



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

**«Επίδραση των αποχωρημάτων εντόμων (frass) σε αναπτυξιακά και  
φυσιολογικά χαρακτηριστικά δύο ποικιλιών λούπινου»**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΖΕΚΙΑΪ ΣΤΕΛΑ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: ΛΕΒΙΖΟΥ ΕΥΘΥΜΙΑ**

**ΒΟΛΟΣ, 2024**

**«Επίδραση των αποχωρημάτων εντόμων (frass) σε αναπτυξιακά και φυσιολογικά χαρακτηριστικά δύο ποικιλιών λούπινου»**

**"Effects of insect frass on growth and physiological characteristics of two lupin varieties"**

**ZEKIAΪ ΣΤΕΛΑ**

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, η Ζεκιάι Στέλα 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 θερμά την επιβλέπουσα καθηγήτρια, κα. Ευθυμία Λεβίζου, για τη στήριξή της και την αφιέρωση χρόνου στην υλοποίηση του πειράματος, καθώς και για την πολύτιμη καθοδήγηση και τις συμβουλές της κατά τη συγγραφή της παρούσας εργασίας.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον κ. Αντωνιάδη Βασίλειο για τη σημαντική του συνεργασία και υποστήριξη κατά τη διάρκεια του πειράματος, 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 με τον οποίο πραγματοποίησα το πείραμα, για τη βοήθεια, τη στήριξη και τις συμβουλές καθ' όλη τη διάρκεια της εργασίας.

## Πίνακας περιεχομένων

|                                                                                                     |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....                                                                                      | 7  |
| ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....                                                                                       | 9  |
| 1.1 Η συμβολή των συμβατικών λιπασμάτων και φυτοπροστατευτικών ουσιών στην<br>κλιματική κρίση ..... | 9  |
| 1.2 Οργανικά λιπάσματα και αειφορική γεωργία.....                                                   | 10 |
| 1.2.1 Κοπριά .....                                                                                  | 11 |
| 1.2.2 Κομπόστ .....                                                                                 | 12 |
| 1.2.3 Η επίδραση του οργανικού λιπάσματος στη μικροβιακή δραστηριότητα του εδάφους<br>.....         | 13 |
| 1.3 Τα αποχωρήματα εντόμων (frass) ως οργανικό λίπασμα .....                                        | 14 |
| 1.3.1 Σύγκριση συμβατικού λιπάσματος με frass .....                                                 | 14 |
| 1.3.2 Η επίδραση του frass στη μικροβιακή δραστηριότητα του εδάφους .....                           | 15 |
| 1.3.3 Frass και βιοτική – αβιοτική καταπόνηση.....                                                  | 15 |
| 1.3.4 Η επίδραση του frass στην ανάπτυξη των φυτών.....                                             | 16 |
| 1.4 Λούπινο.....                                                                                    | 16 |
| 1.5 Αζωτοδέσμευση .....                                                                             | 17 |
| 1.6 Σκοπός εργασίας.....                                                                            | 19 |
| 2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ .....                                                                          | 20 |
| 2.1 Σχεδιασμός πειράματος.....                                                                      | 20 |
| 2.2 Πειραματική διαδικασία και Παρατηρήσεις.....                                                    | 20 |
| 2.3 Μετρήσεις .....                                                                                 | 23 |
| 2.3.1 Δείκτης SPAD .....                                                                            | 23 |
| 2.3.2 Φυλλική επιφάνεια .....                                                                       | 23 |
| 2.3.3 Ξηρό βάρος φυτών.....                                                                         | 24 |
| 2.3.4 Λοβοί και Σπόροι.....                                                                         | 24 |
| 2.3.5 Στατιστική Ανάλυση .....                                                                      | 25 |
| 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ .....                                                                               | 26 |
| 3.1 Δείκτης SPAD .....                                                                              | 26 |
| 3.2 Προβαλλομένη Φυλλική Επιφάνεια.....                                                             | 34 |
| 3.3 Ξηρό Βάρος Φυτών .....                                                                          | 35 |
| 3.4 Αριθμός λοβών.....                                                                              | 36 |
| 3.5 Αριθμός σπορών .....                                                                            | 37 |
| 3.6 Βάρος σπορών.....                                                                               | 38 |
| 3.7 Πάχος σπορών.....                                                                               | 39 |
| 3.8 Πλάτος σπορών.....                                                                              | 40 |

|                               |           |
|-------------------------------|-----------|
| <b>4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ .....</b>      | <b>41</b> |
| <b>5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>   | <b>45</b> |
| <b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>      | <b>46</b> |
| ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....    | 46        |
| ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ..... | 46        |

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στο πλαίσιο της αειφορικής γεωργίας, τα τελευταία χρόνια γίνονται έρευνες για λιπάσματα και φυτοπροστατευτικά προϊόντα φιλικά προς το περιβάλλον. Τα οργανικά λιπάσματα φαίνεται να κερδίζουν το ενδιαφέρον και μία πρόσφατη προσέγγιση προς αυτή την κατεύθυνση είναι η χρήση αποχωρημάτων εντόμων (frass) που προέρχονται από εκτροφές συγκεκριμένων ειδών εντόμων. Η παρούσα πτυχιακή εργασία εξετάζει την επίδραση του frass από το έντομο *Tenebrio molitor* σε δυο ποικιλίες λούπινου («Nelly» και «Tennis») που καλλιεργήθηκαν σε δύο διαφορετικούς τύπους εδάφους (ένα όξινο από την περιοχή του Αλμυρού και ένα ελαφρώς αλκαλικό από την περιοχή του Βελεστίνου Μαγνησίας). Το πείραμα πραγματοποιήθηκε σε γλάστρες σε εξωτερικό χώρο και περιλάμβανε τέσσερις μεταχειρίσεις: έναν αρνητικό μάρτυρα (χωρίς λίπασμα), έναν θετικό μάρτυρα (συμβατικό ανόργανο λίπασμα) και δύο μεταχειρίσεις με συγκεντρώσεις frass (0,5% και 1% w/v). Κατά τη διάρκεια του πειράματος πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις των επιπέδων ολικών χλωροφυλλών, μέσω του δείκτη SPAD σε φύλλα τριών ηλικιακών κλάσεων και της προβαλλόμενης φυλλικής επιφάνειας, ενώ κατά την τελική συγκομιδή καταγράφηκε το ξηρό βάρος των φυτών, ο αριθμός των λοβών και των σπόρων καθώς και μορφολογικά χαρακτηριστικά αυτών (πάχος, πλάτος). Η χρήση του frass, και ιδιαίτερα στη συγκέντρωση 0.5%, φάνηκε να αυξάνει τα επίπεδα των ολικών χλωροφυλλών του φύλλου, και να προάγει την ανάπτυξη του λούπινου, όπως καταγράφηκε τόσο στη φυλλική επιφάνεια όσο και στην παραγωγή βιομάζας του φυτού. Το frass αποδείχθηκε ιδιαίτερα αποτελεσματικό στην αύξηση της απόδοσης των φυτών λούπινου σε αριθμό λοβών και σπόρων, σε σύγκριση με την απουσία λιπάσματος αλλά και με ανόργανο-συμβατικό λίπασμα. Τα μορφομετρικά χαρακτηριστικά των σπόρων βελτιώθηκαν παρουσία frass σε σχέση με τους μάρτυρες μόνο στο αλκαλικό έδαφος Βελεστίνου, ενώ στο έδαφος Αλμυρού ήταν παρόμοια σε όλες τις μεταχειρίσεις. Η χρήση του frass σε συγκεντρώσεις 0.5% και 1% οδήγησε σε βελτίωση όλων των παραμέτρων που αξιολογήθηκαν, με την συγκέντρωση του 0.5% να προσφέρει την καλύτερη ισορροπία μεταξύ ποσότητας frass και αποτελεσματικότητας. Οι αποκρίσεις των λούπινων είχαν διακυμάνσεις ανάλογα την ποικιλία και το έδαφος. Οι βελτιώσεις που επέφερε το frass αφορούσαν κυρίως το έδαφος του Βελεστίνου που ως ελαφρώς αλκαλικό δεν ευνοεί την ανάπτυξη και παραγωγικότητα του λούπινου, το οποίο προτιμά τα όξινα εδάφη. Συμπερασματικά, το frass αποτελεί μια πολλά υποσχόμενη και φιλική προς το περιβάλλον λύση για τη βελτίωση της ανάπτυξης και της παραγωγικότητας των λούπινων, υπερτερώντας των ανόργανων λιπασμάτων. Ωστόσο, η μελέτη υποδεικνύει την ανάγκη για περαιτέρω έρευνα,

προκειμένου να κατανοηθούν πλήρως οι παράγοντες που επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα του frass, ιδιαίτερα σε διαφορετικούς τύπους εδαφών και καλλιεργειών.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1 Η συμβολή των συμβατικών λιπασμάτων και φυτοπροστατευτικών ουσιών στην κλιματική κρίση

Οι σύγχρονες ανεπτυγμένες χώρες χαρακτηρίζονται από υπερκαταναλωτισμό και υπερβολικές απαιτήσεις για τροφή— δυο φαινόμενα που οφείλονται αφενός στον δραματικά αυξανόμενο πληθυσμό και αφετέρου στις ολοένα και μεγαλύτερες ανάγκες του (FAO,2009). Αποτέλεσμα των προαναφερθέντων στον τομέα της γεωργίας είναι η υπερβολική χρήση χημικών λιπασμάτων και γεωργικών φαρμάκων με σκοπό την αύξηση της παραγωγής για την κάλυψη των ανθρωπίνων διατροφικών αναγκών (Bhatti et al. 2017, Pahalvi et al. 2021). Η κλιματική αλλαγή είναι πιθανό να επηρεάσει σημαντικά την ασφάλεια της τροφής σε παγκόσμια, περιφερειακή και τοπική κλίμακα. Μπορεί να μειώσει την παραγωγή τροφίμων, να μειώσει την πρόσβαση σε αυτά και να επηρεάσει την ποιότητά τους. Για παράδειγμα, οι προβλεπόμενες αυξήσεις της θερμοκρασίας, οι μεταβολές στα μοτίβα των βροχοπτώσεων, τα ακραία καιρικά φαινόμενα και η μείωση της διαθεσιμότητας νερού μπορούν να οδηγήσουν σε χαμηλότερη αγροτική παραγωγή (United States Environmental Protection Agency, 2017). Για πολλά χρόνια, οι αγρότες χρησιμοποιούν χημικά γεωργικά φάρμακα αλόγιστα και χωρίς να πραγματοποιήσουν τις απαραίτητες αναλύσεις— εδαφολογικές, φυλλοδιαγνωστικές- στις γεωργικές εκτάσεις που καλλιεργούν. Η συνεχής και αδιάκοπη χρήση αυτών, τα τελευταία χρόνια έχει ενισχύσει την κλιματική κρίση καθώς γεωργικά συμβατικά σκευάσματα ρυπαίνουν το περιβάλλον και τον υδροφόρο ορίζοντα ενώ παράλληλα είναι επιβλαβή για την υγεία και υποβαθμίζουν έδαφος, γονιμότητα του εδάφους και βιοποικιλότητα (ROY, 2001). Οι ανησυχίες που αφορούν στη ρύπανση του περιβάλλοντος σχετίζονται με τις ατμοσφαιρικές εκπομπές αμμωνίας και αερίων οξειδίου του αζώτου, ενώ αρνητικό πρόσημο έχει και η παράλληλη ραγδαία αύξηση της ενεργειακής κατανάλωσης (Βουτυράκης, 2008).

Μια ακόμη επίπτωση της χρήσης των συμβατικών γεωργικών σκευασμάτων μείζονος σημασίας είναι η νιτρορύπανση των υπόγειων υδάτων (Moss, 2007) αλλά και το φαινόμενο του ευτροφισμού (Burkholder et al. 2007). Ο ευτροφισμός είναι υπεύθυνος για τη ρύπανση των επιφανειακών υδάτων – παράκτιων θαλασσών, λιμνών και ποταμών – με συνέπεια την υποβάθμιση της βιοποικιλότητας και της ρύπανσης των υπόγειων υδάτων με νιτρικά και νιτρώδη (Tilman, 2001). Ταυτόχρονα, συμβάλει στη διάβρωση τους εδάφους περιορίζοντας έτσι τις διεργασίες που πραγματοποιούνται αλλά και μειώνοντας τη μικροβιακή δραστηριότητα του (Pahalvi et al. 2021). Τέλος, στις επιπτώσεις προστίθεται η βλάβη που προκαλείται στην

υγεία ζώων και ανθρώπων μέσω των νιτρωδών αλάτων τα οποία καθίστανται δηλητηριώδη για τα πρώτα και καρκινογόνα για τους δεύτερους καθώς αντιδρούν με αμίνες και μετατρέπονται σε νιτροζαμίνες (Savci, 2012). Γίνεται αντιληπτή λοιπόν, η ανάγκη για περιορισμό και σταδιακή διακοπή χρήσης χημικών γεωργικών σκευασμάτων αλλά και για περαιτέρω ερεύνα ώστε να βρεθούν φιλικά προς το περιβάλλον λιπάσματα προστατεύοντας έτσι τους φυσικούς πόρους της γης.

## **1.2 Οργανικά λιπάσματα και αειφορική γεωργία**

Ο Οργανισμός Τροφίμων και Γεωργίας των Ηνωμένων Εθνών (FAO) συνιστά την αγροοικολογία ως κύρια προσέγγιση για την επίτευξη των Στόχων Βιώσιμης Ανάπτυξης, ιδίως όσον αφορά την εξάλειψη της πείνας, την εξασφάλιση επισιτιστικής ασφάλειας και βελτιωμένης διατροφής, καθώς και την προώθηση της αειφόρου γεωργίας (FAO, 2018). Η έννοια της βιωσιμότητας στηρίζεται στην αρχή ότι πρέπει να ικανοποιούνται οι ανάγκες του σήμερα χωρίς να τίθεται σε κίνδυνο η δυνατότητα των μελλοντικών γενεών να ικανοποιήσουν τις δικές τους ανάγκες. Για την επίτευξη των παραπάνω κρίνεται απαραίτητη η χρήση λιπασμάτων φιλικών προς το περιβάλλον, όπως είναι τα οργανικά λιπάσματα (Assefa and Tadesse, 2019, Kumar, 2024). Ο κύριος σκοπός των βασικών οργανικών λιπασμάτων είναι να παρέχουν στο έδαφος όλα τα απαραίτητα θρεπτικά συστατικά και οργανική ύλη, προκειμένου να βελτιωθεί η γονιμότητα και η δομή του αλλά και η παραγωγικότητα της καλλιέργειας (Moller, 2018).

Το πρώτο σημαντικό βήμα προς τη βελτίωση των εδαφών αλλά και αποκατάσταση των υποβαθμισμένων εδαφών που προσφέρει η οργανική λίπανση είναι η αύξηση της οργανικής ουσίας στο έδαφος, η οποία με τη σειρά της συμβάλλει στη βελτίωση της υγείας του εδάφους και των φυσικών του ιδιοτήτων. Η οργανική ύλη του εδάφους αποτελεί βασική πηγή και αποθήκη θρεπτικών συστατικών, χρησιμεύει ως υπόστρωμα για τη μικροβιακή δραστηριότητα και λειτουργεί ως ρυθμιστικός παράγοντας έναντι των διακυμάνσεων στην οξύτητα, την περιεκτικότητα σε νερό και τους ρύπους, επηρεάζοντας έτσι και το ατμοσφαιρικό CO<sub>2</sub> και την κλιματική αλλαγή. Επίσης, η οργανική ύλη βελτιώνει τη δομή του εδάφους, προάγοντας καλύτερη διείσδυση νερού, μειωμένη απορροή, καλύτερη αποστράγγιση και αυξημένη σταθερότητα, γεγονός που συμβάλλει στη μείωση της διάβρωσης από τον άνεμο και το νερό (Brodt et al. 2011). Με βάση αυτά, η χρήση οργανικών λιπασμάτων μπορεί να μετριάσει την καταπόνηση από την ξηρασία και να ενισχύσει τον ρυθμό της φωτοσύνθεσης των φυτών (Chatzistathis et al. 2021).

Με την εφαρμογή οργανικών λιπασμάτων, διατηρείται η ισορροπία του εδάφους, μειώνεται η ρύπανση που προκύπτει από διάφορες γεωργικές δραστηριότητες, αυξάνεται και διατηρείται η παραγωγικότητα της γεωργικής γης μακροπρόθεσμα και συνεχίζεται η διατήρηση των φυσικών πόρων του περιβάλλοντος. Παράλληλα διατηρείται η βιοποικιλότητα, συμπεριλαμβανομένης της διατήρησης των ενδιαιτημάτων φυτών και ζώων και διασφαλίζεται η υγεία ανθρώπων και ζώων που καταναλώνουν τα γεωργικά προϊόντα (Fitrah, 2022). Επιπλέον, τα σωστά μείγματα οργανικών ουσιών μπορούν να προσφέρουν υψηλή περιεκτικότητα σε άζωτο με αργή απελευθέρωση, εξασφαλίζοντας έτσι μια σταθερή και μακροπρόθεσμη παροχή αζώτου για την επαναβλάστηση περιοχών που έχουν υποστεί σημαντικές διαταραχές και έχουν χαμηλή περιεκτικότητα σε θρεπτικά συστατικά (Classen and Carrey, 2007). Έρευνες έδειξαν ότι η τρέχουσα διαχείριση της γονιμότητας του εδάφους σε οργανικά θερμοκήπια στην Ευρώπη συνίσταται στην αύξηση της περιεκτικότητας σε οργανική ουσία του εδάφους (Tittarelli et al. 2017, Zikeli et al. 2017).

### **1.2.1 Κοπριά**

Η χρήση οργανικών λιπασμάτων ως πηγή θρεπτικών συστατικών για τις αγροτικές καλλιέργειες από τον άνθρωπο ξεκινά από τη νεολιθική περίοδο, πριν από περίπου 12.000 χρόνια. Κατά την περίοδο αυτή, φυτικά και ζωικά υπολείμματα, χούμος και ανθρώπινη κοπριά εφαρμόζονταν στο έδαφος για την ενίσχυση των θρεπτικών συστατικών των καλλιεργειών (Loss et al. 2019).

Τα μεσογειακά εδάφη είναι γενικά χαμηλής γονιμότητας και χαμηλής περιεκτικότητας σε οργανική ουσία. Μέρος της ευθύνης για αυτό έχει και η -για αιώνες- εντατική γεωργία. Τα βιοστερεά όπως η κοπριά εφαρμόζονται σε αγρούς για τη βελτίωση των φυσικών ιδιοτήτων του εδάφους καθώς και της γονιμότητας, και έχει προταθεί ότι μπορεί να είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικά σε εδάφη με χαμηλή περιεκτικότητα σε οργανική ουσία (Antoniadis et al. 2015). Πολλές μελέτες αποδεικνύουν πως η διασπορά κοπριάς σε γεωργικές εκτάσεις μπορεί να προκαλέσει αύξηση στα διαθέσιμα μακροθρεπτικά και μικροθρεπτικά συστατικά του εδάφους και τις συγκεντρώσεις τους στα φυτά και πως διεγείρει τη μικροβιακή δραστηριότητα της πανίδας, ιδίως των γαιοσκωλήκων (Koutroubas et al. 2016). Τα θρεπτικά συστατικά και η υγρασία που διαθέτει η κοπριά είναι ποικίλα και γι' αυτό ο προσδιορισμός ασφαλών ποσοτήτων εφαρμογής είναι δύσκολος. Από την άλλη πλευρά, εάν χρησιμοποιείται

υπερβολικά, το διαθέσιμο άζωτο που παραμένει στο έδαφος μετά την καλλιεργητική περίοδο μπορεί να είναι περισσότερο από ό,τι στα χωράφια που έχουν διαχειριστεί με συμβατικά λιπάσματα, δημιουργώντας περιβαλλοντικό κίνδυνο λόγω της έκπλυσης νιτρικών αλάτων. (Antoniadis et al. 2015).

Η κοπριά έχει ιδιότητες που μπορούν να βελτιώσουν τις φυσικές ιδιότητες του εδάφους όπως η διαπερατότητα του, το πορώδες, η δομή, η ικανότητα συγκράτησης νερού και τα κατίοντα του εδάφους (Fitrah, 2022). Επιπλέον, οι διαδοχικές εφαρμογές τείνουν να αυξάνουν τη συνολική περιεκτικότητα σε οργανικό άνθρακα (TOC) με την πάροδο των ετών, ιδιαίτερα σε υποβαθμισμένα εδάφη και, κατά συνέπεια, την οργανική ουσία του εδάφους. Αυτές οι εφαρμογές τροποποιούν επίσης την οξύτητα του εδάφους και αυξάνουν την περιεκτικότητα σε θρεπτικά συστατικά. Τα ζωικά απόβλητα περιέχουν επίσης ασβέστιο (Ca) και μαγνήσιο (Mg) που προέρχονται από τις ζωοτροφές που καταναλώνονται από τα ζώα και δεν απορροφώνται από το πεπτικό τους σύστημα (Loss et al. 2019). Η εφαρμογή ζωικών απορριμμάτων στο έδαφος μπορεί να αυξήσει την περιεκτικότητα σε άλλα στοιχεία, όπως τον χαλκό (Cu) και τον ψευδάργυρο (Zn). Ακόμη, η εφαρμογή κοπριάς συνήθως βελτιώνει τη διείσδυση νερού στο έδαφος ενώ ταυτόχρονα η βιολογική δραστηριότητα στο έδαφος ενισχύεται, κυρίως λόγω της αύξησης της οργανικής ύλης και της βελτίωσης των συνθηκών αερισμού του εδάφους (Loss et al. 2019).

### **1.2.2 Κομπόστ**

Σήμερα, παρατηρείται αυξανόμενο ενδιαφέρον για την κομποστοποίηση των αστικών στερεών αποβλήτων (ΑΣΑ), καθώς αυτή μειώνει τον χρόνο που απαιτείται για τη σταθεροποίηση των οικιακών απορριμμάτων και της ιλύος λυμάτων. Κατά τη διαδικασία της κομποστοποίησης, η ποιότητα του άνθρακα (C) στα απόβλητα καθορίζει τον ρυθμό αποσύνθεσης. Αν ο άνθρακας βρίσκεται σε εύκολα διασπώμενες μορφές, όπως οι υδατάνθρακες, η διαδικασία επιταχύνεται, ενώ η υψηλή περιεκτικότητα σε λιγνίνη και κυτταρίνη επιβραδύνει την αποσύνθεση της οργανικής ύλης (Srivastava et al. 2016).

Επιπλέον, μελέτες έδειξαν πως υπάρχει μεγάλο οικονομικό όφελος μέσω της κομποστοποίησης σε σχέση με την συμβατική διαχείριση των απορριμμάτων (Ruggieri et al. 2009). Η κομποστοποίηση έχει μεγάλες δυνατότητες, προσδίδοντας αξία στα απόβλητα και εκτρέποντάς τα από τους χώρους υγειονομικής ταφής προς τους αγρούς, όπου χρησιμοποιούνται ως συμπληρωματικό λίπασμα. Αυτό συμβάλλει στην ανακύκλωση των απορριμμάτων και στην αξιοποίηση τους στη γονιμότητα του εδάφους. Η χρήση κομπόστ

ενισχύει το θρεπτικό περιεχόμενο του εδάφους, τη μικροβιακή δραστηριότητα, την υφή και τη ρυθμιστική του ικανότητα. Το κομπόστ είναι πλούσιο σε οργανική ύλη, άζωτο (N) και χουμικές ουσίες, όπως χουμικό και φουλβικό οξύ (Garcia-Gil et al. 2004). Η οργανική ύλη συμβάλλει σημαντικά στη διατήρηση της ποιότητας του εδάφους, βελτιώνοντας τις φυσικοχημικές και βιολογικές του ιδιότητες, συμπεριλαμβανομένης της μικροβιακής βιομάζας (Araújo et al. 2010). Ακόμη, το κομπόστ διαθέτει υψηλή ικανότητα κατακράτησης νερού και χαμηλή χύδην πυκνότητα (Soumare et al. 2003). Το χουμικό οξύ στο κομπόστ ενισχύει την ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων και τη ρυθμιστική ικανότητα του εδάφους (Garcia-Gil et al. 2004).

Συμπεραίνεται λοιπόν πως η κομποστοποίηση μειώνει τις αρνητικές επιπτώσεις των αστικών στερεών αποβλήτων στο περιβάλλον, ενώ παράλληλα εμπλουτίζει το έδαφος και τα φυτά με θρεπτικά συστατικά. Η ενσωμάτωση κομπόστ στο έδαφος βελτιώνει τις φυσικοχημικές και βιολογικές του ιδιότητες, ενώ βοηθά και στην αποκατάσταση υποβαθμισμένων εδαφών, ενισχύοντας τη βιωσιμότητα των αγροοικοσυστημάτων και την οικολογική ισορροπία του εδάφους (Srivastava et al. 2016).

### **1.2.3 Η επίδραση του οργανικού λιπάσματος στη μικροβιακή δραστηριότητα του εδάφους**

Έρευνες έχουν αποδείξει πως η οργανική λίπανση επηρεάζει σημαντικά την αύξηση της οργανικής ύλης (C) στο έδαφος, την ικανότητα ανταλλαγής ιόντων και τη μικροβιακή δραστηριότητα. Με αυτόν τον τρόπο, συμβάλλει ουσιαστικά στη βελτίωση της υγείας και των ιδιοτήτων του εδάφους, καθώς και στην ενίσχυση της βιωσιμότητας των αγροοικοσυστημάτων (Srivastava et al. 2016).

Οι μικροοργανισμοί στο έδαφος εκτελούν κρίσιμες διεργασίες όπως η αναπνοή, η μετατροπή οργανικών ουσιών σε ανόργανες, η δέσμευση και ο μεταβολισμός του αζώτου, η οξείδωση του μεθανίου, η ανοργανοποίηση του θείου και η διάσπαση ανθεκτικών οργανικών ενώσεων, όπως η λιγνίνη. Επίσης, έχουν την ικανότητα να απορροφούν βαρέα μέταλλα, μια διαδικασία που επηρεάζεται σημαντικά από τα χαρακτηριστικά της κυτταρικής επιφάνειας, όπως το ηλεκτρικό φορτίο και η διαμόρφωση των λειτουργικών ομάδων που εμπλέκονται στη δέσμευση των μετάλλων (Ledin, 2000). Πολλές έρευνες έχουν αποδείξει πως η μικροβιακή δραστηριότητα του εδάφους αυξάνεται συστηματικά μέσω της εφαρμογής οργανικής ύλης στο έδαφος (Srivastava et al. 2016). Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί εκείνο που έλαβε χώρα στην Ταϊβάν όπου συγκρίθηκε η μικροβιακή δραστηριότητα εδαφών με οργανικό λίπασμα, χωρίς εφαρμογή λιπάσματος και με συμβατικό λίπασμα, με τα αποτελέσματα να υποδεικνύουν

ότι το έδαφος με το οργανικό λίπασμα είχε τις υψηλότερες τιμές σε βιομάζα και αφθονία ωφέλιμων μικροοργανισμών (Chang et al. 2010).

### **1.3 Τα αποχωρήματα εντόμων (frass) ως οργανικό λίπασμα**

Τα αποχωρήματα των εντόμων (insect frass) που αποτελούνται από την κοπριά τους καθώς και υπολείμματα των εκδυσμάτων τους και της μη χωνεμένης τροφής τους, έχουν κεντρίσει το ενδιαφέρον της ερευνητικής κοινότητας τα τελευταία χρόνια. Θεωρούνται ένα πολλά υποσχόμενο οργανικό λίπασμα και πολλές μελέτες έχουν δείξει την ευεργετική επίδραση αυτού του οργανικού υλικού στη βελτίωση της γονιμότητας του εδάφους. Περιέχει υψηλές συγκεντρώσεις σε ολικό άζωτο, φώσφορο, κάλιο και οργανικό άνθρακα, γεγονός που το καθιστά εξαιρετικά ωφέλιμο για εδάφη με χαμηλά επίπεδα οργανικής ύλης (Antoniadis et al. 2023). Τα τελευταία χρόνια, έχουν γίνει πολλές μελέτες που εξετάζουν τη δυνατότητα χρήσης του frass ως λίπασμα, και πολλές αναφορές δείχνουν ότι μπορεί να έχει θετικά αποτελέσματα στην ανάπτυξη των φυτών, στην παραγωγή, στη δομή του εδάφους και στη μικροβιακή δραστηριότητα του εδάφους. Επιπλέον, μπορεί να αυξήσει την οργανική ύλη του εδάφους και να παρέχει μικροθρεπτικά στοιχεία όπως ο χαλκός και ο ψευδάργυρος, τα οποία είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη των φυτών (Borkent and Hodge, 2021). Η σύνθεση του frass εξαρτάται από το είδος του εντόμου και τη διατροφή του (Ahmad et al. 2024)

Η θρεπτική αξία του frass δεν περιορίζεται μόνο στα παραδοσιακά πλεονεκτήματα της λίπανσης. Το frass από ορισμένα είδη εντόμων περιέχει σάκχαρα, αλκαλοειδή και φαινόλες, τα οποία μπορούν να ενισχύσουν τη βλάστηση των σπόρων και την ανάπτυξη των φυταρίων σε ποικιλία φυτών (Ahmad et al. 2024). Η περιεκτικότητα του frass σε θρεπτικά συστατικά, οι δείκτες του ως λίπασμα και οι δυνατότητές του να παρέχει άμεσα τα απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία υποδεικνύουν ότι μπορεί να λειτουργήσει ως ένα βιώσιμο εναλλακτικό λίπασμα. Σημαντικό του πλεονέκτημα επίσης είναι ότι η παραγωγή του εντάσσεται στο πλαίσιο της κυκλικής οικονομίας.

#### **1.3.1 Σύγκριση συμβατικού λιπάσματος με frass**

Το frass, ως οργανικό λίπασμα, είναι ανανεώσιμη πηγή προερχόμενη από έντομα, καθιστώντας το βιώσιμο και φιλικό προς το περιβάλλον. Αντίθετα, τα χημικά λιπάσματα προέρχονται από μη ανανεώσιμες πρώτες ύλες. Όσον αφορά στην ταχύτητα δράσης, το frass χρειάζεται περισσότερο χρόνο για να απελευθερώσει τα θρεπτικά συστατικά του στα φυτά, ενώ τα χημικά λιπάσματα διαλύονται άμεσα στο νερό και παρέχουν γρήγορα τα απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία. Σχετικά με τη δομή του εδάφους, το frass ενισχύει τη γονιμότητα και

βελτιώνει τη δομή του εδάφους, ενώ η χρήση χημικών λιπασμάτων μπορεί να προκαλέσει οξίνιση του εδάφους με την πάροδο του χρόνου. Επιπλέον, το frass είναι βιοδιασπώμενο και ενισχύει την ανάπτυξη βακτηρίων που δεσμεύουν το άζωτο, ενώ τα χημικά λιπάσματα μπορεί να βλάψουν αυτά τα βακτήρια λόγω της υψηλής οξύτητας τους. Όσον αφορά στο κόστος, προς το παρόν το frass συνήθως είναι πιο ακριβό σε σχέση με τα χημικά λιπάσματα, τα οποία τείνουν να είναι οικονομικότερα (Ahmad et al. 2024). Εντούτοις, ο συνεχώς αναπτυσσόμενος τομέας της βιομηχανικής εκτροφής εντόμων ως πηγή πρωτεϊνών για ζωοτροφές και για άλλες χρήσεις, αναμένεται να μειώσει το κόστος του frass λόγω της αυξημένης παραγωγής του.

### **1.3.2 Η επίδραση του frass στη μικροβιακή δραστηριότητα του εδάφους**

Τα μικρόβια στο έδαφος παίζουν κρίσιμο ρόλο στην απορρόφηση και αξιοποίηση των θρεπτικών ουσιών από τα φυτά. Επίσης, συμβάλλουν στη βελτίωση της υφής του εδάφους και εκκρίνουν διάφορες ουσίες όπως ορμόνες, δευτερογενείς μεταβολίτες, αντιβιοτικά και σηματοδοτικά μόρια με αποτέλεσμα την ενίσχυση της ανάπτυξης των φυτών. Έρευνα που διεξήχθη με θέμα την εφαρμογή του frass στο είδος *Brassica rapa* έδειξε πως πέρα από την θετική επίδραση στην ανάπτυξη των φυτών, ο πληθυσμός των βακτηρίων στο έδαφος που είχε εφαρμοστεί frass ήταν μεγαλύτερος από εκείνον στο έδαφος με συμβατικό λίπασμα (Agustiyyanni et al. 2021). Επίσης, οι Houben et al. (2021) απέδειξαν την αύξηση της μικροβιακής δραστηριότητας σε πείραμα γλάστρας στο φυτό *Lolium multiflorum*. Ακόμη, έχει αποδειχτεί πως το frass όχι μόνο αυξάνει τη μικροβιακή δραστηριότητα και βιομάζα στο έδαφος αλλά και μειώνει τις συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων (Watson et al. 2021).

### **1.3.3 Frass και βιοτική – αβιοτική καταπόνηση**

Ορισμένες μελέτες έδειξαν πως το frass ενισχύει την άμυνα του φυτού απέναντι σε βιοτικούς και αβιοτικούς παράγοντες (Poveda et al. 2019, Poveda, 2021). Το ίδιο επιβεβαιώθηκε και από την έρευνα που πραγματοποιήθηκε σε φυτά μαρουλιού στην Πολωνία η οποία έδειξε πως τα φυτά που είχαν δεχτεί ποσότητα frass είχαν μεγαλύτερη αντοχή στη ξηρασία (Sawinska et al. 2024). Σε άλλη μελέτη, η εφαρμογή frass από αλευροσκώληκες σε φυτά φασολιών οδήγησε σε αυξημένη αντοχή στην αλατότητα, την ξηρασία και την υπερβολική άρδευση. Η αυξημένη αντοχή αποδόθηκε στην παρουσία πολλών βακτηρίων και μυκήτων στο frass, που έχουν την ικανότητα να σταθεροποιούν το ατμοσφαιρικό άζωτο, να διαλύουν φωσφορικά άλατα και κάλιο, και να παράγουν ωφέλιμες ενώσεις όπως αυξίνες και 1-αμινοκυκλοπροπανο-1-καρβοξυλικό οξύ (ACC), οι οποίες προάγουν την ανάπτυξη των φυτών και αυξάνουν την αντοχή τους στο στρες. Επιπλέον, μπορεί να ενισχύσει τους αμυντικούς μηχανισμούς των φυτών απέναντι σε παράσιτα και ασθένειες. Οι μικροοργανισμοί

και οι χημικές ενώσεις που περιέχονται στο frass παίζουν σημαντικό ρόλο στην ενεργοποίηση της συστημικής άμυνας των φυτών μέσω μονοπατιών όπως το σαλικυλικό οξύ, το ιασμονικό οξύ και το αιθυλένιο. Αυτές οι ιδιότητες ενεργοποιούνται όταν φυτικοί υποδοχείς αναγνωρίζουν χημικά μοτίβα που σχετίζονται με μικροοργανισμούς και φυτοφάγα, όπως η χιτίνη καθώς έχει διαπιστωθεί ότι ενώσεις όπως η χιτίνη, που περιέχεται στο frass, μπορούν να ενεργοποιήσουν τους αμυντικούς μηχανισμούς των φυτών και να μειώσουν την ένταση των ασθενειών. Βέβαια, η ενεργοποίηση των αμυντικών μηχανισμών των φυτών μπορεί να διαφέρει ανάλογα με το είδος της καλλιέργειας και τα συγκεκριμένα παθογόνα που εμπλέκονται (Ahmad et al. 2024).

#### **1.3.4 Η επίδραση του frass στην ανάπτυξη των φυτών**

Μια από τις κυριότερες ανησυχίες των αγροτών είναι η παραγωγικότητα και η ευρωστία των καλλιεργειών. Πλέον, αρκετές μελέτες αποδεικνύουν πως η εφαρμογή του frass πέραν των προαναφερθέντων θετικών επιδράσεων, μπορεί να ενισχύσει την ανάπτυξη των φυτών σε αναπτυξιακά και μορφολογικά χαρακτηριστικά. Οι Beesigamukama et al. (2020) διαπίστωσαν την καλύτερη ανάπτυξη των φυτών καλαμποκιού στα οποία είχε εφαρμοστεί frass ενώ η έρευνα των Houben et al. (2020) επιβεβαίωσε το ίδιο για το κριθάρι (Houben et al. 2021) σε σχέση με συμβατικά λιπάσματα. Αντίστοιχη έρευνα που πραγματοποιήθηκε στο Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας σε φυτά σπανακιού απέδειξε την θετική επίδραση του frass στην ανάπτυξη των φυτών (Antoniadis et al. 2023). Τέλος, ακόμη μια έρευνα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας σε φυτά πιπεριάς τεκμηριώνει την ενίσχυση που προσδίδει το frass στα αναπτυξιακά και φυσιολογικά χαρακτηριστικά των φυτών (Παπαχρήστου, 2024).

#### **1.4 Λούπινο**

Τα λούπινα (*Lupinus* sp) είναι όσπρια που χρησιμοποιούνται κυρίως ως πηγή πρωτεΐνης για τη διατροφή ανθρώπων και ζώων. Το γένος *Lupinus* ανήκει στην κατηγορία των ψυχανθών, στην οικογένεια Fabaceae και στην τάξη Fabales (Clementes, 2005). Με την ονομασία λούπινο αναφέρονται περισσότερα από 300 είδη, τόσο άγρια όσο και καλλιεργούμενα, που ανήκουν στο γένος *Lupinus*. Το γένος αυτό περιλαμβάνει ποώδη ετήσια είδη, καθώς και ποώδη-θαμνώδη πολυετή είδη. Τα καλλιεργούμενα είδη είναι τα *L. angustifolius* L. (μπλε λούπινο), *L. albus* L. (λευκό λούπινο), *L. luteus* L. (κίτρινο λούπινο) (Παπακώστα-Τασοπούλου, 2012).

Τα καλλιεργούμενα είδη λούπινου είναι ποώδη ετήσια φυτά με κατακόρυφη ανάπτυξη. Διαθέτουν μια ισχυρή πασσαλώδη ρίζα που διεισδύει βαθιά στο έδαφος και διακλαδίζεται εκτενώς. Στις ρίζες σχηματίζονται μεγάλα φυμάτια. Το ύψος των λούπινων κυμαίνεται μεταξύ

20 και 100 cm, ανάλογα με το περιβάλλον καλλιέργειας και τον γενετικό τύπο. Ένα αναγνωριστικό χαρακτηριστικό των λούπινων είναι τα σύνθετα φύλλα τους, που έχουν μορφή παλάμης. Το στέλεχος, οι μίσχοι και τα φυλλάρια είναι συνήθως καλυμμένα με τρίχες. Τα άνθη βρίσκονται σε μεγάλες, επάκριες ταξιανθίες με σχήμα βοτρυοειδές. Οι λοβοί είναι τριχωτοί και δερματώδεις, περιέχοντας 2-6 σπόρους, ανάλογα με το είδος και την ποικιλία. Τα περιβλήματα των λοβών είναι ιδιαίτερα παχιά και αποτελούν το 35-40% του βάρους του λοβού όταν ωριμάσει (Παπακώστα-Τασοπούλου, 2012).

Τα λούπινα είναι καλλιέργειες που προτιμούν τα εύκρατα κλίματα και δεν αντέχουν στον παγετό. Ωστόσο, οι περισσότερες ποικιλίες απαιτούν μια περίοδο έκθεσης σε χαμηλές θερμοκρασίες (πάνω από 0 °C) για να υποβληθούν σε εαρινοποίηση. Για να αποφευχθούν ζημιές από το κρύο, συνιστάται η φύτευση τους νωρίς το φθινόπωρο. Επίσης, οι υψηλές θερμοκρασίες μπορούν να είναι επιζήμιες για την ανάπτυξή τους. Το λούπινο έχει πολύ μικρές απαιτήσεις σε γονιμότητα εδάφους και μπορεί να καλλιεργηθεί σε φτωχά και ξηρά εδάφη, όπου άλλα ψυχανθή δεν τα καταφέρνουν. Προτιμά ελαφρώς όξινα έως ουδέτερα εδάφη με ιδανικό pH μεταξύ 5,5 και 6,5. Γενικά, αντέχει την οξύτητα του εδάφους καλύτερα από πολλά άλλα ψυχανθή. Παράλληλα, το λούπινο είναι μετρίως ευαίσθητο στην αλκαλικότητα του εδάφους (Παπακώστα-Τασοπούλου, 2012).

Τα λούπινα μπορούν να ενταχθούν σε κάθε σύστημα αμειψισποράς, όπως και τα άλλα ψυχανθή. Για την Ελλάδα, η ιδανική περίοδος σποράς είναι νωρίς το φθινόπωρο. Όσον αφορά στην πυκνότητα, διάφορες πυκνότητες φυτών μπορούν να επιτύχουν την ίδια παραγωγή, εξαιτίας της ικανότητας του φυτού να προσαρμόζει τα χαρακτηριστικά της απόδοσής του (Lopez-Bellido et al. 2000).

### **1.5 Αζωτοδέσμευση**

Η συμβολή των ψυχανθών στη βιώσιμη γεωργία είναι πολύπλευρη και προσφέρει πλήθος πλεονεκτημάτων. Οι καλλιέργειες ψυχανθών έχουν την ικανότητα να δεσμεύουν το άζωτο από την ατμόσφαιρα με φυσικό τρόπο. Αυτός ο μηχανισμός ωφελεί όχι μόνο τα ίδια τα ψυχανθή, αλλά και άλλες καλλιέργειες που φυτεύονται συγχρόνως ή ακολουθούν, μειώνοντας ή εξαλείφοντας την ανάγκη για εφαρμογή λιπασμάτων που περιέχουν άζωτο (Liu et al. 2011). Τα ψυχανθή αναπτύσσουν συμβιωτικές σχέσεις με βακτήρια που είναι γνωστά ως ριζόβια. Τα ριζόβια έχουν την ικανότητα να δεσμεύουν το άζωτο από την ατμόσφαιρα και να το μετατρέπουν σε μορφές που είναι χρήσιμες για το φυτό. Αυτή η διαδικασία είναι γνωστή ως Βιολογική Αζωτοδέσμευση (Biological Nitrogen Fixation-BNF). Όταν το έδαφος περιέχει το

κατάλληλο ριζόβιο βακτήριο, τα ψυχανθή δημιουργούν φυμάτια στις ρίζες τους, τα οποία δεσμεύουν άζωτο. Όπως και άλλα όσπρια, τα λούπινα μπορούν να δεσμεύουν το άζωτο της ατμόσφαιρας μέσω του σχηματισμού ειδικών φυματίων στις ρίζες τους. Αυτά τα φυμάτια είναι εξειδικευμένα όργανα που προκύπτουν από τη συμβίωση του φυτού με το ριζόβιο. Το γένος *Lupinus* συμβιώνει με το ριζόβιο *Bradyrhizobium* sp. (*lupini*) (Kurlovich et al. 2002, Stepkowski et al. 2018). Η ποσότητα αζώτου που δεσμεύεται από κάθε είδος λούπινου διαφέρει. Σύμφωνα με αναφορές, το λευκό λούπινο μπορεί να δεσμεύσει 80 kg N/ha (Pampana et al. 2016), ενώ το μπλε λούπινο μπορεί να δεσμεύσει από 32 έως 288 kg N/ha (Peoples et al. 1995).

## 1.6 Σκοπός εργασίας

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση της επίδρασης του frass του εντόμου *Tenebrio molitor* στα μορφολογικά και φυσιολογικά χαρακτηριστικά φυτών λούπινου (*Lupinus albus*) που αναπτύχθηκαν σε δύο τύπους εδαφών, ένα μέτρια αλκαλικό (από το Ερευνητικό Αγρόκτημα Βελεστίνου) και ένα όξινο (από την περιοχή του Αλμυρού), με το τελευταίο να θεωρείται το βέλτιστο για την καλλιέργεια λούπινου. Η μελέτη αυτή αποσκοπεί όχι μόνο στην αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας του frass ως οργανικό λίπασμα, αλλά και στην κατανόηση του τρόπου με τον οποίο το frass μπορεί να βελτιώσει την λειτουργία και ανάπτυξη του λούπινου. Τέλος, η εργασία στοχεύει στο να εμπλουτίσει την βιβλιογραφία που αφορά τα οφέλη του frass, καθώς δεν υπάρχουν ακόμη μελέτες σε ψυχανθή.

## 2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

### 2.1 Σχεδιασμός πειράματος

Το πείραμα έλαβε χώρα στη Σχολή Γεωπονικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, στο Τμήμα Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, κατά την περίοδο Νοεμβρίου 2023 - Ιουνίου 2024. Τα φυτά αναπτύχθηκαν σε περιφραγμένο σημείο στον εξωτερικό χώρο της σχολής με μοναδική ελεγχόμενη περιβαλλοντική συνθήκη την άρδευση.

Χρησιμοποιήθηκαν δύο τύποι εδαφών: ένα από το Ερευνητικό αγρόκτημα του ΠΘ στο Βελεστίνο με pH 8 και ένα από την περιοχή του Αλμυρού Μαγνησίας με pH 6. Επίσης, χρησιμοποιήθηκαν δύο ποικιλίες λούπινου, η Tennis που προορίζεται κυρίως για ανθρώπινη κατανάλωση και η Nelly που προορίζεται για ζωοτροφή.

Για τη διεξαγωγή του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν γλάστρες 9,5 L, περλίτης, έδαφος από το Βελεστίνο και από τον Αλμυρό, 2 ποικιλίες λούπινου, λιπάσματα 0-46-0 και 0-0-30, «frass» των προνυμφών του εντόμου *Tenebrio molitor* που προέκυψε από εκτροφές του Εργαστηρίου Εντομολογίας και Γεωργικής Ζωολογίας του Τμήματος.

Οι μεταχειρίσεις του πειράματος ήταν 4, με 10 επαναλήψεις/γλάστρες η κάθε μια:

- i. Αρνητικός μάρτυρας (negative control, NC). Η μεταχείριση αυτή περιείχε μόνο έδαφος και περλίτη.
- ii. Θετικός μάρτυρας (positive control, PC), ο οποίος περιείχε έδαφος, περλίτη και 0,5g από το προϊόν ανάμειξης των λιπασμάτων 0-46-0 και 0-0-30, σε αναλογία 1:1.
- iii. Frass 0.5% w/v (0,5F). Προστέθηκαν και αναμείχθηκαν 30g frass σε κάθε γλάστρα.
- iv. Frass 1% w/v (1F). Προστέθηκαν και αναμείχθηκαν 60g frass σε κάθε γλάστρα.

Χρησιμοποιήθηκαν σπόροι από τις ποικιλίες λούπινου «Nelly» και «Tennis» σε 4 μεταχειρίσεις με 10 γλάστρες έκαστη στους δυο τύπους εδάφους, δημιουργώντας ένα σύνολο από 160 γλάστρες (2 ποικιλίες \* 2 εδάφη \* 4 μεταχειρίσεις \* 10 γλάστρες).

### 2.2 Πειραματική διαδικασία και Παρατηρήσεις

Η ανάμειξη των εδαφών με περλίτη σε αναλογία 2/1 και η τοποθέτηση του μείγματος στις γλάστρες πραγματοποιήθηκε στις 13/11/23 για το έδαφος Βελεστίνου και στις 15/11/23 για το έδαφος Αλμυρού. Στη συνέχεια, ακολούθησε το κοσκίνισμα του συνολικού frass το οποίο έπειτα παρέμεινε στο φούρνο, στους 70 °C για 1 ώρα.



*Εικόνα 1: Φωτογραφία των φυτών της μεταχείρισης 1F της ποικιλίας Tennis στα αρχικά στάδια του πειράματος.*

Στις 22/11/23 έγινε η σπορά της ποικιλίας λούπινου Nelly και στα δύο εδάφη ενώ στις 28/11/23 έγινε η σπορά της ποικιλίας λούπινου Tennis.

Στις 5/12/23 παρατηρήθηκε το φύτρωμα της ποικιλίας Nelly και ο σχηματισμός επιφανειακής κρούστας στο έδαφος Βελεστίνου. Παρ' όλη την ύπαρξη της κρούστας, τα φυτά της Nelly είχαν φυτρώσει. Σπάσαμε την κρούστα προσεκτικά με τα δάχτυλα.

Στις 11/12/23 πραγματοποιήθηκε το αραίωμα των φυταρίων: αφέθηκαν 2 φυτά ανά γλάστρα και προστέθηκε το λίπασμα στη μεταχείριση PC και οι 2 συγκεντρώσεις frass των 30g και των 60g στις μεταχειρίσεις 0,5F και 1F αντίστοιχα. Αφού προστέθηκαν οι λιπάνσεις στις γλάστρες, έγινε ενσωμάτωση του λιπάσματος και του frass στις γλάστρες, σκάβοντας προσεκτικά και σε ελάχιστο βάθος το χώμα με μικρά φτυαράκια.

Η προαναφερθείσα διαδικασία ακολουθήθηκε και για τα φυτά της ποικιλίας Tennis στις 18/12/23 με τον ίδιο τρόπο.



*Εικόνα 2: Φωτογραφία ορισμένων φυτών κατά την προσθήκη frass.*

Παρατηρήθηκε στις 16/01/24 μια ελαφριά καχεξία των φυτών της ποικιλίας Tennis στο έδαφος Βελεστίνου και κυρίως στις μεταχειρίσεις του frass. Στις 26/02/24 τα φυτά της Nelly είχαν ανθίσει και ήταν αισθητή η διαφορά των φυτών του εδάφους Αλμυρού από αυτά του εδάφους Βελεστίνου καθώς τα πρώτα είχαν έντονο σκούρο πράσινο χρώμα και συνεχή ανάπτυξη ενώ τα δεύτερα ήταν χλωρωτικά και καχεκτικά.

Στις 12/03/24 στα φυτά της ποικιλίας Nelly εμφανίστηκαν οι πρώτοι λοβοί στον κεντρικό βλαστό ενώ παράλληλα η άνθιση επεκτεινόταν και στους πλάγιους βλαστούς. Στις 27/03/24 προστέθηκε η δεύτερη δόση frass στις αντίστοιχες μεταχειρίσεις και μέχρι την 01/04/24 άρχισε το πότισμα των φυτών με 330 ml/γλάστρα καθημερινά, (33 ml/min, για 10min). Στις 17/04/24 τα φυτά ψεκάστηκαν με δια-συστηματικό μυκητοκτόνο για το ιώδιο και με δια-συστηματικό εντομοκτόνο για τα μυζητικά έντομα.

Η συγκομιδή των λοβών της ποικιλίας Nelly ολοκληρώθηκε στις 03/06/24 ενώ της ποικιλίας Tennis ολοκληρώθηκε στις 18/06/24 – ημερομηνία λήξης του πειράματος.



*Εικόνα 3: Φωτογραφία όλων των φυτών στο στάδιο της άνθισης.*

## **2.3 Μετρήσεις**

### **2.3.1 Δείκτης SPAD**

Για τις μέτρηση των ολικών χλωροφυλλών (a+b) των φύλλων χρησιμοποιήθηκε φορητό χλωροφυλλόμετρο SpadPlus 502 της εταιρίας Minolta το οποίο καταγραφεί το δείκτη SPAD. Η πρώτη μέτρηση πραγματοποιήθηκε στις 12/03 για τα φυτά της Nelly και μια εβδομάδα μετά για τα φυτά της Tennis. Ακολούθησε άλλη μια σειρά μετρήσεων στις 15/04 και στις 22/04 για τα φυτά της Nelly και της Tennis αντίστοιχα. Σε κάθε φυτό μετρήθηκαν 3 φύλλα, ένα νεαρό, ένα ώριμο και ένα γερασμένο, προκειμένου να καταγραφεί το κατακόρυφο προφίλ της παραμέτρου.

### **2.3.2 Φυλλική επιφάνεια**

Στις 12/03 πραγματοποιήθηκε λήψη φωτογραφιών για το κάθε φυτό με τρόπο τέτοιο ώστε το σημείο της λήψης φωτογραφίας να είναι πάντα στο ίδιο ύψος με σκοπό τη μέτρηση της φυλλικής επιφάνειας των φυτών. Μέσω του ελεύθερου λογισμικού Image J (πρόγραμμα ανάλυσης εικόνας) οι φωτογραφίες δέχθηκαν επεξεργασία και μετρήθηκε η φυλλική επιφάνεια.

### 2.3.3 Ξηρό βάρος φυτών

Με το πέρας του πειράματος, τα φυτά που είχαν ήδη ξεραθεί τοποθετήθηκαν σε χάρτινα σακουλάκια το καθένα ξεχωριστά και ζυγίστηκε το ξηρό βάρος του υπέργειου μέρους τους σε ζυγαριά ακριβείας.

### 2.3.4 Λοβοί και Σπόροι

Επιπλέον, μετρήθηκε ο αριθμός των λοβών ανά γλάστρα αλλά και ο αριθμός των σπορών ανά γλάστρα. Όσον αφορά στους σπόρους, ζυγίστηκε το βάρος τους ανά γλάστρα και μετρήθηκε το πάχος και το πλάτος του κάθε σπόρου ξεχωριστά. Το πάχος του σπόρου μετρήθηκε με παχύμετρο Mitutoyo, Japan τοποθετώντας το σπόρο οριζόντια ανάμεσα στις δύο σιαγόνες του παχυμέτρου ενώ το πλάτος μετρήθηκε με χάρακα από τον έναν πόλο του σπόρου στον άλλον.



*Εικόνα 3: Φωτογραφία ορισμένων φυτών που φέρουν λοβούς.*

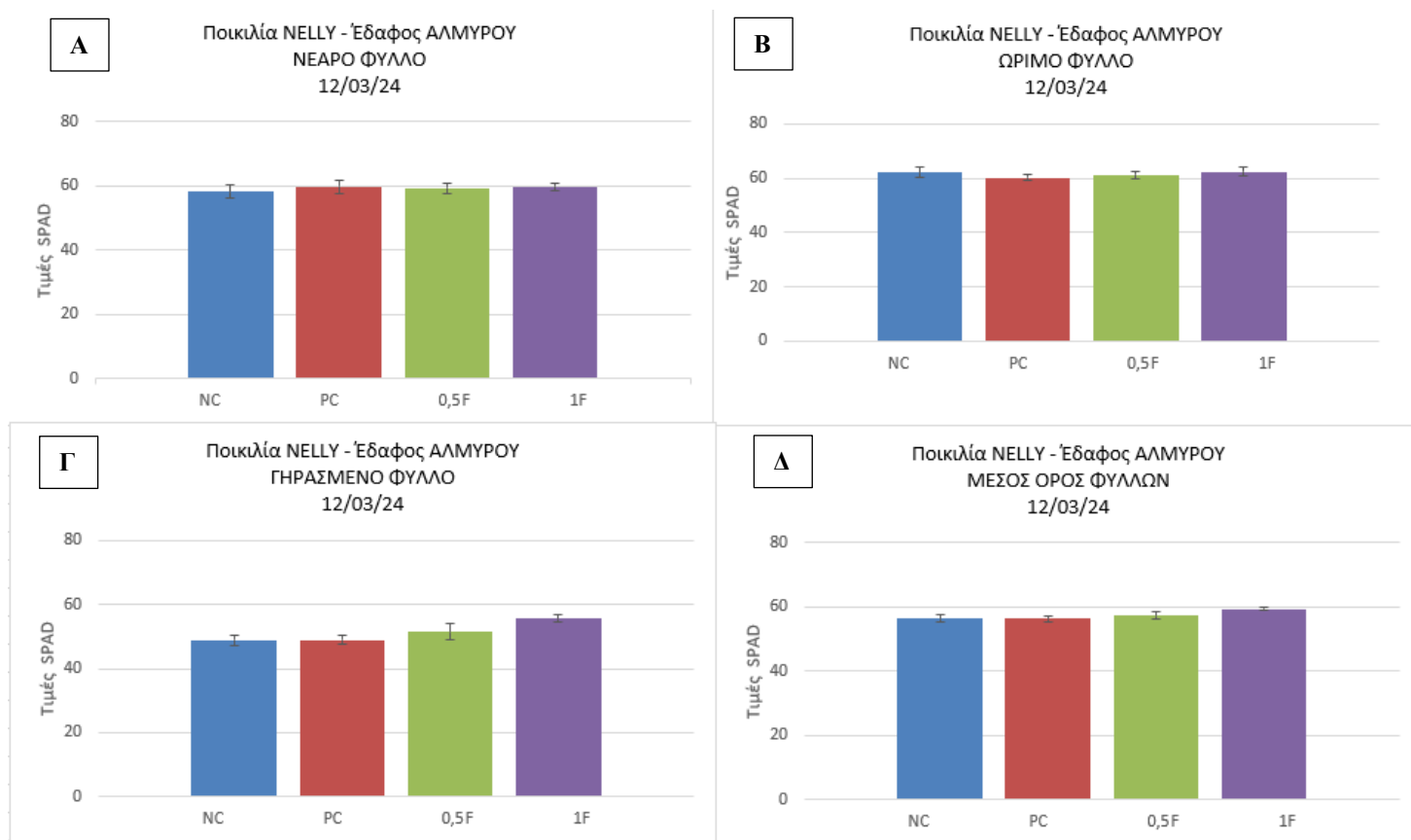
### 2.3.5 Στατιστική Ανάλυση

Τα δεδομένα του πειράματος υπέστησαν στατιστική επεξεργασία με μονοπαραγοντική ανάλυση παραλλακτικότητας (one-way ANOVA), ώστε να συγκριθούν οι μεταχειρίσεις μεταξύ τους ανά ποικιλία και έδαφος. Οι διαφορές ανάμεσα στις μεταχειρίσεις αναλύθηκαν χρησιμοποιώντας το Tukey post-hoc test. Όταν οι προϋποθέσεις της ANOVA δεν πληρούνταν, εφαρμόζονταν το μη παραμετρικό τεστ Kruskal-Wallis, ακολουθούμενο από το post-hoc τεστ Dunn. Το επίπεδο σημαντικότητας ορίστηκε σε  $p \leq 0.05$  για όλες τις αναλύσεις.

### 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

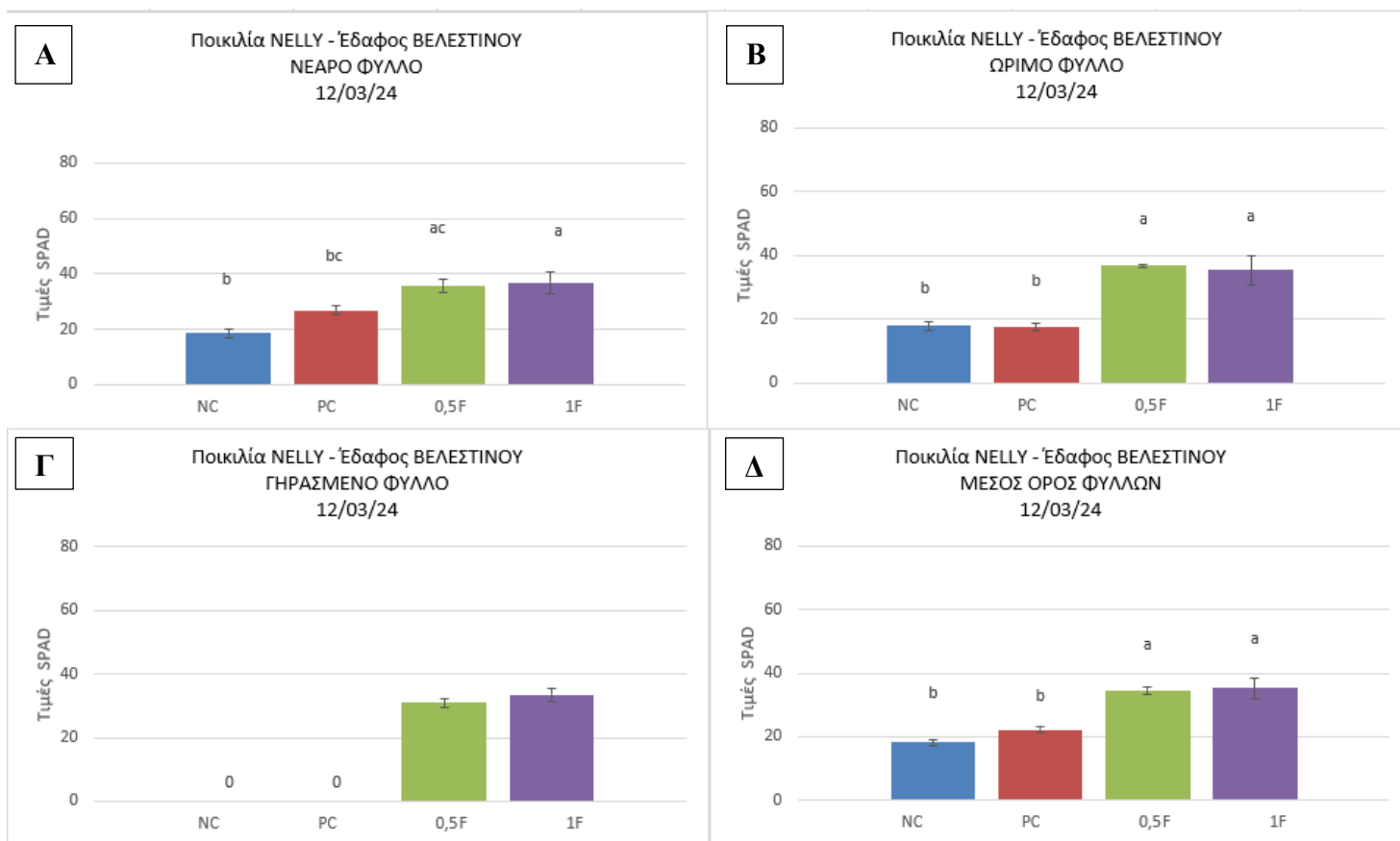
Στη συνέχεια παρατίθενται τα αποτελέσματα του πειράματος για τις διάφορες μεταχειρίσεις στις δύο ποικιλίες και στα δύο εδάφη. Με μπλε χρώμα απεικονίζεται η μεταχείριση NC, με κόκκινο η PC, με πράσινο η 0,5F και με μωβ η 1F. Τα διαφορετικά γράμματα υποδηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές ( $p \leq 0.05$ ).

#### 3.1 Δείκτης SPAD



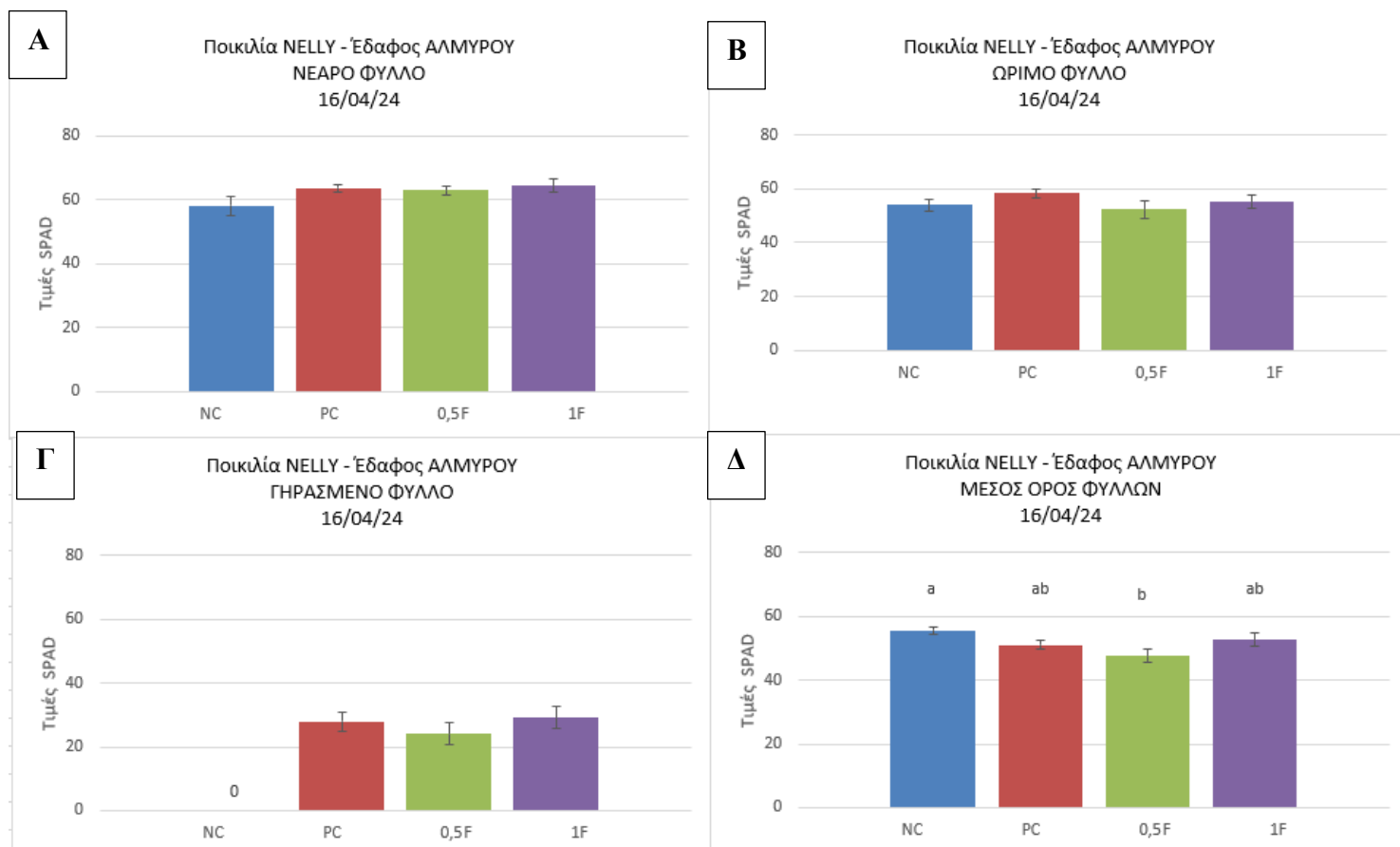
Γράφημα 1: Δείκτης SPAD σε φύλλα της ποικιλίας Nelly στο έδαφος Αλμυρού, κατά την 1<sup>η</sup> μέτρηση (12/03): Το (Α) αφορά τις τιμές των νεαρών φύλλων το (Β) των ώριμων, το (Γ) των γηρασμένων φύλλων και στο (Δ) παρουσιάζεται ο μέσος όρος ανά φυτό. Η απουσία σημάτων στατιστικής υποδεικνύει την απουσία στατιστικώς σημαντικών διαφορών μεταξύ μεταχειρίσεων.

Στο γράφημα 1 απεικονίζονται οι τιμές του δείκτη SPAD, ο οποίος σχετίζεται με τα επίπεδα των συνολικών χλωροφυλλών στα φύλλα, κατά την 1<sup>η</sup> μέτρηση στην ποικιλία Nelly στο όξινο έδαφος. Παρατηρείται ότι οι μεταχειρίσεις της ποικιλίας δεν προκάλεσαν σημαντικές διαφορές κατά την πρώτη μέτρηση στις τιμές του δείκτη SPAD.



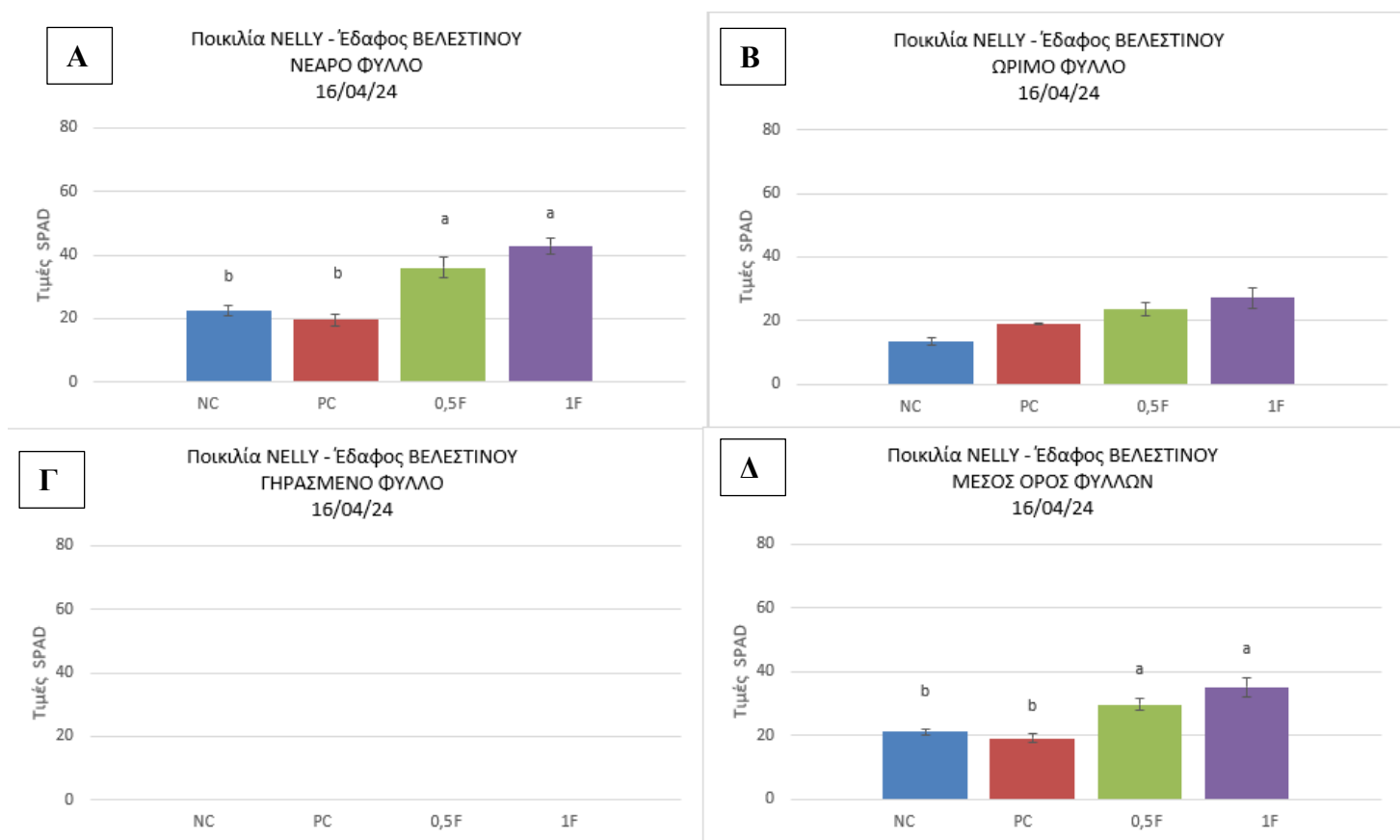
Γράφημα 2: Δείκτης SPAD σε φύλλα της ποικιλίας Nelly στο έδαφος Βελεστίνου, κατά την 1<sup>η</sup> μέτρηση (12/03): Το (Α) αφορά τις τιμές των νεαρών φύλλων το (Β) των ώριμων, το (Γ) των γηρασμένων φύλλων και στο (Δ) παρουσιάζεται ο μέσος όρος ανά φυτό. Η απουσία σημάτων στατιστικής στο γράφημα Γ υποδεικνύει την απουσία στατιστικώς σημαντικών διαφορών μεταξύ μεταχειρίσεων. Τα διαφορετικά γράμματα στα γραφήματα Α, Β, Δ υποδεικνύουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ μεταχειρίσεων.

Στο γράφημα 2 παρατηρείται πως τις υψηλότερες τιμές των συνολικών χλωροφυλλών στα φύλλα της Nelly στο αλκαλικό έδαφος είχαν τα φυτά των μεταχειρίσεων 0,5F και 1F. Επίσης, φαίνεται να έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές με τις άλλες δυο μεταχειρίσεις. Ακόμη, δεν υπήρχαν γηρασμένα φύλλα στα φυτά των μεταχειρίσεων NC και PC και γι' αυτό απουσιάζουν οι τιμές τους.



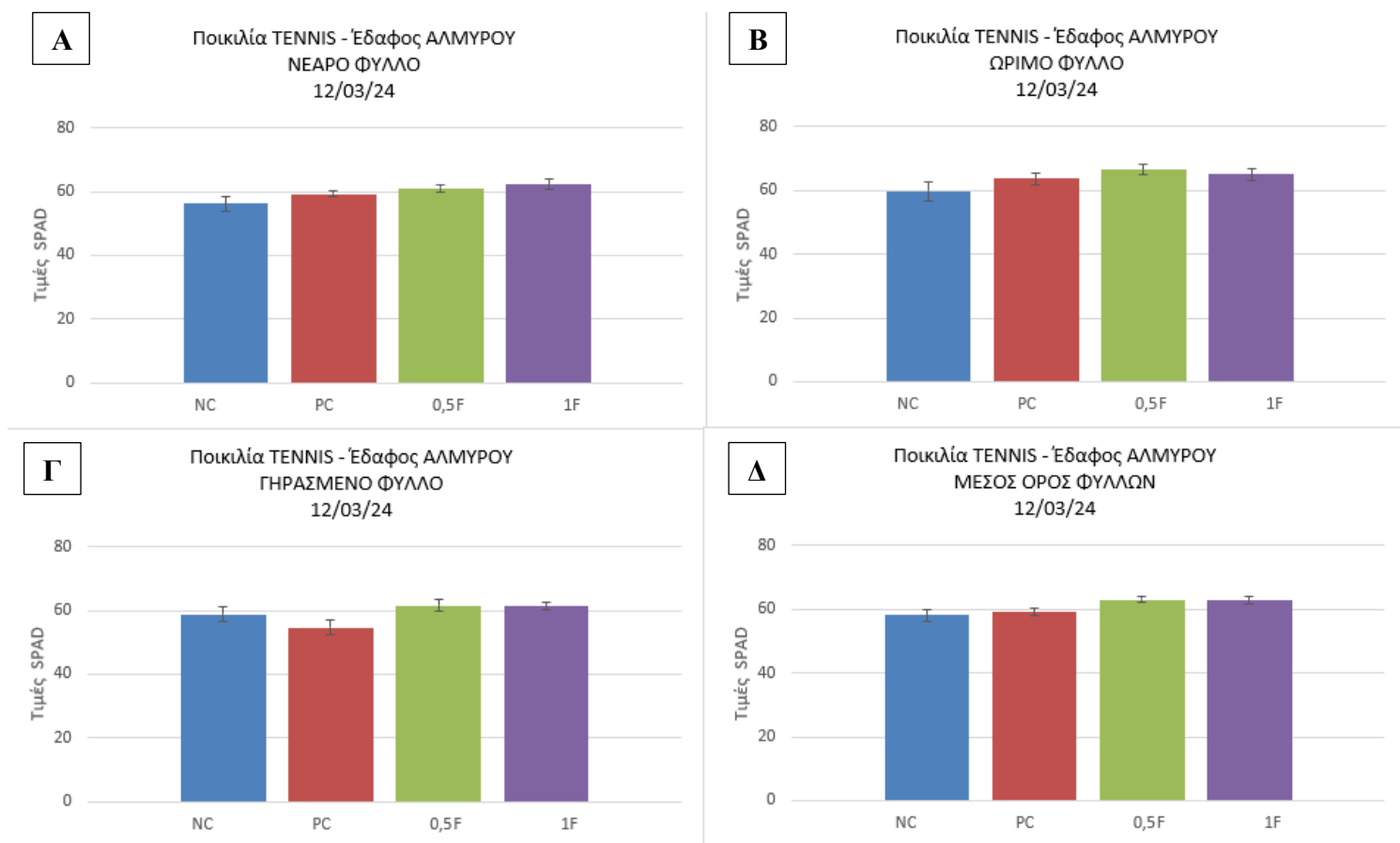
Γράφημα 3: Δείκτης SPAD σε φύλλα της ποικιλίας Nelly στο έδαφος Αλμυρού, κατά την 2<sup>η</sup> μέτρηση (16/04): Το (Α) αφορά τις τιμές των νεαρών φύλλων το (Β) των ώριμων, το (Γ) των γηρασμένων φύλλων και στο (Δ) παρουσιάζεται ο μέσος όρος ανά φυτό. Τα διαφορετικά γράμματα στο γράφημα Δ υποδεικνύουν στατιστικές σημαντικές διαφορές μεταξύ μεταχειρίσεων ενώ η απουσία σημάτων στατιστικής στα υπόλοιπα γραφήματα υποδεικνύει την απουσία στατιστικών σημαντικών διαφορών μεταξύ μεταχειρίσεων.

Στο γράφημα 3 διαπιστώνεται πως μικρές και μη σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων σε νεαρά και ώριμα φύλλα της Nelly στο όξινο έδαφος οδήγησαν σε στατιστικώς σημαντικές διαφορές στη μέση περιεκτικότητα σε χλωροφύλλες του φυτού. Την υψηλότερη τιμή SPAD κατά τη δεύτερη μέτρηση είχε η μεταχείριση NC, ακολουθούμενη από τις PC και 1F με παρόμοιες τιμές, ενώ η μεταχείριση 0,5F ήταν σημαντικά χαμηλότερη από την πρώτη. Επιπλέον, γίνεται αντιληπτή η απουσία γηρασμένων φύλλων στην μεταχείριση NC.



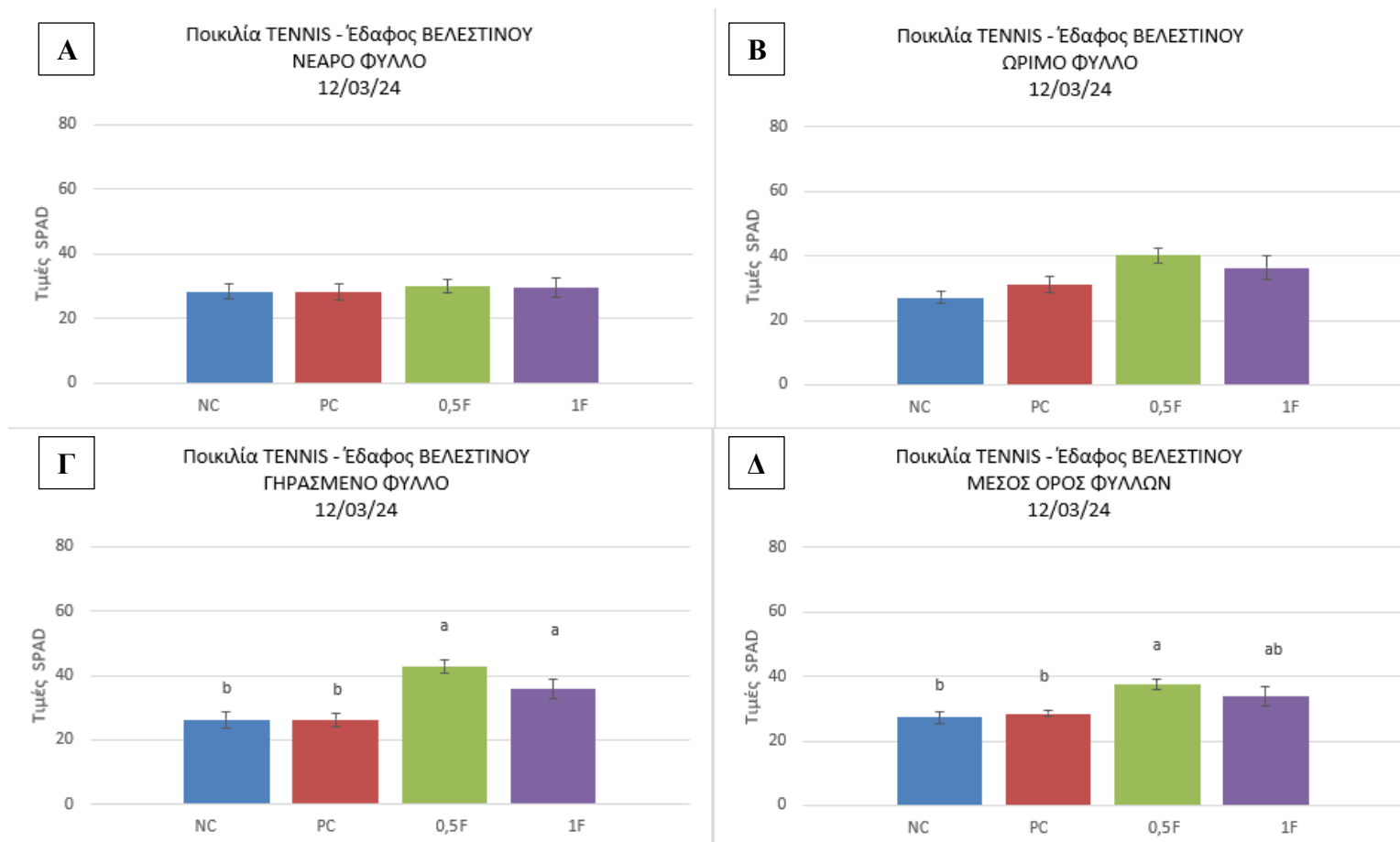
Γράφημα 4: Δείκτης SPAD σε φύλλα της ποικιλίας Nelly στο έδαφος Βελεστίνου, κατά την 2<sup>η</sup> μέτρηση (16/04): Το (Α) αφορά τις τιμές των νεαρών φύλλων, το (Β) των ώριμων, το (Γ) των γηρασμένων φύλλων και στο (Δ) παρουσιάζεται ο μέσος όρος ανά φυτό. Τα διαφορετικά γράμματα στα γραφήματα Α και Δ υποδεικνύουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ μεταχειρίσεων, ενώ η απουσία σημάτων στατιστικής στα γραφήματα Γ και Β υποδεικνύει την απουσία στατιστικώς σημαντικών διαφορών μεταξύ μεταχειρίσεων.

Το γράφημα 4 αφορά την Nelly στο αλκαλικό έδαφος Βελεστίνου κατά την 2<sup>η</sup> μέτρηση στα μέσα Απριλίου. Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές που εμφανίζονται στα νεαρά φύλλα αποτυπώθηκαν και στη μέση τιμή του δείκτη SPAD ανά φυτό. Στις μεταχειρίσεις 0,5F και 1F εντοπίζονται οι υψηλότερες τιμές χωρίς να διαφέρουν μεταξύ τους, ενώ διαφέρουν σημαντικά από τα NC και PC. Επιπροσθέτως, δεν υπήρχαν γηρασμένα φύλλα της ποικιλίας Nelly στο έδαφος Βελεστίνου.



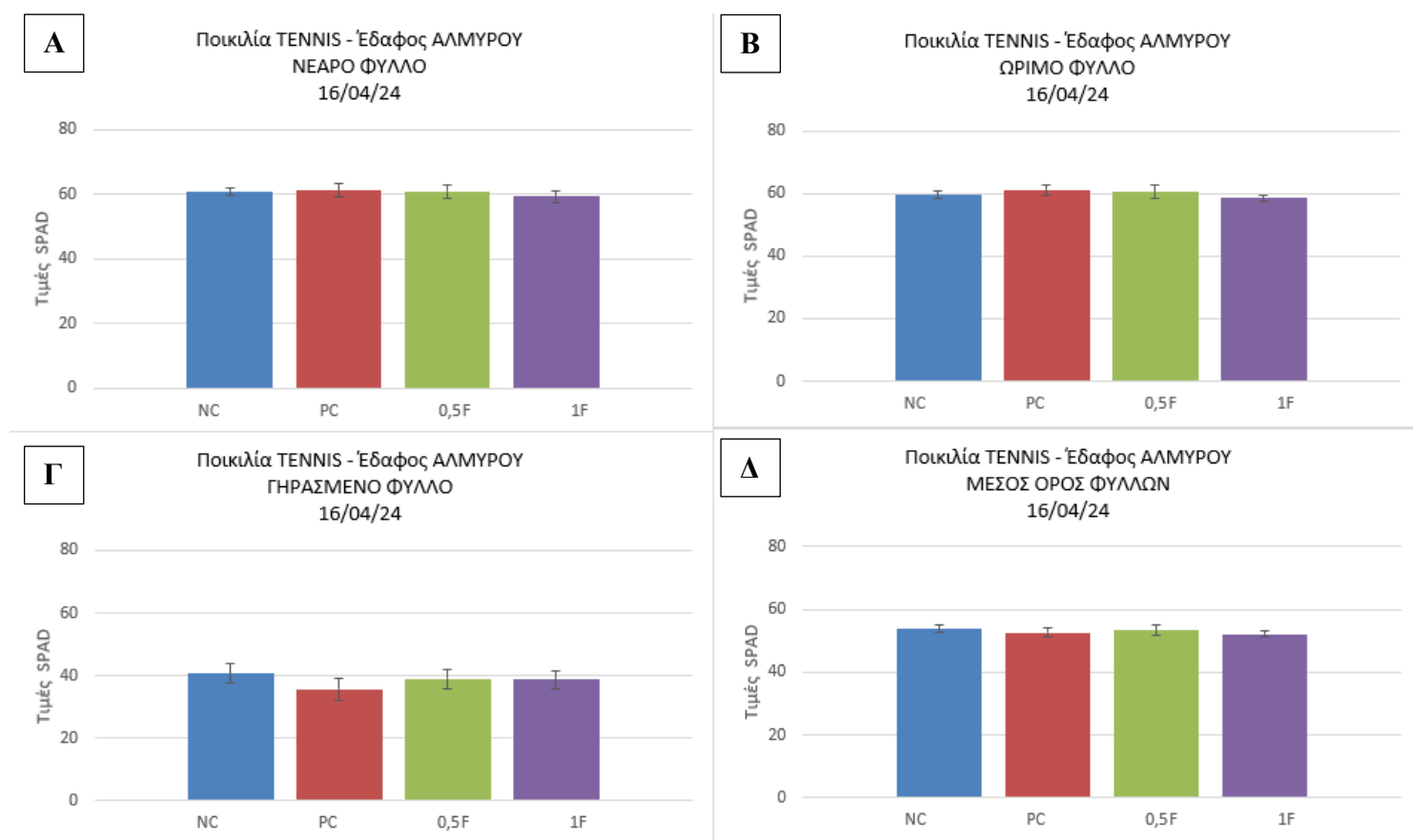
Γράφημα 5: Δείκτης SPAD σε φύλλα της ποικιλίας Tennis στο έδαφος Αλμυρού, κατά την 1<sup>η</sup> μέτρηση (12/03): Το (Α) αφορά τις τιμές των νεαρών φύλλων, το (Β) των ώριμων, το (Γ) των γηρασμένων φύλλων και στο (Δ) παρουσιάζεται ο μέσος όρος ανά φυτό. Η απουσία σημάτων στατιστικής στα γραφήματα υποδεικνύει την απουσία στατιστικώς σημαντικών διαφορών μεταξύ μεταχειρίσεων.

Παρατηρείται ότι οι μεταχειρίσεις δεν οδήγησαν σε διαφορές κατά την πρώτη μέτρηση στις τιμές του δείκτη SPAD της ποικιλίας Tennis στο έδαφος Αλμυρού, όπως ακριβώς και στην ποικιλία Nelly στο ίδιο έδαφος κατά την 1<sup>η</sup> μέτρηση.



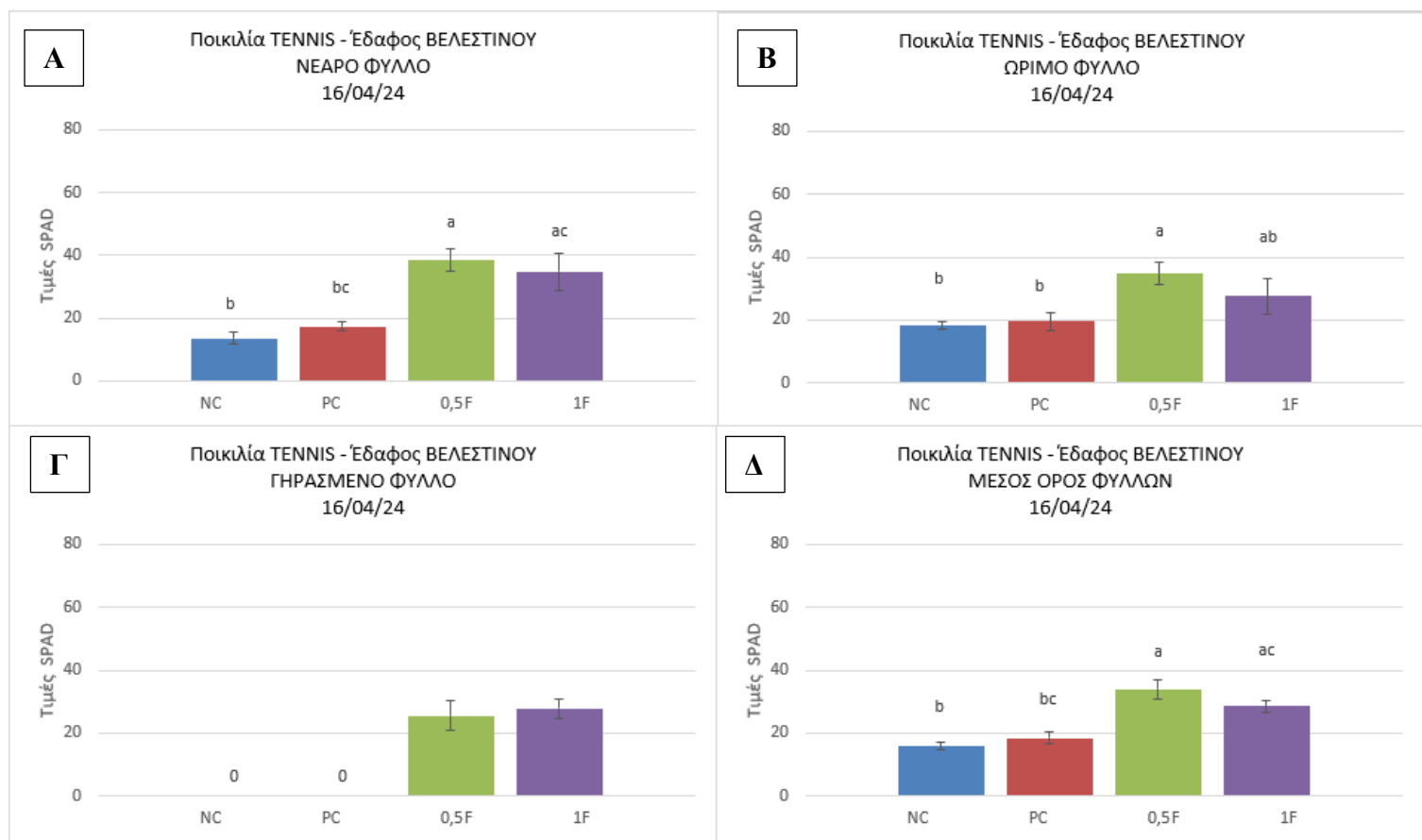
Γράφημα 6: Δείκτης SPAD σε φύλλα της ποικιλίας Tennis στο έδαφος Βελεστίνου, κατά την 1<sup>η</sup> μέτρηση (12/03): Το (Α) αφορά τις τιμές των νεαρών φύλλων το (Β) των ώριμων, το (Γ) των γηρασμένων φύλλων και στο (Δ) παρουσιάζεται ο μέσος όρος ανά φυτό. Τα διαφορετικά γράμματα στα γραφήματα Γ και Δ υποδεικνύουν στατιστικές σημαντικές διαφορές μεταξύ μεταχειρίσεων ενώ η απουσία σημάτων στατιστικής στα γραφήματα Α και Β υποδεικνύει την απουσία στατιστικών σημαντικών διαφορών μεταξύ μεταχειρίσεων.

Οι τιμές του δείκτη SPAD της Tennis στο αλκαλικό έδαφος φάνηκε να επηρεάζονται σημαντικά από τις μεταχειρίσεις μόνο στα γερασμένα φύλλα (Γράφημα 6). Σε αυτά, αλλά και στην μέση τιμή του φυτού υψηλότερες τιμές είχε η μεταχείριση 0,5F, η οποία διέφερε σημαντικά με τις μεταχειρίσεις NC και PC. Η μεταχείριση 1F ήταν δεύτερη σε σειρά μη διαφέροντας σημαντικά με καμία άλλη μεταχείριση. Ακόμη, παρατηρείται πως οι μετρήσεις των νεαρών και ώριμων φύλλων της κάθε μεταχείρισης δεν διέφεραν σημαντικά μεταξύ τους, παρότι στα τελευταία εμφανίστηκε τάση ανάλογη με τα γερασμένα φύλλα.



Γράφημα 7: Δείκτης SPAD σε φύλλα της ποικιλίας Tennis στο έδαφος Αλμυρού, κατά την 2<sup>η</sup> μέτρηση (16/04): Το (Α) αφορά τις τιμές των νεαρών φύλλων, το (Β) των ώριμων, το (Γ) των γηρασμένων φύλλων και στο (Δ) παρουσιάζεται ο μέσος όρος ανά φυτό. Η απουσία σημάτων στατιστικής στα υπόλοιπα γραφήματα υποδεικνύει την απουσία στατιστικώς σημαντικών διαφορών μεταξύ μεταχειρίσεων.

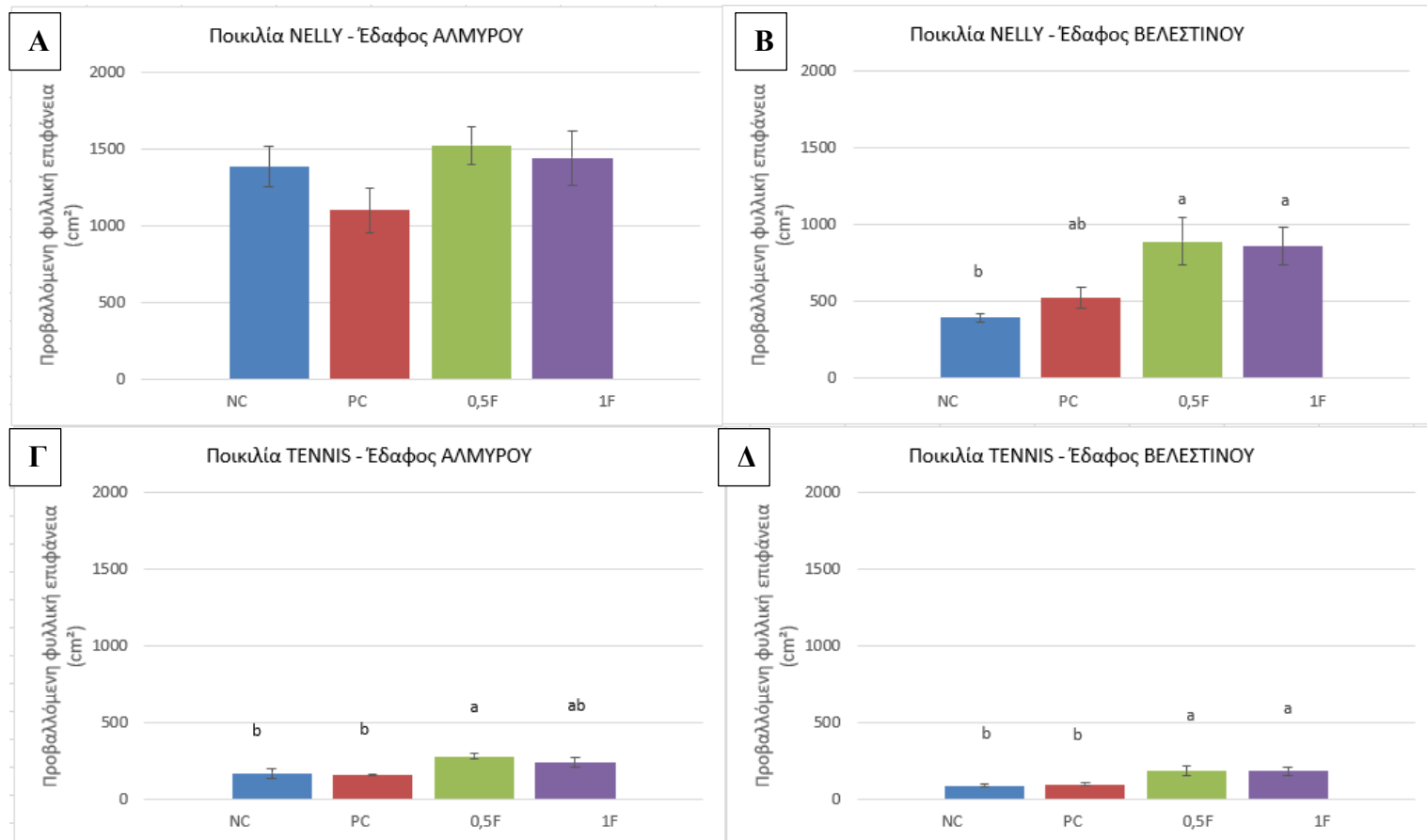
Στο Γράφημα 7 αποτυπώνονται οι τιμές SPAD της Tennis στο αλκαλικό έδαφος κατά την 2<sup>η</sup> μέτρηση, όπου παρατηρούνται παρόμοια επίπεδα χωρίς σημαντικές διαφορές σε όλες τις ηλικιακές ομάδες για όλες τις μεταχειρίσεις, ακριβώς όπως και την 1<sup>η</sup> μέτρηση (Γράφημα 5).



Γράφημα 8: Δείκτης SPAD σε φύλλα της ποικιλίας Tennis στο έδαφος Βελεστίνου, κατά την 2<sup>η</sup> μέτρηση (16/04): Το (Α) αφορά τις τιμές των νεαρών φύλλων, το (Β) των ώριμων, το (Γ) των γηρασμένων φύλλων και στο (Δ) παρουσιάζεται ο μέσος όρος ανά φυτό. Η απουσία σημάτων στατιστικής στο γράφημα Γ υποδεικνύει την απουσία στατιστικώς σημαντικών διαφορών, ενώ τα διαφορετικά γράμματα στα υπόλοιπα γραφήματα υποδεικνύουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ μεταχειρίσεων.

Περίπου ένα μήνα μετά την 1<sup>η</sup> μέτρηση του SPAD στην Tennis στο έδαφος Βελεστίνου (Γράφημα 6) φαίνεται να διευρύνονται οι διαφορές που βρέθηκαν τότε. Στο γράφημα 8 που αφορά την 2<sup>η</sup> μέτρηση είναι εμφανής η σημαντική υπεροχή της 0,5F έναντι των NC και PC σε όλες τις ηλικιακές ομάδες. Ακολουθεί η μεταχείριση 1F που δε διαφέρει σημαντικά με την 0,5F. Τις χαμηλότερες τιμές είχαν οι άλλες δυο μεταχειρίσεις των οποίων οι τιμές απουσιάζουν από το διάγραμμα των γηρασμένων φύλλων καθώς δεν υπήρχαν γερασμένα φύλλα.

### 3.2 Προβαλλόμενη Φυλλική Επιφάνεια

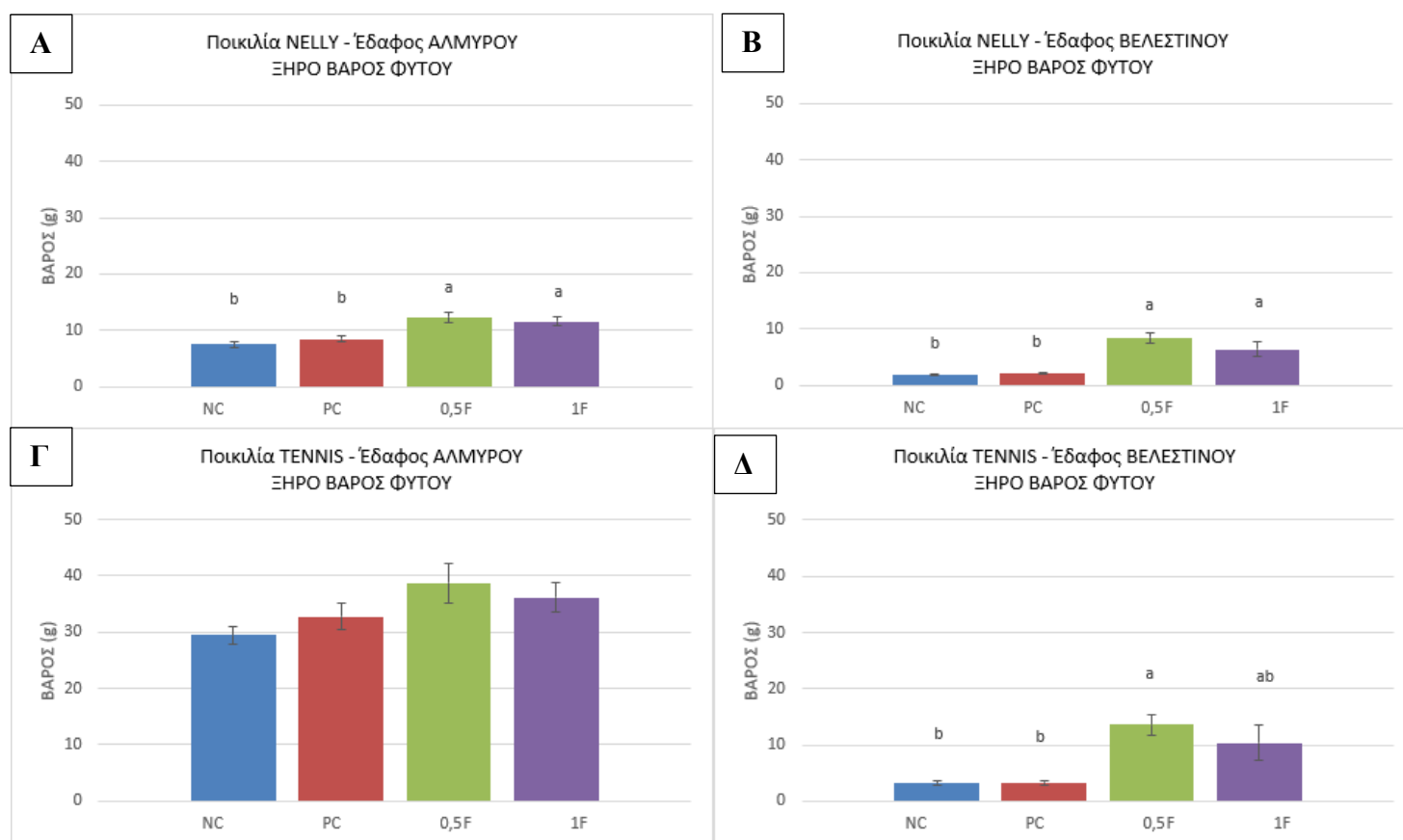


Γράφημα 9: Προβαλλόμενη φυλλική επιφάνεια των φυτών της κάθε μεταχείρισης στις δυο ποικιλίες και στα δυο εδάφη. Το (Α) αφορά την ποικιλία Nelly στο έδαφος Αλμυρού, το (Β) την ποικιλία Nelly στο έδαφος Βελεστίνου, το (Γ) την ποικιλία Tennis στο έδαφος Αλμυρού και το (Δ) την ποικιλία Tennis στο έδαφος Βελεστίνου. Η απουσία σημάτων στατιστικής στα γραφήματα Α και Γ υποδεικνύει την απουσία στατιστικώς σημαντικών διαφορών μεταξύ μεταχειρίσεων ενώ τα διαφορετικά γράμματα στα γραφήματα Β και Δ υποδεικνύουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ μεταχειρίσεων.

Στο γράφημα 9 απεικονίζονται οι τιμές της προβαλλομένης φυλλικής επιφάνειας. Αρχικά, παρατηρείται ότι τα φυτά της ποικιλίας Nelly ευνοήθηκαν από το όξινο έδαφος του Αλμυρού, ενώ το αλκαλικό του Βελεστίνου οδήγησε σε τιμές που ήταν κατά 71% (NC) έως 41% (0.5F) μειωμένες σε σχέση με τις τιμές του Αλμυρού για τις αντίστοιχες μεταχειρίσεις. Στην περίπτωση του όξινου εδάφους δεν καταγράφηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ μεταχειρίσεων. Αντίθετα, όσον αφορά στο έδαφος Βελεστίνου διακρίνεται πως τις υψηλότερες τιμές είχαν οι μεταχειρίσεις 0,5F και 1F διαφέροντας σημαντικά από το NC.

Η Tennis (Γράφημα 9 Γ, Δ) φαίνεται να ακολουθεί παρόμοιο πρότυπο σε σχέση με την θετική επίδραση των 0,5F και 1F με στατιστικώς σημαντική υπεροχή έναντι των μαρτύρων, και στα δύο εδάφη.

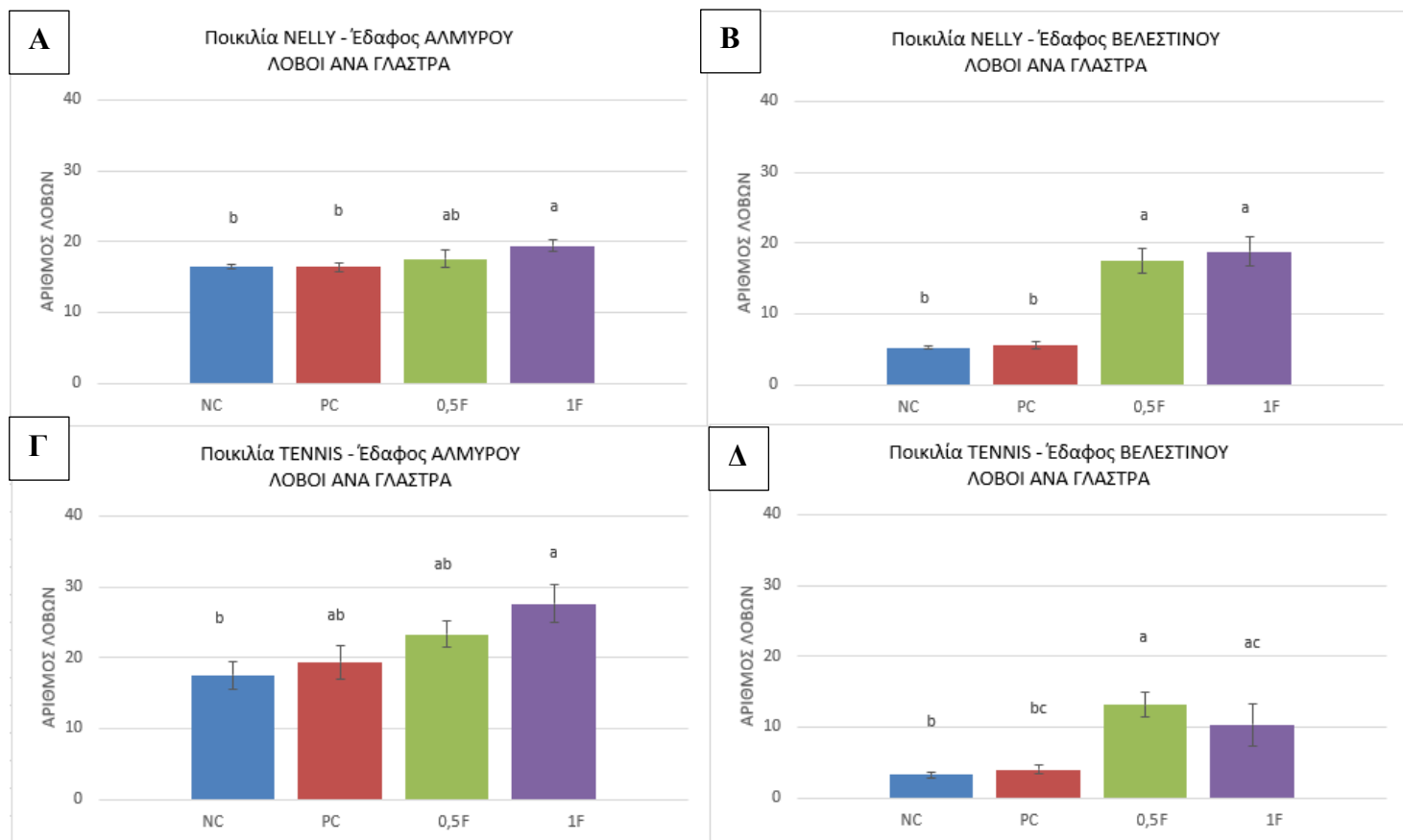
### 3.3 Ξηρό Βάρος Φυτών



Γράφημα 10: Το ξηρό βάρος των φυτών της κάθε μεταχείρισης στις δυο ποικιλίες και στα δυο εδάφη κατά την τελική συγκομιδή. Το (Α) αφορά την ποικιλία Nelly στο έδαφος Αλμυρού, το (Β) την ποικιλία Nelly στο έδαφος Βελεστίνου, το (Γ) την ποικιλία Tennis στο έδαφος Αλμυρού και το (Δ) την ποικιλία Tennis στο έδαφος Βελεστίνου. Η απουσία σημάτων στατιστικής στο γράφημα Γ υποδεικνύει την απουσία στατιστικώς σημαντικών διαφορών, ενώ τα διαφορετικά γράμματα στα υπόλοιπα γραφήματα υποδεικνύουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ μεταχειρίσεων.

Στο γράφημα 10 απεικονίζονται οι τιμές του ξηρού βάρους του υπέργειου μέρους των φυτών της κάθε μεταχείρισης. Φαίνεται πως στις περισσότερες περιπτώσεις τις υψηλότερες τιμές είχαν οι μεταχειρίσεις 0,5F και 1F, εμφανίζοντας στατιστικώς σημαντικές διαφορές με τους δύο μάρτυρες, ενώ δεν διέφεραν σημαντικά μεταξύ τους. Μόνη εξαίρεση η Tennis στο έδαφος Αλμυρού, όπου παρότι υπήρχε παρόμοια τάση με τα υπόλοιπα, δεν καταγράφηκαν διαφορές μεταξύ μεταχειρίσεων.

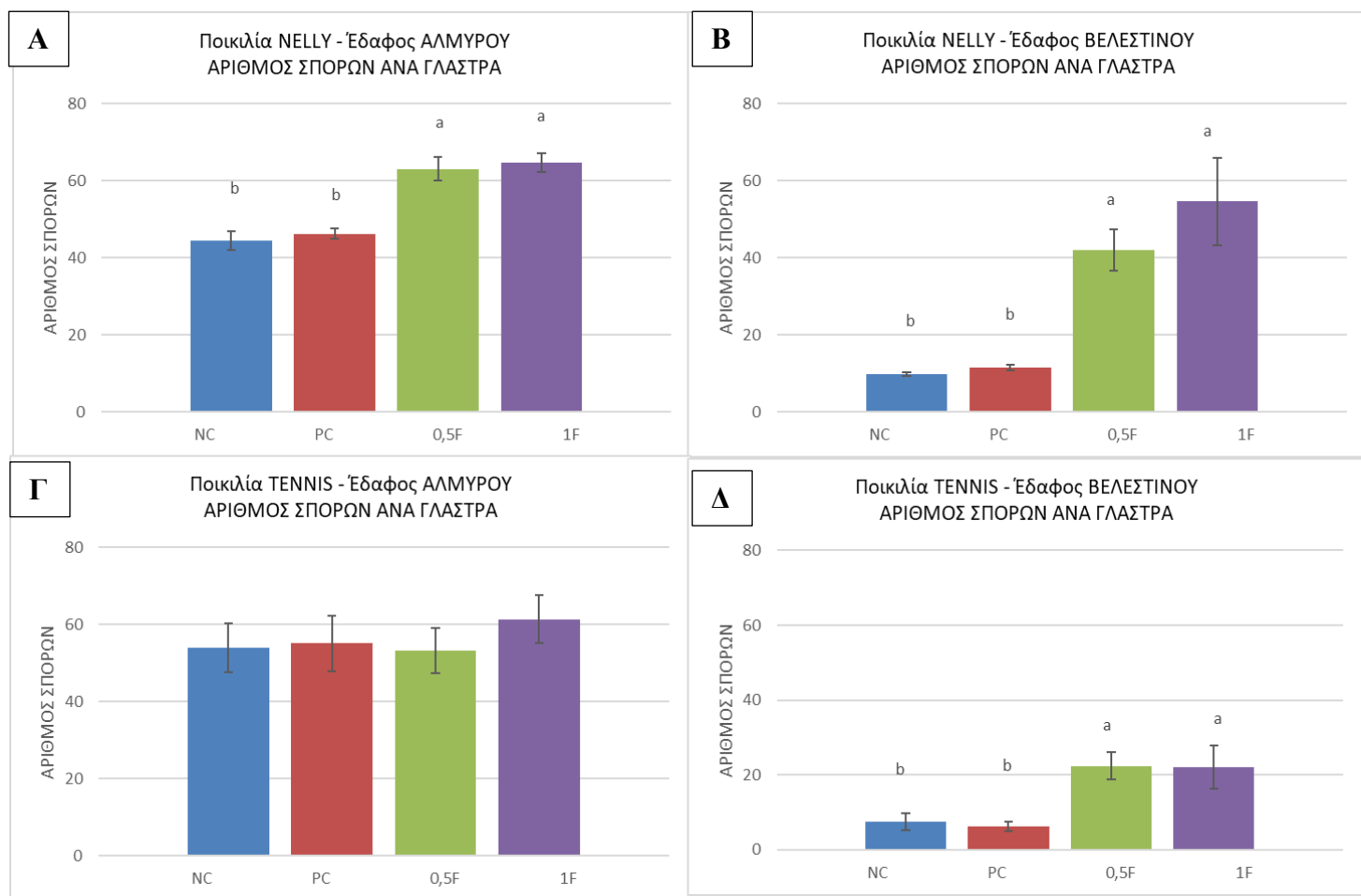
### 3.4 Αριθμός λοβών



Γράφημα 11: Ο αριθμός λοβών ανά γλάστρα της κάθε μεταχείρισης στις δυο ποικιλίες και στα δυο εδάφη. Το (Α) αφορά την ποικιλία Nelly στο έδαφος Αλμυρού, το (Β) την ποικιλία Nelly στο έδαφος Βελεστίνου, το (Γ) την ποικιλία Tennis στο έδαφος Αλμυρού και το (Δ) την ποικιλία Tennis στο έδαφος Βελεστίνου. Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ μεταχειρίσεων.

Στο γράφημα 11 παρουσιάζεται η απόδοση σε λοβούς ανά γλάστρα. Σε όλες τις περιπτώσεις καταγράφεται η υπεροχή των μεταχειρίσεων frass, το μέγεθος της οποίας εξαρτάται από την ποικιλία και το έδαφος. Η παρουσία του frass στο αλκαλικό έδαφος του Βελεστίνου σχεδόν τριπλασίασε τον αριθμό των λοβών σε σχέση με τα NC και PC. Αντίστοιχα, υπερείχε και στο έδαφος Αλμυρού, χωρίς όμως τόσο μεγάλες διαφορές από τους μάρτυρες. Η Tennis στο έδαφος Αλμυρού αποδείχτηκε η πιο παραγωγική σε σύγκριση με όλες τις άλλες περιπτώσεις.

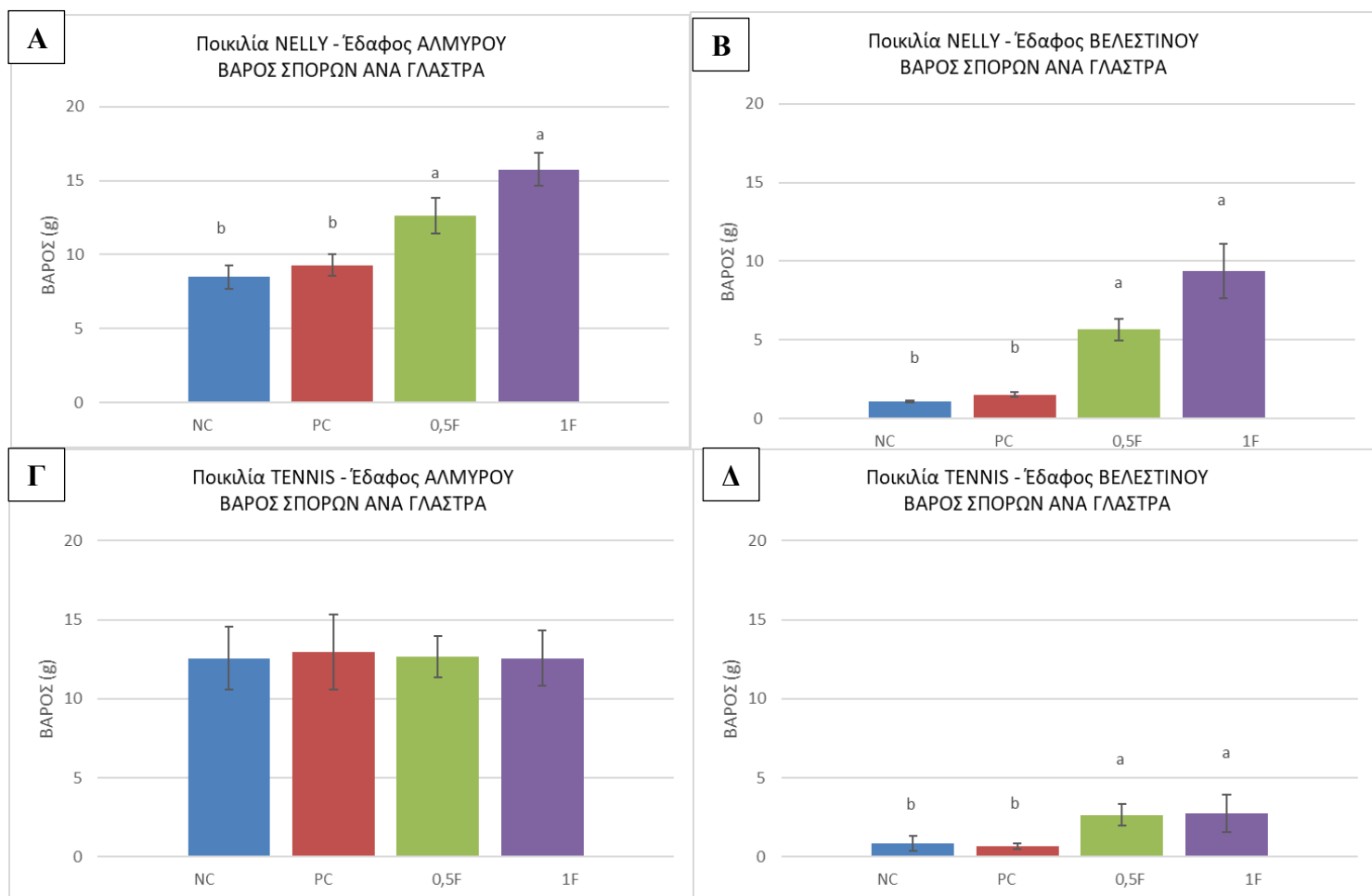
### 3.5 Αριθμός σπόρων



Γράφημα 12: Ο αριθμός σπόρων ανά γλάστρα της κάθε μεταχείρισης στις δυο ποικιλίες και στα δυο εδάφη. Το (Α) αφορά την ποικιλία Nelly στο έδαφος Αλμυρού, το (Β) την ποικιλία Nelly στο έδαφος Βελεστίνου, το (Γ) την ποικιλία Tennis στο έδαφος Αλμυρού και το (Δ) την ποικιλία Tennis στο έδαφος Βελεστίνου. Η απουσία σημάτων στατιστικής στο γράφημα Γ υποδεικνύει την απουσία στατιστικώς σημαντικών διαφορών μεταξύ μεταχειρίσεων ενώ τα διαφορετικά γράμματα στα υπόλοιπα γραφήματα υποδεικνύουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ μεταχειρίσεων.

Κατά αντιστοιχία με τον αριθμό των λοβών ανά γλάστρα (γράφημα 11), φαίνεται ότι και ο αριθμός σπόρων ανά γλάστρα ήταν σημαντικά μεγαλύτερος παρουσία frass και στις δύο ποικιλίες στο έδαφος Βελεστίνου, αλλά και στην Nelly στο έδαφος Αλμυρού, σε σύγκριση με τους μάρτυρες. Αντίθετα, η Tennis στο έδαφος Αλμυρού απέδωσε παρόμοιο αριθμό σπόρων σε όλες τις μεταχειρίσεις.

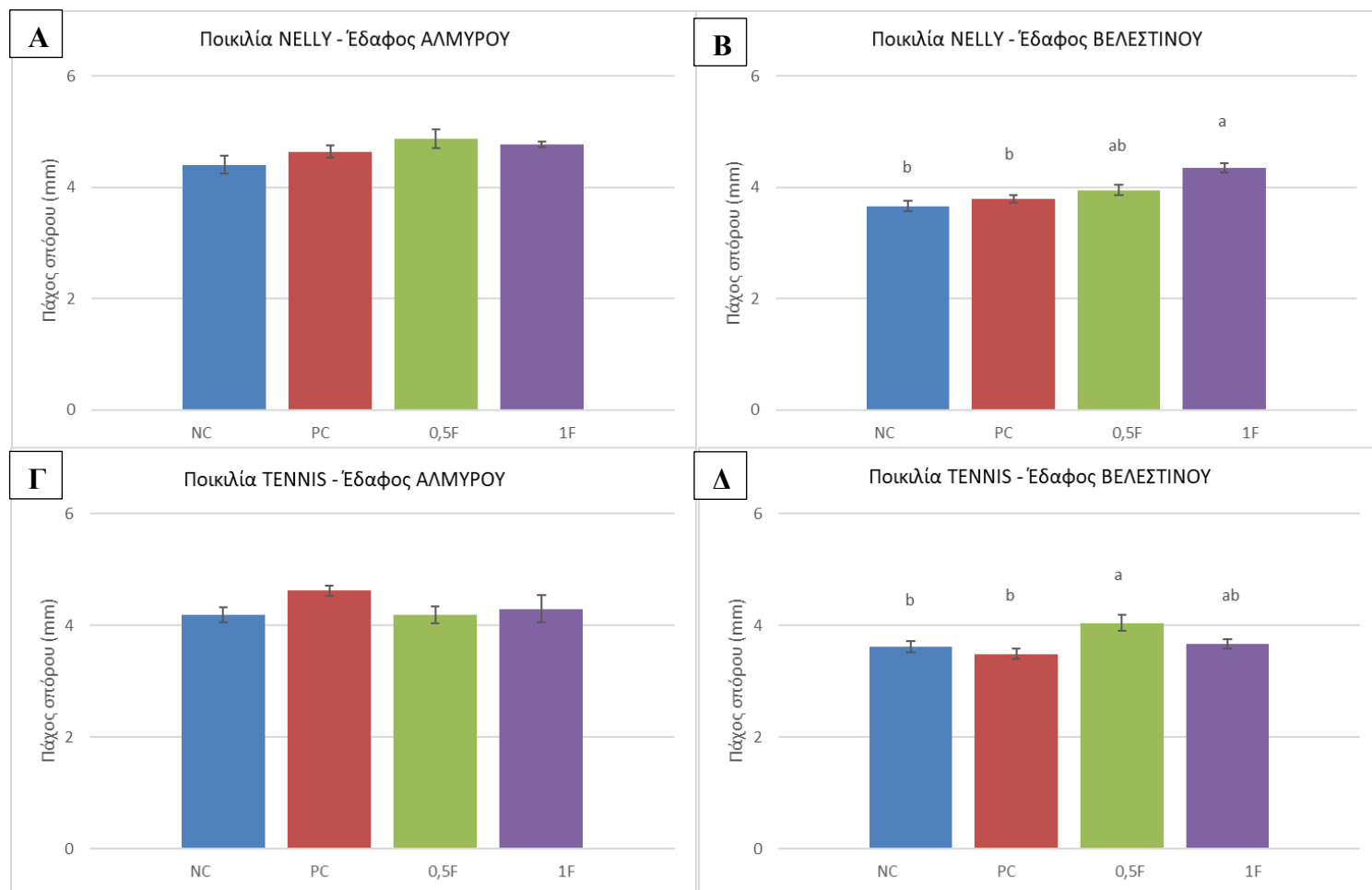
### 3.6 Βάρος σπόρων



Γράφημα 13: Το βάρος των σπόρων ανά γλάστρα της κάθε μεταχείρισης στις δυο ποικιλίες και στα δυο εδάφη. Το (Α) αφορά την ποικιλία Nelly στο έδαφος Αλμυρού, το (Β) την ποικιλία Nelly στο έδαφος Βελεστίνου, το (Γ) την ποικιλία Tennis στο έδαφος Αλμυρού και το (Δ) την ποικιλία Tennis στο έδαφος Βελεστίνου. Η απουσία σημάτων στατιστικής στο γράφημα Γ υποδεικνύει την απουσία στατιστικώς σημαντικών διαφορών μεταξύ μεταχειρίσεων ενώ τα διαφορετικά γράμματα στα υπόλοιπα γραφήματα υποδεικνύουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ μεταχειρίσεων.

Το γράφημα 13 απεικονίζει το βάρος των σπόρων ανά γλάστρα για κάθε μεταχείριση και το πρότυπο διαφορών είναι αντίστοιχο με τον αριθμό των σπόρων. Φαίνεται πως οι σπόροι της μεταχείρισης 1F είχαν μεγαλύτερο βάρος από κάθε άλλη μεταχείριση, σε όλες τις περιπτώσεις εκτός της Tennis στον Αλμυρό. Να σημειωθεί όμως ότι παρότι η τάση για μεγαλύτερες τιμές στο 1F ήταν εμφανής, δεν διέφεραν στατιστικώς σημαντικά από την 0,5F. Οι δύο μάρτυρες εμφανίζουν παρόμοιες τιμές σε όλες τις περιπτώσεις.

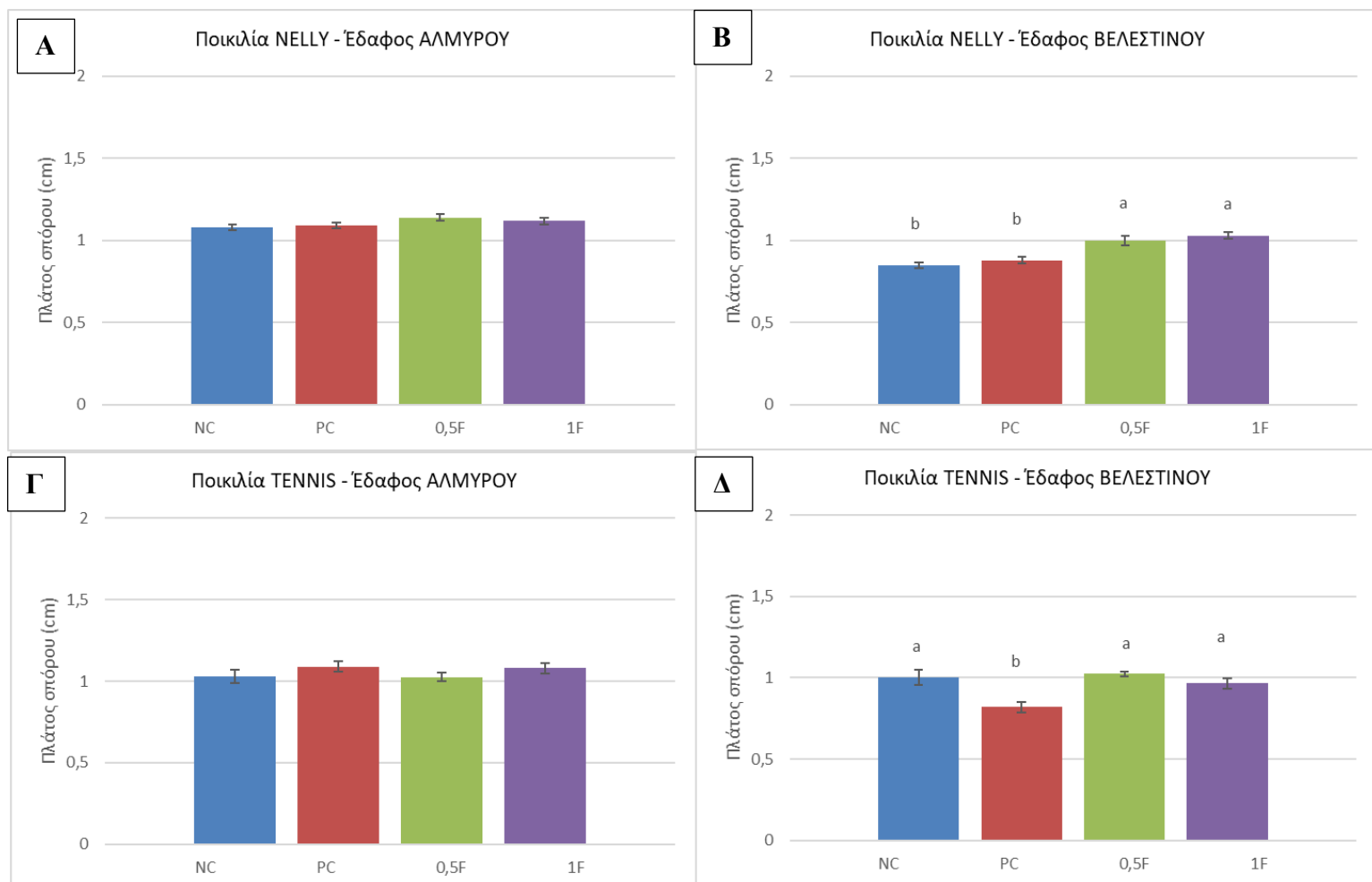
### 3.7 Πάχος σπόρων



Γράφημα 14: Το πάχος των σπόρων ανά γλάστρα της κάθε μεταχείρισης στις δυο ποικιλίες και στα δυο εδάφη. Το (Α) αφορά την ποικιλία Nelly στο έδαφος Αλμυρού, το (Β) την ποικιλία Nelly στο έδαφος Βελεστίνου, το (Γ) την ποικιλία Tennis στο έδαφος Αλμυρού και το (Δ) την ποικιλία Tennis στο έδαφος Βελεστίνου. Η απουσία σημάτων στατιστικής στα γραφήματα Α και Γ υποδεικνύει την απουσία στατιστικώς σημαντικών διαφορών μεταξύ μεταχειρίσεων ενώ τα διαφορετικά γράμματα στα γραφήματα Β και Δ υποδεικνύουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ μεταχειρίσεων.

Το πάχος του σπόρου στο έδαφος του Αλμυρού δεν είχε καμία διαφορά μεταξύ μεταχειρίσεων και στις δύο ποικιλίες (γράφημα 14). Μικρές διαφορές εντοπίστηκαν και στις δύο ποικιλίες στο έδαφος Βελεστίνου, με το 1F να υπερέρχει σημαντικά στον υπολοίπων στην Nelly, ενώ το 0,5F υπερείχε στην Tennis.

### 3.8 Πλάτος σπόρων



Γράφημα 15: Το πλάτος των σπόρων ανά γλάστρα της κάθε μεταχείρισης στις δυο ποικιλίες και στα δυο εδάφη. Το (A) αφορά την ποικιλία Nelly στο έδαφος Αλμυρού, το (B) την ποικιλία Nelly στο έδαφος Βελεστίνου, το (Γ) την ποικιλία Tennis στο έδαφος Αλμυρού και το (Δ) την ποικιλία Tennis στο έδαφος Βελεστίνου. Η απουσία σημάτων στατιστικής στα γραφήματα A και Γ υποδεικνύει την απουσία στατιστικώς σημαντικών διαφορών μεταξύ μεταχειρίσεων ενώ τα διαφορετικά γράμματα στα γραφήματα B και Δ υποδεικνύουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ μεταχειρίσεων.

Παρόμοια εικόνα με το πάχος εμφάνισε και το πλάτος των σπόρων. Στο γράφημα 15 παρατηρείται πως οι σπόροι των φυτών του εδάφους Αλμυρού, ανεξαρτήτως ποικιλίας δεν εμφάνισαν διαφορές. Αντίθετα στο έδαφος Βελεστίνου οι μεταχειρίσεις 0,5F και 1F είχαν το μεγαλύτερο πλάτος χωρίς στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους, αλλά διαφέροντας από το PC, ενώ η διαφορά τους με το NC ήταν σημαντική μόνο στη Nelly.

#### 4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στην παρούσα εργασία εξετάστηκε η επίδραση του frass σε αναπτυξιακά και λειτουργικά χαρακτηριστικά δύο ποικιλιών λούπινου που διαφέρουν μεταξύ τους ως προς την πρωιμότητα και την ανάπτυξη. Η ποικιλία Nelly είναι πιο πρώιμη και ήδη κατά τον 5<sup>ο</sup> μήνα μετά τη σπορά άρχισε να ξεραίνεται, ολοκληρώνοντας τον βιολογικό της κύκλο. Αντίστοιχα η Tennis κατά το ίδιο διάστημα βρισκόταν στο μέγιστο της ανάπτυξής της. Επίσης, σημαντικά διαφορετικά ήταν τα δύο εδάφη που μελετήθηκαν, με το όξινο έδαφος από την περιοχή του Αλμυρού Μαγνησίας να είναι το ευνοϊκό για την καλλιέργεια λούπινου, ενώ το ελαφρώς αλκαλικό της περιοχής του Βελεστίνου να μην θεωρείται κατάλληλο έδαφος για το λούπινο.

Οι συνολικές χλωροφύλλες του φυτού είναι ζωτικής σημασίας καθώς είναι αυτές που αξιοποιούν την ηλιακή ενέργεια στη διαδικασία της φωτοσύνθεσης. Είναι φωτοσυνθετικές χρωστικές που αποτελούνται από μια αλυσίδα φυτολης και έναν πορφυρινικό δακτύλιο ο οποίος στο κέντρο του φέρει ένα άτομο μαγνησίου (Αιβαλάκης κ.α. 2016). Η χλωροφύλλη είναι η χρωστική που κάνει τα φύλλα πράσινα και απορροφά φως κυρίως στα ιώδη και κυανά μήκη κύματος καθώς και στο ερυθρό και επειδή αντανακλά κυρίως το πράσινο φως, φαίνεται να έχει πράσινο χρώμα (Raven et al. 2014). Ο δείκτης SPAD παρουσιάζει μια ευθεία θετική συσχέτιση με τη συγκέντρωση των συνολικών χλωροφυλλών. Μετρήθηκε δύο φορές κατά τη διάρκεια αυτού του πειράματος. Σε ότι αφορά τις διαφορές μεταξύ μεταχειρίσεων φάνηκε ότι στο έδαφος του Αλμυρού οι τιμές SPAD ήταν παρόμοιες και στις δύο ποικιλίες, επομένως η προσθήκη είτε frass είτε ανόργανου-συμβατικού λιπάσματος δεν επηρέασε τα επίπεδα των χλωροφυλλών. Στο αλκαλικό έδαφος του Βελεστίνου που μάλλον αποτέλεσε καταπονητικό παράγοντα για το λούπινο, η υπεροχή των φυτών που δέχτηκαν frass (είτε 0,5% ή 1%) έναντι των δύο μαρτύρων ήταν σημαντική. Στην Nelly, ενδεικτικά το 0,5F οδήγησε σε υψηλότερη τιμή SPAD σε σχέση με το NC κατά 88% στην 1<sup>η</sup> μέτρηση και 40% στη 2<sup>η</sup>. Στην Tennis, οι αντίστοιχες αυξήσεις ήταν 40% στην 1<sup>η</sup> μέτρηση και 112% στη 2<sup>η</sup>. Η τελευταία περίπτωση πιθανώς υποδεικνύει ότι τα φυτά του NC μπήκαν νωρίτερα από αυτά του 0,5F σε φάση γήρανσης που αντικατοπτρίζεται στην πτώση των επιπέδων των χλωροφυλλών με την αποδόμησή τους. Η αύξηση των συγκεντρώσεων ολικών χλωροφυλλών λόγω της χορήγησης frass ως οργανικού λιπάσματος έχει αναφερθεί για το σπανάκι (Antoniadis et al. 2023), αλλά και το μαρούλι (Sawinska et al. 2024). Σε ότι αφορά τις διαφορές μεταξύ εδαφών είναι ενδιαφέρον ότι η παρουσία frass βελτίωσε όλες τις τιμές SPAD στο λιγότερο ευνοϊκό για το λούπινο αλκαλικό έδαφος Βελεστίνου σε σχέση με τους μάρτυρες και στις δύο ποικιλίες. Ενδεικτικά, η Nelly στο NC

εμφάνισε μία κατά 72% μείωση των τιμών SPAD όταν καλλιεργήθηκε σε έδαφος Βελεστίνου σε σύγκριση με τις τιμές της στο έδαφος Αλμυρού. Αντίστοιχα στο 0,5F η μείωση ήταν 40%. Επομένως, φαίνεται ότι το frass «συγκρατεί», δηλαδή βελτιώνει τα επίπεδα χλωροφυλλών στο πιο «αφιλόξενο» για το λούπινο έδαφος του Βελεστίνου, σε σύγκριση με τους μάρτυρες που οδηγούν σε πολύ σημαντική μείωση στο έδαφος αυτό.

Η προβαλλόμενη φυλλική επιφάνεια είναι ένας κρίσιμος δείκτης που αντικατοπτρίζει την ανάπτυξη του φυλλώματος των φυτών, το οποίο είναι άμεσα συνδεδεμένο με τη φωτοσυνθετική τους ικανότητα, άρα και την παραγωγικότητά τους. Τα φυτά της ποικιλίας Nelly ευνοήθηκαν από το όξινο έδαφος του Αλμυρού, ενώ το αλκαλικό του Βελεστίνου οδήγησε σε τιμές που ήταν κατά 71% (NC) έως 41% (0.5F) μειωμένες σε σχέση με τις τιμές του Αλμυρού για τις αντίστοιχες μεταχειρίσεις. Ήταν μάλιστα τέτοια η θετική επίδραση του όξινου εδάφους που η παρουσία του frass δεν προκάλεσε κάποια αλλαγή σε σχέση με τον αρνητικό μάρτυρα, καθώς δεν καταγράφηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ μεταχειρίσεων. Αντίθετα, όσον αφορά στο έδαφος Βελεστίνου τις υψηλότερες τιμές εμφάνισαν οι μεταχειρίσεις 0,5F και 1F διαφέροντας σημαντικά από το NC και αντίστοιχα αποτελέσματα βρέθηκαν και για τα δύο εδάφη στην Tennis. Τα παραπάνω αποτελέσματα -ιδιαίτερα της Nelly- επιβεβαιώνουν το χαρακτηριστικό του λούπινου που έχει καταγραφεί στη βιβλιογραφία ότι προτιμά τα ελαφρώς όξινα έως ουδέτερα εδάφη με ιδανικό pH μεταξύ 5,5 και 6,5, ενώ είναι μετρίως ευαίσθητο στην αλκαλικότητα του εδάφους (Παπακώστα-Τασοπούλου, 2012).

Το ξηρό βάρος των φυτών αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους δείκτες ανάπτυξης, καθώς αντικατοπτρίζει τη συνολική βιομάζα που παράγεται. Η υπεροχή των φυτών που δέχτηκαν frass και στις δύο συγκεντρώσεις που χρησιμοποιήθηκαν ήταν φανερή στην ανάπτυξη της Nelly και στα δύο εδάφη, αλλά και στην Tennis στο έδαφος Βελεστίνου. Αντιθέτως, η Tennis στο έδαφος Αλμυρού, όπου παρότι υπήρχε παρόμοια τάση με τα υπόλοιπα, δεν καταγράφηκαν διαφορές μεταξύ μεταχειρίσεων. Βελτιώσεις στην ανάπτυξη των φυτών λόγω της χορήγησης Frass έχουν διαπιστωθεί σε όλα τα σχετικά πειράματα (Houben et al. 2020, Beesigamukama et al. 2020, Antoniadis et al. 2023). Σε ότι αφορά τις συγκεντρώσεις frass φαίνεται πως η 0,5F αποδείχθηκε πολύ αποτελεσματική στη βελτίωση της συνολικής βιομάζας των φυτών -ιδιαίτερα στο έδαφος Βελεστίνου- όπως και η μεταχείριση 1F αν και δεν προσέφερε σημαντικά καλύτερα αποτελέσματα από την 0,5F. Η απουσία λιπάσματος στο έδαφος Βελεστίνου (NC) είχε ως αποτέλεσμα χαμηλότερο ξηρό βάρος σε σύγκριση με τις άλλες μεταχειρίσεις ενώ στο έδαφος Αλμυρού, η επίδραση της απουσίας λιπάσματος ήταν λιγότερο αισθητή. Ακόμη, η χρήση συμβατικών λιπασμάτων (PC) είχε κάποια θετική επίδραση στο ξηρό

βάρος, αλλά ήταν σαφώς υποδεέστερη από τις μεταχειρίσεις με frass στο έδαφος Βελεστίνου. Αυτό υποδηλώνει ότι τα οργανικά λιπάσματα, όπως το frass, μπορούν να παρέχουν πιο ολοκληρωμένα θρεπτικά συστατικά και να βελτιώσουν την ανάπτυξη των φυτών περισσότερο από τα συμβατικά λιπάσματα σε ορισμένες συνθήκες. Τέλος, η παρουσία Frass ευνόησε την ανάπτυξη βιομάζας του λούπινου και στο λιγότερο κατάλληλο έδαφος του Βελεστίνου όταν συγκρίνεται με την ίδια ποικιλία στο έδαφος Αλμυρού: ενώ το αλκαλικό έδαφος οδήγησε σε πτώση κατά 74% το NC της Nelly και κατά 89% της Tennis, σε σύγκριση με το όξινο, οι αντίστοιχες πτώσεις των φυτών 0,5F ήταν 32% και 65%. Επομένως, το frass «συγκράτησε» την πτώση της ξηρής βιομάζας στο «αφιλόξενο» έδαφος του Βελεστίνου.

Ο αριθμός λοβών ανά φυτό είναι ένας κρίσιμος δείκτης απόδοσης, καθώς οι λοβοί περιέχουν τους σπόρους που τελικά καθορίζουν την παραγωγή. Αντίστοιχες με το ξηρό βάρος ήταν και οι επιδράσεις του frass στο χαρακτηριστικό αυτό. Στο έδαφος Αλμυρού, ο αριθμός των λοβών και των δυο ποικιλιών παρουσίασε στατιστικά σημαντικές διαφορές παρουσία frass, εντούτοις σε μικρότερη έκταση από το έδαφος Βελεστίνου. Εκεί, οι μεταχειρίσεις 0,5F και 1F είχαν σαφώς υψηλότερο αριθμό λοβών και για τις δυο ποικιλίες ανά φυτό σε σύγκριση με τις μεταχειρίσεις NC και PC, και πάλι με στατιστικά σημαντικές διαφορές. Αυτό υποδηλώνει ότι το frass συνέβαλε στην αύξηση της παραγωγικότητας των φυτών, παρέχοντας τα απαραίτητα θρεπτικά συστατικά που ενίσχυσαν την ανάπτυξη των λοβών. Σε ότι αφορά την σύγκριση της απόδοσης σε λοβούς των δύο εδαφών για την ίδια ποικιλία το πρότυπο των % διαφορών είναι ακόμη πιο εντυπωσιακό από του ξηρού βάρους: ενώ το αλκαλικό έδαφος οδήγησε σε πτώση κατά 68% το NC της Nelly και κατά 81% της Tennis, σε σύγκριση με το όξινο, οι αντίστοιχες πτώσεις των φυτών 0,5F ήταν 0,3% και 44%. Αξιοσημείωτο λοιπόν είναι ότι η Nelly διατήρησε τον ίδιο αριθμό λοβών παρουσία frass ενώ στο NC έχασε σχεδόν τα 2/3 των λοβών της.

Ο αριθμός των σπόρων και το βάρος τους είναι καθοριστικοί παράγοντες για την αξιολόγηση της αποδοτικότητας μιας καλλιέργειας. Αυτοί οι δείκτες αντικατοπτρίζουν τόσο την παραγωγικότητα όσο και την ποιότητα της παραγωγής. Οι μεταχειρίσεις 0,5F και 1F παρουσίασαν σημαντικά υψηλότερο αριθμό σπόρων αλλά και μεγαλύτερο βάρος σε σύγκριση με τις NC και PC και για τις δυο ποικιλίες, στο έδαφος Βελεστίνου. Αντίστοιχο πρότυπο παρουσιάστηκε και στην Tennis στο ίδιο έδαφος, ενώ αντίθετα στο έδαφος Αλμυρού δεν καταγράφηκαν σημαντικές διαφορές για αυτή την ποικιλία. Οι Beesigamukama et al. (2020) συμφωνώντας με τα παραπάνω αποτελέσματα, συνέκριναν την λίπανση φυτών καλαμποκιού με frass της black soldier fly με συμβατικά ανόργανα λιπάσματα και ανέφεραν υψηλότερες αποδόσεις σε σπόρους στην πρώτη μεταχείριση.

Το πλάτος και το πάχος των σπόρων είναι δείκτες που αντικατοπτρίζουν την ποιότητα και το μέγεθος των σπόρων, στοιχεία που είναι σημαντικά για την εμπορική αξία και τη βλαστική ικανότητά τους. Στην παρούσα εργασία, τα δύο αυτά μορφολογικά χαρακτηριστικά δεν εμφάνισαν πολύ μεγάλες διαφορές μεταξύ μεταχειρίσεων. Στο έδαφος Αλμυρού δεν καταγράφηκαν σημαντικές διαφορές. Ενδιαφέρον είναι όμως ότι στο έδαφος Βελεστίνου η ελαφριά, αλλά στατιστικώς σημαντική υπεροχή των μεταχειρίσεων frass έναντι των NC και PC πιθανά να έχει μεγαλύτερη βαρύτητα σε επίπεδο μεγάλης παραγωγής και εκτεταμένης καλλιέργειας.

Φαίνεται πως τα αποτελέσματα του συγκεκριμένου πειράματος όσον αφορά στο frass είναι σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνας των Borkent and Hodge (2021) οι οποίοι απέδειξαν πως ορισμένη ποσότητα frass είχε βελτιωτική επίδραση στα αναπτυξιακά χαρακτηριστικά αρκετών βοτάνων και λαχανικών – όχι όμως η μέγιστη δόση frass.

## 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα εργασία οδήγησε στα παρακάτω συμπεράσματα:

- Η χρήση του frass, και ιδιαίτερα στη συγκέντρωση 0.5%, αυξάνει τα επίπεδα των ολικών χλωροφυλλών του φύλλου, ενώ προάγει την ανάπτυξη του λούπινου όπως καταγράφηκε τόσο στη φυλλική επιφάνεια όσο και στην παραγωγή βιομάζας του φυτού.
- Το frass αποδείχθηκε ιδιαίτερα αποτελεσματικό στην αύξηση της απόδοσης των φυτών λούπινου σε αριθμό λοβών και σπόρων, σε σύγκριση με την απουσία λιπάσματος αλλά και με ανόργανο-συμβατικό λίπασμα.
- Τα μορφομετρικά χαρακτηριστικά των σπόρων βελτιώθηκαν παρουσία frass σε σχέση με τους μάρτυρες μόνο στο αλκαλικό έδαφος Βελεστίνου, ενώ στο έδαφος Αλμυρού ήταν παρόμοια σε όλες τις μεταχειρίσεις.
- Η χρήση του frass σε συγκεντρώσεις 0.5% και 1% οδήγησε σε βελτίωση όλων των παραμέτρων που αξιολογήθηκαν, με την συγκέντρωση του 0.5% να προσφέρει την καλύτερη ισορροπία μεταξύ ποσότητας frass και αποτελεσματικότητας.
- Οι αποκρίσεις των λούπινων είχαν διακυμάνσεις ανάλογα την ποικιλία και το έδαφος.
- Οι βελτιώσεις που επέφερε το frass αφορούσαν κυρίως το έδαφος του Βελεστίνου που ως ελαφρώς αλκαλικό δεν ευνοεί την ανάπτυξη και παραγωγικότητα του λούπινου, το οποίο προτιμά τα όξινα εδάφη.
- Μέσω του συγκεκριμένου πειράματος δεν προσδιορίζεται με ακρίβεια η βέλτιστη ποσότητα του frass για τη βελτίωση της φυσιολογίας και της ανάπτυξης των φυτών λούπινου, επομένως κρίνεται απαραίτητη περαιτέρω μελέτη.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Αϊβαλάκης, Γ., Καραμπουρνιώτης, Γ., & Λιακόπουλος, Γ. (2016). Φυσιολογία φυτών. Εκδόσεις ΕΜΒΡΥΟ.

Βουτυράκης, Μ. (2008). Οι σοβαρές επιπτώσεις από την αλόγιστη χρήση λιπασμάτων. [www.ecocrete.gr](http://www.ecocrete.gr)

Καρή, Ε. Β. (2019). Συγκριτική καλλιέργεια ποικιλιών *L. mutabilis* με άλλα είδη λούπινου, κουκί και σιτάρι (Μεταπτυχιακή μελέτη, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Επιστήμης Φυτικής Παραγωγής, Εργαστήριο Βελτίωσης Φυτών και Γεωργικού Πειραματισμού, Π.Μ.Σ. Επιστήμες και Συστήματα Φυτικής Παραγωγής). Επιβλέπουσα: Μπεμπέλη, Π. Ι. Αθήνα.

Παπαχρήστου, Ζ. (2024). Τα αποχωρήματα εντόμων (frass) ως εναλλακτικό λίπασμα για δύο ποικιλίες πιπεριάς: Επίδραση σε αναπτυξιακά και φυσιολογικά χαρακτηριστικά. (Πτυχιακή εργασία, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος). Επιβλέπουσα καθηγήτρια: Λεβίζου, Ε. Βόλος.

### ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Agustiyani, D., Agandi R., Arinafril, Nugroho A. A., & 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(1), Article 012036. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/762/1/012036>

Ahmad, N., Kumar, R., Saha, T., Keerthana, M., Jigyasa, Banshidhar, & Jaiswal, P. (2024). Utilizing insect frass (faecal matter): A sustainable approach to organic fertilization in agriculture. International Journal of Environment and Climate Change, 14(4), 386-396. <https://doi.org/10.9734/IJECC/2024/v14i4115941>

Antoniadis V., Koutroubas S. D., & Fotiadis S. (2015) Nitrogen, Phosphorus, and Potassium Availability in Manure- and Sewage Sludge–Applied Soil, Communications in Soil Science and Plant Analysis, 46:3, 393-404. <https://10.1080/00103624.2014.983241>

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. Advance online publication. <https://doi.org/10.1007/s42729-023-01451-9>

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*. <https://doi.org/10.1007/s42729-023-01451-9>

Araújo AS, de Melo WJ, Singh RP (2010). Municipal solid waste compost amendment in agricultural soil: changes in soil microbial biomass. *Rev Environ Sci Bio(Technol)* 9:41–49. <https://doi.org/10.1007/s11157-009-9179-6>

Assefa, S., & Tadesse, S. (2019). The principal role of organic fertilizer on soil properties and agricultural productivity: A review. *Agri Research & Technology: Open Access Journal*, 22(2), 46-55. <https://doi.org/10.19080/ARTOAJ.2019.22.556192>

Beesigamukama, D., Mochoge, B., Korir, N., Musyoka, M. W., Fiaboe, K. K. M., Nakimbugwe, D., Khamis, F. M., Subramanian, S., Dubois, T., Ekesi, S., & Tanga, C. M. (2020). Nitrogen fertilizer equivalence of black soldier fly frass fertilizer and synchrony of nitrogen mineralization for maize production. *Agronomy*, 10(9), Article 1395. <https://doi.org/10.3390/agronomy10091395>

Bhatti AA, Haq S, Bhat RA (2017) Actinomycetes benefaction role in soil and plant health. *Microb Pathog* 111:458–467. <https://10.1016/j.micpath.2017.09.036>

Borkent, S., & Hodge, S. (2021). Glasshouse evaluation of the black soldier fly waste product HexaFrass™ as an organic fertilizer. *Insects*, 12(11), 977. <https://doi.org/10.3390/insects12110977>

Brodt, S., Six, J., Feenstra, G., Ingels, C., & Campbell, D. (2011). Sustainable agriculture. *Nature Education Knowledge*, 3(10), 1. <https://www.nature.com/scitable/knowledge/library/sustainable-agriculture-23562787>

Burkholder, J. M., Tomasko, D. A., & Touchette, B. W. (2007). Seagrasses and eutrophication. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 350(1 2), 46-72. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2007.06.024>

Chang, E.-H., Chung, R.-S., & Tsai, Y.-H. (2010). Effect of different application rates of organic fertilizer on soil enzyme activity and microbial population. *Soil Science and Plant Nutrition*, 53(2), 132-140. <https://doi.org/10.1111/j.17470765.2007.00122.x>

Chatzistathis, T., Kavvadias, V., Sotiropoulos, T., & Papadakis, I. E. (2021). Organic fertilization and tree orchards. *Agriculture*, 11, Article 692. <https://doi.org/10.3390/agriculture11080692>

Claassen, V. P., & Carey, J. L. (2007). Comparison of slow-release nitrogen yield from organic soil amendments and chemical fertilizers and implications for regeneration of disturbed sites. *Land Degradation & Development*, 18(2), 119-132. <https://doi.org/10.1002/ldr.770>

Clemente, R., Escolar, A., & Bernal, M. P. (2005). Heavy metals fractionation and organic matter mineralisation in contaminated calcareous soil amended with organic materials. *Chemosphere*, 64(6), 1009-1017. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2005.08.048>

FAO (2018) FAO Cereal supply and demand brief. Cereal production and stock forecasts revised up, but prospects for 2018/19 still point to much tighter supplies than in 2017/18. <http://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/en/>

Fitrah, H. (2022). Benefits of using organic fertilizer for soil fertility. *Science Journal*, 1(2). <https://doi.org/10.54443/sj.v1i2.6>

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2009). How to feed the world in 2050. FAO. [http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert\\_paper/How\\_to\\_Feed\\_the\\_World\\_in\\_2050.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert_paper/How_to_Feed_the_World_in_2050.pdf)

Garcia-Gil JC, Ceppi SB, Velasco MI, Polo A, Senesi N (2004). Long-term effects of amendment with municipal solid waste compost on the elemental and acidic functional group composition and pH-buffer capacity of soil humic acids. *Geoderma* 121(1):135–142. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2003.11.004>

Houben, D., Daoulas, G., & Dulaurent, A.-M. (2021). Assessment of the short term fertilizer potential of mealworm frass using a pot experiment. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, Article 714596. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.714596>

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, Article 4659. <https://doi.org/10.1038/s41598-02061765-x>

Koutroubas, S. D., Antoniadis, V., Damalas, C. A., & Fotiadis, S. (2016). Effect of organic manure on wheat grain yield, nutrient accumulation, and translocation. *Agronomy Journal*, 108(2), 615-625. <https://doi.org/10.2134/agronj2015.0329>

Kumar, V. (2024). Sustainable agriculture. *Journal of Progress in Engineering and Physical Science*, 3(2), Article 14. <https://doi.org/10.56397/JPEPS.2024.06.03>

Kurlovich, B. 2002. The history of lupin domestication. In B. Kurlovich[ed.], *Lupins: Geography, classification, genetic resources and breeding*, 147–164.

Ledin, M. (2000). Accumulation of metals by microorganisms: Processes and importance for soil systems. *Earth-Science Reviews*, 51(1-2), 1-31. [https://doi.org/10.1016/S0012-8252\(00\)00016-2](https://doi.org/10.1016/S0012-8252(00)00016-2)

Liu, Y., Wu, L., Baddeley, J. A., & Watson, C. A. (2011). Models of biological nitrogen fixation of legumes. In E. Lichtfouse (Ed.), *Sustainable Agriculture* (Vol.2, pp.883-905). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-03940\\_39](https://doi.org/10.1007/978-94-007-03940_39)

- López-Bellido, L., Fuentes, M., & Castillo, J. E. (2000). Growth and yield of white lupin under Mediterranean conditions: Effect of plant density. *Agronomy Journal*, 92(2), 200-205. <https://doi.org/10.2134/agronj2000.922200x>
- Loss, A., Couto, R. da R., Brunetto, G., da Veiga, M., Toselli, M., & Baldi, E. (2019). Animal manure as fertilizer: Changes in soil attributes, productivity, and food composition. *International Journal of Research-GRANTHAALAYAH*, 7(9). <https://doi.org/10.5281/zenodo.3475563>
- Möller, K. (2018). Soil fertility status and nutrient input–output flows of specialized organic cropping systems: A review. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 112(2), 147–164. <https://doi.org/10.1007/s10705-018-9946-2>
- Moss, B. (2008). Water pollution by agriculture. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363(1491), 659-666. <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2176>
- Pahalvi H.N., Rafiya L., Rashid S., Nisar B., Kamili A.N. (2021). Chemical Fertilizers and Their Impact on Soil Health. In: Dar, G.H., Bhat, R.A., Mehmood, M.A., Hakeem, K.R. (eds) *Microbiota and Biofertilizers*, Vol 2. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-61010-4\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-61010-4_1)
- Pampana, S., Masoni, A., Mariotti, M., Ercoli, L., & Arduini, I. (2016). Nitrogen fixation of grain legumes differs in response to nitrogen fertilisation. *Experimental Agriculture*, 52(1), 1-17. <https://doi.org/10.1017/S0014479716000685>
- Poveda, J. (2021). Insect frass in the development of sustainable agriculture: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 41(5). <https://doi.org/10.1007/s13593-020-00656-x>
- Poveda, J., Jiménez-Gómez, A., Saati-Santamaría, Z., Usategui-Martín, R., Rivas, R., & García-Fraile, P. (2019). Mealworm frass as a potential biofertilizer and abiotic stress tolerance-inductor in plants. *Applied Soil Ecology*, 156, Article 103714. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.04.016>
- Raven, P., Evert, R. F., & Eichhorn, S. E. (2014). Βιολογία των φυτών (8<sup>η</sup> Αμερικανική έκδοση, 1<sup>η</sup> Ελληνική έκδοση, Κ. Θάνος, Γ. Ιατρού & Ν. Χριστοδουλάκης, Επιμ.). Εκδόσεις Utopia.
- Roy, A. H. (2001). Fertilizer feeds the world. *Fertilizers in Focus*. Fertilizer Industry Federation of Australia Inc. Conference.
- Ruggieri, L., Cadena, E., Martínez-Blanco, J., Gasol, C. M., Rieradevall, J., Gabarrell, X., Gea, T., Sort, X., & Sánchez, A. (2009). Recovery of organic wastes in the Spanish wine industry: Technical, economic, and environmental analyses of the composting process. *Journal of Cleaner Production*, 17(9), 830-838. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.12.001>

- Savci, S. (2012). *Investigation of Effect of Chemical Fertilizers on Environment*. In Proceedings of the Conference at Bozok University, Architectural and Engineering Faculty, Biosystems Engineering Department (pp. 287-292). <https://10.1016/j.apcbee.2012.03.047>
- Sawinska, Z., Radzikowska-Kujawska, D., Kowalczewski, P. Ł., Grzanka, M., Sobiech, Ł., Skrzypczak, G., Drożdżyńska, A., Ślachciński, M., & Świtek, S. (2024). *Hermetia illucens* frass fertilization: A novel approach for enhancing lettuce resilience and photosynthetic efficiency under drought stress conditions. *Applied Sciences*, 14(6), Article 2386. <https://doi.org/10.3390/app14062386>
- Soumare M, Tack FM, Verloo MG (2003). Characterisation of Malian and Belgian solid waste composts with respect to fertility and suitability for land application. *Waste Manag* 23(6):517–522. [https://doi.org/10.1016/S0956-053X\(03\)00067-9](https://doi.org/10.1016/S0956-053X(03)00067-9)
- Srivastava, V., de Araujo, A. S. F., Vaish, B., Bartelt-Hunt, S., Singh, P., & Singh, R. P. (2016). Biological response of using municipal solid waste compost in agriculture as a fertilizer supplement. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 15(4), 677-696. <https://doi.org/10.1007/s11157-016-9407-9>
- Stępkowski, T., Banasiewicz, J., Granada, C. E., Andrews, M., & Passaglia, L. M. P. (2018). Phylogeny and phylogeography of rhizobial symbionts nodulating legumes of the tribe Genisteae. *Genes*, 9(3), 163. <https://doi.org/10.3390/genes9030163>
- Tilman, D., Fargione, J., Wolff, B., D'Antonio, C., Dobson, A., Howarth, R., Schindler, D., Schlesinger, W. H., Simberloff, D., & Swackhamer, D. (2001). Forecasting agriculturally driven global environmental change. *Science*, 292(5515), 281-284. <https://doi.org/10.1126/science.1057544>
- Tittarelli F., Båth B., Ceglie F., García, M., Möller K., Reents H., Védie H., Voogt W. (2017). Soil fertility management in organic greenhouse: An analysis of the European context. *Acta Hortic.* 1164, 113-126. <https://10.17660/ActaHortic.2017.1164.15>
- U.S. Environmental Protection Agency. (2017). Climate impacts on agriculture and food supply. [https://19january2017snapshot.epa.gov/climate-impacts/climate-impacts-agriculture-and-food-supply\\_.html](https://19january2017snapshot.epa.gov/climate-impacts/climate-impacts-agriculture-and-food-supply_.html)
- Watson, C., Schlösser, C., Vögerl, J., & Wichern, F. (2021). Excellent excrement? Frass impacts on a soil's microbial community, processes, and metal bioavailability. *Applied Soil Ecology*, 168, Article 104110. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.104110>
- Zikeli S, Deil L, Moller K. (2017) The challenge of imbalanced nutrient flows in organic farming systems: a study of Organic greenhouses in Southern Germany. *Agr Ecosyst Environ* 244:1–13. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.04.017>