



**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΑΣ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΚΑΙΝΟΤΟΜΕΣ
ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗΝ ΑΕΙΦΟΡΙΚΗ ΓΕΩΡΓΙΑ, ΣΤΗ ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΦΥΤΩΝ &
ΣΤΗΝ ΑΓΡΟΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑ**

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

**Επίδραση της αζωτούχου λίπανσης στο ριζικό σύστημα του Λιναριού
(*Linum usitatissimum* L.)**

Νικολέτα Ε. Καραβίδα

Επιβλέπουσα καθηγήτρια:

Κακαμπούκη Ιωάννα, Επίκουρη Καθηγήτρια ΓΠΑ

ΑΘΗΝΑ, 2023

**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΑΣ**

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Επίδραση της αζωτούχου λίπανσης στο ριζικό σύστημα του Λιναριού
(*Linum usitatissimum L.*)

“Influence of nitrogen fertilization on the root system of Flax
(*Linum usitatissimum L.*)”

Νικολέτα Ε. Καραβίδα

Εξεταστική Επιτροπή:

Κακαμπούκη Ιωάννα, Επίκουρη Καθηγήτρια ΓΠΑ (Επιβλέπουσα)

Μπιλάλης Δημήτριος, Καθηγητής ΓΠΑ

Αντώνακα – Οικονόμου Γαρυφαλλιά, Καθηγήτρια ΓΠΑ

Επίδραση της αζωτούχου λίπανσης στο ριζικό σύστημα του Λιναριού (*Linum usitatissimum L.*)

ΠΜΣ Καινοτόμες Εφαρμογές στην Αειφορική Γεωργία, στη Βελτίωση Φυτών & στην Αγρομετεωρολογία
Τμήμα Επιστήμης Φυτικής Παραγωγής
Εργαστήριο Γεωργίας

Περίληψη

Στον πειραματικό αγρό του Εργαστηρίου Γεωργίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών πραγματοποιήθηκε το συγκεκριμένο πείραμα. Η σπορά πραγματοποιήθηκε στις 14 Νοεμβρίου 2022 και η συγκομιδή στις 12 Μαΐου 2023.

Σκοπός του πειράματος του πειράματος ήταν αξιολόγηση της επίδρασης της αζωτούχου λίπανσης στο ριζικό σύστημα του Λιναριού και οι αποστάσεις σποράς που χρησιμοποιήθηκαν στην συγκεκριμένη καλλιέργεια (*Linum usitatissimum L.*). Το πειραματικό σχέδιο που ακολουθείται είναι τα Split Plot. Οι επεμβάσεις λίπανσης που χρησιμοποιήθηκαν ήταν η ουρία, ο παρεμποδιστής νιτροποίησης και ουρεάσης και ο μάρτυρας (χωρίς προσθήκη λιπάσματος). Τα χαρακτηριστικά που μελετήθηκαν ήταν ο αριθμός των ριζών, ο αριθμός των διακλαδώσεων, το συνολικό μήκος της ρίζας, η περίμετρος και η διάμετρος της ρίζας, η επιφάνεια και τέλος η ανάπτυξη των μυκόρριζων (AMF).

Από την στατιστική ανάλυση των δεδομένων προκύπτει ότι οι διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης είχαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές στον αριθμό των ριζών και των διακλαδώσεων και στο μήκος της ρίζας με τη χρήση λιπάσματος ουρίας και παρεμποδιστή νιτροποίησης και ουρεάσης. Τέλος, παρατηρήθηκε ότι ο παράγοντας της λίπανσης επηρέασε την ανάπτυξη των μυκόρριζων με το μεγαλύτερο ποσοστό αποικισμού των μυκόρριζων να παρατηρείται στον μάρτυρα (χωρίς προσθήκη λιπάσματος).

Επιστημονική περιοχή: Φυτική Παραγωγή

Λέξεις κλειδιά: αποστάσεις σποράς, λινάρι, παρεμποδιστής νιτροποίησης, παρεμποδιστή ουρεάσης, ριζικό σύστημα

Influence of nitrogen fertilization on the root system of flax (*Linum usitatissimum L.*)

MSc Innovative Applications in Sustainable Agriculture, in Plant Improvement and in Agrometeorology
Department of Crop Faculty
Faculty of Crop Science

Abstract

The experiment was carried out in the experimental field of the Agricultural Laboratory of the Agricultural University of Athens. Sowing took place on 14 November 2022 and harvesting on 12 May 2023.

The aim of the experiment was to investigate the effect of nitrogen fertilization on the root system of *Linum* and the sowing distances used in this crop (*Linum usitatissimum L.*). The experimental design followed is the Split Plot. The fertilization treatments used were urea, nitrification and urease inhibitor and martyr (without fertilizer addition). The characteristics studied were number of roots, number of branches, total root length, root girth and diameter, root surface area and finally mycorrhizal growth (AMF).

Statistical analysis of the data shows that different fertilization treatments had statistically significant differences in the number of roots and branches, frequency of branches and root length using urea fertilizer and nitrification and urease inhibitor. Finally, it was observed that the fertilization factor affected mycorrhizal growth with the highest percentage of mycorrhizal colonization observed in the control (without fertilizer addition).

Scientific Area: Crop Faculty

Keywords: *Linum usitatissimum L.*, nitrification inhibitor, planting distances, root system, urease inhibitor

Ευχαριστίες

Η παρούσα μελέτη πραγματοποιήθηκε στο Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών την περίοδο 2022-2023 στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών “Καινοτόμες Εφαρμογές στην Αειφορική Γεωργία, στη Βελτίωση Φυτών και στην Αγρομετεωρολογία”.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την επιβλέπουσα καθηγήτρια της μεταπτυχιακής μου μελέτης, κ. Ιωάννα Κακαμπούκη για την πολύτιμη βοήθεια και την καθοδήγηση σε όλη τη διάρκεια του πειράματος, καθώς επίσης και τον καθηγητή κ. Δημήτριο Μπιλάλη για τις πολύτιμες συμβουλές σε όλη τη διάρκεια της μελέτης και του μεταπτυχιακού μου γενικότερα.

Στη συνέχεια, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλα τα μέλη του Εργαστηρίου Γεωργίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, τους προπτυχιακούς φοιτητές Σταύρο, Τίμο, Χρήστο και Βασίλη και τον υποψήφιο Διδάκτορα του Εργαστηρίου Γεωργίας Αντώνη Μαυροειδή για την βοήθειά του στην ολοκλήρωση της μελέτης μου. Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στον υποψήφιο Διδάκτορα του εργαστηρίου Γεωργίας Παντελή Σταυρόπουλο, του οποίου η βοήθεια και η προθυμία ήταν πολύτιμη σε όλη τη διάρκεια του πειραματικής μου μελέτης και ήταν παρών σε οποιαδήποτε δυσκολία αντιμετώπισα. Ευχαριστώ, επίσης, τη συμφοιτήτρια και φίλη μου από το Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών, Νάνσυ Γαλανού για την άριστη συνεργασία και συνεννόηση στη διάρκεια του πειράματος.

Τέλος, το μεγαλύτερο ευχαριστώ και την ευγνωμοσύνη μου τα οφείλω στους γονείς μου και στους φίλους μου για την αμέριστη αγάπη, συμπαράσταση και υπομονή που έχουν δείξει όλα αυτά τα χρόνια των σπουδών μου.

Με την άδειά μου, η παρούσα εργασία ελέγχθηκε από την Εξεταστική Επιτροπή μέσα από λογισμικό ανίχνευσης λογοκλοπής που διαθέτει το ΓΠΑ και διασταυρώθηκε η εγκυρότητα και η πρωτοτυπία της.

Περιεχόμενα

Περίληψη	3
Abstract.....	4
Ευχαριστίες.....	5
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	12
1.1 Γενικά.....	12
1.2 Ιστορικά Στοιχεία	12
1.3 Βοτανική Ταξινόμηση.....	14
1.4 Μορφολογικά Χαρακτηριστικά.....	15
1.4.1 Υπόγειο μέρος του φυτού.....	15
1.4.1.1 Μορφολογία Ρίζας.....	15
1.4.1.2 Ρίζα Λιναριού	16
1.4.1.3 Ριζικό Σύστημα και Έδαφος.....	17
1.4.1.4 Σημασία Ρίζας - Λειτουργίες.....	19
1.4.2 Υπέργειο μέρος του φυτού.....	20
1.5 Στάδια Ανάπτυξης.....	22
1.6 Προσαρμοστικότητα.....	23
1.6.1 Θερμοκρασία	23
1.6.2 Έδαφος.....	23
1.7 Καλλιεργητικές Τεχνικές.....	23
1.7.1 Αμειψισπορά.....	23
1.7.2 Εδαφοκατεργασία	24
1.7.3 Σπορά	24
1.7.4 Άρδευση	25
1.7.5 Λίπανση.....	25
1.7.6 Διαχείριση Ζιζανίων	27
1.7.7 Συγκομιδή.....	27
1.8 Νέου Τύπου Λιπάσματα.....	28
1.8.1 Παρεμποδιστής νιτροποίησης.....	28
1.8.2 Παρεμποδιστής ουρέασης	29
1.9 Παγκόσμια Παραγωγή Λιναριού	29
1.10 Σκοπός της Μελέτης	33
2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	34
2.1 Χαρακτηριστικά αγρού	34
2.2 Πειραματικό Σχέδιο.....	34
2.3 Φυτικό Υλικό.....	35

2.4 Εδαφολογική ανάλυση.....	36
2.5 Μετεωρολογικά δεδομένα	36
2.6 Καλλιεργητικές Πρακτικές	37
2.7 Προσδιορισμοί - Μετρήσεις.....	38
2.8 Στατιστική ανάλυση	42
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	43
3.1 Αριθμός ριζιδίων.....	43
3.2 Αριθμός διακλαδώσεων ρίζας.....	48
3.3 Συνολικό μήκος ρίζας	56
3.4 Περίμετρος ρίζας.....	62
3.5 Διάμετρος ρίζας	64
3.6 Επιφάνεια ρίζας.....	66
3.7 AMF	69
4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ	76
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ	79
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	80

Πίνακας Πινάκων

Πίνακας 1: Ταξινόμηση Λιναριού	14
Πίνακας 2: Εδαφολογική Ανάλυση	36
Πίνακας 3: Ανάλυση διασποράς για τον αριθμό των ριζιδίων στις 60 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$	43
Πίνακας 4: Ανάλυση διασποράς για τον αριθμό των ριζιδίων στις 90 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$	45
Πίνακας 5: Ανάλυση διασποράς για τον αριθμό των ριζιδίων στις 120 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$	45
Πίνακας 6: Ανάλυση διασποράς για τον αριθμό των ριζιδίων στις 150 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$	47
Πίνακας 7: Ανάλυση διασποράς για τον αριθμό των διακλαδώσεων ρίζας στις 60 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$	48
Πίνακας 8: Ανάλυση διασποράς για τον αριθμό των διακλαδώσεων ρίζας στις 90 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$	51
Πίνακας 9: Ανάλυση διασποράς για τον αριθμό των διακλαδώσεων ρίζας στις 120 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$	54
Πίνακας 10: Ανάλυση διασποράς για τον αριθμό των διακλαδώσεων ρίζας στις 150 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$	54
Πίνακας 11: Ανάλυση διασποράς για το συνολικό μήκος της ρίζας στις 60 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$	56
Πίνακας 12: Ανάλυση διασποράς για το συνολικό μήκος της ρίζας στις 90 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$	58
Πίνακας 13: Ανάλυση διασποράς για το συνολικό μήκος της ρίζας στις 120 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$	59
Πίνακας 14: Ανάλυση διασποράς για το συνολικό μήκος της ρίζας στις 150 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$	61
Πίνακας 15: Ανάλυση διασποράς για την περίμετρο της ρίζας στις 60 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$	62
Πίνακας 16: Ανάλυση διασποράς για την περίμετρο της ρίζας στις 90 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$	63
Πίνακας 17: Ανάλυση διασποράς για την περίμετρο της ρίζας στις 120 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$	63

Πίνακας 18: Ανάλυση διασποράς για την περίμετρο της ρίζας στις 150 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$	64
Πίνακας 19: Ανάλυση διασποράς για τη μέση διάμετρο της ρίζας στις 60 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$	64
Πίνακας 20: Ανάλυση διασποράς για τη μέση διάμετρο της ρίζας στις 90 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$	65
Πίνακας 21: Ανάλυση διασποράς για τη μέση διάμετρο της ρίζας στις 120 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$	65
Πίνακας 22: Ανάλυση διασποράς για τη μέση διάμετρο της ρίζας στις 150 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$	66
Πίνακας 23: Ανάλυση διασποράς για την επιφάνεια της ρίζας στις 60 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$	66
Πίνακας 24: Ανάλυση διασποράς για την επιφάνεια της ρίζας στις 90 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$	67
Πίνακας 25: Ανάλυση διασποράς για την επιφάνεια της ρίζας στις 120 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$	67
Πίνακας 26: Ανάλυση διασποράς για την επιφάνεια της ρίζας στις 150 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$	68
Πίνακας 27: Ανάλυση διασποράς για τη συχνότητα των μυκόρριζων στις 60 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$	69
Πίνακας 28: Ανάλυση διασποράς για τη συχνότητα των μυκόρριζων στις 90 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$	71
Πίνακας 29: Ανάλυση διασποράς για τη συχνότητα των μυκόρριζων στις 120 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$	72
Πίνακας 30: Ανάλυση διασποράς για τη συχνότητα των μυκόρριζων στις 150 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$	74
Πίνακας 31: Πίνακας συσχετίσεων (Correlation Matrix). Οι θετικοί αριθμοί αντιπροσωπεύουν την θετική συσχέτιση μεταξύ δυο παραγόντων, ενώ οι αρνητικοί αριθμοί την αρνητική συσχέτιση. Τα σύμβολα (*) και (ns) αντιστοιχούν σε: (*)= $P<0,05$, (**)= $P<0,01$, (***)= $P<0,001$ και (ns)= μη στατιστικώς σημαντική συσχέτιση.....	76

Πίνακας Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1: Μέση παραγωγή ινών και νήματος Λιναριού (a) και λιναρόσπορου (b) ανά Ήπειρο από το 1994-2020	31
Διάγραμμα 2: Παραγωγή ίνας (a) και λιναρόσπορου (b) από τις κυριότερες χώρες παραγωγής παγκοσμίως από το 1994-2019	32
Διάγραμμα 3: Μέση θερμοκρασία.....	36
Διάγραμμα 4: Μέση βροχόπτωση	37
Διάγραμμα 5: Επίδραση του παράγοντα της λίπανσης στις διαφορετικές αποστάσεις σποράς για τον αριθμό των ριζιδίων του δείγματος στις 60 ΗΑΣ.....	44
Διάγραμμα 6: Επίδραση του παράγοντα της λίπανσης στις διαφορετικές αποστάσεις σποράς για τον αριθμό των ριζιδίων του δείγματος στις 120 ΗΑΣ.....	46
Διάγραμμα 7: Επίδραση του παράγοντα της λίπανσης στις διαφορετικές αποστάσεις σποράς για τον αριθμό των ριζιδίων του δείγματος στις 150 ΗΑΣ.....	48
Διάγραμμα 8: Επίδραση του παράγοντα της λίπανσης στις διαφορετικές αποστάσεις σποράς για τον αριθμό των διακλαδώσεων του ριζικού συστήματος του δείγματος στις 60 ΗΑΣ	49
Διάγραμμα 9: Επίδραση του παράγοντα της απόστασης σποράς στις διαφορετικές εφαρμογές λίπανσης για τον αριθμό των διακλαδώσεων του ριζικού συστήματος του δείγματος στις 60 ΗΑΣ.	51
Διάγραμμα 10: Επίδραση του παράγοντα της λίπανσης στις διαφορετικές αποστάσεις σποράς για τον αριθμό των διακλαδώσεων του ριζικού συστήματος του δείγματος στις 90 ΗΑΣ	52
Διάγραμμα 11: Επίδραση του παράγοντα της απόστασης σποράς στις διαφορετικές εφαρμογές λίπανσης για τον αριθμό των διακλαδώσεων του ριζικού συστήματος του δείγματος στις 90 ΗΑΣ	54
Διάγραμμα 12: Επίδραση του παράγοντα της λίπανσης στις διαφορετικές αποστάσεις σποράς για τον αριθμό των διακλαδώσεων του ριζικού συστήματος του δείγματος στις 150 ΗΑΣ ...	56
Διάγραμμα 13: Επίδραση του παράγοντα της λίπανσης στις διαφορετικές αποστάσεις σποράς για το συνολικό μήκος της ρίζας του δείγματος στις 60 ΗΑΣ.....	57
Διάγραμμα 14: Επίδραση του παράγοντα της λίπανσης στις διαφορετικές αποστάσεις σποράς για το συνολικό μήκος της ρίζας του δείγματος στις 90 ΗΑΣ.....	59
Διάγραμμα 15: Επίδραση του παράγοντα της λίπανσης στις διαφορετικές αποστάσεις σποράς για το συνολικό μήκος της ρίζας του δείγματος στις 120 ΗΑΣ.....	60
Διάγραμμα 16: Επίδραση του παράγοντα της λίπανσης στις διαφορετικές αποστάσεις σποράς για το συνολικό μήκος της ρίζας του δείγματος στις 150 ΗΑΣ.....	62

Διάγραμμα 17: Επίδραση του παράγοντα της λίπανσης στις διαφορετικές αποστάσεις σποράς για την επιφάνεια του δείγματος στις 150 ΗΑΣ	69
Διάγραμμα 18: Επίδραση του παράγοντα της λίπανσης στις διαφορετικές αποστάσεις σποράς για το ποσοστό των μυκόρριζων του δείγματος στις 60 ΗΑΣ.....	70
Διάγραμμα 19: Επίδραση του παράγοντα της λίπανσης στις διαφορετικές αποστάσεις σποράς για το ποσοστό των μυκόρριζων του δείγματος στις 90 ΗΑΣ.....	72
Διάγραμμα 20: Επίδραση του παράγοντα της λίπανσης στις διαφορετικές αποστάσεις σποράς για το ποσοστό των μυκόρριζων του δείγματος στις 120 ΗΑΣ.....	73
Διάγραμμα 21: Επίδραση του παράγοντα της λίπανσης στις διαφορετικές αποστάσεις σποράς για το ποσοστό των μυκόρριζων του δείγματος στις 150 ΗΑΣ.....	75

Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 1: Ριζικό Σύστημα Λιναριού.....	16
Εικόνα 2: Άνθος Λιναριού.....	20
Εικόνα 3: Σπόροι Λιναριού.....	21
Εικόνα 4: Σχηματική απεικόνιση της διαδρομής των αζωτούχων λιπασμάτων που εφαρμόζονται σε γεωργικά συστήματα	28
Εικόνα 5: Μέση παραγωγή ινών και νήματος λιναριού (a) και λιναρόσπορου (b) στον κόσμο από το 1994-2020	31
Εικόνα 6: Ο πειραματικός αγρός	33
Εικόνα 7: Τοποθεσία καλλιέργειας Λιναριού.....	34
Εικόνα 8: Πειραματικό σχέδιο.....	35
Εικόνα 9: Κύλινδρος λήψης εδαφικού δείγματος.....	38
Εικόνα 10: Βάψιμο και σκανάρισμα ριζών λιναριού.....	39
Εικόνα 11 : Εικόνα ριζών μετά το σκανάρισμα.....	41
Εικόνα 12: Εικόνα ριζών στο RhizoVision Explorer	42
Εικόνα 13: Εικόνα ριζών έπειτα από χρώση με φουξίνη όπως αποδόθηκε από το στερεοσκόπιο	42

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά

Το λινάρι (*Linum usitatissimum L.*) είναι μια από τις θεμελιώδεις γεωργικές καλλιέργειες στην Εγγύς Ανατολή (Zohary, 1999). Η μεγαλύτερη παραγωγή ινώδους λιναριού παρατηρείται σήμερα στην Κίνα, τη Ρωσία, τη Λευκορωσία και την Ουκρανία, ενώ ο λιναρόσπορος είναι σημαντικός στην Ινδία, τον Καναδά, την Κίνα, τις Ηνωμένες Πολιτείες, τη Γερμανία, την Αργεντινή, το Ηνωμένο Βασίλειο και την Ισπανία (FAOSTAT, 2006). Το 1999, η συνολική παγκόσμια έκταση που καλλιεργήθηκε με λιναρόσπορο ήταν περίπου 3,3 εκατομμύρια εκτάρια, ενώ η έκταση που καλλιεργήθηκε με ιώδες λινάρι ήταν περίπου 0,48 εκατομμύρια εκτάρια (Diederichsen, 2007).

Το στέλεχος ή ο φλοιός του φυτού χρησιμοποιείται για την εξαγωγή φυσικών ινών κυτταρίνης που συνήθως ονομάζονται ίνες λινού ή λιναριού. Οι ίνες που προέρχονται από το φυτό του λιναριού είναι από τις πλέον αρεστές φυσικές ίνες κυτταρίνης και είναι γνωστές για την υψηλή αντοχή τους (Ma et al., 2023).

Το λάδι που παράγεται από τους σπόρους του θεωρείται σημαντικό δευτερογενές προϊόν που αξιοποιείται στην ανθρώπινη διατροφή με τη μορφή ακατέργαστου ελαίου. Επίσης, χρησιμοποιείται σε ορισμένες βιομηχανίες, ως διαλύτης για χρώματα, βερνίκια και μελάνι εκτύπωσης. Εκτός από τις υπόλοιπες χρήσεις του, το σπορέλαιο περιέχει υψηλό ποσοστό πρωτεΐνης 42-46 % και χρησιμοποιείται ως ζωοτροφή (Rashwan and Abdelaal, 2019).

1.2 Ιστορικά Στοιχεία

Το λινάρι (*Linum usitatissimum L.*) είναι αυτογονιμοποιούμενο φυτό που ανήκει στην οικογένεια *Linaceae* (Singh et al., 2011). Ο άνθρωπος ξεκίνησε να καλλιεργεί το λινάρι περίπου 8.000 - 10.000 χρόνια πριν στην Μέση Ανατολή κατά τη νεολιθική περίοδο, όπου χρησιμοποιούνταν για την παραγωγή υφασμάτων και ως φαρμακευτικό φυτό. Στην αρχαία Αίγυπτο, το λινάρι ήταν μια καλλιέργεια υψηλής αξίας που συνδεόταν με τη θεά Ίσιδα. Οι Αιγύπτιοι χρησιμοποιούσαν τις ίνες του φυτού για την κατασκευή λινών υφασμάτων, τα οποία φορούσαν οι Φαραώ, οι ιερείς και οι πλούσιοι πολίτες. Στη συνέχεια, διαδόθηκε στην κοιλάδα του Νείλου, στην Ευρώπη και τελικά στον υπόλοιπο κόσμο (Fu, 2011 ; You and Fofana, 2023).

Η Μεσόγειος και η Νοτιοδυτική Ασία έχουν προταθεί ως κέντρο προέλευσης (Millam et al., 2005). Η αρχική χρήση του λιναριού έχει επίσης αμφισβητηθεί. Με βάση αρχαιολογικά στοιχεία, προτάθηκε ότι το λινάρι χρησιμοποιήθηκε αρχικά για ίνες. Ωστόσο, μια πιο πρόσφατη συγκριτική μελέτη της γενετικής ποικιλομορφίας από το λινάρι και το χλωρό λινάρι (*L. angustifolium*) έδειξε μειωμένη ποικιλομορφία στο καλλιεργούμενο είδος. Αυτό υποδηλώνει ότι το λινάρι μπορεί να είχε αρχικά επιλεγεί ως ελαιούχο φυτό (Allaby et al., 2005). Το λινάρι, αν και δευτερεύουσα καλλιέργεια, καλλιεργείται σε ένα ευρύ φάσμα χωρών, κλιμάτων και για πολλά διαφορετικά προϊόντα. Λόγω της προσαρμοστικότητάς του και της ποικιλομορφίας των προϊόντων του, εξετάζεται για την ανάπτυξη νέων βιοπροϊόντων. Η έρευνα για τη χρήση του λιναριού για την παραγωγή βιοπροϊόντων διεξάγεται στην Αυστραλία, τη Βόρεια Αμερική, την Ευρώπη και την Ασία (*L. usitatissimum*) (Jhala and Hall, 2010).

Είναι από τα πρώτα φυτά που καλλιεργήθηκαν από τους ανθρώπους για ίνες και εκχυλίσματα από τους σπόρους και τα άνθη τους. Η εξημέρωση του λιναριού πιστεύεται ότι συνέβη στην περιοχή της Γόνιμης Ημισελήνου (Fu, 2011) και τα πρώτα γνωστά στοιχεία για τη χρήση ινών λιναριού, που χρονολογούνται περίπου 30.000 χρόνια πριν από τη σημερινή εποχή, εντοπίζονται στη Δημοκρατία της Γεωργίας (Knavadze et al., 2009). Ιστορικά, το λινάρι έχει χρησιμοποιηθεί στην κατασκευή λεπτών υφασμάτων για την ένδυση, καθώς και υλικών βαρέως τύπου, όπως πανί, σάκο και σχοινί (Manian et al., 2021). Στην Ευρώπη, η καλλιέργεια του λιναριού χρονολογείται από την εποχή του χαλκού και αποτέλεσε σημαντική καλλιέργεια κατά τη μεσαιωνική περίοδο. Οι ίνες του χρησιμοποιούνταν για την κατασκευή υφασμάτων, σχοινιών και χαρτιού, ενώ οι σπόροι του χρησιμοποιούνταν για την παραγωγή λαδιού και ως πηγή τροφής. Το ιώδες λινάρι ήταν μία από τις τρεις κορυφαίες καλλιέργειες ινών που χρησιμοποιούνται στην κλωστοϋφαντουργία, ενώ ο λιναρόσπορος κατατάσσεται στην πέμπτη θέση των ελαιούχων καλλιεργειών στον κόσμο (Ottai et al., 2011).

Κατά τον 17ο και 18ο αιώνα, η καλλιέργεια λιναριού αποτέλεσε σημαντική βιομηχανία στην Ιρλανδία και τη Σκωτία, όπου το δροσερό κλίμα και το υγρό έδαφος παρείχαν ιδανικές συνθήκες καλλιέργειας. Για να ανταποκριθεί στην αυξανόμενη ζήτηση της βιομηχανίας, το λινάρι είναι μία από τα λίγες καλλιέργειες που καλλιεργείται σε δύο κύριους τύπους, ίνες και σπόρο (Liu et al., 2011). Αυτοί οι δύο τύποι έχουν διαφορετική μορφολογία και αγρονομικά χαρακτηριστικά (You and Fofana, 2023).

1.3 Βοτανική Ταξινόμηση

Το λινάρι είναι ένα από τα παλαιότερα καλλιεργούμενα φυτά που καλλιεργούνται για την παραγωγή λαδιού και ινών. Ανήκει στο γένος *Linum* και την οικογένεια *Linaceae*. Η λατινική του ονομασία, *Linum usitatissimum*, δόθηκε από τον Λινναίο. Είναι ετήσιο ποώδες φυτό με επιπόλαιο ριζικό σύστημα. Οι κοινές ονομασίες λινάρι και λιναρόσπορος χρησιμοποιούνται στη Βόρεια Αμερική και την Ασία. Οι ποικιλίες ελαιούχων σπόρων και οι ποικιλίες ινών αποτελούν εξειδικευμένη ανάπτυξη αυτού του είδους (Millam et al., 2005). Οι ποικιλίες που καλλιεργούνται κυρίως για σκοπούς σποράς / ελαίου είναι σχετικά κοντές σε ύψος και διαθέτουν περισσότερες διακλαδώσεις και κάψες. Οι ποικιλίες που καλλιεργούνται για την παραγωγή ινών είναι κατακόρυφης ανάπτυξης και έχουν λιγότερες διακλαδώσεις.

Πίνακας 1: Ταξινόμηση Λιναριού

ΒΑΣΙΛΕΙΟ	Plantae
ΤΑΞΗ	Linales
ΟΙΚΟΓΕΝΕΙΑ	Linaceae
ΓΕΝΟΣ	Linum
ΕΙΔΟΣ	<i>Linum usitatissimum</i> L.

Αρκετά από τα είδη είναι θάμνοι και βρίσκονται σε τροπικές περιοχές, ενώ υπάρχουν και τα πολυετή και ετήσια είδη που βρίσκονται σε πιο ήπιες από άποψη θερμοκρασίας, περιοχές του κόσμου. Το *Linum* είναι το μεγαλύτερο γένος στην οικογένεια. Υπάρχουν τρία γεωγραφικά κέντρα όπου βρίσκεται το *Linum* και το κάθε ένα έχει μεγάλη ποικιλότητα:

- ❖ Η περιοχή της Μεσογείου
- ❖ Το Νότιο τμήμα της Βόρειας Αμερικής και το Μεξικό
- ❖ Η Νότια Αμερική

1.4 Μορφολογικά Χαρακτηριστικά

1.4.1 Υπόγειο μέρος του φυτού

Είναι γνωστό ότι το ριζικό σύστημα των φυτών συνήθως σχετίζεται με τα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά του εδάφους, τη γενετική των φυτών και την περιεκτικότητα σε νερό, οπότε οι ρίζες έχουν θεμελιώδη σημασία στις αλληλεπιδράσεις μεταξύ του εδάφους και των ζωντανών οργανισμών (Costa et al., 2012 ; Mairhofer et al., 2012). Με αυτόν τον τρόπο, οι ρίζες των φυτών επηρεάζουν τη σταθερότητα, το σχήμα (τραχύτητα) και τη γεωμετρία (εμβαδόν) των εδαφικών συσσωματωμάτων, δηλαδή μπορεί να παρεμβαίνουν στο μέγεθος και την κατανομή των πόρων, μεταβάλλοντας τη σχέση αέρα-νερού, τη δυναμική των θρεπτικών συστατικών και την προστασία του άνθρακα στο έδαφος (Kaestner et al., 2006 ; Carducci et al., 2014 ; Silva et al., 2013 ; Zinn et al., 2007).

Υπό αυτή την έννοια, οι ευεργετικές αλλαγές της συσσωμάτωσης στο έδαφος (υψηλή σταθερότητα και αποθήκευση άνθρακα) υπάρχουν όταν η διαχείριση των καλλιεργειών γίνεται σύμφωνα με τις προϋποθέσεις της συντηρητικής γεωργίας. Συμβάλλει ευεργετικά στη μείωση των αερίων του θερμοκηπίου, αποθηκεύοντας στα συσσωματώματα του εδάφους τον άνθρακα που απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα, καθώς και τον άνθρακα που περιέχεται στα φυτικά και ζωικά απόβλητα λόγω βιολογικής, χημικής και φυσικής δράσης. Είναι γνωστό ότι αυτό το οργανικό μόριο υποδιαιρείται σε διάφορα οργανικά οξέα, τα οποία είναι εξαιρετικά αποτελεσματικά στην σταθεροποίηση των συσσωματωμάτων του εδάφους (Zinn et al., 2007 ; Kohn et al., 2020).

1.4.1.1 Μορφολογία Ρίζας

Μεγάλη προσοχή δίνεται τώρα στα πρώτα στάδια της διακλάδωση της ρίζας, την εμφάνιση των αρχέγονων ριζών και την ανάπτυξη πλευρικών ριζών πριν από την έξοδο της κύριας ρίζας από τους ιστούς. Η ανάπτυξη των βλαστικών συστημάτων στα φυτά υπακούει σε αυστηρούς μορφογενετικούς νόμους και οι αποκλίσεις από αυτούς θεωρούνται ανωμαλίες. Οι νόμοι αυτοί είναι λιγότερο εμφανείς στα υπόγεια μέρη του φυτού.

Πιο συγκεκριμένα, τα δομικά πρότυπα των ενήλικων ριζικών συστημάτων δεν μπορούν να καθοριστούν. Ωστόσο, η αναζήτηση του σχηματισμού του ριζικού συστήματος είναι δυνατή κατά τη μελέτη της εμφάνισης των αρχέγονων και των πρώιμων σταδίων των

πλευρικών ριζών σε σπορόφυτα. Τα αρχέγονα των πλευρικών ριζών εμφανίζονται ενδογενώς στο περικύκλιο της κύριας ρίζας, κυρίως στη ζώνη, όπου η κυτταρική διαφοροποίηση έχει ήδη ολοκληρωθεί (McCully, 1975). Επιπλέον, εμφανίζονται σε μια ορισμένη απόσταση από την κορυφή της κύριας ρίζας (Mallory et al., 1970 ; Barlow and Adam, 1988). Ο πολλαπλασιασμός συνεχίζεται μόνο σε εκείνα τα κύτταρα του περικύκλιου που είναι στραμμένα προς έναν ορισμένο τύπο αγώγιμων ιστών και, ως εκ τούτου, οι πλευρικές ρίζες εντοπίζονται πάνω από τα ορθόστιχα. Η απόσταση μεταξύ των πλευρικών ριζών ποικίλλει σε μεγάλο βαθμό. Οι ομάδες των πλευρικών ριζών περιγράφονται ως σπορόφυτα (Dubrovskii, 1987 ; Mallory et al., 1970 ; Ploshchinskaya, 2003).

1.4.1.2 Ρίζα Λιναριού

Το λινάρι, όπως και οι άλλες ελαιούχες καλλιέργειες, είναι φυτό με πασσαλώδες ριζικό σύστημα. Σε σύγκριση με την ελαιοκράμβη, τον ηλίανθο και τον κρόκο, το λινάρι έχει ρηχότερο ριζικό σύστημα και, ως εκ τούτου, βασίζεται κυρίως στην υγρασία και τα θρεπτικά συστατικά των πόρων που είναι διαθέσιμοι στα ανώτερα στρώματα του εδάφους (Hocking et al., 1997 ; Kar et al., 2007) κυρίως σε βάθος έως 70 cm (Flax Council of Canada, 2015 ; Hall et al., 2016).



Εικόνα 1: Ριζικό Σύστημα Λιναριού (Πηγή: Προσωπικό Αρχείο)

Το λινάρι έχει πασσαλώδες ριζικό σύστημα και μπορεί να αναπτυχθεί σε βάθος 90-120 cm με οριζόντια ανάπτυξη που φτάνει τα 30 cm σε ελαφρά εδάφη. Ωστόσο, το ποσοστό της ρίζας του που βρίσκεται σε βάθος μεγαλύτερο από 60 cm είναι μόνο το 4-7% (Hall et al., 2016) και οι ρίζες σπάνια αναπτύσσονται σε βάθος μεγαλύτερο των 80 cm (Flax Council of Canada, 2015). Σε αντίθεση με άλλες καλλιέργειες όπως η κανόλα, η μουστάρδα και το σιτάρι, που έχουν έντονη ανάπτυξη ριζών πριν από την πρώιμη ανθοφορία, η ταχύτερη ανάπτυξη των ριζών στο λινάρι είναι μεταξύ πρώιμης ανθοφορίας έως την όψιμη ανθοφορία (Liu et al., 2011 ; Sertse et al., 2019).

1.4.1.3 Ριζικό Σύστημα και Έδαφος

Η ανάπτυξη και η αναπαραγωγή των φυτών εξαρτώνται εν μέρει από την ικανότητα των ριζικών συστημάτων να λαμβάνουν την κατάλληλη θρέψη από το έδαφος. Εκτός από την απόκτηση ωφέλιμων θρεπτικών συστατικών, οι ρίζες έχουν τη δυνατότητα να προσλαμβάνουν ρυπαντές (Reeves and Baker, 2000). Η ενσωμάτωση των ρύπων στους φυτικούς ιστούς είναι ένα ευρέως διαδεδομένο ζήτημα, καθώς οι ρύποι του εδάφους συνεχίζουν να αυξάνονται λόγω ανθρωπογενών δραστηριοτήτων (Berrow and Webber, 1972 ; Williams and David, 1976).

Τα φυτά που καλλιεργούνται σε εδάφη που περιέχουν κάδμιο λαμβάνουν και συσσωρεύουν αυτή την τοξίνη. Το κάδμιο μπορεί να αναστείλει τον μεταβολισμό, συμπεριλαμβανομένης της φωτοσύνθεσης, της διαπνοής και της αναπνοής (Bazzaz et al., 1974 ; Baszynki et al., 1980 ; Chugh and Sawhney, 1996 , 1999 ; Di Cagno et al., 2001). Η παρουσία καδμίου σε γεωργικά εδάφη προκαλεί ιδιαίτερη ανησυχία. Το τοξικό αυτό μέταλλο μπορεί όχι μόνο να μειώσει την ανάπτυξη και την αντοχή των φυτών (Goldberg et al., 1980 ; Allinson and Dziala, 1981 ; Lepp, 1981 ; Gaur and Gupta, 1994), αλλά μπορεί να συσσωρεύεται στα μέρη των φυτών που καταναλώνονται από τον άνθρωπο (Haghiri, 1973 ; Street et al., 1977 ; Jackson and Alloway, 1992 ; Moraghan, 1993 ; Gaur and Gupta, 1994). Ο βαθμός στον οποίο το κάδμιο μειώνει την ανάπτυξη και την αντοχή των φυτών και την ποσότητα του καδμίου που συσσωρεύεται μέσα στα φυτά εξαρτάται πιθανότατα από ποικίλους παράγοντες, συμπεριλαμβανομένης της ικανότητας του φυτού να αποτοξινώνει και να ανέχεται αυτό το βαρύ μέταλλο (Hall, 2002) και της παρουσίας μικροοργανισμών στο έδαφος, όπως οι μυκορριζικοί μύκητες (Birch and Bachofen, 1990 ; Hancock et al., 2012).

Μυκόρριζες

Η συμβίωση των μυκόρριζων (AMF) είναι ο παρασιτισμός της ρίζας με τον μύκητα. Η παρουσία της μυκόρριζας στα φυτά βελτιώνει την απορρόφηση του νερού και των θρεπτικών συστατικών και επομένως αυξάνει την ανάπτυξη και τη βιομάζα των φυτών. Ωστόσο, η παρουσία των μυκήτων σε φτωχά εδάφη έχει μεγάλη σημασία, καθώς βοηθά τα φυτά να απορροφήσουν περισσότερα θρεπτικά συστατικά από το έδαφος (Kakabouki et al., 2020).

Οι μυκορριζικοί μύκητες, οι οποίοι σχηματίζουν συμβιωτική σχέση με τις ρίζες του 95% περίπου των αγγειόσπερμων φυτικών ειδών, παρέχουν μια άμεση φυσιολογική σύνδεση μεταξύ του εδάφους και των ριζών των φυτών (Smith and Read, 1997). Ειδικότερα, οι μύκητες αυτοί ενισχύουν την ικανότητα των φυτών να προσλαμβάνουν θρεπτικά συστατικά από το έδαφος (Barea and Jeffries, 1995 ; Smith and Read, 1997) και βελτιώνουν την ανθεκτικότητα των φυτών σε βιοτικές και αβιοτικές καταπονήσεις (Azcón-Aguilar and Barea, 1996 ; Augé, 2001 ; Borowicz, 2001 ; Graham, 2001). Έτσι, οι ρίζες των φυτών που έχουν αναπτύξει σχέσεις με μυκορριζικούς μύκητες επωφελούνται από αυξημένη ανάπτυξη και αντοχή (Koide et al., 1988 ; Stanley et al., 1993 ; Poulton et al., 2001 ; Lekberg and Koide, 2005). Εκτός από τη μεταφορά θρεπτικών συστατικών από το έδαφος στα φυτά, οι μυκορριζικοί μύκητες μπορούν επίσης να μεταφέρουν (ή να εμποδίζουν τη μεταφορά) καδμίου από το έδαφος στα φυτά (Gaur and Adholeya, 2004), ενισχύοντας έτσι (ή μετριάζοντας) τις αντιδράσεις των φυτών στο κάδμιο του εδάφους (Hancock et al. 2012).

Γαιοσκώληκες

Οι γαιοσκώληκες παίζουν σημαντικό ρόλο στον καθορισμό της σύνθεσης και της κατάστασης του εδάφους αναμειγνύοντας και αερίζοντας το έδαφος, καθώς και στη βελτίωση της υδατοπερατότητας (Lee, 1983). Επηρεάζουν τα χαρακτηριστικά του εδάφους (pH, οργανική ύλη, άζωτο, κοκκομετρία κ.λπ.) επειδή κατασκευάζουν και καταστρέφουν τα εδαφικά σωματίδια και συμμετέχουν στη μεταφορά της οργανικής ύλης (Lemtiri et al., 2014). Οι γαιοσκώληκες μπορούν να επιταχύνουν το άζωτο την ανοργανοποίηση του αζώτου από την οργανική ύλη, αν και η διαδικασία αυτή επηρεάζεται από την εμπλεκόμενα είδη καθώς και από την αλληλεπίδρασή τους με τα χαρακτηριστικά του εδάφους, την θέση της οργανικής ύλης και την εδαφική πανίδα (Butenschoen et al., 2009).

Η αυξημένη περιεκτικότητα σε ασβέστιο οφείλεται πιθανώς στην παρουσία ενός ενεργού ασβεστοφόρου αδένου στον οισοφάγο που εκκρίνει ενεργή βλέννα πλούσια σε ασβέστιο και ανθρακικά άλατα (Drake et al., 2007). Αυτό οδηγεί στην αποβολή της περίσσειας ιόντων ασβεστίου και αυξάνει σημαντικά τη διαθεσιμότητα ασβεστίου στο έδαφος. Οι γαιοσκώληκες επηρεάζουν τη γονιμότητα του εδάφους, αλλά η λίπανση επηρεάζει τον πληθυσμό τους (Bilalis et al. 2009 ; Zisi et al., 2020). Η κύρια επίδραση των γαιοσκωλήκων στο έδαφος είναι η τροποποίηση της δομής του εδάφους μέσω της δημιουργίας λαγουμιών (Carowicz et al., 2003) και της παραγωγής εκμαγείων (Blanchart et al., 2004 ; Jouquet et al., 2008). Ωστόσο, δεν υπάρχουν ακόμη αποδείξεις για τον άμεσο ρόλο τους στην αναγέννηση συμπιεσμένων εδαφών σε φυσικές συνθήκες και τα πρώτα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν σε τροπικές συνθήκες (Blanchart et al., 1994), δασικά (Muys et al., 1992) ή καλλιεργητικά (Radford et al., 2007) απέτυχαν να δείξουν σημαντική επίδραση των γαιοσκωλήκων (Yvan et al., 2012).

1.4.1.4 Σημασία Ρίζας - Λειτουργίες

Οι ρίζες αποτελούν ζωτικά όργανα των χερσαίων ανώτερων φυτών για την απόκτηση βασικών θρεπτικών συστατικών και νερού. Επειδή οι ρίζες λειτουργούν σε μια βιοφυσικοχημική δυναμική ριζόσφαιρα, διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στον έλεγχο και τη ρύθμιση των επιπτώσεων διαφόρων εδαφολογικών παραγόντων μέσω εσωτερικών φυσιολογικών προσαρμογών (Jackson et al., 1990 ; Hodge 2004) και τη μεταγωγή σήματος (Batool et al., 2018). Η προσαρμογή των φυτών στην έλλειψη πόρων και στους συναφείς εδαφικούς παράγοντες διέπεται επομένως από το ριζικό τους σύστημα. Τα αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά του ριζικού συστήματος είναι ζωτικής σημασίας για την αποτελεσματική αξιοποίηση των διαθέσιμων πόρων, όπως το νερό και τα θρεπτικά συστατικά στη ριζόσφαιρα (Yue et al., 2006).

Η ανάπτυξη ενός ανεπαρκούς ριζικού συστήματος μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικές απώλειες αποδόσεων σε υδατοπεριοριστικές συνθήκες (Henry et al., 2011). Η κατανόηση των χαρακτηριστικών της ρίζας και της αποδοτικότητας της χρήσης των πόρων του ριζικού συστήματος είναι το κλειδί για την απόδοση των καλλιεργειών καθώς και τη βελτίωση της απόδοσης των καλλιεργειών (Kell, 2011 ; Sertse et al., 2019).

1.4.2 Υπέργειο μέρος του φυτού

Βλαστός

Έχει ένα κύριο στέλεχος που μπορεί να διακλαδιστεί πάνω από το έδαφος σε δύο ή τρία στελέχη, τα οποία στη συνέχεια διακλαδίζονται σε περισσότερα στελέχη. Ο βλαστός είναι όρθιος και λεπτός. Ο φλοιός του βλαστού περιέχει σχετικά μακριά κύτταρα τα οποία συγκροτούν τις ίνες του λιναριού. Σε κάθε βλαστό υπάρχουν γύρω στις 40 δέσμες ινών και κάθε δέσμη έχει μήκος 25-70 cm. Το λινάρι είναι ετήσιο φυτό και καλλιεργείται για δύο ποικιλίες, τις κλωστικές που καλλιεργούνται για τις ίνες τους και τις ελαιοδοτικές που καλλιεργούνται για τους σπόρους και από τους οποίους βγαίνει ένα είδος λαδιού, το λινέλαιο (Γαλανοπούλου και Σενδούκα, 2002). Το ύψος του φυτού στις κλωστικές ποικιλίες φτάνει το 1,50 m, έχουν όρθια ανάπτυξη και λιγότερους βλαστούς. Στις ελαιοδοτικές ποικιλίες το ύψος τους φτάνει το 1 m και έχουν περισσότερες δευτερεύουσες διακλαδώσεις και περισσότερες κάψες (Jhala and Hall, 2010).

Φύλλα - Άνθη

Τα φύλλα του λιναριού είναι απλά, άμισχα και λογχοειδή και πέφτουν όταν το φυτό ωριμάζει. Η ταξιανθία είναι βότρυς. Τα άνθη σχηματίζονται στα άκρα των διακλαδώσεων τους. Είναι υπόγυνα και ερμαφρόδιτα και αποτελούνται από πέντε σέπαλα, πέντε πέταλα γαλάζιου ή μπλε χρώματος, πέντε στήμονες και έναν ύπερο με πέντε καρπόφυλλα που το κάθε ένα χωρίζεται με ένα ψεύτικο διάφραγμα.



Εικόνα 2: Άνθος Λιναριού (Πηγή Προσωπικό Αρχείο)

Τα άνθη ανοίγουν νωρίς το πρωί, ενώ ο χρόνος εξαρτάται από τη θερμοκρασία και από το αν ο ουρανός είναι συννεφιασμένος ή καθαρός (Dillman, 1938). Τα λουλούδια ανοίγουν περίπου 20 λεπτά μετά την ανατολή του ήλιου και οι ανθήρες αποκολλώνται 20 λεπτά αργότερα (Dillman, 1938 ; Howard et al., 1919). Το άνοιγμα των ανθών και η απόρριψη γύρης καθυστερούν ελαφρώς σε συννεφιασμένες ημέρες ή με χαμηλότερες θερμοκρασίες. Τις ηλιόλουστες ημέρες με ελαφρώς υψηλότερες θερμοκρασίες, τα άνθη ανοίγουν 30 έως 40 λεπτά μετά την ανατολή του ήλιου και τα πέταλα πέφτουν πριν το μεσημέρι. Τα άνθη του λιναριού είναι κανονικά, τέλεια και φέρονται σε τερματικά, πολύφυλλα (Bailey, 1949). Τα σέπαλα είναι επικαλυπτόμενα, κοντύτερα από την κάψα κατά την ωρίμανση και εναλλάσσονται με τα πέταλα. Οι στήμονες εναλλάσσονται με τα πέταλα και ενώνονται στη βάση των νηματίων. Υπάρχουν πέντε ύπεροι, ο καθένας με ωοθήκη, στύλο και στίγμα. Οι ωοθήκες διαιρούνται από ψευδοδιαχωριστικά, που η καθεμία περιέχει ένα ωάριο. Ο (Dillman, 1938) περιέγραψε και απεικόνισε τέσσερις τύπους ανθών: κοινό, σωληνοειδές, αστεροειδές ή (πτυχωτό) και μεγάλο δισκοειδές. Η κάψουλα του σπόρου ονομάζεται συνήθως σπερματοθήκη (Beard and Comstock, 1980).

Καρπός – Σπόρος

Ο καρπός είναι κάψα με πέντε χώρους, σφαιρική ή και ωοειδής, ανάλογα με την ποικιλία. Σε κάθε κάψα υπάρχουν το ανώτερο 10 σπόροι, τις περισσότερες φορές όμως υπάρχουν 8 ή λιγότεροι, καθώς δεν γονιμοποιούνται όλοι οι σπερματοβλάστες. Ο σπόρος είναι επίπεδος και ωοειδής. Οι κάψες κατά την ωρίμανση έχουν ανοιχτό καφετί χρώμα. Το μήκος τους κυμαίνεται από 3,5-5 mm και το βάρος 1000 σπόρων είναι 5 έως 7 g ανάλογα με την ποικιλία και τις συνθήκες ανάπτυξης. Το χρώμα ανάλογα με την ποικιλία είναι ανοιχτό έως σκούρο κίτρινο ή κοκκινοκαφέ.



Εικόνα 3: Σπόροι Λιναριού (Πηγή: Προσωπικό Αρχείο)

Ο λιναρόσπορος αποτελείται από διάφορα στρώματα, το παλίνδρομο σκληρόφυλλο, το έντονα χρωματισμένο εσωτερικό περίβλημα και το ενδοσπέρμιο (Jauneau et al., 1994). Ο φλοιός αποτελεί περίπου το 40% του συνολικού σπόρου και της ίνας (Mandokhot and Narendra, 1979). Ο φλοιός αποτελείται από ένα σκληρό εξωτερικό περίβλημα χωρίς λάδι και πρωτεΐνες, ενώ το εσωτερικό κέλυφος είναι μαλακό και περιέχει λίγο λάδι και πρωτεΐνες (Oomah et al., 1996).

1.5 Στάδια Ανάπτυξης

Η επιμήκυνση των ριζών του λιναριού (*Linum usitatissimum L.*) στο σκοτάδι αναστέλλονται έντονα από διάφορες εγγενείς και συνθετικές κυτοκινίνες. Η αναστολή αντιστράφηκε με διάφορους τύπους "αντιαξινών" και "αντιαιθυλένια". Οι ουσίες αυτές εξουδετερώνουν κατά κανόνα και τις αναστολές που προκαλούνται από τις αυξίνες. Αυξίνες και κυτοκινίνες διεγείρουν συνεργαστικά την παραγωγή αιθυλενίου. Οι κυτοκινίνες θεωρούνται ως πιθανοί φυσικοί αναστολείς και ρυθμιστές της ανάπτυξης της ρίζας (Stenlid, 1982). Η ανάπτυξη του λιναριού είναι μια συνεχής διαδικασία που ξεκινά όταν ο σπόρος βλαστώνει και ολοκληρώνεται όταν το φυτό παράγει ώριμους σπόρους. Ανάλογα με τις συνολικές περιβαλλοντικές συνθήκες, ο κύκλος ζωής των ελαιούχων σπόρων λιναριού, από τη σπορά έως την ωρίμανση, καλύπτει συνήθως 13-17 εβδομάδες. Το βλαστικό στάδιο αρχίζει όταν το φυτό βγαίνει από το έδαφος και συνεχίζεται μέχρι την εμφάνιση των πρώτων ανθέων και διαρκεί περίπου 6-8 εβδομάδες. Η περίοδος ανθοφορίας διαρκεί συνήθως από 2 έως 3 εβδομάδες. Μετά την επικονίαση, η ωοθήκη αρχίζει να ωριμάζει και σχηματίζει μια κάψουλα που περιέχει αναπτυσσόμενους σπόρους. Το επόμενο στάδιο, η ωρίμανση, αρχίζει 3-4 εβδομάδες μετά και η κάψουλα με τους σπόρους φτάνει στην πλήρη ωριμότητα (ξηρή, καστανοκίτρινη κάψουλα). Τα φυτά του λιναριού μπορούν να θεωρηθούν πλήρως ώριμα όταν το 95% των καψουλών φτάσει στο ώριμο χρώμα τους και οι κάψουλες περιέχουν σπόρους (Zuk et al., 2019).

1.6 Προσαρμοστικότητα

1.6.1 Θερμοκρασία

Η έρευνα και η βελτίωση της γενετικής βάσης της ανοχής των καλλιεργειών στη θερμική καταπόνηση έχουν προσελκύσει την παγκόσμια προσοχή (Lesk et al., 2016 ; Singh et al., 2019 ; Zhai et al., 2020). Το λινάρι είναι κατάλληλο για φύτευση σε περιοχές όπου η θερμοκρασία κατά την περίοδο ανάπτυξης είναι σχετικά δροσερή (18-20 °C) και η προσαρμοστικότητά του στη υψηλές θερμοκρασίες είναι μικρή. Εάν η θερμοκρασία είναι υψηλότερη από 20 °C, τα στελέχη του λιναριού θα αναπτυχθούν ταχύτερα, γεγονός που με τη σειρά του οδηγεί σε μείωση των αποδόσεων των ινών και σε κακή ποιότητα των ινών. Οι συνθήκες θερμοκρασίας κατά την περίοδο σχηματισμού των ινών έχουν σημαντικές επιπτώσεις στην απόδοση. Μετά την ανθοφορία, η θερμοκρασία είναι ελαφρώς υψηλότερη με αποτέλεσμα να μην επηρεάζει την απόδοση και την ποιότητα των ινών (Bao et al., 2023).

1.6.2 Έδαφος

Το λινάρι προσαρμόζεται καλύτερα σε γόνιμα, λεπτόκοκκα και αργιλώδη εδάφη. Δεν πρέπει να καλλιεργείται σε πολύ χονδροειδή και αμμώδη εδάφη. Δυσκολεύεται σε εδάφη με τύρφη ή λασπώδη, εκτός εάν λυθούν τα προβλήματα που σχετίζονται με την αποστράγγιση, τη γονιμότητα και τον έλεγχο των ζιζανίων (Orlinger et al., 1989).

1.7 Καλλιεργητικές Τεχνικές

1.7.1 Αμειψισπορά

Η αμειψισπορά χρησιμοποιείται στη γεωργία εδώ και αρκετές χιλιάδες χρόνια και έχει αποδειχθεί μια ιδιαίτερα ευεργετική πρακτική (Bullock, 1992). Η αμειψισπορά αναστέλλει τον πολλαπλασιασμό των ζιζανίων (Liebman and Dyck, 1993) και των φυτοπαθογόνων (Krupinsky et al., 2002), και επίσης επιταχύνει τη συσσώρευση του οργανικού άνθρακα του εδάφους και του εδαφικού αζώτου (Havlin et al., 1990 ; Van Eerd et al., 2014). Επιπλέον, συστήματα με υψηλότερες ποικιλομορφίες στις αμειψισπορές συνδέονται με υψηλότερο εδαφικό μικροβιακό πλούτο και ποικιλομορφία (Venter et al., 2016), γεγονός που βελτιώνει

το φυτική αντίσταση στις βιοτικές και αβιοτικές καταπονήσεις (Goyal et al., 2019 ; Han et al., 2017 ; Prudent et al., 2020). Η επιλογή των φυτικών ειδών και η ακολουθία τους επηρεάζει τα οφέλη που προκύπτουν από τα συστήματα αμειψισποράς (Li et al., 2021).

1.7.2 Εδαφοκατεργασία

Το έδαφος είναι μια από τις σημαντικότερες πηγές ζιζανίων. Πολυάριθμοι ερευνητές έχουν εκτιμήσει τον πληθυσμό σπόρων ζιζανίων των γεωργικών εδαφών σε διάφορα μέρη των ΗΠΑ και άλλων χωρών και έχουν διαπιστώσει ότι αποτελούν τεράστιες δεξαμενές σπόρων ζιζανίων. Οι δεξαμενές αυτές εξαντλούνται εν μέρει καθώς οι σπόροι βλαστάνουν και τα φυτά ξεχειμωνιάζουν ή καταστρέφονται από τον αγρότη πριν παραχθούν περισσότεροι σπόροι. Αναπληρώνονται καθώς τα ζιζάνια αφήνονται να θρυμματίσουν τους σπόρους τους, καθώς ο αγρότης σπέρνει σπόρους, ή καθώς εισάγονται σπόροι από άλλες περιοχές. Κάτω από δυσμενείς συνθήκες για τη βλάστηση, ορισμένοι σπόροι παραμένουν βιώσιμοι για πολλά χρόνια, έτσι ώστε όταν αποκατασταθούν οι ευνοϊκές συνθήκες να είναι σε θέση να ανταποκριθούν. Επιπλέον, πολλοί σπόροι παραμένουν αδρανείς για μεγάλες περιόδους κάτω από συνθήκες ευνοϊκές για βλάστηση (Dunham et al., 1958).

1.7.3 Σπορά

Η καλύτερη σπορά για το λινάρι είναι παρόμοια με τη σπορά για τις μικρές καλλιέργειες. Το έδαφος πρέπει να είναι καλά επεξεργασμένο και σταθερό για να αποφεύγονται οι μεγάλοι θύλακες αέρα. Η καλλιέργεια μετά το πρώιμο φθινοπωρινό όργωμα θα βοηθήσει στον έλεγχο των ζιζανίων. Τα φυτά λιναριού έχουν ανοχή στον ελαφρύ παγετό. Η φύτευση μερικές φορές καθυστερεί για να επιτραπεί η καλλιέργεια για την καταπολέμηση των ζιζανίων όπου τα ζιζάνια μπορεί να αποτελούν πολύ σοβαρό πρόβλημα. Η καθυστερημένη φύτευση του λιναριού μπορεί να μην προκαλέσει τόσο μεγάλη μείωση της απόδοσης όσο συμβαίνει με τα μικρά σιτηρά. Σε αργιλώδη εδάφη προτείνεται βάθος φύτευσης από μισή έως μία ίντσα. Ο σπόρος του λιναριού είναι σχετικά μικρός και μπορεί να μην αναδυθεί από μεγαλύτερα βάρη, ιδίως αν εμφανιστεί κρούστα (Orlinger et al., 1989).

1.7.4 Άρδευση

Το λινάρι έχει αποδειχθεί ότι ανταποκρίνεται στην άρδευση. Οι (Alessi and Power, 1970) ανέφεραν υψηλότερη απόδοση σπόρων σε ένα από τα δύο έτη με άρδευση 5,0 cm κατά την περίοδο ανάπτυξης των σπόρων. Ομοίως, οι (Lisson and Mendham, 2000) διαπίστωσαν ότι η άρδευση αύξησε την απόδοση σε σπόρους όταν η βροχόπτωση ήταν χαμηλή και με κακή κατανομή. Οι (Bauer and Frederick, 1997) διεξήγαγαν διετή μελέτη για το λινάρι σε γειτονικές αρδευόμενες και βροχερές περιοχές και διαπίστωσαν ότι το αρδευόμενο λινάρι είχε περίπου 1000 kg ha⁻¹ υψηλότερη απόδοση σε άχυρο. Όταν ενδιαφέρει μόνο η ίνα, η συγκομιδή μπορεί να γίνει πριν ωριμάσουν οι σπόροι (Robinson, 1931), γεγονός που επιτρέπει την έγκαιρη φύτευση εαρινών καλλιεργειών (Foulk et al., 2004b ; Bauer et al., 2015).

1.7.5 Λίπανση

Οι στρατηγικές βελτίωσης των αποδόσεων περιλαμβάνουν την αναπαραγωγή νέων ποικιλιών και τη βελτιστοποίηση των τεχνικών καλλιέργειας. Το έλλειμμα νερού, η θρέψη του εδάφους, η εξάντληση του εδάφους, οι κακώς ευθυγραμμισμένες βροχοπτώσεις, το άγονο έδαφος, η δομή φύτευσης και η πυκνότητα των φυτών εξακολουθούν να είναι οι κύριοι περιοριστικοί παράγοντες στις ξηρές γεωργικές παραγωγές. Η εφαρμογή χημικών λιπασμάτων, ιδίως αζώτου (N), φωσφόρου (P) και καλίου (K), έχει θεωρηθεί ευρέως ως μια αποτελεσματική γεωπονική πρακτική για τη βελτίωση της παραγωγικότητας των καλλιεργειών (Zhao et al., 2020).

Άζωτο

Η γεωργική πρακτική λίπανσης είναι μία από τις πιο σημαντικές για τη φυτική παραγωγή, ειδικά τα αζωτούχα λιπάσματα (Scharf et al., 2005). Γι' αυτό και δαπανώνται τεράστια ποσά ενέργειας για την παραγωγή ανόργανων και οργανικών λιπασμάτων (Hoerrner et al., 2006). Επομένως, κρίνεται ότι πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερη και η βιώσιμη αξιοποίησή τους. Η προσθήκη λίπανσης με άζωτο αυξάνει την απόδοση των σπόρων των ελαιοκαλλιεργειών και την περιεκτικότητα σε λάδι σε όλες σχεδόν τις ελαιοκαλλιέργειες (Xie et al., 2015). Η παραγωγή ινών και σπόρων αυξάνεται με την εφαρμογή λιπάσματος N (Easson

and Long, 1992 ; Xie et al., 2015). Η απορρόφηση του εφαρμοζόμενου N εξαρτάται άμεσα από την αρχιτεκτονική της ρίζας. Το λινάρι είναι μια καλλιέργεια της οποίας τα προϊόντα μπορούν να χρησιμοποιηθούν με διάφορους τρόπους, όπως η βιομηχανική χρήση, η ανθρώπινη κατανάλωση και η παραγωγή ινών. Το άζωτο φαίνεται να έχει θετική επίδραση στην ανάπτυξη και την παραγωγή του λιναρόσπορου (Kakabouki et al., 2021).

Φώσφορος

Ο φώσφορος (P) είναι ένα βασικό μακροστοιχείο που απαιτείται για την ανάπτυξη των ανώτερων φυτών και έχει θετική επίδραση στην ανάπτυξη των ριζών. Η εφαρμογή P προωθεί την ανάπτυξη του ελαιόκαρπου λιναριού, αυξάνει τη συσσώρευση της ξηρής ουσίας, βελτιώνει την αποτελεσματικότητα της επανακινητοποίησης από τον φυτικό ιστό στον κόκκο, και αυξάνει την απόδοση των κόκκων και την απορρόφηση P (Xie et al., 2014a). Ο επαρκής P μπορεί να βελτιώσει την παραγωγικότητα του λαδιού και να αλλάξει το προφίλ των λιπαρών οξέων του ελαιούχου λιναριού (Xie et al., 2020). Ως εκ τούτου, η βελτιστοποίηση της λίπανσης με P στην παραγωγή λίνου και ελαιούχων σπόρων είναι σημαντική για τη μεγιστοποίηση της παραγωγικότητας του λιναρόσπορου και των ελαιούχων σπόρων.

Κάλιο

Οι αγροτικές καλλιέργειες προσλαμβάνουν συνήθως το κάλιο (K) ταχύτερα από το N ή το P το οποίο έχει σημαντικό ρόλο στην αποτελεσματική αξιοποίηση του N (Atapattu et al., 2018). Η εφαρμογή K αύξησε σημαντικά τη συσσώρευση ξηρής ουσίας του λιναριού. Ωστόσο, η μεσαία εφαρμογή K τόνωσε σημαντικά τη συσσώρευση ξηράς ουσίας σε σύγκριση με το υψηλό ποσοστό εφαρμογής K σύμφωνα με τους (Sun et al, 2015a). Η εφαρμογή K αύξησε σημαντικά την απόδοση σε κόκκους του λιναριού ελαιοκράμβης σε σύγκριση με τη μη λίπανση με K. Πολλές μελέτες που έχουν δημοσιευθεί πιστοποίησαν ότι η σύζευξη N και P αυξάνει την απορρόφηση θρεπτικών στοιχείων μέσω της τόνωσης της ρίζας, την ανάπτυξη των ριζών και τη μείωση της. Οι (Berti et al., 2009) ανέφεραν ότι η λίπανση με NPK τόνωσε την ελαιοκράμβη στην απόδοση του λιναριού, ωστόσο, η σύνθεση του ελαίου στους σπόρους λιναριού δεν επηρεάστηκε από την εφαρμογή λίπανσης. Αλλά οι (Xie et al., 2020) ανέφεραν ότι το αυξημένο ποσοστό P ενίσχυσε σημαντικά την περιεκτικότητα σε λινολενικό οξύ. Η

αλληλεπίδραση μεταξύ ποικιλίας, του K και του Zn επηρέασε σημαντικά την απόδοση και τα συστατικά της απόδοσης του λιναριού (Bakry et al., 2015 ; Cui et al., 2022).

1.7.6 Διαχείριση Ζιζανίων

Το λινάρι είναι φτωχός ανταγωνιστής έναντι των ζιζανίων καθώς παράγει λίγη σκιά και χρησιμοποιεί το νερό και τη γονιμότητα του εδάφους του λιγότερο αποτελεσματικά από τα περισσότερα είδη ζιζανίων (Greunhager and Nalewaja 1969). Οι (Burrows and Olson, 1955) πρώτοι απέδειξαν ότι η άγρια μουστάρδα (*Sinapis arvensis L.*) μείωνε σε σημαντικό βαθμό τον λιναρόσπορο εάν παρέμενε στην καλλιέργεια. Παρόμοιες απώλειες απόδοσης αποδείχθηκαν ότι συμβαίνουν εάν το κύριο ζιζάνιο ήταν είτε η άγρια βρώμη (*Avena sativa L.*) (Bowden and Friesen, 1967), ή το άγριο φαγόπυρο (*Polygonum convolvulus L.*) (Greunhager and Nalewaja, 1969). Ο ανταγωνισμός για την άγρια βρώμη έχει επίσης μειώσει την περιεκτικότητα σε λάδι και την αξία του ιωδίου στους σπόρους του λιναριού (Bell and Nalewaja, 1968 ; Friesen, 1986).

1.7.7 Συγκομιδή

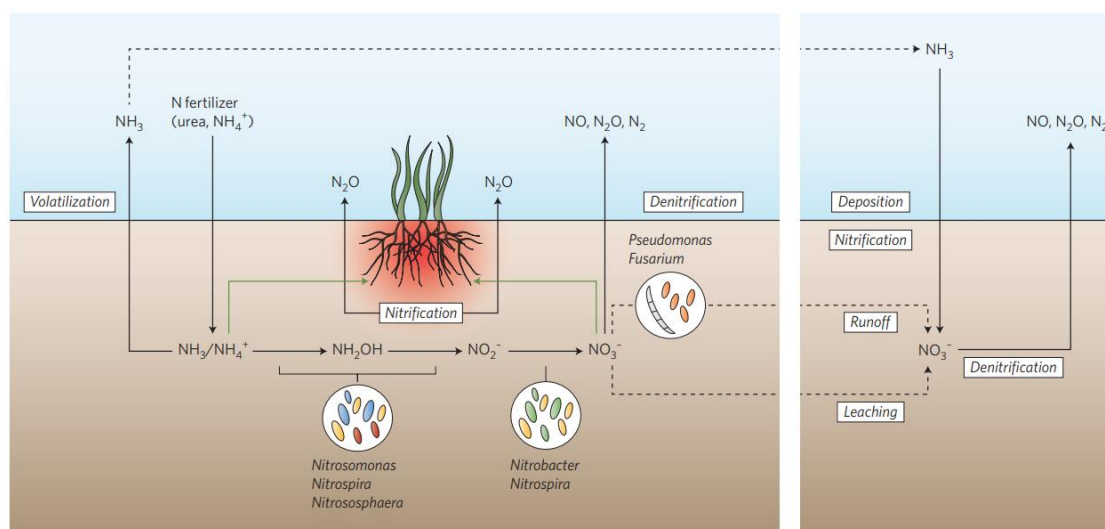
Η ωριμότητα στο λινάρι κρίνεται από το χρώμα των σπόρων. Η σοδειά είναι έτοιμη για συγκομιδή όταν το 90% των καψών έχουν γίνει καφέ. Οποιαδήποτε καθυστέρηση μετά από αυτό το στάδιο αυξάνει την πιθανότητα ζημιών από καταιγίδες και επιτρέπει στα ζιζάνια να αναπτυχθούν και να γίνουν πιο ενοχλητικά. Το λινάρι μπορεί να συνεχίσει να ανθίζει μέχρι τον παγετό, εάν σπαρθεί αργά ή εάν η εποχή είναι υγρή και δροσερή. Οι σπόροι από αυτά τα όψιμα άνθη σπάνια ωριμάζουν και χάνονται κατά το αλώνισμα και τον καθαρισμό. Το λινάρι μπορεί να συγκομιστεί με συνδετήρα σιτηρών με (ανεμιστήρα) , ή με απευθείας συνδυασμό (Culbertson, 1958).

1.8 Νέου Τύπου Λιπάσματα

1.8.1 Παρεμποδιστής νιτροποίησης

Η νιτροποίηση αποτελεί βασική διαδικασία στα διαχειριζόμενα γεωργικά οικοσυστήματα, επειδή η μετατροπή της NH_4^+ σε NO_3^- μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική απώλεια γεωργικού N από έκπλυση ή/και απονιτροποίηση. Η νιτροποίηση αποτελεί σημαντική διαδικασία στην ανακύκλωση του N στα φυσικά οικοσυστήματα και ορισμένες αναφορές έχουν δείξει ότι η νιτροποίηση μπορεί να ρυθμιστεί σε τέτοια οικοσυστήματα μέσω της απελευθέρωσης ενώσεων από τη βλάστηση (Bremner and McCarty, 1993).

Η νιτροποίηση παίζει επίσης σημαντικό βιολογικό ρόλο στην επεξεργασία λυμάτων για την απομάκρυνση του N. Ως πρόσφατο παράδειγμα, οι (Vandevivere et al., 1998) απέδειξαν ότι η χρήση Cu στην επεξεργασία λυμάτων μπορεί να μετριάσει τις ανασταλτικές επιδράσεις των βιομηχανικών ρύπων στη νιτροποίηση, αλλά η πρόβλεψη της επίδρασης του Cu στη διεργασία απαιτεί ισχυρή κατανόηση των τρόπων δράσης των διαφόρων αναστολέων της οξείδωσης της NH_3 (McCarty, 1999).



Εικόνα 4: Σχηματική απεικόνιση της διαδρομής των αζωτούχων λιπασμάτων που εφαρμόζονται σε γεωργικά συστήματα (Πηγή: Coskun et al., 2017)

1.8.2 Παρεμποδιστής ουρεάσης

Η ουρία χρησιμοποιείται σε τεράστιες ποσότητες ως λίπασμα (αποτελώντας εξωγενή πηγή αμμωνίας για τα φυτά). Η ένωση αυτή είναι υδρολυτικά σταθερή και ο χρόνος ζωής της μη ενζυμικής υδρόλυσης της ουρίας είναι ίσος με 3,6 χρόνια και ο μηχανισμός αυτής της απλής διαδικασίας εξακολουθεί να αμφισβητείται (Yao et al., 2013 ; Krajewska, 2009). Στη φύση υδρολύεται από ένα ένζυμο ουρεάσης και ένα μεταλλοένζυμο από νικέλιο που καταλύει την υδρόλυση της ουρίας με ρυθμό περίπου 1014 φορές του ρυθμού της μη καταλυόμενης αντίδρασης (Callahan et al., 2005) ; (Real-Guerra et al., 2013). Αυτό το βασικό ένζυμο του παγκόσμιου κύκλου του αζώτου μετατρέπει την ουρία σε αμμωνία και καρβαμικό, τα οποία με τη σειρά τους παράγουν αυθόρμητα διοξείδιο του άνθρακα και το επόμενο μόριο αμμωνίας (Kafarski and Talma, 2018).

Οι ποσότητες N που χάνονται ως NH_3 ποικίλλουν ανάλογα με το έδαφος και τις συνθήκες του περιβάλλοντος και είναι υψηλότερες όταν η ουρία εφαρμόζεται επιφανειακά σε ελαφριά εδάφη με υψηλές θερμοκρασίες και περιεκτικότητα σε υγρασία (Bock and Kissel, 1988 ; Terman, 1980) και υψηλά ποσοστά N (Cantarella et al., 2003). Οι παγκόσμιες μέσες απώλειες NH_3 από την ουρία εκτιμάται ότι είναι κοντά στο 14% (εύρος 10-19%) (Bouwman et al., 2002), αλλά μπορεί να φθάσουν έως και το 40% του εφαρμοζόμενου ουρίας-N σε τροπικά εδάφη λόγω των υψηλών θερμοκρασιών (Cantarella et al., 2003 ; Cantarella 2007). Η ενσωμάτωση της ουρίας στο έδαφος είναι ένας αποτελεσματικός τρόπος μείωσης ή και αποτροπής των απωλειών εξατμίσεως NH_3 . Αυτό μπορεί να γίνει με μηχανικές εργασίες ή με βροχή ή άρδευση (Cantarella et al., 2018).

1.9 Παγκόσμια Παραγωγή Λιναριού

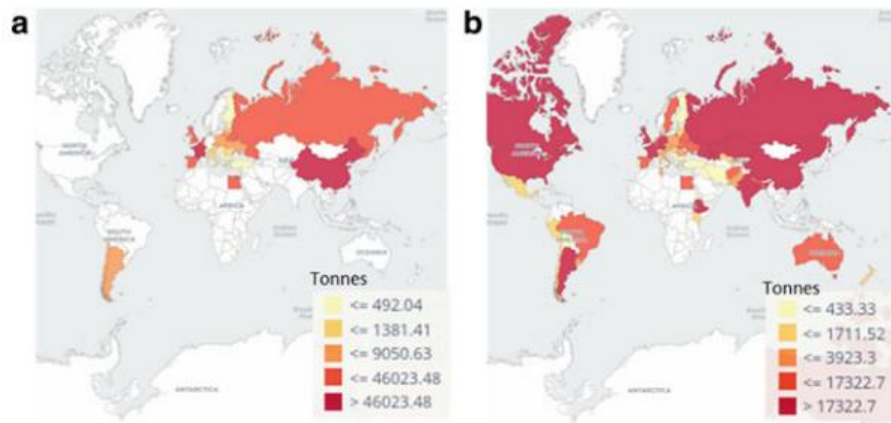
Το λινάρι (*Linum usitatissimum L.*), ένα από τα 150 είδη της οικογένειας *Linaceae*, είναι μια καλλιέργεια με μεγάλες δυνατότητες λόγω των πολλαπλών χρήσεων του και της υψηλής προσαρμοστικότητάς του (Jhala and Hall, 2010 ; Kiryluk and Kostecka, 2020). Παρόλο που προέρχεται από την περιοχή της Μεσογείου και τη νοτιοδυτική Ασία (Bilalis et al., 2018), αυτή η προσαρμοστικότητα ικανότητα στις διάφορες κλιματολογικές συνθήκες διέδωσε την καλλιέργειά του σε όλη τη Μέση Ανατολή, την Ινδία, τον Καναδά και σε πολλές

ευρωπαϊκές χώρες (Kirylyuk and Kostecka, 2020). Μεταξύ αυτών, ο Καναδάς θεωρείται ο κύριος παραγωγός λιναριού (Kakabouki et al., 2021).

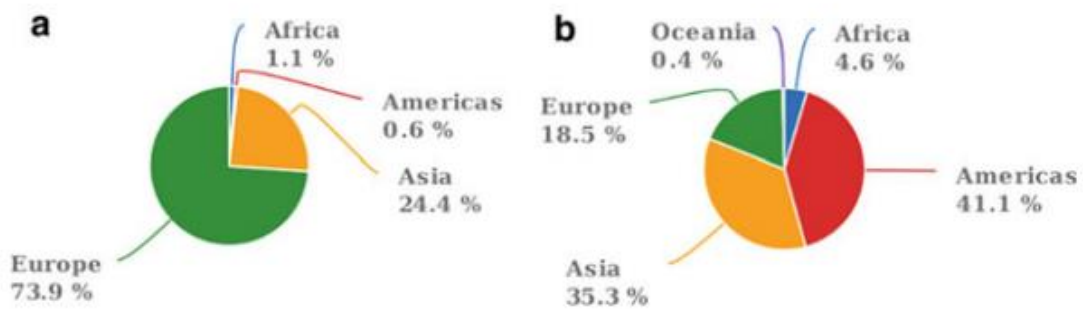
Με την πάροδο των αιώνων η παραγωγή λιναριού (*Linum usitatissimum L.*) έχει εξαπλωθεί στην Ευρώπη, την Αφρική και τελικά στη Βόρεια Αμερική, όπου ήταν ο πρώτος ελαιούχος σπόρος που καλλιεργήθηκε ευρέως στον δυτικό Καναδά. Σήμερα, η παγκόσμια παραγωγή λιναρόσπορου κυμαίνεται μεταξύ 2,0 και 3,0 εκατομμυρίων τόνων τα τελευταία 10 χρόνια. Στο 2006-2007, η παραγωγή λιναρόσπορου ήταν 2,7 εκατομμύρια τόνοι, που αντιπροσωπεύει περίπου το 0,7% της παγκόσμιας παραγωγής ελαιούχων σπόρων. Ο Καναδάς είναι ο μεγαλύτερος παραγωγός παγκοσμίως που αντιπροσωπεύει το 40% της παγκόσμιας παραγωγής και το μεγαλύτερο μέρος του εξαγωγικού εμπορίου.

Η Κίνα, οι Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής και η Ινδία αντιπροσωπεύουν μαζί το 40% της παγκόσμιας παραγωγής. Εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης, οι κύριοι παραγωγοί λιναρόσπορου είναι η Γερμανία, το Ηνωμένο Βασίλειο και η Γαλλία. Η παραγωγή έχει παραμείνει σχετικά σταθερή στην Κίνα, την Ινδία και την Ευρωπαϊκή Ένωση κατά την τελευταία δεκαετία. Κατά κύριο λόγο, το λινάρι καλλιεργείται για σπόρους με την παραγωγή ινών ως υποπροϊόν (Vollmann and Rajcan, 2010).

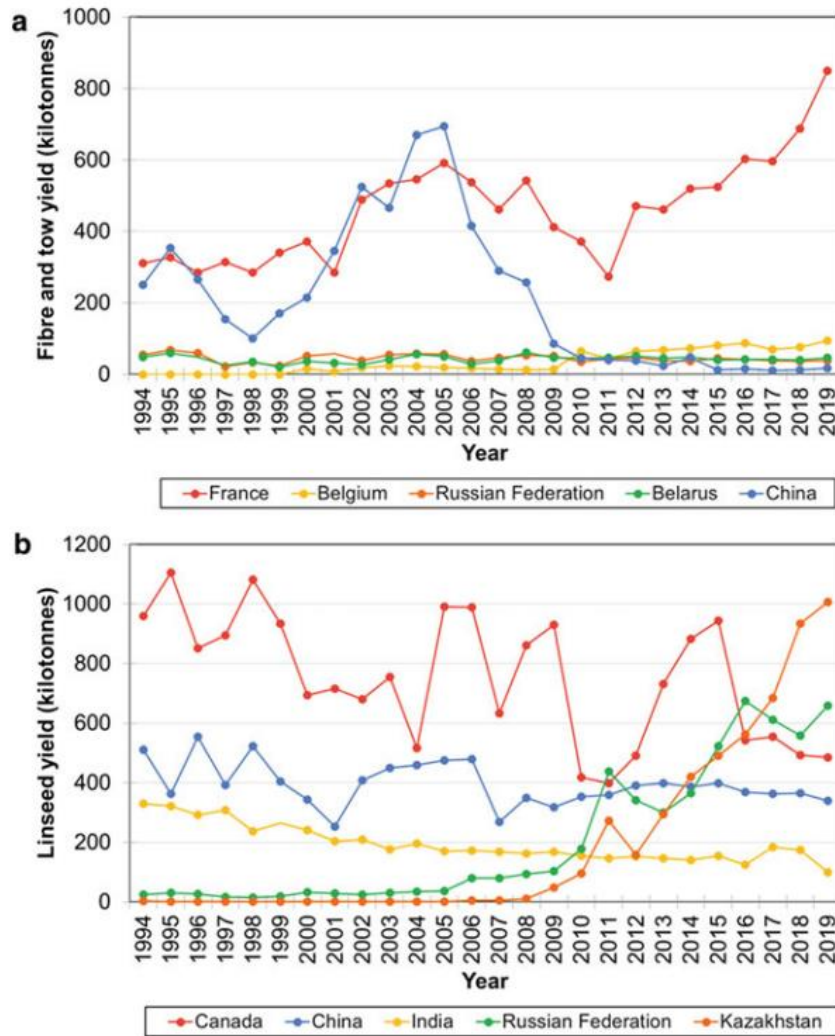
Κατά τα τελευταία 25 χρόνια, οι κύριες περιοχές παραγωγής ινών ήταν η Ευρώπη (73,8%) και η Ασία (24,5%), ενώ η Αμερική (41,2%), η Ασία (35,4%) και η Ευρώπη (18,5%) ήταν οι κύριοι παραγωγοί λιναρόσπορου. Το ινώδες λινάρι καλλιεργείται κυρίως στη Δυτική Ευρώπη, τη Ρωσία και την Κίνα, ενώ ο λιναρόσπορος καλλιεργείται κυρίως στον Καναδά, τις ΗΠΑ, την Κίνα, την Ινδία, τη Δυτική Ευρώπη, τη Ρωσία και το Καζακστάν (Foulk et al. 2004; You et al. 2016; Soni 2021). Το 2020, ο Καναδάς και η Γαλλία ήταν οι δύο μεγαλύτεροι εξαγωγείς λιναρόσπορου και ινών λιναριού αντίστοιχα (Stavropoulos et al., 2023).



Εικόνα 5: Μέση παραγωγή ινών και νήματος λιναριού (a) και λιναρόσπορου (b) στον κόσμο από το 1994-2020 (Πηγή: FAOSTAT)



Διάγραμμα 1: Μέση παραγωγή ινών και νήματος Λιναριού (a) και λιναρόσπορου (b) ανά Ήπειρο από το 1994-2020 (Πηγή: FAOSTAT)



Διάγραμμα 2: Παραγωγή ίνας (a) και λιναρόσπορου (b) από τις κυριότερες χώρες παραγωγής παγκοσμίως από το 1994-2019 (Πηγή: FAOSTAT)

1.10 Σκοπός της Μελέτης

Η παρούσα μελέτη πραγματοποιήθηκε με σκοπό την αξιολόγηση της επίδρασης των διαφορετικών λιπάνσεων στο ριζικό σύστημα του Λιναριού (*Linum usitatissimum L.*) σε διαφορετικές αποστάσεις σποράς. Πιο συγκεκριμένα, μελετάται ο τύπος λιπάσματος (μάρτυρας - ουρία - παρεμποδιστής νιτροποίησης και ουρέασης) με διαφορετικές αποστάσεις σποράς στο ριζικό σύστημα του Λιναριού.

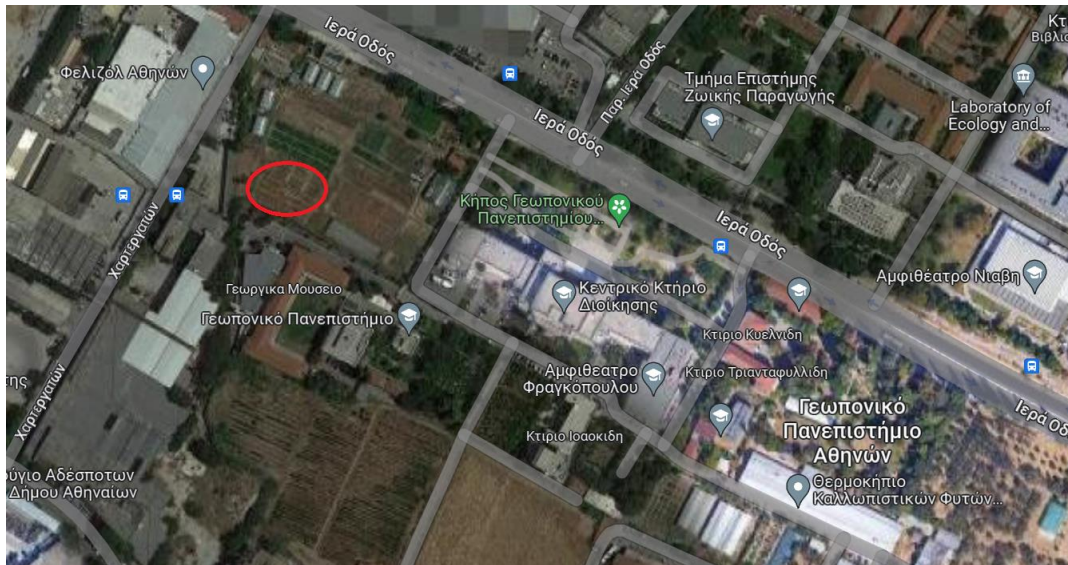


Εικόνα 6: Ο πειραματικός αγρός (Πηγή: Προσωπικό Αρχείο)

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Χαρακτηριστικά αγρού

Το πείραμα έλαβε χώρα στον πειραματικό αγρό του Εργαστηρίου Γεωργίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών (Γεωγραφικές Συντεταγμένες: 37.9834343 °N, 23.7029996 °E), κατά το έτος 2022-2023.

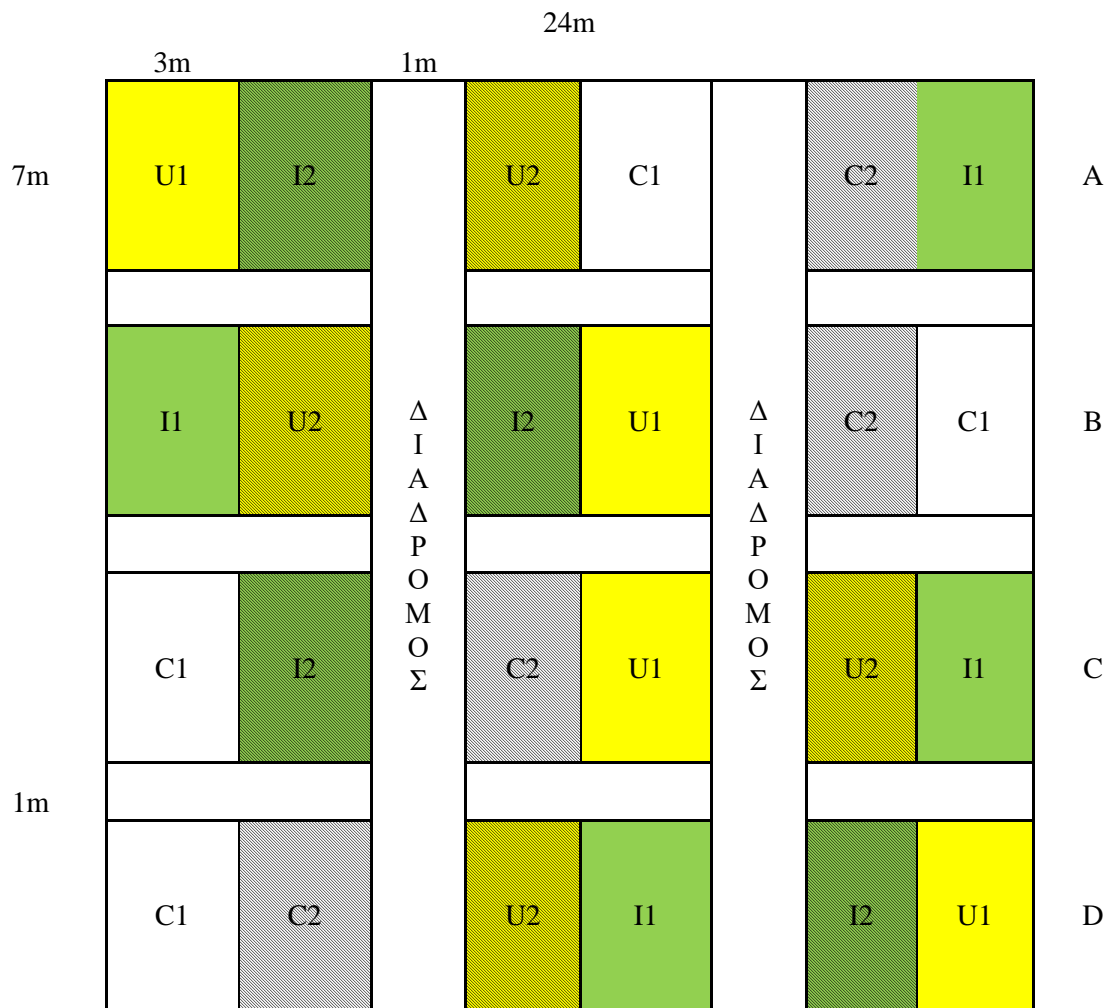


Εικόνα 7: Τοποθεσία καλλιέργειας Λιναριού (Πηγή: Google Earth)

2.2 Πειραματικό Σχέδιο

Το πειραματικό σχέδιο που ακολουθείται είναι τα split plot. Μελετάται η επίδραση της αζωτούχου λίπανσης στο ριζικό σύστημα της καλλιέργειας καθώς και οι αποστάσεις σποράς που χρησιμοποιήθηκαν στην συγκεκριμένη καλλιέργεια. Η επέμβαση της λίπανσης γίνεται σε όλο το αγροτεμάχιο.

Οι επεμβάσεις της απόστασης σποράς ήταν στα 30 cm και 40 cm. Όσον αφορά τις επεμβάσεις της λίπανσης, αυτές που χρησιμοποιήθηκαν ήταν ο μάρτυρας "C" (χωρίς προσθήκη λιπάσματος), η ουρία "U" και ο παρεμποδιστής νιτροποίησης και ουρεάσης "I".



Εικόνα 8: Πειραματικό σχέδιο (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)

Λίπανση:

U: Ουρία

I: Παρεμποδιστής ουρέασης & παρεμποδιστής νιτροποίησης

C: Μάρτυρας

Αποστάσεις σποράς:

D1: 30cm

D2: 40cm

2.3 Φυτικό Υλικό

Το φυτικό υλικό που χρησιμοποιήθηκε για την καλλιέργεια ήταν πληθυσμός σπόρων λιναριού.

2.4 Εδαφολογική ανάλυση

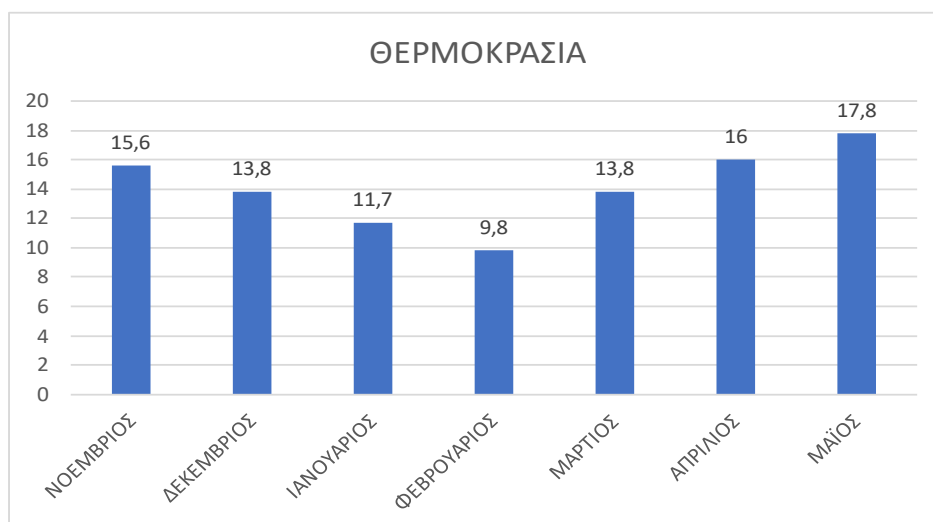
Το έδαφος του πειραματικού αγρού στο οποίο πραγματοποιήθηκε το πείραμα, μετά από εδαφολογική ανάλυση κατατάσσεται σε Αργιλοπηλώδες (CL).

Πίνακας 2: Εδαφολογική Ανάλυση

CaCO₃	15,99%	Μαργώδες
Οργανική ουσία	2,37%	Ικανοποιητική περιεκτικότητα
NO₃⁻	104,3 ppm	Επαρκώς εφοδιασμένο
P (Olsen)	9,95 ppm	Οριακά εφοδιασμένο
Na⁺	110 ppm	Υψηλή περιεκτικότητα
pH (1:1 H₂O)	7,29	Ελαφρώς αλκαλικό
Κοκκομετρική σύσταση	Clay Loam	Αργιλοπηλώδες

2.5 Μετεωρολογικά δεδομένα

Παρουσιάζονται οι τιμές των θερμοκρασιών που παρατηρήθηκαν τους μήνες της καλλιέργειας. Η μέση θερμοκρασία κυμάνθηκε από 9,8 – 17,8 °C.



Διάγραμμα 3: Μέση θερμοκρασία (Πηγή: Meteo.gr)

Επιπλέον, παρουσιάζεται η μέση βροχόπτωση η οποία κυμάνθηκε από 0,76 – 62,60 mm.



Διάγραμμα 4: Μέση βροχόπτωση (Πηγή: Meteo.gr)

2.6 Καλλιεργητικές Πρακτικές

Κατεργασία Εδάφους

Η κατεργασία εδάφους πραγματοποιήθηκε μαζί με τη σπορά και τη λίπανση στις 14 Νοεμβρίου 2022 μαζί με τη χρήση φρέζας.

Σπορά

Η σπορά πραγματοποιήθηκε στις 14 Νοεμβρίου 2022 και χρησιμοποιήθηκαν 6 κιλά σπόρου / στρέμμα στην απόσταση σποράς D1=30cm. Στην απόσταση σποράς D2=40cm χρησιμοποιήθηκαν 4,7 κιλά / στρέμμα. Κατά τη λήξη της σποράς ακολούθησε πότισμα 1 μισή ώρα με κανόνι.

Λίπασμα

Στις 14 Νοεμβρίου 2022 έγινε η προσθήκη των λιπασμάτων. Χρησιμοποιήθηκαν 70 κιλά λιπάσματος / στρέμμα. Χρησιμοποιήθηκε λίπασμα ουρίας σε ποσότητες 46-0-0 NPK. Επιπλέον χρησιμοποιήθηκε παρεμποδιστής νιτροποίησης σε ποσότητες 46-0-0 NPK μαζί με παρεμποδιστή ουρεάσης.

Διαχείριση Ζιζανίων

Για την σωστή αντιμετώπιση των ζιζανίων πραγματοποιήθηκε βοτάνισμα μια φορά τη βδομάδα με το χέρι.

Συγκομιδή

Η συγκομιδή πραγματοποιήθηκε στις 12 Μαΐου 2023. Έγινε συγκομιδή με το χέρι σε 1 m² / plot και ο καθαρισμός του σπόρου έγινε με τη χρήση πνευματικής μηχανής.

2.7 Προσδιορισμοί - Μετρήσεις

Στο σύνολο της παρούσας μελέτης πραγματοποιήθηκαν τέσσερις μετρήσεις. Πιο συγκεκριμένα, οι μετρήσεις έγιναν στις 60, 90, 120 και 150 ΗΑΣ.

Για τον προσδιορισμό των μετρήσεων της ρίζας έγινε λήψη εδαφικού, αδιατάρακτου δείγματος 100 cm³ από τρία διαφορετικά σημεία του κάθε αγροτεμαχίου. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε κύλινδρος 100 cm³ ο οποίος τοποθετήθηκε σε τρία τυχαία σημεία του τεμαχίου.



Εικόνα 9: Κύλινδρος λήψης εδαφικού δείγματος (Πηγή: Προσωπικό Αρχείο)

Το εδαφικό δείγμα που συλλέχθηκε τοποθετήθηκε σε πλαστικές σακούλες όπου προστέθηκε νερό – μέχρι να καλυφθεί το δείγμα – και 15 g πολυμεταφωσφορικού Νατρίου. Έμεινε στο διάλυμα για 48 ώρες, με σκοπό να αποχωριστούν οι ρίζες από το έδαφος και να γίνει εφικτή η συλλογή τους. Έπειτα από 48 ώρες έγινε διαχωρισμός και ξέπλυμα των ριζών

από το χώμα, με την χρήση κόσκινου με οπές 2 mm. Οι ρίζες που συλλέχθηκαν από το κόσκινο αφέθηκαν να στεγνώσουν σε απορροφητικό χαρτί. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε χρώση με σινική μελάνη. Αναλυτικότερα, οι ρίζες που συλλέχθηκαν εμβαπτίστηκαν σε σινική μελάνη μπλε χρώματος. Ακολούθησε σάρωση των ριζών με την χρήση scanner. Η σάρωση έγινε με τα εξής χαρακτηριστικά:

Ανάλυση: 300 dpi

Χρώμα: Ασπρόμαυρο

Μορφή αρχείου: Bitmap

Έπειτα από την χρώση των ριζών με τη σινική μελάνη και την σάρωση τους, έγινε ανάλυση των εικόνων με το πρόγραμμα RhizoVision Explorer (Seethepalli, A., et al., 2021). Το RhizoVision Explorer βασίζεται στη λειτουργικότητα και τη βάση κώδικα του RhizoVision Analyser (Seethepalli and York, 2019) για να αναλύει όχι μόνο τις εικόνες της ρίζας αλλά και τις σπασμένες ρίζες που απεικονίζονται σε σαρωτή επίπεδης επιφάνειας. Ο όρος "Explorer" υποδηλώνει ότι ο χρήστης έχει μεγαλύτερη ελευθερία στην κατανόηση της διαδικασίας ανάλυσης. Το πρόγραμμα προσθέτει λειτουργικότητα, όπως μεγαλύτερη αλληλεπίδραση με την ακατέργαστη, τμηματοποιημένη ή αναλυμένη εικόνα, την εκτέλεση κλαδέματος ριζών, και υποστήριξη της περιοχής ενδιαφέροντος (ROI).



Εικόνα 10: Βάψιμο και σκανάρισμα ριζών λιναριού (Πηγή: Προσωπικό Αρχείο)

Στο σημερινό πλαίσιο των ταχέως αναπτυσσόμενων ενδιαφέροντος για την επιστήμη των ριζών, το RhizoVision Explorer σκοπεύει να γίνει λογισμικό αναφοράς, να βελτιώσει τη συνολική ακρίβεια των μετρήσεων των χαρακτηριστικών της ρίζας και να παρέχει ένα θεμέλιο για συνεχή βελτίωση και αξιόπιστη πρόσβαση σε όλους. Με το παρόν πρόγραμμα – εργαλείο – software, έγινε η ανάλυση των παρακάτω μετρήσεων:

1. Αριθμός ριζιδίων

Πραγματοποιήθηκαν 4 μετρήσεις στις 60, 90, 120 και 150 ΗΑΣ. Μετρήθηκε ο αριθμός των ριζιδίων από τη λήψη εδαφικού δείγματος 100 cm³ από 3 διαφορετικά σημεία του κάθε αγροτεμαχίου.

2. Αριθμός διακλαδώσεων

Μετρήθηκε το σύνολο των διακλαδώσεων της ρίζας τη λήψη εδαφικού δείγματος 100 cm³ από 3 διαφορετικά σημεία του κάθε αγροτεμαχίου.

3. Συνολικό μήκος ρίζας

Υπολογίστηκε το συνολικό μήκος της ρίζας μετά τη λήψη εδαφικού δείγματος 100 cm³ από 3 διαφορετικά σημεία του κάθε αγροτεμαχίου.

4. Περίμετρος και διάμετρος ρίζας

Μετρήθηκε η περίμετρος και η διάμετρος της ρίζας μετά τη λήψη εδαφικού δείγματος 100 cm³ από 3 διαφορετικά σημεία του κάθε αγροτεμαχίου.

5. Επιφάνεια ρίζας

Μετρήθηκε η επιφάνεια της ρίζας μετά τη λήψη εδαφικού δείγματος 100 cm³ από 3 διαφορετικά σημεία του κάθε αγροτεμαχίου.

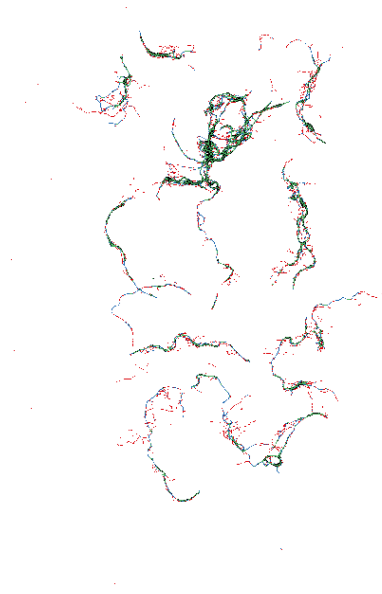
6. AMF

Για τον προσδιορισμό του ποσοστού μυκόρριζων, μετά την λήξη των προηγούμενων μετρήσεων, ακολούθησε χρώση με φουξίνη. Πιο συγκεκριμένα, έγινε εμβάπτιση των ριζών του δείγματος σε υδατικό διάλυμα φουξίνης (Vierheilig, H., et al., 2005). Στη συνέχεια, επιλέχθηκαν τυχαία τρία τμήματα ριζών, μήκους 1 cm για την ανάλυση. Ακολούθησε ανάλυση των ριζών στο στερεοσκόπιο, με την χρήση του προγράμματος Motic (MIPlus). Αφού λήφθηκε φωτογραφία της ανάλυσης από το στερεοσκόπιο, ακολούθησε τοποθέτηση της εικόνας σε σταυρόνημα. Στο σταυρόνημα, μετρήθηκαν τα σημεία τομής της μυκόρριζας με το σταυρόνημα, καθώς και τα σημεία τομής της ρίζας με το σταυρόνημα. Η μυκόρριζα γίνεται αντιληπτή, καθώς έπειτα από χρώση με φουξίνη αποκτά ένα χαρακτηριστικό μπλε – μωβ χρωματισμό. Ο προσδιορισμός του ποσοστού αποικισμού της μυκόρριζας στην ρίζα υπολογίστηκε με την παρακάτω εξίσωση:

$$\text{AMF (\%)} = \frac{\text{σημεία τομής μυκόρριζας με σταυρόνημα}}{\text{σημεία τομής ρίζας με σταυρόνημα}} * 100$$



Εικόνα 11 : Εικόνα ριζών μετά το σκανάρισμα (Πηγή: Προσωπικό Αρχείο)



Εικόνα 12: Εικόνα ριζών στο RhizoVision Explorer (Πηγή: Προσωπικό Αρχείο)



Εικόνα 13: Εικόνα ριζών έπειτα από χρώση με φουξίνη όπως αποδόθηκε από το στερεοσκόπιο (Πηγή: Προσωπικό Αρχείο)

2.8 Στατιστική ανάλυση

Η στατιστική ανάλυση των δεδομένων πραγματοποιήθηκε με το πρόγραμμα SigmaPlot με ανάλυση διασποράς, όπου χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Tukey σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 Αριθμός ριζιδίων

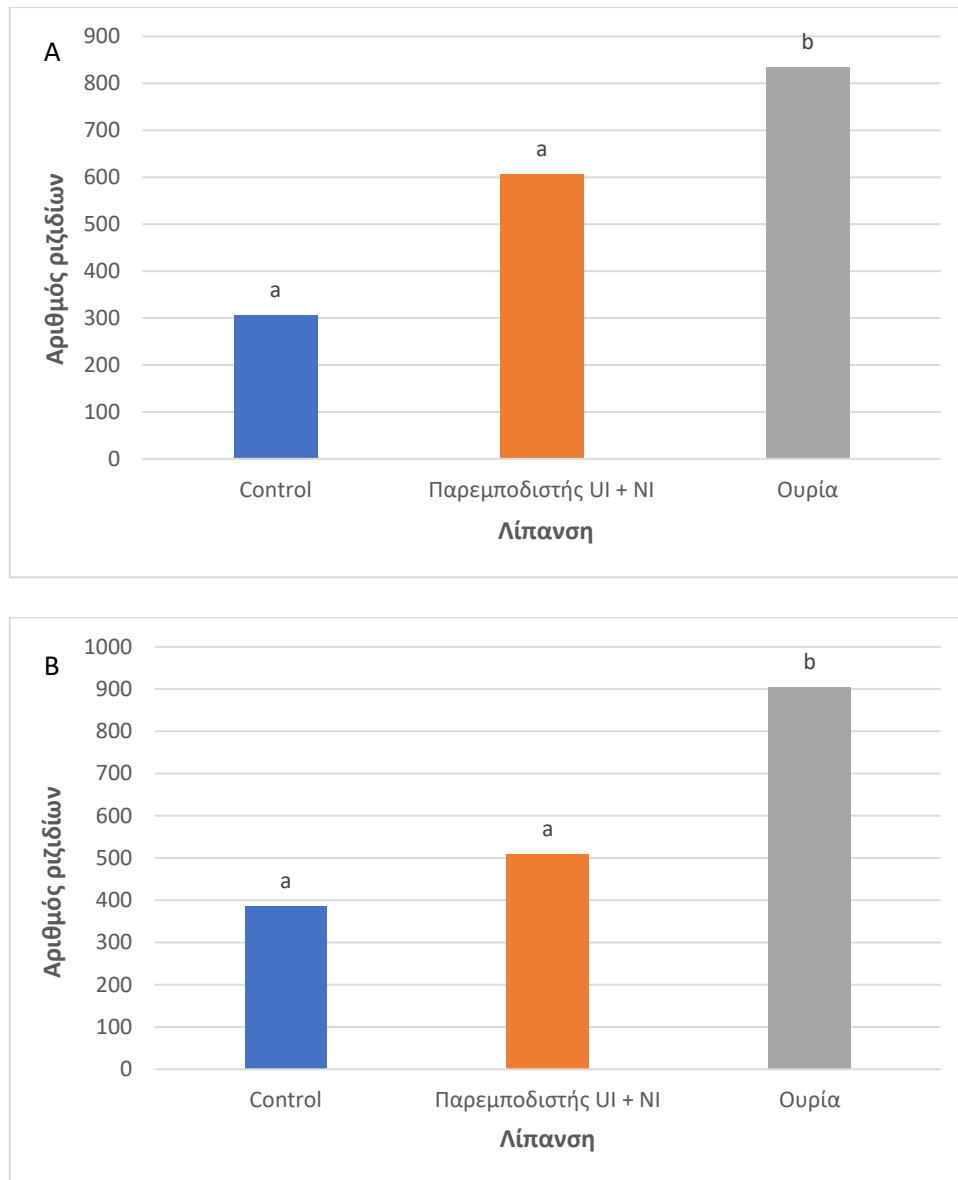
60 ΗΑΣ

Πίνακας 3: Ανάλυση διασποράς για τον αριθμό των ριζιδίων στις 60 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$. (Οι αριθμοί με έντονη γραφή σηματοδοτούν τον παράγοντα που έδωσε στατιστικά σημαντικές διαφορές.)

	ΒΕ	ΑΤ	ΜΤ	F	P
ΛΙΠΑΝΣΗ	2	1106826,583	553413,292	16,631	<0,001
ΑΠΟΣΤΑΣΗ	1	1785,375	1785,375	0,0537	0,819
ΛΙΠΑΝΣΗ Χ ΑΠΟΣΤΑΣΗ	2	39588,250	19794,125	0,595	0,562
Υπόλοιπο	18	598951,750	33275,097		
Σύνολο	23	1747151,958	75963,129		

Ο αριθμός των ριζιδίων στο δείγμα που λήφθηκε (100 cm^3), φάνηκε να διαφέρει στατιστικώς σημαντικά ($p<0,001$) για τον παράγοντα της λίπανσης. Αντίθετα, ο παράγοντας της απόστασης σποράς δεν επηρέασε τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης (**Πίνακας 3**). Η μέγιστη τιμή σημειώθηκε στην επέμβαση της ουρίας όπου παρατηρήθηκαν 903,5 ριζίδια.

Έπειτα από στατιστική ανάλυση από τα αποτελέσματα της ANOVA προκύπτει ότι μόνο ο παράγοντας της λίπανσης επηρέασε στατιστικώς σημαντικά ($p<0,001$) τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης. Ο παράγοντας της απόστασης σποράς δεν εμφάνισε στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των επεμβάσεων λίπανσης. Επιπλέον, η αλληλεπίδραση των δύο παραγόντων δεν επηρέασε στατιστικώς σημαντικά τα αποτελέσματα. Και στις δύο αποστάσεις φύτευσης παρατηρήθηκε αυξημένος αριθμός ριζιδίων στην επέμβαση με ουρία.



Διάγραμμα 5: Επίδραση του παράγοντα της λίπανσης στις διαφορετικές αποστάσεις σποράς για τον αριθμό των ριζιδίων του δείγματος στις 60 ΗΑΣ. Στο γράφημα A παρουσιάζονται οι διαφορές που παρατηρήθηκαν στην απόσταση σποράς D1 και στο γράφημα B οι διαφορές για την απόσταση σποράς D2. Τα διαφορετικά γράμματα συμβολίζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές, που προέκυψαν από την δοκιμασία LSD5%. Η ένδειξη “ns” υποδηλώνει την μη στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των επεμβάσεων.

90 ΗΑΣ

Πίνακας 4: Ανάλυση διασποράς για τον αριθμό των ριζιδίων στις 90 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$. (Οι αριθμοί με έντονη γραφή σηματοδοτούν τον παράγοντα που έδωσε στατιστικά σημαντικές διαφορές.)

	ΒΕ	ΑΤ	ΜΤ	F	P
ΛΙΠΑΝΣΗ	2	84536,583	42268,292	0,589	0,565
ΑΠΟΣΤΑΣΗ	1	28,167	28,167	0,000392	0,984
ΛΙΠΑΝΣΗ Χ ΑΠΟΣΤΑΣΗ	2	316713,083	158356,542	2,206	0,139
Υπόλοιπο	18	1291863,500	71770,194		
Σύνολο	23	1693141,333	73614,841		

Έπειτα από την στατιστική ανάλυση παρατηρούμε ότι, ο αριθμός των ριζιδίων στο δείγμα που λήφθηκε (100 cm^3), φάνηκε να μην διαφέρει στατιστικώς σημαντικά και για τον παράγοντα της λίπανσης και για τον παράγοντα της απόστασης σποράς (**Πίνακας 4**). Η μέγιστη τιμή σημειώθηκε στον μάρτυρα με 764,65 ριζίδια.

120 ΗΑΣ

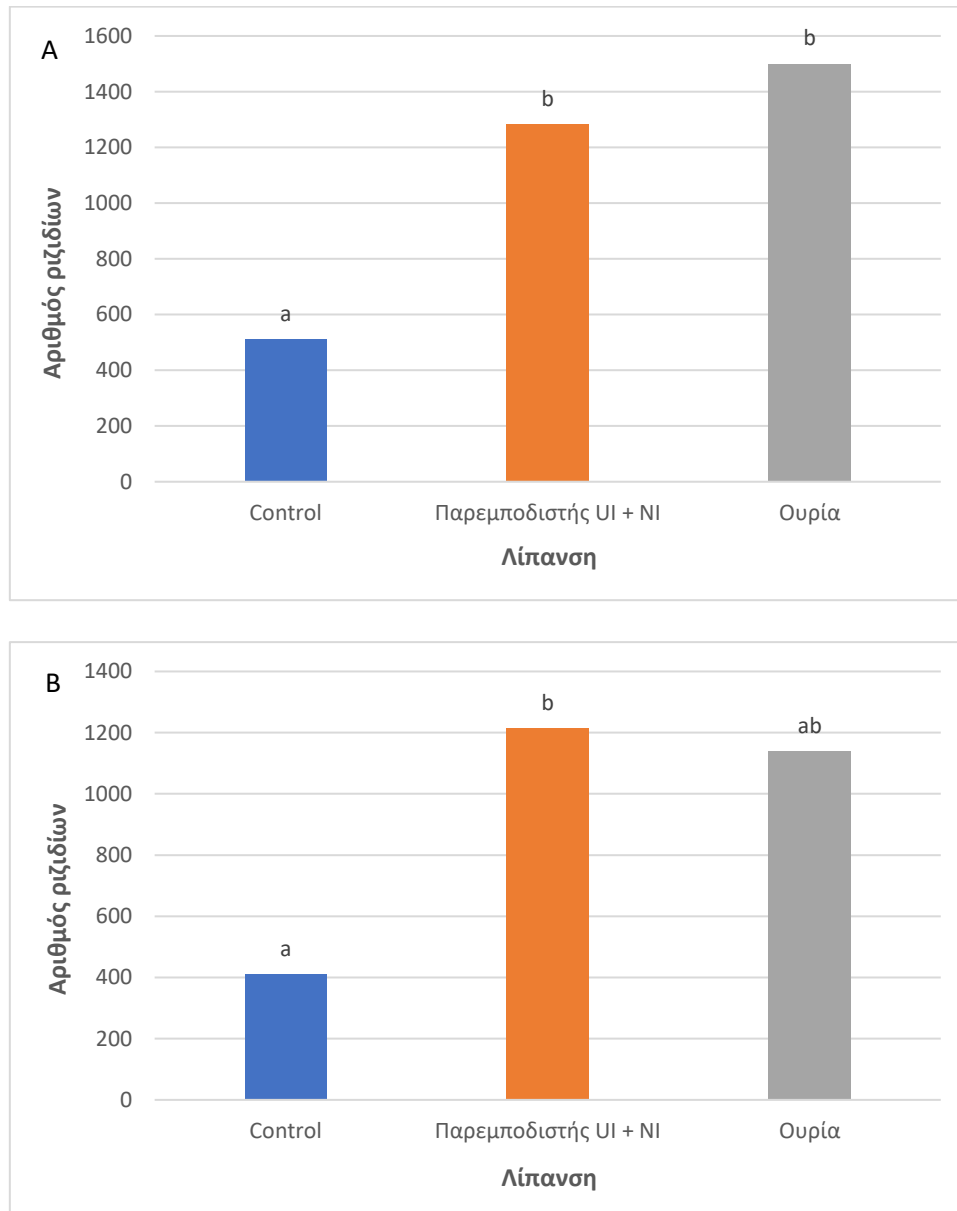
Πίνακας 5: Ανάλυση διασποράς για τον αριθμό των ριζιδίων στις 120 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$. (Οι αριθμοί με έντονη γραφή σηματοδοτούν τον παράγοντα που έδωσε στατιστικά σημαντικές διαφορές.)

	ΒΕ	ΑΤ	ΜΤ	F	P
ΛΙΠΑΝΣΗ	2	3644721,750	1822360,875	10,819	<0,001
ΑΠΟΣΤΑΣΗ	1	188151,042	188151,042	1,117	0,305
ΛΙΠΑΝΣΗ Χ ΑΠΟΣΤΑΣΗ	2	103134,083	51567,042	0,306	0,740
Υπόλοιπο	18	3031892,750	168438,486		
Σύνολο	23	6967899,625	302952,158		

Ο αριθμός των ριζιδίων στο δείγμα που λήφθηκε (100 cm^3), φάνηκε να διαφέρει στατιστικώς σημαντικά ($p<0,001$) για τον παράγοντα της λίπανσης. Αντίθετα, ο παράγοντας της απόστασης σποράς δεν επηρέασε τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης (**Πίνακας 5**). Η μέγιστη τιμή σημειώθηκε στην επέμβαση της ουρίας με 1500,25 ριζίδια.

Μόνο ο παράγοντας της λίπανσης επηρέασε στατιστικώς σημαντικά ($p<0,001$) τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης. Ο παράγοντας της απόστασης σποράς δεν εμφάνισε στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των επεμβάσεων λίπανσης. Επιπλέον, η

αλληλεπίδραση των δύο παραγόντων δεν επηρέασε στατιστικώς σημαντικά τα αποτελέσματα. Και στις δύο αποστάσεις φύτευσης παρατηρήθηκε αυξημένος αριθμός ριζιδίων στην επέμβαση με ουρία και στον παρεμποδιστή με νιτροποίηση και ουρεάση.



Διάγραμμα 6: Επίδραση του παράγοντα της λίπανσης στις διαφορετικές αποστάσεις σποράς για τον αριθμό των ριζιδίων του δείγματος στις 120 ΗΑΣ. Στο γράφημα A παρουσιάζονται οι διαφορές που παρατηρήθηκαν στην απόσταση σποράς D1 και στο γράφημα B οι διαφορές για την απόσταση σποράς D2. Τα διαφορετικά γράμματα συμβολίζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές, που προέκυψαν από την δοκιμασία $LSD_{5\%}$. Η ένδειξη “ns” υποδηλώνει την μη στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των επεμβάσεων.

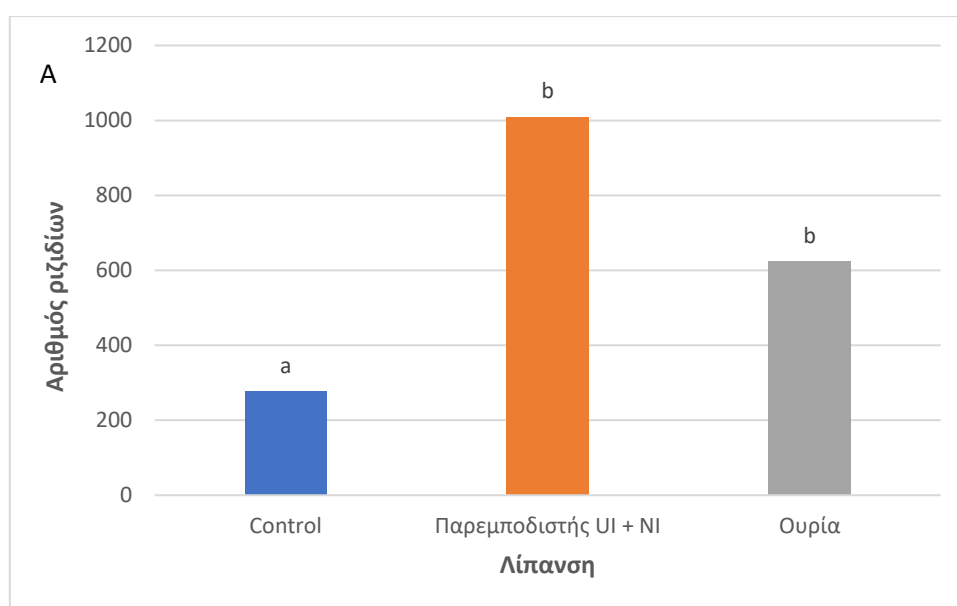
150 ΗΑΣ

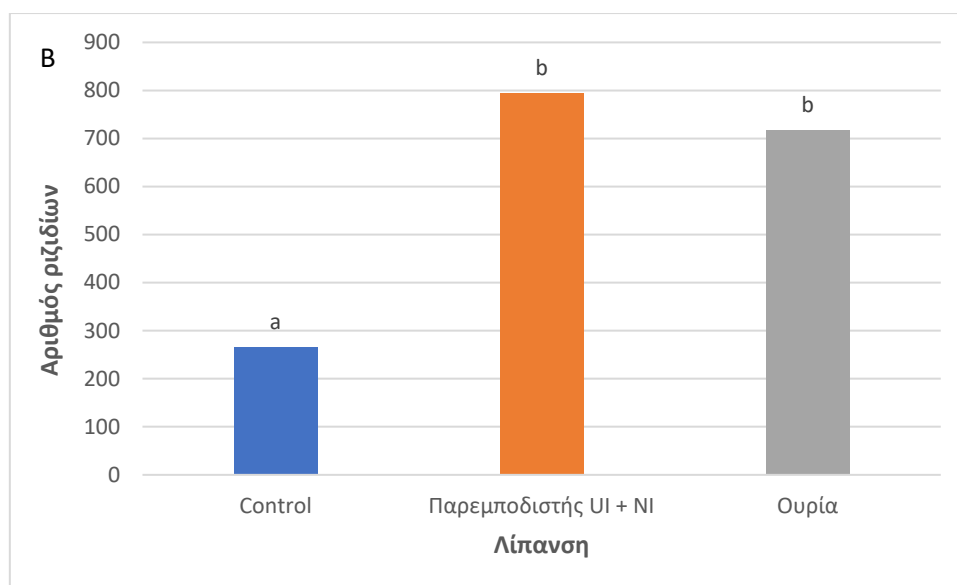
Πίνακας 6: Ανάλυση διασποράς για τον αριθμό των ριζιδίων στις 150 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$. (Οι αριθμοί με έντονη γραφή σηματοδοτούν τον παράγοντα που έδωσε στατιστικά σημαντικές διαφορές.)

	ΒΕ	ΑΤ	ΜΤ	F	P
ΛΙΠΑΝΣΗ	2	1623063,083	811531,542	6,425	0,008
ΑΠΟΣΤΑΣΗ	1	12150,000	12150,000	0,0962	0,760
ΛΙΠΑΝΣΗ Χ ΑΠΟΣΤΑΣΗ	2	98643,250	49321,625	0,391	0,682
Υπόλοιπο	18	2273435,500	126301,972		
Σύνολο	23	4007291,833	174230,080		

Ο αριθμός των ριζιδίων στο δείγμα που λήφθηκε (100 cm^3), φάνηκε να διαφέρει στατιστικά σημαντικά ($p=0,008$) για τον παράγοντα της λίπανσης. Αντίθετα, ο παράγοντας της απόστασης σποράς δεν επηρέασε στατιστικά σημαντικά τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης (**Πίνακας 6**).

Μόνο ο παράγοντας της λίπανσης επηρέασε στατιστικώς σημαντικά ($p=0,008$) τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης. Ο παράγοντας της απόστασης σποράς δεν εμφάνισε στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των επεμβάσεων λίπανσης. Επιπλέον, η αλληλεπίδραση των δύο παραγόντων δεν επηρέασε στατιστικώς σημαντικά τα αποτελέσματα. Η μέγιστη τιμή σημειώθηκε στην επέμβαση με παρεμποδιστή ουρεάσης και νιτροποίησης με 1009,5 ριζίδια.





Διάγραμμα 7: Επίδραση του παράγοντα της λίπανσης στις διαφορετικές αποστάσεις σποράς για τον αριθμό των ριζιδίων του δείγματος στις 150 ΗΑΣ. Στο γράφημα A παρουσιάζονται οι διαφορές που παρατηρήθηκαν στην απόσταση σποράς D1 και στο γράφημα B οι διαφορές για την απόσταση σποράς D2. Τα διαφορετικά γράμματα συμβολίζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές, που προέκυψαν από την δοκιμασία $LSD_{5\%}$. Η ένδειξη “ns” υποδηλώνει την μη στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των επεμβάσεων.

3.2 Αριθμός διακλαδώσεων ρίζας

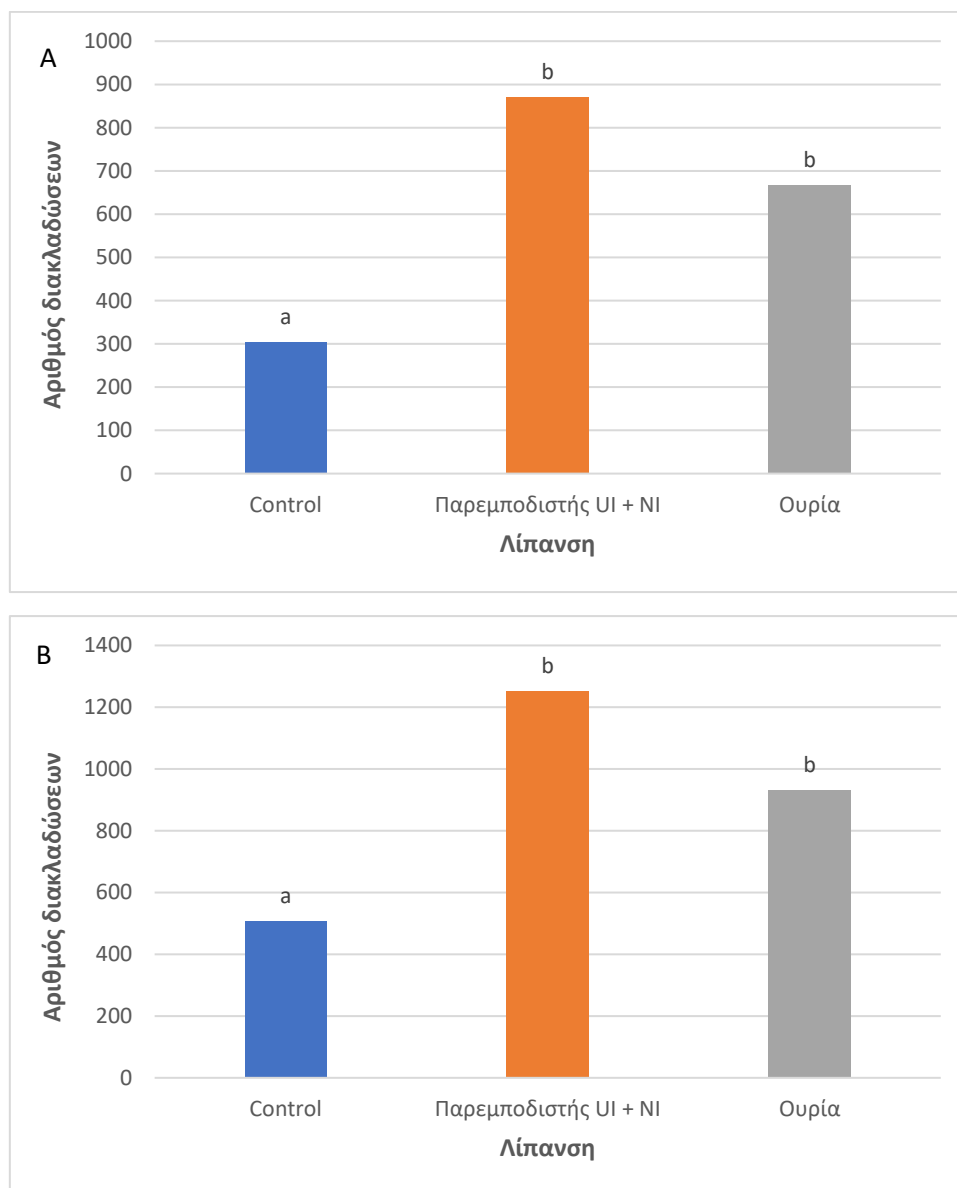
60 ΗΑΣ

Πίνακας 7: Ανάλυση διασποράς για τον αριθμό των διακλαδώσεων ρίζας στις 60 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$. (Οι αριθμοί με έντονη γραφή σηματοδοτούν τον παράγοντα που έδωσε στατιστικά σημαντικές διαφορές.)

	ΒΕ	ΑΤ	ΜΤ	F	P
ΛΙΠΑΝΣΗ	2	1735926,750	867963,375	26,520	<0,001
ΑΠΟΣΤΑΣΗ	1	479402,667	479402,667	14,648	0,001
ΛΙΠΑΝΣΗ X ΑΠΟΣΤΑΣΗ	2	32435,083	16217,542	0,496	0,617
Υπόλοιπο	18	589119,500	32728,861		
Σύνολο	23	2836884,000	123342,783		

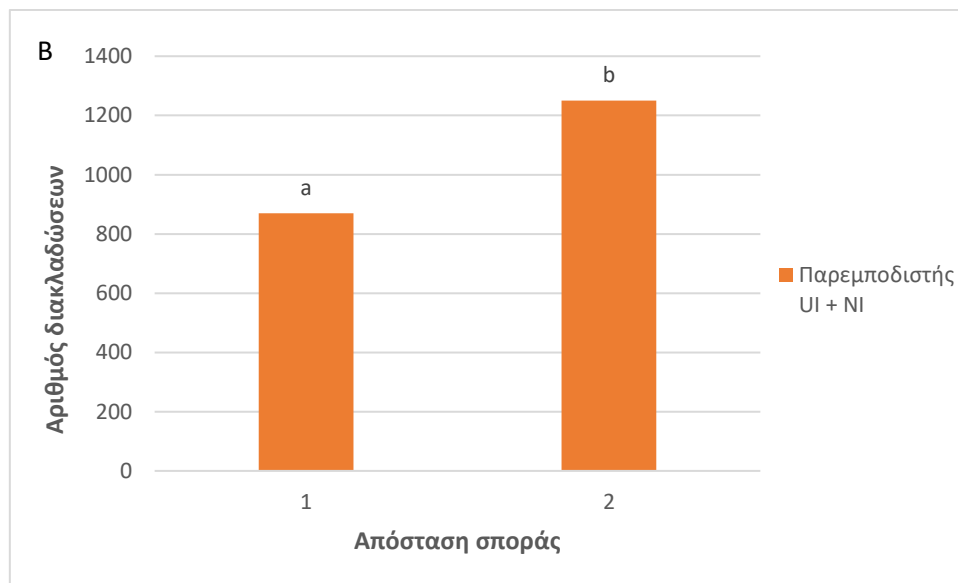
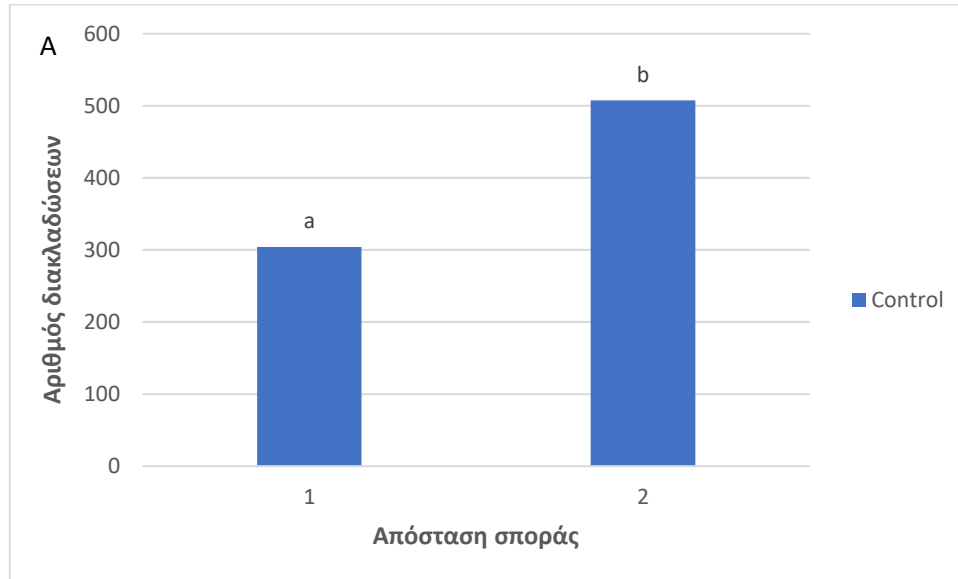
Ο αριθμός των διακλαδώσεων στο δείγμα που λήφθηκε (100 cm^3), φάνηκε να διαφέρει στατιστικώς σημαντικά ($p < 0,001$) για τον παράγοντα της λίπανσης και ($p = 0,001$) για τον παράγοντα της απόστασης σποράς (**Πίνακας 7**).

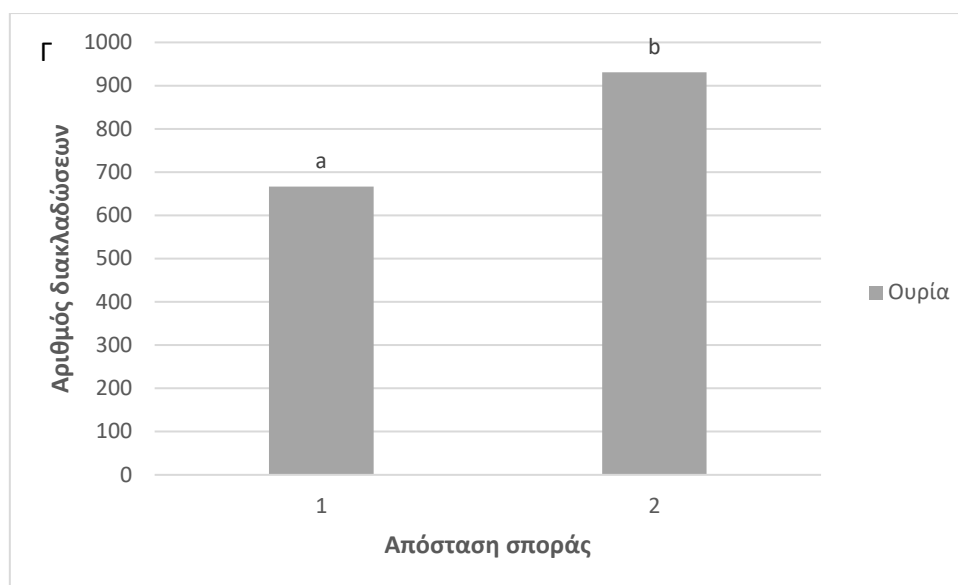
Σύμφωνα με τα αποτελέσματα και ο παράγοντας της λίπανσης και ο παράγοντας της απόστασης σποράς επηρέασε στατιστικώς σημαντικά τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης. Στον παράγοντα της λίπανσης η μέγιστη τιμή σημειώθηκε στην επέμβαση με παρεμποδιστή ουρεάσης και νιτροποίησης με 1250,5 διακλαδώσεις της ρίζας στην απόσταση σποράς D2.



Διάγραμμα 8: Επίδραση του παράγοντα της λίπανσης στις διαφορετικές αποστάσεις σποράς για τον αριθμό των διακλαδώσεων του ριζικού συστήματος του δείγματος στις 60 ΗΑΣ. Στο γράφημα Α παρουσιάζονται οι διαφορές που παρατηρήθηκαν στην απόσταση σποράς D1 και στο γράφημα

Β οι διαφορές για την απόσταση σποράς D2. Τα διαφορετικά γράμματα συμβολίζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές, που προέκυψαν από την δοκιμασία $LSD_{5\%}$. Η ένδειξη “ns” υποδηλώνει την μη στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των επεμβάσεων.





Διάγραμμα 9: Επίδραση του παράγοντα της απόστασης σποράς στις διαφορετικές εφαρμογές λίπανσης για τον αριθμό των διακλαδώσεων του ριζικού συστήματος του δείγματος στις 60 ΗΑΣ. Στο γράφημα Α παρουσιάζονται οι διαφορές που παρατηρήθηκαν στον μάρτυρα, στο γράφημα Β οι διαφορές στον παρεμποδιστή νιτροποίησης και ουρεάσης και στο διάγραμμα Γ οι διαφορές που παρατηρήθηκαν στην επέμβαση με ουρία. Τα διαφορετικά γράμματα συμβολίζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές, που προέκυψαν από την δοκιμασία $LSD_{5\%}$. Η ένδειξη “ns” υποδηλώνει την μη στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των επεμβάσεων.

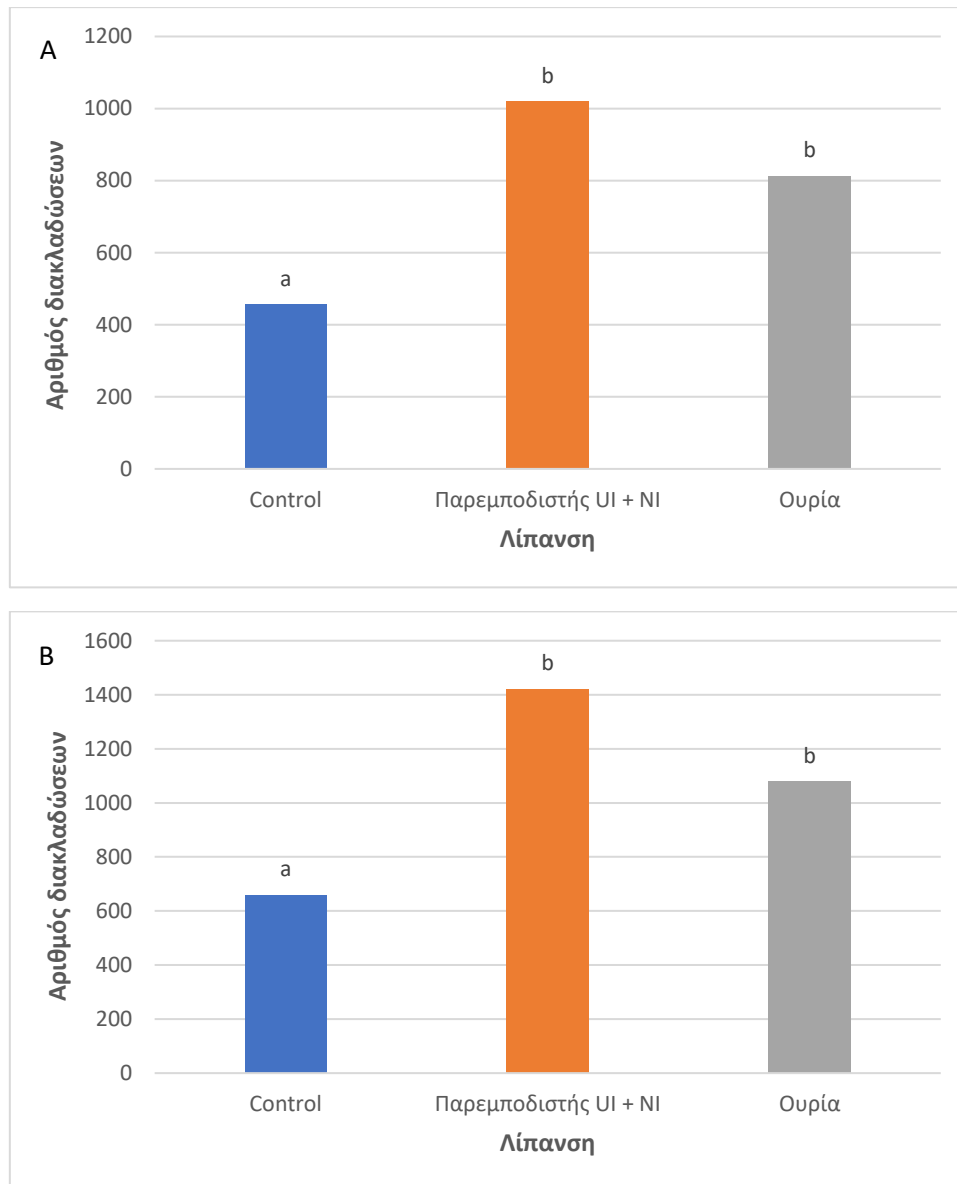
90 ΗΑΣ

Πίνακας 8: Ανάλυση διασποράς για τον αριθμό των διακλαδώσεων ρίζας στις 90 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$. (Οι αριθμοί με έντονη γραφή σηματοδοτούν τον παράγοντα που έδωσε στατιστικά σημαντικές διαφορές.)

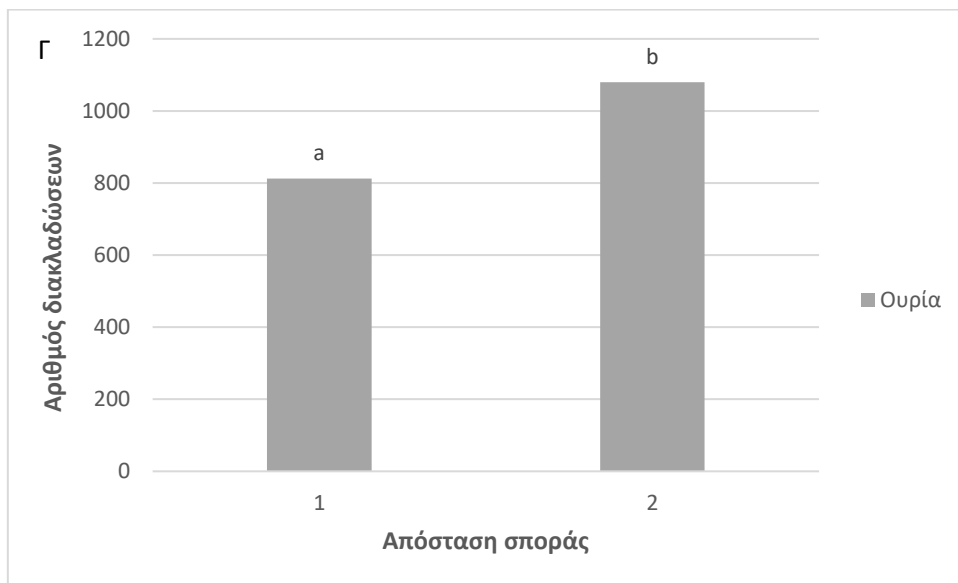
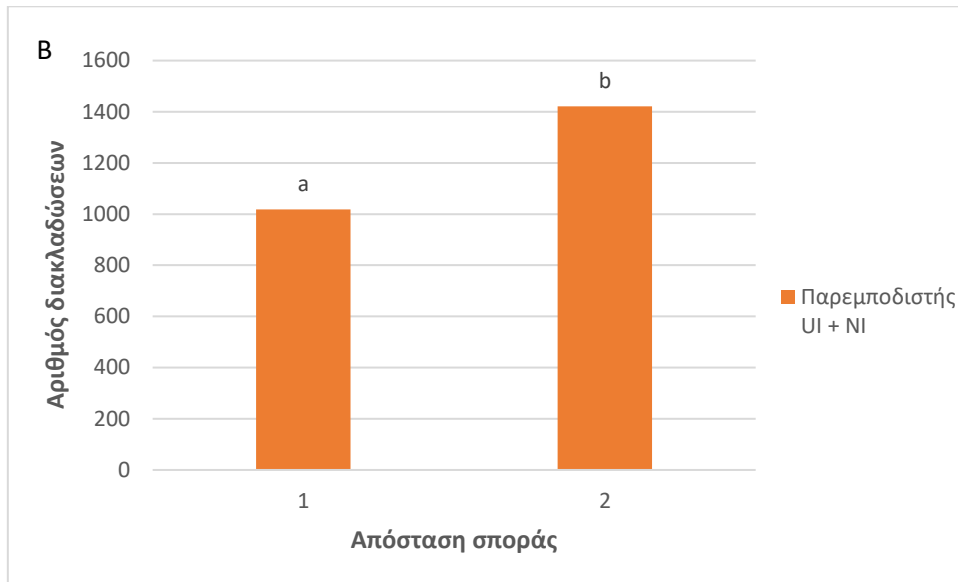
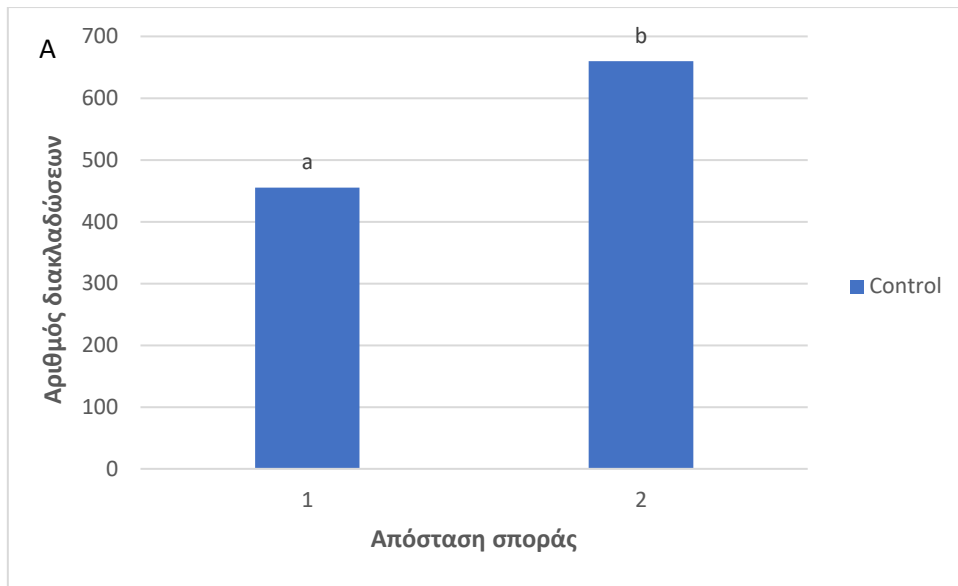
	ΒΕ	ΑΤ	ΜΤ	F	P
ΛΙΠΑΝΣΗ	2	1773181,750	886590,875	28,509	<0,001
ΑΠΟΣΤΑΣΗ	1	510416,667	510416,667	16,413	<0,001
ΛΙΠΑΝΣΗ X ΑΠΟΣΤΑΣΗ	2	41227,583	20613,792	0,663	0,528
Υπόλοιπο	18	559776,000	31098,667		
Σύνολο	23	2884602,000	125417,478		

Η συχνότητα των διακλαδώσεων στο δείγμα που λήφθηκε (100 cm^3), φάνηκε να διαφέρει στατιστικώς σημαντικά ($p<0,001$) για τον παράγοντα της λίπανσης και ($p<0,001$) για τον παράγοντα της απόστασης σποράς (**Πίνακας 8**). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα και ο παράγοντας της λίπανσης και ο παράγοντας της απόστασης σποράς επηρέασε στατιστικώς

σημαντικά τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης. Η μέγιστη τιμή σημειώθηκε στην επέμβαση με παρεμποδιστή ουρεάσης και νιτροποίησης με 1421,75 διακλαδώσεις ρίζας στην απόσταση σποράς D2.



Διάγραμμα 10: Επίδραση του παράγοντα της λίπανσης στις διαφορετικές αποστάσεις σποράς για τον αριθμό των διακλαδώσεων του ριζικού συστήματος του δείγματος στις 90 ΗΑΣ. Στο γράφημα Α παρουσιάζονται οι διαφορές που παρατηρήθηκαν στην απόσταση σποράς D1 και στο γράφημα Β οι διαφορές για την απόσταση σποράς D2. Τα διαφορετικά γράμματα συμβολίζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές, που προέκυψαν από την δοκιμασία $LSD_{5\%}$. Η ένδειξη “ns” υποδηλώνει την μη στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των επεμβάσεων.



Διάγραμμα 11: Επίδραση του παράγοντα της απόστασης σποράς στις διαφορετικές εφαρμογές λίπανσης για τον αριθμό των διακλαδώσεων του ριζικού συστήματος του δείγματος στις 90 ΗΑΣ. Στο γράφημα Α παρουσιάζονται οι διαφορές που παρατηρήθηκαν στον μάρτυρα, στο γράφημα Β οι διαφορές στον παρεμποδιστή νιτροποίησης και ουρέασης και στο διάγραμμα Γ οι διαφορές που παρατηρήθηκαν στην επέμβαση με ουρία. Τα διαφορετικά γράμματα συμβολίζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές, που προέκυψαν από την δοκιμασία $LSD_{5\%}$. Η ένδειξη “ns” υποδηλώνει την μη στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των επεμβάσεων.

120 ΗΑΣ

Πίνακας 9: Ανάλυση διασποράς για τον αριθμό των διακλαδώσεων ρίζας στις 120 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$. (Οι αριθμοί με έντονη γραφή σηματοδοτούν τον παράγοντα που έδωσε στατιστικά σημαντικές διαφορές.)

	ΒΕ	ΑΤ	ΜΤ	F	P
ΛΠΙΑΝΣΗ	2	252332,583	126166,292	0,134	0,875
ΑΠΟΣΤΑΣΗ	1	163680,167	163680,167	0,174	0,681
ΛΠΙΑΝΣΗ Χ ΑΠΟΣΤΑΣΗ	2	69280,583	34640,292	0,0369	0,964
Υπόλοιπο	18	16900596,000	938922,000		
Σύνολο	23	17385889,333	755908,232		

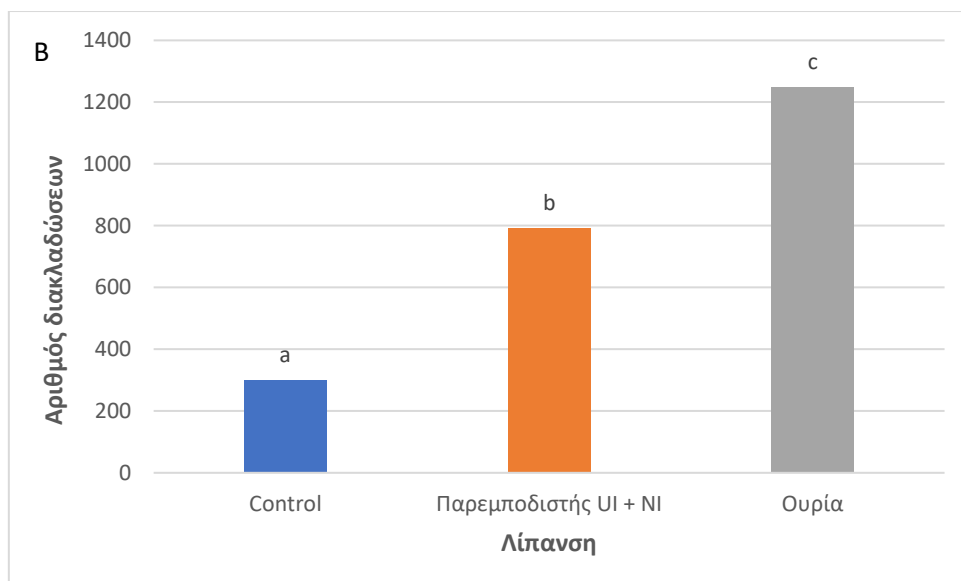
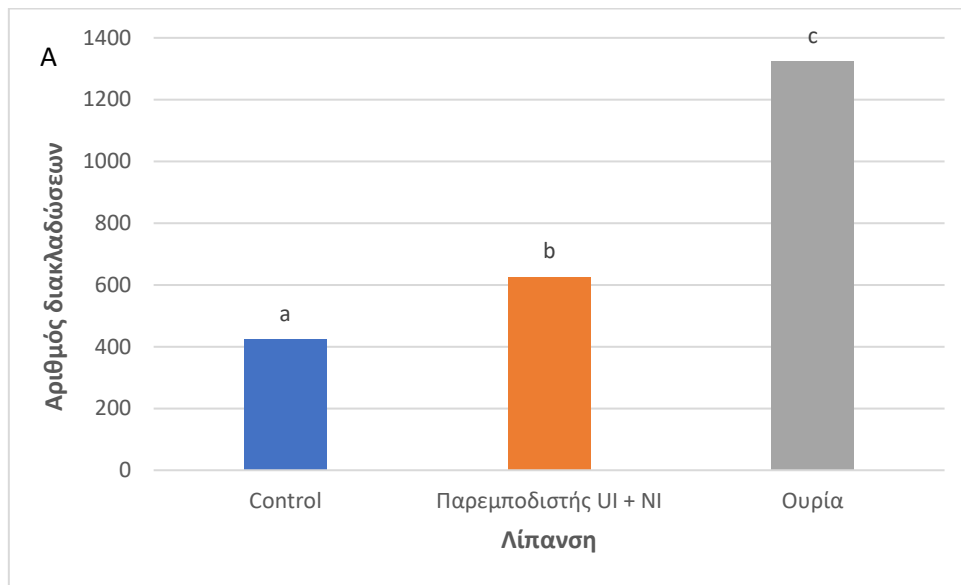
Η συχνότητα των διακλαδώσεων στο δείγμα που λήφθηκε (100 cm^3), φάνηκε να μην διαφέρει στατιστικώς σημαντικά για τον παράγοντα της λίπανσης και για τον παράγοντα της απόστασης σποράς (**Πίνακας 9**). Η μέγιστη τιμή σημειώθηκε στον μάρτυρα με 1536,75 διακλαδώσεις ρίζας.

150 ΗΑΣ

Πίνακας 10: Ανάλυση διασποράς για τον αριθμό των διακλαδώσεων ρίζας στις 150 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$. (Οι αριθμοί με έντονη γραφή σηματοδοτούν τον παράγοντα που έδωσε στατιστικά σημαντικές διαφορές.)

	ΒΕ	ΑΤ	ΜΤ	F	P
ΛΠΙΑΝΣΗ	2	3419809,750	1709904,875	15,521	<0,001
ΑΠΟΣΤΑΣΗ	1	21540,042	21540,042	0,196	0,664
ΛΠΙΑΝΣΗ Χ ΑΠΟΣΤΑΣΗ	2	20972,583	10486,292	0,0952	0,910
Υπόλοιπο	18	1983022,250	110167,903		
Σύνολο	23	5445344,625	236754,114		

Η συχνότητα των διακλαδώσεων στο δείγμα που λήφθηκε (100 cm³), φάνηκε να διαφέρει στατιστικώς σημαντικά ($p < 0,001$) για τον παράγοντα της λίπανσης. Αντίθετα, ο παράγοντας της απόστασης σποράς δεν επηρέασε στατιστικώς σημαντικά τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης (**Πίνακας 10**). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα μόνο ο παράγοντας της λίπανσης επηρέασε στατιστικώς σημαντικά τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης. Η αλληλεπίδραση των δύο παραγόντων δεν επηρέασε στατιστικώς σημαντικά τα αποτελέσματα. Η μέγιστη τιμή σημειώθηκε στην επέμβαση με ουρία με 1322,75 διακλαδώσεις ρίζας.



Διάγραμμα 12: Επίδραση του παράγοντα της λίπανσης στις διαφορετικές αποστάσεις σποράς για τον αριθμό των διακλαδώσεων του ριζικού συστήματος του δείγματος στις 150 ΗΑΣ. Στο γράφημα Α παρουσιάζονται οι διαφορές που παρατηρήθηκαν στην απόσταση σποράς D1 και στο γράφημα Β οι διαφορές για την απόσταση σποράς D2. Τα διαφορετικά γράμματα συμβολίζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές, που προέκυψαν από την δοκιμασία LSD_{5%}. Η ένδειξη “ns” υποδηλώνει την μη στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των επεμβάσεων.

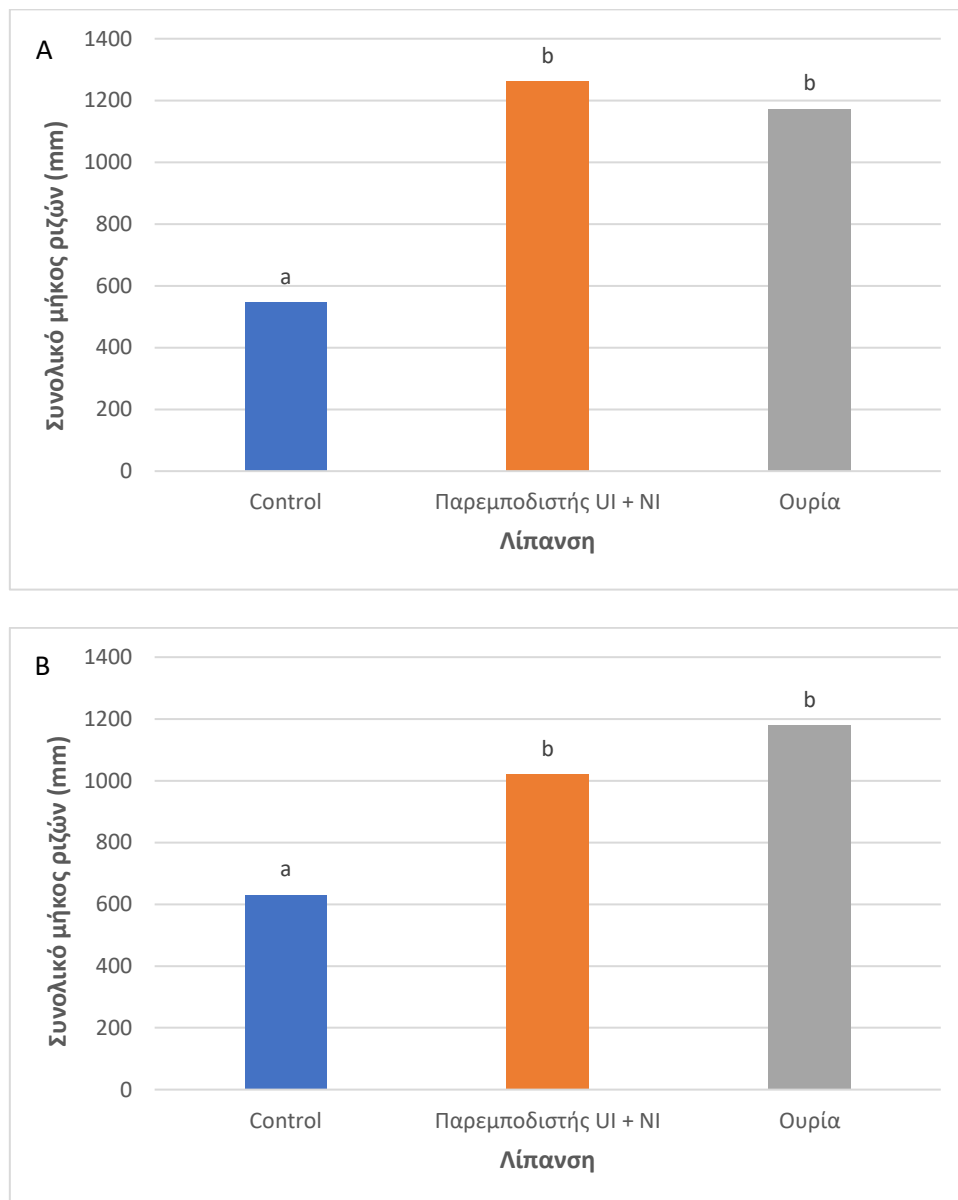
3.3 Συνολικό μήκος ρίζας

60 ΗΑΣ

Πίνακας 11: Ανάλυση διασποράς για το συνολικό μήκος της ρίζας στις 60 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$. (Οι αριθμοί με έντονη γραφή σηματοδοτούν τον παράγοντα που έδωσε στατιστικά σημαντικές διαφορές.)

	ΒΕ	ΑΤ	ΜΤ	F	P
ΛΙΠΑΝΣΗ	2	1742430,884	871215,442	25,253	<0,001
ΑΠΟΣΤΑΣΗ	1	14994,101	14994,101	0,435	0,518
ΛΙΠΑΝΣΗ Χ ΑΠΟΣΤΑΣΗ	2	115823,904	57911,952	1,679	0,215
Υπόλοιπο	18	620982,783	34499,044		
Σύνολο	23	2494231,671	108444,855		

Το συνολικό μήκος της ρίζας στο δείγμα που λήφθηκε (100 cm³), φάνηκε να διαφέρει στατιστικώς σημαντικά ($p<0,001$) για τον παράγοντα της λίπανσης. Αντίθετα, ο παράγοντας της απόστασης σποράς δεν επηρέασε στατιστικώς σημαντικά τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης (**Πίνακας 11**). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα μόνο ο παράγοντας της λίπανσης επηρέασε στατιστικώς σημαντικά τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης. Η αλληλεπίδραση των δύο παραγόντων δεν επηρέασε στατιστικώς σημαντικά τα αποτελέσματα. Η μέγιστη τιμή σημειώθηκε στην επέμβαση με παρεμποδιστή νιτροποίησης και ουρέασης όπου το συνολικό μήκος της ρίζας ήταν 1262,313 mm.



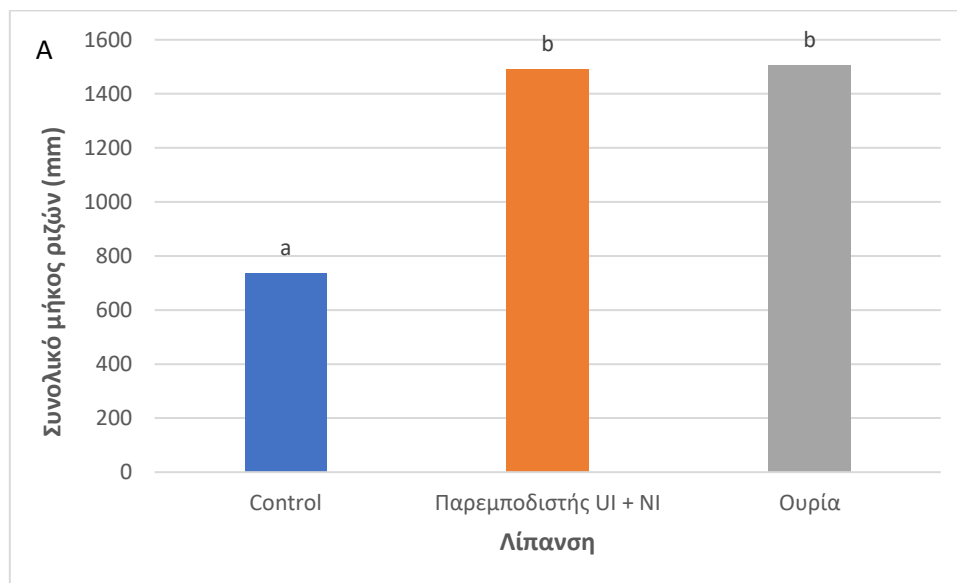
Διάγραμμα 13: Επίδραση του παράγοντα της λίπανσης στις διαφορετικές αποστάσεις σποράς για το συνολικό μήκος της ρίζας του δείγματος στις 60 ΗΑΣ. Στο γράφημα A παρουσιάζονται οι διαφορές που παρατηρήθηκαν στην απόσταση σποράς D1 και στο γράφημα B οι διαφορές για την απόσταση σποράς D2. Τα διαφορετικά γράμματα συμβολίζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές, που προέκυψαν από την δοκιμασία $LSD_{5\%}$. Η ένδειξη “ns” υποδηλώνει την μη στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των επεμβάσεων.

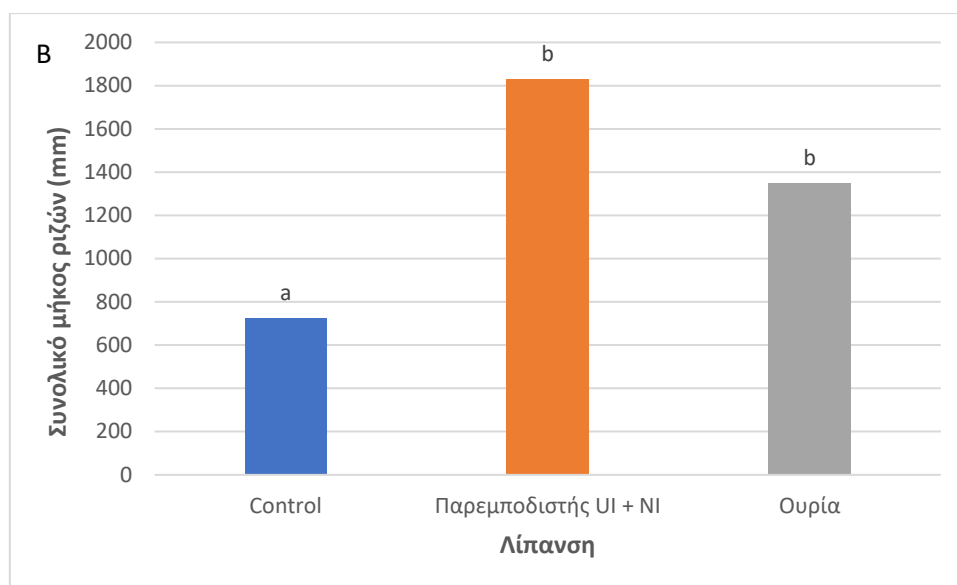
90 ΗΑΣ

Πίνακας 12: Ανάλυση διασποράς για το συνολικό μήκος της ρίζας στις 90 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$. (Οι αριθμοί με έντονη γραφή σηματοδοτούν τον παράγοντα που έδωσε στατιστικά σημαντικές διαφορές.)

	ΒΕ	ΑΤ	ΜΤ	F	P
ΛΙΠΑΝΣΗ	2	3740133,040	1870066,520	14,954	<0,001
ΑΠΟΣΤΑΣΗ	1	18707,327	18707,327	0,150	0,703
ΛΙΠΑΝΣΗ Χ ΑΠΟΣΤΑΣΗ	2	257047,060	128523,530	1,028	0,378
Υπόλοιπο	18	2251042,877	125057,938		
Σύνολο	23	6266930,304	272475,231		

Το συνολικό μήκος της ρίζας στο δείγμα που λήφθηκε (100 cm^3), φάνηκε να διαφέρει στατιστικώς σημαντικά ($p<0,001$) για τον παράγοντα της λίπανσης. Αντίθετα, ο παράγοντας της απόστασης σποράς δεν επηρέασε στατιστικώς σημαντικά τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης (**Πίνακας 12**). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα μόνο ο παράγοντας της λίπανσης επηρέασε στατιστικώς σημαντικά τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης. Η αλληλεπίδραση των δύο παραγόντων δεν επηρέασε στατιστικώς σημαντικά τα αποτελέσματα. Η μέγιστη τιμή σημειώθηκε στην επέμβαση με παρεμποδιστή νιτροποίησης και ουρεάσης με το συνολικό μήκος της ρίζας να είναι 1827,588 mm.





Διάγραμμα 14: Επίδραση του παράγοντα της λίπανσης στις διαφορετικές αποστάσεις σποράς για το συνολικό μήκος της ρίζας του δείγματος στις 90 ΗΑΣ. Στο γράφημα A παρουσιάζονται οι διαφορές που παρατηρήθηκαν στην απόσταση σποράς D1 και στο γράφημα B οι διαφορές για την απόσταση σποράς D2. Τα διαφορετικά γράμματα συμβολίζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές, που προέκυψαν από την δοκιμασία $LSD_{5\%}$. Η ένδειξη “ns” υποδηλώνει την μη στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των επεμβάσεων.

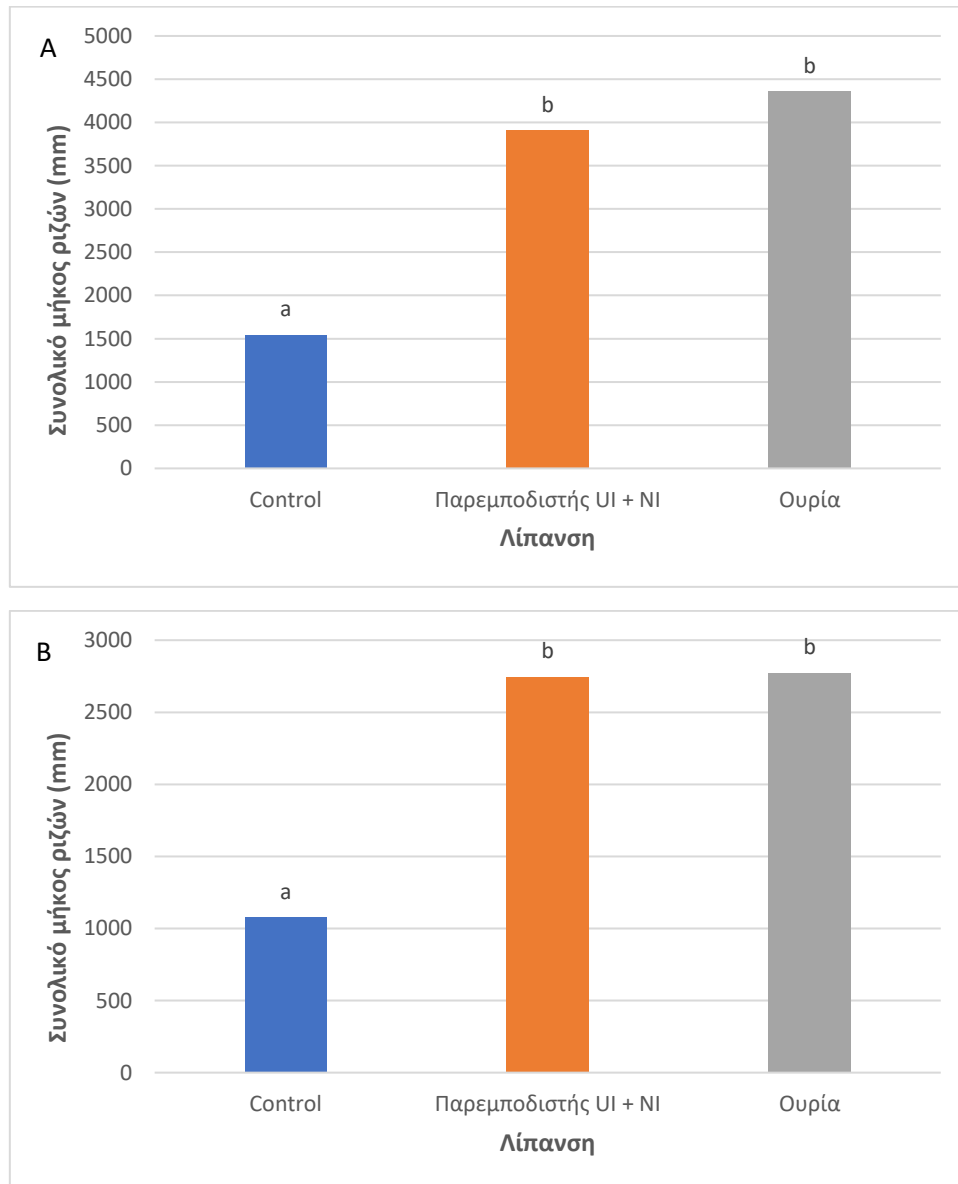
120 ΗΑΣ

Πίνακας 13: Ανάλυση διασποράς για το συνολικό μήκος της ρίζας στις 120 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$. (Οι αριθμοί με έντονη γραφή σηματοδοτούν τον παράγοντα που έδωσε στατιστικά σημαντικές διαφορές.)

	BE	AT	MT	F	P
ΛΙΠΑΝΣΗ	2	24557226,126	12278613,063	9,341	0,002
ΑΠΟΣΤΑΣΗ	1	6877321,352	6877321,352	5,232	0,055
ΛΙΠΑΝΣΗ X ΑΠΟΣΤΑΣΗ	2	1279978,290	639989,145	0,487	0,622
Υπόλοιπο	18	23660864,082	1314492,449		
Σύνολο	23	56375389,850	2451103,907		

Το συνολικό μήκος της ρίζας στο δείγμα που λήφθηκε (100 cm^3), φάνηκε να διαφέρει στατιστικώς σημαντικά ($p=0,002$) για τον παράγοντα της λίπανσης. Αντίθετα, ο παράγοντας της απόστασης σποράς δεν επηρέασε στατιστικώς σημαντικά τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης (**Πίνακας 13**). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα μόνο ο παράγοντας της λίπανσης

επηρέασε στατιστικώς σημαντικά τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης. Η αλληλεπίδραση των δύο παραγόντων δεν επηρέασε στατιστικώς σημαντικά τα αποτελέσματα. Η μέγιστη τιμή σημειώθηκε στην επέμβαση με ουρία με 2774,998 mm.



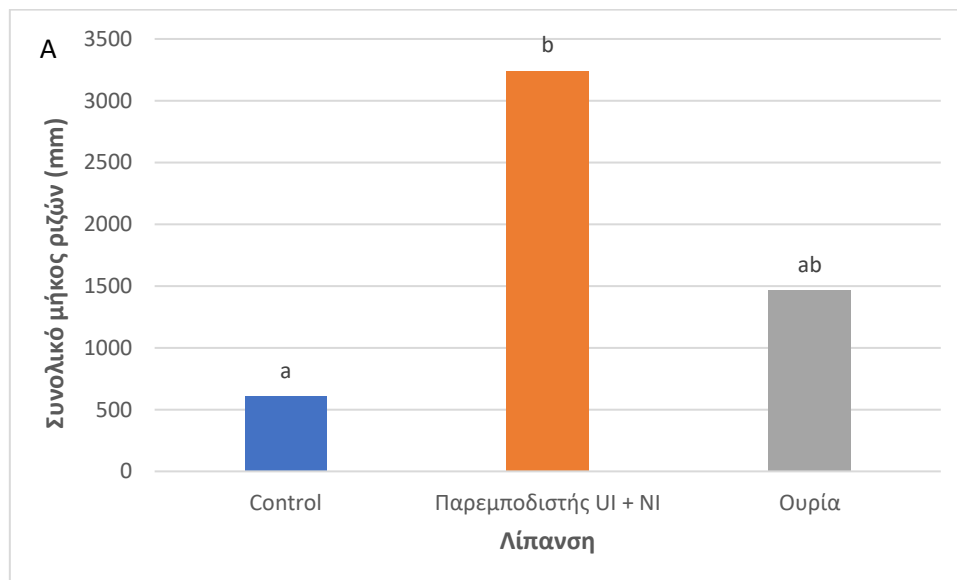
Διάγραμμα 15: Επίδραση του παράγοντα της λίπανσης στις διαφορετικές αποστάσεις σποράς για το συνολικό μήκος της ρίζας του δείγματος στις 120 ΗΑΣ. Στο γράφημα Α παρουσιάζονται οι διαφορές που παρατηρήθηκαν στην απόσταση σποράς D1 και στο γράφημα Β οι διαφορές για την απόσταση σποράς D2. Τα διαφορετικά γράμματα συμβολίζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές, που προέκυψαν από την δοκιμασία $LSD_{5\%}$. Η ένδειξη “ns” υποδηλώνει την μη στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των επεμβάσεων.

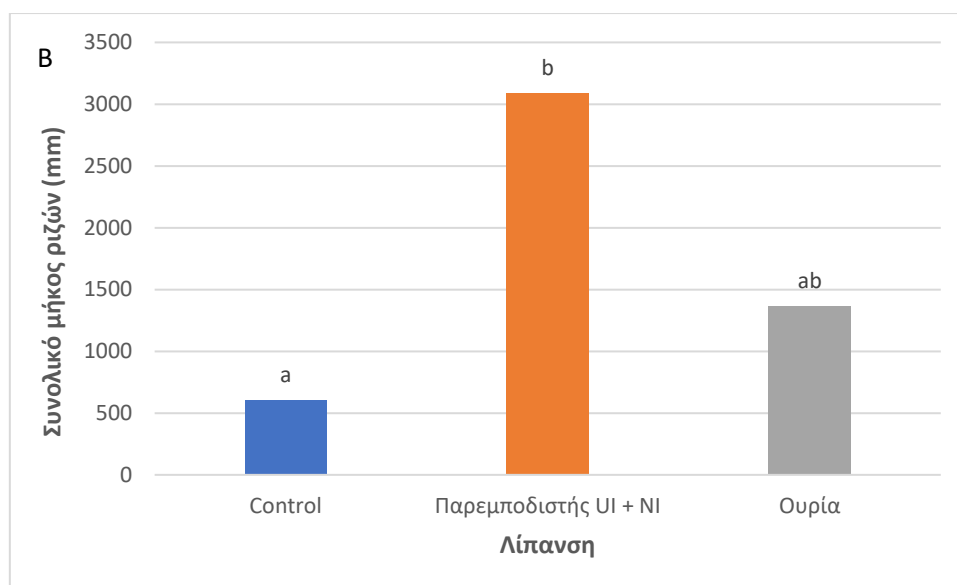
150 ΗΑΣ

Πίνακας 14: Ανάλυση διασποράς για το συνολικό μήκος της ρίζας στις 150 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$. (Οι αριθμοί με έντονη γραφή σηματοδοτούν τον παράγοντα που έδωσε στατιστικά σημαντικές διαφορές.)

	ΒΕ	ΑΤ	ΜΤ	F	P
ΛΙΠΑΝΣΗ	2	27400462,021	13700231,010	69,064	<0,001
ΑΠΟΣΤΑΣΗ	1	47274,286	47274,286	0,238	0,631
ΛΙΠΑΝΣΗ Χ ΑΠΟΣΤΑΣΗ	2	21637,159	10818,579	0,0545	0,947
Υπόλοιπο	18	3570663,181	198370,177		
Σύνολο	23	31040036,647	1349566,811		

Το συνολικό μήκος της ρίζας στο δείγμα που λήφθηκε (100 cm^3), φάνηκε να διαφέρει στατιστικώς σημαντικά ($p<0,001$) για τον παράγοντα της λίπανσης. Αντίθετα, ο παράγοντας της απόστασης σποράς δεν επηρέασε στατιστικώς σημαντικά τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης (**Πίνακας 14**). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα μόνο ο παράγοντας της λίπανσης επηρέασε στατιστικώς σημαντικά τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης. Η αλληλεπίδραση των δύο παραγόντων δεν επηρέασε στατιστικώς σημαντικά τα αποτελέσματα. Η μέγιστη τιμή σημειώθηκε στην επέμβαση με ουρία με $3241,79 \text{ mm}$.





Διάγραμμα 16: Επίδραση του παράγοντα της λίπανσης στις διαφορετικές αποστάσεις σποράς για το συνολικό μήκος της ρίζας του δείγματος στις 150 ΗΑΣ. Στο γράφημα A παρουσιάζονται οι διαφορές που παρατηρήθηκαν στην απόσταση σποράς D1 και στο γράφημα B οι διαφορές για την απόσταση σποράς D2. Τα διαφορετικά γράμματα συμβολίζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές, που προέκυψαν από την δοκιμασία $LSD_{5\%}$. Η ένδειξη “ns” υποδηλώνει την μη στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των επεμβάσεων.

3.4 Περίμετρος ρίζας

60 ΗΑΣ

Πίνακας 15: Ανάλυση διασποράς για την περίμετρο της ρίζας στις 60 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$. (Οι αριθμοί με έντονη γραφή σηματοδοτούν τον παράγοντα που έδωσε στατιστικά σημαντικές διαφορές.)

	ΒΕ	ΑΤ	ΜΤ	F	P
ΛΙΠΑΝΣΗ	2	855349,133	427674,567	1,448	0,261
ΑΠΟΣΤΑΣΗ	1	94245,277	94245,277	0,319	0,579
ΛΙΠΑΝΣΗ Χ ΑΠΟΣΤΑΣΗ	2	1683854,102	841927,051	2,851	0,084
ΥΠΟΛΟΙΠΟ	18	5316075,299	295337,517		
ΣΥΝΟΛΟ	23	7949523,811	345631,470		

Η περίμετρος της ρίζας στο δείγμα που λήφθηκε (100 cm^3), φάνηκε να μην διαφέρει στατιστικώς σημαντικά και για τον παράγοντα της λίπανσης και για τον παράγοντα της απόστασης σποράς (**Πίνακας 15**).

90 ΗΑΣ

Πίνακας 16: Ανάλυση διασποράς για την περίμετρο της ρίζας στις 90 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$. (Οι αριθμοί με έντονη γραφή σηματοδοτούν τον παράγοντα που έδωσε στατιστικά σημαντικές διαφορές.)

	ΒΕ	ΑΤ	ΜΤ	F	P
ΛΙΠΑΝΣΗ	2	119321543,077	59660771,538	1,448	0,261
ΑΠΟΣΤΑΣΗ	1	13147217,841	13147217,841	0,319	0,579
ΛΙΠΑΝΣΗ Χ ΑΠΟΣΤΑΣΗ	2	234898175,696	117449087,848	2,851	0,084
ΥΠΟΛΟΙΠΟ	18	741594279,754	41199682,209		
ΣΥΝΟΛΟ	23	1108961216,368	48215705,059		

Η περίμετρος της ρίζας στο δείγμα που λήφθηκε (100 cm^3), φάνηκε να μην διαφέρει στατιστικώς σημαντικά και για τον παράγοντα της λίπανσης και για τον παράγοντα της απόστασης σποράς (**Πίνακας 16**).

120 ΗΑΣ

Πίνακας 17: Ανάλυση διασποράς για την περίμετρο της ρίζας στις 120 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$. (Οι αριθμοί με έντονη γραφή σηματοδοτούν τον παράγοντα που έδωσε στατιστικά σημαντικές διαφορές.)

	ΒΕ	ΑΤ	ΜΤ	F	P
ΛΙΠΑΝΣΗ	2	1293570,202	646785,101	0,317	0,732
ΑΠΟΣΤΑΣΗ	1	1056489,863	1056489,863	0,517	0,481
ΛΙΠΑΝΣΗ Χ ΑΠΟΣΤΑΣΗ	2	19247,594	9623,797	0,00471	0,995
ΥΠΟΛΟΙΠΟ	18	36750016,191	2041667,566		
ΣΥΝΟΛΟ	23	39119323,850	1700840,167		

Η περίμετρος της ρίζας στο δείγμα που λήφθηκε (100 cm^3), φάνηκε να μην διαφέρει στατιστικώς σημαντικά και για τον παράγοντα της λίπανσης και για τον παράγοντα της απόστασης σποράς (**Πίνακας 17**).

150 ΗΑΣ

Πίνακας 18: Ανάλυση διασποράς για την περίμετρο της ρίζας στις 150 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$. (Οι αριθμοί με έντονη γραφή σηματοδοτούν τον παράγοντα που έδωσε στατιστικά σημαντικές διαφορές.)

	ΒΕ	ΑΤ	ΜΤ	F	P
ΛΙΠΑΝΣΗ	2	2812436,740	1406218,370	1,507	0,248
ΑΠΟΣΤΑΣΗ	1	1250825,566	1250825,566	1,340	0,262
ΛΙΠΑΝΣΗ Χ ΑΠΟΣΤΑΣΗ	2	3266283,980	1633141,990	1,750	0,202
ΥΠΟΛΟΙΠΟ	18	16798857,097	933269,839		
ΣΥΝΟΛΟ	23	24128403,382	1049061,017		

Η περίμετρος της ρίζας στο δείγμα που λήφθηκε (100 cm^3), φάνηκε να μην διαφέρει στατιστικώς σημαντικά και για τον παράγοντα της λίπανσης και για τον παράγοντα της απόστασης σποράς (**Πίνακας 18**).

3.5 Διάμετρος ρίζας**60 ΗΑΣ**

Πίνακας 19: Ανάλυση διασποράς για τη μέση διάμετρο της ρίζας στις 60 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$. (Οι αριθμοί με έντονη γραφή σηματοδοτούν τον παράγοντα που έδωσε στατιστικά σημαντικές διαφορές.)

	ΒΕ	ΑΤ	ΜΤ	F	P
ΛΙΠΑΝΣΗ	2	0,00608	0,00304	0,671	0,524
ΑΠΟΣΤΑΣΗ	1	0,000160	0,000160	0,0354	0,853
ΛΙΠΑΝΣΗ Χ ΑΠΟΣΤΑΣΗ	2	0,00567	0,00284	0,626	0,546
ΥΠΟΛΟΙΠΟ	18	0,0815	0,00453		
ΣΥΝΟΛΟ	23	0,0934	0,00406		

Η διάμετρος της ρίζας στο δείγμα που λήφθηκε (100 cm^3), φάνηκε να μην διαφέρει στατιστικώς σημαντικά και για τον παράγοντα της λίπανσης και για τον παράγοντα της απόστασης σποράς (**Πίνακας 19**).

90 ΗΑΣ

Πίνακας 20: Ανάλυση διασποράς για τη μέση διάμετρο της ρίζας στις 90 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$. (Οι αριθμοί με έντονη γραφή σηματοδοτούν τον παράγοντα που έδωσε στατιστικά σημαντικές διαφορές.)

	ΒΕ	ΑΤ	ΜΤ	F	P
ΛΙΠΑΝΣΗ	2	0,847	0,424	0,670	0,524
ΑΠΟΣΤΑΣΗ	1	0,0222	0,0222	0,0351	0,853
ΛΙΠΑΝΣΗ Χ ΑΠΟΣΤΑΣΗ	2	0,802	0,401	0,634	0,542
ΥΠΟΛΟΙΠΟ	18	11,385	0,633		
ΣΥΝΟΛΟ	23	13,057	0,568		

Η διάμετρος της ρίζας στο δείγμα που λήφθηκε (100 cm^3), φάνηκε να μην διαφέρει στατιστικώς σημαντικά και για τον παράγοντα της λίπανσης και για τον παράγοντα της απόστασης σποράς (**Πίνακας 20**).

120 ΗΑΣ

Πίνακας 21: Ανάλυση διασποράς για τη μέση διάμετρο της ρίζας στις 120 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$. (Οι αριθμοί με έντονη γραφή σηματοδοτούν τον παράγοντα που έδωσε στατιστικά σημαντικές διαφορές.)

	ΒΕ	ΑΤ	ΜΤ	F	P
ΛΙΠΑΝΣΗ	2	0,229	0,115	0,852	0,443
ΑΠΟΣΤΑΣΗ	1	0,0689	0,0689	0,512	0,483
ΛΙΠΑΝΣΗ Χ ΑΠΟΣΤΑΣΗ	2	0,156	0,0782	0,582	0,569
ΥΠΟΛΟΙΠΟ	18	2,421	0,135		
ΣΥΝΟΛΟ	23	2,876	0,125		

Η διάμετρος της ρίζας στο δείγμα που λήφθηκε (100 cm^3), φάνηκε να μην διαφέρει στατιστικώς σημαντικά και για τον παράγοντα της λίπανσης και για τον παράγοντα της απόστασης σποράς (**Πίνακας 21**).

150 ΗΑΣ

Πίνακας 22: Ανάλυση διασποράς για τη μέση διάμετρο της ρίζας στις 150 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$. (Οι αριθμοί με έντονη γραφή σηματοδοτούν τον παράγοντα που έδωσε στατιστικά σημαντικές διαφορές.)

	ΒΕ	ΑΤ	ΜΤ	F	P
ΛΙΠΑΝΣΗ	2	23,013	11,507	1,354	0,283
ΑΠΟΣΤΑΣΗ	1	0,00235	0,00235	0,000277	0,987
ΛΙΠΑΝΣΗ Χ ΑΠΟΣΤΑΣΗ	2	1,943	0,971	0,114	0,893
Υπόλοιπο	18	152,943	8,497		
Σύνολο	23	177,901	7,735		

Η διάμετρος της ρίζας στο δείγμα που λήφθηκε (100 cm³), φάνηκε να μην διαφέρει στατιστικώς σημαντικά και για τον παράγοντα της λίπανσης και για τον παράγοντα της απόστασης σποράς (**Πίνακας 22**).

3.6 Επιφάνεια ρίζας**60 ΗΑΣ**

Πίνακας 23: Ανάλυση διασποράς για την επιφάνεια της ρίζας στις 60 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$. (Οι αριθμοί με έντονη γραφή σηματοδοτούν τον παράγοντα που έδωσε στατιστικά σημαντικές διαφορές.)

	ΒΕ	ΑΤ	ΜΤ	F	P
ΛΙΠΑΝΣΗ	2	658496,460	329248,230	0,729	0,496
ΑΠΟΣΤΑΣΗ	1	203760,607	203760,607	0,451	0,510
ΛΙΠΑΝΣΗ Χ ΑΠΟΣΤΑΣΗ	2	1804771,855	902385,927	1,998	0,165
Υπόλοιπο	18	8127901,398	451550,078		
Σύνολο	23	10794930,320	469344,797		

Η επιφάνεια της ρίζας στο δείγμα που λήφθηκε (100 cm³), φάνηκε να μην διαφέρει στατιστικώς σημαντικά και για τον παράγοντα της λίπανσης και για τον παράγοντα της απόστασης σποράς (**Πίνακας 23**).

90 ΗΑΣ

Πίνακας 24: Ανάλυση διασποράς για την επιφάνεια της ρίζας στις 90 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$. (Οι αριθμοί με έντονη γραφή σηματοδοτούν τον παράγοντα που έδωσε στατιστικά σημαντικές διαφορές.)

	ΒΕ	ΑΤ	ΜΤ	F	P
ΛΙΠΑΝΣΗ	2	12814564390,241	6407282195,121	0,729	0,496
ΑΠΟΣΤΑΣΗ	1	3965240175,271	3965240175,271	0,451	0,510
ΛΙΠΑΝΣΗ Χ ΑΠΟΣΤΑΣΗ	2	35121474235,302	17560737117,651	1,998	0,165
Υπόλοιπο	18	158171636821,955	8787313156,775		
Σύνολο	23	210072915622,769	9133605027,077		

Η επιφάνεια της ρίζας στο δείγμα που λήφθηκε (100 cm^3), φάνηκε να μην διαφέρει στατιστικώς σημαντικά και για τον παράγοντα της λίπανσης και για τον παράγοντα της απόστασης σποράς (**Πίνακας 24**).

120 ΗΑΣ

Πίνακας 25: Ανάλυση διασποράς για την επιφάνεια της ρίζας στις 120 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$. (Οι αριθμοί με έντονη γραφή σηματοδοτούν τον παράγοντα που έδωσε στατιστικά σημαντικές διαφορές.)

	ΒΕ	ΑΤ	ΜΤ	F	P
ΛΙΠΑΝΣΗ	2	62498334,583	31249167,292	0,404	0,674
ΑΠΟΣΤΑΣΗ	1	15582623,266	15582623,266	0,201	0,659
ΛΙΠΑΝΣΗ Χ ΑΠΟΣΤΑΣΗ	2	4635994,933	2317997,466	0,0299	0,971
Υπόλοιπο	18	1393601567,816	77422309,323		
Σύνολο	23	1476318520,598	64187761,765		

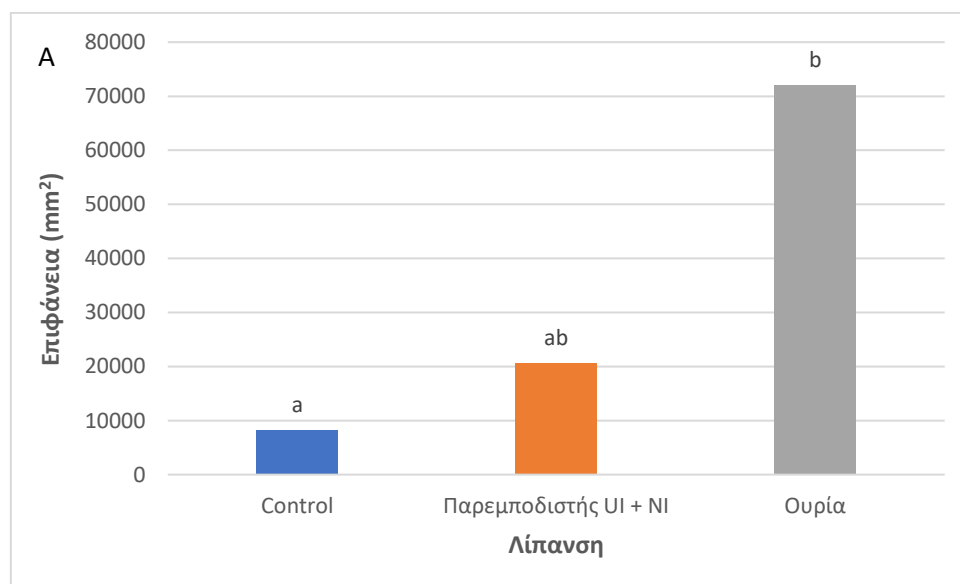
Η επιφάνεια της ρίζας στο δείγμα που λήφθηκε (100 cm^3), φάνηκε να μην διαφέρει στατιστικώς σημαντικά και για τον παράγοντα της λίπανσης και για τον παράγοντα της απόστασης σποράς (**Πίνακας 25**).

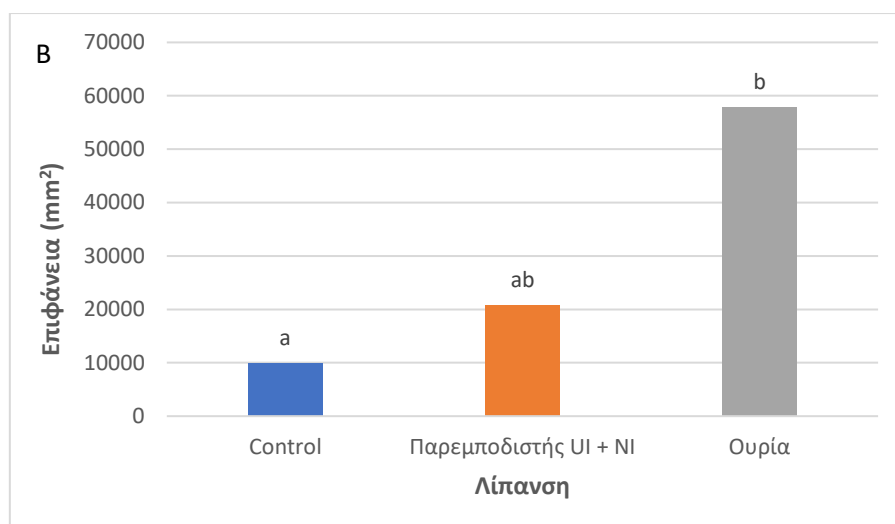
150 ΗΑΣ

Πίνακας 26: Ανάλυση διασποράς για την επιφάνεια της ρίζας στις 150 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$. (Οι αριθμοί με έντονη γραφή σηματοδοτούν τον παράγοντα που έδωσε στατιστικά σημαντικές διαφορές.)

	ΒΕ	ΑΤ	ΜΤ	F	P
ΛΙΠΑΝΣΗ	2	13903601544,809	6951800772,404	5,146	0,017
ΑΠΟΣΤΑΣΗ	1	102013332,467	102013332,467	0,0755	0,787
ΛΙΠΑΝΣΗ Χ ΑΠΟΣΤΑΣΗ	2	310109086,774	155054543,387	0,115	0,892
Υπόλοιπο	18	24317669660,917	1350981647,829		
Σύνολο	23	38633393624,966	1679712766,303		

Η επιφάνεια της ρίζας στο δείγμα που λήφθηκε (100 cm^3), φάνηκε να διαφέρει στατιστικά σημαντικά ($p=0,017$) για τον παράγοντα της λίπανσης. Αντίθετα, ο παράγοντας της απόστασης σποράς δεν επηρέασε στατιστικώς σημαντικά τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης (**Πίνακας 26**). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα μόνο ο παράγοντας της λίπανσης επηρέασε στατιστικώς σημαντικά τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης. Η αλληλεπίδραση των δύο παραγόντων δεν επηρέασε στατιστικώς σημαντικά τα αποτελέσματα. Η μέγιστη τιμή σημειώθηκε στην επέμβαση με ουρία με $72052,25 \text{ mm}^2$.





Διάγραμμα 17: Επίδραση του παράγοντα της λίπανσης στις διαφορετικές αποστάσεις σποράς για την επιφάνεια του δείγματος στις 150 ΗΑΣ. Στο γράφημα Α παρουσιάζονται οι διαφορές που παρατηρήθηκαν στην απόσταση σποράς D1 και στο γράφημα Β οι διαφορές για την απόσταση σποράς D2. Τα διαφορετικά γράμματα συμβολίζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές, που προέκυψαν από την δοκιμασία LSD_{5%}. Η ένδειξη “ns” υποδηλώνει την μη στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των επεμβάσεων.

3.7 AMF

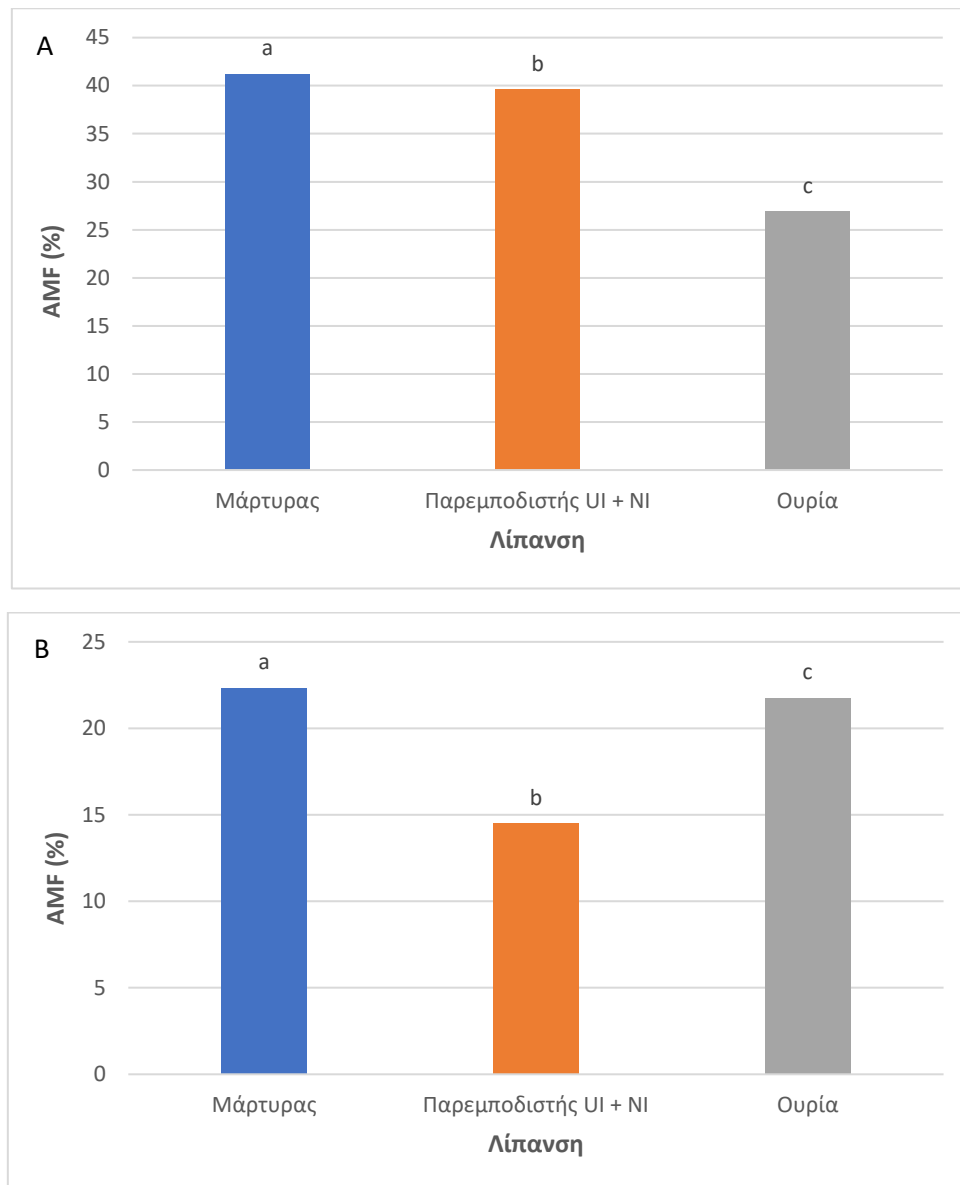
60 ΗΑΣ

Πίνακας 27: Ανάλυση διασποράς για τη συχνότητα των μυκόρριζων στις 60 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$. (Οι αριθμοί με έντονη γραφή σηματοδοτούν τον παράγοντα που έδωσε στατιστικά σημαντικές διαφορές).

	ΒΕ	ΑΤ	ΜΤ	F	P
ΛΙΠΑΝΣΗ	2	0,257	0,129	25,372	<0,001
ΑΠΟΣΤΑΣΗ	1	0,000648	0,000648	0,128	0,725
ΛΙΠΑΝΣΗ Χ ΑΠΟΣΤΑΣΗ	2	0,000305	0,000152	0,03	0,97
Υπόλοιπο	19	0,0964	0,00507		
Σύνολο	24	0,355	0,0148		

Η συχνότητα των μυκόρριζων στο δείγμα που λήφθηκε (100 cm³), φάνηκε να διαφέρει στατιστικώς σημαντικά ($p<0,001$) για τον παράγοντα της λίπανσης. Αντίθετα, ο παράγοντας της απόστασης σποράς δεν επηρέασε στατιστικώς σημαντικά τα αποτελέσματα της παρούσας

μελέτης (Πίνακας 27). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα μόνο ο παράγοντας της λίπανσης επηρέασε στατιστικώς σημαντικά τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης. Η αλληλεπίδραση των δύο παραγόντων δεν επηρέασε στατιστικώς σημαντικά τα αποτελέσματα. Η μέγιστη τιμή σημειώθηκε στον μάρτυρα με 41,21%.



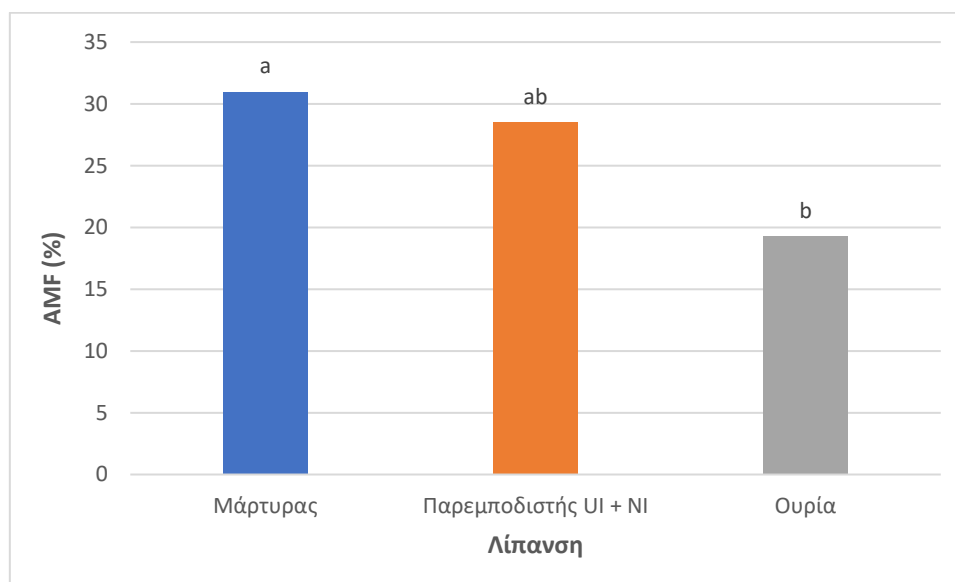
Διάγραμμα 18: Επίδραση του παράγοντα της λίπανσης στις διαφορετικές αποστάσεις σποράς για το ποσοστό των μυκόρριζων του δείγματος στις 60 ΗΑΣ. Στο γράφημα A παρουσιάζονται οι διαφορές που παρατηρήθηκαν στην απόσταση σποράς D1 και στο γράφημα B οι διαφορές για την απόσταση σποράς D2. Τα διαφορετικά γράμματα συμβολίζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές, που προέκυψαν από την δοκιμασία $LSD_{5\%}$. Η ένδειξη “ns” υποδηλώνει την μη στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των επεμβάσεων.

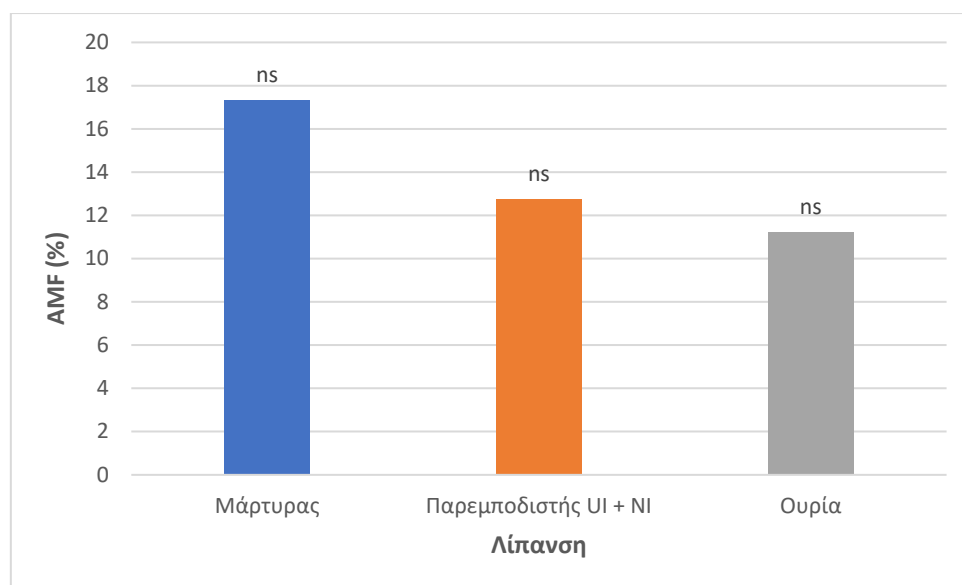
90 ΗΑΣ

Πίνακας 28: Ανάλυση διασποράς για τη συχνότητα των μυκόρριζων στις 90 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$. (Οι αριθμοί με έντονη γραφή σηματοδοτούν τον παράγοντα που έδωσε στατιστικά σημαντικές διαφορές).

	ΒΕ	ΑΤ	ΜΤ	F	P
ΛΙΠΑΝΣΗ	2	0,101	0,0504	5,706	0,011
ΑΠΟΣΤΑΣΗ	1	0,00909	0,00909	1,029	0,323
ΛΙΠΑΝΣΗ Χ ΑΠΟΣΤΑΣΗ	2	0,00841	0,00421	0,476	0,628
Υπόλοιπο	19	0,168	0,00883		
Σύνολο	24	0,287	0,012		

Η συχνότητα των μυκόρριζων στο δείγμα που λήφθηκε (100 cm^3), φάνηκε να διαφέρει στατιστικώς σημαντικά ($p=0,011$) για τον παράγοντα της λίπανσης. Αντίθετα, ο παράγοντας της απόστασης σποράς δεν επηρέασε στατιστικώς σημαντικά τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης (**Πίνακας 28**). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα μόνο ο παράγοντας της λίπανσης επηρέασε στατιστικώς σημαντικά τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης. Η αλληλεπίδραση των δύο παραγόντων δεν επηρέασε στατιστικώς σημαντικά τα αποτελέσματα. Η μέγιστη τιμή σημειώθηκε στον μάρτυρα με 30,98%.





Διάγραμμα 19: Επίδραση του παράγοντα της λίπανσης στις διαφορετικές αποστάσεις σποράς για το ποσοστό των μυκόρριζων του δείγματος στις 90 ΗΑΣ. Στο γράφημα Α παρουσιάζονται οι διαφορές που παρατηρήθηκαν στην απόσταση σποράς D1 και στο γράφημα Β οι διαφορές για την απόσταση σποράς D2. Τα διαφορετικά γράμματα συμβολίζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές, που προέκυψαν από την δοκιμασία $LSD_{5\%}$. Η ένδειξη “ns” υποδηλώνει την μη στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των επεμβάσεων.

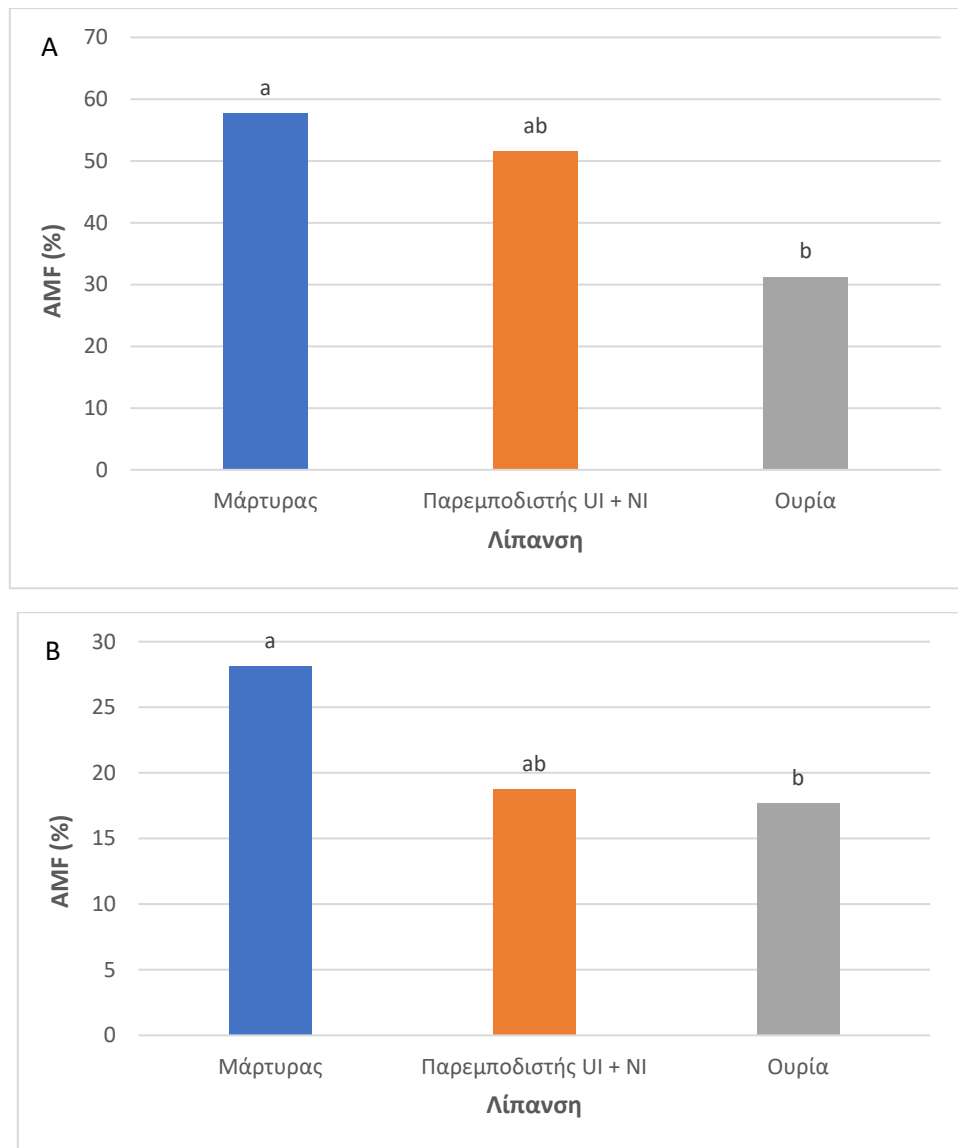
120 ΗΑΣ

Πίνακας 29: Ανάλυση διασποράς για τη συχνότητα των μυκόρριζων στις 120 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$. (Οι αριθμοί με έντονη γραφή σηματοδοτούν τον παράγοντα που έδωσε στατιστικά σημαντικές διαφορές).

	ΒΕ	ΑΤ	ΜΤ	F	P
ΛΙΠΑΝΣΗ	2	0,496	0,248	9,185	0,002
ΑΠΟΣΤΑΣΗ	1	0,0029	0,0029	0,108	0,746
ΛΙΠΑΝΣΗ X ΑΠΟΣΤΑΣΗ	2	0,0053	0,00265	0,0983	0,907
Υπόλοιπο	19	0,513	0,027		
Σύνολο	24	1,017	0,0424		

Η συχνότητα των μυκόρριζων στο δείγμα που λήφθηκε (100 cm^3), φάνηκε να διαφέρει στατιστικώς σημαντικά ($p=0,002$) για τον παράγοντα της λίπανσης. Αντίθετα, ο παράγοντας της απόστασης σποράς δεν επηρέασε στατιστικώς σημαντικά τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης (**Πίνακας 29**). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα μόνο ο παράγοντας της λίπανσης

επηρέασε στατιστικώς σημαντικά τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης. Η αλληλεπίδραση των δύο παραγόντων δεν επηρέασε στατιστικώς σημαντικά τα αποτελέσματα. Η μέγιστη τιμή σημειώθηκε στον μάρτυρα με 57,74%.



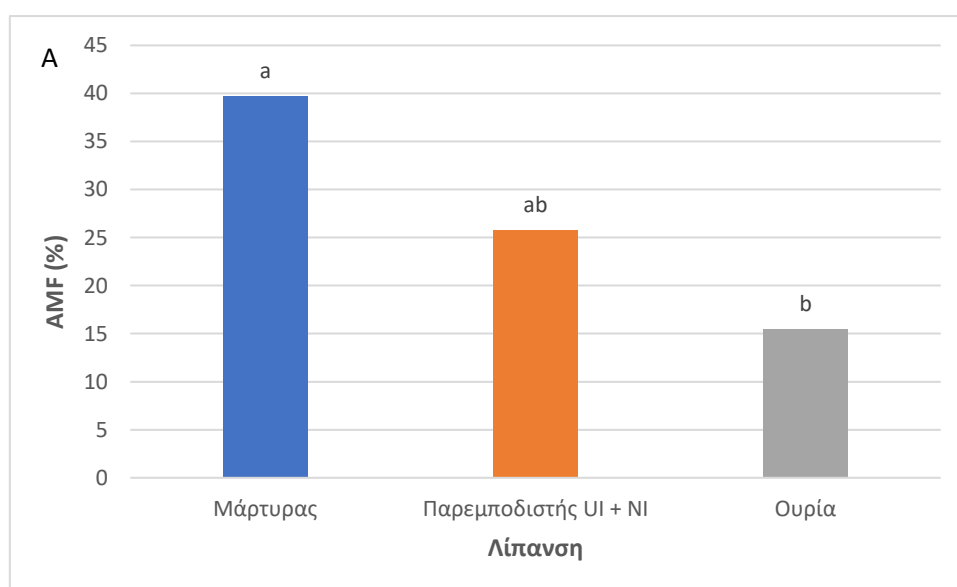
Διάγραμμα 20: Επίδραση του παράγοντα της λίπανσης στις διαφορετικές αποστάσεις σποράς για το ποσοστό των μυκόρριζων του δείγματος στις 120 ΗΑΣ. Στο γράφημα A παρουσιάζονται οι διαφορές που παρατηρήθηκαν στην απόσταση σποράς D1 και στο γράφημα B οι διαφορές για την απόσταση σποράς D2. Τα διαφορετικά γράμματα συμβολίζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές, που προέκυψαν από την δοκιμασία $LSD_{5\%}$. Η ένδειξη “ns” υποδηλώνει την μη στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των επεμβάσεων.

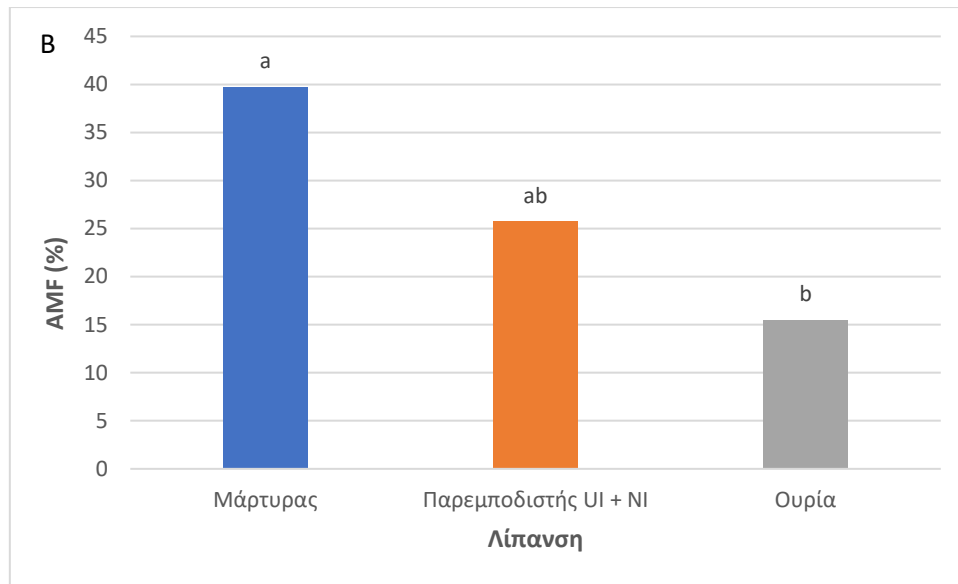
150 ΗΑΣ

Πίνακας 30: Ανάλυση διασποράς για τη συχνότητα των μυκόρριζων στις 150 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$. (Οι αριθμοί με έντονη γραφή σηματοδοτούν τον παράγοντα που έδωσε στατιστικά σημαντικές διαφορές).

	ΒΕ	ΑΤ	ΜΤ	F	P
ΛΙΠΑΝΣΗ	2	0,11	0,0552	4,664	0,022
ΑΠΟΣΤΑΣΗ	1	0,037	0,037	3,128	0,093
ΛΙΠΑΝΣΗ Χ ΑΠΟΣΤΑΣΗ	2	0,0203	0,0101	0,857	0,44
Υπόλοιπο	19	0,225	0,0118		
Σύνολο	24	0,395	0,0165		

Η συχνότητα των μυκόρριζων στο δείγμα που λήφθηκε (100 cm^3), φάνηκε να διαφέρει στατιστικώς σημαντικά ($p=0,022$) για τον παράγοντα της λίπανσης. Αντίθετα, ο παράγοντας της απόστασης σποράς δεν επηρέασε στατιστικώς σημαντικά τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης (**Πίνακας 30**). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα μόνο ο παράγοντας της λίπανσης επηρέασε στατιστικώς σημαντικά τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης. Η αλληλεπίδραση των δύο παραγόντων δεν επηρέασε στατιστικώς σημαντικά τα αποτελέσματα. Η μέγιστη τιμή σημειώθηκε στον μάρτυρα με 39,74%.





Διάγραμμα 21: Επίδραση του παράγοντα της λίπανσης στις διαφορετικές αποστάσεις σποράς για το ποσοστό των μυκόρριζων του δείγματος στις 150 ΗΑΣ. Στο γράφημα A παρουσιάζονται οι διαφορές που παρατηρήθηκαν στην απόσταση σποράς D1 και στο γράφημα B οι διαφορές για την απόσταση σποράς D2. Τα διαφορετικά γράμματα συμβολίζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές, που προέκυψαν από την δοκιμασία $LSD_{5\%}$. Η ένδειξη “ns” υποδηλώνει την μη στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των επεμβάσεων.

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα για όλες τις κατηγορίες μετρήσεων. Στον **(Πίνακα 31)** παρουσιάζεται η αλληλεπίδραση των μετρήσεων των δειγμάτων λιναριού με τους δείκτες σημαντικότητάς τους.

1. Αριθμός ριζιδίων

Ο αριθμός των ριζιδίων του δείγματος έδωσε στατιστικώς σημαντικά αποτελέσματα για τον παράγοντα της λίπανσης στις 60, 120 και 150 ΗΑΣ. Στις 150 ΗΑΣ η μέγιστη τιμή σημειώθηκε στην επέμβαση με παρεμποδιστή νιτροποίησης και ουρεάσης όπως και στην μελέτη των Mikhailouskaya (2006) και Paratheohari et al., (2008) που παρατηρήθηκε αύξηση των ριζιδίων. Στον **(Πίνακα 31)** παρουσιάζεται η θετική συσχέτιση μεταξύ του αριθμού των ριζιδίων και του αριθμού των διακλαδώσεων και η αρνητική συσχέτιση μεταξύ του ποσοστού μυκόρριζων, με δείκτη σημαντικότητας $p=0,001-0,01$. Άρα, όσο αυξάνεται ο αριθμός των ριζιδίων του δείγματός μας τόσο αυξάνεται το μήκος της ρίζας και ο αριθμός των διακλαδώσεων και μειώνεται το ποσοστό αποικισμού των μυκόρριζων.

2. Αριθμός διακλαδώσεων

Στον αριθμό των διακλαδώσεων παρατηρήσαμε στατιστικώς σημαντικά αποτελέσματα στον παράγοντα της λίπανσης και της απόστασης σποράς της καλλιέργειας. Στις 60 ΗΑΣ η μέγιστη τιμή σημειώθηκε στην επέμβαση με ουρία στην απόσταση D2 όπως συνέβη και στις 90 ΗΑΣ. Στις 120 ΗΑΣ δεν βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στον αριθμό των διακλαδώσεων ενώ στις 150 ΗΑΣ μόνο η επέμβαση με ουρία ήταν στατιστικά σημαντική όπως στη μελέτη των Sertse et al., (2019) και Diederichsen and Ulrich (2009). Ο αριθμός των διακλαδώσεων παρουσίασε ασθενή θετική συσχέτιση με την επιφάνεια της ρίζας και αρνητική συσχέτιση με το ποσοστό αποικισμού των μυκόρριζων **(Πίνακας 31)**.

3. Συνολικό μήκος ρίζας

Τα αποτελέσματα για το συνολικό μήκος της ρίζας του λιναριού έδωσαν στατιστικώς σημαντικά αποτελέσματα σε όλες τις μετρήσεις. Στις 60 και στις 90 ΗΑΣ η επέμβαση με παρεμποδιστή νιτροποίησης και ουρεάσης έδωσε στατιστικώς σημαντικά αποτελέσματα ενώ στις 120 και 150 ΗΑΣ η επέμβαση με ουρία έδωσε στατιστικώς σημαντικά αποτελέσματα. Τα αποτελέσματά μας συμφωνούν με την μελέτη των Mikhailouskaya (2006) και Thingstrup et al., (1998), όπου η χρήση της αζωτούχου λίπανσης επηρέασε την ανάπτυξη της ρίζας και τον

αριθμό των ριζιδίων. Στον **(Πίνακα 31)** παρατηρούμε ότι όσο μεγαλύτερο είναι το συνολικό μήκος της ρίζας τόσο αυξάνονται οι διακλαδώσεις στο ριζικό σύστημα καθώς υπάρχει ισχυρή θετική συσχέτιση μεταξύ τους. Παρατηρούμε αρνητική συσχέτιση με τον αποικισμό των μυκόρριζων.

4. Περίμετρος και διάμετρος ρίζας

Για την περίμετρο και τη διάμετρο της ρίζας η λίπανση και οι αποστάσεις σποράς δεν έδωσαν στατιστικά σημαντικά αποτελέσματα σε καμία από τις μετρήσεις. Η διάμετρος της ρίζας παρουσιάζει ισχυρή θετική συσχέτιση με την ανάπτυξη του αποικισμού των μυκόρριζων με δείκτη σημαντικότητας $p < 0,001$ όπως στη μελέτη των Newman (1966) και Charlet et al., (2010).

5. Επιφάνεια ρίζας

Για τη μέτρηση της επιφάνειας της ρίζας δεν παρουσιάστηκαν σημαντικές διαφορές στις επεμβάσεις με ουρία και στις επεμβάσεις με παρεμποδιστή νιτροποίησης και ουρέασης σε όλες τις μετρήσεις όπως και στην μελέτη των Kakabouki et al., (2020) και Newman (1966). Στατιστικώς σημαντική διαφορά παρουσιάστηκε μόνο στην τελευταία μέτρηση στις 150 ΗΑΣ όπου η ουρία έδωσε τις υψηλότερες τιμές.

6. AMF

Ο παράγοντας της λίπανσης έδωσε στατιστικώς σημαντικά αποτελέσματα στον αριθμό των μυκόρριζων που αναπτύχθηκαν στο δείγμα σε όλες τις μετρήσεις στις 60,90,120 και 150 ΗΑΣ. Το υψηλότερο ποσοστό αποικισμού μυκόρριζων παρατηρήθηκε στον μάρτυρα στις 120 ΗΑΣ. Όπως και στην μελέτη των Kakabouki et al., (2023) και Verzeaux et al., (2016) έτσι και στην μελέτη μας παρατηρήθηκε μια αλληλεπίδραση μεταξύ της αζωτούχου λίπανσης και της ανάπτυξης μυκόρριζων καθώς διακρίναμε μεγαλύτερο ποσοστό αποικισμού μυκόρριζων στον μάρτυρα (χωρίς προσθήκη λιπάσματος).

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Συμπερασματικά, από τις παραπάνω μετρήσεις συμπεραίνουμε ότι η αζωτούχος λίπανση δεν παρουσίασε διαφορές στην περίμετρο και την επιφάνεια της ρίζας. Υπήρξε θετική συσχέτιση μεταξύ της διαμέτρου της ρίζας και του αποικισμού των μυκόρριζων. Επιπλέον, παρατηρήθηκε μια θετική συσχέτιση της αζωτούχου λίπανσης με τον αριθμό των ριζιδίων, το μήκος της ρίζας και τον αριθμό των διακλαδώσεων. Τέλος, η αζωτούχος λίπανση ανέστειλε την ανάπτυξη του αριθμού των μυκόρριζων καθώς παρατηρήθηκε μεγαλύτερο ποσοστό αποικισμού στον μάρτυρα (χωρίς προσθήκη λιπάσματος).

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

❖ Ξενογλώσση

- Aiqing, S., Somayanda, I., Sebastian, S. V., Singh, K., Gill, K., Prasad, P. V. V., & Jagadish, S. K.** (2018). Heat stress during flowering affects time of day of flowering, seed set, and grain quality in spring wheat. *Crop Science*, 58(1), 380-392.
- Alessi, J., & Power, J. F.** (1970). Influence of Row Spacing, Irrigation, and Weeds on Dryland Flax Yield, Quality, and Water Use 1. *Agronomy Journal*, 62(5), 635-637.
- Allaby, R. G., Peterson, G. W., Merriwether, D. A., & Fu, Y. B.** (2005). Evidence of the domestication history of flax (*Linum usitatissimum* L.) from genetic diversity of the *sad2* locus. *Theoretical and Applied Genetics*, 112, 58-65.
- Allinson, D. W., & Dzialo, C.** (1981). The influence of lead, cadmium, and nickel on the growth of ryegrass and oats. *Plant and Soil*, 62, 81-89.
- Atapattu, A. J., Prasantha, B. D., Amaratunga, K. S. P., & Marambe, B.** (2018). Increased rate of potassium fertilizer at the time of heading enhances the quality of direct seeded rice. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 5(1), 1-9.
- Azcón-Aguilar, C., & Barea, J. M.** (1997). Arbuscular mycorrhizas and biological control of soil-borne plant pathogens—an overview of the mechanisms involved. *Mycorrhiza*, 6, 457-464.
- Bailey, L. H.** (1949). Manual of cultivated plants. *Manual of Cultivated Plants.*, (Rev. Edn.).
- Bakry, B. A., Nofal, O. A., Zeidan, M. S., & Hozayn, M.** (2015). Potassium and zinc in relation to improve flax varieties yield and yield components as grown under sandy soil conditions. *Agricultural sciences*, 6(01), 152.
- Bao, Y., Zou, Y., Tian, R., Huang, X., Liu, L., Wang, B., & Peng, D.** (2023). Transcriptome analysis of fiber development under high-temperature stress in flax (*Linum usitatissimum* L.). *Industrial Crops and Products*, 195, 116019.

- Barea, J. M., & Jeffries, P.** (1995). Arbuscular mycorrhizas in sustainable soil-plant systems. *Mycorrhiza: structure, function, molecular biology and biotechnology*, 521-560.
- Barlow, P. W., & Adam, J. S.** (1988). The position and growth of lateral roots on cultured root axes of tomato, *Lycopersicon esculentum* (Solanaceae). *Plant Systematics and Evolution*, 158, 141-154.
- Baszyński, T., Wajda, L., Krol, M., Wolińska, D., Krupa, Z., & Tukendorf, A.** (1980). Photosynthetic activities of cadmium-treated tomato plants. *Physiologia plantarum*, 48(3), 365-370.
- Batool, A., Akram N, LV G-C, Xong, J., Tian, T., Wang, J., Cheng, Z.-G., et al.** (2018). Root-to-shoot communication and its signal cross talk in plants: a physiological and agronomic prospective. *Pak. J. Bot.* 50, 2059–2067.
- Bauer, P. J., & Frederick, J. R.** (1997, June). Winter crop effect on double-cropped cotton grown with and without irrigation. In *Proc. of the 20th Ann. Southern Conservation Tillage Conf. for Sustainable Agric* (pp. 220-222).
- Bauer, P. J., Stone, K. C., Foulk, J. A., & Dodd, R. B.** (2015). Irrigation and cultivar effect on flax fiber and seed yield in the Southeast USA. *Industrial Crops and Products*, 67, 7-10.
- Bazzaz, F. A., Rolfe, G. L., & Carlson, R. W.** (1974). Effect of Cd on photosynthesis and transpiration of excised leaves of corn and sunflower. *Physiologia Plantarum*, 32(4), 373-376.
- Beard, B. H., & Comstock, V. E.** (1980). Flax. *Hybridization of Crop Plants*, 357-366.
- Bell, A. R., & Nalewaja, J. D.** (1968). Competitive effects of wild oat in flax. *Weed Science*, 16(4), 501-504.
- Berrow, M. L., & Webber, J.** (1972). Trace elements in sewage sludges. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 23(1), 93-100.

- Berti, M., Fischer, S., Wilckens, R., & Hevia, F.** (2009). Respuesta a la Fertilización N, P y K en Lino Oleaginoso en la Zona Centro Sur de Chile. *Chilean journal of agricultural research*, 69(2), 145-153.
- Bilalis, D. J., Roussis, I., Cheimona, N., Kakabouki, I., & Travlos, I.** (2018). Organic agriculture and innovative feed crops. *Agricultural Research Updates*, 23, 55-100.
- Bilalis, D., Sidiras, N., Vavoulidou, E., & Konstantas, A.** (2009). Earthworm populations as affected by crop practices on clay loam soil in a Mediterranean climate. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B—Soil and Plant Science*, 59(5), 440-446.
- Birch, L. D., & Bachofen, R.** (2017). Effects of microorganisms on the environmental mobility of radionuclides. In *Soil biochemistry* (pp. 483-528). Routledge.
- Blanchart, E., Albrecht, A., Chevallier, T., & Hartmann, C.** (2004). The respective roles of roots and earthworms in restoring physical properties of Vertisol under a *Digitaria decumbens* pasture (Martinique, WI). *Agriculture, ecosystems & environment*, 103(2), 343-355.
- Bock, B. R., & Kissel, D. E.** National Fertilizer Development Center—NFDC; Muscle Shoals, AL, USA: 1988. *Ammonia volatilization from urea fertilizers.*[Google Scholar].
- Borowicz, V. A.** (2001). Do arbuscular mycorrhizal fungi alter plant–pathogen relations?. *Ecology*, 82(11), 3057-3068.
- Bouwman, A. F., Boumans, L. J. M., & Batjes, N. H.** (2002). Estimation of global NH₃ volatilization loss from synthetic fertilizers and animal manure applied to arable lands and grasslands. *Global biogeochemical cycles*, 16(2), 8-1.
- Bowden, B. A., & Friesen, G.** (1967). Competition of wild oats (*Avena fatua* L.) in wheat and flax. *Weed Research*, 7(4), 349-359.
- Bremner, J. M., & McCarty, G. W.** (2021). Inhibition of nitrification in soil by allelochemicals derived from plants and plant residues. In *Soil biochemistry* (pp. 181-218). CRC Press.
- Bullock, D. G.** (1992). Crop rotation. *Critical reviews in plant sciences*, 11(4), 309-326.

- Burrows, V. D., & Olson, P. J.** (1955). Reaction of Small Grains to Various Densities of Wild Mustard and the Results Obtained After Their Removal With 2, 4-D or by Hand: I. Experiments with Wheat. *Canadian Journal of Agricultural Science*, 35(1), 68-75.
- Butenschoen, O., Marhan, S., Langel, R., & Scheu, S.** (2009). Carbon and nitrogen mobilisation by earthworms of different functional groups as affected by soil sand content. *Pedobiologia*, 52(4), 263-272.
- Callahan, B. P., Yuan, Y., & Wolfenden, R.** (2005). The burden borne by urease. *Journal of the American Chemical Society*, 127(31), 10828-10829.
- Cantarella, H.** (2007). Nitrogênio. *Fertilidade do solo*, 2, 375-470.
- Cantarella, H., Mattos, D., Quaggio, J. A., & Rigolin, A. T.** (2003). Fruit yield of Valencia sweet orange fertilized with different N sources and the loss of applied N. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 67(3), 215-223.
- Cantarella, H., Otto, R., Soares, J. R., & de Brito Silva, A. G.** (2018). Agronomic efficiency of NBPT as a urease inhibitor: A review. *Journal of advanced research*, 13, 19-27.
- Capowiez, Y., Pierret, A., & Moran, C. J.** (2003). Characterisation of the three-dimensional structure of earthworm burrow systems using image analysis and mathematical morphology. *Biology and Fertility of Soils*, 38, 301-310.
- Carducci, C. E., Oliveira, G. C. D., Lima, J. M., Rossoni, D. F., Costa, A. L. D., & Oliveira, L. M.** (2014). Distribuição espacial das raízes de cafeeiro e dos poros de dois Latossolos sob manejo conservacionista. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 18, 270-278.
- Charlet, K., Jernot, J. P., Eve, S., Gomina, M., & Bréard, J.** (2010). Multi-scale morphological characterisation of flax: From the stem to the fibrils. *Carbohydrate Polymers*, 82(1), 54-61.
- Chugh, L. K., & Sawhney, S. K.** (1996). Effect of cadmium on germination, amylases and rate of respiration of germinating pea seeds. *Environmental pollution*, 92(1), 1-5.

- Chugh, L. K., & Sawhney, S. K.** (1999). Photosynthetic activities of *Pisum sativum* seedlings grown in presence of cadmium. *Plant physiology and biochemistry*, 37(4), 297-303.
- Coskun, D., Britto, D. T., Shi, W., & Kronzucker, H. J.** (2017). Nitrogen transformations in modern agriculture and the role of biological nitrification inhibition. *Nature Plants*, 3(6), 1-10.
- Costa Junior, C., Piccolo, M. D. C., Siqueira Neto, M., Camargo, P. B. D., Cerri, C. C., & Bernoux, M.** (2012). Carbon in soil aggregates under native vegetation, pasture and agricultural systems in the Brazilian Savannah. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 36, 1311-1322.
- Cui, Z., Yan, B., Gao, Y., Wu, B., Wang, Y., Wang, H., ... & Niu, J.** (2022). Agronomic cultivation measures on productivity of oilseed flax: A review. *Oil Crop Science*, 7(1), 53-62.
- Culbertson, J. O.** (1958). *Growing Seed Flax in the North Central States* (No. 2122). US Government Printing Office.
- da Silva, E. A., de Oliveira, G. C., Carducci, C. E., Silva, B. M., de Oliveira, L. M., & Costa, J. C.** (2013). Doses crescentes de gesso agrícola, estabilidade de agregados e carbono orgânico no Cerrado Café Latossolo sob cultivo. *Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 56(1), 25-32.
- Di Cagno, R., Guidi, L., De Gara, L., & Soldatini, G. F.** (2001). Combined cadmium and ozone treatments affect photosynthesis and ascorbate-dependent defences in sunflower. *New Phytologist*, 151(3), 627-636.
- Diederichsen, A.** (2007). Ex situ collections of cultivated flax (*Linum usitatissimum* L.) and other species of the genus *Linum* L. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 54, 661-678.
- Diederichsen, A., & Ulrich, A.** (2009). Variability in stem fibre content and its association with other characteristics in 1177 flax (*Linum usitatissimum* L.) genebank accessions. *Industrial Crops and Products*, 30(1), 33-39.
- Dillman, A. C.** (1938). Natural crossing in flax.

- Drake, H. L., & Horn, M. A.** (2007). As the worm turns: the earthworm gut as a transient habitat for soil microbial biomes. *Annu. Rev. Microbiol.*, *61*, 169-189.
- Dubrovskii, I. G.** (1987). Latent embryo root system of cucumber. *Botanicheskii zhurnal*.
- Dunham, R. S., Robinson, R. G., & Andersen, R. N.** (1958). Crop rotation and associated tillage practices for controlling annual weeds in flax and reducing the weed seed population of the soil.
- Easson, D. L., & Long, F. N. J.** (1992). The effect of time of sowing, seed rate and nitrogen level on the fibre yield and quality of flax (*Linum usitatissimum* L.). *Irish Journal of Agricultural and Food Research*, 163-172.
- FAOSTAT data** (2006) Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO Statistical Databases.
- Foulk, J. A., Akin, D. E., Dodd, R. B., & Frederick, J. R.** (2004). Optimising flax production in the South Atlantic region of the USA. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *84*(8), 870-876.
- Friesen, G. H.** (1986). Effect of weed interference on yield and quality of flax seed oil. *Canadian journal of plant science*, *66*(4), 1037-1040.
- Fu, Y. B.** (2011). Genetic evidence for early flax domestication with capsular dehiscence. *Genetic resources and crop evolution*, *58*, 1119-1128.
- Gaur, A., & Adholeya, A.** (2004). Prospects of arbuscular mycorrhizal fungi in phytoremediation of heavy metal contaminated soils. *Current Science*, 528-534.
- Gaur, A., & Gupta, S. K.** (1994). Lipid components of mustard seeds (*Brassica juncea* L.) as influenced by cadmium levels. *Plant Foods for Human Nutrition*, *46*, 93-102.
- Goldberg, F. L., Genevini, P. L., & Garbarino, A.** (1980). Changes induced in plants by polluting metals on growth and on the uptake and translocation of nutritive elements: Nickel and cadmium. *Agrochimica*, *24*, 137-145.

- Goyal, D., Prakash, O., & Pandey, J.** (2019). Rhizospheric microbial diversity: an important component for abiotic stress management in crop plants toward sustainable agriculture. In *New and future developments in microbial biotechnology and bioengineering* (pp. 115-134). Elsevier.
- Graham, J. H.** (2001). What do root pathogens see in mycorrhizas?. *New Phytologist*, 357-359.
- Gruenhagen, R. D., & Nalewaja, J. D.** (1969). Competition between flax and wild buckwheat. *Weed Science*, 17(3), 380-384.
- Haghi, F.** (1974). *Plant uptake of cadmium as influenced by cation exchange capacity, organic matter, zinc, and soil temperature* (Vol. 3, No. 2, pp. 180-183). American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America.
- Hall, J. Á.** (2002). Cellular mechanisms for heavy metal detoxification and tolerance. *Journal of experimental botany*, 53(366), 1-11.
- Hall, L.M. et al.** (2016) 'Flax (*Linum usitatissimum* L.)', *Industrial Oil Crops*, pp. 157–194.
- Han, Y., Xu, L., Liu, L., Yi, M., Guo, E., Zhang, A., & Yi, H.** (2017). Illumina sequencing reveals a rhizosphere bacterial community associated with foxtail millet smut disease suppression. *Plant and Soil*, 410, 411-421.
- Hancock, L. M., Ernst, C. L., Charneskie, R., & Ruane, L. G.** (2012). Effects of cadmium and mycorrhizal fungi on growth, fitness, and cadmium accumulation in flax (*Linum usitatissimum*; Linaceae). *American Journal of Botany*, 99(9), 1445-1452.
- Havlin, J. L., Kissel, D. E., Maddux, L. D., Claassen, M. M., & Long, J. H.** (1990). Crop rotation and tillage effects on soil organic carbon and nitrogen. *Soil Science Society of America Journal*, 54(2), 448-452.
- Henry, A., Gowda, V. R., Torres, R. O., McNally, K. L., & Serraj, R.** (2011). Variation in root system architecture and drought response in rice (*Oryza sativa*): phenotyping of the OryzaSNP panel in rainfed lowland fields. *Field Crops Research*, 120(2), 205-214.

- Hocking, P., Kirkegaard, J., Angus, J., Gibson, A., and Koetz, E.** (1997). Comparison of canola, Indian mustard and Linola in two contrasting environments. I. Effects of nitrogen fertilizer on dry-matter production, seed yield and seed quality. *Field Crops Res.* 49, 107–125.
- Hodge, A.** (2004). The plastic plant: root responses to heterogeneous supplies of nutrients. *New phytologist*, 162(1), 9-24.
- Hoepfner, J. W., Entz, M. H., McConkey, B. G., Zentner, R. P., & Nagy, C. N.** (2006). Energy use and efficiency in two Canadian organic and conventional crop production systems. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 21(1), 60-67.
- Howard, A., Howard, G. L., & Abdur, R.** (1919). Studies in the pollination of Indian crops. *Mem. Dep. Agric. India Bot. Ser.*
- Jackson, A. P., & Alloway, B. J.** (2017). The transfer of cadmium from agricultural soils to the human food chain. *Biogeochemistry of trace metals*, 121-170.
- Jackson, R. B., Manwaring, J. H., & Caldwell, M. M.** (1990). Rapid physiological adjustment of roots to localized soil enrichment. *Nature*, 344(6261), 58-60.
- Jauneau, A., Ripoll, C., Verdus, M. C., Lefebvre, F., Demarty, M., & Thellier, M.** (1994). Imaging the K, Mg, Na and Ca distributions in flax seeds using SIMS microscopy. *Botanica acta*, 107(2), 81-89.
- Jhala, A. J., & Hall, L. M.** (2010). Flax (*Linum usitatissimum* L.): current uses and future applications. *Aust J Basic Appl Sci*, 4(9), 4304-12.
- Jouquet, P., Bottinelli, N., Podwojewski, P., Hallaire, V., & Duc, T. T.** (2008). Chemical and physical properties of earthworm casts as compared to bulk soil under a range of different land-use systems in Vietnam. *Geoderma*, 146(1-2), 231-238.
- Kaestner, A., Schneebeli, M., & Graf, F.** (2006). Visualizing three-dimensional root networks using computed tomography. *Geoderma*, 136(1-2), 459-469.
- Kafarski, P., & Talma, M.** (2018). Recent advances in design of new urease inhibitors: A review. *Journal of advanced research*, 13, 101-112.

- Kakabouki, I. P., Karydogianni, S., Zisi, C., & Folina, A.** (2020). Effect of fertilization with N-inhibitors on root and crop development of flaxseed crop (*Linum usitatissimum* L.). *Agrivita*, 42(3), 411.
- Kakabouki, I., Mavroeidis, A., Tataridas, A., Roussis, I., Katsenios, N., Efthimiadou, A., ... & Bilalis, D.** (2021). Reintroducing Flax (*Linum usitatissimum* L.) to the Mediterranean Basin: The Importance of Nitrogen Fertilization. *Plants*, 10(9), 1758.
- Kakabouki, I., Stavropoulos, P., Roussis, I., Mavroeidis, A., & Bilalis, D.** (2023). The Influence of Salinity and Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) on the Growth and Yield Performances of Flax (*Linum usitatissimum* L.).
- Kar, G., Kumar, A., & Martha, M.** (2007). Water use efficiency and crop coefficients of dry season oilseed crops. *Agricultural water management*, 87(1), 73-82.
- Kell, D. B.** (2011). Breeding crop plants with deep roots: their role in sustainable carbon, nutrient and water sequestration. *Annals of Botany*, 108(3), 407-418.
- Kirylyuk, A., & Kostecka, J.** (2020). Pro-environmental and health-promoting grounds for restitution of flax (*Linum usitatissimum* L.) cultivation. *Journal of Ecological Engineering*, 21(7).
- Kohn, L. S., Carducci, C. E., dos Santos Barbosa, J., Bosco, L. C., & Rossoni, D. F.** (2020). Effect of flaxseed root performance on the structural quality of a Haplumbrept under conservationist management system, in Santa Catarina, Brazil. *Semina: Ciências Agrárias*, 41(6), 2523-2540.
- Koide, R. T., M. Li, J. Lewis, And C. Irby.** 1988. Role of mycorrhizal infection in the growth and reproduction of wild vs. cultivated plants. *Oecologia* 77 : 537 – 543.
- Krajewska, B.** (2009). Ureases I. Functional, catalytic and kinetic properties: A review. *Journal of molecular catalysis B: Enzymatic*, 59(1-3), 9-21.
- Krupinsky, J. M., Bailey, K. L., McMullen, M. P., Gossen, B. D., & Turkington, T. K.** (2002). Managing plant disease risk in diversified cropping systems. *Agronomy journal*, 94(2), 198-209.

- Kvavadze, E., Bar-Yosef, O., Belfer-Cohen, A., Boaretto, E., Jakeli, N., Matskevich, Z., & Meshveliani, T.** (2009). 30,000-year-old wild flax fibers. *Science*, 325(5946), 1359-1359.
- Lee, K. E.** (1983). Earthworms of tropical regions—some aspects of their ecology and relationships with soils. In *Earthworm Ecology: From Darwin to Vermiculture* (pp. 179-193). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Lekberg, Y., & Koide, R. T.** (2005). Is plant performance limited by abundance of arbuscular mycorrhizal fungi? A meta-analysis of studies published between 1988 and 2003. *New Phytologist*, 168(1), 189-204.
- Lemtiri, A., Colinet, G., Alabi, T., Cluzeau, D., Zirbes, L., Haubruge, É., & Francis, F.** (2014). Impacts of earthworms on soil components and dynamics. A review. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 18.
- Lepp, N. W. (Ed.).** (2012). *Effect of heavy metal pollution on plants: metals in the environment* (Vol. 2). Springer Science & Business Media.
- Lesk, C., Rowhani, P., & Ramankutty, N.** (2016). Influence of extreme weather disasters on global crop production. *Nature*, 529(7584), 84-87.
- Li, Y., Laterriere, M., Lay, C. Y., Klabi, R., Masse, J., St-Arnaud, M., ... & Hamel, C.** (2021). Effects of arbuscular mycorrhizal fungi inoculation and crop sequence on root-associated microbiome, crop productivity and nutrient uptake in wheat-based and flax-based cropping systems. *Applied Soil Ecology*, 168, 104136.
- Liebman, M., & Dyck, E.** (1993). Crop rotation and intercropping strategies for weed management. *Ecological applications*, 3(1), 92-122.
- Lisson, S. N., & Mendham, N. J.** (2000). Agronomic studies of flax (*Linum usitatissimum* L.) in south-eastern Australia. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 40(8), 1101-1112.

- Liu, F. H., Chen, X., Long, B., Shuai, R. Y., & Long, C. L.** (2011). Historical and botanical evidence of distribution, cultivation and utilization of *Linum usitatissimum* L.(flax) in China. *Vegetation history and archaeobotany*, 20, 561-566.
- Liu, L., Gan, Y., Bueckert, R., & Van Rees, K.** (2011). Rooting systems of oilseed and pulse crops I: Temporal growth patterns across the plant developmental periods. *Field Crops Research*, 122(3), 256-263.
- Ma, H., Guna, V., Raju, T., Murthy, A. N., & Reddy, N.** (2023). Converting flax processing waste into value added biocomposites. *Industrial Crops and Products*, 195, 116434.
- Mairhofer, S., Zappala, S., Tracy, S. R., Sturrock, C., Bennett, M., Mooney, S. J., & Pridmore, T.** (2012). RooTrak: automated recovery of three-dimensional plant root architecture in soil from X-ray microcomputed tomography images using visual tracking. *Plant physiology*, 158(2), 561-569.
- Mallory, T. E., Chiang, S. H., Cutter, E. G., & Gifford Jr, E. M.** (1970). Sequence and pattern of lateral root formation in five selected species. *American Journal of Botany*, 57(7), 800-809.
- Mandokhot, V. M., & Narendra, S.** (1979). Studies on linseed (*Linum usitatissimum*) as a protein source for poultry. 1. Processess of demucilaging and dehulling of linseed and evaluation of processed materials by chemical analysis and with rats and chicks. *Journal of Food Science and Technology*, 16, 25-31.
- Manian, A. P., Cordin, M., & Pham, T.** (2021). Extraction of cellulose fibers from flax and hemp: a review. *Cellulose*, 28(13), 8275-8294.
- McCarty, G. W.** (1999). Modes of action of nitrification inhibitors. *Biology and Fertility of Soils*, 29, 1-9.
- Mikhailouskaya, N.** (2006). The effect of flax seed inoculation by *Azospirillum brasilense* on flax yield and its quality. *PLANT SOIL AND ENVIRONMENT*, 52(9), 402.
- Millam, S., Obert, B., & Pret'ová, A.** (2005). Plant cell and biotechnology studies in *Linum usitatissimum*—a review. *Plant cell, tissue and organ culture*, 82, 93-103.

- Moraghan, J. T.** (1993). Accumulation of cadmium and selected elements in flax seed grown on a calcareous soil. *Plant and Soil*, 150, 61-68.
- Muys, B., Lust, N., & Granval, P. H.** (1992). Effects of grassland afforestation with different tree species on earthworm communities, litter decomposition and nutrient status. *Soil biology and biochemistry*, 24(12), 1459-1466.
- Newman, E. I.** (1966). Relationship between root growth of flax (*Linum usitatissimum*) and soil water potential. *New Phytologist*, 65(3), 273-283.
- Oomah, D. B., Mazza, G., & Kenaschuk, E. O.** (1996). Dehulling characteristics of flaxseed. *LWT-Food Science and Technology*, 29(3), 245-250.
- Ottai, M. E. S., Al-Kordy, M. A., & Afiah, S. A.** (2011). Evaluation, correlation and path coefficient analysis among seed yield and its attributes of oil flax (*Linum usitatissimum* L.) genotypes. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 5(11), 252-258.
- Papatheohari, Y., Bilalis, D., Alexopoulou, E., Papastylianou, P., & Avgoulas, C.** (2008). Effect of different rates of inorganic fertilization on some agronomic characteristics with emphasis in roots and yield in four flax (*Linum usitatissimum* L.) varieties. *Journal of Food Agriculture and Environment*, 6(2), 256.
- Ploshchinskaya, M. E.** (2003). Different Ways of Formation of Root System in Plants, Maize and Flax Seedlings Taken as Examples. *Russian Journal of Developmental Biology*, 34, 300-305.
- Poulton, J. L., Koide, R. T., & Stephenson, A. G.** (2001). Effects of mycorrhizal infection and soil phosphorus availability on in vitro and in vivo pollen performance in *Lycopersicon esculentum* (Solanaceae). *American Journal of Botany*, 88(10), 1786-1793.
- Prudent, M., Dequiedt, S., Sorin, C., Girodet, S., Nowak, V., Duc, G., ... & Maron, P. A.** (2020). The diversity of soil microbial communities matters when legumes face drought. *Plant, Cell & Environment*, 43(4), 1023-1035.
- Radford, B. J., Yule, D. F., McGarry, D., & Playford, C.** (2007). Amelioration of soil compaction can take 5 years on a Vertisol under no till in the semi-arid subtropics. *Soil and Tillage Research*, 97(2), 249-255.

- Rashwan, E. A. A., & Abdelaal, K. A.** (2019). Effect of Nano Zink-oxide foliar application on some flax cultivars under different irrigation treatments. *Egypt. J. Plant Breed*, *23*, 119-145.
- Raskin, I., & Ensley, B. D.** (2000). *Phytoremediation of toxic metals*. John Wiley and Sons.
- Real-Guerra, R., Stanisçuaski, F., & Carlini, C. R.** (2013). Soybean urease: over a hundred years of knowledge. In *A Comprehensive Survey of International Soybean Research-Genetics, Physiology, Agronomy and Nitrogen Relationships*. IntechOpen.
- Rm, A.** (2001). Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Mycorrhiza*, *11*, 3-42.
- Robinson, B. B.** (1931). The Time to Harvest Flax. *Tech. Bull*, *236*.
- Scharf, P. C., Kitchen, N. R., Sudduth, K. A., Davis, J. G., Hubbard, V. C., & Lory, J. A.** (2005). Field-scale variability in optimal nitrogen fertilizer rate for corn. *Agronomy journal*, *97*(2), 452-461.
- Seethepalli, A., & York, L.** (2019). RhizoVision Analyzer v1: software for high-throughput measurements from images of crop root crowns (deprecated). *Zenodo doi*, *10*.
- Seethepalli, A., Dhakal, K., Griffiths, M., Guo, H., Freschet, G. T., & York, L. M.** (2021). RhizoVision Explorer: open-source software for root image analysis and measurement standardization. *AoB plants*, *13*(6), plab056.
- Sertse, D., You, F. M., Ravichandran, S., & Cloutier, S.** (2019). The complex genetic architecture of early root and shoot traits in flax revealed by genome-wide association analyses. *Frontiers in Plant Science*, *10*, 1483.
- Singh, B., Salaria, N., Thakur, K., Kukreja, S., Gautam, S., & Goutam, U.** (2019). Functional genomic approaches to improve crop plant heat stress tolerance. *F1000Research*, *8*.
- Skene, K. G. M.** (1975). *The Development and Function of Roots* (TORREY, JG and CLARKSON, DT, eds.).

- Smith, S. E., & Read, D. J.** (2010). *Mycorrhizal symbiosis*. Academic press.
- Stanley, M. R., Koide, R. T., & Shumway, D. L.** (1993). Mycorrhizal symbiosis increases growth, reproduction and recruitment of *Abutilon theophrasti* Medic. in the field. *Oecologia*, *94*, 30-35.
- Stavropoulos, P., Mavroeidis, A., Papadopoulou, G., Roussis, I., Bilalis, D., & Kakabouki, I.** (2023). On the path towards a “Greener” EU: A Mini review on Flax (*Linum usitatissimum* L.) as a Case Study. *Plants*, *12*(5), 1102.
- Stenlid, G.** (1982). Cytokinins as inhibitors of root growth. *Physiologia Plantarum*, *56*(4), 500-506.
- Street, J. J., Lindsay, W. L., & Sabey, B. R.** (1977). *Solubility and plant uptake of cadmium in soils amended with cadmium and sewage sludge* (Vol. 6, No. 1, pp. 72-77). American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America.
- Terman, G. I.** (1980). Volatilization losses of nitrogen as ammonia from surface-applied fertilizers, organic amendments, and crop residues. *Advances in agronomy*, *31*, 189-223.
- Thingstrup, I., Rubaek, G., Sibbesen, E., & Jakobsen, I.** (1998). Flax (*Linum usitatissimum* L.) depends on arbuscular mycorrhizal fungi for growth and P uptake at intermediate but not high soil P levels in the field. *Plant and Soil*, *203*, 37-46.
- Van Eerd, L. L., Congreves, K. A., Hayes, A., Verhallen, A., & Hooker, D. C.** (2014). Long-term tillage and crop rotation effects on soil quality, organic carbon, and total nitrogen. *Canadian Journal of Soil Science*, *94*(3), 303-315.
- Vandevivere, P., Ficara, E., Terras, C., Julies, E., & Verstraete, W.** (1998). Copper-mediated selective removal of nitrification inhibitors from industrial wastewaters. *Environmental science & technology*, *32*(7), 1000-1006.
- Venter, Z. S., Jacobs, K., & Hawkins, H. J.** (2016). The impact of crop rotation on soil microbial diversity: A meta-analysis. *Pedobiologia*, *59*(4), 215-223.

- Verzeaux, J., Roger, D., Lacoux, J., Nivelles, E., Adam, C., Habbib, H., ... & Tetu, T.** (2016). In winter wheat, no-till increases mycorrhizal colonization thus reducing the need for nitrogen fertilization. *Agronomy*, 6(2), 38.
- Vierheilig, H., Schweiger, P., & Brundrett, M.** (2005). An overview of methods for the detection and observation of arbuscular mycorrhizal fungi in roots. *Physiologia Plantarum*, 125(4), 393-404.
- Vollmann, J., & Rajcan, I.** (2010). *Oil crop breeding and genetics* (pp. 1-30). Springer New York.
- Williams, C. H., & David, D. J.** (1976). The accumulation in soil of cadmium residues from phosphate fertilizers and their effect on the cadmium content of plants. *Soil Science*, 121(2), 86-93.
- Xie, Y., Gan, Y., Li, Y., Niu, J., Gao, Y., An, H., & Li, A.** (2015). Effect of nitrogen fertilizer on nitrogen accumulation, translocation, and use efficiency in dryland oilseed flax. *Agronomy Journal*, 107(5), 1931-1939.
- Xie, Y., Yan, Z., Niu, Z., Coulter, J. A., Niu, J., Zhang, J., ... & Wang, L.** (2020). Yield, oil content, and fatty acid profile of flax (*Linum usitatissimum* L.) as affected by phosphorus rate and seeding rate. *Industrial Crops and Products*, 145, 112087.
- Yao, M., Tu, W., Chen, X., & Zhan, C. G.** (2013). Reaction pathways and free energy profiles for spontaneous hydrolysis of urea and tetramethylurea: unexpected substituent effects. *Organic & biomolecular chemistry*, 11(43), 7595-7605.
- Ya-ping, X. I. E., Bing, W. U., Jun-yi, N. I. U., Fang-xia, S. U. N., & Man-gang, S. O. N. G.** (2014). Effect of different nitrogen level on nutrients accumulation, transfer and nitrogen utilization efficiency of dry land oil flax. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 36(3), 357.
- You, F. M., & Fofana, B. (Eds.).** (2023). *The Flax Genome*. Springer Nature.

- You, F. M., Duguid, S. D., Lam, I., Cloutier, S., Rashid, K. Y., & Booker, H. M.** (2016). Pedigrees and genetic base of flax cultivars registered in Canada. *Canadian Journal of Plant Science*, 96(5), 837-852.
- Yue, B., Xue, W., Xiong, L., Yu, X., Luo, L., Cui, K., ... & Zhang, Q.** (2006). Genetic basis of drought resistance at reproductive stage in rice: separation of drought tolerance from drought avoidance. *Genetics*, 172(2), 1213-1228.
- Yvan, C., Stéphane, S., Stéphane, C., Pierre, B., Guy, R., & Hubert, B.** (2012). Role of earthworms in regenerating soil structure after compaction in reduced tillage systems. *Soil Biology and Biochemistry*, 55, 93-103.
- Zhai, H., Jiang, C., Zhao, Y., Yang, S., Li, Y., Yan, K., ... & Wang, D.** (2021). Wheat heat tolerance is impaired by heightened deletions in the distal end of 4AL chromosomal arm. *Plant biotechnology journal*, 19(5), 1038-1051.
- Zhao, B., Gao, Y., Yan, B., Cui, Z., Wang, H., & Cao, Z.** (2020). Varied previous crops on improving oilseed flax productivity in Semiarid Loess Plateau in China. *Oil Crop Science*, 5(4), 187-193.
- Zinn, Y. L., Lal, R., Bigham, J. M., & Resck, D. V.** (2007). Edaphic controls on soil organic carbon retention in the Brazilian Cerrado: texture and mineralogy. *Soil Science Society of America Journal*, 71(4), 1204-1214.
- Zisi, X., Karydogianni, S., Kakabouki, I., Stavropoulos, P., Folina, A., & Bilalis, D.** (2020). Effects of nitrogen fertilizers with two different inhibitors (urease and nitrification) on the survival and activity of earthworms (*Octodrilus complanatus*). *Journal of Elementology*, 25(4), 1449-1461.
- Zohary, D.** (1999). Monophyletic vs. polyphyletic origin of the crops on which agriculture was founded in the Near East. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 46, 133-142.
- Zuk, M., Szperlik, J., Hnitecka, A., & Szopa, J.** (2019). Temporal biosynthesis of flavone constituents in flax growth stages. *Plant Physiology and Biochemistry*, 142, 234-245.

❖ **Ελληνική**

Γαλανοπούλου-Σενδούκα, Σ. (2002). Βιομηχανικά Φυτά–Βαμβάκι και υπόλοιπα κλωστικά Ελαιοδοτικά–Ζαχαρότευτλα–Καπνός. *Εκδόσεις Σταμούλη, Αθήνα.*

❖ **Ιστοσελίδες**

<https://www.flaxcouncil.ca/growing-flax/>

<https://krishijagran.com/agripedia/a-complete-guide-on-flaxseed-cultivation/>

<https://hort.purdue.edu/newcrop/afcm/flax.html>

<https://oec.world/en/profile/hs/flax-fibers>

<https://www.meteo.gr/>