



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΛΑΦΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

«Η επίδραση του frass (αποχωρήματα εντόμων) στην δυναμική αζώτου,
φωσφόρου και καλίου στο έδαφος».

«The effect of frass on soil nitrogen, phosphorus and potassium dynamics».

ΜΑΓΑΛΙΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ



Εικόνα 1: frass

Επιβλέπων: Αντωνιάδης Βασίλειος, Καθηγητής, Π.Θ.

ΒΟΛΟΣ 2021

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

1. Β Αντωνιάδης, Αναπληρωτής Καθηγητής (επιβλέπων) :

*Τμήμα Φυτικής Παραγωγής και
Αγροτικού Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο
Θεσσαλίας*

2. Χ. Αθανασίου, Καθηγητής:

*Τμήμα Φυτικής Παραγωγής και
Αγροτικού Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο
Θεσσαλίας*

3. Δαναλάτος Νικόλαος, Καθηγητής:

*Τμήμα Φυτικής Παραγωγής και
Αγροτικού Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο
Θεσσαλίας*

«Βεβαιώνω ότι είμαι συγγραφέας αυτής της εργασίας, η οποία εκπονήθηκε
σύμφωνα

με τον Κανονισμό Εκπόνησης Πτυχιακής Εργασίας του ΤΓΦΠΑΠ».

Μαγαλιός Γεώργιος

Περίληψη

Οι έντονες ανάγκες για πόρους που έχουν δημιουργηθεί, τις τελευταίες δεκαετίες, εξαιτίας της παγκόσμιας πληθυσμιακής αύξησης, έχουν προκαλέσει έντονη ανησυχία στην επιστημονική κοινότητα. Η υποβάθμιση του φυσικού περιβάλλοντος, η εξάντληση των φυσικών πόρων και η έλλειψη δυνατότητας αντικατάστασης αυτών, αποτελούν μερικούς από τους σύγχρονους κινδύνους για την ανθρώπινη επιβίωση. Μία εναλλακτική πηγή τροφής, με μεγάλη διατροφική αξία για τον άνθρωπο, είναι τα έντομα τα οποία εκτρέφονται σε όλο και μεγαλύτερη κλίμακα. Η εκτροφή αυτές ωστόσο, αποφέρουν μεγάλες ποσότητες αποχωρημάτων, γνωστά και ως frass. Μέχρι πρότινος το frass αντιμετωπιζόταν ως απόβλητο αλλά τα τελευταία χρόνια αξιοποιείται τόσο σαν λίπασμα όσο και σαν ζωοτροφή ενώ οι ιδιότητές του ερευνώνται συνεχώς. Έχει αποδειχθεί ότι το frass μπορεί να έχει ευεργετικές ιδιότητες τόσο για το έδαφος όσο και για τα φυτά. Στο παρόν πείραμα επώασης ερευνήσαμε την επίδραση της προσθήκης frass, στη συγκέντρωση N, P, και K, στο έδαφος. Συλλέχθηκε έδαφος από συγκεκριμένο αγροτεμάχιο, στο χωριό Μάρκο του νομού Καρδίτσας, το οποίο κοσκινίστηκε επιμελώς ενώ ελέγχθηκε η υγρασία και η σύστασή του. Έπειτα δημιουργήθηκαν 5 διαφορετικές ομάδες - μεταχειρίσεις: Μ (μάρτυρας), Α (0,25% frass), Β (0,5% frass), Γ (1% frass) και Δ (2% frass) ενώ κάθε μεταχείριση είχε 5 επαναλήψεις. Τα δείγματα διυγραίνονταν κάθε εβδομάδα για να διατηρούν σταθερή υγρασία και βρισκόνταν μόνιμα σε σταθερή θερμοκρασία 25°C. Στη διάρκεια των δύο μηνών που διήρκεσε το πείραμα, πραγματοποιήθηκαν τρεις δειγματοληψίες. Μετά και την τρίτη δειγματοληψία ξεκίνησε η εκχύλιση των τριών θρεπτικών (N, P, K) και ο υπολογισμός τους. Κατόπιν τα στοιχεία όλων των μετρήσεων υποβλήθηκαν σε στατιστική επεξεργασία για να εξαχθούν τα τελικά αποτελέσματα του πειράματος. Η στατιστική ανάλυση έδειξε ότι οι μεταχειρίσεις Α, Β και Γ δεν εμφάνισαν στατιστικά σημαντικές διαφορές σε σχέση με το Μ, εκτός από κάποιες μεμονωμένες δειγματοληψίες οι οποίες δεν μπορούν να ληφθούν σοβαρά υπόψιν. Αντίθετα, η μεταχείριση Δ είχε στατιστικά σημαντικές διαφορές σε σχέση με το Μ και στα τρία θρεπτικά που ερευνήθηκαν. Συγκεκριμένα η προσθήκη 2% frass στο εν λόγω έδαφος είχε θετικά αποτελέσματα, όσον αφορά την αύξηση της περιεκτικότητάς του σε N, P και K.

Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή

1.1 Θρεπτικά στοιχεία

1.1.1 Άζωτο

Βιο-γεωχημικός κύκλος αζώτου

Από ποσοτική άποψη, το άζωτο είναι το σπουδαιότερο θρεπτικό στοιχείο και ελλείψεις αυτού εμφανίζονται πολύ συχνά στις καλλιέργειες. Το άζωτο αποτελεί πολύ συχνά περιοριστικό παράγοντα ανάπτυξης των φυτών παρόλο που στη φύση υπάρχει σε αφθονία (Παναγιωτόπουλος, 2010). Η αιτία είναι το γεγονός, ότι οι ποσότητες για τις καλλιέργειες είναι ανεπαρκείς. Παρόλα αυτά, το άζωτο παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στο ρυθμό ανάπτυξης των φυτών καθώς, στα πρώτα

στάδια ανάπτυξής τους έχουν αυξημένες απαιτήσεις σε άζωτο. Εξίσου σημαίνουν είναι ο ρόλος του αζώτου στην ποσότητα της παραγόμενης βιομάζας και στο βαθμό ωρίμανσης των φυτών. Επομένως παρατηρείται υψηλός ρυθμός πρόσληψης του αζώτου από τα φυτά, καθ' όλη τη διάρκεια του βιολογικού τους κύκλου (Παναγιωτόπουλος, 2010).

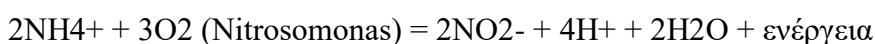
Πρωτεΐνες, αμινοξέα, νουκλεϊκά οξέα, πουρίνες, πυριμιδίνες, πορφυρίνες, αλκαλοειδή και βιταμίνες είναι κάποια από τα συστατικά των ζωντανών κυττάρων που περιέχουν άζωτο (Μήτσιος, 2004). Επίσης, το άζωτο, συμμετέχει στο μόριο της χλωροφύλλης, το οποίο ευθύνεται για τη φωτοσύνθεση (Παναγιωτόπουλος, 2010). Τα άτομα αζώτου των παραπάνω ενώσεων, προκύπτουν από τον κύκλο του αζώτου ο οποίος βασίζεται στα αποθέματα της ατμόσφαιρας. Πιο αναλυτικά, το άζωτο αφαιρείται από την ατμόσφαιρα μέσω της αζωτοδέσμευσης και επιστρέφει σε αυτή μέσω της απονιτροποίηση. Το άζωτο αφαιρείται από το έδαφος με τα συγκομιζόμενα προϊόντα και με την έκπλυση των εδαφών. Για τις λιπαντικές ανάγκες των καλλιεργειών όμως, προστίθεται άζωτο με τη μορφή κοπριάς, ούρων ή λιπασμάτων. Μία σχετικά ίση ποσότητα αζώτου προστίθεται στο έδαφος τόσο με τη βροχόπτωση όσο και με την ενυδάτωση των οξειδίων του αζώτου που σχηματίζουν οι ηλεκτρικές εκκενώσεις στην ατμόσφαιρα. Το πιο σημαντικό τμήμα όμως, επιστρέφει με τη βιολογική δέσμευση του αζώτου. Πολλές ανόργανες αλλά και πάρα πολλές οργανικές ενώσεις αζώτου, όπως N_2 , NH_3 , NO_3^- , NO_2^- και NH_2OH , μπορεί να θεωρηθούν συστατικά του κύκλου του (Μήτσιος, 2004).

Κατά τη μελέτη της βιολογικής δέσμευσης αζώτου, βρέθηκε ότι το ενζυμικό σύμπλοκο της νιτρογενάσης είναι άφθονο στη φύση, ενώ γνωρίζουμε ότι το άζωτο αποτελεί το 79% περίπου του ατμοσφαιρικού αέρα. Ταυτόχρονα όμως το άζωτο βρίσκεται σε ανεπαρκείς ποσότητες για τις καλλιέργειες. Εξήγηση για αυτό αποτελεί το γεγονός ότι η μορφή του αζώτου που υπάρχει στην ατμόσφαιρα είναι αδρανής και μη χρήσιμη για τα περισσότερα έμβια όντα. Το άζωτο είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί από οργανισμούς, με την προϋπόθεση ότι νωρίτερα θα έχει ενωθεί με άλλα στοιχεία, όπως O_2 ή H_2 . Στο φυσικό περιβάλλον, αζωτοδέσμευση πραγματοποιούν μερικά γένη βακτηρίων συμπεριλαμβανομένων και των κυανοπράσινων φυκών. Τα ανώτερα φυτά δεν έχουν την ικανότητα να αζωτοδεσμεύουν, αν και μερικά το κάνουν έμμεσα, συμβιώνοντας με βακτήρια. Η πιο γνωστή περίπτωση τέτοιων φυτών είναι αυτή των ψυχανθών με τα βακτήρια του γένους *Rhizobium*. Κάποια βακτήρια συμβιώνουν με άλλους ξενιστές ενώ κάποια ζουν ελεύθερα στο νερό ή το έδαφος. Άλλα είναι φωτοσυνθετικά, άλλα ζουν σε αναερόβιες συνθήκες ενώ άλλα χρειάζονται οξυγόνο. Όλοι οι προαναφερθέντες οργανισμοί δίνουν αμμωνία ως αρχικό προϊόν και έχουν κοινό ένζυμο τη νιτρογενάση (Μήτσιος, 2004).

Χημική συμπεριφορά – Μετατροπές στο έδαφος

Μια πολύ μικρή ποσότητα του εδαφικού αζώτου (περί τα 2%) βρίσκεται σε ανόργανη μορφή. Πιο συγκεκριμένα σε μορφή αμμωνιακών και νιτρικών ιόντων. Το νιτρικό άζωτο (NO₃⁻) το συναντάμε διαλυμένο στο νερό του εδάφους. Τα κατιόντα αμμωνίου (NH₄⁺) απαντώνται ως ανταλλάξιμα στα σύμπλοκα μακρομόρια του χούμου και στην άργιλο. Βρίσκονται σε δυναμική ισορροπία με τα αντίστοιχα αμμωνιακά κατιόντα του εδαφικού διαλύματος. Ένα μικρό μέρος του αμμωνιακού αζώτου, συχνά βρίσκεται δεσμευμένο σε διαστιβαδικούς χώρους των ορυκτών της άργιλου. Το υπόλοιπο άζωτο (περίπου 98%) συμμετέχει σε ενώσεις της οργανικής ουσίας του εδάφους ενώ στα μητρικά υλικά, σε αυτά δηλαδή από τα οποία προήλθε το έδαφος, περιέχονται μηδαμινές ποσότητες αζώτου. Συνεπώς το άζωτο συναντάται κατά κύριο λόγο στο επιφανειακό στρώμα του εδάφους, εκεί όπου βρίσκεται το μεγαλύτερο μέρος της οργανικής ουσίας (Παναγιωτόπουλος, 2010).

Ένα ποσοστό οργανικού αζώτου μετατρέπεται σε ανόργανο (ανοργανοποίηση). Αρχικά σε αμμωνιακό και στη συνέχεια σε νιτρώδες και σε νιτρικό ανιόν (νιτροποίηση). Αποτέλεσμα της νιτροποίησης είναι η μετατροπή της μορφής της αζωτούχου ενώσεως από κατιονική σε ανιονική. Τη μετατροπή αυτή ακολουθεί απελευθέρωση ενέργειας η οποία οδηγεί σε σχηματισμό ιόντων H⁺, που αυτά με τη σειρά τους συμβάλλουν στη μείωση του εδαφικού pH. Στις ακόλουθες αντιδράσεις φαίνονται οι μετατροπές αμμωνιακού σε νιτρικό άζωτο. Σε αυτές συμμετέχουν δύο είδη βακτηρίων, τα Nitrosomonas και τα Nitrobacter:



Ένα μέρος του ανόργανου αζώτου δεσμεύεται και συνεπώς ακινητοποιείται από μικροοργανισμούς. Με το τέλος του βιολογικού κύκλου των μικροοργανισμών αυτών το άζωτο που δέσμευσαν ανοργανοποιείται ξανά. Η ανοργανοποίηση του οργανικού αζώτου συνεχίζεται όταν η οργανική ουσία του εδάφους περιέχει μεγάλα ποσά αζώτου. Όταν δηλαδή ο λόγος C/N < 25. Εάν αυτός ο λόγος είναι μεγαλύτερος του 25 οι μικροοργανισμοί, έχοντας στη διάθεσή τους μεγάλα ποσά ενέργειας (λόγω του άνθρακα) και μικρά ποσά αζώτου, χρησιμοποιούν το ανόργανο άζωτο που βρίσκεται διαλυμένο στο εδαφικό νερό. Πέραν της ποσότητας οργανικής ουσίας και του λόγου C/N, η ανοργανοποίηση του οργανικού αζώτου καθορίζεται και από παράγοντες που επηρεάζουν την ανάπτυξη των μικροοργανισμών. Η εδαφική υγρασία, το εδαφικό pH, η ανανέωση του εδαφικού

αέρα, η θερμοκρασία, τα είδη βλάστησης – καλλιεργούμενων φυτών και η προσθήκη φυτοφαρμάκων είναι μερικοί από τους παράγοντες αυτούς. (Παναγιωτόπουλος, 2010)

Η οργανική ουσία του εδάφους και το άζωτο που περιέχει, αποτελούν καθοριστικούς παράγοντες βάσει των οποίων, κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου, ορίζεται η ποσότητα νιτρικών ιόντων που προκύπτουν κατά την ανοργανοποίηση του οργανικού αζώτου και τη βιολογική οξείδωση των κατιόντων αμμωνίου. Το ποσό οργανικής ουσίας του εκάστοτε εδάφους εξαρτάται από το είδος του εδάφους αυτό καθαυτό αλλά και από τα είδη των φυτών που καλλιεργήθηκαν τα προηγούμενα έτη. Πολυετής καλλιέργειες όπως για παράδειγμα κάποια είδη ψυχανθών, απαιτούν λιγότερο συχνές μηχανικές επεμβάσεις με ταυτόχρονη εναπόθεση μεγάλων ποσοτήτων φυτικών υπολειμμάτων στο έδαφος. Ως αποτέλεσμα αυτών των καλλιεργειών έχουμε την αύξηση της οργανικής ουσίας στο έδαφος η οποία περιέχει μεγάλες ποσότητες αζώτου. (Παναγιωτόπουλος, 2010)

Το άζωτο στα φυτά

Το άζωτο είναι το βασικό στοιχείο-συστατικό από πλήθος οργανικών ενώσεων απαραίτητων για τα φυτά. Προσλαμβάνεται από τα φυτά με τη μορφή νιτρικών και αμμωνιακών ιόντων. Τα περισσότερα είδη φυτών έχουν ανάγκη και τις δύο αυτές μορφές για να αναπτυχθούν φυσιολογικά. Ωστόσο, υπάρχουν κάποια είδη που αναπτύσσονται καλύτερα όταν τους χορηγηθεί μία από τις δύο παραπάνω μορφές. Η πρόσληψη των παραπάνω ιόντων μπορεί να μεταβάλλει την τιμή του pH της ριζόσφαιρας με αποτέλεσμα να επηρεάζεται η πρόσληψη άλλων ιόντων όπως φωσφορικά και ιχνοστοιχεία. Συχνά, στο εδαφικό διάλλειμα υπάρχουν και νιτρώδη ιόντα που για τα φυτά είναι τοξικά. Το θετικό είναι ότι βρίσκονται σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις και συνεπώς δεν προκαλούν ζημιές.

Τα αμινοξέα, από τα οποία αποτελούνται οι πρωτεΐνες καθώς επίσης και κάποια ένζυμα, υπεύθυνα για τον έλεγχο πολλών μεταβολικών διεργασιών έχουν ως κύριο συστατικό το άζωτο. Βασικά συστατικά της χλωροφύλλης (στην οποία στηρίζεται η φωτοσύνθεση) και δομικά στοιχεία του DNA, καθώς η αλληλουχία αυτών καθορίζει την κληρονομικότητα είναι τα νουκλαϊκά οξέα που περιέχουν άζωτο. Επιπλέον, η επάρκεια σε άζωτο προάγει την ανάπτυξη του ριζικού συστήματος και την πρόσληψη άλλων θρεπτικών από τα φυτά. Το άζωτο λειτουργεί άμεσα στα φυτά αυξάνοντας κατακόρυφα την παραγωγή. Συμβάλει καθοριστικά στη δημιουργία έντονου πράσινου χρώματος στα φύλλα, αυξάνοντας ταυτόχρονα την περιεκτικότητα των φύλλων και των σπερμάτων σε πρωτεΐνες και διευκολύνει τη σπαργή αυξάνοντας την περιεκτικότητα των φυλλωδών λαχανικών σε

νερό. Εξετάζοντας ένα υγιές φύλλο διαπιστώνουμε ότι η περιεκτικότητα αζώτου κυμαίνεται μεταξύ 2,5 και 4 %, αναλόγως την ηλικία και το είδος του φυτού στο οποίο ανήκει το φύλλο.

Σε περιπτώσεις τροφοπενείας αζώτου παρατηρούμε χλώρωση στα μεγαλύτερης ηλικίας φύλλα (το άζωτο ως ευκίνητο στοιχείο μετακινείται στα νεαρά φύλλα) που συχνά τα οδηγεί σε ταχύτερη γήρανση και πτώση. Επιπλέον βλέπουμε ότι φυτά αυτά έχουν λεπτούς, μακρείς βλαστούς και μειωμένη έως κακή ανάπτυξη. Παράλληλα σε τέτοια φυτά παρατηρούμε μείωση της περιεκτικότητας πρωτεϊνών και αύξηση της περιεκτικότητας σακχάρων. Αιτία του φαινομένου αυτού είναι η αδυναμία του φυτού να χρησιμοποιήσει τις ουσίες που περιέχουν άνθρακα για τη βιοσύνθεση πρωτεϊνών. Άλλα χαρακτηριστικά των φυτών που υποφέρουν από τροφοπενεία αζώτου είναι το μικρό υπέργειο σε σχέση με το πιο ανεπτυγμένο υπόγειο τμήμα τους και η πρόωρη γήρανση.

Στον αντίποδα, η χορήγηση υπερβολικών ποσοτήτων αζώτου δημιουργεί εξίσου σημαντικά προβλήματα στην ανάπτυξη των φυτών όπως για παράδειγμα, τη δημιουργία μακρών κυττάρων με λεπτό τοίχωμα, με συνέπεια τα φυτά να είναι επιρρεπή στο πλάγιασμα. Ταυτόχρονα παρατηρούμε διαταραχές στην αναλογία παραγωγής φυτομάζας – ανθέων στις ανθοκομικές καλλιέργειες, μείωση της ποιότητας των οπωροκηπευτικών με αλλοίωση του χρώματος και του αρώματος των καρπών και ελάττωση της συγκέντρωσης βιταμινών και σακχάρων. Επίσης παρατηρούμε καθυστερημένη ωρίμανση και μεγαλύτερη ευαισθησία των φυτών. Εκτός των άλλων, τόσο στα κτηνοτροφικά όσο και στα φυτά για ανθρώπινη κατανάλωση, η υπερβολική συγκέντρωση νιτρικών ιόντων μπορεί να αποδειχθεί ανθυγιεινή και τα φυτά ακατάλληλα για κατανάλωση. Σε ότι αφορά το έδαφος, η περίσσεια νιτρικών ιόντων που με την έκπλυση χάνονται από την επιφάνεια του εδάφους, σταδιακά οδηγεί σε υποβάθμιση των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων. (Brady & Weil, 2017)

1.1.2 Φώσφορος

Τον φώσφορο τον συναντάμε στο έδαφος με δύο μορφές, την οργανική και την ανόργανη. Συγκεκριμένα, ο φώσφορος βρίσκεται στα ορυκτά του φωσφόρου, στις επιφάνειες των ορυκτών, στο εδαφικό διάλυμα και στην οργανική ουσία. (Μητσιοσ 2004) Ο απατίτης είναι το ορυκτό από το οποίο προέρχονται οι μεγαλύτερες ποσότητες φωσφόρου του εδάφους. Όταν ο απατίτης αποσαθρώνεται δίνει την ένωση $H_2PO_4^-$, η οποία είναι μία μορφή φωσφόρου διαθέσιμη για τα φυτά. Από τη συνολική ποσότητας φωσφόρου του εδάφους, μόνο ένα 20-30% είναι ο οργανικός φώσφορος. Η πορεία ανοργανοποίησής του είναι ίδια με αυτή του οργανικού αζώτου. Ανοργανοποίηση του οργανικού φωσφόρου με τη βοήθεια μικροοργανισμών και επανεμφάνισή του

στο εδαφικό διάλυμα με τη μορφή $H_2PO_4^-$. Μία διαδικασία η οποία επαναλαμβάνεται συνεχώς. (Παναγιωτόπουλος, 2010)

Στο εδαφικό διάλυμα ο φώσφορος βρίσκεται σε χαμηλές συγκεντρώσεις. Αυτό είναι αποτέλεσμα της δέσμευσης του φωσφόρου από τα ορυκτά του εδάφους και της μικρής διαλυτότητας των φωσφορικών ορυκτών. Πιο αναλυτικά, τα φωσφορικά ιόντα αντικαθιστούν το OH^- στην επιφάνεια των τεμαχιδίων της αργίλου και προσροφούνται ισχυρά σε αυτή. Συνεπώς καθίστανται μη αφομοιώσιμα. Επιπλέον, η γρήγορη αντίδραση του $H_2PO_4^-$ με κατιόντα του εδαφικού διαλύματος του δίνει πιο δυσδιάλυτη μορφή και συνεπώς λιγότερο αφομοιώσιμη. Τέλος, οι απώλειες του εδαφικού φωσφόρου οφείλονται στη διάβρωση του εδάφους, στην έκπλυσή του προς τα βαθύτερα στρώματα και στην πρόσληψή του από τα φυτά (Παναγιωτόπουλος, 2010). Λόγω των χαμηλών αυτών συγκεντρώσεων, παρατηρούνται αρκετές φορές στα φυτά, τροφопενίες φωσφόρου. (Μήτσιος, 2004)

Με βάση όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, συμπεραίνουμε ότι τα φυτά σε πολλές περιπτώσεις δυσκολεύονται να καλύψουν τις ανάγκες τους σε φώσφορο. Οπότε, προκύπτει η ανάγκη να προστεθεί στο έδαφος φωσφορικό λίπασμα για να ανανεωθούν τα διαθέσιμα αποθέματα φωσφόρου.

Οι βασικές πηγές φωσφόρου για το έδαφος είναι η οργανική ουσία, που στη συνέχεια ανοργανοποιείται δίνοντας ανόργανο φώσφορο και τα φυτικά υπολείμματα. Ο οργανικός φώσφορος του εδάφους, θεωρείται ότι προέρχεται από φυτικά υπολείμματα και φύλλα, είτε απευθείας είτε κατόπιν βιοχημικών μετατροπών. Υπάρχουν όμως σημαντικές διαφορές σε ότι αφορά την ποσότητα του ανόργανου φωσφόρου από έδαφος σε έδαφος. Κάτι το οποίο καθορίζεται από την περιεκτικότητα της οργανικής ουσίας σε φώσφορο αλλά και από την περιεκτικότητα του εδάφους σε οργανική ουσία. Στις διάφορες χημικές μορφές του οργανικού φωσφόρου περιλαμβάνεται μεγάλο εύρος εστέρων. Από αυτούς τους εστέρες κάποιοι προέρχονται από τα φυτικά υπολείμματα, κάποιοι από μικρόβια ενώ άλλοι από ζώα, φυτά και μικρόβια.

Παρατηρούμε λοιπόν πως οι μορφές του οργανικού φωσφόρου του εδάφους, πέραν της συσσώρευσης οργανικού φωσφόρου από τα φυτά, πιθανόν να προέρχονται και από μετατροπές που μέχρι σήμερα δεν γνωρίζουμε (Μήτσιος, 2004).

Ο φώσφορος στα φυτά

Τόσο τα φυτά όσο και τα ζώα, για να επιβιώσουν έχουν ανάγκη τον φώσφορο. Ο φώσφορος είναι ένα από τα βασικά δομικά συστατικό της οργανικής ένωσης αδενόσινο τριφωσφορικό οξύ

(ATP), βάσει του οποίου καθίσταται εφικτή τη μεταφορά, διάθεση και ανάκτηση ενέργειας, ενώ χρησιμοποιείται για να πραγματοποιηθούν πολλές βιοχημικές αντιδράσεις. Για παράδειγμα, η πρόσληψη θρεπτικών στοιχείων, η μεταφορά τους μέσα στο φυτό και η αφομοίωσή τους σε διαφορετικά οργανικά μόρια, προϋποθέτει τη χρήση ενέργειας, για την οποία απαιτείται ATP.

Επιπλέον ο φώσφορος αποτελεί απαραίτητο συστατικό του δεσοξυριβονουκλεϊκού οξέος (DNA), που είναι το γενετικό υλικό όλων των ζωντανών οργανισμών και του ριβονουκλεϊκού οξέος (RNA), το οποίο μεταφράζει το DNA και καθορίζει τη σύνθεση των πρωτεϊνών στους ζωντανούς οργανισμούς. Μία ακόμα κατηγορία ενώσεων με μεγάλη βιολογική σημασία είναι τα φωσφολιπίδια, τα οποία θα μπορούσαμε να πούμε πως αποτελούν τον «ακρογωνιαίο λίθο» των κυτταρικών μεμβρανών (Brady & Weil, 2017). Επιπλέον τα οστά συντίθενται από φωσφορικό ασβέστιο και αποτελούν αποθήκη αλάτων φωσφόρου και ασβεστίου (Stevens Alan, Lowe James) . Γι' αυτό και ένα από τα φωσφορικά λιπάσματα που συχνά χρησιμοποιούνται είναι τα οστεάλευρα (αλεσμένα οστά).

Στο εσωτερικό των φυτών πραγματοποιούνται αρκετές βιοχημικές αντιδράσεις και βιολογικές λειτουργίες. Σε αρκετές από αυτές συμμετέχει και ο φώσφορος. Ο σημαντικότερος ρόλος του όμως είναι στην αποθήκευση και μεταφορά ενέργειας όπου, κατά την φωτοσύνθεση και το μεταβολισμό των υδατανθράκων, αποδεσμεύεται. (Παναγιωτόπουλος 2010) Ο φώσφορος ενισχύει την ανάπτυξη των ριζών και ιδιαίτερα των πλευρικών και των ριζιδίων. Βοηθά τις διαδικασίες της άνθησης, της καρποφορίας - καρπόδεσης, του σχηματισμού σπόρων και της ωρίμανσης. Σε ότι αφορά τα σιτηρά, η επάρκεια φωσφόρου δημιουργεί ισχυρούς στηρικτικούς ιστούς στο άχυρο και τα στελέχη των φυτών, μειώνοντας έτσι την πιθανότητα πλαγιάσματος. Σε γενικές γραμμές ο φώσφορος βελτιώνει την ποιότητα τόσο των κτηνοτροφικών όσο και των κηπευτικών καλλιεργειών. (Brady & Weil, 2017)

Σε περίπτωση πλημμελούς πρόσληψης φωσφόρου από τα φυτά παρατηρούμε περιορισμένη ανάπτυξη του ριζικού συστήματος, σχηματισμό μικρών φύλλων και λεπτών βλαστών (Παναγιωτόπουλος, 2010). Επίσης τα φυτά με έλλειψη φωσφόρου έχουν αραιή άνθιση (Brady & Weil, 2017), μειωμένη καρποφορία, καθυστερημένη ωρίμανση και χαμηλή ποιότητα των σπόρων. Ο φώσφορος σε περιπτώσεις τροφοπενίας αυτού, μετακινείται από τους παλαιούς στους νεότερους ιστούς καθώς αποτελεί ευκίνητο στοιχείο μέσα στα φυτά. Συνεπώς, τα συμπτώματα της τροφοπενίας φωσφόρου κάνουν την εμφάνισή τους αρχικά στα παλαιότερα φύλλα (Παναγιωτόπουλος, 2010). Χαρακτηριστικά και ορατά συμπτώματα της μειωμένης διαθεσιμότητας φωσφόρου είναι η εμφάνιση κυανοπράσινου χρώματος στα γηραιότερα φύλλα. Παρόλα ταύτα, μερικά φυτά εμφανίζουν

μειωμένη ανάπτυξη και πορφυρές κηλίδες σε φύλλα και στελέχη τους. Αυτό όμως μπορεί να συμβεί και μετά από καταπόνηση του φυτού λόγω χαμηλών θερμοκρασιών. Σε ακραίες περιπτώσεις έλλειψης προκαλείται ακόμα και κιτρίνισμα των φύλλων (Brady & Weil, 2017).

1.1.3 Κάλιο

Οι πιο σημαντικές πηγές καλίου στο έδαφος είναι οι ιλλίτες, οι μαρμαρυγίες και οι άστριοι. Οι τελευταίοι θα απελευθερώσουν το κάλιο κατά τη χημική τους αποσάθρωση. Το κάλιο στους ιλλίτες και στους μαρμαρυγίες έχει μη ανταλλάξιμη μορφή ενώ τατόχρονα παίζει το ρόλο του συνδετικού κρίκου μεταξύ των διαδοχικών στιβάδων. Η απομάκρυνση του καλίου από τους ιλλίτες είναι ταχύτερη από ότι στους μαρμαρυγίες στους οποίους πραγματοποιείται με πολύ αργό ρυθμό. Το κάλιο που απελευθερώνεται ή απομακρύνεται από τους ιλλίτες και τους μαρμαρυγίες, εξακολουθεί υπάρχει στο έδαφος ως ανταλλάξιμο και υδατοδιαλυτό K^+ . Όταν οι συγκεντρώσεις των δύο αυτών μορφών καλίου αυξηθούν, υπάρχει πιθανότητα το ορυκτό βερμικουλίτης, να δεσμεύσει ένα μέρος τους με αποτέλεσμα να μετατραπεί σε ιλλίτες. Εάν η συγκέντρωση καλίου συνεχίσει να είναι υψηλή, οι ιλλίτες θα δεσμεύσουν κάλιο και θα μετατραπούν σε μαρμαρυγίες (Παναγιωτόπουλος, 2010).

Το κάλιο βρίσκεται σε μεγάλες ποσότητες στα ορυκτά της αργίλου και ιδιαίτερα στα αργιλώδη εδάφη. Από αυτές τις ποσότητες ένα μέρος αποδεσμεύεται από τα ορυκτά και προσλαμβάνεται από τα φυτά. Το μέγεθος της ποσότητας που θα αποδεσμευτεί εξαρτάται από το είδος και την αποσάθρωση των ορυκτών και από το είδος και το στάδιο ανάπτυξης των φυτών. Το ανταλλάξιμο κάλιο ποσοτικά, είναι 10 με 100 φορές περισσότερο από το κάλιο του εδαφικού διαλύματος, ενώ η ποσότητα του τελευταίου ρυθμίζεται από το ανταλλάξιμο. Η ικανότητα του εδάφους να παρέχει K^+ στα φυτά κατά την καλλιεργητική περίοδο χαρακτηρίζεται ως “διαθεσιμότητα καλίου”. Συνεπώς, διαθέσιμο θεωρείται το κάλιο που μπορεί να προσληφθεί από τις ρίζες των φυτών. Η ποσότητα διαθέσιμου καλίου σε ένα έδαφος εξαρτάται από την περιεκτικότητα του εδαφικού διαλύματος σε κάλιο, από το ποσοστό ανταλλάξιμου καλίου και από την πρόσληψή του από τις ρίζες (Μήτσιος, 2004).

Το κάλιο βρίσκεται στην πρώτη τριάδα των απαραίτητων στοιχείων μετά από το άζωτο και τον φώσφορο και είναι, πιθανότατα, υπεύθυνο για περιορισμούς στην παραγωγικότητα των φυτών. Γι’ αυτό και τις περισσότερες φορές το συναντάμε ως βασικό συστατικό των μικτών λιπασμάτων που εφαρμόζονται στις καλλιέργειες (Brady & Weil, 2017). Παραλαμβάνεται σχετικά γρήγορα από τα φυτά, πόσω μάλλον όταν αυτά βρίσκονται στα πρώτα στάδια ανάπτυξης ενώ διαδραματίζει

σημαίνοντα ρόλο τόσο σε βιοχημικές όσο και σε φυσιολογικές διεργασίες στο εσωτερικό αυτών (Παναγιωτόπουλος, 2010).

Παρά το γεγονός ότι το κάλιο παίζει αρκετούς ρόλους στη θρέψη των φυτών, επί της ουσίας δεν ενσωματώνεται στις οργανικές ενώσεις. Αντ' αυτού, παραμένει υπό τη μορφή ιόντος (K^+) στο κυτταρικό διάλυμα ή λειτουργεί ως μέσο ενεργοποίησης των κυτταρικών ενζύμων. Το κάλιο στα φυτά ενεργοποιεί πάνω από 80 διαφορετικά ένζυμα τα οποία είναι υπεύθυνα για διεργασίες όπως, η σύνθεση του αμύλου, ο ενεργειακός μεταβολισμός, η φωτοσύνθεση, η αναγωγή των νιτρικών και η αποικοδόμηση των σακχάρων (Brady & Weil, 2017). Το κάλιο επηρεάζει έμμεσα τη φωτοσύνθεση, καθορίζοντας το ρυθμό παραλαβής CO_2 από την ατμόσφαιρα, αφού συμμετέχει στη ρύθμιση του ανοίγματος των στοματίων των φύλλων (Παναγιωτόπουλος, 2010).

Επίσης, το κάλιο παίζει σημαντικό ρόλο στη μείωση του υδατικού δυναμικού των κυττάρων, μειώνοντας έτσι την απώλεια νερού από τα στομάτια των φύλλων και αυξάνοντας την ικανότητα των κυττάρων των ριζών να προσλαμβάνουν νερό από το έδαφος. Το κάλιο είναι απαραίτητο για τη φωτοσύνθεση, για την πρωτεϊνοσύνθεση, για τη δέσμευση του αζώτου από τα ψυχανθή, για τη σύνθεση του αμύλου και τη διαμεταφορά των σακχάρων. Βάσει των ανωτέρω λειτουργιών, η επαρκής θρέψη καλίου ενισχύει την παραγωγή μεγάλων κονδύλων και σπόρων. Στους υγής ιστούς των φύλλων των περισσότερων φυτών, η περιεκτικότητα σε κάλιο κυμαίνεται από 1 έως 4%. Αυτό το ποσοστό είναι όμοιο με του αζώτου αλλά μεγαλύτερο, κατά μία τάξη μεγέθους, από του φωσφόρου.

Ο καλός εφοδιασμός καλίου έχει αποκλειστικά θετικό πρόσημο στις φυσιολογικές λειτουργίες, την επιβίωση, τη θρέψη και την παραγωγικότητα των φυτών. Η ύπαρξη καλίου στα φυτά είναι απαραίτητη για την πρόσληψη ανιόντων όπως NO_3^- , $H_2PO_4^-$ και SO_4^{2-} καθώς εξισορροπεί τα αρνητικά φορτία (Παναγιωτόπουλος 2010). Το κάλιο αυξάνει την αντοχή των φυτών στην ξηρασία και στο ψύχος, βελτιώνει την αντίσταση σε προσβολές εντόμων και μυκητολογικές ασθένειες και ενδυναμώνει τους βλαστούς μειώνοντας έτσι τον κίνδυνο πλαγιάσματος (Brady & Weil, 2017). Το τελευταίο επιτυγχάνεται με το σχηματισμό λιγνίνης και κυτταρίνης, δύο ενώσεων που αυξάνουν την αντοχή των φυτικών ιστών (Παναγιωτόπουλος, 2010). Σε ότι αφορά τα έντομα, η καλιούχος λίπανση αποτελεί συχνά, μέρος των ολοκληρωμένων προγραμμάτων διαχείρισης παρασίτων, που έχουν σχεδιαστεί για να μειώσουν τη χρήση τοξικών εντομοκτόνων. Ταυτόχρονα, το κάλιο βελτιώνει τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των οπωροκηπευτικών (χρώμα και γεύση καρπών) και την ποιότητα των ανθέων (Brady & Weil, 2017). Οι καλλιέργειες που παράγουν προϊόντα πλούσια σε σάκχαρα, πρωτεΐνες και άμυλο έχουν ιδιαίτερη ανάγκη σε κάλιο καθώς, είναι

απαραίτητο για τη σύνθεση και αποθήκευσή τους. Επίσης, η διαθεσιμότητα καλίου στο έδαφος καθορίζει την ανάπτυξη του ριζικού συστήματος και των υπόγειων τμημάτων των φυτών όπως για παράδειγμα οι κόνδυλοι της πατάτας (Παναγιωτόπουλος, 2010). Τέλος, σε πολλές περιπτώσεις, φαίνεται να εξουδετερώνει κάποιες από τις συνέπειες της περίσσειας αζώτου (Brady & Weil, 2017) .

Σε περίπτωση έλλειψης καλίου διακρίνουμε τα συμπτώματα στα παλαιότερα φύλλα. Αυτό αποτελεί απόρροια του γεγονότος ότι το κάλιο είναι διαλυτό και ευκίνητο μέσα στα φυτά, με συνέπεια να συγκεντρώνεται στους νεότερους ιστούς (Παναγιωτόπουλος, 2010).

1.2 Οργανικά υπολείμματα και η χρήση τους

Οι σύγχρονες πρακτικές, οι οποίες χρησιμοποιούνται τόσο σε επίπεδο οικονομικής όσο και της γενικότερης ανθρώπινης δραστηριότητας, αποτελούν πηγή ενός σημαντικού αριθμού οργανικών υπολειμμάτων και αποβλήτων. Τα υλικά αυτά μπορεί να προέρχονται από διαφορετικές πηγές (βιομηχανία, κτηνοτροφία, γεωργία) καθώς επίσης και από διάφορες δραστηριότητες εντός αστικών περιοχών. Τα εν λόγω υπολείμματα ενδέχεται να αποτελέσουν σημαντικό περιβαλλοντικό και κοινωνικό πρόβλημα, αν δεν υπάρξει η σωστή διαχείριση τους. Ωστόσο αποτελούν μία σημαντική πηγή οργανικής ουσίας, η οποία θα μπορούσε να αξιοποιηθεί εναλλακτικά σε διάφορα συστήματα γεωργίας. Παρόμοιες τεχνικές χρησιμοποιούνται για χιλιάδες χρόνια από τους παραγωγούς, πολύ πριν την ανάπτυξη των σύγχρονων μεθόδων συμβατικής καλλιέργειας με τη χρήση των συνθετικών λιπασμάτων, τα οποία χρησιμοποιούνται σε μεγάλες ποσότητες στην σύγχρονη γεωργία. Τα υπολείμματα αυτά μπορεί να έχουν ποικίλες μορφές, όπως για παράδειγμα υπολείμματα καλλιεργειών, κοπριά ζώων ή ακόμα και ανθρώπινα λύματα. Η χρήση των υλικών αυτών ως εδαφοβελτιωτικά εμφανίζει πολλαπλά πλεονεκτήματα, όσον αφορά τις βιολογικές, τις χημικές και τις φυσικές ιδιότητες του εδάφους (Brockmann, Pradel and Hélias, 2018).

Τα οργανικά υπολείμματα μπορεί να έχουν άμεσα ή έμμεσα οφέλη στις βιολογικές ιδιότητες του εδάφους. Τα άμεσα σχετίζονται με τη διέγερση της ανάπτυξης μικροοργανισμών και βακτηριακής ποικιλότητας εντός του εδάφους καθώς παρέχεται ενέργεια και βασικά θρεπτικά συστατικά. Τα κυριότερα έμμεσα οφέλη αφορούν την προώθηση της ανάπτυξης των φυτών και η αύξηση του ποσοστού και του όγκου των ριζών (Carpio *et al.*, 2021).

Τα οργανικά υπολείμματα εμφανίζουν θετικές επιδράσεις στις χημικές ιδιότητες των εδαφών, κυρίως αφού επιδρούν στις μικροβιακές κοινότητες. Αυτό συμβαίνει καθώς αποτελούν μια

σημαντική πηγή θρεπτικών συστατικών, τα οποία εμπλουτίζουν το έδαφος, υποστηρίζοντας την ανάπτυξη διαφορετικών οργανισμών. Παράλληλα, ρυθμίζουν το pH του εδάφους και αυξάνουν την ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων, με αποτέλεσμα να επηρεάζεται η διαθεσιμότητα θρεπτικών συστατικών, η μικροβιακή δραστηριότητα και ουσιαστικά, η γονιμότητα του εδάφους. Επίσης, επηρεάζονται θετικά και τα φυσικά χαρακτηριστικά του εδάφους. Πιο συγκεκριμένα, υπάρχει άμεση βελτίωση στη δομή του εδάφους, ειδικότερα του πορώδους, της δομικής σταθερότητας αλλά και βελτίωση της ικανότητας κατακράτησης νερού (Carpio *et al.*, 2021).

Υπάρχουν πολλοί παράγοντες, από τους οποίους καθορίζεται η ύπαρξη και η ένταση από τα παραπάνω οφέλη. Αυτοί είναι η προέλευση των υπολειμμάτων, ο τύπος του υλικού, οι πιθανές διαδικασίες επεξεργασίας, η σύνθεση, η σταθερότητα, η ωριμότητα, καθώς επίσης η συχνότητα, ο ρυθμός και η μέθοδος εφαρμογής. Εξίσου σημαντικό ρόλο διαδραματίζουν και ο τύπος του εδάφους, το ακολουθούμενο σύστημα καλλιέργειας και οι κλιματικές συνθήκες. Για τον λόγο αυτό, πριν την αξιοποίηση οποιουδήποτε υλικού, το οποίο προέρχεται από οργανικά υπολείμματα, θα πρέπει να πραγματοποιείται έλεγχος, τόσο της σύστασής του, όσο και των διαφορετικών εδαφοκλιματικών συνθηκών, οι οποίες επικρατούν στην καλλιέργεια (Carpio *et al.*, 2021).

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

Τις τελευταίες δεκαετίες έχει παρατηρηθεί μία ραγδαία αύξηση στον πληθυσμό του πλανήτη. Η αύξηση αυτή συνεπάγεται και αυξημένες ανάγκες για διάφορους πόρους, όπως για παράδειγμα η ύδρευση, η σίτιση και η ενέργεια. Η παροχή των πόρων αυτών, βάσει τα υπάρχοντα συστήματα παραγωγής ενέχει τον κίνδυνο για σημαντική υποβάθμιση του φυσικού περιβάλλοντος και εξάντληση των ήδη διαθέσιμων πόρων. Για τον λόγο αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντική η ανάπτυξη εναλλακτικών μορφών παροχής των συγκεκριμένων πόρων στο γενικότερο πληθυσμό (Weber, 2019).

Μία εναλλακτική πηγή τροφής, η οποία φαίνεται πως μπορεί να αξιοποιηθεί για την σίτιση μεγάλου αριθμού ατόμων, με την χρήση μειωμένων εισροών είναι τα διάφορα έντομα. Η εντατικοποιημένη καλλιέργεια αυτών μπορεί να πραγματοποιηθεί σχετικά απλά, σε μειωμένες εκτάσεις και με χαμηλές εισροές (Tang *et al.*, 2019).

Η μαζική παραγωγή εντόμων ωστόσο, σημαίνει και ταυτόχρονη παραγωγή μεγάλου αριθμού αποχωρημάτων (frass) (Wang *et al.*, 2017). Αν και παλαιότερα το frass αντιμετωπιζόταν ως απόβλητο πλέον όλο και περισσότερο αναγνωρίζεται η αξία του ως μία εναλλακτική μορφή λιπάσματος. Η χρήση του frass ως λίπασμα φαίνεται πως εμφανίζει πολλαπλές θετικές ιδιότητες για το φυτό, όπως η παροχή θρεπτικών ουσιών και η προώθηση της αντοχής έναντι βιοτικών και αβιοτικών παραγόντων. Ταυτόχρονα, κάποιες μορφές frass μπορούν να χρησιμοποιηθούν ακόμα και ως ζωοτροφή για παραγωγικά ζώα (Poveda, 2021).

Το οργανικό λίπασμα frass μπορεί να οδηγήσει ακόμα και σε βελτίωση των ιδιοτήτων του εδάφους. Πιο συγκεκριμένα, όταν γίνεται προσθήκη του στο έδαφος αυτό ανοργανοποιείται με αποτέλεσμα την αύξηση του ρυθμού αποσύνθεσής του, γεγονός που οδηγεί στην αποφυγή της έκπλυσης των θρεπτικών συστατικών. Παράλληλα, το frass διαθέτει χαμηλές συγκεντρώσεις διαλυτού φωσφόρου, με αποτέλεσμα να αποφεύγεται η έκπλυση αλλά και η διήθηση σε βαθύτερα στρώματα. Επιπλέον, τα οργανικά απόβλητα εντόμων ενισχύουν την οργανική ουσία του εδάφους, η οποία με τη σειρά της ενισχύει τη μικροβιακή δραστηριότητα στο έδαφος. Λόγω της όξινης φύσης των περιττωμάτων και της γρήγορης αποσύνθεσής τους, η οποία έχει ως αποτέλεσμα τον σχηματισμό διοξειδίου του άνθρακα και οργανικών οξέων, η προσθήκη περιττωμάτων στο έδαφος μεταβάλλει την τιμή του pH (Houben *et al.*, 2020).

1.4 Σκοπός της εργασίας

Συνοπλοποιώντας όλες τις λεπτομέρειες του πιο πάνω θεωρητικού σκέλους, σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη της επίδρασης της προσθήκης διαφορετικών συγκεντρώσεων οργανικών υπολειμμάτων εντόμων (frass) στην συγκέντρωση νατρίου, φωσφόρου και καλίου στο έδαφος.

Κεφάλαιο 2. Υλικά και μέθοδοι

2.1 Οργάνωση πειράματος

2.1.1 Αρχική κατεργασία εδάφους

Για την πραγματοποίηση πειράματος συλλέχθηκε έδαφος (επιφανειακό) από το χωριό Μάρκο του νομού Καρδίτσας. Στην συνέχεια το έδαφος αυτό μεταφέρθηκε στο εργαστήριο εδαφολογίας του τμήματος Γεωπονίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, όπου κοσκινίστηκε προκειμένου να απομακρυνθούν μεγάλοι σβώλοι, ρίζες, πέτρες, χόρτα και άλλες ξένες ύλες. Παράλληλα, πραγματοποιήθηκε λήψη 4 ποσοτήτων εδάφους οι οποίες τοποθετήθηκαν σε 4 κάψες αντίστοιχα και εν συνεχεία εντός του ξηραντήριου, με σκοπό τον υπολογισμό της αρχικής ποσότητας υγρασίας του εδάφους. Οι κάψες έμειναν στο ξηραντήριο για μία ημέρα. Ο υπολογισμός πραγματοποιήθηκε με ζύγιση του εδάφους πριν και μετά την τοποθέτηση του στο ξηραντήριο και υπολογισμό του ποσοστού της απώλειας βάρους (Πίνακας 1).

Σύμφωνα με τους υπολογισμούς αυτούς η υγρασία του εδάφους κυμαινόταν σε ποσοστό 11,25%.

Κατόπιν εργαστηριακού ελέγχου που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του πειράματος, διαπιστώθηκε πως το έδαφος ήταν αμμοαργιλοπηλώδες. Πιο συγκεκριμένα, η σύστασή του ήταν 49% άμμος, 25% άργιλος και 26% ιλύς.

Πίνακας 1

Αρ. κάψας	2-1	2-2	3-4	5-4
Αρχ. βάρος εδάφους	10,01 gr	10,08 gr	10,05 gr	10,04 gr
Τελ. βάρος εδάφους	8,92 gr	8,94 gr	8,84 gr	8,96 gr

2.1.2 Πειραματικές ομάδες

Για την πραγματοποίηση της συγκεκριμένης πειραματικής διαδικασίας χρησιμοποιήθηκαν 4 διαφορετικές συγκεντρώσεις frass, και προέκυψαν έτσι 5 διαφορετικές πειραματικές ομάδες. Αυτές είναι οι:

- Ομάδα ελέγχου, ή ομάδα M, στην οποία δεν προστέθηκε frass
- Ομάδα A, στην οποία προστέθηκε frass σε συγκέντρωση 0,25%

- Ομάδα Β, στην οποία προστέθηκε frass σε συγκέντρωση 0,5%
- Ομάδα Γ, στην οποία προστέθηκε frass σε συγκέντρωση 1%
- Ομάδα Δ, στην οποία προστέθηκε frass σε συγκέντρωση 2%

Για τη διασφάλιση της όσο το δυνατόν μεγαλύτερης ακρίβειας του πειράματος, η κάθε ομάδα είχε 5 επαναλήψεις. Πιο αναλυτικά, η ομάδα Μ είχε τις Μ1, Μ2, Μ3, Μ4, Μ5, η ομάδα Α τις Α1, Α2, Α3, Α4, Α5 κ.ο.κ.

Συνολικά, όπως θα περιγραφεί και παρακάτω, από κάθε ομάδα πραγματοποιήθηκαν 3 διαφορετικές δειγματοληψίες και από κάθε δειγματοληψία συλλέχθηκαν 5 διαφορετικές μετρήσεις ανά ομάδα (όσες και οι επαναλήψεις της κάθε ομάδας).

2.2 Πειραματική διαδικασία

Μετά την προσθήκη του frass τα δείγματα διαβράχθηκαν με απιονισμένο νερό, και αναδεύτηκαν σχολαστικά έτσι ώστε να επιτευχθεί η πλήρης διύγραυσή τους. Στην συνέχεια, κλείστηκαν αεροστεγώς και τοποθετήθηκαν σε θερμοκρασία δωματίου για μία ημέρα.

Την επομένη ελέγχθηκε αν χρειάζονται προσθήκη νερού και προστέθηκε απιονισμένο νερό κατά περίπτωση. Πιο συγκεκριμένα, στα δείγματα στα οποία είχε προστεθεί μεγαλύτερη ποσότητα frass, χρειάστηκε μεγαλύτερη προσθήκη απιονισμένου νερού, εξαιτίας του μεγαλύτερου ποσοστού οργανικής ουσίας το οποίο απορροφούσε την υγρασία. Τέλος, όλα τα δείγματα τοποθετήθηκαν ανοιχτά σε θερμοθάλαμο και σε θερμοκρασία 25°C.

Στο εξής, τα δείγματα διαβρέχονταν με νερό δύο φορές την εβδομάδα, ώστε να διατηρούν σταθερή υγρασία. Σε περίπτωση δειγματοληψίας, ως βάρος του δείγματος οριζόταν αυτό που θα προέκυπτε μετά την δειγματοληψία, αφού πρώτα γινόταν η διαβροχή.

Συνολικά πραγματοποιήθηκαν 3 διαφορετικές δειγματοληψίες, σε 3 διαφορετικές χρονικές στιγμές, όπως αναγράφονται παρακάτω:

- 1^η δειγματοληψία (δ1), η οποία πραγματοποιήθηκε 6 ημέρες μετά την προσθήκη του frass
- 2^η δειγματοληψία (δ2), η οποία πραγματοποιήθηκε 36 ημέρες μετά την προσθήκη του frass
- 3^η δειγματοληψία (δ3), η οποία πραγματοποιήθηκε 57 ημέρες μετά την προσθήκη του frass

Μετά από κάθε δειγματοληψία, τα δείγματα παρέμεναν για 5 ημέρες σε ξηραντήριο για να αφυδατωθούν πλήρως και στην συνέχεια τοποθετούνταν σε σκιερό και ξηρό μέρος. Κάθε δείγμα ονομάστηκε με το σύμβολο της ομάδας και της επανάληψης στην οποία ανήκε και με το σύμβολο της δειγματοληψίας κατά την οποία συλλέχθηκε. Για παράδειγμα, ένα δείγμα της επανάληψης M₂ της ομάδας M, που συλλέχθηκε στη δ₁ δειγματοληψία ονομάστηκε M₂δ₁. Ομοίως και τα υπόλοιπα.

2.2.1 Υπολογισμός αζώτου

Για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης αζώτου ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία:

- Από κάθε δείγμα ζυγίστηκε 1gr εδάφους, το οποίο τοποθετήθηκε σε ουροσυλλέκτη. Κάθε ουροσυλλέκτης έφερε ταμπελάκι με την αρίθμηση του δείγματος.
- Ακολούθως έγινε προσθήκη 10ml KCl συγκέντρωσης 2M και μηχανική ανακίνηση των δειγμάτων για 60 λεπτά.
- Τα δείγματα διηθήθηκαν σε ογκομετρικές φιάλες των 100ml και προστέθηκε απιονισμένο νερό, μέχρι την χαραγή. Ακολούθησε ανακίνηση και μεταφορά των δειγμάτων στον αρχικό ουροσυλλέκτη ο οποίος είχε καθαριστεί επιμελώς.
- Πραγματοποιήθηκε μέτρηση των νιτρικών σε φασματοφωτόμετρο. Αρχικά μετρήθηκαν δείγματα του εργαστηρίου με γνωστές συγκεντρώσεις (standards), για τη ρύθμιση του φασματοφωτόμετρου. Στη συνέχεια υπολογίστηκαν οι τιμές των δειγμάτων του πειράματος.

2.2.2 Υπολογισμός φωσφόρου

Για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης φωσφόρου πραγματοποιήθηκε η παρακάτω διαδικασία:

- Από κάθε δείγμα ζυγίστηκε 1gr εδάφους, το οποίο τοποθετήθηκε σε ένα falcon tube των 100gr.
- Έγινε προσθήκη 20ml NaHCO₃, 0,5 M και μηχανική ανακίνηση των δειγμάτων για 30 λεπτά.
- Πραγματοποιήθηκε διήθηση, χωρίς αραίωση με νερό, και τοποθέτηση στα αρχικά falcon, τα οποία είχαν καθαριστεί.

- Λήψη ποσότητας από το εκάστοτε διήθημα και προσθήκη 2,5ml αντιδραστηρίου B. Για την ομάδα M χρησιμοποιήθηκε 1ml διηθήματος, ενώ για τις ομάδες A,B,Γ,Δ χρησιμοποιήθηκαν 0,3ml διηθήματος. Αυτά προστέθηκαν σε φιάλες των 25ml και έγινε προσθήκη 6 σταγόνων HCl για την ομάδα M και 3 σταγόνων HCl για τις ομάδες A, B, Γ και Δ, με σκοπό τη μείωση του pH. Ακολούθως, ο όγκος συμπληρώθηκε με απιονισμένο νερό.
- Πραγματοποιήθηκε μέτρηση φωσφορικών σε φασματοφωτόμετρο. Στην αρχή μετρήθηκαν δείγματα του εργαστηρίου με γνωστές συγκεντρώσεις (standards), για να γίνει ρύθμιση του φασματοφωτόμετρου. Στη συνέχεια υπολογίστηκαν οι τιμές των δειγμάτων του πειράματος.

2.2.3 Υπολογισμός καλίου

Για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης καλίου πραγματοποιήθηκε η παρακάτω διαδικασία:

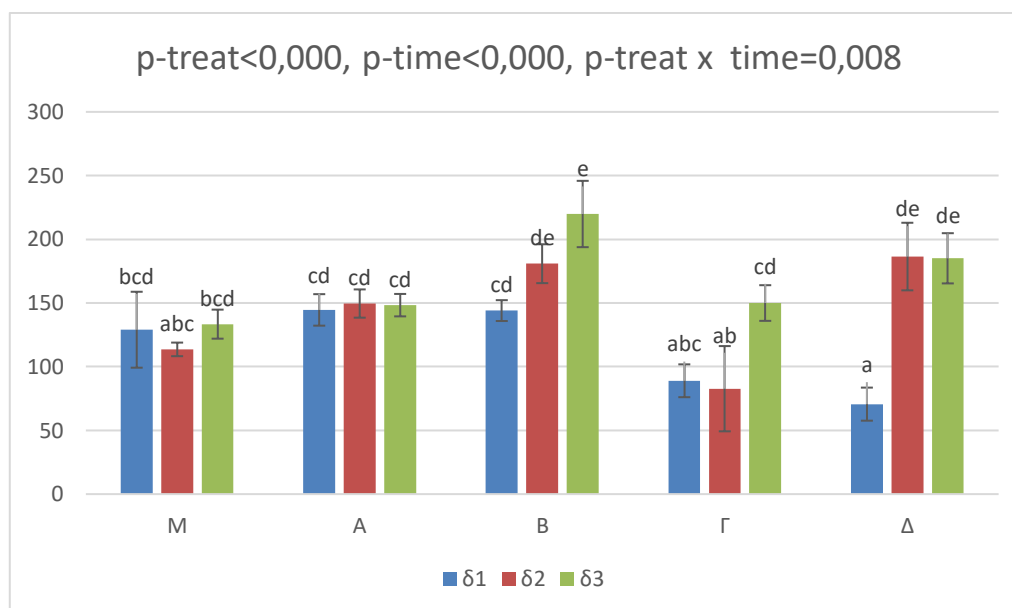
- Από κάθε δείγμα ζυγίστηκαν 2gr εδάφους, τα οποία τοποθετήθηκαν σε falcon tubes των 100gr
- Έγινε προσθήκη 20ml $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ (οξικό αμμώνιο) 1M και ανακίνηση των δειγμάτων για 60 λεπτά.
- Πραγματοποίηση διήθησης, και τοποθέτηση σε φιάλες των 100ml, όπου ο όγκος συμπληρώθηκε με απιονισμένο νερό ως τη χαραγή. Στην συνέχεια, τοποθέτηση στα αρχικά falcon, τα οποία είχαν καθαριστεί.
- Πραγματοποιήθηκε μέτρηση καλίου σε φλογοφωτόμετρο. Αρχικά μετρήθηκαν δείγματα του εργαστηρίου με γνωστές συγκεντρώσεις (standards), προκειμένου να γίνει ρύθμιση του φλογοφωτόμετρου. Στη συνέχεια υπολογίστηκαν οι τιμές των δειγμάτων του πειράματος.

2.3 Στατιστική επεξεργασία

Τα δεδομένα υποβλήθηκαν σε Ανάλυση Παραλλακτικότητας ενός παράγοντα (one-way ANOVA) έτσι ώστε να αναδειχτούν οι σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων σε επίπεδο σημαντικότητας $p < 0.05$. Ακολούθησε ανάλυση post-hoc κατά Duncun. Το στατιστικό πακέτο που χρησιμοποιήθηκε ήταν το IBM SPSS 26.

Κεφάλαιο 3. Αποτελέσματα και συζήτηση

3.1 Συγκέντρωση αζώτου



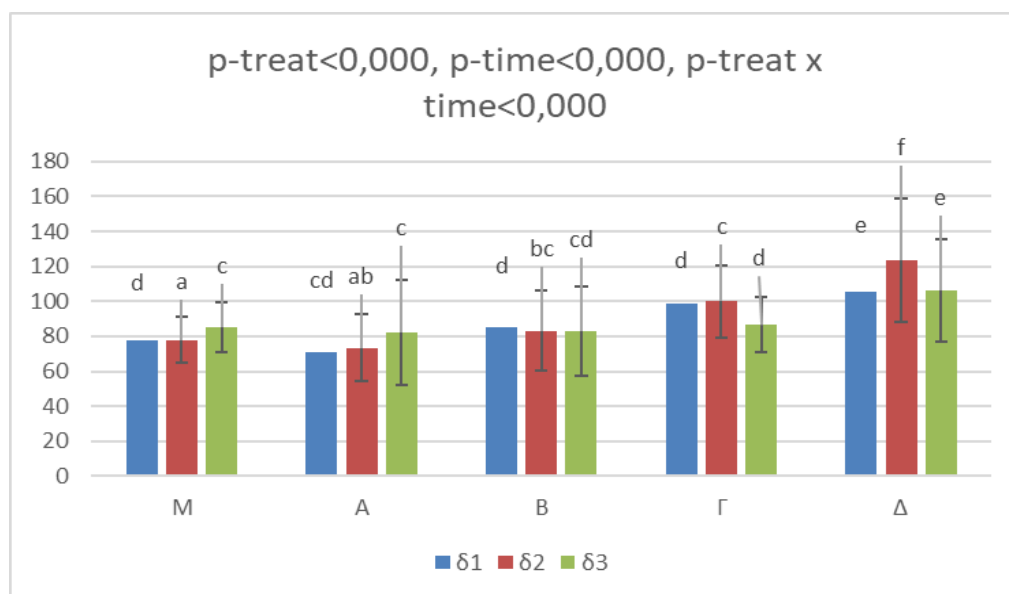
Σχήμα 1: Αποτελέσματα μέτρησης αζώτου (N). Όπου M ο μάρτυρας και οι διάφορες μεταχειρίσεις με frass A(0,25%), B(0,5%), Γ(1%) και Δ (2%), εκφρασμένα σε mg/kg.

Οι συγκεντρώσεις αζώτου, οι οποίες μετρήθηκαν εμφανίζονται στο Σχήμα 1. Εδώ παρατηρούμε ότι η μεταχείριση A σε σχέση με το μάρτυρα (M) δεν εμφανίζει στατιστικά σημαντικές διαφορές σε καμία από τις τρεις δειγματοληψίες (δ₁, δ₂, δ₃). Το ίδιο ισχύει και για τη μεταχείριση Γ. Στη μεταχείριση B, εάν συγκρίνουμε ανά δειγματοληψία με το μάρτυρα (M), παρατηρούμε στατιστικά σημαντικές διαφορές στις δ₂ και δ₃ (οι τιμές του αζώτου αυξάνονται) ενώ η δ₁ δεν διαφέρει στατιστικά. Τέλος, η μεταχείριση Δ σε σύγκριση με το μάρτυρα εμφανίζει στατιστικά σημαντικές διαφορές στις δ₁ (μείωση της ποσότητας αζώτου) και δ₂ (αύξηση της ποσότητας αζώτου) ενώ η δ₃ δε διαφέρει στατιστικά.

Καταλήγοντας, μπορούμε να πούμε πως βάσει των τιμών p-treat, p-time και p-treat x time καταλαβαίνουμε ότι στις παραπάνω μεταχειρίσεις υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές.

Σε γενικές γραμμές, διαφορετικές μελέτες έχουν επιδείξει πως το frass μπορεί να έχει και θετικές και αρνητικές συνέπειες στην διαθεσιμότητα του αζώτου στο έδαφος. Το γεγονός αυτό εξαρτάται από το έντομο, το οποίο παράγει το frass, καθώς και από το αναπτυξιακό στάδιο του εντόμου αυτού (Kagata & Ohgushi, 2012).

3.2 Συγκέντρωση φωσφόρου



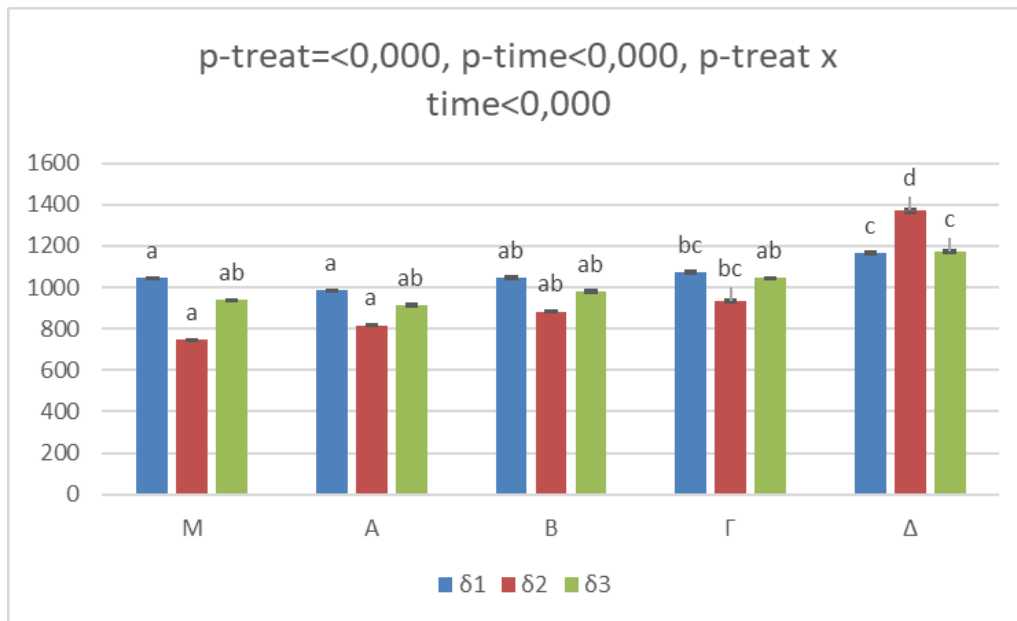
Σχήμα 2: Αποτελέσματα μέτρησης φωσφόρου (P). Όπου M ο μάρτυρας και οι διάφορες μεταχειρίσεις με frass A(0,25%), B(0,5%), Γ(1% και Δ (2%), εκφρασμένα σε mg/kg.

Οι συγκεντρώσεις φωσφόρου οι οποίες μετρήθηκαν εμφανίζονται στο Σχήμα 2. Εδώ παρατηρούνται στατιστικά μη σημαντικές διαφορές μεταξύ της μεταχείρισης A και του μάρτυρα (M). Συνεχίζοντας με τη μεταχείριση B, πάντα συγκρίνοντας με το μάρτυρα, εντοπίζουμε στατιστικά σημαντική διαφορά μόνο στη δ2 δειγματοληψία ενώ οι δ1 και δ3 δεν εμφανίζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Στη μεταχείριση Γ έχουμε δύο δειγματοληψίες (δ2, δ3) που διαφέρουν στατιστικά σημαντικά σε σχέση με το μάρτυρα (M) και τη δ1 που δεν εμφανίζει στατιστικά σημαντικές διαφορές. Τέλος, η Δ μεταχείριση διαφέρει στατιστικά σημαντικά στο σύνολό της σε σχέση με το μάρτυρα με τις τιμές του φωσφόρου να αυξάνονται.

Εάν κρίνουμε και με βάση τα p-treat, p-time και p-treat x time συμπεραίνουμε ξεκάθαρα, πως οι μεταχειρίσεις που αφορούν τον φώσφορο εμφανίζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές.

Σε παρόμοιο πείραμα επώασης αποδείχθηκε ότι η ενίσχυση με frass, εδαφών που περιέχουν γαιοσκώληκες, μπορεί να βελτιώσει τη συγκέντρωση P στα φυτά. Το γεγονός αυτό είναι απόρροια της διασποράς του φωσφόρου, που προκαλούν οι γαιοσκώληκες, στο έδαφος (Dulaurent, Daoulas, Faucon & Houben, 2020).

3.3 Συγκέντρωση καλίου



Σχήμα 3: Αποτελέσματα μέτρησης καλίου (K). Όπου M ο μάρτυρας και οι διάφορες μεταχειρίσεις με frass A(0,25%), B(0,5%), Γ(1% και Δ (2%), εκφρασμένα σε mg/kg.

Το σύνολο των τιμών των συγκεντρώσεων καλίου αποτυπώνεται στο Σχήμα 3. Εδώ παρατηρούμε μία σχετική σταθερότητα στις μεταχειρίσεις M, A και B με μη στατιστικά σημαντικές διαφορές και στις τρεις δειγματοληψίες. Προχωρώντας στη μεταχείριση Γ και συγκρίνοντας πάντα με το μάρτυρα (M), βλέπουμε στατιστικά σημαντικές διαφορές στις δειγματοληψίες δ1 και δ2 ενώ η δ3 δεν σημειώνει καμία στατιστική διαφορά. Τέλος, η μεταχείριση Δ σε συσχέτισμό με τον μάρτυρα, εμφανίζει στατιστικά σημαντικές διαφορές σε όλες τις δειγματοληψίες διαγράφοντας αυξητική τάση στις τιμές του φωσφόρου.

Λαμβάνοντας υπόψιν τις τιμές p-treat και p-time και p-treat x time επιβεβαιώνουμε πως οι μεταχειρίσεις που αφορούν τον φώσφορο εμφανίζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές.

Από έρευνες που έχουν διεξαχθεί, γνωρίζουμε ότι η περιεκτικότητα των λιπασμάτων frass σε K, εξαρτάται άμεσα από το είδος ή τα είδη των εντόμων από τα οποία αυτό προέρχεται (Beesigamukama, Subramanian & Tanga, 2022).

Κεφάλαιο 4. Συμπεράσματα

Παρατηρώντας τη στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων του πειράματος, διαπιστώνουμε ότι:

- i. Η προσθήκη frass, στο συγκεκριμένο έδαφος, προκάλεσε πιο έντονη αύξηση των συγκεντρώσεων N, P, K στη μεταχείριση Δ (2% frass).
- ii. Οι συγκεντρώσεις αζώτου (N) σημείωσαν αύξηση και στη μεταχείριση Β (0,5% frass) στις δειγματοληψίες δ₂ και δ₃, έχοντας στατιστική ομοιότητα με τη μεταχείριση Δ.
- iii. Στις μετρήσεις του φωσφόρου, η στατιστική διαφορά με αύξηση της περιεκτικότητας φωσφόρου φαίνεται μόνο στη μεταχείριση Δ (2% frass).
- iv. Σε ότι αφορά το κάλιο η μεταχείριση Γ (1% frass) παρουσιάζει μία αύξηση της συγκέντρωσης K στις δειγματοληψίες δ₁ και δ₂.
- v. Παρόλες τις διακυμάνσεις που σημειώνονται σε διαφορετικές δειγματοληψίες των μεταχειρίσεων του πειράματος, διαπιστώνουμε πως η ποσότητα 2% frass που προστέθηκε στις μεταχειρίσεις Δ, ήταν η μοναδική που έδειξε ξεκάθαρη αύξηση N, P και K στο έδαφος.

Βιβλιογραφία

Ελληνική βιβλιογραφία

- Μήτσιοις Κ. Ι. 2004. Γονιμότητα εδαφών, Θρεπτικά στοιχεία φυτών (μακροθρεπτικά, μικροθρεπτικά) και Βαρέα Μέταλλα, Μέθοδοι και Εφαρμογές. Εκδόσεις Zymel
- Παναγιωτόπουλος Π. Π. 2010. Εδαφολογία. Εκδόσεις Γρατσάνης
- Taiz L., Zeiger E., Moller I. M., Murphy A. 2017. Φυσιολογία και Ανάπτυξη Φυτών. Εκδόσεις Utopia

Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

- Beesigamukama, D., Subramanian, S. & Tanga, C.M. Nutrient quality and maturity status of frass fertilizer from nine edible insects. *Sci Rep* 12, 7182 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-11336-z>.
- Brockmann, D., Pradel, M. and Hélias, A. (2018) ‘Resources , Conservation & Recycling Agricultural use of organic residues in life cycle assessment : Current practices and proposal for the computation of field emissions and of the nitrogen mineral fertilizer equivalent’, *Resources, Conservation & Recycling*. Elsevier, 133(December 2017), pp. 50–62. doi: 10.1016/j.resconrec.2018.01.034.
- Carpio, M. J. *et al.* (2021) ‘Effect of Organic Residues on Pesticide Behavior in Soils : A Review of Laboratory Research’, *environments*, 8(32). doi: /10.3390/ environments8040032.
- Dulaurent, A.-M.; Daoulas, G.; Faucon, M.-P.; Houben, D. Earthworms (*Lumbricus terrestris* L.) Mediate the Fertilizing Effect of Frass. *Agronomy* 2020, 10, 783. <https://doi.org/10.3390/agronomy10060783>.
- Houben, D. *et al.* (2020) ‘Potential use of mealworm frass as a fertilizer : Impact on crop growth and soil properties’, *Nature Scientific Reports*, 10(4659). doi: 10.1038/s41598-020-61765-x.
- Kagata, H., Ohgushi, T. Positive and negative impacts of insect frass quality on soil nitrogen availability and plant growth. *Popul Ecol* 54, 75–82 (2012). <https://doi.org/10.1007/s10144-011-0281-6>
- Poveda, J. (2021) ‘Insect frass in the development of sustainable agriculture . A review’, *Agronomy for Sustainable Development*. *Agronomy for Sustainable Development*, 41(5). doi: 10.1007/s13593-020-00656-x.
- Tang, C. *et al.* (2019) ‘Edible insects as a food source : a review’, *Food Production, Processing and Nutrition*. *Food Production, Processing and Nutrition*, 1(8). doi: 10.1186/s43014-019-0008-

1.

- Wang, H. *et al.* (2017) ‘Biotechnology for Biofuels Insect biorefinery : a green approach for conversion of crop residues into biodiesel and protein’, *Biotechnology for biofuels*, 10(304). doi: 10.1186/s13068-017-0986-7.
- Weber, H. (2019) ‘The Effect of Population Growth on the Environment : Evidence from European Regions’, *European Journal of Population*. Springer Netherlands, 35(2), pp. 379–402. doi: 10.1007/s10680-018-9486-0.

Φωτογραφίες από τη διεξαγωγή του πειράματος:



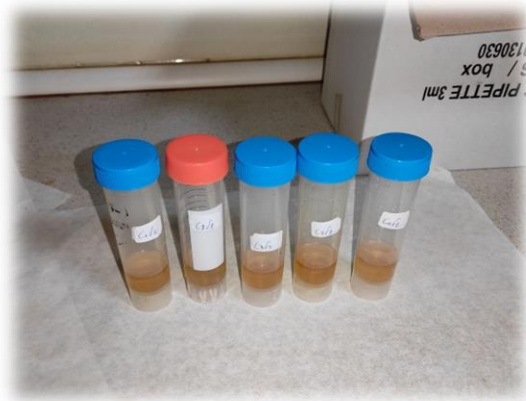
Εικόνα 2. Το frass



Εικόνα 3. Αποξηραμένα δείγματα έτοιμα για ανάλυση.



Εικόνα 4. Σωληνάρια falcon με διηθήματα εδάφους.



Εικόνα 5. Σωληνάρια falcon με διηθήματα εδάφους.



Εικόνα 6. Φλογοφωτόμετρο.



Εικόνα 7. Φασματοφωτόμετρο.



Εικόνα 8. Αναδευτήρας.



Εικόνα 9. Θερμοθάλαμος.



Εικόνα 10. Κλίβανος ξήρασης.