



**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**

Αξιολόγηση της βέλτιστης δόσης  $\text{SeO}_2$  στην ανάπτυξη, παραγωγή, θρεπτική κατάσταση και φωτοσυνθετική ικανότητα του άγριου λαχανευόμενου *Portulaca Oleracea L.*, σε ανοιχτό υδροπονικό σύστημα καλλιέργειας

**Γεώργιος Παναγιώτης Σ. Σπύρου**

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια:

Γεωργία Ντάτση, Επίκουρη Καθηγήτρια ΓΠΑ

**Αθήνα  
2023**

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

**Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία**

Αξιολόγηση της βέλτιστης δόσης  $\text{SeO}_2$  στην ανάπτυξη, παραγωγή, θρεπτική κατάσταση και φωτοσυνθετική ικανότητα του άγριου λαχανευόμενου *Portulaca Oleracea L.*, σε ανοιχτό υδροπονικό σύστημα καλλιέργειας

Evaluation of the optimal  $\text{SeO}_2$  dose on the growth, production, nutritional status and photosynthetic capacity of the wild underutilized *Portulaca oleracea L.*, in an open hydroponic culture system

**Γεώργιος Παναγιώτης Σ. Σπύρου**

Εξεταστική Επιτροπή:

Γεωργία Ντάτση Επίκουρη Καθηγήτρια ΓΠΑ (επιβλέπουσα)

Ιωάννης Καραπάνος Αναπληρωτής Καθηγητής ΓΠΑ

Ανέστης Καρκάνης Αναπληρωτής Καθηγητής Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

**Αξιολόγηση της βέλτιστης δόσης SeO<sub>2</sub> στην ανάπτυξη, παραγωγή, θρεπτική κατάσταση και φωτοσυνθετική ικανότητα του άγριου λαχανεύομενου είδους *Portulaca Oleracea L.* σε ανοιχτό υδροπονικό σύστημα καλλιέργειας**

*ΠΜΣ Τομείς αιχμής και καινοτόμες εφαρμογές στην παραγωγή και συντήρηση οπωροκηπευτικών και ανθοκομικών ειδών*

*Τμήμα Επιστήμης Φυτικής Παραγωγής*

*Εργαστήριο κηπευτικών καλλιεργειών*

## **Π ε ρ ί λ η ψ η**

Η πρόσληψη θρεπτικών συστατικών είναι απαραίτητη για τη σωστή λειτουργία του ανθρώπινου οργανισμού. Μεγάλο μέρος του πληθυσμού παγκοσμίως, υποφέρει από ελλιπή ή ακόμα και ανεπαρκή πρόσληψη βιταμινών, ιχνοστοιχείων και μετάλλων. Η ανισορροπία αυτή συνδέεται συχνότερα με τη μειωμένη κατανάλωση (υποσιτισμός) που επιφέρει υποθρεψία. Μια ακόμα περίπτωση εμφάνισης υποθρεψίας είναι η επαρκής πρόσληψη των πρωτεϊνών και υδατανθράκων μέσω της τροφής, αλλά όχι των απαραίτητων για τον οργανισμό θρεπτικών στοιχείων. Η υποθρεψία μικροστοιχείων είναι μια υποκατηγορία δυσθρεψίας και οφείλεται στην αδυναμία πρόσληψης θρεπτικών συστατικών μέσω της τροφής, λόγω χαμηλής περιεκτικότητας της τελευταίας σε αυτά ή ακόμα και δυσκολίας απορρόφησης τους από τον οργανισμό. Το φαινόμενο αυτό συχνά καλείται ως κρυμμένη πείνα και προκαλεί αρνητικές επιπτώσεις στη φυσιολογική λειτουργία και ανάπτυξη του οργανισμού.

Ο βιοεμπλουτισμός με ιχνοστοιχεία αποτελεί μια οικονομική και αειφορική στρατηγική για την ενίσχυση της θρεπτικής αξίας των προϊόντων και δη των άγριων φυλλωδών λαχανικών. Ιδιαίτερη σημασία, τόσο για τη μέθοδο του βιοεμπλουτισμού όσο και για τις άστατες καιρικές συνθήκες που επικρατούν λόγω της κλιματικής μεταβολής, παρουσιάζουν τα αυτοφυή λαχανεύομενα είδη τα οποία καταναλώνονται στη χώρα μας από αρχαιοτάτων χρόνων. Τα φυλλώδη αυτά λαχανικά έχουν κεντρίσει το ενδιαφέρον καλλιεργητών αλλά και επιστημόνων εξαιτίας της υψηλής θρεπτικής τους αξίας και της προσαρμοστικότητάς τους σε αντίξοες κλιματικές συνθήκες.

Περιοριστικός παράγοντας της εφαρμογής του βιοεμπλουτισμού αποτελεί η συγκέντρωση των παρεχόμενων ιχνοστοιχείων στο εδάδιμό μέρος του φυτού, καθώς υπάρχει κίνδυνος υπερσυσσώρευσης και τοξικότητας. Φαινόμενα τοξικότητας για τον άνθρωπο σπανίως εμφανίζονται εξαιτίας της κατανάλωσης τροφίμων με υψηλή περιεκτικότητα σε θρεπτικά

συστατικά, ωστόσο είναι εφικτό να προέλθει από υπερβολική κατανάλωση διατροφικών συμπληρωμάτων, ένα τέτοιο παράδειγμα είναι η υπερβιταμίνωση. Για το λόγο αυτό, όσον αφορά τη μέθοδο βιοεμπλουτισμού μιας καλλιέργειας, είναι επιτακτικός ο έλεγχος τόσο της προστιθέμενης δόσης του εκάστοτε ιχνοστοιχείου, όσο και της συγκέντρωσης του στο βρώσιμο μέρος του φυτού, διασφαλίζοντας με τον τρόπο αυτό υψηλό επίπεδο προστασίας στον καταναλωτή.

Στόχος της παρούσας διατριβής είναι να εξετάσει τη μέθοδο βιοεμπλουτισμού με την προσθήκη διαφορετικών δόσεων  $\text{SeO}_2$  στο θρεπτικό διάλυμα καλλιέργειας άγριου φυλλώδους λαχανικού Αντράκλα (*Portulaca oleracea L.*) το οποίο καλλιεργήθηκε υδροπονικά. Πιο συγκεκριμένα η μελέτη έχει σκοπό να αξιολογήσει τον τρόπο επίδρασης των διαφορετικών δόσεων  $\text{SeO}_2$  στη φυσιολογική ανάπτυξη του φυτού, την παραγωγή, την θρεπτική του κατάσταση αλλά και τη φωτοσυνθετική του ικανότητα. Η παροχή τριών δόσεων  $\text{SeO}_2$  (1, 2, 4  $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) πραγματοποιήθηκε με την προσθήκη του στο θρεπτικό διάλυμα. Με το πέρας της καλλιεργητικής περιόδου πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις σχετικά με την ανάπτυξη, την παραγωγή αλλά και τη θρεπτική κατάσταση των φυτών.

Η χορήγηση διαφορετικών συγκεντρώσεων Se οδήγησε σε υψηλότερη απόδοση χωρίς όμως να παρατηρηθούν σημαντικές διαφορές μεταξύ των τριών δόσεων (1, 2, 4  $\mu\text{mol L}^{-1}$ ), ενώ η αυξανόμενη χορήγηση  $\text{SeO}_2$  είχε ως αποτέλεσμα την ανάλογη αύξηση της συγκέντρωσης Se στο υπέργειο τμήμα του φυτού. Παράλληλα η θρεπτική κατάσταση του φυτού φαίνεται να μην επηρεάζεται σε σημαντικό βαθμό, καθώς τα περισσότερα θρεπτικά στοιχεία που εξετάστηκαν, όπως N, P, K, Ca, Mg, Fe και Mn δεν παρουσίασαν κάποια μεταβολή με την πρόσθετη παροχή  $\text{SeO}_2$ . Αντιθέτως, μόνο ο χαλκός (Cu) και ο ψευδάργυρος (Zn) παρουσίασαν σημαντικές διαφορές, ενώ αρκετά ενδιαφέρον είναι το γεγονός πως κατά τη μεταχείριση με 4  $\mu\text{mol L}^{-1}$   $\text{SeO}_2$  η συγκέντρωση των δύο ιχνοστοιχείων φαίνεται να ελαττώνεται, με την πλέον αποδοτική δοσολογία όσον αφορά την αύξηση των Cu και Zn να είναι αυτή των 2  $\mu\text{mol L}^{-1}$   $\text{SeO}_2$ . Τέλος, με τη βοήθεια κατάλληλων μετρήσεων σχετικά με την ανταλλαγή αερίων των φυτών, προσδιορίστηκε η στιγμιαία αποδοτικότητα χρήσης νερού (instantaneous WUE), σημαντική παράμετρος που υποδεικνύει τη σχέση μεταξύ παραγωγικότητας των φυτών και χρήσης νερού, η οποία επηρεάστηκε αρνητικά από την υψηλότερη δόση Se. Συμπερασματικά, η βιοεμπλουτισμένη καλλιέργεια φυτών με ιχνοστοιχεία, όπως το σελήνιο, στην κατάλληλη

δόση, μπορεί να βελτιώσει τη θρεπτική αξία των προϊόντων και να συμβάλει στην καταπολέμηση του υποσιτισμού και του φαινομένου της «κρυφής πείνας» που προκαλεί αρνητικές επιπτώσεις στη φυσιολογική λειτουργία και ανάπτυξη του ανθρώπου.

**Επιστημονική περιοχή:** Υδροπονικές καλλιέργειες

**Λέξεις κλειδιά:** Υποθρεψία μικροστοιχείων, βιοεμπλουτισμός, Αντράκλα, σελήνιο, υδροπονία

**Evaluation of the optimal SeO<sub>2</sub> dose on the growth, production, nutritional status and photosynthetic capacity of the wild *Portulaca oleracea* L. species in an open hydroponic culture system**

*MSc Cutting-edge sectors and innovative applications in the production and maintenance of horticultural and floricultural products*  
*Faculty of Crop Science*  
*Laboratory of Vegetable Production*

**Abstract**

Nutrient intake is essential for the proper functioning of the human body. Much of the world's population suffers from deficient or even insufficient intake of vitamins, several trace elements and minerals. This imbalance is most often associated with the lack of food which leads to malnutrition. Another case of malnutrition is the adequate intake of proteins and carbohydrates through food, but not the necessary for the human body nutrients. Micronutrient malnutrition is a subcategory of malnutrition and is due to the inability to absorb nutrients through food, due to a low content of the latter in them or even difficulty in absorption by the body. This phenomenon is often called hidden hunger and has a negative impact on the normal functioning and development of the body.

Biofortification is an economic and sustainable strategy to enhance the nutritional value of the produced products. The native species that have been consumed in our country since ancient times, have special significance both for the biofortification strategy and for the unstable weather conditions that prevail due to climate change. Wild leafy species have attracted the interest of growers and scientists because of their high nutritional value and their adaptability to adverse climatic conditions. Although, a limiting factor concerning the bio-enrichment method, is the concentration of the provided trace elements in the edible part of the plant. Trace elements need to be ingested in small amounts as there is a risk of over intake and toxicity. Toxicity to humans rarely occurs due to the consumption of foods with a high content of nutrients, however it is possible to derive from excessive consumption of nutritional supplements, one such example is hypervitaminosis. For this reason, regarding the biofortification of a crop, it is imperative to control both the added dose of each trace element and its concentration in the edible part of the plant, ensuring a high level of consumer protection.

The aim of the present thesis is to examine the bio-enrichment method by adding different doses of SeO<sub>2</sub> to the nutrient solution of the wild leafy vegetable Purslane (*Portulaca oleracea L.*) which was cultivated hydroponically. More specifically, the study aims to evaluate the effect of different doses of SeO<sub>2</sub> on the plant's normal growth, production, nutritional status and photosynthetic capacity. Three doses of SeO<sub>2</sub> (1, 2, 4 μmol l<sup>-1</sup>) were applied to the plants through the nutrient solution. At the end of the growing season, appropriate measurements were conducted regarding plant growth, yield and nutritional status of the plants.

The administration of different Se concentrations led to a higher yield without significant differences being observed between the three doses (1, 2, 4 μmol l<sup>-1</sup>), while the increasing administration of SeO<sub>2</sub> resulted in a proportional increase in the concentration of Se in the above-ground part of the plant. At the same time, the nutritional status of the plant seems not to be affected, since most of the nutrients examined, such as N, P, K, Ca, Mg, Fe and Mn, were not affected by the additional supply of SeO<sub>2</sub>. On the contrary, only copper (Cu) and zinc (Zn) showed significant differences, while it is quite interesting that during the treatment with 4 μmol l<sup>-1</sup> SeO<sub>2</sub>, the concentration of the two trace elements seems to decrease, with the most efficient dosage in terms increasing Cu and Zn being that of 2 μmol l<sup>-1</sup> SeO<sub>2</sub>.

**Scientific area:** Hydroponic cultivation

**Keywords:** Micronutrient malnutrition, biofortification, underutilized species, selenium, hydroponic cultivation

## **Ευχαριστίες**

Η διατριβή υλοποιήθηκε στις εγκαταστάσεις του εργαστηρίου Κηπευτικών Καλλιεργειών στο πλαίσιο του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Τομείς Αιχμής και Καινοτόμες Εφαρμογές στην Παραγωγή και Συντήρηση Οπωροκηπευτικών και Ανθοκομικών Ειδών», μέσω του οποίου είχα την ευκαιρία να συνεργαστώ και να έρθω σε επαφή με καταξιωμένους ανθρώπους, καθηγητές και προσωπικό του τομέα της Επιστήμης Φυτικής Παραγωγής του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών.

Με τη λήξη των ακαδημαϊκών μου υποχρεώσεων στο πλαίσιο του συγκεκριμένου μεταπτυχιακού μου γεννάται η ανάγκη προς ευχαρίστηση ορισμένων προσώπων. Πρωτίστως, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στην καθηγήτρια μου και επιβλέπουσα μου Δρ. Ντάτση Γεωργία, επίκουρη καθηγήτρια του εργαστηρίου Κηπευτικών Καλλιεργειών, η οποία μέσω της αφοσίωσης της, της αγάπης της και της ικανότητας στο να με καθοδηγεί και να μου μεταφέρει πολύτιμη γνώση, συνέβαλε σε σημαντικό βαθμό στην περάτωση της διατριβής μου, στην ολοκλήρωση του μεταπτυχιακού προγράμματος σπουδών αλλά και στη μετέπειτα εξέλιξη μου.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον διευθυντή του εργαστηρίου κ. Δημήτριο Σάββα, για την ουσιώδη και ενδιαφέρουσα εκπαίδευση που έλαβα κατά τη διάρκεια των διαλέξεων, τις πολύτιμες γνώσεις που μου μετέδωσε και τις συμβουλές που μου παρείχε. Παράλληλα θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου για την ορθή καθοδήγηση και την ανταπόκριση σε κάθε απορία που μου γεννήθηκε καθ' όλη τη διάρκεια των μεταπτυχιακών μου υποχρεώσεων. Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω των κ. Ιωάννη Καραπάνο τόσο για τις ώρες διδασκαλίας που μου αφιέρωσε και τις πολύ ενδιαφέρουσες διαλέξεις, όσο και για αποδοχή για την αξιολόγηση της παρούσας διατριβής. Είμαι εξίσου ευγνώμων προς τον κ. Ανέστη Καρκάνη για την συμμετοχή του στην τριμελή επιτροπή συνεπώς και στην αξιολόγηση της εργασίας μου.

Προφανώς και δεν θα μπορούσα να παραλείψω να ευχαριστήσω από καρδιάς όλα τα ενεργά μέλη του εργαστηρίου και συγκεκριμένα την υποψήφια διδάκτορα Θεοδώρα Ντάναση η οποία μου στάθηκε σε κάθε στάδιο της πορείας μου, τόσο σε προσωπικό όσο και σε ερευνητικό επίπεδο. Η συμβολή της υπήρξε τόσο σημαντική που το ελάχιστο που μπορώ να κάνω για να εκφράσω την ευχαρίστηση και την εκτίμηση μου προς το πρόσωπο της, είναι να αφιερώσω την παρούσα ερευνητική μελέτη σε εκείνη. Με τη σειρά και



ονομαστικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον μεταδιδάκτορα του εργαστηρίου Δρ. Ιωάννη Καραβίδα ο οποίος ήταν παρόν σε κάθε απορία και σε κάθε δυσκολία που αντιμετώπισα κατά την υλοποίηση του πειράματος, αλλά και τον υποψήφιο διδάκτορα κ. Ευάγγελο Γιαννοθανάση για την βοήθεια του, τις χρήσιμες συμβουλές και ανταλλαγές απόψεων συμβάλλοντας στην ολοκλήρωση του πειράματος.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους μου για την κατανόηση, ψυχολογική και ηθική υποστήριξη αλλά και την οικογένειά μου για την εμπιστοσύνη που μου έδειξαν και την οικονομική στήριξη που μου προσέφεραν, καθώς χωρίς εκείνη δεν θα ήμουν ικανός να αφοσιωθώ πλήρως στις μεταπτυχιακές μου σπουδές.

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Περίληψη.....	2
Abstract .....	5
Ευχαριστίες .....	7
1. Εισαγωγή.....	12
1.1 Λαχανεύομενα είδη .....	12
1.1.1 Γλιστρίδα ( <i>Portulaca oleracea L.</i> ).....	13
1.1.2 Θρεπτική αξία .....	17
1.1.3 Φαρμακευτικές και θεραπευτικές ιδιότητες.....	20
1.2 Σημασία θρεπτικών στοιχείων για τα φυτά.....	21
1.3 Σελήνιο .....	25
1.3.1 Η σημασία του Σεληνίου για τον άνθρωπο.....	25
1.3.2 Περιεκτικότητα Σεληνίου στα τρόφιμα .....	28
1.3.3 Ο ρόλος του Σεληνίου στα φυτά.....	29
1.3.4 Selenate vs Selenite.....	30
1.4 Βιοεμπλουτισμός.....	31
1.4.1 Βιοεμπλουτισμός με αγρονομικές μεθόδους.....	32
1.4.2 Βιοεμπλουτισμός με συμβατική μέθοδο βελτίωσης .....	34
1.4.3 Βιοεμπλουτισμός μέσω μοριακής και γενετικής μηχανικής.....	34
1.4.4. Δοσολογία .....	35
2. Υλικά και Μέθοδοι.....	36
2.1. Τόπος διεξαγωγής του πειράματος .....	36
2.2. Χαρακτηριστικά θερμοκηπίου .....	36
2.3. Πειραματικός σχεδιασμός.....	37
2.4. Εγκατάσταση πειράματος .....	39

2.4.1 Φυτικό υλικό .....	40
2.5. Σύνθεση θρεπτικού διαλύματος .....	41
2.5.1. Παρασκευή πυκνών θρεπτικών διαλυμάτων .....	43
2.5.2. Παρασκευή αραιού θρεπτικού διαλύματος (διάλυμα τροφοδοσίας) .....	44
2.5.3 Διαλύματα απορροών.....	45
2.6. Δειγματοληψία φυτικών ιστών και μετρήσεις .....	46
2.6.1. Μετρήσεις φωτοσύνθεσης και συναφών παραμέτρων .....	46
2.7. Εργαστηριακό μέρος .....	47
2.7.1. Προετοιμασία φυτικού ιστού .....	48
2.7.2. Εκχύλιση φυτικού ιστού.....	48
2.7.3. Προσδιορισμός Καλίου ( $K^+$ ) & Νατρίου ( $Na^+$ ) .....	51
2.7.4. Προσδιορισμός Φωσφόρου (P).....	51
2.7.5. Προσδιορισμός Βορίου ( $BO_3^-$ ).....	52
2.7.6. Προσδιορισμός $Ca^{2+}$ , $Mg^{2+}$ , Fe, $Mn^{2+}$ , $Zn^{2+}$ , $Cu^{2+}$ .....	53
2.7.7. Προσδιορισμός Ολικού Αζώτου ( $NH_4^+$ , $NH_3$ ).....	54
2.7.8. Προσδιορισμός Νιτρικών ( $NO_3^-$ ) .....	58
2.7.9. Προσδιορισμός Σεληνίου (Se) .....	60
2.8. Στατιστική ανάλυση .....	60
3. Αποτελέσματα.....	60
3.1. Παραγωγή και ανάπτυξη.....	60
3.2. Ανταλλαγή αερίων .....	61
3.3. Συγκέντρωση μακροστοιχείων.....	66
3.4. Συγκέντρωση μικροστοιχείων.....	66
3.5. Συγκέντρωση Σεληνίου .....	67
4. Συζήτηση.....	68

4.1. Νωπό Βάρος, Φυλλική Επιφάνεια, Αριθμός φύλλων και Ξηρό Βάρος .....	69
4.2 Φωτοσυνθετική ικανότητα και ανταλλαγή αερίων .....	71
4.2.1. Ενδοκυτταρική συγκέντρωση CO <sub>2</sub> (C <sub>i</sub> ) .....	71
4.2.2. Ρυθμός διαπνοής (E) .....	71
4.2.3. Στοματική αγωγιμότητα (Gs).....	72
4.2.4. Καθαρός ρυθμός φωτοσύνθεσης (A) .....	73
4.2.5. Αποδοτικότητα Χρήσης Νερού (WUE).....	74
4.3 Συγκέντρωση μακροστοιχείων.....	75
4.4 Συγκέντρωση ιχνοστοιχείων .....	77
4.5 Συγκέντρωση Σεληνίου.....	78
5. Συμπεράσματα .....	79
Βιβλιογραφία.....	82

## **1. Εισαγωγή**

Η πρόσληψη βιταμινών και μετάλλων είναι απαραίτητη για την υγεία και την ευεξία σε κάθε στάδιο της ζωής του ανθρώπου. Ένα μεγάλο ποσοστό του πληθυσμού του πλανήτη αντιμετωπίζει προβλήματα υγείας λόγω μειωμένης πρόσληψης των απαραίτητων θρεπτικών στοιχείων για τον οργανισμό, είτε εξαιτίας έλλειψης τροφής είτε κακής διατροφής. Δυσθρεψία ορίζεται η διατροφική κατάσταση κατά την οποία η ανεπάρκεια, η υπερβολή ή ακόμα και η ανισορροπία πρόσληψης απαραίτητων θρεπτικών στοιχείων, υδατανθράκων και πρωτεϊνών, επιφέρουν ανεπιθύμητα αποτελέσματα στη λειτουργία και την ανάπτυξη ενός ανθρώπινου οργανισμού. Ο όρος δυσθρεψία κατηγοριοποιείται σε τρεις ευρείες ομάδες καταστάσεων: τον υποσιτισμό, την παχυσαρκία και την υποθρεψία μικροστοιχείων. Η τελευταία αφορά την ανεπάρκεια στην πρόσληψη βιταμινών, μετάλλων και ιχνοστοιχείων που αναφέρονται ως μικροθρεπτικά συστατικά, απαραίτητα για τις λειτουργίες του οργανισμού, όπως η παραγωγή ενζύμων, ορμονών και άλλων ουσιών που συμβάλλουν στην καλή λειτουργία του ανοσοποιητικού του ανθρώπου. Οι βιταμίνες A, B, C, D, ο σίδηρος, το σελήνιο κ.ά., είναι μερικά από αυτά και η έλλειψή τους αποτελεί σημαντική απειλή για την υγεία και την ανάπτυξη των πληθυσμών παγκοσμίως, ιδιαίτερα των παιδιών, των εγκύων αλλά και των θηλαζουσών (WHO 2006). Περισσότερο από 2 δισεκατομμύρια άνθρωποι στον κόσμο υπολογίζεται ότι παρουσιάζουν έλλειψη βασικών βιταμινών και ιχνοστοιχείων, παρά την επαρκή κατανάλωση τροφής. Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό και ως κρυμμένη πείνα (Hidden Hunger) (Malik & Maqbool, 2020).

### **1.1 Λαχανευόμενα είδη**

Λαχανευόμενα θεωρούνται όλα τα άγρια, αυτοφυή είδη της εκάστοτε χωρικής επικράτειας, τα οποία δεν καλλιεργούνται εμπορικά και σε μεγάλη κλίμακα, ούτε είναι ευρέως γνωστά στο καταναλωτικό κοινό (Singh et al., 2018). Η σπουδαιότητα των λαχανευόμενων ειδών οφείλεται στην υψηλή θρεπτική τους αξία, καθώς είναι πλούσια σε βιταμίνες C, E και βιταμίνες συμπλέγματος B, μέταλλα τα οποία υπάρχουν σε αφθονία και ορισμένα που υπάρχουν σε μικρότερη συγκέντρωση όπως το άζωτο (N), το κάλιο (K), ο φώσφορος (P), το θείο (S), το ασβέστιο (Ca), το μαγνήσιο (Mg), ο χαλκός (Cu), το μαγγάνιο (Mn), ο σίδηρος (Fe), ο ψευδάργυρος (Zn) καθώς και αντιοξειδωτικά όπως φαινολικές ενώσεις, γλουταθειόνη, πολυσακχαρίτες κ.α. (Petropoulos et al., 2016, Deb et

al., 2018). Τα λαχανευόμενα είδη φαίνεται να μπορούν να συμβάλουν στον μετριασμό του φαινομένου της υποθρεψίας ιχνοστοιχείων και μετάλλων, καθώς είναι ικανά να καλύψουν σημαντικό μέρος των ανθρώπινων αναγκών σε θρεπτικά συστατικά. Αυτοφυή φυλλώδη λαχανικά όπως η Γλιστρίδα (*Portulaca oleracea L.*), το Βλίτο (*Amaranthus blitum*), το Σταμναγκάθι (*Cichorium spinosum*), ο Δροσουλίτης (*Mesembryanthemum crystallinum*), ο Ζοχός (*Sonchus oleraceus*) κ.α. καταναλώνονται κατά κύριο λόγο από αγροτικούς πληθυσμούς σε μικρή κλίμακα. Ωστόσο, όπως αναφέρεται στην εργασία των Singh et al., (2018) τα είδη αυτά ίσως παραμένουν «αναξιοποίητα» λόγω της μειωμένης διαθεσιμότητας πολλαπλασιαστικού υλικού (σπόρος), της περιορισμένης επίγνωσης της διατροφικής και φαρμακευτικής τους αξίας και της ανεπαρκούς πληροφόρησης για τις καλλιεργητικές φροντίδες.

Παρ' όλα αυτά, καθώς τα τελευταία χρόνια έχει εισαχθεί ο όρος «υπετροφή» ή «super food» για να περιγράψει, να κατηγοριοποιήσει ή να εμπορευτεί τα τρόφιμα τα οποία είναι πλούσια σε θρεπτικά συστατικά και θεωρούνται ιδιαίτερα ευεργετικά για την υγεία (Barsby et al., 2021), παρατηρείται μια τάση των καταναλωτών να στρέφονται και να εντάσσουν στις διατροφικές τους συνήθειες διάφορα αυτοφυή, λαχανοκομικά. Πλέον στην Ελλάδα αρκετά λαχανευόμενα είδη φαίνεται να εμπορεύονται και να διανέμονται πέραν των λαϊκών αγορών σε εστιατόρια αλλά και σε καταστήματα βιολογικών προϊόντων.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί πως, καθώς τα είδη αυτά αυτοφύονται σε φυσικά περιβάλλοντα, έχοντας την ικανότητα να προσαρμόζονται σε αντίξοες κλιματικές συνθήκες, μπορούν να χαρακτηριστούν ως καλλιέργειες χαμηλών απαιτήσεων, συνεπώς και εισροών. Πολλά από αυτά τα φυτά φαίνεται να αναπτύσσουν ανθεκτικές ικανότητες σε αβιοτικές και βιοτικές καταπονήσεις όπως η ξηρασία, η αλατότητα, η υπερβολική εδαφική υγρασία, οι υψηλές και χαμηλές θερμοκρασίες, ανταγωνισμός με άλλα φυτά, η προσβολή από παθογόνα κ.λπ. (Chivenge et al., 2015, FAO 2016, Li et al., 2018, Deb et al., 2018, Singh et al., 2018). Αυτά τα χαρακτηριστικά προσδίδουν αυτομάτως οικονομική, κοινωνική και περιβαλλοντολογική σημασία στην περίπτωση καλλιέργειας λαχανευόμενων ειδών.

### **1.1.1 Γλιστρίδα (*Portulaca oleracea L.*)**

Το φυτό με επιστημονική ονομασία *Portulaca oleracea L.* ανήκει στην οικογένεια Portulacaceae (Πιν.1) στην οποία υπάγονται πάνω από 25 γένη, με το μεγαλύτερο να είναι

το γένος *Portulaca*, και μεταξύ αυτών αναγνωρίζονται 450 με 500 είδη (Costa et al., 2007a; Rahimi et al., 2019). Είναι ένα ποώδες φυτό το οποίο κατατάσσεται στην κατηγορία των ζιζανίων. Στην Ελλάδα οι πιο κοινές ονομασίες είναι γλιστρίδα, αντράκλα, ανδράχνη, τρέβλα, πορτουλάκη και χοιροβότανο, ενώ διεθνώς είναι γνωστή με την ονομασία Purslane. Η γλιστρίδα είναι ένα ετήσιο φυτό το οποίο φύεται κατά κύριο λόγο σε τροπικά και υποτροπικά κλίματα (Heydari et al., 2019; Rahimi et al., 2019).

Πίνακας 1. Βοτανική ταξινόμηση Γλιστρίδας (*Portulaca oleracea* L.).

<b>Βοτανική Ταξινόμηση</b>	
<i>Portulaca oleracea</i> L.	
Βασίλειο	Φυτά/Plantae
Συνομοταξία	Αγγειόσπερμα/Angiosperms
Ομοταξία	Δικοτυλήδονα/Eudicots
Τάξη	Καρυοφυλλώδη/Caryophyllales
Οικογένεια	Πορτουλακοειδή/Portulacaceae
Γένος	Πορτουλάκη/Portulaca
Είδος	<i>P. oleracea</i>

Η προέλευση της δεν είναι εφικτό να προσδιοριστεί επ' ακριβώς, καθώς συναντάται σε αρκετές γεωγραφικές περιοχές όπως η Ευρώπη, η Ασία, η Αφρική, η Βόρεια Αμερική και η Αυστραλία, ενώ υπάρχουν αναφορές για την ύπαρξή της πριν από περίπου 4.000 χρόνια (Uddin et al., 2014). Πιο συγκεκριμένα το φυτό αυτό φαίνεται να καλλιεργούνταν στην αρχαία Αίγυπτο και να αποτελούσε μέρος της διατροφής των αρχαίων Ελλήνων και των Ρωμαίων. Επίσης, αναφέρεται πως η γλιστρίδα ήταν γνωστή και στους Άραβες, ενώ έγινε γνωστή στους Ευρωπαίους για την καλλιεργητική και διατροφική της εκμετάλλευση από τον 17<sup>ο</sup> αιώνα. Το φυτό αναγνωρίστηκε επισήμως για πρώτη φορά τη 2<sup>η</sup> χιλιετία στις Ηνωμένες Πολιτείες στη Μασαχουσέτη, το 1672, ενώ πλέον είναι ευρέως γνωστό και καλλιεργείται σε μικρή κλίμακα σε όλο τον κόσμο. Η επιστημονική ονομασία της προέρχεται από τη λατινική λέξη «Portula» (μικρή πόρτα) και πιθανότατα οφείλεται στο μικρό άνοιγμα του καρπού (κάψα) όπου φιλοξενεί το σπέρμα. Μία άλλη εκδοχή της προέλευσης του ονόματος του φυτού είναι ότι προέρχεται επίσης από τις λατινικές λέξεις

«porto» που σημαίνει «κουβαλάω» και «laca» που σημαίνει γάλα, αφού το φυτό περιέχει γαλακτώδη χυμό (Boulos et al., 1984).

Η γλιστρίδα είναι ένα φυτό με μέτρια ανάπτυξη όπου οι βλαστοί του μπορούν να φτάσουν έως και 40 εκ. (Vanitha, 2019). Συναντάται συνήθως έχοντας έρπουσα ανάπτυξη ενώ υπάρχουν πληθυσμοί με συμπαγείς όρθιους βλαστούς (εικ. 1, εικ. 2).



**Εικόνα 1.** Γλιστρίδα με έρπουσα ανάπτυξη



**Εικόνα 2.** Γλιστρίδα με κάθετη ανάπτυξη



Οι κοτυληδόνες των νεαρών σποροφύτων έχουν σχήμα ωοειδές, επίμηκες, είναι λείες και έχουν μήκος 2 έως 5 mm.

Η διάταξη των φύλλων της γλιστρίδας είναι εναλλασσόμενη ή και αντίθετη, ενώ το μήκος τους κυμαίνεται μεταξύ 1-5 cm (εικ. 3). Όπως και οι κοτυληδόνες, έτσι και τα φύλλα της είναι σαρκώδη, με λεία στιλπνή επιφάνεια και σχήμα ωοειδές, ενώ έχουν κόκκινο χρώμα στο περίγραμμά τους. Τέλος, τα φύλλα της γλιστρίδας είναι άμισχα ή έχουν πολύ μικρούς μίσχους μήκους 5-30 mm (Uddin et al., 2014).

Οι βλαστοί είναι σαρκώδεις, διακλαδιζόμενοι με διάμετρο 2 έως 3 mm, έχοντας συνήθως κοκκινωπή απόχρωση.

Τα άνθη είναι μικρού μεγέθους, κίτρινου χρώματος και αποτελούνται από πέντε πέταλα. Βρίσκονται στις μασχάλες των φύλλων αλλά και στις διακλαδώσεις του στελέχους. Ανθίζουν σε συστάδες των δύο έως πέντε ανθέων ή κατά μόνας (Sultana & Rahman, 2013). Ανάλογα με τις κλιματικές συνθήκες και τη γεωγραφική περιοχή, άνθη εμφανίζονται καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, ενώ συνήθως σε Μεσογειακά κλίματα η ανθοφορία ξεκινά τον Μάιο και διαρκεί έως τον Σεπτέμβριο. Η συγκομιδή του σπόρου γίνεται όταν ωριμάσει, συνήθως στο τέλος του θέρους ή στις αρχές του φθινοπώρου.

Οι καρποί της γλιστρίδας είναι σφαιροειδείς κάψες συνήθως μήκους περίπου 4-8 mm, οι οποίες κατά την ωρίμανση τους διαρρηγνύονται προκειμένου να απελευθερώσουν τον σπόρο. Παράγονται πολυάριθμοι σπόροι μικρού μεγέθους, κάτω του 1 mm διαμέτρου, μαύροι με ένα λευκό σημείο στο ένα άκρο.

Τέλος το ριζικό σύστημα του φυτού δεν αναπτύσσεται σε μεγάλο βάθος, ενώ αποτελείται από μία κεντρική ρίζα με δευτερεύοντα ινώδη ριζίδια, γεγονός που συμβάλλει στην ανάπτυξη ανθεκτικότητας των φυτών αυτών σε φτωχά, συμπιεσμένα εδάφη αλλά και σε συνθήκες έντονης ξηρασίας (Vanitha, 2019). Στην παρακάτω εικόνα (εικ.3) απεικονίζεται το φυτό γλιστρίδας.



**Εικόνα 3.** Σχηματική απεικόνιση μορφολογικών χαρακτηριστικών γλιστρίδας (*Portulaca oleracea* L.)

### 1.1.2 Θρεπτική αξία

Η γλιστρίδα σε πολλές χώρες ακόμα και στην Ελλάδα αντιμετωπίζεται ως παρασιτικό ζιζάνιο, καθώς προσαρμόζεται σε όλους τους τύπους εδάφους και εξαπλώνεται ραγδαία. Κύρια αίτια της εξάπλωσής της, είναι η ταχεία της ανάπτυξη αλλά και ο αριθμός των σπόρων που παράγει. Όπως τονίζουν οι Galinato et al., (1999) ένα φυτό γλιστρίδας, ανάλογα τις κλιματικές συνθήκες, μπορεί να παράξει κατά μέσο όρο 6.940 σπόρους. Ένας ακόμα λόγος της εκτεταμένης εξάπλωσης του φυτού, όπως αναφέρεται στην εργασία των Alam et al., (2014) είναι η ικανότητα των σπόρων να παραμένουν ζωντανοί στο έδαφος για έως και 40 έτη. Τέλος, εξαιτίας του μικρού μεγέθους και του βάρους τους, οι σπόροι παρασέρνονται από τον αέρα, το νερό αλλά και τα γεωργικά μηχανήματα κατά την κατεργασία του εδάφους, με αποτέλεσμα τα μεταφέρονται σε μεγάλες αποστάσεις. Εντοπίζεται συνήθως σε καλλιέργειες ψυχανθών (σόγια, φασόλι), κηπευτικών (τομάτα, μελιτζάνα, πιπεριές, σπανάκι) κ.α. Τέλος, αναφέρεται από πολλές μελέτες, ότι η γλιστρίδα

συνιστά σημαντικό κίνδυνο για τις καλλιέργειες, μειώνοντας την απόδοση και υποβαθμίζοντας το προϊόν, καθώς δρα ανταγωνιστικά εις βάρος της καλλιέργειας, αποτελώντας συγχρόνως φορέας πολλών εχθρών και ασθενειών.

Παρ' όλα αυτά η αντράκλα είναι ένα λαχανεύομενο φυτό με υψηλή θρεπτική αξία, γεγονός που συνέβαλε στη διάδοση της κατανάλωσής της, ενώ η ικανότητα της να αναπτύσσει μηχανισμούς άμυνας τόσο σε βιοτικές όσο και σε αβιοτικές συνθήκες, την καθιστά δυναμική για την καλλιέργεια της σε εμπορικό επίπεδο. Τόσο τα φύλλα όσο και ο βλαστός ακόμα τα άνθη της είναι βρώσιμα, ενώ η γεύση της έχει χαρακτηριστεί παρόμοια με αυτή του σπανακιού (Rahimi et al., 2019).

Η αντράκλα είναι πλούσια σε βιταμίνες C και A, βιταμίνες του συμπλέγματος B, ενώ έχει σημαντική περιεκτικότητα σε μαγνήσιο (Mg), ασβέστιο (Ca), ψευδάργυρο (Zn) και σίδηρο (Fe). Ωστόσο, η συγκέντρωση καροτενοειδών, αντιοξειδωτικών ουσιών και κυρίως πολυτίμων για την υγεία ω-3 λιπαρών οξέων, στο εδώδιμο μέρος του φυτού, είναι εκείνα που καθιστούν τη γλιστρίδα ως υπετροφή. Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με το Τμήμα Γεωργίας των Η.Π.Α. (USDA, 2018), η γλιστρίδα περιέχει σημαντικές ποσότητες θρεπτικών στοιχείων και μετάλλων όπως κάλιο (495mg/100g), φώσφορο (44mg/100g), σίδηρο (1.99mg/100g), μαγνήσιο (68 mg/100g) κ.α. (πιν. 2.). Όπως υπογραμμίζεται στην ανασκόπηση των Petropoulos et al., (2016) υπάρχουν αρκετές παράμετροι οι οποίες επηρεάζουν τη θρεπτική κατάσταση της αντράκλας, όπως ο τόπος προέλευσης και καλλιέργειας, το μέρος του φυτού (π.χ. βλαστός, φύλλα), με τα φύλλα να είναι εκείνα με την υψηλότερη συγκέντρωση σε ενεργά συστατικά σε σύγκριση με τα άλλα φυτικά μέρη. Επιπροσθέτως, έχουν παρατηρηθεί διαφορές στη συγκέντρωση θρεπτικών στοιχείων μεταξύ διαφορετικών ποικιλιών, διαφορετικών σταδίων ανάπτυξης, ενώ η διαθεσιμότητα βασικών θρεπτικών συστατικών στο έδαφος, οι περιβαλλοντικές συνθήκες καθώς και φαινόμενα αβιοτικών καταπονήσεων, όπως η υψηλή αλατότητα επηρεάζουν σημαντικά την σύνθεση σε θρεπτικά συστατικά.

**Πίνακας 2.** Θρεπτική αξία Αντράκλας (*Portulaca oleracea*) ανά 100g.

Στοιχείο	Θρεπτική αξία	Ποσοστό Συνιστώμενης Ημερήσιας Πρόσληψης (RDA)
<b>Βιταμίνες</b>		
Θειαμίνη B1	0.047 mg	4%
Ριβοφλαβίνη B2	0.112 mg	8.5%
Νιασίνη B3	0.480 mg	3%
Παντοθενικό οξύ B5	0.036 mg	1%
Πυριδοξίνη B6	0.073 mg	5.5%
Φολικό Οξύ B9	12 $\mu$ g	3%
Βιταμίνη A	1320 IU	44%
Βιταμίνη C	21 mg	44%
<b>Μέταλλα</b>		
Na	45 mg	3%
K	494 mg	10.5%
Ca	65 mg	6.5%
Cu	0.113 mg	12.5%
Fe	1.99 mg	25%
Zn	0.17 mg	1.5%
Mg	68 mg	17%
Mn	0.303 mg	13%
P	44 mg	6%
Se	0.9 $\mu$ g	2%

Πολυάριθμες μελέτες διεξήχθησαν με σκοπό τον προσδιορισμό της θρεπτικής αξίας της γλιστρίδας, όπως αυτή των Liu et al., (2000) κατά την οποία, φυτά Αυστραλιανών ποικιλιών *Portulaca oleracea L.* φαίνεται να έχουν υψηλότερη διατροφική αξία από τα βασικά καλλιεργούμενα λαχανικά, εξαιτίας της ικανοποιητικότερης σύνθεσης τους σε β-

καροτίνη, ασκορβικό οξύ και α-λινολενικό οξύ, αλλά και άλλα βιοδραστικά συστατικά. Οι βιοδραστικές ενώσεις είναι απαραίτητα ή μη απαραίτητα συστατικά για τον ανθρώπινο οργανισμό όπως βιταμίνες, καροτενοειδή, λιπαρά οξέα, φαινολικά συστατικά, μέταλλα και ιχνοστοιχεία τα οποία συνήθως απαντώνται σε μικρές ποσότητες κυρίως σε τρόφιμα φυτικής ή ζωικής προελεύσεως και υπάρχουν επαρκώς τεκμηριωμένα επιστημονικά δεδομένα ότι έχουν επίδραση στην ανθρώπινη υγεία (Biesalski et al., 2009). Τα εδώδιμα μέρη της γλιστρίδας μπορούν να καταναλωθούν ωμά σε σαλάτες, είτε μαγειρευτά. Ωστόσο, είναι γνωστό πως η θερμική επεξεργασία νωπών φυτικών ιστών έχει ως αποτέλεσμα την απώλεια θρεπτικών ή βιοδραστικών συστατικών, το μαλάκωμα των ιστών, μεταβολές στο χρώμα αλλά και στο άρωμα. Συγκεκριμένα, οι Fernández-Royatos et al., (2021) έδειξαν πως η θερμική επεξεργασία με ατμό, φύλλων και βλαστού γλιστρίδας για 5 λεπτά είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση της συνολικής περιεκτικότητας σε φαινολικά συστατικά, τη μείωση της αντιοξειδωτικής ικανότητας, ενώ τα φυτά τα οποία δεν δέχτηκαν θερμική επεξεργασία παρουσίασαν την υψηλότερη συγκέντρωση σε βιοδραστικές ενώσεις και αντιοξειδωτικά. Παρ' όλα αυτά τα φυτά που μεταχειρίστηκαν με ατμό περιείχαν ακόμη σημαντική ποσότητα από τις αρχικές ενώσεις και διατηρούσαν την αντιοξειδωτική τους δράση.

### **1.1.3 Φαρμακευτικές και θεραπευτικές ιδιότητες**

Η αντράκλα όπως έχει ήδη αναφερθεί, χρησιμοποιούνταν ευρέως από την αρχαιότητα, κυρίως για τις φαρμακευτικές της ιδιότητες. Αναφέρεται πως το φυτό έχει αναγνωριστεί από τον Θεόφραστο (4<sup>ο</sup> αιώνα π.Χ.) ως βότανο θερινής καλλιέργειας δίνοντάς του το όνομα Ανδράχνη, ενώ αρκετά χρόνια μετά ο Διοσκουρίδης (περίπου 10 μ. Χ. - 90 μ.Χ.) σύστηνε την κατανάλωσή του για την αντιμετώπιση των ημικρανιών, διάφορων αναπνευστικών και πεπτικών προβλημάτων (Megaloudi, 2005). Πλέον υπάρχουν αρκετές έρευνες σύμφωνα με τις οποίες αναγνωρίζεται η ευεργετική δράση της γλιστρίδας. Για παράδειγμα τα ω-3 λιπαρά οξέα είναι χρήσιμα για τον ανθρώπινο οργανισμό και ανήκουν στα πολυακόρεστα λιπαρά οξέα που δεν μπορούν να συντεθούν από τον ίδιο. Η πιο κοινή και πλουσιότερη πηγή πολυακόρεστων ωμέγα-3 λιπαρών οξέων είναι τα θαλασσινά και κυρίως τα λιπαρά ψάρια τα οποία συνδέονται με υψηλά επίπεδα χοληστερόλης. Η γλιστρίδα αντιθέτως, έχει αποδειχθεί ότι αποτελεί μια από τις σπουδαιότερες πηγές φυτικής προέλευσης απαραίτητων ω-3 λιπαρών οξέων όπως το άλφα-λινολενικό οξύ

(ALA) χωρίς να περιέχει χοληστερόλη (Uddin et al., 2014; Rahimi et al., 2019; Vanitha 2019). Οι εθνοφαρμακολογικές της χρήσεις για την αντιμετώπιση ποικίλων ασθενειών διαφέρουν ανά τον κόσμο. Για το λόγο αυτό πλήθος φαρμακολογικών μελετών έχουν πραγματοποιηθεί σύμφωνα με τις οποίες έχει αποδειχθεί πως η γλιστρίδα διαθέτει επωφελείς ιδιότητες έναντι πολλών ασθενειών και δυσλειτουργιών του ανθρώπινου οργανισμού. Μια από αυτές τις ιδιότητες ανακαλύφθηκε από τους Costa et al., (2007b), οι οποίοι απέδειξαν πως τα εκχυλίσματα των *Portulaca hirsutissima* και *Portulaca werdermannii* διαθέτουν ισχυρή ανοσοτροποποιητική δράση, δηλαδή μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη διέγερση ή καταστολή του ανοσοποιητικού συστήματος με σκοπό την καταπολέμηση λοιμώξεων, καρκίνου και άλλων ασθενειών. Επίσης, τα αποτελέσματα της έρευνας των Mousavi et al., (2015) έδειξαν πως το εκχύλισμα του φυτού *P. oleracea* είχε αντιβακτηριακή δράση σε μια σειρά από ανθεκτικά βακτήρια. Η αντικαρκινική δράση της γλιστρίδας φαίνεται να οφείλεται στην περιεκτικότητα τα σε ω-3 λιπαρά οξέα κυρίως άλφα-λινολενικό οξύ, τα οποία είναι βασικοί ρυθμιστές του πολλαπλασιασμού των καρκινικών κυττάρων, της απόπτωσης, της αγγειογένεσης (δημιουργία δηλαδή νέων αγγείων από προϋπαρχοντα, φαινόμενο που αποτελεί ένα από τα χαρακτηριστικά του καρκίνου) και της μετάστασης (Murray, 2014). Για την αποτύπωση όλων των θεραπευτικών ιδιοτήτων της γλιστρίδας, χρήσιμες φάνηκαν οι βιβλιογραφικές ανασκοπήσεις των Masoodi et al., (2011) & Kumar et al., (2022) σύμφωνα με τις οποίες η γλιστρίδα εκτός των παραπάνω ιδιοτήτων παρουσιάζει αντιφλεγμονώδη, αναλγητική, ηπατοπροστατευτική, βρογχοδιασταλτική, νευροπροστατευτική, αντιδιαβητική δράση, ακόμα και ικανότητα επούλωσης πληγών και προστασία από το φαινόμενο της υποξίας.

## **1.2 Σημασία θρεπτικών στοιχείων για τα φυτά**

Τα βασικά θρεπτικά στοιχεία για τη φυσιολογική ανάπτυξη των φυτικών οργανισμών είναι δώδεκα και κατηγοριοποιούνται στα μακροθρεπτικά όπως το άζωτο (N), ο φώσφορος (P), το κάλιο (K), το θείο (S), το ασβέστιο (Ca), και το μαγνήσιο (Mg) τα οποία βρίσκονται στα φυτά σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 0,1% του βάρους του ξηρού ιστού και στα μικροθρεπτικά στοιχεία όπως ο σίδηρος (Fe), το Μαγγάνιο (Mn), ο χαλκός (Cu), ο ψευδάργυρος (Zn), το βόριο (B) και το μολυβδαίνιο (Mo) τα οποία βρίσκονται σε συγκεντρώσεις λιγότερο από 0,01% του βάρους του ξηρού φυτικού ιστού. Ο άνθρακας (C), το υδρογόνο (H) και το οξυγόνο (O) είναι εξίσου απαραίτητα στοιχεία για την

ανάπτυξη των φυτών. Κάθε ένα από αυτά τα μέταλλα και αμέταλλα παίζουν ξεχωριστό ρόλο στις φυσιολογικές λειτουργίες του φυτού. Συγκεκριμένα, το άζωτο παίζει ουσιαστικό ρόλο στην ανάπτυξη των φυτών συνεπώς και στην παραγωγή βιομάζας, καθώς είναι βασικό συστατικό αμινοξέων τα οποία αποτελούν δομικές μονάδες των πρωτεϊνών και συνεπώς των ενζύμων. Κύρια πηγή αζώτου για τα φυτά είναι το έδαφος από το οποίο το προσλαμβάνουν με τη μορφή νιτρικών ή και αμμωνιακών ιόντων. Ένας άλλος τρόπος πρόσληψης αζώτου είναι αυτός της βιολογικής δέσμευσης ατμοσφαιρικού αζώτου ( $N_2$ ) με τη βοήθεια ορισμένων προκαρυωτικών οργανισμών που συμβιώνουν στις ρίζες ψυχανθών. Το άζωτο ωστόσο έχει αποδειχθεί ότι επηρεάζει τη συγκέντρωση άλλων μακροστοιχείων στα φυτά. Συγκεκριμένα, το άζωτο δρα ανταγωνιστικά με το κάλιο το ασβέστιο και το μαγνήσιο όπου στην περίπτωση υψηλής συγκέντρωσης αμμωνιακής μορφής ( $NH_4^+$ ) εμφανίζονται συμπτώματα τροφοπενίας των προαναφερθέντων μετάλλων. Αντίθετα ο φώσφορος δρα συνεργατικά με το άζωτο κυρίως υπό μορφή ( $NH_4^+$ ). Ο ρόλος του είναι σημαντικός καθώς συμβάλει στη μεταφορά απαραίτητης ενέργειας με τη διάσπαση ενός πυροφωσφορικού δεσμού σε μόρια όπως το ATP ή, και με τη προσκόλληση φωσφορικών ομάδων σε σάκχαρα παρέχοντας ενέργεια για την διεξαγωγή βασικών φυσιολογικών ενεργειών όπως είναι η φωτοσύνθεση και η αναπνοή (Samota et al., 2017). Το κάλιο επίσης ένα από τα πιο βασικά στοιχεία για το φυτό καθώς επηρεάζει την υδατική κατάσταση του φυτού ρυθμίζοντας το άνοιγμα και κλείσιμο των στομάτων, συμβάλει στη μεταφορά υδατανθράκων, νερού αλλά και θρεπτικών συστατικών καθώς και στην ενεργοποίηση ενζύμων που εμπλέκονται σε πολυάριθμες φυσιολογικές διεργασίες. Το κάλιο πέραν της αλληλεπίδρασής του με το αμμωνιακό άζωτο δρα εξίσου ανταγωνιστικά με το μαγνήσιο. Η χορήγηση υψηλής δόσης καλίου έχει σαν αποτέλεσμα την μειωμένη απορρόφηση μαγνησίου δημιουργώντας σημαντικές επιπτώσεις στην παραγωγή (Αναλογίδης, 2000). Το ασβέστιο μετά από τα τρία στοιχεία που αναφέρθηκαν, είναι από τα πιο αναγκαία θρεπτικά συστατικά, καθώς βοηθά σε εξίσου σημαντικές λειτουργίες του φυτού όπως είναι η διαίρεση των φυτικών κυττάρων συνεπώς και η άμεση παραγωγή φυτικού ιστού, η βελτίωση απορρόφησης συστατικών αλλά και η ενεργοποίηση διαφόρων ενζύμων. Η σχέση του ασβεστίου με τα υπόλοιπα στοιχεία ποικίλει. Αλληλεπιδρά συνεργατικά με τον φώσφορο σε όξινα περιβάλλοντα και με το νιτρικό άζωτο ( $NO_3^-$ ), αντιθέτως ανταγωνίζεται με το μαγνήσιο και το κάλιο, ενώ στην περίπτωση αύξησης του

pH λόγω ασβέστωσης του εδάφους μειώνεται σημαντικά η διαθεσιμότητα ψευδαργύρου σιδήρου και βορίου. Το μαγνήσιο διαθέτει ουσιαστικό ρόλο σε μια σειρά λειτουργιών του φυτού όπως αυτή της φωτοσύνθεσης μέσω της σύνθεσης χλωροφύλλης καθώς το μαγνήσιο αποτελεί δομικό συστατικό αυτής. Επίσης, συμβάλει στο μηχανισμό σύνθεσης πρωτεϊνών και στο μεταβολισμό φωσφόρου. Τέλος, το θείο είναι συστατικό ορισμένων αμινοξέων όπως η κυστεΐνη και η μεθειονίνη και συμβάλει στον σχηματισμό πρωτεϊνών. Η έλλειψη θείου οδηγεί στην αναστολή πρωτεϊνοσύνθεσης με αποτέλεσμα να επηρεάζεται αρνητικά η ανάπτυξη των φυτών. Φαινόμενα τροφοπενίας οφείλονται συνήθως στην υψηλή συγκέντρωση βορίου, μολύβδου και σιδήρου αλλά και σεληνίου καθώς μοιράζονται τον ίδιο μηχανισμό απορρόφησης.

Τα ιχνοστοιχεία αν και απαιτούνται σε μικρότερη ποσότητα συμβάλουν σε μεγάλο βαθμό στην ανάπτυξη των φυτών, καθώς την επηρεάζουν με πολλαπλούς τρόπους. Μερικοί από αυτούς είναι το γεγονός ότι αρκετά μέταλλα αποτελούν συστατικά διαφόρων ενζύμων, συμβάλλουν στην παραγωγή σημαντικών ουσιών όπως το άμυλο, η χλωροφύλλη, η κυτταρίνη κ.α., δρουν ως ρυθμιστικοί παράγοντες κ.α. Πιο αναλυτικά, ο σίδηρος (Fe) απαιτείται συνήθως σε μεγαλύτερη συγκέντρωση συγκριτικά με τα υπόλοιπα ιχνοστοιχεία, έχει καθοριστικό ρόλο στο σχηματισμό χλωροφύλλης, αλλά και στη λειτουργία της αναπνοής. Παράλληλα, είναι σημαντικός παράγοντας για την ανάπτυξη και την παραγωγικότητα των φυτών. Η έλλειψή του είναι εμφανής με τα συμπτώματα τροφοπενίας να εμφανίζονται στα νεαρά φύλλα, και μπορεί να οφείλεται σε έναν αριθμό παραγόντων όπως το υψηλό pH, η ανταγωνιστική αλληλεπίδραση με άλλα στοιχεία όπως το άζωτο, το μαγγάνιο, το βόριο και ο χαλκός καθώς και η υψηλή συγκέντρωση φωσφόρου και ασβεστίου. Μερικές δράσεις του μαγγανίου (Mn) είναι η συμμετοχή του στην παραγωγή αμινοξέων και πρωτεϊνών και στην ενεργοποίηση ενζύμων υπεύθυνα για πολυάριθμες λειτουργίες. Επιπροσθέτως, το μαγγάνιο πρωταγωνιστεί στον μεταβολισμό του αζώτου και στην αναγωγή των νιτρικών καθώς δρα συνεργατικά με το άζωτο. Το μαγνήσιο είναι το στοιχείο με το οποίο το μαγγάνιο δρα ανταγωνιστικά, ενώ οι υψηλές τιμές pH μειώνουν σε μεγάλο βαθμό την απορρόφηση του αντίθετα με τις όξινες συνθήκες που αυξάνουν την πρόσληψη του και μπορεί να οδηγήσει σε φαινόμενα τοξικότητας (Κουκουλάκης et., al 2003). Ο χαλκός (Cu) είναι ένα επίσης σημαντικό στοιχείο που συμμετέχει στη διευκόλυνση λειτουργιών της φωτοσύνθεσης και της αναπνοής αλλά και στο



μεταβολισμό των φυτών. Ένας επίσης σπουδαίος παράγοντας είναι το γεγονός ότι επηρεάζει τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των καρπών και δρα ευνοϊκά στη μετασυλλεκτική διάρκεια ζωής τους (Rodríguez et al., 1999, de Bruijn et al., 2020). Φαινόμενα τροφопενίας χαλκού οφείλονται συνήθως στην ανταγωνιστική σχέση του με το φώσφορο, το σίδηρο αλλά και το μολυβδαίνιο, ενώ αντίθετα το κάλιο και το μαγγάνιο αλληλοεπιδρούν συνεργατικά με τον χαλκό. Ο ψευδάργυρος (Zn) είναι εξαιρετικά πολύτιμο θρεπτικό συστατικό για το φυτό και είναι γνωστό ότι είναι το δεύτερο το πιο άφθονο μέταλλο μετά τον σίδηρο (Hanif et al., 2018). Είναι ένα μικροστοιχείο υπεύθυνο για πολλές λειτουργίες του φυτού καθώς με τη συμμετοχή του στη σύνθεση χρήσιμων ουσιών και διαφόρων ενζύμων όπως η αυξίνη, η χλωροφύλλη, νουκλειικά οξέα συμβάλει σε μεγάλο βαθμό στην φυσιολογική του ανάπτυξη. Ακόμα έχει αποδειχθεί πως συμβάλει στην προστασία κυτταρικών μεμβρανών από τις ελεύθερες ρίζες με τη συμμετοχή του στη λειτουργία ορισμένων ενζύμων. Η πιο γνωστή ανταγωνιστική αλληλεπίδραση ψευδαργύρου είναι αυτή με το φώσφορο καθώς ο μεταβολισμός του πρώτου επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από την παρουσία και τη συγκέντρωση του δεύτερου. Επίσης ο ψευδάργυρος έχει ανταγωνιστική σχέση και με άλλα στοιχεία όπως ο σίδηρος, το μαγνήσιο, και το ασβέστιο. Το μολυβδαίνιο (Mo) έχει με τη σειρά του ιδιαίτερο ρόλο στη λειτουργία των φυτικών οργανισμών. Συγκεκριμένα, συμβάλει στη λειτουργία της χλωροφύλλης, αλλά και στο μεταβολισμό του αζώτου εντός του φυτού, καθώς αποτελεί συστατικό ορισμένων ενζύμων όπως της νιτρικής ρεδοκτάσης και της νιτρογενάσης. Η πρώτη ευθύνεται για τη μετατροπή των νιτρικών ιόντων ( $\text{NO}_3^-$ ) σε νιτρώδη ( $\text{NO}_2^-$ ) ενισχύοντας την πρωτεϊνοσύνθεση ενώ στη δεύτερη οφείλεται η κατάλυση της δέσμευσης ατμοσφαιρικού αζώτου και η αναγωγή του σε αμμωνία ( $\text{NH}_3$ ), άμεσα αφομοιώσιμη μορφή αζώτου για το φυτό (Bucher & Kossmann, 2007; Masepohl & Forchhammer, 2007). Τέλος, έχει αναφερθεί πως το μολυβδαίνιο αποτελεί συμπαραγοντας φυτορμονών όπως το αμπισικό οξύ και το ινδολοβουτηρικό οξύ (φυτορμόρνη της οικογένειας των αυξινών) (Kaiser et al., 2005). Το τελευταίο από τα έξι πιο απαραίτητα για το φυτό ιχνοστοιχεία είναι το βόριο (B). Το βόριο είναι υπεύθυνο για ορισμένες φυσιολογικές λειτουργίες του φυτού, αφού ενισχύει την άνθιση, και αυξάνει την καρπόδεση. Ευνοεί την καλή ανάπτυξη της ρίζας γι' αυτό και είναι υψίστης σημασίας θρεπτικό συστατικό σε ριζώδεις καλλιέργειες όπως το καρότο, τα τεύτλα κ.α. Επίσης έχει αναφερθεί πως το βόριο

σημαντικό ρόλο στην κυτταρική κατάσταση καθώς συμβάλει στη διατήρηση της σταθερότητας αλλά και της σύνθεσης κυτταρικού τοιχώματος και μεμβρανών. Η πρόσληψη του από τα φυτά μειώνεται σημαντικά στην περίπτωση υπερβολικής συγκέντρωσης ασβεστίου, καθώς δρα ανταγωνιστικά αντίθετα με το κάλιο.

### 1.3 Σελήνιο

Το σελήνιο είναι ένα χημικό στοιχείο με ατομικό αριθμό 34, χημικό συμβολισμό Se και ανήκει στη 16η ομάδα του περιοδικού πίνακα. Είναι αμέταλλο και εμφανίζει παρόμοιες φυσικές και χημικές ιδιότητες με αυτές των διπλανών χαλκογόνων στοιχείων της ομάδας του οξυγόνου (S, Te). Ανακαλύφθηκε το 1817 από το Σουηδό χημικό Berzelius J.J., όταν σε εργοστάσιο παρασκευής θειικού οξέος, του κέντρισε το ενδιαφέρον ένα κόκκινο-καφέ ίζημα που συγκεντρώθηκε στο κάτω μέρος των θαλάμων στους οποίους παρασκευαζόταν το οξύ (Kieliszek, 2019). Το σελήνιο απαντάται σε πέντε καταστάσεις οξειδωσης (-2, 0, +2, +4, +6) και μερικά από χαρακτηριστικά του είναι ότι το ατομικό του βάρος ισούται με 78.96 Da, η θερμοκρασία τήξης του είναι 221 °C και η θερμοκρασία βρασμού του είναι 684,9 °C. Το σελήνιο εντοπίζεται στη φύση σε πολλαπλά αλλότροπα δηλαδή σε διαφορετικές μοριακές μορφές και φυσικές ιδιότητες (κόκκινη άμορφη σκόνη, γκρι ή μαύρη κρυσταλλική μεταλλική μορφή) (Perrone et al., 2015). Τέλος τα ισότοπα του σεληνίου είναι  $^{74}\text{Se}$ ,  $^{76}\text{Se}$ ,  $^{77}\text{Se}$ ,  $^{78}\text{Se}$ ,  $^{82}\text{Se}$  και  $^{80}\text{Se}$ , με το τελευταίο να βρίσκεται σε μεγαλύτερη φυσική αφθονία (49.82 %).

#### 1.3.1 Η σημασία του Σεληνίου για τον άνθρωπο

Μετά την ανακάλυψή του, το Se για αρκετό χρονικό διάστημα θεωρούνταν ως τοξικό στοιχείο, καθώς έως τις αρχές του 1950 δεν είχε διαπιστωθεί η ευεργετική του δράση για τον ανθρώπινο οργανισμό. Στα μέσα του 1957 οι Schwarz και Foltz έπειτα από έρευνες, απέδειξαν τη συμβολή του στην ανθρώπινη υγεία (Flohé, 2018). Με τη συνεχή μελέτη της επίδρασης του σεληνίου, πλέον, καθίσταται βασικό μικροθρεπτικό στοιχείο, το οποίο είναι αναγκαίο να λαμβάνεται στις προβλεπόμενες ποσότητες. Τόσο η έλλειψη του μακροπρόθεσμα όσο και τα πολύ υψηλά επίπεδα πρόσληψης Se, έχουν επιζήμια αποτελέσματα και πολλές φορές μπορεί να οδηγήσουν και στο θάνατο. Ωστόσο ακραίες περιπτώσεις ανεπάρκειας ή τοξικότητας, δεν αποτελούν συχνό φαινόμενο (Huang et al., 2012).

Το σελήνιο συμβάλλει στην προστασία των ιστών του σώματος από το οξειδωτικό στρες, στην τόνωση της άμυνας του οργανισμού αλλά και στη ρύθμιση της ανάπτυξης μέσω της απαιτούμενης πρόσληψης (WHO & FAO, 1998). Σε συνδυασμό με τη Βιταμίνη E, το Se παρουσιάζει θετικά αποτελέσματα στην επιβράδυνση της γήρανσης στην αύξηση της ταχύτητας αναγέννησης κυττάρων αλλά και στη σημαντική μείωση εμφάνισης καρκίνου, συγκεκριμένα καρκίνου του στομάχου. (Flohé, 2018, Kieliszek & Błazejak, 2016). Αποτελεί αναπόσπαστο μέρος των σεληνοπρωτεϊνών και ορισμένων αντιοξειδωτικών ενζύμων όπως για παράδειγμα της υπεροξειδάσης γλουταθειόνης (GPx), της αναγωγάσης θειορεδοξίνης (TRxR) και της αποϊωδινάσης της ιωδοθυρονίνης (DIO). Ο ρόλος των αντιοξειδωτικών ενζύμων είναι να προστατεύουν τα κύτταρα από τις καταστροφικές συνέπειες των ελεύθερων ριζών που παράγονται κατά την οξείδωση (Kieliszek & Błazejak, 2016). Συγκεκριμένα η GPx είναι μία από τις πρώτες σεληνοπρωτεΐνες που μελετήθηκαν, η οποία χαρακτηρίζεται για την εξαιρετικά αποτελεσματική προστασία των λιπιδίων, συνεπώς και των μεμβρανών, έναντι της υπεροξειδωσίας. Ο ρόλος της DIO είναι εξίσου σημαντικός καθώς είναι υπεύθυνη για τη σωστή λειτουργία του θυροειδούς αδένου. Η συγκεκριμένη ομάδα σεληνοπρωτεϊνών είναι απαραίτητη για τη μετατροπή της θυροξίνης T4 ορμόνης σε ενεργό τριιωδοθυρονίνη T3 η οποία επηρεάζει φυσιολογικές λειτουργίες του οργανισμού (WHO & FAO, 1998, Kieliszek & Błazejak, 2016, Ventura et al., 2018). Σύμφωνα με τους Kieliszek & Błazejak, (2016) η αναγωγάση της θειορεδοξίνης TRxR είναι μια φλαβοπρωτεΐνη εξαρτώμενη από το Se, η οποία μειώνει την οξειδωμένη θειορεδοξίνη TRx. Παράλληλα στο άρθρο των Beckett & Arthur, (2005) γίνεται αναφορά στο σχηματισμό ενός συστήματος οξειδοαναγωγής το οποίο εκτός από την προστασία του κυττάρου από το οξειδωτικό στρες, εμπλέκεται σε αρκετές κυτταρικές λειτουργίες όπως αυτή της κυτταρικής σηματοδότησης, της ρύθμισης της κυτταρικής ανάπτυξης ακόμα και της αναστολής της απόπτωσης (διεργασία προγραμματισμένου κυτταρικού θανάτου). Αρκετές έρευνες διεξήχθησαν αποδεικνύοντας ότι το σελήνιο συμβάλλει στην καλή λειτουργία και ενίσχυση του ανοσοποιητικού συστήματος, στη σωστή λειτουργία του μυϊκού συστήματος, των αναπαραγωγικών οργάνων, στη μείωση τοξικότητας ορισμένων στοιχείων όπως ο υδράργυρος ακόμα και στην πρόληψη ορισμένων ασθενειών και παθήσεων (Tóth & Csaró, 2018a). Σύμφωνα με την Flohé (2018) ο συνδυασμός του σεληνίου σε με τη Βιταμίνη E και το β-καροτένιο, οδηγεί στη μείωση θνησιμότητας από

καρκίνο. Γίνεται λόγος επίσης για τη συνεισφορά του σεληνίου κατά των φλεγμονωδών ασθeneιών όπως η κυστική ίνωση, η ρευματοειδής αρθρίτιδα, η φλεγμονώδη νόσος του εντέρου. Τέλος, η πρόσληψη σεληνίου σε συγκεκριμένες δόσεις φαίνεται να συμβάλλει στην βελτίωση της γονιμότητας στη θετική επίδραση ενάντια καρδιαγγειακών παθήσεων αλλά και στη σωστή λειτουργία του θυρεοειδούς αδένα.

Το σελήνιο είναι ένα απαραίτητο ιχνοστοιχείο που χρειάζεται να υπάρχει στη διατροφή όλων των ηλικιακών ομάδων. Ωστόσο, τα μεγέθη πρόσληψης μπορούν να ποικίλουν με βάση την ηλικία, το γένος ακόμα και τη γεωγραφική περιοχή. Η Συνιστώμενη Ημερήσια Δόση (ΣΗΔ) που έχει οριστεί από την Ευρωπαϊκή Αρχή για την Ασφάλεια των Τροφίμων (EFSA) και τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (WHO) για το σελήνιο είναι 55 μg/ημέρα τόσο για τους άνδρες όσο και για τις γυναίκες, ενώ ως το ανώτερο επίπεδο πρόσληψης έχει οριστεί το 400 μg/ημέρα (Ibrahim et al., 2019, Kieliszek, 2019, Pannico et al., 2019; Tóth & Csapó, 2018). Η ΣΗΔ σεληνίου διαφέρει ανάλογα την ηλικιακή ομάδα, αλλά και το φύλο σε ορισμένες περιπτώσεις. Για παράδειγμα, ηλικίες άνω των 51 ετών παρουσιάζουν υψηλότερες απαιτήσεις σε Se, ενώ το Συμβούλιο Τροφίμων και Διατροφής στις ΗΠΑ έχει ορίσει ως συνιστώμενη ποσότητα σεληνίου για τους άντρες 40-70 μg/ημέρα, για τις γυναίκες 45-55 μg/ημέρα και για τα παιδιά 25 μg/ημέρα (Kieliszek, 2019). Επίσης παρατηρούνται διαφορές στη ΣΗΔ λόγω γεωγραφικής θέσης, για παράδειγμα όπως αναφέρουν οι Kieliszek & Błazejak, (2016), οι κάτοικοι της Τσεχίας καταναλώνουν λιγότερη ποσότητα σεληνίου με μέση δόση 10-25 μg/ημέρα, ενώ οι κάτοικοι της Βενεζουέλας και ορισμένων περιοχών της Κίνας, καταναλώνουν υψηλότερες ποσότητες Se, οι οποίες υπολογίζονται σε 200-350 μg/ημέρα και 7-4990 μg/ημέρα αντίστοιχα. Η ημερήσια πρόσληψη σεληνίου του πληθυσμού της Ε.Ε. εκτιμάται μεταξύ 20-70 μg/ημέρα. Η υπερβολική πρόσληψη σεληνίου (>5,000 μg/ημέρα) είτε μέσω της τροφή, είτε του νερού, έχει τοξική δράση για τον οργανισμό και προκαλεί σελήνωση. Μερικά από τα συμπτώματα τοξικότητας σεληνίου είναι η τριχόπτωση, οι δερματικές παθήσεις ακόμα και οι νευρολογικές βλάβες. Περισσότερες πληροφορίες των συμπτωμάτων οξείας δηλητηρίασης σεληνίου μπορούν να αντληθούν από τις προκειμένες βιβλιογραφίες (Hu et al., 2021; Ibrahim et al., 2019; Kieliszek, 2019; Kieliszek & Błazejak, 2016; Tóth & Csapó, 2018a). Οι Tóth & Csapó, (2018) υποστηρίζουν πως η οξεία τοξικότητα από σελήνιο σπάνια προκαλεί θάνατο καθώς η θανατηφόρος δόση κυμαίνεται άνω των 5,000 μg/ημέρα,

ποσότητα η οποία δύσκολα λαμβάνεται μέσω της τροφής. Ωστόσο η ημερήσια μέση δόση είναι σημαντικό να κυμαίνεται στα συνιστώμενα όρια καθώς τόσο η έλλειψη όσο και η περίσσεια σεληνίου παρουσιάζουν αρνητικά αποτελέσματα για τον ανθρώπινο οργανισμό.

### 1.3.2 Περιεκτικότητα Σεληνίου στα τρόφιμα

Όπως αναφέρεται από τους Ferreira et al., (2021) το σελήνιο απαντάται στη φύση σε οργανική μορφή κυρίως ως παράγωγα σεληνομεθειονίνης (SeMet) και σεληνοκυστεΐνης (SeCys), αλλά και σε ανόργανη μορφή ως σεληνιώδες ( $\text{SeO}_3^{-2}$ ) και σεληνικό ιόν ( $\text{SeO}_4^{-2}$ ). Οι οργανικές μορφές κυρίως η SeMet, συναντάται σε προϊόντα φυτικής και ζωικής προέλευσης αλλά και σε ορισμένα συμπληρώματα διατροφής. Η σεληνομεθειονίνη και η σεληνοκυστεΐνη είναι οι μορφές με την οποία προσλαμβάνεται το Se από τον άνθρωπο σύμφωνα με τον Kieliszek (2019). Κυριαρχεί κυρίως στα προϊόντα ζωικής προέλευσης, ενώ το παράγωγο της SeCys, η σεληνομεθυλοκυστεΐνη (MeSeCys) βρίσκεται σε ορισμένα λαχανικά όπως το σκόρδο, το κρεμμύδι, το μπρόκολο και το πράσο. Όσον αφορά τις ανόργανες μορφές σεληνίου, το  $\text{SeO}_3^{-2}$  περιέχεται κυρίως στα συμπληρώματα διατροφής, στο νερό, ενώ φυτικά προϊόντα αλλά και ψάρια περιέχουν  $\text{SeO}_4^{-2}$  (Ferreira et al., 2021a). Η βιοδιαθεσιμότητα του Se εξαρτάται κυρίως από τη χημική του μορφή αλλά και το είδος της τροφής. Γενικά, οι οργανικές ενώσεις Se είναι πιο βιοδιαθέσιμες για τα ζώα και τον άνθρωπο. Οι SeCys και MeSeCys είναι πιο εύπεπτες από το γαστρεντερικό σωλήνα από ότι η SeMet. Επιπλέον, το Se στα φυτικά τρόφιμα είναι περισσότερο βιοδιαθέσιμο από το Se σε ζωικές τροφές (Hu et al., 2021). Πιο συγκεκριμένα οι οργανικές ενώσεις σεληνίου απορροφώνται σε ποσοστό 90 με 95 % ενώ οι ανόργανες μορφές είναι πιο δύσκολα αφομοιώσιμες (Kieliszek & Blazejak, 2016). Η περιεκτικότητα των τροφών σε σελήνιο εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την περιεκτικότητά του στο έδαφος, δηλαδή το μέσο πρόσληψης για τα καλλιεργούμενα είδη και εκτρεφόμενα ζώα. Τα ζωικά παράγωγα είναι εκείνα με την υψηλότερη περιεκτικότητα σεληνίου, με τα λαχανοκομικά να είναι αυτά που ακολουθούν. Στοιχεία της έρευνας των Hu et al., (2021) που αναφέρονται στην Κίνα, παρουσιάζουν την περιεκτικότητα Se στα εδάφιμα μέρη λαχανοκομικών, η οποία κυμαίνεται μεταξύ 0,0008 έως 5,37 mg kg<sup>-1</sup>. Έπειτα ταξινομούνται τα λαχανοκομικά σύμφωνα με την περιεκτικότητά τους σε Se, με τα σταυρανθή λαχανικά (Brassicaceae) του γένους Brassica να είναι στην κορυφή, έπειτα ακολουθούν τα λειροειδή λαχανικά

(Liliaceae) και στη συνέχεια τα όσπρια (Fabaceae), τα σολανώδη (Solanaceae) και τα φυλλώδη.

### 1.3.3 Ο ρόλος του Σεληνίου στα φυτά

Η πρόσληψη, η διανομή και η μετατόπιση του Se εντός των φυτών καθορίζεται από την ικανότητα του φυτού να μεταφέρει τα υλικά στα φυτικά μέρη, τη δραστηριότητα των μεμβρανικών μεταφορέων (μεμβρανικές πρωτεΐνες), την παρουσία άλλων ουσιών, τις φυσικές ιδιότητες του εδάφους (αλατότητα, pH, δυναμικό οξειδοαναγωγής, μηχανισμοί ρόφησης και εκρόφησης), τη μορφή και τη συγκέντρωση του Se, καθώς και το είδος και το στάδιο ανάπτυξης του φυτού (Hossain et al., 2021). Έχει υπολογιστεί ότι μόνο το 12% των λιπασμάτων Se που εφαρμόζονται στο έδαφος απορροφάται από φυτά κατά μέσο όρο, καθώς το μεγαλύτερο μέρος του Se είναι σταθεροποιημένο και διατηρείται μέσα στο έδαφος, και επομένως δεν είναι βιοδιαθέσιμο (Schiavon et al., 2020). Το σελήνιο στο έδαφος βρίσκεται σε ποικίλες μορφές, όπως: τα σεληνιώδη ιόντα ( $\text{SeO}_3^{2-}$ ), τα σεληνικά ιόντα ( $\text{SeO}_4^{2-}$ ), το στοιχειακό σελήνιο ( $\text{Se}^0$ ), το σελήνιο περιεχόμενο σε πετρώματα και οι οργανικές ενώσεις σεληνίου. Σε αλκαλικά εδάφη το σελήνιο κυριαρχεί υπό τη μορφή σεληνικών ιόντων ( $\text{SeO}_4^{2-}$ ), ενώ σε όξινα εδάφη εμφανίζεται με τη μορφή σεληνιωδών ιόντων ( $\text{SeO}_3^{2-}$ ). Και οι δυο αυτές μορφές μεταβολίζονται σε διάφορες χημικές ενώσεις σεληνίου αλλά διαφέρουν ως προς την απορρόφηση και την κινητικότητα εντός του φυτού. Οι διαφορές αυτών των δύο ανόργανων μορφών Se θα αναλυθούν σε επόμενη υποενότητα. Αρχικά η απορρόφηση και η μεταφορά του Se πραγματοποιείται μέσω των μεταφορέων του θείου (SULTR) και των φωσφορικών. Συγκεκριμένα το σεληνικό ιόν ( $\text{SeO}_4^{2-}$ ) προσλαμβάνεται και μεταφέρεται μέσω κυτταρικών μεμβρανών που διαμεσολαβούνται από το σύστημα μεταφοράς θεικών ενώ τα σεληνιώδη ιόντα μεταφέρονται μέσω φωσφορικών και πυριτικών (Si) μεταφορέων ανάλογα με την χημική μορφή του. Το Se μετατοπίζεται εντός του φυτού μέσω του φλοιώματος και των αγγείων του ξύλου αλλά και με τη βοήθεια της διαπνοής και εναποτίθεται στο υπέργειο μέρος του φυτού. Ωστόσο, έχει αποδειχθεί πως η διαθεσιμότητα του Se εντός του εδάφους συνεπώς και η απορρόφηση του από το φυτό μπορεί να ελαττωθεί με τη παρουσία ορισμένων στοιχείων όπως  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  και  $\text{Cl}^-$  τα οποία δρουν ανταγωνιστικά με το Se. Επίσης, οι συγκεντρώσεις θείου, αμινοξέων, γλουταθειόνης (GSH) και γλυκοσινολικών οξέων (οικογένεια αμινοξέων-παράγωγων δευτερογενών μεταβολιτών) στους φυτικούς ιστούς διαφέρουν

κατά το βιοεμπλουτισμό Se με διαφορετικές μεθόδους. Για παράδειγμα, σύμφωνα τον White (2018) η διαφυλλική εφαρμογή  $\text{SeO}_4^{2-}$  σε καλλιέργεια ρεπανιού, είχε ως αποτέλεσμα υψηλή συγκέντρωση θείου, γλουταθειόνης, σεληνομεθυλοκυστεΐνης (MeSeCys) και γλυκοσινολικών (γλυκοφορίνη, γλυκοβρασικίνη) στο φύλλωμα. Στην περίπτωση που το  $\text{SeO}_4^{2-}$  εφαρμόστηκε μέσω θρεπτικού διαλύματος σε υδροπονική καλλιέργεια, αυξήθηκε η συγκέντρωση θείου και MeSeCys στο φύλλωμα αλλά μειώθηκε η συγκέντρωση κυστεΐνης (Cys) και των προαναφερθέντων ενώσεων. Στο άρθρο των Izydorczyk et al., (2021) αναφέρεται ότι και το ιώδιο επηρεάζει την πρόσληψη του Se. Για την κατανόηση της αλληλεπίδρασης των δύο αυτών στοιχείων παρουσιάζονται δύο πειράματα όπου στην περίπτωση διαφυλλικής εφαρμογής I σε φυτό *Brassica juncea* (Ινδική μουστάρδα) παρατηρείται μείωση πρόσληψης Se κατά 4%. Παράλληλα, η λίπανση εδάφους με σεληνιώδες ιόντα (selenite) και ιωδιούχο κάλιο (KI) ή ιωδικό κάλιο ( $\text{KIO}_3$ ) προκάλεσε μείωση του περιεκτικότητας Se στην περιοχή των ριζών, ενώ αντίθετα, η λίπανση με σεληνικά ιόντα (selenate) και προσθήκη KI ή  $\text{KIO}_3$  αύξησε την περιεκτικότητα σε σελήνιο στις ρίζες. Η επίδραση του ιωδίου στον εμπλουτισμό των φυτών με Se εξαρτάται προφανώς από το είδος του φυτού αλλά και από την παρουσία και άλλων στοιχείων όπως το ψευδάργυρος (Zn) ή ο σίδηρος (Fe) γεγονός που έδωσε το έναυσμα για περαιτέρω έρευνες.

#### 1.3.4 Selenate vs Selenite

Όπως έχει προαναφερθεί το σελήνιο συναντάται σε διάφορες μορφές στη φύση. Τα φυτά μέσω του ριζικού τους συστήματος μπορούν να απορροφούν Se με τις μορφές σεληνικού, σεληνιώδους ιόντος ή SeCys και SeMet, αλλά δεν μπορούν να προσλάβουν άμεσα σεληνίδια ( $\text{Se}^{-2}$ / μορφές σεληνίου τις οποίες ο οργανισμός συνδέει σε σάκχαρα για να αποβάλλει σελήνιο μέσω των ούρων) ή στοιχειακό Se ( $\text{Se}^0$ ) (Hossain et al., 2021). Για τη χορήγηση Se στα φυτά χρησιμοποιούνται κυρίως ανόργανες μορφές με αυτή της  $\text{SeO}_4^{2-}$  να υπερτερεί έναντι της  $\text{SeO}_3^{2-}$ . Η υψηλότερη αποτελεσματικότητα του  $\text{SeO}_4^{2-}$  προκύπτει από την ταχύτερη πρόσληψη και μετατόπιση του από τη ρίζα στο στέλεχος και στα φύλλα, καθώς και στην ταχύτερη μετατροπή του σε οργανική μορφή. (Hu et al., 2021; Izydorczyk et al., 2021). Επίσης, το  $\text{SeO}_4^{2-}$  είναι πιο υδατοδιαλυτό και λιγότερο φυτοτοξικό (Pannico et al., 2019a). Οι διαφορές μεταξύ των δύο ανόργανων μορφών φαίνεται να αποτελούν αντικείμενο ενδιαφέροντος πολλών ερευνητών, διεξάγοντας έρευνες σύγκρισης, με τα

περισσότερα αποτελέσματα να καταλήγουν υπέρ του  $\text{SeO}_4^{2-}$ . Ωστόσο, αρκετές μελέτες απέδειξαν πως η χορήγηση Se με τη μορφή  $\text{SeO}_3^{2-}$  έχει εξίσου θετικά αποτελέσματα. Συγκεκριμένα, στο άρθρο της (Hawrylak-Nowak, 2015) εξετάστηκε η αποτελεσματικότητα χορήγησης σεληνίου και με τις δύο ανόργανες μορφές σε διαφορετικές συγκεντρώσεις, σε υδροπονική καλλιέργεια μαρουλιού (*Lactuca sativa L. var. capitata*) κάτω από συνθήκες στρες αλατότητας. Τα αποτελέσματα του πειράματος έδειξαν πως η χορήγηση  $\text{SeO}_3^{2-}$  σε συγκέντρωση  $2 \mu\text{mol L}^{-1}$  ήταν πολύ πιο αποτελεσματική από αυτή με  $\text{SeO}_4^{2-}$ , καθώς βελτιώθηκε σημαντικά η ανάπτυξη των φυτών και ενισχύθηκε η αντοχή τους σε υψηλά επίπεδα NaCl. Η ευεργετική επίδραση του Se σε καλλιέργειες μαρουλιού υπό το στρες αλατότητας μπορεί να οφείλεται στην αντιοξειδωτική δράση του Se, στην συμβολή του στην αύξηση του ριζικού συστήματος ή ακόμα και στην αύξηση της συγκέντρωσης φωτοσυνθετικών χρωστικών. Από το συγκεκριμένο άρθρο μπορεί να αντληθεί ακόμα μια χρήσιμη πληροφορία. Συγκρίνοντας λοιπόν τη συγκέντρωση Se στο φύλλωμα μαρουλιού υπό τις ίδιες συνθήκες αλλά χωρίς NaCl, βρέθηκε ότι στο εκτεθειμένο σε NaCl μαρούλι η συσσώρευση του Se ήταν υψηλότερη από ό,τι σε αυτό που καλλιεργήθηκε χωρίς άλας. Επομένως, ένα πιθανό σενάριο και ενδεχόμενο για μελλοντική εξέταση είναι ότι το NaCl μπορεί διεγείρει την πρόσληψη Se σε καλλιέργειες εκτός εδάφους. Τέλος, σύμφωνα με τους Hu et al., (2021) τα σεληνιώδη ιόντα μετατρέπονται σε μεγαλύτερο βαθμό σε οργανικούς μεταβολίτες ενώ η διαδικασία αυτή για τα σεληνικά ιόντα είναι πιο άμεση.

#### **1.4 Βιοεμπλουτισμός**

Ο βιοεμπλουτισμός είναι μια μέθοδος ενίσχυσης των καλλιεργούμενων προϊόντων με τα απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία και αποτελεί μια αποτελεσματική, βιώσιμη και οικονομική στρατηγική, με στόχο την αύξηση της διατροφικής αξίας των παραγόμενων προϊόντων (Saltzman et al., 2013). Η μέθοδος αυτή διαφέρει έναντι της παραδοσιακής ενίσχυσης των προϊόντων με θρεπτικά συστατικά κατά την επεξεργασία τους, καθώς στοχεύει στη βελτίωση αυτών κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας τους (Malik & Maqbool, 2020). Να σημειωθεί πως η μέθοδος αυτή, δεν αναμένεται να καλύψει όλες τις ελλείψεις απαραίτητων θρεπτικών στοιχείων των πληθυσμιακών ομάδων. Αποτελεί ωστόσο, μια μεμονωμένη δράση με σκοπό την επαρκή παροχή μικροθρεπτικών στοιχείων και



βιταμινών μέσω της τροφής σε αγροτικούς κυρίως πληθυσμούς, που ενδέχεται να έχουν περιορισμένη πρόσβαση σε εμπλουτισμένα τρόφιμα και συμπληρώματα διατροφής που διατίθενται στο εμπόριο (Bouis et al., 2013, Saltzman et al., 2013). Η διαδικασία «εμπλουτισμού» των καλλιεργούμενων φυτών με θρεπτικά συστατικά, κατηγοριοποιείται σε τρεις βασικές μεθόδους: μέσω αγρονομικών τεχνικών, συμβατικής βελτίωσης ή γενετικής μηχανικής.

#### **1.4.1 Βιοεμπλουτισμός με αγρονομικές μεθόδους**

Η συγκεκριμένη στρατηγική βιοεμπλουτισμού αφορά την εφαρμογή του απαραίτητου στοιχείου, κυρίως με τη μορφή λιπάσματος είτε στο έδαφος είτε απευθείας στο φυτό μέσω διαφυλλικού ψεκασμού (Naveed et al., 2020, Hossain et al., 2021, Hu et al., 2021, Schiavon et al., 2020). Πιο συγκεκριμένα για το σελήνιο οι πιο συνηθισμένες μορφές που χρησιμοποιούνται, είναι το  $\text{SeO}_3^{-2}$  και το  $\text{SeO}_4^{-2}$ , οι οποίες μεταφέρονται εύκολα στο εσωτερικό του φυτού και μεταβολίζονται σε οργανικές μορφές κυρίως ως σεληνοκυστεΐνη (SeCys) και σεληνομεθειονίνη (SeMet) (Ferreira et al., 2021, Hossain et al., 2021, Hu et al., 2021). Όπως υποστηρίζουν οι Hu et al., (2021) στην βιβλιογραφική τους ανασκόπηση, αρκετές έρευνες έχουν δείξει πως το σεληνικό είναι πιο αποτελεσματικό από το σεληνιώδες ιόν, καθώς όπως έχει αποδειχθεί, τα φυτά απορροφούν περισσότερο σεληνικό, με την ίδια ποσότητα συμπληρώματος σεληνίου. Συγκρίνοντας τις δύο αυτές μεθόδους, η βιοενίσχυση μέσω διαφυλλικής λίπανσης φαίνεται να υπερτερεί έναντι της εφαρμογής λίπανσης στο έδαφος, καθώς όπως αναφέρουν οι Hossain et al., (2021) κατά τη εφαρμογή της πρώτης, χρησιμοποιούνται χαμηλότερες συγκεντρώσεις Se, ενώ παράλληλα ελαχιστοποιείται η δυνητική συσσώρευση του Se στο περιβάλλον εξαιτίας της έκπλυσής του στα υπόγεια ύδατα. Παράλληλα, η διαφυλλική εφαρμογή του Se σε όψιμα στάδια ανάπτυξης φαίνεται να βελτιστοποιεί την πρόσληψη, τη μετατόπιση και την κατανομή του Se στα εδώδιμα μέρη των φυτών (Buturi et al., 2021). Όσον αναφορά την εφαρμογή Se απευθείας στο έδαφος, οι μελέτες καταλήγουν πως είναι μια πιο κοστοβόρα μέθοδος, καθώς περίπου το 12% του χορηγούμενου Se ανακτάται από τα φυτά, αντίθετα με το ποσοστό κατά την εφαρμογή διαφυλλικής λίπανσης το οποίο είναι υψηλότερο. Οι αγρονομικές μέθοδοι βιοεμπλουτισμού των φυτών με σελήνιο μπορούν να ακολουθηθούν και από άλλες πρακτικές. Ωστόσο, πολλές από αυτές δεν έχουν εξετασθεί επαρκώς, παρ' όλα αυτά όλο και περισσότερες πειραματικές μελέτες διεξάγονται για την αξιολόγηση των

βέλτιστων πρακτικών. Τέτοιες πρακτικές είναι προσθήκη ωφέλιμων μικροοργανισμών στο έδαφος, οι οποίοι ενισχύουν τη φυτοδιαθεσιμότητα του Se του εδάφους διευκολύνοντας την πρόσληψή του από τα φυτά (Hu et al., 2021). Χαρακτηριστικό παράδειγμα αναφέρεται στο άρθρο των Schiavon et al., (2020) σύμφωνα με το οποίο ο εμβολιασμός βολβών *Allium cepa* L. με ενδομυκορριζικούς μύκητες (AFM), αύξησε την περιεκτικότητα σε SeCys και  $\text{SeO}_4^{2-}$  κατά 36% και 21%, αντίστοιχα. Οι Izydorczyk et al., (2021) αναφέρουν, πως η χαμηλή περιεκτικότητα των φυτών σε Se δεν οφείλεται αποκλειστικά στην χαμηλή συγκέντρωση του στοιχείου στο έδαφος, αλλά πολλές φορές οφείλεται και στην εμφάνιση του σε μορφές οι οποίες δεν είναι διαθέσιμες για το φυτό. Προκειμένου να επιτευχθεί η αύξηση της βιοδιαθεσιμότητας του σεληνίου, κάνει λόγο για τη χρήση σκευασμάτων που εμπεριέχουν μικροοργανισμούς. Τέτοια σκευάσματα ενισχύουν την παραγωγή δευτερογενών μεταβολιτών, οι οποίοι βρίσκονται σε ανόργανα και οργανικά οξέα, τα οποία προκαλούν διαλυτοποίηση των ενώσεων που υπάρχουν στο έδαφος. Μία άλλη τεχνική είναι η μέθοδος της χλωρής λίπανσης, ενσωμάτωση δηλαδή βιομάζας φυτικών ειδών εμπλουτισμένα με Se βελτιώνοντας τις φυσικοχημικές ιδιότητες του εδάφους αλλά και τη βιοδιαθεσιμότητα του Se. Η (Schiavon et al., 2020) κάνει λόγο για την ενσωμάτωση στο έδαφος, φυτών που έχουν χρησιμοποιηθεί για φυτοεξυγίανση εδαφών. Σε αυτή την περίπτωση απαιτείται μεγάλη προσοχή και έλεγχος της περιεκτικότητας στοιχείων του παραγόμενου προϊόντος, καθώς τα εδάφη τα οποία είχαν αποκατασταθεί μέσω της φυτοεξυγίανσης ενδεχομένως να είχαν μολυνθεί και από άλλα μέταλλα. Τέλος, μία καινοτόμα πρακτική η οποία προτείνεται ως εναλλακτική των συμβατικών Se-λιπασμάτων, είναι η εφαρμογή σεληνίου με τη βοήθεια νανοσωματιδίων (SeNPs). Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των νανοσωματιδίων τα καθιστούν χρήσιμα και μερικά πλεονεκτήματα αυτών παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

**Πίνακας 1.** Πλεονεκτήματα χρήσης νανο-λιπασμάτων κατά τους Rani et al., (2020)

1	Υψηλότερη διαθεσιμότητα θρεπτικών στοιχείων, εξαιτίας της μεγαλύτερης επιφάνειάς των σωματιδίων, με αποτέλεσμα την υψηλότερη παραγωγικότητα με μικρότερη ποσότητα λιπάσματος
2	Βελτίωση αποτελεσματικότητα χρήσης και πρόσληψης θρεπτικών συστατικών που διευκολύνεται από την αυξημένη αναλογία επιφάνειας προς όγκο
3	Υψηλότερη ικανότητα διείσδυσης στο φυτό, εξαιτίας του μικρού μεγέθους των σωματιδίων
4	Υψηλή διαλυτότητα σε διάφορους διαλύτες
5	Αύξηση της διαθεσιμότητας των θρεπτικών στοιχείων στα φυτά εξαιτίας της ενθυλάκωσης νανο-σωματιδίων

#### **1.4.2 Βιοεμπλουτισμός με συμβατική μέθοδο βελτίωσης**

Συμβατική ή κλασική μέθοδος βελτίωσης, είναι η τεχνητή δημιουργία νέων ποικιλιών φυτών, μέσω της επιλογής και διασταύρωσης (υβριδισμός) συγγενικών φυτικών ειδών με τα επιθυμητά χαρακτηριστικά, όπως για παράδειγμα υψηλότερη συγκέντρωση Se στα εδάδιμα μέρη ενός φυτού, επιλέγοντας τους απογόνους με τον επιθυμητό συνδυασμό χαρακτηριστικών, ως αποτέλεσμα συγκεκριμένων συνδυασμών γονιδίων που κληρονομήθηκαν από τους δύο γονείς. Ο βιοεμπλουτισμός σεληνίου μέσω της συμβατικής βελτίωσης είναι μια χρονοβόρος διαδικασία, ωστόσο φαίνεται να είναι μια από τις πιο καθιερωμένες και βιώσιμες μεθόδους (Schiavon et al., 2020).

#### **1.4.3 Βιοεμπλουτισμός μέσω μοριακής και γενετικής μηχανικής**

Η τεχνική της γενετικής μηχανικής μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή νέων ποικιλιών με τα επιθυμητά φαινοτυπικά και γονοτυπικά χαρακτηριστικά. Αυτή η μέθοδος θεωρείται πιο ωφέλιμη σε σύγκριση με τη συμβατική, καθώς ο χρόνος για να παραχθεί μια καλλιέργεια με τα απαιτούμενα χαρακτηριστικά είναι λιγότερος και υπάρχει η δυνατότητα μεταφοράς συγκεκριμένων γονιδίων (Naveed et al., 2020). Ορισμένοι γενετικοί τόποι που

συμμετέχουν στον καθορισμό ενός ποσοτικού χαρακτηριστικού QTLs (γονίδια ή περιοχές των χρωμοσωμάτων που επηρεάζουν ένα συγκεκριμένο γνώρισμα του φυτού) που σχετίζονται με την υψηλή συσσώρευση Se στους σπόρους και το φύλλωμα ορισμένων φυτών έχουν αναγνωριστεί. Η επιλογή φυτικών ποικιλιών με υψηλή συγκέντρωση Se στα εδάσματα μέρη τους, μπορούν να χρησιμοποιηθούν μέσω της μεθόδου βελτίωσης Υποβοηθούμενης από Μοριακούς Δείκτες (Marker Assisted Breeding) για τη μεταφορά των QTLs με υψηλή συγκέντρωση Se σε φυτά που επιλέγονται για την ενίσχυση Se (Schiavon et al., 2020, Hossain et al., 2021). Η φυσική ή τεχνητή φυτοδιαθεσιμότητα Se στο μέσο ανάπτυξης του φυτού, είναι κύρια αιτία για τη συσσώρευση Se στα φυτικά μέρη. Ο λόγος αυτός αποτελεί περιοριστικό παράγοντα για τη συμβατική και την Υποβοηθούμενη από Μοριακούς Δείκτες μεθόδους. Όταν η γενετική ποικιλότητα δεν είναι διαθέσιμη ο γενετικός μετασχηματισμός φαίνεται να αποτελεί την αποτελεσματικότερη λύση (Hossain et al., 2021), καθώς δίνει τη δυνατότητα απομόνωσης γονιδίων από διάφορους οργανισμών και την εισαγωγή τους με τη βοήθεια ειδικών φορέων σε φυτά, σε με σκοπό να προσδίδουν στους φυτικούς οργανισμούς τα επιθυμητά χαρακτηριστικά.

#### 1.4.4. Δοσολογία

Σύμφωνα με τους Hossain et al., (2021) η ποσότητα του λιπάσματος Se που εφαρμόζεται εξαρτάται από τη συγκέντρωση Se τόσο στο λίπασμα όσο και στο έδαφος, αλλά και φυσικά, από το είδος του φυτού. Τα φυτά έχουν ταξινομηθεί ως υπερσυσσωρευτές (hyperaccumulators), δευτερογενείς συσσωρευτές (secondary-accumulators) και μη συσσωρευτές (non-accumulators), ανάλογα με τη ικανότητα συσσώρευσης Se στους φυτικούς ιστούς. Ωστόσο πρέπει να σημειωθεί ότι για κάθε φυτό υπάρχει μια μέγιστη ανεκτή τιμή, πάνω από την οποία το Se έχει τοξική επίδραση και μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της απόδοσης, μεταβολές των οργανοληπτικών ιδιοτήτων των προϊόντων, αυξομειώσεις στην περιεκτικότητα σε χρωστικές, μείωση της δραστηριότητας των φυτικών ενζύμων κ.α. (Izydorczyk et al., 2021). Για παράδειγμα η βιοσυσσώρευση  $Se \geq 2 \text{ mg kg}^{-1}$  Ξηρού Βάρους, σε μη συσσωρευτικά φυτά, όπως το *Arabidopsis thaliana*, είναι τοξική και μπορεί να προκαλέσει μείωση της βιομάζας κατά 10 % χωρίς ορατά συμπτώματα. Η τοξικότητα του Se εξαρτάται και από το στάδιο ανάπτυξης του φυτού καθώς και από τη χημική μορφή του Se. Τα σπορόφυτα είναι πολύ πιο ευαίσθητα στο Se από ότι τα ενήλικα φυτά, ενώ όπως έχει ήδη αναφερθεί το  $SeO_3^{-2}$  είναι πιο τοξικό από το

SeO<sub>4</sub><sup>-2</sup> (Hasanuzzaman et al., 2020). Κατά τη βιοενίσχυση φυτών με αγρονομικές μεθόδους, λιπάσματα σεληνίου χρησιμοποιούνται γενικά σε μικρές ποσότητες (10-20 g Se ha<sup>-1</sup>) για την επίτευξη της ενίσχυσης των φυτών με Se. Επομένως, για να διευκολυνθεί η εφαρμογή τους, αναμιγνύονται συχνά με άλλα εμπορικά λιπάσματα (π.χ. μείγμα με διάφορα θρεπτικά συστατικά, ουρία, νιτρικό ασβέστιο) (Schiavon et al., 2020).

## **2. Υλικά και Μέθοδοι**

### **2.1. Τόπος διεξαγωγής του πειράματος**

Το πειραματικό πλαίσιο της υφιστάμενης μελέτης έλαβε χώρα στις θερμοκηπιακές εγκαταστάσεις του εργαστηρίου Κηπευτικών Καλλιεργειών του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών (37.98224806153772, 23.704695255748245) την περίοδο 06/07/2022 – 25/07/2022, κατά την οποία πραγματοποιήθηκε η καλλιέργεια Γλιστρίδας (*P. oleracea*) σε ανοιχτό σύστημα καλλιέργειας, εκτός εδάφους. Οι πειραματικές αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν στις εργαστηριακές εγκαταστάσεις του εργαστηρίου με διάρκεια ενός μήνα (01/09/2022 – 30/09/2022).

### **2.2. Χαρακτηριστικά θερμοκηπίου**

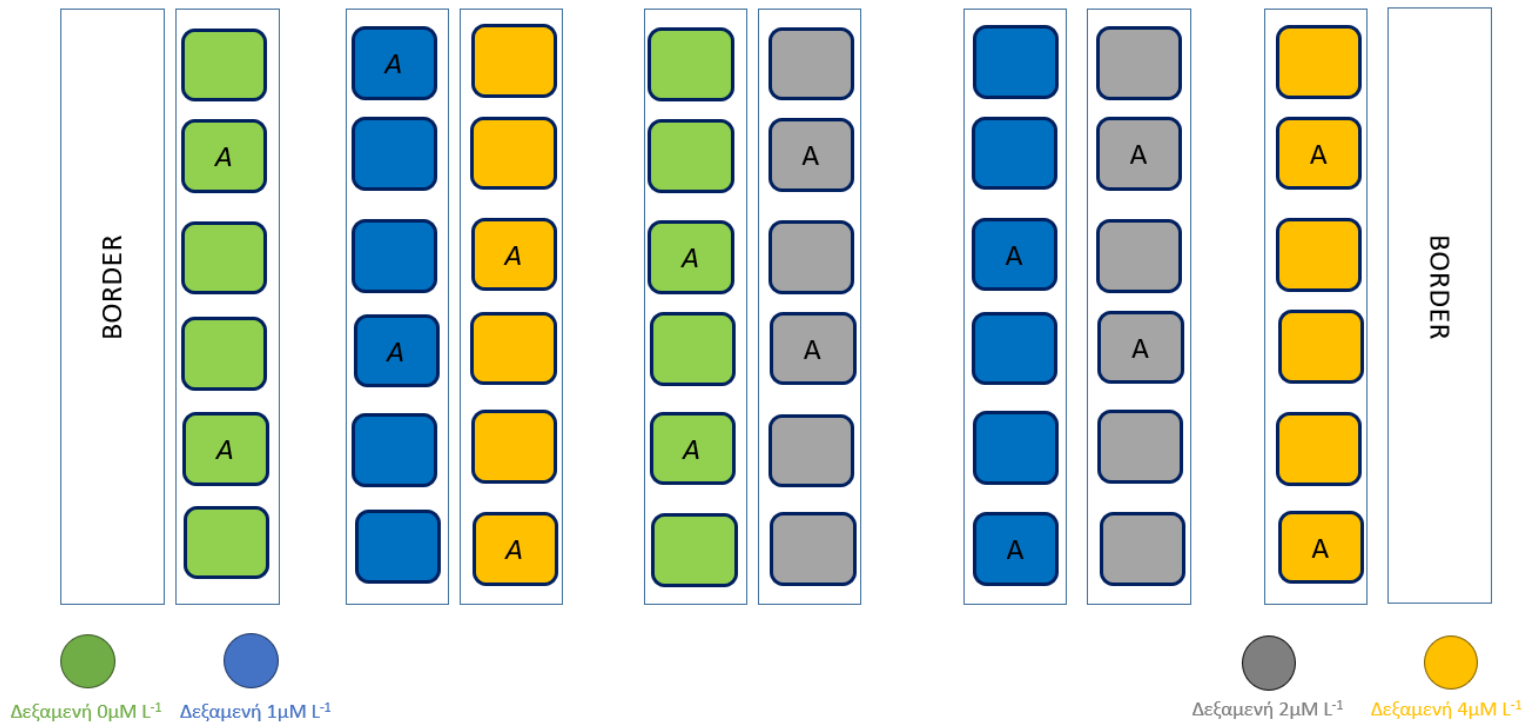
Το θερμοκήπιο στο οποίο υλοποιήθηκε το πείραμα είναι αμφικλινές, γυάλινο, με τσιμεντένιο δάπεδο και με συνολική έκταση 70m<sup>2</sup>. (εικ. 4). Για της ανάγκες καλλιέργειας των φυτών χρησιμοποιήθηκε ένας εκ των τεσσάρων θαλάμων του θερμοκηπίου, έκτασης ~12.5 m<sup>2</sup> (εικ.5). Το θερμοκήπιο είναι εξοπλισμένο με αυτοματοποιημένο σύστημα ελέγχου κλίματος εντός του θαλάμου. Το σύστημα αερισμού του θερμοκηπίου είναι παθητικό, αποτελούμενο από ειδικά παράθυρα (ανοίγματα) στην οροφή καθώς και στα πλάγια τοιχώματα, τα οποία μέσω των αισθητήρων θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας, λάμβαναν την εντολή για το άνοιγμα και το κλείσιμο, με στόχο τον έλεγχο των συνθηκών του χώρου. Στα δύο ανοίγματα του θαλάμου (οροφή & σε ένα πλάγιο τοίχωμα) υπήρχε εντομοστεγές δίχτυ, προκειμένου να αποφευχθούν πιθανές εντομολογικές προσβολές. Τέλος, παρά την περίοδο καλλιέργειας των φυτών, οι συνθήκες φωτισμού κυμάνθηκαν σε φυσιολογικά επίπεδα, χωρίς να παρατηρηθούν φαινόμενα εγκαύματος της φυτοκόμης, εξαιτίας σκίασης με εξωτερικό βάψιμο του θερμοκηπίου την περίοδο πριν την εγκατάσταση του πειράματος.



Εικόνες 4 & 5. Εξωτερική άποψη του θερμοκηπίου και εσωτερικός θάλαμος αντίστοιχα.

### 2.3. Πειραματικός σχεδιασμός

Ο σχεδιασμός το πειράματος πραγματοποιήθηκε με βάση της αρχές Γεωργικού πειραματισμού (τυχαιοποίηση, επανάληψη, τοπικός έλεγχος). Για την επίτευξη ομοιογένειας μεταξύ των μεταχειρίσεων και των συνθηκών ανάπτυξης των φυτών ακολουθήθηκε η εφαρμογή του μοντέλου «Πλήρους Τυχαιοποιημένου Σχεδιασμού». Η μορφή του πειράματος ήταν μονοπαραγοντική και ο παράγοντας που εξετάστηκε είναι η χορήγηση σεληνίου (Se) σε 4 επίπεδα (0, 1, 2, και 4  $\mu\text{mol L}^{-1}$ ). Παρακάτω παρατίθεται σχηματική απεικόνιση κάτοψης του θερμοκηπιακού θαλάμου (εικ. 6). Για της ανάγκες του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν 10 υδροπονικά κανάλια ~ 6 μέτρων, πάνω στα οποία τοποθετήθηκαν 6 σάκοι διογκωμένου περλίτη στους οποίους φιλοξενήθηκαν 5 φυτά γλιστρίδας. Για κάθε μεταχείριση πραγματοποιήθηκαν 4 επαναλήψεις ενώ συνολικά χρησιμοποιήθηκαν 80 φυτά *P. oleracea*. Τα κανάλια στα πλευρικά τοιχώματα του θαλάμου (1&10) τέθηκαν ως «όρια» και δεν λήφθηκαν υπόψιν, εξαιτίας της απόκλισης των κλιματικών συνθηκών από το μέσο του θαλάμου.



- Φυτικό είδος: *A Portulaca oleracea L.*
- Παράγοντας (δοσολογία): α) 0.0  $\mu\text{mol SeO}_2 \text{ L}^{-1}$  β) 1.0  $\mu\text{mol SeO}_2 \text{ L}^{-1}$  γ) 2.0  $\mu\text{mol SeO}_2 \text{ L}^{-1}$  δ) 4.0  $\mu\text{mol SeO}_2 \text{ L}^{-1}$
- 4 επαναλήψεις ανά μεταχείριση
- 80 φυτά (5 φυτά ανά σάκο περλίτη/επανάληψη)

**Εικόνα 6.** Πειραματική διάταξη επεμβάσεων, κάτοψη θαλάμου. Τα 4 διαφορετικά χρώματα σηματοδοτούν τις διαφορετικές συγκεντρώσεις  $\text{SeO}_2$  (πράσινο  $0 \mu\text{mol L}^{-1}$ , μπλε  $1 \mu\text{mol L}^{-1}$ , κίτρινο  $2 \mu\text{mol L}^{-1}$ , & γκρι  $4 \mu\text{mol L}^{-1}$ ). Το γράμμα A αφορά το φυτικό είδος *Portulaca oleracea*.



#### 2.4. Εγκατάσταση πειράματος

Το στάδιο της εγκατάστασης του πειράματος αποτελούνταν από επιμέρους εργασίες. Αρχικά, πραγματοποιήθηκε καθαρισμός του θαλάμου, απομάκρυνση των αλάτων από τις υδρορροές και απολύμανση των καναλιών με διάλυμα υποχλωριόδου νατρίου (χλωρίνη εμπορίου). Έπειτα τοποθετήθηκαν οι σάκοι διογκωμένου περλίτη 33L σε κάθε αρδευτικό κανάλι (εικ. 7).



**Εικόνα 7.** Διαδικασία καθαρισμού και τοποθέτησης υποστρωμάτων στα αρδευτικά κανάλια.

Στη συνέχεια, τοποθετήθηκαν οι 4 δεξαμενές και συναρμολογήθηκε το αρδευτικό δίκτυο για τη μεταφορά του θρεπτικού διαλύματος στα υποστρώματα φύτευσης. Η κάθε δεξαμενή αποτελούνταν από μία ηλεκτρική αντλία επιφάνειας, ισχύος 370 W, μια ηλεκτροβάννα για την εξασφάλιση αυτόματου ελέγχου ποτίσματος, πλαστικούς σωλήνες φ25 για τη μεταφορά του θρεπτικού διαλύματος σε όλα κανάλια, πλαστικό σωλήνα φ16 κατά μήκος κάθε καναλιού πάνω στο οποίο τοποθετήθηκαν σταλάκτες γνωστής παροχής (2 L/h) για κάθε φυτό.

Τέλος τοποθετήθηκαν κουβάδες χωρητικότητας 15 L στο κατώτερο άκρο του κάθε καναλιού για την συλλογή του διαλύματος απορροής αλλά και δοχείων σε ένα σταλάκτη ανά αρδευτικό κανάλι για τον έλεγχο της άρδευσης, με στόχο την εξασφάλιση



ομοιομορφίας άρδευσης και την διατήρηση του ποσοστού απορροής στα επιθυμητά όρια (30%).

#### 2.4.1 Φυτικό υλικό

Για τις ανάγκες το πειράματος, στις 10/06/2023 εμπορικοί σπόροι είδους *Portulaca oleracea L.* τοποθετήθηκαν σε δίσκο σποράς πετροβάμβακα 200 θέσεων (Grodan). Η μεταφύτευση στο θερμοκήπιο πραγματοποιήθηκε στις 06/07/2022 έπειτα από επιλογή φυταρίων ομοιόμορφης ανάπτυξης (εικ. 8). Καθ' όλη τη διάρκεια παραμονής των φυταρίων στους δίσκους πετροβάμβακα, η διαβροχή πραγματοποιούνταν με αρδευτικό νερό. Για τη φιλοξενία των σπορόφυτων οι σάκοι περλίτη σκίστηκαν σε 5 σημεία στην επιφάνεια τους σε σχήμα «X» και εμποτίστηκαν με το αρχικό διάλυμα διαβροχής γνωστής σύνθεσης. (εικ. 9).



**Εικόνα 8.** Διαδικασία σποράς σε μπλοκ πετροβάμβακα και μεταφύτευση φυταρίων σε σάκους περλίτη.

Τα φυτάρια γλιστρίδας παρέμειναν στους εμποτισμένους σάκους για 24 ώρες. Την επόμενη ημέρα 07/07/2022 πραγματοποιήθηκαν 3 διαγώνιες σχισμές στις δύο κάθετες πλευρές κάθε σάκου για την επίτευξη στράγγισης. Την ίδια ημέρα τα φυτά ξεκίνησαν να αρδεύονται μέσω του αυτόματου συστήματος, με θρεπτικό διάλυμα διαφορετικής σύστασης (διάλυμα βλαστικού σταδίου) (εικ.9).

## 2.5. Σύνθεση θρεπτικού διαλύματος

Για την ολοκληρωμένη και ορθή θρέψη των φυτών χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο NutriSense, μέσω του οποίου δημιουργήθηκαν τα κατάλληλα θρεπτικά διαλύματα σύμφωνα με το φυτικό είδος, την εποχή καλλιέργειας, το σύστημα υδροπονικής καλλιέργειας (ανοιχτό) αλλά και τη σύνθεση του νερού άρδευσης. Οι εικόνα 9 παρουσιάζει τη σύνθεση των θρεπτικών διαλυμάτων που χρησιμοποιήθηκαν.

Χαρακτηριστικά θρεπτικού διαλύματος	Μονάδα	Νερό άρδευσης	Σύνθεση διαλύματος τροφοδοσίας (διάλυμα σταλάκτη)
EC	dS/m	0.32	2.40
pH		7.30	5.60
K <sup>+</sup>	mmol/L	0.00	7.00
Ca <sup>2+</sup>	mmol/L	0.90	5.00
Mg <sup>2+</sup>	mmol/L	0.30	2.00
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mmol/L	0.00	0.82
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mmol/L	0.20	3.06
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mmol/L	0.00	14.00
H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	mmol/L	0.00	1.50
Fe	μmol/L	0.00	30.00
Mn <sup>++</sup>	μmol/L	0.00	10.00
Zn <sup>++</sup>	μmol/L	2.15	7.00
Cu <sup>++</sup>	μmol/L	0.00	0.80
B	μmol/L	0.00	35.00
Mo	μmol/L	0.00	0.80
Si	mmol/L	0.00	0.00
Cl <sup>-</sup>	mmol/L	0.40	0.40
Na <sup>+</sup>	mmol/L	0.60	0.60
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mmol/L	2.20	0.40
K/(K+Ca+Mg)	mol/mol		0.50
Ca/(K+Ca+Mg)	mol/mol		0.36
Mg/(K+Ca+Mg)	mol/mol		0.14
N/K	mol/mol		2.12
NH4-N/Total-N	mol/mol		0.06

ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΠΟΣΟΤΗΤΕΣ ΛΙΠΑΣΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΤΩΝ ΠΥΚΝΩΝ ΔΙΑΛΥΜΑΤΩΝ						
				Πυκνό διάλυμα Β	20	ΛΙΤΡΑ (L)
Στόχος EC για την κεφαλή υδραλίπανσης	2.40	dS/m		Νιτρικό κάλιο	0.405	Kg
pH	5.60			Θεικό μαγνήσιο	0.837	Kg
				<b>Πυκνό διάλυμα Α</b>	<b>20</b>	<b>ΛΙΤΡΑ (L)</b>
Νιτρικό ασβέστιο	1.772	Kg		Νιτρικό μαγνήσιο	0.000	Kg
Χλωριούχο ασβέστιο, 48% Cl	0.000	Kg		Φωσφορικό μονοκάλιο	0.408	Kg
Νιτρικό κάλιο	0.238	Kg		Θεικό κάλιο	0.404	Kg
Νιτρικό αμμώνιο	0.000	Kg		Φωσφορικό οξύ	0.000	kg
Fe-EDDHA (6% Fe)	0.056	Kg		Φωσφορικό μονοαμμώνιο	0.000	Kg
				Θεικό αμμώνιο	0.000	Kg
				<b>Πυκνό διάλυμα οξέως</b>	<b>20</b>	<b>ΛΙΤΡΑ (L)</b>
Νιτρικό οξύ	0.359	Kg		Θεικό οξύ	0.000	Kg
				<b>Πυκνό διάλυμα πυρετικού καλίου</b>	<b>0</b>	<b>ΛΙΤΡΑ (L)</b>
Πυρετικό κάλιο (K <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> )	0.000	Kg		Θεικό μαγγάνιο	3.4	g
				Θεικό ψευδάργυρος	2.8	g
				Θεικό χαλκό	0.4	g
				Βορικό οξύ	4.3	g
				Επτααλυβδανικό αμμώνιο	0.3	g

Χαρακτηριστικά θρεπτικού διαλύματος	Μονάδα	Νερό άρδευσης	Σύνθεση διαλύματος τροφοδοσίας (διάλυμα σταλάκτη)
EC	dS/m	0.32	2.40
pH		7.30	5.60
K <sup>+</sup>	mmol/L	0.00	7.00
Ca <sup>2+</sup>	mmol/L	0.90	5.00
Mg <sup>2+</sup>	mmol/L	0.30	2.00
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mmol/L	0.00	0.82
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mmol/L	0.20	3.06
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mmol/L	0.00	14.00
H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	mmol/L	0.00	1.50
Fe	μmol/L	0.00	30.00
Mn <sup>++</sup>	μmol/L	0.00	10.00
Zn <sup>++</sup>	μmol/L	2.15	7.00
Cu <sup>++</sup>	μmol/L	0.00	0.80
B	μmol/L	0.00	35.00
Mo	μmol/L	0.00	0.80
Si	mmol/L	0.00	0.00
Cl <sup>-</sup>	mmol/L	0.40	0.40
Na <sup>+</sup>	mmol/L	0.60	0.60
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mmol/L	2.20	0.40
K/(K+Ca+Mg)	mol/mol		0.50
Ca/(K+Ca+Mg)	mol/mol		0.36
Mg/(K+Ca+Mg)	mol/mol		0.14
N/K	mol/mol		2.12
NH <sub>4</sub> -N/Total-N	mol/mol		0.06

ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΠΟΣΟΤΗΤΕΣ ΛΙΠΑΣΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΤΩΝ ΠΥΚΝΩΝ ΔΙΑΛΥΜΑΤΩΝ						
			Πυκνό διάλυμα Β		10	ΛΙΤΡΑ (L)
Στόχος EC για την κεφαλή υδρολίπανσης	2.40	dS/m	Νιτρικό κάλιο		0.203	Kg
pH	5.60		Θεικό μαγνήσιο		0.419	Kg
<b>Πυκνό διάλυμα Α</b>	<b>10</b>	<b>ΛΙΤΡΑ (L)</b>	Νιτρικό μαγνήσιο		0.000	Kg
Νιτρικό ασβέστιο	0.886	Kg	Φωσφορικό μονοκάλιο		0.204	Kg
Χλωριούχο ασβέστιο, 48% Cl	0.000	Kg	Θεικό κάλιο		0.202	Kg
Νιτρικό κάλιο	0.119	Kg	Φωσφορικό οξύ		0.000	kg
Νιτρικό αμμώνιο	0.000	Kg	Φωσφορικό μονοαμμώνιο		0.000	Kg
Fe-EDDHA (6% Fe)	0.028	Kg	Θεικό αμμώνιο		0.000	Kg
<b>Πυκνό διάλυμα οξέως</b>	<b>10</b>	<b>ΛΙΤΡΑ (L)</b>	Θεικό οξύ		0.000	Kg
Νιτρικό οξύ	0.180	Kg	Θεικό μαγγάνιο		1.7	g
<b>Πυκνό διάλυμα πυριτικού καλίου</b>	<b>0</b>	<b>ΛΙΤΡΑ (L)</b>	Θεικός ψευδάργυρος		1.4	g
Πυριτικό κάλιο (K <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> )	0.000	Kg	Θεικός χαλκός		0.2	g
			Βορικό οξύ		2.2	g
			Επταμολυβδανικό αμμώνιο		0.1	g

Εικόνα 9. Διάλυμα διαβροχής και διάλυμα τροφοδοσίας

Για την αποφυγή παρασκευής θρεπτικών διαλυμάτων ανά τακτά χρονικά διαστήματα, παρασκευάστηκαν (2 φορές καθ' όλη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου) πυκνά διαλύματα τα οποία στη συνέχεια αραιωνόταν με αρδευτικό νερό σε αναλογία 1:100, το οποίο αποτελούσε το τελικό θρεπτικό διάλυμα παροχής.

### 2.5.1. Παρασκευή πυκνών θρεπτικών διαλυμάτων

Για την παρασκευή πυκνών διαλυμάτων χρησιμοποιήθηκαν δύο δοχεία – δεξαμενές A & B. Η διαδικασία που ακολουθείται για την δημιουργία τελικού διαλύματος είναι ο διαχωρισμός των πυκνών διαλυμάτων σε δύο ή περισσότερες δεξαμενές. Ο λόγος διαχωρισμού των πυκνών διαλυμάτων σε τουλάχιστον 2 διαφορετικά δοχεία είναι για την αποφυγή δυσδιάλυτων ενώσεων, συνεπώς και δημιουργίας ιζήματος κατά την ανάμιξη και αποθήκευση νιτρικού ασβεστίου ( $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ) με φωσφορικά ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) αλλά και θειικά ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) άλατα υψηλής συγκέντρωσης (Σάββας 2011). Παράλληλα, παρασκευάστηκε πυκνό διάλυμα ορισμένης συγκέντρωσης νιτρικού οξέος ( $\text{HNO}_3$  68%) για τη ρύθμιση της οξύτητας/pH του θρεπτικού διαλύματος. Ο υπολογισμός των απαιτούμενων ποσοτήτων λιπασμάτων αφορούσε τη δημιουργία πυκνών διαλυμάτων τελικού όγκου 20 L τα οποία τοποθετούνταν σε κατάλληλα δοχεία (εικ. 10). Η προετοιμασία των πυκνών διαλυμάτων απαιτούσε τη ζύγιση στερεών, υδατοδιαλυτών λιπασμάτων σε ζυγαριά ακριβείας και τη διάλυση τους σε νερό έως τον επιθυμητό όγκο.



**Εικόνα 10.** Δοχεία πυκνών διαλυμάτων A, B &  $\text{HNO}_3$



### 2.5.2. Παρασκευή αραιού θρεπτικού διαλύματος (διάλυμα τροφοδοσίας)

Όπως προαναφέρθηκε, για την παρασκευή του διαλύματος τροφοδοσίας αραιωνόταν τα πυκνά διαλύματα σε αναλογία 1:100. Για τη διαδικασία αυτή χρησιμοποιήθηκε ο εγκατεστημένος εξοπλισμός του θερμοκηπίου όπως και φορητά όργανα του εργαστηρίου (εικ. 10). Για παράδειγμα, για τη δημιουργία 100 L διαλύματος τροφοδοσίας τοποθετούσαμε στον κάδο ανάμειξης 1 L πυκνού διαλύματος Α και 1 L πυκνού διαλύματος Β. Έπειτα γινόταν ο απαραίτητος έλεγχος της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του διαλύματος ( $2.4 \text{ dS m}^{-1}$ ) με τη χρήση φορητού αγωγιμόμετρου. Το επόμενο βήμα ήταν η ρύθμιση του pH, μέσω προσθήκης διαλύματος νιτρικού οξέος ( $\text{HNO}_3$ ) σε περίπου ίδια αναλογία, με στόχο την επίτευξη της τιμής 5.6 στο διάλυμα τροφοδοσίας, για το λόγο ότι η τιμή του pH στην περιοχή του ριζοστρώματος τείνει να αυξάνει έως και 6.7.



**Εικόνα 10.** Κάδος ανάμειξης υγρών λιπασμάτων και φορητά όργανα μέτρησης ηλεκτροαγωγιμότητας (EC) και pH.

Για την προσθήκη διοξειδίου του σεληνίου  $\text{SeO}_2$  σε διαφορετικές συγκεντρώσεις (1, 2 & 4  $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) χρησιμοποιήθηκε αντιδραστήριο  $\text{SeO}_2$  σε μορφή σκόνης από το οποίο ζυγίστηκαν 0.1109g σε ζυγό ακριβείας με 4 δεκαδικά ψηφία και αραιώθηκαν σε ογκομετρική φιάλη με 1 L απεσταγμένο νερό για την παραγωγή διαλύματος γνωστής συγκέντρωσης  $\text{SeO}_2$  1000  $\mu\text{M L}^{-1}$ . Για την πλήρη διάλυση του διοξειδίου του Σεληνίου, η ογκομετρική φιάλη τοποθετήθηκε σε μαγνητικό αναδευτήρα (magnetic stirrer) για λίγα λεπτά (εικ.11). Στη συνέχεια, για την επίτευξη συγκέντρωσης 1 $\mu\text{mol L}^{-1}$  στο διάλυμα τροφοδοσίας, πραγματοποιήθηκε αραιώση 1:1000, δηλαδή για 100 L διαλύματος τροφοδοσίας χρησιμοποιούνταν 100 ml standard  $\text{SeO}_2$  και ούτω κάθε εξής.



**Εικόνα 11.** Διαδικασία παρασκευής διαλύματος  $\text{SeO}_2$  γνωστής συγκέντρωσης.

### 2.5.3 Διαλύματα απορροών

Για τη διασφάλιση ομοιομορφίας στην άρδευση όλων των φυτών, πραγματοποιούνταν μετρήσεις όγκου, ηλεκτρικής αγωγιμότητας και pH των διαλυμάτων απορροής σε κάθε κανάλι. Η ογκομέτρηση του διαλύματος διεξάγονταν ανά δύο ημέρες με στόχο τη διατήρηση του ποσοστού απορροής στο 30 % μέσω αλλαγών στη διάρκεια ποτίσματος της

εκάστοτε μεταχείρισης. Παράλληλα, η μέτρηση του pH καθώς και της EC των απορροών γινόταν ταυτόχρονα, για τον έλεγχο του εύρους τιμών στη ριζόσφαιρα.

## **2.6. Δειγματοληψία φυτικών ιστών και μετρήσεις**

Η καλλιεργητική περίοδος διήρκησε 20 ημέρες με τη συγκομιδή να πραγματοποιείται στις 25/07/2022. Κατά τη διάρκεια αυτής δεν χρειάστηκε κάποια επέμβαση με φυτοπροστατευτικά προϊόντα καθώς δεν υπήρξε καμία εντομολογική ή άλλη προσβολή. Για τις απαραίτητες εργαστηριακές αναλύσεις αλλά και τον προσδιορισμό της συνολικής παραγωγής μεταξύ των διαφορετικών μεταχειρίσεων, λήφθηκαν δείγματα από όλες τις επαναλήψεις στα οποία μετρήθηκε το νωπό βάρος του υπέργειου μέρους των φυτών, ενώ σε 2 φυτά ανά επανάληψη μετρήθηκε η φυλλική τους επιφάνεια ( $\text{cm}^2$ ) και ο αριθμός των φύλλων. Για τον προσδιορισμό της συνολικής παραγωγής των φυλλωδών λαχανικών σημασία έχει το νωπό τους βάρος, ο αριθμός των φύλλων του αλλά και η επιφάνεια αυτών, αντίθετα με τις καρποδοτικές καλλιέργειες λαχανικών στις οποίες σημασία έχει ο αριθμός των καρπών, το βάρος τους αλλά και το μέγεθος τους.

### **2.6.1. Μετρήσεις φωτοσύνθεσης και συναφών παραμέτρων**

Οι μετρήσεις φωτοσύνθεσης και φυσιολογικών παραμέτρων των φυτών διεξήχθησαν σε δύο ημέρες 24/07/2022 και 25/07/2022 με τη βοήθεια φορητού οργάνου μέτρησης φωτοσύνθεσης LCpro T (ADC BioScientific Ltd, UK). Συγκεκριμένα προσδιορίστηκε ο καθαρός ρυθμός φωτοσύνθεσης (A), ο ρυθμός διαπνοής (E), η στοματική αγωγιμότητα (Gs) και η ενδοκυτταρική συγκέντρωση  $\text{CO}_2$  (Ci). Όλες οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σύμφωνα με μια ακολουθία 15 λεπτών κατά την οποία ένα νεαρό, πλήρως ανεπτυγμένο φύλλο του εκάστοτε φυτού, τοποθετούνταν στον αναλυτή αερίων (εικ. 12) και δέχθηκε τις ακόλουθες 5 εντάσεις φωτός:  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν μεταξύ 08:00 π.μ. και 12:00 μ.μ. και τις δύο ημέρες. Η πηγή φωτός ήταν το R:G:B LED (ένας συνδυασμός τριών χρωμάτων κόκκινο, πράσινο και μπλε, σε μία πηγή φωτισμού/λαμπτήρα LED) του αναλυτή με σύνθεση φωτός 40:5:55. Σε κάθε ένταση καταγράφηκαν 3 μετρήσεις από τον αναλυτή, μία ανά λεπτό. Πραγματοποιήθηκαν συνολικά 3 επαναλήψεις ανά μεταχείριση, που οδήγησαν σε 9 μετρήσεις ανά επανάληψη. Η στιγμιαία αποδοτικότητα χρήσης νερού WUE υπολογίστηκε ως η αναλογία μεταξύ καθαρού ρυθμού φωτοσύνθεσης (A) και του ρυθμού διαπνοής (E) και προσδιορίζεται ως



μmol δεσμευμένου CO<sub>2</sub> ανά mol χρησιμοποιημένου H<sub>2</sub>O ανά μονάδα φυλλικής επιφάνειας και χρόνου (μmol CO<sub>2</sub> mol H<sub>2</sub>O<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>).



**Εικόνα 12.** Διαδικασία μέτρησης φωτοσύνθεσης και συναφών φυσιολογικών παραμέτρων

### 2.7. Εργαστηριακό μέρος

Πέραν των ενεργειών για τον προσδιορισμό της συνολικής παραγωγής αλλά και άλλων φυσιολογικών παραμέτρων των φυτών, για την άντληση απαραίτητων στοιχείων με στόχο την αποτύπωση μιας ολοκληρωμένης μελέτης, πραγματοποιήθηκε φυλλοδιαγνωστική εξέταση των φυτών. Στις εργαστηριακές εγκαταστάσεις του εργαστηρίου των Κηπευτικών Καλλιεργειών του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, υλοποιήθηκαν οι κατάλληλες



αναλύσεις των φύλλων του παρόντος πειράματος, για τον προσδιορισμό όλων των θρεπτικών στοιχείων και των ιχνοστοιχείων που περιέχονται στο φυτό.

### 2.7.1. Προετοιμασία φυτικού ιστού

Κατά τη δειγματοληψία 3 φυτά ανά επανάληψη έπειτα από μέτρηση του νωπού τους βάρους ξεχωριστά, τοποθετήθηκαν σε ξηραντήριο για 10 ημέρες σε θερμοκρασία 70 °C προκειμένου να χαθεί η υγρασία και να υλοποιηθούν τα επόμενα βήματα τις επεξεργασίας τους. Μετά την ξήρανση των δειγμάτων, πραγματοποιήθηκε η άλεση αυτών, με τη χρήση εμπορικού μίξερ και στη συνέχεια κοσκίνισμα με διάμετρο οπής 1mm (εικ. 13). Τέλος, τα κονιοροποιημένα δείγματα τοποθετήθηκαν σε αεροστεγή πλαστικά σακουλάκια για την αποφυγή εισχώρησης υγρασίας κατά την αποθήκευσή τους.



**Εικόνα 13.** Ξηραντήριο και διαδικασία κονιοροποίησης ξηρών φυτικών δειγμάτων.

### 2.7.2. Εκχύλιση φυτικού ιστού

Για την περάτωση των απαιτούμενων αναλύσεων, ήταν αναγκαίο τα δείγματα φυτικού ιστού να βρίσκονται σε υγρή μορφή. Για το λόγο αυτό, αρχικά χρειάστηκε τα δείγματα να αποτεφρωθούν με τη μέθοδο της ξηρής καύσης (dry ashing). Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται για την ανοργανοποίηση της οργανικής ουσίας, δηλαδή τη μετατροπή των οργανικών

υλικών σε ανόργανες μορφές (μέταλλα, άλατα) προκειμένου να προσδιοριστούν ακολουθώντας τα κατάλληλα πρωτόκολλα. Το αποτέλεσμα αυτό επιτυγχάνεται εξαιτίας των υψηλών θερμοκρασιών που επικρατούν εντός του θαλάμου αποτέφρωσης (500 - 600 °C), καθώς το νερό αλλά και ορισμένα πτητικά μέσα εξατμίζονται ενώ οι οργανικές ενώσεις καταστρέφονται και οξειδώνονται παρουσία O<sub>2</sub> και δεδομένης ατμοσφαιρικής πίεσης, με αποτέλεσμα να μετατρέπονται σε διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) και οξείδια του αζώτου (N<sub>2</sub>). Στοιχεία, όπως Fe, Se, Pb και Hg, μπορεί να εξατμιστούν εν μέρει με αυτή τη διαδικασία. Για την καύση των δειγμάτων χρησιμοποιήθηκαν πορσελάνινες κάψες στις οποίες τοποθετήθηκε 0.5 g δείγμα ξηρού φυτικού ιστού, όπου στη συνέχεια τοποθετήθηκαν σε πυραντήριο (της εταιρίας Lion High Therm) σε θερμοκρασία 500 °C για 8 ώρες. Με την ολοκλήρωση της καταστροφής της οργανικής ύλης, πραγματοποιήθηκε εκχύλιση της τέφρας με την προσθήκη 10 ml διαλύματος HCl 6 N 1:50. Με το πέρας ορισμένων λεπτών, το διάλυμα HCl και τέφρας μεταφέρθηκαν σε ογκομετρικές φιάλες 100ml τα οποία διηθήθηκαν με τη χρήση φίλτρων Whatman 42. Αφού το δείγμα διηθήθηκε, οι ογκομετρικές φιάλες συμπληρώθηκαν με απεσταγμένο νερό και έπειτα από καλή ανάδευση τοποθετήθηκαν σε πλαστικά μπουκάλια 100ml για αποθήκευση και μελλοντική χρήση, τα οποία διατηρήθηκαν σε θερμοκρασία ~6 °C. Η εικόνα 14 υποδεικνύει τη διαδικασία καύσης του φυτικού υλικού, διήθησης και αποθήκευσής του.



**Εικόνα 14.** Διαδικασία ζύγισης, καύσης δειγμάτων σε πυραντήριο και διήθησης.

Οι εργαστηριακές αναλύσεις αφορούσαν τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης θρεπτικών στοιχείων ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{P}$ ,  $\text{BO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ , ολικού  $\text{N}$ ,  $\text{NO}_3^-$  &  $\text{Se}$ ) στο υπέργειο τμήμα των φυτών Γλιστρίδας.

### 2.7.3. Προσδιορισμός Καλίου (K<sup>+</sup>) & Νατρίου (Na<sup>+</sup>)

Η συγκέντρωση καλίου και νατρίου στους φυτικούς ιστούς των φυτών πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο της «Φασματοσκοπίας ατομικής εκπομπής (AES)» χρησιμοποιώντας φλογοφωτόμετρο Sherwood Flame Photometer 410 (Cambridge, UK) (εικ. 15). Η τεχνική αυτή ονομάζεται φλογοφωτομετρία και βασίζεται στη θερμική διέγερση των ατόμων και τη μέτρηση της εκπεμπόμενης, ακτινοβολίας κάθε ατόμου, κατά την αποδιέγερσή τους. Υπάγεται στις τεχνικές ατομικής εκπομπής (Atomic Emission Techniques). Αρχικά, το όργανο ρυθμίστηκε με διαλύματα γνωστής συγκέντρωσης (standards) K & Na 5 και 10 ppm, και μετέπειτα πραγματοποιήθηκαν οι απαιτούμενες αραιώσεις για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης των συγκεκριμένων στοιχείων.



**Εικόνα 15.** Φλογοφωτόμετρο Sherwood Flame Photometer 410 (Cambridge, UK)

### 2.7.4. Προσδιορισμός Φωσφόρου (P)

Ο προσδιορισμός του φωσφόρου σε όλα τα εκχυλίσματα έγινε χρωματομετρικά σύμφωνα με τη μέθοδο των Murphy & Riley (1962), με τη χρήση φασματοφωτόμετρου Biochrom Ltd Anthos Zenyth 200rt Microplate reader (Cambridge, UK) (εικ. 16.)

Τα αντιδραστήρια που χρησιμοποιήθηκαν για την εκτέλεση του πρωτοκόλλου ήταν:

1. Διάλυμα θειικού οξέος: 55.5 ml H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> σε 500 ml απεσταγμένο νερό υπό ανάδευση μέχρι πλήρους διαλύσεως του.
2. Διάλυμα μολυβδαινικού αμμωνίου: 4.8 gr μολυβδαινικού αμμωνίου σε 100 ml απεσταγμένο νερό υπό θέρμανση και ανάδευση μέχρι πλήρους διαλύσεως του.



**Εικόνα 16.** Φασματοφωτόμετρο Biochrom Ltd Anthos Zenyth 200rt Microplate reader

3. Διάλυμα αντιμονυλοτροφικού καλίου: 0.1097 gr αντιμονυλοτροφικού καλίου σε 100 ml απεσταγμένο νερό υπό θέρμανση και ανάδευση μέχρι πλήρους διαλύσεως του.

Έπειτα δημιουργήθηκε το τελικό διάλυμα (Murphy & Riley) με την ανάμιξη των διαλυμάτων 1, 2 & 3 και τη συμπλήρωση απεσταγμένου νερού έως το 1 L. Κατά την έναρξη της ανάλυσης παρασκευάστηκε το διάλυμα ασκορβικού οξέος για το οποίο χρησιμοποιήθηκαν 0.4 gr ανά 100 ml διαλύματος Murphy & Riley. Ακολούθως, παρασκευάστηκαν διαλύματα δείκτη νιτροφαινόλης (0.5 gr σε 60 ml απεσταγμένο νερό) και καυστικού νατρίου (10 gr NaOH σε 250 ml απεσταγμένο νερό). Τέλος, για την δημιουργία πρότυπης καμπύλης δημιουργήθηκε stock διάλυμα 0,4393 gr φωσφορικού μονοκαλίου ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) σε 1 L απεσταγμένο νερό (100 ppm  $\text{PO}_4^{3-}$ ) από το οποίο πάρθηκαν 10 ml και αραιώθηκαν σε φλάσκα με τελικό όγκο 100 ml (10 ppm  $\text{PO}_4^{3-}$ ). Για τη δημιουργία των standards (καμπύλη) σε 7 φλάσκες των 50ml προστέθηκαν 0, 0.25, 0.5, 1, 2, 3, 5 ml stock διαλύματος στη συνέχεια όπως και στα υπόλοιπα δείγματα προστέθηκαν 2 - 3 σταγόνες νιτροφαινόλη, λίγο απεσταγμένο και λίγες σταγόνες διαλύματος NaOH. Σε αυτό το στάδιο το διάλυμα απέκτησε έντονη κίτρινη απόχρωση. Μετέπειτα προστέθηκαν 10ml διαλύματος ασκορβικού οξέος - Murphy & Riley, και η ογκομετρική φιάλη συμπληρώθηκε με απεσταγμένο νερό έως τη χαραγή. Με το πέρας των 20 λεπτών τα δείγματα ανέπτυξαν σταδιακή μπλε απόχρωση. Τα ίδια βήματα ακολουθήθηκαν για τα δείγματα με τη διαφορά ότι τοποθετήθηκε αρχικά στην ογκομετρική φιάλη 1 ml εκχυλισμένου δείγματος αντί του stock διαλύματος. Τέλος, με το πέρας των 20', και έπειτα από καλή ανακίνηση, 0.3 ml από τα τελικά διαλύματα, τοποθετήθηκαν σε plate και πραγματοποιήθηκε η φωτομέτρηση σε 880 nm για 10 κύκλους των 60''. Η περιεκτικότητα P υπολογίζεται σε  $\text{mg kg}^{-1}$  ξηρής ουσίας.

### 2.7.5. Προσδιορισμός Βορίου ( $\text{BO}_3^-$ )

Για τον προσδιορισμό του βορίου ( $\text{BO}_3^-$ ) χρησιμοποιήθηκε φασματοφωτόμετρο Biochrom Ltd Anthos Zenyth 200rt Microplate reader (Cambridge, UK) (εικ. 16.). Τα απαραίτητα αντιδραστήρια για τις ανάγκες της ανάλυσης ήταν:

1. Αντιδραστήριο standards διαλυμάτων για την καμπύλη αναφοράς: 0,5716 gr σε 1 L ογκομετρική φιάλη, και συμπλήρωση με απεσταγμένο νερό (100 ppm).



2. Ρυθμιστικό διάλυμα (Buffer): Σε ποτήρι ζέσεως τοποθετήθηκαν 40 ml απεσταγμένου νερού και ακολουθήθηκαν αυστηρά τα παρακάτω βήματα:
  - Προσθήκη οξικού αμμωνίου  $\text{NH}_3$  σε δόσεις των 20 - 20 και 10 gr
  - Έπειτα από ανάδευση και πλήρους διαλύσεως, προστέθηκαν 3 gr EDTA και 40 ml νερού, ενώ συνεχίστηκε η ανάδευση.
  - Τέλος, προστέθηκε 25 gr οξικό οξύ (acetic acid glacial) σε δόσεις 10 -10 - 5 με τελική ανάδευση μέχρι να διαλυθούν.
3. Διάλυμα αζωμεθίνης: σε σωλήνα 15 ml τοποθετήθηκαν 2 ml απεσταγμένο νερό, 0,045gr Azomethine και 0,1 gr ασκορβικό οξύ. Αμέσως μετά συμπληρώθηκε με απεσταγμένο νερό μέχρι τα 10ml (συνολικός όγκος) και αναδεύτηκε με τη χρήση vortex.

Για τη δημιουργία της καμπύλης αναφοράς, από το 1<sup>ο</sup> διάλυμα πάρθηκαν η ποσότητες 0, 0.1, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1, 1.5, 2, τοποθετήθηκαν σε αντίστοιχο αριθμό φιαλών 100 ml και συμπληρώθηκαν με απεσταγμένο νερό μέχρι τον τελικό όγκο. Για τη συμπλήρωση του plate ακολούθησαν τα παρακάτω βήματα:

- a. 0.05 ml δείγματος ή standard (για την καμπύλη)
- b. 0.1 ml από το ρυθμιστικό διάλυμα (buffer)
- c. 0.1 ml διάλυμα αζωμεθίνης

Το plate αφέθηκε για 40' προτού τοποθετηθεί στο φασματοφωτόμετρο σε μήκος κύματος 420 nm για 10 κύκλους των 60''.

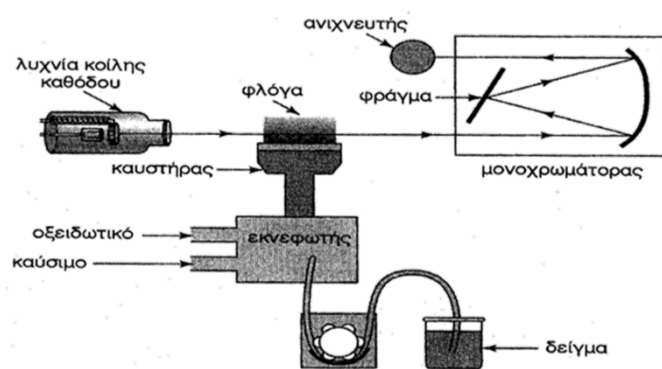
#### 2.7.6. Προσδιορισμός $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+}$ , $\text{Fe}$ , $\text{Mn}^{2+}$ , $\text{Zn}^{2+}$ , $\text{Cu}^{2+}$

Η συγκέντρωση των μακροστοιχείων και ιχνοστοιχείων μετρήθηκε με τη χρήση φασματοφωτόμετρου ατομικής απορρόφησης AA – 7000 (Kyoto, Japan) (εικ. 17) η οποία βασίζεται στην αρχή της Φασματοσκοπίας Ατομικής Απορρόφησης (AAS) κατά την οποία μετράται η απορρόφηση ακτινοβολίας ορισμένου μήκους κύματος από τα άτομα των στοιχείων του δείγματος. Η διαδικασία που ακολουθείται αναφέρεται και παρουσιάζεται στο σχήμα 1.



**Εικόνα 17.** Φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης AA -

- Το δείγμα απορροφάται στον εκνεφωτή
- Τα σταγονίδια εισέρχονται στην φλόγα
- Τα άτομα που σχηματίζονται στην φλόγα, διαπερνούν την οπτική δέσμη ακτινοβολίας και διεγείρονται
- Η απορρόφηση καταγράφεται με τη βοήθεια μονοχρωμάτορα και ανιχνευτή



**Σχήμα 1.** Διαδικασία λήψης μέτρησης στοιχείου κατά τη Φασματομετρία Ατομικής Απορρόφησης

Ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης των εκάστοτε στοιχείων μακροστοιχείων ή ιχνοστοιχείων, πραγματοποιείται με τη μέτρηση ακτινοβολίας που απορροφήθηκε σύμφωνα με το νόμο Lambert-Beer, με την παρακάτω εξίσωση (1).

**Εξίσωση 1.** Προσδιορισμός συγκέντρωσης στοιχείων σύμφωνα με το νόμο Lambert-Beer.

$$A = - \log_{10} (I_0/I) = K \times L \times C$$

όπου:

**I<sub>0</sub>** η ένταση της αρχικής ακτινοβολίας (μετράται στην έξοδο της ειδικής λάμπας),

**I** η ένταση της τελικής ακτινοβολίας (μετράται στον φωτοπολλαπλασιαστή),

**K** ο συντελεστής απορρόφησης,

**L** το μήκος της πορείας διέλευσης της ακτίνας του φωτός από τον ατομοποιητή,

**C** η συγκέντρωση του υπό ανάλυση μετάλλου.

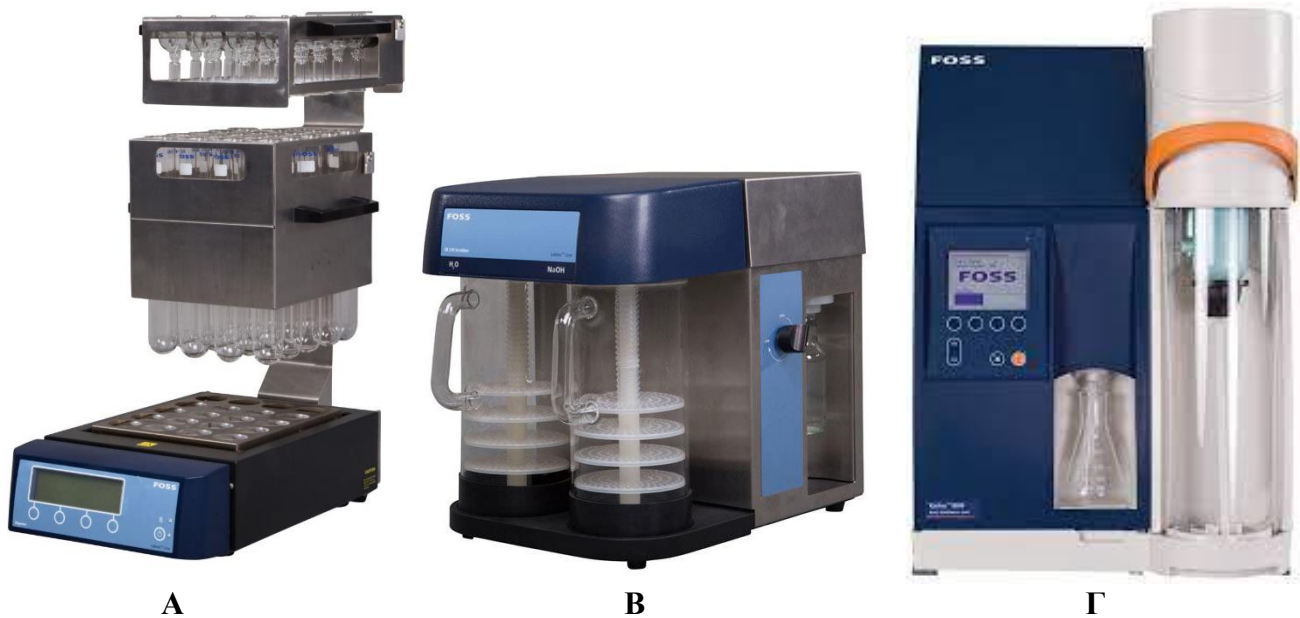
Για την ορθή μέτρηση των αναφερθέντων στοιχείων έγιναν οι κατάλληλες αραιώσεις σε ορισμένα στοιχεία όπως στο Ca και στο Mg, ενώ για τη μέτρηση των ιχνοστοιχείων δεν χρειάστηκε αραιώση του δείγματος.

### 2.7.7. Προσδιορισμός Ολικού Αζώτου (NH<sup>4+</sup>, NH<sub>3</sub>)

Ο προσδιορισμός του ολικού αζώτου (Total Kjeldahl Nitrogen) (άθροισμα οργανικά δεσμευμένου και αμμωνιακού αζώτου) υλοποιήθηκε σύμφωνα με τη διαδικασία της υγρής πέψης (wet digestion) και συγκεκριμένα με την έμμεση μέθοδο Kjeldahl η οποία αναπτύχθηκε το 1883 από το Δανό χημικό John Kjeldahl. Η μέθοδος αυτή βασίζεται στη μετατροπή του κάθε μορφής αζώτου εκτός της νιτρικής (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) που υπάρχει σε ένα δείγμα,

σε αμμώνιο  $\text{NH}_4^+$  μέσω της θερμικής κατεργασίας (πέψη) πυκνού θειικού οξέος  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Η  $\text{NH}_3$  η οποία προέρχεται μέσω της απόσταξης με μικρή ποσότητα υδροξειδίου του νατρίου ( $\text{NaOH}$ ) (αλκαλοποίηση) καθώς τα ιόντα αμμωνίου μετατρέπονται σε αμμωνία, η οποία στη συνέχεια προσδιορίζεται με ογκομέτρηση. Για τη διαδικασία της ανάλυσης χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω εργαστηριακά όργανα:

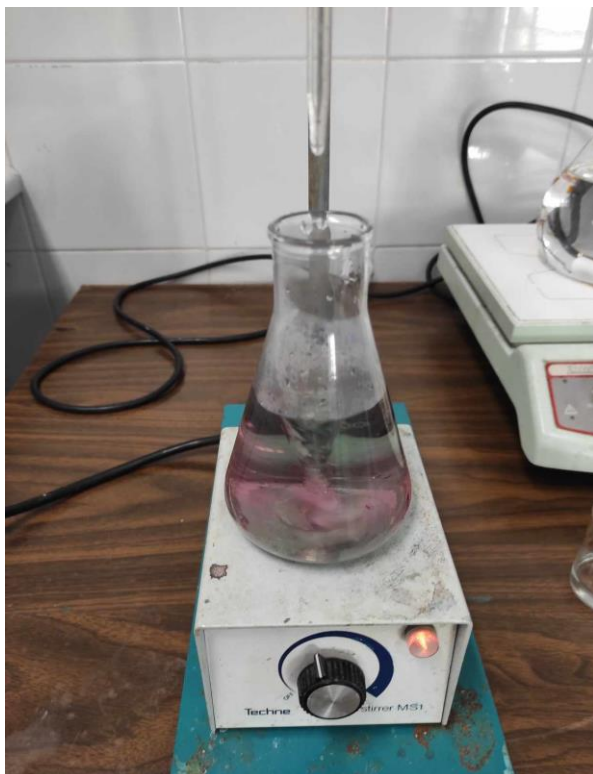
- Συσκευή χώνευσης Labtec DT 220 (FOSS A/S Hillerod, Denmark) αποτελούμενη από ένα μπλοκ χώνευσης και μονάδα απαγωγής σωλήνων 20 θέσεων (εικ. 18 Α)
- Πλυντηρίδα (Scrubber) καυσαερίων Labtec SR 210 (FOSS A/S Hillerod, Denmark) (εικ. 18 Β).
- Μονάδα απόσταξης αμμωνίας με υδρατμούς Tecator Kjeltec 8200 (FOSS A/S Hillerod, Denmark) με λειτουργία αυτόματης ανάλυσης (εικ.18 Γ).



**Εικόνα 18.** Όργανα για τον προσδιορισμό ολικού αζώτου. Α. Labtec DT 220 Β. Labtec SR 210 Γ. Tecator Kjeltec 8200.

Στην εικόνα 19 παρουσιάζεται η διαδικασία μετρήσεων στις εργαστηριακές εγκαταστάσεις του εργαστηρίου Κηπευτικών καλλιεργειών.





Εικόνα 19. Διαδικασία απόσταξης και τιτλοδότησης για τον προσδιορισμό ολικού αζώτου σύμφωνα με τη μέθοδο Kjeldahl.

Τα βήματα που ακολουθήθηκαν είναι τα εξής:

Στους σωλήνες πέψης τοποθετήθηκε 0.25 gr δείγματος, 2 δισκία Kjeldahl (καταλύτης) (99.9%  $K_2SO_4$  και 0.1% Se) και 20 ml πυκνού θεικού οξέος  $H_2SO_4$ . Από τους 20 σωλήνες ο ένας αποτελούνταν μόνο από 2 δισκία και 20 ml  $H_2SO_4$  (τυφλό) ενώ ο άλλος από 2 δισκία, 20 ml  $H_2SO_4$  και 0.1 gr γλυκίνης. Προτού οι σωλήνες τοποθετηθούν στους υποδοχείς πραγματοποιήθηκε προσεκτική ανάδευση. Το μπλοκ χώνευσης είχε προθερμανθεί στους 440 °C και η διαδικασία χώνευσης διήρκησε 90'. Με το πέρας της μιας ώρας οι σωλήνες τοποθετήθηκαν εκτός εστίας θέρμανσης και αφήθηκαν να ψυχθούν για ~ 60'. Έπειτα ακολούθησε η διαδικασία της απόσταξης και της τιτλοδότησης.

Για τη διαδικασία της απόσταξης χρησιμοποιήθηκε η μονάδα Tecator Kjeltac 8200 η οποία εφοδιαζόταν αυτόματα με NaOH (40% w/v) και απεσταγμένο νερό από συνδεδεμένα δοχεία. Η διαδικασία της απόσταξης γινόταν αυτόματα, ενώ το απόσταγμα τοποθετούνταν σε κωνική φιάλη για να πραγματοποιηθεί η τιτλοδότηση.

Τέλος η τιτλοδότηση υλοποιήθηκε με την προσθήκη υδροχλωρικού οξέος (HCl) 0.1 M, αρχικά στο τυφλό δείγμα με την καταγραφή των ml οξέος που χρειάστηκε μέχρι τον αποχρωματισμό του δείγματος (πράσινο σε ερυθρό) και ακολούθως με τα υπόλοιπα δείγματα.

Για τον τελικό προσδιορισμό του ολικού αζώτου χρησιμοποιήθηκε η παρακάτω σχέση.

Εξίσωση 2. Προσδιορισμός ποσοστού ολικού αζώτου ( $NH_4^+$ ,  $NH_3$ )

$$\% \text{ Αζώτου} = [(ml_{\text{ sample}} - ml_{\text{ blank}}) \times N \times 14.007 \times 100] / mg_{\text{ sample}}$$

όπου:

N: κανονικότητα οξέος τιτλοδότησης

$ml_{\text{ sample}} - ml_{\text{ blank}}$ : όγκος οξέος που χρειάστηκε για την τιτλοδότηση

### 2.7.8. Προσδιορισμός Νιτρικών ( $\text{NO}_3^-$ )

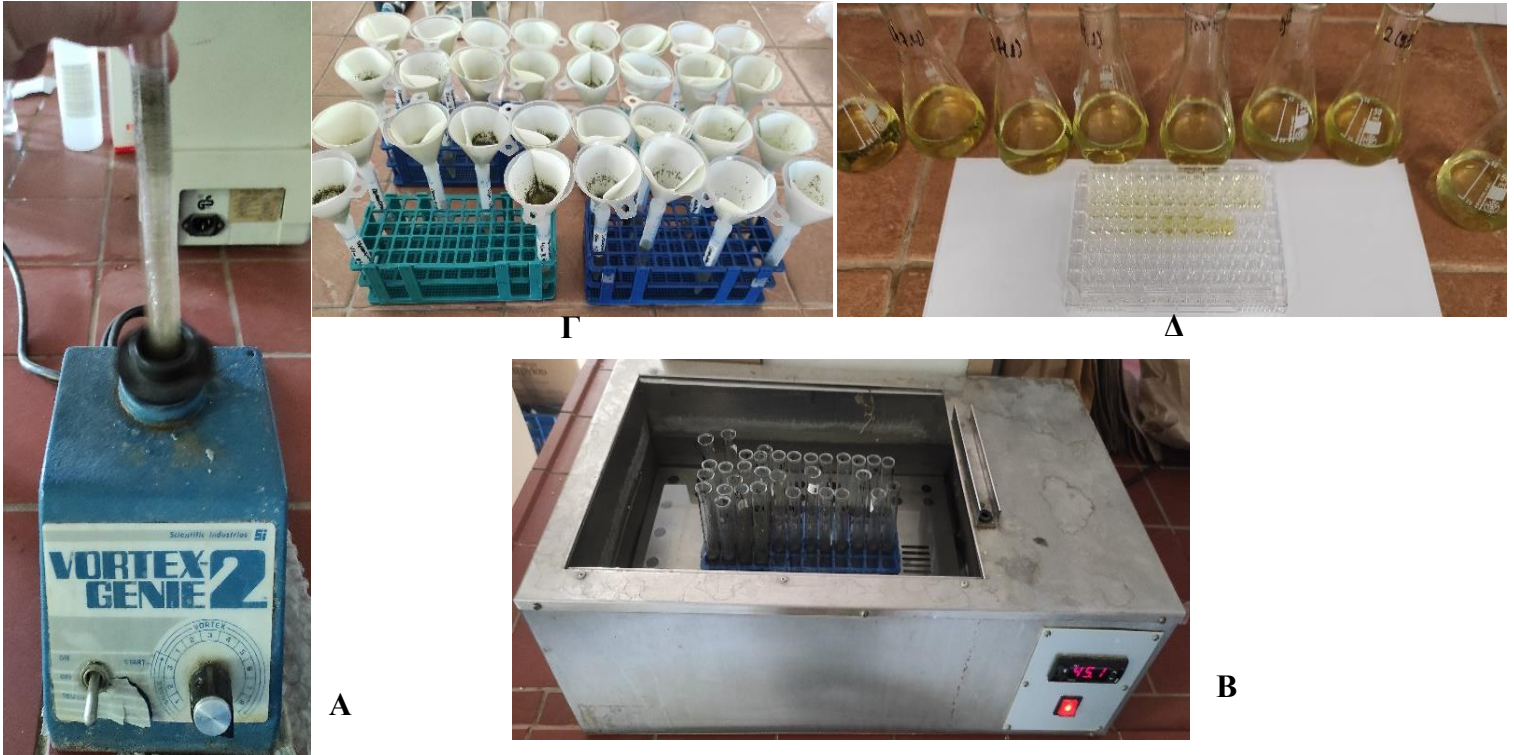
Για τον προσδιορισμό των νιτρικών στους φυτικούς ιστούς Γλιστρίδας χρησιμοποιήθηκε φασματοφωτόμετρο Biochrom Ltd Anthos Zenyth 200rt Microplate reader (Cambridge, UK) (εικ. 16). Τα αντιδραστήρια που παρασκευάστηκαν παρουσιάζονται παρακάτω:

1. Για τα standards διαλύματα: 0.3609 gr Νιτρικό κάλιο ( $\text{KNO}_3$ ) σε φλάσκα 1L και συμπλήρωση μέχρι τον τελικό όγκο (50 ppm), από το οποίο κάνω περαιτέρω αραίωση 10 ml σε 100 ml ογκομετρική φιάλη (5 ppm).
2. Διάλυμα καυστικού νατρίου ( $\text{NaOH}$ ): 80gr  $\text{NaOH}$  σε 1L κωνική φιάλη συμπλήρωση με απεσταγμένο νερό έως 1L.
3. Διάλυμα οξέων: 60ml  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , σε 400 φιάλη έπειτα, 5 gr σαλικυλικού οξέος ( $\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_3$ ) και τέλος συμπληρώθηκε  $\text{H}_2\text{SO}_4$  έως τα 100 ml.

Στη συνέχεια:

1. Ζυγίστηκε 0,1gr από κάθε δείγμα αποξηραμένου φυτικού ιστού και το τοποθετήθηκε σε δοκιμαστικούς σωλήνες των 15ml. Συμπληρώθηκε με απεσταγμένο νερό έως τα 10ml.
2. Ανάδευση το κάθε δοκιμαστικού σωλήνα με τη χρήση Vortex Genne 2 (εικ. 20 Α).
3. Οι δοκιμαστικοί σωλήνες τοποθετήθηκαν σε υδατόλουτρο 45 °C για 1 ώρα (εικ. 20 Β).
4. Έγινε διήθηση των δειγμάτων και τοποθετήθηκαν σε δοκιμαστικούς σωλήνες 15ml (εικ. 20 Γ).
5. Για την καμπύλη αναφοράς τοποθετήθηκαν οι ποσότητες 0.5, 1, 1.5, 2, 3, 4, 6, 8, 10 σε 15 ml δοκιμαστικούς σωλήνες και συμπληρώθηκαν με απεσταγμένο νερό.
6. Τόσο από τα διαλύματα των δειγμάτων, όσο και από τα standards τοποθετήθηκαν σε φλάσκες των 25ml, 0,2ml δείγματος και standard αντίστοιχα και 0,8ml διαλύματος οξέων (3ο αντιδραστήριο).
7. Ακολούθησε ανάδευση των δειγμάτων χρησιμοποιώντας UNITWIST 300 Orbital shaker (Labortechnik, Wasserburg, Germany) για 20'.
8. Προσθήκη 19ml διαλύματος  $\text{NaOH}$  (2ο αντιδραστήριο).

9. Ανάδευση με UNITWIST 300 Orbital shaker (Labortechnick, Wasserburg, Germany) για 20'.
10. Προσθήκη 0.25 ml δείγματος και standards σε plate και τοποθετήθηκε σε φασματοφωτόμετρο σε 410 nm για 10 κύκλους 60'' (εικ. 20 Δ).



**Εικόνα 20.** Διαδικασία προσδιορισμού  $\text{NO}_3^-$  φυτικών ιστών, Α: ανάδευση (Vortex), Β: υδατόλουτρο, Γ: διήθηση, Δ: Τοποθέτηση σε plates

Το αποτέλεσμα της ανάλυσης εκφράζεται σε  $\text{mg kg}^{-1}$  ξηρού βάρους. Καθώς η συγκέντρωση των νιτρικών μας ενδιαφέρει να εκφραστεί σε σχέση με το νωπό τους βάρος χρησιμοποιήθηκε η παρακάτω σχέση:

**Εξίσωση 3.** Συγκέντρωση  $\text{NO}_3^-$  σε νωπό βάρος φυτικού ιστού Γλιστρίδας

$$\text{Ξ.Β. \%} = \text{Ξ.Β.} / \text{Ν.Β.} \times 100$$

$$\text{NO}_3^- \text{ Ν.Β.} = \text{NO}_3^- \text{ Ξ.Β.} \times \text{Ξ.Β. \%}$$

όπου:

Ξ.Β. %: Ποσοστό ξηρής ουσίας (ξηρό βάρος προς νωπό)

Ξ.Β.: ξηρό βάρος

Ν.Β.: νωπό βάρος

$\text{NO}_3^-$  Ν.Β.: νιτρικά ξηρού φυτικού ιστού

$\text{NO}_3^-$  Ξ.Β.: νιτρικά νωπού φυτικού ιστού

### 2.7.9. Προσδιορισμός Σεληνίου (Se)

Για τον προσδιορισμό του Se στο ξηρό φυτικό ιστό, τα δείγματα στάλθηκαν σε συνεργαζόμενο εργαστήριο.

### 2.8. Στατιστική ανάλυση

Η στατιστική ανάλυση διεξήχθη χρησιμοποιώντας το πακέτο λογισμικού STATISTICA, έκδοση 12.0 για Windows (StatSoft Inc., Tulsa, OK, ΗΠΑ). Τα δεδομένα υποβλήθηκαν σε έλεγχο One - Way ANOVA και οι διαφορές μεταξύ των μέσων τιμών για κάθε μεταχείριση προσδιορίστηκαν χρησιμοποιώντας ελέγχους πολλαπλών συγκρίσεων και συγκεκριμένα τη μέθοδο Duncan's Multiple-Range Test, με τιμή  $P < 0,05$  που θεωρείται στατιστικά σημαντική. Τα δεδομένα παρουσιάζονται σε γραφήματα ως μέσος όρος  $\pm$  SE τριών επαναλήψεων. Για τη δημιουργία των γραφημάτων χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα GraphPad Prism 8.0.1.

## 3. Αποτελέσματα

### 3.1. Παραγωγή και ανάπτυξη

Στον παρακάτω πίνακα (πιν. 3) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της συνολικής παραγωγής αλλά και της ανάπτυξης φυτών Γλιστρίδας καλλιεργούμενα σε ανοιχτό υδροπονικό σύστημα, λαμβάνοντας 4 διαφορετικές δόσεις σεληνίου. Συγκεκριμένα, η χορήγηση σεληνίου στο θρεπτικό διάλυμα φαίνεται να επηρέασε το νωπό βάρος των φυτών αυξάνοντας το κατά 16% συγκριτικά με εκείνα που δεν έλαβαν καθόλου  $\text{SeO}_2$ . Παρ' όλα αυτά δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των διαφορετικών συγκεντρώσεων Se (1, 2, 4  $\mu\text{mol L}^{-1}$ ). Τόσο για τη φυλλική επιφάνεια όσο και για τον αριθμό των φύλλων της καλλιεργούμενης γλιστρίδας, ο στατιστικός έλεγχος παρουσίασε πανομοιότυπα αποτελέσματα. Ειδικότερα, παρατηρείται μία σημαντική αύξηση και των δύο παραμέτρων με τη χορήγηση Se συγκριτικά με την περίπτωση απουσίας Se από το θρεπτικό διάλυμα, με τα φυτά που αρδεύτηκαν με 2  $\mu\text{mol L}^{-1}$   $\text{SeO}_2$  να



παρουσιάζουν μια αυξητική τάση των δύο παραμέτρων και όχι στατιστικά σημαντική διαφορά με τα 0  $\mu\text{mol L}^{-1}$ . Τέλος, το ποσοστό ξηρής ουσίας μειώθηκε σημαντικά κατά τη χορήγηση  $\text{SeO}_2$  ενώ δεν παρουσίασε στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των διαφορετικών δόσεων.

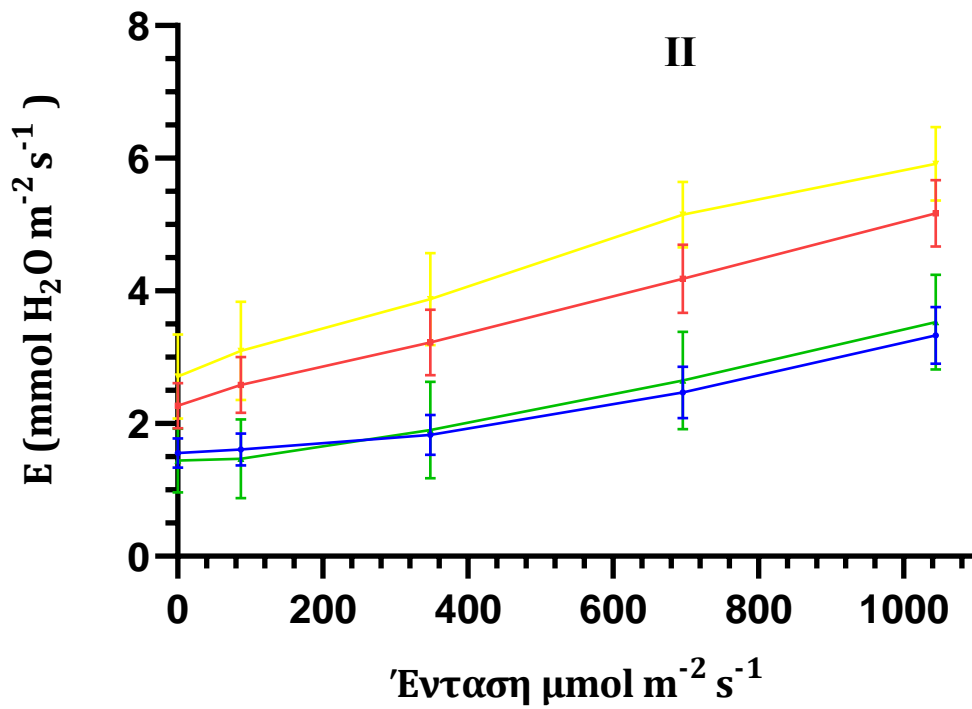
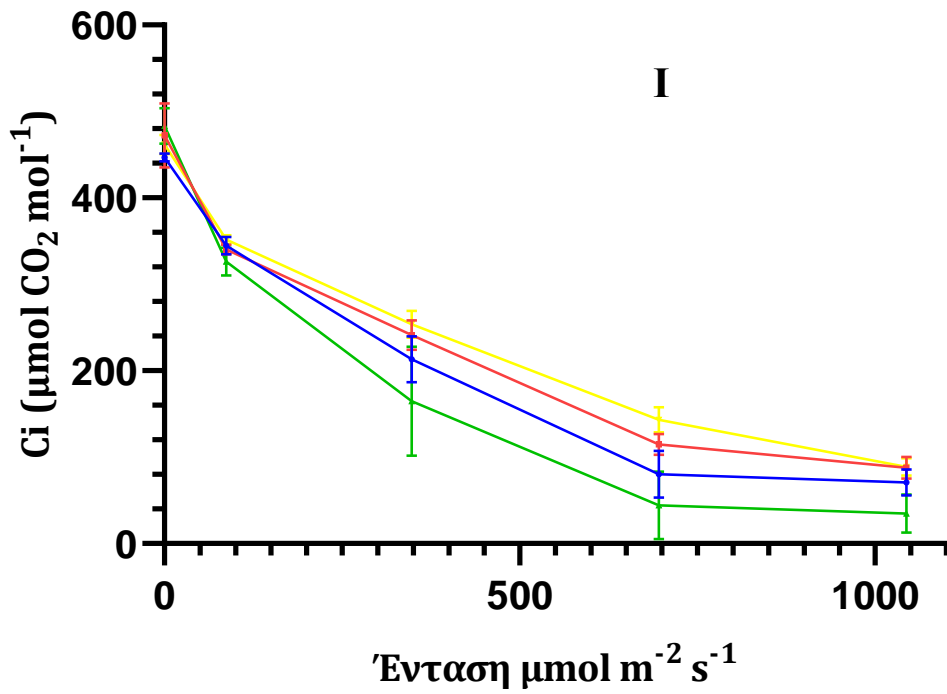
Μεταχείριση ( $\text{SeO}_2 \mu\text{mol L}^{-1}$ )	NB (g)	Φυλλική Επιφάνεια ( $\text{cm}^2$ )	Αριθμός φύλλων	Ποσοστό Ξηρής Ουσίας (%)
0	96.74 b	806.46 b	267.25 b	4.68 a
1	118.95 a	1067.05 a	356.25 a	4.48 b
2	112.29 a	948.68 ab	316.00 ab	4.45 b
4	112.61 a	1024.31 a	382.88 a	4.41 b
<b>Στατιστική Σημαντικότητα</b>				
<b>Συγκέντρωση <math>\text{SeO}_2</math></b>	**	*	*	*

**Πίνακας 3.** Επίδραση διαφορετικών δόσεων  $\text{SeO}_2$  στο νωπό βάρος, αριθμό φύλλων, φυλλική επιφάνεια και ποσοστό ξηρής ουσίας, άγριου φυλλώδους λαχανικού *Portulaca oleracea*. Οι μέσες τιμές με διαφορετικό γράμμα παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές σύμφωνα με το μοντέλο ελέγχου πολλαπλών συγκρίσεων Duncan. Τα σύμβολα \*, \*\*, \*\*\*, υποδεικνύουν  $P < 0.05$ ,  $0.01$ ,  $0.001$  αντίστοιχα, ενώ το ΜΣ αντιπροσωπεύει Μη Σημαντική τιμή.

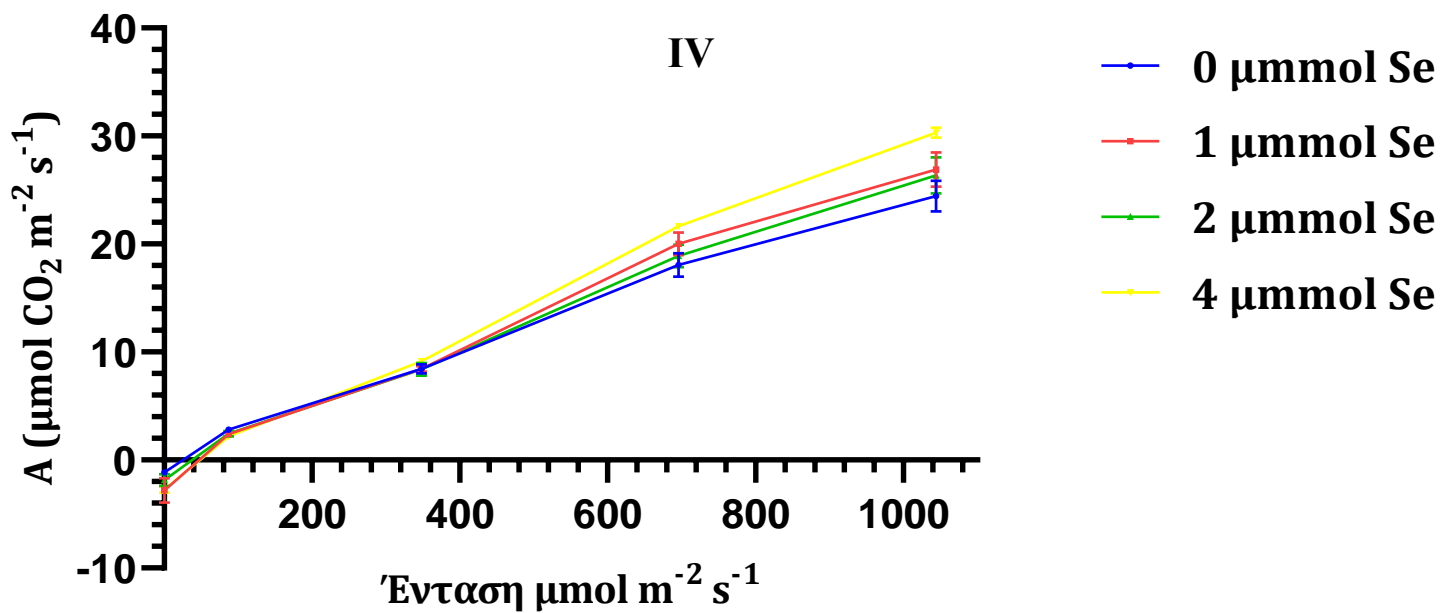
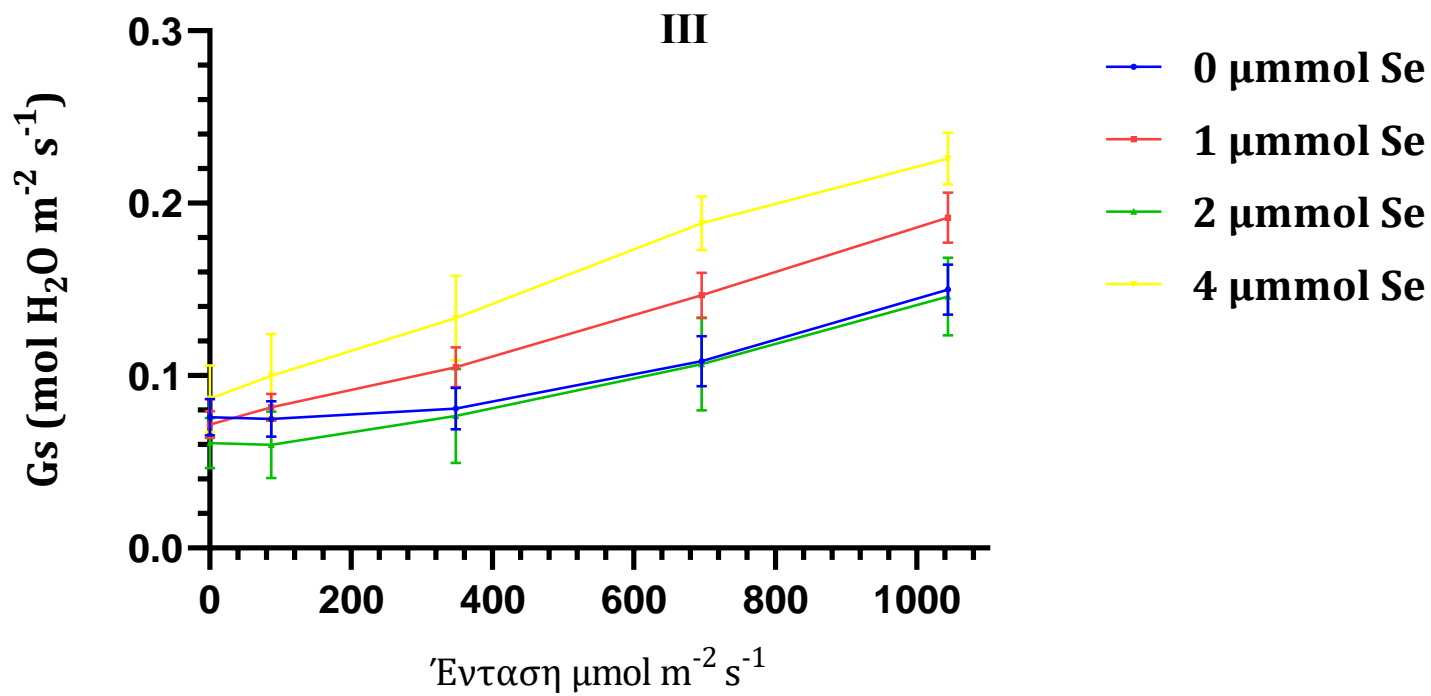
### 3.2. Ανταλλαγή αερίων

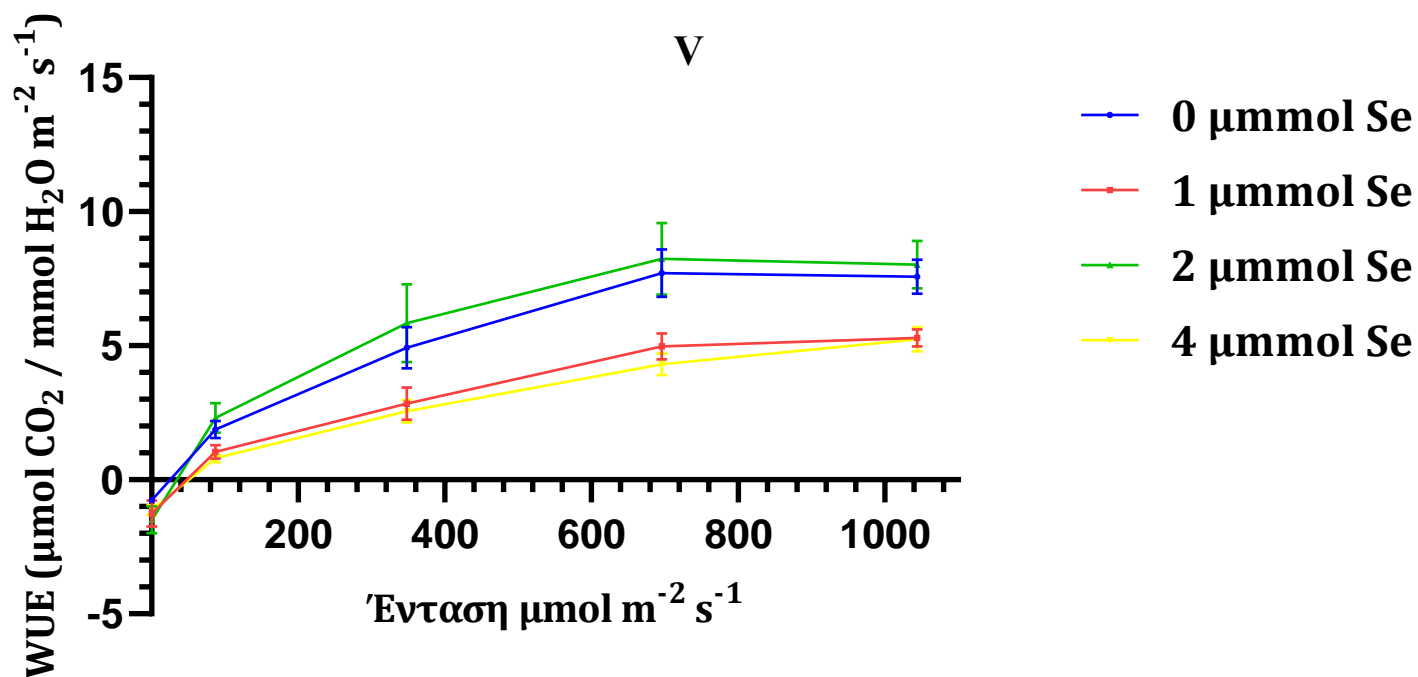
Για την παρουσίαση των αποτελεσμάτων των εξεταζόμενων παραμέτρων ανταλλαγής αερίων των καλλιεργούμενων φυτών, χρησιμοποιήθηκαν τα πέντε παρακάτω γραφήματα που απαρτίζουν συνολικά το Γράφημα 1. Όπως ήδη αναφέρθηκε, οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε 5 εντάσεις φωτός: 0, 87 348, 696 και 1044  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Αρχικά το γράφημα υποδεικνύει **I** πως με την αύξηση της έντασης του φωτός μειώνεται η ενδοκυτταρική συγκέντρωση  $\text{CO}_2$  για όλες τις μεταχειρίσεις, χωρίς να υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων. Ο ρυθμός διαπνοής (E) στο γράφημα **II** φαίνεται να αυξάνεται με την αύξηση της έντασης του φωτός, ενώ μόνο στις

εντάσεις 696 και 1044  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων. Σε ένταση 696  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ο ρυθμός διαπνοής των φυτών ήταν στατιστικώς σημαντικά μεγαλύτερος στη μεταχείριση με 4  $\mu\text{mol L}^{-1}$  Se, ενώ στη μεταχείριση με μεταχείριση με 1  $\mu\text{mol L}^{-1}$  Se ο ρυθμός διαπνοής παρουσίασε μια μικρή μείωση σε σχέση με τα 4  $\mu\text{mol L}^{-1}$  Se. Οι υπόλοιπες δύο μεταχειρίσεις δεν ήταν στατιστικά σημαντικές μεταξύ τους ενώ σημείωσαν τις χαμηλότερες τιμές. Στη συνέχεια, σε ένταση 1044  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  η υψηλότερη τιμή σχηματίστηκε κατά τη μεταχείριση με 4  $\mu\text{mol L}^{-1}$ , με την αμέσως επόμενη να είναι αυτή της μεταχείρισης με 1  $\mu\text{mol L}^{-1}$  και να ακολουθεί η τιμή με 2  $\mu\text{mol L}^{-1}$  και 0  $\mu\text{mol L}^{-1}$ . Η στοματική αγωγιμότητα των φυτών (Gs) (γράφημα III) παρουσίασε στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των διαφορετικών μεταχειρίσεων κατά τις μετρήσεις σε ένταση 696 και 1044  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Στην περίπτωση των 4  $\mu\text{mol L}^{-1}$  Se σε ένταση 696  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  σχηματίστηκε η υψηλότερη τιμή, με τις τιμές να παρουσιάζουν μια μειωτική τάση κατά τη μεταχείριση με 1  $\mu\text{mol L}^{-1}$  Se, ενώ στην περίπτωση των 0 και 2  $\mu\text{mol L}^{-1}$  Se οι τιμές ήταν σημαντικά χαμηλότερες. Το ίδιο μοτίβο ακολουθήθηκε και σε ένταση 1044  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Όσον αφορά τον καθαρό ρυθμό φωτοσύνθεσης (A), το γράφημα IV υποδεικνύει πως αυξάνεται συνεχώς με την αύξηση της έντασης του φωτός ενώ διαφορές μεταξύ των τεσσάρων μεταχειρίσεων δεν φαίνεται να είναι στατιστικά σημαντικές. Τέλος, η αποδοτικότητα χρήσης νερού (WUE) η οποία παρουσιάζεται στο γράφημα V, υπολογίστηκε ως η αναλογία μεταξύ καθαρού ρυθμού φωτοσύνθεσης (A) και του ρυθμού διαπνοής (E), φαίνεται να αυξάνεται με την αύξηση της έντασης του φωτός ενώ διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων εντοπίστηκαν στις εντάσεις 87, 696 και 1044  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Συγκεκριμένα, στην πρώτη περίπτωση, τα φυτά που υποβλήθηκαν στη μεταχείριση με 2  $\mu\text{mol L}^{-1}$  Se είχαν τον υψηλότερο δείκτη στιγμιαίας αποδοτικότητας χρήσης νερού με την τιμή που σχηματίζεται στην περίπτωση των 0  $\mu\text{mol L}^{-1}$  να εμφανίζει μια μειωτική τάση συγκριτικά με αυτή της μεταχείρισης 4  $\mu\text{mol L}^{-1}$  Se. Οι χαμηλότερες τιμές αποδοτικότητας χρήσης νερού σχηματίστηκαν για τα φυτά που δέχθηκαν 1 και 4  $\mu\text{mol L}^{-1}$  Se. Σε ένταση 696  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  οι δοσολογίες 0 και 2  $\mu\text{mol L}^{-1}$  Se (χωρίς να παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές μεταξύ τους) σχημάτισαν υψηλότερες τιμές στον δείκτη WUE σε σχέση με τις υπόλοιπες δύο δόσεις (1 και 4  $\mu\text{mol L}^{-1}$ ). Τα ίδια αποτελέσματα παρουσιάστηκαν και την περίπτωση της υψηλότερης έντασης φωτός 1044  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .









**Γράφημα 1.** Επίδραση διαφορετικών δόσεων SeO<sub>2</sub> στην (I) ενδοκυτταρική συγκέντρωση CO<sub>2</sub> (C<sub>i</sub>), στο (II) ρυθμό διαπνοής (E), στη (III) στοματική αγωγιμότητα (G<sub>s</sub>), στον (IV) καθαρό ρυθμό φωτοσύνθεσης (A) και στην (V) αποδοτικότητα χρήσης νερού (WUE) άγριου φυλλώδους λαχανικού *Portulaca oleracea*. Οι ράβδοι υποδεικνύουν τα τυπικά σφάλματα των μέσων.

### 3.3. Συγκέντρωση μακροστοιχείων

Σχετικά με τη συγκέντρωση των εξεταζόμενων μακροστοιχείων (N, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, P) στο εδώδιμο τμήμα φυτών Γλιστρίδας, δεν φαίνεται να επηρεάστηκε σε σημαντικό βαθμό από τις διαφορετικές συγκεντρώσεις σεληνίου στο θρεπτικό διάλυμα το οποίο τροφοδοτούσε την καλλιέργεια καθ' όλη τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. (Πιν. 4).

Μεταχείριση (SeO <sub>2</sub> μmol L <sup>-1</sup> )	Ολικό N (%)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/kg NB)	K <sup>+</sup> (mg/g)	Na <sup>+</sup> (mg/g)	Ca <sup>2+</sup> (mg/g)	Mg <sup>2+</sup> (mg/g)	P (mg/g)
0	4.82	1205.58	49.00	5.98	21.35	9.35	6.93
1	5.12	1363.72	47.75	6.90	23.11	9.01	6.45
2	5.06	1482.10	50.00	7.00	20.58	8.46	6.77
4	4.80	1483.01	49.00	6.40	24.19	8.91	6.85
<b>Στατιστική Σημαντικότητα</b>							
<b>Συγκέντρωση SeO<sub>2</sub></b>	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ

**Πίνακας 4.** Επίδραση διαφορετικών δόσεων SeO<sub>2</sub> στη συγκέντρωση μακροστοιχείων στο φυτικό ιστό άγριου φυλλώδους λαχανικού *Portulaca oleracea*. Οι μέσες τιμές με διαφορετικό γράμμα παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές σύμφωνα με το μοντέλο ελέγχου πολλαπλών συγκρίσεων Duncan. Τα σύμβολα \*, \*\*, \*\*\*, υποδεικνύουν P<0.05, 0.01, 0.001 αντίστοιχα, ενώ το ΜΣ αντιπροσωπεύει Μη Σημαντική τιμή.

### 3.4. Συγκέντρωση μικροστοιχείων

Από τις εργαστηριακές αναλύσεις για τον προσδιορισμό συγκέντρωσης ιχνοστοιχείων στα στελέχη και τα φύλλα Γλιστρίδας προέκυψε, όπως υποδεικνύεται στον πίνακα 5, πως η συγκέντρωση βορίου (B), σιδήρου (Fe<sup>2+</sup>) αλλά και μαγγανίου (Mn<sup>2+</sup>), δεν επηρεάστηκαν από τις διαφορετικές μεταχειρίσεις με Se. Παρ' όλα αυτά, τόσο ο ψευδάργυρος (Zn<sup>2+</sup>) όσο και ο χαλκός (Cu<sup>2+</sup>) φαίνεται πως παρουσίασαν σημαντικές διαφορές κατά τη μεταχείριση των φυτών με Se. Πιο συγκεκριμένα, κατά τη μεταχείριση με 2 και 4 μmol L<sup>-1</sup> η συγκέντρωση ψευδαργύρου αυξήθηκε σημαντικά συγκριτικά με τις υπόλοιπες δύο δόσεις Se (0 και 1 μmol L<sup>-1</sup>) οι τιμές μεταξύ αυτών να είναι στατιστικά μη σημαντικές. Ενώ η

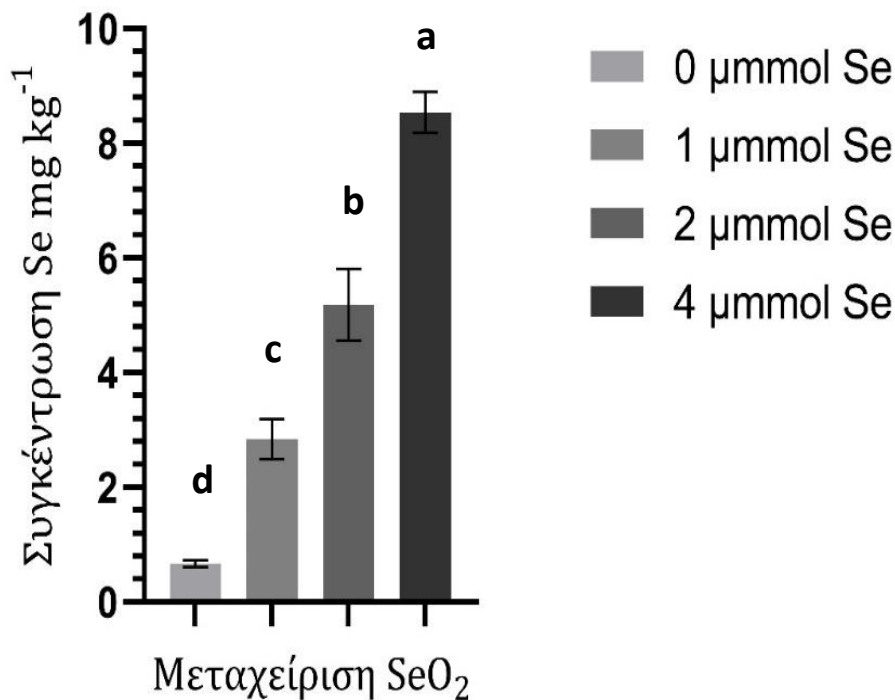
συγκέντρωση χαλκού στον φυτικό ιστό των φυτών αυξήθηκε σημαντικά στην περίπτωση των 2 και 4  $\mu\text{mol L}^{-1}$  Se, με την υψηλότερη τιμή να επιτυγχάνεται στα φυτά που αρδεύτηκαν με θρεπτικό διάλυμα με 4  $\mu\text{mol L}^{-1}$  Se.

Μεταχείριση ( $\text{SeO}_2 \mu\text{mol L}^{-1}$ )	B ( $\mu\text{g/g}$ )	Fe <sup>2+</sup> ( $\mu\text{g/g}$ )	Mn <sup>2+</sup> ( $\mu\text{g/g}$ )	Zn <sup>2+</sup> ( $\mu\text{g/g}$ )	Cu <sup>2+</sup> ( $\mu\text{g/g}$ )
0	37.89	14.56	42.12	64.04 b	6.71 c
1	41.51	17.26	44.67	76.79 b	7.68 c
2	38.18	17.65	47.39	82.03 a	13.04 a
4	47.70	19.51	42.56	64.48 a	11.17 b
<b>Στατιστική Σημαντικότητα</b>					
Συγκέντρωση $\text{SeO}_2$	MΣ	MΣ	MΣ	**	***

**Πίνακας 5.** Επίδραση διαφορετικών δόσεων  $\text{SeO}_2$  στη συγκέντρωση μικροστοιχείων στο φυτικό ιστό, άγριου φυλλώδους λαχανικού *Portulaca oleracea*. Οι μέσες τιμές με διαφορετικό γράμμα παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές σύμφωνα με το μοντέλο ελέγχου πολλαπλών συγκρίσεων Duncan. Τα σύμβολα \*, \*\*, \*\*\*, υποδεικνύουν  $P < 0.05, 0.01, 0.001$  αντίστοιχα, ενώ το MΣ αντιπροσωπεύει Μη Σημαντική τιμή.

### 3.5. Συγκέντρωση Σεληνίου

Η μεταβολή της συγκέντρωσης σεληνίου στο φυτικό ιστό φυτών Γλιστρίδας παρουσιάζεται στο γράφημα 6. Στην παρούσα περίπτωση, κάθε μεταχείριση εμφάνισε στατιστικά σημαντικές διαφορές. Συγκεκριμένα με την αύξηση της συγκέντρωσης σεληνίου στο θρεπτικό διάλυμα αυξήθηκε και η απορρόφηση αυτού από τα καλλιεργούμενα φυτά Γλιστρίδας. Η υψηλότερη τιμή σχηματίστηκε στα φυτά που δέχθηκαν σελήνιο συγκέντρωσης 4  $\mu\text{mol L}^{-1}$  με την ποσοστιαία μεταβολή μεταξύ της υψηλότερης και της μικρότερης δόσης Se (0 και 4  $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) να ανέρχεται στα 92%.



**Γράφημα 6.** Επίδραση διαφορετικών δόσεων SeO<sub>2</sub> στη συγκέντρωση Σεληνίου στο φυτικό ιστό, άγριου φυλλώδους λαχανικού *Portulaca oleracea*. Οι ράβδοι υποδεικνύουν τα τυπικά σφάλματα των μέσων. Οι μέσες τιμές με διαφορετικό γράμμα παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές σύμφωνα με το μοντέλο ελέγχου πολλαπλών συγκρίσεων Duncan.

#### 4. Συζήτηση

Η υποθρεψία είναι μια κατάσταση αδυναμίας του ανθρώπινου οργανισμού να προσλάβει τα θρεπτικά στοιχεία απαραίτητα για τη λειτουργία του. Το φαινόμενο της υποθρεψίας συναντάται κυρίως και σε μεγαλύτερο βαθμό στις αναπτυσσόμενες χώρες. Άτομα μικρότερης ηλικίας, όπως και εγκυμονούσες και θηλάζουσες γυναίκες χαρακτηρίζονται ως πιο ευάλωτες ομάδες, καθώς καθίστανται πιο επιρρεπείς στο να εμφανίσουν συμπτώματα υποθρεψίας. Σύμφωνα με τη δημοσίευση των οργανισμών UNISEF, Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (WHO) και της Παγκόσμιας Τράπεζας (GB) (2023) σχετικά με τις πιο πρόσφατες εκτιμήσεις που αφορούν την παιδική υποθρεψία σε παγκόσμια κλίμακα, τα μεγαλύτερο ποσοστό των παιδιών με συμπτώματα υποθρεψίας διαβιώνουν κάτω από

αντίξοες συνθήκες ελλιπούς τροφής και νερού κυρίως στην Αφρική και στην Ασία. Παράλληλα αναφέρεται η ανεπαρκής πρόοδος για την επίτευξη των στόχων που έχουν τεθεί από την Παγκόσμια Συνέλευση Υγείας (WHA) για το 2025 καθώς και του «Στόχου Βιώσιμης Ανάπτυξης 2.2» για τον τερματισμό όλων των μορφών υποθρεψίας, συμπεριλαμβανομένης της επίτευξης στόχων σχετικά με συμπτώματα υποθρεψίας (μειωμένο ύψος και βάρος) σε παιδιά κάτω των 5 ετών, και την αντιμετώπιση των διατροφικών αναγκών των έφηβων κοριτσιών, των εγκύων και των θηλαζουσών γυναικών και των ηλικιωμένων.

Ο βιοεμπλουτισμός των καλλιεργειών όπως αναφέρθηκε και στην ενότητα 1.4, είναι μια πολλά υποσχόμενη και βιώσιμη στρατηγική με στόχο την ενίσχυση της θρεπτικής κατάστασης των φυτικών προϊόντων. Η μέθοδος αυτή εισήχθη στην παγκόσμια αυλαία με στόχο τη διατροφική παρέμβαση για τη δημόσια υγεία, ενώ τίθεται ικανή για τη μείωση του φαινομένου της υποθρεψίας. Η βασική ιδέα του βιοεμπλουτισμού είναι, φυτικά προϊόντα να καλλιεργούνται υιοθετώντας εύκολα εφαρμόσιμες και βιώσιμες πρακτικές βιοεμπλουτισμού (αγρονομικές) από τους καλλιεργητές, ενώ παράλληλα αυτά τα προϊόντα να είναι εφικτό να φτάσουν στα χέρια καταναλωτών κυρίως αναπτυσσόμενων χωρών οι οποίοι δεν έχουν πρόσβαση σε βιομηχανικά τρόφιμα (Hotz, 2013).

Πέραν του βιοεμπλουτισμού των βασικών διατροφικών καλλιεργειών όπως είναι το ζαχαροκάλαμο, το καλαμπόκι, το ρύζι και το σιτάρι σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Τροφίμων και Γεωργίας (FAO, 2022), η στρατηγική αυτή μπορεί να εφαρμοστεί και σε καλλιεργούμενα φυτικά είδη με υψηλή θρεπτική αξία που καταναλώνονται κατά κύριο λόγο νωπά και χωρίς επεξεργασία. Ένα από αυτά τα είδη είναι τα λαχανευόμενα φυλλώδη φυτά τα οποία συνήθως είναι αυτοφυή αλλά μπορούν εύκολα καλλιεργηθούν καθώς χαρακτηρίζονται για την ικανότητα τους να αναπτύσσονται σε αντίξοες συνθήκες.

#### **4.1. Νωπό Βάρος, Φυλλική Επιφάνεια, Αριθμός φύλλων και Ξηρό Βάρος**

Ένα από τα προτερήματα της καλλιέργειας εκτός εδάφους είναι η αύξηση τη παραγωγής καθώς δίνεται η δυνατότητα ελέγχου της θρέψης σε κάθε στάδιο ανάπτυξης του φυτού κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Σχετικά με τη χορήγηση σεληνίου είτε εξωγενώς (διαφυλλικός ψεκασμός) είτε μέσω του διαλύματος τροφοδοσίας, υπάρχουν

πολυάριθμες μελέτες που υποδεικνύουν πως το σελήνιο σε ορισμένη συγκέντρωση επιδρά θετικά στα φυσιολογικά χαρακτηριστικά των φυτών, ενώ σε υψηλές συγκεντρώσεις οδηγεί σε αντίθετα αποτελέσματα όπως μειωμένη παραγωγή και ανάπτυξη καθώς και φυτοτοξικότητα (Khan et al., 2023). Στην παρούσα διατριβή φαίνεται πως και οι τέσσερις εξεταζόμενες παράμετροι επηρεάστηκαν από τη χορήγηση σεληνίου. Συγκεκριμένα, το νωπό βάρος φυτών γλιστρίδας αυξήθηκε κατά 16% με τη χορήγηση σεληνίου ανεξαρτήτου δόσης καθώς δεν εντοπίστηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ αυτών. Το ποσοστό ξηρής ουσίας φαίνεται να μειώνεται στατιστικά σημαντικά με τη χορήγηση του  $\text{SeO}_2$ . Το ποσοστό ξηρής ουσίας είναι ένα δείκτης ο οποίος σχετίζεται με τον ρυθμό ανάπτυξης του φυτού, καθώς αντανακλά την πυκνότητα των ιστών του. Έχει αποδειχθεί πως η σχέση του με τον ρυθμό ανάπτυξης είναι αντιστρόφως ανάλογη (Cornelissen et al., 2003, Smart et al., 2017). Τα αποτελέσματα αυτά συνάδουν με εκείνα άλλων εργασιών όπως για παράδειγμα αυτή των Skrypnik et al., (2021) όπου φυτά λαχανομένου είδους *Valerianella locusta L. Laterr* τα οποία καλλιεργήθηκαν υδροπονικά, δέχθηκαν 4 διαφορετικές δόσεις σεληνίου μέσω του διαλύματος τροφοδοσίας ( $0, 5, 10, 20 \mu\text{mol L}^{-1}$ ) και συγκομίστηκαν σε 3 διαφορετικές περιόδους (38, 52, και 66 ημέρες μετά τη σπορά). Τα φυτά που δέχθηκαν  $5 \mu\text{mol Se}$  και συγκομίστηκαν την 66<sup>η</sup> ημέρα παρουσίασαν σημαντική αύξηση του νωπού αλλά και του ξηρού τους βάρους ενώ η μεταχείριση με  $20 \mu\text{mol L}^{-1}$  οδήγησε στη μείωση και του νωπού αλλά και του ξηρού βάρους αυτών. Επίσης μια ακόμα έρευνα κατά την οποία κεφαλωτό μαρούλι (*Lactuca sativa var. capitata cv. Justyna*) που καλλιεργήθηκε υδροπονικά με δύο διαφορετικές μορφές σεληνίου, σεληνικό νάτριο ( $\text{Na}_2\text{SeO}_4$ ) και σεληνιώδες νάτριο ( $\text{Na}_2\text{SeO}_3$ ) και 9 διαφορετικές συγκεντρώσεις ( $0, 2, 4, 6, 15, 20, 30, 40, 60 \mu\text{mol L}^{-1}$  και  $0, 2, 4, 6, 10, 15, 20, 25, 30 \mu\text{mol L}^{-1}$  αντίστοιχα) έδειξε πως στην περίπτωση του  $\text{Na}_2\text{SeO}_3$  το νωπό βάρος αλλά και η φυλλική επιφάνεια των μαρουλιών αυξάνονται κατά τη χορήγησή του σε μικρή ποσότητα, ενώ πάνω από τα  $10 \mu\text{mol L}^{-1}$  Se τόσο το νωπό βάρος όσο και η φυλλική επιφάνεια μειώνονται σημαντικά. Στην περίπτωση του  $\text{Na}_2\text{SeO}_4$  η συγκέντρωση  $6 \mu\text{mol L}^{-1}$  οδήγησε σε σημαντικά υψηλότερο νωπό βάρος, ενώ η φυλλική επιφάνεια των φυτών αυξήθηκε σημαντικά στις μεταχειρίσεις με  $2, 6$  και  $10 \mu\text{mol L}^{-1}$ . Υψηλότερες συγκεντρώσεις επηρέασαν αρνητικά και τις δύο εξεταζόμενες παραμέτρους (Hawrylak-Nowak, 2013).

## 4.2 Φωτοσυνθετική ικανότητα και ανταλλαγή αερίων

Η ανταλλαγή αερίων (gas exchange) είναι απαραίτητη φυσιολογική διαδικασία για τα φυτά, καθώς βοηθά στη περάτωση της φωτοσύνθεσης. Στον όρο ανταλλαγή αερίων συγκαταλέγονται ορισμένες φυσιολογικές λειτουργίες του φυτού, με τον προσδιορισμό των οποίων λαμβάνονται σημαντικές πληροφορίες για τη λειτουργία και ανάπτυξη του φυτού.

### 4.2.1. Ενδοκυτταρική συγκέντρωση CO<sub>2</sub> (C<sub>i</sub>)

Η παρούσα μελέτη εξέτασε 5 παραμέτρους με την πρώτη να είναι η ενδοκυτταρική συγκέντρωση CO<sub>2</sub> (C<sub>i</sub>) η οποία μειώνεται με την αύξηση της έντασης του φωτός. Το ίδιο έχει παρατηρηθεί σε πειραματική μελέτη όπου αξιολογήθηκε η επίδραση πέντε διαφορετικών εντάσεων φωτός (100, 200, 300, 400 and 500  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) στη μορφολογία, φωτοσύνθεση και στον μεταβολισμό του άνθρακα υδροπονικά καλλιεργούμενων φυτών μηδικής (*Medicago sativa L. cv. Zhongmu*). Συγκεκριμένα παρατηρήθηκε μείωση της ενδοκυτταρικής συγκέντρωσης CO<sub>2</sub> (C<sub>i</sub>) στις εντάσεις 400 και 500  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (Tang et al., 2022). Το γεγονός αυτό είναι λογικό να συμβαίνει καθώς χωρίς αρκετό φως, το φυτό αδυνατεί να φωτοσυνθέσει με γρήγορους ρυθμούς, ακόμα κι αν υπάρχει άφθονο νερό, διοξείδιο του άνθρακα και κατάλληλη θερμοκρασία. Συνεπώς με την αύξηση της έντασης του φωτός, αυξάνεται και ο ρυθμός φωτοσύνθεσης, άρα καταναλώνεται το διαθέσιμο CO<sub>2</sub> με τελικό στόχο τη βιοσύνθεση υδατανθράκων.

### 4.2.2. Ρυθμός διαπνοής (E)

Στην υποενότητα 3.2. παρατίθενται επίσης τα αποτελέσματα του ρυθμού διαπνοής (E) των φυτών γλιστρίδας σύμφωνα με τις μεταχειρίσεις που δέχθηκαν αλλά και τις εντάσεις φωτός που εξετάστηκαν. Η αύξηση του ρυθμού διαπνοής είναι επακόλουθη της αύξησης της έντασης του φωτός εξαιτίας του ανοίγματος των στομάτων, φαινόμενο που θα συζητηθεί στην αμέσως επόμενη παράγραφο. Οι μετρήσεις υποδεικνύουν πως ο ρυθμός διαπνοής των φυτών αυξήθηκε σημαντικά μόνο στις εντάσεις 696 και 1044  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  με τις υψηλότερες τιμές να επιτυγχάνονται με τις μεταχειρίσεις 4 και 1  $\mu\text{mol L}^{-1}$ . Λαμβάνοντας υπόψιν τα δεδομένα που υπάρχουν στη βιβλιογραφία, γενικώς έχει αποδειχθεί πως το σελήνιο οδηγεί στην αύξηση του ρυθμού διαπνοής σε διάφορα φυτά είτε σε κανονικές συνθήκες είτε σε συνθήκες καταπόνησης που προέρχονται από διάφορους αβιοτικούς



παράγοντες. Συγκεκριμένα, οι LEI et al., (2018) εξέτασαν τη χορήγηση έξι διαφορετικών συγκεντρώσεων σεληνίου στο διάλυμα τροφοδοσίας με τη μορφή  $\text{Na}_2\text{SeO}_3$  σε υδροπονική καλλιέργεια μαρουλιών (*Lactuca sativa* L.). Το γενικό τους συμπέρασμα είναι πως η εφαρμογή του Se αύξησε τη φωτοσυνθετική ικανότητα, αυξάνοντας τον ρυθμό φωτοσύνθεσης, τη στοματική αγωγιμότητα και την αποτελεσματικότητα της διαπνοής του μαρουλιού. Ειδικότερα, παρατηρήθηκε πως ο ρυθμός διαπνοής αυξήθηκε σε μέγιστο επίπεδο κατά την εφαρμογή  $0.5 \mu\text{mol L}^{-1}$   $\text{Na}_2\text{SeO}_3$  στο διάλυμα τροφοδοσίας, ενώ με την αύξηση της συγκέντρωσης σεληνίου παρατηρήθηκε σταδιακή μείωση του ρυθμού διαπνοής. Τέλος οι μεταχειρίσεις με  $0.1$  και  $5 \mu\text{mol L}^{-1}$   $\text{Na}_2\text{SeO}_3$  είχαν παρόμοιες τιμές γεγονός που συνάδει με τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας σχετικά με τις τιμές ρυθμού διαπνοής στα  $0$  και  $2 \mu\text{mol L}^{-1}$  και  $1, 4 \text{ SeO}_2 \mu\text{mol L}^{-1}$  οι οποίες ήταν κι αυτές όμοιες. Επίσης, οι Luo et al., (2021) ερεύνησαν την επίδραση εξωγενούς χορήγησης τριών δόσεων σεληνικού ιόντος ( $10, 30$  και  $50 \mu\text{mol L}^{-1}$ ) σε τρεις ποικιλίες ρυζιού (*Oryza sativa* L.) κάτω από συνθήκες ξηρασίας. Τα αποτελέσματα του πειράματος έδειξαν πως οι συνθήκες ξηρασίας επηρέασαν σε μεγάλο βαθμό το ρυθμό διαπνοής, τον καθαρό ρυθμό φωτοσύνθεσης αλλά και τη στοματική αγωγιμότητα των φυτών. Ωστόσο ο ψεκασμός των φυτών με σκευάσματα συγκέντρωσης  $30$  και  $50 \mu\text{mol L}^{-1}$  οδήγησαν στην αύξηση των εξεταζόμενων παραμέτρων και συγκεκριμένα του ρυθμού διαπνοής και των τριών ποικιλιών.

#### 4.2.3. Στοματική αγωγιμότητα (Gs)

Παρατηρώντας το γράφημα III του γραφήματος 1, συμπεραίνεται πως με την αύξηση της έντασης του φωτός αυξάνεται και η στοματική αγωγιμότητα (Gs), των φύλλων γλιστρίδας γεγονός απολύτως φυσιολογικό καθώς με την υψηλότερη ένταση φωτός το φυτό ανοίγει τα στόματα, αφού αποτελούν τη μόνη δίοδο  $\text{CO}_2$  από τον ατμοσφαιρικό αέρα στο εσωτερικό του φύλλου. Στην προκειμένη περίπτωση, όπου τα φυτά δεν επιβαρύνθηκαν με κάποιο είδους στρες (αλατότητας, ξηρασίας), δεν τέθηκε ζήτημα κλεισίματος των στομάτων για την παρεμπόδιση απωλειών νερού, οπότε τα φυτά διατήρησαν ανοιχτά τα στόματα για την εξασφάλιση απρόσκοπτης φωτοσύνθεσης. Η χορήγηση σεληνίου επηρέασε τη στοματική αγωγιμότητα των καλλιεργούμενων φυτών σχηματίζοντας υψηλότερες τιμές κατά τις εντάσεις φωτός  $696$  και  $1044 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  και δόση  $4 \mu\text{mol L}^{-1}$   $\text{SeO}_2$ , εν αντιθέσει με τις μεταχειρίσεις  $0$  και  $2 \mu\text{mol L}^{-1}$   $\text{SeO}_2$ . Η προαναφερθείσα μελέτη

των LEI et al., (2018) εξετάζει παράλληλα και τη στοματική αγωγιμότητα, με τα αποτελέσματα να συνάδουν με εκείνα του ρυθμού διαπνοής. Συγκεκριμένα η μεταχείριση με  $0.5 \mu\text{mol L}^{-1}$  Se παρουσίασε την υψηλότερη στοματική αγωγιμότητα, με την τιμή αυτής να μειώνεται στις υπόλοιπες πέντε δοσολογίες (0, 0.1, 5, 10, 50  $\mu\text{mol L}^{-1}$ ). Μια ακόμη μελέτη η οποία εξέτασε την επίδραση διαφυλλικής εφαρμογής σεληνίου σε μορφή ( $\text{Na}_2\text{SeO}_4$ ) και συγκέντρωση  $40 \text{ mg Se L}^{-1}$  σε φυτά σίτου (*Triticum aestivum L. cv Pasban-90*) κάτω από συνθήκες ξηρασίας, συμπέρανε πως η εφαρμογή σεληνίου αύξησε σημαντικά τη στοματική αγωγιμότητα των φυτών και σε κανονικές αλλά και σε συνθήκες στρες. Επίσης επηρέασε θετικά τον ρυθμό διαπνοής αλλά και τον καθαρό ρυθμό φωτοσύνθεσης γεγονός που το αποδίδει στον θετικό ρόλο του σεληνίου στην προστασία της λειτουργίας του φωτοσυνθετικού μηχανισμού (Nawaz et al., 2015).

#### 4.2.4. Καθαρός ρυθμός φωτοσύνθεσης (A)

Μια ακόμα παράμετρος που εξετάστηκε στην παρούσα πειραματική μελέτη είναι ο καθαρός ρυθμός φωτοσύνθεσης (A). Σύμφωνα με το γράφημα IV ο καθαρός φωτοσυνθετικός ρυθμός γλιστρίδας αυξάνει καθώς η ένταση του φωτός αυξάνεται. Στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων Se δεν παρατηρήθηκαν σε καμία ένταση φωτός. Αρκετές έρευνες έχουν δείξει πως η χορήγηση σεληνίου επηρεάζει την ανταλλαγή αερίων και συγκεκριμένα τον καθαρό ρυθμό φωτοσύνθεσης, διαφόρων φυτών είτε κάτω από συνθήκες καταπόνησης είτε όχι. Για παράδειγμα οι (Wang et al., 2018) εξέτασαν την προσθήκη τεσσάρων δόσεων πενταϋδρικού σεληνικού νατρίου ( $\text{Na}_2\text{O}_3\text{Se} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) σε διαφορετικές δόσεις (0, 5, 10, 25 mg/kg) σε έδαφος στο οποίο αναπτύχθηκαν σπορόφυτα τομάτας cherry (*Solanum lycopersicum L.*) Τα αποτελέσματα έδειξαν σημαντικές διαφορές των τεσσάρων δόσεων στον καθαρό ρυθμό φωτοσύνθεσης των σπορόφυτων, με τα 5 mg/kg Se να οδηγούν σε σημαντική αύξηση του συγκριτικά με τις control συνθήκες, ενώ οι υψηλότερες συγκεντρώσεις Se μείωσαν σημαντικά τον καθαρό ρυθμό φωτοσύνθεσης των φυτών, γεγονός που ίσως οφείλεται στην τοξική επίδραση σεληνίου σε υψηλές συγκεντρώσεις. Επίσης, η διαφυλλική χορήγηση  $10 \mu\text{g}$  φυτό<sup>-1</sup> Se σε φυτά ελαιοκράμβης (*Brassica napus L.*) είχε εξίσου θετικά αποτελέσματα, αυξάνοντας σημαντικά τον καθαρό ρυθμό φωτοσύνθεσης συγκριτικά με τη μη χορήγηση σεληνίου (Hajiboland & Keivanfar, 2012). Τέλος, οι ερευνητικές μελέτες που αναφέρθηκαν σε προηγούμενες παραγράφους, καθώς πέραν των παραμέτρων του ρυθμού

διαπνοής και της στοματικής αγωγιμότητας, εξέτασαν και τον καθαρό ρυθμό φωτοσύνθεσης, κατέληξαν στο γεγονός ότι η χορήγηση σεληνίου σε κατάλληλες δόσεις μπορεί να ενισχύσει τον καθαρό ρυθμό φωτοσύνθεσης σε διάφορες καλλιέργειες χορηγούμενο υπό διαφορετικές μορφές και τεχνικές (Nawaz et al., 2015, LEI et al., 2018, Luo et al., 2021, Tang et al., 2022).

#### **4.2.5. Αποδοτικότητα Χρήσης Νερού (WUE)**

Η αποδοτικότητα χρήσης νερού (WUE) είναι μια παράμετρος η οποία χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της σχέσης μεταξύ της ανάπτυξης των φυτών, της απόδοσης και της χρήσης νερού (Chaves et al., 2004). Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι για τον προσδιορισμό της αποδοτικότητας χρήσης νερού ανάλογα με την καλλιέργεια (φυλλώδεις, καρποδοτικό) και το σύστημα καλλιέργειας (εδάφους ή εκτός εδάφους). Στην προκειμένη περίπτωση ο παράγοντας WUE εκφράστηκε ως αναλογία του καθαρού ρυθμού φωτοσύνθεσης ( $A$ ) προς το ρυθμό διαπνοής, σύμφωνα με τους Hatfield & Dold, (2019). Τα αποτελέσματα των μετρήσεων υποδεικνύουν πως η στιγμιαία αποδοτικότητα χρήσης νερού (instantaneous WUE) επηρεάστηκε αρνητικά από την υψηλότερη δόση Se. Συγκεκριμένα, στατιστικά σημαντικές διαφορές παρατηρήθηκαν μόνο στις εντάσεις 87, 696 και 1044  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  όπου για την πρώτη, την υψηλότερη τιμή σημείωσαν φυτά γλιστρίδας που αρδεύτηκαν με διάλυμα 2  $\mu\text{mol L}^{-1}$   $\text{SeO}_2$  με την αμέσως μεγαλύτερη τιμή να αφορά τα φυτά που δεν δέχθηκαν καθόλου σεληνίου (0  $\mu\text{mol L}^{-1}$   $\text{SeO}_2$ ). Σε μετρήσεις σε ένταση 696  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  την υψηλότερη αποδοτικότητα χρήσης νερού σημείωσαν τα φυτά που μεταχειρίστηκαν με 0 και 2  $\mu\text{mol L}^{-1}$   $\text{SeO}_2$  με το ίδιο μοτίβο να ακολουθείται και σε ένταση 1044  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Τα αποτελέσματα αυτά οφείλονται προφανώς στο γεγονός ότι σε αυτές τις εντάσεις οι τιμές του ρυθμού διαπνοής των φυτών που μεταχειρίστηκαν με 1 και 4  $\mu\text{mol L}^{-1}$   $\text{SeO}_2$  ήταν μεγαλύτερες. Οι Oliveira et al., (2019), οι οποίοι εξέτασαν την επίδραση διαφορετικών δόσεων (0, 0.75, 1.5, 3 και 5  $\text{mg kg}^{-1}$ ) σεληνίου ( $\text{Na}_2\text{SeO}_4$  και  $\text{Na}_2\text{SeO}_3$ ) σε διάφορες φυσιολογικές λειτουργίες πατάτας, αποδίδουν την αύξηση της στοματικής αγωγιμότητας καθώς και του ρυθμού διαπνοής των καλλιεργούμενων φυτών κατά την υψηλότερη συγκέντρωση σεληνίου (5  $\text{mg kg}^{-1}$ ) σε πιθανή βλάβη στα προστατευτικά κύτταρα που προκαλείται από την αύξηση των δραστικών μορφών οξυγόνου (ROS) και της υπεροξειδωσης λιπιδίων, που προκύπτει από την οξειδωτική δράση του Se όταν παρέχεται στα φυτά σε υψηλές δόσεις. Αντιθέτως τα αποτελέσματα της μελέτης των (LEI et al., 2018)

δεν αντανακλούν όμοιες περιπτώσεις. Υδροπονικά καλλιεργούμενα μαρούλια σημείωσαν υψηλότερες τιμές WUE στις υψηλότερες συγκεντρώσεις σεληνίου 10 και 50  $\mu\text{mol L}^{-1}$ , ενώ τόσο ο καθαρός ρυθμός φωτοσύνθεσης όσο και ο ρυθμός διαπνοής μειώθηκαν σημαντικά. Γενικώς, έχει αποδειχθεί από πολυάριθμες μελέτες πως η χορήγηση σεληνίου βοήθα στην ανθεκτικότητα φυτών σε συνθήκες έλλειψης νερού, καθώς ενισχύει την πρόσληψη αυτού και τη σχετική περιεκτικότητα νερού στα φυτά (Liu et al., 2023). Συμβάλει επίσης στη μείωση της βλαβών που προκαλείται από την υπερπαραγωγή δραστικών μορφών οξυγόνου (ROS) που οφείλεται συνήθως σε συνθήκες καταπόνησης και συγκεκριμένα σε συνθήκες ξηρασίας (Rady et al., 2020). Ένας από τους τρόπους επίδρασης του σεληνίου στη μείωση οξειδωτικού στρες είναι με την παραγωγή συμβατών διαλυμένων ουσιών (compatible solutes) οι οποίες ουσιαστικά είναι οργανικά μόρια που δρουν ως ωσμοπροστατευτικά εξαιτίας της ικανότητάς τους να σταθεροποιούν τις κυτταρικές πρωτεΐνες, να προλαμβάνουν την κυτταρική αφυδάτωση και να σταθεροποιούν τις τριτογενείς δομές τους χωρίς να παρεμβαίνουν στον κυτταρικό μεταβολισμό, για το λόγο αυτό ονομάζονται «συμβατές» (Ahmad et al., 2016).

#### 4.3 Συγκέντρωση μακροστοιχείων

Η ελληνική χλωρίδα είναι μία από τις πλουσιότερες και πιο ενδιαφέρουσες στην Ευρώπη. Ο καταγεγραμμένος αριθμός των ανώτερων φυτών σύμφωνα με την Εθνική Στρατηγική για τη Βιοποικιλότητα (2014) είναι 5752 είδη και 1893 υποείδη. Ανάμεσα τους βρίσκεται μεγάλος αριθμός ενδημικών ή μη, άγριων λαχανευόμενων ειδών. Τα είδη αυτά παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον εξαιτίας της υψηλής θρεπτικής τους αξίας αλλά και των φαρμακευτικών ιδιοτήτων τους.

Η παρούσα εργασία επικεντρώθηκε στη μελέτη του φυτικού είδους *Portulaca oleracea* κάτω από φυσιολογικές συνθήκες ανάπτυξης, με την προσθήκη διαφορετικών δόσεων διοξειδίου του σεληνίου στο διάλυμα τροφοδοσίας. Όπως αναλύθηκε πιο πάνω (Πιν. 4) καμία μεταχείριση με  $\text{SeO}_2$  δεν φαίνεται να επηρέασε τη θρεπτική κατάσταση των φυτών όσον αναφορά τη συγκέντρωση των εξεταζόμενων μακροστοιχείων στο υπέργειο τμήμα τους. Στη δεξαμενή βιβλιογραφιών σχετικά με τον βιοεμπλουτισμό φυτών με σελήνιο, υπάρχουν πολυάριθμες μελέτες με αμφιλεγόμενα αποτελέσματα. Για παράδειγμα ορισμένες καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι σελήνιο επηρεάζει την απορρόφηση μακροστοιχείων και άλλες υποστηρίζουν πως δεν την επηρεάζει καθόλου. Συγκεκριμένα

στην έρευνα των Puccinelli et al., (2022) κατά την οποία φυτά *Lactuca sativa L.* και *Ocimum basilicum L.* αρδεύτηκαν, από το στάδιο της σποράς μέχρι το κατάλληλο στάδιο μεταφύτευσης (έτοιμα σπορόφυτα), με διάλυμα σεληνικού νατρίου ( $\text{Na}_2\text{SeO}_4$ ) σε συγκεντρώσεις 0, 1 and 3  $\text{mg L}^{-1}$  (μαρούλι) και 0, 2 and 3  $\text{mg L}^{-1}$  (βασιλικός), δεν παρατηρήθηκε κάποια μεταβολή στη συγκέντρωση φωσφόρου (P), καλίου ( $\text{K}^+$ ), νατρίου ( $\text{Na}^+$ ), ασβεστίου ( $\text{Ca}^{2+}$ ), και μαγνησίου ( $\text{Mg}^{2+}$ ) στα φύλλα μαρουλιού αλλά και βασιλικού παρά μόνο στην περίπτωση του βασιλικού όπου η μεταχείριση με 3  $\text{mg L}^{-1}$   $\text{Na}_2\text{SeO}_4$  οδήγησε στην υψηλότερη συγκέντρωση  $\text{Mg}^{2+}$ . Σχετικά με την αλληλεπίδραση του αζώτου και του σεληνίου οι Ferrarese et al., (2012) σε υδροπονικό σύστημα επίπλευσης σπανακιού (*Spinacia oleracea L.*) με 4 διαφορετικές συγκεντρώσεις  $\text{Na}_2\text{SeO}_4$  (0, 2.6, 3.9 και 5.2  $\mu\text{mol}$ ) δεν παρατήρησαν σημαντικές διαφορές στη συγκέντρωση νιτρικών στα φύλλα σπανακιού, μεταξύ των μεταχειρίσεων, ωστόσο οι τιμές αυτών κυμάνθηκαν σε υψηλά επίπεδα. Αντιθέτως, η συγκέντρωση των νιτρικών στον φυτικό ιστό της Γλιστρίδας κυμάνθηκε εντός των ανεκτών ορίων που έχουν τεθεί τόσο από την Ευρωπαϊκή Αρχή για την Ασφάλεια των Τροφίμων (EFSA, 2017), όσο και από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (WHO, 2017). Επίσης, οι Abdalla et al., (2021) χορηγώντας διαφυλλικά τέσσερις δόσεις σεληνίου (0, 0.013, 0.13, 0.6  $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) με τη μορφή  $\text{Na}_2\text{SeO}_4$  σε δύο διαφορετικές ποικιλίες πράσινου και κόκκινου μαρουλιού (*lactuca sativa cv. Hawking RZ* και *Barlach RZ*) δεν παρατήρησαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στην απορρόφηση μακροστοιχείων, παρά μόνο στην περίπτωση του φώσφορου, όπου μειώθηκε σταδιακά με την αυξανόμενη δόση Se για το κόκκινο μαρούλι και την περίπτωση του θείου όπου μειώθηκε σημαντικά μόνο στις συγκεντρώσεις 0.013 και 0.13  $\mu\text{mol L}^{-1}$  Se για την πράσινη ποικιλία και στα 0.13  $\mu\text{mol L}^{-1}$  Se για την κόκκινη. Ωστόσο, τα παραπάνω αποτελέσματα έρχονται σε αντίθεση με εκείνα των Rios et al., (2013) όπου η καλλιέργεια μαρουλιού (*Lactuca sativa L. cv 'Philipus'*) σε υπόστρωμα βερμικουλίτη, αρδευόμενη με θρεπτικό διάλυμα 8 διαφορετικών συγκεντρώσεων (0, 5, 10, 20, 40, 60, 80, 120  $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) και 2 διαφορετικών μορφών σεληνίου (σεληνικό νάτριο  $\text{Na}_2\text{SeO}_4$  και σεληνιώδες νάτριο  $\text{Na}_2\text{SeO}_3$ ), παρουσίασε σημαντικές διαφορές στην απορρόφηση ορισμένων μακροστοιχείων (N, P,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , S). Συγκεκριμένα, μόνο στην περίπτωση της συγκέντρωσης καλίου και για τις δύο μορφές σεληνίου και του θείου μόνο κατά τη χορήγηση σεληνιώδους νατρίου, δεν εμφανίσθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές.

Ενώ, η απορρόφηση των υπόλοιπων μακροστοιχείων επηρεάστηκε αρνητικά σε σημαντικό βαθμό εξίσου και με τις δύο μορφές σεληνίου με τους ερευνητές της συγκεκριμένης μελέτης να κάνουν λόγο για μια πιθανή ανταγωνιστική σχέση μεταξύ των στοιχείων.

#### 4.4 Συγκέντρωση ιχνοστοιχείων

Τα ιχνοστοιχεία είναι απαραίτητα μικροθρεπτικά συστατικά που χρειάζεται να υπάρχουν στους ζωικούς αλλά και στους φυτικούς οργανισμούς σε μικρές ποσότητες. Στην υποενότητα 1.2. περιγράφεται αναλυτικά ο ρόλος του κάθε ιχνοστοιχείου στις διάφορες φυσιολογικές λειτουργίες του φυτού.

Τα αποτελέσματα των εργαστηριακών αναλύσεων για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης ιχνοστοιχείων στον ξηρό φυτικό ιστό γλιστρίδας παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων, μόνο για τον ψευδάργυρο (Zn) και τον χαλκό (Cu). Τα εξεταζόμενα ιχνοστοιχεία τα οποία δεν εμφάνισαν διαφορές είναι το βόριο (B), ο σίδηρος (Fe) και το μαγγάνιο (Mn). Αντιθέτως, οι Pannico et al., (2020) εξέτασαν την επίδραση τεσσάρων δόσεων σεληνικού νατρίου ( $\text{Na}_2\text{SeO}_4$ ) σε τέσσερα είδη microgreens: κόλιανδρο (*Coriandrum sativum L.*) πράσινο και μωβ βασιλικό (*Ocimum basilicum L.*) και tatsoi (*Brassica rapa L.*), παρατηρώντας στατιστικά σημαντικές διαφορές στη συγκέντρωση μαγγανίου, σιδήρου καθώς και ψευδάργυρου. Ο σίδηρος στον ξηρό φυτικό ιστό κόλιανδρου και μωβ βασιλικού αυξήθηκε σημαντικά με την χορήγηση σεληνίου καθώς στον πράσινο βασιλικό ο σίδηρος μειώθηκε σημαντικά με τη δόση  $8 \mu\text{mol L}^{-1}$ , ενώ στο tatsoi μειώθηκε σημαντικά με τις δόσεις 8 και  $16 \mu\text{mol L}^{-1}$ . Στην περίπτωση του μαγγανίου, η συγκέντρωσή του μειώθηκε μόνο στα φυτά tatsoi κατά την αύξηση της δόσης σεληνίου. Τέλος το σελήνιο φάνηκε να επηρέασε θετικά την απορρόφηση ψευδαργύρου στον κόλιανδρο και στο μωβ βασιλικό ενώ στα υπόλοιπα δύο εξεταζόμενα είδη το σελήνιο είχε αντίθετη επίδραση. Σε ακόμη μια μελέτη που ασχολήθηκε με τον βιοεμπλουτισμό microgreens λαχανίδας (*Brassica oleracea var. acephala*) με διαφορετικές δόσεις (0, 10, 20 και  $40 \mu\text{mol L}^{-1}$ ) σεληνικού νατρίου ( $\text{Na}_2\text{SeO}_4$ ), και μεθόδους (μέσω θρεπτικού διαλύματος και διαφυλλικά), δεν παρατηρήθηκε σημαντική επίδραση του σεληνίου στην απορρόφηση ιχνοστοιχείων. Εξαίρεση αυτών των αποτελεσμάτων αποτελούν το βόριο και ο σίδηρος όπου μόνο στην περίπτωση χορήγησης σεληνίου στο διάλυμα τροφοδοσίας και με χορηγούμενη δόση  $10 \mu\text{mol L}^{-1}$ , παρουσίασαν αμβλυτική τάση συγκριτικά με τις μεταχειρίσεις 0 και  $40 \mu\text{mol L}^{-1}$ , ενώ οι συγκέντρωση

και των δύο στοιχείων αυξήθηκε σημαντικά όταν φυτά μεταχειρίστηκαν με  $20 \mu\text{mol L}^{-1}$  Se (Tavan et al., 2024). Οι Cheng et al., (2023) στην πρόσφατη τους εργασία, εξέτασαν τον βιοεμπλουτισμό μαρουλιών (*Lactuca sativa L.*) σε καλλιέργεια εδάφους με νανοϋλικά σεληνίου σε τέσσερις δόσεις (0, 0.1, 0.5,  $1 \text{ mg kg}^{-1}$ ) και με  $0.5 \text{ mg kg}^{-1}$  σεληνικού νατρίου ( $\text{Na}_2\text{SeO}_3$ ). Σχετικά με τη θρεπτική κατάσταση των φυτών οι Cheng et al., (2023) παρατήρησαν σημαντική επίδραση του σεληνίου με νανοϋλικά αυξάνοντας την απορρόφηση και των ιχνοστοιχείων αλλά και των μακροστοιχείων που εξετάσθηκαν πλην του θείου, οπού έχει αρνητική αλληλεπίδραση με το Se. Ειδικότερα, ο ψευδάργυρος, ο χαλκός, ο σίδηρος και το μαγγάνιο αυξήθηκαν σε μεγάλο βαθμό και με τη χρήση σεληνίου με νανοϋλικά αλλά και με το σεληνικό νάτριο με την πρώτη μορφή να είναι σημαντικά πιο αποδοτική. Συνεπώς, φαίνεται πως η επίδραση του σεληνίου στην απορρόφηση ιχνοστοιχείων εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως το είδος της καλλιέργειας, η καλλιεργητική τεχνική η μορφή του σεληνίου αλλά και ο τρόπος χορήγησης.

#### 4.5 Συγκέντρωση Σεληνίου

Ο τελευταίος προσδιορισμός στοιχείου αφορά το σελήνιο και την ποσότητα που απορροφήθηκε και συγκεντρώθηκε στο εδάδιμο μέρος (βλαστός και φύλλα) καλλιεργούμενων φυτών γλιστρίδας. Στο γράφημα 6 παρουσιάζεται ξεκάθαρα η επίδραση διαφορετικών συγκεντρώσεων  $\text{SeO}_2$  στο διάλυμα τροφοδοσίας. Σε κάθε μεταχείριση παρατηρούμε στατιστικά σημαντικές διαφορές στη συγκέντρωση σεληνίου. Συγκεκριμένα η συγκέντρωση σεληνίου κατά τη μεταχείριση με την υψηλότερη δόση ( $4 \mu\text{mol L}^{-1} \text{SeO}_2$ ) σημείωσε αύξηση σε ποσοστό 92% σε σχέση με τη μη χορήγηση  $\text{SeO}_2$ . Μεγάλος όγκος μελετών εξετάζουν τη χορήγηση διαφορετικών δόσεων σεληνίου και την απορρόφησή του από τα καλλιεργούμενα είδη, καθώς τίθεται ο περιορισμός της Συνιστώμενης Ημερήσιας Πρόσληψης για τον άνθρωπο αλλά και της εμφάνισης τοξικότητας στα φυτά. Ο βιοεμπλουτισμός με σελήνιο έχει εφαρμοστεί σε διάφορες καλλιέργειες και υπό διαφορετικές μεθόδους, ενώ συνήθως συνδυάζεται με την έκθεση των καλλιεργούμενων φυτών σε αβιοτικές καταπονήσεις. Για παράδειγμα, οι Pannico et al., (2020) και Tavan et al., (2024) οι οποίοι ασχολήθηκαν με τον βιοεμπλουτισμό microgreens φυλλωδών λαχανικών (κόλιανδρο, μωβ και πράσινου βασιλικού, tatsoi και λαχανίδα) με σελήνιο παρατήρησαν πως η συγκέντρωση σεληνίου στο υπέργειο τμήμα των microgreens αυξήθηκε σταδιακά και σημαντικά κατά την αυξανόμενη χορήγηση σεληνίου είτε με την

προθήκη του στο θρεπτικό διάλυμα είτε με την εφαρμογή του διαφυλλικά στην περίπτωση της λαχανίδας. Οι (Ferrarese et al., 2012) χορηγώντας σε καλλιέργεια σπανακιού, σε σύστημα επίπλευσης 0, 2.6, 3.9 και 5.2  $\mu\text{mol L}^{-1}$  σελήνιο με τη μορφή  $\text{Na}_2\text{SeO}_4$ , παρατήρησαν σταδιακή αύξηση της απορρόφησης και της συγκέντρωσης Se στα φύλλα σπανακιού. Οι ίδιοι αναφέρουν πως το σύστημα επίπλευσης είναι μια βέλτιστη μέθοδος για τον εμπλουτισμό των φυλλωδών λαχανικών καθώς το Se μπορεί να ελέγχεται συνεχώς κατά τη διάρκεια καλλιέργειας, αποφεύγοντας την υπερβολική συσσώρευση στα φυτά και θέτουν ως λύση τη χρήση των φυτών που καλλιεργήθηκαν σε υψηλότερες συγκεντρώσεις Se, σε μικτές σαλάτες λαμβάνοντας υπόψιν τη συνιστώμενη δόση ημερησίως διαφορετικών ομάδων καταναλωτών ανάλογα με της ανάγκες τους (εγκυμονούσες, ηλικίες κάτω των 5 ετών κλπ.). Τέλος, στο ίδιο συμπέρασμα έχουν καταλήξει πολυάριθμες ερευνητικές μελέτες που ασχολήθηκαν με την καλλιέργεια φυλλωδών λαχανικών εφαρμόζοντας διαφορετικές μεθόδους βιοεμπλουτισμού σε διαφορετικά καλλιεργητικά συστήματα (Pannico et al., 2019b, Abdalla et al., 2021, Skrypnik et al., 2021, Puccinelli et al., 2022, Cheng et al., 2023, Francini et al., 2023).

## **5. Συμπεράσματα**

Η γλιστρίδα ή αντράκλα αποτελεί φυτικό είδος γνωστό από την αρχαιότητα. Καταναλωνόταν με διάφορους τρόπους από πολλούς λαούς καθώς ήταν γνωστή για την υψηλή της θρεπτική αξία αλλά και τις φαρμακευτικές της ιδιότητες. Συγκεκριμένα η γλιστρίδα έχει υψηλή περιεκτικότητα σε ω-3 λιπαρά οξέα αλλά και σε βιταμίνες A και C. Είναι επίσης πλούσια πηγή μετάλλων και ιχνοστοιχείων. Η γλιστρίδα κατατάσσεται στην κατηγορία των ζιζανίων και καταναλώνεται κυρίως από αγροτικούς πληθυσμούς, ενώ παρά τα θρεπτικά της οφέλη δεν είναι ευρέως γνωστή στο καταναλωτικό κοινό. Στον ελλαδικό χώρο η γλιστρίδα δεν έχει ακόμα ενταχθεί σε καλλιεργητικά συστήματα μεγάλης κλίμακας, ωστόσο το ενδιαφέρον για τη δημιουργία δυναμικών εκμεταλλεύσεων φαίνεται να αυξάνεται τα τελευταία έτη. Οι μειωμένες απαιτήσεις της γλιστρίδας καθώς και η ανθεκτικότητά της σε αντίξοα περιβάλλοντα αλλά και η θρεπτική της κατάσταση είναι σημαντικά πλεονεκτήματα στη δημιουργία ενός ανταγωνιστικού προϊόντος υψηλής θρεπτικής αξίας.



Τα τελευταία έτη με την αύξηση των περιβαλλοντικών κρίσεων και την εξάντληση των φυσικών πόρων πραγματοποιούνται προσπάθειες μείωσης των εισροών χωρίς να διακυβεύεται η παραγωγή και η ποιότητα των καλλιεργειών. Η υιοθέτηση καλλιέργειας σε υδροπονικά συστήματα συμβάλει στη μείωση των εισροών, χρησιμοποιώντας λιγότερες ποσότητες λιπασμάτων και νερού χωρίς τον κίνδυνο μείωσης της παραγωγής. Η ελεγχόμενη θρέψη με την άμεση επέμβαση στην παροχή απαραίτητων θρεπτικών στοιχείων στο φυτό έχει αποδειχθεί πως αυξάνει την απόδοση, την ποιότητα καλλιεργειών ενώ οδηγεί στην πρωίμιση της παραγωγής.

Ο βιοεμπλουτισμός όπως έχει ήδη αναφερθεί, είναι μια στρατηγική που έχει εισαχθεί σε παγκόσμιο επίπεδο την τελευταία εικοσαετία, με στόχο την ενίσχυση της θρεπτικής αξίας καλλιεργούμενων φυτικών ειδών. Η τακτική αυτή απευθύνεται κατά κύριο λόγο σε αγροτικούς αλλά και αστικούς πληθυσμούς αναπτυσσόμενων χωρών. Η εφαρμογή του βιοεμπλουτισμού των καλλιεργειών διευκολύνεται και μπορεί να εφαρμοστεί άμεσα σε καλλιέργειες εκτός εδάφους, καθώς η συγκέντρωση εκάστοτε στοιχείου που χρειάζεται να τροφοδοτεί την καλλιέργεια μπορεί να ελέγχεται και να μεταβάλλεται τακτικά καθ' όλη τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Τέλος, κύριος στόχος του βιοεμπλουτισμού είναι ο μετριασμός του φαινομένου της υποθρεψίας το οποίο αποτελεί παγκόσμιο πρόβλημα καθώς μελέτες έχουν καταγράψει χαμηλά ποσοστά στην πρόσληψη απαραίτητων θρεπτικών στοιχείων ακόμα και σε πληθυσμούς της Ε.Ε.

Η παρούσα ερευνητική μελέτη υλοποιήθηκε με κύριο σκοπό την αξιολόγηση της επίδρασης διαφορετικών δόσεων σεληνίου στην ανάπτυξη, παραγωγή, φωτοσυνθετική ικανότητα και θρεπτική κατάσταση γλιστρίδας (*Portulaca oleracea L.*) Τα αποτελέσματα του πειράματος έδειξαν πως η παροχή τριών δόσεων  $\text{SeO}_2$  στο διάλυμα τροφοδοσίας είχαν θετικά αποτελέσματα στην απόδοση των καλλιεργούμενων φυτών, καθώς συνέβαλε στην αύξηση του νωπού βάρους της φυλλικής επιφάνειας αλλά και του αριθμού των φύλλων. Η ανταλλαγή αερίων των φυτών δεν παρουσίασε ξεκάθαρα συμπεράσματα καθώς η στοματική αγωγιμότητα, ο ρυθμός διαπνοής και ο ρυθμός φωτοσύνθεσης παρουσίασαν σημαντικά αυξημένες τιμές, μόνο σε ορισμένες εντάσεις φωτός, όταν τα φυτά καλλιεργήθηκαν με 1 και 4  $\mu\text{mol L}^{-1}$   $\text{SeO}_2$  ενώ οι μεταχειρίσεις με 0 και 2  $\mu\text{mol L}^{-1}$  ήταν παρόμοιες. Αντίθετα, οι υψηλότερες τιμές αποδοτικότητας χρήσης νερού σημειώθηκαν για τις μεταχειρίσεις με 0 και 2  $\mu\text{mol L}^{-1}$  καθώς ο ρυθμός διαπνοής ήταν στατιστικά

μεγαλύτερος στις περιπτώσεις 1 και 4  $\mu\text{mol L}^{-1}$ . Η θρεπτική κατάσταση φυτών γλιστρίδας όσον αφορά τη συγκέντρωση μακροστοιχείων στον υπέργειο φυτικό ιστό, δεν φαίνεται να επηρεάστηκε από τη χορήγηση σεληνίου. Το γεγονός αυτό μπορεί να αποδοθεί στο ότι το σελήνιο δεν παρουσιάζει ανταγωνιστική αλληλεπίδραση με τα εξεταζόμενα μακροστοιχεία για το συγκεκριμένο φυτικό είδος. Περνώντας στα ιχνοστοιχεία, το βόριο, ο σίδηρος και το μαγγάνιο δεν παρουσίασαν διαφορές, αντιθέτως, ο ψευδάργυρος αλλά και ο χαλκός αυξήθηκαν σημαντικά κατά τη χορήγηση 1 και 2  $\mu\text{mol L}^{-1}$   $\text{SeO}_2$ . Τέλος το σελήνιο απορροφήθηκε σε μεγαλύτερο βαθμό όταν στα φυτά χορηγήθηκαν αυξανόμενες δόσεις. Η συγκέντρωση σεληνίου εκφρασμένη σε 100 γραμμάρια νωπού βάρους γλιστρίδας δεν ξεπερνά τα όρια της συνιστώμενης πρόσληψης ημερησίως για τη χορήγηση 1 και 2  $\mu\text{mol L}^{-1}$   $\text{SeO}_2$ , ενώ στην περίπτωση καλλιέργειας γλιστρίδας με 4  $\mu\text{mol L}^{-1}$   $\text{SeO}_2$  η ποσότητα σεληνίου ξεπερνά τη γενική Συνιστώμενη Ημερήσια Πρόσληψη κατά 4 μονάδες.

Τα αποτελέσματα της έρευνας υποδεικνύουν πως η μέθοδος βιοεμπλουτισμού με τη χορήγηση σεληνίου στο θρεπτικό διάλυμα είναι αποτελεσματική και βιώσιμη. Οι χορηγούμενες συγκεντρώσεις  $\text{SeO}_2$  δεν επηρέασαν αρνητικά τις φυσιολογικές λειτουργίες των φυτών *P. oleracea* και δεν εμφάνισαν συμπτώματα τοξικότητας. Τέλος μπορεί να αναχθεί το συμπέρασμα πως η χορήγηση 2  $\mu\text{mol L}^{-1}$   $\text{SeO}_2$  μπορεί να θεωρηθεί ως βέλτιστη δόση για την καλλιέργεια εκτός εδάφους γλιστρίδας. Η συγκεκριμένη δόση σεληνίου επιδρά στη ενίσχυση της παραγωγής και της θρεπτικής αξίας *P. oleracea* με την αύξηση της περιεκτικότητάς σε χαλκό, ψευδάργυρο και σελήνιο.

Εν κατακλείδι, τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας μπορούν να εμπλουτιστούν με την ενσωμάτωση αποτελεσμάτων μεταβολομικών αναλύσεων. Επιπλέον, περαιτέρω μελέτες είναι σκόπιμο να διεξαχθούν στοχεύοντας στην αξιολόγηση διαφορετικών μεθόδων βιοεμπλουτισμού με σελήνιο ή ακόμα και με άλλα μικροθρεπτικά στοιχεία σε φυλλώδη λαχανοφύττα είδη. Τέλος, ενδιαφέρουσα επιπλέον έρευνα θα αποτελούσε ο έλεγχος της επίδρασης βιοεμπλουτισμού μακροστοιχείων άγριων αυτοφυών φυλλωδών λαχανικών σε διάφορες συνθήκες αβιοτικών καταπονήσεων (ξηρασία, αλατότητα).

## **Βιβλιογραφία**

### **Ελληνική**

- Αναλογίδης Δ. (2000). Εδαφος, Θρεπτικά Στοιχεία και Φυτική Παραγωγή. ΑγροΤύπος. ISBN: 960-7667-15-8.
- Κουκουλάκης, Π., Παπαδόπουλος Α. (2003). Η ερμηνεία της φυλλοδιαγνωστικής. Σταμούλη Α.Ε. ISBN 9789603514404.
- Σάββας Δ. (2011). Καλλιέργειες εκτός εδάφους. ΑγροΤύπος. ISBN: 978-960-7667-44-1
- Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας & Κλιματικής Αλλαγής (2014). Εθνική Στρατηγική & Σχέδιο Δράσης για τη Βιοποικιλότητα. ISBN: 978-960-7284-31-0.

### **Ξενόγλωσση**

- Abdalla, M. A., Wick, J. E., Famuyide, I. M., McGaw, L. J., & Mühling, K. H. (2021). Selenium enrichment of green and red lettuce and the induction of radical scavenging potential. *Horticulturae*, 7(11). <https://doi.org/10.3390/horticulturae7110488>.
- Ahmad, R., Waraich, E. A., Nawaz, F., Ashraf, M. Y., & Khalid, M. (2016). Selenium (Se) improves drought tolerance in crop plants - a myth or fact? In *Journal of the Science of Food and Agriculture* (Vol. 96, Issue 2, pp. 372–380). John Wiley and Sons Ltd. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7231>.
- Alam, A., Juraimi, A. S., Yusop, M. R., Hamid, A. A., & Hakim, A. (2014). Caracterização morfofisiológica enutricional de 45 acessos de beldroegas (*Portulaca oleracea L.*). *Bragantia*, 73(4), 426–437. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.253>.
- Barsby, J. P., Cowley, J. M., Leemaqz, S. Y., Grieger, J. A., McKeating, D. R., Perkins, A. V., Bastian, S. E. P., Burton, R. A., & Bianco-Miotto, T. (2021). Nutritional properties of selected superfood extracts and their potential health benefits. *PeerJ*, 9. <https://doi.org/10.7717/peerj.12525>.
- Beckett, G. J., & Arthur, J. R. (2005). Selenium and endocrine systems. In *Journal of Endocrinology* (Vol. 184, Issue 3, pp. 455–465). <https://doi.org/10.1677/joe.1.05971>.
- Biesalski, H. K., Dragsted, L. O., Elmadfa, I., Grossklaus, R., Müller, M., Schrenk, D., Walter, P., & Weber, P. (2009). Bioactive compounds: Definition and assessment of activity. *Nutrition*, 25(11–12), 1202–1205. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2009.04.023>.

- Bouis, H., Low, J., Mcewan, M., & Tanumihardjo, S. (2013). Biofortification: Evidence and lessons learned linking agriculture and nutrition. [www.fao.org/publications](http://www.fao.org/publications)
- Boulos, L., Hadidi, M.N., Gohary, M. (1984). Weed flora of Egypt. American University in Cairo Press.
- Bucher, M., & Kossmann, J. (2007). Molecular Physiology of the Mineral Nutrition of the Potato.
- Buturi, C. V., Mauro, R. P., Fogliano, V., Leonardi, C., & Giuffrida, F. (2021). Mineral biofortification of vegetables as a tool to improve human diet. In Foods (Vol. 10, Issue 2). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/foods10020223>.
- Caton, B. P. (n.d.). A practical field guide to weeds of rice in Asia.
- Chaves MM, Osorio J and Pereira JS (2004) Water use efficiency and photosynthesis. In: Bacon MA (Ed.), Water Use Efficiency in Plant Biology. Blackwell Publishing Ltd., Oxford, pp: 42-74.
- Cheng, B., Wang, C., Yue, L., Chen, F., Cao, X., Lan, Q., Liu, T., & Wang, Z. (2023). Selenium nanomaterials improve the quality of lettuce (*Lactuca sativa* L.) by modulating root growth, nutrient availability, and photosynthesis. *NanoImpact*, 29. <https://doi.org/10.1016/j.impact.2022.100449>
- Chivenge, P., Mabhaudhi, T., Modi, A. T., & Mafongoya, P. (2015). The potential role of neglected and underutilised crop species as future crops under water scarce conditions in Sub-Saharan Africa. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(6), 5685–5711. <https://doi.org/10.3390/ijerph120605685>.
- Cornelissen, J.H.C., Lavorel, S., Gamier, E., Diaz, S., Buchmann, N., Gurvich, D.E., Reich, P.B, et al. 2003. A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany* 51: 335-380.
- Costa, J. F. O., Kiperstok, A. C., David, J. P. de L., David, J. M., Giulietti, A. M., de Queiroz, L. P., dos Santos, R. R., & Soares, M. B. P. (2007a). Anti-leishmanial and immunomodulatory activities of extracts from *Portulaca hirsutissima* and *Portulaca werdermannii*. *Fitoterapia*, 78(7–8), 510–514. <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2007.05.005>.
- Deb, P., Prasad, B. V. G., Munsii, P., Chakravorty S. (2018). Underutilized leafy vegetables: diversity, nutritional security and medicinal benefit in context of eastern India. In: Singh, J., Nigam, R., Hasan, W. (eds), *Advances in biodiversity conservation for sustainable development*. Parmar Publishers and Distributors. 95-104. ISBN: 978-93-84113-90-2.
- de Bruijn, J., Gómez, A., Loyola, C., Melín, P., Solar, V., Abreu, N., Azzolina-Jury, F., & Valdés, H. (2020). Use of a copper-and zinc-modified natural zeolite to improve

- ethylene removal and postharvest quality of tomato fruit. *Crystals*, 10(6). <https://doi.org/10.3390/cryst10060471>.
- de Oliveira, V. C., Faquin, V., Andrade, F. R., Carneiro, J. P., da Silva Júnior, E. C., de Souza, K. R. D., Pereira, J., & Guilherme, L. R. G. (2019). Physiological and Physicochemical Responses of Potato to Selenium Biofortification in Tropical Soil. *Potato Research*, 62(3), 315–331. <https://doi.org/10.1007/s11540-019-9413-8>.
- European Food Safety Authority (2017). EFSA confirms safe levels for nitrites and nitrates added to foods. Available from: <https://www.efsa.europa.eu/en/press/news/170615-0>
- FAO (2022). Agricultural production statistics 2000 – 2021: FAOSTAT ANALYTICAL BRIEF 60. ISSN 2709-0078.
- Fernández-Poyatos, M. D. P., Llorent-Martínez, E. J., & Ruiz-Medina, A. (2021). Phytochemical composition and antioxidant activity of *Portulaca oleracea*: Influence of the steaming cooking process. *Foods*, 10(1). <https://doi.org/10.3390/foods10010094>.
- Ferrarese, M., Sourestani, M., Quattrini, E., Schiavi, M., & Ferrante, A. (2012a). Biofortification of spinach plants applying selenium in the nutrient solution of floating system. *Vegetable Crops Research Bulletin*, 76(1), 127–136. <https://doi.org/10.2478/v10032-012-0009-y>.
- Ferreira, R. L. U., Sena-Evangelista, K. C. M., de Azevedo, E. P., Pinheiro, F. I., Cobucci, R. N., & Pedrosa, L. F. C. (2021a). Selenium in Human Health and Gut Microflora: Bioavailability of Selenocompounds and Relationship With Diseases. In *Frontiers in Nutrition* (Vol. 8). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.685317>.
- Flohé, B.R., 2018. Selenium in Human Health and Disease: An Overview. In: Michalke, B. (ed). *Molecular and Integrative Toxicology*. [e -book]. Springer: Cham, Switzerland, 1:3-24.
- Francini, A., Quattrini, E., Giuffrida, F., & Ferrante, A. (2023). Biofortification of baby leafy vegetables using nutrient solution containing selenium. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 103(11), 5472–5480. <https://doi.org/10.1002/jsfa.12622>.
- Galinato, M.I.; Moody, K.; Piggin, C.M. Upland rice weeds of South and Southeast Asia. Makati City, Philippines. International Rice Research Institute, 1999. 156p.
- Hajiboland, R., & Keivanfar, N. (2012). Dodatek selena pospešuje rast in reprodukcijo pri rastlinah kanole (*Brassica napus* L.). *Acta Agriculturae Slovenica*, 99(1), 13–19. <https://doi.org/10.2478/v10014-012-0002-7>.
- Hanif, M. A., Nadeem\*, F., Majeed, M. I., & Mushtaq, Z. (2018). Role of Macronutrients and Micronutrients in the Growth and Development of Plants and Prevention of

- Deleterious Plant Diseases-A Comprehensive Review.  
<https://www.researchgate.net/publication/329044150>.
- Hasanuzzaman, M., Bhuyan, M. H. M. B., Raza, A., Hawrylak-Nowak, B., Matraszek-Gawron, R., Mahmud, J. Al, Nahar, K., & Fujita, M. (2020). Selenium in plants: Boon or bane? In *Environmental and Experimental Botany* (Vol. 178). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104170>.
- Hatfield, J. L., & Dold, C. (2019). Water-use efficiency: Advances and challenges in a changing climate. In *Frontiers in Plant Science* (Vol. 10). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00103>.
- Hawrylak-Nowak, B. (2013). Comparative effects of selenite and selenate on growth and selenium accumulation in lettuce plants under hydroponic conditions. *Plant Growth Regulation*, 70(2), 149–157. <https://doi.org/10.1007/s10725-013-9788-5>.
- Hawrylak-Nowak, B. (2015). Selenite is more efficient than selenate in alleviation of salt stress in lettuce plants. *Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica*, 57(2), 49–54. <https://doi.org/10.1515/abcsb-2015-0023>.
- Heydari, M., Hashempur, M. H., Daneshfard, B., & Mosavat, S. H. (2019). Bioactive Foods as Dietary Intervention for Diabetes From the Perspective of Persian Medicine. In *Bioactive Food as Dietary Interventions for Diabetes* (pp. 49–68). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-813822-9.00004-7>.
- Hossain, A., Skalicky, M., Brestic, M., Maitra, S., Sarkar, S., Ahmad, Z., Vemuri, H., Garai, S., Mondal, M., Bhatt, R., Kumar, P., Banerjee, P., Saha, S., Islam, T., & Laing, A. M. (2021). Selenium biofortification: Roles, mechanisms, responses and prospects. *Molecules*, 26(4). <https://doi.org/10.3390/molecules26040881>.
- Hotz C., (2013). Biofortification. In: Caballero B. (ed). *Encyclopedia of Human Nutrition*. Academic Press. 3: 175-181, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-375083-9.00025-8>.
- Hu, W., Zhao, C., Hu, H., & Yin, S. (2021). Food sources of selenium and its relationship with chronic diseases. In *Nutrients* (Vol. 13, Issue 5). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/nu13051739>.
- Huang, Z., Rose, A. H., & Hoffmann, P. R. (2012). The role of selenium in inflammation and immunity: From molecular mechanisms to therapeutic opportunities. In *Antioxidants and Redox Signaling* (Vol. 16, Issue 7, pp. 705–743). <https://doi.org/10.1089/ars.2011.4145>.
- Ibrahim, S. A. Z., Kerkadi, A., & Agouni, A. (2019). Selenium and health: An update on the situation in the middle east and north Africa. *Nutrients*, 11(7). <https://doi.org/10.3390/nu11071457>.

- Izydorczyk, G., Ligas, B., Mikula, K., Witek-Krowiak, A., Moustakas, K., & Chojnacka, K. (2021). Biofortification of edible plants with selenium and iodine – A systematic literature review. In *Science of the Total Environment* (Vol. 754). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141983>.
- Kaiser, B. N., Gridley, K. L., Brady, J. N., Phillips, T., & Tyerman, S. D. (2005). The role of molybdenum in agricultural plant production. In *Annals of Botany* (Vol. 96, Issue 5, pp. 745–754). <https://doi.org/10.1093/aob/mci226>.
- Khan, Z., Thounaojam, T. C., Chowdhury, D., & Upadhyaya, H. (2023). The role of selenium and nano selenium on physiological responses in plant: a review. In *Plant Growth Regulation* (Vol. 100, Issue 2, pp. 409–433). Springer Science and Business Media B.V. <https://doi.org/10.1007/s10725-023-00988-0>.
- Kieliszek, M. (2019). Selenium—fascinating microelement, properties and sources in food. In *Molecules* (Vol. 24, Issue 7). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/molecules24071298>.
- Kieliszek, M., & Błazejak, S. (2016). Current knowledge on the importance of selenium in food for living organisms: A review. In *Molecules* (Vol. 21, Issue 5). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/molecules21050609>.
- Kumar Koley Manoj Kumar Mahawar Umesh Thapa Pradip Kumar Sarkar Pynbianglang Kharumnuid Venkata Satish Kuchi Sujayasree Chandan Karak Nagendra Kumar Vivek Kumar Singh Rekha Rani Gopal Shukla Nirmal Kumar Meena K Rama Krishna Anil Kumar, T. O., Mishra, N., & Saha Manager, S. (2018). Specialist Editor Editor-in-chief Content Reviewer. [www.agrifoodmagazine.co.in](http://www.agrifoodmagazine.co.in).
- LEI, B., BIAN, Z. hua, YANG, Q. chang, WANG, J., CHENG, R. feng, LI, K., LIU, W. ke, ZHANG, Y., FANG, H., & TONG, Y. xin. (2018). The positive function of selenium supplementation on reducing nitrate accumulation in hydroponic lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Journal of Integrative Agriculture*, 17(4), 837–846. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(17\)61759-3](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(17)61759-3).
- Li, X., Siddique, K. H. M., & Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2018). *Future smart food: rediscovering hidden treasures of neglected and underutilized species for zero hunger in Asia*.
- Liu, H., Xiao, C., Qiu, T., Deng, J., Cheng, H., Cong, X., Cheng, S., Rao, S., & Zhang, Y. (2023). Selenium Regulates Antioxidant, Photosynthesis, and Cell Permeability in Plants under Various Abiotic Stresses: A Review. In *Plants* (Vol. 12, Issue 1). MDPI. <https://doi.org/10.3390/plants12010044>.
- Liu, L., Howe, P., Zhou, Y.-F., Xu, Z.-Q., Hocart, C., & Zhang, R. (2000). Fatty acids and b-carotene in Australian purslane (*Portulaca oleracea*) varieties. In *Journal of Chromatography A* (Vol. 893). [www.elsevier.com/locate/chroma](http://www.elsevier.com/locate/chroma).

- Luo, H., Xing, P., Liu, J., Pan, S., Tang, X., & Duan, M. (2021). Selenium improved antioxidant response and photosynthesis in fragrant rice (*Oryza sativa* L.) seedlings during drought stress. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 27(12), 2849–2858. <https://doi.org/10.1007/s12298-021-01117-9>.
- Malik, K. A., & Maqbool, A. (2020). Transgenic Crops for Biofortification. In *Frontiers in Sustainable Food Systems* (Vol. 4). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.571402>.
- Masepohl, B., & Forchhammer, K. (2007). Regulatory Cascades To Express Nitrogenases.
- Masoodi, M., Ahmad, B., Mir, S. R., Zarger, B., Masoodi, M. H., Zargar, B. A., & Tabasum, N. (2011). *Portulaca oleracea* L. A Review SEE PROFILE *Portulaca oleracea* L. A Review. *Journal of Pharmacy Research*, 4(9), 3044–3048. <https://www.researchgate.net/publication/215868713>.
- Megaloudi, F. (2005). Wild and cultivated vegetables, herbs and spices in Greek antiquity (900 B.C. to 400 B.C.). *Environmental Archaeology*, 10(1), 73–82. <https://doi.org/10.1179/env.2005.10.1.73>.
- Mousavi, S. M., Bagheri, G., & Saeidi, S. (2015). Antibacterial Activities of the Hydroalcoholic Extract of *Portulaca oleracea* Leaves and Seeds in Sistan Region, Southeastern Iran. *International Journal of Infection*, 2(2). <https://doi.org/10.17795/iji-23214>.
- Murray, M. (2014).  $\omega$ -3 polyunsaturated fatty acids and their metabolites as inhibitors of mammalian tumorigenesis. *Phytochemistry Reviews*, 13(1), 139–156. <https://doi.org/10.1007/s11101-013-9294-4>.
- Murphy, J.; Riley, J.P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta* 1962, 27, 31–36.
- Naveed, M., Khalid, H., Ayub, M.A., Rehman, M.Z., Rizwan, M., Rasul, A., Haq, M.A. 2020. Biofortification of Cereals with Zinc and Iron: Recent Advances and Future Perspectives. In: Kumar, S., Meena, R.S., Jhariya., M.K. (eds). *Resources Use Efficiency in Agriculture*. [e -book]. Springer. Singapore, 1:617-637.
- Nawaz, F., Ahmad, R., Ashraf, M. Y., Waraich, E. A., & Khan, S. Z. (2015). Effect of selenium foliar spray on physiological and biochemical processes and chemical constituents of wheat under drought stress. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 113, 191–200. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.12.003>.
- Pannico, A., El-Nakhel, C., Graziani, G., Kyriacou, M. C., Giordano, M., Soteriou, G. A., Zarrelli, A., Ritieni, A., De Pascale, S., & Roupael, Y. (2020). Selenium biofortification impacts the nutritive value, polyphenolic content, and bioactive constitution of variable microgreens genotypes. *Antioxidants*, 9(4). <https://doi.org/10.3390/antiox9040272>.



- Pannico, A., El-Nakhel, C., Kyriacou, M. C., Giordano, M., Stazi, S. R., De Pascale, S., & Rouphael, Y. (2019a). Combating Micronutrient Deficiency and Enhancing Food Functional Quality Through Selenium Fortification of Select Lettuce Genotypes Grown in a Closed Soilless System. *Frontiers in Plant Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01495>.
- Pannico, A., El-Nakhel, C., Kyriacou, M. C., Giordano, M., Stazi, S. R., De Pascale, S., & Rouphael, Y. (2019b). Combating Micronutrient Deficiency and Enhancing Food Functional Quality Through Selenium Fortification of Select Lettuce Genotypes Grown in a Closed Soilless System. *Frontiers in Plant Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01495>.
- Perrone, D., Monteiro, M., & Nunes, J. (2015). The Chemistry of Selenium. <https://www.researchgate.net/publication/281333353>.
- Petropoulos, S., Karkanis, A., Martins, N., & Ferreira, I. C. F. R. (2016). Phytochemical composition and bioactive compounds of common purslane (*Portulaca oleracea* L.) as affected by crop management practices. In *Trends in Food Science and Technology* (Vol. 55, pp. 1–10). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.06.010>.
- Prakash Singh, S., Kumar Jena, A., Deuri, R., & Sharma, P. (2018). Underutilized vegetable crops and their importance. ~ 402 ~ *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(5), 402–407.
- Puccinelli, M., Malorgio, F., Pintimalli, L., Rosellini, I., & Pezzarossa, B. (2022). Biofortification of Lettuce and Basil Seedlings to Produce Selenium Enriched Leafy Vegetables. *Horticulturae*, 8(9). <https://doi.org/10.3390/horticulturae8090801>.
- Rady, M. M., Belal, H. E. E., Gadallah, F. M., & Semida, W. M. (2020). Selenium application in two methods promotes drought tolerance in *Solanum lycopersicum* plant by inducing the antioxidant defense system. *Scientia Horticulturae*, 266. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109290>.
- Rahimi, V. B., Ajam, F., Rakhshandeh, H., & Askari, V. R. (2019). A pharmacological review on *Portulaca oleracea* L.: Focusing on anti-inflammatory, anti-oxidant, immuno-modulatory and antitumor activities. In *Journal of Pharmacopuncture* (Vol. 22, Issue 1, pp. 7–15). Korean Pharmacopuncture Institute. <https://doi.org/10.3831/KPI.2019.22.001>.
- Rani, A., Rani, K., Tokas, J., Anamika, Singh, A., Kumar, R., Punia, H., & Kumar, S. (2020). Nanomaterials for Agriculture Input Use Efficiency. In *Nanomaterials for Agriculture Input Use Efficiency* (pp. 137–175). Springer Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-15-6953-1\\_5](https://doi.org/10.1007/978-981-15-6953-1_5).
- Rios, J. J., Blasco, B., Leyva, R., Sanchez-Rodriguez, E., Rubio-Wilhelmi, M. M., Romero, L., & Ruiz, J. M. (2013). NUTRITIONAL BALANCE CHANGES IN LETTUCE

- PLANT GROWN UNDER DIFFERENT DOSES AND FORMS OF SELENIUM. *Journal of Plant Nutrition*, 36(9), 1344–1354. <https://doi.org/10.1080/01904167.2013.790427>.
- Rodríguez, F. I., Esch, J. J., Hall, A. E., Binder, B. M., Eric Schaller, G., & Bleecker, A. B. (1999). A copper cofactor for the ethylene receptor ETR1 from Arabidopsis. *Science*, 283(5404), 996–998. <https://doi.org/10.1126/science.283.5404.996>.
- Saltzman, A., Birol, E., Bouis, H. E., Boy, E., De Moura, F. F., Islam, Y., & Pfeiffer, W. H. (2013). Biofortification: Progress toward a more nourishing future. In *Global Food Security* (Vol. 2, Issue 1, pp. 9–17). <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2012.12.003>.
- Schiavon, M., Nardi, S., dalla Vecchia, F., & Ertani, A. (2020). Selenium biofortification in the 21st century: status and challenges for healthy human nutrition. In *Plant and Soil* (Vol. 453, Issues 1–2, pp. 245–270). Springer. <https://doi.org/10.1007/s11104-020-04635-9>.
- Skrypnik, L., Styran, T., Savina, T., & Golubkina, N. (2021). Effect of selenium application and growth stage at harvest on hydrophilic and lipophilic antioxidants in lamb's lettuce (*Valerianella locusta* L. laterr.). *Plants*, 10(12). <https://doi.org/10.3390/plants10122733>.
- Smart, S., Glanville, H., Blanes, M., Mercado, L., Emmett, B., Jones, D., Cosby Jr, B., Marrs, R., et al. (2017). Leaf Dry Matter Content is better at predicting above-ground Net Primary Production than Specific Leaf Area. *Functional Ecology*, 31. 10.1111/1365-2435.12832.
- Sultana, A., & Rahman, K. (2013). *Portulaca oleracea* Linn: A Global Panacea With Ethnomedicinal And Pharmacological Potential.
- Tang, W., Guo, H., Baskin, C. C., Xiong, W., Yang, C., Li, Z., Song, H., Wang, T., Yin, J., Wu, X., Miao, F., Zhong, S., Tao, Q., Zhao, Y., & Sun, J. (2022). Effect of Light Intensity on Morphology, Photosynthesis and Carbon Metabolism of Alfalfa (*Medicago sativa*) Seedlings. *Plants*, 11(13). <https://doi.org/10.3390/plants11131688>.
- Tavan, M., Wee, B., Fuentes, S., Pang, A., Brodie, G., Viejo, C. G., & Gupta, D. (2024). Biofortification of kale microgreens with selenate-selenium using two delivery methods: Selenium-rich soilless medium and foliar application. *Scientia Horticulturae*, 323. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112522>.
- Tóth, R. J., & Csapó, J. (2018a). The role of selenium in nutrition – A review. *Acta Universitatis Sapientiae, Alimentaria*, 11(1), 128–144. <https://doi.org/10.2478/ausal-2018-0008>
- Uddin, M. K., Juraimi, A. S., Hossain, M. S., Nahar, M. A. U., Ali, M. E., & Rahman, M. M. (2014). Purslane weed (*Portulaca oleracea*): A prospective plant source of

- nutrition, omega-3 fatty acid, and antioxidant attributes. In *The Scientific World Journal* (Vol. 2014). ScientificWorld Ltd. <https://doi.org/10.1155/2014/951019>.
- UNICEF / WHO / World Bank Group Joint Child Malnutrition Estimates. (2023). *Levels and trends in child malnutrition: Key findings of the 2023 edition*. ISBN: 978-92-4-007379-1.
- U.S. Department of Agriculture (2018). Standard Reference Database Purslane, raw. <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/169274/nutrients>.
- Vanitha, K. (2019). Portulaca - A weed but a nutritious minor leafy vegetable. In: Mishra, N., Mani, A. (eds). *Agriculture & food* [e-newsletter]. Agrifood magazine, ISSN : 2581-8317, 1:ISSUE 7, 229-231.
- Ventura, M., Melo, M., & Carrilho, F. (2018). Selenium and thyroid function. In *Molecular and Integrative Toxicology* (pp. 157–173). Springer Science+Business Media B.V. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-95390-8\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-319-95390-8_8).
- Wang, L., Sun, G., & Tang, Y. (2018). Effects of Selenium on Photosynthetic Characteristics of Tomato Seedlings.
- White P.J. 2018. Selenium in Soils and Crops. In: Michalke, B. (ed). *Molecular and Integrative Toxicology*. [e -book]. Springer: Cham, Switzerland, 1: 29-50.
- WHO (2003). Food Additives Series. Nitrate and nitrite. Available from: <http://www.inchem.org/documents/jecfa/jecmono/v50je07.htm>.
- WHO (2006). Preventing and controlling micronutrient deficiencies in populations affected by an emergency. Multiple vitamin and mineral supplements for pregnant and lactating women, and for children aged 6 to 59 months. Joint statement by the World Health Organization, the World Food Programme and the United Nations Children's Fund.
- WHO & FAO, (1998). *Vitamin and mineral requirements in human nutrition*, 2nd ed. Bangkok, Thailand.