

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 χρήσης ζεόλιθου στην ανάπτυξη καλλιέργειας αραβοσίτου *(Zea mays l.)* στην περιοχή της Καρδίτσας

Ιωάννης Δ. Αθερίνης

Επιβλέπουσα καθηγήτρια:
Κακαμπούκη Ιωάννα, Επίκουρη Καθηγήτρια ΓΠΑ

ΑΘΗΝΑ
2025

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΑΣ

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Επίδραση χρήσης ζεόλιθου στην ανάπτυξη καλλιέργειας αραβοσίτου (*Zea mays l.*) στην περιοχή της Καρδίτσας

Effect of zeolite use on the growth of corn *(Zea mays l.*) in the area of Karditsa

Ιωάννης Δ. Αθερίνης

Εξεταστική Επιτροπή:
Κακαμπούκη Ιωάννα, Επίκουρη Καθηγήτρια ΓΠΑ (Επιβλέπουσα)
Μπιλάλης Δημήτριος, Καθηγητής ΓΠΑ
Οικονόμου Γαρυφαλιά, Καθηγητής ΓΠΑ

Επίδραση χρήσης ζεόλιθου στην ανάπτυξη καλλιέργειας αραβοσίτου (*Zea mays l.*) στην περιοχή της Καρδίτσας

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

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η κλιματική κρίση έχει επηρεάσει ιδιαίτερα τη γεωργία. Ολοένα και περισσότερες στρατηγικές υιοθετούνται με σκοπό τον μετριασμό των επιπτώσεων της κλιματικής κρίσης. Μια από αυτές είναι η μείωση χρήσης αζωτούχων λιπασμάτων. Για να επιτευχθεί αυτό πρέπει να βρεθούν εναλλακτικές που θα επιτρέψουν αυτή τη μείωση, χωρίς να επηρεαστούν οι αποδόσεις. Ο ζεόλιθος αποτελεί μια εξ αυτών των εναλλακτικών, καθώς λειτουργεί τόσο ως εδαφοβελτιωτικό, όσο κι ως λίπασμα. Στο πλαίσιο αυτό, πραγματοποιήθηκε πείραμα με σκοπό την μελέτη επίδρασης του ζεόλιθου σε καλλιέργεια αραβοσίτου. Για τις ανάγκες της μελέτης πραγματοποιήθηκε πείραμα στην περιοχή της Καρδίτσας. Οι μετρήσεις που λήφθηκαν αφορούσαν τόσο κάποια εδαφικά χαρακτηριστικά (υγρασία, αντίσταση στη διείσδυση), κάποια αγρονομικά (ύψος, νωπό και ξηρό βάρος και βάρος σπαδίκων), την απόδοση της καλλιέργειας και τα συστατικά της, καθώς και κάποια ποιοτικά χαρακτηριστικά (περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη και απόδοση σε πρωτεΐνη). Έπειτα από στατιστική ανάλυση φάνηκε ότι όλα τα αποτελέσματα επηρεάστηκαν είτε από την χρήση λίπανσης, είτε από την ποσότητα ζεόλιθου, είτε από την αλληλεπίδραση των παραγόντων. Η αλληλεπίδραση των παραγόντων φάνηκε να επηρεάζει τα περισσότερα χαρακτηριστικά. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της μελέτης, η χρήση ζεόλιθου είναι ιδιαίτερα ενθαρρυντική λύση, τόσο για την αντικατάσταση της χρήσης αζωτούχων λιπασμάτων, όσο και για μείωση της ποσότητάς τους.

Επιστημονική περιοχή: Φυτική Παραγωγή

Λέξεις κλειδιά: αγρονομικά χαρακτηριστικά, απόδοση, αραβόσιτος, ζεόλιθος

Effect of zeolite use on the growth of corn (*Zea mays l.*) in the area of Karditsa

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

ABSTRACT

The climate crisis has particularly affected agriculture. More and more strategies are being adopted to mitigate the effects of the climate crisis. One of them is to reduce the use of nitrogen fertilizers. To achieve this, alternatives must be found that will allow this reduction without affecting yields. Zeolite is one of these alternatives, as it acts both as a soil conditioner and as a fertiliser. In this context, an experiment was carried out to study the effect of zeolite on maize crop. For the purpose of the study, an experiment was carried out in the region of Karditsa. The measurements obtained concerned both some soil characteristics (moisture, resistance to infiltration), some agronomic (height, fresh and dry weight and seedling weight), crop yield and its components, as well as some qualitative characteristics (protein content and protein yield). After statistical analysis, it appeared that all the results were influenced either by fertilizer use, by the amount of zeolite, or by the interaction of the factors. The interaction of the factors seemed to influence most of the traits. According to the results of the study, the use of zeolite is a very promising solution, both to replace the use of nitrogen fertilizers and to reduce their quantity.

Scientific Area: Crop Science
Keywords: agronomic characteristics, yield, maize, zeolite

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....3
ABSTRACT.....4
1. Εισαγωγή 10
1.1. Ιστορική αναδρομή κι εξάπλωση της καλλιέργειας.....10
1.2. Ταξινόμηση 11
1.3. Βοτανική περιγραφή 11
1.4. Τύποι αραβοσίτου 15
1.5. Στάδια ανάπτυξης 15
1.6. Προσαρμοστικότητα 17
1.7. Καλλιεργητικές πρακτικές 18
1.8. Χρήσεις 19
1.9. Παγκόσμια παραγωγή 20
1.10. Εγχώρια παραγωγή.....21
1.11. Ζεόλιθος 22
1.12. Σκοπός μελέτης 26
2. Υλικά και Μέθοδοι 27
3. Αποτελέσματα.....35
4. Συζήτηση.....64
5. Βιβλιογραφία 66

Πίνακας πινάκων

Πίνακας 1: Ταξινόμηση αραβοσίτου 11
Πίνακας 2: Στάδια ανάπτυξης αραβοσίτου 16
Πίνακας 3: Εδαφολογική ανάλυση του αγρού 28
Πίνακας 4: Χαρακτηριστικά σπόρου σποράς 29
Πίνακας 5: Κλιματολογικές συνθήκες την περίοδο του πειράματος 30
Πίνακας 6: Ανάλυση διασποράς (ANOVA) για την εδαφική υγρασία σε επίπεδο σημαντικότητας α=0,05 35
Πίνακας 7: One way anova για την υγρασία του εδάφους 35
Πίνακας 8: Ανάλυση διασποράς (ANOVA) για την αντίσταση του εδάφους στη διείσδυση σε επίπεδο σημαντικότητας α=0,05 37
Πίνακας 9: One way ANOVA για την αντίσταση στη διείσδυση 37
Πίνακας 10: Ανάλυση διασποράς (ANOVA) για το ύψος φυτού στις 30 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας α=0,05 38
Πίνακας 11: Ανάλυση διασποράς (ANOVA) για το νωπό βάρος φυτού στις 30 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας α=0,05 39
Πίνακας 12: One way ANOVA για το νωπό βάρος φυτού κατά την πρώτη μέτρηση . 40
Πίνακας 13: Ανάλυση διασποράς (ANOVA) για το ξηρό βάρος φυτού κατά την πρώτη μέτρηση 40
Πίνακας 14: One way ANOVA για το ξηρό βάρος φυτού κατά την πρώτη μέτρηση .. 41
Πίνακας 15: Ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) για το ύψος φυτού κατά τη δεύτερη μέτρηση 43
Πίνακας 16: One way anova για το ύψος φυτού κατά τη δεύτερη μέτρηση 43
Πίνακας 17: Ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) για το νωπό βάρος φυτού κατά τη δεύτερη μέτρηση 44
Πίνακας 18: One way anova για το νωπό βάρος φυτού κατά τη δεύτερη μέτρηση 45
Πίνακας 19: Ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) για το ξηρό βάρος φυτού κατά τη δεύτερη μέτρηση 45
Πίνακας 20: One way anova για το ξηρό βάρος φυτού κατά τη δεύτερη μέτρηση 46
Πίνακας 21: Ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) για το ύψος φυτού κατά την τρίτη μέτρηση: 47
Πίνακας 22: One way anova για το ύψος του φυτού στη μικρή ποσότητα ζεόλιθου κατά την τρίτη μέτρηση 47
Πίνακας 23: One way anova για το ύψος φυτού κατά την τρίτη μέτρηση σε υψηλή ποσότητα ζεόλιθου 48
Πίνακας 24: One way anova για το ύψος φυτού χωρίς προσθήκη ζεόλιθου κατά την τρίτη μέτρηση 49

Πίνακας 25: Ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) για το νωπό βάρος φυτού κατά την τρίτη μέτρηση 49
Πίνακας 26: One way anova για το νωπό βάρος φυτού κατά την τρίτη μέτρηση στη μικρή ποσότητα ζεόλιθου 50
Πίνακας 27: One way anova για το νωπό βάρος φυτού κατά την τρίτη μέτρηση, στην μεγάλη ποσότητα ζεόλιθου 50
Πίνακας 28: One way anova για το νωπό βάρος φυτού κατά την τρίτη μέτρηση, χωρίς προσθήκη ζεόλιθου 51
Πίνακας 29: Ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) για το ξηρό βάρος φυτού κατά την τρίτη μέτρηση 52
Πίνακας 30: One way anova για το ξηρό βάρος φυτού κατά την τρίτη μέτρηση, για τη μικρή ποσότητα ζεόλιθου 52
Πίνακας 31: One way anova για το ξηρό βάρος φυτού κατά την τρίτη μέτρηση, στη μεγάλη ποσότητα ζεόλιθου 53
Πίνακας 32: One way anova για το ξηρό βάρος φυτού κατά την τρίτη μέτρηση, χωρίς προσθήκη ζεόλιθου 53
Πίνακας 33: One way anova για το ξηρό βάρος κατά την τρίτη μέτρηση, με προσθήκη λιπάσματος 54
Πίνακας 34: One way anova για το ξηρό βάρος φυτού κατά την τρίτη μέτρηση, χωρίς προσθήκη λιπάσματος 55
Πίνακας 35: Ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) για το βάρος σπάδικα 55
Πίνακας 36: One way anova για το βάρος σπάδικα, χωρίς προσθήκη λίπανσης 56
Πίνακας 37: One way anova για το βάρος σπάδικα με προσθήκη λίπανσης 56
Πίνακας 38: Ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) για το βάρος χιλίων σπόρων 57
Πίνακας 39: One way anova για το Βάρος Χιλίων Σπόρων, χωρίς προσθήκη λιπάσματος 58
Πίνακας 40: One way anova για το Βάρος Χιλίων Σπόρων με την προσθήκη λιπάσματος 58
Πίνακας 41: Ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) για την απόδοση της καλλιέργειας 59
Πίνακας 42: One way anova για την απόδοση της καλλιέργειας 60
Πίνακας 43: Ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) για την περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη 60
Πίνακας 44: One way anova για την περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη, χωρίς την προσθήκη λίπανσης 61
Πίνακας 45: One way anova για την περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη με την προσθήκη λίπανσης 61
Πίνακας 46: Ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) για την απόδοση σε πρωτεΐνη 62
Πίνακας 47: One way anova για την απόδοση σε πρωτεΐνη 63
Πίνακας 48: Πίνακας συσχετίσεων 65

Πίνακας διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1: Πορεία καλλιέργειας αραβοσίτου 20
Διάγραμμα 2: Παγκόσμια παραγωγή αραβοσίτου σε επίπεδο Ηπείρων 20
Διάγραμμα 3: Οι 10 χώρες με την μεγαλύτερη παραγωγή αραβοσίτου παγκοσμίως .. 21
Διάγραμμα 4: Καλλιέργεια αραβοσίτου στην Ελλάδα 22
Διάγραμμα 5: Καιρικές συνθήκες κατά τη διάρκεια του πειράματος 31
Διάγραμμα 6: Επίδραση της προσθήκης ζεόλιθου στην επέμβαση N 36
Διάγραμμα 7: Επίδραση της προσθήκης ζεόλιθου στην επέμβαση U 36
Διάγραμμα 8: Επίδραση της αλληλεπίδρασης των παραγόντων του πειράματος στην αντίσταση του εδάφους στη διείσδυση 38
Διάγραμμα 9: Επίδραση των παραγόντων του πειράματος στο ύψος φυτού κατά τις 30 ΗΑΣ 39
Διάγραμμα 10: Επίδραση των παραγόντων του πειράματος στο νωπό βάρος του φυτού κατά τις 30 ΗΑΣ 40
Διάγραμμα 11: Επίδραση των δύο παραγόντων του πειράματος στο ύψος φυτού κατά τη δεύτερη μέτρηση 44
Διάγραμμα 12: Επίδραση των παραγόντων του πειράματος στο νωπό βάρος φυτού κατά τη δεύτερη μέτρηση 45
Διάγραμμα 13: Επίδραση των παραγόντων του πειράματος στο ξηρό βάρος του φυτού κατά τη δεύτερη μέτρηση 46
Διάγραμμα 14: Επίδραση της λίπανσης στη μικρή ποσότητα ζεόλιθου 48
Διάγραμμα 15: Επίδραση της λίπανσης στην υψηλή ποσότητα ζεόλιθου 48
Διάγραμμα 16: Επίδραση της λίπανσης στο ύψος φυτού κατά την τρίτη μέτρηση, χωρίς προσθήκη ζεόλιθου 49
Διάγραμμα 17: Επίδραση της λίπανσης στο νωπό βάρος φυτού κατά την τρίτη μέτρηση, στη μικρή ποσότητα ζεόλιθου 50
Διάγραμμα 18: Επίδραση της λίπανσης στο νωπό βάρος φυτού κατά την τρίτη μέτρηση, στην μεγάλη ποσότητα ζεόλιθου 51
Διάγραμμα 19: Επίδραση της λίπανσης στο νωπό βάρος φυτού κατά την τρίτη μέτρηση, χωρίς προσθήκη ζεόλιθου 51
Διάγραμμα 20: Επίδραση της λίπανσης στο ξηρό βάρος φυτού κατά την τρίτη μέτρηση, στη μικρή ποσότητα ζεόλιθου 52
Διάγραμμα 21: Επίδραση της λίπανσης στο ξηρό βάρος φυτού κατά την τρίτη μέτρηση, στη μεγάλη ποσότητα ζεόλιθου 53
Διάγραμμα 22: Επίδραση της λίπανσης στο ξηρό βάρος φυτού κατά την τρίτη μέτρηση, χωρίς προσθήκη ζεόλιθου 54
Διάγραμμα 23: Επίδραση της ποσότητας ζεόλιθου για το ξηρό βάρος φυτού κατά την τρίτη μέτρηση, με την προσθήκη λιπάσματος 54

Διάγραμμα 24: Επίδραση της ποσότητας ζεόλιθου στο ξηρό βάρος φυτού κατά την τρίτη μέτρηση, χωρίς προσθήκη λίπανσης 55
Διάγραμμα 25: Επίδραση της ποσότητας ζεόλιθου στο βάρος σπάδικα χωρίς προσθήκη λίπανσης 56
Διάγραμμα 26: Επίδραση της ποσότητας ζεόλιθου στο βάρος σπάδικα, με προσθήκη λίπανσης.....57
Διάγραμμα 27: Επίδραση της ποσότητας ζεόλιθου στο ΒΧΣ χωρίς προσθήκη λιπάσματος.....58
Διάγραμμα 28: Επίδραση της ποσότητας ζεόλιθου στο ΒΧΣ με την προσθήκη λιπάσματος.....59
Διάγραμμα 29: Επίδραση της αλληλεπίδρασης παραγόντων στην απόδοση της καλλιέργειας.....60
Διάγραμμα 30: Επίδραση της ποσότητας ζεόλιθου στην περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη χωρίς την προσθήκη λίπανσης.....61
Διάγραμμα 31: Επίδραση της ποσότητας ζεόλιθου στην περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη με την προσθήκη λιπάσματος 62
Διάγραμμα 32: Επίδραση της αλληλεπίδρασης των παραγόντων του πειράματος στην απόδοση σε πρωτεΐνη.....63

Πίνακας εικόνων

Εικόνα 1: Διαφορές μεταξύ καλλιεργούμενου είδους και προγόνου 10
Εικόνα 2: Το ριζικό σύστημα του αραβοσίτου 12
Εικόνα 3: Μέρη του φυτού του αραβοσίτου.....14
Εικόνα 4: Στάδια ανάπτυξης αραβοσίτου 17
Εικόνα 5: Ο πειραματικός αγρός 27
Εικόνα 6: Το πειραματικό σχέδιο.....28
Εικόνα 7: Ο ζεόλιθος που χρησιμοποιήθηκε 30
Εικόνα 8: Η καλλιέργεια σε διάφορα στάδια ανάπτυξης 34

1. Εισαγωγή

1.1. Ιστορική αναδρομή κι εξάπλωση της καλλιέργειας

Η καλλιέργεια του αραβοσίτου (*Zea mays* L.) αποτελεί μια από τις σημαντικότερες καλλιέργειες παγκοσμίως. Αναλυτικότερα, φαίνεται να καταλαμβάνει την τρίτη σημαντικότερη καλλιέργεια παγκοσμίως. Ακολουθώντας το σιτάρι και το ρύζι, ο αραβόσιτος καταλαμβάνει μεγάλες εκτάσεις παγκοσμίως.

Πρόκειται για ένα ιδιαίτερα αρχαίο είδος, όπως μαρτυρούν ευρήματα. Σύμφωνα με αυτά, ο αραβόσιτος φάνηκε να καλλιεργείται από το 10.000 π.Χ.. Η πρώτη εμφάνιση της καλλιέργειας φαίνεται να έγινε στην περιοχή της Κεντρικής Αμερικής, από όπου ξεκίνησε και η εξάπλωσή του. Παρόλη την πληθώρα των προγόνων του αραβοσίτου, επικρατέστερη φαίνεται εκείνη πως το φυτό προήλθε από έναν άγριο είδος, το οποίο εξαλείφθηκε με την πορεία των χρόνων. Σύμφωνα με πρόσφατες έρευνες, φαίνεται να υπάρχει συγγένεια μεταξύ των άγριων ειδών *Zea mays ssp. Mexicana* και *Zea mays ssp. Parviglumis*, όπου και αποτέλεσαν τους προγόνους του σημερινού καλαμποκιού (Dobey, 2004).

Το άγριο είδος – πρόγονος του αραβοσίτου, φαίνεται να διέφερε σημαντικά με τον αραβόσιτο που γνωρίζουμε σήμερα. Αναλυτικότερα, ενώ τα σημερινά φυτά εμφανίζονται ως δίκλινα (με τα αρσενικά και τα θηλυκά άνθη να βρίσκονται σε διαφορετικές δομές το ίδιου φυτού), ο πρόγονος του αραβοσίτου φαίνεται να ήταν μονόκλινος, έχοντας το αρσενικό και το θηλυκό μέρος στο ίδιο άνθος. Αντίστοιχα, οι καρποί ήταν σφαιρικοί και καλύπτονταν από λέπυρα (Καραμάνος, 1999).



Εικόνα 1: Διαφορές μεταξύ καλλιεργούμενου είδους και προγόνου (Πηγή: https://biokipos.blogspot.com/2013/04/teosinte.html)

Όσον αφορά την εξάπλωση της καλλιέργειας, εκείνη φάνηκε να ξεκίνησε από σχετικά κοντινές περιοχές, όπου και αποτελούσε στοιχείο της θρησκείας εκείνων των λαών. Στην Ευρώπη έφτασε με τον Κολόμβο κατά τον 15ο αιώνα, παράλληλα με την εξάπλωσή της στην Αφρική. Στη χώρα μας η καλλιέργεια του αραβοσίτου εισήχθη το 1.600, καλώντας την ως αραβικός σίτος.

1.2. Ταξινόμηση

Όπως αναφέρθηκε και προηγούμενα, ο αραβόσιτος αποτελεί ένα από τα πλέον σημαντικά σιτηρά παγκοσμίως. Ακόμα, αξίζει να σημειωθεί πως το συγκεκριμένο φυτό αποτελεί το μόνο καλλιεργούμενο είδος του γένους Zea.

Πίνακας 1: Ταξινόμηση αραβοσίτου

Βασίλειο	Plantae
Συνομοταξία	Magnoliophyta
Ομοταξία	Liliopsida
Τάξη	Cyperales
Οικογένεια	Poaceae
Γένος	Zea
Είδος	*Zea mays*

Η οικογένεια Poaceae απαρτίζεται από 600 γένη. Το συγκεκριμένο γένος, φαίνεται να αποτελεί το σημαντικότερο. Ο αραβόσιτος είναι διπλοειδές φυτό, με τον αριθμό των χρωμοσωμάτων να εντοπίζεται στα 20. Σημαντικό κομμάτι του φυτού είναι η μεγάλη ποικιλομορφία των τύπων του (Acosta 2009; Kato et al., 2009).

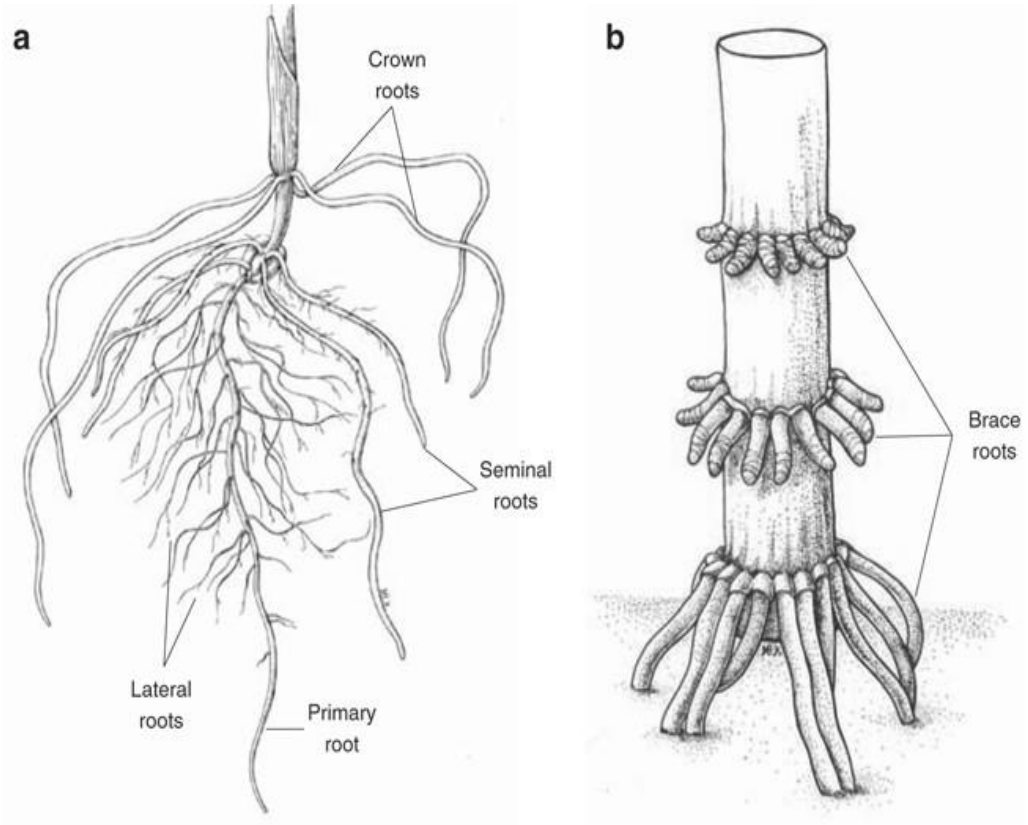
1.3. Βοτανική περιγραφή

Όπως αναφέρθηκε και προηγούμενα, ο αραβόσιτος αποτελεί μια ιδιαίτερα σημαντική καλλιέργεια παγκοσμίως. Όσον αφορά τη βοτανική του περιγραφή αποτελεί ένα ετήσιο φυτό. Πιο συγκεκριμένα, ολοκληρώνει το βιολογικό του κύκλο εντός μερικών μηνών. Ακόμα, αποτελεί μονοκότυλο φυτό, δηλαδή στον άξονα του εμβρύου του σπόρου εντοπίζεται μόνο μία κοτύλη. Η ανάπτυξή του είναι ποώδης, ενώ γονιμοποιείται με

σταυρογονιμοποίηση, μέσω του ανέμου. Ο αραβόσιτος είναι φυτό C4 (Westgate et al., 2004).

Ριζικό σύστημα

Το ριζικό σύστημα του αραβοσίτου διακρίνεται σε εμβρυακό και μόνιμο. Κατά το φύτρωμα του σπόρου εξέρχεται η κολεόριζα με το ριζίδιο. Η προέκταση του ριζιδίου, μαζί με τις πρώτες 3 – 5 δευτερογενείς εμβρυακές ρίζες αποτελούν το εμβρυακό ριζικό σύστημα. Η ανάπτυξη του εμβρυακού ριζικού συστήματος μπορεί να συνεχίσει καθ' όλη τη διάρκεια ανάπτυξης της καλλιέργειας, φτάνοντας ακόμη και τα 1,5 – 2 m βάθος. Το μόνιμο ριζικό σύστημα αποτελείται από τις υπόλοιπες ρίζες που αναπτύσσονται κατά την πορεία της καλλιέργειας. Είναι πλούσιο, θυσσανώδες και φτάνει έως και 2,5 μέτρα βάθος. Ο αραβόσιτος, αναπτύσσει και εναέριες ρίζες. Πιο συγκεκριμένα, οι ρίζες αυτές φύονται από κόμβους τους στελέχους που βρίσκονται επάνω και κοντά στην επιφάνεια του εδάφους, βοηθώντας στη στήριξη του φυτού (Εικόνα Χ).



Εικόνα 2: Το ριζικό σύστημα του αραβοσίτου (Πηγή: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-0-387-79418-1_8)

Στέλεχος

Το στέλεχος είναι συμπαγές, κυλινδρικό και όρθιας ανάπτυξης. Από τη βάση προς την κορυφή του φυτού απαντώνται διογκώσεις. Οι διογκώσεις αυτές ονομάζονται κόμβοι (γόνατα). Το διάστημα μεταξύ των κόμβων ονομάζεται μεσογονάτιο διάστημα. Τα μεσογονάτια διαστήματα της βάσης είναι μεγαλύτερα σε μήκος, ενώ πλησιάζοντας την κορυφή, τα μεσογονάτια διαστήματα μικραίνουν. Στους κόμβους, εντοπίζονται οφθαλμοί, οι οποίοι αναπτύσσονται εναλλάξ. Οι οφθαλμοί της βάσης δίνουν κάποιες δομές που ονομάζονται αδέλφια. Τα αδέλφια είναι δευτερεύοντα στελέχη, που φύονται από τη βάση του φυτού.

Φύλλα

Τα φύλλα του αραβοσίτου αναπτύσσονται εναλλάξ από τους κόμβους του στελέχους και αποτελούνται από τον κολεό και το έλασμα. Ο κολεός περιβάλλει στενά το μεσογονάτιο τμήμα του στελέχους μέχρι τον επόμενο κόμβο προς τα πάνω. Το έλασμα έχει λογχοειδές και επίμηκες σχήμα, με μικρές τρίχες στην άνω επιφάνειά του, που το κάνουν τραχύ, ενώ η κάτω επιφάνειά του είναι λεία και χωρίς τρίχες.

Στο σημείο όπου ο κολεός διαχωρίζεται από το έλασμα, υπάρχει μια γλωσσίδα και μικρά τριγωνικά ωτία. Εκτός από τα κύρια φύλλα, υπάρχουν και τα βράκτια φύλλα, τα οποία αναπτύσσονται από τους κόμβους στη βάση του σπάδικα και έχουν προστατευτικό ρόλο.

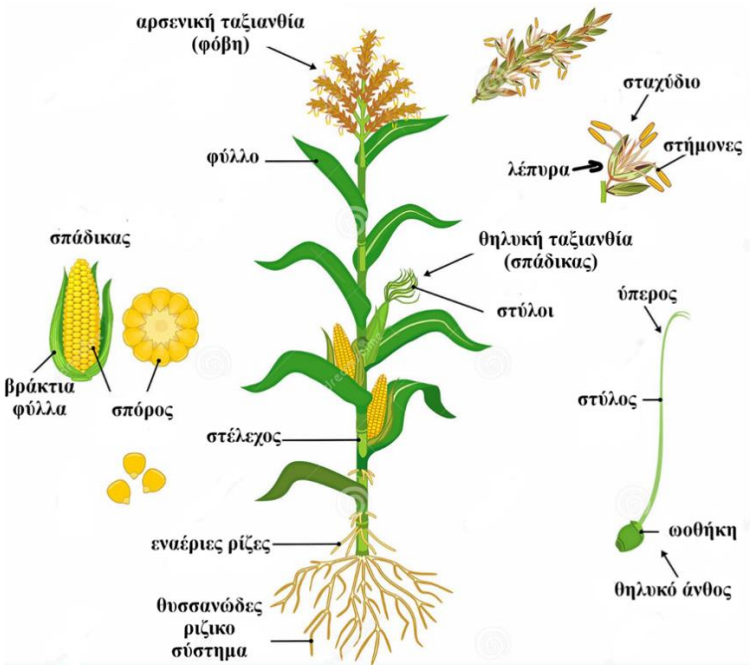
Ταξιανθία

Ο αραβόσιτος είναι φυτό μόνοικο – δίκλινο. Όπως γίνεται αντιληπτό, τόσο τα θηλυκά όσο και τα αρσενικά άνθη βρίσκονται σε διαφορετικές ταξιανθίες, επάνω στο ίδιο φυτό. Η αρσενική ταξιανθία είναι φόβη και εντοπίζεται στην κορυφή του φυτού. Αποτελείται από κλώνους, οι οποίοι εντοπίζονται σε σπειροειδή διάταξη. Από κάθε κόμβο εκφύονται ένα έμμισχο κι ένα άμισχο σταχύδιο. Κάθε σταχύδιο περιβάλλεται από λέπυρα και αποτελείται από δύο άνθη. Κάθε άνθος περικλείεται από τον χειτώνα κα τη λεπίδα και περιέχει 3 στήμονες, δύο μικρές γλωχίνες και υποτυπώδη στύλο. Η αρσενική ταξιανθία αναπτύσσεται πρώτα από τη θηλυκή.

Η θηλυκή ταξιανθία έχει τη μορφή στάχεος με παχύτερο άξονα και ονομάζεται σπάδικας ή ρόκα. Ο σπάδικας αποτελείται από την κνήμη, τα βράκτια και τον άξονα. Κάθε σταχύδιο διαθέτει δύο κοντά λέπυρα και περιλαμβάνει δύο άνθη, από τα οποία μόνο το ανώτερο είναι συνήθως γόνιμο. Στα άνθη εντοπίζονται χιτώνας, λεπίδα και ύπερος (στύλο και στίγμα). Ο αραβόσιτος είναι σταυρογονιμοποιούμενο φυτό, σε ποσοστό μεγαλύτερο του 97%.

Σπόρος

Ο σπόρος του αραβοσίτου είναι καρύοψη. Το σχήμα ποικίλει από πεπλατυσμένο, τριγωνικό, ωοειδές, σφαιρικό ή κωνικό. Το μέγεθος διαφέρει μεταξύ των διαφορετικών ποικιλιών και τύπων, ενώ το Βάρος Χιλίων Σπόρων (ΒΧΣ) μπορεί να είναι από 100 – 500 g. Ο σπόρος αποτελείται από το περικάρπιο, το ενδοσπέρμιο και το έμβρυο. Το ενδοσπέρμιο, καταλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος του σπόρου και αποτελείται από πρωτεΐνες και άμυλο (Παπακώστα-Τασοπούλου, 2008). Το χρώμα του σπόρου ποικίλει (Smith and Cooper, 2004). Αντίστοιχα, το σχήμα διαφέρει μεταξύ των ποικιλιών αραβοσίτου (Μπιλάλης et. al., 2019).



Εικόνα 3: Μέρη του φυτού του αραβοσίτου

1.4. Τύποι αραβοσίτου

Ο αραβόσιτος διακρίνεται σε επτά τύπους. Οι τύποι αυτοί, χαρακτηρίζονται κυρίως από τη δομή του ενδοσπερμίου (Ávila et al., 1998).

Αναλυτικότερα, υπάρχουν οι εξής:

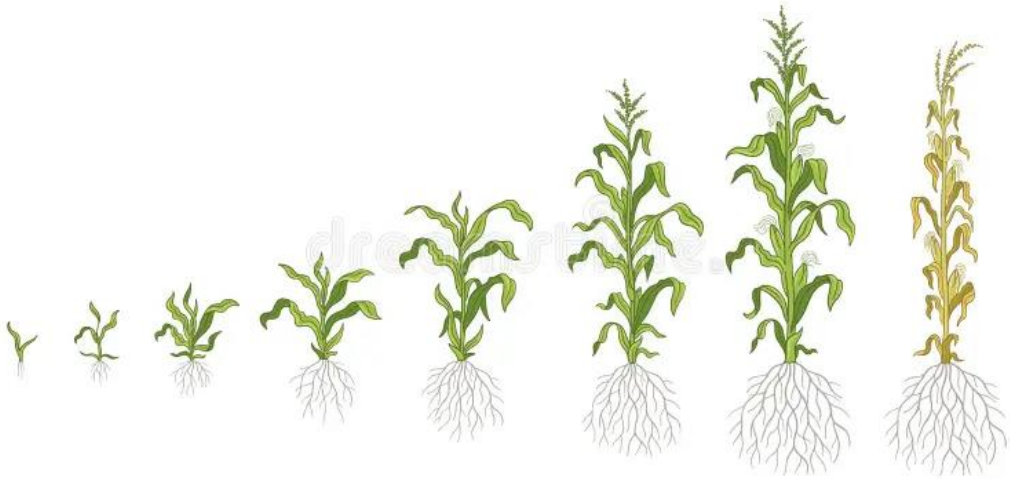
- Αμυλώδης: Ο αμυλώδης αραβόσιτος αποτελεί τον κύριο τύπο για την παραγωγή αλεύρων. Ο λόγος που τον κατατάσσει στους πλέον κατάλληλους, είναι η μορφή του ενδοσπερμίου του. Η δομή του ενδοσπερμίου είναι αλευρώδης (Paliwal et al., 2011).
- Κηρώδης: Η κύρια χρήση του κηρώδους αραβόσιτου είναι η βιομηχανική παραγωγή ουσιών συγκόλλησης.
- Ντυμένος: Ο ντυμένος αραβόσιτος διαθέτει έντονα περιβλήματα και η κύρια χρήση του είναι η παραγωγή φυτομάζας για κτηνοτροφή.
- Σακχαρώδης: Ο σακχαρώδης αραβόσιτος διαθέτει υψηλά επίπεδα σακχάων στο σπόρο του.
- Οδοντοειδής: Ο οδοντοειδής αραβόσιτος διαθέτει άμυλο, το οποίο είναι υαλώδες και αλευρώδες. Κατά την ωρίμανση, δημιουργεί μια χαρακτηριστική συρρίκνωση, κάνοντας το σπόρο να ομοιάζει με δόντι.
- Σκληρόκοκκος: Ο σκληρόκοκκος αραβόσιτος έχει σχήμα που πλησιάζει το σφαιρικό. Το εξωτερικό περίβλημα του σπόρου είναι ιδιαίτερα σκληρό.
- Μικρόκοκκος: Ο μικρόκοκκος αραβόσιτος διαθέτει σπόρους μικρού μεγέθους και σκληρούς. Το ενδοσπέρμιο είναι κατά κύριο λόγο υαλώδες. Κατά την θέρμανση του σπόρου το περικάρπιο διογκώνεται και σκάει.

1.5. Στάδια ανάπτυξης

Ο αραβόσιτος αποτελεί μια καλλιέργεια που δύναται να ολοκληρώσει τον βιολογικό του κύκλο σε διάστημα 110 – 200 ημερών. Σημαντική επίδραση στη διάρκεια του βιολογικού κύκλου, καθώς και την πορεία των σταδίων ανάπτυξης, έχουν οι καιρικές συνθήκες. Ωστόσο, για την ολοκλήρωση του βιολογικού κύκλου, ο αραβόσιτος περνά από τα παρακάτω στάδια ανάπτυξης.

Πίνακας 2: Στάδια ανάπτυξης αραβοσίτου

BBCH Στάδιο	Περιγραφή Σταδίου	Διάρκεια (ημέρες)
00-09	Βλάστηση: Έμβρυο στον σπόρο – Έναρξη φυτρώματος	5-10
10-19	Ανάπτυξη φύλλων: Πρώτο φύλλο – Πλήρης ανάπτυξη φύλλων	10-20
20-29	Ανάπτυξη βλαστού: Έναρξη επιμήκυνσης – Έναρξη επιμήκυνσης του κύριου στελέχους	10-15
30-39	Ανάπτυξη ταξιανθιών: Σχηματισμός σπάδικα και θηλυκών ανθέων	15-25
40-49	Ανάπτυξη οργάνων αναπαραγωγής: Σχηματισμός φουντωτού στύλου και γύρης	10-20
50-59	Ανθοφορία και επικονίαση: Έκπτυξη στύλων – Γονιμοποίηση	7-12
60-69	Ανάπτυξη καρπού: Γέμισμα σπόρων – Έναρξη αποθήκευσης αμύλου	20-30
70-79	Ωρίμανση καρπού: Έναρξη ξήρανσης – Φυσιολογική ωρίμανση	30-40
80-89	Πλήρης ωρίμανση: Ξήρανση φυτού – Έτοιμο για συγκομιδή	10-20
90-99	Γήρανση φυτού: Πλήρης ξήρανση φυτικού υλικού	



Εικόνα 4: Στάδια ανάπτυξης αραβοσίτου (Πηγη: https://gr.dreamstime.com/%CF%83%CF%84%CE%AC%CE%B4%CE%B9%CE%B1-%CE%B1%CE%BD%CE%AC%CF%80%CF%84%CF%85%CE%BE%CE%B7%CF%82-%CF%84%CF%89%CE%BD-%CF%86%CF%85%CF%84%CF%8E%CE%BD-%CE%B1%CF%81%CE%B1%CE%B2%CE%BF%CF%83%CE%AF%CF%84%CE%BF%CF%85-%CF%86%CE%AC%CF%83%CE%B5%CE%B9%CF%82-%CE%BA%CE%B1%CE%BB%CE%B1%CE%BC%CF%80%CE%BF%CE%BA%CE%B9%CE%BF%CF%8D-zea-mays-image198811324)

1.6. Προσαρμοστικότητα

Θερμοκρασία

Το φυτό αυτό απαιτεί υψηλές θερμοκρασίες και έντονο φωτισμό για να ενεργοποιήσει τη φωτοσυνθετική του δραστηριότητα. Η σπορά του πραγματοποιείται όταν η θερμοκρασία υπερβαίνει τους 10 °C, με ιδανική θερμοκρασία γύρω στους 20 °C. Για τη βλαστητική του ανάπτυξη, η βέλτιστη θερμοκρασία κυμαίνεται μεταξύ 24-30 °C, ενώ σε θερμοκρασίες άνω των 30 °C η ανάπτυξή του διαταράσσεται (Manrique, 1997). Οι ακραίες θερμοκρασίες, είτε πολύ υψηλές είτε πολύ χαμηλές, μπορούν να επηρεάσουν αρνητικά το φυτό (Aldrich & Leng, 1974), ιδίως κατά τη γονιμοποίηση, όπου η υπερβολική ζέστη το βλάπτει, και κατά την ωρίμανση, όπου ο παγετός πρέπει να αποφεύγεται.

Υγρασία

Η καλλιέργεια του αραβοσίτου αποτελεί μια από τις πιο υδροφόρες καλλιέργειες. Γενικότερα, οι απαιτήσεις της καλλιέργειας σε νερό κυμαίνονται από 400 – 800 χιλιοστά ανά καλλιεργητική περίοδο. Μεγαλύτερη ευαισθησία στην υδατική καταπόνηση εμφανίζει η καλλιέργεια στο στάδιο της άνθησης (López, 1991).

Φωτοπερίοδος

Ο αραβόσιτος αποτελεί φυτό μικρής ημέρας. Ωστόσο, εντοπίζονται γονότυποι, οι οποίοι δεν είναι τόσο ευαίσθητοι στη φωτοπερίοδο. Η αύξηση της ημέρας προκαλεί επέκταση της βλαστικής περιόδου της καλλιέργειας.

Έδαφος

Η καλλιέργεια του αραβοσίτου μπορεί να πραγματοποιηθεί σε διάφορους τύπους εδαφών. Τα βέλτιστα εδάφη για την καλλιέργεια είναι τα μέσης σύστασης, γόνιμα με καλό αερισμό και καλά επίπεδα στράγγισης νερού, με ουδέτερο pH. Η ανθεκτικότητα στην αλατότητα χαρακτηρίζεται ως μέτρια, επηρεάζοντας την ανάπτυξη των φυταρίων (Maas et al., 1983).

1.7. Καλλιεργητικές πρακτικές

Η καλλιέργεια του αραβόσιτου ξεκινάει από την προετοιμασία του εδάφους. Αποτελεί ίσως τη σημαντικότερη διαδικασία ακόμα καθώς σκοπός της είναι η δημιουργία της βέλτιστης σποροκλίνης, που θα υποδεχτεί το σπόρο, με σκοπό την πραγματοποίηση μιας ωραίας ανάπτυξης της καλλιέργειας. Η προετοιμασία του εδάφους ξεκινάει με το όργωμα το οποίο γίνεται κατά το φθινόπωρο, με σκοπό την αναστροφή του εδάφους και τη βελτίωση του αερισμού του. Την άνοιξη και παίρνει τη σπορά γίνεται πέρασμα επιφανειακό καλλιεργητή, με σκοπό το σπάσιμο των σβόλων.

Για την πραγματοποίηση της σποράς του αραβόσιτου, το έδαφος πρέπει να έχει φτάσει τους 10-12°C. Το παραπάνω πραγματοποιείται συνήθως στα τέλη Απριλίου με αρχές Μαΐου, ανάλογα την περιοχή της καλλιέργειας. Η απόσταση σποράς μεταξύ των γραμμών κυμαίνονται από 70 έως 80 cm ενώ η απόσταση των φυτών επί της γραμμής κυμαίνεται από 10 έως 25 cm. Το βάθος σποράς είναι συνήθως 4-5 cm.

Ο αραβόσιτος αποτελεί ένα φυτό το οποίο είναι απαιτητικό σε άζωτο, καθώς το συγκεκριμένο θρεπτικό βοηθά στην ανάπτυξη του φυλλώματος και του βλαστού. Η εφαρμογή του αζώτου συνιστάται να γίνεται σε περισσότερες των μία δόσεων ακόμα συνήθως 2-3, όπου η πρώτη ποσότητα αζώτου γίνεται με τη βασική λίπανση, κατά τη σπορά ακόμα ενώ οι υπόλοιπες κατά την ανάπτυξη και κατά την άνθηση. Εκτός από το άζωτο, ο φώσφορος είναι εξίσου σημαντικός για την ανάπτυξη της καλλιέργειας. Η

σημασία του εντοπίζεται στη ρίζα, όπου βελτιώνει ιδιαίτερα την ανάπτυξή της. Τέλος, το κάλιο βοηθά στην καρπόδεση, ενώ προάγει την αντοχή του φυτού σε καταπονήσεις.

Η καλλιέργεια του αραβοσίτου είναι ιδιαίτερα απαιτητική σε υγρασία. Απαιτεί τακτικές αρδεύσεις, κυρίως στα κρίσιμα στάδια καλλιέργειας (ανάπτυξη και γέμισμα). Συνήθως, πραγματοποιούνται 4-6 ποτίσματα, ανάλογα την περιοχή και τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν. Αποτελεσματικότερη μέθοδος άρδευσης φαίνεται να είναι η στάγδην.

Το καλαμπόκι χαρακτηρίζεται από έντονη πρώτη ανάπτυξη. Σύμφωνα με το παραπάνω, κερδίζει ένα προβάδισμα συγκριτικά με τα ζιζάνια, κάνοντας το να τα ανταγωνίζεται επιτυχώς. Ωστόσο, η διαχείριση των ζιζανίων είναι απαραίτητη για την καλλιέργεια. Συνήθως προτιμάται η χημική ζιζανιοκτονία, παρόλα αυτά, η διαχείριση των ζιζανίων μπορεί να γίνει και μηχανικά.

Ο αραβόσιτος επηρεάζεται από έντομα όπως τα σκαθάρια (π.χ. τον σκαθάρι του αραβοσίτου), οι θρίπες, οι αφίδες και οι κάμπιες. Προβλήματα μπορεί να προκύψουν από μυκητιακές ασθένειες όπως το φουζάριο και η ξηρή σήψη. Η επιτυχής διαχείριση των εχθρών και ασθενειών της καλλιέργειας, πραγματοποιείται μέσω χορήγησης χημικών ή βιολογικών σκευασμάτων.

Η συγκομιδή του αραβοσίτου γίνεται όταν οι καρποί είναι πλήρως ώριμοι, κατά τα τέλη του καλοκαιριού – αρχές του φθινοπώρου. Η συγκομιδή του αραβοσίτου έχει εκβιομηχανιστεί πλήρως. Αναλυτικότερα, η συγκομιδή γίνεται με χρήση θεριζοαλωνιστικών μηχανών (Μπιλάλης κ.α., 2019).

Μετά τη συγκομιδή, στο χωράφι παραμένουν τα καλάμια. Τα συγκεκριμένα, μπορεί να χρησιμοποιηθούν ως ζωοτροφή, καθώς και να ενσωματωθούν στο έδαφος για να αυξήσουν την οργανική του ύλη.

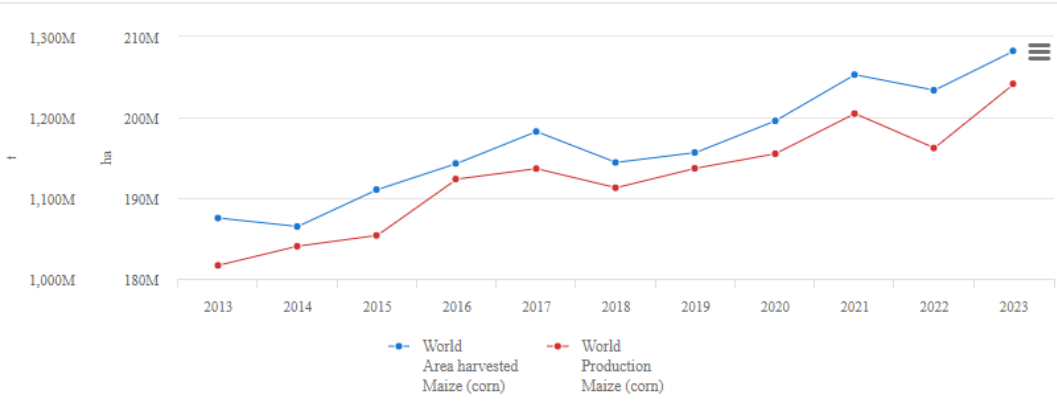
1.8. Χρήσεις

Ο αραβόσιτος χρησιμοποιείται έντονα για ανθρώπινη κατανάλωση. Αναλυτικότερα, αποτελεί συστατικό σε φαγητά και ποτά. Τόσο οι ίδιοι οι σπόροι καταναλώνονται από ανθρώπους, όσο και το αλεύρι, ως συστατικό σε ζυμαρικά και πίτες. Ακόμα, από το καλαμπόκι παράγεται σιρόπι, το οποίο λειτουργεί ως γλυκαντικό. Εκτός της ανθρώπινης κατανάλωσης το καλαμπόκι χρησιμοποιείται και ως ζωοτροφή. Τόσο οι ίδιοι οι σπόροι, όσο και τα υποπροϊόντα του χρησιμοποιούνται σε μείγματα

ζωοτροφών. Επιπρόσθετα, μέσω του αραβοσίτου παράγονται βιοκαύσιμα και βιοπλαστικά. Σημαντική είναι η χρήση του αραβοσίτου και στη βιομηχανία φαρμάκων και καλλυντικών.

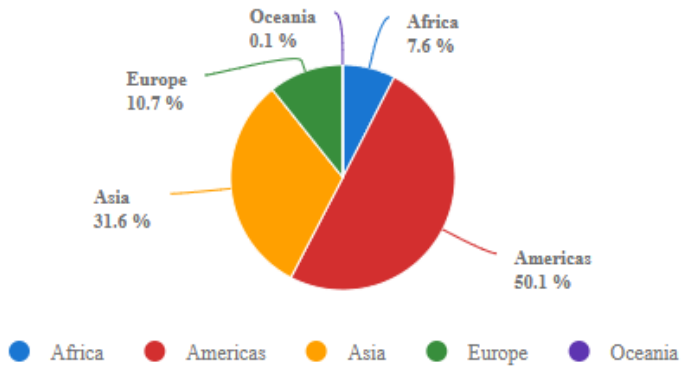
1.9. Παγκόσμια παραγωγή

Τα τελευταία χρόνια η καλλιέργεια του αραβοσίτου σημειώνει σημαντική αύξηση. Τόσο οι καλλιεργούμενες εκτάσεις, όσο και οι παραγόμενες ποσότητες, δείχνουν να έχουν αύξηση με το πέρασμα των ετών. Αναλυτικότερα, η καλλιέργεια αραβοσίτου καταλαμβάνει 208.234.140 εκτάρια, ενώ οι παραγόμενες ποσότητες αγγίζουν τους 1.241.557.811,36 τόνους (Faostat, 2025).



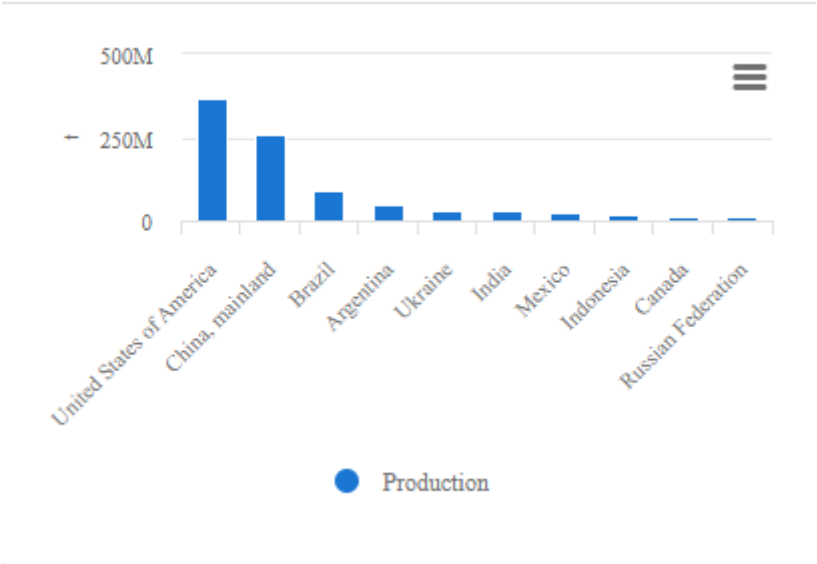
Διάγραμμα 1: Πορεία καλλιέργειας αραβοσίτου

Σε επίπεδο ηπείρων, η μεγαλύτερη παραγωγή αραβόσιτου εντοπίζεται στην Αμερική. Οι παραγόμενες ποσότητες της Αμερικής καλύπτουν το 50,1% της παγκόσμιας παραγωγής. Ακολουθεί η Ασία με ποσοστό 31,6% και η Ευρώπη με 10,7%.



Διάγραμμα 2: Παγκόσμια παραγωγή αραβοσίτου σε επίπεδο Ηπείρων

Οι ΗΠΑ αποτελούν την χώρα με τη μεγαλύτερη παραγωγή αραβοσίτου παγκοσμίως. Ακολουθεί η Κίνα και η Βραζιλία.

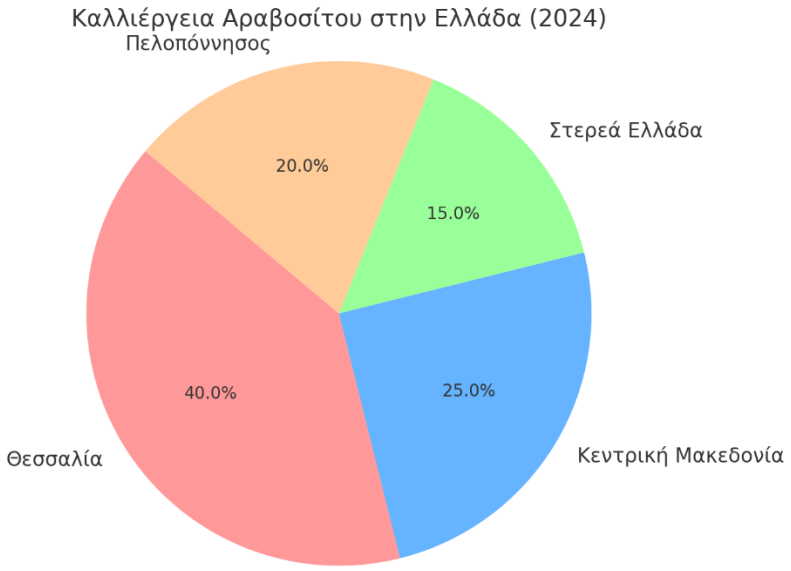


Διάγραμμα 3: Οι 10 χώρες με την μεγαλύτερη παραγωγή αραβοσίτου παγκοσμίως

1.10. Εγχώρια παραγωγή

Σύμφωνα με τα διαθέσιμα στοιχεία του ΟΠΕΚΕΠΕ για το έτος 2024, η καλλιεργούμενη έκταση αραβοσίτου στην Ελλάδα ανήλθε σε περίπου 2,5 εκατομμύρια στρέμματα (ΟΠΕΚΕΠΕ, 2025). Οι περιοχές με τη μεγαλύτερη παραγωγή αραβοσίτου είναι:

- Θεσσαλία: Ιδιαίτερα οι νομοί Λάρισας και Καρδίτσας, όπου οι κλιματικές συνθήκες ευνοούν την καλλιέργεια αραβοσίτου.
- Κεντρική Μακεδονία: Οι νομοί Ημαθίας και Πέλλας παρουσιάζουν υψηλές αποδόσεις λόγω της εύφορης πεδιάδας.
- Στερεά Ελλάδα: Ιδιαίτερα η περιοχή της Φθιώτιδας, γνωστή για την παραγωγή αραβοσίτου.
- Πελοπόννησος: Οι νομοί Αργολίδας και Κορινθίας έχουν σημαντική παραγωγή αραβοσίτου.



Διάγραμμα 4: Καλλιέργεια αραβοσίτου στην Ελλάδα

1.11. Ζεόλιθος

Ο ζεόλιθος είναι ένα από τα πιο κοινά ορυκτά που χρησιμοποιούνται για την αύξηση της φυτικής παραγωγής (Kavvadias et al., 2018). Ο συνδυασμός τους με οργανικά λιπάσματα, όπως το κομπόστ που προέρχεται από πρωτογενή γεωργικά υπολείμματα οργανικής προέλευσης, θα μπορούσε να βελτιώσει την αποτελεσματικότητα των οργανικών λιπασμάτων. Πράγματι, στο πλαίσιο της αύξησης της αποτελεσματικότητας των πρακτικών εφαρμογής των γεωργικών υπολειμμάτων, ένα από τα κύρια μέτρα που κρίθηκε άκρως αποτελεσματικό, βιολογικά δικαιολογημένο και περιβαλλοντικά ασφαλές, ειδικά σε υποβαθμισμένα εδάφη, είναι η χρήση φυσικών ζεόλιθων (Protic et al., 2003). Οι φυσικοί ζεόλιθοι έχουν φυσικές και χημικές ιδιότητες κατάλληλες για ένα ευρύ φάσμα βιομηχανικών, γεωργικών και εμπορικών εφαρμογών, λόγω των μοναδικών φυσικών και χημικών ιδιοτήτων τους (κρυσταλλικότητα, θερμική σταθερότητα, καλά καθορισμένη δομή κλωβού μοριακού μεγέθους, ανταλλαγή ιόντων κ.λπ.). Οι φυσικοί ζεόλιθοι θεωρούνται γενικά ως υλικά χαμηλού κόστους, ασφαλή και φιλικά προς το περιβάλλον, κατάλληλα για μια τεράστια ποικιλία χρήσεων, όπως η αποκατάσταση του εδάφους, ο έλεγχος της διαβρωσιμότητας του εδάφους και η βελτίωση των συνθηκών του εδάφους σε ξηρά και ημίξηρα περιβάλλοντα, ιδιαίτερα σε αμμώδη και εδάφη φτωχά σε άργιλο (Yasuda et al., 1998).

Ο πιο συνηθισμένος ζεόλιθος για γεωργικές εφαρμογές, από περισσότερα από 40 φυσικά είδη ζεόλιθου, είναι ο κλινοπτιλόλιθος, ο οποίος λειτουργεί ως εδαφοβελτιωτικό για τη φυτική παραγωγή, λόγω της εξαιρετικά υψηλής ικανότητας ανταλλαγής ιόντων (DeSutter and Pierzynski, 2005), ενώ βελτιώνει το διαθέσιμο νερό και την αύξηση της αποδοτικότητας χρήσης νερού (Gruener et al., 2003, Ahmed et al., 2010). Οι ζεόλιθοι έχουν χρησιμοποιηθεί με επιτυχία στην καλλιέργεια διαφορετικών καλλιεργειών (Pierla et al., 1984, Markovic et al., 1995, Gruener et al., 2003).

Επιπλέον, σε πείραμα αγρού που πραγματοποιήθηκε, διαπιστώθηκε ότι, οι συγκεντρώσεις θρεπτικών συστατικών που προσδιορίστηκαν σε ιστούς αραβοσίτου (Zea mays L.) επηρεάστηκαν σαφώς από την προσθήκη ζεόλιθου. Συγκεκριμένα, η χρήση ανόργανων λιπασμάτων αναμεμειγμένων με ζεόλιθους αύξησε αξιοσημείωτα την πρόσληψη N, P και K και την αποτελεσματικότητα χρήσης τους στις ρίζες, τα φύλλα και το στέλεχος (Ahmed et al., 2010). Επίσης, σε άλλο πείραμα διαπιστώθηκε ότι ο κλινοπτιλόλιθος που προστέθηκε στο έδαφος με ουρία μείωσε την καταστολή της ανάπτυξης, που συνήθως συμβαίνει όταν η ουρία προστίθεται μόνη της στο έδαφος (Mumpton, 1985).

Όσον αφορά τις ιδιότητες του εδάφους, οι ζεόλιθοι έχουν πολλές θετικές επιδράσεις, όπως η αύξηση της υγρασίας του εδάφους, η προώθηση της υδραυλικής αγωγιμότητας και η αύξηση των αποδόσεων σε οξινισμένα εδάφη. χρησιμοποιούνται ευρέως ως εδαφοβελτιωτικά για τη βελτίωση των φυσικοχημικών ιδιοτήτων του εδάφους και της ικανότητας ανταλλαγής κατιόντων (ΙΑΚ) του εδάφους (Kralova et al., 1994, DeSutter and Pierzynski, 2005). Επίσης, η εφαρμογή φυσικού ζεόλιθου στο έδαφος, για τον έλεγχο του pH, αύξησε τη διαθεσιμότητα μακροθρεπτικών συστατικών και βελτίωσε την κατακράτηση αμμωνίου (Dwyer and Dyer, 1984, Cataldo et al., 2021). Η κύρια χρήση των ζεόλιθων στη γεωργία είναι η δέσμευση, η αποθήκευση και η αργή απελευθέρωση αζώτου. Υπάρχουν αρκετές αναφορές στη βιβλιογραφία που δείχνουν ότι η προσθήκη ζεόλιθου στην πηγή N μπορεί να βελτιώσει την αποδοτικότητα χρήσης αζώτου (Markovic et al., 1995, Gruener et al., 2003, Cataldo et al., 2021). Ο ζεόλιθος, όταν αναμιγνύεται με ενώσεις αζώτου, φωσφόρου και καλίου, ενισχύει τη δράση τέτοιων ενώσεων ως λιπασμάτων βραδείας αποδέσμευσης, τόσο σε εντατικές όσο και σε εκτατικές καλλιέργειες (Dwairi, 1998). Οι ζεόλιθοι φορτισμένοι με αμμώνιο έχουν επίσης δοκιμαστεί με επιτυχία για την ικανότητά τους να αυξάνουν τη διαλυτοποίηση των φωσφορικών ορυκτών. Μελέτες που διεξήχθησαν για την εξέταση της

διαλυτότητας και των σχέσεων ανταλλαγής κατιόντων σε μείγματα φωσφορικών πετρωμάτων και κορεσμένου κλινοπτιλόλιθου NH4 + και K+, αποκάλυψαν ότι τα μείγματα ζεόλιθου και φωσφορικού πετρώματος έχουν τη δυνατότητα να παρέχουν λίπανση βραδείας απελευθέρωσης φυτών σε συνθετικά εδάφη, με διάλυση. και αντιδράσεις ανταλλαγής ιόντων (Allen et al., 1993). Επιπλέον, οι φυσικοί ζεόλιθοι έδειξαν υψηλή συγγένεια με βαρέα μέταλλα όπως Cd, Pb, Cr, Zn, Cu κ.λπ., λόγω της υψηλής κατιοντοανταλλακτικής τους ικανότητας (Kumar et al., 2007, Tashauoei et al., 2010).

Η μακροχρόνια υπερβολική χρήση γεωργικών χημικών και κυρίως ανόργανων λιπασμάτων έχει αλλοιώσει τη γονιμότητα του εδάφους, έχει μολύνει το περιβάλλον και τις πηγές νερού και έχει επηρεάσει επίσης την ανθρώπινη υγεία (Diacono and Montemurro, 2010). Πρόσφατα, μετά την ανακάλυψη των συνεπειών της απώλειας γονιμότητας του εδάφους, οι έρευνες προχωρούν για την εκ νέου εφαρμογή των παραδοσιακών πρακτικών για τη βελτίωση της γονιμότητας του εδάφους με στόχο την μείωση του αποτυπώματος του διοξειδίου του άνθρακα. Ένας αριθμός φυσικής προέλευσης εδαφοβελτιωτικών χρησιμοποιούνται για τη βελτίωση της γονιμότητας του εδάφους, τα οποία όχι μόνο ενισχύουν τη διαθεσιμότητα θρεπτικών ουσιών στο έδαφος αλλά και επεκτείνουν τη γεωργική βιωσιμότητα συμβάλλοντας στη μείωση του αποτυπώματος άνθρακα (Baldock et al., 2012). Συγκεκριμένα, η εφαρμογή εδαφοβελτιωτικών μπορεί να έχει άμεσα οφέλη, όπως αύξηση της απόδοσης και της ποιότητα των καλλιεργειών, αύξηση της γονιμότητας και της ποιότητας του εδάφους, αντικατάσταση ή υποκατάσταση των ανόργανων λιπασμάτων και αποκατάσταση χερσαίων εκτάσεων, καθώς και έμμεσα οφέλη, όπως ανακύκλωση οργανικών απορριμμάτων, μείωση της διάβρωσης του εδάφους, ασφαλές και καθαρό περιβάλλον, ακόμη και μετριασμό της κλιματικής αλλαγής (Protic et al., 2003, Razzaghi et al., 2020, Cataldo et al., 2021).

Η εφαρμογή εδαφοβελτιωτικών όπως ο ζεόλιθος στα λιπάσματα αποσκοπούν στη διατήρηση των θρεπτικών συστατικών για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Με την εφαρμογή των εν λόγω εδαφοβελτιωτικών, τα εφαρμοζόμενα θρεπτικά συστατικά απελευθερώνονται κατά τον πρώτο χρόνο καθώς και κατά τα επόμενα χρόνια. Αυτό βοηθά στη μείωση της έκπλυσης των θρεπτικών ουσιών από τα στρώματα του εδάφους, έτσι ώστε να μπορεί να μειωθεί η ποσότητα του λιπάσματος που εφαρμόζεται (DeLuca και DeLuca, 1997). Επίσης, η εφαρμογή των συγκεκριμένων εδαφοβελτιωτικών είναι

ένας αποτελεσματικός τρόπος για τη βελτίωση της κατάστασης του εδάφους σε ένα άνυδρο και ημίξηρο περιβάλλον (Yasuda et al., 1998). Συγκεκριμένα, σε πειράματα που πραγματοποιήθηκαν αποδείχθηκε ότι οι εφαρμογές φυσικού ζεόλιθου αύξησαν το διαθέσιμο άζωτο και φώσφορο στο μέσο καλλιέργειας, δηλαδή στο έδαφος (Abdi, 2006).

Υπάρχουν αρκετές αναφορές στη βιβλιογραφία που δείχνουν ότι η προσθήκη ζεολίθου ως πηγή Ν μπορούν να βελτιώσουν την αποδοτικότητα χρήσης αζώτου (Gruener et al., 2003; McGilloway et al., 2003; Rehakova et al., 2004). Οι επιφανειακά τροποποιημένοι ζεόλιθοι μπορούν να λειτουργήσουν ως φορείς ανιόντων προσσφέροντας αργή απελευθέρωση των θρεπτικών ουσιών (Bansiwal et al., 2006) Το υψηλό δυναμικό των ζεόλιθων ως αζωτούχων λιπασμάτων έχει αποδειχθεί. Συγκεκριμένα, η χρήση τους μπορεί να μειώσει τα περιβαλλοντικά προβλήματα και να αυξήσει την αποδοτικότητα των λιπασμάτων (Markovic et al., 1995, Gruener et al., 2003). Έχει επαληθευτεί ότι όταν αναμιγνύεται με ενώσεις αζώτου, φωσφόρου και καλίου, ο ζεόλιθος ενισχύει τη δράση τέτοιων ενώσεων ως λιπάσματα βραδείας αποδέσμευσης, τόσο σε εντατικές όσο και σε εκτατικές καλλιέργειες (Dwairi, 1998). Οι φυσικοί ζεόλιθοι έχουν υψηλή τάση για εκλεκτικές ιδιότητες αμμωνίου (Kithome et al., 1999). Η κύρια χρήση των ζεόλιθων στη γεωργία είναι για δέσμευση, αποθήκευση και βραδεία απελευθέρωση αζώτου. Έχει αποδειχθεί ότι οι ζεόλιθοι, με την ειδική εκλεκτικότητά τους για το αμμώνιο (NH4), μπορούν να προσλάβουν αυτό το συγκεκριμένο κατιόν είτε από κοπριά αγροκτημάτων, κομπόστ ή λιπάσματα που περιέχουν αμμώνιο, μειώνοντας έτσι τις απώλειες αζώτου στο περιβάλλον. Υπάρχει μια νέα δυνατότητα, που είναι η προσθήκη ζεόλιθου στο οργανικό υπόστρωμα (Legge, 2000). Οι φυσικοί ζεόλιθοι, λόγω της δομής και των ιδιοτήτων τους, αδρανές και μη τοξικό υλικό μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως αργά απελευθερούμενος φορέας λιπάσματος (Rehakova et al., 2004). Είναι δυνατό να επιτευχθεί αύξηση της αποτελεσματικότητας του αζωτούχου λιπάσματος σε αροτραίες καλλιέργειες όταν χρησιμοποιούνται αζωτούχοι κλινοπτιλόλιθοι σε σύγκριση με τη χρήση ουρίας (Ahmed et al., 2010). Οι Ferguson και Pepper (1987) πρότειναν ότι οι επιδράσεις του ζεόλιθου στην πρόσληψη αζώτου και την ανάπτυξη των φυτών θα ποικίλλουν ανάλογα με τον τύπο του εδάφους και ότι το μέγιστο όφελος θα αναμενόταν σε εδάφη με χονδροειδής υφή χαμηλής ικανότητας ανταλλαγής κατιόντων.

Η εφαρμογή ενός συστήματος αργής απελευθέρωσης αζώτου, μέσω της εφαρμογής ζεολίθου, που θα χρησιμοποιηθεί ως τεχνολογία λίπανσης, θα μπορούσε ταυτόχρονα

να συμβάλει στη μείωση της μόλυνσης και στη βελτίωση των αποδόσεων των καλλιεργειών, ειδικά εκείνων που έχουν αυξημένες απαιτήσεις σε εισροές, όπως ο αραβόσιτος και το βαμβάκι.

Οι Ippolito et al. (2011) μελέτησαν την επίδραση ανόργανης, οργανικής λίπανσης και της εφαρμογής ζεόλιθου στην καλλιέργεια αραβόσιτου υπό διαφορετικές συνθήκες άρδευσης σε αμμώδες έδαφος. Τα αποτελέσματά τους έδειξαν ότι ο συνδυασμός λιπάσματος οργανικής κοπριάς με ζεόλιθο οδήγησε σε σημαντικά υψηλότερη απόδοση αραβόσιτου σε σύγκριση με την παραλλαγή λιπάσματος που τροποποιήθηκε με ουρία, υπό κανονική άρδευση, μέτρια υδατική καταπόνηση και έντονες συνθήκες υδατικής καταπόνησης. Επίσης, ένα πείραμα πεδίου για τη διερεύνηση της επίδρασης του ζεόλιθου με τη μορφή κλινοπτιλόλιθου ως συμπλήρωμα στην ανόργανη λίπανση διεξήχθη από τους Tsintskaladze et al. (2017), οι οποίοι χρησιμοποίησαν τον αραβόσιτο ως δοκιμαστική καλλιέργεια. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, η εφαρμογή μόνο 300 kg ha−1 νιτρικού αμμωνίου επέτρεψε να ληφθεί απόδοση σε σπόρο της τάξεως των 7,4 t ha−1, ενώ για την παραλλαγή που συνδυάζει 75 kg ha−1 ζεόλιθου και 225 kg ha−1 νιτρικού αμμωνίου, η λαμβανόμενη απόδοση σε σπόρο ήταν 8,8 t ha−1, σημειώνοντας αύξηση 18,9%.

1.12. Σκοπός μελέτης

Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η αξιολόγηση του ζεόλιθου ως μέσο λίπανσης καλλιεργειών. Αναλυτικότερα, αξιολογείται η χρήση δύο ποσοτήτων ζεόλιθου σε καλλιέργεια αραβοσίτου. Παράλληλα, μελετάται η επίδραση τόσο του ίδιου του ζεόλιθου, όσο και της ταυτόχρονης χρήσης αζωτούχου λίπανσης.

2. Υλικά και Μέθοδοι

Περιοχή μελέτης

Για τις ανάγκες του πειράματος, επιλέχθηκε η περιοχή της Καρδίτσας. Αναλυτικότερα, ένα πείραμα πραγματοποιήθηκε στην περιοχή της Καρδίτσας (39º21’56’’N, 21º57’18’’E). Η συνολική διάρκεια του πειράματος ήταν 92 ημέρες.

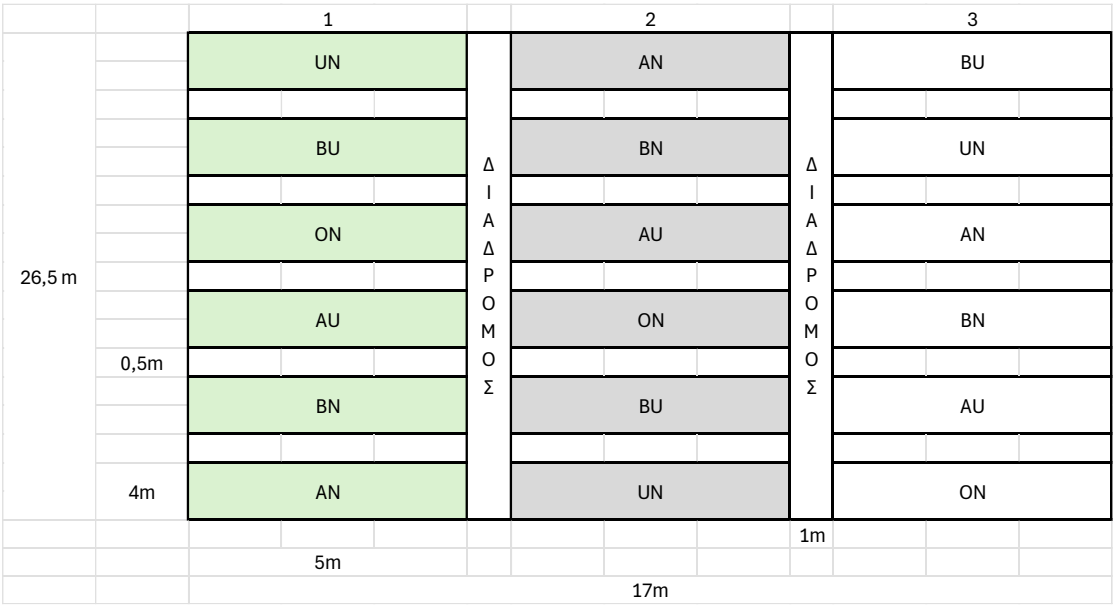


Εικόνα 5: Ο πειραματικός αγρός (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)

Πειραματικό σχέδιο

Για τις ανάγκες του πειράματος σχεδιάστηκε πείραμα με τη μορφή των υποδιαρεμένων τεμαχίων (split plot). Σε αυτό το πείραμα υπήρχαν 3 επαναλήψεις και δύο παράγοντες. Οι διαστάσεις των plot ήταν 4 X 5 μέτρα (20m2), ενώ η συνολική έκταση ήταν 450,5 m2.

Ακολουθεί το πειραματικό σχέδιο.



Εικόνα 6: Το πειραματικό σχέδιο (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)

Όπου:

U: Urea

N: No fertilizer

A: 500 kg ζεόλιθο / στρ

B: 750 Kg ζεόλιθο / στρ

O: No zeolite

Εδαφολογική ανάλυση

Πίνακας 3: Εδαφολογική ανάλυση του αγρού

Κοκκομετρική σύσταση	Clay Loam (CL)	Αργιλοπηλώδες
pH (1:1 H2O)	7,18	Ελαφρώς αλκαλικό
Οργανική ουσία (%)	2,4	Ικανοποιητικό
CaCO3 (%)	16,06	Μαργώδες
NO3- (ppm)	103,9	Επαρκές
P (Olsen) (ppm)	9,93	Οριακό
Na+ (ppm)	112	Υψηλό

Πολλαπλασιαστικό υλικό

Πίνακας 4: Χαρακτηριστικά σπόρου σποράς

ΕΙΔΟΣ	ΚΑΛΑΜΠΟΚΙ – ποικιλία Jolly
ΣΠΟΡΟΜΕΡΙΔΑ	010181503
ΒΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ	85%
ΚΑΘΑΡΟΤΗΤΑ	99%
ΧΩΡΑ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ	ΕΛΛΑΔΑ

Μεταχειρίσεις

Πριν τη σπορά πραγματοποιήθηκε φρεζάρισμα, κατά το οποίο ενσωματώθηκαν ο ζεόλιθος και το λίπασμα. Αναλυτικότερα, προστέθηκαν δύο ποσότητες ζεόλιθου και μια ποσότητα λιπάσματος. Εκτός των παραπάνω υπήρχαν και τα τεμάχια του μάρτυρα, τα οποία δεν δέχτηκαν κάποια μεταχείριση. Ο ζεόλιθος που χρησιμοποιήθηκε ήταν ο Θρακικός Ζεόλιθος με διάμετρο 2,5 – 5 χιλιοστά. Αντίστοιχα, χρησιμοποιήθηκε λίπασμα 46 – 0 – 0, με δοσολογία 20 μονάδες Ν στο στρέμμα.

Οι συμβολισμοί και οι αναλυτικές ποσότητες παρουσιάζονται παρακάτω:

ON Control (Χωρίς προσθήκη ζεόλιθου και χωρίς προσθήκη λιπάσματος)

AN Ζεόλιθος 500 kg/στρ

BN Ζεόλιθος 750 kg/στρ

OU Urea (20 μονάδες)

AU Urea (20 μονάδες) + Ζεόλιθος 500 kg/στρ

BU Urea (20 μονάδες) + Ζεόλιθος 750 kg/στρ



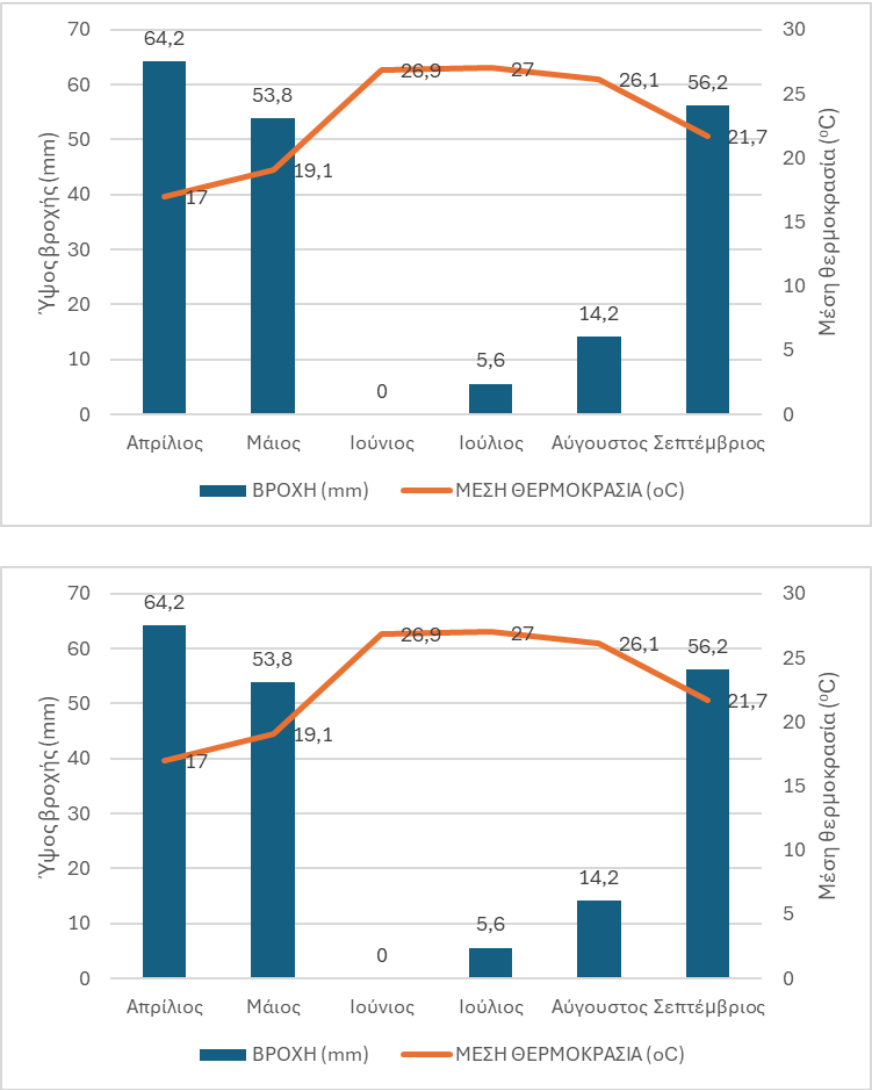
Εικόνα 7: Ο ζεόλιθος που χρησιμοποιήθηκε (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)

Μετεωρολογικά δεδομένα

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα μετεωρολογικά δεδομένα για την περιοχή της Καρδίτσας κατά τους μήνες Απρίλιο – Σεπτέμβριο 2024.

Πίνακας 5: Κλιματολογικές συνθήκες την περίοδο του πειράματος

	ΒΡΟΧΗ (mm)	ΜΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (ºC)	ΜΕΣΗ ΥΨΗΛΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (oC)	ΜΕΣΗ ΧΑΜΗΛΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (oC)
Απρίλιος	64,2	17	25,7	9,2
Μάιος	53,8	19,1	25,7	13
Ιούνιος	0	26,9	35,2	18,5
Ιούλιος	5,6	27	35,6	19,1
Αύγουστος	14,2	26,1	35,2	18,7
Σεπτέμβριος	56,2	21,7	29,6	15,2



Διάγραμμα 5: Καιρικές συνθήκες κατά τη διάρκεια του πειράματος

Μετρήσεις

Κατά την πορεία ανάπτυξης των φυτών πραγματοποιήθηκαν 3 μετρήσεις. Οι μετρήσεις αυτές έγιναν σε 3 διαφορετικές Ημέρες Από Σπορά (ΗΑΣ). Στόχος επιλογής των αντίστοιχων ημερών ήταν η μέτρηση των χαρακτηριστικών σε διάφορα στάδια της καλλιέργειας. Τα δείγματα που λαμβάνονταν κατά τη μέτρηση ήταν 5. Τα 5 αυτά φυτά επιλέγονταν τυχαία από το plot. Κόπτονταν στο ύψος του λαιμού (σημείο επαφής του φυτού με το έδαφος) και μεταφέρονταν στο εργαστήριο για τη συνέχεια της διαδικασίας.

Αρχικά μετριούταν το ύψος φυτού. Με τη χρήση μέτρου, μετρώταν το σημείο κοπής του φυτού (λαιμός), μέχρι το κορυφαίο μερίστωμα. Η μέτρηση πραγματοποιούταν με

χρήση μέτρου. Στη συνέχεια, το φυτ΄οζυγιζόταν σε ζυγό ακριβείας, με σκοπό τη μέτρηση του νωπού του βάρους. Έπειτα από αυτρή τη διαδικασία, τα φυτά του αραβοσίτου μεταφέρονταν σε φούρνο για 48 ώρες στους 65oC, με σκοπό την αποξήρανση τους. Έπειτα από αυτό το χρονικό διάστημα ξαναζυγίζονταν, με σκοπό τη μέτρηση του ξηρού τους βάρους.

Κατά την πορεία ανάπτυξης των φυτών, ζυγίζονταν και οι σπάδικες, με σκοπό τον υπολογισμό του βάρους των σπαδίκων. Παράλληλα, κατά τη συγκομιδή μετρήθηκε το Βάρος Χιλίων Σπόρων (ΒΧΣ). Κατά τη συγκεκριμένη μέτρηση επιλέχθηκαν τυχαία 50 σπόροι και ζυγίστηκαν. Η διαδικασία επαναλήφθηκε 3 φορές. Στη συνέχεια, πργαματοπιήθηκε αναγωγή στους 1000 σπόρους. Από κάθε plot συγκομίσθηκε 1m2, με σκοπό τη μέτρηση της απόδοσης. Από αυτή την έκταση, ζυγίστηκαν οι συγκομιζόμενοι σπόροι και πραγματοποιήθηκε αναγωγή στο στρέμμα.

Όσον αφροά τα δείγματα του εδάφους, η μέτρηση της υγρασίας του εδάφους πραγματοποιήθηκε ως εξής: Αρχικά, λήφθηκε δείγμα εδάφους και ζυγίστηκε (υγρό βάρος). Στη συνέχεια, το δείγμα τοποθετήθηκε σε φούρνο στους 105°C για 24 ώρες, ώστε να εξατμιστεί η υγρασία. Μετά την ξήρανση, ζυγίστηκε ξανά (ξηρό βάρος) και η περιεκτικότητα σε νερό υπολογίστηκε με τον τύπο:

$$\text{Υγρασία (\%)} = \text{Υγρό βάρος} - \text{Ξηρό βάρος} / \text{Ξηρό βάρος} \times 100$$

Για τη μέτρηση της αντίστασης του εδάφους στη διείσδυση, χρησιμοποιήθηκε πενετρόμετρο. Η αιχμή του εισήχθη στο έδαφος με σταθερή πίεση και καταγράφηκε η δύναμη που απαιτήθηκε για τη διείσδυση σε διάφορα βάθη. Τα δεδομένα αξιολογήθηκαν ώστε να προσδιοριστεί ο βαθμός συμπίεσης του εδάφους.

Τέλος, μετρήθηκε η περιεκτικότητα των σπόρων σε πρωτεΐνη. Η μέτρηση της περιεκτικότητας του σπόρου αραβοσίτου σε πρωτεΐνη με τη μέθοδο Kjeldahl πραγματοποιήθηκε ως εξής: Αρχικά, το δείγμα αλέστηκε και υποβλήθηκε σε πέψη με θειικό οξύ (H_2SO_4) παρουσία καταλυτών, ώστε το οργανικό άζωτο να μετατραπεί σε αμμώνιο (NH_4^+). Στη συνέχεια, προστέθηκε υδροξείδιο του νατρίου (NaOH), απελευθερώνοντας αμμωνία (NH_3), η οποία συλλέχθηκε σε διάλυμα οξέος. Η ποσότητα του δεσμευμένου αζώτου προσδιορίστηκε με ογκομέτρηση, και η συνολική περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη υπολογίστηκε πολλαπλασιάζοντας το άζωτο με τον συντελεστή 6,25. Αντίστοιχα, με αναγωγή, υπολογίσθηκε και η απόδοση της καλλιέργειας σε πρωτεΐνη.

Καλλιεργητικές πρακτικές

Η κατεργασία του εδάφους πραγματοποιήθηκε πριν τη σπορά. Αναλυτικότερα, έγινε φρέζα, όπου ενσωματώθηκαν τα λιπάσματα και ο ζεόλιθος (όπως πρόσταζε το πειραματικό σχέδιο). Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε η χάραξη του αγρού, με σκοπό την προετοιμασία για τη σπορά. Η σπορά πραγματοποιήθηκε στις 11/5. Οι αποστάσεις σποράς ήταν 1 μέτρο μεταξύ των γραμμών, ενώ η απόσταση μεταξύ των φυτών ήταν 10 εκατοστά. Μετά τη σπορά πραγματοποιήθηκε πότισμα 1 ½ ώρας με κανόνι, ενώ μετά την ανάδυση των φυτών εγκαταστάθηκε σύστημα στάγδην άρδευσης. Κατά τη διάρκεια του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν 440,8 mm νερού για την άρδευση της καλλιέργειας. Κατά τη διάρκεια του πειράματος η διαχείριση των ζιζανίων γινόταν χειρωνακτικά, σε εβδομαδιαία βάση. Η συγκομιδή πραγματοποιήθηκε 92 ημέρες μετά τη σπορά, με το χέρι.





Εικόνα 8: Η καλλιέργεια σε διάφορα στάδια ανάπτυξης (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)

Στατιστική ανάλυση

Η στατιστική ανάλυση των δεδομένων έγινε με τη χρήση του προγράμματος Statgraphics. Αναλυτικότερα, πραγματοποιήθηκε ανάλυση διασποράς καθώς και LSD test σε επίπεδο σημαντικότητας 5%.

3. Αποτελέσματα

ΕΔΑΦΟΣ

Εδαφική υγρασία

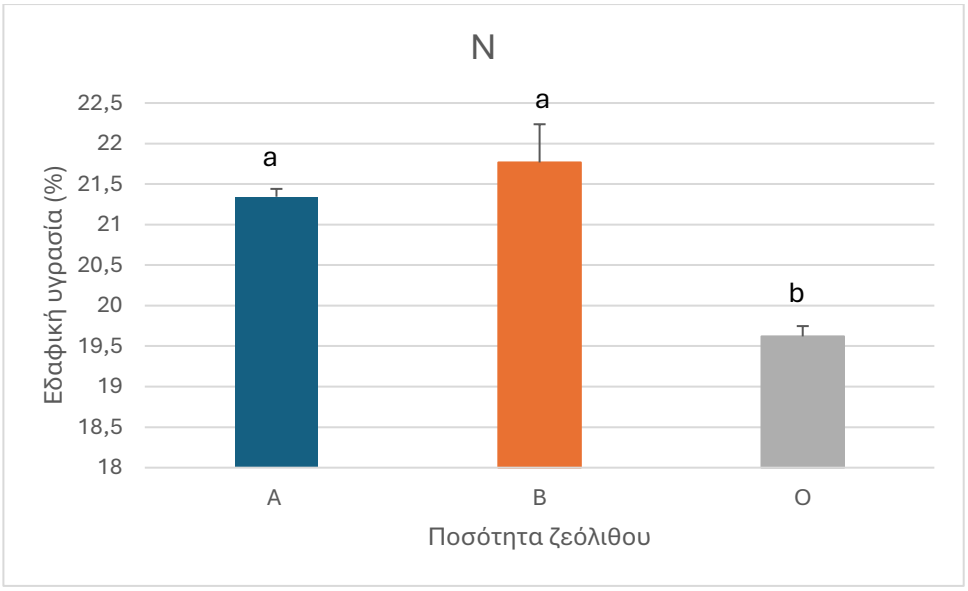
Πίνακας 6: Ανάλυση διασποράς (ANOVA) για την εδαφική υγρασία σε επίπεδο σημαντικότητας α=0,05

	AT	*BE*	*MT*	*F-Ratio*	*P-Value*
ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΖΕΟΛΙΘΟΥ	15,4288	2	7,7144	61,09	***
ΛΙΠΑΝΣΗ	0,00045	1	0,00045	0,00	ns
ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ	0,000133333	2	0,0000666667	0,00	ns
ΥΠΟΛΟΙΠΟ	1,51547	12	0,126289		
ΣΥΝΟΛΟ	16,9448	17			

Η εδαφική υγρασία επηρεάστηκε στατιστικά σημαντικά μόνο από τον παράγοντα της ποσότητας ζεόλιθου. Η λίπανση, δεν επηρέασε στατιστικά σημαντικά τα αποτελέσματα. Η προσθήκη ζεόλιθου στο έδαφος, είχε ως επακόλουθο την αύξηση της εδαφικής υγρασίας. Αναλυτικότερα, η αύξηση της υγρασίας ήταν ανάλογη με την ποσότητα του ζεόλιθου που προστέθηκε.

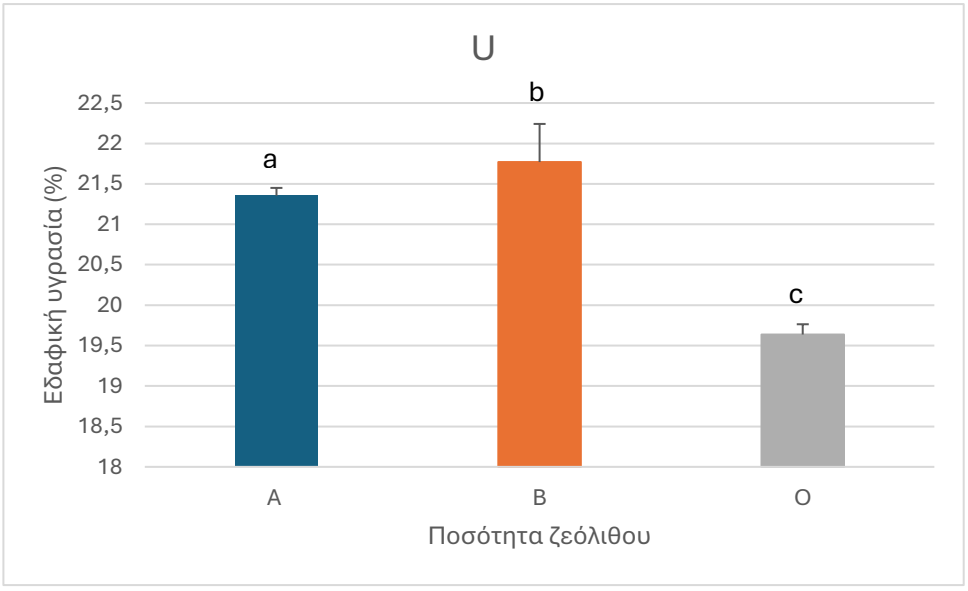
Πίνακας 7: One way anova για την υγρασία του εδάφους

Source	*Sum of Squares*	*Df*	*Mean Square*	*F-Ratio*	*P-Value*
Between groups	7,75727	2	3,87863	15,66	**
Within groups	1,48653	6	0,247756		
Total (Corr.)	9,2438	8			



Διάγραμμα 6: Επίδραση της προσθήκης ζεόλιθου στην επέμβαση N
Τα διαφορετικά γράμματα σηματοδοτούν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των επεμβάσεων

Source	*Sum of Squares*	*Df*	*Mean Square*	*F-Ratio*	*P-Value*
Between groups	7,67167	2	3,83583	795,45	***
Within groups	0,0289333	6	0,00482222		
Total (Corr.)	7,7006	8			



Διάγραμμα 7: Επίδραση της προσθήκης ζεόλιθου στην επέμβαση U
Τα διαφορετικά γράμματα σηματοδοτούν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των επεμβάσεων

Αντίσταση στη διείσδυση (mm/h)

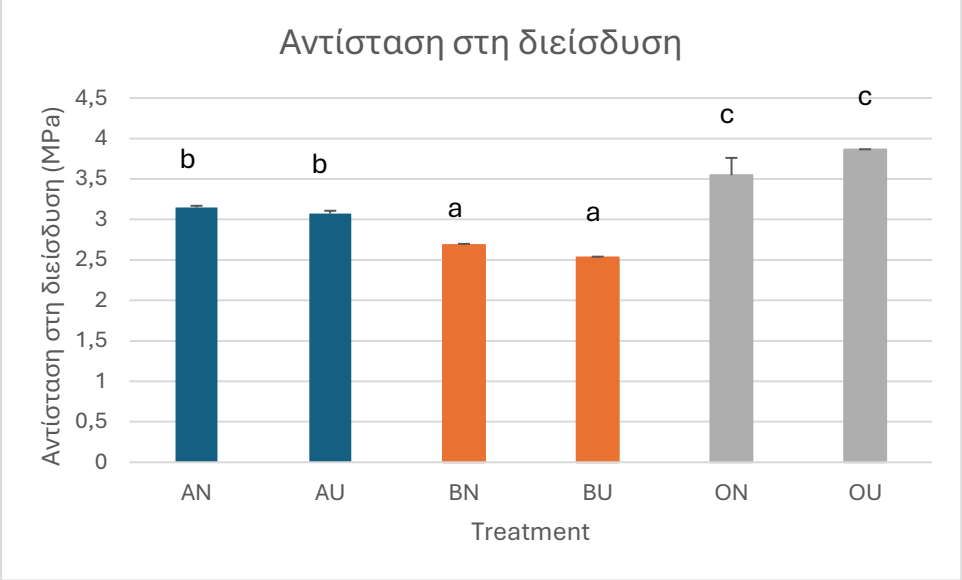
Πίνακας 8: Ανάλυση διασποράς (ANOVA) για την αντίσταση του εδάφους στη διείσδυση σε επίπεδο σημαντικότητας α=0,05

	AT	*BE*	*MT*	*F-Ratio*	*P-Value*
MAIN EFFECTS					
ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΖΕΟΛΙΘΟΥ	3,62741	2	1,81371	76,22	***
ΛΙΠΑΝΣΗ	0,00405	1	0,00405	0,17	ns
INTERACTIONS					
ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ	0,1897	2	0,09485	3,99	*
ΥΠΟΛΟΙΠΟ	0,285533	12	0,0237944		
ΣΥΝΟΛΟ	4,10669	17			

Η αντίσταση στη διείσδυση επηρεάστηκε στατιστικά σημαντικά από την αλληλεπίδραση των δύο παραγόντων του πειράματος. Αναλυτικότερα, τόσο η ποσότητα ζεόλιθου, όσο και η λίπανση επηρέασαν στατιστικά σημαντικά τα αποτελέσματα. Πιο συγκεκριμένα η χρήση ζεόλιθου μείωσε την αντίσταση στη διείσδυση, πράγμα που ευνοεί την ανάπτυξη των ριζών στο έδαφος.

Πίνακας 9: One way ANOVA για την αντίσταση στη διείσδυση

Source	*Sum of Squares*	*Df*	*Mean Square*	*F-Ratio*	*P-Value*
Between groups	3,43943	5	0,687886	26,51	***
Within groups	0,285383	11	0,0259439		
Total (Corr.)	3,72481	16			



Διάγραμμα 8: Επίδραση της αλληλεπίδρασης των παραγόντων του πειράματος στην αντίσταση του εδάφους στη διείσδυση
Τα διαφορετικά γράμματα σηματοδοτούν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των επεμβάσεων

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΦΥΤΟΥ

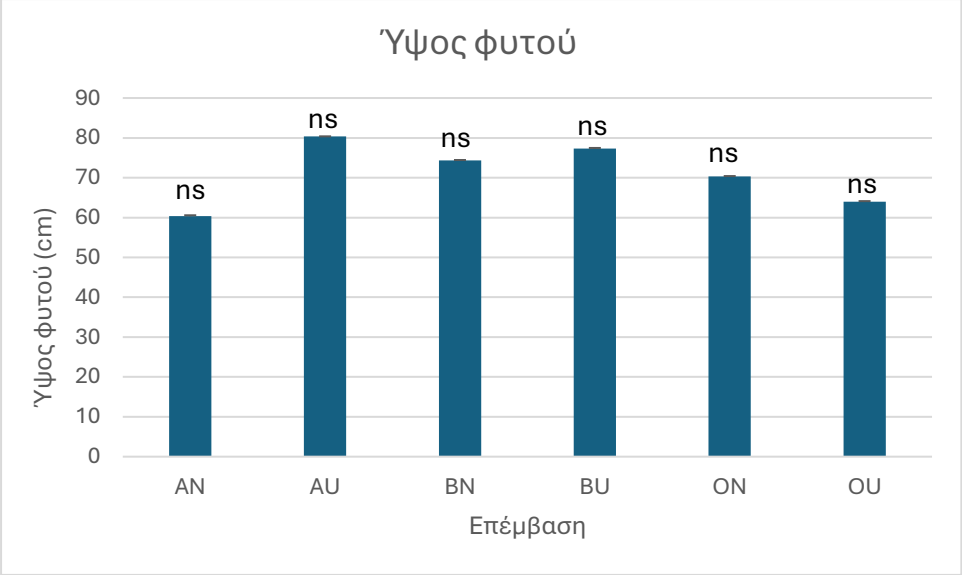
30 Ημέρες Από Σπορά (ΗΑΣ)

Ύψος φυτού

Πίνακας 10: Ανάλυση διασποράς (ANOVA) για το ύψος φυτού στις 30 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας α=0,05

Source	*Sum of Squares*	*Df*	*Mean Square*	*F-Ratio*	*P-Value*
MAIN EFFECTS					
A:Col_1	230,778	2	115,389	0,28	ns
B:Col_2	138,889	1	138,889	0,34	ns
INTERACTIONS					
AB	534,778	2	267,389	0,65	ns
RESIDUAL	4967,33	12	413,944		
TOTAL (CORRECTED)	5871,78	17			

Το ύψος του φυτού δεν επηρεάστηκε στατιστικά σημαντικά από τους παράγοντες του πειράματος. Τόσο η λίπανση, όσο και η χρήση ζεόλιθου δεν κατάφεραν να επηρεάσουν το ύψος του φυτού κατά τα πρώτα στάδια ανάπτυξης της καλλιέργειας.



Διάγραμμα 9: Επίδραση των παραγόντων του πειράματος στο ύψος φυτού κατά τις 30 ΗΑΣ
Τα διαφορετικά γράμματα σηματοδοτούν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των επεμβάσεων

Νωπό βάρος φυτού

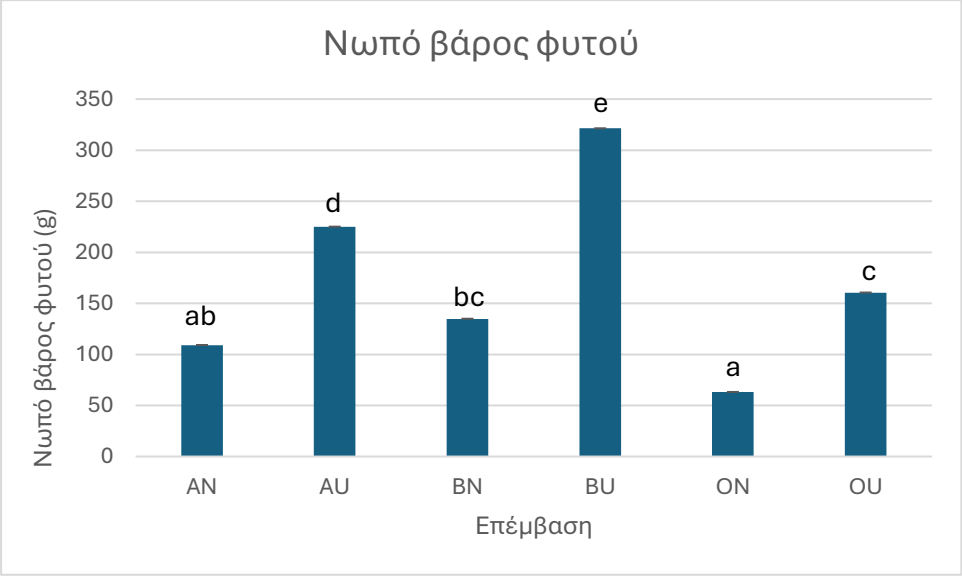
Πίνακας 11: Ανάλυση διασποράς (ANOVA) για το νωπό βάρος φυτού στις 30 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας α=0,05

Source	*Sum of Squares*	*Df*	*Mean Square*	*F-Ratio*	*P-Value*
MAIN EFFECTS					
A:Col_1	40529,1	2	20264,6	25,66	***
B:Col_2	80066,7	1	80066,7	101,39	***
INTERACTIONS					
AB	6670,14	2	3335,07	4,22	*
RESIDUAL	9476,17	12	789,681		
TOTAL (CORRECTED)	136742,	17			

Το νωπό βάρος φυτού φάνηκε να επηρεάζεται στατιστικά σημαντικά από την αλληλεπίδραση των παραγόντων του πειράματος. Αναλυτικότερα, η χρήση χημικού λιπάσματος αύξησε το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό, ενώ η ταυτόχρονη χρήση ζεόλιθου έδωσε ακόμη υψηλότερα αποτελέσματα.

Πίνακας 12: One way ANOVA για το νωπό βάρος φυτού κατά την πρώτη μέτρηση

Source	*Sum of Squares*	*Df*	*Mean Square*	*F-Ratio*	*P-Value*
Between groups	*127266,*	*5*	*25453,2*	*32,23*	***
Within groups	*9476,17*	*12*	*789,681*		
Total (Corr.)	*136742,*	*17*			



Διάγραμμα 10: Επίδραση των παραγόντων του πειράματος στο νωπό βάρος του φυτού κατά τις 30 ΗΑΣ
Τα διαφορετικά γράμματα σηματοδοτούν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των επεμβάσεων

Ξηρό βάρος φυτού

Πίνακας 13: Ανάλυση διασποράς (ANOVA) για το ξηρό βάρος φυτού κατά την πρώτη μέτρηση

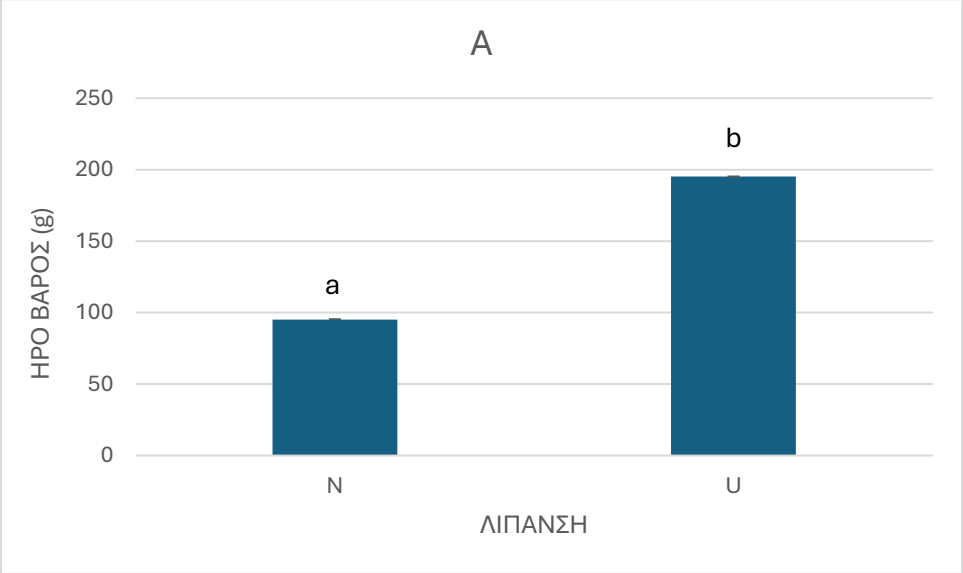
	Sum of Squares	*Df*	*Mean Square*	*F-Ratio*	*P-Value*
MAIN EFFECTS					
A:Col_1	1052,37	2	526,184	0,14	ns
B:Col_2	63270,7	1	63270,7	16,58	**
INTERACTIONS					
AB	2833,9	2	1416,95	0,37	ns
RESIDUAL	45796,0	12	3816,34		
TOTAL (CORRECTED)	112953,	17			

Το ξηρό βάρος φυτού φάνηκε να επηρεάζεται στατιστικά σημαντικά μόνο από την χρήση λιπάσματος. Αναλυτικότερα, η χρήση αζωτούχου λίπανσης φάνηκε να επηρεάζει

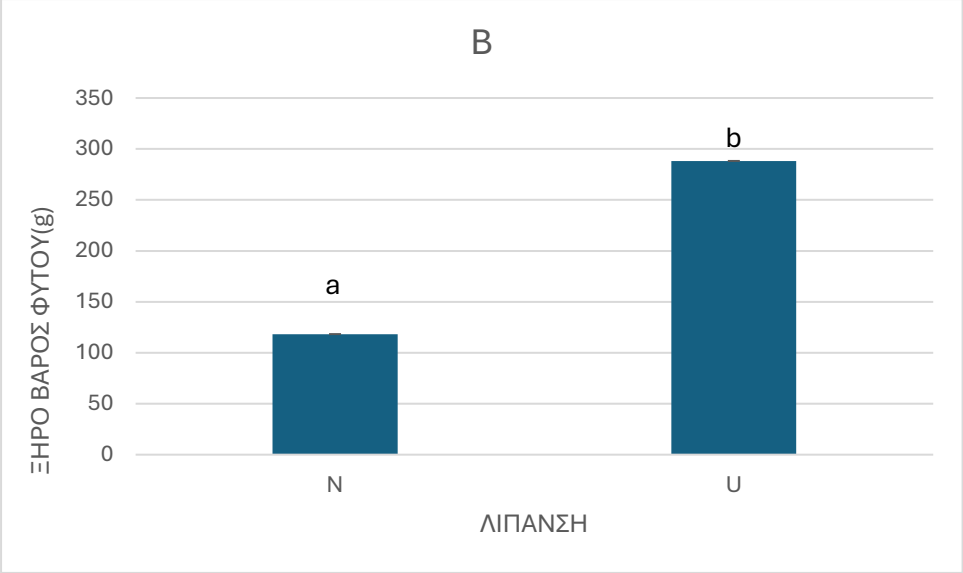
το ξηρό βάρος φυτού, προκαλώντας του αντίστοιχη αύξηση. Η χρήση ζεόλιθου δεν επηρέασε στατιστικά σημαντικά τα αποτελέσματα για το ξηρό βάρος φυτού.

Πίνακας 14: One way ANOVA για το ξηρό βάρος φυτού κατά την πρώτη μέτρηση

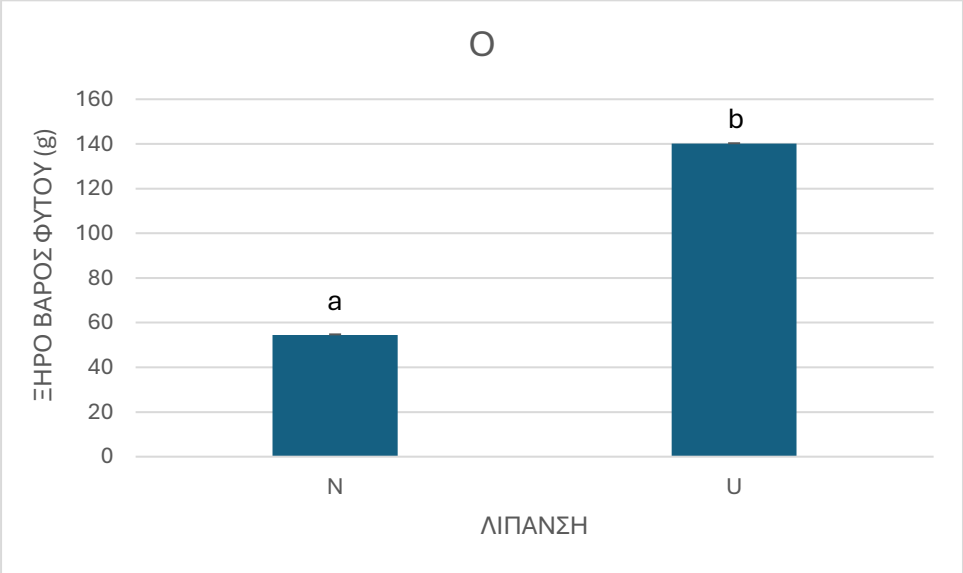
Source	*Sum of Squares*	*Df*	*Mean Square*	*F-Ratio*	*P-Value*
Between groups	14988,0	1	14988,0	89,28	**
Within groups	671,49	4	167,872		
Total (Corr.)	15659,5	5			



	Sum of Squares	*Df*	*Mean Square*	*F-Ratio*	*P-Value*
Between groups	43384,0	1	43384,0	20,65	**
Within groups	8403,17	4	2100,79		
Total (Corr.)	51787,2	5			



	Sum of Squares	*Df*	*Mean Square*	*F-Ratio*	*P-Value*
Between groups	11016,7	1	11016,7	52,70	**
Within groups	836,2	4	209,05		
Total (Corr.)	11852,9	5			



Δεύτερη μέτρηση (60 ΗΑΣ)

Ύψος

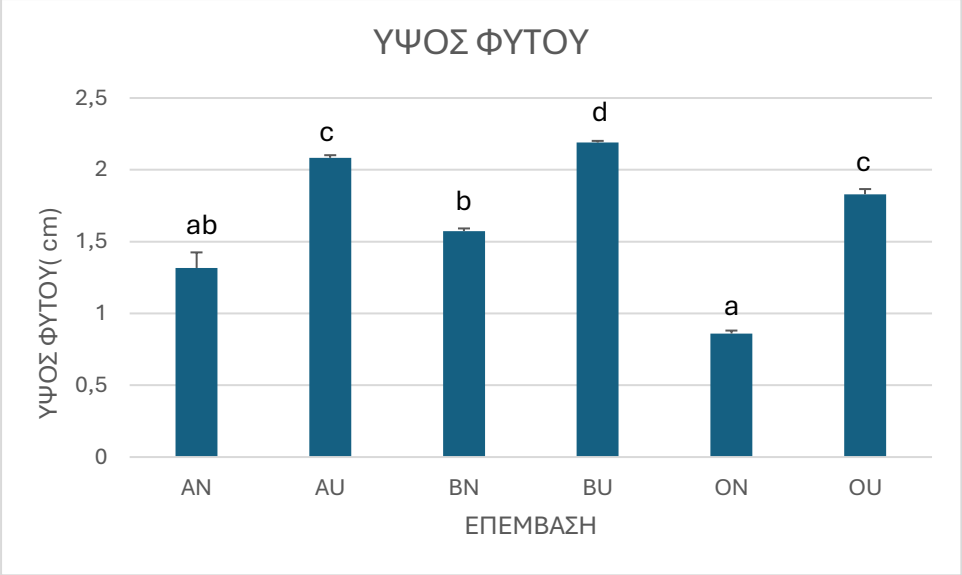
Πίνακας 15: Ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) για το ύψος φυτού κατά τη δεύτερη μέτρηση

Source	*Sum of Squares*	*Df*	*Mean Square*	*F-Ratio*	*P-Value*
MAIN EFFECTS					
A:Col_1	0,894078	2	0,447039	62,52	***
B:Col_2	2,76909	1	2,76909	387,29	***
INTERACTIONS					
AB	0,0943444	2	0,0471722	6,60	*
RESIDUAL	0,0858	12	0,00715		
TOTAL (CORRECTED)	3,84331	17			

Το ύψος του φυτού φάνηκε να διαφέρει στατιστικά σημαντικά στην αλληλεπίδραση των δύο παραγόντων ν. Τόσο η χρήση ζεόλιθου, όσο και η χρήση λίπανσης επηρέασαν ταυτόχρονα στατιστικά σημαντικά τα αποτελέσματα.

Πίνακας 16: One way anova για το ύψος φυτού κατά τη δεύτερη μέτρηση

Source	*Sum of Squares*	*Df*	*Mean Square*	*F-Ratio*	*P-Value*
Between groups	3,75751	5	0,751502	105,11	***
Within groups	0,0858	12	0,00715		
Total (Corr.)	3,84331	17			



Διάγραμμα 11: Επίδραση των δύο παραγόντων του πειράματος στο ύψος φυτού κατά τη δεύτερη μέτρηση

Νωπό βάρος φυτού

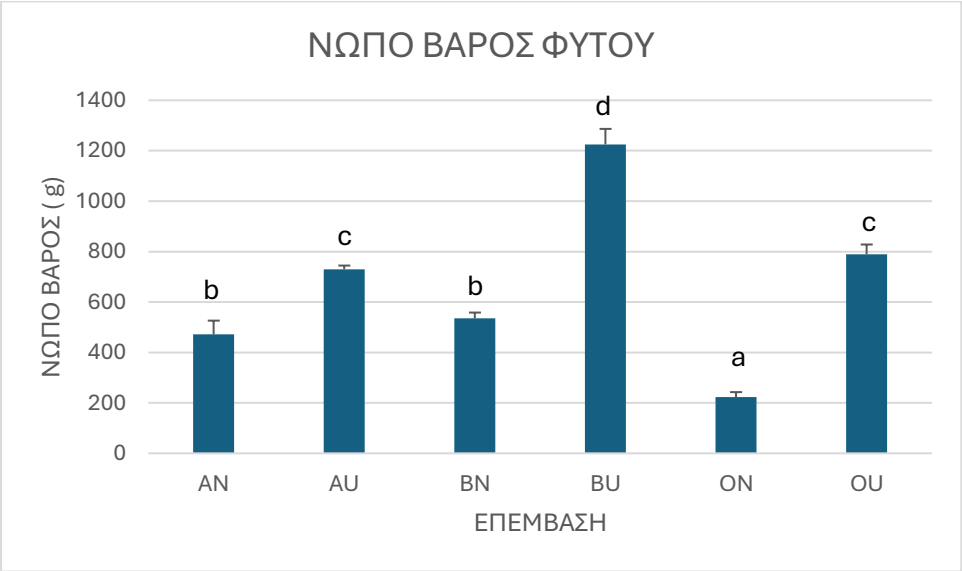
Πίνακας 17: Ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) για το νωπό βάρος φυτού κατά τη δεύτερη μέτρηση

	Sum of Squares	*Df*	*Mean Square*	*F-Ratio*	*P-Value*
ΖΕΟΛΙΘΟΣ	453727,0	2	226864,0	48,26	***
ΛΙΠΑΝΣΗ	1,14746E6	1	1,14746E6	244,10	***
ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ	148518,0	2	74259,1	15,80	***
ΥΠΟΛΟΙΠΟ	56409,6	12	4700,8		
ΣΥΝΟΛΟ	1,80612E6	17			

Κατά τη δεύτερη μέτρηση, το νωπό βάρος φυτού εμφανίστηκε να επηρεάζεται στατιστικά σημαντικά από τους παράγοντες του πειράματος. Αναλυτικότερα, τόσο η λίπανση, όσο και η ποσότητα ζεόλιθου επηρέασαν στατιστικά σημαντικά τα αποτελέσματα. Πιο συγκεκριμένα, το νωπό βάρος επηρεάστηκε από την αλληλεπίδραση των δύο παραγόντων.

Πίνακας 18: One way anova για το νωπό βάρος φυτού κατά τη δεύτερη μέτρηση

	Sum of Squares	*Df*	*Mean Square*	*F-Ratio*	*P-Value*
Between groups	1,74971E6	5	349941,0	74,44	***
Within groups	56409,6	12	4700,8		
Total (Corr.)	1,80612E6	17			



Διάγραμμα 12: Επίδραση των παραγόντων του πειράματος στο νωπό βάρος φυτού κατά τη δεύτερη μέτρηση

Ξηρό βάρος

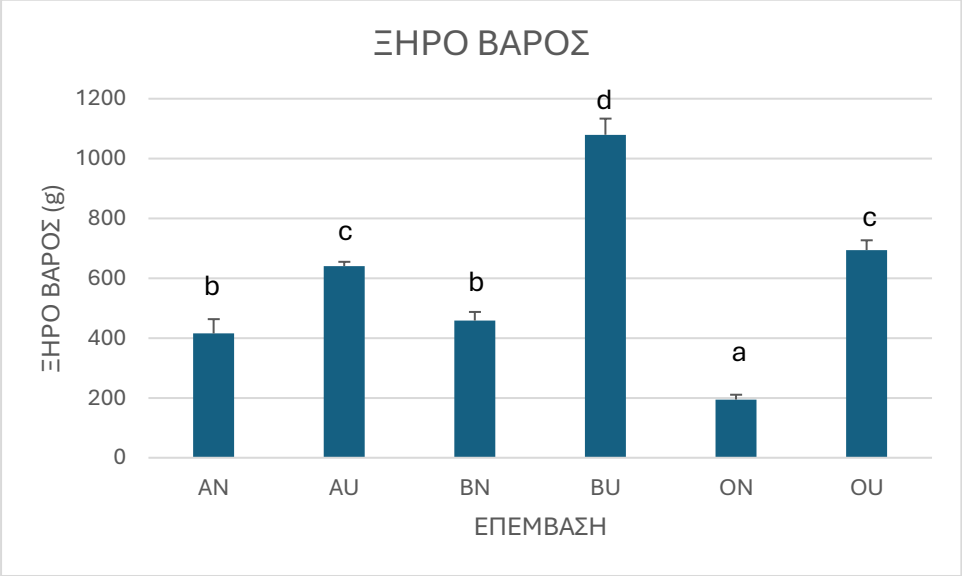
Πίνακας 19: Ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) για το ξηρό βάρος φυτού κατά τη δεύτερη μέτρηση

	Sum of Squares	*Df*	*Mean Square*	*F-Ratio*	*P-Value*
ΖΕΟΛΙΘΟΣ	340904,0	2	170452,0	44,97	0,0000
ΛΙΠΑΝΣΗ	906172,0	1	906172,0	239,06	0,0000
ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ	123208,0	2	61603,8	16,25	0,0004
ΥΠΟΛΟΙΠΟ	45486,5	12	3790,54		
ΣΥΝΟΛΟ	1,41577E6	17			

Κατά τη δεύτερη μέτρηση, το ξηρό βάρος φυτού εμφανίστηκε να επηρεάζεται στατιστικά σημαντικά από τους παράγοντες του πειράματος. Αναλυτικότερα, τόσο η λίπανση, όσο και η ποσότητα ζεόλιθου επηρέασαν στατιστικά σημαντικά τα αποτελέσματα. Πιο συγκεκριμένα, το ξηρό βάρος επηρεάστηκε από την αλληλεπίδραση των δύο παραγόντων.

Πίνακας 20: One way anova για το ξηρό βάρος φυτού κατά τη δεύτερη μέτρηση

	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	1,37028E6	5	274057,	72,30	***
Within groups	45486,5	12	3790,54		
Total (Corr.)	1,41577E6	17			



Διάγραμμα 13: Επίδραση των παραγόντων του πειράματος στο ξηρό βάρος του φυτού κατά τη δεύτερη μέτρηση

Τρίτη μέτρηση (90 ΗΑΣ)

Ύψος φυτού

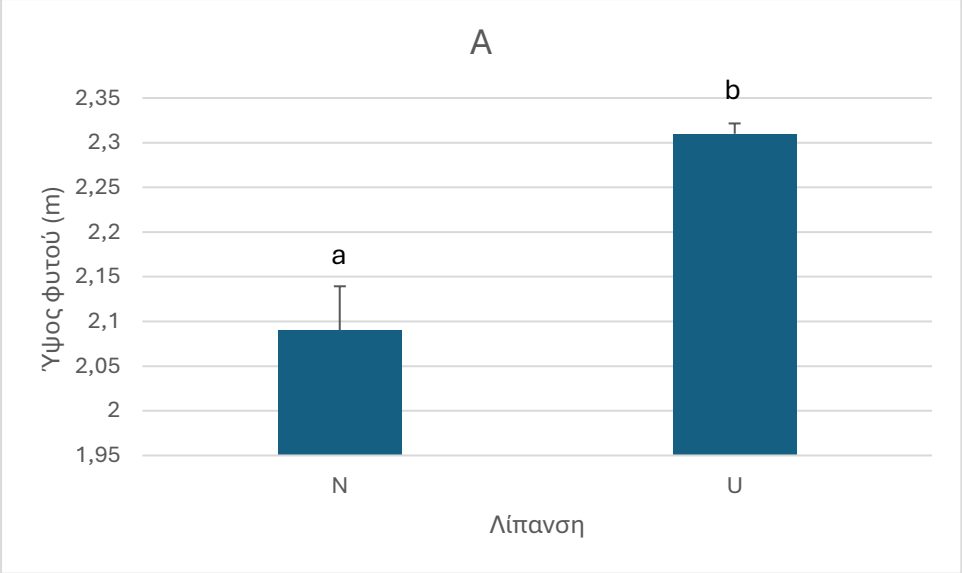
Πίνακας 21: Ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) για το ύψος φυτού κατά την τρίτη μέτρηση:

Source	*Sum of Squares*	*Df*	*Mean Square*	*F-Ratio*	*P-Value*
MAIN EFFECTS					
A:Col_1	0,0336778	2	0,0168389	3,26	ns
B:Col_2	0,28125	1	0,28125	54,44	***
INTERACTIONS					
AB	0,0272333	2	0,0136167	2,64	ns
RESIDUAL	0,062	12	0,00516667		
TOTAL (CORRECTED)	0,404161	17			

Το ύψος του φυτού, στην τρίτη μέτρηση φάνηκε να διαφέρει στατιστικά σημαντικά στον παράγοντα της ποσότητας ζεόλιθου. Αναλυτικότερα, με την αύξηση της ποσότητας ζεόλιθου, επήλθε αύξηση του ύψους του φυτού. Αντίθετα, η αζωτούχους λίπανσης δεν κατάφερε να επηρεάσει στατιστικά σημαντικά τα αποτελέσματα.

Πίνακας 22: One way anova για το ύψος του φυτού στη μικρή ποσότητα ζεόλιθου κατά την τρίτη μέτρηση

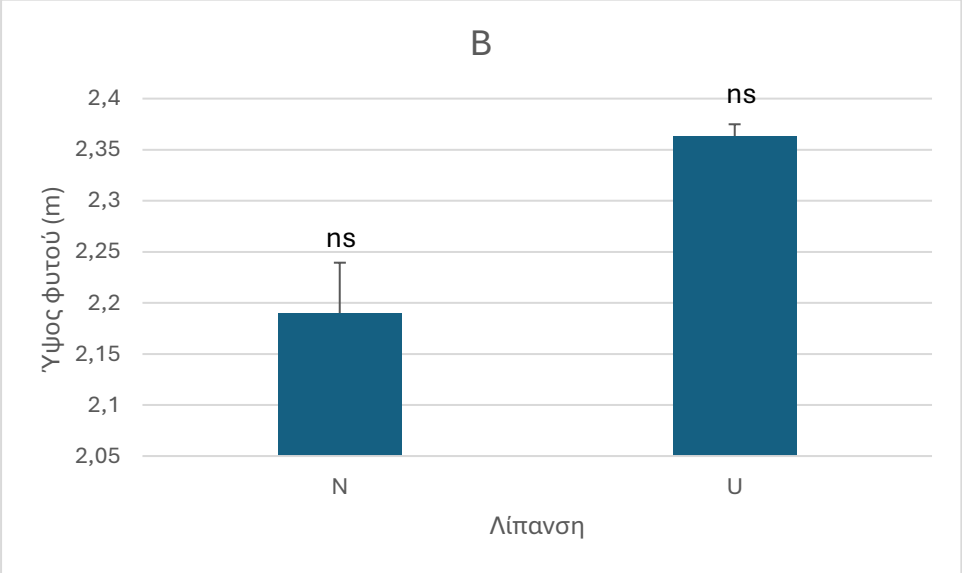
Source	*Sum of Squares*	*Df*	*Mean Square*	*F-Ratio*	*P-Value*
Between groups	0,0726	1	0,0726	18,86	*
Within groups	0,0154	4	0,00385		
Total (Corr.)	0,088	5			



Διάγραμμα 14: Επίδραση της λίπανσης στη μικρή ποσότητα ζεόλιθου

Πίνακας 23: One way anova για το ύψος φυτού κατά την τρίτη μέτρηση σε υψηλή ποσότητα ζεόλιθου

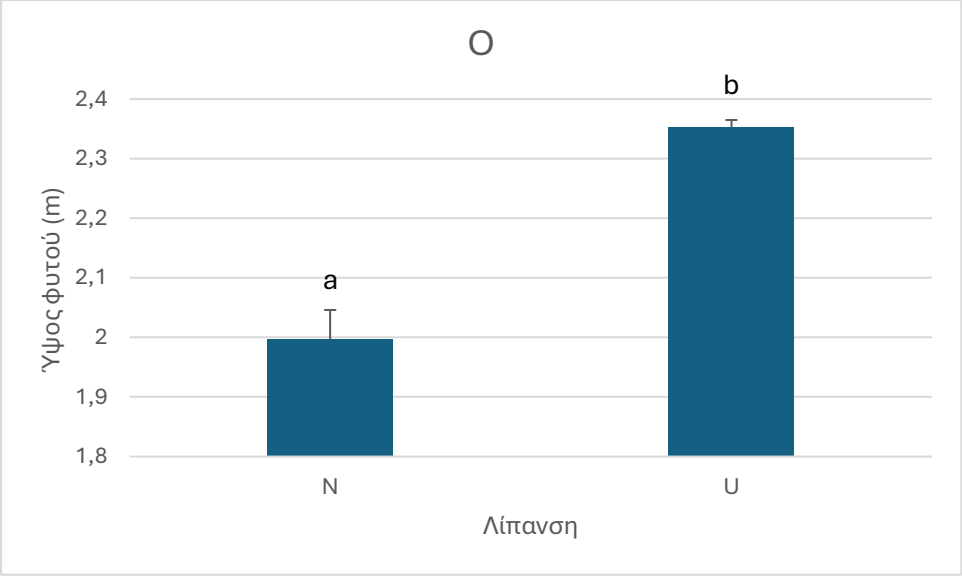
Source	*Sum of Squares*	*Df*	*Mean Square*	*F-Ratio*	*P-Value*
Between groups	0,0450667	1	0,0450667	6,71	ns
Within groups	0,0268667	4	0,00671667		
Total (Corr.)	0,0719333	5			



Διάγραμμα 15: Επίδραση της λίπανσης στην υψηλή ποσότητα ζεόλιθου

Πίνακας 24: One way anova για το ύψος φυτού χωρίς προσθήκη ζεόλιθου κατά την τρίτη μέτρηση

Source	*Sum of Squares*	*Df*	*Mean Square*	*F-Ratio*	*P-Value*
Between groups	0,190817	1	0,190817	38,68	**
Within groups	0,0197333	4	0,00493333		
Total (Corr.)	0,21055	5			



Διάγραμμα 16: Επίδραση της λίπανσης στο ύψος φυτού κατά την τρίτη μέτρηση, χωρίς προσθήκη ζεόλιθου

Νωπό βάρος φυτού

Πίνακας 25: Ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) για το νωπό βάρος φυτού κατά την τρίτη μέτρηση

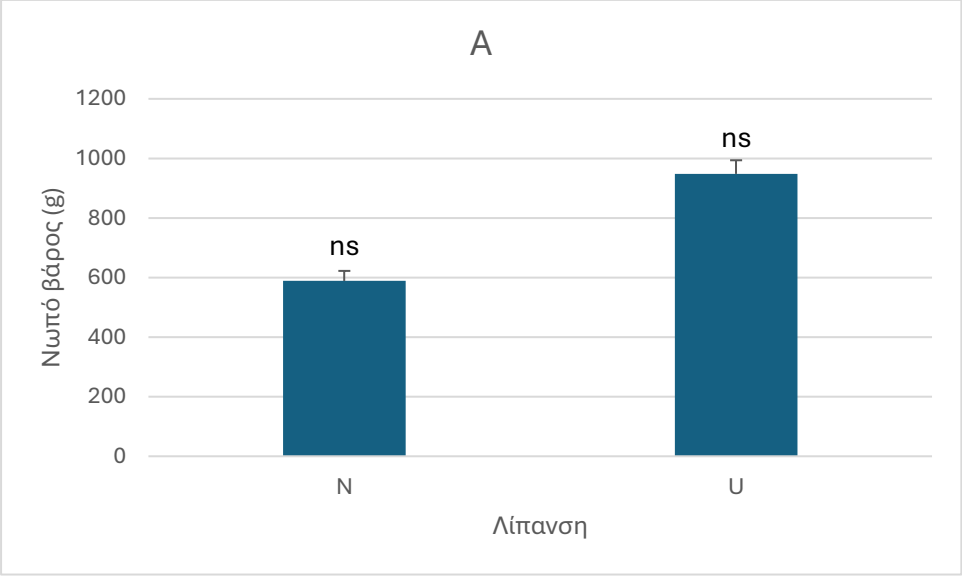
Source	*Sum of Squares*	*Df*	*Mean Square*	*F-Ratio*	*P-Value*
MAIN EFFECTS					
A:Col_1	61599,6	2	30799,8	2,31	ns
B:Col_2	577741,	1	577741,	43,34	***
INTERACTIONS					
AB	105,088	2	52,5439	0,00	ns
RESIDUAL	159962,	12	13330,2		
TOTAL (CORRECTED)	799408,	17			

Το νωπό βάρος του φυτού, στην τρίτη μέτρηση φάνηκε να διαφέρει στατιστικά σημαντικά στον παράγοντα της ποσότητας ζεόλιθου. Αναλυτικότερα, με την αύξηση

της ποσότητας ζεόλιθου, επήλθε αύξηση του νωπού βάρους του φυτού. Αντίθετα, η αζωτούχους λίπανσης δεν κατάφερε να επηρεάσει στατιστικά σημαντικά τα αποτελέσματα.

Πίνακας 26: One way anova για το νωπό βάρος φυτού κατά την τρίτη μέτρηση στη μικρή ποσότητα ζεόλιθου

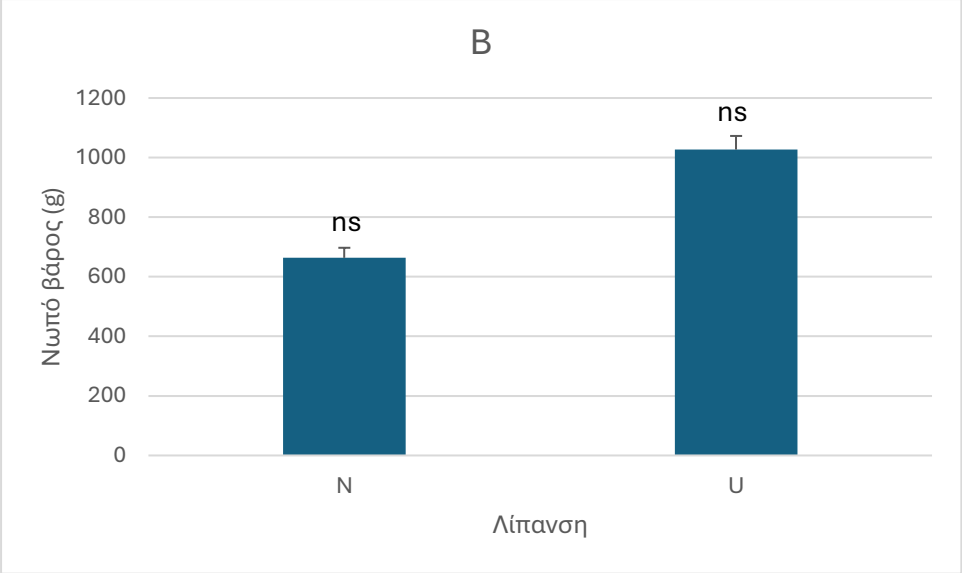
Source	*Sum of Squares*	*Df*	*Mean Square*	*F-Ratio*	*P-Value*
Between groups	122568,	1	122568,	0,63	ns
Within groups	772705,	4	193176,		
Total (Corr.)	895273,	5			



Διάγραμμα 17: Επίδραση της λίπανσης στο νωπό βάρος φυτού κατά την τρίτη μέτρηση, στη μικρή ποσότητα ζεόλιθου

Πίνακας 27: One way anova για το νωπό βάρος φυτού κατά την τρίτη μέτρηση, στην μεγάλη ποσότητα ζεόλιθου

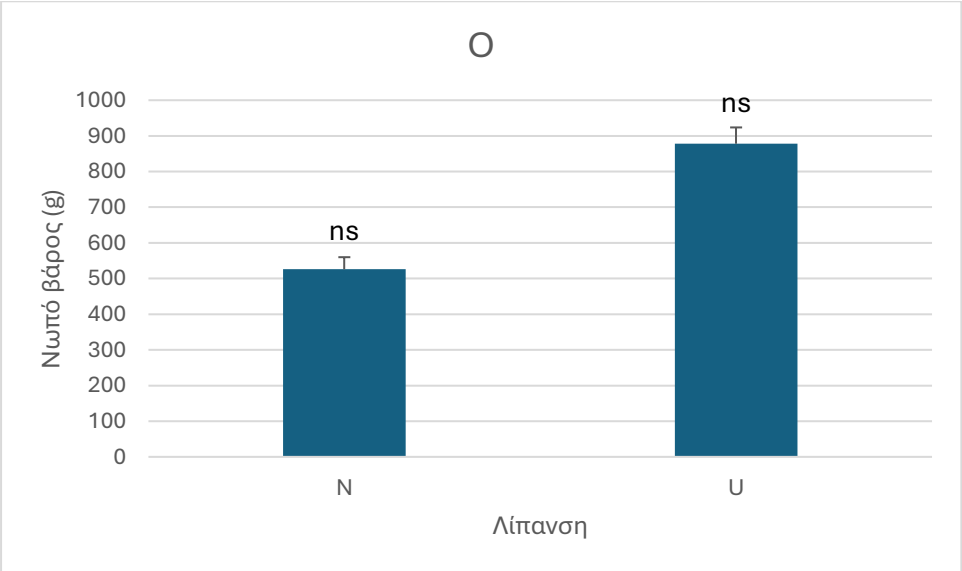
Source	*Sum of Squares*	*Df*	*Mean Square*	*F-Ratio*	*P-Value*
Between groups	122317,	1	122317,	0,63	ns
Within groups	774738,	4	193684,		
Total (Corr.)	897054,	5			



Διάγραμμα 18: Επίδραση της λίπανσης στο νωπό βάρος φυτού κατά την τρίτη μέτρηση, στην μεγάλη ποσότητα ζεόλιθου

Πίνακας 28: One way anova για το νωπό βάρος φυτού κατά την τρίτη μέτρηση, χωρίς προσθήκη ζεόλιθου

Source	*Sum of Squares*	*Df*	*Mean Square*	*F-Ratio*	*P-Value*
Between groups	122128,	1	122128,	0,63	ns
Within groups	773644,	4	193411,		
Total (Corr.)	895773,	5			



Διάγραμμα 19: Επίδραση της λίπανσης στο νωπό βάρος φυτού κατά την τρίτη μέτρηση, χωρίς προσθήκη ζεόλιθου

Ξηρό βάρος φυτού

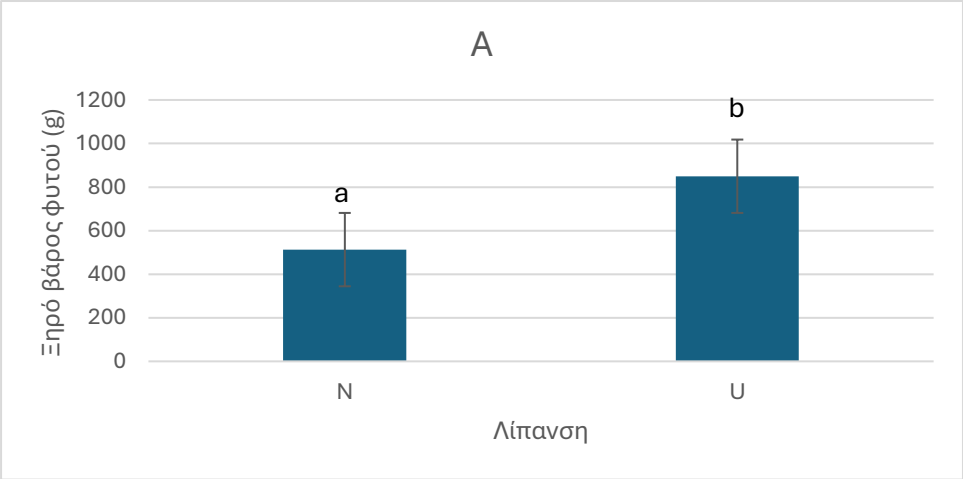
Πίνακας 29: Ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) για το ξηρό βάρος φυτού κατά την τρίτη μέτρηση

Source	*Sum of Squares*	*Df*	*Mean Square*	*F-Ratio*	*P-Value*
MAIN EFFECTS					
A:Col_1	61567,0	2	30783,5	4,95	*
B:Col_2	443337,	1	443337,	71,33	***
INTERACTIONS					
AB	2883,91	2	1441,96	0,23	ns
RESIDUAL	74586,2	12	6215,52		
TOTAL (CORRECTED)	582374,	17			

Κατά την τρίτη μέτρηση, το ξηρό βάρος του φυτού επηρεάστηκε στατιστικά σημαντικά και από τους δύο παράγοντες του πειράματος. Με την αύξηση της ποσότητας του ζεόλιθου, αυξήθηκε και το ξηρό βάρος του φυτού. Όμοια, η χρήση λίπανσης οδήγησε στην αύξηση του ξηρού βάρους.

Πίνακας 30: One way anova για το ξηρό βάρος φυτού κατά την τρίτη μέτρηση, για τη μικρή ποσότητα ζεόλιθου

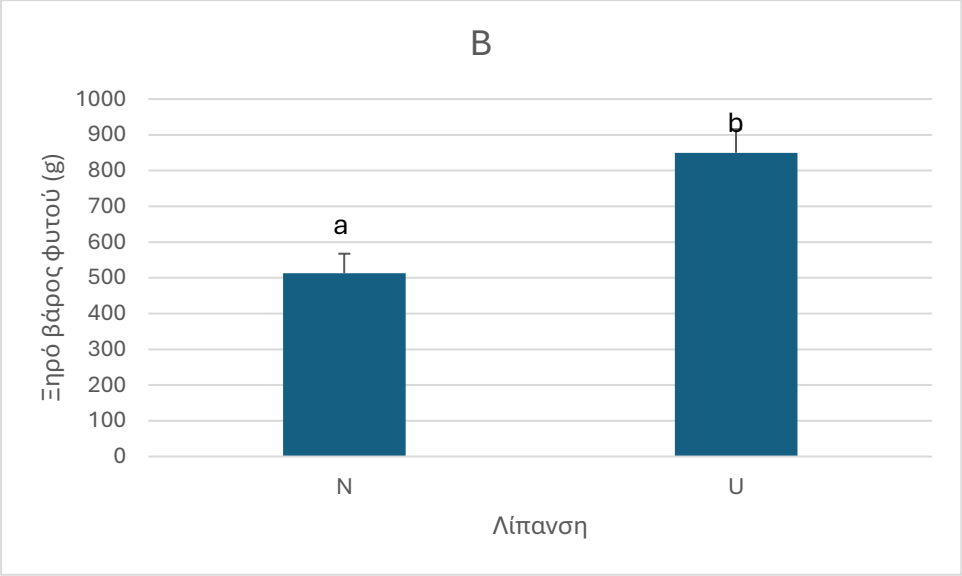
Source	*Sum of Squares*	*Df*	*Mean Square*	*F-Ratio*	*P-Value*
Between groups	170151,	1	170151,	38,50	**
Within groups	17679,5	4	4419,87		
Total (Corr.)	187831,	5			



Διάγραμμα 20: Επίδραση της λίπανσης στο ξηρό βάρος φυτού κατά την τρίτη μέτρηση, στη μικρή ποσότητα ζεόλιθου

Πίνακας 31: One way anova για το ξηρό βάρος φυτού κατά την τρίτη μέτρηση, στη μεγάλη ποσότητα ζεόλιθου

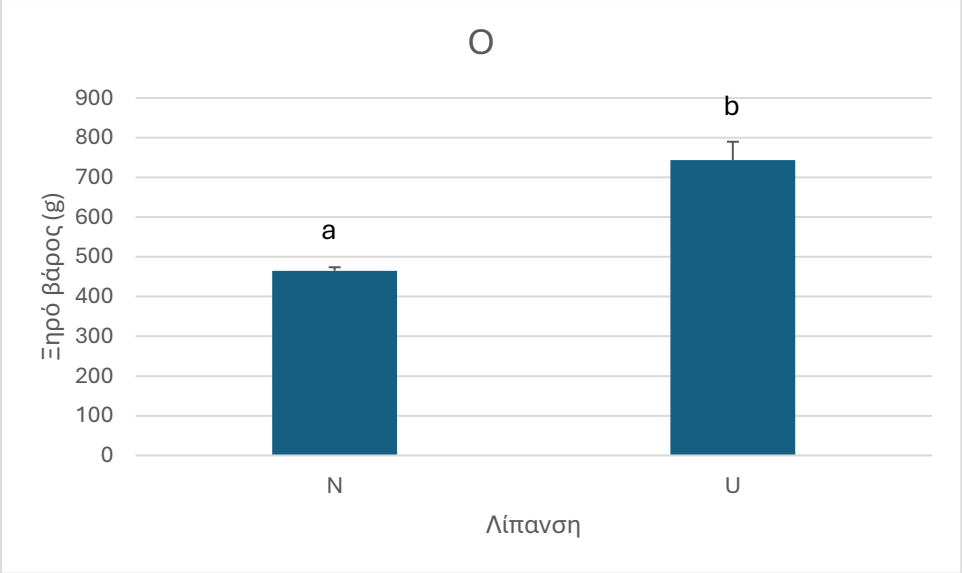
Source	*Sum of Squares*	*Df*	*Mean Square*	*F-Ratio*	*P-Value*
Between groups	159642,	1	159642,	14,64	**
Within groups	43617,4	4	10904,4		
Total (Corr.)	203260,	5			



Διάγραμμα 21: Επίδραση της λίπανσης στο ξηρό βάρος φυτού κατά την τρίτη μέτρηση, στη μεγάλη ποσότητα ζεόλιθου

Πίνακας 32: One way anova για το ξηρό βάρος φυτού κατά την τρίτη μέτρηση, χωρίς προσθήκη ζεόλιθου

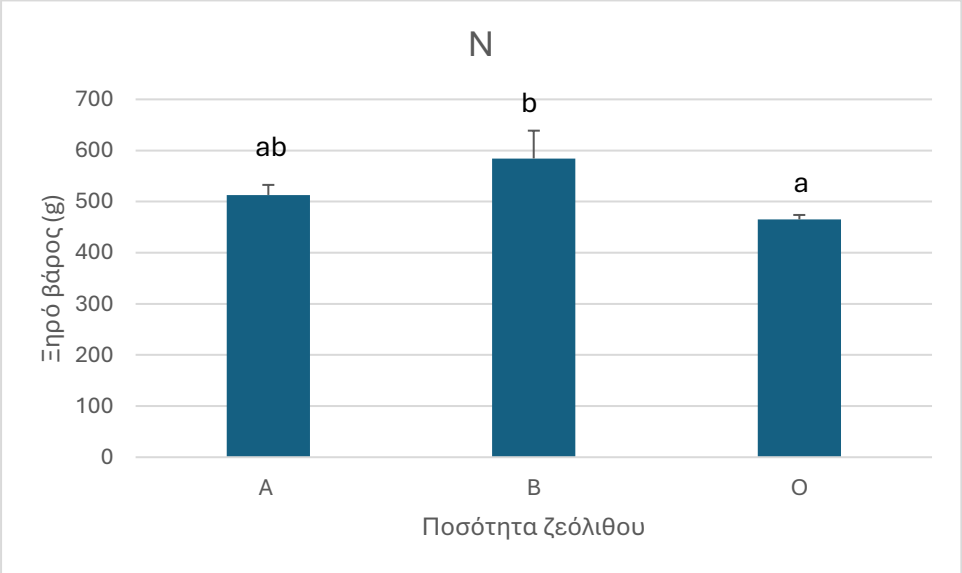
Source	*Sum of Squares*	*Df*	*Mean Square*	*F-Ratio*	*P-Value*
Between groups	116427,	1	116427,	35,04	**
Within groups	13289,3	4	3322,33		
Total (Corr.)	129716,	5			



Διάγραμμα 22: Επίδραση της λίπανσης στο ξηρό βάρος φυτού κατά την τρίτη μέτρηση, χωρίς προσθήκη ζεόλιθου

Πίνακας 33: One way anova για το ξηρό βάρος κατά την τρίτη μέτρηση, με προσθήκη λιπάσματος

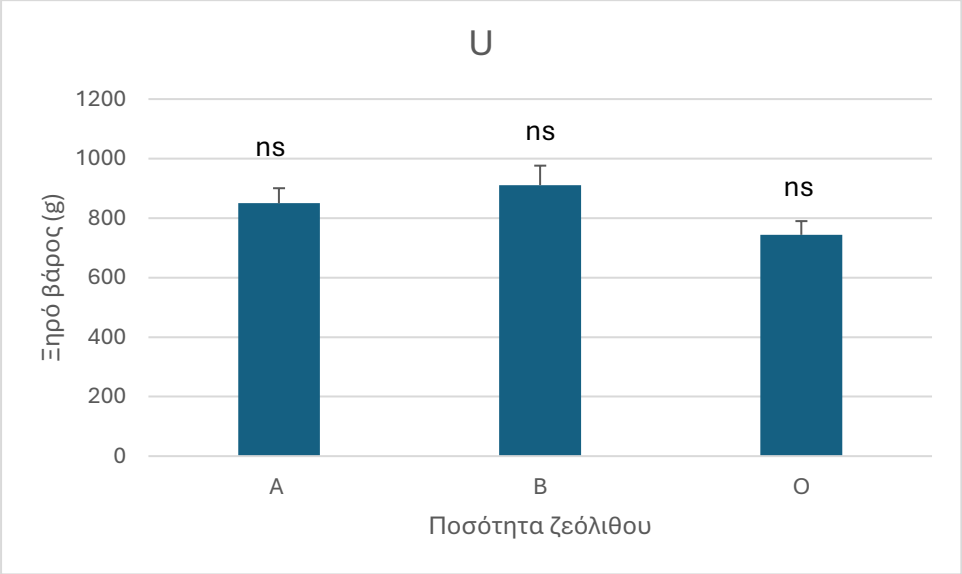
Source	*Sum of Squares*	*Df*	*Mean Square*	*F-Ratio*	*P-Value*
Between groups	21623,3	2	10811,6	3,16	*
Within groups	20522,8	6	3420,47		
Total (Corr.)	42146,1	8			



Διάγραμμα 23: Επίδραση της ποσότητας ζεόλιθου για το ξηρό βάρος φυτού κατά την τρίτη μέτρηση, με την προσθήκη λιπάσματος

Πίνακας 34: One way anova για το ξηρό βάρος φυτού κατά την τρίτη μέτρηση, χωρίς προσθήκη λιπάσματος

Source	*Sum of Squares*	*Df*	*Mean Square*	*F-Ratio*	*P-Value*
Between groups	42827,7	2	21413,8	2,38	ns
Within groups	54063,4	6	9010,57		
Total (Corr.)	96891,1	8			



Διάγραμμα 24: Επίδραση της ποσότητας ζεόλιθου στο ξηρό βάρος φυτού κατά την τρίτη μέτρηση, χωρίς προσθήκη λίπανσης

Βάρος σπάδικα

Πίνακας 35: Ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) για το βάρος σπάδικα

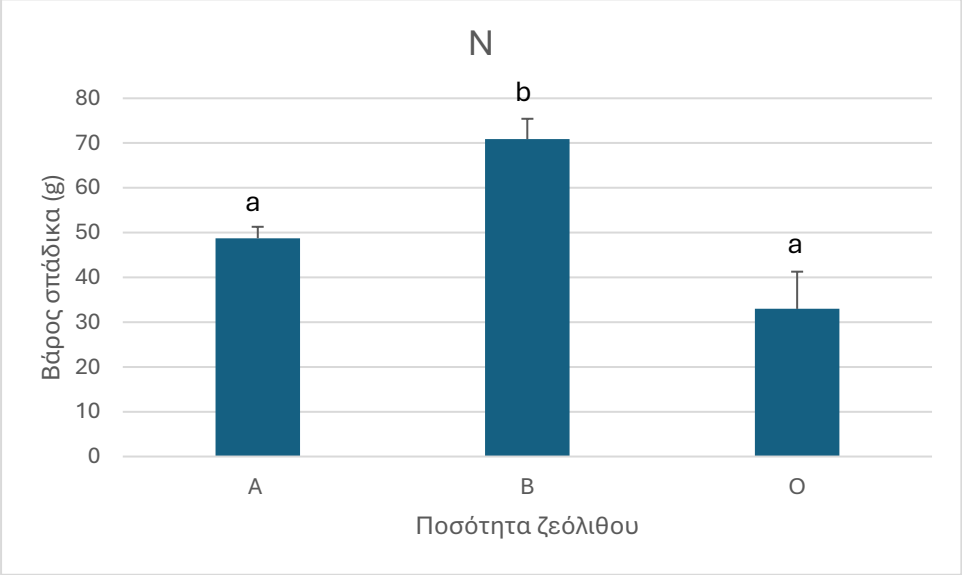
Source	*Sum of Squares*	*Df*	*Mean Square*	*F-Ratio*	*P-Value*
MAIN EFFECTS					
A:Col_1	6268,34	2	3134,17	2,20	ns
B:Col_2	65857,9	1	65857,9	46,29	***
INTERACTIONS					
AB	351,296	2	175,648	ns	ns
RESIDUAL	17072,7	12	1422,72		
TOTAL (CORRECTED)	89550,2	17			

Το βάρος του σπάδικα φάνηκε να επηρεάζεται στατιστικά σημαντικά μόνο από τον παράγοντα της λίπανσης. Αναλυτικότερα, η προσθήκη λιπάσματος, φάνηκε να αυξάνει

σημαντικά το βάρος του σπάδικα. Αντίθετα η ποσότητα του ζεόλιθου, δεν φάνηκε να επηρεάζει στατιστικά σημαντικά τα αποτελέσματα. Πιο συγκεκριμένα, τόσο η μικρή όσο και μεγάλη ποσότητα ζεόλιθου δεν κατάφεραν να δημιουργήσουν στατιστικά σημαντικές διαφορές σε αυτό το χαρακτηριστικό.

Πίνακας 36: One way anova για το βάρος σπάδικα, χωρίς προσθήκη λίπανσης

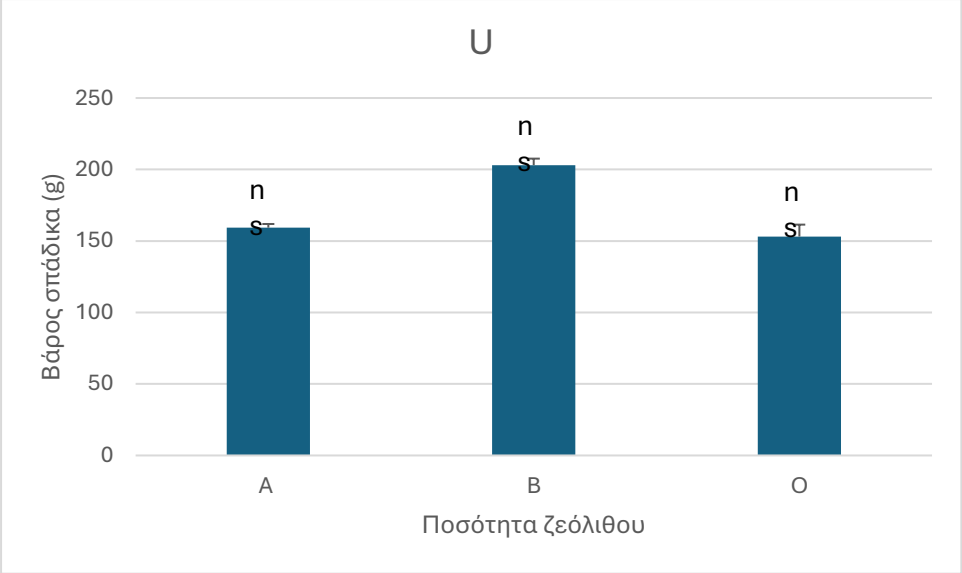
Source	*Sum of Squares*	*Df*	*Mean Square*	*F-Ratio*	*P-Value*
Between groups	2176,0	2	1088,0	11,29	*
Within groups	578,044	6	96,3406		
Total (Corr.)	2754,04	8			



Διάγραμμα 25: Επίδραση της ποσότητας ζεόλιθου στο βάρος σπάδικα χωρίς προσθήκη λίπανσης

Πίνακας 37: One way anova για το βάρος σπάδικα με προσθήκη λίπανσης

Source	*Sum of Squares*	*Df*	*Mean Square*	*F-Ratio*	*P-Value*
Between groups	4443,63	2	2221,82	0,81	ns
Within groups	16494,6	6	2749,1		
Total (Corr.)	20938,3	8			



Διάγραμμα 26: Επίδραση της ποσότητας ζεόλιθου στο βάρος σπάδικα, με προσθήκη λίπανσης

ΑΠΟΔΟΣΗ ΚΑΙ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΑΠΟΔΟΣΗΣ

ΒΧΣ

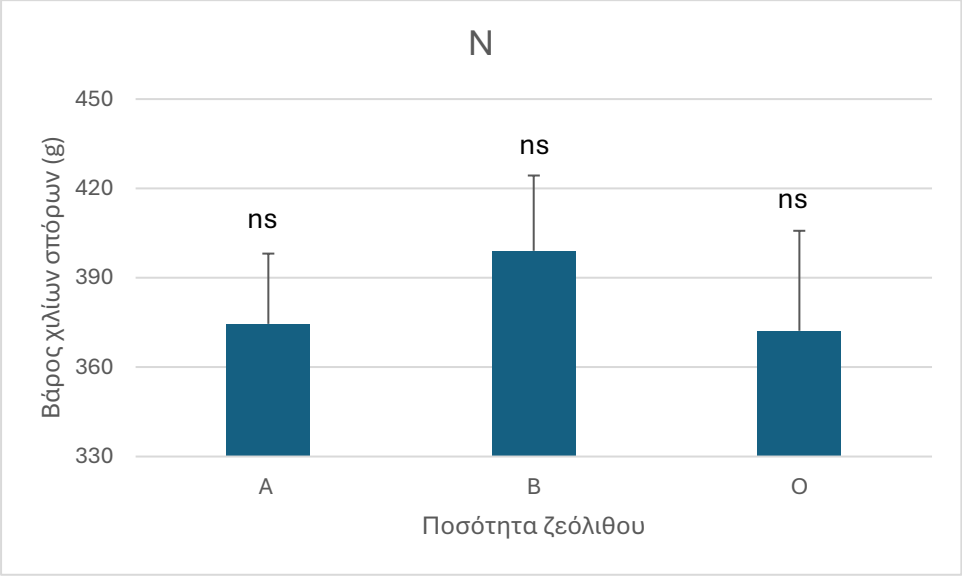
Πίνακας 38: Ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) για το βάρος χιλίων σπόρων

Source	*Sum of Squares*	*Df*	*Mean Square*	*F-Ratio*	*P-Value*
MAIN EFFECTS					
A:Col_1	2681,31	2	1340,66	1,04	ns
B:Col_2	61182,4	1	61182,4	47,53	***
INTERACTIONS					
AB	551,861	2	275,93	0,21	ns
RESIDUAL	15447,9	12	1287,33		
TOTAL (CORRECTED)	79863,4	17			

Το βάρος 1000 σπόρων φάνηκε να επηρεάζεται στατιστικά σημαντικά από τη χρήση λίπανσης. Αναλυτικότερα, η προσθήκη αζωτούχου λιπάσματος φάνηκε να αυξάνει το βάρος 1000 σπόρων του φυτού του αραβοσίτου. Αντίθετα, η προσθήκη ζεόλιθου δεν κατάφερε να επηρεάσει στατιστικά σημαντικά τα αποτελέσματα για το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό. Πιο συγκεκριμένα, τόσο η μικρή όσο και η μεγάλη ποσότητα ζεόλιθου δεν κατάφεραν να δημιουργήσουν στατιστικά σημαντικές διαφορές για το βάρος 1000 σπόρων.

Πίνακας 39: One way anova για το Βάρος Χιλίων Σπόρων, χωρίς προσθήκη λιπάσματος

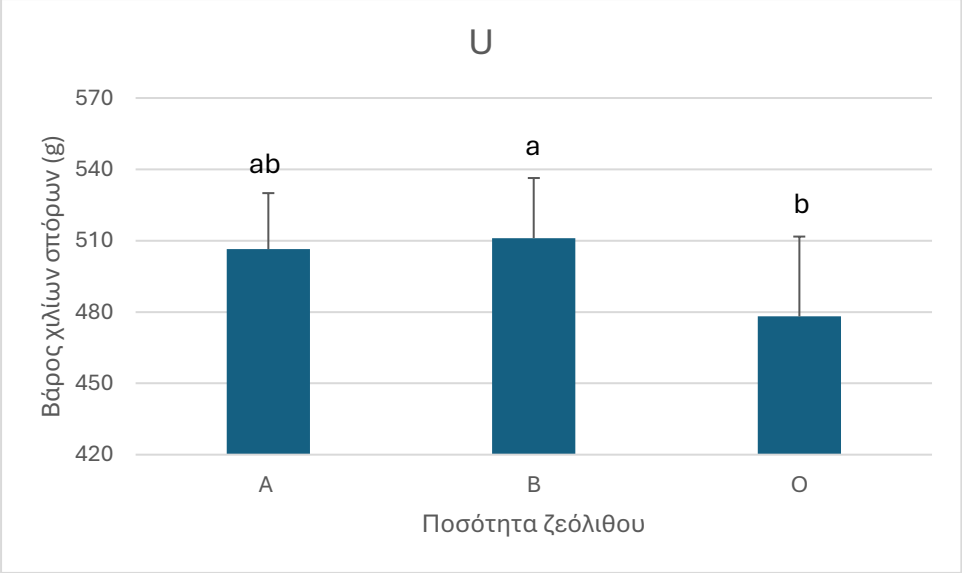
Source	*Sum of Squares*	*Df*	*Mean Square*	*F-Ratio*	*P-Value*
Between groups	1328,76	2	664,379	0,29	ns
Within groups	13939,5	6	2323,26		
Total (Corr.)	15268,3	8			



Διάγραμμα 27: Επίδραση της ποσότητας ζεόλιθου στο ΒΧΣ χωρίς προσθήκη λιπάσματος

Πίνακας 40: One way anova για το Βάρος Χιλίων Σπόρων με την προσθήκη λιπάσματος

Source	*Sum of Squares*	*Df*	*Mean Square*	*F-Ratio*	*P-Value*
Between groups	1904,41	2	952,207	3,79	*
Within groups	1508,38	6	251,397		
Total (Corr.)	3412,79	8			



Διάγραμμα 28: Επίδραση της ποσότητας ζεόλιθου στο ΒΧΣ με την προσθήκη λιπάσματος

Απόδοση καλλιέργειας

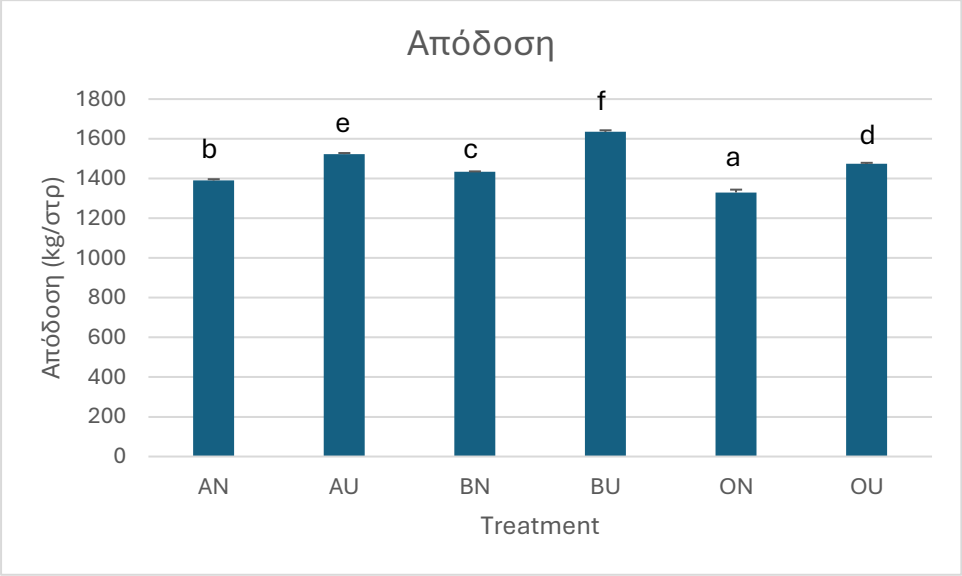
Πίνακας 41: Ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) για την απόδοση της καλλιέργειας

Source	*Sum of Squares*	*Df*	*Mean Square*	*F-Ratio*	*P-Value*
MAIN EFFECTS					
A:Col_6	53112,3	2	26556,2	157,09	***
B:Col_7	114721,	1	114721,	678,60	***
INTERACTIONS					
AB	4287,0	2	2143,5	12,68	**
RESIDUAL	2028,67	12	169,056		
TOTAL (CORRECTED)	174149,	17			

Η απόδοση της καλλιέργειας επηρεάστηκε στατιστικά σημαντικά από την αλληλεπίδραση των παραγόντων του πειράματος. Τόσο η χρήση αζωτούχου λίπανσης, όσο και η αύξηση της ποσότητας ζεόλιθου φάνηκε να επηρεάζουν τα αποτελέσματα. Η ταυτόχρονη χρήση αζωτούχου λίπανσης και μεγάλης ποσότητας ζεόλιθο έδωσαν τα υψηλότερα αποτελέσματα. Αντίθετα, ο μάρτυρας είχε τις μικρότερες τιμές.

Πίνακας 42: One way anova για την απόδοση της καλλιέργειας

Source	*Sum of Squares*	*Df*	*Mean Square*	*F-Ratio*	*P-Value*
Between groups	172120,	5	34424,0	203,63	***
Within groups	2028,67	12	169,056		
Total (Corr.)	174148,	17			



Διάγραμμα 29: Επίδραση της αλληλεπίδρασης παραγόντων στην απόδοση της καλλιέργειας

Ποιοτικά χαρακτηριστικά

% Περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη

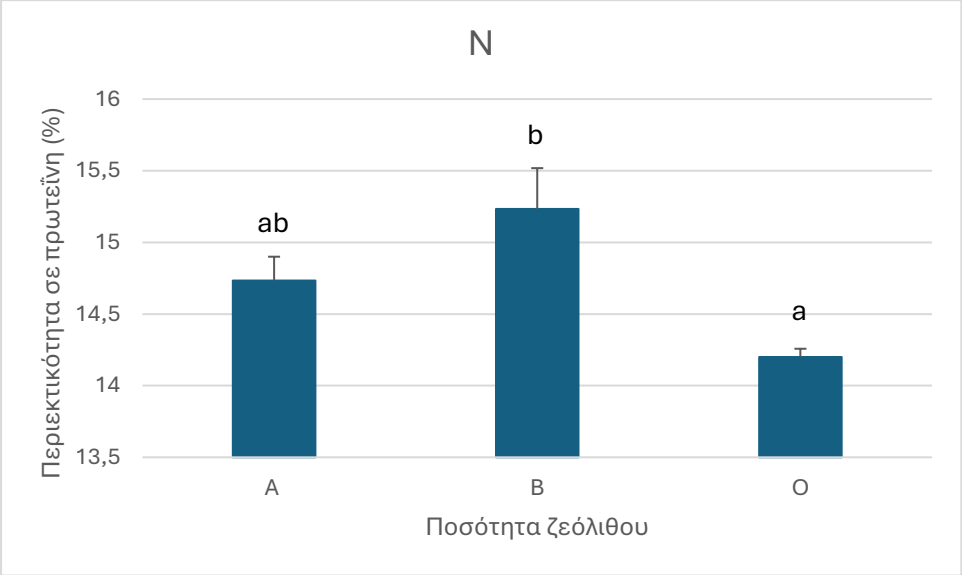
Πίνακας 43: Ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) για την περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη

Source	*Sum of Squares*	*Df*	*Mean Square*	*F-Ratio*	*P-Value*
MAIN EFFECTS					
A:Col_1	2,34111	2	1,17056	4,92	*
B:Col_2	0,605	1	0,605	2,54	ns
INTERACTIONS					
AB	0,07	2	0,035	0,15	ns
RESIDUAL	2,85333	12	0,237778		
TOTAL (CORRECTED)	5,86944	17			

Η περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη επηρεάστηκε στατιστικά σημαντικά από την λίπανση. Αναλυτικότερα, η χρήση λιπάσματος έδωσε αυξημένες τιμές πρωτεΐνης στο σπόρο. Αντίθετα, η χρήση ζεόλιθου δεν επηρέασε στατιστικά σημαντικά τα αποτελέσματα.

Πίνακας 44: One way anova για την περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη, χωρίς την προσθήκη λίπανσης

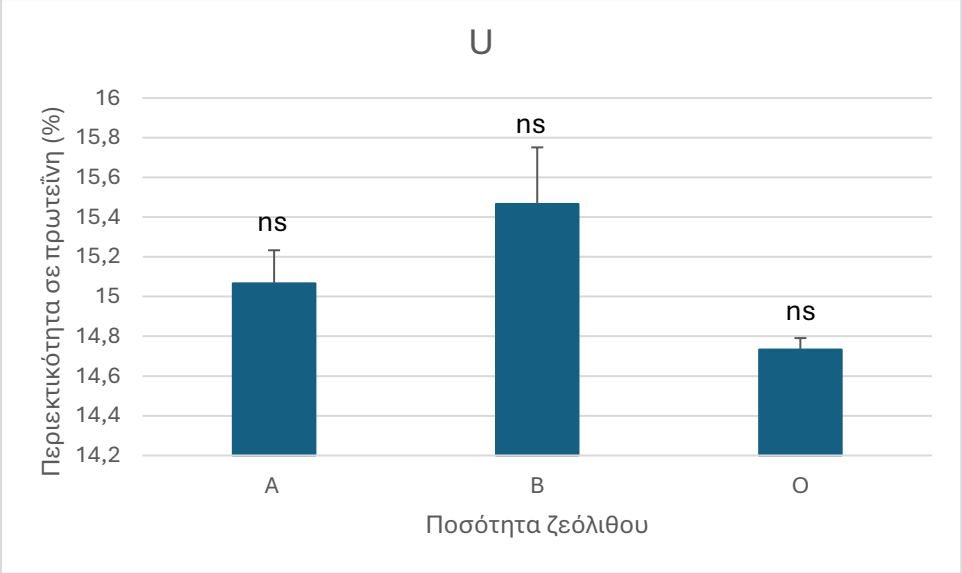
Source	*Sum of Squares*	*Df*	*Mean Square*	*F-Ratio*	*P-Value*
Between groups	1,60222	2	0,801111	7,14	*
Within groups	0,673333	6	0,112222		
Total (Corr.)	2,27556	8			



Διάγραμμα 30: Επίδραση της ποσότητας ζεόλιθου στην περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη χωρίς την προσθήκη λίπανσης

Πίνακας 45: One way anova για την περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη με την προσθήκη λίπανσης

Source	*Sum of Squares*	*Df*	*Mean Square*	*F-Ratio*	*P-Value*
Between groups	0,808889	2	0,404444	1,11	ns
Within groups	2,18	6	0,363333		
Total (Corr.)	2,98889	8			



Διάγραμμα 31: Επίδραση της ποσότητας ζεόλιθου στην περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη με την προσθήκη λιπάσματος

Απόδοση σε πρωτεΐνη

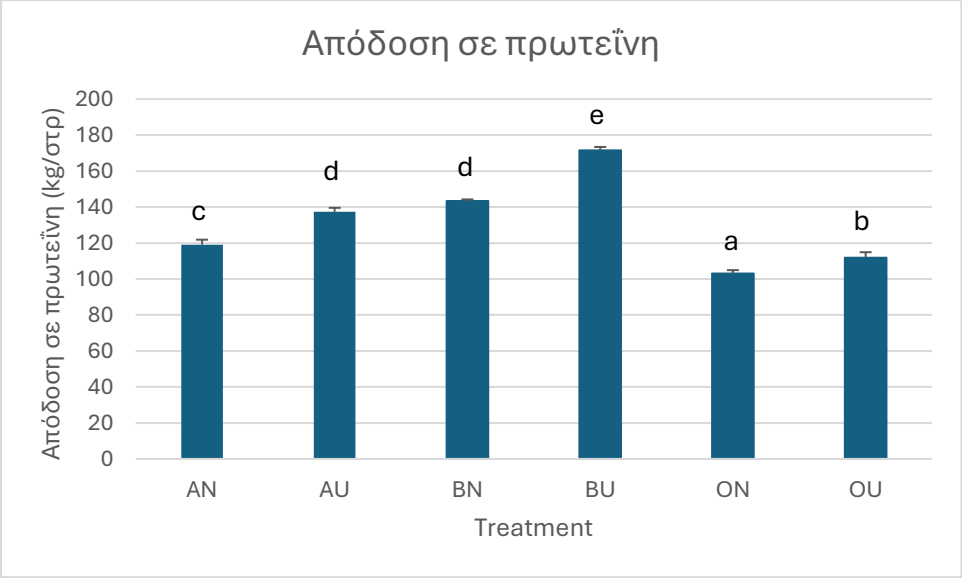
Πίνακας 46: Ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) για την απόδοση σε πρωτεΐνη

Source	*Sum of Squares*	*Df*	*Mean Square*	*F-Ratio*	*P-Value*
MAIN EFFECTS					
A:Col_1	7570,91	2	3785,46	250,34	***
B:Col_2	1520,76	1	1520,76	100,57	***
INTERACTIONS					
AB	281,547	2	140,774	9,31	***
RESIDUAL	181,452	12	15,121		
TOTAL (CORRECTED)	9554,67	17			

Η απόδοση της καλλιέργειας σε πρωτεΐνη επηρεάστηκε στατιστικά σημαντικά από την αλληλεπίδραση των παραγόντων του πειράματος. Τόσο η χρήση αζωτούχου λίπανσης, όσο και η αύξηση της ποσότητας ζεόλιθου φάνηκε να επηρεάζουν τα αποτελέσματα. Η ταυτόχρονη χρήση αζωτούχου λίπανσης και μεγάλης ποσότητας ζεόλιθο έδωσαν τα υψηλότερα αποτελέσματα. Αντίθετα, ο μάρτυρας είχε τις μικρότερες τιμές.

Πίνακας 47: One way anova για την απόδοση σε πρωτεΐνη

Source	*Sum of Squares*	*Df*	*Mean Square*	*F-Ratio*	*P-Value*
Between groups	9373,22	5	1874,64	123,98	***
Within groups	181,452	12	15,121		
Total (Corr.)	9554,67	17			



Διάγραμμα 32: Επίδραση της αλληλεπίδρασης των παραγόντων του πειράματος στην απόδοση σε πρωτεΐνη

4. Συζήτηση

Εδαφικά χαρακτηριστικά

Όπως παρατηρήθηκε στα αποτελέσματα, η χρήση ζεόλιθου βελτίωσε τα εδαφικά χαρακτηριστικά. Σημαντική είναι η αύξηση που έφερε η χρήση ζεόλιθου στην εδαφική υγρασία, πράγμα που ευνοεί την ανάπτυξη των φυτών και την μείωση της απώλειας νερού. Επιπρόσθετα, ο ζεόλιθος μείωσε την αντίσταση του εδάφους στη διείσδυση, πράγμα που ευνοεί την ανάπτυξη της ρίζας και την καλύτερη εγκατάσταση της καλλιέργειας. Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης φαίνεται να συμφωνούν με εκείνα άλλων μελετών, όπου η χρήση ζεόλιθου βελτίωσε τα εδαφικά χαρακτηριστικά (Szatanik-Kloc et al., 2021).

Αγρονομικά χαρακτηριστικά

Τα αγρονομικά χαρακτηριστικά, όπως ήταν αναμενόμενο, αυξήθηκαν με την προσθήκη χημικού λιπάσματος. Η χρήση ζεόλιθου, με τη σειρά της, αύξησε επίσης τα αγρονομικά χαρακτηριστικά της καλλιέργειας. Ωστόσο, στα περισσότερα εξ' αυτών, το σημαντικότερο κομμάτι που επηρέασε την ανάπτυξη ήταν η αλληλεπίδραση της χρήσης ζεόλιθου και χημικού λιπάσματος. Στα περισσότερα αγρονομικά χαρακτηριστικά, τα θετικότερα αποτελέσματα ελήφθησαν από την επέμβαση της χρήσης ζεόλιθου και χημικού λιπάσματος. Οι ευεργετικές ιδιότητες του ζεόλιθου στο έδαφος, εκφράζονται έντονα στην ανάπτυξη της καλλιέργειας. Η βελτίωση της δομής και των λοιπών χαρακτηριστικών του εδάφους, οδηγεί πιθανά στην καλύτερη συγκράτηση των θρεπτικών και στην καλύτερη απορρόφηση και αξιοποίησή τους από την καλλιέργεια. Εκτός από το ύψος, σημαντικό κομμάτι είναι το ξηρό βάρος (παραγωγή βιομάζας) το οποίο βελτιώθηκε σημαντικά με τη χρήση ζεόλιθου. Προφανώς, αυτή η βελτίωση του χαρακτηριστικού οφείλεται στη φύση του ζεόλιθου και τονίζει την σημασία του και ως εδαφοβελτιωτικό. Η καλή ανάπτυξη της καλλιέργειας, συχνά οδηγεί στη βελτίωση της απόδοσής της. Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης φαίνεται να συμφωνούν με εκείνα άλλων μελετών, όπου η χρήση ζεόλιθου έδωσε σημαντική βελτίωση στα αγρονομικά χαρακτηριστικά του αραβοσίτου (Kakabouki et al., 2025).

Συστατικά απόδοσης & ποιοτικά χαρακτηριστικά

Όμοια με τα αγρονομικά χαρακτηριστικά, έτσι και τα συστατικά απόδοσης βελτιώθηκαν σημαντικά με τη χρήση ζεόλιθου. Όσον αφορά τον ίδιο το ζεόλιθο, όπως και προηγούμενα, έτσι και σε αυτή την περίπτωση η βελτίωση του εδάφους οδηγεί στην καλύτερη απορρόφηση θρεπτικών που οδηγεί στην αύξηση της απόδοσης. Παράλληλα, η ταυτόχρονη χρήση χημικού λιπάσματος οδήγησε στην ακόμη μεγαλύτερη αύξηση των συστατικών απόδοσης. Όπως είναι λογικό, η χρήση λιπάσματος επάγει την παραγωγή σπόρου και το γέμισμά του. Όταν δε, το λίπασμα συνοδεύεται από ένα εδαφοβελτιωτικό παράγοντα, όπως ο ζεόλιθος, επιτυγχάνεται η βέλτιστη χρήση και απορρόφησή του. Για την αξιολόγηση του παραπάνω γίνεται χρήση δεικτών. Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά επηρεάστηκαν κυρίως από τη χρήση λίπανσης, δεδομένου ότι η πρωτεΐνη (που αποτελεί το σημαντικότερο ποιοτικό χαρακτηριστικό) δημιουργείται από Ν που είναι προϊόν των λιπασμάτων. Ωστόσο, η χρήση ζεόλιθου ταυτόχρονα με λίπασμα αύξησε τα ποιοτικά, πιθανά λόγω καλύτερης απορρόφησης των θρεπτικών και καλύτερης εδαφικής υγρασίας. Τα δεδομένα της παρούσας μελέτης φάινεται να συμφωνούν με εκείνα άλλων μελετών, όπου η χρήση ζεόλιθου και αζωτούχου λίπανσης φάνηκαν να αυξάνουν τα συστατικά απόδοσης και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά σε καλλιέργεια αραβοσίτου (Tsintskaladze et al. 2017; Kakabouki et al., 2025).

Πίνακας 48: Πίνακας συσχετίσεων

	Αντίσταση στη διείσδυση	Εδαφική υγρασία	Ξηρό βάρος	Βάρος σπάδικα	Βάρος χιλίων σπόρων	Απόδοση	Περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη
Αντίσταση στη διείσδυση		**0,8941*** **	-0,054	-0,1173	0,2187	**0,5631** **	-0,3204
Εδαφική υγρασία			0,0392	-0,0016	0,2061	**0,4838** *	-0,1442
Ξηρό βάρος				**0,9347*** **	0,2752	-0,0039	0,4449
Βάρος σπάδικα					0,3322	0,034	0,3996
Βάρος χιλίων σπόρων						0,8361	-0,1252
Απόδοση							-0,3724
Περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη							

Ο πίνακας συσχετίσεων δείχνει τη σχέση μεταξύ διαφόρων αγρονομικών και εδαφικών παραμέτρων. Μια από τις πιο ισχυρές θετικές συσχετίσεις παρατηρείται μεταξύ της αντίστασης στη διείσδυση του εδάφους και της εδαφικής υγρασίας, κάτι που σημαίνει ότι όταν το έδαφος έχει περισσότερη υγρασία, γίνεται πιο συμπαγές και αυξάνεται η αντίστασή του στη διείσδυση. Αυτό είναι σημαντικό γιατί μπορεί να επηρεάσει την ανάπτυξη των ριζών και την πρόσβαση των φυτών σε θρεπτικά συστατικά.

Η εδαφική υγρασία εμφανίζει επίσης μια μέτρια θετική συσχέτιση με την απόδοση, που υποδηλώνει ότι σε πιο υγρές συνθήκες, η παραγωγή είναι μεγαλύτερη. Ωστόσο, η περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη παρουσιάζει αρνητική συσχέτιση με την απόδοση, πράγμα που σημαίνει ότι οι υψηλές αποδόσεις μπορεί να σχετίζονται με μείωση της πρωτεΐνης στο τελικό προϊόν. Αυτό είναι ένα φαινόμενο γνωστό στη γεωργία, όπου οι αυξημένες αποδόσεις συνήθως οδηγούν σε αραίωση των πρωτεϊνών στον σπόρο.

Ένα άλλο σημαντικό εύρημα είναι η ισχυρή θετική σχέση μεταξύ του ξηρού βάρους και του βάρους του σπάδικα, καθώς και η υψηλή συσχέτιση μεταξύ του βάρους χιλίων σπόρων και της απόδοσης. Αυτό δείχνει ότι μεγαλύτεροι και βαρύτεροι σπόροι σχετίζονται άμεσα με υψηλότερη παραγωγή.

Τέλος, παρατηρείται ότι η αντίσταση στη διείσδυση του εδάφους έχει μέτρια θετική συσχέτιση με την απόδοση, γεγονός που μπορεί να υποδηλώνει ότι η βέλτιστη μηχανική κατάσταση του εδάφους επηρεάζει την παραγωγή. Συνολικά, οι ισχυρές συσχετίσεις που εντοπίστηκαν προσφέρουν σημαντικές πληροφορίες για τη διαχείριση της καλλιέργειας και τη βελτιστοποίηση της απόδοσης.

5. Βιβλιογραφία

Abdi, G. Effects of Natural Zeolite on Growth and Flowering of Strawberry (Fragaria x ananassa Duch.). Int. J. Agric. Res. 2006, 1, 384–389

Adhikari, T.; Gowda, R.C.; Wanjari, R.H.; Singh, M. Impact of Continuous Fertilization on Heavy Metals Content in Soil and Food Grains under 25 Years of Long-Term Fertilizer Experiment. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 2020, 52, 389–405.

Ahmed, O.H.; Sumalatha, G.; Muhamad, A.N. Use of zeolite in maize (Zea mays) cultivation on nitrogen, potassium and phosphorus uptake and use efficiency. Int. J. Phys. Sci. 2010, 5, 2393–2401.

Albornoz, F. Crop responses to nitrogen overfertilization: A review. Sci. Hortic. 2016, 205, 79–83.

Allen, E.R.; Hossner, L.R.; Ming, D.W.; Henninger, D.L. Solubility and cation exchange in phosphate rock and saturated clinoptilolite mixtures. Soil Sci. Soc. Am. J. 1993, 57, 1368–1374.

Alston JM, Pardey PG. Agriculture in the global economy. J Econ Perspect 2014; 28: 121-146.

Baldock, J.; Wheeler, I.; McKenzie, N.; McBrateny, A. Soils and climate change: Potential impacts on carbon stocks and greenhouse gas emissions, and future research for Australian agriculture. Crop Pasture Sci. 2012, 63, 269–283

Ball, B. Soil structure and greenhouse gas emissions: A synthesis of 20 years of experimentation. Eur. J. Soil Sci. 2013, 64, 357–373.

Ball, B.C.; Scott, A.; Parker, J.P. Field N2O, CO2 and CH4 fluxes in relation to tillage, compaction and soil quality in Scotland. Soil Tillage Res. 1999, 53, 29–39.

Ball, P.N.; MacKenzie, M.D.; DeLuca, T.H.; Holben, W.E. Wildfire and charcoal enhance nitrification and ammonium-oxidizing bacterial abundance in dry montane forest soils. J. Environ. Qual. 2010, 39, 1243–1253.

Bansiwal, A.K.; Rayalu, S.S.; Labhasetwar, N.K.; Juwarkar, A.A.; Devotta, S. Surfactant-modified zeolite as a slow-release fertilizer for phosphorus. J. Agric. Food Chem. 2006, 54, 4773–4779.

Barreiro-Hurle, J.; Bogonos, M.; Himics, M.; Hristov, J.; Pérez-Domínguez, I.; Sahoo, A.; Salputra, G. Modelling Environmental and Climatic Ambition in the Agricultural Sector with the CAPRI Model: Exploring the Potential Effects of Selected Farm to Fork and Biodiversity Strategies Targets in the Framework of the 2030 Climate Targets and the Post 2020 Common Agricultural

Billen, G.; Aguilera, E.; Einarsson, R.; Garnier, J.; Gingrich, S.; Grizzetti, B.; Lassaletta, L.; Le Noë, J.; Sanz-Cobena, A. (2021).

Bis, Z.; Kobyłecki, R.; Scisłowska, M.; Zarzycki, R. Biochar—Potential tool to combat climate change and drought. Ecohydrol. Hydrobiol. 2018, 18, 441–453.

Boutchich, G.E.; Tahiri, S.; El Krati, M.; Kabil, E.M.; Lhadi, E.K.; Mahi, M.; de la Guardia, M. Sandy soil modification by bio-composts for wheat production. Waste Biomass Valoriz. 2018, 9, 1129–1139.

Bouwman, A.F.; Boumans, L.J.M.; Batjes, N.H. Estimation of global NH3 volatilization loss from synthetic fertilizers and animal manure applied to arable lands and grasslands. GBC 2002, 16, 8–1.

Capasso, S.; Salvestrini, S.; Coppola, E.; Buondonno, A.; Colella, C. Sorption of humic acid on zeolitic tuff: A preliminary investigation. Appl. Clay Sci. 2005, 28, 159–165.

Castaldi, S.; Riondino, M.; Baronti, S.; Esposito, F.R.; Marzaioli, R.; Rutigliano, F.A. Impact of biochar application to a mediterranean wheat crop on soil microbial activity and greenhouse gas fluxes. Chemosphere 2012, 85, 1464–1471.

Cataldo, E.; Salvi, L.; Paoli, F.; Fucile, M.; Masciandaro, G.; Manzi, D.; Masini, C.M.; Mattii, G.B. Application of Zeolitesin Agriculture and Other Potential Uses: A Review.

Chan, K.Y.; Van Zwieten, L.; Meszaros, I.; Downie, A.; Joseph, S. Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment. Soil Res. 2007, 45, 629–634

Chen, H.; Li, X.; Hu, F.; Shi, W. Soil nitrous oxide emissions following crop residue addition: A meta-analysis. Glob. Change Biol. 2013, 19, 2956–2964.

Chuprova, V.V.; Ul'yanova, O.A.; Kulebakin, V.G. The effect of bark-zeolites fertilizers on mobile humus substances of Chernozem and on biological productivity of corn. In Euro Soil; Institute of Soil Science and Forest Nutrition, University of Freiburg: Freiburg, Germany, 2004.

Crippa, M.; Solazzo, E.; Guizzardi, D.; Monforti-Ferrario, F.; Tubiello, F.N.; Leip, A. Food systems are responsible for a third of global anthropogenic GHG emissions. Nat. Food. 2021, 2, 198–209.

DeLuca, T.H.; DeLuca, D.K. Composting for feedlot manure management and soil quality. J. Prod. Agric. 1997, 10, 235–241.

DeLuca, T.H.; MacKenzie, M.D.; Gundale, M.J.; Holben, W.E. Wildfire-produced charcoal directly influences nitrogen cycling in ponderosa pine forests. Soil Sci. Soc. Am. J. 2006, 70, 448–453.

Dempster, D.N.; Gleeson, D.; Solaiman, Z.; Jones, D.L.; Murphy, D. Decreased soil microbial biomass and nitrogen mineralization with Eucalyptus biochar addition to a coarse textured soil. Plant Soil 2012, 354, 311–324.

DeSutter, T.M.; Pierzynski, G.M. Evaluation of soils for use as liner materials: A soil chemistry approach. J. Environ. 2005, 34, 951–962.

Di, H.J.; Cameron, K.C. Nitrate leaching losses and pasture yields as affected by different rates of animal urine nitrogen returns and application of a nitrification inhibitor—A lysimeter study. Nutr. Cycl. Agroecosyst. 2007, 79, 281–290

Di, J.; Xu, M.; Zhang, W.; Tong, X.; He, X.; Gao, H.; Liu, H.; Wang, B. Combinations of soil properties, carbon inputs and climate control the saturation deficit dynamics of stable soil carbon over 17-year fertilizaiton. Sci. Rep. 2018, 8, 12653.

Diacono, M.; Montemurro, F. Long-term effects of organic amendments on soil fertility. A review. Agron Sustain Dev. 2010, 30,401–422.

Dwairi, J.M. Evaluation of Jordanian zeolite tuff as a controlled slow-released fertilizer for NH4+. Environ. Geol. 1998, 34, 1–4.

Dwairi, J.M. Evaluation of Jordanian zeolite tuff as a controlled slow-released fertilizer for NH4+. Environ. Geol. 1998, 34, 1–4.

Dwyer, J.; Dyer, A. Zeolites—An introduction. Chem. Ind. 1984, 2, 237–240. EEA (European Environment Agency). Greenhouse gas emissions from agriculture in Europe. 2021.

Elangovan, R. Effect of biochar on soil properties, yield and quality of cotton-maize-cowpea cropping sequence. Department of Soil Science and Agricultural Chemistry Agricultural College, 2014.

Ferguson, G.A.; Pepper, I.L. Ammonium retention in sand amended with clinoptilolite. Soil Sci. Soc. Am. J. 1987, 51, 231–234.

Frišták, V.; Pipíška, M.; Hubenˇák, M.; Kadlecˇíková, M.; Galamboš, M.; Soja, G. Pyrogenic Materials-Induced Immobilization of Eu

in Aquatic and Soil Systems: Comparative Study. Water Air Soil Pollut. 2018, 229, 146

Fuchs, R.; Calum, B.; Rounsevell, M. (2020). Europe's Green Deal offshores environmental damage to other nations. Nature 2020, 586., 671–673.

Gluba, Ł.; Rafalska-Przysucha, A.; Kacprzak, A.; Usowicz, B.; Szewczak, K.; Łukowski, M.; Szlazak, R.; Vitková, J.; Kobyłecki, R.; Bis, Z.; et al. Effect of Fine Size-Fractionated Sunflower Husk Biochar on Water Retention Properties of Arable Sandy Soil. Materials 2021, 14, 1335.

Gruener, J.E.; Ming, D.W.; Henderson, K.E.; Galindo, C., Jr. Common ion effects in zeoponic substrates: Wheat plant growth experiment. Micropor. Mesopor. Mat. 2003, 61, 223–230.

Gruener, J.E.; Ming, D.W.; Henderson, K.E.; Galindo, C., Jr. Common ion effects in zeoponic substrates: Wheat plant growth experiment. Micropor. Mesopor. Mat. 2003, 61, 223–230.

Harris, A.; Hill, R. Carbon-Negative Primary Production: Role of biocarbon and Challenges for Organics in Aotearoa/New Zealand. J. Org. Syst. 2007, 2, 1–13.

Hartemink, A.E. Assessing soil fertility decline in the tropics using soil chemical data. Adv. Agron. 2006, 89, 179–225.

Haynes, R.J.; Naidu, R. Influence of lime, fertilizer and manure applications on soil organic matter content and soil physical conditions: A review. Nutr. Cycl. Agroecosystems 1998, 51, 123–137

Ippolito, J.A.; Tarkalson, D.D.; Lehrsch, G.A. Zeolite Soil Application Method Affects Inorganic Nitrogen, Moisture, and Corn Growth. Soil Sci. 2011, 176, 136–142.

Jägermeyr J. Agriculture's historic twin-challenge toward sustainable water use and food supply for all. Front Sustain Food Syst 2020; 4: 35.

Jeffery, S.; Meinders, M.B.; Stoof, C.R.; Bezemer, M.; van de Voorde, T.F.; Mommer, L.; Van Groenigen, J.W. Biochar application does not improve the soil hydrological function of a sandy soil. Geoderma 2015, 251–252, 47–54.

Jobin, L.; Jose, C.; Pages, C.; Raffin, G.; Saupin, X.; Jame, P.; Jaffrezic-Renault, N.; Namour, P. Methanogenesis control in bioelectrochemical systems: A carbon footprint reduction assessment. J. Environ. Chem. Eng. 2018, 6, 803–810.

Kakabouki, I.; Roussis, I.; Mavroeidis, A.; Karydogianni, S.; Stavropoulos, P.; Tsopanoglou, A.; Bilalis, D. (2023). Evaluation of greenhouse gas emissions of quinoa seed production in Greece. Bulletin UASVM Horticulture 2023, 80, 30–35.

Kakabouki, I., Roussis, I., Mavroeidis, A., Stavropoulos, P., Kanatas, P., Pantaleon, K., ... & Tigka, E. (2025). Effects of Zeolite Application and Inorganic Nitrogen Fertilization on Growth, Productivity, and Nitrogen and Water Use Efficiency of Maize (Zea mays L.) Cultivated Under Mediterranean Conditions. Sustainability, 17(5), 2178.

Kassas, M. Desertification: A general review. J. Arid Environ. 1995, 30, 115–128.

Kavvadias, V.; Ioannou, Z.; Katsaris, P.; Kardimaki, A.; Vavoulidou, E.; Theocharopoulos, S. Use of Zeolites in Agriculture: Effect of Addition of Natural Zeolite–Clinoptilolite and Compost on Soil Properties and Crop Development, Section II Management

Strategies: Chapter 15. In Soil Amendments for Sustainability. Challenges and Perspectives; Rakshit, A., Sarkar, B., Abhilash,

P., Eds.; CRC Press: Boca Raton, FL, USA; Routledge: Oxfordshire, UK; Taylor & Francis Group: Oxfordshire, UK, 2018; p. 404.

Kavvadias, V.; Ioannou, Z.; Katsaris, P.; Kardimaki, A.; Vavoulidou, E.; Theocharopoulos, S. Use of Zeolites in Agriculture: Effect of

Addition of Natural Zeolite–Clinoptilolite and Compost on Soil Properties and Crop Development, Section II Management

Khalid, A.A.; Tuffour, H.O.; Bonsu, M. Influence of poultry manure and NPK fertilizer on hydraulic properties of a sandy soil in Ghana. Int. J. Sci. Res. Agric. Sci. 2014, 1, 16–22.

Kithome, M.; Paul, J.W.; Lavkulich, L.M.; Bomke, A.A. Effect of pH on ammonium adsorption by natural Zeolite clinoptilolite. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 1999, 30, 9–10

Kralova, M.; Hrozinkova, A.; Ruzek, P.; Kovanda, F.; Kolousek, D. Synthetic and Natural Zeolites Affecting the Physicochemical Soil Properties; Rostlinna Vyroba-UZPI: Czech Republic, 1994

Kumar, P.; Jadhav, P.D.; Rayalu, S.S.; Devotta, S. Surface-modified zeolite—A for sequestration of arsenic and chromium anions. Curr. Sci. 2007, 92, 512–517.

Lal, R. Reducing carbon footprints of agriculture and food systems. Carbon Footpr. 2022, 1, 3.

Leggo, P. J. An investigation of plant growth in an organo-zeolitic substrate and its ecological significance. Plant Soil 2000, 219, 135–146.

Markovic, A.; Takac, A.; Ilin, Z. Enriched zeolite as a substrate component in the production of pepper and tomato seedlings. Acta Hortic. 1995, 396, 321–328

Massé, D.; Talbot, G.; Gilbert, Y. On farm biogas production: A method to reduce GHG emissions and develop more sustainable livestock operations. Anim. Feed Sci. Technol. 2011, 166, 436–445.

Mavroeidis, A.; Tsopanoglou, A.; Stavropoulos, P.; Roussis, I.; Vatougios, D.; Kakabouki, I.; Bilalis, D. Carbon footprint of wheat and maize: A Greek case study. Bulletin UASVM Horticulture 2024, 81, 81–84.

Mcgilloway, R.; Weaver, R.; Ming, D.; Gruener, J.E. Nitrification in a zeoponic substrate. Plant Soil 2003, 256, 371–378.

Nguyen, D.H.; Biala, J.; Grace, P.R.; Scheer, C.; Rowlings, D.W. Greenhouse gas emissions from sub-tropical agricultural soils after addition of organic by-products. SpringerPlus 2014, 3, 491.

Oertel, C.; Matschullat, J.; Zurba, K.; Zimmermann, F.; Erasmi, S. Greenhouse gas emissions from soils—A review. Chem. Der Erde-Geochem. 2016, 76, 327–352.

Ozlu, E.; Arriaga, F.J.; Bilen, S.; Gozukara, G.; Babur, E. Carbon Footprint Management by Agricultural Practices. Biology 2022, 11,1453.

In Zeo-Agriculture: Uses of Natural Zeolites in Agriculture and Aquaculture; Pond, W.G., Mumpton, F.A., Eds.; Westview Press: Boulder, CO, USA, 1984; pp. 65–76.

Prasad, P.V.V.; Thomas, J.M.G.; Narayanan, S. Global Warming Effects. Encycl. Appl. Plant Sci. 2017, 3, 289–299

Protic, N.; Martinovic, L.; Milicic, B.; Stevanovic, D.; Mojasevic, M. The status of soil surveys in Serbia and Montenegro. ESBN-Res.Rep. 2003, 9, 287–315.

Rehakova, M.; Cuvanova, S.; Dzivak, M.; Rimarand, J.; Gavalova, Z. Agricultural and agrochemical uses of natural zeolite of the clinoptilolite type. Curr. Opin. Solid State Mater. Sci. 2004, 8, 397–404.

Roussis, I.; Kakabouki, I.; Stavropoulos, P.; Mavroeidis, A.; Papatheodorou, M.; Vatougios, D.; Tsela, A.; Bilalis, D. Carbon footprint analysis of processing tomato cultivation in Greece. Bulletin UASVM Horticulture 2023, 80, 76–79.

Ruser, R.; Flessa, H.; Russow, R.; Schmidt, G.; Buegger, F.; Munch, J. Emission of N2O, N2 and CO2 from soil fertilized with nitrate:Effect of compaction, soil moisture and rewetting. Soil Biol. Biochem. 2006, 38, 263–274

Singh, B.K.; Bardgett, R.D.; Smith, P.; Reay, D.S. Microorganisms and climate change: Terrestrial feedbacks and mitigation options. Nat. Rev. Microbiol. 2010, 8, 779.

Spokas, K.A.; Baker, J.M.; Reicosky, D.C. Ethylene: Potential key for biochar amendment impacts. Plant Soil. 2010, 333, 443–452.

Szatanik-Kloc, A., Szerement, J., Adamczuk, A., & Józefaciuk, G. (2021). Effect of low zeolite doses on plants and soil physicochemical properties. Materials, 14(10), 2617.

Yasuda, H.; Takama, K.; Fukuda, T.; Araki, Y.; Suzuka, J.; Fukushima, Y. Effects of zeolite on water and salt control in soil. J. Fac Agric. Tottori. Univ. 1998, 51, 35–42.