

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**

**Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος**

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΔΑΦΟΛΟΓΙΑΣ**



**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**“ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΖΕΟΛΙΘΟΥ ΣΕ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟ ΜΕ ΟΡΓΑΝΙΚΗ ΚΑΙ ΑΝΟΡΓΑΝΗ ΛΙΠΑΝΣΗ  
ΣΤΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΘΡΕΠΤΙΚΩΝ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΚΡΙΘΑΡΙΟΥ”**

**ΜΠΑΙΡΑΜΗΣ ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ Α.Μ. 1799**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΑΝΤΩΝΙΑΔΗΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ**

**ΒΟΛΟΣ, ΙΟΥΝΙΟΣ 2021**

“Επίδραση του ζεόλιθου σε συνδυασμό με οργανική και ανόργανη λίπανση στα επίπεδα θρεπτικών του εδάφους σε καλλιέργεια κριθαριού ”

“Effect of zeolite in combination with organic and inorganic fertilization on soil nutrient levels in barley cultivation”

Μπαράμης Ευάγγελος

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή

Αντωνιάδης Βασίλειος (Επιβλέπων), Επίκουρος Καθηγητής Εφαρμοσμένης Εδαφολογίας, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής Και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Γκόλια Ευαγγελία (Μέλος), Χημικός, Γεωπόνος, Μ.Δ.Ε, Διδάκτορας Εδαφολογίας, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής Και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Δαναλάτος Νικόλαος (Μέλος), Καθηγητής Γεωργίας-Οικολογίας Φυτών Μεγάλης Καλλιέργειας, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής Και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στο σημείο αυτό θέλω να ευχαριστήσω από καρδιάς τον καθηγητή μου κ. Βασίλειο Αντωνιάδη Επίκουρο Καθηγητή Εφαρμοσμένης Εδαφολογίας του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, για την καθοδήγηση, την συμπαράσταση και τη βοήθεια καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της πτυχιακής διατριβής μου. Η επιστημονική και ηθική βοήθεια του, συντέλεσε καθοριστικά στην ολοκλήρωση της μελέτης αυτής.

Επίσης θέλω να ευχαριστήσω την κυρία Γκόλια Ευαγγελία, Χημικό, Γεωπόνο, Μ.Δ.Ε, Διδάκτορα Εδαφολογίας, στο Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής Και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας και τον κύριο Δαναλάτο Νικόλαο, Καθηγητή Γεωργίας-Οικολογίας Φυτών Μεγάλης Καλλιέργειας, στο Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής Και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας που συμμετέχουν στην τριμελή εξεταστική επιτροπή.

Τέλος θέλω να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και τους φίλους μου που με το κουράγιο και την ψυχολογική υποστήριξη που μου δώσανε κατάφερα να ολοκληρώσω την πτυχιακή διατριβή μου.

Βεβαιώνω ότι είμαι ο συγγραφέας αυτής της πτυχιακής εργασίας, η οποία εκπονήθηκε σύμφωνα με τον Κανονισμό Εκπόνησης Πτυχιακής Εργασίας του ΤΓΦΠΑΠ.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρακάτω εργασία έγινε με σκοπό να προσδιοριστεί η γονιμότητα του εδάφους σε μια καλλιέργεια κριθαριού με την προσθήκη σε αυτήν ποσότητα ζεόλιθου, οργανικής και ανόργανης λίπανσης. Για να προσδιοριστεί η θετικότητα ή αρνητικότητα της προσθήκης αυτής χρησιμοποιήθηκε, αγρός στο Χειμώνιου του Έβρου, όπου το διαχωρίστηκε σε 48 πειραματικά τεμάχια των 8 m<sup>2</sup> και έγιναν 4 επαναλήψεις για κάθε μεταχείριση. Ο πειραματικός σχεδιασμός έγινε ως εξής: Χωρίστηκαν σε Α) 24 πειραματικά τεμάχια (μάρτυρα, μία δόση ανόργανου λιπάσματος και 4 δόσεις ιλύος), Β) 24 πειραματικά τεμάχια (μάρτυρα, μία δόση ανόργανου λιπάσματος και 4 δόσεις ιλύος σε συνδυασμό με ζεόλιθο)\*. Ο συνδυασμός του θέματος με τον πειραματικό σχεδιασμό συνεπάγει ότι το πείραμα αναφέρεται στο Β\*. Τα συμπεράσματα που αποφάνθηκαν είναι ότι με την προσθήκη ζεόλιθου, οργανικής και ανόργανης λίπανσης σε καλλιέργεια κριθαριού αυξήθηκε η διαθεσιμότητα του φωσφόρου σε αντίθεση με του καλίου χωρίς όμως αυτό να επηρεάσει τη συγκέντρωση των θρεπτικών στους σπόρους του φυτού. Τέλος με την προσθήκη ζεόλιθου, οργανικής και ανόργανης λίπανσης παρατηρήθηκε ότι το pH και η ηλεκτρική αγωγιμότητα παρέμεινε σε σταθερά επίπεδα, αυξήθηκε η οργανική ουσία, το φώσφορο του εδάφους, η συγκέντρωση, των μετάλλων Mn και Zn, ενώ η συγκέντρωση των NO<sub>3</sub>-N, των μετάλλων Fe και Cu παρέμεινε σταθερή.



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	3
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	8
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	9
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....	12
1.1 Γονιμότητα εδάφους .....	12
1.2 Θρεπτικά συστατικά .....	14
1.2.1 Μακροθρεπτικά (N, P, K) και Μικροθρεπτικά (Mn, Fe, Cu, Zn) συστατικά.....	15
1.2.2 Πρόσληψη θρεπτικών ουσιών από τα φυτά .....	18
1.3 Ιλύς βιολογικών καθαρισμών, ανόργανα λιπάσματα, ζεόλιθος.....	19
1.3.1 Ιλύς βιολογικών καθαρισμών .....	19
1.3.1.1 Ιλύς βιολογικών καθαρισμών ως βιολογική πηγή για την αειφόρο γεωργία .....	21
1.3.2 Ανόργανα Λιπάσματα.....	22
1.3.3 Ζεόλιθος .....	23
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	25
2.1 Πειραματικός Σχεδιασμός.....	25
2.2 Μέθοδοι και αναλύσεις .....	25
2.2.1 Προσδιορισμός του pH .....	25
2.2.2 Προσδιορισμός της ηλεκτρικής αγωγιμότητας EC.....	25
2.2.3 Μέθοδος Olsen .....	25
2.2.4 DTPA .....	26
2.2.5 Προσδιορισμός του ανταλλάξιμου K.....	26
2.2.6 Προσδιορισμός της οργανικής ουσίας .....	27
2.2.7 Προσδιορισμός του P και K στο φυτό .....	27
2.2.8 Προσδιορισμός του NO <sub>3</sub> -N.....	28
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	29
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	41
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	42

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

- Εικόνα 1** Ένα σχήμα της κρίσιμης ζώνης της Γης και της πεδόσφαιρας: η πεδόσφαιρα είναι το λεπτό δέρμα του εδάφους στην επιφάνεια της Γης που αντιπροσωπεύει μια γεωμεμβράνη στην οποία το νερό και οι διαλυμένες ουσίες καθώς και η ενέργεια, τα αέρια, τα στερεά και οι οργανισμοί ανταλλάσσονται ενεργά με την ατμόσφαιρα, βιόσφαιρα, υδροσφαιρία και λιθόσφαιρα για να δημιουργήσουν ένα περιβάλλον διατήρησης της ζωής (Wilding & Lin, 2006).....12
- Εικόνα 2** Θρεπτικά συστατικά σε ξηρό φυτικό ιστό ..... 15
- Εικόνα 3** Ο ‘νόμος’ του ελαχίστου..... 18



## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

<b>Πίνακας 1</b> Βασικό στοιχείο, ρόλος στο φυτό και πηγή .....	16
<b>Πίνακας 2</b> Θρεπτικές μορφές που λαμβάνονται από τα φυτά .....	18
<b>Πίνακας 3</b> Αποτελεσματικές διεργασίες επεξεργασίας ιλύος (Usman et al., 2012) ..	20
<b>Πίνακας 4</b> Περιεκτικότητα σε οργανική ύλη και κύρια θρεπτικά συστατικά στην βιολογικών καθαρισμών (Usman et al., 2012). .....	21

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

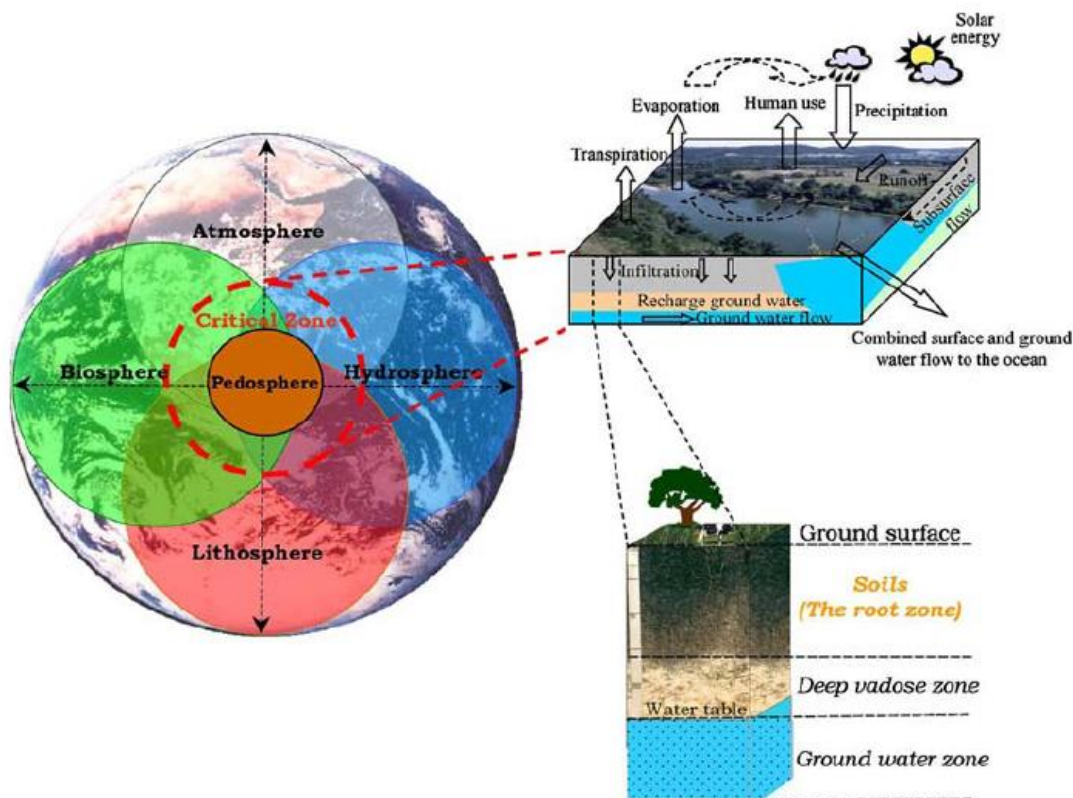
- Σχήμα 1** Τιμές του pH του εδάφους για τις διάφορες επεξεργασίες που εφαρμόστηκαν. C (μάρτυρας), χαμηλή προς ψηλότερη δόση λυματολάσπης (SS-1, SS-2, SS-3, SS-4), και ανόργανο λίπασμα (IF). ..... 29
- Σχήμα 2** Τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους EC για τις διάφορες επεξεργασίες που εφαρμόστηκαν. C (μάρτυρας), χαμηλή προς ψηλότερη δόση λυματολάσπης (SS-1, SS-2, SS-3, SS-4), και ανόργανο λίπασμα (IF). ..... 30
- Σχήμα 3** Επίδραση των διαφορετικών επεξεργασιών του εδάφους στη διαθεσιμότητά του σε φώσφορο που προσδιορίστηκε με τη μέθοδο Olsen. C (μάρτυρας), χαμηλή προς ψηλότερη δόση λυματολάσπης (SS-1, SS-2, SS-3, SS-4), και ανόργανο λίπασμα (IF). ..... 31
- Σχήμα 4** Επίδραση των διαφορετικών επεξεργασιών του εδάφους στη συγκέντρωση των νιτρικών ( $\text{NO}_3^-$ ) εκφρασμένα σε N στο έδαφος. C (μάρτυρας), χαμηλή προς ψηλότερη δόση λυματολάσπης (SS-1, SS-2, SS-3, SS-4), και ανόργανο λίπασμα (IF)... ..... 32
- Σχήμα 5** Επίδραση των διαφορετικών επεξεργασιών του εδάφους στη συγκέντρωση του ανταλλάξιμου καλίου (K) στο έδαφος. C (μάρτυρας), χαμηλή προς ψηλότερη δόση λυματολάσπης (SS-1, SS-2, SS-3, SS-4), και ανόργανο λίπασμα (IF). ..... 33
- Σχήμα 6** Επίδραση των διαφορετικών επεξεργασιών του εδάφους στη συγκέντρωση του εκχυλίσμου ιχνοστοιχείου Cu με διάλυμα DTPA. C (μάρτυρας), χαμηλή προς ψηλότερη δόση λυματολάσπης (SS-1, SS-2, SS-3, SS-4), και ανόργανο λίπασμα (IF)... ..... 34
- Σχήμα 7** Επίδραση των διαφορετικών επεξεργασιών του εδάφους στη συγκέντρωση του εκχυλίσμου ιχνοστοιχείου Fe με διάλυμα DTPA. C (μάρτυρας), χαμηλή προς ψηλότερη δόση λυματολάσπης (SS-1, SS-2, SS-3, SS-4), και ανόργανο λίπασμα (IF)... ..... 35
- Σχήμα 8** Επίδραση των διαφορετικών επεξεργασιών του εδάφους στη συγκέντρωση του εκχυλίσμου ιχνοστοιχείου Zn με διάλυμα DTPA. C (μάρτυρας), χαμηλή προς ψηλότερη δόση λυματολάσπης (SS-1, SS-2, SS-3, SS-4), και ανόργανο λίπασμα (IF)... ..... 36
- Σχήμα 9** Επίδραση των διαφορετικών επεξεργασιών του εδάφους στη συγκέντρωση του εκχυλίσμου ιχνοστοιχείου Mn με διάλυμα DTPA. C (μάρτυρας), χαμηλή προς ψηλότερη δόση λυματολάσπης (SS-1, SS-2, SS-3, SS-4), και ανόργανο λίπασμα (IF)... ..... 37
- Σχήμα 10** Επίδραση των διαφορετικών επεξεργασιών του εδάφους στη διαθεσιμότητά της οργανικής ύλης (OC%) στο έδαφος. C (μάρτυρας), χαμηλή προς ψηλότερη δόση λυματολάσπης (SS-1, SS-2, SS-3, SS-4), και ανόργανο λίπασμα (IF). ..... 38
- Σχήμα 11** Επίδραση των διαφορετικών επεξεργασιών του εδάφους στη συγκέντρωση του φωσφόρου (P) στο καλλιεργούμενο φυτό (κριθάρι). C (μάρτυρας), χαμηλή προς ψηλότερη δόση λυματολάσπης (SS-1, SS-2, SS-3, SS-4), και ανόργανο λίπασμα (IF)... ..... 39

**Σχήμα 12** Επίδραση των διαφορετικών επεξεργασιών του εδάφους στη συγκέντρωση του καλίου (K) στο καλλιεργούμενο φυτό (κριθάρι). C (μάρτυρας), χαμηλή προς ψηλότερη δόση λυματολάσπης (SS-1, SS-2, SS-3, SS-4), και ανόργανο λίπασμα (IF). ..... 40

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

### 1.1 Γονιμότητα εδάφους

Το έδαφος είναι ένα δυναμικό φυσικό σώμα που εμφανίζεται στο πάνω τμήμα της επιφάνειας της Γης. Το έδαφος αποτελεί θεμέλιο για τη χερσαία ζωή, και χαρακτηρίζεται από απaráμιλλη πολυπλοκότητα. Περιέχει μεταλλικά στοιχεία, οργανική ύλη, αμέτρητους αριθμούς οργανισμών, καθώς επίσης και ποικίλες ποσότητες αέρα και νερού που παρέχουν υποστήριξη στα έμβια όντα (Wilding & Lin, 2006).. Αυτό το βιολογικά ενεργό, δομημένο πορώδες μέσο, που ονομάζεται και πεδόσφαιρα, συμβάλλει στις περισσότερες από τις βιογεωφυσικές και χημικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ της γης, των επιφανειακών και υπογείων υδάτων της και της ατμόσφαιρας (Εικόνα 1). Το έδαφος είναι πραγματικό, μπορεί κανείς να το αγγίξει, να το αισθανθεί, να σταθεί σε αυτό, να το σκάψει, ωστόσο ο καθορισμός του είναι πολύ πιο πολύπλοκος. Έτσι οι ιδιότητες και η λειτουργία των εδαφών καθώς και η ταξινόμησή τους αποτελούν σημαντικό ερευνητικό περιεχόμενο για την επιστήμη του εδάφους.



**Εικόνα 1** Ένα σχήμα της κρίσιμης ζώνης της Γης και της πεδόσφαιρας: η πεδόσφαιρα είναι το λεπτό δέρμα του εδάφους στην επιφάνεια της Γης που αντιπροσωπεύει μια γεωμεμβράνη στην οποία το νερό και οι διαλυμένες ουσίες καθώς και η ενέργεια, τα αέρια, τα στερεά και οι οργανισμοί ανταλλάσσονται ενεργά με την ατμόσφαιρα, βιόσφαιρα, υδρόσφαιρα και λιθόσφαιρα για να δημιουργήσουν ένα περιβάλλον διατήρησης της ζωής (Wilding & Lin, 2006).

Είναι πολύ γνωστό ότι τα αμμώδη εδάφη είναι πολύ πιο εύκολο να παρασκευαστούν, αλλά οι αποδόσεις είναι πιο δύσκολο να διατηρηθούν, ενώ τα αργιλώδη εδάφη είναι δύσκολο να παρασκευαστούν, αλλά οι αποδόσεις είναι πολύ καλύτερες, όπου η διαφορά αυτής της ιδιότητας του εδάφους εκφράζεται με τη γονιμότητά του. Η γονιμότητα του εδάφους είναι μια συνήθης έννοια στην επιστήμη του εδάφους και είναι η συνάρτηση των ιδιοτήτων του εδάφους, συμπεριλαμβανομένων των θρεπτικών συστατικών του, της υγρασίας του, των μεταλλικών στοιχείων του, των οργανικών ουσιών του κλπ (Desbiez, Matthews, Tripathi, & Ellis-Jones, 2004). Ως εκ τούτου, η γονιμότητα του εδάφους είναι πολύ εκτεταμένη, και δε μπορεί να μετρηθεί άμεσα αλλά μπορεί να αξιολογηθεί από κάποιες άλλες ιδιότητες του εδάφους (Bautista-Cruz, Carrillo-Gonzalez, Arnaud-Vinas, Robles, & de Leon-Gonzalez, 2007).

Η ποσοτικοποίηση της γονιμότητας του εδάφους με ουσιαστικό τρόπο είναι πολύ προβληματική. Προκειμένου να εκτιμηθεί, μπορούν να διακριθούν τρία κύρια προβλήματα: i) Τι μετράμε; ii) Πώς ερμηνεύουμε τα δεδομένα; iii) Πώς μπορούμε να αντλήσουμε μια αναφορά σχετικά με τη γονιμότητα του εδάφους βάσει των δεδομένων; (Hartemink, 2016)

Αρκετές ιδιότητες του εδάφους είναι σημαντικές για τον προσδιορισμό της ενδογενούς γονιμότητας του εδάφους. Μια ιδιότητα είναι η προσρόφηση και η αποθήκευση θρεπτικών συστατικών στις επιφάνειες των σωματιδίων του εδάφους. Η ποσότητα των θρεπτικών κατιόντων που μπορεί να απορροφήσει το χώμα ονομάζεται ικανότητα κατιόντων ανταλλαγής. Τα εδάφη με υψηλή συγκέντρωση CEC δεν περιέχουν μόνο περισσότερα θρεπτικά συστατικά, αλλά είναι σε θέση να απομονώσουν ή να αποφύγουν τις ταχείες μεταβολές στα επίπεδα των θρεπτικών συστατικών του εδάφους με την αντικατάστασή τους. (Jones & Olson-Rutz, 2016).

Ανάλογα με την τοποθεσία του, ένα χώμα περιέχει κάποιον συνδυασμό άμμου, λάσπης, πηλού και οργανικής ύλης. Η σύνθεση ενός εδάφους (υφή του εδάφους) και η οξύτητά του (pH) καθορίζουν την έκταση στην οποία υπάρχουν θρεπτικά συστατικά για τα φυτά. Η υφή του εδάφους επηρεάζει πόσο καλά διατηρούνται τα θρεπτικά συστατικά και το νερό στο έδαφος (Dimkpa & Bindraban, 2016).

Το pH του εδάφους είναι μία από τις σημαντικότερες ιδιότητες του εδάφους που επηρεάζει τη διαθεσιμότητα θρεπτικών συστατικών (Nájera et al., 2015). Το ιδανικό pH του εδάφους είναι κοντά στο ουδέτερο. Τα περισσότερα φυτικά θρεπτικά συστατικά είναι βέλτιστα διαθέσιμα για τα φυτά εντός αυτής της περιοχής τιμών pH από 6,5 έως 7,5. Το εύρος αυτό του pH είναι γενικά πολύ συμβατό με την ανάπτυξη των ριζών των φυτών.

Η φαινόμενη ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους (ECa) είναι μια άλλη ιδιότητα εδάφους που σχετίζεται στενά με ορισμένες σημαντικές φυσικοχημικές ιδιότητες που επηρεάζουν την απόδοση της καλλιέργειας σε ένα ευρύ φάσμα εδαφών (Moral & Rebollo, 2017).

Συνεπώς, η μέτρηση του δυναμικού γονιμότητας του εδάφους δεν είναι εύκολη λόγω του γεγονότος ότι διάφορες μεταβλητές μπορούν να επηρεάσουν την ποσοτικοποίησή του. Η γονιμότητα του εδάφους επηρεάζεται από πολλές φυσικές και χημικές μεταβλητές του εδάφους, οι οποίες, με τη σειρά τους, εξαρτώνται από διάφορους τοπικούς παράγοντες, όπως οι κλιματολογικές συνθήκες. Ένα άλλο επιπλέον πρόβλημα είναι η σωστή επιλογή των μεταβλητών που μπορούν να χαρακτηρίσουν καλύτερα τη γονιμότητα του εδάφους. Αν ληφθούν υπόψη οι ιδιότητες της υφής του εδάφους, η CEC, το pH, η διαθεσιμότητα των βασικών θρεπτικών ουσιών και η φαινόμενη ηλεκτρική αγωγιμότητα (ECa), φαίνεται ότι μπορεί να ληφθεί μια ικανοποιητική προσέγγιση για το δυναμικό γονιμότητας του εδάφους (Moral & Rebollo, 2017). Ωστόσο, η γονιμότητα του εδάφους είναι μια πολύπλοκη ιδιότητα που δεν εκφράζεται κατάλληλα με ποσοτικό τρόπο.

## 1.2 Θρεπτικά συστατικά

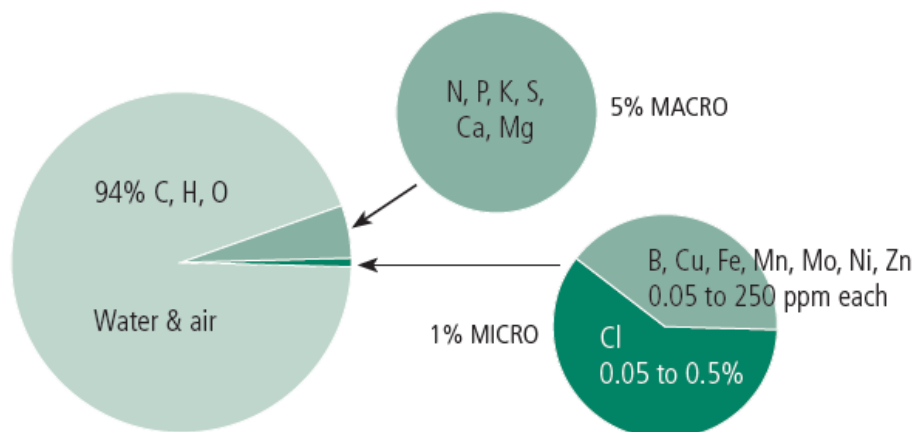
Η κατανόηση των αρχών της γονιμότητας του εδάφους είναι ζωτικής σημασίας για την αποτελεσματική διαχείριση των θρεπτικών συστατικών, την παραγωγή των φυτών, καθώς και την προστασία του περιβάλλοντος. Υπάρχουν 17 χημικά στοιχεία που είναι γνωστά ότι είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη των φυτών και 14 από αυτά προέρχονται από το έδαφος. Το φυτό χρειάζεται κάθε απαραίτητη φυτική θρεπτική ουσία σε διαφορετικές ποσότητες, οι οποίες ποικίλλουν ως προς την κινητικότητα εντός του φυτού και ως προς τη συγκέντρωση στα συστατικά που απομακρύνονται από την καλλιέργεια με τη συγκομιδή. Είναι χρήσιμο να γνωρίζουμε τη σχετική ποσότητα κάθε θρεπτικής ουσίας που απαιτείται από μια καλλιέργεια και τη σχέση με τις ποσότητες που έχουν αφαιρεθεί με συγκομιδή (Jones & Olson-Rutz, 2016).

Για να χαρακτηριστεί ως απαραίτητο, το στοιχείο πρέπει να πληροί τα ακόλουθα κριτήρια:

1. Το φυτό δεν μπορεί να ολοκληρώσει τον κύκλο ζωής του (σπόρος σε νέο σπόρο) χωρίς αυτό.
2. Η λειτουργία του στοιχείου δεν μπορεί να αντικατασταθεί από άλλο στοιχείο.
3. Το στοιχείο συμμετέχει άμεσα στην ανάπτυξη και την αναπαραγωγή του φυτού.

### Μη μεταλλικά θρεπτικά συστατικά

Τα τρία στοιχεία, ο άνθρακας (C), το υδρογόνο (H) και το οξυγόνο (O) είναι μη μεταλλικά θρεπτικά συστατικά επειδή προέρχονται από τον αέρα και το νερό και όχι από το έδαφος. Αν και αντιπροσωπεύουν περίπου το 95% της βιομάζας των φυτών, γενικά δίνεται ελάχιστη προσοχή στη διατροφή των φυτών, επειδή είναι πάντα σε επαρκή ποσότητα. Ωστόσο, άλλοι παράγοντες, όπως η διαχείριση του εδάφους και το περιβάλλον, μπορούν να επηρεάσουν τη διαθεσιμότητα και την απόκριση της καλλιέργειας (Εικόνα 2).



Εικόνα 2 Θρεπτικά συστατικά σε ξηρό φυτικό ιστό

### 1.2.1 Μακροθρεπτικά (N, P, K) και Μικροθρεπτικά (Mn, Fe, Cu, Zn) συστατικά

Τα 14 θρεπτικά συστατικά ορυκτών ταξινομούνται είτε ως μακροθρεπτικά συστατικά είτε ως μικροθρεπτικά συστατικά, ανάλογα με τις ανάγκες των φυτών και τη σχετική ανάγκη λίπανσης. Υπάρχουν έξι μακροθρεπτικά συστατικά: το άζωτο (N), ο φωσφόρος (P), το κάλιο (K), το ασβέστιο (Ca), το μαγνήσιο (Mg) και το θείο (S). Τα μακροθρεπτικά συστατικά, N, P και K, συχνά ταξινομούνται ως «πρωτογενή» μακροθρεπτικά συστατικά, επειδή η ανεπάρκεια των N, P και K είναι πιο κοινή από τα «δευτερογενή» μακροθρεπτικά συστατικά, Ca, Mg και S. Τα μικροθρεπτικά συστατικά περιλαμβάνουν το βόριο (B), το χλώριο (Cl), το χαλκό (Cu), το σίδηρο (Fe), το μαγγάνιο (Mn), το μολυβδαίνιο (Mo), το νικέλιο (Ni) και τον ψευδάργυρο (Zn). Τα περισσότερα από τα μακροθρεπτικά συστατικά αντιπροσωπεύουν το 0,1-5% ή 100-5000 μέρη ανά εκατομμύριο (ppm) του ξηρού φυτικού ιστού, ενώ τα μικροθρεπτικά συστατικά γενικά περιέχονται σε συγκέντρωση λιγότερο από 0,025% ή 250 ppm του ξηρού φυτικού ιστού (Πίνακας 1).

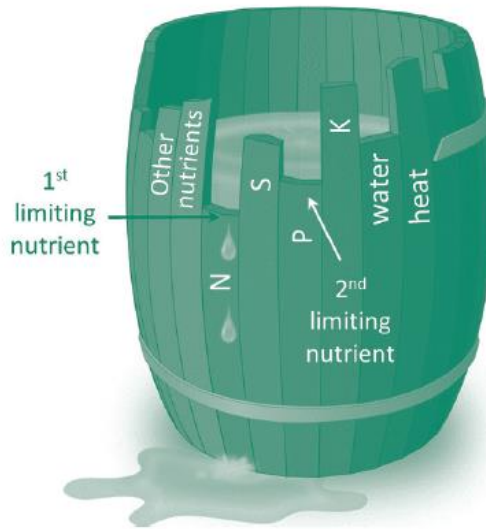
**Πίνακας 1** Βασικό στοιχείο, ρόλος στο φυτό και πηγή

Στοιχείο	Ρόλος στο φυτό	Πηγή	Συγκέντρωση
Άνθρακας (C)	Συστατικό των υδατανθράκων, απαραίτητο για τη φωτοσύνθεση	Αέρας	45%
Υδρογόνο (H)	Διατηρεί οσμωτική ισορροπία. σημαντικό σε πολλές βιοχημικές αντιδράσεις. συστατικό των υδατανθράκων	Νερό	6%
Οξυγόνο (O)	Συστατικό των υδατανθράκων, απαραίτητο για αναπνοή	Αέρας/Νερό	45%
Άζωτο (N)	Συστατικό των πρωτεϊνών, της χλωροφύλλης και των νουκλεϊνικών οξέων	Αέρας/ Έδαφος	1-5%
Φώσφορος (P)	Συστατικό πολλών πρωτεϊνών, συνενζύμων, νουκλεϊνικών οξέων και μεταβολικών υποστρωμάτων. σημαντικό στην ενέργεια	Έδαφος	0,1-0,5%
Κάλιο (K)	Συμμετέχει σε φωτοσύνθεση, μετατόπιση υδατανθράκων, σύνθεση πρωτεϊνών κλπ.	Έδαφος	0,5-1%
Ασβέστιο (Ca)	Ένα συστατικό των κυτταρικών τοίχων. παίζει ένα ρόλο στη δομή και τη διαπερατότητα των μεμβρανών	Έδαφος	0,1-0,4%
Μαγνήσιο (Mg)	Ενζυμικός ενεργοποιητής, συστατικό της χλωροφύλλης	Έδαφος	0,1-0,4%
Θείο (S)	Σημαντικό συστατικό των φυτικών πρωτεϊνών	Έδαφος	0,1-0,4%
Βόριο (B)	Πιστεύεται ότι είναι σημαντική στη μετατόπιση της ζάχαρης και στον μεταβολισμό των υδατανθράκων	Έδαφος	6-60 ppm
Χλώριο (Cl)	Συμμετέχει στην παραγωγή οξυγόνου στη φωτοσύνθεση	Έδαφος	0,01-0,1%
Χαλκός (Cu)	Καταλύτης για αναπνοή. ένα συστατικό	Έδαφος	5-20 ppm



	διαφόρων ενζύμων		
Σίδηρος (Fe)	Συμμετέχει στη σύνθεση χλωροφύλλης και σε ένζυμα για τη μεταφορά ηλεκτρονίων	Έδαφος	50-250 ppm
Μαγγάνιο (Mn)	Ελέγχει διάφορα συστήματα οξειδωσης-αναγωγής και φωτοσύνθεση	Έδαφος	20-200 ppm
Μολυβδαίνιο(Mo)	Συμμετέχει στη σταθεροποίηση του αζώτου και μετατρέπει το νιτρικό σε αμμώνιο	Έδαφος	0,05-0,2 ppm
Νικέλιο (Ni)	Απαραίτητο για την καλή λειτουργία του ενζύμου, ουρεάση, και κρίθηκε απαραίτητο στη βλάστηση των σπόρων	Έδαφος	0.1-1 ppm
Ψευδάργυρος (Zn)	Συμμετέχει σε ενζυμικά συστήματα που ρυθμίζουν διάφορες μεταβολικές δραστηριότητες	Έδαφος	25-150 ppm

Μια περιορισμένη προσφορά ενός από τα βασικά θρεπτικά συστατικά μπορεί να περιορίσει την απόδοση της καλλιέργειας, αν και άλλοι παράγοντες όπως η θερμοκρασία ή το νερό μπορεί επίσης να περιοριστούν την απόδοση παραγωγής. Η έννοια ότι ένας παράγοντας θα περιορίσει γενικά την απόδοση ή τον «νόμο του ελαχίστου», απεικονίζεται στην Εικόνα 3, όπου το ύψος του νερού στο βαρέλι αντιπροσωπεύει την απόδοση των καλλιεργειών. Σε αυτό το σχήμα το N είναι αρχικά ο παράγοντας που περιορίζει την απόδοση, αλλά μετά την παροχή σε N, τα επίπεδα φωσφόρου (P) ελέγχουν την απόδοση (Jones & Olson-Rutz, 2016).



**Εικόνα 3** Ο ‘νόμος’ του ελαχίστου.

### 1.2.2 Πρόσληψη θρεπτικών ουσιών από τα φυτά

Κάθε θρεπτική ουσία δεν μπορεί να απορροφηθεί από τα φυτά σε στοιχειακή μορφή, αλλά αντίθετα απορροφάται σε «ιοντική» ή φορτισμένη μορφή, με εξαίρεση το Β ως βορικό οξύ το οποίο είναι μη φορτισμένο (Πίνακας 2). Τα περισσότερα λιπάσματα αποτελούνται από το συνδυασμό αυτών των διαθέσιμων θρεπτικών μορφών, οπότε όταν το λίπασμα διαλύεται, τα θρεπτικά συστατικά μπορούν να είναι άμεσα διαθέσιμα για πρόσληψη. Γνωρίζοντας ποια μορφή θρεπτικής ουσίας απορροφά το φυτό βοηθά στον καλύτερο έλεγχο της κυκλοφορία και της κινητικότητας αυτής της θρεπτικής ουσίας στο έδαφος. Επιπλέον, η κατανόηση των θρεπτικών λειτουργιών και της κινητικότητας μέσα στο φυτό είναι χρήσιμες στη διάγνωση ενδεχόμενων ανεπαρειών σε αυτές τις θρεπτικές ουσίες (Dimkpa & Bindraban, 2016).

**Πίνακας 2** Θρεπτικές μορφές που λαμβάνονται από τα φυτά

Στοιχείο	Μορφή
Άζωτο (N)	$\text{NO}_3^-$ , $\text{NH}_4^+$
Φώσφορος (P)	$\text{H}_2\text{PO}_4^-$ , $\text{HPO}_4^{2-}$
Κάλιο (K)	$\text{K}^+$

Ασβέστιο (Ca)	Ca <sup>2+</sup>
Μαγνήσιο (Mg)	Mg <sup>2+</sup>
Θείο (S)	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>
Βόριο (B)	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> BO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Χλώριο (Cl)	Cl <sup>-</sup>
Χαλκός (Cu)	Cu <sup>2+</sup>
Σίδηρος (Fe)	Fe <sup>+2</sup> , Fe <sup>+3</sup>
Μαγγάνιο (Mn)	Mn <sup>2+</sup>
Μολυβδαίνιο (Mo)	MoO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>
Νικέλιο (Ni)	Ni <sup>+2</sup>

Η πρόσληψη θρεπτικών συστατικών από τις ρίζες εξαρτάται από τη δραστηριότητα της ρίζας, την ικανότητα απορρόφησης θρεπτικών συστατικών και τη συγκέντρωση θρεπτικών ουσιών στην επιφάνεια της ρίζας. Οι ρίζες έρχονται απευθείας σε επαφή με ορισμένα θρεπτικά συστατικά καθώς αναπτύσσονται. Ωστόσο, αυτό αντιπροσωπεύει μόνο ένα πολύ χαμηλό ποσοστό της συνολικής ποσότητας των θρεπτικών ουσιών που λαμβάνονται από τα φυτά. Ως εκ τούτου, άλλοι μηχανισμοί πρέπει να προκαλέσουν την κίνηση των θρεπτικών συστατικών στο φυτό.

### 1.3 Ιλύς βιολογικών καθαρισμών, ανόργανα λιπάσματα, ζεόλιθος

#### 1.3.1 Ιλύς βιολογικών καθαρισμών

Υπάρχει μια ενδιαφέρουσα τάση στη γεωργική εφαρμογή της ιλύος βιολογικών καθαρισμών λόγω της δυνατότητας ανακύκλωσης πολύτιμων συστατικών: οργανική ύλη, N, P και άλλα φυτικά συστατικά. Ο χαρακτηρισμός της ιλύος βιολογικών καθαρισμών είναι εξαιρετικά σημαντικός πριν από τη διάθεσή της ή την εφαρμογή στην αγροτική γη, επειδή υπάρχει κίνδυνος συσσώρευσης τοξικών στοιχείων στο έδαφος (Obrador, Mingot, Rico, & Alvarez, 1997). Επιπλέον, υπάρχει πιθανός κίνδυνος για την υγεία λόγω παθογόνων παραγόντων. Η περιεκτικότητα της ιλύος βιολογικών καθαρισμών εξαρτάται από το αρχικό φορτίο ρύπανσης του επεξεργασμένου νερού, τη διαδικασία επεξεργασίας που εφαρμόζεται στα λύματα και την ιλύ (Alvarez, Mochon, Sanchez, & Rodriguez, 2002). Η επεξεργασία της ιλύος επηρεάζει τη

σύνθεσή της. Παραδείγματα αποτελεσματικών διεργασιών επεξεργασίας ιλύος παρουσιάζονται στον Πίνακα 5 (Usman et al., 2012).

**Πίνακας 3** Αποτελεσματικές διεργασίες επεξεργασίας ιλύος (Usman et al., 2012)

<b>Διεργασία</b>	<b>Περιγραφή</b>
Παστερίωση Ιλύος	Ελάχιστο 30 min στους 70 ° C ή τουλάχιστον 4 h στους 55 ° C (ή στις κατάλληλες ενδιάμεσες συνθήκες), ακολουθούμενο σε όλες τις περιπτώσεις με πρωτογενή μεσοφιλική αναερόβια χώνευση.
Μεσοφιλική αναερόβια πέψη	Μέση περίοδος διατήρησης τουλάχιστον 12 ημερών πρωτογενούς πέψης σε θερμοκρασία 35 °C ± 3 ° C, ακολουθούμενη σε κάθε περίπτωση από δευτερεύον στάδιο που παρέχει μέση περίοδο συγκράτησης τουλάχιστον 14 ημερών
Θερμοφιλική αερόβια πέψη	Μέση περίοδος διατήρησης τουλάχιστον διάρκειας 7 ημερών. Όλες οι λάσπες υποβάλλονται σε θερμοκρασία τουλάχιστον 55 ° C για περίοδο τουλάχιστον 4 h.
Κομποστοποίηση	Το λίπασμα πρέπει να διατηρείται στους 40 °C για τουλάχιστον 5 ημέρες και για 4 h κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου σε τουλάχιστον 55 °C ακολουθούμενο από μια περίοδο ωρίμανσης επαρκή για να εξασφαλιστεί ότι η αντίδραση κομποστοποίησης είναι ουσιαστικά πλήρης
Σταθεροποίηση της υγρής ιλύος	Προσθήκη ασβέστου για αύξηση του pH σε τιμή μεγαλύτερη από 12,0 και επαρκής για να εξασφαλιστεί ότι το pH δεν είναι μικρότερο από 12 για μια ελάχιστη περίοδο 2 h. Η ιλύς μπορεί στη συνέχεια να χρησιμοποιηθεί απευθείας.
Αποθήκευση υγρής ιλύος	Αποθήκευση ακατέργαστης υγρής ιλύος για ελάχιστη περίοδο 3 μηνών.
Αφυδάτωση και αποθήκευση	Προετοιμασία μη επεξεργασμένης ιλύος με ασβέστη ή άλλα πηκτικά που ακολουθείται από αφυδάτωση και αποθήκευση για ελάχιστη περίοδο 3 μηνών, εάν η ιλύς έχει υποβληθεί σε πρωτογενή μεσοφιλική αναερόβια χώνευση, η ελάχιστη περίοδος αποθήκευσης είναι 14 ημέρες

Η περιεκτικότητα της ιλύος βιολογικών καθαρισμών σε οργανικές ύλες και τα κύρια θρεπτικά συστατικά έχουν κατά μέσο όρο αρκετά υψηλές τιμές (Πίνακας 6). Αυτές είναι οι παράμετροι που θεωρούνται απαραίτητες για την ενίσχυση της γονιμότητας / ποιότητας του εδάφους και τη διατήρηση της παραγωγικότητάς του.

**Πίνακας 4** Περιεκτικότητα σε οργανική ύλη και κύρια θρεπτικά συστατικά στην βιολογικών καθαρισμών (Usman et al., 2012).

Παράγοντας γονιμότητας εδάφους	Περιεκτικότητα (mg/kg)
Οργανική ύλη	19.400-20.700
Ολικό άζωτο	15.400-19.200
Διαθέσιμο άζωτο	4.600-6.300
Διαθέσιμο φώσφορο	44-70
Διαθέσιμο κάλιο	288-410

#### *1.3.1.1 Ιλύς βιολογικών καθαρισμών ως βιολογική πηγή για την αειφόρο γεωργία*

Υπάρχει αυξανόμενο ενδιαφέρον για τη γεωργική εφαρμογή της ιλύος καθαρισμού λυμάτων που λαμβάνεται από μονάδες επεξεργασίας λυμάτων λόγω της δυνατότητας ανακύκλωσης πολύτιμων συστατικών όπως η οργανική ύλη, το άζωτο, το φώσφορο, το κάλιο και, σε μικρότερο βαθμό, το ασβέστιο, το θείο και το μαγνήσιο και άλλα φυτικά συστατικά. Δεδομένου ότι η ιλύς βιολογικών καθαρισμών περιέχει σημαντικές ποσότητες αζώτου και φωσφόρου, μπορεί να αποτελέσει μια αποτελεσματική γόνιμη αντικατάσταση για αυτά τα σημαντικά θρεπτικά συστατικά. Εκτός από αυτά τα χαρακτηριστικά, μπορεί να διατηρήσει την οργανική ύλη και να παράσχει μια ευκαιρία για την ευεργετική επαναχρησιμοποίηση της ως πόρου στη γεωργία και την αποκατάσταση, αντί της διάθεσής της. Επιπλέον, η οργανική ύλη στα εδάφη των ξηρών και των ημι-ξηρών περιοχών είναι χαμηλή λόγω της ταχείας οξείδωσης. Η διατήρηση επαρκούς περιεκτικότητας σε οργανικές ύλες είναι απαραίτητη για τη διατήρηση της γονιμότητας και της παραγωγικότητας του εδάφους. Η κομποστοποίηση της ιλύος βιολογικών καθαρισμών είναι ένας καλός τρόπος για τη μείωση της ποσότητας των αποβλήτων που παράγονται σε πυκνοκατοικημένες περιοχές και η αγρονομική χρήση του υλικού κομποστοποίησης είναι μια μέθοδος για την αύξηση της οργανικής ύλης. Οι διεργασίες κομποστοποίησης αναμένεται να μειώσουν τη διαθεσιμότητα μετάλλων σε τροποποιημένο έδαφος (Zheljazkov & Warm, 2004). Όπως

αναφέρθηκε και προηγουμένως, η χρήση ιλύος βιολογικών καθαρισμών έχει πολλά πλεονεκτήματα, συμπεριλαμβανομένης της παροχής πλήρους σειράς θρεπτικών ουσιών στο έδαφος, αύξηση του ευεργετικού οργανισμού του εδάφους, μείωση του φυτοπαθογόνου και βελτίωση της ικανότητας συγκράτησης ύδατος (Wells et al., 2000). Εκτός από αυτά τα πλεονεκτήματα, η ιλύς μπορεί να δημιουργήσει και να διατηρήσει υψηλότερα επίπεδα οργανικής ύλης στο έδαφος που θα επιλύσουν τον άνθρακα και θα μετριάσουν τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου.

### *1.3.2 Ανόργανα λιπάσματα*

Τα ανόργανα λιπάσματα περιλαμβάνουν διάφορους τύπους όπως τα λιπάσματα αζώτου, λιπάσματα από ανθρακικό κάλιο, λιπάσματα φωσφόρου, σύνθετα λιπάσματα και φύλλα.

Η κατηγορία των αζωτούχων λιπασμάτων περιλαμβάνει τα εξής (Chandini, Randeep, & Ravendra, 2019):

- ΖΑ (Zwavelnuur Ammonium) 20,5 έως 21% επίπεδο αζώτου
- Ουρία ή CO (NH<sub>2</sub>) 45-46% περιεκτικότητα σε άζωτο
- Νιτρικό νάτριο με 15% άζωτο
- Νιτρικό αμμώνιο ή NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> που είχε υψηλότερα επίπεδα αζώτου κατά 35%
- Η κατηγορία των φωσφορούχων λιπασμάτων περιλαμβάνει τα ακόλουθα:
- Υπερφωσφορικό (DS = διπλό υπερφωσφορικό) που έχει επίπεδα 30% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.
- Τριπλό υπερφωσφορικό (TS = τριπλό υπερφωσφορικό) 45% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Χρησιμοποιείται ευρύτερα από τους ανθρώπους.

Η κατηγορία των λιπασμάτων καλίου περιλαμβάνει τα ακόλουθα:

- Χλωριούχο κάλιο ή KCl που έχει συγκέντρωση 50% K<sub>2</sub>O
- Θεικό κάλιο με συγκέντρωση 50% K<sub>2</sub>O.

Η κατηγορία των σύνθετων λιπασμάτων περιλαμβάνει άζωτο, φώσφορο και κάλιο (NPK). Τα λιπάσματα αζώτου και φωσφόρου είναι απλά επειδή περιέχουν μόνο ένα είδος βασικών θρεπτικών στοιχείων ενώ το σύνθετο λίπασμα περιέχει περισσότερα από ένα είδος βασικών θρεπτικών ουσιών. Τα σύνθετα NPK λιπάσματα αποτελούνται από χλωριούχο κάλιο (KCl) δισόξινο φωσφορικό αμμώνιο (NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>) και νιτρικό αμμώνιο (NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>) (Cooke, 1982). Για παράδειγμα: το λίπασμα NPK 10-15-20 σημαίνει ότι περιέχει 10% άζωτο, 15% φώσφορο (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) και 20% κάλιο (K<sub>2</sub>O).

Μια άλλη μορφή είναι η κοπριά φύλλων η οποία δίνεται στα φυτά με ψεκασμό των φύλλων και απορροφώνται με όσμωση ή διάχυση μέσω των στομάτων τους. Παραδείγματα φυτικών λιπασμάτων είναι τα Wuxal, Bayrolan κα.

Υπάρχουν ορισμένα πλεονεκτήματα των ανόργανων λιπασμάτων τα οποία τα καθιστούν ισχυρό υποψήφιο για τη βελτίωση της γεωργικής παραγωγικότητας. Παρόλα τα οφέλη, υπάρχουν σοβαρά μειονεκτήματα των ανόργανων λιπασμάτων τα οποία προκαλούν λιγότερη επιθυμία για αυτά και μερικά από τα κύρια μειονεκτήματα είναι:

Τα ανόργανα λιπάσματα είναι καρκινογόνα: Σύμφωνα με το γραφείο προγραμμάτων των φυτοφαρμάκων του EPA, τα περισσότερα φυτοφάρμακα έχουν συστατικά που είναι γνωστό ότι προκαλούν καρκίνο. Τα οργανικά λιπάσματα είναι εγγυημένα ασφαλή για το περιβάλλον, το σώμα και δεν περιέχουν φυτοφάρμακα.

Προκαλούν ρύπανση των υδάτων: Τα ανόργανα λιπάσματα συσσωρεύουν άλατα που καταναλώνουν περισσότερη ενέργεια για να αντλούν νερό από το έδαφος και εάν υπάρχει βροχόπτωση αμέσως μετά την εφαρμογή τους, τα λιπάσματα ξεπλένονται και μπορούν να ρυπάνουν ρέματα, λίμνες και άλλα υδάτινες κοιλότητες. Μπορεί επίσης να απομακρύνεται από τη ριζική ζώνη του φυτού που μπορεί να εισέλθει μέσω των φυτών στην τροφική αλυσίδα και να συσσωρευτεί.

Προκαλεί ανισορροπία θρεπτικών συστατικών: Η απερίσκεπτη χρήση ανόργανων λιπασμάτων μπορεί να δημιουργήσει ανισορροπία θρεπτικών ουσιών που περιορίζει την πρόσληψη άλλων βασικών θρεπτικών συστατικών και προκαλούν οξύτητα του εδάφους και οδηγούν σε χαμηλές αποδόσεις. Σύμφωνα με τον Sharma (2017) υπάρχουν προβλήματα που προκύπτουν λόγω της συνεχούς χρήσης ανόργανων λιπασμάτων.

### 1.3.3 Ζεόλιθος

Ο ζεόλιθος εισήχθη για πρώτη φορά από έναν Σουηδό ορυκτολόγο, τον Cronstedt το 1756, με την ανακάλυψη του ορυκτού Stilbite (Nguyen & Tanner, 1998). Με θέρμανση αυτό το ορυκτό χάνει, και το ονόμασε "ζεόλιθο" από το ελληνικό "ζέο", που σημαίνει βράζω και τον 'λίθο', που είναι η πέτρα (Gruener, Ming, & Henderson, 2003). Από την ανακάλυψή τους, οι ζεόλιθοι είναι ένα από τα πιο άφθονα ορυκτά της γης που έχουν αναγνωρισθεί ως ξεχωριστή ομάδα ορυκτών. Μετά την ανακάλυψη των ζεόλιθων διεξήχθησαν εργασίες ανταλλαγής ιόντων, ενυδάτωσης και αφυδάτωσης. Οι ζεόλιθοι είναι αργιλο-πυριτικά ορυκτά που έχουν ιδιότητες μοριακού κόσκινου και αποτελούνται από  $\text{TO}_4$  τετράεδρα συνδεδεμένα με οξυγόνο που μοιράζεται το αρνητικό φορτίο που δημιουργείται από την παρουσία  $\text{AlO}_2^-$  το οποίο εξισορροπείται από κατιόντα που εξουδετερώνουν την ανεπάρκεια φορτίου. Αυτά τα κατιόντα περιλαμβάνουν: αλκάλια ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Rb}^+$ ,  $\text{Cs}^+$ ), αλκαλικές γαίες ( $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ),  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{H}_3\text{O}^+$  ( $\text{H}^+$ ),  $\text{TMA}^+$  (τετραμεθυλαμμώνιο) μεταλλικά ιόντα (Gruener et al., 2003). Μετά την ανακάλυψη των ζεολίθων, διεξήχθησαν μελέτες για να διερευνηθούν οι φυσικές και χημικές τους ιδιότητες. Το 1930 το "μοριακό κόσκινο" ήταν ένας όρος που εισήχθη για υλικά που επέδειξαν εκλεκτικές ιδιότητες προσρόφησης. Αυτά

τα υλικά περιέχουν άλλα στοιχεία εκτός από ή αντί του πυριτίου και του αλουμινίου. Στο παρελθόν ήταν γνωστές περιορισμένες κατηγορίες ζεολίθων, ωστόσο οι εργασίες των ερευνητών επικεντρώνονται σε διαφορετικές τάξεις ζεολίθων όπως πυριτικά άλατα, μεταλλοπυριτικά, μεταλλοαλουμινικά,  $AlPO_4$  και πυριτικά και μεταλλοαλουμινοφωσφορικά (S. Jakkula & Wani, 2018).

Στη γεωργία, οι ζεόλιθοι έχουν πολυάριθμες εφαρμογές, όπως λιπάσματα βραδείας απελευθέρωσης, ως προσροφητές βαρέων μετάλλων, ως εδαφοβελτιωτικά και ως υλικά για την αύξηση της αποτελεσματικότητας της χρήσης θρεπτικών ουσιών και νερού μαζί με την αύξηση της απόδοσης των καλλιεργειών. Τα εδάφη σε ολόκληρο τον κόσμο έχουν μολυνθεί με βαρέα μέταλλα (δηλ. Cu, Cd, Pb και Zn) και με ραδιονουκλίδια (δηλαδή  $^{134}Cs$ ,  $^{137}Cs$  και  $^{90}Sr$ ). Μελέτες έχουν δείξει ότι οι ζεόλιθοι χρησιμοποιούνται ευρέως στην πρόσληψη βαρέων μετάλλων. Υπήρξε σημαντική μείωση στο πρόσληψη μετάλλων από φυτά που έχουν αναπτυχθεί σε τροποποιημένα εδάφη ζεόλιθου. Στα άγονη εδάφη, μολυσμένα με βαρέα μέταλλα η προσθήκη ζεόλιθων εξάλειψε πλήρως τη φυτοτοξικότητα των μετάλλων και επιτράπηκε η δημιουργία βλάστησης (Vangronsveld, Sterckx, & Van Assche, 1995). Η απλή έννοια της χρήσης ζεόλιθων σε μολυσμένα με βαρέα μέταλλα εδάφη δείχνει ότι τα εδάφη αλκαλικοποιούνται και μπορούν να βοηθήσουν στη μείωση της μετακίνησης μετάλλων και της φυτοτοξικότητας. Όλα αυτά εξαρτώνται από την ικανότητα των ζεόλιθων για την ανταλλαγή ιόντων.

Συμπερασματικά, ο ζεόλιθος βοηθά στην διήθηση και κατακράτηση νερού στο έδαφος και δρα ως φυσικός παράγοντας διαβροχής λόγω των πορωδών ιδιοτήτων του και της τριχοειδούς αναρρόφησης που ασκεί. Για την επίτευξη λιγότερων ποσοτήτων λιπασμάτων με σκοπό την ίδια απόδοση ή για την ίδια ποσότητα λιπάσματος που διαρκεί περισσότερο και παράγουν υψηλότερες αποδόσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι ζεόλιθοι που διατηρούν τα θρεπτικά συστατικά στη ριζική ζώνη και μπορούν να καταναλωθούν από το φυτό όταν απαιτείται, γεγονός που οδηγεί σε αποτελεσματικότερη χρήση των N και K (Gamze Turan, 2007). Οι ζεόλιθοι είναι αποτελεσματικοί φορείς ζιζανιοκτόνων, μυκητοκτόνων και φυτοφάρμακων λόγω της υψηλής τους ικανότητας προσρόφησης και της υψηλής ικανότητας ανταλλαγής ιόντων (Khodaei-Joghan & Asilan, 2012).

#### 1.4 Σκοπός της εργασίας

Σκοπός της εργασίας είναι να προσεγγιστεί η γονιμότητα του εδάφους, σε καλλιέργεια κριθαριού αφού έχει γίνει προσθήκη ζεόλιθου, βιολογικής ιλύς και ανόργανης και οργανικής λίπανσης στο έδαφος κατά την διάρκεια ανάπτυξης του κριθαριού.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

### 2.1 Πειραματικός Σχεδιασμός

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε σε αγρό όπου καλλιεργήθηκε κριθάρι στον Χειμώνα του Έβρου, το οποίο χωρίστηκε σε 48 πειραματικά τεμάχια από τα οποία μας ενδιαφέρουν τα 24 στα οποία οι παρακάτω μεταχειρίσεις έχουν την προσθήκη του ζεόλιθου.

Μεταχειρίσεις των 24 πειραματικών τεμαχίων:

- C-Z: Μάρτυρας με την παροχή ζεόλιθου.
- IF-Z: Λίπασμα με το οποίο προστέθηκαν 24 λιπαντικές μονάδες N ( $\text{kg N στρ}^{-1}$ ).
- SS1-Z: Ιλύς βιολογικών καθαρισμών με την παροχή 6 λιπαντικών μονάδων N ( $\text{kg N στρ}^{-1}$ ) και προσθήκη ζεόλιθου.
- SS2-Z: Ιλύς βιολογικών καθαρισμών με την παροχή 12 λιπαντικών μονάδων N ( $\text{kg N στρ}^{-1}$ ) και προσθήκη ζεόλιθου.
- SS3-Z: Ιλύς βιολογικών καθαρισμών με την παροχή 18 λιπαντικών μονάδων N ( $\text{kg N στρ}^{-1}$ ) και προσθήκη ζεόλιθου.
- SS4-Z: Ιλύς βιολογικών καθαρισμών με την παροχή 24 λιπαντικών μονάδων N ( $\text{kg N στρ}^{-1}$ ) και προσθήκη ζεόλιθου.

### 2.2 Μέθοδοι και αναλύσεις

#### 2.2.1 Προσδιορισμός του pH

Για την μέτρηση pH ζυγίστηκαν 10 gr εδαφικού δείγματος 25ml, απιονισμένο H<sub>2</sub>O και έγινε ανακίνηση για 30 λεπτά σε φιαλίδια τύπου falcon των 50ml. Στη συνέχεια το δείγμα παρέμεινε σε κατάσταση ηρεμίας για μισή ώρα πριν να γίνει η μέτρηση με το πεχάμετρο.

#### 2.2.2 Προσδιορισμός της ηλεκτρικής αγωγιμότητας EC

Για την μέτρηση EC ζυγίστηκαν 10 gr εδαφικού δείγματος, 10ml απιονισμένο νερό και έγινε και ανακίνηση για 5 λεπτά σε φιαλίδια τύπου falcon των 50ml. Στη συνέχεια πάρθηκαν μετρήσεις στο αγωγιμόμετρο αναμένοντας κάθε φορά 4 λεπτά στο κάθε δείγμα.

#### 2.2.3 Μέθοδος Olsen

##### Διαδικασία εκχύλισης, ανάπτυξης χρώματος, και μέτρησης

**Εκχύλιση :** Ζυγίζουμε περίπου 1 gr εδάφους σε πλαστικά μπουκάλια 50 mL μετά προσθέτουμε 20 mL 0,5 M NaHCO<sub>3</sub> pH 8.5 και τέλος αναδεύουμε για μισή ώρα, και διηθούμε με διηθητικό χαρτί.

##### Ανάπτυξη χρώματος στο δείγμα

Αναπτύσσουμε κυανό χρώμα στο διήθημα ως εξής:

1. Λαμβάνουμε 5 mL εκχυλίσματος και τα βάζουμε σε ογκομετρική φιάλη 50 mL.
2. Έπειτα προσθέτουμε 5 mL Αντιδραστηρίου Β και το αναδεύουμε ελαφρά μέχρι να τελειώσει να βγάζει φυσαλίδες
3. Συμπληρώνουμε τη φιάλη μέχρι τη χαραγή με απιονισμένο H<sub>2</sub>O.
4. Περιμένουμε το λιγότερο 30 min, μέχρι να αναπτυχθεί το χρώμα.

#### **Ανάπτυξη χρώματος σε standard για τη δημιουργία καμπύλης βαθμολόγησης**

Σε ογκομετρικές φιάλες 25 mL , αναπτύσσουμε χρώμα σε διαλύματα γνωστής συγκέντρωσης, με σκοπό τη χάραξη της καμπύλης βαθμολόγησης.

Το εκχύλισμα, το μετρούμε σε φασματοφωτόμετρο σε μήκος κύματος 882 nm.

#### **Υπολογισμός αποτελεσμάτων**

Αφού σχηματίσουμε την καμπύλη βαθμονόμησης πρώτα, με τις τιμές που πήραμε από το φασματοφωτόμετρο, υπολογίζουμε την συγκέντρωση του φωσφόρου από την ένδειξη του οργάνου. Τέλος τύπος υπολογισμού της συγκέντρωσης του P στο έδαφος είναι:

$$P \text{ (mg kg}^{-1}\text{)} = 100 * (A/B)$$

Όπου A= ppm P στο εκχύλισμα (αυτό που μετράμε στο φασματοφωτόμετρο) και B= g εδάφους που χρησιμοποιήσαμε.

#### **2.2.4 DTPA**

Το διάλυμα DTPA παρασκευάζεται με την ανάμιξη 9,835 gr DTPA, 7,4gr CaCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O και 74.5 g τριαιθανολαμίνης σε 5L H<sub>2</sub>O. Το pH του διαλύματος ρυθμίζεται στην τιμή 7,3 με λίγες σταγόνες HCl.

Για την εκχύλιση ζυγίστηκαν 10g εδαφικού δείγματος σε φιάλη τύπου falcon των 30mL και προστέθηκαν με 20mL διαλύματος DTPA. Ακολούθησε ανακίνηση για 2 ώρες, φυγοκέντρωση και διήθηση του αιωρήματος για την παραλαβή του διαυγούς. Το εκχύλισμα κατόπιν μετρήθηκε σε ατομική απορρόφηση για ιχνοστοιχεία.

Οι υπολογισμοί γίνονται με τον ακόλουθο τύπο:

$$M = (\text{mL διαλύματος εκχύλισης}) * A/B \text{ mgkg}^{-1} \text{ εδάφους}$$

Όπου M είναι τα ιχνοστοιχεία που εκχυλίζονται (Fe, Ni, Mn, Zn, Cu κτλ.),

A η συγκέντρωση (mgL<sup>-1</sup>) που μετρείται στην ατομική απορρόφηση, και B το βάρος του εδάφους σε g.

#### **2.2.6 Προσδιορισμός του ανταλλάξιμου Κ**

##### Διαδικασία εκχύλισης

1. Ζυγίζουμε περίπου 2 gr εδάφους σε πλαστικά φιαλίδια 50 mL τύπου falcon.
2. προσθέτουμε 20 mL διαλύματος 1 N CH<sub>3</sub>COONH<sub>4</sub> pH=7.

3. Κάνουμε φορές αραιώση: παίρνουμε 2,5ml από το εκχύλισμα και τα μεταφέρουμε σε ογκομετρική φιάλη των 25 mL, την οποία συμπληρώνουμε μέχρι τη χαραγή με H<sub>2</sub>O. Αποθηκεύουμε σε πλαστικό φιαλίδιο τύπου falcon.

Το εκχύλισμα το μετρούμε σε φλογοφωτόμετρο.

### Υπολογισμός αποτελεσμάτων

Αφού σχηματίσουμε την καμπύλη βαθμονόμησης πρώτα, με τις που πήραμε από το φλογοφωτόμετρο, υπολογίζουμε την συγκέντρωση του καλίου από την ένδειξη του οργάνου. Τέλος τύπος υπολογισμού της συγκέντρωσης του K στο έδαφος είναι: (mg L<sup>-1</sup> του εκχυλίσματος) \* (20/B) \* N, όπου B = g εδάφους, και N = η αραιώση του εκχυλίσματος.

### 2.2.6 Προσδιορισμός της οργανικής ουσίας

Για τη μέτρηση της οργανικής ουσίας ζυγίζουμε αρχικά περίπου 0,5 g εδάφους (ακριβώς καταγεγραμμένα) σε ποτήρι ζέσεως των 50 mL και στη συνέχεια προσθέτουμε 10 mL K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> και 10 mL πυκνό H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Αφού αφήσουμε το διάλυμα για 30 λεπτά ώστε να γίνει η οξείδωση, κάνουμε διήθηση με 200 mL απιονισμένο νερό σε κωνική φιάλη των 1000 mL. Αφού ολοκληρωθεί η διήθηση, προσθέτουμε 10 mL πυκνό H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> και στη συνέχεια 5 σταγόνες δείκτη διφαινυλαμίνης. Κατόπιν ογκομετρούμε το διχρωμικό κάλιο που περίσσεψε από την οξείδωση της οργανικής ουσίας με διάλυμα 0,5 M που περιέχεται στην προχοΐδα. Η ογκομέτρηση ολοκληρώνεται όταν το διάλυμα μετατραπεί σταδιακά από σκούρο καφέ σε βαθύ μπλε και τελικά σε πράσινο χρώμα (Εικόνα 1). Τέλος, καταγράφουμε τα mL του FeSO<sub>4</sub> που καταναλώθηκαν για την αλλαγή του χρώματος του διαλύματος.

Ο οργανικός άνθρακας υπολογίζεται από τον τύπο: OC % = 0.195 x [(mL ογκομέτρηση λευκού – mL ογκομέτρηση δείγματος) / g δείγματος εδάφους]. Η οργανική ουσία υπολογίζεται ως εξής: OM % = OC / 0.58 γιατί θεωρούμε ότι το C αποτελεί το 58% της οργανικής ουσίας.

### 2.2.7 Προσδιορισμός του P και K στο φυτό

Η εκχύλιση της φυτομάζας γίνεται για να προσδιοριστεί η ποσότητα του P και του K.

Γίνεται καύση σε χωνευτήριο πορσελάνης, 0,5 g αλεσμένου φυτικού ιστού και στη συνέχεια καίγονται για 5 ώρες σε φούρνο, σε θερμοκρασία 500°C. Αφού γίνει η ψύξη των καψών αποτέφρωσης λαμβάνεται τέφρα σε συνδυασμό με 20 ml 20% HCL σε ογκομετρική φιάλη των 50 mL και έχει προστεθεί μέχρι την χαραγή απιονισμένο νερό, τότε αποθηκεύεται σε μπουκαλάκια τύπου falcon. Σε ογκομετρική φιάλη των 25 mL τοποθετούνται 1,25 mL (αραιώση x20) που πάρθηκαν από το πυκνό διάλυμα στο falcon των 50 mL. Με τη χρήση φλογοφωτόμετρου, μετράται το K. Το κάλιο προσδιορίζεται από τον τύπο:

$$K = A/B, \text{ mg kg}^{-1} \text{ φυτού}$$

- A: συγκέντρωση K σε mg L<sup>-1</sup>
- B: βάρος του εδάφους

## 2.2. Προσδιορισμός του NO<sub>3</sub>-N

### Παρασκευή διαλύματος KCl 2 M

Αφού ζυγίστηκαν 296 g KCl, τοποθετήθηκαν σε ογκομετρική φιάλη μαζί με 800 mL απιονισμένο νερό, ώστε να διαλυθούν. Κατόπιν, μεταφέρθηκε το διάλυμα σε ογκομετρική φιάλη χωρητικότητας 2 L και συμπληρώθηκε με απιονισμένο νερό έως τη χαραγή.

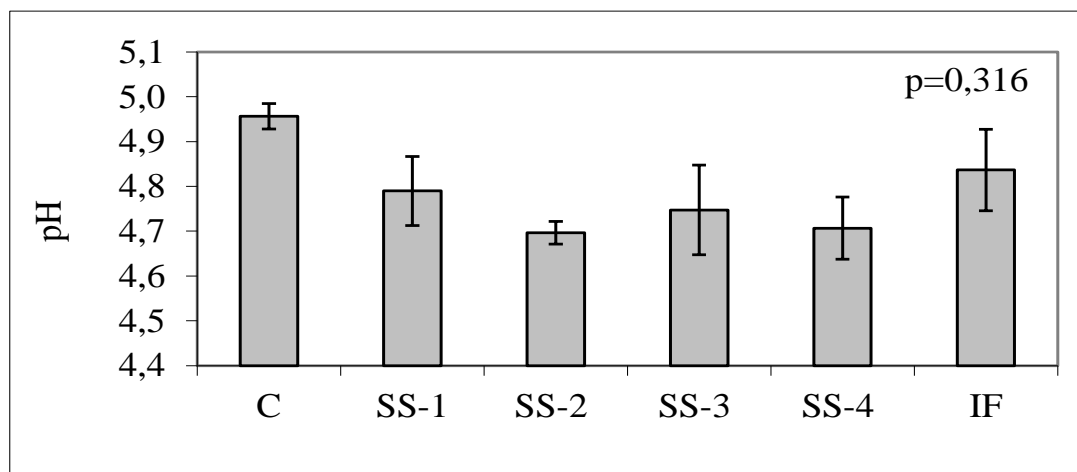
### Εκχύλιση εδαφικού διαλύματος

Εδαφικό δείγμα βάρους 2 g (ακριβώς καταγεγραμμένο) τοποθετήθηκε σε Falcon μαζί με 20 mL διαλύματος KCl 2 M και έπειτα ακολούθησε ανακίνηση για 2 ώρες. Μέτρηση

Τα δείγματα μετρήθηκαν σε φασματοφωτόμετρο στα 210 nm (UV) 270 nm (UV), κάνοντας χρήση των κυψελίδων χαλαζία. Κάθε μια μέτρηση, γινόταν μηδενισμός της ένδειξης του φασματοφωτόμετρο με τη χρήση απιονισμένου νερού. Αρχικά μετρήθηκαν τα γνωστά δείγματα κλιμακούμενης συγκέντρωσης νιτρικού αζώτου από 0-2 mg L<sup>-1</sup> για την χάραξη καμπύλης βαθμονόμησης. Έπειτα ακολούθησε η μέτρηση των δειγμάτων.

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

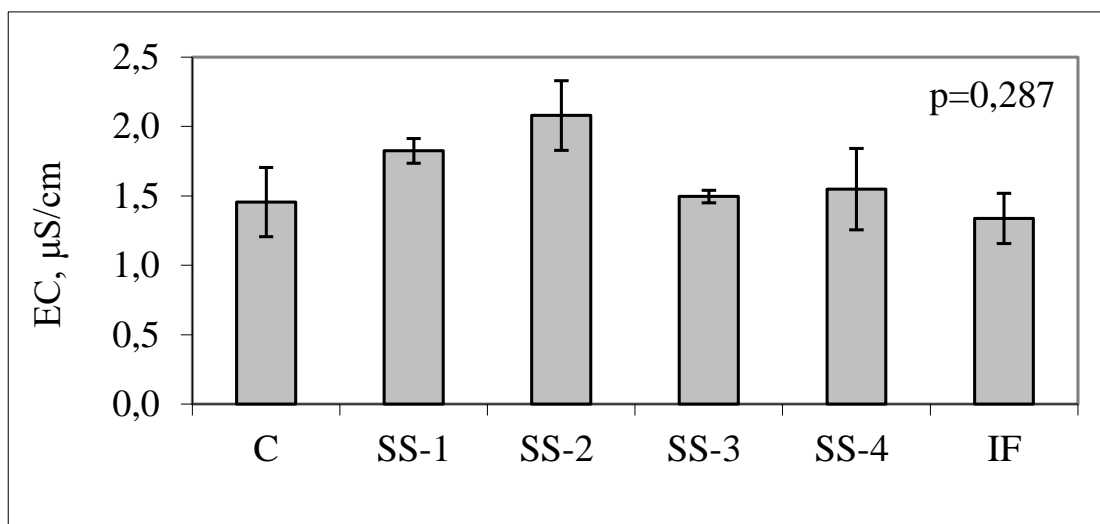
Η επίδραση του ζεόλιθου σε συνδυασμό με την οργανική (SS) και την ανόργανη (IF) λίπανση στις φυσικές ιδιότητες (pH, ηλεκτρική αγωγιμότητα) και στα επίπεδα θρεπτικών συστατικών του εδάφους (Cu, Zn, Fe, Mg) σε καλλιέργεια κριθαριού.



**Σχήμα 1** Τιμές του pH του εδάφους για τις διάφορες επεξεργασίες που εφαρμόστηκαν. C (μάρτυρας), χαμηλή προς ψηλότερη δόση λυματολάσπης (SS-1, SS-2, SS-3, SS-4), και ανόργανο λίπασμα (IF).

Στο Σχήμα 1 παρουσιάζονται οι τιμές του pH του εδάφους για τις διάφορες επεξεργασίες που εφαρμόστηκαν. Οι τιμές του pH του εδάφους κυμάνθηκαν από 4,70 έως 4,96 και δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των διαφορετικών επεξεργασιών του με χρήση ζεόλιθου σε συνδυασμό με οργανικό και ανόργανο λίπασμα.

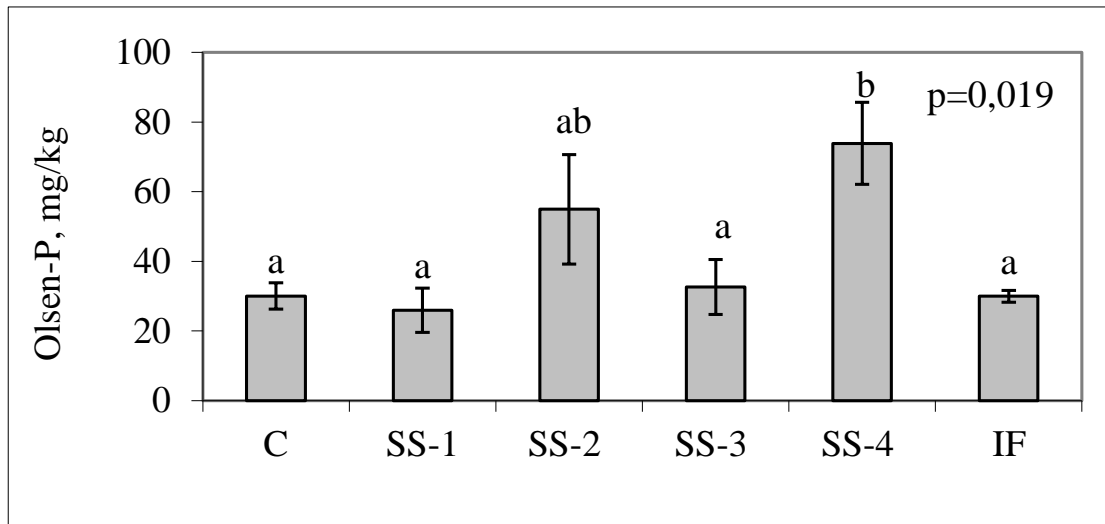
Οι ζεόλιθοι έχουν ιδιότητες που εξισορροπούνται από κατιόντα όπως το  $\text{NH}_4^+$ . Στην ιλύ ένα στοιχείο που την αποτελεί είναι το  $\text{NH}_4^+$ . Όπως αναφέρεται και σε ένα πείραμα που έγινε σε λύματα που έχουν περάσει από βιολογικό καθαρισμό σε αυτά, μια ουσία που περιείχαν τα λύματα είναι ανθρώπινα ούρα (άζωτο με την μορφή  $\text{NH}_4^+$ ). Αυτό είναι κάτι που βρήκαν οι Etter et al., 2011, σε συνδυασμό πως ο είναι ο πιο ευρέως μελετημένος και έχει καταδείξει υψηλή ικανότητα προσρόφησης για το  $\text{NH}_4^+$  που βρήκαν οι Huang et al., 2010 και οι Kithome et al., 1998. Με βάση αυτά συμπεραίνουμε ότι τα αμμωνιακά ιόντα απορροφήθηκαν από το ζεόλιθο και έτσι το pH έμεινε σταθερό.



**Σχήμα 2** Τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους EC για τις διάφορες επεξεργασίες που εφαρμόστηκαν. C (μάρτυρας), χαμηλή προς υψηλότερη δόση λυματολάσπης (SS-1, SS-2, SS-3, SS-4), και ανόργανο λίπασμα (IF).

Στο Σχήμα 2 παρουσιάζονται οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους EC για τις διάφορες επεξεργασίες που εφαρμόστηκαν. Οι τιμές του ηλεκτρικού αγωγιμόμετρο κυμάνθηκαν από 1,34 έως 2,08 μS/cm και αποδείχθηκε ότι η εφαρμογή διαφορετικών επεξεργασιών του εδάφους με χρήση ζεόλιθου σε συνδυασμό με οργανικό και ανόργανο λίπασμα δεν επηρέασαν στατιστικά σημαντικά την ηλεκτρική αγωγιμότητά του.

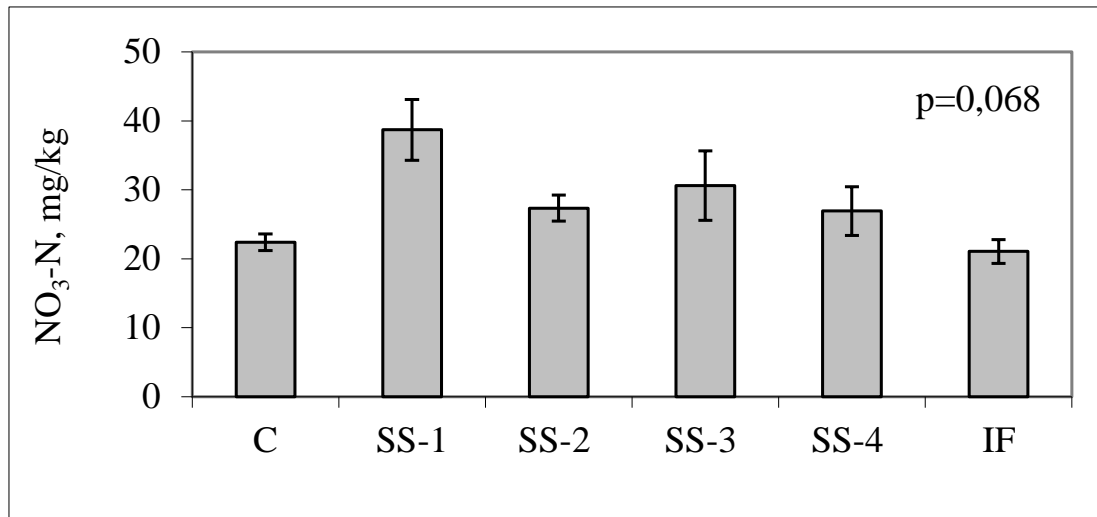
Με βάση την μελέτη που έγινε πάνω στο ζεόλιθο πως επηρεάζει την αλατότητα, οι Santiago et al. (2016) έδειξαν ότι οι φυσικοί ζεόλιθοι είναι ικανοί να απομακρύνουν τα ιόντα  $Na^+$  από το διάλυμα αντικαθιστώντας τα με  $Ca^{+2}$ , μειώνοντας έτσι τη συγκέντρωση  $Na^+$ . Κατά συνέπεια, οι Al-Busaidi et al. (2008) σημείωσε ότι η εφαρμογή ζεόλιθου σε αμμώδες έδαφος αρδευόμενο με αλατούχο νερό μείωσε τις επιβλαβείς επιπτώσεις της αλατότητας αυξάνοντας την ικανότητα συγκράτησης νερού και αλατιού του εδάφους σε φυτά κριθαριού. Οι Noori et al. (2006) ανέφεραν επίσης ότι η τροποποίηση του εδάφους με ζεόλιθο βελτίωσε την ποιότητα του εδάφους και διατήρησε το αλάτι, εμποδίζοντας το να περάσει από τις ρίζες στα όργανα των φυτών του εδάφους, προκαλώντας έτσι αύξηση στην ανάπτυξη του ραδικιού φυτά που καλλιεργούνται με αλατότητα. Επομένως το συμπέρασμα είναι ότι η προσθήκη ζεόλιθου με λυματολάσπης και οργανική και ανόργανη λίπανση στο έδαφος, διατηρεί σε σταθερά επίπεδα την ηλεκτρική αγωγιμότητα.



**Σχήμα 3** Επίδραση των διαφορετικών επεξεργασιών του εδάφους στη διαθεσιμότητά του σε φώσφορο που προσδιορίστηκε με τη μέθοδο Olsen. C (μάρτυρας), χαμηλή προς υψηλότερη δόση λυματολάσπης (SS-1, SS-2, SS-3, SS-4), και ανόργανο λίπασμα (IF).

Στο Σχήμα 3 παρουσιάζεται η επίδραση των διαφορετικών επεξεργασιών του εδάφους στη διαθεσιμότητά του σε φώσφορο που προσδιορίστηκε με τη μέθοδο Olsen. Οι τιμές της συγκέντρωσης P του εδάφους κατά Olsen κυμάνθηκαν από 25,94 έως 73,86 mg/kg. Η εφαρμογή διαφορετικών επεξεργασιών του εδάφους με χρήση ζεόλιθου σε συνδυασμό με οργανικό και ανόργανο λίπασμα επηρέασε στατιστικά σημαντικά τη διαθεσιμότητα του εδάφους σε φώσφορο ( $p < 0,05$ ), με τη μέγιστη συγκέντρωση να παρατηρείται για την επεξεργασία του εδάφους SS-4. Επομένως, ο συνδυασμός του ζεόλιθου με την υψηλότερη δόση λυματολάσπης είχε θετική επίδραση στη συγκέντρωση του φωσφόρου (73,86 mg/kg).

Τα μακροθρεπτικά συστατικά, του εδάφους δηλαδή το άζωτο, ο φώσφορος και το κάλιο, θα μπορούσαν να διατεθούν σε φυτά με τη μορφή ζεόλιθων που είναι εμπλουτισμένα με αμμώνιο ( $\text{NH}_4^+$ ) και φώσφορο (P) αποφάνθηκαν οι, Allen, Hossner, & Ming, (1996). Οι ζεόλιθοι μπορούν να λειτουργήσουν ως συμπλήρωμα μακροθρεπτικών συστατικών. Μία από τις πιο σημαντικές εφαρμογές ζεόλιθων στη γεωργία είναι η επιβραδυνόμενη ή ελεγχόμενη-απελευθέρωση του λιπάσματος. Με αποτέλεσμα γι αυτό οι διαθεσιμότητα του φώσφορου να αυξηθεί σημαντικά λόγω της απότομης απελευθέρωσης από τον ζεόλιθο.

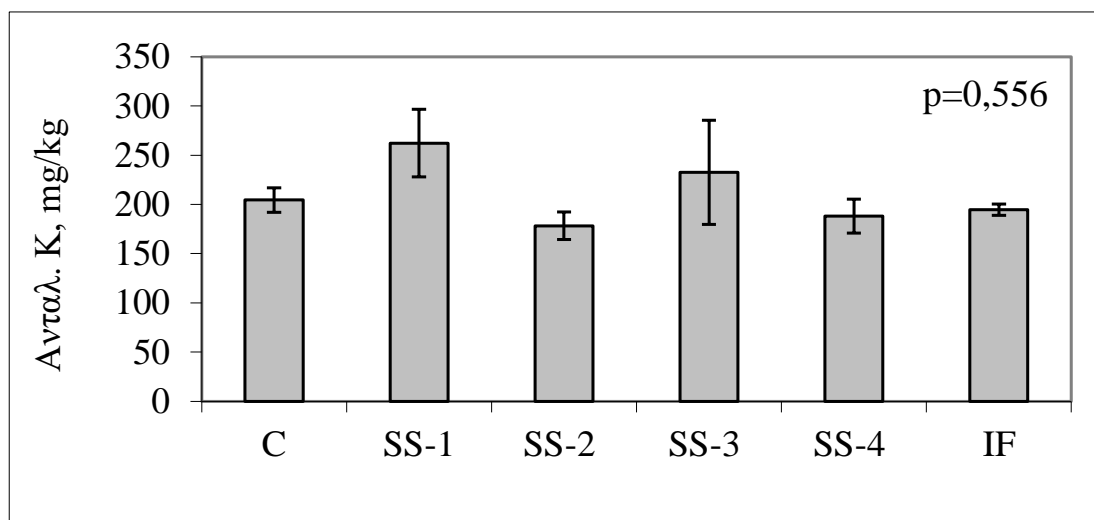


**Σχήμα 4** Επίδραση των διαφορετικών επεξεργασιών του εδάφους στη συγκέντρωση των νιτρικών ( $\text{NO}_3^-$ ) εκφρασμένα σε N στο έδαφος. C (μάρτυρας), χαμηλή προς ψηλότερη δόση λυματολάσπης (SS-1, SS-2, SS-3, SS-4), και ανόργανο λίπασμα (IF).

Στο Σχήμα 4 παρουσιάζεται η επίδραση των διαφορετικών επεξεργασιών του εδάφους στη συγκέντρωση των νιτρικών ( $\text{NO}_3^-$ ) εκφρασμένα σε N. Οι τιμές της συγκέντρωσης των νιτρικών του εδάφους κυμάνθηκαν από 21,05 έως 3,69 mg/kg. Παρατηρήθηκε ότι η εφαρμογή διαφορετικών επεξεργασιών του εδάφους με χρήση ζεόλιθου σε συνδυασμό με οργανικό και ανόργανο λίπασμα δεν επηρέασε στατιστικά σημαντικά τη διαθεσιμότητα του εδάφους σε νιτρικά.

Το άζωτο απορροφάται κυρίως με τη μορφή νιτρικού ιόντος και λιγότερο σε άλλες μορφές όπως το αμμώνιο. Περισσότερη εφαρμογή χημικών λιπασμάτων αυξάνει την έκπλυσή του μέσω του εδάφους που τελικά θα μολύνει τους φυσικούς πόρους. Εάν τα υπόγεια ύδατα χρησιμοποιούνται για πόση, η υψηλή συγκέντρωση  $\text{NO}_3^-$  θα μπορούσε να προκαλέσει διάφορες ασθένειες όπως η μεθαιμοσφαιριναιμία. Άρα η εξεύρεση τρόπων ελέγχου του αζωτούχου χημικού λιπάσματος, η αύξηση της αποτελεσματικότητας χρήσης αζώτου και η επίτευξη της στοχευόμενης παραγωγής καλλιεργειών είναι σημαντικά. Η νέα λύση που χρησιμοποιήθηκε για την αύξηση της αποτελεσματικότητας χρήσης αζώτου και την πρόληψη της σπατάλης χημικών λιπασμάτων είναι η εφαρμογή ζεόλιθου σε γεωργικούς τομείς [21]. Επομένως ο ζεόλιθος διατήρησε σε σταθερά επίπεδα την διαθεσιμότητα των νιτρικών στο έδαφος.



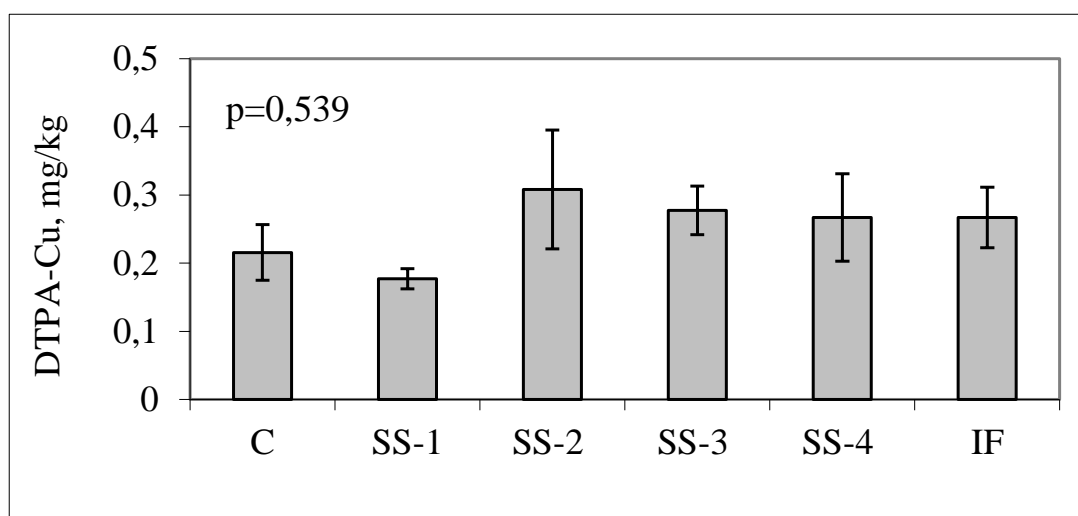


**Σχήμα 5** Επίδραση των διαφορετικών επεξεργασιών του εδάφους στη συγκέντρωση του ανταλλάξιμου καλίου (K) στο έδαφος. C (μάρτυρας), χαμηλή προς υψηλότερη δόση λυματολάσπης (SS-1, SS-2, SS-3, SS-4), και ανόργανο λίπασμα (IF).

Στο Σχήμα 5 παρουσιάζεται η επίδραση των διαφορετικών επεξεργασιών του εδάφους στη συγκέντρωση του ανταλλάξιμου καλίου (K). Οι τιμές της συγκέντρωσης του ανταλλάξιμου K του εδάφους κυμάνθηκαν από 178,20 έως 262,35 mg/kg. Παρατηρήθηκε ότι οι διαφορετικές επεξεργασίες του εδάφους με χρήση ζεόλιθου σε συνδυασμό με διαφορετικές ποσότητες οργανικού λιπάσματος (λυματολάσπη) και με ανόργανο λίπασμα εμφάνισαν παραπλήσιες συγκεντρώσεις K, αποδεικνύοντας ότι η παράμετρος του ανταλλάξιμου καλίου του εδάφους δεν επηρεάζεται στατιστικά σημαντικά από τις διάφορες επεξεργασίες που εφαρμόστηκαν στην καλλιέργεια κριθαριού.

Η προσθήκη ζεόλιθων στο έδαφος συμβάλλει στον έλεγχο του pH του εδάφους και στη βελτίωση της κατακράτησης του αμμωνίου. Από τις πολλές ιδιότητες των ζεόλιθων, μερικές από τις σημαντικότερες περιλαμβάνουν την αύξηση της CEC εδάφους, ενεργούν ως δεξαμενή K<sup>+</sup>. Τα εδάφη με χαμηλή περιεκτικότητα σε K μπορούν να αντικατασταθούν από ζεόλιθους όπως Linde τύπου F που συντίθενται σε μορφή K και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανασύσταση του K σε αυτά τα εδάφη βρήκαν οι Jakkula & Wani, (2018). Το συμπέρασμα είναι ότι το κάλιο απελευθερώνεται με αργό ρυθμό για να δίνει ισορροπία στο έδαφος από τον ζεόλιθο. Επομένως οι παράμετρος του ανταλλάξιμου K δεν επηρέασε σημαντικά την καλλιέργεια κριθαριού.

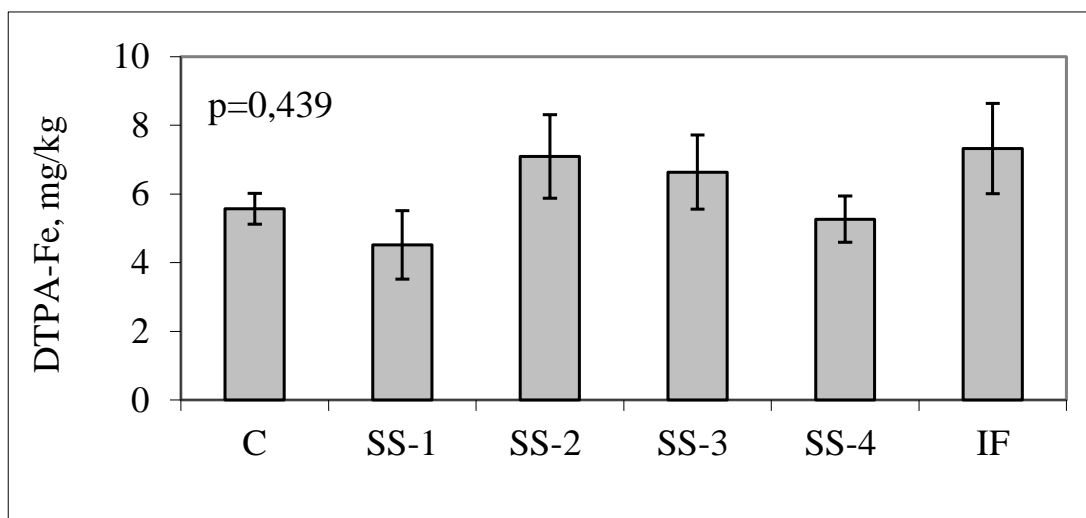
Στα Σχήματα 6-9 παρουσιάζεται η επίδραση των διαφορετικών επεξεργασιών του εδάφους στη συγκέντρωση των εκχυλίσμων ιχνοστοιχείων (Cu, Fe, Zn, Mn) με διάλυμα DTPA.



**Σχήμα 6** Επίδραση των διαφορετικών επεξεργασιών του εδάφους στη συγκέντρωση του εκχυλίσμου ιχνοστοιχείου Cu με διάλυμα DTPA. C (μάρτυρας), χαμηλή προς υψηλότερη δόση λυματολάσπης (SS-1, SS-2, SS-3, SS-4), και ανόργανο λίπασμα (IF).

Σύμφωνα με το Σχήμα 6, οι τιμές της συγκέντρωσης του εκχυλίσμου ιχνοστοιχείου Cu του εδάφους κυμάνθηκαν από 0,18 έως 0,31 mg/kg και παρατηρήθηκε ότι οι διαφορετικές επεξεργασίες του εδάφους δεν επηρέασαν στατιστικά σημαντικά τη διαθεσιμότητα του εδάφους σε Cu.

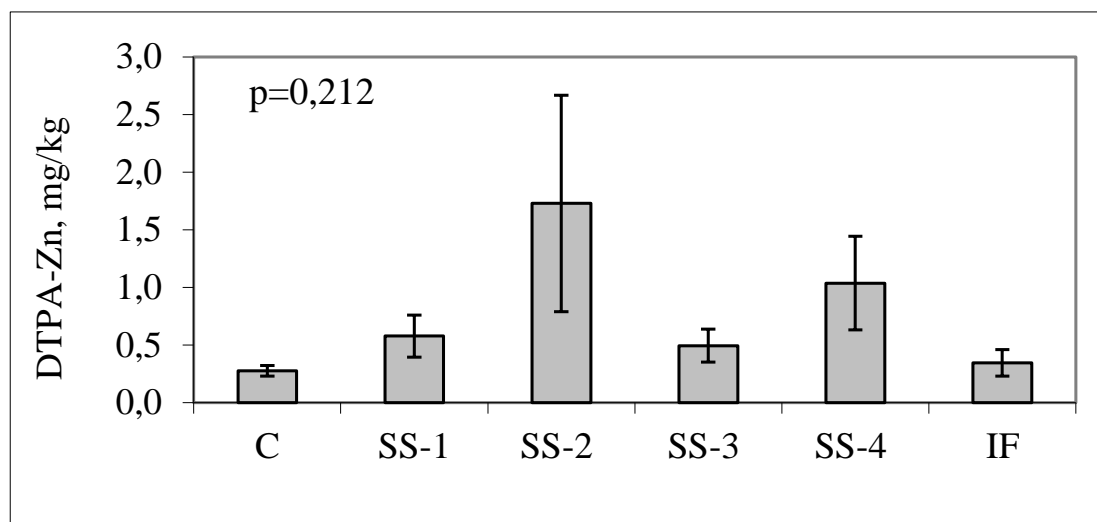
Σε μια μελέτη για την εκτίμηση της πρόσληψης Cu δύο δοκιμαστικών καλλιεργειών σιταριού και σπανακιού, οι Puschenreiter & Horak (2003) διαπίστωσαν ότι τα λιπάσματα ψευδαργύρου και χαλκού με συνθετικό ζεόλιθο βραδείας απελευθέρωσης μπορούν να βοηθήσουν στη μείωση της συσσώρευσης Cu σε συγκεκριμένα μέρη καλλιεργειών. Αρά θα βελτιωθεί η διακύμανση των τιμών της χαλκού μέσα σε μια καλλιέργεια. Επομένως ο ζεόλιθος βραδείας απελευθέρωσης ισορρόπησε παντού τον χαλκό σε όλη την καλλιέργεια, σε σύγκριση με αυτό που βρήκαμε ο ζεόλιθος ισορροπεί και δεν επηρεάζει την διαθεσιμότητα χαλκού στο εδάφος.



**Σχήμα 7** Επίδραση των διαφορετικών επεξεργασιών του εδάφους στη συγκέντρωση του εκχυλίσμου ιχνοστοιχείου Fe με διάλυμα DTPA. C (μάρτυρας), χαμηλή προς υψηλότερη δόση λυματολάσπης (SS-1, SS-2, SS-3, SS-4), και ανόργανο λίπασμα (IF).

Ομοίως από το Σχήμα 7, οι συγκεντρώσεις του εκχυλίσμου ιχνοστοιχείου Fe του εδάφους κυμάνθηκαν από 4,52 έως 7,32 mg/kg, όπου στατιστικά η εφαρμογή μίγματος ζεόλιθου με οργανικό και ανόργανο λίπασμα δεν επηρεάζεται στατιστικά σημαντικά τη συγκέντρωση του ιχνοστοιχείου Fe στο έδαφος εμφανίζοντας παραπλήσιες συγκεντρώσεις.

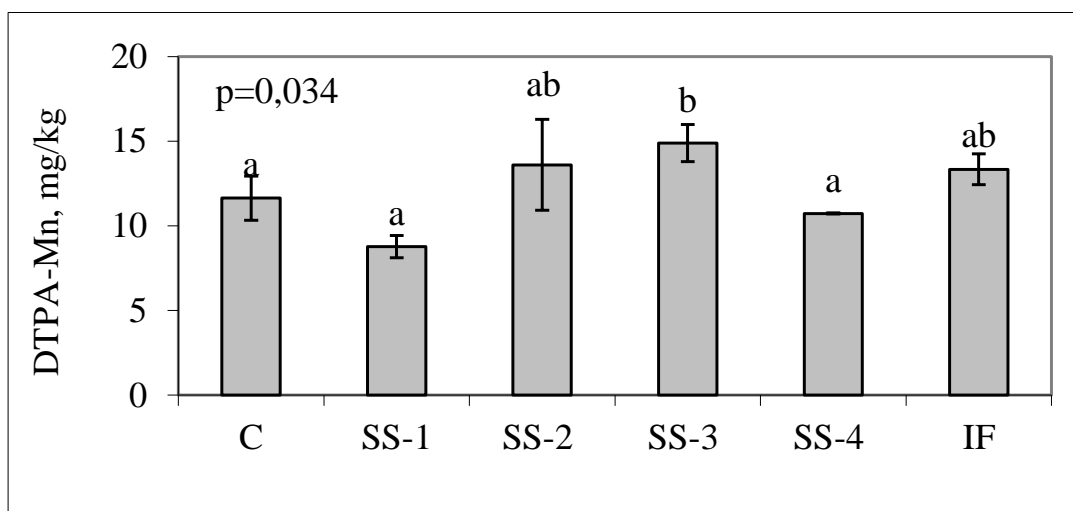
Σε μια μελέτη όμως ανέφεραν οι Koushafar et al. (2011) πως όσο περισσότερο δόση φυσικού ζεόλιθου χρησιμοποιήθηκε σε κάθε επέμβαση που γινόταν, τόσο μειωνόταν η αλατότητα και οι συγκεντρώσεις των Fe, Zn, Cu. Σε αντίθεση με το συγκεκριμένο πείραμα που οι τιμές του εκχυλισμένου σιδηρού δεν παρουσίασαν σημαντικές διαφορές.



**Σχήμα 8** Επίδραση των διαφορετικών επεξεργασιών του εδάφους στη συγκέντρωση του εκχυλίσμου ιχνοστοιχείου Zn με διάλυμα DTPA. C (μάρτυρας), χαμηλή προς ψηλότερη δόση λυματολάσπης (SS-1, SS-2, SS-3, SS-4), και ανόργανο λίπασμα (IF).

Σύμφωνα με το Σχήμα 8, οι τιμές της συγκέντρωσης του εκχυλίσμου ιχνοστοιχείου Zn του εδάφους κυμάνθηκαν από 0,28 έως 1,73 mg/kg και παρατηρήθηκε ότι οι διαφορετικές επεξεργασίες του εδάφους έχουν θετική επίδραση στη συγκέντρωση του εκχυλίσμου ιχνοστοιχείου Zn στο έδαφος σε καλλιέργεια κριθαριού.

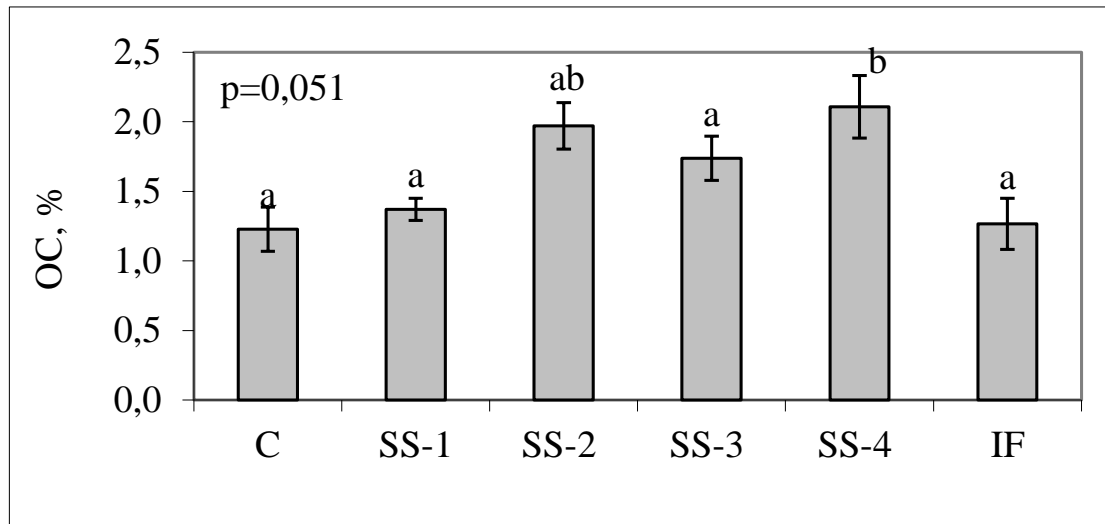
Οι Zorpas et al. (2000) συμπέραναν ότι αυξάνεται ο Zn όταν προστίθεται ζεόλιθος με βιολογική ιλύ στο έδαφος. Οι Vangronsveld et al., οι Sterckx et al. και οι Van Assche et al., (1995) έχουν δείξει ότι οι ζεόλιθοι χρησιμοποιούνται ευρέως στην πρόσληψη βαρέων μετάλλων. Επίσης έδειξαν ότι υπήρξε, σημαντική μείωση στο πρόσληψη μετάλλων από φυτά που έχουν αναπτυχθεί σε τροποποιημένα εδάφη ζεόλιθου και στα άγονη εδάφη, μολυσμένα με βαρέα μέταλλα η προσθήκη ζεόλιθων εξάλειψε πλήρως τη φυτοτοξικότητα των μετάλλων και επιτράπηκε η δημιουργία βλάστησης. Συμπεραίνουμε ότι τα αποτελέσματα από την στατιστική ανάλυση που βρήκαμε, σε σύγκριση με την μελέτες προαναφέρθηκαν, συμφωνούν στο ότι οι διαφορετικές επεξεργασίες του εδάφους έχουν θετική επίδραση στη συγκέντρωση του εκχυλίσμου ιχνοστοιχείου Zn στο έδαφος σε καλλιέργεια κριθαριού.



**Σχήμα 9** Επίδραση των διαφορετικών επεξεργασιών του εδάφους στη συγκέντρωση του εκχυλίσμου ιχνοστοιχείου Mn με διάλυμα DTPA. C (μάρτυρας), χαμηλή προς ψηλότερη δόση λυματολάσπης (SS-1, SS-2, SS-3, SS-4), και ανόργανο λίπασμα (IF).

Οι τιμές της συγκέντρωσης του εκχυλίσμου ιχνοστοιχείου Mn του εδάφους κυμάνθηκαν από 8,77 έως 14,88 mg/kg (Σχήμα 9). Η εφαρμογή διαφορετικών επεξεργασιών του εδάφους με χρήση ζεόλιθου σε συνδυασμό με οργανικό και ανόργανο λίπασμα επηρέασε στατιστικά σημαντικά τη διαθεσιμότητα του εδάφους σε Mn ( $p < 0,05$ ), με τη μέγιστη συγκέντρωση να παρατηρείται για την επεξεργασία του εδάφους SS-3 (14,88 mg/kg), ακολουθούμενη από τις επεξεργασίες του εδάφους SS-2 (13,60 mg/kg) και IF (13,34 mg/kg). Επομένως, ο συνδυασμός του ζεόλιθου με συγκεκριμένη ποσότητα λυματολάσπης και με ανόργανο λίπασμα είχε θετική επίδραση στη συγκέντρωση του εκχυλίσμου ιχνοστοιχείου Mn στο έδαφος σε καλλιέργεια κριθαριού.

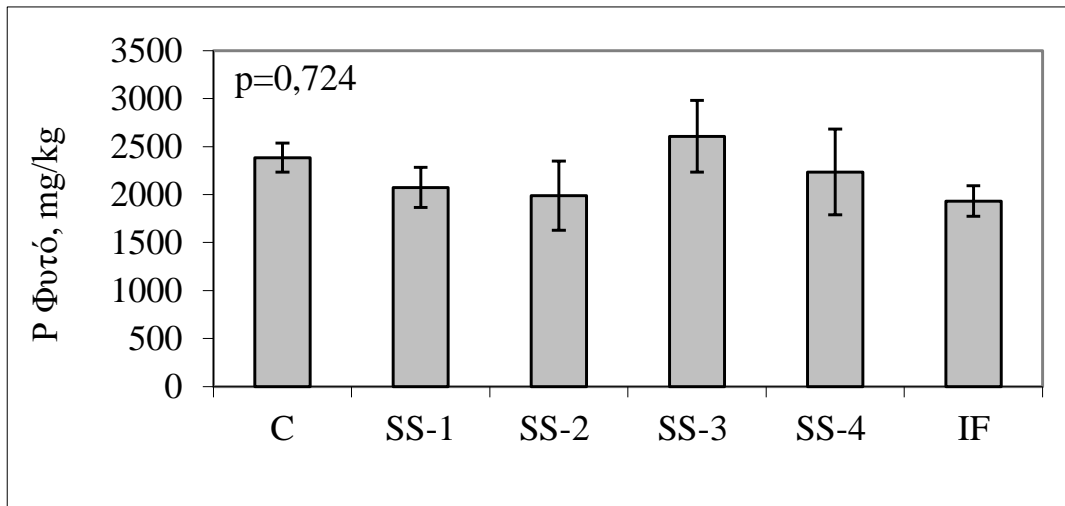
Σε πείραμα οι Zorpas et al. (2000) που μελέτησαν την λυματολάσπη σε συνδυασμό με τον ζεόλιθο έδωσαν το συμπέρασμα ότι οι συγκεντρώσεις Mn, Zn, Cr, Ni αυξήθηκαν ενώ οι συγκεντρώσεις των Cu, Fe μειώθηκαν. Επομένως έχουμε αντιστοιχία παρόμοιων αποτελεσμάτων.



**Σχήμα 10** Επίδραση των διαφορετικών επεξεργασιών του εδάφους στη διαθεσιμότητά της οργανικής ύλης (OC%) στο έδαφος. C (μάρτυρας), χαμηλή προς ψηλότερη δόση λυματολάσπης (SS-1, SS-2, SS-3, SS-4), και ανόργανο λίπασμα (IF).

Στο Σχήμα 10 παρουσιάζεται η επίδραση των διαφορετικών επεξεργασιών του εδάφους στη διαθεσιμότητά της οργανικής ύλης (OC%) στο έδαφος. Οι τιμές της συγκέντρωσης της οργανικής ύλης του εδάφους κυμάνθηκαν από 1,27 έως 2,11%. Η εφαρμογή διαφορετικών επεξεργασιών του εδάφους με χρήση ζεόλιθου σε συνδυασμό με οργανικό και ανόργανο λίπασμα επηρέασε στατιστικά σημαντικά τη διαθεσιμότητα του εδάφους σε οργανική ύλη ( $p < 0,05$ ), με τη μέγιστη συγκέντρωση να παρατηρείται για την επεξεργασία του εδάφους SS-4 (2,11%), ακολουθούμενη από την επεξεργασία SS-4 (1,97%). Επομένως, ο συνδυασμός του ζεόλιθου με οργανικό λίπασμα (συγκεκριμένη ποσότητα λυματολάσπης) επηρέασε θετικά στη συγκέντρωση της οργανικής ύλης στο έδαφος της καλλιέργειας κριθαριού.

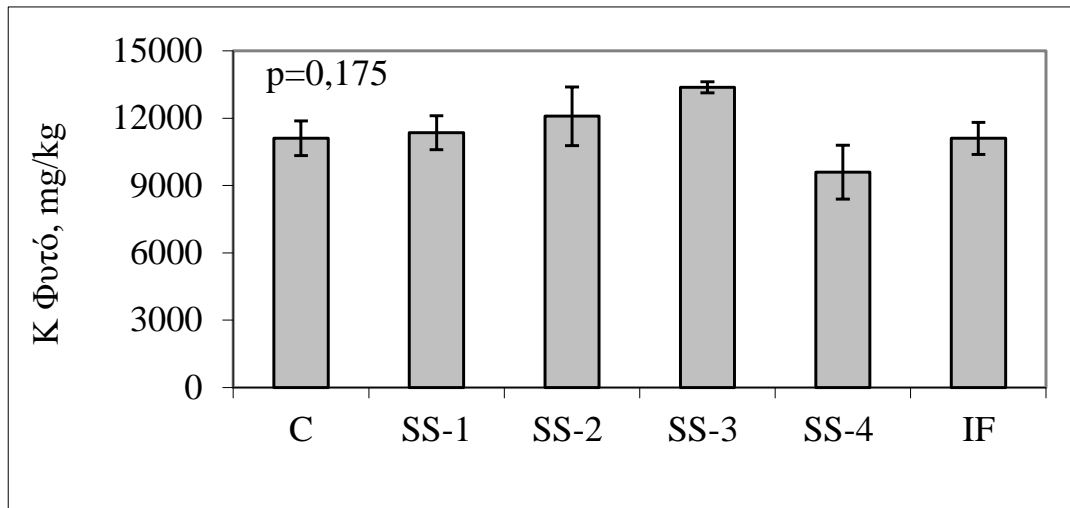
Ο ζεόλιθος ως φυσικό προσροφητικό έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως στον τομέα της επεξεργασίας λυμάτων. Ωστόσο, η ικανότητα προσρόφησης της οργανικής ύλης από φυσικό ζεόλιθο χωρίς τροποποίηση είναι περιορισμένη λόγω της ανομοιογενούς πορώδους δομής του ζεόλιθου βρήκαν οι Moreno et al., (2001) και οι Camacho et al., (2010) . Με βάση αυτό συμπεραίνουμε ότι υπάρχει αρκετή διαθεσιμότητα της οργανικής ύλης στο έδαφος αφού δεν απορροφήθηκε από τον ζεόλιθο και η συγκέντρωση της είναι λογικό να αυξηθεί.



**Σχήμα 11** Επίδραση των διαφορετικών επεξεργασιών του εδάφους στη συγκέντρωση του φωσφόρου (P) στο καλλιεργούμενο φυτό (κριθάρι). C (μάρτυρας), χαμηλή προς υψηλότερη δόση λυματολάσπης (SS-1, SS-2, SS-3, SS-4), και ανόργανο λίπασμα (IF).

Στο Σχήμα 11 παρουσιάζεται η επίδραση των διαφορετικών επεξεργασιών του εδάφους στη συγκέντρωση του φωσφόρου (P) καλλιεργούμενο φυτό (κριθάρι). Οι τιμές της συγκέντρωσης του P του φυτού κυμάνθηκαν από 1932,14 έως 2607,14 mg/kg (Σχήμα 11). Παρατηρήθηκε ότι οι διαφορετικές επεξεργασίες του εδάφους δεν επηρέασαν στατιστικά σημαντικά τη συγκέντρωση του φυτού σε φώσφορο.

Στο σχήμα 3 ο φώσφορος αυξήθηκε σημαντικά, στην συγκεκριμένη ανάλυση όμως που μελετάμε το φώσφορο στους σπόρους του φυτού δεν παρατηρούμε καμία σημαντική αλλαγή. Πιθανόν όταν προσλήφθηκε φώσφορο που βρισκόταν στο έδαφος να ήταν ικανοποιητική η συγκέντρωση του για την ανάπτυξη και παράγωγη σπορών. Έτσι όταν είχαμε αύξηση της συγκέντρωσης του φωσφόρου στο έδαφος το φυτό να μην δέχθηκε επιπλέον φώσφορο.



**Σχήμα 12** Επίδραση των διαφορετικών επεξεργασιών του εδάφους στη συγκέντρωση του καλίου (K) στο καλλιεργούμενο φυτό (κριθάρι). C (μάρτυρας), χαμηλή προς ψηλότερη δόση λυματολάσπης (SS-1, SS-2, SS-3, SS-4), και ανόργανο λίπασμα (IF).

Στο Σχήμα 12 παρουσιάζεται η επίδραση των διαφορετικών επεξεργασιών του εδάφους στη συγκέντρωση του καλίου (K) στο καλλιεργούμενο φυτό (κριθάρι). Οι τιμές της συγκέντρωσης του K του φυτού κυμάνθηκαν από 9586,4 έως 13370,5 mg/kg (Σχήμα 12). Παρατηρήθηκε ότι οι διαφορετικές επεξεργασίες του εδάφους δεν επηρέασαν στατιστικά σημαντικά τη συγκέντρωση του φυτού σε κάλιο.

Όπως και στο φώσφορο έτσι και στο κάλιο παρατηρούμε και συγκρίνουμε τα αποτελέσματα από το σχήμα. Πιθανόν το κάλιο να ήταν επαρκές η συγκέντρωση του για την καλλιέργεια και την παράγωγη σπορών. Έτσι δεν υπήρξε κάποια μεταβολή στην συγκέντρωση του καλίου στους σπόρους.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με την προσθήκη ζεόλιθου οργανικής και ανόργανης λίπανσης μπορούμε να συμπεράνουμε ότι στην καλλιέργεια κριθαριού :

- Τα επίπεδα P αυξήθηκαν σημαντικά.
- Οι τιμές του ανταλλάξιμου K στο έδαφος δεν μεταβλήθηκαν σημαντικά.
- Οι συγκεντρώσεις P και K στους σπόρους δεν μεταβλήθηκαν σημαντικά.
- Το pH παρέμεινε σταθερό.
- Η Ec δεν μεταβλήθηκε σημαντικά.
- Η οργανική ουσία η τιμή της αυξήθηκε σημαντικά.
- Οι τιμές των  $\text{NO}_3\text{-N}$  δεν μεταβλήθηκαν σημαντικά.
- Οι συγκεντρώσεις του Mn και Zn στο έδαφος αυξήθηκαν σημαντικά.
- Οι συγκεντρώσεις του Cu και Fe δεν μεταβλήθηκαν σημαντικά.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Alvarez, E., Mochon, M., Sanchez, J., & Rodriguez, M. (2002). Heavy Metal Extractable Forms in Sludge from Waste Treatment Plants. *Chemosphere*, 47(7), 765–775
2. Bautista-Cruz, A., Carrillo-Gonzalez, R., Arnaud-Vinas, M., Robles, C., & de Leon-Gonzalez, F. (2007). Soil fertility properties on *Agave angustifolia* Haw. *Plant Soil Tillage Res*, 96, 342–349.
3. Chandini, K., Randeep, K., & Ravendra, P. (2019). The Impact of Chemical Fertilizers on our Environment and Ecosystem. *Research Trends in Environmental Sciences*, (February), 69.
4. Desbiez, A., Matthews, R., Tripathi, B., & Ellis-Jones, J. (2004). Perceptions and assessment of soil fertility by farmers in the mid-hills of Nepal. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 103, 191–206.
5. Dimkpa, C., & Bindraban, P. (2016). Fortification of micronutrients for efficient agronomic production: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 36(1), 1–26. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0346-6>
6. Gamze Turan, N. (2007). The effects of natural zeolite on salinity level of poultry litter compost. *Bioresource Technology*, 99, 2097–2101
7. Gruener, J., Ming, D., & Henderson, K. (2003). Common ion effects in zeoponic substrates: Wheat plant growth experiment. *Microporous and Mesoporous Materials*, 61, 223–230.
8. Hartemink, A. (2016). Fertility Decline: Definitions and Assessment. *Encyclopedia of Soil Science, Third Edition*, (October), 880–883. <https://doi.org/10.1081/e-ess3-120041235>
9. Jakkula, S., & Wani, V. (2018). Zeolites: Potential soil amendments for improving nutrient and water use efficiency and agriculture productivity. *Scientific Reviews & Chemical Communications*, 8(1), 1–15. Retrieved from [www.tsijournals.com](http://www.tsijournals.com)
10. Jones, C., & Olson-Rutz, K. (2016). Plant Nutrition and Soil Fertility. *Montana State University Extension, Module 2*((Sept.)), 4449–2. <https://doi.org/10.1038/206140d0>
11. Khodaei-Joghan, A., & Asilan, K. (2012). Zeolite influences on nitrate leaching, nitrogen-use efficiency, yield and yield components of canola in sandy soil. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 58, 1149–1169.
12. Moral, F., & Rebollo, F. (2017). Characterization of soil fertility using the Rasch model. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 17(2), 486–498. <https://doi.org/10.4067/S0718-95162017005000035>
13. Nájera, F., Tapia, Y., Baginsky, C., Figueroa, V., Cabeza, R., & Salazar, O. (2015). Evaluation of soil fertility and fertilisation practices for irrigated maize (*Zea mays* L.) under Mediterranean conditions in central Chile. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 15(1), 84–97.
14. Nguyen, M., & Tanner, C. (1998). Ammonium removal from wastewater using natural New

- Zealand zeolites. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 41, 427–446.
15. Obrador, A., Mingot, J., Rico, J., & Alvarez, M. (1997). Metal Mobility and Potential Bioavailability Organic Matter Rich Soil Sludge Mixture, Effect of Soil Type and Contact Time. *Science of The Total Environment*, 206, 117–126
  16. Usman, K., Khan, S., Ghulam, S., Khan, M., Khan, N., Khan, M., & Khalil, S. (2012). Sewage Sludge: An Important Biological Resource for Sustainable Agriculture and Its Environmental Implications. *American Journal of Plant Sciences*, 03(12), 1708–1721. <https://doi.org/10.4236/ajps.2012.312209>
  17. Vangronsveld, J., Sterckx, J., & Van Assche, F. (1995). Rehabilitation studies on an old non-ferrous waste dumping ground: effects of vegetation and metal immobilisation by beringite. *Journal of Geochemical Exploration*, 52, 221–229.
  18. Wells, A., Chan, K., & Cornish, P. (2000). Comparison of Conventional and Alternative Vegetable Farming Systems on the Properties of a Yellow Earth in New South Wales. *Agriculture Ecosystem and Environment*, 80, 47–60.
  
  19. Wilding, L., & Lin, H. (2006). Advancing the frontiers of soil science towards a geoscience. *Geoderma*, 131, 257–274.
  20. Zheljaskov, V., & Warm, P. (2004). Source-Separated Municipal Solid Waste Compost Application to Swiss Chard and Basil. *Journal of Environmental Quality*, 33(2), 542–552.
  21. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1872203214000560>

