



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

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

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

**Επίδραση των PGPM (Plant Growth Promoting Microorganisms) στην
ανάπτυξη του λιναριού (*Linum usitatissimum* L.) υπό συνθήκες
αλατότητας**

Πηνελόπη – Νικολέτα Κ. Μητσοπούλου

Επιβλέπουσα καθηγήτρια:

Κακαμπούκη Ιωάννα, Επίκουρη Καθηγήτρια ΓΠΑ

**Αθήνα
2023**



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

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Επίδραση των PGPM (Plant Growth Promoting Microorganisms) στην
ανάπτυξη του λιναριού (*Linum usitatissimum* L.) υπό συνθήκες
αλατότητας

Effect of PGPM (Plant Growth Promoting Microorganisms) on the
growth of flax (*Linum usitatissimum* L.) under salinity conditions

Πηνελόπη – Νικολέτα Κ. Μητσοπούλου

Εξεταστική Επιτροπή:

Κακαμπούκη Ιωάννα, Επίκουρη Καθηγήτρια ΓΠΑ (Επιβλέπουσα)

Μπιλάλης Δημήτριος, Καθηγητής ΓΠΑ (Μέλος)

Τραυλός Ηλίας, Αναπληρωτής Καθηγητής ΓΠΑ (Μέλος)

Επίδραση των PGPM (Plant Growth Promoting Microorganisms) στην ανάπτυξη του λιναριού (*Linum usitatissimum* L.) υπό συνθήκες αλατότητας

ΠΜΣ Καινοτόμες Εφαρμογές στην Αειφορική Γεωργία, στη Βελτίωση Φυτών & στην Αγρομετεωρολογία

Τμήμα Επιστήμης Φυτικής Παραγωγής

Εργαστήριο Γεωργίας

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στις μέρες μας ολοένα και περισσότερα εδάφη χαρακτηρίζονται ως αλατούχα. Η αλατότητα αποτελεί σοβαρά προβλήματα στην ανάπτυξη των φυτών μειώνοντας τις αποδόσεις τους και τα αγρονομικά τους χαρακτηριστικά. Σκοπός της παρούσας μελέτης ήταν η διερεύνηση των επιπτώσεων της αλατότητας στην ανάπτυξη του λιναριού (*Linum usitatissimum* L.), καθώς και η χρήση λιπάσματος που περιέχει μικροοργανισμούς (Plant Growth Promoting Microorganism – PGPM). Για την πραγματοποίηση της μελέτης, στήθηκε ένα πείραμα στο θερμοκήπιο του εργαστηρίου γεωργίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών. Οι μετρήσεις αφορούσαν τα αγρονομικά χαρακτηριστικά του φυτού (ύψος, ξηρό βάρος, αριθμός διακλαδώσεων βάσης, αριθμός διακλαδώσεων κορυφής, αριθμός ανθέων, αριθμός καψών, αριθμός σπόρων ανά κάψα, βάρος χιλίων σπόρων), τους δείκτες ανάπτυξης (NDVI, SPAD), την επιφάνεια της ρίζας και το ποσοστό αποικισμού με μυκόρριζες, καθώς και την απόδοση ανά φυτό. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, η αλατότητα επηρέασε τα παραπάνω χαρακτηριστικά, ωστόσο η χρήση λιπάσματος με μικροοργανισμούς βοήθησε στην μείωση της επίδρασης της αλατότητας στα υπό μελέτη χαρακτηριστικά. Συνοψίζοντας, η αλατότητα επιδρά στην ανάπτυξη των φυτών, ωστόσο η χρήση λιπασμάτων που περιέχουν μικροοργανισμούς μπορούν να βοηθήσουν στην επαγωγή της αντοχής των φυτών στην αλατότητα.

Επιστημονική περιοχή: Φυτική Παραγωγή

Λέξεις κλειδιά: αλατότητα, λινάρι, PGPM

Effect of PGPM (Plant Growth Promoting Microorganisms) on the growth of flax (*Linum usitatissimum* L.) under salinity conditions

MSc Innovative Applications in Sustainable Agriculture, in Plant Improvement and in Agrometeorology

Department of Crop Faculty

Faculty of Crop Science

ABSTRACT

Nowadays, more and more soils are being classified as saline. Salinity is a serious problem for the growth of plants, reducing their yields and agronomic characteristics. The aim of the present study was to investigate the effects of salinity on the growth of flax (*Linum usitatissimum* L.) and the use of fertilizer containing microorganisms (Plant Growth Promoting Microorganism - PGPM). To carry out the study, an experiment was set up in the greenhouse of the Agricultural Laboratory of the Agricultural University of Athens. The measurements were related to the agronomic characteristics of the plant (height, dry weight, number of base branches, number of top branches, number of flowers, number of capsules, number of seeds per capsule, weight per thousand seeds), growth indices (NDVI, SPAD), root area and mycorrhizal colonization rate, and yield per plant. According to the results, salinity affected the above characteristics, however, the use of fertilizer with microorganisms helped to reduce the effect of salinity on the studied characteristics. In summary, salinity affects plant growth, however, the use of fertilizers containing microorganisms can help in inducing salinity resistance in plants.

Scientific Area: Crop Science

Keywords: Flax, PGPM, salinity

Ευχαριστίες

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία πραγματοποιήθηκε στο Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών ,στο τμήμα Επιστήμη Φυτικής Παραγωγής και συγκεκριμένα στο εργαστήριο Γεωργίας κατά το έτος 2023.

Η ολοκλήρωση της μεταπτυχιακής αυτής εργασίας θα ήταν αδύνατη χωρίς την πολύτιμη υποστήριξη της καθηγήτριας μου, Επίκουρη καθηγήτρια Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, Κας Κακαμπούκη Ιωάννα .Την ευχαριστώ για την καθοδήγηση που μου προσέφερε καθώς και το χρόνο που διέθεσε δίνοντας μου συμβουλές και οδηγίες για την ολοκλήρωση της μεταπτυχιακής μου εργασίας. Θα ήθελα να ευχαριστήσω και όλους τους καθηγητές του εργαστηρίου για την συμβολή τους στην επιστημονική μου συγκρότηση στα χρόνια της φοίτησης μου στο Τμήμα.

Οφείλω επίσης ένα μεγάλο ευχαριστώ σε όλους όσους συμμετείχαν είτε πρακτικά είτε ψυχικά στην ολοκλήρωση της εργασίας μου .

Θέλω επίσης να ευχαριστήσω πολύ το σύζυγο μου και την οικογένεια μου οι οποίοι υπήρξαν πάντα ένα στήριγμα για μένα και τους οφείλω όλη τη διαδρομή των σπουδών μου, μέχρι σήμερα.

Αφιέρωση

Περιεχόμενα
ΠΕΡΙΛΗΨΗ

3

ABSTRACT	4
1. Εισαγωγή	12
1.1. Ιστορική αναδρομή	12
1.2. Ταξινόμηση	13
1.3. Μορφολογικά χαρακτηριστικά	13
1.3.1. Ριζικό σύστημα	14
1.3.2. Βλαστός	14
1.3.3. Φύλλα	15
1.3.4. Άνθη	15
1.3.5. Καρπός	16
1.3.6. Σπόρος	17
1.4. Στάδια ανάπτυξης	18
1.5. Χρήσεις	19
1.6. Παγκόσμια παραγωγή	21
1.7. Αλατότητα	22
1.8. Plant Growth Promoting Microorganism (PGPM)	27
1.9. Σκοπός μελέτης	29
2. Υλικά και Μέθοδοι	30
2.1. Περιοχή μελέτης	30
2.2. Πειραματικό σχέδιο	31
2.3. Ημερολόγιο πειράματος	33
2.4. Φυτόχωμα	35
2.5. PGPM	35
2.6. Προσδιορισμοί – Μετρήσεις	37
2.7. Στατιστική ανάλυση δεδομένων	42
3. Αποτελέσματα	43
3.1. Ηλεκτρική αγωγιμότητα	43
3.2. Αποτελέσματα 50 ΗΑΣ	44
3.3. Αποτελέσματα 80 ΗΑΣ	51
3.4. Αποτελέσματα 109 ΗΑΣ	60
3.5. Αποτελέσματα μετρήσεων ρίζας	70
4. Συζήτηση	74
5. Συμπέρασμα	77
6. Βιβλιογραφία	78

Πίνακας Πινάκων

Πίνακας 1: Η ταξινόμηση του λιναριού	13
Πίνακας 2: Ταξινόμηση αλατούχων εδαφών και τα χαρακτηριστικά τους (Πηγή: Yan et al., 2015)	23
Πίνακας 3: Χαρακτηριστικά φυτοχώματος	35
Πίνακας 4: Ηλεκτρική αγωγιμότητα στα τελικά επίπεδα αλατότητας	43
Πίνακας 5: Ανάλυση διασποράς για το ύψος στις 50 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=0,05$. (Οι αριθμοί με έντονη γραφή σηματοδοτούν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές)	44
Πίνακας 6: Ανάλυση διασποράς για το ξηρό βάρος στις 50 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=0,05$. (Οι αριθμοί με έντονη γραφή σηματοδοτούν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές)	45
Πίνακας 7: Ανάλυση διασποράς για τον αριθμό των φύλλων στις 50 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=0,05$. (Οι αριθμοί με έντονη γραφή σηματοδοτούν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές)	46
Πίνακας 8: Ανάλυση διασποράς για τον αριθμό των διακλαδώσεων βάσης στις 50 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=0,05$. (Οι αριθμοί με έντονη γραφή σηματοδοτούν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές)	48
Πίνακας 9: Ανάλυση διασποράς για το NDVI στις 50 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=0,05$. (Οι αριθμοί με έντονη γραφή σηματοδοτούν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές)	49
Πίνακας 10: Ανάλυση διασποράς για το SPAD στις 50 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=0,05$. (Οι αριθμοί με έντονη γραφή σηματοδοτούν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές)	50
Πίνακας 11: Ανάλυση διασποράς για το ύψος στις 80 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=0,05$. (Οι αριθμοί με έντονη γραφή σηματοδοτούν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές)	51
Πίνακας 12α Ανάλυση διασποράς για το ξηρό βάρος στις 80 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=0,05$. (Οι αριθμοί με έντονη γραφή σηματοδοτούν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές)	52
Πίνακας 13: Ανάλυση διασποράς για τον αριθμό των φύλλων στις 80 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=0,05$. (Οι αριθμοί με έντονη γραφή σηματοδοτούν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές)	53
Πίνακας 14: Ανάλυση διασποράς για τον αριθμό των κορυφαίων διακλαδώσεων στις 80 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=0,05$. (Οι αριθμοί με έντονη γραφή σηματοδοτούν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές)	55
Πίνακας 15: Ανάλυση διασποράς για τον αριθμό των ανθέων στις 80 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=0,05$. (Οι αριθμοί με έντονη γραφή σηματοδοτούν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές)	56
Πίνακας 16: Ανάλυση διασποράς για τον δείκτη NDVI στις 80 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=0,05$. (Οι αριθμοί με έντονη γραφή σηματοδοτούν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές)	57
Πίνακας 17: Ανάλυση διασποράς για την περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη στις 80 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=0,05$. (Οι αριθμοί με έντονη γραφή σηματοδοτούν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές)	59

Πίνακας 18: Ανάλυση διασποράς για το ύψος στις 109 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=0,05$. (Οι αριθμοί με έντονη γραφή σηματοδοτούν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές)	61
Πίνακας 19: Ανάλυση διασποράς για το ξηρό βάρος στις 109 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=0,05$. (Οι αριθμοί με έντονη γραφή σηματοδοτούν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές)	62
Πίνακας 20: Ανάλυση διασποράς για τον αριθμό των καψών ανά φυτό στις 109 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=0,05$. (Οι αριθμοί με έντονη γραφή σηματοδοτούν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές)	63
Πίνακας 21: Ανάλυση διασποράς για το ποσοστό καρπόπτωσης στις (Οι αριθμοί με έντονη γραφή σηματοδοτούν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές)	65
Πίνακας 22: Ανάλυση διασποράς για τον αριθμό των σπόρων ανά κάψα σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=0,05$. (Οι αριθμοί με έντονη γραφή σηματοδοτούν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές)	66
Πίνακας 23: Ανάλυση διασποράς για το βάρος χιλίων σπόρων (Οι αριθμοί με έντονη γραφή σηματοδοτούν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές)	67
Πίνακας 24: Ανάλυση διασποράς για την απόδοση ανά φυτό (Οι αριθμοί με έντονη γραφή σηματοδοτούν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές)	68
Πίνακας 25: Ανάλυση διασποράς για το ποσοστό αποικισμού σε μυκόρριζες (Οι αριθμοί με έντονη γραφή σηματοδοτούν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές)	70
Πίνακας 26: Ανάλυση διασποράς για την επιφάνεια ρίζας (Οι αριθμοί με έντονη γραφή σηματοδοτούν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές)	72

Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 1: Ριζικό σύστημα λιναριού (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)	14
Εικόνα 2: Τα φύλλα του λιναριού (Πηγή: https://back-to-nature.gr/2013/01/blog-post_25-2.html)	15
Εικόνα 3: Ανατομία άνθους λιναριού (Πηγή: https://www.piperi-evripidou.gr/el/botana-therapeftika.html?product=328)	16
Εικόνα 4: Κάψες λιναριού (Πηγή: https://emvolos.gr/linarosporos-mia-ypertrofi-pou-stirizi-ton-organismo-mas-ta-ofeli-ton-gn-orisoume/)	16
Εικόνα 5: Σπόροι λιναριού (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)	17
Εικόνα 6: Μορφολογία λιναριού (Πηγή: http://dspace.aua.gr/xmlui/bitstream/handle/10329/165/%CE%91%CE%B8%CE%B1%CE%BD%CE%B1%CF%83%CE%BF%CF%80%CE%BF%CF%8D%CE%BB%CE%BF%CF%85%20%CE%9C%CE%B1%CF%81%CE%AF%CE%B1.pdf?sequence=1)	18
Εικόνα 7: Πορεία ανάπτυξης λιναριού (Πηγή: https://www.vectorstock.com/royalty-free-vector/flax-linum-usitatissimum-growth-stages-vector-15992934)	19
Εικόνα 8: Παγκόσμια παραγωγή λιναριού (Πηγή: Stavropoulos et al., 2023)	22
Εικόνα 9: Εξάπλωση αλατούχων εδαφών (Πηγή: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-96190-3_2/figures/1)	24
Εικόνα 10: Εικόνα απο αλατούχο έδαφος (Πηγή: https://www.alva-water.com/post/soil-salinity-repairing-the-world-s-agricultural-soils)	26

Εικόνα 11: Επίδραση της αλατότητας στην ανάπτυξη του φυτού (Πηγή: https://extension.uga.edu/publications/detail.html?number=C1019&title=soil-salinity-testing-data-interpretation-and-recommendations)	26
Εικόνα 12: Επίδραση της αλατότητας σε φυτά δημητριακών (Πηγή: https://www.agric.wa.gov.au/mycrop/diagnosing-salinity-cereals)	27
Εικόνα 13: Θερμοκήπια στον αγρό του εργαστηρίου γεωργίας (Πηγή: Google earth)	31
Εικόνα 14: Το πειραματικό σχέδιο (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)	33
Εικόνα 15: Εικόνα από το θερμοκήπιο (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)	33
Εικόνα 16: Το φυτόχωμα που χρησιμοποιήθηκε (Πηγή: https://www.kipogeorgiki.gr/fytochoma-florabella-blumenerde-70-lt-fytoxomata-syskeuasmena-fytoxomata-edafobeltiotika)	35
Εικόνα 17: Το σκεύασμα PGPM που χρησιμοποιήθηκε	36
Εικόνα 18: Συσσκευή μέτρησης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (Πηγή: https://purehydroponics.com/products/bluelab-electronic-test-meters-ec-ph/bluelab-pulse-meter/)	37
Εικόνα 19: Μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στην γλάστρα (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)	38
Εικόνα 20: Greenseeker (Πηγή: https://agriculture.trimble.com/en/products/hardware/flow-application-control/greenseeker-handheld-crop-sensor)	39
Εικόνα 21: Όργανο μέτρησης συγκέντρωσης χλωροφύλλης (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)	40
Εικόνα 22: Εικόνα ρίζας μετά από χρώση με σινική μελάνη και σάρωση (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)	41
Εικόνα 23: Εικόνα ριζών από το MoticCam (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)	41
Εικόνα 24: Φυτό στο στάδιο της άνθησης (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)	42

Πίνακας Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1: Οι χώρες με την μεγαλύτερη παραγωγή ινώδους λιναριού	22
Διάγραμμα 2: Οι χώρες με την μεγαλύτερη παραγωγή λιναριού για σπόρο	22
Διάγραμμα 3: Επίδραση των παραγόντων του πειράματος στο ύψος φυτού στις 50 ΗΑΣ. Τα διαφορετικά γράμματα σηματοδοτούν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Η ένδειξη "ns" υποδηλώνει τις μη στατιστικά σημαντικές διαφορές	45
Διάγραμμα 4: Επίδραση των παραγόντων του πειράματος στο ξηρό βάρος φυτού στις 50 ΗΑΣ. Τα διαφορετικά γράμματα σηματοδοτούν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Η ένδειξη "ns" υποδηλώνει τις μη στατιστικά σημαντικές διαφορές	46
Διάγραμμα 5: Επίδραση των παραγόντων του πειράματος στον αριθμό φύλλων του φυτού στις 50 ΗΑΣ. Τα διαφορετικά γράμματα σηματοδοτούν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Η ένδειξη "ns" υποδηλώνει τις μη στατιστικά σημαντικές διαφορές	47
Διάγραμμα 6: Επίδραση των παραγόντων του πειράματος στον αριθμό δικλαδώσεων βάσης του φυτού στις 50 ΗΑΣ. Τα διαφορετικά γράμματα σηματοδοτούν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Η ένδειξη "ns" υποδηλώνει τις μη στατιστικά σημαντικές διαφορές	48
Διάγραμμα 7: Επίδραση των παραγόντων του πειράματος στον δείκτη NDVI στις 50 ΗΑΣ. Τα διαφορετικά γράμματα σηματοδοτούν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Η ένδειξη "ns" υποδηλώνει τις μη στατιστικά σημαντικές διαφορές	49

Διάγραμμα 22: Επίδραση των παραγόντων του πειράματος στην απόδοση των φυτών. Τα διαφορετικά γράμματα σηματοδοτούν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Η ένδειξη "ns" υποδηλώνει τις μη στατιστικά σημαντικές διαφορές	70
Διάγραμμα 23: Επίδραση των παραγόντων του πειράματος στο ποσοστό αποικισμού με μυκόρριζες. Τα διαφορετικά γράμματα σηματοδοτούν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Η ένδειξη "ns" υποδηλώνει τις μη στατιστικά σημαντικές διαφορές	71
Διάγραμμα 24: Επίδραση των παραγόντων του πειράματος στην επιφάνεια της ρίζας. Τα διαφορετικά γράμματα σηματοδοτούν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Η ένδειξη "ns" υποδηλώνει τις μη στατιστικά σημαντικές διαφορές	72

1. Εισαγωγή

1.1. Ιστορική αναδρομή

Η καλλιέργεια του λιναριού έχει μακρά ιστορία και έχει χρησιμοποιηθεί για πολλούς σκοπούς. Η ιστορία του λιναριού ξεκινά πίσω στα αρχαία χρόνια, τουλάχιστον από το 5.000 π.Χ., συνδέοντας το φυτό με τους πολιτισμούς της Μεσοποταμίας και της Αίγυπτου (Karg, 2011). Οι αρχαίοι Αιγύπτιοι ήταν από τους πρώτους που καλλιέργησαν και χρησιμοποίησαν το λινάρι. Οι ίνες του φυτού χρησιμοποιούνταν για την παραγωγή υφασμάτων και ρούχων, προσδίδοντας έναν νέο χαρακτήρα στον αιγυπτιακό πολιτισμό. Το λινάρι ήταν συνδεδεμένο με τη βαμβακοκαλλιέργεια, αλλά προσέφερε ίνες διαφορετικής ποιότητας. Οι ίνες του λιναριού, λόγω των διαφορετικών χαρακτηριστικών από εκείνες του βαμβακιού, το κατέστησαν επιθυμητό για την κατασκευή ποιοτικών ρούχων. Ακόμα, οι αρχαίοι Αιγύπτιοι χρησιμοποιούσαν ίνες λιναριού, για να τυλίγουν τις μούμιες (Jhala & Hall, 2010).

Η γνώση για την καλλιέργεια του λιναριού διαδόθηκε στην Ευρώπη κατά τη διάρκεια της αρχαιότητας, με την Ρώμη να αποτελεί ένα κέντρο διακίνησης πληροφοριών και πρακτικών για την καλλιέργεια του φυτού. Στην μεσαιωνική Ευρώπη, η καλλιέργεια του λιναριού έγινε ευρέως διαδεδομένη, και τα λινά υφάσματα κατέκτησαν τις αγορές. Η παραγωγή ρούχων από λινάρι ανέπτυξε μια δική της βιομηχανία και έγινε ουσιαστικό μέρος του οικονομικού συστήματος. Ακόμα, στην αρχαία Ελλάδα, οι σπόροι του λιναριού χρησιμοποιούνταν στην εναλλακτική ιατρική. Αναλυτικότερα,

σε γραπτά κείμενα που διασώθηκαν, φαίνεται να γινόταν χρήση των σπόρων του λιναριού, ως φάρμακο του βήχα και άλλων ασθενειών (Valamoti, 2011).

Κατά την περίοδο της βιομηχανικής επανάστασης, αναπτύχθηκαν νέες μέθοδοι στην καλλιέργεια του λιναριού. Οι νέες αυτές μέθοδοι αφορούσαν κυρίως την διαδικασία απομόνωσης των ινών του φυτού. Η βιομηχανία εκμεταλλεύτηκε την ανθεκτικότητα και τις ιδιότητες των ινών του λιναριού. Το χαμηλό του κόστος και η ευρεία του διαθεσιμότητα το κατέστησαν προτιμώμενο υλικό για πολλές εφαρμογές (Wrobel et al., 2004).

Στη σύγχρονη εποχή, η παραγωγή λιναριού έχει διασκορπιστεί σε παγκόσμια κλίματα, με την Κίνα να έχει μια κυρίαρχη θέση ως ένας από τους μεγαλύτερους παραγωγούς. Η χρήση των ινών εξακολουθεί να είναι ευρεία, καλύπτοντας την κατασκευή ρούχων, την παραγωγή χαρτιού, τη διακόσμηση, και πολλές άλλες εφαρμογές. Εκτός από την παραγωγή ινών, το λινάρι προσφέρει και άλλα προϊόντα. Οι σπόροι του λιναριού καταναλώνονται ολόκληροι, αλεσμένοι ή παράγουν ένα πλούσιο σε ωμέγα-3 λιπαρό έλαιο, το οποίο χρησιμοποιείται στη διατροφή και στη βιομηχανία. Η βιωσιμότητα και η φιλική προς το περιβάλλον φύση της καλλιέργειας λιναριού καθιστούν το φυτό μια σημαντική παράγων για το μέλλον της βιομηχανίας και της αγροτικής οικονομίας (Wrobel et al., 2004).

1.2. Ταξινόμηση

Το Λινάρι (*Linum usitatissimum* L.), είναι ένα από τα 150 είδη της οικογένειας Linaceae. Πρόκειται για ένα αγγειόσπερμο, δικότυλο φυτό. Περιγράφηκε πρώτα από το Λινναίο, όπου το δόθηκε το λατινικό όνομα *Linum usitatissimum* (Linnaeus C., 1857). Η χρήση της λέξης «usitatissimum» μεταφράζεται ως «το πιο χρήσιμο», πράγμα που δηλώνει την πληθώρα των χρήσεων του φυτού του λιναριού (Vaisey – Genser & Morris, 2003).

Πίνακας 1: Η ταξινόμηση του λιναριού

Βασίλειο:	Φυτά (Plantae)
Συνομοταξία:	Αγγειόσπερμα (Magnoliophyta)
Ομοταξία:	Δικοτυλήδονα (Magnoliopsida)
Τάξη:	Λινώδη (Linales)

Οικογένεια:	Λινοειδή (Linaceae)
Γένος:	Λίνον (Linum)
Είδος:	Λίνον το χρησιμότετον (<i>Linum usitatissimum</i> L.)

1.3. Μορφολογικά χαρακτηριστικά

1.3.1. Ριζικό σύστημα

Το ριζικό σύστημα του λιναριού έχει ως στόχο την στήριξη του φυτού και την απορρόφηση νερού και θρεπτικών συστατικών από το έδαφος. Το ριζικό σύστημα του λιναριού είναι πασσαλώδες και αποτελείται από μεγάλο αριθμό ριζικών τριχιδίων. Επεκτείνεται κυρίως οριζόντια, ενώ το βάθος ανάπτυξης δεν είναι ιδιαίτερα μεγάλο. Το βάθος του φτάνει τα 90 – 120 εκατοστά. Το λινάρι θεωρείται επιπολαιόριζο φυτό (Jhala & Hall, 2010).



Εικόνα 1: Ριζικό σύστημα λιναριού (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)

1.3.2. Βλαστός

Ο βλαστός του φυτού είναι όρθιος και λεπτός. Το χρώμα του βλαστού είναι πράσινο, ενώ κατά την πορεία ωρίμανσης του φυτού μεταβάλλεται σε κίτρινο και τελικά καφέ. Το ύψος του διαφοροποιείται ανάλογα με την ποικιλία του φυτού. Σε ποικιλίες που προορίζονται για παραγωγή ινών ο βλαστός είναι ψηλότερος και με λιγότερες διακλαδώσεις. Αντίθετα, σε ποικιλίες που προορίζονται για την παραγωγή σπόρων οι βλαστοί έχουν χαμηλότερο ύψος και περισσότερες διακλαδώσεις. Σε περιπτώσεις όπου η καλλιέργεια πραγματοποιείται σε μεγαλύτερες αποστάσεις, δίνεται η δυνατότητα ανάπτυξης 2 ή περισσότερων πλάγιων βλαστών. Από το βλαστό του λιναριού παράγονται ίνες, οι οποίες έχουν υψηλή αντοχή και ποιότητα. Η απομόνωση των ινών γίνεται στο στάδιο που ο βλαστός είναι ακόμα πράσινος ή κίτρινος, ενώ η συγκομιδή των σπόρων γίνεται όταν ο βλαστός έχει αποκτήσει καφέ χρώμα (Παπακώστα-Τασοπούλου, 2013).

1.3.3. Φύλλα

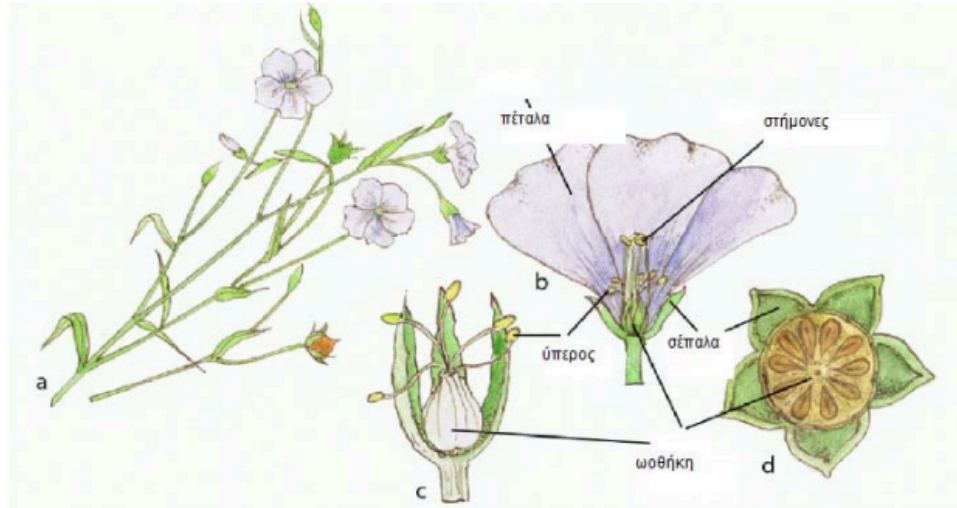
Το λινάρι έχει απλά φύλλα. Το σχήμα τους είναι λογχοειδές και είναι λεία. Το μήκος τους αγγίζει τα 2 – 5 εκατοστά. Εκφύονται αντίθετα επάνω στον βλαστό.



Εικόνα 2: Τα φύλλα του λιναριού (Πηγή: https://back-to-nature.gr/2013/01/blog-post_25-2.html)

1.3.4. Άνθη

Τα άνθη έχουν μπλέ χρώμα και αποτελούνται από πέντε πέταλα, πέντε σέπαλα και πέντε στήμονες. Εντοπίζονται στην κορυφή του βλαστού, μεμονωμένα, σχηματίζοντας ταξιανθία βότρυ. Η ωοθήκη αποτελείται από πέντε καρπόφυλλα με το κάθε καρπόφυλλο να σχηματίζει δύο χώρους (Παπακώστα-Τασοπούλου, 2013).



Εικόνα 3: Ανατομία άνθους λιναριού
(Πηγή: <https://www.piperi-evripidou.gr/el/botana-therapeftika.html?product=328>)

1.3.5. Καρπός

Ο καρπός του φυτού είναι κάψα. Το σχήμα της κάψας είναι στρογγυλό – ωοειδές. Κατά την ωρίμανση του φυτού, εντός της κάψας περιέχονται οκτώ έως δέκα σπόροι. Το χρώμα των καψών είναι ανοιχτό καφέ και διακρίνονται σε διαρρηγνύμενες ή αδιάρρηκτες αναλόγως της ποικιλίας (Παπακόστα-Τασοπούλου, 2013).



Εικόνα 4: Κάψες λιναριού (Πηγή: <https://emvolos.gr/linarosporos-mia-ypertrofi-pou-stirizi-ton-organismo-mas-ta-ofeli-ton-gnorisoume/>)

1.3.6. Σπόρος

Οι σπόροι είναι επίπεδοι, ωοειδείς και μυτεροί στην άκρη με μήκος 3,5 - 5 mm Το βάρος των σπόρων εξαρτάται από την ποικιλία και κυμαίνεται από 0,005 – 0,007 g. Το χρώμα των σπόρων ποικίλει και μπορεί να κυμανθεί από ανοιχτό έως σκούρο κίτρινο ή κοκκινοκαφέ (Παπακώστα-Τασοπούλου, 2013).



Εικόνα 5: Σπόροι λιναριού (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)



Εικόνα 6: Μορφολογία λιναριού (Πηγή:

<http://dspace.aua.gr/xmlui/bitstream/handle/10329/165/%CE%91%CE%B8%CE%B1%CE%BD%CE%B1%CF%83%CE%BF%CF%80%CE%BF%CF%8D%CE%BB%CE%BF%CF%85%20%CE%9C%CE%B1%CF%81%CE%AF%CE%B1.pdf?sequence=1>)

1.4. Στάδια ανάπτυξης

Η ανάπτυξη του λιναριού είναι μια συνεχής διαδικασία που αρχίζει όταν βλαστήσει ο σπόρος και ολοκληρώνεται όταν το φυτό ωριμάσει. Ανάλογα με τις γενικές περιβαλλοντικές συνθήκες, ο κύκλος ζωής του λιναριού διαρκεί συνήθως 13 – 17 εβδομάδες. Η ποικιλία, η ημερομηνία σποράς, η γεωγραφική θέση και οι επικρατούσες καιρικές συνθήκες κατά την καλλιεργητική περίοδο μπορούν να επηρεάσουν τη διάρκεια των σταδίων ανάπτυξης.

Η ανάπτυξη του φυτού ξεκινάει από το φύτρωμα. Στη συνέχεια, έρχεται η ανάδυση των νεαρών φυταρίων. Αμέσως μετά, έρχεται το βλαστικό στάδιο. Το συγκεκριμένο στάδιο ξεκινά όταν το φυτό βγαίνει από το χώμα και συνεχίζεται μέχρι την εμφάνιση των πρώτων ανθέων. Η διάρκειά του είναι περίπου 6-8 εβδομάδες. Το λινάρι διαθέτει

ένα κύριο στέλεχος με αρκετές διακλαδώσεις. Ο κύριος βλαστός συνεχίζει να επεκτείνεται και σχηματίζονται οφθαλμοί στους επιμέρους βλαστούς ανεξάρτητα.

Το αναπαραγωγικό στάδιο, ξεκινά με την εμφάνιση του πρώτου άνθους. Το στάδιο αυτό βασίζεται στην ανθοφορία, την ανάπτυξη καψών, την ανάπτυξη σπόρων και την ωρίμανση του φυτού. Τα νέα άνθη του λιναριού ανοίγουν νωρίς κάθε πρωί και τα πέταλα συνήθως αποβάλλονται μέχρι το μεσημέρι. Η περίοδος ανθοφορίας διαρκεί συνήθως από 2 έως 3 εβδομάδες. Μετά τη γονιμοποίηση, η ωθήκη αρχίζει να ωριμάζει και σχηματίζει μια κάψα που περιέχει αναπτυσσόμενους σπόρους.

Το επόμενο στάδιο είναι η ωρίμανση, όπου ξεκινά 3 - 4 εβδομάδες μετά την ανθοφορία. Σε αυτό το στάδιο, έρχεται η ωρίμανση των καψών και των σπόρων που δημιουργήθηκαν. Χρωματικά, το παρών στάδιο ξεχωρίζει, καθώς οι κάψες αποκτούν ένα καφεκίτρινο χρώμα και ξηρή υφή. Τα φύλλα, πέφτουν από το φυτό. Τα φυτά λιναριού μπορούν να θεωρηθούν πλήρως ώριμα όταν το 95% των καψών φτάσει στο επιθυμητό χρώμα (Zuk, M. et al., 2019).



Εικόνα 7: Πορεία ανάπτυξης λιναριού (Πηγή:

<https://www.vectorstock.com/royalty-free-vector/flax-linum-usitatissimum-growth-stages-vector-15992934>)

1.5. Χρήσεις

Το λινάρι χαρακτηρίζεται από την πολυχρηστικότητα του. Τα κύρια παραγόμενα προϊόντα είναι οι ίνες και οι σπόροι. Από τους σπόρους προκύπτει το λινέλαιο, που είναι πλούσιο σε ωμέγα – 3 λιπαρά (Kakabouki et al., 2021). Αναλυτικότερα, οι χρήσεις του λιναριού είναι οι εξής:

Ίνες

- **Υφάσματα και Ρούχα:** Το λινάρι, παράγει ίνες υψηλής ποιότητας και αντοχής. Οι ίνες του λιναριού συναγωνίζονται εκείνες του βαμβακιού. Οι ίνες λιναριού χρησιμοποιούνται για την παραγωγή υφασμάτων και ρούχων (λινά υφάσματα). Τα υφάσματα από λινάρι είναι δροσερά, διαπνέοντα, και ανθεκτικά, καθιστώντας τα ιδανικά για καλοκαιρινά ρούχα και άλλες ενδυματολογικές εφαρμογές (Smeder, B. and S. Liljedahl, 1996).
- **Οικιακά Υφάσματα:** Τα λινά υφάσματα χρησιμοποιούνται για την παραγωγή πετσετών, σεντονιών, τραπεζομαντηλών και άλλων οικιακών ειδών λόγω της αντοχής και της αισθητικής τους (Gill, 1987).
- **Επαγγελματικές Εφαρμογές:** Οι ίνες του λιναριού χρησιμοποιούνται σε επαγγελματικούς τομείς, όπως η οικοδομή, όπου χρησιμοποιούνται στην παραγωγή λειτουργικών υλικών (Papadopoulos, A. N. and J. R. B. Hague, 2003). Επίσης, από τις ίνες του λιναριού μπορεί να παραχθεί και βιοπλαστικό (Wrobel et al., 2004).
- **Χαρτί:** Οι ίνες που δεν χρησιμοποιούνται στην βιομηχανία των ρούχων, μπορούν να αξιοποιηθούν στην χαρτοβιομηχανία. Ακόμα, από τις ποικιλίες που προορίζονται για σποροπαραγωγή, οι ίνες που παραμένουν και είναι χαμηλότερης ποιότητας, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή υψηλής ποιότητας χαρτιού. Το λινό χαρτί είναι ανθεκτικό, ελαφρύ και έχει εκλεπτυσμένη υφή (Papadopoulos, A. N. and J. R. B. Hague, 2003).
- **Διακόσμηση και Τέχνη:** Οι καλλιτέχνες χρησιμοποιούν το λινάρι για την δημιουργία πινάκων, καμβάδων και άλλων έργων τέχνης. Η υφή του λιναριού προσδίδει έναν ιδιαίτερο χαρακτήρα στα καλλιτεχνικά έργα. Επίσης, δρεπτά άνθη λιναριού χρησιμοποιούνται ως διακοσμητικά και σε συνθέσεις.

Σπόροι

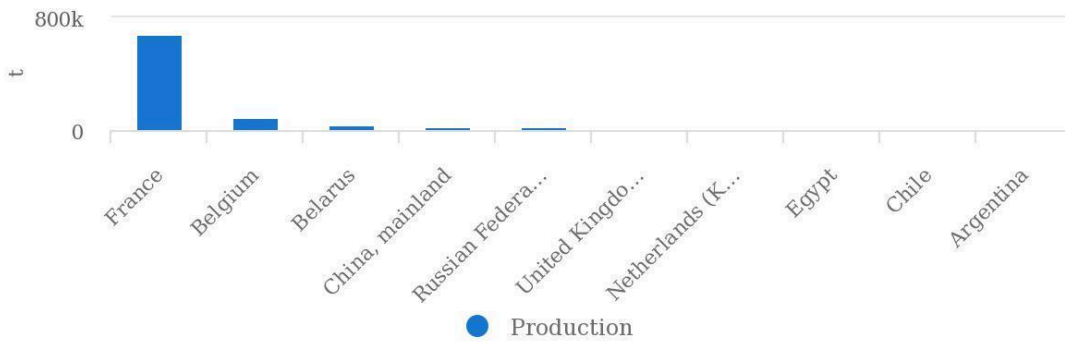
- **Διατροφή:** Οι σπόροι του λιναριού καταναλώνονται είτε ολόκληροι είτε αλεσμένοι. Πρόκειται για σπόρους με ιδιαίτερα μεγάλη θρεπτική αξία. Είναι πλούσιοι σε ωμέγα 3 λιπαρά. Ο λινάρσπορος περιέχει μεγάλη συγκέντρωση σε λιπαρά οξέα, τα οποία αποτελούνται από το α-λινολενικό οξύ (ALA; C18:3) (ω -3) και το λινελαϊκό οξύ (LA; C18:2) (ω -6) (Bilalis et al., 2010). Μια μερίδα 100 g λινάρσπορου παρέχει 450 θερμίδες, περίπου 41% λάδι, 20% πρωτεΐνη, 8% υγρασία, 4% τέφρα και 27% συνολικές διαιτητικές ίνες (Bilalis et al., 2017). Η σημασία των ωμέγα 3 λιπαρών οξέων για τον

οργανισμό είναι ιδιαίτερα μεγάλη. Αξίζει να σημειωθεί πως η έλλειψη του οδηγεί σε καρδιακές παθήσεις (Morris, 2007).

- **Ζωοτροφή:** Οι σπόροι το λιναριού μπορούν να καταναλωθούν και από τα ζώα. Αποτελεί κομμάτι της διατροφής των πτηνών (παπαγάλων), μαζί με τους σπόρους από κάνναβη. Ακόμα, μπορεί να προστεθεί στο διατροφολόγιο οικόσυτων ζώων αυξάνοντας έτσι τα θρεπτικά που λαμβάνουν (Jhala, A. J., & Hall, L. M. 2010).
- **Φαρμακευτικές Εφαρμογές:** Ορισμένα προϊόντα λιναριού χρησιμοποιούνται στην φαρμακευτική βιομηχανία, καθώς ορισμένες έρευνες έχουν υποστηρίξει τις ωφέλειες του λιναριού για την υγεία.
- **Λινέλαιο:** Έπειτα από έκθλιψη των σπόρων του λιναριού γίνεται παραλαβή του ελαίου τους. Το έλαιο αυτό ονομάζεται λινέλαιο. Πρόκειται για ένα έλαιο με πληθώρα χρήσεων και πολύ καλό προφίλ. Αναλυτικότερα, το έλαιο αυτό μπορεί να καταναλωθεί από τον άνθρωπο, ωμό ή μαγειρεμένο. Είναι πλούσιο σε ωμέγα 3 και ωμέγα 6 λιπαρά οξέα (Cahoon, 2003; Scarth R. & Tang J., 2006). Ακόμα, το λινέλαιο μπορεί να προστεθεί στις τροφές ζώων, εμπλουτίζοντας τις με θρεπτικά. Επιπρόσθετα, το έλαιο του λιναριού χρησιμοποιείται και στην βιομηχανία. Χρησιμοποιείται ως διαλύτης σε βαφές, καθώς και ως βιοντίζελ (Jhala, A. J., & Hall, L. M. 2010).

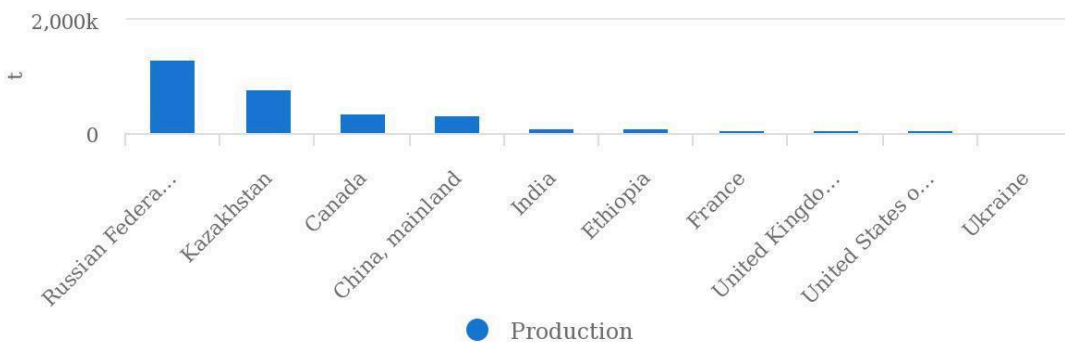
1.6. Παγκόσμια παραγωγή

Τα τελευταία χρόνια, η Ρωσία αποτελεί την κύρια χώρα παραγωγής λιναρόσπορου. Εκτός από την Ρωσία, μεγάλη ποσότητα λιναριού παράγεται στο Καζακστάν, τον Καναδά και την Κίνα. Η Γαλλία, αποτελεί τον μεγαλύτερο παραγωγό ινώδους λιναριού. Εντός των μεγαλύτερων παραγωγών ινώδους λιναριού περιέχονται η Ρωσία, η Κίνα, το Βέλγιο κ.α. (FAOSTAT, 2023). Οι κλιματικές συνθήκες που επικρατούν στις προαναφερθείσες χώρες, τις καθιστούν ιδανικές για την καλλιέργεια λιναριού (Yan et al., 2014). Στην Ελλάδα, εντοπίζονται περιοχές όπου καλλιεργείται τόσο ινώδες λινάρι, όσο και λινάρι για ίνα. Ωστόσο, οι εκτάσεις αυτές δεν είναι ιδιαίτερα μεγάλες, συγκριτικά με τις άλλες καλλιέργειες (ΟΠΕΚΕΠΕ, 2023).



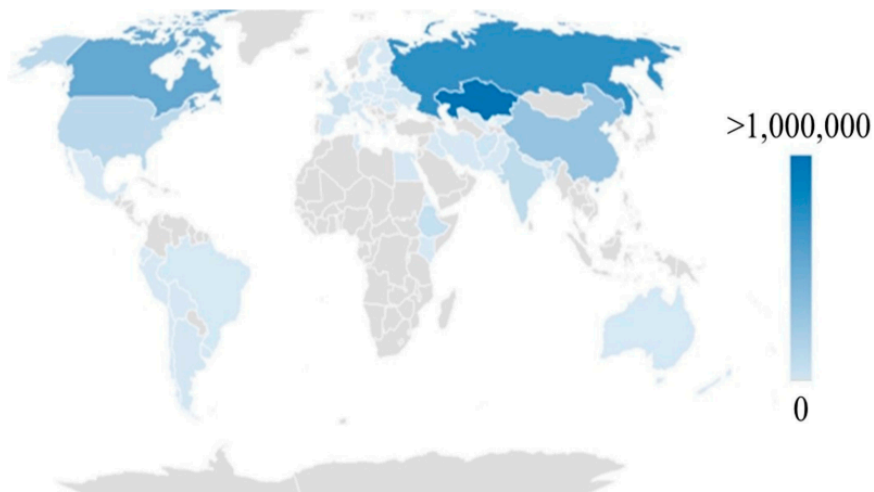
Source: FAOSTAT (Nov 17, 2023)

Διάγραμμα 1: Οι χώρες με την μεγαλύτερη παραγωγή ινώδους λιναριού



Source: FAOSTAT (Nov 17, 2023)

Διάγραμμα 2: Οι χώρες με την μεγαλύτερη παραγωγή λιναριού για σπόρο



Εικόνα 8: Παγκόσμια παραγωγή λιναριού (Πηγή: Stavropoulos et al., 2023)

1.7. Αλατότητα

Ένα έδαφος που περιέχει περίσσεια αλάτων, ώστε να μειώνεται η παραγωγικότητά του, ονομάζεται αλατούχο έδαφος. Τα άλατα στο έδαφος μπορούν να επηρεάσουν τις εδαφικές διεργασίες μέσω της συγκέντρωσης αλάτων στο εδαφικό διάλυμα (αλατότητα), η οποία καθορίζει το οσμωτικό δυναμικό και τη συγκέντρωση νατρίου στο σύμπλεγμα ανταλλαγής του εδάφους, η οποία επηρεάζει τη δομική σταθερότητα του εδάφους. Η αλατότητα μπορεί, με την πάροδο του χρόνου, να οδηγήσει σε αλκαλίωση (Yan, N., et al., 2015).

Πίνακας 2: Ταξινόμηση αλατούχων εδαφών και τα χαρακτηριστικά τους (Πηγή: Yan et al., 2015)

Salt-affected soil classification	EC _e (dS m ⁻¹)	pH	Soil physical condition
Αλατούχο	>4.0	<8.5	Normal
Αλατούχο - αλκαλιωμένο	>4.0	<8.5	Normal
Αλκαλιωμένο	<4.0	>8.5	Poor

Η αλατότητα του εδάφους αποτελεί μείζον παγκόσμιο ζήτημα λόγω των δυσμενών επιπτώσεών της στη γεωργική παραγωγικότητα και βιωσιμότητα. Τα προβλήματα αλατότητας εμφανίζονται υπό όλες τις κλιματικές συνθήκες και μπορεί να οφείλονται τόσο σε φυσικές όσο και σε ανθρωπογενείς ενέργειες. Σε γενικές γραμμές, τα αλατούχα εδάφη εμφανίζονται σε άγονες και ημίξηρες περιοχές όπου οι βροχοπτώσεις δεν επαρκούν για να καλύψουν τις απαιτήσεις των καλλιεργειών σε νερό και εκπλένουν ανόργανα άλατα από τη ζώνη των ριζών (Zaman, M., et al., 2018).

Η συσχέτιση μεταξύ ανθρώπου και αλατότητας υφίσταται εδώ και αιώνες και τα ιστορικά στοιχεία δείχνουν ότι πολλοί πολιτισμοί δεν μπόρεσαν να καλλιεργήσουν, λόγω της αύξησης της αλατότητας των γεωργικών αγρών. Ένα γνωστό παράδειγμα αποτελεί η Μεσοποταμία (σημερινό Ιράκ). Η αλατότητα του εδάφους μειώνει την ποιότητα του εδάφους και μπορεί να οφείλεται σε φυσικά αίτια ή σε κακή χρήση και διαχείριση σε βαθμό που να θέτει σε κίνδυνο την ακεραιότητα της αυτορρυθμιστικής ικανότητας του εδάφους (Zaman, M., et al., 2018).

Τα αλατούχα εδάφη ολοένα και αυξάνονται παγκοσμίως. Η παραπάνω αύξηση, υπολογίζεται να συνεχίσει και στα επόμενα χρόνια. Οι λόγοι που αυξάνουν την

αλατότητα ενός εδάφους ποικίλλουν. Η αύξηση της αλατότητας οφείλεται τόσο σε φυσικούς παράγοντες, όσο και σε ανθρωπογενείς παράγοντες. Οι φυσικοί παράγοντες αύξησης της αλατότητας, αφορούν την άνοδο της στάθμης της θάλασσα, την αύξηση της θερμοκρασίας και την μείωση των βροχοπτώσεων. Επιπρόσθετα, η υπερβολική απώλεια εδαφικής ύλης, οδηγεί στην συσσώρευση αλάτων στο έδαφος (Zaman, M., et al., 2018).

Παράλληλα, οι ανθρωπιοι παράγοντες που προκαλούν την αύξηση της αλατότητας στα εδάφη, αφορούν τις καλλιεργητικές πρακτικές που χρησιμοποιούνται. Αναλυτικότερα, πρόκειται για την υπερβολική χρήση λιπασμάτων και φυτοπροστατευτικών, καθώς και άρδευση με νερό υψηλής αλατότητας. Η αλατότητα των εδαφών μπορεί να επηρεάσει τα οικοσυστήματα σε βαθμό που να μην μπορούν πλέον να παρέχουν "περιβαλλοντικές υπηρεσίες" στο πλήρες δυναμικό τους (Qadir et al. 2014).



Εικόνα 9: Εξάπλωση αλατούχων εδαφών (Πηγή: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-96190-3_2/figures/1)

Η αλατότητα, επηρεάζει την μικροβιακή δραστηριότητα του εδάφους. Οι υψηλές συγκεντρώσεις διαλυτών αλάτων επηρεάζουν τα μικρόβια μέσω δύο μηχανισμών: οσμωτική επίδραση και ειδικές επιδράσεις ιόντων.

Τα διαλυτά άλατα αυξάνουν το οσμωτικό δυναμικό του εδαφικού νερού, αντλώντας έτσι νερό από τα κύτταρα. Μέσω της πλασμόλυσης είναι δυνατή η θανατοση των

μικροοργανισμών του εδάφους. Το χαμηλό οσμωτικό δυναμικό καθιστά επίσης πιο δύσκολο για τις ρίζες και τα μικρόβια να αντλήσουν νερό από το έδαφος (Oren, 1999).

Τα φυτά και τα μικρόβια δύναται να προσαρμοστούν στο χαμηλό οσμωτικό δυναμικό, ωστόσο, η διαδικασία προσαρμογής στην αλατότητα απαιτεί μεγάλες ποσότητες ενέργειας και αυτό έχει ως αποτέλεσμα μειωμένη ανάπτυξη και δραστηριότητα (Oren, 1999 ; Wichern, & Joergensen, 2006). Ακόμα, η συσσώρευση των ιόντων των αλάτων, μπορούν να προβούν τοξικά για τα φυτά (Chhabra, 1996).

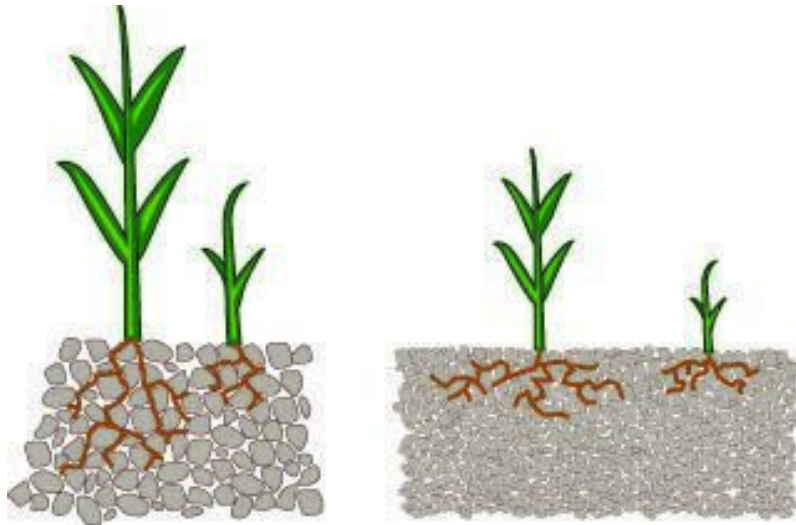
Πολλές μελέτες έδειξαν ότι η αλατότητα μειώνει τη μικροβιακή δραστηριότητα, τη μικροβιακή βιομάζα και αλλάζει τη δομή της μικροβιακής κοινότητας (Andronov et al., 2012). Η αλατότητα μειώνει τη μικροβιακή βιομάζα κυρίως επειδή η οσμωτική καταπόνηση οδηγεί σε ξήρανση και λύση των. Ορισμένες μελέτες έδειξαν ότι η εδαφική αναπνοή μειώθηκε με την αύξηση της EC του εδάφους (Adviento-Borbe, et al., 2006).

Όπως εξηγήθηκε παραπάνω, οι μικροοργανισμοί έχουν την ικανότητα να προσαρμόζονται ή να ανέχονται το στρες που προκαλείται από την αλατότητα συσσωρεύοντας οσμωλύτες. Η προλίνη και η γλυκίνη-βεταΐνη είναι τα κύρια οργανικά οσμωλύτες και τα κατιόντα καλίου είναι οι πιο κοινές ανόργανες διαλυτές ουσίες που χρησιμοποιούνται ως οσμωλύτες που συσσωρεύονται από μικρόβια ανθεκτικά στην αλατότητα. Οι μύκητες τείνουν να είναι πιο ευαίσθητοι στην καταπόνηση από το αλάτι σε σχέση με τα βακτήρια (Gros et al., 2001).



*Εικόνα 10: Εικόνα απο αλατούχο έδαφος (Πηγή:
<https://www.alva-water.com/post/soil-salinity-repairing-the-world-s-agricultural-soils>)*

Η αλατότητα του εδάφους, μπορεί να εμποδίσει την ανάπτυξη των φυτών. Αρχικά, η παρουσία αλάτων στο έδαφος μειώνει την ικανότητα του φυτού να προσλαμβάνει νερό και αυτό οδηγεί σε μείωση του ρυθμού ανάπτυξης. Αυτό αναφέρεται ως η οσμωτική επίδραση ή η έλλειψη νερού λόγω υψηλής αλατότητας. Δεύτερον, εάν υπερβολικές ποσότητες αλατιού εισέλθουν στο φυτό με το ρεύμα διαπνοής, θα υπάρξει τραυματισμός των κυττάρων των φύλλων κατά τη διαδικασία της διαπνοής. Το παρόν έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της ανάπτυξης του φυτού. Οι επιδράσεις της αλατότητας μπορούν να εντοπιστούν είτε στον περιορισμό της ανάπτυξης, είτε στην θανάτωση ολόκληρου του φυτού. Το στρες από αλατότητα επηρεάζει όλες τις κύριες διεργασίες, όπως το φύτερωμα, την ανάπτυξη, την φωτοσύνθεση, την πρόσληψη νερού, την πρόσληψη θρεπτικών στοιχείων, το οξειδωτικό στρες και την απόδοση (Parihar, P., et al., 2015).



*Εικόνα 11: Επίδραση της αλατότητας στην ανάπτυξη του φυτού (Πηγή:
<https://extension.uga.edu/publications/detail.html?number=C1019&title=soil-salinity-testing-data-interpretation-and-recommendations>)*



Εικόνα 12: Επίδραση της αλατότητας σε φυτά δημητριακών (Πηγή:
<https://www.agric.wa.gov.au/mycrop/diagnosing-salinity-cereals>)

1.8. Plant Growth Promoting Microorganism (PGPM)

Το έδαφος περιέχει πληθώρα μικροοργανισμών, οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για διάφορες λειτουργίες (Yadav et al. 2015). Το έδαφος είναι ένα μείγμα ανόργανων στοιχείων, οργανικής ύλης, αερίων, υγρών και πολλών άλλων οργανισμών που υποστηρίζουν τη ζωή των φυτών. Το έδαφος λειτουργεί ως δεξαμενή αέρα, νερού και θρεπτικών συστατικών που είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη των φυτών. Μόνο λίγα γραμμάρια εδάφους περιέχουν εκατοντάδες εκατομμύρια έως δισεκατομμύρια μικροοργανισμούς. Τα βακτήρια είναι τα πιο άφθονα μικρόβια στο έδαφος, ακολουθούμενα από τους μύκητες. Οι μύκητες αποικοδομούν διάφορα φυτικά και ζωικά υπολείμματα στο έδαφος. Τα βακτήρια ολοκληρώνουν την αποικοδόμηση καταναλώνοντας τα εύπεπτα υλικά. Άλλα μικρόβια που βρίσκονται σε μικρότερους αριθμούς είναι τα φύκια, τα κυανοβακτήρια, τα πρωτόζωα και οι νηματώδεις. Το έδαφος παρέχει την απαραίτητη υποστήριξη για την αγκύρωση στις ρίζες των φυτών (Yadav et al. 2012, Bhaduri et al. 2015). Η σχέση των μικροοργανισμών με τα φυτά οδηγεί σε διάφορες συσχετίσεις, όπως η αλληλοβοήθεια (ωφελούνται τόσο τα φυτά όσο και οι μικροοργανισμοί), η συμβίωση και ο παρασιτισμός.

Οι μικροοργανισμοί που υπάρχουν στη ριζόσφαιρα και αποικίζουν τις ρίζες των φυτών ονομάζονται μικροοργανισμοί που προάγουν την ανάπτυξη των φυτών. Ο ρόλος της ρίζας για το φυτό αφορά την στήριξη του και την απορρόφηση νερού και θρεπτικών από το έδαφος. Εκείνες με την σειρά τους εκκρίνουν κάποιες ουσίες. Η έκκριση των χημικών ενώσεων μεταβάλλει τις φυσικές και χημικές ιδιότητες του εδάφους και ρυθμίζει επίσης τη μικροβιακή κοινότητα κοντά στη ριζόσφαιρα (Yadav et al. 2012). Ανάλογα του είδους των εκκριμάτων μπορούν να δράσουν είτε προσελκυστικά για τους μικροοργανισμούς, είτε απωθητικά.

Το έδαφος, περιέχει μικροοργανισμούς, οι οποίοι έχουν διάφορες λειτουργίες. Οι μικροοργανισμοί που προάγουν την ανάπτυξη των φυτών ορίζονται από τρία εγγενή χαρακτηριστικά: (1) πρέπει να είναι σε θέση να αποικίσουν στη ρίζα, (2) πρέπει να επιβιώνουν και να πολλαπλασιάζονται σε μικροενδιαίτηματα που συνδέονται με την επιφάνεια της ρίζας, σε ανταγωνισμό με άλλους μικροοργανισμούς, τουλάχιστον για το χρονικό διάστημα που απαιτείται για να εκφράσουν τις δραστηριότητες προαγωγής / προστασίας των φυτών και (3) πρέπει να προάγουν την ανάπτυξη των φυτών.

Τα PGPM είναι είτε βακτήρια είτε μύκητες που ζουν στο έδαφος. Τα βακτήρια είτε ζουν ελεύθερα είτε διαθέτουν συμβιωτική σχέση με τις ρίζες των φυτών. Τα βακτήρια που προάγουν την ανάπτυξη των φυτών ενισχύουν την ανάπτυξη των φυτών με τις μικροβιακές διεργασίες τους, όπως η δέσμευση αζώτου, η διαλυτοποίηση φωσφορικών, η διαλυτοποίηση ψευδαργύρου, η κινητοποίηση μικροθρεπτικών συστατικών, καθώς και η έκκριση φυτοορμονών (αυξίνη, κυτοκίνη, γιββερελλίνες), επιθυμητές για την αύξηση και την ανάπτυξη των καλλιεργούμενων φυτών (Akhtar and Siddiqui 2010, Akhtar et al. 2010). Ομοίως, οι αψιδωτοί μυκορριζικοί μύκητες (AMF) αυξάνουν τη θρέψη με P, την κινητοποίηση μικροθρεπτικών συστατικών (Akhtar and Siddiqui 2008- Akhtar and Panwar 2011). Οι μύκητες του εδάφους επεκτείνουν τις υφές τους στο έδαφος μεταφέροντας θρεπτικά στις ρίζες των φυτών, με τις οποίες δημιουργούν και συμβιωτικές σχέσεις (Akhtar et al. 2011). Αυτό μπορεί να βοηθήσει τα φυτά που πραγματοποιούν συμβιωτικές σχέσεις με την μυρριζα να αντέξουν διάφορες αβιοτικές και βιοτικές καταπονήσεις. Παράλληλα, η έκκριση ουσιών από τους μύκητες του εδάφους αυξάνουν την ποιότητα και το πορώδες του εδάφους, γεγονός που μπορεί να βοηθήσει τις ρίζες μέσω του καλύτερου αερισμού τους (Kumar, V. V., 2016).

Τα τελευταία χρόνια η χρήση σκευασμάτων που περιέχουν μικροοργανισμούς ολοένα και αυξάνεται. Αυτά τα σκευάσματα είναι συμβατά με την βιολογική γεωργία. Τα σκευάσματα Plant Growth Promoting Microorganism (PGPM), υφίστανται σε στερεά και υγρή μορφή (Tabassum et al., 2017). Έχει αποδειχθεί πως η χρήση τους έχει ευνοήσει την ανάπτυξη διαφόρων καλλιεργειών. Κύριος στόχος τους είναι να δημιουργήσουν συμβιωτικές σχέσεις με τις ρίζες των φυτών και να του προσφέρουν τα θρεπτικά που απαιτεί, καθώς και αντοχή σε αβιοτικές και βιοτικές καταπονήσεις (Gopi et al., 2020).

1.9. Σκοπός μελέτης

Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η μελέτη επίδρασης της αλατότητας και της χρήσης Plant Growth Promoting Microorganism (PGPM), στην ανάπτυξη και την απόδοση θερμοκηπιακής καλλιέργειας λιναριού (*Linum usitatissimum* L.).

2. Υλικά και Μέθοδοι

2.1. Περιοχή μελέτης

Το πείραμα διεξήχθη στο θερμοκήπιο του αγρού του εργαστηρίου γεωργίας στο Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών (Γεωγραφικές Συντεταγμένες: 37.983759 °N, 23.701959 °E). Η συνολική διάρκεια του πειράματος ήταν 109 ημέρες.



Εικόνα 13: Θερμοκήπια στον αγρό του εργαστηρίου γεωργίας (Πηγή: Google earth)

2.2. Πειραματικό σχέδιο

Το πειραματικό σχέδιο που ακολουθήθηκε ήταν το Τυχαιοποιημένων Πλήρων Ομάδων (ΤΠΟ). Στο πείραμα μελετήθηκαν δύο παράγοντες. Πρώτος παράγοντας ήταν η αλατότητα. Η αλατότητα διαχωρίστηκε σε τέσσερα διαφορετικά επίπεδα. Αναλυτικότερα, τα επίπεδα αλατότητας ήταν:

C -> 0 mM NaCl

I -> 50 mM NaCl

II -> 100 mM NaCl

III -> 150 mM NaCl

Παράλληλα, μελετήθηκε και η επίδραση των PGPM στο πείραμα. Έτσι, δεύτερος παράγοντας ήταν η λίπανση με PGPM, όπου υπήρχαν δύο περιπτώσεις.

Control (C) -> χωρίς την προσθήκη PGPM

Organic (O) -> με προσθήκη PGPM

Στο πείραμα υπήρχαν 8 επεμβάσεις

CC – 0 mM NaCl και χωρίς λίπανση

OC - 0 mM NaCl και λίπανση με PGPR

IC - 50 mM NaCl και χωρίς λίπανση

ΙIC - 100 mM NaCl και χωρίς λίπανση

ΙΙIC - 150 mM NaCl και χωρίς λίπανση

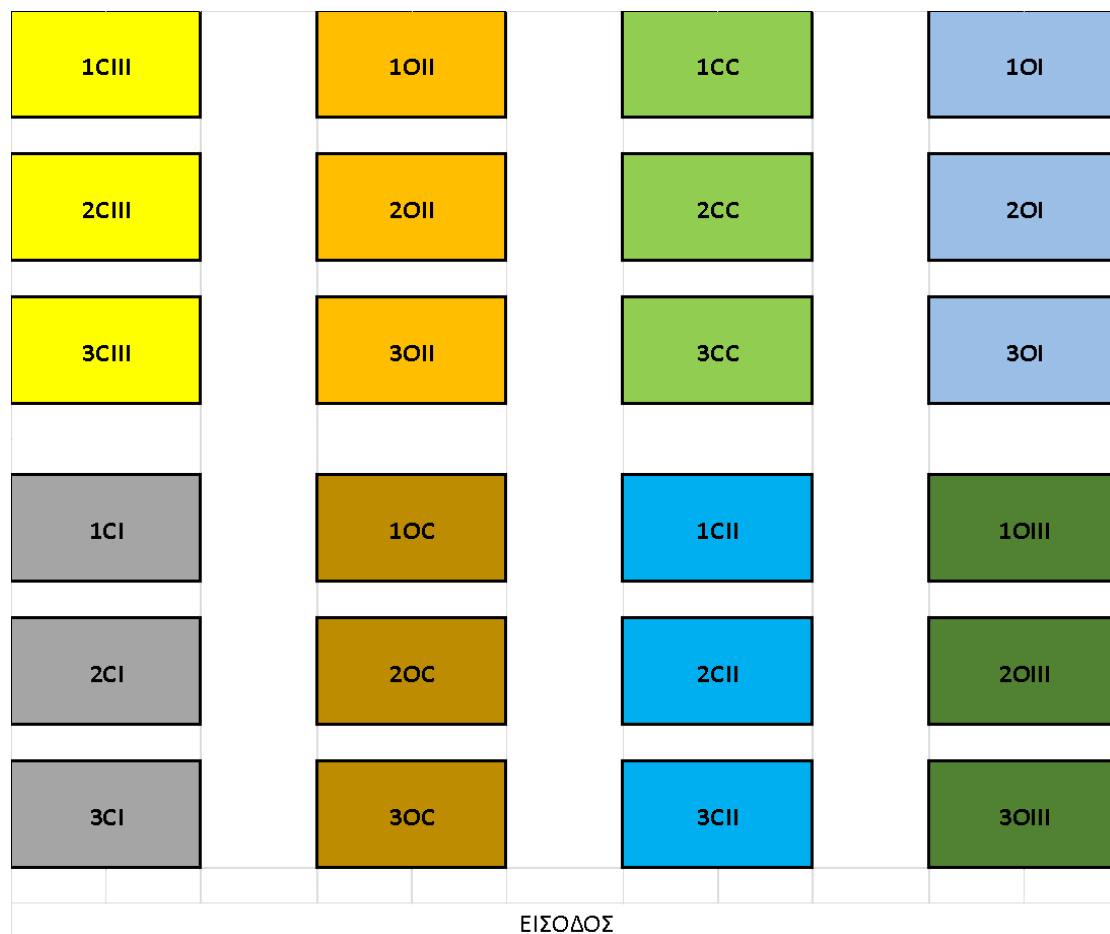
ΙO - 50 mM NaCl και λίπανση με PGPR

ΙO - 100 mM NaCl και λίπανση με PGPR

ΙO - 150 mM NaCl και λίπανση με PGPR

Για κάθε επέμβαση του πειράματος, πραγματοποιήθηκαν τρεις επαναλήψεις. Ο συμβολισμός των επαναλήψεων έγινε με τους αριθμούς 1, 2 και 3.

Συνολικά χρησιμοποιήθηκαν 192 γλάστρες των 7 λίτρων.



ΟΠΟΥ:	
ΛΙΠΑΝΣΗ	ΑΛΑΤΟΤΗΤΑ
C - Control	I - 50 mM NaCl
O- Organic (PGPM)	II - 100 mM NaCl
	III - 150 mM NaCl
	C - 0 mM NaCl

Εικόνα 14: Το πειραματικό σχέδιο (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)



Εικόνα 15: Εικόνα από το θερμοκήπιο (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)

2.3. Ημερολόγιο πειράματος

Η σπορά πραγματοποιήθηκε στις 7/4.

Σε γλάστρες των 7 λίτρων τοποθετήθηκε φυτόχωμα, μέχρι την χαραγή.

Στις επεμβάσεις της λίπανσης με PGPM, τοποθετήθηκε το λίπασμα, με δοσολογία 5 g σκευάσματος ανά γλάστρα. Σε κάθε γλάστρα τοποθετήθηκαν δύο σπόροι λιναριού.

Μετά την σπορά πραγματοποιήθηκε πότισμα με απιονισμένο νερό. Η ποσότητα νερού για το πρώτο πότισμα ήταν 2 λίτρα ανά γλάστρα.

Τα ποτίσματα με αλατόνερο ξεκίνησαν στις 15 Ημέρες Από τη Σπορά (ΗΑΣ), για την αποφυγή πρόκλησης ωσμωτικού στρες με την απότομη αλλαγή της αλατότητας, όπως προτείνεται και από άλλες μελέτες (Khan, M. N., et al., 2007).

Τα υδατικά διαλύματα χλωριούχου νατρίου που χρησιμοποιήθηκαν ήταν:

50mM NaCl -> 3gr NaCl / L απιονισμένου νερού

100mM NaCl -> 6gr NaCl / L απιονισμένου νερού

150mM NaCl -> 9gr NaCl / L απιονισμένου νερού

Σε κάθε πότισμα τοποθετούνταν 500 ml διαλύματος σε κάθε γλάστρα με το αντίστοιχο διάλυμα. Στις γλάστρες που αποτέλεσαν τον μάρτυρα (0 mM NaCl) το πότισμα γινόταν με απιονισμένο νερό.

Η αύξηση της αλατότητας στα διαλύματα έγινε σταδιακά (για την αποφυγή στρες), με 50 mM ανά πότισμα. Τα πρώτα ποτίσματα γίνονταν ανά δύο ημέρες, μέχρι να επιτευχθούν τα επιθυμητά επίπεδα αλατότητας, ενώ μετά γινόταν πότισμα με το αντίστοιχο διάλυμα αλατόνερου, κάθε φορά που θεωρούταν απαραίτητο. Η επέμβαση του μάρτυρα (OC και CC) ποτιζόταν με σκέτο απιονισμένο νερό. Η σταδιακή αύξηση της αλατότητας ακολουθήθηκε σύμφωνα και με άλλες αντίστοιχες μελέτες (Khan, M. N., et al., 2007).

Στο πείραμα υπήρχαν 8 επεμβάσεις με 3 επαναλήψεις / επέμβαση

CC – 0 mM NaCl και χωρίς λίπανση

OC - 0 mM NaCl και λίπανση με PGPR

IC - 50 mM NaCl και χωρίς λίπανση

IC - 100 mM NaCl και χωρίς λίπανση

IIIIC - 150 mM NaCl και χωρίς λίπανση

IO - 50 mM NaCl και λίπανση με PGPR

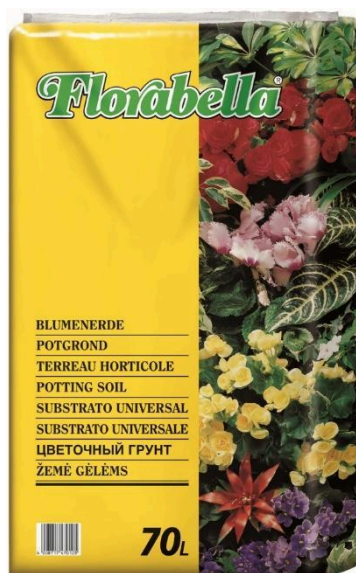
PIO - 100 mM NaCl και λίπανση με PGPR

ΠΙΟ - 150 mM NaCl και λίπανση με PGPR

Στο σύνολο του πειράματος έγιναν τρεις μετρήσεις. Οι μετρήσεις έγιναν στις 50, 80 και 109 ΗΑΣ. Παράλληλα με την τελευταία μέτρηση έγινε και η συγκομιδή της καλλιέργειας, η οποία ολοκλήρωσε τον βιολογικό της κύκλο στις 109 ΗΑΣ.

2.4. Φυτόχωμα

Για το πείραμα χρησιμοποιήθηκε το εμπορικό φυτόχωμα Florabella. Τα χαρακτηριστικά του παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.



Εικόνα 16: Το φυτόχωμα που χρησιμοποιήθηκε (Πηγή: <https://www.kipogeorgiki.gr/fytochoma-florabella-blumenerde-70-lt-fytoxomata-syskeuasmata-fytoxomata-edafobeltiotika>)

Πίνακας 3: Χαρακτηριστικά φυτοχώματος

Ηλεκτρική αγωγιμότητα:	45 mS/m (+25%)
Οργανική ουσία:	80% του βάρους
Ποσοστό υγρασίας:	60-75% του βάρους
Αξία pH (H ₂ O)	5,5-6,5
Ποσότητα προστιθέμενου λιπάσματος:	1,5 Kg/m ³
Προτεινόμενη χρήση:	Για την καλλιέργεια φυτών σε γλάστρα και σε κήπο

2.5. PGPM

Για την πραγματοποίηση του πειράματος χρησιμοποιήθηκε το MICROSEEDS PLUS, ένα βιολογικό λίπασμα σε μορφή μικροκόκκων.

Πρόκειται για ένα βελτιωτικό φυτών, μη κομποστοποιημένο.

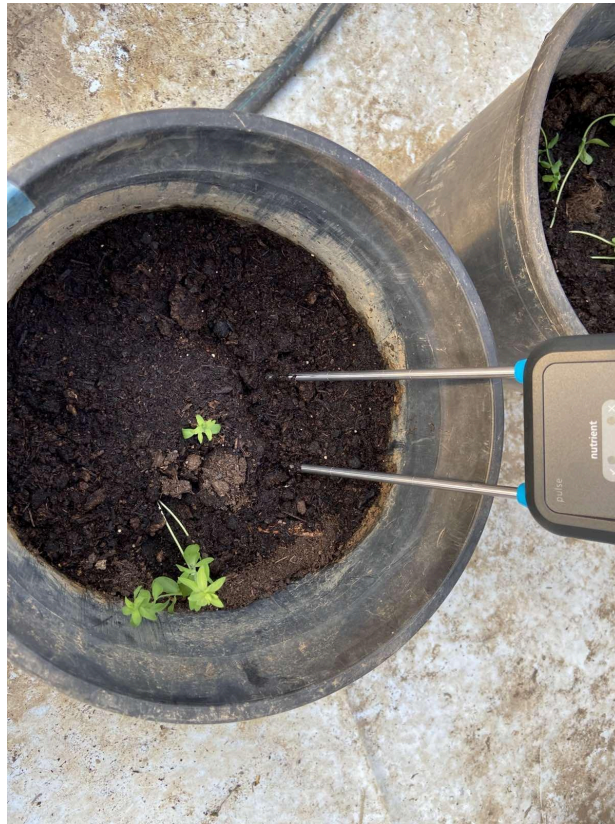
Περιέχει από μυκόρριζες του είδους *Glomus* spp. εμπλουτισμένο με ωφέλιμους φυσικούς μικροοργανισμούς όπως οι *Trichoderma* sp., *Bacillus* spp. *Streptomyces* sp. και *Pseudomonas* sp.

Η σύνθεσή του είναι η ακόλουθη:

Microstym 100 σπόρια/gr, Microtech TX 107 CFU/gr, PGPR 107 CFU/gr, Παθογόνα Απόντα.

Εγγυάται την ταχεία ανάπτυξη του ριζικού συστήματος. Βελτιώνει την αποτελεσματικότητα του φυτού στην απορρόφηση νερού και θρεπτικών συστατικών. Αυξάνει την αντίσταση στην υδατική καταπόνηση και σε παθογόνους οργανισμούς λόγω του ανταγωνισμού για την εξεύρεση χώρου και θρεπτικών ουσιών, αυξάνοντας θετικά την ποιότητα και την ποσότητα της παραγωγής.

Εικόνα 18: Συσκευή μέτρησης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (Πηγή: <https://purehydroponics.com/products/bluelab-electronic-test-meters-ec-ph/bluelab-pulse-meter/>)



Εικόνα 19: Μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στην γλάστρα (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)

Οι μετρήσεις που έγιναν καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος ήταν τρεις. Η πρώτη έγινε στις 50 ΗΑΣ, η δεύτερη στις 80 ΗΑΣ και η τρίτη στις 109 ΗΑΣ. Οι μετρήσεις είχαν να κάνουν με το υπέργειο μέρος του φυτού, το υπόγειο μέρος του φυτού και την απόδοση. Αναλυτικότερα, για το υπέργειο μέρος του φυτού επιλέγονταν 3 τυχαία φυτά από κάθε επέμβαση και κόβονταν στο ύψος του λαιμού. Αμέσως μεταφέρονταν στον χώρο του εργαστηρίου, όπου και γινόντουσαν οι παρακάτω μετρήσεις:

Ύψος φυτού: Με την χρήση μέτρου, μετριόταν η απόσταση του λαιμού του φυτού (σημείο που κόπηκε κατά τη δειγματοληψία), έως το τελευταίο μερίστωμα.

Αριθμός φύλλων: Μετά από τη μέτρηση του ύψους, γινόταν η μέτρηση του αριθμού των φύλλων

Αριθμός διακλαδώσεων: Αντίστοιχα με τα προηγούμενα, μετρήθηκε και ο αριθμός των διακλαδώσεων.

Αριθμός ανθέων και αριθμός καψών: Όμοια με τα προηγούμενα έγινε και η μέτρηση του αριθμού των ανθέων και των καψών ανά φυτό.

Αριθμός σπόρων ανά κάψα: Ο αριθμός των σπόρων ανά κάψα μετρήθηκε ανοίγοντας 5 τυχαία επιλεγμένες κάψες ανά φυτό και μετρώντας το περιεχόμενο τους σε σπόρους.

Βάρος Χιλίων Σπόρων: Το βάρος χιλίων σπόρων μετρήθηκε με το ζύγισμα 10 σπόρων ανά φυτό (3 φορές) και την αναγωγή του στους 1000 σπόρους.

Απόδοση ανά φυτό: Η απόδοση ανά φυτό υπολογίστηκε με την ζύγιση του συνόλου των σπόρων που προέκυψαν από κάθε φυτό, για τα τρία φυτά που κόπηκαν στην μέτρηση από κάθε επέμβαση.

Ξηρό βάρος: Τα φυτά που κόβονταν από τη δειγματοληψία, τοποθετούνταν σε κλίβανο στους 65 ο C για 48 ώρες. Στη συνέχεια μετριόταν το βάρος τους με ζυγαριά ακριβείας.

Στον χώρο του θερμοκηπίου πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις για το NDVI και το SPAD, με την χρήση των αντίστοιχων οργάνων. Αναλυτικότερα για τον δείκτη NDVI χρησιμοποιήθηκε το φορητό green seeker της εταιρείας trimble. Η περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη (SPAD) πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια της συσκευής n-tester της YARA.

Ο δείκτης Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) χρησιμοποιείται για τη σύγκριση της ανακλαστικότητας στο εγγύς υπέρυθρο και στο ορατό, ανιχνεύοντας έτσι αλλαγές που σχετίζονται με το μέγεθος, τη φωτοσυνθετική ικανότητα, την περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη, τη δομή, την απόδοση, τις ελλείψεις θρεπτικών στοιχείων και την υδατική καταπόνηση. Ο δείκτης SPAD, αφορά στην περιεκτικότητα του φυτού σε χλωροφύλλη.



Εικόνα 20: Greenseeker (Πηγή: <https://agriculture.trimble.com/en/products/hardware/flow-application-control/greenseeker-handheld-crop-sensor>)



Εικόνα 21: Όργανο μέτρησης συγκέντρωσης χλωροφύλλης (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)

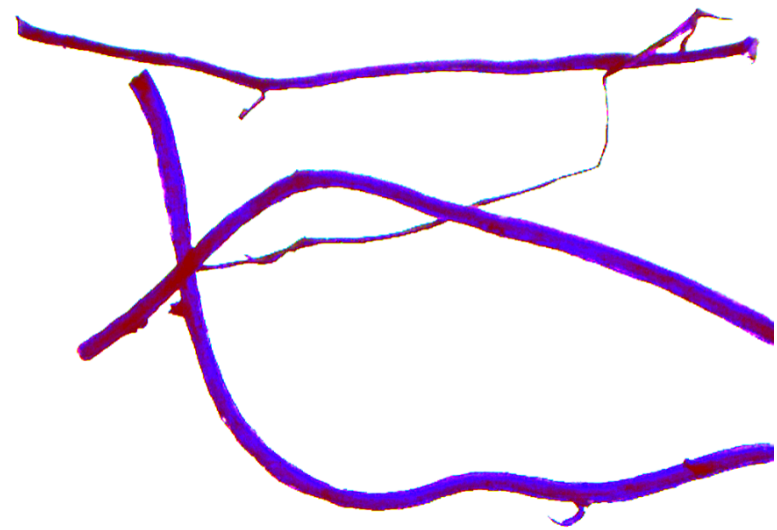
Παράλληλα με τα προηγούμενα, πραγματοποιήθηκαν και μετρήσεις στην ρίζα του φυτού. Για την μέτρηση στην ρίζα συλλέχθηκαν 100 cm³ εδάφους από τρεις γλάστρες ανά επέμβαση. Στη συνέχεια τοποθετήθηκαν σε πλαστική σακούλα με αεροστεγές κλείσιμο. Το έδαφος καλύφθηκε με νερό και προστέθηκε σε αυτό 15 g πολυμεταφωσφορικού Νατρίου, με σκοπό να επιτευχθεί διασπορά και διαχωρισμός

των ριζών από το έδαφος.. Το σακούλι αφέθηκε σε ηρεμία για 48 ώρες. Στη συνέχεια, το περιεχόμενο της σακούλας ξεπλύθηκε με άφθονο νερό επάνω σε κόσκινα και συλλέχθηκαν οι ρίζες. Στη συνέχεια, οι ρίζες χρωματίστηκαν με σινική μελάνη και σαρώθηκαν από σαρωτή. Η εικόνα που προέκυψε αναλύθηκε στο πρόγραμμα Rhizovision, για να μπορέσει να μετρηθεί η μορφολογία της ρίζας. Έπειτα, οι ρίζες βάφτηκαν με εμβάπτιση σε υδατικό διάλυμα φουξίνης και παρατηρήθηκαν με την χρήση του MoticCam. Στη συνέχεια, η εικόνα που προέκυψε τοποθετήθηκε σε σταυρόνημα και υπολογίσθηκε το ποσοστό αποικισμού σε μυκόρριζες. Για τον υπολογισμό του ποσοτού αποικισμού σε μυκόρριζες χρησιμοποιήθηκε ο παρακάτω τύπος:

$$AMF (\%) = \frac{\text{AMF ΠΟΥ ΤΕΜΝΕΙ ΤΟ ΣΤΑΥΡΩΝΥΜΑ}}{\text{ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΣΗΜΕΙΑ ΣΤΑΥΡΩΝΗΜΑΤΟΣ}}$$



Εικόνα 22: Εικόνα ρίζας μετά από χρώση με σινική μελάνη και σάρωση (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)



Εικόνα 23: Εικόνα ριζών από το MoticCam (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)



Εικόνα 24: Φυτό στο στάδιο της άνθησης (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)

2.7. Στατιστική ανάλυση δεδομένων

Τα δεδομένα υποβλήθηκαν σε ανάλυση διακύμανσης διπλής κατεύθυνσης (ANOVA) χρησιμοποιώντας το SigmaPlot v.12.0 (Systat Software Inc., San Jose, CA, ΗΠΑ). Οι διαφορές μεταξύ των μέσων όρων διαχωρίστηκαν χρησιμοποιώντας το Tukey's στατιστικά σημαντική διαφορά (LSD). Οι αναλύσεις συσχέτισης χρησιμοποιήθηκαν για την περιγραφή των σχέσεων μεταξύ όλων των μετρήσεων που μελετήθηκαν με τη χρήση της συσχέτισης Pearson. Όλες οι συγκρίσεις πραγματοποιήθηκαν σε επίπεδο σημαντικότητας 5% ($p < 0,05$).

3. Αποτελέσματα

3.1. Ηλεκτρική αγωγιμότητα

Πίνακας 4: Ηλεκτρική αγωγιμότητα στα τελικά επίπεδα αλατότητας

(EC) dS/m		
I	C	4,57
I	O	4,11
II	C	3,35
II	O	3,75
III	C	6,09
III	O	5,89
C (control)	C	2,19
C (control)	O	2,34

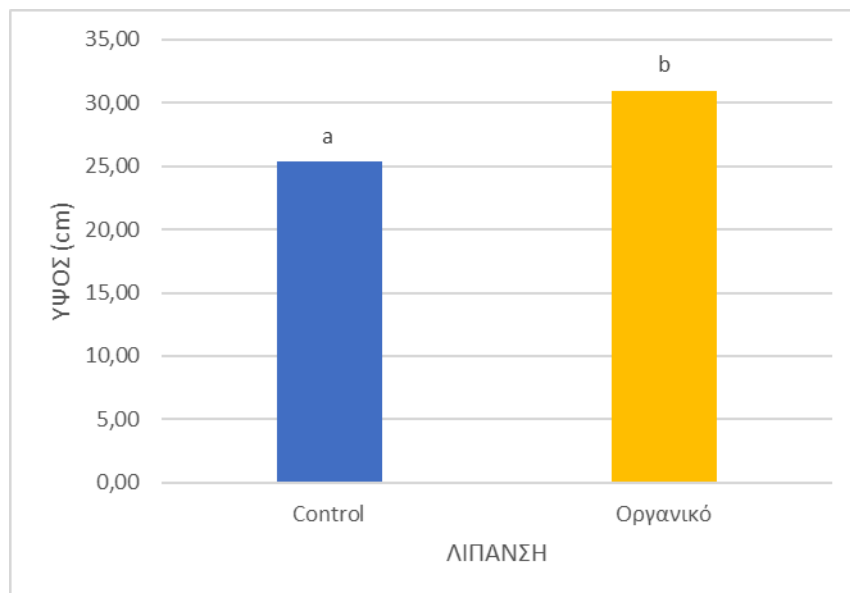
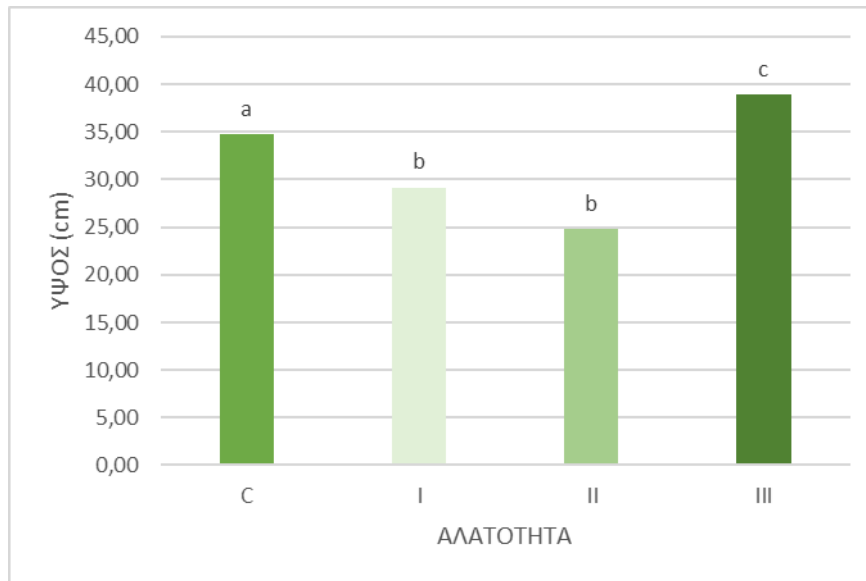
Στον παραπάνω πίνακα παρουσιάζεται η ηλεκτρική αγωγιμότητα κατά το τελικό πότισμα με τα υδατικά διαλύματα χλωριούχου νατρίου. Φαίνεται πως οι μεγαλύτερες τιμές σημειώνονται στην επέμβαση που δέχθηκε πότισμα με την μεγαλύτερη συγκέντρωση χλωριούχου νατρίου. Η επέμβαση του μάρτυρα, δεν χαρακτηρίζεται από αλατούχο έδαφος.

3.2. Αποτελέσματα 50 ΗΑΣ

Ύψος

Πίνακας 5: Ανάλυση διασποράς για το ύψος στις 50 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=0,05$. (Οι αριθμοί με έντονη γραφή σηματοδοτούν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές)

	BE	ΑΓ	ΜΤ	F	P
Αλατότητα	3	692,563	230,854	5,369	0,009
Λίπανση	1	1029,66	1029,66	23,949	<0,001
Αλατότητα X Λίπανση	3	365,85	121,95	2,836	0,071
Υπόλοιπο	16	687,9	42,994		
Σύνολα	23	2775,97 3	120,694		



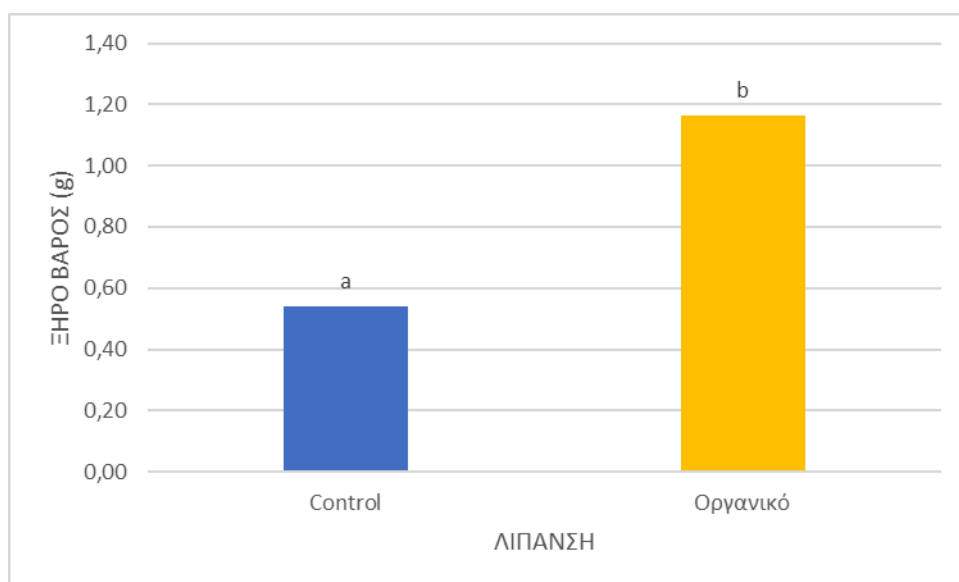
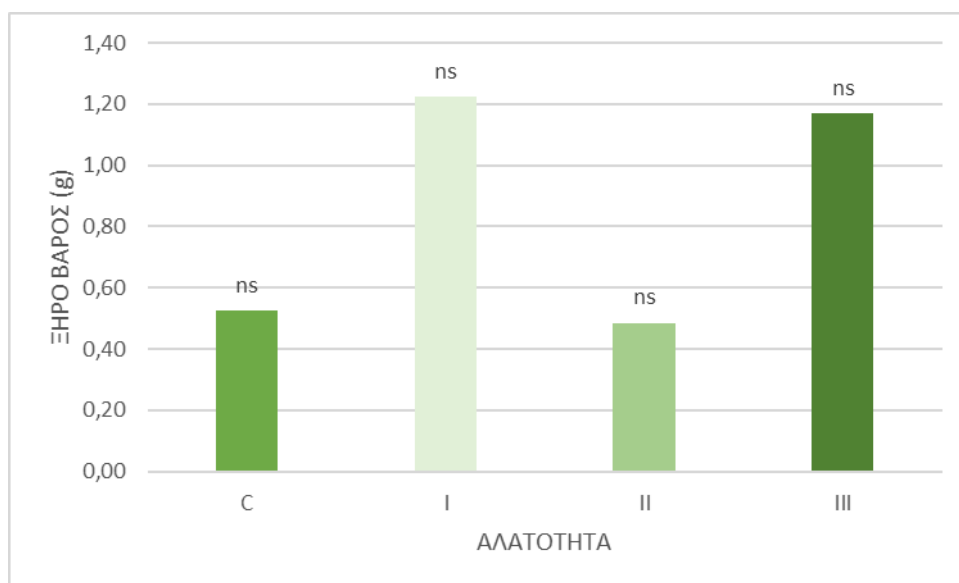
Διάγραμμα 3: Επίδραση των παραγόντων του πειράματος στο ύψος φυτού στις 50 ΗΑΣ. Τα διαφορετικά γράμματα σηματοδοτούν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Η ένδειξη "ns" υποδηλώνει τις μη στατιστικά σημαντικές διαφορές

Το ύψος του φυτού, φάνηκε να διαφέρει στατιστικά σημαντικά και για τους δύο παράγοντες του πειράματος. Αναλυτικότερα, κατά τις 50 ΗΑΣ φαίνεται τα φυτά να είναι ψηλότερα στην επέμβαση με την υψηλότερη αλατότητα. Όσον αφορά την λίπανση, η χρήση λιπάσματος έδωσε ψηλότερα φυτά.

Ξηρό βάρος

Πίνακας 6: Ανάλυση διασποράς για το ξηρό βάρος στις 50 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=0,05$. (Οι αριθμοί με έντονη γραφή σηματοδοτούν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές)

	BE	AT	MT	F	P
Αλατότητα	3	9,194	3,065	1,77	0,193
Λίπανση	1	13,365	13,365	7,718	0,013
Αλατότητα X Λίπανση	3	2,18	0,727	0,42	0,741
Υπόλοιπο	16	27,706	1,732		
Σύνολα	23	52,445	2,28		



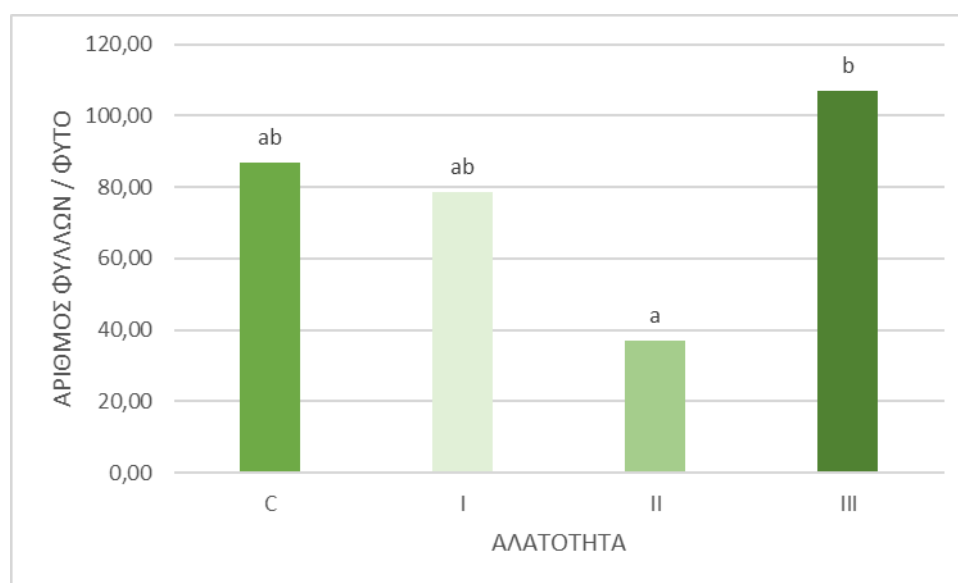
Διάγραμμα 4: Επίδραση των παραγόντων του πειράματος στο ξηρό βάρος φυτού στις 50 ΗΑΣ. Τα διαφορετικά γράμματα σηματοδοτούν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Η ένδειξη "ns" υποδηλώνει τις μη στατιστικά σημαντικές διαφορές

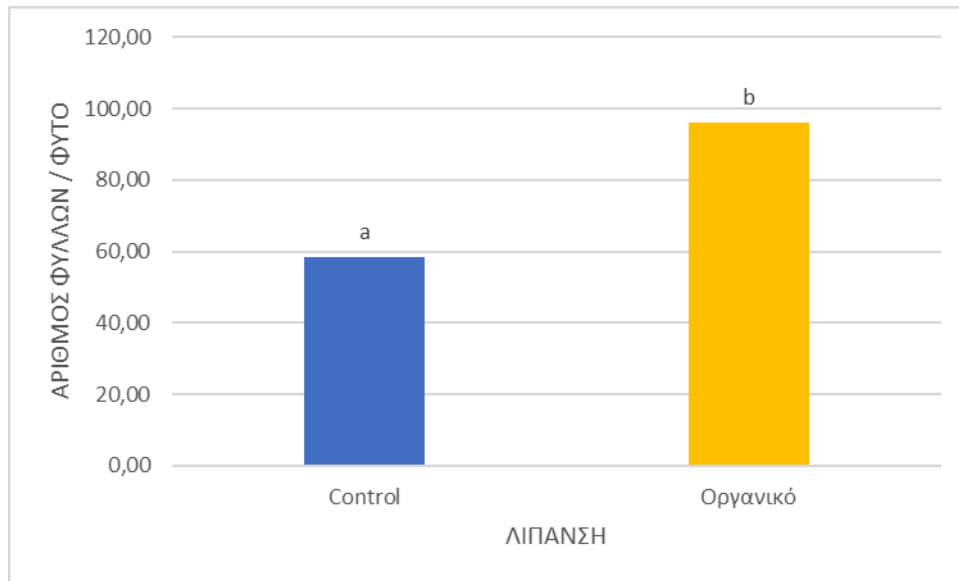
Το ξηρό βάρος δεν φάνηκε να διαφέρει στατιστικά σημαντικά για την επέμβαση της αλατότητας. Αντίθετα, στην επέμβαση της λίπανσης, η χρήση οργανικού λιπάσματος έδωσε στατιστικά σημαντικά υψηλότερες τιμές για το ξηρό βάρος του φυτού.

Αριθμός φύλλων

Πίνακας 7: Ανάλυση διασποράς για τον αριθμό των φύλλων στις 50 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=0,05$. (Οι αριθμοί με έντονη γραφή σηματοδοτούν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές)

	BE	ΑΤ	ΜΤ	F	P
Αλατότητα	3	15593,4 6	5197,81 9	3,909	0,029
Λίπανση	1	8400,04 2	8400,04 2	6,318	0,023
Αλατότητα Χ Λίπανση	3	3711,12 5	1237,04 2	0,93	0,449
Υπόλοιπο	16	21273,3 3	1329,58 3		
Σύνολα	23	48977,9 6	2129,47 6		





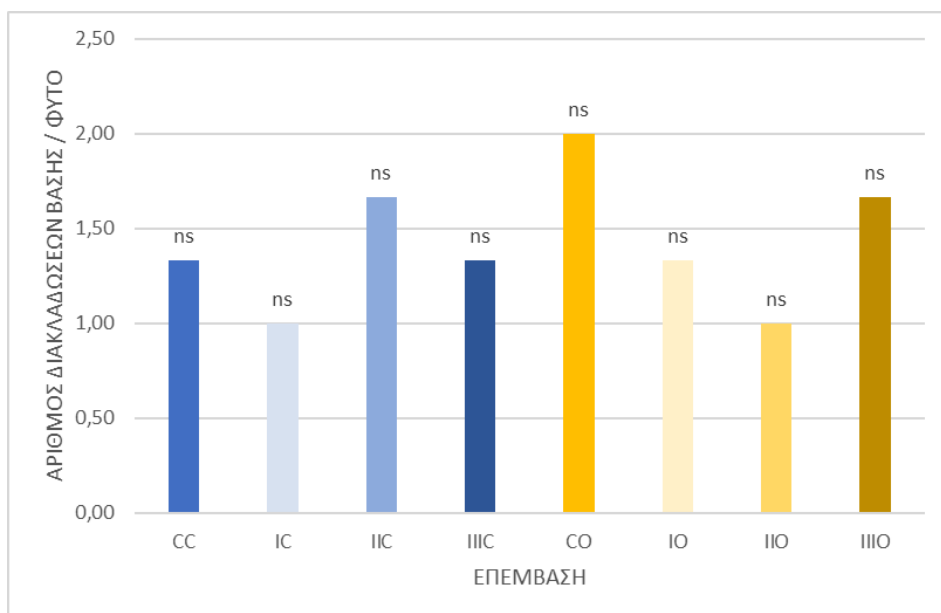
Διάγραμμα 5: Επίδραση των παραγόντων του πειράματος στον αριθμό φύλλων του φυτού στις 50 ΗΑΣ. Τα διαφορετικά γράμματα σηματοδοτούν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Η ένδειξη "ns" υποδηλώνει τις μη στατιστικά σημαντικές διαφορές

Ο αριθμός των φύλλων διέφερε στατιστικά σημαντικά μεταξύ όλων των παραγόντων του πειράματος. Πιο συγκεκριμένα, ο μεγαλύτερος αριθμός φύλλων εντοπίστηκε στην επέμβαση με την υψηλότερη αλατότητα. Όσον αφορά την λίπανση, η οργανική λίπανση έδωσε ψηλότερες τιμές στην μέτρηση του αριθμού των φύλλων.

Αριθμός διακλαδώσεων βάσης

Πίνακας 8: Ανάλυση διασποράς για τον αριθμό των διακλαδώσεων βάσης στις 50 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=0,05$. (Οι αριθμοί με έντονη γραφή σηματοδοτούν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές)

	BE	AT	MT	F	P
Αλατότητα	3	0,833	0,278	0,29	0,832
Λίπανση	1	0,167	0,167	0,174	0,682
Αλατότητα X Λίπανση	3	1,5	0,5	0,522	0,673
Υπόλοιπο	16	15,333	0,958		
Σύνολα	23	17,833	0,775		



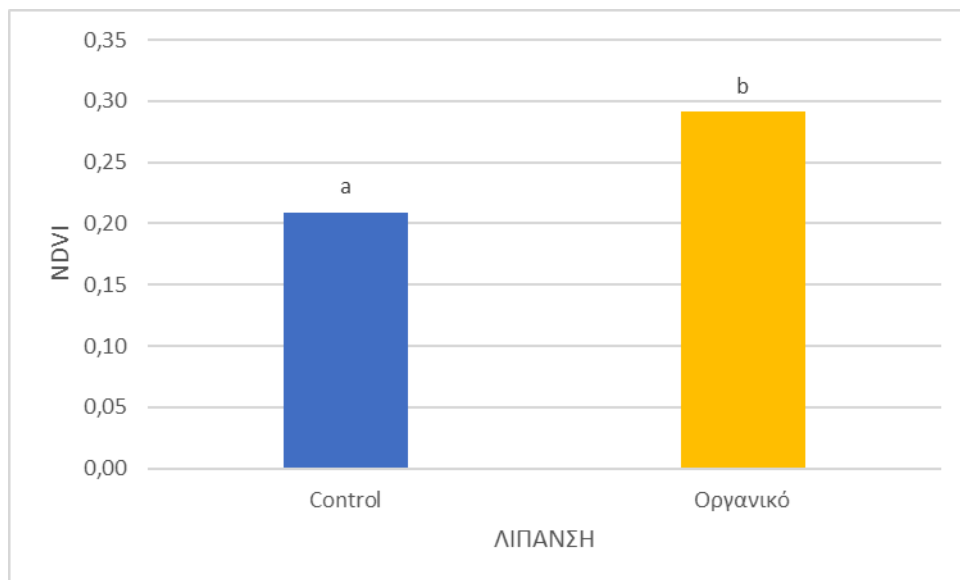
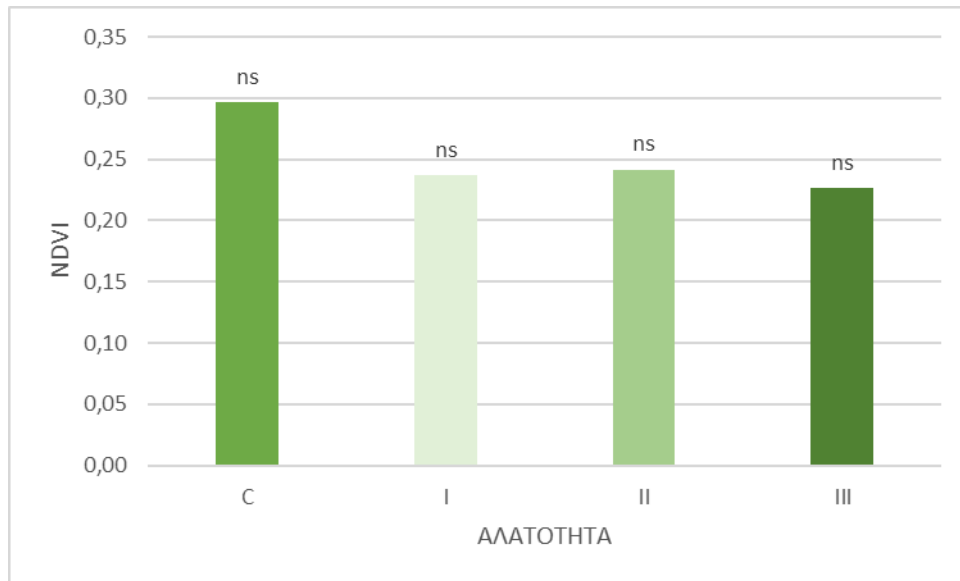
Διάγραμμα 6: Επίδραση των παραγόντων του πειράματος στον αριθμό διακλαδώσεων βάσης του φυτού στις 50 ΗΑΣ. Τα διαφορετικά γράμματα σηματοδοτούν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Η ένδειξη "ns" υποδηλώνει τις μη στατιστικά σημαντικές διαφορές

Ο αριθμός των διακλαδώσεων βάσης του φυτού δεν φάνηκε να διαφέρει στατιστικά σημαντικά μεταξύ των επεμβάσεων του πειράματος. Αναλυτικότερα, τόσο η αλατότητα, όσο και η οργανική λίπανση δεν κατάφερε να δώσει στατιστικά σημαντικά αποτελέσματα για την μέτρηση του αριθμού των διακλαδώσεων βάσης του φυτού.

NDVI

Πίνακας 9: Ανάλυση διασποράς για το NDVI στις 50 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=0,05$. (Οι αριθμοί με έντονη γραφή σηματοδοτούν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές)

	BE	AT	MT	F	P
Αλατότητα	3	0,0178	0,00594	1,164	0,354
Λίπανση	1	0,0408	0,0408	8,007	0,012
Αλατότητα X Λίπανση	3	0,00445	0,00148	0,291	0,832
Υπόλοιπο	16	0,0816	0,0051		
Σύνολα	23	0,145	0,00629		



Διάγραμμα 7: Επίδραση των παραγόντων του πειράματος στον δείκτη NDVI στις 50 ΗΑΣ. Τα διαφορετικά γράμματα σηματοδοτούν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Η ένδειξη "ns" υποδηλώνει τις μη στατιστικά σημαντικές διαφορές

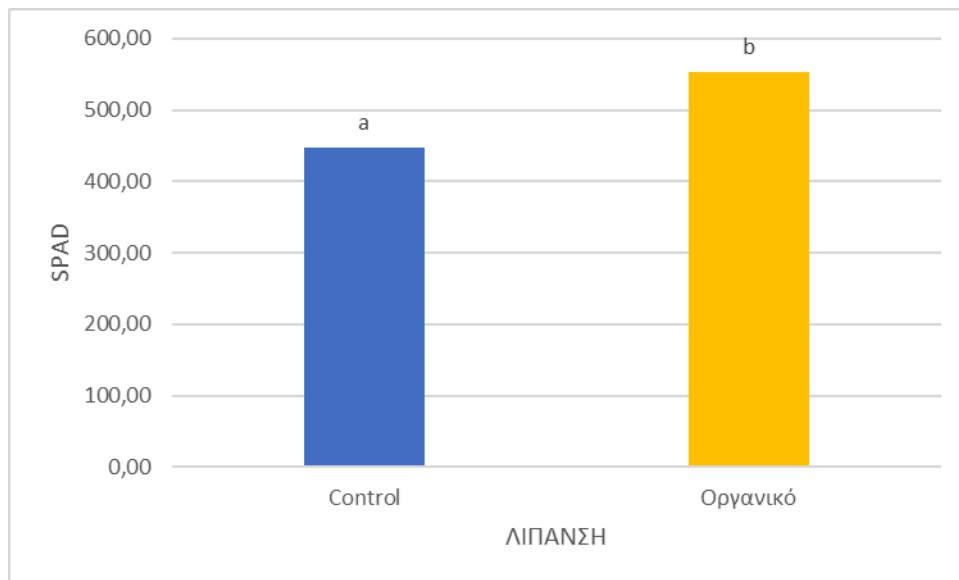
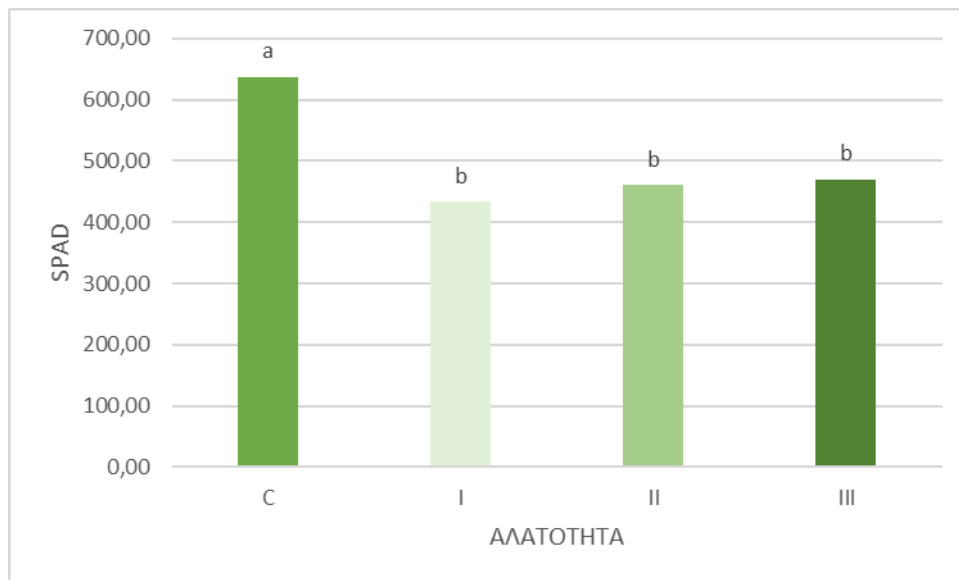
Ο δείκτης NDVI δεν φάνηκε να διαφέρει στατιστικά σημαντικά μεταξύ των επεμβάσεων της αλατότητας. Αντίθετα, η λίπανση φάνηκε να επηρεάζει στατιστικά σημαντικά τα αποτελέσματα, με την οργανική λίπανση να δίνει μεγαλύτερες τιμές.

SPAD

Πίνακας 10: Ανάλυση διασποράς για το SPAD στις 50 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=0,05$. (Οι αριθμοί με έντονη γραφή σηματοδοτούν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές)

	BE	ΑΓ	ΜΓ	F	P
Αλατότητα	3	155096, 5	51698,8 3	3,476	0,041

Λίπανση	1	67840,6 7	67840,6 7	4,562	0,048
Αλατότητα Χ Λίπανση	3	9036	3012	0,203	0,893
Υπόλοιπο	16	237955, 3	14872,2 1		
Σύνολα	23	469928, 5	20431,6 7		



Διάγραμμα 8: Επίδραση των παραγόντων του πειράματος στην περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη στις 50 ΗΑΣ. Τα διαφορετικά γράμματα σηματοδοτούν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Η ένδειξη "ns" υποδηλώνει τις μη στατιστικά σημαντικές διαφορές

Η περιεκτικότητα των φυτών σε χλωροφύλλη φάνηκε να επηρεάστηκε στατιστικά σημαντικά και από τους δύο παράγοντες του πειράματος. Η επέμβαση χωρίς την

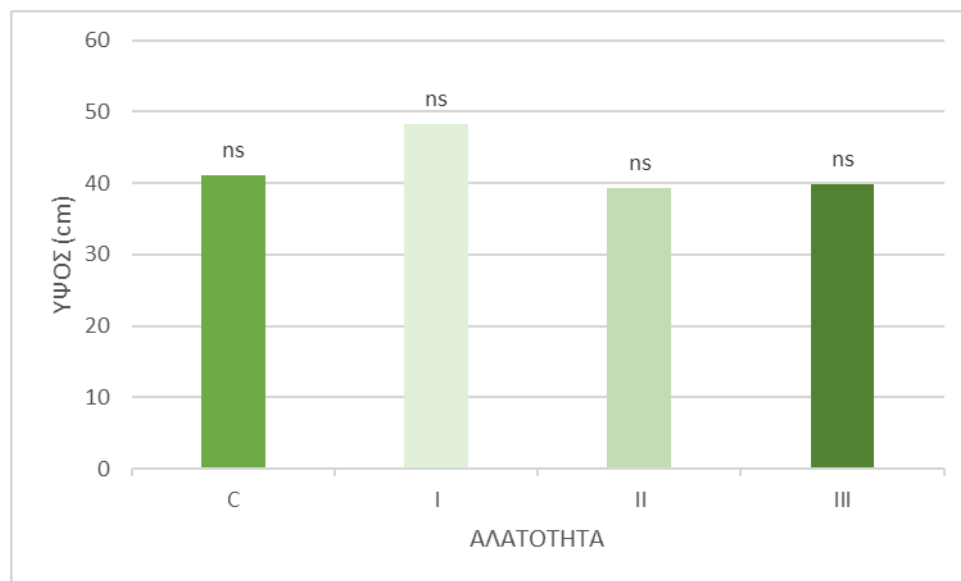
προσθήκη αλατιού έδωσε τα μεγαλύτερα αποτελέσματα για την συγκέντρωση χλωροφύλλης. Παράλληλα, η προσθήκη οργανικής λίπανσης αύξησε την περιεκτικότητα των φυτών σε χλωροφύλλη.

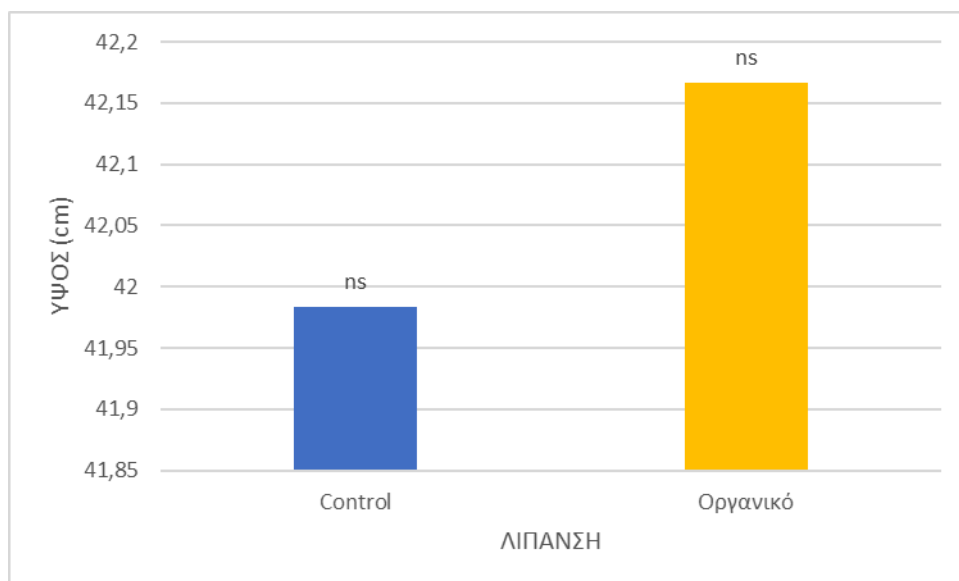
3.3. Αποτελέσματα 80 ΗΑΣ

Ύψος

Πίνακας 11: Ανάλυση διασποράς για το ύψος στις 80 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=0,05$. (Οι αριθμοί με έντονη γραφή σηματοδοτούν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές)

	BE	AT	MT	F	P
Αλατότητα	3	312,002	104,001	1,405	0,278
Λίπανση	1	0,202	0,202	0,00272	0,959
Αλατότητα X Λίπανση	3	306,855	102,285	1,382	0,284
Υπόλοιπο	16	1184,40	74,025		
Σύνολο	23	1803,46	78,412		





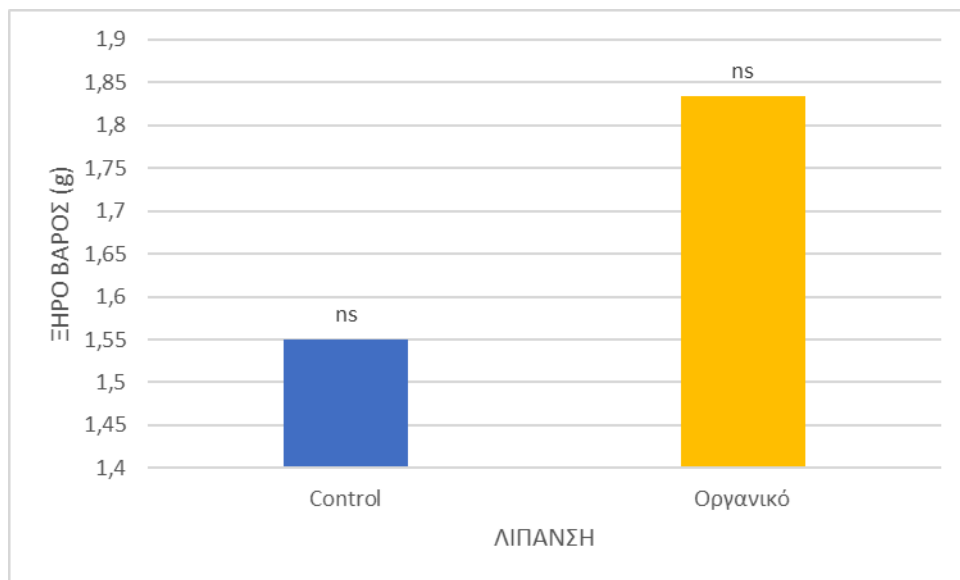
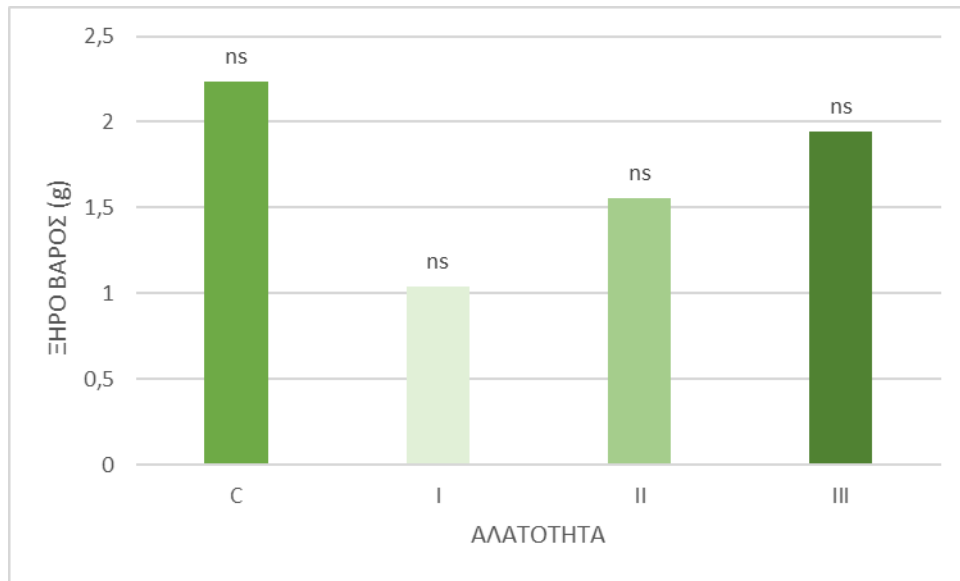
Διάγραμμα 9: Επίδραση των παραγόντων του πειράματος στο ύψος φυτού στις 80 ΗΑΣ. Τα διαφορετικά γράμματα σηματοδοτούν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Η ένδειξη "ns" υποδηλώνει τις μη στατιστικά σημαντικές διαφορές

Το ύψος για τις 80 ΗΑΣ δεν φάνηκε να διαφέρει στατιστικά σημαντικά μεταξύ των επεμβάσεων του πειράματος. Τόσο η αλατότητα, όσο και η οργανική λίπανση δεν κατάφερα να δώσουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των επεμβάσεων του πειράματος, για την μέτρηση του ύψους των φυτών.

Ξηρό βάρος

Πίνακας 12α Ανάλυση διασποράς για το ξηρό βάρος στις 80 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=0,05$. (Οι αριθμοί με έντονη γραφή σηματοδοτούν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές)

	BE	ΑΓ	ΜΓ	F	P
Αλατότητα	3	4,824	1,608	1,392	0,281
Λίπανση	1	0,482	0,482	0,417	0,528
Αλατότητα X Λίπανση	3	0,275	0,0918	0,0795	0,97
Υπόλοιπο	16	18,481	1,155		
Σύνολο	23	24,062	1,046		



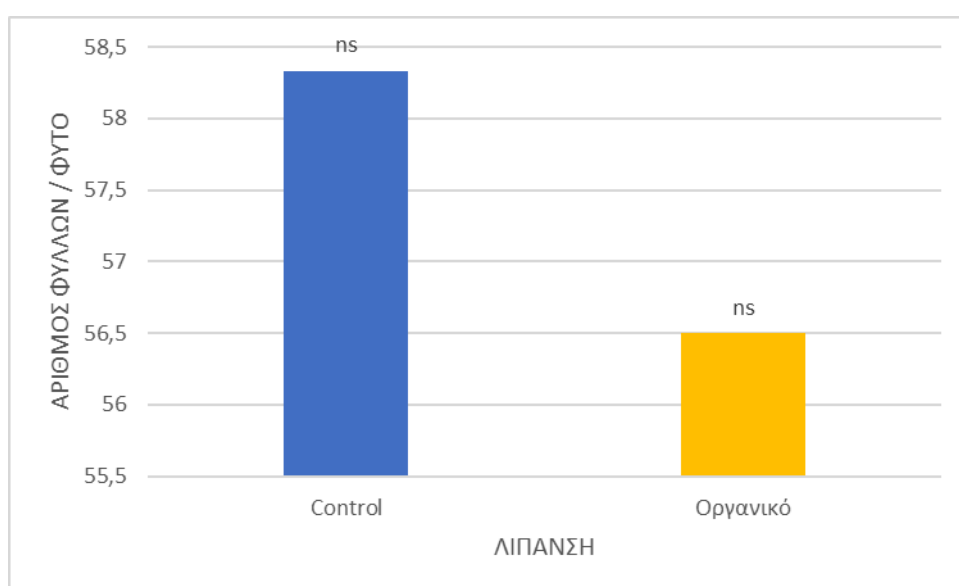
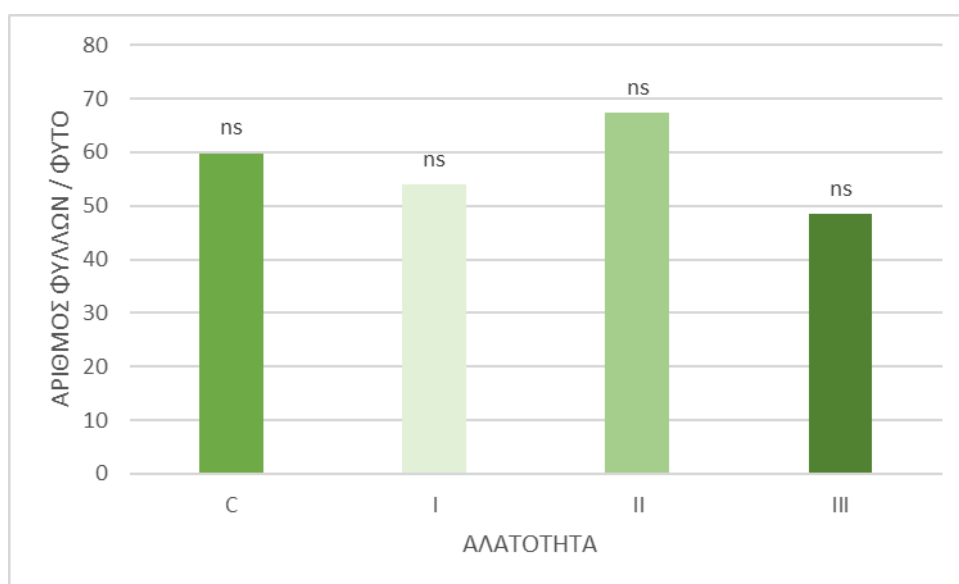
Διάγραμμα 10: Επίδραση των παραγόντων του πειράματος στο ξηρό βάρος φυτού στις 80 ΗΑΣ. Τα διαφορετικά γράμματα σηματοδοτούν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Η ένδειξη "ns" υποδηλώνει τις μη στατιστικά σημαντικές διαφορές

Το ξηρό βάρος κατά την δεύτερη μέτρηση δεν διέφερε στατιστικά σημαντικά μεταξύ των επεμβάσεων του πειράματος. Τόσο η αλατότητα όσο και η οργανική λίπανση δεν κατάφερε να δώσει στατιστικά σημαντικές διαφορές για το ξηρό βάρος του φυτού για τις 80 ΗΑΣ.

Αριθμός φύλλων

Πίνακας 13: Ανάλυση διασποράς για τον αριθμό των φύλων στις 80 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=0,05$. (Οι αριθμοί με έντονη γραφή σηματοδοτούν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές)

	ΒΕ	ΑΤ	ΜΤ	F	P
Αλατότητα	3	1172,16 7	390,722	0,766	0,53
Λίπανση	1	20,167	20,167	0,0395	0,845
Αλατότητα X Λίπανση	3	979,5	326,5	0,64	0,6
Υπόλοιπο	16	8164	510,25		
Σύνολο	23	10335,8 3	449,384		



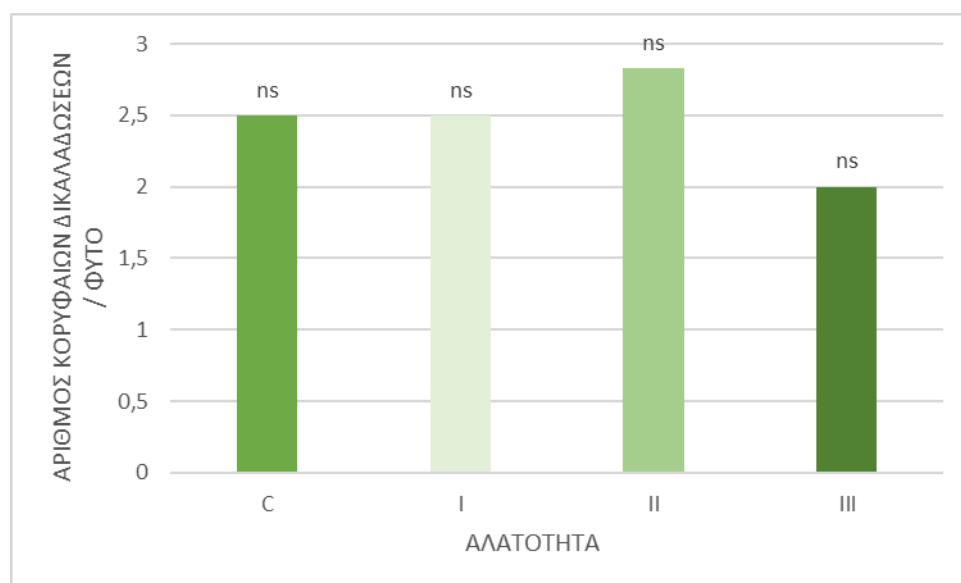
Διάγραμμα 11: Επίδραση των παραγόντων του πειράματος στον αριθμό φύλλων του φυτού στις 80 ΗΑΣ. Τα διαφορετικά γράμματα σηματοδοτούν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Η ένδειξη "ns" υποδηλώνει τις μη στατιστικά σημαντικές διαφορές

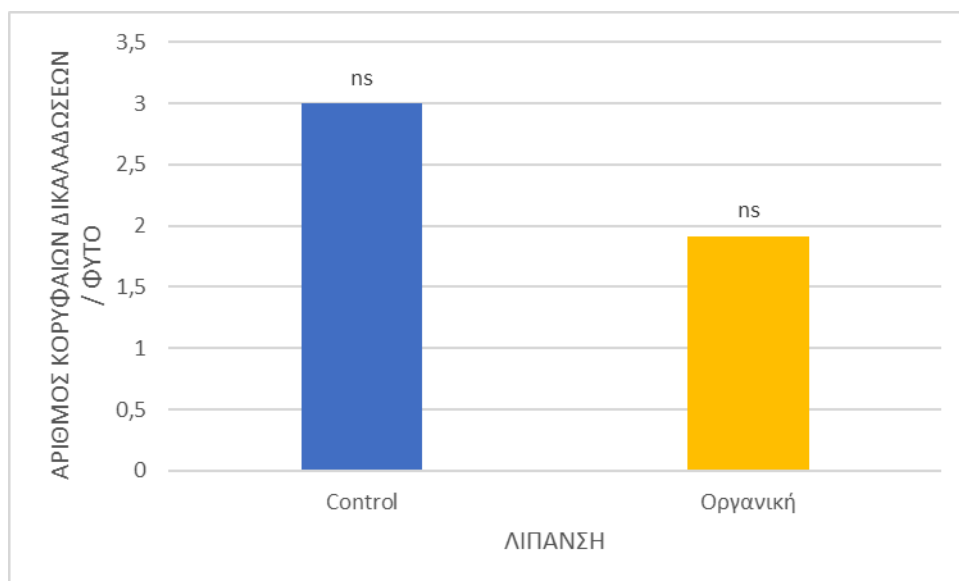
Ο αριθμός των φύλλων κατά την δεύτερη μέτρηση δεν διέφερε στατιστικά σημαντικά μεταξύ των επεμβάσεων του πειράματος. Τόσο η αλατότητα όσο και η οργανική λίπανση δεν κατάφερε να δώσει στατιστικά σημαντικές διαφορές για τον αριθμό των φύλλων του φυτού για τις 80 ΗΑΣ.

Αριθμός κορυφαίων διακλαδώσεων

Πίνακας 14: Ανάλυση διασποράς για τον αριθμό των κορυφαίων διακλαδώσεων στις 80 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=0,05$. (Οι αριθμοί με έντονη γραφή σηματοδοτούν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές)

	BE	AT	MT	F	P
Αλατότητα	3	2,125	0,708	0,304	0,822
Λίπανση	1	7,042	7,042	3,018	0,102
Αλατότητα X Λίπανση	3	5,458	1,819	0,78	0,522
Υπόλοιπο	16	37,333	2,333		
Σύνολο	23	51,958	2,259		





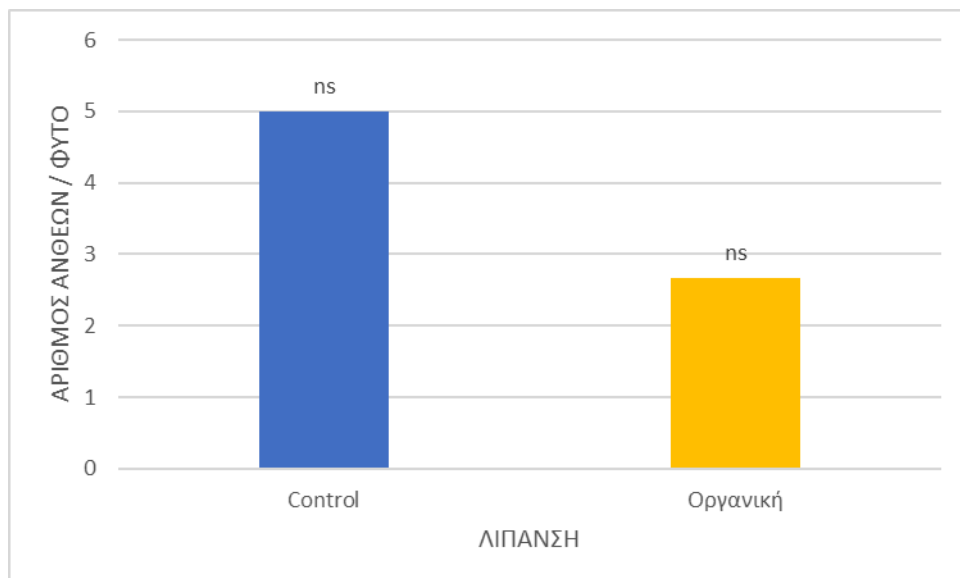
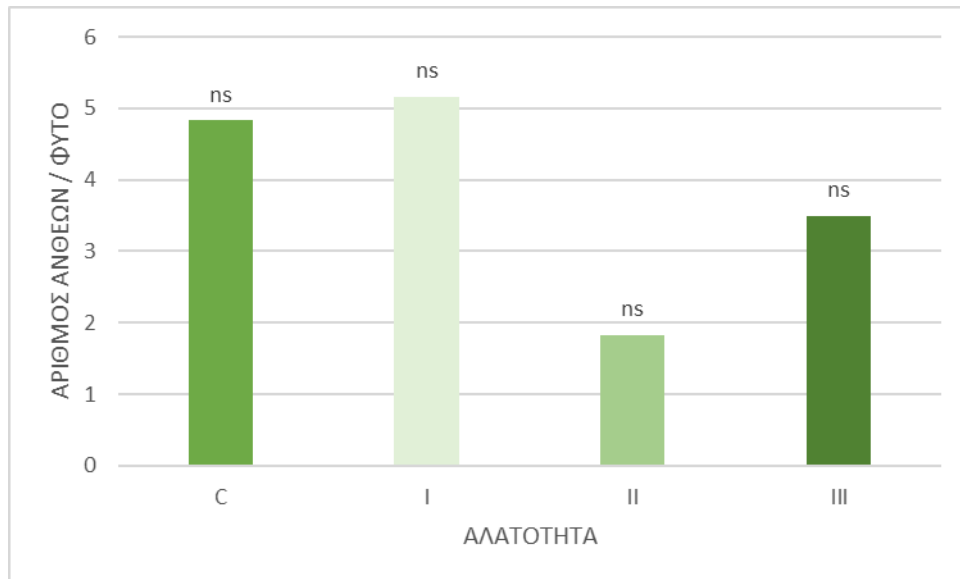
Διάγραμμα 12: Επίδραση των παραγόντων του πειράματος στον αριθμό των κορυφαίων διακλαδώσεων του φυτού στις 80 ΗΑΣ. Τα διαφορετικά γράμματα σηματοδοτούν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Η ένδειξη "ns" υποδηλώνει τις μη στατιστικά σημαντικές διαφορές

Ο αριθμός των κορυφαίων διακλαδώσεων κατά την δεύτερη μέτρηση δεν διέφερε στατιστικά σημαντικά μεταξύ των επεμβάσεων του πειράματος. Τόσο η αλατότητα όσο και η οργανική λίπανση δεν κατάφερε να δώσει στατιστικά σημαντικές διαφορές για τον αριθμό των κορυφαίων διακλαδώσεων του φυτού για τις 80 ΗΑΣ.

Αριθμός ανθέων ανά φυτό

Πίνακας 15: Ανάλυση διασποράς για τον αριθμό των ανθέων στις 80 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=0,05$. (Οι αριθμοί με έντονη γραφή σηματοδοτούν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές)

	ΒΕ	ΑΤ	ΜΤ	F	P
Αλατότητα	3	41,333	13,778	0,686	0,574
Λίπανση	1	32,667	32,667	1,627	0,22
Αλατότητα X Λίπανση	3	72	24	1,195	0,343
Υπόλοιπο	16	321,333	20,083		
Σύνολο	23	467,333	20,319		



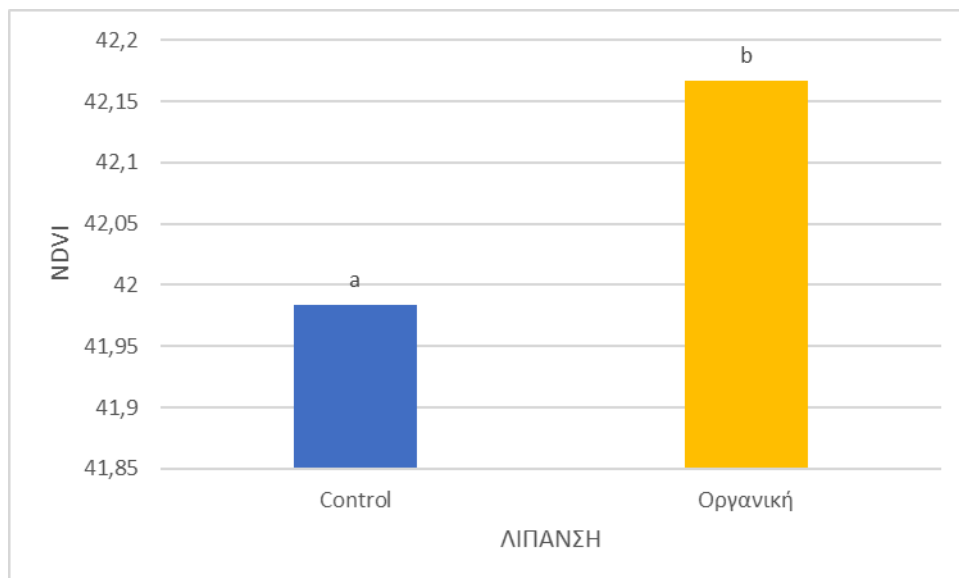
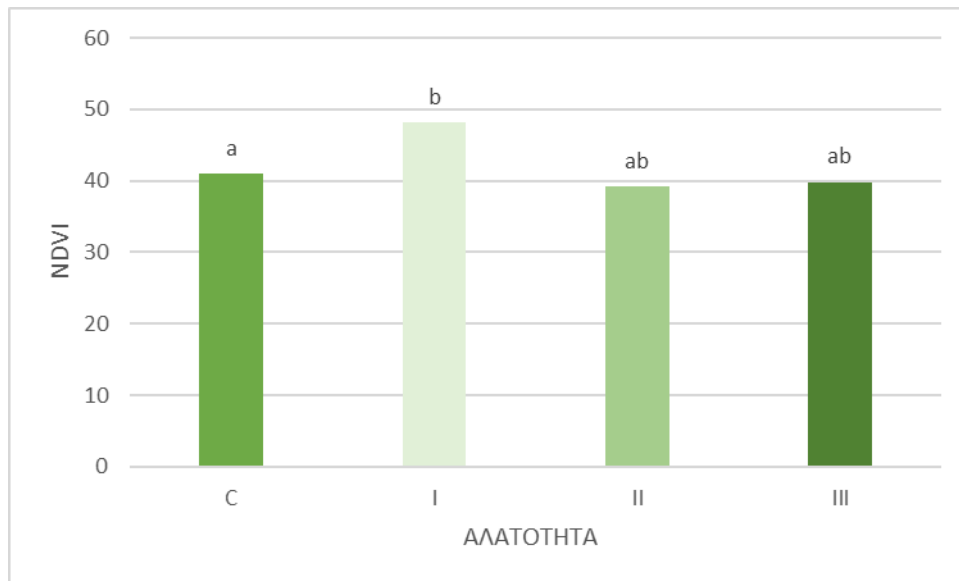
Διάγραμμα 13: Επίδραση των παραγόντων του πειράματος στον αριθμό ανθέων του φυτού στις 80 ΗΑΣ. Τα διαφορετικά γράμματα σηματοδοτούν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Η ένδειξη "ns" υποδηλώνει τις μη στατιστικά σημαντικές διαφορές

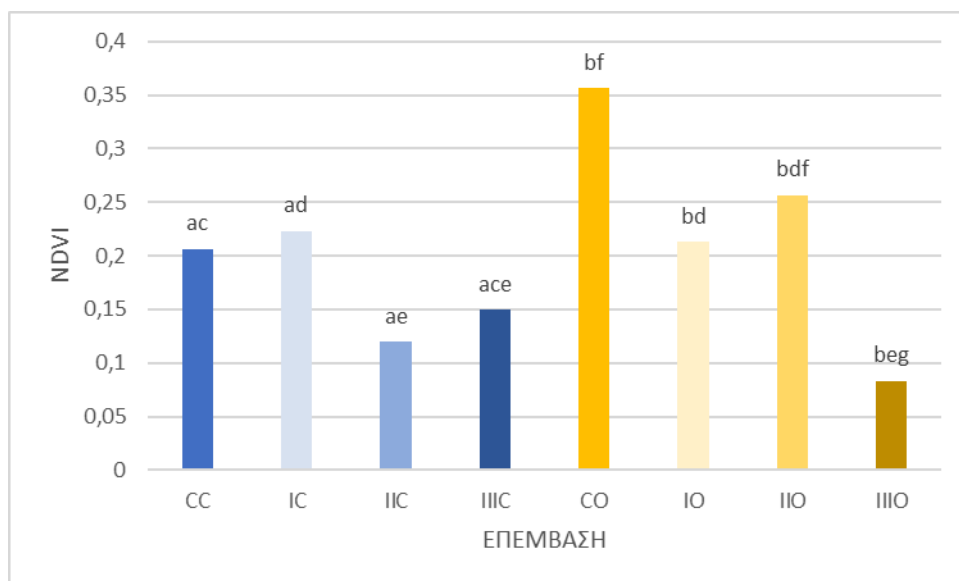
Ο αριθμός των ανθέων κατά την δεύτερη μέτρηση δεν διέφερε στατιστικά σημαντικά μεταξύ των επεμβάσεων του πειράματος. Τόσο η αλατότητα όσο και η οργανική λίπανση δεν κατάφερε να δώσει στατιστικά σημαντικές διαφορές για τον αριθμό των ανθέων του φυτού για τις 80 ΗΑΣ.

NDVI

Πίνακας 16: Ανάλυση διασποράς για τον δείκτη NDVI στις 80 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=0,05$. (Οι αριθμοί με έντονη γραφή σηματοδοτούν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές)

	BE	AT	MT	F	P
Αλατότητα	3	0,0845	0,0282	40,96	<0,001
Λίπανση	1	0,0165	0,0165	24,055	<0,001
Αλατότητα X Λίπανση	3	0,052	0,0173	25,234	<0,001
Υπόλοιπο	16	0,011	0,00068 8		
Σύνολο	23	0,164	0,00713		





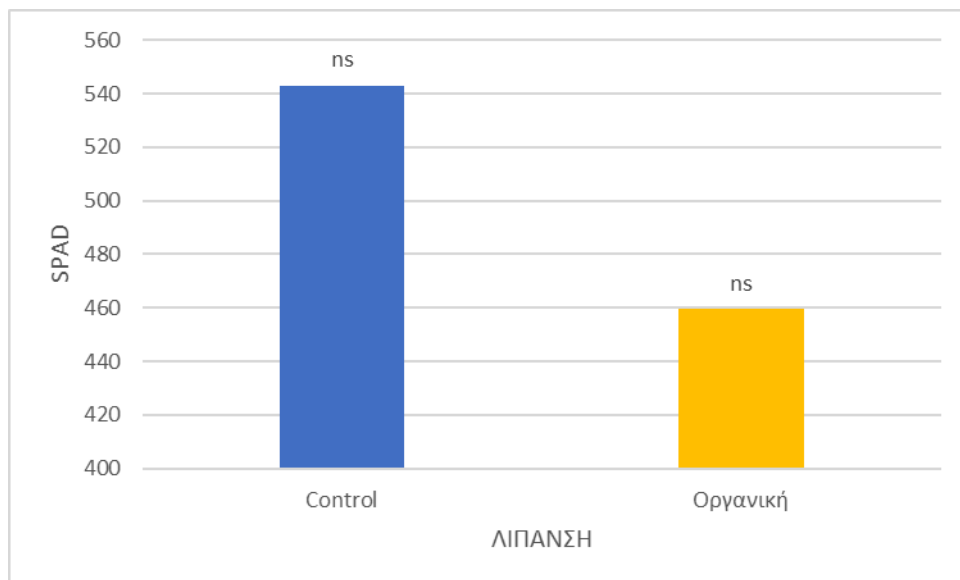
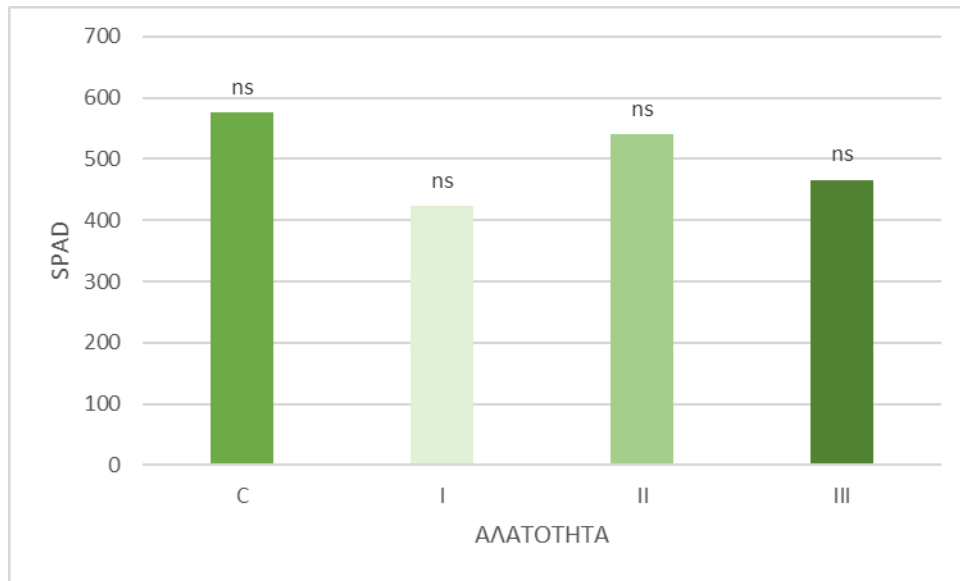
Διάγραμμα 14: Επίδραση των παραγόντων του πειράματος στον δείκτη NDVI του φυτού στις 80 ΗΑΣ. Τα διαφορετικά γράμματα σηματοδοτούν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Η ένδειξη "ns" υποδηλώνει τις μη στατιστικά σημαντικές διαφορές

Αντίθετα με τις υπόλοιπες μετρήσεις, το NDVI φάνηκε να διαφέρει στατιστικά σημαντικά μεταξύ των επεμβάσεων του πειράματος, καθώς και με την αλληλεπίδρασή τους. Αναλυτικότερα, η προσθήκη της μικρότερης ποσότητας αλατιού έδωσε τα υψηλότερα αποτελέσματα. Παράλληλα, η προσθήκη οργανικής λίπανσης αύξησε στατιστικά σημαντικά τις τιμές του δείκτη NDVI.

SPAD

Πίνακας 17: Ανάλυση διασποράς για την περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη στις 80 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=0,05$. (Οι αριθμοί με έντονη γραφή σηματοδοτούν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές)

	BE	AT	MT	F	P
Αλατότητα	3	87073,8 3	29024,6 1	1,192	0,344
Λίπανση	1	42000,6 7	42000,6 7	1,724	0,208
Αλατότητα X Λίπανση	3	59889,3 3	19963,1 1	0,82	0,502
Υπόλοιπο	16	389686, 7	24355,4 2		
Σύνολο	23	578650, 5	25158,7 2		



Διάγραμμα 15: Επίδραση των παραγόντων του πειράματος στην περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη στις 80 ΗΑΣ. Τα διαφορετικά γράμματα σηματοδοτούν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Η ένδειξη "ns" υποδηλώνει τις μη στατιστικά σημαντικές διαφορές

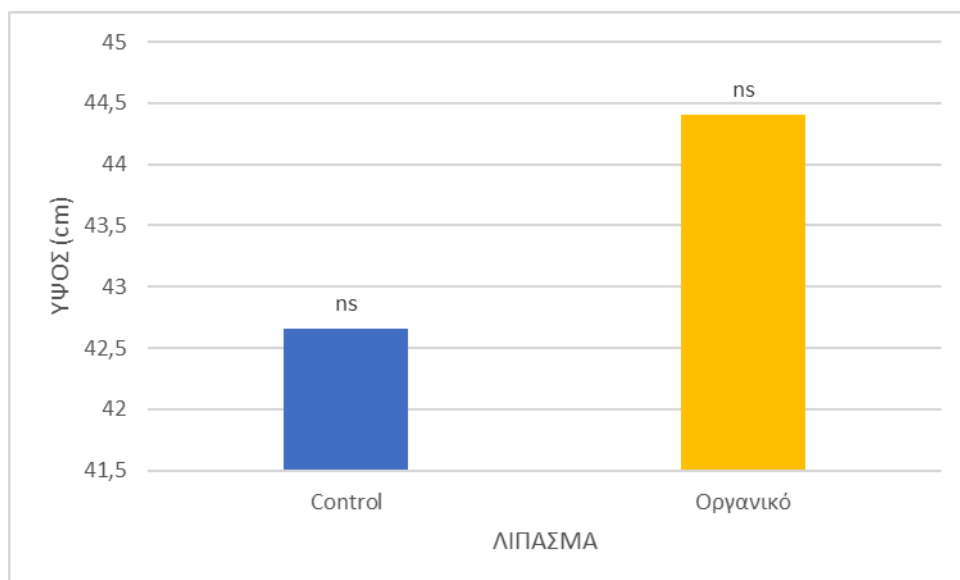
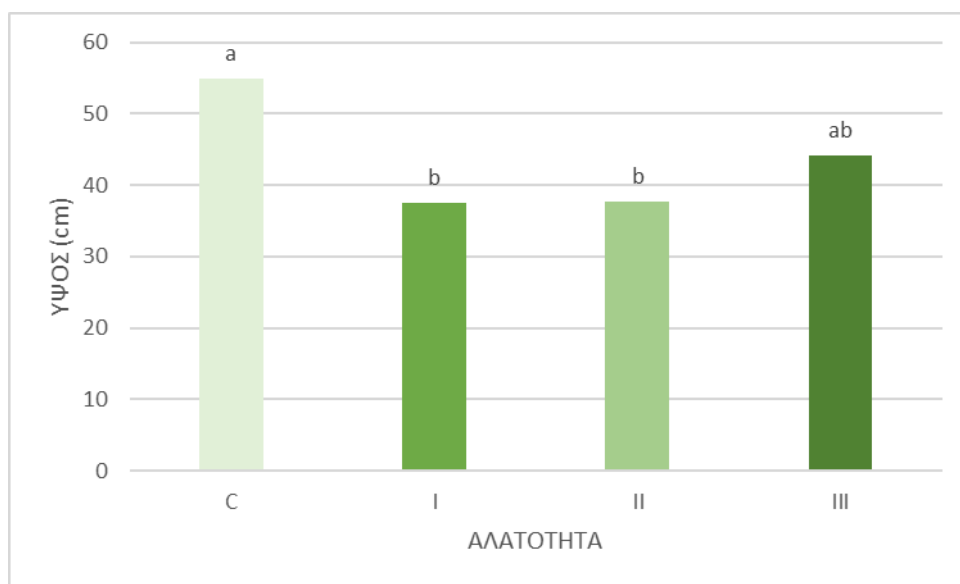
Η περιεκτικότητα των φυτρών σε χλωροφύλλη δεν φάνηκε να διαφέρει στατιστικά σημαντικά μεταξύ των επεμβάσεων του πειράματος για τις 80 ΗΑΣ. Τόσο η αλατότητα, όσο και η οργανική λίπανση δεν κατάφεραν να δώσουν στατιστικά σημαντικά αποτελέσματα για την περιεκτικότητα του φυτού σε χλωροφύλλη.

3.4. Αποτελέσματα 109 ΗΑΣ

Ύψος

Πίνακας 18: Ανάλυση διασποράς για το ύψος στις 109 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=0,05$. (Οι αριθμοί με έντονη γραφή σηματοδοτούν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές)

	BE	ΑΤ	ΜΤ	F	P
Αλατότητα	3	1209,13 1	403,044	5,765	0,007
Λίπανση	1	18,2	18,2	0,26	0,617
Αλατότητα X λίπανση	3	151,318	50,439	0,721	0,554
Υπόλοιπο	16	1118,56	69,91		
Σύνολο	23	2497,21	108,574		



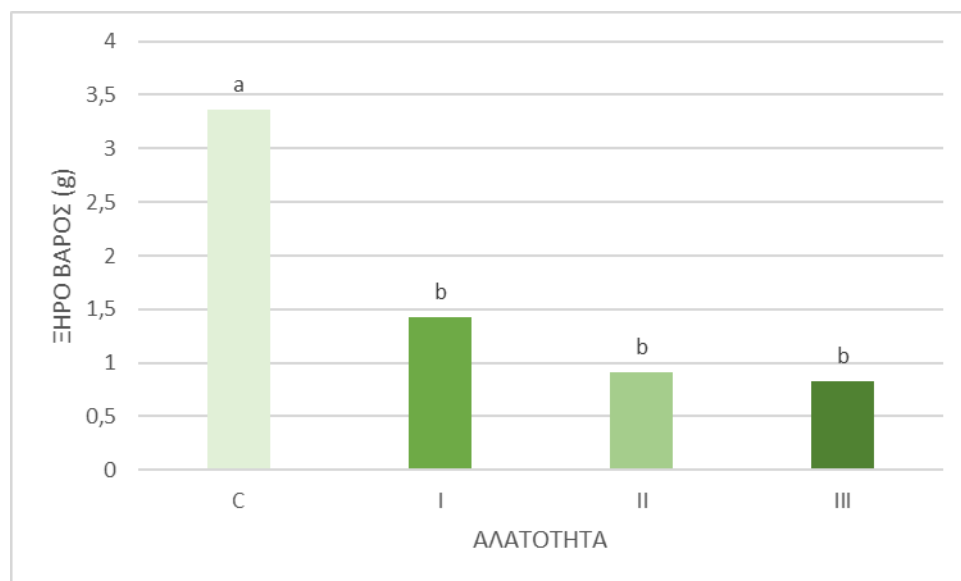
Διάγραμμα 16: Επίδραση των παραγόντων του πειράματος στο ύψος φυτού στις 109 ΗΑΣ. Τα διαφορετικά γράμματα σηματοδοτούν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Η ένδειξη "ns" υποδηλώνει τις μη στατιστικά σημαντικές διαφορές

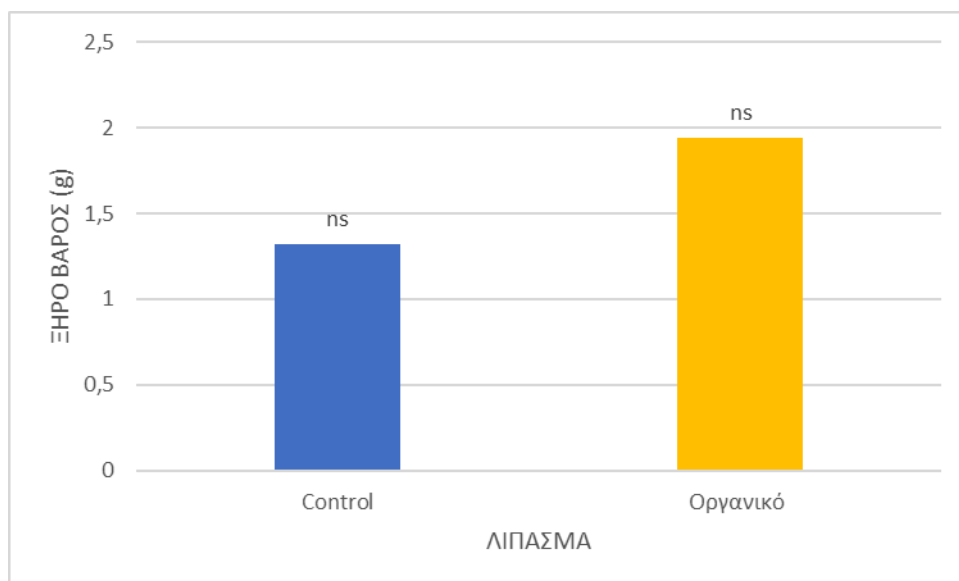
Το ύψος του φυτού φάνηκε να διαφέρει στατιστικά σημαντικά στην επέμβαση της αλατότητας. Η επέμβαση του μάρτυρα (χωρίς την προσθήκη αλατιού) έδωσε στατιστικά σημαντικά υψηλότερες τιμές συγκριτικά με τις υπόλοιπες επεμβάσεις. Όσον αφορά την οργανική λίπανση, η προσθήκη οργανικού λιπάσματος αύξησε τις τιμές του ύψους του φυτού για τις 109 ΗΑΣ.

Ξηρό βάρος

Πίνακας 19: Ανάλυση διασποράς για το ξηρό βάρος στις 109 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=0,05$. (Οι αριθμοί με έντονη γραφή σηματοδοτούν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές)

	BE	AT	MT	F	P
Αλατότητα	3	25,325	8,442	11,621	<0,001
Λίπανση	1	2,319	2,319	3,192	0,093
Αλατότητα X λίπανση	3	6,293	2,098	2,888	0,068
Υπόλοιπο	16	11,623	0,726		
Σύνολο	23	45,559	1,981		





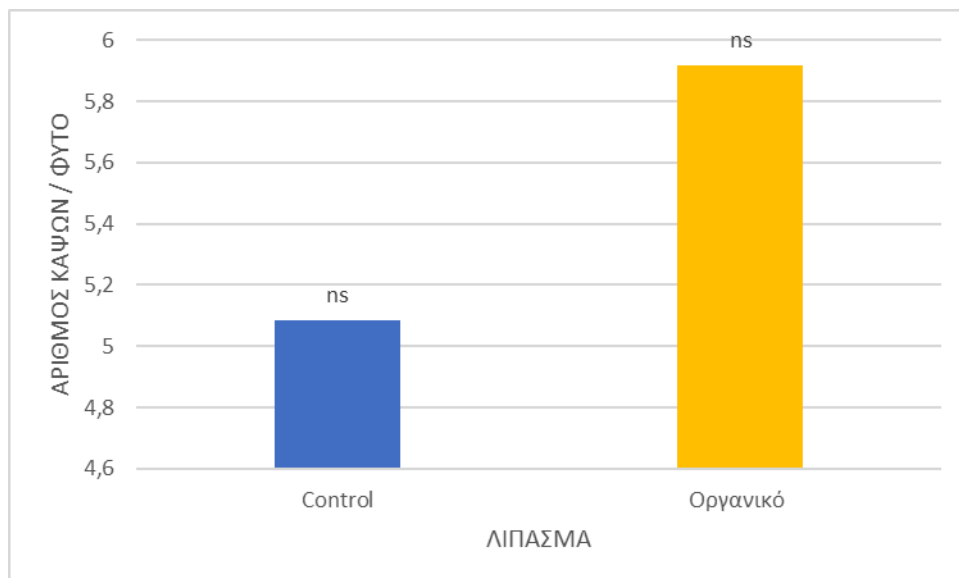
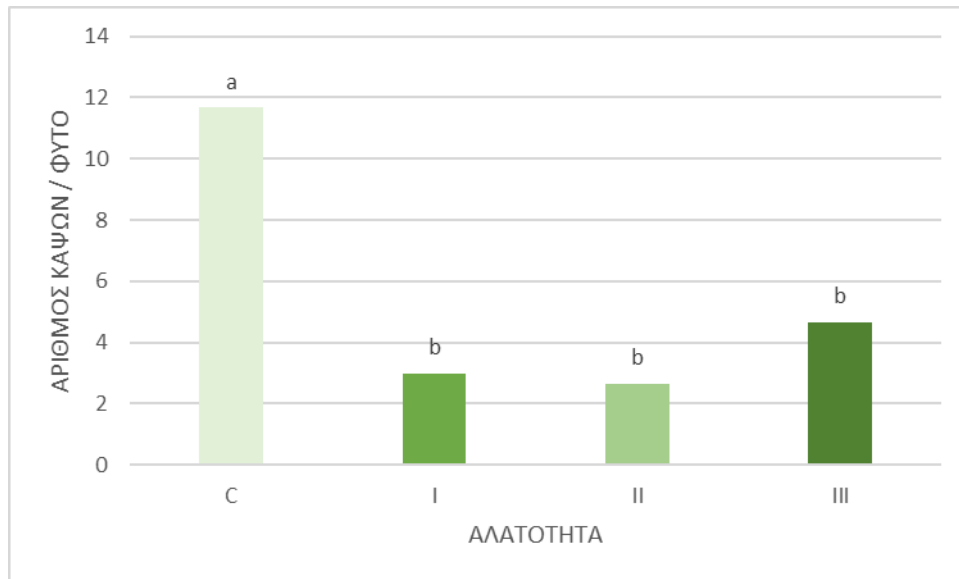
Διάγραμμα 17: Επίδραση των παραγόντων του πειράματος στο ξηρό βάρος φυτού στις 109 ΗΑΣ. Τα διαφορετικά γράμματα σηματοδοτούν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Η ένδειξη "ns" υποδηλώνει τις μη στατιστικά σημαντικές διαφορές

Όμοια με το ύψος του φυτού, το ξηρό βάρος εμφάνισε στατιστικά σημαντικές διαφορές για τον παράγοντα της αλατότητας. Και σε αυτή την περίπτωση η επέμβαση του μάρτυρα έδωσε τις υψηλότερες τιμές συγκριτικά με τις υπόλοιπες. Παράλληλα η οργανική λίπανση και πιο συγκεκριμένα η προσθήκη οργανικού λιπάσματος δεν επηρέασε στατιστικά σημαντικά τα αποτελέσματα της μελέτης για το ξηρό βάρος.

Αριθμός καψών ανά φυτό

Πίνακας 20: Ανάλυση διασποράς για τον αριθμό των καψών ανά φυτό στις 109 ΗΑΣ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=0,05$. (Οι αριθμοί με έντονη γραφή σηματοδοτούν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές)

	BE	AT	MT	F	P
Αλατότητα	3	318	106	22,919	<0,001
Λίπανση	1	4,167	4,167	0,901	0,357
Αλατότητα X λίπανση	3	45,833	15,278	3,303	0,057
Υπόλοιπο	16	74	4,625		
Σύνολο	23	442	19,217		



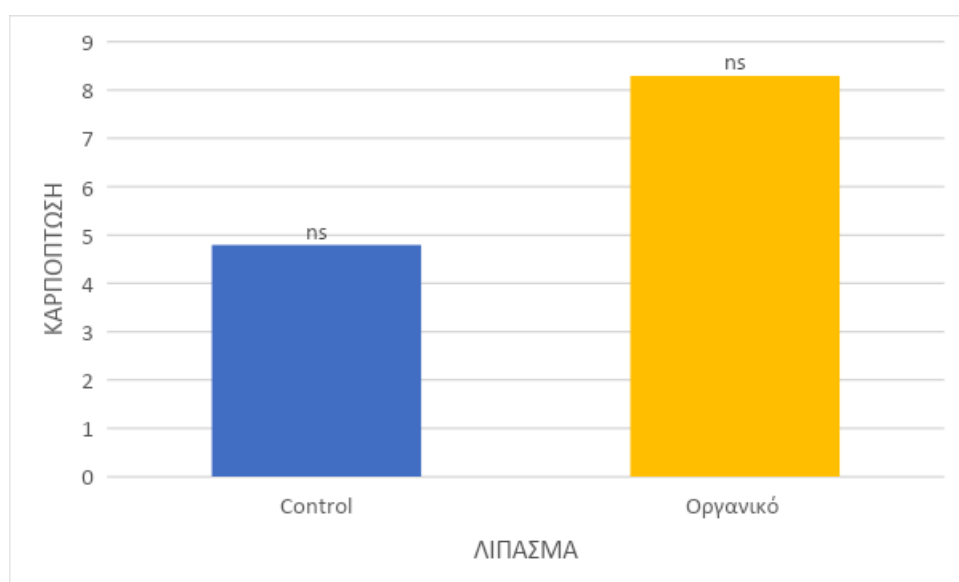
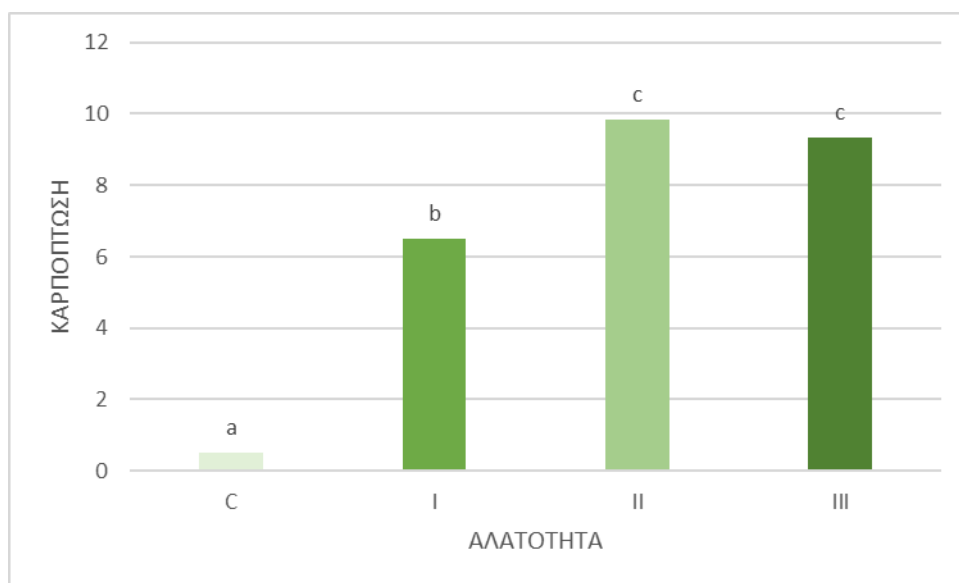
Διάγραμμα 18: Επίδραση των παραγόντων του πειράματος στον αριθμό καψών ανά φυτό στις 109 ΗΑΣ. Τα διαφορετικά γράμματα σηματοδοτούν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Η ένδειξη "ns" υποδηλώνει τις μη στατιστικά σημαντικές διαφορές

Και για τη μέτρηση του αριθμού καψών ανά φυτό η επέμβαση της αλατότητας ήταν αυτή που έδωσε στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των επεμβάσεων. Και σε αυτή την περίπτωση οι επεμβάσεις του μάρτυρα -χωρίς την προσθήκη αλατιού - έδωσε τις υψηλότερες τιμές. Ο παράγοντας οργανική λίπανση δεν επηρεάστηκαν σημαντικά τα αποτελέσματα. Η χρήση οργανικού λιπάσματος δεν αύξησε στατιστικά σημαντικά τον αριθμό των καψών ανά φυτό.

Ποσοστό καρπόπτωσης

Πίνακας 21: Ανάλυση διασποράς για το ποσοστό καρπόπτωσης στις (Οι αριθμοί με έντονη γραφή σηματοδοτούν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές)

	BE	AT	MT	F	P
Αλατότητα	3	368,167	122,722	43,314	<0,001
Λίπανση	1	73,5	73,5	9,01	0,357
Αλατότητα X λίπανση	3	56,833	18,944	6,686	0,054
Υπόλοιπο	16	45,333	2,833		
Σύνολο	23	543,833	23,645		



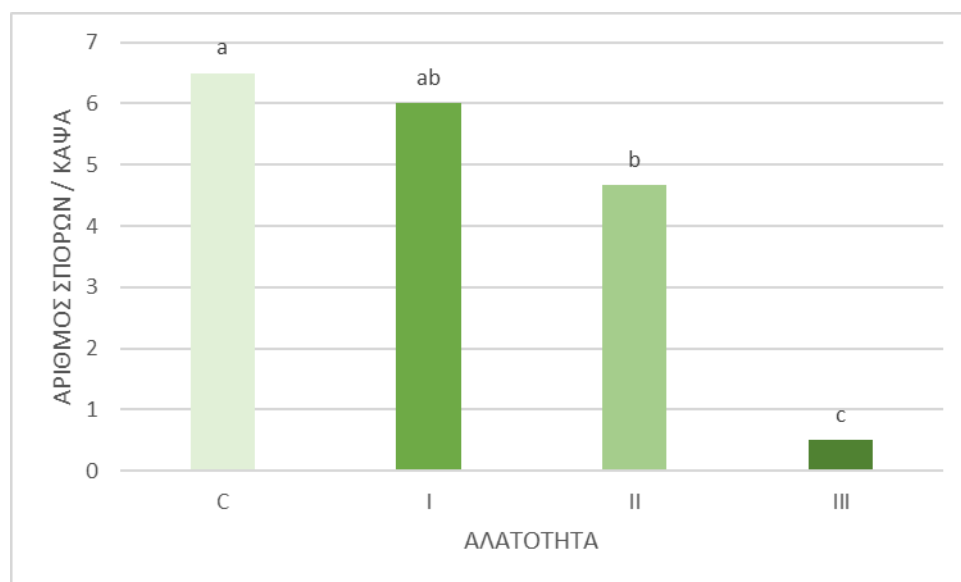
Διάγραμμα 19: Επίδραση των παραγόντων του πειράματος στο ποσοστό καρπόπτωσης τις 109 ΗΑΣ. Τα διαφορετικά γράμματα σηματοδοτούν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Η ένδειξη «ns» υποδηλώνει τις μη στατιστικά σημαντικές διαφορές

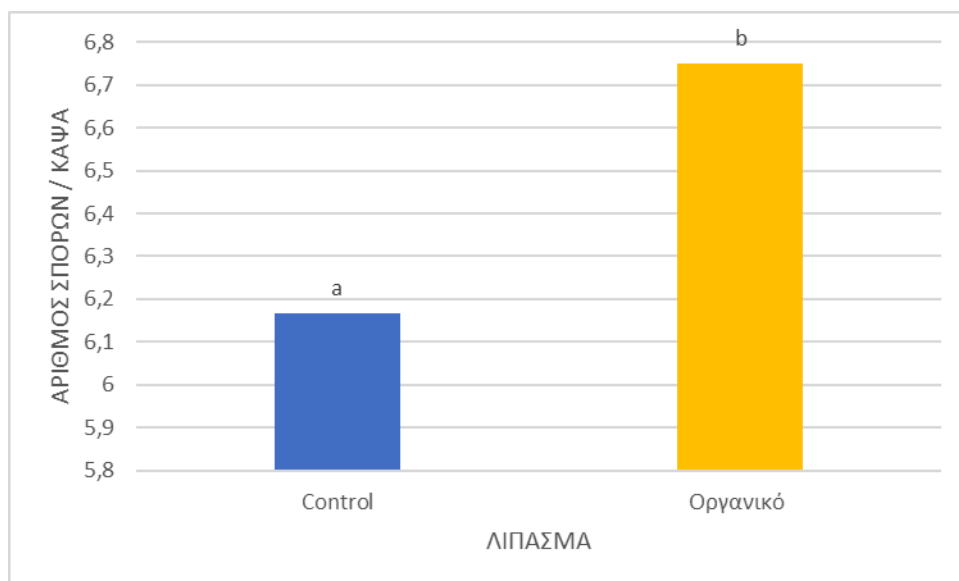
Το ποσοστό των καψών που δεν γέμισαν και τελικά έπεσαν από το φυτό διέφερε στατιστικά σημαντικά μεταξύ των επεμβάσεων της αλατότητας. Πιο συγκεκριμένα με την προσθήκη άλατος το ποσοστό αυτό αυξήθηκε. Αντίθετα, η οργανική λίπανση δεν επηρέασε αυτό το ποσοστό.

Αριθμός σπόρων ανά κάψα

Πίνακας 22: Ανάλυση διασποράς για τον αριθμό των σπόρων ανά κάψα σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=0,05$. (Οι αριθμοί με έντονη γραφή σηματοδοτούν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές)

	BE	AT	MT	F	P
Αλατότητα	3	49,792	16,597	9,264	<0,001
Λίπανση	1	2,042	2,042	1,14	0,302
Αλατότητα X λίπανση	3	7,458	2,486	1,388	0,283
Υπόλοιπο	16	28,667	1,792		
Σύνολο	23	87,958	3,824		





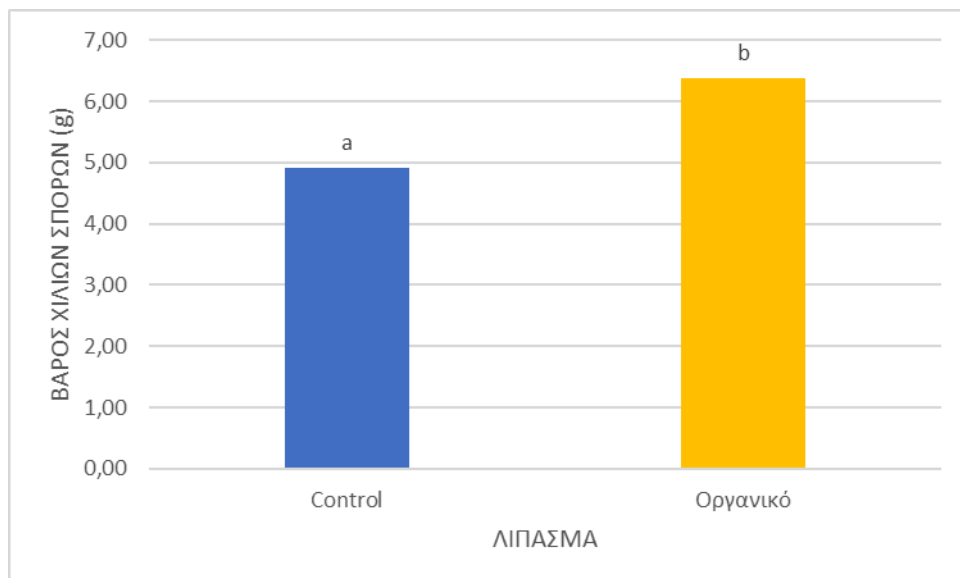
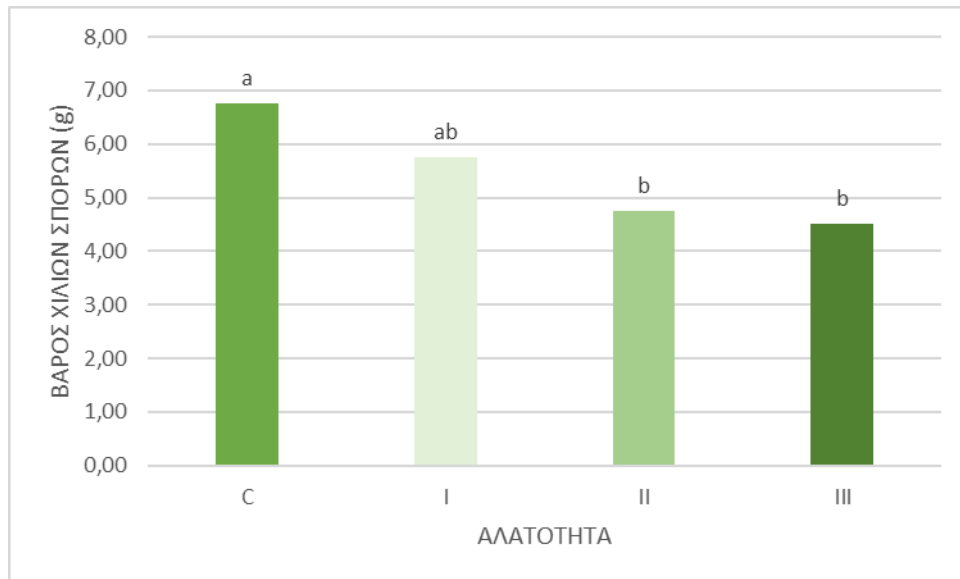
Διάγραμμα 20: Επίδραση των παραγόντων του πειράματος στον αριθμό των σπόρων ανά κάψα στις 109 ΗΑΣ. Τα διαφορετικά γράμματα σηματοδοτούν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Η ένδειξη "ns" υποδηλώνει τις μη στατιστικά σημαντικές διαφορές

Ο αριθμός των σπόρων ανά κάψα διέφερε στατιστικά σημαντικά μεταξύ των επεμβάσεων του πειράματος. Η προσθήκη αλατιού έδειξε να μειώνει τον αριθμό των σπόρων με κάψα με τις μικρότερες τιμές να σημειώνονται στην επέμβαση με την υψηλότερη αλατότητα. Η προσθήκη οργανικού λιπάσματος έδειξε να αυξάνει τον αριθμό των σπόρων ανά κάψα.

Βάρος Χιλίων Σπόρων

Πίνακας 23: Ανάλυση διασποράς για το βάρος χιλίων σπόρων (Οι αριθμοί με έντονη γραφή σηματοδοτούν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές)

	BE	AT	MT	F	P
Αλατότητα	3	9,531	3,177	8,971	0,001
Λίπανση	1	12,76	12,76	36,029	<0,001
Αλατότητα X λίπανση	3	1,781	0,594	1,676	0,212
Υπόλοιπο	16	5,667	0,354		
Σύνολο	23	29,74	1,293		



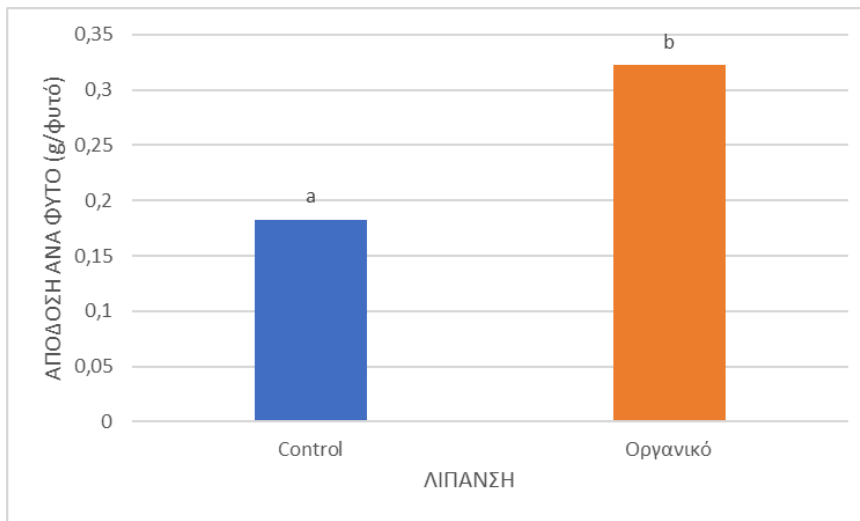
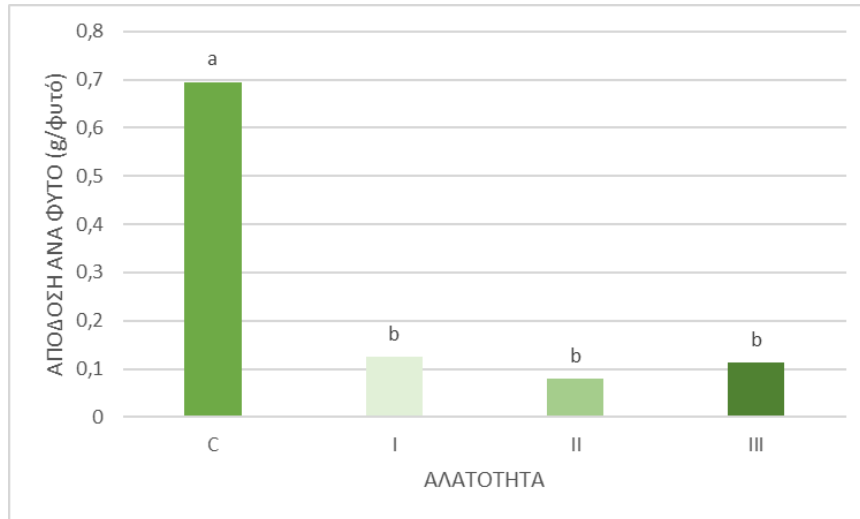
Διάγραμμα 21: Επίδραση των παραγόντων του πειράματος στο βάρος χιλίων σπόρων στις 109 ΗΑΣ. Τα διαφορετικά γράμματα σηματοδοτούν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Η ένδειξη "ns" υποδηλώνει τις μη στατιστικά σημαντικές διαφορές

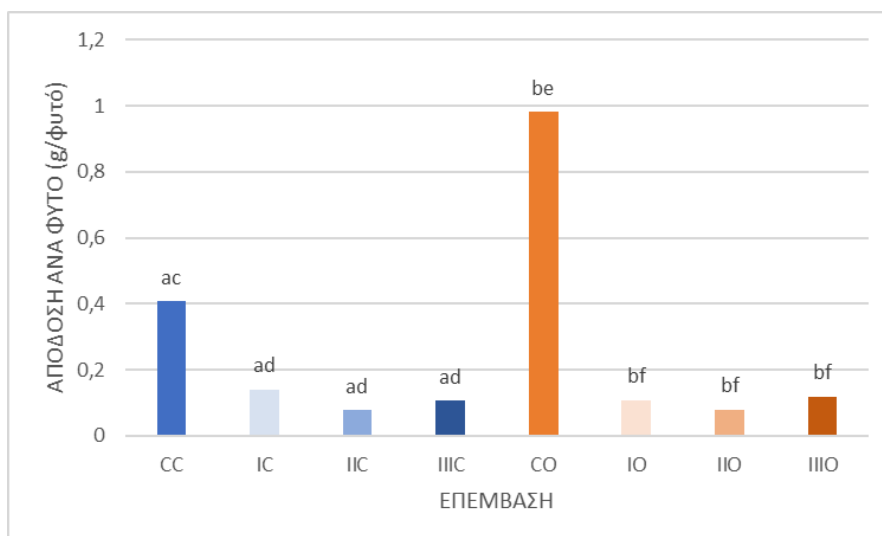
Το βάρος 1000 σπόρων εμφανίστηκε στατιστικά σημαντικό μεταξύ των παραγόντων του πειράματος. Η προσθήκη αλατιού έδειξε να μειώνει το βάρος σκληρών σπόρων, με αποτέλεσμα υψηλότερη τιμή να σημειώνεται στην επέμβαση του μάρτυρα. Παράλληλα ακόμα η προσθήκη οργανικού λιπάσματος, έδειξε να αυξάνει τις τιμές του βάρους κιλών σπόρων για την καλλιέργεια λιναριού.

Απόδοση σε σπόρο ανά φυτό

Πίνακας 24: Ανάλυση διασποράς για την απόδοση ανά φυτό (Οι αριθμοί με έντονη γραφή σηματοδοτούν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές)

	ΒΕ	ΑΤ	ΜΤ	F	P
Αλατότητα	3	1,58	0,527	44,355	<0,001
Λίπανση	1	0,117	0,117	9,839	0,006
Αλατότητα Χ Λίπανση	3	0,393	0,131	11,031	<0,001
Υπόλοιπο	16	0,19	0,0119		
Σύνολο	23	2,28	0,0991		





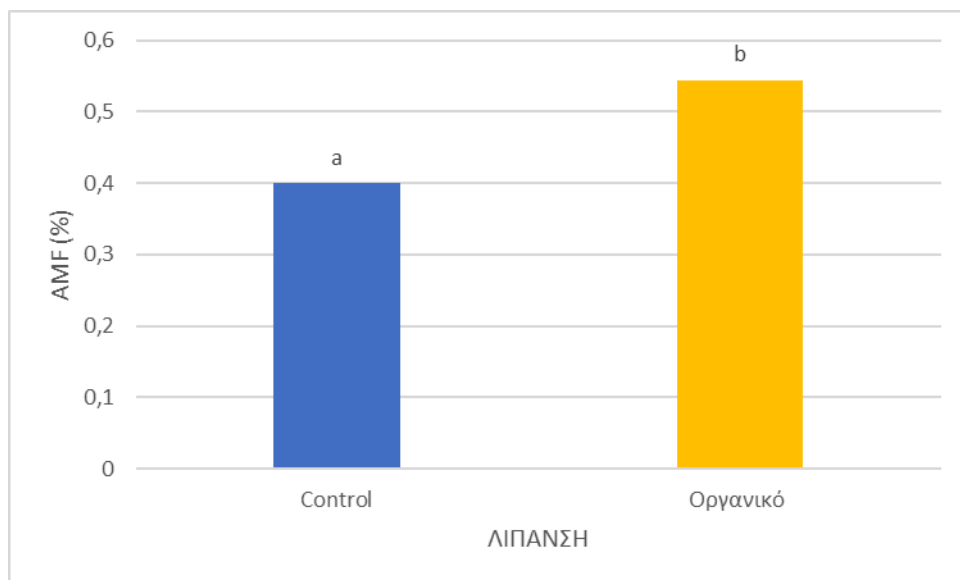
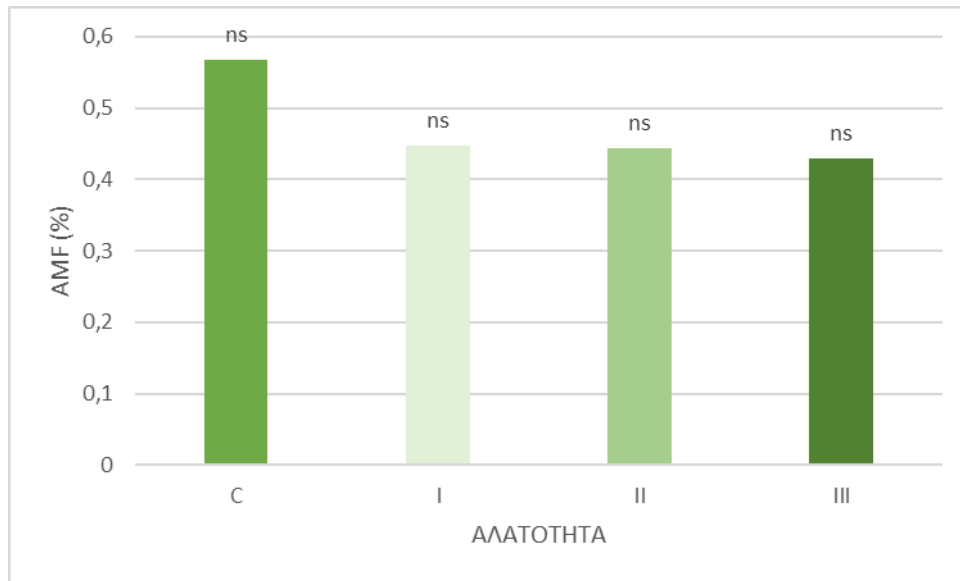
Διάγραμμα 22: Επίδραση των παραγόντων του πειράματος στην απόδοση των φυτών. Τα διαφορετικά γράμματα σηματοδοτούν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Η ένδειξη "ns" υποδηλώνει τις μη στατιστικά σημαντικές διαφορές

3.5. Αποτελέσματα μετρήσεων ρίζας

Ποσοστό αποικισμού με μυκόρριζες (AMF)

Πίνακας 25: Ανάλυση διασποράς για το ποσοστό αποικισμού σε μυκόρριζες (Οι αριθμοί με έντονη γραφή σηματοδοτούν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές)

	BE	AT	MT	F	P
Αλατότητα	1	0,126	0,126	4,786	0,444
Λίπανση	3	0,0745	0,0248	0,942	0,044
Αλατότητα X Λίπανση	3	0,339	0,113	4,281	0,021
Υπόλοιπο	16	0,422	0,0264		
Σύνολο	23	0,962	0,0418		



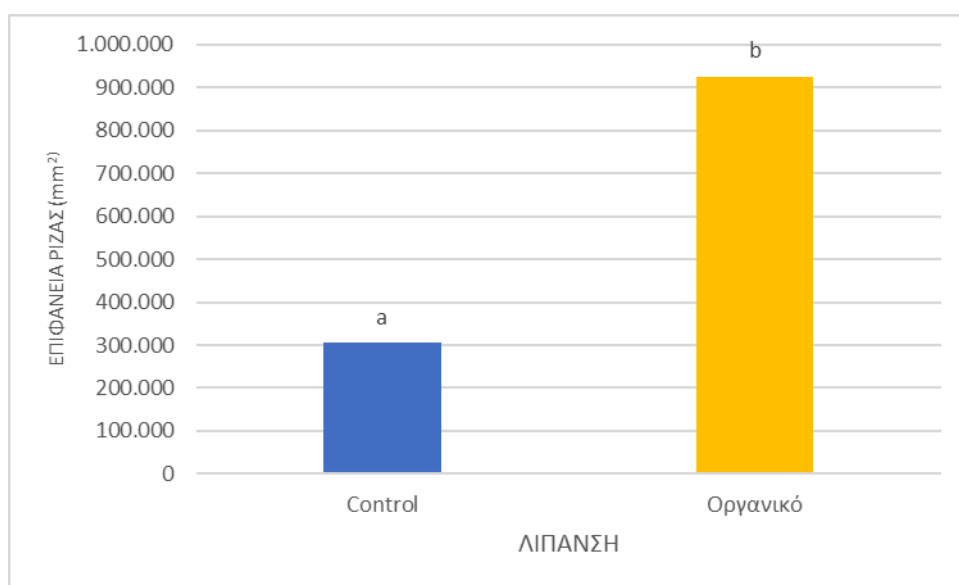
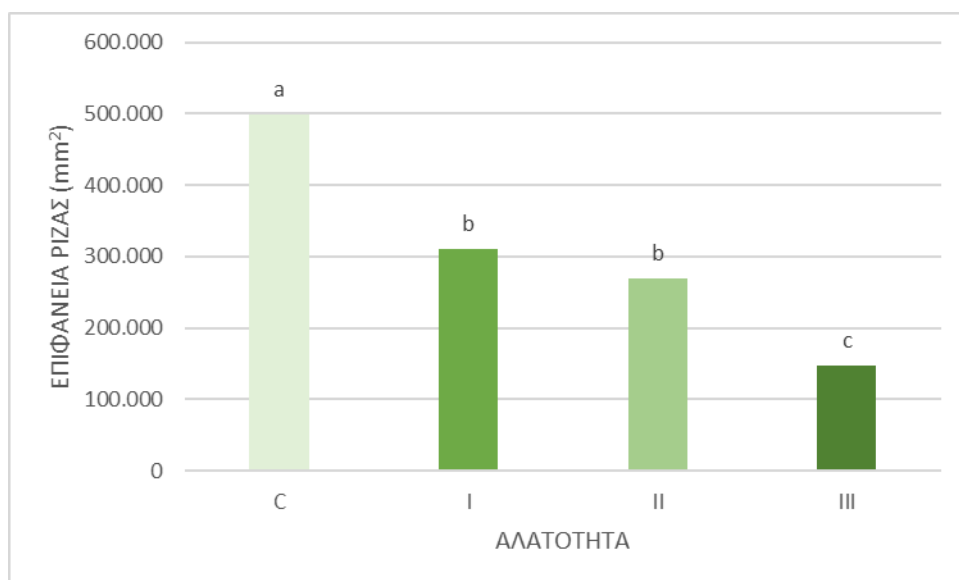
Διάγραμμα 23: Επίδραση των παραγόντων του πειράματος στο ποσοστό αποικισμού με μυκόρριζες. Τα διαφορετικά γράμματα σηματοδοτούν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Η ένδειξη "ns" υποδηλώνει τις μη στατιστικά σημαντικές διαφορές

Το ποσοστό αποικισμού της ρίζας με μυκόρριζες φάνηκε να διαφέρει στατιστικά σημαντικά μεταξύ του παράγοντα της λίπανσης τελικά η προσθήκη οργανικού λιπάσματος έδειξε να αυξάνει το συγκεκριμένο ποσοστό. Αντίθετα ακόμα ο παράγοντας της αλατότητας δεν εμφανίστηκε στατιστικά σημαντικός για τη μέτρηση του ποσοστού αποικισμού της ρίζας με μυκόρριζες.

Επιφάνεια ρίζας

Πίνακας 26: Ανάλυση διασποράς για την επιφάνεια ρίζας (Οι αριθμοί με έντονη γραφή σηματοδοτούν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές)

	BE	AT	MT	F	P
Αλατότητα	3	1345442 7	448480 9	(+inf)	<0,001
Λίπανση	1	2517842	251784 2	(+inf)	<0,001
Αλατότητα Χ Λίπανση	3	1661352 9	553784 3	(+inf)	<0,001
Υπόλοιπο	16	-1,5E-08	-9,3E-10		
Σύνολο	23	3258579 7	141677 4		



Διάγραμμα 24: Επίδραση των παραγόντων του πειράματος στην επιφάνεια της ρίζας. Τα διαφορετικά γράμματα σηματοδοτούν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Η ένδειξη "ns" υποδηλώνει τις μη στατιστικά σημαντικές διαφορές

Η επιφάνεια της ρίζας φάνηκε να διαφέρει στατιστικά σημαντικά μεταξύ των επεμβάσεων της οργανικής λίπανσης. Η χρήση οργανικού λιπάσματος έδειξε να αυξάνει την επιφάνεια της ρίζας, συνεπώς στην ανάπτυξη της ρίζας. Παράλληλα η επιφάνεια της ρίζας φάνηκε να διαφέρει στατιστικά σημαντικά μεταξύ των επεμβάσεων της αλατότητας. Η προσθήκη άλατος μείωσε τις τιμές της επιφάνειας της ρίζας, δηλαδή μείωσε την ανάπτυξη της ρίζας.

4. Συζήτηση

Το ύψος του φυτού επηρεάστηκε από τους παράγοντες του πειράματος. Όπως ήταν αναμενόμενο η προσθήκη λιπάσματος μικροοργανισμών ευνόησε την ανάπτυξη του φυτού και την αύξηση του ύψους του. Παράλληλα η προσθήκη αλατιού δεν επέτρεψε την ομαλή ανάπτυξη του φυτού. Αυτό ίσως να οφείλεται στην επίδραση της συγκέντρωσης της αλατότητας στην φωτοσυνθετική ικανότητα του φυτού και κατ' επέκταση στην ανάπτυξή του. Από την πρώτη μέτρηση προκύπτει πως το φυτό αύξησε το ύψος του απότομα στις επεμβάσεις της αλατότητας και πιο συγκεκριμένα στην προσθήκη της μεγαλύτερης αλατότητας. Αυτό είναι πιθανό να οφείλεται σε στρες που βίωσε το φυτό. Η χρήση λιπάσματος μικροοργανισμών βοήθησε στη

μείωση της επίδρασης της αλατότητας ακόμα όπως και τελικά φάνηκε από τις μετρήσεις του πειράματος.

Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης, συμφωνούν με εκείνα των Mathur et al. όπου αφορούσαν το φασόλι (*Vigna aconitifolia* L.), καθώς και των Jamil et al. για το ραπανάκι (*Raphanus sativus* L.). Επιπρόσθετα, φαίνεται να συμφωνούν με τα αποτελέσματα από την μελέτη των Begum et al. για τον αραβόσιτο (*Zea mays* L.) και των Bernardo et al. για το σιτάρι (*Triticum sp.* L), όπου ανέφεραν ότι η αύξηση των συγκεντρώσεων χλωριούχου νατρίου (NaCl) είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση του ύψους των φυτών.

Το ξηρό βάρος του φυτού επηρεάστηκε και από τους 2 παράγοντες, όπως φάνηκε από τις μετρήσεις. Αξίζει να σημειωθεί πως στις πρώτες μετρήσεις το ξηρό βάρος επηρεάστηκε μόνο από την οργανική λίπανση, πράγμα που ίσως οφείλεται στο γεγονός ότι η μικροοργανισμοί που περιείχε το λίπασμα βοήθησαν στον επαχθή η ανταρχή του φυτού στην αλατότητα. Στην τελευταία μέτρηση η αλατότητα φάνηκε να επηρεάζει το ξηρό βάρος του φυτού, με τις μικρότερες τιμές ξηρού βάρους να σημειώνονται τις επεμβάσεις που περιείχαν αλάτι. Το παραπάνω ίσως εξηγείται λόγω του ωσμωτικού στρες που δημιουργείται στο έδαφος και στη φύση της τοξικότητας από το αλάτι όπου οδηγεί στην απώλεια νερού από το φυτό και την αδυναμία πρόσληψης νερού από το έδαφος, όπου τελικά καταλήγει στη μειωμένη ανάπτυξη του φυτού.

Τα δεδομένα της παρούσας μελέτης φαίνεται να συμφωνούν με δεδομένα από άλλες μελέτες, όπου η αλατότητα επέδρασε στατιστικά σημαντικά στο ξηρό βάρος του φυτού. Ακόμα, μελέτες έδειξαν ότι η προσθήκη λιπάσματος μικροοργανισμών προωθεί την αντίσταση του φυτού στο ωσμωτικό στρες (Da Silva, et al., 2022).

Ο αριθμός των φύλλων, όμοια με τα προηγούμενα οργανωτικά χαρακτηριστικά φάνηκε να επηρεάζεται από την επέμβαση της αλατότητας ακόμα καθώς και από τον παράγοντα της λίπανσης. Για προσθήκη οργανικού λιπάσματος αυξήσει τις τιμές του αριθμού των φύλλων πράγμα που εξηγείται μέσω της αύξησης της ανάπτυξης του φυτού γενικότερα. Ακόμα ακόμα η προσθήκη αλατιού μείωσαν τον αριθμό των φύλλων, πράγμα που εξηγείται, λόγω της μείωσης της ανάπτυξης του φυτού.

Η περιεκτικότητα του φυτού σε χλωροφύλλη, καθώς και ο δείκτης NDVI επηρεάστηκαν και αυτοί με τη σειρά τους από τους παράγοντες του πειράματος.

Είναι λογικό να συμβαίνει αυτό ακόμα καθώς λόγω του ωσμωτικού στρες η ανάπτυξη του φυτού δεν είναι ίδια, με αποτέλεσμα οι δείκτες που αφορούν την ανάπτυξη του φυτού να εντοπίζουν την αδυναμία του φυτού να αναπτυχθεί σωστά. Παράλληλα ακόμα η χρήση οργανικού λιπάσματος μικροοργανισμών βοήθησε την ανάπτυξη του φυτού και την αντοχή στην αλατότητα. Αυτό μεταφράζεται και εν μέρει και μέσω των δεικτών, οι οποίοι έδωσαν υψηλότερες τιμές στις επεμβάσεις που χρησιμοποιήθηκε οργανικό λίπασμα.

Τα συγκεκριμένα αποτελέσματα φαίνεται να συμφωνούν με εκείνα που άλλες μελέτες όπου η χρήση δεικτών έδειξε την αδυναμία έντονες ανάπτυξης των φυτών σε περιβάλλοντα υψηλής αλατότητας (Giri, B. et al., 2003; Kakabouki et al., 2023).

Το βάρος 1000 σπόρων και η απόδοση επηρεάστηκαν στατιστικά σημαντικά από τους παράγοντες του πειράματος. Είναι λογικό, καθώς η αλατότητα φαίνεται να επιδρά πέραν της ανάπτυξης του φυτού, και στην απόδοση του κόμματος καθώς και στα γέμισμα από των σπόρων. Παράλληλα η προσθήκη λιπάσματος επάγει την αύξηση του φυτού και κατ'επέκταση την απόδοσή του. Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης φαίνεται να συμφωνούν με εκείνα από άλλες μελέτες προσθήκη λιπάσματος έφερε αύξηση στην ανάπτυξη και την απόδοση του φυτού (Kakabouki et al., 2023).

Όσον αφορά στο ριζικό σύστημα του φυτού, όπως είναι λογικό η αλατότητα επέφερε μείωση της ανάπτυξης της ρίζας και του ποσοστού αποικισμού με μυκόρριζες. Παράλληλα η χρήση οργανικού λιπάσματος μικροοργανισμών κατάφερε να βοηθήσει τη ρίζα να αυξηθεί περισσότερο, καθώς αύξησε και το ποσοστό αποικισμού της ρίζας με μυκόρριζες πράγμα που είναι απολύτως λογικό, λόγω και της φύσης του λιπάσματος μικροοργανισμών. Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης φαίνεται να συμφωνούν με εκείνα άλλων μελετών (Kakabouki et al., 2023).

	Αλατότητα	Λίπανση	Ύψος φυτού	Ξηρό βάρος	Αριθμός καψών	Σπόροι ανά κάψα	BXS
Αλατότητα	1,000	-0,000 ^{ns}	0,029 ^{ns}	-0,350 ^{ns}	-0,556**	-0,730***	-0,544**
Λίπανση		1,000	0,085 ^{ns}	0,215 ^{ns}	0,097 ^{ns}	0,152 ^{ns}	0,655**
Ύψος φυτού			1,000	0,490**	-0,261 ^{ns}	-0,008 ^{ns}	0,114 ^{ns}
Ξηρό βάρος				1,000	-0,059 ^{ns}	0,266 ^{ns}	0,265 ^{ns}
Αριθμός καψών					1,000	0,636**	0,408*
Σπόροι ανά κάψα						1,000	0,448*
BXS							1,000

5. Συμπέρασμα

Από τα ευρήματα της παρούσας μελέτης συμπεραίνεται ότι αλατότητα επιδρά στην ανάπτυξη και την απόδοση των φυτών. Παράλληλα ακόμα η χρήση λιπασμάτων που

περιέχουν μικροοργανισμούς μπορεί να μειώσει αυτό το πρόβλημα ακόμα προσδίδοντας, ίσως, αντοχή στα φυτά έναντι στην αύξηση της αλατότητας. Η αλατότητα είναι ένα θέμα το οποίο ολοένα και αυξάνεται. Όλο και περισσότερα εδάφη χαρακτηρίζονται ως αλατούχα. Αυτό πρέπει να αποτελέσει κίνητρο για περαιτέρω διερεύνηση της επίδρασης της αλατότητας στα φυτά, καθώς και τρόπους που μπορούν να προάγουν την αντοχή των φυτών έναντι στο συγκεκριμένο στρες. Η παρούσα μελέτη αποτελεί μια πρώτη προσέγγιση στο παρόν ζήτημα, ωστόσο περαιτέρω έρευνα είναι αναγκαία.

6. Βιβλιογραφία

Adorian, T. J., Pianesso, D., Bender, A. B. B., Speroni, C. S., Mombach, P. I., Kowalski, É. A., & da Silva, L. P. (2022). Fractionation of linseed and obtaining ingredients rich in protein and fibers: alternatives for animal feed. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 102(4), 1514-1521.

Adviento-Borbe, M. D. J., & Drijber, R. D. A. (2006). TECHNICAL REPORTS-Atmospheric Pollutants and Trace Gases-Soil Electrical Conductivity and Water Content Affect Nitrous Oxide and Carbon Dioxide Emissions in Intensively Managed Soils. *Journal of Environmental Quality*, 35(6), 1999-2010.

Akhtar, M. S., Chali, B., & Azam, T. (2013). Bioremediation of arsenic and lead by plants and microbes from contaminated soil. *Research in Plant Sciences*, 1(3), 68-73.

Akhtar, M. S., Shakeel, U., & SIDDIQUI, Z. A. (2010). Biocontrol of Fusarium wilt by *Bacillus pumilus*, *Pseudomonas alcaligenes* and *Rhizobium* sp. on lentil. *Turkish Journal of Biology*, 34(1), 1-7.

Akhtar, M. S., Siddiqui, Z. A., & Wiemken, A. (2011). Arbuscular mycorrhizal fungi and *Rhizobium* to control plant fungal diseases. *Alternative farming systems, biotechnology, drought stress and ecological fertilisation*, 263-292.

Andronov, E. E., Petrova, S. N., Pinaev, A. G., Pershina, E. V., Rakhimgalieva, S. Z., Akhmedenov, K. M., ... & Sergaliev, N. K. (2012). Analysis of the structure of microbial community in soils with different degrees of salinization using T-RFLP and real-time PCR techniques. *Eurasian soil science*, 45, 147-156.

Artyszak, A., & Gozdowski, D. (2020). Is it possible to replace part of the mineral nitrogen dose in maize for grain by using growth activators and plant growth-promoting rhizobacteria?. *Agronomy*, 10(11), 1647.

Begum, N.; Ahanger, M.A.; Su, Y.; Lei, Y.; Mustafa, N.S.A.; Ahmad, P.; Zhang, L. Improved drought tolerance by AMF inoculation in maize (*Zea mays*) involves physiological and biochemical implications. *Plants* 2019, 8, 579.

Bhaduri, D., Pal, S., Purakayastha, T. J., Chakraborty, K., Yadav, R. S., & Akhtar, M. S. (2015). Soil quality and plant-microbe interactions in the rhizosphere. *Sustainable Agriculture Reviews: Volume 17*, 307-335.

Bilalis, D. J., Karkanis, A., Papastylianou, P., Patsiali, S., Athanasopoulou, M., Barla, G., & Kakabouki, I. (2010). Response of Organic Linseed ('*Linum usitatissimum*'L.) to the Combination of Tillage Systems,(Minimum, Conventional and No-Tillage) and Fertilization Practices: Seed and Oil Yield Production. *Australian Journal of Crop Science*, 4(9), 700-705.

Bilalis, D., Karkanis, A., Pantelia, A., Patsiali, S., Konstantas, A., & Efthimiadou, A. (2012). Weed populations are affected by tillage systems and fertilization practices in organic flax ('*Linum usitatissimum* L.) crop. *Australian Journal of Crop Science*, 6(1), 157-163.

Bilalis, D., Roussis, I., Fuentes, F., Kakabouki, I., & Travlos, I. (2017). Organic agriculture and innovative crops under Mediterranean conditions. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 45(2), 323-331.

Bui EN (2017). Causes of soil salinization, sodification, and alkalization. *Oxford Research Encyclopedia of Environmental Science*.

Cahoon, E. B. (2003). Genetic enhancement of soybean oil for industrial uses: prospects and challenges.

Chhabra, R. (2017). *Soil salinity and water quality*. Routledge.

Da Silva, H.F.O.; Tavares, O.C.H.; da Silva, L.S.; Zonta, E.; da Silva, E.M.R.; Júnior, O.J.S.; Nobre, C.P.; Berbara, R.L.L.; García, A.C. Arbuscular mycorrhizal fungi and humic substances increased the salinity tolerance of rice plants. *Biocatal. Agric. Biotechnol.* 2022, 44, 102472.

Dubey, S., Bhargava, A., Fuentes, F., Shukla, S., & Srivastava, S. (2020). Effect of salinity stress on yield and quality parameters in flax (*Linum usitatissimum* L.). *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 48(2), 954.

European Commission, 2022: https://commission.europa.eu/index_en

FAOSTAT (2023): <https://www.fao.org/faostat/en/#home>

FAOSTAT, 2022: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/RL>

Ferreira, C. S., Seifollahi-Aghmiuni, S., Destouni, G., Ghajarnia, N., & Kalantari, Z. (2022). Soil degradation in the European Mediterranean region: Processes, status and consequences. *Science of the Total Environment*, 805, 150106.

Fred, O. T., Damilola, A. V., Ashonibare, A. A., Adenike, R., & Sylvia, T. O. E. (2022). Study of linseed oil, its biodiesel and xylene as flow improver for Nigerian waxy crude oils. *Petroleum Research*, 7(1), 138-143.

Gill, K. S. (1987). *Linseed*. Indian Council of Agricultural Research, New Delhi, India, pp. 386.

Giri, B.; Kapoor, R.; Mukerji, K.G. Influence of arbuscular mycorrhizal fungi and salinity on growth, biomass, and mineral nutrition of *Acacia auriculiformis*. *Biol. Fertil. Soils* 2003, 38, 170–175.

Gopi, G. K., Meenakumari, K. S., Anith, K. N., Nysanth, N. S., & Subha, P. (2020). Application of liquid formulation of a mixture of plant growth promoting rhizobacteria helps reduce the use of chemical fertilizers in *Amaranthus tricolor* L.). *Rhizosphere*, 15, 100212.

Gros, R., Poly, F., Jocteur Monrozier, L., & Faivre, P. (2003). Plant and soil microbial community responses to solid waste leachates diffusion on grassland. *Plant and Soil*, 255, 445-455.

Heller, K., Sheng, Q. C., Guan, F., Alexopoulou, E., Hua, L. S., Wu, G. W., ... & Fu, W. Y. (2015). A comparative study between Europe and China in crop management of two types of flax: linseed and fibre flax. *Industrial Crops and Products*, 68, 24-31.

Jamil, M.; Rehman, S.U.; Lee, K.J.; Kim, J.M.; Rha, H.K. Salinity reduced growth PS2 photochemistry and chlorophyll content in radish. *Sci. Agric.* 2007, 64, 111–118.

Jhala, A. J., & Hall, L. M. (2010). Flax (*Linum usitatissimum* L.): current uses and future applications. *Aust J Basic Appl Sci*, 4(9), 4304-12.

Kakabouki, I., Mavroeidis, A., Tataridas, A., Roussis, I., Katsenios, N., Efthimiadou, A., ... & Bilalis, D. (2021). Reintroducing Flax (*Linum usitatissimum*

L.) to the Mediterranean Basin: The Importance of Nitrogen Fertilization. *Plants*, 10(9), 1758.

Kakabouki, I., Stavropoulos, P., Roussis, I., Mavroeidis, A., & Bilalis, D. (2023). Contribution of Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) in Improving the Growth and Yield Performances of Flax (*Linum usitatissimum* L.) to Salinity Stress. *Agronomy*, 13(9), 2416.

Kapoor, K.; Srivastana, A. Assessment of salinity tolerance of *Vigna mungo* var. Pu-19 using ex vitro and in vitro methods. *Asian J. Biotechnol.* 2010, 2, 73–85.

Karg, S. (2011). New research on the cultural history of the useful plant *Linum usitatissimum* L.(flax), a resource for food and textiles for 8,000 years. *Vegetation History and Archaeobotany*, 20, 507-508.

Karydogianni, S., Roussis, I., Mavroeidis, A., Kakabouki, I., Tigka, E., Beslemes, D., ... & Bilalis, D. (2022). The influence of fertilization and plant density on the dry matter yield and quality of black mustard [*Brassica nigra* (L.) Koch]: An alternative forage crop. *Plants*, 11(20), 2683.

Khan, M. N., Siddiqui, M. H., Mohammad, F., Khan, M. M. A., & Naeem, M. (2007). Salinity induced changes in growth, enzyme activities, photosynthesis, proline accumulation and yield in linseed genotypes. *World J Agric Sci*, 3(5), 685-95.

Klein, J., Zikeli, S., Claupein, W., & Gruber, S. (2017). Linseed (*Linum usitatissimum*) as an oil crop in organic farming: abiotic impacts on seed ingredients and yield. *Organic agriculture*, 7(1), 1-19.

Kumar, V. V. (2016). Plant growth-promoting microorganisms: interaction with plants and soil. *Plant, Soil and Microbes: Volume 1: Implications in Crop Science*, 1-16.

Madhusudhan, B. Potential benefits of flaxseed in health and disease—A perspective. *Agric. Conspec. Sci.* 2009, 74, 67–72.

Mathur, N.; Singh, J.; Bohra, S.; Bohra, A.; Vyas, A. Biomass production, productivity and physiological changes in moth bean genotypes at different salinity levels. *Am. J. Plant Physiol.* 2006, 1, 210–213. [Google Scholar]

Morris, D. H. (2007). Focus: Flax—A health and nutrition primer. Flax Council of Canada.

Oren, A. (1999). Bioenergetic aspects of halophilism. *Microbiology and molecular biology reviews*, 63(2), 334-348.

Papadopoulos, A. N., & Hague, J. R. (2003). The potential for using flax (*Linum usitatissimum* L.) shiv as a lignocellulosic raw material for particleboard. *Industrial Crops and Products*, 17(2), 143-147.

Papadopoulos, G., Mavroeidis, A., Roussis, I., Kakabouki, I., Stavropoulos, P., & Bilalis, D. (2022). Evaluation of Tillage & Fertilization in *Carthamus tinctorius* L. using remote sensing. *Smart Agricultural Technology*, 100158.

Parihar, P., Singh, S., Singh, R., Singh, V. P., & Prasad, S. M. (2015). Effect of salinity stress on plants and its tolerance strategies: a review. *Environmental science and pollution research*, 22, 4056-4075.

Qadir M, Quillerou E, Nangia V, Murtaza G, Singh M, Thomas RJ, Drechsel P, Noble AD (2014) Economics of salt-induced land degradation and restoration. *Nat Res Forum* 38(4):282–295

Redondo-Gómez, S., Mesa-Marín, J., Pérez-Romero, J. A., López-Jurado, J., García-López, J. V., Mariscal, V., ... & Mateos-Naranjo, E. (2021). Consortia of Plant-Growth-Promoting Rhizobacteria isolated from halophytes improve response of eight crops to soil salinization and climate change conditions. *Agronomy*, 11(8), 1609.

Semeder, B., & Liljedahl, S. (1996). Market oriented identification of important properties in developing flax fibres for technical uses. *Industrial Crops and Products*, 5(2), 149-162.

Sh, S. M. (2014). Role of ascorbic acid and α tocopherol in alleviating salinity stress on flax plant (*Linum usitatissimum* L.). *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, 10(1), 93-111.

Soares, J. R., Cantarella, H., & de Campos Menegale, M. L. (2012). Ammonia volatilization losses from surface-applied urea with urease and nitrification inhibitors. *Soil biology and biochemistry*, 52, 82-89.

Stavropoulos, P., Mavroeidis, A., Papadopoulos, G., Roussis, I., Bilalis, D., & Kakabouki, I. (2023). On the path towards a “Greener” EU: A Mini review on Flax (*Linum usitatissimum* L.) as a Case Study. *Plants*, 12(5), 1102.

STAVROPOULOS, P., ROUSSIS, I., KAKABOUKI, I., MAVROEIDIS, A., ZOTOS, A., TRIANTAFYLLIDIS, V., ... & TSELA, A. (2022). Influence of Urea Fertilization with and without Inhibitors on Growth and Yield of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under Different Tillage Practices.

Tabassum, B., Khan, A., Tariq, M., Ramzan, M., Khan, M. S. I., Shahid, N., & Aaliya, K. (2017). Bottlenecks in commercialisation and future prospects of PGPR. *Applied Soil Ecology*, 121, 102-117.

Theodora, Y., & Piperis, S. (2022). Marine renewable energy perspectives in the Mediterranean region_ planning priorities in a climate neutrality era. *Ocean & Coastal Management*, 229, 106307.

Vaisey-Genser, M., & Morris, D. H. (2003). Introduction: history of the cultivation and uses of flaxseed. In *Flax* (pp. 13-33). CRC Press.

Valamoti, S. M. (2011). Flax in Neolithic and Bronze Age Greece: archaeobotanical evidence. *Vegetation History and Archaeobotany*, 20, 549-560.

Wichern, J., Wichern, F., & Joergensen, R. G. (2006). Impact of salinity on soil microbial communities and the decomposition of maize in acidic soils. *Geoderma*, 137(1-2), 100-108.

Wróbel, M., Zebrowski, J., & Szopa, J. (2004). Polyhydroxybutyrate synthesis in transgenic flax. *Journal of Biotechnology*, 107(1), 41-54.

Yadav, R. S., Meena, S. C., Patel, S. I., Patel, K. I., Akhtar, M. S., Yadav, B. K., & Panwar, J. (2012). Bioavailability of soil P for plant nutrition. *Farming for food and water security*, 177-200.

Yan, L., Chouw, N., & Jayaraman, K. (2014). Flax fibre and its composites—A review. *Composites Part B: Engineering*, 56, 296-317.

Yan, N., Marschner, P., Cao, W., Zuo, C., & Qin, W. (2015). Influence of salinity and water content on soil microorganisms. *International soil and water conservation Research*, 3(4), 316-323.

Zaman, M., Shahid, S. A., Heng, L., Shahid, S. A., Zaman, M., & Heng, L. (2018). Soil salinity: Historical perspectives and a world overview of the problem. Guideline for salinity assessment, mitigation and adaptation using nuclear and related techniques, 43-53.

Zuk, M., Szperlik, J., Hnitecka, A., & Szopa, J. (2019). Temporal biosynthesis of flavone constituents in flax growth stages. *Plant Physiology and Biochemistry*, 142, 234-245.

Ελληνική βιβλιογραφία

Δ. Παπακώστα – Τασοπούλου (2013). Βιομηχανικά φυτά Β' έκδοση

ΟΠΕΚΕΠΕ (2023): <https://www.opekepe.gr/>