

**Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας**

**Σχολή Γεωπονικών Επιστημών**

**Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής  
και Αγροτικού Περιβάλλοντος**

**Προπτυχιακή Διατριβή**

**«Δυναμική φωσφόρου σε ασβεστούχο έδαφος που καλλιεργείται με  
ραπανάκι»**

**Γκαρνάρας Ευθύμιος**



**Βόλος 2021**

**Επιβλέπων: Β. Αντωνιάδης, Αναπληρωτής Καθηγητής**

**Η Τριμελής Επιτροπή:**

- 1. Β. Αντωνιάδης, Αναπληρωτής Καθηγητής**
- 2. Σ. Πετρόπουλος, Επίκουρος Καθηγητής**
- 3. Ν. Δαναλάτος, Καθηγητής**

## Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα Καθηγητή μου κ. Αντωνιάδη Βασίλειο για τη συνεισφορά του στην υπόδειξη του θέματος και την ενεργό συμμετοχή του καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος, την ευγενική χορήγηση πρώτων υλών, σκευών και αντιδραστηρίων και για την καθοδήγηση του έως την ολοκλήρωση της συγκεκριμένης διατριβής. Επίσης, θα ήθελα να εκφράσω ευχαριστίες και στον Επίκουρο Καθηγητή κ. Πετρόπουλο Σπύρο, για την καθοδήγηση του ως προς την καλλιέργεια των φυτών και την παροχή αναγκαίων υλικών. Ευχαριστίες και στον Καθηγητή κ. Δαναλάτο Νικόλαο ο οποίος μαζί με τους δύο προαναφερθέντες Καθηγητές αποτέλεσαν την τριμελή επιτροπή η οποία αξιολόγησε την παρούσα διατριβή. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την υποστήριξη τους μέχρι τώρα και κυρίως για την ευκαιρία που με παρείχαν ώστε να φτάσω να αποκτήσω τον τίτλο σπουδών μου.

## Περίληψη

Ο φώσφορος είναι ένα από τα κύρια στοιχεία που απαιτούνται για την επιτυχή ανάπτυξη μίας καλλιέργειας. Επίσης έχει παρατηρηθεί ότι το κάθε φυτό ευδοκimeί σε διαφορετικό εύρος εδαφικού pH. Παρόλα αυτά η σχέση του pH και της φωσφορικής λίπανσης και πως αυτή επιδρά σε επίπεδο αγρού δεν έχει μελετηθεί επαρκώς. Σκοπός της εργασίας αυτής ήταν να υπολογισθεί η δυναμική του φωσφόρου σε ασβεστούχα εδάφη και το πως η διαφορετική ποσότητα προστιθέμενου φωσφόρου καθώς και μείωση του εδαφικού pH επηρεάζουν την καλλιέργεια ραπανιού (*Raphanus sativus*) στα εν' λόγω εδάφη. Ασβεστούχο έδαφος με pH 8 χρησιμοποιήθηκε για την δημιουργία 60 γλαστρών, οι οποίες ταξινομήθηκαν σε 6 μεταχειρίσεις με 10 επαναλήψεις έκαστος. Η μεταχειρίσεις διέφεραν ως προς την προστιθέμενη ποσότητα φωσφορικού καλίου και με το αν χορηγήθηκε ποσότητα υδροχλωρικού οξέος ή όχι. Με το πέρας την καλλιέργειας, συλλέχθηκαν φυτικά δείγματα καθώς και δείγμα εδάφους. Στη συνέχεια αφού τα δείγματα υπέστησαν επεξεργασία, χρησιμοποιήθηκαν για τις εξής αναλύσεις-μετρήσεις: μέτρηση εδαφικού pH, μέτρηση του αφομοιώσιμου P με την μέθοδο Olsen, μέτρηση του υδατοδιαλυτού P στο έδαφος και τέλος μέτρηση της περιεκτικότητας σε P στα φυτικά δείγματα (υπόγειο και υπέργειο φυτικό τμήμα). Με βάση τα αποτελέσματα βρέθηκε ότι με την προσθήκη HCl μειώθηκε το pH παρόλα αυτά τα δείγματα παρέμειναν στο εύρος της αλκαλικότητας. Επίσης το HCl μείωσε το ξηρό βάρος και την οριζόντια διάμετρο της ρίζας, ενώ αύξησε το ξηρό βάρος των φύλλων. Η διαφορετική προστιθέμενη ποσότητα P έδειξε θετικό συσχετισμό αυτής και της τιμής Olsen για τον αφομοιώσιμο φώσφορο. Και οι δύο προσθήκες (P, HCl) δεν έδειξαν επιδράσεις ως προς το ποσοστό ξηρού βάρους του ραπανιού, τον υδατοδιαλυτό P, την περιεκτικότητα P στο υπόγειο και υπέργειο φυτικό τμήμα καθώς και την τιμή πρόσληψης του P στα φύλλα του φυτού. Συμπερασματικά η όξυνση του εδάφους στο πείραμα ως επί το πλείστον ή δεν επηρέαζε τις παραμέτρους που αναλύθηκαν ή έδειξε αρνητικά αποτελέσματα κυρίως ως προς την ανάπτυξη του υποκοτύλιου. Το διαφορετικό ποσό προστιθέμενου P έδειξε να μην έχει σημαντική επίδραση στο μεγαλύτερο μέρος των αποτελεσμάτων παρά μόνο στην τιμή του Olsen P και στην τιμή του εδαφικού pH.

## Περιεχόμενα

<b>Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή.....</b>	<b>5</b>
1.1 Το pH του εδάφους.....	5
1.1.1 Δυσμενείς επιδράσεις των όξινων και αλατούχων εδαφών.....	6
1.1.2 Επίδραση του pH στη δυναμική του φωσφόρου .....	8
1.2 Ο φώσφορος των εδαφών.....	8
1.2.1 Βιογεωχημικός κύκλος του φωσφόρου .....	8
1.2.2 Διαθεσιμότητα φωσφόρου στο έδαφος .....	10
1.2.3 Δέσμευση του φωσφόρου στο έδαφος.....	11
1.2.4 Απορρόφηση φωσφόρου από τα φυτά.....	12
1.3 Το ραπανάκι .....	13
1.3.1 Οικογένεια, ιστορία, γεωγραφική εξάπλωση .....	13
1.3.2 Βοτανικά χαρακτηριστικά .....	13
1.3.3 Απαιτήσεις σε κλίμα και έδαφος στα ραπανάκια .....	14
1.3.4 Ανάγκες σε λίπανση και άρδευση-Τεχνική καλλιέργειας .....	15
1.4 Σκοπός της Εργασίας.....	15
<b>Κεφάλαιο 2 Υλικά και μέθοδοι .....</b>	<b>16</b>
2.1 Πειραματικός σχεδιασμός .....	16
2.1.1 Περιποίηση-Συντήρηση των φυτών .....	18
2.1.2 Συγκομιδή καλλιέργειας .....	18
2.1.3 Προκατεργασία - προετοιμασία φυτών και εδάφους για ανάλυση. ....	19
2.2 Μέθοδοι Ανάλυσης .....	19
2.2.1 Μέτρηση τιμών εδαφικού pH.....	20
2.2.2 Μέθοδος Olsen για τον προσδιορισμό του αφομοιώσιμου P στα δείγματα εδάφους. ....	20
2.2.3 Μέθοδος προσδιορισμού του υδατοδιαλυτού P στο έδαφος.....	21
2.2.4 Μέθοδος προσδιορισμού της ποσότητας του P σε φυτικά δείγματα.....	22
2.3 Στατιστική Επεξεργασία.....	23
<b>Κεφάλαιο 3: Αποτελέσματα και Συζήτηση .....</b>	<b>24</b>
<b>Συμπεράσματα.....</b>	<b>38</b>
<b>Βιβλιογραφία .....</b>	<b>39</b>

# Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

## 1.1 Το pH του εδάφους

Είναι το μέτρο της αλκαλικότητας ή της οξύτητας σε ένα έδαφος. Ορίζεται ως ο αρνητικός λογάριθμος των υδρογονοκατιόντων ( $H^+$ ) που περιέχονται σε ένα διάλυμα. Το εύρος τιμών του pH κυμαίνεται από 0 μέχρι και έως 14 με τις πιο συνήθεις τιμές στα εδάφη, έπειτα από μετρήσεις, να κυμαίνονται από 3 έως και 10.

Το εδαφικό pH επηρεάζεται κυρίως από την ανόργανη σύσταση του μητρικού υλικού και από τις χημικές αντιδράσεις που προκλήθηκαν από αυτό. Πιο συγκεκριμένα, όξινο εδαφικό pH δημιουργείται λόγω ορισμένων διαδικασιών, οι οποίες είναι:

- Η χρήση λιπασμάτων τα οποία περιέχουν αμμώνιο ( $NH_4^+$ ). Το αμμώνιο με τη διαδικασία της νιτροποίησης αντιδρά με το έδαφος, δημιουργεί νιτρικά άλατα ( $NO_3^-$ ) και απελευθερώνει κατιόντα υδρογόνου ( $H^+$ ) κατά τη διάρκεια της αντίδρασης.
- Βροχόπτωση. Το νερό της βροχής έχει ασθενές όξινο pH και λόγω της επαφής και στη συνέχεια της ροής του στο έδαφος απομακρύνει βασικά κατιόντα με τη διαδικασία της έκπλυσης που έχει ως αποτέλεσμα την ποσοστιαία αύξηση υδρογονοκατιόντων ( $H^+$ ) και κατιόντων αργιλίου ( $Al_3^+$ ).
- Όξινη Βροχή. Η καύση ορυκτών καυσίμων ή καυσαερίων απελευθερώνει διοξείδιο του θείου και οξείδια του αζώτου στην ατμόσφαιρα τα οποία αντιδρούν με το νερό που περιέχεται στην ατμόσφαιρα και σχηματίζουν ενώσεις θεικού και νιτρικού οξέος στη βροχή. Όσον αφορά τις φυσικές πηγές ρύπων θείου κυρίως είναι οι ωκεανοί και σε μικρό βαθμό οι ηφαιστειακές εκρήξεις.
- Κατά την ανάπτυξη τα φυτά λαμβάνουν θρεπτικά συστατικά με τη μορφή ιόντων και συχνά προσλαμβάνουν περισσότερα σε αριθμό κατιόντα από ότι ανιόντα. Ωστόσο, τα φυτά τείνουν να διατηρούν ουδέτερο φορτίο στις ρίζες τους. Προκειμένου να εξουδετερώσουν το φορτίο αυτό απελευθερώνουν ιόντα  $H^+$  από τη ρίζα. Ορισμένα φυτά εκκρίνουν επίσης οργανικά οξέα στο έδαφος για να μειώσουν την τιμή του pH στην κοντινή περιοχή γύρω από τις ρίζες τους, για να βοηθήσουν στη διάλυση μεταλλικών στοιχείων που αλλιώς θα ήταν αδιάλυτες σε pH ουδέτερο, όπως για παράδειγμα ο σίδηρος (Fe).

- Η αναπνοή της ρίζας και η διαδικασία αποσύνθεσης της οργανικής ύλης από μικροοργανισμούς, προκαλεί έκλυση διοξειδίου του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) το οποίο αυξάνει τη συγκέντρωση του ανθρακικού οξέος ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) στο έδαφος.
- Οξειδωση ορισμένων πρωτογενών ορυκτών δημιουργούν οξύτητα. Η διαδικασία δύναται να επιταχυνθεί μέσω ανθρωπογενών δραστηριοτήτων, όπως η αποστράγγιση ορυκτών από ορυχεία ή η αποστράγγιση οξέων και μεταλλευμάτων, τα οποία μεταφέρονται σε εδάφη της περιοχής μέσω απορροής. Επίσης η εκσκαφή ή η στράγγιση εδαφών που βρίσκονται σε εκβολές ποταμών ή κοντά σε παράκτια ύδατα αυξάνει την οξύτητα, καθώς τα εδάφη αυτά έχουν αυξημένες συγκεντρώσεις θειικού οξέος.

Το αλκαλικό εδαφικό pH προκαλείται από δύο κατηγορίες, δηλαδή είτε από φυσικά αίτια, είτε δημιουργείται ως αποτέλεσμα ανθρωπογενών δραστηριοτήτων στην κοντινή περιοχή. Η φυσική ανάπτυξη αλκαλικότητας οφείλεται στην παρουσία εδαφικών ορυκτών, τα οποία παράγουν άλατα ανθρακικού νατρίου ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ). Η ανθρωπογενής ενίσχυση του φαινομένου οφείλεται στην εφαρμογή αρδευτικού νερού, αντλούμενο είτε από υπόγεια είτε από επιφανειακά ύδατα, τα οποία περιέχουν υψηλή συγκέντρωση διτανθρακικού νατρίου.

### **1.1.1 Δυσμενείς επιδράσεις των όξινων και αλατούχων εδαφών**

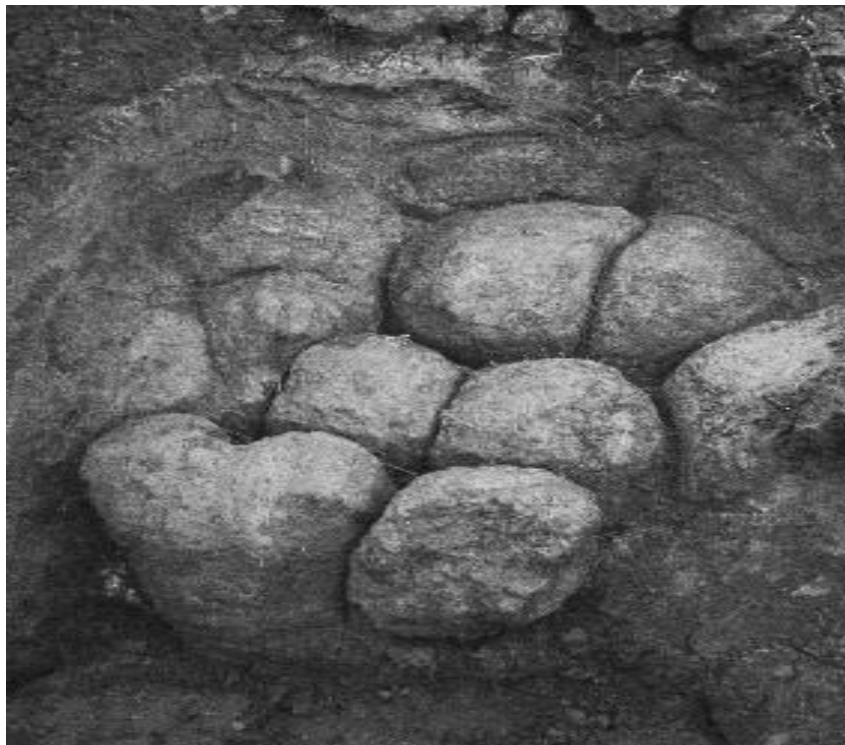
Τα όξινα εδάφη όταν διαταράσσονται παράγουν σημαντικές ποσότητες σιδήρου, θειικού οξέος, αλουμινίου και, σε μερικές περιπτώσεις, βαρέων μετάλλων.

- Υψηλά επίπεδα οξύτητας στο νερό μπορούν να δηλητηριάσουν φυτά και υδάτινη πανίδα που βρίσκονται μέσα ή στα περιχώρα της όξινης περιοχής.
- Ο φώσφορος που εμπεριέχεται στο έδαφος είναι δυσκολότερα διαθέσιμος στα φυτά.
- Σε όξινα εδάφη το αργίλιο προκαλεί τοξικά συμπτώματα στους φυτικούς ιστούς.
- Το ανταλλάξιμο ασβέστιο και μαγνήσιο βρίσκεται σε πολύ μικρές ποσότητες στο εδαφικό διάλυμα και παρατηρείται τροφопενία των συγκεκριμένων στοιχείων στα φυτά.
- Μειώνεται η δυνατότητα εκμετάλλευσης της εδαφικής υγρασίας από τα φυτά.
- Τα επίπεδα του μαγγανίου μπορεί να φτάσουν σε υψηλές τιμές και να επιφέρουν τοξικότητα στο έδαφος.

- Η πρόσληψη μολυσματικών ουσιών βαρέων μετάλλων από τις καλλιέργειες αυξάνεται.
- Απελευθερώνεται αλουμίνιο στο έδαφος το οποίο είναι τοξικό για τη χλωρίδα και μικροοργανισμούς.

Το Υψηλό pH στο έδαφος έχει τις εξής επιδράσεις:

- Μειώνει την υδατική ροή μέσω του εδάφους, συνεπώς περιορίζεται η δυνατότητα έκπλυσης με αποτέλεσμα τη μακροχρόνια συσσώρευση αλάτων, καθώς και τη δημιουργία αλατούχων υποστρωμάτων.
- Αδιατάραχτα αλατούχα εδάφη δημιουργούν στρώμα αλάτων στην επιφάνεια τους, σφραγίζοντας τους εδαφικούς πόρους της επιφάνειας, με αποτέλεσμα τον εμποδισμό της υδατικής διήθησης.
- Η διασπορά στο υπέδαφος επιταχύνει τη διάβρωση.
- Διασπά τη δομή του εδάφους και δημιουργεί πυκνά άμορφα συσσωματώματα όπως φαίνεται και στην Εικόνα 1.



Εικόνα 1 Δομή στήλης του άνω ορίζοντα Β σε ένα έδαφος κοντά στο Emerald, Queensland.

<https://www.qld.gov.au/>

### **1.1.2 Επίδραση του pH στη δυναμική του φωσφόρου**

Το εδαφικό pH αναφέρεται συχνά ως βασικός παράγοντας, ο οποίος ρυθμίζει την ποσότητα και τη μορφή του εδαφικού οργανικού φωσφόρου. Η άποψη αυτή βασίζεται κυρίως σε θεωρητικές εκτιμήσεις και εργαστηριακές μελέτες. Παρόλα αυτά, τα αποτελέσματα μελετών είναι αρκετά περιορισμένα και ασυνεπή μεταξύ τους. Για μεγάλο αριθμό εδαφών από τις ΗΠΑ με ευρύ φάσμα ιδιοτήτων, οι Tiessen et al (1984) ανέφεραν σημαντικά ( $P < 0,01$ ) αρνητικούς συσχετισμούς μεταξύ του pH και οργανικών συγκεντρώσεων φωσφόρου που εξήχθησαν με ένα διαδοχικό σχήμα κλασμάτωσης. Σύμφωνα με μελέτη των Turner & Blackwell (2013) για τον προσδιορισμό του ποσοστού επίδρασης του pH ως τον συνολικό και ανταλλάξιμο εδαφικό P, σε εύρος pH από 3,73 έως 7,83 παρατηρήθηκε, όσον αφορά τον συνολικό P, σχετικά μικρή διαφορά στο μήκος της κλίσης του pH, με τις μεγαλύτερες διαφορές να βρίσκονται στα πιο όξινα εδάφη. Στις μετρήσεις για τον προσδιορισμό του ανταλλάξιμου φωσφόρου παρατηρήθηκαν πολύ μικρές συγκεντρώσεις ( $< 1 \text{ mg P kg}^{-1}$ ) στην πλειοψηφία της αλληλουχίας, αλλά αυξήθηκαν εκθετικά στα πιο όξινα εδάφη.

## **1.2 Ο φώσφορος των εδαφών**

Ο φώσφορος είναι βασικό στοιχείο, το οποίο βρίσκεται σε κάθε είδος φυτικού ιστού και έχει κριθεί κρίσιμο για την αποτελεσματικότερη ανάπτυξη των φυτών. Ο P υπεισέρχεται στον μεταβολισμό του κυττάρου και ευνοεί:

- την αύξηση της ανάπτυξης
- την αύξηση της ριζικής μάζας
- την πρωιμότητα της παραγωγής
- την αντοχή των φυτών στις φυτονόσους
- τη γονιμοποίηση και την καρποφορία
- την ποιότητα των φυτικών προϊόντων

### **1.2.1 Βιογεωχημικός κύκλος του φωσφόρου**

Η ανάπτυξη των φυτικών και ζωικών οργανισμών εξαρτάται σημαντικά από την ποσότητα φωσφόρου που προσλαμβάνουν, καθώς αποτελούν συστατικό πρωτεϊνών που είναι υπεύθυνες για την αναπαραγωγή και τον μεταβολισμό των κυττάρων. Η διαθέσιμη ποσότητα P στο έδαφος είναι αρκετά περιορισμένη και στη φύση το στοιχείο μπορεί να

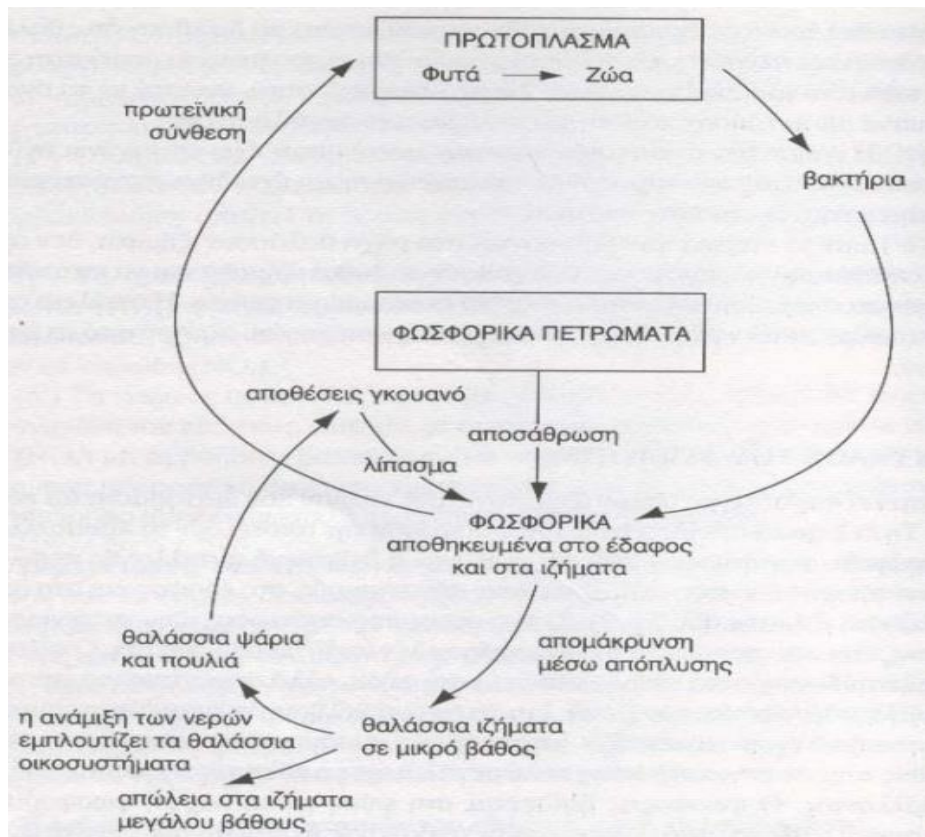


βρεθεί σε διάφορες μορφές όπως: φωσφορικά ιόντα, ανόργανες ή οργανικές ενώσεις στοιχειακού φωσφόρου καθώς και δεσμευμένος σε φωσφορικά πετρώματα.

Ο κύκλος του φωσφόρου αποτελείται από τρεις φάσεις, όπως φαίνεται και παρακάτω (Εικόνα 2):

- Διέλευση των φωσφορικών αλάτων του εδάφους μέσα από τις τροφικές αλυσίδες.
- Απόπλυση των φωσφορικών από το έδαφος.
- Απελευθέρωση των φωσφορικών από τα πετρώματα (Καρρής, 2013)

Στο χερσαίο περιβάλλον το ριζικό σύστημα των φυτών προσλαμβάνει τις υδατοδιαλυτές φωσφορικές ενώσεις και απομονώνει τον P, προκειμένου να πραγματοποιηθεί σύνθεση πρωτεϊνών. Μέσω της τροφικής αλυσίδας, οι ενώσεις αυτές περνούν στους καταναλωτές και στη συνέχεια αποβάλλουν το πλεόνασμα με τις απεκκρίσεις τους. Αξίζει να σημειωθεί ότι στις αποθέσεις γκουανό βρέθηκαν μεγάλες συγκεντρώσεις φωσφόρου και χρησιμοποιούταν αρκετά ως πηγή φωσφορούχων λιπασμάτων. Φωσφορικά άλατα απελευθερώνονται με την διαδικασία της αποικοδόμησης νεκρού οργανικού υλικού το οποίο είναι αποτέλεσμα δράσης μικροοργανισμών. Κατά τη δεύτερη φάση, τα φωσφορικά άλατα μεταφέρονται με την διαδικασία της απόπλυσης σε υδάτινους αποδέκτες και εν τέλει δεσμεύονται σε ιζήματα του υδατικού περιβάλλοντος. Τα σχηματιζόμενα ιζήματα απομακρύνουν το στοιχείο από την κυκλοφορία και η επανένταξη του στο περιβάλλον απαιτεί την ολοκλήρωση μακροχρόνιων διαδικασιών. Η απελευθέρωση των φωσφορικών ενώσεων στα πετρώματα γίνεται φυσικά λόγω διάβρωσης και αποσάθρωσης με ακαθόριστο και βραδύ ρυθμό. Η απόκτηση του φωσφόρου βέβαια μπορεί να επιταχυνθεί μέσω της εξόρυξης των φωσφορούχων πετρωμάτων.



Εικόνα 2. Σχηματική απεικόνιση του βιογεωχημικού κύκλου του φωσφόρου, (Καρρής, 2013)

### 1.2.2 Διαθεσιμότητα φωσφόρου στο έδαφος

Σε παγκόσμια κλίμακα παρατηρείται έλλειψη φωσφόρου στα εδαφικά διαλύματα. Ακόμα και τα πιο γόνιμα εδάφη σπάνια ξεπερνούν τα 10  $\mu\text{M}$  σε συγκέντρωση P. Αντιθέτως, σε ιζήματα των λιμνών και θαλασσών παρατηρούνται υψηλές τιμές P. Τα ιζήματα αυτά, επομένως, μπορούν να ρυθμίσουν τη συγκέντρωση P σε ρηχά νερά, βάλτους και λίμνες ή εκβολές ποταμών. Οι χαμηλές συγκεντρώσεις P στο εδαφικό διάλυμα οφείλονται στη μικρή διαλυτότητα του στοιχείου. Η διαθεσιμότητα του P μέσω της ορυκτοποίησης μπορεί να εκτιμηθεί με βάση τη δραστηριότητα της φωσφατάσης και της μικροβιακής βιομάζας P(MB-P) στο έδαφος. Παρότι αυτοί οι μικροοργανισμοί αποτελούν σημαντική πηγή P για την ανάπτυξη των φυτών, αντιπροσωπεύουν ένα πολύ μικρό ποσοστό του συνολικού εδαφικού φωσφόρου. Οι νηματώδεις εδάφους μπορούν επίσης να επηρεάσουν τη συγκέντρωση P με έμμεσο ή άμεσο τρόπο. Η επιλεκτική σίτιση τους σε μικροοργανισμούς μπορεί να επιταχύνει τη ροή της μικροβιακής βιομάζας (άμεση επίδραση) αλλά και να τροποποιήσει την ποσότητα, τη σύνθεση και τη δραστηριότητα των εν λόγω

μικροοργανισμών (έμμεση επίδραση). Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν τον διαθέσιμο εδαφικό P, είναι ο ρυθμός διάλυσης των ενώσεων φωσφόρου, η εκρόφιση του από τα φωσφορικά σύμπλοκα, καθώς και η διάχυση του P στο έδαφος. Έμμεση επίδραση στη διαθεσιμότητα έχει και το εδαφικό pH, καθώς επηρεάζει τον ρυθμό όπου πραγματοποιούνται οι παραπάνω αντιδράσεις. Επίσης έμμεσος παράγοντας είναι η περιεκτικότητα του εδάφους σε ορισμένα στοιχεία όπως ο άργιλος, ο σίδηρος, ο οργανικός P και η ενεργός επιφάνεια των ανθρακικών ενώσεων.

### 1.2.3 Δέσμευση του φωσφόρου στο έδαφος

Σύμφωνα με πειράματα που διεξήχθησαν κατά τον δέκατο ένατο αιώνα διαπιστώθηκε ότι η συγκράτηση του φωσφόρου στο εδαφικό διάλυμα επηρεάζεται από ανθρακικά άλατα, από την περιεκτικότητα σε οργανική ουσία, από ορυκτά της αργίλου και οξειδία σιδήρου και αργίλου. Οι πρώτες μελέτες που πραγματοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό των γενικών μηχανισμών για την συγκράτηση του φωσφόρου έδειξαν ότι οι δύο κύριοι ήταν η ιζηματοποίηση και η προσρόφηση. Σύμφωνα με νεότερες έρευνες, οι μηχανισμοί αυτοί φαίνεται να είναι οι εξής:

- **Συγκράτηση λόγω οξυ-υδροξειδίων του σιδήρου και του αργιλίου.** Η ύπαρξη των δύο αυτών στοιχείων εμφανίζεται σε όλους τους εδαφικούς τύπους και παρουσιάζεται είτε με την μορφή διακριτών ενώσεων, είτε προσκολλημένα σε εδαφικά τεμάχια. Το ποσοστό του συγκρατημένου φωσφόρου επηρεάζεται από την τιμή της θερμοκρασίας εδάφους, το εδαφικό pH και τον χρόνο αντίδρασης μεταξύ των στοιχείων. Γενικότερα, η συγκράτηση φωσφόρου στα παραπάνω στοιχεία χαρακτηρίζεται από τρία στάδια με τρεις ξεχωριστούς μηχανισμούς ρόφησης
  - (i) χημειορόφηση μικρών ποσών φωσφορικών με υψηλή ενέργεια αντιδράσεως
  - (ii) ιζηματοποίηση μιας διακριτής ένωσης φωσφόρου και
  - (iii) προσρόφηση με χαμηλή ενέργεια αντιδράσεως.
- **Συγκράτηση λόγω αργιλοπυριτικών ορυκτών.** Τα ορυκτά της αργίλου μπορούν να διαθέσουν τις επιφάνειες τους ως μέσω συγκράτησης του φωσφόρου και αυτό επιτυγχάνεται είτε μέσω των ομάδων M-OH στα φύλλα οκταέδρων Al και Fe, είτε λόγω του θετικού φορτίου που αναπτύσσεται σε περιβάλλον που επικρατεί χαμηλό εδαφικό pH. Σε μελέτη που τελέστηκε όσο αναφορά την προσρόφηση του φωσφόρου από καολινίτη, ιλλίτη και μοντμοριλονίτη κορεσμένων με διάφορα

κατιόντα οι Pissarides et al (1968), παρατήρησαν ότι σε χαμηλές συγκεντρώσεις τα δεδομένα προσροφήσεως φωσφόρου υπάκουαν στην ευθύγραμμη μορφή της ισόθερμου Langmuir, ανεξαρτήτως του κατιόντος κορεσμού. Τα κορεσμένα με δισθενή ιόντα τεμάχια της αργίλου παρουσίασαν μεγαλύτερες τιμές προσροφημένου φωσφόρου από ότι τα τεμάχια που ήταν κορεσμένα με μονοσθενή. Από το συγκεκριμένο πείραμα συμπεράθηκε πως το πάχος της διάχυτης διπλής στοιβάδας καθόριζε την ποσότητα του προσροφημένου P στην επιφάνεια τεμαχίων της αργίλου.

- **Ανθρακικά άλατα και συγκράτηση του φωσφόρου.** Τα ιόντα του ανθρακικού ασβεστίου αντιδρούν με τα φωσφορικά και προσκολλώνται στην ελεύθερη επιφάνεια του  $\text{CaCO}_3$ . Ως αποτέλεσμα έχει την καταβύθιση των φωσφορικών και τη δημιουργία δυσδιάλυτων ενώσεων (φωσφορικό ασβέστιο). Σε υψηλές συγκεντρώσεις φωσφόρου, όπου οι αντιδράσεις ιζηματοποίησης είναι άφθονες και πραγματοποιούνται με αυξημένους ρυθμούς, παρατηρείται εντονότερα το φαινόμενο του σχηματισμού ιζηματοποιημένων ενώσεων.
- **Συγκράτηση του φωσφόρου και οργανική ουσία.** Η οργανική ουσία καθ' αυτού δεν μπορεί να συγκρατήσει φωσφορικά ιόντα διότι το φορτίο που έχει είναι κυρίως αρνητικό. Παρόλα αυτά, η οργανική ουσία σε συνδυασμό με κατιόντα  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ , και του  $\text{Ca}^{2+}$  δημιουργεί σύμπλοκα και επιτρέπει τη συγκράτηση του P.

#### 1.2.4 Απορρόφηση φωσφόρου από τα φυτά

Ο κυριότερος μηχανισμός πρόσληψης P από τα φυτά είναι η διάχυση και σε πολύ μικρότερο ποσοστό ο εδαφικός P μετακινείται προς το φυτό μέσω της μαζικής ροής. Η προσλαμβανόμενη ποσότητα φωσφόρου από το φυτό μέσω της διάχυσης επηρεάζεται από το βάθος, μήκος, πυκνότητα και ηλικία των ριζών, το ποσοστό υγρασίας, το πορώδες του εδάφους καθώς και τη συγκέντρωση του εδαφικού P. Εφόσον η διάχυση είναι ο κύριος αιτία πρόσληψης φωσφόρου των φυτών, τότε και οι παράγοντες που επηρεάζουν τον μηχανισμό της διάχυσης επηρεάζουν έμμεσα το ποσοστό πρόσληψης εδαφικού φωσφόρου. Κατά τη διάρκεια πρόσληψης των φυτών από το εδαφικό διάλυμα, η χημική ισορροπία του P διαταράσσεται, η οποία, προκειμένου να αποκατασταθεί, πρέπει να αποδεσμευτεί ποσότητα προσροφημένου φωσφόρου από την επιφάνεια των ορυκτών. Ο προσλαμβανόμενος P από τα φυτά είναι σε μορφή φωσφορικού ιόντος ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  και  $\text{HPO}_4^-$

) όπου η συγκέντρωση και το είδος του κάθε ιόντος εξαρτάται από το pH, δηλαδή αν είναι αλκαλικό ή όξινο.

## 1.3 Το ραπανάκι

### 1.3.1 Οικογένεια, ιστορία, γεωγραφική εξάπλωση

Το ραπανάκι ή γνωστό και ως ρεπανάκι είναι ένα λαχανικό που ανήκει στην οικογένεια των Κραμβοειδών (Brassicaceae), με την επιστημονική του ονομασία να είναι *Raphanus sativus*. Το κοινό του όνομα (radish) προέρχεται από το λατινικό *radix* το οποίο μεταφράζεται ως ρίζα. Δεν έχουν βρεθεί αποδείξεις από την αρχαιολογία για το πού και πότε ξεκίνησε η εξημέρωση του φυτού. Στη νοτιοδυτική Ασία μόνο έχουν εμφανιστεί άγριες ποικιλίες του φυτού και για αυτόν τον λόγο, πιθανολογείται ότι το κέντρο καταγωγής του βρίσκεται εκεί. Σύμφωνα με ιστορικές πηγές το ραπανάκι καλλιεργούνταν από τους Αιγύπτιους το 2700 π.Χ. ως πηγή τροφής ή, όπως πιστεύεται, το χρησιμοποιούσαν και ως εμετικό ή καθαρτικό. Παράλληλα, στην Αρχαία Ελλάδα, το χρησιμοποιούσαν ως θυσία προς τους θεούς. Το φυτό έφτασε στη Κίνα περίπου το 500 π.Χ. και στη συνέχεια εξαπλώθηκε στην υπόλοιπη Ανατολή. Τον 16ο αιώνα το ραπανάκι εμφανίστηκε στη Βόρεια Ευρώπη ενώ η πρώτη εμφάνιση του στη Βόρεια Αμερική χρονολογείται γύρω στις αρχές του 19ου αιώνα. Τα πρώτα φυτά που καλλιεργήθηκαν είχαν μαύρου χρώματος ρίζες ενώ με την πάροδο του χρόνου προέκυψαν ποικιλίες με λευκό ή κόκκινο χρώμα ρίζας χάρις την επιλεκτική καλλιέργεια τους και τη γενετική βελτίωση τους. Σήμερα το ραπανάκι είναι ευρέως διαδεδομένο και καλλιεργείται σε όλο τον κόσμο καθώς έχουν αναπτυχθεί και ποικιλίες που ευδοκιμούν σε συγκεκριμένα μέρη του πλανήτη. Τέτοιες ποικιλίες είναι οι εξής: Στην Ευρώπη χρησιμοποιείται σε μεγάλο βαθμό το *R. sativus* var. *radicula*, στην Κίνα το *R. sativus* var. *longipinattus* γνωστό και ως Daikon, στην Ιαπωνία το *R. sativus* var. *raphanistroides* κλπ.

### 1.3.2 Βοτανικά χαρακτηριστικά

Το μεγαλύτερο μέρος των καλλιεργούμενων ποικιλιών είναι ετήσια φυτά, με την ιδιότητα ότι εάν σπαρθούν νωρίς την άνοιξη τότε ο βιολογικός τους κύκλος ολοκληρώνεται σε ένα έτος. Στη περίπτωση που η σπορά γίνει κατά το φθινόπωρο-χειμώνα, τότε το φυτό θα παράξει σπόρους κατά το δεύτερο έτος ανάπτυξης του. Το κύριο βρώσιμο μέρος του είναι

το διογκωμένο υποκοτύλιο του, με τα φύλλα του να αποτελούν δευτερεύον πηγή τροφής και χρησιμοποιούνται φρέσκα, κυρίως σε σαλάτες. Το σχήμα του υποκοτύλιου, ανάλογα την ποικιλία, μπορεί να είναι σφαιρικό, κυλινδρικό ή σφηνοειδές. Οι διαστάσεις του επίσης ποικίλουν με το μήκος του να κυμαίνεται από κοντό έως μακρύ και το πλάτος του από λεπτό έως παχύ. Η απόχρωση της επιδερμίδας μπορεί να είναι λευκή, ερυθρή, κίτρινη, ιώδης, μαύρη ή πρασινωπή. Το χρώμα της σάρκας είναι λευκό, ερυθρό ή ένας συνδυασμός των δύο χρωμάτων. Η σάρκα είναι συνεκτική και τρυφερή, ενώ κατά την υπερωρίμανση της γίνεται σπογγώδης (Χα & Πετρόπουλος, 2014). Στο υπέργειο τμήμα του φυτού που αποτελείται από το φύλλωμα και τα άνθη, παρουσιάζονται φύλλα εναλλασσόμενα και οδοντωτά με λεία επιφάνεια ή με ελαφρό τρίχωμα και σχηματίζουν ροζέτα. Η έκπτυξη των ανθικών στελεχών πραγματοποιείται όταν τα φυτά εκτεθούν σε χαμηλές θερμοκρασίες και ακολουθήσουν συνθήκες μεγάλης φωτοπερίοδου. Ο ανθοφόρος βλαστός εκπτύσσεται κατακόρυφα, είναι διακλαδιζόμενος και μπορεί να αναπτυχθεί σε ύψος μέχρι και 100 εκ. Η ταξιανθία είναι επιμήκης βότρυς και τα άνθη του είναι τέλεια, τετραμερή, με επίμηκες σχήμα και απόχρωση λευκού έως και ιώδους. Οι καρποί του ραπανιού είναι κεράτια κυλινδρικού ή λογχοειδούς σχήματος.

### **1.3.3 Απαιτήσεις σε κλίμα και έδαφος στα ραπανάκια**

Τα ραπανάκια είναι ψυχρής εποχής και ως εκ τούτου παρουσιάζουν μικρή ανεκτικότητα στις υψηλές θερμοκρασίες. Οι ευνοϊκές θερμοκρασίες για την καλλιέργεια και ανάπτυξη καλής ποιότητας φυτών είναι από 10-18 °C. Η μεγάλη υγρασία περιβάλλοντος κατά την καλλιέργεια βελτιώνει επίσης την ποιότητα των προϊόντων. Εξίσου σημαντικός παράγοντας για την άριστη ποιότητα είναι η φωτοπερίοδος. Ημέρες μικρής έως μέσης διάρκειας έχουν ως αποτέλεσμα την παραγωγή κανονικού σχήματος ριζών με λίγα φύλλα, ενώ σε συνθήκες χαμηλού φωτισμού το μέγεθος των παραγόμενων γογγυλόριζων μειώνεται. Σε ημέρες με φωτοπερίοδο άνω των 15 ωρών, παρατηρείται παραγωγή ακανόνιστου σχήματος ριζών και η διαδικασία της έκπτυξης των ανθοφόρων οφθαλμών επιταχύνεται. Το ραπανάκι δεν έχει ιδιαίτερες απαιτήσεις σε τύπο εδάφους και αυτό λόγω του περιορισμένου μήκους του ριζικού συστήματος και της σύντομης διάρκειας καλλιέργειας του. Αναπτύσσεται εξίσου καλά σε αμμώδη και οργανικά εδάφη, το ποσοστό της υγρασίας πρέπει να είναι επαρκές και ανεπιθύμητος ο σχηματισμός επιφανειακής κρούστας στις γραμμές σποράς. Προτείνεται το έδαφος να είναι γόνιμο και να εμφανίζει ελαφρώς όξινο pH, δηλαδή να κυμαίνεται σε τιμές μεταξύ 6 και 6,5. Αποφυγή άγονων και

ξηρών περιοχών καθώς επιβραδύνεται ο ρυθμός ανάπτυξης του φυτού και υποβαθμίζεται η γευστική του ποιότητα. Εξίσου σημαντική απαίτηση ο ψιλοχωματισμός του αγρού και η απομάκρυνση πετρών ή άλλων χονδροειδών υλικών από αυτόν, προκειμένου να διευκολυνθεί η ανάπτυξη του υποκοτυλίου.

### **1.3.4 Ανάγκες σε λίπανση και άρδευση-Τεχνική καλλιέργειας**

Για μία επιτυχημένη σοδειά με ραπανάκια, βασιζόμαστε κυρίως σε επαρκή χορήγηση λιπάσματος κατά την βασική λίπανση. Η αιτιολόγηση είναι ότι το φυτό παραμένει στο έδαφος για σύντομο χρονικό διάστημα με αποτέλεσμα να μην έχει την δυνατότητα να απορροφήσει μεγάλη ποσότητα θρεπτικών συστατικών. «Εμπειρικά συνιστάται η εφαρμογή ανόργανης λίπανσης με 30 μονάδες θειικής αμμωνίας, 30 έως 40 μονάδες υπερφωσφορικών και 15 μονάδες θειικού καλίου ανά στρέμμα κατά τη βασική λίπανση. Από έρευνα προκύπτει ότι μία φυτεία ραπανιού με αποδόσεις 3,5 τόνους γογγυλόριζας απορροφά από το έδαφος 8 κιλά N, 3 κιλά P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 15 κιλά K<sub>2</sub>O και 1,2 κιλά MgO» (Χα & Πετρόπουλος, 2014). Κατά την επιφανειακή λίπανση εφαρμόζεται μια συμπληρωματική ποσότητα αζώτου. Επίσης τα ραπανάκια παρουσιάζουν ανθεκτικότητα στην έλλειψη Μαγνησίου, όμως είναι ευαίσθητα στην έλλειψη του Βορίου. Όσο αναφορά τις ανάγκες σε άρδευση, τα φυτά απαιτούν τακτικά ελαφρά ποτίσματα τα οποία περιορίζονται μόνο στην περίοδο της βλάστησης. Ιδιαίτερα σε περιόδους με υψηλές θερμοκρασίες το νερό μπορεί να μειώσει τη θερμοκρασία της καλλιέργειας και να αποτρέψει την υποβάθμιση της ποιότητας. Επίσης με τη συχνή άρδευση ελαχιστοποιείται και η πιθανότητα σχισίματος της σάρκας της γογγυλόριζας.

## **1.4 Σκοπός της Εργασίας**

Η παρούσα εργασία τελέστηκε με σκοπό να ερευνηθεί η επίδραση της οξίνισης ασβεστούχων εδαφών με την προσθήκη υδροχλωρικού οξέος (HCl), καθώς και πως επηρεάζει η διαφορετική ποσότητα φωσφορικής λιπάνσεως μία καλλιέργεια ραπανιού αλλά και το καλλιεργητικό της μέσο (έδαφος).

## Κεφάλαιο 2 Υλικά και Μέθοδοι

### 2.1 Πειραματικός σχεδιασμός

Το πείραμα ξεκίνησε στις 25 Οκτωβρίου 2018. Ως πρώτο βήμα ήταν η μεταφορά μας στη περιοχή του Βελεστίνου στους πειραματικούς αγρούς του Πανεπιστημίου. Το πρώτο βήμα ήταν λήψη ποσότητας 55-60 κιλά εδάφους από τους αγρούς και εν συνεχεία να ακολουθήσει θρυμματισμός αυτού, σε συνδυασμό με την απομάκρυνση φυτικών υπολειμμάτων και πετρών. Η διαδικασία αυτή κρίθηκε απαραίτητη για την διευκόλυνση της μεταχείρισης και την ομαλότερη ανάπτυξη των φυτών σε επόμενα στάδια. Το επεξεργασμένο έδαφος μεταφέρθηκε πίσω στο κτήριο του Πανεπιστημίου και αφήθηκε για λίγες μέρες προκειμένου να απομακρυνθεί τυχόν υγρασία που περιείχε. Στις 30 Οκτωβρίου συνεχίστηκε η διαδικασία προετοιμασίας και δημιουργήθηκαν τα απαραίτητα διαλύματα τα οποία θα χορηγούνταν στα φυτά καθ' όλη τη διάρκεια της καλλιέργειας τους και σε ποσότητες ανάλογες του τύπου μεταχείρισης. Τα διαλύματα που παρασκευάστηκαν λοιπόν είναι τα εξής:

- Άζωτο: 15 g δραστικής ουσίας  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  διαλυμένα σε 1 L απεσταγμένο νερό
- Φώσφορος: 8,77 g δραστικής ουσίας  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  διαλυμένα σε 2 L απεσταγμένο νερό. Η παρασκευή του διαλύματος επαναλήφθηκε μία ακόμη φορά, δηλαδή προέκυψε τελικός όγκος διαλύματος 4 L φωσφόρου.
- Κάλιο: 39,8 g δραστική ουσίας  $\text{KCl}$  διαλυμένα σε 1 L απεσταγμένο νερό.
- Οξύ: 1 L πυκνού  $\text{HCl}$  διαλυμένο σε 2 L απεσταγμένο νερό.

Με την διεκπεραίωση της παρασκευής των διαλυμάτων ακολούθησε η προετοιμασία του μίγματος υλικών, που θα τοποθετούνταν στις γλάστρες. Το μίγμα αποτελούνταν από 0,8 L του επεξεργασμένου εδάφους και 0,8 L περλίτη και η ποσότητα αναλογούσε για μία γλάστρα. Ο συνολικός όγκος που χρησιμοποιήθηκε για τα 60 φυτά που θα καλλιεργούνταν ήταν  $1,6 \cdot 60 = 96$  L μίγματος. Στην συνέχεια τοποθετήθηκαν στο θερμοκήπιο του Πανεπιστημίου 60 πλαστικά πιάτα, με μία γλάστρα πάνω σε κάθε ένα και στοιχίστηκαν σε 6 σειρές των 10 γλαστρών, δηλαδή κάθε σειρά ξεχωριστά θα αντιστοιχούσε σε ένα τύπο μεταχείρισης. Επίσης, τοποθετήθηκε κυλινδρικό διηθητικός ηθμός στον πυθμένα των γλαστρών για την αποφυγή της απορροής του εδάφους και τελευταίο προστέθηκε το μίγμα εδάφους-περλίτη στις ανάλογες ποσότητες. Πραγματοποιήθηκε πότισμα από το κάτω



μέρος των γλαστρών έως ότου να επέλθει κορεσμός και αφέθηκαν για λίγες μέρες ώστε να απορροφηθεί το νερό και να επιτευχθεί ικανοποιητικό ποσοστό υγρασίας στο έδαφος. Επόμενο βήμα ήταν η φύτευση τριών σπόρων ραπανιού ποικιλίας Zlata σε κάθε γλάστρα. Η σπορά πραγματοποιήθηκε στις 8 Νοεμβρίου 2018. Τέλος οι γλάστρες ταξινομήθηκαν σε έξι σειρές με κάθε σειρά να αποτελείται από δέκα γλάστρες και ονομάστηκαν αναλόγως τη μεταχείριση στην οποία θα υποβάλλονταν.

#### **Επομένως η ταξινόμηση τους έγινε ως εξής:**

- 1η σειρά επιλέχθηκε ως μάρτυρας (M) και εκλέχθηκαν νούμερα από το 1 έως το 10 ξεκινώντας από τις μπροστά γλάστρες με σειρά έως και τις τελευταίες.
- 2η σειρά εκλέχθηκε ως μάρτυρας συν την προσθήκη υδροχλωρικού οξέος (OM) και οι γλάστρες αριθμήθηκαν ομοίως με τα παραπάνω.
- 3η σειρά επιλέχθηκε για την προσθήκη μονής δόσης φωσφόρου (P1), με όμοια αρίθμηση με τις παραπάνω.
- 4η σειρά επιλέχθηκε για την προσθήκη μονής δόσης φωσφόρου με επιπλέον προσθήκη υδροχλωρικού οξέος (OP1), με όμοια αρίθμηση με τις παραπάνω.
- 5η σειρά επιλέχθηκε για προσθήκη διπλής δόσης φωσφόρου (P2), με όμοια αρίθμηση γλαστρών με τις παραπάνω.
- 6η σειρά για την προσθήκη διπλής δόσης φωσφόρου με επιπλέον προσθήκη υδροχλωρικού οξέος (OP2), με όμοια αρίθμηση γλαστρών με τις παραπάνω.

M-10	OM-10	P1-10	OP1-10	P2-10	OP2-10
M-9	OM-9	P1-9	OP1-9	P2-9	OP2-9
M-8	OM-8	P1-8	OP1-8	P2-8	OP2-8
M-7	OM-7	P1-7	OP1-7	P2-7	OP2-7
M-6	OM-6	P1-6	OP1-6	P2-6	OP2-6
M-5	OM-5	P1-5	OP1-5	P2-5	OP2-5
M-4	OM-4	P1-4	OP1-4	P2-4	OP2-4
M-3	OM-3	P1-3	OP1-3	P2-3	OP2-3
M-2	OM-2	P1-2	OP1-2	P2-2	OP2-2
M-1	OM-1	P1-1	OP1-1	P2-1	OP2-1

Σχηματική απεικόνιση της ταξινόμησης των πειραματικών γλαστρών στο χώρο.

### 2.1.1 Περιποίηση-Συντήρηση των φυτών

Με την ολοκλήρωση του σχεδιασμού και την προετοιμασία των φυτών για καλλιέργεια, δημιουργήθηκε ένα πρόγραμμα περιποίησης-συντήρησης των φυτών, το οποίο πραγματοποιούνταν σε εβδομαδιαία βάση. Ανεξαιρέτως όλες οι γλάστρες ποτίζονταν μία έως δύο φορές την εβδομάδα, αναλόγως την σχετική υγρασία του περιβάλλοντος και του εδάφους τους. Επιπλέον αφαιρούνταν τυχόν αναπτυσσόμενα ζιζάνια, προκειμένου να ευνοηθεί η ομαλή ανάπτυξη των εξεταζόμενων φυτών. Οι παραπάνω ενέργειες επαναλαμβάνονταν έως και μία εβδομάδα πριν την ημέρα της συγκομιδής τους. Όσο αναφορά την λίπανση, σε κάθε σειρά μεταχείρισης, χορηγήθηκε και διαφορετική δόση διαλυμάτων φωσφόρου, καλίου, αζώτου και οξέος. Το πρόγραμμα λίπανσης διήρκησε πέντε εβδομάδες και ξεκίνησε με το πέρας της πρώτης επταήμερου από τη σπορά. Κατά τη διάρκεια του προγράμματος, και εφόσον υπήρχε εμφανής βλάστηση, πραγματοποιήθηκε η αφαίρεση των δύο λιγότερο ανεπτυγμένων ή μη, υγιών φυτών, σε κάθε μια γλάστρα, προκειμένου να ευδοκιμήσει ο δυνατότερος σπόρος και να βελτιωθεί η τελική ποιότητα κατά τη συγκομιδή.

	Δόση φωσφόρου	φώσφορος (σε 5 χορηγήσεις)	κάλιο (30 ΛΜΚ-άπαξ)	άζωτο (15 ΛΜΚ-άπαξ)	οξύ (σε 5 χορηγήσεις)
M	0 ΛΜΦ	-	10 mL χ.κ	10 mL ν.α	-
OM	0 ΛΜΦ	-	10 mL χ.κ	10 mL ν.α	25 mL
P1	20 ΛΜΦ	50 mL φ.κ	5 mL χ.κ	10 mL ν.α	-
OP1	20 ΛΜΦ	50 mL φ.κ	5 mL χ.κ	10 mL ν.α	25 mL
P2	40 ΛΜΦ	100 mL φ.κ	-	10 mL ν.α	-
OP2	40 ΛΜΦ	100 mL φ.κ	-	10 mL ν.α	25 mL

Φ.κ φωσφορικό κάλιο  $\text{KH}_2\text{PO}_4$

Χ.κ γλωριούχο κάλιο KCL

Ν.α νιτρικό αμμώνιο  $\text{NH}_4\text{NO}_3$

Πίνακας απαιτούμενης λίπανσης της πειραματικής καλλιέργειας για κάθε ομάδα μεταχείρισης φυτών.

### 2.1.2 Συγκομιδή καλλιέργειας

Η συγκομιδή πραγματοποιήθηκε στις 6 Μαρτίου 2019. Το κάθε φυτό συλλέχθηκε με το χέρι από το έδαφος το οποίο έπειτα τοποθετήθηκε σε πλαστική σακούλα και ταξινομήθηκε ανάλογα την πειραματική γλάστρα στην οποία αναπτυσσόταν. Επίσης συλλέχθηκε και

δείγμα εδάφους από τις γλάστρες όπου είχαν αναπτυχθεί επαρκώς τα φυτά του ραπανιού σε ξεχωριστές πλαστικές σακούλες και η ταξινόμηση τους έγινε ομοίως με τα συγκομιζόμενα φυτά. Παρόλα αυτά, προέκυψαν περιπτώσεις ανεπιτυχούς ανάπτυξης σε ορισμένα τεμάχια, τα οποία δεν είχαν ανάγκη περαιτέρω επεξεργασίας και ανάλυσης και επομένως δεν συλλέχθηκε δείγμα από αυτά. Με το πέρας της απαραίτητης συλλογής δειγμάτων το υπολειπόμενο μείγμα εδάφους ιδεάστηκε και τα υλικά (γλάστρες, εργαστηριακά σκεύη) επιστράφηκαν στο Πανεπιστήμιο.

### **2.1.3 Προκατεργασία - προετοιμασία φυτών και εδάφους για ανάλυση.**

Τα συλλεχθέντα φυτά αρχικά ζυγίστηκαν σε δύο μορφές τους, σε νωπή και σε ξηρή. Κατά το νωπό ζύγισμα πραγματοποιήθηκε και το επιπλέον βήμα της μέτρησης των διαστάσεων των καρπών προκειμένου να συγκρίνουμε το βαθμό ανάπτυξης τους μεταξύ των διαφορετικών μεταχειρίσεων. Το υπέργειο μέρος των ραπανιών αφαιρέθηκε και ζυγίστηκε ομοίως σε νωπή και ξηρή μορφή. Τα ριζίδια κάθε φυτού αφαιρέθηκαν καθώς δεν αποτελούσαν σημείο ενδιαφέροντος στο πείραμα και επομένως απορρίφθηκαν. Με το πέρας του νωπού ζυγίσματος οι καρποί τεμαχίστηκαν σε μικρά τεμάχια προκειμένου να επιταχυνθεί ο ρυθμός αποξήρανσης τους. Στη συνέχεια τα τεμαχίδια κάθε φυτού ξεχωριστά τοποθετήθηκαν σε χάρτινες σακούλες και ταξινομήθηκαν αναλόγως. Ομοίως τοποθετήθηκαν και τα φύλλα του εκάστου ραπανιού. Τα δείγματα αφέθηκαν σε θερμοκρασία δωματίου για περίπου δύο εβδομάδες ούτως ώστε να κριθούν κατάλληλα για περαιτέρω επεξεργασία. Τα φυτικά δείγματα εφόσον είχαν σημαντικό ποσοστό υγρασίας στη συνέχεια υποβλήθηκαν σε θρυμματισμό στο χέρι με τη βοήθεια ενός γουδοχέρι. Το θρυμματισμένο υλικό περάστηκε έπειτα από σίτα με μικρής διαμέτρου οπές έτσι ώστε το τελικό προϊόν να είναι ομοιογενές σε μορφή πούδρας. Τέλος κάθε επεξεργασμένο δείγμα ξεχωριστά τοποθετήθηκε σε πλαστικά δοχεία και ταξινομήθηκε. Όσον αφορά τα δείγματα εδάφους, ομοίως κοσκινίστηκαν με τη χρήση σίτας ούτως ώστε το τελικό προϊόν να μην φέρνει ξένες ύλες και το μέγεθος των εδαφικών τεμαχίων να είναι ομοιογενές. Μετά την επεξεργασία του κάθε δείγμα μεταφέρθηκε σε πλαστικά δοχεία και ταξινομήθηκε.

## **2.2 Μέθοδοι Ανάλυσης**

Στα εδαφικά δείγματα του συγκεκριμένου πειράματος έγινε ανάλυση με την μέθοδο Olsen για τον προσδιορισμό του διαθέσιμου φωσφόρου, ανάλυση για την εκτίμηση του υδατοδιαλυτού φωσφόρου και μέτρηση του εδαφικού pH των δειγμάτων. Στα φυτικά

δείγματα πραγματοποιήθηκε ανάλυση για την μέτρηση του διαθέσιμου φωσφόρου τόσο στα φύλλα όσο και στο καρπό του κάθε φυτού.

## **2.2.1 Μέτρηση τιμών εδαφικού pH**

### **2.2.1.1 Υλικά και όργανα**

- Δείγμα εδάφους
- Απεσταγμένο νερό
- Ποτήρι ζέσεως των 50 mL
- Ηλεκτρονικός μετρητής pH
- Υδροβολέας

### **2.2.1.2 Μέθοδος μέτρησης pH**

Αρχικά τα εδαφικά δείγματα προς μέτρηση διαλύθηκαν έκαστος με απεσταγμένο νερό, πιο συγκεκριμένα σε αναλογία δείγματος εδάφους- απεσταγμένο ύδωρ ήταν 1 προς 2,5. Η κάθε αραιώση πραγματοποιήθηκε μέσα σε ποτήρι ζέσεως χωρητικότητας 50 mL και το διάλυμα αναμείχθηκε έως ότου να ομογενοποιηθεί. Στη συνέχεια ακολούθησε η μέτρηση του pH του διαλύματος με τη χρήση ηλεκτρονικού μετρητή pH. Έπειτα από κάθε μέτρηση το ηλεκτρόδιο ξεπλενόταν με απεσταγμένο νερό προκειμένου τα αποτελέσματα των μετρήσεων να είναι αντικειμενικά και να μην υπάρξουν επιδράσεις από προηγούμενα διαλύματα.

## **2.2.2 Μέθοδος Olsen για τον προσδιορισμό του αφομοιώσιμου P στα δείγματα εδάφους.**

### **2.2.2.1 Υλικά και Όργανα**

- Δείγμα εδάφους
- Αναλυτικός ζυγός
- Πλαστικά μπουκάλια τύπου falcon
- Συσκευή ανακίνησης παλινδρομική
- Χωνιά και διηθητικό χαρτί
- Ογκομετρικές φιάλες των 50 mL

- Ογκομετρικός κύλινδρος
- Φασματοφωτόμετρο

### **2.2.2.2 Αντιδραστήρια**

- Διάλυμα NaHCO<sub>3</sub> 0,5 M με pH = 8,5
- Διάλυμα ασκορβικού οξέος και μολυβδαινικού αμμωνίου
- Διάλυμα γνωστής περιεκτικότητας σε P (5 mg/L)

### **2.2.2.3 Μέθοδος ανάλυσης**

Πρώτο βήμα ήταν η ζύγιση 1g εδάφους για κάθε δείγμα προς ανάλυση με την χρήση ηλεκτρονικού ζυγού ακριβείας και στη συνέχεια η μεταφορά του σε φάλκον χωρητικότητας 50 mL όπου ακολούθησε εκχύλιση με 20 mL όξινου ανθρακικού νατρίου (0,5 M NaHCO<sub>3</sub>, pH=8,5). Τα φάλκον έπειτα τοποθετήθηκαν προς ανακίνηση σε ηλεκτρικό ανακινητήρα (κινούμενη πλάκα) για 30 λεπτά. Με το πέρας της μισής ώρας η ανακίνηση ολοκληρώθηκε, τα φιαλίδια αφέθηκαν σε ηρεμία για λίγα λεπτά σε κατακόρυφη θέση και έπειτα πραγματοποιήθηκε διήθηση των υπερκείμενων διαλυμάτων σε ογκομετρικές φιάλες των 50 mL με τη βοήθεια χωνιών διήθησης και διηθητικού χαρτιού. Επόμενο βήμα ήταν η μεταφορά 5 mL του κάθε διαλύματος σε νέες ογκομετρικές φιάλες των 50 mL στις οποίες προστέθηκαν χρωστική ουσία ασκορβικού οξέος το οποίο διαλύθηκε σε μολυβδαινικό αμμώνιο και τέλος οι φιάλες συμπληρώθηκαν μέχρι τη χαραγή με απεσταγμένο νερό. Αφού τα διαλύματα αφέθηκαν σε ηρεμία για λίγα λεπτά για την ανάπτυξη μπλε χρώματος ακολούθησε η μέτρηση της έντασης του χρώματος αυτού με την χρήση φασματοφωτόμετρου σε μήκος κύματος 882 nm. Το διάλυμα γνωστής περιεκτικότητας P χρησιμοποιήθηκε για κατασκευή της καμπύλης απορρόφησης του φωσφόρου.

## **2.2.3 Μέθοδος προσδιορισμού του υδατοδιαλυτού P στο έδαφος**

### **2.2.3.1 Υλικά και Όργανα**

- Δείγμα εδάφους
- Αναλυτικός ζυγός
- Πλαστικά μπουκάλια τύπου falcon

- Συσκευή ανακίνησης παλινδρομική
- Χωνιά και διηθητικό χαρτί
- Ογκομετρικές φιάλες των 50 mL
- Ογκομετρικός κύλινδρος
- Φασματοφωτόμετρο
- Συσκευή φυγοκέντρωσης

### **2.2.3.2 Αντιδραστήρια**

- $\text{CaCl}_2$  κανονικότητας 0,01M, pH 7
- Διάλυμα ασκορβικού οξέος και μολυβδαινικού αμμωνίου

### **2.2.3.3 Μέθοδος Ανάλυσης**

Αρχικά προστέθηκαν σε φάλκον χωρητικότητας 30mL σε αναλογία 1:2 δείγμα εδάφους και διάλυμα  $\text{CaCl}_2$  κανονικότητας 0,01M, pH 7. Στη συνέχεια τα φάλκον τοποθετήθηκαν σε συσκευή ανακίνησης με τη διάρκεια της ανακίνησης να ήταν τα 30 λεπτά. Με το πέρας της ανακίνησης τα φιαλίδια φυγοκεντρήθηκαν για 15 λεπτά. Έπειτα ακολούθησε η διήθηση του υπερκείμενου των διαλυμάτων σε ογκομετρικές φιάλες των 50 mL. Επόμενο βήμα ήταν η μεταφορά 5 mL του κάθε διαλύματος σε νέες ογκομετρικές φιάλες των 50 mL στις οποίες προστέθηκαν χρωστική ουσία ασκορβικού οξέος το οποίο διαλύθηκε σε μολυβδαινικό αμμώνιο και τέλος οι φιάλες συμπληρώθηκαν μέχρι τη χαραγή με απεσταγμένο νερό. Αφού τα διαλύματα αφέθηκαν σε ηρεμία για λίγα λεπτά για την ανάπτυξη μπλε χρώματος ακολούθησε η μέτρηση της έντασης του χρώματος αυτού με την χρήση φασματοφωτόμετρου σε μήκος κύματος 882 nm.

## **2.2.4 Μέθοδος προσδιορισμού της ποσότητας του P σε φυτικά δείγματα**

### **2.2.4.1 Υλικά και Όργανα**

- Φυτικά δείγματα
- Φούρνος Αποτέφρωσης
- Κάψες κεραμικού τύπου
- Ποτήρι ζέσεως
- Ογκομετρικές φιάλες

- Ογκομετρικός κύλινδρος
- Χωνιά και διηθητικό χαρτί

#### **2.2.4.2 Αντιδραστήρια**

- Υδροχλωρικό οξύ (HCl) πυκνότητας 20%
- Διάλυμα ασκορβικού οξέος και μολυβδαινικού αμμωνίου

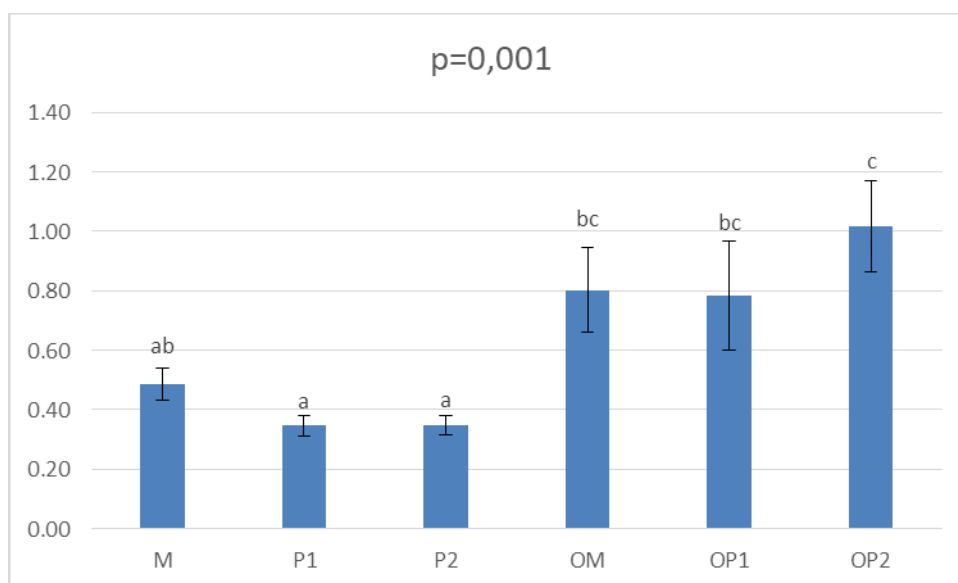
#### **2.2.4.3 Μέθοδος Ανάλυσης**

Αρχικά τα φυτικά δείγματα, αφού είχαν κονιορτοποιηθεί μεταφέρθηκαν σε κεραμικές κάψες οι οποίες στη συνέχεια τοποθετήθηκαν σε φούρνο υψηλών θερμοκρασιών προκειμένου τα δείγματα να αποτεφρωθούν. Η αποτέφρωση ολοκληρώθηκε όταν ο φούρνος έφτασε τους 500 βαθμούς Κελσίου και στο σημείο αυτό διακόπηκε πλέον η λειτουργία του. Με το πέρας περίπου 12 ωρών και αφού οι κάψες έφτασαν σε ασφαλή θερμοκρασία για περαιτέρω μεταχείριση, τα αποτεφρωμένα δείγματα παραλήφθηκαν με 20 ml HCl 20% σε ποτήρι ζέσεως. Στην συνέχεια ακολούθησε διήθηση των διαλυμάτων σε ογκομετρικές φιάλες των 50 mL, προστέθηκε μικρή ποσότητα χρωστικής ουσίας (ασκορβικό οξύ) και συμπληρώθηκε μέχρι τη χαραγή με απεσταγμένο νερό. Αφού τα διαλύματα αφέθηκαν σε ηρεμία για λίγα λεπτά για την ανάπτυξη μπλε χρώματος ακολούθησε η μέτρηση της έντασης του χρώματος αυτού με την χρήση φασματοφωτόμετρου σε μήκος κύματος 882 nm.

### **2.3 Στατιστική Επεξεργασία**

Σε όλα τα πρωτογενή δεδομένα του πειράματος έγινε επεξεργασία με ανάλυση της παραλλακτικότητας (ANOVA) για να βρεθούν οι στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μέσων όρων κάθε παραμέτρου σε επίπεδο σημαντικότητας  $p < 0,005$ . Το στατιστικό πακέτο που χρησιμοποιήθηκε ήταν το SPSS.

### Κεφάλαιο 3: Αποτελέσματα και Συζήτηση

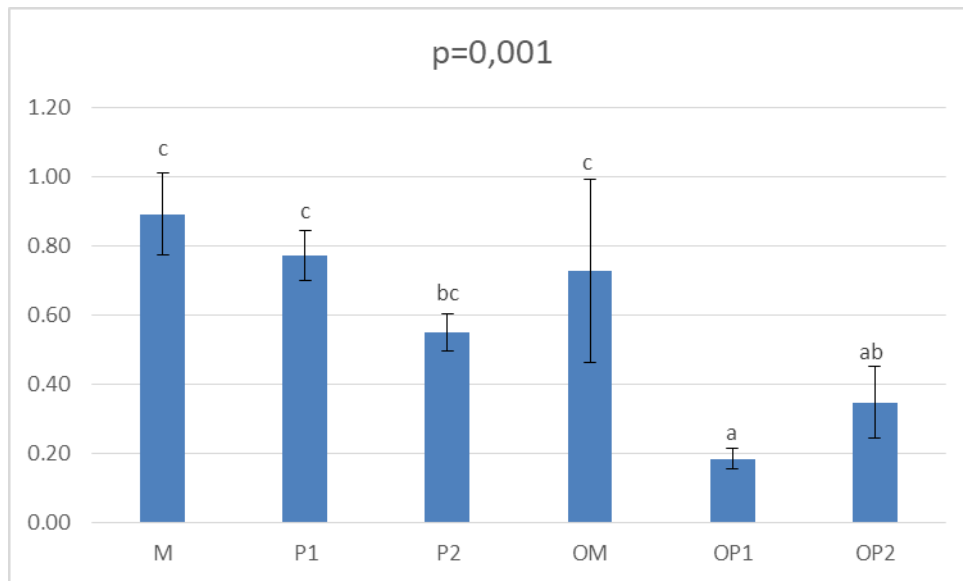


Σχήμα 1. Τιμές ξηρού βάρους φύλλων ραπανιού, στις μεταχειρίσεις M (μάρτυρας χωρίς προσθήκες), P1 (προσθήκη 153,3 ppm φωσφόρου), P2 (προσθήκη 306,6 ppm φωσφόρου), OM (μάρτυρας με προσθήκη 25 mL HCl), OP1 (προσθήκη 153,3 ppm φωσφόρου και 25 mL HCl), OP2 (προσθήκη 306,6 ppm φωσφόρου και 25 mL HCl).

Στο Σχήμα 1 παρατηρούμε ότι οι τιμές του ξηρού βάρους φύλλων του ραπανιού ήταν χαμηλές στις μεταχειρίσεις M, P1 και P2 και χωρίς στατιστικά σημαντικές διαφορές. Όμως με την προσθήκη οξέος (OM, OP1 και OP2) οι τιμές αυξήθηκαν σε σημείο που έδειξαν σημαντικές διαφορές σε σχέση με τα P1 και P2. Ωστόσο οι μεταχειρίσεις προσθήκης οξέος δεν διέφεραν μεταξύ τους σημαντικά.

Όπως είναι γνωστό το ιδανικό εύρος τιμών pH για την ανάπτυξη φυτών ραπανιού κυμαίνεται από 6-6,5 και αυτό επιβεβαιώνεται στο Σχήμα 1, καθώς οι μεταχειρίσεις με την προσθήκη HCl παρουσίασαν σημαντική αύξηση του υπέργειου τμήματος των φυτών. Σύμφωνα με μελέτη των Yin et al (2021) σε φυτά ντζίντζερ έδειξαν ότι το χαμηλό pH βελτιώνει την αποτελεσματικότητα της φωτοσύνθεσης και την απόκτηση θρεπτικών ουσιών και μειώνει την απορρόφηση του Na. Με άλλα λόγια η αύξηση των τιμών σε σχέση με τις μεταχειρίσεις χωρίς την προσθήκη οξέος μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι η μείωση του pH επέφερε μεγαλύτερη αφομειωσιμότητα των στοιχείων Zn, B, Cu και Fe, με αποτέλεσμα την ευνοϊκότερη ανάπτυξη των φυτών.



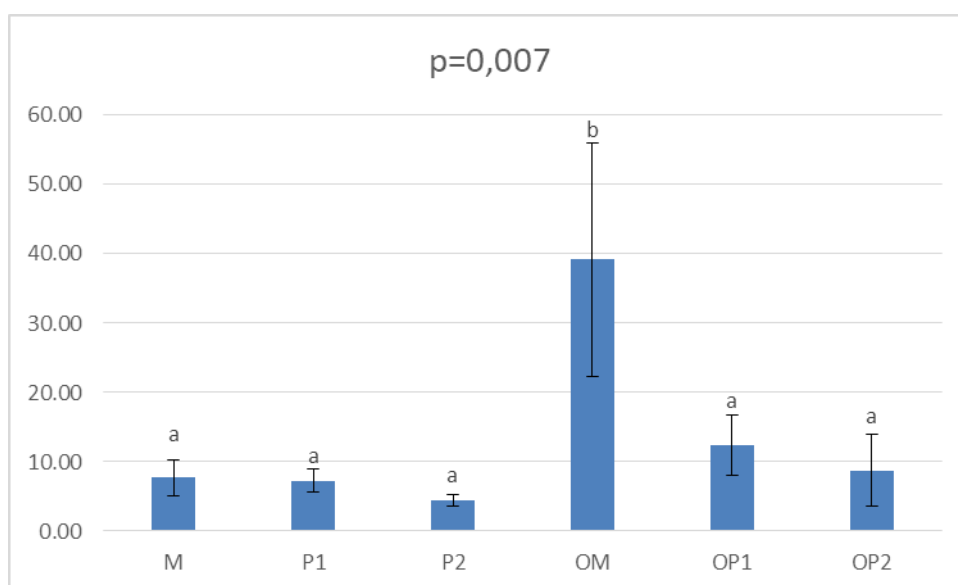


Σχήμα 2. Τιμές ξηρού βάρους ριζών ραπανιού, στις μεταχειρίσεις M (μάρτυρας χωρίς προσθήκες), P1 (προσθήκη 153,3 ppm φωσφόρου), P2 (προσθήκη 306,6 ppm φωσφόρου), OM (μάρτυρας με προσθήκη 25 mL HCl), OP1 (προσθήκη 153,3 ppm φωσφόρου και 25 mL HCl), OP2 (προσθήκη 306,6 ppm φωσφόρου και 25 mL HCl).

Στο Σχήμα 2 παρατηρούμε ότι οι τιμές ξηρού βάρους των ριζών του ραπανιού ήταν υψηλές στις μεταχειρίσεις M, P1, P2 και OM και δεν διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους. Αντίθετα στις μεταχειρίσεις OP1, OP2 οι τιμές τους ήταν χαμηλές και δεν είχαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους. Η OP1 μεταχείριση διέφερε σημαντικά με τις M, P1, P2 και OM, ενώ το ίδιο ίσχυε και για την OP2 με μόνη διαφορά ότι δεν υπήρχε στατιστικά σημαντική διαφορά με την P2.

Στον παραπάνω πίνακα (Σχήμα 2) αρχικά στις μεταχειρίσεις χωρίς την προσθήκη οξέος παρατηρείται ότι οι τιμές ξηρού βάρους των P2 και P1 είναι μειωμένες σε σχέση με τον αρχικό μάρτυρα (M). Αυτό υποδεικνύει πως πιθανώς να εμφανίζονται συμπτώματα φυτοτοξικότητας λόγω υπερβολικής ποσότητας P καθώς φαίνεται πως στην μεταχείριση P2 στην οποία εφαρμόστηκε διπλάσια ποσότητα φωσφόρου σε σχέση με την P1 μειώθηκε ακόμα περισσότερο. Η περίσσεια P επιδρά στην απορρόφηση ιχνοστοιχείων όπως ο ψευδάργυρος (Zn), ο σίδηρος (Fe) και το μαγγάνιο (Mn), δηλαδή προκαλείται τροφοπενία των στοιχείων αυτών με αποτέλεσμα την μείωση της παραγωγής. Στην μεταχείριση OM παρατηρείται όμοια τιμή με τις τρεις προαναφερθέντες, παρόλα αυτά πρέπει να σημειωθεί πως λόγω υψηλού ποσοστού αδυναμίας ανάπτυξης των φυτών, συλλέχθηκαν και αναλύθηκαν 3 μόνο δείγματα συγκριτικά με τις υπόλοιπες στις οποίες συλλέχθηκαν 5

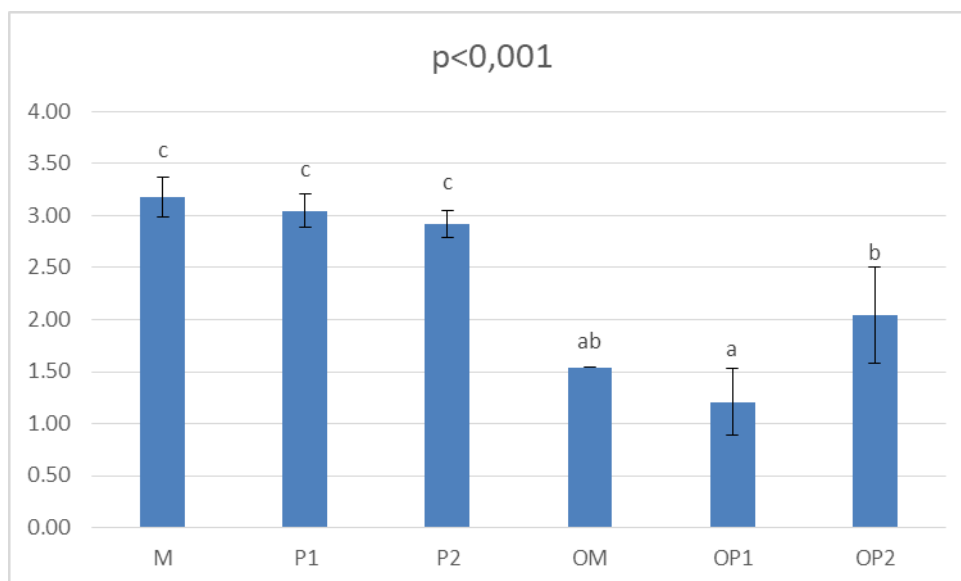
δείγματα πλην τις OP2 όπου εκεί συγκομίσθηκαν 4 δείγματα. Επομένως είναι πιθανό η παραπάνω τιμή της OM μεταχείρισης να μην είναι ενδεικτική. Οι OP1, OP2 εμφάνισαν και αυτές χαμηλότερες τιμές σε σχέση με τον μάρτυρα τους (OM), κάτι που θα μπορούσε να εξηγηθεί καθώς η προσθήκη οξέος επέφερε μείωση της τιμής του pH όπου έμμεσα αυξήθηκε το ποσοστό του διαθέσιμου εδαφικού φωσφόρου. Σε συνδυασμό με το διάλυμα φωσφόρου που εφαρμόστηκε στις δύο αυτές μεταχειρίσεις, δημιουργήθηκε εντονότερη τοξικότητα φωσφόρου, εξού και οι χαμηλές τιμές. Παρόμοια αποτελέσματα βρήκαν και οι Banaj et al (2006) σε φυτά καλαμποκιού.



Σχήμα 3. Τιμές ποσοστού ξηρού βάρους του υπόγειου φυτικού τμήματος, στις μεταχειρίσεις M (μάρτυρας χωρίς προσθήκες), P1 (προσθήκη 153,3 ppm φωσφόρου), P2 (προσθήκη 306,6 ppm φωσφόρου), OM (μάρτυρας με προσθήκη 25 mL HCl), OP1 (προσθήκη 153,3 ppm φωσφόρου και 25 mL HCl), OP2 (προσθήκη 306,6 ppm φωσφόρου και 25 mL HCl).

Στο Σχήμα 3 παρατηρούμε πως όλες οι τιμές ποσοστού ξηρού βάρους πέραν της OM μεταχείρισης ήταν χαμηλές και δεν διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους. Η OM μεταχείριση ήταν η μόνη υψηλή τιμή και παρουσίασε στατιστικά σημαντικές διαφορές με τις υπόλοιπες (M, P1, P2, OP1, OP2). Αυτό πιθανώς οφείλεται στο μικρότερο εύρος δειγμάτων που αναλύθηκαν για την μεταχείριση OM. Επίσης στις μεταχειρίσεις OP1, OP2 παρατηρείται μια μικρή αύξηση τιμών σε σχέση με τις P1, P2. Πιθανώς η προσθήκη HCl εξουδετέρωσε ένα ποσό  $\text{CaCO}_3$ , παρόλα αυτά δεν επηρέασε σε σημαντικό βαθμό. Αυτό το

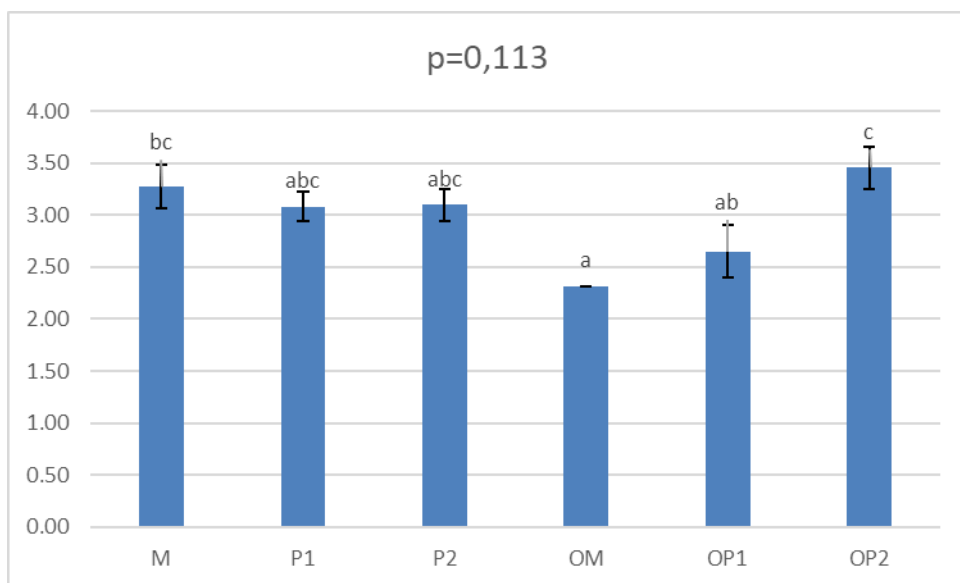
εύρημα συμφωνεί με τους Lajtha & Schlesinger (1988) σε πείραμα τους για την επίδραση του  $\text{CaCO}_3$  στην πρόσληψη του φωσφόρου σε φυτά *Larrea tridentata*.



Σχήμα 4. Τιμές μέσης οριζόντιας διαμέτρου ραπανιού, στις μεταχειρίσεις M (μάρτυρας χωρίς προσθήκες), P1 (προσθήκη 153,3 ppm φωσφόρου), P2 (προσθήκη 306,6 ppm φωσφόρου), OM (μάρτυρας με προσθήκη 25 mL HCl), OP1 (προσθήκη 153,3 ppm φωσφόρου και 25 mL HCl), OP2 (προσθήκη 306,6 ppm φωσφόρου και 25 mL HCl).

Στο Σχήμα 4 παρατηρούμε οι τιμές μέσης οριζόντιας διαμέτρου ραπανιού στις μεταχειρίσεις χωρίς προσθήκη οξέος ήταν υψηλές και μεταξύ τους δεν διέφεραν στατιστικά σημαντικά, αντιθέτως εμφάνισαν στατιστικά διαφορές με τις OM, OP1, P2. Οι μεταχειρίσεις με την προσθήκη οξέος εμφάνισαν χαμηλότερες τιμές με την OM να μην έχει στατιστικά σημαντικές διαφορές με τις OP1 και OP2 ενώ, η OP1 είχε στατιστικά σημαντική διαφορά με την OP2.

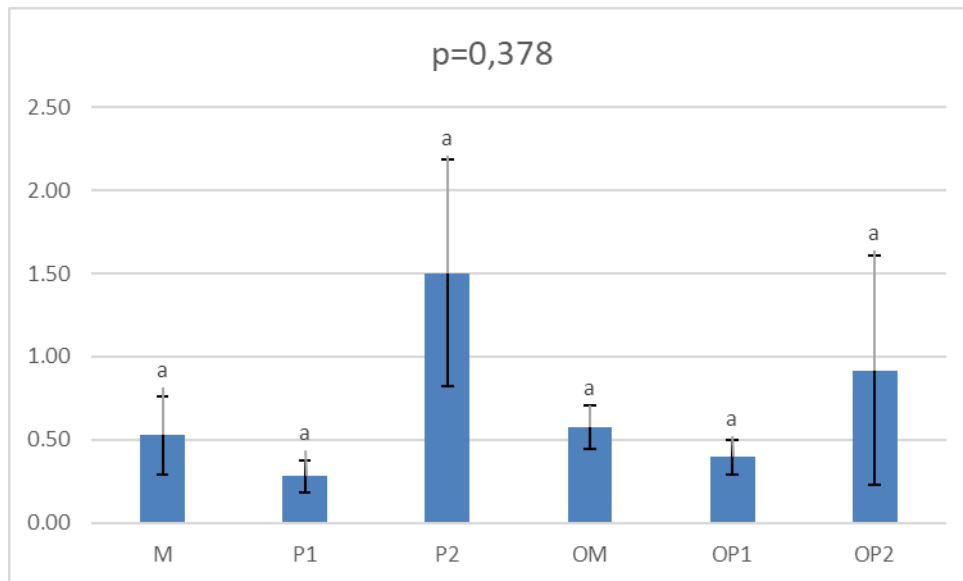
Η ομοιομορφία των τιμών M, P1 και P2 έδειξε πως υπήρχε αφθονία-υπερεπάρκεια P με μια ελαφρώς πτωτική κλίση αναλόγως του προστιθέμενου P, με ενδεχόμενο το φαινόμενο της τοξικότητας φωσφόρου. Η πτώση των τιμών στις μεταχειρίσεις OM, OP1 και OP2 εξηγείται λόγω της πτώσης του pH. Σύμφωνα με ευρήματα των Adeoye & Agboola (1984) το εδαφικό pH σχετίζεται σημαντικά με το P, Ca, K, Zn και Mn ενώ ο φώσφορος σχετίζεται υψηλά με τα στοιχεία Ca, K, Zn και Mn. Επομένως η μείωση του pH επέφερε μεγαλύτερη απορρόφηση P και άρα αυξήθηκε η απορρόφηση Zn, Fe και Mn τα οποία ευνοούν την κατακόρυφη αύξηση του υπέργειου και του υπογείου τμήματος του φυτού.



Σχήμα 5. Τιμές μέσης κάθετης διαμέτρου ραπανιού, στις μεταχειρίσεις M (μάρτυρας χωρίς προσθήκες), P1 (προσθήκη 153,3 ppm φωσφόρου), P2 (προσθήκη 306,6 ppm φωσφόρου), OM (μάρτυρας με προσθήκη 25 mL HCl), OP1 (προσθήκη 153,3 ppm φωσφόρου και 25 mL HCl), OP2 (προσθήκη 306,6 ppm φωσφόρου και 25 mL HCl).

Στο σχήμα 5 παρατηρούμε ότι όλες οι τιμές μέσης κάθετης διαμέτρου ραπανιού είναι υψηλές με χαμηλότερες στις μεταχειρίσεις OM και OP1. Οι M, P1 και P2 στις οποίες δεν προστέθηκε οξύ δεν εμφάνισαν στατιστικά σημαντικά διαφορές μεταξύ τους. Οι μεταχειρίσεις OM δεν έχει στατιστικά σημαντική διαφορά με την OP1 αλλά διαφέρει με την OP2. Σε σχέση με τις μεταχειρίσεις χωρίς την προσθήκη οξέος, η OP1 και OP2 δεν διέφεραν στατιστικά σημαντικά ενώ, η OM διέφερε στατιστικά σημαντικά μόνο με τον αρχικό μάρτυρα (M).

Όπως και στο Σχήμα 4 οι μεταχειρίσεις χωρίς την προσθήκη HCl (M, P1, P2) είναι αρκετά όμοιες μεταξύ τους. Επίσης παρατηρείται ότι και οι διάμετροι (οριζόντια-κάθετη) μεταξύ τους είναι όμοιες, επομένως οι καρποί των μεταχειρίσεων αυτών ήταν σχετικά σφαιρικοί. Σε αντίθεση με τιμές των διαμέτρων των OM, OP1 και OP2 όπου επιβεβαιώνεται η αιτιολόγηση του Σχήματος 4, δηλαδή ότι με την προσθήκη οξέος επηρεάστηκε η απορρόφηση P, Ca, K, Zn και Mn με αποτέλεσμα οι συλλεχθέντες καρποί να είναι πιο πεπλατυσμένοι.

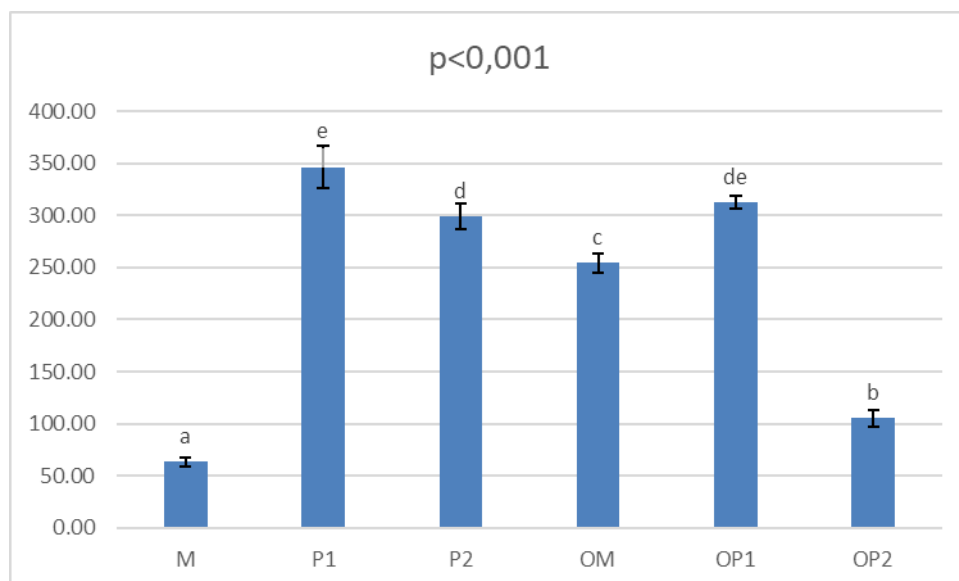


Σχήμα 6. Μέσες τιμές του υδατοδιαλυτού P, στις μεταχειρίσεις M (μάρτυρας χωρίς προσθήκες), P1 (προσθήκη 153,3 ppm φωσφόρου), P2 (προσθήκη 306,6 ppm φωσφόρου), OM (μάρτυρας με προσθήκη 25 mL HCl), OP1 (προσθήκη 153,3 ppm φωσφόρου και 25 mL HCl), OP2 (προσθήκη 306,6 ppm φωσφόρου και 25 mL HCl).

Στο Σχήμα 6 παρατηρούμε ότι όλες οι μέσες τιμές του υδατοδιαλυτού P ήταν χαμηλές με εξαίρεση την τιμή της P2 η οποία ήταν συγκριτικά υψηλότερη από τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις χωρίς όμως να διέφερε στατιστικά σημαντικά. Επίσης παρατηρούμε πως η προσθήκη οξέος δεν επέφερε μεγάλη αλλαγή επομένως καμία μεταχείριση δεν διέφερε στατιστικά με κάποια άλλη.

Όπως αναφέρεται παραπάνω όλες οι μεταχειρίσεις, παρόλο που σε κάθε μία προστέθηκε διαφορετική ποσότητα φωσφορικού καλίου ή και οξέος σε συνδυασμό, δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους. Αυτό συμβαίνει διότι ο υδατοδιαλυτός P στο έδαφος είναι εύκολα απορροφήσιμος από τις ελεύθερες επιφάνειες του εδάφους, δημιουργεί σύμπλοκα στην προκειμένη περίπτωση εφόσον μιλάμε για ασβεστούχα εδάφη, με το  $\text{CaCO}_3$  και μετατρέπεται σε δυσδιάλυτη μορφή. Επίσης ο υδατοδιαλυτός P εκπλένεται αρκετά γρήγορα από την στιγμή χορήγησης του στο εδαφικό διάλυμα. Ο Sharpley (1982) για την πρόβλεψη του υδατοδιαλυτού P μετά από προσθήκη P με προσομοίωση βροχοπτώσεως, βρήκε ότι σε διάστημα 30 ημερών η ποσότητα του Υδατοδιαλυτού P συνεχώς μειωνόταν. Αξίζει να σημειωθεί ότι η μεγαλύτερη πτωτική τάση του P παρατηρήθηκε τις πρώτες 3 εβδομάδες. Σε πείραμα για την μακροχρόνια επίδραση της λίπανσης στον εδαφικό P, οι Xia et al (2018) βρήκαν ότι ενώ η μακροχρόνια λίπανση

αύξησε τον Olsen P και Mehlich 1-P δεν υπήρξε σημαντική επίδραση ως προς τον υδατοδιαλυτό P, κάτι που συμφωνεί με τα ευρήματα της παρούσας εργασίας.

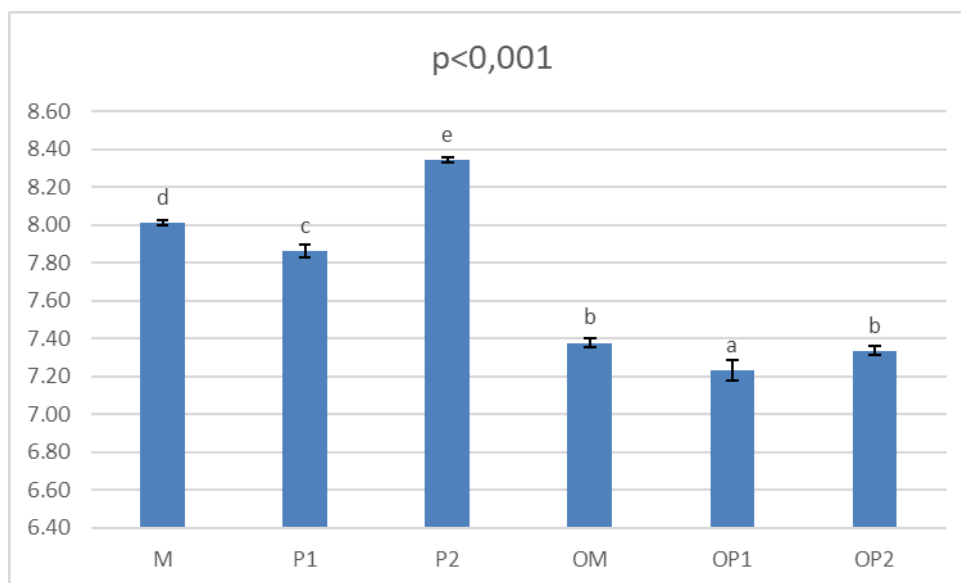


Σχήμα 7. Μέσες τιμές αφομοιώσιμου P κατά Olsen (ppm), στις μεταχειρίσεις M (μάρτυρας χωρίς προσθήκες), P1 (προσθήκη 153,3 ppm φωσφόρου), P2 (προσθήκη 306,6 ppm φωσφόρου), OM (μάρτυρας με προσθήκη 25 mL HCl), OP1 (προσθήκη 153,3 ppm φωσφόρου και 25 mL HCl), OP2 (προσθήκη 306,6 ppm φωσφόρου και 25 mL HCl).

Στο Σχήμα 7 παρατηρούμε ότι οι μέσες τιμές αφομοιώσιμου P κατά Olsen των μεταχειρίσεων M και OP2 ήταν πολύ χαμηλές σε σχέση με τις υπόλοιπες (P1, P2, OM, OP1, OP2). Στατιστικά σημαντικές διαφορές δεν υπήρχαν μόνο μεταξύ της OP1 και P1 και ομοίως OP1 με P2 μεταχειρίσεις. Σε κάθε άλλη περίπτωση οι μεταχειρίσεις διέφεραν στατιστικά σημαντικά.

Σε μελέτη της επίδρασης της φωσφορικής λίπανσης σε καλλιέργεια καλαμποκιού, οι Elsokkary et al (1981) βρήκαν θετικό συσχετισμό μεταξύ προστιθέμενης ποσότητας P και τιμής P κατά Olsen. Αυτό συμφωνεί εν μέρη με τα ευρήματα της παρούσας εργασίας και συγκεκριμένα ο συσχετισμός αυτός είναι εμφανής μεταξύ M-P1 και OM-OP1 μεταχειρίσεων. Παρόλα αυτά στις μεταχειρίσεις με τον διπλάσιο προστιθέμενο P (P2, OP2) παρατηρήθηκε μείωση του Olsen P σε σχέση με τις P1 και OP1 αντίστοιχα. Επίσης η OP2 εμφάνισε υπερβολικά χαμηλή τιμή που πιθανόν να οφείλεται σε σφάλμα κατά την εκχύλιση ή κατά τη χρωματομετρική ανάλυση. Στην περίπτωση της P2 η μείωση αυτή πιθανώς εμφανίστηκε λόγω του υψηλού pH που παρουσίασε σε σχέση με την P1 και M, με αποτέλεσμα ο P να δεσμεύτηκε σε μεγαλύτερο βαθμό από το εδαφικό διάλυμα. Η

προσθήκη HCl είχε εμφανή επίδραση ως προς αφομοιώσιμο P, όπως φαίνεται συγκριτικά μεταξύ M και OM μεταχειρίσεων. Παρόλα αυτά στις μεταχειρίσεις με επιπλέον P τα ευρήματα ποικίλουν. Οι τιμές των P1 και OP1 όπως φαίνεται και στο παραπάνω σχήμα δεν διέφεραν στατιστικά, κάτι που πιθανόν να σημαίνει ότι το οξύ μπορεί να επηρεάσει τον αφομοιώσιμο P, αλλά μέχρι ένα κρίσιμο σημείο. Όπως προαναφέρθηκε η OP2 τιμή ενδεχομένως να είναι εσφαλμένη επομένως δεν μπορούμε να τη συγκρίνουμε ως προς την επίδραση του pH.

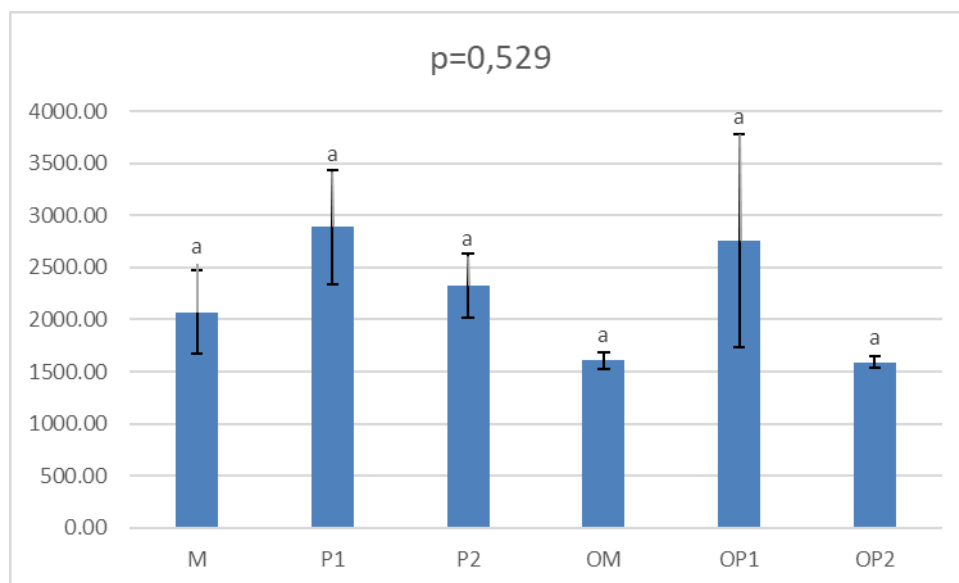


Σχήμα 8. Τιμή pH, στις μεταχειρίσεις M (μάρτυρας χωρίς προσθήκες), P1 (προσθήκη 153,3 ppm φωσφόρου), P2 (προσθήκη 306,6 ppm φωσφόρου), OM (μάρτυρας με προσθήκη 25 mL HCl), OP1 (προσθήκη 153,3 ppm φωσφόρου και 25 mL HCl), OP2 (προσθήκη 306,6 ppm φωσφόρου και 25 mL HCl).

Στο Σχήμα 8 παρατηρούμε ότι η τιμές pH στις μεταχειρίσεις χωρίς την προσθήκη οξέος ήταν υψηλότερες από ότι αυτών με την προσθήκη. Όλες οι μεταχειρίσεις διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους, πλην της περίπτωσης μεταξύ της OM και OP2 μεταχείρισης οι οποίες δεν παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές.

Ενώ είναι ξεκάθαρη η επίδραση του HCl στην μείωση του εδαφικού pH όπως φαίνεται στις μεταχειρίσεις OM, OP1 και OP2 σε σχέση με τον M, παρατηρήθηκε ωστόσο αύξηση του pH στα εδάφη με διπλή δόση φωσφορικού καλίου (P2, OP2) από ότι εδάφη με προσθήκη μονής δόσης P (P1, OP1). Στην περίπτωση της P2 ιδιαίτερα η τιμή του pH υπερέβη ακόμα του μάρτυρα (M) σε μεγάλο βαθμό και πιθανώς να ήταν αποτέλεσμα σφάλματος κατά τη μέτρηση της συγκεκριμένης μεταχείρισης (P2). Επίσης παρατηρήθηκε μείωση του pH στις

P1 και OP1 σε σχέση με τους αντίστοιχους μάρτυρες τους (M, OM). Πιθανώς ο επιπλέον P να ενίσχυσε τη βιοτική αφομοίωση του P και την παροχή περισσότερων ιόντων υδροξυλίων στο έδαφος. Ομοίως οι Mao et al (2017) βρήκαν ότι η βραχυπρόθεσμη προσθήκη P σε τροπικά δάση προκάλεσε μείωση του εδαφικού pH. Οι Lin et al (2019) σε σπορόφυτα του είδους *Cinnamomum camphora* βρήκαν ότι η προσθήκη N+P μείωσε σημαντικά το εδαφικό pH, επομένως είναι πιθανό να είχαμε την ίδια επίδραση στο παρών πείραμα.



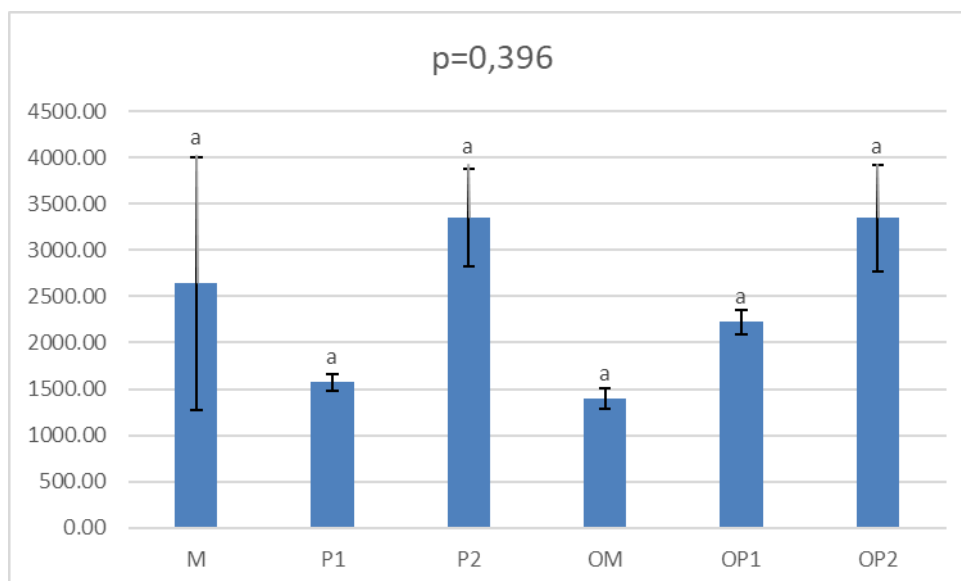
Σχήμα 9. Τιμή P στο υπέργειο τμήμα του φυτού (φύλλα), στις μεταχειρίσεις M (μάρτυρας χωρίς προσθήκες), P1 (προσθήκη 153,3 ppm φωσφόρου), P2 (προσθήκη 306,6 ppm φωσφόρου), OM (μάρτυρας με προσθήκη 25 mL HCl), OP1 (προσθήκη 153,3 ppm φωσφόρου και 25 mL HCl), OP2 (προσθήκη 306,6 ppm φωσφόρου και 25 mL HCl).

Στο παραπάνω Σχήμα παρατηρείται ότι όλες οι μεταχειρίσεις μεταξύ τους δεν εμφάνισαν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Η προσθήκη οξέος κατάφερε να μειώσει ελαφρώς τις τιμές των OM και OP2 σε σχέση με των M και P2, ωστόσο η τιμή της OP1 μεταχείρισης παρέμεινε στα ίδια επίπεδα με την P1.

Στο Σχήμα 9 παρατηρούμε ότι οι τιμές P στο υπέργειο τμήμα του φυτού (φύλλα) στις μεταχειρίσεις χωρίς την προσθήκη οξέος ήταν σχετικά υψηλότερες. Οι Čoga et al (2008) σε μελέτη τους για τη δυναμική του φωσφόρου σε όξινα και ασβεστούχα εδάφη σε φυτά αμπέλου, έδειξαν ότι υπήρχε θετικός συσχετισμός μεταξύ pH και περιεκτικότητας P στα φύλλα. Η προσθήκη οξέος μπορεί να μείωσε τις τιμές των OM, OP1, OP2 μεταχειρίσεων παρόλα αυτά δεν εμφανίστηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των



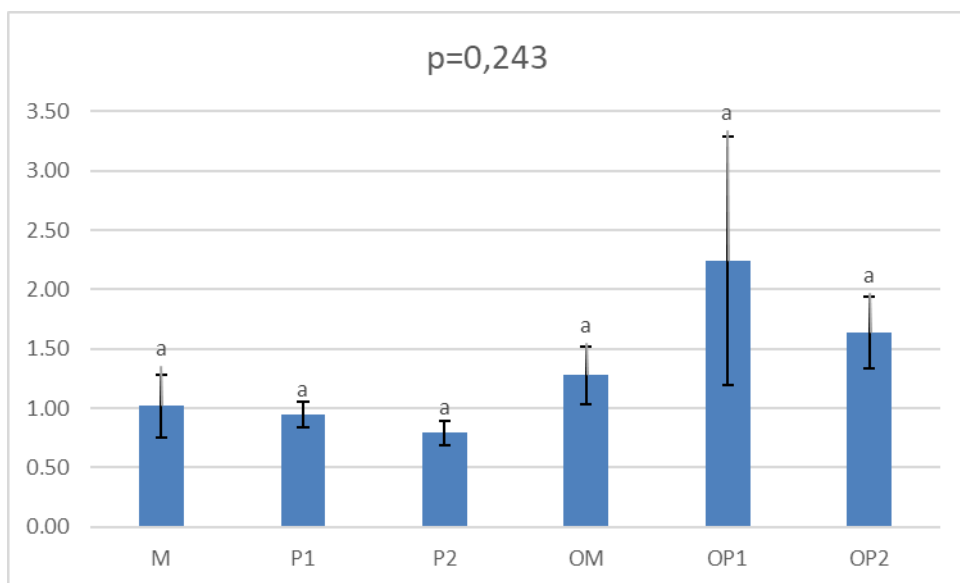
μεταχειρίσεων. Αυτό πιθανώς συνέβη διότι και οι τρεις μεταχειρίσεις, ενώ είχαν σχετικά χαμηλότερες τιμές pH σε σχέση με τις M, P1, P2, εμφάνισαν και αυτές αλκαλικό pH.



Σχήμα 10. Τιμή P στο υπόγειο τμήμα του φυτού (ρίζα), στις μεταχειρίσεις M (μάρτυρας χωρίς προσθήκες), P1 (προσθήκη 153,3 ppm φωσφόρου), P2 (προσθήκη 306,6 ppm φωσφόρου), OM (μάρτυρας με προσθήκη 25 mL HCl), OP1 (προσθήκη 153,3 ppm φωσφόρου και 25 mL HCl), OP2 (προσθήκη 306,6 ppm φωσφόρου και 25 mL HCl).

Στο Σχήμα 10 παρατηρούμε στις μεταχειρίσεις χωρίς προσθήκη οξέος ότι ενώ ο μάρτυρας (M) έχει υψηλή τιμή, εμφανίζεται μια πτώση στη P1 μεταχείριση και στη συνέχεια παρατηρούμε ξανά μια ακόμα υψηλότερη τιμή (P2) και από αυτή του μάρτυρα. Στην περίπτωση των μεταχειρίσεων με την προσθήκη οξέος (OM, OP1, OP2) παρατηρείται μία κλιμακωτή αύξηση των τιμών με την υψηλότερη αυτή της OP2. Επίσης όλες οι μεταχειρίσεις δεν εμφάνισαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους.

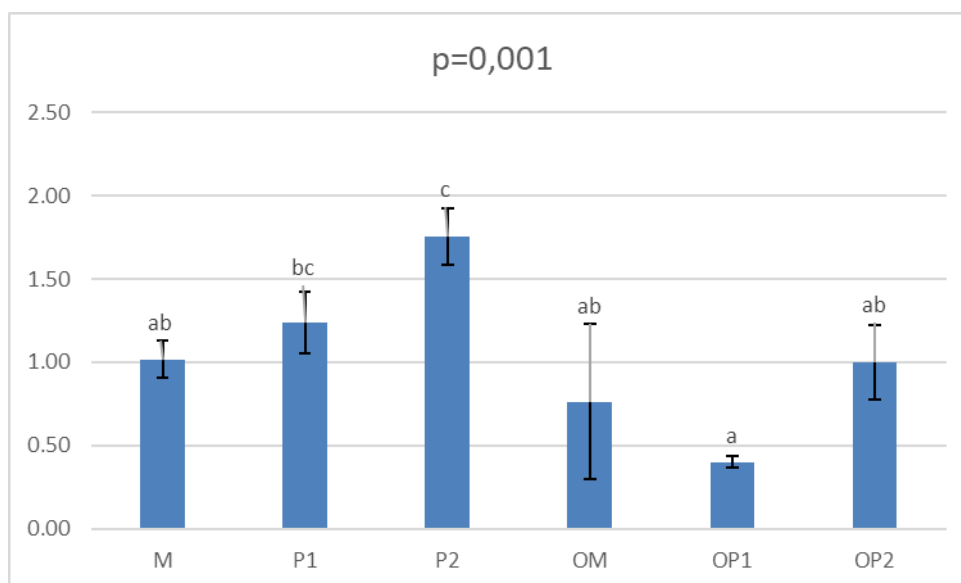
Οι Recena et al (2015) σε πείραμα σε φυτά αγγουριού βρήκαν ότι δεν υπήρξαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στην περιεκτικότητα P στα φυτικά δείγματα τους μεταξύ μεταχειρίσεων υψηλού και χαμηλού προστιθέμενου P. Επίσης συμπέραναν ότι η μόνη σημαντική επεξηγηματική μεταβλητή ήταν ο συντελεστής συγγένειας της εξίσωσης Freundlich (B), ο οποίος εξαρτάται από τη φύση των επιφανειών ρόφησης P του εδάφους. Τα ευρήματα της προαναφερθέντας εργασίας συμφωνεί με τα ευρήματα μας, δηλαδή η διαφορετική ποσότητα P καθώς και η προσθήκη οξέος (HCl) επέφερε αποτελέσματα που δεν χρίζουν στατιστικά σημαντικής διαφοράς.



Σχήμα 11. Τιμή πρόσληψης P στο υπέργειο φυτικό τμήμα (mg P/γλάστρα), στις μεταχειρίσεις M (μάρτυρας χωρίς προσθήκες), P1 (προσθήκη 153,3 ppm φωσφόρου), P2 (προσθήκη 306,6 ppm φωσφόρου), OM (μάρτυρας με προσθήκη 25 mL HCl), OP1 (προσθήκη 153,3 ppm φωσφόρου και 25 mL HCl), OP2 (προσθήκη 306,6 ppm φωσφόρου και 25 mL HCl).

Στο Σχήμα 11 παρατηρείται ότι οι τιμές στις μεταχειρίσεις χωρίς την προσθήκη οξέος ήταν χαμηλές. Στις μεταχειρίσεις με την προσθήκη οξέος (OM, OP1, OP2) οι τιμές αυξήθηκαν, παρόλα αυτά καμία μεταχείριση δεν διέφερε στατιστικά σημαντικά με κάποια άλλη.

Η ελαφρώς αυξημένες τιμές στις μεταχειρίσεις OM, OP1 και OP2 έδειξε ότι το HCl εξουδετέρωσε ένα μέρος του ανθρακικού ασβεστίου στο έδαφος, με αποτέλεσμα την αύξηση της κινητικότητας του P και επομένως την αυξημένη διαθεσιμότητα του στο φυτό. Παρόλα αυτά η δράση αυτή δεν ήταν αρκετή ώστε να επιφέρει στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ μεταχειρίσεων με ή χωρίς την προσθήκη οξέος. Επίσης μεταξύ μεταχειρίσεων με διαφορετική ποσότητα προστιθέμενου P παρατηρήθηκε μια μικρή πτωτική τάση όσο αυξανόταν ο προστιθέμενος P. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 12 παρατηρήθηκε το αντίστροφο φαινόμενο. Επομένως συμπεραίνουμε ότι όσο αυξάνεται ο P, τα φυτά ραπανιού έχουν την τάση να προσλαμβάνουν λιγότερη ποσότητα φωσφόρου στο υπέργειο τμήμα τους και περισσότερη στο υπόγειο (ρίζα).

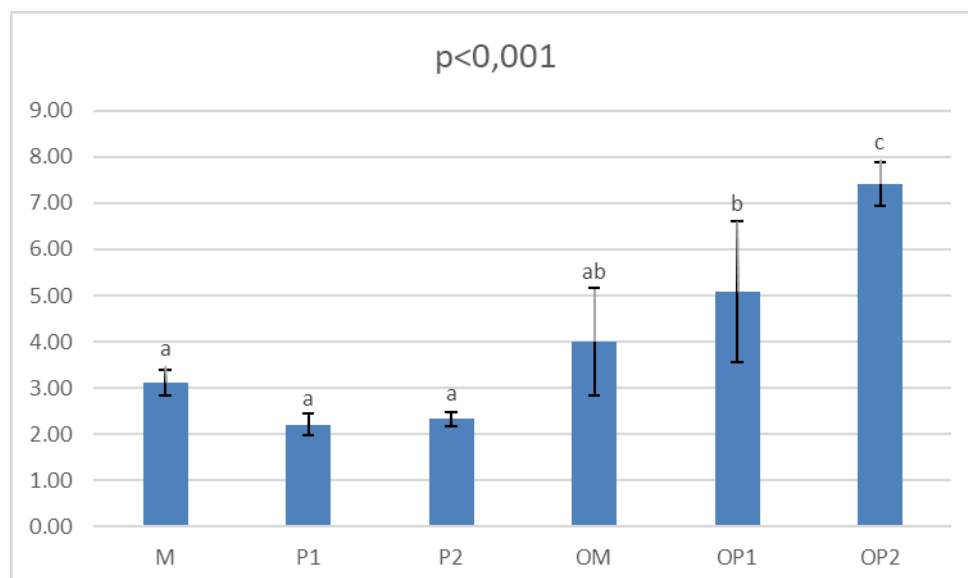


Σχήμα 12. Τιμή πρόσληψης P στο υπόγειο φυτικό τμήμα (mg P/γλάστρα), στις μεταχειρίσεις M (μάρτυρας χωρίς προσθήκες), P1 (προσθήκη 153,3 ppm φωσφόρου), P2 (προσθήκη 306,6 ppm φωσφόρου), OM (μάρτυρας με προσθήκη 25 mL HCl), OP1 (προσθήκη 153,3 ppm φωσφόρου και 25 mL HCl), OP2 (προσθήκη 306,6 ppm φωσφόρου και 25 mL HCl).

Στο σχήμα 12 παρατηρούμε ότι οι τιμές πρόσληψης P στο υπόγειο φυτικό τμήμα, στις μεταχειρίσεις χωρίς την προσθήκη οξέος (M, P1, P2) ήταν υψηλές με την υψηλότερη την P2. Μεταξύ τους στατιστικά σημαντικά διαφέρουν μόνο η M και P2 μεταχείριση. Όμως με την προσθήκη οξέος (OM, OP1 και OP2) παρουσιάστηκε μείωση των τιμών και δεν διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους.

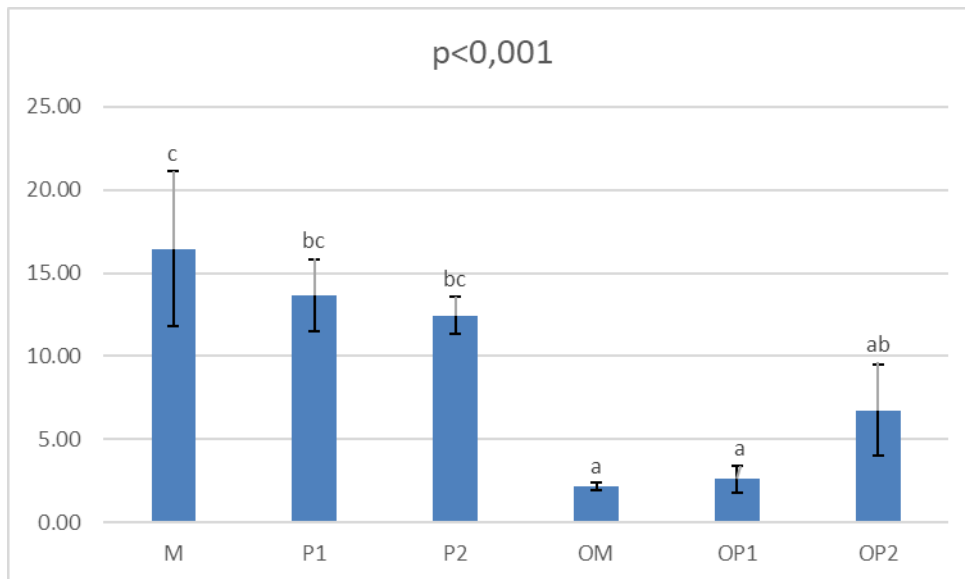
Οι Sirisuntornlak et al (2020), σε πείραμα τους για την επίδραση του πυριτίου (Si) και του εδαφικού pH σε φυτά καλαμποκιού, βρήκαν ότι σε pH 8,1 και pH 7,4 υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά ως προς την τιμή πρόσληψης P στα φυτά με υψηλότερη αυτή του δείγματος με pH 7,4. Σχεδόν ίδιες τιμές pH παρουσιάστηκαν και στις μεταχειρίσεις M (pH=8) και OM (pH=7,38), όμως στην προκειμένη περίπτωση οι δύο μεταχειρίσεις βρέθηκαν στατιστικά όμοιες. Επίσης μεταξύ των OM και OP2 μεταχειρίσεων, ενώ εμφάνισαν παρόμοιες τιμές pH εμφάνισαν και όμοιες τιμές πρόσληψης P των ριζών. Επομένως συμπεραίνουμε ότι ενώ το pH και η προστιθέμενη ποσότητα P επηρεάζει την πρόσληψη P, πιθανώς στο πείραμα μας κύριος παράγοντας να ήταν το υδροχλωρικό οξύ. Η εξουδετέρωση του  $\text{CaCO}_3$  από το HCl ενώ θα έπρεπε να

αυξήσει την διαθεσιμότητα του P, στα φυτά ραπανιού παρατηρήθηκε αρνητική επίδραση όπως φαίνεται συγκριτικά ιδίως στις μεταχειρίσεις P1-OP1 και P2-OP2.



Σχήμα 13. Τιμές νωπού βάρους φύλλων ραπανιού, στις μεταχειρίσεις M (μάρτυρας χωρίς προσθήκες), P1 (προσθήκη 153,3 ppm φωσφόρου), P2 (προσθήκη 306,6 ppm φωσφόρου), OM (μάρτυρας με προσθήκη 25 mL HCl), OP1 (προσθήκη 153,3 ppm φωσφόρου και 25 mL HCl), OP2 (προσθήκη 306,6 ppm φωσφόρου και 25 mL HCl).

Στο Σχήμα 13 παρατηρείται ότι οι χαμηλότερες τιμές εμφανίστηκαν στις μεταχειρίσεις χωρίς την προσθήκη οξέος (M, P1, P2) και επίσης φαίνεται πως οι τιμές μεταξύ τους δεν διέφεραν στατιστικά σημαντικά. Στις μεταχειρίσεις με την προσθήκη HCl παρατηρείται αυξητική τάση των τιμών (OM < OP1 < OP2). Η τιμή της OP1 διέφερε στατιστικά σημαντικά με αυτή της OP2 αλλά όχι με την μεταχείριση OM. Τέλος η OM δεν έδειξε να διαφέρει στατιστικά σημαντικά με τις μεταχειρίσεις χωρίς την προσθήκη οξέος (M, P1, P2).



Σχήμα 14. Τιμές νωπού βάρους ριζών ραπανιού, στις μεταχειρίσεις M (μάρτυρας χωρίς προσθήκες), P1 (προσθήκη 153,3 ppm φωσφόρου), P2 (προσθήκη 306,6 ppm φωσφόρου), OM (μάρτυρας με προσθήκη 25 mL HCl), OP1 (προσθήκη 153,3 ppm φωσφόρου και 25 mL HCl), OP2 (προσθήκη 306,6 ppm φωσφόρου και 25 mL HCl).

Στο παραπάνω σχήμα παρατηρείται ότι την υψηλότερη τιμή σημείωσε ο μάρτυρας (M), ενώ υπήρξε μείωση στις P1 και P2. Επίσης παρατηρήθηκε πως οι μεταχειρίσεις P1, P2 είχαν στατιστικά σημαντική διαφορά με τον μάρτυρα M, αλλά δεν εμφανίστηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο (P1, P2). Στις μεταχειρίσεις με την προσθήκη HCl παρατηρήθηκαν χαμηλότερες τιμές συγκριτικά με αυτές χωρίς την προσθήκη αυτή. Επίσης οι τιμές των OM, OP1, OP2 μεταχειρίσεων δεν διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους. Τέλος η τιμή της OP2 έδειξε ότι δεν υπήρξαν στατιστικά σημαντικές διαφορές με τις τιμές των P1 και P2 μεταχειρίσεων.

## Συμπεράσματα

Με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα καταλήξαμε στα εξής συμπεράσματα:

- Η προσθήκη HCl αύξησε το ξηρό βάρος των φύλλων, ενώ μείωσε το ξηρό βάρος της ρίζας. Η διαφορετική ποσότητα προστιθέμενου P και στις δύο περιπτώσεις δεν έδειξε να επιδρά σε σημαντικό βαθμό.
- Ο υδατοδιαλυτός P δεν έδειξε να επηρεάζεται ούτε από την μείωση του εδαφικού pH, αλλά ούτε και από το ποσό προστιθέμενου P.
- Τα αποτελέσματα την μεθόδου Olsen παρουσίασαν μεγάλη αύξηση του αφομοιώσιμου P στον μάρτυρα με την προσθήκη HCl σε σχέση με τον μάρτυρα χωρίς, όμως να εμφανίζουν σημαντική διαφορά οι υπόλοιπες μεταχειρίσεις. Η προσθήκη P αύξησε τον Olsen P σε σχέση με τους μάρτυρες, αλλά η διπλάσια δόση P έδειξε σημαντική μείωση του αφομοιώσιμου φωσφόρου συγκριτικά με τις μεταχειρίσεις με μονή δόση.
- Η περιεκτικότητα P και στις δύο αναλύσεις φυτικών δειγμάτων (φύλλα, ρίζα) δεν επηρεάστηκε σημαντικά από την μείωση του εδαφικού pH και το ποσό προστιθέμενου φωσφόρου.
- Η πρόσληψη P από το υπόγειο φυτικό τμήμα μειώθηκε λόγω της όξυνσης του εδάφους, ενώ η ποσότητα P ως επί το πλείστον δεν επηρέασε σε μεγάλο βαθμό. Στην περίπτωση της πρόσληψης P από τα φύλλα κανένας από τους δύο παράγοντες (HCl, P) δεν έδειξε σημαντική επίδραση.

# Βιβλιογραφία

## Ελληνική Βιβλιογραφία

Βώκου, Δ. 2009. Γενική Οικολογία: Μια Εισαγωγή. Εκδόσεις University Studio Press σελ. 130-133

Ευστρατίου, Ε. 2016. Επίδραση Εδαφικών Ιδιοτήτων στην Προσρόφηση Φωσφόρου σε 10 Εδάφη της Θεσσαλίας. (Προπτυχιακή Διατριβή). Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας. Σχολή Γεωπονικών Επιστημών. Τμήμα Γεωπονίας, Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος. Εργαστήριο Εδαφολογίας σελ. 1-4

Ηλιόπουλος, Χ. 2008. Μελέτη των Επιπέδων Διαθέσιμου Φωσφόρου σε Γεωργικά Εδάφη της Περιοχής Αλμυρού Ν. Μαγνησίας. Απεικόνιση της Χωρικής Παραλλακτικότητας του Στοιχείου Αυτού σε Επιλεγμένες Περιοχές της Μελέτης. (Προπτυχιακή Διατριβή). Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας. Σχολή Γεωπονικών Επιστημών. Τμήμα Γεωπονίας, Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος. Εργαστήριο Εδαφολογίας. Βόλος. Ανακτήθηκε από: <https://core.ac.uk/download/pdf/132800576.pdf>

Θεοχαρόπουλος, Α. 2016. Οξίνιση δυο ασβεστούχων εδαφών με τη χορήγηση θειαφιού και όξινου νερού και επίδρασή της στο σταμναγκάθι. (Πτυχιακή Διατριβή). Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας. Σχολή Γεωπονικών Επιστημών. Τμήμα Γεωπονίας, Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος. Βόλος. Ανακτήθηκε από: [https://www.doyoubuzz.com/var/f/xl/cw/xlcwGWcsvlhn-Y1bmt8joFZeLy3zxEwM65PXR04a9B\\_master.pdf](https://www.doyoubuzz.com/var/f/xl/cw/xlcwGWcsvlhn-Y1bmt8joFZeLy3zxEwM65PXR04a9B_master.pdf)

Καρρής, Γ. 2013. Βιογεωχημικός κύκλος φωσφόρου (P) & Υδρολογικός Κύκλος. Τ.Ε.Ι. Ιονίων Νήσων. Ανοιχτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα. Ανακτήθηκε 25 Οκτωβρίου 2020 από: [http://eclass.teiion.gr/modules/document/file.php/ECO166/Διαφάνεις/Π4\\_Βιογεωχημικός\\_κύκλος\\_Φωσφόρου\\_%26\\_Υδρολογικός\\_κύκλος.pdf](http://eclass.teiion.gr/modules/document/file.php/ECO166/Διαφάνεις/Π4_Βιογεωχημικός_κύκλος_Φωσφόρου_%26_Υδρολογικός_κύκλος.pdf)

Μήτσιοι, Ι.Κ. 2001. Εδαφολογία. Εκδόσεις Zymel σελ. 187-206

Μπαμπάκος, Γ. 2007. Εύρεση του Δείκτη Δεσμεύσεως των Φωσφορικών σε Ασβεστούχα Εδάφη και των Εδαφικών Παραγόντων που τον Επηρεάζουν. (Μεταπτυχιακή Διατριβή). Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη. Ανακτήθηκε από: <http://ikee.lib.auth.gr/record/80011/files/gri-2007-872.pdf>

Χα, Ι.Α. & Πετρόπουλος, Σ. 2014. Γενική Λαχανοκομία και Υπαίθρια Καλλιέργεια Λαχανικών. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας σελ. 400-409

### **Ξένη Βιβλιογραφία**

Adeoye, G. O., & Agboola, A. A. 1984. Relationship between soil physical and chemical characteristics and ear-leaf concentration of P, K, Mg, Zn, Fe, Cu, Mn and relative yield of maize in soils derived from sedimentary rocks of South-Western Nigeria. *Fertilizer Research*, volume 5(1) pages 109–119

Banaj, D., Kovacevic, V., Simic, D., Seput, M., Stojic, B. 2006. Phosphorus Impacts on Yield and Nutritional Status of Maize. *Cereal Research Communications* volume 34 pages 393–396

Čoga, L., Slunjski, S., Herak, M.C., Gunjača, J., Čosić, T. 2008. Phosphorus dynamics in grapevine on acid and calcareous soils. *Cereal Research Communications* volume 36 pages 119-228.

Elsokkary, I. H., El-Attar, H. A., & Amer, M. A. 1981. Influence of phosphorus and zinc fertilizers on the uptake of P and Zn by corn plants grown in highly calcareous soils. *Plant and Soil* volume 59 pages 227–236

Filippelli, G. M. 2002. The Global Phosphorus Cycle. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry* volume 48(1) pages 393-395.

Lajtha, K. & Schlesinger, W. H. 1988. The Effect of CaCO<sub>3</sub> on the Uptake of Phosphorous by Two Desert Shrub Species, *Larrea tridentata* (DC.) Cov. and *Parthenium incanum* H. B. K. *Botanical Gazette* Vol. 149 No. 3 pages 328-334

Lin, W., Cai, J., Xue, L. 2019. Short-term interactive effects of nitrogen and phosphorus additions and different planting densities on soil chemical properties of *Cinnamomum camphora* seedlings. *Shengtai Xuebao/Acta Ecologica Sinica* volume 39(24) pages 9162-9170

Mao, Q., Lu, X., Zhou, K., Chen, H., Zhu, X., Mori, T., & Mo, J. 2017. Effects of long-term nitrogen and phosphorus additions on soil acidification in an N-rich tropical forest. *Geoderma* Volume 285 pages 57-63



Muljadi, D., Posner, A.M. & Quirk, J.P. 1966. The mechanism of phosphate adsorption by kaolinite, gibbsite, and pseudoboehmite. *European Journal of Soil Science* volume 17 pages 212-228.

Oosterbaan, R.J. 2003. Alkaline-sodic soils and acid-sulphate soils. International Institute for Land Reclamation and Improvement. Ανακτήθηκε 25 Οκτωβρίου 2020 από <https://www.waterlog.info/pdf/acidalka.pdf>

Pissarides, A., Stewart, J.W.B. & Rennie, D.A. 1968. Influence of cation saturation on phosphorus adsorption by selected clay minerals. *Canadian Journal of Soil Science* volume 48 pages 151-157

Recena, R., Torrent, J., del Campillo, M. C., & Delgado, A. 2015. Accuracy of Olsen P to assess plant P uptake in relation to soil properties and P forms. *Agronomy for Sustainable Development* volume 35 pages 1571–1579

Sharpley, A. N. 1982. Prediction of Water-Extractable Phosphorus Content of Soil Following a Phosphorus Addition. *Journal of Environment Quality*, 11(2), 166. doi:10.2134/jeq1982.00472425001100020004

Singh, A., & Agrawal, M., 2008. Acid rain and its ecological consequences. In *Journal of Environmental Biology* volume 29(1) pages 15-24

Sirisuntornlak, N., Ullah, H., Sonjaroon, W., Anusontpornperm, S., Arirob, W., & Datta, A. 2020. Interactive Effects of Silicon and Soil pH on Growth, Yield and Nutrient Uptake of Maize. doi:10.1007/s12633-020-00427-z

Takeda, M., Nakamoto, T., Miyazawa, K., Murayama, T., & Okada, H. 2009. Phosphorus availability and soil biological activity in an Andosol under compost application and winter cover cropping. *Applied Soil Ecology* pages 86–95.

Tiessen, H., Stewart, J.W.B. & Cole, C.V. 1984. Pathways of Phosphorus Transformations in Soils of Differing Pedogenesis. *Soil Science Society of America Journal* volume 48 pages 853-858

Turner, B. L., & Blackwell, M. S. A., 2013. Isolating the influence of pH on the amounts and forms of soil organic phosphorus. *European Journal of Soil Science* volume 64 (2) pages 249-259

United States Department of Agriculture. 2018. Soil pH: Soil Quality Kit – Guides for Educators. Ανακτήθηκε 23 Οκτωβρίου 2020 από: [https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE\\_DOCUMENTS/nrcs142p2\\_053293.pdf](https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_053293.pdf)

Van Breemen, N., Mulder, J., & C. T. Driscoll, C.T. 1983. Acidification and alkalization of soils. *Plant and Soil* volume 75 pages 283-308

Xia, W., Ji, J., Liu Ja., Li, Z., Yu, X., Wang, P., Li, D., Liu, X., Wang, S., Li, Y. 2018. Effect of long-term fertilization on soil phosphorus characteristics and loss risk of red soil. doi: 10.13930/j.cnki.cjea.180532

Yin, F., Zhang, S., Cao, B., Xu, K. 2021. Low pH alleviated salinity stress of ginger seedlings by enhancing photosynthesis, fluorescence, and mineral element contents. Doi: 10.7717/peerj.10832