

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**  
**Σχολή Γεωπονικών Επιστημών**  
**Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής & Αγροτικού**  
**Περιβάλλοντος**

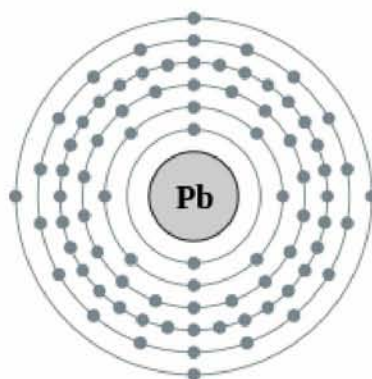
**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ**

**Αειφόρος Αγροτική Παραγωγή και Διαχείριση**  
**Περιβάλλοντος**

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΔΑΦΟΛΟΓΙΑΣ**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ**

**Μελέτη της επίδρασης της ρύπανσης μολύβδου σε**  
**καλλιέργεια ρίγανης (*Origanum vulgare*) και της**  
**συμπεριφοράς της ως υπερσυσσωρευτή μολύβδου.**



**ΚΩΣΤΑΚΟΣ Χ. ΕΥΣΤΡΑΤΙΟΣ**

**ΒΟΛΟΣ 2017**

Μελέτη της επίδρασης της ρύπανσης μολύβδου σε καλλιέργεια ρίγανης (*Origanum vulgare*) και της συμπεριφοράς της ως υπερσυσσωρευτή μολύβδου.

ΚΩΣΤΑΚΟΣ Χ. ΕΥΣΤΡΑΤΙΟΣ

Αντωνιάδης Βασίλειος: Επίκουρος Καθηγητής Εφαρμοσμένης Εδαφολογίας, Π.Θ.  
Επιβλέπων Καθηγητής

Δημήρκου Ανθούλα: Καθηγήτρια Εδαφολογίας με έμφαση στη Χημεία Εδάφους,  
Π.Θ. Μέλος Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής

Λεβίζου Ευθυμία: Επίκουρη Καθηγήτρια Φυσιολογίας Φυτών, Π.Θ. Μέλος  
Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής

**Copyright © ΚΩΣΤΑΚΟΣ Χ. ΕΥΣΤΡΑΤΙΟΣ, 2017**

**Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.**

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας διατριβής, εξ' ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης.

Η έγκριση της Μεταπτυχιακής Διατριβής Ειδίκευσης από το Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δε δηλώνει αποδοχή των γνώμων του συγγραφέα.

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η μεταπτυχιακή διατριβή εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Εδαφολογίας, του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, με επιβλέποντα τον Επίκουρο Καθηγητή κ. Αντωνιάδη Βασίλειο.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Αντωνιάδη Βασίλειο τόσο για τον πολύτιμο χρόνο που διέθεσε όσο και για την συνεχή επιστημονική καθοδήγηση και υποστήριξη του καθώς και για την καθοριστική συνεισφορά του στην ολοκλήρωση και συγγραφή της παρούσας διατριβής.

Επίσης ευχαριστώ τα μέλη της τριμελούς επιτροπής, την Καθηγήτρια κα. Δημήρκου Ανθούλα και την Επίκουρη Καθηγήτρια κα. Λεβίζου Ευθυμία τόσο για την βοήθεια τους, όσο και για τον χρόνο που αφιέρωσαν για την μελέτη και διόρθωση της μεταπτυχιακής μου διατριβής.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ στην κα. Δρ. Γκόλια Ευαγγελία μέλος του Εργαστηριακού Διδακτικού Προσωπικού, για την στήριξη και την βοήθειά της στο χειρισμό του εργαστηριακού εξοπλισμού για την πραγματοποίηση των αναλύσεων.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω θερμά τον Θάνο Παπανικολόπουλο όπου μέσα από τη συνεργασία μας στο στάδιο των δειγματοληψιών και των μετρήσεων καταφέραμε να εξοικονομήσουμε πολύτιμο χρόνο.

Τέλος ένα μεγάλο ευχαριστώ στον αδερφό μου Κώστα και τους γονείς μου, Γεωργία και Χρύσανθο, για την ηθική υποστήριξη και την πολυαγαπημένη μου Ελευθερία Δουκάκη που με στήριξε, με βοήθησε και με άντεξε σε όλη αυτή την προσπάθεια.

## Περίληψη

Ο μόλυβδος (Pb) είναι ένα από τα πιο τοξικά και επικίνδυνα μέταλλα και θεωρείται σοβαρότατος ρύπος για τη δημόσια υγεία, ιδιαίτερα για τις νεαρές ηλικίες. Η υψηλή συγκέντρωσή του σε ένα έδαφος χαρακτηρίζεται ως απειλή της δημόσιας υγείας. Ο μόλυβδος δεσμεύεται ισχυρά σε οργανικά και ανόργανα κολλοειδή στερεά του εδάφους και αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι μόνο μικρές ποσότητες του στο εδαφικό διάλυμα είναι διαλυτές, επομένως η αποκατάσταση ενός τέτοιου εδάφους κρίνεται αρκετά δύσκολη. Αυτό δημιουργεί το έναυσμα για περαιτέρω έρευνα του αποδοτικότερου τρόπου απομάκρυνσης του από το περιβάλλον. Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν να μελετηθεί η ανθεκτικότητα των φυτών ρίγανης σε εδάφη με ιδιαίτερα υψηλές συγκεντρώσεις μολύβδου (Pb) και η συμπεριφορά τους ως υπερσυσσωρευτής μολύβδου. Για το σκοπό αυτό συλλέχθηκε έδαφος με pH 7 και δημιουργήθηκαν τρεις μεταχειρίσεις από πενήντα γλάστρες η κάθε μεταχείριση με καλλιέργεια ρίγανης (*Origanum vulgare*), ως εξής: C (μάρτυρας, δηλαδή χωρίς προσθήκες), M1 (μεταχείριση προσθήκης 300 mg kg<sup>-1</sup> Pb) και M2 (μεταχείριση προσθήκης 900 mg kg<sup>-1</sup> Pb). Η επιμόλυνση διοχετεύτηκε με διάλυμα νιτρικού μολύβδου [Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>]. Παρατηρήθηκε ότι ο χορηγούμενος μόλυβδος, με τις συγκεκριμένες συγκεντρώσεις, δεν επηρέασε την ανάπτυξη του φυτού ούτε βρέθηκαν σημάδια καταπόνησης. Επίσης, παρατηρήθηκε αύξηση των χρωστικών των χλωροφυλλών και της φυτικής μάζας, λόγω των αυξημένων συγκεντρώσεων αζώτου στην M1 και περισσότερο στη M2. Τέλος παρατηρήθηκε έντονα ότι η ρίγανη καταφέρνει και ακινητοποιεί τον μόλυβδο (Pb) στη ρίζα με αποτέλεσμα το υπέργειο τμήμα του φυτού να έχει μηδενική συγκέντρωση και χωρίς τοξικές επιδράσεις για το ίδιο το φυτό. Επομένως η ρίγανη δεν μπορεί να κατηγοριοποιηθεί ως υπερσυσσωρευτής, αλλά μάλλον ως παρεμποδιστής μολύβδου (Pb).

## Abstract

Lead is one of the most toxic and dangerous metals and is considered a very serious public health contaminant, especially for young persons. Lead is strongly bound to organic and inorganic colloidal solids of soil and this means that only small quantities are soluble in the soil solution; therefore, the restoration of Pb-contaminated soils is difficult. This creates the need for research of the more efficient way to remove lead from the environment. The purpose of this work was to study the resilience of oregano plants in soils with particularly high concentrations of lead and their possible behavior as lead hyperaccumulators. For this purpose we collected soil with pH ca. 7 and we established three treatments of fifty pots of oregano (*Origanum vulgare*) each, as follows: C (control, without contamination), M1 (soil added with 300 mg kg<sup>-1</sup> Pb), and M2 (soil added with 900 mg kg<sup>-1</sup> Pb). Lead was added as Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> salt. We found that lead concentrations did not affect the plant growth, neither there were any signs of induced stress. We also observed an increase in pigments and in germination, due to added nitrogen in the M1 and M2 treatments. We also found that oregano immobilized added Pb in root, so that the plant aboveground biomass was completely unaffected. We conclude that oregano could rather be categorized as an excluder species for Pb rather than hyperaccumulator.

Εγώ, ο Κωστάκος Χ. Ευστράτιος, είμαι ο συγγραφέας αυτής της Μ.Δ.Ε. Αυτή η Μ.Δ.Ε. αντικατοπτρίζει την έρευνα που έγινε από εμένα και δεν έχει υποβληθεί (εξ' ολοκλήρου ή μέρος της) σαν προπτυχιακή διατριβή ή Μ.Δ.Ε. ή ως μέρος Διδακτορικής Διατριβής σε αυτό ή άλλο Προπτυχιακό ή Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών Ιδρυμάτων Τριτοβάθμιας Εκπαίδευσης του εσωτερικού ή εξωτερικού. Όποια συνεργασία καθώς και το μέγεθος αυτής δηλώνονται επακριβώς στο αντίστοιχο πεδίο αυτής της διατριβής. Επίσης έχω διαβάσει όλες τις βιβλιογραφικές αναφορές που παρατίθενται στο τέλος.

Ο Συγγραφέας

Ως επιβλέπων της έρευνας που περιγράφεται σε αυτή τη διατριβή, δηλώνω ότι όλοι οι όροι του Εσωτερικού Κανονισμού του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος έχουν τηρηθεί από τον κ. Κωστάκο Χ. Ευστράτιο.

Ο Επιβλέπων Καθηγητής



# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	iii
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	iv
ABSTRACT.....	v
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	viii
Κεφάλαιο 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1 Ιδιότητες του εδάφους που επηρεάζουν τη διαθεσιμότητα των βαρέων μετάλλων.....	1
1.2 Μηχανισμοί άμυνας του φυτού για την εξάλειψη της ρύπανσης από βαρέα μέταλλα.....	3
1.3 Μόλυβδος.....	4
1.4 Ρίγανη ( <i>Origanum vulgare</i> ).....	6
1.5 Κενά στη βιβλιογραφία και σκοποί της εργασίας.....	7
Κεφάλαιο 2: ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	8
2.1 Πειραματικός Σχεδιασμός.....	8
2.2 Μέθοδοι ανάλυσης.....	9
2.2.1 Αναλύσεις στο έδαφος.....	9
2.2.2 Αναλύσεις στο φυτό.....	10
2.3 Στατιστική Επεξεργασία.....	11
Κεφάλαιο 3: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	12
3.1 Αποτελέσματα.....	12
3.2 Συζήτηση.....	18
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	20
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	21
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι.....	27
ΠΙΝΑΚΕΣ ΠΡΩΤΟΓΕΝΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	27
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ.....	44
ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ.....	44

## **Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή**

### **1.1 Ιδιότητες του εδάφους που επηρεάζουν τη διαθεσιμότητα των βαρέων μετάλλων**

Η ανησυχία που δημιουργείται από την πιθανότητα συσσώρευσης βαρέων μετάλλων στα εδάφη, έχει αυξήσει την ανάγκη να μελετηθεί η δυναμική αυτών των χημικών ουσιών στο έδαφος. Ιδιαίτερη προσοχή έχει δοθεί στον ψευδάργυρο, τον χαλκό, το νικέλιο, το κάδμιο και τον μόλυβδο, τα οποία συναντιούνται σε υψηλά επίπεδα αρκετά συχνά.

Πολλές μελέτες έχουν δείξει ότι αν τα εδάφη δεν είναι πολύ όξινα ( $\text{pH} > 6,5$ ), αυτά τα μέταλλα γενικά δεσμεύονται από τα εδαφικά συστατικά. Από τη στιγμή που δεσμευτούν δεν είναι εύκολο να εκπλυθούν από το έδαφος, ούτε να είναι άμεσα διαθέσιμα στα φυτά. Μόνο σε μετρίως έως ισχυρά όξινα εδάφη, έχουν δείξει οι περισσότερες έρευνες, ότι υπάρχει σημαντική μετακίνηση μετάλλων από τη ζώνη εφαρμογής της ιλύος προς τα κάτω στο εδαφικό προφίλ. Η καταγραφή της εδαφικής οξύτητας και η χρήση καλά υπολογισμένων δόσεων ασβέστωσης προτείνονται ευρέως από τους ερευνητές για να αποτραπεί η έκπλυση προς τα υπόγεια ύδατα και να μειωθεί η απορρόφηση από τα φυτά. Επίσης αξίζει να σημειωθεί ότι εκτός από τη ρύθμιση του  $\text{pH}$ , το ασβέστιο έρχεται να παίζει και έναν άλλο ρόλο ειδικά στην περίπτωση του μολύβδου. Πιο συγκεκριμένα, αρκετοί ερευνητές, έχουν δείξει ότι η κύρια οδός μεταφοράς του μολύβδου, από το έδαφος στο φυτό, είναι τα κανάλια ασβεστίου, πράγμα που κάνει το ασβέστιο με το μόλυβδο αρκετά ανταγωνιστικά όταν βρίσκονται στο εδαφικό διάλυμα (Huang και Cunningham, 1996; Wang et al., 2007).

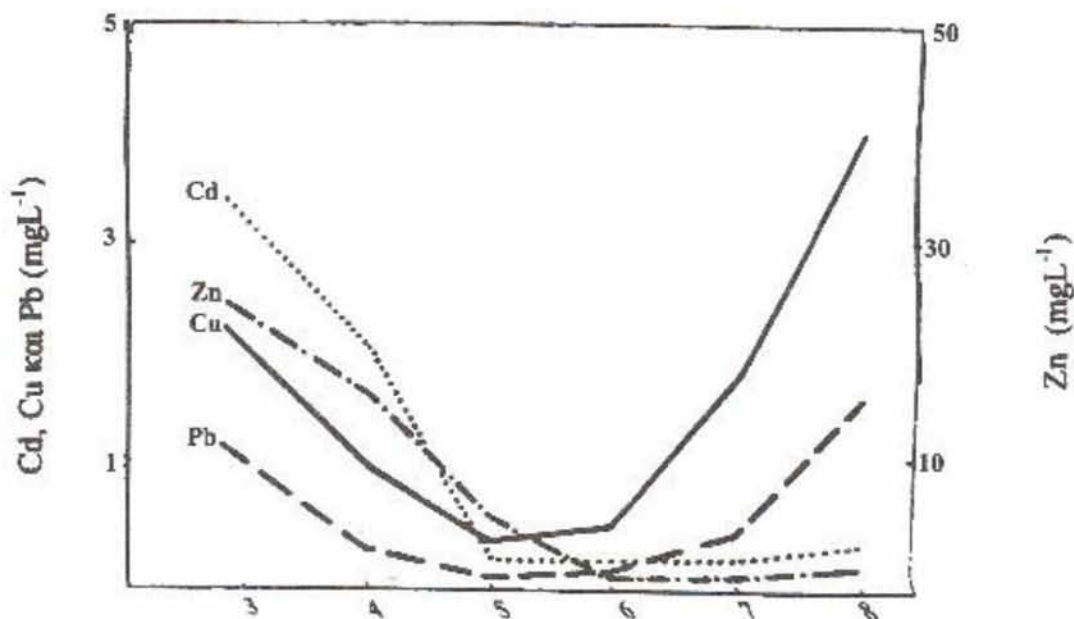
Πρόσφατες μελέτες που χρησιμοποίησαν εξαιρετικά μεγάλες ποσότητες ιλύος βιολογικού καθαρισμού που εμπεριέχουν βαρέα μέταλλα, έχουν δείξει ότι στην αρχή είναι πιο ευκίνητα στο έδαφος από ότι προηγουμένως πιστεύονταν. Για την ακρίβεια, αρκετές μελέτες έχουν καταλήξει στο συμπέρασμα ότι από 20 έως 80 τοις εκατό των μετάλλων που προστίθενται με την ιλύ σε υψηλές δόσεις έχουν εκπλυθεί από τη ζώνη του ριζοστρώματος και, όπως φαίνεται να είναι πολύ πιθανό, εισέρρευσαν στα υπόγεια ύδατα. Τα μέταλλα σε αυτές τις περιπτώσεις είναι πιθανόν να μετακινήθηκαν ως ευδιάλυτα οργανικά σύμπλοκα όσο ακόμα το μίγμα έδαφος-ιλύς ήταν φρέσκο. Με την πάροδο του χρόνου, τα μέταλλα που παραμένουν στο έδαφος φαίνεται να

σταθεροποιούνται σε διάφορες μορφές χαμηλής διαλυτότητας (Brandy and Weil, 2002).

Η ικανότητα ή όχι ιονισμού ενός μετάλλου, ο αριθμός οξείδωσης, ο σχηματισμός ή όχι συμπλόκων με οργανικές ενώσεις και η κινητικότητα τους εξαρτάται από τη φύση του ιόντος αλλά και από τις παρακάτω ιδιότητες του εδάφους (Μήτσιος, 2004):

- pH του εδάφους,
- δυναμικό οξειδοαναγωγής,
- ποσοστό και το είδος της οργανικής ουσίας στο έδαφος,
- Ικανότητα Ανταλλαγής Κατιόντων στο έδαφος (ΙΑΚ),
- παρουσία ανθρακικών αλάτων στο έδαφος,
- περιεκτικότητα και το είδος των οξειδίων και υδροξειδίων του σιδήρου, μαγγανίου και αργιλίου,
- ορυκτά της αργίλου.

Γενικά, τα βαρέα μέταλλα ως κατιόντα είναι πιο κινητικά σε όξινες συνθήκες και αυξάνοντας το pH περιορίζεται η βιοδιαθεσιμότητα των στοιχείων αυτών. Από την άλλη τα ανιόντα μολυβδαίνιου γίνονται περισσότερο διαθέσιμα με την αύξηση του pH (Alloway, 1995). Ενώ αντίστοιχα βαρέα μέταλλα όπως το κάδμιο, ο χαλκός, ο ψευδάργυρος και ο μόλυβδος παρουσιάζουν χαμηλότερη συγκέντρωση στο έδαφος σε pH 5-6 όπως φαίνεται και στο Σχήμα 1 (Μήτσιος, 2004).



Σχήμα 1. Σχέση βαρέων μετάλλων σε σχέση με το pH του εδάφους (Μήτσιος, 2004).

Πιο συγκεκριμένα, με τη χρήση διαδοχικών εκχυλίσεων κλασμάτωσης, οι ερευνητές έχουν βρει ότι τα βαρέα μέταλλα σχετίζονται με εδαφικά στερεά με τέσσερις κυρίως τρόπους.

Πρώτον, ένα πολύ μικρό κομμάτι βρίσκεται σε *διαλυτές* και *ανταλλάξιμες* μορφές, οι οποίες είναι διαθέσιμες στα φυτά για απορρόφηση. Δεύτερον, τα στοιχεία δεσμεύονται από την οργανική ουσία του εδάφους και από οργανικά υλικά της ιλύος. Μεγάλα ποσοστά του χαλκού και του χρωμίου συνήθως βρίσκονται σε αυτήν την μορφή, ενώ ο μόλυβδος δεν δεσμεύεται τόσο έντονα. Μέταλλα που δεσμεύονται από οργανικές ενώσεις δεν είναι άμεσα διαθέσιμα στα φυτά, αλλά ενδέχεται να απελευθερωθούν με την πάροδο κάποιου χρόνου.

Οι μορφές της τρίτης και τέταρτης κατηγορίας των βαρέων μετάλλων στο έδαφος αφορούν τη συμπλοκοποίησή τους με ανθρακικά και με οξείδια σιδήρου και μαγγανίου. Αυτές οι μορφές είναι λιγότερο διαθέσιμες στα φυτά από ότι οι ανταλλάξιμες και οι δεσμευμένες στην οργανική ουσία, ιδίως αν τα εδάφη δεν επιτραπεί να καταστούν πολύ όξινα. Η πέμπτη μορφή είναι κοινώς γνωστή ως υπολειμματική μορφή, και αποτελείται από θειικές και άλλες πολύ αδιάλυτες ενώσεις οι οποίες είναι λιγότερο διαθέσιμες στα φυτά σε σχέση με τις προηγούμενες.

Είναι θετικό στοιχείο ότι το μεγαλύτερο μέρος των βαρέων μετάλλων που προστίθενται στο έδαφος δεν απορροφούνται άμεσα από τα φυτά και ότι δεν εκπλύνονται εύκολα από αυτό. Ωστόσο η ακινητοποίηση των μετάλλων σημαίνει ότι αυτά θα συσσωρευτούν στο έδαφος. Πρέπει να ληφθεί μέριμνα ώστε να μην προστεθούν πολύ μεγάλες ποσότητες για να μην ξεπεραστεί η ικανότητα του εδάφους να αντιδρά με ένα δοσμένο μέταλλο.

## **1.2 Μηχανισμοί άμυνας του φυτού για την εξάλειψη της ρύπανσης από βαρέα μέταλλα**

Σύμφωνα με τον Baker (1987), τα φυτά έχουν δύο μηχανισμούς άμυνας, οι οποίοι είναι η ανοχή στην τοξικότητα βαρέων μετάλλων και η αποφυγή της καταπόνησης. Η ανοχή των φυτών σε βαρέα μέταλλα, πιο συγκεκριμένα, έχει να κάνει με το ότι μέρος του πληθυσμού μπορεί να αναπτύξει ιδιαίτερους μηχανισμούς ανθεκτικότητας, οι οποίοι

μπορούν να εκφραστούν στην επόμενη γενεά. Η ανθεκτικότητα επίσης μπορεί να διαφέρει από είδος σε είδος, από στοιχείο σε στοιχείο και ακόμα από οικοσύστημα σε οικοσύστημα.

Υπάρχουν δύο μηχανισμοί ανοχής, ο αποκλεισμός συσσώρευσης βαρέων μετάλλων και η συσσώρευση (παράλληλα και μετατροπή) σε αποτοξινωμένες μορφές (Baker, 1981). Ο αποκλεισμός συσσώρευσης γίνεται με την βοήθεια από μυκόριζες ή εξειδικευμένων ριζικών συστημάτων. Ένας μηχανισμός αποφυγής συσσώρευσης είναι η απέκκριση παραγόντων χηλιοποίησης από τα κύτταρα της ρίζας προς τη ριζόσφαιρα. Εναλλακτικά, κάποια φυτά διαθέτουν υψηλής εκλεκτικότητας μεμβράνες στα κύτταρα της ρίζας με αποτέλεσμα την αποτροπή εισόδου των βαρέων μετάλλων στο εσωτερικό τους. Τέλος, σε κάποια φυτά, τα μέταλλα καθλώνονται στο κυτταρικό τοίχωμα των κυττάρων της ρίζας (κυρίως στο πηκτινικό κλάσμα). Από την άλλη όσον αφορά την αποτοξίνωση ορισμένα φυτά δεσμεύουν τα βαρέα μέταλλα υπό μορφή συμπλόκων με οργανικά μόρια χαμηλού μοριακού βάρους όπως οργανικά οξέα, αμινοξέα ή φαινολικά συστατικά. Τα σύμπλοκα αυτά απομονώνονται στο χυμοτόπιο. Ακόμα σε άλλα φυτά λειτουργεί ενεργός μεταφορά των ιόντων από το κυτταρόπλασμα προς τον αποπλαστικό χώρο. Ωστόσο σύμφωνα με σύνολο αναφορών οι ανθεκτικοί γενότυποι σε βαρέα μέταλλα ενδέχεται να παρουσιάζουν μειωμένη ανάπτυξη και εν τέλει παραγωγικότητα σε εδάφη μη τοξικά (Coxand Hutchinson, 1981; Ernst, 1976).

### **1.3 Μόλυβδος**

Το χημικό στοιχείο μόλυβδος είναι ένα μέταλλο με ατομικό αριθμό 82 και ατομικό βάρος 207,2. Έχει θερμοκρασία τήξης 327,5 °C και θερμοκρασία βρασμού 1740 °C. Δεν είναι απαραίτητο και ωφέλιμο στοιχείο για τα ζώα και τα φυτά. Είναι γνωστό ότι ο μόλυβδος είναι ένα επικίνδυνο δηλητήριο για τον άνθρωπο και κυρίως για τα ανήλικα άτομα, τα οποία αποτελούν ιδιαίτερα ευαίσθητη ομάδα (Μήτσιος, 2004). Οι υψηλή συγκέντρωση του σε ένα έδαφος έχει αναγνωριστεί ως πρόβλημα δημόσιας υγείας. Τα μέγιστα επιτρεπτά επίπεδα μολύβδου στο έδαφος συνιστώνται με βάση τη σχέση δόσης-απόκρισης της συγκέντρωσης του μολύβδου στο έδαφος και τη συγκέντρωση του στο αίμα απόμων νεαρών ηλικιών (Madhavan et al., 1989).

Ο μόλυβδος και οι ενώσεις του επιδρούν στην καρδιά και στο νευρικό σύστημα. Τα συμπτώματα της χρόνιας δηλητηρίασης από μόλυβδο περιλαμβάνουν πονοκεφάλους,

απώλεια ορέξεως, ναυτία, αναιμία και αδυναμία. Ο μόλυβδος αλλάζει το μέγεθος, και το σχήμα των ερυθρών αιμοσφαιρίων και τα κάνει ευπαθή. Η οξεία δηλητηρίαση από αυτό το μέταλλο προκαλεί αναισθησία, κώμα και ενδεχομένως θάνατο. Είναι ένα συσσωρευτικό δηλητήριο και παρά το γεγονός ότι η χρόνια δηλητηρίαση από μόλυβδο είναι πολύ δύσκολο να διαγνωστεί, πολλοί θεωρούν ότι ελαφρά συμπτώματα υπάρχουν ήδη (Κωτσοβίνος, 1985).

Ο φλοιός της γης μητρικά εμφανίζει ποσότητες μολύβδου (Arias et al., 2010) και αυτές συνήθως δεν μπορούν να ξεπεράσουν τα  $50 \text{ mg kg}^{-1}$  (Pais and Jones, 2000). Όμως αρκετές ανθρώπινες δραστηριότητες μπορούν να αυξήσουν αυτά τα επίπεδα. Όταν οι ποσότητες μολύβδου που εντοπίζονται προέρχονται από ανθρώπινη δραστηριότητα, αυτός συσσωρεύεται κυρίως στα επιφανειακά στρώματα του εδάφους και με το βάθος αυτές οι συγκεντρώσεις μειώνονται (Cecchi et al., 2008).

Ο μόλυβδος δεσμεύεται ισχυρά με οργανικά και/ή με κολλοειδή υλικά και αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι μόνο μικρές ποσότητες του στο έδαφος είναι διαλυτές και επομένως διαθέσιμες για πρόσληψη από το φυτό (Kopittke et al., 2008; Punamiya et al., 2010). Σε περίπτωση πρόσληψης από τα φυτά, έρευνες έδειξαν, ότι εμποδίζει την ανάπτυξη των φυτών, την επιμήκυνση των ριζών, τη βλάστηση των σπόρων, την παραγωγή χλωροφύλλης και την κυτταρική διαίρεση (Sharma and Dubey, 2005; Krzeslowska et al., 2009; Gupta et al., 2009,2010; Maestri et al., 2010). Ωστόσο, η έκταση αυτών των περιπτώσεων εξαρτάται από τη συγκέντρωση μολύβδου, τη διάρκεια της έκθεσης, την ένταση του στρες των φυτών, το στάδιο ανάπτυξης τους και συγκεκριμένα όργανα που μελετήθηκαν.

Το κύριο μέσο πρόσληψης από τα φυτά είναι οι ρίζες. Η απορρόφηση μολύβδου στις ρίζες έχει αποδειχθεί ότι εμφανίζεται σε διάφορα είδη φυτών όπως: *Vigna unguiculata* (Kopittke et al., 2007), *Fescue rubra* (Ginn et al., 2008), *Lactuca sativa* (Uzu et al., 2009), *Funaria hygrometrica* (Krzeslowska et al., 2009). Ο μόλυβδος ρυπαίνει το έδαφος πρωτίστως από τις εξατμίσεις των οχημάτων και από τις παλιές μπογιές ελαιοχρωματισμού που είχαν βάση χρωστικές ουσίες μολύβδου (κομμάτια φλοιού μπογιάς και σκόνη από μπογιά ξύλου). Ο περισσότερος μόλυβδος είναι δεσμευμένος στο έδαφος σε ενώσεις ανθρακικών και θειούχων αλάτων και σε συνδυασμό με οξείδια σιδήρου, αργιλίου και μαγγανίου, όλα χαμηλής διαλυτότητας.

#### 1.4 Ρίγανη (*Origanum vulgare*)

Συστηματική ταξινόμηση	
Βασίλειο	Φυτά (Plantae)
Συνομοταξία	Αγγειόσπερμα (Magnoliophyta)
Ομοταξία	Δικοτυλήδονα (Magnoliopsida)
Τάξη	Λαμιώδη (Lamiales)
Οικογένεια	Χειλανθή (Lamiaceae)
Γένος	Ορίγανον( <i>Origanum</i> )
Είδος	<i>O. vulgare</i>

Η ρίγανη (*Origanum vulgare*) είναι αρωματικό ποώδες, πολυετές, ιθαγενές και θαμνώδες φυτό της Μεσογείου και της Κεντρικής Ασίας. Ανήκει στο γένος *Origanum* της τάξης των λαμιωδών αγγειόσπερμων δικότυλων φυτών. Το φυτό έχει ύψος 20-80 εκ., έχει φύλλα αντίθετα μήκους 1-4 εκ. Αναπτύσσεται καλά σε εδάφη με pH 6-9 και μπορεί να εκμεταλλευτεί, όταν καλλιεργείται, ακόμα και πολύ φτωχά, ξηρικά και πετρώδη εδάφη. Τα άνθη της έχουν χρώμα άσπρο-μωβ και ανθίζει από Ιούνιο κυρίως μέχρι Αύγουστο αναλόγως την περιοχή (Σκρουμπής, 1998). Οι αρχαίοι Έλληνες τη χρησιμοποιούσαν ως αρωματικό, αρτυματικό και φαρμακευτικό φυτό, ενώ ήταν επίσης γνωστή στους Αιγύπτιους, αλλά και στον Μεσαίωνα ως φάρμακο (Γκόλιου, 2008).

Όλα τα αυτοφυή είδη της ρίγανης που αναφέραμε παραπάνω αναπτύσσονται σε ποικίλες κλιματικές συνθήκες. Έτσι η ρίγανη βρίσκεται τόσο στην ηπειρωτική, όσο και τη νησιώτικη Ελλάδα από τις παραθαλάσσιες μέχρι και τις ορεινές περιοχές. Αυτό δείχνει ότι αντέχει πολύ στο κρύο. Τον χειμώνα καταστρέφεται το υπέργειο τμήμα της, ενώ το υπόγειο διατηρείται και αναβλαστάνει την άνοιξη (Σκρουμπής, 1998).

Εξάλλου αντέχει και στην ξηρασία αφού αναπτύσσεται σε ξηρούς τόπους. Για την καλλιέργεια της πρέπει να προτιμηθούν ασβεστολιθικές ημιορεινές κυρίως περιοχές με δροσερό καλοκαίρι, τα δε χωράφια να μην έχουν πολυετή ζιζάνια (αγριάδα κλπ.) (Σκρουμπής, 1998). Η ρίγανη όταν καλλιεργείται σε ξερικές συνθήκες δίνει μικρή παραγωγή αλλά προϊόν καλής ποιότητας. Σε περιπτώσεις που υπάρχει νερό πρέπει να γίνονται μόνο 1-2 ποτίσματα το καλοκαίρι (Σκρουμπής, 1998).

Η συγκομιδή της γίνεται κατά την εποχή ανθίσεως, η οποία ποικίλει ανάλογα με το κλίμα και το υψόμετρο (Αντωνιάδου, 2013). Συνήθως γίνεται από τον Ιούνιο μέχρι το Σεπτέμβριο και σε ελάχιστες περιπτώσεις τον Οκτώβριο (Μαλούπα κ.σ., 2013).

### **1.5 Κενά στη βιβλιογραφία και σκοποί της εργασίας**

Αν και η δυναμική του μολύβδου στο σύστημα έδαφος-φυτό έχει μελετηθεί διεξοδικά, η επίδρασή του όταν επηρεάζει ανθεκτικά φυτά (όπως η ρίγανη) δεν είναι γνωστή. Επίσης, η πιθανότητα της μείωσης της αρνητικής επίδρασής του σε τέτοια φυτά όταν ταυτόχρονα έχει χορηγηθεί μεγάλη δόση θρεπτικού στοιχείου (π.χ., N) δεν έχει ερευνηθεί. Σκοπός της συγκεκριμένης εργασίας είναι η μελέτη της ανθεκτικότητας των φυτών της ρίγανης σε εδάφη με ιδιαίτερα υψηλές συγκεντρώσεις σε μόλυβδο (Pb) όταν στο έδαφος χορηγούνται υψηλές δόσεις αζωτούχου λίπανσης.



## Κεφάλαιο 2: Υλικά και Μέθοδοι

### 2.1 Πειραματικός σχεδιασμός

Στην αρχή της μεταπτυχιακής αυτής διατριβής συλλέχθηκε δείγμα εδάφους 600 kg από την περιοχή του Αγροκτήματος του Βελεστίνου στις 16/2/2017. Το έδαφος αυτό απλώθηκε στο δάπεδο και αφέθηκε για αεροζήρανση περίπου 13 ημέρες σε θερμοκήπιο του Αγροκτήματος. Στη συνέχεια, αφού ολοκληρώθηκε η αεροζήρανση, το έδαφος κοσκινίστηκε ώστε να αφαιρεθούν τα μεγάλα συσσωματώματα και οι πέτρες. Το κοσκινισμένο πλέον έδαφος τοποθετήθηκε σε σακούλες των 40 kg περίπου και μεταφέρθηκε στο χώρο της Σχολής στις 3/3/2017 όπου και θα γινόταν το στήσιμο του πειράματος.

Στη συνέχεια, αφού προμηθευτήκαμε τα φυτά της ρίγανης, πριν τα τοποθετήσουμε στις επιμόλυνσεις, για να τους μειώσουμε το στρες, τα τοποθετήσαμε σε μικρές γλάστρες του μισού περίπου λίτρου και εκεί τα αφήσαμε για περίπου ένα μήνα ώστε να αποκτήσουν και την ανάλογη ανάπτυξη για την τελική μεταφύτευση. Δέχονταν ποτίσματα κάθε 3 ημέρες. Καθ' όλη τη διάρκεια της αναμονής παρασκευάσαμε την επιμόλυνση και την χορηγήσαμε στις τελικές γλάστρες που θα υποδέχονταν τα φυτά. Για την επιμόλυνση διαλύσαμε 192 g νιτρικού μολύβδου σε 2 L νερού (απιονισμένο). Δημιουργήσαμε τρεις μεταχειρίσεις των πενήντα γλαστρών η κάθε μία. Η πρώτη μεταχείριση δημιουργήθηκε ως μάρτυρας και δεν δέχθηκε καθόλου επιμόλυνση. Η δεύτερη μεταχείριση δέχθηκε 10 mL διαλύματος νιτρικού μολύβδου ανά γλάστρα (ισοδυναμούσε με 300 mg Pb kg<sup>-1</sup>εδάφους, συγκέντρωση ίση με το μέγιστο επιτρεπόμενο όριο σύμφωνα με την Οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης) και η τρίτη μεταχείριση δέχθηκε 30 mL διαλύματος νιτρικού μολύβδου ανά γλάστρα (ισοδυναμούσε με 900 mg Pb kg<sup>-1</sup>εδάφους) στις 17/3/2017. Στις 5/4/2017 μεταφύτευσαμε τα φυτά της ρίγανης (*Origanum vulgare*) στις γλάστρες και τα φυτά δέχονταν πότισμα κάθε δύο ημέρες πάντα από το πιάτο της γλάστρας. Από κάθε μεταχείριση, με τυχαία επιλογή, επιλέξαμε 10 γλάστρες ως εκπροσώπους των, ώστε σ' αυτές να γίνουν οι φυτοκομικές- φυσιολογικές μετρήσεις και αναλύσεις καθώς και οι αναλύσεις εδάφους.

Στη συνέχεια του πειράματος πήραμε μετρήσεις για τα φυσιολογικά χαρακτηριστικά της ρίγανης τη συγκέντρωση των χλωροφυλλών στα φύλλα των φυτών. Στο τέλος του

πειράματος, όταν τα φυτά ήταν σε πλήρη άνθηση, αφαιρέσαμε το υπέργειο τμήμα όλων των μεταχειρίσεων. Από τις 10 γλάστρες της κάθε μεταχείρισης που είχαμε επιλέξει τυχαία, το υπέργειο τμήμα ζυγίστηκε για το νωπό του βάρος και στη συνέχεια τοποθετήθηκε για 48 ώρες σε φούρνο στους 70 °C. Αφού υπέστη ξήρανση μετρήσαμε και το ξηρό του βάρος. Στη συνέχεια κάθε φυτό κονιορτοποιήθηκε σε μύλο άλεσης και τοποθετήθηκε σε χάρτινες σακούλες.

Αφού τελειώσαμε αυτό το σκέλος του πειράματος, στη συνέχεια αφαιρέσαμε τη ρίζα από το έδαφος και κρατήσαμε περίπου 200 g εδάφους από κάθε γλάστρα, των 10 γλαστρών της κάθε μεταχείρισης. Στη συνέχεια τοποθετήσαμε τις ρίζες μαζί με τα εδάφη τους σε διάλυμα αλατόνευρου περιεκτικότητας 13%. Μετά τα ξεπλύνουμε με νερό προσεκτικά, τα τοποθετήσαμε σε χάρτινα σακουλάκια και τα αποξηράναμε σε φούρνο στους 70 °C για 48 ώρες. Μετά ζυγίστηκαν και κονιορτοποιήθηκαν σε μύλο άλεσης.

## **2.2 Μέθοδοι ανάλυσης**

Οι αναλύσεις στο έδαφος είχαν σχέση με το pH, τη συγκέντρωση του μολύβδου και τα νιτρικά. Οι αναλύσεις για το φυτό είχαν σχέση με τη συγκέντρωση μολύβδου, αζώτου και των χλωροφυλλών.

### **2.2.1 Αναλύσεις στο έδαφος**

Για τον υπολογισμό του pH ζυγίσαμε 10 g εδάφους και τα τοποθετήσαμε σε φιαλίδια falcon των 50 mL και προσθέσαμε 25 mL απιονισμένο νερό. Ανακινήσαμε για 10 λεπτά. Αφέθηκαν σε ηρεμία για περίπου μισή ώρα και υπολογίσαμε το pH με ηλεκτρικό πεχάμετρο.

Για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης του μολύβδου (Pb) στο έδαφος χρησιμοποιήσαμε τη μέθοδο εκχύλισης με διάλυμα DTPA και με τη μέθοδο aqua regia. Πιο συγκεκριμένα για την πρώτη μέθοδο ζυγίσαμε περίπου 10 g εδάφους και τα τοποθετήσαμε σε φιαλίδια falcon των 30 mL. Στη συνέχεια σε κάθε φιαλίδιο τοποθετήσαμε 20 mL διαλύματος DTPA. Τα τοποθετήσαμε για ανακίνηση για 2 ώρες και στη συνέχεια τα φυγοκεντρίσαμε για 15 λεπτά. Ακολούθησε απευθείας διήθηση σε φιαλίδια falcon των 50 mL. Αργότερα σε Ατομική Απορρόφηση μετρήσαμε τη συγκέντρωση μολύβδου (Pb). Για τη μέθοδο aqua regia, ζυγίσαμε περίπου 3 g εδάφους και τα τοποθετήσαμε σε πυρίμαχους δοκιμαστικούς σωλήνες. Στη συνέχεια

προσθέσαμε 20 mL πυκνό HCl και 5 mL πυκνό HNO<sub>3</sub>. Τα υποβάλαμε σε βρασμό (130 °C) για 5 ώρες και στη συνέχεια τα εκχύλισαμε σε ογκομετρικές φιάλες των 50 mL και συμπληρώσαμε τον όγκο με απιονισμένο νερό. Αποθηκεύτηκαν σε φιαλίδια falcon των 50 mL. Αργότερα σε Ατομική Απορρόφηση μετρήσαμε τη συγκέντρωση μολύβδου (Pb).

Για τον υπολογισμό των νιτρικών, ζυγίσαμε 2 g εδάφους και τα τοποθετήσαμε σε falcon των 50 mL. Στη συνέχεια προσθέσαμε 20 mL 2 M KCl. Ανακινήσαμε για μία ώρα ακριβώς και διηθήσαμε μέσα σε ογκομετρικές φιάλες των 100 mL. Συμπληρώσαμε τον όγκο με απιονισμένο νερό. Μετά αποθηκεύσαμε σε φιαλίδια falcon και αργότερα μετρήσαμε τη συγκέντρωση με φασματοφωτόμετρο σε υπεριώδες φάσμα (210 nm) αφού αφαιρέσαμε το background noise (μετράται στα 270 nm).

### **2.2.2 Αναλύσεις στο φυτό**

Για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης του μολύβδου, στο υπέργειο μέρος του φυτού καθώς και για τη ρίζα, χρησιμοποιήσαμε την εκχύλιση με διάλυμα HCl 20%, ως εξής: Ζυγίσαμε 0,5 g φυτικού ιστού, το τοποθετήσαμε σε πυρίμαχες πορσελάνινες κάψες και μετά σε φούρνο στους 500 °C για 24 ώρες. Στη συνέχεια παραλάβαμε τη τέφρα με 20 mL HCl 20% και διηθήσαμε σε ογκομετρικές φιάλες των 50 mL. Τέλος συμπληρώσαμε το όγκο με απιονισμένο νερό. Το εκχύλισμα το τοποθετήσαμε σε φιαλίδια falcon των 50 ml. Αργότερα σε Ατομική Απορρόφηση μετρήσαμε τη συγκέντρωση μολύβδου (Pb).

Για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης του αζώτου χρησιμοποιήσαμε τη μέθοδο κατά Kjeldahl. Ζυγίσαμε 1 g φυτικού ιστού υπέργειου τμήματος και τα τοποθετήσαμε σε πυρίμαχες γυάλινες φιάλες. Στη συνέχεια τοποθετήσαμε σε κάθε φιάλη 2 ταμπλέτες καταλύτη Kjeldahl και μία ταμπλέτα αντιαφρίζοντος υλικού. Στη συνέχεια προσθέσαμε στην κάθε φιάλη 20 mL H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> και υποβάλαμε σε βρασμό στους 430 °C. Αργότερα κάναμε απόσταξη σε αποστακτική συσκευή Kjeldahl και με ογκομέτρηση του αποστάγματος με 0.11 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> υπολογίσαμε τη συγκέντρωση αζώτου.

Για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης των χλωροφυλλών χρησιμοποιήθηκαν τυχαία 5 γλάστρες όταν ακόμα τα φυτά μας ήταν ενεργά. Ο υπολογισμός αυτός έγινε στο τέλος του πειράματος, λίγο πριν τη συγκομιδή. Πήραμε 2 καλά ανεπτυγμένα φύλλα ανά

πέντε γλάστρες από κάθε μεταχείριση. Κονιορτοποιούσαμε σε γουδί με τη βοήθεια 4,5 περίπου mL ακετόνης και ανθρακικού ασβεστίου. Στη συνέχεια φυγοκεντρώσαμε (4000 στρ./λεπτό), διαχωρίζαμε το υπερκείμενο από το ίζημα και ογκομετρούσαμε με τη βοήθεια ογκομετρικού κυλίνδρου το υπερκείμενο υγρό. Αφού γινόταν αυτό, με τη βοήθεια φασματοφωτόμετρου υπολογίσαμε τις συγκεντρώσεις των χλωροφυλλών.

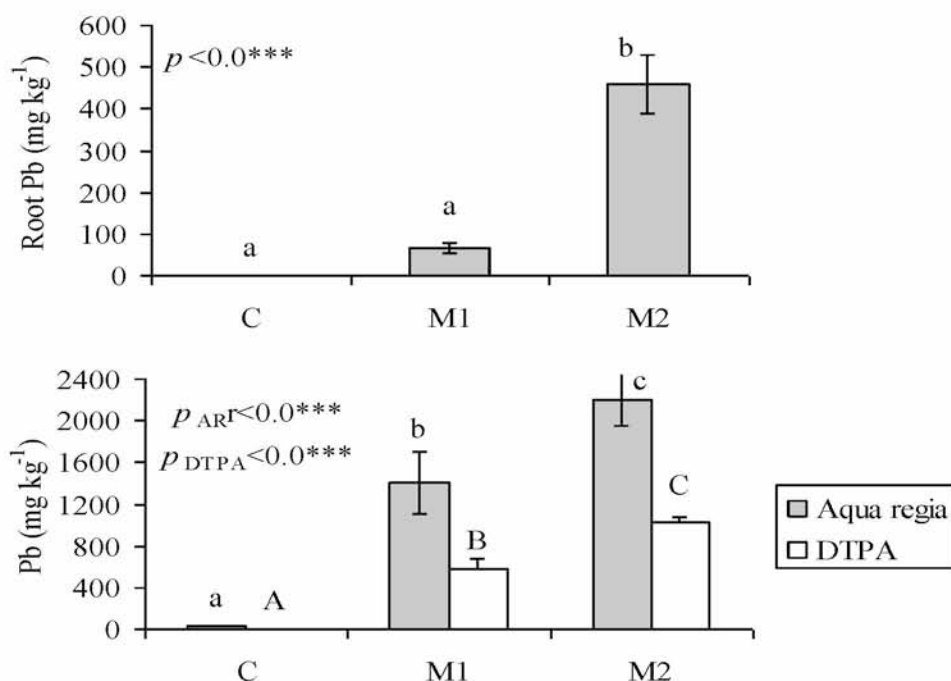
### **2.3 Στατιστική Επεξεργασία**

Όλα τα πρωτογενή δεδομένα αναλύθηκαν με ανάλυση της παραλλακτικότητας (ANOVA) και εκτιμήθηκε η σημαντικότητα των διαφορών μεταξύ των μέσων όρων των μεταχειρίσεων με τη μέθοδο των ελαχίστων διαφορών (Least Significant Differences). Το επίπεδο σημαντικότητας ορίστηκε στο επίπεδο του 95% ( $p < 0,05$ ).

## Κεφάλαιο 3: Αποτελέσματα και Συζήτηση

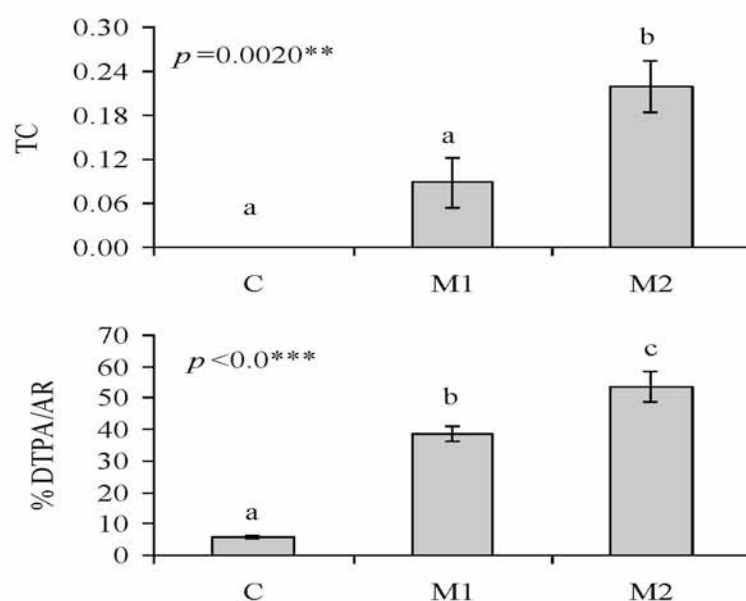
### 3.1 Αποτελέσματα

Στο Σχήμα 2 παρουσιάζεται ο μόλυβδος (Pb) που συσσωρεύτηκε στη ρίζα της ρίγανης και η εκχύλισή του από το έδαφος. Φαίνεται ότι στο μάρτυρα (C) η συγκέντρωση του Pb στη ρίζα ήταν μηδενική. Στην M1 (μεταχείριση προσθήκης 300 mg kg<sup>-1</sup> Pb) συσσωρεύτηκε Pb, αλλά τα επίπεδά του δεν είχαν σημαντικές διαφορές σε σχέση με τον M. Ωστόσο στην M2 (μεταχείριση προσθήκης 900 mg kg<sup>-1</sup> Pb) η συγκέντρωση ήταν μεγαλύτερη από 400 mg kg<sup>-1</sup> και στατιστικά σημαντική σε σχέση με τις C και M1. Όσον αφορά την εκχύλιση του μολύβδου από το έδαφος, πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο aqua regia και με DTPA. Φαίνεται ότι στο μάρτυρα (C) η συγκέντρωση του μολύβδου ήταν μηδενική και με τις δύο μεθόδους. Στην M1 (μεταχείριση προσθήκης 300 mg kg<sup>-1</sup> Pb) συσσωρεύτηκε Pb και τα επίπεδα του είχαν σημαντικές διαφορές σε σχέση με τον μάρτυρα. Στην M2 (μεταχείριση προσθήκης 900 mg kg<sup>-1</sup> Pb) η εκχύλιση με DTPA έδειξε συγκέντρωση περίπου 1000 mg kg<sup>-1</sup> και η εκχύλιση με Aqua Regia έδειξε συγκέντρωση 2200 mg kg<sup>-1</sup> Pb. Οι συγκεντρώσεις αυτές είναι στατιστικά σημαντικές σε σχέση με τις C και M1.



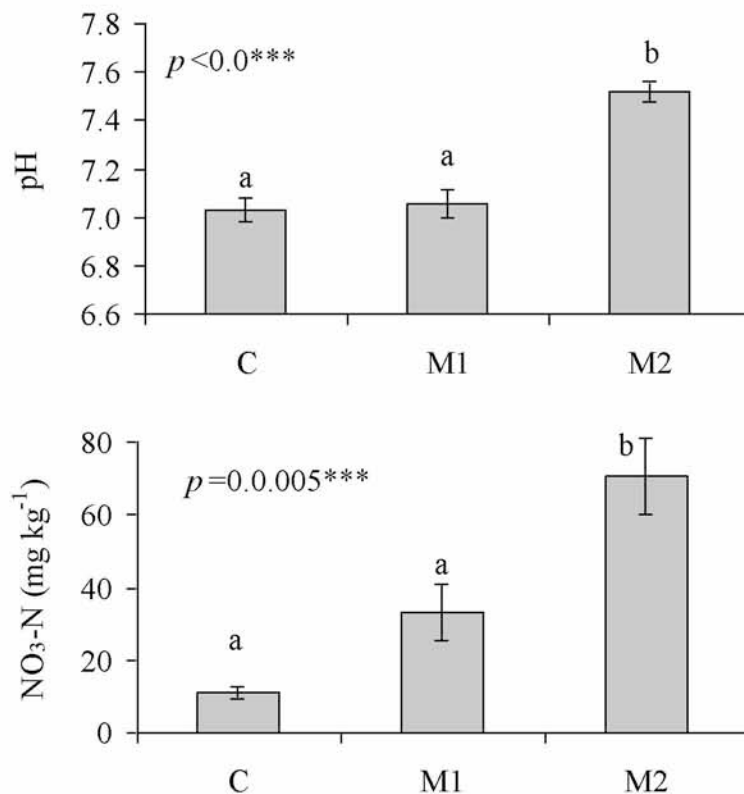
**Σχήμα 2.** Μόλυβδος στη ρίζα και στο έδαφος εκχυλισμένος με aqua regia και DTPA στις τρεις μεταχειρίσεις του πειράματος, C (μάρτυρας), M1 (προσθήκη 300 mg Pb kg<sup>-1</sup> εδάφους) και M2 (προσθήκη 900 mg Pb kg<sup>-1</sup> εδάφους). Τα διαφορετικά γράμματα υποδηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές στο επίπεδο  $p$  που αναγράφεται στο αντίστοιχο γράφημα.

Στο Σχήμα 3 παρουσιάζεται ο συντελεστής μεταφοράς (TC) μολύβδου από το έδαφος στη ρίζα και το ποσοστό % της εκχυλισιμότητας μολύβδου κατά DTPA σε σχέση με τις ολικές του συγκεντρώσεις κατά aqua regia και DTPA. Φαίνεται ότι στο μάρτυρα ο συντελεστής μεταφοράς μολύβδου είναι μηδενικός. Στην M1 (μεταχείριση προσθήκης 300 mg kg<sup>-1</sup> Pb) ο συντελεστής μεταφοράς αυξήθηκε, αλλά τα επίπεδά του δεν είχαν σημαντικές διαφορές σε σχέση με τον M. Ωστόσο στην M2 (μεταχείριση προσθήκης 900 mg kg<sup>-1</sup> Pb) ο συντελεστής μεταφοράς ήταν μεγαλύτερος από 0,18 και στατιστικά σημαντικός σε σχέση με τις C και M1. Όσον αφορά το ποσοστό % της εκχυλισιμότητας του μολύβδου φαίνεται ότι στο μάρτυρα (C) το ποσοστό αυτό ήταν περίπου 0,5%. Στην M1 (μεταχείριση προσθήκης 300 mg kg<sup>-1</sup> Pb) το ποσοστό αυτό αυξήθηκε και είχε στατιστικά σημαντικές διαφορές σε σχέση με τον μάρτυρα. Στην M2 (μεταχείριση προσθήκης 900 mg kg<sup>-1</sup> Pb) το ποσοστό ήταν περίπου στο 55% και εμφανίζει στατιστικά σημαντικές διαφορές σε σχέση με τις C και M1.



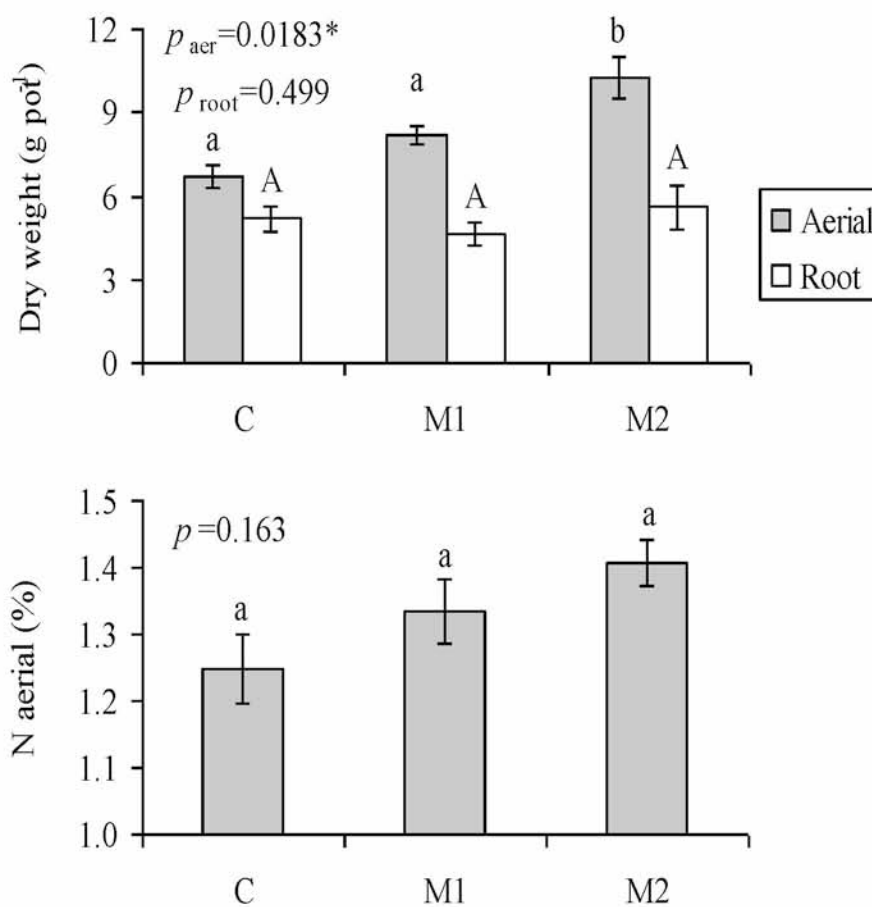
**Σχήμα 3.** Συντελεστής μεταφοράς (TC) μολύβδου από το έδαφος στη ρίζα και ποσοστό % της εκχυλισιμότητας μολύβδου κατά DTPA σε σχέση με τις ολικές του συγκεντρώσεις κατά aqua regia και DTPA στις τρεις μεταχειρίσεις του πειράματος. Τα διαφορετικά γράμματα υποδηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές στο επίπεδο  $p$  που αναγράφεται στο αντίστοιχο γράφημα.

Στο Σχήμα 4 παρουσιάζεται η τιμή του pH και η συγκέντρωση νιτρικού αζώτου στο έδαφος. Φαίνεται ότι στον μάρτυρα η τιμή του pH κυμαίνεται γύρω στο 7. Στην M1 (μεταχείριση προσθήκης 300 mg kg<sup>-1</sup> Pb) η τιμή του pH εξακολουθεί να είναι 7 επομένως δεν διαφέρει στατιστικώς σημαντικά από τον μάρτυρα. Ωστόσο στην M2 (μεταχείριση προσθήκης 900 mg kg<sup>-1</sup> Pb) η τιμή του pH είναι περίπου 7,5 και είναι στατιστικώς σημαντική σε σχέση με τις C και M1. Όσον αφορά τις συγκεντρώσεις του νιτρικού αζώτου στο έδαφος, αυτές του μάρτυρα C και της M1 (μεταχείριση προσθήκης 300 mg kg<sup>-1</sup> Pb) δεν εμφανίζουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές. Ωστόσο η M2 (μεταχείριση προσθήκης 900 mg kg<sup>-1</sup> Pb) εμφανίζει στατιστικώς σημαντικές διαφορές σε σχέση με τις C και M1.



**Σχήμα 4.** Τιμή pH και συγκέντρωση νιτρικού αζώτου στο έδαφος στις τρεις μεταχειρίσεις του πειράματος. Τα διαφορετικά γράμματα υποδηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές στο επίπεδο  $p$  που αναγράφεται στο αντίστοιχο γράφημα.

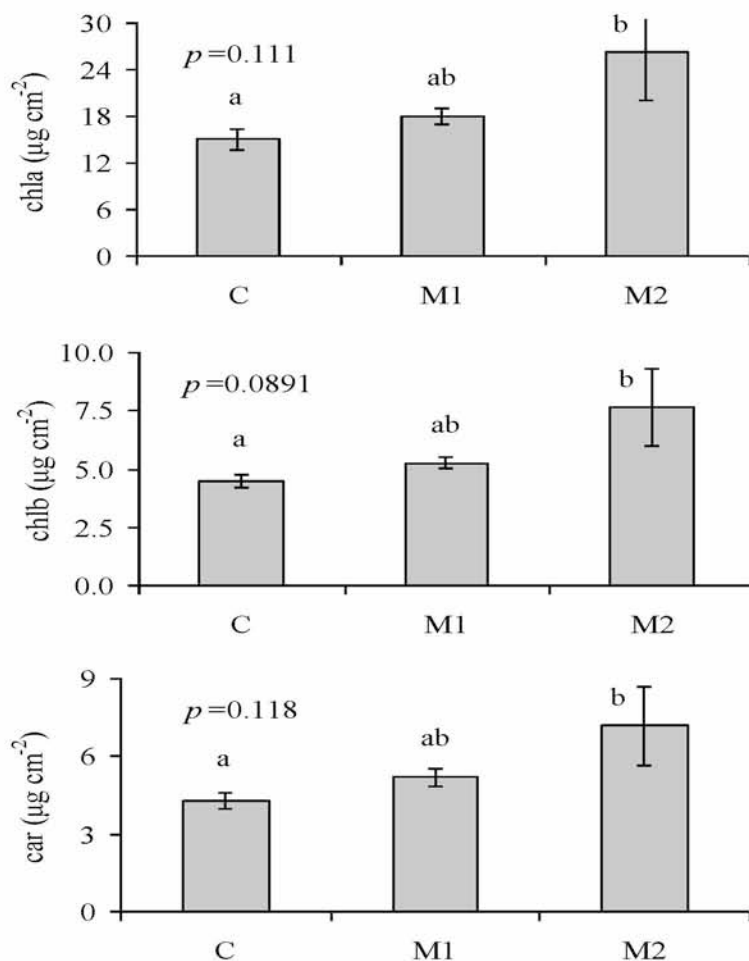
Στο Σχήμα 5 παρουσιάζεται το ξηρό βάρος της υπέργειας βιομάζας και της ρίζας και η περιεκτικότητα σε άζωτο της ρίγανης. Φαίνεται το ξηρό βάρος του υπέργειου δεν εμφανίζει στατιστικώς σημαντικές διαφορές ανάμεσα στον μάρτυρα C και την M1 (μεταχείριση προσθήκης 300 mg kg<sup>-1</sup> Pb). Ωστόσο η M2 (μεταχείριση προσθήκης 900 mg kg<sup>-1</sup> Pb) διαφέρει στατιστικώς σημαντικά τόσο από τη C όσο και από την M1. Από την άλλη, το ξηρό βάρος της ρίζας δεν εμφανίζει καμία στατιστική διαφορά σε καμία από τις τρεις μεταχειρίσεις. Όσον αφορά την περιεκτικότητα σε άζωτο της ρίγανης και εδώ φαίνεται να μην υπάρχει καμία στατιστική διαφορά ανάμεσα στις τρεις μεταχειρίσεις του πειράματος.



**Σχήμα 5.** Ξηρό βάρος της υπέργειας βιομάζας και της ρίζας και περιεκτικότητα σε άζωτο της ρίγανης στις τρεις μεταχειρίσεις του πειράματος. Τα διαφορετικά γράμματα υποδηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές στο επίπεδο  $p$  που αναγράφεται στο αντίστοιχο γράφημα.

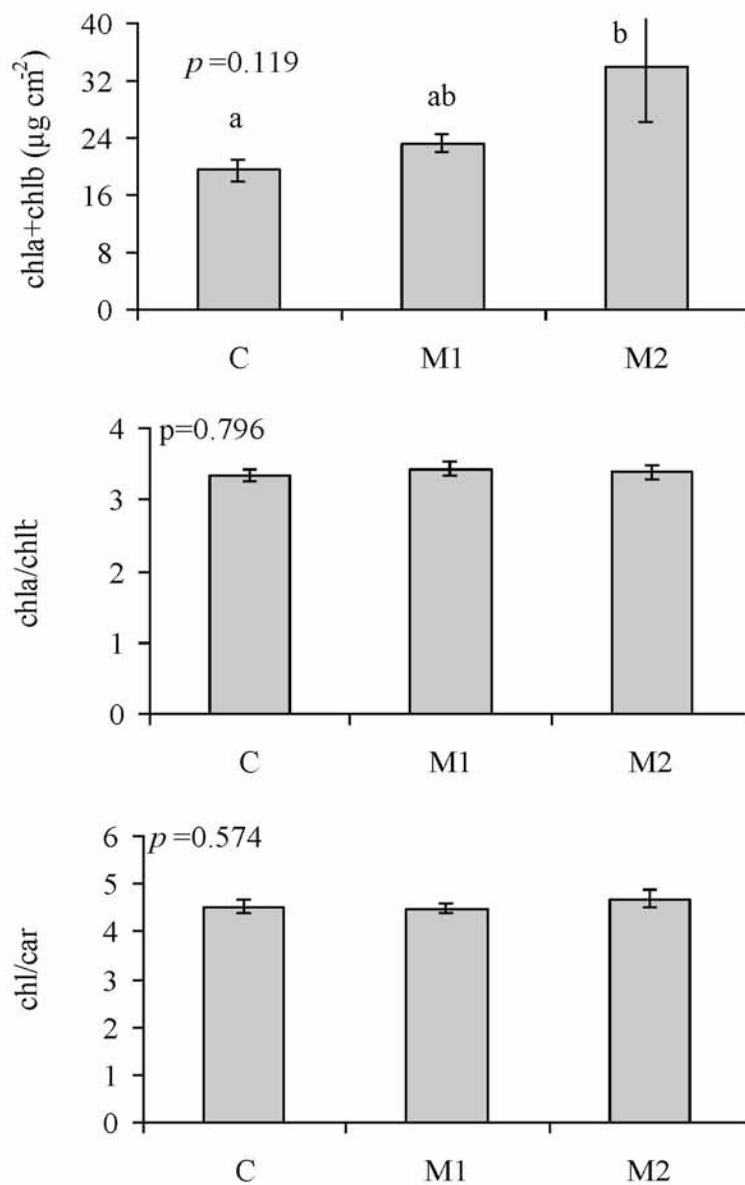


Στο Σχήμα 6 παρουσιάζεται η περιεκτικότητα της ρίγανης σε χλωροφύλλη α (chl<sub>a</sub>), χλωροφύλλη β (chl<sub>b</sub>) και καροτενοειδή (car), σε μέτρηση που έγινε λίγο πριν τη συγκομιδή. Για την περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη α, ο μάρτυρας σε σχέση με την M1 (μεταχείριση προσθήκης 300 mg kg<sup>-1</sup> Pb) δεν παρουσιάζει στατιστικώς σημαντικές διαφορές. Από την άλλη όμως η M2 (μεταχείριση προσθήκης 900 mg kg<sup>-1</sup> Pb) παρουσιάζει στατιστικώς σημαντικές διαφορές σε σχέση με το μάρτυρα. Τη μεγαλύτερη περιεκτικότητα την έχει η M2 (μεταχείριση προσθήκης 900 mg kg<sup>-1</sup> Pb). Ακριβώς το ίδιο, όπως προηγούμενα, παρατηρείται και όσον αφορά την χλωροφύλλη β (chl<sub>b</sub>) και τα καροτενοειδή (car).



**Σχήμα 6.** Περιεκτικότητα της ρίγανης σε χλωροφύλλη α (chl<sub>a</sub>), χλωροφύλλη β (chl<sub>b</sub>) και καροτενοειδή (car) στις τρεις μεταχειρίσεις του πειράματος. Τα διαφορετικά γράμματα υποδηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές στο επίπεδο *p* που αναγράφεται στο αντίστοιχο γράφημα.

Στο Σχήμα 7 παρουσιάζονται οι δείκτες χρωστικών της ρίγανης (chla+chl<sub>b</sub>, chla/chl<sub>b</sub> και chl/car). Φαίνεται ότι στον δείκτη chla+chl<sub>b</sub>, ο μάρτυρας δεν παρουσιάζει στατιστικώς σημαντικές διαφορές σε σχέση με την M1 (μεταχείριση προσθήκης 300 mg kg<sup>-1</sup> Pb). Από την άλλη ανάμεσα στη M2 (μεταχείριση προσθήκης 900 mg kg<sup>-1</sup> Pb) και τον μάρτυρα υπάρχει σημαντική στατιστική διαφορά. Επίσης φανερό είναι ότι δεν υπάρχουν στατιστικές διαφορές στους άλλους δύο δείκτες, μεταξύ καμίας μεταχείρισης.



**Σχήμα 7.** Δείκτες χρωστικών της ρίγανης (chla+chl<sub>b</sub>, chla/chl<sub>b</sub> και chl/car) στις τρεις μεταχειρίσεις του πειράματος. Τα διαφορετικά γράμματα υποδηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές στο επίπεδο *p* που αναγράφεται στο αντίστοιχο γράφημα.

### 3.2 Συζήτηση

Η συσσώρευση μολύβδου στη ρίζα οφείλεται στην προσθήκη του από εδάφους (Gleba et al., 1999; Begonia et al., 2005; Uzu et al., 2009). Αυτό φαίνεται από την αύξηση της εκχυλισιμότητας μολύβδου στο έδαφος. Είναι αξιοσημείωτο ότι το υπέργειο μέρος της ρίγανης δεν συσσώρευσε καθόλου μόλυβδο καθώς τα επίπεδα του ήταν μηδενικά. Αυτό έρχεται σε αντίθεση με τα ευρήματα των Liu et al. (2000), Marques et al. (2009), καθώς και των Zaier et al. (2010), που σε έρευνα τους σε καλλιέργειες με προσθήκη μολύβδου, αναφέρουν ότι αν και ήταν πολύ μικρότερη η συγκέντρωση του μολύβδου στο υπέργειο μέρος από ότι στη ρίζα ποτέ δεν ήταν μηδενική, κάτι όμως που συμβαίνει στην περίπτωση του δικού μας πειράματος.

Ο συντελεστής μεταφοράς TC ήταν ιδιαίτερα χαμηλός, κάτι που δείχνει τη χαμηλή βιοδιαθεσιμότητα του μολύβδου και εξηγείται λόγω της ισχυρής δέσμευσης με τα οργανικά και κolloειδή υλικά. Το εύρημα αυτό συμφωνεί απόλυτα με τους Wang et al. (2006) και με τους Sípios et al. (2008).

Επίσης, η αύξηση του ποσοστού του εκχυλίσμου με DTPA μολύβδου σε σχέση με τον ολικό, με την προσθήκη μολύβδου, είναι ένα μη αναμενόμενο γεγονός. Η αναμενόμενη τάση θα ήταν το αντίθετο. Ίσως αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο μόλυβδος προστέθηκε λίγο πριν από την έναρξη του πειράματος και έτσι δεν πρόλαβε να ενσωματωθεί από τα κolloειδή του εδάφους. Βέβαια το εύρημα αυτό έρχεται σε αντίθεση με τους Johnston et al. (2005), Korittke et al. (2008) και Punamiya et al. (2010), οι οποίοι τονίζουν την ισχυρή αυτή δέσμευση αλλά και τη χαμηλή του βιοδιαθεσιμότητα.

Στη μεταχείριση M2 παρατηρήθηκε ότι το νιτρικό άζωτο ήταν προσαυξημένο. Αυτό εξηγείται, διότι η μεταχείριση αυτή δέχτηκε μεγάλη ποσότητα αζώτου από το διάλυμα που εμπεριείχε τον μόλυβδο ως επιμόλυνση. Επομένως, είναι λογικό, το νιτρικό άζωτο (ως υπολειμματικό) στο τέλος του πειράματος να είναι αυξημένο στη συγκεκριμένη μεταχείριση. Αυτό συμφωνεί και με τον Brooks (2003).

Επίσης το άζωτο (N) της υπέργειας βιομάζας είχε τάση αύξησης χωρίς όμως οι διαφορές να είναι στατιστικά σημαντικές, κάτι που επίσης οφείλεται στην προσθήκη επιπλέον αζώτου στις μεταχειρίσεις M1 και M2 (Jenkinson et al., 1985). Η τάση αυτή

αύξησης του αζώτου προκάλεσε με την σειρά της και την αύξηση της βιομάζας στη M2 μεταχείριση σε σχέση με τη M1 και το C. Διότι σύμφωνα με τους Ahl et al. (2009), Sotiropoulou et al. (2010) και Babalar et al. (2010), η αύξηση του ποσοστού του αζώτου μπορεί να προκαλέσει αύξηση της βλάστησης και κατ' επέκταση της βιομάζας ενός φυτού και η μείωση του από την άλλη μπορεί να προκαλέσει μικρότερη βλαστική ανάπτυξη (Benard et al., 2009).

Η επωφελής επίδραση του εδαφικού αζώτου (N) φαίνεται να διετέλεσε σημαντικό ρόλο και στην αύξηση των χρωστικών ουσιών της φωτοσύνθεσης των φύλλων, κάτι που συμφωνεί με τους Reich και Schoettle (1988) και Sotiropoulou et al. (2010). Σε έρευνα που διετέλεσαν, αναφέρουν ότι τα ποσά του αζώτου που προσλαμβάνει ένα φυτό επηρεάζουν καθοριστικά τη λειτουργία της φωτοσύνθεσης. Μάλιστα οι Sotiropoulou et al. (2010) αναφέρουν ότι η σταθερή αύξηση του εδαφικού αζώτου οδήγησε, σε καλλιέργεια ρίγανης, και σταθερή αύξηση της συγκέντρωσης κυρίως της χλωροφύλλης a. Βέβαια αξίζει να αναφέρουμε ότι οι Esteban et al. (2008), αναφέρουν ότι με χρήση υψηλών συγκεντρώσεων υδραργύρου σε καλλιέργεια λούπινου, παρατηρήθηκε αύξηση των χλωροφυλλών του φυτού. Από την άλλη μεριά οι Kosobrukhn et al. (2004), παρατήρησαν ότι με αυξημένες συγκεντρώσεις Pb στο έδαφος, προκάλεσε μείωση της περιεκτικότητας σε χλωροφύλλες a και b σε καλλιέργεια *Plantago major* L.

Όσον αφορά τους δείκτες των χρωστικών της ρίγανης είναι λογικό με βάση και με την παραπάνω συζήτηση ότι την ίδια ακριβώς αύξηση θα έχουμε στον δείκτη του αθροίσματος των χλωροφυλλών a και b. Στους άλλους δύο δείκτες που είναι κλασματικοί είναι λογικό να μην υπάρχει καμιά στατιστική διαφορά.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

1. Ο χορηγούμενος μόλυβδος (Pb) προκάλεσε αύξηση στα επίπεδα μολύβδου στο έδαφος και στη ρίζα του φυτού, όμως δεν υπήρξε μείωση των βλαστικών χαρακτηριστικών του.
2. Η προσ αύξηση του νιτρικού αζώτου διετέλεσε καθοριστικό ρόλο στην αύξηση της βιομάζας των μεταχειρίσεων με αυξημένη επιμόλυνση.
3. Το εδαφικό άζωτο φαίνεται να διετέλεσε σημαντικό ρόλο στην αύξηση των χρωστικών ουσιών της φωτοσύνθεσης των φύλλων, για αυτό και τα φύλλα των φυτών της τρίτης μεταχείρισης είχαν τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις χρωστικών.
4. Τέλος, φάνηκε έντονα ότι η ρίγανη καταφέρει και ακινητοποιεί τον μόλυβδο (Pb) στη ρίζα με αποτέλεσμα το υπέργειο τμήμα του φυτού να έχει εντελώς μηδενική συγκέντρωση και χωρίς τοξικές επιδράσεις για το ίδιο το φυτό. Επομένως η ρίγανη δεν μπορεί να κατηγοριοποιηθεί ως υπερσυσσωρευτής, αλλά μάλλον ως παρεμποδιστής μολύβδου (Pb).

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

### ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Αντωνιάδου, Κ. 2013. Αρωματικά Φυτά και Αιθέρια Έλαια - Χημική Σύσταση – Δράσεις – Παραγωγή – Αξιοποίηση – Εμπόριο - Έρευνα Αγοράς. Διπλωματική Εργασία. Σχολή Χημικών Μηχανικών. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Γκόλιου, Ρ. 2008. 200 Βότανα & οι Θεραπευτικές τους Ιδιότητες. Εκδόσεις Παιδεία/Μαλλιάρης. Θεσσαλονίκη.

Κωτσοβίνος, Ν.Ε. 1985. Ρύπανση και Προστασία Περιβάλλοντος. Εκδόσεις Φούντα. Αθήνα.

Μαλούπα, Ε., Γρηγοριάδου, Κ., Λάζαρη, Δ., Κρίγκας, Ν. 2013. Καλλιέργεια, Μεταποίηση και Διασφάλιση Ποιότητας των Ελληνικών Αρωματικών και Φαρμακευτικών Φυτών. Γεωτεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας. Εκδόσεις Γεώργιος Κ. Λούπελης.

Μήτσιος, Κ.Ι. 2004. Γονιμότητα Εδαφών. Θρεπτικά Στοιχεία Φυτών (Μακροθρεπτικά, Μικροθρεπτικά) και Βαρέα Μέταλλα- Μέθοδοι και Εφαρμογές. Εκδόσεις ZYMEL.

Σκρουμπής, Β. 1998. Αρωματικά, Φαρμακευτικά και Μελισσοτροφικά Φυτά της Ελλάδας. Εκδόσεις Αγρότυπος ΑΕ. 200—201.

### ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Brandy, N.C., Weil, R.R. 2002. The Nature and Properties of Soils. Thirteenth Edition. Prentice Hall. Upper Saddle River, New Jersey.

Ahl, S.A.H.A.H., Ayad, H.S., Hendawy, S.F. 2009. Effect of potassium humate and nitrogen fertilizer on herb and essential oil of oregano under different irrigation intervals. Journal of Applied Science. 2, 319—323.

Arias, J.A., Peralta-Videa, J.R., Ellzey, J.T., Ren, M., Viveros, M.N., Gardea-Torresdey, J.L. 2010. Effects of *Glomus deserticola* inoculation on Prosopis: enhancing chromium and lead uptake and translocation as confirmed by X-ray mapping, ICP-OES and TEM techniques. *Environmental and Experimental Botany*. 68, 139–148.

Babalar, M., Mumivand, H., Hadian, J., Tabatabaei, S.M.F. 2010. Effects of nitrogen and calcium carbonate on growth, rosmarinic acid content and yield of *Satureja hortensis* L. *Journal Agricultural Science*. 2, 92–98.

Baker, A.J.M. 1981. Accumulators and excluders — strategies in the response of plants to heavy metals. *Journal of Plant Nutrition*. 3, 643–654.

Baker, A.J.M. 1987. Metal tolerance. *New Phytology*. 106, 93–111.

Begonia, M.T., Begonia, G.B., Ighoavodha, M., Gilliard, D. 2005. Lead accumulation by tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.) grown on a lead-contaminated soil. *Int. J. Environmental Research Public Health*. 2, 228–233.

Benard, C., Gautier, H., Bourgaud, F., Grassely, D., Navez, B., Caris-Veyrat, C., Weiss, M., Genard, M. 2009. Effects of Low Nitrogen Supply on Tomato (*Solanum lycopersicum*) Fruit Yield and Quality with Special Emphasis in Sugars, Acid's, Ascorbate, Carotenoids and Phenolic Compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 57, 4112–4123.

Brooks, M.L. 2003. Effects of increased soil nitrogen on the dominance of alien annual plants in the Mojave Desert. *Journal of Applied Ecology*. 40, 344–353.

Cecchi, M., Dumat, C., Alric, A., Felix-Faure, B., Pradere, P., Guisresse, M.(2008). Multi-metal contamination of a calcic cambisol by fallout from a lead-recycling plant. *Geoderma*. 144, 287–298.

Cox, R.M., Hutchinson, T.C. 1981. Multiple and co-tolerance to metals in the grass *Deschampsia cespitosa*, adaptation, preadaptation and «cost». *Journal of Plant Nutrition*. 3, 731–741.

Ernst, W., 1976. Physiological and biochemical aspects of metal tolerance. In: Effects of Air Pollutants on Plants (Ed. by T. A. Mansfield). Cambridge University Press, Cambridge. 115—133.

Esteban, E., Moreno, E., Penalosa, J., Cabrero, J.I., Millan, R., Zornoza, P. 2008. Short and long-term uptake of Hg in lupin plants: Kinetics and stress indicators. *Environmental and Experimental Botany*. 62, 316—322.

Ginn, B.R., Szymanowski, J.S., Fein, J.B. 2008. Metal and proton binding onto the roots of *Fescue rubra*. *Chemical Geology*. 253, 130—135.

Gleba, D., Borisjuk, N.V., Borisjuk, L.G., Kneer, R., Poulev, A., Skarzhinskaya, M., Dushenkov, S., Logendra, S., Gleba, Y.Y., Raskin, I. 1999. Use of plant roots for phytoremediation and molecular farming. *Proceedings of the National Academy of Science*. 96, 5973—5977.

Gupta, D., Huang, H., Yang, X., Razafindrabe, B., Inouhe, M. 2010. The detoxification of lead in *Sedum alfredii* H. is not related to phytochelatins but the glutathione. *Journal of Hazardous Materials*. 177, 437—444.

Gupta, D., Nicoloso, F., Schetinger, M., Rossato, L., Pereira, L., Castro, G., Srivastava, S., Tripathi, R. 2009. Antioxidant defense mechanism in hydroponically grown *Zea mays* seedlings under moderate lead stress. *Journal of Hazardous Materials*. 172, 479—484.

Hamid, N., Bukhari, N., Jawaid, F. 2010. Physiological responses of *Phaseolus vulgaris* to different lead concentrations. *Pakistan Journal of Botany*. 42, 239—246.

Huang, J.W., Cunningham, S.D. 1996. Lead phytoextraction: species variation in lead uptake and translocation. *New Phytology*. 134, 75—84.



Jenkinson, D.S., Fox, R.H., Rayner, J.H. 1985. Interactions between fertilizer nitrogen and soil nitrogen- the so-called 'priming' effect. *European Journal of Soil Science*. 36, 425—444.

Johnston, T., Datta, R., Sarkar, D. 2005. Phytoextraction and Phytostabilization: Technical, Economics and Regulatory Considerations of the Soil-Lead Issue. *Water Encyclopedia*.

Kopittke, P.M., Asher, C.J., Kopittke, R.A., Menzies, N.W. 2007. Toxic effects of Pb<sup>2+</sup> on growth of cowpea (*Vigna unguiculata*). *Environmental Pollution*. 150, 280—287.

Kopittke, P.M., Asher, C.J., Kopittke, R.A., Menzies, N.W. 2008. Prediction of Pb speciation in concentrated and dilute nutrient solutions. *Environmental Pollution*. 153, 548—554.

Kosobrukhov, A., Knyazeva, I., Mudrik, V. 2004. Plantago major plants responses to increase content of lead in soil: Growth and photosynthesis. *Plant Growth Regulation*. 42, 145—151.

Krzeslowska, M., Lenartowska, M., Mellerowicz, E.J., Samardakiewicz, S., Wozny, A. 2009. Pectinous cell wall thickenings formation—a response of moss protonemata cells to lead. *Environmental and Experimental Botany*. 65, 119—131.

Liu, D., Jiang, W., Liu, C., Xin, C., Hou, W. 2000. Uptake and accumulation of lead by roots, hypocotyls and shoots of Indian mustard [*Brassica juncea* (L.)]. *Bioresource Technology*. 71, 273—277.

Madhavan, S., Rosenman, K.D., Shehata, T. 1989. Lead in soil: Recommended maximum permissible levels. *Environmental Research*. 49, 136—142.

Maestri, E., Marmiroli, M., Visioli, G., Marmiroli, N. 2010. Metal tolerance and hyperaccumulation: costs and trade-offs between traits and environment. *Environmental and Experimental Botany*. 68, 1—13.

Marques, A.P.G.C., Moreira, H., Rangel, A.O.S.S., Castro, P.M.L. 2009. Arsenic, lead and nickel accumulation in *Rubus ulmifolius* growing in contaminated soil in Portugal. *Journal of Hazardous Materials*. 165, 174—179.

Nguyen, P.M., Niemeyer, E.D. 2008. Effects of nitrogen fertilization on the phenolic composition and antioxidant properties of basil (*Ocimum basilicum* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 56, 8685—8691.

Pais, I., Jones, J.B. 2000. *The Handbook of Trace Elements*. Saint Lucie Press. Boca Raton, Florida . 223.

Posmyk, M.M., Kontek, R., Janas, K.M. 2009. Antioxidant enzymes activity and phenolic compounds content in red cabbage seedlings exposed to copper stress. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 72, 596—602.

Punamiya, P., Datta, R., Sarkar, D., Barber, S., Patel, M., Das, P.2010. Symbiotic role of glomus mosseae in phytoextraction of lead in vetiver grass [*Chrysopogon zizanioides* (L.)]. *Journal of Hazardous Materials*.177, 465—474.

Reich, P.B., Schoettle, A.W. 1988. Role of phosphorus and nitrogen in photosynthetic and whole plant carbon gain and nutrient use efficiency in eastern white pine. *Oecologia*. 77, 25—33.

Sharma, P., Dubey, R.S. 2005. Lead toxicity in plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology*. 17, 35—52.

Sipos, P., Nemeth, T., Kis, V.K., Mohai, I. 2008. Sorption of copper, zinc and lead on soil mineral phases. *Chemosphere*. 73, 461—469.

Sotiropoulou, D.E., Karamanos, A.J. 2010. Field studies of nitrogen application on growth and yield of Greek oregano (*Origanum vulgare* spp. *Hirtum* (Link) letsvaart). *Industrial Crops and Products*. 32, 450—457.

Uzu, G., Sobanska, S., Aliouane, Y., Pradere, P., Dumat, C. 2009. Study of lead phytoavailability for atmospheric industrial micronic and sub-micronic particles in relation with lead speciation. *Environmental Pollution*. 157, 1178—1185.

Wang, H., Shan, X., Wen, B., Owens, G., Fang, J., Zhang, S. 2007. Effect of indole-3-acetic acid on lead accumulation in maize (*Zea mays* L.) seedlings and the relevant antioxidant response. *Environmental and Experimental Botany*. 61, 246—253.

Wang, G., Su, M.Y., Chen, Y.H., Lin, F.F., Luo, D., Gao, S.F. 2006. Transfer characteristics of cadmium and lead from soil to the edible parts of six vegetable species in southeastern China. *Environmental Pollution*. 144, 127—135.

Zaier, H., Ghnaya, T., Lakhdar, A., Baioui, R., Ghabriche, R., Mnasri, M., Sghair, S., Lutts, S., Abdelly, C. 2010. Comparative study of Pb-phytoextraction potential in *Sesuvium portulacastrum* and *Brassica juncea*: Tolerance and accumulation. *Journal of Hazardous Materials*. 183, 609—615.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

*ΠΙΝΑΚΕΣ ΠΡΩΤΟΓΕΝΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ*

**Πίνακας 1.** Δεδομένα εκχύλισης μολύβδου από τις ρίζες

Εκχύλιση ρίζας				
Αριθμός κάψας	Κωδικός δείγματος	g ιστού	Ένδειξη οργάνου	Αραίωση
1	C-1	0,49	0	0
5	C-2	0,55	0	0
7	C-3	0,49	0	0
8	C-4	0,49	0	0
10	C-5	0,48	0	0
11	C-6	0,5	0	0
12	C-7	0,5	0	0
16	C-8	0,47	0	0
24	C-9	0,48	0	0
26	C-10	0,51	0	0
28	M1-1	0,49	0,003	0
30	M1-2	0,49	0,001	0
31	M1-3	0,49	0	0
34	M1-4	0,49	0,004	0
41	M1-5	0,55	0,005	0
42	M1-6	0,51	0,006	0
44	M1-7	0,57	0,004	0
46	M1-8	0,46	0,009	0
47	M1-9	0,5	0,004	0
50	M1-10	0,57	0,009	0
53	M2-1	0,62	0,038	0
59	M2-2	0,37	0,042	0
60	M2-3	0,5	0,048	0
72	M2-4	0,54	0,022	0
73	M2-5	0,6	0,025	0
83	M2-6	0,5	0,024	0
87	M2-7	0,57	0,013	0
90	M2-8	0,51	0,034	0
93	M2-9	0,48	0,041	0
100	M2-10	0,5	0,018	0

Γνωστά δείγματα στην Ατομική Απορρόφηση		
Συγκέντρωση	Ένδειξη Οργάνου	
0 ppm	0	
3 ppm	0,026	
10 ppm	0,079	
12 ppm	0,098	
15 ppm	0,113	
20 ppm	0,137	
30 ppm	0,201	

40 ppm	0,261	
50 ppm	0,322	

**Πίνακας 2.** Δεδομένα μέτρησης νιτρικών του εδάφους

<b>Μέτρηση Νιτρικών Εδάφους</b>				
<b>κωδικός δείγματος</b>	<b>g που ζυγίστηκαν</b>	<b>Ένδειξη Οργάνου Υmin</b>	<b>Ένδειξη Οργάνου Υmax</b>	<b>Αραίωση</b>
C-1	2,09	0,1848	0,54	0
C-2	2	0,1773	0,4302	0
C-3	2,02	0,187	0,5908	0
C-4	2	0,1648	0,5352	0
C-5	1,99	0,1812	0,4908	0
M1-1	2,09	0,1781	0,4407	0
M1-2	2	0,1653	0,9708	0
M1-3	2,13	0,178	0,8665	0
M1-4	2,27	0,1857	1,0542	0
M1-5	2,09	0,1775	1,2759	0
M2-1	2,18	0,1672	1,4641	0
M2-2	1,98	0,1686	1,0433	0
M2-3	2	0,1636	1,6248	0
M2-4	1,99	0,162	2,1448	0
M2-5	2,04	0,1618	1,4295	0
απιονισμένο νερό		0,151	0,2737	0
0,2 ppm		0,1584	0,504	0
1,5 ppm		0,1549	1,5816	0

**Πίνακας 3.** Δεδομένα μετρήσεων εδάφους με DTPA

<b>DTPA</b>			
<b>Κωδικός δείγματος</b>	<b>g που ζυγίστηκαν</b>	<b>Ένδειξη Οργάνου</b>	<b>Αραίωση</b>
C-1	10,1	0,005	0
C-2	9,99	0,005	0
C-3	9,96	0,005	0
C-4	10,29	0,003	0
C-5	10,19	0,006	0
C-6	10,22	0,006	0
C-7	9,93	0,007	0
C-8	9,96	0,005	0

C-9	10,04	0,006	0
C-10	10,26	0,006	0
M1-1	9,99	0,092	10
M1-2	10,14	0,335	10
M1-3	10,03	0,302	10
M1-4	10,17	0,023	10
M1-5	9,89	0,094	10
M1-6	9,94	0,299	10
M1-7	10,19	0,189	10
M1-8	9,94	0,186	10
M1-9	9,92	0,284	10
M1-10	10,19	0,137	10
M2-1	10	0,253	10
M2-2	9,98	0,362	10
M2-3	10,12	0,398	10
M2-4	10,02	0,318	10
M2-5	10,19	0,33	10
M2-6	9,99	....	10
M2-7	9,94	0,425	10
M2-8	9,99	0,36	10
M2-9	10,11	0,33	10
M2-10	10,07	0,291	10

Γνωστά δείγματα στην Ατομική Απορρόφηση		
Συγκέντρωση	Ένδειξη Οργάνου	
0 ppm	0	
3 ppm	0,026	
10 ppm	0,079	
12 ppm	0,098	
15 ppm	0,113	
20 ppm	0,137	
30 ppm	0,201	
40 ppm	0,261	
50 ppm	0,322	

**Πίνακας 4.** Δεδομένα μετρήσεων συγκέντρωσης μολύβδου στο έδαφος με τη μέθοδο Aqua Regia.

Aqua Regia			
Κωδικός δείγματος	g που ζυγίστηκαν	Ένδειξη Οργάνου	Αραίωση

C-1	3	0,011	0
C-2	3,04	0,01	0
C-3	3,07	0,01	0
C-4	3,06	0,01	0
C-5	2,99	0,01	0
C-6	3,02	0,011	0
M1-1	3,01	0,035	10
M1-2	3,02	0,086	10
M1-3	3,07	0,079	10
M1-4	2,98	0,008	10
M1-5	3,03	0,029	10
M1-6	3,05	0,093	10
M1-7	3,02	0,068	10
M2-1	3,01	0,07	10
M2-2	3,03	0,091	10
M2-3	3	0,096	10
M2-4	3,08	0,078	10
M2-5	3,01	0,049	10
M2-6	3	0,135	10
M2-7	3,07	0,105	10

Γνωστά δείγματα στην Ατομική Απορρόφηση	
Συγκέντρωση	Ένδειξη Οργάνου
0 ppm	0
3 ppm	0,026
10 ppm	0,079
12 ppm	0,098
15 ppm	0,113
20 ppm	0,137
30 ppm	0,201
40 ppm	0,261
50 ppm	0,322

**Πίνακας 5.** Δεδομένα μετρήσεων συγκέντρωσης αζώτου στην υπέργεια βιομάζα.

Αζωτο		
Κωδικός δείγματος	g υπέργειου ιστού	Όγκος που μετρήθηκε (ml)
C-1	1	9,15
C-2	1	7,3
C-3	1	7,65
C-4	0,99	7,5



C-5	1	8,15
M1-1	0,99	8,2
M1-2	1	8,6
M1-3	1,1	8,75
M1-4	1,09	8,75
M1-5	1,03	9,95
M2-1	1,08	9,1
M2-2	0,98	9,2
M2-3	1,03	9,38
M2-4	1,04	...
M2-5	0,99	...

**Πίνακας 6.** Δεδομένα νωπού και ξηρού βάρους υπέρχειας βιομάζας

Βάρη Υπέρχειου Τμήματος		
Κωδικός δείγματος	Βάρος Νωπού (g)	Βάρος Ξηρού (g)
C-1	24,962	8,76
C-2	19,001	6,694
C-3	20,27	7,5
C-4	18,31	6,64
C-5	21,3	7,37
C-6	24,11	8,47
C-7	13,64	4,453
C-8	18,917	6,415
C-9	16,583	5,526
C-10	13,684	5,239
M1-1	25,635	8,99
M1-2	21,324	7,887
M1-3	27,37	9,543
M1-4	24,408	8,9
M1-5	21,895	7,233
M1-6	17,417	6,82
M1-7	22,328	7,868
M1-8	27,84	9,345
M1-9	26,439	8,29
M1-10	20,862	6,937
M2-1	43,303	15,238
M2-2	24,488	8,636
M2-3	19,74	8,115
M2-4	29,822	10,111
M2-5	35,26	12,2
M2-6	35,266	11,821
M2-7	20,968	8,157

M2-8	22,818	9,524
M2-9	20,15	8,07
M2-10	17,31	10,552

**Πίνακας 7.** Δεδομένα βάρους ρίζας

<b>Ρίζα</b>	
<b>Κωδικός δείγματος</b>	<b>βάρος (g)</b>
C-1	5,273
C-2	3,522
C-3	7,485
C-4	6,309
C-5	7,178
C-6	5,703
C-7	3,137
C-8	5,160
C-9	4,255
C-10	3,832
M <sub>1</sub> -1	4,889
M <sub>1</sub> -2	5,012
M <sub>1</sub> -3	6,307
M <sub>1</sub> -4	4,912
M <sub>1</sub> -5	5,762
M <sub>1</sub> -6	1,991
M <sub>1</sub> -7	3,821
M <sub>1</sub> -8	5,810
M <sub>1</sub> -9	4,549
M <sub>1</sub> -10	3,401
M <sub>2</sub> -1	8,993
M <sub>2</sub> -2	2,718
M <sub>2</sub> -3	4,851
M <sub>2</sub> -4	5,348
M <sub>2</sub> -5	10,341
M <sub>2</sub> -6	6,249
M <sub>2</sub> -7	5,451
M <sub>2</sub> -8	3,473
M <sub>2</sub> -9	2,947
M <sub>2</sub> -10	5,836

**Πίνακας 8.** Δεδομένα εκχύλισης μολύβδου από την υπέργεια βιομάζα

Εκχύλιση Υπέργειου τμήματος				
αριθμός κάψας	αριθμός δείγματος	gr ιστού	Ένδειξη οργάνου	Αραίωση
1	C-1	0,51	0	0
2	C-2	0,51	0	0
4	C-3	0,52	0	0
6	C-4	0,51	0	0
10	C-5	0,5	0	0
13	C-6	0,5	0	0
16	C-7	0,53	0	0
17	C-8	0,51	0	0
18	C-9	0,54	0	0
20	C-10	0,53	0	0
21	M1-1	0,48	0	0
22	M1-2	0,5	0,001	0
29	M1-3	0,5	0	0
30	M1-4	0,57	0	0
34	M1-5	0,54	0	0
35	M1-6	0,52	0	0
43	M1-7	0,48	0	0
45	M1-8	0,6	0	0
48	M1-9	0,5	0	0
50	M1-10	0,51	0	0
51	M2-1	0,53	0,002	0
52	M2-2	0,47	0	0
62	M2-3	0,52	0	0
63	M2-4	0,51	0,002	0
64	M2-5	0,53	0	0
75	M2-6	0,58	0	0
78	M2-7	0,49	0	0
79	M2-8	0,59	0	0
88	M2-9	0,46	0	0
92	M2-10	0,55	0	0

Γνωστά δείγματα στην Ατομική Απορρόφηση	
Συγκέντρωση	Ένδειξη Οργάνου
0 ppm	0
3 ppm	0,026
10 ppm	0,079
12 ppm	0,098
15 ppm	0,113
20 ppm	0,137

30 ppm	0,201
40 ppm	0,261
50 ppm	0,322

**Πίνακας 9.** Δεδομένα των μετρήσεων SPAD για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης χλωροφυλλών.

C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7	C-8	C-9	C-10
80,3	85,3	81,3	82,4	67,1	93,5	70,7	83,4	27,1	78,7
25,1	80,2	72,5	79,4	79,9	79	76,6	70,2	28,1	60,4
78	77,8	75,7	77,3	74,8	36,8	26,2	50,6	5,7	57,8

M <sub>1</sub> -1	M <sub>1</sub> -2	M <sub>1</sub> -3	M <sub>1</sub> -4	M <sub>1</sub> -5	M <sub>1</sub> -6	M <sub>1</sub> -7	M <sub>1</sub> -8	M <sub>1</sub> -9	M <sub>1</sub> -10
69,8	67,6	78,9	26,9	90,9	66,8	60,6	16,8	27,6	61,2
72,8	63,8	25	31	82,6	67,8	87,6	18,8	14,7	63,8
31,3	65,7	39	25,1	27,9	75,7	27,1	22,9	36,4	61,3

M <sub>2</sub> -1	M <sub>2</sub> -2	M <sub>2</sub> -3	M <sub>2</sub> -4	M <sub>2</sub> -5	M <sub>2</sub> -6	M <sub>2</sub> -7	M <sub>2</sub> -8	M <sub>2</sub> -9	M <sub>2</sub> -10
65,2	28,2	82,9	68	83,8	73	67,4	73	93,8	65,2
62,1	41,5	91,5	79,1	78,7	74,5	67,3	78,8	65,1	67,7
76,3	28,1	83,2	67,4	104	71,5	64,8	73,2	66,3	65,7

**Πίνακας 10.** Δεδομένα υπολογισμού συγκέντρωσης χλωροφυλλών στις 9/5/2017.

**Φυτό: Ρίγανη**

Δείγμα	Παράδειγμα	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5
--------	------------	-----	-----	-----	-----	-----

ΔΙΑΛΥΤΗΣ	aceton 80%	aceton 80%	aceton 80%	aceton 80%	aceton 80%	aceton 80%
720	0,002	0,006	0,006	0,009	0,013	0,01
663	0,647	0,436	0,285	0,376	0,296	0,363
646	0,255	0,166	0,121	0,152	0,12	0,147
470	0,681	0,45	0,332	0,394	0,307	0,387
Επιφάνεια, cm2	2,008	1,58	1,58	1,58	1,58	1,58
ΞΒ, g						
Όγκος, ml	3,8	2	2,4	2	2	2,3
Αραίωση	1,00	3	3	3	3	3
	μg/ml	μg/ml	μg/ml	μg/ml	μg/ml	μg/ml
chl <sub>a</sub>	7,16	4,80	3,08	4,08	3,15	3,93
chl <sub>b</sub>	1,85	1,06	0,91	1,03	0,73	0,98
car	2,02	1,39	0,97	1,15	0,91	1,14
	μg/cm <sup>2</sup>	μg/cm <sup>2</sup>	μg/cm <sup>2</sup>	μg/cm <sup>2</sup>	μg/cm <sup>2</sup>	μg/cm <sup>2</sup>
chl <sub>a</sub>	13,56	18,23	14,05	15,49	11,98	17,14
chl <sub>b</sub>	3,50	4,02	4,15	3,92	2,77	4,29
car	3,83	5,28	4,40	4,38	3,44	5,00
a+b	17,06	22,25	18,21	19,41	14,75	21,43
a/b	3,88	4,54	3,38	3,95	4,32	4,00
chl/car	4,45	4,22	4,14	4,43	4,28	4,29

M <sub>1</sub> -1	M <sub>1</sub> -2	M <sub>1</sub> -3	M <sub>1</sub> -4	M <sub>1</sub> -5
aceton 80%	aceton 80%	aceton 80%	aceton 80%	aceton 80%
0,004	0,008	0,01	0,012	0,02
0,152	0,409	0,492	0,308	0,385
0,063	0,163	0,196	0,129	0,166
0,178	0,414	0,492	0,336	0,427
1,58	1,58	1,58	1,58	1,58
3,0	2,4	2,2	2,3	1,8
3	3	3	3	3
μg/ml	μg/ml	μg/ml	μg/ml	μg/ml
1,64	4,46	5,36	3,29	4,05
0,44	1,10	1,32	0,87	1,10
0,54	1,21	1,43	0,97	1,22
μg/cm <sup>2</sup>	μg/cm <sup>2</sup>	μg/cm <sup>2</sup>	μg/cm <sup>2</sup>	μg/cm <sup>2</sup>
9,35	20,33	22,40	14,35	13,83
2,52	5,03	5,51	3,78	3,77



3,05	5,51	5,97	4,26	4,16
11,87	25,35	27,91	18,13	17,60
3,70	4,04	4,06	3,79	3,67
3,90	4,60	4,68	4,26	4,23

<b>M<sub>2</sub>-1</b>	<b>M<sub>2</sub>-2</b>	<b>M<sub>2</sub>-3</b>	<b>M<sub>2</sub>-4</b>	<b>M<sub>2</sub>-5</b>
aceton 80%	aceton 80%	aceton 80%	aceton 80%	aceton 80%
0,005	0,008	0,014	0,01	0,011
0,352	0,411	0,357	0,548	0,466
0,142	0,166	0,146	0,248	0,191
0,386	0,407	0,379	0,572	0,489
1,58	1,58	1,58	1,58	1,58
2,6	2,3	2,4	2	2,4
3	3	3	3	3
<b>µg/ml</b>	<b>µg/ml</b>	<b>µg/ml</b>	<b>µg/ml</b>	<b>µg/ml</b>
3,85	4,48	3,82	5,90	5,05
1,01	1,15	0,93	2,08	1,33
1,15	1,15	1,12	1,42	1,41
<b>µg/cm<sup>2</sup></b>	<b>µg/cm<sup>2</sup></b>	<b>µg/cm<sup>2</sup></b>	<b>µg/cm<sup>2</sup></b>	<b>µg/cm<sup>2</sup></b>
19,02	19,55	17,39	22,41	23,01
5,00	5,04	4,25	7,92	6,08
5,67	5,04	5,09	5,40	6,42
24,01	24,59	21,64	30,32	29,09
3,80	3,88	4,10	2,83	3,78
4,23	4,88	4,25	5,61	4,53

**Πίνακας 11.** Δεδομένα υπολογισμού συγκέντρωσης χλωροφυλλών στις 29/5/2017

<b>Φυτό: Ρίγανη</b>						

Δείγμα	Παράδειγμα	C-6	C-7	C-8	C-9	C-10
ΔΙΑΛΥΤΗΣ	aceton 80%	aceton 80%	aceton 80%	aceton 80%	aceton 80%	aceton 80%
720	0,002	0,008	0,006	0,010	0,006	0,006
663	0,647	0,663	0,599	0,627	0,604	0,753
646	0,255	0,263	0,235	0,247	0,227	0,293
470	0,681	0,755	0,647	0,682	0,653	0,801
Επιφάνεια, cm <sup>2</sup>	2,008	1,58	1,58	1,58	1,58	1,58
ΞΒ, g						
Όγκος, ml	3,8	3,2	3,7	3,5	3,5	3,4
Αραίωση	1,00	1	1	1	1	1
	μg/ml	μg/ml	μg/ml	μg/ml	μg/ml	μg/ml
chla	7,16	7,28	6,60	6,87	6,68	8,31
chlb	1,85	1,84	1,63	1,67	1,44	2,02
car	2,02	2,32	1,97	2,08	2,08	2,44
	μg/cm <sup>2</sup>	μg/cm <sup>2</sup>	μg/cm <sup>2</sup>	μg/cm <sup>2</sup>	μg/cm <sup>2</sup>	μg/cm <sup>2</sup>
chla	13,56	14,75	15,45	15,21	14,80	17,89
chlb	3,50	3,72	3,81	3,69	3,19	4,35
car	3,83	4,70	4,60	4,61	4,60	5,24
a+b	17,06	18,47	19,26	18,91	17,99	22,24
a/b	3,88	3,96	4,05	4,12	4,64	4,12
chl/car	4,45	3,93	4,18	4,10	3,91	4,24

M <sub>1</sub> -6	M <sub>1</sub> -7	M <sub>1</sub> -8	M <sub>1</sub> -9	M <sub>1</sub> -10
aceton 80%	aceton 80%	aceton 80%	aceton 80%	aceton 80%
0,013	0,006	0,015	0,006	0,006
0,879	0,528	0,697	0,326	0,241
0,352	0,208	0,284	0,133	0,096
0,958	0,502	0,817	0,349	0,256
1,58	1,58	1,58	1,58	1,58
3,1	3,2	3	2,7	3,5
1	3	1	3	3
μg/ml	μg/ml	μg/ml	μg/ml	μg/ml
9,62	5,81	7,57	3,55	2,62
2,47	1,44	1,98	0,95	0,63
2,87	1,43	2,49	1,02	0,77
μg/cm <sup>2</sup>	μg/cm <sup>2</sup>	μg/cm <sup>2</sup>	μg/cm <sup>2</sup>	μg/cm <sup>2</sup>
18,88	35,28	14,38	18,20	17,39

4,84	8,75	3,77	4,85	4,18
5,63	8,68	4,73	5,21	5,11
23,72	44,03	18,14	23,06	21,57
3,90	4,03	3,82	3,75	4,16
4,21	5,07	3,83	4,42	4,22

<b>M<sub>2</sub>-6</b>	<b>M<sub>2</sub>-7</b>	<b>M<sub>2</sub>-8</b>	<b>M<sub>2</sub>-9</b>	<b>M<sub>2</sub>-10</b>
aceton 80%	aceton 80%	aceton 80%	aceton 80%	aceton 80%
0,015	0,006	0,008	0,007	0,007
0,290	0,261	0,337	0,318	0,17
0,122	0,106	0,138	0,134	0,069
0,294	0,295	0,353	0,335	0,194
1,58	1,58	1,58	1,58	1,58
3	3,4	3,1	3	2,8
3	3	3	3	3
<b>µg/ml</b>	<b>µg/ml</b>	<b>µg/ml</b>	<b>µg/ml</b>	<b>µg/ml</b>
3,06	2,83	3,65	3,44	1,81601
0,77	0,73	0,96	0,99	0,42817
0,82	0,89	1,02	0,93	0,5962095
<b>µg/cm<sup>2</sup></b>	<b>µg/cm<sup>2</sup></b>	<b>µg/cm<sup>2</sup></b>	<b>µg/cm<sup>2</sup></b>	<b>µg/cm<sup>2</sup></b>
17,41	18,29	21,49	19,58	9,6547367
4,39	4,71	5,66	5,62	2,2763468
4,70	5,74	5,99	5,32	3,1697212
21,80	23,00	27,16	25,19	11,931084
3,97	3,88	3,80	3,48	4,2413294
4,64	4,00	4,53	4,74	3,7640798

**Πίνακας 12.** Δεδομένα υπολογισμού συγκέντρωσης χλωροφυλλών στις 13/6/2017

<b>Φυτό: Ρίγανη</b>						
---------------------	--	--	--	--	--	--



Δείγμα	Παράδειγμα	C-1	C-2	C-3	C-6	C-7
ΔΙΑΛΥΤΗΣ	aceton 80%	aceton 80%	aceton 80%	aceton 80%	aceton 80%	aceton 80%
720	0,002	0,002	0,002	0,004	0,003	0,003
663	0,647	0,288	0,117	0,355	0,241	0,226
646	0,255	0,112	0,048	0,141	0,096	0,091
470	0,681	0,314	0,139	0,357	0,273	0,255
Επιφάνεια, cm2	2,008	1,58	1,58	1,58	1,58	1,58
ΞΒ, g						
Όγκος, ml	3,8	2,9	4,0	2,6	2,9	2,9
Αραίωση	1,00	3	3	3	3	3
	μg/ml	μg/ml	μg/ml	μg/ml	μg/ml	μg/ml
chl <sub>a</sub>	7,16	3,18	1,27	3,90	2,64	2,48
chl <sub>b</sub>	1,85	0,78	0,35	0,99	0,67	0,65
car	2,02	0,96	0,42	1,04	0,83	0,77
	μg/cm <sup>2</sup>	μg/cm <sup>2</sup>	μg/cm <sup>2</sup>	μg/cm <sup>2</sup>	μg/cm <sup>2</sup>	μg/cm <sup>2</sup>
chl <sub>a</sub>	13,56	17,53	9,68	19,26	14,56	13,63
chl <sub>b</sub>	3,50	4,27	2,64	4,90	3,72	3,58
car	3,83	5,31	3,21	5,11	4,60	4,24
a+b	17,06	21,80	12,32	24,16	18,28	17,21
a/b	3,88	4,10	3,67	3,93	3,92	3,81
chl/car	4,45	4,10	3,84	4,73	3,98	4,06

M <sub>1</sub> -1	M <sub>1</sub> -2	M <sub>1</sub> -3	M <sub>1</sub> -6	M <sub>1</sub> -7
aceton 80%	aceton 80%	aceton 80%	aceton 80%	aceton 80%
0,002	0,003	0,002	0,004	0,003
0,394	0,298	0,375	0,375	0,250
0,154	0,119	0,148	0,137	0,100
0,373	0,308	0,392	0,353	0,268
1,58	1,58	1,58	1,58	1,58
3,2	3,4	2,8	3,3	3,4
3	3	3	3	3
μg/ml	μg/ml	μg/ml	μg/ml	μg/ml
4,36	3,28	4,14	4,16	2,74
1,09	0,85	1,06	0,81	0,71
1,06	0,90	1,16	1,10	0,80
μg/cm <sup>2</sup>	μg/cm <sup>2</sup>	μg/cm <sup>2</sup>	μg/cm <sup>2</sup>	μg/cm <sup>2</sup>

26,49	21,15	22,03	26,04	17,71
6,61	5,50	5,65	5,08	4,58
6,46	5,80	6,17	6,87	5,14
33,10	26,64	27,68	31,12	22,29
4,01	3,85	3,90	5,12	3,86
5,12	4,59	4,48	4,53	4,34

<b>M<sub>2</sub>-1</b>	<b>M<sub>2</sub>-2</b>	<b>M<sub>2</sub>-3</b>	<b>M<sub>2</sub>-6</b>	<b>M<sub>2</sub>-7</b>
aceton 80%	aceton 80%	aceton 80%	aceton 80%	aceton 80%
0,003	0,010	0,005	0,005	0,004
0,336	0,258	0,295	0,391	0,394
0,133	0,107	0,118	0,155	0,157
0,335	0,272	0,287	0,281	0,391
1,58	1,58	1,58	1,58	1,58
3,2	2,6	3,7	3,2	2,9
3	3	3	3	3
<b>µg/ml</b>	<b>µg/ml</b>	<b>µg/ml</b>	<b>µg/ml</b>	<b>µg/ml</b>
3,70	2,76	3,22	4,29	4,33
0,94	0,71	0,82	1,08	1,12
0,97	0,78	0,81	0,65	1,12
<b>µg/cm<sup>2</sup></b>	<b>µg/cm<sup>2</sup></b>	<b>µg/cm<sup>2</sup></b>	<b>µg/cm<sup>2</sup></b>	<b>µg/cm<sup>2</sup></b>
22,48	13,60	22,65	26,08	23,85
5,72	3,48	5,73	6,55	6,16
5,89	3,87	5,72	3,98	6,17
28,21	17,08	28,38	32,62	30,01
3,93	3,91	3,95	3,98	3,87
4,79	4,41	4,96	8,20	4,87

**Πίνακας 13.** Δεδομένα υπολογισμού συγκέντρωσης χλωροφυλλών στις 27/6/2017

Φυτό: Ρίγανη						
Δείγμα	Παράδειγμα	C-4	C-5	C-8	C-9	C-10
ΔΙΑΛΥΤΗΣ	aceton 80%	aceton 80%	aceton 80%	aceton 80%	aceton 80%	aceton 80%
720	0,002	0,019	0,018	0,014	0,014	0,017
663	0,647	0,278	0,134	0,197	0,184	0,238
646	0,255	0,123	0,067	0,090	0,086	0,108
470	0,681	0,294	0,148	0,230	0,210	0,246
Επιφάνεια, cm <sup>2</sup>	2,008	1,58	1,004	1,58	1,58	1,58
ΞΒ, g						
Όγκος, ml	3,8	3,5	3,5	3,6	3,4	3,6
Αραίωση	1,00	3	3	3	3	3
	μg/ml	μg/ml	μg/ml	μg/ml	μg/ml	μg/ml
chl <sub>a</sub>	7,16	2,87	1,28	2,02	1,87	2,44
chl <sub>b</sub>	1,85	0,79	0,40	0,61	0,59	0,72
car	2,02	0,80	0,37	0,64	0,56	0,64
	μg/cm <sup>2</sup>	μg/cm <sup>2</sup>	μg/cm <sup>2</sup>	μg/cm <sup>2</sup>	μg/cm <sup>2</sup>	μg/cm <sup>2</sup>
chl <sub>a</sub>	13,56	19,07	13,37	13,81	12,09	16,70
chl <sub>b</sub>	3,50	5,25	4,21	4,17	3,84	4,92
car	3,83	5,32	3,83	4,36	3,61	4,36
a+b	17,06	24,33	17,59	17,98	15,93	21,62
a/b	3,88	3,63	3,17	3,32	3,15	3,39
chl/car	4,45	4,57	4,59	4,13	4,41	4,96

M <sub>1</sub> -4	M <sub>1</sub> -5	M <sub>1</sub> -8	M <sub>1</sub> -9	M <sub>1</sub> -10
aceton 80%	aceton 80%	aceton 80%	aceton 80%	aceton 80%
0,018	0,019	0,014	0,015	0,016
0,276	0,299	0,324	0,219	0,234
0,126	0,136	0,137	0,100	0,104
0,315	0,346	0,344	0,233	0,249
1,58	1,58	1,58	1,58	1,58
3,2	3,2	3,3	3,7	3,6
3	3	3	3	3
μg/ml	μg/ml	μg/ml	μg/ml	μg/ml
2,85	3,09	3,44	2,25	2,41
0,88	0,95	0,92	0,68	0,67

0,86	0,95	0,98	0,61	0,68
<b>µg/cm2</b>	<b>µg/cm2</b>	<b>µg/cm2</b>	<b>µg/cm2</b>	<b>µg/cm2</b>
17,30	18,77	21,55	15,82	16,50
5,32	5,75	5,74	4,81	4,61
5,22	5,80	6,11	4,28	4,62
22,62	24,53	27,29	20,63	21,12
3,25	3,26	3,75	3,29	3,58
4,34	4,23	4,47	4,82	4,57

<b>M<sub>2</sub>-4</b>	<b>M<sub>2</sub>-5</b>	<b>M<sub>2</sub>-8</b>	<b>M<sub>2</sub>-9</b>	<b>M<sub>2</sub>-10</b>
acetone 80%	acetone 80%	acetone 80%	acetone 80%	acetone 80%
0,018	0,018	0,014	0,016	0,016
0,314	0,438	0,248	0,236	0,232
0,138	0,188	0,110	0,111	0,105
0,309	0,449	0,264	0,280	0,26
1,58	1,004	1,58	1,58	1,004
3,8	3,6	3,7	3,6	3,2
3	3	3	3	3
<b>µg/ml</b>	<b>µg/ml</b>	<b>µg/ml</b>	<b>µg/ml</b>	<b>µg/ml</b>
3,28	4,65	2,59	2,42	2,39
0,93	1,31	0,76	0,81	0,71
0,80	1,22	0,71	0,75	0,71
<b>µg/cm2</b>	<b>µg/cm2</b>	<b>µg/cm2</b>	<b>µg/cm2</b>	<b>µg/cm2</b>
23,64	50,03	18,18	16,54	22,83
6,69	14,09	5,31	5,51	6,74
5,79	13,13	5,00	5,14	6,80
30,33	64,11	23,48	22,04	29,57
3,54	3,55	3,42	3,00	3,39
5,23	4,88	4,70	4,29	4,35

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ  
*ΕΙΚΟΝΕΣ (ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ)*



**Εικόνα 1.** Μεταφορά κοσκινισμένου εδάφους από το αγρόκτημα, στο χώρο της σχολής.



**Εικόνα 2.** Μεταφύτευση των φυτών στις ενδιάμεσες γλάστρες του μισού περίπου λίτρου.





**Εικόνα 3.** Πλήρωση γλαστρών με έδαφος και διοχέτευση της επιμόλυνσης.



**Εικόνα 4.** Μάρτυρας C κατευθείαν μετά τη μεταφύτευση



**Εικόνα 5.** Μεταχείριση M1 (μεταχείριση προσθήκης  $300 \text{ mg kg}^{-1} \text{ Pb}$ ) κατευθείαν μετά τη μεταφύτευση.



**Εικόνα 6.** Μεταχείριση M2 (μεταχείριση προσθήκης  $900 \text{ mg kg}^{-1} \text{ Pb}$ ) κατευθείαν μετά τη μεταφύτευση.





**Εικόνα 7.** Ο μάρτυρας (C) τις τελευταίες ημέρες του πειράματος



**Εικόνα 8.** Η μεταχείριση M1 (μεταχείριση προσθήκης  $300 \text{ mg kg}^{-1} \text{ Pb}$ ) τις τελευταίες ημέρες του πειράματος



**Εικόνα 9.** Η μεταχείριση M2 (μεταχείριση προσθήκης  $900 \text{ mg kg}^{-1} \text{ Pb}$ ) τις τελευταίες ημέρες του πειράματος.



**Εικόνα 10.** Δείγματα εδάφους για εδαφολογικές αναλύσεις.





**Εικόνα 11.** Συγκομιδή υπέργειου τμήματος.



**Εικόνα 12.** Προσθήκη αλατόνερου για τη διευκόλυνση της παραλαβής της ρίζας



**Εικόνα 13.** Πλύσιμο των ριζών και στέγνωμα.



**Εικόνα 14.** Δείγματα για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης των νιτρικών του εδάφους.





**Εικόνα 15.** Κάψες στις οποίες αποτεφρώθηκε ο φυτικός ιστός.



**Εικόνα 16.** Φούρνος αποτέφρωσης



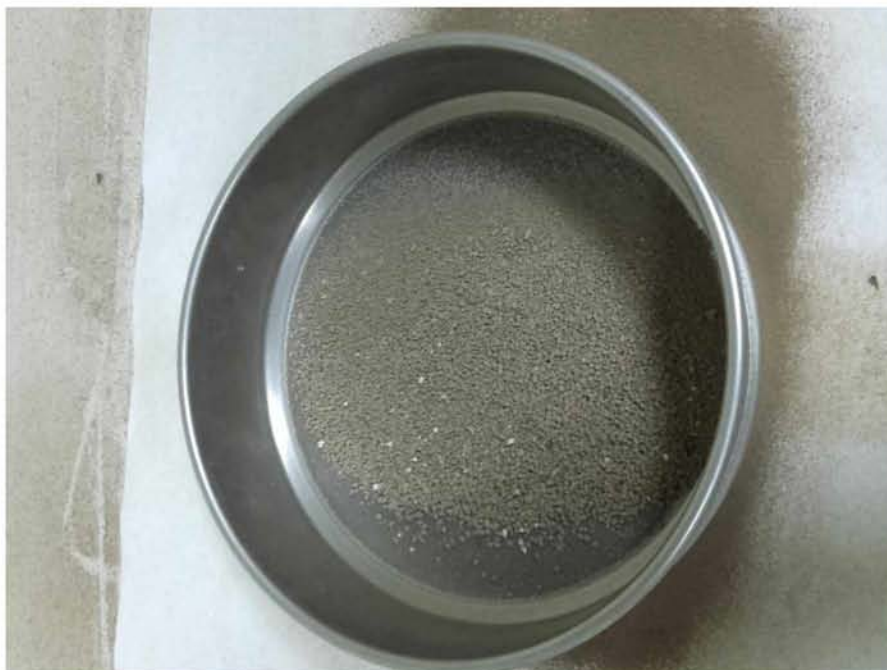
**Εικόνα 17.** Μηχάνημα κονιορτοποίησης



**Εικόνα 18.** Προετοιμασία υλικών για εκχύλιση δειγμάτων.



**Εικόνα 19.** Ψιλοχωματισμός δειγμάτων που προορίζονται για εδαφολογικές αναλύσεις.



**Εικόνα 20.** Κοσκίνισμα δειγμάτων εδάφους που προορίζονται για εδαφολογικές αναλύσεις.



**Εικόνα 21.** Πυρίμαχες φιάλες για την εκχύλιση με τη μέθοδο Aqua Regia.