



**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΚΗΠΕΥΤΙΚΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
ΤΟΜΕΙΣ ΑΙΧΜΗΣ & ΚΑΙΝΟΤΟΜΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ &  
ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΟΠΩΡΟΚΗΠΕΥΤΙΚΩΝ & ΑΝΘΟΚΟΜΙΚΩΝ ΕΙΔΩΝ**

**Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία**

Επίδραση της συνολικής ιοντικής συγκέντρωσης και της αναλογίας καλίου προς ασβέστιο στο θρεπτικό διάλυμα στην ανάπτυξη και παραγωγή σταμναγκαθιού σε σύστημα επίπλευσης και στη συγκέντρωση των θρεπτικών στοιχείων στους φυτικούς ιστούς

**Γιάννης Π. Νεοφύτου**

Επιβλέπων καθηγητής:  
Σάββας Δημήτριος, Καθηγητής ΓΠΑ

**ΑΘΗΝΑ  
2022**

**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΚΗΠΕΥΤΙΚΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ**

**Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία**

Επίδραση της συνολικής ιοντικής συγκέντρωσης και της αναλογίας καλίου προς ασβέστιο στο θρεπτικό διάλυμα στην ανάπτυξη και παραγωγή σταμναγκαθιού σε σύστημα επίπλευσης και στη συγκέντρωση των θρεπτικών στοιχείων στους φυτικούς ιστούς

Effect of the total ion concentration and potassium to calcium ratio of the nutrient solution on the growth and production of spiny chicory grown in a hydroponic floating system, and on the concentration of nutrients in the plant tissue

**Γιάννης Π. Νεοφύτου**

**Εξεταστική Επιτροπή:**

Δημήτριος Σάββας, Καθηγητής ΓΠΑ (Επιβλέπων)

Γεωργία Ντάτση, Επίκουρη Καθηγήτρια ΓΠΑ

Ιωάννης Καραπάνος, Επίκουρος Καθηγητής ΓΠΑ.

## Επίδραση της συνολικής ιοντικής συγκέντρωσης και της αναλογίας καλίου προς ασβέστιο στο θρεπτικό διάλυμα στην ανάπτυξη και παραγωγή σταμναγκαθίου σε σύστημα επίπλευσης και στη συγκέντρωση των θρεπτικών στοιχείων στους φυτικούς ιστούς

ΠΜΣ Τομείς Αιχμής και Καινοτόμες Εφαρμογές Στην Παραγωγή και Συντήρηση Οπωροκηπευτικών και Ανθοκομικών Ειδών

Τμήμα Επιστήμης Φυτικής Παραγωγής

Εργαστήριο Κηπευτικών Καλλιεργειών

### Περίληψη

Το σταμναγκάθι (*Cichorium spinosum*) είναι ένα πολυετές είδος, ιθαγενές περιοχών της Ελλάδας, Κύπρου, Μάλτας και Νοτιοανατολικής Τουρκίας. Το είδος αυτό αποτελεί ένα από τα τέσσερα είδη του γένους *Cichorium* που αυτοφύονται στην Ελλάδα, και συνήθως συναντάται σε παραθαλάσσιες περιοχές. Το σταμναγκάθι είναι ένα λαχανεύομενο είδος που αποτελεί συστατικό της Μεσογειακής διατροφής. Αρκετές έρευνες έχουν αναδείξει το σταμναγκάθι ως εξαιρετική πηγή ασκορβικού οξέος, βιταμίνης K1, τοκοφερολών, ομέγα-3 και ομέγα-6 λιπαρών, φαινολικών οξέων, καροτενοειδών και στοιχείων όπως κάλιο, ασβέστιο, σίδηρο, ψευδάργυρο και μαγγάνιο. Η αναγνώριση του είδους αυτού ως λειτουργικό τρόφιμο έχει ωθήσει στην αύξηση της ζήτησης του από το καταναλωτικό κοινό, ιδιαίτερα σε πολλά μέρη της Ελλάδας, αλλά και ευρύτερα στη Μεσόγειο, σε χώρες όπως την Κύπρο, Μάλτα, Ιταλία, Τουρκία, και Λιβύη. Η αύξηση της ζήτησης του, σε συνδυασμό με την υψηλή του αξία στην αγορά ώθησε στη εμπορική του καλλιέργεια, με δυνατότητα περαιτέρω εκμετάλλευσης. Επομένως, είναι σημαντική η διερεύνηση μεθόδων καλλιέργειας που να επιτρέπουν την βελτίωση της απόδοσης της παραγωγής του σταμναγκαθίου. Στο πλαίσιο αυτό, η καλλιέργεια εκτός εδάφους σε υδροπονικό σύστημα επίπλευσης έχει σημειώσει ενθαρρυντικά αποτελέσματα σε αρκετά λαχανεύομενα είδη, συμπεριλαμβανομένου του σταμναγκαθίου. Στις καλλιέργειες εκτός εδάφους, η σύνθεση του θρεπτικού διαλύματος αποτελεί μια από τις σημαντικότερες παραμέτρους επιτυχίας τους. Ωστόσο, ελάχιστες μελέτες πραγματεύονται θέματα θρέψης του *C. spinosum* σε υδροπονικά συστήματα.

Ο στόχος της παρούσας εργασίας είναι ο έλεγχος της επίδρασης της αναλογίας μακροκατιόντων, και συγκεκριμένα της αναλογίας μεταξύ καλίου και ασβεστίου, όπως και της συνολικής ιοντικής συγκέντρωσης του θρεπτικού διαλύματος στην ανάπτυξη και παραγωγή σταμναγκαθίου. Περαιτέρω, διερευνήθηκαν οι συγκεντρώσεις θρεπτικών στοιχείων και νιτρικών στους φυτικούς ιστούς του υπέργειου μέρους του φυτού, αφού αποτελούν ισχυρούς καθοριστικούς παράγοντες της διατροφικής ποιότητας και ασφάλειας φυλλωδών λαχανικών. Ως εκ τούτου, σχεδιάστηκε πείραμα δύο παραγόντων, με τη παροχή θρεπτικού διαλύματος με διαφορετική ηλεκτρική αγωγιμότητα (2.4 και 3.6 dS m<sup>-1</sup>) μέσω της τροποποίησης των συγκεντρώσεων καλίου, ασβεστίου, μαγνησίου, θείου και αζώτου, σε συνδυασμό με διαφορετική αναλογία καλίου προς ασβέστιο (K:Ca, 50:40 και 40:50), σε φυτά σταμναγκαθίου τα οποία αναπτύχθηκαν σε υδροπονικό σύστημα επίπλευσης.

Τα αποτελέσματα της παρούσας διατριβής υποδεικνύουν ότι η αλληλεπίδραση μεταξύ της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και της αναλογίας καλίου προς ασβεστίου δεν

είχαν στατιστικά σημαντική επίδραση στις υπό έλεγχο παραμέτρους ανάπτυξης (νωπό βάρος, ξηρό βάρος, αριθμός φύλλων, και φυλλική επιφάνεια). Όμοιο αποτέλεσμα παρατηρήθηκε κατά των έλεγχων των κύριων επιδράσεων. Επιπλέον, η αλληλεπίδραση των δύο εξεταζόμενων παραγόντων στη συγκέντρωση στην καλίου, ασβεστίου, μαγνησίου, φωσφόρου, σιδήρου, μαγγανίου, ψευδαργύρου, χαλκού, νατρίου, βορίου και ολικού αζώτου στο φυτικό ιστό του υπέργειου μέρους ήταν στατιστικά μη-σημαντική. Αξίζει να σημειωθεί ότι η υψηλότερη συγκέντρωση ασβεστίου παρατηρήθηκε στα φυτά που αναπτύχθηκαν σε θρεπτικό διάλυμα με αναλογία K:Ca 40:50. Επιπλέον, παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά στη συγκέντρωση καλίου, με υψηλότερη συγκέντρωση στα φυτά που καλλιεργήθηκαν σε θρεπτικά διαλύματα υψηλής ηλεκτρικής αγωγιμότητας ( $3.6 \text{ dS m}^{-1}$ ). Ιδιαίτερος ενδιαφέρον είναι το γεγονός της αύξησης της συγκέντρωσης μαγγανίου και ψευδαργύρου, με την μείωση της EC του θρεπτικού διαλύματος, παρόλο που οι συγκεντρώσεις τους στα θρεπτικά διαλύματα ήταν όμοιες. Αυτό θα μπορούσε να συσχετιστεί με τη αλληλεπίδραση του μαγγανίου με το ασβέστιο και το μαγνήσιο και την ανταγωνιστική αλληλεπίδραση μεταξύ ασβεστίου και ψευδαργύρου. Τέλος, παρατηρήθηκε επίδραση του παράγοντα EC στη συγκέντρωση νιτρικών, με αυτή να είναι σημαντικά υψηλότερη σε φύλλα φυτών που αναπτύχθηκαν σε θρεπτικά διαλύματα με υψηλή EC ( $3.6 \text{ dS m}^{-1}$ ), πιθανώς λόγω του υψηλότερου ολικού N στις επεμβάσεις αυτές.

Συμπερασματικά, σύμφωνα με τα προαναφερθέντα ευρήματα δεν παρατηρούνται σημαντικές διαφορές στις παραμέτρους ανάπτυξης του *C. spinosum*, υποδηλώνοντας ότι η χρήση θρεπτικών διαλυμάτων με πλεονάζουσα συγκέντρωση καλίου, ασβεστίου, μαγνησίου και αζώτου, ή και διαφορετική αναλογία K:Ca δεν επηρεάζει την απόδοση των φυτών σταμναγκαθίου. Επιπλέον, όσον αφορά τις συγκεντρώσεις στοιχείων στους φυτικούς ιστούς, οι μόνες σημαντικές διαφορές παρατηρήθηκαν σε φυτά που αναπτύχθηκαν σε θρεπτικά διαλύματα με διαφορετική αναλογία K:Ca, στις συγκεντρώσεις ασβεστίου στους ιστούς, και με διαφορετικές ιοντικές συγκεντρώσεις, στις συγκεντρώσεις μαγγανίου και ψευδαργύρου. Τέλος, ιδιαίτερος ενδιαφέρουσα είναι η συσχέτιση της συγκέντρωσης ολικού N με τη συγκέντρωση νιτρικών στα φύλλα του σταμναγκαθίου.

Τα αποτελέσματα αποδεικνύουν ότι το σταμναγκάθι αποτελεί ένα ευπροσάρμοστο φυτικό είδος, το οποίο μπορεί να καλλιεργηθεί επιτυχώς σε υδροπονικό σύστημα επίπλευσης, σε ένα εύρος τιμών ηλεκτρικής αγωγιμότητας ( $2.4$  και  $3.6 \text{ dS m}^{-1}$ ) και σε οποιαδήποτε από τις δύο υπό έλεγχο αναλογίες καλίου προς ασβέστιο (K:Ca), χωρίς όμως να υπονομεύεται η ποιότητα και η απόδοση του σταμναγκαθίου. Έτσι, η εφαρμογή οποιουδήποτε θρεπτικού διαλύματος γίνεται με γνώμονα το διαθέσιμο αρδευτικό νερό, το κόστος των λιπασμάτων, όπως και τον οικότυπο σταμναγκαθίου.

**Επιστημονική περιοχή:** Υδροπονία

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

**Effect of the total ion concentration and potassium to calcium ratio of the nutrient solution on the growth and production of spiny chicory grown in a hydroponic floating system, and on the concentration of nutrients in the plant tissue**

*MSc Top Sectors and Innovative Applications in Production and Maintenance of Fruit, Vegetable and Floricultural Species*  
*Department of Crop Science*  
*Laboratory of Vegetable Production*

## **Abstract**

Spiny chicory (*Cichorium spinosum*), or more widely known as stamnagathi in Greece, is a perennial species, native to regions of Greece, Cyprus, Malta and Southeastern Turkey. It is one of the four species of the genus *Cichorium* that grow naturally in Greece and is usually found in coastal areas. Stamnagathi is a leafy vegetable, that is a component of the Mediterranean diet. Several studies have shown that stamnagathi is an excellent source of ascorbic acid, vitamin K1, tocopherols, omega-3 and omega-6 fatty acids, phenolic acids, carotenoids and elements such as potassium, calcium, iron, zinc. The recognition of this species as a functional food has led to an increase of its demand, especially in many parts of Greece, but also more widely in the Mediterranean basin, in countries such as Cyprus, Malta, Italy, Turkey, and Libya. The increased demand, combined with its high market value has pushed for its commercial cultivation, with the possibility of further exploitation. Therefore, it is important to investigate cultivation methods that can improve the production efficiency, yield and quality. In this context, Soil-less culture, or hydroponics, and especially the use of techniques such as the floating system has had encouraging results in the commercial cultivation of several wild species, including stamnagathi. In soil-less culture, the composition of the nutrient solution is one of the most important parameters, directly influencing their efficiency and success. However, few studies address the nutrition of *C. spinosum* in hydroponic systems.

The aim of this work is to assess the effect of the ratio of macrocations, and, particularly, the ratio between potassium and calcium, as well as the total ionic concentration of the nutrient solution, in the growth and production of stamnagathi. Furthermore, the concentrations of nutrients and nitrates in the plant tissues of the leaves of the plant were investigated, as they are strong determinants of nutritional quality and safety of leafy vegetables. Therefore, a two-factor experiment was designed, by providing a nutrient solution with different electrical conductivity levels (2.4 and 3.6

dS m<sup>-1</sup>) by modifying the concentrations of potassium, calcium, magnesium, sulphur, and nitrogen, in combination with different ratio of potassium to calcium (K: Ca, 50:40 and 40: 50), in stamnagkathi plants grown in a hydroponic flotation system.

The results of the present dissertation indicate that the interaction between electrical conductivity and the potassium to calcium ratio did not have a statistically significant effect on the controlled growth parameters (fresh weight, dry weight, number of leaves, and leaf area). The effect was observed when monitoring the main effects. In addition, the interaction of the two effects at the concentration of potassium, calcium, magnesium, phosphorus, iron, manganese, zinc, copper, sodium, boron and total nitrogen in the aboveground plant tissue was statistically insignificant. It is worth noting that the highest concentration of calcium was observed in plants grown in nutrient solution with a ratio of K: Ca 40:50, and a statistically significant difference was observed in potassium concentration was observed, with the highest concentration being in plants grown in high EC (3.6 dS m<sup>-1</sup>). Of particular interest is the fact that the concentration of manganese and zinc increased, with the decrease of the EC of the nutrient solution, although their concentrations in the nutrient solutions were similar. This could be attributed to the synergistic interaction of potassium and calcium with manganese and the competitive interaction between calcium and zinc. Finally, an effect of EC on nitrate concentration was observed, with it being significantly higher in plant leaves grown in nutrient solutions with high EC (3.6 dS m<sup>-1</sup>), probably due to the higher total N in these interventions.

In conclusion, according to the abovementioned findings, no significant differences are observed in the growth parameters of *C. spinosum*, indicating that the use of nutrient solutions with excess concentration of potassium, calcium, magnesium and nitrogen, or a different ratio of K: Ca does not affect the yield of stamnagkathi plants. Additionally, and regarding the concentrations of elements in plant tissues, the only significant differences were observed in plants grown in nutrient solutions with different K: Ca ratio, in tissue calcium concentrations, and with different ionic concentrations, in manganese and zinc concentrations. Finally, of particular interest is the correlation between the concentration of total N and the concentration of nitrates in the leaves of the stamnagkathi.

The results show that stamnagathi is a versatile plant that can be successfully grown in a floating hydroponics system, using a nutrient solution with an EC value ranging 2.4 and 3.6 dS m<sup>-1</sup> and in either of the two potassium to calcium ratios (K: Ca, 50:40 and 40:50), without compromising quality and yield. Thus, the application of the nutrient solution is based on the quality of the irrigation water, the cost of fertilizers, as well as the ecotype of stamnagathi.

**Scientific area:** Hydroponics

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

## Ευχαριστίες

Η παρούσα διατριβή εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Κηπευτικών Καλλιεργειών του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών. Αυτή τη στιγμή που το έργο έχει ολοκληρωθεί, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή Δρ. Σάββα Δημήτριο για την ευκαιρία που μου έδωσε να εργαστώ στο εργαστήριό του και να προσπαθήσω να φέρω σε πέρας ένα δύσκολο έργο.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την Επίκουρη Καθηγήτρια κυρία Νάτση Γεωργία και τον Επίκουρο Καθηγητή κύριο Καραπάνο Ιωάννη για τη συμμετοχή τους στην τριμελή επιτροπή και την υποστήριξη τους καθ' όλη τη διάρκεια των μεταπτυχιακών μου σποδών.

Επιπρόσθετα, θα ήθελα να ευχαριστήσω το προσωπικό του εργαστηρίου για τη συνεχή υποστήριξη και καθοδήγηση. Ένα μεγάλο ευχαριστώ πρέπει να εκφράσω στον κύριο Βουτσινό Ορφέα για τη άψογη συνεργασία, συνεχή βοήθεια και επίβλεψη του έργου αυτού. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Καραβίδα Ιωάννη για την συνεχή βοήθεια και επίβλεψη στο εργαστήριο.

Τέλος, πολλά ευχαριστώ αξίζουν οι γονείς μου, τα αδέρφια μου, οι φίλοι μου και η κοπέλα μου, οι οποίοι ήταν συνοδοιπόροι σε αυτό το εγχείρημα.

---

Με την άδειά μου, η παρούσα εργασία ελέγχθηκε από την Εξεταστική Επιτροπή μέσα από λογισμικό ανίχνευσης λογοκλοπής που διαθέτει το ΓΠΑ και διασταυρώθηκε η εγκυρότητα και η πρωτοτυπία της.



## Περιεχόμενα

Περίληψη .....	1
Abstract .....	3
Κατάλογος Πινάκων .....	6
Κατάλογος Γραφημάτων .....	12
Κατάλογος Εικόνων.....	16
1. Εισαγωγή .....	19
1.1. Αυτοφυή λαχανευόμενα είδη.....	19
1.2. Οικογένεια Asteraceae.....	21
1.3. Σταμναγκάθι ( <i>Cichorium spinosum</i> ).....	24
1.3.1. Ιστορική ανασκόπηση.....	24
1.3.2. Βοτανική ταξινόμηση .....	25
1.3.3. Βοτανικά χαρακτηριστικά .....	25
1.3.4. Εδαφοκλιματικές απαιτήσεις.....	27
1.3.5. Πολλαπλασιασμός .....	28
1.3.6. Καλλιεργητικές περιποιήσεις .....	29
1.3.7. Συγκομιδή .....	29
1.3.8. Ποιοτικά χαρακτηριστικά .....	30
1.4. Καλλιέργειες εκτός εδάφους.....	32
1.4.1. Ιστορικά στοιχεία.....	33
1.4.2. Συστήματα καλλιέργειας εκτός εδάφους.....	34
1.4.2.1. Συστήματα καλλιέργειας σε θρεπτικό διάλυμα.....	34
1.4.2.2. Συστήματα καλλιέργειας σε υπόστρωμα.....	37
1.5. Σύστημα επίπλευσης (floating system).....	39
1.6. Θρεπτικό διάλυμα.....	41
1.6.1. Απορρόφηση νερού και θρεπτικών στοιχείων.....	43
1.6.2. Ηλεκτρική αγωγιμότητα .....	47

1.6.3.	pH .....	50
1.6.4.	Θρεπτικά στοιχεία.....	52
1.6.5.	Αλληλεπίδραση μεταξύ μακροκατιόντων .....	64
2.	Σκοπός .....	67
3.	Υλικά και Μέθοδοι.....	68
3.1.	Τόπος και Χρόνος Πειράματος.....	68
3.2.	Φυτικό υλικό.....	68
3.3.	Εγκατάσταση πειράματος.....	69
3.4.	Πειραματική διαδικασία .....	77
3.4.1.	Έναρξη πειράματος.....	77
3.4.2.	Λήξη πειράματος .....	77
3.5.	Μέτρηση αριθμού φύλλων και φυλλικής επιφάνειας.....	78
3.6.	Άλεση φυτικού ιστού.....	78
3.7.	Εκχύλιση φυτικού ιστού .....	79
3.8.	Αναλύσεις φυτικού ιστού .....	80
3.8.1.	Προσδιορισμός φωσφόρου (P) .....	80
3.8.2.	Προσδιορισμός $Ca^{2+}$ , $Mg^{2+}$ , Fe, $Mn^{2+}$ και $Zn^{2+}$ .....	82
3.8.3.	Προσδιορισμός Καλίου ( $K^+$ ) και Νατρίου ( $Na^+$ ).....	84
3.8.4.	Προσδιορισμός Ολικού Αζώτου ( $NH_4^+$ και $NO_3^-$ ) .....	84
3.8.5.	Προσδιορισμός νιτρικών ( $NO_3^-$ -N) φυτικού ιστού.....	86
3.8.6.	Προσδιορισμός βορίου ( $BO_3^-$ ).....	88
3.9.	Στατιστική ανάλυση.....	88
4.	Αποτελέσματα .....	90
4.1.	Νωπό βάρος υπέργειου μέρους.....	90
4.2.	Ξηρό βάρος υπέργειου μέρους (dry weight).....	91
4.3.	Αριθμός φύλλων .....	92
4.4.	Φυλλική επιφάνεια (Leaf Area Index).....	93

4.5.	Αποτελέσματα συγκέντρωσης μακροστοιχείων .....	94
4.5.1.	Συγκέντρωση Καλίου ( $K^+$ ) .....	94
4.5.2.	Συγκέντρωση Ασβεστίου ( $Ca^{2+}$ ).....	95
4.5.3.	Συγκέντρωση Μαγνησίου ( $Mg^{2+}$ ).....	97
4.5.4.	Συγκέντρωση φωσφόρου (P) .....	98
4.6.	Συγκέντρωση Νατρίου ( $Na^+$ ).....	99
4.7.	Αποτελέσματα συγκέντρωσης ιχνοστοιχείων.....	100
4.7.1.	Συγκέντρωση Σιδήρου ( $Fe^{2+}$ ) .....	100
4.7.2.	Συγκέντρωση Μαγγανίου ( $Mn^{2+}$ ) .....	101
4.7.3.	Συγκέντρωση Ψευδαργύρου ( $Zn^{2+}$ ) .....	102
4.7.4.	Συγκέντρωση Χαλκού ( $Cu^{2+}$ ) .....	103
4.7.5.	Συγκέντρωση Βορίου (B) .....	104
4.8.	Συγκέντρωση νιτρικού – αζώτου ( $NO^3 - N$ ) .....	105
4.9.	Συγκέντρωση ολικού αζώτου (Total N) .....	107
4.10.	Μέτρηση κατανάλωσης θρεπτικού διαλύματος .....	108
5.	Συζήτηση .....	110
5.1.	Νωπό βάρος, αριθμός φύλλων, φυλλική επιφάνεια και ξηρό βάρος.....	110
5.1.1.	Ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) .....	110
5.1.2.	Αναλογία καλίου προς ασβέστιο (K:Ca).....	113
5.2.	Συγκεντρώσεις θρεπτικών στοιχείων στον φυτικό ιστό .....	114
5.2.1.	Κάλιο .....	115
5.2.2.	Ασβέστιο.....	116
5.2.3.	Μαγνήσιο.....	116
5.2.4.	Φώσφορος.....	117
5.2.5.	Ιχνοστοιχεία.....	117
5.2.6.	Ολικό άζωτο .....	119
5.2.7.	Συγκεντρώσεις νιτρικών στον φυτικό ιστό.....	119

5.3.	Καταληκτικά σχόλια και μελλοντική ερευνά .....	121
6.	Βιβλιογραφία .....	124

## Κατάλογος Πινάκων

<b>Πίνακας 1</b> Τα μακροστοιχεία και ιχνοστοιχεία που περιέχονται στα θρεπτικά διαλύματα καλλιεργειών εκτός εδάφους, συνοδευόμενα από τη χημική τους μορφή (Σάββας, 2011).....	42
<b>Πίνακας 2</b> Κατηγοριοποίηση φυτών ως προς την ανοχή τους στην αλατούχο καταπόνηση, και το κατώφλι EC (Trejo-Téllez & Gómez-Merino, 2012).....	49
<b>Πίνακας 3</b> Μέγιστα όρια νιτρικών ( $\text{mg kg}^{-1} \text{ fw}$ ) στα φυτά μαρουλιού, ρόκας, και σπανακιού, σύμφωνα με τον χρόνο συγκομιδής και τον τύπο καλλιέργειας τους (European Commission, 2011) .....	60
<b>Πίνακας 4</b> Τα ιχνοστοιχεία, η ιοντική μορφή τους, το επαρκές επίπεδο τους ( $\text{mg kg}^{-1} \text{ dw}$ ), η επίδραση τους και η συγκέντρωση τους στο θρεπτικό διάλυμα ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) (N.K. Fageria et al., 2011; Mahler; 2004, Tripathi et al., 2015; Σάββας, 2011).....	64
<b>Πίνακας 5</b> Οι σύσταση, ηλεκτρική αγωγιμότητα, και αναλογία K:Ca:Mg της κάθε επέμβασης .....	70
<b>Πίνακας 6</b> Σύσταση θρεπτικού διαλύματος επέμβασης LOW 50:40:10 .....	71
<b>Πίνακας 7</b> Σύσταση θρεπτικού διαλύματος επέμβασης LOW 40:50:10 .....	72
<b>Πίνακας 8</b> Σύσταση θρεπτικού διαλύματος επέμβασης HIGH 40:40:10 .....	73
<b>Πίνακας 9</b> Σύσταση θρεπτικού διαλύματος επέμβασης HIGH 40:50:10 .....	74
<b>Πίνακας 10</b> Σύσταση θρεπτικού διαλύματος αναπλήρωσης .....	75

## Κατάλογος Γραφημάτων

**Γράφημα 1** Η επίδραση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC, 2.4 dS m<sup>-1</sup> και 3.6 dS m<sup>-1</sup>, που σημειώνονται ως LOW και HIGH αντίστοιχα) και της αναλογίας K:Ca:Mg (50:40:10 και 40:50:10), όπως και της αλληλεπίδρασης μεταξύ των παραγόντων (EC, K:Ca:Mg) στο νωπό βάρος (fw) του υπέργειου μέρους των φυτών *C. spinosum* (g). Οι γραμμές σε κάθε ράβδο υποδεικνύουν το τυπικό σφάλμα, ενώ τα διαφορετικά γράμματα στο κέντρο των ράβδων υποδεικνύουν στατιστικά σημαντική διαφορά σύμφωνα με το κριτήριο Duncan's Multiple-Range test ( $P \leq 5\%$ ). .....90

**Γράφημα 2** Η επίδραση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC, 2.4 dS m<sup>-1</sup> και 3.6 dS m<sup>-1</sup>, που σημειώνονται ως LOW και HIGH αντίστοιχα) και της αναλογίας K:Ca:Mg (50:40:10 και 40:50:10), όπως και της αλληλεπίδρασης μεταξύ των παραγόντων (EC, K:Ca:Mg) στο ξηρό βάρος (dw) του υπέργειου μέρους των φυτών *C. spinosum* (g). Οι γραμμές σε κάθε ράβδο υποδεικνύουν το τυπικό σφάλμα, ενώ τα διαφορετικά γράμματα στο κέντρο των ράβδων υποδεικνύουν στατιστικά σημαντική διαφορά σύμφωνα με το κριτήριο Duncan's Multiple-Range test ( $P \leq 5\%$ ). .....91

**Γράφημα 3** Η επίδραση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC, 2.4 dS m<sup>-1</sup> και 3.6 dS m<sup>-1</sup>, που σημειώνονται ως LOW και HIGH αντίστοιχα) και της αναλογίας K:Ca:Mg (50:40:10 και 40:50:10), όπως και της αλληλεπίδρασης μεταξύ των παραγόντων (EC, K:Ca:Mg) στον αριθμό φύλλων των φυτών *C. spinosum*. Οι γραμμές σε κάθε ράβδο υποδεικνύουν το τυπικό σφάλμα, ενώ τα διαφορετικά γράμματα στο κέντρο των ράβδων υποδεικνύουν στατιστικά σημαντική διαφορά σύμφωνα με το κριτήριο Duncan's Multiple-Range test ( $P \leq 5\%$ ). .....92

**Γράφημα 4** Η επίδραση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC, 2.4 dS m<sup>-1</sup> και 3.6 dS m<sup>-1</sup>, που σημειώνονται ως LOW και HIGH αντίστοιχα) και της αναλογίας K:Ca:Mg (50:40:10 και 40:50:10), όπως και της αλληλεπίδρασης μεταξύ των παραγόντων (EC, K:Ca:Mg) στη φυλλική επιφάνεια (Leaf Area Index) των φυτών *C. spinosum* (cm<sup>2</sup>). Οι γραμμές σε κάθε ράβδο υποδεικνύουν το τυπικό σφάλμα, ενώ τα διαφορετικά γράμματα στο κέντρο των ράβδων υποδεικνύουν στατιστικά σημαντική διαφορά σύμφωνα με το κριτήριο Duncan's Multiple-Range test ( $P \leq 5\%$ ). .....94

**Γράφημα 5** Η επίδραση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC, 2.4 dS m<sup>-1</sup> και 3.6 dS m<sup>-1</sup>, που σημειώνονται ως LOW και HIGH αντίστοιχα) και της αναλογίας K:Ca:Mg (50:40:10 και 40:50:10), όπως και της αλληλεπίδρασης μεταξύ των παραγόντων (EC, K:Ca:Mg) στη συγκέντρωση καλίου στο υπέργειο μέρος των φυτών *C. spinosum* (mg

g<sup>-1</sup>). Οι γραμμές σε κάθε ράβδο υποδεικνύουν το τυπικό σφάλμα, ενώ τα διαφορετικά γράμματα στο κέντρο των ράβδων υποδεικνύουν στατιστικά σημαντική διαφορά σύμφωνα με το κριτήριο Duncan's Multiple-Range test ( $P \leq 5\%$ ). .....95

**Γράφημα 6** Η επίδραση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC, 2.4 dS m<sup>-1</sup> και 3.6 dS m<sup>-1</sup>, που σημειώνονται ως LOW και HIGH αντίστοιχα) και της αναλογίας K:Ca:Mg (50:40:10 και 40:50:10), όπως και της αλληλεπίδρασης μεταξύ των παραγόντων (EC, K:Ca:Mg) στη συγκέντρωση ασβεστίου στο υπέργειο μέρος των φυτών *C. spinosum* (mg g<sup>-1</sup>). Οι γραμμές σε κάθε ράβδο υποδεικνύουν το τυπικό σφάλμα, ενώ τα διαφορετικά γράμματα στο κέντρο των ράβδων υποδεικνύουν στατιστικά σημαντική διαφορά σύμφωνα με το κριτήριο Duncan's Multiple-Range test ( $P \leq 5\%$ ). .....96

**Γράφημα 7** Η επίδραση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC, 2.4 dS m<sup>-1</sup> και 3.6 dS m<sup>-1</sup>, που σημειώνονται ως LOW και HIGH αντίστοιχα) και της αναλογίας K:Ca:Mg (50:40:10 και 40:50:10), όπως και της αλληλεπίδρασης μεταξύ των παραγόντων (EC, K:Ca:Mg) στη συγκέντρωση μαγνησίου στο υπέργειο μέρος των φυτών *C. spinosum* (mg g<sup>-1</sup>). Οι γραμμές σε κάθε ράβδο υποδεικνύουν το τυπικό σφάλμα, ενώ τα διαφορετικά γράμματα στο κέντρο των ράβδων υποδεικνύουν στατιστικά σημαντική διαφορά σύμφωνα με το κριτήριο Duncan's Multiple-Range test ( $P \leq 5\%$ ). .....97

**Γράφημα 8** Η επίδραση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC, 2.4 dS m<sup>-1</sup> και 3.6 dS m<sup>-1</sup>, που σημειώνονται ως LOW και HIGH αντίστοιχα) και της αναλογίας K:Ca:Mg (50:40:10 και 40:50:10), όπως και της αλληλεπίδρασης μεταξύ των παραγόντων (EC, K:Ca:Mg) στη συγκέντρωση φωσφόρου στο υπέργειο μέρος των φυτών *C. spinosum* (mg g<sup>-1</sup>). Οι γραμμές σε κάθε ράβδο υποδεικνύουν το τυπικό σφάλμα, ενώ τα διαφορετικά γράμματα στο κέντρο των ράβδων υποδεικνύουν στατιστικά σημαντική διαφορά σύμφωνα με το κριτήριο Duncan's Multiple-Range test ( $P \leq 5\%$ ). .....98

**Γράφημα 9** Η επίδραση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC, 2.4 dS m<sup>-1</sup> και 3.6 dS m<sup>-1</sup>, που σημειώνονται ως LOW και HIGH αντίστοιχα) και της αναλογίας K:Ca:Mg (50:40:10 και 40:50:10), όπως και της αλληλεπίδρασης μεταξύ των παραγόντων (EC, K:Ca:Mg) στη συγκέντρωση νατρίου στο υπέργειο μέρος των φυτών *C. spinosum* (mg g<sup>-1</sup>). Οι γραμμές σε κάθε ράβδο υποδεικνύουν το τυπικό σφάλμα, ενώ τα διαφορετικά γράμματα στο κέντρο των ράβδων υποδεικνύουν στατιστικά σημαντική διαφορά σύμφωνα με το κριτήριο Duncan's Multiple-Range test ( $P \leq 5\%$ ). .....99

**Γράφημα 10** Η επίδραση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC, 2.4 dS m<sup>-1</sup> και 3.6 dS m<sup>-1</sup>, που σημειώνονται ως LOW και HIGH αντίστοιχα) και της αναλογίας K:Ca:Mg (50:40:10 και 40:50:10), όπως και της αλληλεπίδρασης μεταξύ των παραγόντων (EC,

K:Ca:Mg) στη συγκέντρωση σιδήρου στο υπέργειο μέρος των φυτών *C. spinosum* ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ). Οι γραμμές σε κάθε ράβδο υποδεικνύουν το τυπικό σφάλμα, ενώ τα διαφορετικά γράμματα στο κέντρο των ράβδων υποδεικνύουν στατιστικά σημαντική διαφορά σύμφωνα με το κριτήριο Duncan's Multiple-Range test ( $P \leq 5\%$ ). ..... 100

**Γράφημα 11** Η επίδραση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC,  $2.4 \text{ dS m}^{-1}$  και  $3.6 \text{ dS m}^{-1}$ , που σημειώνονται ως LOW και HIGH αντίστοιχα) και της αναλογίας K:Ca:Mg (50:40:10 και 40:50:10), όπως και της αλληλεπίδρασης μεταξύ των παραγόντων (EC, K:Ca:Mg) στη συγκέντρωση μαγγάνιου στο υπέργειο μέρος των φυτών *C. spinosum* ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ). Οι γραμμές σε κάθε ράβδο υποδεικνύουν το τυπικό σφάλμα, ενώ τα διαφορετικά γράμματα στο κέντρο των ράβδων υποδεικνύουν στατιστικά σημαντική διαφορά σύμφωνα με το κριτήριο Duncan's Multiple-Range test ( $P \leq 5\%$ ). ..... 101

**Γράφημα 12** Η επίδραση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC,  $2.4 \text{ dS m}^{-1}$  και  $3.6 \text{ dS m}^{-1}$ , που σημειώνονται ως LOW και HIGH αντίστοιχα) και της αναλογίας K:Ca:Mg (50:40:10 και 40:50:10), όπως και της αλληλεπίδρασης μεταξύ των παραγόντων (EC, K:Ca:Mg) στη συγκέντρωση ψευδραγύρου στο υπέργειο μέρος των φυτών *C. spinosum* ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ). Οι γραμμές σε κάθε ράβδο υποδεικνύουν το τυπικό σφάλμα, ενώ τα διαφορετικά γράμματα στο κέντρο των ράβδων υποδεικνύουν στατιστικά σημαντική διαφορά σύμφωνα με το κριτήριο Duncan's Multiple-Range test ( $P \leq 5\%$ ). ..... 103

**Γράφημα 13** Η επίδραση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC,  $2.4 \text{ dS m}^{-1}$  και  $3.6 \text{ dS m}^{-1}$ , που σημειώνονται ως LOW και HIGH αντίστοιχα) και της αναλογίας K:Ca:Mg (50:40:10 και 40:50:10), όπως και της αλληλεπίδρασης μεταξύ των παραγόντων (EC, K:Ca:Mg) στη συγκέντρωση χαλκού στο υπέργειο μέρος των φυτών *C. spinosum* ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ). Οι γραμμές σε κάθε ράβδο υποδεικνύουν το τυπικό σφάλμα, ενώ τα διαφορετικά γράμματα στο κέντρο των ράβδων υποδεικνύουν στατιστικά σημαντική διαφορά σύμφωνα με το κριτήριο Duncan's Multiple-Range test ( $P \leq 5\%$ ). ..... 104

**Γράφημα 14** Η επίδραση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC,  $2.4 \text{ dS m}^{-1}$  και  $3.6 \text{ dS m}^{-1}$ , που σημειώνονται ως LOW και HIGH αντίστοιχα) και της αναλογίας K:Ca:Mg (50:40:10 και 40:50:10), όπως και της αλληλεπίδρασης μεταξύ των παραγόντων (EC, K:Ca:Mg) στη συγκέντρωση βορίου στο υπέργειο μέρος των φυτών *C. spinosum* ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ). Οι γραμμές σε κάθε ράβδο υποδεικνύουν το τυπικό σφάλμα, ενώ τα διαφορετικά γράμματα στο κέντρο των ράβδων υποδεικνύουν στατιστικά σημαντική διαφορά σύμφωνα με το κριτήριο Duncan's Multiple-Range test ( $P \leq 5\%$ ). ..... 105

**Γράφημα 15** Η επίδραση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC,  $2.4 \text{ dS m}^{-1}$  και  $3.6 \text{ dS m}^{-1}$ , που σημειώνονται ως LOW και HIGH αντίστοιχα) και της αναλογίας K:Ca:Mg



(50:40:10 και 40:50:10), όπως και της αλληλεπίδρασης μεταξύ των παραγόντων (EC, K:Ca:Mg) στη συγκέντρωση νιτρικών στο υπέργειο μέρος των φυτών *C. spinosum* ( $\text{mg kg}^{-1} \text{ dw}$ ). Οι γραμμές σε κάθε ράβδο υποδεικνύουν το τυπικό σφάλμα, ενώ τα διαφορετικά γράμματα στο κέντρο των ράβδων υποδεικνύουν στατιστικά σημαντική διαφορά σύμφωνα με το κριτήριο Duncan's Multiple-Range test ( $P \leq 5\%$ ). ..... 106

**Γράφημα 16** Η επίδραση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC,  $2.4 \text{ dS m}^{-1}$  και  $3.6 \text{ dS m}^{-1}$ , που σημειώνονται ως LOW και HIGH αντίστοιχα) και της αναλογίας K:Ca:Mg (50:40:10 και 40:50:10), όπως και της αλληλεπίδρασης μεταξύ των παραγόντων (EC, K:Ca:Mg) στη συγκέντρωση νιτρικών στο υπέργειο μέρος των φυτών *C. spinosum* ( $\text{mg kg}^{-1} \text{ fw}$ ). Οι γραμμές σε κάθε ράβδο υποδεικνύουν το τυπικό σφάλμα, ενώ τα διαφορετικά γράμματα στο κέντρο των ράβδων υποδεικνύουν στατιστικά σημαντική διαφορά σύμφωνα με το κριτήριο Duncan's Multiple-Range test ( $P \leq 5\%$ ). ..... 107

**Γράφημα 17** Η επίδραση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC,  $2.4 \text{ dS m}^{-1}$  και  $3.6 \text{ dS m}^{-1}$ , που σημειώνονται ως LOW και HIGH αντίστοιχα) και της αναλογίας K:Ca:Mg (50:40:10 και 40:50:10), όπως και της αλληλεπίδρασης μεταξύ των παραγόντων (EC, K:Ca:Mg) στη συγκέντρωση του ολικού αζώτου στο υπέργειο μέρος των φυτών *C. spinosum* ( $\text{mg g}^{-1}$ ). Οι γραμμές σε κάθε ράβδο υποδεικνύουν το τυπικό σφάλμα, ενώ τα διαφορετικά γράμματα στο κέντρο των ράβδων υποδεικνύουν στατιστικά σημαντική διαφορά σύμφωνα με το κριτήριο Duncan's Multiple-Range test ( $P \leq 5\%$ ). ..... 108

**Γράφημα 18** Η επίδραση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC,  $2.4 \text{ dS m}^{-1}$  και  $3.6 \text{ dS m}^{-1}$ , που σημειώνονται ως LOW και HIGH αντίστοιχα) και της αναλογίας K:Ca:Mg (50:40:10 και 40:50:10), όπως και της αλληλεπίδρασης μεταξύ των παραγόντων (EC, K:Ca:Mg) στη συνολική κατανάλωση του θρεπτικού διαλύματος από τα φυτά της κάθε λεκάνης (kg). Οι γραμμές σε κάθε ράβδο υποδεικνύουν το τυπικό σφάλμα, ενώ τα διαφορετικά γράμματα στο κέντρο των ράβδων υποδεικνύουν στατιστικά σημαντική διαφορά σύμφωνα με το κριτήριο Duncan's Multiple-Range test ( $P \leq 5\%$ ). ..... 109

## Κατάλογος Εικόνων

<b>Εικόνα 1</b> Χαρακτηριστικά της οικογένειας Compositae: Α. Κεφάλιο, Β. Ανθίδια (και τρόπος ελευθέρωσης γύρης), Γ. Τύποι πάππων και αχαινίων (Funk et al., 2009).....	22
<b>Εικόνα 2</b> Η κατανομή του <i>C. spinosum</i> στη Μεσόγειο (Crivellaro & Schweingruber, 2013) .....	24
<b>Εικόνα 3</b> Φυτά <i>C. spinosum</i> στο σύστημα επίπλευσης του παρόντος πειράματος.....	25
<b>Εικόνα 4</b> Οι ρίζες διαφορετικών οικότυπων <i>C. spinosum</i> (παράκτιος, ορεινός, και καλλιεργούμενος) (Parafilippaki & Nikolaidis, 2020).....	26
<b>Εικόνα 5</b> Άνθη <i>C. spinosum</i> (Crivellaro & Schweingruber, 2013) .....	27
<b>Εικόνα 6</b> Καλλιέργεια <i>C. spinosum</i> της Cretan Gaia στα Χανιά (Made in Creta, 2013) .....	29
<b>Εικόνα 7</b> Συστήματα καλλιέργειας εκτός εδάφους: Στα αριστερά, καλλιέργεια μαρουλιού σε σύστημα επίπλευσης. Στα δεξιά, κάθετη καλλιέργεια φράουλας σε γλάστρες (Rodríguez-Delfín, 2012).....	32
<b>Εικόνα 8</b> Συστήματα καλλιέργειας εκτός εδάφους σε θρεπτικό διάλυμα (υδροκαλλιέργεια) (Maucieri et al., 2019).....	36
<b>Εικόνα 9</b> Φυτά αγγουριού σε κλειστό σύστημα καλλιέργειας (πετροβάμβακα) (Morgan, 2021) .....	37
<b>Εικόνα 10</b> Συστήματα καλλιέργειας εκτός εδάφους ανάλογα με τον τρόπο διαχείρισης του θρεπτικού διαλύματος (Maucieri et al., 2019) .....	38
<b>Εικόνα 11</b> Καλλιέργεια <i>Sanguisorba minor</i> και <i>Rumex acetosa</i> σε σύστημα επίπλευσης (Ceccanti et al., 2018) .....	41
<b>Εικόνα 12</b> Διαδρομές νερού και ιόντων σε διάφορα σημεία της ρίζας. (Bhatla, 2018) .....	44
<b>Εικόνα 13</b> Απορρόφηση ιόντων από τις ρίζες των φυτών (Maucieri et al., 2019) .....	51
<b>Εικόνα 14</b> Κατάλληλη παροχή καλίου στα φυτά επηρεάζει πολλούς παράγοντες (Amtmann & Rubio, 2012).....	52
<b>Εικόνα 15</b> Ανταγωνισμός και συνέργεια μεταξύ θρεπτικών στοιχείων (Maucieri et al., 2019) .....	65
<b>Εικόνα 16</b> Η σπορά (Α) στις 05/04/2021), δίσκος στο πλαστικό θερμοκήπιο (Β) στη μεταφύτευση (Γ) των σποροφύτων (10/05/2021).....	68

<b>Εικόνα 17</b> Πειραματική διάταξη επεμβάσεων. Το H και L σηματοδοτούν την ιοντική συγκέντρωση (High και Low αντίστοιχα), και το 50 και 40 σηματοδοτεί την αναλογία K:Ca:Mg (50:40:10 και 40:50:10 αντίστοιχα).....	69
<b>Εικόνα 18</b> Χώρος διεξαγωγής του πειράματος, με τα συστήματα επίπλευσης (λεκάνες με φελιζόλ που επιπλέουν στην επιφάνεια του θρεπτικού διαλύματος, και οι δεξαμενές παροχής θρεπτικού διαλύματος), μετά την μεταφύτευση των σποροφύτων.....	76
<b>Εικόνα 19</b> Τα φυτά <i>C. spinosum</i> κατά τη συγκομιδή.....	77
<b>Εικόνα 20</b> Άλεση αποξηραμένου φυτικού ιστού με την χρήση του μύλου MF 10 ....	78
<b>Εικόνα 21</b> Πυραντήριο LM-112 (Linn High Therm, Hirschbach, Germany).....	79
<b>Εικόνα 22</b> Τοποθέτηση 0.5 g αλεσμένου δείγματος στις κάψες (A) και τοποθέτηση των καψών στο πυραντήριο (B).....	80
<b>Εικόνα 23</b> Φασματοφωτόμετρο Anthos Zenyth 200rt Microplate Reader ( Biochrom Ltd, Cambridge, UK) .....	80
<b>Εικόνα 24</b> Πρότυπη καμπύλη διαδικασίας προσδιορισμού του φωσφόρου.....	82
<b>Εικόνα 25</b> Φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης Shimadzu AA-7000 (Kyoto, Japan) .....	83
<b>Εικόνα 26</b> Φλογοφωτόμετρο Sherwood Flame Photometer 410 (Cambridge, UK)...	84
<b>Εικόνα 27</b> A. Tecator Kjeltac 8200, B. Scrubber Labtec SR 210, Γ. Labtec DT 220 (FOSS A/S, Hillerød, Denmark) (Fossanalytics.com).....	85

## Κατάλογος εξισώσεων

<b>Εξίσωση 1</b> Εξίσωση Nernst (Baset Mia, 2015) .....	45
<b>Εξίσωση 2</b> Απλοποιημένη εξίσωση Nernst (Marschner, 2011).....	45
<b>Εξίσωση 3</b> Προσδιορισμός συνολικής συγκέντρωσης αλάτων (C, meq L <sup>-1</sup> ) (Σάββας, 2011) .....	45
<b>Εξίσωση 4</b> Εκτίμηση οσμωτικής πίεσης θρεπτικού διαλύματος (Trejo-Téllez & Gómez-Merino, 2012).....	45
<b>Εξίσωση 5</b> Προσδιορισμός συγκεντρώσεων στοιχείων (Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , Fe, Mn <sup>2+</sup> και Zn <sup>2+</sup> ) σύμφωνα με τον νόμο Lambert-Beer.....	45
<b>Εξίσωση 6</b> Προσδιορισμός νιτρικών στο νωπό φυτικό ιστό).....	85

# 1. Εισαγωγή

## 1.1. Αυτοφυή λαχανευόμενα είδη

Τα αυτοφυή λαχανευόμενα είναι τα φυτικά είδη που φυτρώνουν ως ιθαγενή (αυτοφύονται) στην ελληνική επικράτεια, και συλλέγονται για να χρησιμοποιηθούν στην ανθρώπινη διατροφή. Τα είδη αυτά ανήκουν σε πολλές οικογένειες ως προς τη συστηματική τους κατάταξη, παρουσιάζουν διαφορετικό βιολογικό τους κύκλο όπως και διαφορές στις εδαφοκλιματικές απαιτήσεις, καθιστώντας δύσκολη την ομαδοποίηση τους για διερεύνηση των χαρακτηριστικών και των καλλιεργητικών απαιτήσεων τους για την αξιοποίηση του. Έτσι, μόνο ένα μικρό μέρος από αυτά τα είδη αξιοποιείται από τους παραγωγούς, τα οποία καλλιεργούνται συστηματικά και επι της ουσίας δεν θεωρούνται αυτοφυή. Αντίστοιχα, τα υπόλοιπα είδη που κατατάσσονται στα λαχανευόμενα και δεν έχουν ενταχθεί σε συστηματική καλλιέργεια, συνεχίζουν να θεωρούνται αυτοφυή (Ακουμιανάκης, 2007). Λαχανευόμενα είδη, εκτός από το σταμναγκάθι, είναι ο ζοχός (*Sonchus oleraceus*), η γαλατσίδα (*Reichardia picroides*), η αδραλίδα (*Hymenonema graecum*), ο ταραξάκος (*Taraxacum officinale*), ο ασκόλυμπρος (*Scolymus hispanicus*), η κάπαρη (*Capparis spinosa*), άγριο σπαράγγι (*Asparagus acutifolius*), το κρίταμο (*Crithmum maritimum*) και άλλα (Della et al., 2006; Ακουμιανάκης, 2007; Πάππα, 2016).

Αφενός, τις τελευταίες δεκαετίες, η κατανάλωση άγριων φυλλωδών λαχανικών έχει μειωθεί σημαντικά, λόγω κυρίως των οικονομικών και κοινωνικών αλλαγών και του βιοτικού επιπέδου και του μοντέρνου τρόπου ζωής των ανθρώπων. Αφετέρου, προσφάτως, το αυξανόμενο ενδιαφέρον σε υγιεινά προϊόντα, τα λεγόμενα “superfoods”, ώθησε στην ανάπτυξη νέων και υγιεινών συνηθειών, και μια από αυτές είναι η κατανάλωση λαχανευόμενων ειδών, ανανεώνοντας έτσι και την ανάγκη της αγοράς σε αυτά (Petrooulos et al. 2017; Morales et al. 2014).

Από τα αρχαία χρόνια, τα λαχανευόμενα είδη έχουν αποτελέσει μέρος παραδοσιακών διατροφικών συνηθειών στην ανθρώπινη ιστορία, αλλά κυρίως συνδυαστήκαν με περιόδους λιμών, περιορίζοντας την κατανάλωση τους τις τελευταίες δεκαετίες. Με τα χρόνια, η αύξηση της χρήσης τους οδήγησε σε έρευνες οι οποίες ανέδειξαν την θρεπτική αξία τους και των φαρμακευτικών τους ιδιοτήτων (Ceccanti et al., 2018; Pawera et al., 2020). Αυτά τα χαρακτηριστικά θεωρείται ότι αναπτύχθηκαν

λόγω των δυσμενών περιβαλλοντικών συνθηκών ανάπτυξης των φυτών αυτών, τα οποία συσσωρεύουν περισσότερα σάκχαρα, βιταμίνες, ιχνοστοιχεία και άλλες φυτοχημικές ουσίες, ενώ υποβοηθούν στην βελτίωση ποιοτικών χαρακτηριστικών, όπως στην ανάπτυξη καλύτερου αρώματος (Morales et al., 2014; Ακουμιανάκης, 2007). Περαιτέρω, η σπουδαιότητα της διατροφικής αξίας των λαχανευόμενων ειδών βρίσκεται στην αυξημένη περιεκτικότητά τους σε άλφα-λινολενικό οξύ, βιταμίνη Ε και C, φαινόλες και άλλες ουσίες που αυξάνουν την αντιοξειδωτική τους ικανότητα, σε σύγκριση με καλλιεργούμενα είδη (Simopoulos, 2004).

Αξίζει να σημειωθεί η ικανότητα προσαρμογής των λαχανευόμενων ειδών σε αντίξοες συνθήκες, αφού δύναται η εκμετάλλευση υποβαθμισμένων εδαφών όπου η βελτίωση τους είναι δύσκολη, και έτσι θεωρούνται ακατάλληλα, για συστηματική καλλιέργεια απαιτητικών ειδών. Για παράδειγμα, ο ζοχός προσαρμόζεται σε βαριά εδάφη κακής στράγγισης, το κρίταμο σε εδάφη με υψηλή αλατότητα, και η κάπαρη σε εδάφη με υψηλή περιεκτικότητα σε ασβέστιο (Ακουμιανάκης, 2007).

Επιπλέον, τα λαχανευόμενα είδη έχουν μεγάλο ενδιαφέρον λόγω της υψηλής τους αξίας και της αυξανόμενης ζήτησης από τους καταναλωτές, οι οποίοι επιζητούν προϊόντα αυξημένης διατροφικής αξίας. Τα λαχανευόμενα είδη κρίνονται κατάλληλα για εμπορική εκμετάλλευση λόγω:

- Πλήθος διαθέσιμων καλλιεργούμενων ειδών.
- Παραγωγή όλο τον χρόνο.
- Μεγάλο καλλιεργητικό εύρος καλλιεργητικών επίλογων.
- Εκμετάλλευση από μικρές επιχειρήσεις.
- Εύκολη αποδοχή από τους Έλληνες καταναλωτές
- Προώθηση ελληνικής κουζίνας και γαστρονομίας.

Περαιτέρω, τα λαχανευόμενα είδη μπορούν να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στα πλαίσια αειφορικής γεωργίας και βιολογικών καλλιεργειών λόγω των ακόλουθων παραγόντων:

- Χρήση ως φυτά εδαφοκάλυψης.
- Ένταξη σε προγράμματα αμειψισποράς.
- Ανταγωνισμός και αντιμετώπιση ζιζανίων.

- Φυσική ανθεκτικότητα σε προσβολές από εχθρούς και ασθένειες, και προσαρμογή σε αντίξοες εδαφικές συνθήκες.

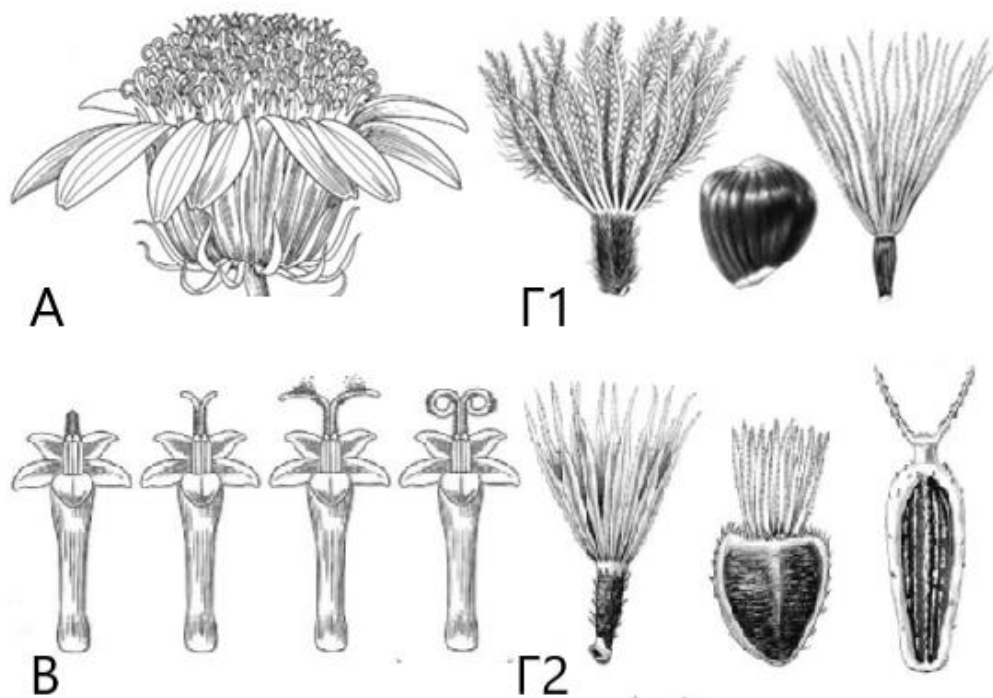
Τα τελευταία χρόνια έχει παρατηρηθεί σημαντική προσπάθεια συστηματικής καλλιέργειας ενός μεγάλου εύρους λαχανευόμενων ειδών (Ακουμιανάκης, 2010), με γνώμονα τις τάσεις των αγορών, τις ανησυχίες για την υγεία και για τη διατροφή του ανθρώπου, όπως και για τους κινδύνους γενετικής αλλοίωσης που προέρχονται από την αλόγιστη συλλογή αυτοφυών λαχανευόμενων ειδών (Petrooulos et al., 2019). Από την άλλη πλευρά, η έντονη ανησυχία για την ασφάλεια, απόδοση και φυτοχημικό περιεχόμενο των ειδών αυτών απαιτεί την κατάρτιση μεθοδολογιών για την καλλιέργεια τους, για τυποποίηση της απόδοσης και της θρεπτικής τους αξίας, όπως και για τον περιορισμό συσσώρευσης οξαλικού οξέος, νιτρικών και άλλων τοξικών ενώσεων, που συχνά παρατηρούνται σε ορισμένα άγρια είδη (Ceccanti et al., 2018).

## 1.2.Οικογένεια Asteraceae

Η οικογένεια Asteraceae (Compositae) αποτελεί μια από τις μεγαλύτερες οικογένειες αγγειόσπερμων, συμπεριλαμβάνοντας περίπου 1500 γένη και 25000 - 30000 είδη, τα οποία αποτελούν το 10% όλων των ανθοφόρων φυτών (Glimn-Lacy & Kaufman, 2006; Mandel et al., 2019; Prohens & Nuez, 2008; O. P. Sharma, 2013). Η οικογένεια χωρίζεται σε 3 υποοικογένειες (Barnadesioideae, Cichorioideae, και Asteroideae) και 13 φυλές (Heliantheae, Astereae, Anthemideae, Arctotideae, Inuleae, Senecioneae, Calenduleae, Eupatorieae, Vernonieae, Cynareae, Mutisieae, Liabeae, και Lactuceae - Cichorieae) (Prohens & Nuez, 2008; O. P. Sharma, 2013). Τα είδη της οικογένειας βρίσκουν παγκόσμια εξάπλωση, και αναπτύσσονται σε σχεδόν σε κάθε είδος οικότοπου, αλλά συνηθέστερα σε ημίξηρες τροπικές και υποτροπικές, ορεινές, αρκτικές, δασικές και εύκρατες περιοχές (Mandel et al., 2019; O. P. Sharma, 2013).

Η οικογένεια παρουσιάζει αξιοσημείωτη διακύμανση στη μορφολογία τους (Katinas et al., 2016), αλλά τα περισσότερα είδη της οικογένειας είναι ετήσιες ή πολυετείς πόες, θάμνοι/ημίθαμνοι, αναρριχητικά και σαρκώδη, ενώ σπάνια είναι δέντρα (Glimn-Lacy & Kaufman, 2006; O. P. Sharma, 2013). Τα φύλλα είναι συχνά σε βάση ροζέτας, που κυρίως είναι απλά, είναι εναλλασσόμενα, αντίθετα, και σπάνια κατά σπόνδυλους, και το έλασμα είναι ακέραιο, έλλοβο ή χωρισμένο. Τα ανθίδια τους είναι τέλεια, αρσενικά ή θηλυκά, πενταμερή, επίγυνα και ακτινόμορφα ή ζυγόμορφα και σχηματίζουν ταξιανθία κεφαλίου (συμπυκνωμένου βότρυ). Αναλόγως του ανθιδίου, τα

κεφάλια διακρίνονται σε δισκοειδή (με δισκοειδή και ερμαφρόδιτα ανθίδια), δισκόμορφα (με δισκοειδή και θηλυκά/στείρα με αρσενικά/ερμαφρόδιτα), ακτινωτά (με δισκοειδή, αρσενικά/ερμαφρόδιτα ανθίδια στο κέντρο, και ακτινωτά, θηλυκά/στείρα ανθίδια στην περιφέρεια), γλωσσοειδή (με ακτινωτά/γλωσσοειδή ανθίδια) ή δίχειλα (με δίχειλα ανθίδια). Στο κάτω μέρος του κεφάλιου βρίσκονται τα βράκτια. Μπορεί επίσης να υπάρχει κάλυκας, ο οποίος αντιπροσωπεύεται από πάππο, με λέπια, άγανα ή σκληρές τρίχες. Η στεφάνη έχει 5 πέταλα, και είναι (α) ακτινόμορφη, πεντάλοβη και σωληνοειδής, (β) ζυγόμορφη και με 3 – 5 δόντια, ή (γ) ζυγομορφή με εξωτερικό χείλος (με 3 – 4 λοβούς) και εσωτερικό χείλος (με 1 – 2 λοβούς). Φέρει 5 στήμονες οι οποίοι είναι επιπέταλοι, και εναλλασσόμενοι με τους λοβούς της στεφάνης. Ακόμα, αποτελείται από σύγκαρπο με υποφυή ωοθήκη που φέρει 2 καρπόφυλλά, συντηγμένα για να σχηματίζουν θάλαμο στον οποίο ωριμάζει το ωάριο σε αχάινιο χωρίς ενδοσπέρμιο (Funk et al., 2009; Glimn-Lacy & Kaufman, 2006; O. P. Sharma, 2013; Zhu et al., 2011; Ιατρού, 2016).



**Εικόνα 1** Χαρακτηριστικά της οικογένειας Compositae: Α. Κεφάλιο, Β. Ανθίδια (και τρόπος ελευθέρωσης γύρης), Γ. Τύποι πάππων και αχαινίων (Funk et al., 2009)

Τα είδη που παρουσιάζουν ιδιαίτερη οικονομική σημασία στην Ελλάδα είναι το μαρούλι (*Lactuca sativa* L.), το αντίδι (*Cichorium endivia* L.) και το ραδίκι (*C. intybus* L.). Μικρότερης οικονομικής σημασίας, συμπεριλαμβανομένου του σταμναγκαθιού, θεωρείται το κичώριο (*Cichorium intybus* L.), ο ταραξάκος (*Taraxacum officinale*



Web.), το αγριοράδικο (*C. pumilum* Jach) και το ψευδοκολοκάσι (*Helianthus tuberosus*) (Ολύμπιος, 2015). Τα παραπάνω είδη είναι εδώδιμα, και καταναλώνονται για τα φύλλα τους ως σαλάτες ή ως μείγματα λαχανικών (εκτός από το ψευδοκολοκάσι) (Petropoulos et al., 2019; Ολύμπιος, 2015). Εκτός από εδώδιμα είδη, η οικογένεια Asteraceae αποτελείται από είδη με καλλωπιστική αξία (*Aster amellus*, *A. grandiflorus*, *Calendula officinalis*, *Chrysanthemum carinatum*, *Dahlia excelsa*, *Helianthus annuus*, κλπ.), με θεραπευτικές ιδιότητες (*Artemisia cina*, *Blumea balsamifera*, *Inula helium*, *T. officinale* κλπ.), που χρησιμοποιούνται για παρασκευή εντομοκτόνων (*Centrantherum anthelmenticum*, *Pyrethrum cinerariifolium* και *Chrysanthemum coccineum*), και για παραγωγή ελαίων (*Carthamus tinctorius*, *Eclipta alba*, *Xanthium strumarium* κλπ.) (O. P. Sharma, 2013).

Η φυλή Cichorieae (Lactuceae) περιλαμβάνεται στην υποοικογένεια Cichorioideae, και αποτελεί ετήσιες οι πολυετείς πόες, θάμνους, υπόθαμνους, θάμνους ροζέτας, οποίες συνήθως αναγνωρίζονται από την ομόγαμη κεφαλή η οποία φέρει 5-οδοντοτά άνθη, ενώ φέρουν εκκριτικά κανάλια που περιέχουν γαλακτώδη χυμό, στα υπέργεια και υπόγεια μέρη τους. Τα είδη της φυλής βρίσκουν παγκόσμια εξάπλωση, αλλά συναντώνται κυρίως σε Μεσογειακές και βόρειες εύκρατες περιοχές (Funk et al., 2009). Το γένος *Cichorium*, το οποίο περιλαμβάνεται στην φυλή Lactuceae (Cichorieae), αποτελείται από τα είδη *C. endivia* και *C. intybus*, και τα άγρια *C. pumilum*, *C. calvum*, *C. bottae* και *C. spinosum* (Kiers, 2000; Prohens & Nuez, 2008). Κατά τις αρχές του '90 έγιναν αρκετές έρευνες οι οποίες προσπάθησαν να αναλύσουν και να εξηγήσουν τις σχέσεις μεταξύ αυτών των ειδών, με την πιο αξιοσημείωτη ερευνά, του Kiers (2000), να εκφράζει την στενή σχέση μεταξύ του *C. intybus* και *C. spinosum*, και την μεγάλη διαφορά αυτών με τα *C. endivia*, *C. pumilum* και *C. calvum*, τα οποία όμως παρουσίασαν υψηλή γενετική ομοιότητα μεταξύ τους (Barcaccia et al., 2016). Αυτό το αποτέλεσμα επιβεβαιώθηκε στην έρευνα των Gemeinholzer και Bachmann (2004) η οποία έδειξε ότι, παρόλη την μορφολογική διάκριση μεταξύ του *C. intybus* και *C. spinosum*, δεν ήταν δυνατή η διάκριση των δύο ειδών με την εφαρμογή μοριακών μεθόδων, αφού δεν βρέθηκαν διαγνωστικοί δείκτες που διαφοροποιούν τα δύο είδη.

### 1.3.Σταμναγκάθι (*Cichorium spinosum*)

#### 1.3.1. Ιστορική ανασκόπηση

Το σταμναγκάθι είναι αυτοφύες φυτό, ιθαγενές της Ελλάδας, Κύπρου, Ιταλίας, Μάλτας και Νοτιοανατολικής Τουρκίας (Εικόνα 2). Το όνομα “σταμναγκάθι” προήλθε από τη χρήση του ξηρού φυτού ως μέσο προστασίας πόσιμου νερού που φυλασσόταν μέσα σε στάμνες, από έντομα, σκόνη και άλλη ξένη ύλη (στάμνα + αγκάθι). Το σταμναγκάθι αποτελεί ένα από τα τέσσερα είδη του γένους *Cichorium* που αυτοφύονται στην Ελλάδα, και συναντάται σε παραθαλάσσιες περιοχές της Δυτικής Στερεάς Ελλάδας, Πελοποννήσου, Κυκλάδων και Κρήτης (Crivellaro & Schweingruber, 2013; Ολύμπιος, 2015).



Εικόνα 2 Η κατανομή του *C. spinosum* στη Μεσόγειο (Crivellaro & Schweingruber, 2013)

Από την αρχαιότητα, το σταμναγκάθι θεωρείτο εκλεκτό λαχανοφόμο άγριο φυτό, αποτελώντας σημαντικό συστατικό της Μεσογειακής διατροφής (Petropoulos et al., 2018; Ολύμπιος, 2015). Παρόλη την κατανομή του σε ολόκληρη τη λεκάνη της Μεσογείου, το σταμναγκάθι έχει γίνει σήμα κατατεθέν της γαστρονομίας της Κρήτης, πρεσβεύοντας την Κρητική διατροφή (Brieudes et al., 2016). Το σταμναγκάθι καταναλώνεται ως σαλάτα (νωπό), βράζεται σε νερό και σερβίρεται με λάδι και λεμόνι, ή μαγειρεύεται με αρνί σε κόκκινη σάλτσα (Zeghichi et al., 2003).

Τα τελευταία χρόνια το σταμναγκάθι έχει αποκτήσει μεγαλύτερη δημοτικότητα, λόγω της ιδιαίτερης του γεύσης, της υψηλής τιμής στην αγορά αλλά και της αναγνώρισης της αξίας του ως λειτουργικό τρόφιμο. Η θρεπτική του αξία εξηγείται

από τα υψηλά ποσοστά φυτοχημικών ουσιών όπως βιταμίνες (C, E και K1), φαινολικά οξέα (κιχωρικό και καφεοϋλκινικό οξύ), καροτενοειδή, μέταλλα, ολική γλουταθειόνη, πρωτεΐνες και λιπαρά οξέα. Έτσι, η ολοένα και αυξανόμενη ζήτηση του σταμναγκαθιού οδήγησε στην αύξηση της συστηματικής του καλλιέργεια από αγρότες για την εμπορική του εκμετάλλευση (Chatzigianni et al., 2019; Κολοβου et al., 2017). Αυτή η προσπάθεια τις τελευταίες δεκαετίες έδωσε σημαντικά αποτελέσματα, ενώ συνέβαλε σημαντικά στην αύξηση της παροχής του στην αγορά, οδηγώντας έτσι και στην μείωση της τιμής του (Ολύμπιος, 2015).

### 1.3.2. Βοτανική ταξινόμηση

Το *Cichorium spinosum* είναι ένα πολυετές φυτό το οποίο κατατάσσεται στην οικογένεια Asteraceae (Compositae). Το γένος *Cichorium* αποτελείται από 6 είδη, εκ των οποίων τα 4 είδη είναι άγρια. Το γένος είναι αρκετά γνωστό λόγω των δύο ευρέως καλλιεργούμενων φυτικών ειδών, το *C. endivia* και *C. intybus*. Εκτός αυτών, η οικογένεια αποτελείται από άγρια φυτά, το *C. spinosum*, *C. pumilum*, *C. calvum* και *C. bottae* (Kiers, 2000), ενώ στην Ελλάδα, ως αυτοφυή συναντώνται τα *C. spinosum*, *C. pumilum*, *C. intybus* και *C. endivia* (Παπαφιλίππáκη, 2015).

### 1.3.3. Βοτανικά χαρακτηριστικά

Το *C. spinosum* (Σταμναγκάθι, Spiny chicory) είναι πολυετές, φυλλοβόλο, πολύκλαδο, ύψους 15 – 40 cm, με ακανθωτές διακλαδώσεις και ημισφαιρικό σχήμα. Είναι αρχικά ποώδες και συγκομίζεται σε ικανοποιητικό στάδιο ανάπτυξης, με το υπέργειο μέρος του να αποτελεί το βρώσιμο μέρος του φυτού (Εικόνα 3).



Εικόνα 3 Φυτά *C. spinosum* στο σύστημα επίπλευσης του παρόντος πειράματος

Το φυτό αναπτύσσει κεντρικό βλαστό που διακλαδίζεται σε μικρούς κοντούς βλαστούς που αρχικά έχουν πράσινο χρώμα, ενώ κατά το καλοκαίρι ξυλοποιούνται, αποκτώντας καφέ χρώμα και ακανθωτή μορφή. Η χρονική διαδοχή των σταδίων ανάπτυξης του *C. spinosum* είναι: α) Βλάστηση σπόρου και εμφάνιση δύο κοτυληδόνων, β) ανάπτυξη κανονικών φύλλων σε μορφή ροζέτας, γ) ανάπτυξη πράσινου αγκαθιού, το κεντρικό στέλεχος, το οποίο διακλαδίζεται, και επί των διακλαδώσεων σχηματίζει άνθη και καρπούς και τελειώνει ο βιολογικός του κύκλος με την παραγωγή σπόρου (Ακουμιανάκης, 2010; Ολύμπιος, 2015).

**Φύλλα:** Τα φύλλα του *C. spinosum* ξεκινούν από τη βάση του φυτού σε χαμηλό σημείο, και σχηματίζουν ροζέτα, ενώ το σχήμα και το μέγεθος τους ποικίλει μεταξύ οικοτύπων. Τα φύλλα αυτά φύονται παράρριζα, έχουν μήκος 5 – 14 cm και πλάτος 0.5 – 1.0 cm στη βάση τους, έχουν λειροειδές ή πτεροσχιδές σχήμα, ή κολπωτά, οδοντωτά και γραμμοειδή. Τα φύλλα που αναπτύσσονται αργότερα προέρχονται από οφθαλμούς που σχηματίζονται στο σημείο μεταξύ της ρίζας και του υπέργειου μέρους, της προηγούμενης βλαστικής περιόδου. Αυτά τα φύλλα είναι στενά και γραμμοειδή, ενώ αναπτύσσονται και αυτά υπό μορφή ροζέτας. Για πολλά χρόνια, η τιμή του άγριου σταμναγκαθιού ήταν αρκετά ψηλή, και αυτό οφειλόταν στην δυσκολία της συγκομιδής της ροζέτας, αφού αυτή ήταν χρονοβόρα και κοπιαστική, ενώ πλέον η εμπορική παραγωγή από σπόρο διευκόλυνε την συγκομιδή, και έτσι μειώθηκε και η τιμή του προϊόντος (Kiers, 2000; Ακουμιανάκης, 2010; Ολύμπιος, 2015).



**Εικόνα 4** Οι ρίζες διαφορετικών οικοτύπων *C. spinosum* (παράκτιος, ορεινός, και καλλιεργούμενος) (Papafilippaki & Nikolaidis, 2020)



**Ρίζα:** Η κεντρική ρίζα του φυτού αναπτύσσεται σε μεγάλο βάθος, είναι διογκωμένη και πασσαλωδής (Εικόνα 4). Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό του φυτού είναι ότι σε μεγαλύτερη ηλικία παράγονται νέες ρίζες πιο μακριά από το φυτό, και σε αυτές σχηματίζονται οφθαλμοί, στον δίσκο που χωρίζει το υπέργειο από το υπόγειο όργανο, οι οποίοι μπορούν να δώσουν νέες ροζέτες πάνω στο φυτό (Ακουμιανάκης, 2010; Ολύμπιος, 2015).

**Άνθος:** Το άνθος του φυτού αποτελείται από 5 μικρά ανθίδια μεγέθους 2 cm, μπλε – μωβ χρώματος, σε ανθικά κεφάλια, τα οποία είναι μικρά, με στενό κυλινδρικό περίβλημα, και φύονται χωρίς ποδίσκο στις μασχάλες ή στα άκρα διακλαδωμένων ανθικών στελεχών. Τα άνθη είναι τελεία ερμαφρόδιτα, μη αυτογονιμοποιούμενα (self – incompatible), τα οποία επικονιάζονται από μέλισσες. Η εποχή άνθησης είναι από Ιούνιο ως Αύγουστο, αναλόγως της εποχής ανάπτυξης. Ορισμένες διακλαδώσεις χάνουν το κεφάλιο και σχηματίζουν αγκάθι (Kiers, 2000; Kiers et al., 1999; Ολύμπιος, 2015).



**Εικόνα 5** Άνθη *C. spinosum* (Crivellaro & Schweingruber, 2013)

**Καρπός:** Ο καρπός του φυτού είναι αχάινιο γωνιώδους – κυλινδρικού σχήματος, μήκους 1.5 – 2.5 cm και πλάτους 0.7 – 1.3 cm. Το αχάινιο έχει 5 σπόρους, όπου ο καθένας από αυτούς φέρει πάππο μεγέθους ως 0.4 mm, αποτελούμενο από κοντές λεπιοειδείς τρίχες (Kiers, 2000; Ολύμπιος, 2015).

#### **1.3.4. Εδαφοκλιματικές απαιτήσεις**

Το *C. spinosum* ως αυτοφύες φυτό, συναντάται σε παράκτιες περιοχές, σε βράχους ή στην άμμο, ή και σε οροπέδια μέχρι και ως 2100 m (Parafilippaki & Nikolaidis, 2020). Είναι καλά προσαρμοσμένο σε εδάφη χαμηλής γονιμότητας, ενώ ευδοκίμει σε αμμώδη – αμμοπηλώδη, ή και χαλικώδη εδάφη, με ικανοποιητική αποστράγγιση. Τα εδάφη πρέπει να έχουν μέτρια υγρασία, και να είναι πλούσια σε

οργανική ουσία. Ακόμα, τα φυτά αποδίδουν ικανοποιητικά σε pH 6.0 – 7.8 (Klados & Tzortzakis, 2014; Ολύμπιος, 2015). Περεταίρω, το φυτό είναι ανθεκτικό στην αλατότητα του εδάφους. Οι Petropoulos et al. (2017) έλεγξαν την επίδραση της αλατότητας εδάφους στην θρεπτική αξία, στην χημική σύνθεση και στο περιεχόμενο βιοδραστικών ουσιών, και ενώ παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στη χημική σύνθεση των υπό έλεγχο φυτών κάτω υπό συνθήκες αλατότητας, η θρεπτική αξία των φύλλων ήταν υψηλή, επιδεικνύοντας υψηλή ανεκτικότητα στην αλατότητα, χωρίς αρνητικό αντίκτυπο στην ποιότητα του τελικού προϊόντος. Σε αυτή την ερευνά σχολιάστηκε η ικανότητα καλλιέργειας του φυτού σε ημίξηρες περιοχές, όπου η παροχή νερού είναι περιορισμένη, ή το νερό άρδευσης είναι χαμηλής ποιότητας (υψηλό NaCl). Ακόμα, το φυτό αντέχει στις χαμηλές θερμοκρασίες του χειμώνα, ακόμα και έως -17 °C. Στην εύκρατη ζώνη, το φυτό αναπτύσσεται κατά τη διάρκεια του χειμώνα, με όρια το φθινόπωρο και την άνοιξη, ενώ δεν αναπτύσσεται κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, λόγω των υψηλών θερμοκρασιών, προωθώντας την ανάπτυξη αγκαθιού και άνθηση (Ακουμιανάκης, 2010; Ολύμπιος, 2015). Τέλος, το φυτό προσαρμόζεται αρκετά καλά σε δυσμενείς περιβαλλοντικές συνθήκες, και χαρακτηρίζεται από ελάχιστες καλλιεργητικές ανάγκες (Klados & Tzortzakis, 2014).

### 1.3.5. Πολλαπλασιασμός

Η εποχή καλλιέργειας του *C. spinosum* ξεκινά το φθινόπωρο και συνεχίζεται τον χειμώνα και την άνοιξη, όπως συγγενικά του είδη (*C. intybus*, *C. endivia*). Το καλλιεργούμενο σταμναγκάθι πολλαπλασιάζεται με σπόρο, ο οποίος προέρχεται από αυτοφυή φυτά. Η σπορά συνήθως γίνεται απευθείας στο χωράφι για καλλιέργειες μεγάλων εκτάσεων, ενώ επίσης μπορεί να εφαρμοστεί η διαδικασία σποράς σε φυτώριο και η μεταφύτευση για μικρότερες εκτάσεις. Οι συνιστώμενες αποστάσεις φύτευσης είναι από 15 – 22 cm μεταξύ και επί των γραμμών (Ολύμπιος, 2015). Το μεγαλύτερο πρόβλημα κατά την διαδικασία της σπόρας είναι ότι ο σπόρος διαχωρίζεται δύσκολα από τα κεφάλια (καρπίδια) όταν αυτά ωριμάσουν και ξεραθούν. Οι παραγωγοί συνήθως αλέθουν τα καρπίδια αλλά δεν επιτυγχάνεται ο πλήρης διαχωρισμός, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει ομοιόμορφα κατανομημένη ανάπτυξη των φυτών στο χωράφι. Μια άλλη λύση είναι η σπορά στο φυτώριο και η χρήση σποροφύτων, η οποία αυξάνει το κόστος καλλιέργειας. Ορισμένοι παραγωγοί ξεριζώνουν τα πολυετή φυτά που έχουν καρποφορήσει, τα τοποθετούν στο χωράφι και ακολούθως φρεζάρουν για να τεμαχιστούν και να διασκορπιστούν οι σπόροι στο έδαφος, με μέτρια αποτελέσματα,

ανομοιομορφία στην βλάστηση και στην χωροταξική θέση (Ακουμιανάκης, 2010; Ολύμπιος, 2015).

### 1.3.6. Καλλιεργητικές περιποιήσεις

Η καλλιεργητική τεχνική περιλαμβάνει προετοιμασία εδάφους, καταπολέμηση ζιζανίων, βασική και επιφανειακή λίπανση, άρδευση και αντιμετώπιση εχθρών και ασθενειών. Το *C. spinosum* χρειάζεται σημαντικά χαμηλότερες ποσότητες κατά την λίπανση, μειωμένη άρδευση σε κανονικά διαστήματα, ενώ δεν παρατηρούνται ιδιαίτερα προβλήματα από εχθρούς και ασθένειες (Ολύμπιος, 2015). Μια εμπορική εκμετάλλευση του *C. spinosum* μπορεί να παρατηρηθεί στην εικόνα 6.



Εικόνα 6 Καλλιέργεια *C. spinosum* της Cretan Gaia στα Χανιά (Made in Creta, 2013)

### 1.3.7. Συγκομιδή

Η συγκομιδή ξεκινά όταν το φυτό έχει αναπτυχθεί επαρκώς σε εμπορεύσιμο μέγεθος, και πριν την ανάπτυξη του κεντρικού στελέχους (αγκάθι), η οποία σηματοδοτεί την απώλεια σπαργής των φύλλων της ροζέτας. Η συγκομιδή γίνεται 3 – 4 μήνες μετά τη σπορά, αναλόγως της εποχής και των καλλιεργητικών συνθηκών. Η συγκομιδή γίνεται καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου εκτός από τους πολύ θερμούς μήνες του καλοκαιριού, με προϋπόθεση ότι η καλλιέργεια αρδεύεται (Ακουμιανάκης, 2010; Ολύμπιος, 2015).

Το φυτό κόβεται με μαχαίρι, κάτω από την ροζέτα, δηλαδή λίγο κάτω από την επιφάνεια του εδάφους, ώστε τα φύλλα να είναι συνδεδεμένα. Συνήθως εφαρμόζονται



πολλαπλές συγκομιδές ανά έτος, και κάθε φορά συγκομίζονται τα φυτά που έχουν εμπορεύσιμο μέγεθος (αφού τα φυτά δεν αναπτύσσουν το ίδιο μέγεθος ταυτόχρονα), επιτρέποντας υψηλότερες συνολικές αποδόσεις σε σύγκριση με άγρια φυτά (Petropoulos et al., 2017; Ακουμιανάκης, 2010; Ολύμπιος, 2015). Οι Petropoulos et al. (2017) έλεγξαν την επίδραση της εφαρμογής πολλαπλών συγκομιδών στην απόδοση, χημική σύνθεση και αντιοξειδωτική δράση φυτών *C. spinosum*, συγκομίζονται 2 – 3 φορές σε 2 περιόδους ανάπτυξης. Οι ερευνητές παρατήρησαν στατιστικά σημαντική διαφορά στην ποιότητα (χημική σύνθεση, αντιοξειδωτικά, φαινολικά) μεταξύ των δύο περιόδων ανάπτυξης, με τη 2<sup>η</sup> περίοδο ανάπτυξης να παρουσιάζει τα καλύτερα αποτελέσματα.

### 1.3.8. Ποιοτικά χαρακτηριστικά

Η κατανάλωση λαχανικών είναι μεγάλης σημασίας στην Μεσογειακή διατροφή, η οποία φημίζεται για τα οφέλη που έχει στην ανθρώπινη υγεία (Stagos et al., 2018). Η αυξανόμενη ζήτηση υγιεινών προϊόντων από τους καταναλωτές, των λεγόμενων “υπερτροφών” ή “λειτουργικών” τροφών, σε συνδυασμό με την υψηλή τους αξία στην αγορά, καθιστά την καλλιέργεια λαχανευόμενων ειδών με υψηλή διατροφική αξία ιδιαίτερα επιθυμητή (Ceccanti et al., 2018; Petropoulos, Fernandes, et al., 2016). Το *C. spinosum* είναι ένα σύνθηες υλικό στην μεσογειακή διατροφή, το οποίο έχει σημαντική θρεπτική αξία και αντιοξειδωτική ικανότητα (Klados & Tzortzakis, 2014; Simopoulos, 2004). Έχουν γίνει αναφορές για την χημική σύνθεση και την θρεπτική αξία του άγριου *C. spinosum*, αναδεικνύοντας το φυτό ως πλούσιο σε πολυφαινόλες, βιταμίνες, αντιοξειδωτικά, ιχνοστοιχεία, λιπαρά οξέα και άλλα θρεπτικά στοιχεία, ωφέλιμα στην υγεία του ανθρώπου (Papafilippaki & Nikolaidis, 2020; Petropoulos, Fernandes, et al., 2016; Simopoulos, 2004). Παρόλα αυτά, οι κλιματικές συνθήκες μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά την χημική σύνθεση και την θρεπτική αξία του φυτού, λόγω του εγκλιματισμού των διαφόρων οικότυπων σε συγκεκριμένες συνθήκες (Petropoulos et al., 2016). Ακόμα, έχει παρατηρηθεί διαφορά στην θρεπτική αξία μεταξύ διαφορετικών οικότυπων (παράκτιος και ορεινός) από τους Chatzigianni et al. (2019), λόγω της διαφοράς σε συνολικές φαινόλες, φλαβονοειδή και καροτενοειδή, όπως και στη συγκέντρωση νιτρικών στα φύλλα, με τους ορεινούς οικότυπους να παρουσιάζουν καλύτερα ποιοτικά χαρακτηριστικά από αυτά των παραθαλάσσιων. Μάλιστα, αυτά τα αποτελέσματα επηρεάστηκαν σημαντικά από τις συνθήκες αλατότητας, όπως και στη παροχή N. Η διαφορά μεταξύ ορεινών και παραθαλάσσιων



οικότυπων μελετήθηκε και σε πείραμα των Parafilippaki & Nikolaidis (2020), στο οποίο παρατηρήθηκε μεγάλη διακύμανση στην πρόσληψη θρεπτικών στοιχείων και βαρέων μετάλλων μεταξύ των μελετημένων πληθυσμών, με τον ορεινό πληθυσμό να παρουσιάζει μεγαλύτερη περιεκτικότητα N, P, Ca, Na, Mg, Cu, Zn, Fe, Cr και χλωροφύλλη. Διαφορές στη θρεπτική αξία μεταξύ οικότυπων (άγριων και καλλιεργούμενων) παρατηρήθηκαν και από τους Petropoulos et al. (2017a), αναφορικά με την αντιοξειδωτική δράση, φλαβονοειδή και φαινολικά οξέα. Τέλος, η έρευνα των Petropoulos et al. (2017b) έδωσε ενδιαφέροντα αποτελέσματα, καθώς ανέδειξε την επίδραση της ημερομηνίας σποράς και της διαδοχικής συγκομιδής στην παραγωγή προϊόντων με υψηλής θρεπτικής αξίας, με αυξημένες βιοδραστικές ιδιότητες, χωρίς να προκαλεί μειώσεις στην απόδοση.

Το *C. spinosum* είναι ένα πολύ θρεπτικό φυλλώδες λαχανικό, με υψηλή περιεκτικότητα σε νερό (88.7 – 93.7%), χαμηλά λιπαρά (0.2 – 0.4 g/100 g νωπού βάρους) και ενεργειακό περιεχόμενο (23.8 – 36.3 kcal/100 g νωπού βάρους) (Petropoulos et al., 2017). Το υπέργειο μέρος του φυτού (φύλλα) είναι μεγάλης σημασίας στην μεσογειακή διατροφή, παρέχοντας πολύτιμο φυτοχημικό περιεχόμενο, έχοντας σημαντικές ποσότητες ασκορβικού οξέος, β-καροτένιου, βιταμίνης K1, λουτεΐνης, τοκοφερολών, γλουταθειόνης, φαινολών, Ωμέγα-3 και μετάλλων όπως Ca, Fe, Zn, Mg και K (Parafilippaki & Nikolaidis, 2020). Ποιά συγκεκριμένα, η έρευνα των Zeghichi et al., (2003) έδειξε ότι 100g νωπού βάρους φύλλων *C. spinosum* περιέχει 44.44 mg C18:3 ω-3, 36.58 mg ασκορβικού οξέος, 9.78 mg α-τοκοφερόλης, 2.66 mg β-καροτένιου, 13.77 mg γλουταθειόνης και 20.31 mg φαινολών, αποτελώντας σημαντική πηγή σε καροτενοειδή, βιταμίνη C, E και K1, γλουταθειόνη και ω-3. Περαιτέρω, οι Vardavas et al. (2006) βρήκαν ότι η φυλλοκικόνη (βιταμίνη K1), η λουτεΐνη, η α-τοκοφερόλη και η β-τοκοφερόλη ανά 100 g νωπού βάρους ήταν σε συγκεντρώσεις 240 μg, 1160 μg, 1.23 mg και 0.83 mg αντίστοιχα. Επιπλέον, υπήρχαν 25.9 g κορεσμένων λιπαρών οξέων (SFA), 5.4 mg μονοακόρεστων λιπαρών οξέων (MUFA) και 48.7 mg πολυακόρεστων λιπαρών οξέων (PUFA), με την συνολική περιεκτικότητα σε λιπαρά να φθάνει στα 80 mg (Vardavas et al., 2006). Το φυτό επίσης χαρακτηρίστηκε ως σημαντική πηγή ω-3 και ω-6, τα οποία έχουν σημαντικό ρόλο σε καρδιαγγειακές παθήσεις, καρκίνους και άλλες ασθένειες (Petropoulos, 2016; Vardavas et al., 2006; Xu, 2015).

Το *C. spinosum*, σύμφωνα με τους Petropoulos et al. (2018) αποτελείται από 17 φαινολικές ενώσεις (8 φαινολικά οξέα και 9 παράγωγα γλυκοζιτών των φλαβονοειδών). Στο πείραμα των Zeghichi et al., (2003) παρατηρήθηκαν σημαντικές συγκεντρώσεις φαινολικών (16.31 – 20.31 mg/100 g νωπού βάρους). Οι φαινολικές ενώσεις είναι δευτερογενείς μεταβολίτες που υπάρχουν σε πολλά φυτά και συμμετέχουν σε διάφορες φυσιολογικές και μορφολογικές διεργασίες, όπως σε μηχανισμούς άμυνας, στη δομή κυτταρικών τοιχωμάτων, στην αλληλεπίδραση με ένζυμα, πρωτεΐνες και φυτορμόνες, έχοντας σημαντικό ρόλο στην στη χρώση, ανάπτυξη, αναπαραγωγή όπως και στην αντοχή των φυτών σε παθογόνα (Barros et al., 2018; Wang et al., 2016). Οι πολυφαινόλες έχουν λάβει αυξημένη προσοχή λόγω των αντιοξειδωτικών τους ιδιοτήτων και των αξιοσημείωτων οφελών τους στην υγεία των ανθρώπων. Η αντιοξειδωτικές ιδιότητες τους αποδίδονται σε μεγάλο βαθμό στην απομάκρυνση ελευθέρων ριζών, καθώς και στην επίδραση στις οδούς σηματοδότησης για γονιδιακή έκφραση (Soobrattee et al., 2005; Stagos et al., 2018). Επιπλέον, οι φαινολικές ενώσεις συμβάλλουν σημαντικά στα ποιοτικά χαρακτηριστικά φρούτων και λαχανικών, όπως στη γεύση, άρωμα και χρώμα (Petropoulos et al., 2018).

#### 1.4. Καλλιέργειες εκτός εδάφους

Οι καλλιέργειες εκτός εδάφους (Εικόνα 7) είναι ένα σύνολο μεθόδων καλλιέργειας φυτών, όπου η ανάπτυξη του ριζικού τους συστήματος γίνεται εκτός του φυσικού εδάφους.



**Εικόνα 7** Συστήματα καλλιέργειας εκτός εδάφους: Στα αριστερά, καλλιέργεια μαρουλιού σε σύστημα επίπλευσης. Στα δεξιά, κάθετη καλλιέργεια φράουλας σε γλάστρες (Rodríguez-Delfín, 2012)

Στη βιβλιογραφία συχνά χρησιμοποιείται και ο όρος “υδροπονία”, αν και ορισμένοι επιστήμονες θεωρούν την υδροπονία ως υποομάδα των καλλιεργειών εκτός εδάφους. Ο όρος αυτός περιλαμβάνει όλα τα συστήματα φυτικής παραγωγής στα οποία

παρέχεται νερό και θρεπτικά στοιχεία μέσω θρεπτικού διαλύματος. Έτσι, τα φυτά μπορούν να αναπτύσσονται απευθείας στο θρεπτικό διάλυμα ή σε πορώδη στερεά υλικά, τα υποστρώματα, τα οποία διαβρέχονται κατά τακτά χρονικά διαστήματα με θρεπτικό διάλυμα το οποίο εκτός της τροφοδοσίας με θρεπτικά στοιχεία, συντελεί και στη κάλυψη των αρδευτικών αναγκών των φυτών (Maucieri et al., 2019; Savvas & Gruda, 2018; Σάββας, 2011). Η καλλιέργεια εκτός εδάφους προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα σε σύγκριση με την καλλιέργεια στο έδαφος, αφού η καλλιέργεια ανεξαρτητοποιείται από τα χαρακτηριστικά του εδάφους, κάνοντας την έτσι δυνατή σε περιοχές με κακή δομή εδάφους και ψηλή αλατότητα (Gruda et al., 2013). Επιπλέον, μειώνεται ή εξαλείφεται το πρόβλημα εντόμων, μυκήτων και βακτηρίων που σχετίζονται με το έδαφος, ενώ είναι ευκολότερος ο έλεγχος εδαφογενών παθογόνων (Maucieri et al., 2019; Shrestha & Dunn, 2010). Ακόμα, είναι εφικτή η χρήση αυτής της μεθόδου για καλλιέργεια στο θερμοκήπιο, για την επίτευξη υψηλών αποδόσεων και ποιότητας, σε περιοχές ακατάλληλες για καλλιέργειες (Savvas et al., 2013). Αυτά επιτυγχάνονται επίσης από τον αυστηρό έλεγχο της θρέψης των καλλιεργειών, σε συνδυασμό με τον έλεγχο περιβαλλοντικών παραμέτρων (Maucieri et al., 2019). Τα πλεονεκτήματα αυτά, το ψηλό κόστος εγκατάστασης και η απαίτηση τεχνικής γνώσης στον τομέα, αποτελούν περιοριστικούς παράγοντες στην επέκταση της εφαρμογής της μεθόδου σε εμπορική κλίμακα (Savvas et al., 2013; Shrestha & Dunn, 2010).

#### 1.4.1. Ιστορικά στοιχεία

Η τεχνική καλλιέργειας εκτός εδάφους έχει χρησιμοποιηθεί από τα αρχαία χρόνια. Οι περίφημοι Κρεμαστοί Κήποι της Βαβυλώνας, γύρω στο 600 π.Χ., αποτελούν μια από τις παλιότερες καταγραφές της εφαρμογής υδροπονίας. Αυτοί οι Κήποι είχαν χτιστεί κατά μήκος του Ευφράτη στη Βαβυλωνία, και αποτελούνταν από αναβαθμίδες οι οποίες περιείχαν μείγμα άμμου και χώματος, και κατακλύζονταν με νερό από το ποταμό, επιτρέποντας έτσι την ανάπτυξη φυτών (Maucieri et al., 2019; Σάββας, 2011).

Ο Άγγλος John Woodward, το 1699, ένας από τους πρωτοπόρους στον τομέα των καλλιεργειών εκτός εδάφους, εξέτασε τα ευρήματα έρευνας ενός άλλου επιστήμονα, του Helmont, ο οποίος θεώρησε ότι η φυτική ύλη σχηματίζεται εξ ολοκλήρου από νερό. Το πείραμα του Woodward, όπου έγινε με την ανάπτυξη διάφορων φυτών σε νερό, διάψευσε αυτή τη θεωρία. Ωστόσο, ο Woodward σημείωσε ότι ο Robert Boyle κατάφερε να καλλιεργήσει φυτά σε φυτοδοχεία με νερό το 1666

(Hershey, 1994). Κατά το 1860, οι Γερμανοί Sachs και Κνορ έθεσαν τις επιστημονικές βάσεις της υδροπονίας, παρασκευάζοντας θρεπτικά διαλύματα τα οποία χρησιμοποίησαν για να καλλιεργήσουν φυτά (Hershey, 1994; Σάββας, 2011). Το 1929, ο Dr. W. F. Gericke, καθηγητής του Πανεπιστημίου της Καλιφόρνια, διεξήγαγε τα πρώτα πειράματα εμπορικής κλίμακας τομάτας, μαρουλιού και άλλων, “εκλαϊκεύοντας” την μέθοδο καλλιέργειας εκτός εδάφους, ενώ το 1936 επινόησε τον όρο υδροπονία (hydroponics). Τα αποτελέσματα των πειραμάτων του αποτέλεσαν απαρχή περαιτέρω ερευνών στον τομέα. Η υδροπονία εφαρμόστηκε από τον Αμερικάνικο στρατό κατά 2<sup>ο</sup> Παγκόσμιο Πόλεμο σε άγονα νησιά του Ειρηνικού. Αργότερα, το 1960 με 1970 αναπτύχθηκαν επιχειρήσεις με εγκαταστάσεις εμπορικής κλίμακας στην Αμερική, Βέλγιο, Δανία, Γερμανία, Ολλανδία, Ιταλία, Ιαπωνία, Ρωσία και σε άλλες χώρες. Την ίδια περίοδο, αναπτύχθηκε το σύστημα NFT από τον Dr. Allen Cooper στην Δανία, με την χρήση πετροβάμβακα. Κατά την δεκαετία του '80 πολλές εγκαταστάσεις εφάρμοσαν αυτοματισμούς και υπολογιστικά συστήματα ελέγχου καλλιέργειών εκτός εδάφους (Hershey, 1994; Shrestha & Dunn, 2010; Shrikant, 2018). Το ενδιαφέρον για τις καλλιέργειες εκτός εδάφους έχει συνεχιστεί έως και σήμερα, αφού η εφαρμογή τους γίνεται με επιτυχία σε εμπορική κλίμακα, σε αρκετές αναπτυγμένες χώρες, ενώ η ευελιξία στις εφαρμογές τους, τις καθιστά κατάλληλες για εφαρμογή σε αναπτυσσόμενες χώρες και σε υψηλής τεχνολογίας διαστημικούς σταθμούς (Khan et al., 2020; Rodríguez-Delfín, 2012).

#### **1.4.2. Συστήματα καλλιέργειας εκτός εδάφους**

Τα συστήματα καλλιέργειας εκτός εδάφους, όπως έγινε προηγούμενη αναφορά, χωρίζονται στα συστήματα υδροκαλλιέργειας (Water Culture Systems) και στα συστήματα καλλιέργειας σε υποστρώματα (Σάββας, 2011).

##### **1.4.2.1. Συστήματα καλλιέργειας σε θρεπτικό διάλυμα**

Τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα συστήματα καλλιέργειας σε θρεπτικό διάλυμα (υδροκαλλιέργεια), σε εμπορική κλίμακα, είναι το σύστημα καλλιέργειας σε ρηχό ρεύμα θρεπτικού διαλύματος (Nutrient Film Technique – NFT), το σύστημα αεροπονίας (aeroponics), και το σύστημα επίπλευσης (Floating), το οποίο παρουσιάζει τις μεγαλύτερες δυνατότητες και ευελιξία (Rodríguez-Delfín, 2012; Savvas & Gruda, 2018). Άλλα συστήματα περιλαμβάνουν το σύστημα καλλιέργειας σε στάσιμο

θρεπτικό διάλυμα (Deerwater culture - DWC) το σύστημα καλλιέργειας σε βαθύ ρεύμα θρεπτικού διαλύματος (Deep Flow Technique - DFT) (Savvas et al., 2013).

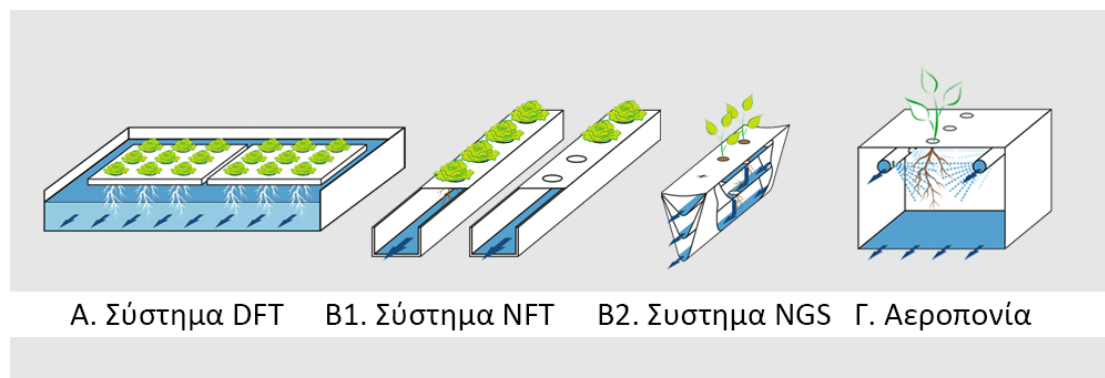
Η μέθοδος DWC, οι ρίζες των φυτών αναπτύσσονται σε στάσιμο θρεπτικό διάλυμα 10 – 20 cm (Maucieri et al., 2019). Για την εφαρμογή αυτής της μεθόδου χρησιμοποιούνται ατομικά φυτοδοχεία ή μεγάλες λεκάνες, και τα φυτά στερεώνονται σε πλέγμα (όπου μπορεί να υπάρχει στρώμα άμμου σε φύλλο υφάσματος) πάνω από το θρεπτικό διάλυμα, ή πλαστικά καλάθια (net-pots) στερεωμένα στο κάλυμμα του δοχείου (R. Pandey et al., 2009; Savvas et al., 2013; Σάββας, 2011). Το σύστημα αυτό εφαρμόστηκε για την πρώτη φορά το 1929 από τον Dr. W. F. Gericke, και αποτελεί την πρώτη μέθοδο που προτάθηκε για γεωργική εφαρμογή, δεν χρησιμοποιήθηκε όμως σε εμπορική κλίμακα, λόγω των περιορισμών του (κυρίως ανεπάρκεια αερισμού) (Savvas et al., 2013).

Η μέθοδος DFT (Εικόνα 8, A) λειτουργεί ούτως ώστε οι ρίζες να είναι εκτεθειμένες σε κινούμενο θρεπτικό διάλυμα (Van Os et al., 2019). Αυτό επιτυγχάνεται με τη μεταφορά του σε κανάλια ή λεκάνες, με την συνεχή επανακυκλοφορία του θρεπτικού διαλύματος. Η στάθμη του θρεπτικού διαλύματος παραμένει σε σταθερό ύψος, στα περίπου 5 – 15 cm, με την χρήση σωληνώσεων υπερχειλίσης (Maucieri et al., 2019; Σάββας, 2011). Ο υψηλός όγκος του θρεπτικού διαλύματος διευκολύνει τον έλεγχο του θρεπτικού διαλύματος και ρυθμίζει την θερμοκρασία του (Savvas et al., 2013). Το σύστημα αυτό επιλύει το πρόβλημα ανεπαρκούς αερισμού του DWC, μέσω της επαφής των ριζών με τον αέρα και της ανάμιξης αέρα με το θρεπτικό διάλυμα, και της εισαγωγής του με πίεση. Επιπλέον, χρησιμοποιούνται συστήματα εισαγωγής φυσαλίδων για επίτευξη καλών συνθηκών αερισμού (Σάββας, 2011).

Η μέθοδος NFT (Εικόνα 8, B1), όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, αναπτύχθηκε το 1965 από τον Dr. Allen Cooper, και βασίζεται στη δημιουργία λεπτού φιλμ θρεπτικού διαλύματος στον πυθμένα καναλιών, όπου βρίσκονται οι ρίζες των φυτών (Mohammed & Sookoo, 2016; Rodríguez-Delfín, 2012). Τα κανάλια είναι τοποθετημένα σε κλίση έως 2%, και γίνεται συνεχής παροχή θρεπτικού διαλύματος από το κορυφαίο σημείο, με κατάλληλο ρυθμό παροχής ούτως ώστε οι ρίζες να παραμένουν εντελώς υγρές (Van Os et al., 2019). Το λεπτό φιλμ (1 – 2 mm) εξασφαλίζει επάρκεια οξυγόνωσης, μέσω του πάνω μέρους των ριζών οι οποίες είναι εκτεθειμένες στον αέρα (Savvas et al., 2013). Το σύστημα NFT χρησιμοποιείται κυρίως

για ταχείας ανάπτυξης και γρήγορου κέρδους καλλιέργειες, όπως φυλλώδη λαχανικά, αρωματικά, ζωοτροφές και microgreens, ενώ δεν προτιμάται για καρποδοτικά φυτά όπως τη τομάτα, λόγω κόστους (Morgan, 2021; Rodríguez-Delfín, 2012). Προσφάτως, έχει αναπτυχθεί το σύστημα New Growing System (NGS, Εικόνα 8, Β2), που αποτελείται από μια σειρά στρωμάτων, με χώρους μεταξύ που αποτελεί χώρο που αναπτύσσονται οι ρίζες, από επίπεδο σε επίπεδο. Το θρεπτικό διάλυμα που παρέχεται, μπορεί να φτάσει σε επαρκή ποσότητα στο ριζικό σύστημα, ακόμα και αν αυτό είναι πολύ ογκώδες (Maucieri et al., 2019).

Η αεροπονία (Εικόνα 8, Γ) αποτελεί σύστημα καλλιέργειας όπου οι ρίζες των φυτών αναπτύσσονται σε κλειστό χώρο, στον οποίο παρέχεται το θρεπτικό διάλυμα με ψεκασμούς ακροφυσίων (Lakhari et al., 2018). Η μέθοδος αυτή, μέχρι πρότινος χρησιμοποιούταν κυρίως στον τομέα της ερευνάς, ωστόσο, τα τελευταία χρόνια έχουν παρατηρηθεί αρκετές προσπάθειες για την εφαρμογή της σε εμπορική κλίμακα, κυρίως στην παραγωγή πατατόσπορου, και λαχανοκομικών ειδών (π.χ. μαρούλι, αγγούρι, πεπόνι και τομάτα) (Gopinath et al., 2017; Li et al., 2018).



**Εικόνα 8** Συστήματα καλλιέργειας εκτός εδάφους σε θρεπτικό διάλυμα (υδροκαλλιέργεια) (Maucieri et al., 2019)



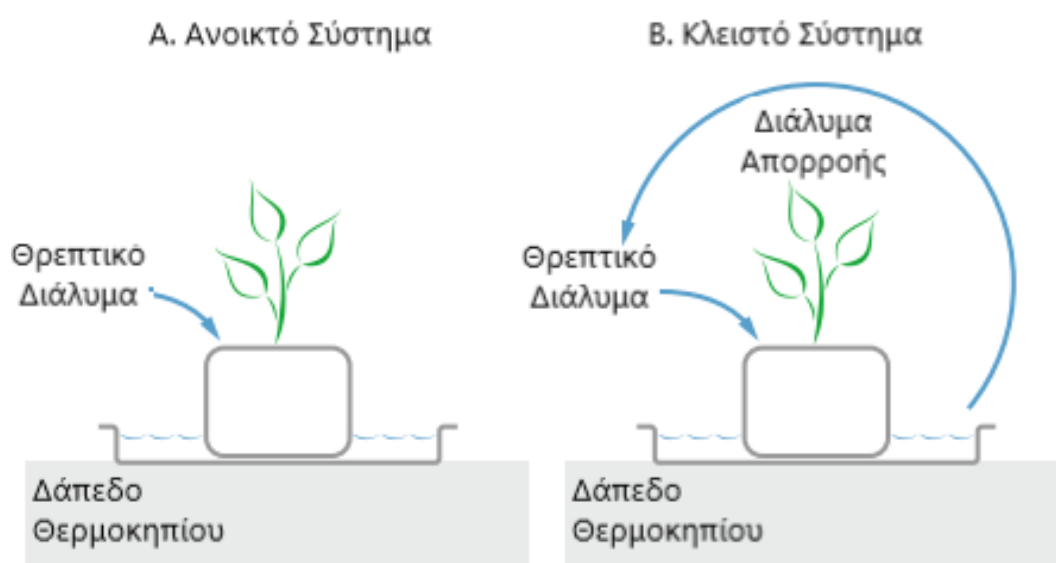
#### 1.4.2.2. Συστήματα καλλιέργειας σε υπόστρωμα

Τα συστήματα καλλιέργειας σε υποστρώματα (Εικόνα 9) αποτελούνται από στερεό μέσο, το υπόστρωμα, στο οποίο αναπτύσσονται οι ρίζες (Sardare et al., 2019). Το υπόστρωμα ουσιαστικά υποκαθιστά τις λειτουργίες του εδάφους (Σάββας, 2011), υποστηρίζοντας το φυτό και δρώντας ως μηχανισμός παροχής νερού και θρεπτικών στοιχείων λόγω του μικροπορώδους τους και της ικανότητας ανταλλαγής κατιόντων (Maucieri et al., 2019). Τα υποστρώματα χωρίζονται σε ανόργανα – χημικά αδρανή (π.χ. πετροβάμβακας, περλίτης, ελαφρόπετρα, και διογκωμένη άργιλος), ανόργανα – χημικά ενεργά (π.χ. βερμικουλίτης, σκωρία, και ζεόλιθος), οργανικά – συνθετικής προέλευσης (π.χ. διογκωμένη πολυστερίνη, και πολυουρεθάνη), και οργανικά – φυσικής προέλευσης (π.χ. τύρφη, κόμποστ, και κόκος) (Gruda, Oarvouti, et al., 2013; Σάββας, 2011). Η υδροπονική καλλιέργεια σε υποστρώματα γίνεται με σάκους, με γλάστρες/φυτοδοχεία, και με κανάλια (Σάββας, 2011). Για την παροχή θρεπτικού διαλύματος σε αυτές τις μεθόδους, χρησιμοποιούνται διάφορα συστήματα άρδευσης: 1) Παθητική άρδευση από κάτω (Passive sub-irrigation), 2) Άρδευση με κατάκλιση από κάτω και αποστράγγιση (Flood and drain sub-irrigation), 3) Άρδευση με καταιονισμό από πάνω (Top irrigation), 4) Άρδευση με σταγόνα (Drip irrigation), 5) Επιδαπέδια άρδευση με μικροκαταιονιστήρες (Micro-spray emitters) (R. Pandey et al., 2009; Σάββας, 2011).



Εικόνα 9 Φυτά αγγουριού σε κλειστό σύστημα καλλιέργειας (πετροβάμβακα) (Morgan, 2021)

Τα συστήματα καλλιέργειας εκτός εδάφους μπορούν να διαχωριστούν περαιτέρω, σε ανοικτά και κλειστά συστήματα, όπως φαίνεται στην εικόνα 10. Τα ανοικτά συστήματα χρησιμοποιούν υποστρώματα, τα οποία συγκρατούν μέρος του θρεπτικού διαλύματος, ενώ το υπόλοιπο δεν ανακυκλώνεται και απορρέει (διάλυμα απορροής), ενώ τα κλειστά συστήματα, το θρεπτικό διάλυμα που απομακρύνεται από το χώρο των ριζών ανακυκλώνεται, μετά την αναπλήρωση του με νέο θρεπτικό διάλυμα (Maucieri et al., 2019; Σάββας, 2011). Τα περισσότερα συστήματα υδροκαλλιέργειας συνήθως είναι κλειστά, και άλλα συστήματα, κυρίως βασισμένα στη χρήση υποστρωμάτων, είναι ανοικτά (Gruda et al., 2013).



**Εικόνα 10** Συστήματα καλλιέργειας εκτός εδάφους ανάλογα με τον τρόπο διαχείρισης του θρεπτικού διαλύματος (Maucieri et al., 2019)

Τα ανοικτά συστήματα καλλιέργειας εκτός εδάφους πλεονεκτούν ως προς τη (1) διασφάλιση σταθερής θρέψης λόγω της γνωστής και σταθερής σύνθεσης του θρεπτικού διαλύματος που παρέχεται, τη (2) ευκολία της εφαρμογής της μεθόδου λόγω της φύσης της διαχείρισης του διαλύματος απορροής, και επίσης την (3) απαλλαγή της μετάδοσης παθογόνων μέσω του θρεπτικού διαλύματος (Σάββας, 2011). Από περιβαλλοντικής και οικονομικής άποψης, ευνοούνται τα κλειστά συστήματα καλλιέργειας εκτός εδάφους, όπου εφαρμόζονται μέθοδοι ανακύκλωσης θρεπτικού διαλύματος, όπου επαναχρησιμοποιείται το υπόστρωμα όσο γίνεται και μετά από ανάλογες μεταχειρίσεις, και όπου χρησιμοποιούνται ποιο βιώσιμα υλικά. Έτσι, με την εφαρμογή κλειστών συστημάτων (1) μειώνεται η ποσότητα απορριμμάτων, (2) μειώνεται ο βαθμός ρύπανσης των υπόγειων και επιφανειακών υδάτων, (3) γίνεται



αποτελεσματικότερη διαχείριση νερού και λιπασμάτων, και έτσι (4) αυξάνεται η παραγωγή και το κέρδος, ενώ (5) μειώνεται το κόστος. Παρόλα αυτά υπάρχουν ορισμένοι περιοριστικοί παράγοντες, αφού απαιτείται (1) νερό καλής ποιότητας, (2) αυξημένη επένδυση για κατασκευή του συστήματος, ενώ (3) υπάρχει κίνδυνος μετάδοσης παθογόνων, (4) και συσσώρευσης πιθανά φυτοτοξικών μεταβολιτών και οργανικών ουσιών στο θρεπτικό διάλυμα (Gruda, Gianquinto, et al., 2013; Maucieri et al., 2019).

### 1.5. Σύστημα επίπλευσης (floating system)

Τα συστήματα επίπλευσης (floating system technique) είναι κλειστά υδροπονικά συστήματα τα οποία βασίζονται στην ανάπτυξη των φυτών σε πλάκες ελαφρού πλαστικού (π.χ. διογκωμένη πολυστερίνη) που επιπλέουν σε θρεπτικό διάλυμα, το οποίο ανακυκλώνεται εντός μίας δεξαμενής (Petropoulos, Chatzieustratiou, et al., 2016; Savvas & Gruda, 2018; Tomasi et al., 2015). Η δεξαμενή έχει μήκος και πλάτος ανάλογο του θερμοκηπίου, και βάθος περίπου 20 – 30 cm, με την στάθμη του θρεπτικού διαλύματος να διατηρείται με την χρήση πλωτήρα. Στο διάλυμα όγκου περίπου 150 – 200 L m<sup>-2</sup> βρίσκονται αντλίες που, εκτός της λειτουργίας τους για ομογενοποίηση του θρεπτικού διαλύματος, οξυγονώνουν το θρεπτικό διάλυμα μέσω της έγχυσης φυσαλίδων αέρα ή και της παροχής καθαρού οξυγόνου (Lennard & Leonard, 2006; Savvas et al., 2013; Σάββας, 2011). Στον πυθμένα επίσης τοποθετούνται διάτρητοι σωλήνες που αναρροφούν μέρος του θρεπτικού διαλύματος, το οποίο αναπροσαρμόζεται αυτόματα από κεφαλή υδρολίπανσης, και επανεισάγεται προκαλώντας παφλασμό και οξυγονώνοντας το θρεπτικό διάλυμα (Σάββας, 2011).

Το σύστημα αυτό αποτελεί μια από τις απλούστερες μεθόδους υδροκαλλιέργειας, και τα τελευταία χρόνια έχει αποκτήσει μεγάλο ενδιαφέρον, ιδιαίτερα για την παραγωγή φυλλωδών λαχανικών που προορίζονται για ελάχιστη μεταποίηση (φρεσκοκομμένες σαλάτες, μείγματα σαλάτας, baby φυλλώδη κλπ.) (Orsini et al., 2010; Petropoulos, Chatzieustratiou, et al., 2016; Zanin et al., 2009). Το σύστημα επίπλευσης παρουσιάζει σχετικά χαμηλό κόστος συντήρησης και εργασιών, και αποτελεσματική χρήση νερού και χώρου (Fontana & Nicola, 2009). Λόγω της μεγάλης ποσότητας διαθέσιμου θρεπτικού διαλύματος στο περιβάλλον της ρίζας, παρέχεται υψηλή ρυθμιστική ικανότητα, όπως και μεγάλο χρονικό περιθώριο διόρθωσης τυχόν προβλημάτων κατά την λειτουργία του συστήματος. Επιπλέον, τα

συστήματα επίπλευσης χαρακτηρίζονται από ευελιξία και δυναμικότητα, επιτρέποντας την αύξηση των κύκλων παραγωγής, ενώ μπορεί να ενισχυθεί η ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων, λόγω των βελτιωμένων χαρακτηριστικών υγιεινής και θρέψης (Orsini et al., 2010; Savvas & Gruda, 2018). Από την άλλη πλευρά, η απαίτηση σε ηλεκτρικό ρεύμα για τον συνεχή αερισμό του θρεπτικού διαλύματος, όπως και οι μεταβολές της θερμοκρασίας του ανάλογα με την εποχή, αν και ήσσονος σημασίας, θεωρούνται μειονεκτήματα (Öztekin et al., 2018).

Θεωρητικά, το σύστημα επίπλευσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την καλλιέργεια πολλών λαχανοκομικών και ανθοκομικών ειδών. Παρόλα αυτά, λόγω πρακτικών περιορισμών, το σύστημα χρησιμοποιείται εμπορικά για παραγωγή σπορόφυτων (λαχανοκομικών, ανθοκομικών και άλλων ειδών π.χ. καπνού), και λαχανικών σύντομου καλλιεργητικού κύκλου και μικρού μεγέθους (Öztekin et al., 2018; Petropoulos, Chatzieustratiou, et al., 2016; Σάββας, 2011). Το σύστημα επίπλευσης είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικό στην παραγωγή φυλλωδών λαχανικών υψηλής αξίας, όπως την ρόκα (*Eruca sativa* Mill.), μαρούλι (*Lactuca sativa* L.), βασιλικό (*Ocimum basilicum* L.) και βαλεριανέλλα (*Valerianella olitoria* L.), ενισχύοντας την απόδοση, ελέγχοντας την περιεκτικότητα σε νιτρικά και παράγοντας μεγάλο αριθμό φυτών ανά τετραγωνικό, χωρίς να επηρεάζει αρνητικά την ποιότητα (Fontana & Nicola, 2009). Επιπλέον, στα συστήματα επίπλευσης μπορούν να παραχθούν μικρού μεγέθους baby φυλλώδη λαχανικά επικερδώς, για διάθεση ως φρέσκα προϊόντα ή ready-to-eat σαλάτες (Kılıç & Duyar, 2016). Επιπρόσθετα, η υψηλότερη υγειονομική ποιότητα των φυλλωδών λαχανικών, σε σύγκριση με τα φυτά που καλλιεργούνται στο έδαφος τα καθιστά κατάλληλα για ελάχιστη μεταποίηση, μειώνοντας το κόστος και το νερό που χρησιμοποιείται κατά το πλύσιμο τους (Tomasi et al., 2015).

Η επιστημονική κοινότητα έχει αναδείξει την θρεπτική αξία και τις ευεργετικές ιδιότητες των λαχανευόμενων ειδών, ιδιαίτερα λόγω της παγκόσμιας αναγνώρισης της μεσογειακής διατροφής (Chatzopoulou et al., 2020). Αυτά τα είδη έχουν προοπτικές εκμετάλλευσης, και συστηματική τους καλλιέργεια μπορεί να επηρεάσει θετικά το περιβάλλον, τη υγεία του ανθρώπου και τον αγροτικό τομέα. Η συστηματική τους καλλιέργεια μπορεί επίσης να μειώσει την τιμή τους και να τα καταστήσει πιο εύκολα διαθέσιμα στο κοινό (Zimmerer et al., 2016). Στο πλαίσιο αυτό, η υδροπονία και ιδιαίτερα το σύστημα επίπλευσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή

λαχανευόμενων ειδών (Εικόνα 11). Συγκεκριμένα, οι Alexopoulos et al. (2021) παρήγαγαν φυτά *Taraxacum officinale* L. και *Reichardia picroides* L. με βελτιωμένα φυτοχημικά χαρακτηριστικά, μέσω του ελέγχου του pH του θρεπτικού διαλύματος οι D'Imperio et al. (2022) παρατήρησαν βελτίωση στη θρεπτική ποιότητα των φυτών *Portulaca oleracea* L. με την χρήση συστήματος επίπλευσης και την ρύθμιση του θρεπτικού διαλύματος, και οι Ceccanti et al. (2022) παρατήρησαν υψηλή απόδοση κατά την καλλιέργεια *Borago officinalis* L., *Malva sylvestris* L., και *Plantago coronopus* L. σε σύστημα επίπλευσης.



Εικόνα 11 Καλλιέργεια *Sanguisorba minor* και *Rumex acetosa* σε σύστημα επίπλευσης (Ceccanti et al., 2018)

## 1.6.Θρεπτικό διάλυμα

Το θρεπτικό διάλυμα, όπως έγινε προηγούμενη αναφορά, είναι ένα υδατικό διάλυμα που περιέχει κυρίως ιόντα ανόργανων αλάτων, όλων των απαραίτητων στοιχείων για τα φυτά (Σάββας, 2011). Οι σύνθεση του θρεπτικού διαλύματος που παρέχεται αποσκοπεί στην παροχή των απαραίτητων στοιχείων σε αναλογίες κοντά σε αυτές όπου το φυτό θα αφαιρέσει από το θρεπτικό διάλυμα (Morgan, 2021). Επί του παρόντος, 16 χημικά στοιχεία θεωρούνται απαραίτητα για την ανάπτυξη και ολοκλήρωση του βιολογικού κύκλου των ανώτερων φυτών, και διαχωρίζονται σε μακροστοιχεία και ιχνοστοιχεία. (Libia & Fernando, 2012; Σάββας, 2011). Ο διαχωρισμός μεταξύ μακρο- και μικροστοιχείων λαμβάνει υπόψη την ποσότητα των στοιχείων που απαιτείται από το φυτό, και συγκεκριμένα, τα μακροστοιχεία είναι απαραίτητα σε μεγάλες ποσότητες (C, O, H, N, P, S, K, Ca, και Mg), ενώ τα ιχνοστοιχεία είναι απαραίτητα σε μικρές ποσότητες (Fe, Mn, Zn,Cu, B, Mo, Cl) (Domingues et al., 2012). Αυτά τα στοιχεία μπορούν να παρέχονται από την ατμόσφαιρα, το νερό άρδευσης και τα λιπάσματα (Hochmuth & Hochmuth, 2012). Συγκεκριμένα, τα θρεπτικά διαλύματα περιέχουν όλα τα απαιτούμενα ανόργανα θρεπτικά στοιχεία (πίνακας 1, Σάββας, 2011), εκτός του άνθρακα (C), ο οποίος

λαμβάνεται από την ατμόσφαιρα ως CO<sub>2</sub>. Το οξυγόνο (O) λαμβάνεται από τον ατμοσφαιρικό αέρα για την αναπνοή, και από το νερό, όπως και το υδρογόνο (H). Τέλος, το χλώριο (Cl) περιέχεται στο νερό ως χλωριούχο ανιόν, σε κατάλληλες ποσότητες (Σάββας, 2011). Έτσι, η διαχείριση του θρεπτικού διαλύματος επικεντρώνεται σε όλα τα θρεπτικά στοιχεία που αναφέρονται και στον πίνακα 1. Άλλα στοιχεία όπως το νάτριο (Na), πυρίτιο (Si), βανάδιο (V), σελήνιο (Se), κοβάλτιο (Co), αλουμίνιο (Al) και το ιώδιο (I) θεωρούνται ωφέλιμα αφού μερικά από αυτά επιδρούν θετικά στην ανάπτυξη, στην τοξικότητα θρεπτικών στοιχείων και στην υποκατάσταση θρεπτικών στοιχείων (Libia & Fernando, 2012). Στην πράξη χρησιμοποιείται κυρίως το Si λόγω της θετικής επίδρασης του στη ανάπτυξη πολλών φυτικών ειδών, ιδίως κατά την έκθεση τους σε βιοτικές και αβιοτικές καταπονήσεις, όπως και της ενίσχυσης της ανεκτικότητας τους σε αυτές τις συνθήκες (D'Imperio et al., 2018; Savvas & Ntatsi, 2015).

*Πίνακας 1* Τα μακροστοιχεία και ιχνοστοιχεία που περιέχονται στα θρεπτικά διαλύματα καλλιεργειών εκτός εδάφους, συνοδευόμενα από τη χημική τους μορφή (Σάββας, 2011)

Μακροστοιχείο	Χημική μορφή	Ιχνοστοιχείο	Χημική μορφή
Άζωτο (N)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Σίδηρος (Fe)	Fe <sup>2+</sup>
Φώσφορος (P)	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Μαγγάνιο (Mn)	Mn <sup>2+</sup>
Θείο (S)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ψευδάργυρος (Zn)	Zn <sup>2+</sup>
Κάλιο (K)	K <sup>+</sup>	Χαλκός (Cu)	Cu <sup>2+</sup>
Ασβέστιο (Ca)	Ca <sup>2+</sup>	Βόριο (B)	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>
Μαγνήσιο (Mg)	Mg <sup>2+</sup>	Μολυβδαίνιο (Mo)	MoO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>

Τα κυριότερα απλά υδατοδιαλύτα λιπάσματα που χρησιμοποιούνται για την παροχή όλων των απαραίτητων θρεπτικών στοιχείων στα θρεπτικά διαλύματα είναι: Νιτρικό αμμώνιο όπου παρέχει N (35%), νιτρικό ασβέστιο όπου παρέχει N (15.5%) και Ca (19%), νιτρικό κάλιο όπου παρέχει N (13%) και K (38%), νιτρικό μαγνήσιο όπου παρέχει N (11%) και Mg (9%), νιτρικό οξύ όπου παρέχει N (22%), φωσφορικό μονοαμμώνιο όπου παρέχει P (27%) και N (12%), φωσφορικό μονοκάλιο όπου παρέχει P (23%) και K (27%), φωσφορικό οξύ όπου παρέχει P (32%), θειικό κάλιο όπου παρέχει S (18%) και K (45%), θειικό μαγνήσιο όπου παρέχει Mg (9.7%) και S (13%), χηλικός σίδηρος όπου παρέχει Fe (6-13%), θειικό μαγγάνιο όπου παρέχει Mn (32%),

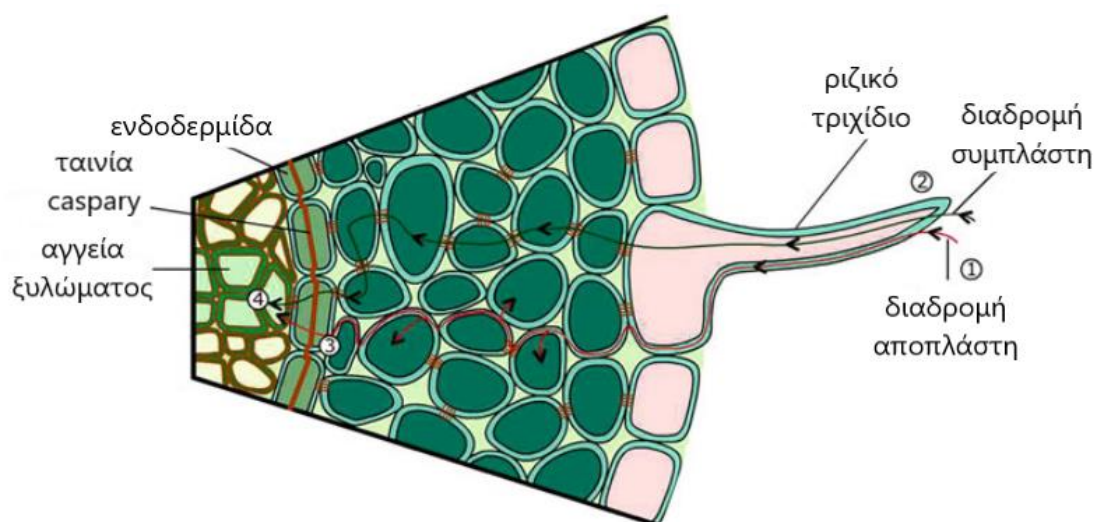
θειικός ψευδάργυρος όπου παρέχει Zn (23%), θειικός χαλκός όπου παρέχει Cu (25%), βόρακας, οκταβορικό νάτριο και βορικό οξύ όπου παρέχουν B (11%, 20.5% και 17.5% αντίστοιχα), μολυβδαινικό αμμώνιο και μολυβδαινικό νάτριο όπου παρέχουν Mo (54% και 40% αντίστοιχα) (Morgan, 2021; Σάββας, 2011).

### 1.6.1. Απορρόφηση νερού και θρεπτικών στοιχείων

Τα φυτά απορροφούν νερό και θρεπτικά στοιχεία κυρίως από τις ρίζες, μέσω της πλασματικής μεμβράνης, η οποία λόγω της επιλεκτικής της διαπερατότητας ελέγχει την κίνηση νερού και διαλυμένων ουσιών (Baset Mia, 2015; Raviv et al., 2019). Όταν φτάσουν στην εξωτερική επιφάνεια της ρίζας, μεταφέρονται στο φλοιώδες παρέγχυμα μέσω των μεσοκυττάρων χώρων και των πόρων μεταξύ των κυτταρικών τοιχωμάτων. Το επόμενο επίπεδο μεταφοράς γίνεται από τα επιδερμικά κύτταρα της ρίζας, ως το εσωτερικό στρώμα του φλοιού (Raviv et al., 2019). Τα θρεπτικά στοιχεία μεταφέρονται με μία συνδετική ροή νερού, και έτσι μέσω της παρακολούθησης της διαδρομής του νερού, μπορεί να προσδιοριστεί η πορεία των θρεπτικών στοιχείων από την επιδερμίδα στην ενδοδερμίδα της ρίζας (Baset Mia, 2015; Wiedenhoeft, 2006). Αυτή η διαδρομή, γνωστή ως short-distance μεταφορά, περιλαμβάνει τον αποπλάστη (συνεχές σύστημα κυτταρικών τοιχωμάτων και μεσοκυττάρων χώρων), τη διαμεμβρανική πορεία (είσοδος και έξοδος από πλασματικές μεμβράνες) και τον συμπλάστη (δίκτυο κυτταροπλάσματος το οποίο είναι διασυνδεδεμένο από πλασμοδέσμες) (Εικόνα 12):

Στην ενδοδερμίδα βρίσκεται η ταινία Caspary (Casparyan Strip), ένα σύνολο ακτινωτών κυτταρικών τοιχωμάτων, που αποτελείται από την σουβερίνη (suberin), μια υδρόφοβη ουσία (Taiz & Zeiger, 2010). Η υδρόφοβη φύση της ταινίας αυτής δρα ως εμπόδιο για την παθητική μετακίνηση των θρεπτικών στοιχείων μέσω της αποπλαστικής ζώνης (Baset Mia, 2015). Έτσι, το νερό και οι διαλυμένες ουσίες προχωρούν μέσω ορισμένων κυττάρων (passage cells) της ενδοδερμίδας, ή μέσω του συμπλάστη (Kathpalia & Bhatla, 2018b). Μετά, το νερό και τα ανόργανα ιόντα μεταφέρονται στο ξυλώδες παρέγχυμα (Bhatla, 2018), και από εκεί μεταφέρονται στα αναπτυσσόμενα τμήματα του φυτού για μεταβολικές διαδικασίες (N. K. Fageria et al., 2011).

Η ανοδική κίνηση του νερού και των ιόντων από την ρίζα στα σημεία ανάπτυξης (μεταφορά μεγάλης απόστασης), γίνεται μέσω του ξηλώματος, (Jones, 2012; Kathpalia & Bhatla, 2018b), λόγω της αναρροφητικής δύναμης που προκαλείται από την διαπνοή που λαμβάνει χώρα στα φύλλα του φυτού (Kathpalia & Bhatla, 2018b). Η ανοδική ροή νερού που προκαλείται μεταφέρει νερό, μαζί με θρεπτικά στοιχεία διαλυμένα αέρια φυτοορμόνες κλπ. (Wiedenhoeft, 2006). Όταν ο ρυθμός διαπνοής είναι χαμηλός (την νύχτα ή με υψηλή υγρασία) οι ρίζες των φυτών δημιουργούν θετική υδροστατική πίεση, λόγω της διαφοράς στο δυναμικό διαλυμένων ουσιών μεταξύ του εδαφικού διαλύματος και του ξηλώματος. Η μείωση του οσμωτικού δυναμικού το ξηλώματος προκαλεί ριζική πίεση, η οποία συμμετέχει στην ανοδική μεταφορά του νερού και των ιόντων (Kathpalia & Bhatla, 2018b; Taiz & Zeiger, 2010). Η καθοδική κίνηση γίνεται στο κάμβιο, και αναφέρεται ως οσμωτική ροή πίεσης. Αυτή η κίνηση γίνεται από φωτοσυνθετικά ενεργά σημεία του φυτού (sources), σε σημεία που απαιτούν φωτοσυνθετικά υλικά (sinks), μειώνοντας σημαντικά το υδατικό δυναμικό του καμβίου (Wiedenhoeft, 2006) Έτσι, το φαινόμενο “Source-sink” μεταφέρει νερό, ιόντα, και διαλυτές ουσίες από ανενεργά σε ενεργά και επεκτεινόμενα τμήματα του φυτού (π.χ. σημεία ανάπτυξης) (Jones, 2012).



**Εικόνα 12** Διαδρομές νερού και ιόντων σε διάφορα σημεία της ρίζας. (Bhatla, 2018)

Η κίνηση των ιόντων στο φυτό γίνεται παθητικά ή ενεργητικά. Η παθητική διαδικασία δεν απαιτεί μεταβολική ενέργεια, και γίνεται μέσω διάχυσης, δηλαδή της μεταφοράς ιόντων από περιοχή υψηλής συγκέντρωσης σε περιοχή χαμηλής συγκέντρωσης, μέχρι να επιτευχθεί ισορροπία (Baset Mia, 2015; Duca, 2015; Taiz & Zeiger, 2010). Η ενεργητική διαδικασία, αντιθέτως, λαμβάνει χώρα με την



κατανάλωση μεταβολικής ενέργειας (ATP, NADH, NADPH), προερχόμενη από την διαδικασία της αναπνοής (Duca, 2015).

Ο τρόπος με τον οποίο θα απορροφηθεί ένα ιόν, είτε ενεργητικά, είτε παθητικά μπορεί να βρεθεί βάση την εξίσωση Nernst (Εξίσωση 1 και 2, Baset Mia, 2015):

#### Εξίσωση 1 Εξίσωση Nernst (Baset Mia, 2015)

$$\mu = \mu^0 + R \times T \times \ln + z \times F \times \varphi$$

Όπου:

$\mu$  = ηλεκτροχημικό δυναμικό ενός ιόντος

$\mu^0$  = τυπικό χημικό δυναμικό του είδους ιόντος ή μορίου

$R$  = σταθερά αερίου

$T$  = απόλυτη θερμοκρασία

$a$  = συγκέντρωση ιόντος

$z$  = σθένος ιόντος

$F$  = σταθερά Faraday

$\varphi$  = ηλεκτρικό δυναμικό

#### Εξίσωση 2 Απλοποιημένη εξίσωση Nernst (Marschner, 2011)

$$E = \frac{R \times T}{z \times F} \times \ln \left( \frac{c_o}{c_i} \right)$$

Όπου:

$E$  = διαφορά ηλεκτρικού δυναμικού (mV, millivolts)

$c_o$  = εξωτερική συγκέντρωση

$c_i$  = εσωτερική συγκέντρωση

Επιπρόσθετα, τα θρεπτικά στοιχεία μπορούν να κατηγοριοποιηθούν από την κινητικότητα τους εντός του φυτού. Συγκεκριμένα, πολύ ευκίνητα είναι το Mg, N, P και K, μερικώς ευκίνητο είναι το S, δυσκίνητα είναι το Cu, Fe, Mo και Zn, ενώ πολύ δυσκίνητα είναι το B και Ca (Jones, 2012). Το χαρακτηριστικό της κινητικότητας των θρεπτικών στοιχείων καθορίζει τα σημεία εμφάνισης συμπτωμάτων τροφопενίας, και έτσι, η έλλειψη πολύ ευκίνητων θρεπτικών στοιχείων παρουσιάζει συμπτώματα στα παλαιότερα φύλλα, ενώ η έλλειψη δυσκίνητων θρεπτικών στοιχείων γίνεται εμφανής πρώτα στα νεότερα φύλλα (Taiz & Zeiger, 2010).

### Οι παράγοντες που επιδρούν στην πρόσληψη θρεπτικών στοιχείων είναι:

- **pH:** Η τιμή του pH του θρεπτικού διαλύματος επιδρά στη διαθεσιμότητα θρεπτικών στοιχείων, αφού τα φυτά μπορούν να προσλάβουν ιόντα σε συγκεκριμένο εύρος pH (Hosseinzadeh et al., 2017; Trejo-Téllez & Gómez-Merino, 2012).
- **EC:** Η υψηλή EC στο θρεπτικό διάλυμα εμποδίζει την απορρόφηση θρεπτικών στοιχείων ένεκα της αύξησης της ωσμωτικής πίεσης (Samarakoon et al., 2006).
- **Θερμοκρασία:** Οι μη ευνοϊκές συνθήκες θερμοκρασίας στην περιοχή της ρίζας, επηρεάζουν αρνητικά την πρόσληψη θρεπτικών στοιχείων (Hosseinzadeh et al., 2017), διότι επενεργούν στην μεταβολική δραστηριότητα των κυττάρων, στην ενζυμική δραστηριότητα, στο ιξώδες του νερού, στην μεταφορά μέσω μεμβρανών, και στην ανάπτυξη των ριζών (Baset Mia, 2015; Falah et al., 2010). Έτσι, περιορίζεται η ικανότητα πρόσληψης νερού και θρεπτικών στοιχείων από τις ρίζες, ενώ επίσης επηρεάζεται αρνητικά η διαλυτότητα των λιπασμάτων στο θρεπτικό διάλυμα (Trejo-Téllez & Gómez-Merino, 2012).
- **Τάση οξυγόνου:** Οποιαδήποτε μείωση στην τάση του O<sub>2</sub> μπορεί να οδηγήσει σε ανοξική κατάσταση, η οποία αναστέλλει την πρόσληψη ιόντων (Jones, 2012), και διαταράσσει την παροχή ATP (Baset Mia, 2015)
- **Αλληλεπίδραση μεταξύ ιόντων:** Η διαθεσιμότητα και η απορρόφηση θρεπτικών στοιχείων από φυτά που καλλιεργούνται σε συστήματα εκτός εδάφους παρουσιάζει φαινόμενα συνεργίας ή ανταγωνισμού (Maucieri et al., 2019).
- **Εσωτερική συγκέντρωση θρεπτικών στοιχείων:** Η συγκέντρωση και η κατάσταση θρεπτικών στοιχείων, όπως και το ηλεκτροχημικό δυναμικό της κυτοσόλης έχουν σημαντική επίδραση στην πρόσληψη θρεπτικών στοιχείων (Baset Mia, 2015).

Όπως προαναφέρθηκε, η πρόσληψη θρεπτικών στοιχείων από τις ρίζες συσχετίζεται στενά με την πρόσληψη νερού, αφού υπό συνθήκες ξηρασίας, είναι πιθανή η μείωση της πρόσληψης θρεπτικών στοιχείων, λόγω της μειωμένης διάχυσης ιόντων, της μείωσης της φωτοσύνθεσης, της μεταβολής της κινητικής πρόσληψης και μεταφοράς στις ρίζες, και της μείωσης της μαζικής ροής (Bárzana & Carvajal, 2020; Bista et al., 2018). Είναι επίσης πιθανό ο ρυθμός της πρόσληψης θρεπτικών στοιχείων,



να μην αντιστοιχεί με τον ρυθμό της πρόσληψης νερού, και λόγω της υψηλής EC του θρεπτικού διαλύματος, ο ρυθμός πρόσληψης θρεπτικών στοιχείων είναι χαμηλότερος, οδηγώντας σε φαινόμενα υψηλής αλατότητας (Raviv et al., 2019). Αντίστοιχα, η αλατούχος καταπόνηση μειώνει την ικανότητα των φυτών να προσλαμβάνουν νερό και θρεπτικά στοιχεία, λόγω της αύξησης της ωσμωτικής πίεσης (Manuel et al., 2017) και έτσι η υψηλή EC, πάνω από ορισμένα επίπεδα, μπορεί να συσχετισθεί με την μείωση της πρόσληψης νερού (Trejo-Télliez & Gómez-Merino, 2012).

### 1.6.2. Ηλεκτρική αγωγιμότητα

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC, Electrical Conductivity) είναι ένα από σημαντικότερα χαρακτηριστικά των θρεπτικών διαλυμάτων, αφού χρησιμοποιείται ως βασικό στοιχείο αναφοράς της σύνθεσης τους (Savvas & Gruda, 2018; Σάββας, 2011). Η EC ( $\text{dS m}^{-1}$ ) είναι μέτρο αθροίσματος της συνολικής συγκέντρωσης αλάτων ( $C$ ,  $\text{meq L}^{-1}$ ), και προσδιορίζεται με την χρήση της εξίσωσης 3 (Σάββας, 2011).

*Εξίσωση 3 Προσδιορισμός συνολικής συγκέντρωσης αλάτων ( $C$ ,  $\text{meq L}^{-1}$ ) (Σάββας, 2011)*

$$C = 98.19 \times EC - 1.462$$

Έτσι, η EC στα θρεπτικά διαλύματα δίνει την συνολική συγκέντρωση των κατιόντων ( $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{NH}_4^+$  και  $\text{Na}^+$ ) και ανιόντων ( $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$  και  $\text{Cl}^-$ ), χωρίς όμως να δίνει πληροφορίες σχετικά με τις συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων, λόγω της μικρής τους συγκέντρωσης (Neocleous & Savvas, 2017; Raviv et al., 2019; Sonneveld & Voogt, 2009b). Ένας σημαντικός περιορισμός κατά την μέτρηση της EC είναι ότι δεν είναι δυνατή η εκτίμηση των επιπέδων μεμονωμένων ιόντων που είναι διαλυμένα στα θρεπτικά διαλύματα (Miller et al., 2020). Αυτό το θέμα είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε κλειστά συστήματα, κατά την ανακύκλωση των θρεπτικών διαλυμάτων, όπου, αφού τα φυτά απορροφούν θρεπτικά ιόντα με διαφορετικούς ρυθμούς, παρά τη διατήρηση της EC στη τιμή – στόχο, είναι πιθανό ορισμένα στοιχεία να είναι σε περίσσεια ή σε ανεπάρκεια (Miller et al., 2020; Nemali, 2018).

Το εύρος της EC του θρεπτικού διαλύματος μπορεί να κυμαίνεται από 0 ως 5  $\text{dS m}^{-1}$ , και συνήθως σε συστήματα υδροπονίας πρέπει να παραμένει μεταξύ 1.5 με 2.5  $\text{dS m}^{-1}$  (Raviv et al., 2019; Trejo-Télliez & Gómez-Merino, 2012), αλλά η ιδανική EC εξαρτάται από το φυτικό είδος, το φαινολογικό στάδιο, και τις περιβαλλοντικές συνθήκες (Ding et al., 2018; Lu et al., 2017). Συγκεκριμένα για τα φυλλώδη λαχανικά,

η βέλτιστη συγκέντρωση είναι ισοδύναμη με περίπου  $1 - 2 \text{ dS m}^{-1}$  (Cho et al., 2018). Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι το EC στο ριζόστρωμα τείνει να αυξάνεται, λόγω κυρίως της συσσώρευσης μη θρεπτικών ιόντων (π.χ.  $\text{Na}^+$ ) ή και δυσθερών θρεπτικών στοιχείων. Έτσι, η τιμή – στόχος EC που απαιτείται να έχει το θρεπτικό διάλυμα πρέπει είναι χαμηλότερη από τη EC του ριζοστρώματος. Η μεταβολή της EC εξαρτάται από το φυτικό είδος, το περιβάλλον το σύστημα καλλιέργειας (ανοικτό ή κλειστό), και τις συγκεντρώσεις  $\text{NaCl}$ ,  $\text{Ca}$ ,  $\text{Mg}$  και  $\text{SO}_4^{2-}$  στο νερό άρδευσης (Σάββας, 2011).

Στις καλλιέργειες εκτός εδάφους, υψίστης σημασίας είναι ο συχνός έλεγχος, όπως και η κατάλληλη διατήρηση EC του στο περιβάλλον των ριζών για την επίτευξη βέλτιστης ποιότητας και παραγωγής (Sonneveld & Voogt, 2009a). Γι' αυτό τον λόγο, είναι σημαντικό να πραγματοποιούνται μετρήσεις ανά 2 με 3 ημέρες, σε πολλαπλά σημεία εντός του χώρου παραγωγής, και αν οι τιμή EC ξεπερνά το επιθυμητό εύρος τιμών, πρέπει να πραγματοποιούνται κατάλληλες επεμβάσεις διόρθωσης της (Σάββας, 2011). Τιμές που παρεκκλίνουν από τα όρια υπονοούν είτε ανεπάρκεια ορισμένων θρεπτικών στοιχείων (με EC χαμηλότερη του κατώτερου ορίου), είτε υψηλή περιεκτικότητα θρεπτικών ή μη στοιχείων, ικανή να προκαλέσει αλατούχο καταπόνηση (με EC υψηλότερη του ανώτερου ορίου) (Σάββας, 2011). Αυτό το γεγονός δύναται να προκαλέσει αναπτυξιακά προβλήματα, λόγω τοξικότητας ή τροφοπενίας θρεπτικών στοιχείων (Chrysargyris et al., 2021). Επιπρόσθετα, σε εμπορικά συστήματα καλλιεργειών εκτός εδάφους, μετά από ορισμένη διάρκεια χρήσης και ανακυκλοφορίας του θρεπτικού διαλύματος, είναι πιθανή η συσσώρευση ιόντων (π.χ.  $\text{Na}$  και  $\text{Cl}$ ) κάνοντας ανέφικτη τη διόρθωση της EC, αφού δύναται να υπάρξει ανισορροπία μεταξύ θρεπτικών στοιχείων. Έτσι, απαιτείται αλλαγή του θρεπτικού διαλύματος (Lykas et al., 2006).

Όπως αναφέρθηκε προγενέστερα, η αυξημένη EC μπορεί να οφείλεται στην αυξημένη συγκέντρωση  $\text{NaCl}$  ή/και στην αυξημένη συγκέντρωση θρεπτικών μακροστοιχείων (Σάββας, 2011). Η αλατούχος καταπόνηση συνήθως βλάπτει τα φυτά μέσω δύο βασικών μηχανισμών: την αύξηση του οσμωτικού δυναμικού, και την επίδραση ιόντων (π.χ. τοξικότητα και διαταραχές στην θρέψη) (Silber & Bar-Tal, 2008). Στον πίνακα 2 δίνονται κάποια παραδείγματα καλλιεργειών ως προς την ανοχή τους στην αλατούχο καταπόνηση (Trejo-Téllez & Gómez-Merino, 2012). Η υψηλή EC μπορεί να επηρεάσει αρνητικά την θρέψη των φυτών, μειώνοντας την απορρόφηση και μεταφορά θρεπτικών στοιχείων λόγω της αύξησης της ωσμωτικής πίεσης (Samarakoon

et al., 2006), και, όπως προαναφέρθηκε, παρατηρείται γραμμική σχέση μεταξύ της αύξησης της EC με την μείωση της πρόσληψης νερού. Η EC είναι μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της ωσμωτικής πίεσης του θρεπτικού διαλύματος με την εξίσωση 4 (Trejo-Téllez & Gómez-Merino, 2012).

**Εξίσωση 4** Εκτίμηση ωσμωτικής πίεσης θρεπτικού διαλύματος (Trejo-Téllez & Gómez-Merino, 2012)

$$OP_{atm} = 0.36 \times EC$$

$$OP_{bar} = -0.36 \times EC$$

$$OP_{MPa} = OP_{bars} \times 0.1$$

Όπου:

*OP*: Ωσμωτική πίεση (σε atm, bar, και MPa)

*EC*: Ηλεκτρική αγωγιμότητα ( $ds\ m^{-1}$  στους 25°C)

Η αλατότητα επίσης επηρεάζει αρνητικά την πρόσληψη θρεπτικών στοιχείων, λόγω του ανταγωνισμού τους με ιόντα όπως N και Cl (Samarakoon et al., 2006; Silber & Bar-Tal, 2008; Σάββας, 2011). Αντίθετα, η ανεπαρκής παροχή των απαραίτητων στοιχείων έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της ανάπτυξης, την υποβάθμιση της υγιεινής κατάστασης, και την μείωση της παραγωγής (Taiz & Zeiger, 2010; Σάββας, 2011).

**Πίνακας 2** Κατηγοριοποίηση φυτών ως προς την ανοχή τους στην αλατούχο καταπόνηση, και το κατώφλι EC (Trejo-Téllez & Gómez-Merino, 2012)

Κατηγορία	Κατώφλι EC ( $ds\ m^{-1}$ )	Φυτό
Ανεκτικά	10.0	Ζαχαρότευτλο, βαμβάκι
Μέτρια ανεκτικά	6.0	Σόγια, σίκαλη
Μέτρια ευαίσθητα	3.0	Μπρόκολο, τομάτα, αγγούρι
Ευαίσθητα	1.4	Μαρούλι, κρεμμύδι, καρότο

Παρόλα αυτά, η τιμή EC δεν διατηρείται στα επιθυμητά επίπεδα για βέλτιστο ρυθμό ανάπτυξης και μέγιστη παραγωγή, διότι είναι εξίσου σημαντική η κατάσταση των φυτών και η ποιότητα της παραγωγής (Sonneveld & Voogt, 2009a). Έτσι, η αύξηση της τιμής EC θρεπτικών διαλυμάτων μπορεί να έχει ευεργετικές επιδράσεις στα παραγόμενα προϊόντα (Gruda, 2009). Οι Scuderi et al. (2011) απέδειξαν ότι η αύξηση της EC του θρεπτικού διαλύματος με την προσθήκη NaCl, είχε ως αποτέλεσμα

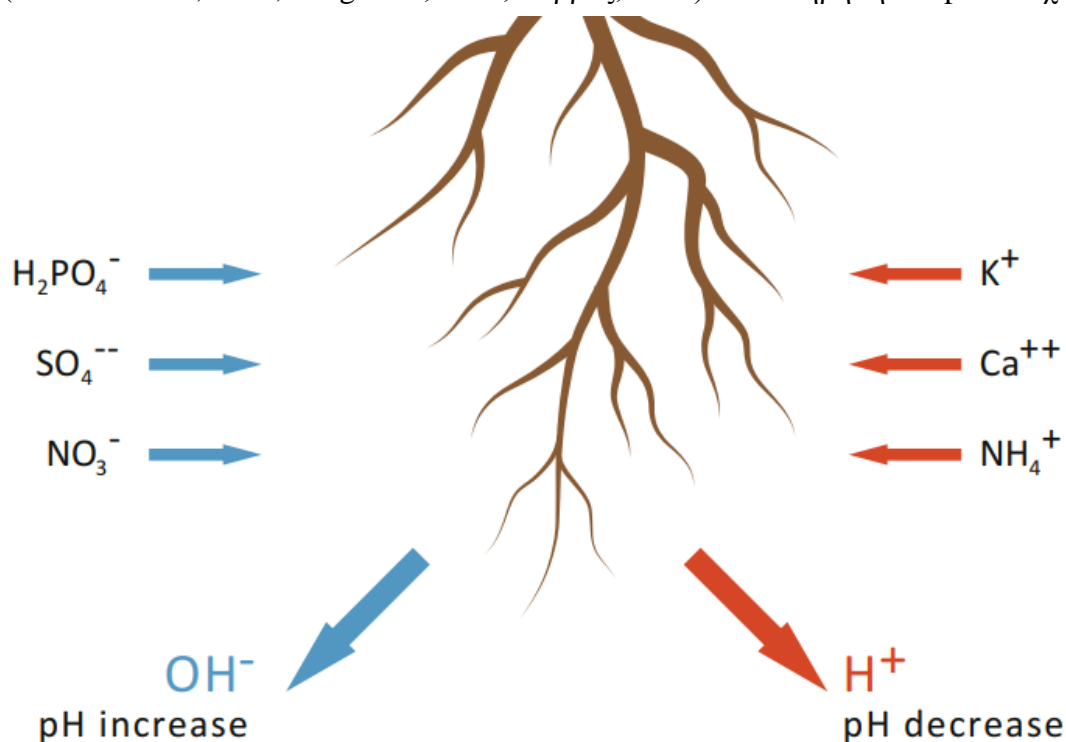
την βελτίωση των ποιοτικών, ενζυμικών και μικροβιολογικών χαρακτηριστικών μαρουλιού (*L. Sativa* var. *longifolia*) για ελάχιστη μεταποίηση, που αναπτύχθηκε σε σύστημα επίπλευσης. Ακόμα, έχει αναφερθεί η θετική επίδραση της υψηλής EC σε καρποδοτικά λαχανοκομικά είδη, και συγκεκριμένα στην γεύση και στο περιεχόμενο βιοδραστικών ουσιών (Gruda, 2009). Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι τα προαναφερθέντα αποτελέσματα προέκυψαν με τη χρήση NaCl.

### 1.6.3. pH

Το pH είναι η παράμετρος με την οποία μετριέται η οξύτητα ή η αλκαλικότητα ενός διαλύματος, δείχνοντας τη σχέση μεταξύ των ελεύθερων ιόντων  $H^+$  και  $OH^-$  (Asao, 2012). Το pH του θρεπτικού διαλύματος επηρεάζει την ανάπτυξη των φυτών, τη παραγωγή ξηρής ουσίας, τη ριζόσφαιρα, και το αποπλαστικό pH (Alexopoulos et al., 2021). Περιτταίρω, μπορεί να αποτελέσει άμεσο (π.χ. το ψηλό  $H^+$  τραυματίζει τις ρίζες και προκαλεί τοξικότητα) ή έμμεσο (π.χ. διαθεσιμότητα θρεπτικών στοιχείων) παράγοντα καταπόνησης για τα φυτά (Alexopoulos et al., 2021). Στα συστήματα καλλιεργειών εκτός εδάφους, το βέλτιστο εύρος pH στο θρεπτικό διάλυμα είναι μεταξύ του 5.5 και του 6.5, ένα εύρος που είναι κατάλληλο για τις περισσότερες καλλιέργειες (Morgan, 2021; Sardare, 2013), αλλά παρατηρούνται σημαντικές διαφορές μεταξύ καλλιεργειών (Sonneveld & Voogt, 2009b). Για παράδειγμα, η ερευνά των Savvas και Gizas (2002) έδειξε ότι η ζέρμπερα (*Gerbera jamesonii*) αναπτυσσόταν καλύτερα σε χαμηλό pH (4.5 – 6.0). Επιπλέον, τα ευρήματα ερευνάς των Sonneveld και Voogt (1994) παρουσίασαν θετική συσχέτιση μεταξύ της απόδοσης και των χαμηλών τιμών pH σε αγγούρι (*Cucumis sativus*). Ωστόσο, θεωρείται ότι οι τιμές μεταξύ 5 και 7 δεν προκαλούν σοβαρά αναπτυξιακά προβλήματα στα περισσότερα φυτά (Savvas & Gruda, 2018), ενώ οι τιμές πάνω από 7 ή κάτω του 4.5 δεν ενδείκνυνται (Sonneveld & Voogt, 2009b). Συγκεκριμένα, με pH πάνω από 7 μπορούν να προκληθούν τροφοπενίες P, Fe, Mn, Zn και Cu, αφού οι μορφές τους που είναι διαθέσιμες για τα φυτά μετατρέπονται: (1) σε μορφές που δεν απορροφούνται από τα φυτά, (2) σε μορφές που απομακρύνονται ως ίζημα, ή (3) σε μορφές που απομακρύνονται ως αέριο (Σάββας, 2011). Αντίθετα, με pH κάτω του 4.5, παρατηρείται αύξηση στη διαθεσιμότητα – και επακόλουθη εμφάνιση φαινομένων τοξικότητας Cu, Mn, Zn, B, και Al, ενώ το αντίθετο φαινόμενο παρατηρείται για το Mo. Επιπλέον, είναι πιθανή η πρόκληση ζημιών, η προσβολή από ασθένειες και η μείωση της ανάπτυξης των ρίζων (Gillespie et al., 2020; Singh et al., 2019; Σάββας, 2011). Ωστόσο, σε πειράματα στο βασιλικό (*Ocimum*

*basilicum*) παρατηρήθηκε μείωση προσβολής από *Pythium spp.* και *Phytophthora spp.* σε χαμηλό pH (4.0), χωρίς αρνητική επίδραση στην ανάπτυξη του (Gillespie et al., 2020). Επιπλέον, η ερευνά των Alexopoulos et al. (2021) επέδειξε την ευεργετική επίδραση του χαμηλού pH (4.0) στην διατροφική αξία των ειδών *Taraxacum officinale* και *Reichardia picroides*.

Για τον έλεγχο του pH των θρεπτικών διαλυμάτων, και συγκεκριμένα για αύξηση του χρησιμοποιείται νιτρικό ή φωσφορικό οξύ, υδροξείδιο του καλίου, και σπανιότερα θειικό και το υδροχλωρικό οξύ (Morgan, 2021). Σε καλλιεργητικές συνθήκες, οι τιμές που επιδιώκονται στο διάλυμα ριζοστρώματος είναι 5.5 – 6.5. Κατά την πρόσληψη ανιόντων και κατιόντων από τις ρίζες, αποβάλλονται πρωτόνια ( $H^+$ ) ή υδροξύλια ( $OH^-$ ), για την αντιστάθμιση της πρόσληψης κατιόντων – ανιόντων και την διατήρηση της ιοντικής ισορροπίας. Έτσι, η άνιση απορρόφηση ανιόντων και κατιόντων έχει ως αποτέλεσμα τη μεταβολή του pH του θρεπτικού διαλύματος, σε σχέση με την ποιότητα και ποσότητα των στοιχείων που απορροφούνται. Στην καλλιεργητική πράξη, το pH του θρεπτικού διαλύματος στο ριζόστρωμα μεταβάλλεται ανοδικά, ως αποτέλεσμα της έντονης απορρόφησης  $NO_3^-$ , και γι' αυτό το λόγο, το pH του διαλύματος τροφοδοσίας ρυθμίζεται σε χαμηλότερο εύρος τιμών (5.5 – 5.8) (Maucieri et al., 2019; Tang et al., 2004; Σάββας, 2011). Η διατήρηση του pH στο χώρο



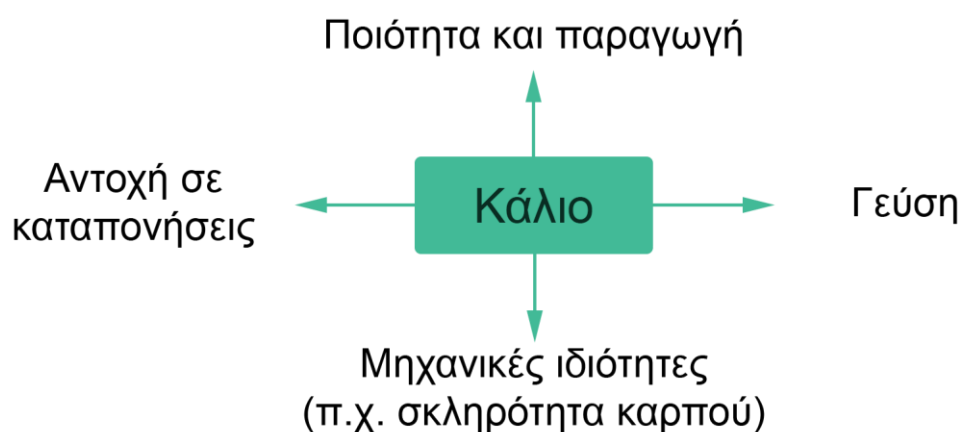
Εικόνα 13 Απορρόφηση ιόντων από τις ρίζες των φυτών (Maucieri et al., 2019)

των ριζών επιτυγχάνεται με την αύξηση της συχνότητας άρδευσης ή της ποσότητας θρεπτικού διαλύματος, και αν αυτό αποτύχει, μπορεί να χρειαστεί να μεταβληθεί η αναλογία μεταξύ  $\text{NH}_4\text{-N}$  και  $\text{NO}_3\text{-N}$ , με στόχο την τροποποίηση της αναλογίας μεταξύ της πρόσληψης κατιόντων και ανιόντων (Savvas & Gruda, 2018).

#### 1.6.4. Θρεπτικά στοιχεία

##### Κάλιο

Ως ένα από τα σημαντικότερα θρεπτικά στοιχεία, το κάλιο (K) είναι υπεύθυνο για ένα μεγάλο εύρος φυσιολογικών λειτουργιών στα φυτά και παίζει καθοριστικό ρόλο στην απόδοση και στην ποιότητα της παραγωγής (Εικόνα 13) (N. K. Fageria, 2009; Y. Wang & Wu, 2013). Το K είναι το πιο άφθονο ανόργανο κατιόν στα φυτά, αποτελώντας έως και 10% του ξηρού βάρους του φυτού (Ammann & Rubio, 2012), και απορροφάται περισσότερο από οποιοδήποτε άλλο στοιχείο, με εξαίρεση το N (Mondal et al., 2016), ως ιόν  $\text{K}^+$ . Το K δεν αφομοιώνεται στην οργανική ύλη, και παραμένει στην ιοντική μορφή του, καθ' όλη τη διάρκεια του στο φυτό (Ammann & Rubio, 2012). Το K χαρακτηρίζεται από μεγάλη κινητικότητα εντός των φυτών και βρίσκεται στην κυτοσόλη, σε συγκεντρώσεις 100 – 200 Mm (Baset Mia, 2015; Marschner, 2011). Η πρόσληψη του K από τα φυτά είναι πολύ επιλεκτική, συσχετίζεται στενά με τη μεταβολική δραστηριότητα των φυτών, και επηρεάζεται από τα γενετικά χαρακτηριστικά και το στάδιο ανάπτυξης των φυτών (Baset Mia, 2015; N. K. Fageria, 2009).



*Εικόνα 14* Κατάλληλη παροχή καλίου στα φυτά επηρεάζει πολλούς παράγοντες (Ammann & Rubio, 2012)

Το Κ αποτελεί μέρος πολλών ζωτικών λειτουργιών στον μεταβολισμό των φυτών, στην ανάπτυξη τους και προσαρμογή τους σε καταπονήσεις, όπως φαίνεται στην εικόνα 13 (Amtmann & Rubio, 2012). Στα λαχανικά, το Κ έχει συσχετιστεί με την ποιότητα των τελικών προϊόντων, με την επαρκή θρέψη του να επηρεάζει θετικά τη οργανοληπτικά χαρακτηριστικά τους, τη συγκέντρωση διαλυτών στερεών και ασκορβικού οξέος, και τη μετασυλλεκτική διατηρησιμότητα τους (Lester et al., 2010). Το Κ είναι το κύριο κατιόν για την διατήρηση της σπαργής, όπως και της ηλεκτροουδετερότητας των κυττάρων (Marschner, 2011), ενώ έχει σημαντική επίδραση στον μεταβολισμό των φυτών, επηρεάζοντας τις συγκεντρώσεις πολλών μεταβολιτών, την δράση ενζύμων, την σύνθεση αμινοξέων πλούσιων σε άζωτο (Amtmann & Rubio, 2012), και την σύνθεση σακχάρων, αμύλου και λιπιδίων (Hasanuzzaman et al., 2018). Είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας στην ενεργοποίηση ενζύμων που εμπλέκονται στην αναπνοή και τη φωτοσύνθεση, στην ωμορύθμιση κατά την επέκταση των κυττάρων, και στην στοματική αγωγιμότητα (Fotuhi, 2002; Y. Wang & Wu, 2013). Η στοματική αγωγιμότητα επηρεάζεται από την μεταβολή της πίεσης σπαργής, ως αποτέλεσμα της συσσώρευσης Κ στα καταφρακτικά κύτταρα των στοματίων, προκαλούμενης από την παρουσία φωτός (Baset Mia, 2015; Marschner, 2011). Επιπλέον, το Κ έχει ρόλο στη μεταφορά νερού και στη μετατόπιση ανόργανων ενώσεων μέσω του ξυλώματος, όπως και στο σύστημα μεταφοράς του ηθμού (Hafsi et al., 2014), που πιθανώς συσχετίζεται με τον μηχανισμό φόρτωσης σακχαρόζης (Baset Mia, 2015). Λόγω του ρόλου το στο μεταβολισμό και στην μετατόπιση υδατανθράκων, το Κ επίσης εμπλέκεται στην διαδικασία της φωτοσύνθεσης, μέσω της αντίληψης του φωτός (G. K. Pandey & Mahiwal, 2020). Περαιτέρω, η ισορροπημένη παροχή Κ συμβάλλει κατασταλτικά στις ζημίες που προκαλούνται από την ξηρασία, την υψηλή αλατότητα, τον παγετό, το έντονο φώς και τις ψηλές θερμοκρασίες (Baset Mia, 2015; Marschner, 2011). Τέλος, η θρέψη Κ επιδρά σε ένα αριθμό φυσιολογικών και βιοχημικών διεργασιών που συσχετίζονται άμεσα με την ευαισθησία των φυτών σε παθογόνα και εντομολογικούς εχθρούς (Amtmann et al., 2008).

Η έλλειψη  $K^+$  προκαλεί πολλές αποκρίσεις σε μορφολογικό, φυσιολογικό, βιοχημικό και μοριακό επίπεδο (Hafsi et al., 2014), και έχει ως αποτέλεσμα την μείωση του ρυθμού ανάπτυξης των φυτών, ακολουθούμενο από χλώρωση και νέκρωση (Baset Mia, 2015). Λόγω της μεγάλης κινητικότητας του, τα συμπτώματα της έλλειψης Κ στα

φυτά παρουσιάζονται στα γηραιότερα φύλλα (N. K. Fageria, 2015), τα οποία παρουσιάζουν καρούλιασμα και νέκρωση στα περιθώρια των φύλλων (Marschner, 2011). Επιπλέον, τα φυτά που έχουν έλλειψη  $K^+$  είναι εξαιρετικά ευαίσθητα στην αυξημένη ένταση φωτός, έχουν καχεκτική ανάπτυξη, ανεπαρκώς αναπτυγμένο ριζικό σύστημα, μειωμένο μέγεθος και αριθμό φύλλων, όπως και χαμηλή ανεκτικότητα σε ασθένειες και δυσμενείς καιρικές συνθήκες (Cakmak, 2005; N. K. Fageria, 2015). Η ανεπάρκεια σε  $K$  επηρεάζει δυσμενώς την λειτουργία των στοματίων, προκαλώντας το καθυστερημένο ή ημιτελές κλείσιμο τους (Hasanuzzaman et al., 2018). Αυτή η επίδραση, η μείωση του αριθμού και του μεγέθους φύλλων, και η μείωση της δράσης του ενζύμου RuBisCO (ριβουλόζη-1,5-διφωσφορική καρβοξυλάση/οξυγενάση), έχουν ως αποτέλεσμα τη μείωση του ρυθμού φωτοσύνθεσης (Hasanuzzaman et al., 2018; Marschner, 2011; G. K. Pandey & Mahiwal, 2020). Περαιτέρω, η εμπόδιση της δημιουργίας βαθμίδων πρωτονίων, η αναστολή της δραστηριότητας φωτοσυνθετικών ενζύμων, η αναστολή της μεταφοράς σακχάρων μέσω του ηθμού, όπως και η μείωση της χλωροφύλλης, επιδρούν στον ρυθμό φωτοσύνθεσης (Amtmann & Rubio, 2012; Marschner, 2011). Οι ρίζες μπορούν να αντιληφθούν τις μεταβολές στην διάθεση  $K^+$ , και η τροφοπενία του οδηγεί σε μια σειρά γεγονότων αντιμετώπισης αυτής της κατάστασης, που περιλαμβάνει ορισμένα μέρη σηματοδότησης (π.χ. microRNA, Reactive Oxygen Species, σηματοδότηση  $Ca^{2+}$  κ.λπ.) ενώ με παρατεταμένη έλλειψη του οδηγεί σε κυτταρικό θάνατο (Hasanuzzaman et al., 2018).

Αντίθετα, σε πολύ ψηλές συγκεντρώσεις  $K^+$  παρατηρείται ανισορροπία με άλλα θρεπτικά στοιχεία, και ιδιαίτερα με το  $Ca^{2+}$  και το  $Mg^{2+}$  (N. K. Fageria, 2015), όπως και αλατούχος καταπόνηση (Sonneveld & Voogt, 2009a). Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, το  $K$  έχει σημαντικό ρόλο στο σύστημα μεταφοράς του ηθμού και του ξύλου. Κατ' ακολουθίαν, όταν η παροχή του  $K$  στα φυτά δεν είναι σε βέλτιστο επίπεδο, αποτρέπεται η μετατόπιση ανόργανων ενώσεων όπως νιτρικών ( $NO_3^-$ ), φωσφορικών ( $PO_4^{3-}$ ), μαγνησίου ( $Mg^{2+}$ ), ασβεστίου ( $Ca^{2+}$ ), ορμονών, και ενζύμων των φυτών (Hasanuzzaman et al., 2018). Επιπλέον, η πρόσληψη  $NO_3^-$  επηρεάζεται λόγω της επίδρασης που έχει το  $K$  στη μετατόπιση φωτοσυνθετικών προϊόντων, που δρουν κατά την διαδικασία ενεργού μεταφοράς του  $NO_3^-$  (V. D. Fageria, 2001). Το  $K^+$  σε υψηλές συγκεντρώσεις, μειώνει την πρόσληψη του  $Mg^{2+}$  (σε μεγαλύτερο βαθμό) και του  $Ca^{2+}$  (σε μικρότερο βαθμό). Αυτές οι ανταγωνιστικές επιδράσεις οφείλονται στις φυσιολογικές ιδιότητες των ιόντων αυτών, και εξαρτώνται από το φυτικό είδος και από



τις περιβαλλοντικές συνθήκες (N. K. Fageria, 2009; V. D. Fageria, 2001; Ranade-Malvi, 2011). Ακόμα, το  $K^+$  ανταγωνίζεται με το  $Na^+$  για κύριες θέσεις δέσμευσης, κατά τη διάρκεια βασικών μεταβολικών διεργασιών στο κυτταρόπλασμα, διαταράσσοντας το μεταβολισμό των φυτών. Έτσι, διατηρώντας το K πάνω από ένα επίπεδο μπορεί να μειώσει τη συγκέντρωση  $Na^+$  στα φυτικά κύτταρα, και να αυξήσει την αναλογία  $K^+/Na^+$ , επιδρώντας θετικά κατά το στρες αλατότητας (Hasanuzzaman et al., 2018; Y. Wang & Wu, 2013). Τέλος, το K έχει συνεργιστικές σχέσεις με το Fe και το Mn, ενώ οι συγκεντρώσεις B, Zn και Cu έχουν έμμεσες επιδράσεις στο K (Ranade-Malvi, 2011).

Στις καλλιέργειες εκτός εδάφους, ποικίλουν τα επιθυμητά επίπεδα K στο θρεπτικό διάλυμα (Levine & Mattson, 2021), γενικά όμως επιδιώκεται η συγκέντρωση στα 3 – 11 mmol L<sup>-1</sup>, αναλόγως του φυτού, σταδίου ανάπτυξης, κ.λπ. (Σάββας, 2011). Η παροχή του στο θρεπτικό διάλυμα γίνεται με μορφή νιτρικού καλίου, φωσφορικού μονοκαλίου και θειικού καλίου (Sonneveld & Voogt, 2009a).

## Ασβέστιο

Το ασβέστιο (Ca) είναι ένα απαραίτητο θρεπτικό στοιχείο, που δρα ως δομικό ή ρυθμιστικό συστατικό μακρομορίων, λόγω της ικανότητας συντονισμού, παρέχοντας σταθερούς (αλλά αναστρέψιμους) μοριακούς δεσμούς (Marschner, 2011). Το Ca απορροφάται από τα φυτά ως δισθενές κατιόν ( $Ca^{2+}$ ) (Baset Mia, 2015) με παθητική διαδικασία, και μεταφέρεται με ανοδική κίνηση μέσω του ξύλου, ενώ η καθοδική κίνηση μέσω του ηθμού είναι περιορισμένη (White, 2015). Η συγκέντρωση του  $Ca^{2+}$  στους φυτικούς ιστούς είναι 1 – 50 mg g<sup>-1</sup> ξηρού βάρους, και εξαρτάται από τις συνθήκες ανάπτυξης, το είδος φυτού και το μέρος δείγματος (White, 2015), και μπορεί να παρέχεται σε υψηλές συγκεντρώσεις, έως και 10% του ξηρού βάρους σε ώριμα φύλλα, χωρίς να προκαλεί φαινόμενα τοξικότητας ή αναστολής της ανάπτυξης (Hawkesford et al., 2012). Οι ανάγκες των φυτών σε Ca σχετίζονται τόσο με τη φυλογενετική κληρονομικότητα, όσο και με την οικολογική προσαρμογή τους, και καθορίζεται από την απαίτηση των φυτών, από την μεταφορά  $Ca^{2+}$  στη ριζόσφαιρα, από τις συγκεντρώσεις άλλων κατιόντων (που ανταγωνίζονται με το  $Ca^{2+}$ ), και τους ρυθμούς πρόσληψης και μεταφοράς του εντός των φυτών (White, 2015).

Το Ca έχει θεμελιώδη ρόλο στην δομή των κυτταρικών τοιχωμάτων (White & Broadley, 2003), στη σταθερότητα των κυτταρικών μεμβρανών, στη ακεραιότητα των

κυττάρων (Hawkesford et al., 2012), στο συντονισμό κυτταρικών αποκρίσεων σε περιβαλλοντικά ερεθίσματα, όπως και στη διατήρηση της ισορροπίας μεταξύ κατιόντων και ανιόντων, και στη ωσμορύθμιση κάτω από ορισμένες περιβαλλοντικές συνθήκες (White, 2015). Αξιοσημείωτη είναι η δράση του Ca ως δευτερογενούς αγγελιοφόρος, κάτω υπό διάφορες περιβαλλοντικές και αναπτυξιακές μεταβολές, όπως και διάφορες συνθήκες καταπόνησης (Kader & Lindberg, 2010). Η σηματοδότηση περιλαμβάνει μεταβολές στην ένταση φωτός, διάρκεια ημέρας, ακραίες θερμοκρασίες, ξηρασία, ωσμωτική καταπόνηση, αλατότητα, οξειδωτική καταπόνηση, παθογόνα και άλλα, τα οποία ενεργοποιούν κανάλια  $Ca^{2+}$  στις κυτταρικές μεμβράνες τα οποία καταλύουν μια ραγδαία εισροή  $Ca^{2+}$  στο κυτταρόπλασμα (Hawkesford et al., 2012).

Η τροφοπενία  $Ca^{2+}$  κυρίως προέρχεται από την μειωμένη μετατόπιση επαρκών συγκεντρώσεων  $Ca^{2+}$  σε σημεία του φυτού που το απαιτούν, και καθώς δεν είναι πολύ ευκίνητο, τα συμπτώματα ανεπάρκειας του εμφανίζονται πρώτα στα νεότερα φύλλα (Kathalia & Bhatla, 2018a; Olle & Bender, 2009). Αυτά τα συμπτώματα συνήθως απαντώνται από τους ρόλους του  $Ca^{2+}$  στη σηματοδότησή λόγω περιβαλλοντικών μεταβολών, στη δομή των κυτταρικών τοιχωμάτων και στη διατήρηση της ακεραιότητας των κυττάρων (White, 2015). Συνήθως παρατηρείται μειωμένη και καθυστερημένη ανάπτυξη, και καθυστερημένη άνθηση και ωρίμανση (N. K. Fageria et al., 2011; Kathalia & Bhatla, 2018a). Το κυριότερο αναπτυξιακό πρόβλημα παρατηρείται στις ρίζες, ενώ παρατηρούνται και αυξημένα προβλήματα από μυκητολογικές και βακτηριολογικές μολύνσεις (N. K. Fageria et al., 2011). Επιπλέον, συσχετιστεί η ανεπάρκεια  $Ca^{2+}$  και της εμφάνισης του συμπτώματος “tipburn” στους νεαρούς ιστούς, λόγω της ραγδαίας ανάπτυξης και της αυξημένης ανάγκης σε ασβεστίου από τα φύλλα (Jenni et al., 2013; Sago, 2016).

Στα θρεπτικά διαλύματα καλλιεργειών εκτός εδάφους, η συγκέντρωση του  $Ca^{2+}$  είναι στα 2 – 6 mmol L<sup>-1</sup>, με την προσθήκη νιτρικού ασβεστίου, συνυπολογίζοντας τις συγκεντρώσεις  $Ca^{2+}$  που βρίσκονται στο αρδευτικό νερό, το pH του θρεπτικού διαλύματος, όπως και την προσθήκη P σε αυτό (Σάββας, 2011). Αναλόγως του φυτικού είδους, φυτά καλλιεργούμενα σε θρεπτικό διάλυμα, παρουσιάζουν μέγιστο ρυθμό ανάπτυξης ακόμη με πολύ χαμηλό  $Ca^{2+}$  (0.0025 – 0.1 mmol L<sup>-1</sup>), αν και η αύξηση της συγκέντρωσης άλλων κατιόντων, ή η μεταβολή του pH, απαιτούν αύξηση της συγκέντρωσης  $Ca^{2+}$  (White, 2015). Συνεπώς, η διαθεσιμότητα Ca σχετίζεται με την συγκέντρωση άλλων κατιόντων, και συγκεκριμένα ανταγωνίζεται με  $K^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $NH_4^+$ ,

$\text{Fe}^{3+}$ , και  $\text{Al}^{3+}$  (Baset Mia, 2015). Ειδικότερα, έχει αποδειχθεί η ύπαρξη της CIPK23 (Calcineurin B – like interacting protein kinase), η οποία δρα ως κεντρικός “ρυθμιστής” στην αντίληψη και πρόσληψη θρεπτικών στοιχείων από τα φυτά, λειτουργώντας κατά την ομοιοστάση  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{NO}_3^-$   $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ , (Kudla et al., 2018). Έτσι την παρασκευή θρεπτικών διαλυμάτων, είναι σημαντική η κατάλληλη αναλογία  $\text{K}:\text{Ca}:\text{Mg}$ , για την διασφάλιση της απορρόφησης τους από τα φυτά (N. K. Fageria, 2009). Τέλος, υψηλότερα επίπεδα  $\text{Ca}^{2+}$  μπορούν να αναστείλουν την πρόσληψη και την αφομοίωση του  $\text{BO}_3^-$  (Baset Mia, 2015).

## Μαγνήσιο

Το μαγνήσιο (Mg) είναι το δεύτερο πιο άφθονο κατιόν στα κύτταρα (μετά το K), και απορροφάται από τις ρίζες ως ιόν  $\text{Mg}^{2+}$ . Ο ρυθμός πρόσληψης του είναι χαμηλότερος από άλλα κατιόντα όπως το  $\text{K}^+$  και καταστέλλεται από το επίπεδο pH άλλα κατιόντα ( $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ) (Baset Mia, 2015; Marschner, 2011). Η συγκέντρωση του Mg στα φυτά είναι περίπου 15 – 25 mM, (Kleczkowski & Igamberdiev, 2021), και στα φύλλα το 75% του Mg συνδέεται με την πρωτεϊνοσύνθεση λόγω της σημαντικότητας τους στη ριβοσωμική λειτουργία, το 15 – 20% συνδέεται με τη χλωροφύλλη, ενώ το υπόλοιπο βρίσκεται στο χυμοτόπιο (Karley & White, 2009).

Το Mg παίζει σημαντικό ρόλο σε πολλές βιοχημικές και φυσιολογικές διεργασίες των φυτών (Kobayashi & Tanoi, 2015; Verbruggen & Hermans, 2013). Κομβικής σημασίας είναι η δράση του  $\text{Mg}^{2+}$  στην ενεργοποίηση πολλαπλών ενζύμων (όπως RNA πολυμεράσες, ATPάσες, πρωτεϊνικές κινάσες, φωσφατάσες και καρβοξυλάσες), και έτσι έχει σημασία στη φωτοσύνθεση, αναπνοή και τη σύνθεση DNA/RNA, και στο σχηματισμό μορίων χλωροφύλλης, επηρεάζοντας κατ’ επέκταση τη φωτοσύνθεση (Bose et al., 2011; N. K. Fageria & Moreira, 2011; Gao et al., 2018; Grzebisz, 2015). Ακόμα, το Mg λειτουργεί επίσης ως “γέφυρα” στη συσσώρευση ριβοσωμικών υπομονάδων κατά την πρωτεϊνοσύνθεση (Hawkesford et al., 2012). Εμπλέκεται επίσης και στη ρύθμιση της μεταφοράς ιόντων, και στη ισορροπία κατιόντων στα φυτά (Bose et al., 2011).

Η απαίτηση σε Mg για βέλτιστή ανάπτυξη είναι 1.5 – 3.5 g  $\text{kg}^{-1}$  (Marschner, 2011). Στα θρεπτικά διαλύματα, το  $\text{Mg}^{2+}$  χορηγείται κυρίως ως επταϋδρικό θειικό μαγνήσιο και νιτρικό μαγνήσιο, σε συγκέντρωση 0.7 – 3 mmol  $\text{L}^{-1}$  αναλόγως του φυτού (Σάββας, 2011), ενώ η απαίτηση τους σε  $\text{Mg}^{2+}$  από τα φυτά δεν είναι σταθερή κατά την

ανάπτυξη τους (Grzebisz, 2015). Στις καλλιέργειες εκτός εδάφους, περίπου το 12 – 13% της χορηγούμενης ποσότητας  $Mg^{2+}$  χάνεται, καθώς το pH του θρεπτικού διαλύματος είναι 5 – 7 (Σάββας, 2011). Η συγκέντρωση του Mg μπορεί να επηρεάσει σημαντικά την πρόσληψη K και Ca από τα φυτά (Fageria, 2001), αφού δρα ανταγωνιστικά και κατ' επέκταση επιρεάζει αρνητικά τις λειτουργίες των φυτών (Grzebisz, 2015).

## Άζωτο

Το άζωτο (N) είναι το πιο απαραίτητο, και το πιο συχνά περιοριστικό θρεπτικό στοιχείο για τα φυτά, ενώ συνδέεται με την ανάπτυξη και την απόδοση τους (Tsouvaltzis et al., 2020; Wiedenhoeft, 2006). Το N ενσωματώνεται σε αμινοξέα μέσω της αφομοίωσης του από ένζυμα νιτρικής ρεδουκτάσης, αποτελώντας έτσι συστατικό όλων των πρωτεϊνών (Tsouvaltzis et al., 2020; Σάββας, 2011). Το άζωτο αποτελεί επίσης συστατικό των ενζύμων, της χλωροφύλλης, νουκλεϊκών οξέων, κυτταρικών τοιχωμάτων και άλλων κυτταρικών στοιχείων (Fageria & Moreira, 2011). Έχει ακόμα παρατηρηθεί η επίδραση του αζώτου στα ποιοτικά χαρακτηριστικά αρκετών λαχανοκομικών ειδών όπως την πιπεριά (*Capsicum annuum* L.), και κρεμμύδι (*Allium cepa* L.) (Randle, 2000).

Τα περισσότερα φυτά χρησιμοποιούν οποιαδήποτε μορφή ανόργανου αζώτου. Τα φυτά απορροφούν άζωτο σε νιτρική ( $NO_3^-$ ) και αμμωνιακή ( $NH_4^+$ ) μορφή (N. K. Fageria et al., 2011; Raviv et al., 2019), και έτσι αυτές οι μορφές περιλαμβάνονται στα θρεπτικά διαλύματα καλλιέργειών εκτός εδάφους (Σάββας, 2011). Η ουρία, η οποία χρησιμοποιείται ευρέως σε καλλιέργειες εδάφους, έχει περιορισμένη χρήση στις καλλιέργειες εκτός εδάφους, αφού απαιτείται υδρόλυση (για πρόσληψη  $NH_4^+$  από τα φυτά), η οποία εξαρτάται από τον χρόνο (Raviv et al., 2019). Η πρόσληψη του  $NO_3^-$  και  $NH_4^+$  επηρεάζεται από το γονότυπο, τη φυσιολογία και ανάπτυξη των φυτών, όπως και το περιεχόμενο σε νερό και το pH (Borgognone et al., 2013). Είναι γνωστό ότι η μορφή του αζώτου ελέγχει σημαντικά την ρυθμό πρόσληψης ανιόντων και κατιόντων, επηρεάζοντας έτσι την παραγωγή ξηρής ουσίας, την ριζόσφαιρα και το αποπλαστικό pH (Assimakoroulou, 2006). Στις καλλιέργειες εκτός εδάφους, η υψηλή συγκέντρωση  $NH_4^+$  μπορεί να οδηγήσει στην εμφάνιση τοξικότητας  $NH_3$ . Έτσι η χορήγηση της πρέπει να είναι σε επίπεδα μέχρι 1 – 1.5 mmol L<sup>-1</sup>, αφού σε μικρές συγκεντρώσεις παρουσιάζεται καλύτερη ανάπτυξη και υψηλότερη παραγωγή, μέσω της ρύθμισης του

pH στο περιβάλλον των ριζών. Κατ' ακολουθίαν, τα νιτρικά καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο ποσοστό, με συνιστώμενες συγκεντρώσεις 8 – 18 mmol L<sup>-1</sup> (Σάββας, 2011).

Η επαρκής παροχή αζώτου είναι απαραίτητη για βέλτιστη ανάπτυξη και παραγωγή, ωστόσο, όταν το άζωτο στο θρεπτικό διάλυμα υπερβαίνει τις απαιτήσεις των φυτών, προκαλείται συσσώρευση νιτρικών (Khan et al., 2018), τα οποία σε υψηλές ποσότητες μπορούν να προκαλέσουν σοβαρά προβλήματα στην υγεία του ανθρώπου (Pôrto et al., 2008; Santamaria, 2006). Αυτό το φαινόμενο εμφανίζεται συχνά στα φυλλώδη λαχανικά, αφού τείνουν να συσσωρεύουν υπερβολικές συγκεντρώσεις νιτρικών στους ιστούς τους (Tsouvaltzis et al., 2020). Η συγκέντρωση νιτρικών επηρεάζεται από το γενετικό υλικό (είδος και γονότυπος), τη φυσιολογική ηλικία των φυτών, της καλλιεργητικές πρακτικές (αζωτούχος λίπανση), τις περιβαλλοντικές συνθήκες κατά την καλλιέργεια (π.χ. ένταση και ποιότητα φωτός, θερμοκρασία αέρα, συγκέντρωση CO<sub>2</sub> κλπ.), το στάδιο συγκομιδής, ενώ ποικίλει σε διάφορα μέρη του φυτού, με τη υψηλότερη συσσώρευση να γίνεται στα φύλλα και στα στελέχη, και μετά στα φύλλα όπως και με τη φυσιολογική ηλικία του (Colla et al., 2018; Umar & Iqbal, 2007). Ωστόσο, οι βασικότεροι παράγοντες συσσώρευσης νιτρικών στα φυλλώδη λαχανικά είναι ο γονότυπος, η παροχή N, και ένταση φωτός (Kyriacou et al., 2019). Εκτός της υπέρμετρης αζωτούχου λίπανσης, η συγκέντρωση των νιτρικών στα φύλλα αυξάνεται σημαντικά όταν τα φυτά δέχονται χαμηλότερη ένταση φωτός, προκαλώντας ανισορροπία μεταξύ της πρόσληψης και μείωσης των νιτρικών (Khan et al., 2018). Για την αντιμετώπιση της υψηλής συσσώρευσης νιτρικών, έχουν προταθεί ορισμένες πρακτικές, όπως ο σύντομος περιορισμός των νιτρικών χρησιμοποιώντας διαλύματα χωρίς νιτρικά άλατα, ή η μείωση της διαθεσιμότητας N κατά το 1/4, 5 ημέρες πριν την συγκομιδή (Tomasi et al., 2015). Παρόλα αυτά, τα αποτελέσματα αυτών των πρακτικών δύναται να είναι επιζήμια, όχι μόνο για την ποιότητα της παραγωγής, αλλά και για την εμφάνιση της (Manzocco et al., 2011).

**Πίνακας 3** Μέγιστα όρια νιτρικών ( $\text{mg kg}^{-1}$  fw) στα φυτά μαρουλιού, ρόκας, και σπανακιού, σύμφωνα με τον χρόνο συγκομιδής και τον τύπο καλλιέργειας τους (European Commission, 2011)

Είδος	Συγκομιδή/Καλλιέργεια	Μέγιστο όριο $\text{NO}_3$ ( $\text{mg kg}^{-1}$ fw)	
<b>Μαρούλι (<i>L. sativa</i> L) εκτός Iceberg</b>	01/10 – 31/03	Υπό κάλυψη	5000
		Υπαίθρια	4000
	01/04 – 30/09	Υπό κάλυψη	4000
		Υπαίθρια	3000
<b>Μαρούλι Iceberg</b>	Υπό κάλυψη	2500	
	Υπαίθρια	2000	
<b>Ρόκα (<i>Eruca sativa</i>, <i>Diplotaxis sp.</i>, <i>Brassica tenuifolia</i>, <i>Sisymbrium tenuifolium</i>)</b>	01/10 – 31/03	7000	
	01/04 – 30/09	6000	
<b>Σπανάκι (<i>Spinacia oleracea</i> L.)</b>	-	3500	

Αυτά καθαυτά, τα νιτρικά είναι σχετικά μη τοξικά, αλλά το 5% περίπου των προσλαμβανόμενων από τον άνθρωπο νιτρικών μετατρέπεται σε νιτρώδη, στο σάλιο και στο γαστρεντερικό σωλήνα. Η πιο γνωστή επίδραση των νιτρώδων είναι η αντίδραση τους με τη αιμοσφαιρίνη, με αποτέλεσμα την δημιουργία μεθαιμοσφαιρίνης και νιτρικών, η οποία σε υψηλά επίπεδα (10% πάνω του κανονικού) προκαλεί μεθαιμοσφαιριναιμία (Santamaria, 2006). Περαιτέρω, τα νιτρώδη αντιδρούν με αμίνες και αμίδια στον ανθρώπινο οργανισμό, σχηματίζοντας νιτροζαμίνες και νιτροσαμίδες, οι οποίες έχουν καρκινογόνο δράση (Chatzigianni et al., 2017; Colla et al., 2018). Έτσι ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας έθεσε το μέγιστο όριο κατανάλωσης στα  $3.7 \text{ mg kg}^{-1}$  (Umar & Iqbal, 2007). Επιπλέον, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή όρισε τα μέγιστα όρια νιτρικών (Πίνακας 3), με τον κανονισμό 1881/2006, που αργότερα τροποποιήθηκε από τον κανονισμό 1258/2011, (European Commission, 2011; Santamaria, 2006), και ισχύει για το σπανάκι, μαρούλι, ρόκα, επεξεργασμένα τρόφιμα δημητριακών και παιδικές τροφές (Karwowska & Kononiuk, 2020).

### Φώσφορος

Ο φώσφορος (P) έχει καθοριστικό ρόλο στην ανάπτυξη και γονιμότητα των φυτών, χωρίς κάποιο υποκατάστατο για τις λειτουργίες του, ενώ αποτελεί αναπόσπαστο μέρος γενετικών, μεταβολικών, δομικών και ρυθμιστικών μορίων

(Barker & Pilbeam, 2016; White & Hammond, 2008). Συναντάται ως συστατικό φωσφολιπιδίων, νουκλεϊκών οξέων, φωσφορυλιωμένων υδατανθράκων, φυτικών αλάτων, πολλών συνενζύμων και προσθετικών ομάδων, όπως τη τριφωσφορική αδενοσίνη (ATP) (Σάββας, 2011). Ο ίσως σημαντικότερος ρόλος του P είναι ως μέρος των φωσφορικών αδενοσίνων (ATP, ADP), που συμμετέχουν κατά τη φωτοσύνθεση, μετατρέποντας την φωτεινή ενέργεια σε χημική, μετέχοντας έτσι σε όλες τις αντιδράσεις που απαιτούν ενέργεια (Barker & Pilbeam, 2016). Ακόμα μετέχει κατά τη βιοσύνθεση νουκλεϊκών οξέων (ως GTP), σε αντιδράσεις βιοσύνθεσης (ως NADPH), και ως μόρια σηματοδότησης (GTP και cAMP) (Summerhays et al., 2017; White & Hammond, 2008). Επιπλέον, ο P χρησιμοποιείται κατά την τροποποίηση της δραστηριότητας διαφόρων ενζύμων μέσω της φωσφορυλίωσης, όπως και κατά την σηματοδότηση κυττάρων, ενώ οι φωσφορικοί εστέρες αποτελούν δομικά υλικά του DNA και RNA (Summerhays et al., 2017).

Το μεγαλύτερο μέρος P που προσλαμβάνεται από τα φυτά βρίσκεται σε μορφή  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  και  $\text{HPO}_4^{2-}$  (Dysko et al., 2008). Στα θρεπτικά διαλύματα το P προστίθεται κυρίως ως φωσφορικό μονοκάλιο και φωσφορικό οξύ, ενώ οι συγκεντρώσεις του δεν πρέπει να ξεπερνούν τα 1 – 1.5 mmol L<sup>-1</sup> αφού μπορεί να προκληθεί τοξικότητα P (Σάββας, 2011). Επιπλέον, η συγκέντρωση P στο θρεπτικό διάλυμα μπορεί να επηρεάσει την απορρόφηση άλλων θρεπτικών στοιχείων, επιδρώντας σημαντικά στην θρέψη, και κατά συνέπεια στην ανάπτυξη των φυτών (Fernandes & Soratto, 2012). Το P επιδρά θετικά με την απορρόφηση αζώτου, ενώ ο περιορισμός P μειώνει το ρυθμό πρόσληψης N (Kaiser & Lambers, 2003). Ακόμα, η αύξηση του P στο θρεπτικό διάλυμα μπορεί να περιορίσει τη διαθεσιμότητα του ψευδαργύρου προκαλώντας τροφopenία Zn, ενώ η σχέση του με τον σίδηρο μπορεί να προκαλέσει τροφopenία Fe (Fageria, 2001; Fernandes & Soratto, 2012; Σάββας, 2011).

## Θείο

Το θείο (S) έχει σημαντικό ρόλο σε αρκετές διαδικασίες κατά την ανάπτυξη των φυτών, συμπεριλαμβανομένων των καταλυτικών, ρυθμιστικών και δομικών λειτουργιών (Capaldi et al., 2015; Fageria, 2016). Το S συμμετέχει σε θεμελιώδεις διεργασίες, όπως τη δομή, τη μεταφορά ηλεκτρονίων και την ενεργοποίηση ενζύμων (Barker & Pilbeam, 2016; Kurmanbayeva et al., 2017). Είναι συστατικόθειούχων αμινοξέων, και κατ' επέκταση, βρίσκεται σε όλες τις πρωτεΐνες (Hawkesford et al.,



2012). Επιπλέον, είναι συστατικό της φερρεδοξίνης, και ως εκ τούτου εμπλέκεται στη φωτοσύνθεση, στη σταθεροποίηση N<sub>2</sub> και στη μείωση νιτρικών. Έχει σημαντικό ρόλο στην παραγωγή χλωροφύλλης, και στη σύνθεση συνενζύμων και προσθετικών ομάδων (θειαμίνη, βιοτίνη, γλουτοθειόνη κλπ.) (Barker & Pilbeam, 2016; Σάββας, 2011). Αν και το ατμοσφαιρικό SO<sub>2</sub> προσλαμβάνεται και αξιοποιείται από το υπέργειο μέρος των φυτών, το μεγαλύτερο μέρος S προσλαμβάνεται από τη ρίζα σε μορφή θεικού ιόντος (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), μέσω μίας ενεργειακά εξαρτώμενης διαδικασίας, διαμεσολαβούμενης από συγκεκριμένους μεταφορείς SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, ενώ δεν παρεμποδίζεται από άλλα μακροίοντα (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>) (Davidian & Kopriva, 2010; Marschner, 2011; Σάββας, 2011).

Οι απαιτήσεις των φυτών σε S αντιστοιχεί σε περίπου 0,1 – 0,5% του ξηρού βάρους των φυτών (Hawkesford et al., 2012). Στα θρεπτικά διαλύματα καλλιέργειών εκτός εδάφους, οι συγκεντρώσεις S είναι στα 1 – 2,5 mmol L<sup>-1</sup>, ενώ πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι συγκεντρώσεις SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> στο αρδευτικό νερό (Σάββας, 2011). Η αλληλεπίδραση του S με το N είναι αρκετά συχνή, λόγω της αυξημένης ανάπτυξης των φυτών κατά την αύξηση της συγκέντρωσης του N και της επακόλουθης αραίωσης του S. Έτσι, οι απαιτήσεις σε S από τα φυτά ενισχύονται με την αύξηση του N στο μέσο ανάπτυξης (Fageria, 2016). Επιπλέον, το S έχει συγκεκριμένες αλληλεπιδράσεις με το P, Se και άλλα στοιχεία (Barker & Pilbeam, 2016).

### Ιχνοστοιχεία

Η ονομασία “ιχνοστοιχεία” υποδεικνύει ότι οι συγκεντρώσεις τους στους φυτικούς ιστούς, και αντίστοιχα στα θρεπτικά διαλύματα, είναι πολύ χαμηλότερες από εκείνες των μικροστοιχείων (συνήθως κάτω από 100 mg kg<sup>-1</sup>/ξηρό βάρος), και γι’ αυτό το λόγο εκφράζονται σε μmol L<sup>-1</sup>, αντί σε mmol L<sup>-1</sup> (Fageria & Moreira, 2011; Vatansever et al., 2017; Σάββας, 2011). Τα ιχνοστοιχεία είναι σημαντικά σε αρκετές μεταβολικές και κυτταρικές διεργασίες, κατά το πρωτογενή, δευτερογενή και ενεργειακό μεταβολισμό, στην άμυνα κυττάρων, στη μεταφορά σημάτων, στην αντίληψη ορμονών, στη ρύθμιση γονιδίων κ.λπ. (Hänsch & Mendel, 2009; Vatansever et al., 2017). Μεγάλης σημασίας είναι ο ρόλος τους ως συστατικά ή ενεργοποιητές πολλών ενζύμων, επηρεάζοντας έτσι σημαντικές αντιδράσεις. Το Fe, Mn, Cu, Zn και Mo αποτελούν συστατικά οξειδοοξειδοοξειδωτικών, επηρεάζοντας αντιδράσεις όπως τη πρόσληψη ιόντων, φωτοσύνθεση, αναπνοή και άμυνα καταπονήσεων (C. P. Sharma, 2006). Συνήθως, τα ιχνοστοιχεία αποτελούν συστατικά προσθετικών ομάδων που



καταλύουν διεργασίες οξειδοαναγωγής με μεταφορά ηλεκτρονίων, συμμετέχοντας σε αλυσίδες μεταφοράς ηλεκτρονίων στα μιτοχόνδρια και στους χλωροπλάστες (Fageria & Moreira, 2011; Sharma, 2006). Ορισμένα στοιχεία, εκτός του καταλυτικού ρόλου τους, έχουν και δομικό ρόλο στη σταθεροποίηση πρωτεϊνών (όπως το Zn) (Hänsch & Mendel, 2009). Περαιτέρω, η δράση η απόκριση των ιχνοστοιχείων σε διάφορες βιοτικές και αβιοτικές καταπονήσεις (υψηλή αλατότητα, ξηρασία, έντομα, ασθένειες κλπ.) έχει τεκμηριωθεί εκτεταμένα (Mahler, 2004; Tripathi et al., 2015).

Στα θρεπτικά διαλύματα, τα ιχνοστοιχεία που προστίθενται, λόγω του χαμηλού τους ποσοστού σε σύγκριση με τα μακροστοιχεία, δεν επηρεάζουν την EC (Libia & Fernando, 2012). Στον πίνακα γίνεται αναφορά στα επίπεδα ιχνοστοιχείων στα φυτά, όπως και στις συνιστώμενες συγκεντρώσεις που τοποθετούνται στα θρεπτικά διαλύματα. Το Fe προστίθεται στο θρεπτικό διάλυμα σε χηλική μορφή, για διασφάλιση ικανοποιητικής παροχής στα φυτά. Ακόμα, το B προστίθεται σε μορφή βορικού οξέος ( $H_3BO_3$ ), σε μορφή βόρακα ( $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$ ), ο οποίος όμως χαρακτηρίζεται από χαμηλότερη διαλυτότητα σε σύγκριση με το βορικό οξύ και από μικρότερη περιεκτικότητα σε καθαρό βόριο, ή σε μορφή οκταβορικού νατρίου ( $Na_2B_8O_{13} \cdot 4H_2O$ ), το οποίο χαρακτηρίζεται από μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε καθαρό B, σε σύγκριση με τα προηγούμενα. Το Mo προστίθεται σε μορφή επταμολυβδαινικού αμμωνίου, ή σε μορφή μολυβδαινικού νατρίου, το οποίο έχει τη χαμηλότερη περιεκτικότητα σε Mo. Τέλος, τα ιχνοστοιχεία Mn, Zn και Cu προστίθενται με τις θεικές μορφές τους (Maucieri et al., 2019; Sonneveld & Voogt, 2009b; Σάββας, 2011). Το επίπεδο pH επηρεάζει την πρόσληψη των ιχνοστοιχείων, σε μεγαλύτερο βαθμό από τις εφαρμοζόμενες συγκεντρώσεις τους. Για παράδειγμα, η διαθεσιμότητα και η πρόσληψη του Mn έχει λογαριθμική σχέση με το pH στη ριζόσφαιρα. Η καλύτερη ισορροπία για την πρόσληψη ιχνοστοιχείου γίνεται σε τιμές pH 5 – 6 (Sonneveld & Voogt, 2009b).

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οι ανάγκες των φυτών σε Cl καλύπτονται κυρίως από την περιεκτικότητα  $Cl^-$  στο νερό άρδευσης, ή από προσμίξεις λιπασμάτων. Έτσι, η συνιστώμενη συγκέντρωση για θρεπτικά διαλύματα που περιλαμβάνεται στον πίνακα ( $8 - 10 \text{ mmol L}^{-1}$ ) προστίθεται μόνο για είδη ανεκτικά στην αλατότητα (π.χ.

τομάτα), μόνο σε ανοικτά συστήματα και όταν το νερό άρδευσης είναι χαμηλό σε Cl<sup>-</sup>, για βελτίωση της ποιότητας των καρπών (Σάββας, 2011).

**Πίνακας 4** Τα ιχνοστοιχεία, η ιοντική μορφή τους, το επαρκές επίπεδο τους (mg kg<sup>-1</sup> dw), η επίδραση τους και η συγκέντρωσή τους στο θρεπτικό διάλυμα (μmol L<sup>-1</sup>) (N.K. Fageria et al., 2011; Mahler; 2004, Tripathi et al., 2015; Σάββας, 2011)

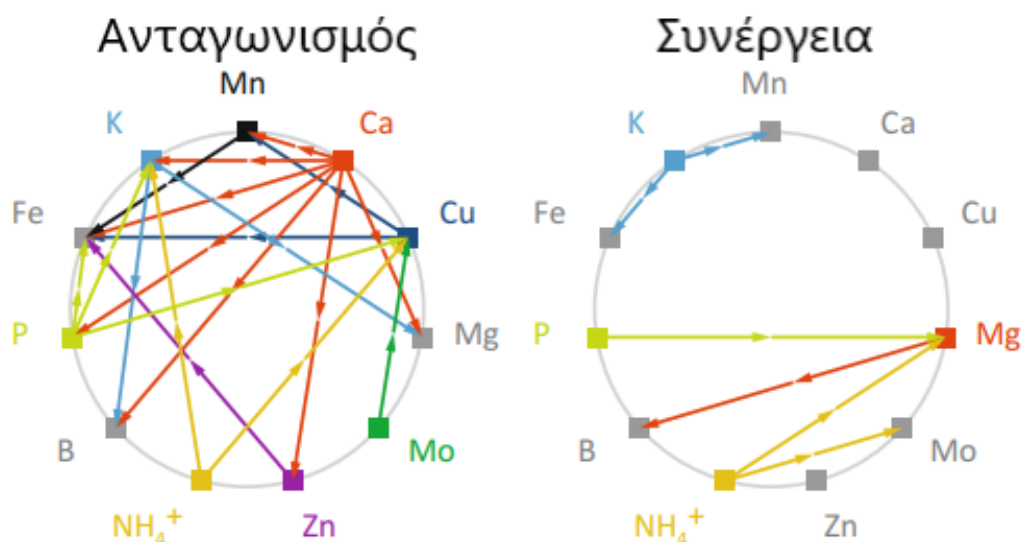
Ιχνοστοιχείο	Ιοντική μορφή	Επαρκές επίπεδο στα φυτά (mg/kg ξηρής ουσίας)	Συγκέντρωση (μmol L <sup>-1</sup> )	
Βόριο (B)	BO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	10 – 80	Άνθηση, ανάπτυξη καρπών και σπόρων	20 - 40
Μαγγάνιο (M)	Mn <sup>2+</sup>	90 – 200	Απαιτείται για φωτοσύνθεση	5 – 10
Ψευδάργυρος (Zn)	Zn <sup>2+</sup>	10 – 120	Πρώιμη ανάπτυξη	3 – 5
Χαλκός (Cu)	Cu <sup>2+</sup>	10 – 25	Ενεργοποίηση ενζύμων και επίδραση στο μεταβολισμό αζώτου	0.5 – 1
Σίδηρος (Fe)	Fe <sup>2+</sup> , Fe <sup>3+</sup>	20 - 1000	Σύνθεση χλωροφύλλης	10 – 40
Μολυβδαίνιο (Mo)	Mo <sup>2-</sup>	0.05 – 10	Αναγωγή νιτρικών σε νιτρώδη	0.5
Χλώριο (Cl)	Cl <sup>-</sup>	80 – 10000	Φωτοσύνθεση και ενεργοποίηση ενζύμων	-

### 1.6.5. Αλληλεπίδραση μεταξύ μακροκατιόντων

Από την δεκαετία του '70, η αύξηση του ενδιαφέροντος στις καλλιέργειες εκτός εδάφους και η εντατικοποίηση των ερευνών στον τομέα, οδήγησε στην σύνθεση θρεπτικών διαλυμάτων για ένα μεγάλο εύρος καλλιεργειών, με σκοπό την παροχή κατάλληλων ποσοτήτων θρεπτικών στοιχείων (Sonneveld & Voogt, 2009b). Για την διασφάλιση επάρκειας θρέψης των φυτών, τα απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία στα θρεπτικά διαλύματα πρέπει να βρίσκονται εντός κατάλληλου εύρους συγκέντρωσης,

όπως και σε μια ορισμένη αναλογία μεταξύ τους (Jones, 2012), με σκοπό την αποφυγή τροφοπενιών και ανταγωνισμού μεταξύ κατιόντων κατά πρόσληψη θρεπτικών στοιχείων από τα φυτά (Maucieri et al., 2019; Sonneveld & Voogt, 2009a). Εξ άλλου, η κατάλληλη διαχείριση της θρέψης των φυτών είναι πολύ σημαντική, λόγω του ρόλου που έχουν τα φρούτα και λαχανικά στη θρέψη του ανθρώπου (Corrado et al., 2021).

Η αλληλεπίδραση μεταξύ θρεπτικών στοιχείων στα φυτά συμβαίνει όταν η παροχή ενός θρεπτικού στοιχείου επηρεάζει την πρόσληψη, μεταφορά και αφομοίωση άλλων θρεπτικών στοιχείων από τα φυτά (V. D. Fageria, 2001; Kumar et al., 2021). Αυτή η αλληλεπίδραση είναι συνηθέστερη όταν ένα θρεπτικό στοιχείο είναι σε περίσσια, ενώ το αποτέλεσμα, ως προς την απόκριση του φυτού, μπορεί να είναι θετικό, αρνητικό, ή ουδέτερο (Barker & Pilbeam, 2016; N. K. Fageria et al., 2011). Οι αλληλεπιδράσεις μπορούν να γίνουν στην επιφάνεια της ρίζας ή εντός του φυτού, και προκύπτουν μεταξύ ιόντων που σχηματίζουν χημικούς δεσμούς, ή μεταξύ ιόντων όπου οι χημικές τους ιδιότητες είναι αρκετά παρόμοιες, και έτσι προκύπτει ανταγωνισμός κατά την απορρόφηση, μεταφορά και δράση τους (V. D. Fageria, 2001). Η γνώση αυτών των αλληλεπιδράσεων είναι πολύ σημαντική για την ισορροπημένη θρέψη των φυτών, και πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά την σύνθεση θρεπτικών διαλυμάτων (Εικόνα 15) (N. K. Fageria & Oliveira, 2014).



Εικόνα 15 Ανταγωνισμός και συνέργεια μεταξύ θρεπτικών στοιχείων (Maucieri et al., 2019)

Στην βιβλιογραφία παρουσιάζεται εκτενώς η ανταγωνιστική επίδραση μεταξύ καλίου και ασβεστίου (N. K. Fageria, 2009; V. D. Fageria, 2001; Marschner, 2011). Έχει παρατηρηθεί ότι η υψηλή συγκέντρωση K προκαλείται περιορισμός της

πρόσληψης Ca, μέσω του ανταγωνισμού τους για μεταβολικά παραγόμενες δεσμευτικές ενώσεις. Φαινομενικά, αυτός ο ανταγωνισμός εκφράζεται κατά την μεταφορά των ιόντων αυτών από την ρίζα στους βλαστούς (V. D. Fageria, 2001). Όπως συζητήθηκε προηγουμένως, η επίδραση του Ca στην πρόσληψη K φαίνεται να σχετίζεται με τη δράση του της CIPK23 (Calcineurin B – like interacting protein kinase), που δρα ως κεντρικός “ρυθμιστής” στην αντίληψη και πρόσληψη θρεπτικών στοιχείων από τα φυτά, λειτουργώντας κατά την ομοίωση K (Kudla et al., 2018). Όπως περιγράφεται από τον (Sonneveld & Voogt, 2009a), η αναλογία K:Ca είναι πολύ σημαντική, καθώς επηρεάζει την ποιότητα της παραγωγής, παίζοντας ρόλο στην πρόσληψη θρεπτικών στοιχείων και στην ανάπτυξη των φυτών (Haghshenas et al., 2018). Για ένα εύρος κηπευτικών, προτάθηκε η αναλογία K/Ca mol/mol 1,0 (Sonneveld & Voogt, 2009b), ενώ τα κρίσιμα όρια διαφέρουν από φυτό σε φυτό (Haghshenas et al., 2018). Υψηλής σημασίας είναι επίσης η ρύθμιση αυτής της αναλογίας, αναλόγως του σταδίου ανάπτυξης, αφού η πρόσληψη αυξάνεται, για παράδειγμα στο αναπαραγωγικό στάδιο της τομάτας, και στο στάδιο σχηματισμού κεφαλής του μαρουλιού. Όσον αφορά το Mg, σε σύγκριση με το K και Ca, είναι το λιγότερο ανταγωνιστικό. Γι’ αυτό τον λόγο, όταν υπάρχουν υψηλές συγκεντρώσεις K ή/και Ca είναι πιθανή η εμφάνιση τροφοπενίας Mg (Jones, 2012). Η πρόσληψη Mg στα φυτά περιορίζεται σε αυξημένη παροχή K<sup>+</sup>, λόγω του ανταγωνισμού τους για δεσμευτικές ενώσεις ή ενεργές θέσεις που βρίσκονται στην πλασματική μεμβράνη. Ο ανταγωνισμός μεταξύ K και Mg εκδηλώνεται επίσης κατά την μεταφορά τους εντός του φυτού (Xie et al., 2021).

## 2. Σκοπός

Πρόσφατες έρευνες έχουν αναδείξει το σταμναγκάθι (*Cichorium spinosum*) ως ένα είδος υψηλής θρεπτικής αξίας, καθώς αποτελεί σημαντική πηγή φυτοχημικών, όπως ασκορβικό οξύ, βιταμίνη Κ1, τοκοφερόλες, όμέγα-3 και όμέγα-6 λιπαρά, και στοιχείων όπως κάλιο, ασβέστιο, σίδηρο, ψευδάργυρο, και μαγγάνιο. Η αναγνώριση του σταμναγκαθίου ως λειτουργικό φυτό έχει ωθήσει στην αύξηση της ζήτησης του από το καταναλωτικό κοινό, ιδιαίτερα στις μεσογειακές χώρες όπου συναντάται. Επιπλέον, η παγκόσμια αναγνώριση της Μεσογειακής διατροφής και η σύνδεση της με τα λαχανεύόμενα είδη, διευκόλυνε την εισαγωγή τους στη διεθνή αγορά.

Η αύξηση της ζήτησης του σταμναγκαθίου, όπως και η υψηλή του αξία στην αγορά ώθησε στη εμπορική του καλλιέργεια, με δυνατότητα περαιτέρω εκμετάλλευσης. Επομένως, είναι σημαντική η διερεύνηση μεθόδων καλλιέργειας που να επιτρέπουν την βελτίωση της απόδοσης της παραγωγής του σταμναγκαθίου. Στο πλαίσιο αυτό, η καλλιέργεια εκτός εδάφους σε υδροπονικό σύστημα επίπλευσης έχει σημειώσει ενθαρρυντικά αποτελέσματα σε αρκετά λαχανεύόμενα είδη, συμπεριλαμβανομένου του σταμναγκαθίου. Στις καλλιέργειες εκτός εδάφους, η σύνθεση του θρεπτικού διαλύματος αποτελεί μια από τις σημαντικότερες παραμέτρους επιτυχίας τους. Ωστόσο, ελάχιστες μελέτες πραγματοποιούνται θέματα θρέψης του *C. spinosum* σε υδροπονικά συστήματα. Η παρούσα μελέτη πραγματοποιήθηκε με σκοπό την διερεύνηση της επίδρασης της συνολικής ιοντικής συγκέντρωσης και της αναλογίας καλίου προς ασβεστίου του θρεπτικού διαλύματος, στην ανάπτυξη και παραγωγή σταμναγκαθίου. Παράλληλα, διερευνήθηκαν οι συγκεντρώσεις θρεπτικών στοιχείων και νιτρικών στους φυτικούς ιστούς του υπέργειου μέρους του φυτού, αφού αποτελούν ισχυρούς καθοριστικούς παράγοντες της διατροφικής ποιότητας και ασφάλειας φυλλωδών λαχανικών.

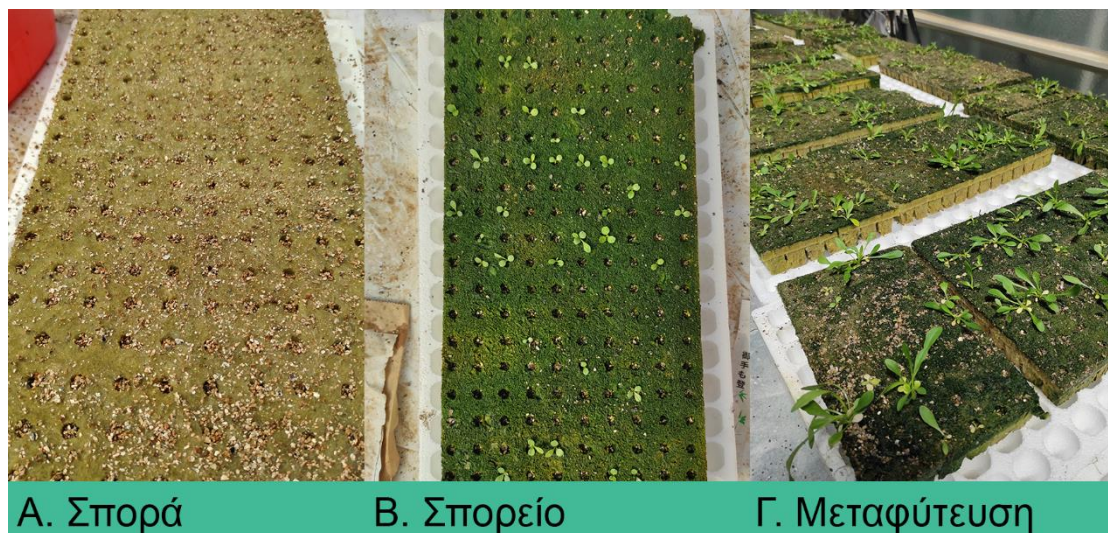
### 3. Υλικά και Μέθοδοι

#### 3.1. Τόπος και Χρόνος Πειράματος

Το πειραματικό μέρος της παρούσας μελέτης πραγματοποιήθηκε στις εγκαταστάσεις του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, κατά το διάστημα 05/04/2021 με 31/05/2021, όπου καλλιεργήθηκαν φυτά σταμναγκαθιού (*C. spinosum*) σε υδροπονικό σύστημα επίπλευσης. Το πείραμα διεξάχθηκε στο υαλόφρακτο αμφικλινές θερμοκήπιο του Εργαστηρίου Κηπευτικών Καλλιεργειών (γεωγραφικό πλάτος 37.98° / γεωγραφικό μήκος 23.70° / υψόμετρο 38 m), κάτω υπό φυσικές συνθήκες φωτισμού. Ο θάλαμος του θερμοκηπίου ήταν εξοπλισμένος με σύστημα θέρμανσης, με εναέριους σωλήνες ζεστού νερού. Ο εξαερισμός του θερμοκηπίου γινόταν από ανοίγματα στην οροφή και τις πλευρές του θερμοκηπίου, τα οποία αποτελούνταν από εντομοστεγή δίκτυα.

#### 3.2. Φυτικό υλικό

Για τις ανάγκες του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν σπόροι σταμναγκαθιού, οι οποίοι τοποθετήθηκαν σε δίσκους πετροβάμβακα AO PLUG (Grodan, Roermond, Netherlands) με 200 θέσεις διαστάσεων 25 mm x 25 mm x 40 mm, τα οποία στη συνέχεια σκεπάστηκαν με λεπτό στρώμα βερμικουλίτη (Εικόνα 16).



**Α. Σπορά**                      **Β. Σπορείο**                      **Γ. Μεταφύτευση**  
*Εικόνα 16* Η σπορά (Α) στις 05/04/2021), δίσκος στο πλαστικό θερμοκήπιο (Β) στη μεταφύτευση (Γ) των σποροφύτων (10/05/2021)

Η σπορά πραγματοποιήθηκε στις 05/04/2021 και οι δίσκοι παρέμειναν στο χώρο του πλαστικού θερμοκηπίου του Εργαστηρίου Κηπευτικών Καλλιεργειών. Κάθε δύο ημέρες, και μετά από έλεγχο της υγρασίας του υποστρώματος, πραγματοποιούνταν

πότισμα των δίσκων. Μετά την βλάστηση των σπόρων και όταν τα νεαρά φυτά απέκτησαν 2 - 6 πραγματικά φύλλα, πραγματοποιήθηκε μεταφύτευση, στις 10/05/2021, δηλαδή 36 ημέρες μετά την σπορά.

### 3.3.Εγκατάσταση πειράματος

Για τους σκοπούς του πειράματος, για την καλλιέργεια των φυτών, το σύστημα επίπλευσης θεωρήθηκε το καταλληλότερο σύστημα υδροπονικής καλλιέργειας, λόγω της εύκολης εγκατάστασης και συντήρησης του, αλλά κυρίως λόγω της δυνατότητας του πλήρους ελέγχου της σύστασης του θρεπτικού διαλύματος, και της ομοιομορφίας του τελικού προϊόντος. Έτσι, η καλλιέργεια των φυτών σταμναγκαθιού έγινε σε ειδικές ανοξείδωτες λεκάνες (IntelAgro, Thessaloniki, Greece), διαστάσεων 1.5 m x 0.6 m x 0.4 m, και για τις ανάγκες του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν 16 λεκάνες. Στις λεκάνες τοποθετήθηκε θρεπτικό διάλυμα 180 L, στην επιφάνεια του οποίου τοποθετήθηκαν τρεις πλάκες διογκωμένης πολυστερίνης (φελιζόλ), με 44 συνολικά θέσεις (οπές) για τοποθέτηση των φυτών. Η κάθε λεκάνη συνοδεύεται από δεξαμενή για αναπλήρωση του θρεπτικού διαλύματος, χωρητικότητάς 50 L, ενώ ο έλεγχος της παροχής κατά την αναπλήρωση του γινόταν με τη χρήση floater. Εντός της λεκάνης υπήρχε αεραντλία για παροχή οξυγόνου στα φυτά του συστήματος, ενώ η μεταφορά του σε ολόκληρη τη λεκάνη γινόταν με την χρήση υδραντλίας που βρισκόταν στον πυθμένα της λεκάνης. Κατά την μεταφύτευση, η οποία έγινε στις 10/05/2021, τα φυτά τοποθετήθηκαν μαζί με το plug πετροβάμβακα σε καλάθια (net pots) διαμέτρου 55 mm, τα οποία ακολούθως τοποθετήθηκαν στις οπές των πλακών που επέπλεαν στο θρεπτικό διάλυμα.

13. H50	14. L50	15. H40	16. L40
12. L50	11. H40	10. L50	9. H50
5. L40	6. H50	7. L40	8. H40
4. H40	3. L40	2. H50	1. L50

*Εικόνα 17* Πειραματική διάταξη επεμβάσεων. Το H και L σηματοδοτούν την ιοντική συγκέντρωση (High και Low αντίστοιχα), και το 50 και 40 σηματοδοτεί την αναλογία K:Ca:Mg (50:40:10 και 40:50:10 αντίστοιχα)



Στο πείραμα εκτελέστηκε a x b παραγοντικό πείραμα με δύο παράγοντες, στη συνολική ιοντική συγκέντρωση (ηλεκτρική αγωγιμότητα, EC) του θρεπτικού διαλύματος (χαμηλή – LOW, ή υψηλή – HIGH), και στην αναλογία καλίου προς ασβεστίου, η οποία σηματοδοτείται ως η αναλογία K:Ca:Mg (50:40:10, ή 40:50:10). Αυτοί οι παράγοντες αντιστοιχούσαν σε τέσσερις επεμβάσεις. Η κατανομή των επεμβάσεων έγινε σε τυχαιοποιημένο σχέδιο πλήρων ομάδων με τέσσερις επαναλήψεις ανά μεταχείριση (Εικόνα 17). Έτσι, για κάθε επέμβαση χρησιμοποιήθηκαν 4 διαφορετικές λεκάνες. Οι επεμβάσεις αναλύονται στον πίνακα 5, και η σύσταση του θρεπτικού διαλύματος της κάθε επέμβασης, αναλύονται στους πίνακες 6, 7, 8, και 9, ενώ η σύσταση του διαλύματος αναπλήρωσης αναλύεται στον πίνακα 10. Η σύσταση του θρεπτικού διαλύματος που χρησιμοποιήθηκε για την αναπλήρωση ήταν ίδια για κάθε επέμβαση και χρησιμοποιήθηκε για την τροφοδοσία της καλλιέργειας καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος. Για τον καθορισμό της σύστασης και των ποσοτήτων λιπασμάτων που απαιτούνται για την παρασκευή των θρεπτικών διαλυμάτων χρησιμοποιήθηκε το διαδικτυακό πρόγραμμα NUTRISENSE (Εργαστήριο Κηπευτικών, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα, Ελλάδα), ένα σύστημα υποστήριξης αποφάσεων (Decision Support System – DSS) για σύνθεση θρεπτικών διαλυμάτων (ως kg κάθε λιπάσματος για κάθε μητρικό διάλυμα συστήματος δύο δεξαμενών, η ως ποσοστά έγχυσης σε συστήματα πολλαπλών δεξαμενών), χρησιμοποιώντας δεδομένα που αφορούν την καλλιέργεια (είδος, στάδιο ανάπτυξης, εποχή, υπόστρωμα), εγκαταστάσεις (σύστημα υδρολίπανσης, ανοικτό ή κλειστό σύστημα κλπ.), τα διαθέσιμα λιπάσματα και τη σύσταση του νερού άρδευσης (Savvas et al., 2021a, 2021b). Τα κύρια δεδομένα που εισάγονται στο λογισμικό αυτό περιλαμβάνουν την ηλεκτρική αγωγιμότητα, pH, συγκεντρώσεις ή αναλογίες μακροστοιχείων και συγκεντρώσεις P και μικροστοιχείων (NutriSense, n.d.).

**Πίνακας 5** Οι σύσταση, ηλεκτρική αγωγιμότητα, και αναλογία K:Ca:Mg της κάθε επέμβασης

Επέμβαση	Σύσταση	Ηλεκτρική αγωγιμότητα (dS/m)	Αναλογία K:Ca:Mg
1	HIGH	3.60	50:40:10
2	HIGH	3.60	40:50:10
3	LOW	2.40	50:40:10
4	LOW	2.40	40:50:10

*Πίνακας 6* Σύσταση θρεπτικού διαλύματος επέμβασης LOW 50:40:10

<b>Επέμβαση LOW 50:40:10</b>			
<b>Χαρακτηριστικό</b>	<b>Μονάδα μέτρησης</b>	<b>Νερό άρδευσης</b>	<b>Σύσταση</b>
<b>EC</b>	dS m <sup>-1</sup>	0.32	2.4
<b>pH</b>		7.3	5.6
<b>K<sup>+</sup></b>	mmol/L	0	6.93
<b>Ca<sup>2+</sup></b>	mmol/L	0.9	5.54
<b>Mg<sup>2+</sup></b>	mmol/L	0.3	1.39
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>	mmol/L	0	1.15
<b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></b>	mmol/L	0.2	3.08
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	mmol/L	0	14.17
<b>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup></b>	mmol/L	0	1.4
<b>Fe</b>	μmol/L	0	20
<b>Mn<sup>++</sup></b>	μmol/L	0	9
<b>Zn<sup>++</sup></b>	μmol/L	2.15	5
<b>Cu<sup>++</sup></b>	μmol/L	0	0.8
<b>B</b>	μmol/L	0	30
<b>Mo</b>	μmol/L	0	0.5
<b>Si</b>	mmol/L	0	0
<b>Cl<sup>-</sup></b>	mmol/L	0.4	0.4
<b>Na<sup>+</sup></b>	mmol/L	0.6	0.6
<b>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	mmol/L	2.2	0.4
<b>K/(K:Ca:Mg)</b>	mol/mol		50
<b>Ca/(K:Ca:Mg)</b>	mol/mol		40
<b>Mg/(K:Ca:Mg)</b>	mol/mol		10
<b>N/K</b>	mol/mol		2.21
<b>NH<sub>4</sub>-N/Total-N</b>	mol/mol		0.08

Πίνακας 7 Σύσταση θρεπτικού διαλύματος επέμβασης LOW 40:50:10

<b>Επέμβαση LOW 40:50:10</b>			
<b>Χαρακτηριστικό</b>	<b>Μονάδα μέτρησης</b>	<b>Νερό άρδευσης</b>	<b>Σύσταση</b>
<b>EC</b>	dS m <sup>-1</sup>	0.32	2.4
<b>pH</b>		7.3	5.6
<b>K<sup>+</sup></b>	mmol/L	0	5.14
<b>Ca<sup>2+</sup></b>	mmol/L	0.9	6.52
<b>Mg<sup>2+</sup></b>	mmol/L	0.3	1.30
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>	mmol/L	0	1.15
<b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></b>	mmol/L	0.2	3.08
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	mmol/L	0	14.17
<b>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup></b>	mmol/L	0	1.4
<b>Fe</b>	μmol/L	0	20
<b>Mn<sup>++</sup></b>	μmol/L	0	9
<b>Zn<sup>++</sup></b>	μmol/L	2.15	5
<b>Cu<sup>++</sup></b>	μmol/L	0	0.8
<b>B</b>	μmol/L	0	30
<b>Mo</b>	μmol/L	0	0.5
<b>Si</b>	mmol/L	0	0
<b>Cl<sup>-</sup></b>	mmol/L	0.4	0.4
<b>Na<sup>+</sup></b>	mmol/L	0.6	0.6
<b>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	mmol/L	2.2	0.4
<b>K/(K:Ca:Mg)</b>	mol/mol		40
<b>Ca/(K:Ca:Mg)</b>	mol/mol		50
<b>Mg/(K:Ca:Mg)</b>	mol/mol		10
<b>N/K</b>	mol/mol		2.98
<b>NH<sub>4</sub>-N/Total-N</b>	mol/mol		0.07

Πίνακας 8 Σύσταση θρεπτικού διαλύματος επέμβασης HIGH 40:40:10

<b>Επέμβαση HIGH 50:40:10</b>			
<b>Χαρακτηριστικό</b>	<b>Μονάδα μέτρησης</b>	<b>Νερό άρδευσης</b>	<b>Σύσταση</b>
<b>EC</b>	dS m <sup>-1</sup>	0.32	3.6
<b>pH</b>		7.3	5.6
<b>K<sup>+</sup></b>	mmol/L	0	10.69
<b>Ca<sup>2+</sup></b>	mmol/L	0.9	8.55
<b>Mg<sup>2+</sup></b>	mmol/L	0.3	2.14
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>	mmol/L	0	1.87
<b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></b>	mmol/L	0.2	5.18
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	mmol/L	0	21.97
<b>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup></b>	mmol/L	0	1.4
<b>Fe</b>	μmol/L	0	20
<b>Mn<sup>++</sup></b>	μmol/L	0	9
<b>Zn<sup>++</sup></b>	μmol/L	2.15	5
<b>Cu<sup>++</sup></b>	μmol/L	0	0.8
<b>B</b>	μmol/L	0	30
<b>Mo</b>	μmol/L	0	0.5
<b>Si</b>	mmol/L	0	0
<b>Cl<sup>-</sup></b>	mmol/L	0.4	0.4
<b>Na<sup>+</sup></b>	mmol/L	0.6	0.6
<b>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	mmol/L	2.2	0.4
<b>K/(K:Ca:Mg)</b>	mol/mol		50
<b>Ca/(K:Ca:Mg)</b>	mol/mol		40
<b>Mg/(K:Ca:Mg)</b>	mol/mol		10
<b>N/K</b>	mol/mol		2.23
<b>NH<sub>4</sub>-N/Total-N</b>	mol/mol		0.08

Πίνακας 9 Σύσταση θρεπτικού διαλύματος επέμβασης HIGH 40:50:10

<b>Επέμβαση HIGH 40:50:10</b>			
<b>Χαρακτηριστικό</b>	<b>Μονάδα μέτρησης</b>	<b>Νερό άρδευσης</b>	<b>Σύσταση</b>
<b>EC</b>	dS m <sup>-1</sup>	0.32	3.6
<b>pH</b>		7.3	5.6
<b>K<sup>+</sup></b>	mmol/L	0	7.9
<b>Ca<sup>2+</sup></b>	mmol/L	0.9	10.07
<b>Mg<sup>2+</sup></b>	mmol/L	0.3	2.01
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>	mmol/L	0	1.87
<b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></b>	mmol/L	0.2	5.18
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	mmol/L	0	21.97
<b>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup></b>	mmol/L	0	1.4
<b>Fe</b>	μmol/L	0	20
<b>Mn<sup>++</sup></b>	μmol/L	0	9
<b>Zn<sup>++</sup></b>	μmol/L	2.15	5
<b>Cu<sup>++</sup></b>	μmol/L	0	0.8
<b>B</b>	μmol/L	0	30
<b>Mo</b>	μmol/L	0	0.5
<b>Si</b>	mmol/L	0	0
<b>Cl<sup>-</sup></b>	mmol/L	0.4	0.4
<b>Na<sup>+</sup></b>	mmol/L	0.6	0.6
<b>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	mmol/L	2.2	0.4
<b>K/(K:Ca:Mg)</b>	mol/mol		40
<b>Ca/(K:Ca:Mg)</b>	mol/mol		50
<b>Mg/(K:Ca:Mg)</b>	mol/mol		10
<b>N/K</b>	mol/mol		3.02
<b>NH<sub>4</sub>-N/Total-N</b>	mol/mol		0.08

Πίνακας 10 Σύσταση θρεπτικού διαλύματος αναπλήρωσης

Θρεπτικό διάλυμα αναπλήρωσης					
Χαρακτηριστικό	Μονάδα μέτρησης	Νερό άρδευσης	Σύσταση	Όρια τιμών – στόχων στην επιφάνεια της ρίζας	
				Κατώτατο	Ανώτατο
<b>EC</b>	dS m <sup>-1</sup>	0.32	2.2	2.6	2.9
<b>pH</b>		7.3	6.1	5.2	6.0
<b>K<sup>+</sup></b>	mmol/L	0	7.54	7.4	8.2
<b>Ca<sup>2+</sup></b>	mmol/L	0.9	4.02	4.8	5.4
<b>Mg<sup>2+</sup></b>	mmol/L	0.3	1.01	3.2	3.9
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>	mmol/L	0	1.68	0.1	0.3
<b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></b>	mmol/L	0.2	1.98	4.1	5.5
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	mmol/L	0	13.47	11.4	12.6
<b>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup></b>	mmol/L	0	1.12	1.3	1.5
<b>Fe</b>	μmol/L	0	14.88	17	23
<b>Mn<sup>++</sup></b>	μmol/L	0	8.37	7	11
<b>Zn<sup>++</sup></b>	μmol/L	2.15	3.72	4	6
<b>Cu<sup>++</sup></b>	μmol/L	0	0.65	0.7	0.9
<b>B</b>	μmol/L	0	23.25	27	33
<b>Mo</b>	μmol/L	0	0.47	0.4	0.6
<b>Si</b>	mmol/L	0	0		
<b>Cl<sup>-</sup></b>	mmol/L	0.4	0.4		0.6
<b>Na<sup>+</sup></b>	mmol/L	0.6	0.6		
<b>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	mmol/L	2.2	0.4		
<b>K/(K:Ca:Mg)</b>	mol/mol		60		
<b>Ca/(K:Ca:Mg)</b>	mol/mol		32		
<b>Mg/(K:Ca:Mg)</b>	mol/mol		0.08		
<b>N/K</b>	mol/mol		2.01		
<b>NH<sub>4</sub>-N/Total-N</b>	mol/mol		0.11		

Για την αποφυγή συχνής παρασκευής θρεπτικού διαλύματος, παρασκευαζόταν διάλυμα 100 φορές πυκνότερο του τελικού (πυκνό διάλυμα), το οποίο ακολούθως αραιωνόταν με αρδευτικό νερό με αναλογία αραιώσης 1:100, δίνοντας έτσι το τελικό διάλυμα τροφοδοσίας για παροχή στα φυτά. Για αυτό το σκοπό, χρησιμοποιήθηκαν 2 διαφορετικά δοχεία πυκνού διαλύματος, το Α και το Β, αφού το νιτρικό ασβέστιο δεν μπορεί να τοποθετηθεί σε τόσο υψηλές συγκεντρώσεις μαζί με φωσφορικά και θειικά λιπάσματα, λόγω της χαμηλής διαλυτότητας του  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  και  $\text{CaSO}_4$ , με αποτέλεσμα την κατακρήμνιση τους. Εκτός των δοχείων Α και Β, χρησιμοποιούταν και τρίτο δοχείο, το οποίο περιείχε το πυκνό διάλυμα νιτρικού οξέος και χρησιμοποιούταν ούτως ώστε το pH του αραιού θρεπτικού διαλύματος να κυμαίνεται μεταξύ 5.5 και 6.5.

Μετά την μεταφορά των σποροφύτων στις λεκάνες (Εικόνα 18) και κατά την διάρκεια του πειράματος γίνονταν τακτικές μετρήσεις της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) και του pH του θρεπτικού διαλύματος στις λεκάνες, μετρήσεις της κατανάλωσης θρεπτικού διαλύματος από τα φυτά, αναπλήρωση θρεπτικού διαλύματος στις δεξαμενές, έλεγχος της ανάπτυξης και υγιεινής κατάστασης των φυτών, όπως και της λειτουργίας του εξοπλισμού.



*Εικόνα 18* Χώρος διεξαγωγής του πειράματος, με τα συστήματα επίπλευσης (λεκάνες με φελιζόλ που επιπλέουν στην επιφάνεια του θρεπτικού διαλύματος, και οι δεξαμενές παροχής θρεπτικού διαλύματος), μετά την μεταφύτευση των σποροφύτων



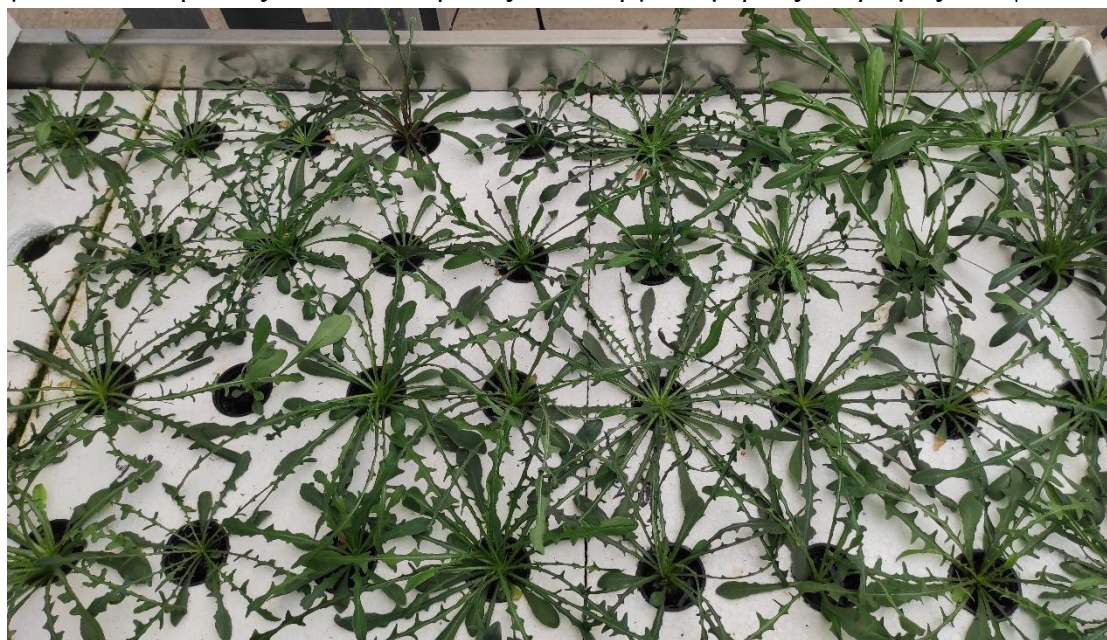
### 3.4. Πειραματική διαδικασία

#### 3.4.1. Έναρξη πειράματος

Κατά την έναρξη του πειράματος, από τα σπορόφυτα που παράχθηκαν, επιλέχθηκαν 704 φυτάρια, τα οποία χωρίστηκαν σε 16 ομάδες των 44<sup>ον</sup> φυταρίων, και αντιστοιχούσαν για κάθε λεκάνη. Από τα υπόλοιπα σπορόφυτα, επιλέχθηκαν τυχαία φυτάρια, το υπέργειο μέρος των οποίων τοποθετήθηκε στο ξηραντήριο στους 80 °C για 7 ημέρες ούτως ώστε να αποξηραθεί πλήρως. Ακολούθως, στο δείγμα αυτό έγιναν αναλύσεις με σκοπό την ποσοτικοποίηση των μακροστοιχείων και ιχνοστοιχείων στον ξηρό ιστό των φυταρίων.

#### 3.4.2. Λήξη πειράματος

Η λήξη του πειράματος και συγκομιδή των φυτών πραγματοποιήθηκε στις 31/5/2021 όταν αυτά έφτασαν το εμπορεύσιμο μέγεθος (Εικόνα 19). Από κάθε δεξαμενή επιλέχθηκαν φυτά από 3 θέσεις. Κατά τη μέτρηση του νωπού βάρους, αριθμού φύλλου και φυλλικής επιφάνειας λήφθηκε υπόψη και ο αριθμός ανεπτυγμένων φυτών ανά θέση, καθώς παρόλο που στη μεταφύτευση είχε γίνει τοποθέτηση plugs που είχαν μόνο ένα φυτό, η σπορά με αχαίνιο οδήγησε στη βλάστηση και ανάπτυξη σπόρων ακόμα και μετά το στάδιο της μεταφύτευσης. Από το σύνολο των θέσεων κάθε δεξαμενής, επιλέχθηκαν τυχαία 3 θέσεις, όπου μετρήθηκε ο συνολικός αριθμός φυτών για κάθε θέση, όπως και το νωπό βάθος του υπέργειου μέρους, ο αριθμός των φύλλων,



Εικόνα 19 Τα φυτά *C. spinosum* κατά τη συγκομιδή

και η φυλλική επιφάνεια του κάθε φυτού. Επιπλέον, επιλέχθηκαν τυχαία 6 – 12 θέσεις από την κάθε δεξαμενή, όπου μετρήθηκε ο συνολικός αριθμός των φυτών που είχαν, όπως και το συνολικό νωπό βάρος τους. Επακόλουθα, συλλέχθηκε το υπέργειο μέρος των δειγμάτων, και τοποθετήθηκε στο ξηραντήριο στους 80 °C για 7 ημέρες, ούτως ώστε να αποξηραθεί πλήρως, οπότε μετρήθηκε το ξηρό βάρος των δειγμάτων.

### 3.5. Μέτρηση αριθμού φύλλων και φυλλικής επιφάνειας

Κατά το πέρας της πειραματικής διαδικασίας, μετά την συγκομιδή των φυτών, μετρήθηκε ο αριθμός των φύλλων, όπως το εμβαδόν της φυλλικής επιφάνειας (cm<sup>2</sup>) ανά φυτό, με την χρήση οργάνου μέτρησης φυλλικής επιφάνειας του εργαστηρίου κηπευτικών του ΓΠΑ.

### 3.6. Άλεση φυτικού ιστού

Όπως έγινε προηγούμενη αναφορά, τα δείγματα φυτικού ιστού που συλλέχθηκαν κατά την εγκατάσταση της καλλιέργειας και κατά την συγκομιδή, τοποθετήθηκαν σε ξηραντήριο. Επακόλουθα, τα δείγματα αυτά αλέσθηκαν στις 28/06/2021 με την χρήση του μύλου MF 10 (IKA Werke, Staufen, Germany), εύρους στροφών 3.000 - 6.500 rpm, με την εισαγωγή τους στο μηχάνημα από το ανώτερο σημείο του, την άλεση τους από περιστροφικές μεταλλικές λεπίδες στο μέσο, το κοσκίνισμα και την τελική εξαγωγή τους από το μηχάνημα σε μορφή σκόνης, όπως φαίνεται στην εικόνα 20.



Εικόνα 20 Άλεση αποξηραμένου φυτικού ιστού με την χρήση του μύλου MF 10

Μετά από την άλεση του κάθε δείγματος, το μηχάνημα καθαριζόταν ούτως ώστε να απομακρυνθούν υπολείμματα του, και να αποφευχθεί η ανάμιξη τους με το επόμενο. Επακόλουθα, τα αλεσμένα δείγματα τοποθετήθηκαν σε πλαστικά σακουλάκια, τα οποία σφραγίστηκαν αεροστεγώς, ούτως ώστε να μην επηρεαστούν από την υγρασία.

### 3.7.Εκχύλιση φυτικού ιστού

Μετά την άλεση των δειγμάτων φυτικού ιστού, και προκειμένου να καταστεί εφικτή η ανάλυση τους, τα δείγματα έπρεπε να υποβληθούν σε εκχύλιση. Αρχικά τα δείγματα αυτά έπρεπε να μετατραπούν σε τέφρα. Αυτό έγινε με την χρήση του πυραντηρίου LM-112 (Linn High Therm, Hirschbach, Germany), χωρητικότητας 1.5 L, και μέγιστης θερμοκρασίας 1200 °C (Εικόνα 21). Έτσι, ζυγίστηκαν 0.5 g αλεσμένου δείγματος, και τοποθετήθηκαν σε αριθμημένες κάψες πορσελάνης (εικόνα 22 A). Επακόλουθα, οι κάψες τοποθετήθηκαν στο πυραντήριο (εικόνα 22 B), για 8 ώρες στους 500 °C.



*Εικόνα 21* Πυραντήριο LM-112 (Linn High Therm, Hirschbach, Germany)

Εν συνεχεία, τα δείγματα παρέμειναν για 24 ώρες στο πυραντήριο, το οποίο τέθηκε εκτός λειτουργίας, ούτως ώστε να μειωθεί η θερμοκρασία τους (σε θερμοκρασία δωματίου). Μετά την εξαγωγή των καψών, σε κάθε κάψα προστέθηκε 10 ml HCl 1:50. Έπειτα, η τέφρα του δείγματος μαζί με το HCl μεταφέρθηκαν από τις κάψες σε ογκομετρικές φλάσκες 100 ml, όπου και διηθούνταν με την χρήση διηθητικού φίλτρου με οπές πολύ μικρής διατομής (ashless), ξεπλένοντας τις κάψες με απεσταγμένο νερό. Ακολούθως, συμπληρώθηκαν οι φλάσκες έως τα 100 ml με



απεσταγμένο νερό. Μετά από ανάδευση των φλασκών, μεταφέρθηκε το περιεχόμενο τους σε πλαστικά φιαλίδια, τα οποία αποθηκεύτηκαν σε ψυγείο και χρησιμοποιήθηκαν για περαιτέρω ανάλυση.



**Εικόνα 22** Τοποθέτηση 0.5 g αλεσμένου δείγματος στις κάψες (A) και τοποθέτηση των καψών στο πυραντήριο (B)

### 3.8. Αναλύσεις φυτικού ιστού

#### 3.8.1. Προσδιορισμός φωσφόρου (P)

Η μέτρηση του φωσφόρου στα φυτικά εκχυλίσματα χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος κυανού φωσφομολυβδαινικού συμπλόκου (Eaton et al., 1995), και για την εφαρμογή της μεθόδου αυτής χρησιμοποιήθηκε το φασματοφωτόμετρο Biochrom Ltd Anthos Zenyth 200rt Microplate Reader (Cambridge, UK, Εικόνα 23).



**Εικόνα 23** Φασματοφωτόμετρο Anthos Zenyth 200rt Microplate Reader ( Biochrom Ltd, Cambridge, UK)

Αρχικά, έγινε παρασκευή των τριών ακόλουθων αντιδραστηρίων:

- Αντιδραστήριο 1 (Θειικό οξύ,  $H_2SO_4$ ): Προστέθηκαν 55.5 ml  $H_2SO_4$  σε 500 ml απεσταγμένο νερό (σε ογκομετρική φιάλη 1 L).
- Αντιδραστήριο 2 (Μολυβδαινικό αμμώνιο): Διαλύθηκαν 4.8 g μολυβδαινικού αμμωνίου σε 100 ml θερμό νερό.
- Αντιδραστήριο 3 (Αντιμονυλοτρυγικό Κάλιο): Διαλύθηκαν 0.1097 g αντιμονυλοτρυγικού καλίου σε 100 ml θερμό νερό.

Με τα παραπάνω αντιδραστήρια δημιουργήθηκε το αντιδραστήριο Murphy – Riley, με την προσθήκη των αντιδραστηρίων 2 και 3 στην φιάλη με το αντιδραστήριο 1, και με την συμπλήρωση απεσταγμένου νερού ως το 1 L. Ακολούθως, ανά 100 ml αντιδραστηρίου Murphy-Riley, προστέθηκαν 0.4 g L-ασκορβικού οξέος. Επιπλέον, παρασκευάστηκε δείκτης νιτροφαινόλης (0,5 g νιτροφαινόλης σε 60 ml απεσταγμένο νερό), και διάλυμα καυστικού νατρίου (10 g NaOH σε 250 ml απεσταγμένο νερό). Για την παρασκευή πρότυπης καμπύλης (Εικόνα 24) παρασκευάστηκε stock διάλυμα 0.4393 g  $KH_2PO_4$  σε 1000 ml απεσταγμένο νερό. Στη συνέχεια, σε φλάσκες των 50 ml μεταφέρθηκε 1 ml δείγματος, 2 – 3 σταγόνες δείκτη νιτροφαινόλης και μερικές σταγόνες διαλύματος NaOH. Κατ' αυτό το στάδιο το διάλυμα χρωματίστηκε με κίτρινο χρώμα. Ακολούθως, προστέθηκαν 10 ml από το διάλυμα ασκορβικού – Murphy-Riley και συμπληρώθηκε απεσταγμένο νερό ως τα 50 ml. Μετά από 20 min αναπτύχθηκε μπλε χρώμα, και από κάθε δείγμα φορτώθηκαν 300 μl σε plate και έγινε η μέτρηση στο φασματοφωτόμετρο για 10 κύκλους διαστήματος 60 sec (10 min). Η ανάπτυξη του χρώματος έγινε και με την χρήση του stock διαλύματος (0, 0.25, 0.5, 1, 2, 3 και 5 ml stock διαλύματος σε 7 φλάσκες των 50 ml), για κατασκευή καμπύλης αναφοράς, με

σκοπό τον προσδιορισμό του φωσφόρου στα δείγματα. Επακόλουθα, με κατάλληλες αναγωγές, προσδιορίζεται η περιεκτικότητα του φωσφόρου σε  $\text{mg g}^{-1}$  ξηρής ουσίας.



*Εικόνα 24* Πρότυπη καμπύλη διαδικασίας προσδιορισμού του φωσφόρου

### 3.8.2. Προσδιορισμός $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+}$ , $\text{Fe}$ , $\text{Mn}^{2+}$ και $\text{Zn}^{2+}$

Ο προσδιορισμός των συγκεντρώσεων  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Fe}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  και  $\text{Zn}^{2+}$  στα φυτικά εκχυλίσματα έγινε με την χρήση του φασματοφωτόμετρου ατομικής απορρόφησης Shimadzu AA-7000 (Kyoto, Japan, Εικόνα 25), και βασίζεται στη μέτρηση της απορρόφησης ακτινοβολίας ελευθέρων ατόμων ενός στοιχείου, τα οποία βρίσκονται σε θεμελιώδη κατάσταση. Τα ελεύθερα άτομα διεγείρονται με την απορρόφηση ακτινοβολίας συγκεκριμένου μήκους κύματος, και τείνουν να αποβάλλουν την ενέργεια που απορροφούν, για να επανέλθουν στη θεμελιώδη τους κατάσταση. Η ακτινοβολία που χρησιμοποιείται είναι εκείνη που μπορεί να παράγει με μετάπτωση από την διεγερμένη κατάσταση το υπό ανάλυση στοιχείο.



*Εικόνα 25* Φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης Shimadzu AA-7000 (Kyoto, Japan)

Έτσι, το φάσμα εκπομπής διεγερμένων ατόμων χρησιμοποιείται για την ποσοτικοποίηση συγκεντρώσεων των χημικών στοιχείων στα εξεταζόμενα δείγματα (Καρκαλούσος et al., 2015; Σαριδάκης & Κουβαράκης, 2020). Ο προσδιορισμός γίνεται βάση το νόμο Lambert-Beer, με την εξίσωση 5.

*Εξίσωση 5* Προσδιορισμός συγκεντρώσεων στοιχείων ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Fe}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  και  $\text{Zn}^{2+}$ ) σύμφωνα με τον νόμο Lambert-Beer

$$A = -\log_{10} \left( \frac{I_0}{I} \right) = k \times L \times C$$

όπου:

*A*: Απορρόφηση

$I_0$ : Ένταση αρχικής ακτινοβολίας (nm)

*I*: Ένταση τελικής ακτινοβολίας (nm)

*K*: Συντελεστής απορρόφησης ( $M^{-1} \times cm^{-1}$ )

*L*: Μήκος πορείας (πάχος) διέλευσης της ακτίνας φωτός (cm)

*C*: Συγκέντρωση μετάλλου (M)



### 3.8.3. Προσδιορισμός Καλίου (K<sup>+</sup>) και Νατρίου (Na<sup>+</sup>)

Η συγκέντρωση του K<sup>+</sup> και Na<sup>+</sup> στα φυτικά εκχυλίσματα προσδιορίστηκε με την χρήση φλογοφωτόμετρου Sherwood Flame Photometer 410 (Cambridge, UK, Εικόνα 26), το οποίο προηγουμένως είχε ρυθμιστεί με διαλύματα γνωστής συγκέντρωσης K και Na (0, 5 και 10 ppm), ενώ τα δείγματα αραιώθηκαν κατάλληλα. Η λειτουργία του φλογοφωτομέτρου ακολουθεί τις αρχές της μεθόδου Φασματομετρίας Ατομικής Εκπομπής, η οποία χρησιμοποιεί το φάσμα εκπομπής διεγερμένων ατόμων, για τον



Εικόνα 26 Φλογοφωτόμετρο Sherwood Flame Photometer 410 (Cambridge, UK)

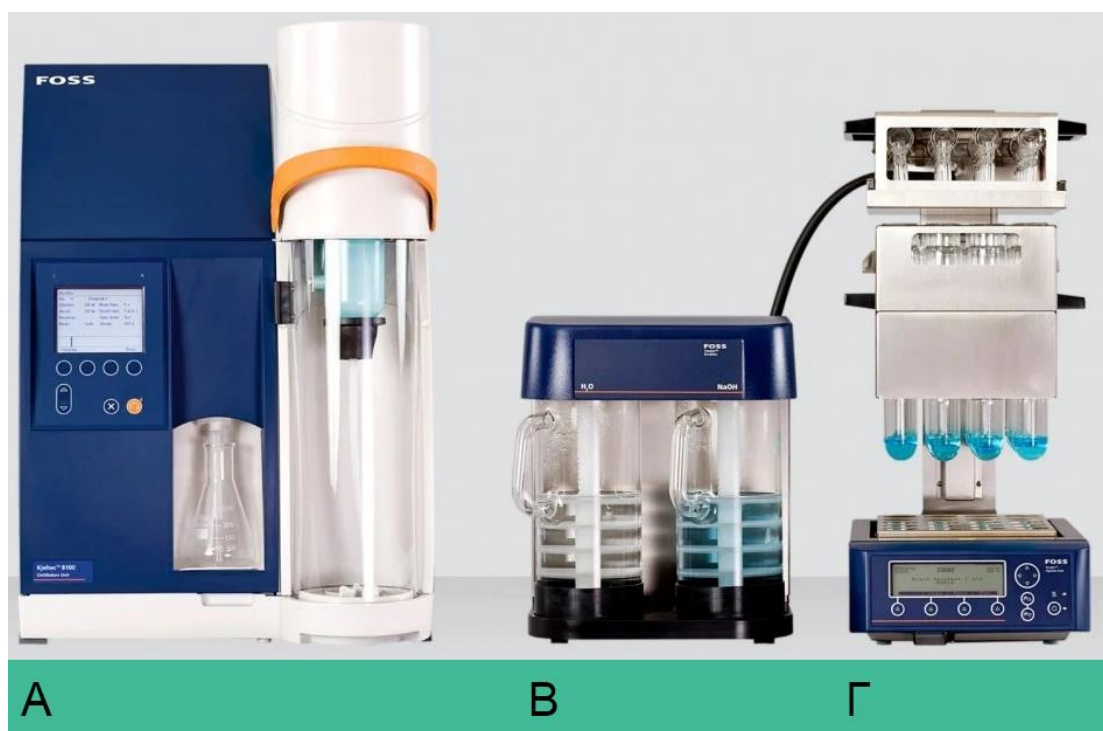
προσδιορισμό συγκεντρώσεων χημικών στοιχείων. Η δυνατότητα ανάλυσης του φλογοφωτομέτρου περιορίζεται στην μέτρηση των αλκαλίων K και Na, αφού οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται δεν διεγείρουν τα άτομα μη αλκαλικών μετάλλων.

### 3.8.4. Προσδιορισμός Ολικού Αζώτου (NH<sub>4</sub><sup>+</sup> και NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)

Η συγκέντρωση οργανικού αζώτου σε δείγματα φυτικών ιστών προσδιορίστηκε με την χρήση της μεθόδου Kjeldahl (Mills & Jones, 1997), η οποία βασίζεται στη διαδικασία υγρής πέψης – καύσης αζώτου, με τη μετατροπή του σε αμμώνιο (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), μέσω της κατεργασίας πυκνού θειικού οξέος (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) σε υψηλές θερμοκρασίες. Η NH<sub>3</sub> που προέρχεται από απόσταξη, μετά την δέσμευση της με βορικό οξύ, προσδιορίζεται με τιτλοδότηση. Για την εφαρμογή της μεθόδου Kjeldahl, χρησιμοποιήθηκαν τα ακόλουθα όργανα:

- Σύστημα πέψης Labtec DT 220 (FOSS A/S, Hillerød, Denmark) αποτελούμενο από μπλοκ πέψης και μονάδα απαγωγής σωλήνων πέψης (20 θέσεων) (Εικόνα 27, Γ).
- Μονάδα Scrubber Labtec SR 210 (FOSS A/S, Hillerød, Denmark), για εξουδετέρωση διαβρωτικών αερίων (Εικόνα 27, Β).

- Μονάδα απόσταξης Tecator Kjeltec 8200 (FOSS A/S, Hillerød, Denmark) με λειτουργία αυτόματης ανάλυσης (Εικόνα 27, Α).



Εικόνα 27 Α. Tecator Kjeltec 8200, Β. Scrubber Labtec SR 210, Γ. Labtec DT 220 (FOSS A/S, Hillerød, Denmark) (Fossanalytics.com)

### Υγρή καύση – πέψη

Για την προετοιμασία των δειγμάτων και την εφαρμογή της υγρής καύσης – πέψης, χρειάστηκαν 0.25 g δείγματος αλεσμένου φυτικού ιστού, τα οποία τοποθετήθηκαν σε ειδικούς σωλήνες πέψης. Για την πέψη του δείγματος, προστέθηκαν δύο ταμπλέτες Kjeldahl (Kjeltabs) 3.5 g (99.9%  $K_2SO_4$  και 0.1% Se) (PanReac AppliChem – ITW Reagents, Illinois, USA), και 20 ml  $H_2SO_4$ , και ακολούθως το περιεχόμενο αναδεύτηκε με προσοχή. Οι σωλήνες πέψης με τα δείγματα τοποθετήθηκαν στη μονάδα απαγωγής, μαζί με ένα τυφλό (2 Kjeltabs και 20 ml  $H_2SO_4$ ) και ένα δείγμα γλυκίνης (0.1 g). Μετέπειτα, η μονάδα απαγωγής τοποθετήθηκε στη συσκευή DT 220 η οποία είχε προθερμανθεί στους 420 °C. Η υγρή καύση διήρκεσε για 1 h, μέχρι ωσότου το υγρό στους σωλήνες να έχει γίνει διαυγές. Επακόλουθα, η μονάδα απαγωγής τοποθετήθηκε πλησίον της συσκευής σε ειδική θέση, ούτως ώστε να μειωθεί η θερμοκρασία, για 1 h. Μετά την ψύξη των σωλήνων, ακολούθησε η διαδικασία της απόσταξης.

## Απόσταξη

Για την απόσταξη, στη μονάδα Kjeltec 8200 προστέθηκαν 25-30 ml βορικού οξέος. Η μονάδα εφοδιαζόταν από δοχεία με NaOH 40% και απεσταγμένο νερό. Αρχικά προστέθηκαν 80 ml απεσταγμένου νερού, και ακολούθως το περιεχόμενο αναδεύτηκε καλά. Η λειτουργία του προγράμματος για την απόσταξη των δειγμάτων γινόταν αυτόματα, και διαρκούσε 5 min. Η απόθεση του αποστάγματος του κάθε δείγματος γινόταν σε κωνική φιάλη.

## Τιτλοδότηση

Έπειτα, έγινε τιτλοδότηση των αποσταγμάτων τιτλοδοτήθηκε με διάλυμα HCl 0.1 M, αρχικά με ογκομέτρηση του τυφλού και σημείωση των ml οξέος που χρειάστηκαν για μεταχρωματισμό του δείγματος, από πράσινο σε ερυθρό. Ακολούθησε επανάληψη της διαδικασίας για τα δείγματα των σωλήνων.

### 3.8.5. Προσδιορισμός νιτρικών (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N) φυτικού ιστού

Η συγκέντρωση των νιτρικών στο φυτικό ιστό προσδιορίστηκε με την χρήση του φασματοφωτομέτρου Biochrom Ltd Anthos Zenyth 200rt Microplate Reader (Cambridge, UK, Εικόνα 23). Αρχικά, παρασκευάστηκαν τα ακόλουθα αντιδραστήρια:

- Αντιδραστήριο 1 (Για standard διαλύματα): Σε φλάσκα 100 ml τοποθετήθηκαν 0.326 g Νιτρικό Κάλιο (KNO<sub>3</sub>) puriss, και συμπληρώθηκε απεσταγμένο νερό έως τα 100 ml (500 ppm).
- Αντιδραστήριο 2 (NaOH): Σε κωνική φιάλη 1 L τοποθετήθηκαν 80gr NaOH, και συμπληρώθηκε απεσταγμένο νερό έως το 1 L.
- Αντιδραστήριο 3 (Διάλυμα οξέων): Σε κωνική φιάλη 400 ml τοποθετήθηκαν 60 ml H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, και 5 g σαλικυλικού οξέος. Ακολούθως συμπληρώθηκε η φιάλη με H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ως τα 100 ml.

Έπειτα, ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία:

- Ζυγίστηκαν 0.1 g από το κάθε δείγμα αποξηραμένου φυτικού ιστού, και τοποθετήθηκαν σε δοκιμαστικούς σωλήνες 15 ml, μαζί με απεσταγμένο νερό ως τα 10 ml.
- Οι δοκιμαστικοί σωλήνες ακολούθως τοποθετήθηκαν σε υδατόλουτρο στους 40 °C για 1 h.

- Επακόλουθα, έγινε διήθηση των δειγμάτων σε δοκιμαστικούς σωλήνες των 15 ml με χοάνες, μέσω διηθητικού φίλτρου.
- Ετοιμάστηκαν τα standard διαλύματα με την χρήση του 1<sup>ου</sup> αντιδραστηρίου με τις ακόλουθες ποσότητες σε δοκιμαστικούς σωλήνες 15 ml: 0.5, 1, 1.5, 2, 3, 4, 6, 8, και 10 ml. Ακολούθως έγινε συμπλήρωση με απεσταγμένο νερό μέχρι τα 10 ml.
- Σε φλάσκες 25 ml τοποθετήθηκαν 0.2 ml δείγματος και standard, μαζί με 0.8 ml διαλύματος οξέων (Αντιδραστήριο 3).
- Έγινε ανάδευση των δειγμάτων για 20 min με την χρήση του UNITWIST 300 Orbital Shaker (Labortechnik, Wasserburg, Germany).
- Έπειτα, προστέθηκαν 19 ml διαλύματος NaOH (Αντιδραστήριο 2).
- Επαναλήφθηκε η ανάδευση για ακόμα 20 min.
- Φορτώθηκαν 0.25 ml δειγμάτων και standard στο φασματοφωτόμετρο Biochrom Ltd Anthos Zenyth 200rt Microplate Reader (Cambridge, UK, Εικόνα 23), στα 410 nm για 10 κύκλους διαστήματος 60 sec (10 min).

Αφού η ανάλυση έγινε σε φυτικά εκχυλίσματα που προήλθαν από αποξηραμένο φυτικό ιστό, εκφράζονται ως  $\text{mg kg}^{-1}$  ξηρού βάρους (dw). Για αυτό το λόγο, πρέπει να γίνει μετατροπή σε  $\text{mg kg}^{-1}$  νωπού βάρους (fw), με την χρήση του ξηρού και νωπού βάρους των φυτών, και την εύρεση του ποσοστού ξηρού προς νωπού βάρους. Η αναγωγή της μέσης τιμής νιτρικών από  $\text{mg kg}^{-1}$  dw σε  $\text{mg kg}^{-1}$  fw γίνεται με την εξίσωση 6.

#### Εξίσωση 6 Προσδιορισμός νιτρικών στο νωπό φυτικό ιστό

$$dw\% = \frac{dw}{fw} * 100$$

$$\text{nitrates}_{fw} = \text{nitrates}_{dw} * dw\%$$

όπου:

$dw\%$ : Ποσοστό ξηρού βάρους προς νωπό βάρος

$dw$ : Ξηρό βάρος

$fw$ : Νωπό βάρος

$\text{nitrates}_{fw}$ : Νιτρικά αποξηραμένου φυτικού ιστού

$\text{nitrates}_{dw}$ : Νιτρικά νωπού φυτικού ιστού

### 3.8.6. Προσδιορισμός βορίου ( $\text{BO}_3^-$ )

Η συγκέντρωση του βορίου ( $\text{BO}_3^-$ ) στα φυτικά εκχυλίσματα προσδιορίστηκε με την χρήση του φασματοφωτόμετρου Biochrom Ltd Anthos Zenyth 200rt Microplate Reader (Cambridge, UK, Εικόνα 23). Αρχικά, κατασκευάστηκαν τα ακόλουθα αντιδραστήρια:

- Αντιδραστήριο 1 (Για Standard διαλύματα): Σε φλάσκα 1 L τοποθετήθηκαν 0.5716 g Βορικού οξέος ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ), και συμπληρώθηκε απεσταγμένο νερό έως το 1 L (100 ppm).
- Αντιδραστήριο 2 (Buffer): Σε κωνική φιάλη τοποθετήθηκαν 40 ml απεσταγμένου νερού, και ακολούθως τοποθετήθηκε οξικό αμμώνιο ( $\text{NH}_3$ ) σε τρεις δόσεις (20, 20, και 10 g). Κατά την διάλυση του, τοποθετήθηκαν 3 g EDTA, με επακόλουθη ανάδευση 10 – 15 min. Ακολούθως τοποθετήθηκαν 40 ml απεσταγμένου νερού. Τέλος, τοποθετήθηκε Οξικό οξύ (glacial) σε τρεις δόσεις (10, 10, και 5 ml).
- Αντιδραστήριο 3 (Azomethine): Σε δοκιμαστικό σωλήνα 15ml τοποθετήθηκαν 2ml απεσταγμένου νερού. Έπειτα, προστέθηκαν 0,045gr Azomethine και 0,1gr Ασκορβικού οξέος. Ακολούθως, συμπληρώθηκε απεσταγμένο νερό έως τα 10 ml.

Έπειτα, ετοιμάστηκαν τα standard διαλύματα με την χρήση του 1ου αντιδραστήριου με τις ακόλουθες ποσότητες σε φλάσκα 100 ml: 0, 0.1, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.5, και 2.0 ml. Ακολούθως, συμπληρώθηκαν οι φλάσκες έως τα 100 ml με απεσταγμένο νερό.

Ακολούθησε η φόρτωση του plate με την εξής σειρά: Α. 50 μl δείγματος (χωρίς αραίωση) ή Standard (1<sup>ο</sup> αντιδραστήριο), Β. 100 μl Buffer (2<sup>ο</sup> αντιδραστήριο) με χρήση πηγαδιών και πολυπιπέτας, Γ. 100 μl Azomethine (3<sup>ο</sup> αντιδραστήριο) με χρήση πηγαδιών και πολυπιπέτας. Μετά από 40 min, τοποθετήθηκε το plate στο φασματοφωτόμετρο Anthos Zenyth 200rt (Biochrom, Cambridge, UK, Εικόνα 23), στα 420 nm, για 10 κύκλους διαστήματος 60 sec (10 min).

### 3.9. Στατιστική ανάλυση

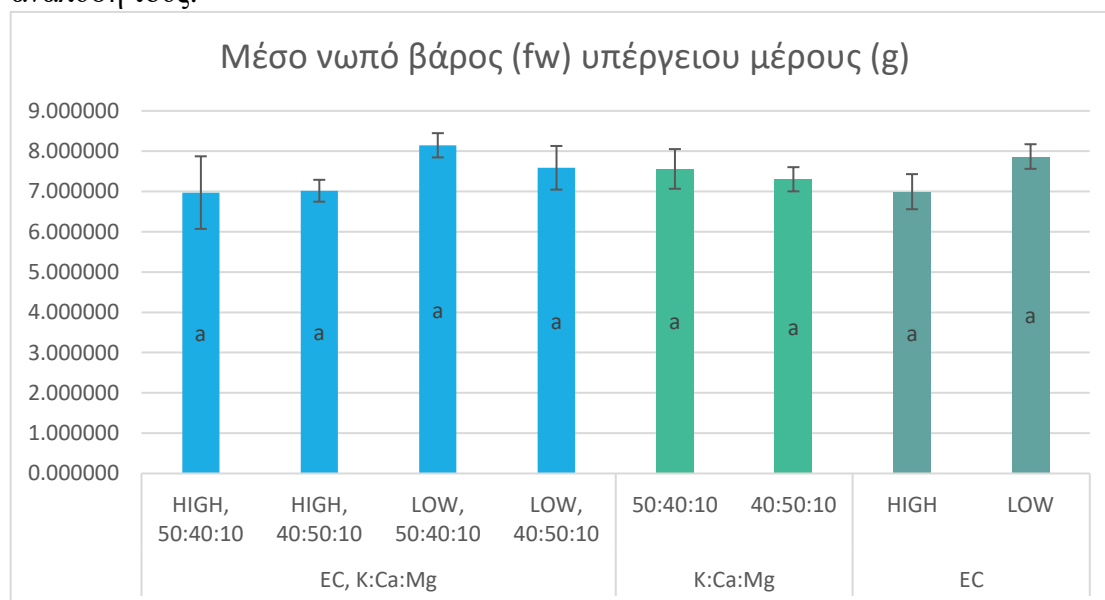
Για την στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων του πειράματος, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό πρόγραμμα Statistica (Version 12.0, TIBCO Software

Inc., Palo Alto, California, USA) όπου πραγματοποιήθηκε ανάλυση διασποράς (ANOVA), για την εύρεση της πιθανής στατιστικά σημαντικής διαφοράς, όπως και του εύρους σφάλματος. Τα δεδομένα αναλύθηκαν μέσω της εφαρμογής ανάλυσης διασποράς (ANOVA) εφαρμόστηκε για τον έλεγχο της κύριας επίδρασης των παραγόντων Ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC), και αναλογία K προς Ca (K:Ca:Mg), όπως και την αλληλεπίδραση αυτών των δύο παραγόντων. Η Post-hoc ανάλυση για σύγκριση των μέσων έγινε σύμφωνα με το Duncan's Multiple-Range Test. Όλοι οι στατιστικοί έλεγχοι είχαν επίπεδο σημαντικότητας  $P \leq 5\%$ . Τα γραφήματα κατασκευάστηκαν με το πρόγραμμα Excel (Version 365, Microsoft, Washington, USA). Στους πίνακες περιλαμβάνονται τα τυπικά σφάλματα, και γράμματα (a, b, c...) που χρησιμοποιούνται για να παρουσιάσουν πιθανή στατιστικά σημαντική διαφορά βάσει τα αποτελέσματα του Duncan's Multiple-Range test.

## 4. Αποτελέσματα

### 4.1. Νωπό βάρος υπέργειου μέρους

Στο γράφημα 1 απεικονίζονται τα αποτελέσματα της μέτρησης του νωπού βάρους των φυτών. Οι τιμές που απεικονίζονται στο γράφημα αφορούν τις 4 επεμβάσεις του πειράματος με παράγοντες την ηλεκτρική αγωγιμότητα και την συγκέντρωση K:Ca:Mg. Στο γράφημα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα ανάλυσης διασποράς κατά δύο παράγοντες, μετά τον έλεγχο της αλληλεπίδρασης των δύο παραγόντων (EC x K:Ca:Mg) και της κύριας επίδρασης των παραγόντων EC και K:Ca:Mg. Οι τιμές του γραφήματος προήλθαν από τον υπολογισμό του μέσου όρου κάθε επανάληψης (4 επαναλήψεις ανά επέμβαση), και επακόλουθα από την στατιστική ανάλυση τους.



**Γράφημα 1** Η επίδραση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC, 2.4 dS m<sup>-1</sup> και 3.6 dS m<sup>-1</sup>, που σημειώνονται ως LOW και HIGH αντίστοιχα) και της αναλογίας K:Ca:Mg (50:40:10 και 40:50:10), όπως και της αλληλεπίδρασης μεταξύ των παραγόντων (EC, K:Ca:Mg) στο νωπό βάρος (fw) του υπέργειου μέρους των φυτών *C. spinosum* (g). Οι γραμμές σε κάθε ράβδο υποδεικνύουν το τυπικό σφάλμα, ενώ τα διαφορετικά γράμματα στο κέντρο των ράβδων υποδεικνύουν στατιστικά σημαντική διαφορά σύμφωνα με το κριτήριο Duncan's Multiple-Range test ( $P \leq 5\%$ ).

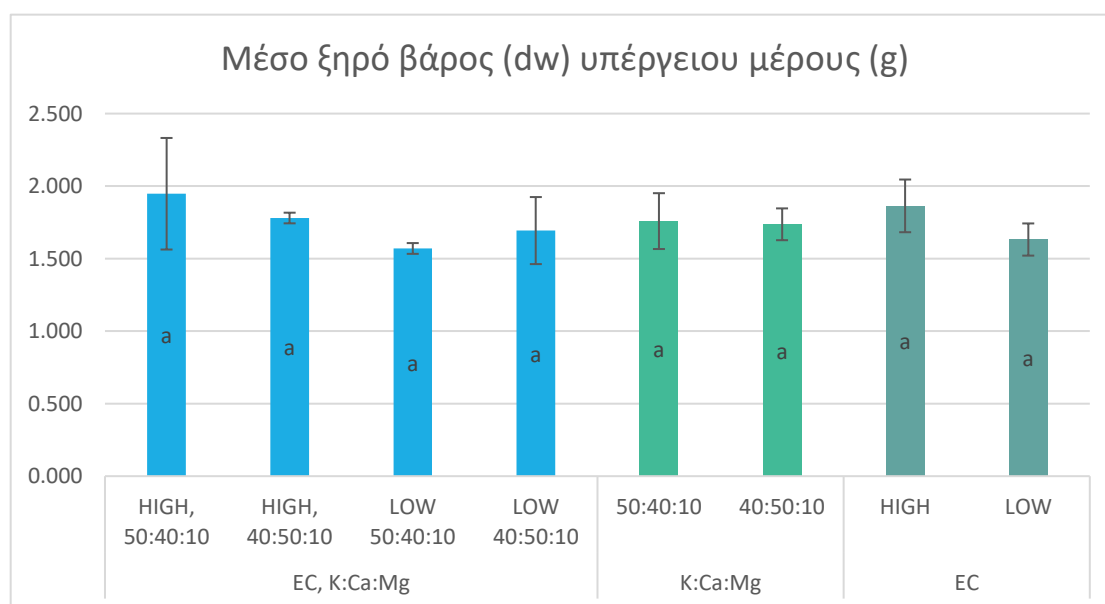
Όπως παρατηρείται στο γράφημα 1, υπάρχει μια διαφοροποίηση μεταξύ των τεσσάρων επεμβάσεων, με τα δείγματα LOW/50:40:10 και LOW/40:50:10 να παρουσιάζουν σχετικά υψηλότερο μέσο νωπό βάρος υπέργειου μέρους. Παρόλα αυτά, δεν παρατηρείται στατιστικά σημαντική διαφορά, και έτσι δεν υπάρχει αλληλεπίδραση μεταξύ των παραγόντων K:Ca:Mg και EC. Η προαναφερθείσα διαφορά μεταξύ των δειγμάτων, και ιδιαίτερα το υψηλότερο νωπό βάρος που παρατηρήθηκε στα δείγματα



LOW, παρατηρείται κατά τον έλεγχο της επίδρασης του παράγοντα EC, καθώς το μέσο νωπό βάρος ήταν υψηλότερο όταν τα φυτά αναπτύχθηκαν κάτω υπό χαμηλότερη EC ( $2,4 \text{ dS m}^{-1}$ ). Συγκεκριμένα, το μέσο νωπό βάρος των φυτών που καλλιεργήθηκαν σε θρεπτικό διάλυμα με χαμηλό EC ήταν  $7.87 \text{ g/φυτό}$ , ενώ με το υψηλό EC ήταν  $6.99 \text{ g/φυτό}$ . Εντούτοις, δεν παρατηρείται στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ αυτών των τιμών. Το ίδιο παρατηρείται και για τον παράγοντα K:Ca:Mg, αφού δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των τιμών για 40:50:10 και του 50:40:10.

#### 4.2. Ξηρό βάρος υπέργειου μέρους (dry weight)

Στο γράφημα 2 απεικονίζονται τα αποτελέσματα της μέτρησης του ξηρού βάρους (dry weight – dw) του υπέργειου μέρους των φυτών. Οι τιμές που απεικονίζονται στο γράφημα αφορούν τις 4 επεμβάσεις του πειράματος με παράγοντες την ηλεκτρική αγωγιμότητα και την συγκέντρωση K:Ca:Mg. Στο γράφημα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα ανάλυσης διασποράς κατά δύο παράγοντες, μετά τον έλεγχο της αλληλεπίδρασης των δύο παραγόντων (EC x K:Ca:Mg) και της κύριας επίδρασης των παραγόντων EC και K:Ca:Mg. Οι τιμές του γραφήματος προήλθαν από τον υπολογισμό του μέσου όρου κάθε επανάληψης (4 επαναλήψεις ανά επέμβαση), και επακόλουθα από την στατιστική ανάλυση τους.

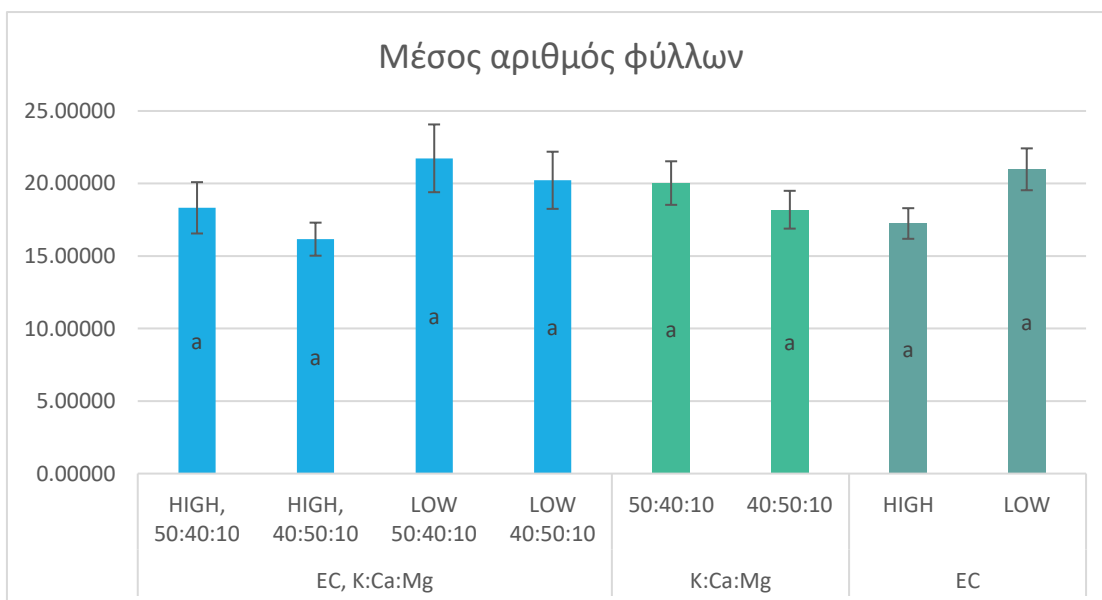


**Γράφημα 2** Η επίδραση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC,  $2,4 \text{ dS m}^{-1}$  και  $3,6 \text{ dS m}^{-1}$ , που σημειώνονται ως LOW και HIGH αντίστοιχα) και της αναλογίας K:Ca:Mg (50:40:10 και 40:50:10), όπως και της αλληλεπίδρασης μεταξύ των παραγόντων (EC, K:Ca:Mg) στο ξηρό βάρος (dw) του υπέργειου μέρους των φυτών *C. spinosum* (g). Οι γραμμές σε κάθε ράβδο υποδεικνύουν το τυπικό σφάλμα, ενώ τα διαφορετικά γράμματα στο κέντρο των ράβδων υποδεικνύουν στατιστικά σημαντική διαφορά σύμφωνα με το κριτήριο Duncan's Multiple-Range test ( $P \leq 5\%$ ).

Στο γράφημα 2 παρατηρείται διαφορά μεταξύ των αποτελεσμάτων, με την επέμβαση HIGH/50:40:10 να παρουσιάζει το υψηλότερο μέσο ξηρό βάρος (1.947 g), ενώ η επέμβαση LOW/50:40:10 παρουσίασε το χαμηλότερο μέσο ξηρό βάρος (1.570 g). Περαιτέρω, παρατηρείται υψηλότερο μέσο ξηρό βάρος, σε μεγαλύτερο βαθμό στη μεταβλητή υψηλής ηλεκτρικής αγωγιμότητας (HIGH) και σε μικρότερο βαθμό στην μεταβλητή συγκέντρωσης 50:40:10. Παρόλα αυτά, όσο και στη μελέτη της κύριας επίδρασης, τόσο και της αλληλεπίδρασης των δύο παραγόντων (EC x K:Ca:Mg), δεν παρατηρείται στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των επεμβάσεων.

### 4.3. Αριθμός φύλλων

Στο γράφημα 3 απεικονίζονται τα αποτελέσματα της μέτρησης του αριθμού των φύλλων των φυτών. Οι τιμές που απεικονίζονται στο γράφημα αφορούν τις 4 επεμβάσεις του πειράματος με παράγοντες την ηλεκτρική αγωγιμότητα και την συγκέντρωση K:Ca:Mg. Στο γράφημα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα ανάλυσης διασποράς κατά δύο παράγοντες, μετά τον έλεγχο της αλληλεπίδρασης των δύο παραγόντων (EC x K:Ca:Mg) και της κύριας επίδρασης των παραγόντων EC και K:Ca:Mg. Οι τιμές του γραφήματος προήλθαν από τον υπολογισμό του μέσου όρου κάθε επανάληψης (4 επαναλήψεις ανά επέμβαση), και επακόλουθα από την στατιστική ανάλυση τους.



**Γράφημα 3** Η επίδραση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC, 2.4 dS m<sup>-1</sup> και 3.6 dS m<sup>-1</sup>, που σημειώνονται ως LOW και HIGH αντίστοιχα) και της αναλογίας K:Ca:Mg (50:40:10 και 40:50:10), όπως και της αλληλεπίδρασης μεταξύ των παραγόντων (EC, K:Ca:Mg) στον αριθμό φύλλων των φυτών *C. spinosum*. Οι γραμμές σε κάθε ράβδο υποδεικνύουν το τυπικό σφάλμα, ενώ τα διαφορετικά γράμματα στο κέντρο των ράβδων υποδεικνύουν στατιστικά σημαντική διαφορά σύμφωνα με το κριτήριο Duncan's Multiple-Range test (P ≤ 5%).

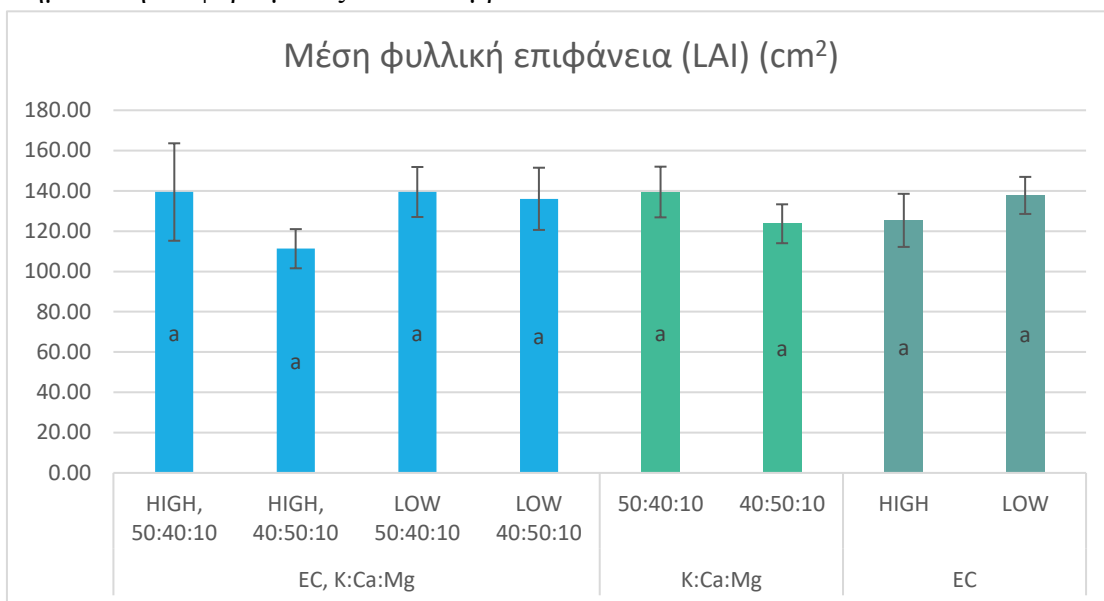
Στο γράφημα 3 παρατηρείται διαφορά μεταξύ των δειγμάτων, με την επέμβαση LOW/50:40:10 να παρουσιάζει τον υψηλότερο μέσο αριθμό φύλλων (~22), ακολουθούμενη από την επέμβαση LOW/40:50:10 (~20). Αντίθετα, οι επεμβάσεις HIGH/50:40:10 και HIGH/40:50:10 παρουσίασαν χαμηλότερο αριθμό φύλλων (~16 και ~18 αντίστοιχα). Παρότι παραιτείται διαφορά μεταξύ των δειγμάτων, και ιδιαίτερα μεταξύ του υψηλότερου αριθμού φύλλων (LOW/50:40:10) και του χαμηλότερου αριθμού φύλλων (HIGH/50:40:10), παρατηρείται στατιστικά μη-σημαντική διαφορά μεταξύ των δειγμάτων, όσο στη μελέτη της κύριας επίδρασης, τόσο και της αλληλεπίδρασης των δύο παραγόντων (EC x K:Ca:Mg).

#### 4.4. Φυλλική επιφάνεια (Leaf Area Index)

Στο γράφημα 4 απεικονίζονται τα αποτελέσματα της μέτρησης της φυλλικής επιφάνειας των φυτών (Leaf Area Index, LAI,  $\text{cm}^2$ ). Οι τιμές που απεικονίζονται στο γράφημα αφορούν τις 4 επεμβάσεις του πειράματος με παράγοντες την ηλεκτρική αγωγιμότητα και την συγκέντρωση K:Ca:Mg. Στο γράφημα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα ανάλυσης διασποράς κατά δύο παράγοντες, μετά τον έλεγχο της αλληλεπίδρασης των δύο παραγόντων (EC x K:Ca:Mg) και της κύριας επίδρασης των παραγόντων EC και K:Ca:Mg. Οι τιμές του γραφήματος προήλθαν από τον υπολογισμό του μέσου όρου κάθε επανάληψης (4 επαναλήψεις ανά επέμβαση), και επακόλουθα από την στατιστική ανάλυση τους.

Στο γράφημα 4, όπως γίνεται αντιληπτό από τα αποτελέσματα της μελέτης αλληλεπίδρασης των δύο παραγόντων (EC x K:Ca:Mg), η επέμβαση LOW/50:40:10 και HIGH/50:40:10 έδωσαν φυτά με την μεγαλύτερη φυλλική επιφάνεια (139.43 και 139.42  $\text{cm}^2$ ), η επέμβαση LOW/40:50:10 έδωσε φυτά με φυλλική επιφάνεια 136.04  $\text{cm}^2$ , ενώ με την επέμβαση HIGH/40:50:10 παρατηρήθηκε η χαμηλότερη μέση φυλλική επιφάνεια (111.29  $\text{cm}^2$ ). Ακόμα, κατά την ανάλυση των κύριων επιδράσεων, παρατηρείται διαφορά μεταξύ των αποτελεσμάτων. Συγκεκριμένα, για τον παράγοντα EC, τα φυτά που καλλιεργήθηκαν σε θρεπτικό διάλυμα με χαμηλή EC (2.4  $\text{dS m}^{-1}$ ) είχαν μεγαλύτερη φυλλική επιφάνεια από αυτά που καλλιεργήθηκαν σε θρεπτικό διάλυμα με υψηλή EC (3.6  $\text{dS m}^{-1}$ ) (137.74 και 125.35  $\text{cm}^2$  αντίστοιχα). Αντιστοίχως, για τον παράγοντα K:Ca:Mg, τα φυτά που καλλιεργήθηκαν σε θρεπτικό διάλυμα με αναλογία 50:40:10 είχαν μεγαλύτερη φυλλική επιφάνεια από αυτά που καλλιεργήθηκαν σε θρεπτικό διάλυμα με αναλογία 40:50:10 (139.43 και 123.67  $\text{cm}^2$

αντίστοιχα). Παρόλα αυτά, όσο και στη μελέτη της κύριας επίδρασης, τόσο και της αλληλεπίδρασης των δύο παραγόντων (EC x K:Ca:Mg), δεν παρατηρείται στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των επεμβάσεων.



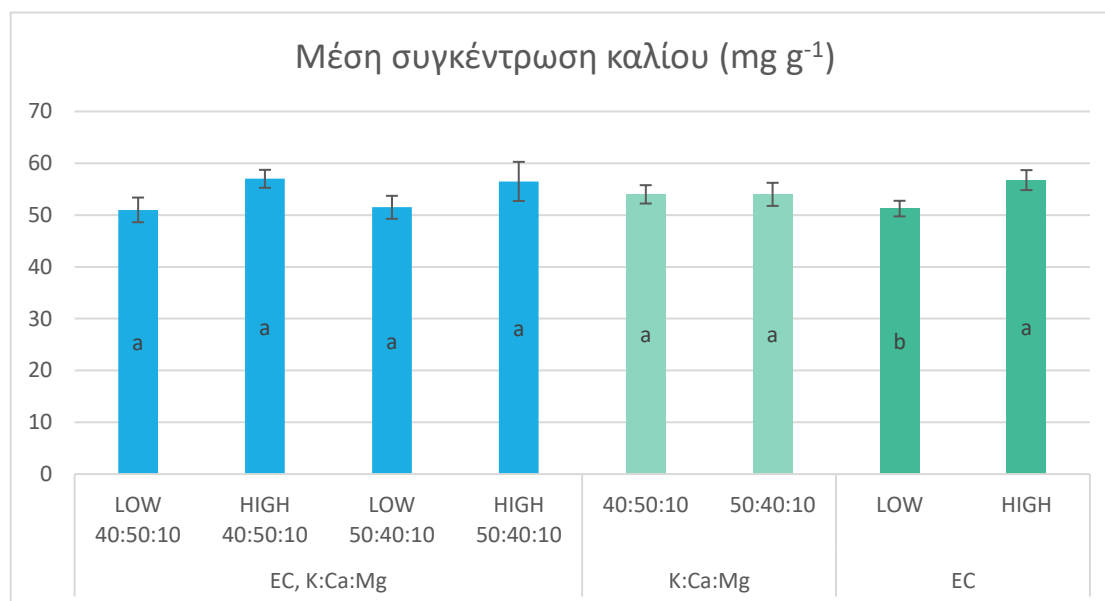
**Γράφημα 4** Η επίδραση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC, 2.4 dS m<sup>-1</sup> και 3.6 dS m<sup>-1</sup>, που σημειώνονται ως LOW και HIGH αντίστοιχα) και της αναλογίας K:Ca:Mg (50:40:10 και 40:50:10), όπως και της αλληλεπίδρασης μεταξύ των παραγόντων (EC, K:Ca:Mg) στη φυλλική επιφάνεια (Leaf Area Index) των φυτών *C. spinosum* (cm<sup>2</sup>). Οι γραμμές σε κάθε ράβδο υποδεικνύουν το τυπικό σφάλμα, ενώ τα διαφορετικά γράμματα στο κέντρο των ράβδων υποδεικνύουν στατιστικά σημαντική διαφορά σύμφωνα με το κριτήριο Duncan's Multiple-Range test ( $P \leq 5\%$ ).

## 4.5. Αποτελέσματα συγκέντρωσης μακροστοιχείων

### 4.5.1. Συγκέντρωση Καλίου (K<sup>+</sup>)

Ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης K<sup>+</sup> έγινε μετά την εκχύλιση αποξηραμένου φυτικού ιστού του υπέργειου μέρους των φυτών *C. spinosum*. Στο γράφημα 5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την ανάλυση των φυτών που αφορούν τις 4 επεμβάσεις του πειράματος με παράγοντες την ηλεκτρική αγωγιμότητα και την αναλογία K:Ca:Mg, την LOW/50:40:10, LOW/40:50:10, HIGH/50:40:10, και HIGH/50:40:10. Οι τιμές αυτές προέκυψαν από τον υπολογισμό του μέσου όρου της συγκέντρωσης K<sup>+</sup> του φυτικού ιστού των φυτών για κάθε μία από τις 4 επαναλήψεις των επεμβάσεων, και επακόλουθα τον υπολογισμό του μέσου όρου για κάθε επέμβαση. Οι τιμές αυτές εκφράζονται με mg g<sup>-1</sup> φυτικού ιστού. Επιπλέον, στο γράφημα 5

παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων διασποράς κατά ένα παράγοντα, την αναλογία K:Ca:Mg και ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC).



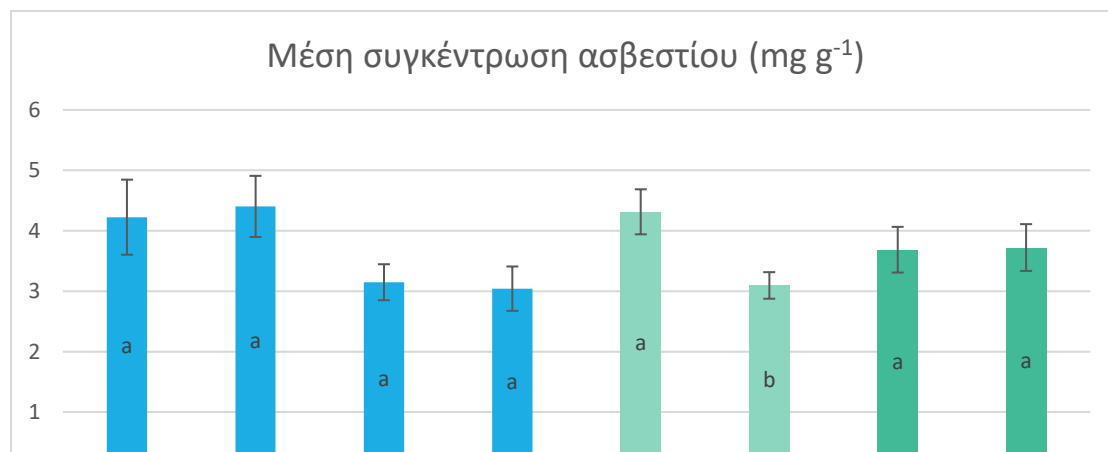
**Γράφημα 5** Η επίδραση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC, 2.4 dS m<sup>-1</sup> και 3.6 dS m<sup>-1</sup>, που σημειώνονται ως LOW και HIGH αντίστοιχα) και της αναλογίας K:Ca:Mg (50:40:10 και 40:50:10), όπως και της αλληλεπίδρασης μεταξύ των παραγόντων (EC, K:Ca:Mg) στη συγκέντρωση καλίου στο υπέργειο μέρος των φυτών *C. spinosum* (mg g<sup>-1</sup>). Οι γραμμές σε κάθε ράβδο υποδεικνύουν το τυπικό σφάλμα, ενώ τα διαφορετικά γράμματα στο κέντρο των ράβδων υποδεικνύουν στατιστικά σημαντική διαφορά σύμφωνα με το κριτήριο Duncan's Multiple-Range test ( $P \leq 5\%$ ).

Όπως παρατηρείται από το γράφημα 5, η συγκέντρωση K<sup>+</sup> δεν είχε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των μεταχειρίσεων LOW/50:40:10, LOW/40:50:10, HIGH/50:40:10, και HIGH/50:40:10. Αυτό το γεγονός παρατηρείται και στα αποτελέσματα των αναλύσεων διασποράς για τον παράγοντα αναλογίας K:Ca:Mg. Παρόλα αυτά, παρατηρείται στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των μεταχειρίσεων του παράγοντα ηλεκτρικής αγωγιμότητας, καθώς η συγκέντρωση K<sup>+</sup> είναι υψηλότερη στο υπέργειο μέρος των φυτών της μεταχείρισης HIGH EC, σε σύγκριση με τη μεταχείριση LOW EC.

#### 4.5.2. Συγκέντρωση Ασβεστίου (Ca<sup>2+</sup>)

Ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης Ca<sup>2+</sup> έγινε με την εκχύλιση αποξηραμένου φυτικού ιστού του υπέργειου μέρους των φυτών *C. spinosum*. Στο γράφημα 6 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την ανάλυση των φυτών που αφορούν τις 4 επεμβάσεις του πειράματος με παράγοντες την ηλεκτρική αγωγιμότητα και την αναλογία K:Ca:Mg, την LOW/50:40:10, LOW/40:50:10, HIGH/50:40:10, και HIGH/50:40:10. Οι τιμές αυτές προέκυψαν από τον υπολογισμό του μέσου όρου της

της συγκέντρωσης  $\text{Ca}^{2+}$  του φυτικού ιστού των φυτών για κάθε μία από τις 4 επαναλήψεις των επεμβάσεων, και επακόλουθα τον υπολογισμό του μέσου όρου για κάθε επέμβαση. Οι τιμές αυτές εκφράζονται με  $\text{mg g}^{-1}$  φυτικού ιστού. Επιπλέον, στο γράφημα 6 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων διασποράς κατά ένα παράγοντα, την αναλογία K:Ca:Mg και ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC).

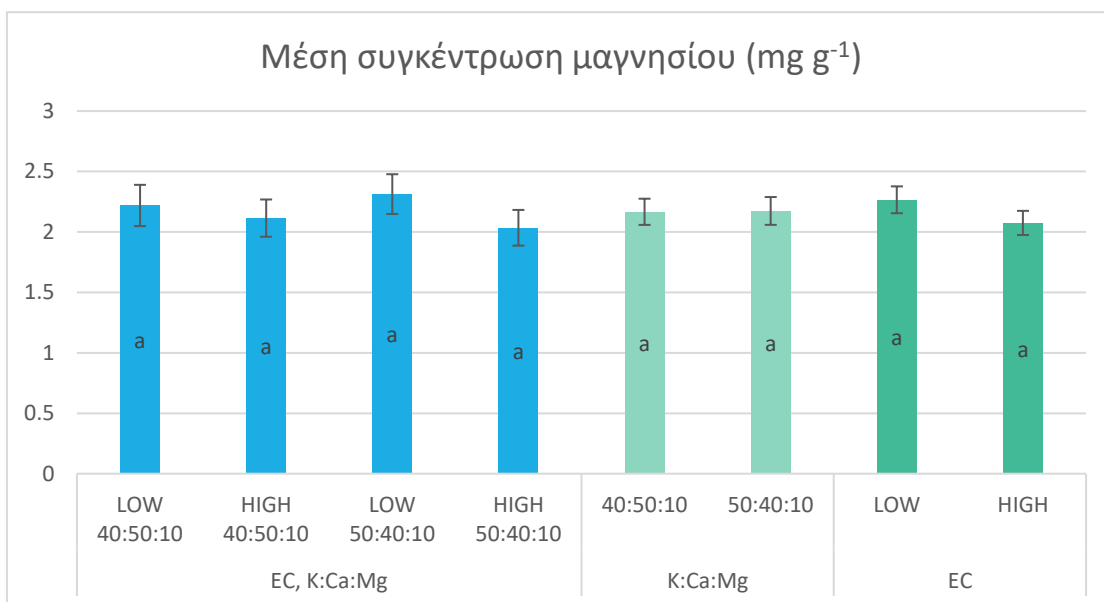


**Γράφημα 6** Η επίδραση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC,  $2.4 \text{ dS m}^{-1}$  και  $3.6 \text{ dS m}^{-1}$ , που σημειώνονται ως LOW και HIGH αντίστοιχα) και της αναλογίας K:Ca:Mg (50:40:10 και 40:50:10), όπως και της αλληλεπίδρασης μεταξύ των παραγόντων (EC, K:Ca:Mg) στη συγκέντρωση ασβεστίου στο υπέργειο μέρος των φυτών *C. spinosum* ( $\text{mg g}^{-1}$ ). Οι γραμμές σε κάθε ράβδο υποδεικνύουν το τυπικό σφάλμα, ενώ τα διαφορετικά γράμματα στο κέντρο των ράβδων υποδεικνύουν στατιστικά σημαντική διαφορά σύμφωνα με το κριτήριο Duncan's Multiple-Range test ( $P \leq 5\%$ ).

Όπως παρατηρείται από το γράφημα 6, η συγκέντρωση  $\text{Ca}^{2+}$  δεν είχε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των μεταχειρίσεων LOW/50:40:10, LOW/40:50:10, HIGH/50:40:10, και HIGH/40:50:10. Αυτό το γεγονός παρατηρείται και στα αποτελέσματα των αναλύσεων διασποράς για τον παράγοντα ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Παρόλα αυτά, παρατηρείται στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των μεταχειρίσεων του παράγοντα αναλογίας K:Ca:Mg, αφού η συγκέντρωση  $\text{Ca}^{2+}$  είναι υψηλότερη στο υπέργειο μέρος των φυτών της μεταχείρισης 40:50:10, σε σύγκριση με τη μεταχείριση 50:40:10.

### 4.5.3. Συγκέντρωση Μαγνησίου ( $Mg^{2+}$ )

Ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης  $Mg^{2+}$  έγινε με την εκχύλιση αποξηραμένου φυτικού ιστού του υπέργειου μέρους των φυτών *C. spinosum*. Στο γράφημα 7 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την ανάλυση των φυτών που αφορούν τις 4 επεμβάσεις του πειράματος με παράγοντες την ηλεκτρική αγωγιμότητα και την αναλογία K:Ca:Mg, την LOW/50:40:10, LOW/40:50:10, HIGH/50:40:10, και HIGH/50:40:10. Οι τιμές αυτές προέκυψαν από τον υπολογισμό του μέσου όρου της της συγκέντρωσης  $Mg^{2+}$  του φυτικού ιστού των φυτών για κάθε μία από τις 4 επαναλήψεις των επεμβάσεων, και επακόλουθα τον υπολογισμό του μέσου όρου για κάθε επέμβαση. Οι τιμές αυτές εκφράζονται με  $mg\ g^{-1}$  φυτικού ιστού. Επιπλέον, στο γράφημα 7 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων διασποράς κατά ένα παράγοντα, την αναλογία K:Ca:Mg και ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC).



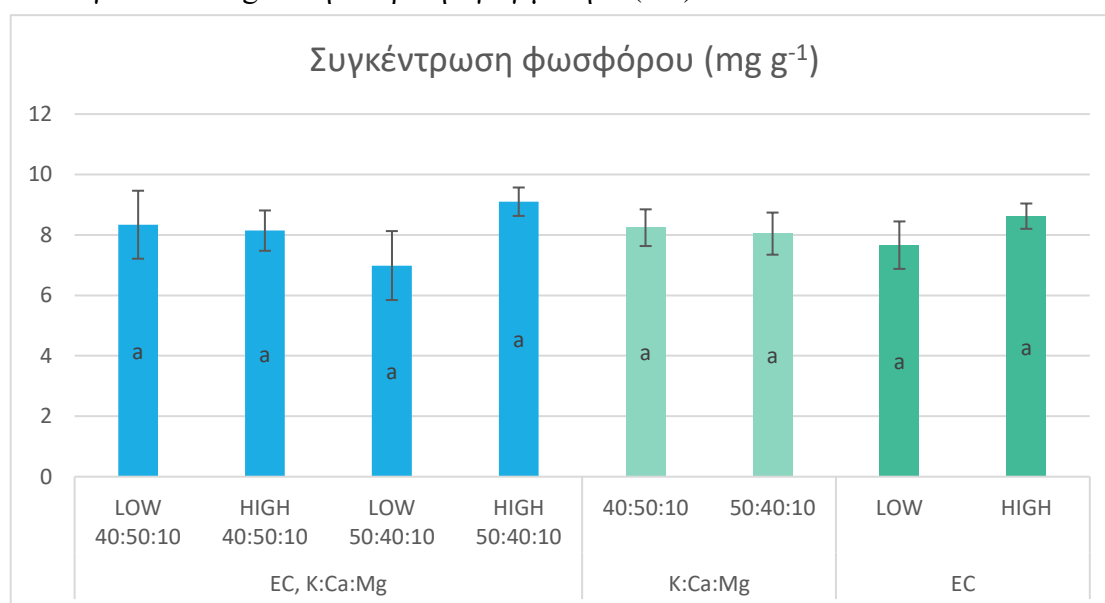
**Γράφημα 7** Η επίδραση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC,  $2.4\ dS\ m^{-1}$  και  $3.6\ dS\ m^{-1}$ , που σημειώνονται ως LOW και HIGH αντίστοιχα) και της αναλογίας K:Ca:Mg (50:40:10 και 40:50:10), όπως και της αλληλεπίδρασης μεταξύ των παραγόντων (EC, K:Ca:Mg) στη συγκέντρωση μαγνησίου στο υπέργειο μέρος των φυτών *C. spinosum* ( $mg\ g^{-1}$ ). Οι γραμμές σε κάθε ράβδο υποδεικνύουν το τυπικό σφάλμα, ενώ τα διαφορετικά γράμματα στο κέντρο των ράβδων υποδεικνύουν στατιστικά σημαντική διαφορά σύμφωνα με το κριτήριο Duncan's Multiple-Range test ( $P \leq 5\%$ ).

Όπως παρατηρείται από το γράφημα 7, η συγκέντρωση  $Mg^{2+}$  δεν είχε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των μεταχειρίσεων LOW/50:40:10, LOW/40:50:10, HIGH/50:40:10, και HIGH/50:40:10. Αυτό το γεγονός παρατηρείται και στα αποτελέσματα των αναλύσεων διασποράς για κάθε παράγοντα ξεχωριστά.



#### 4.5.4. Συγκέντρωση φωσφόρου (P)

Ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης P έγινε με την εκχύλιση αποξηραμένου φυτικού ιστού του υπέργειου μέρους των φυτών *C. spinosum*. Στο γράφημα 8 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την ανάλυση των φυτών που αφορούν τις 4 επεμβάσεις του πειράματος με παράγοντες την ηλεκτρική αγωγιμότητα και την αναλογία K:Ca:Mg, την LOW/50:40:10, LOW/40:50:10, HIGH/50:40:10, και HIGH/50:40:10. Οι τιμές αυτές προέκυψαν από τον υπολογισμό του μέσου όρου της συγκέντρωσης P<sup>3-</sup> του φυτικού ιστού των φυτών για κάθε μία από τις 4 επαναλήψεις των επεμβάσεων, και επακόλουθα τον υπολογισμό του μέσου όρου για κάθε επέμβαση. Οι τιμές αυτές εκφράζονται με mg g<sup>-1</sup> φυτικού ιστού. Επιπλέον, στο γράφημα 8 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων διασποράς κατά ένα παράγοντα, την αναλογία K:Ca:Mg και ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC).

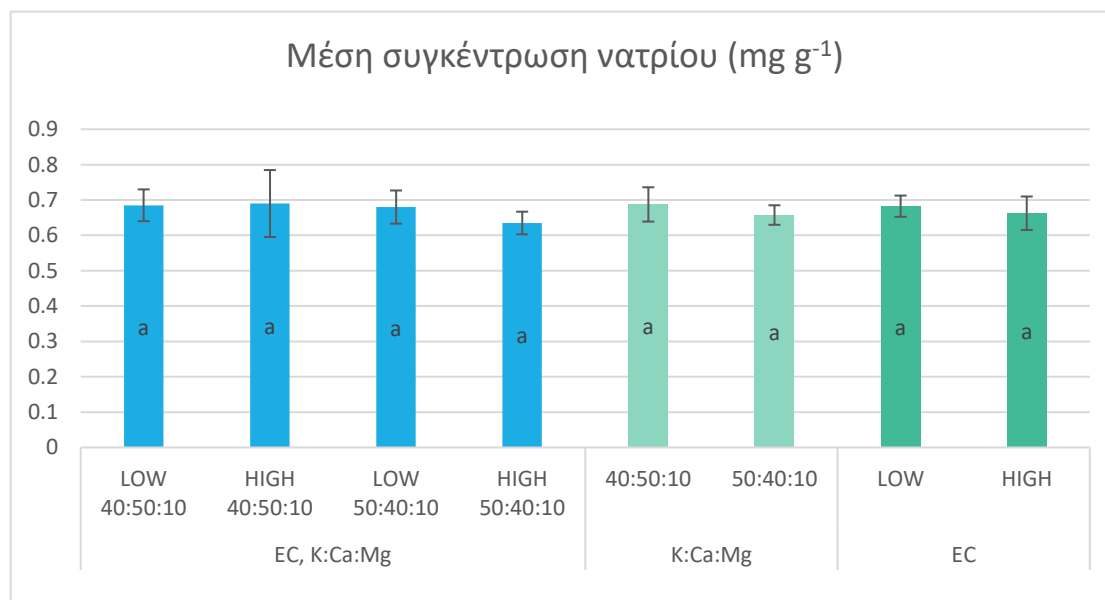


**Γράφημα 8** Η επίδραση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC, 2.4 dS m<sup>-1</sup> και 3.6 dS m<sup>-1</sup>, που σημειώνονται ως LOW και HIGH αντίστοιχα) και της αναλογίας K:Ca:Mg (50:40:10 και 40:50:10), όπως και της αλληλεπίδρασης μεταξύ των παραγόντων (EC, K:Ca:Mg) στη συγκέντρωση φωσφόρου στο υπέργειο μέρος των φυτών *C. spinosum* (mg g<sup>-1</sup>). Οι γραμμές σε κάθε ράβδο υποδεικνύουν το τυπικό σφάλμα, ενώ τα διαφορετικά γράμματα στο κέντρο των ράβδων υποδεικνύουν στατιστικά σημαντική διαφορά σύμφωνα με το κριτήριο Duncan's Multiple-Range test (P ≤ 5%).

Όπως παρατηρείται από το γράφημα 8, η συγκέντρωση P δεν είχε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των μεταχειρίσεων LOW/50:40:10, LOW/40:50:10, HIGH/50:40:10, και HIGH/50:40:10. Αυτό το γεγονός παρατηρείται και στα αποτελέσματα των αναλύσεων διασποράς για κάθε παράγοντα (EC και K:Ca:Mg) ξεχωριστά.

#### 4.6. Συγκέντρωση Νατρίου (Na<sup>+</sup>)

Ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης Na<sup>+</sup> έγινε με την εκχύλιση αποξηραμένου φυτικού ιστού του υπέργειου μέρους των φυτών *C. spinosum*. Στο γράφημα 9 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την ανάλυση των φυτών που αφορούν τις 4 επεμβάσεις του πειράματος με παράγοντες την ηλεκτρική αγωγιμότητα και την αναλογία K:Ca:Mg, την LOW/50:40:10, LOW/40:50:10, HIGH/50:40:10, και HIGH/50:40:10. Οι τιμές αυτές προέκυψαν από τον υπολογισμό του μέσου όρου της συγκέντρωσης Na<sup>+</sup> του φυτικού ιστού των φυτών για κάθε μία από τις 4 επαναλήψεις των επεμβάσεων, και επακόλουθα τον υπολογισμό του μέσου όρου για κάθε επέμβαση. Οι τιμές αυτές εκφράζονται με mg g<sup>-1</sup> φυτικού ιστού. Επιπλέον, στο γράφημα 9 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων διασποράς κατά ένα παράγοντα, την αναλογία K:Ca:Mg και ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC).



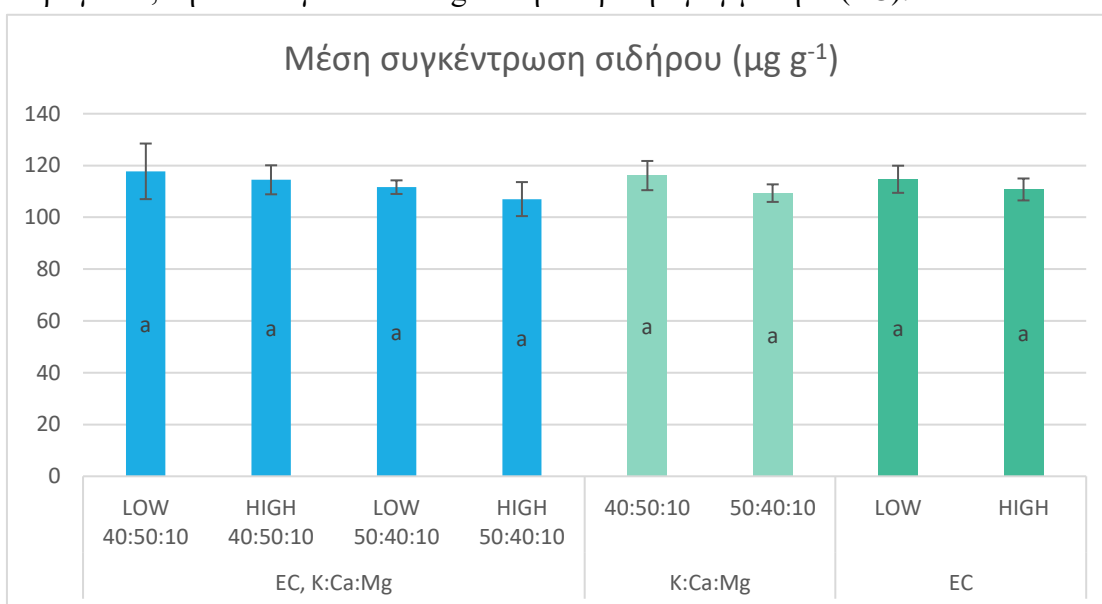
**Γράφημα 9** Η επίδραση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC, 2.4 dS m<sup>-1</sup> και 3.6 dS m<sup>-1</sup>, που σημειώνονται ως LOW και HIGH αντίστοιχα) και της αναλογίας K:Ca:Mg (50:40:10 και 40:50:10), όπως και της αλληλεπίδρασης μεταξύ των παραγόντων (EC, K:Ca:Mg) στη συγκέντρωση νατρίου στο υπέργειο μέρος των φυτών *C. spinosum* (mg g<sup>-1</sup>). Οι γραμμές σε κάθε ράβδο υποδεικνύουν το τυπικό σφάλμα, ενώ τα διαφορετικά γράμματα στο κέντρο των ραβδών υποδεικνύουν στατιστικά σημαντική διαφορά σύμφωνα με το κριτήριο Duncan's Multiple-Range test (P ≤ 5%).

Όπως παρατηρείται από το γράφημα 9, η συγκέντρωση Na<sup>+</sup> στο φυτικό ιστό δεν επηρεάστηκε στατιστικά σημαντικά κατά τις μεταχειρίσεις με θρεπτικό διάλυμα διαφορετικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας, και διαφορετικής αναλογίας K:Ca:Mg. Αυτό το γεγονός παρατηρείται και στα αποτελέσματα των αναλύσεων διασποράς για κάθε παράγοντα ξεχωριστά.

## 4.7. Αποτελέσματα συγκέντρωσης ιχνοστοιχείων

### 4.7.1. Συγκέντρωση Σιδήρου ( $Fe^{2+}$ )

Ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης  $Fe^{2+}$  έγινε με την εκχύλιση αποξηραμένου φυτικού ιστού του υπέργειου μέρους των φυτών *C. spinosum*. Στο γράφημα 10 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την ανάλυση των φυτών που αφορούν τις 4 επεμβάσεις του πειράματος με παράγοντες την ηλεκτρική αγωγιμότητα και την αναλογία K:Ca:Mg, την LOW/50:40:10, LOW/40:50:10, HIGH/50:40:10, και HIGH/50:40:10. Οι τιμές αυτές προέκυψαν από τον υπολογισμό του μέσου όρου της συγκέντρωσης  $Fe^{2+}$  του φυτικού ιστού των φυτών για κάθε μία από τις 4 επαναλήψεις των επεμβάσεων, και επακόλουθα τον υπολογισμό του μέσου όρου για κάθε επέμβαση. Οι τιμές αυτές εκφράζονται με  $\mu\text{g/g}$  φυτικού ιστού. Επιπλέον, στο γράφημα 10 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων διασποράς κατά ένα παράγοντα, την αναλογία K:Ca:Mg και ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC).



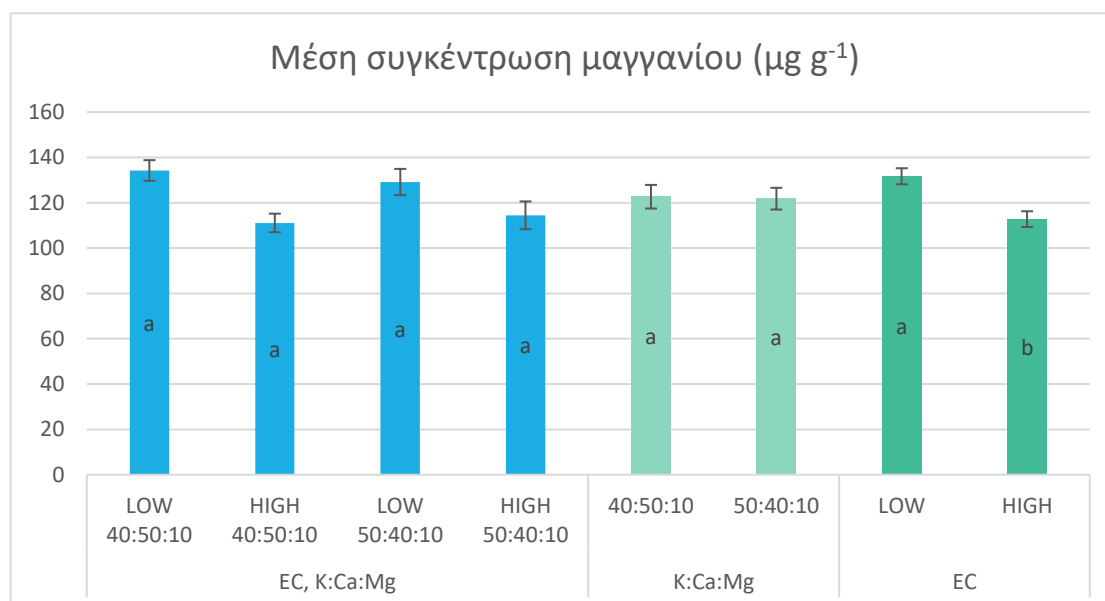
**Γράφημα 10** Η επίδραση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC,  $2.4 \text{ dS m}^{-1}$  και  $3.6 \text{ dS m}^{-1}$ , που σημειώνονται ως LOW και HIGH αντίστοιχα) και της αναλογίας K:Ca:Mg (50:40:10 και 40:50:10), όπως και της αλληλεπίδρασης μεταξύ των παραγόντων (EC, K:Ca:Mg) στη συγκέντρωση σιδήρου στο υπέργειο μέρος των φυτών *C. spinosum* ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ). Οι γραμμές σε κάθε ράβδο υποδεικνύουν το τυπικό σφάλμα, ενώ τα διαφορετικά γράμματα στο κέντρο των ράβδων υποδεικνύουν στατιστικά σημαντική διαφορά σύμφωνα με το κριτήριο Duncan's Multiple-Range test ( $P \leq 5\%$ ).

Όπως παρατηρείται από το γράφημα 10, η συγκέντρωση  $Fe^{2+}$  στο φυτικό ιστό δεν επηρεάστηκε στατιστικά σημαντικά κατά τις εφαρμογές LOW/40:50:10, LOW/50:40:10, HIGH/50:40:10, και HIGH/40:50:10. Αυτό το γεγονός παρατηρείται

και στα αποτελέσματα των αναλύσεων διασποράς για κάθε παράγοντα (K:Ca:Mg και EC) ξεχωριστά.

#### 4.7.2. Συγκέντρωση Μαγγανίου ( $Mn^{2+}$ )

Ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης  $Mn^{2+}$  έγινε με την εκχύλιση αποξηραμένου φυτικού ιστού του υπέργειου μέρους των φυτών *C. spinosum*. Στο γράφημα 11 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την ανάλυση των φυτών που αφορούν τις 4 επεμβάσεις του πειράματος με παράγοντες την ηλεκτρική αγωγιμότητα και την αναλογία K:Ca:Mg, την LOW/50:40:10, LOW/40:50:10, HIGH/50:40:10, και HIGH/50:40:10. Οι τιμές αυτές προέκυψαν από τον υπολογισμό του μέσου όρου της της συγκέντρωσης  $Mn^{2+}$  του φυτικού ιστού των φυτών για κάθε μία από τις 4 επαναλήψεις των επεμβάσεων, και επακόλουθα τον υπολογισμό του μέσου όρου για κάθε επέμβαση. Οι τιμές αυτές εκφράζονται με  $\mu\text{g/g}$  φυτικού ιστού. Επιπλέον, στο γράφημα 11 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων διασποράς κατά ένα παράγοντα, την αναλογία K:Ca:Mg και ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC).



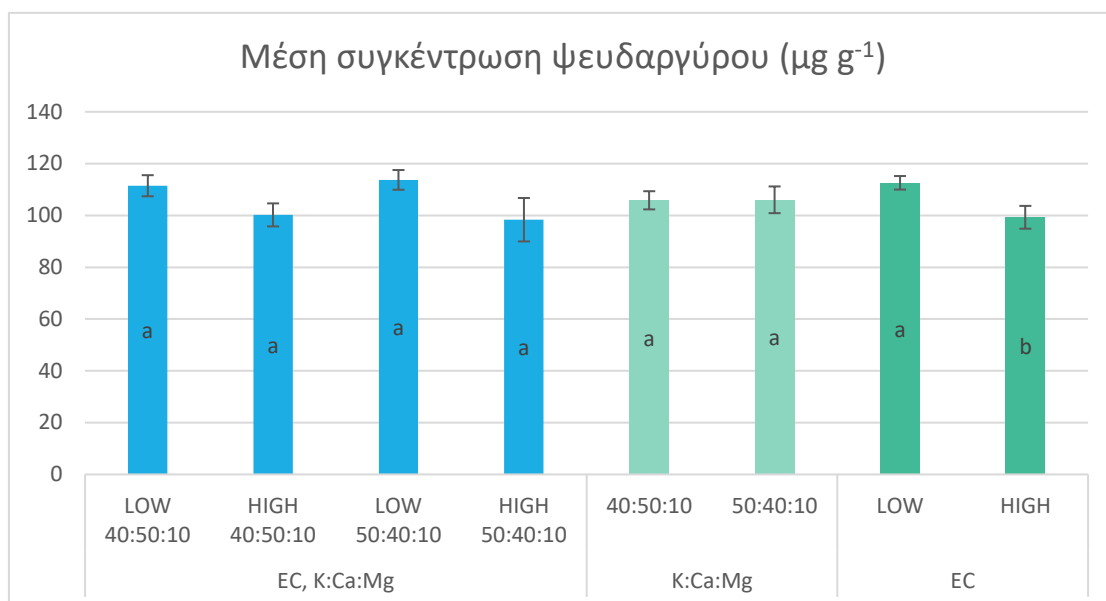
**Γράφημα 11** Η επίδραση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC,  $2.4 \text{ dS m}^{-1}$  και  $3.6 \text{ dS m}^{-1}$ , που σημειώνονται ως LOW και HIGH αντίστοιχα) και της αναλογίας K:Ca:Mg (50:40:10 και 40:50:10), όπως και της αλληλεπίδρασης μεταξύ των παραγόντων (EC, K:Ca:Mg) στη συγκέντρωση μαγγανίου στο υπέργειο μέρος των φυτών *C. spinosum* ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ). Οι γραμμές σε κάθε ράβδο υποδεικνύουν το τυπικό σφάλμα, ενώ τα διαφορετικά γράμματα στο κέντρο των ράβδων υποδεικνύουν στατιστικά σημαντική διαφορά σύμφωνα με το κριτήριο Duncan's Multiple-Range test ( $P \leq 5\%$ ).

Όπως παρατηρείται από το γράφημα 10, η συγκέντρωση  $Mn^{2+}$  στο φυτικό ιστό δεν επηρεάστηκε στατιστικά σημαντικά κατά τις εφαρμογές LOW/40:50:10, LOW/50:40:10, HIGH/50:40:10, και HIGH/40:50:10. Αυτό το γεγονός παρατηρείται

και στα αποτελέσματα των αναλύσεων διασποράς για τον παράγοντα K:Ca:Mg. Αντιθέτως, παρατηρείται στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των μεταχειρίσεων του παράγοντα ηλεκτρικής αγωγιμότητας, και συγκεκριμένα, στην μεταχείριση LOW παρατηρείται η υψηλότερη συγκέντρωση  $Mn^{2+}$ .

#### 4.7.3. Συγκέντρωση Ψευδαργύρου ( $Zn^{2+}$ )

Ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης  $Zn^{2+}$  έγινε με την εκχύλιση αποξηραμένου φυτικού ιστού του υπέργειου μέρους των φυτών *C. spinosum*. Στο γράφημα 12 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την ανάλυση των φυτών που αφορούν τις 4 επεμβάσεις του πειράματος με παράγοντες την ηλεκτρική αγωγιμότητα και την αναλογία K:Ca:Mg, την LOW/50:40:10, LOW/40:50:10, HIGH/50:40:10, και HIGH/50:40:10. Οι τιμές αυτές προέκυψαν από τον υπολογισμό του μέσου όρου της συγκέντρωσης  $Zn^{2+}$  του φυτικού ιστού των φυτών για κάθε μία από τις 4 επαναλήψεις των επεμβάσεων, και επακόλουθα τον υπολογισμό του μέσου όρου για κάθε επέμβαση. Οι τιμές αυτές εκφράζονται με  $\mu\text{g/g}$  φυτικού ιστού. Επιπλέον, στο γράφημα 12 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων διασποράς κατά ένα παράγοντα, την αναλογία K:Ca:Mg και ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC).

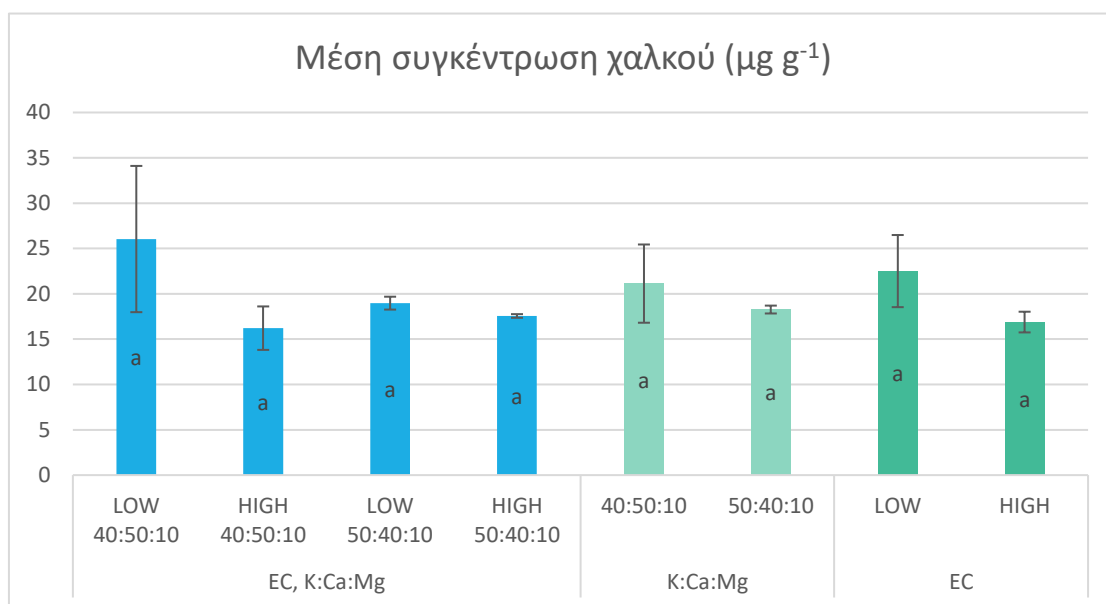


**Γράφημα 12** Η επίδραση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC,  $2.4 \text{ dS m}^{-1}$  και  $3.6 \text{ dS m}^{-1}$ , που σημειώνονται ως LOW και HIGH αντίστοιχα) και της αναλογίας K:Ca:Mg (50:40:10 και 40:50:10), όπως και της αλληλεπίδρασης μεταξύ των παραγόντων (EC, K:Ca:Mg) στη συγκέντρωση ψευδαργύρου στο υπέργειο μέρος των φυτών *C. spinosum* ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ). Οι γραμμές σε κάθε ράβδο υποδεικνύουν το τυπικό σφάλμα, ενώ τα διαφορετικά γράμματα στο κέντρο των ράβδων υποδεικνύουν στατιστικά σημαντική διαφορά σύμφωνα με το κριτήριο Duncan's Multiple-Range test ( $P \leq 5\%$ ).

Όπως παρατηρείται από το γράφημα 12, η συγκέντρωση  $\text{Zn}^{2+}$  στο φυτικό ιστό δεν επηρεάστηκε στατιστικά σημαντικά κατά τις μεταχειρίσεις με θρεπτικό διάλυμα διαφορετικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας, και διαφορετικής αναλογίας K:Ca:Mg. Αυτό το γεγονός παρατηρείται και στα αποτελέσματα των αναλύσεων διασποράς για κάθε παράγοντα ξεχωριστά.

#### 4.7.4. Συγκέντρωση Χαλκού ( $\text{Cu}^{2+}$ )

Ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης  $\text{Cu}^{2+}$  έγινε με την εκχύλιση αποξηραμένου φυτικού ιστού του υπέργειου μέρους των φυτών *C. spinosum*. Στο γράφημα 13 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την ανάλυση των φυτών που αφορούν τις 4 επεμβάσεις του πειράματος με παράγοντες την ηλεκτρική αγωγιμότητα και την αναλογία K:Ca:Mg, την LOW/50:40:10, LOW/40:50:10, HIGH/50:40:10, και HIGH/50:40:10. Οι τιμές αυτές προέκυψαν από τον υπολογισμό του μέσου όρου της συγκέντρωσης  $\text{Cu}^{2+}$  του φυτικού ιστού των φυτών για κάθε μία από τις 4 επαναλήψεις των επεμβάσεων, και επακόλουθα τον υπολογισμό του μέσου όρου για κάθε επέμβαση. Οι τιμές αυτές εκφράζονται με  $\mu\text{g/g}$  φυτικού ιστού. Επιπλέον, στο γράφημα 13 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων διασποράς κατά ένα παράγοντα, την αναλογία K:Ca:Mg και ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC).



**Γράφημα 13** Η επίδραση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC, 2.4 dS m<sup>-1</sup> και 3.6 dS m<sup>-1</sup>, που σημειώνονται ως LOW και HIGH αντίστοιχα) και της αναλογίας K:Ca:Mg (50:40:10 και 40:50:10), όπως και της αλληλεπίδρασης μεταξύ των παραγόντων (EC, K:Ca:Mg) στη συγκέντρωση χαλκού στο υπέργειο μέρος των φυτών *C. spinosum* (μg g<sup>-1</sup>). Οι γραμμές σε κάθε ράβδο υποδεικνύουν το τυπικό σφάλμα, ενώ τα διαφορετικά γράμματα στο κέντρο των ράβδων υποδεικνύουν στατιστικά σημαντική διαφορά σύμφωνα με το κριτήριο Duncan's Multiple-Range test (P ≤ 5%).

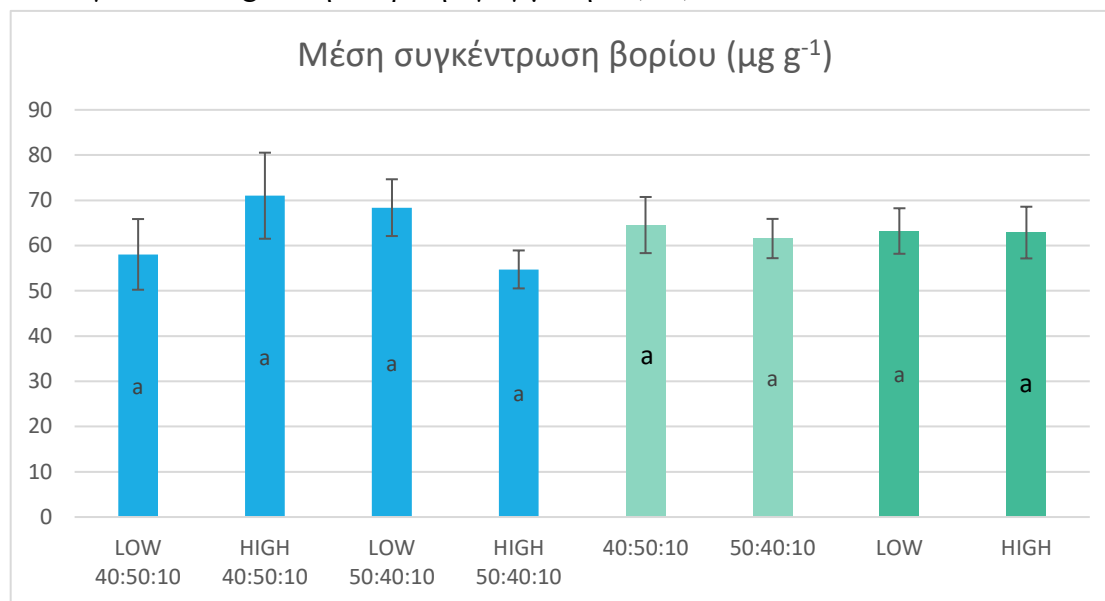
Σύμφωνα με το γράφημα 13, αν και παρατηρείται μια σχετικά υψηλότερη μέση συγκέντρωση Cu<sup>2+</sup> στο φυτικό ιστό των φυτών της μεταχείρισης LOW/40:50:10 (26.04 μg/g), οι συγκεντρώσεις Cu<sup>2+</sup> δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ των μεταχειρίσεων με θρεπτικό διάλυμα διαφορετικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας, και διαφορετικής αναλογίας K:Ca:Mg. Αυτό το γεγονός παρατηρείται και στα αποτελέσματα των αναλύσεων διασποράς για κάθε παράγοντα ξεχωριστά.

#### 4.7.5. Συγκέντρωση Βορίου (B)

Ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης B έγινε με την εκχύλιση αποξηραμένου φυτικού ιστού του υπέργειου μέρους των φυτών *C. spinosum*. Στο γράφημα 14 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την ανάλυση των φυτών που αφορούν τις 4 επεμβάσεις του πειράματος με παράγοντες την ηλεκτρική αγωγιμότητα και την αναλογία K:Ca:Mg, την LOW/50:40:10, LOW/40:50:10, HIGH/50:40:10, και HIGH/50:40:10. Οι τιμές αυτές προέκυψαν από τον υπολογισμό του μέσου όρου της συγκέντρωσης B του φυτικού ιστού των φυτών για κάθε μία από τις 4 επαναλήψεις των επεμβάσεων, και επακόλουθα τον υπολογισμό του μέσου όρου για κάθε επέμβαση. Οι τιμές αυτές εκφράζονται με μg/g φυτικού ιστού. Επιπλέον, στο γράφημα 14



παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων διασποράς κατά ένα παράγοντα, την αναλογία K:Ca:Mg και ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC).



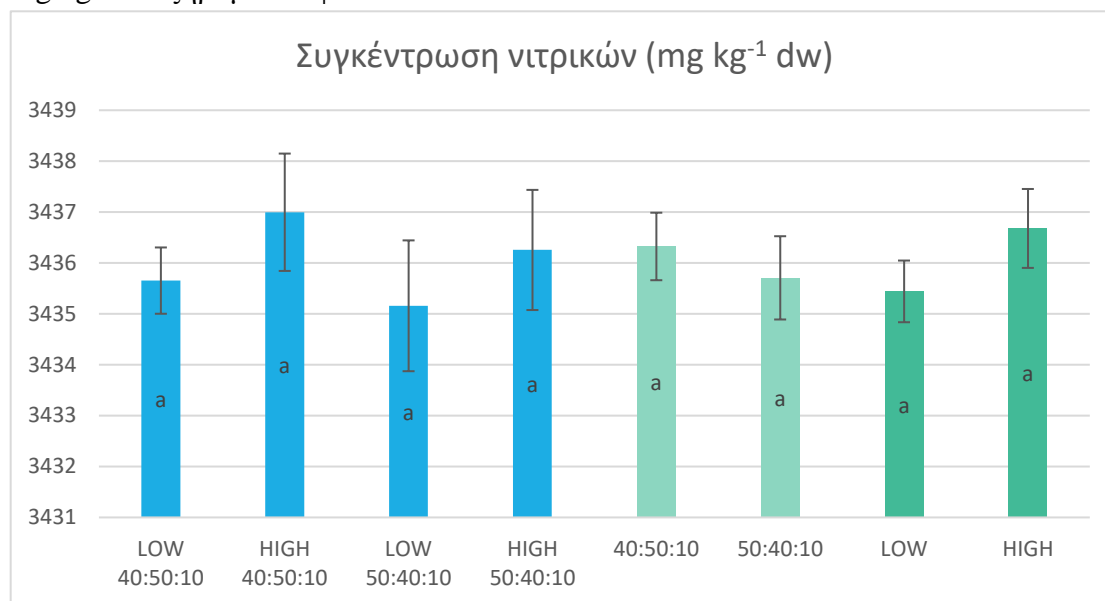
**Γράφημα 14** Η επίδραση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC, 2.4 dS m<sup>-1</sup> και 3.6 dS m<sup>-1</sup>, που σημειώνονται ως LOW και HIGH αντίστοιχα) και της αναλογίας K:Ca:Mg (50:40:10 και 40:50:10), όπως και της αλληλεπίδρασης μεταξύ των παραγόντων (EC, K:Ca:Mg) στη συγκέντρωση βορίου στο υπέργειο μέρος των φυτών *C. spinosum* (μg g<sup>-1</sup>). Οι γραμμές σε κάθε ράβδο υποδεικνύουν το τυπικό σφάλμα, ενώ τα διαφορετικά γράμματα στο κέντρο των ράβδων υποδεικνύουν στατιστικά σημαντική διαφορά σύμφωνα με το κριτήριο Duncan's Multiple-Range test (P ≤ 5%).

Όπως γίνεται αντιληπτό από το γράφημα 14, ενώ διακρίνεται διαφορά μεταξύ των μεταχειρίσεων, η συγκέντρωση B στο φυτικό ιστό δεν επηρεάστηκε στατιστικά σημαντικά κατά τις μεταχειρίσεις με θρεπτικό διάλυμα διαφορετικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας, και διαφορετικής αναλογίας K:Ca:Mg. Αυτό το γεγονός παρατηρείται και στα αποτελέσματα των αναλύσεων διασποράς για κάθε παράγοντα ξεχωριστά.

#### 4.8. Συγκέντρωση νιτρικού – αζώτου (NO<sup>3</sup> – N)

Τα αποτελέσματα της μέτρησης συγκέντρωσης νιτρικών αποξηραμένου φυτικού ιστού του υπέργειου μέρους των φυτών *C. spinosum* παρουσιάζονται στο γράφημα 15. Τα αποτελέσματα αφορούν τις 4 επεμβάσεις του πειράματος με παράγοντες την ηλεκτρική αγωγιμότητα και την αναλογία K:Ca:Mg, την LOW/50:40:10, LOW/40:50:10, HIGH/50:40:10, και HIGH/50:40:10. Οι τιμές αυτές προέκυψαν από τον υπολογισμό του μέσου όρου της συγκέντρωσης νιτρικών του φυτικού ιστού των φυτών για κάθε μία από τις 4 επαναλήψεις των επεμβάσεων, και επακόλουθα τον υπολογισμό του μέσου όρου για κάθε επέμβαση. Επιπλέον, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων διασποράς κατά ένα παράγοντα, την

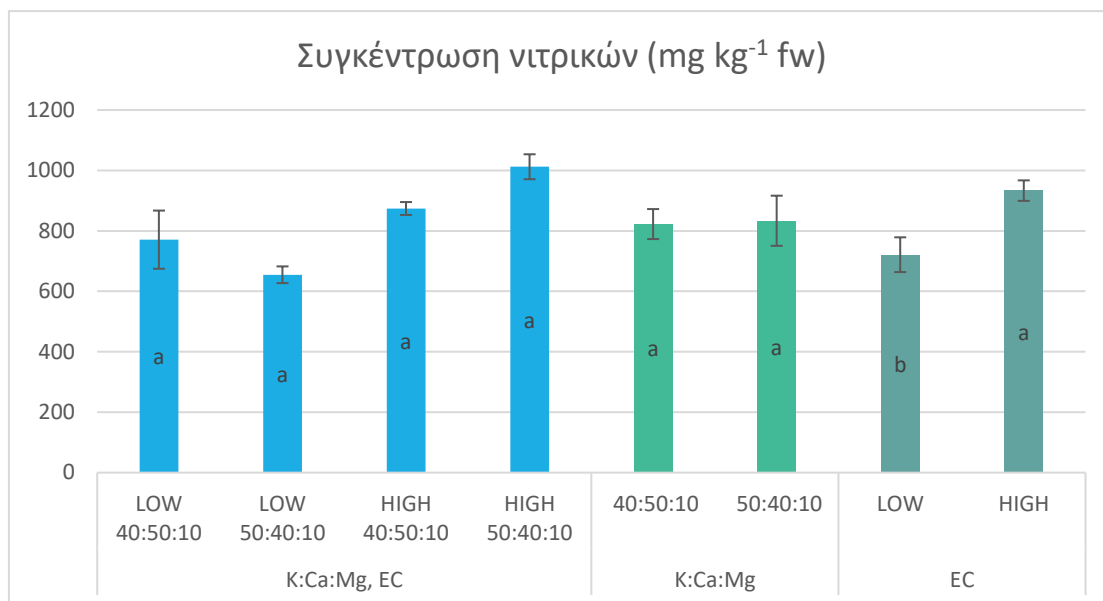
αναλογία K:Ca:Mg και ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC). Οι τιμές αυτές εκφράζονται με  $\text{mg kg}^{-1}$  αποξηραμένου φυτικού ιστού.



**Γράφημα 15** Η επίδραση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC,  $2.4 \text{ dS m}^{-1}$  και  $3.6 \text{ dS m}^{-1}$ , που σημειώνονται ως LOW και HIGH αντίστοιχα) και της αναλογίας K:Ca:Mg (50:40:10 και 40:50:10), όπως και της αλληλεπίδρασης μεταξύ των παραγόντων (EC, K:Ca:Mg) στη συγκέντρωση νιτρικών στο υπέργειο μέρος των φυτών *C. spinosum* ( $\text{mg kg}^{-1}$  dw). Οι γραμμές σε κάθε ράβδο υποδεικνύουν το τυπικό σφάλμα, ενώ τα διαφορετικά γράμματα στο κέντρο των ράβδων υποδεικνύουν στατιστικά σημαντική διαφορά σύμφωνα με το κριτήριο Duncan's Multiple-Range test ( $P \leq 5\%$ ).

Τα παραπάνω αποτελέσματα αποδεικνύουν ότι δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά στη συγκέντρωση νιτρικών, μεταξύ των φυτών που αναπτύχθηκαν σε θρεπτικό διάλυμα LOW/40:50:10, LOW/50:40:10, HIGH/40:50:10, και HIGH/50:40:10. Αντίστοιχο αποτέλεσμα παρατηρείται και κατά την ανάλυση διασποράς κατά ένα παράγοντα (K:Ca:Mg, ή EC).

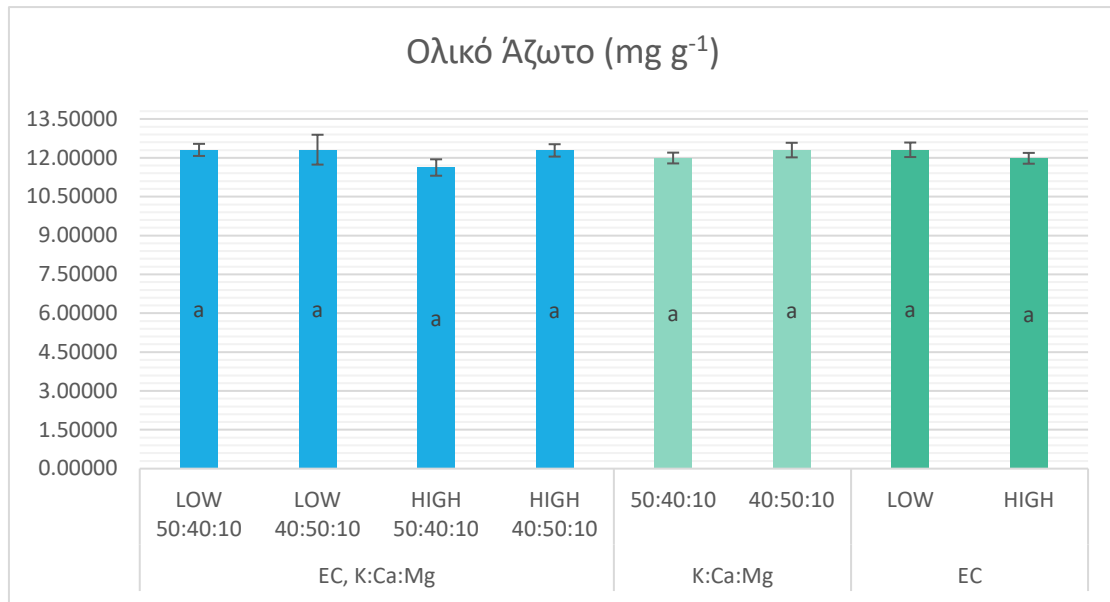
Παρόλα αυτά, μέσω της μετατροπής των τιμών των νιτρικών από  $\text{mg kg}^{-1}$  αποξηραμένου φυτικού ιστού σε  $\text{mg kg}^{-1}$  νωπού φυτικού ιστού, όπως φαίνεται στο γράφημα 16, παρατηρούμε ότι η επέμβαση HIGH/50:40:10 είχε τη μεγαλύτερη μέση συγκέντρωση νιτρικών στο νωπό φυτικό ιστό ( $1012.2 \text{ mg kg}^{-1}$  fw) ενώ η επέμβαση LOW/50:40:10 είχε τη χαμηλότερη μέση συγκέντρωση νιτρικών ( $771.01 \text{ mg kg}^{-1}$  fw). Η επίδραση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στη συγκέντρωση είναι εμφανής, καθώς υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ της μέσης τιμής HIGH ( $933.3 \text{ mg kg}^{-1}$  fw) και LOW ( $721.2 \text{ mg kg}^{-1}$  fw).



**Γράφημα 16** Η επίδραση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC, 2.4 dS m<sup>-1</sup> και 3.6 dS m<sup>-1</sup>, που σημειώνονται ως LOW και HIGH αντίστοιχα) και της αναλογίας K:Ca:Mg (50:40:10 και 40:50:10), όπως και της αλληλεπίδρασης μεταξύ των παραγόντων (EC, K:Ca:Mg) στη συγκέντρωση νιτρικών στο υπέργειο μέρος των φυτών *C. spinosum* (mg kg<sup>-1</sup> fw). Οι γραμμές σε κάθε ράβδο υποδεικνύουν το τυπικό σφάλμα, ενώ τα διαφορετικά γράμματα στο κέντρο των ράβδων υποδεικνύουν στατιστικά σημαντική διαφορά σύμφωνα με το κριτήριο Duncan's Multiple-Range test ( $P \leq 5\%$ ).

#### 4.9. Συγκέντρωση ολικού αζώτου (Total N)

Τα αποτελέσματα της μέτρησης συγκέντρωσης ολικού αζώτου του ξηρού φυτικού ιστού των φυτών *C. spinosum* παρουσιάζονται στο γράφημα 17. Τα αποτελέσματα αφορούν τις 4 επεμβάσεις του πειράματος με παράγοντες την ηλεκτρική αγωγιμότητα και την αναλογία K:Ca:Mg, την LOW/50:40:10, LOW/40:50:10, HIGH/50:40:10, και HIGH/50:40:10. Οι τιμές αυτές προέκυψαν από τον υπολογισμό του μέσου όρου της της συγκέντρωσης ολικού αζώτου του φυτικού ιστού των φυτών για κάθε μία από τις 4 επαναλήψεις των επεμβάσεων, και επακόλουθα τον υπολογισμό του μέσου όρου για κάθε επέμβαση. Επιπλέον, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων διασποράς κατά ένα παράγοντα, την αναλογία K:Ca:Mg και ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC). Οι τιμές αυτές εκφράζονται με mg g<sup>-1</sup> φυτικού ιστού.



**Γράφημα 17** Η επίδραση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας ( $\text{EC}$ ,  $2.4 \text{ dS m}^{-1}$  και  $3.6 \text{ dS m}^{-1}$ , που σημειώνονται ως **LOW** και **HIGH** αντίστοιχα) και της αναλογίας  $\text{K:Ca:Mg}$  (50:40:10 και 40:50:10), όπως και της αλληλεπίδρασης μεταξύ των παραγόντων ( $\text{EC}$ ,  $\text{K:Ca:Mg}$ ) στη συγκέντρωση του ολικού αζώτου στο υπέργειο μέρος των φυτών *C. spinosum* ( $\text{mg g}^{-1}$ ). Οι γραμμές σε κάθε ράβδο υποδεικνύουν το τυπικό σφάλμα, ενώ τα διαφορετικά γράμματα στο κέντρο των ράβδων υποδεικνύουν στατιστικά σημαντική διαφορά σύμφωνα με το κριτήριο Duncan's Multiple-Range test ( $P \leq 5\%$ ).

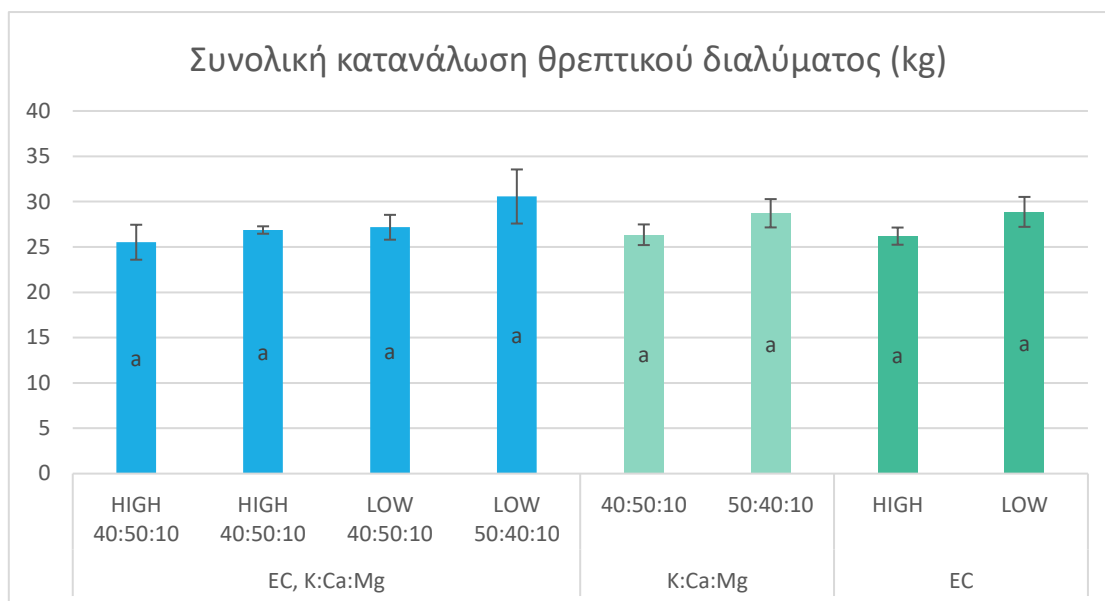
Τα παραπάνω αποτελέσματα αποδεικνύουν ότι δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των τιμών ολικού αζώτου των επεμβάσεων **LOW/40:50:10**, **LOW/50:40:10**, **HIGH/40:50:10**, και **HIGH/50:40:10**. Αντίστοιχο αποτέλεσμα παρατηρείται και κατά την ανάλυση διασποράς κατά ένα παράγοντα ( $\text{K:Ca:Mg}$ , ή  $\text{EC}$ ).

#### 4.10. Μέτρηση κατανάλωσης θρεπτικού διαλύματος

Τα αποτελέσματα της μέτρησης της κατανάλωσης θρεπτικού διαλύματος κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας, από την μεταφύτευση μέχρι την συγκομιδή, παρουσιάζονται στο γράφημα 18. Τα αποτελέσματα αυτά αποτελούν το άθροισμα των μετρήσεων κατανάλωσης θρεπτικού διαλύματος που γίνονταν ανά δύο ημέρες, για κάθε λεκάνη. Επιπλέον, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων διασποράς κατά ένα παράγοντα, την αναλογία  $\text{K:Ca:Mg}$  και ηλεκτρική αγωγιμότητα ( $\text{EC}$ ). Οι τιμές αυτές εκφράζονται με  $\text{kg}$ .

Τα παρακάτω αποτελέσματα αποδεικνύουν ότι δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ της συνολικής κατανάλωσης θρεπτικού διαλύματος των επεμβάσεων **LOW/40:50:10**, **LOW/50:40:10**, **HIGH/40:50:10**, και **HIGH/50:40:10**.

Αντίστοιχο αποτέλεσμα παρατηρείται και κατά την ανάλυση διασποράς κατά ένα παράγοντα (K:Ca:Mg, ή EC).



**Γράφημα 18** Η επίδραση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC, 2.4 dS m<sup>-1</sup> και 3.6 dS m<sup>-1</sup>, που σημειώνονται ως LOW και HIGH αντίστοιχα) και της αναλογίας K:Ca:Mg (50:40:10 και 40:50:10), όπως και της αλληλεπίδρασης μεταξύ των παραγόντων (EC, K:Ca:Mg) στη συνολική κατανάλωση του θρεπτικού διαλύματος από τα φυτά της κάθε λεκάνης (kg). Οι γραμμές σε κάθε ράβδο υποδεικνύουν το τυπικό σφάλμα, ενώ τα διαφορετικά γράμματα στο κέντρο των ράβδων υποδεικνύουν στατιστικά σημαντική διαφορά σύμφωνα με το κριτήριο Duncan's Multiple-Range test ( $P \leq 5\%$ ).

## 5. Συζήτηση

### 5.1. Νωπό βάρος, αριθμός φύλλων, φυλλική επιφάνεια και ξηρό βάρος

Μια από τις σημαντικότερες προκλήσεις στη φυτική παραγωγή, και ιδιαίτερα στις καλλιέργειες εκτός εδάφους, είναι η διαχείριση της θρέψης, η οποία επηρεάζει σημαντικά την ανάπτυξη και παραγωγή των φυτών. Εξ άλλου, ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα των καλλιεργειών εκτός εδάφους είναι η υψηλή ακρίβεια στη θρέψη των φυτών – και η παροχή θρεπτικών στοιχείων σε συγκεκριμένες συγκεντρώσεις, η οποία επιδρά σημαντικά στην παραγωγή και ποιότητα λαχανοκομικών ειδών. Στην παρούσα διατριβή, δεν παρατηρείται σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ των εξεταζόμενων παραμέτρων, δηλαδή της διαφορετικής αναλογίας καλίου με ασβέστιο (K:Ca), και διαφορετικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC), ως προς το νωπό βάρος, το ξηρό βάρος, τον αριθμό φύλλων και την φυλλική των φυτών *C. spinosum* από αναπτύχθηκαν στο σύστημα επίπλευσης. Η αλληλεπίδραση των δύο αυτών παραγόντων, διερευνήθηκε από τον Huett (1994), ο οποίος εξέτασε την επίδραση τους στην ανάπτυξη και μορφολογία φυτών μαρουλιού (*L. sativa* L., «Red Mignonette»). Οι εξεταζόμενες επεμβάσεις αποτέλεσαν συνδυασμό των δύο παραμέτρων, με EC 0.4, 1.6, και 3.6 ds m<sup>-1</sup> και αναλογία K:Ca 1.0:3.5, 1.25:1.0, και 3.5:1.0. Τα ευρήματα του ερευνητή, σε αντίθεση με τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας, υποδήλωσαν σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ αυτών των δύο παραμέτρων, καθώς επηρεάστηκε το νωπό Σβάρος του μαρουλιού υποδεικνύοντας σημαντική διαφορά μεταξύ των εξεταζόμενων επεμβάσεων. Πιο συγκεκριμένα, σε EC 1.6 και 3.6 dS m<sup>-1</sup>, και 1.0:3.5 K:Ca, παράχθηκαν τα μεγαλύτερα φυτά, ενώ η EC 1.6 dS m<sup>-1</sup> κρίθηκε η καταλληλότερη σε αναλογίες K:Ca 1.0:3.5 και 3.5:1.0.

#### 5.1.1. Ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC)

Στην παρούσα εργασία ελέγχθηκαν δύο διαφορετικές τιμές EC, 2.4 και 3.6 dS m<sup>-1</sup>, και σύμφωνα με τα αποτελέσματα, δεν παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική επίδραση αυτών των τιμών στο νωπό βάρος, ξηρό βάρος, αριθμό φύλλων και στη φυλλική επιφάνεια των φυτών που αναπτύχθηκαν. Σε αντίστοιχη ερευνά, οι Klados & Tzortzakis (2014) εξέτασαν την επίδραση της αλατότητας (NaCl) στη ανάπτυξη και ποιότητα φυτών *C. spinosum* σε σύστημα καλλιέργειας εκτός εδάφους με υπόστρωμα (περλίτη, πετροβάμβακα, άμμο και ελαφρόπετρα). Τα παρατηρούμενα αποτελέσματα

της έρευνάς αυτής ανέδειξαν ότι με την αύξηση της αλατότητας, μειώνεται το νωπό βάρος (αν και παρήχθη αυξημένος αριθμός φύλλων σε υψηλή αλατότητα, σε πετροβάμβακα). Στην παρούσα εργασία, η μέση τιμή νωπού βάρους των φυτών που αναπτύχθηκαν σε θρεπτικό διάλυμα με LOW και HIGH ηλεκτρική αγωγιμότητα, η οποία ήταν 7.87 και 6.99 g αντίστοιχα, είναι αρκετά χαμηλότερη από το αποτέλεσμα από την μέση τιμή της προαναφερόμενης έρευνας. Επιπλέον, η έρευνά των Klados & Tzortzakis (2014) εξέτασε και το μέγεθος της φυλλικής επιφάνειας ( $\text{cm}^2$ ), με την υψηλότερη μέση τιμή να παρουσιάζεται σε φυτά που αναπτύχθηκαν σε θρεπτικό διάλυμα με 5 mM NaCl, σε ελαφρόπετρα ( $234.1 \text{ cm}^2/\text{φυτό}$ ). Στην παρούσα έρευνα, η μέση τιμή της φυλλικής επιφάνειας των φυτών, στη σύσταση LOW και HIGH ήταν αρκετά χαμηλότερη ( $137.75$  και  $125.35 \text{ cm}^2/\text{φυτό}$  αντίστοιχα). Σε άλλη έρευνα, οι Chatziagianni et al. (2019) εξέτασαν την ανάπτυξη ενός ορεινού και παραθαλάσσιου οικότυπου *C. spinosum*, σε υδροπονικό σύστημα, με θρεπτικά διαλύματα διαφορετικής συγκέντρωσης NaCl και διαφορετικής EC (2.1, 4.1, και  $6.14 \text{ dS m}^{-1}$ ), τα οποία είχαν ως αποτέλεσμα μέσο νωπό βάρος 27.4, 27.9 και  $26.7 \text{ g}/\text{φυτό}$  αντίστοιχα και μέσο ξηρό βάρος 3.14, 2.81 και  $2.57 \text{ g}/\text{φυτό}$  αντίστοιχα. Στην παρούσα εργασία, το μέσο ξηρό βάρος για κάθε επέμβαση (σύστασης LOW και HIGH) ήταν αρκετά χαμηλότερο από τις προαναφερόμενες τιμές, όπως και το μέσο ξηρό βάρος ( $1.63$  και  $1.86 \text{ g}/\text{φυτό}$  αντίστοιχα).

Η υψηλή EC μπορεί να είναι επιζήμιος παράγοντας στην ανάπτυξη, παραγωγή, και ποιότητα φυλλωδών φυτών που καλλιεργούνται σε συστήματα εκτός εδάφους, αφού συνδέεται με το οσμωτικό στρες και την μείωση της πρόσληψης λόγω της αύξησης της οσμωτικής πίεσης. Σε πείραμα που διεξάχθηκε από τους Samarakoon et al. (2006) σε μαρούλι (*L. sativa* L.) καλλιεργούμενο σε στάσιμο θρεπτικό διάλυμα, παρατηρήθηκε μείωση στο ξηρό βάρος, νωπό βάρος και αριθμό φύλλων με την αύξηση της EC από 1.4 σε 2.0 και  $3.0 \text{ dS m}^{-1}$ . Παρόμοιο αποτέλεσμα παρατηρήθηκε και σε πείραμα που διεξάχθηκε από τους (Conversa, et al., 2021a), όπου μαρούλι (*L. sativa* L. ‘Oakleaf’) καλλιεργούμενο σε σύστημα επίπλευσης, αναπτύχθηκε σε δύο θρεπτικά διαλύματα με διαφορετική EC ( $2.5$  και  $3.5 \text{ dS m}^{-1}$ ). Συγκεκριμένα, στην υψηλή EC παρατηρήθηκε σημαντική μείωση στο νωπό βάρος και στο ύψος των φυτών. Οι ίδιοι ερευνητές διερευνήσαν την επίδραση της διαφορετικής τιμής EC ( $2.5$  και  $3.5 \text{ dS m}^{-1}$ ) σε μαρούλι Romaine (*L. sativa* L.), όπου παρατήρησαν ότι η EC στα  $3.5 \text{ dS m}^{-1}$  παρουσίασε χαμηλότερο νωπό βάρος, ξηρό βάρος, αριθμό φύλλων, φυλλική επιφάνεια,



και ύψος σε σύγκριση με τα  $2.5 \text{ dS m}^{-1}$  (Conversa et al., 2021b). Σε αντίστοιχο πείραμα, σε μαρούλι (*L. sativa* L. ‘Green Butter’, ‘Red Butter’, Red ‘Oakleaf’) οι (Samarakoon et al., 2020) σημείωσαν ότι η αύξηση της EC πάνω από  $1.8 \text{ dS m}^{-1}$  δεν επιδρά στην αύξηση του νωπού βάρους. Ομοίως, σε πείραμα των (Ding et al., 2018) σε rakchoi (*Brassica campestris* L. ssp. *Chinensis*) παρατηρήθηκε καταστολή στην ανάπτυξη και ποιότητα των φυτών σε πολύ χαμηλή ( $0 - 0.6 \text{ dS m}^{-1}$ ) ή πολύ υψηλή ( $9.6 \text{ dS m}^{-1}$ ) EC. Οι Kowalczyk et al. (2016), έλεγξαν την επίδραση τριών διαφορετικών συγκεντρώσεων θρεπτικών διαλυμάτων (Control, 3-fold συγκέντρωση, 5-fold συγκέντρωση) σε αντίδι καλλιεργούμενο σε σύστημα NFT, και παρατήρησαν ότι και στις δύο αυξήσεις της ιοντικής συγκέντρωσης, τα φυτά υπέστηκαν καταπόνηση, σημειώνοντας σημαντική μείωση του νωπού βάρους και του αριθμού των φύλλων. Οι αρνητικές επιπτώσεις της αυξανόμενης EC, σε παραμέτρους όπως το νωπό βάρος και η επιφάνεια των φύλλων δεν είναι πάντα εμφανείς και εξαρτώνται από το φυτικό είδος. Συγκεκριμένα, σε ερευνά των Conversa et al. (2021) διερευνήθηκε η επίδραση της διαφορετικής τιμής EC ( $2.5$  και  $3.5 \text{ dS m}^{-1}$ ) με προσθήκη NaCl, σε αντίδι (*C. endivia* L.). Όπως σχολιάστηκε από τους ερευνητές, το αντίδι παρουσιάζει ανοχή στις υψηλές τιμές EC, αφού δεν παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά στις τιμές των παραμέτρων νωπού βάρους, ξηρού βάρους, αριθμού φύλλων και φυλλικής επιφάνειας μεταξύ των διαφορετικών επεμβάσεων (Conversa et al., 2021b). Επιπλέον, οι Walters & Currey (2018) εξέτασαν την επίδραση διαφορετικών τιμών EC ( $0.5$  ως  $4.0 \text{ dS m}^{-1}$ ) προσαρμοζόμενων με την αύξηση των μακροστοιχείων και ιχνοστοιχείων, στην ανάπτυξη φυτών βασιλικού sweet (*Ocimum basilicum* ‘Nufar’), lemon (*O. xcitriodorum* ‘Lime’) και holy (*O. tenuiflorum* ‘Holy’), σε σύστημα NFT. Οι ερευνητές παρατήρησαν ότι η EC δεν επηρέασε την ανάπτυξη και μορφολογία των φυτών (όπως νωπό βάρος, ξηρό βάρος και ύψος), υποδηλώνοντας την δυνατότητα ανάπτυξης βασιλικού σε ένα μεγάλο εύρος τιμών EC.

Όσον αφορά το *C. spinosum*, σύμφωνα με έρευνες, θεωρείται ότι έχει ορισμένη ανοχή στην υψηλή αλατότητα, αφού οι Petropoulos et al. (2017) σημείωσαν τη δυνατότητα καλλιέργειας φυτών *C. spinosum* σε αλατούχες συνθήκες, με ελάχιστες ποιοτικές επιπτώσεις. Αυτό το γεγονός αποδείχθηκε και στην έρευνα των Ntatsi et al. (2017), αφού σε υψηλά επίπεδα αλατότητας ( $53.6 \text{ mmol L}^{-1} \text{ CaCl}_2/\text{Na}_2\text{SO}_4$  ή  $40 \text{ mmol L}^{-1} \text{ NaCl/KCl}$ ), τα φυτά *C. spinosum* παρουσίασαν περίπου μόνο 20% μείωση στην ανάπτυξη. Στην παρούσα έρευνα, δεν παρατηρήθηκε σημαντική επίδραση της EC στο

νωπό βάρος, ξηρό βάρος, αριθμό φύλλων και φυλλική επιφάνεια. Αυτή η ανοχή στις συνθήκες υψηλής ιοντικής συγκέντρωσης μπορεί να παρατηρηθεί και με τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας, αφού δεν παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική επίδραση του παράγοντα EC στην παραγωγή του φυτού *C. spinosum*.

### 5.1.2. Αναλογία καλίου προς ασβέστιο (K:Ca)

Όπως περιγράφεται από τον Sonneveld & Voogt (2009b), η αναλογία K:Ca είναι πολύ σημαντική, καθώς επηρεάζει την ποιότητα και η σύστασή τους ήταν μια αναλογία K/Ca 1.0 (mol/mol). Στην παρούσα εργασία, ελέγχθηκαν δύο διαφορετικές αναλογίες K:Ca, 50:40 και 40:50, και σύμφωνα με τα αποτελέσματα, δεν παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική επίδραση αυτών των αναλογιών στο νωπό βάρος, ξηρό βάρος, αριθμό φύλλων και φυλλική επιφάνεια. Ομοίως, έρευνα των Fallovo et al. (2009) σε μαρούλι (*L. sativa* L.) εξέτασε την επίδραση 6 θρεπτικών διαλυμάτων με την ίδια συνολική συγκέντρωση ιόντων ( $40 \text{ meq L}^{-1}$ ) αλλά διαφορετική αναλογία μεταξύ μακροκατιόντων ( $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ , και  $\text{Mg}^{2+}$ ), μέσω της αύξησης του ποσοστού ενός στοιχείου και ίσης μείωσης των υπολοίπων. Σε αυτή την έρευνα, η σύνθεση του θρεπτικού διαλύματος δεν επηρέασε σημαντικά το νωπό βάρος, ξηρό βάρος, και φυλλική επιφάνεια. Αυτό το αποτέλεσμα συμφωνεί με τα ευρήματα της παρούσας διατριβής. Παρόλα αυτά, άλλοι ερευνητές παρατήρησαν σημαντική επίδραση της αναλογία καλίου προς ασβέστιο. Ο Huett (1994) εξέτασε την επίδραση της αναλογίας K: Ca (από 1.00:3.50 ως 3.50:1.00) στην ανάπτυξη δύο ποικιλιών μαρουλιού (*L. sativa* L.), αναφέροντας σημαντική αύξηση στο νωπό βάρος, σε υψηλότερη αναλογία K: Ca της cv. Fame, ενώ η μείωση του K:Ca είχε ανάλογη επίδραση στο cv. Red Magnonette. Οι Zamaniyan et al. (2012) παρατήρησαν σημαντική επίδραση της αναλογίας K:Ca σε φυτά κιχωρίου (*C. intybus* L.), σημειώνοντας ότι η αύξηση της αναλογίας μέχρι 6:3 έδωσε τη μεγαλύτερη παραγωγή, ενώ περαιτέρω αύξηση της αναλογίας οδήγησε σε μείωση της παραγωγής και πρόκληση φυσιολογικών διαταραχών. Αντίστοιχα, ελέγχοντας την επίδραση διαφορετικών αναλογιών K:Ca (K>Ca: 1, 1.2, 1.4, και 1.6) σε φυτά φράουλας (*Fragaria x ananassa* Duch.), οι Haghshenas et al. (2018) παρατήρησαν τον υψηλότερο και χαμηλότερο αριθμό φύλλων και φυλλική επιφάνεια σε φυτά φράουλας (Selva) στις αναλογίες K:Ca 1.4 και 1 αντίστοιχα. Αντίστοιχη έρευνα των (Nazarideljou et al., 2019) σε φυτά φράουλας έδειξε ότι μεταξύ 9 αναλογιών K:Ca, από 0.5 ως 1.4 (K>Ca), ο μεγαλύτερος αριθμός φύλλων, και φυλλική επιφάνεια παρατηρήθηκε με την αναλογία 1.4. Αυτά τα αποτελέσματα, όπως

αναλύονται από τους ερευνητές, οφείλονται στην επίδραση που έχει το υψηλό K στην κυτταρική διαίρεση, και στον έλεγχο της διόγκωσης και της σπαργής των κυττάρων από τα ιόντα K (Nazaridejrou et al., 2019). Επιπλέον, η θετική επίδραση των αυξημένων επιπέδων K έχει αναφερθεί από τους Barickman et al. (2016), οι οποίοι παρατήρησαν αύξηση στο ύψος, νωπό βάρος και ξηρό βάρος φυτών μαρουλιού (*L. sativa* L. ‘Cimmaron’). Τα προαναφερθέντα αποτελέσματα αποδεικνύουν ανομοιογένεια στη διαθέσιμη βιβλιογραφία, όσον αφορά την επίδραση αναλογιών μακροκατιόντων, στην ανάπτυξη των φυτών. Όπως σημείωσαν οι El-Nakhel et al. (2019), αυτό μπορεί να οφείλετε στη διαφορά των αναλογιών των ανιόντων και κατιόντων, όπως και της τελικής τους συγκέντρωσης.

## 5.2. Συγκεντρώσεις θρεπτικών στοιχείων στον φυτικό ιστό

Πολλές έρευνες έχουν χαρακτηρίσει το *C. spinosum* ως ένα λαχανευόμενο είδος υψηλής θρεπτικής αξίας, και σύμφωνα με τα ευρήματα του Zeghichi et al. (2003), το φυτό αυτό αποτελεί πλούσια πηγή θρεπτικών στοιχείων, ιδιαίτερα όσον αφορά την περιεκτικότητα του σε κάλιο, ασβέστιο, σίδηρο, μαγνήσιο και ψευδάργυρο. Τα ευρήματα της παρούσας εργασίας υποστηρίζουν αυτό το γεγονός.

Στην παρούσα ερευνά αξιολογήθηκε η επίδραση των παραγόντων ηλεκτρικής αγωγιμότητας και αναλογίας καλίου προς ασβέστιο, στην συγκέντρωση καλίου, ασβεστίου, μαγνησίου, φωσφόρου, σιδήρου, μαγγανίου, ψευδαργύρου, χαλκού, νατρίου, βορίου και ολικού αζώτου στο φυτικό ιστό του υπέργειου μέρους φυτών *C. spinosum*, καλλιεργούμενων σε σύστημα επίπλευσης. Τα αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι η αλληλεπίδραση των δύο εξεταζόμενων παραγόντων ήταν στατιστικά μη-σημαντική, αφού οι μέσες συγκεντρώσεις των προαναφερόμενων ιόντων στο φυτικό ιστό των καλλιεργούμενων φυτών με επεμβάσεις HIGH/50:40:10, HIGH/40:50:10, LOW/50:40:10, LOW/40:50:10, δεν είχαν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Η αλληλεπίδραση της EC και της αναλογίας K:Ca, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, μελετήθηκε από τον Huett (1996) σε φυτά μαρουλιού (*L. sativa* L. ‘Red Mingonette’), ο οποίος παρατήρησε την ύπαρξη σημαντικής αλληλεπίδρασης μεταξύ των δύο παραμέτρων, στη συγκέντρωση ιόντων στο φυτικό ιστό. Συγκεκριμένα, σε χαμηλή EC ( $0.4 \text{ dS m}^{-1}$ ) και αναλογία K:Ca 1.0:3.5, το K στο φυτικό ιστό ήταν σημαντικά χαμηλότερο από τις άλλες επεμβάσεις, ενώ το Mg ήταν σημαντικά υψηλότερο από τις άλλες επεμβάσεις. Επιπλέον, παρατηρήθηκε αύξηση της συγκέντρωσης Ca σε χαμηλή

EC (0.4 και 1.6 dS m<sup>-1</sup>) και αναλογία K:Ca 1.0:3.5. Ακόμα, η μεγαλύτερη συγκέντρωση P καταγράφηκε σε υψηλή EC (3.6 ds m<sup>-1</sup>) και αναλογία K:Ca 1.0:3.5, ενώ το αντίθετο παρατηρήθηκε σε χαμηλή EC (0.4 dS m<sup>-1</sup>). Στη παρούσα εργασία, ενώ παρατηρήθηκαν κάποιες διαφορές μεταξύ των αποτελεσμάτων των επεμβάσεων, δεν βρέθηκε αλληλεπίδραση μεταξύ των παραμέτρων της αναλογίας EC και K:Ca, στη συγκέντρωση των θρεπτικών συστατικών στον φυτικό ιστό.

### 5.2.1. Κάλιο

Για τη συγκέντρωση καλίου στο βρώσιμο μέρος του φυτού, παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των επεμβάσεων του παράγοντα EC, αφού η υψηλότερη συγκέντρωση παρατηρήθηκε στα φυτά που καλλιεργήθηκαν σε θρεπτικά διαλύματα υψηλής ηλεκτρικής αγωγιμότητας HIGH/50:40:10 και HIGH/40:50:10 (56.5 και 57 mg g<sup>-1</sup> dw), υποδεικνύοντας αύξηση της συγκέντρωσης καλίου, σε σύγκριση με τα αποτελέσματα των επεμβάσεων LOW/50:40:10 και LOW/40:50:10 (51.5 και 51 mg g<sup>-1</sup> dw). Η διαφορά αυτή μπορεί να αποδοθεί στις υψηλότερες τιμές καλίου στα θρεπτικά διαλύματα των HIGH επεμβάσεων. Παρόμοιο αποτέλεσμα παρατηρήθηκε από τις έρευνες των Fallovo et al., (2009) και του Chiloane (2012), αφού με την αύξηση του καλίου (μέσω της αύξησης της σύστασης) του θρεπτικού διαλύματος, αυξήθηκε η συγκέντρωση του καλίου στα φύλλα μαρουλιού, υποδεικνύοντας την συσχέτιση μεταξύ της αύξησης της EC (σύνθεσης) του θρεπτικού διαλύματος και της πρόσληψης του καλίου στα φυτά. Σε μια άλλη έρευνα, σε φυτά φράουλας (*Fragaria × ananassa* Duch 'Paros'), οι Nazarideljou et al. (2019) παρατήρησαν ότι η συγκέντρωση K στα φύλλα των φυτών αυξήθηκε με την αύξηση του K στο παρεχόμενο θρεπτικό διάλυμα. Οι ερευνητές επίσης παρατήρησαν ότι η συγκέντρωση K επηρεάστηκε από την αναλογία K:Ca. Συγκεκριμένα, σε υψηλότερες αναλογίες (1.2, 1.3 και 1.4) παρατηρήθηκε υψηλότερη περιεκτικότητα K στα φύλλα, γεγονός που συσχετίστηκε θετικά με την στοματική αγωγιμότητα και τη σχετική περιεκτικότητα σε νερό.

Είναι σημαντικό να σχολιασθεί ότι οι καταγεγραμμένες συγκεντρώσεις καλίου στους ξηρούς φυτικούς ιστούς των φυτών *C. spinosum* ήταν σημαντικά υψηλότερες από την συγκέντρωση που αναφέρεται από το Zeghichi et al. (2003) (18,1 mg g<sup>-1</sup> dw), και συγκρίσιμες με τα αποτελέσματα της μελέτης των Petropoulos et al. (2017), οι οποίοι κατέγραψαν μέγιστη συγκέντρωση K στα φύλλα 57.3 mg g<sup>-1</sup> dw.

### 5.2.2. Ασβέστιο

Σύμφωνα με την μέτρηση της συγκέντρωσης ασβεστίου στους ξηρούς φυτικούς ιστούς των φυτών *C. spinosum*, παρατηρείται σημαντική επίδραση της αναλογίας K:Ca, αφού εμφανίζεται να είναι υψηλότερη σε φυτά που καλλιεργήθηκαν σε θρεπτικό διάλυμα με αναλογία 40:50 ( $4.31 \text{ mg g}^{-1} \text{ dw}$ ), από αυτή των φυτών που καλλιεργήθηκαν σε θρεπτικό διάλυμα με αναλογία 50:40 ( $3.096 \text{ mg g}^{-1} \text{ dw}$ ). Σε αντίστοιχη ερευνά που πραγματοποιήθηκε από τον Huett (1994), εξετάστηκε η επίδραση διαφορετικών αναλογιών K:Ca (1:3.5, 1.25:1, 3.5:1) και EC (0.4, 1.6 και  $3.6 \text{ dS m}^{-1}$ ), στις συγκεντρώσεις θρεπτικών στοιχείων στο φυτικό ιστό φυτών μαρουλιού (*L. sativa* L.). Ο ερευνητής παρατήρησε ότι με την αύξηση του παρεχόμενου Ca, αυξήθηκε το Ca στα νεότερα φύλλα, σε συνδυασμό με EC 1.6 και  $3.6 \text{ dS m}^{-1}$ , και μειώθηκε στην αναλογία 3.5:1 (παρατηρώντας περιπτώσεις tip-burn), ενώ η συγκέντρωση Ca διπλασιάστηκε στα ώριμα φύλλα, με την μείωση της αναλογίας (από 3.5:1 σε 1:3.5) και της EC ( $0.4 \text{ dS m}^{-1}$ ). Αυτό το γεγονός, αν και δεν παρατηρείται στην τρέχουσα μελέτη, δείχνει την αλληλεπίδραση των παραγόντων EC x K:Ca στην συγκέντρωση θρεπτικών στοιχείων στα φυτά. Ομοίως, οι Fallovo et al. (2009) παρατήρησαν υψηλότερες συγκεντρώσεις ασβεστίου στα φύλλα μαρουλιού, όταν το ασβέστιο στο θρεπτικό διάλυμα ήταν υψηλότερο. Αυτά τα αποτελέσματα συμφωνούν με τα αποτελέσματα του πειράματος των Nazarideljou et al., (2019), οι οποίοι παρατήρησαν ότι η περιεκτικότητα σε Ca στα φύλλα φυτών φράουλας (*Fragaria × ananassa* Duch 'Paros') επηρεάστηκε από την αναλογία K:Ca. Συγκεκριμένα, σε χαμηλότερες αναλογίες (0.9, 0.8, 0.7, 0.6, και 0.5) παρατηρήθηκε υψηλότερη περιεκτικότητα Ca στα φύλλα. Αυτά τα αποτελέσματα σχετίζονται με την υψηλότερη διαθέσιμη συγκέντρωση των δύο κατιόντων στα φυτά, αλλά και με την ανταγωνιστική σχέση μεταξύ K και Ca. Στη παρούσα εργασία, η εξέχουσα επίδραση της διαφορετικής αναλογίας K:Ca, στην παρούσα εργασία, είναι στην συγκέντρωση Ca, καθώς ήταν σημαντικά χαμηλότερη στα φύλλα φυτών που αναπτύχθηκαν σε θρεπτικό διάλυμα με αναλογία 50:40, σε σύγκριση με την συγκέντρωση στα φύλλα των φυτών που αναπτύχθηκαν σε θρεπτικό διάλυμα με αναλογία 40:50, πιθανώς λόγω της ανταγωνιστικής σχέσης μεταξύ του K και Ca.

### 5.2.3. Μαγνήσιο

Στη παρούσα έρευνα, οι μετρήσεις προσδιορισμού του μαγνησίου έδειξε ότι κανένας από τους υπό μελέτη παράγοντες, ή η αλληλεπίδραση αυτών, δεν επενέργησε

στις συγκεντρώσεις του στους ξηρούς φυτικούς ιστούς των φυτών *C. spinosum*. Παρομοίως, οι Rubio et al. (2010), παρατήρησαν ότι η συγκέντρωση Mg στο φυτικό ιστό του υπέργειου μέρους των φυτών πιπεριάς (*Capsicum annuum* L. 'Orlando') δεν επηρεάστηκε από τη μεταβολή των συγκεντρώσεων K και Ca του θρεπτικού διαλύματος. Εντούτοις, οι Inthichack et al. (2012) ανέφεραν ότι η αύξηση της συγκέντρωσης K στο θρεπτικό διάλυμα επηρέασε και το περιεχόμενο Mg στους φυτικούς ιστούς λάχανου (*Brassica oleracea* L., 'Green ball'), σέλιου (*Apium graveolens* L., 'Top Seller') και μαρουλιού (*L. sativa* L., 'Top mark'). Ομοίως, οι Barickman et al. (2016) απέδειξαν ότι η αύξηση K του θρεπτικού διαλύματος οδήγησε στην μείωση της πρόσληψης Mg από φυτά μαρουλιού (*L. sativa* L. 'Cimmaron'). Αυτό το γεγονός οφείλεται στη αποπόλωση της κυτοσόλης λόγω της εισροής K, και στην επακόλουθη μείωση της πρόσληψης άλλων κατιόντων (Ca και Mg) (Marschner, 2011). Αυτά τα αποτελέσματα υπογραμμίζουν την σημαντική επίδραση της συγκέντρωσης K, και κατ' επέκταση της αναλογίας K:Ca:Mg, στην πρόσληψη ασβεστίου και μαγνησίου από τα φυτά.

#### 5.2.4. Φώσφορος

Τα αποτελέσματα της μέτρησης φωσφόρου στους ξηρούς φυτικούς ιστούς των φυτών δείχνουν μια στατιστικά μη-σημαντική επίδραση των παραμέτρων ηλεκτρικής αγωγιμότητας και αναλογίας καλίου προς ασβέστιο. Ομοίως, ο Chiloane (2012) και οι El-Nakhel et al. (2019) παρατήρησαν ότι με την αύξηση της σύστασης του θρεπτικού διαλύματος, η συγκέντρωση του φωσφόρου στους φυτικούς ιστούς φυτών μαρουλιού green oakleaf και butterhead αντίστοιχα, δεν παρουσίασε σημαντικές διακυμάνσεις. Ωστόσο, τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας υποδεικνύουν μια σχετική αύξηση στη συγκέντρωση του στα φυτά που αναπτύχθηκαν σε θρεπτικό διάλυμα με υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα ( $3.6 \text{ dS m}^{-1}$ ), από αυτή που παρατηρήθηκε σε φυτά που αναπτύχθηκαν σε θρεπτικό διάλυμα με χαμηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα ( $2.4 \text{ dS m}^{-1}$ ). Αξίζει να σημειωθεί ότι η συγκέντρωση φωσφόρου ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ) σε όλα τα θρεπτικά διαλύματα ήταν η ίδια, επομένως αναμενόταν ομοιότητα στις συγκεντρώσεις φωσφόρου των φύλλων για όλες τις επεμβάσεις.

#### 5.2.5. Ιχνοστοιχεία

Στην παρούσα εργασία διερευνήθηκαν οι συγκεντρώσεις σιδήρου, μαγγανίου, ψευδαργύρου, χαλκού και βορίου, στον φυτικό ιστό των φυτών *C. spinosum*. Σε όλες

τις περιπτώσεις, εξαιρουμένων των τιμών που συγκεντρώθηκαν για τις συγκεντρώσεις μαγγανίου και ψευδαργύρου, οι κύριοι παράγοντες ηλεκτρικής αγωγιμότητας και αναλογίας K:Ca, όπως και η αλληλεπίδραση αυτών, δεν επέδρασαν στατιστικά σημαντικά στις συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων.

Συγκεκριμένα, για το μαγγάνιο και τον ψευδάργυρο, παρατηρήθηκε αύξηση της συγκέντρωσης τους, με την μείωση της EC του θρεπτικού διαλύματος, παρόλο που οι συγκεντρώσεις τους στα θρεπτικά διαλύματα ήταν όμοιες. Όσον αφορά το μαγγάνιο, αν και γενικά παρατηρείται συνεργιστική σχέση με το κάλιο (N. K. Fageria & Moreira, 2011) στην έρευνα των Alam et al., (2005) παρατηρήθηκε μείωση της πρόσληψης του από τα φυτά, όταν το επίπεδο του καλίου στο θρεπτικό διάλυμα ήταν υψηλότερο. Αυτό έχει παρατηρηθεί από τους Barickman et al. (2016), καθώς η αύξηση των επιπέδων καλίου στο θρεπτικό διάλυμα οδήγησε σε τετραγωνική μείωση του μαγγανίου στα φύλλα μαρουλιού. Επιπλέον, έχει σημειωθεί ότι το ασβέστιο επιδρά στις συγκεντρώσεις μαγγανίου στα φυτά. Συγκεκριμένα, έχει παρατηρηθεί ότι υψηλότερες συγκεντρώσεις ασβεστίου στο θρεπτικό διάλυμα οδήγησαν στην μείωση της μεταφοράς μαγγανίου από τις ρίζες στο υπέργειο μέρος φυτών κριθαριού, καλλιεργούμενων σε υδροπονικό σύστημα (Alam et al., 2007). Ακόμα, έχει αναφερθεί ότι η πρόσληψη μαγγανίου αναστέλλεται από το μαγνήσιο. Όσον αφορά τον ψευδάργυρο, αρκετοί ερευνητές σχολίασαν την σχέση του με την συγκέντρωση καλίου. Συγκεκριμένα, έχει παρατηρηθεί συνεργιστική και θετική αλληλεπίδραση μεταξύ των δύο στοιχείων (Barker & Pilbeam, 2016; N. K. Fageria, 2016), και η αύξηση της χρήσης του ψευδαργύρου από τα φυτά σε παροχή υψηλής συγκέντρωσης καλίου (V. D. Fageria, 2001). Οι Daliparthy et al. (1994) παρατήρησαν μείωση στη τροφοπενία ψευδαργύρου (προκαλούμενη από τον φωσφόρο), με την αύξηση του επιπέδου του καλίου. Επιπλέον, οι Walters & Currey (2018) παρατήρησαν αύξηση του ψευδαργύρου σε φύλλα βασιλικού, με την αύξηση της σύστασης του θρεπτικού διαλύματος (με EC από 0.5 σε 4 dS m<sup>-1</sup>). Έτσι, τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας είναι αντιφατικά με τα προαναφερόμενα δεδομένα. Αυτό θα μπορούσε να αποδοθεί στην αλληλεπίδραση μεταξύ ασβεστίου και ψευδαργύρου, καθώς οι υψηλότερες συγκεντρώσεις ασβεστίου μπορούν να επηρεάσουν αρνητικά την πρόσληψη ψευδαργύρου (V. D. Fageria, 2001).



### 5.2.6. Ολικό άζωτο

Το ολικό άζωτο στους αποξηραμένους φυτικούς ιστούς μετρήθηκε με την μέθοδο Kjeldahl, και τα αποτελέσματα των μετρήσεων οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι οι δύο κύριες επιδράσεις (EC και K:Ca:Mg) και η αλληλεπίδρασή τους δεν είχαν σημαντική επίδραση στο ολικό άζωτο. Στην έρευνα των Chatzigianni et al. (2019), διερευνήθηκε η επίδραση διαφορετικών επιπέδων ολικού αζώτου (4 και 16 mmol L<sup>-1</sup>) στο θρεπτικό διάλυμα, σε φυτά σταμναγκαθιού, παρατηρώντας στατιστικά μη-σημαντική επίδραση του ολικού αζώτου του θρεπτικού διαλύματος στο οργανικό άζωτο των φύλλων. Σε προηγούμενη τους έρευνα στο σταμναγκάθι, οι Chatzigianni et al. (2017) επίσης σημείωσαν ότι η αύξηση της αναλογίας NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N/total-N είχε πιο σημαντική επίδραση στη συγκέντρωση οργανικού αζώτου στα φύλλα, από τη συγκέντρωση του ολικού αζώτου στο θρεπτικό διάλυμα, παρόλο που αυτό το αποτέλεσμα τονίστηκε στη επέμβαση με υψηλότερο ολικό άζωτο. Αυτά τα αποτελέσματα συμφωνούν με τις παρατηρήσεις που έγιναν στην παρούσα εργασία, αφού οι επεμβάσεις είχαν διαφορετικό ολικό άζωτο (15.32 και 23.84 mmol L<sup>-1</sup> για τις επεμβάσεις LOW και HIGH αντίστοιχα), ενώ η αναλογία NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N/total-N απέκλινε ελαφρά μεταξύ των διαφορετικών θρεπτικών διαλυμάτων (0,07, 0,08, 0,08 και 0,11 για τις επεμβάσεις 1, 2, 3 και 4 αντίστοιχα).

### 5.2.7. Συγκεντρώσεις νιτρικών στον φυτικό ιστό

Στην παρούσα διατριβή έγινε έλεγχος της συγκέντρωσης νιτρικών στους φυτικούς ιστούς του υπέργειου μέρους των φυτών. Τα αποτελέσματα μπορούν να συγκριθούν μόνο με τα μέγιστα αποδεκτά όρια συγκέντρωσης νιτρικών άλλων φυλλωδών λαχανικών, όπως και τα όρια ημερήσιας κατανάλωσης νιτρικών, αφού δεν υπάρχουν μέγιστα αποδεκτά όρια νιτρικών στα φύλλα *C. spinosum*.

Στον πίνακα 3 της παρούσας εργασίας γίνεται αναφορά στα ανώτατα όρια νιτρικών σε φυλλώδη λαχανικά, όπως ορίστηκαν από τον κανονισμό 1881/2006 της Ευρωπαϊκής Επιτροπής. Για παράδειγμα, η ρόκα (*Eruca sativa*, *Diplotaxis sp.*, *Brassica tenuifolia*, και *Sisymbrium tenuifolium*), με συγκομιδή από την 1<sup>η</sup> Απριλίου ως την 30<sup>η</sup> Σεπτεμβρίου έχει μέγιστο όριο 6000 mg kg<sup>-1</sup>, το μαρούλι (*L. sativa* L.) καλλιεργούμενο υπό κάλυψη, με συγκομιδή από την 1<sup>η</sup> Απριλίου ως την 30<sup>η</sup> Σεπτεμβρίου έχει μέγιστο όριο 4000 mg kg<sup>-1</sup>, το σπανάκι (*Spinacia oleracea*) έχει μέγιστο όριο 3500 mg kg<sup>-1</sup> και το Iceberg καλλιεργούμενο υπό κάλυψη έχει όριο 2500

mg kg<sup>-1</sup>. Επιπλέον, όπως ανέφερε ο Santamaria (2006), άλλα είδη του γένους *Cichorium*, όπως τα καλλιεργούμενα *C. endivia* και *C. intybus* θεωρείται ότι έχουν υψηλή συγκέντρωση σε νιτρικά (1000 – 2500 mg kg<sup>-1</sup>), ενώ άλλα φυλλώδη όπως η ρόκα, το σπανάκι και το μαρούλι έχουν πολύ υψηλή συγκέντρωση σε νιτρικά (>2500 mg kg<sup>-1</sup>).

Όπως θεσπίστηκε από την SCF (Scientific Committee on Food, αργότερα EFSA – European Food Safety Authority), η αποδεκτή ημερήσια πρόσληψη (Acceptable Daily Intake – ADI) νιτρικών είναι 3,7 mg kg<sup>-1</sup> σωματικού βάρους, όπου ισοδυναμεί με 222 mg νιτρικών ανά ημέρα, για ενήλικα 60 kg. Το ADI αργότερα επαληθεύθηκε από την JECFA (Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives) το 2002 (EFSA, 2008).

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε η συγκέντρωση νιτρικών στο υπέργειο μέρος των φυτών, σε επεμβάσεις που αφορούν δύο διαφορετικές τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας (2.4 και 3.6 dS m<sup>-1</sup>) και δύο διαφορετικές αναλογίες K:Ca:Mg (50:40:10 και 40:50:10). Συγκεκριμένα, η μέση τιμή νιτρικών της επέμβασης LOW/40:50:10 ήταν 771.01 mg kg<sup>-1</sup>, της LOW/50:40:10 ήταν 654.83 mg kg<sup>-1</sup>, της HIGH/40:50:10 ήταν 874.07 mg kg<sup>-1</sup>, και της HIGH/50:40:10 ήταν 1012.24 mg kg<sup>-1</sup>. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων αναδεικνύουν ότι οι μέσες συγκεντρώσεις νιτρικών που παρατηρήθηκαν είναι πολύ κάτω από τη μέγιστη συγκέντρωση που υπαγορεύεται σε ορισμένα από τα κύρια φυλλώδη λαχανικά, όπως περιγράφεται στον πίνακα 3. Αυτές οι τιμές είναι επίσης χαμηλότερες από τις συγκεντρώσεις που ανέφερε ο Santamaria (2006) για το *C. intybus*, με το οποίο το *C. spinosum* μοιράζεται γενετικές ομοιότητες. Ακόμα, σύμφωνα με την ADI που αναφέρει η EFSA, και σύμφωνα με τα αποτελέσματα του πειράματος, η ανώτατη κατανάλωση σταμναγκαθιού από ένα ενήλικο 60 kg μπορεί να φθάσει στα 287.9, 339.02, 253.98 και 219.3 g αντίστοιχα.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί, ότι στην παρούσα έρευνα δεν παρατηρήθηκε αλληλεπίδραση μεταξύ των παραγόντων EC και K:Ca, στη συγκέντρωση νιτρικών. Παρόλα αυτά, ο παράγοντας της EC είχε σημαντική επίδραση στη συγκέντρωση νιτρικών στους φυτικούς ιστούς. Συγκεκριμένα, η συγκέντρωση νιτρικών στα φύλλα των φυτών *C. spinosum* ήταν σημαντικά υψηλότερη στα φύλλα φυτών που αναπτύχθηκαν σε υψηλή EC (3.6 dS m<sup>-1</sup>), από αυτά που αναπτύχθηκαν σε χαμηλή EC (2.4 dS m<sup>-1</sup>). Αυτό μπορεί να αποδοθεί στο γεγονός ότι οι επεμβάσεις με υψηλή EC

είχαν υψηλότερο total-N ( $23.84 \text{ mmol L}^{-1}$ ) από τις επεμβάσεις με χαμηλή EC ( $15.32 \text{ mmol L}^{-1}$ ). Το γεγονός αυτό συμφωνεί με τα αποτελεσμάτων της ερευνάς των Chatzigianni et al. (2018), στην οποία αναλύθηκε η επίδραση της αναλογίας  $\text{NH}_4^+\text{-N}/\text{total-N}$  και του επιπέδου total-N, στη συγκέντρωση νιτρικών στο φυτικό ιστό του υπέργειου μέρους φυτών *C. spinosum*. Συγκεκριμένα, οι ερευνητές κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η συγκέντρωση νιτρικών στα φύλλα επηρεάστηκε από την αναλογία  $\text{NH}_4^+\text{-N}/\text{total-N}$  και το επίπεδο total-N, υπογραμμίζοντας την σημαντικότητα της παρασκευής θρεπτικών διαλυμάτων με χαμηλό total-N (ως  $4 \text{ mmol L}^{-1}$ ), και με υψηλή αναλογία  $\text{NH}_4^+\text{-N}/\text{total-N}$  (ως 0.05), για την διατήρηση χαμηλών συγκεντρώσεων νιτρικών, χωρίς όμως να επηρεάζεται αρνητικά απόδοση και την ποιότητα φυτών *C. spinosum*. Τέλος, στη παρούσα εργασία δεν παρατηρήθηκε επίδραση της αναλογίας καλίου προς ασβέστιο στη συγκέντρωση νιτρικών. Σε αντίθεση, η έρευνα των El-Nakhel et al. (2020) ανέδειξε ότι η αναλογία μακροκατιόντων επίδρασε στη συγκέντρωση νιτρικών, με αξιοσημείωτη επίδραση αυτή του αυξημένου καλίου, αφού παρατηρήθηκε σχεδόν διπλάσια συγκέντρωση  $\text{NO}_3\text{-N}$  από τις άλλες επεμβάσεις. Όμοιο αποτέλεσμα παρατηρήθηκε και από τους (Falloon et al., 2009), αφού το κάλιο παίζει σημαντικό ρόλο στη πρόσληψη  $\text{NO}_3\text{-N}$ , λόγω της αποκαρβοξυλίωσης μηλικού καλίου (El-Nakhel et al., 2020).

### 5.3. Καταληκτικά σχόλια και μελλοντική ερευνά

Πρόσφατες μελέτες έχουν αναδείξει τη διατροφική σημασία του σταμναγκαθιού, λόγω των υψηλών συγκεντρώσεων βιταμινών, φαινολικών οξέων, ω-3 και ω3 λιπαρών, καροτενοειδών, πρωτεϊνών και θρεπτικών στοιχείων. Η αναγνώριση του ως λειτουργικό τρόφιμο έχει ωθήσει στην αύξηση της ζήτησης του από το καταναλωτικό κοινό, καθιστώντας το ένα είδος με μεγάλες προοπτικές εκμετάλλευσης. Η υδροπονία, και ιδιαίτερα το σύστημα επίπλευσης έχει δείξει ενθαρρυντικά αποτελέσματα στην καλλιέργεια αρκετών λαχανομένων ειδών, συμπεριλαμβανομένου του σταμναγκαθιού, και ως εκ τούτου απαιτείται περαιτέρω έρευνα για τη βελτίωση της απόδοσης και της ποιότητας της καλλιέργειας του.

Η κατάλληλη διαχείριση της θρέψης στη φυτική παραγωγή, και ιδιαίτερα στις καλλιέργειες εκτός εδάφους, αποτελεί σημαντικό παράγοντα στην ανάπτυξη των φυτών, όπως και στην διατροφή των ανθρώπων. Στο πλαίσιο αυτό, η παρούσα μελέτη διεξήχθη με σκοπό τη διερεύνηση της επίδρασης της αναλογίας μεταξύ καλίου και

ασβεστίου, όπως και της συνολικής ιοντικής συγκέντρωσης του θρεπτικού διαλύματος στην ανάπτυξη και παραγωγή σταμναγκαθίου. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι κύριοι παράγοντες που ελέγχθηκαν δεν είχαν σημαντική επίδραση στις παραμέτρους ανάπτυξης του σταμναγκαθίου. Παρόμοιο αποτέλεσμα έχει υποδειχθεί και στην αλληλεπίδραση αυτών των παραμέτρων, υποδεικνύοντας ότι η τροποποίηση της αναλογίας K:Ca και/ή η αύξηση της EC του θρεπτικού διαλύματος δεν θα έχει σημαντική επίδραση στην ανάπτυξη και την απόδοση του *C. spinosum*. Έτσι, δεν υπάρχει ανάγκη για πλεονάζουσα χρήση λιπασμάτων. Περαιτέρω, διερευνήθηκαν οι συγκεντρώσεις θρεπτικών στοιχείων και νιτρικών στους φυτικούς ιστούς του υπέργειου μέρους του φυτού, αφού αποτελούν ισχυρούς καθοριστικούς παράγοντες της διατροφικής ποιότητας και ασφάλειας φυλλωδών λαχανικών. Αν και δεν παρατηρήθηκε σημαντική επίδραση των παραμέτρων ή η αλληλεπίδρασή τους σε όλα σχεδόν τα θρεπτικά συστατικά που μετρήθηκαν, το ασβέστιο έτεινε να είναι υψηλότερο σε φυτά που καλλιεργούνταν σε θρεπτικό διάλυμα με αναλογία 40:50 K:Ca, λόγω της υψηλότερης διαθέσιμης συγκέντρωσης του ασβεστίου, αλλά και του ανταγωνισμού της πρόσληψης του με αυτή του καλίου. Ακόμα, το κάλιο ήταν υψηλότερο στα φυτά που αναπτύχθηκαν σε θρεπτικό διάλυμα με υψηλή EC, λόγω της υψηλότερης διαθέσιμης συγκέντρωσης του στο θρεπτικό διάλυμα. Επιπλέον, οι συγκεντρώσεις μαγγανίου και ψευδαργύρου έτειναν να είναι υψηλότερες σε φυτά που καλλιεργούνταν σε θρεπτικό διάλυμα με υψηλή EC. Αυτό θα μπορούσε να αποδοθεί στη συνέργεια μεταξύ καλίου και μαγγανίου όπως και στην αλληλεπίδραση μεταξύ ασβεστίου και ψευδαργύρου. Τέλος, παρατηρήθηκε επίδραση του παράγοντα EC στη συγκέντρωση νιτρικών, με αυτή να είναι σημαντικά υψηλότερη σε φύλλα φυτών που αναπτύχθηκαν σε θρεπτικά διαλύματα με υψηλή EC ( $3.6 \text{ dS m}^{-1}$ ), πιθανώς λόγω του υψηλότερου ολικού N στις επεμβάσεις αυτές. Αυτό είναι ένα σημαντικό αποτέλεσμα καθώς υπογραμμίζει την σημαντική επίδραση της συγκέντρωσης ολικού N στη συγκέντρωση των νιτρικών, υποδεικνύοντας ότι η μείωση του ολικού N μπορεί να αποτελέσει σημαντικό παράγοντα στον έλεγχο των νιτρικών στους φυτικούς ιστούς των φυτών *C. spinosum* χωρίς όμως να επιδρά αρνητικά στη απόδοση και ποιότητα τους.

Τα προαναφερθέντα αποτελέσματα είναι κρίσιμα για την εμπορική εκμετάλλευση του *C. spinosum*, αποδεικνύουν ότι το σταμναγκαθίο αποτελεί ένα ευπροσάρμοστο φυτικό είδος, το οποίο μπορεί να καλλιεργηθεί επιτυχώς σε υδροπονικό σύστημα επίπλευσης, σε ένα εύρος τιμών ηλεκτρικής αγωγιμότητας ( $2.4$  και  $3.6 \text{ dS m}^{-1}$ ) και σε οποιαδήποτε από τις δύο υπό έλεγχο αναλογίες καλίου προς ασβέστιο (K:Ca), χωρίς όμως να υπονομεύεται η ποιότητα και η απόδοση του

σταμναγκαθίου. Έτσι, η εφαρμογή οποιουδήποτε θρεπτικού διαλύματος γίνεται με γνώμονα το διαθέσιμο αρδευτικό νερό, το κόστος των λιπασμάτων, όπως και τον οικότυπο σταμναγκαθίου.

Απαιτείται περαιτέρω μελέτη για να κατανοηθεί ο τρόπος με τον οποίο οι αναλογίες μακροκατιόντων και η ηλεκτρική αγωγιμότητα επηρεάζουν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των φυτών *C. spinosum*, όπως και οι μεταβολικές αλλαγές που σχετίζονται με τη διακύμανση της διαθεσιμότητας θρεπτικών στοιχείων. Τέλος, μελλοντικές έρευνες μπορούν να γίνουν σε συγκεκριμένους οικότυπους *C. spinosum*, αφού στο παρόν πείραμα χρησιμοποιήθηκαν σπόροι *C. spinosum* ποικίλων οικότυπων, και οι διαφορές τους θα μπορούσαν ενδεχομένως να επηρεάσουν τα αποτελέσματα.

## 6. Βιβλιογραφία

- Alam, S., Akiha, F., Kamei, S., Huq, S. M. I., & Kawai, S. (2005). Mechanism of potassium alleviation of manganese phytotoxicity in barley. *Journal of Plant Nutrition*, 28(5), 889–901. <https://doi.org/10.1081/PLN-200055572>
- Alam, S., Kodama, R., Akiha, F., Kamei, S., & Kawai, S. (2007). Alleviation of Manganese Phytotoxicity in Barley with Calcium. *Http://Dx.Doi.Org/10.1080/01904160500416463*, 29(1), 59–74. <https://doi.org/10.1080/01904160500416463>
- Alexopoulos, A. A., Marandos, E., Assimakopoulou, A., Vidalis, N., Petropoulos, S. A., & Karapanos, I. C. (2021). Effect of Nutrient Solution pH on the Growth, Yield and Quality of *Taraxacum officinale* and *Reichardia picroides* in a Floating Hydroponic System. *Agronomy 2021, Vol. 11, Page 1118*, 11(6), 1118. <https://doi.org/10.3390/AGRONOMY11061118>
- Amtmann, A., & Rubio, F. (2012). Potassium in Plants. In *eLS*. American Cancer Society. <https://doi.org/10.1002/9780470015902.a0023737>
- Amtmann, A., Troufflard, S., & Armengaud, P. (2008). The effect of potassium nutrition on pest and disease resistance in plants. *Physiologia Plantarum*, 133(4), 682–691. <https://doi.org/10.1111/J.1399-3054.2008.01075.X>
- Asao, T. (2012). Hydroponics - A Standard Methodology for Plant Biological Researches. In *Hydroponics - A Standard Methodology for Plant Biological Researches*. InTech. <https://doi.org/10.5772/2215>
- Assimakopoulou, A. (2006). Effect of iron supply and nitrogen form on growth, nutritional status and ferric reducing activity of spinach in nutrient solution culture. *Scientia Horticulturae*, 110(1), 21–29. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.06.010>
- Barcaccia, G., Ghedina, A., & Lucchin, M. (2016). Current Advances in Genomics and Breeding of Leaf Chicory ( *Cichorium intybus* L.). *Undefined*, 6(4). <https://doi.org/10.3390/AGRICULTURE6040050>
- Barickman, T. C., Horgan, T. E., Wheeler, J. R., & Sams, C. E. (2016). Elevated Levels of Potassium in Greenhouse-grown Red Romaine Lettuce Impacts Mineral

- Nutrient and Soluble Sugar Concentrations. *HortScience*, 51(5), 504–509. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.51.5.504>
- Barker, A. V., & Pilbeam, D. J. (2016). Handbook of plant nutrition. In *Handbook of Plant Nutrition*. <https://doi.org/10.21273/hortsci.42.2.422b>
- Barros, L., Petropoulos, S. A., Fernandes, Â., & Ferreira, I. C. F. R. (2018). Phenolic profile of different *Cichorium spinosum* L. ecotypes. *XIV Encontro de Química Dos Alimentos*.
- Bárzana, G., & Carvajal, M. (2020). Genetic regulation of water and nutrient transport in water stress tolerance in roots Nutrients encapsulation nanotechnologies and their application in foliar fertilization View project “Climate Changes and Global Warming-The Future of Foods” Special Issue (FOODS) View project Genetic regulation of water and nutrient transport in water stress tolerance in roots. *Article in Journal of Biotechnology*, 324, 168–1656. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2020.10.003>
- Baset Mia, M. A. (2015). Nutrition of Crop Plants. In *Nutrition of Crop Plants*.
- Bhatla, S. C. (2018). Water and Solute Transport. *Plant Physiology, Development and Metabolism*, 83–115. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-2023-1\\_3](https://doi.org/10.1007/978-981-13-2023-1_3)
- Bista, D. R., Heckathorn, S. A., Jayawardena, D. M., Mishra, S., & Boldt, J. K. (2018). *Effects of Drought on Nutrient Uptake and the Levels of Nutrient-Uptake Proteins in Roots of Drought-Sensitive and-Tolerant Grasses*. <https://doi.org/10.3390/plants7020028>
- Borgognone, D., Colla, G., Roupheal, Y., Cardarelli, M., Rea, E., & Schwarz, D. (2013). Effect of nitrogen form and nutrient solution pH on growth and mineral composition of self-grafted and grafted tomatoes. *Scientia Horticulturae*, 149, 61–69. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.02.012>
- Bose, J., Babourina, O., & Rengel, Z. (2011). Role of magnesium in alleviation of aluminium toxicity in plants. *Journal of Experimental Botany*, 62(7), 2251–2264. <https://doi.org/10.1093/JXB/ERQ456>
- Brieudes, V., Angelis, A., Vougiotiannopoulou, K., Pratsinis, H., Kletsas, D., Mitakou, S., Halabalaki, M., & 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>
- Cakmak, I. (2005). The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stresses in plants § Summary-Zusammenfassung. *J. Plant Nutr. Soil Sci*, 168, 521–530. <https://doi.org/10.1002/jpln.200420485>
- Capaldi, F. R., Gratão, P. L., Reis, A. R., Lima, L. W., & Azevedo, R. A. (2015). Sulfur Metabolism and Stress Defense Responses in Plants. In *Tropical Plant Biology* (Vol. 8, Issues 3–4, pp. 60–73). <https://doi.org/10.1007/s12042-015-9152-1>
- Ceccanti, C., Landi, M., Benvenuti, S., Pardossi, A., & Guidi, L. (2018). *Mediterranean Wild Edible Plants: Weeds or “New Functional Crops”?* 23(9). </pmc/articles/PMC6225202/>
- Ceccanti, C., Landi, M., Guidi, L., Pardossi, A., & Incrocci, L. (2022). Seasonal Fluctuations of Crop Yield, Total Phenolic Content and Antioxidant Activity in Fresh or Cooked Borage (*Borago officinalis* L.), Mallow (*Malva sylvestris* L.) and Buck’s-Horn Plantain (*Plantago coronopus* L.) Leaves. *Horticulturae*, 8(3), 253. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8030253>
- Chatzigianni, M., Alkhaled, B., Livieratos, I., Stamatakis, A., Ntatsi, G., & Savvas, D. (2017). 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., Roupheal, 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*, 0, 1040. <https://doi.org/10.3389/FPLS.2019.01040>
- Chatzopoulou, E., Caroch, M., Di Gioia, F., & Petropoulos, S. A. (2020). The Beneficial Health Effects of Vegetables and Wild Edible Greens: The Case of the Mediterranean Diet and Its Sustainability. *Applied Sciences 2020*, Vol. 10, Page 9144, 10(24), 9144. <https://doi.org/10.3390/APP10249144>

- Chiloane, T. S. (2012). *Effect of nutrient concentration and growing seasons on growth, yield and quality of leafy lettuce (Lactuca Sativa L.) in a Hydroponic System*. 1–79. <http://upetd.up.ac.za/thesis/available/etd-06252013-130638/unrestricted/dissertation.pdf>
- Cho, Y. Y., Cha, M. K., Ku, Y. G., Kim, H. C., & Bae, J. H. (2018). Effect of Different Culture Nutrient Solution EC on Carrot Top Growth and Nutritional Contents in a Closed-type Plant Factory System. *Horticultural Science and Technology*, 36(1), 37–45. <https://doi.org/10.12972/KJHST.20180005>
- Chrysargyris, A., Petropoulos, S. A., Prvulovic, D., & Tzortzakis, N. (2021). *Performance of Hydroponically Cultivated Geranium and Common Verbena under Salinity and High Electrical Conductivity Levels*. <https://doi.org/10.3390/agronomy11061237>
- Colla, G., Kim, H. J., Kyriacou, M. C., & Roupael, Y. (2018). Nitrate in fruits and vegetables. *Scientia Horticulturae*, 237, 221–238. <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2018.04.016>
- Conversa, G., Bonasia, A., Lazzizzera, C., & Elia, A. (2021). Soilless cultivation system, electrical conductivity of nutrient solution, and growing season on yield and quality of baby-leaf oak-leaf lettuce. *Agronomy*, 11(6), 1220. <https://doi.org/10.3390/agronomy11061220>
- Conversa, G., Bonasia, A., Lazzizzera, C., La Rotonda, P., & Elia, A. (2021). Reduction of Nitrate Content in Baby-Leaf Lettuce and Cichorium endivia Through the Soilless Cultivation System, Electrical Conductivity and Management of Nutrient Solution. *Frontiers in Plant Science*, 12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.645671>
- Corrado, G., De Micco, V., Lucini, L., Miras-Moreno, B., Senizza, B., Zengin, G., El-Nakhel, C., De Pascale, S., & Roupael, Y. (2021). Isosmotic Macrocation Variation Modulates Mineral Efficiency, Morpho-Physiological Traits, and Functional Properties in Hydroponically Grown Lettuce Varieties (*Lactuca sativa* L.). *Frontiers in Plant Science*, 12, 1010. <https://doi.org/10.3389/FPLS.2021.678799/BIBTEX>
- Crivellaro, A., & Schweingruber, F. H. (2013). *Atlas of Wood, Bark and Pith Anatomy of Eastern Mediterranean Trees and Shrubs* (1st ed.). Springer Berlin Heidelberg.

<https://doi.org/10.1007/978-3-642-37235-3>

- D’Imperio, M., Durante, M., Gonnella, M., Renna, M., Montesano, F. F., Parente, A., Mita, G., & Serio, F. (2022). Enhancing the nutritional value of *Portulaca oleracea* L. by using soilless agronomic biofortification with zinc. *Food Research International*, *155*, 111057. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2022.111057>
- D’Imperio, M., Montesano, F. F., Renna, M., Leoni, B., Buttaro, D., Parente, A., & Serio, F. (2018). NaCl stress enhances silicon tissue enrichment of hydroponic “baby leaf” chicory under biofortification process. *Scientia Horticulturae*, *235*, 258–263. <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2018.03.001>
- Daliparthi, J., Barker, A. V., & Mondal, S. S. (1994). Potassium fractions with other nutrients in crops: A review focusing on the tropics. In *Journal of Plant Nutrition* (Vol. 17, Issue 11, pp. 1859–1886). Taylor & Francis Group. <https://doi.org/10.1080/01904169409364852>
- Davidian, J. C., & Kopriva, S. (2010). Regulation of sulfate uptake and assimilation - The same or not the same? In *Molecular Plant* (Vol. 3, Issue 2, pp. 314–325). Mol Plant. <https://doi.org/10.1093/mp/ssq001>
- Della, A., Paraskeva-Hadjichambi, D., & Hadjichambis, A. C. (2006). An ethnobotanical survey of wild edible plants of Paphos and Larnaca countryside of Cyprus. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine* *2006 2:1*, *2*(1), 1–9. <https://doi.org/10.1186/1746-4269-2-34>
- Ding, X., Jiang, Y., Zhao, H., Guo, D., He, L., Liu, F., Zhou, Q., Nandwani, D., Hui, D., & Yu, J. (2018). Electrical conductivity of nutrient solution influenced photosynthesis, quality, and antioxidant enzyme activity of pakchoi (*Brassica campestris* L. ssp. *Chinensis*) in a hydroponic system. *PLOS ONE*, *13*(8), e0202090. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0202090>
- Domingues, D. S., Takahashi, H. W., Camara, C. A. P., & Nixdorf, S. L. (2012). Automated system developed to control pH and concentration of nutrient solution evaluated in hydroponic lettuce production. *Computers and Electronics in Agriculture*, *84*, 53–61. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2012.02.006>
- Duca, M. (2015). *Plant physiology*.

[https://books.google.com/books/about/Plant\\_Physiology.html?id=E17ACQAAQBAJ](https://books.google.com/books/about/Plant_Physiology.html?id=E17ACQAAQBAJ)

Dysko, J., Kaniszewski, S., & Kowalczyk, W. (2008). The effect of nutrient solution pH on phosphorus availability in soilless culture of tomato. *Journal of Elementology*, 13(2), 189–198.

Eaton, A. D., Clesceri, L. S., Greenberg, A. E., Franson, M. A. H., American Public Health Association., American Water Works Association., & Water Environment Federation. (1995). *Standard methods for the examination of water and wastewater, 19th edn.* <https://doi.org/10.3/JQUERY-UIJS>

EFSA. (2008). Nitrate in vegetables - Scientific Opinion of the Panel on Contaminants in the Food chain. *EFSA Journal*, 6(6). <https://doi.org/10.2903/J.EFSA.2008.689>

El-Nakhel, C., Pannico, A., Kyriacou, M. C., Giordano, M., De Pascale, S., & Rouphael, Y. (2019). Macronutrient deprivation eustress elicits differential secondary metabolites in red and green-pigmented butterhead lettuce grown in a closed soilless system. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(15), 6962–6972. <https://doi.org/10.1002/JSFA.9985>

El-Nakhel, C., Petropoulos, S. A., Pannico, A., Kyriacou, M. C., Giordano, M., Colla, G., Troise, A. D., Vitaglione, P., De Pascale, S., & Rouphael, Y. (2020). The bioactive profile of lettuce produced in a closed soilless system as configured by combinatorial effects of genotype and macrocation supply composition. *Food Chemistry*, 309, 125713. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2019.125713>

European Commission. (2011). Commission regulation (EU) No 1258/2011 of 2 December 2011 amending Regulation (EC) No 1881/2006 as regards maximum levels for nitrates in foodstuffs. *Official Journal of the European Union*.

Fageria, N. K. (2009). The Use of Nutrients in Crop Plants. *The Use of Nutrients in Crop Plants*, 448.

Fageria, N. K. (2015). Potassium. *Handbook of Plant Nutrition*, 80–141. <https://doi.org/10.1201/B18458-7>

Fageria, N. K., Baligar, V. C., & Jones, C. A. (2011). *Growth and mineral nutrition of field crops*. 560.

- Fageria, N. K., & Moreira, A. (2011). The Role of Mineral Nutrition on Root Growth of Crop Plants. In *Advances in Agronomy* (Vol. 110, Issue C). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385531-2.00004-9>
- Fageria, N. K., & Oliveira, J. P. (2014). Nitrogen, Phosphorus and Potassium Interactions in Upland Rice. *Journal of Plant Nutrition*, 37(10), 1586–1600. <https://doi.org/10.1080/01904167.2014.920362>
- Fageria, V. D. (2001). Nutrient interactions in crop plants. *Journal of Plant Nutrition*, 24(8), 1269–1290. <https://doi.org/10.1081/PLN-100106981>
- Falah, M. A. F., Wajima, T., Yasutake, D., Sago, Y., & Kitano, M. (2010). Responses of root uptake to high temperature of tomato plants (*Lycopersicon esculentum* Mill.) in soil-less culture. *International Journal of Agricultural Technology*, 6(3), 543–558.
- Falovo, C., Roupael, Y., Carderelli, M., Rea, E., Battistelli, A., & Colla, G. (2009). Yield and quality of leafy lettuce in response to nutrient solution composition and growing season. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 7, 456–462.
- Fernandes, A. M., & Soratto, R. P. (2012). Nutrition, dry matter accumulation and partitioning and phosphorus use efficiency of potato grown at different phosphorus levels in nutrient solution. *Revista Brasileira de Ciência Do Solo*, 36(5), 1528–1537. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000500017>
- Fontana, E., & Nicola, S. (2009). Traditional and soilless culture systems to produce corn salad (*Valerianella olitoria* L.) and rocket (*Eruca sativa* Mill.) with low nitrate content. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 7(2), 405–410.
- Fotuhi, M. (2002). *Molecular mechanisms of potassium and sodium uptake in plants*.
- Funk, V. A., Susanna, A., Steussy, T. F., & Robinson, H. E. (2009). *Classification of Compositae*. <http://repository.si.edu/xmlui/handle/10088/11409>
- Gao, P., Wu, H., Zhang, X., -, al, Hirayama, Y., Hoshi, Y., Yan, B., & Hou, Y. (2018). IOP Conference Series: Earth and Environmental Science Effect of Soil Magnesium on Plants: a Review You may also like Experimental Protocol for Magnesium Electrochemistry Robert C Masse and Guozhong Cao-Optimization of Magnesium-Doped Lithium Metal Anode for Lithium Metal Batteries:

- Simulation and Experiment Analysis on Anodic Partial Current of Magnesium by In-situ GC-EC Cell Effect of Soil Magnesium on Plants: a Review. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci*, 170, 22168. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/170/2/022168>
- Gemeinholzer, B., & Bachmann, K. (2004). Examining morphological and molecular diagnostic character states of *Cichorium intybus* L. (Asteraceae) and *C. spinosum* L. *Undefined*, 253(1–4), 105–123. <https://doi.org/10.1007/S00606-004-0272-6>
- Gillespie, D. P., Kubota, C., & Miller, S. A. (2020). Effects of Low pH of hydroponic nutrient solution on plant growth, nutrient uptake, and root rot disease incidence of Basil (*Ocimum basilicum* L.). *HortScience*, 55(8), 1251–1258. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI14986-20>
- Glimn-Lacy, J., & Kaufman, P. B. (2006). Botany Illustrated. In *Botany Illustrated - Second Editions* (2nd ed.). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-94-009-5534-9>
- Gopinath, P., Vethamoni, P. I., & Gomathi, M. (2017). Chemical Science Review and Letters Aeroponics Soilless Cultivation System for Vegetable Crops. *Chem Sci Rev Lett*, 6(22).
- Gruda, N. (2009). Do soilless culture systems have an influence on product quality of vegetables? *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 82(2), 141–147. <https://doi.org/10.18452/9433>
- Gruda, N., Gianquinto, G. P., Tuzel, Y., & Savvas, D. (2013). Culture: Soil-less. In *Encyclopedia of Soil Science* (3rd ed., pp. 533–537).
- Gruda, N., Oarvouti, M. M., & Leonardi, C. (2013). Growing media. In *Encyclopedia of Soil Science* (3rd ed., pp. 1053–1058).
- Grzebisz, W. (2015). Magnesium. *Handbook of Plant Nutrition*, 214–275. <https://doi.org/10.1201/B18458-10>
- Hafsi, C., Debez, A., & Abdelly, C. (2014). Potassium deficiency in plants: Effects and signaling cascades Ahmedn View project Genetic diversity and Salt tolerance in Barley germplasm: Physiological, Biochemical & Molecular characterization View project Potassium deficiency in plants: effects and signaling cascades. *Article in Acta Physiologiae Plantarum*. <https://doi.org/10.1007/s11738-014->

- Haghshenas, M., Arshad, M., & Nazarideljou, M. J. (2018). Different K:Ca ratios affected fruit color and quality of strawberry 'Selva' in soilless system. *Journal of Plant Nutrition*, *41*(2), 243–252. <https://doi.org/10.1080/01904167.2017.1385797>
- Hänsch, R., & Mendel, R. R. (2009). Physiological functions of mineral micronutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl). In *Current Opinion in Plant Biology* (Vol. 12, Issue 3, pp. 259–266). <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2009.05.006>
- Hasanuzzaman, M., Bhuyan, M. H. M. B., Nahar, K., Hossain, M. S., Al Mahmud, J., Hossen, M. S., Masud, A. A. C., Moumita, & Fujita, M. (2018). Potassium: A vital regulator of plant responses and tolerance to abiotic stresses. In *Agronomy* (Vol. 8, Issue 3, p. 31). Multidisciplinary Digital Publishing Institute. <https://doi.org/10.3390/agronomy8030031>
- Hawkesford, M., Horst, W., Kichey, T., Lambers, H., Schjoerring, J., Møller, I. S., & White, P. J. (2012). Functions of Macronutrients. *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants: Third Edition*, 135–189. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384905-2.00006-6>
- Hershey, D. R. (1994). Solution Culture Hydroponics: History & Inexpensive Equipment. *American Biology Teacher*, *56*(2), 111–118. <https://doi.org/10.2307/4449764>
- Hochmuth, G., & Hochmuth, R. (2012). Nutrient Solution Formulation for Hydroponic (Perlite, Rockwool, NFT) Tomatoes in Florida. *Soil and Water*, 1–11. <http://edis.ifas.ufl.edu>.
- Hosseinzadeh, S., Verheust, Y., Bonarrigo, G., & Van Hulle, S. (2017). Closed hydroponic systems: operational parameters, root exudates occurrence and related water treatment. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology 2017* *16:1*, *16*(1), 59–79. <https://doi.org/10.1007/S11157-016-9418-6>
- Huett, D. (1994). Growth, nutrient uptake and tipburn severity of hydroponic lettuce in response to electrical conductivity and K:Ca ratio in solution. *Australian Journal of Agricultural Research*, *45*(1), 251. <https://doi.org/10.1071/AR9940251>
- Inthichack, P., Nishimura, Y., & Fukumoto, Y. (2012). Effect of potassium sources and



- rates on plant growth, mineral absorption, and the incidence of tip burn in cabbage, celery, and lettuce. *Horticulture, Environment, and Biotechnology* 2012 53:2, 53(2), 135–142. <https://doi.org/10.1007/S13580-012-0126-Z>
- Jenni, S., Truco, M. J., & Michelmore, R. W. (2013). Quantitative trait loci associated with tipburn, heat stress-induced physiological disorders, and maturity traits in crisphead lettuce. *Theor Appl Genet*, 126, 3065–3079. <https://doi.org/10.1007/s00122-013-2193-7>
- Jones, J. B. (2012). *Plant nutrition and soil fertility manual* (2nd ed.). CRC Press.
- Kader, A., & Lindberg, S. (2010). *Plant Signaling & Behavior Cytosolic calcium and pH signaling in plants under salinity stress*. <https://doi.org/10.4161/psb.5.3.10740>
- Kaiser, W. M., & Lambers, H. (2003). *Interaction of nitrogen and phosphorus in determining of growth*. <https://doi.org/10.1023/A:1022323215010>
- Karley, A. J., & White, P. J. (2009). Moving cationic minerals to edible tissues: potassium, magnesium, calcium. In *Current Opinion in Plant Biology* (Vol. 12, Issue 3, pp. 291–298). *Curr Opin Plant Biol*. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2009.04.013>
- Karwowska, M., & Kononiuk, A. (2020). Nitrates/nitrites in food—risk for nitrosative stress and benefits. In *Antioxidants* (Vol. 9, Issue 3). *Antioxidants* (Basel). <https://doi.org/10.3390/antiox9030241>
- Kathpalia, R., & Bhatla, S. C. (2018a). Plant Mineral Nutrition. *Plant Physiology, Development and Metabolism*, 37–81. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-2023-1\\_2](https://doi.org/10.1007/978-981-13-2023-1_2)
- Kathpalia, R., & Bhatla, S. C. (2018b). Plant Water Relations. *Plant Physiology, Development and Metabolism*, 3–36. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-2023-1\\_1](https://doi.org/10.1007/978-981-13-2023-1_1)
- Katinas, L., Hernández, M. P., Arambarri, A. M., & Funk, V. A. (2016). The origin of the bifurcating style in Asteraceae (Compositae). *Annals of Botany*, 117(6), 1009–1021. <https://doi.org/10.1093/aob/mcw033>
- Khan, K. A., Yan, Z., & He, D. (2018). Impact of Light Intensity and Nitrogen of Nutrient Solution on Nitrate Content in Three Lettuce Cultivars Prior to Harvest.

- Journal of Agricultural Science*, 10(6), 99. <https://doi.org/10.5539/jas.v10n6p99>
- Khan, S., Purohit, A., & Vadsaria, N. (2020). Hydroponics: current and future state of the art in farming. *Https://Doi.Org/10.1080/01904167.2020.1860217*, 44(10), 1515–1538. <https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1860217>
- Kiers, A. M. (2000). Endive, Chicory, and their wild relatives. A systematic and phylogenetic study of Cichorium (Asteraceae). *Gorteria. Supplement*, 5(1), 1–77.
- Kiers, A. M., Mes, T. H. M., Van Der Meijden, R., & Bachmann, K. (1999). Morphologically defined Cichorium (Asteraceae) species reflect lineages based on chloroplast and nuclear (ITS) DNA data. *Systematic Botany*, 24(4), 645–659. <https://doi.org/10.2307/2419648>
- Kılıç, C. C., & Duyar, H. (2016). A research on production of baby leaf vegetables in floating system. *Hungarian Agricultural Engineering*, 29, 24–27. <https://doi.org/10.17676/HAE.2016.29.24>
- Klados, E., & Tzortzakis, N. (2014). Effects of substrate and salinity in hydroponically grown Cichorium spinosum. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 14(1), 211–222. <https://doi.org/10.4067/S0718-95162014005000017>
- Kleczkowski, L. A., & Igamberdiev, A. U. (2021). Magnesium signaling in plants. In *International Journal of Molecular Sciences* (Vol. 22, Issue 3, pp. 1–22). Multidisciplinary Digital Publishing Institute. <https://doi.org/10.3390/ijms22031159>
- Kobayashi, N. I., & Tanoi, K. (2015). Critical Issues in the Study of Magnesium Transport Systems and Magnesium Deficiency Symptoms in Plants. *International Journal of Molecular Sciences 2015, Vol. 16, Pages 23076-23093*, 16(9), 23076–23093. <https://doi.org/10.3390/IJMS160923076>
- Kolovou, P., Antoniadis, V., Karkanis, A., Ferreira, I. C. F. R., & Petropoulos, S. A. (2017). The effect of nutrient solution composition on development of Cichorium spinosum plants. *VIII International Scientific Agriculture Symposium*. <https://bibliotecadigital.ipb.pt/handle/10198/15756>
- Kowalczyk, K., Gajc-Wolska, J., Marcinkowska, M., Cetner, M. D., & Kalaji, H. M. (2016). Response of growth, quality parameters and photosynthetic apparatus of

- endive plant to different culture media. *Folia Horticulturae*, 28(1), 25–30. <https://doi.org/10.1515/FHORT-2016-0004>
- Kudla, J., Becker, D., Grill, E., Hedrich, R., Hippler, M., Kummer, U., Parniske, M., Romeis, T., & Schumacher, K. (2018). Advances and current challenges in calcium signaling. *The New Phytologist*, 218(2), 414–431. <https://doi.org/10.1111/NPH.14966>
- Kumar, S., Kumar, S., & Mohapatra, T. (2021). Interaction Between Macro- and Micro-Nutrients in Plants. *Frontiers in Plant Science*, 12, 753. <https://doi.org/10.3389/FPLS.2021.665583/BIBTEX>
- Kurmanbayeva, A., Brychkova, G., Bekturova, A., Khozin, I., Standing, D., Yarmolinsky, D., & Sagi, M. (2017). Determination of total sulfur, sulfate, sulfite, thiosulfate, and sulfolipids in plants. In *Methods in Molecular Biology* (Vol. 1631, pp. 253–271). Methods Mol Biol. [https://doi.org/10.1007/978-1-4939-7136-7\\_15](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-7136-7_15)
- Kyriacou, M. C., Soteriou, G. A., Colla, G., & Roupael, Y. (2019). The occurrence of nitrate and nitrite in Mediterranean fresh salad vegetables and its modulation by preharvest practices and postharvest conditions. *Food Chemistry*, 285, 468–477. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2019.02.001>
- Lakhiar, I. A., Gao, J., Syed, T. N., Chandio, A., & Buttar, N. A. (2018). Modern plant cultivation technologies in agriculture under controlled environment: a review on aeroponics. *Journal of Plant Interactions*, 13(1), 338–352. <https://doi.org/10.1080/17429145.2018.1472308>
- Lennard, W. A., & Leonard, B. V. (2006). A comparison of three different hydroponic sub-systems (gravel bed, floating and nutrient film technique) in an Aquaponic test system. *Aquaculture International*, 14(6), 539–550. <https://doi.org/10.1007/s10499-006-9053-2>
- Lester, G. E., Jifon, J. L., & Makus, D. J. (2010). Impact of potassium nutrition on postharvest fruit quality: Melon (*Cucumis melo* L) case study. *Plant and Soil*, 335(1), 117–131. <https://doi.org/10.1007/S11104-009-0227-3>
- Levine, C. P., & Mattson, N. S. (2021). Potassium-deficient nutrient solution affects the yield, morphology, and tissue mineral elements for hydroponic baby leaf

- spinach (*Spinacia oleracea* L.). *Horticulturae*, 7(8).  
<https://doi.org/10.3390/HORTICULTURAE7080213>
- Li, Q., Li, X., Tang, B., & Gu, M. (2018). Growth Responses and Root Characteristics of Lettuce Grown in Aeroponics, Hydroponics, and Substrate Culture. *Horticulturae* 2018, Vol. 4, Page 35, 4(4), 35.  
<https://doi.org/10.3390/HORTICULTURAE4040035>
- Libia, I., & Fernando, C. (2012). Nutrient Solutions for Hydroponic Systems. In *Hydroponics - A Standard Methodology for Plant Biological Researches*. InTech.  
<https://doi.org/10.5772/37578>
- Lu, N., Bernardo, E. L., Tippayadarapanich, C., Takagaki, M., Kagawa, N., & Yamori, W. (2017). Growth and accumulation of secondary metabolites in perilla as affected by photosynthetic photon flux density and electrical conductivity of the nutrient solution. *Frontiers in Plant Science*, 8, 708.  
<https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00708>
- Lykas, C., Katsoulas, N., Giaglaras, P., & Kittas, C. (2006). Electrical Conductivity and pH Prediction in a Recirculated Nutrient Solution of a Greenhouse Soilless Rose Crop. <Http://Dx.Doi.Org/10.1080/01904160600848904>, 29(9), 1585–1599.  
<https://doi.org/10.1080/01904160600848904>
- Mahler, R. L. (College of A. and L. S. (2004). *Nutrients plants require for growth*.
- Mandel, J. R., Dikow, R. B., Siniscalchi, C. M., Thapa, R., Watson, L. E., & Funk, V. A. (2019). A fully resolved backbone phylogeny reveals numerous dispersals and explosive diversifications throughout the history of Asteraceae. 116(28), 14083–14088. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.7697834>
- Manuel, R., Machado, A., Serralheiro, R. P., Alvino, A., Freire, M. I., & Ferreira, R. (2017). Soil Salinity: Effect on Vegetable Crop Growth. Management Practices to Prevent and Mitigate Soil Salinization. *Horticulturae* 2017, Vol. 3, Page 30, 3(2), 30. <https://doi.org/10.3390/HORTICULTURAE3020030>
- Manzocco, L., Foschia, M., Tomasi, N., Maifreni, M., Dalla Costa, L., Marino, M., Cortella, G., & Cesco, S. (2011). Influence of hydroponic and soil cultivation on quality and shelf life of ready-to-eat lamb's lettuce (*Valerianella locusta* L. Laterr).

- Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91(8), 1373–1380.  
<https://doi.org/10.1002/JSFA.4313>
- Marschner, P. (2011). Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants: Third Edition. *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants: Third Edition*, 1–651.  
<https://doi.org/10.1016/C2009-0-63043-9>
- Maucieri, C., Nicoletto, C., Os, E. van, Anseeuw, D., Havermaet, R. Van, & Junge, R. (2019). Hydroponic Technologies. In *Aquaponics Food Production Systems* (pp. 77–110). Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6_4)
- Miller, A., Adhikari, R., & Nemali, K. (2020). Recycling Nutrient Solution Can Reduce Growth Due to Nutrient Deficiencies in Hydroponic Production. *Frontiers in Plant Science*, 11. <https://doi.org/10.3389/FPLS.2020.607643/FULL>
- Mills, H. A., & Jones, J. B. (1997). Plant analysis handbook II: A practical sampling. *Preparation, Analysis, and Interpretation Guide*, 422.
- Mohammed, S., & Sookoo, R. (2016). Nutrient Film Technique for Commercial Production Polycystic Ovaries View project. *Article in Agricultural Science Research Journal*. <https://www.researchgate.net/publication/309866285>
- Mondal, M. F., Asaduzzaman, M., Ueno, M., Kawaguchi, M., Yano, S., Ban, T., Tanaka, H., & Asao, T. (2016). Reduction of potassium (K) content in strawberry fruits through KNO<sub>3</sub> management of hydroponics. *Horticulture Journal*, 86(1), 26–36. <https://doi.org/10.2503/hortj.MI-113>
- Morales, P., Ferreira, I. C. F. R., Carvalho, A. M., Sánchez-Mata, M. C., Cámara, M., Fernández-Ruiz, V., Pardo-de-Santayana, M., & Tardío, J. (2014). Mediterranean non-cultivated vegetables as dietary sources of compounds with antioxidant and biological activity. *LWT - Food Science and Technology*, 55(1), 389–396.  
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.08.017>
- Morgan, L. (2021). *Hydroponics and Protected Cultivation: A Practical Guide*. CAB International.
- Nazarideljou, M. J., Haghshenas, M., Jaberian Hamedan, H., & Ferrante, A. (2019). Growth, yield and antioxidant capacity of strawberry under various K<sup>+</sup>:Ca<sup>++</sup> ratios in hydroponic culture. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B: Soil and*

- Plant Science*, 69(2), 105–113. <https://doi.org/10.1080/09064710.2018.1506500>
- Nemali, K. (2018). *Purdue Horticulture and Landscape Architecture GREENHOUSE AND INDOOR PRODUCTION OF HORTICULTURAL CROPS Details of Electrical Conductivity Measurements in Greenhouse Production*.
- Neocleous, D., & Savvas, D. (2017). Simulating NaCl accumulation in a closed hydroponic crop of zucchini: Impact on macronutrient uptake, growth, yield, and photosynthesis. *Zeitschrift Fur Pflanzenernahrung Und Bodenkunde*, 180(3), 283–293. <https://doi.org/10.1002/jpln.201600338>
- Ntatsi, G., Aliferis, K. A., Roupael, Y., Napolitano, F., Makris, K., Kalala, G., Katopodis, G., & Savvas, D. (2017). Salinity source alters mineral composition and metabolism of *Cichorium spinosum*. *Environmental and Experimental Botany*, 141, 113–123. <https://doi.org/10.1016/J.ENVEXPBOT.2017.07.002>
- NutriSense*. (n.d.). Retrieved December 8, 2021, from <https://nutrisense.online/>
- Olle, M., & Bender, I. (2009). Causes and control of calcium deficiency disorders in vegetables: A review. In *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* (Vol. 84, Issue 6, pp. 577–584). <https://doi.org/10.1080/14620316.2009.11512568>
- Orsini, F., Fecondini, M., Mezzetti, M., Michelon, N., & Gianquinto, G. P. (2010). Simplified hydroponic floating systems for vegetable production in Trujillo, Peru. *Acta Horticulturae*, 881, 157–161. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2010.881.18>
- Öztekin, G. B., Uludağ, T., & Tüzel, Y. (2018). Growing spinach (*Spinacia oleracea* L.) in a floating system with different concentrations of nutrient solution. *Applied Ecology and Environmental Research*, 16(3), 3333–3350. [https://doi.org/10.15666/AEER/1603\\_33333350](https://doi.org/10.15666/AEER/1603_33333350)
- Pandey, G. K., & Mahiwal, S. (2020). *Role of potassium in plants*. [https://books.google.com/books/about/Role\\_of\\_Potassium\\_in\\_Plants.html?id=BhxtzQEACAAJ](https://books.google.com/books/about/Role_of_Potassium_in_Plants.html?id=BhxtzQEACAAJ)
- Pandey, R., Jain, V., & Singh, K. P. (2009). *Hydroponics Agriculture: Its Status, Scope and Limitations*.
- Papafilippaki, A., & Nikolaidis, N. P. (2020). Comparative study of wild and cultivated

- populations of *Cichorium spinosum*: The influence of soil and organic matter addition. *Scientia Horticulturae*, 261, 108942. <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2019.108942>
- Pawera, L., Khomsan, A., Zuhud, E. A. M., Hunter, D., Ickowitz, A., & Polesny, Z. (2020). Wild Food Plants and Trends in Their Use: From Knowledge and Perceptions to Drivers of Change in West Sumatra, Indonesia. *Foods 2020*, Vol. 9, Page 1240, 9(9), 1240. <https://doi.org/10.3390/FOODS9091240>
- Petropoulos, S. A. (2016). Nutritional Value and Chemical Composition of *Cichorium Spinosum*. *International Journal of Nutritional Sciences*, 1(2).
- Petropoulos, S. A., Chatzieustratiou, E., Constantopoulou, E., & Kapotis, G. (2016). Yield and Quality of Lettuce and Rocket Grown in Floating Culture System. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 44(2), 603–612. <https://doi.org/10.15835/NBHA44210611>
- Petropoulos, S. A., Fernandes, Â., Antoniadis, V., Ntatsi, G., Barros, L., & Ferreira, I. C. F. R. (2018). 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., Barros, L., & Ferreira, I. C. F. R. (2018). A comparison of the phenolic profile and antioxidant activity of different *Cichorium spinosum* L. ecotypes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(1), 183–189. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8453>
- Petropoulos, S. A., Fernandes, Â., Karkanis, A., Antoniadis, V., Barros, L., & Ferreira, I. C. F. R. (2017). Nutrient solution composition and growing season affect yield and chemical composition of *Cichorium spinosum* plants. *Scientia Horticulturae*, 231, 97–107. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.12.022>
- Petropoulos, S. A., 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>
- 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. A., Fernandes, Â., Tzortzakis, N., Sokovic, M., Ciric, A., Barros, L., & Ferreira, I. C. F. R. (2019). Bioactive compounds content and antimicrobial activities of wild edible Asteraceae species of the Mediterranean flora under commercial cultivation conditions. *Food Research International*, 119, 859–868. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.10.069>
- Petropoulos, S. A., Levizou, E., Ntatsi, G., Fernandes, Â., Petrotos, K., Akoumianakis, K., Barros, L., & Ferreira, I. C. F. R. (2017). Salinity effect on nutritional value, chemical composition and bioactive compounds content of *Cichorium spinosum* L. *Food Chemistry*, 214, 129–136. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2016.07.080>
- Pôrto, M. L., Alves, J. do C., De Souza, A. P., Araújo, R. da C., & De Arruda, J. A. (2008). Nitrate production and accumulation in lettuce as affected by mineral Nitrogen supply and organic fertilization. *Horticultura Brasileira*, 26(2), 227–230. <https://doi.org/10.1590/s0102-05362008000200019>
- Prohens, J., & Nuez, F. (2008). Vegetables I. In *Handbook of Plant Breeding* (1st ed., p. 428). Springer New York. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-30443-4>
- Ranade-Malvi, U. (2011). Interaction of micronutrients with major nutrients with special reference to potassium. *Karnataka J. Agric. Sci*, 24(1), 106–109.
- Randle, W. M. (2000). Increasing nitrogen concentration in hydroponic solutions affects onion flavor and bulb quality. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 125(2), 254–259. <https://doi.org/10.21273/jashs.125.2.254>
- Raviv, M., Lieth, J. H., & Bar-Tal, A. (2019). Soilless culture: Theory and practice. In *Soilless Culture: Theory and Practice Theory and Practice*. Elsevier Science. <https://doi.org/10.1016/C2015-0-01470-8>
- Rodríguez-Delfín, A. (2012). Advances of hydroponics in Latin America. *Acta Horticulturae*, 947, 23–32. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.947.1>
- Rubio, J. S., García-Sánchez, F., Flores, P., Navarro, J. M., & Martínez, V. (2010).

- Yield and fruit quality of sweet pepper in response to fertilisation with Ca<sup>2+</sup> and K<sup>+</sup>. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 8(1), 170. <https://doi.org/10.5424/sjar/2010081-1156>
- Sago, Y. (2016). Effects of light intensity and growth rate on tipburn development and leaf calcium concentration in butterhead lettuce. *HortScience*, 51(9), 1087–1091. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI10668-16>
- Samarakoon, U., A, W. P., & P, W. W. A. (2006). Effect of Electrical Conductivity [EC] of the Nutrient Solution on Nutrient Uptake, Growth and Yield of Leaf Lettuce (*Lactuca sativa* L.) in Stationary Culture Effect of organic matter application on Cd accumulation of rice grains. View project Translocati. *Tropical Agricultural Research*, 18(January). <https://www.researchgate.net/publication/260364158>
- Samarakoon, U., Palmer, J., Ling, P., & Altland, J. (2020). Effects of electrical conductivity, pH, and foliar application of calcium chloride on yield and tipburn of *lactuca sativa* grown using the nutrient-film technique. *HortScience*, 55(8), 1265–1271. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI15070-20>
- Santamaria, P. (2006). Nitrate in vegetables: Toxicity, content, intake and EC regulation. In *Journal of the Science of Food and Agriculture* (Vol. 86, Issue 1, pp. 10–17). <https://doi.org/10.1002/jsfa.2351>
- Sardare, M. D. (2013). A REVIEW ON PLANT WITHOUT SOIL - HYDROPONICS. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 02(03), 299–304. <https://doi.org/10.15623/ijret.2013.0203013>
- Sardare, M. D., & Admane, S. V. (2019). A REVIEW ON PLANT WITHOUT SOIL-HYDROPONICS Extraction of betulinic acid by various technique from Jamun leaves View project A REVIEW ON PLANT WITHOUT SOIL-HYDROPONICS. <https://www.researchgate.net/publication/331731460>
- Savvas, D., Drakatos, S., Panagiotakis, I., & Ntatsi, G. (2021a). NUTRISENSE: a novel software to automatically control nutrient supply in closed hydroponic crops based either on off-line chemical analyses or on ion-selective electrodes. *Acta Horticulturae*, 1317, 215–221. <https://doi.org/10.17660/ACTAHORTIC.2021.1317.24>

- Savvas, D., Drakatos, S., Panagiotakis, I., & Ntatsi, G. (2021b). NUTRISENSE: A new online portal to calculate nutrient solutions and optimize fertilization of greenhouse crops grown hydroponically. *Acta Horticulturae*, 1320, 149–156. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2021.1320.19>
- Savvas, D., Gianquinto, G. P., Tuzel, Y., & Gruda, N. (2013). Good agricultural practices for greenhouse vegetable crops: Principles for Mediterranean climate areas. In *FAO* (Issue July 2013).
- Savvas, D., & Gizas, G. (2002). Response of hydroponically grown gerbera to nutrient solution recycling and different nutrient cation ratios. *Scientia Horticulturae*, 96(1–4), 267–280. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(02\)00054-7](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(02)00054-7)
- Savvas, D., & Gruda, N. (2018). Application of soilless culture technologies in the modern greenhouse industry - A review. In *European Journal of Horticultural Science* (Vol. 83, Issue 5, pp. 280–293). <https://doi.org/10.17660/eJHS.2018/83.5.2>
- Savvas, D., & Ntatsi, G. (2015). Biostimulant activity of silicon in horticulture. In *Scientia Horticulturae* (Vol. 196, pp. 66–81). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.010>
- Scuderi, D., Restuccia, C., Chisari, M., Barbagallo, R. N., Caggia, C., & Giuffrida, F. (2011). Salinity of nutrient solution influences the shelf-life of fresh-cut lettuce grown in floating system. *Postharvest Biology and Technology*, 59(2), 132–137. <https://doi.org/10.1016/J.POSTHARVBIO.2010.08.016>
- Sharma, C. P. (2006). Plant Micronutrients. In *Plant Micronutrients*. Science Publishers. <https://doi.org/10.1201/9781482280425>
- Sharma, O. P. (2013). PLANT TAXONOMY Second Edition. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (2nd ed., Vol. 53, Issue 9). Tata McGraw-Hill. [https://books.google.com/books/about/Plant\\_Taxonomy.html?id=idY8nQAACA-AJ](https://books.google.com/books/about/Plant_Taxonomy.html?id=idY8nQAACA-AJ)
- Shrestha, A., & Dunn, B. (2010). *Hydroponics*. <http://osufacts.okstate.edu>
- Shrikant, M. (2018). Hydroponics : An upcoming and innovative way of future farming. *Int. Arch. App. Sci. Technol*, 9, 69–74. <https://doi.org/10.15515/iaast.0976->

4828.9.1.6974

- Silber, A., & Bar-Tal, A. (2008). Nutrition of substrate-grown plants. In *Soilless Culture: Theory and Practice* (pp. 291–339). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-044452975-6.50010-1>
- Simopoulos, A. P. (2004). Omega-3 fatty acids and antioxidants in edible wild plants. In *Biological Research* (Vol. 37, Issue 2, pp. 263–277). <https://doi.org/10.4067/S0716-97602004000200013>
- Singh, H., Dunn, B., & Payton, M. (2019). HYDROPONIC pH MODIFIERS AFFECT PLANT GROWTH AND NUTRIENT CONTENT IN LEAFY GREENS. *Journal of Horticultural Research*, 27(1), 31–36. <https://doi.org/10.2478/johr-2019-0004>
- Sonneveld, C., & Voogt, W. (1994). Effects of calcium and ammonium on the appearance of secondary shoot chlorosis in rockwool grown cucumbers. *Proceedings of Sino-International Colloquium of Soilless Culture '94*, 86–94.
- Sonneveld, C., & Voogt, W. (2009a). Nutrient Management in Substrate Systems. In *Plant Nutrition of Greenhouse Crops* (pp. 277–312). Springer, Dordrecht. [https://doi.org/10.1007/978-90-481-2532-6\\_13](https://doi.org/10.1007/978-90-481-2532-6_13)
- Sonneveld, C., & Voogt, W. (2009b). Plant nutrition of greenhouse crops. In *Plant Nutrition of Greenhouse Crops*. Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-90-481-2532-6>
- Soobrattee, M. A., Neergheen, V. S., Luximon-Ramma, A., Aruoma, O. I., & Bahorun, T. (2005). Phenolics as potential antioxidant therapeutic agents: Mechanism and actions. *Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*, 579(1–2), 200–213. <https://doi.org/10.1016/J.MRFMMM.2005.03.023>
- Stagos, D., Balabanos, D., Savva, S., Skaperda, Z., Priftis, A., Kerasioti, E., Mikropoulou, E. V, Vougianniopoulou, K., Mitakou, S., Halabalaki, M., & Kouretas, D. (2018). *Extracts from the Mediterranean Food Plants Carthamus lanatus, Cichorium intybus, and Cichorium spinosum Enhanced GSH Levels and Increased Nrf2 Expression in Human Endothelial Cells*. <https://doi.org/10.1155/2018/6594101>

- Summerhays, J. S., Jolley, V. D., Hill, M. W., & Hopkins, B. G. (2017). Enhanced phosphorus fertilizers (Carbond P® and Avail®) supplied to maize in hydroponics. *Journal of Plant Nutrition*, 40(20), 2889–2897. <https://doi.org/10.1080/01904167.2017.1384007>
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2010). Plant Physiology. In *Sinauer Associates* (5th ed.). Sinauer Associates Incorporated.
- Tang, C., Drevon, J. J., Jaillard, B., Souche, G., & Hinsinger, P. (2004). Proton release of two genotypes of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) as affected by N nutrition and P deficiency. *Plant and Soil*, 260(1–2), 59–68. <https://doi.org/10.1023/B:PLSO.0000030174.09138.76>
- Tomasi, N., Pinton, R., Dalla Costa, L., Cortella, G., Terzano, R., Mimmo, T., Scampicchio, M., & Cesco, S. (2015). *New “solutions” for floating cultivation system of ready-to-eat salad: A review*. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.08.004>
- Trejo-Téllez, L. I., & Gómez-Merino, F. C. (2012). Nutrient Solutions for Hydroponic Systems. *Hydroponics - A Standard Methodology for Plant Biological Researches*. <https://doi.org/10.5772/37578>
- Tripathi, D. K., Singh, S., Singh, S., Mishra, S., Chauhan, D. K., & Dubey, N. K. (2015). Micronutrients and their diverse role in agricultural crops: advances and future prospective. *Acta Physiologiae Plantarum* 2015 37:7, 37(7), 1–14. <https://doi.org/10.1007/S11738-015-1870-3>
- Tsouvaltzi, P., Kasampali, D. S., Aktsoğlu, D. C., Barbayiannis, N., & Siomos, A. S. (2020). Effect of reduced nitrogen and supplemented amino acids nutrient solution on the nutritional quality of baby green and red lettuce grown in a floating system. *Agronomy*, 10(7), 922. <https://doi.org/10.3390/agronomy10070922>
- Umar, S., & Iqbal, M. (2007). Nitrate accumulation in plants, factors affecting the process, and human health implications. A review. In *Agronomy for Sustainable Development* (Vol. 27, Issue 1, pp. 45–57). <https://doi.org/10.1051/agro:2006021>
- Van Os, E. A., Gieling, T. H., & Heinrich Lieth, J. (2019). Technical equipment in soilless production systems. In *Soilless Culture: Theory and Practice Theory and Practice* (pp. 587–635). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63696->

6.00013-X

- 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>
- Vatansever, R., Ozyigit, I. I., & Filiz, E. (2017). Essential and Beneficial Trace Elements in Plants, and Their Transport in Roots: a Review. In *Applied Biochemistry and Biotechnology* (Vol. 181, Issue 1, pp. 464–482). <https://doi.org/10.1007/s12010-016-2224-3>
- Verbruggen, N., & Hermans, C. (2013). *Physiological and molecular responses to magnesium nutritional imbalance in plants Intraspecific variation of Cd and Zn accumulation and tolerance in Arabidopsis halleri View project COST Action 19116 Trace metal metabolism in plants-PLANTMETALS View project*. <https://doi.org/10.1007/s11104-013-1589-0>
- Walters, K. J., & Currey, C. J. (2018). Effects of Nutrient Solution Concentration and Daily Light Integral on Growth and Nutrient Concentration of Several Basil Species in Hydroponic Production. *HortScience*, 53(9), 1319–1325. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI13126-18>
- Wang, B., Huang, Q., Venkitasamy, C., Chai, H., Gao, H., Cheng, N., Cao, W., Lv, X., & Pan, Z. (2016). Changes in phenolic compounds and their antioxidant capacities in jujube (*Ziziphus jujuba* Miller) during three edible maturity stages. *LWT - Food Science and Technology*, 66, 56–62. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2015.10.005>
- Wang, Y., & Wu, W. H. (2013). Potassium transport and signaling in higher plants. In *Annual Review of Plant Biology* (Vol. 64, pp. 451–476). Annu Rev Plant Biol. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050312-120153>
- White, P. J. (2015). Calcium. In *Handbook of Plant Nutrition* (pp. 142–179). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b18458-8>
- White, P. J., & Broadley, M. R. (2003). Calcium in plants. In *Annals of Botany* (Vol. 92, Issue 4, pp. 487–511). Oxford Academic. <https://doi.org/10.1093/aob/mcg164>
- White, P. J., & Hammond, J. P. (2008). *Phosphorus nutrition of terrestrial plants*. 51–81. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8435-5\\_4](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8435-5_4)

- Wiedenhoeft, A. C. (2006). *Plant Nutrition*. 144.
- Xie, K., Cakmak, I., Wang, S., Zhang, F., & Guo, S. (2021). Synergistic and antagonistic interactions between potassium and magnesium in higher plants. *The Crop Journal*, 9(2), 249–256. <https://doi.org/10.1016/J.CJ.2020.10.005>
- Xu, R. (2015). Important bioactive properties of omega-3 fatty acids. In *Italian Journal of Food Science* (Vol. 27, Issue 2, pp. 1–7). Chiriotti Editori. <https://doi.org/10.14674/1120-1770/ijfs.v177>
- Zamaniyan, M., Panahandeh, J., Tabatabaei, S. J., & Motallebie-Azar, A. (2012). Effects of different ratios of K:Ca in nutrient solution on growth, yield and chicon quality of witloof chicory (*Cichorium intybus* L.). *International Journal of Agriscience*, 2, 1137–1142. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20123416740>
- Zanin, G., Ponchia, G., & Sambo, P. (2009). Yield and quality of vegetables grown in a floating system for ready-to-eat produce. *Acta Horticulturae*, 807, 433–438. <https://doi.org/10.17660/ACTAHORTIC.2009.807.61>
- Zeghichi, S., Kallithraka, S., & Simopoulos, A. P. (2003). Nutritional composition of molokhia (*Corchorus olitorius*) and stamnagathi (*Cichorium spinosum*). In *World review of nutrition and dietetics* (Vol. 91, pp. 1–21). Karger Publishers. <https://doi.org/10.1159/000069924>
- Zhu, S., Yilin, C., Yousheng, C., Yourun 林有润 Ling Yeou-ruenn, L., Yuou-ruen, L., Shangwu, L., Xuejun, G., Tiangang, G., Shixin, Z., Ying, L., Qiner, Y., Humphries, C. J., von Raab-Straube, E., Gilbert, M. G., Nordenstam, B., Kilian, N., Brouillet, L., Illarionova, I. D., Nicholas Hind, D. J., ... Strother, J. L. (2011). *Asteraceae (Compositae) [family introduction, glossary, systematic list, and key to tribes. 3, 1–8.*
- Zimmerer, K. S., Vanek, S. J., Radcliff, C. A., & Vadjunec, J. M. (2016). Toward the Integrated Framework Analysis of Linkages among Agrobiodiversity, Livelihood Diversification, Ecological Systems, and Sustainability amid Global Change. *Land* 2016, Vol. 5, Page 10, 5(2), 10. <https://doi.org/10.3390/LAND5020010>
- Ακουμιανάκης, Κ. (2007). *Ειδικά θέματα Λαχανοκομίας*. Πανεπιστημιακές Σημειώσεις

Γ.Π.Α.

Ακουμιανάκης, Κ. (2010). Συμβολή των λαχανευόμενων στη Βιολογική Καλλιέργεια Κηπευτικών - το παράδειγμα του σταμναγκαθιού. *ΔΗΩ*, 55.

Ιατρού, Γ. (2016). Τάξη Asterales ASTERACEAE. *Σημειώσεις Μαθήματος Βιολογίας Φυτών II*. <https://eclass.upatras.gr/modules/document/?course=BIO348>

Καρκαλούσος, Π., Γεωργίου, Ζ., Κρούπης, Χ., Παπαϊωάννου, Α., Πλαγιάς, Π., Σπυρόπουλος, Β., Τσότσου, Γ., & Φούντζουλα, Χ. (2015). Η ατομική απορρόφηση και οι εφαρμογές της. In *Εργαστηριακές ασκήσεις κλινικής χημείας*. <https://repository.kallipos.gr/handle/11419/5389>

Ολύμπιος, Μ. (2015). *Η τεχνική της καλλιέργειας των υπαίθριων κηπευτικών*.

Παπαφιλιππάκη, Α. (2015). *Καλλιέργεια σταμναγκαθιού σε διάφορους τύπους εδαφών με προσθήκη κομπόστ από αστικά στερεά απόβλητα ως εδαφοβελτιωτικό*. ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ.

Πάππα, Ε. (2016). *Καταγραφή της διαχρονικής εξέλιξης των μορφολογικών και ποιοτικών χαρακτηριστικών δέκα λαχανευόμενων ειδών, καλλιεργούμενων σε σύστημα επίπλευσης*.

Σάββας, Δ. (2011). *Καλλιέργειες Εκτός Εδάφους: Υδροπονία, Υποστρώματα*. Εκδόσεις Αγρότυπος.

Σαριδάκης, Γ., & Κουβαράκης, Γ. (2020). Φασματοσκοπία Ατομικής Απορρόφησης. In *Σημειώσεις εργαστηρίου αναλυτικής χημείας II*. ΤΜΗΜΑ ΧΗΜΕΙΑΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΚΡΗΤΗΣ.