



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΖΙΖΑΝΙΟΛΟΓΙΑΣ

«Επίδραση υπολειμμάτων εκτροφής του εντόμου *Tenebrio molitor* στην ανάπτυξη και σε φυσιολογικά χαρακτηριστικά ραπανιού (*Raphanus sativus*)»



Κοντογεωργάκη Ευτυχία

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Επιβλέπουσα καθηγήτρια: Λεβίζου Ευθυμία

Βόλος, 2022

«Επίδραση υπολειμμάτων εκτροφής του εντόμου *Tenebrio molitor* στην ανάπτυξη και σε φυσιολογικά χαρακτηριστικά ραπανιού (*Raphanus sativus*)»

“Effects of *Tenebrio molitor* frass on growth and physiological characteristics of radish (*Raphanus sativus*)”

Κοντογεωργάκη Ευτυχία

Τριμελής εξεταστική επιτροπή:

Ευθυμία Λεβίζου: Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Φυσιολογίας Φυτών, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

Αντωνιάδης Βασίλειος: Αναπληρωτής Καθηγητής Εφαρμοσμένης Εδαφολογίας, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

Αθανασίου Χρήστος: Καθηγητής Εφαρμοσμένης Εντομολογίας, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

«Βεβαιώνω ότι εγώ, η Κοντογεωργάκη Ευτυχία είμαι η συγγραφέας αυτής της πτυχιακής εργασίας, η οποία εκπονήθηκε σύμφωνα με τον Κανονισμό Εκπόνησης Πτυχιακής Εργασίας του Τμήματος Γεωπονίας, Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος».

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα την επιβλέπουσα καθηγήτρια μου κα. Λεβίζου Ευθυμία για τη βοήθεια και το χρόνο που διέθεσε για την υλοποίηση του πειράματος, καθώς και για τις συμβουλές, τη στήριξη και την καθοδήγηση κατά τη διάρκεια της συγγραφής της πτυχιακής εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Αντωνιάδη Βασίλειο για την συνεργασία και τη βοήθεια κατά τη διεξαγωγή του πειράματος και τον κ. Αθανασίου Χρήστο για την προμήθεια του «frass» αλλά και για τη συμμετοχή τους στην τριμελή εξεταστική επιτροπή και για τον χρόνο που θα αφιερώσουν στη μελέτη και αξιολόγηση της παρούσας εργασίας.

Περιεχόμενα

Περίληψη	7
1. Εισαγωγή	9
1.1 Χρήση οργανικών λιπασμάτων στην αειφορική γεωργία	9
1.2 Βιωσιμότητα μέσω της αξιοποίησης απεκκριμάτων εντόμων.....	10
1.3 Οφέλη της χρήσης frass εντόμων στη φυτική παραγωγή.....	12
1.3.1 Βελτίωση φυτικής ανάπτυξης και γεωργικής απόδοσης	12
1.3.2 Βελτίωση γονιμότητας και ωφέλιμης μικροβιακής δραστηριότητας εδάφους...	14
1.3.3 Αντοχή σε καταπονήσεις και επαγωγή μηχανισμών άμυνας φυτών	16
1.4 Κομποστοποίηση από προνύμφες εντόμων	17
1.5 Ραπανάκι	19
1.6 Σκοπός εργασίας.....	20
2. Υλικά και μέθοδοι	21
2.1 Σχεδιασμός πειράματος	21
2.2 Μετρήσεις	22
2.2.1 Μέτρηση ξηρού βάρους αρτίβλαστων.....	22
2.2.2 Μέτρηση ηλεκτρικής αγωγιμότητας.....	23
2.2.3 Μέτρηση ολικών χλωροφυλλών	23
2.2.4 Μέτρηση Ανακλαστικότητας.....	23
2.2.5 Μέτρηση Φθορισμού Χλωροφύλλης.....	24
2.2.6 Μετρήσεις αναπτυξιακών χαρακτηριστικών	24
2.2.7 Μέτρηση ξηρού βάρους.....	25
2.2.8 Μέτρηση ολικών φαινολικών στο ξηρό ιστό.....	25
2.3 Στατιστική ανάλυση	26
3. Αποτελέσματα	27
3.1 Πείραμα φύτευσης σπερμάτων - Χαρακτηριστικά αρτίβλαστων και εδάφους	27
3.1.1 Φύτευση σπερμάτων.....	27
3.1.2 Ξηρό βάρος αρτίβλαστων	28
3.1.3 Ηλεκτρική αγωγιμότητα εδάφους (EC).....	29
3.2 Πείραμα ανάπτυξης φυτών ραπανιού - Φυσιολογικά χαρακτηριστικά.....	30
3.2.1 Spad	30
3.2.2 Ανακλαστικότητα-δείκτης PRI	31
3.2.3 Φθορισμός χλωροφύλλης.....	31

3.3 Αναπτυξιακά χαρακτηριστικά φυτών.....	33
3.3.1 Νωπό και ξηρό βάρος.....	33
3.3.2 Μήκος και πλάτος ραπανιών.....	35
3.4 Ποιοτικά χαρακτηριστικά ραπανιών	36
3.4.1 Σκληρότητα σάρκας.....	36
3.4.2 Χρώμα φλοιού.....	37
3.5 Βιοχημικές μετρήσεις.....	38
Ολικά φαινολικά	38
4. Συζήτηση	39
5. Συμπεράσματα.....	44
Βιβλιογραφία	45
Ελληνική βιβλιογραφία	45
Ξενόγλωσση βιβλιογραφία	45

Περίληψη

Η μαζική εκτροφή εντόμων αναπτύσσεται ταχύτατα λόγω της χρήσης αυτών ως ιχθυοτροφή και ζωοτροφή. Από τις εκτατικές αυτές εκτροφές προκύπτουν σημαντικές ποσότητες αποχωρημάτων των εντόμων (frass), τα οποία στο πλαίσιο της κυκλικής οικονομίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως εναλλακτικό οργανικό λίπασμα καθώς περιέχουν σημαντική ποσότητα θρεπτικών στοιχείων που είναι απαραίτητα για τη φυτική ανάπτυξη. Στην εργασία αυτή, μελετήθηκε η επίδραση διαφόρων συγκεντρώσεων frass του εντόμου *Tenebrio molitor* στην ανάπτυξη και τα φυσιολογικά χαρακτηριστικά φυτών ραπανιού (*Raphanus sativus*). Η πειραματική διαδικασία πραγματοποιήθηκε σε υπαίθριο χώρο του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Βόλο και περιλάμβανε έξι διαφορετικές μεταχειρίσεις, και συγκεκριμένα α) αρνητικό μάρτυρα (NC) που δεν έλαβε καμία λίπανση, β) θετικό μάρτυρα (PC) όπου προστέθηκαν ανόργανα λιπάσματα και τέσσερις μεταχειρίσεις προσθήκης στο εδαφικό μείγμα διαφορετικών συγκεντρώσεων frass γ) F1%, δ) F5%, ε) F10%, στ) F20%. Το πείραμα χωρίστηκε σε δύο σκέλη: στο πρώτο μελετήθηκε η επίδραση των μεταχειρίσεων στη φύτευση σπόρων ραπανιού και ανάπτυξης των αρτίβλαστων και το δεύτερο σκέλος αφορούσε τη μελέτη της επίδρασης των μεταχειρίσεων στην ανάπτυξη των φυτών και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των ραπανιών. Στο δεύτερο αυτό σκέλος μετρήθηκαν ο δείκτης φωτοσυνθετικής απόδοσης PRI, παράμετροι του φθορισμού της χλωροφύλλης *in vivo* και η συγκέντρωση των ολικών χλωροφυλλών καθόλη τη διάρκεια της αναπτυξιακής περιόδου που διήρκεσε για δύο μήνες, ενώ στην τελική συλλογή καταγράφηκαν αναπτυξιακές παράμετροι και χαρακτηριστικά των ραπανιών, όπως το χρώμα και η σκληρότητά τους. Η χρήση frass στα επίπεδα 1% και 5% ευνόησε την ταχύτητα της φύτευσης των σπερμάτων ραπανιού και την ανάπτυξη των αρτίβλαστων, σε αντίθεση με τη χρήση χημικών λιπασμάτων (PC). Η χρήση χημικών λιπασμάτων αύξησε σημαντικά την ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους, ενώ η χρήση frass σε μεγάλες συγκεντρώσεις 10% και 20% προκάλεσε μικρότερη αύξηση, χωρίς σημαντικές διαφορές από το NC και τα frass 1% και 5%. Η εφαρμογή χημικών λιπασμάτων και frass σε αυξημένες ποσότητες 20%, 10% και 5% στο έδαφος προκάλεσε δυσμενείς επιπτώσεις στην επιβίωση των φυτών, με αποτέλεσμα τα φυτά των τριών πρώτων μεταχειρίσεων να μην ολοκληρώσουν τον αναπτυξιακό τους κύκλο, ενώ στην 5% επέζησαν μόνο δύο φυτά μέχρι την τελική συγκομιδή. Η εφαρμογή frass δεν βελτίωσε τη φωτοσυνθετική ικανότητα των φυτών, ούτε επηρέασε σημαντικά τη

συγκέντρωση ολικών χλωροφυλλών στα φύλλα –με την εξαίρεση της μεταχείρισης F10%, τα φυτά της οποίας εμφάνισαν σημαντικά λιγότερες χλωροφύλλες για όσο χρονικό διάστημα επιβίωσαν. Εμφανίστηκε τάση για καλύτερη ανάπτυξη τόσο του υπέργειου, όσο και του υπόγειου μέρους στη μεταχείριση frass 1% σε σχέση με τις NC και frass 5%. Τέλος, τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των ραπανιών δεν διαφοροποιήθηκαν. Η προσθήκη frass του εντόμου *Tenebrio molitor* σε μικρές ποσότητες φαίνεται να βελτιώνει γενικά την απόδοση των φυτών ραπανιού σε σχέση με τη χρήση χημικών λιπασμάτων. Περαιτέρω έρευνες είναι απαραίτητες, και μάλιστα σε επίπεδο αγρού, προκειμένου να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα για τα πλεονεκτήματα της χρήσης frass ως εναλλακτικού οργανικού λιπάσματος.

1. Εισαγωγή

1.1 Χρήση οργανικών λιπασμάτων στην αειφορική γεωργία

Σε παγκόσμια κλίμακα, γίνονται προσπάθειες υιοθέτησης συστημάτων διαχείρισης των εντατικών καλλιεργειών φυτών που είναι συμβατά με την αειφόρο ανάπτυξη. Ο περιορισμός της χρήσης μεγάλων ποσοτήτων χημικών λιπασμάτων είναι μία από τις προτεραιότητες προς αυτή την κατεύθυνση. Η αυξημένη παραγωγικότητα των καλλιεργειών απαιτεί μεν επαρκή εδαφική λίπανση, όμως η συστηματική εφαρμογή χημικών σκευασμάτων προκαλεί σημαντική ρύπανση εδάφους και νερού, ενώ συνδέεται και με προβλήματα υγείας. Επίσης, η σύνθεση τεχνητών λιπασμάτων απαιτεί μεγάλη ενεργειακή δαπάνη ενώ η υπερβολική χρήση τους τα καθιστά μη ασφαλή και αντίθετα με την πράσινη οικονομία (Beesigamukama et al. 2020a). Τα τελευταία χρόνια έχει γίνει στροφή προς την αειφορία και την βιώσιμη ανάπτυξη, στοχεύοντας στην ορθολογική λίπανση και τη σωστή θρέψη των φυτών στις αγροτικές καλλιέργειες, αλλά και την αποφυγή οικονομικών και οικολογικών προβλημάτων (Poveda, 2021). Έτσι έχει ενισχυθεί η χρήση εναλλακτικών μορφών λιπασμάτων από ανανεώσιμες πρώτες ύλες και φιλικών προς το περιβάλλον (Houben et al. 2021).

Τα οργανικά λιπάσματα θεωρείται ότι μπορεί να αποτελέσουν τη βάση για τη διασφάλιση της βιώσιμης ανάπτυξης, καθώς μπορούν να αυξήσουν σημαντικά την παραγωγικότητα των καλλιεργειών, ενώ δρουν και ως εδαφοβελτιωτικά. Βελτιώνουν αποτελεσματικά το pH του εδάφους, την οργανική ύλη, τη διαθεσιμότητα και την διατήρηση των θρεπτικών συστατικών. Είναι πολύ σημαντικό ότι έχουν μεγάλη περιεκτικότητα σε άζωτο, που απαιτείται σε μεγαλύτερες ποσότητες από άλλα στοιχεία στις καλλιέργειες και γι' αυτό θεωρούνται αποδοτικά για τη γεωργία (Beesigamukama et al. 2020a).

Για την εφαρμογή οποιουδήποτε καινούριου λιπάσματος σε καλλιεργούμενες εκτάσεις, χρειάζεται να εξεταστεί η αποδοτικότητα του σχετικά με τη φυτική ανάπτυξη, την πρόσληψη θρεπτικών στοιχείων και την αποτελεσματικότητα της χρήσης του σε σύγκριση με τα ήδη χρησιμοποιούμενα ανόργανα λιπάσματα. Η ποιότητα των φυσικών λιπασμάτων είναι ανάλογη της προέλευσης τους, της περιεκτικότητας θρεπτικών στοιχείων και της φάσης της ανοργανοποίησης (Beesigamukama et al. 2020a). Επίσης, η διαθεσιμότητα του αζώτου για τα φυτά από τα οργανικά λιπάσματα εξαρτάται από τη σύνθεση τους, τα οργανικά κλάσματα αζώτου, την αναλογία C/N, το ρυθμό και τη

μέθοδο εφαρμογής τους. Ο ρυθμός της ανοργανοποίησης του αζώτου καθορίζει την ποσότητα και το χρόνο που τα θρεπτικά συστατικά των βιολογικών λιπασμάτων θα είναι διαθέσιμα για την τροφοδότηση του φυτού. Η αύξηση της ποιότητας και ποσότητας της γεωργικής παραγωγής μπορεί να επιτευχθεί, αν ο ρυθμός ανοργανοποίησης τους αζώτου συμπίπτει χρονικά με τις μεταβολές των αναγκών σε άζωτο, δηλαδή, αν υπάρχει συγχρονισμός της παροχής και των αναγκών του φυτού σε άζωτο (Beesigamukama et al. 2020b).

1.2 Βιωσιμότητα μέσω της αξιοποίησης απεκκριμάτων εντόμων

Λόγω του υψηλού βιοτικού επιπέδου και του σύγχρονου καταναλωτικού τρόπου ζωής, παράγονται υπερβολικές ποσότητες τροφίμων με απόρροια την καθημερινή σπατάλη τους. Οι τρόποι διαχείρισης των τροφικών υπολειμμάτων όπως η υγειονομική ταφή, η οποία έχει δυσμενείς επιπτώσεις στο περιβάλλον. Γι' αυτό, έχουν αναζητηθεί νέοι εναλλακτικοί και βιώσιμοι τρόποι επεξεργασίας οργανικών αποβλήτων μέσω κομποστοποίησης από προνύμφες εντόμων (Choi et al. 2009). Επίσης, λόγω της μεγάλης θρεπτικής τους αξίας τα έντομα δοκιμάζονται/χρησιμοποιούνται πλέον για ζωοτροφές και ως εντομοάλευρα για την εκτροφή ψαριών ιχθυοκαλλιέργειας. Επομένως, δημιουργήθηκε η ανάγκη μαζικής εκτροφής εντόμων για να καλυφθούν οι παραπάνω ανάγκες. Τα αποχωρήματα (frass) των εντόμων αυτών χρησιμοποιούνται ως εναλλακτικό οργανικό προϊόν, καθώς αφού υποστούν ελαφριά επεξεργασία μετατρέπονται σε βιολογικό λίπασμα (Beesigamukama et al. 2020b). Η μαζική παραγωγή εντόμων και η ανάγκη εναλλακτικών πηγών πρωτεϊνών θα οδηγήσουν σε αυξημένη παραγωγή frass μελλοντικά (Houben et al. 2021) και προβλέπεται ότι θα αυξηθεί η παραγωγικότητα σε εύκρατα κλίματα (Gärtling et al. 2020). Επομένως, το frass μπορεί να αντικαταστήσει μελλοντικά τα συμβατικά λιπάσματα στις καλλιέργειες και να χρησιμοποιηθεί ως βιολίπασμα (Houben et al. 2020).

Πιο συγκεκριμένα το frass είναι το υποπροϊόν από περιττώματα προνυμφών εντόμων, όπως του σκόληκα του αλεύρου (*Tenebrio molitor*), του *black soldier fly* (*Hermetia illucens* L.) ή του *buffalo worm* (*Alphitobius diaperinus*) και μη αφομοιωμένων οργανικών απόβλητων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως βιολογικό λίπασμα στο έδαφος για διάφορες καλλιέργειες ή ως εδαφοβελτιωτικό (Watson et al.

2021), καθώς περιέχουν ικανοποιητικές ποσότητες θρεπτικών συστατικών σε τέτοια μορφή ώστε να απορροφούνται ευκολότερα από τα φυτά (Chiam et al. 2021). Τα έντομα σε μορφή λιπάσματος μπορούν να παρέχουν στα φυτά σημαντικές ποσότητες αζώτου είτε ανόργανου, είτε αμμωνιακού. Συνεπώς, μπορούν να λύσουν το πρόβλημα της χαμηλής διαθεσιμότητας του αζώτου στα φυτά, που είναι απόρροια της περιορισμένης ποσότητας του στο έδαφος λόγω λανθασμένων γεωργικών χειρισμών, κακής χρήσης λιπασμάτων και διάβρωσης εδαφών (Poveda, 2021). όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η εντατική εφαρμογή συμβατικών λιπασμάτων σε καλλιέργειες προκαλεί εδαφική υποβάθμιση, και αναστέλλει τη σωστή φυτική ανάπτυξη. Γι' αυτό, είναι απαραίτητη η αναπλήρωση μικρο- και μακρο-θρεπτικών συστατικών μέσω οργανικού κομπόστ από έντομα για τη βελτίωση της γονιμότητας του εδάφους (Chiam et al. 2021).

Η υποβάθμιση των εδαφών δεν προκαλείται μόνο από τη μη ορθή εφαρμογή καλλιεργητικών πρακτικών αλλά εξαρτάται και από την κλιματική ζώνη στην οποία βρίσκονται. Για παράδειγμα τα εδάφη των τροπικών κλιμάτων έχουν προβλήματα γονιμότητας. Τα βασικότερα μειονεκτήματα τους είναι το χαμηλό ποσοστό οργανικής ύλης, η χαμηλή εδαφική οξύτητα, η ανεπάρκεια αργιλίου και ασβεστίου. Η διόρθωση των προβλημάτων αυτών μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση κομποστοποιημένης οργανικής ύλης και frass που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν εναλλακτικά βιολογικά λιπάσματα προάγοντας την αειφορία σε βάθος χρόνου (Agustiyani et al. 2021). Ειδικότερα, το λίπασμα από frass μπορεί να βελτιώσει την ποιότητα της καλλιέργειας και να αντικαταστήσει τα ακριβά χημικά λιπάσματα που έτσι κι αλλιώς η εφαρμογή τους έχει περιοριστεί λόγω της υποβάθμισης του εδάφους που προκαλούν (Beesigamukama et al. 2020a).

Επιπλέον, το frass μπορεί να χρησιμοποιηθεί ακόμα και σε καλλιέργειες εκτός εδάφους και να επιφέρει σημαντικά περιβαλλοντικά και οικονομικά οφέλη, ενισχύοντας τα πλεονεκτήματα της υδροπονίας που είναι η καλύτερη αξιοποίηση του νερού και λιπασμάτων και ο περιορισμός μετάδοσης εδαφογενών ασθενειών. Οι Tan et al. (2021) ανέφεραν ότι η ανάμιξη frass και τύρφης, υπολειμμάτων τροφίμων και βιοκάρβουνου ενισχύει την καλύτερη απορρόφηση και συγκράτηση θρεπτικών συστατικών και αύξηση της ωφέλιμης μικροβιακής ποικιλότητας σε εκτός εδάφους καλλιέργειες.

1.3 Οφέλη της χρήσης frass εντόμων στη φυτική παραγωγή

1.3.1 Βελτίωση φυτικής ανάπτυξης και απόδοσης

Σύμφωνα με έρευνες, η χρήση frass στο έδαφος μπορεί να ενισχύσει την ανάπτυξη των φυτών και τις φυτικές αποδόσεις (Beesigamukama et al. 2020a, 2020b). Έχει θετική επίδραση στο έδαφος λόγω της υψηλής περιεκτικότητας σε θρεπτικά στοιχεία όπως N, K, P, σε συγκεντρώσεις παρόμοιες με την κοπριά και λόγω της ύπαρξη ωφέλιμων μικροοργανισμών το καθιστούν ανερχόμενο ως λίπασμα (Poveda et al. 2019). Το frass αναπληρώνει τα αναγκαία θρεπτικά συστατικά όπως το οργανικό κομπόστ με το πλεονέκτημα ότι προσθέτει επιπλέον μικροθρεπτικά συστατικά όπως Cu, Mo, Zn και Ni στο έδαφος. Πιο αναλυτικά, ο χαλκός έχει ενεργό ρόλο σε πολλές φυσιολογικές λειτουργίες των φυτών όπως η φωτοσυνθετική μεταφορά ηλεκτρονίων και μιτοχονδριακή αναπνοή. Ο ψευδάργυρος παρέχει προστασία από οξειδωτική βλάβη στις μεταβολικές διεργασίες, ενώ το νικέλιο ενεργοποιεί το ένζυμο ουρεάση, που διασπά την ουρία της οποίας η συσσώρευση είναι τοξική. Έτσι, μέσω του frass αυτά τα μικροθρεπτικά συστατικά βελτιώνουν τις αποδόσεις των καλλιεργειών (Chiam et al. 2021).

Το frass από σκόληκα του αλεύρου (*Tenebrio molitor* L.) μπορεί να θεωρηθεί εξίσου αποτελεσματικό με τα ανόργανα λιπάσματα για την ανάπτυξη των φυτών σε συστήματα καλλιέργειας λόγω της άμεσης ανοργανοποίησης μετά την ενσωμάτωση του στο έδαφος και της παρουσίας θρεπτικών στοιχείων σε αφομοιώσιμη μορφή (Dulaurent et al. 2020). Λόγω της χαμηλής αναλογίας C/N στο frass επιτυγχάνεται η ταχύτερη απελευθέρωση θρεπτικών συστατικών. Η απορρόφηση του υδατοδιαλυτού P και του N από τα φυτά είναι πιο αποτελεσματική από τα τεχνητά λιπάσματα επειδή δε προσροφώνται από το έδαφος λόγω της ταχείας ανοργανοποίησης (Houben et al. 2020). Οι Song et al. (2021) αναφέρουν ότι το frass κάνει λιγότερο πιθανή την πρόκληση φυτοτοξικότητας στα φυτά και την ακινητοποίηση του αζώτου με αποτέλεσμα την καλύτερη φυτική ανάπτυξη σε καλλιέργειες. Η διαλυτοποίηση του φωσφόρου μέσω των εδαφικών βακτηρίων και η μετατροπή του σε ανόργανο ευνοεί την ανάπτυξη των φυτών διότι καθιστά τον αδιάλυτο φώσφορο διαθέσιμο στα φυτά ώστε να αφομοιωθεί από αυτά (Agustiyanı et al. 2021). Όπως το άζωτο (N), έτσι και ο φώσφορος (P) απαιτούνται σε μεγάλες συγκεντρώσεις στα λαχανικά και είναι ένα βασικό στοιχείο για το σχηματισμό ριζών στα λαχανικά (Terfa, 2021).

Σύμφωνα με έρευνες, στα φυτά που εφαρμόζεται λίπασμα από frass παρατηρείται αύξηση του ύψους των φυτών, αυξημένη συγκέντρωση χλωροφύλλης και απορρόφηση αζώτου και φωσφόρου σε σύγκριση με τα φυτά που εφαρμόζονται εμπορικά λιπάσματα (Terfa, 2021). Από την άλλη, σύμφωνα με τους Tanga et al. (2021), ο συνδυασμός frass με ανόργανα λιπάσματα είναι πιο αποτελεσματικός από την μεμονωμένη εφαρμογή τους καθώς βρήκαν ότι αυξάνει την φωτοσυνθετική δραστηριότητα και τη συγκέντρωση του αζώτου με αποτέλεσμα την αύξηση της ποσότητας χλωροφύλλης στα φυτά. Τέλος, ο συνδυασμός οργανικών λιπασμάτων με frass ευνοεί την πρόσληψη θρεπτικών από τα φυτά, καθώς το frass επιτρέπει την παραμονή της οργανικής ουσίας και νιτρικών αλάτων στο έδαφος και η προσθήκη χουμικού οξέος αυξάνει τη συγκράτηση του νερού στο έδαφος. Ο συνδυασμός frass και χουμικού οξέος βελτιώνει την πρόσληψη αζώτου από τα φυτά και ενισχύει τη βιομάζα και το ύψος των φυτών (Choi and Hassanzadeh, 2019).

Το frass βελτιώνει τα μορφολογικά και φυσιολογικά χαρακτηριστικά των φυτών, λόγω της παρουσίας θρεπτικών συστατικών σε άμεσα διαθέσιμη μορφή. Αυξάνει τη συγκέντρωση της χλωροφύλλης στα φύλλα, και γενικότερα ευνοεί τη συσσώρευση φυτικής βιομάζας (Poveda et al. 2019, 2021). Οι Cai et al. (2020) απέδωσαν την αύξηση του ύψους φυτών καλαμποκιού στην υψηλή ποσότητα οργανικής ουσίας που εμπεριέχει το frass. Βάσει πειραμάτων, η εφαρμογή του frass σαν λίπασμα, αυξάνει το βάρος των σπόρων κατά 18% (Poveda et al. 2019). Επίσης, η προσθήκη frass αυξάνει τη συγκέντρωση ανόργανου N και Mg στο έδαφος, προωθώντας την αύξηση του μήκους και του βάρους της ρίζας των φυτών σταριού (Przemieniecki et al. 2021).

Η εφαρμογή frass σε διαφορετικά είδη καλλιέργειας και σε διαφορετικά στάδια φυτικής ανάπτυξης έχει αντίστοιχα και διαφορετικά αποτελέσματα όσον αφορά την ιδανική αναλογία για τη βέλτιστη ανάπτυξη (Chavez and Uchanski, 2020). Σύμφωνα με τον Terfa (2021), το frass από εκτροφή εντόμων θεωρείται αποτελεσματικό ως βιολογικό λίπασμα με ελάχιστο ποσοστό εφαρμογής τους 5-10 t ha⁻¹. Υψηλή απόδοση παρατηρείται και σε χαμηλότερα ποσοστά εφαρμογής λιπάσματος frass 2,5 t ha⁻¹ σε συνδυασμό με 30 kg N ha⁻¹ για την επάρκεια ποσότητας αζώτου για την φυτική ανάπτυξη κατά την εφαρμογή του frass. Με τις παραπάνω δόσεις παρατηρείται αύξηση του ύψους των φυτών, της συγκέντρωσης χλωροφύλλης και της πρόσληψης μακροθρεπτικών συστατικών ακόμα και σε περιόδους σύντομης και μακράς βροχόπτωσης κατά την καλλιεργητική περίοδο (Beesigamukama et al. 2020a). Οι

υψηλές αποδόσεις και το frass μπορεί να θεωρηθούν άρρηκτα συνδεδεμένα για την αύξηση της παραγωγής σε καλλιέργειες. Επομένως, μελλοντικά μπορεί να υποκαταστήσει επιτυχώς τα χημικά αζωτούχα λιπάσματα, καθώς αυξάνει συγχρόνως την ποιότητα και την ποσότητα της παραγωγής (Beesigamukama et al. 2020a).

Σε ότι αφορά τα πιθανά μειονεκτήματα της εφαρμογής frass ως λιπάσματος φαίνεται ότι υπάρχει η πιθανότητα να προκύψουν ανάγκες σε άζωτο σε κρίσιμα αναπτυξιακά στάδια του φυτού λόγω του ανταγωνισμού της καλλιέργειας για ανόργανο άζωτο με άλλες διαδικασίες δέσμευσης αζώτου, όπως ακινητοποίηση από μικρόβια, απώλεια μέσω εξάτμισης και έκπλυση μέσω του ριζικού συστήματος. Η ποσότητα αζώτου του βιολογικού λιπάσματος μπορεί να είναι υψηλή, αλλά εξαιτίας εδαφικών παραγόντων όπως το pH, τα βακτήρια του εδάφους και η αναλογία C/N του εδαφικού υποστρώματος, είναι πιθανό να μη μπορεί να απελευθερωθεί μετά την ενσωμάτωση στο έδαφος. Τα περισσότερα πειράματα που αφορούν τη μετατροπή του frass από έντομα σε λίπασμα, έχουν διεξαχθεί κάτω υπό ελεγχόμενες συνθήκες, σε θερμοκήπια ή σε γλάστρες. Αυτό είναι ένα απαραίτητο βήμα δοκιμών πριν μεταφερθεί σε συνθήκες αγρού και μεγάλες καλλιεργητικές εκτάσεις (Beesigamukama et al. 2020a). Προς το παρόν λοιπόν και καθώς η σχετική βιβλιογραφία είναι πρόσφατη δεν υπάρχουν επαρκή στοιχεία και σταθερά αποτελέσματα για το βέλτιστο ρυθμό εφαρμογής και τη σύγκριση της αποδοτικότητας με εμπορικά λιπάσματα. Η αποτελεσματικότητα του frass εξαρτάται σημαντικά από τη διατροφή των εντόμων και το είδος της καλλιέργειας και λόγω ελλιπών πληροφοριών και περιορισμένου αριθμού πειραμάτων, δε μπορούν να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα (Terfa, 2021).

1.3.2 Βελτίωση χαρακτηριστικών εδάφους και ωφέλιμης μικροβιακής δραστηριότητας εδάφους

Το frass, όπως όλα τα οργανικά λιπάσματα, βελτιώνει τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του εδάφους, και συμβάλει στην ανάπτυξη της ωφέλιμης εδαφικής μικροβιακής δραστηριότητας και την έκκριση των πρωτεολυτικών ενζύμων (Agustiyananni et al 2020). Τα ένζυμα αυτά του εδάφους αυξάνουν την διαθεσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων του εδάφους. Εφαρμογή frass σε καλλιέργεια *pakchoi* οδήγησε σε αύξηση του πληθυσμού και της δραστηριότητας των βακτηρίων που υδρολύουν την οργανική μορφή του P και τη μετατρέπουν σε ανόργανη (Agustiyananni et al. 2021). Σύμφωνα με τους Houben et al. (2020), με την ανάμειξη frass με έδαφος κατά

την καλλιέργεια βρώμης δεν προκλήθηκε απώλεια και προσρόφηση του P και του N από τα εδαφικά υποστρώματα λόγω της ταχείας ανοργανοποίησης τους. Επίσης, ανέφεραν ότι η συγκέντρωση του υδατοδιαλυτού P ήταν πέντε φορές χαμηλότερη λόγω του frass, αποτρέποντας την απώλεια του από το έδαφος.

Οι ωφέλιμοι μικροοργανισμοί που περιέχονται στο frass εντόμων προωθούν τη φυτική ανάπτυξη (έχουν χαρακτηριστικά PGPMs-Plant Growth Promoting Microorganisms). Παίρνουν μέρος σε διαδικασίες αζωτοδέσμευσης και νιτροποίησης, σταθεροποιούν το ατμοσφαιρικό άζωτο στο έδαφος, διαλυτοποιούν φωσφορικά άλατα, υποβοηθούν στην απορρόφηση ψευδαργύρου, παράγουν σαλικυλικό οξύ και γλυκανάσες (Poveda et al. 2019, 2021). Το frass μπορεί να αυξήσει τη διαθεσιμότητα του N αλλά και να επιτρέψει τη μετατροπή του από την οργανική ύλη σε ανόργανο μέσω της αυξημένης μικροβιακής δραστηριότητας (Houben et al. 2021). Επίσης, η παρουσία ωφέλιμων μικροοργανισμών μπορεί να έχει θετική επίδραση στη γονιμότητα του εδάφους συνεργιστικά με το frass και σε συστήματα καλλιέργειας εκτός εδάφους και στον αγρό. Η εδαφική πανίδα ευνοεί τη φυτική ανάπτυξη λόγω μεταβολών στην εδαφική δομή και στην παρουσία νερού, με αποτέλεσμα τη βελτίωση της οργανικής ύλης του εδάφους και την ανακύκλωση θρεπτικών. Με την επιπρόσθετη ενσωμάτωση οργανικής ύλης ενεργοποιείται η δραστηριότητα των γαιοσκωλήκων με αποτέλεσμα την αποδοτικότερη επίδραση του λιπάσματος (Dulaurent et al. 2020). Οι γαιοσκωλήκες σε συνδυασμό με την προσθήκη από το frass ενισχύουν τη γονιμότητα του εδάφους και αυξάνουν τις συγκεντρώσεις N, P, K και Ca, προωθώντας την ανακύκλωση θρεπτικών από το frass. Επομένως, είναι πολύ σημαντική η παραγωγή πληθυσμών γαιοσκωλήκων και εντόμων για την προώθηση βιώσιμων αγροτικών πρακτικών (Dulaurent et al. 2020).

Μία άλλη διάσταση που δίνεται από τους Gebremikael et al. (2022) είναι ότι η χρήση frass μπορεί να βελτιώσει την απορρόφηση N από τα φυτά μέσω της ενεργοποίησης μηχανισμών παραγωγής φυτικών ορμονών. Οι ερευνητές παρατήρησαν αύξηση της φυτικής βιομάζας ακόμα και όταν το ανόργανο N στο έδαφος ήταν σε χαμηλά επίπεδα. Ο μηχανισμός φάνηκε να σχετίζεται με το ότι στο frass υπάρχουν μικροβιακά στελέχη που παράγουν αυξίνες, ορμόνες που σχετίζονται με το σχηματισμό ριζών και μέσω των οποίων ενισχύεται η πρόσληψη θρεπτικών συστατικών (Gebremikael et al. 2022).

Η μετατροπή του frass σε βιοκάρβουνο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βιοπροσροφητικό υλικό για την αφαίρεση βαρέων μετάλλων από το έδαφος όπως Pb, Cd, Cu, Zn, and Cr, (Yang et al. 2019). Οι Cai et al. (2020) μελέτησαν τη δυναμική της συσσώρευσης καδμίου παρουσία frass σε φυτά καλαμποκιού σε σχέση με φυσιολογικές παραμέτρους. Η συσσώρευση του καδμίου στο έδαφος επηρεάζει αρνητικά την εξατμισοδιαπνοή και τη φωτοσύνθεση και αναστέλλει την απορρόφηση θρεπτικών στοιχείων στις καλλιέργειες με αποτέλεσμα την μείωση της απόδοσης. Παρουσία frass όμως φάνηκε ότι η ανάπτυξη του φυτού δεν επηρεάστηκε σημαντικά μέχρι το επίπεδο συγκέντρωσης καδμίου 28 mg kg^{-1} στο έδαφος. Επίσης, σε πιο ώριμο στάδιο ανάπτυξης του φυτού, η αυξημένη ποσότητα του καδμίου με frass δεν επηρέασε το ύψος των φυτών, τη ποσότητα χλωροφύλλης, ούτε την φωτοσύνθεση κατά την 70^η μέρα (Cai et al. 2020).

Συνεπώς, το frass εντόμων ως λίπασμα μπορεί να αποτελέσει μια επιλογή ασφαλή προς το περιβάλλον για την αύξηση της παραγωγή στα φυτά. Απαιτούνται όμως, περισσότερες μελέτες για να διευκρινιστεί ο κατάλληλος χρόνος, ο ορθός ρυθμός εφαρμογής, οι ιδανικές αναλογίες, η επίδοση του σε σύγκριση με κοινά οργανικά λιπάσματα με σκοπό την ορθή διαχείριση του αζώτου για τις καλλιέργειες (Beesigamukama et al. 2020a). Επίσης, δεν υπάρχουν αρκετές πληροφορίες για τη ακριβή συμπεριφορά του frass ως εδαφοβελτιωτικό σε καλλιέργειες στον αγρό, καθώς είναι ένα νέο βιολογικό λίπασμα. Τέλος, θα πρέπει να εξακριβωθούν και οι μακροπρόθεσμες επιπτώσεις του frass ως λίπασμα στην εδαφική γονιμότητα των διάφορων αγρο-οικολογικών συστημάτων της φυτικής παραγωγής (Beesigamukama et al. 2020a).

1.3.3 Αντοχή σε καταπονήσεις και επαγωγή μηχανισμών άμυνας φυτών

Τα απεκκρίματα του *T. molitor* προάγουν την ανθεκτικότητα των φυτών σε αβιοτικές καταπονήσεις όπως ξηρασία, αλατότητα και υπερβολική υγρασία, αλλά και την ανάπτυξη τους ακόμα και σε περιόδους καταπόνησης, σύμφωνα με μία μελέτη με αρτίβλαστα σέσκουλου και φασολιού (Poveda et al. 2019). Η ενίσχυση της αντοχής αποδόθηκε σε μικροοργανισμούς που υπάρχουν μέσα στο frass οι οποίοι αυξάνουν την ανθεκτικότητα των φυτών. Επίσης, η εφαρμογή του frass ως λίπασμα ενεργοποιεί τους μηχανισμούς άμυνας των φυτών έναντι παθογόνων μικροβίων, των οποίων η

αναγνώριση γίνεται από τις ρίζες. Η άμυνα προάγεται λόγω διεγερτικών μορίων ή ωφέλιμων μικροοργανισμών που υπάρχουν μέσα στο frass, όπως για παράδειγμα η χιτίνη, η οποία είναι δομικό υλικό των μεμβρανών των εντόμων (Poveda, 2021). Η ύπαρξη χιτίνης στο frass έχει αποδειχθεί ότι ενισχύει την υγεία, την ανάπτυξη, την αύξηση (Song et al. 2021) και την άμυνα των φυτών όσον αφορά τον τρόπο δράσης του frass σαν νηματωδοκτόνο και μυκητοκτόνο. Οι ανοσοϋποδοχείς της χιτίνης καταστέλλουν τα παθογόνα που προσβάλλουν τα φυτά, ευνοώντας την αύξηση του ύψους των φυτών (Choi and Hassanzadeh, 2019). Πιο συγκεκριμένα, το frass αναστέλλει την εξάπλωση παθογόνων μυκήτων όπως του *Rhizoctonia solani*, του *Sclerotinia sclerotiorum* και του *Fusarium oxysporum* (Poveda et al. 2019). Επίσης, παρεμποδίζει την ανάπτυξη του παθογόνου μύκητα *Pythium myriotylum*, του οποίου η ασθένεια είναι μία από τις σοβαρότερες ασθένειες που πλήττουν τις καλλιέργειες. Προλαμβάνει την εκδήλωση ασθενειών, καθώς μεταβολίζεται από τις προνύμφες και μετατρέπεται σε ασφαλείς χημικές ενώσεις για το περιβάλλον (Choi and Hassanzadeh, 2019). Επίσης, ευνοεί τη μυκόρρωση και έχει εντομοκτόνες ιδιότητες (Gärttling et al. 2020). Παρά τα παραπάνω δημοσιευμένα οφέλη, χρειάζεται να διεξαχθούν περαιτέρω πειράματα, καθώς δεν έχουν όλα τα frass την ίδια ικανότητα ανάπτυξης μηχανισμών άμυνας σε όλα τα είδη καλλιέργειας (Poveda, 2021).

1.4 Κομποστοποίηση από προνύμφες εντόμων

Η κομποστοποίηση μέσω εντόμων έχει αποδειχθεί μία αποτελεσματική και οικονομική μέθοδος και κυρίως φιλική προς το περιβάλλον. Η επιλογή των εντόμων για κομποστοποίηση γίνεται με βάση την ιδιότητα που έχουν να μετατρέπουν τροφικά απόβλητα σε βιομάζα εμπλουτισμένη με πρωτεΐνες και λίπη. Το έντομο *Tenebrio molitor* και το *Hermetia illucens* θεωρούνται τα πιο κατάλληλα για την υλοποίηση αυτής της διαδικασίας και της δημιουργίας frass. Η διατροφή των προνυμφών των εντόμων περιλαμβάνει βιομηχανικά επεξεργασμένα παραπροϊόντα, δημητριακά ζυθοποιίας, φλούδες πατάτας ή ληγμένα τρόφιμα (Ites et al., 2020). Επίσης, μπορούν να τραφούν με διάφορα είδη οργανικής ύλης δηλαδή με κόκκους καφέ, πολτό σόγιας, λαχανικά, αστικά οργανικά απόβλητα και κοπριά. Η χρήση του frass έχει διαπιστωθεί πως σαν λίπασμα περιέχει υψηλές ποσότητες μικροθρεπτικών στοιχείων και είναι αποτελεσματικό μετά την αρχική φυτική ανάπτυξη, επειδή έχει χαμηλή αναλογία C:N

γεγονός που σημαίνει ότι ανοργανοποιείται αμέσως μετά την εφαρμογή του στο έδαφος και επομένως, είναι πιο κατάλληλο για εδαφικό βελτιωτικό.

Εκτός αυτών, σήμερα, οι παραδοσιακές μέθοδοι βερμικομποστοποίησης από γαιοσκώληκες όπως κόκκινα σκουλήκια (*Eisenia fetida* και *Lumbricus rebellus*) θεωρούνται πιο αναποτελεσματικές από την κομποστοποίηση από προνύμφες των *Black Soldier Fly*. Αρχικά, οι προνύμφες μπορούν να τραφούν με πρώτες ύλες με υψηλή περιεκτικότητα σε άλατα, στα οποία οι γαιοσκώληκες δεν είναι ανεκτικοί, μειώνοντας έτσι το κόστος από τη διαδικασία της αφαλάτωσης. Επιπρόσθετα, τρέφονται και με αποσυντεθειμένα απόβλητα, γεγονός που τις καθιστά πιο αποτελεσματικές στην αξιοποίηση των αποβλήτων από τα κόκκινα σκουλήκια και ολοκληρώνουν την κομποστοποίηση με πιο ταχείς ρυθμούς από τους γαιοσκώληκες μέσα σε λίγες εβδομάδες, ενώ οι δεύτεροι απαιτούν μήνες για αυτή τη διαδικασία. Θεωρούνται ιδιαίτερα αποτελεσματικές στην κομποστοποίηση ακόμα και με διατροφή πολτού σόγιας που απαιτεί γρήγορη επεξεργασία λόγω ταχείας αποσύνθεσης. Έχει αποδειχθεί, ότι στο frass από *black soldier fly* δεν εντοπίζεται ύπαρξη παθογόνων που προκαλούν τροφιμογενή νοσήματα, ούτε τοξικά βαρέα μέταλλα, αντίστοιχα, επιβεβαιώνοντας ότι τα *black soldier flies*, επειδή δεν έχουν λειτουργικά στοματικά μόρια, δεν μπορούν να είναι φορείς οποιωνδήποτε ασθενειών. Τα έντομα αυτά επίσης, μειώνουν την εμφάνιση άλλων ειδών μυγών, κυρίως της οικιακής μύγας (*Musca domestica* L., *Diptera: Muscidae*) που είναι φορείς πολλών παθογόνων βακτηρίων (Chiam et al. 2021).

Εκτός αυτών, το frass σαν λίπασμα έχει αυξημένη τιμή pH, επειδή κατά την εκτροφή οι προνύμφες αυξάνουν την τιμή του pH στο υπόστρωμα που έχει πιο χαμηλό pH. Αυτό συμβαίνει διότι οι προνύμφες αναπτύσσονται καλύτερα σε υποστρώματα με pH 6,0 ή υψηλότερο, ενσωματώνουν τα οργανικά οξέα και αυξάνουν την περιεκτικότητα σε NH_4^+ λόγω της αποσύνθεσης των οργανικών ενώσεων αζώτου όπως το ουρικό οξύ και η αλλαντοΐνη στο frass (Gärtling et al. 2020).

Οι προνύμφες των εντόμων αποτελούν σημαντική πηγή βιταμινών, πρωτεϊνών, αμινοξέων, λιπαρών οξέων και μετάλλων όπως ο χαλκός, σίδηρος, ψευδάργυρος, μαγνήσιο, κάλιο και φώσφορος (Moruzzo et al., 2021). Τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του frass ποικίλλουν, καθώς οι προνύμφες λαμβάνουν διαφορετικού είδους διατροφή (Terfa, 2021) και επομένως, παράγουν περιττώματα με διαφορετική σύνθεση. Τα έντομα που διατρέφονται με δίαιτα χαμηλών λιπαρών έχουν καλύτερα

αποτελέσματα. Επομένως, η διατροφή παίζει καθοριστικό ρόλο στη σύνθεση του frass (Poveda et al. 2019).

1.5 Ραπανάκι

Το ραπανάκι (*Raphanus sativus* L.) είναι ριζώδες λαχανικό, ψυχρής εποχής και ανήκει στην οικογένεια των Σταυρανθών (*Brassicaceae*). Είναι ετήσιο, διπλοειδές ($2n=18$) φυτό με σταυρογονιμοποιούμενα άνθη. Το ριζικό σύστημα του είναι πασσαλώδες και από την πρωτογενή ρίζα εκπτύσσονται δευτερογενείς ρίζες. Το σχήμα της ρίζας μπορεί να είναι κυλινδρικό, σφαιρικό ή σφηνοειδές (Χα και Πετρόπουλος, 2014) και έχει διάφορα χρώματα όπως ερυθρό, μωβ, μαύρο, κίτρινο, ροζ και λευκό (Banihani, 2017). Ο ανθοφόρος βλαστός είναι όρθιας ανάπτυξης και διακλαδιζόμενος με ύψος έως και 100 cm. Έχει φύλλα εναλλασσόμενα, οδοντωτά, λεία ή τριχωτά και σχηματίζουν ροζέτα. Η ταξιανθία είναι βότρυς επιμήκους σχήματος, με άνθη τέλεια, τετραμερή, επιμήκη και χρώματος λευκού ή ιώδους. Η γονιμοποίηση τους γίνεται μέσω επικονιαστών εντομών. Οι καρποί είναι κεράτια κυλινδρικοί με μήκος από 10 cm έως 60 cm. Τον καρπό συνιστούν δύο ή περισσότερα τμήματα και εντός τους υπάρχουν τα σπέρματα, σχήματος σφαιρικού ή ελλειψοειδούς.

Ο βιολογικός του κύκλος είναι ετήσιος, αν πραγματοποιηθεί σπορά την άνοιξη και διετής, αν η σπορά γίνει το χειμώνα. Καλλιεργείται και αναπτύσσεται σε εύκρατα κλίματα. Κατά την ανάπτυξη του φυτού, η θερμοκρασία πρέπει να είναι σχετικά χαμηλή από 10 έως 18 °C, καθώς δεν αντέχει σε υψηλές θερμοκρασίες. Η φωτοπερίοδος πρέπει να είναι μικρής περιόδου, δηλαδή μέσης διάρκειας μέρας και χαμηλού φωτισμού για την παραγωγή καλής ποιότητας ρίζας (Χα και Πετρόπουλος, 2014). Οι απαιτήσεις σε έδαφος δεν είναι μεγάλες λόγω του μικρού κύκλου ζωής και ριζικού συστήματος του φυτού. Για τη σωστή ανάπτυξη, το έδαφος συνίσταται να είναι αμμώδες, γόνιμο με αρκετή υγρασία, ελαφρώς όξινο (pH 6-6,5) και ψιλοχωματισμένο. Ο πολλαπλασιασμός γίνεται με σπόρο. Η σπορά στο έδαφος για τις εαρινές ποικιλίες πραγματοποιείται το Φεβρουάριο-Μάιο και για τις χειμερινές τον Αύγουστο-Νοέμβριο. Η συγκομιδή γίνεται σε πρώιμο στάδιο, 25-60 ημέρες μετά τη σπορά, όταν τα ραπανάκια είναι ακόμα νεαρά, διότι η καθυστέρηση στη συλλογή έχει δυσμενείς επιπτώσεις στην ποιότητα της ρίζας. Η συγκομιδή γίνεται μόνο με τα χέρια και δεν εφαρμόζεται μηχανική συλλογή (Χα και Πετρόπουλος, 2014).

Το ραπανάκι είναι ευρέως γνωστό για την καλλιέργεια του και τη διατροφική του αξία σε όλο τον κόσμο (Banihani, 2017). Τα βρώσιμα τμήματα του φυτού είναι τα φύλλα, η ρίζα, ο βλαστός και ο σπόρος (Χα και Πετρόπουλος, 2014). Καταναλώνεται ωμό σε σαλάτες λαχανικών (Banihani, 2017), μπορεί να μαγειρευτεί και με άλλα λαχανικά ή να παρασκευαστεί σε τουρσιά (Gamba et al., 2021). Ορισμένες ποικιλίες χρησιμοποιούνται για την παραγωγή και εξαγωγή λαδιού από τους σπόρους κάποιων ποικιλιών (Χα και Πετρόπουλος, 2014). Αποτελεί πηγή υδατανθράκων, σακχάρων, διαιτητικών ινών, πρωτεϊνών, υδατοδιαλυτών βιταμινών (B1, B2, B3, B5, B6, B9, και C) και μετάλλων όπως ασβέστιο (Ca), σίδηρος (Fe), μαγνήσιο (Mg), μαγγάνιο (Mn), ψευδάργυρος (Zn), κάλιο (K) και φώσφορος (P). Σε διάφορες χώρες, είναι γνωστό για τις αντιφλεγμονώδεις και αντικαρκινικές ιδιότητες του και για τη θεραπεία πολλών ασθενειών όπως ίκτερος, χολόλιθοι, ηπατικές παθήσεις, πρόπτωση ορθού, δυσπεψία και διάφορους πόνους στομάχου και εντέρου (Banihani, 2017).

1.6 Σκοπός εργασίας

Στη σύγχρονη γεωργία, η αξιοποίηση των υπολειμμάτων (frass) της μαζικής εκτροφής εντόμων αποτελεί έναν νέο εναλλακτικό τρόπο λίπανσης των καλλιεργειών με τη χρήση τους ως βιολογικό λίπασμα, το οποίο μπορεί να οδηγήσει στην ελαχιστοποίηση της εφαρμογής χημικών λιπασμάτων και των αρνητικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων που αυτά επιφέρουν. Όμως, προς το παρόν, δεν έχουν διεξαχθεί αρκετές έρευνες για τον προσδιορισμό του ορθού τρόπου χρήσης των αποχωρημάτων εντόμων και της αποτελεσματικότητας τους ως εδαφοβελτιωτικό υλικό στη φυτική ανάπτυξη και στην εδαφική γονιμότητα. Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη της επίδρασης του frass του εντόμου *Tenebrio molitor* στα μορφολογικά και φυσιολογικά χαρακτηριστικά του φυτού ραπανιού (*Raphanus sativus*) και η αξιολόγηση της πιθανότητας μελλοντικής χρήσης του ως οργανικό λίπασμα.

2. Υλικά και μέθοδοι

2.1 Σχεδιασμός πειράματος

Η πειραματική διαδικασία διεξήχθη στο θερμοκήπιο και στο εργαστήριο Ζιζανιολογίας του τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Για την υλοποίηση των μεταχειρίσεων χρησιμοποιήθηκε έδαφος που είχε συλλεχθεί από την περιοχή του αγροκτήματος στο Βελεστίνο, «frass» των προνυμφών του εντόμου *Tenebrio molitor* που προέκυψε από εκτροφές του Εργαστηρίου Εντομολογίας και Γεωργικής Ζωολογίας του Τμήματος, περλίτης και τα λιπάσματα 12-48-8 και 13,5-0-46.

Πείραμα ανάπτυξης φυτών ραπανιού

Οι μεταχειρίσεις του πειράματος ήταν έξι και οι αντίστοιχες γλάστρες (8/μεταχείριση) των 2 L προετοιμάστηκαν ως εξής:

- 1) Αρνητικός μάρτυρας (negative control, NC), ο οποίος δεν έλαβε frass, ούτε λίπασμα: αναμίχθηκαν 1400 g εδάφους και 500 mL περλίτη σε κάθε γλάστρα.
- 2) Θετικός μάρτυρας (Positive Control, PC), ο οποίος έλαβε ανόργανο λίπασμα: αναμίχθηκαν 1400 g εδάφους, 500 mL περλίτη, 84 g λιπάσματος 12-48-8, 78 g λιπάσματος 13,5-0-46 και 1 g ουρίας σε κάθε γλάστρα.
- 3) Frass 1%: αναμίχθηκαν 1400 g εδάφους, 500 mL περλίτη και 4 g frass σε κάθε γλάστρα.
- 4) Frass 5% αναμίχθηκαν 1400 g εδάφους, 500 mL περλίτη και 20 g frass σε κάθε γλάστρα.
- 5) Frass 10% αναμίχθηκαν 1400 g εδάφους, 500 mL περλίτη και 41 g frass σε κάθε γλάστρα.
- 6) Frass 20%: αναμίχθηκαν 1400 g εδάφους, 500 mL περλίτη και 82 g frass σε κάθε γλάστρα.

Στις 13/10/2020, πραγματοποιήθηκαν οι αναμίξεις των υλικών των μεταχειρίσεων και στη συνέχεια οι γλάστρες παρέμειναν στο θερμοκήπιο για 25 ημέρες, χωρίς φυτά, αλλά με συχνό πότισμα προκειμένου να επωαστεί το frass και να απελευθερώσει θρεπτικά στοιχεία. Συγκεκριμένα, μετά την ολοκλήρωση των αναμίξεων προστέθηκε 20% v/v νερού, δηλαδή 300 mL νερού βρύσης (100 mL κάθε 5 min) για εξισορρόπηση των μιγμάτων. Επειδή ο καιρός τον Οκτώβριο ήταν

ηλιόλουστος, χρειαζόταν συχνό πότισμα επομένως, για 2 συνεχόμενες βδομάδες, η άρδευση των γλαστρών επαναλαμβανόταν κάθε 2η μέρα για τη διατήρηση της ιδανικής υγρασίας με ποσότητα του νερού 100 mL ανά γλάστρα. Το πότισμα το Νοέμβριο πραγματοποιούταν πιο αραιά 3 φορές τη βδομάδα λόγω υγρού και συννεφιασμένου καιρού.

Στις 27/10/2020, πραγματοποιήθηκε η σπορά σπόρων ραπανιού (*Raphanus sativus*) της ποικιλίας Rapid Red 2 της εταιρείας Fytro σε δύο πλάκες φυτωρίου με το υπόστρωμα του αρνητικού μάρτυρα (NC) σε 152 θέσεις συνολικά. Τα σπέρματα ποτίζονταν τακτικά με νερό βρύσης και στις 07/11/2020 τα νεαρά ραπανάκια που εκπύχθηκαν στις πλάκες φυτωρίου μεταφυτεύθηκαν στις γλάστρες με τις 6 μεταχειρίσεις. Αυτή ήταν η αρχή του πειράματος το οποίο διήρκεσε 2 μήνες.

Πείραμα φύτευσης σπερμάτων ραπανιού στις μεταχειρίσεις frass

Προκειμένου να ελεγχθεί η επίδραση των διαφορετικών μεταχειρίσεων στην φύτευση των σπερμάτων, οι ίδιες αναμείξεις που αναφέρθηκαν παραπάνω εφαρμόστηκαν σε δύο δίσκους σποράς. Στις 20/10/2020, σπάρθηκαν σπόροι ραπανιού στους δίσκους αυτούς με τις μεταχειρίσεις NC, PC, frass 1%, frass 5%, frass 10% και frass 20% και ποτίζονταν τακτικά. Τοποθετήθηκαν 3 σπόροι σε κάθε θέση και για κάθε μία από τις 6 μεταχειρίσεις διαμορφώθηκαν 21 θέσεις, συνεπώς χρησιμοποιήθηκαν συνολικά 126 θέσεις. Η πορεία και το χρονοδιάγραμμα της φύτευσης των σπερμάτων ανά μεταχείριση καταγράφονταν καθημερινά.

2.2 Μετρήσεις

2.2.1 Μέτρηση ξηρού βάρους αρτίβλαστων

Όταν τα νεαρά αρτίβλαστα ραπανιού του πειράματος φύτευσης στις έξι μεταχειρίσεις είχαν αναπτυχθεί ικανοποιητικά πραγματοποιήθηκε η μέτρηση του ξηρού τους βάρους, ως μέτρο της ανάπτυξης τους. Στις 05/11/2020, αφού πρώτα ξεπλύθηκαν με νερό για την απομάκρυνση υπολειμμάτων εδάφους, 5 δείγματα φυταρίων (4 φυτά/δείγμα) από κάθε μεταχείριση και μόνο 3 δείγματα από τη

μεταχείριση του PC (διότι σε αυτό είχαν εκπτυχθεί ελάχιστα φυτάρια) τοποθετήθηκαν σε φούρνο στους 70°C για δύο μέρες. Στη συνέχεια καταγράφηκε το ξηρό τους βάρος σε ζυγό ακριβείας.

2.2.2 Μέτρηση ηλεκτρικής αγωγιμότητας

Στις 06/11/2020, πραγματοποιήθηκε μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στο έδαφος των φυταρίων ραπανιού των πλακών φυτωρίου με τις 6 μεταχειρίσεις. Αναλυτικότερα, μικρή ποσότητα εδάφους μετρήθηκε σε ζυγό ακριβείας (10g) και τοποθετήθηκε σε γυάλινα ποτηράκια ζέσεως όπου προστέθηκε διπλάσια ποσότητα απεσταγμένου νερού. Μετά από 20λεπτη ανάδευση μετρήθηκε η αγωγιμότητα με αγωγιμόμετρο (Consort, C5020), σε 5 δείγματα/μεταχείριση.

2.2.3 Μέτρηση ολικών χλωροφυλλών

Οι μετρήσεις της χλωροφύλλης έγιναν μέσω του φορητού χλωροφυλλόμετρου SpadPlus 502 της εταιρίας Minolta. Πραγματοποιούνταν μετρήσεις μία φορά τη βδομάδα καθόλη τη διάρκεια του πειράματος (δύο μήνες), σε δύο υγιή και ώριμα φύλλα/φυτό, στα 8 φυτά κάθε μεταχείρισης.

2.2.4 Μέτρηση Ανακλαστικότητας

Οι μετρήσεις της ανακλαστικότητας έγιναν με το φορητό όργανο PlantPen της εταιρίας Photon Systems Instruments. Η διαδικασία των μετρήσεων πραγματοποιήθηκε με όμοιο τρόπο στα ίδια φύλλα όπως στις μετρήσεις των ολικών χλωροφυλλών. Το όργανο αυτό μετρά τον Δείκτη PRI (Photochemical reflectance index) σε δύο στενές περιοχές μήκους κύματος κοντά στα 531 nm και 570 nm. Ο δείκτης PRI προκύπτει ως εξής: $PRI = (R531 - R570) / (R531 + R570)$ (Gamon et al. 1997).

2.2.5 Μέτρηση Φθορισμού Χλωροφύλλης

Οι μετρήσεις του φθορισμού της χλωροφύλλης έγιναν με τη βοήθεια του φορητού φθορισμόμετρου χλωροφύλλης PAM-2500 της εταιρίας Walz. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν επίσης, με την ίδια διαδικασία στα φυτά όλων των μεταχειρίσεων όπως στις μετρήσεις των ολικών χλωροφυλλών και της ανακλαστικότητας. Το όργανο αυτό μετρά την παράμετρο Fv/Fm που είναι η μέγιστη φωτοχημική απόδοση του φωτοσυστήματος II (PSII) και την παράμετρο ETR που είναι ο ρυθμός μεταφοράς ηλεκτρονίων στην φωτοσυνθετική αλυσίδα.

2.2.6 Μετρήσεις αναπτυξιακών χαρακτηριστικών

Μετά την ολοκλήρωση των μετρήσεων των υπέργειων τμημάτων στις 30/12/2020 πραγματοποιήθηκε η τελική συγκομιδή που αφορούσε προφανώς τα φυτά που επιβίωσαν: 8 φυτά της μεταχείρισης του αρνητικού μάρτυρα (NC), 8 φυτά του frass 1% και 2 φυτά του frass 5%. Το υπέργειο μέρος των φυτών κόπηκε με ψαλίδι κλαδέματος ακριβώς πάνω από το έδαφος των γλαστρών και μετρήθηκε το συνολικό νωπό βάρος του κάθε φυτού. Οι ρίζες δηλαδή τα ραπανάκια, απομακρύνθηκαν από το έδαφος των γλαστρών, ξεπλύθηκαν με νερό για να απομακρυνθούν υπολείμματα εδάφους για να πραγματοποιηθούν οι μετρήσεις αναπτυξιακών και ποιοτικών τους χαρακτηριστικών.

Η μέτρηση του νωπού βάρους των φύλλων και των καρπών των ραπανιών πραγματοποιήθηκε σε ζυγό ακριβείας, ενώ το πλάτος και το μήκος των καρπών τους μετρήθηκε με τη βοήθεια ψηφιακού παχύμετρου (Βερνιέρος).

Σε ότι αφορά τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του ραπανιού μετρήθηκε η σκληρότητα της σάρκας με πενετρόμετρο (Turoni 53205), με εξάρτημα παρακέντησης (έμβολο) διαμέτρου 6 mm. Η εκτίμηση του χρώματος φλοιού των ραπανιών έγινε με το χρωματόμετρο CR-400 της KONICA MINOLTA OPTICS INC. Πραγματοποιήθηκαν δύο μετρήσεις σε κάθε ραπανάκι με το χρωματόμετρο και έπειτα υπολογίστηκε ο μέσος όρος αυτών. Οι παράμετροι που αξιολογήθηκαν είναι οι εξής:

L*: φωτεινότητα του χρώματος του καρπού σε κλίμακα από 0 (μαύρο) έως 100 (λευκό)

a*: διαβάθμιση του χρώματος από πράσινο (-a*) σε κόκκινο (+a*)

b*: διαβάθμιση του χρώματος από μπλε (-b*) σε κίτρινο (+b*)

2.2.7 Μέτρηση ξηρού βάρους

Τα υπέργεια και υπόγεια μέρη του κάθε φυτού τοποθετήθηκαν ξεχωριστά μέσα σε χάρτινα σακουλάκια και μεταφέρθηκαν στο φούρνο αποξήρανσης στους 80°C για 4 ημέρες. Στις 04/01/2021, ζυγίστηκαν στον ηλεκτρονικό ζυγό ακριβείας και σημειώθηκε το ξηρό τους βάρος. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε κονιορτοποίηση των αποξηραμένων αυτών δειγμάτων για τη διεξαγωγή επόμενων μετρήσεων.

2.2.8 Μέτρηση ολικών φαινολικών στο ξηρό ιστό

Η μέτρηση των ολικών φαινολικών στο ξηρό ιστό διεξήχθη με τη μέθοδο Folin-Ciocalteu (Waterman and Mole, 1994). Για την εκχύλιση ζυγίστηκαν 200 mg κονιορτοποιημένου ξηρού δείγματος και τοποθετήθηκαν σε πλαστικούς δοκιμαστικούς σωλήνες. Προστέθηκαν 6ml υδατικού διαλύματος μεθανόλης 50%. Αφού σφραγίστηκαν, ακολούθησε επώαση σε υδατόλουτρο στους 40 °C για 1 h υπό ήπια ανάδευση. Έπειτα, τα δείγματα πέρασαν από χάρτινα φίλτρα με τη βοήθεια χωνιού και το διαυγές διάλυμα μεταφέρθηκε σε νέους μικρούς δοκιμαστικούς σωλήνες. Για την αντίδραση σε μεγαλύτερους δοκιμαστικούς προστέθηκαν 3,95ml απιονισμένου νερού, 0,05ml του υπερκείμενου, 0,25ml αντιδραστήριου Folin-Ciocalteu και στο τυφλό διάλυμα σε αντικατάσταση των 0,05ml του υπερκείμενου, προστέθηκαν 0,05ml υδατικού διαλύματος μεθανόλης 50%. Μετά πραγματοποιήθηκε ανάδευση του κάθε δοκιμαστικού σωλήνα σε vortex, προστέθηκαν 0,75ml διαλύματος ανθρακικού νατρίου (Na₂CO₃) και επαναλήφθηκε ανάδευση με vortex. Στη συνέχεια, ακολούθησε επώαση σε θερμοκρασία δωματίου για 2 h με συχνές επαναλήψεις vortex κάθε μισή ώρα. Τέλος, μετρήθηκε η απορρόφηση στα 760 nm.

Η συγκέντρωση ολικών φαινολικών εκφράστηκε σε mg γαλλικού οξέος ανά g ξηρής ουσίας (GAE, gallic acid equivalents), σύμφωνα με την πρότυπη καμπύλη που κατασκευάστηκε με γνωστές συγκεντρώσεις γαλλικού οξέος. Υπολογίζεται με βάση την ακόλουθη εξίσωση.

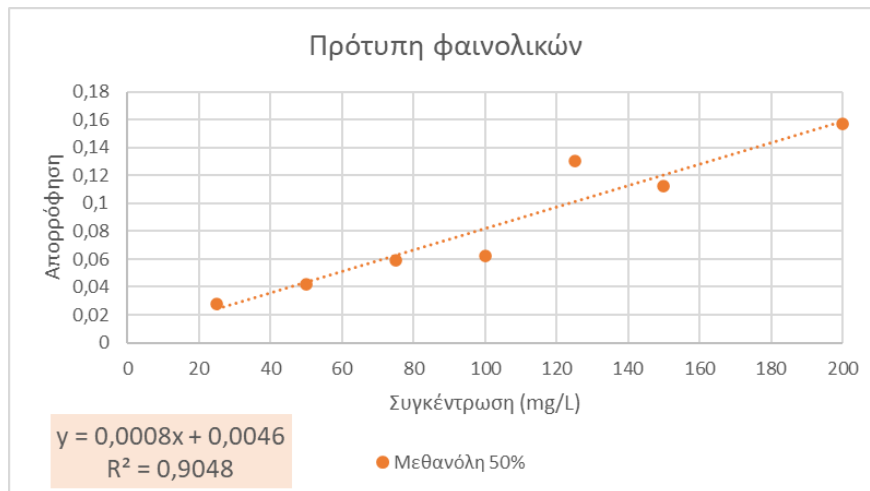
$$\text{GAE (mg/g)} = C \cdot V/M$$

Όπου

C, η τιμή GA σε mg/ml όπως προκύπτει από την πρότυπη

V, ο όγκος εκχυλίσματος που χρησιμοποιείται (50λ=0,50ml)

M τα g του ιστού



Εικόνα 2. Πρότυπη καμπύλη φαινολικών.

2.3 Στατιστική ανάλυση

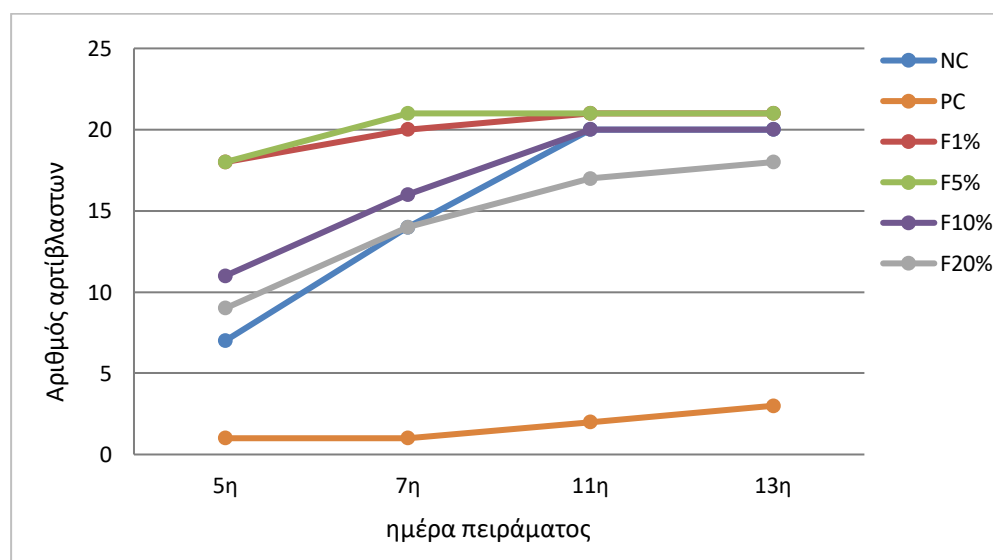
Τα δεδομένα όλων των μετρήσεων του πειράματος μεταφέρθηκαν σε υπολογιστικό φύλλο Microsoft Excel. Για τη στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων, πραγματοποιήθηκε μονοπαραγοντική ανάλυση παραλλακτικότητας (one-way ANOVA). Οι διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων αναλύθηκαν με post-hoc (Duncan) test με ορισμό του επίπεδου σημαντικότητας στο 5% (ή $p < 0,05$). Όλες οι αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν στο πρόγραμμα JASP, Version 0.14.1.0 (JASP team 2021, Computer Software).

3. Αποτελέσματα

3.1 Πείραμα φύτευσης σπερμάτων - Χαρακτηριστικά αρτίβλαστων και εδάφους

3.1.1 Φύτευση σπερμάτων

Από την ημέρα σποράς και για 13 ημέρες καταγραφόταν ο αριθμός των αρτίβλαστων ραπανιού που εκπύσσονταν στις πλάκες φυτωρίου με τις 6 μεταχειρίσεις. Την 5^η ημέρα εμφανίστηκαν τα πρώτα αρτίβλαστα, με τα περισσότερα να βρίσκονται στις μεταχειρίσεις F1% και F5%, τα σημαντικά λιγότερα στο PC ενώ και στο NC εκπύχθηκαν πολύ λίγα την πρώτη ημέρα (Γράφημα 1). Ο ρυθμός της φύτευσης τις επόμενες ημέρες μέχρι το τέλος της καταγραφής έδειξε ότι τα F1% και F5% είχαν σχεδόν φτάσει από την 7^η ημέρα στο μέγιστο, ενώ οι υπόλοιπες μεταχειρίσεις άργησαν αρκετά και έφτασαν σε αυτό το σημείο την 11^η ημέρα. Αντιθέτως, στη μεταχείριση του θετικού μάρτυρα, φύτευσαν ελάχιστα φυτάρια μέχρι το τέλος της καταγραφής (Γράφημα 1, Εικόνα 1).



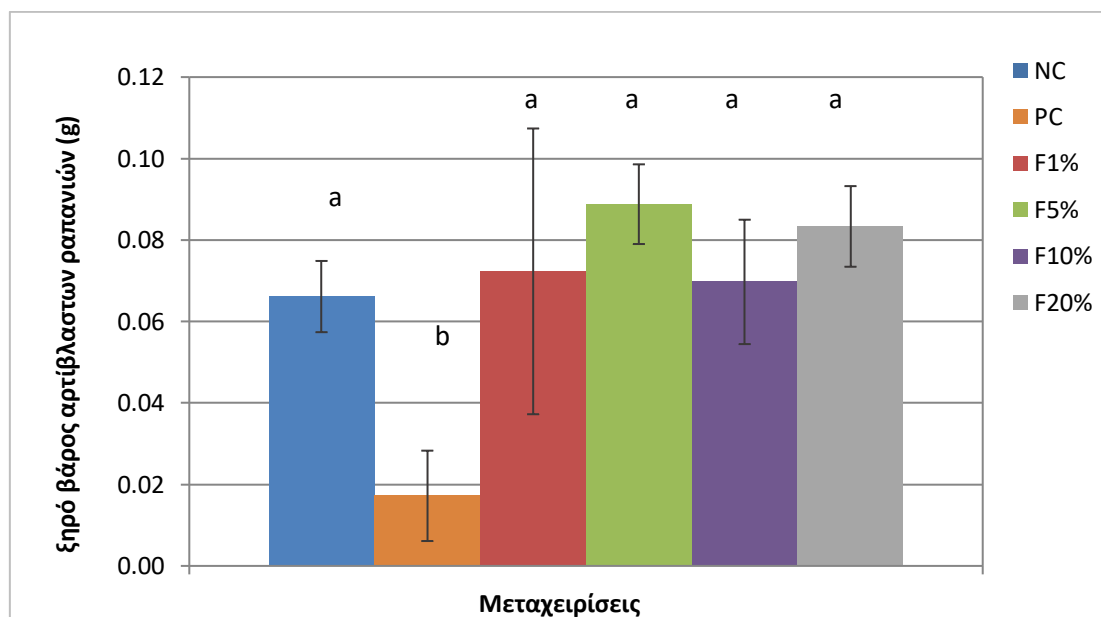
Γράφημα 1. Αριθμός αρτίβλαστων ραπανιού στους δίσκους φυτωρίου με τις 6 μεταχειρίσεις ανά ημέρα πειράματος.



Εικόνα 1. Αρτίβλαστα στους δίσκους σποράς με τις 6 μεταχειρίσεις.

3.1.2 Ξηρό βάρος αρτίβλαστων

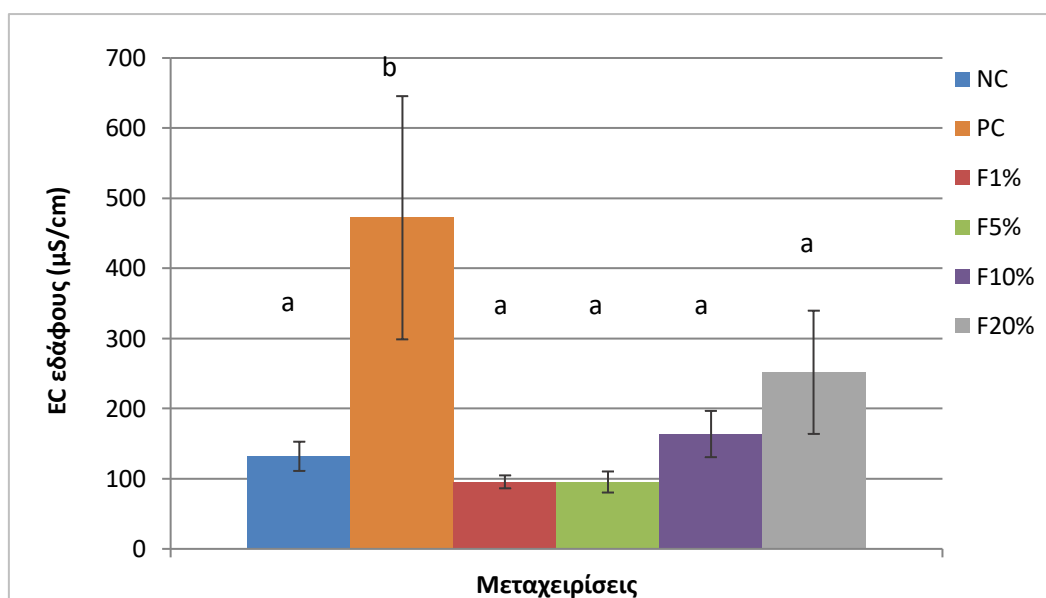
Οι μετρήσεις του ξηρού βάρους των φυταρίων ραπανιού των πλακών φυτωρίου με τις 6 μεταχειρίσεις, παρατίθενται στο Γράφημα 2. Δεν καταγράφονται σημαντικές διαφορές μεταξύ μεταχειρίσεων με την εξαίρεση της PC η οποία όχι μόνο δεν επέτρεψε την έκπτυξη των αρτίβλαστων, αλλά και όσα τελικά αναπτύχθηκαν είχαν σημαντικά μικρότερη βιομάζα.



Γράφημα 2. Μέτρηση ξηρού βάρους αρτίβλαστων ραπανιού (Μ.Ο.±Τ.Α.) των πλακών φυτωρίου με τις 6 μεταχειρίσεις. Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές σε επίπεδο $p < 0,05$.

3.1.3 Ηλεκτρική αγωγιμότητα εδάφους (EC)

Οι μετρήσεις της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στο έδαφος των φυταρίων ραπανιού των πλακών φυτωρίου με τις 6 μεταχειρίσεις που διεξάχθηκαν, παρατίθενται στο Γράφημα 3. Στη μεταχείριση PC, η τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας είναι στατιστικώς σημαντικά μεγαλύτερη από τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις, των οποίων οι τιμές κυμαίνονται σε παρόμοια επίπεδα.



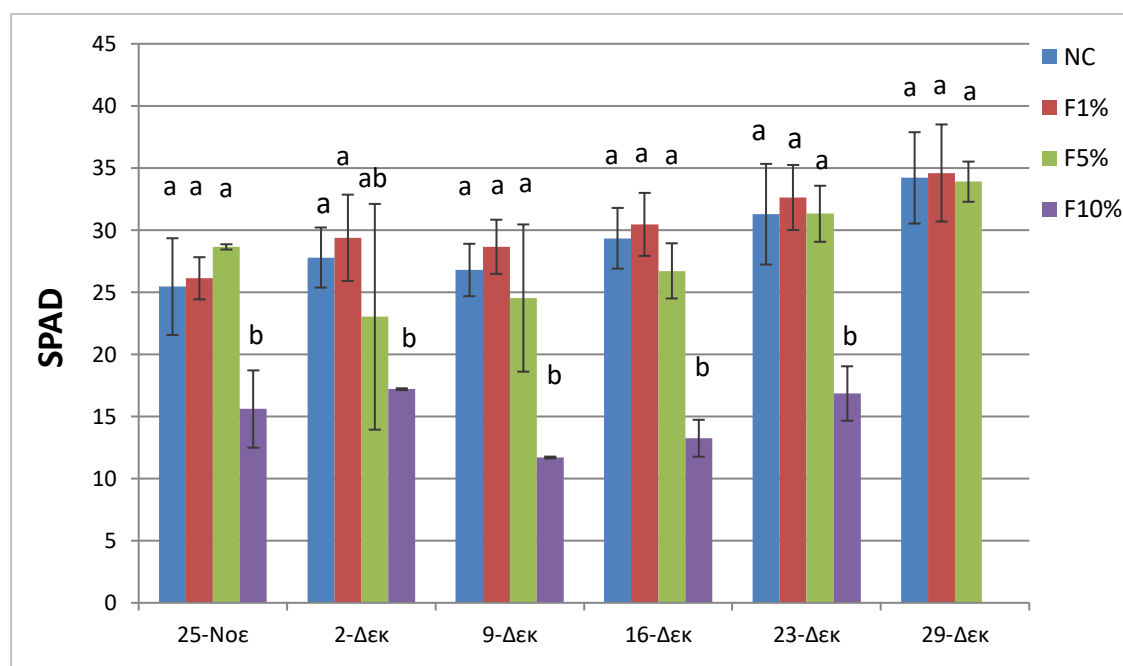
Γράφημα 3. Μετρήσεις ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδαφικού υποστρώματος (Μ.Ο.±Τ.Α.) των 6 μεταχειρίσεων των πλακών φυτωρίου. Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές σε επίπεδο $p < 0,05$.

3.2 Πείραμα ανάπτυξης φυτών ραπανιού - Φυσιολογικά χαρακτηριστικά

Στα υποκεφάλαια που ακολουθούν παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μεταχειρίσεων στις οποίες υπήρχαν ζωντανά και υγιή φυτά, συγκεκριμένα στις NC, F1%, F5% και F10%. Στις μεταχειρίσεις PC και F20% τα φυτά παρέμειναν ζωντανά για ελάχιστες ημέρες κατά την αρχή του πειράματος, επομένως δεν υπάρχουν καταγραφές τους.

3.2.1 SPAD

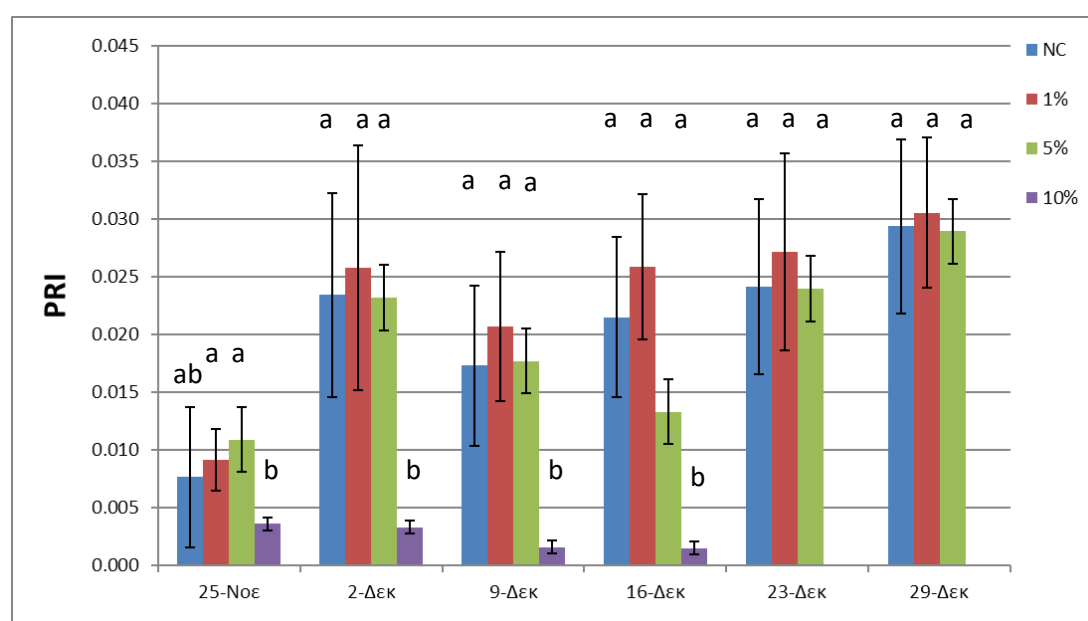
Στο γράφημα 4, απεικονίζονται οι συγκεντρώσεις των χλωροφυλλών των φύλλων ανά μεταχείριση κατά τη διάρκεια της αναπτυξιακής περιόδου. Παρατηρήθηκε ότι η συγκέντρωση της χλωροφύλλης της μεταχείρισης F10% ήταν στατιστικώς σημαντικά χαμηλότερη και διατηρήθηκε σταθερή καθ' όλη την πειραματική διαδικασία συγκριτικά με τις συγκεντρώσεις των υπόλοιπων μεταχειρίσεων. Αυτές αυξάνονταν προοδευτικά κατά την αναπτυξιακή περίοδο και δεν εμφάνισαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ τους.



Γράφημα 4. Τιμές SPAD στα ωριμότερα φύλλα ανά ημερομηνία πειράματος (Μ.Ο.±Τ.Α.). Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές σε επίπεδο $p < 0,05$.

3.2.2 Ανακλαστικότητα-δείκτης PRI

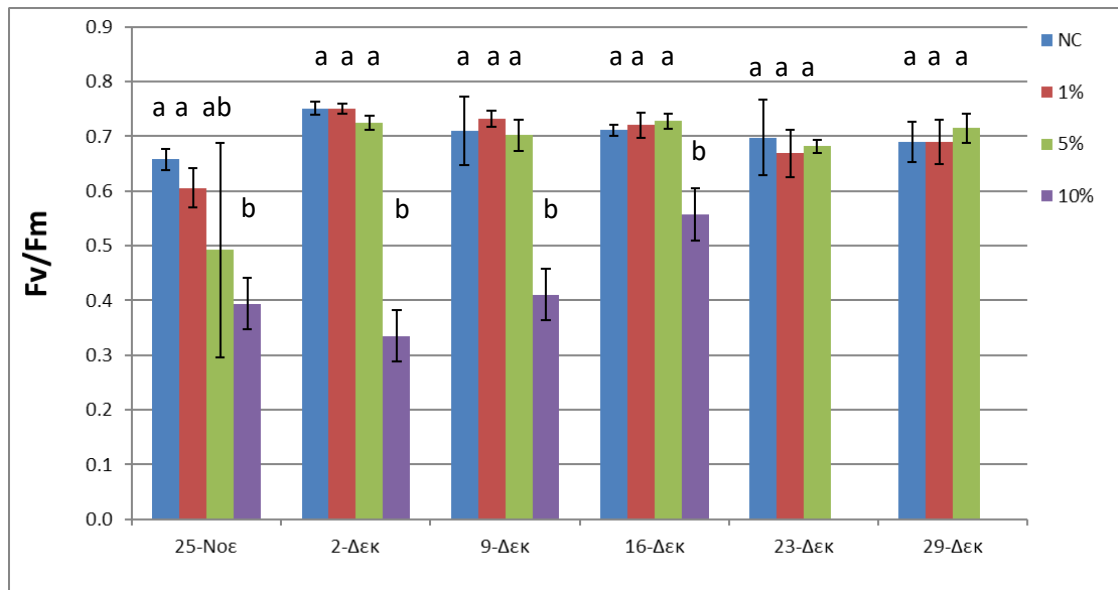
Στο γράφημα 5, παρουσιάζεται ο δείκτης PRI, οι τιμές του οποίου αυξήθηκαν σημαντικά στις 2/12/20, σε όλες τις μεταχειρίσεις εκτός της F10%. Στην τελευταία οι τιμές παρέμειναν σε χαμηλά επίπεδα και μειώνονταν καθώς προχωρούσε η αναπτυξιακή περίοδος, υποδεικνύοντας σοβαρά προβλήματα στη φωτοσυνθετική συσκευή. Χαρακτηριστικό είναι ότι οι τιμές PRI της μεταχείρισης F10% βρίσκονται σε μηδενικά επίπεδα κατά τη μέτρηση της 23/12. Οι υπόλοιπες τρεις μεταχειρίσεις εμφάνισαν παρόμοιες τιμές του PRI σε όλη την διάρκεια του πειράματος.



Γράφημα 5. Τιμές του δείκτη PRI στα ωριμότερα φύλλα ανά ημερομηνία πειράματος (Μ.Ο.±Τ.Α.). Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικές σημαντικές διαφορές σε επίπεδο $p < 0,05$.

3.2.3 Φθορισμός χλωροφύλλης

Η μέτρηση του φθορισμού της χλωροφύλλης πραγματοποιήθηκε με το δείκτη F_v/F_m (Γράφημα 6). Οι τιμές των μεταχειρίσεων κυμαίνονταν σε παρόμοια επίπεδα αλλά με μία μικρή τάση μείωσης κατά την διάρκεια της ανάπτυξης και δε διέφεραν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους. Η μεταχείριση F10% παρουσίασε τιμές στη μέση της αναπτυξιακής περιόδου της με μία αυξητική τάση και αυτές είναι εμφανώς πολύ μικρότερες από τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις. Να σημειωθεί εδώ ότι οι τιμές της μεταχείρισης F10% βρίσκονται σε μηδενικά επίπεδα κατά τη μέτρηση της 23/12.



Γράφημα 6. Η παράμετρος φθορισμού Fv/Fm στα ωριμότερα φύλλα ανά ημερομηνία πειράματος (Μ.Ο.±Τ.Α.). Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές σε επίπεδο $p < 0,05$.

3.3 Αναπτυξιακά χαρακτηριστικά φυτών

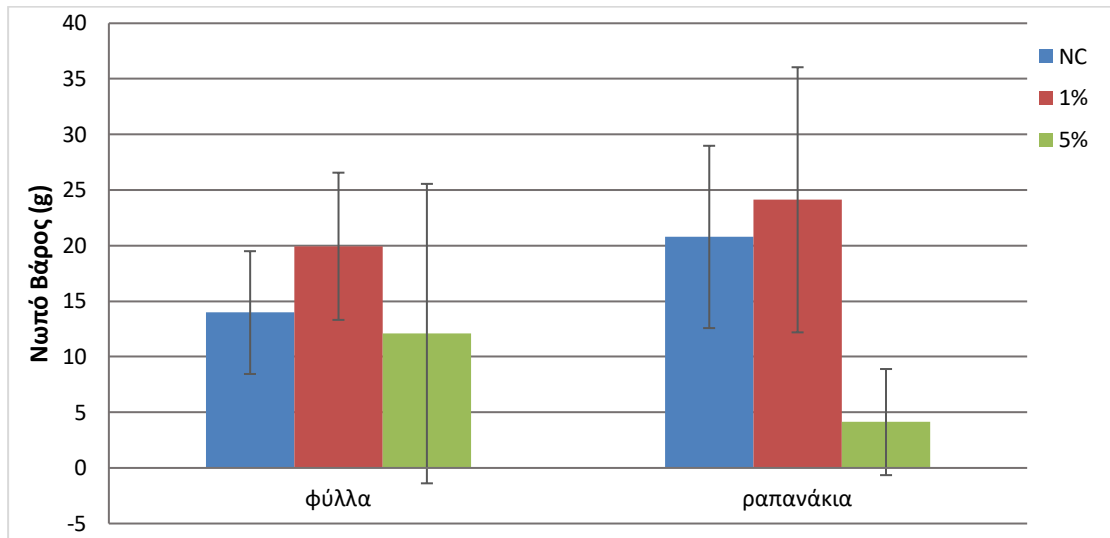
Στα ακόλουθα υποκεφάλαια παρουσιάζονται τα αναπτυξιακά χαρακτηριστικά του υπέργειου μέρους των φυτών καθώς και της κονδυλόριζας, όπως καταγράφηκαν κατά την τελική συγκομιδή (Εικόνα 2). Κατά τις τελευταίες δύο εβδομάδες του πειράματος έπαψαν να υπάρχουν φυτά στην μεταχείριση F10%, επομένως κατά την τελική συλλογή μετρήθηκαν μόνο φυτά των μεταχειρίσεων NC, F1% και F5%.



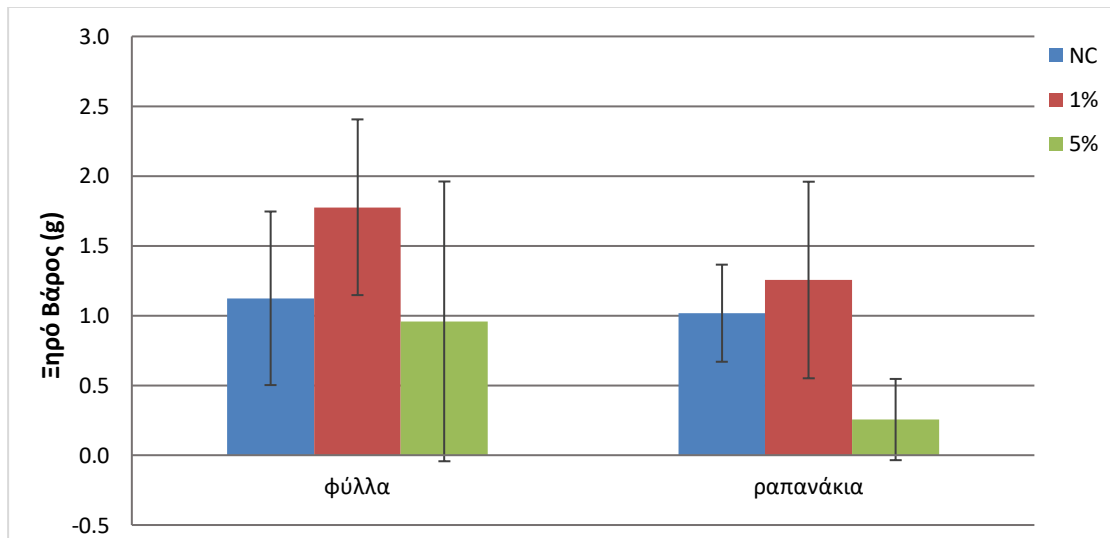
Εικόνα 2. Φυτά ραπανιού στις γλάστρες με τις 6 μεταχειρίσεις πριν τη συγκομιδή.

3.3.1 Νωπό και ξηρό βάρος

Στο γράφημα 7 και 8, απεικονίζονται το συνολικό νωπό και ξηρό βάρος των φύλλων και των ραπανιών που μετρήθηκαν κατά την τελική συγκομιδή, αντίστοιχα. Η μεταχείριση F1% τόσο των φύλλων όσο και των ραπανιών, έχει το μεγαλύτερο νωπό και ξηρό βάρος από τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις, χωρίς ωστόσο στατιστικώς σημαντικές διαφορές. Να σημειωθεί εδώ ότι στη μεταχείριση F5% οι τυπικές αποκλίσεις είναι πολύ μεγάλες στα φύλλα. Αυτό οφείλεται στο ότι απέμειναν δύο φυτά με πολύ μεγάλες διαφορές μεταξύ τους στην ανάπτυξη. Σε ότι αφορά το υπόγειο μέρος του F5% στο ένα από τα δύο εναπομείναντα φυτά (αυτό με τη μικρότερη ανάπτυξη) δεν είχε σχηματιστεί ραπανάκι, αλλά μία απλώς παχυμένη ρίζα. Αυτό εξηγεί και τις πολύ μεγάλες αποκλίσεις που παρατηρούνται σε αυτή τη μεταχείριση στα Γραφήματα 7 και 8.



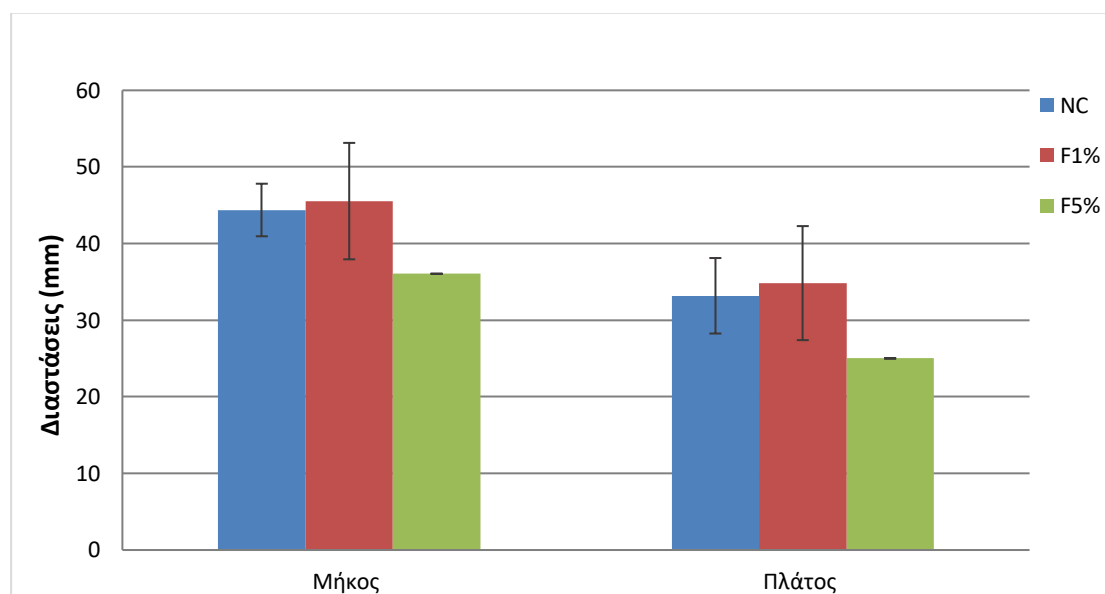
Γράφημα 7. Νωπό βάρος φύλλων (αριστερά) και ραπανιών (δεξιά) των διαφόρων μεταχειρίσεων κατά την τελική συλλογή (Μ.Ο.±Τ.Α.).



Γράφημα 8. Ξηρό βάρος φύλλων (αριστερά) και ραπανιών (δεξιά) των διαφόρων μεταχειρίσεων κατά την τελική συλλογή (Μ.Ο.±Τ.Α.).

3.3.2 Μήκος και πλάτος ραπανιών

Στη μεταχείριση F5% κατά την τελική συγκομιδή συλλέχθηκαν μόνο δύο φυτά και το υπόγειο μέρος του ενός δεν είχε σχηματίσει ραπανάκι. Για το λόγο αυτό στο Γράφημα 9 η F5% παρουσιάζεται ενδεικτικά, χωρίς μέση τιμή και στατιστική ανάλυση, με χαμηλότερες τιμές μήκους και πλάτους από τις υπόλοιπες δύο μεταχειρίσεις. Δεν προέκυψαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων NC και F1%.



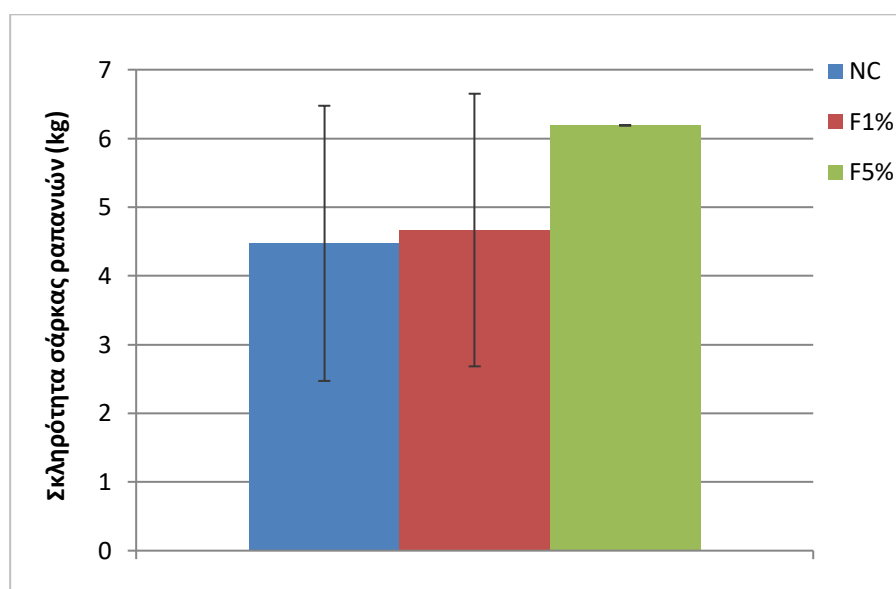
Γράφημα 9. Μέτρηση μήκους (αριστερά) και πλάτους (δεξιά) των ραπανιών των διαφόρων μεταχειρίσεων κατά την τελική συλλογή (Μ.Ο.±Τ.Α.).

3.4 Ποιοτικά χαρακτηριστικά ραπανιών

Καθώς όπως προαναφέρθηκε, στη μεταχείριση F5% κατά την τελική συγκομιδή συλλέχθηκαν μόνο δύο φυτά και το υπόγειο μέρος του ενός δεν είχε σχηματίσει ραπανάκι, στις μετρήσεις ποιοτικών χαρακτηριστικών που ακολουθούν αναφέρονται μόνο οι τιμές του ενός ραπανιού (του ενός φυτού). Αναφέρονται ενδεικτικά, χωρίς να υπάρχει τυπική απόκλιση και στατιστική ανάλυση.

3.4.1 Σκληρότητα σάρκας

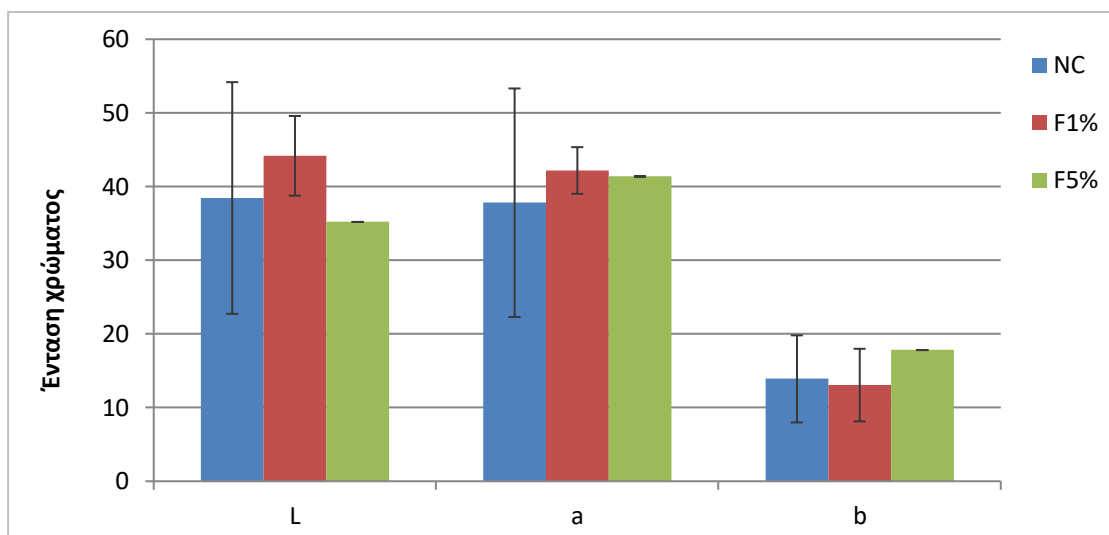
Στην τελική συλλογή, μετρήθηκε η σκληρότητα της σάρκας των ραπανιών (Γράφημα 10). Η μεταχείριση F5% παρουσιάζει μεγαλύτερη τιμή στην σκληρότητα (ενδεικτικά) από τις μεταχειρίσεις NC και F1%. Επίσης, σημαντικό να σημειωθεί ότι οι μεταχειρίσεις δεν εμφάνισαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ τους.



Γράφημα 10. Σκληρότητα σάρκας των ραπανιών των διαφόρων μεταχειρίσεων κατά την τελική συλλογή (Μ.Ο.±Τ.Α.).

3.4.2 Χρώμα φλοιού

Η μέτρηση της έντασης του χρώματος του φλοιού των ραπανιών πραγματοποιήθηκε κατά την τελική συλλογή και στο γράφημα 11, απεικονίζονται οι μέσοι όροι των τιμών των παραγόντων L, a και b. Η τιμή της παραμέτρου της φωτεινότητας (L) είναι λίγο μεγαλύτερη στη μεταχείριση F1% σε σχέση με τις μεταχειρίσεις NC και F5%. Το ίδιο ισχύει και για την παράμετρο a στην F1% που παραπέμπει σε πιο κόκκινο χρώμα, χωρίς όμως στατιστικώς σημαντικές διαφορές με την NC (Εικόνα 3).



Γράφημα 11. Ένταση χρώματος του φλοιού των ραπανιών των διαφόρων μεταχειρίσεων κατά την τελική συλλογή (Μ.Ο.±Τ.Α.).

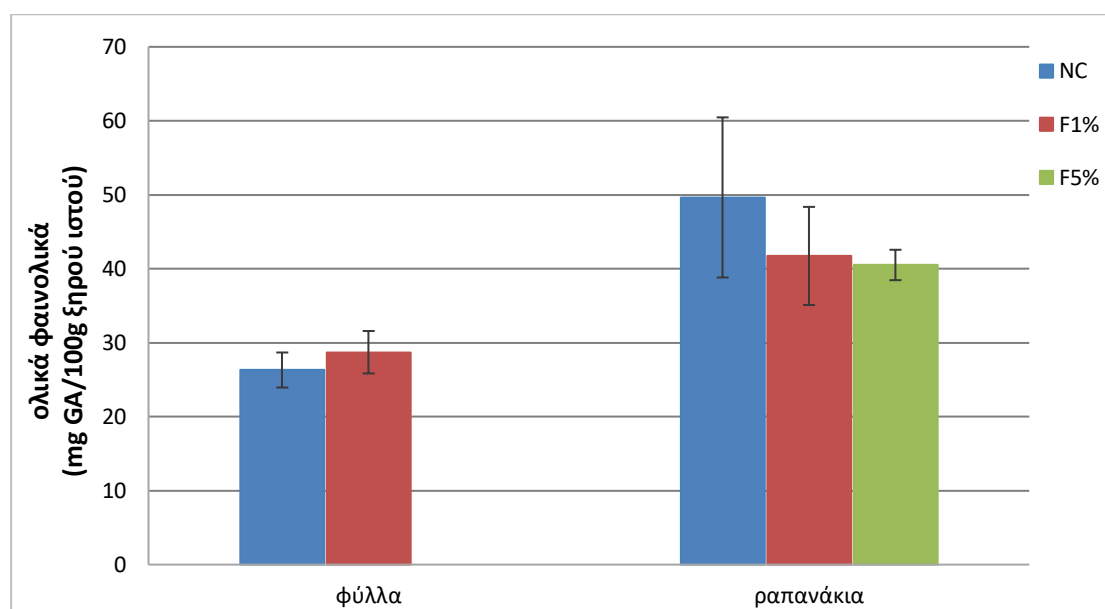


Εικόνα 3. Ρίζες ραπανιού των μεταχειρίσεων NC, Frass 1% και Frass 5% κατά τη συγκομιδή.

3.5 Βιοχημικές μετρήσεις

Ολικά φαινολικά

Στο γράφημα 12, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της συγκέντρωσης ολικών φαινολικών τόσο στα φύλλα, όσο και στα ραπανάκια. Οι τιμές της συγκέντρωσης ολικών φαινολικών των φύλλων είναι πιο χαμηλές από τις τιμές της συγκέντρωσης στα ραπανάκια. Στα φύλλα, οι τιμές της μεταχείρισης F5% δεν καταγράφηκαν λόγω έλλειψης ξηρού ιστού. Οι F1% και NC παρουσιάζουν παρόμοιες τιμές. Στα ραπανάκια, η μεταχείριση NC εμφανίζει τάση για μεγαλύτερη συγκέντρωση φαινολικών από τις μεταχειρίσεις F1% και F5%. Οι μεταχειρίσεις δεν παρουσίασαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ τους.



Γράφημα 12. Συγκέντρωση ολικών φαινολικών, εκφρασμένη σε ισοδύναμα γαλλικού οξέος (mgGA / 100g ξηρού ιστού) κατά την τελική συλλογή (M.O±T.A.).

4. Συζήτηση

Στην παρούσα εργασία, ερευνήθηκε η επίδραση των υπολειμμάτων της εκτροφής του εντόμου *Tenebrio molitor* στα μορφολογικά, φυσιολογικά και βιοχημικά γνωρίσματα των φυτών ραπανιού. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι η προσθήκη διαφορετικών ποσοτήτων frass στο έδαφος των φυτών, επηρεάζει διαφορετικά την ανάπτυξη και τη λειτουργία των φυτών και συνεπώς την αποδοτικότητα του frass ως βιολίπασμα. Τα φυτά που αναπτύχθηκαν καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος και επομένως κατέστη δυνατή η πραγματοποίηση των μετρήσεων ανήκαν στις μεταχειρίσεις του αρνητικού μάρτυρα (NC) και των frass 1%, τα οποία επιβίωσαν όλα και του frass 5%, από τα οποία επέζησαν μόνο 2. Αντιθέτως, τα φυτά της μεταχείρισης του θετικού μάρτυρα (PC) και του frass 20% μαράθηκαν σχεδόν αμέσως από τη μέρα της μεταφύτευσης, ενώ του frass 10% όσα δε μαράθηκαν εξαρχής, επιβίωσαν μέχρι το μέσον της αναπτυξιακής περιόδου.

Το ποσοστό έκπτυξης των αρτίβλαστων μετά από εφαρμογή frass σε μικρές ποσότητες ήταν ικανοποιητικό, ενώ σε μεγαλύτερες ποσότητες μειώθηκε ελαφρώς ο αριθμός φύτευσης των σπερμάτων. Ο ρυθμός έκπτυξης επίσης παρουσίασε διαφορές με το F1% και F5% να φτάνουν μέσα σε δύο ημέρες στο μέγιστη τιμή. Με την προσθήκη frass, η ξηρή βιομάζα των φυταρίων frass αυξήθηκε σε όλες τις μεταχειρίσεις. Τα αποτελέσματα αυτά συμπίπτουν με την έρευνα των Poveda et al. (2019), όπου τα υδατικά εκχυλίσματα που παραλαμβάνονται από frass αυξήσαν τη βλάστηση των σπόρων φασολιού κατά 4% αλλά και το ξηρό βάρος των φυτών. Αντίθετα με τα αποτελέσματα του Frass στο παρόν πείραμα, η εφαρμογή ανόργανου λιπάσματος απέτρεψε σχεδόν ολοκληρωτικά την φύτευση των αρτίβλαστων και σε όσα κατάφεραν να εκπτυχθούν μείωσε σημαντικά το ξηρό βάρος των φυταρίων. Αυτό ίσως οφείλεται στο ότι η προσθήκη χημικού λιπάσματος προκάλεσε υπερβολική αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδαφικού υποστρώματος των κοτυληδόνων, ενώ παρόλο, που η αυξημένη εφαρμογή frass αύξησε αντιστοίχως την ηλεκτρική αγωγιμότητα, οι τιμές κυμαίνονταν σε σχετικά χαμηλότερα επίπεδα συγκριτικά με το ανόργανο λίπασμα. Οι Watson et al. (2021) ανέφεραν ότι η αυξημένη ποσότητα frass οδηγεί σε αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται πιθανώς στην ανοργανοποίηση του frass, καθώς γίνεται άμεση απελευθέρωση θρεπτικών στοιχείων, ποσότητας μεγαλύτερης από αυτής που μπορούν να διαχειριστούν τα φυτά, με αποτέλεσμα την φυτοτοξικότητα (Song et al. 2021).

Ενδεχομένως, στον ίδιο λόγο να οφείλεται και η μειωμένη ανάπτυξη των καλλιεργούμενων φυτών των μεταχειρίσεων στις μεγάλες δόσεις frass του πειράματός μας. Επίσης, σύμφωνα με τους Tan et al. (2021) σε πείραμα λαχανικών, η μειωμένη βλαστική ικανότητα στις μεταχειρίσεις με μεγαλύτερη συγκέντρωση frass μπορεί να σχετίζεται με την αυξημένη αλατότητα λόγω αυξημένη ποσότητας frass, καθώς παρεμποδίζεται η απορρόφηση νερού από τις ρίζες και δυσχεραίνεται η διαδικασία της διαπνοής. Δηλαδή, η υψηλή συγκέντρωση ιόντων χλωρίου και η αυξημένη ποσότητα θρεπτικών συστατικών που εμπεριέχει το frass σε υψηλές ποσότητες αυξάνει την αλατότητα και την φυτοτοξικότητα, αντίστοιχα, μειώνοντας τις φυτικές αποδόσεις. Επίσης, με βάση τους Gärttling et al. (2020) σε πείραμα με αραβόσιτο, η μειωμένη βλαστική ικανότητα οφείλεται και στην πρόκληση τοξικότητας από αυξημένη συγκέντρωση αμμωνιακών ιόντων (NH_4^+) στο frass. Είναι γνωστό ότι ακόμη και η ορθή χρήση χημικών λιπασμάτων μπορεί να προκαλέσει αύξηση ηλεκτρικής αγωγιμότητας λόγω της ύπαρξης αλάτων και θρεπτικών στοιχείων εντός των λιπασμάτων (Hakeem et al., 2021). Η αυξημένη ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους μπορεί να προκαλέσει μειωμένη φωτοσυνθετική ικανότητα, αναστολή της φυτικής ανάπτυξης, φυτοτοξικότητα λόγω συσσώρευσης ιόντων νατρίου και χλωρίου με αποτέλεσμα τη μείωση πρόσληψης θρεπτικών στοιχείων (Alam et al., 2022) και νερού από το ριζικό σύστημα των φυτών (Tan et al. 2021). Η εφαρμογή λοιπόν ανόργανου λιπάσματος στη μεταχείριση PC παρεμπόδισε την έκπτυξη των αρτίβλαστων και προκάλεσε τοξικότητα στα καλλιεργούμενα φυτά τα οποία ξεράθηκαν από την πρώτη εβδομάδα της πειραματικής διαδικασίας.

Οι χλωροφύλλες είναι βιομόρια, μέσω των οποίων τα φυτά απορροφούν ενέργεια από το ηλιακό φως (Amarsanaa και Boland, 2013). Η μέτρηση της συγκέντρωσης των ολικών χλωροφυλλών των φύλλων γίνεται μη καταστροφικά με το δείκτη SPAD. Επίσης, ο δείκτης SPAD χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της συγκέντρωσης του αζώτου (N) στα φύλλα ορισμένων φυτικών ειδών δίνοντας γρήγορη ένδειξη ανεπάρκειας θρεπτικών στοιχείων που μπορεί να σχετίζεται με βιοτική ή αβιοτική καταπόνηση (Percival et al., 2008). Κατά την αναπτυξιακή περίοδο του ραπανιού, οι τιμές SPAD αυξάνονταν σταδιακά σε όλες τις μεταχειρίσεις. Τα αποτελέσματα αυτά συμφωνούν με τις έρευνες των Beesigamukama et al. (2020), όπου σε πείραμα εφαρμογής frass σε καλλιέργεια αραβόσιτου, η συγκέντρωση χλωροφύλλης ήταν πιο αυξημένη στο τελικό στάδιο της φυτικής ανάπτυξης. Παρατηρήθηκε επίσης, ότι στη μεταχείριση frass 1% με τη μικρότερη ποσότητα frass, η συγκέντρωση της

χλωροφύλλης αυξήθηκε συγκριτικά με τον αρνητικό μάρτυρα (NC). Στη μεταχείριση frass 5%, η ποσότητα των ολικών χλωροφυλλών αρχικά μειώθηκε ελαφρώς και στη συνέχεια κυμαινόταν στα ίδια επίπεδα με τον αρνητικό μάρτυρα. Αντιθέτως, η μεταχείριση frass 10% με τη μεγαλύτερη δόση frass, είχε ορατή μείωση συγκέντρωσης χλωροφύλλης. Τα αποτελέσματα αυτά δε συμφωνούν με την έρευνα των Przemieniecki et al. (2021), διότι σε πείραμα προσθήκης διαφορετικών δόσεων frass σε καλλιέργεια φυτών βρώμης δεν βρέθηκαν διακυμάνσεις στις συγκεντρώσεις χλωροφύλλης στα φυτά. Επίσης, στο πείραμα των Beesigamukama et al. (2020), βρέθηκαν διαφορετικά αποτελέσματα, διότι η χρήση frass σε φυτά αραβόσιτου επέφερε αρκετά υψηλότερες συγκεντρώσεις ολικών χλωροφυλλών στα φυτά.

Ο PRI είναι δείκτης φωτοσυνθετικής απόδοσης και σχετίζεται με τη δραστηριότητα του κύκλου των ξανθοφυλλών. Χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της ενεργότητας του κύκλου των ξανθοφυλλών των φύλλων άρα της ανάγκης φωτοπροστασίας αυτού αλλά και για την εκτίμηση των μεταβολών της απόδοσης της φωτοσυνθετικής συσκευής σε περιόδους καταπόνησης, κατά τις οποίες οι τιμές κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα (Zhang et al., 2017, Sukhova et al., 2022). Ο δείκτης PRI παρουσίασε σε γενικές γραμμές, μία αυξητική πορεία σε όλες τις μεταχειρίσεις κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας, όμως οι τιμές γενικότερα κυμαίνονταν σε χαμηλά επίπεδα. Συγκεκριμένα, η μεταχείριση frass 1% με τη μικρότερη ποσότητα frass εμφάνισε τις μεγαλύτερες τιμές σε σύγκριση με όλες τις μεταχειρίσεις. Στη μεταχείριση frass 5%, οι τιμές κυμαίνονταν σε παρόμοια επίπεδα με τον αρνητικό μάρτυρα. Αντιθέτως, οι τιμές της μεταχείρισης frass 10%, κυμαίνονταν σε μηδενικά επίπεδα λόγω μεγάλης συγκέντρωσης frass, αποδεικνύοντας ότι τα φυτά βρίσκονταν σε κατάσταση καταπόνησης.

Η φωτεινή ενέργεια απορροφάται από τα μόρια της χλωροφύλλης στα φύλλα, ένα μέρος της μετατρέπεται σε χημική ενέργεια, δηλαδή πραγματοποιείται φωτοσύνθεση, ένα άλλο μέρος επανεκπέμπεται ως θερμότητα και ένα τρίτο μέρος επανεκπέμπεται ως φως (φθορισμός). Ο φθορισμός της χλωροφύλλης είναι μέτρο του επανεκπεμπόμενου φωτός από το φωτοσύστημα II (PSII). Η μέθοδος μέτρησης του φθορισμού της χλωροφύλλης παρέχει πληροφορίες για μηχανισμούς της λειτουργίας του φωτοσυστήματος II (PSII), τις αποκρίσεις των φυτών σε περιβαλλοντικές μεταβολές ή καταπονήσεις (Murchie και Lawson, 2013). Η παράμετρος Fv/Fm του φθορισμού της χλωροφύλλης είναι η μέγιστη φωτοχημική απόδοση του φωτοσυστήματος II (PSII). Η τιμή του Fv/Fm είναι ~0,75-0,85 για τα φύλλα που δεν

έχουν υποστεί καταπόνηση. Η εμφάνιση καταπόνησης προκαλεί βλάβη του PSII (φωτοαναστολή) και έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των τιμών Fv/Fm. Ο φθορισμός της χλωροφύλλης είναι αλληλοσυνδεόμενος με τον ρυθμό ροής ενέργειας μέσω της αλυσίδας μεταφοράς ηλεκτρονίων, με αποτέλεσμα οι δυσμενείς επιδράσεις στο μεταβολισμό των φυτών λόγω καταπονήσεων να αποτυπώνονται και στις τιμές των παραμέτρων του φθορισμού (Murchie και Lawson, 2013). Οι τιμές της παραμέτρου Fv/Fm των φύλλων ραπανιού διατηρήθηκαν σε σταθερά και σχετικά υψηλά επίπεδα σε όλες τις μεταχειρίσεις. Εξαίρεση αποτέλεσε η μεταχείριση frass 10%, της οποίας οι τιμές ήταν με διαφορά πολύ χαμηλότερες από τις υπόλοιπες, κάτι που παραπέμπει σε σημαντική καταπόνηση της φωτοσυνθετικής συσκευής. Τα αποτελέσματα αυτά συμφωνούν με την έρευνα των Cai et al. (2020), όπου σε πείραμα εφαρμογής frass εντόμων σε φυτά αραβόσιτου παρατηρήθηκε αύξηση της ικανότητας και του ρυθμού φωτοσύνθεσης των φύλλων.

Σε ότι αφορά τα αποτελέσματα του frass ως λιπάσματος στην ανάπτυξη των φυτών ραπανιού, στη μεταχείριση frass 1% παρατηρήθηκε καλύτερη ανάπτυξη σε σχέση με τον αρνητικό μάρτυρα (NC). Συγκεκριμένα, καταγράφηκε αύξηση του νωπού και ξηρού βάρους τόσο στα φύλλα όσο και στα ραπανάκια και μία μικρή αύξηση του μήκους και του πλάτους των κονδυλόρριζων. Τα αποτελέσματα αυτά συνάδουν και με την έρευνα των Poveda et al. (2019) σε πείραμα με φυτά φασολιού (*Phaseolus vulgaris*) που εφαρμόστηκε frass από το έντομο *Tenebrio molitor*. Η εξήγησή που δόθηκε από τους ερευνητές είναι ότι τα θρεπτικά συστατικά που περιλαμβάνει το frass καθίστανται άμεσα διαθέσιμα στα φυτά λόγω της γρήγορης ανοργανοποίησης του, με αποτέλεσμα την αύξηση του νωπού και ξηρού βάρους του υπέργειου και υπόγειου τμήματος. Επιπλέον, σύμφωνα με τα αποτελέσματα πειράματος προσθήκης frass από *Tenebrio molitor* σε καλλιέργεια βρώμης (*Triticum aestivum*), η εφαρμογή frass αυξάνει τη συγκέντρωση ανόργανου N και Mg στο έδαφος, προωθώντας την αύξηση του μήκους και του βάρους της ρίζας των φυτών (Przemieniecki et al. 2021). Στο παρόν πείραμα, η μεταχείριση frass 5%, οδήγησε σε χαμηλότερη ανάπτυξη σε όλες τις προαναφερθείσες παραμέτρους σε σχέση με το NC.

Η σκληρότητα της σάρκας των καρπών είναι δείκτης της ποιότητας τους (Cherng, 2009) και της περιεκτικότητας του ύδατος που περιέχουν (Chu et al. 2005). Τα αποτελέσματα της μέτρησης της συνεκτικότητας της σάρκας των ραπανιών έδειξαν, ότι σε σχέση με το NC τα ραπανάκια της μεταχείριση frass 1% εμφάνισαν ελαφρώς σκληρότερη σάρκα και τα ραπανάκια της μεταχείριση frass 5% αρκετά πιο σκληρή

σάρκα. Επίσης, η ποιότητα των καρπών εξαρτάται άμεσα από το χρώμα των καρπών, καθώς αυτό αποτελεί κριτήριο επιλογής για τους καταναλωτές. Η παράμετρος L της μέτρησης της έντασης του χρώματος ορίζει τη φωτεινότητα, η παράμετρος a την απόχρωση από το πράσινο στο κόκκινο και η παράμετρος b την απόχρωση από το μπλε στο κίτρινο (Schreiner et al., 2003). Το χρώμα των καρπών της μεταχείριση frass 1% ήταν ελαφρώς πιο ανοιχτό και το χρώμα των καρπών της μεταχείριση frass 5% ήταν ελάχιστα πιο σκούρο από τον αρνητικό μάρτυρα (NC). Γενικώς, η εφαρμογή frass δεν είχε κάποια ιδιαίτερη επίδραση στη συνεκτικότητα και το χρώμα της σάρκας των ραπανιών. Μέχρι στιγμής, δεν έχουν διεξαχθεί αρκετές έρευνες ώστε να επιβεβαιωθεί ο ορθός τρόπος χρήσης frass που θα βελτιώσει τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των φυτών (Beesigamukama et al. 2020a).

Οι φαινολικές ενώσεις των φυτών είναι δευτερογενείς μεταβολίτες που σχετίζονται με την άμυνα των φυτών έναντι βιοτικών και αβιοτικών καταπονήσεων. Έχουν αντιοξειδωτικές ιδιότητες, παρέχουν δηλαδή προστασία από οξειδωτικές βλάβες των ελεύθερων ριζών και παίζουν ρόλο σε μία σειρά φυτικών λειτουργιών, μεταξύ αυτών και στην εξοικονόμηση νερού (Salima et al., 2022). Στα φύλλα, η συγκέντρωση των ολικών φαινολικών στη μεταχείριση F1% ήταν ελαφρώς μεγαλύτερη με τη μεταχείριση NC. Αντιθέτως, στα ραπανάκια, οι συγκεντρώσεις των φαινολικών στις μεταχειρίσεις F1% και F5% ήταν αρκετά μικρότερες από ότι στη μεταχείριση NC. Μεταξύ των μεταχειρίσεων δεν παρουσιάστηκαν στατιστικώς σημαντικές μεταβολές. Φαίνεται λοιπόν ότι η προσθήκη frass στο έδαφος της καλλιέργειας σε μικρές ποσότητες δεν ενεργοποίησε τον αμυντικό μηχανισμό των φυτών.

5. Συμπεράσματα

- Η χρήση frass στα επίπεδα 1% και 5% ευνόησε την ταχύτητα της φύτευσης των σπερμάτων ραπανιού και την ανάπτυξη των αρτίβλαστων, σε αντίθεση με τη χρήση χημικών λιπασμάτων (PC).
- Η χρήση χημικών λιπασμάτων αύξησε σημαντικά την ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους, ενώ η χρήση frass σε μεγάλες συγκεντρώσεις 10% και 20% προκάλεσε μικρότερη αύξηση, χωρίς σημαντικές διαφορές από το NC και τα frass 1% και 5%.
- Η εφαρμογή χημικών λιπασμάτων και frass σε αυξημένες ποσότητες 20%, 10% και 5% στο έδαφος προκάλεσε δυσμενείς επιπτώσεις στην επιβίωση των φυτών, με αποτέλεσμα τα φυτά των τριών πρώτων μεταχειρίσεων να μην ολοκληρώσουν τον αναπτυξιακό τους κύκλο, ενώ στην 5% επέζησαν μόνο δύο φυτά μέχρι την τελική συγκομιδή.
- Η εφαρμογή frass δεν βελτίωσε τη φωτοσυνθετική ικανότητα των φυτών, ούτε επηρέασε σημαντικά τη συγκέντρωση ολικών χλωροφυλλών στα φύλλα –με την εξαίρεση της μεταχείρισης F10%, τα φυτά της οποίας εμφάνισαν σημαντικά λιγότερες χλωροφύλλες για όσο χρονικό διάστημα επιβίωσαν.
- Εμφανίστηκε τάση για καλύτερη ανάπτυξη τόσο του υπέργειου, όσο και του υπόγειου μέρους στη μεταχείριση frass 1% σε σχέση με τις NC και frass 5%. Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των ραπανιών δεν διαφοροποιήθηκαν.
- Η προσθήκη frass του εντόμου *Tenebrio molitor* σε μικρές ποσότητες βελτιώνει γενικά την απόδοση των φυτών ραπανιού σε σχέση με τη χρήση χημικών λιπασμάτων.

Βιβλιογραφία

Ελληνική βιβλιογραφία

- Χα Ι. Α., Πετρόπουλος Σ., 2014. Γενική Λαχανοκομία & Υπαίθρια Καλλιέργεια Λαχανικών. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας, Βόλος. σελ. 400-412.

Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

- Agustiyani D., Agandi R., Arinafril, Nugroho A.A. and Antonius S., 2021. The effect of application of compost and frass from *Black Soldier Fly* Larvae (*Hermetia illucens* L.) on growth of Pakchoi (*Brassica rapa* L.). IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 762:012036.
- Alam A.G., Mousavi-Fard S., Rezaei Nejad A., 2022. Morphological and physiological characteristics for evaluation of salicylic acid effects on *Celosia argentea* L. under salinity stress. Iranian Journal of Plant Physiology, 12:4027-4037.
- Amarsanaa B., and Boland W., 2013. Chlorophyll catabolites in the frass of the Small Tortoiseshell caterpillars (*Aglais urticae* L.). Mongolian Journal of Chemistry 14:2-3.
- Banihani S.A., 2017. Radish (*Raphanus sativus*) and diabetes. Nutrients, 9:1014.
- Beesigamukama D., Mochoge B., Korir N.K., Fiaboe K.K.M., Nakimbugwe D., Khamis F.M., Subramanian S., Dubois T., Musyoka M.W., Ekesi S., Kelemu S. and 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, 11:574592.
- Beesigamukama D., Mochoge B., Korir N.K., Musyoka M.W., Fiaboe K.K.M., Nakimbugwe D., Khamis F.M., Subramanian S., Dubois T., Ekesi S. and Tanga C., 2020. Nitrogen Fertilizer Equivalence of *Black Soldier Fly* Frass Fertilizer and Synchrony of Nitrogen Mineralization for Maize Production. Agronomy, 10:1395.
- Cai R., Wu X., Wang X. and Xu X., 2020. Effects of insect frass with different cadmium content on maize plant growth and cadmium accumulation. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 450:012123.
- Chavez M. and Uchanski M., 2020. Insect left-over substrate as plant fertilizer. Journal of Insects as Food and Feed, 7: 683-694.

- Cherng A.P., 2009. Development of a Frequency-based Firmness Index for Solid Fruits and Vegetables of Ellipsoidal Shape*. *Engineering in Agriculture, Environment and Food*, 2:7-13.
- Chiam Z., Lee J.T.E., Tan J.K.N., Song S., Arora S., Tong Y.W. and Tan H.T.W., 2021. Evaluating the potential of okara-derived *black soldier fly* larval frass as a soil amendment. *Journal of Environmental Management*, 286:112163.
- Choi S. and Hassanzadeh N., 2019. BSFL Frass: A Novel Biofertilizer for Improving Plant Health While Minimizing Environmental Impact. *The Canadian Science Fair Journal*, 2:2.
- Choi Y.C., Choi J.Y., Kim J.G., Kim M.S., Kim W.T., Park K.H., Bae S.W., Jeong G.S., 2009. Potential Usage of Food Waste as a Natural Fertilizer after Digestion by *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae). *International Journal of Industrial Entomology*, 19:171-174.
- Chu C.L.G., Liu W.T. & Jianhua Ma J., 2005. Individual wrapping of radishes with food packaging film. *International Journal of Food Science and Technology*, 40: 879–883.
- Dulaurent A.M., Daoulas G., Faucon M.P. and Houben D., 2020. Earthworms (*Lumbricus terrestris* L.) Mediate the Fertilizing effect of Frass. *Agronomy*, 10:783.
- Gamba M., Asllanaj E., Raguindin P.F., Glisic M., Franco O.H., Minder B., Bussler W., Metzger B., Kern H., Muka T., 2021. Nutritional and phytochemical characterization of radish (*Raphanus sativus*): A systematic review. *Trends in Food Science and Technology*, 113:205-218.
- Gärttling D., Kirchner S.M. and 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*, 20:1-11.
- Gebremikael M.T., Wickeren N.V., Hosseini P.S., and De Neve S., 2022. The Impacts of *Black Soldier Fly* Frass on Nitrogen Availability, Microbial Activities, C Sequestration, and Plant Growth. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6: 795950.
- Gamon J.A., Serrano L. and Surfus J.S., 1997. The photochemical reflectance index: an optical indicator of photosynthetic radiation use efficiency across species, functional types, and nutrient levels, *Oecologia*, 112: 492-501.

- Houben D., Daoulas G. and Dulaurent A.M., 2021. Assessment of the Short-Term Fertilizer Potential of Mealworm Frass Using a Pot Experiment. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5:714596.
- Houben D., Daoulas G., Faucon M.P. and Dulaurent A.M., 2020. Potential use of mealworm frass as a fertilizer: Impact on crop growth and soil properties. *Scientific Reports*, 10:4659.
- Hakeem K.R., Dar G.H., Mehmood M.A., Bhat R.A., 2021. *Microbiota and Biofertilizers: A Sustainable Continuum for Plant and Soil Health*. Springer.
- Ites S., Smetana S., Toepfl S., Heinz V., 2020. Modularity of insect production and processing as a path to efficient and sustainable food waste treatment. *Journal of Cleaner Production*, 248: 119248.
- Moruzzo R., Riccioli F., Diaz S.E., Secci C., Poli G. and Mancini S., 2021. Mealworm (*Tenebrio molitor*): Potential and Challenges to Promote Circular Economy. *Animals*, 11: 2568.
- Murchie E.H. and Lawson T., 2013. Chlorophyll fluorescence analysis: a guide to good practice and understanding some new applications. *Journal of Experimental Botany*, 64:3983–3998.
- Percival G., Keary I., and Noviss K., 2008. The Potential of a Chlorophyll Content SPAD Meter to Quantify Nutrient Stress in Foliar Tissue of Sycamore (*Acer pseudoplatanus*), English Oak (*Quercus robur*), and European Beech (*Fagus sylvatica*). *Arboriculture and Urban Forestry*, 34:89–100.
- Poveda J., Jiménez-Gómez A., Saati-Santamaría Z., Usategui-Martín R., Rivas R. and García-Fraile P., 2019. Mealworm frass as a potential biofertilizer and abiotic stress tolerance inductor in plants. *Applied Soil Ecology*, 142:110-122.
- Poveda J., 2021. Insect frass in the development of sustainable agriculture. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 41:5.
- Przemieniecki S.W., Kosewska A., Purwin C., Zapalowska 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.
- Salima M., Saeed A., Iqbal M., Khan B. A., Khan N., Rabbani I., Alsenani F. and Rasul A., 2024. Phytochemical screening and evaluation of antioxidant, total

phenolic and flavonoid contents in various weed plants associated with wheat crops. *Brazilian Journal of Biology*, 84:256486.

- Schreiner M., Krumbein A., Schonhof I., Widell S., Huyskens-Keil S., 2003. Quality determination of red radish by nondestructive root color measurement. *Journal of the American society for horticultural science*, 128: 397-402.
- Song S., Ee A.W.L., Tan J.K.N., Cheong J.C., Chiam Z., Arora S., Lam W.N. and Tan H.T.W., 2021. Upcycling food waste using *black soldier fly* larvae: Effects of further composting on frass quality, fertilising effect and its global warming potential. *Journal of Cleaner Production*, 288:125664.
- Sukhova E., Yudina L., Kior a., Kior D., Popova A., Zolin Y., Gromova E. and Sukhov V., 2022. Modified Photochemical Reflectance Indices as New Tool for Revealing Influence of Drought and Heat on Pea and Wheat Plants. *Plants*, 11: 1308.
- Tanga C.M., Beesigamukama D., Kassie M., Egonyu P.J., Ghemoh C.J, Nkoba K., Subramanian S., Anyega A.O., Ekesi S., 2022. Performance of *black soldier fly* frass fertiliser on maize (*Zea mays* L.) growth, yield, nutritional quality, and economic returns. *Journal of Insects as Food and Feed*, 8: 185-196.
- Tan J.K.N., Lee J.T.E., Chiam Z., Song S., Arora S., Tong Y.W. and Tan H.T.W., 2021. Applications of food waste-derived *black soldier fly* larval frass as incorporated compost, side-dress fertilizer and frass-tea drench for soilless cultivation of leafy vegetables in biochar-based growing media. *Waste Management*, 130:155-166.
- Terfa G.N., 2021. Role of *Black Soldier Fly (Hermetia illucens)* Larvae Frass Bio-fertilizer on Vegetable Growth and Sustainable Farming in Sub-Saharan Africa. *Reviews in Agricultural Science*, 9: 92-102.
- Watson C., Schlösser C., Vögerl J. and Wichern F., 2021. Excellent excrement? Frass impacts on a soil's microbial community, processes and metal bioavailability. *Applied Soil Ecology*, 168:104110.
- Yang S.S., Chen Y.D., Zhang Y., Zhou H.M., Ji X.Y., He L., Xing D.F., Ren N.Q., Ho S.H., Wu W.M., 2019. A novel clean production approach to utilize crop waste residues as co-diet for mealworm (*Tenebrio molitor*) biomass production with biochar as byproduct for heavy metal removal. *Environmental Pollution*, 252: 1142-1153.

- Zhang C., Filella I., Liu D., Ogaya R., Llusà J., Asensio D. and Peñuelas J., 2017. Photochemical Reflectance Index (PRI) for Detecting Responses of Diurnal and Seasonal Photosynthetic Activity to Experimental Drought and Warming in a Mediterranean Shrubland. *Remote Sens*, 9:1189.