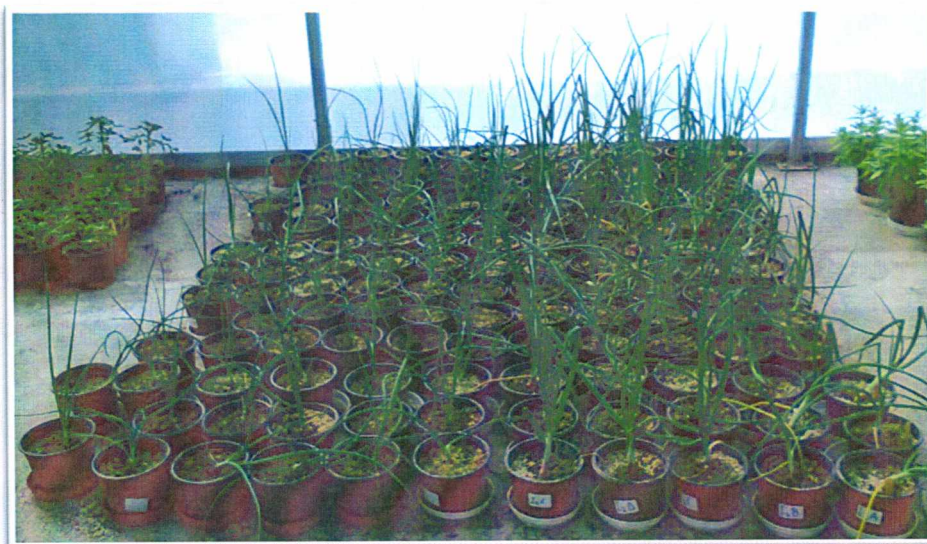


ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ  
& ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ  
Α.Μ.Φ.Π. Πρωτ. 523  
Ημερομηνία 8-7-16

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ  
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΠΡΟΣΘΗΚΗΣ ΦΩΣΦΟΡΟΥ ΣΕ 13 ΕΛΑΦΗ  
ΣΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΚΡΕΜΜΥΔΙΟΥ



ΚΟΛΙΝΙΑΤΗ ΡΕΒΕΚΑ

ΒΟΛΟΣ 2016



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ  
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.: 16328/1  
Ημερ. Εισ.: 12/06/2017  
Δωρεά: Συγγραφέα  
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ-ΦΠΑΠ  
2016  
ΚΟΛ

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής:

Αντωνιάδης Βασίλειος, (Εφαρμοσμένη Εδαφολογία, Επίκουρος Καθηγητής, επιβλέπων)

Δημήρκου Ανθούλα, (Εδαφολογία με Έμφαση στη Χημεία Εδάφους, Καθηγήτρια).

Πετρόπουλος Σπυρίδων, (Λαχανοκομία, Επίκουρος Καθηγητής)

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η διαθεσιμότητα του φωσφόρου εξαρτάται από πολλές εδαφικές ιδιότητες, όπως και από τον βαθμό αποσάθρωσης των εδαφών. Σκοπός της εργασίας ήταν να μελετηθεί η δυναμική του φωσφόρου σε φυτά κρεμμυδιού σε εδάφη που διαφέρουν ως προς τις χημικές και τις πεδογενετικές τους ιδιότητες. Το πείραμα περιελάμβανε δεκατρία εδάφη (4 Entisols, 4 Alfisols και 5 Inceptisols), στα οποία έγινε πείραμα ανάπτυξης φυτών κρεμμυδιού σε δύο επίπεδα χορήγησης φωσφόρου (P0, χωρίς φωσφόρο, και P1, με χορήγηση 440 mg Kg<sup>-1</sup>). Στη συνέχεια μετρήθηκε ο εκχυλίσμος φώσφορος, ο φωσφόρος στο φυτό και διάφορα φυτοκομικά χαρακτηριστικά. Επίσης, πραγματοποιήθηκαν συσχετίσεις μεταξύ των παραμέτρων για να εκτιμηθεί η συνάφεια που τις χαρακτηρίζει. Βρέθηκε ότι, ενώ καμία άλλη εδαφική ιδιότητα δεν διέφερε μεταξύ των τριών ταξινομικών ομάδων (με εξαίρεση την άργιλο), τα οξείδια σιδήρου (Fe), μαγγάνιου (Mn) και αργιλίου (Al) ήταν σημαντικά υψηλότερα στα Alfisols, όπως ήταν αναμενόμενο, λόγω πεδογενετικών διεργασιών. Παράλληλα ο φωσφόρος κατά Olsen αυξήθηκε σημαντικά σε δώδεκα από τα δεκατρία εδάφη. Η συνολική ξηρή βιομάζα αυξήθηκε σημαντικά στα εννέα από τα δεκατρία εδάφη, ενώ σημαντικά αυξήθηκε σε όλα τα εδάφη και η συγκέντρωση φωσφόρου στο φυτό. Οι συσχετίσεις έδειξαν ότι ο υδατοδιαλυτός φωσφόρος επηρεάστηκε σημαντικά και αρνητικά από τα οξείδια, ενώ τα φυτοκομικά χαρακτηριστικά του κρεμμυδιού (διάμετρος κονδύλου, μήκος υπέργειου στελέχους και νωπό βάρος) επηρεάστηκαν σημαντικά από το pH. Τέλος, η σύγκριση μεταξύ φυτοκομικών χαρακτηριστικών και εκχυλίσεων φωσφόρου έδειξε πολύ σημαντικές συσχετίσεις μεταξύ όλων των πιθανών συνδυασμών συσχετίσεων, κάτι που δείχνει ότι η ανάπτυξη του κρεμμυδιού επηρεάστηκε κυρίως από την προσθήκη του φωσφόρου.



## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Αντωνιάδη Βασίλειο, επιβλέποντα (Επίκουρο Καθηγητή), ο οποίος με βοήθησε στο έπακρον κατά την πειραματική διαδικασία, για τη συγγραφή της παρούσας εργασίας καθώς και για τη γενικότερη σταδιοδρομία μου.

Στη συνέχεια θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Πετρόπουλο Σπυρίδων (Επίκουρο Καθηγητή) που με βοήθησε στην επιλογή, στη διαδικασία εγκατάστασής και ανάπτυξής της καλλιέργειας.

Παράλληλα, ευχαριστώ θερμά την κ. Δημήρκου Ανθούλα (Καθηγήτρια) για την πολύτιμη καθοδήγηση κατά την διεξαγωγή του πειράματος, την κ. Γκόλια Ευαγγελία (εργαστηριακό προσωπικό) και την κ. Μπρόζου Ευαγγελία (υπογήφια διδάκτορα), οι οποίες βοήθησαν άμεσα στην πειραματική μου διαδικασία.

Συνοψίζοντας θα ήθελα να απευθύνω ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένεια μου που με στήριξε και με βοήθησε να σπουδάσω. Στους φίλους μου Γερανδρέου Μαρία και Φιλίππου Κική που με βοήθησαν σε όλη την φοιτητική μου σταδιοδρομία.

Τέλος αφιερώνω την προπτυχιακή μου διατριβή στον παππού μου, τη γιαγιά μου και την ξαδέρφη μου που έφυγαν «γρήγορα» από την ζωή.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	7
1.1.Ο ρόλος του φωσφόρου για την θρέψη των φυτών	7
1.2.Γενικές πληροφορίες καλλιέργειας	9
1.3.Διαθεσιμότητα φωσφόρου και από ποιους παράγοντες εξαρτάται	9
1.4.Κατηγορίες εδαφών	12
1.5.Ερευνητικές ανάγκες και σκοπός της εργασίας	13
2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	14
2.1 Σχεδιασμός πειράματος	14
2.1.1 Σχεδιασμός βιολογικού πειράματος	14
2.2 Μέθοδοι ανάλυσης εδάφους	16
2.2.1 Προετοιμασία δείγματος	16
2.2.2 Μέτρηση pH	17
2.2.3 Μέτρηση ηλεκτρικής αγωγιμότητας	17
2.2.4 Μέθοδοι εκχύλισης φωσφόρου	17
2.2.5 Μέτρηση ιχνοστοιχείων (με εκχύλιση DTPA)	23
2.2.6 Μέτρηση οργανικής ουσίας (με υγρή οξείδωση)	23
2.2.7 Ανάλυση κοκκομετρικής σύστασης	24
2.2.8 Μέτρηση ανθρακικού ασβεστίου	25
2.2.9 Μέτρηση ανταλλάξιμων κατιόντων ( $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+}$ , $\text{K}^+$ , $\text{Na}^+$ )	26
2.3 Μέθοδοι ανάλυσης φυτού	27
2.3.1 Προετοιμασία δείγματος και εκχύλιση	27
2.3.2 Μέτρηση φωσφόρου	27
2.3.3 Μέτρηση μακροστοιχείων	28
2.3.4 Μέτρηση ιχνοστοιχείων	28
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ	30
4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	36
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	37
Ελληνική βιβλιογραφία	37
Ξενόγλωσση βιβλιογραφία	38
ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ	
Πίνακας 1 : Επιλεγμένες φυσικές και χημικές ιδιότητες των 13 εδαφών	16
Πίνακας 2 : Μέσες τιμές επιλεγμένων ιδιοτήτων σε εδάφη που χωρίστηκαν σύμφωνα με την ταξινόμησή τους (Alfisols, Entisols και Inceptisols), και σύμφωνα με την αντίδρασή τους (όξινα και αλκαλικά)	30
Πίνακας 3 : Συντελεστές συσχέτισης, $R^2$ , μεταξύ των εδαφικών ιδιοτήτων των 13 εδαφών ( $n=13$ ). Οι τιμές $p$ (σε $10^{-3}$ ) καταγράφονται μόνο για τις σημαντικές συσχετίσεις. Αρνητικό πρόσημο δηλώνει αντιστρόφως ανάλογη σχέση	32
Πίνακας 4 : Φώσφορος εκχυλισμένος στο έδαφος (Olsen-P), φώσφορος στο φυτό, και ξηρή βιομάζα στα 13 εδάφη στις μεταχειρίσεις χωρίς προσθήκη P (P0) και με προσθήκη P (P1). Το επίπεδο σημαντικότητας δηλώνεται με την τιμή $p$	33
Πίνακας 5 : Συντελεστές συσχέτισης ( $R^2$ ) της σχέσης μεταξύ των εδαφικών ιδιοτήτων και της μεταβολής (που δηλώνεται ως $\Delta$ ) της μεταχείρισης όπου προστέθηκε P και της μεταχείρισης χωρίς προσθήκη P για τα εξής: υδατοδιαλυτό (WS)-P, Olsen-P, διάμετρο κονδύλων (bulb), νωπό βάρος φύλλων (leaf) και μήκος υπέργειου βλαστού (length) ( $n=13$ ). Οι τιμές $p$ (σε	

$10^{-3}$ ) καταγράφονται μόνο για τις σημαντικές συσχετίσεις. Αρνητικό πρόσημο δείχνει αντιστρόφως ανάλογη συσχέτιση. 34

#### ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1 : Ο κύκλος του φωσφόρου στα εδάφη. Τα πλαίσια αναπαριστούν τις πηγές των διαφόρων μορφών του φωσφόρου, ενώ αντίθετα τα βέλη αναπαριστούν μετακινήσεις και μετατροπές φωσφόρου μεταξύ αυτών των πηγών. Τα τρία μεγαλύτερα λευκά πλαίσια δείχνουν τις κύριες ομάδες των φωσφορικών ενώσεων που βρίσκονται στο έδαφος, όπου μέσα σε κάθε μια από αυτές τις ομάδες τείνουν να επικρατήσουν οι λιγότερο διαλυτές, λιγότερο διαθέσιμες μορφές. Τα έντονα βέλη αναπαριστούν τις κυριότερες διαδρομές του φωσφόρου (διάγραμμα από R. Weil).

7

#### ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΕΙΚΟΝΕΣ

Εικόνα 1: Οι γλάστρες με ίση ποσότητα εδάφους και περλίτη (σε αναλογία 1:1) και κάθε σειρά είναι ένα διαφορετικό έδαφος. 42

Εικόνα 2: Πριν την συγκομιδή η ανάπτυξη των κρεμμυδιών. Στις πρώτες 5 γλάστρες από δεξιά προς τα αριστερά είναι αυτές που περιέχουν λίπανση φωσφόρου. 42

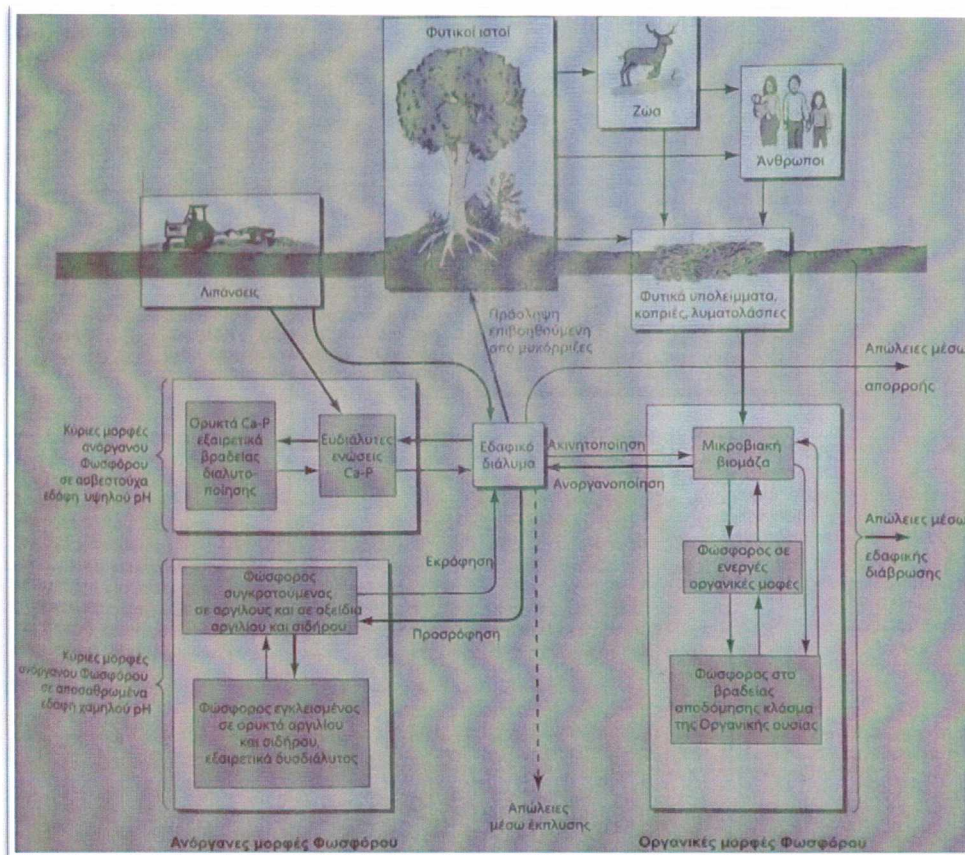
Εικόνα 3: Δείγματα με ανάπτυξη χρώματος για μέτρηση φωσφόρου. 43

Εικόνα 4: Τα κρεμμύδια κατά την συγκομιδή. 43

## 1. Εισαγωγή

### 1.1. Ο ρόλος του φωσφόρου για την θρέψη των φυτών

Ο φωσφόρος συμμετέχει σε πολλές βιολογικές λειτουργίες και βιοχημικές αντιδράσεις στο φυτό. Πιο συγκεκριμένα βοηθάει στο μεταβολισμό και στη διαίρεση των κυττάρων, στην ανάπτυξη του ριζικού συστήματος, στην ανθοφορία, στην καρποφορία και στην αντοχή των φυτών σε ασθένειες (Παναγιωτόπουλος, 2008).



**Σχήμα 1:** Ο κύκλος του φωσφόρου στα εδάφη. Τα πλαίσια αναπαριστούν τις πηγές των διαφόρων μορφών του φωσφόρου. Ενώ αντίθετα τα βέλη αναπαριστούν μετακινήσεις και μετατροπές φωσφόρου μεταξύ αυτών των πηγών. Τα τρία μεγαλύτερα λευκά πλαίσια δείχνουν τις κύριες ομάδες των φωσφορικών ενώσεων που βρίσκονται στο έδαφος, όπου μέσα σε κάθε μια από αυτές τις ομάδες τείνουν να επικρατήσουν οι λιγότερο διαλυτές και λιγότερο διαθέσιμες μορφές. Τα έντονα βέλη αναπαριστούν τις κυριότερες διαδρομές του φωσφόρου (διάγραμμα από R. Weil).

Ο κύκλος του φωσφόρου ξεκινάει με τα φωσφορικά πετρώματα από τα οποία μέσω της αποσάθρωσης ο φώσφορος αποθηκεύεται στο έδαφος και στα ιζήματα.

Επιπρόσθετα το έδαφος εμπλουτίζεται με φώσφορο από τα λιπάσματα. Στη συνέχεια απορροφούν τα φυτά τον φώσφορο και μετατρέπουν τα ανόργανα άλατα σε διάφορες οργανικές ενώσεις. Ύστερα τα φυτά τρώγονται από τα ζώα που μεταβολίζουν αυτές τις οργανικές ενώσεις. Τέλος, οι οργανοφωσφορικές ενώσεις μετατρέπονται με την βοήθεια των μικροοργανισμών (βακτήρια, μύκητες κ.α.) σε ανόργανα φωσφορικά άλατα.

Ο φώσφορος του εδάφους προέρχεται κυρίως από την αποσάθρωση του ορυκτού απατίτη και απαντάται στο εδαφικό διάλυμα με την μορφή ανιόντων. Οι αφομοιώσιμες μορφές φωσφόρου είναι οι  $H_2PO_4^-$ ,  $HPO_4^{2-}$  και  $PO_4^{3-}$ . Οι παράγοντες που επηρεάζουν τη συγκράτηση του φωσφόρου στο έδαφος είναι τα ορυκτά της αργίλου, ο χρόνος επαφής του φωσφόρου με το έδαφος, το pH και η οργανική ουσία. Ο φώσφορος συγκρατείται περισσότερο στα ορυκτά της αργίλου του τύπου 1/1 δηλαδή στα εδάφη που περιέχουν καολινίτη και σερπεντίνη. Παράλληλα όσο μεγαλύτερο είναι το χρονικό διάστημα επαφής του φωσφόρου, τόσο μεγαλύτερη είναι η δέσμευσή του. Για να έχουμε μέγιστη διαθεσιμότητα φωσφόρου πρέπει και το pH να βρίσκεται μεταξύ 6-7 (Μήτσιος, 2004α, Ashman and Puri, 2002, Rowell, 1994).

Παράγοντες που επηρεάζουν την προσρόφηση είναι:

- Η παρουσία κατιόντων (όσο μεγαλύτερο το σθένος του κατιόντος στο διάλυμα τόσο μεγαλύτερη είναι η απορρόφηση του φωσφόρου)
- Η υδατική καταπόνηση, η οποία μειώνει την απορρόφηση του φωσφόρου
- Η υψηλή συγκέντρωση φωσφόρου, η οποία αυξάνει την απορρόφηση.

Η μετατροπή του φωσφόρου από ανόργανη ένωση σε οργανική μορφή (αφομοιώσιμη για το φυτό) από τη στιγμή που απορροφάται από το φυτό περιλαμβάνει τρεις φάσεις. Κατά την πρώτη φάση ο ανόργανος φώσφορος απορροφάται και ενώνεται με οργανικά μόρια. Στη συνέχεια ακολουθεί η δεύτερη φάση, στην οποία αυτές οι προσωρινές φωσφοριλυμένες ενώσεις, μεταφέρουν την φωσφορική ομάδα σε άλλα μόρια, ένα βήμα που ονομάζεται τρανσφωσφορυλίωση. Στην τρίτη φάση το φωσφορικό ή πυροφωσφορικό άλας διαχωρίζεται από τα φωσφοριλυμένα ενδιάμεσα μόρια, είτε μέσω υδρόλυσης είτε μέσω αντικατάστασης από κάποιο οργανικό μόριο. Η κύρια πηγή ενέργειας για την ενσωμάτωση του φωσφόρου σε οργανικές ενώσεις απελευθερώνεται κατά τον οξειδωτικό μεταβολισμό (Tisdale and Nelson, 1966).



## 1.2. Γενικές πληροφορίες καλλιέργειας

Το κρεμμύδι ανήκει στην οικογένεια Liliaceae το γένος Allium. Η διάρκεια ζωής του είναι δύο χρόνια και ο τρόπος πολλαπλασιασμού του γίνεται με απευθείας σπορά στο έδαφος, με μεταφύτευση κοκκαριού και με μεταφύτευση νεαρών φυτών που έχουν είδη αναπτυχθεί στο σπορείο. Η μεταφύτευση νεαρών φυτών στο χωράφι γίνεται όταν τα νεαρά φυτά έχουν τρία έως πέντε φύλλα ή όταν η διάμετρος της βάσης του φυτού είναι περίπου έξι με επτά χιλιοστά. Κατά την καλλιέργεια του φρέσκου κρεμμυδιού χρειάζονται 15-20 λιπαντικές μονάδες αζώτου, 10-15 λιπαντικές μονάδες φωσφόρου και 25-30 λιπαντικές μονάδες καλίου. Γνωρίζουμε επίσης ότι ο φωσφόρος βοηθάει τη ριζοβόληση και το φύτρωμα των σπόρων, στηρίζει την καλή ανάπτυξη των φυτών και βελτιώνει την ποιότητα (Κανάκης, 2005).

Τα θρεπτικά στοιχεία που απομακρύνονται από το έδαφος μετά τη συγκομιδή είναι 1,02 κιλά αζώτου, 0,41 κιλά πεντοξειδίου του φωσφόρου, 1,12 κιλά οξειδίου του καλίου, 0,17 κιλά οξειδίου του μαγνησίου και 0,29 κιλά οξειδίου του ασβεστίου ανά στρέμμα. Επιπρόσθετα, η μέτρηση φυλλοδιαγνωστικής ανάλυσης σε ώριμα φύλλα μεσαίου σταδίου ανάπτυξης έδειξε ότι η περιεκτικότητα των φυτικών ιστών σε θρεπτικά στοιχεία είναι 3,1% του αζώτου, 0,33% του φωσφόρου, 3,3% του καλίου, 0,27% του μαγνησίου και 0,5% του ασβεστίου. Επίσης το κρεμμύδι είναι επιπολαιόριζο φυτό και για να έχουμε μεγάλη απόδοση χρειάζεται συχνά ποτίσματα ανάλογα βέβαια και τον εδαφικό τύπο. Στην Ελλάδα οι αποδόσεις σε φρέσκο κρεμμυδάκι μπορούν να φτάσουν τους 3 τόνους ανά στρέμμα (Χα και Πετρόπουλος, 2014).

## 1.3. Διαθεσιμότητα φωσφόρου και από ποιους παράγοντες εξαρτάται

Στα περισσότερα εδάφη της γης υπάρχει έλλειψη φωσφόρου. Πιο συγκεκριμένα στα γόνιμα εδάφη έχει παρατηρηθεί ότι η συγκέντρωση φωσφόρου είναι μικρότερη από  $310 \text{ mg L}^{-1}$ . Αντιθέτως τα ιζήματα των λιμνών και των θαλασσών παρουσιάζουν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις και μπορούν να μεταβάλλουν αντίστοιχα τις συγκεντρώσεις φωσφόρου σε αβαθή νερά, σε εκβολές ποταμών, σε λίμνες και σε βάλτους.

Οι μικρές συγκεντρώσεις φωσφόρου στο εδαφικό διάλυμα οφείλονται στη μικρή διαλυτότητα που έχει καθώς και στην υψηλή συγκράτηση του στο κρυσταλλικό

πλέγμα των ορυκτών της αργίλου (Al-Rohily *et al.*, 2013). Γνωρίζουμε ότι το 98-99% του φωσφόρου στα αργιλώδη εδάφη δεσμεύεται τόσο ισχυρά ώστε να μην μπορεί να προσροφηθεί από τα φυτά. Επίσης ένα μεγάλο μέρος του φωσφόρου υπάρχει σε οργανική μορφή στο έδαφος το οποίο δε διαλύεται.

Επίσης η έλλειψη φωσφόρου οφείλεται στη συνεχή καλλιέργεια των εδαφών χωρίς την ανάλογη λίπανση για αντικατάσταση των απορροφημένων από τα φυτά στοιχείων. Για να βελτιωθεί η γονιμότητα (σε φώσφορο) ενός όξινου εδάφους, χωρίς δυσμενείς για το περιβάλλον επιπτώσεις, μπορεί να γίνει χρήση βελτιωτικών εδάφους όπως το ασβέστιο, διάδορα φωσφορικά στοιχεία και η κοπριά (Onwonga *et al.*, 2013).

Στα Ελληνικά εδάφη εμφανίζεται σταδιακή συσσώρευση του φωσφόρου και για το λόγο αυτό είναι σημαντική η παρακολούθηση των επιπέδων του διαθέσιμου φωσφόρου, ειδικά σε περιοχές με έντονη αγροτική δραστηριότητα όπως η Θεσσαλία.

Τα φυτά με έλλειψη φωσφόρου εμφανίζουν καθυστερημένη ανάπτυξη και συχνά παρατηρείται κόκκινος χρωματισμός της φυλλικής επιφάνειας λόγω συσσώρευσης των ανθοκυανών. Παράλληλα τα φυτά μπορεί να έχουν σκουρότερο χρωματισμό στα φύλλα από τα κανονικά (σε θρέψη) φυτά. Τέλος κάτω από συνθήκες έλλειψης φωσφόρου η συγκέντρωση της χλωροφύλλης ανά μονάδα φυλλικής επιφάνειας είναι μεγαλύτερη αλλά η φωτοσυνθετική ικανότητα στην ίδια επιφάνεια είναι πολύ χαμηλότερη (Marschner, 1986).

Οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν την ποσότητα του οργανικού φωσφόρου στο έδαφος είναι η ποσότητα της οργανικής ουσίας, ο ανόργανος φώσφορος, η θερμοκρασία του εδάφους και το φυτικό είδος της καλλιέργειας. Βέβαια σημαντικό ρόλο παίζει επίσης η ασβέστωση του εδάφους, η ενεργότητα των ιόντων υδρογόνου, η συγκέντρωση του ανθρακικού ασβεστίου, η κοκκομετρική σύσταση καθώς και η αποστράγγιση του εδάφους (Αλιφραγκής, 2008).

Επίσης ο φωσφόρος που προστίθεται στο έδαφος μπορεί να μειώσει τη διαθεσιμότητα του, διότι αντιδρά με τα στοιχεία μαγνήσιο (Mg), ασβέστιο (Ca), αργίλιο (Al) και σίδηρο (Fe) (Μήτσιος, 2001). Τα κατιόντα αυτά μπορεί να περιέχονται στο εδαφικό



διάλυμα ή να είναι μέρος ενώσεων που προσροφούν το φωσφόρο και οι οποίες δεν είναι διαλυτές στο εδαφικό διάλυμα (Dixon *et al.*, 1977).

Όσον αφορά την προσρόφηση του φωσφόρου από τα εδάφη, γνωρίζουμε ότι στα ασβεστολιθικά εδάφη σχηματίζεται επιφανειακή επικάλυψη του από το ανθρακικό ασβέστιο (Naeem *et al.*, 2013). Αντίθετα στα ουδέτερα ή όξινα εδάφη ο φώσφορος προσροφάται στα ένυδρα οξείδια σιδήρου, αργιλίου και στις θραυστιγενές ακμές των ορυκτών της αργίλου (Arai and Livi, 2013). Με το πέρασμα των ετών, το στρώμα των φωσφορικών πάνω στο ανθρακικό ασβέστιο μπορεί να καλυφθεί από περισσότερο ανθρακικό ασβέστιο, όπως και τα φωσφορικά που προσροφώνται σε οξείδια, μπορούν να καλυφθούν από περισσότερα οξείδια. Αυτό οδηγεί στη σταδιακή μείωση της διαλυτότητας του φωσφόρου σε σχέση με το χρόνο.

Μεγάλη ανησυχία υπάρχει για την ταχύτερη εξάντληση των υψηλής ποιότητας φωσφορικών ορυκτών, τα οποία χρησιμοποιούνται στην παραγωγή υδατοδιαλυτών λιπασμάτων. Αυτό περιπλέκει ακόμη περισσότερο την κατάσταση, καθώς το κόστος παρασκευής των συγκεκριμένων λιπασμάτων είναι ήδη υψηλό. Τα ενεργά φωσφορικά ορυκτά και τα μερικώς οξινισμένα προϊόντα τους χρησιμοποιούνται συνήθως ως άμεσης εφαρμογής λιπάσματα, κυρίως σε όξινα εδάφη (Stewart, 1991).

Ο διαθέσιμος φωσφόρος είναι δεσμευμένος ελαφρά στα ορυκτά της αργίλου και είναι αυτός που μπορεί να προσλάβει μία καλλιέργεια. Για να κάνουμε τη βέλτιστη ανάλυση αυτής της ποσότητας φωσφόρου θα πρέπει το εκχυλιστικό διάλυμα να είναι κατάλληλος για κάθε τύπο εδάφους, να κάνει γρήγορη διάλυση ή προσρόφηση του εδαφικού φωσφόρου, να διατηρεί την οργανική ουσία καθώς και την άργιλο σε κατάσταση θρόμβωσης. Επιπρόσθετα το εκχυλιστικό διάλυμα θα πρέπει να αποτρέπει την καθίζηση του διαλυμένου φωσφόρου και την υδρόλυση του οργανικού φωσφόρου (Θερίος, 2005).

Οι βασικοί λόγοι για τους οποίους προσδιορίζουμε την ποσότητα του φωσφόρου στο έδαφος είναι:

- Για να γνωρίζουμε τις λιπάνσεις που χρειάζεται να κάνει ο παραγωγός, με σκοπό την βέλτιστη ανάπτυξη της καλλιέργειας του και κατ' επέκταση την αύξηση των εισοδημάτων του.

- Για να αποφύγουμε την υπερλίπανση του εδάφους, η οποία θα οδηγήσει σε μετακίνηση του φωσφόρου στους υδάτινους αποδέκτες, μέσω της επιφανειακής απορροής και της έκπλυσης καθώς και τη δημιουργία ευτροφισμού (Catt *et al*, 1998).

#### 1.4.Κατηγορίες εδαφών

##### ➤ Entisols

Τα Entisols είναι ανόργανα εδάφη τα οποία δεν έχουν στο προφίλ τους ανάπτυξη πάνω από ενός ορίζοντες. Πιο συγκεκριμένα έχει ορίζοντες A και C. Η ονομασία τους προέρχεται από την κατάληξη «ent» της λέξης «recent» που σημαίνει πρόσφατος. Είναι εδάφη με μικρή ανάπτυξη, έχουν κατά κύριο λόγο ωχρικό επίπεδο και γεωγραφικά καταλαμβάνουν το 18% της επιφάνειας της γης. Στην Ελλάδα καταλαμβάνουν περίπου το 40% των εδαφών. Επίσης αναφέρεται ότι η παραγωγή των καλλιεργειών σε αυτά τα εδάφη ποικίλει, διότι εξαρτάται από την τοποθεσία και τις χημικές ιδιότητες του εδάφους. Όταν σε αυτά τα εδάφη εφαρμόζεται ισορροπημένη λίπανση και άρδευση, μπορεί να αυξηθεί κατά πολύ η παραγωγή. Παρόλα αυτά ο περιορισμός που εμφανίζουν στο βάθος, στην περιεκτικότητα σε άργιλο, καθώς και στην υδατική τους ισορροπία τα καθιστά λιγότερο εκμεταλλεύσιμα (Brady and Weil, 1974, Buol *et al*, 1973).

##### ➤ Inceptisols

Τα Inceptisols είναι ανόργανα εδάφη τα οποία έχουν έναν ή περισσότερους εδαφογενετικούς ορίζοντες. Πιο συγκεκριμένα αυτά τα εδάφη έχουν ορίζοντες A, B και C. Στους συγκεκριμένους ορίζοντες τα ανόργανα υλικά, εκτός των ανθρακικών και του άμορφου πυριτίου, έχουν μεταβληθεί και μετακινηθεί χωρίς να έχουν συσσωρευτεί σε σημαντικό βαθμό. Αυτή η κατηγορία εδαφών υπάρχει στην Ελλάδα και περιλαμβάνει εδάφη που είναι περισσότερο εξελιγμένα από τα Entisols. Η αντίδραση αυτών των εδαφών είναι ελαφρώς αλκαλική, ουδέτερη ή ελαφρώς όξινη. Τα συναντάμε σε περιοχές με σχετικά υψηλό υψόμετρο και χρησιμοποιούνται στη δασοκομία για ανασύσταση του εδάφους στις λεκάνες απορροής (Buol *et al*, 1973).

##### ➤ Alfisols

Τα Alfisols καλύπτουν περίπου το 9,7% της επιφάνειας της στεριάς. Οι κλιματικές συνθήκες της Ελλάδας καθώς και το μητρικό υλικό έχουν ευνοήσει στη δημιουργία

τέτοιων εδαφών και για αυτό το λόγο παρατηρούνται σε ευρεία κλίμακα. Τα εδάφη αυτά είναι ανόργανα τα οποία έχουν ουμβρικό ή ωχρικό επίπεδο και αργιλικό, νατρικό ή καλσικό ορίζοντα. Έχουν επίσης μικρή διηθητικότητα και παρουσιάζουν μεγάλο κίνδυνο διάβρωσης καθώς και μεγάλη δυσκολία στη γεωργική εκμετάλλευσή τους. Επίσης όταν έχουμε μεγάλη ποσότητα αργίλου, παρουσιάζεται πρόβλημα με την αύξηση της υπόγειας στάθμης (Buol *et al*, 1973).

#### 1.5. Ερευνητικές ανάγκες και σκοπός της εργασίας

Στης παρούσα εργασία μελετήθηκε η συμπεριφορά του φωσφόρου. Παράλληλα για να έχουμε τεκμηριωμένα αποτελέσματα πραγματοποιήσαμε πείραμα με εδάφη της μεσογειακής ζώνης, τα οποία βρίσκονται σε αρχικό και σε προχωρημένο στάδιο αποσάθρωσης. Κατά την διεξαγωγή της εργασίας έγινε και βιολογικό πείραμα, έτσι ώστε να μελετήσουμε τη συμπεριφορά του φωσφόρου, ο οποίος συγκρατείται από το έδαφος και απορροφάται από τα φυτά. Επίσης ερευνήθηκε ο βαθμός δέσμευσης φωσφόρου σε εδάφη διαφόρων βαθμών δεσμευτικότητας ιδίως όταν τα εδάφη έχουν εύρος pH (όξινα-αλκαλικά).

Οι κύριοι σκοποί της εργασίας είναι οι ακόλουθοι:

- Να μετρηθεί η δέσμευση του φωσφόρου σε εδάφη με διαφορετικό βαθμό πεδογένεσης, που να διαφέρουν ως προς το pH με πείραμα προσρόφησης.
- Να μετρήσουμε τη διαθεσιμότητα του φωσφόρου σε φυτά ευαίσθητα σε μεταβολές του συγκεκριμένου στοιχείου, όπως το κρεμμύδι, ιδίως μετά την προσθήκη επιπλέον ποσοτήτων φωσφόρου σε τέτοια εδάφη.
- Να αξιολογήσουμε τη διαθεσιμότητα και τη κινητικότητα του φωσφόρου στο σύστημα έδαφος-φυτό.

## 2. Υλικά και Μέθοδοι

### 2.1 Σχεδιασμός πειράματος

Ξεκινήσαμε με την επιλογή δειγμάτων σε 13 διαφορετικά εδάφη της περιοχής της Θεσσαλίας. Η διαδικασία έγινε αφού πρώτα συμβουλευτήκαμε εδαφολογικό χάρτη της περιοχής. Προσέξαμε τα εδάφη να διαφέρουν ως προς την πεδογένεση τους καθώς και στο pH τους. Στη συνέχεια αφού συλλέξαμε αρκετή ποσότητα για τις αναλύσεις και τις μεταχειρίσεις του κάθε δείγματος, περάσαμε στη φάση της επεξεργασίας των δειγμάτων. Σε αυτή τη φάση τοποθετήσαμε τα εδάφη με τέτοιο τρόπο ώστε να αεροξηραθούν και μετά τα κοσκινίσαμε, ώστε να είναι εύκολη η μεταχείριση τους.

Τα εδάφη ταξινομήθηκαν με βάση τη συλλογή τους και ακολούθησε η κωδικοποίηση τους ως εξής, τα εδάφη Entisols ( $E_1, E_2, E_3$  και  $E_4$ ), τα Inceptisols ( $I_1, I_2, I_3, I_4$  και  $I_5$ ) και τα Alfisols ( $A_1, A_2, A_3$  και  $A_4$ ). Τα εδάφη, τα χωρίσαμε σε δύο μέρη: Στο πρώτο μέρος βάρους 1 kg διεξάγαμε πείραμα προσρόφησης φωσφόρου, ενώ το υπόλοιπο (περίπου 100 kg) το χρησιμοποιήσαμε στο βιολογικό πείραμα ανάπτυξης.

#### 2.1.1 Σχεδιασμός βιολογικού πειράματος

Ικανή ποσότητα εδάφους, την αναμίξαμε με ίση ποσότητα περλίτη και δημιουργήσαμε μείγμα αναλογίας ένα προς ένα. Αυτό το μείγμα το χωρίσαμε ισόποσα σε γλάστρες (10 έως 12 των 2 L) και κάναμε την μεταφύτευση των σπορόφυτων κρεμμυδιού (**Εικόνα 1 και 2**) (η μεταφύτευση έγινε 15 Νοεμβρίου 2013). Μετά την μεταφύτευση κάναμε με την πρώτη άρδευση και λίπανση των φυτών. Πιο συγκεκριμένα σε όλες τις γλάστρες κάναμε λίπανση αζώτου  $50 \text{ mg N kg}^{-1}$  (ισοδύναμο με  $20 \text{ kg N}$  ανά στέμμα), ενώ στις μισές γλάστρες της κάθε μεταχείρισης προσθέσαμε λίπανση φωσφόρου  $440 \text{ mg P kg}^{-1}$  (ισοδύναμο με  $200 \text{ kg P}_2\text{O}_5$  ανά στρέμμα, λαμβάνοντας φαινόμενη πυκνότητα ίση με  $1.33 \text{ g cm}^{-3}$  και βάθος ενσωμάτωσης ίσο με 15 cm). Συνεπώς είχαμε δύο μεταχειρίσεις σε κάθε δείγμα εδάφους και πέντε με έξι επαναλήψεις για κάθε μεταχείριση. Η λίπανση του αζώτου έγινε με σκοπό να μην υπάρξει άλλος περιοριστικός παράγοντας ανάπτυξης της καλλιέργειας εκτός από το φωσφόρο.

Τα φυτά τα ποτίζαμε δύο με τρεις φορές την εβδομάδα ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες και η διάρκεια από τη μέρα της μεταφύτευσης έως την συγκομιδή ήταν

περίπου έξι μήνες (η συγκομιδή έγινε 25 Απριλίου 2014). Παράλληλα έγιναν οι ακόλουθες αναλύσεις χαρακτηρισμού στο έδαφος πριν από την έναρξη των μεταχειρίσεων: pH, ηλεκτρική αγωγιμότητα, οργανική ουσία, κοκκομετρική σύσταση, ανθρακικό ασβέστιο, φώσφορος (Olsen, υδατοδιαλυτός, Mehlich-3 και οξαλικό αμμώνιο), ανταλλάξιμα κατιόντα ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ) και ιχνοστοιχεία (Fe, Mn, Zn, Cu, Cd, Pb). Μετά από τη συγκομιδή, επαναλάβαμε τις αναλύσεις του φωσφόρου σε δείγματα εδάφους (Olsen, υδατοδιαλυτός, Mehlich-3 και οξαλικού αμμωνίου) για να διαπιστώσουμε τις ποσότητες των στοιχείων που προσρόφησε το φυτό μας.

Επιπρόσθετα στα φυτά μετά τη συγκομιδή έγιναν αναλύσεις φωσφόρου και μετρήσεις ανάπτυξης. Πιο συγκεκριμένα μετρήσαμε το νωπό και ξηρό βάρος του βολβού και των φύλλων, το μήκος του στελέχους και την περιεκτικότητα σε φωσφόρο.

Κατά την διεξαγωγή του βιολογικού πειράματος στα εδάφη είχαμε την ακόλουθη κωδικοποίηση. Με βάση το πλήθος των επαναλήψεων E1 (A, B, Γ, Δ, E, Z, H, Θ, I, K), E2 (A, B, Γ, Δ, E, Z, H, Θ, I, K), E3 (A, B, Γ, Δ, E, Z, H, Θ, I, K, Λ), E4 (A, B, Γ, Δ, E, Z, H, Θ, I, K, Λ), I1 (A, B, Γ, Δ, E, Z, H, Θ, I, K), I2 (A, B, Γ, Δ, E, Z, H, Θ, I, K, Λ), I3 (A, B, Γ, Δ, E, Z, H, Θ, I, K, Λ), I4 (A, B, Γ, Δ, E, Z, H, Θ, I, K, Λ), I5 (A, B, Γ, Δ, E, Z, H, Θ, I, K), A1 (A, B, Γ, Δ, E, Z, H, Θ, I, K), A2 (A, B, Γ, Δ, E, Z, H, Θ, I, K, Λ), A3 (A, B, Γ, Δ, E, Z, H, Θ, I, K) και A4 (A, B, Γ, Δ, E, Z, H, Θ, I, K). Σε όλα τα εδάφη τα γράμματα A, B, Γ, Δ και E αντιστοιχούν στις επαναλήψεις όπου χορηγήσαμε φώσφορο, ενώ τα υπόλοιπα γράμματα αφορούν τη μεταχείριση χωρίς προσθήκη φωσφόρου.

**Πίνακας 1.** Επιλεγμένες φυσικές και χημικές ιδιότητες των 13 εδαφών.

	pH	Άμμος	Άργιλος	OC¶	CaCO <sub>3</sub>	ΙΑΚ	Feox¥	Mnox¥	Alox¥
		%				cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	mmol kg <sup>-1</sup>		
A1	6,80	37,2	30,4	0,76	0,00	16,41	57,44	19,57	36,39
A2	6,73	28,4	38,4	0,62	0,00	23,10	35,46	10,90	27,18
A3	7,21	18,4	42,4	1,01	0,24	32,30	30,35	10,81	40,19
A4	7,46	22,4	38,0	0,77	0,30	25,61	30,87	10,12	34,42
E1	6,67	68,4	24,4	0,70	0,00	5,14	13,40	4,15	7,41
E2	7,53	12,4	38,4	0,84	3,88	40,67	34,27	7,68	30,87
E3	7,62	54,4	24,4	0,99	1,42	11,58	7,11	6,28	9,57
E4	7,75	58,4	28,4	1,23	0,45	17,86	19,00	4,14	10,41
I1	7,83	56,4	14,4	1,19	2,18	10,55	8,42	6,09	14,56
I2	6,55	36,4	20,4	1,18	0,00	6,37	19,55	4,95	14,50
I3	7,07	31,6	22,4	0,68	0,26	7,21	18,30	5,99	16,61
I4	7,64	64,4	26,4	0,88	0,37	13,86	7,77	5,40	9,25
I5	7,82	32,0	28,4	0,27	0,36	13,90	17,94	8,61	15,24

¶ Οργανικός C.

¥ Άμορφα οξείδια Fe, Mn, και Al εκχυλισμένα με οξαλικό αμμώνιο`

## 2.2 Μέθοδοι ανάλυσης εδάφους

### 2.2.1 Προετοιμασία δείγματος

Το εδαφικό δείγμα μετά από τη συλλογή του, το απλώσαμε και το αφήσαμε να αεροξηρανθεί. Η διάρκεια της αεροξήρανσης ποικίλει ανάλογα με την κοκκομετρική σύσταση του κάθε εδάφους. Για παράδειγμα τα ελαφρά εδάφη αεροξηραίνονται σε 2-3 μέρες, ενώ τα αργιλώδη χρειάζονται έως και 10 μέρες. Επίσης μια ακόμη μέθοδος ξήρανσης είναι να τοποθετήσουμε τα εδάφη σε αλουμινένιους δίσκους σε φούρνο στους 40-50 °C, όπου η αεροξήρανση ολοκληρώνεται σε περίπου 2-3 μέρες. Στη συνέχεια τα δείγματα τα λειοτριβήσαμε με πορσελάνινο γουδί και τα κοσκινίσαμε σε κόσκινο με ανοίγματα 2 mm. Το κάθε κοσκινισμένο δείγμα αποθηκεύτηκε σε κουτί μέχρι να πραγματοποιηθεί η ανάλυσή του.

### 2.2.2 Μέτρηση pH

Για την μέτρηση του pH ζυγίσαμε 5 g εδάφους και τα τοποθετήσαμε σε μπουκαλάκια τύπου falcon 50 mL. Στη συνέχεια προσθέσαμε σε κάθε μπουκαλάκι 25 mL απιονισμένου νερού και τα τοποθετήσαμε στη μηχανή ανάδευσης για 20 λεπτά. Μετέπειτα τα αφήσαμε σε ηρεμία για περίπου 30 λεπτά και η μέτρηση του pH έγινε σε ηλεκτρικό πεχάμετρο. Σε κάθε 10 δείγματα που μετράγαμε κάναμε έλεγχο στο ηλεκτροδίο του πεχαμέτρου με standard διάλυμα με pH 7.

### 2.2.3 Μέτρηση ηλεκτρικής αγωγιμότητας

Για την μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας ζυγίσαμε 5 g εδάφους σε μπουκαλάκια τύπου falcon 50 mL. Έπειτα προσθέσαμε 25 mL απιονισμένου νερού. Στη συνέχεια κάναμε ανακίνηση για 20 λεπτά στη μηχανή ανάδευσης και μετά μετρήσαμε άμεσα τα δείγματα στο αγωγιμόμετρο.

### 2.2.4 Μέθοδοι εκχύλισης φωσφόρου

Η μέτρηση φωσφόρου γίνεται σε δύο στάδια, πρώτα με εκχύλιση και μετά με ανάπτυξη κυανού χρώματος και μέτρηση. Η εκχύλιση του φωσφόρου γίνεται με πολλές μεθόδους (εδώ περιγράφονται τέσσερις από αυτές, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν και στο συγκεκριμένο πείραμα), ωστόσο η μέτρηση φωσφόρου με την ανάπτυξη κυανού χρώματος στα εκχυλίσματα είναι διαδικασία κοινή για όλες τις μεθόδους εκχύλισης. (**Εικόνα 3**) Ακολουθώς περιγράφεται η διαδικασία μέτρησης του φωσφόρου καθώς και οι μέθοδοι εκχύλισής του.



Ανάπτυξη κυανού χρώματος και μέτρηση φωσφόρου

#### Αντιδραστήριο Α

Για την παρασκευή του αντιδραστηρίου Α χρειάστηκε να διαλύσουμε 12 g μολυβδαινικό αμμώνιο,  $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  σε περίπου 250 mL αποσταγμένου νερού. Στη συνέχεια διαλύσαμε 0,2908 g τρυγικό κάλιο-αντιμονύλιο,  $(\text{KSbO} \cdot \text{C}_4\text{H}_4\text{O})$  σε περίπου 100 mL αποσταγμένο νερό. Επιπρόσθετα προσθέσαμε σε ογκομετρική φιάλη του 1 L, 140 mL πυκνό θειικό οξύ ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) και τη συμπληρώσαμε μέχρι τη χαραγή με αποσταγμένο νερό. Κατόπιν σε ογκομετρική φιάλη των 2 L μεταφέραμε τα αντιδραστήρια 1, 2 και 3, συμπληρώσαμε τη φιάλη μέχρι την χαραγή με αποσταγμένο νερό, την ανακινήσαμε καλά και την αποθηκεύσαμε.

#### Αντιδραστήριο Β

Για την παρασκευή του αντιδραστηρίου Β χρειαστήκαμε 100 mL του Αντιδραστηρίου Α και σε αυτά διαλύσαμε 0,528 g ασκορβικού οξέος. Το συγκεκριμένο αντιδραστήριο έχει κίτρινο χρώμα.

Όλα τα διαλύματα που έχουν αναπτυχθεί σε κυανό χρώμα, μετριοούνται σε φασματοφωτόμετρο σε μήκος κύματος 882 nm, ενώ ο υπολογισμός του φωσφόρου γίνεται με βάση την παρακάτω εξίσωση.

Φώσφορος ( $\text{mg kg}^{-1}$  εδάφους) = (mL διαλύματος εκχύλισης \* mL ογκομετρικής φιάλης/mL διηθήματος στην ογκομετρική φιάλη) \* (A/B), όπου A=  $\text{mg P L}^{-1}$  στο εκχύλισμα (αυτό που μετράμε στο φασματοφωτόμετρο) και B = βάρος εδάφους σε g.

#### Υδατοδιαλυτός φώσφορος

Για να παρασκευάσουμε το αντιδραστήριο χρειαστήκαμε 1.4701 g χλωριούχου ασβεστίου ( $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) (0,01 M) και τα διαλύσαμε σε 1000 mL απιονισμένου νερού. Στη συνέχεια σε falcon των 30 mL ζυγίσαμε περίπου 10 g εδάφους, αλλά ακριβώς καταγεγραμμένα. Με τη βοήθεια ογκομετρικού κυλίνδρου των 25 mL προσθέσαμε 20 mL αραιό χλωριούχο ασβέστιο ( $\text{CaCl}_2$  0,01 M) και κάναμε ανακίνηση για 1 ώρα, φυγοκέντρηση και διήθηση του υπερκείμενου διαλύματος σε δοχείο falcon των 50 mL.

Μετέπειτα κάναμε την ανάπτυξη χρώματος στα δείγματα και στα standard (δείγματα γνωστής συγκέντρωσης). Πιο συγκεκριμένα σε ογκομετρικές φιάλες των 25 mL βάλαμε 20 mL εκχυλίσματος, 2,5 mL Αντιδραστηρίου Β (ασκορβικό οξύ), ρυθμίσαμε

το pH στην τιμή 7 με αραιό οξύ υδροχλωρίου(0,2098 M HCl) ή με αραιή βάση υδροξιλίου του νατρίου (0,3 M NaOH). Τέλος συμπληρώσαμε με απιονισμένο νερό έως τη χαραγή.

Για να φτιάξουμε τα standard διαλύματα χρειαστήκαμε ογκομετρικές φιάλες των 25 mL στις οποίες και προσθέσαμε σε έξι διαφορετικές φιάλες 0, 0.5, 1, 2, 4, 6 mL διαλύματος  $5 \text{ mg P L}^{-1}$ , αντίστοιχα. Έτσι δημιουργήσαμε πρότυπα διαλύματα με συγκέντρωση φωσφόρου 0, 0.1, 0.2, 0.4, 0.8 και  $1.2 \text{ mg P L}^{-1}$ . Στη συνέχεια βάλουμε 15 mL χλωριούχου ασβεστίου ( $\text{CaCl}_2$  0,01 M), 2,5 mL Αντιδραστηρίου B (ασκορβικό οξύ), ρυθμίσαμε το pH στην τιμή 7 με αραιό οξύ υδροχλωρίου(0,2098 M HCl) ή με αραιή βάση υδροξιλίου του νατρίου(0,3 M NaOH). Τέλος συμπληρώσαμε με απιονισμένο νερό έως τη χαραγή. Κατόπιν αφήσαμε 30 λεπτά όλα τα διαλύματα για να αναπτυχθεί το χρώμα και μετρήσαμε το φωσφόρο όπως φαίνεται παρακάτω. Με το φωσφόρο που μετρήσαμε στα standard κάναμε την καμπύλη βαθμονόμησης, από όπου υπολογίσαμε τη συγκέντρωση του φωσφόρου στο εκχύλισμα ( $\text{mg L}^{-1}$ ) και με βάση την εξίσωση.

Φώσφορος ( $\text{mg kg}^{-1}$  εδάφους) = (mL διαλύματος εκχύλισης \* mL ογκομετρικής φιάλης/mL διηθήματος στην ογκομετρική φιάλη) \* (A/B), όπου A=  $\text{mg P L}^{-1}$  στο εκχύλισμα (αυτό που μετράμε στο φασματοφωτόμετρο) και B = βάρος εδάφους σε g(Lee *et al* 1965, Luscombe *et al* 1979, Murphy and Riley, 1962, Olsen, *et al* 1982).

### Μέθοδος Mehlich – 3

Αρχικά κατασκευάσαμε το αντιδραστήριο διάλυμα M.1. Σε κωνική φιάλη των 1000 mL διαλύσαμε 277,8 g  $\text{NH}_4\text{F}$  με 600 mL απιονισμένου νερού. Επιπρόσθετα σε ποτήρι ζέσεως των 250 mL ζυγίσαμε 146,1 g  $\text{EDTA-Na}_2$ , το μεταφέραμε με πλύσεις με απιονισμένο νερό σε ποτήρι ζέσεως των 2000 mL και προσθέσαμε απιονισμένο νερό έως τα 600 mL και στη συνέχεια κάναμε ανάδευση έως ότου διαλυθεί. Τέλος το περιεχόμενο των δύο κωνικών το μεταφέραμε ποσοτικά σε ογκομετρική φιάλη των 2000 mL και συμπληρώσαμε τον όγκο μέχρι τη χαραγή.

Στη συνέχεια, για το αντιδραστήριο διάλυμα M.3 χρειαστήκαμε κωνική φιάλη των 1000 mL ώστε να ζυγίσουμε 40 g  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ . Μετέπειτα προσθέσαμε 500 mL  $\text{H}_2\text{O}$ , το διαλύσαμε και το μεταφέραμε ποσοτικά σε ογκομετρική φιάλη των 2 L.

Για την παρασκευή του αντιδραστηρίου διαλύματος M.2 προσθέσαμε στο M.3, 8 mL διαλύματος M.1, 23 mL αιθανικό οξύ (CH<sub>3</sub>COOH), 16 mL πυκνό νιτρικό οξύ (HNO<sub>3</sub>) και συμπληρώσαμε τον όγκο με απιονισμένο νερό.

Για την εκχύλιση χρειαστήκαμε falcon των 50 mL στα οποία ζυγίσαμε 2 g εδάφους και προσθέσαμε 20 mL διαλύματος M.3. Τα ανακινήσαμε για 5 λεπτά και τα διηθήσαμε σε falcon των 50 mL.

Όσον αφορά την ανάπτυξη χρώματος βάλουμε σε ογκομετρικές φιάλες των 25 mL, 2 mL εκχυλίσματος, 2,5 mL Αντιδραστηρίου B (ασκορβικό οξύ), ρυθμίσαμε το pH στην τιμή 7 με αραιό οξύ υδροχλωρίου (0,2098 M HCl) ή με αραιή βάση υδροξιλίου του νατρίου (0,3 M NaOH). Τέλος συμπληρώσαμε με απιονισμένο νερό έως τη χαραγή.

Για να φτιάξουμε τα standard διαλύματα χρειαστήκαμε ογκομετρικές φιάλες των 25 mL στις οποίες και προσθέσαμε σε έξι διαφορετικές φιάλες 0, 0.5, 1, 2, 4, 6 mL διαλύματος 5 mg P L<sup>-1</sup>, αντίστοιχα. Έτσι δημιουργήσαμε πρότυπα διαλύματα με συγκέντρωση φωσφόρου 0, 0.1, 0.2, 0.4, 0.8 και 1.2 mg P L<sup>-1</sup>. Στη συνέχεια βάλουμε 2 mL διαλύματος M.3, 2,5 mL Αντιδραστηρίου B (ασκορβικό οξύ) και ρυθμίσαμε το pH στην τιμή 7 με αραιό οξύ υδροχλωρίου (0,2098 M HCl) ή με αραιή βάση υδροξιλίου του νατρίου (0,3 M NaOH). Τέλος συμπληρώσαμε με απιονισμένο νερό έως τη χαραγή.

Κατόπιν αφήσαμε τα διαλύματα 30 λεπτά για την ανάπτυξη χρώματος και μετρήσαμε το φωσφόρο. Με το φωσφόρο που μετρήσαμε στα standard κάναμε την καμπύλη βαθμολόγησης, από όπου υπολογίσαμε τη συγκέντρωση του φωσφόρου στο εκχύλισμα (mg L<sup>-1</sup>) με βάση την εξίσωση.

Φώσφορος (mg kg<sup>-1</sup> εδάφους) = (mL διαλύματος εκχύλισης \* mL ογκομετρικής φιάλης/mL διηθήματος στην ογκομετρική φιάλη) \* (A/B), όπου A= mg P L<sup>-1</sup> στο εκχύλισμα (αυτό που μετράμε στο φασματοφωτόμετρο) και B = βάρος εδάφους σε g. (Mehlich, 1984, Tucker, 1992, Sims, 1989, Tran and Simard, 1993)

### Μέθοδος οξαλικού αμμωνίου

Με τη μέθοδο του οξαλικού αμμωνίου εκχυλίζουμε και τα άμορφα οξείδια Fe, Al και Mn.

Τα αντιδραστήρια που χρειαστήκαμε είναι Διάλυμα Α (0,2 Μ οξαλικό αμμώνιο) και για να το παρασκευάσουμε χρειάστηκε να διαλύσουμε 28,3 g οξαλικό αμμώνιο σε 1000 mL απιονισμένου νερού. Για να παρασκευάσουμε το διάλυμα Β (0,2 Μ οξαλικό οξύ) χρειάστηκε να διαλύσουμε 25,2 g οξαλικό οξύ σε 1000 mL απιονισμένου νερού. Παράλληλα σε ποτήρι ζέσεως των 2000 mLθα κάναμε μείξη 700 mL διαλύματος Α και 535 mL διαλύματος Β και κάναμε έλεγχο του pH του διαλύματος. Στην περίπτωση που το pH δεν είχε την τιμή 3, το ρυθμίσαμε, προσθέτοντας είτε διάλυμα Α είτε διάλυμα Β. Αυτό που προκύπτει είναι το διάλυμα C.

Για την εκχύλιση χρειαστήκαμε falcon των 50 mL, στα οποία ζυγίσαμε 0,5 g εδάφους και προσθέσαμε 20 mL διαλύματος C. Τέλος τα ανακινήσαμε σε σκοτεινό θάλαμο για 4 ώρες και τα διηθήσαμε.

Για την ανάπτυξη χρώματος χρειαστήκαμε ογκομετρικές φιάλες των 25 mL, στις οποίες βάλαμε 1 mL εκχυλίσματος, 2,5 mL Αντιδραστηρίου Β (ασκορβικό οξύ), ρυθμίσαμε το pH στην τιμή 7 με αραιό οξύ υδροχλωρίου (0,2098 Μ HCl) ή με αραιή βάση υδροξιλίου του νατρίου (0,3 Μ NaOH) και συμπληρώσαμε με απιονισμένο νερό έως τη χαραγή.

Για να φτιάξουμε τα standard διαλύματα χρειαστήκαμε ογκομετρικές φιάλες των 25 mL στις οποίες και προσθέσαμε σε έξι διαφορετικές φιάλες 0, 0.5, 1, 2, 4, 6 mL διαλύματος 5 mg P L<sup>-1</sup>, αντίστοιχα. Έτσι δημιουργήσαμε πρότυπα διαλύματα με συγκέντρωση φωσφόρου 0, 0.1, 0.2, 0.4, 0.8 και 1.2 mg P L<sup>-1</sup>. Στη συνέχεια βάλαμε 1 mL διαλύματος C, 2,5 mL Αντιδραστηρίου Β (ασκορβικό οξύ) και ρυθμίσαμε το pH στην τιμή 7 με αραιό οξύ υδροχλωρίου (0,2098 Μ HCl) ή με αραιή βάση υδροξιλίου του νατρίου (0,3 Μ NaOH). Τέλος συμπληρώσαμε με απιονισμένο νερό έως τη χαραγή.

Στη συνέχεια αφήσαμε για 30 λεπτά τα διαλύματα ώστε να αναπτυχθεί το χρώμα και μετρήσαμε το φωσφόρο. Με το φωσφόρο που μετρήσαμε στα standard κάναμε την

καμπύλη βαθμολόγησης, από όπου υπολογίσαμε τη συγκέντρωση του φωσφόρου στο εκχύλισμα ( $\text{mg L}^{-1}$ ) με βάση την εξίσωση.

Φώσφορος ( $\text{mg kg}^{-1}$  εδάφους) = ( $\text{mL}$  διαλύματος εκχύλισης \*  $\text{mL}$  ογκομετρικής φιάλης/ $\text{mL}$  διηθήματος στην ογκομετρική φιάλη) \* (A/B), όπου A=  $\text{mg P L}^{-1}$  στο εκχύλισμα (αυτό που μετράμε στο φασματοφωτόμετρο) και B = βάρος εδάφους σε g.

### Μέθοδος Olsen

Η μέθοδος Olsen είναι κατάλληλη για ασβεστούχα εδάφη. Ωστόσο έχει καθιερωθεί σε πολλά εργαστήρια η μέθοδος αυτή να χρησιμοποιείται ανεξαιρέτως για όλα τα εδάφη.

Τα αντιδραστήρια που χρησιμοποιήσαμε για αυτή τη μέθοδο είναι το  $0.5 \text{ NaHCO}_3$  pH 8.5. Για να το παρασκευάσουμε διαλύσαμε  $84.01 \text{ g NaHCO}_3$  σε  $1800 \text{ mL}$  απιονισμένο νερό. Στη συνέχεια ελέγξαμε το pH και το ρυθμίσαμε στην τιμή 8,5 είτε με αραιό οξύ υδροχλωρίου ( $0,2098 \text{ M HCl}$ ) ή με αραιή βάση υδροξιλίου του νατρίου ( $0,3 \text{ M NaOH}$ ). Τέλος μεταφέραμε ποσοτικά σε ογκομετρική φιάλη  $2 \text{ L}$  και συμπληρώσαμε με απιονισμένο νερό μέχρι τη χαραγή.

Η εκχύλιση έγινε σε πλαστικά μπουκαλάκια falcon των  $50 \text{ mL}$ , στα οποία ζυγίσαμε περίπου  $1 \text{ g}$  εδάφους, αλλά ακριβώς καταγεγραμμένο και προσθέσαμε  $20 \text{ mL}$   $0,5 \text{ M NaHCO}_3$ . Μετέπειτα κάναμε ανάδευση για  $30$  λεπτά και διηθήσαμε με αργό διηθητικό χαρτί σε πλαστικά δοχεία και κάναμε παραλαβή του εκχυλίσματος. Η ανάπτυξη χρώματος έγινε σε ογκομετρικές φιάλες των  $25 \text{ mL}$ . Προσθέσαμε  $5 \text{ mL}$  εκχυλίσματος,  $2,5 \text{ mL}$  Αντιδραστηρίου B (ασκορβικό οξύ) και ρυθμίσαμε το pH στην τιμή 7 με αραιό οξύ υδροχλωρίου ( $0,2098 \text{ M HCl}$ ) ή με αραιή βάση υδροξιλίου του νατρίου ( $0,3 \text{ M NaOH}$ ) και συμπληρώσαμε με απιονισμένο νερό έως τη χαραγή.

Για να φτιάξουμε τα standard διαλύματα χρειαστήκαμε ογκομετρικές φιάλες των  $25 \text{ mL}$  στις οποίες και προσθέσαμε σε έξι διαφορετικές φιάλες  $0, 0.5, 1, 2, 4, 6 \text{ mL}$  διαλύματος  $5 \text{ mg P L}^{-1}$ , αντίστοιχα. Έτσι δημιουργήσαμε πρότυπα διαλύματα με συγκέντρωση φωσφόρου  $0, 0.1, 0.2, 0.4, 0.8$  και  $1.2 \text{ mg P L}^{-1}$ . Επιπρόσθετα βάλαμε  $5 \text{ mL}$  διαλύματος  $0.5 \text{ NaHCO}_3$  pH 8.5,  $2,5 \text{ mL}$  Αντιδραστηρίου B (ασκορβικό οξύ) και ρυθμίσαμε το pH στην τιμή 7 με αραιό οξύ υδροχλωρίου ( $0,2098 \text{ M HCl}$ ) ή με αραιή

βάση υδροξιλίου του νατρίου (0,3 M NaOH). Τέλος συμπληρώσαμε με απιονισμένο νερό έως τη χαραγή.

Κατόπιν αφήσαμε τα διαλύματα για 30 λεπτά ώστε να αναπτυχτεί το χρώμα και μετρήσαμε το φωσφόρο. Με το φωσφόρο που μετρήσαμε στα δείγματα standard κάναμε την καμπύλη βαθμολόγησης, από όπου υπολογίσαμε τη συγκέντρωση του φωσφόρου στο εκχύλισμα ( $\text{mg L}^{-1}$ ) με βάση την εξίσωση.

Φώσφορος ( $\text{mg kg}^{-1}$  εδάφους) = ( $\text{mL}$  διαλύματος εκχύλισης \*  $\text{mL}$  ογκομετρικής φιάλης/ $\text{mL}$  διηθήματος στην ογκομετρική φιάλη) \* (A/B), όπου A=  $\text{mg P L}^{-1}$  στο εκχύλισμα (αυτό που μετράμε στο φασματοφωτόμετρο) και B = βάρος εδάφους σε g. (Fixen and Grove, 1990, Kuo, 1996, Olsen and Sommers, 1954, Schoenau and Karamanos 1993)

#### 2.2.5 Μέτρηση ιχνοστοιχείων (εκχύλιση με DTPA)

Για να παρασκευάσουμε το διάλυμα DTPA (diethylo-triamino-pentaphosphoricacid, διαίθυλο-τριάμινο-πενταφωσφορικό οξύ) χρειαστήκαμε 9,835 g DTPA, 7,4 g γλωριούχο ασβέστιο ( $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) και 74,5 g τριαιθανολαμίνης σε 5 L  $\text{H}_2\text{O}$ . Το pH του διαλύματος με λίγες σταγόνες HCl, το κάναμε 7,3. Η εκχύλιση έγινε μετά τη ζύγιση 10 g εδάφους σε πλαστικό μπουκάλι τύπου falcon των 30 mL και την ανάμιξή τους με 20 mL διαλύματος DTPA. Μετέπειτα κάναμε ανακίνηση για 2 ώρες, φυγοκέντρηση και διήθηση. Το εκχύλισμα κατόπιν μετρήθηκε σε ατομική απορρόφηση για ιχνοστοιχεία με βάση την εξίσωση.

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

Όπου M είναι τα ιχνοστοιχεία που εκχυλίζονται (Fe, Ni, Mg, Ca, Mn, Zn, Cu, Mo, Cr, κτλ.), A η συγκέντρωση ( $\text{mg L}^{-1}$ ) που λαμβάνεται στην ατομική απορρόφηση, και B το βάρος του εδάφους σε g.

#### 2.2.6 Μέτρηση οργανικής ουσίας (με υγρή οξείδωση)

Σε ποτήρι ζέσεως των 50 mL ζυγίσαμε 0,5 g δείγματος και προσθέσαμε 10 mL διχρωμικό κάλιο (0,166 M  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) και 10 mL πυκνό θειικό οξύ ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). Αφήσαμε το διάλυμα για 30 λεπτά, διότι το διχρωμικό κάλιο (0,166 M  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) είναι ισχυρά οξειδωτικό μέσο και με αυτόν τον τρόπο γίνεται οξείδωση της οργανικής ουσίας. Στη συνέχεια προσθέσαμε 200 mL απιονισμένο νερό για την αραιώση του διαλύματος και

διηθήσαμε το διάλυμα σε μια κωνική φιάλη των 500 mL. Μετέπειτα προσθέσαμε 10 mL πυκνό φωσφορικό οξύ ( $H_3PO_4$ ) και 5-6 σταγόνες δείκτη διφαινυλαμίνης. Το δείγμα χρωματίζεται σκούρο καφέ. Ογκομετήσαμε το διάλυμα με επταένυδρο θειικό σίδηρο 0,5 M ( $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ) μέχρι να παρατηρηθεί απότομη αλλαγή χρώματος σε έντονο βαθύ μπλε και τέλος σε σκούρο πράσινο. Η ίδια ακριβώς διαδικασία ακολουθείται στην περίπτωση του λευκού δείγματος, που έχουμε για την τιτλοδότηση του διαλύματος ογκομέτρησης, με βάση την εξίσωση.

Οργανικός C % =  $0.195 \times [(mL \text{ ογκομέτρησης λευκού δείγμα.} - mL \text{ ογκομέτρησης δείγματος})/g \text{ δείγματος εδάφους}]$ .

Την οργανική ουσία την υπολογίσαμε από την παρακάτω σχέση:  $OM\% = OC\% / 0.58$

### 2.2.7 Ανάλυση κοκκομετρικής σύστασης

Για την μέτρηση της κοκκομετρικής σύστασης χρειαστήκαμε 50 g εδάφους σε πλαστικά ποτήρια ζέσεως των 250 mL. Έπειτα προσθέσαμε 50 mL  $NaPO_3$  1% και αφήσαμε τα δείγματα για 16 ώρες. Στη συνέχεια τα δείγματα τα μεταφέραμε ποσοτικά σε ηλεκτρικό μίξερ όπου έγινε ανάδευσή τους για 10 λεπτά. Ακολούθως τα δείγματα τα μεταφέραμε ποσοτικά σε ογκομετρικούς κυλίνδρους 1 L και τα συμπληρώσαμε με νερό μέχρι τη χαραγή. Έπειτα κάναμε ανακίνηση και καταγράψαμε τη μέτρηση με το πυκνόμετρο του Βουγιούκου έπειτα από 40 δευτερόλεπτα, χρόνος κατά τον οποίο θεωρείται ότι η άμμος έχει ήδη καθιζάνει. Αυτή είναι η μέτρηση Α. Την θερμοκρασία την μετρήσαμε με θερμόμετρο.

Μετά από 2 ώρες μετρήσαμε από την αρχή την πυκνότητα του αιωρήματος (μέτρηση Β) καθώς και τη θερμοκρασία, χρονική στιγμή κατά την οποία και η ιλύς του δείγματος έχει καθιζάνει. Η καταγραφή των θερμοκρασιών γίνεται για να διορθώσουμε τις μετρήσεις Α και Β στη θερμοκρασία αναφοράς  $20^\circ C$ , διότι η ταχύτητα καθίζησης των εδαφικών κλασμάτων, εξαρτάται από τη θερμοκρασία με βάση την εξίσωση.

$$A' = A + \Sigma\Theta_A \text{ και}$$

$$B' = B + \Sigma\Theta_B$$



όπου A και B είναι οι αντίστοιχες τιμές που παίρνονται ως ανάγνωση από το πυκνόμετρο Βουγιούκου, ΣΘ ο συντελεστής διόρθωσης της θερμοκρασίας και A' και B' οι διορθωμένες τιμές. Ο ΣΘ δίνεται από τον τύπο:

$$\Sigma\Theta = (\Theta\text{ερμοκρασία} - 20) / 2,5.$$

Κατόπιν έγιναν οι υπολογισμοί του ποσοστού άμμου, ιλύος και αργίλου με τους παρακάτω τύπους:

$$\text{Άργιλος}\% = 100 \times B' / \Gamma$$

$$\text{Ιλύς}\% = 100 \times (A' - B') / \Gamma$$

$$\text{Άμμος}\% = 100 - (\text{Άργιλος}\% + \text{Ιλύς}\%)$$

όπου Γ είναι το βάρος εδάφους που χρησιμοποιήσαμε στην ανάλυση.

#### 2.2.8 Μέτρηση ανθρακικού ασβεστίου

Σε κωνική φιάλη 250 ή 500 mL προσθέσαμε 1-10 g εδάφους (ακριβώς καταγεγραμμένα). Η ποσότητα του εδάφους εξαρτάται από το CO<sub>2</sub> που θα εκλυθεί, οπότε έπρεπε πριν αρχίσουμε την μέτρηση να γίνει μια δοκιμή για να κρίνουμε εμπειρικά πόσο έδαφος θα χρησιμοποιήσουμε. Η δοκιμή έγινε ρίχνοντας οξύ (HCl) σε λίγη ποσότητα εδάφους (το οποίο έχουμε τοποθετήσει σε μικρό πλαστικό ποτήρι). Αν αφρίσει έντονα, χρησιμοποιούμε 1 g εδάφους, αν αφρίσει μέτρια περίπου 5 g εδάφους και αν αφρίσει ελάχιστα 1-2 g εδάφους.

Κατόπιν σε κυψελίδα τοποθετήσαμε το αραιό οξύ (HCl) με τέτοιο τρόπο ώστε να μην έρθει σε επαφή με το έδαφος και πωματίσαμε την κωνική φιάλη. Στη συνέχεια αναδεύσαμε και παρατηρήσαμε την υδατική στήλη που συμπιέζεται. Στο τέλος της αντίδρασης σημειώσαμε τη διαφορά στο μηνίσκο της υδατικής στήλης (πριν – μετά), που ισούται με τον όγκο του CO<sub>2</sub> που εκλύθηκε και υπολογίσαμε το ανθρακικό ασβέστιο με βάση την εξίσωση.

$$\% \text{CaCO}_3 = 0,801 (A/B), \text{ όπου } A = \text{mL CO}_2 \text{ που εκλύθηκαν, και } B = \text{g εδάφους.}$$

### 2.2.9 Μέτρηση ανταλλάξιμων κατιόντων ( $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+}$ , $\text{K}^+$ , $\text{Na}^+$ )

Ζυγίσαμε 3 g εδάφους σε πλαστικά μπουκαλάκια τύπου falcon των 50mL και προσθέσαμε 30 mL οξικό αμμώνιο ( $\text{CH}_3\text{COONH}_4$  1 M pH 7). Ανακινήσαμε για μία ώρα και διηθήσαμε το υπερκείμενο διαυγές σε ογκομετρικές φιάλες. Κατόπιν κάναμε αραίωση 100 φορές για τη μέτρηση ασβεστίου (Ca) και μαγνησίου (Mg), 10 φορές αραίωση για τη μέτρηση του καλίου (K), ενώ για το νάτριο (Na) η μέτρηση γίνεται στο πυκνό διήθημα. Τέλος η μέτρηση για το κάλιο (K) και το νάτριο (Na) έγινε στο φλογοφωτόμετρο, ενώ για το ασβέστιο (Ca) και το μαγνήσιο (Mg) στην ατομική απορρόφηση. Οι εξισώσεις που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των διαφόρων κατιόντων είναι οι ακόλουθες:

$\text{K, cmol}_c \text{ kg}^{-1} \text{ εδάφους} = (\text{mL διαλύματος με το οποίο έγινε η διήθηση} * \text{φορές αραίωσης του διηθήματος} / 391) * (A / B)$

όπου A είναι η συγκέντρωση νατρίου σε  $\text{mg L}^{-1}$  που λαμβάνεται από το φλογοφωτόμετρο, 391 είναι ο συντελεστής μετατροπής του K από  $\text{mg L}^{-1}$  σε  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  και B το βάρος του εδάφους σε γραμμάρια.

$\text{Na, cmol}_c \text{ kg}^{-1} \text{ εδάφους} = (\text{mL διαλύματος με το οποίο έγινε η διήθηση} * \text{φορές αραίωσης του διηθήματος} / 229,9) * (A / B)$

$\text{Ca, cmol}_c \text{ kg}^{-1} \text{ εδάφους} = (\text{mL διαλύματος με το οποίο έγινε η διήθηση} * \text{φορές αραίωσης του διηθήματος} / 200.4) * (A / B)$

$\text{Mg, cmol}_c \text{ kg}^{-1} \text{ εδάφους} = (\text{mL διαλύματος με το οποίο έγινε η διήθηση} * \text{φορές αραίωσης του διηθήματος} / 121.55) * (A / B)$

## 2.3 Μέθοδοι ανάλυσης φυτού

### 2.3.1 Προετοιμασία δείγματος και εκχύλιση

Αρχικά το φυτικό υλικό που χρησιμοποιήσαμε ήταν βλαστός με φύλλα και βολβοί (**Εικόνα 4**). Το φυτικό υλικό το πλύναμε με απιονισμένο νερό, το τοποθετήσαμε σε χάρτινες σακούλες και το βάλαμε στο φούρνο στους 70 °C μέχρι τη μη περαιτέρω απώλεια βάρους (τυπικά, για 2-3 μέρες). Μετέπειτα το κονιορτοποιήσαμε σε μύλο άλεσης. Το κονιορτοποιημένο δείγμα το τοποθετήσαμε σε πλαστικές σακούλες και το αποθηκεύσαμε για τις εκχυλίσεις. Η διαδικασία της εκχύλισης με αποτέφρωση έγινε για να μετρήσουμε (από το ίδιο εκχύλισμα) όλα τα μη πτητικά συστατικά. Στη συνέχεια κάναμε αποτέφρωση του φυτικού ιστού, ώστε να καταστραφεί η οργανική ουσία των φυτικών ιστών. Για αυτή τη διαδικασία χρειαστήκαμε αραιό διάλυμα υδροχλωρίου (HCl) 20% v/v. Για την καύση σε πορσελάνινες κάψες ζυγίσαμε 0,5 g από τον κονιορτοποιημένο φυτικό ιστό. Μετέπειτα βάλαμε τα δείγματα στον ηλεκτρικό κλίβανο σε θερμοκρασία 500 °C για 4 ώρες. Όταν κρύωσαν οι κάψες αποτέφρωσης, παραλάβαμε την τέφρα του φυτικού ιστού με 20 mL 20% HCl και τη διηθήσαμε από διηθητικό χαρτί σε ογκομετρικές φιάλες των 50 mL. Το εκχύλισμα αυτό χρησιμοποιήθηκε για τη μέτρηση P και ιχνοστοιχείων. Κατόπιν τα εκχυλίσματα αραιώθηκαν κατά 100 φορές για τη μέτρηση των μακροστοιχείων (ασβέστιο, μαγνήσιο) (Ca, Mg) και κατά 20 φορές για τη μέτρηση του καλίου (K) και του φωσφόρου (P), ενώ το «πυκνό» εκχύλισμα χρησιμοποιήθηκε για τη μέτρηση των ιχνοστοιχείων όπως του βαρίου (B), του μαγγανίου (Mn), του σιδήρου (Fe), του χαλκού (Cu) και του ψευδαργύρου (Zn).

### 2.3.2 Μέτρηση φωσφόρου

Η μέτρηση του φωσφόρου έγινε όπως στο εκχύλισμα του εδάφους, με την ανάπτυξη κυανού χρώματος στο αραιωμένο κατά 20 φορές εκχύλισμα.

Η ανάπτυξη του χρώματος στο δείγμα έγινε σε ογκομετρικές φιάλες των 25 mL, στις οποίες βάλαμε 10 mL εκχυλίσματος αποτέφρωσης, 2,5 mL Αντιδραστηρίου B (ασκορβικό οξύ) και ρυθμίσαμε το pH στην τιμή 7 με αραιό οξύ υδροχλωρίου (0,2098 M HCl) ή με αραιή βάση υδροξιλίου του νατρίου (0,3 M NaOH). Τέλος συμπληρώσαμε με απιονισμένο νερό έως τη χαραγή.

Για να φτιάξουμε τα standard διαλύματα χρειαστήκαμε ογκομετρικές φιάλες των 25 mL στις οποίες και προσθέσαμε σε έξι διαφορετικές φιάλες 0, 0.5, 1, 2, 4, 6 mL

διαλύματος  $5 \text{ mg P L}^{-1}$ , αντίστοιχα. Έτσι δημιουργήσαμε πρότυπα διαλύματα με συγκέντρωση φωσφόρου 0, 0.1, 0.2, 0.4, 0.8 και  $1.2 \text{ mg P L}^{-1}$ . Στη συνέχεια βάλουμε 10 mL διαλύματος 20% HCl, 2,5 mL Αντιδραστηρίου Β (ασκορβικό οξύ), ρυθμίσαμε το pH στην τιμή 7 με αραιό οξύ υδροχλωρίου ( $0,2098 \text{ M HCl}$ ) ή με αραιή βάση υδροξιλίου του νατρίου ( $0,3 \text{ M NaOH}$ ). Τέλος συμπληρώσαμε με απιονισμένο νερό έως τη χαραγή.

Κατόπιν αφήσαμε 30 λεπτά όλα τα διαλύματα για να αναπτυχθεί το χρώμα και μετρήσαμε το φωσφόρο όπως φαίνεται παρακάτω. Με το φωσφόρο που μετρήσαμε στα standard κάναμε την καμπύλη βαθμολόγησης, από όπου υπολογίσαμε τη συγκέντρωση του φωσφόρου στο εκχύλισμα ( $\text{mg L}^{-1}$ ) με βάση την εξίσωση.

$$P (\text{mg kg}^{-1} \text{ φυτού}) = (\text{mL ογκομετρικής φιάλης διήθησης} * \text{φορές αραιώσης εκχυλίσματος}) * (\text{mL ογκομετρικής φιάλης όπου αναπτύχθηκε χρώμα} / \text{mL εκχυλίσματος που τοποθετήσαμε στη φιάλη όπου αναπτύχθηκε χρώμα}) * (A/B),$$
 όπου  $A = \text{mg P L}^{-1}$  στο εκχύλισμα (αυτό που μετράμε στο φασματοφωτόμετρο) και  $B =$  βάρος φυτού σε g για την αποτέφρωση.

### 2.3.3 Μέτρηση μακροστοιχείων

Η μέτρηση του ασβεστίου (Ca) και του μαγνησίου (Mg) γίνεται στο 100 φορές αραιωμένο φυτικό εκχύλισμα στην ατομική απορρόφηση, ενώ το κάλιο (K) μετρήθηκε στο 20 φορές αραιωμένο εκχύλισμα στο φλογοφωτόμετρο. Για τον υπολογισμό τους χρησιμοποιήθηκε η παρακάτω εξίσωση:

$$M (\text{mg kg}^{-1} \text{ φυτού}) = (A/B) * (\text{mL ογκομετρικής φιάλης παραλαβής εκχυλίσματος}) * (\text{φορές αραιώσης του εκχυλίσματος}),$$
 όπου  $M$  είναι κατά περίπτωση το Ca, το Mg και το K,  $A = \text{mg L}^{-1}$  μετάλλου στο εκχύλισμα (αυτό που μετράμε στην ατομική απορρόφηση) και  $B =$  βάρος φυτού σε g για την αποτέφρωση.

### 2.3.4 Μέτρηση ιχνοστοιχείων

Το πυκνό εκχύλισμα μετρήθηκε σε ατομική απορρόφηση για την περιεκτικότητά του σε ιχνοστοιχεία με βάση την εξίσωση:

$M = (\text{mL ογκομετρικής φιάλης διήθησης}) * (A/B)$ , όπου  $M$  είναι κατά περίπτωση το  $\text{Ni}$ , το  $\text{Mn}$ , ο  $\text{Zn}$  και ο  $\text{Cu}$ ,  $A = \text{mgL}^{-1}$  μετάλλου στο εκχύλισμα (αυτό που μετράμε στην ατομική απορρόφηση) και  $B = \text{βάρος φυτού σε g για την αποτέφρωση}$ .

### 3. Αποτελέσματα και Συζήτηση

Οι παράμετροι που μετρήθηκαν είχαν μεγάλες διαφοροποιήσεις στα εδάφη που μετρήθηκαν (Πίνακας 1). Πιο συγκεκριμένα όσον αφορά το pH, τέσσερα εδάφη ήταν όξινα και τα υπόλοιπα εννιά ήταν αλκαλικά. Βέβαια η αρχική στόχευση της δειγματοληψίας ήταν να λάβουμε εδάφη έτσι ώστε τα όξινα να είναι περίπου ίσα με τα αλκαλικά.

Ο οργανικός άνθρακας ήταν αναμενόμενα χαμηλός, διότι τα εδάφη της δειγματοληψίας ήταν καλλιεργούμενα.

**Πίνακας 2.** Μέσες τιμές επιλεγμένων ιδιοτήτων σε εδάφη που χωρίστηκαν σύμφωνα με την ταξινόμησή τους (Alfisols, Entisols και Inceptisols), και σύμφωνα με την αντίδρασή τους (όξινα και αλκαλικά).

	pH	Άμμος	Άργιλος	OCη	CaCO <sub>3</sub>
		_____ % _____			
Alfisols (n=4)	7,05	26,6	37,3 b	0,79	0,13
Entisols (n=4)	7,39	48,4	28,9 ab	0,84	0,14
Inceptisols (n=5)	7,38	44,2	22,4 a	0,94	0,63
F-ratio	0,67	1,84	7,56	0,29	1,42
$p$ ( $\times 10^{-3}$ )	531	209	10,0	758	286
Σημαντικότητα	ΜΣ	ΜΣ	*	ΜΣ	ΜΣ
Όξινα (n=4)	6,69 a	42,6	28,4	0,82	0,00
Αλκαλικά (n=9)	7,55 b	38,9	29,2	0,87	1,05
F-ratio	38,05	0,10	0,03	0,12	2,68
$p$ ( $\times 10^{-3}$ )	0,1	755	873	735	130
Σημαντικότητα	***	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
	IAK	Feox	Mnox	Alox	AO-P
	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	_____ mmol kg <sup>-1</sup> _____			mg kg <sup>-1</sup>
Alfisols (n=4)	24,3 b	38,6 b	12,9 b	34,5 b	325,9
Entisols (n=4)	18,8 ab	18,5 a	5,6 a	14,6 a	321,9
Inceptisols (n=5)	8,38 a	14,3 a	6,2 a	14,0 a	341,6
F-ratio	3,29	6,87	8,62	11,86	1,64
$p$ ( $\times 10^{-3}$ )	79,9	13,2	6,7	2,3	243
Σημαντικότητα	ΜΣ	*	**	**	ΜΣ
Όξινα (n=4)	12,76	31,55	9,90	21,37	318,8
Αλκαλικά (n=9)	18,17	19,39	7,24	20,12	336,0
F-ratio	0,63	2,19	1,12	0,03	2,80
$p$ ( $\times 10^{-3}$ )	445	167	313	867	122
Σημαντικότητα	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ

Το  $p$  είναι ο βαθμός σημαντικότητας και όταν η τιμή του είναι κάτω από 50 της χιλιάς, οι διαφορές είναι στατιστικά σημαντικές και η σημαντικότητα εκφράζεται με 1 ή 2 ή 3 αστεράκια. Όταν η τιμή είναι πάνω από 50 της χιλιάς, τότε σημειώνουμε ΜΣ, που σημαίνει μη σημαντικό.

Για να έχουμε τη βέλτιστη σύγκριση των εδαφικών παραμέτρων που εκτιμήθηκαν, τα εδάφη χωρίστηκαν ως προς την ταξινόμησή τους, και ως προς την αντίδρασή τους (**Πίνακας 2**). Πιο συγκεκριμένα κατά τον διαχωρισμό των εδαφών ανάλογα με την ταξινόμησή τους, βρήκαμε ότι το ποσοστό της αργίλου ήταν σημαντικά υψηλότερο στα Alfisols, αν και δεν υπήρχαν διαφορές στα ποσοστά της άμμου (η άμμος και η άργιλος είχαν σημαντική και αντιστρόφως ανάλογη σχέση με  $R^2=-0.464$ ,  $p=0.0104$ , **Πίνακας 3**). Καμία άλλη εδαφική ιδιότητα δεν διέφερε σημαντικά, εκτός από την περιεκτικότητα σε οξείδια σιδήρου (Fe), αργιλίου (Al) και μαγγανίου (Mn), που βρέθηκαν σημαντικά υψηλότερα στα Alfisols, ενώ ήταν χαμηλότερα και χωρίς διαφορές στα Inceptisols και τα Entisols. Τα οξείδια που εκχυλίστηκαν στην παρούσα εργασία είναι «άμορφα» ή μη κρυσταλλωμένα. Επίσης θεωρούνται υψηλής ενεργότητας, καθώς συνεισφέρουν σημαντικά στην ιοντοεναλλακτική ικανότητα του εδάφους, σε αντίθεση με τα καλά κρυσταλλωμένα οξείδια. Σε άλλες εργασίες έχει αναφερθεί ότι με τον βαθμό αποσάθρωσης του εδάφους αυξάνεται η κρυσταλλικότητα των οξειδίων (π.χ., Brady and Weil 2002). Συνεπώς θα ήταν αναμενόμενο εδάφη Alfisols να μην έχουν υψηλότερη περιεκτικότητα σε άμορφα οξείδια σε σχέση με εδάφη μικρότερου βαθμού αποσάθρωσης. Αυτό σημαίνει ότι είναι πιθανό το ποσοστό των καλά κρυσταλλωμένων οξειδίων να είναι μεγαλύτερο, ενώ σε τιμές συγκέντρωσης τα άμορφα οξείδια να υπερτερούν σε εδάφη προχωρημένης αποσάθρωσης (για την επιβεβαίωση αυτού, υπολείπεται η ανάλυση των ελεύθερων οξειδίων με διθειονικό νάτριο/κιτρικό νάτριο), κάτι που σε αυτήν την εργασία φαίνεται να έχει σημαντικές επιδράσεις στην συμπεριφορά του φωσφόρου. Όταν τα εδάφη χωρίστηκαν ανάλογα με την αντίδρασή τους, καμία άλλη ιδιότητα εκτός του pH (το οποίο εξ ορισμού διέφερε) δεν φάνηκε να αναδεικνύει σημαντικές διαφορές. Στην ανάλυση συσχέτισης μεταξύ εδαφικών ιδιοτήτων, εκτός από την άμμο και την άργιλο που φάνηκε ότι είχαν σημαντική συσχέτιση (αναφέρθηκε παραπάνω), η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων φάνηκε να επηρεάζεται σημαντικά θετικά ( $p<0.001$ ) από την άργιλο και αρνητικά ( $p<0.01$ ) από την άμμο (**Πίνακας 3**). Στην ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων επίσης φαίνεται να συνεισφέρουν σημαντικά τα



οξειδία σιδήρου (Fe) ( $p < 0.05$ ) και αργιλίου (Al) ( $p < 0.01$ ), κάτι που επιβεβαιώνει η ενεργότητα των οξειδίων που εκχυλίστηκαν. Επίσης βρήκαμε ότι η άργιλος είχε σημαντική συσχέτιση με τα οξειδία σιδήρου (Fe) ( $p < 0.05$ ) και αργιλίου (Al) ( $p < 0.01$ ), η οποία σχέση ενδεχομένως να συνδέεται με το γεγονός ότι στα Alfisols (όπου έχουμε υψηλή περιεκτικότητα σε οξειδία) παρατηρήθηκαν αυξημένα ποσοστά των δύο αυτών παραμέτρων.

**Πίνακας 3.** Συντελεστές συσχέτισης,  $R^2$ , μεταξύ των εδαφικών ιδιοτήτων των 13 εδαφών ( $n=13$ ). Οι τιμές  $p$  (σε  $10^{-3}$ ) καταγράφονται μόνο για τις σημαντικές συσχετίσεις. Αρνητικό πρόσημο δηλώνει αντιστρόφως ανάλογη σχέση.

	Άργιλος	ΙΑΚ	Feox	Mnox	Alox
Άμμος	-0,464* ( $p=10,4$ )	-0,583** ( $p=2,4$ )	-0,381* ( $p=24,6$ )	-0,218	-0,653*** ( $p=0,8$ )
Άργιλος	---	0,695*** ( $p=0,4$ )	0,383* ( $p=24,2$ )	0,228	0,590** ( $p=2,2$ )
ΙΑΚ	---	---	0,323* ( $p=42,6$ )	0,142	0,598** ( $p=1,9$ )
Feox	---	---	---	0,772*** ( $p=0,1$ )	0,699*** ( $p=0,4$ )
Mnox	---	---	---	---	0,608** ( $p=1,7$ )

Με την προσθήκη φωσφόρου, αυξήθηκε σημαντικά η συνολική ξηρή βιομάζα του κρεμμυδιού στα περισσότερα εδάφη (σε δέκα από τα δεκατρία εδάφη, **Πίνακας 4**). Αυτό φαίνεται να συνδέεται με την αύξηση στα επίπεδα του φωσφόρου που εκχυλίστηκε κατά Olsen, εκχύλιση η οποία έδειξε σημαντική αύξηση με την προσθήκη φωσφόρου σε δώδεκα από τα δεκατρία εδάφη. Επίσης η βελτίωση στο ξηρό βάρος του φυτού επιβεβαιώνεται και από την αύξηση (σημαντική σε δώδεκα από τα δεκατρία εδάφη) των συγκεντρώσεων φωσφόρου στα φυτά. Σημειώνουμε ότι αν και οι αυξήσεις αυτές ήταν υπέρμετρες, φαίνεται ότι ήταν στα όρια ανοχής της καλλιέργειάς μας, καθώς δεν φάνηκε να προκαλέσαν συμπτώματα τοξικότητας, ίσως γιατί πρόκειται για φυτό με μεγάλες απαιτήσεις σε φώσφορο, όπως αναφέρεται και

από τους *Seu et al.* (2013) οι οποίοι καλλιέργησαν κρεμμύδι σε εδάφη με πολλαπλάσιες συγκεντρώσεις φωσφόρου από τις δικές μας.

**Πίνακας 4.** Φώσφορος εκχυλισμένος στο έδαφος (Olsen-P), φώσφορος στο φυτό, και ξηρή βιομάζα στα 13 εδάφη στις μεταχειρίσεις χωρίς προσθήκη P (P0) και με προσθήκη P (P1). Το επίπεδο σημαντικότητας δηλώνεται με την τιμή *p*.

	Ξηρή βιομάζα			Olsen-P			P στο φυτό		
	P0	P1	<i>p</i> ( $\times 10^{-3}$ )	P0	P1	<i>p</i> ( $\times 10^{-3}$ )	P0	P1	<i>p</i> ( $\times 10^{-3}$ )
	g			mg kg <sup>-1</sup>			g kg <sup>-1</sup>		
A1	6,3	12,4	1,2	81,48	175,41	11,0	2,17	11,95	25,4
A2	2,6	10,9	0,3	27,98	98,97	0,7	2,64	9,87	3,6
A3	6,0	14,8	0,6	34,31	62,97	2,0	2,20	12,76	34,6
A4	4,2	9,6	6,6	26,42	80,29	3,3	2,86	18,57	0,2
E1	4,1	9,3	138	27,50	50,93	0,6	7,38	10,08	61,3
E2	4,1	8,7	15,0	41,63	143,55	47,2	1,59	5,39	15,9
E3	8,4	12,9	3,2	58,39	199,49	12,7	0,94	6,65	27,0
E4	7,1	9,1	235	75,01	129,11	1,8	2,52	13,73	7,2
I1	9,1	10,7	449	99,32	211,73	8,9	1,85	5,01	0,9
I2	6,7	10,9	8,7	41,63	164,27	9,9	0,98	9,72	14,8
I3	2,3	14,7	4,5	23,55	64,15	59,4	1,80	6,41	2,6
I4	5,0	10,8	13,8	25,10	63,80	2,0	3,51	10,12	16,7

Για την καλύτερη μελέτη της επίδρασης της προσθήκης φωσφόρου, έγιναν συσχετίσεις μεταξύ της ανεξάρτητης μεταβλητής *x* και της εξαρτημένης μεταβλητής *y*, όπου *x* ήταν οι εδαφικές ιδιότητες και *y* ήταν η μεταβολή ( $\Delta$ ) μεταξύ των μεταχειρίσεων P0 και P1 των ιδιοτήτων του φωσφόρου (εδαφικές εκχυλίσεις και συγκέντρωση στο φυτό) και των φυτοκομικών παρατηρήσεων (**Πίνακας 5**). Η άμμος, ο οργανικός άνθρακας και η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων δεν φάνηκε να επηρεάζουν καμία μεταβολή των παραμέτρων του φωσφόρου και του φυτού. Επίσης, η μεταβολή μεταξύ P0 και P1 στην εκχύλιση κατά Mehlich-3, στη συνολική ξηρή βιομάζα και στη συγκέντρωση φωσφόρου στο φυτό δεν έδωσαν καμία σημαντική συσχέτιση.

**Πίνακας 5.** Συντελεστές συσχέτισης,  $R^2$ , της σχέσης μεταξύ των εδαφικών ιδιοτήτων και της μεταβολής (που δηλώνεται ως  $\Delta$ ) της μεταχείρισης όπου προστέθηκε P και της μεταχείρισης χωρίς προσθήκη P για τα εξής: υδατοδιαλυτό (WS)-P, Olsen-P, διάμετρο κονδύλων (bulb), νωπό βάρος φύλλων (leaf) και μήκος υπέργειου βλαστού (length) ( $n=13$ ). Οι τιμές  $p$  (σε  $10^{-3}$ ) καταγράφονται μόνο για τις σημαντικές συσχετίσεις. Αρνητικό πρόσημο δείχνει αντιστρόφως ανάλογη συσχέτιση.

	Άργιλος	pH	CaCO <sub>3</sub>	Feox <sup>¶</sup>	Mnox <sup>¶</sup>	Al <sup>¶</sup>
$\Delta$ (WS-P) <sup>¥</sup>	0,335* ( $p=38,2$ )	0,083	0,085	0,343* ( $p=35,6$ )	0,421* ( $p=16,5$ )	0,474** ( $p=12,6$ )
$\Delta$ (Olsen-P)	0,064	0,224	0,349* ( $p=33,5$ )	0,034	-0,131	-0,029
$\Delta$ (Bulb)	0,115	-0,429* ( $p=15,3$ )	-0,121	0,272	0,141	0,199
$\Delta$ (Leaf)	0,012	-0,454* ( $p=11,7$ )	-0,088	0,178	0,138	0,022
$\Delta$ (Length)	0,000	-0,486** ( $p=8,7$ )	-0,037	0,070	0,014	0,005

<sup>¶</sup> Άμορφα οξείδια Fe, Mn, και Al εκχυλισμένα με οξαλικό αμμώνιο.

<sup>¥</sup> Υδατοδιαλυτός P

Αντιθέτως, ο υδατοδιαλυτός φώσφορος φάνηκε να είναι ο πιο ευαίσθητος δείκτης φωσφόρου, καθώς η αύξησή του από το P0 στο P1 επηρεάστηκε σημαντικά και θετικά από την άργιλο ( $R^2=0.335$ ,  $p=0.0382$ ), και τα οξείδια σιδήρου (Fe) ( $R^2=0.343$ ,  $p=0.0356$ ), μαγγανίου (Mn) ( $R^2=0.421$ ,  $p=0.0165$ ) και αργιλίου (Al) ( $R^2=0.474$ ,  $p=0.0126$ ). Αυτό δείχνει ότι για ίδια ποσότητα προσθήκης φωσφόρου, όσο μεγαλύτερα είναι τα ποσοστά αργίλου και άμορφων οξειδίων τόσο περισσότερο αυξάνεται ο υδατοδιαλυτός φώσφορος, ενδεχομένως λόγω του γεγονότος ότι σε αυτές τις επιφάνειες μειώνεται βαθμιαία η ικανότητα συγκράτησης φωσφόρου με την προσθήκη φωσφόρου, ιδίως όταν γίνεται γενναία χορήγηση, όπως συνέβη σε αυτήν την εργασία. Αυτό δείχνει να συμφωνεί με τους Sugihara *et al.* (2012). Το γεγονός ότι επιφάνειες υπεύθυνες για την συγκράτηση φωσφόρου έχουν θετική επίδραση στην αύξηση του εκχυλίστου φωσφόρου, φάνηκε επίσης από την μεταβολή στον φώσφορο κατά Olsen (εκχύλιση που είναι γνωστό ότι παραλαμβάνει κατά κύριο λόγο

φώσφορο συγκρατημένο στις ανθρακικές επιφάνειες), η οποία συσχετίστηκε σημαντικά και θετικά με το ανθρακικό ασβέστιο ( $\text{CaCO}_3$ ) ( $R^2=0.349$ ,  $p=0.0335$ ). Επίσης οι συσχετίσεις έδειξαν ότι όσο αυξάνεται το pH, τόσο συρρικνώνεται η αύξηση κάποιων φυτοκομικών παραμέτρων, όπως η διάμετρος του βολβού ( $R^2=-0.429$ ,  $p=0.0153$ ), το νωπό υπέργειο βάρος ( $R^2=-0.454$ ,  $p=0.0117$ ) και το μήκος βλαστού ( $R^2=-0.486$ ,  $p=0.0087$ ), ίσως λόγω του γεγονότος ότι στην συγκεκριμένη εργασία κανένα έδαφος δεν είχε ιδιαίτερα όξινη αντίδραση (χαμηλότερο ήταν το pH της μεταχείρισης I2, με τιμή 6,55), κάτι που σημαίνει ότι οι χαμηλές τιμές pH των εδαφών που μελετήσαμε δεν ήταν περιοριστικές στην ανάπτυξη του φυτού.

#### 4. Συμπεράσματα

Συμπερασματικά παρατηρήσαμε ότι:

- ο φώσφορος κατά Olsen αυξήθηκε σημαντικά σε δώδεκα από τα δεκατρία εδάφη,
- αυξήθηκε η συνολική ξερή βιομάζα σε εννέα από τα δεκατρία εδάφη,
- ενώ σημαντική αύξηση υπήρξε στη συγκέντρωση φωσφόρου στο φυτό.

Με βάση τις συσχετίσεις παρατηρήσαμε ότι:

- ο υδατοδιαλυτός φώσφορος επηρεάστηκε σημαντικά και αρνητικά από τα οξείδια,
- ενώ παράλληλα τα φυτοκομικά χαρακτηριστικά του κρεμμυδιού δείχνουν να επηρεάζονται σημαντικά από το pH.

Συνοψίζοντας, οι συγκρίσεις μεταξύ των φυτοκομικών χαρακτηριστικών και των εκχυλίσεων φωσφόρου έδειξαν ενδιαφέρουσες συσχετίσεις μεταξύ όλων των πιθανών συνδυασμών συσχετίσεων. Έτσι καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η ανάπτυξη του κρεμμυδιού επηρεάστηκε κυρίως από την προσθήκη του φωσφόρου.

## Βιβλιογραφία

### Ελληνική Βιβλιογραφία

Αλιφραγκής Δ. (2008) Το Έδαφος. Εκδόσεις Αϊβάζη, Θεσσαλονίκη.

Brady, N.C. and Weil, R.R. 2011. Εδαφολογία Η φύση και οι Ιδιότητες των Εδαφών. Εκδόσεις Έμβρυο, Αθήνα.

Θερίος Ι. 2005. Ανόργανη Θρέψη και Λιπάσματα. Εκδόσεις Γαρταγάνης, Θεσσαλονίκη.

Κανάκης Α.Γ. 2005. Γενική Λαχανοκομία. Εκδόσεις Αγροτύπος, Αθήνα.

Μήτσιος, Ι.Κ. 2001. Εδαφολογία. Εκδόσεις Zymel, Αθήνα.

Μήτσιος, Ι.Κ. 2004α. Γονιμότητα Εδαφών. Εκδόσεις Zymel, Αθήνα.

Μήτσιος, Ι.Κ. 2004β. Διαθεσιμότητα των Θρεπτικών του Εδάφους. Εκδόσεις Zymel, Αθήνα.

Παναγιωτόπουλος, Κ.Π. 2008. Εδαφολογία. Εκδόσεις Γαρταγάνης, Θεσσαλονίκη.

Σταματοπούλου, Ι.Γ. 2000. Διαθεσιμότητα Εδαφικού Φωσφόρου και Προσδιορισμός του Φωσφόρου στον Καπνό σε Χαρακτηριστικές Εδαφολογικές Μονάδες της Θεσσαλίας. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος.

Χα, Ι.Α. και Πετρόπουλος Σ., 2014. Γενική λαχανοκομία και υπαίθρια καλλιέργεια λαχανικών. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας, Βόλος.

## Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

Akinrinde, E.A. 2008. Lime and phosphorus effects in maize (*Zea mays* L.) production. *Research on Crops* 9, 547-553.

Al-Rohily, K.M., A.M. Ghoneim, , A.S. Modaihsh, , M.O. Mahjoub, , 2013. Phosphorus availability in calcareous soil amended with chemical phosphorus fertilizer, cattle manure and sludge manure. *International Journal of Soil Science* 8, 17-24.

Arai, Y., Livi, K.J., 2013. Underassessed phosphorus fixation mechanisms in soil sand fraction. *Geoderma* 192, 422-429.

Ashman M.R. and G. Puri, 2002. *Essential Soil Science. A Clear and Concise Introduction to Soil Science.* Blackwell Publishing, UK.

Brady, N.C., 1974. *The Nature and Properties of Soils.* Macmillan Publishing, New York.

Brady, N.C., and R.R. Weil. 1999. *The Nature and Properties of Soils.* Upper SaddleRiver, New Jersey: Prentice Hall. Fanning, D.S. and Fanning, M.C.B., 1989. *Soil Morphology, Genesis, and Classification.* John Wiley and Sons, New York.

Buol, S.W., R.J. Southard, R.C. Graham, P.A. Mcdaniel, 1973. *Soil Genesis and Classification.* Blackwell Publishing, Iowa.

Catt J. A., K. R. Howse, R. Farina, D. Brockie, A. Todd, B. J. Chambers, R. Hodgkinson, G. L. Harris and J. N. Quinton, 1998. Phosphorus losses from arable land in England. *14*, 168-174

Fixen, P.E. and J.H. Grove. 1990. Testing soils for phosphorus. *In* R.L. Westerman (ed.) *Soil Testing and Plant Analysis.* Soil Science Society of America, Madison. 141-180.



Guedes, E.M.S., Fernandes, A.R., Lobato, A.K.S., Guedes, R.S., de Avila, W.S. and da Silva, S.P.. 2012. Natural phosphate and liming improves phosphorus extraction in two tropical grasses grown in degraded Amazon Journal of Food Agriculture and Environment. 10, 1165-1168.

Igwe, C.A., Zarei, M. and Stahr, K., 2010. Fe and Al oxides distribution in some Ultisols and Inceptisols of southeastern Nigeria in relation to soil total phosphorus. Environmental Earth Sciences 60, 1103-1111.

Johnson M.W., 1975. Soil Taxonomy. A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. Government Printing Office, Washington.

Jones, J., Case, J.B. and Case, V.W. 1990. Sampling, handling, and analyzing plant tissue samples, in: Soil Testing and Plant Analysis, Madison: Soil Science Society of America. third ed, 389-427

Kuo, S. 1996. Phosphorus. In D.L. Sparks. (ed.). Methods of Soil Analysis: Part 3- Chemical Methods. Soil Science Society of America, Madison. 869-919.

Lee, G.R., N.L. Clesceri, and G.P. Fitzgerald. 1965. Studies on the analysis of phosphates in algal cultures. International Journal Air Water Pollution 9, 715-722.

Luscombe, P.C., J.K. Syers, and P.E.H. Gregg. 1979. Water extraction as a soil testing procedure for phosphate. Communications in Soil Science and Plant Analysis 10, 1361-1369.

Marschner, H., 1986. Mineral Nutrition in Higher Plants. The Greystone Press, Northern Ireland.

Mehlich, A. 1984. Mehlich 3 soil test extractant: A modification of the Mehlich 2 extractant. Communications in Soil Science and Plant Analysis 15, 1409-1416.

Murphy, J., and J.P. Riley. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta* 27, 31-36.

Naeem, A., Akhtar, M., and Ahmad, W. 2013. Optimizing available phosphorus in calcareous soils fertilized with diammonium phosphate and phosphoric acid using Freundlich adsorption isotherm. *The Scientific World Journal* 2013, 680257 (article number).

Olsen, S.R., C.V. Cole, F.S. Watanabe, and L.A. Dean. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. United States Department of Agriculture Circular 939. U.S. Government Printing Office, Washington D.C.

Olsen, S.R., and L.E. Sommers. 1982. Phosphorus. *In* A.L. Page et al. (ed.) *Methods of soil analysis. Part 2.* 2nd ed. Agronomy Monogr. 9. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, 403-430.

Onwonga, P.N., Joyce J. Lelei and Joseph K. Macharia. 2013. Comparative Effects of Soil Amendments on Phosphorus Use and Agronomic Efficiencies of Two Maize Hybrids in Acidic Soils of Molo County, Kenya. *American Journal of Experimental Agriculture* 3(4), 939-958.

Rowell, D.L. 1994. *Soil Science: Methods and Applications.* Prentice Hall Harlow, UK.

Schoenau, J.J. and R.E. Karamanos. 1993. Sodium bicarbonate extractable P, K, and N. *In* M. R. Carter (ed.) *Soil Sampling and Methods of Analysis.* Canadian Society of Soil Science, Ottawa, Ontario. 51- 58.

Seu, B.L., Chang, H.L., Yong, B.L., and Pil, J.K. 2013. Impacts of molybdate unreactive phosphorus on phosphate release from intensively fertilized soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 44, 2746-2756.

Sims, J. T. 1989. Comparison of Mehlich 1 and Mehlich 3 extractants for P, K, Ca, Mg, Mn, Cu, and Zn in Atlantic Coastal Plain soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 20, 1707-1726.

Stewart, B.A., 1991. *Advances in Soil Science*. Springer-Verlag, New York.

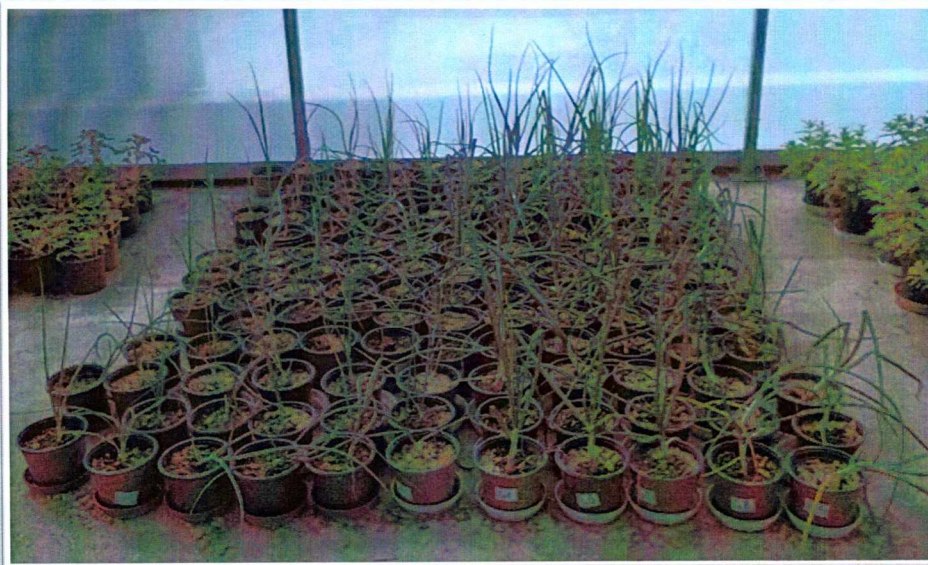
Sugihara, S., S. Funakawa, T. Nishigaki, M. Kilasara, and T. Kosaki. 2012. Dynamics of fractionated P and P budget in soil under different land management in two Tanzanian croplands with contrasting soil textures. *Agricultural Ecosystem & Environment* 162, 101-107.

Tran, T. Sen and R.R. Simard. 1993. Mehlich 3 extractable elements. *In* M.R. Carter (ed.) *Soil Sampling and Methods of Analysis*. Canadian Society of Soil Science, Ottawa, Ontario 43-49.

Tucker, M.R., 1992. Determination of phosphorus by Mehlich 3 extractant. *In* Donohue, S.J. (ed.) *Reference Soil and Media Diagnostic procedure for the southern region of the United States*. Southern Cooperative Series Bulletins. Virginia Agricultural Experiment Station, Blacksburg. 374, 9-12.



**Εικόνα 1:** Οι γλάστρες με ίση ποσότητα εδάφους και περλίτη (σε αναλογία 1:1) και κάθε σειρά είναι ένα διαφορετικό έδαφος.



**Εικόνα 2:** Πριν την συγκομιδή η ανάπτυξη των κρεμμυδιών. Στις πρώτες 5 γλάστρες από δεξιά προς τα αριστερά είναι αυτές που περιέχουν λίπανση φωσφόρου.





**Εικόνα 3:** Δείγματα με ανάπτυξη χρώματος για μέτρηση φωσφόρου.



**Εικόνα 4:** Τα κρεμμύδια κατά την συγκομιδή.



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ



004000134378