



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΔΑΦΟΛΟΓΙΑΣ

**«Καλλιέργεια σπανακιού (*Spinacia oleracea*) σε έδαφος οπού
προστέθηκαν υπολείμματα εκτροφής του εντόμου *Tenebrio molitor*
ως εδαφοβελτιωτικό υλικό»**



ΡΑΠΤΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ ΑΝΤΩΝΙΑΔΗΣ

Βόλος, 2022

«Καλλιέργεια σπανακιού (*Spinacia oleracea*) σε έδαφος οπού προστέθηκαν υπολείμματα εκτροφής του εντόμου *Tenebrio molitor* ως εδαφοβελτιωτικό υλικό»

“Cultivation of spinach (*Spinacia oleracea*) in soil added with insect frass of the species *Tenebrio molitor* as a novel soil amendment”

ΡΑΠΤΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

Τριμελής εξεταστική επιτροπή:

1. **Αντωνιάδης Βασίλειος (επιβλέπων)**, Καθηγητής (Εφαρμοσμένη Εδαφολογία), Τμήμα Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
2. **Λεβίζου Ευθυμία**, Επίκουρος Καθηγήτρια (Φυσιολογία Φυτών), Τμήμα Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
3. **Αθανασίου Χρήστος**, Καθηγητής (Εντομολογία), Τμήμα Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

«Βεβαιώνω ότι είμαι συγγραφέας της παρούσας πτυχιακής διατριβής, η οποία εκπονήθηκε σύμφωνα με τον Κανονισμό Εκπόνησης Πτυχιακής Εργασίας του ΤΓΦΠΑΠ».

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω πρωτίστως τον επιβλέποντα καθηγητή της Πτυχιακής μου διατριβής κ. Αντωνιάδη Βασίλειο για την εύρεση του θέματος, τις πολύτιμες συμβουλές κατά την εκτέλεση του πειράματος και για τις καθοριστικές υποδείξεις και διορθώσεις στη συγγραφή του κειμένου της πτυχιακής.

Θα ήθελα επιπλέον να ευχαριστήσω τους καθηγητές κα. Λεβίζου Ευθυμία και κ. Χρήστο Αθανασίου για τη συμμετοχή τους στην τριμελή εξεταστική επιτροπή και την παροχή απαραίτητων υλικών για τη διεξαγωγή του πειράματος.

Ακόμη, ευχαριστώ θερμά τον συμφοιτητή και φίλο μου Πάνο Βασίλειο για την άψογη συνεργασία μας και την πολύτιμη βοήθεια του κατά την πειραματική διαδικασία.

Τέλος, ευχαριστώ ιδιαίτερα την οικογένεια μου για την στήριξη της σε όλο αυτό το διάστημα των σπουδών μου καθώς και τους φίλους μου που με βοήθησαν ιδιαίτερα σε όλες τις δυσκολίες που συνάντησα.

Περίληψη	6
Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή	7
1.1. Θρεπτικά στοιχεία	7
1.1.1. Άζωτο	7
1.1.2. Φώσφορος	10
1.1.3. Κάλιο	13
1.2. Οργανικά υπολείμματα	15
1.3. Χρήση του οργανικού υπολείμματος των αποχωρημάτων εντόμων (Insect frass):	17
1.4. Σπανάκι	21
1.5. Σκοπός εργασίας	25
Κεφάλαιο 2: Υλικά και Μέθοδοι	26
2.1. Πειραματικός σχεδιασμός - στήσιμο πειράματος, περιποίηση φυτών, μετρήσεις	26
2.2. Μέθοδοι ανάλυσης	27
2.2.1. Φυτό	27
2.2.2. Έδαφος	31
2.3. Στατιστική επεξεργασία	33
Κεφάλαιο 3: Αποτελέσματα και συζήτηση	34
3.1. Έδαφος	34
3.2. Φυτό	40
Συμπεράσματα	50
Βιβλιογραφία	51
Ελληνική βιβλιογραφία	51
Ξενόγλωσση βιβλιογραφία	51
Ηλεκτρονικές πηγές	57

Περίληψη

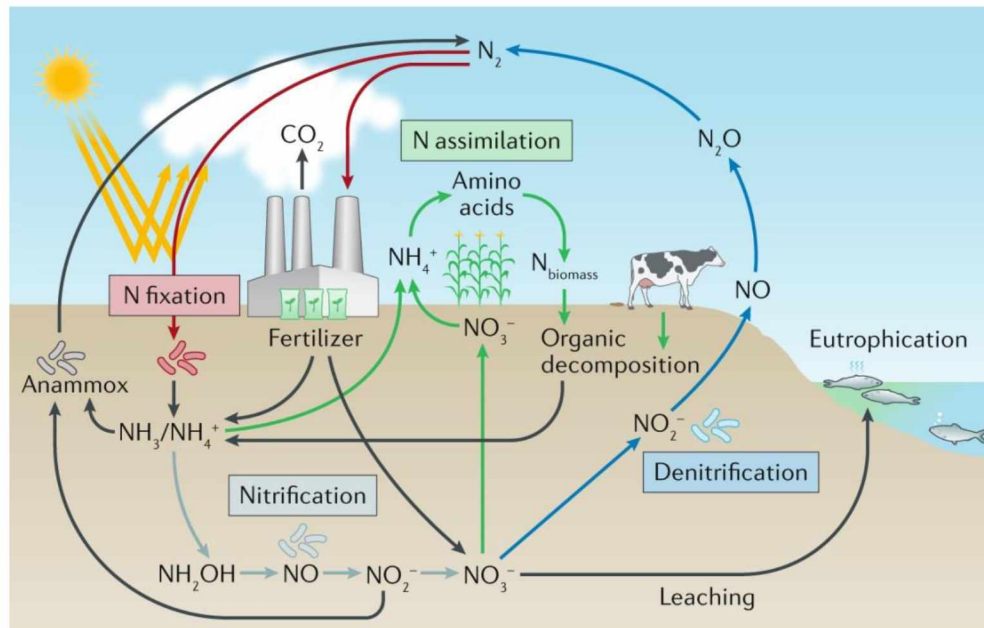
Η εκτροφή εντόμων αναμένεται να αυξηθεί κατακόρυφα τις επόμενες δεκαετίες με επακόλουθη αύξηση στην παραγωγή υπολειμμάτων της καλλιέργειας, γνωστών με τον αγγλικό όρο «frass». Υπό το πρίσμα αυτό, η διαχείριση του frass θα αποτελέσει μείζον ζήτημα και συνεπώς είναι σκόπιμο να βρεθούν τρόποι αξιοποίησής του. Προς τον σκοπό αυτό, στα πλαίσια της εργασίας καλλιεργήθηκαν φυτά σπανακιού (*Spinacia oleracea*), σε περιέκτες των οποίων το έδαφος είχε εμπλουτιστεί με απομεινάρια εκτροφής του *Tenebrio molitor*, προκειμένου να διερευνηθεί κατά πόσο αυτά μπορούν να αξιοποιηθούν σε συστήματα καλλιέργειας ως εδαφοβελτιωτικό υλικό. Ταυτόχρονα παρατηρήθηκε η δυνατότητα κάλυψης των λιπαντικών αναγκών των φυτών μέσω του frass σε σχέση με αυτή των ανόργανων λιπασμάτων. Τα φυτά καλλιεργήθηκαν σε περιέκτες στις θερμοκηπιακές εγκαταστάσεις του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας σε έξι διαφορετικά υποστρώματα: χωρίς προσθήκη εδαφοβελτιωτικού, προσθήκη ανόργανων λιπασμάτων, προσθήκη frass σε συγκεντρώσεις 1%, 5%, 10% και 20%. Στο τέλος της καλλιέργειας τα φυτικά και εδαφικά δείγματα που ελήφθησαν αναλύθηκαν στο Εργαστήριο Εδαφολογίας του τμήματος. Στα εδαφικά δείγματα πραγματοποιήθηκε μέτρηση pH, ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC), καλίου, φωσφόρου και νατρίου. Στα φυτικά δείγματα έγινε μέτρηση ξηρού βάρους, καλίου, νατρίου, αζώτου, φωσφόρου, ψευδαργύρου, χαλκού, σιδήρου και μαγγανίου. Παρατηρήθηκε ότι η τιμή του pH μειώθηκε σημαντικά στις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις frass ενώ δεν επηρεάστηκε από την χορήγηση ανόργανων λιπασμάτων και frass 1%. Η τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας αυξήθηκε μόνο στην περίπτωση όπου χορηγήθηκαν ανόργανα λιπάσματα. Η προσθήκη frass σε συγκέντρωση 5%, 10% και 20% αύξησε την συγκέντρωση φωσφόρου στο έδαφος των μεταχειρίσεων. Φυτά σπανακιού δεν επιβίωσαν στο υπόστρωμα των ανόργανων λιπασμάτων. Η συγκέντρωση του φωσφόρου καθώς και η συγκέντρωση των ιχνοστοιχείων Fe και Mn αυξήθηκε στα φυτά των μεταχειρίσεων του frass 5%, 10% και 20%.

Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή

1.1. Θρεπτικά στοιχεία

1.1.1. Αζωτο

Βιογεωχημικός κύκλος



Εικόνα 1. Ο κύκλος του αζώτου στη φύση. (Lehnert et al, 2018).

Τα αποθέματα της ατμόσφαιρας αποτελούν το σημείο έναρξης της κυκλικής πορείας του αζώτου (N) (εικόνα 1). Η διαδικασία της αζωτοδέσμευσης αφαιρεί το στοιχείο από την ατμόσφαιρα και η διεργασία της απονιτροποίησης είναι αυτή που το επιστρέφει πίσω σε εκείνη. Η έκπλυση των εδαφών και οι εκατομμύρια τόνοι διαφόρων προϊόντων που συγκομίζονται ετησίως είναι οι κύριοι λόγοι απομάκρυνσης της μεγαλύτερης ποσότητας αζώτου από το έδαφος. Για να αποφευχθεί η υποβάθμιση του εδάφους αλλά και να διατηρηθεί η γονιμότητα, είναι απαραίτητη η χορήγηση ποσοτήτων N με αζωτούχα λιπάσματα, κοπριά καθώς και υγρά απόβλητα. Μια σημαντική χορήγηση αζώτου προέρχεται από την ίδια την βροχή, όπου τα οξείδια αζώτου, τα οποία έχουν σχηματιστεί από ηλεκτρικές εκκενώσεις, ενυδατώνονται. Όμως η σημαντικότερη ποσότητα προέρχεται από την βιολογική δέσμευση του στοιχείου. Ποικιλία ενώσεων (οργανικές και ανόργανες) αποτελούν σημαντικά

κομμάτια του κύκλου του στοιχείου, οι σημαντικότερες αυτών: NO_2^- , NO_3^- , NH_3 , NH_2OH και N_2 (Θερίος, 2018)

Οι υψηλότερες ροές μάζας στον κύκλο του αζώτου εντοπίζονται στα χερσαία οικοσυστήματα, κυρίως λόγω της βιολογικής δέσμευσης αζώτου από ελεύθερους ζωντανούς μικροοργανισμούς ή συμβιωτικά φυτά σταθεροποίησης του αζώτου, καθώς και λόγω της αποσύνθεσης της οργανικής ύλης που μπορεί να συμβεί τόσο σαν απονιτροποίηση σε οξείδιο του αζώτου όσο και σαν πτητικοποίηση της αμμωνίας. Μια άλλη είσοδος αζώτου στα οικοσυστήματα προέρχεται από την καύση, κατά την οποία εκλύονται αντιδραστικά συστατικά αζώτου στην ατμόσφαιρα. Τροφοδοτούνται υδάτινα και χερσαία οικοσυστήματα μέσω υγρής και ξηρής εναπόθεσης N σε εδάφη ή αποθήκες νερού. Σε υδάτινα περιβάλλοντα, η καθίζηση αντιπροσωπεύει τη ροή οργανικών και ανόργανων ενώσεων στον πυθμένα των ωκεανών. Εκτός από την απονιτροποίηση και την πτητικοποίηση της αμμωνίας, οι εκροές αζώτου από το χερσαίο οικοσύστημα περιλαμβάνουν απορροή και έκπλυση, τα οποία μεταφέρουν ενώσεις αζώτου σε υδάτινους αποδέκτες όπως ποτάμια και ωκεανούς (Watanabe *et al.*, 2011).

Σε αρκετά εδάφη δεν δεσμεύονται μεγάλες ποσότητες NH_4^+ . Τα NO_3^- , είναι ευδιάλυτα σε νερό στα ελαφρά εδάφη και εκπλένονται, μετά από υψηλή βροχόπτωση κυρίως. Σε βαριά εδάφη, τα NO_3^- , γρήγορα απονιτροποιούνται κάτω από αναγωγικές συνθήκες με αποτέλεσμα να παράγονται σημαντικές ποσότητες αερίου αζώτου (N_2). Οι υψηλές απώλειες N που χορηγείται στις καλλιέργειες οφείλονται στην έκπλυση και την απονιτροποίηση που λαμβάνουν χώρα κατά το φθινόπωρο και το χειμώνα, γεγονός που συντελεί στη μείωση της απόδοσης (Θερίος, 2018).

Χημική συμπεριφορά & Μετατροπές του εδαφικού αζώτου

Εξίσου σημαντική με την κυκλική ροή του αζώτου στην ατμόσφαιρα και στο υδάτινο περιβάλλον είναι, χωρίς να διαχωρίζεται από αυτές, και η ροή του στοιχείου στο εδαφικό περιβάλλον. Αυτό πιστώνεται σε διεργασίες βιοχημικής και χημικής φύσεως, που κάνουν το άζωτο διαθέσιμο στα καλλιεργούμενα είδη φυτών. Συγκεκριμένα η ισορροπία δυο διεργασιών, της ακινητοποίησης και της ανοργανοποίησης αποτελεί σημείο κλειδί στο κατά πόσο οι ευκίνητες μορφές αζώτου μπορούν να γίνουν διαθέσιμες στα εδάφη. (Šimek *et al.*, 2001). Αυτές οι διεργασίες

εξελίσσονται ταυτόχρονα και συσχετίζονται με την δραστηριότητα διαφόρων μικροοργανισμών (Αναλογίδης, 2000).

Διαθεσιμότητα & Λειτουργίες αζώτου στο φυτό

Οι κύριες μορφές με τις οποίες τα φυτά απορροφούν το άζωτο είναι κατά κύριο λόγο η NO_3^- και η NH_4^+ , και σε πολύ μικρότερη κλίμακα διάφορες οργανικές μορφές μικρού μοριακού βάρους. Σε εδάφη με σχετικά υψηλή υγρασία, καλό αερισμό, τα οποία είναι ζεστά και το pH τους μεγαλύτερο του 5 η κύρια μορφή αζώτου είναι η NO_3^- . Το άζωτο όμως δεν συμμετέχει στην μεταβολική διαδικασία με αυτή την μορφή, αλλά μέσω μιας αναγωγικής διαδικασίας, ανάγεται αρχικά στην NH_3 μορφή του.

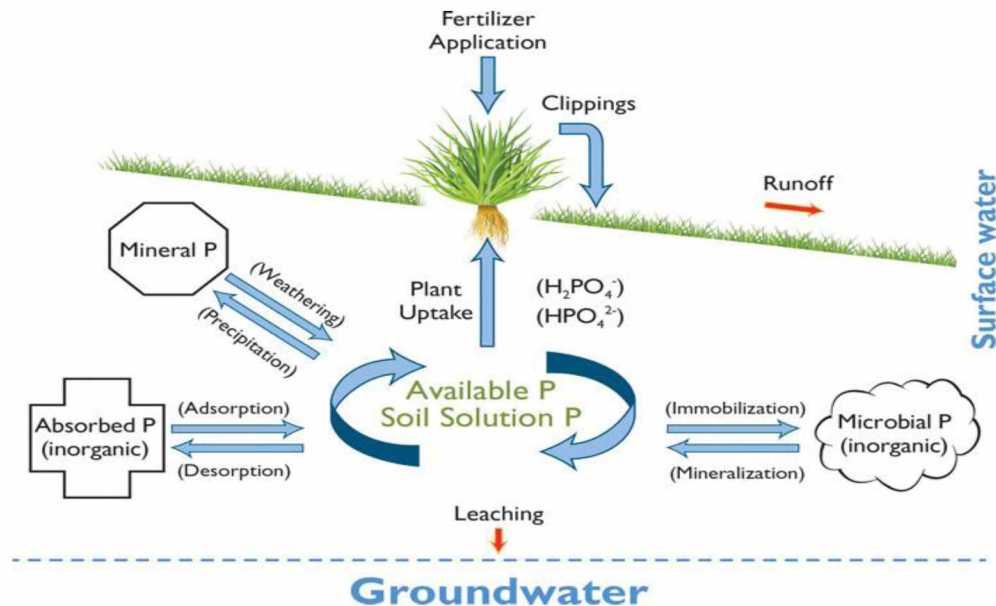
Η περιεκτικότητα του ποικίλει ανάλογα το είδος και το αναπτυξιακό στάδιο του φυτού από 1% έως 5% κατά βάρος.

Το άζωτο υπεισέρχεται ως δομικό συστατικό του μορίου της χλωροφύλλης, των ενζύμων καθώς και των αμινοξέων. Επιπρόσθετα, το στοιχείο αποτελεί σημαντικό παράγοντα για την λειτουργία και την ανάπτυξη των ριζών, καθώς και για την απορρόφηση και εκμετάλλευση πολλών θρεπτικών και υδατανθράκων. Μεγαλύτερη συγκέντρωση αζώτου, αυξάνει την φιλική επιφάνεια και επομένως την φωτοσυνθετική δραστηριότητα που φέρει ως αποτέλεσμα καλύτερες επιδόσεις των καλλιεργειών. (Γεωργίλα, 2018).

Η τροφοπενία αζώτου παρεμποδίζει την αύξηση των φυτών. Σε συνθήκες έντονης τροφοπενίας, τα φύλλα γίνονται εντελώς κίτρινα και πέφτουν από το φυτό. Αρχικά, τα νεότερα φύλλα μπορεί να μην εμφανίσουν τέτοια συμπτώματα επειδή το άζωτο μεταφέρεται εκεί από τα παλαιότερα φύλλα. Επομένως ένα φυτό με έλλειψη σε άζωτο μπορεί να έχει ανώτερα φύλλα ανοικτού πράσινου χρώματος και κατώτερα φύλλα κίτρινα ή καφετιά (Taiz & Zeiger, 2006).

1.1.2. Φώσφορος

Βιογεωχημικός κύκλος φωσφόρου



Εικόνα 2. Κύκλος του φωσφόρου. (www.nysgolfbmp.cals.cornell.edu/phosphorus/)

Η είσοδος του φωσφόρου στην τροφική αλυσίδα είναι αποτέλεσμα των διεργασιών της διάβρωσης και της αποσάθρωσης που απελευθερώνουν το στοιχείο από τα πετρώματα και τις αποθέσεις του. Όσον αφορά το κύκλο του φωσφορου (P) το στοιχείο κινείται από τα χερσαία στα υδάτινα οικοσυστήματα και αντίθετα, δίχως να μεσολαβεί η φάση της ατμόσφαιρας. Πρόκειται δηλαδή για ιζηματογενές κύκλο (εικόνα 2). Σε ορισμένες περιοχές, με χαρακτηριστικά κοκκινωπά εδάφη, τα οποία διαθέτουν ως κύριο συστατικό τους τον καολίνη, το μεγαλύτερο μέρος του διαθέσιμου P, δίνεται από την αποσύνθεση της εκάστοτε βιομάζας. Σε τέτοια εδάφη με τη διάβρωση ο φώσφορος παρασύρεται μέσω του νερού στο βυθό των ποταμών αλλά και των λιμνών σε ιζηματικά στρώματα, διώχνοντάς τον για πάρα πολλά χρόνια από το κυκλικό σύστημα. (Αθανασάκης *et al.*, 2010).

Χημική συμπεριφορά & Μετατροπές φωσφόρου στο έδαφος

Ο εδαφικός φώσφορος υπάρχει σε ποικίλες μορφές, συμπεριλαμβανομένου του ανόργανου P (P_i) και του οργανικού P (P_o). Οι συγκεκριμένες μορφές P παρουσιάζουν διαφορετική συμπεριφορά και αναλογία στα εδάφη (Turner *et al.*,

2007). Ο P_i συνήθως αντιπροσωπεύει το 35% έως 70% του συνολικού P στο έδαφος (υπολογισμός από Harrison, 1987). Τα πρωτογενή ορυκτά P είναι πολύ σταθερά, και η απελευθέρωση του διαθέσιμου P από αυτά τα ορυκτά με τη διάβρωση είναι πολύ αργή ώστε να καλύψει τη ζήτηση των καλλιεργειών. Αντίθετα, τα δευτερογενή ορυκτά P, συμπεριλαμβανομένων των φωσφορικών ασβεστίου (Ca), σιδήρου (Fe) και αργιλίου (Al), ποικίλλουν ως προς τους ρυθμούς διάλυσής τους όσον αφορά το pH και την διάμετρο των σωματιδίων των ορυκτών. (Oelkers and Valsami-Jones, 2008). Αυξάνοντας το εδαφικό pH, βελτιώνεται η διαλυτότητα των φωσφορικών αλάτων σιδήρου (Fe) και αργιλίου (Al), μειώνεται όμως αυτή του φωσφορικού ασβεστίου (Ca). Αυτό ισχύει για τιμές pH που δεν ξεπερνούν το οχτώ. (Hinsinger, 2001). Ο φώσφορος (P) που βρίσκεται προσροφημένος σε διάφορα αργίλια και οξειδία Al/Fe μπορεί να απελευθερωθεί με αντιδράσεις εκρόφησης.

Όλες αυτές οι μορφές P υπάρχουν σε ποικίλες ισορροπίες μεταξύ τους, από πολύ σταθερές, λιγότερο διαθέσιμες, έως διαθέσιμες σε φυτά πηγές όπως το ασταθές P και το διαλυτό P (Shen *et al.*, 2011). Η διαθεσιμότητα φωσφόρου επηρεάζεται από την οργανική ουσία, διότι με την παρουσία της το pH μειώνεται εξαιτίας του CO₂ και του H₂CO₃ που παράγεται, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η διαθεσιμότητα του P. Η ποσότητα του ανόργανου P είναι περισσότερη από αυτήν του οργανικού στο έδαφος. Επιπλέον η περιεκτικότητα του οργανικού P είναι μεγαλύτερη στην επιφάνεια του εδάφους (Θέριος, 2018).

Η συγκράτηση του P, εξαρτάται ακόμη, από τον χρόνο επαφής του θρεπτικού με το έδαφος και η δέσμευση του είναι ανάλογη του χρόνου επαφής του. Επιπλέον εδάφη με pH 5,5-7 έχουν την μεγίστη διαθεσιμότητα P, ενώ όξινα εδάφη διασπών το φώσφορο ύστερα από αντίδραση με Fe και Al, παρόμοια είναι η κατάληξη με αντίδραση Ca και Mg σε αλκαλικά εδάφη. Τέλος, η ύπαρξη ορυκτών αργίλου, έχει σημαντικό ρολό στην συγκράτηση του P. Καλύτερη είναι η συγκράτηση στα ορυκτά τύπου 1/1 σε σχέση με τα 2/1, όπως εδάφη πλούσια σε καολινίτη σε συνδυασμό με υψηλές θερμοκρασίες και ανάλογη ποσότητα βροχής δεσμεύουν πολύ P (Θέριος, 2018).

Εξαιτίας της χαμηλής συγκέντρωσης και της χαμηλής κινητικότητας του διαθέσιμου στα φυτά εδαφικού P, χρειάζονται εφαρμογές χημικών λιπασμάτων P για τη βελτίωση της ανάπτυξης και της απόδοσης των καλλιεργειών. Οι κυριότερες μορφές φωσφορικών λιπασμάτων περιλαμβάνουν το φωσφορικό μονοασβέστιο (MCP).

Διαθεσιμότητα & Λειτουργίες φωσφόρου στο φυτό

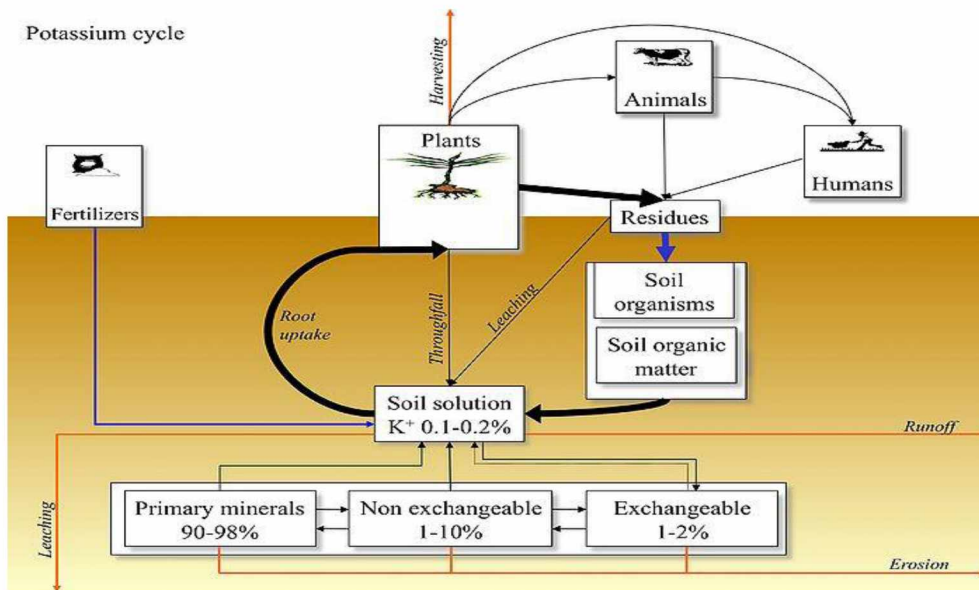
Οι ανάγκες του φυτού σε φώσφορο είναι περίπου δέκα φορές μικρότερες σε σχέση με αυτές σε άζωτο, με την συγκέντρωση του στοιχείου να μην ξεπερνά συνήθως το 0,4%. Ο φώσφορος γίνεται διαθέσιμος στους φυτικούς οργανισμούς μέσω δυο μορφών. Η πρώτη συναντάται σε εδάφη με χαμηλό pH και είναι τα φωσφορικά ανιόντα $H_2PO_4^-$, ενώ η δεύτερη, HPO_4^- , σε εδάφη με υψηλότερο pH. Διαθέσιμα πολύ πιθανόν να γίνουν και κάποια διαλυτά οργανικά φωσφορικά τα όποια προέρχονται από την αποσύνθεση της οργανικής ουσίας, χωρίς όμως να είναι σημαντικά για την θρέψη.

Κύριος ρόλος του εν λόγω στοιχείου είναι η αποθήκευση καθώς και η μετακίνηση της ενέργειας. Συγκεντρώνεται στα χυμοτόπια, όπου εξυπηρετεί αποθησαυριστικό ρόλο, και αποτελεί αναπόσπαστο συστατικό σημαντικών ενώσεων όπως των φωσφορικών σακχάρων και των φωσφολιπιδίων στις μεμβράνες των φυτών. Είναι επίσης συστατικό των νουκλεοτιδίων που χρησιμοποιούνται στον ενεργειακό μεταβολισμό (όπως η ATP) καθώς και των DNA και RNA.

Εντός των φυτών η μετακίνηση του πραγματοποιείται ευκολότερα στα σημεία έντονης φωτοσύνθεσης. Επάρκεια θρέψης των φυτών με φώσφορο είναι σημαντική για τον σχηματισμό των αναπαραγωγικών μερών του, οπότε μεγάλα ποσά βρίσκονται στους σπόρους και τους καρπούς. Συμβάλλει επίσης στην ανάπτυξη του ριζικού συστήματος, το οποίο γίνεται σχετικά πιο ανθεκτικό στις ασθένειες, συμβάλλοντας στην πιο σωστή απορρόφηση των υπόλοιπων θρεπτικών, ενώ βελτιώνεται η ποιότητα φρούτων, λαχανικών και σπόρων.

Η τροφοπενία φωσφόρου γίνεται ορατή με την παρεμπόδιση της αύξησης των νεαρών φυτών και τον σκούρο πράσινο χρωματισμό των φύλλων, τα οποία μπορεί να είναι κακοσχηματισμένα και να περιέχουν μικρές κηλίδες νεκρού ιστού (necrotic spots). Πρόσθετα συμπτώματα της τροφοπενίας φωσφόρου περιλαμβάνουν την παραγωγή πυκνών βλαστών και τον θάνατο των παλαιότερων φύλλων ενώ μπορεί επίσης να καθυστερήσει η ωρίμανση του φυτού (Taiz & Zeiger, 2006).

1.1.3. Κάλιο



Εικόνα 3. Κύκλος του καλίου. ([www.wiki.ubc.ca/LFS:SoilWeb/Soil_Biology/Nutrient_Cycles/Potassium_\(K\)](http://www.wiki.ubc.ca/LFS:SoilWeb/Soil_Biology/Nutrient_Cycles/Potassium_(K)))

Βιογεωχημικός κύκλος καλίου

Αζωτο, φώσφορος και κάλιο απαιτούνται σε υψηλές συγκεντρώσεις προκειμένου μια καλλιέργεια να ολοκληρωθεί με επιτυχία (Μήτσιος, 2004)

Κάλιο εμπεριέχεται στα πρωτογενή και δευτερογενή ορυκτά του εδάφους σε ποσοστό μεγαλύτερο του 2,4% του στέρεου φλοιού της γης. Το συναντάμε στο έδαφος σε τρεις διαφορετικές μορφές (εικόνα 3), την ευκόλως διαθέσιμη (0,1%-2%), την λιγότερο διαθέσιμη (1%-10%) ενώ το μεγαλύτερο ποσοστό του αποτελεί η μη διαθέσιμη μορφή του (90%-98%). Τα πρωτογενή ορυκτά με επαρκή περιεκτικότητα K είναι ο βιοτίτης, ο μοσχοβίτης και τα φυλλόμορφα, με τον βιοτίτη τον πλουσιότερο σε περιεκτικότητα καλίου και τα φυλλόμορφα τα φτωχότερα αυτών. Δευτερογενή ορυκτά K είναι ο χλωρίτης και ο βερμικουλίτης. Κάλιο προερχόμενο από αυτά τα ορυκτά (πρωτογενή-δευτερογενή) συγκρατείται στην εναλλακτική φάση του εδάφους, είτε χάνεται μέσω έκπλυσης, είτε χρησιμοποιείται από μικροοργανισμούς. Στο εδαφικό διάλυμα συναντάται η ευκόλως διαθέσιμη μορφή του K, ενώ το δύσκολα διαθέσιμο K δεν είναι εφικτό να προσδιοριστεί με εκχυλίσεις που χρησιμοποιούνται στον υπολογισμό του διαθέσιμου. Τέλος, το μεγαλύτερο ποσοστό του K, που αποτελεί το μη διαθέσιμο κάλιο, είναι μέρος της κρυσταλλικής δομής των εδαφικών ορυκτών (Θέριος, 2018).

Χημική συμπεριφορά & Μετατροπές καλίου στο έδαφος

Η χημική συμπεριφορά του καλίου επηρεάζεται από τα ορυκτά της αργίλου στο έδαφος και κυρίως από τα ορυκτά τύπου 2/1 (π.χ. ιλλίτης) και την παρουσία του NH_4^+ στην εσωτερική τους στιβάδα, όπου δεσμεύεται και το κάλιο. Το K με την παρουσία του, στον ενδοστοιβαδικό χώρο, μπλοκάρει την απελευθέρωση του NH_4^+ . Η δέσμευση του στοιχείου (K) μειώνει, σε αμμώδη εδάφη, την απώλεια K λόγω έκλυσης και με την πάροδο του χρόνου το κάλιο που έχει δεσμευτεί γίνεται βραδέως διαθέσιμο. Όσο αυξάνεται η ποσότητα προστιθέμενου K στο εδαφικό διάλυμα τόσο αυξάνεται το K σε αυτό και μειώνεται η δεσμευτική ικανότητα του εδάφους, με αποτέλεσμα την αύξηση των αποδόσεων των καλλιεργειών. Ένα μεγάλο μέρος του που προστίθεται ετησίως χάνεται και καταλήγει στους ωκεανούς. (Θέριος, 2018).

Διαθεσιμότητα & Λειτουργίες καλίου στα φυτά

Το κάλιο προσλαμβάνεται από τα φυτά ως κατιόν και η συγκέντρωσή του στο φυτό κυμαίνεται από 1% έως 4%. Από όλα τα ανόργανα θρεπτικά συστατικά, το κάλιο είναι ιδιαίτερα σημαντικό τόσο στην ανάπτυξη και την επιβίωση των φυτών που βρίσκονται υπό διάφορες βιοτικές και αβιοτικές καταπονήσεις, όσο και στον ίδιο τον μεταβολισμό τους.

Το κάλιο χαρακτηρίζεται από έντονη κινητικότητα προς τα διάφορα μέρη των φυτών, και αυτό διότι το μεγαλύτερο ποσοστό των μεμβρανών του κυττάρου επιτρέπουν στο στοιχείο να τις διαπερνά με ευκολία. Σε σύγκριση με τα λοιπά μακροστοιχεία, η διαθεσιμότητα του στο εδαφικό περιβάλλον ποικίλει ανάλογα τα επίπεδα του οξυγόνου. Τα ιονοφόρα, αποτελούν το κλειδί της σταθερής και μη μεταβαλλόμενης προσρόφησης καλίου μέσω της διάχυσης στα κύτταρα του ριζικού συστήματος. Εναλλακτική, εξίσου σημαντική μέθοδος πρόσληψης θεωρείται το σύστημα της ενεργής ATPάσης.

Εν αντιθέσει με τα δυο προαναφερθέντα μακροστοιχεία (N,P), το κάλιο προσκολλημένο σε οργανικές ρίζες αρνητικά φορτισμένες ή συχνότερα ως κατιόν (K^+), δεν αποτελεί στοιχείο δομικό των μακρομορίων του κυττάρου. Ο κομβικός του ρόλος περιορίζεται σε λειτουργίες που επηρεάζουν τον σχηματισμό της ATP, τις αντλίες των πρωτονίων των μεμβρανών του κυττάρου αλλά και το ιοντικό φορτίο του κυτταρικού διαλύματος (Ασημακόπουλος *et al.*, 2009).

Το Κ είναι ένα βασικό θρεπτικό συστατικό των φυτών που επηρεάζει μια σειρά φυσιολογικών και βιοχημικών διεργασιών που εμπλέκονται στην αντοχή των φυτών σε βιοτικές και αβιοτικές καταπονήσεις (Wang *et al.*, 2013). Διαδραματίζει βασικούς ρόλους στην ενεργοποίηση ενζύμων, τη σύνθεση πρωτεϊνών, τη φωτοσύνθεση, την οσμωρύθμιση, τη στοματική κίνηση, τη μεταφορά ενέργειας, τη μεταφορά του φλοιώματος, την ισορροπία κατιόντων-ανιόντων και την αντοχή στο υδατικό στρες καθώς ρυθμίζει το άνοιγμα των στομάτων (Marschner, 2011).

Η τροφοπενία καλίου εκδηλώνεται αρχικά ως περιφερειακή χλώρωση, η οποία στη συνέχεια εξελίσσεται σε νέκρωση, κυρίως στις κορυφές και την περιφέρεια των φύλλων, καθώς και μεταξύ των νευρώσεων (Taiz & Zeiger, 2006). Επειδή το κάλιο μπορεί να κινητοποιηθεί προς τα νεότερα φύλλα, τα συμπτώματα αυτά εμφανίζονται αρχικά στα πιο ώριμα φύλλα προς τη βάση του φυτού (Κανάκης, 2004). Τα φύλλα μπορεί επίσης να κατσαρώνουν και να ζαρώνουν. Οι βλαστοί των ελλειμματικών σε κάλιο φυτών μπορεί να είναι ισχνοί και αδύναμοι, με ιδιαίτερα κοντά μεσογονάτια διαστήματα (Taiz & Zeiger, 2006).

1.2. Οργανικά υπολείμματα

Με τον όρο γεωργικά απόβλητα αναφερόμαστε σε όλες εκείνες τις ουσίες, κατά κύριο λόγο οργανικές, και αντικείμενα τα οποία απορρίπτονται από τους αγρότες κατά την διάρκεια μιας αγροτικής παράγωγης. Πέρα των συνηθισμένων, κοπριά μικρών και μεγάλων ζώων καθώς και φυτικών υπολειμμάτων, στα γεωργικά απόβλητα περιλαμβάνονται αγροτικά και οικιακά απορρίμματα, (Wang *et al.*, 2014). Συνηθέστερα εξ αυτών, κοπριά ζώων και φυτικά υπολείμματα (Liu, 2017). Κοινό χαρακτηριστικό όλων η φιλικότητα τους προς το περιβάλλον, καθώς πρόκειται για βιοαποικοδομήσιμα προϊόντα. Δευτερεύον χαρακτηριστικό τους οι τεράστιες ποσότητες παραγωγής τους ετησίως, οι οποίες συνεχώς αυξάνονται παράλληλα με την πληθυσμιακή αύξηση. Εκτιμάται ετήσια αύξηση των γεωργικών αποβλήτων άνω του 10% (Tao, 2013).

Στα γεωργικά εδάφη, το ισοζύγιο οργανικού άνθρακα του εδάφους (SOC) καθορίζεται ως ένα σημαντικό βαθμό από τη διαχείριση της γης (Van Wesemael *et al.*, 2010), η οποία ρυθμίζει την παραγωγή φυτών, τις εισροές άνθρακα στο έδαφος και την αποσύνθεση της οργανικής ύλης του εδάφους (Liu *et al.*, 2006). Πρακτικές

όπως η οργανική λίπανση, εναλλαγές καλλιεργειών των καλλιεργούμενων εδαφών (Poerlau & Don, 2015) και η διατήρηση υπολειμμάτων καλλιεργειών σε αγρούς (Lehtinen *et al.*, 2014) αυξάνουν την εισροή άνθρακα (C) και μπορούν να διατηρήσουν το SOC. Ωστόσο, τα υπολείμματα καλλιεργειών μιας σειράς φυτών ανταγωνιστών, εκτός των καλλιεργούμενων, αποτελούν έναν πρωταρχικό πόρο στον τομέα της βιοενέργειας καθώς η χρήση τους αυξάνει την αξία της γεωργικής παραγωγής (Daioglou *et al.*, 2016).

Σημασία των οργανικών υπολειμμάτων στη γονιμότητα εδαφών

Εδάφη, τα οποία επηρεάζουν την εξέλιξη της καλλιέργειας αναστέλλοντας την ανάπτυξη του εκάστοτε φυτού, λόγω έλλειψης στοιχείων ή λόγω επιμόλυνσης, καλούνται προβληματικά. Μείζον θέμα του αντίστοιχου επιστημονικού κλάδου της εδαφολογίας, είναι η εύρεση της κατάλληλης στρατηγικής βελτίωσης των εδαφών αυτών (Lal, 2015). Πολλά υποσχόμενη θεωρήθηκε η εφαρμογή Biochar (Fang *et al.*, 2018) ενός άνθρακα πυρογενούς προελεύσεως, ειδικών αγροτικών αποβλήτων (Inyang *et al.*, 2012). Το Biochar έχει την δυνατότητα βελτίωσης τόσο των εδαφών, όσο και της ίδιας της καλλιέργειας (Fang *et al.*, 2018) λόγω των ξεχωριστών φυσικοχημικών ιδιοτήτων του, αλλά και της μοναδικής του απορροφητικότητας (Wan *et al.*, 2018).

Στην κατηγορία των προβληματικών εδαφών εντάσσονται επίσης και εδάφη τα οποία περιέχουν ελάχιστη έως καθόλου οργανική ουσία. Για αναστροφή αυτής της κατάστασης απαιτείται ειδικός χειρισμός του εδάφους, του νερού άρδευσης της ίδιας της καλλιέργειας αλλά και των εδαφοβελτιωτικών τα οποία θα εφαρμόζονται (Hug & Shoaib, 2013).

Η κομποστοποίηση θα μπορούσε να είναι η βέλτιστη λύση για την αντιμετώπιση των αστικών-οργανικών αποβλήτων μειώνοντας την περιβαλλοντική μόλυνση, μέσω της εφαρμογής ως θρεπτικά στην γεωργία. Η κομποστοποίηση είναι η δεσμευμένη αεροβική αποσύνθεση των αποβλήτων τροφίμων χρησιμοποιώντας μία μόνο πρώτη ύλη και αποτελεί μια πολλά υποσχόμενη λύση για την αντιμετώπιση των αποβλήτων τροφίμων (Dahiya *et al.*, 2017) καθώς η εφαρμογή της έχει δείξει θετικά αποτελέσματα ως προς την οικονομία και την αποδοτικότητα.

Ο συνδυασμός δε περισσότερων από μία πρώτων υλών μπορεί να προσφέρει μια καλή ευκαιρία ώστε να επωφεληθούν οι καλλιέργειες από κάθε συστατικό. Για

παράδειγμα θα μπορούσε να επιτευχθεί συνδυασμός των απόβλητων κοπράνων, που έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε υγρασία και άζωτο (N) με τα απόβλητα τροφίμων τα οποία έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε οργανικά συστατικά (Dodick & Kauffman, 2017), (Awasthi *et al.*, 2020).

1.3. Χρήση του οργανικού υπολείμματος των αποχωρημάτων εντόμων (Insect frass):

Ένα από τα πιο καίρια προβλήματα που καλείται ήδη να αντιμετωπίσει η βιομηχανία τροφίμων αφορά στην συνεχή και σταθερή άνοδο του παγκόσμιου πληθυσμού και συνεπώς στην ανάγκη παραγωγής επαρκών πρωτεϊνών για τη διατροφή των εννέα δισεκατομμυρίων ανθρώπων που αναμένεται να υπάρχουν στον πλανήτη έως το 2050. Παρόλο που η παραγωγή υλικών πλούσιων σε πρωτεΐνες συνεχώς αυξάνεται δεν επαρκεί για τις ανάγκες ούτε του ανθρώπινου αλλά ούτε και του ζωικού βασιλείου, με αποτέλεσμα περισσότερο από ένα δισεκατομμύριο άνθρωποι να υποφέρουν από ανεπάρκεια πρωτεΐνης (Ghaly & Alkoaik, 2009).

Πολλές κυβερνήσεις και αρκετά διεθνή ιδρύματα (FAO) προωθούν ως λύση στο παραπάνω πρόβλημα την ανάπτυξη της βιομηχανίας εντόμων ως νέα πηγή τροφής. Εξαιτίας της διατροφικής τους αξίας, τα έντομα έχουν αξιολογηθεί ως ενδιαφέρουσα εναλλακτική τροφή και ζωοτροφή, πλούσια σε πρωτεΐνη, μέταλλα αλλά και λιπίδια (Rumpold & Schluter, 2013). Ακόμη η εκμετάλλευση των εντόμων μπορεί να αποτελέσει μέσο μείωσης της ποσότητας των οργανικών αποβλήτων.

Υπό το πρίσμα των παραπάνω και προκειμένου τα έντομα να ενταχθούν στην διατροφή τόσο των ανθρώπων όσο και των ζώων απαιτούνται σχετικά άφθονες ποσότητες, που σημαίνει εκτροφή τους σε μεγάλη κλίμακα. Ως υποπροϊόν της διαδικασίας αυτής τα έντομα παράγουν το γνωστό με τον αγγλικό όρο «frass» και μάλιστα σε υπερπολλαπλάσιες ποσότητες από αυτές των υπόλοιπων προϊόντων. Ενδεικτικά αναφέρετε ότι ο κίτρινος σκώληκας (*Tenebrio molitor*) μπορεί να καταναλώσει καθημερινά 220 g τροφής με τη μορφή καλαμποκιού και καρότων, αποδίδοντας 4 g βιομάζας και 180 g frass και υπολείμματα (Wang *et al.*, 2017). Το frass, εκτός των τελικών προϊόντων πέψης των εντόμων, ενδέχεται επίσης να περιέχει,

μεταξύ άλλων υπολείμματα του μέσου καλλιέργειας, κελύφη χιτίνης και νεκρά έντομα (Kallinen H., 2020).

Μερικά είδη προνυμφών όπως του εντόμου *Hermetia illucens*, (BSF, Diptera: *Stratiomyidae*) προτάσσονται ως ιδανικά για μετατροπή των οργανικών αποβλήτων σε ζωοτροφές και με εφαρμογές στην ανακύκλωση χαμηλής αξίας θρεπτικών συστατικών προς βιομάζα και συνεπώς προς την παραγωγή frass (Diener *et al.*, 2009). Οι συγκεκριμένες προνύμφες μπορούν να επεξεργαστούν μεγάλους όγκους οργανικών αποβλήτων και μπορούν να τρέφονται με ένα ευρύ φάσμα οργανικών υποστρωμάτων. Άλλα δημοφιλή είδη που μπορούν επίσης να εκμεταλλευτούν προς αυτό τον σκοπό είναι τα είδη: *Musca domestica*, γνωστή ως οικιακή μύγα, και το είδος *Tenebrio molitor*, γνωστό και ως κίτρινος σκόληκας, όπως προαναφέρθηκε, τα οποία είναι πολύ αποτελεσματικά στη βιο-μετατροπή οργανικών αποβλήτων. Η εκτροφή των ειδών αυτών αυξάνεται συνεχώς, κυρίως λόγω της δημοφιλίας τους, αλλά και επειδή θα μπορούσαν να μετατρέψουν συλλογικά κάθε έτος περίπου 1,5 δισεκατομμύρια τόνους οργανικών αποβλήτων (Veldkamp *et al.*, 2012). Άλλα είδη εντόμων, όπως οι γρύλοι, εκτρέφονται εντατικά σε φάρμες και εκεί τρέφονται με ζωοτροφές υψηλής ποιότητας, όπως ζωοτροφές από κοτόπουλου. Η υποκατάσταση αυτών των ζωοτροφών με οργανικά υπολείμματα μπορεί να βοηθήσει να καταστεί η καλλιέργεια εντόμων περιβαλλοντικά φιλικότερη και οικονομικά πιο συμφέρουσα (Offenberg, 2011). Ωστόσο, προς το παρόν αυτό δεν επιτρέπεται εξαιτίας των υπάρχοντων κανονισμών περί τροφίμων και ζωοτροφών.

Έχει βρεθεί ότι το frass είναι ένα καλό λίπασμα για τα φυτά, αλλά σχετικά με αυτό υπάρχουν λίγα διαθέσιμα ερευνητικά δεδομένα και έχουν αναπτυχθεί ελάχιστα εμπορικά σκευάσματα με αυτό (Kallinen H., 2020). Σε πολλές ερευνητικές εργασίες εξετάζεται το ερώτημα εάν το συγκεκριμένο στερεό υποπροϊόν που προέρχεται από τα πιο κοινά έντομα εκτροφής μπορεί να έχει θετικό αντίκτυπο, άρα και εφαρμογή, στην καλλιέργεια συγκεκριμένων φυτικών ειδών.

Εξαιτίας της μεγάλης συγκέντρωσης του σε άζωτο (N), φώσφορο (P) και κάλιο (K) καθώς και η πιθανή παρουσία ωφέλιμων μικροοργανισμών (Poveda *et al.*, 2019), η χρήση του frass ως ανόργανο λίπασμα θα μπορούσε να βοηθήσει στη μείωση της χρήσης αγροχημικών. Σε πρόσφατα πειράματα το frass του εντόμου *Hermetia illucens* χρησιμοποιήθηκε με επιτυχία ως οργανικό λίπασμα για την προώθηση της ανάπτυξης του αραβόσιτου (Beesigamukama *et al.*, 2020, Gärttling *et al.*, 2020). Επιπρόσθετα, το frass της εκτροφής του εντόμου *Tenebrio molitor*, έδειξε

μεγάλη δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί ως μερικό ή πλήρες υποκατάστατο ανόργανων λιπασμάτων N, P, K σε καλλιέργεια κριθαριού.

Το frass των εντόμων περιέχει θρεπτικά συστατικά που αφομοιώνονται εύκολα από τις ρίζες των φυτών λόγω του φυσιολογικού μηχανισμού μετατροπής της τροφής σε απεκκρίματα που διαθέτουν τα έντομα. Το frass των εντόμων περιέχει περισσότερο ασταθή άνθρακα (C) από ότι τα φυτικά υπολείμματα. Αυτό μπορεί να διεγείρει τη μικροβιακή ανάπτυξη η οποία με τη σειρά της αυξάνει την αναπνοή του εδάφους, το ρυθμό αποσύνθεσης των φυτικών υπολειμμάτων και την ανοργανοποίηση ή ακινητοποίηση του αζώτου. Σε πολλά φυσικά οικοσυστήματα παρατηρείται ότι τα έντομα μπορούν να αποτελέσουν βασική πηγή αζώτου για τα φυτά, συντελούν μια σημαντική δεξαμενή αζώτου και κατ' επέκταση αναπόσπαστο μέρος του κύκλου αζώτου στο έδαφος

Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν σε επίπεδο οικοσυστήματος έχουν διερευνηθεί από ερευνητικά τμήματα και έχουν επαληθευτεί με πειράματα σε μικρότερη κλίμακα. Έχει διαπιστωθεί ότι μαζί με το άζωτο, και άλλα θρεπτικά συστατικά εμπλουτίζουν το έδαφος μέσω του frass, όπως είναι ο φώσφορος, το κάλιο και διάφορα αμίδια, αμινοξέα και ιχνοστοιχεία. Κατ' αυτό τον τρόπο ευνοείται η μικροβιακή δραστηριότητα στο έδαφος και τονίζεται ο σημαντικός ρόλος των εντόμων στον κύκλο των θρεπτικών (Poveda, 2021).

Η συμβολή του frass ως πηγή θρεπτικών στη γεωργία έχει μελετηθεί εκτενώς για ένα από τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα είδη της βιομηχανικής εκτροφής εντόμων, το *Tenebrio molitor*. Έρευνες απέδειξαν πως η περιεκτικότητα των θρεπτικών του frass και δυνατότητα εφαρμογής του ως λίπασμα συνδέονται στενά με την διατροφή που λαμβάνει το έντομο. Τροποποιώντας τη διατροφή των εντόμων παρατηρείται διαφορετική αναλογία θρεπτικών στο frass αλλά επίσης αναφέρονται σημαντικές αλλαγές στο μικροβίωμά του, πτυχές οι οποίες εμπλέκονται στην ικανότητά του να χρησιμοποιηθεί ως οργανικό λίπασμα. Πηγές αναφέρουν ότι το frass του συγκεκριμένου εντόμου περιείχε την ακόλουθη αναλογία: NPK 3-2-2 (g/100 g) και 140 mg Fe/Kg, το οποίο ήταν ικανό να προάγει την ανάπτυξη των φυτών σέσκουλου σε γλάστρες. Συγκεκριμένα, η περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη, το μήκος του στελέχους, το πλάτος του μίσχου και το νωπό βάρος των φύλλων αυξήθηκε, με αποτέλεσμα την παραγωγή μεγαλύτερου εναέριου μέρους, που αποτελεί και το προϊόν οικονομικού ενδιαφέροντος της συγκεκριμένης καλλιέργειας (Poveda *et al.*, 2019).

Ακόμη έχει διαπιστωθεί ότι, λόγω της ταχείας ανοργανοποίησης και της παρουσίας θρεπτικών συστατικών σε άμεσα διαθέσιμη μορφή, το frass του *Tenebrio molitor* είναι ένα αποτελεσματικό φυσικό λίπασμα NPK καθώς αύξησε τη βιομάζα και το θρεπτικό περιεχόμενο σε καλλιέργειες όπως το κριθάρι, χάρη και στη διέγερση της μικροβιακής δραστηριότητας του εδάφους. Συγκεκριμένα σε καλλιέργεια κριθαριού, η εφαρμογή του frass από του συγκεκριμένου είδους με αναλογία NPK 5-2-2 αύξησε τη φυτική βιομάζα και το περιεχόμενο αυτών των θρεπτικών συστατικών στους ιστούς των φυτών (Houben *et al.*, 2020).

Αναφορικά με την χορήγηση άλλων σημαντικών ενώσεων στο έδαφος μέσω του frass, πέραν των θρεπτικών στοιχείων που προαναφέρθηκαν, πηγές αναφέρουν ότι το frass ενδέχεται να περιέχει και άλλες ενώσεις, σημαντικές για την ανάπτυξη των φυτών, όπως είναι διάφορα σάκχαρα, αλκαλοειδή και φαινόλες. Σύμφωνα με πειραματικά δεδομένα διαπιστώθηκε ότι στην καλλιέργεια του μαρουλιού, οι ενώσεις αυτές βοηθούν στην βλάστηση και στην ανάπτυξη τόσο των σπόρων αλλά και των φυτών (Khan *et al.*, 2016).

Πέραν της ιδιότητας του frass να βελτιώνει την γονιμότητα του εδάφους υπάρχουν δεδομένα που περιγράφουν την ικανότητα του frass να προάγει την ανοχή των φυτών έναντι διαφόρων αβιοτικών καταπονήσεων. Λόγου χάριν η εφαρμογή frass από *Tenebrio molitor* αύξησε την ανοχή των νεαρών φυτών φασολιών ενάντια στην έλλειψη αλλά και την περίσσεια νερού καθώς και στην εδαφική αλατότητα. Η ιδιότητα αυτή αποδίδεται στους μικροοργανισμούς που υπάρχουν στο frass, όπως βακτήρια και μυκητιακά στελέχη (Poveda *et al.*, 2019).

Αναφορικά με την άμυνα ενάντια των ζιζανίων και/ή των παθογόνων, υπάρχουν αρκετές μελέτες άμεσης άμυνας ή ενεργοποίησης αντιδράσεων άμυνας των φυτών εξαιτίας της εφαρμογής frass ως εδαφοβελτιωτικό.

Η αναγνώριση από τις ρίζες των μικροοργανισμών και των βιομορίων που υπάρχουν στο frass των εντόμων μπορεί να εμπλέκεται στην ενεργοποίηση της συστηματικής αντίστασης των φυτών μέσω των διαφόρων οδών. Η άμυνα αυτή βασίζεται στην αναγνώριση από τους κυτταρικούς υποδοχείς μοριακών ενώσεων σχετικών με τους μικροοργανισμούς και τους φυτοφάγους οργανισμούς, όπως για παράδειγμα η χιτίνη (Poveda, 2021). Η επαφή των φυτών με τέτοια μόρια προάγει την έκφραση γονιδίων άμυνας τα οποία σχετίζονται με διάφορα παθογόνα, όπως ο παθογόνος μύκητας *Cochliobolus heterostrophus* στο καλαμπόκι (Ray *et al.*, 2015)

1.4. Σπανάκι (*Spinacia oleracea* L.)

Πρόκειται για ετήσιο είδος φυτού το οποίο κατατάσσεται στην οικογένεια Χηνοποδιοειδών (*Chenopodiaceae*). Συγγενικό είδος του *S.tetrandra* και θεωρείται ότι είναι πρόγονος του, και άλλα παρεμφερή είδη είναι τα *S.spinosa* και *S.inermis*. Το είδος προέρχεται από τη Νοτιοδυτική Ασία, ενώ το *S.oleracea* μεταφέρθηκε πιθανότατα τον 14^ο αιώνα από τους Άραβες στην Ισπανία, από όπου διαδόθηκε σε άλλες χώρες έως τον 16^ο αιώνα (George, 1985). Τα φύλλα του είτε ως νωπά είτε ως κονσερβοποιημένα αλλά και καταψυγμένα αποτελούν την βάση διατροφής ενός υψηλού ποσοστού ανθρώπων σε παγκόσμιο επίπεδο. Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο το σπανάκι ξεχωρίζει μεταξύ των άλλων κηπουρικών ειδών.

Το σπανάκι κατατάσσεται σε πολυάριθμες ποικιλίες με βάση την υφή των φύλλων (λεία ή κατσαρή), το χρώμα των φύλλων, το σχήμα και το μήκος του μίσχου αλλά και την όψη του σπόρου. Υπάρχουν, περαιτέρω ποικιλίες, που ταξινομούνται ανάλογα το χρόνο επιμήκυνσης του στελέχους του φυτού και το φυλλικό μέγεθος. Συνήθως, διακρίνουμε το σπανάκι σε τρεις βασικούς τύπους:

- Ποικιλία Savoy. Έχει σκούρα, σγουρά φύλλα. Τα φυτά αναπτύσσονται σε όρθια θέση. Αυτός είναι ο πιο συνηθισμένος τύπος σπανακιού που μπορούμε να βρούμε στην αγορά, συνήθως σε φρέσκες δεσμίδες.
- Σπανάκι με επίπεδα ή λεία φύλλα. Αυτός ο τύπος έχει λεία φύλλα. Είναι ο πιο κατάλληλος τύπος για βιομηχανία. Το φυτό δεν αναπτύσσεται σε όρθια θέση, αλλά κυρίως σε οριζόντια, με μεγάλη επιφάνεια φύλλων ανά φυτό.
- Ποικιλία Semi-Savoy. Αυτός είναι ένας υβριδικός τύπος που κανονικά έχει ημιπτυχωτά φύλλα. Απευθύνεται και στις δύο αγορές, νωπή κατανάλωση και βιομηχανική χρήση.

Χαρακτηριστικά

Το σπανάκι (*Spinacia oleracea*) είναι ένα πράσινο ανθοφόρο φυτό που προέρχεται από την κεντρική και δυτική Ασία. Το κοινό σπανάκι, *S. oleracea*, ταξινομούνταν από καιρό στην οικογένεια των Χηνοποδιοειδών (*Chenopodiaceae*), αλλά το 2003 αυτή η οικογένεια συγχωνεύτηκε με την οικογένεια των Αμαρανθοειδών (*Amaranthaceae*) και με τα Καρυοφυλλώδη (*Caryophyllales*).

Καθώς πλέον κατηγοριοποιείται στην οικογένεια *Amaranthaceae sensulato*, το σπανάκι ανήκει στην υποοικογένεια *Chenopodioideae*.

Είναι ένα κοινό βρώσιμο λαχανικό που καταναλώνεται είτε φρέσκο είτε μετά την αποθήκευση χρησιμοποιώντας τεχνικές συντήρησης με κονσερβοποίηση, κατάψυξη ή αφυδάτωση. Μπορεί να καταναλωθεί μαγειρεμένο ή ωμό και η γεύση του διαφέρει σημαντικά ανάλογα με την θερμική επεξεργασία που υπόκειται. Η υψηλή περιεκτικότητα σε οξαλικά μπορεί να μειωθεί με ατμό (Rubatzky & Yamaguchi, 1997).

Είναι ένα ετήσιο φυτό (σπάνια διετές), που φθάνει τα 30 cm. Το σπανάκι μπορεί να επιβιώσει το χειμώνα σε εύκρατες περιοχές. Τα φύλλα είναι ωοειδή έως τριγωνικά και πολύ μεταβλητά σε μέγεθος: 2–30 cm (1–12 in) μήκος και 1–15 cm (0,4–5,9 in) πλάτος, με τα μεγαλύτερα φύλλα να βρίσκονται κοντά στο έδαφος και όσο αυξάνεται η απόσταση από αυτό να μικραίνουν.

Τα άνθη του είναι δύσκολά διακριτά με γυμνό μάτι, κιτρινοπράσινα, 3-4 mm (0,1-0,2 in) σε διάμετρο και ωριμάζουν ως ένα μικρό, σκληρό, ξηρό καρπό διαμέτρου 5-10 mm (0,2-0,4 in) που περιέχει πολλούς σπόρους. Το 2018, η παγκόσμια παραγωγή σπανακιού ήταν 26,3 εκατομμύρια τόνοι, με την Κίνα να αντιπροσωπεύει το 90% του συνόλου (Rubatzky & Yamaguchi, 1997).

Θρεπτικά συστατικά

Το σπανάκι, όπως και τα περισσότερα είδη λαχανικών, αποτελεί πλούσια πηγή μετάλλων, με την περιεκτικότητά του σε σίδηρο να ξεχωρίζει. Η υψηλή του συγκέντρωση στο μέταλλο αυτό (5 mg/100g ξηρού βάρους) κάνει το φυτό απαραίτητο στην διατροφή ατόμων με αναιμία. Πέραν όμως του σιδήρου, τα φύλλα του περιέχουν σημαντικές ποσότητες βιταμινών ομάδας Β, ασκορβικού οξέος και β-καροτένιου. Στα φύλλα του όμως, εμπεριέχονται και σημαντικές ποσότητες νιτρικών, (κάτι λιγότερο από 3000 mg/kg) οι οποίες κατά τη μεταφορά και την αποθήκευση του σπανακιού, μπορεί να προκαλέσουν μεθεμοσφαιριναιμία.

Η περιεκτικότητά σε νιτρικά είναι υψηλότερη στους μίσχους από ότι στα φύλλα και η περιεκτικότητά τους μπορεί να επηρεαστεί από λιπάσματα και τις συνθήκες ανάπτυξης. Η μορφή των αζωτούχων λιπασμάτων (νιτρική ή αμμωνιακή) μπορεί να επηρεάσει την ποιότητα και την απόδοση των φυλλωδών λαχανικών, όπως του σπανακιού, καθώς εμπλέκονται στην βιοσύνθεση πολλών φυτοθρεπτικών οξέων

(λιπαρών και οργανικών). Η σωστή αναλογία νιτρικού και αμμωνιακού αζώτου στο σπανάκι είναι απαραίτητη καθώς επηρεάζει το οξαλικό οξύ, το οποίο είναι υπεύθυνο για τον σχηματισμό της πετράς στα νεφρά και ελλείψεων ασβεστίου, χαλκού, σιδήρου και μαγνησίου (Petrooulos *et al.*, 2018). Το οξύ αυτό, έχει την δυνατότητα δέσμευσης ιόντων ασβεστίου, προκαλώντας πολυάριθμες διατροφικές διαταραχές (Pavlek, 1982)

Το ωμό σπανάκι αποτελείται από 91% νερό, 4% υδατάνθρακες, 3% πρωτεΐνη και περιέχει αμελητέο λίπος. Παρότι μια μερίδα 100 g παρέχει μόνο 23 θερμίδες, το σπανάκι έχει υψηλή θρεπτική αξία, ειδικά όταν είναι φρέσκο, κατεψυγμένο, στον ατμό ή βραστό. Είναι πλούσια πηγή (20% ή περισσότερο της Ημερήσιας Δόσης,) βιταμίνης Α, βιταμίνης C, βιταμίνης Κ, μαγνησίου, μαγγανίου, σιδήρου και φυλλικού οξέος. Το σπανάκι είναι καλή πηγή (10-19% της Ημερήσιας Δόσης,) των βιταμινών Β ριβοφλαβίνης και βιταμίνης Β6, βιταμίνης Ε, ασβεστίου, καλίου και φυτικών ινών.

Αν και το σπανάκι υποστηρίζεται ότι έχει υψηλή περιεκτικότητα σε σίδηρο και ασβέστιο και συχνά σερβίρεται και καταναλώνεται σε ακατέργαστη μορφή, το ωμό σπανάκι περιέχει υψηλά επίπεδα οξαλικών, τα οποία εμποδίζουν την απορρόφηση ασβεστίου και σιδήρου στο στομάχι και το λεπτό έντερο. Το σπανάκι μαγειρεμένο σε αρκετές αλλαγές νερού έχει πολύ χαμηλότερα επίπεδα οξαλικών και χωνεύεται καλύτερα και τα θρεπτικά συστατικά του απορροφώνται ευκολότερα (Rubatzky & Yamaguchi, 1997). Όπως και άλλα πράσινα, φυλλώδη λαχανικά, περιέχει μια σημαντική ποσότητα σιδήρου που φτάνει το 21% της Ημερήσιας Δόσης σε 100 g ακατέργαστου σπανακιού. Το Υπουργείο Γεωργίας των Ηνωμένων Πολιτειών δηλώνει ότι μια μερίδα μαγειρεμένου σπανακιού 100 g περιέχει 3,57 mg σιδήρου. Ωστόσο, το σπανάκι περιέχει ουσίες που αναστέλλουν την απορρόφηση του σιδήρου, συμπεριλαμβανομένων υψηλών επιπέδων οξαλικού, το οποίο μπορεί να συνδεθεί με το σίδηρο για να σχηματίσει οξαλικό σίδηρο και να καταστήσει μεγάλο μέρος του σιδήρου στο σπανάκι μη απορροφήσιμο (Dawling, 2013).

Έχει επίσης μέτρια περιεκτικότητα σε ασβέστιο που μπορεί να επηρεαστεί από τα οξαλικά, μειώνοντας την απορρόφησή του. Το ασβέστιο στο σπανάκι είναι από τις λιγότερο βιοδιαθέσιμες πηγές ασβεστίου. Για σύγκριση, το ανθρώπινο σώμα μπορεί να απορροφήσει περίπου το μισό ασβέστιο που υπάρχει στο μπρόκολο, αλλά μόνο περίπου το 5% του ασβεστίου στο σπανάκι (Nešković & Radojević, 1973). Μια

ποσότητα 100 g σπανάκι περιέχει πάνω από τέσσερις φορές τη συνιστώμενη ημερήσια πρόσληψη βιταμίνης Κ. Για το λόγο αυτό, τα άτομα που λαμβάνουν αντιπηκτική βαρφαρίνη, η οποία δρα αναστέλλοντας τη βιταμίνη Κ, καλούνται να ελαχιστοποιήσουν την κατανάλωση σε σπανάκι για να αποφευχθεί η μείωση της επίδρασης της βαρφαρίνης (Nešković & Radojević, 1973).

Παραγωγή, εμπορία και αποθήκευση

Το 2018, η παγκόσμια παραγωγή σπανακιού ήταν 26,3 εκατομμύρια τόνοι, με την Κίνα να αντιπροσωπεύει το 90% του συνόλου. Το φρέσκο σπανάκι πωλείται χύμα, μαζεμένο ή συσκευασμένο φρέσκο σε σακούλες. Το φρέσκο σπανάκι χάνει μεγάλο μέρος της θρεπτικής του αξίας μετά από αποθήκευση για μερικές ημέρες. Το φρέσκο σπανάκι συσκευάζεται στον αέρα ή σε αέριο άζωτο που παρατείνει τη διάρκεια ζωής του. Ενώ η ψύξη επιβραδύνει την σήψη σε περίπου οκτώ ημέρες, το σπανάκι αυτό χάνει το μεγαλύτερο μέρος της περιεκτικότητάς του σε φυλλικό οξύ και καροτενοειδή σε αυτό το χρονικό διάστημα. Για μεγαλύτερη αποθήκευση, κονσερβοποιείται, αλέθεται ή μαγειρεύεται και καταψύχεται (Dawling, 2013).

Κλιματικές και εδαφικές απαιτήσεις

Οι σπόροι στο σπανάκι βλασταίνουν στους 2°C έως 30°C. Ωστόσο, οι 7°C έως 24°C είναι οι βέλτιστες θερμοκρασίες. Οι σπόροι δεν θα βλαστήσουν καλά σε πολύ ζεστό καιρό. Αν και το σπανάκι μπορεί να αναπτυχθεί σε θερμοκρασίες που κυμαίνονται μεταξύ 5°C και 24°C, πιο γρήγορη ανάπτυξη πραγματοποιείται στους 15°C έως 18°C. Το φυτό απαιτεί σταθερή και ομοιόμορφη παροχή νερού για να παραχθεί μια καλή σοδειά υψηλής ποιότητας. Κατά τη διάρκεια της παραγωγής σπανακιού, δεν πρέπει ποτέ το χώμα να στεγνώσει. Το σπανάκι απαιτεί άφθονο νερό, αν και το χώμα πρέπει να έχει καλή αποστράγγιση. Το σπανάκι αναπτύσσεται καλά σε μια ποικιλία εδαφών, αν και προτιμώνται γόνιμα, αμμώδη αργιλικά εδάφη με υψηλή περιεκτικότητα σε οργανική ύλη. Τα βαρύτερα εδάφη μπορεί να είναι αρκετά παραγωγικά εάν αυτά στραγγίζονται καλά και ποτίζονται με προσοχή. Το σπανάκι είναι ιδιαίτερα ευαίσθητο στις συνθήκες κορεσμένου εδάφους και στην οξύτητα. Το βέλτιστο pH του εδάφους είναι 6,2 έως 6,9 (Dawling, 2013).

Το σπανάκι πολλαπλασιάζεται με σπόρους που βρίσκονται μέσα στον καρπό ως αποτέλεσμα της γονιμοποίησης. Το χώμα θα πρέπει να οργωθεί σε βάθος τουλάχιστον 20 cm και στη συνέχεια να αρδευτεί. Η άρδευση πρέπει να γίνει πολύ

σχολαστικά για να είναι η γη επίπεδη, έτσι ώστε το νερό να μπορεί να ρέει ομοιόμορφα. Ο σπόρος σπέρνεται σε σειρές. Η απόσταση μεταξύ των σειρών πρέπει να είναι 50 έως 60 cm και μεταξύ των φυτών στη σειρά 15 έως 20 cm. Εάν η καλλιέργεια του σπανακιού σπέρνεται απευθείας, το βάθος φύτευσης πρέπει να είναι περίπου 20 mm. Ωστόσο, το βάθος της φύτευσης σε βαριά εδάφη μειώνεται κατά πολύ σε σύγκριση με του ελαφρού εδάφους για ευκολία στη βλάστηση. Στη Νότια Αφρική, το σπανάκι μπορεί να φυτευτεί από τον Αύγουστο έως τον Απρίλιο. Μικρές διαφοροποιήσεις στην ημερομηνία φύτευσης ενδέχεται να υπάρχουν λόγω της διακύμανσης του μικροκλίματος και του μακροκλίματος και λαμβάνοντας υπόψη τα πρότυπα βροχοπτώσεων ανά χώρα (Rubatzky & Yamaguchi, 1997).

Χρήσεις

Το σπανάκι χρησιμοποιείται ωμό σε σαλάτες, αλλά συχνότερα μαγειρεύεται. Τα φύλλα του μπορεί επίσης να κονσερβοποιηθούν ή να καταψυχθούν. Το σπανάκι μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πηγή βιταμίνης A, B1, B2, νιασίνης και ασβεστίου. Επίσης έχει υπογλυκαιμική επίδραση που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη θεραπεία προβλημάτων του ουροποιητικού συστήματος και των φλεγμονών των πνευμόνων. Οι σπόροι μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως καθαρτικό και για τη θεραπεία δυσκολιών στην αναπνοή και φλεγμονής του ήπατος (Dawling, 2013).

1.5. Σκοπός εργασίας

Στη διάρκεια της επόμενης δεκαετίας η εκτροφή των εντόμων αναμένεται να αυξηθεί κατακόρυφα με επακόλουθη αύξηση στην παραγωγή frass. Στη σκιά των παραπάνω, η διαχείριση του frass προκύπτει ως μείζον ζήτημα της διαδικασίας της εκτροφής και δημιουργείται η ανάγκη να βρεθούν λύσεις που θα επιτρέψουν την αποτελεσματική αξιοποίησή του. Σκοπός λοιπόν της παρούσας εργασίας ήταν η καλλιέργεια σπανακιού (*Spinacia oleracea*) σε περιέκτες με έδαφος εμπλουτισμένο με απομεινάρια εκτροφής του εντόμου *Tenebrio molitor*, ως υλικό βελτίωσης εδαφών, προκειμένου να διερευνηθεί κατά πόσο αυτά μπορούν να αξιοποιηθούν σε συστήματα καλλιέργειας. Παράλληλα έγινε σύγκριση της λιπαντικής ικανότητας του frass με αυτή των χημικών λιπασμάτων έτσι ώστε να εξεταστεί εάν αυτό εμφανίζει υπεροχή έναντι των συμβατικών λιπασμάτων.

Κεφάλαιο 2: Υλικά και Μέθοδοι

2.1. Πειραματικός σχεδιασμός - στήσιμο πειράματος, περιποίηση φυτών, μετρήσεις.

Η διεξαγωγή του πειράματος πραγματοποιήθηκε σε θερμοκηπιακές εγκαταστάσεις του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στον Βόλο. Φυτά σπανακιού αναπτύχθηκαν και καλλιεργήθηκαν σε περιέκτες εδάφους με διαφορετικά υποστρώματα και στην συνέχεια σε αυτά πραγματοποιήθηκαν εργαστηριακές αναλύσεις. Στο έδαφος των περιεκτών πραγματοποιήθηκαν εδαφολογικές αναλύσεις κατόπιν της συγκομιδής των φυτών. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων επεξεργάστηκαν στην συνέχεια μέσω στατιστικής ανάλυσης.

Πρώτος σταθμός στην πειραματική διαδικασία αποτέλεσε η δημιουργία των υποστρωμάτων στα οποία αναπτύχθηκαν τα φυτά σπανακιού. Δημιουργήθηκαν έξι (6) διαφορετικά υποστρώματα, των οποίων οι αναλογίες φαίνονται στον πιο κάτω πίνακα (Πίνακας 1). Συμπληρώθηκαν συνολικά 8 περιέκτες για κάθε μεταχείριση και οι αναλογίες που αναγράφονται στον Πίνακα 1 αντιστοιχούν στα υλικά του εκάστοτε περιέκτη. Η κάθε μεταχείριση ονοματίστηκε σύμφωνα με τα υλικά που περιείχε οπότε προέκυψαν οι μεταχειρίσεις: του αρνητικού μάρτυρα (NC), του θετικού μάρτυρα (PC), του frass 1%, του frass 5%, του frass 10% και του frass 20%.

Πίνακας 1. Αναλογίες υλικών ανά περιέκτη κάθε μεταχείρισης.

Υλικό:	Έδαφος(g)	Περλίτης(g)	13,5-0-46(g)	11-48-8(g)	Frass(g)
Μεταχείριση:					
Αρνητικός μάρτυρας (NC)	1400	500	-	-	-
Θετικός μάρτυρας(PC)	1400	500	78	84	-
Frass 1%	1400	500	-	-	4
Frass 5%	1400	500	-	-	20
Frass 10%	1400	500	-	-	41
Frass 20%	1400	500	-	-	82

Τη δημιουργία των υποστρωμάτων καλλιέργειας ακολούθησε το πότισμα των περιεκτών ώστε τα υλικά που έχουν προστεθεί σε αυτούς να διαλυτοποιηθούν και να κατανεμηθούν περισσότερο ομοιόμορφα. Η διαδικασία αυτή διήρκησε 13 ημέρες και έπειτα στους περιέκτες μεταφυτεύθηκαν τα φυτά σπανακιού. Η καλλιέργεια των φυτών πραγματοποιήθηκε κατά τους μήνες Οκτώβριο, Νοέμβριο και Δεκέμβριο. Μετά την μεταφύτευση, τα ποτίσματα καθιερώθηκαν σε τρία (3) ανά εβδομάδα, αλλά προς το τέλος της περιόδου καλλιέργειας τα ποτίσματα μειώθηκαν σε δύο (2) λόγω συνθηκών μικρής εξατμισοδιαπνοής κατά την συγκεκριμένη εποχή.

Υστερα από 62 ημέρες καλλιέργειας πραγματοποιήθηκε συγκομιδή των φυτών. Στα δείγματα που συγκομίστηκαν, τα οποία αποτελούνταν από τα υπέργεια τμήματα των φυτών κάθε περιέκτη, πραγματοποιήθηκαν: μέτρηση ξηρού βάρους, προσδιορισμός συγκέντρωσης αζώτου, φωσφόρου, καλίου, νατρίου και των ιχνοστοιχείων: ψευδάργυρος, σίδηρος, μαγγάνιο και χαλκός.

Στα εδαφικά δείγματα που ελήφθησαν από τους περιέκτες κατά το πέρας της καλλιέργειας των σπανακιών πραγματοποιήθηκε μέτρηση του pH και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) ενώ επίσης έγινε προσδιορισμός του φωσφόρου, του καλίου και του νατρίου.

2.2. Μέθοδοι ανάλυσης

2.2.1. Φυτό

Τα φυτικά δείγματα κατόπιν της συγκομιδής τοποθετήθηκαν σε χάρτινους φακέλους και τοποθετήθηκαν για 48 ώρες σε ειδικό φούρνο σε θερμοκρασία 70°C. Αυτό ήταν το πρώτο βήμα ώστε να δημιουργηθούν τα δείγματα στα οποία έγιναν οι αναλύσεις. Συγκομιδή των φυτών πραγματοποιήθηκε από όλες τις μεταχειρίσεις, εξαιρουμένης αυτής του θετικού μάρτυρα. Συγκομίστηκαν οκτώ (8) φυτά από κάθε μεταχείριση αντίστοιχα ενώ σε αυτή του θετικού μάρτυρα δεν συγκομίστηκε κανένα φυτό.

Μέτρηση ξηρού βάρους

Η πρώτη μέτρηση που πραγματοποιήθηκε στα φυτικά δείγματα ήταν αυτή του ξηρού βάρους. Τα αποξηραμένα πλέον δείγματα φυτικού ιστού τοποθετούνταν μεμονωμένα σε ζυγό ακριβείας και η ένδειξη της οθόνης του οργάνου καταγραφόταν.

Στο τέλος της διαδικασίας αυτής έγινε κονιορτοποίηση των δειγμάτων ώστε να γίνει ευκολότερη η διαχείρισή τους κατά τις επακόλουθες μετρήσεις. Το εκάστοτε δείγμα αρχικά τοποθετούνταν στο γουδί ώστε να γίνει αρχική κατάτμησή του σε μικρότερα τμήματα και έπειτα στο μύλο άλεσης για ολική κονιορτοποίηση.

Σε αυτό το σημείο έγινε επίσης συνένωση ορισμένων δειγμάτων διαφορετικών επαναλήψεων αλλά ίδιων μεταχειρίσεων ώστε να δημιουργηθεί επαρκή ποσότητα δείγματος, για κάθε μεταχείριση, για τις επόμενες αναλύσεις.

Μέτρηση ολικού αζώτου

Ο προσδιορισμός του ολικού αζώτου έγινε κατά Kjeldahl. Πρώτο στάδιο προς αυτή την πορεία αποτέλεσε η διαδικασία πέψης των δειγμάτων. Χρησιμοποιήθηκαν συνολικά 10 δείγματα, 2 από κάθε μεταχείριση. Αρχικά ζυγίστηκαν στον ζυγό ακριβείας 0,5 g ή 1 g από κάθε δείγμα και στη συνέχεια μεταφέρθηκαν μέσα στον σωλήνα πέψης. Όλοι οι σωλήνες πέψης τοποθετήθηκαν στο μπλοκ πέψης. Στον κάθε έναν τοποθετήθηκε 1 ταμπλέτα Kjeltab, 1 ταμπλέτα antifoam και 20 mL H₂SO₄. Το μπλοκ τέθηκε σε λειτουργία με το εξής πρόγραμμα: α) προθέρμανση στους 150°C για 15 min β) πέψη στους 250°C για 10 min, γ) πέψη στους 350°C για 10 min, δ) πέψη στους 420°C για 50 min. Στο τέλος έγινε παραλαβή των δειγμάτων αφού αυτά έφτασαν σε θερμοκρασία δωματίου.

Στην συνέχεια έγινε απόσταξη του ολικού αζώτου του κάθε δείγματος. Σε κάθε δείγμα εκχυλισμένης φυτικής μάζας που παραλήφθηκε από το μπλοκ προστέθηκαν 50 mL νερό απαλλαγμένο από ιόντα και το διάλυμα τοποθετήθηκε, μέσα σε έναν ειδικό πεπτικό σωλήνα, στην κατάλληλη θέση της συσκευής μέτρησης. Σε φιάλη κωνικού σχήματος τοποθετήθηκαν περίπου 25 mL βορικού οξέος 4% ώστε να γίνει συμπλοκοποίηση της αμμωνίας και μην υπάρξουν απώλειες κατά την απόσταξη εξαιτίας της έντονης πτητικότητας της. Ακολούθησε η τοποθέτηση της κωνικής στη δεύτερη υποδοχή της συσκευής απόσταξης, η οποία ύστερα τέθηκε σε λειτουργία. Η απόσταξη ολοκληρώθηκε μετά από 5 min. Στο τέλος της απόσταξης η φιάλη πέψης ξεπλύθηκε ώστε να είναι έτοιμη για το επόμενο δείγμα ενώ στην κωνική

φιάλη παραλήφθηκε το ολικό άζωτο το οποίο πρόκειται να προσδιοριστεί με ογκομέτρηση.

Η τελευταία διαδικασία ήταν αυτή της ογκομέτρησης. Αυτή ξεκινούσε με την τοποθέτηση 5 σταγόνων μεικτού δείκτη στο διάλυμα που βρίσκεται στην κωνική φιάλη, με αποτέλεσμα να χρωματίζεται πράσινο. Επίσης προστέθηκε ένας μαγνήτης και η φιάλη τοποθετήθηκε πάνω στον μαγνητικό αναδευτήρα ο οποίος τέθηκε σε λειτουργία. Με την βοήθεια της προχοΐδας προστέθηκε η απαραίτητη ποσότητα H_2SO_4 μέχρις ότου επέλθει ο μεταχρωματισμός του δείγματος σε ανοιχτό κόκκινο-πορτοκαλί χρώμα. Τότε καταγράφηκε η ένδειξη της προχοΐδας και ολοκληρώθηκε η διαδικασία.

Όλες οι διαδικασίες επαναλήφθηκαν τόσες φορές όσες και τα δείγματα.

Μέτρηση φωσφόρου

Προκειμένου να ακολουθήσουν οι επόμενες εργαστηριακές μετρήσεις στα φυτικά δείγματα πραγματοποιήθηκε ξηρή καύση τους. Σε αυτή την διαδικασία χρησιμοποιήθηκαν 3 επαναλήψεις από κάθε μεταχείριση. Σε πυράντοχες κάψες από πορσελάνη τοποθετήθηκαν 0,5 g του κάθε δείγματος. Στο τέλος, όλες οι κάψες με τα περιεχόμενα δείγματα μεταφέρθηκαν στον φούρνο και τοποθετήθηκαν εκεί σε θερμοκρασία $250^{\circ}C$, συνεχώς αυξανόμενη έως τους $500^{\circ}C$ όπου έγινε η αποτέφρωση, η διάρκεια της οποίας ήταν 5 h.

Στη συνέχεια τα δείγματα παραλήφθηκαν από τις κάψες με την εφαρμογή 15 mL HCl 20% σε κάθε μία ξεχωριστά. Ακολούθησε διήθηση του διαλύματος σε ογκομετρική φιάλη των 50 mL, η οποία στην συνέχεια συμπληρώθηκε με απιονισμένο νερό μέχρι την χαραγή. Έπειτα έγινε αραιώση του πυκνού διαλύματος κατά 20 φορές. Τα διαλύματα αυτά χρησιμοποιήθηκαν για τις υπόλοιπες μετρήσεις.

Απαραίτητο για τον προσδιορισμό φώσφορου ήταν η παρασκευή γνωστής συγκέντρωσης δειγμάτων: 0 / 0,1 / 0,2 / 0,4 / 0,6 / 0,8 ppm. Σε αυτά τοποθετήθηκαν με σκοπό ρύθμισης ουδέτερου pH (pH=7), 5 με 11 σταγόνες διαλύματος 1M NaOH και 5 σταγόνες HNO_3 . Στα διαλύματα τοποθετήθηκαν επίσης και 2,5 mL ασκορβικού οξέος. Οι φιάλες συμπληρώθηκαν ως την χαραγή με απιονισμένο νερό και έμειναν σε αυτή την θέση για διάρκεια 30 min, ως ότου εμφανίστηκε το κυανό χρώμα. Η καμπύλη βαθμονόμησης του φασματοφωτόμετρου σχηματίστηκε υστέρτα από τον προσδιορισμό των τιμών φωσφόρου σε αυτά τα δείγματα.

Ποσότητα 5 mL πυκνού διαλύματος από τα αποτεφρωμένα φυτικά δείγματα τοποθετήθηκε σε ειδική φιάλη 25 mL. Στην συνέχεια προστέθηκαν 2,5 mL χρωστικής, καθώς και 3 σταγόνες νιτρικού οξέος 2% με 5 σταγόνες καυστικού νατρίου συγκέντρωσης 1M για ρύθμιση του pH. Ακολούθησε πλήρωση της φιάλης ως την χαραγή, και αναμονή 30 min ως την ανάπτυξη μπλε χρώματος. Τα δείγματα μεταφέρθηκαν στο φασματοφωτόμετρο ώστε να γίνει η μέτρηση του φωσφόρου. Σε ορισμένες περιπτώσεις όπου η ένδειξη ήταν πολύ υψηλή χρειάστηκε να γίνει αραιώση του άγνωστου διαλύματος κατά 2 φορές.

Μέτρηση καλίου

Όπως και για τον προσδιορισμό φωσφόρου έτσι και για το κάλιο ήταν απαραίτητη η βαθμονόμηση του οργάνου με διαλύματα γνωστής συγκέντρωσης. Το λάστιχο αναρρόφησης του φλωγοφωτόμετρου τοποθετήθηκε στο διάλυμα άγνωστης συγκέντρωσης και η ένδειξη του οργάνου καταγράφηκε. Μετά το σωληνάκι τοποθετούταν σε απιονισμένο νερό μέχρι να μηδενίσει η ένδειξη και το όργανο ήταν έτοιμο για την επόμενη μέτρηση. Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε για όλα τα φυτικά δείγματα.

Μέτρηση νατρίου

Η μέτρηση του νατρίου έγινε στα ίδια δείγματα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για τη μέτρηση του καλίου και η διαδικασία μέτρησης ήταν παρόμοια. Το σωληνάκι τροφοδοσίας του οργάνου τοποθετούταν στο δείγμα και έπειτα καταγραφόταν η τιμή του.

Μέτρηση ιχνοστοιχείων

Η μέτρηση των ιχνοστοιχείων, τέλος, πραγματοποιήθηκε στα πυκνά, και σε ορισμένες περιπτώσεις στα κατά 20 φορές αραιωμένα, αποτεφρωμένα φυτικά διαλύματα. Για τον προσδιορισμό τους χρησιμοποιήθηκε το φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης. Αρχικά μετρήθηκε η συγκέντρωση του ψευδαργύρου, στην συνέχεια του σιδήρου, έπειτα του χαλκού και τέλος του μαγγανίου. Για την μέτρηση του κάθε ιχνοστοιχείου χρησιμοποιούταν διαφορετικός λαμπτήρας του οργάνου, ενώ το σωληνάκι τροφοδοσίας του τοποθετούταν εντός του διαλύματος άγνωστης συγκέντρωσης. Στο τέλος η ένδειξη της οθόνης του οργάνου καταγραφόταν. Η

διαδικασία ήταν παρόμοια για όλα τα ιχνοστοιχεία και εφαρμόστηκε σε όλα τα φυτικά δείγματα.

2.2.2. Έδαφος

Δείγματα εδάφους συλλέχθηκαν από όλους τους περιέκτες ανεξαιρέτως, ακόμη και εάν δεν αναπτύχθηκαν φυτά σπανακιού σε αυτούς. Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε με την χρήση πλαστικού σωλήνα και έγινε από 2 αντιδιαμετρικά σημεία εντός του περιέκτη. Τα δείγματα εδάφους παραλήφθηκαν κατά το τέλος της καλλιέργειας των φυτών και κατόπιν της συγκομιδής αυτών.

Στο τέλος της δειγματοληψίας, όλα τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε χάρτινους φακέλους. Η αρχική επεξεργασία των δειγμάτων περιελάβανε το θρυμματισμό τους. Αυτό αποτελούσε απαραίτητη προϋπόθεση ώστε να είναι ευκολότερη η διαχείρισή τους στις επακόλουθες μετρήσεις.

Μέτρηση pH

Για την μέτρηση του pH έγινε τυχαία επιλογή τριών (3) δειγμάτων από κάθε μεταχείριση, από τα οποία αρχικά ζυγίστηκαν 10 g και μεταφέρθηκαν σε δοχεία falcon στα οποία έπειτα προστέθηκαν 25 ml απιονισμένο νερό. Τα δοχεία στην συνέχεια ανακινήθηκαν ελαφρά με το χέρι και έπειτα τοποθετήθηκαν στη συσκευή ανακίνησης για 15 min. Στη συνέχεια ρυθμίστηκε το pH-μετρο, σύμφωνα με συγκεκριμένα διαλύματα με pH=4 & pH=7. Τα διαλύματα αφού παρέμειναν σε ηρεμία για 15 min, ανακινήθηκαν ελαφρώς με το χέρι και ύστερα, σε κάθε δείγμα ξεχωριστά, βυθιζόταν το ηλεκτρόδιο του pH-μέτρου για 5 min και καταγραφόταν η ένδειξη.

Μέτρηση ηλεκτρικής αγωγιμότητας

Η μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας πραγματοποιήθηκε στα ίδια δείγματα που παρασκευάστηκαν για την μέτρηση του pH. Η διαδικασία περιελάμβανε την χρήση του αγωγιμόμετρου, του οποίου το ηλεκτρόδιο βυθιζόταν στο κάθε διάλυμα για συγκεκριμένο χρόνο (5 min) και στη συνέχεια καταγραφόταν η τιμή του οργάνου. Σε ορισμένα δείγματα η μέτρηση επαναλήφθηκε, αλλά για χρονικό διάστημα προσαυξημένο κατά 3 min, λόγω των πολύ υψηλών αρχικών τιμών.

Μέτρηση φωσφόρου

Ο προσδιορισμός του φωσφόρου στα δείγματα εδάφους έγινε παράλληλα με αυτόν στα φυτικά δείγματα και η διαδικασία ήταν παρόμοια.

Στην αρχή επιλέχθηκαν τυχαία 2 επαναλήψεις από κάθε μεταχείριση. Από αυτές ζυγίστηκε 1 g εδάφους και μεταφέρθηκε σε δοχείο falcon. Στη συνέχεια σε κάθε δείγμα προστέθηκαν 20 mL NaHCO_3 και όλα τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε οριζόντια θέση για 30 min στην συσκευή ανακίνησης. Στα ανακινημένα δείγματα πραγματοποιήθηκε διήθηση με ηθμούς και παραλήφθηκαν τα προς ανάλυση διαλύματα.

Στα διαλύματα αυτά έγινε αργότερα, ταυτόχρονα με τα φυτικά δείγματα, ο προσδιορισμός του φωσφόρου και τα βήματα ήταν αυτά που αναφέρθηκαν προηγουμένως (βλ. Κεφ. 2.2.1). Στην περίπτωση των εδαφικών δειγμάτων, σε ορισμένες περιπτώσεις χρειάστηκε αραιώση των πυκνών διαλυμάτων κατά 3,33 φορές λόγω της υπερβολικά υψηλής αρχικής τιμής.

Μέτρηση καλίου

Κατά τον προσδιορισμό του καλίου στα εδαφικά δείγματα ακολουθήθηκε η ίδια μεθοδολογία όπως και για τα φυτικά δείγματα. Αρχικά παρασκευάστηκαν τα εδαφικά διαλύματα υστέρα από τυχαία επιλογή 3 επαναλήψεων από κάθε μεταχείριση. Από κάθε επανάληψη ζυγίστηκαν 2 g εδάφους και προστέθηκαν σε αυτό 20 mL $\text{CH}_3\text{COONH}_4$. Ακολούθησε ελαφριά ανακίνηση των δειγμάτων με το χέρι και στη συνέχεια ανακίνηση στην αντίστοιχη συσκευή, σε πλάγια θέση για 60 min.

Η μέτρηση στο φλογοφωτόμετρο έγινε παράλληλα με τα φυτικά δείγματα. Το λάστιχο του οργάνου τοποθετούταν στο εκάστοτε διάλυμα και η ένδειξη του οργάνου καταγραφόταν. Τα εδαφικά διαλύματα που χρησιμοποιήθηκαν για την μέτρηση του καλίου ήταν κατά 10 φορές αραιωμένα. Σε ορισμένες περιπτώσεις έγινε επιπλέον αραιώση πάλι κατά 10 φορές.

Μέτρηση νατρίου

Η μέτρηση έγινε στα δείγματα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για τη μέτρηση του καλίου. Στην περίπτωση του νατρίου δεν χρειάστηκε να γίνει περαιτέρω αραιώση καθώς η αρχική αραιώση ήταν αρκετή και οι τιμές δεν ήταν μεγαλύτερες από το μέγιστο στάνταρ. Τόσο στην μέτρηση του καλίου όσο και του νατρίου,

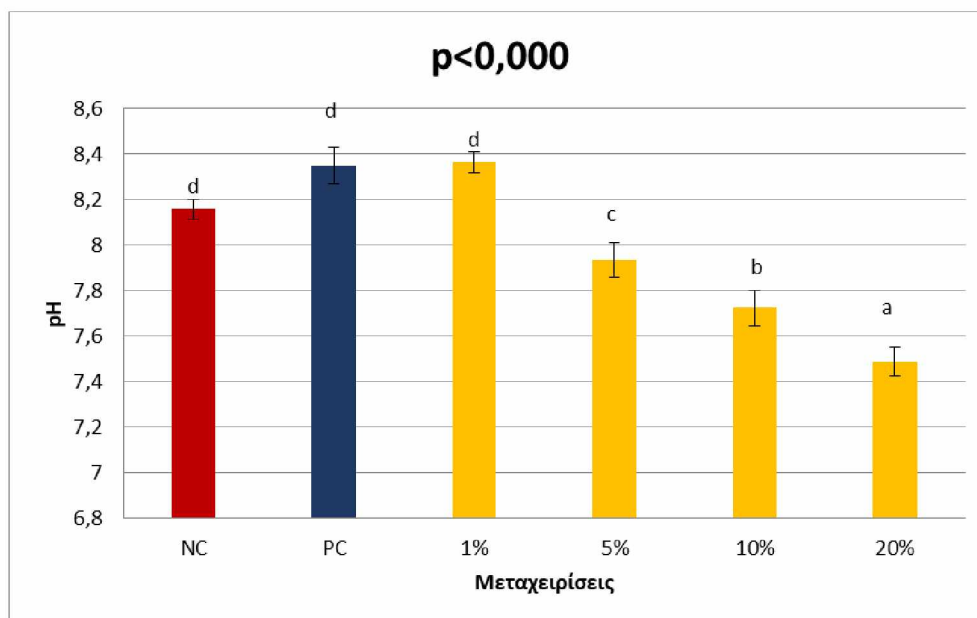
χρησιμοποιήθηκε το φλογοφωτόμετρο και η διαδικασία ήταν ίδια και στις δύο περιπτώσεις.

2.3. Στατιστική επεξεργασία

Το πείραμα διεξήχθη υπό συνθήκες πλήρους τυχαιοποίησης και η στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων έγινε με την μονοπαραγοντική ανάλυση της παραλλακτικότητας (one-way ANOVA) όπου οι σημαντικές διαφορές προσδιορίστηκαν στο επίπεδο του $p < 0.05$ με ανάλυση post-hoc κατά Duncan. Τα στατιστικά αποτελέσματα απεικονίστηκαν μέσω σχεδιαγραμμάτων που δημιουργήθηκαν στο MS Excel, όπου στο πάνω μέρος της κάθε στήλης των σχημάτων εφαρμόστηκε η μπάρα του τυπικού σφάλματος για τις επαναλήψεις των διάφορων μεταχειρίσεων.

Κεφάλαιο 3: Αποτελέσματα και συζήτηση

3.1. Έδαφος

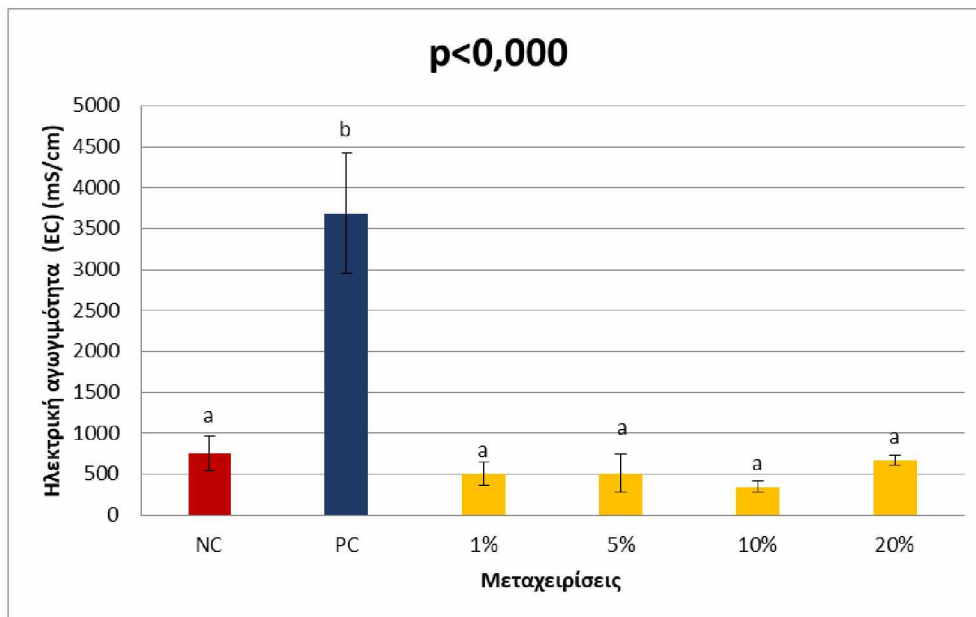


Σχήμα 1. Τιμές pH για τις μεταχειρίσεις: NC= Negative control (έδαφος χωρίς προσθήκες), PC= Positive control (έδαφος με προσθήκη λιπάσματος), 1%=Προσθήκη frass 1% στο έδαφος, 5%= Προσθήκη 5%, 10%=Προσθήκη 10% και 20%= Προσθήκη 20%.

Η τιμή του pH του εδάφους στην μεταχείριση του αρνητικού μάρτυρα (NC) ήταν 8,15 και ύστερα από την προσθήκη ανόργανων λιπασμάτων αυξήθηκε, αλλά μη σημαντικά, σε 8,35, τιμή που αντιστοιχούσε στη μεταχείριση του θετικού μάρτυρα (PC). Στη μεταχείριση του 1% frass δεν παρουσιάστηκε σημαντική διαφορά και η τιμή του pH ήταν σχεδόν ίδια με αυτή του θετικού μάρτυρα (PC), 8,36. Για τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις του frass οι διαφορές στην τιμή του pH ήταν στατιστικώς σημαντικές και παρατηρήθηκε μείωση της τιμής του όσο αυξήθηκε η χορηγούμενη ποσότητα frass. Ειδικότερα η τιμή του pH ήταν 7,93 για την μεταχείριση του 5%, μειώθηκε σε 7,72 για αυτή του 10% και σε 7,49 για αυτή του 20%.

Οι τιμές του pH για όλες τις μεταχειρίσεις κυμάνθηκαν σε ελαφρώς αλκαλικά επίπεδα. Η τιμή του pH του εδάφους, σύμφωνα με τους Heinze *et al.* (2010) μειώνεται ύστερα από την προσθήκη ανόργανων λιπασμάτων. Αντίθετα, στην μεταχείριση του θετικού μάρτυρα, η τιμή του pH παρουσίασε τάση για αύξηση, γεγονός που δεν συνάδει με τα συμπεράσματα των προαναφερόμενων ερευνητών οι

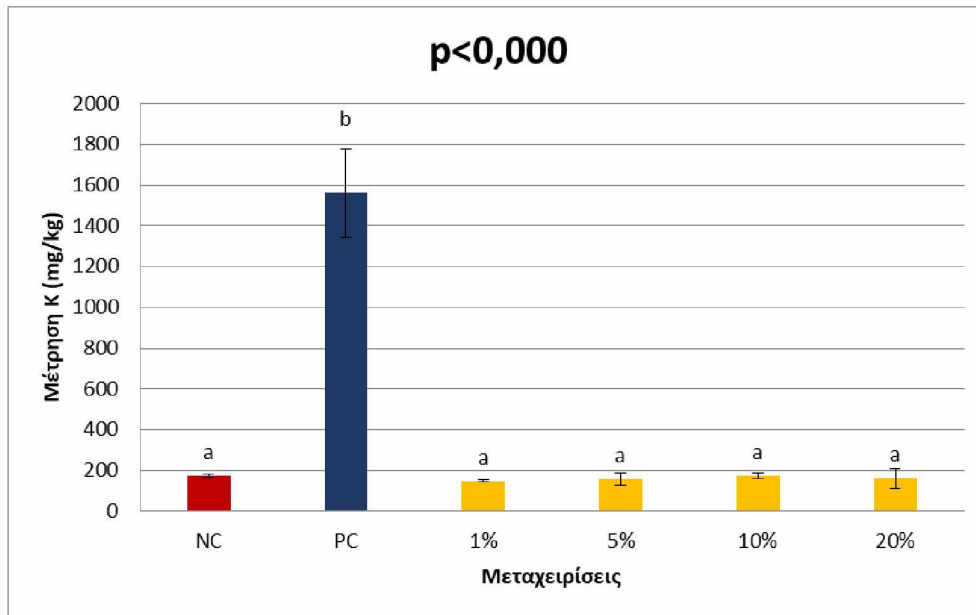
οποίοι μελέτησαν μεταξύ άλλων τις επιδράσεις των λιπασμάτων στο pH του εδάφους σε μακροχρόνιες δοκιμές σε αγρό. Στις μεταχειρίσεις του frass και συγκεκριμένα στην μεταχείριση 1% frass παρατηρήθηκε μικρή τάση για αύξηση του pH αλλά όταν η χορήγηση αυξήθηκε, στις μεταχειρίσεις 5%, 10% και 20%, τότε μειώθηκε σημαντικά. Η παρατήρηση αυτή ήταν η αναμενόμενη καθώς είναι γνωστό ότι η προσθήκη οργανικής ύλης στο έδαφος προκαλεί μείωση στο pH του. Συγκεκριμένα, η προσθήκη frass, σύμφωνα με τους Houben *et al.* (2020), μειώνει σημαντικά το pH του εδάφους, πιθανότατα λόγω της ελαφρώς όξινης φύσης του.



Σχήμα 2. Τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) για τις μεταχειρίσεις: NC= Negative control (έδαφος χωρίς προσθήκες), PC= Positive control (έδαφος με προσθήκη λιπάσματος), 1%=Προσθήκη frass 1% στο έδαφος, 5%= Προσθήκη 5%, 10%=Προσθήκη 10% και 20%= Προσθήκη 20%.

Η τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας για την μεταχείριση του αρνητικού μάρτυρα (NC) ήταν παρόμοια με τις τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας των μεταχειρίσεων του frass. Μεταξύ των τιμών αυτών δεν παρουσιάστηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές με τις τιμές να κυμαίνονται από 349,23 mS/cm έως 756,86 mS/cm. Για την περίπτωση του θετικού μάρτυρα (PC) η τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας παρουσίασε στατιστικώς σημαντική διαφορά έναντι των υπόλοιπων μεταχειρίσεων με την τιμή της να ανέρχεται σε 3692 mS/cm.

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα ήταν εντός των ανεκτών ορίων (<math>< 800 \text{ mS/cm}</math>) τόσο στον αρνητικό μαρτύρα όσο και σε όλες τις μεταχειρίσεις frass. Εξάιρεση αποτέλεσε η μεταχείριση του θετικού μάρτυρα όπου η ηλεκτρική αγωγιμότητα αυξήθηκε κατακόρυφα (3692 mS/cm) ξεπερνώντας κατά πολύ τα ανεκτά όρια. Η αύξηση αυτή αποδίδεται στην προσθήκη ανόργανων λιπασμάτων τα οποία προκαλούν και αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Το ίδιο υποστηρίζουν και οι Othaman *et al.* (2020), οι οποίοι αναφέρουν ότι κατά κανόνα η χρήση ανόργανων λιπασμάτων είναι ένας τρόπος για να αυξηθεί η απόδοση της καλλιέργειας αλλά και τα επίπεδα αλατότητας και η ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους.

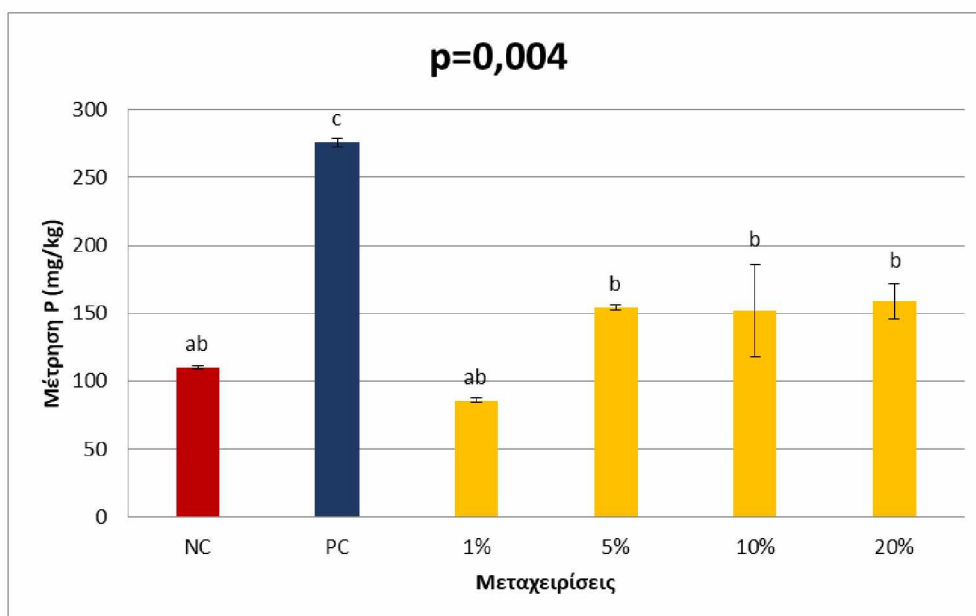


Σχήμα 3. Τιμές καλίου (K) για τις μεταχειρίσεις: NC= Negative control (έδαφος χωρίς προσθήκες), PC= Positive control (έδαφος με προσθήκη λιπάσματος), 1%=Προσθήκη frass 1% στο έδαφος, 5%= Προσθήκη 5%, 10%=Προσθήκη 10% και 20%= Προσθήκη 20%.

Η τιμή του καλίου για την μεταχείριση του αρνητικού μάρτυρα (NC) ήταν παρόμοια με αυτές των μεταχειρίσεων του frass. Οι τιμές δεν παρουσίασαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές και κυμάνθηκαν από 148,15 mg/kg έως 173.54 mg/kg. Για την περίπτωση του θετικού μάρτυρα (PC) η τιμή του καλίου παρουσίασε στατιστικώς σημαντική διαφορά έναντι των υπόλοιπων μεταχειρίσεων με την τιμή του να ανέρχεται σε 1560,49 mg/kg.

Οι τιμές του καλίου για την μεταχείριση του αρνητικού μάρτυρα και τις μεταχειρίσεις του frass κυμάνθηκαν στο ίδιο επίπεδο και σε συγκεντρώσεις που δεν ξεπερνούσαν τα 200 mg/kg. Στην μεταχείριση του θετικού μάρτυρα παρατηρήθηκε μεγάλη αύξηση στην συγκέντρωση του καλίου κάτι το οποίο οφείλεται στην χορήγηση ανόργανων λιπασμάτων τα οποία περιέχουν σημαντικές ποσότητες καλίου οι οποίες αποδεσμεύονται ταχέως λόγω της υδατοδιαλυτής φύσης τους (Yang *et al.*, 2008).

Στην περίπτωση του frass δεν παρατηρήθηκε αντίστοιχη αύξηση στην συγκέντρωση του καλίου παρόλο που αυτό περιέχει εξίσου σημαντικές ποσότητες καλίου, όπως τα ανόργανα λιπάσματα (Poveda *et al.*, 2019). Ωστόσο, λόγω της οργανικής φύσης του, το frass, ανοργανοποιείται και αποδεσμεύει τα θρεπτικά συστατικά του με πιο βραδείς ρυθμούς σε σχέση με τα χημικά λιπάσματα (Houben *et al.*, 2020).

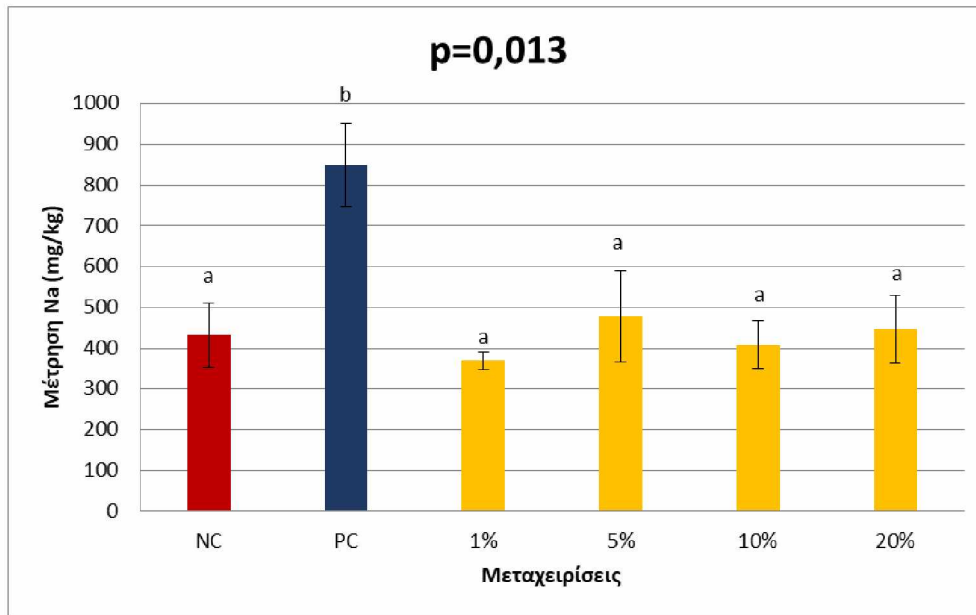


Σχήμα 4. Τιμές φωσφόρου (P) για τις μεταχειρίσεις: NC= Negative control (έδαφος χωρίς προσθήκες), PC= Positive control (έδαφος με προσθήκη λιπάσματος), 1%=Προσθήκη frass 1% στο έδαφος, 5%= Προσθήκη 5%, 10%=Προσθήκη 10% και 20%= Προσθήκη 20%.

Η τιμή του φωσφόρου για την μεταχείριση του αρνητικού μάρτυρα (NC) ήταν 109,90 mg/kg και κυμάνθηκε σε παρόμοια επίπεδα με αυτή του frass 1% (85,95 mg/kg), οπότε μεταξύ τους δεν υπήρχε στατιστικώς σημαντική διαφορά. Στην μεταχείριση του θετικού μάρτυρα (PC) η τιμή του φωσφόρου αυξήθηκε σημαντικά σε 275,76 mg/kg. Στις υπόλοιπες μεταχειρίσεις του frass δεν παρουσιάστηκε στατιστικώς σημαντική διαφορά αναμεταξύ τους με τις τιμές να κυμαίνονται από 151,95 mg/kg έως 158,95 mg/kg. Ωστόσο οι τιμές τους, συγκριτικά με τις μεταχειρίσεις του αρνητικού μάρτυρα και του frass 1% ήταν μη σημαντικά υψηλότερες, ενώ αναφορικά με την μεταχείριση του θετικού μάρτυρα ήταν σημαντικά χαμηλότερες.

Την υψηλότερη συγκέντρωση φωσφόρου παρουσίασε η μεταχείριση του θετικού μάρτυρα. Η παρατήρηση αυτή πιθανόν οφείλεται στην υψηλή περιεκτικότητα φωσφόρου στα ανόργανα λιπάσματα και την υδατοδιαλυτή μορφή τους.

Στις μεταχειρίσεις του frass, η χαμηλότερη συγκέντρωση φωσφόρου παρατηρήθηκε για την μεταχείριση 1%, στην οποία αντιστοιχούσε η υψηλότερη τιμή pH. Σύμφωνα με τους Penn & Camberato (2019), η διαθεσιμότητα φωσφόρου παρουσιάζει το μέγιστο στην τιμή pH=6,5. Συνεπώς δικαιολογημένα αυξήθηκε η συγκέντρωση φωσφόρου στις υπόλοιπες μεταχειρίσεις frass όπου το pH παρουσίασε σημαντική μείωση, με την τιμή να πλησιάζει περισσότερο στο 6,5 σε σύγκριση με τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις.



Σχήμα 5. Τιμές νατρίου (Na) για τις μεταχειρίσεις: NC= Negative control (έδαφος χωρίς προσθήκες), PC= Positive control (έδαφος με προσθήκη λιπάσματος), 1%=Προσθήκη frass 1% στο έδαφος, 5%= Προσθήκη 5%, 10%=Προσθήκη 10% και 20%= Προσθήκη 20%.

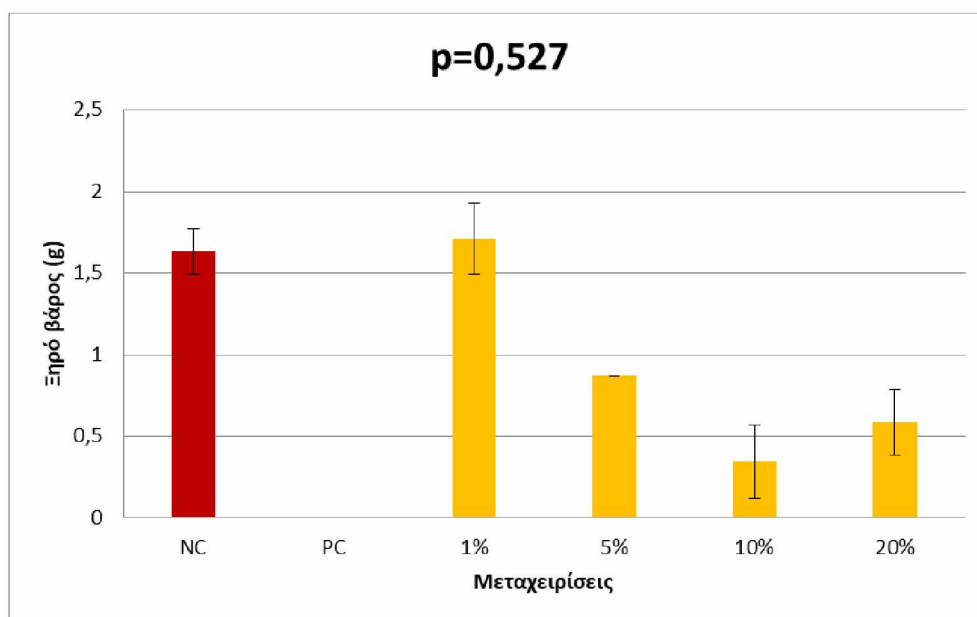
Η τιμή του νατρίου για την μεταχείριση του αρνητικού μάρτυρα (NC) ήταν παρόμοια με αυτές των μεταχειρίσεων του frass. Μεταξύ τους δεν παρουσιάστηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές και κυμάνθηκαν από 368,85 mg/kg έως 478,14 mg/kg. Στην περίπτωση του θετικού μάρτυρα (PC) η τιμή του νατρίου παρουσίασε στατιστικώς σημαντική διαφορά έναντι των υπόλοιπων μεταχειρίσεων με την τιμή να ανέρχεται σε 850,15 mg/kg.

Η μεγαλύτερη συγκέντρωση νατρίου παρατηρήθηκε για την μεταχείριση του θετικού μάρτυρα. Η προσθήκη ανόργανων λιπασμάτων στο έδαφος είναι πιθανόν να αυξήσει το ανταλλάξιμο νάτριο, όπως συμβαίνει στην συγκεκριμένη περίπτωση και αποδεικνύεται και από τους Sarwar *et al.* (2010) οι οποίοι παρατήρησαν ότι το ανταλλάξιμο Na αυξήθηκε με την εφαρμογή συνθετικών λιπασμάτων.

Στις μεταχειρίσεις του frass η συγκέντρωση του νατρίου δεν παρουσίασε σημαντική διακύμανση και παρέμεινε στα ίδια επίπεδα με την τιμή του αρνητικού μάρτυρα. Βέβαια, σύμφωνα με τους Przemieniecki *et al.* (2021), το frass περιέχει ποσότητα νατρίου και ενδεχομένως να μπορούσε να αυξήσει την συγκέντρωση του ανταλλάξιμου νατρίου σε αυτές τις μεταχειρίσεις.

3.2. Φυτό

Όπως αποτυπώνεται και στα διαγράμματα που ακολουθούν, φυτά σπανακιού επέζησαν μόνο στα υποστρώματα του frass και του αρνητικού μάρτυρα. Στην μεταχείριση του θετικού μάρτυρα δεν επέζησε κανένα φυτό ενώ σε όλες τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις επέζησαν και τα 8 φυτά.



Σχήμα 6. Τιμές ξηρού βάρους για τα φυτά των μεταχειρίσεων: NC= Negative control (έδαφος χωρίς προσθήκες), PC= Positive control (έδαφος με προσθήκη λιπάσματος), 1%=Προσθήκη frass 1% στο έδαφος, 5%= Προσθήκη 5%, 10%=Προσθήκη 10% και 20%= Προσθήκη 20%.

Οι τιμές του ξηρού βάρους των φυτών των διαφόρων μεταχειρίσεων δεν παρουσίασαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ τους. Η μεγαλύτερη τιμή ξηρού βάρους αντιστοιχούσε στα φυτά του frass 1% όπου συγκεντρώθηκαν 1,71 g, ενώ παραπλήσια τιμή εμφάνισε ο αρνητικός μάρτυρας (NC), με 1,63 g. Ωστόσο η χορήγηση frass σε ποσοστό 5%, 10% και 20% παρουσίασε τάση για μείωση στη συγκέντρωση βιομάζας από τα φυτά, με την χαμηλότερη τιμή να αντιστοιχεί στη μεταχείριση 10% frass (0,35 g).

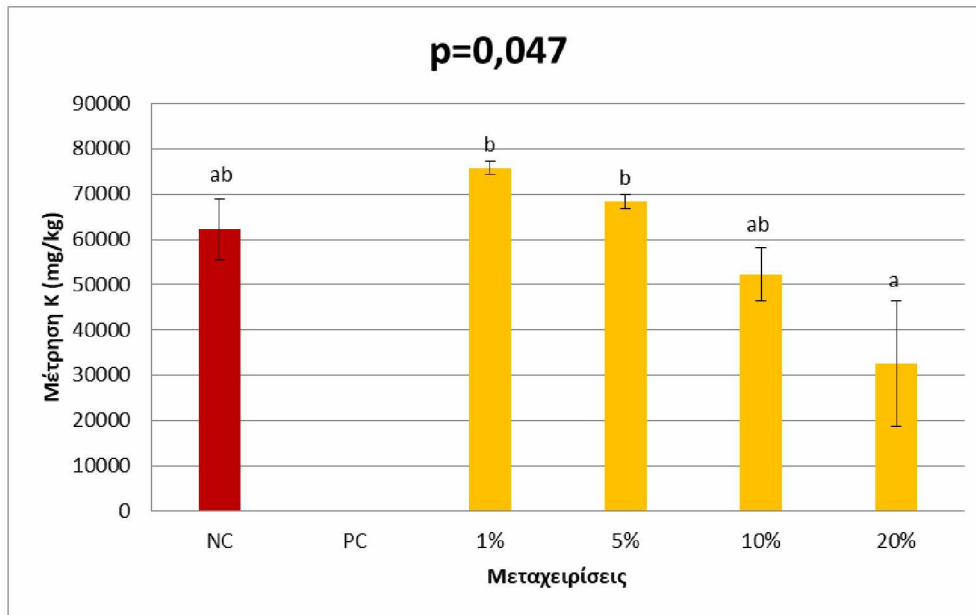
Η θνησιμότητα των φυτών στην μεταχείριση του θετικού μάρτυρα πιθανώς να προέκυψε από την υπερβολική αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (Σχήμα 2), εξαιτίας της υδατοδιαλυτής μορφής των λιπασμάτων.

Στις υπόλοιπες μεταχειρίσεις και κυρίως σε αυτές του frass τα φυτά κατάφεραν να επιβιώσουν ωστόσο η ανάπτυξη τους ήταν μικρή έως ελάχιστη. Η συγκέντρωση ξηρής βιομάζας στα φυτά ήταν σχετικά μειωμένη, σε σύγκριση με τα

αποτελέσματα της μελέτης των Nemadodzi *et al.* (2017) οι οποίοι μεταξύ άλλων εξέτασαν την συγκέντρωση βιομάζας σε φυτά σπανακιού (*Spinacia oleracea*).

Στις μεταχειρίσεις του frass παρατηρήθηκε τάση για μείωση στη συγκέντρωση βιομάζας όσο αυξήθηκε η χορήγησή του. Λόγω της οργανικής φύσης του frass δεν απελευθερώθηκαν ταυτόχρονα μεγάλες ποσότητες θρεπτικών στοιχείων στο έδαφος, καθώς αυτό συμβαίνει εφόσον πρώτα χωνευτεί. Τότε, σύμφωνα με τους Chavez & Uchanski (2021), τα θρεπτικά συστατικά του (N, P, K) γίνονται πιο βιοδιαθέσιμα στα φυτά, οπότε είναι πιθανόν να εκδηλώθηκε τοξικότητα στα φυτά, περιορίζοντας την ανάπτυξή τους.

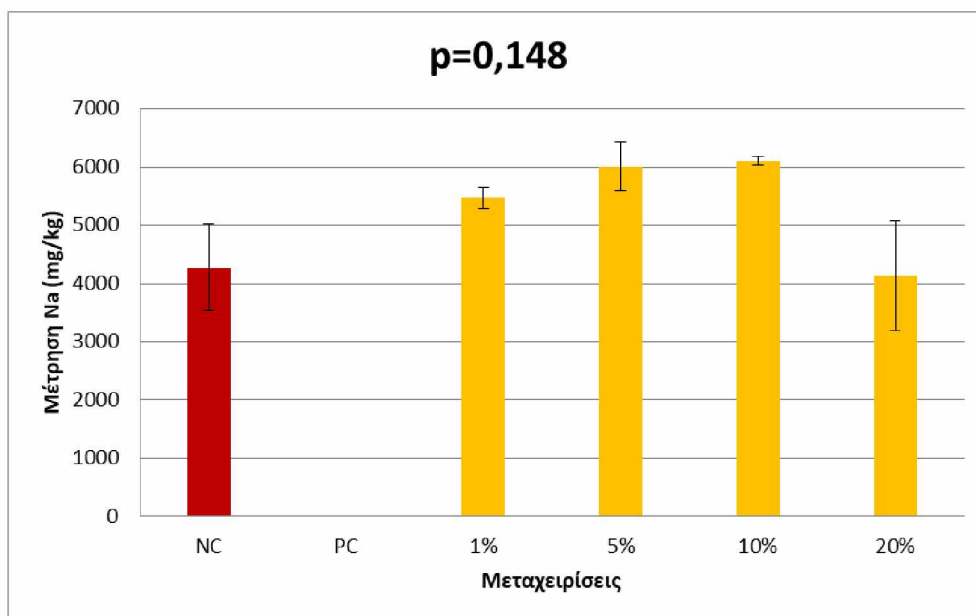
Ωστόσο, η παρατήρηση ότι στις μεταχειρίσεις του frass υπήρχε τάση για μείωση της βιομάζας των φυτών, έρχεται σε αντίθεση με τα όσα αναφέρουν οι Xu & Mou (2018). Αυτοί μελέτησαν την καλλιέργεια μαρουλιού σε έδαφος στο οποίο προστέθηκε χιτίνη, η οποία αποτελεί συχνά συστατικό του frass και παρατήρησαν ότι ο αριθμός και η επιφάνεια των φύλλων, το νωπό και ξηρό βάρος των φυτών και η περιεχόμενη χλωροφύλλη αυξάνονται παρουσία αυτής.



Σχήμα 7. Τιμές καλίου (K) για τα φυτά των μεταχειρίσεων: NC= Negative control (έδαφος χωρίς προσθήκες), PC= Positive control (έδαφος με προσθήκη λιπάσματος), 1%=Προσθήκη frass 1% στο έδαφος, 5%= Προσθήκη 5%, 10%=Προσθήκη 10% και 20%= Προσθήκη 20%.

Η τιμή του καλίου στο φυτό για την μεταχείριση του αρνητικού μάρτυρα ήταν 62230,6 mg/kg. Οι τιμές των μεταχειρίσεων του frass δεν παρουσίασαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές σε σχέση με τον αρνητικό μάρτυρα. Αύξηση σημειώθηκε στις μεταχειρίσεις των 1% και 5% frass, 75733,4 mg/kg και 68353,87 mg/kg αντίστοιχα, ωστόσο όσο αυξανόταν η χορήγηση frass (10% και 20%), η τιμή του καλίου μειωνόταν βαθμιαία ως εξής: 52211,32 στο frass 10% και 32462,89 στο frass 20%. Στατιστικώς σημαντική διάφορα παρουσιάστηκε μόνο μεταξύ των μεταχειρίσεων frass 1% (75733,4 mg/kg) και 5% (68353,87 mg/kg) συγκριτικά με την μεταχείριση frass 20%(32462,83 mg/kg)

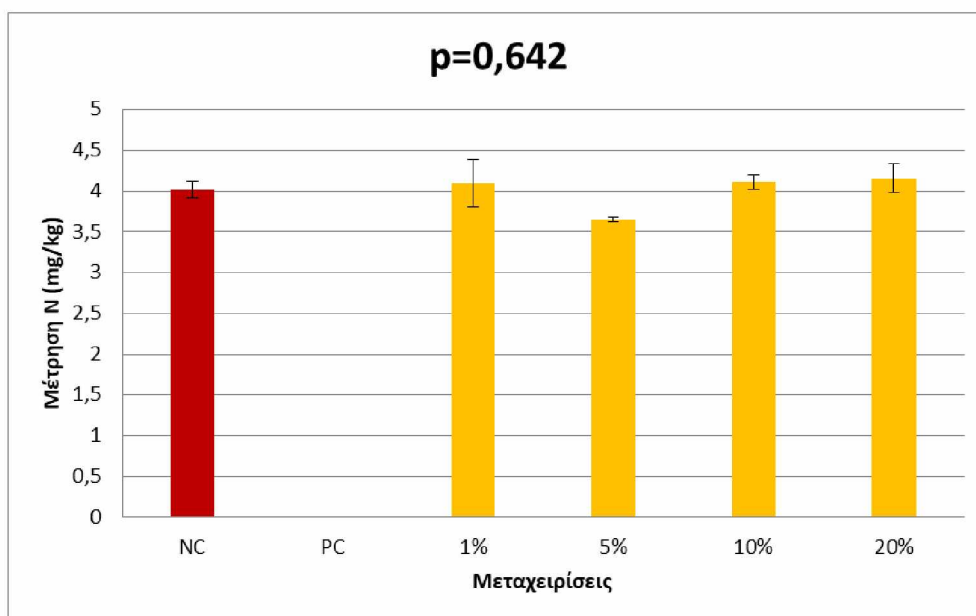
Η τάση για αύξηση της συγκέντρωσης καλίου στις μεταχειρίσεις frass 1% και 5% οφείλεται στην ανοργανοποίηση του frass το οποίο απελευθέρωσε κάλιο στο έδαφος ενώ παράλληλα έκανε πιο διαθέσιμο το δυσκόλως ανταλλάξιμο κάλιο (Nobile *et al.*, 2019). Το εύρημα αυτό συμφωνεί με τα όσα αναφέρουν οι Houben *et al.* 2020 σε παρόμοιο πείραμα τους σε καλλιέργεια κριθαριού όπου χορηγήθηκε frass ως εδαφοβελτιωτικό. Στις μεταχειρίσεις frass με την μεγαλύτερη χορήγηση υλικού 10% και 20% παρατηρήθηκε τάση για μείωση και σημαντική μείωση αντίστοιχα στη συγκέντρωση καλίου. Στα φυτά αυτά παρατηρήθηκε μειωμένη ανάπτυξη τόσο του υπέργειου όσο και του υπόγειου τμήματος. Σύμφωνα με τους Barber (1985) η μειωμένη ανάπτυξη του ριζικού συστήματος συντελεί στην μειωμένη απορρόφηση καλίου γεγονός που αιτιολογεί την ανωτέρω παρατήρηση.



Σχήμα 8. Τιμές νατρίου (Na) για τα φυτά των μεταχειρίσεων: NC= Negative control (έδαφος χωρίς προσθήκες), PC=Positive control (έδαφος με προσθήκη λιπάσματος), 1%=Προσθήκη frass 1% στο έδαφος, 5%= Προσθήκη 5%, 10%=Προσθήκη 10% και 20%= Προσθήκη 20%.

Η συγκέντρωση νατρίου στα φυτά των διαφόρων μεταχειρίσεων δεν παρουσίασε στατιστικώς σημαντικές διαφορές. Οι τιμές κυμάνθηκαν από 4137,47 mg/kg, που αντιστοιχούσαν στη μεταχείριση frass 20% και έως 6106,11 mg/kg, τιμή που αντιστοιχούσε στην μεταχείριση frass 10%.

Η πρόσληψη του νατρίου από τα φυτά δεν επηρεάστηκε σε σημαντικό βαθμό από την χορήγηση frass στο έδαφος των μεταχειρίσεων. Ωστόσο υπήρξε τάση για αύξηση σε αυτά τα φυτά λόγω της χαμηλής συγκέντρωσης καλίου σε αυτές τις μεταχειρίσεις. Σύμφωνα με τους Mäser *et al.* (2002), το νάτριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τα φυτά αντί του καλίου όταν το δεύτερο βρίσκεται σε έλλειψη. Επίσης, σύμφωνα με τα όσα αναφέρουν οι τους Przemieniecki *et al.* (2021), το frass ενδέχεται να περιέχει ποσότητα νατρίου η οποία θα μπορούσε να αυξήσει την πρόσληψη του από τα φυτά.

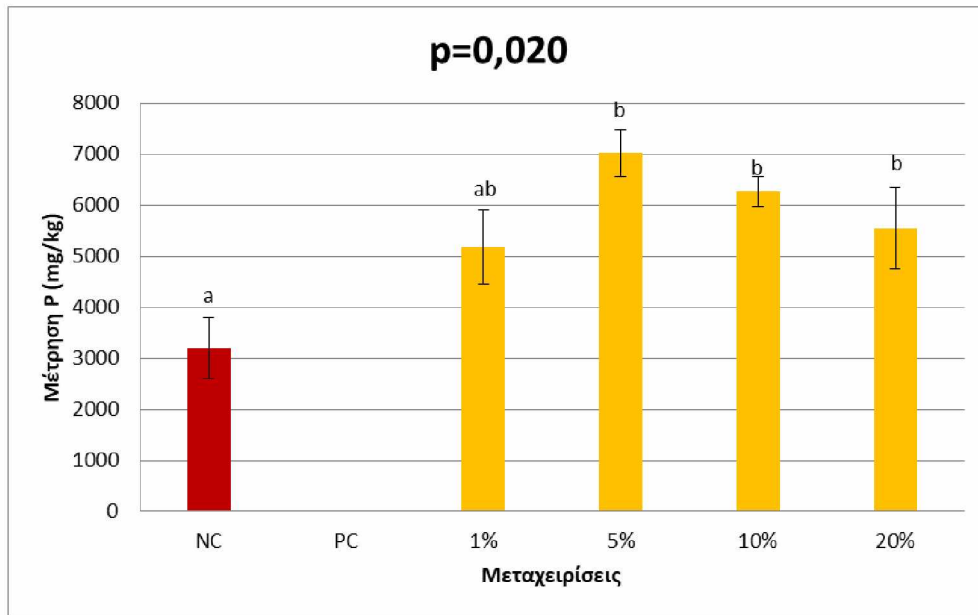


Σχήμα 9. Τιμές αζώτου (N) για τα φυτά των μεταχειρίσεων: NC= Negative control (έδαφος χωρίς προσθήκες), PC= Positive control (έδαφος με προσθήκη λιπάσματος), 1%=Προσθήκη frass 1% στο έδαφος, 5%= Προσθήκη 5%, 10%=Προσθήκη 10% και 20%= Προσθήκη 20%.

Η συγκέντρωση αζώτου στα φυτά των διαφόρων μεταχειρίσεων δεν παρουσίασε στατιστικώς σημαντικές διαφορές. Οι τιμές κυμάνθηκαν στο ίδιο επίπεδο χωρίς να εμφανίζεται σημαντική τάση για μείωση ή αύξηση στη συγκέντρωση αζώτου, ακόμη και στην μεγαλύτερη χορήγηση frass.

Η παρατήρηση ότι μεταξύ των συγκεντρώσεων αζώτου στις μεταχειρίσεις του αρνητικού μάρτυρα και του frass δεν υπήρχε στατιστικώς σημαντική διαφορά έρχεται σε αντίθεση με τα όσα αναφέρουν οι Houben *et al.* (2020). Οι ερευνητές, σε παρόμοιο πείραμά τους, παρατήρησαν ότι η χορήγηση frass βελτίωσε την πρόσληψη αζώτου από φυτά κριθαριού τα οποία καλλιεργήθηκαν σε γλάστρες. Αυτό μπορεί να οφείλεται στην ταχεία ανοργανοποίηση του frass μέσω της οποίας έγιναν διαθέσιμες στα φυτά σημαντικές ποσότητες αζώτου.

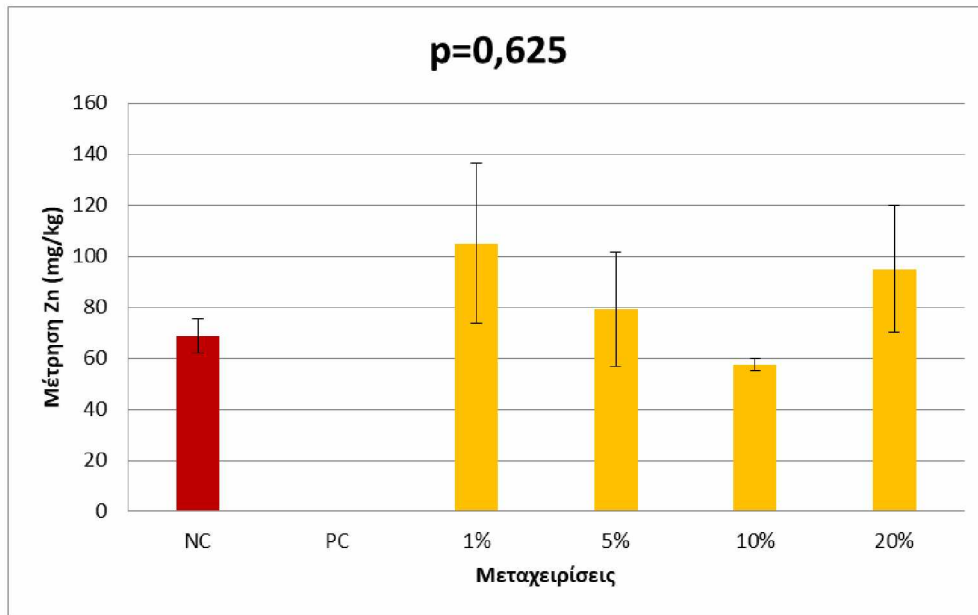
Το σπανάκι, ως πράσινο φυλλώδες λαχανικό, απαιτεί μεγάλες ποσότητες αζώτου ώστε να αναπτυχθεί κανονικά και να παράξει προϊόντα υψηλής εμπορικής αξίας. Ωστόσο η αποδοτικότητα στην πρόσληψη και την χρήση αζώτου από την καλλιέργεια είναι μειωμένη και πολύ μικρότερη απ' ό τι στις αροτραίες καλλιέργειες, όπως αυτή του κριθαριού, με αποτέλεσμα να απαιτείτε υψηλή χορήγηση αζώτου στο σπανάκι (Di Mola *et al.*, 2020). Η διαφορά αυτή μεταξύ των δυο καλλιεργειών πιθανώς να εξηγεί τη διαφορά στις παρατηρήσεις της παρούσας εργασίας έναντι αυτής των Houben *et al.* (2020).



Σχήμα 10. Τιμές φωσφόρου (P) για τα φυτά των μεταχειρίσεων: NC= Negative control (έδαφος χωρίς προσθήκες), PC= Positive control (έδαφος με προσθήκη λιπάσματος), 1%=Προσθήκη frass 1% στο έδαφος, 5%= Προσθήκη 5%, 10%=Προσθήκη 10% και 20%= Προσθήκη 20%.

Οι τιμές του φωσφόρου για τα φυτά του αρνητικού μάρτυρα ήταν 3198,94 mg/kg. Στη μεταχείριση του frass 1% η τιμή του φωσφόρου ήταν υψηλότερη (5189,63 mg/kg) αλλά χωρίς σημαντική διαφορά. Στις μεταχειρίσεις με την μεγαλύτερη χορήγηση frass, συγκεκριμένα 5%, 10% και 20%, όπου οι τιμές ήταν 7027,2 mg/kg, 6273,05 mg/kg και 5553,98 mg/kg αντίστοιχα, δεν παρουσιάστηκε στατιστικώς σημαντική διαφορά αναμεταξύ τους. Ωστόσο οι τιμές τους συγκριτικά με τη μεταχείριση του αρνητικού μάρτυρα ήταν υψηλότερες και με στατιστικώς σημαντική διαφορά, ενώ αναφορικά με την μεταχείριση του frass 1% η διαφορά ήταν μη σημαντική.

Η σημαντική αύξηση στην συγκέντρωση του φωσφόρου για τα φυτά των μεταχειρίσεων του frass 5%, 10% και 20% φαίνεται να οφείλεται στην αύξηση του διαθέσιμου φωσφόρου που επέφερε η μείωση του pH στο έδαφος των μεταχειρίσεων αυτών. Το εύρημα αυτό συμφωνεί με τα όσα αναφέρουν οι Zikalala *et al.* (2017) οι οποίοι παρατήρησαν μεταξύ άλλων ότι η συγκέντρωση φωσφόρου στα φύλλα του σπανακιού αυξάνεται όσο αυξάνεται η συγκέντρωση φωσφόρου στο έδαφος, αλλά μέχρι ενός ορίου.

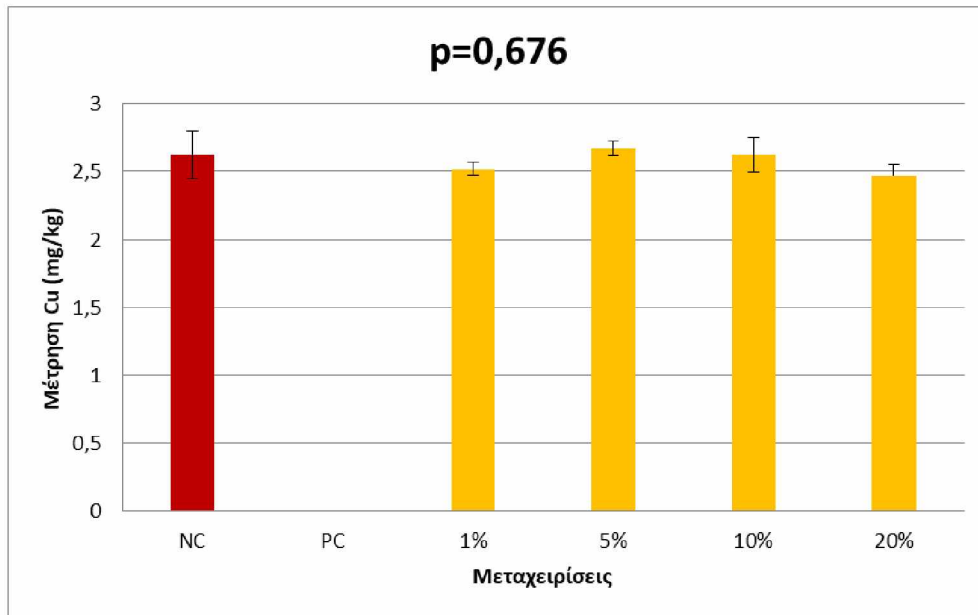


Σχήμα 11. Τιμές ψευδαργύρου (Zn) για τα φυτά των μεταχειρίσεων: NC= Negative control (έδαφος χωρίς προσθήκες), PC= Positive control (έδαφος με προσθήκη λιπάσματος), 1%=Προσθήκη frass 1% στο έδαφος, 5%= Προσθήκη 5%, 10%=Προσθήκη 10% και 20%= Προσθήκη 20%.

Η συγκέντρωση ψευδαργύρου στα φυτά των διαφόρων μεταχειρίσεων δεν παρουσίασε στατιστικώς σημαντικές διαφορές. Οι τιμές κυμάνθηκαν από 57,36 mg/kg, που αντιστοιχούσαν στη μεταχείριση frass 10% και έως 105,174 mg/kg, τιμή που αντιστοιχούσε στην μεταχείριση frass 1%.

Η διαθεσιμότητα του ψευδαργύρου, ως βαρύ μέταλλο, είναι πιθανόν να αυξήθηκε, λόγω της μείωσης του pH, όσον αφορά το έδαφος των μεταχειρίσεων του frass. Έτσι αναμένονταν αύξηση στην συγκέντρωση του ψευδαργύρου στα φυτά, αλλά εν τέλει παρατηρήθηκε τάση για μείωση στην συγκέντρωση ψευδαργύρου όσο αυξήθηκε η χορήγηση frass, δηλαδή όσο μειώθηκε το pH.

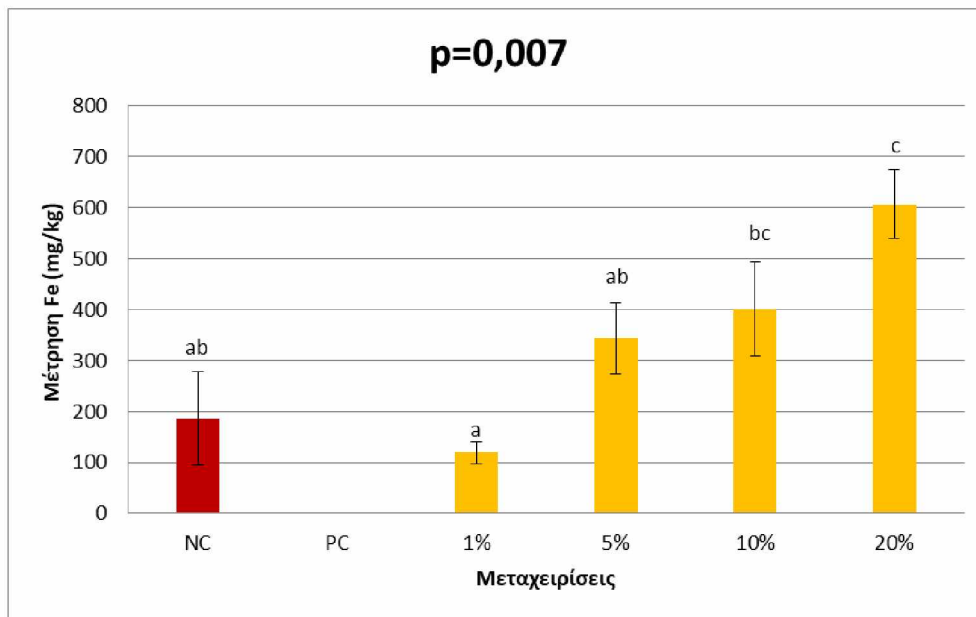
Έχουν αναφερθεί τοξικές επιδράσεις του ψευδαργύρου στην ανάπτυξη των φυτών σπανακιού (Pavlíková *et al.*, 2008), οι οποίες είναι πιθανόν να μείωσαν τον ρυθμό ανάπτυξης, όπως φαίνεται στο Σχήμα 6. Ωστόσο, τα φυτά σπανακιού έχουν μηχανισμούς αποτοξίνωσης και μπορούν να επιβιώνουν σε εδάφη εμπλουτισμένα με οργανική ύλη και τοξικά μέταλλα (Casierra-Posada *et al.*, 2012).



Σχήμα 12. Τιμές χαλκού (Cu) για τα φυτά των μεταχειρίσεων: NC= Negative control (έδαφος χωρίς προσθήκες), PC= Positive control (έδαφος με προσθήκη λιπάσματος), 1%=Προσθήκη frass 1% στο έδαφος, 5%= Προσθήκη 5%, 10%=Προσθήκη 10% και 20%= Προσθήκη 20%.

Η συγκέντρωση χαλκού στα φυτά των διαφόρων μεταχειρίσεων δεν παρουσίασε στατιστικώς σημαντικές διαφορές. Οι τιμές κυμάνθηκαν στο ίδιο επίπεδο χωρίς να εμφανίζεται σημαντική τάση για μείωση ή αύξηση στη συγκέντρωση χαλκού, ακόμη και στην μεγαλύτερη χορήγηση frass.

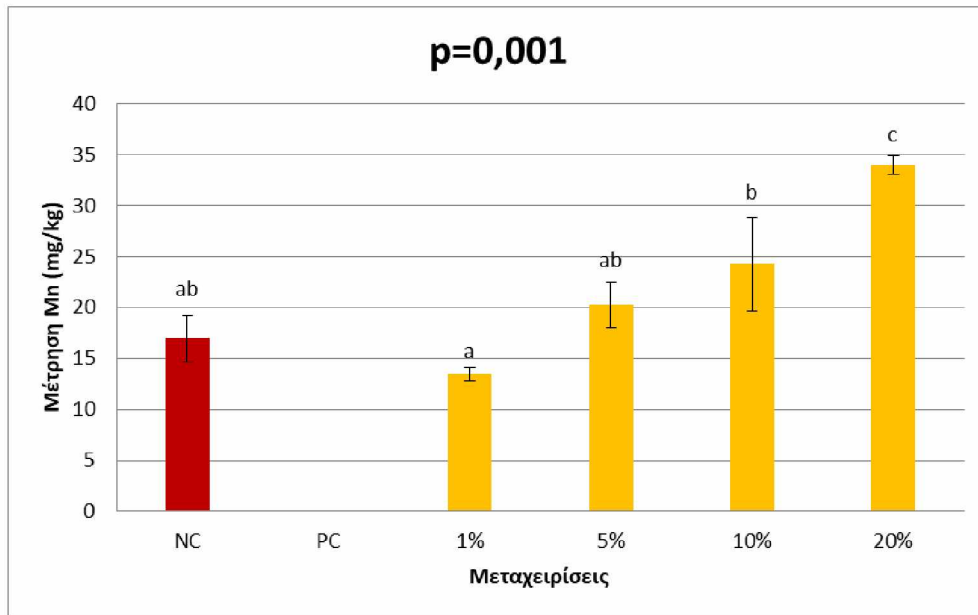
Η χορήγηση frass, ακόμη και σε υψηλές συγκεντρώσεις, δεν επηρέασε τα επίπεδα του χαλκού στο υπέργειο μέρος των φυτών. Σε γενικές γραμμές η συγκέντρωση διατηρήθηκε σε υψηλά αλλά εντός ορίων επίπεδα ($\approx 2,5$ mg/kg) καθώς σύμφωνα με τα όσα αναφέρουν οι Obrador *et al.* (2013), το χαμηλότερο όριο στη συγκέντρωση χαλκού, κάτω από το οποίο εμφανίζονται συμπτώματα έλλειψης, είναι τα 1,0 mg/kg. Αντίστοιχα Τα ανώτατα επιτρεπτά όρια πάνω από τα οποία εμφανίζεται τοξικότητα χαλκού είναι τα 3,0 mg/kg.



Σχήμα 13. Τιμές σιδήρου (Fe) για τα φυτά των μεταχειρίσεων: NC= Negative control (έδαφος χωρίς προσθήκες), PC= Positive control (έδαφος με προσθήκη λιπάσματος), 1%=Προσθήκη frass 1% στο έδαφος, 5%= Προσθήκη 5%, 10%=Προσθήκη 10% και 20%= Προσθήκη 20%.

Την μικρότερη συγκέντρωση σιδήρου παρουσίασαν τα φυτά της μεταχείρισης του 1% frass όπου συγκεντρώθηκαν 118,79 mg/kg. Ελαφρώς υψηλότερες αλλά χωρίς σημαντική διαφορά ήταν οι τιμές που αντιστοιχούν στις μεταχειρίσεις του αρνητικού μάρτυρα και του frass 5%. Η αύξηση της προσθήκης frass φαίνεται να αύξησε τη συγκέντρωση του σιδήρου στα φυτά. Ωστόσο σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων του frass παρουσιάστηκαν σε συγκεκριμένες μόνο περιπτώσεις. Οι μεταχειρίσεις 10% και 20% frass παρουσίασαν σημαντική διαφορά συγκριτικά με την μεταχείριση 1%, ενώ η δεύτερη παρουσίασε επίσης σημαντική διαφορά έναντι της μεταχείρισης 5%. Επίσης σημαντική διαφορά παρουσιάστηκε μεταξύ του αρνητικού μάρτυρα και της μεταχείρισης 20% frass, στην οποία και αντιστοιχούσε η μεγαλύτερη τιμή σιδήρου, 606,35 mg/kg.

Σε γενικές γραμμές η συγκέντρωση σιδήρου στα φυτά κυμάνθηκε σε υψηλά επίπεδα για όλες τις μεταχειρίσεις. Ιδιαίτερα στις μεταχειρίσεις του frass η αύξηση αυτή ήταν μεγαλύτερη καθώς η χορήγηση του frass επέφερε σημαντική μείωση του pH γεγονός το οποίο αύξησε αντίστοιχα την διαθεσιμότητα του σιδήρου στο έδαφος και άρα την απορρόφησή του από τα φυτά. Η παρατήρηση αυτή συμφωνεί με τα όσα αναφέρει ο Borowski (2013), ο οποίος υποστηρίζει ότι η έλλειψη σιδήρου εμφανίζεται σε πολλά είδη φυτών που καλλιεργούνται σε εδάφη με υψηλό pH, όπως για παράδειγμα στις μεταχειρίσεις του αρνητικού μάρτυρα και του frass 1% όπου το pH ήταν αλκαλικό (Σχήμα 1).



Σχήμα 14. Τιμές μαγγανίου (Mn) για τα φυτά των μεταχειρίσεων: NC= Negative control (έδαφος χωρίς προσθήκες), PC= Positive control (έδαφος με προσθήκη λιπάσματος), 1%=Προσθήκη frass 1% στο έδαφος, 5%= Προσθήκη 5%, 10%=Προσθήκη 10% και 20%= Προσθήκη 20%.

Η μικρότερη συγκέντρωση μαγγανίου αντιστοιχούσε στα φυτά της μεταχείρισης του 1% frass, στα οποία συγκεντρώθηκαν 13,45 mg/kg. Ελαφρώς υψηλότερες αλλά χωρίς σημαντική διαφορά ήταν οι τιμές που αντιστοιχούν στις μεταχειρίσεις του αρνητικού μάρτυρα και του frass 5%. Με την αυξανόμενη προσθήκη frass φαίνεται να αυξήθηκε παράλληλα η συγκέντρωση μαγγανίου στα φυτά. Παρόλα αυτά, σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων του frass παρουσιάστηκαν μόνο σε ορισμένες περιπτώσεις. Οι μεταχειρίσεις 10% και 20% frass παρουσίασαν σημαντική διαφορά μεταξύ τους αλλά και συγκριτικά με την μεταχείριση 1%, ενώ η μεταχείριση 20% παρουσίασε επίσης σημαντική διαφορά έναντι της μεταχείρισης 5% και του αρνητικού μάρτυρα. Στη μεταχείριση 20% frass αντιστοιχούσε και η μεγαλύτερη τιμή μαγγανίου 33,98 mg/kg.

Η χημική συμπεριφορά του μαγγανίου είναι παρόμοια με αυτή του σιδήρου, καθώς αποτελούν και τα δύο μεταλλικά στοιχεία. Συνεπώς, η σημαντική μείωση του pH λόγω της χορήγησης frass επέφερε σημαντική αύξηση στην διαθεσιμότητα του μαγγανίου στο έδαφος και άρα αύξησε σημαντικά την απορρόφησή του από τα φυτά. Αναλυτικότερα, όσο μεγαλύτερη ήταν η χορήγηση frass, τόσο μεγαλύτερη ήταν η μείωση του pH και άρα η πρόσληψη του μαγγανίου από τα φυτά.

Συμπεράσματα

- Παρόλο που η χορήγηση ανόργανων λιπασμάτων και frass, σε συγκέντρωση 1%, δεν επηρέασε την τιμή του pH, η μεγαλύτερη χορήγηση frass σε συγκέντρωση 5%, 10% και 20% μείωσε κλιμακωτά την τιμή του.
- Η χορήγηση ανόργανων λιπασμάτων αύξησε κατακόρυφα την ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους ενώ η χορήγηση frass δεν επηρέασε την τιμή της, ανεξαρτήτως της χορηγούμενης ποσότητας.
- Η συγκέντρωση των θρεπτικών (K, P, Na) στο έδαφος αυξήθηκε ύστερα από την χορήγηση ανόργανων λιπασμάτων ενώ η χορήγηση frass αύξησε μόνο την συγκέντρωση φωσφόρου στο έδαφος, και συγκεκριμένα στις υψηλότερες χορηγήσεις (5%, 10% και 20%).
- Φυτά σπανακιού επιβίωσαν μόνο στη μεταχείριση του αρνητικού μάρτυρα (NC) και σε αυτές του frass, χωρίς ωστόσο να επηρεαστεί το ξηρό βάρος των φυτών.
- Η συγκέντρωση του φωσφόρου στα φυτά των μεταχειρίσεων του frass 5%, 10% και 20% αυξήθηκε σε σχέση με αυτά του αρνητικού μάρτυρα (NC), σε αντίθεση με την συγκέντρωση των υπόλοιπων θρεπτικών (K, N, Na) που δεν επηρεάστηκε σημαντικά.
- Η συγκέντρωση των ιχνοστοιχείων Fe και Mn στα φυτά των μεταχειρίσεων του frass αυξήθηκε κλιμακωτά όσο αυξήθηκε η χορήγηση του, συγκριτικά με τον αρνητικό μάρτυρα (NC), ενώ η συγκέντρωση των Zn και Cu δεν επηρεάστηκε.

Βιβλιογραφία

Ελληνική βιβλιογραφία

- Αθανασάκης, Μ. Α., Κουσουρή, Σ. Θ., Κονταράτος, Ι. Σ. 2010. Αρχές περιβαλλοντικών επιστημών. Οργανισμός Εκδόσεων Διδακτικών Βιβλίων.
- Αναλογίδης, Α. Δ. 2000. Έδαφος, θρεπτικά στοιχεία και φυτική παραγωγή. ΑΓΡΟ-τύπος Α.Ε.
- Ασημακόπουλος, Ι., Οιχαλιώτη, Κ., Μπόβη, Κ. 2009. Γονιμότητα του εδάφους. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Αττικής.
- Γεωργίλα, Β. 2018. Ανόργανη θρέψη και Λιπάσματα. Α.Δ. Γαρταγάνης.
- Θέριος, Ι. Ν. 2018. Ανόργανη θρέψη και λιπάσματα. Α.Δ. Γαρταγάνη.
- Κανάκης, Α. 2004. Καλλιέργεια λαχανικών στο θερμοκήπιο. Β' Τόμος. Σταμούλη.
- Μήτσιος, Ι. 2004. Γονιμότητα εδαφών. Θρεπτικά στοιχεία φυτών (μακροθρεπτικά, μικροθρεπτικά) και βαρέα μέταλλα. Μέθοδοι και Εφαρμογές. Zymel.

Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

- Awasthi, S. K., Sarsaiya, S., Awasthi, M. K., Liu, T., Zhao, J., Kumar, S., & Zhang, Z. 2020. Changes in global trends in food waste composting: Research challenges and opportunities. *Bioresource technology* 299, 122555.
- Barber, S. A. 1985. Potassium Availability at the Soil-Root Interface and Factors Influencing Potassium Uptake. *Potassium in agriculture*.
- Beesigamukama, D., Mochoge, B., Korir, N. K., Fiaboe, K. K., Nakimbugwe, D., Khamis, F. M. & Tanga, C. M. 2020. Exploring black soldier fly frass as novel fertilizer for improved growth, yield, and nitrogen use efficiency of maize under field conditions. *Frontiers in Plant Science* 11, 14-47.

- Borowski, E. 2013. Uptake and transport of iron ions (Feplus2, Feplus3) supplied to roots or leaves in spinach (*Spinacia oleracea* L.) plants growing under different light conditions. *Acta Agrobotanica* 66.
- Casierra-Posada, F., Ulrichs, C., & Pérez, C. 2012. Growth of spinach plants (*Spinacia oleracea* L.) exposed to excess zinc and manganese. *Agronomía Colombiana* 30, 345-350.
- Chavez, M., & Uchanski, M. 2021. Insect left-over substrate as plant fertilizer. *Journal of Insects as Food and Feed* 7, 683-694.
- Daioglou, V., Stehfest, E., Wicke, B., Faaij, A., & van Vuuren, D. P. 2016. Projections of the availability and cost of residues from agriculture and forestry. *Gcb Bioenergy* 8, 456-470.
- Dawling, P. 2013. Sustainable market farming: Intensive vegetable production on a few acres. New Society Publishers.
- Di Mola, I., Cozzolino, E., Ottaiano, L., Nocerino, S., Roupael, Y., Colla, G. & Mori, M. 2020. Nitrogen use and uptake efficiency and crop performance of baby spinach (*Spinacia oleracea* L.) and Lamb's Lettuce (*Valerianella locusta* L.) grown under variable sub-optimal N regimes combined with plant-based biostimulant application. *Agronomy* 10, 278.
- Diener, S., Zurbrügg, C., & Tockner, K. 2009. Conversion of organic material by black soldier fly larvae: establishing optimal feeding rates. *Waste Management & Research* 27, 603-610.
- Dodick, J., & Kauffman, D. 2017. A Review of the European Union's Circular Economy Policy. Report from Project The route to circular economy.
- Fang, J., Zhan, L., Ok, Y. S., & Gao, B. 2018. Minireview of potential applications of hydrochar derived from hydrothermal carbonization of biomass. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 57, 15-21.
- Gärttling, D., Kirchner, S. M., & Schulz, H. 2020. Assessment of the N-and P-fertilization effect of black soldier fly (Diptera: *Stratiomyidae*) by-products on maize. *Journal of Insect Science* 20, 8.
- George, R. A., 1985. Vegetable seed production. Longman, London New York.

- Ghaly, A. E., & Alkoaik, F. N. 2009. The yellow mealworm as a novel source of protein. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences* 4, 319-331.
- Harrison, A. F. 1987. Soil organic phosphorous: a review of world literature. CAB international.
- Heinze, S., Raupp, J., & Joergensen, R. G. 2010. Effects of fertilizer and spatial heterogeneity in soil pH on microbial biomass indices in a long-term field trial of organic agriculture. *Plant and Soil* 328, 203-215.
- Hinsinger, P. 2001. Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: a review. *Plant and soil* 237, 173-195.
- Houben, D., Daoulas, G., Faucon, M. P., & Dulaurent, A. M. 2020. Potential use of mealworm frass as a fertilizer: Impact on crop growth and soil properties. *Scientific reports* 10, 1-9.
- Huq, S. I., & Shoaib, J. U. M. 2013. Soil fertility In The Soils of Bangladesh.
- Inyang, M., Gao, B., Yao, Y., Xue, Y., Zimmerman, A. R., Pullammanappallil, P., & Cao, X. 2012. Removal of heavy metals from aqueous solution by biochars derived from anaerobically digested biomass. *Bioresource technology* 110, 50-56.
- Kallinen, H. 2020. Hyönteisten frassien lannoitevaikutus.
- Khan, D., Sahito, Z. A., Dawar, S., & Zaki, M. J. 2016. Frass of saproxylic-cerambycid larvae from dead twigs of *Acacia stenophylla* A. Cunn. EX. Benth. and its effects on germination and seedling growth of *Lactuca sativa* L. var. *grand rapids*. *Int. J. Biol. Biotechnol* 13, 461-470.
- Lal, R. 2015. Restoring soil quality to mitigate soil degradation. *Sustainability* 7, 575-595.
- Lehnert, N., Dong, H. T., Harland, J. B., Hunt, A. P., & White, C. J. 2018. Reversing nitrogen fixation. *Nature Reviews Chemistry* 2, 278-289.
- Lehtinen, T., Schlatter, N., Baumgarten, A., Bechini, L., Krüger, J., Grignani, C. & Spiegel, H. 2014. Effect of crop residue incorporation on soil organic carbon and greenhouse gas emissions in European agricultural soils. *Soil use and management* 30, 524-538.

- Liu, K., 2017. The practical significance and countermeasures of agricultural waste utilization. *Environment Development* 5, 254-256.
- Liu, X., Herbert, S. J., Hashemi, A. M., Zhang, X., & Ding, G. 2006. Effects of agricultural management on soil organic matter and carbon transformation- a review. *Plant Soil and Environment* 52, 531.
- Marschner, H. 2011. *Marschner's mineral nutrition of higher plants*. Academic press.
- Mäser, P., Gierth, M., & Schroeder, J. I. 2002. Molecular mechanisms of potassium and sodium uptake in plants. In *Progress in Plant Nutrition: Plenary Lectures of the XIV International Plant Nutrition Colloquium*. Springer. Dordrecht.
- Nemadodzi, L. E., Araya, H., Nkomo, M., Ngezimana, W., & Mudau, N. F. 2017. Nitrogen, phosphorus, and potassium effects on the physiology and biomass yield of baby spinach (*Spinacia oleracea* L.). *Journal of Plant Nutrition* 40, 233-244.
- Neskovic, M., & Radojevic, L. 1973. The growth of and morphogenesis in tissue cultures of *Spinacia oleracea* L. *Bulletin De Linstitute Et Du Jardin Botaniques De Luniversite De Beograd*, 8, 35-37.
- Nobile, C., Houben, D., Michel, E., Firmin, S., Lambers, H., Kandeler, E., & Faucon, M. P. 2019. Phosphorus-acquisition strategies of canola, wheat and barley in soil amended with sewage sludges. *Scientific reports* 9, 1-11.
- Obrador, A., Gonzalez, D., & Alvarez, J. M. 2013. Effect of inorganic and organic copper fertilizers on copper nutrition in *Spinacia oleracea* and on labile copper in soil. *Journal of agricultural and food chemistry* 61, 462-470.
- Oelkers, E. H., Valsami-Jones, E. 2008. Phosphate mineral reactivity and global sustainability. *Elements* 4. 83–87
- Offenberg, J. 2011. *Oecophylla smaragdina* food conversion efficiency: prospects for ant farming. *Journal of applied entomology* 135, 575-581.
- Othaman, N. C., Isa, M. M., Ismail, R. C., Ahmad, M. I., & Hui, C. K. 2020. Factors that affect soil electrical conductivity (EC) based system for smart farming application. In: *AIP Conference Proceedings*. AIP Publishing LLC.
- Pavlek, P. 1982. *Spinach — Spinacia oleracea*. Zagreb Univ Press

- Pavlíková, D., Pavlík, M., Staszková, L., Motyka, V., Száková, J., Tlustoš, P., & Balík, J. 2008. Glutamate kinase as a potential biomarker of heavy metal stress in plants. *Ecotoxicology and Environmental safety* 70, 223-230.
- Penn, C. J., & Camberato, J. J. 2019. A critical review on soil chemical processes that control how soil pH affects phosphorus availability to plants. *Agriculture* 9, 120.
- Petropoulos S., Fernandes A., Karkanis A., Antoniadis V., Barbos L., Ferreira CFR. 2018. Nutrient solution composition and growing season effect yield and chemical composition of *Cichorium spinosum* plants. *Scientia Horticulturae*, 97-107.
- Poeplau, C., & Don, A. 2015. Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops—A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 200, 33-41.
- Poveda, J. 2021. Insect frass in the development of sustainable agriculture. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 41, 1-10.
- Poveda, J., Jiménez-Gómez, A., Saati-Santamaría, Z., Usategui-Martín, R., Rivas, R., & García-Fraile, P. 2019. Mealworm frass as a potential biofertilizer and abiotic stress tolerance-inductor in plants. *Applied Soil Ecology* 142, 110-122.
- Przemieniecki, S. W., Kosewska, A., Purwin, C., Zapałowska, A., Mastalerz, J., Kotlarz, K., & Kolaczek, K. 2021. Biometric, chemical, and microbiological evaluation of common wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings fertilized with mealworm (*Tenebrio molitor* L.) larvae meal. *Applied Soil Ecology* 167, 104037.
- Ray, S., Gaffor, I., Acevedo, F. E., Helms, A., Chuang, W. P., Tooker, J. & Luthe, D. S. 2015. Maize plants recognize herbivore-associated cues from caterpillar frass. *Journal of chemical ecology* 41, 781-792.
- Rubatzky, V. E., & Yamaguchi, M. 1997. Spinach, table beets, and other vegetable chenopods. In: *World Vegetables*. Springer, Boston.
- Rumpold, B. A., & Schlüter, O. K. 2013. Potential and challenges of insects as an innovative source for food and feed production. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 17, 1-11.

- Sarwar, M. A., Ibrahim, M., Tahir, M., Ahmad, K., Khan, Z. I., & Valeem, E. E. 2010. Appraisal of pressmud and inorganic fertilizers on soil properties, yield and sugarcane quality. *Pakistan journal of botany* 42, 1361-1367.
- Shen, J., Yuan, L., Zhang, J., Li, H., Bai, Z., Chen, X. & Zhang, F. 2011. Focus issue on phosphorus plant physiology: Phosphorus dynamics: From soil to plant. *Plant Physiology* 156, 997.
- Simek, M., & Cooper, J. E. 2001. Nitrogen use efficiency in temperate zone arable lands. *Structure and function in agroecosystem design and management*, 227.
- Taiz, L., & Zeiger, E. 2006. *Plant physiology*/by Lincoln Taiz and Eduardo Zeiger.
- Tao, S. Y., 2013. Thoughts on the utilization of agricultural wastes in China. *Theory Horizon. J.* 5, 28-30.
- Turner, B. L., Richardson, A. E., & Mullaney, E. J. 2007. *Inositol phosphates: linking agriculture and the environment*. CABI.
- Van Wesemael, B., Paustian, K., Meersmans, J., Goidts, E., Barancikova, G., & Easter, M. 2010. Agricultural management explains historic changes in regional soil carbon stocks. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 107.
- Veldkamp, T., Van Duinkerken, G., van Huis, A., Lakemond, C. M. M., Ottevanger, E., Bosch, G., & Van Boekel, T. 2012. Insects as a sustainable feed ingredient in pig and poultry diets: a feasibility study *Insecten als duurzame diervoedergrondstof in varkens-en pluimveevoeders: een haalbaarheidsstudie*. Wageningen UR Livestock Research.
- Wan, S., Wu, J., Zhou, S., Wang, R., Gao, B., & He, F. 2018. Enhanced lead and cadmium removal using biochar-supported hydrated manganese oxide (HMO) nanoparticles: Behavior and mechanism. *Science of the Total Environment* 616.
- Wang, H., ur Rehman, K., Liu, X., Yang, Q., Zheng, L., Li, W. & Yu, Z. 2017. Insect biorefinery: a green approach for conversion of crop residues into biodiesel and protein. *Biotechnology for biofuels* 10, 1-13.

- Wang, L., Sun, X., Li, S., Zhang, T., Zhang, W., & Zhai, P. 2014. Application of organic amendments to a coastal saline soil in north China: effects on soil physical and chemical properties and tree growth. *PloS one* 9, e89185
- Wang, M., Zheng, Q., Shen, Q., & Guo, S. 2013. The critical role of potassium in plant stress response. *International journal of molecular sciences* 14.
- Watanabe, M. D., & Ortega, E. 2011. Ecosystem services and biogeochemical cycles on a global scale: valuation of water, carbon and nitrogen processes. *Environmental Science & Policy* 14, 594-604.
- Xu, C., & Mou, B. 2018. Chitosan as soil amendment affects lettuce growth, photochemical efficiency, and gas exchange. *HortTechnology* 28, 476-480.
- Yang, Y., He, Z., Stoffella, P. J., Yang, X., Graetz, D. A., & Morris, D. 2008. Leaching behavior of phosphorus in sandy soils amended with organic material. *Soil Science* 173, 257-266.
- Zikalala, B. O., Nkomo, M., Araya, H., Ngezimana, W., & Mudau, F. N. 2017. Nutritional quality of baby spinach (*Spinacia oleracea* L.) as affected by nitrogen, phosphorus and potassium fertilisation. *South African Journal of Plant and Soil* 34, 79-86.

Ηλεκτρονικές πηγές

- New York Golf Course Foundation, Phosphory fertilizer, 2021
<http://nysgolfbmp.cals.cornell.edu/phosphorus>
- The University Of British Columbia, 2014
[https://wiki.ubc.ca/LFS:SoilWeb/Soil_Biology/Nutrient_Cycles/Potassium_\(K\)](https://wiki.ubc.ca/LFS:SoilWeb/Soil_Biology/Nutrient_Cycles/Potassium_(K))