0,25N ήταν αρκετή για να αυξήσει την ξηρά ουσία και να την κάνει στατιστικά σημαντική σε σχέση με το Μάρτυρα και M+M. Τα φυτά τα οποία δεν είχαν καθόλου άζωτο εμφάνισαν στατιστικά σημαντική διαφορά σε σχέση με τα φυτά που είχαν άζωτο συγκέντρωσης 100% όσο και με τα

φυτά του 0,25N εμφανίζοντας έτσι την μεγαλύτερη τιμή στο γράφημα 4. Το γεγονός ότι τα φυτά του N-Free αναπτύσσονταν χωρίς άζωτο είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της ξηράς ουσίας. Σε πείραμα που έγινε (Bot, et al., 2003) σε φυτά μαρουλιού βρέθηκε πως η ύπαρξη υψηλών συγκεντρώσεων αζώτου στο φυτό είχε ως αποτέλεσμα την δημιουργία κανονικής για το φυτό ποσότητας ξηρού βάρους, ενώ όταν η συγκέντρωση αυτή μειώθηκε είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της ξηράς ουσίας κατά 1% ή και περισσότερο.

Η αζωτούχος λίπανση αυξάνει την συγκέντρωση νιτρικών και ολικού αζώτου σε όλα τα φυτικά τμήματα, σε όλα τα στάδια της ανάπτυξης. Σύμφωνα με το γράφημα 2 παρατηρούμε πως οι μεταχειρίσεις που είχαν ολική ή μερική ποσότητα αζώτου είχαν αριθμό λοβών μεγαλύτερο από του N-free η οποία ήταν χωρίς άζωτο. Η διαφορά αυτή είναι στατιστικά σημαντική. Ο μεγαλύτερος αριθμός λοβών λόγω της αζωτούχου λίπανσης ήταν συνέπεια της αύξησης των ταξιανθιών/m² και του μεγαλύτερου ποσοστού καρπόδεσης. Όπως και για τα άλλα φυτά π.χ. ηλίανθος, αραβόσιτος έτσι και για κοινό το φασόλι, η προσθήκη αζώτου και η έντονη ικανότητα ρύθμισης της ωσμωτικής πίεσης που προκαλεί, ίσως να εξασφαλίζει μειωμένη ανθόρροια, αυξημένη καρπόδεση και παραγωγή (Escalante-Estrada, 1992). Σύμφωνα με τα γραφήματα 18 & 19 η εφαρμογή μειωμένης ποσότητας αζώτου είχε ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη μεγάλου αριθμού φυματίων στο ριζικό σύστημα. Σύμφωνα με τους La Rue and Patterson, 1981 αναμενόταν αύξηση της απόδοσης παραγωγής λόγω αύξησης του αζώτου μέσω αζωτοδέσμευσης. Στη παρόν πείραμα η εφαρμογή με το 0,25N εμφάνισε σχετικά μικρότερη απόδοση παραγωγής.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των μέσων όρων νωπού βάρους παραγωγής καρπών/φυτό για τις 4 διαφορετικές μεταχειρίσεις συναρτήσει του χρόνου (γράφημα 1) παρατηρήθηκε ότι τα φυτά του μάρτυρα αλλά και της εφαρμογής M+M (εφαρμογές με ολική ποσότητα αζώτου) είχαν καθ' όλη την διάρκεια του χρόνου μεγαλύτερη παραγωγή σε σχέση με τις εφαρμογές 0,25N και N-Free η οποίες περιείχαν άζωτο ¼ της ολικής ποσότητας και καθόλου αντίστοιχα. Η συνολική τιμή παραγωγής των επεμβάσεων που περιείχαν άζωτο 100% της απαιτούμενης ποσότητας είναι στατιστικά σημαντική σε σχέση με τις επεμβάσεις 0,25N και N-Free. Για άλλη μια φορά παρατηρούμε πως το άζωτο αποτελεί σημαντικό παράγοντα για την παραγωγή. Στο φασόλι, η προσθήκη αζώτου και η έντονη ικανότητα ρύθμισης της ωσμωτικής πίεσης που προκαλεί, ίσως να εξασφαλίζει μειωμένη ανθόρροια, αυξημένη καρπόδεση και παραγωγή (Escalante-Estrada, 1992).

Γενικότερα, το ξηρό βάρος αντικατοπτρίζει την περιεκτικότητα σε υδατάνθρακες, λίπη, πρωτεΐνες, ανόργανα άλατα βιταμίνες και αντιοξειδωτικά. Το ξηρό βάρος των λοβών αποτελεί μερικό δείκτη της φυτικής βιομάζας το οποίο μετρήθηκε μετά από αποξήρανση των αντίστοιχων ζυγισμένων νωπών φυτικών δειγμάτων. Έτσι δεν αναμένεται μεγάλη διαφορά όσο αφορά τις τιμές των γραφημάτων που απεικονίζουν τους μέσους όρους ξηρού βάρους καρπών/φυτό και τους μέσους όρους νωπού βάρους ανά καρπό (γράφημα 4). Η παραγωγή τόσο του ξηρού βάρους όσο και του νωπού στο μάρτυρα M+M και 0,25N διαφέρει στατιστικά σημαντικά σε σχέση με την τιμή της εφαρμογής η οποία δεν είχε καθόλου άζωτο.

Για την θρέψη του φασολιού στο παρόν πείραμα χρησιμοποιήθηκαν θρεπτικά διαλύματα λαμβάνοντας υπόψη βιβλιογραφικά δεδομένα έτσι ώστε να παρέχεται στο φυτό όλα τα απαραίτητα μακροστοιχεία και ιχνοστοιχεία πλην βέβαια του αζώτου που αποτελούσε παράμετρο μελέτης. Κατά την ανάπτυξη του το φυτό ανάλογα με τα διάφορα στάδια ανάπτυξης του έχει και διαφορετικές ανάγκες θρέψης. Στο γράφημα 13 η συγκέντρωση καλίου στους λοβούς κατά την πρώτη μέτρηση αλλά και κατά την τελευταία (28 & 65 ημέρες μετά την μεταφύτευση αντίστοιχα) η εφαρμογή N-Free παρουσιάζει στατιστικά σημαντική διαφορά σε σχέση με τις υπόλοιπες εφαρμογές οι οποίες αναπτύσσονταν με ανόργανο άζωτο. Είναι γενικά γνωστό πως τα κοινά φασόλια απαιτούν υψηλά επίπεδα μακροστοιχείων P, K, Ca, Mg, Mo, και B. (Bonetti et al , 1984 , . Franco and Day, 1980 , Ruschel and Reuszer , 1973 , Saito και ruschel , 1978). Έτσι η παραγωγή είναι περιορισμένη σε εδάφη όπου τα θρεπτικά αυτά στοιχεία δεν είναι διαθέσιμα. Στην τρίτη μέτρηση (65 ημέρες μετά την μεταφύτευση) οι εφαρμογές μάρτυρα, M+M και 0,25N παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική διαφορά σε σχέση με την εφαρμογή N-Free. Από τα γραφήματα 13 & 15 παρατηρούμε πως τόσο ο μάρτυρας όσο και οι επεμβάσεις M+M και 0,25N είχαν υψηλές γενικά τιμές απορρόφησης καλίου όσο αφορά το υπέργειο μέρος του φυτού. Συγκρίνοντας το γράφημα 13 σε σχέση με το γράφημα 3 (παραγωγής λοβών) στις αντίστοιχες επεμβάσεις παρατηρούμε την σχέση που υπάρχει ανάμεσα στις υψηλές τιμές συγκέντρωσης καλίου σε σχέση με την παραγωγή για τις αντίστοιχες ημερομηνίες και κατ'επέκταση με τις ποσότητες αζώτου των επεμβάσεων του μάρτυρα M+M και 0,25N σε σχέση με το N-Free. Παρά το γεγονός ότι το κάλιο δεν είναι δομικό στοιχείο των φυτικών ιστών, θεωρείται απαραίτητο για τη φωτοσύνθεση, τη σύνθεση του αμύλου και των πρωτεϊνών, τη μετακίνηση των σακχάρων και την ενεργοποίηση 80 τουλάχιστον ενζύμων. Συμμετέχει επίσης στη ρύθμιση του

οσμωτικού υδατικού δυναμικού των φυτών, μειώνοντας τις απώλειες νερού από τα στομάτια και αυξάνοντας την ικανότητα των κυττάρων στα ριζικά τριχίδια να προσλαμβάνουν νερό από το έδαφος (Mengel & Kirkby 1987).

Η δέσμευση αζώτου μέσω συμβίωσης των ψυχανθών με το *Rhizobium* είναι τεράστιας σημασίας για τη γεωργία, αφού αυξάνει τη διαθεσιμότητα του αζώτου στο έδαφος. Επειδή πολλά εδάφη είναι εκ φύσεως φτωχά σε άζωτο, τα ψυχανθή με ριζικά φυμάτια έχουν στις συγκεκριμένες συνθήκες συγκριτικό πλεονέκτημα και μπορούν να αναπτυχθούν καλά σε περιοχές στις οποίες άλλα φυτά αδυνατούν (Medigan et al., 2007).

Όπως φαίνεται και στο γραφήματα 5 & 9 η συγκέντρωση ασβεστίου και μαγνησίου (αντίστοιχα) στους λοβούς του μάρτυρα, 0,25N και M+M κατά την πρώτη δειγματοληψία (28 ημέρες από τη μεταφύτευση) βρισκόταν σε υψηλά επίπεδα σε αντίθεση με την εφαρμογή N-Free η οποία είχε μηδενική απορρόφηση. Η διαφορά των τιμών αυτών αποτελεί στατιστικά σημαντική μέτρηση. Όπως φαίνεται στην πορεία των γραφημάτων (5 & 9), η απορρόφηση στις τιμές του N-Free αυξάνει τόσο στις τιμές του ασβεστίου όσο και του μαγνησίου. Σύμφωνα με το γράφημα 2 όπου απεικονίζεται το συνολικό βάρος λοβών ανά φυτό, βλέπουμε πως τόσο στο διάστημα των 44 ημερών και στο διάστημα των 65 ημερών από τη μεταφύτευση η παραγωγή των εφαρμογών του μάρτυρα, 0,25N και M+M βρίσκεται σε υψηλότερες τιμές σε σχέση με του N-Free. Έτσι στις αντίστοιχες ημερομηνίες των γραφημάτων 5 & 9 παρατηρούμε πως υπάρχει μια αντιστοιχία όσο αφορά την απορρόφηση τιμών σε σχέση την παραγωγή. Είναι γνωστό πως το φασόλι έχει υψηλές απαιτήσεις σε της P, K, S, Ca, Mg, Mo, Co και B (Bonetti et al, 1984, Franco and Day, 1980, Ruschel and Reuszer, 1973, Saito and ruschel, 1978). Το φυτό αυτό στα διαφορετικά στάδια ανάπτυξης του εμφανίζει και διαφορετικές απαιτήσεις σε μακροστοιχεία ανάλογα με τις διατροφικές τους ανάγκες. Κατά την ανάπτυξη των φυτών η απορρόφηση ασβεστίου και μαγνησίου στα φύλλα παρουσίασε διακυμάνσεις στις διάφορες μεταχειρίσεις σε σχέση με το χρόνο. Έτσι σύμφωνα με τα γραφήματα 6, 10 & 14 (ασβεστίου, καλίου και μαγνησίου) οι επεμβάσεις του μάρτυρα και M+M παρουσίαζαν μεγαλύτερη απορρόφηση σε σχέση με τις επεμβάσεις του N-Free και 0,25N. Η διαφορά αυτή της απορρόφησης ήταν στατιστικά σημαντική σε όλες τις μετρήσεις του ασβεστίου, του καλίου μόνο κατά την τελευταία μέτρηση (65 ημέρες από μεταφύτευση) και του μαγνησίου στις 2 πρώτες. (28 & 44 ημέρες από μεταφύτευση).

Όπως αναφέρθηκε πιο πάνω στόχος του πειράματος ήταν να διερευνηθεί η επίδραση της βιολογική αζωτοδέσμευσης στην παραγωγή καρπών και την απορρόφηση κύριων θρεπτικών στοιχείων σε υδροπονική καλλιέργεια φασολιού σε ελαφρόπετρα.

Παρόλο που οι εφαρμογές με το 0,25N εμφάνισαν ικανοποιητικές τιμές όσο αφορά τον αριθμό των φυματίων εντούτοις οι εφαρμογές που είχαν την ολική ποσότητα αζώτου είχαν την μεγαλύτερη παραγωγή. Σύμφωνα με αυτά τα δεδομένα οι εμβολιασμοί δεν διαδραμάτισαν κάποιο σημαντικό ρόλο όσο αφορά την παραγωγή.

Για ποιο λόγο όμως τα αζωτοδεσμευτικά αζωτοβακτήρια δεν απέδωσαν σε άζωτο;

Οι (Buttery et al., 1987 , Huntingdon et al., 1986) αναφέρουν ότι σε πειράματα που έγιναν στον αγρό βρέθηκε ότι στα φασόλια η αζωτούχος λίπανση αύξησε σημαντικά την παραγωγή, υποδηλώνοντας ότι το συμβιωτικό άζωτο είναι ανεπαρκές για να καλύψει τις ανάγκες των φυτών για μέγιστη παραγωγή

Η συμβιωτική σχέση ανάμεσα στα αζωτοβακτήρια και τα ψυχανθή είναι μία πολύπλοκη βιολογική διαδικασία, η επιτυχία της οποίας εξαρτάται από διάφορους παράγοντες που σχετίζονται τόσο με τα χαρακτηριστικά του φυτού ξενιστή και του αζωτοβακτηρίου, όσο και με παράγοντες του περιβάλλοντος (Ξένος Π., 2005).

Η παρουσία φυματίων στις ρίζες των φυτών δεν σημαίνει απαραίτητα ότι γίνεται δέσμευση αζώτου και ότι το φυτό ωφελείται. Τα αζωτοβακτήρια μπορεί να μην δεσμεύουν καθόλου άζωτο και να ζουν εις βάρος του φυτού εάν αποτελούνται από βιότυπους με καμία αζωτοδεσμευτική ικανότητα. Μερικοί βιότυποι, παρά το γεγονός ότι δημιουργούν φυμάτια σε όλα τα είδη των φυτών με τα οποία δύναται να συμβιώσουν, μπορεί να είναι ωφέλιμοι σε ένα είδος φυτού, λιγότερο ωφέλιμοι σε ένα άλλο και χωρίς καμία ωφέλεια σε ένα τρίτο. Από τα καλύτερα γνωστά παραδείγματα είναι η ανικανότητα ορισμένων αζωτοβακτηρίων αζωτοβακτηρίων που είναι χρήσιμα στη μηδική (*Medicago sativa*, L.) να βοηθήσουν στην ανάπτυξη του τριγωνίσκου. Μερικοί βιότυποι υψηλής αποτελεσματικότητας στο μπιζέλι (*Pisum sativum*, L.), δεν προξενούν καμία ωφέλεια στο βίκο (*Vicia sativa*, L.) (Δαλιάνης, 1983). Επίσης μερικοί τύποι βιοτύπων αζωτοβακτηρίων προκαλούν τη δημιουργία πολλών, μικρών, λευκού χρώματος φυματίων που απαντώνται στις πλάγιες ρίζες των ψυχανθών. Οι βιότυποι αυτοί είναι συνήθως ανεπιθύμητοι γιατί δεσμεύουν λιγότερο άζωτο. Χαμηλές αποδόσεις, ακόμη και πλήρης αποτυχία μπορεί να οφείλονται στο σχηματισμό φυματίων με φτωχούς τύπους αζωτοβακτηρίων (Δαλιάνης, 1983).

Μελέτες στη σόγια και στο φασόλι αναφέρουν ότι η ευαισθησία της καλλιέργειας στο ανόργανο άζωτο εξαρτάται και από τη φυλή του αζωτοβακτηρίου (Awonaike et al., 1980).

Σήμερα είναι πια καλά γνωστό, ότι υπάρχουν γενετικοί ή χημικοί παράγοντες στα κυτταρικά τοιχώματα των ριζών των ψυχανθών, ή των βακτηρίων ή και στα δύο, που καθορίζουν τη συγγένεια ανάμεσα στο ψυχανθές και το είδος ή τη φυλή του βακτηρίου. Με άλλα λόγια καθορίζουν το αν θα σχηματισθούν ή όχι φυμάτια, πάνω στις ρίζες και αν τελικά θα γίνει εκεί ή όχι, η δέσμευση του ατμοσφαιρικού αζώτου. Δηλαδή το ασυμβίβαστο (έλλειψη συγγένειας), μεταξύ ενός ψυχανθούς και ενός είδους ή φυλής *Rhizobium*, έχει σαν αποτέλεσμα είτε να μην σχηματισθούν φυμάτια πάνω στις ρίζες, είτε να σχηματισθούν, αλλά να μην έχουν την ιδιότητα (το μηχανισμό) να δεσμεύουν το ατμοσφαιρικό άζωτο.

Το γεγονός ότι η χορήγηση του αζώτου από τα αζωτοβακτήρια στα φυτά δεν ήταν εφικτή, πιθανόν να οφείλεται στο ότι οι χαμηλές συγκεντρώσεις N εμπόδισαν το γρήγορο και έγκαιρο σχηματισμό φυματίων. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την μειωμένη ανάπτυξη των φυτών εφόσον στις κρίσιμες χρονικά στιγμές τα φυμάτια δεν παρείχαν καθόλου άζωτο, η παρείχαν ελάχιστο. Επίσης η ποσότητα αζώτου που είχε χορηγηθεί στην ίδια εφαρμογή, ήταν χαμηλότερη της αναγκαίας τιμής και έτσι ολόκληρη η ποσότητα χρησιμοποιούταν για την ανάπτυξη των αζωτοβακτηρίων με αποτέλεσμα να μην μπορέσουν τα φυμάτια να αποδώσουν άζωτο στα φυτά. Σύμφωνα με τους Rue and Patterson, (1981) σε εδάφη ενδιάμεσης γονιμότητας το ενεργειακό κόστος σχηματισμού φυματίων και βιοσύνθεσης, ίσως να μειώνει τις αποδόσεις σε μια καλλιέργεια που ένα μέρος του αζώτου αποκτάται συμβιωτικά σε σύγκριση με το μη εμβολιασμένο μάρτυρα. Έτσι τα φυτά αυτά έμειναν υποανάπτυκτα σε σχέση με τα φυτά τα οποία τροφοδοτούνταν με άζωτο.

Συμπερασματικά η χορήγηση μειωμένης ποσότητας αζώτου στα φυτά είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση τόσο του αριθμού φυματίων όσο και του βάρους τους, σε αντίθεση με τα φυτά που χορηγούνταν με πλήρες άζωτο. Η αύξηση αυτή η οποία πιθανόν να μην ήταν έγκαιρη δεν επέφερα ικανοποιητικά αποτελέσματα. Έχει παρατηρηθεί σε ποικιλίες φασολιού στη Βραζιλία, θετική συσχέτιση του βάρους των φυματίων και της περιεκτικότητας του φυτού σε άζωτο, αλλά υπήρχε αρνητική συσχέτιση με την απόδοση. (Pessanha et al., 1972).

Έτσι, αν και ο εμβολιασμός ενεργοποίησε και αύξησε τα φυμάτια στα ριζικά συστήματα των φυτών η ανάπτυξη τους δεν ήταν αποτελεσματική. Σε μελλοντικά παρόμοια πειράματα προτείνεται η χρήση μεγαλύτερης αρχικά συγκέντρωσης αζώτου (75% αντί 25%) μέχρις ότου αναπτυχθούν τα φυμάτια ικανοποιητικά και στη συνέχεια μείωση της συγκέντρωσης μετά από χρονικό διάστημα 1-3 εβδομάδες έτσι ώστε τα φυμάτια να μπορέσουν να δεσμεύσουν και να αποδώσουν ικανοποιητικές ποσότητες αζώτου στο φυτό.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

6.1. ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Abad, M. et al. 1995. La fibra de coco, un nuevo substratto horticola para el cultivo sin suelo. VI Congreso de la Sociedad
- Adams P. 2002. Nutritional control in hydroponics. In: Savvas D, Passam H, eds. Hydroponic production of vegetables and ornamentals. Athens, Greece: Embryo Publications, 211–261.
- Akl, I.A., D. Savvas, N. Papadantonakis, N. Lydakis-Simantiris, P. Kefalas, 2003. Influence of ammonium to total nitrogen supply ratio on growth, yield and fruit quality of tomato grown in a closed hydroponic system. *Europ. J. Hort. Sci*, 68, 204-211.
- Allaire, S.E., Caron, J., Duchesne, I., Parent, L.-E., Rioux, J.-A. 1996. Air-filled porosity, gas relative diffusivity, and tortuosity: Indices of *Prunus × cistena* sp. grown in peat substrates. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 121:236–242.
- Anonymous, 1997a, Water: what's in it and how to get it out, *Today's Chem.* 6(1):1–19.
- Armitage, A.M. 1993. Specialty cut flowers (Varsity Press/Timber Press, Portland, OR).
- B. Gunnlaugsson, S. Adalsteinsson. 1995. Pumice as environment friendly substrate a comparison with rockwool
- Batra, S.K . 1985. Other long vegetable fibers. *Handbook of Fiber Science and Technology #4*.
- Bauerle, W. L. 1984. "Bag culture productivity of greenhouse tomatoes." *Special Circular 108*. Columbus: Ohio State Univ.
- Bergmann W. 1988. *Emahrvngsslomngen hei Kulturpflatcen*, Oustav Fischer ferfag, Stuttgart, 380 pp
- Boertje, G.A. 1995. Chemical and physical characteristics of pumice as a growing medium. *Acta Hort.* 401:85–87.
- Bragg. 1991. Peat and its alternatives. Horticultural Development Council, Petersfield, England.

- Bunt, A.C. 1988. Media and mixes for container-grown plants (Unwin Hayman, London).
- Bures, S., Marfa, O., Perez, T., et al. 1997. Measure of substrates unsaturated hydraulic conductivity. *Acta Hort. (ISHS)*, 450, 297–304.
- C.S. Vavrina, K. Armbrester, Mireia Arenas, and M. Pena. Covonut coir as an alternative to peat media for vegetable transplant production. University of
- Calkins, J.B., Jarvis, B.R. and Swanson, B.T. 1997. Compost and rubber tire chips as peat substitutes in
- Cees Sonneveld and Wim Voogt 2008. *Plant Nutrition of Greenhouse Crops*
- Chaignon V, Bedin F, Hinsinger P. 2002. Copper bioavailability and rizosphere pH changes as affected by nitrogen supply for tomato and oilseed rape cropped on an acidic and a calcareous soil. *Plant and Soil* 243, 219-228
- Challinor, P.F. 1996 *Proc., 5th Internat. Congr. Soilless Culture. ISOSC (Wageningen, The Netherlands)*, The use of pumice in horticulture, pp 101–104.
- Challinor, P.F. 1996. The use of pumice in horticulture. In *Proceedings of 9th International Congress*
- Challinor, P.F., La Pivert, J. and Fuller, M.P. 1995. The production of standard carnation on nutrient
- Chapagain BP, Wiesman Z 2004. Effect of potassium magnesium chloride in the fertigation solution as partial source of potassium on growth, yield and quality of greenhouse tomato. *Scientia Horticulturae* 99,279-288
- Chapagain BP, Wiesman Z 2004 Effect of potassium magnesium chloride in the fertigation solution as partial source of potassium on growth, yield and quality of greenhouse tomato. *Scientia Horticulturae* 99,279-288
- Chen J, Gabelman WH 2000 Morphological and physiological characteristics of tomato roots associated with potassium-acquisition efficiency. *Scientia Horticulture* 83, 213-225
- *Congr. On Soilless Culture. ISOSC, Las Palmas*, pp. 107–119.
- Cooper, A. 1979. *The ABC of NFT*. London, UK: Grower Books.
- Cooper, A.J. 1975. Crop production in recirculating nutrient solution. *Sci. Hort.*, 3, 251–258.

- Cooper, A.J. 1975. Crop production in recirculating nutrient solution. *Sci. Hort.*, 3, 251–258.
- Da Silva, F.F., Wallach, R., Chen, Y. 1993. Hydraulic properties of sphagnum peat moss and tuff (scoria) and their potential effects on water availability. *Plant Soil* 154:119–126.
- Davies J, Hobson G 1981. The constituents of tomato fruit-the influence of environment, nutrition and genotype. In: Mcglasoon W. *CRC Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 15: 205-281.
- de Groot CC, Marcelis LFM, van den Boogaard R, Lambers H (2002) Interactive effects of nitrogen and irradiance on growth and partitioning of dry mass and nitrogen in young tomato plants. *Functional Plant Biology* 29. 1319-1328
- de Groot CC, Mareelis LFM, van den Boogaard R, Lambers II (2001) Growth and dry-mass partitioning in tomato as affected by phosphorus nutrition and light. *Plant, Cell and Environment* 24, 1309-1317
- De Kreij, C. 1995. Latest insights into water and nutrient control in soilless cultivation. *Acta Hort.*, 408:47-61.
- De Kreij, C. and van Leeuwen, G.J.L. 2001. Growth of pot plants in treated coir dust as compared to peat. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 32, 2255–2265.
- De Kreij, C., Voogt, W., Baas, R. 1999. Nutrient solutions and water quality for soilless cultures (Research Station for Floriculture and Glasshouse Vegetables (PBG) Naaldwijk, The Netherlands) Brochure 196.
- del Amor FM, Martinez V, Cerdá A. 2001. Salt tolerance of tomato plants as affected by stage of plant development. *HortScience* 36: 1260–1263.
- Drsal, M.S., Fonteno, W.C., Cassel, D.K. 1999. Pore fraction analysis: A new tool in substrate analysis. *Acta Hort.* 481:43–54.
- E. Maloupa, A. Abou Hadid, M. Prasad, CH. Kavafakis. 2000. Response of cucumber and tomato plants to different substrates mixtures of pumice in substrate culture
- Eastwood, T. 1947. *Soilless Growth of Plants*. 2nd Edition. Reinhold Publishing, New York.
- Espanola de Ciencias Horticolas (Barcelona, Spain, April 1995).

- F. Artés, M.A. Conesa, S. Hernández, M.I. Gil, 1999, Keeping quality of fresh-cut tomato Pages 153–162
- Farnhand, D.S., Hasek, R.F. and Paul, J.L., 1985, Water Quality. Division of Agricultural Science, Leaflet 2995, University of California, Davis, CA.
- Faulkner, S.P., 1998a, The modified Steiner solution: A complete nutrient solution, *The Growing Edge* 9(4):43–49.
- Faulkner, S.P., 1998b, Slow-release nutrient amendment mixes, *The Growing Edge* 10(1):87–88.
- Fernandez V, Ebert G. 2005. Foliar iron fertilization: A critical review. *Journal of Plant Nutrition* 28, 2113-2124
- Florida Southwest Florida Research and Education Center P.O. Drawer 5127 Immokalee, FL 33934
- Fonteno, W.C. 1996. In *Water, media, and nutrition for greenhouse crops, Growing media: Types and physical/chemical properties*, ed Reed D.W. (Ball Publishing, Batavia, IL), pp 93–122.
- Fornes, F., Belda, R.M., Abad, M., et al. 2003. The micro structure of coconut coir bust for use as alternative to peat soilless growing media. *Aust. J. Exptl. Agric.*, 43, 1171–1179.
- Ganmore-Neumann, R. and U. Kafkafi. 1980. Root temperature and percentage NO₃⁻/NH₄⁺ effect on tomato plants. I Morphology and growth. *Agron. J.* 72:758-761.
- Garcia, M. and Deverde. C. 1994. Le residu des fibres de coco a nouveau substrat pour la culture hors sol. *PHM. Rev. Hortic.*, 348, 7–12.
- Gericke, W.F. 1937. Hydroponics – crop production in liquid culture media. *Science*, 85, 177–178.
- Gericke, W.F. 1929. Aquaculture: a means of crop production, *Am. J. Bot.* 16:862.
- Gericke, W.F. 1937. Hydroponics crop production in liquid culture media, *Science* 85:177–178.
- Gericke, W.F. 1940. *Complete Guide to Soilless Gardening*, Prentice Hall, New York.
- Gislerød, H.R., Kempton, R.J. 1983. The oxygen content of flowing nutrient solutions used for cucumber and tomato culture. *Sci. Hort.* 23–33.

- Gizas, G., Savvas, D., Mitsios, I. 1999. Availability of macrocations in perlite and pumice as influenced by the application of nutrient solutions having different cation concentration ratios. *Acta Hort.* 548:277–284.
- Grattan SR, Grieve CM 1999. Salinity-mineral relations in horticultural crops. *Scientia Horticulturae*, 78 127-157
- Grattan SR, Grieve CM (1999) Salinity-mineral relations in horticultural crops. *Scientia Horticulturae*, 78 127-157
- Gunnlaugsson, B., Adelsteinsson, S. 1995. Pumice as environment-friendly substrate; a comparison with rockwool. *Acta Hort.* 401:131–136.
- Hanan, J.J., Olympios, C., Pittas, C. 1981. Bulk density, porosity, percolation and salinity control in shallow, freely draining potting soils. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 106:742–746.
- Handbook of Plant and Crop Physiology, Marcel Dekker, New York.
- Handreck, K.A. 1993. Properties of coir dust, and its use in the formulation of soilless potting media. *Commun. Soil & Plant Anal.* 24:349-363
- Handreck, K.A. 1993. Properties of coir dust, and its use in the formulation of soilless potting media. *Commun. Soil & Plant Anal.* 24:349-363.
- Hao X, Papadopoulos AP. 2003. Effects of calcium and magnesium on growth, fruit yield and quality in a fall greenhouse tomato crop grown on rockwool. *Canadian Journal of Plant Science* 83: 903–912.
- Hao X, Papadopoulos AP. 2004. Effects of calcium and magnesium on plant growth, biomass partitioning, and fruit yield of winter greenhouse tomato. *HortScience* 39: 512–515.
- Harris, D. 1977. *Hydroponics: The Gardening without Soil*, Pumell & Sons, Cape Town, South Africa.
- Hassan Borji, Ahmad.Mohammadi Ghahsareh, Mehrdad Jafarpour 2010 Effects of the Substrate on Tomato in Soilless Culture
- Healthy Container-Grown Plants Through the Use of Clean Soil, Clean Stock, and Sanitation (K.F. Baker, ed.). University of California, Division of Agricultural Sciences, pp. 68–85.
- High Electrical Conductivity and Radiation-based Water Management Improve Fruit Quality of Greenhouse Tomatoes Grown in Rockwool Simon Chrétien and André Gosselin. 2005. Martine Dorais

- Ho LC. 1998a. To quantify environmental and physiological factors controlling calcium uptake, transport and utilization on yield and quality of tomato and sweet peppers in glasshouses. Final report on MAFF project HH1309SPC
- Imas P, Bar-Yosef B, Kafka® U, Ganmore-Neumann R. 1997. Phosphate induced carboxylate and proton release by tomato roots. *Plant and Soil* 191: 35±39.
- influence of cucumber cultivation on these properties. *Acta Hort. (ISHS)*, 401, 27–34.
- Islam, M.S., Kahn, T., Ito, T., et al. 2002. Characterisation of the physio-chemical properties of environmentally friendly organic substrates in relation to rock wool. *J. Hort. Sci. Biotech.*, 77, 1462–1465.
- J. Amer. (1989a) Hydrology of horticultural substrates: I. Mathematical models for moisture characteristics of horticultural container media *Soc. Hort. Sci.* 114:48–52.
- J. Benton Jones Jr. 2005. *Hydroponics, A Practical Guide for the Soilless Grower*
- Jenkins, J.A. 1948 The origin of the cultivated tomato *Econ.Bot.*, 2Q379-392
- Jones, J.B., Jr., 1998, *Plant Nutrition Manual*, CRC Press, Inc, Boca Raton, FL.
- Kaya C, Higgs D. 2002. Improvements in physiological and nutritional developments of tomato cultivars grown at high zinc by foliar application of phosphorus and iron. *Journal of Plant Nutrition* 25, 1881-1894
- Kirkby EA, Knight AH. 1977. Influence of the level of nitrate nutrition on ion uptake and assimilation, organic acid accumulation, and cation-anion balance in whole tomato plants. *Plant Physiology* 60, 349-53.
- Klieber, A., Lin, W.C., Jolliffe, P.A., Hall, J.W. (1993) Training systems affect canopy light exposure and shelf life of long English cucumber. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 118:786–790.
- L. Rincón, A. Pérez, A. Abadía and C. Pellicer 2004 Yield, Water Use and Nutrient Uptake of a Tomato Crop Grown on Coconut Coir Dust

- Lacatus, V., Botez, M., Chelu, R., Mirghis, R., Voican, V., 1994. The influence of organic and mineral fertilizers on tomato quality for Horti. 276:329-332.
- Lingle, J.C. and Lorenz, A.O., 1969. Potassium nutrition of tomatoes. J. Amer. Hort. Sci. 94: 679-683.
- loaded-zeolite. Acta Hort. (ISHS), 401, 293–299.
- Lopez-Medina, J., Perablo, A. and Flores, F. (2004). Closed soilless system growing: A Sustainable Solution to Strawberry Crop in Huelva (Spain). Acta Hort. (ISHS), 649, 213–215.
- Majmudar, A.M., Hudson, J.P. 1957. The effects of different water regimes on the growth of plants under glass. II. Experiments with lettuces (*Lactuca sativa* Linn.) J. Hort. Sci. 32:201–213.
- Maloupa, E. 2002 in Hydroponic production of vegetables and ornamentals, Hydroponic systems, eds Savvas D., Passam H.C. (Embryo Publications, Athens, Greece), pp 143–178.
- Maloupa, E., Abou-Hadid, A., Prasad, M., Kavafakis, C. (2001) Response of cucumber and tomato plants to different substrates mixtures of pumice in substrate culture. Acta Hort. 559:593–600.
- Manuel Abad, Fernando Fornes, Carolina Carrión, Vcinte Noguera 2005 Physical properties of various coconut coir dusts compared to peat
- Marschner, H., 1995, Mineral Nutrition of Higher Plants, Academic Press, New York.
- Mass E.V., 1986. Salt tolerance of plants. Appl. Agric.Res 1:12-26
- Matkin, O.A. and Chandler, P.A. 1957. The U.C.-type soil mixes. In The U.C. System for Producing
- Maynard, E.T., C.S. Vavrina, and D. Scott. 1996. Containerized muskmelon transplants: cell volume effects on pretransplant development and subsequent yield. HortScience, 31:158-61.
- Michael Raviv and J. Heinrich Lieth (2008) Soilless culture
- Milks, R.R., Fonteno, W.C., Larson, R.A.
- Milks, R.R., Fonteno, W.C., Larson, R.A. (1989b) Hydrology of horticultural substrates: III. Predicted air and water content of limited-volume plug cells. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 114:57–61.

- Mills HA, Jones .Ir. J 1996. Plant Analysis Handbook II, MicroMacro Publishing Inc, Athens, GA, USA, 422 pp
- Mills HA, Jones .Ir. J (1996) Plant Analysis Handbook II, MicroMacro Publishing Inc, Athens, GA, USA, 422 pp
- N. G. Tzortzakis, C. D. Economakis, 2008, Impacts of the substrate medium on tomato yield and fruit quality in soilless cultivation
- Navarro JM, Flores P, Carvajal M, Martinez V (2005) Changes in quality and yield of tomato fruit with ammonium, bicarbonate and calcium fertilisation under saline conditions. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 80, 351-357
- Naville, E.H. 1913. The Temple of Deir el-Bahari (Parts I–III), Vol. 16. London: Memoirs of the Egypt Exploration Fund. pp. 12–17.
- Nelson, P.V., Oh, Y.-M. and Cassel, D.K. 2004. Changes in physical properties of coir dust substrates during crop production. *Acta Hort. (ISHS)*, 644, 261–268.
- Noguera, M., Abad, R., Puchades and Maquiera, A. (2003a), Coconut coir waste, a new and viable ecologically friendly peat substitute. *Acta Hort. (ISHS)*, 517, 279–286.
- Noguera, P., Abad, M., Puchades, R., et al. (2003b). Influence of particle size on physical and chemical properties of coconut coir dust in container medium. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 34, 593–605.
- nursery container media: Growth effects. *J. Environ. Hortic.*, 15(2), 88–94.
- Ö. Dündar, M. Paksoy, K. Abak 1995 Quality changes during cold storage of tomato fruits grow in different substrates
- Olympios C.M 2008 Protected Cultivation in Greece 2nd Coordinating Meeting of the Regional FAO Working Group on Greenhouse Crop Production in the SEE Countries p:30
- Olympios, C.M. 1992. Soilless media under protected cultivation: rockwool, peat, perlite and other substrates. *Acta Hort. (ISHS)*, 323, 215–234.
- P. Noguera, M. Abad, R. Puchades, V. Noguera, A. Maquieira, J. Martinez 1998 Physical and chemical properties of coir waste and their relation to plant growth.

- P.F. Martinez, M. Abad 1992 Soiless culture of tomato in different mineral substrates.
- Papadopoulos, A.P., Hao, X., Tu, J.C. and Zheng, J. (1999). Tomato production in open or closed rockwool culture systems with NFT or rockwool nutrient feedings. *Acta Hort. (ISHS)*, 481, 89–91.
- Pardossi A., Carmassi G., Diara C., Incrocci L., Maggini R., Massa D. 2011 *Fertigation and Substrate Management in Closed Soiless Culture*
- Passam H.C. (Embryo Publications, Athens, Greece), pp 103–141.
- Passam, H.C., Karapanos, I.e., Bebeli, P.J., Savvas, D., 2007. A review of recent research on tomato nutrition, breeding and post-harvest technology with reference to fruit quality. *The European Journal of Plant Science and Biotechnology* 1(1): 1-21.
- Patakioutas, G., Savvas, D., Matakoulis, C., Sakellarides, T., Albanis, T., (2007) Application and fate of Cyromazine in a closed-cycle hydroponic cultivation of bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *J. Agric. Food Chem.* 55, 9928-9935
- Plaut, Z., Zieslin, N., Arnon, I. 1973. The influence of moisture regime on greenhouse rose production in various growth media. *Sci. Hort.* 1:239–250.
- Prasad, M. 1997a. Nitrogen fixation of various materials from a number of European countries by three nitrogen fixation tests. *Acta Hort. (ISHS)*, 450, 353–362.
- Prasad, M. 1997b. Physical, chemical and biological properties of coir dust. *Acta Hort. (ISHS)*, 450, 21–30
- Prasad, M. and Ni Chualáin, D. 2004. Relationship between particle size and airspace of growing media. *Acta Hort. (ISHS)*, 648, 161–176.
- Pryce, S. 1990. Alternatives to peat. *Pro.Hortic.* 5:101-106.
- Pumice as environment-friendly substrate-A comparison with rockwool 1995 B. Gunnlaugsson, S. Adalsteinsson
- R. Alan, A. Zulkadir, H. Padem 1993 The influence of growing media on growth, yield and quality of tomato grown under greenhouse conditions
- R.L. Jackman, A.G. Marangoni, and D.W. Stanley Measurement of Tomato Fruit Firmness 1990. *Hortscience* 25(7):781-783.

- Raab TK, Terry N 1994 Nitrogen-source regulation of growth and photosynthesis in *Beta vulgaris* L. *Plant Physiol* 105:1159-1 166
- Raviv, M., Wallach, R., Silber, A., Bar-Tal, A. (2002) in *Hydroponic production of vegetables and ornamentals, Substrates and their analysis*
- Raviv, M., Wallach, R., Silber, A., Medina, Sh., Krasnovsky, A. (1999) The effect of hydraulic characteristics of volcanic materials on yield of roses grown in soilless culture. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 124:205–209.
- Resh, H.M., 1997. *Hydroponic Food Production* (5th Edition). Woodbridge Press Publishing Company, Santa Barbara, California.
- Resh, H.M., 1995, *Hydroponic Food Production*, 5th ed., Woodbridge Press Publishing, Santa Barbara, CA.
- Rick C.M 1950 Pollination relations of *Lycopersicon esculentum* in native and foreign regions *Evolution* 4:110-122.
- Rubio L, Rosado A, Linares-Rue da A, Borsani O, Garcia-Sanchez MJ, Valpuesta V, Fernandez JA, Botella MA 2004 Regulation of K⁺ transport in tomato roots by the TSS1 locus. Implications in salt tolerance. *Plant Physiology* 134, 452-459
- Rupp, L.A. and Dudley, L.M. 1989. Iron availability in rockwool may affect rose nutrition. *Hort. Science*, 24, 258–260.
- Sammis, T.W., Kratky, B.A., Wu, I.P. 1988. Effects of limited irrigation methods on lettuce and Chinese cabbage yields. *Irrig. Sci.* 9:187–198.
- Sandra Hardy, 2010, citrus maturity testing
- Saure MC. 2001. Blossom-end rot of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.)- a calcium- or a stress-related disorder. *Scientia Horticulturae* 90: 193–208.
- Savithri, P. and H.H. Khan, 1993 Characteristics of coconut coir peat and its utilization in agriculture. *Journal of plant crop.* pp 22:1-18.
- Savithri, P. and H.H. Khan, 1993. Characteristics of coconut coir peat and its utilization in agriculture. *Journal of plant crop.* 22:1-18.
- Savithri, P., V. Murugappan, and R. Nagarajan. 1993. Possibility of economizing K fertilization by composted coir peat application. *Fert. News.* 38:39-40.

- Savithri, P., V. Murugappan, and R. Nagarajan. 1993. Possibility of economizing K fertilization by composted coir peat application. *Fert. News*. 38:39-40.
- Savvas D. and Adamidis K. 1999: Automated management of nutrient solutions based on target electrical conductivity, pH and nutrient concentration ratios. *J. Plant Nutr.* 22(9):1414-1432.
- Savvas D., Passam H.C. (Embryo Publications, Athens, Greece), pp 25–101.
- Savvas, D. 2001 Nutritional management of gerbera (*Gerbera jamesoni*) grown in a closed soilless culture system. *Acta Hort.* 554:175–182.
- Savvas, D., Manos, G. 1999 Automated composition control of nutrient solution in closed soilless culture systems. *J. Agr. Eng. Res.* 73:29–33.
- Seacheol Min, Z. Tony Jin and Q. Howard Zhang. 2002. Commercial Scale Pulsed Electric Field Processing of Tomato Juice
- Seeley, J.G. 1987. In *Roses. A manual of greenhouse rose production*, Soil aeration, ed Langhans R.W. (Roses Incorporated, Haslett, MI), pp 39–42.
- H. Auerswald, D. Schwarz, C. Kornelson, A. Krumbein, B. BruÈckner. 1999. Sensory analysis, sugar and acid content of tomato at different EC values of the nutrient solution. *Scientia Horticulturae* 82. 227±242.
- Shenker M, Plessner OE, Tel-Or E 2004 Manganese nutrition effects on tomato growth, chlorophyll concentration, and superoxide dismutase activity. *Journal of Plant Physiology* 161. 197-202
- Siddiqi MY, Mafhotra B, Min X, Glass ADM 2002 Effects of ammonium and inorganic carbon enrichment on growth and yield of a hydroponic tomato crop. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 165, 191-197
- Smith, D.L. 1987. *Rockwool in Horticulture*. London, UK: Grower Books.
- *Soilless Culture*, St Helier, Jersey. ISOSC, Wageningen, The Netherlands. pp. 101–104.
- Sonneveld, C. 1995 Proceedings of the Dahlia Greidinger International Symposium on Fertigation, Fertigation in the greenhouse industry (Technion–Israel Institute of Technology, Haifa, Israel), pp 121–140.
- Sutton, B.G., Merit, N. 1993. Maintenance of lettuce root zone at field capacity gives best yields with drip irrigation. *Sci. Hort.* 56:1–11.
- Teo and Tan 1993. Tomato production in cocopeat. *Planter* 69.

- Tindall, J.A., Mills, H.A., and Radcliffe, D.E., 1990, The effect of root zone temperature on nutrient solution uptake of tomato, *J. Plant Nutr.* 13:939–956.
- Van der Gaag, D.G. and Wever, G. 2005. Conduciveness of different soilless growing media to *Pythium* root and crown rot of cucumber under near-commercial conditions. *Eur. J. Pl. Pathol.*, 112, 31–41.
- Van Genuchten, M.T. 1980 A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 49:12–19.
- Van Genuchten, M.T., Nielson, D.R. 1985 On describing and predicting the hydraulic properties of unsaturated soils. *Ann. Geophys.* 3:615–628.
- Van Os, E.A., Gieling, T.H., Ruijs, M.N.A. 2002 in *Hydroponic production of vegetables and ornamentals, Equipment for hydroponic installations*, eds Savvas D.
- Vavrina, C.S. and W. Summerhill. 1992. Florida vegetable transplant survey, 1989-1990. *HortTechnology*, 2:480-483.
- Verwer, F.L. and Wellman, J.J.C., 1980, The possibilities of Grodan rockwool in horticulture, pp. 263–278 in *Fifth International Congress on Soilless Culture*, International Society for Soilless Culture, Wageningen, The Netherlands.
- Verwer, F.L.J.A. 1978. Research and results with horticultural crops grown in rockwool and nutrient film. *Acta Hort. (ISHS)*, 82, 141–148.
- Verwer, F.L.J.A.W. 1976 Growing horticultural crops in rockwool and nutrient film. In *Proc. 4th Inter.*
- Walker DJ, Cerda A, Martinez V 2000 The effects of sodium chloride on ion transport in potassium-deficient tomato. *Journal of Plant Physiology* 157, 195-200.
- Wallace, A., 1971, *Regulation of the Micronutrient Status of Plants by Chelating Agents and Other Factors*, UCLA 34P5 1–33, Arthur Wallace, Los Angeles, CA.
- Wallach, R., da Silva, F.F., Chen, Y. 1992 Hydraulic characteristics of tuff (Scoria) used as a container medium. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 117:415–422.
- Wang YH, Garvin DF, Kochian LV 2002 Rapid induction of regulatory and transporter genes in response to phosphorus, potassium, and iron deficiencies

in tomato roots. Evidence for cross talk and root/rhizosphere-mediated signals. *Plant Physiology* 130, 1361-1370

- Wever, G. and van Leeuwen, A.A. 1995. Measuring mechanical properties of growing media and the
- Wigriarajah, K., 1995, Mineral nutrition in plants, pp. 193–222, in M. Pessaraki (Ed.),
- Wood et al., 1993
- Crop J. Muro, I. Irigoyen and P. Samitier P. Mazuela M.C. Salas, J. Soler and M. Urrestarazu 2004 Wood Fiber as Growing Medium in Hydroponic
- Z. Premuzic, M. Bargiela, A. Garcia, Alicia Rendina, Alicia Lorio Calcium. (1998) iron, potassium, phosphorus, and vitamin C content of organic and hydroponic tomatoes. pp 33(2): 255-257
- Zimet D. and C.S. Vavrina. 1995. Florida vegetable seedlings: concept, budgets, and cashflow. Fla. Coop. Ext. Serv. Bulletin 304.

6.2. ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Δαλιάνης, Κ., (1993). Ψυχανθή για καρπό και σανό. Εκδόσεις Α. Σταμούλης, 18-97.
- Θεριός Ι.Ν., (1996). Ανόργανη θρέψη και λιπάσματα. Εκδόσεις Δεδούση. Θεσσαλονίκη.
- Καρατάγλης Σ. (1992) .Φυσιολογία φυτών. Εκδόσεις Art of text. Θεσσαλονίκη.
- Μανέτας Γ.(2005). Φυσιολογία φυτών.Εκδόσεις ΙΩΝ.Αθήνα.
- Μαυρογιαννόπουλος Γ.(2006). Υδροπονικές εγκαταστάσεις. Εκδόσεις Σταμούλη. Αθήνα.
- Μουστάκας Ν. (2008). Γενική εδαφολογία. Αθήνα: Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Μπόβης Κ.Π., (1990). Θρέψη του φυτού, Μέρος πρώτο, Γονιμότητα του εδάφους, εκδόσεις Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Μπουράνης Δ. (2007). Θρέψη φυτών. Σημειώσεις θεωρίας. Αθήνα: Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Μπουράνης Δ. Periodic Table of the Elements. http://biotech.aua.gr/EPEAEK/site_Biotech/gewp_biot/Phys_Elem/periodic_table.htm
- Νικολετάκης Μηνάς (2008). Πτυχιακή εργασία: Η τεχνική της υδροπονίας και η εφαρμογή της μέσα από διάφορα συστήματα.
- Ολύμπιος Χ. (2001). Η τεχνική της καλλιέργειας των κηπευτικών στα θερμοκήπια.Εκδόσεις Σταμούλη,Αθήνα.
- Παλάτος Γ., Κυρκενίδης Ι. (2006). Εργαστηριακές σημειώσεις Χειμερινά σιτηρά & Ψυχανθή, εκδ. ΑΤΕΙΘ, Θεσσαλονίκη
- Παπακώστα-Τασοπούλου Δ. (2005). Ψυχανθή (Καρποδοτικά, χορτοδοτικά). Εκδόσεις Σύγχρονη Παιδεία.
- Σάββας Δ. (2009a). Σημειώσεις εργαστηρίου γενικής λαχανοκομίας. Αθήνα: Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Σάββας, Δ. (2009b). Υδροπονικές καλλιέργειες κηπευτικών στο θερμοκήπιο – Ειδικά θέματα. ΓΠΑ. Αθήνα.

- Σάββας, Δ.(2012a). Καλλιέργειες εκτός Εδάφους: Υδροπονία, Υποστρώματα. Εκδόσεις Αγροτύπος. Αθήνα
- Σάββας, Δ. (2012b). Εξοπλισμός εγκαταστάσεων για καλλιέργειες εκτός εδάφους. Στο: Καλλιέργειες εκτός Εδάφους: Υδροπονία, Υποστρώματα. Εκδόσεις Αγροτύπος. Αθήνα.
- Στυλιανίδης.(1991). Βιβλίο: Θρέψη-Λίπανση των φυτών.Μέρος Α'. Τσαπικούνης, Φ. (1997).Εκδόσεις Σταμούλη. Αθήνα.
- Τζωρτζάκης, Ν. (2009). Καλλιέργειες εκτός εδάφους – Συμπληρωματικές σημειώσεις. ΤΕΙ Κρήτης. Σχολή Τεχνολογίας Γεωπονίας. Ηράκλειο.
-
- Τσαπικούνης Φ. (1997). Θρέψη-Λίπανση των φυτών. Εκδόσεις Σταμούλη. Αθήνα.
- Χαϊντούτη Κ. (2006). Σημειώσεις γενικής εδαφολογίας. Αθήνα: Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.

6.3. ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- <http://www.hydroponics.gr/profil/idroponia.html>
- <http://www.hydroponics.gr/profil/idroponia.html>
- <http://en.wikipedia.org/wiki/Hydroponics>
- <http://www.froutonea.gr/pages/magazineNew/Magazine.aspx?issue=202&year=2012&article=5946&Category=2>
- <http://www.nasa.gov/missions/science/biofarming.html>
- <http://dalkafoukis.gr/el/view/elafropetra>
- http://kithiraikanea.blogspot.gr/2010/11/blog-post_14.html
- <http://luirig.altervista.org/schedenam/fnam.php?taxon=Phaseolus+vulgaris>
- http://www.meemelink.com/prints_pages/13259.Phaseolus.htm
- <http://users.auth.gr/ibkirkenidis/plant/Azoto/azoto.htm>
- <http://www.climasystem.gr/index.php/ydroponia/istoriki-anadromi>