



ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
AGRICULTURAL UNIVERSITY OF ATHENS

ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΚΗΠΕΥΤΙΚΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ

Π.Μ.Σ: «Τομείς Αιχμής και Καινοτόμες Εφαρμογές στην Παραγωγή και Συντήρηση
Οπωροκηπευτικών και Ανθοκομικών Ειδών» με ειδίκευση «Καλλιέργειες εκτός Εδάφους-
Ιστοκαλλιέργεια, Υδροπονία, Φυτώρια»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

Προσδιορισμός βέλτιστης σύνθεσης θρεπτικού διαλύματος για
σταμναγκάθι καλλιεργούμενο υδροπονικά και σύγκριση του υδροπονικού
συστήματος με καλλιέργεια στο έδαφος όσον αφορά την παραγωγή και
την ποιότητα του προϊόντος



ΦΑΙΔΩΝ ΙΩΑΝΝΗΣ Μ. ΓΚΙΚΑΣ

Επιβλέπων καθηγητής:
Σάββας Δημήτριος, Καθηγητής Γ.Π.Α.

**ΑΘΗΝΑ
2020**

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΚΗΠΕΥΤΙΚΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

Προσδιορισμός βέλτιστης σύνθεσης θρεπτικού διαλύματος για σταμναγκάθι καλλιεργούμενο υδροπονικά και σύγκριση του υδροπονικού συστήματος με καλλιέργεια στο έδαφος όσον αφορά την παραγωγή και την ποιότητα του προϊόντος

Determination of optimal nutrient solution composition for hydroponically grown stamnagathi and comparison of the hydroponic system with soil cultivation in terms of production and product quality

ΦΑΙΔΩΝ ΙΩΑΝΝΗΣ Μ. ΓΚΙΚΑΣ

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Σάββας Δημήτριος, Καθηγητής Γ.Π.Α (Επιβλέπων)

Καραπάνος Ιωάννης, Επίκουρος Καθηγητής Γ.Π.Α.

Σαϊτάνης Κωνσταντίνος, Αναπληρωτής Καθηγητής Γ.Π.Α.

Προσδιορισμός βέλτιστης σύνθεσης θρεπτικού διαλύματος για σταμναγκάθι καλλιεργούμενο υδροπονικά και σύγκριση του υδροπονικού συστήματος με καλλιέργεια στο έδαφος όσον αφορά την παραγωγή και την ποιότητα του προϊόντος

Τμήμα Επιστήμης Φυτικής Παραγωγής

Εργαστήριο Κηπευτικών Καλλιεργειών

Περίληψη

Το σταμναγκάθι (*Cichorium spinosum*) θεωρείται αυτοφυές φυτό, γνωστό από την αρχαιότητα και σήμερα συγκαταλέγεται στα λαχανεύομενα είδη. Μπορεί να καλλιεργηθεί είτε συμβατικά είτε υδροπονικά Απαντάται συχνά σε παραθαλάσσιες περιοχές και άλλα ενδιαιτήματα ανά την Ελλάδα. Καταναλώνεται είτε ωμό είτε μαγειρεμένο καθώς αποτελεί τροφή υψηλής θρεπτικής αξίας με ξεχωριστή πικρή γεύση. Είναι πλούσιο σε βιταμίνες μέταλλα, ακόρεστα λιπαρά και φαινολικές ενώσεις. Ωστόσο, στα φυλλώδη λαχανικά, όπως το σταμναγκάθι, στα χυμοτόπια τους συσσωρεύονται υψηλές ποσότητες σε νιτρικά. Η αυξημένη αυτή συσσώρευση έχει αποδειχθεί ότι εγκυμονεί κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία, μειώνοντας με αυτό τον τρόπο την ποιότητα του προϊόντος.

Στη παρούσα μεταπτυχιακή μελέτη εξετάστηκε η ποιοτική αξία του προϊόντος όταν αυτό καλλιεργείται εκτός εδάφους, στο θερμοκήπιο σε σχέση με την συμβατική καλλιέργεια του, στον αγρό. Όσον αφορά την εκτός εδάφους καλλιέργεια, το φυτό καλλιεργήθηκε σε υδροπονικό σύστημα επίπλευσης και ελέγχθηκε η συμπεριφορά του σε συνθήκες κανονικής και μειωμένης θρέψης. Τα φυτά που αναπτύχθηκαν στο θερμοκήπιο, τόσο υπό συνθήκες κανονικής θρέψης όσο υπό συνθήκες μειωμένης θρέψης, έδωσαν παραγωγή που ξεπέρασε τα 1300 κιλά ανά στρέμμα, ενώ η διάρκεια καλλιέργειας ήταν συντομότερη σε σύγκριση με αυτή των φυτών που καλλιεργήθηκαν στον αγρό. Μολονότι η συγκέντρωση του νιτρικού αζώτου εντός των φυτικών ιστών ήταν μεγαλύτερη στα φυτά που αναπτύχθηκαν στο θερμοκήπιο, αποδείχθηκε ότι ήταν σε ασφαλή επίπεδα ως προς την νωπή κατανάλωση. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί πως η συγκέντρωση του καλίου, του φωσφόρου και του βορίου, δεν φάνηκε να διαφοροποιείται για τα φυτά που αναπτύχθηκαν με τη χρήση θρεπτικού διαλύματος με μειωμένη σύσταση θρεπτικών στοιχείων, έναντι αυτών που αναπτύχθηκαν σε κανονικής σύστασης θρεπτικό διάλυμα. Έτσι, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι το ύψος παραγωγής δεν έδειξε κάποια σημαντική διακύμανση για τα φυτά που αναπτύχθηκαν στο σύστημα επίπλευσης με δύο διαφορετικής σύστασης

θρεπτικά διαλύματα, γίνεται αντιληπτό ότι μπορεί να μειωθεί το κόστος από τη χρήση λιπασμάτων σε μια υδροπονική καλλιέργεια πετυχαίνοντας το ίδιο υψηλής ποιότητας προϊόν.

Επιστημονική περιοχή: Υδροπονία

Λέξεις κλειδιά: Σταμναγκάθι, *Cichorium spinosum*, σύστημα επίπλευσης, υδροπονία, θρεπτικό διάλυμα, ασφάλεια κατανάλωσης

Determination of optimal nutrient solution composition for hydroponically grown stamnagathi and comparison of the hydroponic system with soil cultivation in terms of production and product quality

Faculty of Crop Science

Laboratory of Vegetable Production

Abstract

Stamnagathi (*Cichorium spinosum*) is considered a native plant, it is known since antiquity until nowadays that belongs in vegetable species. It can be cultivated either in field or hydroponically. It is often found in coastal areas and other habitats all over Greece. Consumed either raw or cooked, as a highly nutritious food with distinctive bitter taste. This increased accumulation has been shown to set human health in risk, thereby reducing product quality.

In present thesis was examined the quality value of stamnagathi when it is grown in soilless culture, inside the greenhouse in relation to its conventional cultivation, in the field. Regarding the soilless cultivation, it was grown in hydroponic floating system and evaluated the product's quality under normal and reduced nutritional conditions. The plants which grown in greenhouse, both under normal feeding conditions and under reduced nutritional conditions, yielded more than 1300 kg per acre, while the cultivation period was shorter compared to that of the plants grown in the field. Although the concentration of nitric nitrogen in plant tissues was higher in plants grown in the greenhouse, it was found to be at safe levels in terms of fresh consumption. Finally, it is worth noting that the concentrations of potassium, phosphorus and boron did not appear to be differentiated for plants grown using a reduced nutrient content solution compared with those grown in a normal nutrient content solution. Thus, in combination with the fact that the level of yield didn't show any significant variation for the plants grown in the floating system with two different nutrient content solutions, is concluded that the cost of using fertilizers in a hydroponic crop can be reduced by achieving the same high quality product.

Scientific area: Hydroponics

Keywords: Stamnagathi, *Cichorium spinosum*, floating system, hydroponics, nutrient solution, consumer safety

Περιεχόμενα

1	Εισαγωγή.....	8
1.1	Λαχανεύόμενα είδη	8
1.2	Η σπουδαιότητα και τα πλεονεκτήματα των λαχανεύομενων αυτοφυών φυτών.....	8
1.3	Καλλιέργειες εκτός εδάφους.....	10
1.3.1	Πλεονεκτήματα των καλλιεργειών εκτός εδάφους	11
1.3.2	Μειονεκτήματα καλλιεργειών εκτός εδάφους.....	13
1.4	Συστήματα υδροπονικών καλλιεργειών	14
1.5	Σύστημα Επίπλευσης (Floating System).....	18
1.6	Σταμνγκάθι: <i>Cichorium spinosum</i>	19
1.6.1	Καταγωγή-Ιστορικό.....	19
1.6.2	Βοτανική ταξινόμηση.....	21
1.6.3	Βοτανικά χαρακτηριστικά.....	22
1.6.4	Εδαφοκλιματικές συνθήκες ανάπτυξης του σταμναγκαθιού.....	23
1.6.5	Πολλαπλασιασμός.....	24
1.6.6	Συγκομιδή.....	25
1.6.7	Αποθήκευση.....	26
1.6.8	Μετασυλλεκτικοί χειρισμοί.....	26
1.6.9	Ποιοτικά χαρακτηριστικά.....	27
1.7	Η επίδραση των νιτρικών στην ανθρώπινη υγεία.....	31
1.8	Χλωροφύλλες.....	35
1.9	Καροτενοειδή.....	36
2	Σκοπός της μεταπτυχιακής μελέτης.....	39
3	Υλικά και Μέθοδοι.....	40
3.1	Φυτικό υλικό	40
3.2	Τόπος και Χρόνος εγκατάστασης του πειράματος.....	40
3.3	Εγκατάσταση πειράματος.....	40
3.3.1	Στο θερμοκήπιο	40
3.3.2	Στον αγρό	44
3.4	Διαδικασία Πειράματος.....	45
3.5	Περιγραφή πειραματικής διαδικασίας.....	46
3.5.1	Κατά την έναρξη του πειράματος.....	46
3.5.2	Κατά το πέρας του πειράματος.....	46
3.5.3	Μέτρηση φυλλικής επιφάνειας και φύλλων ανά φυτό.....	47
3.5.4	Μέτρηση φωτοσυνθετικής ικανότητας και της στοματικής αγωγιμότητας	47
3.5.5	Εκχύλιση φυτικών ιστών. Προετοιμασία και μεταχείριση δειγμάτων.....	48

3.6	Υπολογισμός απορρόφησης ολικού αζώτου (ολικό-N), φωσφόρου (P) και καλίου (K)	55
3.7	Προσδιορισμός της συγκέντρωσης χλωροφύλλης και καροτενοειδών σε φύλλα σταμναγκαθιού	56
3.8	Στατιστική ανάλυση και γραφική απεικόνιση αποτελεσμάτων	58
4	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	59
4.1	Συνολική παραγωγή	59
4.2	Νωπό βάρος υπέργειου μέρους και ριζικού συστήματος	60
4.3	Ξηρό βάρος υπέργειου μέρους και ριζικού συστήματος	61
4.4	Μέτρηση φυλλικής επιφάνειας	62
4.5	Μέτρηση αριθμού φύλλων	63
4.6	Φωτοσυνθετική ικανότητα (Photosynthesis) και στοματική αγωγιμότητα (Stomatal Conductance) των φυτών	64
4.7	Συγκέντρωση χλωροφυλλών και καροτενοειδών στο υπέργειο μέρος των φυτών .	66
4.8	Αποτελέσματα αναλύσεων στους φυτικούς ιστούς	67
4.8.1	Αποτελέσματα συγκέντρωσης νιτρικού-αζώτου (NO_3^- - N)	67
4.8.2	Αποτελέσματα συγκέντρωσης καλίου (K^+)	68
4.8.3	Αποτελέσματα συγκέντρωσης φωσφόρου (P)	69
4.8.4	Αποτελέσματα συγκέντρωσης βορίου (B)	71
4.9	Αποτελέσματα αναλύσεων των θρεπτικών διαλυμάτων	72
4.9.1	Αποτελέσματα συγκέντρωσης νιτρικού-αζώτου (NO_3^- - N)	72
4.9.2	Αποτελέσματα συγκέντρωσης αμμωνιακού-αζώτου (NH_4^+ -N)	73
4.9.3	Αποτελέσματα συγκέντρωσης φωσφόρου (P)	74
4.9.4	Αποτελέσματα συγκέντρωσης ιόντων καλίου (K^+)	75
4.9.5	Αποτελέσματα συγκέντρωσης Βορίου (B)	76
4.10	Απορρόφηση θρεπτικών στοιχείων στους φυτικούς ιστούς των φυτών που καλλιεργήθηκαν στο σύστημα επίπλευσης	78
4.10.1	Απορρόφηση ολικού-αζώτου (ολικό-N)	78
4.10.2	Απορρόφηση φωσφόρου (P)	79
4.10.3	Απορρόφηση καλίου (K)	80
5	Συμπεράσματα - Συζήτηση	81
6	Βιβλιογραφία	88

1 Εισαγωγή

1.1 Λαχανευόμενα είδη

Ο όρος «λαχανευόμενα είδη» χρησιμοποιείται για να περιγράψει όλα εκείνα τα φυτικά είδη που αυτοφύονται σε όλη την ελληνική επικράτεια και γίνονται αντικείμενο συλλογής και εκμετάλλευσης για τις ανάγκες της ανθρώπινης διατροφής. Πολλές φορές συναντώνται και σε καλλιεργούμενες εκτάσεις όπου συμπεριφέρονται ως ζιζάνια.

Εκτός από το σταμναγκάθι, άλλα λαχανευόμενα φυτικά είδη είναι το ραδίκι, ο ζοχός, η αγαλατσίδα, η αλμύρα, ο ταραξάκος, ο ασκόλυμπρος, η σιταρήθρα, η αδραλίδα κλπ. Στα είδη αυτά συμπεριλαμβάνονται φυτά τα οποία ανήκουν σε διάφορες οικογένειες, όσον αφορά τη συστηματική τους κατάταξη. Στα λαχανευόμενα είδη συγκαταλέγονται ένας πολύ μεγάλος αριθμός φυτών, όμως λίγα μόνο είδη έχουν αποτελέσει αντικείμενο εκμετάλλευσης με την έννοια της συστηματικής καλλιέργειας τους από τους παραγωγούς, αν και με το πέρασμα των χρόνων εμφανίζεται αυξημένη η ζήτηση τους στα αστικά κέντρα (Ακουμιανάκης Κ. 2007).

Από την άλλη, η συστηματική κατάταξή τους και ο διαχωρισμός τους σε ομάδες για την μελέτη των χαρακτηριστικών τους και των διαφορετικών απαιτήσεών τους σε καλλιεργητικές φροντίδες, καθίσταται δύσκολη. Έτσι μπορεί να γίνει ένας διαχωρισμός σε λαχανευόμενα που έχουν γίνει σήμερα αντικείμενο συστηματικής καλλιέργειας, και ως εκ τούτου θα μπορούσε να ειπωθεί ότι έχουν χάσει την αυθεντικότητα της έννοιας αυτοφυή, και σε μια πολύ μεγάλη ομάδα φυτών που ακόμα δεν έχουν ενταχθεί σε συστηματική καλλιέργεια και ως εκ τούτου εξακολουθούν να διατηρούν την αυθεντικότητα του όρου «αυτοφύες».

1.2 Η σπουδαιότητα και τα πλεονεκτήματα των λαχανευόμενων αυτοφυών φυτών

Συμφωνά με τον Ακουμιανάκη (2007), η μεγάλη σπουδαιότητα των λαχανευόμενων εντοπίζεται κυρίως στο γεγονός ότι αποτελούν προϊόντα υψηλής διατροφικής αξίας, εξαιτίας της προσαρμογής τους σε αντίξοες συνθήκες, που τα

βοηθούν να συσσωρεύουν περισσότερα σάκχαρα καθώς και να αποκτούν καλύτερο άρωμα και μεγάλη περιεκτικότητα σε βιταμίνες και ιχνοστοιχεία. Ωστόσο είναι προφανές ότι η συστηματική καλλιέργειά τους στο ίδιο έδαφος θα προκαλέσει μείωση της διατροφικής τους αξίας εξαιτίας των καλλιεργητικών τεχνικών που θα δεχτούν ως αυτοφυή λαχανευόμενα.

Στα πλαίσια της αειφορικής γεωργίας τα λαχανευόμενα είδη αποτελούν μια σπουδαία διέξοδο σε αυτή. Η ικανότητα προσαρμογής των λαχανευόμενων σε αντίξοες εδαφοκλιματικές συνθήκες, δίνει τη δυνατότητα εκμετάλλευσης εδαφών των οποίων οι φυσικοχημικές ιδιότητες έχουν υποβαθμιστεί και είναι πολύ δύσκολο να βελτιωθούν ή να αξιοποιηθούν εναλλακτικά (βαριά, κακώς στραγγιζόμενα, μεγάλης αλατότητας, εδάφη με υψηλό pH κ.α). Λόγω της εύκολης προσαρμογής τους σε ακραίες εδαφοκλιματικές συνθήκες καθώς και της φυσικής τους ανθεκτικότητας σε προσβολές εχθρών και ασθενειών αλλά και του ανταγωνισμού που αναπτύσσουν με ζιζάνια μπορούν να αξιοποιηθούν για την καλλιέργειά τους σε υποβαθμισμένα εδάφη. Μπορούν να χρησιμοποιούνται ως εδαφοκάλυψη με στόχο την προστασία του εδάφους από τη διάβρωση ειδικά σε επικλινή εδάφη (αμπελώνες, ελαιώνες)

Στα λαχανευόμενα είδη, συγκαταλέγεται μεγάλος αριθμός φυτών. Τα περισσότερα είδη έχουν μικρό βιολογικό κύκλο και σε συνδυασμό με τη καλλιέργεια τους υπό κάλυψη, επιτυγχάνεται παραγωγή υψηλής ποιότητας προϊόντων όλο το χρόνο (χειμερινά, καλοκαιρινά λαχανικά, καλλιέργειες υπό κάλυψη). Συνδέονται στενά με την μεσογειακή διατροφή και τις ευεργετικές επιδράσεις στην υγεία του ανθρώπου. Αποτελούν προϊόντα καθημερινού διαιτολογίου και εντάσσονται στην σύγχρονη καταναλωτική ζήτηση για ασφαλή, υψηλής θρεπτικής αξίας ποιοτικά προϊόντα. (Ακουμιανάκης, 2007)

Από την άλλη, έχουν δημιουργηθεί προβληματισμοί όσον αφορά τη καλλιέργεια και τη κατανάλωση των λαχανευόμενων ειδών σύμφωνα με τους Ακουμιανάκης (2010), The Local Food-Nutraceuticals Consortium (2005):

- Η συστηματική καλλιέργειά τους στο ίδιο έδαφος μπορεί να προκαλέσει μείωση της διατροφικής τους αξίας, εξαιτίας των καλλιεργητικών περιποιήσεων που θα δεχτούν και κατά συνέπεια, πιθανόν να χάσουν το χαρακτηριστικό της τυχαίας ανάπτυξης σε δύσκολες συνθήκες, με αποτέλεσμα τη μείωση της διατροφικής αξίας που έχουν ως αυτοφυή λαχανευόμενα.

- Ένα μείζον ζήτημα που έχει προκύψει από την συστηματική καλλιέργεια αυτών των φυτικών ειδών, είναι η εξασφάλιση του πολλαπλασιαστικού υλικού.
- Τέλος, αν και είναι ευρέως γνωστό ότι η κατανάλωσή τους προσφέρει πολλά θρεπτικά συστατικά στον ανθρώπινο οργανισμό, η επιστημονική ανάλυση πάρα πολλών από αυτά βρίσκεται ακόμα στα αρχικά της στάδια.

1.3 Καλλιέργειες εκτός εδάφους

Καλλιέργειες εκτός εδάφους είναι η μέθοδος εκείνη κατά την οποία, το ριζικό σύστημα των καλλιεργούμενων φυτών δεν αναπτύσσεται σε φυσικό έδαφος για τη παροχή θρεπτικών στοιχείων και νερού (Savvas και Gruda, 2018) . Οι καλλιέργειες εκτός εδάφους αποτελούν ένα σύγχρονο σύστημα κατά το οποίο η τροφοδότηση των φυτών με νερό και τα απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία, βασίζεται αποκλειστικά στην χορήγηση ενός τεχνητά παρασκευασμένου θρεπτικού διαλύματος. Έτσι, οι ρίζες αναπτύσσονται: i) απευθείας σε θρεπτικό διάλυμα, ii) σε πορώδη στερεά υλικά (είτε χημικά αδρανή η μη) όπου παρέχεται τακτικά θρεπτικό διάλυμα το οποίο καλύπτει τις θρεπτικές και αρδευτικές ανάγκες των φυτών (Σάββας, 2011) και iii) αιωρούμενες σε κενούς χώρους όπου η παροχή θρεπτικών ουσιών και νερού γίνεται μέσω τακτικού ψεκασμού των ριζών με θρεπτικό διάλυμα (Weathers και Zobel, 1992) έτσι ώστε ο χώρος να είναι μονίμως κορεσμένος σε υγρασία.

Τόσο στη διεθνή όσο και στην ελληνική βιβλιογραφία, ο όρος «καλλιέργειες εκτός εδάφους» αναγράφεται ως «υδροπονία» (hydroponics) και οι καλλιέργειες αυτού του τύπου ονομάζονται «υδροπονικές καλλιέργειες». Σύμφωνα με τον Steiner (1976), ο όρος αυτός έχει καθιερωθεί τουλάχιστον 50 χρόνια σε παγκόσμιο επίπεδο, και χρησιμοποιείται για να περιγράψει το σύνολο των μεθόδων και συστημάτων καλλιέργειας φυτών χωρίς τη χρήση του εδάφους. Ωστόσο, σύμφωνα με τον Σάββα (2012), έχουν διατυπωθεί αντιρρήσεις όσον αφορά στην χρήση του όρου «υδροπονικές καλλιέργειες». Κάποιοι ερευνητές υποστηρίζουν πως ο όρος αυτός θα πρέπει να χρησιμοποιείται για να περιγράψει καλλιέργειες φυτών στις οποίες δεν χρησιμοποιείται κανένα στερεό υπόστρωμα και οι ρίζες έρχονται σε άμεση επαφή και αναπτύσσονται μέσα σε καθαρό υπόστρωμα, όπως στο σύστημα NFT, Floating System κλπ.

Η τελευταία αυτή άποψη φάνηκε να μην έχει απήχηση, καθώς εγκαταλείφθηκε και δεν υιοθετήθηκε από τους μετέπειτα ερευνητές. Για την

περιγραφή της χρησιμοποιήθηκε μια άλλη λέξη, η «υδροκαλλιέργεια» («water culture» ή «hydroculture»). Στην ελληνική γλώσσα ο όρος «υδροκαλλιέργεια» είναι ταυτόσημος με τους όρους «υδροπονία» και «καλλιέργεια εκτός εδάφους», κάτι το οποίο δεν υφίσταται στην αγγλική. Ο όρος «water culture» αναφέρεται σε καλλιέργειες που το ριζικό σύστημα των φυτών αναπτύσσεται μέσα σε καθαρό θρεπτικό διάλυμα και χρησιμοποιείται κυρίως όταν πρόκειται για πειραματικές καλλιέργειες φυτών σε επιστημονικά εργαστήρια. Ο όρος «hydroculture» αναφέρεται στην ανάπτυξη καλλωπιστικών φυτών εσωτερικού χώρου τα οποία αναπτύσσονται μέσα σε φυτοδοχεία, γεμισμένα με κάποιο αδρανές υπόστρωμα (Σάββας, 2011).

Τέλος, όταν γίνεται αναφορά σε υδροπονικά συστήματα, χρησιμοποιούνται δύο όροι: «καλλιέργεια σε υπόστρωμα» και «καλλιέργεια σε θρεπτικό διάλυμα», οι οποίοι χωρίζουν σε υποσύνολα το σύνολο των καλλιεργειών εκτός εδάφους.

1.3.1 Πλεονεκτήματα των καλλιεργειών εκτός εδάφους

1. Το βασικότερο πλεονέκτημα που προκύπτει από τη χρήση υδροπονίας είναι η αντιμετώπιση των προβλημάτων που προκαλούν στις θερμοκηπιακές καλλιέργειες οι μεταδιδόμενες εδαφογενείς ασθένειες (φουζάριο, βερτισίλλιο, πύθιο, βακτήρια και φυτοϊοί, κ.λπ.) και οι εδαφογενείς εχθροί (έντομα εδάφους, νηματώδεις). Μέχρι πριν κάποια χρόνια, για τον έλεγχο ασθενειών που οφείλονταν σε παθογόνα εδάφους και εδαφογενών εχθρών, γινόταν χρήση απολυμαντικών υψηλής τοξικότητας, όπως βρωμιούχο μεθύλιο (Savvas and Gruda, 2018) . Η χρήση αυτών των δραστικών ουσιών απαγορεύτηκε στις αναπτυγμένες χώρες, ενώ παραγωγοί που αντιμετώπιζαν προβλήματα από αυτές τις ασθένειες ή τους εχθρούς, δεν είχαν ουσιαστική εναλλακτική λύση για την αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων.
2. Με βάση το προαναφερθέν πλεονέκτημα, γίνεται αντιληπτό πως με αυτόν τον τρόπο μειώνεται και το κόστος από την χρήση φυτοφαρμάκων για τον έλεγχο των παραπάνω.
3. Επίλυση προβλημάτων που προκύπτουν από τη χαμηλή γονιμότητα του εδάφους που εμφανίζουν πολλά εδάφη σε θερμοκηπιακές εγκαταστάσεις.
4. Τα συστήματα καλλιέργειας εκτός εδάφους οδηγούν σε αύξηση της παραγωγής σε σχέση με τις συμβατικές μεθόδους καλλιέργειας στο έδαφος (Jensen, 1997)

5. Όταν το χρησιμοποιούμενο για άρδευση νερό έχει υψηλή περιεκτικότητα σε άλατα (ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) πάνω από 1-1,5 dS/m) η υδροπονία είναι ίσως ο μόνος τρόπος επιτυχημένης αντιμετώπισης του προβλήματος. Ωστόσο, σε αυτές τις περιπτώσεις χρησιμοποιούνται ανοιχτά υδροπονικά συστήματα.
6. Το κόστος θέρμανσης είναι μειωμένο. Η εξοικονόμηση από το κόστος θέρμανσης προκύπτει από το γεγονός ότι η καλλιέργεια δεν εξαρτάται πλέον από τη θερμοκρασία εδάφους, καθώς οι ρίζες των φυτών αναπτύσσονται πάνω από το επίπεδο του εδάφους. Η διατήρηση της επιθυμητής θερμοκρασίας σε αυτές μπορεί να γίνει γρηγορότερα και με χαμηλότερη κατανάλωση σε καύσιμα, κατά τη διάρκεια της μέρας.
7. Στις υδροπονικές καλλιέργειες υπάρχει η δυνατότητα αυτοματοποίησης της άρδευσης και της λίπανσης.
8. Στις υδροπονικές καλλιέργειες η θρέψη των φυτών είναι πιο ακριβής, απόλυτα ελεγχόμενη και γίνεται με καλύτερη εποπτεία και αξιοπιστία, εάν προκύψει κάποιο λάθος, τότε αυτό μπορεί να διορθωθεί ευκολότερα και γρηγορότερα. Έτσι, οι διάφοροι εδαφολογικοί παράγοντες που επηρεάζουν την τροφοδοσία των φυτών με θρεπτικά στοιχεία, δεν ασκούν πλέον καμία επίδραση στην καλλιέργεια. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, την ευκολότερη σχεδίαση ενός κατάλληλου προγράμματος θρέψης των φυτών.
9. Οι καλύτερες φυσικοχημικές ιδιότητες των υποστρωμάτων σε σύγκριση με το έδαφος, η αριστοποίηση της θρέψης και η διατήρηση υψηλότερων θερμοκρασιών στο ριζόστρωμα κατά την διάρκεια του χειμώνα, έχουν σαν τελικό αποτέλεσμα την αύξηση των αποδόσεων. Οι αποδόσεις των υδροπονικών καλλιεργειών κυμαίνονται μεταξύ 10-30% υψηλότερες, συγκρινόμενες με καλλιέργειες που λαμβάνουν χώρα σε γόνιμα, καλής ποιότητας εδάφη. Μάλιστα, η χρήση καλής ποιότητας υποστρώματος σε συνδυασμό με τη χρήση καθαρού θρεπτικού διαλύματος μπορεί να πρωιμίσει τη συγκομιδή.
10. Η εφαρμογή της υδροπονίας οδηγεί σε μείωση του κόστους των εργατικών, απαλλάσσοντας τον παραγωγό από τις εργασίες προετοιμασίας του εδάφους (όργωμα, φρεζάρισμα, βασική λίπανση, ζιζανιοκτονία κ.λπ. Παράλληλα, δίνεται η δυνατότητα στους παραγωγούς για εγκατάσταση νέας καλλιέργεια αμέσως μετά την απομάκρυνση της προηγούμενης.
11. Στις καλλιέργειες εκτός εδάφους, η αριστοποίηση της θρέψης αλλά και η αποφυγή μίας σειράς προβλημάτων τα οποία έχουν ήδη προαναφερθεί, έχει σαν

αποτέλεσμα την παραγωγή προϊόντων καλύτερης ποιότητας όσον αφορά τα ποιοτικά χαρακτηριστικά. (αυξημένη περιεκτικότητα σε βιταμίνη C, μειωμένη περιεκτικότητα σε νιτρικά, αύξηση χρόνου διατήρησης), συγκριτικά με τις υπαίθριες καλλιέργειες. Μάλιστα, μέσω κατάλληλης ρύθμισης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του θρεπτικού διαλύματος, μπορεί να ρυθμιστεί το μέγεθος των καρπών, η περιεκτικότητα των καρπών σε ξηρή ουσία, σε οξέα και σάκχαρα.

12. Η υδροπονία ως καλλιεργητική μέθοδος μπορεί να έχει κοινωνικό αντίκτυπο καθώς μέσω της αποτελεσματικής αξιοποίησης των φυσικών πόρων, μπορεί να δώσει λύσεις σε προβλήματα υποσιτισμού που παρουσιάζονται σε αναπτυσσόμενες χώρες (Butler, 2006)
13. Τέλος, η δυνατότητα αποτελεσματικότερης προστασίας του περιβάλλοντος όταν η καλλιέργεια πραγματοποιείται σε κλειστό υδροπονικό σύστημα, αποτελεί εξαιρετικής σημασίας προτέρημα.

1.3.2 Μειονεκτήματα καλλιεργειών εκτός εδάφους

1. Το κόστος εγκατάστασης μιας υδροπονικής καλλιέργειας είναι υψηλότερο σε σχέση με το αντίστοιχο κόστος για μια καλλιέργεια που λαμβάνει χώρα στο έδαφος. Το κόστος αυτό συνίσταται κυρίως στη δαπάνη αγοράς των πάγιων εγκαταστάσεων παρασκευής και τροφοδοσίας του θρεπτικού διαλύματος καθώς και στα έξοδα προμήθειας του υποστρώματος καλλιέργειας (στην περίπτωση που χρησιμοποιείται υπόστρωμα).
2. Η εμφάνιση των δυσμενών επιδράσεων ενός λανθασμένου χειρισμού είναι πιο γρήγορη και συχνά πιο έντονη στις υδροπονικές καλλιέργειες. Στην προκείμενη περίπτωση, σε σύγκριση με τις καλλιέργειες στο έδαφος η υδροπονία χαρακτηρίζεται από ταχύτερη αντίδραση σε ορισμένους καλλιεργητικούς χειρισμούς, ιδιότητα η οποία άλλοτε αποτελεί πλεονέκτημα (όταν πρόκειται για επιθυμητούς χειρισμούς που αποσκοπούν σε συγκεκριμένο θετικό αποτέλεσμα) άλλοτε μειονέκτημα (όταν πρόκειται για λανθασμένους ή άστοχους χειρισμούς).
3. Η εφαρμογή υδροπονίας σε μια θερμοκηπιακή μονάδα προϋποθέτει ότι ο επικεφαλής της επιχείρησης θα πρέπει να διαθέτει ένα ελάχιστο μορφωτικό επίπεδο και να είναι σε άμεση συνεργασία με ειδικευμένο σύμβουλο-γεωπόνο.

4. Στα κλειστά υδροπονικά συστήματα υπάρχει ο κίνδυνος εξάπλωσης ενός παθογόνου μέσω του ανακυκλούμενου θρεπτικού διαλύματος εφόσον προσβληθεί κάποιο φυτό. Στην πράξη βέβαια ο κίνδυνος αυτός είναι σχετικά μικρός καθώς έχει αποδειχθεί ότι ακόμη και αν μολυνθούν κάποια φυτά η υπόλοιπη καλλιέργεια συνήθως δεν μολύνεται εφόσον αυτά απομακρυνθούν εγκαίρως από την υδροπονική καλλιέργεια. Άλλωστε η έγκαιρη εφαρμογή ενός απολυμαντικού ή κάποιου φυτοφαρμάκου μέσω του θρεπτικού διαλύματος αμέσως μόλις διαγνωσθεί έστω και σε ένα μόνο φυτό ασθένεια, συνήθως μειώνει ακόμη περισσότερο τις πιθανότητες μίας εκτεταμένης προσβολής λόγω μόλυνσης μέσω του ανακυκλούμενου θρεπτικού διαλύματος. Παρόλα αυτά, ο κίνδυνος γρήγορης εξάπλωσης τυχόν μολύνσεων δεν θα πρέπει να αγνοείται και γι' αυτό στις περισσότερες περιπτώσεις που λειτουργεί κλειστό υδροπονικό σύστημα, το διάλυμα που συλλέγεται ως απορροή μετά από κάθε εφαρμογή άρδευσης, πριν ανακυκλωθεί, είναι σκόπιμο να απολυμαίνεται (π.χ. σύστημα UV).
5. Συχνά, στα ανοιχτά υδροπονικά συστήματα η κατανάλωση λιπασμάτων είναι αυξημένη σε σύγκριση με το έδαφος. Στις υδροπονικές καλλιέργειες, ο παραγωγός επιβάλλεται να παρέχει όλα τα απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία στα φυτά ενώ αντίθετα, στις καλλιέργειες εδάφους, ορισμένα θρεπτικά στοιχεία όπως το ασβέστιο και τα περισσότερα ιχνοστοιχεία χορηγούνται σπάνια μέσω της λίπανσης, δεδομένου ότι περιέχονται σε επαρκείς ποσότητες στο έδαφος

Λαμβάνοντας λοιπόν υπ' όψιν όλα τα παραπάνω συμπεραίνει κανείς ότι η υδροπονία μπορεί να δώσει πραγματικά ουσιαστικές λύσεις στο σύγχρονο περιβάλλον που διαμορφώνεται. εν θα πρέπει όμως να δημιουργηθεί η εντύπωση ότι η υδροπονία από μόνη της θα δώσει στον παραγωγό το επιθυμητό αποτέλεσμα. Χρειάζεται και η επιμέλεια του παραγωγού – επιχειρηματία, η εξοικείωση του με τα διάφορα συστήματα και η ακριβής εφαρμογή των κανόνων που πρέπει να εφαρμόζονται, και σαφώς απαιτείται η καλή συνεργασία με τους ειδικούς που γνωρίζουν και διαθέτουν την κατάλληλη τεχνογνωσία.

1.4 Συστήματα υδροπονικών καλλιεργειών

Για την ταξινόμηση σε ομάδες των καλλιεργειών εκτός εδάφους έχουν προταθεί διάφοροι τρόποι με βάση συγκεκριμένα κριτήρια. Κατά τον Σάββα (2012), δυο είναι οι κύριοι τρόποι ταξινόμησης των συστημάτων.

Ο πρώτος αφορά στον τρόπο διαχείρισης της περίσσειας του θρεπτικού διαλύματος που απορρέει από το περιβάλλον της ρίζας. Με βάση αυτό το κριτήριο διακρίνονται σε κλειστά και ανοιχτά συστήματα.

- *Ανοιχτά συστήματα καλλιέργειας εκτός εδάφους:*

Όλα αυτά τα συστήματα αφορούν υδροπονικές καλλιέργειες με τη χρήση υποστρώματος. Τα υποστρώματα έχουν την ικανότητα συγκράτησης θρεπτικού διαλύματος. Έτσι δεν υπάρχει η ανάγκη συνεχούς τροφοδότησης των φυτών με θρεπτικό διάλυμα. Όμως η ποσότητα χορήγησης θρεπτικού διαλύματος είναι μεγαλύτερη από αυτή που μπορεί το υπόστρωμα να συγκρατήσει και αυτό για να εκπλυθούν συσσωρευμένα άλατα στη ριζόσφαιρα και για την αντιμετώπιση προβλημάτων ανομοιόμορφης κατανομής του θρεπτικού διαλύματος. Η περίσσεια θρεπτικού διαλύματος που απορρέει από τις ρίζες, απορρίπτεται από το χώρο του θερμοκηπίου και δεν επαναχρησιμοποιείται.

- *Κλειστά συστήματα καλλιέργειας εκτός εδάφους:*

Σύμφωνα με αυτά τα συστήματα, το πλεονάζον θρεπτικό διάλυμα που απορρέει από το ριζικό σύστημα των φυτών, συλλέγεται και ανακυκλώνεται. Κατά τη διαδικασία αυτή πρέπει να υπάρχει δίκτυο συλλογής, στο οποίο το διάλυμα θα συλλέγεται, θα επιστρέφει στη κεφαλή υδρολίπανσης όπου θα συμπληρώνεται με τις κατάλληλες ποσότητες θρεπτικών στοιχείων και θα παρέχεται εκ νέου στα φυτά. Τα τελευταία χρόνια τα κλειστά υδροπονικά συστήματα έχουν επικρατήσει στην Ευρωπαϊκή Ένωση, ενώ για κάποια κράτη μέλη αποτελούν προϋπόθεση για την αδειοδότηση για την λειτουργία μια υδροπονικής μονάδας παραγωγής. Όπως είναι ευκόλως αντιληπτό, τα συστήματα αυτά είναι πιο περίπλοκα στη χρήση τους, καθώς απαιτούν τον κατάλληλο εξοπλισμό και την κατάλληλη τεχνογνωσία.

Σύμφωνα με τον Σάββα (2006) και τον Μαυρογιαννόπουλο (2006), ανάλογα με το μέσο στο οποίο αναπτύσσεται το ριζικό σύστημα τα συστήματα υδροπονικών καλλιιεργειών χωρίζονται στις παρακάτω κατηγορίες:

A) Συστήματα υδροκαλλιιεργειών:

- *Σύστημα επίπλευσης (Floating system):*

Γίνεται σε λεκάνες γεμισμένες με θρεπτικό διάλυμα. Τα φυτά είναι τοποθετημένα σε πλάκες από πολύ ελαφρύ υλικό το οποίο επιπλέει και δίνει τη δυνατότητα στο φυτό, να αναπτύσσει το υπέργειο μέρος του εκτός θρεπτικού διαλύματος και το ριζικό του, εντός αυτού.

- *Καλλιέργεια σε στάσιμο θρεπτικό διάλυμα:*

Χρησιμοποιείται μόνο για πειραματικούς σκοπούς. Το φυτό αναπτύσσεται σε λεκάνες γεμισμένες με θρεπτικό διάλυμα και στερεώνονται με ένα κατάλληλο πλέγμα, το οποίο απλώνεται πάνω από τις λεκάνες. Ανάμεσα από το πλέγμα και το θρεπτικό διάλυμα, μεσολαβεί μια ζώνη αέρα

- *Καλλιέργεια σε ρηχό ρεύμα θρεπτικού διαλύματος (NFT- Nutrient Film Technique):*

Το ριζικό σύστημα των φυτών αναπτύσσεται σε καθαρό θρεπτικό διάλυμα, χωρίς τη χρήση κάποιο στερεού υποστρώματος, το οποίο ρέει συνεχώς μέσα σε ένα σύστημα παράλληλα τοποθετημένων υδρορροών. Το διάλυμα συλλέγεται και ανακυκλώνεται.

- *Καλλιέργεια σε πολλαπλά κανάλια (NGS- New Growing System):*

Ανάπτυξη φυτών σε κανάλι πολλαπλών στρώσεων (3 έως 5). Το θρεπτικό διάλυμα παρέχεται στο τμήμα της ρίζας που βρίσκεται στον ανώτατο όροφο και στραγγίζοντας φτάνει στον κατώτατο όροφο, διαβρέχοντας έτσι το μεγαλύτερο μέρος της ρίζας. Σύμφωνα με τον Urrestarazu και τους συνεργάτες του, το σύστημα αυτό παρέχει καλύτερη οξυγόνωση στα φυτά, όμως υστερεί στην ομοιομορφία κατανομής του θρεπτικού διαλύματος (Urrestarazu *et al.*, 2005). Το θρεπτικό διάλυμα ανακυκλώνεται (Μαυρογιαννόπουλος, 2006)

- *Καλλιέργεια σε βαθύ ρεύμα θρεπτικού διαλύματος (Deep Flow Technique) :*

Καλλιέργεια φυτών σε λεκάνες ή κανάλια, στις οποίες η στάθμη του νερού ανυψώνεται με τη χρήση σωλήνων υπερχειλίσης. Το διάλυμα συλλέγεται, εμπλουτίζεται με θρεπτικά στοιχεία, νερό και οξυγόνο και ανακυκλώνεται. Ως σύστημα εμφανίζεται σε πολλές παραλλαγές τόσο ως προς τον τρόπο χορήγησης του θρεπτικού διαλύματος όσο και τον εξοπλισμό που χρησιμοποιείται.

- *Αεροπονία:*

Πρόκειται για παραλλαγή της υδροπονίας. Κατά το σύστημα αυτό το ριζικό σύστημα αιωρείται σε κενούς χώρους, στους οποίους το θρεπτικό διάλυμα ψεκάζεται τακτικώς στη ρίζα του φυτού. Ο χώρος αυτός είναι διαρκώς κορεσμένος σε υγρασία, αποτρέποντας με αυτό τον τρόπο την αφυδάτωση του ριζικού συστήματος. Σύμφωνα με τους Weathers και Zobel το 1992, έχουν καταγραφεί 5 παραλλαγές του συστήματος αυτού, με βάση το είδος και τον τρόπο διάταξης των φυτοδοχείων που

χρησιμοποιούνται: i) καλλιέργεια σε επιμήκεις σωλήνες τοποθετημένους οριζόντια ii) καλλιέργεια σε κάθετα τοποθετημένους σωλήνες, iii) καλλιέργεια σε γλάστρες κατάλληλου σχήματος τοποθετημένες κάθετα η μία πάνω στην άλλη, iv) καλλιέργεια σε κεκλιμένο επίπεδο v) καλλιέργεια σε κάθετα τοποθετημένα πλαίσια. Το σύστημα αυτό υπερτερεί έναντι των υπολοίπων συστημάτων ως προς τον αερισμό και την ευκολία ρύθμισης της θερμοκρασίας στη ριζόσφαιρα.

- *Επιδαπέδια Υδροπονία (Plant Plane Hydroponics):*

Εφαρμόζεται ελάχιστα στην πράξη. Σύμφωνα με αυτό το σύστημα, τα φυτά καλλιεργούνται πάνω σε ένα πλαστικό φύλλο πολυαιθυλενίου, πάνω στο οποίο έχει επιστρωθεί απορροφητικό υλικό. Το σύστημα αυτό εγκαθίσταται σε έδαφος με κλίση 1:50 έως 1:75, έτσι ώστε να παρέχεται το θρεπτικό διάλυμα στα φυτά από μια σειρά σωλήνων που τοποθετούνται στην ανώτερη άκρη, με τη βοήθεια της βαρύτητας. (Σάββας, 2011)

B) Καλλιέργεια σε υποστρώματα:

- *Υδροπονική καλλιέργεια σε σάκους οριζόντια τοποθετημένους:*

Οι σάκοι μπορεί να περιέχουν ασύνδετους μεταξύ τους κόκκους όπως άμμο, περλίτη, τύρφη, ελαφρόπετρα, κόκος, κτλ. είτε μπορεί να περιέχουν μια πλέξη από ινώδη ενωμένα επιμήκη τεμαχίδια που σχηματίζουν μία πορώδη πλάκα, όπως πλάκα πετροβάμβακα ή πολυουρεθάνης κτλ. Τα σπορόφυτα αρχικά αναπτύσσονται σε κύβους που συνήθως περιέχουν πετροβάμβακα, και στη συνέχεια τοποθετούνται πάνω στους σάκους. Αποτελεί τη πιο διαδεδομένη υδροπονική τεχνική καλλιέργειας φυτών σε υπόστρωμα.

Η τεχνική αυτή εφαρμόζεται και με τη χρήση σάκων γεμισμένους με υπόστρωμα και τοποθετημένους κάθετα. Μολονότι αυξάνεται η πυκνότητα φύτευσης, παρουσιάζονται κάποια σημαντικά μειονεκτήματα όπως η ανομοιομορφία του υποστρώματος σε υγρασία και έκθεσης των φυτών στο φως. Τα μειονεκτήματα αυτά έχουν άμεση επίδραση στη τελική παραγωγή και στα ποιοτικά χαρακτηριστικά των φυτών.

Ακόμα μια παραλλαγή αυτού του είδους καλλιέργειας, είναι η τοποθέτηση των σάκων σε κανάλια, πάνω σε κεκλιμένα πλαίσια. Ναι μεν αυξάνεται και σε αυτή τη περίπτωση η πυκνότητα των φυτών, όμως δημιουργούνται προβλήματα φωτισμού στα φυτά.

- *Υδροπονική καλλιέργεια σε γλάστρες ή άλλου είδους φυτοδοχεία:*

Τα φυτοδοχεία είναι φτιαγμένα από πολυπροπυλένιο, πολυαιθυλένιο ή πολυστερίνη και ανάλογα και ποικίλουν ανάλογα με τις προτιμήσεις των παραγωγών. Κατά κανόνα γεμίζονται με κοκκώδες υπόστρωμα όπως ελαφρόπετρα, περλίτης, κόκκος κ.λπ.

- *Υδροπονική καλλιέργεια σε κανάλια γεμισμένα με υπόστρωμα:*

Σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο, κανάλια γεμίζονται με υπόστρωμα και τα φυτά αναπτύσσονται μέσα σε αυτά.

1.5 Σύστημα Επίπλευσης (Floating System)

Αποτελεί το πιο ασφαλές σύστημα υδροκαλλιέργειας (Brechtner και Both, 2017), εξαιτίας του μεγάλου όγκου θρεπτικού διαλύματος το οποίο παρέχει υψηλή ικανότητα ρύθμισης και δίνει χρονικά περιθώρια αντίδρασης σε περίπτωση λάθος χειρισμού (Savvas και Gruda, 2018). Σύμφωνα με το σύστημα αυτό, τα φυτά αναπτύσσονται σε «σχεδίες» οι οποίες είναι βυθισμένες και επιπλέουν (λόγω του πολύ μικρού ειδικού βάρους τους) σε θρεπτικό διάλυμα το οποίο βρίσκεται μέσα σε λεκάνες. Συνήθως χρησιμοποιούνται πλάκες διογκωμένης πολυστερίνης, οι οποίες φέρουν οπές κατάλληλης διαμέτρου, σε προκαθορισμένες αποστάσεις. Από αυτές τις οπές διέρχονται οι ρίζες των φυτών, οι οποίες αναπτύσσονται μέσα στο θρεπτικό διάλυμα, ενώ το υπέργειο μέρος των φυτών βρίσκεται πάνω από τις πλάκες. Το πάχος αυτών των «σχεδίων» πρέπει να είναι κατάλληλο έτσι ώστε η άνωση να αποτρέπει τη πλήρη βύθισή της από το βάρος των αναπτυσσόμενων φυτών.

Το σύστημα επίπλευσης, θεωρητικά, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη καλλιέργεια οποιουδήποτε λαχανοκομικού ή ανθοκομικού φυτού. Το εύρος των φυτών που μπορούν να καλλιεργηθούν σε αυτό το σύστημα, είναι περιορισμένο για πρακτικούς λόγους (π.χ. στήριξη) και χρησιμοποιείται για φυτά μικρής καλλιεργητικής διάρκειας και μικρού μεγέθους (όπως φυλλώδη λαχανικά). Μάλιστα, το σύστημα επίπλευσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη παράγωγη σποροφύτων (Frantz και Welbaum, 1998). Η παραγωγή σποροφύτων στο σύστημα επίπλευσης, παρουσιάζει μειωμένο κόστος, μικρότερα προβλήματα από ασθένειες, το φύλλωμα παραμένει στεγνό και γίνεται καλύτερη αξιοποίηση νερού και λιπασμάτων. Αξίζει μάλιστα να σημειωθεί ότι τα σπορόφυτα αναπτύσσονται γρηγορότερα σε αυτό το

σύστημα ενώ τα φυτά που θα προκύψουν από τα σπορόφυτα αυτά, πλεονεκτούν όσον αφορά στη πρωίμιση και στο μέγεθος της παραγωγής (Wyatt, 1998).

Οι λεκάνες στις οποίες επιπλέον οι πλάκες, έχουν διαστάσεις ανάλογες με τις ανάγκες και τις δυνατότητες του εκάστοτε θερμοκηπίου, όμως το ωφέλιμο ύψος είναι 25-30 cm (Σάββας, 2011). Ανάλογα με την κατασκευή, η λεκάνη, στο εσωτερικό της, πρέπει να περιβάλλεται από στεγανό υλικό, το οποίο να είναι μη τοξικό για τα φυτά. Σύμφωνα με τον Σάββα (2012), το ύψος της στάθμης του θρεπτικού διαλύματος πρέπει να είναι τουλάχιστον 20 cm, ενώ όσο μεγαλύτερο είναι τόσο ελαχιστοποιείται ο ρυθμός μεταβολής της χημικής σύνθεσης του διαλύματος, ενώ παράλληλα αυξάνει και τη ρυθμιστική του ικανότητα προς τις μεταβολές θερμοκρασίας περιβάλλοντος.

Κάθε λεκάνη είναι εφοδιασμένη με ένα σύστημα διατήρησης της στάθμης του θρεπτικού διαλύματος σε ένα σταθερό επίπεδο. Αυτό επιτυγχάνεται είτε με μηχανικό πλωτήρα είτε με ηλεκτρικό αισθητήρα πίεσης, είτε με ένα ζεύγος ηλεκτροδίων τοποθετημένων σε διαφορετικό ύψος, σε συνδυασμό με μια ηλεκτροβάνα, η λειτουργία των οποίων ελέγχεται μέσω κεντρικού Η/Υ.

Στον πυθμένα των λεκανών καλλιέργειας συνίσταται η τοποθέτηση διάτρητων σωλήνων, οι οποίοι αναρροφούν ποσότητα θρεπτικού διαλύματος, όπου μεταφέρεται στην κεντρική κεφαλή υδρολίπανσης, όπου διορθώνεται αυτόματα η ηλεκτρική αγωγιμότητα και το pH μέσω έγχυσης πυκνών διαλυμάτων και οξέος. Με την επανεισαγωγή του διορθωμένου διαλύματος δημιουργείται παφλασμός, έτσι ώστε να γίνεται οξυγόνωση του θρεπτικού διαλύματος. Η ύπαρξη αντλίας στον πυθμένα της λεκάνης συνεισφέρει στην ομογενοποίηση του θρεπτικού διαλύματος και στη συνεχή οξυγόνωση του. Ωστόσο η οξυγόνωση του θρεπτικού διαλύματος μπορεί να γίνει ενεργά, από την εισαγωγή φυσαλιδίων αέρα ή καθαρού οξυγόνου, μέσω της χρήσης αντλία αέρα.

1.6 Σταμναγκάθι: *Cichorium spinosum*

1.6.1 Καταγωγή-Ιστορικό

Το σταμναγκάθι θεωρείται αυτοφυές φυτό, γνωστό από την αρχαιότητα όπου αποτελούσε ένα εκλεκτό λαχανευόμενο άγριο είδος. Η συλλογή του για κατανάλωση είναι μια δύσκολη εργασία λόγω της αγκαθωτής μορφολογίας του, δικαιολογώντας με

αυτόν τον τρόπο, την υψηλή τιμή πώλησης του προϊόντος αυτού στην αγορά. Τις τελευταίες δεκαετίες γίνεται προσπάθεια εμπορικής καλλιέργειας (ιδιαίτερα στη Κρήτη αλλά και σε άλλες περιοχές) με πολύ επιτυχημένα αποτελέσματα, παρά τα λιγοστά στοιχεία που υπάρχουν στη βιβλιογραφία για τη καλλιεργητικές απαιτήσεις του φυτού (Κολονου *et al.*, 2017). Η συστηματική οργανωμένη καλλιέργεια του φυτού σε ετήσια βάση συνέβαλε σημαντικά στην αύξηση της προσφοράς στις αγορές και στη μείωση της τιμής του προϊόντος.

Σύμφωνα με τη παράδοση, το φυτό πήρε το όνομα του από μία παλιά συνήθεια των Κρητών οι οποίοι το χρησιμοποιούσαν για να καλύπτουν το στόμιο των πήλινων σταμνών (στάμνα + αγκάθι) τις οποίες χρησιμοποιούσαν για τη μεταφορά και φύλαξη πόσιμου νερού, για προστασία από έντομα, σκόνες και λοιπές ακαθαρσίες.

Σε άλλες περιοχές μπορούμε να το βρούμε με το όνομα γιαλαράδικο, δηλαδή, ραδίκι του γιαλού επειδή είναι αυτοφυές φυτό και αναπαράγεται σε παραθαλάσσιες περιοχές ενώ άλλες ονομασίες που έχει πάρει κατά καιρούς είναι ραδικοστοιβίδα ή ραδικοστοιβιά, αλιφός, αλιφόνι (Καββάδας, 1956).

Το σταμναγκάθι είναι ένα από τα 4 αυτοφυή είδη του γένους *Cichorium* που φύονται στην Ελλάδα. Απαντάται συχνά σε παραθαλάσσιες περιοχές της δυτικής Στερεάς Ελλάδας και της Πελοποννήσου, των Κυκλάδων νήσων και της Κρήτης. Στην Κρήτη συγκεκριμένα απαντάται τόσο σε παραθαλάσσιες όσο και σε μεγαλύτερα υψόμετρα. Η συστηματική καλλιέργεια του σταμναγκαθιού ξεκίνησε από την περιοχή της Κισσάμου Χανίων στις αρχές της δεκαετίας του 1990 για να καλυφθεί η αυξανόμενη ζήτηση του από τους καταναλωτές, οι οποίοι σταδιακά επιστρέφουν στο μοντέλο της μεσογειακής διατροφής, και επεκτάθηκε σε ολόκληρη την Ελλάδα, καθώς παρέχει ένα ικανοποιητικό εισόδημα στους παραγωγούς. (Ολύμπιος Χ., 2015)

Το σταμναγκάθι καταναλώνεται είτε νωπό σε σαλάτες είτε μαγειρεμένο ως γαρνιτούρα ή γίνεται τουρσί για τις περιόδους στις οποίες δεν είναι διαθέσιμα τα φρέσκα φύλλα στην αγορά (Petropoulos *et al.*, 2017). Ως νωπό προϊόν, έχει σημαντική θρεπτική αξία, ιδιαίτερη γεύση και επιτυγχάνει πολύ υψηλές τιμές στην λιανική αγορά ενώ ολοένα αυξάνονται οι αγρότες που ασχολούνται με την εμπορική εκμετάλλευση του φυτού (Chatzigianni *et al.*, 2018; Κολονου *et al.*, 2017; Petropoulos *et al.*, 2017; Petropoulos *et al.*, 2018).

Το *C. spinosum* αποτελεί ιθαγενές είδος της Ελλάδας, της Κύπρου, της Ιταλίας (Σικελίας), της Ισπανίας, της Μάλτας, της Λιβύης και της νοτιοανατολικής

Τουρκίας (Ολύμπιος Χ., 2015). Συναντάται στις εύκρατες περιοχές της Ευρώπης της Ασίας και της Μεσογειακής Αφρικής (Καββάδας, 1956; Briudes *et al.*, 2016; Kiers, 2000a; Abusaief *et al.*, 2013; Melliou *et al.*, 2003; Zeghichi *et al.*, 2003). Ήταν γνωστό από την Αρχαιότητα και χρησιμοποιείτο τόσο για τη διατροφή όσο και για τις φαρμακευτικές του ιδιότητες. Ειδικά στη Κρήτη είναι δημοφιλέστατο ως φυτό, ενώ αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της κρητικής κουζίνας.

1.6.2 Βοτανική ταξινόμηση

Συμφώνα με τη συστηματική βοτανική το σταμναγκάθι ταξινομείται ως εξής (Στεφανάκη-Νικηφοράκη, 1999):

Βασίλειο: *Plantae*

Άθροισμα: *Magnoliophyta*

Κλάση: *Magnoliopsida*

Τάξη: *Asterales*

Οικογένεια: *Asteraceae*

Γένος: *Cichorium*

Είδος: *spinosum*

Το γένος *Cichorium* περιλαμβάνει έξι είδη. Το *C. spinosum* και το *C. bottae* είναι τα εύκολα αναγνωρίσιμα είδη του γένους *Cichorium*, τα οποία αναγνωρίζονται με βάση τα μορφολογικά τους χαρακτηριστικά, σε αντίθεση με τα υπόλοιπα είδη τα οποία είναι τα *C. intybus*, *C. endivia*, *C. pumilum* και *C. calvum* και τα οποία είναι δύσκολο να διακριθούν λόγω της υψηλής παραλλακτικότητας εντός του είδους που εμποδίζει τη διάκριση μεταξύ των ειδών του ίδιου γένους (Kiers *et al.*, 2000; Kiers *et al.*, 1999). Στην Ελλάδα απαντούν ως αυτοφυή μονάχα τα τέσσερα είδη, τα οποία είναι τα *C. spinosum*, *C. intybus*, *C. endivia* και *C. pumilum* (Καββάδας, 1956). Για τα είδη του γένους *Cichorium*: *C. intybus*, *C. endivia* και *C. spinosum* έχουν καταμετρηθεί 18 χρωμοσώματα σε διπλοειδή φάση (Sell 1976; Kiers, 2000)

1.6.3 Βοτανικά χαρακτηριστικά

Το *C. spinosum* (spiny chicory), είναι πολυετές φυτό, φυλλοβόλο, πολύκλαδο με διακλαδώσεις πολύ ακανθωτές, ύψους 15-40 εκατοστών ημισφαιρικού σχήματος. Το φυτό προέρχεται από σπόρο, είναι αρχικά πλώδες και, όταν αναπτυχθεί ικανοποιητικά, συγκομίζεται και αποτελεί το βρώσιμο μέρος του φυτού.



Εικόνα 1 Το *C. Spinosum*. Το στέλεχος και τα «αγκάθια»

Στη συνέχεια το φυτό αυτό από το κέντρο του (τη μεριστωματική κορυφή) αναπτύσσει κεντρικό βλαστό, ο οποίος διακλαδίζεται σε μικρούς κοντούς βλαστούς, οι οποίοι στην αρχή είναι πρασινωποί και στη συνέχεια προς το καλοκαίρι ξυλοποιούνται, αποκτούν χρώμα καφέ και έχουν ακανθωτή μορφή, και όλο το φυτό αναπτύσσεται σε μικρό ακανθωτό θάμνο (Ολύμπιος X., 2015).

Τα φύλλα, ξεκινούν από τη βάση του φυτού κοντά στο έδαφος, υπό μορφή ροζέτας, είναι επιμήκη, γυαλιστερά χρώματος ενδιάμεσου πράσινου, λειροειδούς ή πτεροειδούς σχήματος, κολπωτά, οδοντωτά. Τον πρώτο χρόνο σχηματίζεται μόνο μία ροζέτα από φύλλα σε κάθε φυτό, ενώ



Εικόνα 2 Το φυτό κατά το στάδιο συγκομιδής (1 έτους)

κατά το τέλος του βιολογικού του κύκλου, σχηματίζει ένα ακανθώδες

βλαστό που φέρει το άνθος (Petropoulos *et al.*, 2018). Τα φύλλα τα οποία αναπτύσσονται τα επόμενα χρόνια από τα ήδη εγκατεστημένα φυτά προέρχονται από οφθαλμούς που βρίσκονται στη περιοχή μεταξύ ρίζας και υπέργειου μέρους του φυτού, της προηγούμενης βλαστικής περιόδου (Petropoulos *et al.*, 2018), και είναι στενά γραμμοειδή και αναπτύσσονται και αυτά υπό μορφή ροζέτας. Η συγκομιδή των ροζετών είναι πολύ δύσκολη, χρονοβόρα και κοπιαστική, και για τους λόγους αυτούς τα άγριο σταμναγκάθι για πολλά χρόνια είχε πολύ υψηλή τιμή στην αγορά. Η

εμπορική καλλιέργεια από τον σπόρο σήμερα διευκολύνει τη συγκομιδή και μειώνει την τιμή του προϊόντος.

Η κεντρική ρίζα του φυτού είναι πασσαλώδης, διογκωμένη και αναπτύσσεται σε μεγάλο βάθος (Kiers, 2000). Στα μεγαλύτερης ηλικίας φυτά παράγονται και νέες ρίζες, πιο μακριά από το κύριο φυτό, και σχηματίζονται οφθαλμοί σε αυτές και στη συνέχεια στις ροζέτες των φύλλων.

Το φυτό σχηματίζει διακλαδιζόμενα ανθικά στελέχη επί των οποίων σχηματίζονται ανθικές κεφαλές, οι οποίες είναι μικρές, (περίπου 2 εκατοστά) με στενό κυλινδρικό περίβλημα και με 5 ανθίδια το καθένα, χρώματος μπλε. Τα ανθίδια είναι τέλεια ερμαφρόδιτα και επικονιάζονται με τις μέλισσες. Το φυτό ανθίζει από Ιούνιο ως και τον Αύγουστο, ανάλογα με τις εδαφοκλιματικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή στην οποία αναπτύσσονται τα φυτά.

Ο καρπός είναι αχάινιο και περιέχει 5 σπόρους. Κάθε σπόρος φέρει πάππο αποτελούμενο από κοντές λεπιοειδείς τρίχες, οι οποίες συμβάλλουν στη διασπορά του σπόρου. (Ολύμπιος Χ., 2015)



Εικόνα 3 Η κεντρική ρίζα του φυτού



Εικόνα 4 Το ανθικό στέλεχος του σταμναγκαθιού



Εικόνα 5 Σπόροι σταμναγκαθιού

1.6.4 Εδαφοκλιματικές συνθήκες ανάπτυξης του σταμναγκαθιού

Στην εύκρατη ζώνη το *C. spinosum* αναπτύσσεται κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Εναρκτήρια εποχή μπορεί να θεωρηθεί το φθινόπωρο, ενώ η βλαστική

ανάπτυξη συνεχίζεται μέχρι και την άνοιξη, ενώ το καλοκαίρι σταματάει η ανάπτυξή του. Κατά τη περίοδο της ανάπτυξής του προτιμά περιοχές με ηλιοφάνεια. Είναι ανθεκτικό στις χαμηλές θερμοκρασίες του χειμώνα ακόμα και σε θερμοκρασία μέχρι -17°C . (Ολύμπιος Χ., 2015)

Ευδοκίμει σε αμμώδη και πηλοαμμώδη εδάφη, τα οποία έχουν ικανοποιητική ικανότητα αποστράγγισης, μέτρια περιεκτικότητα σε υγρασία και είναι πλούσια σε οργανική ουσία, με pH 6-7,8. Είναι φυτό που αναπτύσσεται σε παραθαλάσσια μέρη, σε εδάφη με υψηλή αλατότητα και φαίνεται να είναι ιδιαίτερα ανθεκτικό σε αυτή (Chatzigianni et al.2019) . Το φυτό αυτό παρουσιάζει καλή προσαρμοστικότητα σε δυσμενείς συνθήκες περιβάλλοντος, ενώ έχει μικρές απαιτήσεις όσον αφορά τις καλλιεργητικές περιποιήσεις (Κολονου *et al.*, 2017).

1.6.5 Πολλαπλασιασμός

Η εποχή καλλιέργειας στην Ελλάδα ξεκινά από το φθινόπωρο και συνεχίζεται τον χειμώνα και την άνοιξη. Η σπορά του πραγματοποιείται τον Αύγουστο και η βλαστική του περίοδος κυμαίνεται από Σεπτέμβριο έως Ιούνιο με ενδιάμεσες όψιμες σπορές, για να καλύψει τις αυξανόμενες ανάγκες της αγοράς. Συνήθως πραγματοποιούνται 3-5 συγκομιδές της υπέργειας βιομάζας κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Σύμφωνα με τους Csizinszky (1999) και τους Kmiecik και Lisiewska (1999) οι πολλαπλές συγκομιδές στα φυλλώδη λαχανικά, αυξάνουν τη συνολική παραγωγή με την προϋπόθεση ότι το ακραίο μερίστωμα παραμένει ακέραιο. Μάλιστα, οι περιβαλλοντικές συνθήκες ανάπτυξης αποτελούν κρίσιμο παράγοντα για τη διεξαγωγή πολλαπλών συγκομιδών. Έτσι, πρέπει να δίνεται έμφαση στη διάρκεια της φωτοπεριόδου ή/και στη θερμοκρασία, καθώς το φυτό μπορεί να μεταβεί από την βλαστική ανάπτυξη στην άνθιση (Ventura *et al.*, 2011). Η μετάβαση αυτή, σε συνδυασμό με το γενότυπο αποτελούν παράγοντες ικανούς να επιφέρουν ραγδαίες διαφοροποιήσεις στη ποιότητα του συγκομιζόμενου προϊόντος (Petrooulos *et al.*, 2017).

Το σταμναγκάθι πολλαπλασιάζεται με σπόρο. Ο σπόρος εξασφαλίζεται από τα αυτοφυή φυτά. Για καλλιέργεια μεγάλων εκτάσεων προσφέρεται η απευθείας σπορά στο χωράφι. Για μικρές εκτάσεις θα μπορούσε να εφαρμοστεί και η διαδικασία της σποράς σε φυτώριο και η μεταφύτευση των νεαρών φυταρίων στο χωράφι.

Η καλλιεργητική τεχνική, η οποία περιλαμβάνει την προετοιμασία του εδάφους, την καταπολέμηση των ζιζανίων, τη βασική και επιφανειακή λίπανση

(αισθητά χαμηλότερες ποσότητες στην περίπτωση του σταμναγκαθιού), την άρδευση (όχι υπερβολικά ποτίσματα) την αντιμετώπιση εχθρών και ασθενειών (δεν έχουν αναφερθεί ακόμα ιδιαίτερα προβλήματα).

Ωστόσο, παρουσιάζεται ιδιαίτερη δυσκολία στον διαχωρισμό των σπόρων από τα κεφάλια (καρπίδια), όταν αυτά ωριμάσουν και ξεραθούν. Λόγω των δυσκολιών αυτών στον διαχωρισμό των σπόρων, μερικοί παραγωγοί ξεριζώνουν τα πολυετή φυτά που έχουν καρποφορήσει, τα σκορπίζουν στο χωράφι και τα καλλιεργούν με φρέζα, για να τα τεμαχίσουν και να διασκορπιστούν οι σπόροι στο έδαφος. Τα αποτελέσματα όμως δεν είναι πολύ εντυπωσιακά διότι υπάρχει μεγάλη ανομοιομορφία στη βλάστηση και στη χωροταξική θέση των φυτών. Για να λυθεί το συγκεκριμένο πρόβλημα, ιδανική λύση θα μπορούσε να αποτελεί, η διαδικασία κατά την οποία μετά το σπάσιμο των καρπιδίων, οι σπόροι να στρωματώνονται σε κιβώτια σποράς ή σε δίσκους σποράς, και τα νεαρά σπορόφυτα που θα αναπτυχθούν να μεταφυτεύονται στις επιθυμητές αποστάσεις. Βέβαια η μέθοδος αυτή εμφανίζει ένα βασικό μειονέκτημα, της αύξησης του κόστους καλλιέργειας (Ακουμιανάκης , 2010).

1.6.6 Συγκομιδή

Το στάδιο της συγκομιδής έχει μεγάλη σημασία για την εμπορευσιμότητα των φυλλωδών λαχανικών, δεδομένου ότι η οπτική εικόνα του τελικού προϊόντος καθορίζει την αποδοχή του καταναλωτή. Εκτός από την εμφάνιση, ο χρόνος που θα γίνει η συγκομιδή μπορεί επίσης να επηρεάσει τη χημική σύνθεση και τη θρεπτική αξία του φυτού. Αν αυτή γίνει τη κατάλληλη χρονική στιγμή, η ποιότητα του συγκομιζόμενου προϊόντος αυξάνεται (Petrooulos *et al.*, 2018). Ο βιολογικός κύκλος που αφορά σε σπορά και συγκομιδή ροζετών δεν ξεπερνάει τους 3-4 μήνες ανάλογα με την εποχή και τις καλλιεργητικές περιποιήσεις. Η συγκομιδή του φυτού αρχίζει όταν η ροζέτα έχει αποκτήσει εμπορεύσιμο μέγεθος και ολοκληρώνεται πριν την έκπτυξη αγκαθιού που σηματοδοτεί και την απώλεια της σπαργής στα φύλλα της ροζέτας. Χρονικά η συγκομιδή γίνεται όλο τον χρόνο, εκτός από τους πολύ ζεστούς μήνες του καλοκαιριού, με την προϋπόθεση ότι η καλλιέργεια αρδεύεται.

Το φυτό κόβεται με μαχαίρι κάτω από τη ροζέτα, στο ύψος της επιφάνειας του εδάφους, έτσι ώστε τα φύλλα να παραμείνουν ενωμένα μεταξύ τους. Κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας, τα φυτά δεν αναπτύσσουν όλα το ίδιο μέγεθος

ταυτόχρονα. Για τον λόγο αυτόν, εφαρμόζονται επανειλημμένες συγκομιδές στην ίδια καλλιέργεια. Κάθε φορά συγκομίζονται όσα φυτά έχουν αποκτήσει το εμπορεύσιμο μέγεθος (Ολύμπιος Χ., 2015).

Αμέσως μετά τη συγκομιδή, τα φυτά πλένονται με κρύο νερό για να εκπλυθεί το χώμα και να μειωθεί η θερμοκρασία τους και τοποθετούνται σε πλαστικά κιβώτια, μέσα σε πλαστικές σακούλες για να μειωθεί η εξάτμιση και κατ' επέκταση η μάρανση των φυτών (Ολύμπιος Χ., 2015) .

Η συγκομιδή του σταμναγκαθιού ξεκινά από τον Ιανουάριο και συνεχίζεται μέχρι τον Μάιο. (Ολύμπιος Χ., 2015)

1.6.7 Αποθήκευση

Για να διατηρηθεί φρέσκο το προϊόν από τη συγκομιδή μέχρι τη μεταφορά στην αγορά και από την αγορά μέχρι την κατανάλωση, πρέπει να τοποθετείται σε ψυκτικούς θαλάμους σε θερμοκρασία 4-6 °C κλεισμένο σε πλαστικές σακούλες. Υπό τις συνθήκες αυτές μπορεί να διατηρηθεί σε καλή κατάσταση συνολικά 4-7 ημέρες μετά τη συγκομιδή.

Μπορεί να συντηρηθεί για αρκετά μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, εάν εμβαπτιστεί σε ζεστό νερό για 2-3 λεπτά και, αφού στεγνώσει και κρυώσει και τοποθετηθεί σε πλαστικές σακούλες, μπει σε κατάψυξη στους -20 °C. (Ολύμπιος Χ., 2015)

1.6.8 Μετασυλλεκτικοί χειρισμοί

Παρά το παχύ φύλλωμα του σταμναγκαθιού, δίνεται η εντύπωση ότι δύσκολα θα αφυδατωθεί, εν τούτοις αν μείνει σε συνθήκες δωματίου μετά τη συγκομιδή μέσα σε 24 ώρες αρχίζει αυτό που λέμε μάρανση του φυλλώματος. Έτσι είναι πολύ βασικό μετά τη συγκομιδή να πλυθεί με κρύο νερό ώστε να απομακρυνθεί η θερμοκρασία του χωραφιού, και να συσκευαστεί σε πλαστικά φύλλα ή σακούλες και να τοποθετηθεί σε χαμηλή θερμοκρασία συντήρησης λίγο πάνω από τους 2-3 °C. Σε αυτές τις συνθήκες μπορεί να μεταφερθεί εύκολα στους τόπους κατανάλωσης και ο καταναλωτής να εξακολουθεί να το συντηρεί συσκευασμένο στην ψύξη μέχρις ότου το καταναλώσει όχι όμως πέραν των 6-7 ημερών (Ακουμιανάκης Κ. 2010).

1.6.9 Ποιοτικά χαρακτηριστικά

Τα τελευταία χρόνια έχει παρατηρηθεί η ύπαρξη μιας ολοένα αυξανόμενης τάσης για κατανάλωση προϊόντων που χαρακτηρίζονται ως «υγιεινά» ή «υπερτροφές». Έτσι, έχει δημιουργηθεί στην αγορά ανάγκη για την εμπορική καλλιέργεια προϊόντων με αυτές τις προδιαγραφές. Το σταμναγκάθι αποτελεί ένα τέτοιο προϊόν, το οποίο χαρακτηρίζεται ως ένα λαχανευόμενο είδος υψηλής θρεπτικής αξίας με ξεχωριστή πικρή γεύση. Το υπέργειο μέρος του *C. spinosum* είναι αυτό που παρουσιάζει ενδιαφέρον, καθώς περιέχει σημαντικές ποσότητες μακρο- και μικροθρεπτικών συστατικών χωρίς υψηλή ενεργειακή συμβολή στη διατροφή του ανθρώπου, περιέχει βιταμίνες, μέταλλα και άλλα συστατικά ωφέλιμα για την ανθρώπινη υγεία. Ωστόσο, οι συνθήκες καλλιέργειας (άγρια ή καλλιεργούμενα φυτά) και τα συστήματα καλλιέργειας (συμβατικά ή βιολογικά), καθώς και η μεγάλη ποικιλία μεταξύ των οικοτύπων επηρεάζουν τη θρεπτική αξία και τη χημική σύνθεση του τελικού προϊόντος (Petropoulos *et al.*, 2016). Μάλιστα, το στάδιο συγκομιδής έχει μεγάλη σημασία για την εμπορία φυλλωδών λαχανικών, δεδομένου ότι η οπτική ποιότητα του τελικού προϊόντος καθορίζει την αποδοχή του καταναλωτή, ενώ αν αυτή γίνει στο βέλτιστο στάδιο θα μπορούσε να αυξήσει σημαντικά την ποιότητα του προϊόντος (Petropoulos *et al.*, 2017). Εκτός από την εμφάνιση, το στάδιο της συγκομιδής σε συνδυασμό με τις επικρατούσες περιβαλλοντικές συνθήκες μπορούν επίσης να επηρεάσουν τη χημική σύνθεση και τη θρεπτική αξία (Swanson, 1998). Εξίσου σημαντικός παράγοντας είναι ο οικότυπος του φυτού που καλλιεργείται, καθώς ορεινοί οικότυποι φαίνεται να είναι ποιοτικά ανώτεροι σε σχέση με παραθαλάσσιους.

Σύμφωνα με τους Vekiarí και Ouzouníδου (2018), οι βιταμίνες που περιέχει είναι οι εξής: βιταμίνη E, βιταμίνη A, βιταμίνη C, βιταμίνη K, φολικό οξύ, θειαμίνη, νιασίνη, πυριδοξίνη, παντοθενικό οξύ και ριβοφλαβίνη. Η πικρή γεύση οφείλεται στη λακτουσίνη και τη λακτουσοπικρίνη. Περιέχει επίσης, αισκουλετίνη, αισκουλίνη, κιχωρίνη, ουμπελλιφερόνη, σκοπολετίνη, 6,7-διυδροκουμαρίνη.

Υψίστης σημασίας συστατικά αποτελούν οι φυτικές ίνες, που περιέχει το σταμναγκάθι, καθώς φαίνεται να έχουν πολλά πλεονεκτήματα για την υγεία. Εκτός αυτού, το σταμναγκάθι περιέχει επίσης μεταλλικά στοιχεία όπως ασβέστιο, μαγνήσιο,

μαγγάνιο, φώσφορο, σίδηρο, πρωτεΐνη, ψευδάργυρο, χαλκό, σελήνιο νάτριο και κάλιο .

Οι κύριες ανιχνεύσιμες τοκοφερόλες στο *C. Spinosum* είναι οι άλφα- και γάμμα- τοκοφερόλες. Ανάλογα το στάδιο ανάπτυξης και τους οικότυπους του φυτού, η περιεκτικότητά τους στο υπέργειο μέρος διαφοροποιείται (Petrooulos *et al.*,2017, Petrooulos *et al.*,2016).

Σύμφωνα με τον Zeghichi και του συνεργάτες του (2003), το σταμναγκάθι έχει μεγαλύτερη θρεπτική αξία σε σχέση με άλλα λαχανεύομενα είδη. Αποτελεί πλούσια πηγή σε καροτενοειδή, βιταμίνη C και K1, βιταμίνη E, γλουταθειόνη, ω-3 λιπαρά οξέα, αντιοξειδωτικά και μέταλλα (Kolovou *et al.*, 2017; Zeghichi *et al.*,2003). Συγκεκριμένα, 100 γραμμάρια φύλλων σταμναγκαθιού (μια μερίδα) περιέχει περίπου 44,44 mg λιπαρά οξέα ω-3, 36,58 mg σε ασκορβικό οξύ, 9,78 mg α-τοκοφερόλη, 2,66 mg β-καροτένιο, 13,77 mg γλουταθειόνη και 20,31 mg φαινολών και σημαντικές ποσότητες ασβεστίου, σιδήρου, ψευδαργύρου και καλίου (Zeghichi *et al.*, 2006; Zeghichi *et al.*, 2003).

Σε έρευνα που διεξήχθη από τους Vardavas *et al.* το 2006, αναφέρεται ότι το σταμναγκάθι περιέχει φυλλοκικόνη (βιταμίνη K1) σε αναλογία 240μg/100g νωπού βάρους (ν.β.), λουτεΐνη σε συγκέντρωση 1160μg/100g νωπού βάρους, α-τοκοφερόλη σε συγκέντρωση 1,23mg/100g νωπού βάρους και β-τοκοφερόλη σε συγκέντρωση 0,83mg/100g νωπού βάρους και πολυφαινόλες 132mg/100g νωπού βάρους

1.6.9.1 Λιπαρά οξέα

Η καθημερινή πρόσληψη βασικών λιπαρών οξέων που περιέχονται στα εδώδιμα άγρια χόρτα, παίζει σημαντικό ρόλο στην προαγωγή της υγείας και στην πρόληψη των ασθενειών. Ένα αρκετά πολύτιμο χαρακτηριστικό των άγριων χόρτων, είναι η πλούσια περιεκτικότητά τους σε λιπαρά οξέα. Σε έρευνα που πραγματοποίησαν οι Vardavas *et al.* το 2006, αναφέρθηκε ότι τουλάχιστον 48 ειδή άγριων χόρτων που απαντώνται στη Κρήτη αποτελούν πολύτιμες πηγές όχι μόνο βιταμινών και αντιοξειδωτικών, αλλά μονοακόρεστων και βασικών λιπαρών οξέων, είτε αυτά καταναλωθούν φρέσκα είτε μαγειρεμένα. Στον κατάλογο των 48 άγριων ειδών συγκαταλέγεται και το σταμναγκάθι (Vardavas *et al.*, 2006).

Η ένταξη των ω-6 λιπαρών οξέων, συνδέεται άμεσα με μείωση της υπέρτασης και της αρτηριακής πίεσης, συμβάλουν στη πρόληψη του καρκίνου του στήθους και του προστάτη, στη πρόληψη δημιουργίας όγκου στο πάγκρεας καθώς επίσης αποτρέπει την εμφάνιση της λεμφοκυτταρικής λευχαιμίας.

Πίνακας 1 Περιεκτικότητα λιπαρών σε mg ανά 100 g ιστού (Vardavas *et al.*, 2006)

SFA (Saturated Fatty Acids)	25.9
MUFA (Monounsaturated Fatty Acids)	5.4
PUFA (Polyunsaturated Fatty Acids)	48.7
Total fat	80
Ω-3	33.8
Ω-6	14.9
Αναλογία Ω-6/Ω-3	0.44

Από διάφορους οικότοπους σταμναγκαθιού που εξετάστηκαν, ανιχνεύτηκαν 22 διαφορετικά λιπαρά οξέα (Petrooulos *et al.*, 2016). Αν και η σύνθεση λιπαρών οξέων διέφερε μεταξύ των εξεταζόμενων οικοτύπων, η PUFA επικράτησε σε όλα τα δείγματα με σχετικά ποσοστά υψηλότερα από 76,8%, ενώ τα μονοακόρεστα λιπαρά οξέα (MUFA- monounsaturated fatty acids) περιείχαν ένα μικρό ποσοστό συνολικών λιπαρών οξέων (1,13-3,58%).

Σε έρευνα που διεξήχθη από τους Petrooulos *et al* το 2017 (α), τα κύρια ανιχνευόμενα λιπαρά οξέα ήταν α-λινολενικό (C18:3n3; ALA), λινολεϊκό (C18:2n6; LA), και παλμιτικό οξύ (C16:0; PA), ενώ τα πενταδεκανοϊκό οξύ (pentadecanoic), παλμιτολικό οξύ (palmitoleic), στεατικό οξύ (stearic), ελαϊκό οξύ (oleic), λιγνοσεραϊκό (lignoceric) και βεχενιαϊό (behenic) οξύ ανιχνεύθηκαν σε μικρότερες ποσότητες. Τα πολυακόρεστα λιπαρά οξέα (PUFAs- Polyunsaturated fatty acids) ήταν η κύρια κατηγορία λιπαρών οξέων, αποτελούμενη κυρίως από α-λινολενικό και λινολεϊκά οξέα τα οποία εμφάνιζαν τάση μείωσης με ανάπτυξη φυτών, ακολουθούμενη από ανάλογη αύξηση κορεσμένων λιπαρών οξέων και παλμιτικού οξέος ειδικότερα.

Η σύνθεση λιπαρών οξέων και ιδιαίτερα η αναλογία PUFA / SFA και n-6 / n-3 έχουν μεγάλη σημασία για τη θρεπτική αξία των άγριων χόρτων και τη συμβολή τους σε μια ισορροπημένη διατροφή. Ο Simopoulos (2004) ανέφερε ότι η

κατανάλωση άγριων χόρτων θα μπορούσε να ωφελήσει την υγεία μειώνοντας τον κίνδυνο διάφορων χρόνιων ασθενειών, καθώς η χαμηλή αναλογία των λιπαρών οξέων n-6 / n-3 συμβάλλει στη σωστή διατροφή. Σύμφωνα με τους Guil, Torija, Giménez & Rodriguez (1996), ο λόγος PUFA / SFA πρέπει να είναι υψηλότερος από 0,45 και λόγος n-6 / n-3 χαμηλότερος από 4,0 για καλύτερη διατροφική αξία. Στο σταμναγκάθι ο λόγος n-6 / n-3 φάνηκε να είναι χαμηλότερος σε σχέση με άλλα φυλλώδη λαχανικά, γεγονός που καταδεικνύει την υψηλή θρεπτική του αξία (Petropoulos *et al.*, 2016)

Ύστερα από 40 μέρες καλλιέργειας το σταμναγκάθι φάνηκε να έχει τη μέγιστη περιεκτικότητα σε λιπαρά οξέα, συγκεκριμένα 125.6 mg/100 g νωπού βάρους, ενώ η ποσότητά τους φάνηκε να μειώνεται μετά από 10 μέρες (Zeghichi *et al.*, 2003). Η μείωση αυτή πιθανόν να συνδέεται με διάφορες μεταβολικές διεργασίες όσο το φυτό πλησιάζει στο στάδιο της άνθισης (Petropoulos *et al.*, 2017).

1.6.9.2 Φαινολικές ενώσεις

Οι φαινολικές ενώσεις είναι δευτερογενείς μεταβολίτες φυτών με μεγάλη σημασία για διάφορα φυσιολογικά και μορφολογικά χαρακτηριστικά. Εμπλέκονται στους αμυντικούς μηχανισμούς των φυτών, στη δομή του κυτταρικού τοιχώματος, έρχονται σε αλληλεπίδραση με φυτορμόνες, πρωτεΐνες και ένζυμα, σαρώνουν τις ελεύθερες ρίζες. Επιπλέον, συμβάλλουν σημαντικά στη γεύση, το χρώμα και την οσμή των φρούτων και των λαχανικών και παρουσιάζουν έντονη αντιοξειδωτική δράση. Υπάρχει μεγάλη ποικιλότητα φαινολικών ενώσεων στα διάφορα φυτικά είδη που ταξινομούνται σε πολλές κατηγορίες ανάλογα με τη χημική τους δομή, τον αριθμό των φαινολικών δακτυλίων και των στοιχείων σύνδεσης, ενώ οι πλέον άφθονες κατηγορίες περιλαμβάνουν φαινολικά οξέα, флаβονοειδή, τανίνες, στυλβένια και λιγνάνες (Petropoulos *et al.*, 2018).

Η αντιοξειδωτική δράση των φαινολικών ενώσεων οφείλεται κυρίως στην ικανότητά τους να αντιδρούν με δραστικές μορφές οξυγόνου και αζώτου (ROS- reactive oxygen species και RNS- reactive nitrogen species) και να εμποδίζουν την αναγέννηση νέων ριζών, τη χηλίωση των μεταλλικών ιόντων που εμπλέκονται στην παραγωγή ελεύθερων ριζών, την παρεμπόδιση διάφορων ενζύμων που προκαλούν παραγωγή ριζών και τελικά να δρουν συνεργιστικά με άλλα αντιοξειδωτικά, όπως καροτένια, τοκοφερόλες και ασκορβικό οξύ (Khasawneh *et al.*, 2014)

Τα φύλλα του *C. spinosum* είναι πλούσια πηγή κιχωρικού οξέος (chicoric) και 5-O-καφεουλικινικού οξέος (5-O-caffeoylquinic acid). Και οι δύο ενώσεις έχουν συσχετιστεί με διάφορες βιοδραστικές ικανότητες όπως η αντιφλεγμονώδης, η αντιοξειδωτική και η αντιβιοτική δράση, ενώ *in vitro* μελέτες έχουν επιβεβαιώσει την αντιδιαβητική τους δράση. Σύμφωνα με τον Briudes και τους συνεργάτες του (2016), το κιχωρικό οξύ παρουσιάζει κατασταλτική δράση απέναντι στον ιό της ηπατίτιδας Β και στον HIV-1 ενώ η αντιδιαβητική δράση του έγκειται στην διέγερση έκκρισης ινσουλίνης (Briudes *et al.*, 2016). Ο Briudes και οι συνεργάτες του, σε πρόσφατη έρευνα που δημοσίευσαν, εντόπισαν επιπλέον μια φαινολική ένωση, το καφταρικό οξύ, που είναι γνωστή για την ισχυρή αντιοξειδωτική της ικανότητα σε συγκέντρωση περίπου 13 mg/g (Briudes *et al.*, 2016).

Σε σχετική έρευνα που πραγματοποιήθηκε από τους Petropoulos *et al* το 2018, στο *C. spinosum* αποδείχτηκε η παρουσία δεκαεπτά φαινολικών ενώσεων, από τις οποίες οκτώ ταξινομήθηκαν ως φαινολικά οξέα και εννέα ως παράγωγα γλυκοζιτών των φλαβονοειδών. Επιπλέον, η Melliou και οι συνεργάτες της το 2003, μελέτησαν τη φυτοχημική σύνθεση του υπέργειου μέρους άγριων φυτών *C. spinosum* που συλλέχθηκαν στην Κρήτη (Ελλάδα) και ταυτοποίησαν τέσσερα παράγωγα αλκυλορεσορκινόλης (alkylresorcinol), την κιχωρίλη Β, ένα μείγμα της κιχωριόλης Α, C και D και δύο σεσκιτερπενικές λακτόνες (sesquiterpene lactones), τη λακτουκοπικρίνη (lactucopicrin) και 3,4 - διυδρολακτουκοπικρίνη (3,4-dihydrolactucopicrin), ως κύριες φαινολικές ενώσεις.

Άλλες φαινολικές ενώσεις που έχουν αναφερθεί: luteolin 7-O-glucuronide, kaempferol 3-O-glucoside, kaempferol 3-O-glucuronide, quercetin 3-O-galactoside, quercetin 3-O-glucuronide, and isorhamnetin 3-O-glucuronide (Saredechai και Zidorn, 2009)

1.7 Η επίδραση των νιτρικών στην ανθρώπινη υγεία

Οι παράγοντες που είναι υπεύθυνοι για τη συσσώρευση νιτρικών αλάτων στα φυτά είναι κυρίως θρεπτικοί, περιβαλλοντικοί και φυσιολογικοί. Η προσθήκη αζωτούχας λίπανσης και η ένταση του φωτός αποτελούν τους κύριους παράγοντες που επηρεάζουν την περιεκτικότητα σε νιτρικά τα λαχανικά (Cantliffe, 1973). Οι ημερήσιες αλλαγές στην ένταση του φωτός οδηγούν σε ένα ημερήσιο πρότυπο

συσσώρευσης νιτρικών αλάτων στα φυτά. Πολλά θρεπτικά στοιχεία, όπως το χλώριο, το ασβέστιο, το κάλιο, τα θειικά άλατα και ο φώσφορος, εμπλέκονται στη διαδικασία συσσώρευσης νιτρικών αλάτων στα φυτά. Η περιεκτικότητα σε νιτρικά ποικίλλει μεταξύ των ιστών ενός φυτού (Anjana *et al.*, 2006) και διαφοροποιείται ανάλογα με τη φυσιολογική ηλικία του φυτού (Anjana *et al.*, 2006), τους περιβαλλοντικούς παράγοντες, (όπως η εποχή, το φως, η θερμοκρασία), τη ποσότητα των λιπασμάτων που χρησιμοποιούνται και τον τρόπο αποθήκευσης του συγκομιζόμενου προϊόντος (Dich *et al.*, 1996).

Η μειωμένη περιεκτικότητα σε νιτρικά είναι ικανή να αυξήσει την αξία του λαχανικού, ειδικά σε προϊόντα που είναι ήδη πολύ δημοφιλή για τη διατροφική και θεραπευτική τους αξία όπως το σταμναγκάθι. Στην Ευρώπη και ειδικότερα στις πιο βόρειες χώρες, υπάρχει μια αυξητική τάση στις συγκεντρώσεις των νιτρικών στα λαχανικά κατά τη διάρκεια του χειμώνα, ως αποτέλεσμα της χαμηλότερης έντασης και της μικρότερης διάρκειας φωτός (EFSA, 2008). Όπως όλα δείχνουν, η Ελλάδα, με βάση τις κλιματικές συνθήκες που επικρατούν, προσφέρεται για την ανάπτυξη φυλλωδών λαχανικών, με χαμηλά επίπεδα νιτρικών. Ως εκ τούτου, παραμένει επιτακτική ανάγκη η υιοθέτηση κατάλληλων στρατηγικών προκειμένου να περιοριστεί η συσσώρευση νιτρικών στα λαχανικά αλλά και να μειωθεί η πιθανή υποβάθμιση του εδάφους και των υδάτινων πόρων.

Το άζωτο (N) είναι ένα θρεπτικό στοιχείο απαραίτητο για όλους τους ζωντανούς οργανισμούς. Το μεγαλύτερο μέρος του αζώτου που υπάρχει στην βιόσφαιρα, βρίσκεται σε στοιχειακή μορφή, η οποία είναι χημικώς αδρανής και μη αφομοιώσιμη από τα φυτά. Τα φυτά έχουν αναπτύξει μηχανισμούς πρόσληψης του αζώτου από το έδαφος μέσω του ριζικού τους σύστημα. Το άζωτο καθίσταται αφομοιώσιμο από τα φυτά με τη μορφή ανόργανων ιόντων NO_3^- και NH_4^+ , που είναι διαλυμένα στο εδαφικό νερό. Έτσι, είναι ικανά να συνθέτουν όλα τα απαραίτητα συστατικά των κυττάρων τους χρησιμοποιώντας αυτά τα ανόργανα συστατικά, μπορούν να αξιοποιήσουν το ανόργανο άζωτο (NO_3^- , NH_4^+) που προσλαμβάνουν μέσω των ριζών για τη βιοσύνθεση όλων των αμινοξέων, πρωτεϊνών, νουκλεϊκών οξέων, συνενζύμων και λοιπών αζωτούχων συστατικών που τους είναι αναγκαία για να επιβιώσουν και να αναπτυχθούν (Öztürk *et al.*, 2013).

Η υψηλότερη συσσώρευση νιτρικών λαμβάνει χώρα στα φύλλα και τους μαλακούς βλαστούς, δηλαδή στο βρώσιμο μέρος στη περίπτωση του σταμναγκαθιού. Η αύξηση όμως της διαθεσιμότητας νιτρικών στο περιβάλλον των ριζών οδηγεί σε

αυξημένη απορρόφηση NO_3 . Από ένα σημείο και μετά όμως, το μεγαλύτερο μέρος του επιπλέον χορηγούμενου νιτρικού λιπάσματος δε μεταβολίζεται σε οργανικό άζωτο μέσα στα φυτικά κύτταρα αλλά συσσωρεύεται στα χυμοτόπια με συνέπεια το φυτό να παρουσιάζει αυξημένη περιεκτικότητα σε NO_3 (Blom-Zandstra, 1989).

Η αυξημένη αυτή συσσώρευση έχει αποδειχθεί ότι εγκυμονεί κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία. Η τοξικότητα που προκαλείται από τα νιτρικά, οφείλεται στη μετατροπή τους σε νιτρώδη σε νιτροζαμίνες και νιτροζαμίδες, των οποίων η καρκινογενετική δράση είναι γνωστή, σύμφωνα με τους Anjana, και Muhammad (2006). Ανεξάρτητα από τους κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία, οι διάφορες μορφές του αζώτου με τις οποίες αυτό χορηγείται στα φυτά, μπορούν να επηρεάσουν ποιοτικά χαρακτηριστικά αυτών. Σε σχετικές έρευνες, αναφέρεται ότι η αναλογία νιτρικών: αμμωνιακού αζώτου μπορεί να επηρεάσει την περιεκτικότητα σε ωμέγα-3 λιπαρά οξέα αλλά και τα λιπαρά οξέα (ειδικά το α-λινολενικό οξύ) στο σύνολό τους, σε φυλλικούς ιστούς (Fontana *et al.*, 2006; Szalai *et al.*, 2010; Palaniswamy *et al.* (2004).

Τα ίδια τα νιτρικά ιόντα δεν έχουν καμία τοξική επίδραση στον ανθρώπινο οργανισμό. Τα νιτρικά όμως μέσα στο πεπτικό σύστημα μπορούν να μετατραπούν σε νιτρώδη τα οποία είναι γνωστό ότι οξειδώνουν την αιμογλοβίνη μετατρέποντάς την σε μεθαιμογλοβίνη (Hord *et al.*, 2009). Προκαλείται οξείδωση στο δισθενή σίδηρο (Fe^{2+}) στο μόριο της αιμογλοβίνης, σε τρισθενή σίδηρο (Fe^{3+}), με συνέπεια τη παραγωγή μεθαιμογλοβίνης (Anjana και Muhammad, 2006). Η μεθαιμογλοβίνη δεν επιτρέπει τη μεταφορά του οξυγόνου από τους πνεύμονες στους διάφορους ιστούς του ανθρώπινου σώματος με αποτέλεσμα την πρόκληση ασφυξίας, όπως στη περίπτωση των αναθυμιάσεων μονοξειδίου του άνθρακα. Η ασθένεια αυτή είναι γνωστή με τον όρο «μεθαιμογλοβιναιμία». Σε έναν ενήλικα οι ποσότητες νιτρικών που προσλαμβάνονται μέσω της ανθρώπινης τροφής δεν είναι αρκετές για να προκαλέσουν τέτοια φαινόμενα στην πράξη. Στα βρέφη όμως η εμφάνιση ασφυξίας λόγω υπερβολικής κατανάλωσης νιτρικών είναι πιθανή.

Η δηλητηρίαση των βρεφών με νιτρώδη προκαλεί ένα σύμπλεγμα συμπτωμάτων το οποίο είναι γνωστό με τον όρο "κυάνωση" (Gupta *et al.*, 2000). Στις πρώτες εβδομάδες της ζωής τους, την περίοδο που δεν έχει συντεθεί γαστρικό οξύ στο στομάχι τους, το οποίο δρα ως αντιβακτηριακός παράγοντας, το έντερο του βρέφους αποικίζεται από βακτήρια σε όλο το μήκος του, έτσι τα νιτρικά στην τροφή μετατρέπονται εύκολα σε νιτρώδη στο στομάχι και το λεπτό έντερο, υπό τη δράση

της βακτηριακής αναγωγής των νιτρικών. Στη συνέχεια τα νιτρώδη απορροφώνται και αντιδρούν με την αιμογλοβίνη μετατρέποντάς την σε μεθαιμογλοβίνη. Η τελευταία μειώνει σημαντικά την συγκέντρωση του οξυγόνου στο αίμα και τελικά προκαλείται κυάνωση (Hill, 1999).

Ανάλογα με το ύψος της συγκέντρωσης της μεθαιμογλοβίνης, μπορεί να εμφανιστούν συμπτώματα κυάνωσης, καρδιακές δυσλειτουργίες, ενώ μπορεί να επηρεαστεί και το κεντρικό νευρικό σύστημα (τα συμπτώματα στο ΚΝΣ κυμαίνονται από ήπια ζάλη και λήθαργο έως κώμα και σπασμούς). Από τα συνολικά νιτρικά που προσλαμβάνεται από τη διατροφή, το 25% απορροφάται από τους σιελογόνους αδένες (Anjana και Muhammad, 2006). Στη σίελο, τα βακτήρια που αποτελούν τη μικροχλωρίδα της γλώσσας, μετατρέπουν το 10 έως 90% αυτών των νιτρικών σε νιτρώδη. Κατά την κατάποση, όταν το σάλιο συναντά το όξινο γαστρικό υγρό, μετατρέπεται σε N_2O_3 και NO_2SCN . Με την περαιτέρω αντίδραση με το ασκορβικό οξύ στον γαστρικό χυμό μετατρέπεται σε νιτρικό οξειδίο (NO), το οποίο είναι δυνητικά μεταλλαξιογόνο και καρκινογόνο (Iijima *et al.*, 2003). Η υπερβολική τοπική παραγωγή νιτρικού οξειδίου οδηγεί σε λειτουργικές ανωμαλίες που σχετίζονται με παθήσεις γαστροοισοφαγικής παλινδρόμησης.

Μια άλλη ανησυχία αφορά στην πρόκληση καρκίνου στον άνθρωπο ως αποτέλεσμα της βακτηριακής παραγωγής νιτροζο-ενώσεων στο αποικισμένο υπογλωσσικό στομάχι. Οι νιτροζο-ενώσεις έχουν αποδειχθεί καρκινογόνες σε περισσότερα από 40 είδη ζώων, συμπεριλαμβανομένων θηλαστικών, πτηνών, ερπετών και ψαριών (Hill, 1999) και στον άνθρωπο. Οι ενδογενώς σχηματισμένες ελεύθερες ρίζες αζώτου και οξυγόνου πιστεύεται ότι είναι άμεσα εμπλεκόμενες στην εμφάνιση καρκίνου στον άνθρωπο (Szaleczky *et al.*, 2000). Σύμφωνα με τους Anjana και Muhammad (2006), η υψηλή πρόσληψη νιτρικών μέσω της διατροφής, ενέχει αυξημένες πιθανότητες προς εκδήλωση καρκίνου της ουροδόχου κύστης, του οισοφάγου, του ρινοφάρυγγα και του προστάτη. Επιπλέον προβλήματα υγείας που πιθανολογείται ότι συνδέονται με την πρόσληψη νιτρικών αποτελούν: ο καρκίνος του στόματος, ο καρκίνος του παχέος εντέρου, του ορθού ή άλλων γαστρεντερικών περιοχών, η ασθένεια Alzheimer, η αγγειακή άνοια τύπου Biswanger ή τύπου πολλαπλού μικρού εμφράγματος, πολλαπλή σκλήρυνση, αποβολές κατά τη κύηση και καρδιαγγειακές διαταραχές (Anjana *et al.*, 2016).

1.8 Χλωροφύλλες

Τα κύτταρα του μεσόφυλλου είναι ο πιο ενεργός φωτοσυνθετικός ιστός των φυτών, καθώς φέρουν πλήθος χλωροπλαστών, οι οποίοι περιέχουν χλωροφύλλες. Η φωτοσύνθεση λαμβάνει χώρα στους χλωροπλάστες των φύλλων και αποτελείται από 2 διαδικασίες. Κατά τη πρώτη διαδικασία, γίνεται απορρόφηση του ηλιακού φωτός, δηλαδή, χλωροφύλλη απορροφά φωτοσυνθετικά ενεργή ακτινοβολία (PAR) από την ηλιακή ακτινοβολία και κατά τη δεύτερη διαδικασία, γίνεται δέσμευση του άνθρακα, για τη παραγωγή σακχάρων (Xiao, 2006). Υπάρχουν περισσότερα του ενός είδη χλωροφυλλών, που διαφέρουν μεταξύ τους μόνο σε λεπτομέρειες της μοριακής τους δομής. Οι χλωροφύλλες που υπάρχουν σε φωτοσυνθετικούς οργανισμούς είναι a,b,c,d, η βακτηριοχλωροφύλλη και αρκετά άλλα παράγωγά τους. Οι χλωροφύλλες α και β είναι οι μόνες χλωροφύλλες που απαντώνται στα φυτά (Taiz και Zeiger,2013).

Το μόριο της χλωροφύλλης είναι παράγωγα της πορφυρίνης και φυτόλης. Η πορφυρίνη αποτελείται από έναν τετραπυρρολικό δακτύλιο, όπου τα άτομα αζώτου των πυρρολικών δακτυλίων των χλωροφυλλών συνδέονται με ένα άτομο Mg. Ένας πενταγωνικός δακτύλιος συνδέεται με τους τέσσερις πυρρολικούς δακτυλίους, ο οποίος ονομάζεται κυκλοπεντανόνη. Επίσης, ένα μόριο προπιονικού οξέος είναι στερεοποιημένο με ένα μόριο φυτόλης. Το πορφυρινικό μέρος είναι υδρόφιλο και αλληλεπιδρά με τις πρωτεΐνες Η φυτόλη είναι υδρόφοβη αλκοόλη με 20 άτομα C και καθιστά το μόριο της χλωροφύλλης αδιάλυτο στο νερό. Με τη βύθισή της στη λιπιδιακή διπλοστοιβάδα των θυλακοειδών, βοηθά στη σταθεροποίηση του μορίου εντός αυτών (Γαλάτης, 2003).

Οι χλωροφύλλες των ανώτερων φυτών, αποτελούνται από τη χλωροφύλλη α ως τη κύρια χρωστική ουσία και τη χλωροφύλλη b ως βοηθητική χρωστική. Και οι δύο χλωροφύλλες αποτελούν συστατικά των φωτοσυνθετικών μεμβρανών και εμφανίζονται σε αναλογία (a / b) περίπου 3 προς 1. Οι συνθήκες ανάπτυξης και διάφοροι περιβαλλοντικοί παράγοντες μπορούν να τροποποιήσουν αυτόν τον λόγο a / b (Lichtenthaler, 1987).

Ωστόσο, η συγκέντρωση της συνολικής χλωροφύλλης μεταβάλλεται ανάλογα με το φαινολογικό στάδιο του φυτού και την ηλικία του φύλλου. Η περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη μπορεί να επηρεαστεί και από τη θρεπτική κατάσταση του φυτού. Συγκεκριμένα, η επαρκής αζωτούχος λίπανση των φυτών αυξάνει τη περιεκτικότητά τους σε χλωροφύλλη (Mitchell *et al.*,1991).

Τα φάσματα απορρόφησης τους παρουσιάζουν δύο μέγιστα, εκ των οποίων ένα είναι στο κυανό (στα 430nm για τη χλωροφύλλη α και στα 455nm για τη χλωροφύλλη β) και ένα στο ερυθρό (663 nm για την χλωροφύλλη α και 645 για τη χλωροφύλλη β).

Σε έρευνα που διεξήχθη από τους Vogel και τους συνεργάτες του το 2005, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι τα πράσινα λαχανικά μπορεί να μειώσουν τον κίνδυνο καρκίνου του παχέος εντέρου επειδή η χλωροφύλλη προλαμβάνει τις επιβλαβείς, κυτταροτοξικές και υπερπολλαπλασιαστικές παθήσεις του παχέος εντέρου. Έτσι γίνεται ευκόλως αντιληπτή η συμβολή και η σημασία της στα ποιοτικά χαρακτηριστικά των φυλλωδών λαχανικών όπως είναι το σταμναγκάθι.

1.9 Καροτενοειδή

Μέχρι σήμερα έχουν βρεθεί περισσότερα από 600 καροτενοειδή, με το β-καροτένιο το πιο διαδεδομένο (Olson and Krinsky, 1995). Αποτελούν υδρόφοβες, λιποδιαλυτές, φωτοσυνθετικές χρωστικές, που απαντώνται σε όλους τους φωτοσυνθετικούς οργανισμούς. Εντοπίζονται κυρίως στους χλωροπλάστες, όπου λόγω του λιπόφιλου χαρακτήρα τους, βυθίζονται στις μεμβράνες των θυλακοειδών και συνδέονται στενά με αρκετές πρωτεΐνες σε αυτούς (Taiz και Zeiger, 2013). Τα καροτενοειδή είναι επίσης οι κύριες χρωστικές των χρωμοπλαστών. Απορροφούν ακτινοβολία στην περιοχή του κυανού (400-500nm) και δεν απορροφούν καθόλου στο ερυθρό, για το λόγο αυτό άλλωστε εμφανίζουν χρώματα όπως είναι το κίτρινο, το πορτοκαλί και το κόκκινο, το καθένα ανάλογα με τη μοριακή του δομή (Stahl και Sies, 2003). Το χρώμα τους στα φύλλα επικαλύπτεται από τις πολύ άφθονες χλωροφύλλες, όμως εμφανίζονται το φθινόπωρο, όταν αυτές αποδιοργανώνονται (Γαλάτης κ.α., 2003). Κατά τη φωτοσύνθεση, η φωτεινή ενέργεια που απορροφούν τα καροτενοειδή μεταφέρεται στη χλωροφύλλη, για τον λόγο αυτόν συμπεριλαμβάνονται στις βοηθητικές χρωστικές. Επιπρόσθετα, φαίνεται να έχουν προστατευτικό ρόλο, καθώς έχουν τη δυνατότητα να προστατεύουν το φυτό από βλάβες που προκαλούνται σε συνθήκες υψηλής ηλιακής ακτινοβολίας (Taiz και Zeiger, 2013).

Είναι υδρογονάνθρακες μοριακού τύπου $C_{40}H_{56}$ (Τετρατερπένια). Διακρίνονται σε καροτένια (α και β καροτένιο, λυκοπένιο), τα οποία είναι καθαρά

τερπενοειδή, και τις ξανθοφύλλες (λουτεΐνη, βιολαξανθίνη, ζεαξανθίνη, ανθεραξανθίνη, νεοξανθίνη), οι οποίες είναι υδροξυλιωμένες-εποξειδωμένες μορφές τερπενοειδών (Γαλάτης κ.α., 2003). Σύμφωνα με τον Lichtenthaler (1987 ως κύρια συστατικά των φωτοσυνθετικά ενεργών θυλακοειδών των χλωροπλαστών των ανώτερων φυτών, απαντώνται: το β-καροτένιο, η λουτεΐνη, η βιλαξανθίνη και η νεοξανθίνη. Τα καροτενοειδή που βρίσκονται στους πράσινους φωτοσυνθετικά ενεργούς φυτικούς ιστούς, τα οποία συμβάλουν στην ομαλή φωτοσυνθετική λειτουργία, ταξινομούνται ως πρωτογενή καροτενοειδή, ενώ εκείνα που βρίσκονται στα κόκκινα φρούτα και στα άνθη, χαρακτηρίζονται ως δευτερογενή καροτενοειδή (Lichtenthaler, 1987).

Ανάλογα με τις συνθήκες ανάπτυξης και τις περιβαλλοντικές καταπονήσεις που υφίσταται το φυτό, η αναλογία των καροτενοειδών (% κατά βάρος) μπορεί να κυμαίνεται για κάθε καροτενοειδές: για το β-καροτένιο 25-40%, για τη λουτεΐνη, 40-57%, για τη βιλαξανθίνη, 9-20% και για τη νεοξανθίνη, 5-13%.

Στον άνθρωπο, η έκθεση στο φως οδηγεί στο σχηματισμό δραστικών μορφών οξυγόνου που είναι επιβλαβείς για τα βιομόρια και επηρεάζουν την ακεραιότητα και τη σταθερότητα των κυτταρικών δομών και των ιστών (Stahl και Sies, 2001).

Σύμφωνα με τους Rao A. και Rao L. το 2007, επιπλέον μια ευεργετική ιδιότητα που χαρακτηρίζει τα καροτενοειδή όπως το α- και β-καροτένιο και τη β-κρυπτοξανθίνη καθώς φαίνεται ότι μπορούν να μετατραπούν σε βιταμίνη A, η οποία σχετίζεται με τη πρόληψη ασθενειών. Η ομάδα A βιταμινών είναι σημαντικοί μεταβολίτες των καροτενοειδών. Η βιταμίνη A1 (ρετινόλη) έχει διτερπενική δομή αλλά παράγεται σε θηλαστικά με οξειδωτικό μεταβολισμό τετρατερπενοειδούς, κυρίως του β-καροτένιου, που λαμβάνεται από την διατροφή. Η διάσπαση λαμβάνει χώρα στα κύτταρα του εντέρου και καταλύεται από μια εξαρτώμενη από O₂-διοξυγενάση, πιθανώς μέσω ενός ενδιάμεσου υπεροξειδίου. Η βιταμίνη A2 (δεϋδρορετινόλη) είναι ένα ανάλογο της ρετινόλης που περιέχει ένα σύστημα δακτυλίων κυκλοεξαδιενίου. Η ρετινόλη και τα παράγωγά της βρίσκονται μόνο σε ζωικά προϊόντα και παρέχουν προστασία από οξειδωτικές βλάβες (Tariero *et al.*, 2004).

Τα καροτενοειδή έχουν απασχολήσει και συνεχίζουν να απασχολούν την επιστημονική κοινότητα, επειδή πολλές επιδημιολογικές μελέτες έχουν αποδείξει ότι η αυξημένη κατανάλωση προϊόντων πλούσιων σε καροτενοειδή συσχετίζεται με μειωμένο κίνδυνο εμφάνισης πολλών εκφυλιστικών διαταραχών,

συμπεριλαμβανομένων διαφόρων τύπων καρκίνου, διαβήτη, οστεοπόρωση καρδιαγγειακών ή οφθαλμολογικών ασθενειών (Mayne, 1996; Rao και Rao, 2007). Τα οφέλη αυτά στην ανθρώπινη υγεία σχετίζεται με την αντιοξειδωτική τους δράση, δεσμεύουν τις ελεύθερες ρίζες οξυγόνου και προστατεύουν τα κύτταρα και τους ιστούς από οξειδωτικές βλάβες (Stahl και Sies, 2003; Tapiero *et al.*,2004). Έτσι, όλα δείχνουν πως λαχανοκομικά προϊόντα που η περιεκτικότητά τους σε καροτενοειδή είναι υψηλή, θα πρέπει αποτελούν επιτακτική ανάγκη ένταξης στο καθημερινό διαιτολόγιο

2 Σκοπός της μεταπτυχιακής μελέτης

Τα τελευταία χρόνια το σταμναγκάθι παρουσιάζει μια αυξητική τάση στη καταναλωτική ζήτηση, καθώς φαίνεται να αυξάνεται ο αριθμός των καταναλωτών που το εντάσσουν στο διαιτολόγιό τους. Εκτός από τις ελληνικές περιοχές στις οποίες είναι διαδεδομένο ως παραδοσιακό έδεσμα, φαίνεται αρκετά διαδεδομένο σε περιοχές της μεσογειακής λεκάνης ενώ παρουσιάζει ενδιαφέρον ένταξής του στις κουζίνες άλλων ευρωπαϊκών χωρών. Αποτελεί ένα λαχανευόμενο είδος με ιδιαίτερα ποιοτική αξία που σε συνδυασμό με τη τάση της αγοράς προς κατανάλωση τροφών υψηλών θρεπτικών προδιαγραφών, προβλέπεται η διαρκής αύξηση της ζήτησής του.

Μολονότι υπάρχουν βιβλιογραφικές αναφορές που διασαφηνίζουν την ποιοτική αξία του συγκεκριμένου προϊόντος, ελάχιστες είναι αυτές που αναφέρονται στις καλλιεργητικές τεχνικές που απαιτούνται για την παραγωγή του. Έτσι, στη παρούσα μεταπτυχιακή μελέτη, αξιολογήθηκε η ικανότητα ανάπτυξης του φυτού *Chichorium spinosum* σε 2 διαφορετικά συστήματα καλλιέργειας. Τα συστήματα αυτά αφορούσαν τη καλλιέργεια του φυτού στο έδαφος και σε υδροπονικό σύστημα επίπλευσης. Μάλιστα στο σύστημα επίπλευσης εξετάστηκαν η καλλιεργητική συμπεριφορά και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του φυτού μεταξύ συνθήκων κανονικής και μειωμένης θρέψης. Επιπρόσθετα, το σταμναγκάθι όντας φυτό που παρουσιάζει εμπορικό ενδιαφέρον για το φύλλωμα του, εξετάστηκε η ασφάλειά του για κατανάλωση ως προς τη συγκέντρωση των νιτρικών στους φυλλικούς ιστούς στα συστήματα στα οποία καλλιεργήθηκε στα πλαίσια του πειράματος.

3 Υλικά και Μέθοδοι

3.1 Φυτικό υλικό

Για τις ανάγκες του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν σπορόφυτα σταμναγκαθιού, ηλικίας 1 μήνα.



Εικόνα 6 Τα σπορόφυτα σταμναγκαθιού που χρησιμοποιήθηκαν για το πείραμα

3.2 Τόπος και Χρόνος εγκατάστασης του πειράματος

Η εγκατάσταση και η ανάπτυξη φυτών σταμναγκαθιού, πραγματοποιήθηκε στο Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών κατά το χρονικό διάστημα 22/3/2019 έως 16/4/2019. Συγκεκριμένα, το πείραμα πραγματοποιήθηκε στο υαλόφρακτο αμφικλινές θερμαινόμενο θερμοκήπιο και στον αγρό του εργαστηρίου Κηπευτικών Καλλιεργειών, το οποίο βρίσκεται σε υψόμετρο 38m από την επιφάνεια της θάλασσας και με γεωγραφικές συντεταγμένες (Γ.Π.=37,58° /Γ.Μ.=23,42°).

3.3 Εγκατάσταση πειράματος

3.3.1 Στο θερμοκήπιο

Για την εγκατάσταση του πειράματος στο θερμοκήπιο, χρησιμοποιήθηκαν 8 μεταλλικές λεκάνες με διαστάσεις 1,2 m x 0.6 m x 0.4 m , οι οποίες παρασκευάστηκαν κατόπιν ειδικής παραγγελίας από την εταιρία IntelAgro, για την επιτέλεση πειραματικών εργασιών. Σε κάθε λεκάνη τοποθετήθηκαν 180 L θρεπτικού διαλύματος πάνω στο οποίο επέπλεαν τα φυτά με τη χρήση πλάκας διογκωμένη πολυστερίνη (φελιζόλ). Κάθε λεκάνη συνοδευόταν από μια δεξαμενή αναπλήρωσης θρεπτικού διαλύματος διαφορετικής σύστασης (χωρητικότητας 50 L). Η συμπλήρωση του θρεπτικού διαλύματος από την δεξαμενή στη λεκάνη ανάπτυξης ελεγχόταν μηχανικά με τη χρήση floater. Η παροχή οξυγόνου στα αναπτυσσόμενα φυτά στο σύστημα αυτό γινόταν με τη χρήση αεραντλίας. Τη μεταφορά του οξυγόνου στο

συνολικό όγκο του θρεπτικού διαλύματος που βρισκόταν στη λεκάνη αναλάμβανε μια υδραντλία που ήταν προσκολλημένη στον πυθμένα πίσω από την αερόπετρα.



Εικόνα 7 Η λεκάνη εγκατάστασης του πειράματος (αριστερά). Εγκατάσταση των σπορόφυτων εντός των γλαστριδίων (δεξιά)

Το πείραμα στο θερμοκήπιο περιλάμβανε 2 διαφορετικές εφαρμογές που αφορούσαν στην σύσταση του θρεπτικού διαλύματος μέσα στο οποίο τα φυτά αναπτύσσονταν. Η πρώτη εφαρμογή αφορούσε την ανάπτυξη των φυτών σε θρεπτικό διάλυμα κανονικής σύστασης (STANDARD) και η δεύτερη σε θρεπτικό διάλυμα μειωμένης σύστασης (LOW). Για κάθε εφαρμογή χρησιμοποιήθηκαν 4 διαφορετικές λεκάνες. Επίσης, για κάθε εφαρμογή η σύσταση του διαλύματος αναπλήρωσης ήταν διαφορετική. Συνολικά σε κάθε λεκάνη εγκαταστάθηκαν 32 φυτά σε αποστάσεις 15cm x 15cm μεταξύ τους. Σε κάθε πλάκα πολυστερίνης ανοίχτηκαν οπές στις κατάλληλες θέσεις στις οποίες τοποθετήθηκαν διάτρητα γλαστρίδια με τα φυτά. Στα γλαστρίδια (net pot) διαμέτρου 55mm, τοποθετήθηκαν τα φυτά γυμνόριζα ενώ το ριζικό τους σύστημα καλύφθηκε με διογκωμένη άργιλο.

Κατά τη διάρκεια του πειράματος, γίνονταν τακτικές μετρήσεις της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και του pH των θρεπτικών διαλυμάτων στις λεκάνες (ανά 2 ημέρες), αξιολόγηση της ομαλής ανάπτυξης των φυτών και διαρκής έλεγχος της λειτουργικότητας του εξοπλισμού.

Πίνακας 1 Σύσταση θρεπτικού διαλύματος λεκάνης κανονικής σύστασης

Συγκεντρώσεις μακρο- και μικρο- θρεπτικών στοιχείων στο θρεπτικό διάλυμα STANDARD		
EC	2,45	
pH	5,6	
Ca ²⁺	5	mmol/l
Mg ²⁺	2	mmol/l
K ⁺	7	mmol/l
NH ₄ ⁺	1	mmol/l
Na ⁺	0,6	mmol/l
SO ₄ ²⁻	4,65	mmol/l
NO ₃ ⁻	11	mmol/l
H ₂ PO ₄ ⁻	1,5	mmol/l
HCO ₃ ⁻	0,4	mmol/l
Cl ⁻	0,4	mmol/l
Fe	20	μmol/l
Mn ⁺⁺	8	μmol/l
Zn ⁺⁺	6	μmol/l
Cu ⁺⁺	1	μmol/l
B	30	μmol/l
Mo	0,5	μmol/l

Πίνακας 2 Σύσταση θρεπτικού διαλύματος λεκάνης μειωμένης σύστασης

Συγκεντρώσεις μακρο- και μικρο- θρεπτικών στοιχείων στο θρεπτικό διάλυμα LOW		
EC	1,33	
pH	5,6	
Ca ²⁺	2,5	mmol/l
Mg ²⁺	1	mmol/l
K ⁺	3,5	mmol/l
NH ₄ ⁺	0,5	mmol/l
Na ⁺	0,6	mmol/l
SO ₄ ²⁻	2,27	mmol/l
NO ₃ ⁻	5,5	mmol/l
H ₂ PO ₄ ⁻	0,75	mmol/l
HCO ₃ ⁻	0,4	mmol/l
Cl ⁻	0,4	mmol/l
Fe	20	μmol/l
Mn ⁺⁺	8	μmol/l
Zn ⁺⁺	6	μmol/l
Cu ⁺⁺	1	μmol/l
B	30	μmol/l
Mo	0,5	μmol/l

Πίνακας 3 Σύσταση θρεπτικού διαλύματος δεξαμενής αναπλήρωσης σε λεκάνη με θρεπτικό διάλυμα κανονικής σύστασης

Συγκεντρώσεις μακρο- και μικρο- θρεπτικών στοιχείων στο θρεπτικό διάλυμα δεξαμενής αναπλήρωσης σε λεκάνη με θρεπτικό διάλυμα STANDARD σύστασης		
EC	2,47	
pH	5,6	
Ca ²⁺	5	mmol/l
Mg ²⁺	2	mmol/l
K ⁺	7	mmol/l
NH ₄ ⁺	1,2	mmol/l
Na ⁺	0,6	mmol/l
SO ₄ ²⁻	4,85	mmol/l
NO ₃ ⁻	10,8	mmol/l
H ₂ PO ₄ ⁻	1,5	mmol/l
HCO ₃ ⁻	0,4	mmol/l
Cl ⁻	0,4	mmol/l
Fe	20	μmol/l
Mn ⁺⁺	8	μmol/l
Zn ⁺⁺	6	μmol/l
Cu ⁺⁺	1	μmol/l
B	30	μmol/l
Mo	0,5	μmol/l

Πίνακας 4 Σύσταση θρεπτικού διαλύματος δεξαμενής αναπλήρωσης σε λεκάνη με θρεπτικό διάλυμα μειωμένης σύστασης

Συγκεντρώσεις μακρο- και μικρο- θρεπτικών στοιχείων στο θρεπτικό διάλυμα δεξαμενής αναπλήρωσης σε λεκάνη με θρεπτικό διάλυμα LOW σύστασης		
EC	1,4	
pH	5,6	
Ca ²⁺	2,5	mmol/l
Mg ²⁺	1	mmol/l
K ⁺	3,5	mmol/l
NH ₄ ⁺	1,2	mmol/l
Na ⁺	0,6	mmol/l
SO ₄ ²⁻	2,97	mmol/l
NO ₃ ⁻	4,8	mmol/l
H ₂ PO ₄ ⁻	0,75	mmol/l
HCO ₃ ⁻	0,4	mmol/l

Cl ⁻		0,4	mmol/l
Fe		20	μmol/l
Mn ⁺⁺		8	μmol/l
Zn ⁺⁺		6	μmol/l
Cu ⁺⁺		1	μmol/l
B		30	μmol/l
Mo		0,5	μmol/l



Εικόνα 8 Η εγκατάσταση των φυτών στο σύστημα επίπλευσης

3.3.2 Στον αγρό

Για την εγκατάσταση των φυτών στον αγρό, αρχικά έγινε μηχανική καταστροφή των ζιζανίων, εφαρμόστηκε βασική λίπανση και εγκαταστάθηκε σύστημα αυτόματου ποτίσματος. Για την διεξαγωγή του πειράματος χρειάστηκε να χαραχτούν πειραματικά τεμάχια με συγκεκριμένες διαστάσεις. Όσον αφορά στη αρχική λίπανση, σε κάθε τεμάχιο εφαρμόστηκε 1,5 kg βιολογικού λιπάσματος (πρόβεια κοπριά), 300 g ανόργανου λιπάσματος 11:15:15 και 100 g θειικού καλίου και θειικού μαγνησίου (PATENT KALI 30 %). Την μέρα που εγκαταστάθηκαν τα φυτά στο σύστημα επίπλευσης, έγινε και η εγκατάσταση των φυτών στον αγρό. Κάθε τεμάχιο είχε διαστάσεις 1,5 m x 0.75 m και οι αποστάσεις φύτευσης ήταν 15 cm μεταξύ των φυτών μιας γραμμής και 15 cm επί της γραμμής (4 γραμμές και 4

στήλες). Κάθε τεμάχιο περιείχε 50 φυτά. Η μεταφύτευση των σποροφύτων έγινε με τη μπάλα χώματος. Ύστερα από τη μεταφύτευση ακολούθησε πότισμα.



Εικόνα 9 Η εγκατάσταση των φυτών στον αγρό

3.4 Διαδικασία Πειράματος

Κατά τη διάρκεια του πειράματος στο θερμοκήπιο, λαμβάνονταν ανά δεύτερη μέρα μετρήσεις του pH, των επιπέδων αγωγιμότητας (EC), της στάθμης του θρεπτικού διαλύματος, εξεταζόταν η ομαλότητα της ανάπτυξης των φυτών με βάση την οπτική εικόνα που παρουσίαζαν ενώ γινόταν διαρκής έλεγχος της λειτουργικότητας του εξοπλισμού. Κατά τη διάρκεια του πειράματος έγιναν 3 δειγματοληψίες από το θρεπτικό διάλυμα στις λεκάνες με σκοπό την ποσοτικοποίηση κάποιων μακρο- και μικρο-θρεπτικών στοιχείων. Η πρώτη δειγματοληψία έγινε την πρώτη μέρα της εγκατάστασης του πειράματος (στις 22/3/2019), η δεύτερη έγινε 18 μέρες μετά την εγκατάσταση (στις 9/4/2019) και η τρίτη κατά το τέλος του πειράματος δηλαδή 25 μέρες μετά την εγκατάσταση του πειράματος (στις 16/4/2019).

Στον αγρό, τα φυτά ποτίζονταν καθημερινά 2 φορές την ημέρα. Το πρώτο πότισμα γινόταν για 4 λεπτά στις 8:00 το πρωί και το δεύτερο στις 17:00 το απόγευμα. Η παροχή νερού στα φυτά ήταν 4 L/ώρα. Τα φυτά εξετάζονταν καθημερινά για παρουσία τυχόν βιοτικών ή αβιοτικών καταπονήσεων. Ύστερα από 18 μέρες από τη μεταφύτευσή τους, εφαρμόστηκε υδρολίπανση για 10 λεπτά με τη

χρήση του πρώτου θρεπτικού διαλύματος (θρεπτικό διάλυμα λεκάνης κανονικής σύστασης).

3.5 Περιγραφή πειραματικής διαδικασίας

3.5.1 Κατά την έναρξη του πειράματος

Από την παρτίδα των σπορόφυτων που χρησιμοποιήθηκαν στο πείραμα, επιλέχθηκαν τυχαία 240 φυτάρια, χωρίστηκαν σε 4 ομάδες των 60 φυταρίων. Τα φυτάρια κάθε ομάδας διαχωρίστηκαν ως προς το υπέργειο και το ριζικό μέρος τους και ζυγίστηκαν όσο αυτά ήταν νωπά. Ύστερα, τα φυτάρια τοποθετήθηκαν στο ξηραντήριο στους 80 °C για 4 μέρες με σκοπό τη πλήρη αποξήρανσή τους. Εφόσον ολοκληρώθηκε η διαδικασία της ξήρανσης, πραγματοποιήθηκε ζύγιση του ξηρού βάρους των δειγμάτων

3.5.2 Κατά το πέρας του πειράματος

Η συγκομιδή έγινε όταν τα φυτά στο θερμοκήπιο έφτασαν στο εμπορεύσιμο στάδιο. Αποκόπηκαν όλα τα φυτά και στο θερμοκήπιο και στον αγρό, ζυγίστηκαν και οι τιμές που προέκυψαν αφορούσαν τη συνολική παραγωγή. Από τα φυτά που αναπτύχθηκαν στο θερμοκήπιο, επιλέχθηκαν τυχαία 4 φυτά από κάθε λεκάνη ενώ στον αγρό επιλέχθηκαν 9 φυτά από κάθε τεμάχιο. Για κάθε εφαρμογή προέκυψε μια



Εικόνα 10 Τα φυτά κατά το στάδιο συγκομιδής (σύστημα επίπλευσης)

επιπλέον επανάληψη, η οποία περιλάμβανε μίξη φυτών επί της εφαρμογής. Δηλαδή, από τις λεκάνες που περιείχαν το διάλυμα κανονικής σύστασης θρεπτικών στοιχείων (STANDARD), επιλέχτηκε τυχαία ένα φυτό από κάθε λεκάνη και δημιουργήθηκε ένα πέμπτο δείγμα (MIX). Το ίδιο συνέβη και στη περίπτωση των λεκανών που

περιείχαν θρεπτικό διάλυμα μειωμένης σύστασης (LOW) και του αγρού (FIELD) (9 φυτά αποτέλεσαν το MIX δείγμα από τον αγρό). Ακολούθησε διαχωρισμός των φυτών σε υπέργειο μέρος και ριζικό σύστημα και ζυγίστηκαν όσο αυτά ήταν νωπά. Ύστερα, τα φυτικά δείγματα τοποθετήθηκαν στο ξηραντήριο στους 80 ° C για 5 μέρες με σκοπό τη πλήρη αποξήρανσή τους. Όταν ολοκληρώθηκε η διαδικασία της ξήρανσης, πραγματοποιήθηκε ζύγιση του ξηρού βάρους των δειγμάτων (υπέργειου μέρους και ριζικού συστήματος).

3.5.3 Μέτρηση φυλλικής επιφάνειας και φύλλων ανά φυτό

Τόσο κατά την εγκατάσταση του πειράματος όσο και κατά το πέρας του, επιλέχθηκαν τυχαία φυτά από κάθε δείγμα, καταμετρήθηκε ο αριθμός των φύλλων τους. Στα ίδια φυτά μετρήθηκε το εμβαδόν της φυλλικής επιφάνειας με το όργανο

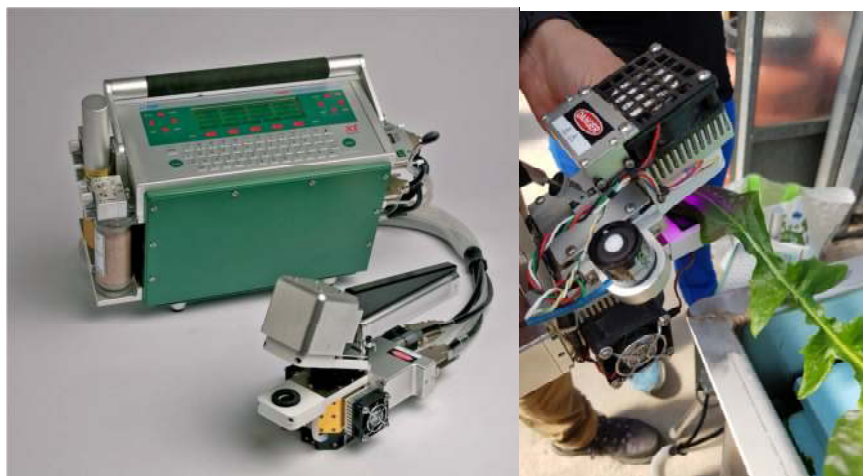


μέτρησης φυλλικής επιφάνειας **Εικόνα 11** Το όργανο μέτρησης φυλλικής επιφάνειας που διαθέτει το εργαστήριο κηπευτικών του ΓΠΑ. Για τις συγκεκριμένες μετρήσεις, κατά την εγκατάσταση του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν συνολικά 8 φυτά ενώ κατά το πέρας του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν 2 φυτά από κάθε δείγμα κάθε εφαρμογής.

3.5.4 Μέτρηση φωτοσυνθετικής ικανότητας και της στοματικής αγωγιμότητας

Την τελευταία ημέρα του πειράματος, έγινε μέτρηση της φωτοσυνθετικής ικανότητας των φυτών, τόσο στο θερμοκήπιο όσο και στον αγρό. Για την μέτρηση χρησιμοποιήθηκαν φυτά εύρωστα και υγιή με καλώς αναπτυγμένη φυλλική επιφάνεια, έτσι ώστε αυτή να διεξαχθεί ομαλά από το όργανο. Επιλέχθηκαν 3 φυτά των οποίων τα φύλλα δεν σκιάζονταν, ενώ η μέτρηση διεξήχθη περί τις 9:00 η ώρα το πρωί υπό συνθήκες πλήρους ηλιοφάνειας. Η μέτρηση έγινε στον χώρο του θερμοκηπίου και στον αγρό με τη χρήση φορητού οργάνου μέτρησης τη φωτοσυνθετικής ικανότητας των φύλλων LI-6400XT της εταιρίας LI-COR. Η

λειτουργία του οργάνου βασίζεται στις διαφορές της συγκέντρωσης CO₂ και H₂O στο ρεύμα αέρα που διέρχεται από το φύλλο.



Εικόνα 12 (Αριστερά) το όργανο μέτρησης τη φωτοσυνθετικής ικανότητας των φύλλων LI-6400XT. (Δεξιά) η διαδικασία μέτρησης της φωτοσυνθετικής ικανότητας και της στοματικής αγωγιμότητας.

3.5.5 Εκχύλιση φυτικών ιστών. Προετοιμασία και μεταχείριση δειγμάτων.



Εικόνα 13 Διαδικασία άλεσης των δειγμάτων

τμήματα και ριζικά συστήματα, εισήχθησαν στο άνοιγμα που βρίσκεται στο ανώτερο μέρος του μύλου και αλέστηκαν μέσω της περιστροφής μεταλλικών λεπίδων στο εσωτερικό του. Τα τριμμένα πλέον δείγματα, εφόσον περάσουν από το κόσκινο που βρίσκεται στο κατώτερο μέρος του μύλου, συλλέχθηκαν σε πλαστικά σακουλάκια, υπό μορφή σκόνης. Μεταξύ των δειγμάτων, ο μύλος καθαριζόταν επιμελώς, τόσο εσωτερικά όσο και εξωτερικά. Τα σακουλάκια σφραγίστηκαν αεροστεγώς με σκοπό την αποφυγή επαφής των δειγμάτων με την υγρασία του περιβάλλοντος του χώρου αποθήκευσης.

Για κάθε δείγμα που συλλέχτηκε, ζυγίστηκαν 0,5 g αλεσμένου δείγματος και τοποθετήθηκαν σε κάψα πορσελάνης. Οι κάψες μεταφέρθηκαν στο πυραντήριο έτσι

Όλα τα δείγματα που προέκυψαν από τις προαναφερθέντες δειγματοληψίες, ύστερα από την ξήρανσή τους στον ξηραντήρα, κονιοροποιήθηκαν με τη βοήθεια του μύλου. Αποξηραμένα υπέργεια

ώστε τα δείγματα να μετατραπούν σε τέφρα. Το πυραντήριο ρυθμίστηκε στους 500 °C για 8 ώρες. Μετά τη διέλευση των 8 ωρών, τα δείγματα παρέμειναν στο σβηστό πλέον πυραντήριο με σκοπό να αποκτήσουν θερμοκρασία δωματίου και συγχρόνως να αποφευχθεί η απορρόφηση υγρασίας από αυτά. Τα δείγματα ήταν έτοιμα για την εκχύλιση.

Κατά την εκχύλιση, σε κάθε κάψα που περιείχε τη τέφρα προστέθηκαν 10 ml υδατικού διαλύματος HCl 1:50. Στη συνέχεια το περιεχόμενο των καψών μεταφέρθηκε σε φιάσκες των 100ml όπου και διηθούνταν με την χρήση διηθητικού φίλτρου (ειδικού ashless διηθητικού φίλτρου με οπές, πολύ μικρής διατομής). Οι φιάσκες συμπληρώθηκαν με νερό μέχρι την ένδειξη των 100ml. Μετά από ανακίνηση τα εκχυλίσματα (πυκνά διαλύματα) μεταφέρθηκαν σε πλαστικά φιαλίδια και αποθηκεύτηκαν στο ψυγείο ώστε να γίνουν αργότερα οι αναλύσεις διάφορων στοιχείων.



Εικόνα 14 Διαδικασία εκχύλισης φυτικών ιστών

3.5.5.1 Μέτρηση φωσφόρου (P^{3-})

Για τον προσδιορισμό του φωσφόρου στα φυτικά εκχυλίσματα και στα θρεπτικά διαλύματα εφαρμόστηκε η μέθοδος κυανού φωσφομολυβδαινικού συμπλόκου κατά Eaton *et al.* (1995). Για τις ανάγκες της μεθόδου παρασκευάστηκαν τα εξής αντιδραστήρια:

- Σε κωνική φιάλη προστέθηκαν 55,5ml H_2SO_4 σε 500ml H_2O . (αντιδραστήριο Α)
- 4,8g μολυβδαινικό αμμώνιο διαλύθηκαν σε 100 ml θερμό H_2O (αντιδραστήριο Β)
- 0,1097g αντιμονυλοτρυγικό κάλιο διαλύθηκαν σε 100 ml θερμό H_2O (αντιδραστήριο Γ)
- Τα αντιδραστήρια Β και Γ μαζί αναμίχτηκαν στην κωνική φιάλη του Α αντιδραστηρίου αφού πρώτα αυτό είχε κρυώσει. Ακολούθησε συμπλήρωση με απεσταγμένο νερό μέχρι το 1L (Murphy-Riley).

- 0,4g ασκορβικό οξύ /100ml Murphy-Riley
- Δείκτης: 0,5g νιτροφαινόλης σε 60ml απεσταγμένο νερό. Έντονη ανακίνηση για ομογενοποίηση.
- Διάλυμα Υδροξειδίου του Νατρίου (καυστικό Νάτριο). 10 g NaOH σε 250 ml απεσταγμένο νερό.
- Stock διάλυμα για παρασκευή πρότυπης καμπύλης: 0,4393 g KH_2PO_4 στα 1000 ml απεσταγμένο νερό

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν η εξής: Πρώτα προστέθηκε 1ml δείγματος σε φλάσκες των 50ml. Ύστερα 2-3 σταγόνες διαλύματος νιτροφαινόλης (δείκτης). Στη συνέχεια προστέθηκε λίγο απεσταγμένο νερό για να ανέβει η στάθμη. Αργότερα προστίθενται λίγες σταγόνες NaOH 1M. Το διάλυμα χρωματίστηκε με κίτρινο χρώμα. Ακολούθησε προσθήκη 10ml ασκορβικού οξέος, κατά την οποία παρατηρείται αποχρωματισμός του διαλύματος. Η φλάσκα συμπληρώθηκε ως τα 50ml με H_2O , ενώ ύστερα από 20 λεπτά αναπτύχθηκε μπλε χρώμα στο διάλυμα. Τέλος φορτώθηκαν 200μl από το κάθε δείγμα σε plate και έγινε η μέτρηση στο φασματοφωτόμετρο στα 880nm. (Eaton *et al.*,1995)

3.5.5.2 Διαδικασία μέτρησης Καλίου (K^+)

Η μέτρηση Καλίου αφορούσε τα δείγματα τόσο των φυτικών ιστών όσο και αυτά των φυτικών εκχυλισμάτων. Για την μέτρηση του Καλίου χρησιμοποιήθηκε φλογοφωτόμετρο Sherwood Model 420. Αρχικά παρασκευάστηκαν διαλύματα γνωστής συγκέντρωσης καλίου (0, 0,5 και 1 M), με σκοπό να ρυθμιστεί κατάλληλα το μηχάνημα. Στα δείγματα έγιναν οι κατάλληλες αραιώσεις στα οποία έγιναν οι μετρήσεις από το φλογοφωτόμετρο.

Το φλογοφωτόμετρο χρησιμοποιείται ως διαγνωστικό όργανο και η λειτουργία του βασίζεται στην εκπομπή χαρακτηριστικής ακτινοβολίας (συγκεκριμένου μήκους κύματος), από τα άτομα ενός στοιχείου όταν αποδιεγείρονται, στη προκειμένη περίπτωση του καλίου (K). Η ένταση της ακτινοβολίας είναι συνάρτηση του αριθμού των ατόμων που εκπέμπουν ακτινοβολία. Το μήκος κύματος (χρώμα) αξιολογείται ως ποιοτικό διαγνωστικό στοιχείο (σε ποιο στοιχείο οφείλεται η ακτινοβολία) και η ένταση της ακτινοβολίας ως ποσοτικό διαγνωστικό στοιχείο (Σινάκης, 2015).

3.5.5.3 Διαδικασία μέτρησης Βορίου (B)

Η ποσοτικοποίηση του βορίου έγινε σε δείγματα φυτικών ιστών και δειγμάτων από τα θρεπτικά διαλύματα. Για τη διαδικασία μέτρησης του βορίου, παρασκευάστηκαν τα εξής αντιδραστήρια:

1. Ρυθμιστικό διάλυμα Buffer: Στην απαγωγό εστία, σε ποτήρι ζέσεως των 2 L προστέθηκαν υπό διαρκή ανάδευση:
 - a. 30 ml νερό
 - b. 250 g οξικού αμμωνίου (Ammonium acetate - $C_2H_7NO_2$)
 - c. 15 g EDTA Na_2 άλας (disodium salt of ethylenediaminetetraacetic acid)
 - d. 125 ml οξικό οξύ (Acetic acid glacial)
2. Διάλυμα αζομεθίνης: Σε κωνική φυάλη προστέθηκε λίγο απεσταγμένο νερό και στη συνέχεια:
 - a. 0,45 g Azomethine
 - b. 1 g L- Ascorbic acidΤέλος συμπληρώθηκε έως τα 100 ml με απεσταγμένο νερό
3. Standard διάλυμα βορίου: Σε 100 ml απεσταγμένου νερού προστέθηκαν 0,05716 g άνυδρου βορικού οξέος (100 ppm)

Για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης του βορίου, χρησιμοποιήθηκαν φλάσκες των 50 ml στις οποίες προστέθηκαν 1 ml δείγματος, 2 ml από το ρυθμιστικό διάλυμα Buffer και 2 ml από το διάλυμα της αζομεθίνης. Παράλληλα με τον ίδιο τρόπο παρασκευάστηκαν και τα πρότυπα διαλύματα που περιείχαν βόριο σε συγκεντρώσεις 0, 0,1, 0,25, 0,5, 1 και 2 ppm. Τα πρότυπα διαλύματα θα χρησιμοποιηθούν στη βαθμονόμηση της πρότυπης καμπύλης η οποία με τη σειρά της θα χρησιμοποιηθεί στη ποσοτικοποίηση της συγκέντρωσης του βορίου στα δείγματα. Ύστερα από 45 λεπτά αναμονής η διαδικασία μεταχρωματισμού στα δείγματα ολοκληρώθηκε (ανάπτυξη κίτρινου χρώματος). Τέλος 200 μ L από κάθε δείγμα φορτώθηκε στο plate και στη συνέχεια έγινε η μέτρηση στο φασματοφωτόμετρο στα 420 nm.

3.5.5.4 Εκχύλιση NO_3^- από νωπούς φυτικούς ιστούς

Για τη διεξαγωγή της εκχύλισης, αρχικά παρασκευάστηκαν τα εξής αντιδραστήρια:

1. Διάλυμα $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ περιεκτικότητας 15%. Διάλυση 15 g $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ σε απεσταγμένο νερό, μέχρι τα 100 ml
2. Διάλυμα $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ περιεκτικότητας 30%. Διάλυση 30 g $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ σε απεσταγμένο νερό, μέχρι τα 100 ml

Νωπή μάζα φύλλων (30 g) τοποθετήθηκε σε μείκτη (mixer) με απεσταγμένο νερό σε αναλογία 1:9 και ομογενοποιήθηκε για 1 λεπτό. Από το αιώρημα που προέκυψε ζυγίστηκαν και παρελήφθησαν 50 g, τα οποία τοποθετήθηκαν σε falcon tube. Τα falcon tubes αφέθηκαν για μία ώρα στο υδατόλουτρο, σε θερμοκρασία 95-100 °C. Ανά μισή ώρα έγινε ανάδευση με τη χρήση γυάλινης ράβδου. Στη συνέχεια τα δείγματα αφέθηκαν να κρυώσουν σε θερμοκρασία δωματίου.

Εφόσον τα δείγματα απέκτησαν θερμοκρασία δωματίου, σε κάθε δείγμα προστέθηκε 1 ml από το κάθε αντιδραστήριο. Ακολούθησε έντονη ανακίνηση των δειγμάτων και διήθηση μέσω αναδιπλούμενου διηθητικού χαρτιού. Τα διηθήματα συλλέχτηκαν σε πλαστικά μπουκαλάκια.

3.5.5.5 Διαδικασία μέτρησης νιτρικών (NO_3^-) στα διαλύματα και στα φυτικά εκχυλίσματα

Η μέτρηση των NO_3^- έγινε με τη μέθοδο Griess-Ilosvay κατά την οποία τα NO_3^- μετατρέπονται σε NO_2^- μέσω στήλης ενεργοποιημένου Cd, όπως αυτή περιγράφεται από τους Page *et al.* (1982).

Αντιδραστήρια που χρησιμοποιήθηκαν:

1. Ενεργοποιημένο Cd: Αρχικά προστέθηκαν 50g δείγματος Cd σε 250ml υδροχλωρικού οξέος (HCl) 6N για ένα λεπτό και αφού το HCl μεταγγίστηκε ακολουθήθηκε σχολαστικό ξέπλυμα με απιονισμένο νερό. Στη συνέχεια προστέθηκε δύο φορές διάλυμα πενταϋδρικού θειικού χαλκού ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) 2% (wt/vol) το οποίο διαχωρίστηκε με έκπλυση με απιονισμένο νερό. Το διάλυμα πενταϋδρικού θειικού χαλκού μεταγγίστηκε και το ενεργοποιημένο

- Cd ξεπλύθηκε σχολαστικά έως ότου το μπλε-γκρίζο χρώμα εξαφανιστεί. Τέλος το ενεργοποιημένο Cd τοποθετήθηκε στις στήλες αναγωγής.
2. Πυκνό διάλυμα χλωριούχου αμμωνίου (NH_4Cl): Διαλύθηκαν 100g NH_4Cl σε 500ml απιονισμένο νερό και αποθηκεύτηκε σε γυάλινο ποτήρι ζέσεως
 3. Αραιό διάλυμα χλωριούχου αμμωνίου (NH_4Cl): Αραιώθηκαν 50ml πυκνού NH_4Cl σε 2L απιονισμένου νερού και αποθηκεύτηκε σε γυάλινο ποτήρι ζέσεως.
 4. Αντιδραστήριο diazotizing: Διαλύθηκαν 0,5g σουλφανιλαμίνης σε 100ml HCl 2M και το διάλυμα αποθηκεύτηκε στο ψυγείο στους 4 °C.
 5. Αντιδραστήριο coupling: Διαλύθηκαν 0,3g [N-(1-naphthyl)-ethylenediamine] υδροχλωριδίου σε 100ml HCl 0,2M και το διάλυμα αποθηκεύτηκε σε σκουρόχρωμο, γυάλινο φιαλίδιο στο ψυγείο.
 6. Πρότυπο διάλυμα νιτρικών NO_3^- : Διαλύθηκαν 0,3609 νιτρικού καλίου (KNO_3) σε απιονισμένο νερό, στη συνέχεια αραιώθηκε σε ένα λίτρο και τοποθετήθηκε σε διαφανές, γυάλινο ποτήρι ζέσεως στο ψυγείο.

Προετοιμασία στήλης αναγωγής:

Οι προχοΐδες γεμίστηκαν με αραιό διάλυμα NH_4Cl και ακολούθησε η προσθήκη ποσότητας επιχαλκωμένου Cd μέχρι τα πρώτα 20cm της στήλης. Απομακρύνθηκαν τυχόν φουσκάλες και απομακρύνθηκε το πλεονάζον αραιό διάλυμα NH_4Cl . Στη συνέχεια η στήλη εκπλύθηκε επιμελώς με αραιό NH_4Cl και με χαμηλή ροή. Όταν η στήλη δεν χρησιμοποιούταν, το Cd ήταν πάντα καλυμμένο με 1 ml αραιού NH_4Cl τουλάχιστον πάνω από 1cm πάω από τη στήλη.

Εκτέλεση διαδικασίας:

Τόσο για τα θρεπτικά διαλύματα όσο και για τα φυτικά εκχυλίσματα, η διαδικασία που ακολούθηθηκε ήταν ίδια, με τη μόνη διαφορά τη ποσότητα δείγματος που χρησιμοποιήθηκε για κάθε περίπτωση. Συγκεκριμένα στις προχοΐδες εισήχθησαν 0,2 ml και 1 ml για τα φυτικά εκχυλίσματα και τα θρεπτικά διαλύματα αντίστοιχα.

Αμέσως πριν την χρήση της στήλης για την ανάλυση των νιτρικών προστέθηκε 1ml πυκνού διαλύματος NH_4Cl και η στάθμη του υγρού στη προχοΐδα χαμηλώθηκε στο ύψος της στήλης Cd. Στη συνέχεια προστέθηκε στη κορυφή της προχοΐδας το δείγμα και ακολούθησε η σταδιακή προσθήκη 75ml αραιού διαλύματος NH_4Cl από το άνω στόμιο της προχοΐδας. Ακριβώς κάτω από αυτή τοποθετήθηκε μια φλάσκα των 100ml ώστε να συλλεχθεί το απόσταγμα από τη ροή του NH_4Cl μέσα

από τη στήλη Cd. Για την ορθή αναγωγή των NO_3^- , ρυθμίστηκε η ροή με την στρόφιγγα της στήλης σε χαμηλούς ρυθμούς (περίπου 20ml min^{-1}).

Μεταξύ των δειγμάτων, το εσωτερικό της στήλης επιχαλκωμένου Cd ξεπλύθηκε με 1 ml πυκνού NH_4Cl και ακολούθως με τη συνεχόμενη προσθήκη αραιού NH_4Cl (περίπου 70 ml) από την άνω οπή της προχοίδας. Δόθηκε προσοχή έτσι ώστε η στάθμη του αραιού NH_4Cl να παραμένει τουλάχιστον 1 cm πάνω από τη στήλη Cd.

Μετά την παραλαβή του διηθήματος στη φιάσκα, προστέθηκαν 2ml από το αντιδραστήριο diazotizing και μετά από 5 λεπτά προστέθηκαν 2ml από το αντιδραστήριο coupling. Ακολούθησε συμπλήρωση του διηθήματος ως τα 100 ml με τη χρήση αραιού NH_4Cl . Το διάλυμα αναδεύτηκε επιμελώς και παρέμεινε ακίνητο για 20 λεπτά μέχρι να ολοκληρωθεί ο μεταχρωματισμός του (ροζ χρώμα). Τέλος, 200 μl από κάθε φιάσκα τοποθετήθηκαν σε plate και η μέτρηση έγινε στο φασματοφωτόμετρο στα 540nm.

Για τον καθορισμό της συγκέντρωσης των NO_3^- -N των δειγμάτων, παρασκευάστηκε πρότυπη καμπύλη αναφοράς, που περιλάμβανε πρότυπα διαλύματα συγκέντρωσης 0,2,4,6,10 και 20 $\mu\text{g NO}_3^-$ -N. Για την Παρασκευή τους αραιώθηκαν 20 ml του πρότυπου διαλύματος νιτρικών NO_3^- σε 500 ml απεσταγμένο νερό και στη συνέχεια προστέθηκαν 0, 1, 2, 3, 4, 5 και 10 ml του πρότυπου διαλύματος στην αναγωγική στήλη, ακολουθώντας τη προαναφερθείσα διαδικασία.

3.5.5.6 Διαδικασία μέτρησης αμμωνιακού αζώτου (NH_4 -N)

Η μέτρηση των αμμωνιακών εφαρμόστηκε μόνο στη περίπτωση των δειγμάτων που προήλθαν από τις δειγματοληψίες από τις λεκάνες. Για τη μέτρηση των αμμωνιακών ακολουθήθηκε πρωτόκολλο που αναπτύχθηκε από τους Keeney και Nelson το 1982 ενώ παρασκευάστηκαν και χρησιμοποιήθηκαν τα εξής αντιδραστήρια:

1. Phenol nitroprusside. Προστέθηκαν 7 g phenol και 34 mg sodium nitroprusside $\text{Na}_2[\text{Fe}(\text{CN})_5\text{NO}]$ σε 100 ml απεσταγμένο νερό.
2. Buffered υποχλωριώδες. Προστέθηκαν 1.5 g NaOH , 6,1 g K_2PO_4 και 20 ml υποχλωριόδου νατρίου NaClO σε 70 ml απεσταγμένου νερού. Το τελικό pH έπρεπε να ήταν μεταξύ 11,4 – 12,2. Ακολούθησε συμπλήρωση με απεσταγμένο νερό μέχρι τα 100 ml

3. EDTA. 6 g EDTA (Ethane-1,2-diylidinitrilo) tetraacetic acid διαλύθηκαν σε 80 ml απεσταγμένου νερού και ακολούθησε ρύθμιση του pH με διάλυμα NaOH.

4. Stock. Έτοιμο διάλυμα 1000 ppm NH_4^+

5. Standard. Προσθήκη 0.1 ml stock και συμπλήρωση μέχρι τα 40 ml με απεσταγμένο νερό

Σε φλάσκες των 50 ml προστέθηκε 1 ml δείγματος, 1 ml EDTA, 4 ml Buffered υποχλωριώδες, 2 ml phenol nitroprusside και τέλος ακολουθεί συμπλήρωση με απεσταγμένο νερό μέχρι τα 50 ml

Για τον καθορισμό της συγκέντρωσης των αμμωνιακών στα δείγματα, παρασκευάστηκε πρότυπη καμπύλη αναφοράς, που περιλάμβανε πρότυπα διαλύματα συγκέντρωσης 0, 0,05, 0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5, 0,75 ppm ($\mu\text{g/ml}$) NH_4^+ .

Υστερα από 30 λεπτά σε θερμοκρασία 40 °C αναπτύχθηκε το χρώμα ενώ αφέθηκαν για 10 λεπτά έτσι ώστε η θερμοκρασία να εξισορροπηθεί με αυτή του δωματίου. Τέλος, 200 μl από κάθε φλάσκα τοποθετήθηκαν σε plate και η μέτρηση έγινε στο φασματοφωτόμετρο στα 636 nm.

3.6 Υπολογισμός απορρόφησης ολικού αζώτου (ολικό-N), φωσφόρου (P^{3-}) και καλίου (K^+)

Ο υπολογισμός της απορρόφησης των διάφορων στοιχείων αφορούσε αποκλειστικά τα φυτά των δύο διαφορετικών εφαρμογών που καλλιεργήθηκαν με το σύστημα επίπλευσης. Για τον υπολογισμό της απορρόφησης, χρησιμοποιήθηκε η σχέση η οποία περιγράφεται από τον Savvas και τους συνεργάτες του, σε άρθρο που δημοσιεύτηκε το 2017.

$$C_{xu} = \frac{Vr * (C_{xbi} - C_{xei}) + V_{ui} * C_{xa}}{V_{ui}}$$

$C_{xu} = \text{mmol/L}$, όπου $x =$ ολικό-N,P και K

$V_{ui} = \text{L}$, ο συνολικός όγκος θρεπτικού διαλύματος που χρησιμοποιήθηκε ανά λεκάνη

$Vr = \text{L}$, ο συνολικός όγκος θρεπτικού διαλύματος αναπλήρωσης της κάθε λεκάνης

$C_{xbi} = \text{mmol/L}$, η συγκέντρωση του κάθε στοιχείου (x) στο θρεπτικό διάλυμα κατά την έναρξη του πειράματος

$C_{xci} = \text{mmol/L}$, η συγκέντρωση του κάθε στοιχείου (x) στο θρεπτικό διάλυμα κατά το τέλος του πειράματος

$C_{xa} = \text{mmol/L}$, η συγκέντρωση του κάθε στοιχείου (x) στο θρεπτικό διάλυμα αναπλήρωσης που χρησιμοποιήθηκε ξεχωριστά για κάθε λεκάνη

3.7 Προσδιορισμός της συγκέντρωσης χλωροφύλλης και καροτενοειδών σε φύλλα σταμναγκαθιού

Η μέθοδος εκχύλισης η οποία ακολουθήθηκε προτάθηκε από τους Hiscox και

Israelstam το 1979. Αρχικά έγινε λειοτριβήση των νωπών δειγμάτων του υπέργειου μέρους των φυτών με τη χρήση υγρού αζώτου. Επιλέχθηκαν εύρωστα και υγιή φυτά, η επιλογή των οποίων έγινε με βάση την οπτική τους εικόνα τόσο στον αγρό όσο και στο θερμοκήπιο. Από τα φυτά αυτά συλλέχτηκε το μεσαίο τμήμα από ένα φυλλάριο ανά φυτό. Στο θερμοκήπιο συλλέχτηκαν φυλλικά τμήματα από 4 φυτά από κάθε λεκάνη, ενώ από τα φυτά του αγρού, αποκόπηκαν τμήματα φύλλων από 8 φυτά ανά τεμάχιο, εξαιτίας της



Εικόνα 15 Η διαδικασία λειοτριβήσης των δειγμάτων

περιορισμένης ανάπτυξής τους. Όπως και στις παραπάνω δειγματοληψίες, για κάθε εφαρμογή (2 εφαρμογές στο θερμοκήπιο και 1 στον αγρό) δημιουργήθηκε επιπλέον ένα δείγμα (βιολογική επανάληψη) το οποίο περιλάμβανε μίξη φυτικού ιστού από κάθε επανάληψη κάθε εφαρμογής.

Η λειοτριβήση των δειγμάτων έγινε με τη χρήση γουδιού και γουδοχειριού. Τα δείγματα μετά τη λειοτριβήση παρελήφθησαν σε μορφή ταλκ και αποθηκεύτηκαν σε θερμοκρασία $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$. Για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης



56

Εικόνα 16 ν **17** Η μέθοδος εκχύλισης για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης χλωροφύλλης και καροτενοειδών

χλωροφύλλης (Chl), από κάθε δείγμα ζυγίστηκαν σε ζυγαριά ακριβείας 20 mg φυτικού ιστού και μεταφέρθηκαν σε eppendorf tubes. Στη συνέχεια προστέθηκε ποσότητα 300 μ L DMSO (dimethyl sulfoxide) και τα eppendorf τοποθετήθηκαν σε υδατόλουτρο, θερμοκρασίας 65 $^{\circ}$ C για 60 λεπτά. Τέλος τα δείγματα φυγοκεντρήθηκαν σε 100rpm για 1 λεπτό, έτσι ώστε φυτικά τεμαχίδια να καθιζάνουν. Φορτώθηκαν 200 μ L από κάθε tube σε plate και η μέτρηση έγινε στο φασματοφωτόμετρο.

Σκοπός της διαδικασίας ήταν ο ποσοτικός προσδιορισμός των χλωροφύλλης a και b (Chl a και b) και καροτενοειδών από κάθε φυτικό εκχύλισμα. Για τη μέτρηση χρησιμοποιήθηκε φασματοφωτόμετρο μικροπλακών και η απορρόφηση ρυθμίστηκε στα 470, 648 και 664 nm για τα καροτενοειδή, τη χλωροφύλλη b και τη χλωροφύλλη a αντίστοιχα. Πρέπει να σημειωθεί ότι η απορρόφηση των χρωστικών στα παραπάνω μήκη κύματος αφορούν μόνο τις περιπτώσεις όπου ως εκχυλιστικό μέσο χρησιμοποιήθηκε το DMSO. Για την ποσοτικοποίηση των χλωροφυλλών και των καροτενοειδών στα δείγματα, χρησιμοποιήθηκαν οι τύποι από τους Chappelle και Kim (1992):

$$\text{chlorophyll } a_c = 12.25A_{664\text{nm}} - 2.79A_{648\text{nm}},$$

$$\text{chlorophyll } b_c = 21.50A_{648\text{nm}} - 5.10A_{664\text{nm}},$$

$$\text{carotenoids}_c = (1000A_{470\text{nm}} - 1.82 \text{ chl } a_c - 85.02 \text{ chl } b_c) / 198,$$

A = absorbance,

c = pigment concentration (μ g/mL of extract).



Εικόνα 18 Το φασματοφωτόμετρο που χρησιμοποιήθηκε

3.8 Στατιστική ανάλυση και γραφική απεικόνιση αποτελεσμάτων

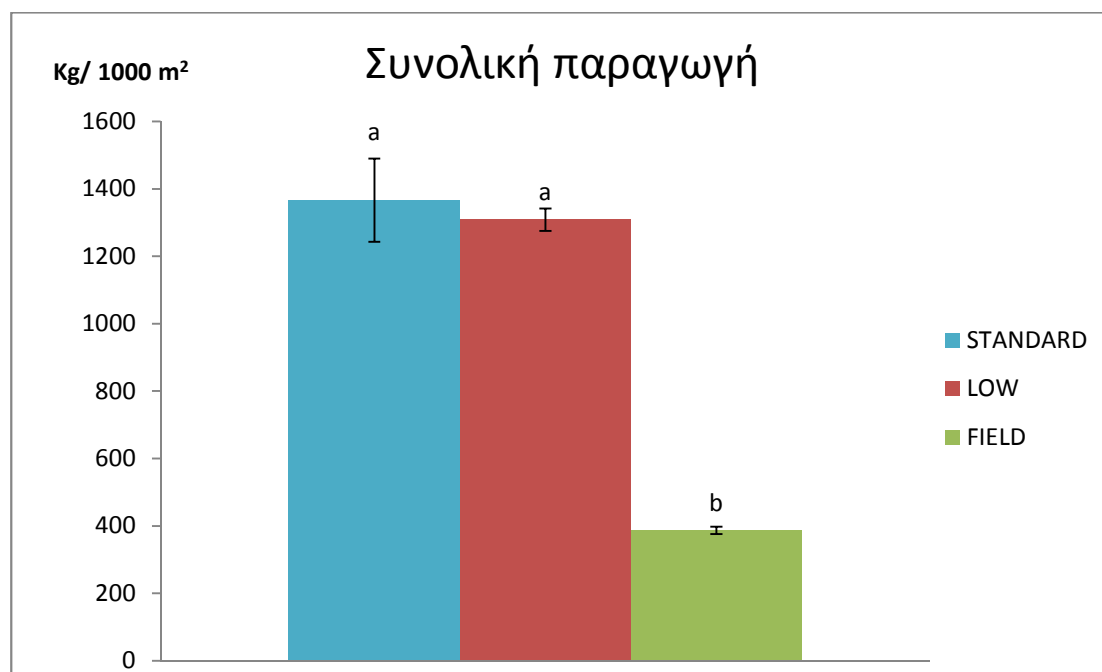
Για τη στατιστική επεξεργασία και ανάλυση των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Statistica v10. Πραγματοποιήθηκε ανάλυση διακύμανσης, μονοδιάστατου σχεδιασμού (ANOVA) για την εύρεση του εύρους σφάλματος και της πιθανής σημαντικής στατιστικής διαφοράς. Η απεικόνιση των δεδομένων έγινε σε γραφήματα με τη χρήση του λογισμικού MICROSOFT® Excel 2013.

Στα γραφήματα, περιλαμβάνονται τα τυπικά σφάλματα όπως προέκυψαν έπειτα από στατιστική επεξεργασία με βάση το κριτήριο Duncan. Όταν οι τιμές παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική διαφορά, συνοδεύονται από διαφορετικά γράμματα μεταξύ των αποτελεσμάτων (a,b,c...). Όταν δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική διαφορά, χρησιμοποιούνται ίδια γράμματα πάνω από τις στήλες των αποτελεσμάτων στα γραφήματα.

4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.1 Συνολική παραγωγή

Οι τιμές προέκυψαν ύστερα από ζύγιση του βρώσιμου τμήματος του συνόλου των φυτών κάθε εφαρμογής που συγκομίστηκαν κατά το πέρας του πειράματος (25 μέρες από την αρχική εγκατάσταση). Στη συνέχεια έγινε αναγωγή των τιμών που προέκυψαν σε κιλά παραγωγής σταμναγκαθιού ανά 1000 m². Στο παρακάτω γράφημα φαίνονται τα επίπεδα της συνολικής παραγωγής, σε κάθε περίπτωση ξεχωριστά: από τις λεκάνες που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα κανονικής σύστασης (STANDARD), από τις λεκάνες που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα μειωμένης σύστασης (LOW) και από τον αγρό (FIELD). Μεταξύ των STANDARD και LOW στο θερμοκήπιο δεν παρατηρείται στατιστικώς σημαντική διαφορά. Αντίθετα, τα επίπεδα της παραγωγής στις 25 μέρες είναι αισθητά χαμηλότερα στον αγρό σε σχέση με τις 2 εφαρμογές του θερμοκηπίου.

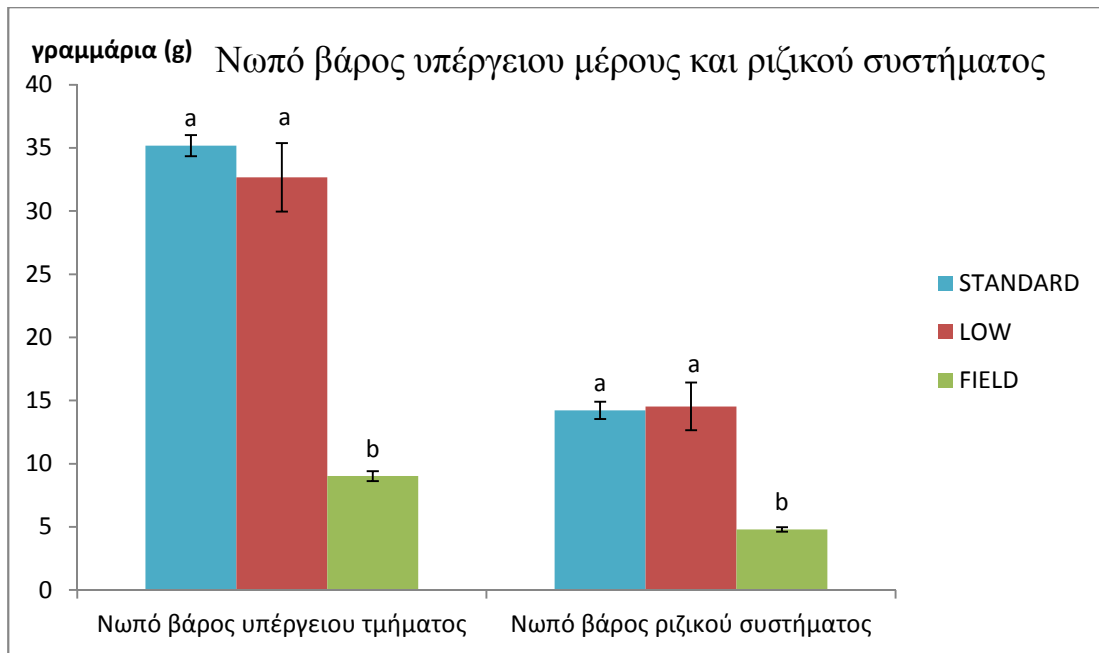


Γράφημα 1. Απεικόνιση της διακύμανσης των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την συνολική παραγωγή μεταξύ των 3 εφαρμογών: από τις λεκάνες που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα κανονικής σύστασης (STANDARD), από τις λεκάνες που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα μειωμένης σύστασης (LOW) και από τον αγρό (FIELD). Οι κάθετες γραμμές πάνω στις στήλες αντιπροσωπεύουν το τυπικό σφάλμα. Τα διαφορετικά γράμματα πάνω από κάθε στήλη δείχνουν ποιες εφαρμογές διαφέρουν

στατιστικώς σημαντικά, ενώ τα ίδια γράμματα δείχνουν ποιες εφαρμογές δεν διαφέρουν μεταξύ τους, σε επίπεδο σημαντικότητας ≤ 0.001 ($P \leq 0.1\%$).

4.2 Νωπό βάρος υπέργειου μέρους και ριζικού συστήματος

Το Γράφημα 2 απεικονίζει τα νωπά βάρη του υπέργειου μέρους και του ριζικού συστήματος. Για κάθε μεταχείριση, οι τιμές προέκυψαν από τον μέσο όρο του βάρους τυχαία επιλεγμένων φυτών. Οι τιμές είναι εκφρασμένες σε γραμμάρια ανά φυτό. Στο γράφημα παρουσιάζονται οι τιμές που προέκυψαν κατά το τέλος του πειράματος από τις λεκάνες που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα κανονικής σύστασης (STANDARD), από τις λεκάνες που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα μειωμένης σύστασης (LOW) και από τον αγρό (FIELD). Για τα φυτά τα οποία καλλιεργήθηκαν στο σύστημα επίπλευσης (LOW-STANDARD), οι τιμές για τα νωπά βάρη του υπέργειου τμήματος τους και του ριζικού συστήματος είναι σαφώς μεγαλύτερες σε σχέση με αυτές του αγρού (FIELD). Αν και φαίνεται μια διαφοροποίηση μεταξύ LOW και STANDARD, οι τιμές τους δεν φαίνεται να διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά τόσο στο νωπό βάρος του υπέργειου μέρους, όσο και στο νωπό βάρος του ριζικού συστήματος. Αξιοσημείωτη είναι η μεγάλη διαφορά που εντοπίζεται στο νωπό βάρος του υπέργειου μέρους και της ρίζας στα φυτά που καλλιεργήθηκαν στο σύστημα επίπλευσης συγκριτικά με εκείνα που καλλιεργήθηκαν στον αγρό, 25 μέρες μετά τη φύτευση.

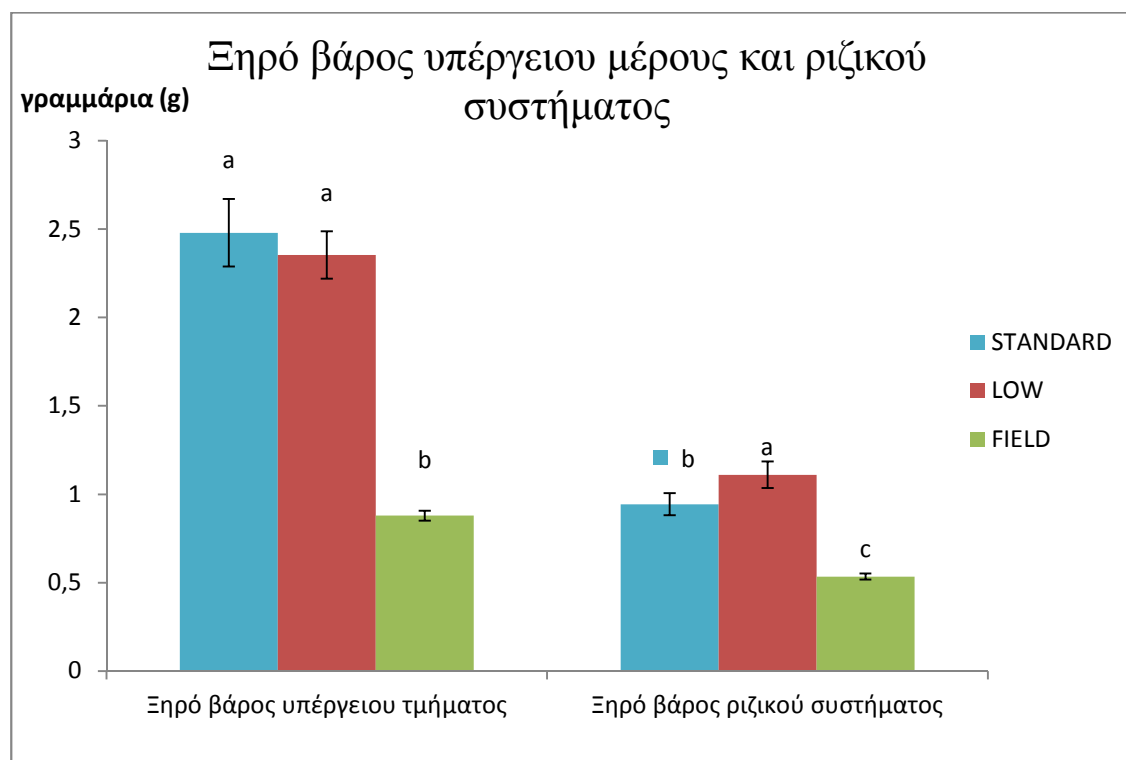


Γράφημα 2. Απεικόνιση της διακύμανσης του νωπού βάρους για το υπέργειο μέρος και για το ριζικό σύστημα ανά φυτό εκφρασμένο σε γραμμάρια (g) μεταξύ φυτών των 3 εφαρμογών: από τις λεκάνες που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα κανονικής σύστασης (STANDARD), από τις λεκάνες που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα μειωμένης σύστασης (LOW) και από τον αγρό (FIELD). Οι κάθετες γραμμές πάνω στις στήλες αντιπροσωπεύουν το τυπικό σφάλμα. Τα διαφορετικά γράμματα πάνω από κάθε στήλη δείχνουν ποιες εφαρμογές διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά, ενώ τα ίδια γράμματα δείχνουν ποιες εφαρμογές δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους, σε επίπεδο σημαντικότητας ≤ 0.001 ($P \leq 0.1\%$).

4.3 Ξηρό βάρος υπέργειου μέρους και ριζικού συστήματος

Το Γράφημα 3 απεικονίζει τα ξηρά βάρη του υπέργειου μέρους και του ριζικού συστήματος. Αφορά τα ίδια φυτά που χρησιμοποιήθηκαν στη μέτρηση του νωπού βάρους. Για κάθε μεταχείριση, οι τιμές προέκυψαν από τον μέσο όρο του βάρους τυχαία επιλεγμένων φυτών. Οι τιμές είναι εκφρασμένες σε γραμμάρια ανά φυτό. Στο γράφημα παρουσιάζονται οι τιμές που προέκυψαν κατά το τέλος του πειράματος από τις λεκάνες που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα κανονικής σύστασης (STANDARD), από τις λεκάνες που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα μειωμένης σύστασης (LOW) και από τον αγρό (FIELD). Για τα φυτά τα οποία καλλιεργήθηκαν στο σύστημα επίπλευσης (LOW-STANDARD), οι τιμές για τα ξηρά βάρη του υπέργειου μέρους τους και του ριζικού συστήματος είναι σαφώς μεγαλύτερες σε σχέση με αυτές του αγρού (FIELD). Αν και φαίνεται μια διαφοροποίηση μεταξύ LOW και STANDARD, οι τιμές τους δεν φαίνεται να διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά στο ξηρό βάρος του υπέργειου μέρους. Αντίθετα στατιστικώς σημαντική

διαφορά φαίνεται να υπάρχει στο ξηρό βάρος του ριζικού συστήματος μεταξύ LOW και STANDARD. Αξίζει μάλιστα να σημειωθεί ότι η διαφορά τόσο στο ξηρό βάρος του υπέργειου μέρους, όσο και της ρίζας στα φυτά που καλλιεργήθηκαν στο σύστημα επίπλευσης συγκριτικά με εκείνα που καλλιεργήθηκαν στον αγρό, είναι κατά πολύ μεγαλύτερο 25 μέρες μετά την εγκατάσταση του πειράματος.

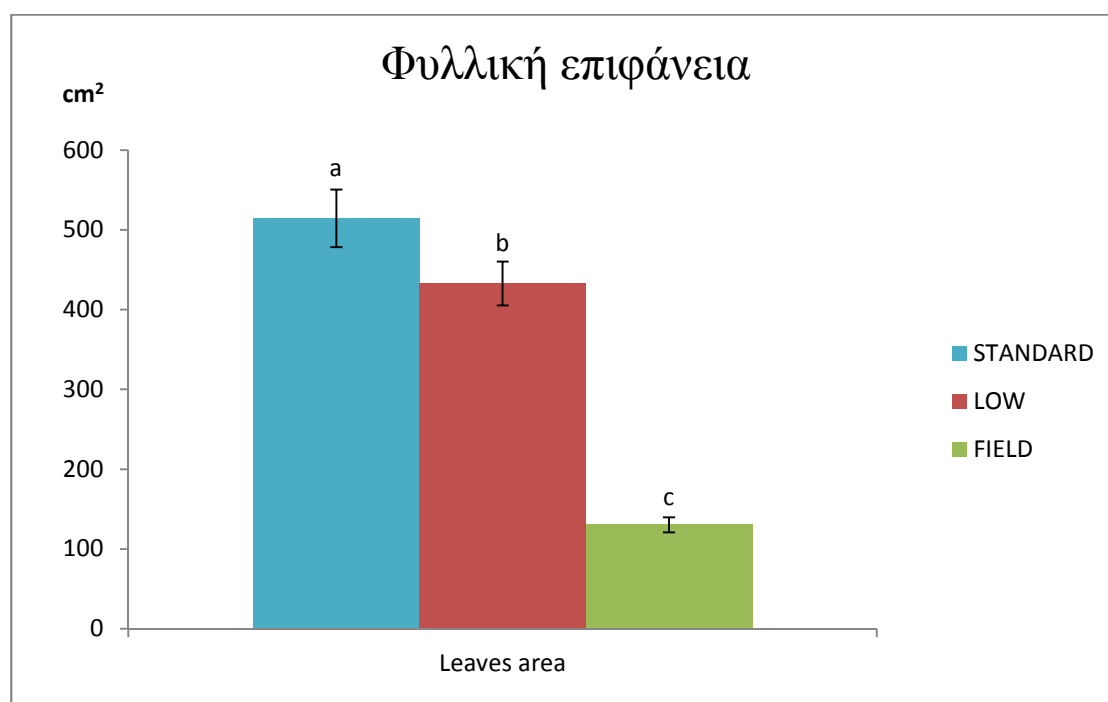


Γράφημα 3. Απεικόνιση της διακύμανσης του ξηρού βάρους για το υπέργειο μέρος και για το ριζικό σύστημα ανά φυτό εκφρασμένο σε γραμμάρια (g) μεταξύ φυτών των 3 εφαρμογών: από τις λεκάνες που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα κανονικής σύστασης (STANDARD), από τις λεκάνες που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα μειωμένης σύστασης (LOW) και από τον αγρό (FIELD). Οι κάθετες γραμμές πάνω στις στήλες αντιπροσωπεύουν το τυπικό σφάλμα. Τα διαφορετικά γράμματα πάνω από κάθε στήλη δείχνουν ποιες εφαρμογές διαφέρουν στατιστικά σημαντικά, ενώ τα ίδια γράμματα δείχνουν ποιες εφαρμογές δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους, σε επίπεδο σημαντικότητας ≤ 0.001 ($P \leq 0.1\%$).

4.4 Μέτρηση φυλλικής επιφάνειας.

Τα ίδια φυτά που χρησιμοποιήθηκαν για τη ζύγιση νωπού και ξηρού βάρους, χρησιμοποιήθηκαν και για τη μέτρηση τη φυλλικής επιφάνειας. Η φυλλική επιφάνεια εκφράστηκε σε τετραγωνικά εκατοστά (cm^2) και αφορά το μέσο εμβαδόν ενός φυτού ανά εφαρμογή. Στο Γράφημα 4 παρουσιάζονται οι τιμές που προέκυψαν κατά το τέλος του πειράματος από τις λεκάνες που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα κανονικής

σύστασης (STANDARD), από τις λεκάνες που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα μειωμένης σύστασης (LOW) και από τον αγρό (FIELD). Τα φυτά που αναπτύχθηκαν στο σύστημα επίπλευσης σε λεκάνες με θρεπτικό διάλυμα κανονικής σύστασης, ανέπτυξαν το μεγαλύτερο εμβαδόν φυλλικής επιφάνειας (~ 514 cm²), ακολουθούν τα φυτά που αναπτύχθηκαν σε λεκάνες που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα μειωμένης σύστασης (~ 433 cm²), τα φυτά που καλλιεργήθηκαν στον αγρό με κατά πολύ μικρότερο εμβαδόν σε σχέση με τις 2 προαναφερθέντες εφαρμογές (~ 130 cm²).

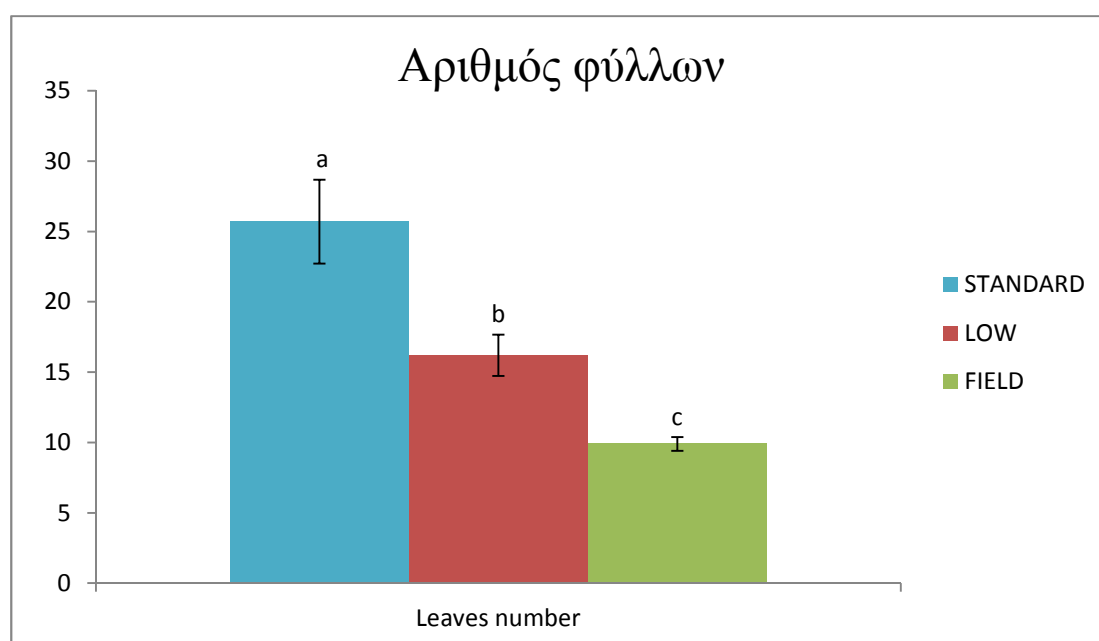


Γράφημα 4. Απεικόνιση της διακύμανσης της φυλλικής επιφάνειας ανά φυτό εκφρασμένη σε τετραγωνικά εκατοστά (cm²) μεταξύ φυτών των 3 εφαρμογών: από τις λεκάνες που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα κανονικής σύστασης (STANDARD), από τις λεκάνες που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα μειωμένης σύστασης (LOW) και από τον αγρό (FIELD). Οι κάθετες γραμμές πάνω στις στήλες αντιπροσωπεύουν το τυπικό σφάλμα. Τα διαφορετικά γράμματα πάνω από κάθε στήλη δείχνουν ποιες εφαρμογές διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους, σε επίπεδο σημαντικότητας ≤ 0.001 ($P \leq 0.1\%$).

4.5 Μέτρηση αριθμού φύλλων

Η μέτρηση του αριθμού φύλλων έγινε 25 μέρες μετά την εγκατάσταση του πειράματος. Για την μέτρηση χρησιμοποιήθηκαν τα ίδια φυτά στα οποία έγινε η ζύγιση νωπού-ξηρού βάρους και η μέτρηση της φυλλικής επιφάνειας. Στο Γράφημα 5 παρουσιάζονται οι τιμές που προέκυψαν κατά το τέλος του πειράματος από τις λεκάνες που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα κανονικής σύστασης (STANDARD), από

τις λεκάνες που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα μειωμένης σύστασης (LOW) και από τον αγρό (FIELD). Τα φυτά που αναπτύχθηκαν στο σύστημα επίπλευσης σε λεκάνες με θρεπτικό διάλυμα κανονικής σύστασης, ανέπτυξαν τον μεγαλύτερο αριθμό φύλλων (26), ακολουθούν τα φυτά που αναπτύχθηκαν σε λεκάνες που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα μειωμένης σύστασης (16), τα φυτά που καλλιεργήθηκαν στον αγρό με μικρότερο αριθμό φύλλων σε σχέση με τις προηγούμενες 2. Μάλιστα, ο αριθμός φύλλων στα φυτά που καλλιεργήθηκαν στον αγρό δεν φάνηκε να διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά με αυτόν των σποροφύτων.



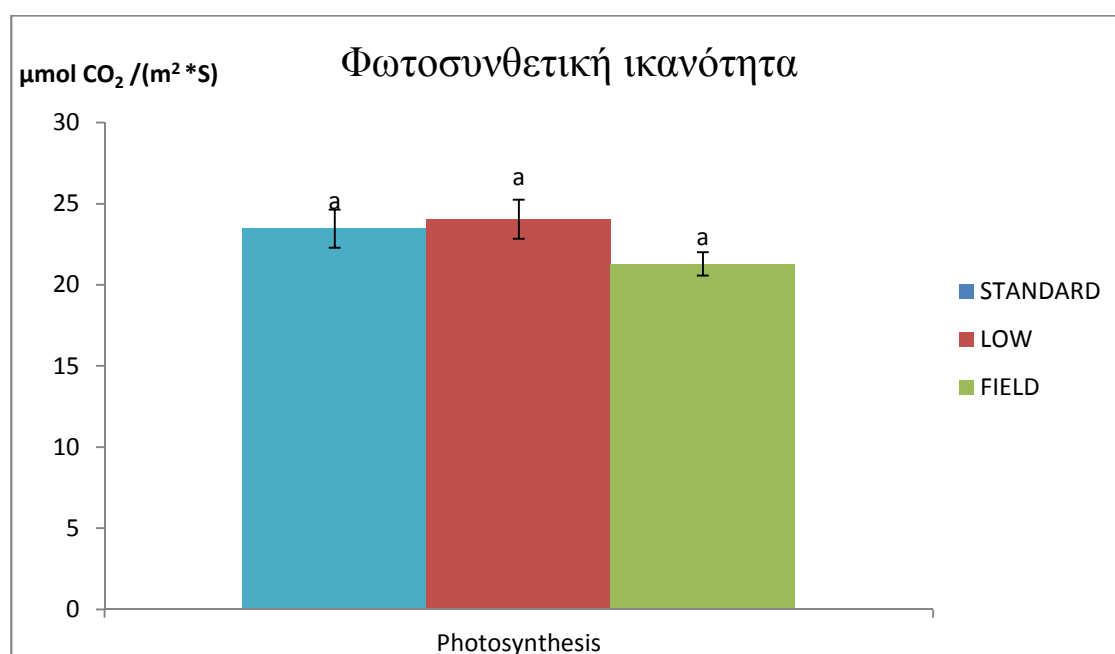
Γράφημα 5. Απεικόνιση της διακύμανσης του αριθμού φύλλων ανά φυτό μεταξύ φυτών των 3 εφαρμογών: από τις λεκάνες που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα κανονικής σύστασης (STANDARD), από τις λεκάνες που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα μειωμένης σύστασης (LOW) και από τον αγρό (FIELD). Οι κάθετες γραμμές πάνω στις στήλες αντιπροσωπεύουν το τυπικό σφάλμα. Τα διαφορετικά γράμματα πάνω από κάθε στήλη δείχνουν ποιες εφαρμογές διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους, σε επίπεδο σημαντικότητας ≤ 0.001 ($P \leq 0.1\%$).

4.6 Φωτοσυνθετική ικανότητα (Photosynthesis) και στοματική αγωγιμότητα (Stomatal Conductance) των φυτών

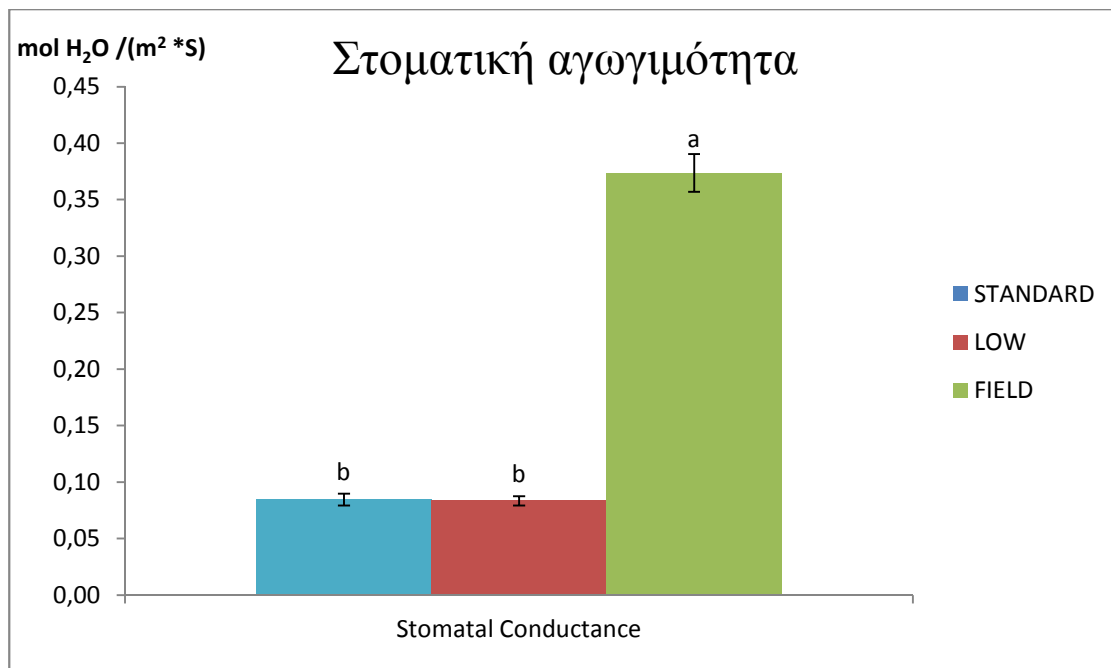
Η μέτρηση φωτοσυνθετικής ικανότητας και της στοματικής αγωγιμότητας των φυτών έγινε 25 μέρες μετά την εγκατάσταση του πειράματος. Στα γραφήματα παρουσιάζονται οι μετρήσεις που έγιναν σε φυτά τα οποία αναπτύχθηκαν στις λεκάνες που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα κανονικής σύστασης (STANDARD), στις λεκάνες που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα μειωμένης σύστασης (LOW) και στον αγρό

(FIELD). Οι τιμές από τις μετρήσεις είναι εκφρασμένες σε: $\mu\text{mol CO}_2 / (\text{m}^2 \cdot \text{s})$ για τη φωτοσυνθετική ικανότητα και $\text{mol H}_2\text{O} / (\text{m}^2 \cdot \text{s})$ για τη στοματική αγωγιμότητα.

Στο Γράφημα 6 που απεικονίζει τη φωτοσυνθετική ικανότητα των φυτών, η διακύμανση των τιμών από τη μέτρηση της φωτοσυνθετικής ικανότητας, δεν φαίνεται να είναι στατιστικώς σημαντική μεταξύ των φυτών των 3 εφαρμογών. Αντίθετα στο Γράφημα 7 που παρουσιάζει τα αποτελέσματα της μέτρησης της στοματικής αγωγιμότητας, αυτή φάνηκε να είναι αρκετά υψηλότερη στα φυτά του αγρού (~ 77% υψηλότερη) σε σχέση με αυτά του θερμοκηπίου (φυτά στο σύστημα επίπλευσης σε λεκάνες STANDARD και LOW). Μάλιστα τα φυτά των 2 εφαρμογών του θερμοκηπίου δεν παρουσίασαν στατιστικώς σημαντική διαφορά μεταξύ τους, ως προς τη στοματική τους αγωγιμότητα.



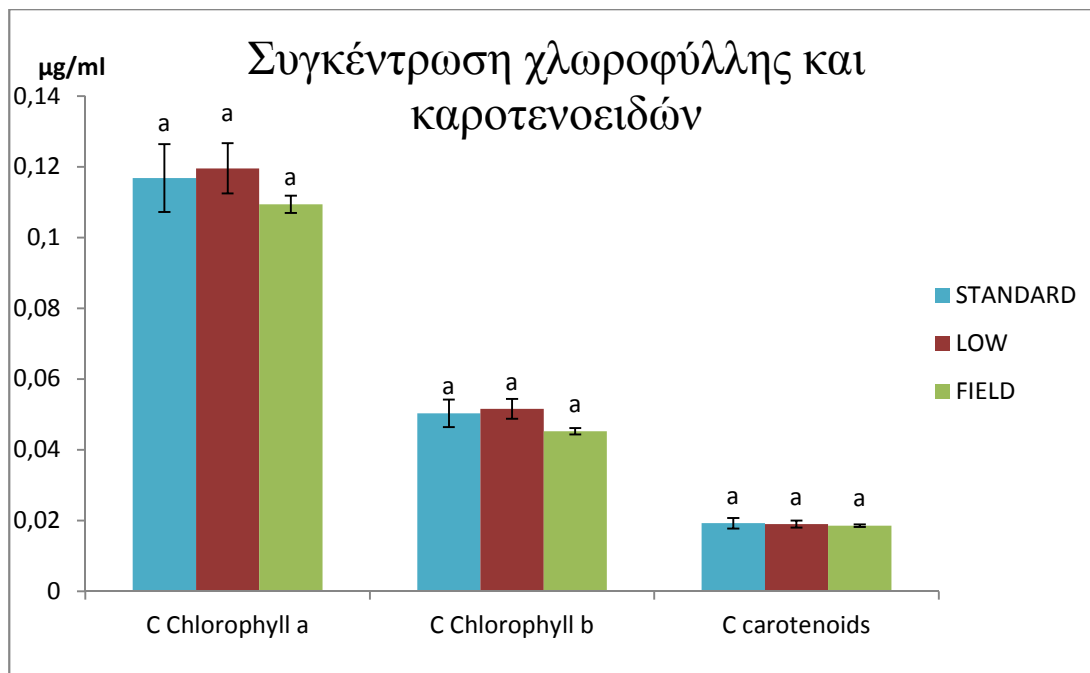
Γράφημα 6. Απεικόνιση της διακύμανσης των τιμών της φωτοσυνθετικής ικανότητας των φυτών που αναπτύχθηκαν σε: λεκάνες που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα κανονικής σύστασης (STANDARD), σε λεκάνες που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα μειωμένης σύστασης (LOW) και στον αγρό (FIELD). Η μέτρηση έγινε 25 μέρες από την εγκατάσταση του πειράματος. Οι τιμές είναι εκφρασμένες σε $\mu\text{mol CO}_2 / (\text{m}^2 \cdot \text{s})$. Οι κάθετες γραμμές πάνω στις στήλες αντιπροσωπεύουν το τυπικό σφάλμα. Τα ίδια γράμματα πάνω από κάθε στήλη δείχνουν ποιες εφαρμογές δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους NS, σε επίπεδο σημαντικότητας >0.05 ($P>5\%$).



Γράφημα 7. Απεικόνιση της διακύμανσης των τιμών της στοματικής αγωγιμότητας των φυτών που αναπτύχθηκαν σε: λεκάνες που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα κανονικής σύστασης (STANDARD), σε λεκάνες που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα μειωμένης σύστασης (LOW) και στον αγρό (FIELD). Η μέτρηση έγινε 25 μέρες από την εγκατάσταση του πειράματος. Οι τιμές είναι εκφρασμένες σε mol H₂O / (m² *S). Οι κάθετες γραμμές πάνω στις στήλες αντιπροσωπεύουν το τυπικό σφάλμα. Τα διαφορετικά γράμματα πάνω από κάθε στήλη δείχνουν ποιες εφαρμογές διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους, ενώ τα ίδια γράμματα δείχνουν ποιες εφαρμογές δεν διαφέρουν μεταξύ τους, σε επίπεδο σημαντικότητας ≤ 0.001 ($P \leq 0.1\%$).

4.7 Συγκέντρωση χλωροφυλλών και καροτενοειδών στο υπέργειο μέρος των φυτών

Στο Γράφημα 8 παρουσιάζονται οι τιμές που προέκυψαν από τη μέτρηση της συγκέντρωσης των χλωροφυλλών α, β και καροτενοειδών των φυτών. Η μέτρηση έγινε σε νωπό φυτικό ιστό προερχόμενο από τη ροζέτα των φυτών, 25 μέρες μετά την εγκατάσταση του πειράματος. Στο παρακάτω γράφημα παρουσιάζονται οι μετρήσεις που έγιναν σε φυτά τα οποία αναπτύχθηκαν στις λεκάνες που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα κανονικής σύστασης (STANDARD), στις λεκάνες που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα μειωμένης σύστασης (LOW) και στον αγρό (FIELD). Οι τιμές είναι εκφρασμένες σε μg/ml φυτικού εκχυλίσματος. Όπως είναι εμφανές στο γράφημα οι τιμές της συγκέντρωσης των χλωροφυλλών α, β και των καροτενοειδών δεν φαίνεται να διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ των εφαρμογών.



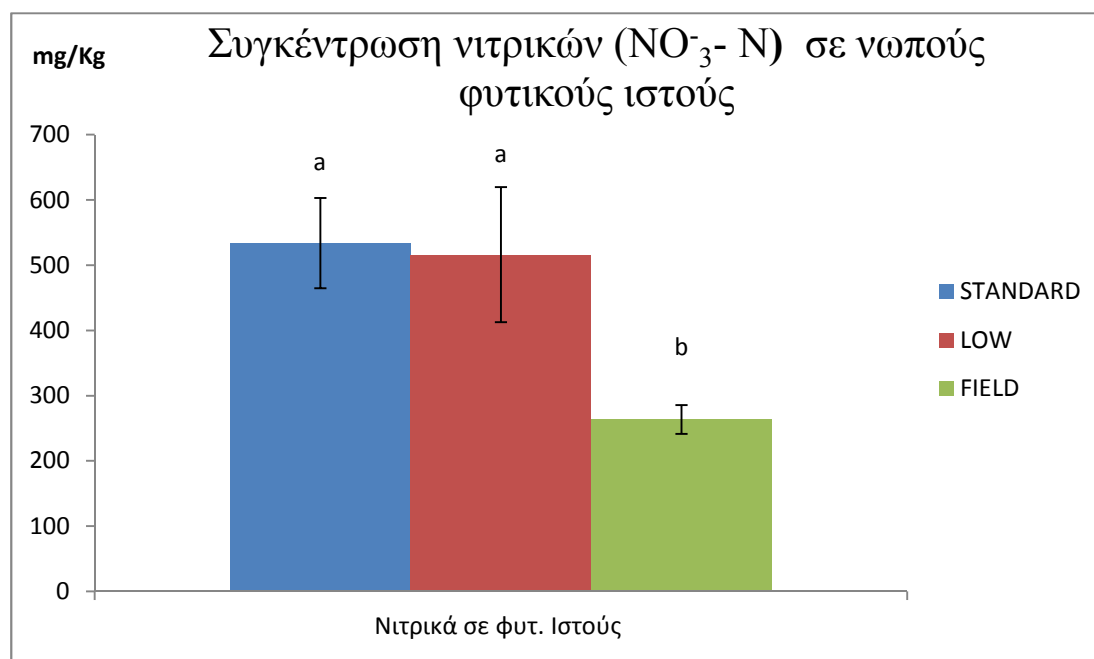
Γράφημα 8. Απεικόνιση της διακύμανσης των τιμών της συγκέντρωσης χλωροφυλλών (α και β) και καροτενοειδών, των φυτών που αναπτύχθηκαν σε: λεκάνες που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα κανονικής σύστασης (STANDARD), σε λεκάνες που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα μειωμένης σύστασης (LOW) και στον αγρό (FIELD). Η μέτρηση έγινε 25 μέρες από την εγκατάσταση του πειράματος. Οι τιμές είναι εκφρασμένες σε µg/ ml. Οι κάθετες γραμμές πάνω στις στήλες αντιπροσωπεύουν το τυπικό σφάλμα. Τα ίδια γράμματα πάνω από κάθε στήλη δείχνουν ποιες εφαρμογές δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους NS, σε επίπεδο σημαντικότητας >0.05 (P>5%).

4.8 Αποτελέσματα αναλύσεων στους φυτικούς ιστούς

4.8.1 Αποτελέσματα συγκέντρωσης νιτρικού-αζώτου (NO₃- N)

Ο υπολογισμός της συγκέντρωσης των νιτρικών έγινε σε νωπούς φυτικούς ιστούς. Στο Γράφημα 9 παρουσιάζονται οι τιμές που προέκυψαν κατά το τέλος του πειράματος από φυτά που αναπτύχθηκαν σε λεκάνες που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα κανονικής σύστασης (STANDARD), σε λεκάνες που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα μειωμένης σύστασης (LOW), στα πλαίσια καλλιέργειας στο σύστημα επίπλευσης και από φυτά που καλλιεργήθηκαν στον αγρό (FIELD). Οι τιμές είναι εκφρασμένες σε mg/Kg φυτικού ιστού και προέκυψαν από τον μέσο όρο των μετρήσεων της συγκέντρωσης νιτρικού-N στους ιστούς των φυτών που αναπτύσσονταν στα πλαίσια κάθε εφαρμογής (STANDARD, LOW και FIELD). Η δειγματοληψία έγινε στο τέλος του πειράματος (25 μέρες από την αρχική εγκατάσταση). Όπως φαίνεται στο παρακάτω γράφημα, η συγκέντρωση των νιτρικών μεταξύ των φυτών που

αναπτύχθηκαν σε λεκάνες που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα LOW και STANDARD δεν διέφεραν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους. Αντίθετα τα φυτά που αναπτύχθηκαν στον αγρό περιείχαν χαμηλότερες ποσότητες νιτρικών από τις υπόλοιπες 2 εφαρμογές.

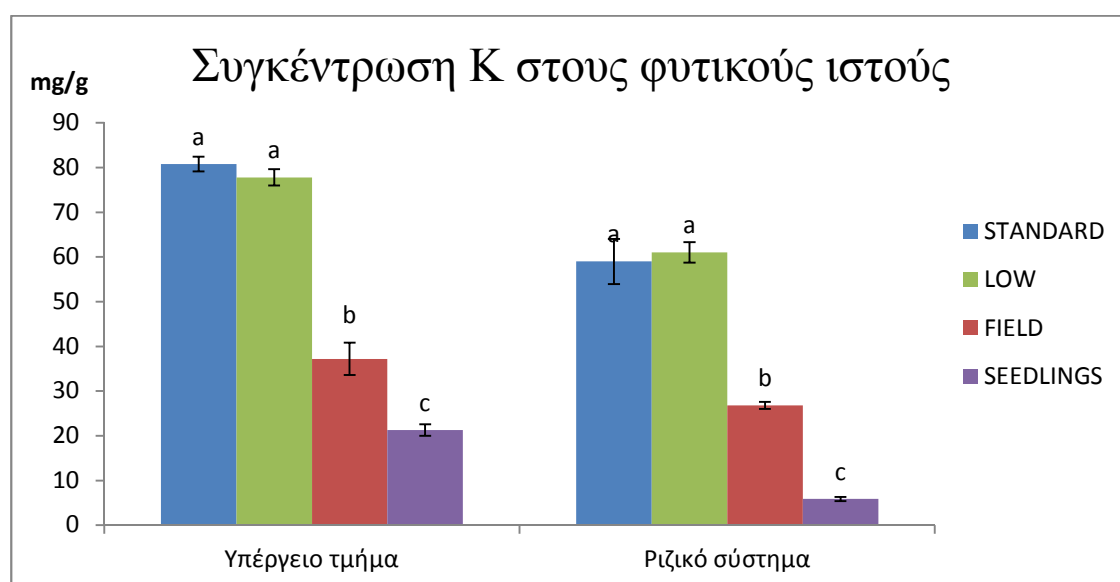


Γράφημα 9. Απεικόνιση της διακύμανσης των επιπέδων συγκέντρωσης των νιτρικών σε νωπούς φυτικούς ιστούς από φυτά που αναπτύχθηκαν σε: λεκάνες που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα κανονικής σύστασης (STANDARD), σε λεκάνες που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα μειωμένης σύστασης (LOW) και στον αγρό (FIELD). Η δειγματοληψία έγινε 25 μέρες από την εγκατάσταση του πειράματος. Οι τιμές είναι εκφρασμένες σε mg ανά Kg νωπού φυτικού ιστού. Οι κάθετες γραμμές πάνω στις στήλες αντιπροσωπεύουν το τυπικό σφάλμα. Τα ίδια γράμματα πάνω από κάθε στήλη δείχνουν ποιες εφαρμογές δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους, σε επίπεδο σημαντικότητας $\leq 0.05\%$ ($P \leq 5\%$).

4.8.2 Αποτελέσματα συγκέντρωσης καλίου (K^+)

Ο υπολογισμός της συγκέντρωσης του καλίου (K) έγινε σε αποξηραμένους φυτικούς ιστούς υπέργειου μέρους και ριζικού συστήματος. Στο Γράφημα 10 παρουσιάζονται οι τιμές που προέκυψαν κατά το τέλος του πειράματος από φυτά που αναπτύχθηκαν σε λεκάνες που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα κανονικής σύστασης (STANDARD), σε λεκάνες που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα μειωμένης σύστασης (LOW), στα πλαίσια καλλιέργειας στο σύστημα επίπλευσης και από φυτά που καλλιεργήθηκαν στον αγρό (FIELD). Επιπρόσθετα, τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν και με τη συγκέντρωση του καλίου στα σπορόφυτα που χρησιμοποιήθηκαν στην

έναρξη του πειράματος (SEEDLINGS). Οι τιμές είναι εκφρασμένες σε mg/g φυτικού ιστού και προέκυψαν από τον μέσο όρο των τιμών των επαναλήψεων από κάθε εφαρμογή (STANDARD, LOW, FIELD, SEEDLINGS). Με βάση το γράφημα, η συγκέντρωση καλίου στα φυτά που καλλιεργήθηκαν σε λεκάνες με STANDARD και LOW θρεπτικό διάλυμα, ήταν υψηλότερη σε σχέση με αυτή στα φυτά που καλλιεργήθηκαν στον αγρό ή των σποροφύτων. Μεταξύ των φυτών που καλλιεργήθηκαν στο σύστημα επίπλευσης, δεν παρατηρείται κάποια στατιστικώς σημαντική διαφορά τόσο στις μετρήσεις καλίου στο υπέργειο τμήμα όσο και στις ρίζες. Αντίθετα, η συγκέντρωση του καλίου στα φυτά στον αγρό, φαίνεται περίπου 50% μειωμένη σε σχέση με τις STANDARD και LOW εφαρμογές, και στις δύο περιπτώσεις (υπέργειο μέρος και ριζικό σύστημα)



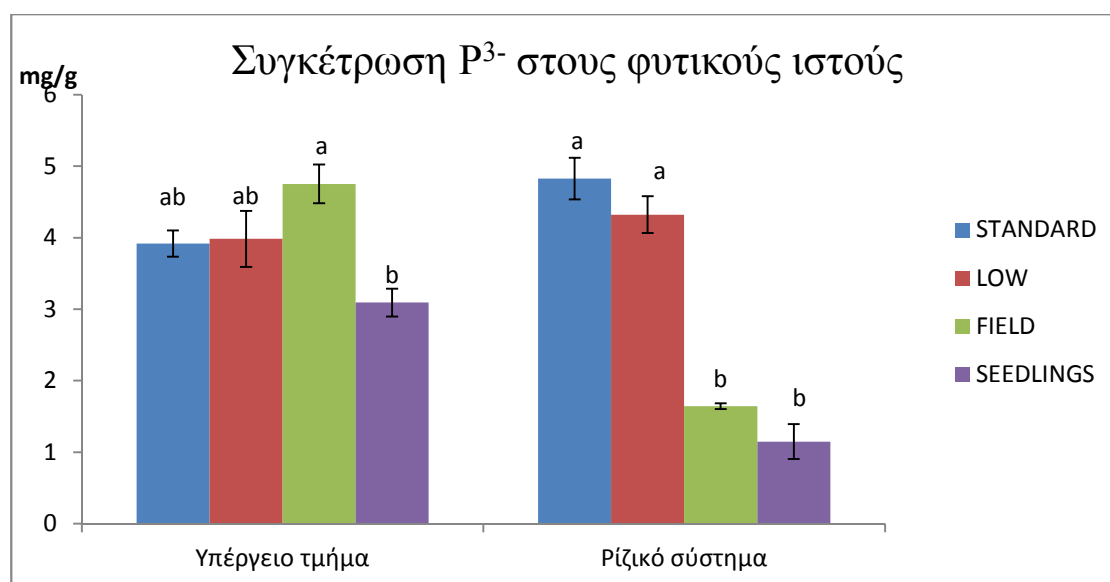
Γράφημα 10. Απεικόνιση της διακύμανσης των επιπέδων συγκέντρωσης του καλίου (K) σε ξηρούς φυτικούς ιστούς από φυτά που αναπτύχθηκαν σε: λεκάνες που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα κανονικής σύστασης (STANDARD), σε λεκάνες που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα μειωμένης σύστασης (LOW) και στον αγρό (FIELD) και από τα σπορόφυτα που χρησιμοποιήθηκαν κατά την έναρξη του πειράματος (SEEDLINGS). Η δειγματοληψία έγινε 25 μέρες από την εγκατάσταση του πειράματος. Οι τιμές είναι εκφρασμένες σε mg ανά g ξηρού φυτικού ιστού. Οι κάθετες γραμμές πάνω στις στήλες αντιπροσωπεύουν το τυπικό σφάλμα. Τα διαφορετικά γράμματα πάνω από κάθε στήλη δείχνουν ποιες εφαρμογές διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους, ενώ τα ίδια γράμματα δείχνουν ποιες εφαρμογές δεν διαφέρουν μεταξύ τους, σε επίπεδο σημαντικότητας $\leq 0.001\%$ ($P \leq 0.1\%$).

4.8.3 Αποτελέσματα συγκέντρωσης φωσφόρου (P^{3-})

Ο υπολογισμός της συγκέντρωσης του φωσφόρου (P^{3-}) έγινε σε αποξηραμένους φυτικούς ιστούς υπέργειου μέρους και ριζικού συστήματος. Στο

Γράφημα 11 παρουσιάζονται οι τιμές που προέκυψαν κατά το τέλος του πειράματος από φυτά που αναπτύχθηκαν σε λεκάνες που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα κανονικής σύστασης (STANDARD), σε λεκάνες που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα μειωμένης σύστασης (LOW), στα πλαίσια καλλιέργειας στο σύστημα επίπλευσης και από φυτά που καλλιεργήθηκαν στον αγρό (FIELD). Στη συνέχεια, οι τιμές που προέκυψαν, συγκρίθηκαν με τη συγκέντρωση του καλίου στα σπορόφυτα που χρησιμοποιήθηκαν στην έναρξη του πειράματος (SEEDLINGS). Οι τιμές είναι εκφρασμένες σε mg/g φυτικού ιστού και προέκυψαν από τον μέσο όρο των τιμών των επαναλήψεων από κάθε εφαρμογή (STANDARD, LOW, FIELD, SEEDLINGS).

Σύμφωνα με το γράφημα που ακολουθεί, όσον αφορά το υπέργειο μέρος, τη μεγαλύτερη συγκέντρωση P φάνηκε να έχουν τα φυτά του αγρού, διαφέροντας στατιστικώς σημαντικά από τα φυτά των δύο εφαρμογών που καλλιεργήθηκαν στο σύστημα επίπλευσης, ομοίως διέφεραν στατιστικώς σημαντικά με τη συγκέντρωση P στους ιστούς των σποροφύτων. Όσον αφορά τη συγκέντρωση φωσφόρου στις ρίζες, αυτή εμφανίζεται σαφώς αυξημένη στα καλλιεργηθέντα φυτά στο σύστημα επίπλευσης σε σχέση με του αγρού και τα σπορόφυτα. Μεταξύ των 2 διαφορετικών εφαρμογών στο σύστημα επίπλευσης, δεν παρατηρείται στατιστικώς σημαντική διαφορά. Το ίδιο συμβαίνει και στη περίπτωση των φυτών που αναπτύχθηκαν στον αγρό και των σποροφύτων.



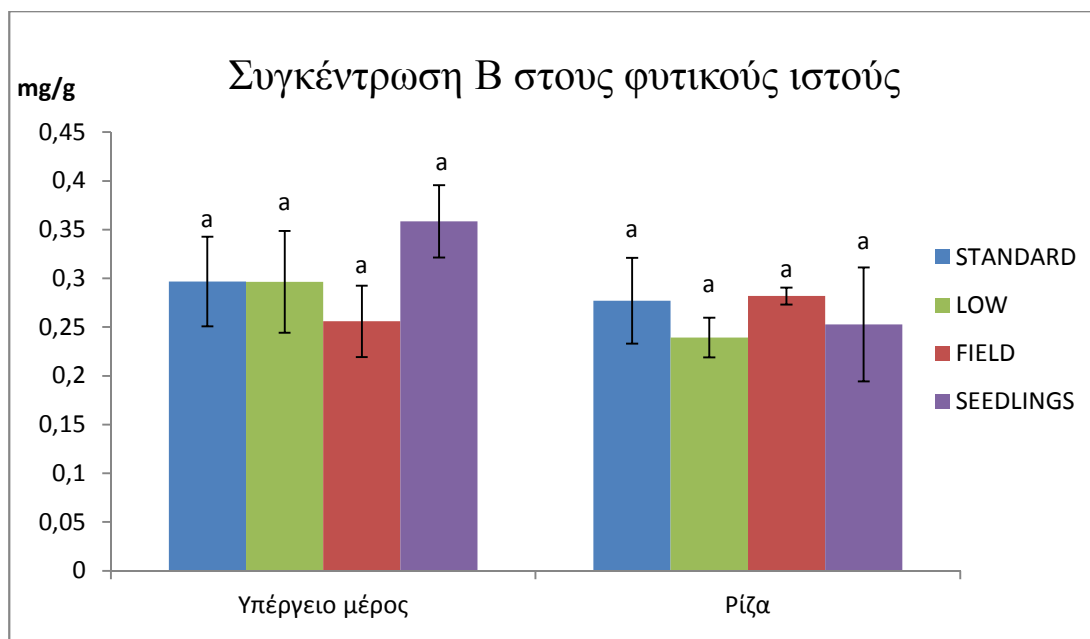
Γράφημα 11. Απεικόνιση της διακύμανσης των επιπέδων συγκέντρωσης του φωσφόρου (P) σε ξηρούς φυτικούς ιστούς από φυτά που αναπτύχθηκαν σε: λεκάνες που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα κανονικής σύστασης (STANDARD), σε λεκάνες που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα μειωμένης σύστασης (LOW) και στον αγρό (FIELD) και από τα σπορόφυτα που χρησιμοποιήθηκαν κατά την έναρξη του πειράματος (SEEDLINGS). Η δειγματοληψία έγινε 25 μέρες από την εγκατάσταση του πειράματος. Οι

τιμές είναι εκφρασμένες σε mg ανά g ξηρού φυτικού ιστού. Οι κάθετες γραμμές πάνω στις στήλες αντιπροσωπεύουν το τυπικό σφάλμα. Τα διαφορετικά γράμματα πάνω από κάθε στήλη δείχνουν ποιες εφαρμογές διαφέρουν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους, ενώ τα ίδια γράμματα δείχνουν ποιες εφαρμογές δεν διαφέρουν μεταξύ τους, σε επίπεδο σημαντικότητας $\leq 0.01\%$ ($P \leq 1\%$) για το υπέργειο τμήμα και $\leq 0.001\%$ ($P \leq 0,1\%$) για το ριζικό σύστημα.

4.8.4 Αποτελέσματα συγκέντρωσης βορίου (B)

Ο υπολογισμός της συγκέντρωσης του βορίου (B) έγινε σε αποξηραμένους φυτικούς ιστούς υπέργειου μέρους και ριζικού συστήματος. Στο γράφημα 12 παρουσιάζονται οι τιμές που προέκυψαν κατά το τέλος του πειράματος από φυτά που αναπτύχθηκαν σε λεκάνες που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα κανονικής σύστασης (STANDARD), σε λεκάνες που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα μειωμένης σύστασης (LOW), στα πλαίσια καλλιέργειας στο σύστημα επίπλευσης και από φυτά που καλλιεργήθηκαν στον αγρό (FIELD). Στη συνέχεια, οι τιμές που προέκυψαν, συγκρίθηκαν με τη συγκέντρωση του καλίου στα σπορόφυτα που χρησιμοποιήθηκαν στην έναρξη του πειράματος (SEEDLINGS). Οι τιμές είναι εκφρασμένες σε mg/g φυτικού ιστού και προέκυψαν από τον μέσο όρο των τιμών των επαναλήψεων από κάθε εφαρμογή (STANDARD, LOW, FIELD, SEEDLINGS).

Όπως απεικονίζεται στο παρακάτω γράφημα, τόσο οι συγκεντρώσεις του βορίου στο υπέργειο μέρος των φυτών, όσο και στο ριζικό σύστημα, φαίνεται πως δεν διαφέρουν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους.

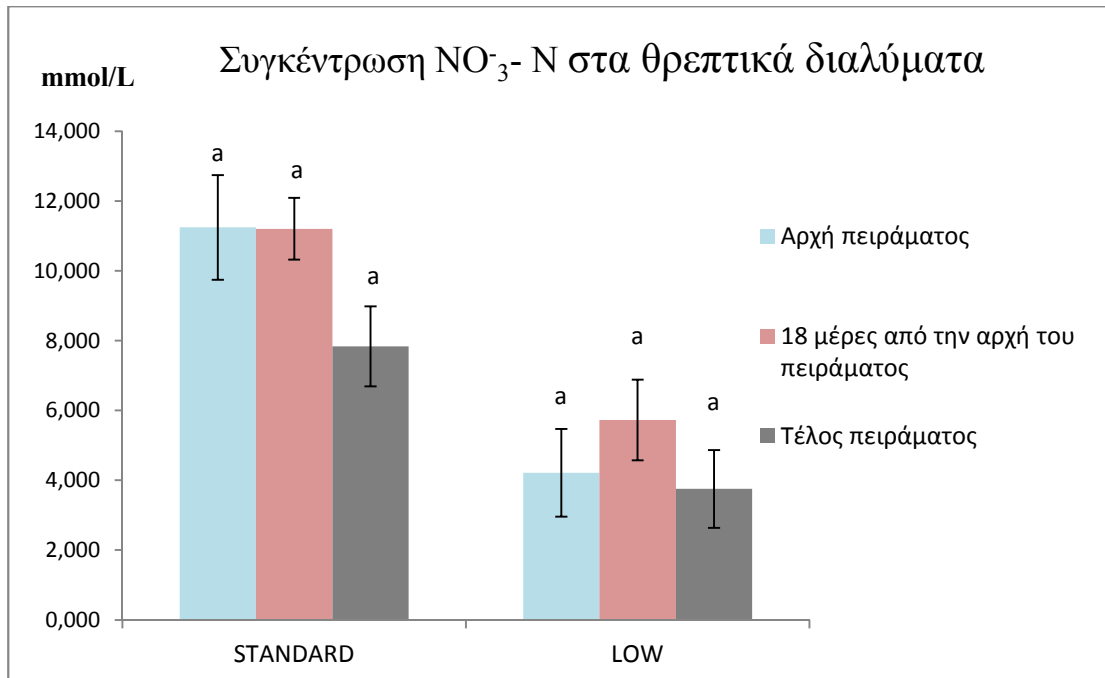


Γράφημα 12. Απεικόνιση της διακύμανσης των επιπέδων συγκέντρωσης του βορίου (B) σε ξηρούς φυτικούς ιστούς από φυτά που αναπτύχθηκαν σε: λεκάνες που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα κανονικής σύστασης (STANDARD), σε λεκάνες που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα μειωμένης σύστασης (LOW) και στον αγρό (FIELD) και από τα σπορόφυτα που χρησιμοποιήθηκαν κατά την έναρξη του πειράματος (SEEDLINGS). Η δειγματοληψία έγινε 25 μέρες από την εγκατάσταση του πειράματος. Οι τιμές είναι εκφρασμένες σε mg ανά g ξηρού φυτικού ιστού. Οι κάθετες γραμμές πάνω στις στήλες αντιπροσωπεύουν το τυπικό σφάλμα. Τα ίδια γράμματα πάνω από κάθε στήλη δείχνουν ποιες εφαρμογές δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους (NS), σε επίπεδο σημαντικότητας ≤ 0.05 ($P \leq 5\%$).

4.9 Αποτελέσματα αναλύσεων των θρεπτικών διαλυμάτων

4.9.1 Αποτελέσματα συγκέντρωσης νιτρικού-αζώτου ($\text{NO}_3^- \text{N}$)

Στο γράφημα 13 απεικονίζονται οι τιμές της συγκέντρωσης των νιτρικών στις λεκάνες που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα κανονικής σύστασης (STANDARD) και στις λεκάνες που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα μειωμένης σύστασης (LOW). Κατά την διάρκεια της μεταπτυχιακής μελέτης, έγιναν 3 δειγματοληψίες: η πρώτη κατά την έναρξη του πειράματος (Αρχή πειράματος), η δεύτερη 18 μέρες μετά την εγκατάσταση του πειράματος και η τρίτη τη μέρα συγκομιδής των φυτών (Τέλος πειράματος). Οι τιμές είναι εκφρασμένες σε mmol/L θρεπτικού διαλύματος και έχουν προκύψει από τον μέσο όρο των τιμών των 4 λεκανών ανά εφαρμογή (STANDARD και LOW). Όπως παρατηρείται, εντός των δύο εφαρμογών μολονότι υπάρχουν διαφοροποιήσεις μεταξύ των δειγματοληψιών, οι τιμές δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους.

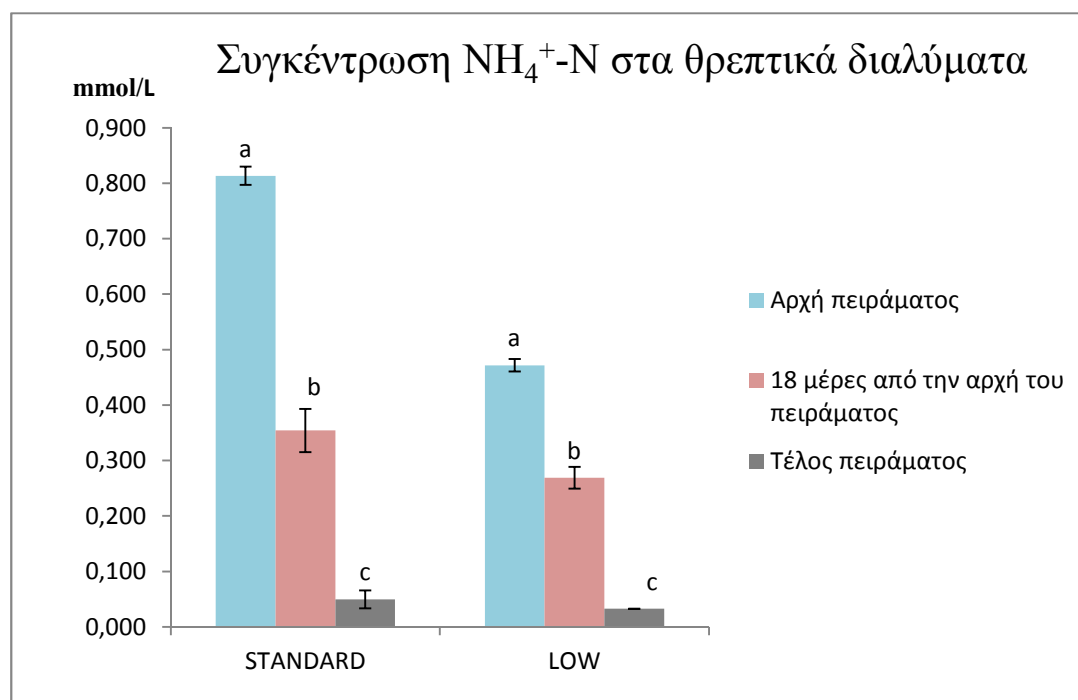


Γράφημα 13. Απεικόνιση της διακύμανσης των επιπέδων συγκέντρωσης των νιτρικών στις λεκάνες που περιείχαν δύο διαφορετικής σύστασης θρεπτικά διαλύματα: λεκάνες που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα κανονικής σύστασης (STANDARD) και λεκάνες που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα μειωμένης σύστασης (LOW). Οι τιμές προέκυψαν ύστερα από 3 δειγματοληψίες σε διαφορετικές χρονικές στιγμές κατά τη διάρκεια του πειράματος: Κατά την αρχή του πειράματος, μετά από 18 μέρες από την αρχή του πειράματος και κατά το τέλος του πειράματος. Οι τιμές είναι εκφρασμένες σε mmol ανά λίτρο (L) θρεπτικού διαλύματος. Οι κάθετες γραμμές πάνω στις στήλες αντιπροσωπεύουν το τυπικό σφάλμα. Τα ίδια γράμματα πάνω από κάθε στήλη δείχνουν τις εφαρμογές που δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους (NS), σε επίπεδο σημαντικότητας ≤ 0.05 ($P \leq 5\%$).

4.9.2 Αποτελέσματα συγκέντρωσης αμμωνιακού-αζώτου (NH₄⁺-N)

Στο Γράφημα 14 απεικονίζονται οι τιμές της συγκέντρωσης των αμμωνιακών στις λεκάνες που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα κανονικής σύστασης (STANDARD) και στις λεκάνες που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα μειωμένης σύστασης (LOW). Κατά την διάρκεια της μεταπτυχιακής μελέτης, έγιναν 3 δειγματοληψίες: η πρώτη κατά την έναρξη του πειράματος (Αρχή πειράματος), η δεύτερη 18 μέρες μετά την εγκατάσταση του πειράματος και η τρίτη τη μέρα συγκομιδής των φυτών (Τέλος πειράματος). Οι τιμές είναι εκφρασμένες σε mmol ανά λίτρο (L) θρεπτικού διαλύματος και έχουν προκύψει από τον μέσο όρο των τιμών των 4 λεκανών ανά εφαρμογή (STANDARD και LOW). Όπως είναι εμφανές από το παρακάτω γράφημα, οι τιμές εντός των εφαρμογών διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ των δειγματοληψιών. Όσον αφορά τα STANDARD διαλύματα, κατά την έναρξη του

πειράματος η μέση τιμή συγκέντρωσης των αμμωνιακών είναι 0,0114 mmol/L, ενώ κατά το πέρας του πειράματος φάνηκε μειωμένη περίπου κατά 94%. Αντίστοιχα στις λεκάνες που περιείχαν τα LOW διαλύματα, η αρχική συγκέντρωση ήταν 0,0066 mmol/L και στο τέλος του πειράματος μειώθηκε κατά 93%.

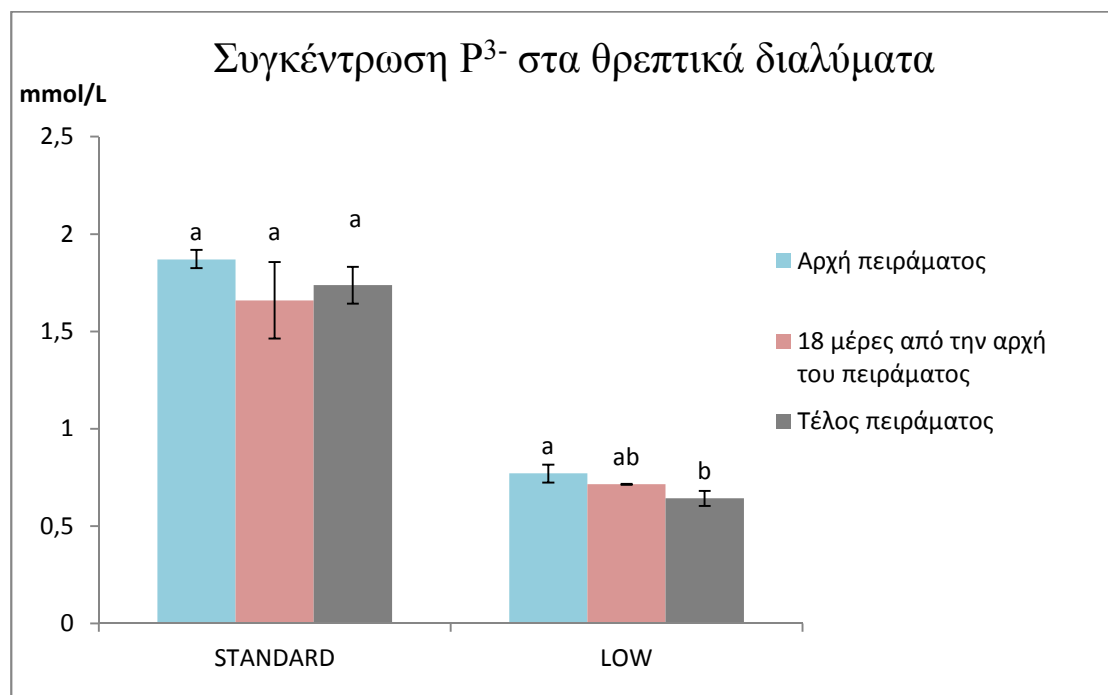


Γράφημα 14. Απεικόνιση της διακύμανσης των επιπέδων συγκέντρωσης των αμμωνιακών στις λεκάνες που περιείχαν δύο διαφορετικής σύστασης θρεπτικά διαλύματα: λεκάνες που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα κανονικής σύστασης (STANDARD) και λεκάνες που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα μειωμένης σύστασης (LOW). Οι τιμές προέκυψαν ύστερα από 3 δειγματοληψίες σε διαφορετικές χρονικές στιγμές κατά τη διάρκεια του πειράματος: Κατά την αρχή του πειράματος, μετά από 18 μέρες από την αρχή του πειράματος και κατά το τέλος του πειράματος. Οι τιμές είναι εκφρασμένες σε mmol ανά λίτρο (L) θρεπτικού διαλύματος. Οι κάθετες γραμμές πάνω στις στήλες αντιπροσωπεύουν το τυπικό σφάλμα. Τα διαφορετικά γράμματα πάνω από κάθε στήλη δείχνουν ποιες εφαρμογές διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους, σε επίπεδο σημαντικότητας $\leq 0.05\%$ ($P \leq 0.05\%$).

4.9.3 Αποτελέσματα συγκέντρωσης φωσφόρου (P³⁻)

Στο Γράφημα 15 απεικονίζονται οι τιμές της συγκέντρωσης του φωσφόρου (P) στις λεκάνες που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα κανονικής σύστασης (STANDARD) και στις λεκάνες που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα μειωμένης σύστασης (LOW). Κατά την διάρκεια της μεταπτυχιακής μελέτης, έγιναν 3 δειγματοληψίες: η πρώτη κατά την έναρξη του πειράματος (Αρχή πειράματος), η δεύτερη 18 μέρες μετά την εγκατάσταση του πειράματος και η τρίτη τη μέρα συγκομιδής των φυτών (Τέλος πειράματος). Οι τιμές είναι εκφρασμένες σε mmol ανά

λίτρο (L) θρεπτικού διαλύματος και έχουν προκύψει από τον μέσο όρο των τιμών των 4 λεκανών ανά εφαρμογή (STANDARD και LOW). Στις λεκάνες με STANDARD θρεπτικό διάλυμα οι διαφορές στη συγκέντρωση του P στις λεκάνες δεν φαίνεται να διαφοροποιείται στατιστικώς σημαντικά μεταξύ των δειγματοληψιών. Αντίθετα στις λεκάνες που περιέχουν LOW θρεπτικό διάλυμα η στατιστικώς σημαντική διαφορά εντοπίζεται από την αρχή του πειράματος κατά το τέλος του πειράματος.

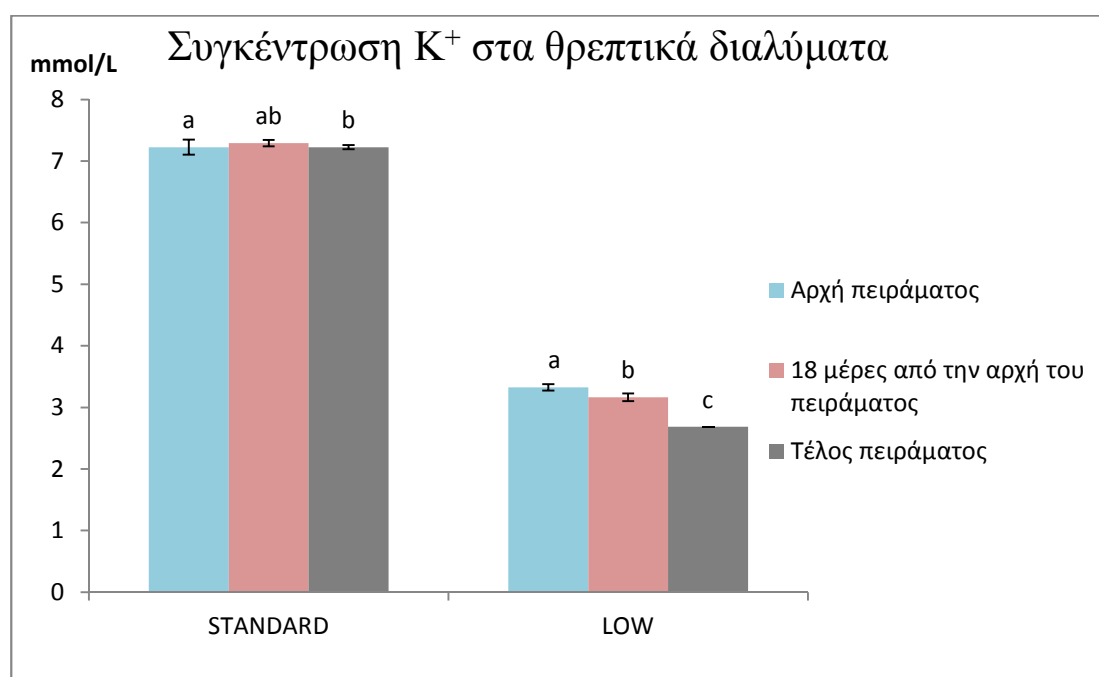


Γράφημα 15. Απεικόνιση της διακύμανσης των επιπέδων συγκέντρωσης των αμμωνιακών στις λεκάνες που περιείχαν δύο διαφορετικής σύστασης θρεπτικά διαλύματα: λεκάνες που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα κανονικής σύστασης (STANDARD) και λεκάνες που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα μειωμένης σύστασης (LOW). Οι τιμές προέκυψαν ύστερα από 3 δειγματοληψίες σε διαφορετικές χρονικές στιγμές κατά τη διάρκεια του πειράματος: Κατά την αρχή του πειράματος, μετά από 18 μέρες από την αρχή του πειράματος και κατά το τέλος του πειράματος. Οι τιμές είναι εκφρασμένες σε mmol ανά λίτρο (L) θρεπτικού διαλύματος. Οι κάθετες γραμμές πάνω στις στήλες αντιπροσωπεύουν το τυπικό σφάλμα. Τα διαφορετικά γράμματα πάνω από κάθε στήλη δείχνουν ποιες εφαρμογές διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους, ενώ τα ίδια γράμματα δείχνουν ποιες εφαρμογές δεν διαφέρουν μεταξύ τους (NS), σε επίπεδο σημαντικότητας $\leq 0.05\%$ ($P \leq 0.05\%$).

4.9.4 Αποτελέσματα συγκέντρωσης ιόντων καλίου (K⁺)

Στο Γράφημα 16 απεικονίζονται οι τιμές της συγκέντρωσης ιόντων καλίου (K⁺) στις λεκάνες που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα κανονικής σύστασης (STANDARD) και στις λεκάνες που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα μειωμένης σύστασης (LOW). Κατά την διάρκεια της μεταπτυχιακής μελέτης, έγιναν 3

δειγματοληψίες: η πρώτη κατά την έναρξη του πειράματος (Αρχή πειράματος), η δεύτερη 18 μέρες μετά την εγκατάσταση του πειράματος και η τρίτη τη μέρα συγκομιδής των φυτών (Τέλος πειράματος). Οι τιμές είναι εκφρασμένες σε mmol ανά λίτρο (L) θρεπτικού διαλύματος και έχουν προκύψει από τον μέσο όρο των τιμών των 4 λεκανών ανά εφαρμογή (STANDARD και LOW). Από το παρακάτω γράφημα είναι φανερό η κατανάλωση καλίου από τα φυτά, καθώς και στις 2 εφαρμογές η συγκέντρωση του καλίου στα θρεπτικά διαλύματα διαφέρει στατιστικά σημαντικά μεταξύ των δειγματοληψιών που έγιναν κατά την έναρξη και κατά το πέρας του πειράματος.

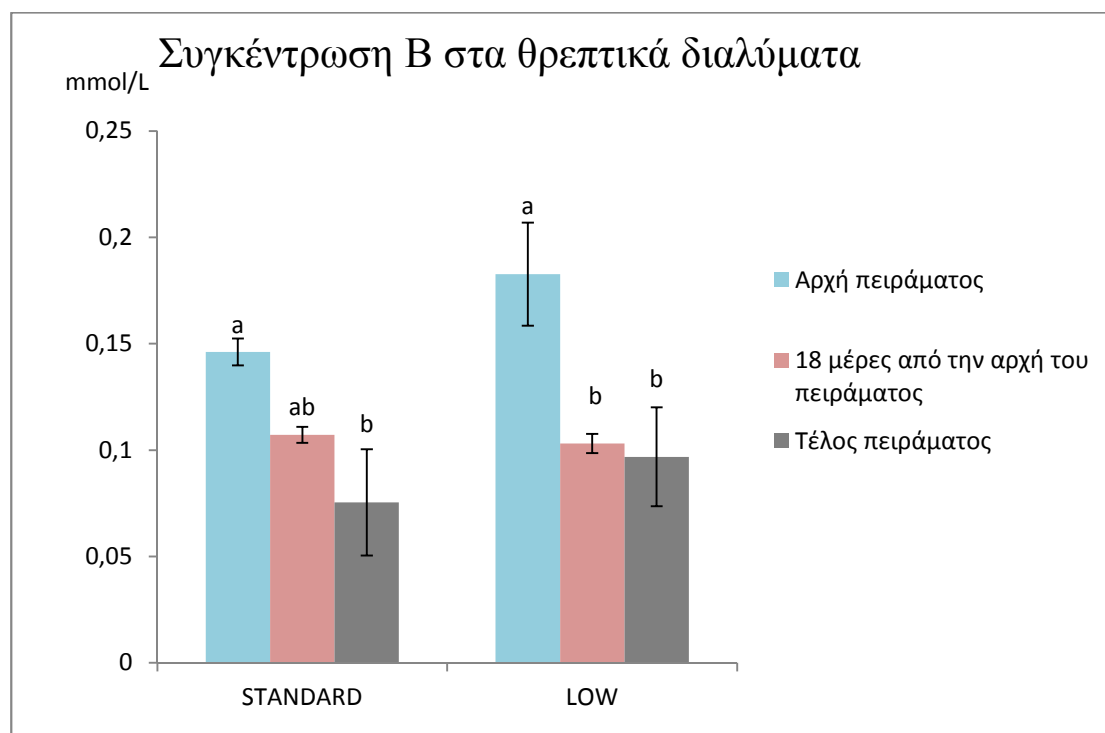


Γράφημα 16. Απεικόνιση της διακύμανσης των επιπέδων συγκέντρωσης των ιόντων καλίου (K⁺) στις λεκάνες που περιείχαν δύο διαφορετικής σύστασης θρεπτικά διαλύματα: λεκάνες που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα κανονικής σύστασης (STANDARD) και λεκάνες που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα μειωμένης σύστασης (LOW). Οι τιμές προέκυψαν ύστερα από 3 δειγματοληψίες σε διαφορετικές χρονικές στιγμές κατά τη διάρκεια του πειράματος: Κατά την αρχή του πειράματος, μετά από 18 μέρες από την αρχή του πειράματος και κατά το τέλος του πειράματος. Οι τιμές είναι εκφρασμένες σε mmol ανά λίτρο (L) θρεπτικού διαλύματος. Οι κάθετες γραμμές πάνω στις στήλες αντιπροσωπεύουν το τυπικό σφάλμα. Τα διαφορετικά γράμματα πάνω από κάθε στήλη δείχνουν ποιες εφαρμογές διαφέρουν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους, ενώ τα ίδια γράμματα δείχνουν ποιες εφαρμογές δεν διαφέρουν μεταξύ τους (NS), σε επίπεδο σημαντικότητας $\leq 0.05\%$ ($P \leq 0.05\%$).

4.9.5 Αποτελέσματα συγκέντρωσης Βορίου (B)

Στο γΓράφημα 17 απεικονίζονται οι τιμές της συγκέντρωσης του βορίου (B) στις λεκάνες που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα κανονικής σύστασης (STANDARD)

και στις λεκάνες που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα μειωμένης σύστασης (LOW). Κατά την διάρκεια της μεταπτυχιακής μελέτης, έγιναν 3 δειγματοληψίες: η πρώτη κατά την έναρξη του πειράματος (Αρχή πειράματος), η δεύτερη 18 μέρες μετά την εγκατάσταση του πειράματος και η τρίτη τη μέρα συγκομιδής των φυτών (Τέλος πειράματος). Οι τιμές είναι εκφρασμένες σε mmol ανά λίτρο (L) θρεπτικού διαλύματος και έχουν προκύψει από τον μέσο όρο των τιμών των 4 λεκανών ανά εφαρμογή (STANDARD και LOW). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στο παρακάτω γράφημα, η συγκέντρωση του βορίου κατά την έναρξη του πειράματος και στις 2 εφαρμογές, μειώθηκε αισθητά μέχρι τη τελευταία δειγματοληψία καθώς ύστερα από στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων φαίνεται να διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους.



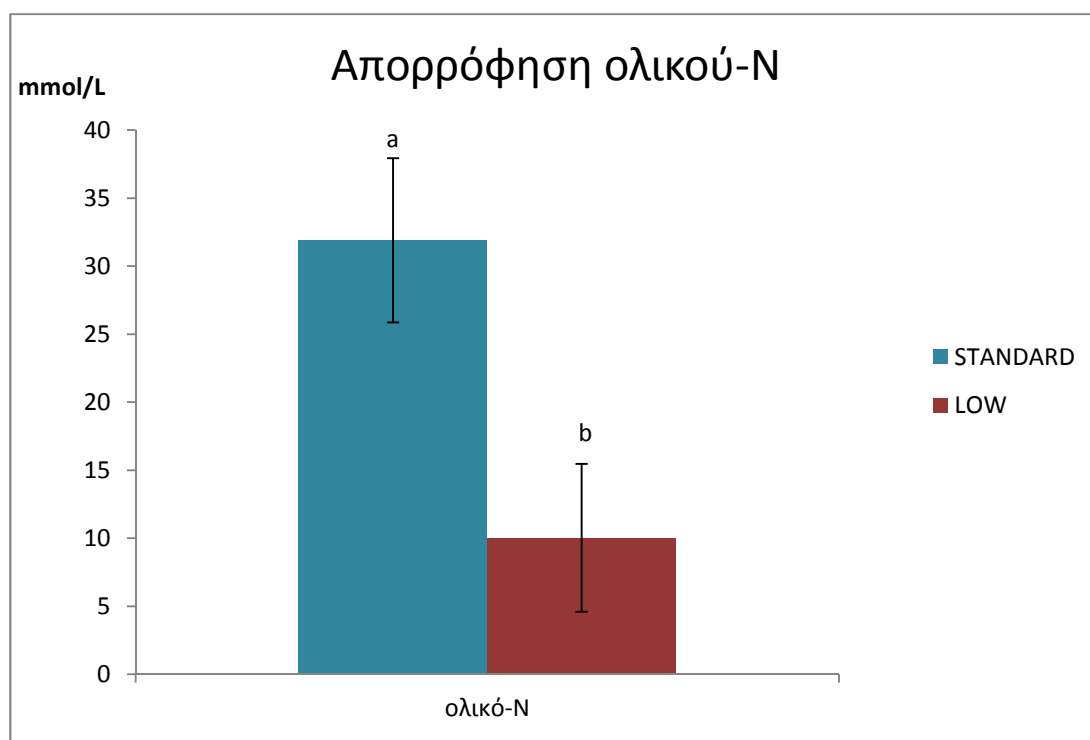
Γράφημα 17. Απεικόνιση της διακύμανσης των επιπέδων συγκέντρωσης του βορίου στις λεκάνες που περιείχαν δύο διαφορετικής σύστασης θρεπτικά διαλύματα: λεκάνες που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα κανονικής σύστασης (STANDARD) και λεκάνες που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα μειωμένης σύστασης (LOW). Οι τιμές προέκυψαν ύστερα από 3 δειγματοληψίες σε διαφορετικές χρονικές στιγμές κατά τη διάρκεια του πειράματος: Κατά την αρχή του πειράματος, μετά από 18 μέρες από την αρχή του πειράματος και κατά το τέλος του πειράματος. Οι τιμές είναι εκφρασμένες σε mmol ανά λίτρο (L) θρεπτικού διαλύματος. Οι κάθετες γραμμές πάνω στις στήλες αντιπροσωπεύουν το τυπικό σφάλμα. Τα διαφορετικά γράμματα πάνω από κάθε στήλη δείχνουν ποιες εφαρμογές διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους, ενώ τα ίδια γράμματα δείχνουν ποιες εφαρμογές δεν διαφέρουν μεταξύ τους (NS), σε επίπεδο σημαντικότητας $\leq 0.05\%$ ($P \leq 0.05\%$).

4.10 Απορρόφηση θρεπτικών στοιχείων στους φυτικούς ιστούς των φυτών που καλλιεργήθηκαν στο σύστημα επίπλευσης

4.10.1 Απορρόφηση ολικού-αζώτου (ολικό-N)

Στο Γράφημα 19 φαίνεται η συγκέντρωση του αζώτου που απορροφήθηκε από τα φυτά κατά τη διάρκεια του πειράματος, στις λεκάνες που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα κανονικής σύστασης (STANDARD) και στις λεκάνες που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα μειωμένης σύστασης (LOW). Οι τιμές είναι εκφρασμένες σε mmol ανά λίτρο (L) θρεπτικού διαλύματος και έχουν προκύψει από τον μέσο όρο των τιμών των 4 λεκανών ανά εφαρμογή (STANDARD και LOW).

Από τις τιμές που υπολογίστηκαν για τη ποσότητα ολικού αζώτου που καταναλώθηκε μεταξύ των δύο εφαρμογών, προέκυψε ότι τα φυτά που αναπτύσσονταν σε θρεπτικό διάλυμα κανονικής σύστασης φάνηκε να κατανάλωσαν σχεδόν 69% περισσότερη ποσότητα ολικού αζώτου σε σχέση με εκείνα που αναπτύσσονταν σε θρεπτικό διάλυμα μειωμένης σύστασης.

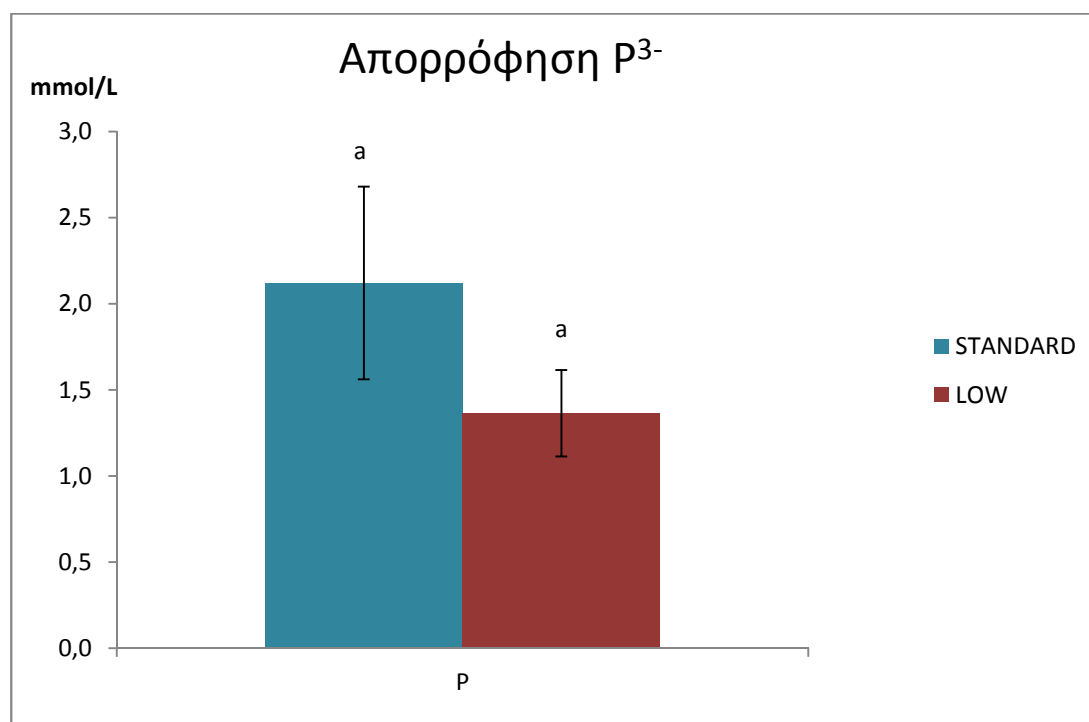


Γράφημα 19 Απεικόνιση της διακύμανσης των επιπέδων κατανάλωσης ολικού αζώτου (ολικό-N) μεταξύ των φυτών που αναπτύχθηκαν σε λεκάνες που περιείχαν δύο διαφορετικής σύστασης θρεπτικά διαλύματα: λεκάνες που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα κανονικής σύστασης (STANDARD) και λεκάνες που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα μειωμένης σύστασης (LOW). Οι τιμές είναι εκφρασμένες σε mmol ανά λίτρο (L) θρεπτικού διαλύματος. Οι κάθετες γραμμές πάνω στις στήλες αντιπροσωπεύουν το

τυπικό σφάλμα. Τα διαφορετικά γράμματα πάνω από κάθε στήλη δείχνουν ποιες εφαρμογές διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους, ενώ τα ίδια γράμματα δείχνουν ποιες εφαρμογές δεν διαφέρουν μεταξύ τους (NS), σε επίπεδο σημαντικότητας $\leq 0.05\%$ ($P \leq 0.05\%$).

4.10.2 Απορρόφηση φωσφόρου (P^{3-})

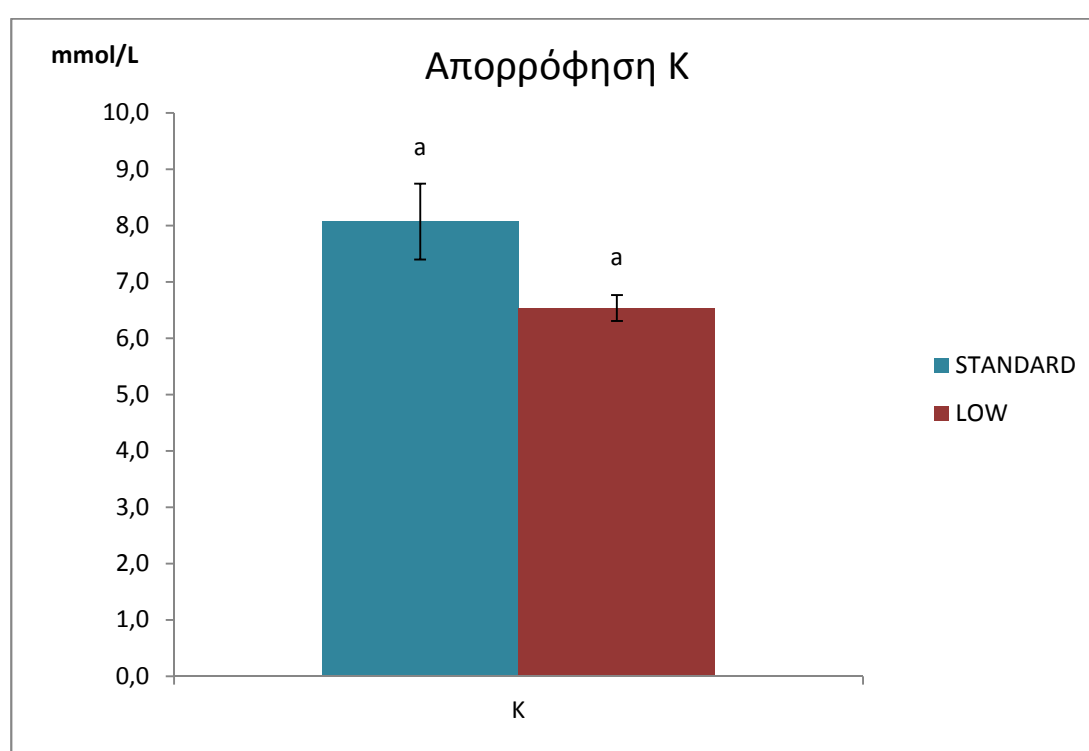
Στο Γράφημα 20 φαίνεται η συγκέντρωση του φωσφόρου (P) που απορροφήθηκε από τα φυτά κατά τη διάρκεια του πειράματος, στις λεκάνες που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα κανονικής σύστασης (STANDARD) και στις λεκάνες που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα μειωμένης σύστασης (LOW). Οι τιμές είναι εκφρασμένες σε mmol ανά λίτρο (L) θρεπτικού διαλύματος και έχουν προκύψει από τον μέσο όρο των τιμών των 4 λεκανών ανά εφαρμογή (STANDARD και LOW). Μολονότι διακρίνεται μια διαφοροποίηση όσον αφορά τη απορρόφηση φωσφόρου μεταξύ των δύο εφαρμογών, ωστόσο η διακύμανση αυτή δεν φαίνεται να είναι στατιστικώς σημαντική.



Γράφημα 20 Απεικόνιση της διακύμανσης των επιπέδων κατανάλωσης φωσφόρου (P) μεταξύ των φυτών που αναπτύχθηκαν σε λεκάνες που περιείχαν δύο διαφορετικής σύστασης θρεπτικά διαλύματα: λεκάνες που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα κανονικής σύστασης (STANDARD) και λεκάνες που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα μειωμένης σύστασης (LOW). Οι τιμές είναι εκφρασμένες σε mmol ανά λίτρο (L) θρεπτικού διαλύματος. Οι κάθετες γραμμές πάνω στις στήλες αντιπροσωπεύουν το τυπικό σφάλμα. Τα διαφορετικά γράμματα πάνω από κάθε στήλη δείχνουν ποιες εφαρμογές διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους, ενώ τα ίδια γράμματα δείχνουν ποιες εφαρμογές δεν διαφέρουν μεταξύ τους (NS), σε επίπεδο σημαντικότητας $\leq 0.05\%$ ($P \leq 0.05\%$).

4.10.3 Απορρόφηση καλίου (K)

Στο γράφημα Γράφημα 21 φαίνεται η συγκέντρωση του καλίου (K) που απορροφήθηκε από τα φυτά κατά τη διάρκεια του πειράματος, στις λεκάνες που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα κανονικής σύστασης (STANDARD) και στις λεκάνες που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα μειωμένης σύστασης (LOW). Οι τιμές είναι εκφρασμένες σε mmol ανά λίτρο (L) θρεπτικού διαλύματος και έχουν προκύψει από τον μέσο όρο των τιμών των 4 λεκανών ανά εφαρμογή (STANDARD και LOW). Όσον αφορά τα επίπεδα απορρόφησης καλίου μεταξύ των δύο εφαρμογών, αυτά δεν φαίνεται να διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά.



Γράφημα 21 Απεικόνιση της διακύμανσης των επιπέδων κατανάλωσης καλίου (K) μεταξύ των φυτών που αναπτύχθηκαν σε λεκάνες που περιείχαν δύο διαφορετικής σύστασης θρεπτικά διαλύματα: λεκάνες που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα κανονικής σύστασης (STANDARD) και λεκάνες που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα μειωμένης σύστασης (LOW). Οι τιμές είναι εκφρασμένες σε mmol ανά λίτρο (L) θρεπτικού διαλύματος. Οι κάθετες γραμμές πάνω στις στήλες αντιπροσωπεύουν το τυπικό σφάλμα. Τα διαφορετικά γράμματα πάνω από κάθε στήλη δείχνουν ποιες εφαρμογές διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους, ενώ τα ίδια γράμματα δείχνουν ποιες εφαρμογές δεν διαφέρουν μεταξύ τους (NS), σε επίπεδο σημαντικότητας $\leq 0.05\%$ ($P \leq 0.05\%$).

5 Συμπεράσματα - Συζήτηση

Στη παρούσα μεταπτυχιακή μελέτη, είναι ολοφάνερη η διαφοροποίηση στη συνολική παραγωγή του σταμναγκαθιού. Τα φυτά που αναπτύχθηκαν στο θερμοκήπιο, τόσο υπό συνθήκες κανονικής θρέψης όσο υπό συνθήκες μειωμένης θρέψης, έδωσαν παραγωγή που ξεπέρασε τα 1300 κιλά ανά στρέμμα. Συγκεκριμένα, τα φυτά που αναπτύχθηκαν σε λεκάνες του συστήματος επίπλευσης που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα κανονικής και μειωμένης σύστασης έδωσαν παραγωγή 1367 και 1309 κιλά/στρέμμα αντίστοιχα, 25 μέρες από την έναρξη του πειράματος. Αντίθετα, τα φυτά στον αγρό έδωσαν μόλις 386 κιλά/ στρέμμα. Μάλιστα το 2010 ο Ακουμιανάκης σε σχετικό άρθρο, προβλέπει ότι η καλλιέργεια του σταμναγκαθιού στον αγρό θα μπορούσε να αποδώσει 1000 κιλά/ στρέμμα. Όσον αφορά την υδροπονική καλλιέργεια του σταμναγκαθιού, η πρόβλεψη αυτή όχι μόνο επιβεβαιώθηκε αλλά ξεπεράστηκε κατά 30%. Στο σημείο αυτό πρέπει να επισημανθεί, πως τα φυτά που αναπτύσσονταν στον αγρό, δεν συγκομίστηκαν στο εμπορεύσιμο στάδιο τους, καθώς χρειαζόνταν αρκετές μέρες επιπλέον έτσι ώστε να χαρακτηριστούν εμπορεύσιμα. Υπό αυτή τη κατεύθυνση, δεν υπάρχει ξεκάθαρη εικόνα για το ύψος της παραγωγής που θα προέκυπτε από την υπαίθρια καλλιέργεια του φυτού.

Η καθυστέρηση της ανάπτυξης των φυτών στον αγρό σε σχέση με τα φυτά που αναπτύχθηκαν υδροπονικά, έρχεται να επιβεβαιώσει τη πρωίμηση που μπορεί να προσφέρει στη παραγωγή η χρήση αυτής της μεθόδου καλλιέργειας. Όπως αναφέρει ο Ακουμιανάκης (2010), το φυτό χρειάζεται 3-4 μήνες, ανάλογα τις περιβαλλοντικές συνθήκες και τις καλλιεργητικές περιποιήσεις, για να ολοκληρώσει τον βιολογικό του κύκλο. Τα φυτά όμως που καλλιεργήθηκαν στο σύστημα επίπλευσης, ολοκλήρωσαν τον βιολογικό τους κύκλο σε διάστημα περίπου 2 μηνών αν αναλογιστεί κανείς το γεγονός ότι χρησιμοποιήθηκαν σπορόφυτα ηλικίας 1 μήνα και ολοκλήρωσαν την φυσιολογική τους ωρίμανση σε διάστημα 25 ημερών από την αρχική τους εγκατάσταση.

Σε αντίστοιχη έρευνα που δημοσιεύτηκε από τον Klados και τους συνεργάτες του το 2014, φυτά του είδους *C. spinosum* καλλιεργήθηκαν σε υδροπονικό σύστημα σε σάκους και αξιολογήθηκε η ανάπτυξή τους υπό την επίδραση διαφόρων συγκεντρώσεων άλατος NaCl σε διάφορα υποστρώματα. Σε σάκους που περιείχαν περλίτη και όταν η συγκέντρωση άλατος κατά την υδρολίπανση ήταν 5 mM NaCl, το

σταμναγκάθι εμφάνισε τη μέγιστη τιμή νωπού βάρους. Αυτή ήταν περίπου η μισή από αυτή που προέκυψε στη παρούσα εργασία, τόσο στα φυτά που καλλιεργήθηκαν σε LOW θρεπτικό διάλυμα, όσο και σε αυτά που καλλιεργήθηκαν σε STANDARD (Klados *et al.*, 2014). Παράλληλα, η Chatzigianni και οι συνεργάτες της, το 2019 καλλιέργησαν 2 διαφορετικούς οικότυπους του σταμναγκαθιού υδροπονικά (έναν παραθαλάσσιο και έναν ορεινό) σε θρεπτικό διάλυμα που περιείχε 16 mmol και 4 mmol NO₃-N και το μέσο βάρος του υπέργειου μέρους κάθε φυτού μεταξύ των δύο εφαρμογών υπολογίστηκε σε 27,7 g και 26,8 g αντίστοιχα. Στην παρούσα μεταπτυχιακή μελέτη, το μέσο νωπό βάρος για το υπέργειο μέρος για τα φυτά που αναπτύχθηκαν σε κανονικής (11 mmol NO₃-N) και μειωμένης (5,5 mmol NO₃-N) σύστασης ήταν 35,16 και 32,65 g αντίστοιχα. Σε αντίθεση με το νωπό βάρος, το μέσο ξηρό βάρος του υπέργειου μέρους των φυτών στο πείραμα της Chatzigianni και των συνεργατών της, φάνηκε να είναι ελαφρώς υψηλότερο και για τα δύο διαφορετικής σύστασης θρεπτικά διαλύματα (Chatzigianni *et al.*, 2019).

Μολονότι δεν παρατηρούνται σημαντικές διαφορές ως προς το νωπό και ξηρό βάρος του βρώσιμου τμήματος του φυτού και κατ' επέκταση στη συνολική παραγωγή ανά στρέμμα για τις 2 διαφορετικές εφαρμογές στο θερμοκήπιο, παρατηρούνται σημαντικές διαφορές στον αριθμό και την επιφάνεια των φύλλων που εκπτύσσονται και αποτελούν τον ρόδακα. Αίσθηση προκαλεί το γεγονός ότι τα φυτά που καλλιεργήθηκαν σε θρεπτικό διάλυμα μειωμένης σύστασης θρεπτικών στοιχείων, ανέπτυξαν 16 φύλλα κατά μέσο όρο, τη στιγμή που τα φυτά που αναπτύχθηκαν σε STANDARD θρεπτικό διάλυμα ανέπτυξαν 9 παραπάνω. Ταυτόχρονα η ελαφρώς μειωμένη φυλλική επιφάνεια στα φυτά που αναπτύχθηκαν σε LOW θρεπτικό διάλυμα, ενισχύει τον παραπάνω προβληματισμό. Αντίστοιχα, στην έρευνα των Klados *et al.* το 2014, στο υδροπονικό σύστημα που καλλιεργήθηκε το σταμναγκάθι στο οποίο χρησιμοποιήθηκε ως υπόστρωμα ελαφρόπετρα και η συγκέντρωση άλατος ήταν 5 mMol, το κάθε φυτό ανέπτυξε κατά μέσο όρο 30 φύλλα και είχε συνολικά εμβαδόν φυλλικής επιφάνειας 234,1 cm² (Klados *et al.*, 2014).

Κατά το πέρας του πειράματος, αξιολογήθηκε η φωτοσυνθετική δραστηριότητα και η στοματική αγωγιμότητα των φυτών που αναπτύσσονταν εντός του θερμοκηπίου και στον αγρό. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη μέτρηση της φωτοσυνθετικής ικανότητας δεν διέφεραν σημαντικά μεταξύ τους. Αντίθετα, τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη μέτρηση της στοματικής αγωγιμότητας των φύλλων στα φυτά μεταξύ των 3 εφαρμογών, έδειξαν ότι τα φυτά στον αγρό είχαν

αυξημένη αγωγιμότητα κατά 77 % συγκριτικά με αυτή των φυτών που αναπτύχθηκαν στο σύστημα επίπλευσης. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, η στοματική αγωγιμότητα σχετίζεται άμεσα με τη διαπνοή των φυτών και επηρεάζει το υδατικό ισοζύγιο των φύλλων. Ο ρυθμός της διαπνοής και της στοματικής αγωγιμότητας των φυτών, είναι σε άμεση σχέση με την υγρασία του χώρου, ενώ επηρεάζεται από την ποικιλία του καλλιεργούμενου φυτού και την ηλιακή ακτινοβολία που δέχεται αυτό (Acatrinei, 2010; Ball *et al.*, 1987).

Όσον αφορά τη συγκέντρωση της χλωροφύλλης α και β, δεν παρατηρείται καμία σημαντική διαφορά τόσο μεταξύ των εφαρμογών στο σύστημα επίπλευσης όσο και μεταξύ των φυτών στο σύστημα επίπλευσης και των φυτών που καλλιεργήθηκαν στον αγρό. Αντίθετα όμως, σε έρευνα που διεξήχθη από την Alhaled το 2014, παρατηρείται διαφοροποίηση στη συγκέντρωση συνολικών χλωροφυλλών (α και β) μεταξύ φυτών σταμναγκαθιού που προέρχονται από διαφορετικές περιοχές και αναπτύχθηκαν σε υδροπονικό σύστημα. Σύμφωνα με την συγκεκριμένη έρευνα, φυτά που προέκυψαν από σπόρο προερχόμενο από φυτά που αναπτύχθηκαν σε ορεινή περιοχή της Κρήτης περιείχαν μεγαλύτερη συγκέντρωση χλωροφυλλών σε σχέση με αυτά που προέρχονταν από πεδινή περιοχή. Ωστόσο σημαντικές διαφοροποιήσεις μεταξύ φυτών που αναπτύχθηκαν σε υδροπονικό σύστημα με διαφορετικής σύστασης θρεπτικό διάλυμα (ως προς τα επίπεδα των νιτρικών), δεν παρουσιάστηκαν ως προς τη συγκέντρωση των χλωροφυλλών (Alhaled, 2014). Παρόμοια ήταν τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη συγκέντρωση των καροτενοειδών, καθώς μεταξύ των φυτών των 3 διαφορετικών εφαρμογών, δεν παρατηρούνται σημαντικές διαφορές. Σε έρευνα από τους Kimura και Rodriguez-Amaya το 2003, αναφέρεται ότι η συγκέντρωση των καροτενοειδών στους φυτικούς ιστούς φυλλωδών λαχανικών μπορεί να μειωθεί σε φυτά που καλλιεργούνται εντός θερμοκηπίου, και η μείωση αυτή εξαρτάται από το υλικό δόμησης του θερμοκηπίου και κατ' επέκταση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στη φυλλική επιφάνεια των φυτών (Kimura και Rodriguez-Amaya, 2003).

Για το *C. spinosum* δεν υπάρχουν δεδομένα για τα ανώτατα αποδεκτά όρια συγκέντρωσης νιτρικών στα φύλλα τα οποία αποτελούν και το βρώσιμο τμήμα του φυτού. Για το λόγο αυτόν η σύγκριση θα περιοριστεί στα γενικά όρια νιτρικών σε φυτικούς ιστούς που έχουν θεσπιστεί. Σύμφωνα με την EFSA, η αποδεκτή ημερήσια πρόσληψη (Acceptable Daily Intake - ADI) για τα νιτρικά είναι 3,7 mg/ kg σωματικού βάρους/ ημέρα, το οποίο ισοδυναμεί με 222 mg νιτρικών για έναν ενήλικο

άνθρωπο βάρους 60 kg. Τα όρια αυτά έχουν θεσπιστεί από την πρώην επιστημονική επιτροπή τροφίμων (Scientific Committee on Food - SCF), ενώ αργότερα επικυρώθηκε από τον FAO (Food and Agriculture Organization) /WHO (World Health Organization) το 2002 (EFSA, 2008).

Στη παρούσα μελέτη, αξιολογήθηκε η συγκέντρωση των ιστών σε νιτρικά τόσο στα φυτά που αναπτύχθηκαν στα 2 διαφορετικής θρεπτικής σύστασης διαλύματα, όσο και στον αγρό. Τα φυτά που αναπτύχθηκαν στο υδροπονικό σύστημα είχαν περίπου τη διπλάσια συγκέντρωση νιτρικών στο υπέργειο τμήμα τους σε σχέση με τα φυτά του αγρού. Σύμφωνα με τα όρια που έχει θεσπίσει ο FAO/WHO, η κατανάλωση 400 g σταμναγκαθίου από ένα άνθρωπο 60 kg, μπορεί να θεωρηθεί ασφαλής. Οι Chatzigianni *et al.* (2017), εξέτασαν τη συγκέντρωση N στο βρώσιμο τμήμα σταμναγκαθίου το οποίο καλλιεργήθηκε σε υδροπονικό σύστημα NFT, στο οποίο χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικής σύστασης θρεπτικά διαλύματα. Διαπιστώθηκε ότι η συγκέντρωση του νιτρικού-N (μελετήθηκαν δυο διαφορετικές συγκεντρώσεις: 4 και 16 mmol/L) στα θρεπτικά διαλύματα, δεν επηρέασε την ανάπτυξη των φυτών, κάτι που επιβεβαιώνεται και από το παρόν πείραμα. Αντιθέτως, ανεξάρτητα με τη συγκέντρωση του ολικού διαθέσιμου N, αυτό που επηρέασε τα επίπεδα νιτρικών στα φύλλα σταμναγκαθίου, ήταν η αναλογία $\text{NH}_4^+\text{-N}/\text{total-N}$. Όταν αυτή ήταν μικρή (0.05), όπως στο παρόν πείραμα, το θρεπτικό διάλυμα δεν επιδρούσε στη διακύμανση των επιπέδων των νιτρικών στα φύλλα. Το αντίθετο συνέβαινε όταν αυτή η αναλογία ήταν μεγαλύτερη (Chatzigianni *et al.*, 2017).

Στην ίδια κατεύθυνση με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη παρούσα έρευνα, σε αντίστοιχη έρευνα που διεξήχθη, τα νιτρικά σε φύλλα μαρουλιού ήταν υψηλότερα σε φυτά που καλλιεργήθηκαν στον αγρό σε σχέση με αυτά που καλλιεργήθηκαν σε σύστημα επίπλευσης (Frezza *et al.*, 2005). Παρομοίως, σε άλλη έρευνα που εξετάστηκαν τα επίπεδα νιτρικών σε νωπούς φυτικούς ιστούς φύλλων, δύο διαφορετικών ποικιλιών μαρουλιού οι οποίες καλλιεργήθηκαν σε θρεπτικά διαλύματα κανονικής θρεπτικής σύστασης και μισής δυναμικότητας θρεπτικό διάλυμα, δεν φάνηκε να διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά τα επίπεδα νιτρικών στο βρώσιμο τμήμα των φυτών (Nakhel *et al.*, 2019).

Όσον αφορά τη συγκέντρωση του καλίου (K) στα φυτά που καλλιεργήθηκαν στο σύστημα επίπλευσης στα 2 διαφορετικά θρεπτικά διαλύματα, δεν φάνηκε να παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές τόσο στο βρώσιμο μέρος τους, όσο και στο ριζικό σύστημα. Αντίθετα, στον αγρό η συγκέντρωση του καλίου ήταν αισθητά

χαμηλότερη συγκριτικά με τα φυτά στο σύστημα επίπλευσης. Ωστόσο, παρά τη μειωμένη ανάπτυξη τους, φαίνεται να περιέχουν αυξημένη συγκέντρωση καλίου στο σύνολό τους σε σχέση με αυτή των σποροφύτων. Σε αντίστοιχη έρευνα που πραγματοποιήθηκε 2 συνεχόμενες χρονιές και αφορούσε την σύγκριση των ποιοτικών χαρακτηριστικών στα φύλλα μαρουλιού, όταν αυτό καλλιεργήθηκε σε σύστημα επίπλευσης και υπαίθρια, τη πρώτη χρονιά η συγκέντρωση του καλίου στα φύλλα δεν φάνηκε να διαφέρει σημαντικά μεταξύ των 2 εφαρμογών. Την δεύτερη χρονιά όμως, το κάλιο στα φύλλα του υπαίθριου μαρουλιού ήταν σημαντικά χαμηλότερη σε σχέση με αυτά που καλλιεργήθηκαν σε υδροπονικό σύστημα (Frezza *et al.*, 2005).

Κατά τη μέτρηση της συγκέντρωσης του φωσφόρου στους φυτικούς ιστούς, όσον αφορά το βρώσιμο τμήμα του φυτού, παρόλο που αυτή εμφανίζεται υψηλότερη στα φυτά που καλλιεργήθηκαν στον αγρό σε σχέση με τα φυτά στο σύστημα επίπλευσης, δεν φαίνεται να είναι στατιστικώς σημαντική. Αντίθετα, κάτι τέτοιο δεν φαίνεται να συμβαίνει στο ριζικό σύστημα. Όμως, μεταξύ των φυτών που αναπτύχθηκαν σε διαφορετικής σύστασης θρεπτικό διάλυμα, δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφοροποιήσεις στη συγκέντρωση φωσφόρου τόσο στο υπέργειο τμήμα όσο και στο ριζικό σύστημα. Στα θρεπτικά διαλύματα που χρησιμοποιούνται στα υδροπονικά συστήματα, η συγκέντρωση του φωσφόρου είναι υψηλότερη από αυτή στο έδαφος, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η συσσώρευσή του στους φυτικούς ιστούς των υδροπονικά καλλιεργούμενων φυτών (Nieman και Clark, 1976). Η πρόταση αυτή μπορεί να επιβεβαιωθεί εν μέρει στη παρούσα μελέτη, καθώς αυξημένη συγκέντρωση φωσφόρου παρατηρήθηκε μόνο στο ριζικό σύστημα των φυτών στο σύστημα επίπλευσης. Σε αντίστοιχη έρευνα που διεξήχθη από τους Nakhel *et al* το 2019 και αφορούσε στην υδροπονική καλλιέργεια 2 διαφορετικών ποικιλιών μαρουλιών, όταν αυτά καλλιεργήθηκαν σε θρεπτικό διάλυμα κανονικής σύστασης και σε θρεπτικό διάλυμα μισής δυναμικότητας, η συγκέντρωση του φωσφόρου δεν παρουσίασε σημαντικές διακυμάνσεις μεταξύ των φυτών που ανήκαν στις δύο διαφορετικές ποικιλίες και αναπτύχθηκαν στα διαφορετικής δυναμικής θρεπτικά διαλύματα.

Όσον αφορά τη συγκέντρωση του βορίου στους φυτικούς ιστούς, αυτό φαίνεται να παραμένει σε σχετικά σταθερά επίπεδα από τα σπορόφυτα που χρησιμοποιήθηκαν για το παρόν πείραμα ως το στάδιο συγκομιδής, είτε στο υπέργειο τμήμα είτε στο ριζικό σύστημα. Οι τιμές της συγκέντρωσης του βορίου δεν διαφέρουν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους, τόσο μεταξύ των διαφορετικών εφαρμογών (στο σύστημα επίπλευσης), όσο και στην υπαίθρια καλλιέργεια.

Παράλληλα με τις αναλύσεις θρεπτικών στοιχείων στους φυτικούς ιστούς, έγιναν και αναλύσεις θρεπτικών στοιχείων και στα θρεπτικά διαλύματα μέσα στα οποία αναπτύχθηκαν τα φυτά του πειράματος, στα πλαίσια της υδροπονικής καλλιέργειας. Όσον αφορά τη συγκέντρωση των νιτρικών στα θρεπτικά διαλύματα LOW και STANDARD, παρόλο που φαίνεται να υπάρχουν διακυμάνσεις κατά τη διάρκεια του πειράματος, δεν παρουσιάζονται σημαντικές διαφορές. Αντίθετα, στη περίπτωση των αμμωνιακής μορφής αζώτου που χορηγήθηκε στα φυτά, αυτή φαίνεται να εξαντλείται και η συγκέντρωσή της 25 μέρες μετά να προσεγγίζει το 0. Η εξάντληση της συγκέντρωσης του $\text{NH}_4\text{-N}$, στο τέλος του πειράματος, από τα θρεπτικά διαλύματα, πιθανόν να οφείλεται είτε στη νιτροποίηση μέρους του $\text{NH}_4\text{-N}$ είτε στο γεγονός ότι τα φυτά δαπανούν μικρότερα ποσά ενέργειας για την απορρόφηση του $\text{NH}_4\text{-N}$ έναντι του $\text{NO}_3\text{-N}$ και έτσι δίνεται προτεραιότητα στην απορρόφηση της αμμωνιακής μορφής του αζώτου, η οποία επιτυγχάνεται με μεγαλύτερη ταχύτητα (Forde & Clarkson, 1999; Σάββας, 2011). Στη περίπτωση του φωσφόρου, διαπιστώθηκαν μικρές διακυμάνσεις στην κατανάλωσή τους από τα φυτά που αναπτύχθηκαν στις λεκάνες που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα μειωμένης σύστασης. Οι συγκεντρώσεις του καλίου και του βορίου, μειώνονται κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας και στα 2 διαφορετικής σύστασης θρεπτικά διαλύματα.

Κατά τους υπολογισμούς απορρόφησης των θρεπτικών συστατικών (ολικό-N, P και K) διαπιστώθηκε ότι η κατανάλωση ολικού αζώτου από τα φυτά που αναπτύσσονταν στις λεκάνες γεμισμένες με θρεπτικό διάλυμα κανονικής θρέψης (STANDARD) ήταν πολύ μεγαλύτερη σε σχέση με αυτή στις λεκάνες με θρεπτικό διάλυμα μειωμένης θρέψης. Το άζωτο είναι ένα θρεπτικό στοιχείο που παίζει πρωταγωνιστικό ρόλο στην αύξηση της παραγωγής ενώ μπορεί να επηρεάσει και τη ποιότητα του συγκομιζόμενου προϊόντος. Όμως, η αύξηση της παραγωγής συνδέεται άμεσα με την βιομάζα και το εμβαδόν επιφάνειας των φύλλων (Leghari *et al.*, 2016). Στην περίπτωση του σταμναγκαθιού, όσον αφορά τη βιομάζα, δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο εφαρμογών. Αντίθετα, όσον αφορά την φυλλική επιφάνεια και τον αριθμό των φύλλων, φαίνεται ότι τα φυτά που αναπτύχθηκαν σε μειωμένης σύστασης θρεπτικό διάλυμα, είχαν μικρότερη φυλλική επιφάνεια και μικρότερο αριθμό φύλλων. Επιπρόσθετα, παρόλο που η συγκέντρωση νιτρικού αζώτου στα φυτά των δύο εφαρμογών του συστήματος επίπλευσης, δεν φάνηκε να διαφοροποιείται και έτσι δεν μπορεί να δικαιολογηθεί η διακύμανση στην απορρόφηση ολικού αζώτου από τα φυτά, δεν ήταν εφικτό να εξεταστεί η

συγκέντρωση οργανικού-N εντός των φυτικών ιστών. Τέλος, όσον αφορά τον φώσφορο και το κάλιο, η απορρόφηση αυτών δεν φάνηκε να διαφέρει σημαντικά μεταξύ των δύο εφαρμογών.

Σε δημοσίευση από τους Neocleous και Savvas το 2015, προέκυψε ότι σε υδροπονική καλλιέργεια πεπονιού (NFT) οι συγκεντρώσεις για τα μακροστοιχεία ολικό-άζωτο, φώσφορο και κάλιο υπολογίστηκαν σε 14.7, 1.16 και 5.40 mmol/L αντίστοιχα. Από τους υπολογισμούς για την απορρόφηση στο σταμναγκάθι, όσον αφορά τις λεκάνες που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα μειωμένης σύστασης, οι απορροφήσεις για τα μακροστοιχεία ολικό-άζωτο, φώσφορο και κάλιο, υπολογίστηκαν σε 10.03, 1.36 και 6.54 mmol/L αντίστοιχα. Παρομοίως, για τις λεκάνες που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα κανονικής σύστασης, οι απορροφήσεις για τα μακροστοιχεία ολικό-άζωτο, φώσφορο και κάλιο, υπολογίστηκαν σε 31.9, 2.12 και 8.07 mmol/L αντίστοιχα. Δεδομένου ότι τα δύο πειράματα διεξήχθησαν υπό διαφορετικές συνθήκες (διαφορετικό φυτικό είδος, υδροπονικό σύστημα καλλιέργειας, συνταγές, εποχή ανάπτυξης και τόπος διεξαγωγής πειραμάτων), τα φυτά που αναπτύχθηκαν σε θρεπτικό διάλυμα κανονικής σύστασης παρουσίασαν μεγάλες διακυμάνσεις ως προς τη ποσότητα απορρόφησης των στοιχείων. Ειδικότερα, στη περίπτωση του ολικού-N η απορρόφηση ήταν σχεδόν διπλάσια. Αυτό μπορεί να δικαιολογηθεί από το γεγονός ότι στις λεκάνες που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα κανονικής σύστασης η συγκέντρωση των αμμωνιακών ήταν διπλάσια και σε συνδυασμό με τη πτώση του pH κατά τη διάρκεια του πειράματος (περίπου 1 μονάδας σε σχέση με τις λεκάνες που περιείχαν θρεπτικό διάλυμα μειωμένης σύστασης), η απορρόφηση ολικού-N ευνοήθηκε (Chatzigianni *et al.*, 2017).

Έτσι λοιπόν, παρόλο που το σταμναγκάθι αποτελεί ένα λαχανουόμενο είδος υψηλής διατροφικής αξίας το οποίο πρωταγωνιστεί παραδοσιακά στη κρητική κουζίνα, παρατηρείται μια αυξανόμενη ζήτηση σε παγκόσμιο επίπεδο. Στη παρούσα μεταπτυχιακή μελέτη αποδείχθηκε ότι η καλλιέργεια σε σύστημα επίπλευσης πέτυχε πρωίμηση της παραγωγής ενώ το συγκομιζόμενο προϊόν αποδείχτηκε υψηλής ποιότητας και ασφαλές για κατανάλωση. Τέλος, η ποιότητα του προϊόντος δεν φάνηκε να μεταβάλλεται από τη χρήση μισών ποσοτήτων θρεπτικών στοιχείων, υπό τη μορφή λιπασμάτων για τη παρασκευή του θρεπτικού διαλύματος στο οποίο θα αναπτυχθούν τα φυτά, μειώνοντας με αυτόν τον τρόπο το κόστος παραγωγής για τους παραγωγούς.

6 Βιβλιογραφία

- Abusaief, H. M. A. A. R., Husien, D. A., Abd Al Naby, M. M., & Al-Mogasby, A. A. S. (2013). Salinity tolerance of the flora halophytes to coastal habitat of Jarjr-oma in Libya. *Nature and Science*, 11(6), 29–45. Retrieved from <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Salinity+tolerance+of+the+flora+halophytes+to+coastal+habitat+of+Jarjr-oma+in+Libya#0>
- Acatrinei, L. (2010). Photosynthesis Rate , Transpiration and Stomatal Conductance of Vegetable Species in Protected. 32–35.
- Alhaled, B. (2014). Impact of nitrogen form and supply level on growth , yield and nutritional value in hydroponically-grown stamnagathi (*Cichorium spinosum*). *Thesis*
- Anjana, S. U., & Muhammad, I. (2007). Nitrate accumulation in plants, factors affecting the process, and human health implications. A review. *INRA*, 27, 45–57. <https://doi.org/10.1051/agro>
- Anjana, Umar S., Iqbal M., A. Y. P. (2006). Are nitrate concentrations in leafy vegetables within safe limits ? Proceedings of the Workshop on Nitrogen in Environment, Industry and Agriculture, New Delhi, India, 81–8.
- Ball, J. T., Wood, I. E., & Berry, J. A. (1987). Iv.5.221. IV(1), 221–224.
- BLOM□ZANDSTRA, M. (1989). Nitrate accumulation in vegetables and its relationship to quality. *Annals of Applied Biology*, 115(3), 553–561. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1989.tb06577.x>
- Brieudes, V., Angelis, A., Vougiopoulou, K., Pratsinis, H., Kletsas, D., Mitakou, S., ... Skaltsounis, L. A. (2016). Phytochemical Analysis and Antioxidant Potential of the Phytonutrient-Rich Decoction of *Cichorium spinosum* and *Cintybus*. *Planta Medica*, 82(11–12), 1070–1078. <https://doi.org/10.1055/s-0042-107472>
- Butler, J.D.; Oebker, N. F. (1962). Hydroponics as a hobby : growing plants without soil. University of Illinois, College of Agriculture, Extension Service in Agriculture and Home Economics,.
- Cantliffe, D. J. (1973). Nitrate Accumulation in Table Beets and Spinach as Affected by Nitrogen, Phosphorus, and Potassium Nutrition and Light Intensity1.

- Chappelle, E. W., Kim, M. S., & McMurtrey, J. E. (1992). Ratio analysis of reflectance spectra (RARS): An algorithm for the remote estimation of the concentrations of chlorophyll A, chlorophyll B, and carotenoids in soybean leaves. *Remote Sensing of Environment*, 39(3), 239–247. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(92\)90089-3](https://doi.org/10.1016/0034-4257(92)90089-3)
- Chatzigianni, M., Alkhaled, B., Livieratos, I., Stamatakis, A., Ntatsi, G., & Savvas, D. (2018). Impact of nitrogen source and supply level on growth, yield and nutritional value of two contrasting ecotypes of *Cichorium spinosum* L. grown hydroponically. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(4), 1615–1624. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8636>
- Chatzigianni, M., Ntatsi, G., Theodorou, M., Stamatakis, A., Livieratos, I., Roupael, Y., & Savvas, D. (2019). Functional Quality, Mineral Composition and Biomass Production in Hydroponic Spiny Chicory (*Cichorium spinosum* L.) Are Modulated Interactively by Ecotype, Salinity and Nitrogen Supply. *Frontiers in Plant Science*, 10(August), 1–14. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01040>
- Chatzigianni, M., Ntatsi, G., Theodorou, M., Stamatakis, A., Livieratos, I., Roupael, Y., & Savvas, D. (2019). Functional Quality, Mineral Composition and Biomass Production in Hydroponic Spiny Chicory (*Cichorium spinosum* L.) Are Modulated Interactively by Ecotype, Salinity and Nitrogen Supply. *Frontiers in Plant Science*, 10(August), 1–14. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01040>
- Controlled, C. (2013). *Cornell Controlled Environment Agriculture Hydroponic Lettuce Handbook*.
- de Vogel, J., Jonker-Termont, D. S. M. L., van Lieshout, E. M. M., Katan, M. B., & van der Meer, R. (2005). Green vegetables, red meat and colon cancer: Chlorophyll prevents the cytotoxic and hyperproliferative effects of haem in rat colon. *Carcinogenesis*, 26(2), 387–393. <https://doi.org/10.1093/carcin/bgh331>
- Dich, J., Järvinen, R., Knekt, P., & Penttilä, P. L. (1996). Dietary intakes of nitrate, nitrite and NDMA in the Finnish mobile clinic health examination survey. *Food Additives and Contaminants*, 13(5), 541–552. <https://doi.org/10.1080/02652039609374439>

- EFSA. (2008). Nitrate in vegetables - Scientific Opinion of the Panel on Contaminants in the Food chain. *EFSA Journal*, 6(6), 689. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2008.689>
- El-nakhel, C., Pannico, A., Kyriacou, M. C., Giordano, M., Pascale, D., & Roupheal, Y. (2019). Macronutrient deprivation eustress elicits differential secondary metabolites in red and green-pigmented butterhead lettuce grown in a closed soilless system. (July). <https://doi.org/10.1002/jsfa.9985>
- Fontana, E., Hoeberechts, J., Nicola, S., Cros, V., & Peiret, G. B. P. P. G. (2006). Nitrogen concentration and nitrate/ammonium ratio affect yield and change the oxalic acid concentration and fatty acid profile of purslane (*Portulaca oleracea* L.) grown in a soilless culture system. *Journal of the Science Of Food and Agriculture*, 86, 2417–2424. <https://doi.org/10.1002/jsfa>
- Forde, B., & Clarkson, D. (1999). Nitrate and Ammonium Nutrition of Plants: Physiological and Molecular Perspectives. *Advances in Botanical Research*, 30, 1–90. [https://doi.org/10.1016/S0065-2296\(08\)60226-8](https://doi.org/10.1016/S0065-2296(08)60226-8)
- Frantz, M. J., & Welbaum, E. G. (1998). Floating primo .pdf. *Horttechnology*, Vol. 8, pp. 392–395.
- Frezza, D., León, A., Logegaray, V., Chiesa, A., Desimone, M., & Diaz, L. (2005). Soilless culture technology for high quality lettuce. *Acta Horticulturae*, 697, 43–48. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2005.697.3>
- Guil, J. L., Torija, M. E., Giménez, J. J., & Rodríguez, I. (1996). Identification of fatty acids in edible wild plants by gas chromatography. *Journal of Chromatography. A*, 719(1), 229–235. [https://doi.org/10.1016/0021-9673\(95\)00414-9](https://doi.org/10.1016/0021-9673(95)00414-9)
- Gupta, S. K., Gupta, R. C., Seth, A. K., Gupta, A. B., Bassin, J. K., & Gupta, A. (2000). Methaemoglobinaemia in areas with high nitrate concentration in drinking water. *National Medical Journal of India*, 13(2), 58–61.
- Hill, M. J. (1999). Nitrate toxicity: myth or reality? *The British Journal of Nutrition*, 81(5), 343–344.
- HISCOX, D. J., & ISRAELSTAM, F. G. (1978). A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. *National Research Council of Canada*, (3), 1332–1334. <https://doi.org/10.1109/ICEE.2010.1371>

- Hollywood, K., Brison, D. R., & Goodacre, R. (2006). Metabolomics: Current technologies and future trends. *Proteomics*, 6(17), 4716–4723. <https://doi.org/10.1002/pmic.200600106>
- Hord, N. G., Tang, Y., & Bryan, N. S. (2009). Food sources of nitrates and nitrites : the physiologic context for. *Am J Clin Nutr*, (6), 1–10. <https://doi.org/10.3945/ajcn.2008.27131.INTRODUCTION>
- Iijima, K., Fyfe, V., & McColl, K. E. L. (2003). Studies of nitric oxide generation from salivary nitrite in human gastric juice. *Scandinavian Journal of Gastroenterology*, 38(3), 246–252. <https://doi.org/10.1080/00365520310000708a>
- Jensen. (1997). [23279834 - HortScience] Hydroponics. Retrieved from <https://journals.ashs.org/hortsci/downloadpdf/journals/hortsci/32/6/article-p1018.xml>
- Khasawneh, M., Elwy, H. M., Fawzi, N. M., Hamza, A. A., Chevidenkandy, A. R., & Hassan, A. H. (2014). Antioxidant Activity and Lipoxygenase Inhibitory Effect of *Caralluma arabica* and Related Polyphenolic Constituents. *American Journal of Plant Sciences*, 05(11), 1623–1631. <https://doi.org/10.4236/ajps.2014.511176>
- Kiers, A. (2000). Endive, chicory, and their wild relatives. A systematic and phylogenetic study of *Cichorium* (Asteraceae).
- Kiers, A. M. (2000). Endive, chicory, and their wild relatives. A systematic and phylogenetic study of *Cichorium* (Asteraceae). *Gorteria - Tijdschrift Voor de Floristiek, de Plantenoecologie En Het Vegetatie-Onderzoek van Nederland*, 5(1), 1–77.
- Kiers, A. M., Mes, T. H. M., Meijden, R. Van Der, & Bachmann, K. (1999). Morphologically Defined *Cichorium* (Asteraceae) Species Reflect Lineages Based on Chloroplast and Nuclear (ITS) DNA Data. *Systematic Botany*, 24(4), 645. <https://doi.org/10.2307/2419648>
- Kimura, M., & Rodriguez-Amaya, D. B. (2003). Carotenoid composition of hydroponic leafy vegetables. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(9), 2603–2607. <https://doi.org/10.1021/jf020539b>
- Leghari, S. J., Wahocho, N. A., Laghari, G. M., HafeezLaghari, A., MustafaBhabhan, G., HussainTalpur, K., Bhutto, T. A., Wahocho, S. A., & Lashari, A. A. (2016). Role of nitrogen for plant growth and development: a

review. *Advances in Environmental Biology*, 10, 209+. <https://link.gale.com/apps/doc/A472372583/AONE?u=nkua&sid=AONE&xid=15bd2765>

- Klados, E., & Tzortzakis, N. (2014). Effects of substrate and salinity in hydroponically grown *Cichorium spinosum*. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 14(ahead), 0–0. <https://doi.org/10.4067/s0718-95162014005000017>
- Kolovou, P., Antoniadis, V., Karkanis, A., & Petropoulos, S. A. (2017). *Cichorium spinosum* PLANTS. (October).
- Lichtenthaler, H. K. (1987). Chlorophylls and Carotenoids: Pigments of Photosynthetic Biomembranes. *Methods in Enzymology*, 148(C), 350–382. [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(87\)48036-1](https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1)
- Mayne, S. T. (1996). Beta-carotene, carotenoids, and disease prevention in humans. *FASEB Journal : Official Publication of the Federation of American Societies for Experimental Biology*, 10(7), 690–701.
- Melliou, E., Magiatis, P., & Skaltsounis, A. L. (2003). Alkylresorcinol derivatives and sesquiterpene lactones from *Cichorium spinosum*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(5), 1289–1292. <https://doi.org/10.1021/jf025848g>
- Mitchell, A., C., Leakakos, T., & Ford, L. (1991). Modification of yield and chlorophyll content in leaf lettuce by HPS radiation and nitrogen treatments. *HortScience : A Publication of the American Society for Horticultural Science*, 26(11), 1371–1374. Retrieved from <http://www.embase.com/search/results?subaction=viewrecord&from=export&id=L125112121%5Cnhttp://sfx.library.uu.nl/utrecht?sid=EMBASE&issn=00185345&id=doi:&atitle=Modification+of+yield+and+chlorophyll+content+in+leaf+lettuce+by+HPS+radiation+and+nitrogen+tre>
- Neocleous, D., & Savvas, D. (2015). Effect of different macronutrient cation ratios on macronutrient and water uptake by melon (*Cucumis melo*) grown in recirculating nutrient solution. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 178(2), 320–332. <https://doi.org/10.1002/jpln.201400288>
- Nieman, R. H., & Clark, R. A. (1976). Interactive Effects of Salinity and Phosphorus Nutrition of the Concentrations of Phosphate and Phosphate Esters in

Mature Photosynthesizing Corn Leaves. *Plant Physiology*, 57(2), 157–161.
<https://doi.org/10.1104/pp.57.2.157>

- ÖZTÜRK, M., SALIH GÜCEL, SAKÇALI, S., & BASLAR, S. (2013). *Nitrate and Edible Plants in the Mediterranean Region of Turkey: An Overview*. (August 2015), 17–51.
- Palaniswamy, U. R., McAvoy, R. J., & Bible, B. (2004). Oxalic acid concentrations in purslane (*Portulaca oleraceae* L.) is altered by the stage of harvest and the nitrate to ammonium ratios in hydroponics. *Acta Horticulturae*, 629(3), 299–305. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2004.629.38>
- Patti, G. J., Yanes, O., & Siuzdak, G. (2012). Innovation: Metabolomics: the apogee of the omics trilogy. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, 13(4), 263–269. <https://doi.org/10.1038/nrm3314>
- Petropoulos SA, Fernandes A, Barros L, Ferreira, I. (2018). A comparison of the phenolic profile and antioxidant activity of different *Cichorium spinosum* L. ecotypes. *J Sci Food Agric.*, 98(1), 183–189. <https://doi.org/10.1002/j>
- Petropoulos, S. A., Fernandes, Â., Antoniadis, V., Ntatsi, G., Barros, L., & Ferreira, I. C. F. R. (2017). Chemical composition and antioxidant activity of *Cichorium spinosum* L. leaves in relation to developmental stage. *Food Chemistry*, 239, 946–952. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.07.043>
- Petropoulos, S. A., Fernandes, Â., Ntatsi, G., Levizou, E., Barros, L., & Ferreira, I. C. F. R. (2016). Nutritional profile and chemical composition of *Cichorium spinosum* ecotypes. *LWT - Food Science and Technology*, 73, 95–101. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.05.046>
- Petropoulos, S., Fernandes, Â., Karkanis, A., Antoniadis, V., Barros, L., & Ferreira, I. C. F. R. (2018). Nutrient solution composition and growing season affect yield and chemical composition of *Cichorium spinosum* plants. *Scientia Horticulturae*, 231(December 2017), 97–107. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.12.022>
- Petropoulos, S., Fernandes, Â., Karkanis, A., Ntatsi, G., Barros, L., & Ferreira, I. C. F. R. (2017). Successive harvesting affects yield, chemical composition and antioxidant activity of *Cichorium spinosum* L. *Food Chemistry*, 237, 83–90. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.05.092>

- Rao, A. V., & Rao, L. G. (2007). Carotenoids and human health. *Pharmacological Research*, 55, 207–216. <https://doi.org/10.1007/978-1-62703-203-2>
- Ropokis, A., Ntatsi, G., Kittas, C., Katsoulas, N., & Savvas, D. (2018). Impact of cultivar and grafting on nutrient and water uptake by sweet pepper (*capsicum annum* l.) grown hydroponically under mediterranean climatic conditions. *Frontiers in Plant Science*, 9(August), 1–12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01244>
- Sareedenchai, V., & Zidorn, C. (2010). Flavonoids as chemosystematic markers in the tribe Cichorieae of the Asteraceae. *Biochemical Systematics and Ecology*, 38(5), 935–957. <https://doi.org/10.1016/j.bse.2009.09.006>
- Savvas, D., & Gruda, N. (2018). Application of soilless culture technologies in the modern greenhouse industry - A review. *European Journal of Horticultural Science*, 83(5), 280–293. <https://doi.org/10.17660/eJHS.2018/83.5.2>
- Savvas, D., Öztekin, G. B., Tepecik, M., Ropokis, A., Tüzel, Y., Ntatsi, G., & Schwarz, D. (2017). Impact of grafting and rootstock on nutrient-to-water uptake ratios during the first month after planting of hydroponically grown tomato. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 92(3), 294–302. <https://doi.org/10.1080/14620316.2016.1265903>
- Scheer, H., & Scheer, H. (2006). Chapter 1 An Overview of Chlorophylls and Bacteriochlorophylls : Biochemistry , Biophysics , Functions and Applications. 1–26.
- Sell, P. D. (1976). *Flora Europaea* 4. Cambridge.
- Simopoulos, A. P. (2004). Omega-3 Fatty Acids and Antioxidants in Edible Wild. (202), 263–277.
- Stahl, W., Heinrich, U., Wiseman, S., Eichler, O., Sies, H., & Tronnier, H. (2001). Dietary tomato paste protects against ultraviolet light-induced erythema in humans. *The Journal of Nutrition*, 131(5), 1449–1451. <https://doi.org/10.1093/jn/131.5.1449>
- Stahl, W., & Sies, H. (2003). Antioxidant activity of carotenoids. *Molecular Aspects of Medicine*, 24(6), 345–351. [https://doi.org/10.1016/S0098-2997\(03\)00030-X](https://doi.org/10.1016/S0098-2997(03)00030-X)
- Steiner, A. A. (1977). Nomenclature with hydroponics. [Conference paper].

- Swanson CA. (1998). Vegetables, fruits and cancer risk: The role of phytochemicals. In *Phytochemicals. A New Paradigm* (Vol. 1). Lancaster/Pa: Technomic Publishing.
- Szalai, G., Dai, N., Danin, A., Dudai, N., & Barazani, O. (2010). Effect of nitrogen source in the fertilizing solution on nutritional quality of three members of the *Portulaca oleracea* aggregate. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90(12), 2039–2045. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4049>
- Tapiero, H., Townsend, D. M., & Tew, K. D. (2004). The role of carotenoids in the prevention of human pathologies. *Biomedicine and Pharmacotherapy*, 58(2), 100–110. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2003.12.006>
- Urrestarazu, M., Mazuela, P. C., Boukhalfa, A., Arán, A., & Salas, M. D. C. (2005). Oxygen content and its diurnal variation in a new recirculating water soilless culture for horticultural crops. *HortScience*, 40(6), 1729–1730.
- Vardavas, C. I., Majchrzak, D., Wagner, K. H., Elmadfa, I., & Kafatos, A. (2006). Lipid concentrations of wild edible greens in Crete. *Food Chemistry*, 99(4), 822–834. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.08.058>
- Vardavas, C. I., Majchrzak, D., Wagner, K. H., Elmadfa, I., & Kafatos, A. (2006). The antioxidant and phyloquinone content of wildy grown greens in Crete. *Food Chemistry*, 99(4), 813–821. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.08.057>
- Vekiari S., Ouzounidou, G. (2018). An Overview of the Wild Plants Consumed in the Island of Crete, Greece. *Global Perspectives on Underutilized Crops*, 1–448. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-77776-4>
- Vis, U.-. (2001). Chlorophylls and Carotenoids : Measurement and Characterization by UV-VIS. 1–8.
- Weathers, P. J., & Zobel, R. W. (1992). Aeroponics for the culture of organisms, tissues and cells. *Biotechnology Advances*, 10(1), 93–115. [https://doi.org/10.1016/0734-9750\(92\)91353-G](https://doi.org/10.1016/0734-9750(92)91353-G)
- Wyatt, E., J. (1998). Tomato Transplant Production Using the Float System and Cupric Hydroxide (pp. 366–369). pp. 366–369. *Hort Technology*.
- Xiao, X. (2006). Light absorption by leaf chlorophyll and maximum light use efficiency. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 44(7), 1933–1935. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2006.874796>

- Zeghichi, S., Kallithraka, S., Simopoulos, A. (2003). Nutritional composition of Molochia (Corchorus olitorius) and Stamnagathi (Cichorium Spinosum). Plants in Human Health and Nutrition Policy . World Rev. Nutr Diet. Basel, Karger. 91, 1-21.
- Zeghichi, S., Kallithraka, S., & Simopoulos, A. P. (2003). Nutritional Composition of Molokhia (Corchorus olitorius) and Stamnagathi (Cichorium spinosum). Plants in Human Health and Nutrition Policy, 91, 1–21. <https://doi.org/10.1159/000069924>
- Zeghichi, S., Kallithraka, S., & Simopoulos, A. P. (2003). Nutritional composition of molokhia (Corchorus olitorius) and stamnagathi (Cichorium spinosum). World Review of Nutrition and Dietetics, 91, 1–21. <https://doi.org/10.1159/000069924>
- Ακουμιανάκης, Κ. (2008). Αειφορική-Βιολογική καλλιέργεια λαχανικών. Πανεπιστημιακές Σημειώσεις Γ.Π.Α.
- Ακουμιανάκης, Κ. (2010). ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΩΝ ΛΑΧΑΝΕΥΟΜΕΝΩΝ ΣΤΗ ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΚΗΠΕΥΤΙΚΩΝ το παράδειγμα του σταμναγκαθιού (55th ed.). ΔΗΩ.
- Γαλάτης Β., Δ. Γανωτάκης, Κ. Γκανή - Σπυροπούλου, Γ. Καραμπουρνιώτης, Κ. Κοτζαμπάσης, Ε. Ι. Κωνσταντινίδου, Ι. Μανέτας, Κ. Α. Ρουμπελάκη - Αγγελάκη (2003). Φυσιολογία φυτών : Από το μόριο στο περιβάλλον - 1η έκδ. - Αθήνα: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης
- Καββάδας, Δ. (1956). Βοτανικόν Φυτολογικόν Λεξικόν. Τόμος Δ. Αθήνα.
- Μαυρογιαννόπουλος, Ν. Γ. (2006). Υδροπονικές Εγκαταστάσεις. Αθήνα: Σταμούλη ΑΕ.
- Σάββας, Δ. (2011). ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ ΕΚΤΟΣ ΕΔΑΦΟΥΣ: Υδροπονία, Υποστρώματα. Αθήνα: ΑγροΤύπος.
- Σινάνης, Κ. (2015). Προσδιορισμός του αφομοιώσιμου ή διαθέσιμου καλίου. In Εργαστηριακές ασκήσεις εδαφολογίας (pp. 102–108). ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΩΝ ΓΕΩΠΟΝΩΝ, ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ.