



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

**«Τα αποχωρήματα εντόμων (insect frass) ως οργανικό λίπασμα για δύο
τοπικές ποικιλίες μελιτζάνας»**

« Insect frass as an organic fertilizer for two local varieties of eggplant»

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΓΕΩΡΓΑΚΗΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ

ΒΟΛΟΣ 2025

«Τα αποχωρήματα εντόμων (frass) ως οργανικό λίπασμα για δύο τοπικές ποικιλίες μελιτζάνας»

"Insect frass as an organic fertilizer for two local varieties of eggplant"

Τριμελής εξεταστική επιτροπή:

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

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

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

Βεβαιώνω ότι εγώ, ο Γεωργάκης Παναγιώτης είμαι ο 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 την επιβλέπουσα καθηγήτρια, κα. Ευθυμία Λεβίζου, για τις συμβουλές και την καθοδήγηση της για τη συγγραφή της παρούσας εργασίας αλλά και για τον χρόνο που αφιέρωσε.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον κ. Αντωνιάδη Βασίλειο για τη συνεργασία καθώς και τον κ. Αθανασίου Χρήστο για την παραχώρηση του frass και το χρόνο που θα διαθέσουν για την αξιολόγηση της εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον υποψήφιο διδάκτορα κ. Παπαδημητρίου Νίκο για τις εύστοχες παρατηρήσεις και τις χρήσιμες υποδείξεις του, οι οποίες συνέβαλαν ουσιαστικά στην ολοκλήρωση της εργασίας.

Περιεχόμενα

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ	8
1.1 Κλιματική κρίση	8
1.2 Αειφορική γεωργία	9
1.3 Οργανικά λιπάσματα	10
1.4 Κοπριά	11
1.5 Κοπριά πουλερικών - Poultry manure	12
1.6 Αποχωρήματα εντόμων (Insect frass)	14
1.7 Μελιτζάνα	15
1.8 Σκοπός εργασίας	18
2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	19
2.1 Σχεδιασμός πειράματος	19
2.2 Πειραματική διαδικασία και παρατηρήσεις	20
2.3 Μετρήσεις	22
2.3.1 Δείκτης SPAD	22
2.3.2 PRI	22
2.3.3 Δείκτης ξηροφιλίας (LSM)	22
2.3.4 Ύψος	22
2.3.5 Φυλλική επιφάνεια	22
2.3.6 Νωπό βάρος	23
2.3.7 Στατιστική Ανάλυση	23
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	24
3.1 Δείκτης SPAD	24
3.2 PRI	27
3.3 Δείκτης ξηροφιλίας (LSM)	30
3.4 Ύψος	32
3.5 Φυλλική επιφάνεια	35
4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ	37
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	41
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	42

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ανάγκη αντικατάστασης των ανόργανων λιπασμάτων που βασίζονται σε μη ανανεώσιμες πηγές, έχουν αρνητικές συνέπειες στην ποιότητα του εδάφους και των υπόγειων νερών, αλλά και ένα μερίδιο στην επιδείνωση της κλιματικής κρίσης, με βιώσιμα, και φιλικά προς το περιβάλλον οργανικά λιπάσματα είναι μεγάλη. Στο πλαίσιο αυτό αυξανόμενο ενδιαφέρον και εφαρμογές βρίσκει η αξιοποίηση των αποχωρημάτων εντόμων (insect frass) ως εδαφοβελτιωτικό και εναλλακτικό λίπασμα. Η παρούσα πτυχιακή εργασία διερευνά τη χρήση των αποχωρημάτων προερχόμενων από τις προνύμφες του εντόμου *Tenebrio molitor*, ως οργανικό λίπασμα. Η μελέτη επικεντρώνεται στην επίδραση του frass σε αναπτυξιακές και φυσιολογικές παραμέτρους της μελιτζάνας (*Solanum melongena*). Μελετήθηκαν δύο τοπικές ποικιλίες μελιτζάνας, η Τσακωνική και η Λαγκαδά, οι οποίες αναπτύχθηκαν σε δύο εδάφη, ένα μέσης σύστασης προερχόμενο από το Βελεστίνο Μαγνησίας και ένα αμμώδες προερχόμενο από τη Λάρισα. Οι πειραματικές μεταχειρίσεις ήταν έξι και περιλάμβαναν έναν αρνητικό μάρτυρα (χωρίς λίπανση, NC), έναν θετικό μάρτυρα (με χρήση συμβατικού λιπάσματος, PC), δύο συγκεντρώσεις frass (0,5% και 1% w/v, 0,5F και 1F) και δύο συγκεντρώσεις κοπριάς πουλερικών (2,5% και 5% w/v, 2,5PM και 5PM). Το πείραμα διεξήχθη σε γλάστρες στο ύπαιθρο και διήρκεσε 90 ημέρες. Πραγματοποιήθηκαν τακτικές μετρήσεις του δείκτη SPAD, του φωτοχημικού δείκτη ανάκλασης (PRI), του δείκτη ξηροφιλίας (LSM), καθώς και καταγραφές αναπτυξιακών χαρακτηριστικών, όπως το ύψος των φυτών, η φυλλική επιφάνεια και το νωπό βάρος του υπέργειου τμήματος. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η εφαρμογή frass, ιδιαίτερα το 1F, βελτίωσε σημαντικά την ανάπτυξη των φυτών μελιτζάνας, επηρεάζοντας θετικά το ύψος, τη φυλλική επιφάνεια και το νωπό βάρος της υπέργειας βιομάζας. Ο δείκτης SPAD που σχετίζεται με τα επίπεδα ολικών χλωροφυλλών στα φύλλα ήταν παρόμοιος ανάμεσα στις μεταχειρίσεις 1F και 5PM. Ο φωτοχημικός δείκτης PRI, που συνδέεται με τη φωτοσυνθετική απόδοση, εμφάνισε ελαφρώς αυξημένες τιμές στα φυτά που έλαβαν frass συγκριτικά με εκείνα που έλαβαν κοπριά πουλερικών. Η μεταχείριση NC εμφάνισε τις χαμηλότερες τιμές στις παραμέτρους που καταγράφηκαν για τις δύο ποικιλίες και εδάφη, ενώ το PC επίσης δεν ευνόησε την ανάπτυξη, σε σύγκριση με τα οργανικά λιπάσματα. Σε ότι αφορά τις διαφορές μεταξύ εδαφών, φάνηκε ότι το έδαφος Βελεστίνου ευνόησε περισσότερο την ανάπτυξη των φυτών και των δύο ποικιλιών, σε σύγκριση με το έδαφος Λάρισας. Η ποικιλία «Λαγκαδά» υπερίσχυσε της «Τσακωνικής» σε ύψος και συνολική ανάπτυξη, ανεξαρτήτως μεταχείρισης, υποδηλώνοντας γενετική προσαρμοστικότητα στις συγκεκριμένες συνθήκες.

Συμπερασματικά λοιπόν, τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας υποδεικνύουν ότι το frass από *Tenebrio molitor* μπορεί να αποτελέσει βιώσιμη, φιλική προς το περιβάλλον και αποτελεσματική

επιλογή λίπανσης, καλύτερη από τα συμβατικά μέσα λίπανσης, όπως φάνηκε στην καλλιέργεια και των δύο ποικιλιών της μελιτζάνας σε δύο διαφορετικά εδάφη. Ασφαλώς, απαιτείται περαιτέρω έρευνα για την αξιολόγηση της μακροπρόθεσμης επίδρασης του frass σε διαφορετικά εδαφικά περιβάλλοντα και καλλιέργειες, ώστε να βελτιστοποιηθεί η χρήση του στη γεωργία.

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Κλιματική κρίση

Η κλιματική κρίση αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες που επηρεάζουν την παγκόσμια περιβαλλοντική και κοινωνική σταθερότητα. Η κλιματική αλλαγή αποτελεί μια από τις μεγαλύτερες προκλήσεις του 21ου αιώνα, επηρεάζοντας τόσο το περιβάλλον όσο και τις κοινωνικοοικονομικές δομές παγκοσμίως (IPCC, 2021). Η κλιματική αλλαγή προκύπτει από μια σειρά ανθρωπογενών δραστηριοτήτων που καταλήγουν, μεταξύ άλλων, σε αύξηση των αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα. Η εντατικοποίηση της πρωτογενούς παραγωγής έχει σημαντικό μερίδιο ευθύνης στην επιδείνωση της κλιματικής κρίσης κυρίως λόγω των πρακτικών και των χημικών προϊόντων που χρησιμοποιούνται στη γεωργία, τα οποία οδηγούν σε αύξηση της εκπομπής αερίων του θερμοκηπίου και της υποβάθμισης του εδάφους (FAO, 2017). (Smith et al., 2014; Anderson, 2004; Brevik & Burgess, 2013).

Η υπερβολική χρήση ανόργανων λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων έχει σημαντική συνεισφορά στην αύξηση των αερίων του θερμοκηπίου. Η χρήση νιτρικών λιπασμάτων σε μεγάλες ποσότητες προκαλεί εκπομπές οξειδίων του αζώτου (N_2O), ενός αερίου που προκαλεί ισχυρότερο φαινόμενο θερμοκηπίου από το CO_2 , συνεισφέροντας στην υπερθέρμανση του πλανήτη (Smith et al., 2014; Jones et al., 2011; Robert et al., 2017). Η εφαρμογή των χημικών αυτών ουσιών χωρίς τη σωστή διαχείριση μπορεί να προκαλέσει την αποδέσμευση των αερίων αυτών τόσο από τα εδάφη όσο και από τα υδάτινα συστήματα, εντείνοντας τη ρύπανση και τη διατάραξη των οικοσυστημάτων (Brevik & Burgess, 2013; Smith et al., 2014).

Οι γεωργικές πρακτικές που βασίζονται σε μονοκαλλιέργειες έχουν επίσης αντίκτυπο στην υποβάθμιση του εδάφους και στην εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου. Η διάβρωση και η υποβάθμιση των εδαφών, κυρίως λόγω της χρήσης μη ανανεώσιμων πόρων και της κακής διαχείρισης των εδαφών, οδηγούν σε απώλεια της οργανικής ύλης του εδάφους και αυξάνουν την εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου όπως το CO_2 και το μεθάνιο (CH_4) (Balezientiene & Klimas, 2009; Lal, 2004; Brevik & Burgess, 2013). Η εντατική γεωργία χωρίς την εφαρμογή βιώσιμων πρακτικών διαχείρισης της γης καθιστά το έδαφος λιγότερο ικανό να απορροφά και να συγκρατεί τα αέρια του θερμοκηπίου, επιδεινώνοντας την κλιματική κρίση (Brevik & Burgess, 2013; Jones et al., 2011).

Η ανάγκη για εφαρμογή αιεφόρων γεωργικών πρακτικών είναι επιτακτική για την αναχαίτιση της κλιματικής αλλαγής. Η εφαρμογή τεχνικών που προάγουν τη διατήρηση και την αναγέννηση των εδαφών, όπως η καλλιέργεια φυτών που ενισχύουν τη βιοποικιλότητα και η εφαρμογή οργανικών λιπασμάτων, μπορεί να συμβάλει στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και στην αναβάθμιση των οικοσυστημάτων (Anderson, 2004; Lal, 2004).

1.2 Αειφορική γεωργία

Η αειφορική γεωργία είναι ένα σύστημα αγροτικής παραγωγής που αποσκοπεί στη διατήρηση της γονιμότητας του εδάφους, στη μείωση της χρήσης μη ανανεώσιμων πόρων και στη διατήρηση της βιοποικιλότητας, εξασφαλίζοντας παράλληλα την παραγωγή τροφίμων για τις μελλοντικές γενιές (Velten et al. 2015). Σύμφωνα με το U.S. Farm Bill του 1990, η αειφόρος γεωργία περιλαμβάνει πρακτικές που στοχεύουν στην ικανοποίηση των διατροφικών αναγκών του πληθυσμού, στη βελτίωση της ποιότητας του περιβάλλοντος, στη μεγιστοποίηση της χρήσης ανανεώσιμων πόρων, στη διατήρηση της οικονομικής βιωσιμότητας των γεωργικών εκμεταλλεύσεων και στην ενίσχυση της ποιότητας ζωής των αγροτών και των κοινοτήτων τους (Reganold et al. 1990).

Η αειφορική γεωργία βασίζεται σε ένα σύνολο πρακτικών που περιλαμβάνουν την αγροοικολογία, την οργανική γεωργία, τη συντήρηση των φυσικών πόρων και την ενσωμάτωση φυσικών κύκλων στη γεωργική παραγωγή (Francis & Porter 2011). Οι μέθοδοι αυτές περιλαμβάνουν τη μείωση της χρήσης συνθετικών λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων, τη χρήση αμειψισποράς, τη βελτίωση της ποιότητας του εδάφους μέσω οργανικών υλικών και τη διατήρηση της βιοποικιλότητας στο αγροτικό τοπίο (Pimentel & Pimentel 2008).

Η αειφορική γεωργία θεωρείται αναγκαία λόγω της αυξανόμενης πίεσης στους φυσικούς πόρους, της απώλειας εδαφικής γονιμότητας, της ρύπανσης των υδάτων και των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τη συμβατική γεωργία (Tilman et al. 2002). Η σύγχρονη γεωργία εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τα ορυκτά καύσιμα και τις μονοκαλλιέργειες, πρακτικές που οδηγούν σε περιβαλλοντική υποβάθμιση και απώλεια της βιοποικιλότητας (Montgomery 2007). Η αειφορική γεωργία προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα: α) συμβάλλει στην προστασία του περιβάλλοντος, καθώς μειώνει τη χρήση χημικών εισροών και προστατεύει τα οικοσυστήματα (Gomiero et al. 2011), β) βελτιώνει την υγεία του εδάφους, ενισχύοντας τη γονιμότητα και μειώνοντας τη διάβρωση μέσω της χρήσης οργανικής ύλης (Lal 2004), γ) διατηρεί τη βιοποικιλότητα, καθώς η πολυκαλλιέργεια και η χρήση φυσικών ελέγχων των εχθρών των φυτών συμβάλλουν στην προστασία της άγριας ζωής και των ωφέλιμων οργανισμών (Paoletti et al. 1992), δ) μειώνει την εξάρτηση από ορυκτά καύσιμα, καθώς η χρήση φυσικών μεθόδων λίπανσης και ελέγχου των παρασίτων μειώνει την ανάγκη για πετρελαιοκίνητα αγροτικά προϊόντα (Pimentel 2010). Από οικονομική άποψη, παρόλο που οι αρχικές επενδύσεις μπορεί να είναι υψηλές, η μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα των γεωργικών εκμεταλλεύσεων είναι πιο σταθερή (Reganold et al. 1990).

Παρόλα αυτά, η αειφορική γεωργία αντιμετωπίζει και ορισμένες προκλήσεις. Οι αποδόσεις των καλλιεργειών μπορεί να είναι μειωμένες σε σύγκριση με τη συμβατική γεωργία, τουλάχιστον στα πρώτα στάδια εφαρμογής (Tilman et al. 2001). Οι απαιτήσεις σε εργασία μπορεί να είναι αυξημένες,

ειδικά για πρακτικές όπως η χειρωνακτική απομάκρυνση των ζιζανίων (Reganold et al. 1990). Επιπλέον, η διαθεσιμότητα εναλλακτικών πόρων, όπως τα οργανικά λιπάσματα, μπορεί να μην επαρκεί για μεγάλες εκμεταλλεύσεις (Pimentel & Pimentel 2008).

Συνολικά λοιπόν, η συμβατική γεωργία βασίζεται σε εντατικές μεθόδους παραγωγής, όπως η εκτεταμένη χρήση συνθετικών λιπασμάτων, η μονοκαλλιέργεια και η μηχανοποίηση, προκειμένου να επιτύχει υψηλές αποδόσεις (Smil 2000). Αντίθετα, η αειφορική γεωργία στοχεύει στη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και στη διατήρηση των φυσικών πόρων μακροπρόθεσμα. Ενώ η συμβατική γεωργία παρέχει υψηλότερες αποδόσεις βραχυπρόθεσμα, συνοδεύεται από προβλήματα όπως η εδαφική διάβρωση, η ρύπανση των υδάτων και η απώλεια της βιοποικιλότητας (Montgomery 2007).

Η αειφορική γεωργία αποτελεί μια ολοκληρωμένη προσέγγιση που στοχεύει στην εξισορρόπηση των αγροτικών αναγκών με τη διατήρηση του περιβάλλοντος και της κοινωνικής ευημερίας. Αν και παρουσιάζει προκλήσεις, οι μακροπρόθεσμες ωφέλειες για τη διατήρηση των φυσικών πόρων και τη βελτίωση της υγείας του οικοσυστήματος την καθιστούν μια βιώσιμη επιλογή για το μέλλον της αγροτικής παραγωγής (Velten et al. 2015).

1.3 Οργανικά λιπάσματα

Τα οργανικά λιπάσματα είναι προϊόντα που προέρχονται από φυτικά και ζωικά υπολείμματα, καθώς και από μικροβιακές διεργασίες (Bergstrand, 2022). Σε αντίθεση με τα χημικά λιπάσματα, τα οποία περιέχουν ανόργανες μορφές θρεπτικών στοιχείων, τα οργανικά λιπάσματα περιέχουν θρεπτικά συστατικά σε οργανική μορφή, που σταδιακά διασπώνται και καθίστανται διαθέσιμα για τα φυτά (Nkoa, 2014). Τα κύρια είδη οργανικών λιπασμάτων περιλαμβάνουν την κοπριά, το κομπόστ, τα φυτικά κατάλοιπα, τη βιομάζα από φύκια και τα υποπροϊόντα παραγωγής βιοαερίου (Vaneekhaute et al., 2013).

Η χρήση οργανικών λιπασμάτων συμβάλλει στην αντιμετώπιση της κλιματικής κρίσης μέσω της μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και της δέσμευσης άνθρακα στο έδαφος (Nkoa, 2014). Ακόμη, η προσθήκη οργανικής ύλης αυξάνει την ικανότητα του εδάφους να συγκρατεί άνθρακα, μειώνοντας παράλληλα την εξάρτηση από συνθετικά λιπάσματα, η παραγωγή των οποίων απαιτεί υψηλή ενεργειακή κατανάλωση (Sharma, 2017). Η εφαρμογή οργανικών λιπασμάτων βελτιώνει τη δομή του εδάφους, αυξάνει τη συγκράτηση νερού και ενισχύει τη μικροβιακή δραστηριότητα, συμβάλλοντας στη θρέψη των φυτών (Assefa & Tadesse, 2019). Επιπλέον, προάγει την ανθεκτικότητα των καλλιεργειών σε ασθένειες και καταπόνηση από περιβαλλοντικούς παράγοντες (Bergstrand, 2022). Σε μακροχρόνια βάση, η χρήση οργανικών λιπασμάτων μειώνει τη

διάβρωση και αυξάνει τη βιοποικιλότητα του εδάφους (Bamdad et al., 2021).

Η δράση των οργανικών λιπασμάτων βασίζεται στη βιολογική αποδόμηση από μικροοργανισμούς του εδάφους, που μετατρέπουν τα οργανικά θρεπτικά στοιχεία σε ανόργανες μορφές, διαθέσιμες για τα φυτά (Bergstrand, 2022). Αυτή η διαδικασία επηρεάζεται από παράγοντες όπως η θερμοκρασία, η υγρασία και το pH του εδάφους (Bamdad et al., 2021). Ορισμένα οργανικά λιπάσματα περιέχουν επίσης ευεργετικούς μικροοργανισμούς που προάγουν την ανάπτυξη των φυτών μέσω της συμβιωτικής δέσμευσης αζώτου και της διαλυτοποίησης του φωσφόρου (Nkoa, 2014).

Τα οργανικά λιπάσματα υπερέχουν σε θέματα βιωσιμότητας και περιβαλλοντικής προστασίας, καθώς ενισχύουν τη μακροπρόθεσμη υγεία του εδάφους και μειώνουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις (Sharma, 2017). Ωστόσο, τα μειονεκτήματα περιλαμβάνουν την ευμετάβλητη θρεπτική τους σύσταση, η οποία εξαρτάται ισχυρά από την προέλευση των πρώτων υλών (Sharma, 2017). Ένα ακόμη μειονέκτημα των οργανικών λιπασμάτων είναι η βραδύτερη αποδέσμευση των θρεπτικών στοιχείων, γεγονός που απαιτεί προσεκτική διαχείριση και εφαρμογή (Nkoa, 2014). Από την άλλη, τα ανόργανα λιπάσματα παρέχουν άμεση αποδέσμευση θρεπτικών στοιχείων, γεγονός που μπορεί να αυξήσει τις αποδόσεις των καλλιεργειών σε σύντομο χρονικό διάστημα (Vaneekhaute et al., 2013). Ωστόσο, η υπερβολική χρήση τους μπορεί να οδηγήσει σε εξάντληση της οργανικής ύλης του εδάφους, αύξηση της αλατότητας και μόλυνση των υδάτων (Nkoa, 2014).

Συνεπώς, η χρήση οργανικών λιπασμάτων σε συνδυασμό με βιώσιμες γεωργικές πρακτικές αποτελεί ιδανική στρατηγική για τη διατήρηση της γονιμότητας του εδάφους και την προστασία του περιβάλλοντος.

1.4 Κοπριά

Η κοπριά αποτελεί έναν από τους αρχαιότερους και πλέον πολύτιμους φυσικούς πόρους για τη γεωργία, καθώς περιέχει θρεπτικά στοιχεία που συμβάλλουν στη βελτίωση της γονιμότητας του εδάφους και στη διατήρηση της οικολογικής ισορροπίας (Schoenau, 2006). Εδώ και αιώνες, οι αγρότες χρησιμοποιούν την κοπριά των οικόσιτων ζώων τους για να εμπλουτίσουν τα εδάφη τους με οργανική ύλη και απαραίτητα θρεπτικά συστατικά, υποκαθιστώντας έτσι τη χρήση χημικών λιπασμάτων (Leenstra et al., 2014).

Η χρήση κοπριάς έχει πολλαπλά οφέλη για το έδαφος, τις καλλιέργειες και το περιβάλλον. Αρχικά, η κοπριά βελτιώνει τη δομή του εδάφους, αυξάνοντας την περιεκτικότητα σε οργανική ύλη και ενισχύοντας την ικανότητα συγκράτησης νερού (Risse et al., 2006). Επιπλέον, αυξάνει τη μικροβιακή δραστηριότητα στο έδαφος, η οποία προάγει τη διάσπαση των οργανικών ουσιών και τη διαθεσιμότητα των θρεπτικών συστατικών για τα φυτά (Schoenau, 2006). Ένα άλλο σημαντικό

πλεονέκτημα είναι η μείωση της διάβρωσης και της απορροής του νερού, καθώς η εφαρμογή της κοπριάς στο έδαφος μπορεί να συμβάλει στη δημιουργία σταθερότερων εδαφικών δομών (Risse et al., 2006). Επιπλέον, η κοπριά βοηθά στη δέσμευση του άνθρακα στο έδαφος, μειώνοντας τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και συμβάλλοντας στη μείωση της κλιματικής αλλαγής (Leenstra et al., 2014).

Η κοπριά δρα ως φυσικό λίπασμα, απελευθερώνοντας σταδιακά τα θρεπτικά συστατικά της στο έδαφος. Περιέχει σημαντικές ποσότητες αζώτου (N), φωσφόρου (P) και καλίου (K), τα οποία είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη των φυτών (Schoenau, 2006). Τα θρεπτικά αυτά στοιχεία βρίσκονται τόσο σε οργανική όσο και σε ανόργανη μορφή, με την οργανική μορφή να απαιτεί μικροβιακή αποικοδόμηση για να καταστεί διαθέσιμη στα φυτά (Risse et al., 2006). Η σταδιακή απελευθέρωση των θρεπτικών συστατικών συμβάλλει στη διατήρηση της ισορροπίας των θρεπτικών στοιχείων στο έδαφος και μειώνει τον κίνδυνο υπερλίπανσης, κάτι που μπορεί να οδηγήσει σε ρύπανση των υπόγειων υδάτων (Schoenau, 2006). Επιπλέον, η κοπριά περιέχει μικροθρεπτικά στοιχεία, όπως ασβέστιο (Ca), μαγνήσιο (Mg), ψευδάργυρο (Zn) και χαλκό (Cu), τα οποία συμβάλλουν στην υγεία των καλλιεργειών και τη βελτίωση της γονιμότητας του εδάφους (Leenstra et al., 2014).

Υπάρχουν διάφοροι τύποι κοπριάς, ανάλογα με την προέλευσή τους. Οι πιο συνηθισμένες κατηγορίες περιλαμβάνουν: α) βοοειδών, η οποία έχει υψηλή περιεκτικότητα σε οργανική ύλη και χρησιμοποιείται κυρίως για τη βελτίωση της δομής του εδάφους (Schoenau, 2006), β) χοίρων, η οποία περιέχει σημαντικές ποσότητες αζώτου και φωσφόρου, αλλά έχει χαμηλότερη περιεκτικότητα σε οργανική ύλη σε σχέση με την κοπριά των βοοειδών (Risse et al., 2006), γ) πουλερικών, η οποία είναι πλούσια σε άζωτο και χρησιμοποιείται συχνά ως ενισχυτικό λίπασμα για καλλιέργειες με υψηλές απαιτήσεις σε άζωτο (Leenstra et al., 2014), δ) προβάτων και αιγών, η οποία έχει παρόμοια σύσταση με την κοπριά των βοοειδών, αλλά σε μικρότερες ποσότητες (Schoenau, 2006) και ε) αλόγων, η οποία περιέχει υψηλά επίπεδα ινών και είναι κατάλληλη για τη βελτίωση της δομής του εδάφους (Risse et al., 2006).

Η κοπριά αποτελεί έναν ανανεώσιμο φυσικό πόρο με σημαντικά οφέλη για τη γεωργία και το περιβάλλον. Η σωστή διαχείριση και εφαρμογή της μπορεί να αυξήσει τη γονιμότητα του εδάφους, να βελτιώσει τη δομή του και να μειώσει τις αρνητικές επιπτώσεις της γεωργικής παραγωγής στο περιβάλλον. Παρόλο που υπάρχουν προκλήσεις στη διαχείρισή της, όπως η πιθανή ρύπανση των υδάτων και η οσμή, η έρευνα και η καινοτομία μπορούν να συμβάλουν στη βελτιστοποίηση της χρήσης της (Leenstra et al., 2014; Schoenau, 2006).

1.5 Κοπριά πουλερικών - Poultry manure

Η κοπριά κοτόπουλου αποτελεί έναν από τους πιο διαδεδομένους οργανικούς λιπασματικούς

πόρους στη γεωργία, καθώς είναι πλούσια σε θρεπτικά συστατικά, όπως άζωτο (N), φώσφορο (P) και κάλιο (K), τα οποία είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη των φυτών (Mohamed Amanullah et al., 2007). Περιέχει επίσης μικροθρεπτικά στοιχεία όπως ασβέστιο (Ca), μαγνήσιο (Mg) και θείο (S), τα οποία συμβάλλουν στη συνολική βελτίωση της υγείας των φυτών (Mullins et al., 2002). Η σύστασή της ποικίλει ανάλογα με τη διατροφή των πτηνών, τον τρόπο εκτροφής και τις συνθήκες αποθήκευσης (Awasthi et al., 2019).

Η χρήση της στην καλλιέργεια μπορεί να βελτιώσει τη γονιμότητα του εδάφους, καθώς συμβάλλει στην αύξηση της οργανικής ουσίας και της μικροβιακής δραστηριότητας (Agbede et al., 2017). Επιπλέον, η κοπριά κοτόπουλου μπορεί να αυξήσει την απορρόφηση νερού και να μειώσει τη συμπίεση του εδάφους, γεγονός που διευκολύνει την ανάπτυξη των ριζών (Weil & Kroontje, 1979). Σε πειράματα που διεξήχθησαν σε καλλιέργειες καλαμποκιού (*Zea mays* L.), η συνδυασμένη χρήση κοπριάς κοτόπουλου και ουρίας οδήγησε σε σημαντική αύξηση της απόδοσης, σε σύγκριση με την αποκλειστική χρήση χημικών λιπασμάτων (Khaliq et al., 2004). Επιπλέον, η εφαρμογή κοπριάς κοτόπουλου σε καρότα (*Daucus carota* L.) βελτίωσε τις φυσικές ιδιότητες του εδάφους και αύξησε σημαντικά την παραγωγικότητα των φυτών (Agbede et al., 2017).

Παρά τα οφέλη της, η κοπριά κοτόπουλου ενέχει και ορισμένους κινδύνους. Η υπερβολική εφαρμογή της μπορεί να οδηγήσει σε ρύπανση των υδάτων λόγω της έκπλυσης νιτρικών ιόντων (NO_3^-) και φωσφορικών (PO_4^-) (Drózd et al., 2020). Επιπλέον, η κοπριά συχνά περιέχει κατάλοιπα αντιβιοτικών και παθογόνους μικροοργανισμούς, οι οποίοι μπορεί να επηρεάσουν την ασφάλεια των τροφίμων και τη δημόσια υγεία (Awasthi et al., 2019). Επίσης, η ακατέργαστη κοπριά έχει υψηλή περιεκτικότητα σε αμμωνία, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε απώλειες αζώτου λόγω εξάτμισης (Wolf et al., 1988).

Οι μέθοδοι διαχείρισης της κοπριάς, όπως η κομποστοποίηση και η αναερόβια χώνευση, μπορούν να μειώσουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και να ενισχύσουν την αποδοτικότητα των θρεπτικών στοιχείων (Sweeten, 1980; Kirchmann & Witter, 1989). Η παραγωγή βιοάνθρακα μέσω της πυρόλυσης αποτελεί επίσης μια εναλλακτική στρατηγική για την αξιοποίηση της κοπριάς κοτόπουλου, καθώς μπορεί να συμβάλει στη δέσμευση άνθρακα και στη βελτίωση των ιδιοτήτων του εδάφους (Drózd et al., 2020). Επιπλέον, η χρήση της σε βιοδιωλίστριά κοπριάς πτηνών έχει προταθεί ως ένας καινοτόμος τρόπος διαχείρισης, επιτρέποντας την ανάκτηση θρεπτικών συστατικών και την παραγωγή ενέργειας (Awasthi et al., 2019).

Συνεπώς, η κοπριά κοτόπουλου αποτελεί έναν πολύτιμο πόρο για τη γεωργία, προσφέροντας σημαντικά πλεονεκτήματα ως λίπασμα, αλλά απαιτείται προσεκτική διαχείριση για την ελαχιστοποίηση των πιθανών κινδύνων. Η εφαρμογή σύγχρονων τεχνολογιών διαχείρισης μπορεί να ενισχύσει τη βιώσιμη αξιοποίησή της, συμβάλλοντας στην κυκλική οικονομία και στη μείωση των

περιβαλλοντικών επιπτώσεων (Awasthi et al., 2019).

1.6 Αποχωρήματα εντόμων (Insect frass)

Το frass είναι προϊόν που προκύπτει από την εκτροφή εντόμων (Houben et al., 2020). Αποτελείται κυρίως από τα περιττώματα των προνυμφών, υπολείμματα τροφών και εκδύσεις από τη διαδικασία ανάπτυξης των εντόμων (Yudistira et al., 2025). Το frass θεωρείται ένα εξαιρετικά πολύτιμο οργανικό λίπασμα, χάρη στην πλούσια σύστασή του σε θρεπτικά συστατικά και ευεργετικούς μικροοργανισμούς (Klammsteiner et al., 2020).

Η αυξανόμενη ανάγκη για βιώσιμες γεωργικές πρακτικές και η μείωση της εξάρτησης από συνθετικά λιπάσματα έχουν στρέψει το ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας προς το frass ως μία πολλά υποσχόμενη λύση (Lomonaco et al., 2024). Η εφαρμογή του στο έδαφος συμβάλλει ουσιαστικά στη βελτίωση της γονιμότητας, καθώς εμπλουτίζει το εδαφικό περιβάλλον με απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία, ενισχύοντας τη διαθεσιμότητα των μακρο- και μικροθρεπτικών συστατικών και βελτιώνοντας τη συνολική δομή του εδάφους, γεγονός που το καθιστά πιο ευνοϊκό για την ανάπτυξη των καλλιεργειών (Menino et al., 2021). Συγκεκριμένα, το frass περιέχει οργανική ύλη υψηλής ποιότητας, άζωτο (N), φώσφορο (P), κάλιο (K), καθώς και ιχνοστοιχεία όπως μαγνήσιο, ασβέστιο και σίδηρο (Kawasaki et al., 2020). Επίσης, είναι πλούσιο σε χιτίνη, μια φυσική ουσία που ενισχύει την ανθεκτικότητα των φυτών απέναντι σε παθογόνους οργανισμούς (Fuertes-Mendizábal et al., 2023). Πρόκειται για ένα βιοπολυμερές που συμβάλλει στην ανάπτυξη ισχυρού ριζικού συστήματος και αυξάνει την ανθεκτικότητα των φυτών έναντι παθογόνων μικροοργανισμών, ασθενειών και επιβλαβών εντόμων (Radzikowska-Kujawska et al., 2023). Το frass περιέχει και άλλες ενώσεις που προάγουν την υγεία των φυτών, όπως φυτοορμόνες και βιοδραστικές ουσίες, οι οποίες μπορούν να ενισχύσουν την ανάπτυξη και την ανθεκτικότητα των καλλιεργειών σε συνθήκες καταπόνησης (Beesigamukama et al., 2022).

Η χρήση του frass ως οργανικό λίπασμα δεν περιορίζεται μόνο στη θρέψη των φυτών, αλλά επηρεάζει θετικά και τις φυσικοχημικές ιδιότητες του εδάφους, όπως η αύξηση της μικροβιακής δραστηριότητας και η βελτίωση της δομής του εδάφους (Gärttling and Schulz, 2022). Σε ότι αφορά τη μικροβιακή δραστηριότητα του εδάφους, έχει αποδειχθεί ότι περιέχει ευνοϊκούς μικροοργανισμούς που υποστηρίζουν και ενισχύουν τη μικροβιακή ποικιλότητα. Αυτή η ιδιότητα συμβάλλει στη δημιουργία μιας ισορροπημένης και υγιούς εδαφικής μικροβιακής κοινότητας, η οποία αποτελεί βασικό παράγοντα για τη βιωσιμότητα και τη μακροπρόθεσμη υγεία των καλλιεργειών (Gebremikael et al., 2022).

Η παραγωγή του frass σε πολλές επιστημονικές εργασίες φαίνεται να συνδέεται με τη

διαδικασία ανακύκλωσης βιοαποβλήτων (Lopes et al., 2022). Έχουν δοκιμαστεί διάφορα υποστρώματα εκτροφής εντόμων, όπου τα έντομα μετατρέπουν οργανικά απόβλητα σε ένα υποπροϊόν πλούσιο σε θρεπτικά συστατικά και οργανική ύλη (frass), συμβάλλοντας έτσι στην κυκλική οικονομία και στη μείωση των αποβλήτων (Schmitt and de Vries, 2020).

Επιπλέον, η χρήση του frass ως φυσικού λιπάσματος συμβάλλει καθοριστικά στη μείωση της εξάρτησης από χημικά λιπάσματα, καθώς προσφέρει μία περιβαλλοντικά φιλική εναλλακτική λύση που περιορίζει την ανάγκη για συνθετικά προϊόντα. Ως εκ τούτου, συντελεί στη μείωση της περιβαλλοντικής ρύπανσης και προάγει τη βιώσιμη γεωργική πρακτική, ενισχύοντας τη διατήρηση της οικολογικής ισορροπίας και την προστασία των φυσικών πόρων (Anyega et al., 2021).

Συνολικά, το frass αναδεικνύεται ως μία ιδιαίτερα υποσχόμενη λύση στον τομέα της γεωργίας, προσφέροντας πολλαπλά οφέλη που συνδέονται με τη γονιμότητα του εδάφους, την ανάπτυξη των φυτών, τη βελτίωση της μικροβιακής δραστηριότητας και τη μείωση της χρήσης χημικών σκευασμάτων. Το frass έχει αρχίσει να χρησιμοποιείται στη βιολογική γεωργία, σε θερμοκήπια, καθώς και στην καλλιέργεια λαχανικών, σιτηρών και οπωροφόρων δέντρων (Agustiyani et al., 2021). Μπορεί να εφαρμοστεί απευθείας στο έδαφος ή να ενσωματωθεί σε κομπόστ για πρόσθετη θρέψη (Abiya et al., 2022).

1.7 Μελιτζάνα

Η μελιτζάνα (*Solanum melongena* L.) είναι ένα πολυετές φυτό της οικογένειας Solanaceae, το οποίο καλλιεργείται κυρίως ως ετήσιο λαχανικό (Noda et al., 2000). Κατάγεται από τη Νότια Ασία, κυρίως την Ινδία και την Κίνα, και σήμερα καλλιεργείται παγκοσμίως σε τροπικές, υποτροπικές και εύκρατες περιοχές (Sekara et al., 2007). Η μελιτζάνα παρουσιάζει μεγάλη ποικιλομορφία σε σχήμα, μέγεθος και χρώμα, με τις πιο διαδεδομένες ποικιλίες να έχουν μωβ, λευκό ή πράσινο χρώμα (Matsuzoe et al., 1999).

Η καλλιέργεια της μελιτζάνας παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα τόσο από γεωργική όσο και από οικονομική άποψη (Dias, 2011). Είναι ένα φυτό προσαρμοστικό σε διάφορα περιβάλλοντα και εδάφη, ενώ έχει υψηλή παραγωγικότητα (Caguiat and Hautea, 2014). Επιπλέον, η ζήτηση για μελιτζάνες αυξάνεται συνεχώς λόγω της διατροφικής τους αξίας και των ευεργετικών ιδιοτήτων τους στην υγεία (Bhaskar and Ramesh Kumar, 2015). Η μελιτζάνα αποτελεί μία εξαιρετική πηγή φυτικών ινών, βιταμινών και ανόργανων στοιχείων, συνεισφέροντας σημαντικά στη θρεπτική αξία της διατροφής. Οι κυριότερες βιταμίνες που περιέχει είναι η βιταμίνη C, η B1, η B6 και το φυλλικό οξύ, ενώ στα ανόργανα στοιχεία περιλαμβάνονται το κάλιο, το μαγνήσιο και το ασβέστιο (Matsuzoe et al., 1999).

Σύμφωνα με επιστημονικές μελέτες, η διατροφική της σύσταση διαφοροποιείται αναλόγως της ποικιλίας και των συνθηκών καλλιέργειας (Cao et al., 1996). Οι βασικές παράμετροι της σύνθεσής της καταδεικνύουν ότι η περιεκτικότητα σε υγρασία κυμαίνεται μεταξύ 91,39% και 94,87% (Chong, 2005), ενώ η συγκέντρωση πρωτεϊνών κυμαίνεται από 0,85% έως 1,54% (Whitaker and Stommel, 2003). Επιπροσθέτως, η περιεκτικότητα σε λιπαρά είναι εξαιρετικά χαμηλή, κυμαινόμενη από 0,02% έως 0,4% (Noda et al., 2000), ενώ οι υδατάνθρακες αποτελούν το 4,27% έως 6,63% της συνολικής σύστασής της (Cory et al., 2018). Η ενεργειακή της απόδοση εκτιμάται μεταξύ 19,59 και 32,1 Kcal (Kamga et al., 2013), ενώ αποτελεί αξιόλογη πηγή ασκορβικού οξέος (βιταμίνη C), με περιεκτικότητα που κυμαίνεται από 6,57 mg έως 17,21 mg ανά 100 γραμμάρια προϊόντος (Afshari et al., 2016). Επιπλέον, η συγκέντρωση ανθοκυανινών, οι οποίες συνιστούν σημαντικές αντιοξειδωτικές ενώσεις, ανέρχεται σε επίπεδα που κυμαίνονται από 6,31 mg έως 78,51 mg C3GE ανά 100 γραμμάρια (Casati et al., 2016).

Η κατανάλωση μελιτζάνας συνοδεύεται από πληθώρα ευεργετικών ιδιοτήτων για την ανθρώπινη υγεία. Οι ισχυρές αντιοξειδωτικές της δράσεις αποδίδονται στις ανθοκυανίνες και τις πολυφαινόλες, οι οποίες συμβάλλουν στην εξουδετέρωση των ελεύθερων ριζών και παρέχουν προστασία έναντι του οξειδωτικού στρες, διαδραματίζοντας κρίσιμο ρόλο στην κυτταρική ομοιόσταση (Nishimura et al., 2019). Παράλληλα, οι φυτικές ίνες και οι φαινολικές ενώσεις που περιέχει συμμετέχουν ενεργά στη ρύθμιση των επιπέδων γλυκόζης στο αίμα, καθιστώντας την ιδιαίτερα ωφέλιμη για άτομα που πάσχουν από σακχαρώδη διαβήτη τύπου 2 (Yamaguchi et al., 2019). Η συμβολή της στην υποστήριξη του καρδιαγγειακού συστήματος είναι επίσης αξιοσημείωτη, καθώς η κατανάλωσή της συνδέεται με μείωση της LDL χοληστερόλης (χαρακτηριζόμενης ως «κακής» χοληστερόλης) και με βελτίωση της αγγειακής λειτουργίας, συμβάλλοντας κατ' επέκταση στη μείωση του καρδιαγγειακού κινδύνου (Cory et al., 2018). Επιστημονικά δεδομένα υποδεικνύουν την ύπαρξη αντικαρκινικών ιδιοτήτων, καθώς ορισμένα βιοδραστικά συστατικά της, όπως η σολασοδίνη, έχουν αποδειχθεί ότι συμβάλλουν στην αναστολή της ανάπτυξης καρκινικών κυττάρων, γεγονός που καθιστά τη μελιτζάνα αντικείμενο αυξημένου επιστημονικού ενδιαφέροντος στον τομέα της ογκολογικής έρευνας (Shen et al., 2017).

Η μελιτζάνα απαιτεί θερμές και ηλιόλουστες συνθήκες για να αναπτυχθεί σωστά (Sekara et al., 2007). Ευδοκίμει σε εδάφη πλούσια σε οργανική ύλη, με καλή αποστράγγιση και ουδέτερο έως ελαφρώς όξινο pH (Fraikue, 2016). Είναι σημαντικό να διατηρούνται σταθερά επίπεδα υγρασίας στο έδαφος, καθώς η μελιτζάνα είναι απαιτητική σε νερό (Caguiat and Hautea, 2014).

Οι καλλιεργητές υιοθετούν ποικίλες στρατηγικές με σκοπό τη βελτιστοποίηση της αγροτικής παραγωγής, αξιοποιώντας τεχνικές που ενισχύουν τόσο την αποδοτικότητα όσο και τη βιωσιμότητα των καλλιεργειών. Συγκεκριμένα, η χρήση οργανικών λιπασμάτων και βιολογικών μεθόδων

προστασίας από παράσιτα συμβάλλει στη μείωση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης και στη διατήρηση της οικολογικής ισορροπίας (Murray, 2004). Παράλληλα, η εφαρμογή τεχνικών αμειψισποράς αποτελεί μια κρίσιμη πρακτική για τη διατήρηση της γονιμότητας και της υγείας του εδάφους, περιορίζοντας την εξάντληση των θρεπτικών συστατικών και τον κίνδυνο εμφάνισης φυτοπαθειών (Mak, 2013). Επιπροσθέτως, η αξιοποίηση θερμοκηπίων παρέχει τη δυνατότητα επιμήκυνσης της καλλιεργητικής περιόδου, ενώ παράλληλα διασφαλίζει την προστασία των καλλιεργειών από ακραίες καιρικές συνθήκες, συμβάλλοντας έτσι στη διατήρηση της σταθερότητας της παραγωγής (Im et al., 2016).

Η μελιτζάνα αποτελεί μια σημαντική καλλιέργεια με πολλαπλά οφέλη τόσο για τους παραγωγούς όσο και για τους καταναλωτές (Dias, 2011). Παράλληλα, η προσαρμοστικότητά της σε διάφορα περιβάλλοντα και οι σύγχρονες μέθοδοι καλλιέργειας συμβάλλουν στην αύξηση της παραγωγής και της οικονομικής της σημασίας στη γεωργία (Chong, 2005).

1.8 Σκοπός εργασίας

Η παρούσα εργασία εξετάζει την επίδραση του frass, που προέρχεται από τον αλευροσκώληκα (*Tenebrio molitor*), σε αναπτυξιακά και φυσιολογικά χαρακτηριστικά δύο τοπικών ποικιλιών μελιτζάνας, τη Λαγκαδά και την Τσακωνίκη, αναπτυγμένες σε δύο τύπους εδαφών (αμμώδες και μέσης σύστασης). Η μελέτη έχει ως στόχο την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας του frass ως εναλλακτική μορφή οργανικής λίπανσης. Παράλληλα, η εργασία στοχεύει στο να συμβάλει στην επιστημονική έρευνα σχετικά με τις εφαρμογές του frass στη γεωργία, ιδιαίτερα σε καλλιέργειες που δεν έχουν μέχρι σήμερα μελετηθεί εκτενώς ως προς τα οφέλη αυτού του τύπου οργανικής λίπανσης. Αποτελεί δε ένα πρώτο βήμα προς αυτή την κατεύθυνση, καθώς αφορά πείραμα σε γλάστρες.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Σχεδιασμός πειράματος

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε στη Σχολή Γεωπονικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, στο Τμήμα Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, από τον Απρίλιο 2024 έως τις αρχές Αυγούστου 2024. Τα φυτά καλλιεργήθηκαν στον εξωτερικό χώρο της σχολής, όπου η μόνη ρυθμιζόμενη περιβαλλοντική παράμετρος ήταν η άρδευση.

Χρησιμοποιήθηκαν δύο τύποι εδάφους από τα οποία το ένα συλλέχθηκε από το Αγρόκτημα του Πανεπιστημίου στο Βελεστίνο και θεωρείται έδαφος μέσης σύστασης με pH 8 και το άλλο συλλέχθηκε από την περιοχή της Λάρισας και είναι αμμώδες. Σε γλάστρες των 12 L φυτεύτηκαν δύο τοπικές ποικιλίες μελιτζάνας, η Λαγκαδά και η Τσακωνική.

Για την πραγματοποίηση του πειράματος αναμείχθηκαν έδαφος και περλίτης σε αναλογία 2:1. Οι μεταχειρίσεις του πειράματος ήταν 6 με 10 επαναλήψεις (γλάστρες) η κάθε μία. Αναλυτικότερα οι μεταχειρίσεις είχαν ως εξής:

1. Αρνητικός μάρτυρας (negative control, NC). Η μεταχείριση αυτή περιείχε μόνο έδαφος και περλίτη.
2. Θετικός μάρτυρας (positive control, PC), ο οποίος περιείχε έδαφος, περλίτη και 3g από συμβατικό ανόργανο λίπασμα 12-12-17.
3. Frass 0.5% w/v (0,5F). Προστέθηκαν και αναμείχθηκαν 40g σε κάθε γλάστρα.
4. Frass 1% w/v (1F). Προστέθηκαν και αναμείχθηκαν 80g σε κάθε γλάστρα.
5. Κοπριά κοτόπουλων (PM) 2,5%. Προστέθηκαν και αναμείχθηκαν 200g σε κάθε γλάστρα.
6. Κοπριά κοτόπουλων (PM) 5%. Προστέθηκαν και αναμείχθηκαν 400g σε κάθε γλάστρα.

Το frass των προνυμφών του εντόμου *Tenebrio molitor* προέκυψε από εκτροφές του Εργαστηρίου Εντομολογίας και Γεωργικής Ζωολογίας του Τμήματος, ενώ η κοπριά κοτόπουλων αγοράστηκε από το εμπόριο.

Από τα παραπάνω προέκυψε η τελική μορφή των μεταχειρίσεων αποτελούμενη από 240 γλάστρες συνολικά (2 ποικιλίες * 2 εδάφη * 6 μεταχειρίσεις * 10 γλάστρες).



Εικόνα 1 : Εικόνα όλων των φυτών στα αρχικά στάδια του πειράματος.

2.2 Πειραματική διαδικασία και παρατηρήσεις

Η ανάμειξη των εδαφών με περλίτη και η τοποθέτηση του μείγματος στις γλάστρες πραγματοποιήθηκε στις 29/04/24 για το έδαφος από τη Λάρισα και στις 30/04/24 για το έδαφος από το Βελεστίνο. Στις 01/05/24 εφόσον οι γλάστρες περιείχαν το μείγμα εδάφους – περλίτη, εφαρμόστηκαν οι προσθήκες υλικών θρέψης (frass, PM, 12-12-17) και έγινε ενσωμάτωση αυτών στις γλάστρες. Την ίδια μέρα επίσης εγκαταστάθηκε το αυτόματο σύστημα άρδευσης με λάστιχα στις γλάστρες και ρυθμίστηκε έτσι ώστε τα φυτά να ποτίζονται για 15min ανά 2 μέρες. Στις 02/05/24 φυτεύτηκαν όλα φυτά – ημέρα που ορίστηκε ως Day 1 και για τις δύο ποικιλίες.

Στις 29/05/24 (Day 27) τα φυτά ψεκάστηκαν με διασυστηματικό εντομοκτόνο Flupyradifurone 20% β/ο για μυζητικά έντομα. Στις 10/06/24 (Day 30) το σύστημα άρδευσης ρυθμίστηκε έτσι ώστε τα φυτά να ποτίζονται για 15min κάθε μέρα. Την ίδια μέρα παρατηρήθηκε η έναρξη της ανθοφορίας στα φυτά και μια μικρή διαφορά στην ανάπτυξη τους. Ζυγίστηκαν τα απαραίτητα συνολικά γραμμάρια ώστε να εφαρμοστούν των μεταχειρίσεων. Ακολούθησε 2^η εφαρμογή λιπάσματος στο PC (0,5g νιτρικής αμμωνίας 34,5-0-0 σε κάθε γλάστρα) στις 11/06/24 και 2^η εφαρμογή του frass (40g ανά γλάστρα στο 0,5F και 80g στο 1F) στις 12/06/24.

Στις 01/07/24 συγκομίστηκαν μαζικά για πρώτη φορά μελιτζάνες κυρίως από την ποικιλία Τσακόνικη, ενώ η τελική συγκομιδή των καρπών και για τις δύο ποικιλίες πραγματοποιήθηκε στις 30/07/24 – ημερομηνία λήξης του πειράματος.



Εικόνα 2 : Εικόνα των φυτών της ποικιλίας Τσακόνικη.



Εικόνα 3: Τα φυτά κατά τα τελευταία στάδια του πειράματος.



Εικόνα 4: Καρπός της ποικιλίας Λαγκαδά.

2.3 Μετρήσεις

2.3.1 Δείκτης SPAD

Το περιεχόμενο των φύλλων σε ολικές χλωροφύλλες (a+b) στα φύλλα καταγράφηκε μέσω του δείκτη SPAD, χρησιμοποιώντας το φορητό χλωροφυλλόμετρο SpadPlus 502 της Minolta. Η πρώτη μέτρηση πραγματοποιήθηκε στις 28/05/24 για όλα τα φυτά και η μέτρηση επαναλήφθηκε άλλες δύο φορές στις 25/06/24 και στις 24/07/24. Σε κάθε ημερομηνία καταγράφονταν ο δείκτης SPAD σε ένα φύλλο ανά φυτό σε 10 φυτά ανά μεταχείριση.

2.3.2 PRI

Ο Φωτοχημικός Δείκτης Ανάκλασης (Photochemical Reflectance Index, PRI) μετρήθηκε μη καταστροφικά με το όργανο FluorPen (FluorPen FP 110/S, PSI, Brno, Czech Republic). Το PRI βασίζεται στη μέτρηση της ανακλαστικότητας του φύλλου στα 531 nm και 570 nm. Πραγματοποιήθηκαν 3 μετρήσεις σε όλα τα φυτά, στις 28/5, 25/6 και 24/7, σε ένα φύλλο ανά φυτό και 10 φυτά ανά μεταχείριση.

2.3.3 Δείκτης ξηροφιλίας (LSM)

Για τον προσδιορισμό του δείκτη ξηροφιλίας (LSM, *Leaf Specific Mass*), επιλέχθηκε ένα φύλλο από πέντε φυτά ανά μεταχείριση σε κάθε τύπο εδάφους. Στη συνέχεια, αφαιρέθηκαν από κάθε φύλλο δύο δίσκοι επιφάνειας 0,785 cm² με τη χρήση φυλλοτρυπητήρα. Οι δίσκοι τοποθετήθηκαν σε φούρνο για αποξήρανση στους 70°C για διάστημα μίας ημέρας και, ακολούθως, ζυγίστηκαν σε ζυγαριά ακριβείας. Ο δείκτης LSM υπολογίστηκε βάσει του τύπου: ξηρή βιομάζα προς επιφάνεια, με μονάδες έκφρασης g/dm². Συνολικά πραγματοποιήθηκαν δυο μετρήσεις, η μια στις 30/05/24 και η επόμενη στις 04/07/24.

2.3.4 Ύψος

Συνολικά πραγματοποιήθηκαν τρεις μετρήσεις του ύψους των φυτών διαδοχικά, με την πρώτη στις 28/05/24, τη δεύτερη στις 25/06/24 και την τελευταία στις 24/07/24. Οι μετρήσεις αφορούσαν όλα τα φυτά κάθε μεταχείρισης και στους δύο τύπους εδαφών.

2.3.5 Φυλλική επιφάνεια

Για την καταγραφή της προβαλλόμενης φυλλικής επιφάνειας των φυτών, πραγματοποιήθηκε φωτογράφιση όλων των δειγμάτων από κατοπτρική οπτική γωνία, δηλαδή κάθετα από πάνω. Η διαδικασία λήψης των φωτογραφιών έγινε με σταθεροποίηση του ύψους της κάμερας, ώστε το σημείο λήψης να παραμένει αμετάβλητο για κάθε φυτό. Η τυποποίηση αυτή εξασφάλισε την ακρίβεια και τη

σύγκριση των μετρήσεων της φυλλικής επιφάνειας μεταξύ των διαφορετικών φυτών. Οι φωτογραφίες λήφθηκαν στις 12/06/24 και στη συνέχεια δέχτηκαν επεξεργασία μέσω του λογισμικού ImageJ το οποίο είναι κατάλληλο για τη μέτρηση της προβαλλόμενης φυλλικής επιφάνειας των φυτών.

2.3.6 Νωπό βάρος

Με το πέρας του πειράματος, τα φυτά συλλέχθηκαν και τοποθετήθηκαν σε χάρτινα σακουλάκια το καθένα ξεχωριστά και ζυγίστηκε το νωπό βάρος του υπέργειου μέρους τους σε ζυγαριά ακριβείας.

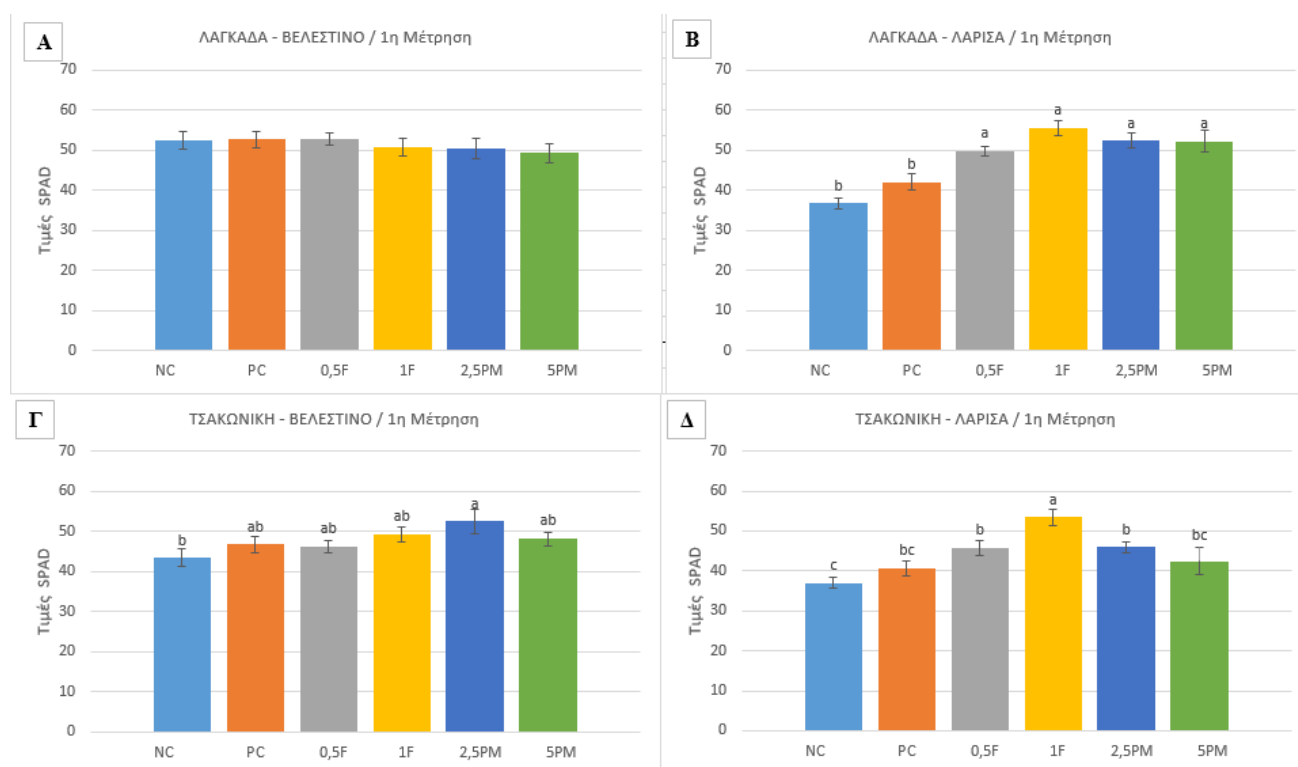
2.3.7 Στατιστική Ανάλυση

Τα πειραματικά δεδομένα αναλύθηκαν στατιστικά μέσω μονοπαραγοντικής ανάλυσης διακύμανσης (one-way ANOVA), προκειμένου να συγκριθούν οι διάφορες μεταχειρίσεις ανά ποικιλία και τύπο εδάφους. Οι διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων αξιολογήθηκαν με τη χρήση του Tukey post-hoc test. Σε περιπτώσεις όπου δεν πληρούνταν οι προϋποθέσεις για την εφαρμογή της ANOVA, πραγματοποιήθηκε μη παραμετρική ανάλυση με το τεστ Kruskal-Wallis, ακολουθούμενη από το post-hoc τεστ Dunn. Το επίπεδο σημαντικότητας καθορίστηκε στο $p \leq 0.05$ για όλες τις στατιστικές αναλύσεις.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Ακολουθούν τα αποτελέσματα του πειράματος για τις διάφορες μεταχειρίσεις στις δύο ποικιλίες και στα δύο εδάφη. Με γαλάζιο χρώμα απεικονίζεται η μεταχείριση NC, με πορτοκαλί η PC, με γκρι η 0,5F και με κίτρινο η 1F, με μπλε η 2,5PM και με πράσινο χρώμα η μεταχείριση 5PM.

3.1 Δείκτης SPAD

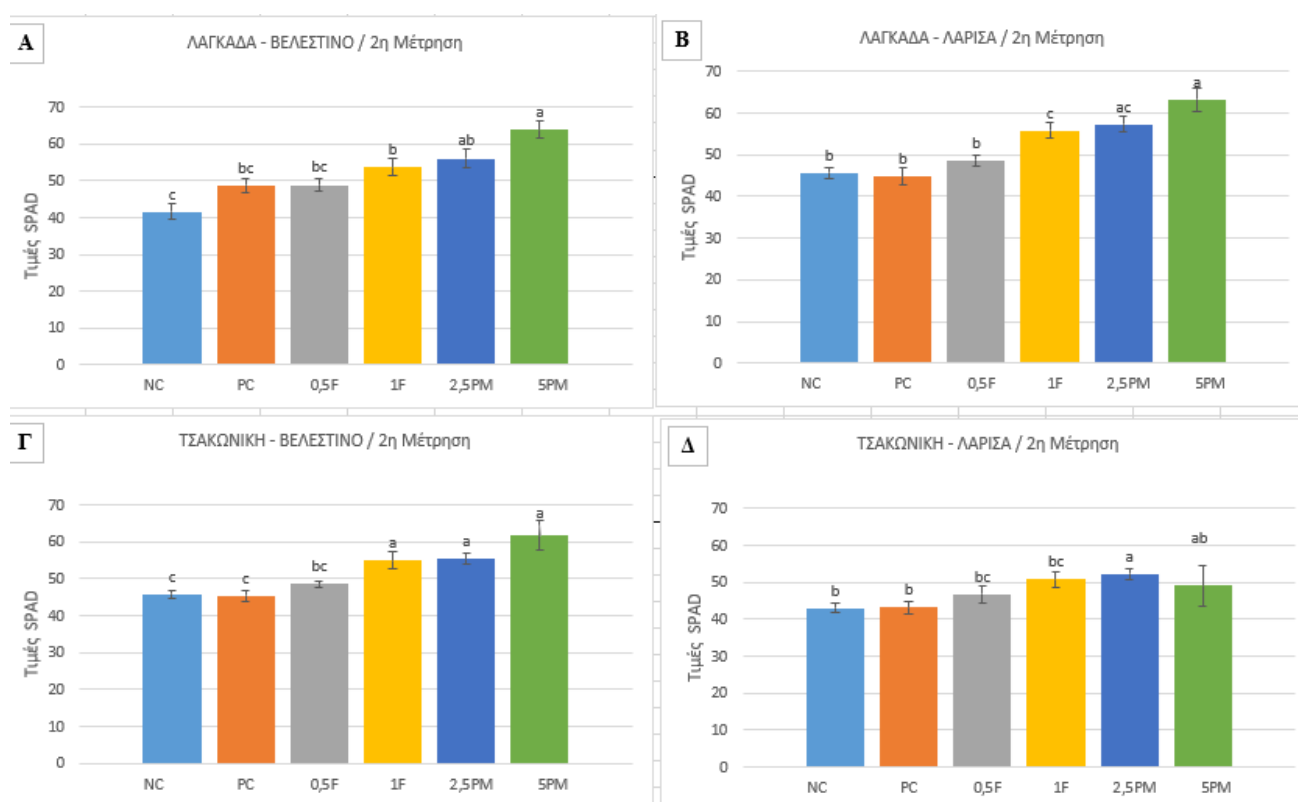


Γράφημα 1: Δείκτης SPAD σε φύλλα και των δυο ποικιλιών στο έδαφος Βελεστίνου και στο έδαφος Λάρισας, κατά την 1^η μέτρηση (28/05/24): Το (Α) αφορά τις τιμές των φύλλων της ποικιλίας Λαγκαδά στο έδαφος Βελεστίνου, το (Β) της ποικιλίας Λαγκαδά στο έδαφος Λάρισας, το (Γ) της ποικιλίας Τσακωνική στο έδαφος Βελεστίνου και το (Δ) της ποικιλίας Τσακωνική στο έδαφος Λάρισας. Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικές σημαντικές διαφορές μεταξύ μεταχειρίσεων ($p \leq 0.05$), ενώ η απουσία σημάτων στατιστικής (Α) υποδηλώνει μη σημαντικές διαφορές.

Στο γράφημα 1 απεικονίζονται οι τιμές του δείκτη SPAD, ο οποίος σχετίζεται με τα επίπεδα των συνολικών χλωροφυλλών στα φύλλα. Παρατηρείται πως για την ποικιλία ΛΑΓΚΑΔΑ στο έδαφος Βελεστίνου όλες οι μεταχειρίσεις έχουν παρόμοιες τιμές χωρίς στατιστικά σημαντικές διαφορές, ενώ για την ίδια ποικιλία στο έδαφος Λάρισας οι μεταχειρίσεις 0,5F, 1F, 2,5PM και 5PM βελτίωσαν

σημαντικά τις μετρήσεις του δείκτη - με την μεταχείριση 1F να έχει τις μεγαλύτερες τιμές - καθώς ο αρνητικός και θετικός μάρτυρας έχουν τις χαμηλότερες τιμές.

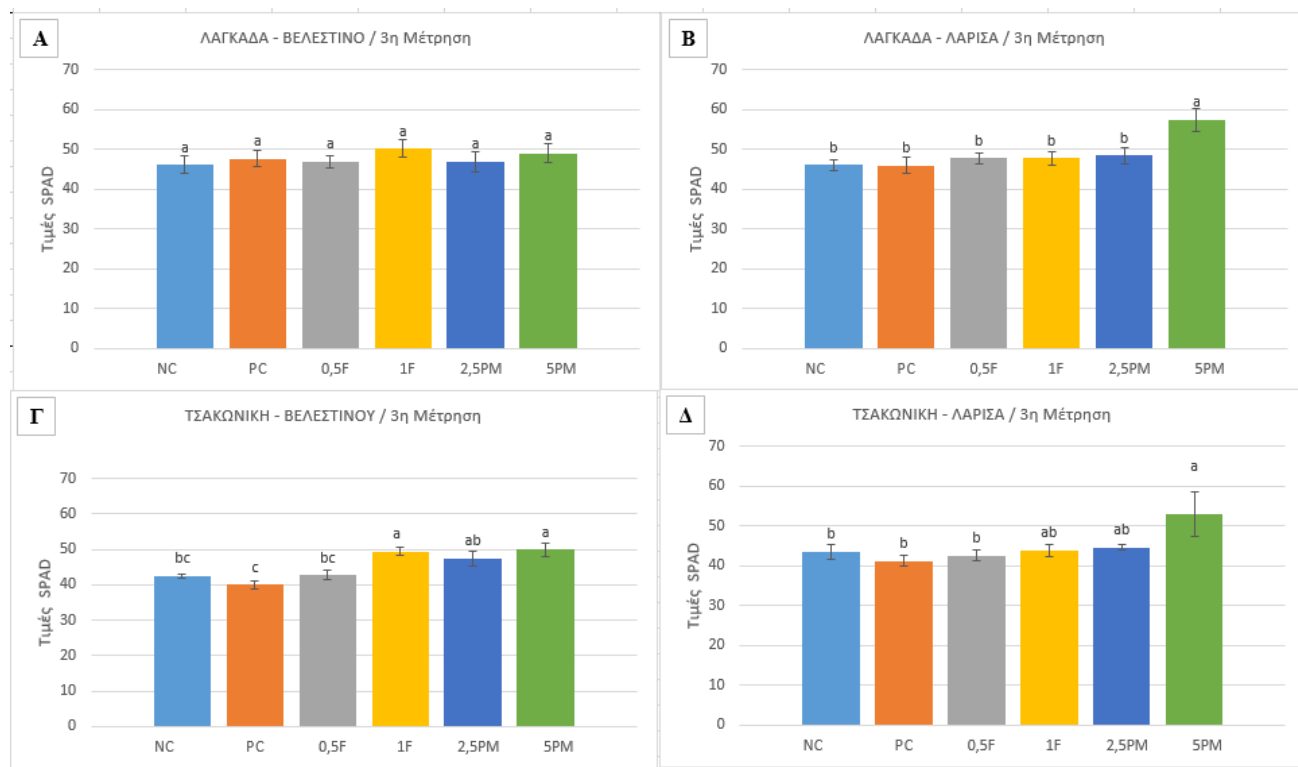
Όσον αφορά στην ποικιλία ΤΣΑΚΩΝΙΚΗ τα NC εξακολουθούν να διατηρούν χαμηλές τιμές και στα δυο εδάφη. Εντούτοις, στο έδαφος Βελεστίνου η μεταχείριση 2,5PM έχει την υψηλότερη τιμή αλλά δεν διαφέρει από τις υπόλοιπες εκτός NC. Αντίθετα, στο έδαφος Λάρισας η μεταχείριση 1F έχει την υψηλότερη τιμή και υπερέρχει στατιστικώς σημαντικά από όλες τις υπόλοιπες.



Γράφημα 2: Δείκτης SPAD σε φύλλα και των δυο ποικιλιών στο έδαφος Βελεστίνου και στο έδαφος Λάρισας, κατά την 2^η μέτρηση (25/06/24): Το (Α) αφορά τις τιμές των φύλλων της ποικιλίας Λαγκαδά στο έδαφος Βελεστίνου, το (Β) της ποικιλίας Λαγκαδά στο έδαφος Λάρισας, το (Γ) της ποικιλίας Τσακωνική στο έδαφος Βελεστίνου και το (Δ) της ποικιλίας Τσακωνική στο έδαφος Λάρισας. Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ μεταχειρίσεων ($p \leq 0.05$).

Στο γράφημα 2 παρατηρείται για την ποικιλία ΛΑΓΚΑΔΑ και στους δυο τύπους εδάφους πως τις υψηλότερες τιμές έχει η μεταχείριση 5PM, όμως δεν διαφέρει σημαντικά από την 2,5PM, αλλά διαφέρει από τις μεταχειρίσεις με το frass. Τις χαμηλότερες τιμές έχουν ο αρνητικός και ο θετικός μάρτυρας. Όσον αφορά στην ποικιλία ΤΣΑΚΩΝΙΚΗ οι μεταχειρίσεις 2,5PM και 5PM έχουν τις

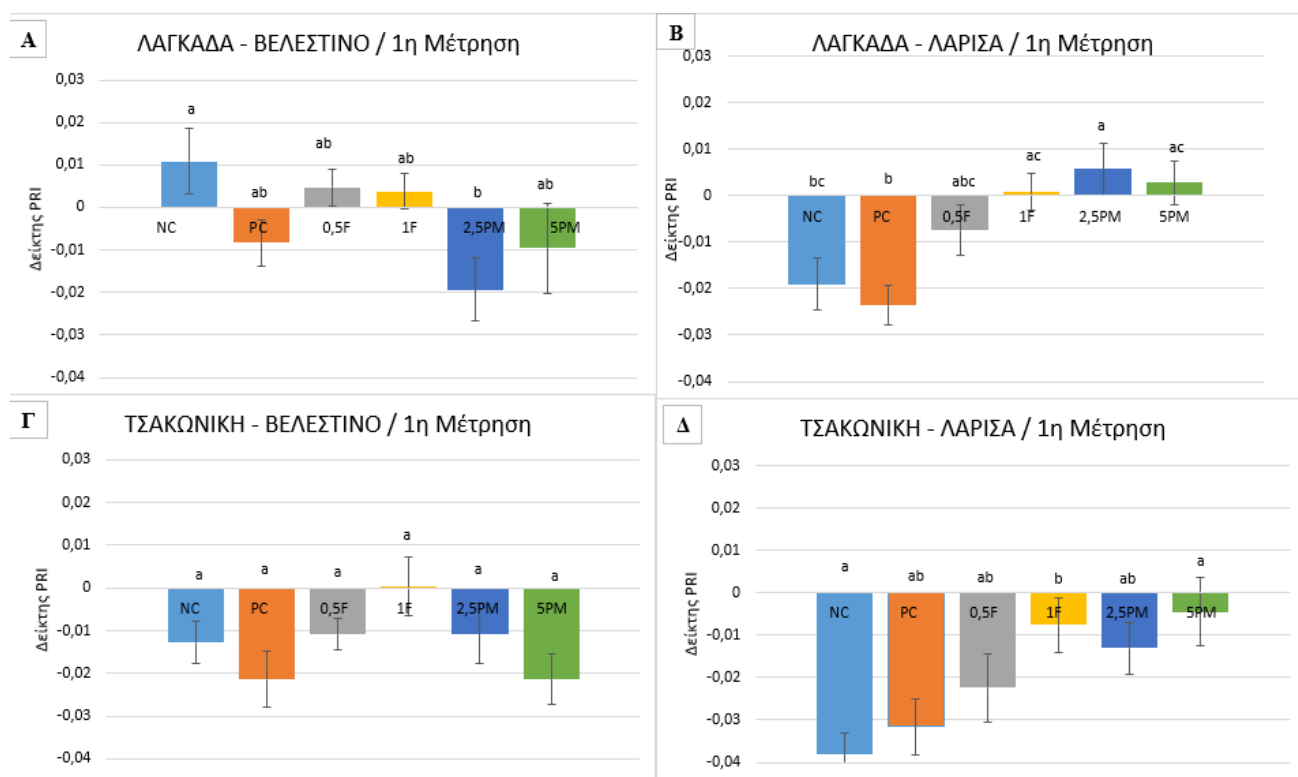
υψηλότερες τιμές, ο αρνητικός και θετικός μάρτυρας διατηρούν τις χαμηλότερες τιμές ενώ οι υπόλοιπες μεταχειρίσεις κινούνται πάνω κάτω στα ίδια επίπεδα.



Γράφημα 3: Δείκτης SPAD σε φύλλα και των δυο ποικιλιών στο έδαφος Βελεστίνου και στο έδαφος Λάρισας, κατά την 3^η μέτρηση (24/07/24): Το (Α) αφορά τις τιμές των φύλλων της ποικιλίας Λαγκαδά στο έδαφος Βελεστίνου, το (Β) της ποικιλίας Λαγκαδά στο έδαφος Λάρισας, το (Γ) της ποικιλίας Τσακωνική στο έδαφος Βελεστίνου και το (Δ) της ποικιλίας Τσακωνική στο έδαφος Λάρισας. Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικές σημαντικές διαφορές μεταξύ μεταχειρίσεων ($p \leq 0.05$).

Στο γράφημα 3 διαπιστώνεται η θετική επίδραση της μεταχείρισης 5PM καθώς έχει την υψηλότερη τιμή και για τις δυο ποικιλίες στο έδαφος Λάρισας, υπερέχοντας σημαντικά από όλες τις υπόλοιπες. Στο έδαφος Βελεστίνου για την ποικιλία ΛΑΓΚΑΔΑ δεν παρατηρούνται διακυμάνσεις στις τιμές των μεταχειρίσεων και για την ποικιλία ΤΣΑΚΩΝΙΚΗ φαίνονται παρόμοια υψηλές τιμές η 1F, 2,5PM και 5PM.

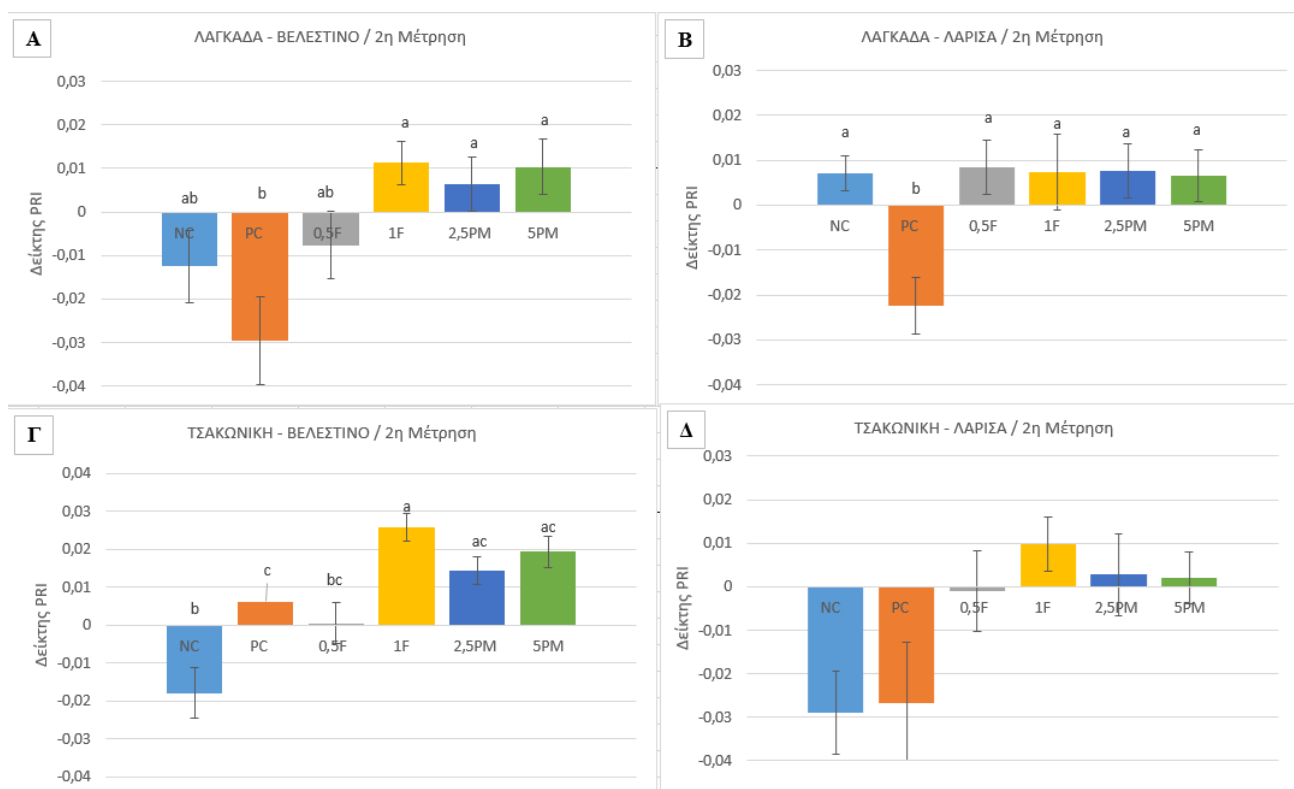
3.2 PRI



Γράφημα 4: Δείκτης PRI στα φυτά και των δυο ποικιλιών στο έδαφος Βελεστίνου και στο έδαφος Λάρισας, κατά την 1^η μέτρηση (28/05/24): Το (Α) αφορά τις τιμές των φύλλων της ποικιλίας Λαγκαδά στο έδαφος Βελεστίνου, το (Β) της ποικιλίας Λαγκαδά στο έδαφος Λάρισας, το (Γ) της ποικιλίας Τσακωνική στο έδαφος Βελεστίνου και το (Δ) της ποικιλίας Τσακωνική στο έδαφος Λάρισας. Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικές σημαντικές διαφορές μεταξύ μεταχειρίσεων ($p \leq 0.05$).

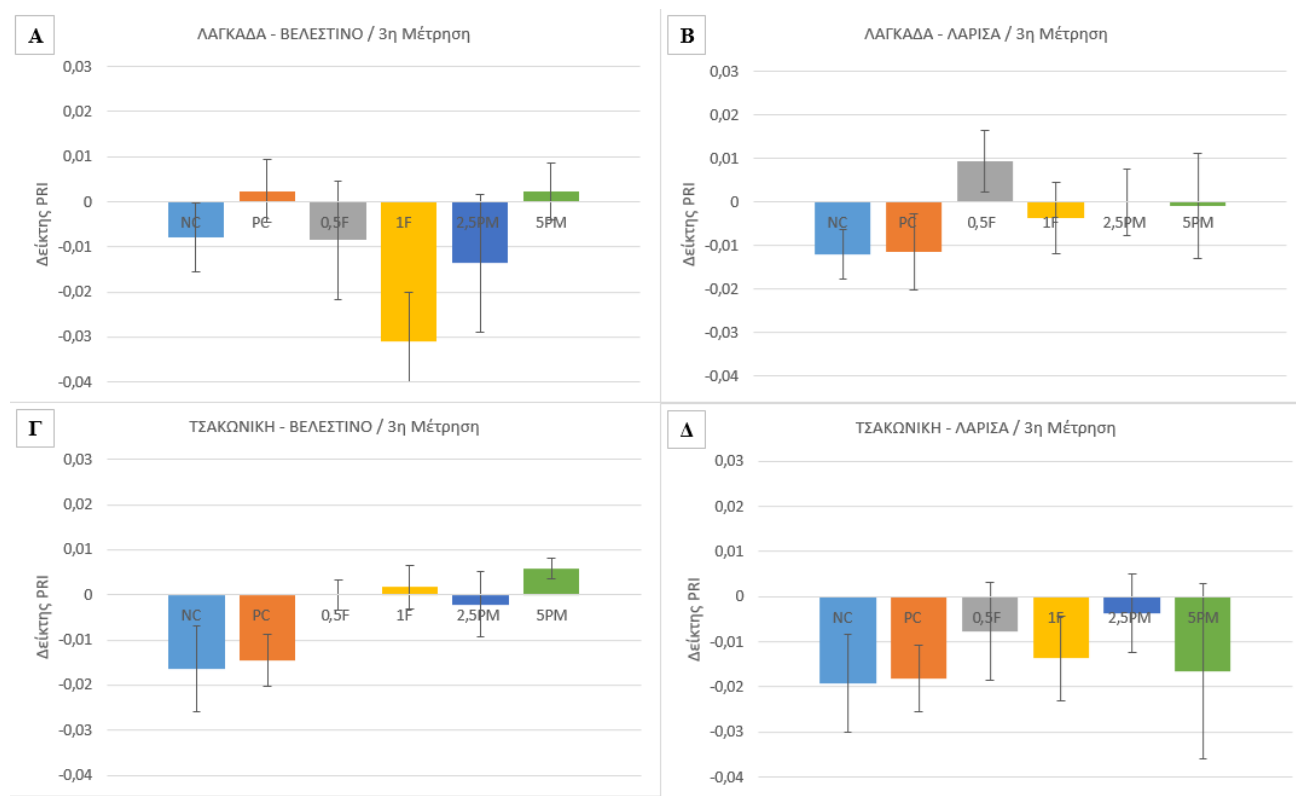
Στο Γράφημα 4 απεικονίζονται οι τιμές του δείκτη PRI κατά την 1^η μέτρηση. Για την ποικιλία ΛΑΓΚΑΔΑ φαίνεται πως στο έδαφος Βελεστίνου οι μόνες στατιστικώς σημαντικές διαφορές εντοπίζονται μεταξύ NC και 2,5PM, με υπεροχή του πρώτου. Οι μεταχειρίσεις με frass φαίνεται να βοήθησαν στην αύξηση των τιμών καθώς ακολουθούν τη μεταχείριση NC. Παρόλα αυτά στο έδαφος Λάρισας παρατηρείται το αντίθετο: Οι μεταχειρίσεις με PM και κυρίως η 2,5PM φαίνεται να είναι πιο ευεργετική από τις μεταχειρίσεις NC, PC και 0,5F που έχουν αρνητικές τιμές.

Όσον αφορά στην ποικιλία ΤΣΑΚΩΝΙΚΗ και στα δυο εδάφη οι τιμές όλων των μεταχειρίσεων είναι αρνητικές με εξαίρεση την 1F στο έδαφος Βελεστίνου χωρίς όμως να διαφέρει σημαντικά από τις υπόλοιπες. Στο αμμώδες έδαφος της Λάρισας οι τιμές γίνονται πιο έντονα αρνητικές ιδιαίτερα για τις NC, PC, 0,5F.



Γράφημα 5: Δείκτης PRI στα φυτά και των δυο ποικιλιών στο έδαφος Βελεστίνου και στο έδαφος Λάρισας, κατά την 2^η μέτρηση (25/06/24): Το (Α) αφορά τις τιμές των φύλλων της ποικιλίας Λαγκαδά στο έδαφος Βελεστίνου, το (Β) της ποικιλίας Λαγκαδά στο έδαφος Λάρισας, το (Γ) της ποικιλίας Τσακωνική στο έδαφος Βελεστίνου και το (Δ) της ποικιλίας Τσακωνική στο έδαφος Λάρισας. Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικές σημαντικές διαφορές μεταξύ μεταχειρίσεων ($p \leq 0.05$).

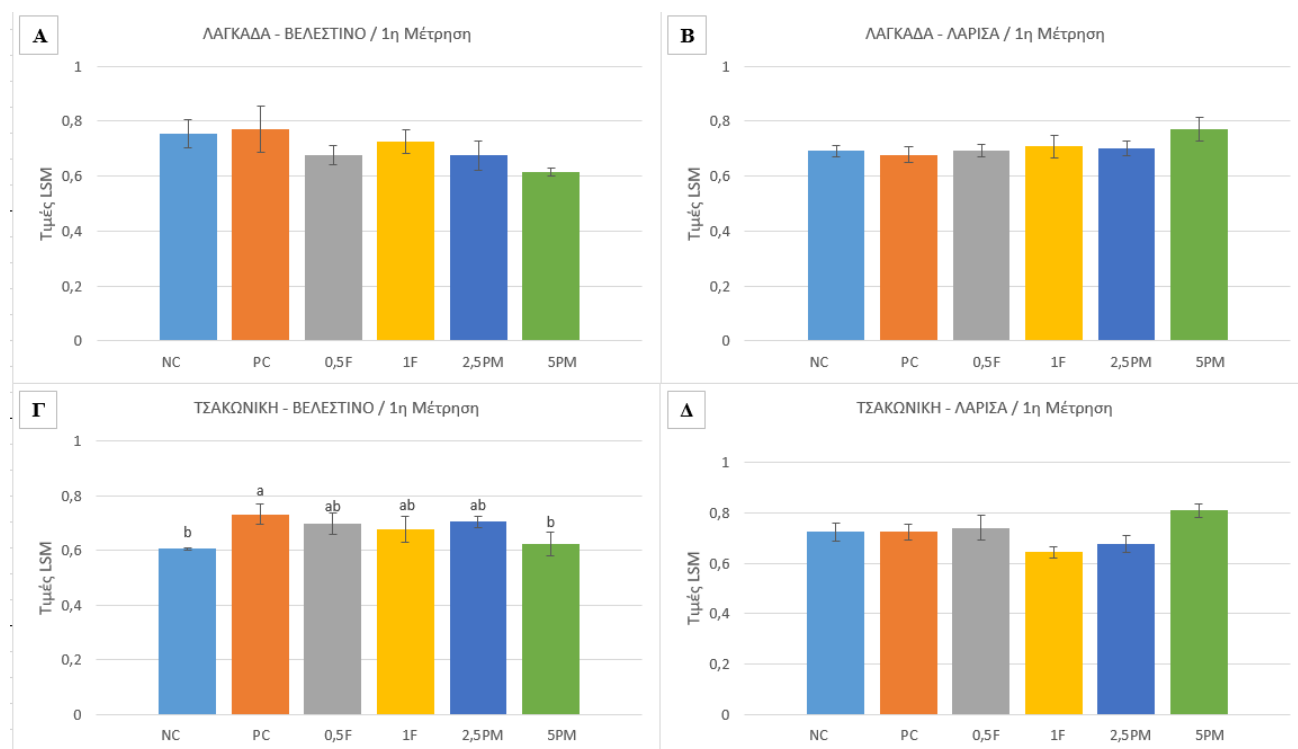
Στο γράφημα 5 απεικονίζονται οι τιμές του δείκτη PRI κατά τη δεύτερη μέτρηση και παρατηρείται πως η μεταχείριση 1F βελτιώνει τον Μ.Ο των τιμών του δείκτη και στις δυο ποικιλίες και στα εδάφη. Ενδιαφέρον έχει η στατιστικώς σημαντικά μειωμένη τιμή του PC στην ποικιλία ΛΑΓΚΑΔΑ και στα δύο εδάφη. Στην ΤΣΑΚΩΝΙΚΗ στο έδαφος Βελεστίνου, η υπεροχή του 1F είναι σημαντική διαφέροντας από τις NC, PC 0,5F, ενώ στο έδαφος Λάρισας δεν σημειώθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές.



Γράφημα 6: Δείκτης PRI στα φυτά και των δυο ποικιλιών στο έδαφος Βελεστίνου και στο έδαφος Λάρισας, κατά την 3^η μέτρηση (22/07/24): Το (Α) αφορά τις τιμές των φύλλων της ποικιλίας Λαγκαδά στο έδαφος Βελεστίνου, το (Β) της ποικιλίας Λαγκαδά στο έδαφος Λάρισας, το (Γ) της ποικιλίας Τσακωνική στο έδαφος Βελεστίνου και το (Δ) της ποικιλίας Τσακωνική στο έδαφος Λάρισας. Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ μεταχειρίσεων ($p \leq 0.05$).

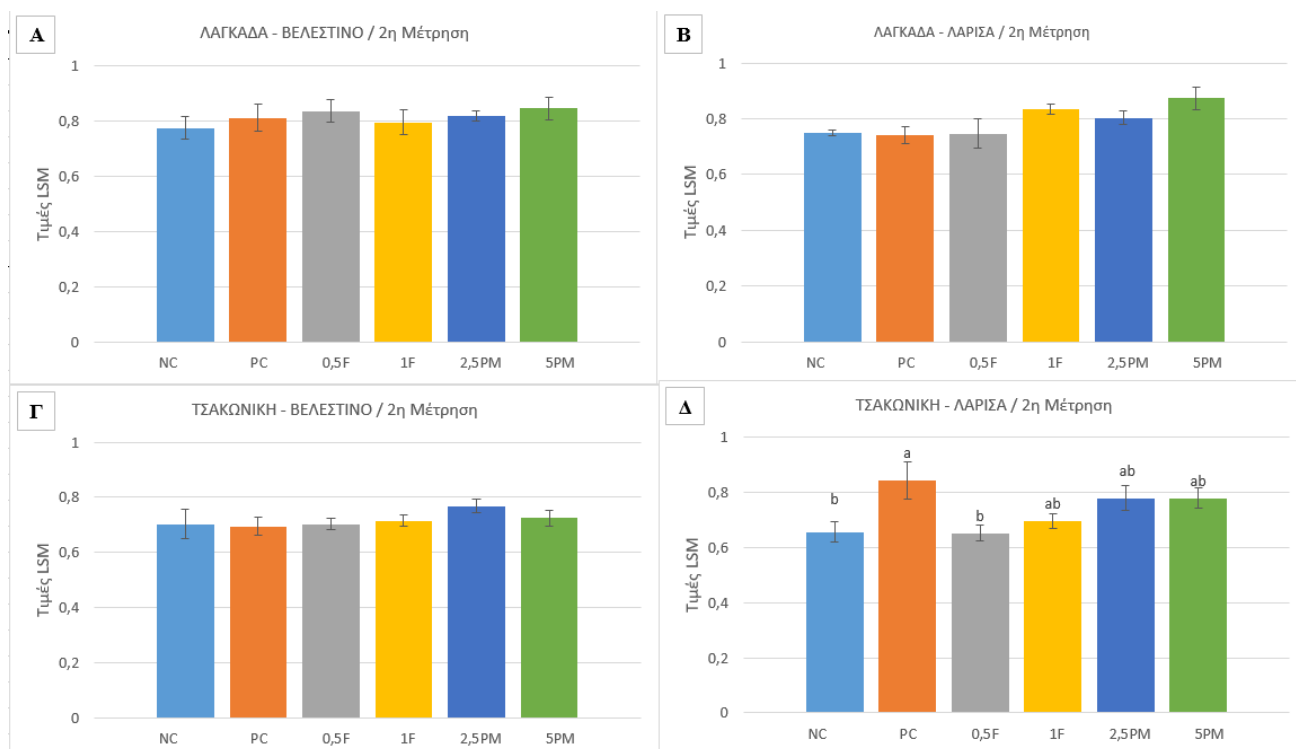
Στο παραπάνω γράφημα απεικονίζονται οι τιμές του δείκτη PRI κατά την τρίτη μέτρηση. Για την ποικιλία ΛΑΓΚΑΔΑ, στο έδαφος του Βελεστίνου, παρατηρείται ότι όλες οι μεταχειρίσεις οδηγούν σε αρνητικές τιμές του δείκτη, με τη 1F να εμφανίζει τη μεγαλύτερη μείωση, τη μεταχείριση NC να έχει μέτρια αρνητική επίδραση, και την 5PM να έχει τις υψηλότερες τιμές. Στο έδαφος της Λάρισας, φαίνεται η μεταχείριση 0,5F να έχει τις υψηλότερες τιμές ακολουθούμενη από την 5PM. Για την ποικιλία ΤΣΑΚΩΝΙΚΗ, οι τιμές του δείκτη PRI είναι αρνητικές σχεδόν για όλες τις μεταχειρίσεις και στα δύο εδάφη. Στο Βελεστίνo, η μεταχείριση 5PM φαίνεται να έχει την καλύτερη επίδραση και προσεγγίζει ουδέτερες τιμές, ενώ οι μεταχειρίσεις NC και PC οδηγούν σε χαμηλές τιμές PRI. Στο έδαφος της Λάρισας, δεν παρατηρούνται μεγάλες διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων, καθώς όλες παρουσιάζουν παρόμοιες αρνητικές τιμές, υποδηλώνοντας ότι καμία επέμβαση δεν βελτίωσε την κατάσταση των φυτών σε αυτό το περιβάλλον κατά την τρίτη μέτρηση.

3.3 Δείκτης ξηροφιλίας (LSM)



Γράφημα 7: Δείκτης LSM σε φύλλα και των δυο ποικιλιών στο έδαφος Βελεστίνου και στο έδαφος Λάρισας, κατά την 1^η μέτρηση (30/05/24): Το (Α) αφορά τις τιμές των φύλλων της ποικιλίας Λαγκαδά στο έδαφος Βελεστίνου, το (Β) της ποικιλίας Λαγκαδά στο έδαφος Λάρισας, το (Γ) της ποικιλίας Τσακωνική στο έδαφος Βελεστίνου και το (Δ) της ποικιλίας Τσακωνική στο έδαφος Λάρισας. Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ μεταχειρίσεων ($p \leq 0.05$).

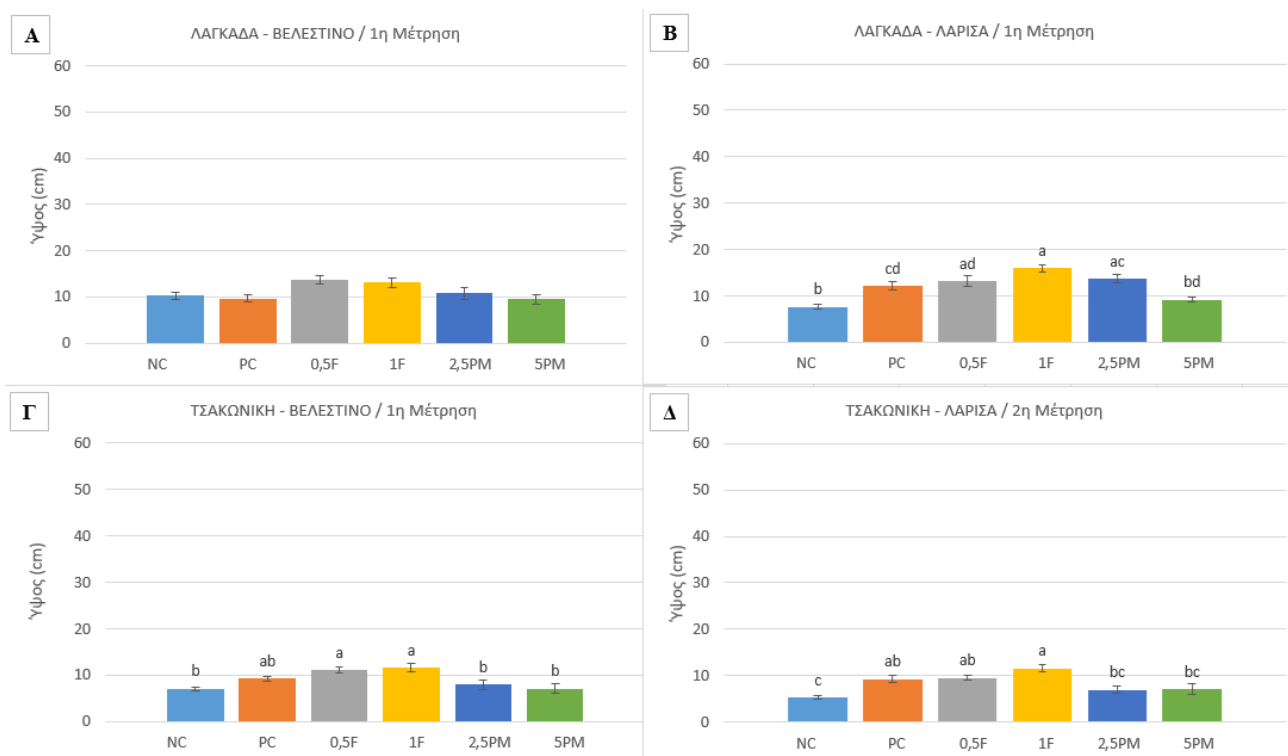
Στο γράφημα 7 παρουσιάζονται οι τιμές του δείκτη ξηροφιλίας (LSM). Φαίνεται πως όλες οι μεταχειρίσεις έχουν παρόμοιες τιμές και για τις δυο ποικιλίες και στα δυο εδάφη με εξαίρεση τις τιμές που αφορούν την ποικιλία ΤΣΑΚΩΝΙΚΗ στο έδαφος Βελεστίνου, όπου τη υψηλότερη τιμή LSM έχει η μεταχείριση PC και ακολουθούν οι υπόλοιπες με χαμηλότερες στις NC και 5PM.



Γράφημα 8: Δείκτης LSM σε φύλλα και των δυο ποικιλιών στο έδαφος Βελεστίνου και στο έδαφος Λάρισας, κατά την 2^η μέτρηση (04/07/24): Το (Α) αφορά τις τιμές των φύλλων της ποικιλίας Λαγκαδά στο έδαφος Βελεστίνου, το (Β) της ποικιλίας Λαγκαδά στο έδαφος Λάρισας, το (Γ) της ποικιλίας Τσακωνική στο έδαφος Βελεστίνου και το (Δ) της ποικιλίας Τσακωνική στο έδαφος Λάρισας. Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικές σημαντικές διαφορές μεταξύ μεταχειρίσεων ($p \leq 0.05$).

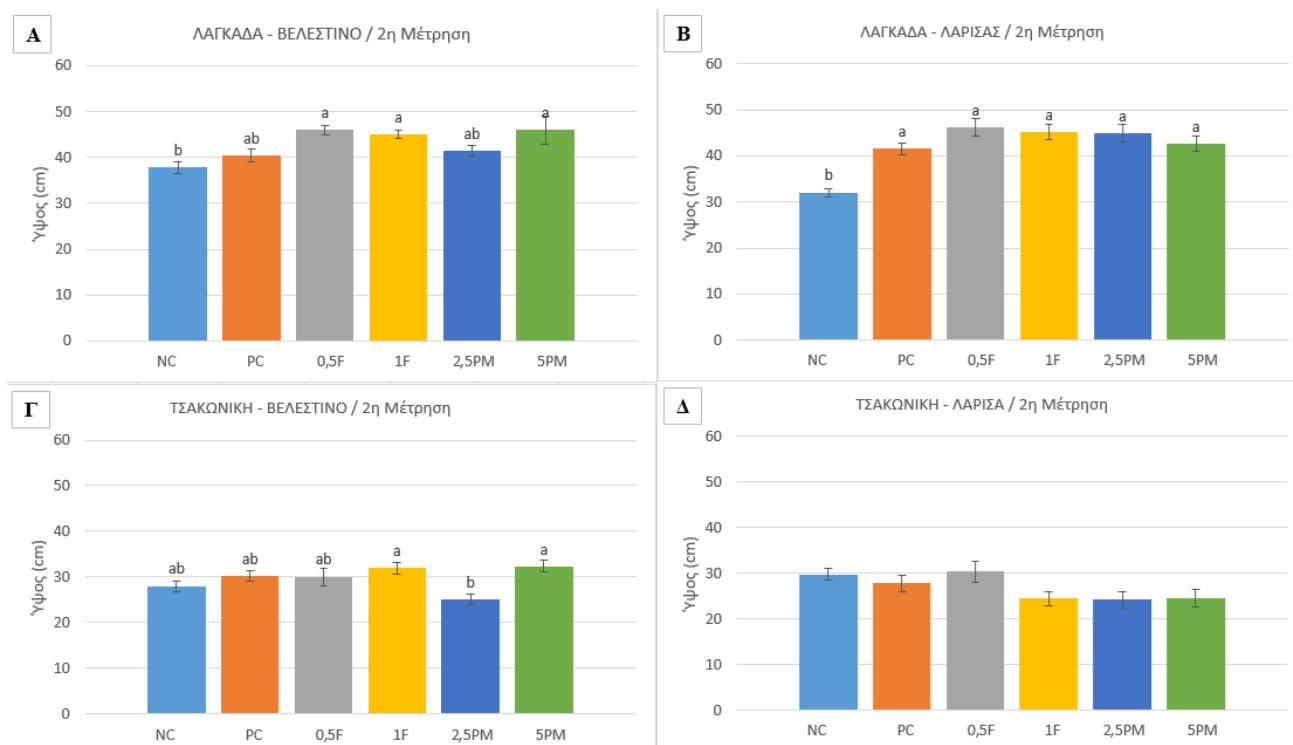
Στο παραπάνω γράφημα αποτυπώνεται η διακύμανση του LSM μεταξύ μεταχειρίσεων, ποικιλιών και εδαφών. Παρατηρείται πως οι τιμές του δείκτη ξηροφιλίας αυξήθηκαν για όλες τις μεταχειρίσεις σε σχέση με την πρώτη μέτρηση χωρίς όμως στατιστικά σημαντικές διαφορές αναμεσά τους, με εξαίρεση την ποικιλία ΤΣΑΚΩΝΙΚΗ στο έδαφος Λάρισας όπου τις υψηλότερες τιμές έχει η μεταχείριση PC και τις χαμηλότερες οι NC και 0,5F.

3.4 Ύψος



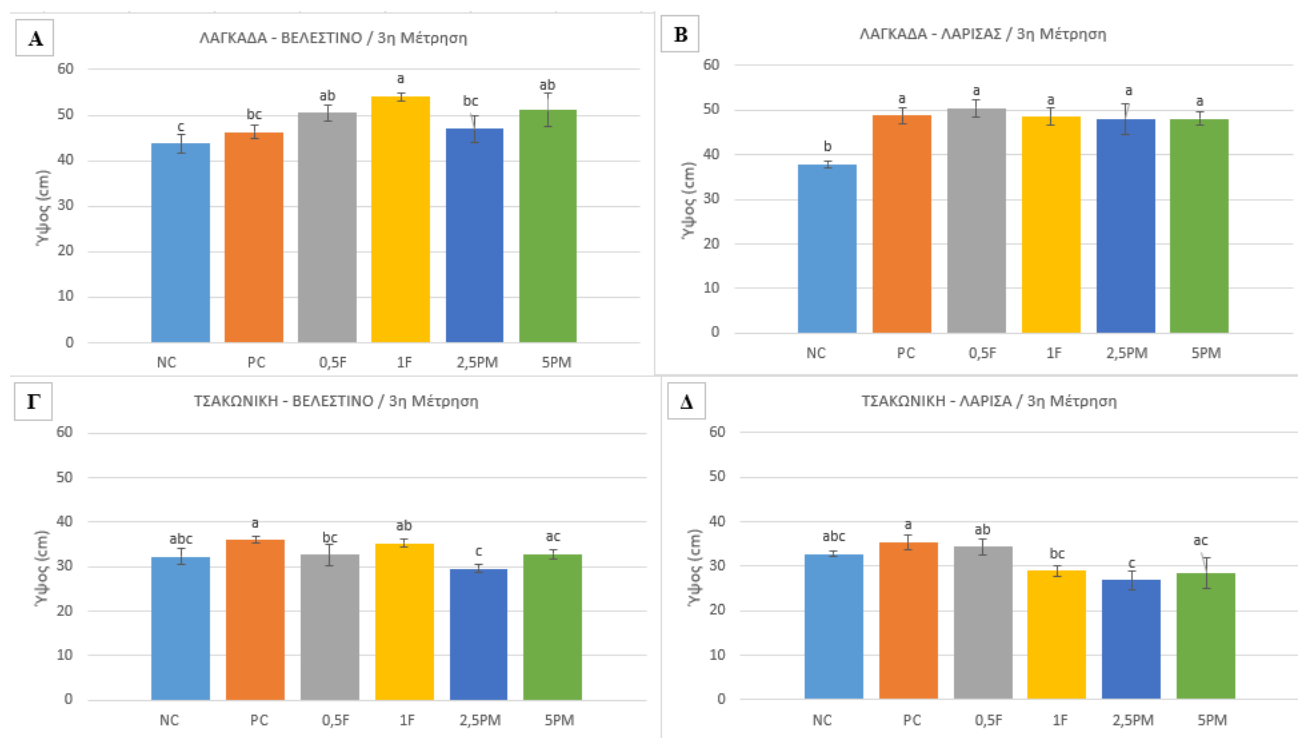
Γράφημα 9: Τιμές ύψους στα φυτά και των δυο ποικιλιών στο έδαφος Βελεστίνου και στο έδαφος Λάρισας, κατά την 1^η μέτρηση (25/06/24): Το (Α) αφορά τις τιμές των φυτών της ποικιλίας Λαγκαδά στο έδαφος Βελεστίνου, το (Β) της ποικιλίας Λαγκαδά στο έδαφος Λάρισας, το (Γ) της ποικιλίας Τσακωνική στο έδαφος Βελεστίνου και το (Δ) της ποικιλίας Τσακωνική στο έδαφος Λάρισας. Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ μεταχειρίσεων ($p \leq 0.05$).

Στο 9^ο γράφημα απεικονίζονται οι τιμές ύψους των φυτών των ποικιλιών στους δυο τύπους εδάφους. Για την ποικιλία ΛΑΓΚΑΔΑ δεν σημειώνονται στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των τιμών των μεταχειρίσεων στο έδαφος Βελεστίνου όμως είναι σημαντικό να αναφερθεί πως τις υψηλότερες τιμές έχει η μεταχείριση με το frass. Αντίστοιχα τις υψηλότερες τιμές έχει η μεταχείριση 1F για την ίδια ποικιλία και στο έδαφος Λάρισας-χωρίς όμως να διαφέρει από τις 0,5F και 0,5PM, ενώ τις χαμηλότερες παρουσιάζει η μεταχείριση NC. Οι μεταχειρίσεις με το frass φαίνεται να επηρέασαν θετικά και το ύψος των φυτών της ποικιλίας ΤΣΑΚΩΝΙΚΗ και στα δυο εδάφη καθώς έχουν τα υψηλότερες τιμές ενώ η NC έχει τις χαμηλότερες. Και στις δυο περιπτώσεις εδαφών, η PC έφερε τα ίδια αποτελέσματα με τις 0,5F και 1F.



Γράφημα 10: Τιμές ύψους στα φυτά και των δυο ποικιλιών στο έδαφος Βελεστίνου και στο έδαφος Λάρισας, κατά την 2^η μέτρηση (14/07/24): Το (Α) αφορά τις τιμές των φυτών της ποικιλίας Λαγκαδά στο έδαφος Βελεστίνου, το (Β) της ποικιλίας Λαγκαδά στο έδαφος Λάρισας, το (Γ) της ποικιλίας Τσακωνική στο έδαφος Βελεστίνου και το (Δ) της ποικιλίας Τσακωνική στο έδαφος Λάρισας. Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ μεταχειρίσεων ($p \leq 0.05$).

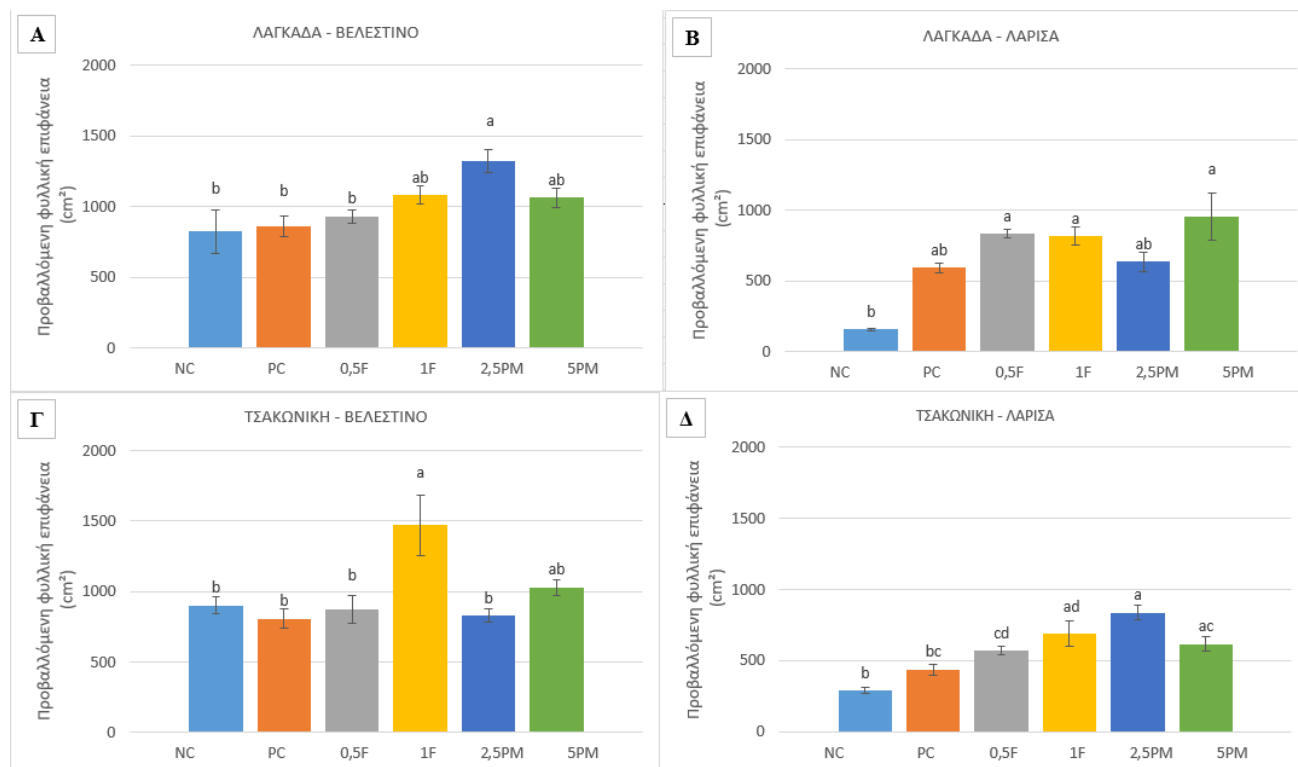
Στο 10^ο γράφημα απεικονίζονται οι τιμές του ύψους των φυτών κατά τη δεύτερη μέτρηση. Γίνεται αντιληπτό για την ποικιλία ΛΑΓΚΑΔΑ πως ο αρνητικός μάρτυρας έχει τις χαμηλότερες τιμές, διαφέροντας σημαντικές από όλες τις υπόλοιπες που δεν είχαν διαφορές μεταξύ τους. Όσον αφορά στην ποικιλία ΤΣΑΚΩΝΙΚΗ δεν παρατηρήθηκαν διαφορές στο έδαφος Λάρισας, ενώ στου Βελεστίνου το 2,5PM είχε τις σημαντικά χαμηλότερες τιμές.



Γράφημα 11: Τιμές ύψους στα φυτά και των δυο ποικιλιών στο έδαφος Βελεστίνου και στο έδαφος Λάρισας, κατά την 3^η μέτρηση (30/07/24): Το (Α) αφορά τις τιμές των φυτών της ποικιλίας Λαγκαδά στο έδαφος Βελεστίνου, το (Β) της ποικιλίας Λαγκαδά στο έδαφος Λάρισας, το (Γ) της ποικιλίας Τσακωνική στο έδαφος Βελεστίνου και το (Δ) της ποικιλίας Τσακωνική στο έδαφος Λάρισας. Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ μεταχειρίσεων ($p \leq 0.05$).

Στο γράφημα 11 παρουσιάζονται οι τιμές ύψους των φυτών κατά την τελευταία μέτρηση που πραγματοποιήθηκε. Παρατηρείται για την ποικιλία ΛΑΓΚΑΔΑ πως για ακόμη μια φορά ο αρνητικός μάρτυρας έχει τις χαμηλότερες τιμές ενώ οι τιμές των frass να έχουν τις υψηλότερες τιμές στο έδαφος Βελεστίνου. Στης Λάρισας φαίνεται μόνο μία στατιστικά σημαντική μείωση στο NC σε σύγκριση με όλες τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις. Στην ποικιλία ΤΣΑΚΩΝΙΚΗ στατιστικώς σημαντικές διαφορές εμφανίζονται κυρίως μεταξύ PC και 2,5PM.

3.5 Φυλλική επιφάνεια

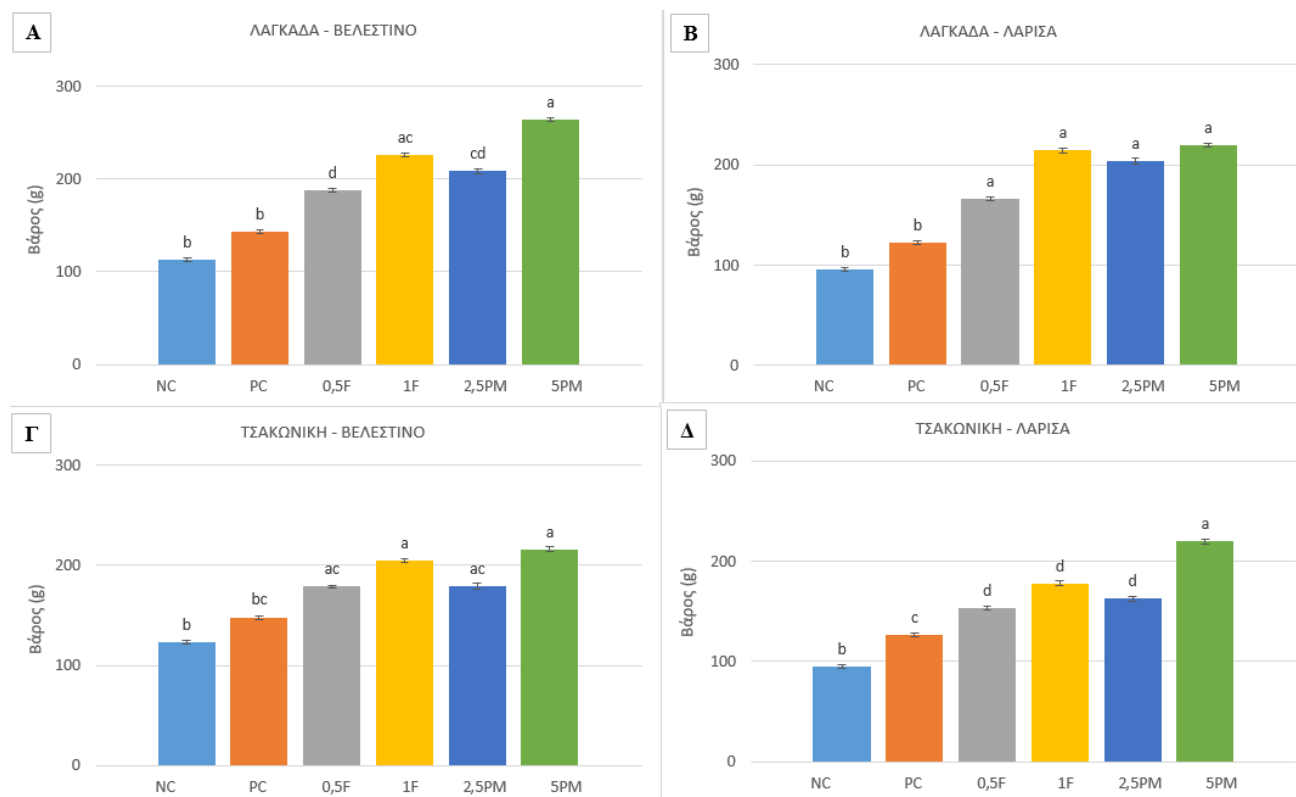


Γράφημα 12: Προβαλλόμενη φυλλική επιφάνεια των φυτών της κάθε μεταχείρισης στις δυο ποικιλίες και στα δυο εδάφη (12/06/24). Το (Α) αφορά τις τιμές των φυτών της ποικιλίας Λαγκαδά στο έδαφος Βελεστίνου, το (Β) της ποικιλίας Λαγκαδά στο έδαφος Λάρισας, το (Γ) της ποικιλίας Τσακωνική στο έδαφος Βελεστίνου και το (Δ) της ποικιλίας Τσακωνική στο έδαφος Λάρισας. Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ μεταχειρίσεων ($p \leq 0.05$).

Στο παραπάνω γράφημα απεικονίζονται οι τιμές της προβαλλομένης φυλλικής επιφάνειας. Είναι σημαντικό να αναφερθεί πως για την ποικιλία ΛΑΓΚΑΔΑ σημαντικά υψηλότερες τιμές εμφάνισαν τα 1F, 0,5PM και 5PM σε σύγκριση με τα ομοίως χαμηλότερα NC, PC και 0,5F. Στο έδαφος της Λάρισας μόνο το NC υπολείπονταν σημαντικά από όλες τις μεταχειρίσεις που παρά τις διακυμάνσεις δεν εμφάνισαν σημαντικές διαφορές μεταξύ τους.

Για την ποικιλία ΤΣΑΚΩΝΙΚΗ ιδιαίτερα υψηλές τιμές σε σχέση με τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις έχει η μεταχείριση 1F στο έδαφος Βελεστίνου. Στο έδαφος Λάρισας οι τιμές της 1F, της 2,5P και της 5PM είναι όμοια υψηλές.

3.6 Νωπό βάρος



Γράφημα 13: Τιμές νωπού βάρους των φυτών της κάθε μεταχείρισης στις δυο ποικιλίες και στα δυο εδάφη (30/07/24). Το (Α) αφορά τις τιμές των φυτών της ποικιλίας Λαγκαδά στο έδαφος Βελεστίνου, το (Β) της ποικιλίας Λαγκαδά στο έδαφος Λάρισας, το (Γ) της ποικιλίας Τσακωνική στο έδαφος Βελεστίνου και το (Δ) της ποικιλίας Τσακωνική στο έδαφος Λάρισας. Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ μεταχειρίσεων ($p \leq 0.05$).

Στο γράφημα 13 η μεταχείριση 5PM έχει τις υψηλότερες τιμές σε όλες τις περιπτώσεις που είναι όμως παρόμοιες και με την μεταχείριση 1F, με την εξαίρεση της ΤΣΑΚΩΝΙΚΗΣ στο έδαφος Λάρισας. Σε όλες τις περιπτώσεις αντίστοιχα τις χαμηλότερες τιμές έχει η μεταχείριση NC, ακολουθούμενη από το PC.

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας διερευνήθηκε η επίδραση του frass, προερχόμενου από το έντομο *Tenebrio molitor*, σε μορφολογικά και φυσιολογικά χαρακτηριστικά δύο ποικιλιών μελιτζάνας, της «Λαγκαδά» και της «Τσακωνικής», οι οποίες διαφοροποιούνται ως προς την ανάπτυξη και την ανταπόκρισή τους σε περιβαλλοντικές συνθήκες. Παράλληλα, συγκρίθηκαν τρεις διαφορετικές στρατηγικές λίπανσης (frass, κοπριά κοτόπουλου, ανόργανο λίπασμα 12-12-17), προκειμένου να αξιολογηθεί η αποτελεσματικότητα του frass ως εναλλακτικό οργανικό λίπασμα. Το πείραμα πραγματοποιήθηκε σε δύο εδάφη με διαφορετικά χαρακτηριστικά: το έδαφος του Βελεστίνου, μέσης σύστασης και ελαφρώς αλκαλικό, και αυτό της Λάρισας, αμμώδους σύστασης με ουδέτερο προς ελαφρώς όξινο pH, ώστε να εκτιμηθεί και η επίδραση των διαφορετικών τύπων εδάφους στην καλλιέργεια.

Ο δείκτης SPAD σχετίζεται άμεσα με τα επίπεδα των ολικών χλωροφύλλων (a + b). Η μέτρηση πραγματοποιήθηκε τρεις φορές, ώστε να εξεταστεί η εξέλιξη των επιπέδων χλωροφυλλών μέσα στην καλλιεργητική περίοδο, καθώς και η επίδραση των διαφορετικών μεταχειρίσεων (0.5F, 1F, 5PM, PC, NC) σε δύο εδάφη και δύο ποικιλίες. Κατά την πρώτη μέτρηση, καταγράφηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ μεταχειρίσεων. Συγκεκριμένα, στο έδαφος της Λάρισας και στην ποικιλία Λαγκαδά, η μεταχείριση 1F εμφάνισε αύξηση των τιμών SPAD σε σύγκριση με τον αρνητικό μάρτυρα (NC) κατά 51%. Για την ποικιλία Τσακωνική, η μεταχείριση 1F οδήγησε σε αύξηση κατά 44,3% στο έδαφος Λάρισας. Στο έδαφος Βελεστίνου δεν παρατηρήθηκαν τόσο σημαντικές διαφορές και για τις δύο ποικιλίες. Οι παραπάνω τιμές δείχνουν ότι το 1F βελτίωσε αισθητά τα επίπεδα των χλωροφυλλών ήδη από την αρχή της καλλιεργητικής περιόδου. Κατά τη δεύτερη μέτρηση (25/06), το πρότυπο διαφοροποίησης παρέμεινε παρόμοιο, με τις μεταχειρίσεις 5PM και 1F να παρουσιάζουν τις υψηλότερες τιμές. Η μεταχείριση 5PM ξεχώρισε στην ποικιλία Λαγκαδά στο έδαφος του Βελεστίνου όπου κατέγραψε ποσοστιαία αύξηση SPAD 53,9% σε σύγκριση με τον NC, ενώ και στις Λάρισας η αντίστοιχη διαφορά ήταν 38,7%. Στην ποικιλία Τσακωνική, η 5PM παρουσίασε αύξηση κατά 35%, ενώ η 1F κατά 20% στο έδαφος του Βελεστίνου, ενώ στις Λάρισας δεν καταγράφηκαν σημαντικές διαφορές. Κατά την τρίτη και τελευταία μέτρηση (24/07), η μεταχείριση 5PM διατήρησε τις υψηλότερες τιμές σε όλες τις ποικιλίες και εδάφη, ωστόσο η 1F εξακολούθησε να φέρει υψηλές τιμές SPAD, σε πολλές περιπτώσεις συγκρίσιμες με την κοπριά. Σύμφωνα με τους Beesigamukama et al. (2020), η εφαρμογή frass οδηγεί σε αυξημένη διαθεσιμότητα αζώτου, στοιχείο που είναι κρίσιμο για τη βιοσύνθεση των χλωροφυλλών. Το αποτέλεσμα αυτό είναι συνεπές με τα παραπάνω ευρήματα, επιβεβαιώνοντας τη θετική συμβολή του frass στη φυσιολογική κατάσταση των φυτών. Οι Foscarì et al. (2024) παρατήρησαν αντίστοιχα αυξημένη φωτοσυνθετική δραστηριότητα σε καλλιέργεια

ηλίανθου με χρήση frass, υποστηρίζοντας ότι η εφαρμογή του ευνοεί την παραγωγή χλωροφύλλης με τρόπο συγκρίσιμο ή και ανώτερο από τα ανόργανα λιπάσματα.

Αξιοσημείωτο είναι ότι, ενώ το έδαφος της Λάρισας είναι αμμώδες, επομένως θεωρείται σχετικά άγονο και λιγότερο ευνοϊκό για την καλλιέργεια της μελιτζάνας, οι μεταχειρίσεις με 1F από την αρχή και από τη 2^η μέτρηση και η 5PM βελτίωσαν σημαντικά τις τιμές SPAD σε σύγκριση με τους μάρτυρες. Όπως παρατηρήθηκε, στο NC καταγράφηκαν συστηματικά οι χαμηλότερες τιμές SPAD και στα δύο εδάφη και ποικιλίες, με το ίδιο να συμβαίνει στις περισσότερες περιπτώσεις και με το PC.

Η μέτρηση του δείκτη LSM πραγματοποιήθηκε δύο φορές κατά την πειραματική περίοδο: στις 30/05/2024 και στις 04/07/2024. Η γενική εικόνα είναι ότι δεν καταγράφηκαν αξιοσημείωτες διαφορές μεταξύ μεταχειρίσεων στα δύο εδάφη και ποικιλίες, με την εξαίρεση του NC. Η μεταχείριση αυτή είχε στατιστικώς σημαντικά χαμηλότερο LSM στην Τσακόνικη στο έδαφος Βελεστίνου, όπως αποτυπώθηκε στην 1^η μέτρηση, ενώ στην 2^η μέτρηση ήταν μόνο το έδαφος της Λάρισας που έδωσε μειωμένο LSM. Σύμφωνα με τη μελέτη των Beesigamukama et al. (2020), όπου η χρήση frass σε καλλιέργεια καλαμποκιού σχετίστηκε με αυξημένη βιομάζα και ισχυρότερη ανάπτυξη των υπέργειων οργάνων, πιθανώς ως αποτέλεσμα της καλύτερης διαχείρισης του αζώτου και της αυξημένης πυκνότητας ιστού. Αν και ο LSM δεν παρουσιάζει άμεση σύνδεση με την απόδοση της καλλιέργειας, αποτελεί σημαντικό φυσιολογικό δείκτη που συχνά συσχετίζεται με την αποδοτικότητα της μετατροπής του φωτός και την αποτελεσματικότητα της χρήσης νερού.

Ο φωτοχημικός δείκτης ανάκλασης, PRI, χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα μελέτη για την αποτίμηση της φωτοσυνθετικής απόδοσης των φυτών μελιτζάνας. Ο δείκτης αυτός προκύπτει από τη μέτρηση της ανακλαστικότητας στα μήκη κύματος 531 nm και 570 nm και αντανakλά τις αλλαγές στον κύκλο των ξανθοφυλλών, οι οποίες σχετίζονται με τη απόσβεση της περίσσειας ενέργειας και την προσαρμογή των φυτών σε περιβαλλοντικές πιέσεις (Demmig-Adams, 1990). Οι Sukhova & Sukhon (2018) εξηγούν ότι ο PRI επηρεάζεται από τη θρεπτική κατάσταση, την υδατική διαθεσιμότητα και τη δομή του φυλλώματος, καθιστώντας τον δείκτη ευαίσθητο στις φυσιολογικές αλλαγές που προκύπτουν υπό την επίδραση διαφορετικών πρακτικών λίπανσης. Η μέτρηση του PRI πραγματοποιήθηκε δύο φορές, στις 28/05 και 25/06. Κατά την πρώτη μέτρηση, η μεταχείριση 1F (frass 1%) κατέγραψε τις υψηλότερες τιμές συνολικά και στις δύο ποικιλίες και εδάφη, υποδηλώνοντας υψηλή φωτοσυνθετική απόδοση και καλή φυσιολογική κατάσταση των φυτών ήδη από τα πρώιμα στάδια ανάπτυξης. Ακολούθησε η μεταχείριση 0.5F, ενώ οι τιμές του θετικού και του αρνητικού μάρτυρα ήταν εμφανώς χαμηλότερες. Το πρότυπο αυτό διατηρήθηκε και στη δεύτερη μέτρηση, με την 1F να υπερέχει σε όλες τις κατηγορίες, επιβεβαιώνοντας τη σταθερή θετική επίδραση του frass στη φωτοχημική δραστηριότητα. Η γενική εικόνα από τις δύο ποικιλίες και εδάφη είναι ότι το 1F

ευνόησε συνολικά τις τιμές PRI, υποδεικνύοντας μία καλύτερη φωτοσυνθετική απόδοση, ενώ τα NC και PC εμφάνισαν τις χαμηλότερες. Στο έδαφος της Λάρισας, ως πιο άγονο σε σύγκριση με του Βελεστίνου, καταγράφηκαν οι χαμηλότερες τιμές σε όλες τις μεταχειρίσεις. Σύμφωνα με τον Peñuelas et al. (2011), ο PRI είναι ένας ευαίσθητος δείκτης βραχυπρόθεσμων μεταβολών στη φωτοσυνθετική δραστηριότητα και μπορεί να εντοπίσει αλλαγές στη φυσιολογία των φυτών ακόμη και πριν αυτές γίνουν εμφανείς με άλλους δείκτες. Αντίστοιχα, οι Garbulsky et al. (2011) έδειξαν ότι ο PRI αποτελεί σταθερό δείκτη φωτοσυνθετικής απόδοσης σε διάφορα είδη φυτών και ότι σχετίζεται στενά με τη χρήση του φωτός και την παραγωγικότητα. Η βιβλιογραφία επιβεβαιώνει τη θετική επίδραση του frass στον δείκτη PRI και την ευρύτερη φωτοσυνθετική δραστηριότητα των φυτών. Στην εργασία των Beesigamukama et al. (2020), αναφέρεται ότι η εφαρμογή frass από *Black Soldier Fly* οδήγησε σε αυξημένη φωτοσύνθεση και παραγωγή βιομάζας στο καλαμπόκι, με τον PRI να παρουσιάζει σημαντικά υψηλότερες τιμές σε σχέση με τις ανόργανες λιπάνσεις, επιβεβαιώνοντας ότι το frass δρα ευεργετικά σε επίπεδο φυσιολογίας. Επιπλέον, οι Rahimzadeh-Bajgiran et al. (2012) χρησιμοποίησαν τον PRI για την αποτίμηση της φυσιολογικής απόκρισης σε διαφορετικά θρεπτικά σχήματα, παρατηρώντας επίσης αυξημένες τιμές με την εφαρμογή οργανικών υλικών.

Το frass οδήγησε σε αυξήσεις στο ύψος των φυτών αλλά και στη φυλλική επιφάνεια παραπέμποντας σε μία προώθηση της ανάπτυξης. Καταγράφηκαν υψηλότερες τιμές στο 1F και στις δύο ποικιλίες από την 1^η μέτρηση, ιδιαίτερα στο έδαφος Λάρισας. Κατά τη 2^η και την τελική μέτρηση ύψους οι μόνες διαφορές αφορούσαν την πτώση του NC στην ποικιλία Λαγκαδά. Στην Τσακωνική σημαντική πτώση εμφάνισε μόνο η 2,5PM στο Βελεστίνο, ενώ καμία διαφορά δεν καταγράφηκε στο έδαφος Λάρισας. Χαρακτηριστική διαφορά μεταξύ ποικιλιών ήταν ο 5πλασιασμός του ύψους στην Λαγκαδά μέσα σε 1,5 μήνα, ενώ αντίστοιχα υπήρξε 3πλασιασμός στην Τσακωνική και στα δύο εδάφη. Σε ότι αφορά την προβαλλόμενη φυλλική επιφάνεια, εκτός από την υπεροχή του 1F, που όμως δεν διέφερε στατιστικώς σημαντικά από το 5PM, φάνηκε ότι πάντα το NC και στις περισσότερες περιπτώσεις το PC εμφάνισαν τις χαμηλότερες τιμές. Επίσης, το έδαφος Λάρισας είχε ως αποτέλεσμα χαμηλότερες τιμές φυλλικής επιφάνειας σε σχέση με το Βελεστίνο. Τέλος, η εφαρμογή των 1F και 5PM οδήγησαν σε σημαντική αύξηση του νωπού βάρους των φυτών μελιτζάνας σε σύγκριση με τον αρνητικό και θετικό μάρτυρα. Το νωπό βάρος αποτελεί κρίσιμο δείκτη παραγωγικότητας, καθώς αντανakλά τη συνολική βιομάζα που συγκεντρώνουν τα φυτά.

Η θετική επίδραση του frass στα παραπάνω αναπτυξιακά χαρακτηριστικά μπορεί πιθανώς να αποδοθεί τόσο στη βελτίωση της διαθεσιμότητας θρεπτικών στοιχείων όσο και στην ενίσχυση της μικροβιακής δραστηριότητας του εδάφους, που προάγει την καλύτερη απορρόφηση και χρήση των θρεπτικών συστατικών (Lazcano et al., 2013, Karkanis et al., 2024)). Συγκεκριμένα, η μελέτη των Antoniadis et al., 2023 σε καλλιέργειες σπανακιού ανέδειξε παρόμοια αποτελέσματα, όπου η χρήση

frass οδήγησε σε σημαντική αύξηση του ύψους των φυτών σε σχέση με τα συμβατικά λιπάσματα. Η μελέτη αυτή αναφέρει ότι το frass, πέρα από την παροχή θρεπτικών στοιχείων, βελτιώνει τη φυσιολογική κατάσταση των φυτών, ενισχύοντας τη φωτοσυνθετική δραστηριότητα, η οποία σχετίζεται άμεσα με την ανάπτυξη που καταγράφηκε στην παρούσα εργασία. Επιπλέον, ανάλογα αποτελέσματα έχουν παρατηρηθεί και σε άλλες καλλιέργειες όπως τομάτα και πιπεριά (Müller et al., 2018; Kumar et al., 2019), όπου η εφαρμογή frass είχε ως αποτέλεσμα βελτιωμένη ανάπτυξη των φυτών, εκφραζόμενη μέσω αυξημένου ύψους και βιομάζας και αυξημένη φυτική βιομάζα. Η αύξηση αυτή συχνά συνδέεται με την παρουσία φυσικών φυτοορμονών, όπως αυξίνες και κυτοκινίνες, που περιέχονται ή παράγονται μέσω των μικροοργανισμών που ευνοούνται από το frass (Bonanomi et al., 2018). Βέβαια, η 5PM είχε τη βέλτιστη τιμή νωπού βάρους φυτού, επιβεβαιώνοντας ότι ενίσχυσε τη συνολική ανάπτυξη των φυτών, όπως επίσης αναφέρεται και σε άλλες μελέτες για την αποτελεσματικότητα των οργανικών λιπασμάτων (Antoniadis et al., 2023).

Συνοψίζοντας, το frass αποτελεί μια καινοτόμο και βιώσιμη λύση για την ενίσχυση της γονιμότητας του εδάφους και την αύξηση της αγροτικής παραγωγής. Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης υποδεικνύουν ότι, αν και το frass μπορεί να προσφέρει άμεσα οφέλη στην ανάπτυξη των φυτών και τη φωτοσυνθετική τους απόδοση, απαιτείται προσοχή στη δοσολογία, ώστε να επιτευχθεί η βέλτιστη απόδοση.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα εργασία οδήγησε στα παρακάτω συμπεράσματα:

- Η εφαρμογή frass, ιδιαίτερα το 1F, βελτίωσε σημαντικά την ανάπτυξη των φυτών μελιτζάνας, επηρεάζοντας θετικά το ύψος, τη φυλλική επιφάνεια και το νωπό βάρος της υπέργειας βιομάζας.
- Ο δείκτης SPAD που σχετίζεται με τα επίπεδα ολικών χλωροφυλλών στα φύλλα ήταν παρόμοιος ανάμεσα στις μεταχειρίσεις 1F και 5PM.
- Ο φωτοχημικός δείκτης PRI, που συνδέεται με τη φωτοσυνθετική απόδοση, εμφάνισε ελαφρώς αυξημένες τιμές στα φυτά που έλαβαν frass συγκριτικά με εκείνα που έλαβαν κοπριά κοτόπουλου.
- Η μεταχείριση NC εμφάνισε τις χαμηλότερες τιμές στις παραμέτρους που καταγράφηκαν για τις δύο ποικιλίες και εδάφη, ενώ το PC επίσης δεν ευνόησε την ανάπτυξη, σε σύγκριση με τα οργανικά λιπάσματα.
- Το έδαφος Βελεστίνου ευνόησε περισσότερο την ανάπτυξη των φυτών και των δύο ποικιλιών, σε σύγκριση με το έδαφος Λάρισας.
- Η ποικιλία «Λαγκαδά» υπερίσχυσε της «Τσακωνικής» σε ύψος και συνολική ανάπτυξη, ανεξαρτήτως μεταχείρισης, υποδηλώνοντας γενετική προσαρμοστικότητα στις συγκεκριμένες συνθήκες.
- Το frass από *Tenebrio molitor* μπορεί να αποτελέσει βιώσιμη, φιλική προς το περιβάλλον και αποτελεσματική επιλογή λίπανσης, καλύτερη από τα συμβατικά μέσα λίπανσης, όπως φάνηκε στην καλλιέργεια και των δύο ποικιλιών της μελιτζάνας σε δύο διαφορετικά εδάφη.
- Απαιτείται περαιτέρω έρευνα για την αξιολόγηση της μακροπρόθεσμης επίδρασης του frass σε διαφορετικά εδαφικά περιβάλλοντα και καλλιέργειες, ώστε να βελτιστοποιηθεί η χρήση του στη γεωργία.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Agbede, T. M., Adekiya, A. O., & Eifediyi, E. K. Impact of poultry manure and NPK fertilizer on soil physical properties and growth and yield of carrot. *Journal of Plant Nutrition*, 43(3), 445-459.
- Antoniadis, V., Molla, A., Grammenou, A., Apostolidis, V., Athanassiou, C. G., Rumbos, C. I., & Levizou, E. (2023). Insect Frass as a Novel Organic Soil Fertilizer for the Cultivation of Spinach (*Spinacia oleracea*): Effects on Soil Properties, Plant Physiological Parameters, and Nutrient Status. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 23, 5935–5944.
- Assefa, T., & Tadesse, M. (2019). The role of organic fertilizers on agricultural productivity in Ethiopia. *Journal of Business and Administrative Studies*, 11(2), 45-55.
- Athanassiou, C. G., & Rumbos, C. I. (2025). Frass and Furious: Unfolding the Potential of Insect Frass as Soil Fertilizer. *Agrochemicals*, 4(1).
- Baldacchino, F., & Lamaj, F. (2025). Application of Mealworm Frass in Organic Seedling Production of *Allium cepa* L., *Beta vulgaris* L., and *Brassica rapa* L. *Seeds*, 4(4).
- Balezentiene, L., & Klimas, D. (2009). Nature and culture. *Agronomy Research*, 7(Special Issue 1), 20-26.
- Bamdad, F., Mohammadi, A., & Aghaalikhani, M. (2021). Effect of organic fertilizers on soil properties and plant growth: A review. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 21(2), 491-510.
- Beesigamukama, D., et al. (2022). Enhancing crop resilience: The role of frass-derived biofertilizers. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 185(4), 567–576.
- 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., & 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.
- Bergstrand, K. J. (2022). Organic fertilizers: Types, production and environmental impact. Nova Science Publishers.
- Bhaskar, N., & Ramesh Kumar, P. (2015). Diversity, utilization and improvement of eggplant (*Solanum melongena* L.). *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 85(3), 333-341.
- Caguiat, J. D., & Hautea, D. M. (2014). Agrobacterium-mediated transformation of eggplant (*Solanum melongena* L.) using a marker gene. *CAB Reviews*, 9(38), 1-9.
- Cao, G., Sofic, E., & Prior, R. L. (1996). Antioxidant capacity of tea and common vegetables. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44(11), 3426–3431.
- Chazdon, R. (2008). Beyond deforestation: Restoring forests and ecosystem services on degraded lands. *Science*, 320(5882), 1458–1460.
- Chong, K. M. (2005). Free radical scavenging activity of Malaysian edible plants. *Food Chemistry*, 92(3), 455-461.

- Cory, H., Passarelli, R., Szeto, K., Tamez, A., & Mattei, J. (2018). The role of polyphenols in human health and food systems: A mini-review. *Frontiers in Nutrition*, 5, 87.
- Demmig-Adams, B. (1990). Xanthophyll Cycle and Energy Dissipation.
- Dias, J. S. (2011). Impact of improved vegetable cultivars in overcoming food insecurity. *Acta Horticulturae*, 903, 27-34.
- Drózdź, D., Wystalska, K., Malińska, K., Grosser, A., Grobelak, A., & Kacprzak, M. Management of poultry manure in Poland – Current state and future perspectives. *Waste Management*, 105, 209-217.
- Field, C. B. (1991). Leaf Photosynthesis and Remote Sensing.
- Foscari, A., Dalla Costa, L., Tulli, F., Uboni, C., & Fellet, G. (2024). Frass from *Tenebrio molitor* as Alternative to NPK-Mineral Fertilization: Results from a Germination Test and Pot Experiment on Sunflower. *Italian Journal of Agronomy*, 19, 100010.
- Francis, C. A., & Porter, P. (2011). Ecology in sustainable agriculture practices and systems. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 30(1-2), 64–73.
- Gamon, J. A., Field, C. B., Bilger, W., & Huemmrich, K. F. (1992). Photochemical Reflectance Index (PRI) and Photosynthesis.
- Garbulsky, M. F., Peñuelas, J., Gamon, J. A., & Inoue, Y. (2011). PRI and Carbon Flux in Ecosystems.
- Gärttling, A., & Schulz, H. (2022). Microbial activity and soil health in frass-amended agricultural systems. *Soil Biology & Biochemistry*, 164, 108452.
- Gomiero, T., Pimentel, D., & Paoletti, M. G. (2011). Environmental impact of different agricultural management practices: Conventional vs. organic agriculture. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 30(1-2), 95–124.
- Houben, D., Daoulas, G., Faucon, M. P., et al. (2020). Potential use of mealworm frass as a fertilizer: Impact on crop growth and soil properties. *Scientific Reports*, 10, 4659.
- Houben, D., Daoulas, G., Faucon, M.-P., & Dulaurent, A.-M. (2020). Potential use of mealworm frass as a fertilizer: Impact on crop growth and soil properties. *Scientific Reports*, 10, 4659.
- Jones, D. L., et al. (2011). Nitrogen fertilizers and their environmental impact. *Advances in Agronomy*, 110, 1-64.
- Kamga, R. T., Kouamé, A., Atangana, T., Chagomoka, J., & Ndango, M. (2013). Nutrient content and antioxidant capacity of African indigenous leafy vegetables: A review. *African Journal of Food Science*, 7(9), 234-246.
- Karkanis, A., Asprogeraka, A. C., Paouris, E., Ntanasi, T., Karavidas, I., Rumbos, C. I., Athanassiou, C. G., & Ntatsi, G. (2024). Yellow Mealworm Frass: A Promising Organic Fertilizer for *Sonchus oleraceus* L. and *Helminthotheca echioides* (L.) Holub Cultivation. *Heliyon*, 10, e35508.

- Khaliq, T., Mahmood, T., Kamal, J., & Masood, A. Effectiveness of farmyard manure, poultry manure, and nitrogen for corn (*Zea mays* L.) productivity. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 47(3), 207-213.
- Kirchmann, H., & Witter, E. Composting of mixed poultry manure and household wastes with different litter amendments. *Biological Wastes*, 24(3), 181-192.
- Klammsteiner, T., et al. (2020). Suitability of black soldier fly frass as soil amendment and its impact on plant growth. *Applied Soil Ecology*, 155, 103726.
- Lal, R. (2004). Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security. *Science*, 304(5677), 1623–1627.
- Leenstra, F. R., Vellinga, T. V., Neijenhuis, F., & de Buissonje, F. E. (2014). Manure: a valuable resource. *Wageningen UR Livestock Research*.
- Lomonaco, G., et al. (2024). Larval frass of *Hermetia illucens* as organic fertilizer: Composition and beneficial effects on different crops. *Insects*, 15(4), 293.
- Lomonaco, G., Franco, A., De Smet, J., Scieuzo, C., Salvia, R., & Falabella, P. (2024). Larval Frass of *Hermetia illucens* as Organic Fertilizer: Composition and Beneficial Effects on Different Crops. *Insects*, 15(293).
- Matsuzoe, N., Yamaguchi, T., & Okubo, M. (1999). Differences in chlorophyll and anthocyanin contents of eggplant (*Solanum melongena* L.) fruits. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, 68(3), 444–449.
- Mohamed Amanullah, E., Somasundaram, E., Vaiyapuri, K., & Sathyamoorthi, K. Poultry manure to crops – A review. *Agricultural Reviews*, 40(1), 1-10.
- Montgomery, D. R. (2007). Soil erosion and agricultural sustainability. *PNAS*, 104(33), 13268–13272.
- Muller, A., et al. (2017). Strategies for sustainable agriculture: The role of organic fertilizers. *Nature Sustainability*, 1, 16–25.
- Mullins, G. L., & Sikora, F. J. Nutrient content and value of poultry manure. USDA Natural Resources Conservation Service, Technical Note No. 12.
- Nkoa, R. (2014). Agricultural benefits and environmental risks of soil fertilization with anaerobic digestates: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 34(2), 473–492.
- Noda, Y., Kaneyuki, T., Igarashi, K., Mori, A., & Packer, L. (2000). Antioxidant activity of nasunin, an anthocyanin in eggplant peels. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(11), 5168–5174.
- Paoletti, M. G., Pimentel, D., Stinner, B. R., & Stinner, D. (1992). Agroecosystem biodiversity: Matching production and conservation biology. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 40(1-4), 3–26.
- Peñuelas, J., Filella, I., & Gamon, J. A. (1995). PRI as an Indicator of Photosynthetic Efficiency.

- Peñuelas, J., Filella, I., & Gamon, J. A. (2011). PRI and Remote Sensing of CO₂ Uptake.
- Pimentel, D. (2010). The Effects of the Resistance of Antibiotics and Pesticides on U.S. Public Health. *National Academy of Sciences*.
- Pimentel, D., & Pimentel, M. (2008). Food, Energy, and Society. CRC Press.
- Rahimzadeh-Bajgiran, M., Chen, J. M., & Berninger, F. (2012). Relationships Between PRI and Plant Pigments.
- Reganold, J. P., Papendick, R. I., & Parr, J. F. (1990). Sustainable agriculture. *Scientific American*, 262(6), 112-120.
- Risse, L. M., Cabrera, M. L., Franzluebbers, A. J., Gaskin, J. W., et al. (2006). Land Application of Manure for Beneficial Reuse.
- Schmitt, E., & de Vries, S. (2020). Environmental impacts of insect frass: Current knowledge and future perspectives. *Environmental Science & Technology*, 54(20), 12788–12796.
- Schmitt, E., & de Vries, W. (2020). Potential benefits of using *Hermetia illucens* frass as a soil amendment on food production and for environmental impact reduction. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 25, 100335.
- Schoenau, J. J. (2006). Benefits of Long-Term Application of Manure.
- Sekara, A., Cebula, S., & Kunicki, E. (2007). Cultivated eggplants—origin, breeding objectives and genetic resources, a review. *Vegetable Crops Research Bulletin*, 67, 43–66.
- Sharma, A. (2017). Organic fertilizers: Types, advantages and disadvantages. *Agri Farming*.
- Smith, P., et al. (2014). Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU). *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change*. Cambridge University Press.
- Sukhova, E., & Sukhov, F. (2018). Meta-Analysis of PRI and Photosynthetic Stress. *Remote Sensing*, 10(5), 771.
- Sweeten, J. M. Composting as a method for poultry manure management. *Bioresource Technology*, 11(3), 209-214.
- Tilman, D., Cassman, K. G., Matson, P. A., Naylor, R., & Polasky, S. (2002). Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, 418(6898), 671–677.
- Vaneeckhaute, C., Meers, E., Michels, E., Buysse, J., & Tack, F. M. G. (2013). Ecological and economic benefits of the application of bio-based mineral fertilizers in modern agriculture. *Journal of Cleaner Production*, 54, 255–265.
- Velten, S., Leventon, J., Jager, N., & Newig, J. (2015). What is sustainable agriculture? A systematic review. *Sustainability*, 7(6), 7833–7865.

Weil, R. R., & Kroontje, W. Effect of poultry manure on soil properties and crop yield. *Soil Science*, 129(3), 152-157.

Whitaker, B. D., & Stommel, J. R. (2003). Distribution of hydroxycinnamic acid conjugates in fruit of commercial eggplant (*Solanum melongena* L.) cultivars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(24), 7016–7022.

Wolf, D. C., & Snyder, G. H. Nitrogen volatilization and nutrient losses from poultry manure. *Journal of Environmental Quality*, 17(2), 227-231.

Yudistira, D. H., et al. (2025). Effects of different application doses of black soldier fly frass on soybean plant performances and arthropod abundance. *Asian Journal of Agriculture*, 9(1), 40–51.

Yudistira, D. H., Sandi, Y. U., Wirabumi, B. A., Damayanti, A., Wikandari, P., & Sato, S. (2025). Effects of different application doses of black soldier fly frass (*Hermetia illucens*) on soybean plant performances and arthropod abundance. *Asian Journal of Agriculture*, 9(1), 40–51.