

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΝΘΟΚΟΜΙΑΣ ΚΑΙ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΤΟΠΙΟΥ

Αλληλεπίδραση της προσθήκης Καδμίου (Cd) και Ψευδαργύρου  
(Zn), στη συγκέντρωση αυτών, σε φυτά  
*Ocimum basilicum* “Genovese”

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ  
ΠΑΠΑΔΗΜΗΤΡΙΟΥ ΚΑΛΛΙΟΠΗ

ΑΘΗΝΑ 2013

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΝΘΟΚΟΜΙΑΣ ΚΑΙ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΤΟΠΙΟΥ

**Αλληλεπίδραση της προσθήκης Καδμίου (Cd) και Ψευδαργύρου  
(Zn), στη συγκέντρωση αυτών, σε φυτά  
*Ocimum basilicum* “Genovese”**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ  
ΠΑΠΑΔΗΜΗΤΡΙΟΥ ΚΑΛΛΙΟΠΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ : ΑΚΟΥΜΙΑΝΑΚΗ- ΙΩΑΝΝΙΔΟΥ Α.

ΜΕΛΗ : ΜΟΥΣΤΑΚΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

: ΠΑΠΑΦΩΤΙΟΥ ΜΑΡΙΑ

ΑΘΗΝΑ 2013

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στην κ. Ακουμιανάκη-Ιωαννίδου Α., Επίκουρο Καθηγήτρια του εργαστηρίου Ανθοκομίας και Αρχιτεκτονικής τοπίου του Γ.Π.Α για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντας μου το αντικείμενο της μεταπτυχιακής μελέτης, την επίβλεψη αλλά και την πολύτιμη καθοδήγηση της σε όλη τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας και της συγγραφής.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής τον κ. Μουστάκα Νικόλαο, Καθηγητή του Εργαστηρίου Εδαφολογίας και Γεωργικής Χημείας του Γ.Π.Α για την συνεργασία, τις χρήσιμες υποδείξεις κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας και την αξιολόγηση της μελέτης καθώς και την κ. Παπαφωτίου Μαρία, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια του εργαστηρίου Ανθοκομίας και Αρχιτεκτονικής τοπίου του Γ.Π.Α για την αξιολόγηση της μελέτης.

Ευχαριστώ τα μέλη του εργαστηρίου Ανθοκομίας και Αρχιτεκτονικής Τοπίου για την βοήθειά τους στη διεξαγωγή των πειραμάτων και για την συνεργασία τους. Ευχαριστώ επίσης το προσωπικό του εργαστηρίου Εδαφολογίας και Γεωργικής Χημείας για την διάθεση των υλικών που χρειάστηκαν στην πειραματική διαδικασία καθώς και για την σημαντική βοήθεια τους σε όλη την διάρκεια της μελέτης.

Θα ήθελα να πω ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένεια μου για την στήριξη τους σε όλη την διάρκεια των σπουδών μου.

## Περιεχόμενα

Περίληψη .....	6
Abstract .....	7
1. Εισαγωγή.....	8
1.1. Βασιλικός ( <i>Ocimum basilicum</i> “Genovese”, Lamiaceae).....	9
1.1.1. Γενικά.....	9
1.1.2. Πολλαπλασιασμός – Καλλιέργεια .....	10
1.1.3. Χρήσεις .....	12
1.1.4. Φαρμακευτικές ιδιότητες .....	13
1.2. Βαρέα Μέταλλα- Τοξικότητα Βαρέων Μετάλλων .....	14
1.2.1. Βαρέα Μέταλλα και Φυτά .....	16
1.3. Κάδμιο (Cd) .....	19
1.3.1. Ατμοσφαιρικές Αποθέσεις Καδμίου (Cd).....	20
1.3.2. Κάδμιο (Cd) στα Φυτά.....	21
1.3.3. Κάδμιο (Cd) στον ανθρώπινο οργανισμό .....	23
1.4. Ψευδάργυρος (Zn).....	23
1.4.1. Ρόλος του Ψευδαργύρου (Zn) στα φυτά .....	24
1.4.2. Ο ψευδάργυρος (Zn) στο έδαφος .....	25
1.4.3. Ελλείψεις και τοξικότητες Ψευδαργύρου (Zn). .....	26
1.5. Αλληλεπίδραση Καδμίου (Cd) – Ψευδαργύρου (Zn). .....	27
1.6. Σκοπός μελέτης.....	29
2. Υλικά και Μέθοδοι .....	30
2.1 Περιγραφή Πειράματος .....	30
2.2 Ανάλυση του φυτικού υλικού. ....	32
2.3 Υπόστρωμα .....	34
2.4 Προετοιμασία διαλυμάτων .....	34
2.5 Στατιστική Επεξεργασία .....	36
3. Αποτελέσματα-Συζήτηση .....	37
3.1. Αποτελέσματα της μέσης, της ελάχιστης, της μέγιστης τιμής και της τυπικής απόκλισης του ξηρού βάρους, της συγκέντρωσης Cd και της συγκέντρωσης Zn των φυτικών μερών του <i>Ocimum basilicum</i> “Genovese” ανεξαρτήτως μεταχείρισης. ....	37
3.2. Αλληλεπίδραση Cd-Zn στα φύλλα. ....	39
3.3. Αλληλεπίδραση Cd-Zn στις ταξιανθίες. ....	42
3.4. Αλληλεπίδραση Cd-Zn στους βλαστούς.....	45

3.5. Αλληλεπίδραση Cd-Zn στις ρίζες.....	47
3.6. Μεταβολές Cd-Zn σε ολόκληρο το φυτό.....	50
3.7. Συζήτηση.....	51
3.8. Τεύχος Φωτογραφιών .....	54
4. Βιβλιογραφία .....	60

## Περίληψη

Τα αρωματικά και φαρμακευτικά φυτά κατέχουν ιδιαίτερη θέση στους ανθρώπους όλων των λαών, από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα.

Η ρύπανση του περιβάλλοντος με τοξικά μέταλλα όπως το Cd, ο Pb, ο Zn κ.α. σήμερα έχει επιταχυνθεί εντυπωσιακά. Η συνύπαρξη Cd και Zn στο περιβάλλον και η χημική τους ομοιότητα μπορεί να οδηγήσει σε αλληλεπιδράσεις μεταξύ των στοιχείων αυτών κατά την πρόσληψή τους από τα φυτά και τη μεταφορά τους από τις ρίζες στους βλαστούς, στα φύλλα και τα άνθη.

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση της πιθανής αλληλεπίδραση Cd-Zn στην πρόσληψή τους από το ετήσιο αρωματικό φυτό *Ocimum basilicum* “Genovese”, το οποίο έχει ιδιαίτερο εμπορικό και οικονομικό ενδιαφέρον, καθώς χρησιμοποιείται ευρέως στην κηποτεχνία, την μαγειρική, την κοσμετολογία και την φαρμακευτική.

Για το σκοπό της μελέτης επιλέχθηκε ένα παραγοντικό πείραμα, με δύο παράγοντες το Cd και τον Zn. Για κάθε παράγοντα είχαμε 5 επεμβάσεις ( $0 \text{ mg L}^{-1}$ ,  $5 \text{ mg L}^{-1}$ ,  $10 \text{ mg L}^{-1}$ ,  $20 \text{ mg L}^{-1}$ ,  $40 \text{ mg L}^{-1}$ ) και για κάθε επέμβαση είχαμε 5 επαναλήψεις (συνολικά 125 φυτά). Η εφαρμογή του Cd έγινε με την μορφή  $\text{CdSO}_4 \cdot 8/3\text{H}_2\text{O}$  και η εφαρμογή του Zn με τη μορφή  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ .

Κατά τη διάρκεια του πειράματος μελετήθηκε η συμπεριφορά σποροφύτων *Ocimum basilicum* “Genovese” στις διάφορες επεμβάσεις που δέχθηκαν με ριζοπότισμα διαλύματος βαρέων μετάλλων και μετρήθηκε η απορρόφηση των στοιχείων αυτών από όλα τα φυτικά μέρη του φυτού (ρίζες, βλαστούς, φύλλα και ταξιανθίες).

Από τα αποτελέσματα διαφάνηκε ότι δεν υπήρχε αλληλεπίδραση Cd-Zn στα φυτικά μέρη αλλά και σε ολόκληρο το φυτό. Παρατηρήθηκε επίσης σημαντική αύξηση της πρόσληψης Cd από τα φυτικά μέρη αυξανόμενης της προσθήκης Cd. Η μεταβολή του Zn δεν ήταν σημαντική αυξανόμενης της προσθήκης Zn, δηλώνοντας έτσι μία πιθανή αλληλεπίδραση σε μεγάλες συγκεντρώσεις Cd και Zn. Μορφολογικά συμπτώματα τοξικότητας ή τροφοπενιών καθώς επίσης και μεταβολές στην ανάπτυξη του φυτού δεν παρατηρήθηκαν στις διάφορες μεταχειρίσεις, στο φυτό.

## Abstract

Ornamental and pharmaceutical plants have a special status in humans of all races and nations, since antiquity.

Environmental pollution by toxic metals, such as Cd, Pb, Zn etc., has been aggravated impressively. The co-existence of Cd and Zn in the environment and their chemical similarity can lead to interactions between these two elements from accumulation in the roots, the buds, the leaves and the flowers.

The objective of this study is to examine the possible interaction between Cd and Zn, when they are accumulated from the annual ornamental plant *Ocimum basilicum* “Genovese”, which has a special commercial and financial interest due to its widespread use in gardening, cooking, cosmetics and pharmacy.

For the objective of the study, a factorial experiment with two variables, Cd and Zn, has been selected. For each variable there were 5 interventions (0 mg kg<sup>-1</sup>, 5 mg kg<sup>-1</sup>, 10 mg kg<sup>-1</sup>, 20 mg kg<sup>-1</sup>, 40 mg kg<sup>-1</sup>) and for each intervention there were 5 repeats (total 125 plants). Cadmium was applied as CdSO<sub>4</sub>\*8/3H<sub>2</sub>O and Zn as ZnSO<sub>4</sub>\*7H<sub>2</sub>O.

During the experiment, it has been studied the behavior of *Ocimum basilicum* “Genovese” seedlings to the various interventions they received with root irrigation the heavy metals and it has been counted the absorption of these elements from all parts of the plant (roots, shoots, leaves and flowers).

The results, it appears that there is no interaction between Cd and Zn to every part of the plant separately and to the plant as a whole. It has been observed an important increase of the Cd uptake from the parts of the plant, when it has been increased the Cd addition. The change of Zn was not significant, when it has been increased the Zn addition. It has been observed during the cultivation neither morphological symptoms of toxicity or nutrient deficiencies, nor changes or dysfunction to the plant development.

## 1. Εισαγωγή

Τα αρωματικά και φαρμακευτικά φυτά κατέχουν ιδιαίζουσα θέση στους ανθρώπους όλων των λαών και όλων των εποχών, από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα. Οι θεραπευτικές ιδιότητες πολλών από τα φυτά αυτά, όπως είναι ο γλυκάνισος, το θυμάρι, ο κορίανδρος, η ματζουράνα, το θρούμπι και η μέντα ήταν γνωστές από την αρχαιότητα. Με τα αρωματικά και φαρμακευτικά φυτά ασχολήθηκε εκτός από τον Ιπποκράτη (460-370 π.Χ.), ο Θεόφραστος (372-287 π.Χ.) και ο Διοσκουρίδης ο Αναζαρβέας (1<sup>ος</sup> μ.Χ. αιώνας) ο οποίος περιέγραφε στο σύγγραμμά του τις θεραπευτικές ιδιότητες περίπου 600 φυτών (Σκρουμπής, 1998).

Η χρησιμοποίηση των αρωματικών και φαρμακευτικών φυτών συνεχίστηκε από τότε μέχρι και σήμερα, με αποτέλεσμα να έχουν βρεθεί και άλλα φυτά τα οποία χρησιμοποιούνται από τις βιομηχανίες για την παράγωγη φυτικών καλλυντικών, τροφίμων και για την παρασκευή φαρμάκων (Σκρουμπής, 1998). Τα αρωματικά και φαρμακευτικά φυτά ταξινομούνται σε περίπου πενήντα οικογένειες (Abietaceae, Apiaceae, Asteraceae, Geraniaceae, Lamiaceae, Rutaceae, Iridaceae, Rosaceae κλπ.). Δεν υπάρχει σαφής διάκριση ανάμεσα σε πολλά αρωματικά και φαρμακευτικά φυτά καθώς έχουν και τις δύο ιδιότητες (Πολυσίου, 2008).

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε η αλληλεπίδραση των στοιχείων καδμίου (Cd) ψευδαργύρου (Zn), τα οποία ανήκουν στην κατηγορία των βαρέων μετάλλων και η συγκέντρωση των στοιχείων αυτών, στο υπέργειο (φύλλα, βλαστοί, ταξιανθίες) αλλά και στο υπόγειο (ρίζες) τμήμα του *Ocimum basilicum* “Genovese”. Η ρύπανση του περιβάλλοντος με βαρέα μέταλλα είναι ένα σημαντικό περιβαλλοντικό πρόβλημα που απαιτεί την άμεση προσοχή μας. Ως αποτέλεσμα της παγκόσμιας βιομηχανικής ανάπτυξης, η ρύπανση του εδάφους με τοξικά μέταλλα όπως το κάδμιο (Cd), ο μόλυβδος (Pb), ο ψευδάργυρος (Zn) κ.α., έχει επιταχυνθεί εντυπωσιακά.

Η επιλογή του φυτικού υλικού έγινε με στόχο την διερεύνηση της ικανότητας πρόσληψης του Cd και του Zn από το φυτό *Ocimum basilicum* “Genovese” το οποίο χρησιμοποιείται ευρέως ως τρόφιμο νωπό ή μαγειρεμένο, ως αφέψημα αλλά και σε παρασκευές διαφόρων προϊόντων τα οποία παρουσιάζουν μεγάλη ζήτηση από το καταναλωτικό κοινό, όπως είναι φάρμακα, καλλυντικά και άλλα προϊόντα φυτικής προελεύσεως.



## 1.1. Βασιλικός (*Ocimum basilicum* “Genovese”, Lamiaceae), Basil ή Genovese Basil



Εικόνα 1. *Ocimum basilicum* “Genovese”.

### 1.1.1. Γενικά

Ο Βασιλικός είναι από τα πιο αγαπημένα φυτά των Ελλήνων που τραγουδήθηκε και πέρασε στην παράδοση. Γνωστός από την αρχαιότητα ως ο βασιλιάς των βοτάνων (Καρράς & Καρρά., 2006). Ονομάζεται και σταυρολούλουδο ή βασιλίτσα (Σκρουμπής, 1998). Είναι ετήσιο καλοκαιρινό φυτό, ιθαγενές των τροπικών χωρών της Ασίας, Αφρικής, των νησιών του Ειρηνικού Ωκεανού και ειδικότερα της Μεσογείου και ανήκει στην οικογένεια των χειλανθών (Κανταρτζής, 2003).

Στο γένος *Ocimum* υπάρχουν πάνω από 150 είδη ετήσια και πολυετή των θερμών χωρών (Καρράς & Καρρά, 2006). Το είδος που μελετάται στην παρούσα εργασία είναι ετήσιο. Ο Βασιλικός έχει βλαστό λείο ή ελαφρώς χνουδωτό πολύκλαδο ύψους 20-80 cm. Η ανάπτυξη του κατά πλάτος είναι σχεδόν όσο και στο ύψος, έχει όρθια ανάπτυξη, αλλά με τα κατάλληλα κορυφολογήματα μπορεί να πάρει σφαιρικό σχήμα.

Τα φύλλα είναι αρωματικά, στιλπνά, αντίθετα, έμμισχα, ωοειδή, ακέραια ή ελαφρώς οδοντωτά, χρώματος πράσινου και σε κάποιες ποικιλίες μπλε. Είναι είδος πολύμορφο όσον αφορά το μέγεθος των φύλλων (μικρόφυλλος, πλατύφυλλος, αραιόφυλλος, συμπαγής) αλλά και λόγω των εύκολων διασταυρώσεων μεταξύ των ποικιλιών. Τα άνθη του είναι μικρά, λευκού, ρόδινου ή μωβ χρώματος τα οποία εμφανίζονται κατά σπονδύλους σχηματίζοντας επάκριους στάχεις. Ο καρπός είναι με τέσσερα μονόσπερμα κάρνα. Η περίοδος άνθησης κλιμακώνεται στις περισσότερες ποικιλίες από το καλοκαίρι μέχρι τον Σεπτέμβριο (Σαρλής, 1991; Σκρουμπής, 1998; Κανταρτζής, 2003; Καρράς & Καρρά, 2006).

Η ποικιλία που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία είναι το ίδιο δημοφιλές με τον κλασικό βασιλικό (*Ocimum basilicum*) και με παρόμοιο άρωμα.



Εικόνα 2. *Ocimum basilicum* “Genovese”.

### 1.1.2. Πολλαπλασιασμός – Καλλιέργεια

Ο πολλαπλασιασμός γίνεται με σπόρο που σπέρνεται σε σπορείο νωρίς την άνοιξη μετά την περίοδο των παγετών. Ποσότητα σπόρου 30-50 g καλύπτει έκταση 10 m<sup>2</sup> περίπου του σπορείου, από την οποία λαμβάνονται φυτάρια για την κάλυψη ενός στρέμματος φυτείας. Η μεταφύτευση γίνεται τον Απρίλιο-Μάιο σε αποστάσεις 30-40x40-50 cm. Ο σπόρος σπέρνεται και απευθείας στο χωράφι ή στο φυτοδοχείο την ίδια εποχή. Δεν αυτοφύεται, μόνο καλλιεργείται και ευδοκμεί σε περιοχές με

εύκρατο κλίμα, ήπιο και βραχύ χειμώνα και δροσερό καλοκαίρι, σε εδάφη πλούσια, ελαφρά, με ουδέτερο pH, θερμά ηλιαζόμενα, ποτιστικά και καλά αποστραγγιζόμενα. Έχει υψηλές απαιτήσεις σε νερό ιδιαίτερα τις ζεστές ημέρες του καλοκαιριού. Οι μικρόφυλλες ποικιλίες προτιμούν ηλιόλουστα εδάφη ενώ αυτές με μεγάλα φύλλα ημισκιερά. Ακόμα και οι μικρόφυλλοι βασιλικοί το καλοκαίρι σε τοποθεσίες με έντονη ηλιοφάνεια και ζέστη προτιμούν ημισκιερές θέσεις (Σαρλής, 1991; Σκρουμπής, 1998; Κανταρτζής, 2003; Καρράς & Καρρά, 2006).

Ο βασιλικός είναι φυτό μεγάλης αναπλαστικής ικανότητας, για τον λόγο αυτό γίνονται και αρκετές συλλογές το έτος. Η συλλογή γίνεται όταν τα φυτά βρίσκονται στο στάδιο της πλήρους άνθησης (Σαρλής, 1991).

Δεν αντέχει την υπερβολική υγρασία και είναι ευαίσθητος στο φουζάριο το οποίο προκαλεί ξήρανση του υπέργειου τμήματος (Καρράς & Καρρά, 2006). Επίσης προσβάλλεται εύκολα από αφίδες οι οποίες καταπολεμούνται με φυσικές ή χημικές μεθόδους (Κανταρτζής, 2003). Είναι πολύ ευαίσθητος στις χαμηλές θερμοκρασίες (κοντά στους 0°C), για τον λόγο αυτό είναι σημαντική η προστασία του από τον παγετό. Έχει ανάγκες σε νερό αλλά δεν θέλει υπερβολικό πότισμα (Sullivan, 2009).

Η καλλωπιστική του αξία οφείλεται στο άρωμα και στο φύλλωμά του. Ο διαχωρισμός των διαφόρων ποικιλιών γίνεται με βάση αυτά τα χαρακτηριστικά. Έτσι εκτός των ποικιλιών με το χαρακτηριστικό άρωμα υπάρχουν ποικιλίες που έχουν άρωμα λεμονιού (Lemon basil), κανέλλας (Cinnamon) κ.α., (Καρράς & Καρρά, 2006). Οι αναλογίες των διαφόρων συστατικών που συνθέτουν το άρωμα του διαφέρουν σημαντικά μεταξύ των φυτών που αναπτύσσονται σε διαφορετικές περιοχές του κόσμου (Brown, 1995).



Εικόνα 3. Φύλλα και άνθη *Ocimum basilicum* “Cinnamon”.  
Εικόνα 4. Λεπτομέρεια φύλλων *Ocimum basilicum* “Lemon”.

### 1.1.3. Χρήσεις

Στην Ελλάδα χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά σαν γλαστρικό λόγω του αρωματικού φυλλώματος του. Σε κάθε μπαλκόνι ή καθιστικό χώρο η γλάστρα του βασιλικού κατέχει δεσπόζουσα θέση. Διακοσμεί, επίσης, εξώστες, παράθυρα, κήπους, αίθρια ή εισόδους κτιρίων. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μπορντούρες ή σε παρτέρια όπου τοποθετείται συνήθως περιφερειακά αν χρησιμοποιηθεί με άλλα φυτά τα οποία επιλέγονται με χρώματα έντονα, συμπληρωματικά του φυλλώματος του. Ενδείκνυται για εκκλησίες, μουσεία και αρχαιολογικούς χώρους (Κανταρτζής, 2003; Καρράς & Καρρά, 2006).

Είναι φυτό αρωματικό, φαρμακευτικό, μελισσοτροφικό και εδώδιμο (Σκρουμπής, 1998). Τα φρέσκα φύλλα χρησιμοποιούνται σε μεγάλη κλίμακα στην Μεσογειακή κουζίνα αλλά και στην Ταϊλανδέζικη. Συνδυάζεται με διάφορα λαχανικά και ιδιαίτερα με τις τομάτες και τις μελιτζάνες. Χρησιμοποιείται ως βασικό συστατικό στην παρασκευή διάφορων σαλτσών όπως είναι η γνωστή Ιταλική σάλτσα πέστο. Ταιριάζει με κοτόπουλο, κρέας, ψάρι, και με διαφόρων ειδών μαγειρευτά φαγητά. Προστίθενται πάντα φρέσκα φύλλα προς το τέλος του μαγειρέματος (Κανταρτζής, 2003; Sullivan, 2009).

Το αιθέριο έλαιο του βασιλικού χρησιμοποιείται στην αρωματοθεραπεία ως αρωματικό στοιχείο, στην σαπωνοποιΐα, στη φαρμακευτική, στην ζαχαροπλαστική, στην βιομηχανία τροφίμων και στην παραγωγή διαφόρων λικέρ. Η ξηρή δρόγη

χρησιμοποιείται κυρίως στην βιομηχανία τροφίμων και στην φαρμακευτική. (Σαρλής, 1991; Κανταρτζής, 2003).



Εικόνα 5. *Ocimum basilicum* “minimum”.

#### 1.1.4. Φαρμακευτικές ιδιότητες

Φαρμακευτικό φυτό ονομάζεται κάθε φυτό που περιέχει ένα ή περισσότερα δραστικά συστατικά τα οποία προλαμβάνουν, ανακουφίζουν ή θεραπεύουν ασθένειες (Σαρλής, 1991).

Ο βασιλικός από την αρχαιότητα χρησιμοποιείται ως θεραπευτικό βότανο για διάφορες ασθένειες. Ολόκληρο το υπέργειο μέρος φαίνεται ότι έχει φαρμακευτικές ιδιότητες. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιείται στην ανακούφιση ήπιων νευρολογικών συμπτωμάτων, στην θεραπεία του κρυολογήματος και της γρίπης. Το αφέψημα του βοηθά στην ναυτία, στις ημικρανίες, στην κατάθλιψη, στην αϋπνία, στην πέψη, στη δυσκοιλιότητα και γενικά στις διαταραχές του εντέρου. Επίσης, συνιστάται στην καταπολέμηση της ακμής και σε λοιμώξεις του δέρματος. Ολόκληρο το υπέργειο μέρος θεωρείται διουρητικό. Συνιστάται ακόμη, στα τσιμπήματα εντόμων, φιδιού και σε δάγκωμα σκορπιού (Brown, 1995; Σκρουμπής, 1998; Κανταρτζής, 2003).

Τα φύλλα συλλέγονται σε όλη την καλλιεργητική περίοδο και χρησιμοποιούνται νωπά ή αποξηραμένα. Η ρίζα χρησιμοποιείται στην ανακούφιση ενοχλήσεων του εντέρου στις μικρές ηλικίες (Brown, 1995). Τα εκχυλίσματα του φυτού είναι βακτηριοκτόνα (Ayensu & Duke, 1985) και έχουν εντομοαπωθητική δράση (Chiej, 1984).

Στην Κινέζικη ιατρική χρησιμοποιείται ο βασιλικός για παθήσεις των νεφρών και για ασθένειες των ούλων, στην Ινδία χρησιμοποιείται ως καταπραυντικό για τον πόνο στα αυτιά, στις διαταραχές της έμμηνου ρύσεως, στην ρευματοειδή αρθρίτιδα, στον έντονο κνησμό και στην ελονοσία (Karalliedde & Gawarammana, 2008).

## 1.2. Βαρέα Μέταλλα- Τοξικότητα Βαρέων Μετάλλων

Με τον όρο βαρέα μέταλλα αναφερόμαστε γενικά στα μέταλλα με ατομικό βάρος μεγαλύτερο από εκείνο του Fe ( $A_{Fe}=56$ ) και πυκνότητα μεγαλύτερη από 5 ή 6 g cm<sup>-3</sup>. Περιλαμβάνουν μια μεγάλη ομάδα μεταλλικών και μεταλλοειδών κατιόντων που παρουσιάζουν βιολογικό και βιομηχανικό ενδιαφέρον. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν περίπου 40 στοιχεία (ψευδάργυρος (Zn), χαλκός (Cu), κάδμιο (Cd), υδράργυρος (Hg), νικέλιο (Ni), μόλυβδος (Pb)). Συμπεριλαμβάνονται και ελαφρύτερα στοιχεία (αργίλιο (Al), βηρύλλιο (Be)) και μεταλλοειδή (αρσενικό (As), σελήνιο (Se)) (Phipps, 1981; Ζαλίδης, 2002).

Απαντώνται σε μικρές συγκεντρώσεις στην φύση και αποτελούν μόλις το 1% των πετρωμάτων του φλοιού της γης (Alloway, 1995). Το Cd ανήκει στα μέταλλα τα οποία θεωρούνται δυνητικά επιβλαβή για την ανθρώπινη υγεία. Η ρύπανση του εδάφους λόγω των υψηλών συγκεντρώσεων Cd έχει αυξηθεί τα τελευταία χρόνια. Προέρχεται κυρίως από φυσικές διεργασίες, όπως είναι η ηφαιστειακή δραστηριότητα, η αποσάθρωση και από άλλους εδαφογενετικούς μηχανισμούς με τους οποίους δημιουργούνται τα εδάφη, από την ατμοσφαιρική εναπόθεση Pb στα φύλλα, χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται στη γεωργία όπως είναι τα γεωργικά φάρμακα και τα φωσφορικά λιπάσματα, καυσαέρια αυτοκινήτων, βιομηχανικά απόβλητα κυρίως των μεταλλουργείων, χυτηρίων, εργοστασίων κ.τ.λ). Τα φωσφορικά λιπάσματα είναι η πιο διαδεδομένη αιτία της μόλυνσης των γεωργικών εδαφών λόγω της συσσώρευσης Cd. Το πρόβλημα της συσσώρευσης είναι μακροχρόνιο διότι η διάρκεια ζωής του Cd στο έδαφος κυμαίνεται από 15-1.100 χρόνια (Moustakas, 2001).

Απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα κατά τη διάρκεια της καύσης ορυκτών καύσιμων και ξύλου καθώς και από βιομηχανικές δραστηριότητες και μέσω της αποτέφρωσης απορριμμάτων. Η εκπομπή βαρέων μετάλλων στην ατμόσφαιρα μπορεί να είναι αποτέλεσμα φυσικών εκπομπών, από μεταλλεύματα του γήινου φλοιού, από ηφαίστεια, από διάβρωση και από πυρκαγιές δασών (Allen *et al.*, 2001). Τεράστιος αριθμός περιοχών (1.400.000 περιοχές στην δυτική Ευρώπη) έχουν βρεθεί να είναι

ρυπασμένες, με τις περισσότερες από αυτές με μέταλλα όπως κάδμιο, ψευδάργυρο, μόλυβδο και χαλκό (Mc Grath *et al.*, 2001).

Τα βαρέα μέταλλα λόγω των επιβλαβών ιδιοτήτων που έχουν αναφέρονται και ως «εν δυνάμει τοξικά στοιχεία» (potentially toxic elements PTE) (Μήτσιος, 2004). Σε μικρές συγκεντρώσεις ορισμένα από τα μέταλλα είναι απαραίτητα στοιχεία για την αύξηση και ανάπτυξη των ζωντανών οργανισμών και κυρίως των φυτών, εφόσον αυτά αποτελούν συστατικά πολλών ενζύμων και πρωτεϊνών όπως είναι ο ψευδάργυρος. Όταν όμως οι συγκεντρώσεις τους ξεπεράσουν τα επιτρεπόμενα όρια γίνονται τοξικά για το περιβάλλον και τους ζωντανούς οργανισμούς με αποτέλεσμα την αναστολή της αύξησης των περισσότερων φυτών (Hall, 2002). Σε περιοχές όπου υπάρχει έντονη βιομηχανική δραστηριότητα και επιβάρυνση του περιβάλλοντος με επικίνδυνα απόβλητα οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων είναι αυξημένες (Monni *et al.*, 2000). Η παρουσία τους στην ατμόσφαιρα, το έδαφος και το νερό μπορεί να προκαλέσει σοβαρά προβλήματα, ακόμα και σε μικρές συγκεντρώσεις, στην ανάπτυξη και στην επιβίωση των φυτικών και ζωικών οργανισμών. Ιδιαίτερα επικίνδυνη είναι και η συσσώρευση τους στην τροφική αλυσίδα (Sanita di Torri L & Gabbrielli, 1999). Έχουν καταγραφεί μεταλλάξεις στα κύτταρα, επιδράσεις στην ενζυμική και ορμονική δραστηριότητα, προβλήματα στην αναπαραγωγή με αποτέλεσμα την εμφάνιση τερατογενέσεων και καρκινογενέσεων (Στασινάκης, 2003).

Τα βαρέα μέταλλα διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με την επικινδυνότητά τους α) στα μη επικίνδυνα, β) στα τοξικά αλλά σπάνια ή ιδιαίτερα δυσδιάλυτα και γ) στα τοξικά (Prasad, 2004).

Η τοξικότητα των βαρέων μετάλλων εξαρτάται από την συγκέντρωσή τους, το είδος του μετάλλου, την ύπαρξη και την συνεργιστική δράση άλλων μετάλλων και το είδος του οργανισμού. Η τοξικότητα των βαρέων μετάλλων διαφοροποιείται ανάλογα με το είδος του μετάλλου και τη μορφή με την οποία είναι διαθέσιμα στο περιβάλλον. Ο υδράργυρος (Hg), το κάδμιο (Cd), ο μόλυβδος (Pb), το νικέλιο (Ni) και το αρσενικό (As) παρουσιάζουν πολύ υψηλή τοξικότητα ακόμη και σε χαμηλές συγκεντρώσεις. Η σειρά τοξικότητας είναι:  $Hg^{2+} > Cu^{2+} > Zn^{2+} > Ni^{2+} > Pb^{2+} > Cd^{2+} > As^{3+} > Cr^{3+} > Sn^{2+} > Fe^{3+} > Mn^{2+}$  (Στασινάκης, 2003).

Τα βαρέα μέταλλα αποτελούν ένα παγκόσμιο περιβαλλοντικό κίνδυνο γιατί σε αντίθεση με ορισμένους οργανικούς ρύπους δεν αποδομούνται αλλά καθιζάνουν ως δυσδιάλυτα άλατα ή σύμπλοκα, με αποτέλεσμα να παραμένουν- συσσωρεύονται στο περιβάλλον για μεγάλο χρονικό διάστημα και να είναι τοξικά για τον βιόκοσμο.

Επιπλέον, η παραμονή τους στο έδαφος είναι κατά πολύ υψηλότερη έναντι αυτής άλλων στοιχείων της βιόσφαιρας, επομένως η ρύπανση του εδάφους από αυτά μπορεί να θεωρηθεί μόνιμη (Κουϊμτζής *et al.*, 1998; Mc Grath *et al.*, 2001; Sas-Nowosielska *et al.*, 2004).

Συνήθως μεταφέρονται μέσω των αστικών λυμάτων και βιομηχανικών καταλοίπων με τα νερά της βροχής ή των ποταμών, ακόμα και σε καλλιεργήσιμα εδάφη όπου παραμένουν για χρόνια μιας και δεν υπάρχει κανένας φυσικός ή βιολογικός τρόπος για την καταστροφή τους. (Στασινάκης, 2003).

Ορισμένα φυτά βιοδείκτες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να διαπιστωθεί η ύπαρξη βαρέων μετάλλων στο έδαφος. Πρόκειται για μεταλλόφυτα τα οποία επιλέγουν την στρατηγική της ανθεκτικότητας. Απορροφούν υψηλές συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων και διαθέτουν μηχανισμούς απομόνωσής τους.

### **1.2.1. Βαρέα Μέταλλα και Φυτά**

Κάθε φυτικός οργανισμός έχει προσαρμοστεί μέσω της εξέλιξης να αναπτύσσεται χωρίς προβλήματα μέσα σε καθορισμένα όρια συνθηκών του περιβάλλοντος, επομένως, εάν παραβιαστούν τα βέλτιστα αυτά όρια, ο φυτικός οργανισμός θα επιβαρυνθεί και θα εμφανίσει τα πρώτα συμπτώματα καταπόνησης. Η καταπόνηση συνήθως εκτιμάται από την ανάπτυξη της βιομάζας του φυτού και την επιβίωση του, το παραγόμενο γεωργικό προϊόν όπως και από τον ρυθμό αφομοίωσης του CO<sub>2</sub> ή των θρεπτικών συστατικών (Καραμπουρνιώτης, 2003).

Όπως είναι γνωστό τα φυτά χρειάζονται για την ομαλή αύξηση και ανάπτυξη τους ένα αριθμό θρεπτικών συστατικών ανάμεσα στα οποία και ορισμένα βαρέα μέταλλα όπως ο χαλκός, το κοβάλτιο και ο ψευδάργυρος, σε ελάχιστες ποσότητες (ίχνη), ως δομικά συστατικά πρωτεϊνών και ενζύμων και ως συνένζυμα. Παρόλα αυτά, σε περίσσεια τα ιχνοστοιχεία αυτά αλλά και άλλα βαρέα μέταλλα όπως ο μόλυβδος, το κάδμιο, ο υδράργυρος και το αρσενικό, τα οποία δεν είναι απαραίτητα για τα φυτά, είναι εξαιρετικά τοξικά (Γαλάτης *et al.*, 2003; Καραμπουρνιώτης, 2003; Τσέκος, 2004).

Τα φυτά απορροφούν εύκολα όλα τα είδη των στοιχείων που βρίσκονται στο εδαφικό διάλυμα. Ωστόσο οι ρίζες των φυτών έχουν μια μεγάλη ικανότητα να απορροφούν και μορφές στοιχείων χαμηλής κινητικότητας λόγω διαφόρων εκκριμάτων των ριζών που αλλάζουν το pH του περιβάλλοντος τους. Οι ρίζες των φυτών που καλλιεργούνται σε μολυσμένες από μέταλλα περιοχές μπορεί να



αναπτύξουν μηχανισμούς για την προστασία των φυτών από την υπερβολική πρόσληψη ενός μετάλλου (Santa Maria & Cogliatti, 1998).

Απέναντι στην καταπόνηση από τα βαρέα μέταλλα υπάρχουν δύο βασικές γενετικά καθορισμένες αποκρίσεις των φυτών: η ευαισθησία (sensitivity) στα μέταλλα και η αντοχή (resistance) στα μέταλλα. Η ευαισθησία στα μέταλλα οδηγεί στον τραυματισμό ή το θάνατο των φυτών, ενώ η αντοχή υπονοεί ότι αν και τα φυτά επηρεάζονται, αντιδρούν με τρόπο που τους επιτρέπει την επιβίωση τους σε υψηλές συγκεντρώσεις μετάλλων και την παραγωγή της επόμενης γενεάς φυτών (Orcutt & Nilsen, 2000). Η αντοχή στα μέταλλα επιτυγχάνεται από τα φυτά βάσει κυρίως δύο στρατηγικών: την αποφυγή (avoidance), η οποία περιγράφει τους μηχανισμούς μέσω των οποίων τα φυτά αποκλείουν τα βαρέα μέταλλα στο εξωτερικό περιβάλλον και την ανθεκτικότητα (tolerance) στην οποία τα φυτά είναι σε θέση να ανταπεξέλθουν της εσωτερικής καταπόνησης που επιβάλλεται από τις υψηλές συγκεντρώσεις μετάλλων (Orcutt & Nilsen, 2000; Mc Grath *et al.*, 2001; Καραμπουρνιώτης, 2003; Γαλάτης *et al.*, 2003).

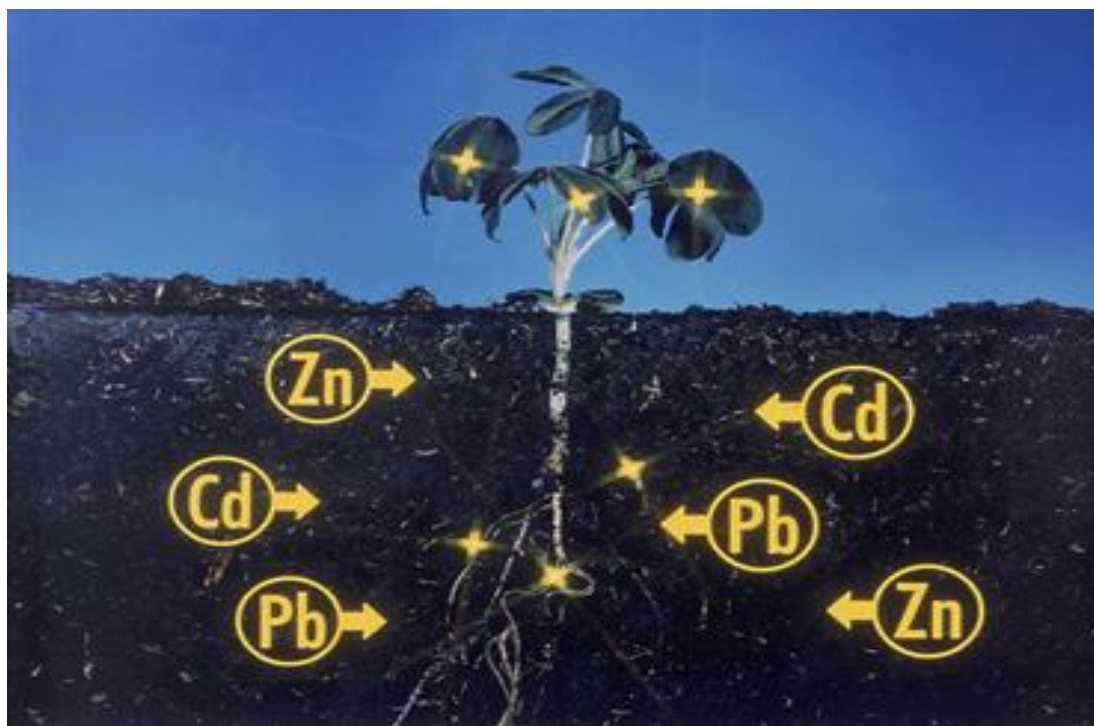
Τα φυτά τα οποία έχουν επιλέξει τη στρατηγική της αποφυγής διαθέτουν κατάλληλους αμυντικούς μηχανισμούς μέσω των οποίων αποκλείουν τα βαρέα μέταλλα στο εξωτερικό περιβάλλον. Τα κύτταρα των φυτών αυτών δεν έχουν την εμπειρία υψηλών συγκεντρώσεων βαρέων μετάλλων στον συμπλάστη και παρουσιάζονται το ίδιο ευάλωτα με εκείνα των ευαίσθητων φυτών. Τα τοξικά μεταλλικά ιόντα είτε δεσμεύονται και εξουδετερώνονται στο περιβάλλον της ριζόσφαιρας από χηλικές ενώσεις (κυρίως οργανικά οξέα, όπως μηλικό) οι οποίες εκκρίνονται από τα κύτταρα της ρίζας, είτε αποκλείονται στο εξωτερικό περιβάλλον λόγω της υψηλής εκλεκτικότητας που παρουσιάζουν οι μεμβράνες των κυττάρων της ρίζας (Καραμπουρνιώτης, 2003).

Αντίθετα, οι φυτικοί οργανισμοί οι οποίοι έχουν επιλέξει τη στρατηγική της ανθεκτικότητας προσλαμβάνουν τα τοξικά μέταλλα από το περιβάλλον και έχουν την ικανότητα να τα συσσωρεύουν στους ιστούς τους σε εξαιρετικά υψηλές συγκεντρώσεις, οι οποίες προκαλούν τον κυτταρικό θάνατο στα ευαίσθητα είδη. Η λειτουργία των μηχανισμών ανθεκτικότητας παρόλο που καθορίζεται γενετικά, μπορεί να διαφοροποιηθεί μέσω εγκλιματισμού (Καραμπουρνιώτης, 2003).

Η παρουσία των βαρέων μετάλλων σε τοξικά επίπεδα στο έδαφος έχει ως άμεσο αποτέλεσμα την επιβράδυνση της ανάπτυξης των ευαίσθητων φυτικών ειδών η οποία

αποτελεί το πλέον ορατό αποτέλεσμα μιας σειράς επιπτώσεων στις μεταβολικές λειτουργίες που αναφέρονται παρακάτω:

- Δυσλειτουργίες στην είσοδο και έξοδο ιόντων όπως  $\text{Ca}_2^+$ ,  $\text{Mg}_2^+$ ,  $\text{NO}_3^-$   $\text{K}^+$  μέσω των μεμβρανών,
- Παρεμπόδιση της λειτουργίας της αλυσίδας μεταφοράς ηλεκτρονίων τόσο στην αναπνοή όσο και στην φωτοσύνθεση,
- Μη αντιστρεπτή παρεμπόδιση της δραστηριότητας ενζύμων κλειδιών. Η αποδραστηριοποίηση των ενζυμικών μορίων οφείλεται στην δέσμευση των ιόντων των βαρέων μετάλλων κυρίως σε θέσεις οι οποίες διαθέτουν σουλφυδρυλομάδες,
- Σημαντική πτώση της παραγωγής ενέργειας (Καραμπουρνιώτης, 2003).



Εικόνα 6. Απορρόφηση και μετακίνηση των βαρέων μετάλλων μέσω των ριζών στα φυτά.

### 1.3. Κάδμιο (Cd)

Το κάδμιο είναι μέταλλο με ατομικό βάρος 112,4, ανήκει στην ομάδα ΙΙΒ του περιοδικού πίνακα και με βάση την πυκνότητά του ( $8,642 \text{ g cm}^{-3}$ ) κατατάσσεται στα βαρέα μέταλλα. Έχει πολύ χαμηλό σημείο βρασμού  $765^\circ\text{C}$  και έτσι απελευθερώνεται σε αέρια μορφή. Δημιουργεί σταθερές διαλυτές ενώσεις με το χλώριο. Δεν συμμετέχει σε καμία λειτουργία των ζωντανών οργανισμών και είναι ιδιαίτερα τοξικό όταν μέσω της τροφικής αλυσίδας μεταφέρεται στον άνθρωπο (Davis, 1984). Παρόλο που παρουσιάζει ανάλογη συμπεριφορά με τον ψευδάργυρο, είναι περισσότερο ευκίνητο ιδιαίτερα σε τιμές pH μεταξύ 4,5 και 5,5, ενώ σε τιμές pH πάνω από 7,5 η κινητικότητα του μειώνεται. Η δισθενής του μορφή είναι διαλυτή αλλά συμπλοκοποιείται με οργανικά μόρια και οξείδια (Mulligan *et al.*, 2001). Σπανίως απαντάται σε καθαρή μορφή, βρίσκεται συχνά σε ορυκτά που περιλαμβάνουν άλλα βαρέα μέταλλα όπως μόλυβδο (Pb) και ψευδάργυρο (Zn) (Baker *et al.*, 1990). Συνήθως συνυπάρχει σε μικρές ποσότητες σε ορισμένα μεταλλεύματα του ψευδαργύρου ως CdS και  $\text{CdCO}_3$ , από τα οποία εξάγεται ως παραπροϊόν (Mulligan *et al.*, 2001; Καραγιαννίδης, 2002).

Η τοξική δράση των βαρέων μετάλλων προσδιορίζεται περισσότερο από την χημική του μορφή στο εδαφικό διάλυμα παρά από τη συγκέντρωσή του σε αυτό (Alloway, 1995; Sauve *et al.*, 2002). Η σημαντικότερη χημική μορφή του καδμίου στο εδαφικό διάλυμα είναι  $\text{Cd}^{2+}$  (Duxbury, 1985).

Το κάδμιο είναι στοιχείο που συσσωρεύεται σε μεγάλο βαθμό και έχει χρόνο ζωής μεγαλύτερη από 10 χρόνια στον άνθρωπο. Χρησιμοποιείται πολύ από την βιομηχανία για επιμεταλλώσεις, παραγωγή μπαταριών, δημιουργία πλαστικών, χρωστικές ουσίες κτλ (Bulbul *et al.*, 2003), χρησιμοποιείται επίσης σαν προστατευτικό επίχρισμα του χάλυβα, σε διάφορα κράματα μετάλλων, στις βαφές και τα στυλβωτικά, σαν σταθεροποιητικό σε πλαστικά, στις μπαταρίες Ni-Cd και σε διάφορες άλλες χρήσεις όπως στα φωτοβολταϊκά και στους πυρηνικούς αντιδραστήρες (Alloway, 1995).

Οι πηγές του καδμίου είναι:

- Φυσικές (πετρώματα, πυρκαγιές δασών).
- Γεωργικές (φωσφορικά λιπάσματα, εναπόθεση ιλύος, νερό άρδευσης).
- Βιομηχανικές (εξόρυξη και επεξεργασία μεταλλευμάτων (ιδιαίτερα ως παραπροϊόν της χύτευσης του ψευδαργύρου), επεξεργασίες πλαστικών (χρήση

ως σταθεροποιητής στο PVC), κραμάτων, χαρτιού, μικροηλεκτρονικών, ελαστικών, κλωστοϋφαντουργία (χρωστική ουσία).

- Αστικές (αποτέφρωση απορριμμάτων, στραγγίσματα από ΧΥΤΑ, καύση γαιανθράκων και πετρελαίου για θέρμανση ή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, εκπομπή αεροζόλ μέσω μεταφοράς, μπαταρίες) (Κουϊμτζής *et al.*, 1998; Chen *et al.*, 2000; Orcutt & Nilsen, 2000; Mulligan *et al.*, 2001; Naidu *et al.*, 2003; Qadir *et al.*, 2004; Zarcinas *et al.*, 2004; Yanai *et al.*, 2006; Kirkham, 2006)

Το κάδμιο θεωρείται σημαντικός ρυπαντής του περιβάλλοντος διότι είναι ιδιαίτερα τοξικό και ευδιάλυτο στο νερό και αποτελεί σοβαρή απειλή για τα οικοσυστήματα (Das *et al.*, 1997; Barazani *et al.*, 2004). Προκαλεί ανησυχία στους επιστήμονες επειδή μπορεί να απορροφηθεί από τα εδάφιμα μέρη αρκετών φυτών. Η ύπαρξη του δεν είναι απαραίτητη για τις βιολογικές λειτουργίες των ζώντων οργανισμών για αυτό και εμφανίζονται συμπτώματα τοξικότητας (Μουστακας, 2001). Η χρήση φωσφορικών λιπασμάτων σε ποσοστό 54-58%, οι ατμοσφαιρικές αποθέσεις σε ποσοστό 39-41%, και τα βιομηχανικά και αστικά λύματα σε ποσοστό 2-5% έχουν ως αποτέλεσμα την υψηλή συγκέντρωση καδμίου στο έδαφος (Alloway, 1995).

### 1.3.1. Ατμοσφαιρικές Αποθέσεις Καδμίου (Cd).

Οι συγκεντρώσεις καδμίου στον αέρα συνήθως κυμαίνονται από 1-50 n gm<sup>-3</sup> ανάλογα με την απόσταση από τις πηγές εκπομπής (Jones *et al.*, 1987). Τυπικές τιμές της συγκέντρωσης του ατμοσφαιρικού καδμίου στην Ευρώπη είναι 1-6 n gm<sup>-3</sup> στις αγροτικές περιοχές 3,6-20 n gm<sup>-3</sup> στις αστικές περιοχές και 16,5-54 n gm<sup>-3</sup> στις βιομηχανικές περιοχές, φθάνοντας τα 11000 n gm<sup>-3</sup> κοντά σε εργοστάσια μεταλλουργίας που παράγουν Zn/Pb (Alloway, 1995).

Η συνολική ετήσια ατμοσφαιρική εκπομπή καδμίου ανά τον κόσμο υπολογίστηκε από τον (Nriagu, 1980) σε 8.100 tn (800 tn από φυσικές πηγές και 7.300 tn από ανθρωπογενείς δραστηριότητες).

Η ρύπανση του περιβάλλοντος με κάδμιο έχει αυξηθεί κατά πολύ τις τελευταίες δεκαετίες, λόγω αυξημένης χρησιμοποίησης του από τη βιομηχανία. Αντίθετα με το Pb, Cu και Hg που χρησιμοποιούνται εδώ και αιώνες, το Cd άρχισε να χρησιμοποιείται ευρέως μόλις τον περασμένο αιώνα. Η παγκόσμια παραγωγή καδμίου αυξήθηκε από 11.000 tn το 1960 σε 20.200 tn το 1990 (Nriagu, 1988).

Φυτά που αναπτύσσονται κοντά σε αυτοκινητόδρομους με μεγάλη κυκλοφορία, παρουσιάζουν αυξημένες συγκεντρώσεις Cd, αλλά και άλλων μετάλλων όπως Pb, Cr και Mn (Kalavrouziotis, 2007).

### 1.3.2. Κάδμιο (Cd) στα Φυτά

Τα βαρέα μέταλλα δεν επηρεάζουν σημαντικά την κανονική ανάπτυξη των φυτών όταν βρίσκονται σε απειροελάχιστες ποσότητες όμως γίνονται τοξικά σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις (Duxbury, 1985; Prasad, 1995). Η τοξικότητα του καδμίου προκαλεί αλλαγές στις φωτοσυνθετικές διεργασίες, ιδιαιτέρως στην βιοσύνθεση της χλωροφύλλης, στη μεταφορά ηλεκτρονίων και στην αναπνοή.

Παρόλο που δεν αποτελεί απαραίτητο στοιχείο για την επιβίωση των φυτών, λαμβάνεται σχετικά εύκολα από τις ρίζες και μεταφέρεται στα φύλλα σε πολλά φυτικά είδη (Zhou & Qiu, 2005). Το κάδμιο εισέρχεται στο φυτό μέσω των ριζών και θεωρείται ότι διεισδύει εκεί μέσω του φλοιώδους ιστού (Sanità di Torpi & Gabbrielli, 1999). Θεωρητικά, μόνο μικρές ποσότητες καδμίου φθάνουν στους βλαστούς και με την διάχυση φθάνουν στα φύλλα. Η διάχυση του καδμίου ή η συσσώρευσή του διαφέρει ανάλογα με τα γένη των φυτών και εξαρτάται από την ηλικία του. Με την ηλικία του φυτού αυξάνεται και η ευαισθησία του σε κάδμιο και συσχετίζεται περισσότερο με τη φωτοσυνθετική διαδικασία παρά με τις λειτουργίες ανάπτυξης (Kabata-Pendias & Pendias, 2001). Παρόλο που ο μηχανισμός διάχυσης δεν είναι γνωστός, το  $Cd^{2+}$  θεωρείται ευκίνητο κατιόν, που μετακινείται μέσω μεταλλοοργανικών συμπλόκων και σταματά να μετακινείται συνήθως όταν συνδέεται σταθερά σε θέσεις ιοντοανταλλαγής στα κυτταρικά τοιχώματα. Μπορεί να εμφανιστεί σε διάφορα κυτταρικά συστατικά, όπως το κυτταρικό τοίχωμα, το κυτταρόπλασμα, οι χλωροπλάστες κ.α. (Prasad, 2008).

Έχει αποδειχτεί ότι υψηλές συγκεντρώσεις καδμίου προκαλούν στα φυτά:

- μείωση στην αφομοίωση του άνθρακα (Perfus-Barbeoch *et al.*, 2002; Zhou & Qiu, 2005),
- οξειδωτική καταπόνηση (Pietrini *et al.*, 2003; Smeets *et al.*, 2005),
- μείωση της ενζυμικής δραστηριότητας (Prasad, 1995),
- κλείσιμο των στομάτων και διαταραχές στο περιεχόμενου του νερού (Prasad, 1995; Clemens, 2006),

- αναστολή της βιοσύνθεσης της χλωροφύλλης (Prasad, 1995; Das *et al.*, 1997; Orcutt & Nilsen, 2000; Pietrini *et al.*, 2003; Zhou & Qiu, 2005; Clemens, 2006),
- μεταβολή της αναλογίας χλωροφύλλης a/b του συμπλόκου του φωτοσυστήματος II (light-harvesting complex II LHCII) (Orcutt & Nilsen, 2000, Pietrini *et al.*, 2003),
- μείωση της πρόσληψης θρεπτικών συστατικών (Prasad 1995; Das *et al.*, 1997; Orcutt & Nilsen, 2000; Zhou & Qiu, 2005; Clemens, 2006),
- μείωση της αναπνοής (Orcutt & Nilsen, 2000),
- μείωση της διαπνοής (Cho & Seo, 2005),
- καταστροφή των άκρων των ριζών (Zhou & Qiu, 2005),
- παρεμπόδιση της βλάστησης του σπόρου (Peralta *et al.*, 2001)
- και αναστολή της αύξησης των φυτών (Prasad, 1995; León *et al.*, 2002; Barazani *et al.*, 2004; Cho & Seo, 2005; Clemens, 2006).

Τα συμπτώματα τοξικότητας είναι:

- η χλώρωση των φύλλων,
- η εμφάνιση καστανοκόκκινου χρωματισμού στις άκρες των φύλλων,
- η μείωση του ρυθμού ανάπτυξης,
- η περιορισμένη βλάστηση των καρπών,
- η περιορισμένη επιμήκυνση των ριζών (Das *et al.*, 1997).

Η περιεκτικότητα του Cd στα φυτά κυμαίνεται από 0,05-0.2 mg kg<sup>-1</sup>. Τα φύλλα προσβεβλημένων φυτών έχουν υψηλές συγκεντρώσεις, ενώ οι καρποί και τα φρούτα φαίνεται να μην επηρεάζονται από το κάδμιο (Kabata-Pendias & Pendias, 2001).

Έρευνες που έγιναν στην Ιταλία για την συγκέντρωση των As, Cd, Pb και Zn σε 255 δείγματα λαχανικών και φρούτων στην βιομηχανική περιοχή της Σαρδηνίας έδειξαν ότι οι υψηλότερες συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων μετρήθηκαν σε αρωματικά φυτά. Από τα υπόλοιπα δείγματα φυτών στα όσπρια η συγκέντρωση του αρσενικού ήταν 0,142 mg kg<sup>-1</sup> ενώ του Zn ήταν 13,03 mg kg<sup>-1</sup>, στα φυλλώδη λαχανικά η συγκέντρωση καδμίου βρέθηκε 0,147 mg kg<sup>-1</sup> και στα φρούτα η συγκέντρωση του Pb ήταν 0,294 mg kg<sup>-1</sup>. Όσον αφορά την πρόσληψη των παραπάνω στοιχείων μέσω της διατροφής από τον ανθρώπινο οργανισμό αποδείχθηκε ότι το κάδμιο και ο μόλυβδος καταγράφηκαν σε υψηλότερες συγκεντρώσεις συγκριτικά με το αρσενικό και τον ψευδάργυρο. Τα βρέφη φαίνεται ότι είναι η πιο ευάλωτη ομάδα του πληθυσμού (Beccaloni *et al.*, 2013).

### 1.3.3. Κάδμιο (Cd) στον ανθρώπινο οργανισμό

Το Cd προσλαμβάνεται από τον άνθρωπο μέσω της διατροφής και του καπνίσματος. Η τοξικότητα του επηρεάζει τον άνθρωπο λόγω της μακροβιότητας του και της συσσώρευσης στα όργανα. Τα τρόφιμα αποτελούν την κύρια πηγή του εισερχόμενου Cd στον ανθρώπινο οργανισμό σε ποσοστό >70%. Συγκεντρώσεις καδμίου που δεν είναι τοξικές για τα φυτά μπορεί να γίνουν τοξικές για τα φυτοφάγα ζώα (Kirkman, 2006).

Οι βλάβες που προκαλεί το Cd στον ανθρώπινο οργανισμό επηρεάζουν κυρίως το ήπαρ και τους νεφρούς. Το Cd συσσωρεύεται στους νεφρούς με αποτέλεσμα την πρόκληση αλλοιώσεων ως και την νεφρική ανεπάρκεια. Αναφορικά το Cd είναι υπεύθυνο και για παθήσεις των οστών όπως η οστεοπόρωση που προκαλείται λόγω έλλειψης βιταμίνης D, φωσφόρου και ασβεστίου.

Παρόλο που οι μηχανισμοί της καρκινογένεσης και της γονοτοξικότητας δεν έχουν πλήρως αποσαφηνιστεί, μελέτες σε εργαστάσια έχουν δείξει πως η χρόνια έκθεση του εργατικού δυναμικού σε Cd αυξάνει σημαντικά την εμφάνιση καρκίνου του πνεύμονα και του προστάτη και έχει μεταλλαξιογόνο δράση (Nordberg *et al.*, 1992).

### 1.4. Ψευδάργυρος (Zn)

Ο ψευδάργυρος είναι ένα λευκό σχετικά μαλακό μέταλλο με ατομικό αριθμό 30 και πυκνότητα  $7,13 \text{ g cm}^{-3}$ . Ανήκει στην ομάδα IIB του περιοδικού πίνακα, έχει ατομικό βάρος 65,38 και σημείο τήξης στους  $420^\circ\text{C}$  και είναι δισθενής σε όλες τις ενώσεις του. Το ιόν του  $\text{Zn}^{+2}$  είναι άχρωμο και υπάρχει σε ένυδρη μορφή, σε όξινο και ουδέτερο υδατικό διάλυμα (Adriano, 2001). Ο Zn είναι κατανεμημένος αρκετά ομοιόμορφα σε μαγματικά πετρώματα, ενώ συχνά είναι συγκεντρωμένος σε αργιλικά ιζήματα. Είναι πολύ κινητικό στοιχείο κατά την διάρκεια των διαδικασιών της αποσάθρωσης και οι διαλυτές ενώσεις τους κατακρημνίζονται όταν αντιδράσουν με ανθρακικά άλατα. (Kabata-Pendias & Mukherjee, 2007).

Τα μεταλλεύματα Zn περιέχουν διάφορα στοιχεία όπως Pb, Cu, Ag και Cd εκ των οποίων το Cd είναι πιο στενά συνδεδεμένο με τον Zn (Kabata-Pendias & Mukherjee, 2007).

Χρησιμοποιείται κυρίως ως μια προστατευτική κάλυψη για τον σίδηρο και τον χάλυβα, ως προστατευτικό επίχρισμα σε μια σειρά μετάλλων για την πρόληψη της

διάβρωσης και στα κράματα όπως του ορείχαλκου και του χαλκού. Τα γαλβανισμένα μέταλλα έχουν εφαρμογή στην οικοδομή, στις μεταφορές και στις βιομηχανικές κατασκευές. Ο Zn και οι ενώσεις του αποτελούν συστατικά πολλών ειδών οικιακής χρήσης, άλλες χρήσεις περιλαμβάνουν γεωργικά λιπάσματα, εντομοκτόνα, συντηρητικό ξύλου καθώς και στην εκτύπωση και το στέγνωμα των υφασμάτων (Adriano, 2001).

Οι πιο κοινές πηγές ρύπανσης του Cd και Pb παράγουν υψηλές ποσότητες Zn στο περιβάλλον. Το Cd, ο Zn και σε μικρότερο ποσοστό ο Pb συνυπάρχουν στην λυματολάσπη των υπονόμων και των εκπομπών τήξης στη μεταλλουργία. Ακόμη, σημαντικά ποσά Zn στο περιβάλλον έχουν προστεθεί από λιπάσματα που περιέχουν Zn, από τα αστικά λύματα καθαρισμού, την μεταλλευτική και μεταλλουργική δραστηριότητα, τις εξορυκτικές δραστηριότητες και την σύντηξη μετάλλων (Adriano, 2001).

#### **1.4.1. Ρόλος του Ψευδαργύρου (Zn) στα φυτά**

Τα συνήθη επίπεδα Zn στους φυτικούς ιστούς για τις περισσότερες αγρωστώδεις και δενδρώδεις καλλιέργειες κυμαίνονται στα 10-100 mg kg<sup>-1</sup>. Το περιεχόμενο των φυτών σε Zn είναι γενικά ψηλότερο στα νεαρά φυτάρια και μειώνεται με την ηλικία. Το φαινόμενο αυτό πιθανόν να μπορεί να εξηγηθεί από το σχηματισμό ζώνης έλλειψης Zn γύρω από τις ρίζες του αναπτυσσόμενου φυτού (Καλλιάνου, 2007).

Το όριο έλλειψης του είναι 15-20 mg Zn/kg ξηράς ουσίας φύλλων. Κατά την τροφопενία ψευδαργύρου παρατηρείται μείωση στο μέγεθος των φύλλων, σμίκρυνση μεσογονατίων, χλωρώσεις και εκδήλωση ιώσεων (Μαυρογιαννόπουλος, 1994). Η έλλειψη Zn έχει ως συνέπεια την ανασχεση της σύνθεσης πρωτεϊνών, α) λόγω συμμετοχής του στην δομή της πολυμεράσης του RNA, β) λόγω συμμετοχής του Zn στα ριβοσώματα, και γ) λόγω αυξημένης αποδόμησης του RNA επειδή η απουσία Zn έχει ως συνέπεια την αυξημένη δραστηριότητα της RNασης, η οποία καταλύει την αποδόμηση του RNA (Σάββας, 2000).

Τα διάφορα φυτικά είδη και ποικιλίες διαφέρουν σημαντικά όσον αφορά την ικανότητα τους να προσλαμβάνουν ακόμα και από το ίδιο θρεπτικό υπόστρωμα. Οι διάφορες οργανικές ενώσεις που δημιουργούν διαλυτά χημικά σύμπλοκα με τον Zn αν και γενικά θεωρούνται ότι διατηρούν τον Zn του εδάφους σε αφομοιώσιμη μορφή και διευκολύνουν την μετακίνηση τους προς τις ρίζες, εν τούτοις συχνά έχουν μια βλαβερή επίδραση στη πρόσληψη του Zn λόγω του υφιστάμενου ανταγωνισμού



ανάμεσα στις φυτικές ρίζες και χουμοποιητικές οργανικές ενώσεις για το μέταλλο. Το φαινόμενο αυτό μπορεί να ενταθεί σε ψηλά pH (Lindsay, 1972). Είναι επίσης δυνατό ολόκληρο το οργανικό χηλικό σύμπλοκο να προσληφθεί από το φυτό.

Ο τρόπος πρόσληψης του ψευδαργύρου (ενεργή ή παθητική πρόληψη) δεν έχει ακόμα διευκρινιστεί. Πειράματα που έχουν γίνει πάνω σε αυτό το θέμα έχουν καταλήξει σε αντικρουόμενα αποτελέσματα (Καλλιάνου, 2007).

#### **1.4.2. Ο ψευδάργυρος (Zn) στο έδαφος**

Η ολική συγκέντρωση του Zn στα εδάφη κυμαίνεται συνήθως μεταξύ των 10 και 300 mg kg<sup>-1</sup>. Γενικά εδάφη προερχόμενα από αποσάθρωση αλκαλικών και ασβεστολιθικών πετρωμάτων είναι πλουσιότερα σε Zn σε σύγκριση με αυτά που σχηματίστηκαν από γνεύσιους ή χαλαζία. Τα αμμώδη εδάφη θεωρούνται φτωχότερα σε διαθέσιμο Zn από ότι τα λεπτότερης υφής εδάφη (Καλλιάνου, 2007).

Ο ψευδάργυρος του εδάφους προέρχεται από την αποσάθρωση του ορυκτού σφαλερίτη (ZnS) καθώς και διαφόρων σίδηρομαγνησιούχων ορυκτών (αυγίτης, κεροστίλβης, βιοτίτης κτλ), και δευτερογενών ορυκτών της αργίλου, όπου ο Zn βρίσκεται σαν δευτερεύον συστατικό τους. Σημαντική επίσης πηγή Zn ιδιαίτερα στα οργανικά εδάφη, είναι τα διάφορα φυτικά και ζωικά υπολείμματα που με την αποικοδόμησή τους απελευθερώνουν Zn στο έδαφος (Καλλιάνου, 2007).

Το ιόν Zn<sup>2+</sup> που απελευθερώνεται με τις παραπάνω διαδικασίες μπορεί να παραμένει στο εδαφικό διάλυμα σαν ενυδατωμένο ιόν ή σαν διαλυτό σύμπλοκο με ενώσεις του χούμου ή άλλες διαλυτές βιοχημικές ενώσεις που εκκρίνονται από τις ρίζες των φυτών. Όπως αναφέρουν οι Hodgson *et al.*, (1966), ένα σημαντικό ποσοστό (60%) του υδατοδιαλυτού ψευδαργύρου στο έδαφος είναι συμπλοκοποιημένο με διάφορα διαλυτά οργανικά μόρια (Καλλιάνου, 2007).

Παρόλα αυτά, ένα σημαντικό μέρος του απελευθερωμένου, από τις διαδικασίες, αποσάθρωσης και αποικοδόμησης, Zn, απορροφάται από την άργιλο, την οργανική ουσία και τα οξείδια του εδάφους. Μέρος του απορροφούμενου, από τα συστατικά του εδάφους, Zn, συγκρατείται πολύ ισχυρά υπό μη ανταλλάξιμη μορφή (το Zn<sup>2+</sup> που απορροφάται δεν ανταλλάσσεται με ιόντα Ca<sup>+2</sup>) και αναφέρεται συχνά στη βιβλιογραφία σαν «ειδικά προσροφημένο κλάσμα». Ο μηχανισμός της συγκράτησης αυτής από τα εδαφικά συστατικά, που έχει παρατηρηθεί σε μικρότερο ή μεγαλύτερο βαθμό και για τα κατιόντα άλλων βαριών μετάλλων όπως του χαλκού, του κοβαλτίου και του καδμίου, δεν έχει πλήρως διευκρινιστεί αλλά φαίνεται να περιλαμβάνει την

υδρόλυση του μετάλλου και την χημική προσρόφηση της ενυδατωμένης μορφής ( $\text{MOH}^+$ ). Η εξήγηση αυτή ενισχύεται από το γεγονός ότι η ειδική προσρόφηση των μετάλλων αυξάνεται με την αύξηση του pH του εδάφους (Καλλιάνου, 2007).

Το pH του εδάφους έχει συσχετιστεί έντονα με τη συγκράτηση και τη διαθεσιμότητα του Zn στα εδάφη. Σε γενικές γραμμές η διαθεσιμότητα του Zn είναι μεγαλύτερη σε όξινα εδάφη (Καλλιάνου, 2007).

#### **1.4.3. Ελλείψεις και τοξικότητες Ψευδαργύρου (Zn).**

Η έλλειψη Zn είναι η δεύτερη περισσότερο συνηθισμένη έλλειψη ιχνοστοιχείου, μετά την τροφοπενία Fe, που παρατηρείται σε πολλές ετήσιες καλλιέργειες. Από τα διάφορα καλλιεργούμενα φυτά, ευαίσθητα στην έλλειψη Zn θεωρούνται τα εσπεριδοειδή, πολλά πυρηνόκαρπα (ροδακινιά, βερικοκιά, κερασιά), τα μηλοειδή, το αμπέλι, διάφορα ψυχανθή (σόγια, φασόλια κλπ) ο αραβόσιτος, το σόργο, το λινάρι, και πολλά λαχανικά (Καλλιάνου, 2007).

Το όριο τοξικότητας για τον Zn εξαρτάται:

- από το είδος του φυτού,
- τον γονότυπο του και
- από το στάδιο ανάπτυξης του.

Το φυτό οδηγείται σε θάνατο όταν η συγκέντρωση του Zn υπερβαίνει τα  $100 \text{ mg kg}^{-1}$  ενώ η φωτοσύνθεση σταματά όταν η συγκέντρωση είναι περισσότερη από  $178 \text{ mg kg}^{-1}$  (Kabata-Pendias & Mukherjee, 2007).

Η φυτοτοξικότητα του Zn προκαλεί μείωση της απόδοσης και της ποιότητας των καλλιεργειών, για τον λόγο αυτό είναι ανεπιθύμητη. Υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να εισέλθει στην τροφική αλυσίδα (Adriano, 2001).

Ο Zn συμμετέχει και σε μεταβολικές διαδικασίες του ανθρώπινου οργανισμού. Η πρόσληψη του από τα τρόφιμα ποικίλλει σε μεγάλο βαθμό και εξαρτάται από διάφορους παράγοντες και συχνά από τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των μετάλλων. Σε συγκεντρώσεις που υπερβαίνουν τα όρια δημιουργεί προβλήματα εκτός από τα φυτά, στον άνθρωπο και στα ζώα. Σημαντική ανταγωνιστική σχέση υπάρχει μεταξύ Zn-Cd και Zn-Cu. Τα αυξημένα επίπεδα Ca και Mg σε τρόφιμα αναστέλλουν την διαθεσιμότητα του (Kabata Pendias & Pendias, 1999).

### 1.5. Αλληλεπίδραση Καδμίου (Cd) – Ψευδαργύρου (Zn).

Ο Zn είναι ένα σημαντικό ιχνοστοιχείο απαραίτητο για την ανάπτυξη των φυτών και παίζει ζωτικό ρόλο στην συσσώρευση Cd. Οι Hassan *et al.*, (2005) αναφέρουν ότι η εφαρμογή του Zn μειώνει την τοξικότητα Cd βελτιώνοντας την φωτοσύνθεση των φυτών. Η τοξικότητα Cd προκαλεί γρήγορη σύνθεση θειολών και φυτοχηλατίνων για συμπλοκοποίηση (Rauser, 2000). Τα σύμπλοκα φυτοχηλατίνης-Cd και το Cd περιορίζονται στο χυμοτόπιο των ριζικών κυττάρων, με αποτέλεσμα να υπάρχει μειωμένη μετατόπιση Cd από τις ρίζες στους βλαστούς (Hassan *et al.*, 2005). Με την παρουσία Zn, σχηματίζονται σύμπλοκα φυτοχηλατίνης-Zn, τα οποία μπορούν να αυξήσουν την συγκέντρωση του ελεύθερου Cd με αποτέλεσμα να πραγματοποιείται ενισχυμένη μετατόπιση Cd από την ρίζα στους βλαστούς.

Το Cd και ο Zn έχουν παρόμοιες χημικές ιδιότητες και ανήκουν στην ίδια ομάδα του περιοδικού πίνακα (Kashem & Singh, 2001). Η απορρόφηση Cd εξαρτάται από την συγκέντρωση του Zn που υπάρχει στο έδαφος και επειδή ανταγωνίζονται μεταξύ τους όσο μικρότερη είναι η συγκέντρωση του Zn τόσο μεγαλύτερη είναι η πρόσληψη Cd από το φυτό (Foy *et al.*, 1978; Lombi *et al.*, 2000).

Σε πειράματα που έγιναν στην *Calendula officinalis* υπό συνθήκες θερμοκηπίου παρατηρήθηκε ανασταλτική επίδραση του Zn στην συγκέντρωση του Cd στα φύλλα από 5 mg kg<sup>-1</sup> και πάνω. Η συγκέντρωση του Zn στα φύλλα μειώθηκε αυξανόμενης της εφαρμογής Cd ενώ στα πέταλα παρατηρήθηκε αύξηση (Moustakas *et al.*, 2011).

Οι κύριοι παράγοντες για την μεταφορά, διασπορά και προσρόφηση του Cd στο έδαφος είναι: η παρουσία οργανικών και ανόργανων αποβλήτων, το pH, η οργανική ύλη και ο ανταγωνισμός με άλλα μέταλλα. Η συγκέντρωση άλλων θρεπτικών στοιχείων (π.χ. Ca, Zn, Fe) στο έδαφος επηρεάζει την απορρόφηση Cd και έχει αποδειχθεί μάλιστα ότι η προσθήκη Ca ή Zn μειώνει την απορρόφηση Cd (Cosio *et al.*, 2004). Επίσης η πρόσληψη Cd από τα φυτά εξαρτάται τόσο από τα χαρακτηριστικά των εδαφών όσο και από το φυτικό είδος (Brekken & Steinnes, 2004).

Η χημική ομοιότητα μεταξύ Cd και Zn πιστεύεται πως είναι η κύρια αιτία για την τοξικότητα Cd στα ανώτερα φυτά λόγω της μεταξύ τους αλληλεπίδρασης. Οι Xue και Harrison (1991) εντόπισαν συνεργιστική επίδραση του Zn σε σχέση με την πρόσληψη Cd. Διαπίστωσαν ότι η αύξηση του ποσού Zn (> 600 mg kg<sup>-1</sup>) σε εδάφη που

περιέχουν υψηλά επίπεδα Cd ( $10 \text{ mg kg}^{-1}$ ) είχε ως αποτέλεσμα μια υψηλότερη συγκέντρωση καδμίου στα φύλλα μαρουλιού.

Το Cd στα λαχανικά *Cichorium endivia* L. και *Eruca sativa* Mill. δεν επηρέασε το νωπό και το ξηρό βάρος των φυτών και δεν παρουσίασαν συμπτώματα τοξικότητας όπως αποδείχθηκε από τις πειραματικές διαδικασίες των Akoumianakis *et al.*, (2008). Η συσσώρευση του Cd αυξήθηκε αυξανόμενης της εφαρμογής του μετάλλου. Αντίστοιχα αποτελέσματα παρατηρήθηκαν σε πειράματα που έγιναν στο μαρούλι, στο ρεπάνι και στο αγγούρι (Moustakas *et al.*, 2001).

Το Cd προκαλεί οξείδωση του NADPH, με αποτέλεσμα την παραγωγή ριζών υπεροξειδίου ( $\text{O}_2^-$ ), (Kawano *et al.*, 2001). Αυτό συμβαίνει διότι το Cd όπως και άλλα μέταλλα μετάπτωσης, λειτουργούν ως καταλύτες και προκαλούν την ταχεία σύνθεση ελευθέρων ριζών (ROS) (Ercal *et al.*, 2001). Οι Cakmak και Marschner (1988) παρατήρησαν ότι η αύξηση παραγωγής οξυγόνου διενεργείται υπό συνθήκες ανεπάρκειας Zn.

Οι Safarzadeh *et al.*, (2013) εξέτασαν κατά πόσο η παρουσία του Cd επηρεάζει την πρόσληψη των ιχνοστοιχείων σε 7 διαφορετικές ποικιλίες ρυζιού. Αποδείχθηκε ότι η παρουσία Cd μείωσε τις συγκεντρώσεις Zn, Fe και Mn στους βλαστούς, ενώ στις ρίζες ήταν χαμηλότερες οι συγκεντρώσεις Zn, Cu και Mn. Διαφορές στις συγκεντρώσεις Cd υπήρχαν και μεταξύ των ποικιλιών. Η συγκέντρωση του Zn φαίνεται ότι δεν έχει σημαντική διαφορά στις ρίζες και στους βλαστούς όταν η συγκέντρωση του Cd κυμαίνεται από  $0-45 \text{ mg kg}^{-1}$ . Όταν αυξήθηκε η συγκέντρωση του Cd παρατηρήθηκε μείωση της ποσότητας του Zn στους βλαστούς.

Σε καλλιέργεια τομάτας σε θρεπτικό διάλυμα, στο οποίο έγιναν επεμβάσεις με Cd για την αύξηση της συγκέντρωσης του, αποδείχθηκε ότι η απορρόφηση των στοιχείων K, Ca, Mn και Zn από τις ρίζες και η μετακίνησή τους στο υπέργειο μέρος του φυτού είχε μειωθεί (Bertoli *et al.*, 2012).

Ερευνητές απέδειξαν μετά από πειραματικές μελέτες εντός του εργαστηρίου ότι μικρές συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων ( $3 \text{ mg kg}^{-1}$  και  $33 \text{ mg kg}^{-1}$ ) προκαλούν μερική ανασχεση του φυτρώματος των σπόρων του *Picea abies* L. Karst, ενώ σε υψηλότερες συγκεντρώσεις ( $100 \text{ mg kg}^{-1}$ ) προκαλείται πλήρης ανασχεση. Συγκεκριμένα το Cd και ο Cu επέδρασαν σημαντικά στην μείωση του αριθμού των σποροφύτων που επέζησαν, ενώ Zn είχε την λιγότερο δυσμενή επίδραση στην ανάπτυξη και επιβίωση των νεαρών φυταρίων (Çurguz *et al.*, 2012).

Συμπερασματικά, με την βελτίωση της θρέψης Zn στα φυτά, μπορεί μειωθεί σε μεγάλο βαθμό το οξειδωτικό στρες που προκαλείται από την παρουσία Cd.

### 1.6. Σκοπός μελέτης

Τα τελευταία χρόνια η έντονη ανθρωπογενής δραστηριότητα έχει σαν αποτέλεσμα την παρουσία βαρέων μετάλλων στα εδάφη και γενικότερα στο περιβάλλον, τα περισσότερα από τα οποία είναι επιβλαβή στους ζώντες οργανισμούς. Το Cd είναι από τα περισσότερα τοξικά βαρέα μέταλλα που εισέρχονται στην τροφική αλυσίδα και δεν είναι απαραίτητο στοιχείο για την ανάπτυξη των φυτών. Αντίθετα ο Zn ανήκει στα βαρέα μέταλλα αλλά είναι απαραίτητο ιχνοστοιχείο για την ανάπτυξη των φυτών. Η συνύπαρξη επομένως Cd και Zn στα εδάφη, λόγω της χημικής τους ομοιότητας, μπορεί να οδηγήσει σε αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους.

Σκοπός του πειράματος ήταν η μελέτη της επίδρασης και της πιθανής αλληλεπίδρασης του Cd και Zn, στην ανάπτυξη και πρόσληψη των στοιχείων αυτών από το φυτό *Ocimum basilicum* “Genovese”.

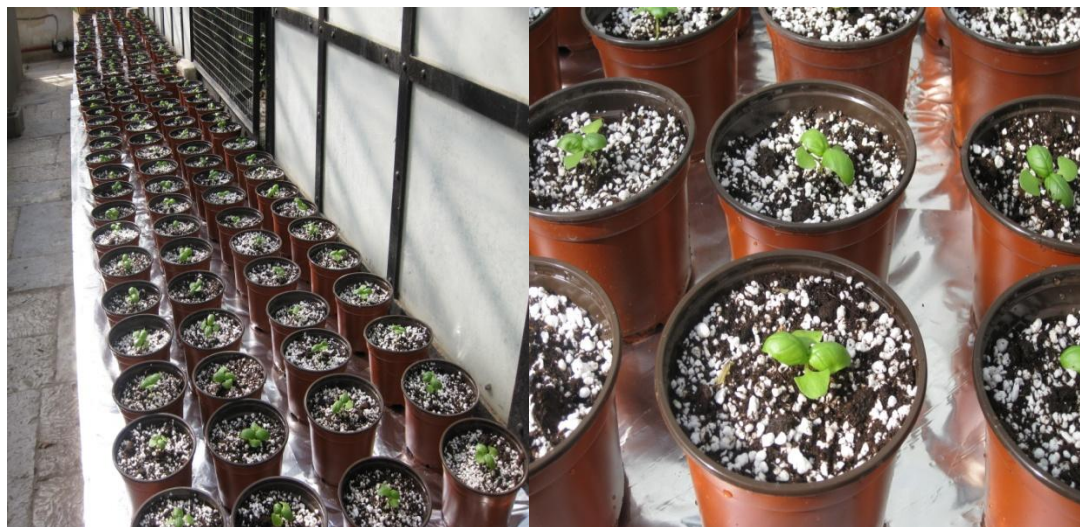
Για το σκοπό αυτό εξετάστηκε η συμπεριφορά των σποροφύτων του *Ocimum basilicum* “Genovese” στις διάφορες επεμβάσεις που δέχθηκαν, με ριζοπότισμα, των βαρέων μετάλλων και μετρήθηκε η απορρόφηση των στοιχείων σε όλα τα μέρη του φυτού.

## 2. Υλικά και Μέθοδοι

### 2.1 Περιγραφή Πειράματος

Για το σκοπό της μελέτης ακολουθήθηκε διπαραγοντικό πείραμα, με παράγοντες το Cd και τον Zn. Για κάθε παράγοντα είχαμε 5 επεμβάσεις ( $0 \text{ mg L}^{-1}$  ή ppm,  $5 \text{ mg L}^{-1}$ ,  $10 \text{ mg L}^{-1}$ ,  $20 \text{ mg L}^{-1}$ ,  $40 \text{ mg L}^{-1}$ ) και για κάθε επέμβαση είχαμε 5 επαναλήψεις (Συνολικά 125 φυτά).

Στο πείραμα χρησιμοποιήθηκαν σπορόφυτα του *Ocimum basilicum* “Genovese” τα οποία το εργαστήριο Ανθοκομίας και Αρχιτεκτονικής Τοπίου προμηθεύτηκε από την Marigold Plant. 125 σπορόφυτα με 4 πραγματικά φύλλα το καθένα (εικόνα 7) μεταφυτεύτηκαν σε ατομικά δοχεία διαμέτρου 8 cm και χωρητικότητας 0,5 L στις 30/4/2012. Σε κάθε δοχείο τοποθετήθηκε ένα σπορόφυτο. Μετά από 6 εβδομάδες λόγω της γρήγορης και μεγάλης ανάπτυξης των φυταρίων έγινε δεύτερη μεταφύτευση σε μεγαλύτερες γλάστρες (διαμέτρου 13 cm και χωρητικότητας 2,23 L). Η ανάπτυξη των φυτών έγινε εντός του θερμοκηπίου στα ατομικά δοχεία με υπόστρωμα τύρφης-περλίτη (1:1 v/v) όπου διατηρήθηκαν σε όλη τη διάρκεια του πειράματος.



Εικόνα 7. *Ocimum basilicum* “Genovese”, 1<sup>η</sup> ημέρα καλλιέργειας σε φυτοδοχεία μέσα στο θερμοκήπιο.

Η εφαρμογή του Cd έγινε με την μορφή  $\text{CdSO}_4 \cdot 8/3\text{H}_2\text{O}$  και η εφαρμογή του Zn με τη μορφή  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ . Οι εφαρμογές των βαρέων μετάλλων γίνονταν ανά εβδομάδα με ριζοποτίσματα. Ημερομηνία έναρξης των εφαρμογών ήταν στις 1/6/2012 όταν τα φυτά είχαν ύψος 17 cm. Σε κάθε γλάστρα ο όγκος διαλύματος με τα βαρέα μέταλλα ήταν συνολικά 50 ml (25 ml Cd και 25ml Zn). Οι εφαρμογές γινόταν

δύο φορές την εβδομάδα για πέντε εβδομάδες, ενώ ενδιάμεσα εφαρμόζονταν ποτίσματα με προσοχή ώστε να αποφευχθεί απορροή από τη βάση των φυτοδοχείων.

Εφαρμογή λιπάσματος έγινε 12 ημέρες μετά την πρώτη φύτευση με ισορροπημένο, υδατοδιαλυτό λίπασμα NUTRI LEAF 60 (20 – 20 – 20) με δόση 5 g ανά 1 λίτρο νερού. Το NUTRI LEAF είναι συμπυκνωμένο τελείως υδατοδιαλυτό λίπασμα. Η σύνθεση του λιπάσματος αποτελείται από τα κάτωθι κύρια θρεπτικά συστατικά:

- Ολικό Άζωτο (N) 20% (6% Νιτρικό άζωτο, 5,2% Αμμωνιακό άζωτο, 8,8% Ουρία).
- Διαθέσιμος Φώσφορος 20% ( $P_2O_5$ ).
- Διαλυτό Κάλιο 20% ( $K_2O$ ).
- Χλώριο μηδέν.

Το NUTRI LEAF είναι εμπλουτισμένο επίσης με ιχνοστοιχεία σε χηλική μορφή EDTA προσδίδοντας του ιδιότητες πλήρους λιπάσματος. Συγκεκριμένα, περιέχει:

- Μαγνήσιο (Mg), 0,0251%.
- Βόριο (B), 0,02%.
- Χαλκός (Cu), 0,05%, Χηλικός χαλκός 0,05%.
- Σίδηρος (Fe), 0,10%, Χηλικός σίδηρος 10%.
- Μαγγάνιο (Mn), 0,05%, Χηλικό μαγγάνιο 0,05%.
- Μολυβδαίνιο (Mo), 0,001%.

Λόγω της εμφάνισης συμπτωμάτων στα φύλλα από αλευρώδη και την ύπαρξη των ακμαίων έγινε ένας ψεκασμός με εντομοκτόνο (Decis, 0,5 ml/L νερού) στις 15/5/2012.



Εικόνα 8. Ανάπτυξη φυτού μετά από 2 μήνες καλλιέργειας στο θερμοκήπιο.

## 2.2 Ανάλυση του φυτικού υλικού.

Η εμφάνιση των ταξιανθιών άρχισε περίπου 2 μήνες μετά την πρώτη μεταφύτευση. Το υπέργειο και το υπόγειο τμήμα των φυτών συλλέχθηκε στην πλήρη ανάπτυξη των φυτών στις 9/7/2012 (εικόνα 8) και ακολούθως διαχωρίστηκε σε φύλλα, βλαστούς, ταξιανθίες και ρίζες. Μετά το διαχωρισμό τα διάφορα μέρη του φυτού τοποθετήθηκαν σε σακουλάκια, ζυγίστηκαν (νωπό βάρος) και κατόπιν τοποθετήθηκαν στο ξηραντήριο στους 50°C για 3-4 ημέρες, έως ότου αποκτήσουν σταθερό βάρος, και στη συνέχεια μετρήθηκε το ξηρό βάρος κάθε δείγματος. Ακολούθησε κονιορτοποίηση των φυτικών υλικών τα οποία στη συνέχεια πέρασαν από κόσκινο των 50 mesh (προκειμένου να διασφαλισθεί η ομοιομορφία αυτών) και αποθηκεύθηκαν. Στη συνέχεια έγινε ξηρή καύση των δειγμάτων. Συγκεκριμένα 0,5 g λειοτριβιμένων φυτικών υλικών (φύλλων, βλαστών, ταξιανθιών και ριζών κάθε φυτού και μεταχείρισης) τοποθετήθηκε σε κάψα πορσελάνης και κατόπιν σε πυραντήριο για 4 h στους 550°C (εικόνα 9). Μετά την έξοδό τους από το πυραντήριο σε κάθε κάψα προστέθηκαν 5 ml από πυκνό HNO<sub>3</sub> 65% (PANREAC QUIMICASA) και ακολούθησε διήθηση του υλικού (από σκληρό φίλτρο-WHATMAN-83) σε ογκομετρικά φιαλίδια των 100 ml. Στο διήθημα έγιναν μετρήσεις Cd και Zn σε



σπεκτοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης (VARIAN A-300) σε φλόγα αέρος-ακετυλενίου και υπολογίσθηκαν οι συγκεντρώσεις των φύλλων, βλαστών, ταξιανθιών και ριζών σε Cd και Zn στις διάφορες μεταχειρίσεις καθώς επίσης και η πρόσληψη τους από τα φυτικά τμήματα του *Ocimum basilicum* “Genovese”.

Ο υπολογισμός της πρόσληψης του Cd και Zn στα διάφορα φυτικά μέρη του *Ocimum basilicum* “Genovese” υπολογίστηκε ως εξής: ξηρό βάρος (φύλλων, ταξιανθιών, βλαστών, ριζών) x την συγκέντρωση Zn ή Cd ( $\text{mg kg}^{-1}$ ). Η συγκέντρωση Zn ή Cd υπολογίστηκε από: την μέτρηση Zn ή Cd x 100 / 0,5 g ξ.ο.

Η στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων έγινε με το λογισμικό πρόγραμμα Statistica.

Τα υλικά και οι συσκευές που χρησιμοποιήθηκαν στο εργαστήριο για την επεξεργασία των φύλλων, των βλαστών, των ριζών και των ταξιανθιών ήταν:

- Μπλέντερ και μύλος για το τρίψιμο των φύλλων
- Κόσκινο 250 microns, No 100, 0,0059 inches
- Ζυγαριά (0,01) (OHAUS)
- Χάρτινα σακουλάκια
- Κάψες
- Ρυθμιζόμενο φούρνο 500 °C για 3 ώρες
- Πυκνό νιτρικό οξύ 65 % ( $\text{HNO}_3$ ) (PANREAC QUIMICASA)
- Διηθητικό χαρτί
- Ογκομετρικές φιάλες των 100 ml
- Απιονισμένο νερό
- Πλαστικά μπουκαλάκια των 100 ml



Εικόνα 9. Πυραντήριο

### 2.3 Υπόστρωμα

Ως υπόστρωμα χρησιμοποιήθηκε μείγμα τύρφης και περλίτη (Perloflor) σε αναλογία 1:1 (v/v).

Ο διογκωμένος περλίτης χρησιμοποιείται ως συστατικό μειγμάτων κυρίως με τύρφη για τη δημιουργία του κατάλληλου υποστρώματος ανάπτυξης των φυλλωδών και ανθοφόρων καλλωπιστικών φυτών σε γλάστρες. Παρασκευάζεται μέσω της κατεργασίας του ορυκτού περλίτη σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες. Το υλικό που προκύπτει είναι κοκκώδες, ελαφρύ και διαθέτει εκτεταμένο πορώδες. Παρέχει στη ριζόσφαιρα την ιδανική αναλογία αέρα και νερού, σε όλη τη διάρκεια του έτους και παρουσιάζει πολύ καλές συνθήκες στράγγισης. Είναι συστατικό με ουδέτερο pH, παρέχει αερισμό και διατηρεί την υγρασία σε βέλτιστα επίπεδα για την ανώτερη καλλιέργεια των φυτών. Ο περλίτης αποτελεί ένα ομοιόμορφο μέσο ανάπτυξης, καθιστώντας τις ρίζες πυκνότερες, με ομοιόμορφη κατανομή στο υπόστρωμα.

Η τύρφη είναι φυσικό υλικό το οποίο προέρχεται από την αποσύνθεση των φυτικών υπολειμμάτων που συσσωρεύονται σε ελώδεις περιοχές και υγρότοπους. Διακρίνεται από μεγάλη ικανότητα συγκράτησης νερού αλλά και από επαρκή αεροπερατότητα. Στο πείραμα χρησιμοποιήθηκε φυσική ξανθιά τύρφη (Sphagnum), η περιεκτικότητά της σε οργανική ουσία ήταν 90 % του βάρους της, η περιεκτικότητα σε υγρασία 50-65 % του βάρους της, αγωγιμότητα 10ms/m (+/- 25 %), pH 5,5-6,5, και πρόσθετη λίπανση N:P:K Fertilizer 14:16:18.

### 2.4 Προετοιμασία διαλυμάτων

Τα διαλύματα παρασκευάστηκαν στο εργαστήριο Εδαφολογίας και Γεωργικής Χημείας με διάφορες συγκεντρώσεις Cd και Zn. Για την παρασκευή των διαλυμάτων χρησιμοποιήθηκαν:

- Πλαστικές φιάλες του 1 L.
- Cd ( $\text{CdSO}_4 \cdot 5/3\text{H}_2\text{O}$ ), Zn ( $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ )
- Απιονισμένο νερό
- Ζυγαριά ακριβείας (0,0001) (OHAUS)
- Ογκομετρική φιάλη του 1 L
- Πιπέτες των 5 ml, 10 ml, 20 ml

Παρασκευάστηκαν τα αρχικά διαλύματα καδμίου και ψευδαργύρου συγκεντρώσεων  $1000 \text{ mg L}^{-1}$  το καθένα τα οποία μεταφέρθηκαν σε πλαστικά δοχεία του 1L και αποθηκεύτηκαν σε θερμοκρασία  $4^\circ\text{C}$  στο ψυγείο. Στη συνέχεια από τα

αρχικά διαλύματα παρασκευάστηκαν διαλύματα των 5 mg L<sup>-1</sup>, 10 mg L<sup>-1</sup>, 20 mg L<sup>-1</sup> και 40 mg L<sup>-1</sup> Cd και Zn. Οι συγκεντρώσεις Cd-Zn που χρησιμοποιήθηκαν για την παρασκευή των διαλυμάτων αναγράφονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 1. Επεμβάσεις

<b>Cd/Zn</b>	<b>Cd (mg L<sup>-1</sup>)</b>	<b>Zn (mg L<sup>-1</sup>)</b>
<b>0-0</b>	0	0
<b>0-5</b>	0	5
<b>0-10</b>	0	10
<b>0-20</b>	0	20
<b>0-40</b>	0	40
<b>5-0</b>	5	0
<b>5-5</b>	5	5
<b>5-10</b>	5	10
<b>5-20</b>	5	20
<b>5-40</b>	5	40
<b>10-0</b>	10	0
<b>10-5</b>	10	5
<b>10-10</b>	10	10
<b>10-20</b>	10	20
<b>10-40</b>	10	40
<b>20-0</b>	20	0
<b>20-5</b>	20	5
<b>20-10</b>	20	10
<b>20-20</b>	20	20
<b>20-40</b>	20	40
<b>40-0</b>	40	0
<b>40-5</b>	40	5
<b>40-10</b>	40	10
<b>40-20</b>	40	20

<b>40-40</b>	40	40
--------------	----	----

## **2.5 Στατιστική Επεξεργασία**

Για την στατιστική ανάλυση του παραγοντικού πειράματος (με παράγοντες το Cd και τον Zn) χρησιμοποιήθηκε το στατιστικό πρόγραμμα Statistica.

### 3. Αποτελέσματα-Συζήτηση

#### 3.1. Αποτελέσματα της μέσης, της ελάχιστης, της μέγιστης τιμής και της τυπικής απόκλισης του ξηρού βάρους, της συγκέντρωσης Cd και της συγκέντρωσης Zn των φυτικών μερών του *Ocimum basilicum* “Genovese” ανεξαρτήτως μεταχείρισης.

Πίνακας 2. Ελάχιστη, μέγιστη, μέση τιμή και τυπική απόκλιση του ξηρού βάρους των φύλλων, βλαστών, ταξιανθιών και ριζών ανεξαρτήτως μεταχείρισης.

Ξηρά Βάρη (g)				
	Μέσες Τιμές	Ελάχιστη τιμή	Μέγιστη Τιμή	Τυπική Απόκλιση
Φύλλα	8.62	7.70	9.40	0.44
Ρίζες	7.72	7.19	8.63	0.37
Βλαστοί	7.06	6.37	7.53	0.27
Ταξιανθίες	6.76	5.47	7.39	0.36

Όπως φαίνεται από τον πίνακα 2 το ξηρό βάρος των φύλλων κυμαίνεται από 7.70 g έως 9.40 g με μέση τιμή 8.62 g, το ξηρό βάρος των βλαστών κυμαίνεται από 6.37 g έως 7.53 g με μέση τιμή 7.06 g, το ξηρό βάρος των ταξιανθιών κυμαίνεται από 5.47 g έως 7.39 g με μέση τιμή 6.76 g και το ξηρό βάρος των ριζών κυμαίνεται από 7.19 g έως 8.63 g με μέση τιμή 7.72 g.

Πίνακας 3. Ελάχιστη, μέγιστη, μέση τιμή και τυπική απόκλιση της συγκέντρωσης του ολικού Cd στα φύλλα, βλαστούς, ταξιανθίες και ρίζες ανεξαρτήτως μεταχείρισης.

Συγκέντρωση Ολικού Cd (mg kg <sup>-1</sup> )				
	Μέσες Τιμές	Ελάχιστη Τιμή	Μέγιστη Τιμή	Τυπική Απόκλιση
Φύλλα	10.97	4.6	17.4	3.92
Ρίζες	9.59	2.00	24.00	6.23
Βλαστοί	15.72	12.00	20.00	2.61
Ταξιανθίες	7.40	5.00	10.00	1.58

Από τον πίνακα 3 φαίνεται ότι η συγκέντρωση του ολικού Cd στα φύλλα κυμαίνεται από 4.60 g έως 17.4 g με μέση τιμή 10.97 g, η συγκέντρωση του ολικού

Cd στους βλαστούς κυμαίνεται από 12.00 g έως 20.00 g με μέση τιμή 15.72 g, η συγκέντρωση του ολικού Cd στις ταξιανθίες κυμαίνεται από 5.00 g έως 10.00 g με μέση τιμή 7.40 g και η συγκέντρωση του ολικού Cd στις ρίζες κυμαίνεται από 2 g έως 24 g με μέση τιμή 9.59 g.

Πίνακας 4. Ελάχιστη, μέγιστη, μέση τιμή και τυπική απόκλιση της συγκέντρωσης του ολικού Zn στα φύλλα, βλαστούς, ταξιανθίες και ρίζες ανεξαρτήτως μεταχείρισης.

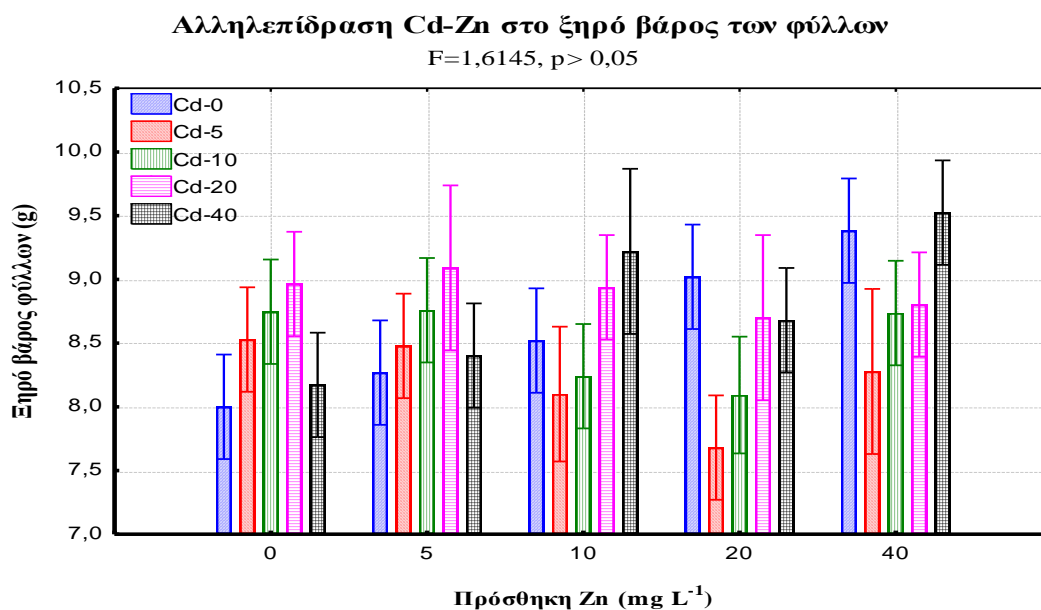
Συγκέντρωση Ολικού Zn ( $\text{mg kg}^{-1}$ )

	Μέσες Τιμές	Ελάχιστη Τιμή	Μέγιστη Τιμή	Τυπική Απόκλιση
Φύλλα	72.80	45.60	91.60	9.91
Ρίζες	72.51	35.30	120.00	22.77
Βλαστοί	58.04	42.00	76.00	9.99
Ταξιανθίες	75.04	59.00	92.00	8.54

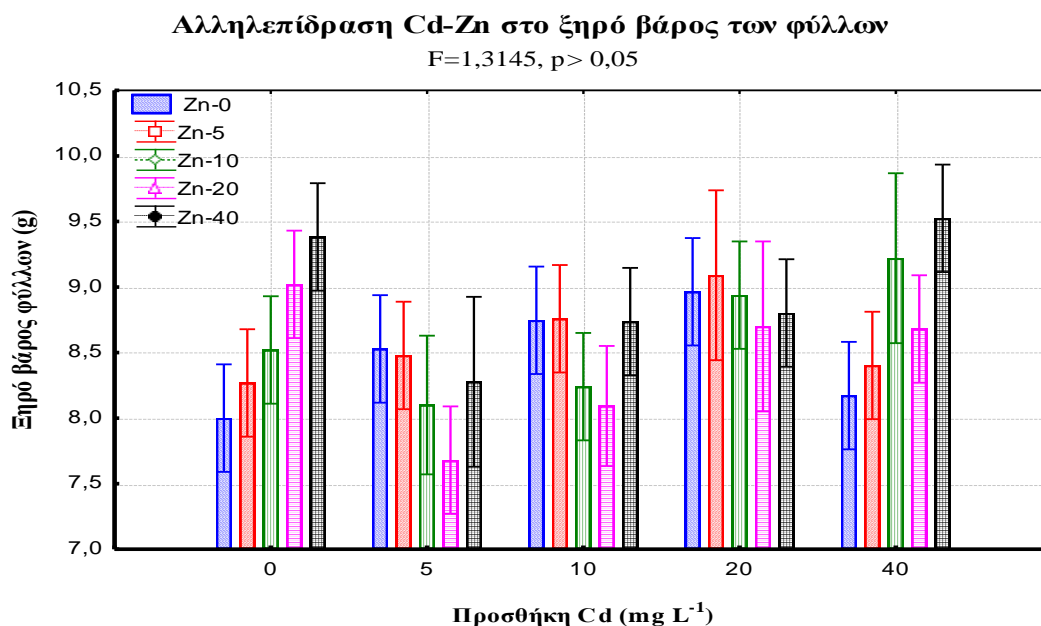
Στον πίνακα 4 φαίνεται ότι η συγκέντρωση του ολικού Zn στα φύλλα κυμαίνεται από 45.60 g έως 91.60 g με μέση τιμή 72.80 g, η συγκέντρωση του ολικού Zn στους βλαστούς κυμαίνεται από 42.00 g έως 76.00 g με μέση τιμή 58.04 g, η συγκέντρωση του ολικού Zn στις ταξιανθίες κυμαίνεται από 59.00 g έως 92.00 g με μέση τιμή 75.04 g και η συγκέντρωση του ολικού Zn στις ρίζες κυμαίνεται από 35.30 g έως 120.00 g με μέση τιμή 72.51 g.

### 3.2. Αλληλεπίδραση Cd-Zn στα φύλλα.

Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζονται οι μεταβολές Cd και Zn στις διάφορες μεταχειρίσεις στα φύλλα του *Ocimum basilicum* “Genovese” :



Διάγραμμα 1. Ξηρό βάρος των φύλλων του φυτού *Ocimum basilicum* “Genovese”, στις διάφορες μεταχειρίσεις Zn, και ξηρό βάρος των φύλλων του ίδιου φυτού αυξανόμενης της προσθήκης Cd στην ίδια μεταχείριση Zn. Οι μπάρες αντιπροσωπεύουν τυπικό σφάλμα του μέσου όρου.

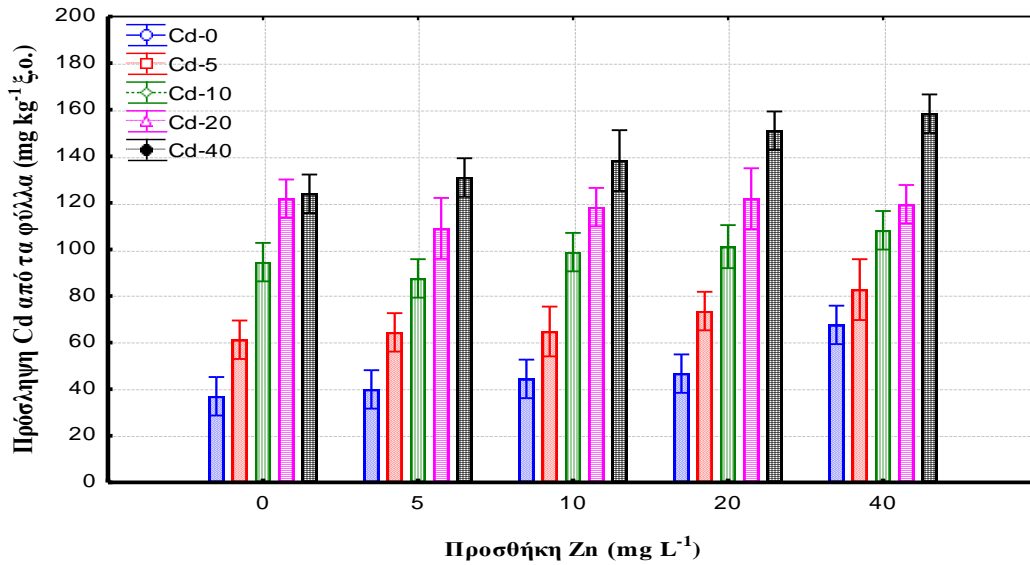


Διάγραμμα 2. Ξηρό βάρος των φύλλων του φυτού *Ocimum basilicum* “Genovese” στις διάφορες μεταχειρίσεις Cd, και το ξηρό βάρος των φύλλων του ίδιου φυτού αυξανόμενης της προσθήκης Zn, στην ίδια μεταχείριση Cd. Οι μπάρες αντιπροσωπεύουν τυπικό σφάλμα του μέσου όρου.

Από τα διαγράμματα 1 και 2 διαπιστώνεται ότι δεν υπάρχει αλληλεπίδραση Cd – Zn στο ξηρό βάρος φύλλων.

### Αλληλεπίδραση Cd-Zn στην πρόσληψη Cd από τα φύλλα

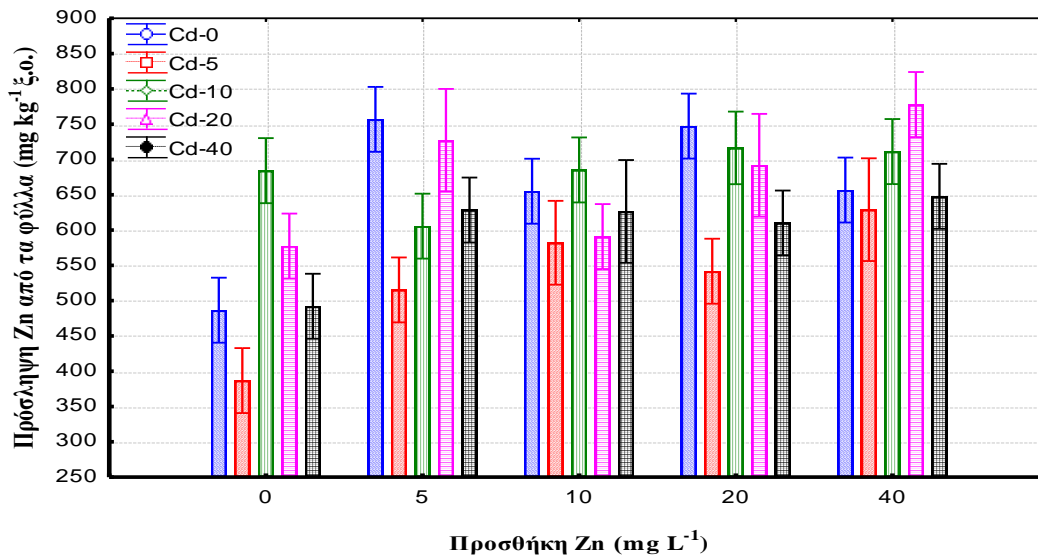
F=1,0986, p> 0,05



Διάγραμμα 3. Μεταβολή της πρόσληψης Cd από τα φύλλα του φυτού *Ocimum basilicum* “Genovese” στις διάφορες μεταχειρίσεις Zn και μεταβολές της πρόσληψης Cd από τα φύλλα του ίδιου φυτού, αυξανόμενης της προσθήκης Cd, στην ίδια μεταχείριση Zn. Οι μπάρες αντιπροσωπεύουν τυπικό σφάλμα του μέσου όρου.

### Αλληλεπίδραση Cd-Zn στην πρόσληψη Zn στα φύλλα

F=1,2497, p> 0,05



Διάγραμμα 4. Μεταβολή της πρόσληψης Zn από τα φύλλα του φυτού *Ocimum basilicum* “Genovese”, στις διάφορες μεταχειρίσεις Zn και μεταβολές της πρόσληψης Zn από τα φύλλα του ίδιου φυτού, αυξανόμενης της προσθήκης Cd, στην ίδια μεταχείριση Zn. Οι μπάρες αντιπροσωπεύουν τυπικό σφάλμα του μέσου όρου.

Στο διάγραμμα 3 δεν παρατηρείται αύξηση ή μείωση στη πρόσληψη Cd στα φύλλα του *Ocimum basilicum* cv *genovese* μεταβαλλόμενης της προσθήκης Zn. Αντίθετα για κάθε μεταχείριση Zn αυξανόμενου του Cd παρατηρείται στατιστικά σημαντική

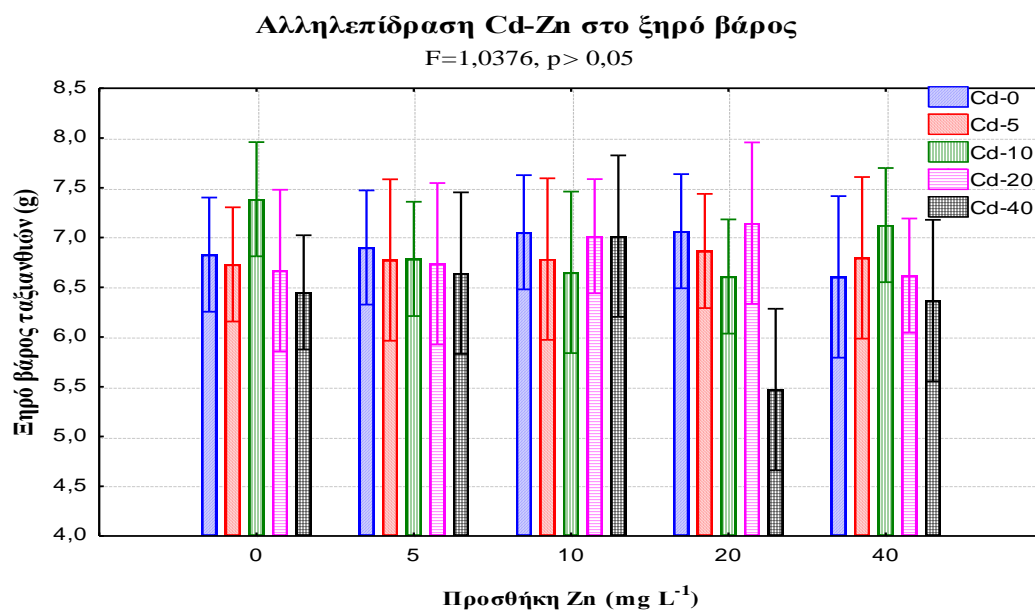


αύξηση στην προσρόφηση Cd. Δεν παρατηρείται σημαντική διαφορά στην απορρόφηση Cd στις διάφορες μεταχειρίσεις Zn.

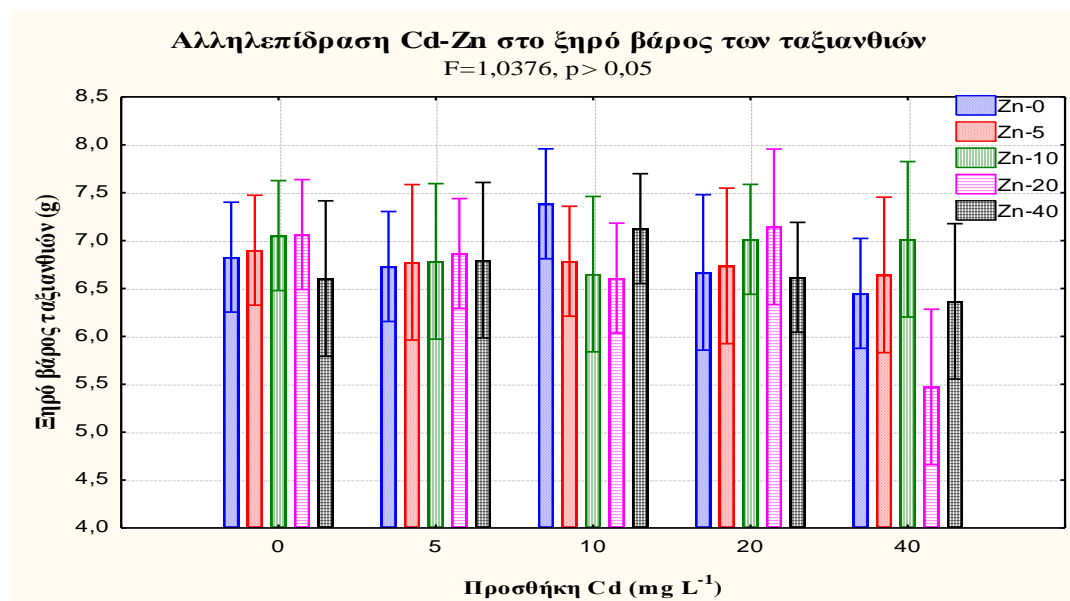
Στο διάγραμμα 4 διαπιστώνεται ότι αυξανόμενης της προσθήκης Zn παρατηρείται τάση αύξησης στην πρόσληψη Zn στα φύλλα. Η πρόσληψη στον μάρτυρα είναι στατιστικά μικρότερη από την πρόσληψη στις άλλες μεταχειρίσεις, ενώ στις άλλες μεταχειρίσεις δεν έχουμε στατιστικά σημαντικές διαφορές.

### 3.3. Αλληλεπίδραση Cd-Zn στις ταξιανθίες.

Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζονται οι μεταβολές Cd και Zn στις διάφορες μεταχειρίσεις στις ταξιανθίες του *Ocimum basilicum* “Genovese”:



Διάγραμμα 5. Ξηρό βάρος των ταξιανθιών του φυτού *Ocimum basilicum* “Genovese” στις διάφορες μεταχειρίσεις Zn και το ξηρό βάρος των ταξιανθιών του ίδιου φυτού αυξανόμενης της προσθήκης Cd, στην ίδια μεταχείριση Zn. Οι μπάρες αντιπροσωπεύουν τυπικό σφάλμα του μέσου όρου.

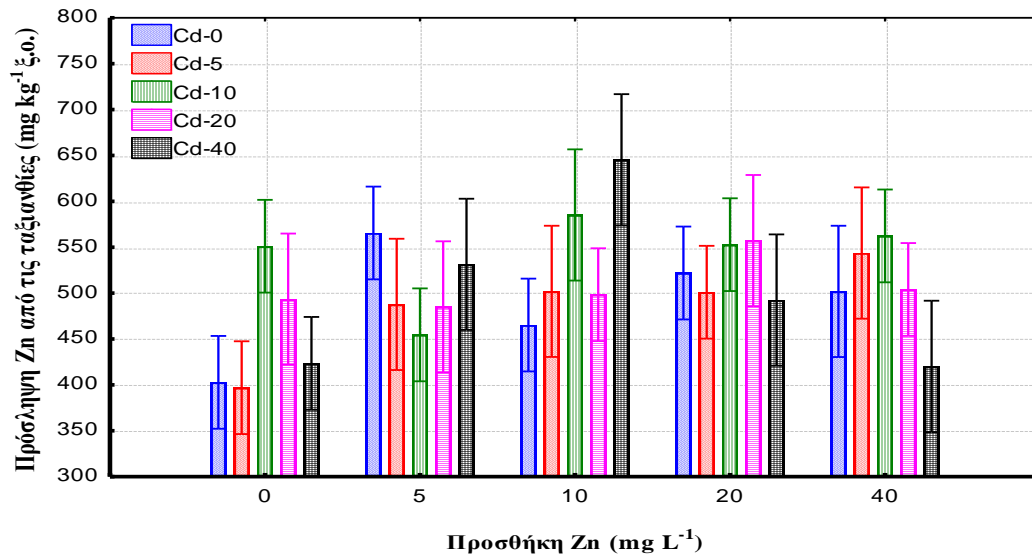


Διάγραμμα 6. Ξηρό βάρος των ταξιανθιών του φυτού *Ocimum basilicum* “Genovese”, στις διάφορες μεταχειρίσεις Cd και το ξηρό βάρος των ταξιανθιών του ίδιου φυτού αυξανόμενης της προσθήκης Zn, στην ίδια μεταχείριση Cd. Οι μπάρες αντιπροσωπεύουν τυπικό σφάλμα του μέσου όρου.

Από τα διαγράμματα 5 και 6 φαίνεται ότι δεν υπάρχει αλληλεπίδραση Cd-Zn στο ξηρό βάρος των ταξιανθιών του *Ocimum basilicum* “Genovese”.

### Αλληλεπίδραση Cd-Zn στην πρόσληψη Zn από τις ταξιανθίες

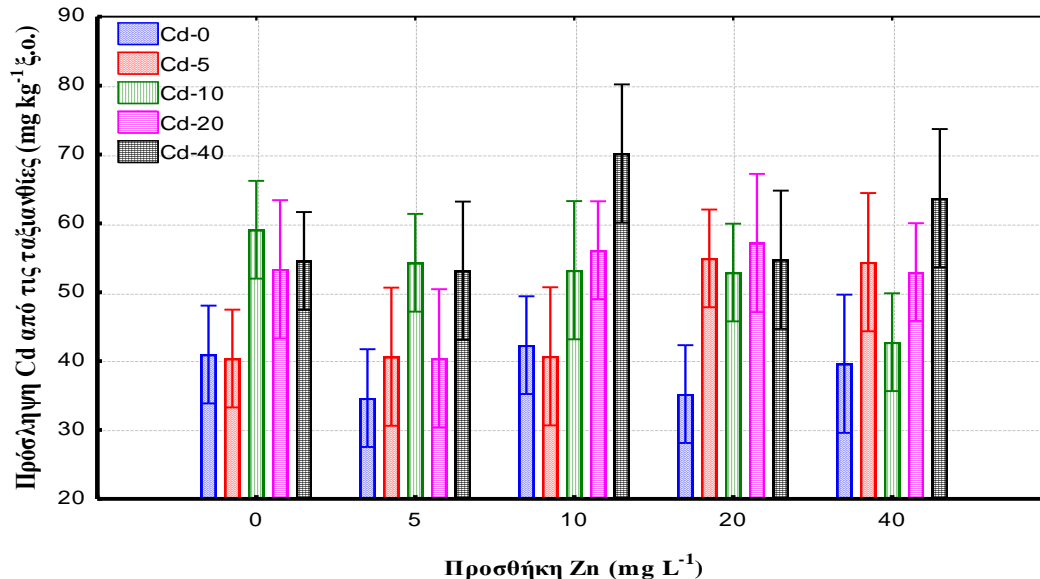
F=4,4587, p < 0,05



Διάγραμμα 7. Μεταβολή της πρόσληψης Zn από τις ταξιανθίες του φυτού *Ocimum basilicum* “Genovese”, στις διάφορες μεταχειρίσεις Zn και μεταβολές της πρόσληψης Zn από τις ταξιανθίες του ίδιου φυτού αυξανομένης της προσθήκης Cd, στην ίδια μεταχείριση Zn. Οι μπάρες αντιπροσωπεύουν τυπικό σφάλμα του μέσου όρου.

### Αλληλεπίδραση Cd-Zn στην πρόσληψη Cd στις ταξιανθίες

F=2,0785, p > 0,05



Διάγραμμα 8. Μεταβολή της πρόσληψης Cd από τις ταξιανθίες του φυτού *Ocimum basilicum* “Genovese”, στις διάφορες μεταχειρίσεις Zn και μεταβολές της πρόσληψης Cd από τις ταξιανθίες του ίδιου φυτού αυξανομένης της προσθήκης Cd, στην ίδια μεταχείριση Zn. Οι μπάρες αντιπροσωπεύουν τυπικό σφάλμα του μέσου όρου.

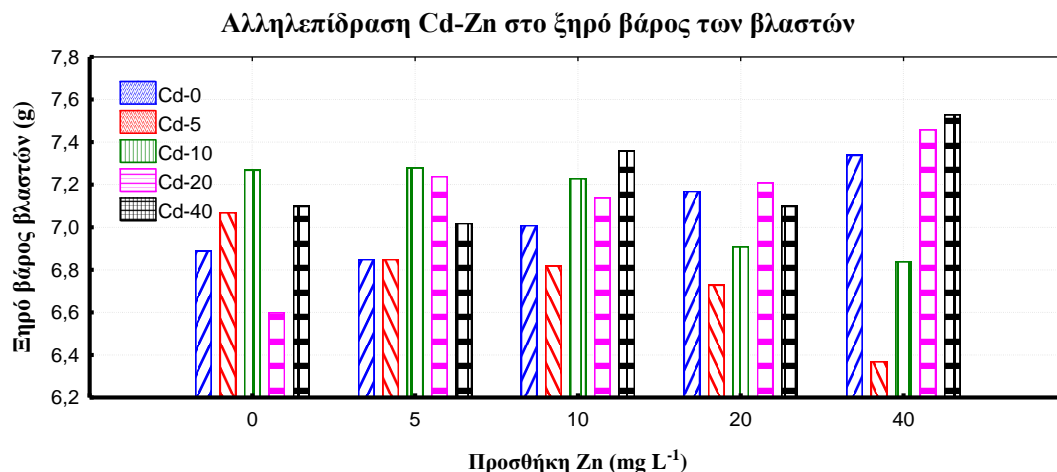
Από το διάγραμμα 7 συμπεραίνεται ότι, στο σύνολο των δειγμάτων δεν υπάρχει αλληλεπίδραση Cd-Zn, αλλά υπάρχει πιθανότητα αλληλεπίδρασης σε μεταχειρίσεις Zn μεγαλύτερες των 10 mg kg<sup>-1</sup>. Ο συνδυασμός υψηλών συγκεντρώσεων Cd και Zn

να εμποδίζει την πρόσληψη Zn από τις ταξιανθίες. Για το λόγο αυτό χρειάζεται περαιτέρω μελέτη με μεγαλύτερες συγκεντρώσεις προσθήκης Zn και Cd.

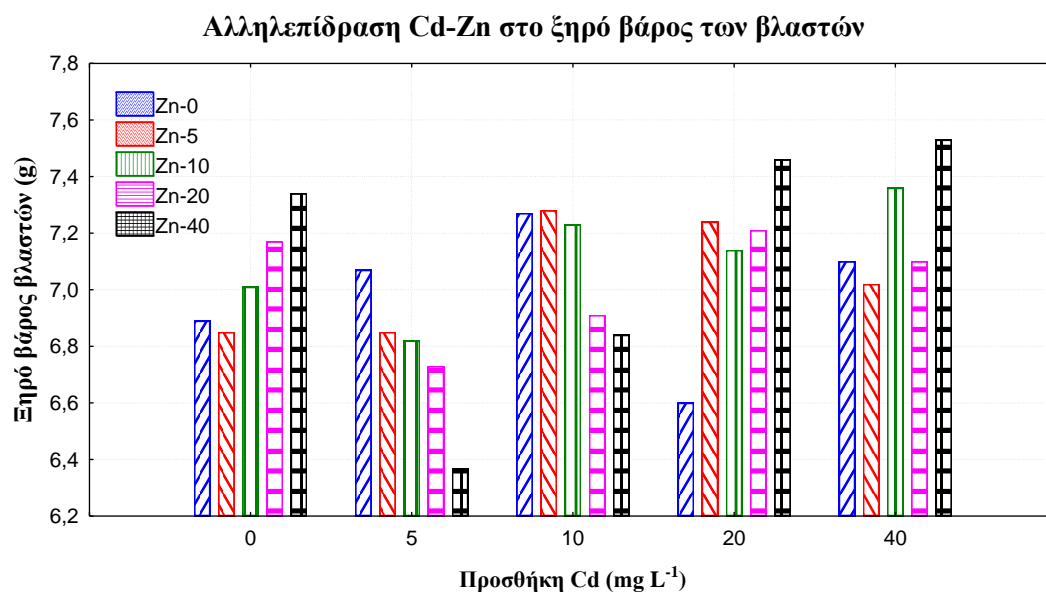
Στο διάγραμμα 8 δεν παρατηρούνται μεταβολές στην προσρόφηση Cd στις ταξιανθίες αυξανόμενης της προσθήκης Zn. Για την ίδια μεταχείριση Zn δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές στην πρόσληψη Cd στις ταξιανθίες, αυξανόμενης της προσθήκης Cd.

### 3.4. Αλληλεπίδραση Cd-Zn στους βλαστούς.

Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζονται οι μεταβολές Cd και Zn στις διάφορες μεταχειρίσεις στους βλαστούς του *Ocimum basilicum* “Genovese”:

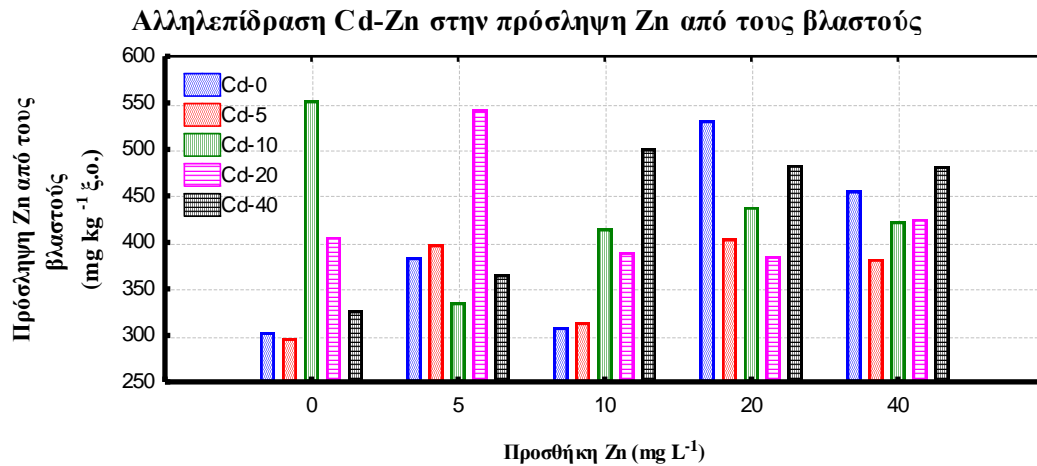


Διάγραμμα 9. Ξηρό βάρος των βλαστών του φυτού *Ocimum basilicum* “Genovese” στις διάφορες μεταχειρίσεις Zn και το ξηρό βάρος των βλαστών του ίδιου φυτού αυξανόμενης της προσθήκης Cd, στην ίδια μεταχείριση Zn.

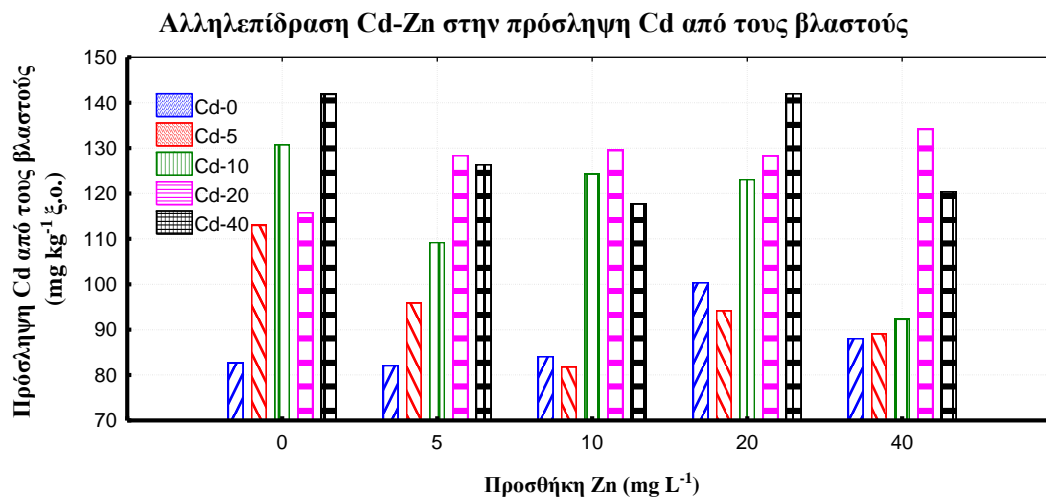


Διάγραμμα 10. Ξηρό βάρος των βλαστών του φυτού *Ocimum basilicum* “Genovese” στις διάφορες μεταχειρίσεις Cd και το ξηρό βάρος των βλαστών του ίδιου φυτού αυξανόμενης της προσθήκης Zn, στην ίδια μεταχείριση Cd.

Από τα διαγράμματα 9 και 10 φαίνεται ότι δεν υπάρχει αλληλεπίδραση Cd-Zn στο ξηρό βάρος των βλαστών του *Ocimum basilicum* cv *genovese*. Για την ίδια μεταχείριση δεν παρατηρούνται μεταβολές στο ξηρό βάρος.



Διάγραμμα 11. Μεταβολή της πρόσληψης Zn από τους βλαστούς του φυτού *Ocimum basilicum* “Genovese”, στις διάφορες μεταχειρίσεις Zn και μεταβολές της πρόσληψης Zn από τους βλαστούς του ίδιου φυτού αυξανόμενης της προσθήκης Cd, στην ίδια μεταχείριση Zn.

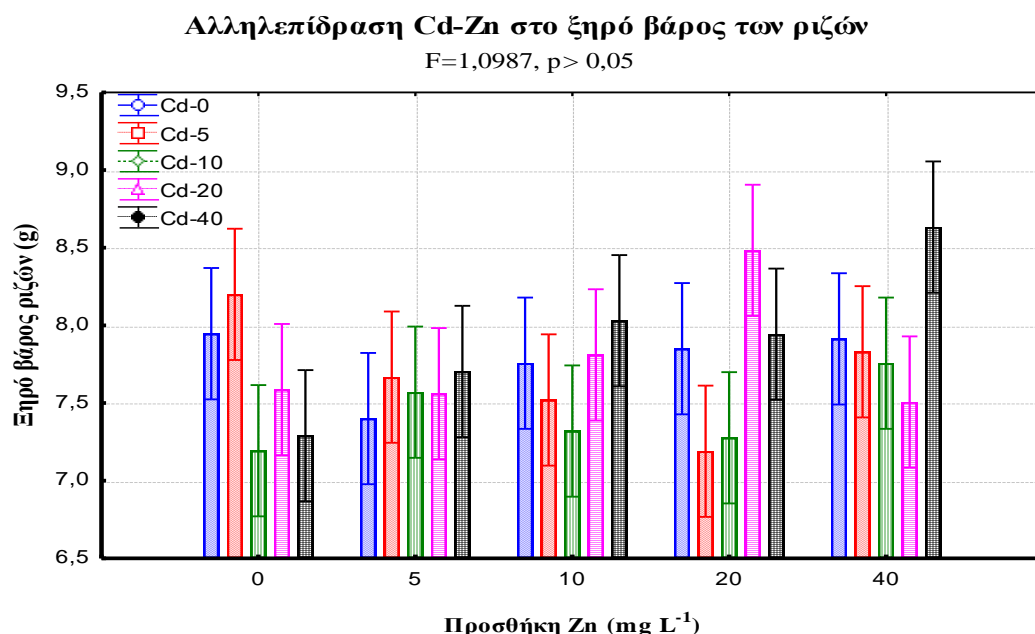


Διάγραμμα 12. Μεταβολή της πρόσληψης Cd από τους βλαστούς του φυτού *Ocimum basilicum* “Genovese”, στις διάφορες μεταχειρίσεις Zn και μεταβολές της πρόσληψης Cd από τους βλαστούς του ίδιου φυτού αυξανόμενης της προσθήκης Cd, στην ίδια μεταχείριση Zn.

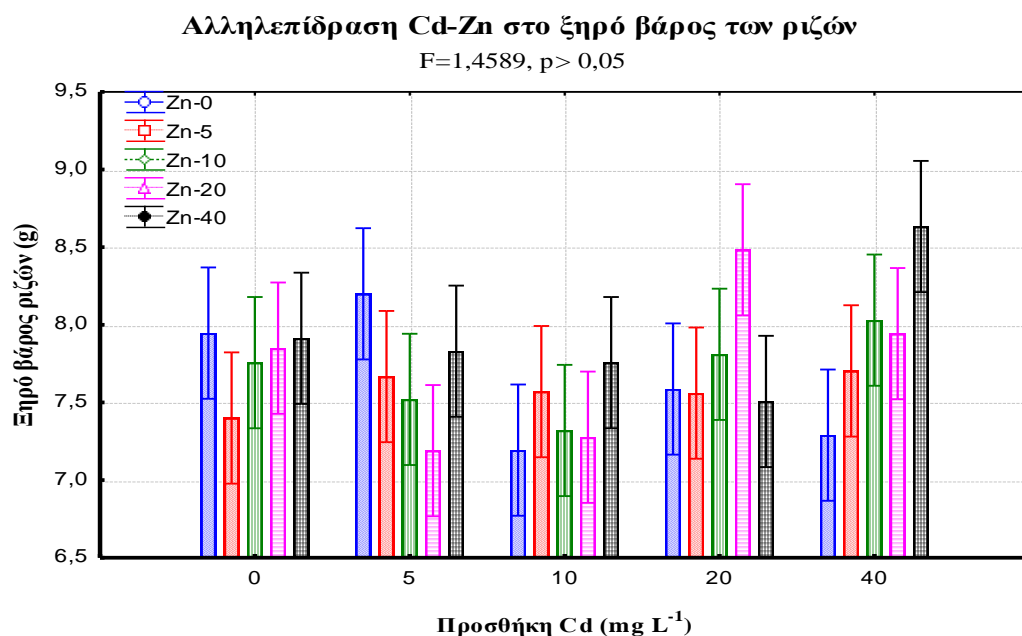
Από τα διαγράμματα 11 και 12 φαίνεται ότι δεν υπάρχει αλληλεπίδραση Cd-Zn στην πρόσληψη Cd και Zn στους βλαστούς του *Ocimum basilicum* cv *genovese*. Για την ίδια μεταχείριση δεν παρατηρούνται στατιστικά σημαντικές μεταβολές στην πρόσληψη των δύο στοιχείων.

### 3.5. Αλληλεπίδραση Cd-Zn στις ρίζες.

Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζονται οι μεταβολές Cd και Zn στις διάφορες μεταχειρίσεις στις ρίζες του *Ocimum basilicum* “Genovese”:



Διάγραμμα 13. Ξηρό βάρος των ριζών του φυτού *Ocimum basilicum* “Genovese” στις διάφορες μεταχειρίσεις Zn και το ξηρό βάρος των ριζών του ίδιου φυτού αυξανόμενης της προσθήκης Cd, στην ίδια μεταχείριση Zn.

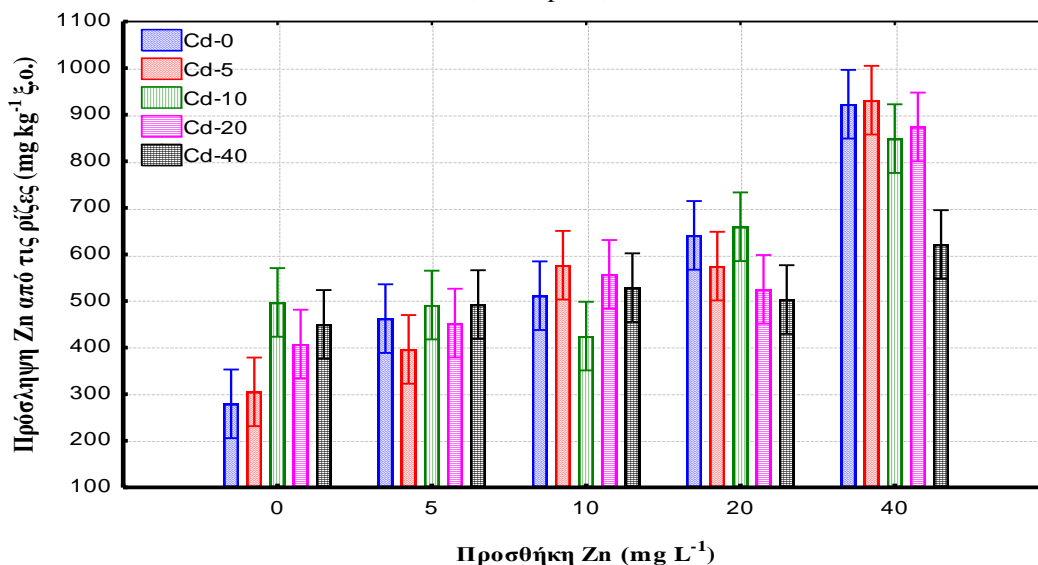


Διάγραμμα 14. Ξηρό βάρος των ριζών του φυτού *Ocimum basilicum* “Genovese” στις διάφορες μεταχειρίσεις Cd και το ξηρό βάρος των ριζών του ίδιου φυτού αυξανόμενης της προσθήκης Zn, στην ίδια μεταχείριση Cd.

Από τα διαγράμματα 13 και 14 διαπιστώνεται ότι δεν υπάρχει αλληλεπίδραση Cd-Zn στις ρίζες.

### Αλληλεπίδραση Cd-Zn στην πρόσληψη Zn από τις ρίζες

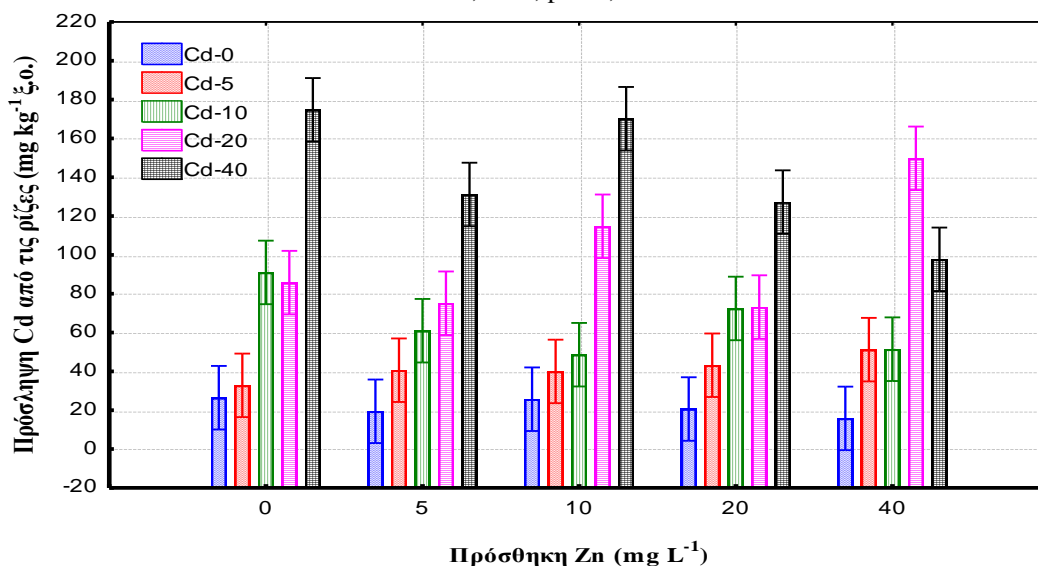
F=5,8766, p< 0,05



Διάγραμμα 15. Μεταβολή της πρόσληψης Zn από τις ρίζες του φυτού *Ocimum basilicum* “Genovese”, στις διάφορες μεταχειρίσεις Zn και μεταβολές της πρόσληψης Zn από τις ρίζες του ίδιου φυτού αυξανόμενης της προσθήκης Cd, στην ίδια μεταχείριση Zn.

### Αλληλεπίδραση Cd-Zn στην πρόσληψη Cd από τις ρίζες

F= 8,2386, p< 0,05



Διάγραμμα 16. Μεταβολή της πρόσληψης Cd από τις ρίζες του φυτού *Ocimum basilicum* “Genovese”, στις διάφορες μεταχειρίσεις Zn και μεταβολές της πρόσληψης Cd από τις ρίζες του ίδιου φυτού αυξανόμενης της προσθήκης Cd, στην ίδια μεταχείριση Zn.

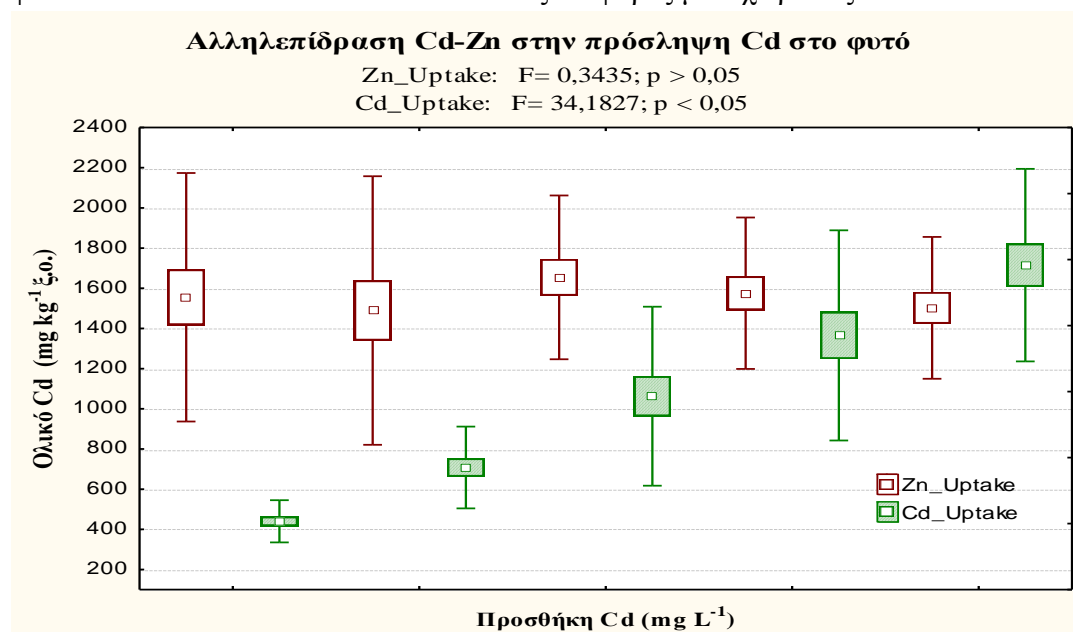
Στο διάγραμμα 15 φαίνεται ότι για την μεταχείριση προσθήκης 40 mg kg<sup>-1</sup> Zn αυξανόμενης της συγκέντρωσης Cd παρατηρείται μείωση της πρόσληψης Zn στις ρίζες δηλώνοντας έτσι την πιθανή αλληλεπίδραση Cd-Zn.



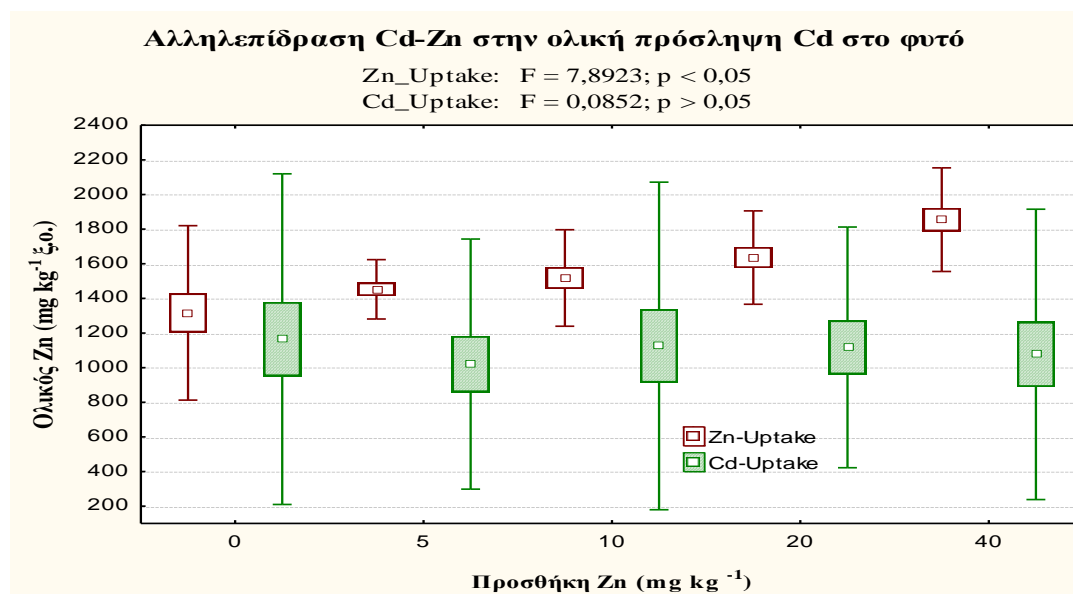
Στο διάγραμμα 16 φαίνεται ότι υπάρχει πιθανότητα αλληλεπίδρασης σε μεταχειρίσεις Zn μεγαλύτερες των  $10 \text{ mg kg}^{-1}$  διότι παρατηρείται μείωση της πρόσληψης Cd όταν η συγκέντρωση του Cd είναι  $40 \text{ mg kg}^{-1}$ . Φαίνεται δηλαδή ότι πιθανώς ο συνδυασμός υψηλών συγκεντρώσεων Cd και Zn να εμποδίζει την πρόσληψη Cd από τις ρίζες. Για το λόγο αυτό χρειάζεται περαιτέρω μελέτη με μεγαλύτερες συγκεντρώσεις προσθήκης Zn και Cd.

### 3.6. Μεταβολές Cd-Zn σε ολόκληρο το φυτό.

Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζονται η ολική πρόσληψη Cd και Zn από το φυτό *Ocimum basilicum* “Genovese” στις διάφορες μεταχειρίσεις Cd και Zn:



Διάγραμμα 17. Μεταβολή της ολικής πρόσληψης Cd και Zn από το φυτό *Ocimum basilicum* “Genovese”, αυξανομένης της προσθήκης Cd. Οι μπάρες αντιπροσωπεύουν τυπική απόκλιση του μέσου όρου και τα κουτιά τυπικό σφάλμα του μέσου όρου.



Διάγραμμα 18. Μεταβολή της ολικής πρόσληψης Cd και Zn από το φυτό *Ocimum basilicum* “Genovese”, αυξανομένης της προσθήκης Zn. Οι μπάρες αντιπροσωπεύουν τυπική απόκλιση του μέσου όρου και τα κουτιά τυπικό σφάλμα του μέσου όρου

Στα διαγράμματα 17 και 18 διαπιστώνεται ότι δεν υπάρχει αλληλεπίδραση Cd-Zn στην ολική πρόσληψη των στοιχείων αυτών από το φυτό *Ocimum basilicum* “Genovese”.

### 3.7. Συζήτηση

Το Cd είναι στοιχείο τοξικό για τα φυτά και βρίσκεται σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις στα εδάφη, αντίθετα ο Zn είναι ένα απαραίτητο ιχνοστοιχείο για την ανάπτυξη των φυτών και βρίσκεται σε συγκεντρώσεις στα εδάφη 100 φορές μεγαλύτερες από το Cd (Chaney *et al.*, 1999). Τα επίπεδα Zn στο έδαφος συνήθως κυμαίνονται από 20 έως 100 mg kg<sup>-1</sup>. Από τον πίνακα 4 φαίνεται ότι η συγκέντρωση του ολικού Zn στα φυτικά μέρη του *Ocimum basilicum* “Genovese” κυμάνθηκαν στα ανώτερα επιτρεπτά όρια. Η ελάχιστη (35,3 mg kg<sup>-1</sup> ξ.ο.) και η μέγιστη τιμή η οποία ξεπερνάει τα φυσιολογικά όρια (120 mg kg<sup>-1</sup> ξ.ο.) μετρήθηκε στις ρίζες.

Στην παρούσα μελέτη η συγκέντρωση Cd στα φυτικά μέρη κυμάνθηκε από 2 mg kg<sup>-1</sup> ξ.ο. έως 24 mg kg<sup>-1</sup> ξ.ο. Οι διεθνείς βιβλιογραφίες αναφέρουν ότι η ελάχιστη συγκέντρωση Cd, σε εδάφη μη μολυσμένα είναι 0,2 mg kg<sup>-1</sup>, ενώ η μέγιστη κυμαίνεται από 1,6 έως 3 mg kg<sup>-1</sup> (Kabata-Pendias & Pendias 1992). Η περιεκτικότητα του Cd στα φυτά κυμαίνεται από 0,05-0.2 mg kg<sup>-1</sup> ξ.ο. (Kabata-Pendias & Pendias, 2001). Παρόλο που η συγκέντρωση Cd, η οποία είναι εκφρασμένη στο ξηρό βάρος των δειγμάτων, ήταν σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις στα φυτικά μέρη του *Ocimum basilicum* “Genovese” από τις επιτρεπόμενες δεν παρατηρήθηκαν μορφολογικά συμπτώματα τοξικότητας. Μακροσκοπικές παρατηρήσεις έδειξαν ότι δεν υπήρξε διαφοροποίηση/αναστολή στο ύψος και την ανάπτυξη του φυτού *Ocimum basilicum* “Genovese” αν και καταγράφηκαν σημαντικές συγκεντρώσεις των δύο βαρέων μετάλλων στο φυτό. Παρόμοια αποτελέσματα έδειξαν μελέτες που έγιναν στο φυτό *Calendula officinalis* (Moustakas *et al.*, 2011).

Μελέτες αναφέρουν ότι η αλληλεπίδραση Cd-Zn άλλοτε λειτουργεί ανταγωνιστικά (Li *et al.*, 1990; Long *et al.*, 2003) και άλλοτε συνεργιστικά (Piotrowska *et al.*, 1994; Salt *et al.*, 1995; Nan *et al.*, 2002). Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης δείχνουν για τις συγκεντρώσεις που χρησιμοποιήθηκαν την πιθανότητα ανταγωνισμού των δύο στοιχείων στην προσρόφηση Cd και Zn από τα φυτικά μέρη (διάγραμμα 7 και 16) για τον λόγο αυτό χρειάζεται περαιτέρω μελέτη, ίσως με μεγαλύτερες συγκεντρώσεις.

Δεν παρατηρείται αλληλεπίδραση Cd-Zn στο ξηρό βάρος των φύλλων (διάγραμμα 1,2), όπως επίσης και στην πρόσληψη Cd και Zn στα φύλλα (διάγραμμα 3,4). Όμοια αποτελέσματα στα φύλλα παρατηρήθηκαν σε μελέτη σε φυτά μέντας (Ακουμιανάκη & Μουστάκας, 2010).

Στις ταξιανθίες συμπεραίνεται ότι, στο σύνολο των δειγμάτων δεν υπάρχει αλληλεπίδραση Cd-Zn, αλλά υπάρχει πιθανότητα αλληλεπίδρασης σε μεταχειρίσεις Zn μεγαλύτερες των  $10 \text{ mg kg}^{-1}$  διότι ενώ στην αρχή υπάρχει αύξηση της πρόσληψης Zn όταν η συγκέντρωση του Cd είναι  $40 \text{ mg kg}^{-1}$  στην συνέχεια παρατηρείται μείωση της πρόσληψης Zn. Φαίνεται δηλαδή ότι πιθανώς, ο συνδυασμός υψηλών συγκεντρώσεων Cd και Zn να εμποδίζει την πρόσληψη Zn από τις ταξιανθίες. Για το λόγο αυτό χρειάζεται περαιτέρω μελέτη με μεγαλύτερες συγκεντρώσεις προσθήκης Zn και Cd (διάγραμμα 7).

Στους βλαστούς του *Ocimum basilicum* “Genovese” φαίνεται ότι δεν υπάρχει αλληλεπίδραση Cd-Zn στην πρόσληψη Cd και Zn (διαγράμματα 11 και 12)

Στις ρίζες φαίνεται ότι για την μεταχείριση προσθήκης  $40 \text{ mg kg}^{-1}$  Zn αυξανόμενης της συγκέντρωσης Cd παρατηρείται μείωση της ολικής συγκέντρωσης Zn στις ρίζες δηλώνοντας έτσι την πιθανή αλληλεπίδραση Cd-Zn (διάγραμμα 15). Επίσης σε μεταχειρίσεις προσθήκης Zn μεγαλύτερες των  $10 \text{ mg kg}^{-1}$  φαίνεται ότι υπάρχει πιθανότητα αλληλεπίδρασης Cd-Zn διότι παρατηρείται μείωση της πρόσληψης Cd όταν η συγκέντρωση του Cd είναι  $40 \text{ mg kg}^{-1}$ . Πιθανώς ο συνδυασμός υψηλών συγκεντρώσεων Cd και Zn να εμποδίζει την πρόσληψη Cd από τις ρίζες (διάγραμμα 16). Για το λόγο αυτό χρειάζεται περαιτέρω μελέτη με μεγαλύτερες συγκεντρώσεις προσθήκης Zn και Cd.

Η αύξηση της προσθήκης Cd στο έδαφος είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της προσρόφησης τόσο στο υπέργειο μέρος όσο και στο υπόγειο μέρος του φυτού (διάγραμμα 17). Από το διάγραμμα 18 συμπεραίνεται η τάση αύξησης της ολικής πρόσληψης Zn από το φυτό αυξανόμενης της προσθήκης Zn στο έδαφος. Συνεπώς δεν φαίνεται να υπάρχει μεγάλη κινητικότητα και διαθεσιμότητα των βαρέων μετάλλων και κυρίως του Zn στο *Ocimum basilicum* “Genovese”. Συμπτώματα τροφωπενιών δεν παρατηρήθηκαν.

Όλες οι μετρήσεις έγιναν σε μια πληθώρα δειγμάτων για να αποφευχθούν τυχόν σφάλματα, ο αριθμός των δειγμάτων ήταν 125 για κάθε μέρος του φυτού (φύλλα, βλαστοί, ταξιανθίες, ρίζες). Από την στατιστική επεξεργασία προέκυψε ότι ο συντελεστής παραλλακτικότητας σε όλες τις μεταχειρίσεις που έγιναν ήταν μικρότερος του 15 % .

## Συμπεράσματα

- Δεν παρατηρήθηκαν μορφολογικά συμπτώματα τοξικότητας ή τροφοπενιών στο φυτό *Ocimum basilicum* “Genovese”, κατά τη διάρκεια του πειράματος.
- Δεν παρατηρήθηκε αλληλεπίδραση Cd-Zn στην πρόσληψη των δύο αυτών στοιχείων από τα διάφορα φυτικά μέρη αλλά και συνολικά από το φυτό *Ocimum basilicum* “Genovese”.
- Για την ίδια μεταχείριση Cd αυξανόμενης της προσθήκης Zn δεν παρατηρείται σημαντική μεταβολή στην πρόσληψη Zn.
- Για την ίδια μεταχείριση Zn αυξανόμενης της προσθήκης Cd αυξάνεται σημαντικά η πρόσληψη του Cd.

### 3.8. Τεύχος Φωτογραφιών



Εικόνα 10. *Ocimum basilicum* “Genovese”, 1<sup>η</sup> ημέρα καλλιέργειας σε φυτοδοχεία μέσα στο θερμοκήπιο (αριστερά).

Εικόνα 11. Λεπτομέρεια του σπορόφυτου *Ocimum basilicum* “Genovese”, την 1<sup>η</sup> ημέρα καλλιέργειας (δεξιά).



Εικόνα 12. Ανάπτυξη φυτού *Ocimum basilicum* “Genovese”, μετά από 1 μήνα καλλιέργειας σε φυτοδοχεία μέσα στο θερμοκήπιο (αριστερά).

Εικόνα 13. Λεπτομέρεια του φυτού *Ocimum basilicum* “Genovese”, μετά από 1 μήνα καλλιέργειας (δεξιά).



Εικόνα 14. Ανάπτυξη φυτού *Ocimum basilicum* “Genovese”, μετά από 2 μήνες καλλιέργειας σε φυτοδοχεία μέσα στο θερμοκήπιο.



Εικόνα 15. Φυτό *Ocimum basilicum* “Genovese” σε πλήρη ανάπτυξη στις μεταχειρίσεις Cd-Zn (από αριστερά προς τα δεξιά, 0-0, 0-5, 0-10 mg kg<sup>-1</sup>).



Εικόνα 16. Φυτό *Ocimum basilicum* “Genovese” σε πλήρη ανάπτυξη στις μεταχειρίσεις Cd-Zn (από αριστερά προς τα δεξιά, 0-20, 0-40 mg kg<sup>-1</sup>).



Εικόνα 17. Φυτό *Ocimum basilicum* “Genovese” σε πλήρη ανάπτυξη στις μεταχειρίσεις Cd-Zn (από αριστερά προς τα δεξιά, 5-0, 5-5, 5-10 mg kg<sup>-1</sup>).



Εικόνα 18. Φυτό *Ocimum basilicum* “Genovese” σε πλήρη ανάπτυξη στις μεταχειρίσεις Cd-Zn (από αριστερά προς τα δεξιά, 5-20, 5-40 mg kg<sup>-1</sup>).





Εικόνα 19. Φυτό *Ocimum basilicum* “Genovese” σε πλήρη ανάπτυξη στις μεταχειρίσεις Cd-Zn (από αριστερά προς τα δεξιά, 10-0, 10-5, 10-10 mg kg<sup>-1</sup>).



Εικόνα 20. Φυτό *Ocimum basilicum* “Genovese” σε πλήρη ανάπτυξη στις μεταχειρίσεις Cd-Zn (από αριστερά προς τα δεξιά, 10-20, 10-40 mg kg<sup>-1</sup>).



Εικόνα 21. Φυτό *Ocimum basilicum* “Genovese” σε πλήρη ανάπτυξη στις μεταχειρίσεις Cd-Zn (από αριστερά προς τα δεξιά, 20-0, 20-5, 20-10 mg kg<sup>-1</sup>).



Εικόνα 22. Φυτό *Ocimum basilicum* “Genovese” σε πλήρη ανάπτυξη στις μεταχειρίσεις Cd-Zn (από αριστερά προς τα δεξιά, 20-20, 20-40 mg kg<sup>-1</sup>).



Εικόνα 23. Φυτό *Ocimum basilicum* “Genovese” σε πλήρη ανάπτυξη στις μεταχειρίσεις Cd-Zn (από αριστερά προς τα δεξιά, 40-0, 40-5, 40-10 mg kg<sup>-1</sup>).



Εικόνα 24. Φυτό *Ocimum basilicum* “Genovese” σε πλήρη ανάπτυξη στις μεταχειρίσεις Cd-Zn (από αριστερά προς τα δεξιά, 40-20, 40-40 mg kg<sup>-1</sup>).

#### 4. Βιβλιογραφία

- Adriano D.C., 2001. Trace elements in the Terrestrial Environment, Springer-Verlag, New York.
- Akoumianakis A. K., Passam C. H., Barouchas E. P., Moustakas K. N., 2008. Effect of cadmium on yield and cadmium concentration in the edible tissues of endive (*Cichorium endivia* L.) and rocket (*Eruca sativa* Mill.), Journal of Food, Agriculture & Environment Vol.6 (3&4) : 206-209.
- Ακουμιανάκη-Ιωαννίδου Α. και Μουστάκας Ν., 2010. Αλληλεπίδραση καδμίου (Cd) και ψευδαργύρου (Zn) στη συγκέντρωσή τους σε φύλλα Μέντας (*Menta piperita* L.), Πρακτικά 25<sup>ου</sup> Συνεδρίου Ελληνικής Εταιρείας Επιστήμης των Οπωροκηπευτικών, Λεμεσός, Κύπρος. σελ.246.
- Allen, A.G., E. Nemitz, J.P. Shi, R.M. Harrison and J.C. Greenwood, 2001. Size distributions of trace metals in atmospheric aerosols in the United Kingdom, Atmospheric Environment 35.
- Alloway B., 1995. Heavy Metals in Soils. Blackie Academic Professional, Chapman & Hall. Second Edition, p: 155-164.
- Ayensu Edward S. & Duke James, 1985. Medicinal Plants of China (2-volumes) Reference Publications Inc., Algonac MI.
- Baker DE., Copper. In., Alloway BJ., 1990. Heavy Metals in Soils. New York: John Wiley & Sons. pp. 151–196.
- Barazani, O., Dudai, N., Khadka, U.R., Golan-Goldhirsch, A., 2004. Cadmium accumulation in *Allium schoenoprasum* L. grown in an aqueous medium, Chemosphere 57, 1213-1218.
- Beccaloni E., Vanni F., Beccaloni M., Carere M., 2013. Concentrations of arsenic, cadmium, lead and zinc in homegrown vegetables and fruits: Estimated intake by population in an industrialized area of Sardinia, Italy, Microchemical Journal, Volume 107. p.190-195.
- Bertoli A. C., Cannata M. G., Carvalho R., Bastos A. R. R., Freitas M. P., Augusto A., 2012. *Lycopersicon esculentum* submitted to Cd-stressful conditions in nutrition solution: Nutrient contents and translocation, Ecotoxicology and Environmental Safety, Vol. 86. p. 176-181.
- Boularbah, A., Schwartz, C., Bitton, G., Abouddrar, W., Ouhammou, A., Morel., J.L., 2006. Heavy metal contamination from mining sites in south Morocco: 2.

- Assessment of metal accumulation and toxicity in plants. *Chemosphere* 63, 811-817.
- Brekken A., Steinnes E., 2004. Seasonal concentrations of cadmium and zinc in native pasture plants: consequences for grazing animals, *Science of the Total Environment*, In Press.
- Brown Deni, 1995. *Encyclopedia of Herbs and Their Uses* (Herb Society of America), Dorling Kindersley Pub. Inc., New York, NY.
- Γαλάτης, Β., Γανωτάκης, Δ., Γκανή-Σπυροπούλου, Κ., Καραμπουρνιώτης, Γ., Κοτζαμπάσης, Κ., Κωνσταντινίδου, Ε.-Ι., Μανέτας, Ι., Ρουμπελάκη-Αγγελάκη, Κ.Α., 2003. Φυσιολογία φυτών, Από το μόριο στο περιβάλλον, Πανεπιστημιακές εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο.
- Chaney RL, Ryan JA, Li YM and Brown SL, 1999. Soil cadmium as a threat to human health. In: McLaughlin MJ and Singh BR (eds) *Cadmium in soils and plants*, pp 219-246. Kluwer Academic Publishers: Dordrecht, the Netherlands.
- Chen H.M., Zheng C.R., Tu C., Shen Z.G., 2000. Chemical methods and phytoremediation of soli contaminated with heavy metals, *Chemosphere* 41:229-234.
- Chiej, R., 1984. *The Macdonald Encyclopedia of Medicinal Plants*. London, Macdonald & Co.
- Cho, U-H., Seo, N-H., 2005. Oxidative stress in *Arabidopsis thaliana* exposed to cadmium is due to hydrogen peroxide accumulation. *Plant Sci.* 168, 113-120.
- Clemens, S., 2006. Toxic metal accumulation, responses to exposure and mechanisms of tolerance in plants. *Biochimie* 88, 1707-1719.
- Cosio C., Martinoia E., Keller C., 2004, Hyperaccumulation of cadmium and zinc in *Thlaspi caerulescens* and *Arabidopsis halleri* at the leaf cellular level. *Plant Physiol.* 134, 716-725.
- Ćurguz, V.G., Raičević, V., Veselinović, M., Tabakovic-Tošić, M., Vilotić, D., 2012. Influence of heavy metals on seed germination and growth of *Picea abies* L. Karst, *Polish Journal of Environmental Studies*, Vol.21, Issue 2. p. 355-361.
- Das P., Samantaray S., Rout G.R., 1997. Studies on cadmium toxicity in plants: a review *Environmental Pollution* 98: 29-36.
- Davis R.D., 1984. Cadmium in sludge used as fertilizer, *Experientia* 40:117-126.
- Duke James A., 1985. *Culinary Herbs: A Potpourri*. Buffalo, NY: Bonch Magazine, Limited.

- Duxbury T., 1985. Ecological aspects of heavy metal responses in microorganisms. *Adv. Microb. Ecol.* 8, 185-235.
- Foy C.D., Chaney R.L., White M.C., 1978. Physiology of metal toxicity in plants, *Annu. Rev. Plant Physiol. Molec. Biol.*29:511-566.
- Ghosh, M., Singh, S.P., 2005. A review on phytoremediation of five heavy metals and utilization of its byproducts. *Appl. Ecol. Environ. Res.* 3, 1-18.
- Hall JL, 2002. Cellular mechanisms for heavy metal detoxification and tolerance. *J. Exp. Bot.*
- Jones K.C., Symon C.J., Johnston A.E., 1987. Retrospective analysis of an archived soil collection I. Metals. *Science of the Total Environment*, Vol 61.
- Kabata-Pendias A, and Pendias H., 1992. Trace elements in soils and plants, 2nd edition, Levis Publ Inc. 365pp.
- Kabata-Pendias A. and Pendias H., 1999. Biochemistry of trace elements, 2<sup>nd</sup> edition, Wyd Nauk PWN, Warszawa (in Polish).
- Kabata-Pendias A. and Pendias H., 2001. Trace Elements in soils and plants, 3<sup>rd</sup> Edition, CRC Press LLC.
- Kabata-Pendias A. and Mukherjee A.B., 2007. Trace elements from soil to human, Springer, Berlin. p.550.
- Kalavrouziotis I., Jones P., Carter J. Varnavas S., 2007, Uptake of trace metals by *Lycopersicon esculendum L.* at a site adjacent to the main road Athens Thessaloniki, Greece, *Fresenius Environmental Bulletin*, 16 (2) : 133 139.
- Καλλιάνου Χ., 2007. Ρύπανση και αποκατάσταση εδαφών, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Κανταρτζής Νικόλαος Α., 2003. Αρωματικά και Φαρμακευτικά Φυτά για την Αρχιτεκτονική και Αρχιτεκτονική του Τοπίου, Εκδόσεις Κανταρτζής Νικόλαος, σελ.46.
- Καραγιαννίδης, Π.Π., 2002. Ειδική ανόργανη χημεία, τα στοιχεία και οι ενώσεις τους. 2<sup>η</sup> έκδοση, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.
- Karalliedde L. and Gawarammana I., 2008. Traditional Herbal Medicines, Hammersmith Press Ltd, London, UK, p.94.
- Καραμπουρνιώτης, Α. Γ., 2003. Φυσιολογία καταπονήσεων των φυτών, 1η Έκδοση, Εκδόσεις Έμβρυο, Αθήνα.
- Καρράς Γ. και Καρρά Α., 2006. Ετήσια Πολυετή και Βολβώδη- Η παραγωγή, η φροντίδα και η χρήση τους στην κηποτεχνία, Εκδόσεις Αγρότυπος, σελ.41-42.

- Kashem M.A. and Signh B.R., 2001. Metal availability in contaminated soils. Effects of flooding and organic matter on changes in Eh, pH and solubility of Cd, Ni and Zn, *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 61:247-255.
- Kirkham, M.B., 2006. Cadmium in plants on polluted soils: effects of soil factors, hyperaccumulation, and amendments. *Geoderma* 137, 19-32.
- Κουϊμπζής Θ., Φυτιάνος Κ., Σαμαρά-Κωνσταντίνου Κ., 1998. *Χημεία Περιβάλλοντος*, University Studio Press, Θεσσαλονίκη.
- Lasat, M.M., 2000. The use of plants for the removal of toxic metals form contaminated soil. Prepared for US Environmental Protection Agency.
- León, A.M., Palma, J.M., Corpas, F.J., Gómez, M., Romero-Puertas, M.C., Chatterjee, D., Mateos, R.M., del Río, L.A., Sandalio, L.M., 2002. Antioxidative enzymes in cultivars of pepper plants with different sensitivity to cadmium. *Plant Physiol. Biochem.* 40,813-820.
- Li SL, Wang HX, Wu YS, 1990. Antagonistic effect of zinc on cadmium in water hyacinth. *Acta Scientiae Circumstantiae* 10: 244-249.
- Lombi E., Zhao F.J., Dunham S.J., Mc Grath S.P., 2000. Cadmium accumulation in population of *Thlaspi caerulescens* and *Thlaspi goesingense*, *New Phytol.*145:11-20.
- Long XX, Yang XE, Ni WZ, Ye ZQ, He ZL, Calvert DV, Stoffela JP, 2003. Assesing zinc thresholds for phytotoxic and potential dietary toxicity in selected vegetable crops, *Commun Soil Sci Plant Anal* 34: 1421-1434.
- Mc Grath SP, Zhao FJ, Lombi E., 2001. Plant and rhizosphere process involved in phytoremediation of metal-contaminated soils. *Plant Soil.* 232(1/2):207–214.
- Μαυρογιαννόπουλος Ν. Γ., 1994, *Υδροπονικές καλλιέργειες και θρεπτικά διαλύματα*, Εκδόσεις Α. Σταμούλης.
- Μήτσιος Ιωάννης Κ., 2004. *Γονιότητα εδαφών, θρεπτικά στοιχεία φυτών, (μακροθρεπτικά, μικροθρεπτικά) και βαρέα μέταλλα, μέθοδοι και εφαρμογές*, Εκδόσεις Zymel.
- Monni S., Salemaa M., Millar N., 2000. The tolerance of *Empetrum Nigrum* to copper (Cu) and nickel (Ni), *Environmental pollution* 109:221-229.
- Moustakas K. N., Akoumianakis A. K., Passam C. H., 2001. Cadmium accumulation and its effect on yield of Lettuce, Radish, and Cucumber, *Communications in Soil Science and Plant Analysis.* 32 (11&12), 1793–1802.

- Moustakas K. N., Akoumianaki-Ioannidou A., Barouchas E. P., 2011. The effects of cadmium and zinc interactions on the concentration of cadmium and zinc in pot marigold (*Calendula officinalis* L.), Australian Journal of Crop Science. 5(3):274-279.
- Mulligan, C.N., Yong, R.N., Gibbs, B.F., 2001. Remediation technologies for metalcontaminated soils and groundwater: an evaluation. Eng. Geol. 60, 193-207.
- Naidu, R., Gupta, V.V.S.R., Rogers, S., Kookana, R.S., Bolan, N.S., Adriano, D.C., 2003. Chapter 2, Bioavailability of metals in the soil plant environment and its potential role in risk assessment, In: Naidu, R., Gupta, V.V.S.R., Kookana, R.S., Rogers, S., Adriano, D., (eds) Bioavailability, toxicity and risk relationships in ecosystems, Science Publishers Inc., Enfield, NH, 21-57.
- Nan Z., Li J., Zhang J., Cheng G., 2002. Cadmium and zinc interactions and their transfer in soil crop system under actual field conditions, Sci Total Environ 285:187–195.
- Nordberg N. G., Herber R. F. M., Alessio L., 1992. Cadmium in the Human Environment: Toxicity and Carcinogenicity, International Agency for Research on Cancer, Lyon, France.
- Nriagu, J. O., 1980. "Cadmium in the Atmosphere and in Precipitation," Cadmium in the Environment, Part 1, Ecological Cycling, JohnWiley & Sons, pages 71-114.
- Nriagu J.D., 1988. Cadmium in the aquatic environment.Environmental Pollution 54:75.
- Orcutt, D.M., Nilsen, E.T., 2000. The physiology of plants under stress - Soil and biotic factors, John Wiley & Sons, New York.
- Peralta, J.R., Gardea-Torresdey, J.L., Tiemann, K.J., Gomez, E., Arteaga, S., Rascon, e., Parsons, J.G., 2001. Uptake and effects of five heavy metals on seed germination and plant growth in alfalfa (*Medicago sativa* L.). Bull. Environ. Contam. Toxicol. 66, 727-734.
- Perfus-Barbeoch, L., Leonhardt, N., Vavasseur, A., Forestier, C., 2002. Heavy metal toxicity: cadmium permeates through calcium channels and disturbs the plant water status. Plant J. 32, 539-548.
- Phipps D.A., 1981. Chemistry and biochemistry of trace metals in biological systems In: Effects of heavy metal pollution on plants, Lepp N.W. (ed), Applied Science Publishers, London, UK.



- Pietrini, F., Iannelli, M.A., Pasqualini, S., Massacci, A., 2003. Interaction of cadmium with glutathione and photosynthesis in developing leaves and chloroplasts of *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex. Steudel. *Plant Physiol.* 133, 829-837.
- Piotrowska M, Dudka S, Chilopecka A., 1994. Effect of elevated concentrations of Cd and Zn in soil on spring wheat yield and metal contents of plants, *Water Air Soil Pollut* 76: 333-341.
- Πολυσίου Μόσχος, 2008. Αρωματικά και Φαρμακευτικά Φυτά. Προσδοκίες για αγρότες και μεταποιητές του Ν. Καρδίτσας, Πρακτικά 1<sup>ου</sup> Αναπτυξιακού Συνεδρίου του Νομού Καρδίτσας.
- Prasad MNV, 1995. Cadmium toxicity and tolerance in vascular plants. *Environ. Exp. Bot.* 35, 525-545.
- Prasad MNV, 2004. Heavy metal stress in plants: from biomolecules to ecosystems. 2<sup>nd</sup> ed. Narosa Publishing House, 22 Dyraganj, New Delhi.
- Prasad M.N.V., 2008. Trace Elements as contaminants and nutrients, Wiley, New Jersey.
- Qadir, M., Schubert, S., Steffens, D., 2004. Phytotoxic substances in soils. *Encyclopedia of Soils in the Environment*, Elsevier, 216-222.
- Raskin, I., Kumar, N.P.B.A., Dushenkov, S., Salt, D.E., 1994. Bioconcentration of heavy metals by plants. *Curr. Opin. Biotechnol.* 5, 285-290.
- Σάββας Δ., 2000, Θρέψη Φυτών ΤΕΙ Ηπείρου Τμήμα Ανθοκομίας και Αρχιτεκτονικής Τοπίου
- Safarzadeh S., Ronaghi A., Karimian N., 2013. Effect of cadmium toxicity on micronutrient concentration, uptake and partitioning in seven rice cultivars, *Archives of Agronomy and Soil Science*, Volume 59, Issue 2. p. 231-245.
- Salt DE, Blaylock M, Kumar NPB, 1995. Phytoremediation: a novel strategy for the removal of toxic elements from the environment using plant, *Biotechnology* 13: 468-474.
- Sanita di Toppi L, Gabbrielli R. 1999. Response to cadmium in higher plants, *Environ Exp Bot* 41:105–130.
- Santa Maria GE, Cogliatti DH, 1998. The regulation of zinc (Zn) uptake in wheat plants, *Plant Sci.* 137:1-12.
- Σαρλής Γεώργιος Π., 1991. Αρωματικά και Φαρμακευτικά Φυτά, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, σελ.69-71.

- Sas-Nowosielska, A., Kucharski, R., Malkowski, E., Pogrzeba, M. Kuperberg, J.M., Kryński, K., 2004. Phytoextraction crop disposal - an unsolved problem, Environ. Pollut. 128, 373-379.
- Sauve S., Norvell W.A., McBride M., Hendershot, W., 2000. Speciation and complexation of cadmium in extracted soil solutions, Environmental Science & Technology, v.34, p.291-296,
- Σκρουμπής Βύρων, 1998. Αρωματικά, Φαρμακευτικά και Μελισσοτροφικά Φυτά της Ελλάδας, Εκδόσεις Αγρότυπος, σελ.56.
- Smeets, K., Cuypers, A., Lambrechts, A., Semane, B., Hoet, P., Van Laere, A., Vangronsveld, J., 2005. Induction of oxidative stress and antioxidative mechanisms in *Phaseolus vulgaris* after Cd application. Plant Physiol. Biochem. 43, 437-444.
- Στασινάκης Αθανάσιος Σ., 2003. Εισαγωγή στην Περιβαλλοντική Μηχανική. Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Μυτιλήνη.
- Sullivan Christopher, 2009. College Seminar 235 - Food For Thought: The Science, Culture, & Politics of Food in Spring.
- Τσέκος, Ι.Β., 2004. Φυσιολογία φυτών. 2η έκδοση, Εκδόσεις Αδελφών Κυριακίδη, Θεσσαλονίκη.
- Yanai J, Zhao FJ, McGrath SP, Kosaki T., 2006. Effect of soil characteristics on Cd uptake by the hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens*. Environ. Pollut. 139(1):167-175.
- Ζαλίδης Γ., 2002. Σημειώσεις του μαθήματος Ρύπανση και Υποβάθμιση Εδαφών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Zarcinas, B.A., Ishak, C.F., McLaughlin, M.J., Cozens, G., 2004. Heavy metals in soils and crops in Southeast Asia. 1. Peninsular Malaysia. Environ. Geochem. Health 26:343-357.
- Zhou, W., Qiu, B., 2005. Effects of cadmium hyperaccumulation on physiological characteristics of *Sedum alfredii* Hance (Crassulaceae). Plant Sci. 169, 737-745.