

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

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



Πτυχιακή διατριβή

**Επίδραση εδάφους επιβαρυσμένου με μόλυβδο σε καλλιέργεια
ρίγανης (*Origanum vulgare*).**

Επιβλέπων: Αντωνιάδης Βασίλειος

ΤΣΙΚΝΙΔΗΣ Π. ΜΗΝΑΣ

ΒΟΛΟΣ 2018

Επίδραση εδάφους επιβαρυσμένου με μόλυβδο σε καλλιέργεια
ρίγανης (*Origanum vulgare*).

ΤΣΙΚΝΙΔΗΣ Π.ΜΗΝΑΣ

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

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 Πτυχιακής Διατριβής από το Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δε δηλώνει αποδοχή των γνώμων του συγγραφέα.

Πρόλογος

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

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Αντωνιάδη Βασίλειο για τον πολύτιμο χρόνο που αφιέρωσε για την ολοκλήρωση αυτής της πτυχιακής εργασίας. Η συνεισφορά του ήταν καθοριστική σε όλα τα στάδια της διατριβής, από το πειραματικό μέρος και τις μετρήσεις μέχρι την συγγραφή της.

Ακόμα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τα υπόλοιπα μέλη της τριμελούς επιτροπής, την καθηγήτρια κα. Δημήρκου Ανθούλα και την Επίκουρη καθηγήτρια κα. Λεβίζου Ευθυμία για την πολύτιμη βοήθειά τους και για την μελέτη και διόρθωση της πτυχιακής μου διατριβής.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω την κα. Δρ. Γκόλια Ευαγγελία μέλος του Εργαστηριακού Διδακτικού Προσωπικού, για την βοήθεια της στον χειρισμό του εργαστηριακού εξοπλισμού.

Τέλος, ευχαριστώ τους γονείς μου και τον αδερφό μου για την ηθική υποστήριξη που μου παρείχαν.

Περίληψη

Ο μόλυβδος (Pb) είναι ένα τοξικό, επικίνδυνο και επιβαρυντικό στοιχείο που ανήκει στην κατηγορία των βαρέων μετάλλων και θεωρείται από τους πλέον σοβαρούς ρύπους για την υγεία των ανθρώπων και ιδιαίτερα των νεότερων ηλικιών. Θεωρείται όμως τοξικό και επιβαρυντικό και για τα φυτά. Η ποσότητα που προσλαμβάνεται από τα φυτά καθώς και οι επιπτώσεις που έχει στην ανάπτυξή τους εξαρτώνται από διάφορους παράγοντες. Ένας από αυτούς είναι η φυσική αντοχή/ανθεκτικότητα των φυτών. Η μελέτη αυτής της ανθεκτικότητας της ρίγανης αποτελεί τον σκοπό αυτής της εργασίας καθώς και η συμπεριφορά της ως υπερσυσσωρευτής μολύβδου σε εδάφη με μεγάλες συγκεντρώσεις Pb. Για την επίτευξη αυτού του σκοπού, χρησιμοποιήσαμε έδαφος χωρίς επιβάρυνση σε Pb και δημιουργήθηκαν τρεις μεταχειρίσεις με 50 επαναλήψεις η καθεμία: Μεταχείριση C (μάρτυρας) M1 (προσθήκη 300 mgkg^{-1} Pb) και M2 (προσθήκη 900 mgkg^{-1} Pb). Η επιμόλυνση πραγματοποιήθηκε με χορήγηση κατάλληλων ποσοτήτων διαλύματος νιτρικού μολύβδου $[\text{Pb}(\text{NO}_3)_2]$. Η χορηγούμενη ποσότητα Pb δεν είχε αρνητικά αποτελέσματα όσον αφορά τα βλαστικά χαρακτηριστικά. Επίσης, δεν παρατηρήθηκαν συμπτώματα τοξικότητας Pb στο φυτό. Είναι μάλιστα χαρακτηριστικό ότι η βιομάζα και το ξηρό βάρος των φυτών αυξήθηκε σημαντικά στη M2 σε σχέση με το μάρτυρα. Οι συγκεντρώσεις Pb στη ρίζα ήταν σημαντικά μεγαλύτερες σε σύγκριση με το υπέργειο μέρος στις μεταχειρίσεις M1 και M2. Η πιθανότερη αιτία αυτής της συμπεριφοράς είναι ότι η χορήγηση αζωτούχου λίπανσης που έγινε παράλληλα με την χορήγηση Pb. Σε αυτήν οφείλεται η αύξηση της βιομάζας όπως και η μη ύπαρξη συμπτωμάτων τοξικότητας Pb εξαιτίας του γεγονότος ότι ο Pb συσσωρεύτηκε ελάχιστα στο υπέργειο μέρος του φυτού. Συμπεραίνουμε ότι η ρίγανη έδρασε ως παρεμποδιστής Pb και όχι ως

υπερσυσσωρευτής, καθώς συσσωρεύσε και κράτησε στην ρίζα την μεγαλύτερη ποσότητα Pb και δεν την μετατόπισε παρά ελάχιστα στο υπέργειο μέρος, κάτι το οποίο μπορεί να αποτελεί μια φυσική άμυνα του φυτού.

Περιεχόμενα

Πρόλογος.....	4
Περίληψη.....	5
Περιεχόμενα.....	7
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή.....	8
1.1 Ιδιότητες του εδάφους που επηρεάζουν τη διαθεσιμότητα των βαρέων μετάλλων.....	8
1.2 Μηχανισμοί άμυνας του φυτού για την εξάλειψη της ρύπανσης από βαρέα μέταλλα.....	11
1.3 Μόλυβδος.....	12
1.4 Ρίγανη (<i>Origanum vulgare</i>).....	14
1.5 Κενά στη βιβλιογραφία και σκοποί της εργασίας.....	15
Κεφάλαιο 2: Υλικά και Μέθοδοι.....	17
2.1 Πειραματικός Σχεδιασμός.....	17
2.2 Μέθοδοι ανάλυσης.....	19
2.2.1 Αναλύσεις εδάφους.....	20
2.2.2 Αναλύσεις στο φυτό.....	21
2.3 Στατιστική Επεξεργασία.....	24
Κεφάλαιο 3: Αποτελέσματα και Συζήτηση.....	25
3.1 Αποτελέσματα.....	25
3.2 Συζήτηση.....	30
Συμπεράσματα.....	33
Βιβλιογραφία.....	34
Ελληνική Βιβλιογραφία.....	34
Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία.....	34

Κεφάλαιο 1^ο

Εισαγωγή

1.1) Ιδιότητες του εδάφους που επηρεάζουν τη διαθεσιμότητα των βαρέων μετάλλων

Μεγάλη προσοχή έχει δοθεί τα τελευταία χρόνια στην διαθεσιμότητα αλλά και την συχνότητα που συναντάμε τα βαρέα μέταλλα στο έδαφος και ιδιαίτερα τα εξής: Zn, Cu, Pb, Ni, Cd (ψευδάργυρος, χαλκός, μόλυβδος, νικέλιο και κάδμιο). Διάφοροι εδαφικοί παράγοντες είναι εκείνοι που επηρεάζουν την διαθεσιμότητά τους. Ένας από αυτούς είναι το pH. Πιο συγκεκριμένα όταν $pH > 6,5$, τότε τα βαρέα μέταλλα δεσμεύονται. Αυτό σημαίνει ότι δεν υπάρχει δυνατότητα έκπλυσης τους σε κατώτερα εδαφικά στρώματα ή σε υπόγεια ύδατα, άλλα ούτε είναι άμεσα διαθέσιμα στα φυτά ώστε να τα απορροφήσουν. Όμως, εάν το έδαφος είναι μέτρια ή ισχυρά όξινο, τότε μετακινούνται εύκολα στο έδαφος με αποτέλεσμα την αυξημένη πιθανότητα έκπλυσης ή απορρόφησης από φυτά. Αντιμετωπίζουμε την τελευταία κατάσταση πραγματοποιώντας μέτρηση του pH του εδάφους, και σε περίπτωση που είναι κάτω από 6,5 προσθέτουμε $CaCO_3$ (η διαδικασία ονομάζεται ασβέστωση) ώστε να βελτιώσουμε το pH. Η βελτίωση της οξύτητας του εδάφους δεν είναι ο μόνος τρόπος με τον οποίο το $CaCO_3$ επηρεάζει την διαθεσιμότητα των βαρέων μετάλλων: Ένας άλλος τρόπος είναι ότι το Ca δρα ανταγωνιστικά με τον Pb. Αυτό συμβαίνει διότι τα κανάλια ασβεστίου αποτελούν τον κύριο δρόμο για την μεταφορά του μόλυβδου από το έδαφος στο φυτό (Huang και Cunnigam, 1996, Wang et al., 2007).

Ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει την διαθεσιμότητα των βαρέων μετάλλων είναι η πηγή προέλευσής τους. Σε πειράματα στα οποία χρησιμοποιήθηκε μεγάλη ποσότητα ιλύος βιολογικού καθαρισμού που περιείχε βαρέα μέταλλα, διαπιστώθηκε ότι αρχικά αυτά ήταν ευκίνητα. Πιο συγκεκριμένα, διαπιστώθηκε ότι το 20 με 80%

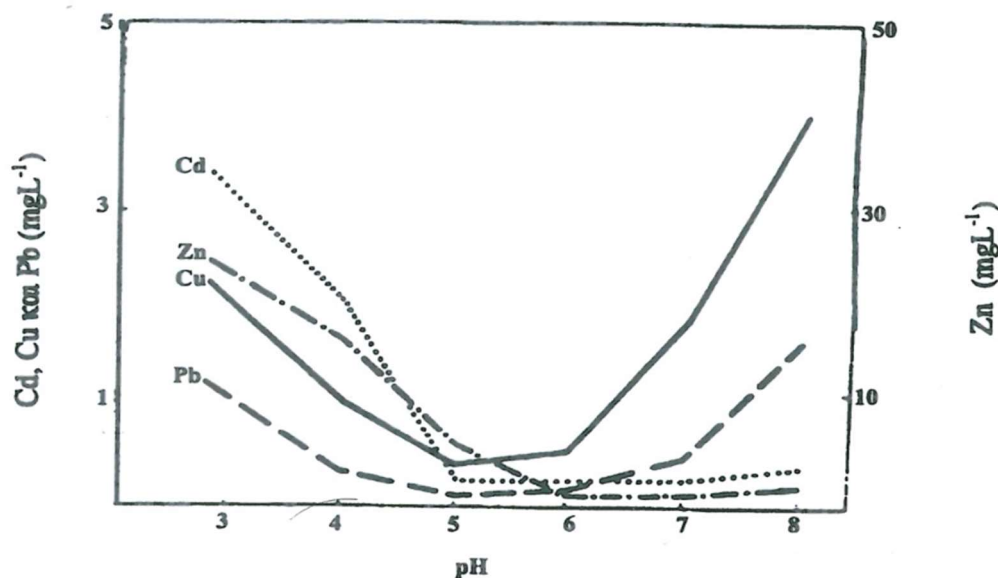
βαρέων μετάλλων που προστέθηκαν σε μεγάλες δόσεις ιλύος εκπλύθηκαν από την ζώνη του ριζοστρώματος και κατέληξαν, πιθανότατα, σε υπόγεια ύδατα. Η μετακίνηση αυτή έγινε πιθανόν όταν το μίγμα έδαφος-ιλύς ήταν πρόσφατο και τα βαρέα μέταλλα ήταν σε μορφή ευδιάλυτων συμπλοκών. Όσο περνά ο χρόνος τα βαρέα μέταλλα σταθεροποιούνται στο έδαφος καθώς συμμετέχουν σε σύμπλοκα μικρότερης διαλυτότητας (Brandy and Weil, 2002).

Η ικανότητα ιονισμού ενός μετάλλου, ο αριθμός οξείδωσης, ο σχηματισμός συμπλοκών 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.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, τα κατιόντα των βαρέων μετάλλων έχουν μεγαλύτερη κινητικότητα (μεγάλη διαθεσιμότητα) όταν βρίσκονται σε όξινες συνθήκες. Απ' την άλλη μεριά, τα ανιόντα έχουν την αντίθετη συμπεριφορά. Παραδείγματα τέτοια είναι το Mo (μολυβδαίνιο), το As (αρσενικό) και το εξασθενές χρώμιο (Cr(VI)), των οποίων η διαθεσιμότητα/κινητικότητα αυξάνεται με την αύξηση του pH. Επίσης, τα εξής βαρέα μέταλλα: Pb, Zn, Cu, Cd παρουσιάζουν μειωμένη διαλυτότητα (και άρα

και διαθεσιμότητα) σε pH 5-6, κάτι το οποίο φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα. (Μήτσιος, 2004).



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

Έχει διαπιστωθεί με την χρήση διαδοχικών εκχυλίσεων κλασμάτωσης ότι η συσχέτιση ανάμεσα στα βαρέα μέταλλα και τα εδαφικά κolloειδή γίνεται κύρια με τέσσερις διαφορετικούς τρόπους :

1. Τα μέταλλα σε μικρότερο ποσοστό βρίσκονται υπό την μορφή διαλυτών και ανταλλάξιμων μορφών στις οποίες είναι διαθέσιμα για απορρόφηση από τα φυτά. Εξάιρεση αποτελεί το Cd και ο Zn, μέταλλα που έχουν υψηλά ποσοστά κατανομής σε αυτό το κλάσμα.
2. Δεσμεύονται από την οργανική ουσία του εδάφους και από οργανικά υλικά του εδάφους. Υπό αυτήν την μορφή συναντάμε συχνότερα τον χαλκό και το χρώμιο αλλά όχι τον μόλυβδο. Σε αυτήν την μορφή τα βαρέα μέταλλα δεν είναι διαθέσιμα προς απορρόφηση αλλά με την πάροδο του χρόνου είναι πιθανόν να ελευθερωθούν.

3. Συμπλοκοποιούνται με ανθρακικά άλατα και οξείδια σιδήρου, αργιλίου και μαγγανίου. Υπό αυτήν την μορφή είναι λιγότερο διαθέσιμα σε σύγκριση με τις παραπάνω μορφές και ακόμα λιγότερο όταν το έδαφος είναι ουδέτερο προς αλκαλικό.
4. Βρίσκονται σε υπολειμματική μορφή (αδιάλυτες ενώσεις, προσροφημένα σε μη ανταλλάξιμες επιφάνειες στην άργιλο του εδάφους). Η υπολειμματική μορφή αποτελεί μία εντελώς μη διαθέσιμη μορφή βαρέων μετάλλων για τα φυτά.

Αποτελεί θετικό στοιχείο ότι το μεγαλύτερο μέρος των βαρέων μετάλλων που υπάρχουν στο έδαφος είναι μη διαθέσιμα για έκπλυση ή απορρόφηση. Όμως, αυτό σημαίνει ότι τα βαρέα μέταλλα συσσωρεύονται συνεχώς στο έδαφος. Γι' αυτόν τον λόγο δεν πρέπει να προστίθενται μεγάλες ποσότητες βαρέων μετάλλων, γιατί υπάρχει πιθανότητα διαταραχθεί η ικανότητα του εδάφους να αντιδρά με ένα μέταλλο.

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

Τα φυτά διαθέτουν δύο μηχανισμούς άμυνας για την εξάλειψη των αρνητικών επιδράσεων από τα βαρέα μέταλλα: την ανοχή στην τοξικότητα βαρέων μετάλλων και την αποφυγή της καταπόνησης από αυτά (Baker, 1987). Ανοχή σημαίνει την ανάπτυξη μηχανισμών ανθεκτικότητας από μια μερίδα του φυτικού πληθυσμού, οι οποίοι περνούν και στην επόμενη γενεά. Βέβαια, αυτή η ανθεκτικότητα παρουσιάζει διαφορές ανάλογα το είδος, το στοιχείο αλλά και το οικοσύστημα. Σύμφωνα με τον Baker (1981), αυτή η ανοχή μπορεί να εμφανιστεί με την μορφή δύο επιμέρους μηχανισμών. Ο ένας είναι ο αποκλεισμός συσσώρευσης βαρέων

μετάλλων και ο άλλος μηχανισμός είναι η συσσώρευση τους και στην συνέχεια η μετατροπή τους σε αποτοξινωμένες μορφές.

Ο πρώτος μηχανισμός λειτουργεί με την βοήθεια μυκόρριζων ή εξειδικευμένων ριζικών συστημάτων. Ένα παράδειγμα μηχανισμού αποφυγής συσσώρευσης είναι η απέκκριση χημικών ενώσεων από τα κύτταρα της ρίζας προς τη ριζόσφαιρα. Ένας άλλος τρόπος αποφυγής συσσώρευσης είναι οι υψηλής εκλεκτικότητας μεμβράνες στα κύτταρα της ρίζας, τα οποία διαθέτουν κάποια φυτά. Λόγω αυτής της εκλεκτικότητας αποτρέπεται η είσοδος βαρέων μετάλλων στο εσωτερικό τους. Όσον αφορά τον δεύτερο μηχανισμό και την αποτοξίνωσή τους, αυτή συμβαίνει μέσω της δέσμευσης των βαρέων μετάλλων υπό την μορφή συμπλόκων οργανικών μορίων τα οποία διαθέτουν χαμηλό μοριακό βάρος. Τέτοια είναι τα οργανικά οξέα, αμινοξέα και τα φαινολικά συστατικά. Τα σύμπλοκα αυτά απομονώνονται στο χυμοτόπιο ή σε κάποια άλλα φυτά μεταφέρονται υπό μορφή ιόντων από το κυτταρόπλασμα προς τον αποπλαστικό χώρο.

Όμως, τα ανθεκτικά αυτά φυτά παρουσιάζουν το μειονέκτημα της μειωμένης ανάπτυξης και παραγωγικότητας σε εδάφη μη τοξικά από βαρέα μέταλλα (Cox and Hutchinson, 1981, Ernst, 1976).

1.3) Μόλυβδος

Ο μόλυβδος είναι μέταλλο με ατομικό αριθμό 82 και ατομικό βάρος 207,2. Η θερμοκρασία τήξης του είναι 327,5 και βρασμού 1740 °C. Είναι ένα στοιχείο το οποίο όχι μόνο δεν είναι απαραίτητο ή ωφέλιμο για ζώα και φυτά αλλά είναι και επικίνδυνο δηλητήριο για τον άνθρωπο και κυρίως τα ενήλικα άτομα (Μήτσιος,2004). Εάν βρεθεί μεγάλη συγκέντρωση του στο έδαφος, λογίζεται ως πρόβλημα δημόσιας υγείας. Το μέγιστο επιτρεπτό όριο ορίζεται με βάση τη σχέση

δόσης-απόκρισης της συγκέντρωσης του μολύβδου στο έδαφος και τη συγκέντρωση του στο αίμα ατόμων νεαρών ηλικιών (Madhavan et al., 1989) και είναι 300 mgkg^{-1} σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Ένωση και την Ελληνική νομοθεσία.

Στον φλοιό της γης υπάρχουν ποσότητες Pb (Aries et al., 2010), οι οποίες συνήθως ξεπερνούν τα 50 mgkg^{-1} (Pais and Jones, 2000). Τα επίπεδα του Pb όμως μπορούν να αυξηθούν από ανθρώπινες δραστηριότητες. Σε αυτή την περίπτωση ο Pb που προκύπτει είναι συσσωρευμένος στα επιφανειακά στρώματα, ενώ η συγκέντρωση του μειώνεται σημαντικά στα βαθύτερα (Cecchi et al., 2008). Από το γεγονός ότι ο Pb έχει την ικανότητα να δεσμεύεται ισχυρά σε οργανικά και ανόργανα κολλοειδή υλικά, προκύπτει ότι μόνο μικρή ποσότητα αυτού είναι διαθέσιμη για να προσληφθεί από τα φυτά (Kopittke et al., 2008, Punamiya et al., 2010). Σύμφωνα με έρευνες τα συμπτώματα που παρουσιάζουν τα φυτά σε περίπτωση τοξικότητας από Pb είναι :

- Μειωμένη ανάπτυξη
- Μειωμένη επιμήκυνση ριζών
- Μικρή βλαστικότητα σπόρων
- Μειωμένη παραγωγή χλωροφύλλης
- Μειωμένη κυτταρική διαίρεση

Τα παραπάνω συμπτώματα εμφανίζονται καθώς ο Pb παρεμποδίζει το φυτό να εκτελέσει τις φυσιολογικές διεργασίες του (Sharma and Dubey, 2005, Krzeslowska et al., 2009, Gupta et al., 2009, 2010, Maestri et al., 2010). Η έκταση και η ένταση των συμπτωμάτων εξαρτάται από την συγκέντρωση του Pb, την διάρκεια έκθεσης,

το στάδιο ανάπτυξης των φυτών, την ένταση της καταπόνησής τους αλλά και από το ποια όργανά τους επηρεάστηκαν. Όπως και στα περισσότερα στοιχεία έτσι και στον Pb το κύριο μέσο πρόσληψης είναι οι ρίζες. Η απορρόφηση του μέσω των ριζών έχει παρατηρηθεί σε αρκετά είδη φυτών όπως: *Funaria hygrometrica* (Krzeslowska et al., 2009), *Fescue rubra* (Ginn et al., 2008), *Lactuca sativa* (Uzu et al., 2009), *Vignaun guiculata* (Kopittke et al., 2007).

Οι κύριες πηγές ρύπανσης του εδάφους από Pb είναι οι παλιές μπογιές ελαιοχρωματισμού που είχαν ως βάση τους τον Pb, οι εξατμίσεις των οχημάτων και τα απόβλητα βιομηχανιών.

1.4) Ρίγανη

Η ρίγανη (*Origanum vulgare*) είναι ένα αρωματικό ποώδες, ιθαγενές, πολυετές και θαμνώδες φυτό της κεντρικής Ασίας και της Μεσόγειου. Ανήκει στα φυτά της τάξης των λαμιωδών αγγειόσπερμων δικότυλων και συγκεκριμένα στο γένος Οριγόνο. Η ρίγανη είναι ένα φυτό που φτάνει τα 20-80 cm ύψος και διαθέτει φύλλα κατ' εναλλαγή μήκους 1-4 εκ. Προτιμά τα εδάφη με pH 6-9 και έχει την ικανότητα να εκμεταλλεύεται ακόμα και τα πολύ φτωχά, πετρώδη και ξερικά εδάφη. Όσον αφορά τα άνθη της, αυτά είναι άσπρο-μωβ και η περίοδος της άνθησης είναι κυρίως τον Ιούνιο μέχρι και τον Αύγουστο, ανάλογα με την περιοχή (Σκρουμπής, 1998). Χρησιμοποιούνταν από Αιγύπτιους και αρχαίους Έλληνες ως αρτυματικό, αρωματικό αλλά και φαρμακευτικό φυτό. Ακόμα, ήταν δημοφιλές ως φάρμακο κατά την περίοδο του Μεσαίωνα (Γκόλιου, 2008). Το ίδιο ισχύει και στις μέρες μας. Το κλίμα δεν αποτελεί περιοριστικό παράγοντα για τις διάφορες αυτοφυείς ποικιλίες της ρίγανης. Λόγω αυτού, την συναντούμε στην Ηπειρωτική αλλά και την νησιωτική Ελλάδα, τόσο στις ορεινές όσο και στις παραθαλάσσιες περιοχές. Η

προσαρμοστικότητα της αυτή μας δείχνει και την μεγάλη αντοχή της στις χαμηλές θερμοκρασίες. Όσον αφορά τον βλαστικό της κύκλο, το υπέργειο τμήμα της καταστρέφεται τον χειμώνα και την ερχόμενη άνοιξη το υπόγειο τμήμα, το οποίο έχει διατηρηθεί, αναβλαστάνει (Σκρουμπής, 1998).

Επίσης, παρουσιάζει μεγάλη αντοχή στην ξηρασία και αναπτύσσεται ικανοποιητικά σε ξηρούς τόπους. Προτιμά ασβεστολιθικές, ημιορεινές περιοχές στις οποίες επικρατεί δροσερό καλοκαίρι. Ακόμα, η καλλιέργεια ευνοείται σημαντικά από την απουσία πολυετών ζιζανίων όπως η αγριάδα (Σκρουμπής, 1998). Οι ξερικές συνθήκες καλλιέργειας μπορεί να δίνουν σαφέστατα μικρότερη παραγωγή σε σχέση με μια αρδευόμενη καλλιέργεια, αλλά το προϊόν που αναπτύσσεται σε ξηρικές συνθήκες είναι καλύτερης ποιότητας. Εάν υπάρχει διαθέσιμο αρδευτικό σύστημα τότε προτείνονται μόνο δύο αρδεύσεις κατά την περίοδο του καλοκαιριού (Σκρουμπής, 1998).

Η συγκομιδή της ρίγανης ξεκινά κατά την περίοδο της άνθησης η οποία διαφέρει όπως αναφέρθηκε παραπάνω ανάλογα την περιοχή (κλίμα, υψόμετρο) (Αντωνιάδου, 2013). Συνηθίζεται να γίνεται από τον Ιούνιο μέχρι τον Σεπτέμβριο, ενώ σε σπάνιες περιπτώσεις τον Οκτώβριο (Μαλούπα κ.σ., 2013).

1.5) Ελλείψεις στην βιβλιογραφία και σκοπός της εργασίας

Υπάρχει ένα κενό γνώσης στην βιβλιογραφία πάνω στην επίδραση του Pb σε ανθεκτικά φυτά όπως είναι η ρίγανη. Επίσης, υπάρχουν κενά όσον αφορά το αν μειώνεται η αρνητική επίδραση του Pb στα φυτά όταν σε αυτά χορηγηθούν υψηλές ποσότητες αζωτούχας λίπανσης.

Σκοπός λοιπόν αυτής της εργασίας ήταν η μελέτη της ανθεκτικότητας του φυτού της ρίγανης σε εδάφη με μεγάλες συγκεντρώσεις Pb, όταν παράλληλα γίνεται λίπανση με μεγάλες ποσότητες αζώτου. Επίσης, σκοπός μας ήταν να διερευνήσουμε για το αν η ρίγανη τείνει να είναι υπερσυσσωρευτής ή παρεμποδιστής Pb.

Κεφάλαιο 2^ο

Υλικά και Μέθοδοι

2.1 Πειραματικός σχεδιασμός

Το συγκεκριμένο πείραμα ξεκίνησε με την συλλογή δείγματος εδάφους βάρους 600 κιλών από το Αγρόκτημα του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος στην περιοχή του Βελεστίνου στις 16/7/2017. Ακολούθησε αεροζήρανση για 13 μέρες μέσα σε στεγασμένο και καλά αεριζόμενο χώρο του Αγροκτήματος. Έπειτα, το έδαφος κοσκινίστηκε σε κόσκινο με ανοίγματα των 10 mm μεγάλης διαμέτρου με σκοπό την απομάκρυνση μεγάλων συσσωματωμάτων και χαλικιών. Τοποθετήθηκε σε σακιά και μεταφέρθηκε στον αύλιο χώρο της Σχολής στις 3/3/2017.

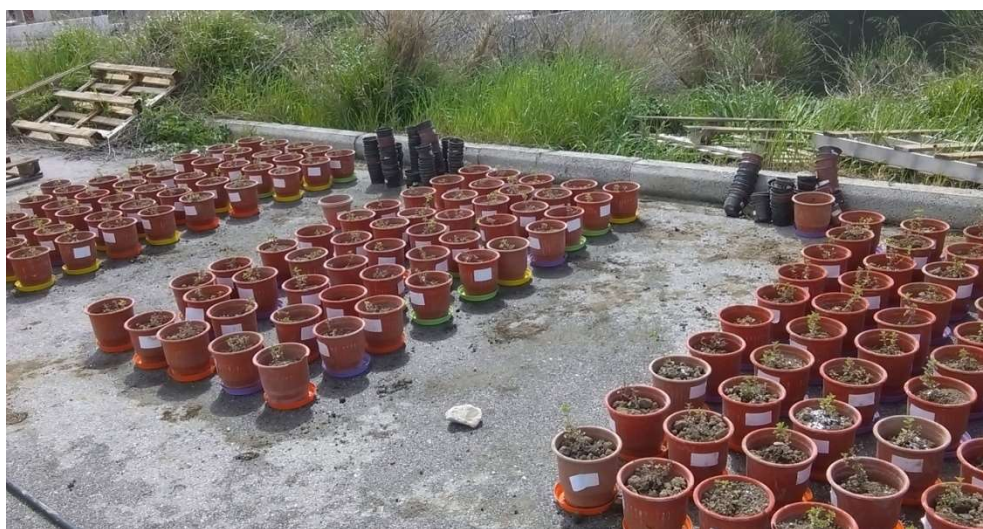
Τα φυτά ρίγανης αγοράστηκαν από φυτώριο στο Κιλελέρ και φυτεύτηκαν αρχικά σε μικρότερα γλαστράκια (0.5 L) ώστε να μειωθεί η καταπόνηση της επικείμενης προγραμματισμένης μεταφύτευσης. Εκεί παρέμειναν για 1 μήνα περίπου όπου αρδεύονταν ανά 3 μέρες.



Εικόνα 1: Τα φυτά ρίγανης μετά την μεταφύτευσή τους σε μικρότερα γλαστράκια.

Ταυτόχρονα, παρασκευάστηκε το διάλυμα επιμόλυνσης με διάλυση 192 g νιτρικού μόλυβδου σε 2 L απιονισμένου νερού, και πραγματοποιήθηκε η χορήγηση του στις γλάστρες όπου θα γινόταν η τελική μεταφύτευση των φυτών. Στόχος ήταν η δημιουργία τριών διαφορετικών μεταχειρίσεων με 50 γλάστρες (επαναλήψεις) η καθεμία. Η πρώτη μεταχείριση ήταν ο μάρτυρας και δεν δέχτηκε καμία επιμόλυνση. Η δεύτερη δέχτηκε 10 mL του διαλύματος επιμόλυνσης, δόση με την οποία χορηγήθηκαν 300 mg Pb kg⁻¹ εδάφους (το μέγιστο επιτρεπόμενο όριο μόλυβδου στο έδαφος σύμφωνα με την ευρωπαϊκή και την ελληνική νομοθεσία). Η τρίτη μεταχείριση δέχθηκε 30 mL του διαλύματος επιμόλυνσης, δηλαδή ποσότητα που αντιστοιχεί με 900 mg Pb kg⁻¹ εδάφους. Η διαδικασία επιμόλυνσης ολοκληρώθηκε στις 17/3/2017.

Στις 5/4/2017 πραγματοποιήθηκε η μεταφύτευση των φυτών στις τελικές γλάστρες, στις οποίες τα φυτά αρδεύονταν ανάλογα με τις ανάγκες τους σε νερό.



Εικόνα 2: Οι τρεις μεταχειρίσεις μετά την τελική τους μεταφύτευση στις γλάστρες

Από κάθε μεταχείριση επιλέχθηκαν 10 γλάστρες ώστε από αυτά να γίνουν οι τελικές αναλύσεις εδάφους και οι φυσιολογικές-φυτοκομικές μετρήσεις. Όταν τα φυτά ήταν στην φάση της πλήρους άνθησης, συγκομίστηκε το υπέργειο τμήμα όλων των μεταχειρίσεων, ζυγίστηκε το νωπό τους βάρος, τοποθετήθηκαν σε φούρνο με ροή αέρα στους 70 °C για 48 ώρες για την ξήρανσή τους, και καταγράφηκε το ξηρό τους βάρος. Ύστερα, κονιορτοποιήθηκε κάθε φυτό με την βοήθεια μύλου άλεσης και τα φυτά τοποθετήθηκαν σε χάρτινες σακούλες μέχρι την ανάλυσή τους.

Στις γλάστρες ακολούθησε η δειγματοληψία 200 g εδάφους, ποσότητα που τοποθετήθηκε σε χάρτινες σακούλες. Το έδαφος αυτό τοποθετήθηκε σε ξηρό και αεριζόμενο χώρο του Εργαστηρίου Εδαφολογίας για αεροξήρανση. Κατόπιν ακολούθησε η αφαίρεση του ριζικού συστήματος των φυτών: τοποθετήθηκαν σε διάλυμα αλατόνευρου με περιεκτικότητα 13% για μία ημέρα. Κατόπιν, αφού ξεπλύθηκαν με νερό τοποθετήθηκαν σε χάρτινα σακουλάκια για να ακολουθήσει η αποξήρανσή τους στους 70 °C για 48 ώρες σε φούρνο και κατόπιν ζυγίστηκαν και ακολούθησε η κονιορτοποίησή τους, όπως προαναφέρθηκε για τα υπέργεια μέρη.

2.2. Μέθοδοι ανάλυσης

Οι αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν στα τμήματα του φυτού (ριζικό σύστημα και υπέργειο τμήμα) αφορούσαν τις συγκεντρώσεις μολύβδου και αζώτου. Οι αναλύσεις εδάφους αφορούσαν την τιμή του pH, τα νιτρικά και την συγκέντρωση του Pb (διαθέσιμες και ολικές συγκεντρώσεις).

2.2.1 Αναλύσεις εδάφους

Για να βρεθεί η τιμή του pH του εδάφους ζυγίστηκαν αρχικά 10 g εδάφους και τοποθετήθηκαν σε φιαλίδια τύπου falcon των 50 mL μαζί με 25 mL απιονισμένο νερό. Αφού ανακινήθηκαν για 10 λεπτά, αφέθηκαν σε ηρεμία για μισή ώρα και στην συνέχεια μετρήθηκε το pH με πεχάμετρο.

Όσον αφορά την συγκέντρωση του Pb στο έδαφος, χρησιμοποιήθηκαν δύο μέθοδοι ανάλυσης (εκχύλιση με διάλυμα DTPA και η μέθοδος aqua regia). Στην πρώτη μέθοδο (DTPA), η οποία διεξήχθη στις 23/11/2017 ζυγίστηκαν 20 g εδάφους από 6 δείγματα C (η μεταχείριση μάρτυρας), 7 δείγματα M1 και 7 δείγματα M2. σε φιαλίδια τύπου falcon 50 mL, όπου προστέθηκαν 40 mL διαλύματος DTPA (παρασκευάστηκε με ανάμιξη 9,835 g DTPA, 7,4 g $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ και 74.5 g τριαιθανολαμίνης σε 5 L H_2O και ρύθμιση του pH του διαλύματος στην τιμή 7,3). Αφού ανακινήθηκαν για 2 ώρες, έγινε διήθησή τους με αργό διηθητικό χαρτί σε άλλα φιαλίδια falcon. Έπειτα, αραιώθηκαν 10 φορές σε ογκομετρικές φιάλες των 25 mL. Την επόμενη μέρα (24/11/2017) πραγματοποιήθηκε η μέτρηση της συγκέντρωσης του Pb σε ατομική απορρόφηση.

Η δεύτερη μέθοδος ανάλυσης, αυτή του aqua regia, πραγματοποιήθηκε στις 28/11/2017. Αρχικά ζυγίστηκαν 5 g για 6 δείγματα C και 0,5 g για 7 δείγματα M1 και 7 δείγματα M2 και τοποθετήθηκαν σε φιάλες πέψης (πυρίμαχοι σωλήνες 300 mL). Στην συνέχεια προστέθηκαν 15 mL HCl και 5 mL HNO_3 υποβλήθηκαν σε βρασμό στους 130 °C για 5 ώρες. Ακολούθησε διήθηση σε ογκομετρικές φιάλες 50 mL με αργό διηθητικό χαρτί νερό για τα δείγματα C και σε ογκομετρικές φιάλες 100 mL για τα δείγματα των μεταχειρίσεων M1 και M2. Οι ογκομετρικές φιάλες πληρώθηκαν

έως του όγκου τους με απιονισμένο νερό και τα περιεχόμενά τους αποθηκεύτηκαν σε φιαλίδια falcon των 50 mL μέχρι τις 29/11/2017, όταν και έγινε η μέτρησή τους σε ατομική απορρόφηση.



Εικόνα 3: Η διήθηση των δειγμάτων μετά από τον βρασμό τους στις φιάλες πέψης

Όσον αφορά την ανάλυση νιτρικού αζώτου του εδάφους, ζυγίστηκαν 2 g εδάφους σε φιαλίδια falcon 50 mL, όπου προστέθηκαν 20 mL KCl και ανακινήθηκαν για 1 ώρα. Κατόπιν έγινε διήθησή τους από αργό διηθητικό χαρτί σε ογκομετρικές φιάλες των 100 mL και πληρώθηκε ο όγκος έως τη χαραγή με απιονισμένο νερό. Κατόπιν το περιεχόμενο αποθηκεύτηκε σε φιαλίδια falcon των 50 mL και αποθηκεύθηκαν έως την ανάλυσή τους.

2.2.2 Αναλύσεις στο φυτό

Όσον αφορά τις αναλύσεις στο φυτό, και πιο συγκεκριμένα την μέτρηση της συγκέντρωσης του μολύβδου σε υπέργειο τμήμα και ρίζα, ζυγίστηκαν αρχικά (4/12/2017) οι εξής ποσότητες εδάφους ...

για την ρίζα :

- 0.5g για 5 δείγματα M2

- 1g για 5 δείγματα M1
- 2g για 5 δείγματα C

για το υπέργειο :

- 2g για 5 δείγματα M2
- 2g για 5 δείγματα M1
- 2g για 5 δείγματα C



Εικόνα 4: Η ζύγιση των g φυτικού ιστού με την βοήθεια ηλεκτρονικής ζυγαριάς

Στην συνέχεια τοποθετήθηκαν σε πυρίμαχες, πορσελάνινες κάψες οι οποίες μεταφέρθηκαν στον φούρνο όπου και αποτεφρώθηκαν στους 500 °C για 5ώρες.



Εικόνα 5: Ο φούρνος στον οποίο τοποθετήθηκαν οι κάψες για 24 ώρες στους 500 °C.

Την επόμενη μέρα (5/12/2017), το περιεχόμενο (τέφρα) παρελήφθη με 10 mL HCl σε ογκομετρική φιάλη των 25 mL, οι οποίες συμπληρώθηκαν με απιονισμένο νερό μέχρι την χαραγή. Εξάιρεση αποτέλεσε η τέφρα από τις κάψες της μεταχείρισης M2 της ρίζας οι οποίες διηθήθηκαν με 20 mL HCl σε ογκομετρικές φιάλες των 50 mL. Το περιεχόμενο κατόπιν μεταφέρθηκε σε φιαλίδια falcon τα οποία αποθηκεύθηκαν μέχρι την μέτρησή του Pb σε ατομική απορρόφηση.



Εικόνα 6: Οι ογκομετρικές φιάλες όπου έγινε η διήθηση της τέφρας

*Ακόμα υπολογίστηκε ο δείκτης TC (Transfer Coefficient) δηλαδή ο συντελεστής μεταφοράς, όπου $TC = [Pb]_{\text{φυτό}} / [Pb]_{\text{έδαφος}}$ και ο δείκτης TF (Translocation Factor) δηλαδή ο παράγοντας μετατόπισης, όπου $TF = [Pb]_{\text{υπέργειο}} / [Pb]_{\text{υπόγειο(ρίζα)}}$.

Όσον αφορά την μέτρηση της συγκέντρωσης του αζώτου στο υπέργειο μέρος της ρίγανης, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Kjeldahl. Πιο συγκεκριμένα, ζυγίστηκε 1 g φυτικού ιστού υπέργειου τμήματος και τοποθετήθηκε σε πυρίμαχες γυάλινες φιάλες πέψης. Ακολούθως, τοποθετήθηκαν σε κάθε φιάλη 1 ταμπλέτα αντιαφρίζοντος υλικού και 2 ταμπλέτες καταλύτη Kjeltab. Έπειτα, σε κάθε φιάλη προστέθηκαν 20 mL H₂SO₄ και υποβλήθηκαν σε βρασμό στους 430 °C. Τέλος, έγινε απόσταξη με την βοήθεια αποστακτικής συσκευής Kjeldahl και ογκομέτρηση του αποστάγματος με 0.01 N H₂SO₄.

2.3 Στατιστική επεξεργασία

Η ανάλυση όλων των πρωτογενών δεδομένων έγινε με ANOVA (ανάλυση της παραλλακτικότητας). Κατόπιν με την μέθοδο των ελαχίστων διαφορών (Least significant Differences) έγινε η εκτίμηση της σημαντικότητας των διαφορών μεταξύ των μέσων όρων των μεταχειρίσεων. Το επίπεδο σημαντικότητας ήταν στο 95% ($p < 0.05$)

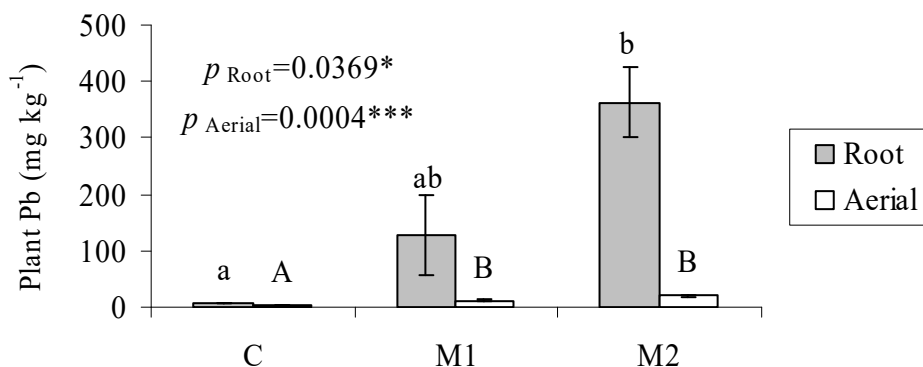
Κεφάλαιο 3^ο

Αποτελέσματα και Συζήτηση

3.1 Αποτελέσματα

Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 1, η συγκέντρωση του μόλυβδου (Pb) στην ρίζα για την μεταχείριση M1 ήταν λίγο πάνω από 100 mgkg⁻¹ χωρίς να υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά με την μεταχείριση C (μάρτυρα), στην οποία η συγκέντρωση του Pb ήταν μόλις λίγο πάνω από το 0. Στην μεταχείριση M2 ενώ υπήρχε αύξηση της συγκέντρωσης του Pb στα 350 mgkg⁻¹, αυτή δεν είχε στατιστικά σημαντική διαφορά με την M1, αλλά είχε σε σχέση με την C.

Όσον αφορά την συγκέντρωση Pb στο υπέργειο μέρος των φυτών, υπήρχε μια αύξηση στις μεταχειρίσεις M1 και M2 χωρίς να υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ τους, αλλά υπήρχε μεταξύ της M2 και της C.

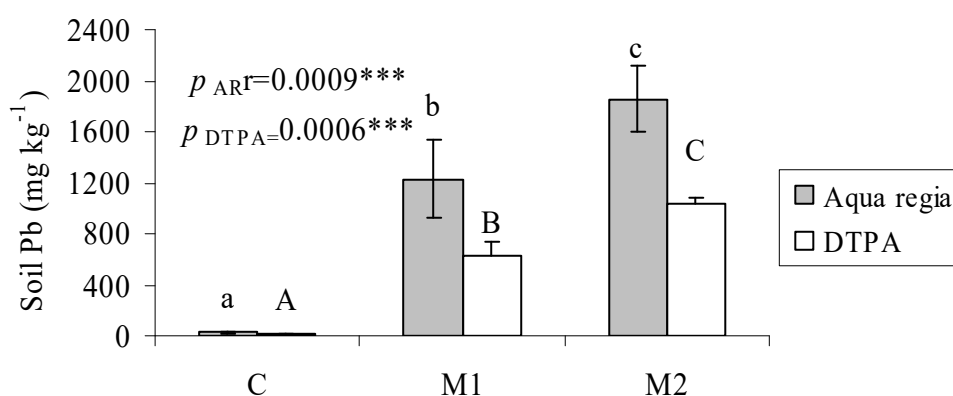


Σχήμα 1: Συγκέντρωση Pb σε φυτά ρίγανης που καλλιεργήθηκαν σε έδαφος όπου προστέθηκε Pb 300 mgkg⁻¹ (M1) και 900 mgkg⁻¹ (M2).

Στο Σχήμα 2, φαίνεται η συγκέντρωση του ολικού Pb όπως μετρήθηκε με την μέθοδο aqua regia. Παρατηρούμε ότι υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές και στις

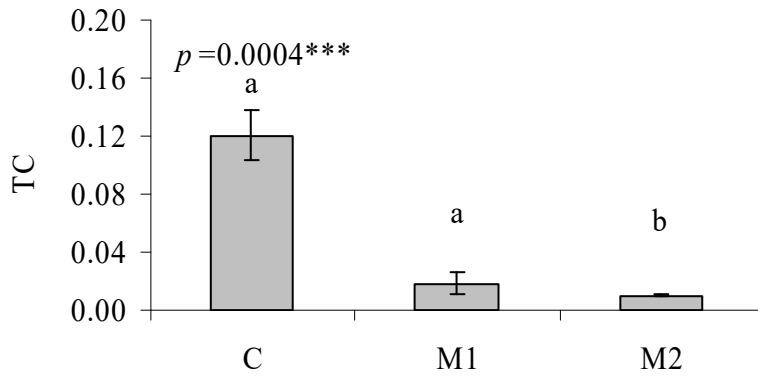
τρεις μεταχειρίσεις. Η M2 είχε $1800 \text{ mgkg}^{-1} \text{ Pb}$, η M1 1200 mgkg^{-1} και η C λίγο πάνω από το 0.

Το ίδιο ισχύει και με τον εκχυλίσμο Pb όπως μετρήθηκε με την μέθοδο DTPA, όπου υπήρχαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις τρεις μεταχειρίσεις, με την M2 να είναι $1200 \text{ mgkg}^{-1} \text{ Pb}$, την M1 $700 \text{ mgkg}^{-1} \text{ Pb}$ και την C λίγο πάνω από το 0.



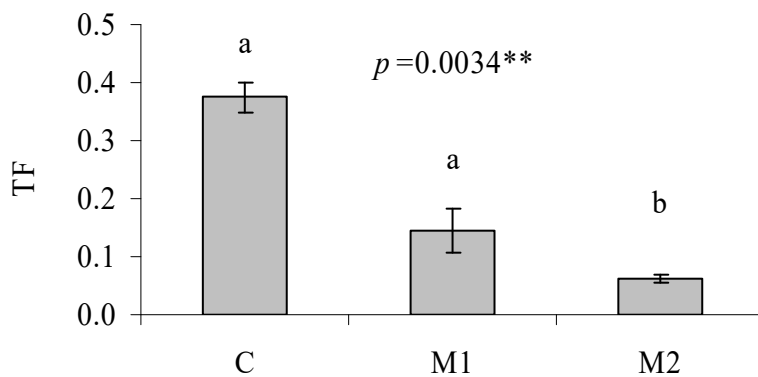
Σχήμα 2: Συγκεντρώσεις ολικού και εκχυλίσμου Pb στο έδαφος φυτών ρίγανης των τριών μεταχειρίσεων C, M1 ($\text{Pb } 300 \text{ mgkg}^{-1}$) και M2 ($\text{Pb } 900 \text{ mgkg}^{-1}$).

Στο Σχήμα 3 φαίνεται ο συντελεστής μεταφοράς TC, δηλαδή το ποσοστό του Pb που προσέλαβε η ρίγανη στην κάθε μεταχείριση σε σχέση με την συγκέντρωση στο έδαφος. Αυτό που παρατηρείται είναι ότι ο μάρτυρας C έχει $\text{TC}=0.12$, η μεταχείριση M1 $\text{TC}=0.01$ και η M2 $\text{TC}=0.005$. Δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα σε C και M1, αλλά υπάρχουν ανάμεσα στην M2 και τις άλλες 2 μεταχειρίσεις.



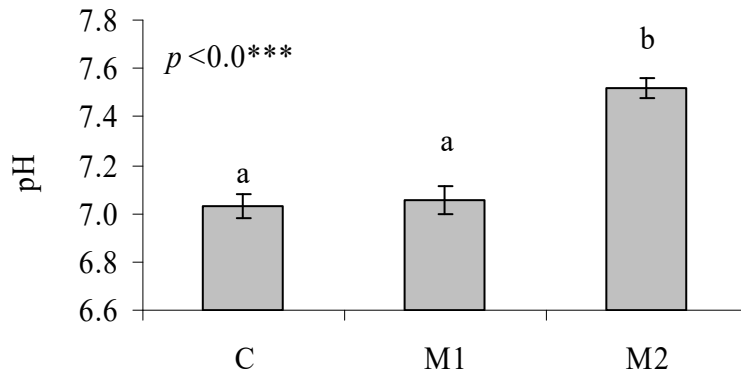
Σχήμα 3: Συντελεστής μεταφοράς TC Pb από το έδαφος στην ρίζα στις τρεις μεταχειρίσεις C, M1 (Pb 300 mgkg⁻¹) και M2 (Pb 900 mgkg⁻¹).

Το Σχήμα 4 δείχνει τον παράγοντα μετατόπισης TF. Ο παράγοντας μετατόπισης δηλώνει τι ποσοστό της ποσότητας Pb που προσέλαβε η ρίζα μεταφέρθηκε στο υπέργειο μέρος του φυτού. Στην μεταχείριση C ο TF ήταν 0,375, στην M1 ο TF ήταν 0,15 και στην M2 ο TF ήταν 0,05. Υπήρχε στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα στην M2 και τις άλλες δύο μεταχειρίσεις.



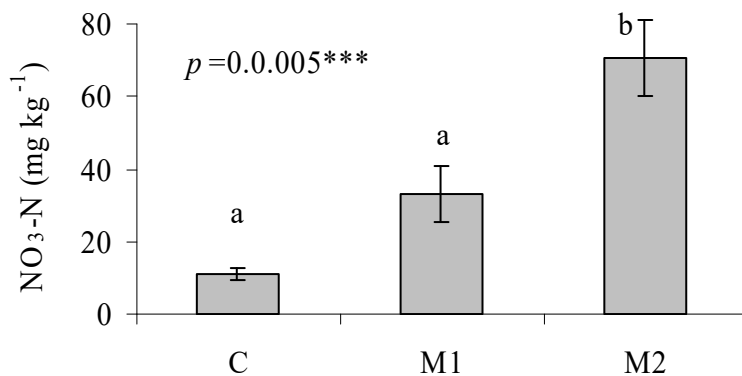
Σχήμα 4: Παράγοντας μετατόπισης TF Pb από την ρίζα στο υπέργειο στις τρεις μεταχειρίσεις C, M1 (Pb 300 mgkg⁻¹) και M2 (Pb 900 mgkg⁻¹).

Στο Σχήμα 5, απεικονίζεται το pH του εδάφους στις μεταχειρίσεις C, M1 και M2. Το pH στα εδάφη των C και M1 ήταν 7 και στην M2 ήταν 7,5.



Σχήμα 5: Το pH των εδαφών των μεταχειρίσεων C, M1 (Pb 300 mgkg⁻¹) και M2 (Pb 900 mgkg⁻¹).

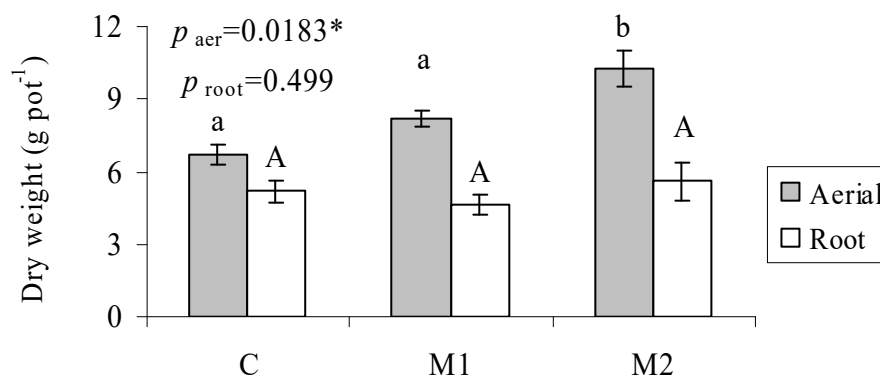
Στο Σχήμα 6 απεικονίζεται η συγκέντρωση NO₃-N που μετρήθηκαν στα εδάφη των μεταχειρίσεων C, M1, M2. Στην M2 είχαμε 70 mg kg⁻¹ NO₃-N, στην M1 35 mg kg⁻¹ NO₃-N και στην C 10 mg kg⁻¹ NO₃-N. Υπήρχε στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα σε M2 και στις άλλες δύο, αλλά όχι ανάμεσα σε C και M1.



Σχήμα 6 : Συγκεντρώσεις NO₃-N στο έδαφος των μεταχειρίσεων C, M1 (Pb 300 mgkg⁻¹) και M2 (Pb 900 mgkg⁻¹).

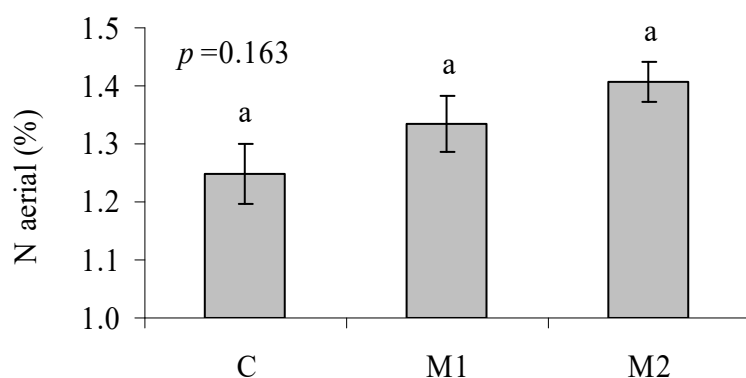
Στο Σχήμα 7 απεικονίζεται το ξηρό βάρος υπέργειου μέρους και ρίζας των τριών μεταχειρίσεων. Το ξηρό βάρος της ρίζας στη μεταχείριση C ήταν 5 gpot⁻¹, στην M1 ήταν 4 gpot⁻¹, στην M2 ήταν 6 gpot⁻¹, αλλά δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές

διαφορές. Όσον αφορά το ξηρό βάρος του υπέργειου μέρους, η C είχε βάρος 6,5 gpot⁻¹, η M1 8 gpot⁻¹ και η M2 10,5 gpot⁻¹. Υπήρχαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στην M2 και στις άλλες δύο μεταχειρίσεις, αλλά όχι ανάμεσα στην C και την M1.



Σχήμα 7: Ξηρό βάρος της ρίζας και του υπέργειου των φυτών ρίγανης των μεταχειρίσεων C, M1 (Pb 300 mgkg⁻¹) και M2 (Pb 900 mgkg⁻¹).

Στο Σχήμα 8 φαίνεται το ποσοστό επί τις 100 του αζώτου (N) που μετρήθηκε στο υπέργειο μέρος των φυτών. Στην M2 ήταν 1,4%, στην M1 ήταν 1,35%, στην C ήταν 1,25% και δεν υπήρχαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους.



Σχήμα 8: Το ποσοστό επί τις 100 του διαθέσιμου N που απορροφήθηκε και μεταφέρθηκε στο υπέργειο μέρος των φυτών των μεταχειρίσεων C, M1 (Pb 300 mgkg⁻¹) και M2 (Pb 900 mgkg⁻¹).

3.2 Συζήτηση

Η συσσώρευση του Pb στην ρίζα στις μεταχειρίσεις M1 και M2 οφείλεται στην προσθήκη Pb που πραγματοποιήθηκε στο έδαφος (Uzu et al., 2009, Gleba et al., 1999, Begonia et al., 2005). Η μικρή ποσότητα που βρέθηκε στην μεταχείριση C (μάρτυρας) δικαιολογείται καθώς μικρή μόνο συγκέντρωση Pb προϋπήρχε στο έδαφος.

Όσον αφορά τις συγκεντρώσεις Pb που βρέθηκαν στο υπέργειο μέρος, σε σύγκριση με αυτές της ρίζας, ήταν σημαντικά μικρότερες. Οι μετρήσεις αυτές ήταν αναμενόμενες καθώς επιβεβαιώνουν τα αποτελέσματα άλλων πειραμάτων (Marques et al., 2009; Liu et al., 2000, Zaier et al., 2010). Όλοι αυτοί συμφωνούν με τα δικά μας ευρήματα, δηλαδή πολύ μεγαλύτερες συγκεντρώσεις Pb στην ρίζα σε σύγκριση με το υπέργειο μέρος. Αυτό ίσως να αποτελεί έναν φυσικό μηχανισμό άμυνας του φυτού, καθώς αναγνωρίζει τον μόλυβδο ως τοξικό στοιχείο και τείνει να το κρατήσει στην ρίζα.

Η αυξημένη συγκέντρωση του ολικού Pb (κατά aqua regia) στο έδαφος σε σύγκριση με τον εκχυλίσμο (DTPA) ήταν ένα αναμενόμενο εύρημα, καθώς επιβεβαιώνεται και από τους Kopittke et al. (2008), Punamiya et al. (2010) και Johnston et al. (2005), οι οποίοι εξηγούν αυτά τα αποτελέσματα ως αποτέλεσμα της δέσμευσης του Pb στα κολλοειδή του εδάφους και στην χαμηλή βιοδιαθεσιμότητα του.

Σχετικά με τον συντελεστή μεταφοράς, βρέθηκε αναμενόμενα μικρός λόγω της ισχυρής δέσμευσης του μετάλλου με τα κολλοειδή του εδάφους. Παρόμοια αποτελέσματα είχαν και οι Wang et al. (2006) και Sipos et al. (2008). Αξιοσημείωτο

είναι ότι ο TC της μεταχείρισης C ήταν μεγαλύτερος των M1, χωρίς να έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές, και της M2, με την οποία υπήρχαν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Αυτό δικαιολογείται από το γεγονός ότι όσο πιο πολύ ένα στοιχείο χορηγείται από εδάφους τόσο μικρότερο ποσοστό αυτού προσλαμβάνει το φυτό (Antoniadis et al., 2017). Άλλος λόγος που συμβαίνει αυτό ίσως είναι η αυξημένη αζωτούχος λίπανση που χορηγήθηκε στις M1 και M2 μεταχειρίσεις, κάτι που οδήγησε σε αύξηση του pH των εδαφών. Αυτή η αύξηση με την σειρά της είχε ως αποτέλεσμα την μείωση της κινητικότητας και διαθεσιμότητας του Pb.

Όσον αφορά τον παράγοντα μετατόπισης, βρέθηκε και αυτός σχετικά μικρός. Συγκεκριμένα για όλες τις μεταχειρίσεις ίσχυε ότι $TF < 1$. Αυτό δείχνει ότι το φυτό τείνει να κρατήσει τον Pb στην ρίζα. Πρέπει να τονιστεί ότι εάν επρόκειτο για θρεπτικό στοιχείο τότε θα ίσχυε ότι $TF > 1$ (Antoniadis et al., 2017).

Το νιτρικό N στο έδαφος της μεταχείρισης M2 βρέθηκε αυξημένο λόγω και της αυξημένης αζωτούχας λίπανσης που χορηγήθηκε στην συγκεκριμένη μεταχείριση. Το φυτό δεν απορρόφησε όλη την ποσότητα του χορηγημένου N και έμεινε ως υπολειμματικό στο έδαφος. Αναμενόμενο αποτέλεσμα καθώς σε παρόμοια ευρήματα κατέληξε και ο Brooks (2003). Όπως και το νιτρικό N του εδάφους, έτσι και το N, που ανιχνεύθηκε στο υπέργειο μέρος των μεταχειρίσεων M1 και M2, ήταν προσαυξημένο συγκριτικά με τον μάρτυρα καθώς σε αυτές τις μεταχειρίσεις χορηγήθηκε επιπλέον N. Ωστόσο αυτή η τάση δεν ήταν στατιστικά σημαντική. Η αύξηση του N στις μεταχειρίσεις M1 και M2 είχε ως αποτέλεσμα της αύξηση της βιομάζας και του ξηρού βάρους των φυτών. Αποτέλεσμα αναμενόμενο καθώς συμφωνούν και οι Sotiropoulou et al. (2010), Babalar et al. (2010), Ahl et al. (2009)

και Benard et al. (2009). Εάν δεν χορηγούνταν παράλληλα με το Pb η αζωτούχος λίπανση, τότε το ξηρό βάρος θα μειωνόταν λόγω τοξικότητας Pb. Το γεγονός ότι αυξήθηκε, δείχνει ότι λόγω της θρέψης του φυτού με N αυξήθηκε η ζωτικότητα του, άρα ενισχύθηκαν οι φυσικοί μηχανισμοί άμυνάς του και έτσι μειώθηκαν τα συμπτώματα τοξικότητας λόγω Pb.

Συμπεράσματα

- Παρόλη την αύξηση στα επίπεδα Pb στην ρίζα και στο έδαφος, λόγω της χορήγησης που πραγματοποιήθηκε, δεν παρατηρήθηκε μείωση των βλαστικών χαρακτηριστικών των φυτών.
- Η παράλληλη με του Pb χορήγηση του νιτρικού N αποτέλεσε κύριο παράγοντα στην αύξηση της βιομάζας και του ξηρού βάρους των μεταχειρίσεων.
- Ακόμα, η χορήγηση του νιτρικού N είχε ως αποτέλεσμα το φυτό να αυξήσει την ζωτικότητα και τη βιομάζα του. Πιθανώς η αύξηση αυτή στην ανάπτυξη ενίσχυσε και την άμυνα των φυτών (παράμετρο που δεν μετρήσαμε στην παρούσα εργασία), κάτι που θα αιτιολογούσε την παρατηρούμενη έλλειψη συμπτωμάτων τοξικότητας Pb.
- Η ρίγανη διαθέτει μεγάλη ανθεκτικότητα στην τοξικότητα Pb.
- Εν κατακλείδι, οι υψηλές συγκεντρώσεις Pb στη ρίζα και οι πολύ χαμηλές στο υπέργειο μέρος υποδεικνύουν ότι η ρίγανη τείνει να συσσωρεύει την μεγαλύτερη ποσότητά του Pb στην ρίζα ενώ φαίνεται να μην τον μετατοπίζει στο υπέργειο μέρος, προστατεύοντας τα ευαίσθητα υπέργεια όργανά της. Συνεπώς, η ρίγανη δρα ως παρεμποδιστής Pb και όχι ως υπερσυσσωρευτής, κάτι που δίνει απάντηση σε ένα από τα ερωτήματα που τέθηκαν στους σκοπούς του πειράματος.

Βιβλιογραφία

Ελληνική Βιβλιογραφία

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.

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, Καβάλα.

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

Σκρουμπής, Β. 1998. Αρωματικά, Φαρμακευτικά και Μελισσοτροφικά Φυτά της Ελλάδας. Εκδόσεις Αγρότυπος ΑΕ, Θεσσαλονίκη

Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

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(3), 322.

Antoniadis, V., Baum, C., Levizou, E., Ok, Y.S., Prasad, M.N.V., Rinklebe, S., Sebastian, A., Shaheen, S.M. and Wenzel, W.W. 2017. Trace elements in the soil-plant interface : Phytoavailability, translocation, and Phytoremediation-A review. Earth – Science Reviews. 171, 621-645.

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 *Saturejahortensis* L. *Journal Agricultural Science*, 2(3), 94.

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 (*Festucaarundinacea*Schreb.) grown on a lead-contaminated soil. *International Journal of 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.

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

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

Cecchi, M., Dumat, C., Alric, A., Felix-Faure, B., Pradere, P., Guiresse, 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.

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.

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

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*. 1-2.

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.

Kopittke, P.M., Asher, C.J., Kopittke, R.A., Menzies, N.W. 2007. Toxic effects of Pb²⁺ on growth of cowpea (*Vigna unguiculata*). *Environmental Pollution*. 150, 280—287.

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 *Rubusulmifolius* 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 (*Ocimumbasilicum* 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 .
- 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) letswaart). *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, 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.

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.

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 *Sesuviumportulacastrum* and *Brassica juncea*: Tolerance and accumulation. *Journal of Hazardous Materials*, 183, 609—615.