



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

Π.Μ.Σ.: ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ & ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Μεταπτυχιακή Διατριβή

**Επίδραση του καδμίου (Cd) στα μορφολογικά χαρακτηριστικά και
την απορρόφησή του από φυτά *Echinacea purpurea* L. και
Hypericum empetrifolium Willd. subsp. *empetrifolium***

Αλεξάνδρα Α. Σάλτα

Επιβλέπουσα καθηγήτρια:

Αναστασία Ακουμιανάκη-Ιωαννίδου, Καθηγήτρια Γ.Π.Α.

Αθήνα

2019



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

Μεταπτυχιακή Διατριβή

**Επίδραση του καδμίου (Cd) στα μορφολογικά χαρακτηριστικά και
την απορρόφησή του από φυτά *Echinacea purpurea* L. και
Hypericum empetrifolium Willd. subsp. *empetrifolium***

**Effects of cadmium (Cd) on morphological characteristics and on Cd
concentration in *Echinacea purpurea* L. and in *Hypericum
empetrifolium* Willd. subsp. *empetrifolium* plants**

Αλεξάνδρα Α. Σάλτα

Εξεταστική επιτροπή:

Αναστασία Ακουμιανάκη-Ιωαννίδου, Καθηγήτρια Γ.Π.Α (επιβλέπουσα)

Νικόλαος Μουστάκας, Καθηγητής Γ.Π.Α.

Αγγελική Παρασκευοπούλου, Επίκουρη Καθηγήτρια Γ.Π.Α.

Επίδραση του καδμίου (Cd) στα μορφολογικά χαρακτηριστικά και την απορρόφησή του από φυτά *Echinacea purpurea* L. και *Hypericum empetrifolium* Willd. subsp. *empetrifolium*

Τμήμα Επιστήμης Φυτικής Παραγωγής
Εργαστήριο Ανθοκομίας & Αρχιτεκτονικής Τοπίου

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στόχος της παρούσας μελέτης είναι η διερεύνηση της επίδρασης του καδμίου (Cd) στα μορφολογικά χαρακτηριστικά των φαρμακευτικών φυτών *Echinacea purpurea* και *Hypericum empetrifolium* subsp. *empetrifolium*, καθώς και της απορρόφησής του από τα υπέργεια τμήματα και τις ρίζες των φυτών αυτών, που αναπτύχθηκαν σε όξινο και ουδέτερο υπόστρωμα.

Η *Echinacea purpurea* είναι ένα ευρέως γνωστό και χρησιμοποιούμενο φαρμακευτικό φυτό, του οποίου η κύρια δράση είναι η ανοσοδιέγερση. Έχει μελετηθεί και μελετάται μέχρι σήμερα, για τις αντιφλεγμονώδεις ιδιότητές του και την προστατευτική του δράση από τους ιούς της γρίπης.

Το *Hypericum empetrifolium* subsp. *empetrifolium* είναι επίσης γνωστό από την αρχαιότητα ως φαρμακευτικό φυτό. Έχει διαπιστωθεί δε, ότι πολλά είδη του γένους *Hypericum* περιέχουν ουσίες με αντιμικροβιακές, αντικαρκινικές, επουλωτικές ιδιότητες, αλλά και ουσίες με νευροπροστατευτική δράση.

Το Cd είναι ένα χημικό στοιχείο που ανήκει στα βαρέα μέταλλα και αποτελεί τοξική ουσία για τους περισσότερους ζωντανούς οργανισμούς και τον άνθρωπο. Η συγκέντρωσή του στην ατμόσφαιρα και το έδαφος αυξάνεται ραγδαία από τον προηγούμενο αιώνα, λόγω ανθρωπογενών δραστηριοτήτων, όπως η εντατικοποίηση της γεωργίας και η βιομηχανική ανάπτυξη.

Για το λόγο αυτό, σπορόφυτα *E. purpurea* ηλικίας 2 μηνών και φυτάρια *H. empetrifolium* subsp. *empetrifolium* προερχόμενα από έρριζα μοσχεύματα ηλικίας 8 μηνών αναπτύχθηκαν σε ατομικά γλαστρίδια σε όξινο (pH 4,5) και ουδέτερο υπόστρωμα (pH 6,5) τύρφης –περλίτη 1:1 κατ' όγκο. Ακολουθήθηκε εντελώς τυχαιοποιημένο πειραματικό σχέδιο με τέσσερις μεταχειρίσεις (0, 1, 2, 5 mg Cd L⁻¹) και έξι επαναλήψεις ανά μεταχείριση. Η εφαρμογή του Cd έγινε με τη μορφή του CdSO₄ x 8/3H₂O και ριζοποτίσματα.

Το ύψος των φυτών *E. purpurea* δεν επηρεάστηκε ιδιαίτερα από τις αυξανόμενες επεμβάσεις με Cd, οι μεταβολές ύψους όμως ήταν μεγαλύτερες στο όξινο υπόστρωμα ανάπτυξης. Στο ουδέτερο υπόστρωμα ανάπτυξης, η συγκέντρωση Cd στο υπέργειο τμήμα του φυτού αυξήθηκε σημαντικά στη μεταχείριση με 5 mg Cd L⁻¹, ενώ η συγκέντρωση Cd στη ρίζα αυξήθηκε σε μεταχειρίσεις συγκέντρωσης μεγαλύτερης των 2 mg Cd L⁻¹ και παρατηρήθηκε σημαντική διαφορά από τη συγκέντρωση Cd στο μάρτυρα. Στο όξινο υπόστρωμα ανάπτυξης, οι μεταχειρίσεις συγκέντρωσης μεγαλύτερης του 1 mg Cd L⁻¹ αύξησαν σημαντικά τη συγκέντρωση στο υπέργειο τμήμα του φυτού, ενώ στη ρίζα παρατηρήθηκε σημαντική αύξηση της συγκέντρωσης Cd στην μεταχείριση με 5 mg Cd L⁻¹. Η ολική συγκέντρωση Cd στο φυτό καθώς και το ανταλλάξιμο με DTPA Cd από το υπόστρωμα αυξήθηκε με την αύξηση του προστιθέμενου Cd και στα δύο υποστρώματα ανάπτυξης (όξινο και ουδέτερο), ενώ σημείωσαν μεγαλύτερες τιμές στο όξινο υπόστρωμα ανάπτυξης.

Οι αυξανόμενες επεμβάσεις με Cd δεν φάνηκε να επηρέασαν το ύψος των φυτών *H. empetrifolium* subsp. *empetrifolium* οι μεταβολές ύψους όμως ήταν μεγαλύτερες στο όξινο υπόστρωμα ανάπτυξης. Στο ουδέτερο υπόστρωμα ανάπτυξης παρατηρήθηκε αύξηση του ξηρού βάρους της ρίζας σε μεταχειρίσεις συγκέντρωσης μεγαλύτερης του 1 mg Cd L⁻¹. Στο όξινο υπόστρωμα ανάπτυξης, η προσθήκη Cd σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες των 2 mg Cd L⁻¹ αύξησε το ξηρό βάρος ρίζας. Η συγκέντρωση Cd στο υπέργειο τμήμα του φυτού αυξήθηκε με την αύξηση της προσθήκης Cd, ενώ στη ρίζα παρατηρήθηκε σημαντική διαφορά στη συγκέντρωση Cd μεταξύ του μάρτυρα και της μεταχείρισης των 5 mg Cd L⁻¹. Η ολική συγκέντρωση Cd στο φυτό, καθώς και το ανταλλάξιμο με DTPA Cd από το υπόστρωμα αυξήθηκε με την αύξηση προσθήκης Cd και στα δύο υποστρώματα ανάπτυξης (ουδέτερο και όξινο), ενώ σημείωσαν μεγαλύτερες τιμές στο όξινο υπόστρωμα ανάπτυξης.

Μορφολογικά συμπτώματα τοξικότητας ή τροφοπενιών καθώς επίσης και μεταβολές ή δυσλειτουργίες στην ανάπτυξη και των δύο μελετώμενων φυτικών ειδών δεν παρατηρήθηκαν στις διάφορες μεταχειρίσεις σε κανένα από τα δύο υποστρώματα ανάπτυξης.

Επιστημονική περιοχή: Φαρμακευτικά φυτά

Λέξεις κλειδιά: φαρμακευτικά φυτά, βαρέα μέταλλα, pH υποστρώματος

Effects of cadmium (Cd) on morphological characteristics and on Cd concentration in *Echinacea purpurea* L. and in *Hypericum empetrifolium* Willd. subsp. *empetrifolium* plants

*Department of Crop Science
Laboratory of Floriculture & Landscape Architecture*

ABSTRACT

The aim of this study was to examine the effect of Cd on morphological characteristics and on Cd concentration in leaves and roots of two medicinal plants, *Echinacea purpurea* and *Hypericum empetrifolium* subsp. *empetrifolium*, grown in a neutral and in an acid substrate.

E. purpurea is a widely known and used medicinal plant, mainly for its immune-stimulating properties. It has been well studied for its anti-inflammatory action and its treatment and prevention of various infectious disorders of the respiratory system.

H. empetrifolium subsp. *empetrifolium* is a medicinal plant known and used since the ancient years. It has been determined that many species of the genus contain substances that have antimicrobial, anticancer, healing and neuroprotective properties.

Cadmium (Cd) is a toxic trace heavy metal, deleterious for humans and many other living organisms. This element is one of the most widespread pollutants in the atmosphere and in the soil, mainly due to industrial emission and intensification of agriculture.

For the aforementioned reason, pot experiments were conducted under glasshouse conditions. Pots were arranged in a completely randomized block design in two groups (neutral substrate, acid substrate) with four treatments (0, 1, 2 and 5 mg Cd L⁻¹) and six replications per treatment. Plantlets of both species studied (48 pots for each species) were transplanted in peat-perlite mixture 1:1 v/v. Cd was applied as CdSO₄ x 8/3H₂O by hand.

The height of *E. purpurea* plants was not affected by increasing Cd applications, but the plants grown in an acid substrate were higher than those grown in a neutral substrate. Cd concentration in leaves of the plants grown in a neutral substrate was significantly raised at the application of 5 mg Cd L⁻¹, whereas Cd concentration in roots increased at Cd doses higher than 2 mg Cd L⁻¹. Cd applications greater than 1 mg Cd L⁻¹ significantly increased Cd concentration in leaves of the

plants grown in an acid substrate, whereas Cd application of 5 mg Cd L⁻¹ significantly increased Cd concentration in roots of the plants grown in an acid substrate. Cd concentration in plants grown in both substrates (neutral and acid) and extractable peat-soil Cd by DTPA-TEA increased with increasing Cd applications, but achieved higher rates in an acid substrate.

The height of *H. empetrifolium* subsp. *empetrifolium* plants was not affected by increasing Cd applications but the plants grown in an acid substrate were higher than those grown in a neutral substrate. Roots dry matter of the plants grown in a neutral substrate raised at Cd applications greater than 1 mg Cd L⁻¹ whereas roots dry matter of the plants grown in an acid substrate raised at Cd applications greater than 2 mg Cd L⁻¹. Significant differences of Cd concentration in roots of the plants grown in an acid substrate were observed between control and treated with 5 mg Cd L⁻¹. Cd concentration in plants grown in both substrates (neutral and acid) and extractable peat-soil Cd by DTPA-TEA increased with increasing Cd applications, but achieved higher rates in an acid substrate.

Visual examinations of Cd-treated plants of both species studied did not reveal symptoms of toxicity or nutrient deficiency over the concentration range of 0-5 mg Cd L⁻¹.

Scientific area: Medicinal plants

Key words: medicinal plants, heavy metals, substrate reaction

Ευχαριστίες

Θα ήταν παράλειψή μου να μην ευχαριστήσω θερμά όσους με τον τρόπο τους συνέβαλαν στην εκπόνηση και ολοκλήρωση της παρούσας μελέτης.

Κατ' αρχάς, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερω την επιβλέπουσα κ. Αναστασία Ακουμιανάκη-Ιωαννίδου, Καθηγήτρια, για την ευκαιρία να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο θέμα, για την καθοριστική επιστημονική και ηθική συμβολή, καθοδήγηση, υποστήριξη και υπομονή της καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της μελέτης αυτής, αλλά και τη συνολική συνεργασία και τη διεύρυνση των επιστημονικών –και μη- οριζόντων μου, που μνημονεύω με ευγνωμοσύνη.

Ευχαριστώ επίσης θερμά τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής κ. Νικόλαο Μουστάκα, Καθηγητή, για την πολύτιμη επιστημονική συμβολή, στήριξη και αξιολόγηση της εργασίας αυτής αλλά και την καθοδήγησή του στη διεξαγωγή των εργαστηριακών και στατιστικών αναλύσεων, καθώς και την κ. Αγγελική Παρασκευοπούλου, Επίκουρη Καθηγήτρια, για τις πολύτιμες συμβουλές και την αξιολόγηση της παρούσας εργασίας.

Επιπλέον θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον κ. Στέλιο Δάλλα, υπεύθυνο του εργαστηρίου Εδαφολογίας και Γεωργικής Χημείας, για τη διαρκή και πολύτιμη υποστήριξή του, την επίλυση των αποριών μου και την ένθερμη διάθεσή του να με κάνει εξ' αρχής να νιώσω μέλος του εργαστηρίου. Θερμά ευχαριστώ και τον κ. Κωνσταντίνο Μπερτσουκλή, Ε.ΔΙ.Π. του εργαστηρίου Ανθοκομίας και Αρχιτεκτονικής Τοπίου, για τη συνεχή και πολύτιμη βοήθειά του στη στατιστική επεξεργασία της εργασίας αυτής, αλλά και την άμεση ανταπόκρισή του στην επίλυση των όποιων θεμάτων παρουσιάστηκαν κατά τη διάρκεια της συνεργασίας μου με το εργαστήριο.

Τέλος, οφείλω ένα δυνατό ευχαριστώ στους γονείς μου, στους φίλους και συναδέλφους μου και γενικά σε όσους ανθρώπους στάθηκαν δίπλα μου στο ταξίδι αυτό και που χωρίς αυτούς δε θα είχα τη δύναμη να αντιμετωπίσω τα εμπόδια που προέκυψαν και που χωρίς την αγάπη και στήριξή τους θα ήταν πολύ δύσκολο να φτάσω ως εδώ.

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	i
ABSTRACT.....	iii
Ευχαριστίες	v
1. Εισαγωγή	1
1.1 Βαρέα μέταλλα.....	1
1.1.1 Ορισμός	1
1.1.2 Πηγές προέλευσης	2
1.1.3 Βιοδιαθεσιμότητα στο έδαφος.....	3
1.2. Κάδμιο.....	4
1.2.1 Γενικά	4
1.2.2 Πηγές προέλευσης	4
1.2.3 Το κάδμιο στο έδαφος και η βιοδιαθεσιμότητά του	5
1.2.4 Επιδράσεις τοξικότητας καδμίου στα φυτά.....	7
1.2.4.1 Επίδραση στη φωτοσύνθεση και την ανάπτυξη των ριζών	7
1.2.4.2 Επίδραση στη θρέψη.....	8
1.2.5 Η φυσιολογία της καταπόνησης από κάδμιο και η σύγχρονη έρευνα.....	9
1.2.6 Επιδράσεις του καδμίου στον ανθρώπινο οργανισμό	11
1.3. Φυτικό υλικό	14
1.3.1 Εχινάτσεια (<i>Echinacea purpurea</i> L. κοιν. Purple coneflower)	14
1.3.1.1 Βοτανικά χαρακτηριστικά	15
1.3.1.2 Πολλαπλασιασμός	15
1.3.1.3 Καλλιεργητικές απαιτήσεις και τεχνικές	16
1.3.1.4 Συγκομιδή	18
1.3.1.5 Εχθροί και ασθένειες	18
1.3.1.6 Φαρμακευτικές χρήσεις	19

1.3.2 Υπέρικο (<i>Hypericum empetrifolium</i> Willd. subsp. <i>empetrifolium</i> κοιν. St John's Wort)	21
1.3.2.1 Βοτανικά χαρακτηριστικά	21
1.3.2.2 Γεωγραφική εξάπλωση	22
1.3.2.3 Πολλαπλασιασμός	22
1.3.2.4 Φαρμακευτικές χρήσεις	23
1.4. Σκοπός μελέτης	24
2. Υλικά και Μέθοδοι	25
2.1 Φυτικό υλικό	25
2.2 Υποστρώματα ανάπτυξης.....	25
2.3 Παρασκευή και εφαρμογή διαλυμάτων Cd.....	26
2.3.1 Παρασκευή διαλυμάτων Cd	26
2.3.2 Εφαρμογή διαλυμάτων Cd - Επεμβάσεις	27
2.4 Λίπανση και φυτοπροστασία	27
2.5 Μεταχειρίσεις φυτικού υλικού και υποστρωμάτων πριν την ανάλυσή τους	27
2.6 Ανάλυση φυτικού υλικού	28
2.6.1 Προσδιορισμός διαθέσιμων ποσοτήτων βαρέων μετάλλων με τη μέθοδο των Lindsay and Norwell – Παρασκευή διαλύματος DTPA	28
2.7 Ανάλυση υποστρωμάτων	29
2.9 Στατιστική ανάλυση	29
3. Αποτελέσματα και Συζήτηση	31
3.1 <i>Echinacea purpurea</i>	31
3.1.1 Επίδραση Cd στο ύψος των φυτών <i>E. purpurea</i>	31
3.1.2 Επίδραση Cd στο νωπό και ξηρό βάρος των υπεργείων τμημάτων των φυτών <i>E. purpurea</i>	33
3.1.3 Επίδραση Cd στο νωπό και ξηρό βάρος των ριζών των φυτών <i>E. purpurea</i>	33
3.1.4 Πρόσληψη Cd από τα υπέργεια τμήματα, τις ρίζες και ολόκληρα τα φυτά <i>E. purpurea</i>	35

3.1.5 Επίδραση Cd στην ποσότητα του ανταλλάξιμου Cd με DTPA, σε ουδέτερο και σε όξινο υπόστρωμα ανάπτυξης φυτών <i>E. purpurea</i> στις αυξανόμενες επεμβάσεις με Cd.....	37
3.2 <i>Hypericum empetrifolium</i> subsp. <i>empetrifolium</i>	38
3.2.1 Επίδραση Cd στο ύψος των φυτών <i>H. empetrifolium</i> sbsp. <i>empetrifolium</i>	38
3.2.2 Επίδραση Cd στο νωπό και ξηρό βάρος των υπέργειων τμημάτων των φυτών <i>H. empetrifolium</i> subsp. <i>empetrifolium</i>	39
3.2.3 Επίδραση Cd στο νωπό και ξηρό βάρος των ριζών των φυτών <i>H. empetrifolium</i> subsp. <i>empetrifolium</i>	40
3.2.4 Επίδραση Cd στη συγκέντρωσή του στα υπέργεια τμήματα, τις ρίζες και ολόκληρα τα φυτά <i>H. empetrifolium</i> subsp. <i>empetrifolium</i>	41
3.2.5 Επίδραση Cd στην ποσότητα του ανταλλάξιμου Cd με DTPA, σε ουδέτερο και σε όξινο υπόστρωμα ανάπτυξης φυτών <i>H. empetrifolium</i> subsp. <i>empetrifolium</i> στις αυξανόμενες επεμβάσεις με Cd.....	43
4. Συμπεράσματα	44
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	46
Τεύχος φωτογραφιών.....	48
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	50

ἐδιζησάμην ἑμεωυτόν

Ἡράκλειτος ὁ Ἐφέσιος 540-480 π.Χ.

Η ευθύνη για την προέλευση, την πρωτοτυπία, τη δομή και την απόδοση των πληροφοριών και στοιχείων που παρουσιάζονται στη μεταπτυχιακή μελέτη, καθώς επίσης για τυχόν λάθη ή παραλήψεις στις βιβλιογραφικές πηγές βαρύνει αποκλειστικά και μόνο τη συγγραφέα.

1. Εισαγωγή

1.1 Βαρέα μέταλλα

1.1.1 Ορισμός

Ο όρος βαρέα μέταλλα που χρησιμοποιείται ευρέως στη διεθνή βιβλιογραφία, έχει λάβει διάφορους ορισμούς ή ερμηνείες από την επιστημονική κοινότητα, καθώς δεν υπάρχει ένας κοινός, συμφωνημένος ορισμός που να προκύπτει από συγκεκριμένα κριτήρια. Στην παράγραφο αυτή παρατίθενται οι πιο σύγχρονοι ή πιο συχνά χρησιμοποιούμενοι και εκείνοι με τη μεγαλύτερη συνάφεια με το θέμα της παρούσας εργασίας.

Σύμφωνα με τους Ghosh και Singh (2005), ως βαρέα μέταλλα χαρακτηρίζονται τα χημικά στοιχεία με ατομικό βάρος μεταξύ 63,54 και 200,59 και με ειδικό βάρος μεγαλύτερο του 4. Σύμφωνα με τον Wild (1995), τα βαρέα μέταλλα αποτελούν μια ομάδα χημικών στοιχείων που έχουν ατομική πυκνότητα μεγαλύτερη από 5 ή 6 g cm³, αν και αργότερα βρέθηκε ότι υπάρχουν και περιπτώσεις με ατομική πυκνότητα από 3,5 έως 7 g cm³ (Appenroth, 2010, Duffus, 2002). Τέλος, μια άλλη άποψη η οποία δεν έχει αποκλειστικά χημική ερμηνεία, χαρακτηρίζει τα βαρέα μέταλλα ως έναν τύπο χημικών στοιχείων, τα οποία είναι τοξικά, ιδιαιτέρως τοξικά ή δηλητηριώδη σε χαμηλές συγκεντρώσεις, για έναν μεγάλο αριθμό ζωντανών οργανισμών (Κουϊμτζής κ.α., 1998). Σύμφωνα με την τελευταία ερμηνεία, γίνεται χρήση του όρου «τοξικά μέταλλα» ή «εν δυνάμει τοξικά μέταλλα» στη διεθνή βιβλιογραφία.

Πίνακας 1.1 Παγκόσμια παραγωγή μετάλλων και διασπορά τους στο έδαφος (10³τόνοι/έτος). (Mulligan *et al.*, 2001)

Μέταλλο	1975	1980	1985	1990	Διάθεση στο έδαφος στην δεκαετία του '80
Cd	15,2	18,2	19,1	20,2	22
Pb	3432,2	3448,2	3431,2	3367,2	796
Cu	6739,0	7204,0	7870,0	8814,0	954
Zn	3975,4	4030,3	4723,1	5570,9	1372

1.1.2 Πηγές προέλευσης

Ο Alloway (1995), αναφέρει ότι τα τοξικά μέταλλα και μεταλλοειδή για τους ζωντανούς οργανισμούς, συμπεριλαμβανομένου του ανθρώπου, είναι το αρσενικό (As), το κάδμιο (Cd), ο υδράργυρος (Hg), ο μόλυβδος (Pb), το χρώμιο (Cr), το νικέλιο (Ni), ο χαλκός (Cu) και ο ψευδάργυρος (Zn). Τα μέταλλα αυτά αποτελούν φυσικά συστατικά του εδάφους, ωστόσο παρατηρείται δραματική αύξηση των συγκεντρώσεών τους στο έδαφος σε παγκόσμια κλίμακα από τον 20^ο ήδη αιώνα, λόγω ανθρωπογενών δραστηριοτήτων.

Τα βαρέα μέταλλα δεν αποδομούνται και γι' αυτό συσσωρεύονται στο περιβάλλον. Η παραμονή τους στο έδαφος είναι κατά πολύ μεγαλύτερη έναντι άλλων στοιχείων της βιόσφαιρας, επομένως η ρύπανση του εδάφους από αυτά, μπορεί να θεωρηθεί μόνιμη (Mc Grath *et al.*, 2001).

Σύμφωνα με το Μήτσιο (2004), τα βαρέα μέταλλα και μεταλλοειδή στο έδαφος προέρχονται από διάφορες πηγές, οι κυριότερες των οποίων είναι:

- Η γεωχημεία του φλοιού της γης
- Η αποσάθρωση των μητρικών πετρωμάτων
- Η χρήση λιπασμάτων και φυτοπροστατευτικών σκευασμάτων
- Η ιλύς του βιολογικού καθαρισμού
- Οι ατμοσφαιρικές αποθέσεις
- Η τέλεια και ατελής καύση των ορυκτών και συνθετικών καυσίμων
- Η λειτουργία βιομηχανιών χημικών, επιμετάλλωσης και χρωμάτων
- Η μη ελεγχόμενη απόθεση αστικών και βιομηχανικών αποβλήτων
- Η χρήση πυρομαχικών
- Η ενεργοποίηση ηφαιστειακών δραστηριοτήτων και τα πυρηνικά ατυχήματα
- Οι χαλυβουργίες και οι βιομηχανίες μετάλλων που έχουν σαν κύρια πηγή επεξεργασίας το κάρβουνο

Πίνακας 1.2. Ποσοστά και απόλυτες τιμές σε 10^5 kg / έτος της απελευθέρωσης στη φύση ορισμένων μετάλλων λόγω ανθρωπογενούς και φυσικής προέλευσης (Walker *et al.*,

Μέταλλο	Ανθρωπογενής προέλευση (βιομηχανία κλπ.)	Φυσική προέλευση (ηφαιστεια κλπ.)	Σύνολο	% ανθρωπογενούς προέλευσης
Κάδμιο (Cd)	8	1	9	89
Μόλυβδος (Pb)	300	10	310	97
Ψευδάργυρος (Zn)	130	50	180	72
Μαγγάνιο (Mn)	40	300	340	12
Υδράργυρος (Hg)	100	50	150	66

1.1.3 Βιοδιαθεσιμότητα στο έδαφος

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

- Το εδαφικό pH
- Το δυναμικό οξειδοαναγωγής
- Το ποσοστό και το είδος της οργανικής ουσίας
- Την ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων
- Την παρουσία ανθρακικών αλάτων
- Τα ορυκτά της αργίλου
- Την περιεκτικότητα και το είδος των οξειδίων και υδροξειδίων του σιδήρου, μαγγανίου και αργιλίου

Γενικά, τα βαρέα μέταλλα ως κατιόντα, είναι πιο κινητικά σε όξινες συνθήκες και όσο αυξάνονται οι τιμές του εδαφικού pH, περιορίζεται η βιοδιαθεσιμότητα των στοιχείων αυτών. Αντίθετα, τα ανιόντα μολυβδαινίου γίνονται περισσότερο διαθέσιμα με την αύξηση του pH (Alloway, 1995). Βαρέα μέταλλα όπως το Cd, ο Cu, ο Pb και ο Zn, παρουσιάζουν χαμηλότερη συγκέντρωση στο έδαφος σε τιμές pH από 5 έως 6 (Μήτσιοι, 2004).

Πίνακας 1.3 Εύρος συγκεντρώσεων και οριακές τιμές στο έδαφος ορισμένων τοξικών μετάλλων

Μέταλλο	Εύρος συγκεντρώσεων στο έδαφος* [mg/kg]	Συγκέντρωση σε μεταλλοφόρα εδάφη** [mg/kg]	Οριακές τιμές συγκέντρωσης*** [mg/kg]
Pb	1,00-6900	3870-49910	50-300
Cd	1,1-345	11-317	1-3
Cr	0,05-3950	47-8450	-
Hg	<0,01-1800	100-400	1-1,5
Zn	150-5000	109-70480	150-300

* Πηγή: Lasat, 2000

** Πηγή: Gardea-Torresdey et al., 2005

*** Οριακές επιτρεπτές συγκεντρώσεις στο έδαφος στην Ελλάδα και την Ε.Ε. (pH 6-7) (Πηγή: ΦΕΚ641/7.8.1991 και Council of the European Communities, Directive 86/278/EEC)

1.2. Κάδμιο

1.2.1 Γενικά

Το κάδμιο ανακαλύφθηκε από τους Stromeyer και Hermann το 1817 στη Γερμανία. Είναι ένα σχετικά σπάνιο στοιχείο και δεν απαντάται σε καθαρή μορφή στη φύση. Ανήκει στην ομάδα ΙΙΒ του Περιοδικού Πίνακα. Στην ατμόσφαιρα, οξειδώνεται σε οξείδιο του καδμίου και αντιδρά εύκολα με το διοξείδιο του άνθρακα και το νερό (Tran και Porona, 2012).

1.2.2 Πηγές προέλευσης

Οι κύριες πηγές προέλευσης του Cd στο έδαφος σύμφωνα με τους Satarung *et al.* (2003) είναι οι εξής:

- Γεωχημική προέλευση (ιζηματογενή πετρώματα, ηφαιστιακά πετρώματα κ.λ.π.)
- Με ατμοσφαιρική απόθεση (ανθρωπογενείς δραστηριότητες όπως βιομηχανίες, αυτοκίνητα κ.λ.π.)
- Χρήση χημικών στη γεωργία (κυρίως φωσφορικά λιπάσματα)
- Ιλύς βιολογικού καθαρισμού

1.2.3 Το κάδμιο στο έδαφος και η βιοδιαθεσιμότητά του

Η μέση περιεκτικότητα των εδαφών σε Cd κυμαίνεται από 0,06 έως 1,1 mg Cd kg⁻¹ ξηρού εδάφους (Alloway, 2013). Το Cd στο εδαφικό διάλυμα απαντάται σε ιοντική μορφή ως Cd²⁺, στη μορφή των ανόργανων συμπλόκων CdCl⁺, CdOH⁺, CdHCO₃⁺, CdCl₃⁻, CdCl₄²⁻, Cd(OH)₃⁻, Cd(OH)₄²⁻ αλλά και σε μορφή οργανικών συμπλόκων. Στα όξινα εδάφη επικρατούν οι μορφές Cd²⁺, CdSO₄ και CdCl₄²⁻, ενώ στα αλκαλικά οι μορφές Cd²⁺, CdCl⁺, CdSO₄ και CdHCO₃⁺. Όταν το κάδμιο βρίσκεται σε ευκίνητη μορφή προσροφάται στη στερεή φάση του εδάφους, ενώ σε αντίθετη περίπτωση καταβυθίζεται. Η καταβύθιση συμβαίνει όταν το εδαφικό pH είναι μεγαλύτερο του 7,5 κυρίως με τις μορφές CdCO₃ και Cd₃(PO₄)₂. Επομένως ο σχηματισμός συμπλόκων καθιστά το κάδμιο δυσκίνητο και άρα λιγότερο διαθέσιμο στα φυτά σε αντίθεση με τα ελεύθερα οξείδια του καδμίου που είναι ευκίνητα και άρα περισσότερο διαθέσιμα για τα φυτά (Kabata-Pendias και Pendias, 1992).

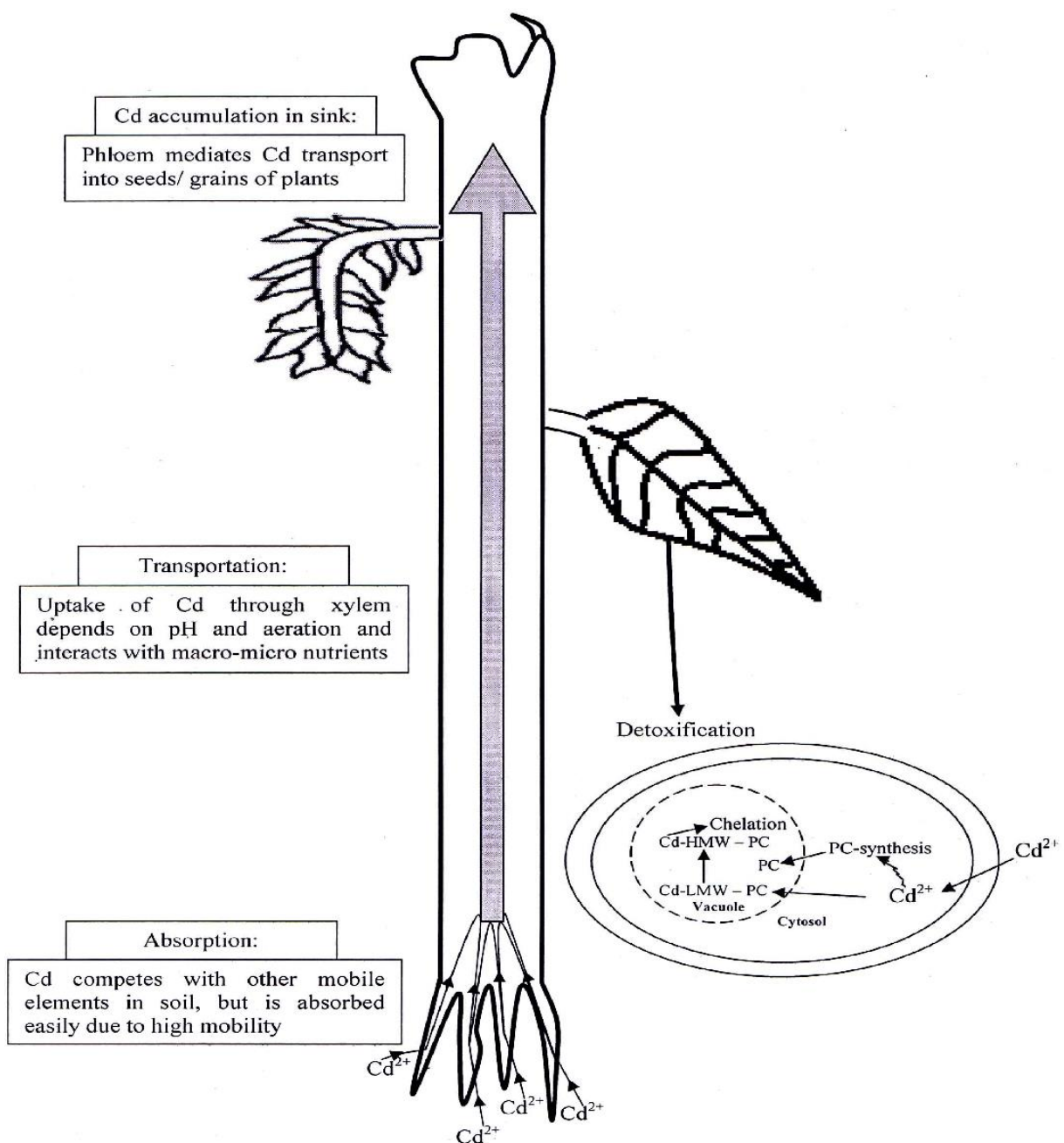
Η προσρόφηση του Cd στη στερεή φάση του εδάφους εξαρτάται από τους εξής παράγοντες (Pickering, 1982):

- Το εδαφικό pH
- Τις χημικές ιδιότητες των ιοντικών μορφών του καδμίου
- Τη σταθερότητα συμπλόκων του καδμίου
- Την ιοντική ισχύ του εδαφικού διαλύματος
- Την παρουσία ανταγωνιστικών ιόντων

Τα εδάφη πλούσια σε οργανική ουσία ή με μεγάλη περιεκτικότητα σε οξείδια του σιδήρου, προσροφούν μεγαλύτερες ποσότητες Cd από ότι τα εδάφη που περιέχουν άργιλο, σε τιμές pH από 6 έως 7 (Garcia-Miragaya και Page, 1976). Οι Alloway και συνεργάτες (1988), αναφέρουν ότι εδάφη με υψηλή περιεκτικότητα σε CaCO₃ προσροφούν επίσης μεγαλύτερες ποσότητες καδμίου, επομένως το καθιστούν λιγότερο διαθέσιμο για τα φυτά. Αντιθέτως, η παρουσία στο εδαφικό διάλυμα ιόντων όπως του ασβεστίου, κοβαλτίου, χρωμίου, χαλκού, νικελίου και μολύβδου αναστέλλουν την προσρόφηση του Cd. Ανασταλτική δράση στην προσρόφηση έχει και η παρουσία Zn. Οι Moustakas και συνεργάτες (2011), διαπίστωσαν ότι η συγκέντρωση του Cd στα φύλλα του *Calendula officinalis* μειώθηκε σημαντικά με τις αυξανόμενες επεμβάσεις με Zn. Τέλος ανασταλτικά δρα και η αυξημένη συγκέντρωση χλωριόντων, επομένως στα αλατούχα ή στα εδάφη που αρδεύονται με

νερό υψηλής αλατότητας, το κάδμιο καθίσταται λιγότερο διαθέσιμο στα φυτά. (Christensen, 1984).

Όσο αυξάνεται η συγκέντρωση του Cd που περιέχεται στο εδαφικό διάλυμα, τόσο αυξάνεται η πρόσληψη του από τα φυτά και η ποσότητα που προσλαμβάνεται από αυτά, εξαρτάται από το είδος στο οποίο ανήκουν. Η χαμηλότερη ποσότητα έχει παρατηρηθεί σε φυτά ρυζιού και τριφυλλιού, ενώ η υψηλότερη στο σπανάκι και το γογγύλι. Το Cd είναι εύκολο να μετακινηθεί μέσα στο φυτό από τις ρίζες προς τα φύλλα (Εικ. 1), στις περιπτώσεις εκείνες που η συγκέντρωσή του στο εδαφικό διάλυμα είναι υψηλή (Rashkin *et. al*, 1994).

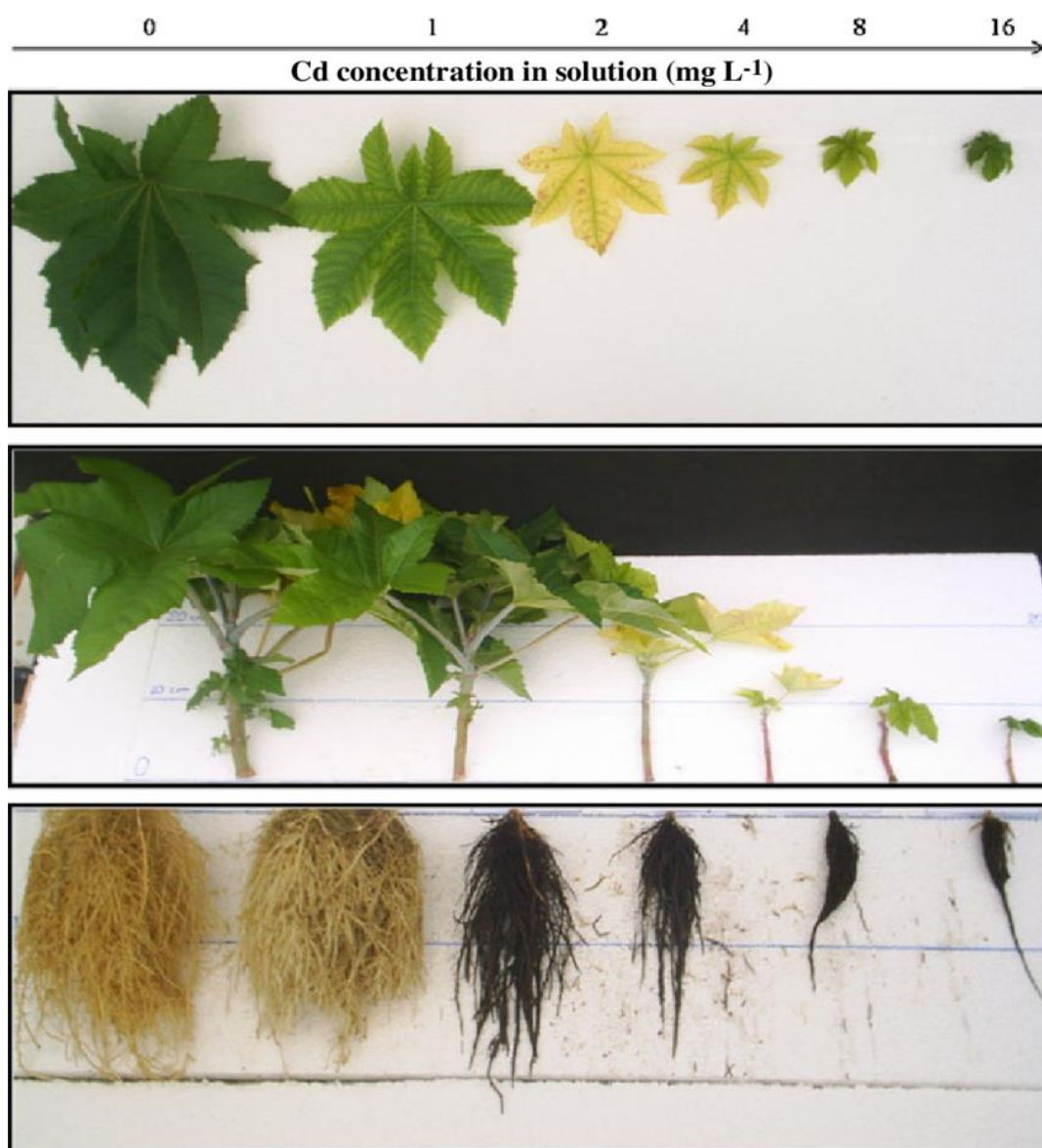


Εικόνα 1.1. Διαγραμματική απεικόνιση της απορρόφησης, μεταφοράς και συσσώρευσης του Cd στην ευκίνητη μορφή ως Cd^{2+} (Nazar *et al.*, 2012)

1.2.4 Επιδράσεις τοξικότητας καδμίου στα φυτά

1.2.4.1 Επίδραση στη φωτοσύνθεση και την ανάπτυξη των ριζών

Η τοξικότητα του Cd στα φυτά έχει ως αποτέλεσμα μια γενική παρεμπόδιση στην ανάπτυξή τους και την εμφάνιση διαφόρων μορφολογικών και φυσιολογικών ανωμαλιών (Εικ. 2). Μετά από μακρόχρονη έκθεση στο Cd, οι ρίζες παρουσιάζουν καφέτιασμα και οδηγούνται σταδιακά σε αποσύνθεση. Άλλα συμπτώματα μπορεί να είναι η μείωση της ανάπτυξης των ριζών και των βλαστών, η συστροφή των φύλλων και η εμφάνιση χλωρώσεων (Krantev *et al.*, 2008, Yadav, 2010).



Εικόνα 1.2 Συμπτώματα τοξικότητας στα υπέργεια τμήματα και τις ρίζες φυτών ρετινολαδιάς (*Ricinus communis*) τα οποία δέχτηκαν μεταχειρίσεις με αυξανόμενες συγκεντρώσεις Cd (Tarso de Souza Costa *et al.*, 2011)

Πολλά φυτικά είδη με την έκθεσή τους σε Cd, οδηγούνται σε αλλαγές στη δομή των χλωροπλαστών τους και σε μείωση των επιπέδων της παραγόμενης χλωροφύλλης, γεγονότα που έχουν ως αποτέλεσμα την παρεμπόδιση της φυσιολογικής λειτουργίας της φωτοσύνθεσης, επομένως την εμφάνιση χλωρώσεων ως βασικό σύμπτωμα (Rascio *et al.*, 2008, Lee *et al.*, 2010). Οι Rascio και συνεργάτες (2008), ανέφεραν ότι οι μεταχειρίσεις με Cd σε νεαρά φυτάρια ρυζιού, οδήγησε στην παρεμπόδιση ανάπτυξης των ριζών και σε παραλλαγές στη μορφογένεσή τους. Σε φυτά αρακά, η καταπόνηση από την έκθεση σε Cd, οδήγησε στην παρεμπόδιση ανάπτυξης του ριζικού συστήματος καθώς και σε ανωμαλίες κατά τη μιτωτική φάση, στα χρωμοσώματα των ριζών. Σε μεταχειρίσεις με υψηλές συγκεντρώσεις Cd (250 μM), η παραπάνω διαδικασία γίνεται πολύ γρήγορα, ακόμα και μετά από μεταχείριση διάρκειας 24 ωρών (Siddiqui *et al.*, 2009). Παρόμοια αποτελέσματα έχουν αναφέρει και οι Seth και συνεργάτες (2008) για τις ρίζες κρεμμυδιού.

1.2.4.2 Επίδραση στη θρέψη

Η παρουσία και απορρόφηση του Cd από τα φυτά, επηρεάζει άμεσα ή έμμεσα, την απορρόφηση και διακίνηση του νερού αλλά και διάφορων θρεπτικών στοιχείων όπως το Ca, το Mg, ο P και το K (Das *et al.*, 1997). Σε φυτά ζαχαροκάλαμου η έκθεση των ριζών σε Cd, οδήγησε σε έλλειψη Fe (Chang *et al.*, 2003). Στον αρακά η έκθεση σε Cd είχε ως αποτέλεσμα την ισχυρή παρεμπόδιση απορρόφησης P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn, Mo και B. Στο κριθάρι οι μεταχειρίσεις με Cd μείωσαν σημαντικά τη συγκέντρωση P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn, Mo και B στις ρίζες του φυτού, αν και στο υπέργειο μέρος δεν παρατηρήθηκαν διαφορές στη συγκέντρωση των παραπάνω στοιχείων, σε σχέση με το μάρτυρα (Metwally *et al.*, 2005).

Ο ακριβής μηχανισμός με τον οποίο το Cd παρεμποδίζει την απορρόφηση θρεπτικών στοιχείων, δεν είναι ακόμη εντελώς ξεκάθαρος. Ωστόσο, έχει βρεθεί ότι στο καλαμπόκι η μεταχείριση με Cd προκάλεσε την παρεμπόδιση της δράσης της H^+ATPase στα κύτταρα των ριζών, η οποία έχει ρόλο μεταφορέα ιόντων από και προς τις κυτταρικές μεμβράνες των επιδερμικών κυττάρων (Astoffi *et al.*, 2005).

1.2.5 Η φυσιολογία της καταπόνησης από κάδμιο και η σύγχρονη έρευνα

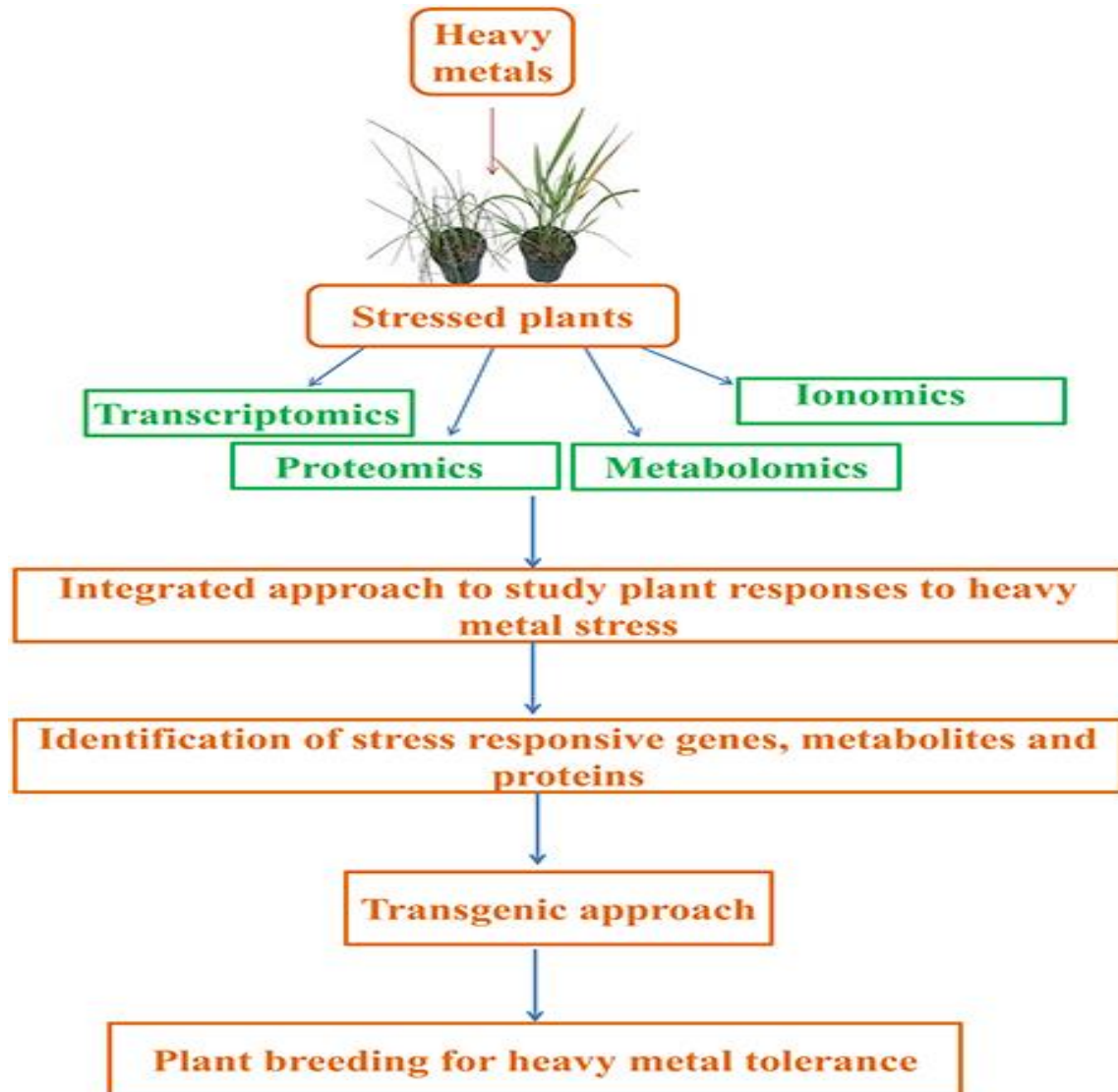
Όπως προαναφέρθηκε, το Cd μπορεί να προκαλέσει διαφόρων ειδών προβλήματα στις φυσιολογικές λειτουργίες των φυτών, όπως προβλήματα θρέψης, υδατική καταπόνηση και παρεμπόδιση της φωτοσύνθεσης. Σε επίπεδο κυττάρου ακολουθείται ένα περίπλοκο βιοχημικό μονοπάτι, το οποίο σχετίζεται με το μεταγραφικό έλεγχο των γονιδίων που είναι υπεύθυνα για την απόκριση στην καταπόνηση (stress) που προκαλεί η παρουσία του Cd. Η έναρξη λειτουργίας των αντί-οξειδωτικών συστημάτων και η αύξηση της έκφρασης των μεταγραφικών παραγόντων αποτελούν διαδικασίες του βιοχημικού αυτού μονοπατιού (Gratão *et al.*, 2012). Έχει δειχθεί πειραματικά ότι πολλά μόρια συμμετέχουν στον έλεγχο της επαγωγής του ερεθίσματος που ενεργοποιεί το βιοχημικό μονοπάτι απόκρισης στο stress από Cd, όπως η αλληλεπίδραση των ROS (δραστικές μορφές οξυγόνου) και των αντιοξειδωτικών ουσιών με διάφορες ορμόνες. Οι τελευταίες φαίνεται να διαδραματίζουν βασικό ρόλο στην επαγωγή ερεθίσματος (Gratão *et al.*, 2012).

Η σύγχρονη έρευνα που μελετά τα συστατικά του κυττάρου τα οποία εμπλέκονται στην επαγωγή ερεθίσματος, χρησιμοποιεί εξελιγμένα αναλυτικά συστήματα, όπως είναι η τρανσκριπτοματική, η πρωτεομική και η μεταβολομική (Εικ. 3). Επίσης γίνεται χρήση ειδών που φέρουν μεταλλάξεις ως προς το υπό μελέτη χαρακτηριστικό ή διαγονιδιακά είδη τα οποία έχουν αναπτύξει ευαισθησία στην παρουσία Cd. Με τη χρήση τέτοιων τεχνικών μεθόδων έχει προσδιοριστεί ένας μεγάλος αριθμός γονιδίων που είναι υπεύθυνα για την απόκριση των κυττάρων σε συνθήκες stress από Cd, όπως επίσης και ο ρόλος των διαφόρων συστατικών που συμμετέχουν στο μονοπάτι των αντί-οξειδωτικών συστημάτων (Shing *et al.*, 2016).

Βιβλιογραφικές αναφορές δείχνουν ότι οι περισσότερες ορμόνες μπορούν να λειτουργήσουν ως συστατικά για την επαγωγή ερεθίσματος στο stress από Cd, όπως οι κυτοκίνινες, οι γιββερελλίνες, οι αυξίνες, το αμπισικό οξύ, το γιασμονικό οξύ αλλά και το αιθυλένιο (Azevedo *et al.*, 2012). Οι Gratão και συνεργάτες (2012) έδειξαν ότι μεταλλαγμένα φυτά τομάτας τα οποία έχουν αναπτύξει «αντίσταση» στις διάφορες φυσιολογικές επιδράσεις του αιθυλενίου (Never Ripe), ανέπτυξαν επίσης μηχανισμούς αποφυγής του stress από την παρουσία Cd, μέσω των αντί-οξειδωτικών συστημάτων τους. Ωστόσο, η παρόμοια συγκέντρωση Cd που βρέθηκε μεταξύ των μεταλλαγμένων και των αγρίου τύπου φυτών τομάτας, εγείρει ερωτήματα για τον

τρόπο δράσης του αιθυλενίου στο μηχανισμό αποφυγής του stress από Cd, επομένως απαιτείται περαιτέρω έρευνα πάνω στο θέμα αυτό.

Τέλος, κάποιες ερευνητικές εργασίες έχουν δείξει ότι η αλληλεπίδραση κάποιων φυτικών ειδών με μυκόρριζες ή βακτήρια έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της καταστροφικής επίδρασης του Cd, γεγονός το οποίο ενδεχομένως αποκαλύπτει την ύπαρξη κι άλλων σημαντικών βιοχημικών και μοριακών μηχανισμών αποφυγής του stress από τη συσσώρευση Cd (Azevedo *et al.*, 2012).



Εικόνα 1.3. Διαγραμματική προσέγγιση της μελέτης του στρες από βαρέα μέταλλα με σύγχρονα αναλυτικά συστήματα (Shing *et al.*, 2016)

1.2.6 Επιδράσεις του καδμίου στον ανθρώπινο οργανισμό

Η διεθνής οργάνωση Τροφίμων και Γεωργίας (FAO/WHO) έχει καθορίσει μέσω ενός εγχειριδίου-οδηγού, τα ασφαλή όρια πρόσληψης Cd από τον άνθρωπο, ο οποίος είναι γνωστός και ως Provisional Tolerable Weekly Intake (PTWI). Ο αρχικός PTWI για το Cd ανέφερε ως ανώτατο ασφαλές όριο πρόσληψης τα 400-500 μg Cd ανά άτομο την εβδομάδα ή τα 140-260 μg Cd ανά άτομο την ημέρα για 50 χρόνια συνολικής πρόσληψης ή τα 2000 μg Cd καθ' όλη τη διάρκεια ζωής ενός ανθρώπου (FAO/WHO, 1993). Αργότερα τα όρια ασφαλούς πρόσληψης επαναπροσδιορίστηκαν σε 7 μg Cd / kg σωματικού βάρους ανά εβδομάδα. Σήμερα τα όρια ασφαλούς πρόσληψης είναι 25 μg Cd / kg σωματικού βάρους ανά μήνα, ενώ στα ούρα 5,24 μg Cd / g κρεατινίνης (FAO/WHO, 2010).

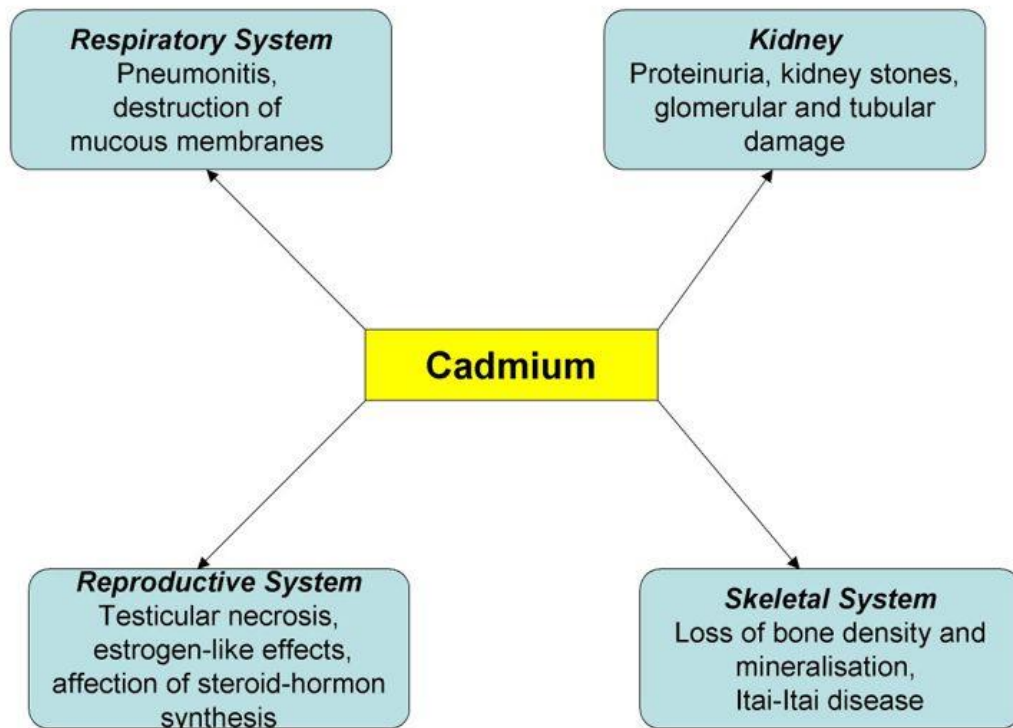
Ως εγκυρότερος δείκτης θεωρείται η συγκέντρωση Cd στο αίμα. Άξιο σημείωσης είναι το γεγονός ότι οι γυναίκες φαίνεται να έχουν υψηλότερες συγκεντρώσεις Cd στο αίμα σε σχέση με τους άνδρες, λόγω χαμηλότερων τιμών φεριτίνης (ο σίδηρος είναι μειωμένος στις αποθήκες τους). Εξαιρέση σε αυτό το φαινόμενο αποτελούν οι πληθυσμιακές ομάδες που είναι εκτεθειμένες σε υψηλές συγκεντρώσεις Cd, λόγω εργασίας τους σε επιβαρυμένα περιβάλλοντα (επεξεργασία μεταλλευτικών προϊόντων, ηλεκτροσυγκολλήσεις μετάλλων, τσιμεντοβιομηχανία, βιομηχανία παραγωγής και επεξεργασίας σιδήρου κ.λ.π.) οι οποίοι αποτελούν ομάδα υψηλού κινδύνου (Satarung *et al.*, 2017).

Το Cd προσλαμβάνεται από τον ανθρώπινο οργανισμό είτε με την εισπνοή (σκόνη από επιβαρυμένες περιοχές), είτε με την κατανάλωση νερού και τροφών που περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις του μετάλλου. Στον πίνακα 2.1 φαίνονται οι συγκεντρώσεις Cd σε τροφές που καταναλώνονται συχνά. Οι βασικότερες δυσμενείς επιπτώσεις από αυξημένη συσσώρευση Cd στον ανθρώπινο οργανισμό είναι επιγραμματικά οι εξής (Εικ. 4.) :

- Καρκίνος: Τα βαρέα μέταλλα είναι πλέον γνωστά για την καρκινογόνο δράση τους, καθώς προκαλούν άμεσα ή έμμεσα βλάβες στο DNA (γονοτοξικότητα). Ο καρκίνος του πνεύμονα είναι ο συχνότερα εμφανιζόμενος καρκίνος που σχετίζεται με την έκθεση στα βαρέα μέταλλα, συμπεριλαμβανομένου και του Cd, στο εργασιακό περιβάλλον.
- Νόσος «Itai-itai» και επιδράσεις στα οστά: Η νόσος «Itai-itai» αναφέρθηκε πρώτη φορά τη δεκαετία του '50 στην Ιαπωνία, ως αποτέλεσμα έκθεσης του πληθυσμού

στον ποταμό Jinzu, σε μολυσμένη με Cd περιοχή. Τα συμπτώματα ήταν ο οξύς πόνος στα οστά, η οστεοπόρωση και η σταδιακή καταστροφή των νεφρών. Αργότερα η οστεοπόρωση και η οστεομαλακία συσχετίστηκε με την έκθεση σε Cd και πέραν της νόσου «Itai-itai»

- Λοιπές επιδράσεις : Σε έρευνες που διεξήχθησαν στις Η.Π.Α. αναφέρθηκε συσχέτιση της αυξημένης συγκέντρωσης Cd στα ούρα με το έμφραγμα του μυοκαρδίου. Επίσης έχει αναφερθεί συσχέτιση της αυξημένης συγκέντρωσης Cd στο αίμα με διαβητικές νόσους και παθήσεις στα νεφρά που μπορεί να οδηγήσουν στο θάνατο (Jarup και Akesson, 2009).



Εικόνα 1.4. Διαγραμματική απεικόνιση των ανθρώπινων νόσων και παθήσεων που οφείλονται σε αυξημένη συσσώρευση Cd (Godt *et al.*, 2006)

Πίνακας 1.4 Η συγκέντρωση Cd σε τροφές που καταναλώνονται συχνά και εκτίμηση της ημερήσιας πρόσληψης Cd από αυτές (Satarug *et al.*, 2003)

Food item	Cd content (mg/kg)		Intake (g per day)	Exposure (μg per day)	
	Maximum	Typical		Extreme	Typical
Vegetables, including potatoes	0.1	0.05	250	25	12.5
Cereals, pulses and legume, including rice and wheat grain	0.2	0.05	200	40	10
Fruit	0.05	0.01	150	7.5	1.5
Oilseeds and cocoa beans	1.0	0.5	1	1	0.5
Meat of cattle, poultry, pig, sheep	0.1	0.02	150	15	3.0
Liver of cattle, poultry, pig, sheep	0.5	0.1	5	2.5	0.5
Kidney of cattle, poultry, pig, sheep	2.0	0.5	1	2	0.5
Fish	0.05	0.02	30	1.5	0.6
Crustaceans, molluscs	2	0.25	3	6	0.75
Total				93.5	30

1.3. Φυτικό υλικό

1.3.1 Εχινάτσεα (*Echinacea purpurea* L. κοιν. purple coneflower)



Εικόνα 1.5 *Echinacea purpurea* L
(www.wikipedia.com)
(Li, 1998).

Το γένος *Echinacea* είναι αυτοφυές της Β. Αμερικής και χρησιμοποιείται από πολύ παλιά ως φαρμακευτικό φυτό, αρχικά από τους ιθαγενείς της Αμερικής. Οι κύριες χρήσεις του ήταν συνήθως ως θεραπευτικό του δέρματος, κατά των τσιμπημάτων από έντομα ή των δαγκωμάτων από φίδια, αλλά και ως επουλωτικό από εγκαύματα. Η από του στόματος χρήση ήταν επίσης από τότε γνωστή, κυρίως για τη θεραπεία από κρυολογήματα και γρίπη αλλά και του πονόλαιμου και του βήχα

Τις τελευταίες δεκαετίες, η εκτενής εργαστηριακή έρευνα πάνω στο είδος, επιβεβαίωσε τις ανοσοδιεγερτικές, αντικές και αντιβακτηριακές ιδιότητες που έχει η λήψη της εχινάτσεας ως συμπλήρωμα διατροφής, στον ανθρώπινο οργανισμό. Η κατανάλωσή της σημειώνει συνεχόμενη αύξηση στην Ευρώπη και τις Η.Π.Α.. Οι σημαντικότερες εμπορικά καλλιέργειες εχινάτσεας ξεκίνησαν από τον Καναδά και τις δυτικές Η.Π.Α. αλλά σύντομα το είδος καλλιεργήθηκε και σε πολλές περιοχές της Ευρώπης. Τα είδη που καλλιεργούνται για φαρμακευτικές χρήσεις είναι κυρίως η *Echinacea angustifolia* και η *Echinacea purpurea*, ενώ η τελευταία χρησιμοποιείται και στην κηποτεχνία, λόγω του εντυπωσιακού χρώματος των ταξιανθιών της (Li, 1998).

Ο Letchamo (2002) αναφέρει ότι οι υψηλότερες αποδόσεις παγκοσμίως πραγματοποιούνται στην Καλιφόρνια (8.500 kg/ha). Η Αυστρία, η Γερμανία, η Ν. Ζηλανδία, η περιοχή της πρώην Γιουγκοσλαβίας και η Δημοκρατία της Νότιας Αφρικής είναι επίσης περιοχές με έντονη καλλιεργητική δραστηριότητα. Αποτελεί σε γενικές γραμμές φυτικό είδος που μπορεί να προσαρμοστεί εύκολα και να καλλιεργηθεί σε ποικιλία γεωγραφικών πλατών και κλιμάτων (Letchamo, 2002).

1.3.1.1 Βοτανικά χαρακτηριστικά

Η *Echinacea* ssp. Ανήκει στην οικογένεια των Συνθέτων (*Asteraceae*) της τάξης *Asterales*. Είναι πολυετές, ποώδες φυτό του οποίου το ύψος κυμαίνεται από 60 έως 120 cm και το πλάτος του έως 25 cm. Ο μίσχος είναι κάθετος, διακλαδιζόμενος, με ή χωρίς τρίχες. Τα φύλλα είναι ωοειδή, λογχοειδή ή γραμμωτά οδοντωτά, καλυμμένα με τρίχες και από τις δύο πλευρές. Η κεντρική ρίζα εκπτύσσει πολλές λεπτές ρίζες μεγάλου μήκους. Τα άνθη εμφανίζονται σε ταξιανθίες κεφάλια και είναι ερμαφρόδιτα, έντονου μωβ ή ροζ ή κίτρινου χρώματος. Η ανθοφορία ξεκινάει Άνοιξη και τελειώνει αργά το καλοκαίρι, ανάλογα το είδος και τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής και διαρκεί περίπου τρεις μήνες. Οι σπόροι είναι σχεδόν ορθογώνιοι, λευκού-γκρι χρώματος και διαμέτρου 4-5 mm (McKeown, 1999).

Το όνομα *Echinacea* δόθηκε το 18^ο αιώνα από το βοτανολόγο Conrad Moench και προέρχεται από την ελληνική λέξη έχινος (αχινός) λόγω της ακανθώδους εμφάνισης του κεντρικού δίσκου (Kindscher, 1989). Τα είδη του γένους *Echinacea* που έχουν ανακαλυφθεί είναι εννέα (*E. purpurea*, *E. angustifolia*, *E. pallida*, *E. afrorubens*, *E. sanguinea*, *E. paradoxa*, *E. laevigata*, *E. tennesseensis* και *E. simulata*) καλλιεργούνται όμως για φαρμακευτική χρήση κυρίως τα *E. purpurea* και *E. angustifolia*.

1.3.1.2 Πολλαπλασιασμός

Η εχινάτσα μπορεί να πολλαπλασιαστεί εγγενώς με σπόρο και αγενώς με διαίρεση και φύτευση των τμημάτων που φέρουν ρίζες 10-12 cm. Έχει βρεθεί ότι η βλαστικότητα των σπόρων είναι συχνά μειωμένη λόγω ληθάργου, ο οποίος εξαρτάται από το γονότυπο του κάθε είδους (Li, 1998). Οι Baskin και συνεργάτες (1992) ανέφεραν ότι οι σπόροι της *E. angustifolia* απαιτούν μια περίοδο έκθεσης σε ψύχος για να εξέλθουν από το λήθαργο. Οι εμβαπτίσεις των σπόρων της *E. purpurea* σε απιονισμένο νερό θερμοκρασίας 16 °C για 6 ή 9 ημέρες είχαν ως αποτέλεσμα ταχύτερη και πιο ομοιόμορφη βλαστικότητα (Samfield *et al.*, 1991) και επιπλέον τα φυτάρια που προήλθαν από σπόρους που δέχτηκαν την παραπάνω μεταχείριση απέκτησαν 44-51% μεγαλύτερο ριζικό σύστημα σε σχέση με τους μάρτυρες (Finnerty και Zajicek, 1992). Η *E. purpurea* δίνει 257.000 σπόρους /kg ενώ η *E. angustifolia* 319.000 σπόρους /kg, ενώ 0,5 kg σπόρων καλύπτει περίπου 0,5 ha (Olivier *et al.*, 1995).

Πολλά εργαστήρια ανά τον κόσμο χρησιμοποιούν την ιστοκαλλιέργεια ως εμπορική μέθοδο πολλαπλασιασμού, αφού η μέθοδος αυτή εξασφαλίζει άνοσα και πανομοιότυπα φυτάρια ως προς το μητρικό, σε σχετικά σύντομο χρονικό διάστημα. Οι συνήθεις τεχνικές που χρησιμοποιούνται είναι οι κυτταρικές καλλιέργειες ή οι καλλιέργειες κάλλου που προέρχονται από σπόρο, όπως επίσης και οι καλλιέργειες πρωτοπλαστών (Lakshmanan et al., 2002). Ο Khibas (1995), ανέφερε ότι για την *E. purpurea* η ιστοκαλλιέργεια αποτελεί πολύ αποδοτικότερη μέθοδο πολλαπλασιασμού σε σχέση με τις συμβατικές μεθόδους (Lakshmanan et al., 2002).

1.3.1.3 Καλλιεργητικές απαιτήσεις και τεχνικές

Τα περισσότερα είδη εχινάτσας προσαρμόζονται αρκετά καλά σε ένα μεγάλο εύρος κλιματικών συνθηκών, εκτός από τις πολύ ακραίες (Hobbs, 1994). Η *E. purpurea* προτιμά εδάφη με pH 6-7, ενώ η *E. angustifolia* προτιμά πιο αλκαλικά εδάφη με pH 6,5-8. Παρ' όλο που οι άγριοι τύποι της εχινάτσας ευδοκούν σε εδάφη ποικίλης σύστασης (αργιλώδη, αμμώδη, πηλώδη ή βραχώδη), η *E. angustifolia* ευδοκμεί σε πολύ καλά στραγγιζόμενα εδάφη. Αν το έδαφος στραγγίζεται καλά, η αυξημένη εδαφική υγρασία βελτιώνει το μέγεθος, την ευρωστία αλλά και τη σποροπαραγωγή. Είδη με πλουσιότερα ριζικά συστήματα, όπως η *E. purpurea* προτιμούν μέτρια στραγγιζόμενα εδάφη αν και τα καλά στραγγιζόμενα βελτιώνουν τη συνολική παραγωγή. Εδάφη που συγκρατούν λιγότερο νερό και έχουν χαμηλή περιεκτικότητα σε ολικό άζωτο προωθούν την παραγωγή αιθερίων ελαίων, ενώ εδάφη που συγκρατούν περισσότερη υγρασία και έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε ολικό άζωτο προωθούν την παραγωγή αλκαλοειδών (Kindscher και Riggs, 2016). Έτσι, με βάση την επιθυμητή σύσταση του φαρμακευτικού σκευάσματος για το οποίο καλλιεργείται, η άρδευση μπορεί να ρυθμιστεί αναλόγως.

Οι βιβλιογραφικές αναφορές όσον αφορά στις ακριβείς ανάγκες της καλλιέργειας της εχινάτσας σε λιπάνσεις (θρεπτικά στοιχεία) είναι πολύ περιορισμένες. Σε γενικές γραμμές, οι αυξημένες εφαρμογές λιπάνσεων έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση του νωπού και ξηρού βάρους του υπέργειου τμήματος, αλλά και την ταυτόχρονη μείωση του νωπού και ξηρού βάρους των ριζών. Λόγω του γεγονότος ότι στη φαρμακοβιομηχανία χρησιμοποιούνται όλα τα τμήματα του φυτού (υπέργειο και ρίζες) η εφαρμογή ισορροπημένων λιπάνσεων, φτωχών σε άζωτο και μέτριας περιεκτικότητας σε φώσφορο και κάλιο, είναι η ενδεικνυόμενη (Li, 1998).

Οι Hajagha και συνεργάτες (2017) πειραματίστηκαν με την εφαρμογή οργανικών λιπάνσεων αλλά και με την εφαρμογή μυκορριζών και συμβιωτικών ριζοβακτηρίων σε καλλιέργεια της *E. purpurea* και συμπέραναν ότι δεν υπήρξαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στα ύψη και στα νωπά και ξηρά βάρη των φυτών σε σχέση με εκείνα τα οποία είχαν δεχθεί συμβατικές χημικές λιπάνσεις.

Τα νεαρά φυτάρια εχινάτσεας μεταφυτεύονται την Άνοιξη στις τελικές τους θέσεις στο χωράφι μετά από την παραμονή τους σε φυτώρια-θερμοκήπια μέχρι να φτάσουν στο κατάλληλο στάδιο ανάπτυξης για μεταφύτευση. Ο Li (1998) προτείνει απόσταση 50 cm μεταξύ και 50 cm επί των γραμμών (έναντι των 50 και 20 cm αντίστοιχα που εφαρμόζονταν παλιότερα). Οι Shalaby και συνεργάτες (2008), ανέφεραν ότι η αύξηση των αποστάσεων φύτευσης στην καλλιέργεια *E. purpurea* από 20 cm σε 60 cm επί των γραμμών, αύξησε σημαντικά το ξηρό βάρος σε όλα τα τμήματα του φυτού. Η αύξηση των αποστάσεων φύτευσης μείωσε τον ανταγωνισμό μεταξύ των φυτών, γεγονός που οδήγησε στην αυξημένη προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στα υπέργεια τμήματα και στην αύξηση της διαθεσιμότητας θρεπτικών στοιχείων στις ρίζες.

Οι Letchamo και συνεργάτες (2002), αναφέρουν ότι η υδροπονική καλλιέργεια *E. purpurea* έδωσε σε 6-8 μήνες (έναντι των 36 της συμβατικής) ίδια απόδοση με τη συμβατική, με μεγαλύτερη περιεκτικότητα στις επιθυμητές φαρμακευτικές ουσίες στους βλαστούς και τις ρίζες. Επιπλέον, η καλλιέργεια εκτός εδάφους διευκόλυνε αρκετά τον καθαρισμό των ριζών και βελτίωσε την ποιότητα τους καθώς ήταν απαλλαγμένες από εδαφογενείς ασθένειες και παράσιτα. Στη συμβατική καλλιέργεια μετά τη συγκομιδή παραμένει στο έδαφος ένα 12-15% του ριζικού συστήματος το οποίο αποτελεί εστία των μεταδιδόμενων εδαφογενών ασθενειών. Ακόμη με την υδροπονική καλλιέργεια αποφεύγεται και η απώλεια της τάξης του 17-21% κατά τον καθαρισμό των ριζών από τα εδαφικά συσσωματώματα και προωθείται ο δυναμικός αερισμός του ριζικού συστήματος. Τέλος, η υδροπονική καλλιέργεια επιτρέπει την εύκολη εφαρμογή διαφόρων ουσιών όπως π.χ. η χιτοζάνη, η οποία αυξάνει την περιεκτικότητα σε πολυσακχαρίτες και αιθέρια έλαια (Letchamo κ.α., 2002). Η υδροπονική καλλιέργεια εχινάτσεας ίσως θα μπορούσε να δώσει λύσεις σε πολλά από τα προβλήματα της συμβατικής, το αυξημένο κόστος όμως δημιουργεί την ανάγκη για περεταίρω έρευνα.

1.3.1.4 Συγκομιδή

Η συγκομιδή των φύλλων μπορεί να ξεκινήσει από το 1^ο έτος καλλιέργειας, ενώ των ριζών από το 3^ο και πραγματοποιείται από αργά το καλοκαίρι ως το φθινόπωρο, ανάλογα με τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής. Η δημιουργία αναχωμάτων βοηθά αρκετά στη διαδικασία εξαγωγής των ριζών, περιορίζοντας ταυτόχρονα τις απώλειες κατά τη συγκομιδή.

Η συγκομιδή το φθινόπωρο δίνει μεγαλύτερες αποδόσεις και υψηλότερη συγκέντρωση σε αιθέρια έλαια. Η αργή αποξήρανση των φυτικών τμημάτων διατηρεί υψηλή την ποιότητα των αιθερίων ελαίων που περιέχουν, ενώ η μείωση του χρόνου αποξήρανσης διατηρεί τα επίπεδα των περιεχομένων γλυκοζιτών που με την πάροδο του χρόνου κινδυνεύουν να υδρολυθούν ενζυμικά (Kindscher και Riggs , 2016).

1.3.1.5 Εχθροί και ασθένειες

Από τα καλλιεργούμενα είδη εχινάτσεας έχει αναφερθεί ότι η *E. purpurea* είναι η πιο ευαίσθητη στην προσβολή από φυτόπλασμα, ασθένεια η οποία οφείλεται σε προσβολή από το βακτήριο *Candidatus phytoplasma* και μεταδίδεται κυρίως από ημίπτερα της οικογένειας *Cicadelidae*. Τα συμπτώματα, τα οποία συνήθως γίνονται αντιληπτά σε προχωρημένο στάδιο της προσβολής, είναι ο μεταχρωματισμός των βλαστών σε κίτρινο και αργότερα σε κόκκινο χρώμα. Ορισμένοι καλλιεργητές καταφέρνουν να ελέγξουν την ασθένεια με την έγκαιρη αφαίρεση και καταστροφή των προσβεβλημένων φυτών. Στις περισσότερες περιπτώσεις όμως η ασθένεια προκαλεί καταστροφικές απώλειες στην καλλιέργεια καθότι δεν υπάρχει τρόπος καταπολέμησής της ούτε και πρόληψής της (π.χ. χρήση ανθεκτικών ποικιλιών) και μπορεί μόνο να ελεγχθεί έμμεσα, με τον έλεγχο του πληθυσμού των ημίπτερων (Kindscher και Riggs , 2016).

Η *E. purpurea* καθώς και η *E. angustifolia* προσβάλλονται συχνά από φουζάριο (*Fusarium oxysporum*) σε συνθήκες υψηλής σχετικής υγρασίας (Kindscher και Riggs , 2016).

Οι νηματώδεις επίσης μπορούν να προσβάλουν πολλά από τα είδη της εχινάτσεας, τέτοιες προσβολές όμως έχουν αναφερθεί σε περιορισμένο βαθμό. Άλλοι εχθροί και ασθένειες που έχουν αναφερθεί είναι: το *Phymatotrichum omnivorum* (προκαλεί σηψιριζία), η *Cercospora*, ορισμένοι ιοί συμπεριλαμβανομένου του ιού του

μωσαϊκού του καπνού και το *Closyne gorgone* (η προνύμφη προσβάλλει τη νεαρή βλάστηση). Γενικότερα τόσο τα καλλιεργούμενα όσο και τα άγρια είδη είναι αρκετά ανθεκτικά σε προσβολές, γεγονός ιδιαίτερης σημασίας, αφού στη συντριπτική πλειψηφία των καλλιεργειών εχινάτσεας εφευρίσκονται πρακτικές βιολογικής γεωργίας (Kindscher και Riggs , 2016).

1.3.1.6 Φαρμακευτικές χρήσεις

Παρά το γεγονός ότι η εχινάτσεα είναι ένα σχετικά καλά μελετημένο φαρμακευτικό φυτό, υπάρχουν κάποια κενά στη βιβλιογραφία ως προς τον τρόπο δράσης της στον ανθρώπινο οργανισμό και συνεπώς και ως προς την αποτελεσματικότητά της. Η πιο συχνά αναφερθείσα δράση της στη βιβλιογραφία είναι η ανοσοτροποποίηση (επίδραση στο ανοσοποιητικό σύστημα). *In vitro* μελέτες με εκχυλίσματα της *E. purpurea* έχουν αποδείξει την ενίσχυση της δραστηριότητας των ανοσοποιητικών κυττάρων των ανθρώπων και άλλων θηλαστικών (Barett, 2003). Η ιδιότητα αυτή αποδίδεται στα συστατικά που βρίσκονται σε διάφορα τμήματα του φυτού (Πιν. 3.2) όπως είναι οι πολυσακχαρίτες, το κιχορικό οξύ και παράγωγά του (κυναρίνη), οι φαινόλες, τα λιπαρά οξέα κ.α. (Bone, 1997).

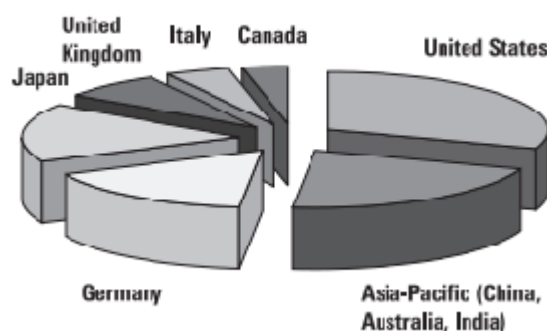
Η λήψη εκχυλισμάτων εχινάτσεας σε κλινικές δοκιμές σε ανθρώπους έδειξαν κάποια αποτελεσματικότητα ενάντια σε λοιμώξεις του ανώτερου αναπνευστικού, σε σχέση με τη λήψη placebo σκευασμάτων. Οι αντιφλεγμονώδεις και επουλωτικές δράσεις των εκχυλισμάτων εχινάτσεας, όπως και η δράση τους κατά του έρπητα των γεννητικών οργάνων, των τσιμπημάτων από έντομα και των εγκαυμάτων, δεν έχουν επιβεβαιωθεί, αφού τα επιστημονικά ερευνητικά δεδομένα ως προς τα παραπάνω είναι ελλιπή (Barnes, 2005). Επιπλέον ελλιπή είναι και τα δεδομένα όσον αφορά στο μηχανισμό δράσης των πολυσακχαριτών στον ανθρώπινο οργανισμό, εφόσον μετά την κατάποση αποδομούνται σε απλούστερα σάκχαρα (Barett, 2003).

Πίνακας 1.6 Τα βασικά συστατικά των ειδών *Echinacea* που έχουν φαρμακευτική χρήση (Barnes κ.α., 2005)

Species	Plant part	Constituents	Comment
<i>Echinacea purpurea</i>	Aerial parts	Alkamides; caffeic acid esters, mainly cichoric acid; polysaccharides; polyacetylenes	Echinacoside is not present
<i>Echinacea angustifolia</i>	Roots	Alkamides; caffeic acid esters, particularly echinacoside; cynarin; polysaccharides; polyacetylenes	Cynarin is characteristic of <i>E. angustifolia</i>
<i>Echinacea pallida</i>	Roots	Caffeic acid esters, particularly echinacoside; polysaccharides; polyacetylenes (distinctive series)	Alkamides largely absent

Αν και δεν έχουν αναφερθεί παρενέργειες από τη χρήση σκευασμάτων με εκχυλίσματα εχινάτσας, πέρα από κάποιες σπάνιες αλλεργικές αντιδράσεις, ένα συχνό πρόβλημα με τα σκευάσματα αυτά είναι το γεγονός ότι μετά από αναλύσεις, έχει βρεθεί πως το είδος της εχινάτσας που αναγράφεται στην ετικέτα δεν αντιστοιχεί στο είδος που περιέχεται στο σκεύασμα, όπως επίσης έχει βρεθεί συχνά, η ποιότητα του σκευάσματος να είναι χαμηλή (Barnes κ.α., 2005).

Σύμφωνα με το Global Industry Analysis Inc., οι παγκόσμιες πωλήσεις σκευασμάτων εχινάτσας αντιστοιχούν στο 5% περίπου των συνολικών πωλήσεων των φυτικών σκευασμάτων που χρησιμοποιούνται ως συμπληρώματα διατροφής. Το 2001 οι πωλήσεις σκευασμάτων εχινάτσας υπολογίστηκαν σε 616 εκ. δολάρια και η πρόβλεψη των πωλήσεων για το 2010 έφτανε τα 795 εκ. δολάρια (Kaulbars *et al.*, 2005)



Εικόνα 1.6 Οι παγκόσμιες πωλήσεις σκευασμάτων εχινάτσας το έτος 2001 (Kaulbars κ.α. 2005)

1.3.2 Υπέρικο (*Hypericum empetrifolium* Willd. subsp. *empetrifolium* κοιν. St John's Wort)



Εικόνα 3.3. *Hypericum empetrifolium* (www.wikipedia.com)

Το γένος *Hypericum* αποτελείται από πάνω από 450 είδη δένδρων και θάμνων, τα οποία απαντώνται σε πολλά μέρη του κόσμου και ευδοκιμούν σε ποικιλία κλιμάτων εκτός αυτών με ακραία χαμηλές και υψηλές θερμοκρασίες (Ernst, 2003). Το γένος ανήκει στην οικογένεια *Clusiaceae*, στην οποία επειδή αριθμητικά επικρατεί το γένος *Hypericum*, συναντάται στη βιβλιογραφία και ως *Hypericaceae*. (Ernst, 2003). Στην Ευρώπη το γένος αντιπροσωπεύεται από 61 taxa, ενώ στην Ελλάδα φύονται 40 taxa, εκ των οποίων τα 12 είναι ενδημικά (Πυλαρά κ.α., 2007).

Το όνομα *Hypericum* προέρχεται από την ελληνική λέξη «υπερεικόν» (υπέρ+εικόνα) λόγω του ότι τμήματα των φυτών τοποθετούνταν πάνω από τις εικόνες, καθώς πιστεύονταν πως προσέφεραν προστασία από τα «κακά πνεύματα» (Ernst, 2003). Άλλες κοινές ονομασίες στην Ελλάδα είναι σπαθόχορτο (Ηπειρος), βάλσαμο (Αθως, Αρκαδία), χελωνόχορτο (Κεφαλονιά), καθώς και βαλσαμάκι, περίκι, κοψοβότανο, λειχνόχορτο, ψειροβότανο και κουκτσούδι (Τέζιας, 2007).

Κατά το μεσαίωνα επικράτησε η κοινή ονομασία St John's Wort επειδή ήταν αφιερωμένο στον Άγιο Ιωάννη το βαπτιστή, η οποία επικρατεί μέχρι και σήμερα, αλλά αναφέρεται κυρίως στο *Hypericum perforatum*, που είναι και το πιο διαδεδομένο και μελετημένο είδος στην Ευρώπη (Crockett και Robson, 2011).

1.3.2.1 Βοτανικά χαρακτηριστικά

Το γένος *Hypericum* περιλαμβάνει πολυετείς (σπανιότερα μονοετείς) πόες ή θάμνους. Τα φύλλα είναι απλά, αντίθετα ή σπάνια σε σπονδύλους από 3-4 και γεμάτα με ημιδιαφανείς αδενώδεις κηλίδες ή ελαιώδεις αδένες, οι οποίοι είναι ορατοί με την έκθεση του φύλλου στο φως. Οι κηλίδες αποτελούν ένα στρώμα από άχρωμα έλαια και ρητίνες. Οι αδένες ανάλογα με τη μορφή, την παρουσία ή απουσία τους και τη διάταξή τους αποτελούν βασικότατο ταξινομικό κριτήριο για την διάκριση των διαφόρων taxa του γένους (Πυλαρά κ.α., 2007).

Τα άνθη είναι ακτινόμορφα, ερμαφρόδιτα, έχουν έντονα κίτρινο χρώμα και σχηματίζουν ταξιανθία σε σχήμα κορύμβου. Ο κάλυκας αποτελείται από 5 σέπαλα ενωμένα στη βάση και η στεφάνη αποτελείται από 5 ελεύθερα πέταλα, τα οποία έχουν συχνά πολυάριθμες μαύρες κηλίδες. Η ωσθήκη είναι επιφυής, με 3 καρπόφυλλα και οι στήμονες είναι πολυάριθμοι συχνά κατά δέσμες. Ο καρπός έχει μορφή φραγμορραγούς κάψας, σπάνια είναι σαρκώδης, ενώ κάποιες φορές είναι διαρρηκτός και άλλες αδιάρρηκτος (Πυλαρά κ.α., 2007).

Το *Hypericum empetrifolium* subsp. *empetrifolium* αποτελείται από πολυετή φυτά, ύψους έως 0,50 cm με όρθιες διακλαδώσεις και με λεία ή με θηλώδη φύλλα μήκους 2-12 mm τοποθετημένα σε σπονδύλους που τα άκρα τους είναι στραμμένα προς τα έξω. Τα σέπαλα φέρουν μαύρους αδένες ή σπάνια απουσιάζουν. Τα άνθη εμφανίζονται σε κυματοειδείς ταξιανθίες, σπάνια μονήρη. Οι στήμονες εμφανίζονται σε δέσμες των 3 και οι στύλοι είναι 3. Τα σπέρματα είναι θηλώδη ή ελαφρώς πτυχωτά (Πυλαρά κ.α., 2007).

1.3.2.2 Γεωγραφική εξάπλωση

Το *Hypericum empetrifolium* subsp. *empetrifolium* απαντάται στη Νότια ηπειρωτική και νησιωτική Ελλάδα, συνήθως σε πευκοδάση, σε θαμνώνες, σε φρυγανικά συστήματα και σε άκρες δρόμων. Προτιμά βραχώδη εδάφη και υψόμετρα μικρότερα των 1200 m. Σε μεγαλύτερους πληθυσμούς φύεται στη Δυτική Ελλάδα και τα Ιόνια νησιά. Ανθίζει από τον Ιούνιο έως το Σεπτέμβριο (Τέζιας, 2007).

1.3.2.3 Πολλαπλασιασμός

Ο πολλαπλασιασμός του είδους γίνεται εγγενώς με σπόρο και αγενώς με μοσχεύματα κορυφής (Dirr και Heuser, 1987). Οι Akoumianaki-Ioannidou και συνεργάτες (2019) αναφέρουν ότι οι σπόροι του υπέρικου παρουσιάζουν χαμηλά ποσοστά βλαστικότητας λόγω ληθάργου, η εφαρμογή όμως 100 mg GA₃ L⁻¹ αποτελεί μια πρακτική μέθοδο που αυξάνει τα ποσοστά βλαστικότητας. Ο αγενής πολλαπλασιασμός με μοσχεύματα κορυφής έδωσε ικανοποιητικά ποσοστά ριζοβολίας, η οποία επηρεάζεται τόσο από την εποχή λήψης των μοσχευμάτων όσο και από τις μεταχειρίσεις με ορμόνη ριζοβολίας. Ο χειμώνας είναι η καταλληλότερη εποχή λήψης μοσχευμάτων και η εμβάπτισή τους σε 1000 ή 2000 mg IBA L⁻¹ δίνει τα υψηλότερα ποσοστά ριζοβολίας (Akoumianaki-Ioannidou *et al.*, 2019).

1.3.2.4 Φαρμακευτικές χρήσεις

Στην παραδοσιακή ιατρική, όπως και σε σύγχρονες μελέτες, γίνεται χρήση του συνόλου του εκχυλίσματος του φυτού. Υπάρχουν ωστόσο και μελέτες που επικεντρώνονται στα επί μέρους συστατικά που φαίνεται να εμφανίζουν αξιόλογη βιολογική δράση, όπως είναι η υπερφορίνη, η αντυπερφορίνη, η υπερικίνη, η ψευδοϋπερικίνη, τα φλαβονοειδή, οι ξανθόνες και οι προκυανιδίνες (Τέζιας, 2007).

Πολλές δράσεις των παραπάνω ουσιών έχουν μελετηθεί, όπως η αντιμικροβιακή, η αντική, η αντικαρκινική, η επουλωτική, η αντί-οξειδωτική η αντιφλεγμονώδης και τέλος η αντικαταθλιπτική και η νευροπροστατευτική δράση που είναι οι σημαντικότερες μέχρι σήμερα. Σύμφωνα με κλινικές μελέτες, η δράση του εκχυλίσματος της δρόγης του φυτού είναι σημαντική ενάντια στις διαταραχές της διάθεσης και τις αγχώδεις διαταραχές, με παρόμοια αποτελεσματικότητα με αυτή των τρικυκλικών αντικαταθλιπτικών (Τέζιας, 2007).

1.4. Σκοπός μελέτης

Η χρήση φαρμακευτικών φυτών και σκευασμάτων που προέρχονται από αυτά για την αντιμετώπιση πολλών παθήσεων, κερδίζει ολοένα και μεγαλύτερο έδαφος στο δυτικό κόσμο. Τα βαρέα μέταλλα –συχνά παρόντα στο έδαφος, το νερό και την ατμόσφαιρα- βιοσυσσωρεύονται στους ιστούς πολυάριθμων φυτικών ειδών και η κατανάλωση αυτών έχει ως αποτέλεσμα τη συσσώρευση των βαρέων μετάλλων στον ανθρώπινο οργανισμό, για τον οποίο αποτελούν τοξικές ουσίες, με μη αναστρέψιμες –σε πολλές περιπτώσεις- συνέπειες για την υγεία. Για τους παραπάνω λόγους, στη σύγχρονη έρευνα, έχουν εκπονηθεί και εκπονούνται πολυάριθμες μελέτες που αφορούν στη συσσώρευση βαρέων μετάλλων σε φαρμακευτικά και αρωματικά φυτά, αφού μέχρι πρότινος πιστευόταν λανθασμένα, ότι τα σκευάσματα που προέρχονται από φυσικά εκχυλίσματα αυτών των φυτών είναι ακίνδυνα και ασφαλή για κατανάλωση.

Ο σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η διερεύνηση της επίδρασης του Cd στα μορφολογικά χαρακτηριστικά και η συγκέντρωση αυτού στο υπέργειο τμήμα, τις ρίζες και το υπόστρωμα ανάπτυξης, δύο φαρμακευτικών φυτών, της *Echinacea purpurea* και του *Hypericum empetrifolium* subsp. *empetrifolium*. Η παρούσα μελέτη μπορεί να θεωρηθεί πρωτότυπο έργο, καθώς δεν υπάρχουν αναφορές στη διεθνή βιβλιογραφία για τη συσσώρευση και την επίδραση του Cd στα συγκεκριμένα φυτικά είδη.

2. Υλικά και Μέθοδοι

2.1 Φυτικό υλικό

Τα δύο φυτικά είδη στα οποία διερευνήθηκε η συγκέντρωση Cd όπως αναφέρθηκε, ήταν η *Echinacea purpurea* και το *Hypericum empetrifolium* subsp. *empetrifolium*. Τα σπορόφυτα της *E. purpurea* χορηγήθηκαν από το «Κτήμα Βίωμα» και τα φυτάρια του *H. empetrifolium* subsp. *empetrifolium* προήλθαν από προηγούμενο πείραμα αγενούς πολλαπλασιασμού με ριζοβλημένα μοσχεύματα κορυφής, που είχε εκτελεστεί στο εργαστήριο Ανθοκομίας και Αρχιτεκτονικής Τοπίου. Τα σπορόφυτα εχινάτσεας ήταν ηλικίας 60 περίπου ημερών ενώ τα φυτάρια του υπέρικου 8 μηνών (ριζοβλημένα μοσχεύματα κορυφής). Για την εκτέλεση του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν 48 φυτά από το κάθε είδος. Η εγκατάσταση του πειράματος έγινε στις 15/2/2017 για την εχινάτσεα, ενώ για το υπέρικο στις 17/3/2017. Και τα δύο είδη μεταφυτεύτηκαν σε ατομικά πλαστικά γλαστράκια διαμέτρου 12 cm και ύψους 12 cm και τοποθετήθηκαν σε πάγκους, οι οποίοι είχαν προηγουμένως καλυφθεί με αλουμινόχαρτο, εντός του θερμοκηπίου του εργαστηρίου Ανθοκομίας και Αρχιτεκτονικής Τοπίου του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών.

2.2 Υποστρώματα ανάπτυξης

Πριν τη μεταφύτευση των φυταρίων παρασκευάστηκαν δύο είδη υποστρωμάτων καλλιέργειας σε ίσες ποσότητες. Το πρώτο περιείχε μίγμα τύρφης ουδέτερου pH (5,5-6,5) – περλίτη (1:1 v/v) ενώ το δεύτερο μίγμα τύρφης όξινου pH (3-4,5) – περλίτη (1:1 v/v). Ο περλίτης που χρησιμοποιήθηκε ήταν της εταιρείας Geoflor, ενώ οι τύρφες της εταιρείας Klasmann – Deilmann. Η διανομή των υποστρωμάτων στα γλαστράκια έγινε έτσι ώστε στα μισά από αυτά (24 για το κάθε φυτικό είδος = 48 σύνολο) να περιέχεται το υπόστρωμα με το όξινο pH και στα άλλα μισά το υπόστρωμα με το ουδέτερο pH. Κάθε ομάδα γλαστριδίων κοινού είδους υποστρώματος χωρίστηκε σε τέσσερις υπό-ομάδες οι οποίες θα αποτελούσαν μελλοντικά τους δέκτες των τεσσάρων διαφορετικών επεμβάσεων με Κάδμιο (4 διαφορετικές συγκεντρώσεις Cd) με 6 επαναλήψεις (γλαστράκια) για την κάθε επέμβαση. Τέλος τα γλαστράκια σημάνθηκαν και στοιχίστηκαν αναλόγως.

Εφόσον ο περλίτης χρησιμοποιείται στα μίγματα ως εδαφοβελτιωτικό (αερισμός ριζοστρώματος και αύξηση συγκράτησης νερού) και θεωρείται χημικά αδρανές υλικό, στους παρακάτω πίνακες (Πιν. 5.1 και Πιν. 5.2) παρατίθενται τα χαρακτηριστικά μόνο των δύο ειδών τύρφης που χρησιμοποιήθηκαν.

Πίνακας 2.1. Χαρακτηριστικά της τύρφης που χρησιμοποιήθηκε για το μίγμα του υποστρώματος με όξινο pH

Τύρφη με όξινο pH	
Εμπορική ονομασία προϊόντος	Klasmann Baltica Sphagnum peat moss
pH	3,5- 4,5
Δομή	0 – 25 mm
Προσθήκη υδατοαπορροφητικού παράγοντα	Όχι
Προσθήκη ιχνοστοιχείων	Όχι
Απαλλαγμένη παθογόνων & εχθρών	Ναι

Πίνακας 2.2. Χαρακτηριστικά της τύρφης που χρησιμοποιήθηκε για το μίγμα του υποστρώματος με ουδέτερο pH

Τύρφη με ισορροπημένο pH	
Εμπορική ονομασία προϊόντος	Klasmann Base substrate pH balanced peat moss
pH	5,5- 6,5
Δομή	0 – 5 mm
Προσθήκη υδατοαπορροφητικού παράγοντα	Ναι
Προσθήκη ιχνοστοιχείων	Ναι
Απαλλαγμένη παθογόνων & εχθρών	Ναι

2.3 Παρασκευή και εφαρμογή διαλυμάτων Cd

2.3.1 Παρασκευή διαλυμάτων Cd

Στο εργαστήριο Εδαφολογίας και Γεωργικής Χημείας παρασκευάστηκαν τέσσερα υδατικά διαλύματα Cd συγκεντρώσεων 0 (control), 1, 2 και 5 mg L⁻¹ ως εξής: Από 1 L stock διαλύματος συγκέντρωσης 1000 mg Cd L⁻¹ λήφθηκαν με πιπέτα διαδοχικά 1, 2 και 5 ml τα οποία τοποθετήθηκαν σε ογκομετρικές φιάλες του 1 L αντίστοιχα. Στη συνέχεια αραιώθηκαν με απιονισμένο H₂O ως τα 1000 ml και αποθηκεύτηκαν σε πλαστικές φιάλες του 1 L, εντός ψυγείου στους 4 °C, προς αποφυγή ενδεχόμενης εξάτμισης του υγρού και μεταβολής των συγκεντρώσεων των διαλυμάτων. Ως μάρτυρας (control) χρησιμοποιήθηκε απιονισμένο H₂O το οποίο επίσης αποθηκεύτηκε σε πλαστική φιάλη του 1 L.

2.3.2 Εφαρμογή διαλυμάτων Cd - Επεμβάσεις

Οι εφαρμογές διαλυμάτων Cd (επεμβάσεις) γίνονταν χειρονακτικά, 2 φορές εβδομαδιαίως για 5 εβδομάδες ($2 \times 5 = 10$ επεμβάσεις συνολικά). Στην εχινάτσα οι εφαρμογές ξεκίνησαν στις 16/3/2017 ενώ στο υπέριο στις 31/3/2017. Ο όγκος του διαλύματος που εφαρμοζόταν κάθε φορά σε όλες τις επεμβάσεις ήταν 20 ml/γλαστράκι. Οι επεμβάσεις πραγματοποιούνταν αφού είχε προηγηθεί πότισμα την προηγούμενη ημέρα, έτσι ώστε το υπόστρωμα να βρίσκεται στην υδατοικανότητά του, αλλά χωρίς να παρατηρείται απορροή νερού από τις οπές στη βάση των γλαστριδίων, καθώς θα υπήρχε κίνδυνος απόπλυσης του Cd.

Ενδιάμεσα των επεμβάσεων με Cd, πραγματοποιήθηκαν και τέσσερις μετρήσεις του ύψους των υπεργείων τμημάτων όλων των δειγμάτων, ανά 15 ημέρες περίπου, ξεκινώντας από τις 3/4/2017 και μέχρι τις 19/5/2017. Οι μετρήσεις έγιναν με χρήση μετροταινίας και το σημείο με την ένδειξη 0 cm τοποθετούνταν στη βάση του λαιμού των φυτών (επιφάνεια υποστρώματος), ενώ ως τιμή ύψους σημειώθηκε η άκρη του ελάσματος του υψηλότερου φυλλαρίου.

2.4 Λίπανση και φυτοπροστασία

Η εφαρμογή των λιπάνσεων ξεκίνησε δύο περίπου εβδομάδες μετά τη μεταφύτευση και επαναλαμβανόταν ανά 15 ημέρες, μέχρι το τέλος παραμονής των φυτών στα γλαστράκια (3 εφαρμογές λίπανσης στις 3/4/2017, 5/5/2017 και 19/5/2017). Για την εφαρμογή λίπανσης χρησιμοποιήθηκε πλήρως υδατοδιαλυτό λίπασμα 20-20-20 εμπλουτισμένο με ιχνοστοιχεία (NUTRI-LEAF 60 της εταιρείας Miller) σε συγκέντρωση 4 g/ L H₂O και εφαρμοζόταν σε δόση 20 ml/γλαστράκι.

Στα μέσα Απριλίου 2017, παρατηρήθηκαν κυρίως στα φυτά εχινάτσας, συμπτώματα προσβολής από αλευρώδη καθώς και αυξανόμενος πληθυσμός του εντόμου στο θερμοκήπιο. Για την αντιμετώπιση πραγματοποιήθηκαν δύο ψεκασμοί με Oberon 240 SC σε δόση 0,4 ml/ L H₂O.

2.5 Μεταχειρίσεις φυτικού υλικού και υποστρωμάτων πριν την ανάλυσή τους

Πέντε εβδομάδες μετά την έναρξη των μεταχειρίσεων, συλλέχθηκαν αρχικά όλα τα υπέργεια τμήματα και από τα δύο φυτικά είδη και τοποθετήθηκαν το κάθε ένα ξεχωριστά σε ατομικό χάρτινο σακουλάκι. Αφού ζυγίστηκαν και σημειώθηκε το ωπό βάρος του καθενός, τοποθετήθηκαν σε ξηραντήριο (50 °C) έως ότου

αποκτήσουν σταθερό βάρος. Ακολούθως ζυγίστηκαν ξανά και σημειώθηκε το ξηρό τους βάρος. Παράλληλα, έγινε διαχωρισμός των ριζών από τα υποστρώματα, τοποθέτηση σε ατομικά χάρτινα σακουλάκια και επανάληψη της παραπάνω διαδικασίας που ακολουθήθηκε για τα δείγματα του υπέργειου μέρους.

2.6 Ανάλυση φυτικού υλικού

Τα δείγματα κονιοτοποιήθηκαν με τη χρήση μύλου (Εικ. 2.1) και στη συνέχεια περάστηκαν από κόσκινο διαμέτρου $250\ \mu\text{m}$ (Εικ. 2.2), έτσι ώστε να υπάρχει ομοιομορφία στο μέγεθος των μικρό-τεμαχιδίων του φυτικού υλικού. Αφού ζυγίστηκε $0,5\ \text{g}$ από κάθε δείγμα, τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε πορσελάνινες κάψες (Εικ. 2.2) και στη συνέχεια σε πυραντήριο (Εικ. 2.3) για $4\ \text{h}$ στους $550\ ^\circ\text{C}$. Μετά την πλήρη καύση (σε στάχτη) των δειγμάτων και την εξαγωγή των καψών από το πυραντήριο, προστέθηκαν σε αυτές $5\ \text{ml}$ πυκνού HNO_3 (65%) και αμέσως πραγματοποιήθηκε διήθηση με σκληρό ηθμό (WHATMAN) σε ογκομετρικές φιάλες των $100\ \text{ml}$ (Εικ. 2.4). Ακολούθησε προσθήκη απιονισμένου H_2O μέχρι τα $100\ \text{ml}$ και αποθήκευση του διηθήματος σε πλαστικά φιαλίδια των $100\ \text{ml}$. Τέλος στα διηθήματα μετρήθηκαν οι συγκεντρώσεις Cd, με τη χρήση σπεκτοφωτόμετρου ατομικής απορρόφησης (VARIAN A-300) (Εικ. 2.4). Ο υπολογισμός πρόσληψης Cd έγινε ως εξής: ξηρό βάρος φυτικού ιστού*συγκέντρωση Cd, όπου η συγκέντρωση υπολογίστηκε από τη μέτρηση $\text{Cd} \cdot 100 / 0,5\ \text{g}\ \xi.\text{o.}$

2.6.1 Προσδιορισμός διαθέσιμων ποσοτήτων βαρέων μετάλλων με τη μέθοδο των Lindsay and Norwell – Παρασκευή διαλύματος DTPA

Η μέθοδος των Lindsay and Norwell (1978), εφαρμόστηκε αρχικά για τη μελέτη της διαθεσιμότητας του σιδήρου στο έδαφος και κατόπιν χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό των διαθέσιμων ποσοτήτων των μετάλλων Mn, Zn, Cu, Ni και Cd. Οι Lindsay και Norwell κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι το DTPA είναι το καταλληλότερο εκχυλιστικό μέσο και συγχρόνως επιτρέπει τον ταυτόχρονο προσδιορισμό των Zn, Fe, Mn και Cu. Η παρασκευή εκχυλιστικού διαλύματος DTPA έγινε ως εξής: χρήση $0,005\ \text{M}$ DTPA, $0,01\ \text{M}$ CaCl_2 και $0,1\ \text{M}$ TEA, το οποίο σταθεροποιείται σε τιμή $\text{pH}=7,3$ με HCl. Για την παρασκευή $1\ \text{L}$ του διαλύματος αυτού διαλύονται $14,92\ \text{g}$ του αντιδραστηρίου TEA, $1,967\ \text{g}$ του αντιδραστηρίου DTPA και $1,47\ \text{g}$ $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ σε $900\ \text{mL}$ αποσταγμένου ύδατος. Στο διάλυμα που προέκυψε με αυτόν τον τρόπο προστίθεται ποσότητα διαλύματος HCl $1\ \text{N}$ έτσι ώστε

το pH να σταθεροποιηθεί στην τιμή $7,3 \pm 0,05$. Το διάλυμα που προέκυψε, μεταφέρθηκε σε ογκομετρική φιάλη των 1000 mL η οποία συμπληρώθηκε με αποσταγμένο H₂O μέχρι τη χαραγή. Πριν τη χρησιμοποίηση του διαλύματος αυτού έγινε έλεγχος για την τιμή του pH και τη σταθεροποίηση της τιμής του σε $7,3 \pm 0,05$.

2.7 Ανάλυση υποστρωμάτων

Αρχικά έγινε τοποθέτηση του κάθε δείγματος σε κόσκινο με διάμετρο οπών 250 μm, και απομάκρυνση όσο το δυνατόν περισσότερης ποσότητας περλίτη από το δείγμα. Ακολούθησε κοσκίνισμα της τύρφης. Στη συνέχεια ζυγίστηκαν 2 g από το κάθε δείγμα και τοποθετήθηκαν σε πλαστικά φιαλίδια των 50 ml, στα οποία προστέθηκε 30 ml διάλυμα DTPA. Ακολούθησε πωματισμός των φιαλιδίων και ανακίνηση τους σε οριζόντιο ανακινήτηρα με ταχύτητα 140 r/min για 2 ώρες και αμέσως μετά φυγοκέντρησή τους για 4 min. Το αιώρημα που δημιουργήθηκε, διηθήθηκε μέσω σκληρού ηθμού (WHATMAN) σε ογκομετρικές φιάλες των 50 ml και προστέθηκε απιονισμένο H₂O ως τα 50 ml. Τα διηθήματα αποθηκεύτηκαν σε πλαστικά φιαλίδια των 50 ml στο ψυγείο (4 °C) και σε αυτά πραγματοποιήθηκε η μέτρηση συγκέντρωσης Cd με τη χρήση σπεκτοφωτόμετρου ατομικής απορρόφησης (VARIAN A-300). Η συγκέντρωση Cd υπολογίστηκε ως εξής μέτρηση Cd*50/2 g ξηραμένου υποστρώματος.

2.9 Στατιστική ανάλυση

Το πείραμα έγινε σύμφωνα με το εντελώς τυχαίοποιημένο σχέδιο και η στατιστική ανάλυση των δεδομένων που προέκυψαν, έγινε με το πρόγραμμα JUMP 8 (SAS Institute Inc., Cary, USA). Για να διαπιστωθεί η επίδραση των επεμβάσεων με Cd στα μορφολογικά χαρακτηριστικά των μελετώμενων φυτών και τη συγκέντρωσή του σε αυτά, πραγματοποιήθηκε μονοπαραγοντική ανάλυση ANOVA και για τον έλεγχο της στατιστικής σημαντικότητας των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε η δοκιμή Duncan σε επίπεδο σημαντικότητας 5% ($p \leq 0,05$).



Εικόνα 2.1 Μύλος



Εικόνα 2.2 Κόσκινο (επάνω)
και κάψα (κάτω)



Εικόνα 2.3 Πυραντήριο



Εικόνα 2.4 Διήθηση με WHATMAN



Εικόνα 2.5. Σπεκτοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης

3. Αποτελέσματα και Συζήτηση

Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του πειράματος, έτσι όπως αυτά προέκυψαν από τις μετρήσεις που πάρθηκαν κατά τη διάρκεια αυτού και μετά από τη στατιστική ανάλυσή τους. Συγκεκριμένα μετρήθηκαν τα ύψη των φυτών, το νωπό και ξηρό τους βάρος και η ποσότητα πρόσληψης του καδμίου στο υπέργειο τμήμα και τις ρίζες τους, σε ουδέτερο και όξινο υπόστρωμα ανάπτυξης, καθώς και η συγκέντρωση του καδμίου που προσροφήθηκε στα τα υποστρώματα ανάπτυξης.

3.1 *Echinacea purpurea*

3.1.1 Επίδραση Cd στο ύψος των φυτών *E. purpurea*

Τα σπορόφυτα της εχινάτσας παρουσίασαν μεγάλη ετερογένεια ως προς το ύψος τους κατά την ανάπτυξή τους, τόσο στο ουδέτερο όσο και στο όξινο υπόστρωμα. Για το λόγο αυτό, στον Πίνακα 3.1.1 παρουσιάζονται οι μέσοι όροι των μεταβολών των υψών των φυτών, σε σχέση με το αρχικό ύψος τους (ημέρα έναρξης των επεμβάσεων), στις διαφορετικές επεμβάσεις με 0, 1, 2 και 5 mg Cd L⁻¹, μέχρι την ημέρα λήξης αυτών. Πραγματοποιήθηκαν συνολικά 4 μετρήσεις ύψους ανά 15 ημέρες. Οι μέσοι όροι των τιμών των υψών φαίνονται στο Παράρτημα I.

Τα φυτά *E. purpurea* που αναπτύχθηκαν σε ουδέτερο υπόστρωμα και δέχτηκαν επεμβάσεις με 5 mg Cd L⁻¹ παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ως προς τη μεταβολή του ύψους τους από τα φυτά – μάρτυρες, 15 ημέρες μετά την έναρξη των επεμβάσεων με Cd. Μετά από 30 ημέρες επεμβάσεων, τα φυτά που αναπτύχθηκαν σε ουδέτερο υπόστρωμα δεν παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ως προς τη μεταβολή του ύψους τους, στις αυξανόμενες επεμβάσεις με Cd. Μετά από 45 ημέρες επεμβάσεων, τα φυτά που αναπτύχθηκαν σε ουδέτερο υπόστρωμα και δέχτηκαν επεμβάσεις με 5 mg Cd L⁻¹ παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ως προς την ανάπτυξή τους σε ύψος, από τα φυτά – μάρτυρες (Πίνακας 3.1.1)

Τα φυτά *E. purpurea* που αναπτύχθηκαν σε όξινο υπόστρωμα και δέχτηκαν επεμβάσεις με 2 mg Cd L⁻¹ παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ως προς τη μεταβολή του ύψους τους από τα φυτά – μάρτυρες, μετά από 15 ημέρες επεμβάσεων με Cd. Μετά από 30 ημέρες εφαρμογής των επεμβάσεων με Cd, τα φυτά που αναπτύχθηκαν σε όξινο υπόστρωμα και δέχτηκαν επεμβάσεις με 2 mg Cd L⁻¹

παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στη μεταβολή του ύψους τους από τα φυτά – μάρτυρες και από τα φυτά που δέχτηκαν 1 mg Cd L^{-1} . Μετά από 45 ημέρες εφαρμογής των επεμβάσεων με Cd, τα φυτά που αναπτύχθηκαν σε όξινο υπόστρωμα δεν παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ως προς την ανάπτυξή τους σε ύψος, στις αυξανόμενες επεμβάσεις με Cd (Πίνακας 3.1.1).

Τα φυτά *E. purpurea* που δέχτηκαν επεμβάσεις με 5 mg Cd L^{-1} μετά την ολοκλήρωση του κύκλου των επεμβάσεων (45 ημέρες μετά την έναρξη των επεμβάσεων) σημείωσαν τις μικρότερες τιμές μεταβολής ύψους και στα δύο είδη υποστρωμάτων ανάπτυξης. Οι Lagriffoul και συνεργάτες (1998), επίσης αναφέρουν ότι οι βλαστοί του καλαμποκιού που δέχτηκαν αυξανόμενες επεμβάσεις με Cd είχαν μικρότερες μεταβολές ύψους σε σχέση με τους μάρτυρες.

Τέλος, από τον ίδιο Πίνακα, φαίνεται ότι τα φυτά που αναπτύχθηκαν σε όξινο υπόστρωμα σημείωσαν μεγαλύτερες τιμές μεταβολής του ύψους τους σε σχέση με τα φυτά που αναπτύχθηκαν σε ουδέτερο υπόστρωμα, ανεξαρτήτως επεμβάσεων με Cd.

Πίνακας 3.1.1 Μεταβολές του ύψους φυτών *E. purpurea* ανά 15 ημέρες, σε σχέση με το αρχικό τους ύψος, από την έναρξη ως τη λήξη των αυξανόμενων επεμβάσεων με Cd, σε ουδέτερο και σε όξινο υπόστρωμα ανάπτυξης

Επέμβαση Cd (mg L^{-1})	15 ημέρες (cm)	30 ημέρες (cm)	45 ημέρες (cm)
Ουδέτερο			
0	4,68 a	11,15 a	16,07 a
1	3,15 ab	7,30 a	11,81 ab
2	2,47 ab	7,12 a	11,08 ab
5	1,92 b	2,35 a	6,78 b
F=	2,10	5,07*	3,95*
Όξινο			
0	8,38 a	16,87 a	19,25 a
1	7,70 ab	16,68 a	19,98 a
2	3,32 b	9,33 b	16,97 a
5	6,12 ab	12,10 ab	14,78 a
F=	1,94	2,74	1,37

Ίδια γράμματα στην ίδια στήλη δηλώνουν μη στατιστικά σημαντική διαφορά, σύμφωνα με το Duncan's test σύγκρισης μέσων όρων σε επίπεδο σημαντικότητας $P \leq 0,05$.

3.1.2 Επίδραση Cd στο νωπό και ξηρό βάρος των υπεργείων τμημάτων των φυτών *E. purpurea*

Στον Πίνακα 3.1.2 φαίνεται ότι το νωπό βάρος των υπεργείων τμημάτων των φυτών *E. purpurea* που δέχτηκαν επεμβάσεις με 2 mg Cd L⁻¹ εμφάνισε στατιστικά σημαντικές διαφορές από με τα φυτά που δέχτηκαν 1 και 5 mg Cd L⁻¹, στο ουδέτερο υπόστρωμα ανάπτυξης. Στο ίδιο υπόστρωμα, το ξηρό βάρος των υπεργείων τμημάτων των φυτών τα οποία δέχτηκαν επεμβάσεις με 2 mg Cd L⁻¹ παρουσίασε στατιστικά σημαντικές διαφορές από το ξηρό βάρος των υπεργείων τμημάτων των φυτών που δέχτηκαν επεμβάσεις με 0 και 5 mg Cd L⁻¹.

Στο όξινο υπόστρωμα ανάπτυξης, το ξηρό βάρος των υπεργείων τμημάτων των φυτών *E. purpurea* που δέχτηκαν επεμβάσεις με 1 mg Cd L⁻¹ παρουσίασε στατιστικά σημαντικές διαφορές από τις υπόλοιπες επεμβάσεις με Cd. Αντίθετα, το νωπό βάρος των υπεργείων τμημάτων των φυτών που αναπτύχθηκαν σε όξινο υπόστρωμα δεν παρουσίασε στατιστικά σημαντικές διαφορές στις αυξανόμενες επεμβάσεις με Cd (Πίνακας 3.2.1).

Το νωπό και ξηρό βάρος των υπεργείων τμημάτων των φυτών *E. purpurea* που αναπτύχθηκαν σε όξινο υπόστρωμα ήταν αυξημένο σε σχέση με το αντίστοιχο νωπό και ξηρό βάρος των φυτών που αναπτύχθηκαν σε ουδέτερο υπόστρωμα, ανεξαρτήτως επεμβάσεων με Cd (Πίνακας 3.2.1).

3.1.3 Επίδραση Cd στο νωπό και ξηρό βάρος των ριζών των φυτών *E. purpurea*

Στον Πίνακα 3.2.1 φαίνεται ότι το νωπό και ξηρό βάρος των ριζών των φυτών *E. purpurea* δεν παρουσίασε στατιστικά σημαντικές διαφορές στις αυξανόμενες επεμβάσεις με Cd σε κανένα από τα δύο είδη υποστρωμάτων ανάπτυξης.

Πίνακας 3.1.2 Επίδραση Cd στο νωπό (N.B.) και ξηρό βάρος (Ξ.Β.) των υπέργειων τμημάτων φυτών *E. purpurea* τα οποία δέχτηκαν αυξανόμενες επεμβάσεις με Cd και αναπτύχθηκαν σε ουδέτερο και όξινο υπόστρωμα

Επέμβαση Cd (mg L ⁻¹)	N.B. (g)	Ξ.Β. (g)
Ουδέτερο		
0	6,35 ab	1,55 b
1	4,93 c	2,00 a
2	6,89 a	1,69 ab
5	5,50 bc	1,39 b
F=	3,57*	5,83*
Όξινο		
0	8,58 a	2,12 a
1	7,89 a	1,36 b
2	8,21 a	2,02 a
5	9,12 a	2,49 a
F=	0,73	8,04*

Ίδια γράμματα στην ίδια στήλη δηλώνουν μη στατιστικά σημαντική διαφορά, σύμφωνα με το Duncan's test σύγκρισης μέσων όρων σε επίπεδο σημαντικότητας $P \leq 0,05$

Πίνακας 3.1.3 Επίδραση Cd στο νωπό (N.B.) και ξηρό βάρος (Ξ.Β.) των ριζών φυτών *E. purpurea* τα οποία δέχτηκαν αυξανόμενες επεμβάσεις με Cd και αναπτύχθηκαν σε ουδέτερο και όξινο υπόστρωμα

Επέμβαση Cd (mg L ⁻¹)	N.B. (g)	Ξ.Β. (g)
Ουδέτερο		
0	10,15 a	1,63 a
1	9,98 a	1,57 a
2	9,62 a	1,51 a
5	12,37 a	1,93 a
F=	1,11	0,54
Όξινο		
0	8,21 a	1,46 a
1	8,49 a	1,33 a
2	9,82 a	1,49 a
5	9,02 a	1,46 a
F=	1,32	1,60

Ίδια γράμματα στην ίδια στήλη δηλώνουν μη στατιστικά σημαντική διαφορά, σύμφωνα με το Duncan's test σύγκρισης μέσων όρων σε επίπεδο σημαντικότητας $P \leq 0,05$.

3.1.4 Πρόσληψη Cd από τα υπέργεια τμήματα, τις ρίζες και ολόκληρα τα φυτά *E. purpurea*

Στον Πίνακα 3.1.4 φαίνεται ότι η συγκέντρωση Cd στα υπέργεια τμήματα των φυτών *E. purpurea* που αναπτύχθηκαν σε ουδέτερο υπόστρωμα και δέχτηκαν επεμβάσεις με 5 mg Cd L⁻¹ εμφάνισε στατιστικά σημαντικές διαφορές από τη συγκέντρωση στα υπέργεια τμήματα των φυτών που δέχτηκαν τις υπόλοιπες επεμβάσεις με Cd. Οι ρίζες των φυτών που αναπτύχθηκαν σε ουδέτερο υπόστρωμα και δέχτηκαν επεμβάσεις με 5 mg Cd L⁻¹ συγκέντρωσαν ποσότητα Cd η οποία παρουσίασε στατιστικά σημαντική διαφορά από την ποσότητα στις ρίζες των φυτών που δέχτηκαν 0 και 1 mg Cd L⁻¹. Η προσθήκη Cd σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες των 2 mg Cd L⁻¹ αύξησαν σημαντικά την ολική συγκέντρωση Cd στα φυτά *E. purpurea* στο ουδέτερο υπόστρωμα ανάπτυξης (Πίνακας 3.1.4).

Στον Πίνακα 3.1.4 φαίνεται επίσης ότι οι μεταχειρίσεις με Cd εμφάνισαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στη συγκέντρωσή του, στα υπέργεια τμήματα των φυτών που αναπτύχθηκαν σε όξινο υπόστρωμα, σε σχέση με τους μάρτυρες. Η συγκέντρωση Cd στις ρίζες των φυτών που αναπτύχθηκαν σε όξινο υπόστρωμα και δέχτηκαν μεταχειρίσεις με 5 mg Cd L⁻¹ αυξήθηκε σημαντικά σε σχέση με τις μεταχειρίσεις μικρότερων συγκεντρώσεων. Η προσθήκη Cd συγκέντρωσης 5 mg L⁻¹ αύξησε σημαντικά την ολική συγκέντρωση Cd στα φυτά *E. purpurea* στο ουδέτερο υπόστρωμα ανάπτυξης (Πίνακας 3.1.4).

Γενικά, οι αυξανόμενες επεμβάσεις με Cd και στα δύο είδη υποστρωμάτων ανάπτυξης, οδήγησαν σε αύξηση της συγκέντρωσης Cd στα υπέργεια τμήματα, τις ρίζες και ολόκληρα τα φυτά *E. purpurea* γεγονός που αναφέρουν και οι Akoumianakis και συνεργάτες (2008) για το αντίδι και τη ρόκα, οι Moreno-Caselles και συνεργάτες (2008) για το αγγούρι και ο John (1973) για το σπανάκι, το καρότο, το ραπανάκι, τον αρακά τη βρώμη και 3 είδη *Brassica*. Επίσης, τα υπέργεια τμήματα, οι ρίζες και ολόκληρα τα φυτά που αναπτύχθηκαν σε όξινο υπόστρωμα συγκέντρωσαν μεγαλύτερες ποσότητες Cd σε σχέση με τις αντίστοιχες στο ουδέτερο υπόστρωμα ανάπτυξης, ανεξαρτήτως επεμβάσεων με Cd (Πίνακας 3.1.4).

Τέλος, από τον ίδιο πίνακα φαίνεται ότι η συγκέντρωση Cd στις ρίζες της *E. purpurea*, ήταν αρκετά μεγαλύτερη σε σχέση με τα υπέργεια τμήματα του φυτού και στα δύο υποστρώματα ανάπτυξης, ανεξάρτητα από τις επεμβάσεις με Cd. Οι Benavides και συνεργάτες, (2005) αναφέρουν ότι ανεξαρτήτως της κινητικότητας των

μεταλλικών ιόντων στα φυτά, η συγκέντρωση αυτών είναι κατά κανόνα μεγαλύτερη στις ρίζες σε σχέση με τα υπέργεια τμήματα. Τα ποσοστά που προσλήφθηκαν από τις ρίζες των φυτών που αναπτύχθηκαν στο ουδέτερο υπόστρωμα ήταν 83,61%, 85,27%, 77,06% και 61,98% της ολικής πρόσληψης Cd από τα φυτά, για τις επεμβάσεις 0, 1, 2 και 5 mg Cd L⁻¹ αντίστοιχα, ενώ για τις ρίζες των φυτών που αναπτύχθηκαν σε όξινο υπόστρωμα τα ίδια ποσοστά ήταν 65,23%, 91,32%, 78,44% και 88,59% της ολικής πρόσληψης.

Πίνακας 3.1.4 Επίδραση Cd στην συγκέντρωση του στα υπέργεια τμήματα, τις ρίζες και ολόκληρα τα φυτά *E. purpurea* στις αυξανόμενες επεμβάσεις με Cd σε ουδέτερο και όξινο υπόστρωμα ανάπτυξης

Επέμβαση Cd (mg L ⁻¹)	Συγκέντρωση Cd Υπέργειο (mg kg ⁻¹)	Συγκέντρωση Cd Ρίζες (mg kg ⁻¹)	Συγκέντρωση Cd/ φυτό (mg kg ⁻¹)
Ουδέτερο			
0	1,70 b	8,67 c	10,37 c
1	1,67 b	9,67 bc	11,34 c
2	3,67 b	12,33 ab	16,00 b
5	9,00 a	14,67 a	23,67 a
F=	11,26*	5,74*	21,21*
Όξινο			
0	5,33 b	10,00 b	15,33 b
1	7,33 a	14,00 b	21,33 b
2	7,33 a	26,67 b	34,00 b
5	8,33 a	64,67 a	73,00 a
F=	9,83*	15,62*	9,01*

Ίδια γράμματα στην ίδια στήλη δηλώνουν μη στατιστικά σημαντική διαφορά, σύμφωνα με το Duncan's test σύγκρισης μέσων όρων σε επίπεδο σημαντικότητας $P \leq 0,05$.

3.1.5 Επίδραση Cd στην ποσότητα του ανταλλάξιμου Cd με DTPA, σε ουδέτερο και σε όξινο υπόστρωμα ανάπτυξης φυτών *E. purpurea* στις αυξανόμενες επεμβάσεις με Cd

Στον Πίνακα 3.1.5 φαίνεται ότι το ανταλλάξιμο Cd με DTPA από το ουδέτερο και το όξινο υπόστρωμα αυξήθηκε με την αύξηση του προστιθέμενου Cd, σημείωσε όμως μεγαλύτερες τιμές στο όξινο υπόστρωμα. Επίσης το ανταλλάξιμο Cd με DTPA παρουσίασε στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των διαφορετικών επεμβάσεων με Cd και στα δύο υποστρώματα ανάπτυξης.

Πίνακας 3.1.5 Επίδραση Cd στο ανταλλάξιμο Cd με DTPA στο ουδέτερο και στο όξινο υπόστρωμα ανάπτυξης φυτών *E. purpurea* στις αυξανόμενες επεμβάσεις με Cd

Επέμβαση Cd (mg L ⁻¹)	Ανταλλάξιμο Cd με DTPA (mg kg ⁻¹)
Ουδέτερο	
0	0,04 c
1	1,71 b
2	2,58 b
5	6,45 a
F=	68,33*
Όξινο	
0	0,20 d
1	1,79 c
2	2,46 b
5	7,00 a
F=	310,53*

Ίδια γράμματα στην ίδια στήλη δηλώνουν μη στατιστικά σημαντική διαφορά, σύμφωνα με το Duncan's test σύγκρισης μέσων όρων σε επίπεδο σημαντικότητας $P \leq 0,05$.

3.2 *Hypericum empetrifolium* subsp. *empetrifolium*

3.2.1 Επίδραση Cd στο ύψος των φυτών *H. empetrifolium* subsp. *empetrifolium*

Όπως αναφέρθηκε και για την περίπτωση της *E. purpurea*, λόγω του ότι τα φυτά εμφάνιζαν ετερογένεια ως προς το ύψος τους πριν την έναρξη των επεμβάσεων, στον Πίνακα 3.2.1 παρουσιάζονται οι μέσοι όροι των μεταβολών του ύψους των φυτών σε σχέση με το αρχικό τους ύψος (μέτρηση την ημέρα έναρξης των επεμβάσεων), στις αυξανόμενες επεμβάσεις με Cd, σε ουδέτερο και όξινο υπόστρωμα ανάπτυξης. Οι μέσοι όροι των τιμών των υψών φαίνονται στο Παράρτημα Ι.

Η μεταβολή του ύψους των φυτών του υπέρικου που αναπτύχθηκαν τόσο σε ουδέτερο όσο και σε όξινο υπόστρωμα δεν παρουσίασε στατιστικά σημαντικές διαφορές στις αυξανόμενες επεμβάσεις με Cd, καθ'όλη τη διάρκεια του κύκλου των επεμβάσεων (15, 30 και 45 ημέρες μετά την έναρξη). Παρ'όλα αυτά, φάνηκε ότι οι μεταβολές του ύψους ήταν μεγαλύτερες στο όξινο υπόστρωμα ανάπτυξης, επομένως τα φυτά αναπτύχθηκαν με ταχύτερο ρυθμό στο όξινο υπόστρωμα.

Πίνακας 3.2.1 Μεταβολές του ύψους των φυτών *H. empetrifolium* subsp. *empetrifolium* ανά 15 ημέρες, σε σχέση με το αρχικό τους ύψος, από την έναρξη ως τη λήξη των διαφορετικών επεμβάσεων με Cd, σε ουδέτερο και σε όξινο υπόστρωμα ανάπτυξης

Επέμβαση Cd (mg L ⁻¹)	15 μέρες (cm)	30 ημέρες (cm)	45 ημέρες (cm)
Ουδέτερο			
0	2,33 a	5,82 a	8,65 a
1	3,98 a	8,58 a	11,12 a
2	3,13 a	7,10 a	9,47 a
5	2,90 a	6,13 a	7,28 a
F=	0,95	0,60	0,95
Όξινο			
0	7,23 a	11,87 a	13,13 a
1	7,30 a	14,60 a	15,77 a
2	5,63 a	9,58 a	10,28 a
5	5,92 a	12,20 a	13,68 a
F=	0,85	0,49	0,66

Ίδια γράμματα στην ίδια στήλη δηλώνουν μη στατιστικά σημαντική διαφορά, σύμφωνα με το Duncan's test σύγκρισης μέσων όρων σε επίπεδο σημαντικότητας $P \leq 0,05$.

3.2.2 Επίδραση Cd στο νωπό και ξηρό βάρος των υπέργειων τμημάτων των φυτών *H. empetrifolium* subsp. *empetrifolium*

Το ξηρό βάρος των υπέργειων τμημάτων αυξήθηκε με την προσθήκη Cd στο όξινο υπόστρωμα ανάπτυξης και παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των φυτών – μάρτυρες και των φυτών που δέχτηκαν επεμβάσεις με Cd. Το ξηρό βάρος των υπέργειων τμημάτων των φυτών που αναπτύχθηκαν σε ουδέτερο υπόστρωμα δεν επηρεάστηκε από τις αυξανόμενες επεμβάσεις με Cd (Πίνακας 3.2.2).

Το νωπό βάρος των υπέργειων τμημάτων επίσης δεν φάνηκε να επηρεάζεται από τις αυξανόμενες επεμβάσεις με Cd σε κανένα από τα δύο υποστρώματα ανάπτυξης (Πίνακας 3.2.2).

Πίνακας 3.2.2 Επίδραση Cd στο νωπό (N.B.) και ξηρό βάρος (Ξ.Β.) των υπέργειων τμημάτων των φυτών *H. empetrifolium* subsp. *empetrifolium* τα οποία δέχτηκαν αυξανόμενες επεμβάσεις με Cd και αναπτύχθηκαν σε ουδέτερο και όξινο υπόστρωμα

Επέμβαση Cd (mg L ⁻¹)	N.B. (g)	Ξ.Β. (g)
Ουδέτερο		
0	3,20 a	1,15 a
1	3,02 a	1,08 a
2	2,82 a	1,11 a
5	2,40 a	1,05 a
F=	0,68	0,58
Όξινο		
0	4,54 a	1,77 b
1	6,35 a	2,35 a
2	5,60 a	2,53 a
5	5,66 a	2,70 a
F=	1,40	4,77*

Ίδια γράμματα στην ίδια στήλη δηλώνουν μη στατιστικά σημαντική διαφορά, σύμφωνα με το Duncan's test σύγκρισης μέσων όρων σε επίπεδο σημαντικότητας $P \leq 0,05$.

3.2.3 Επίδραση Cd στο νωπό και ξηρό βάρος των ριζών των φυτών *H. empetrifolium* subsp. *empetrifolium*

Από τον Πίνακα 3.2.3 φαίνεται ότι το νωπό βάρος των ριζών των φυτών *H. empetrifolium* που αναπτύχθηκαν σε όξινο υπόστρωμα και δέχτηκαν επεμβάσεις με 5 mg Cd L⁻¹ παρουσίασε στατιστικά σημαντική διαφορά από το νωπό βάρος των ριζών των φυτών – μάρτυρες, ενώ το νωπό βάρος των ριζών στο ουδέτερο υπόστρωμα ανάπτυξης δεν επηρεάστηκε από τις επεμβάσεις με Cd.

Στον ίδιο πίνακα φαίνεται ότι το ξηρό βάρος των ριζών των φυτών που αναπτύχθηκαν σε ουδέτερο υπόστρωμα εμφάνισε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των επεμβάσεων με 1 και 5 mg Cd L⁻¹. Επίσης, το ξηρό βάρος των ριζών των φυτών που αναπτύχθηκαν σε όξινο υπόστρωμα σημείωσε αύξηση με προσθήκη 2 mg Cd L⁻¹ και πάνω και παρουσίασε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των φυτών που δέχτηκαν μεταχειρίσεις με 5 mg Cd L⁻¹ και των φυτών - μάρτυρες .

Πίνακας 3.2.3 Επίδραση Cd στο νωπό (N.B.) και ξηρό βάρος (Ξ.Β.) των ριζών των φυτών *H. empetrifolium* subsp. *empetrifolium* τα οποία δέχτηκαν αυξανόμενες επεμβάσεις με Cd και αναπτύχθηκαν σε ουδέτερο και όξινο υπόστρωμα

Επέμβαση Cd (mg L ⁻¹)	N.B. (g)	Ξ.Β. (g)
Ουδέτερο		
0	1,52 a	0,28 ab
1	1,51 a	0,26 b
2	1,52 a	0,32 ab
5	1,26 a	0,35 a
F=	0,34	2,68
Όξινο		
0	1,07 b	0,28 b
1	1,51 ab	0,28 b
2	1,32 ab	0,29 b
5	1,26 a	0,40 a
F=	1,91	5,80*

Ίδια γράμματα στην ίδια στήλη δηλώνουν μη στατιστικά σημαντική διαφορά, σύμφωνα με το Duncan's test σύγκρισης μέσων όρων σε επίπεδο σημαντικότητας $P \leq 0,05$.

3.2.4 Επίδραση Cd στη συγκέντρωσή του στα υπέργεια τμήματα, τις ρίζες και ολόκληρα τα φυτά *H. empetrifolium* subsp. *empetrifolium*

Στον Πίνακα 3.2.4 φαίνεται ότι η συγκέντρωση Cd στα υπέργεια τμήματα των φυτών που αναπτύχθηκαν σε ουδέτερο υπόστρωμα, εμφάνισε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των μεταχειρίσεων με συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 2 mg Cd L⁻¹ και των μεταχειρίσεων με 0 και 1 mg Cd L⁻¹. Η συγκέντρωση Cd στα υπέργεια τμήματα των φυτών που αναπτύχθηκαν σε όξινο υπόστρωμα αυξήθηκε σημαντικά με τις μεταχειρίσεις με Cd και παρουσίασε στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων με 0, 1 και 5 mg Cd L⁻¹.

Η συγκέντρωση στις ρίζες των φυτών αυξήθηκε με τις αυξανόμενες επεμβάσεις με Cd στο ουδέτερο υπόστρωμα ανάπτυξης και παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά στις ρίζες των φυτών που δέχτηκαν επεμβάσεις με 5 mg Cd L⁻¹ σε σχέση με τη συγκέντρωση στις ρίζες των φυτών που δέχτηκαν τις υπόλοιπες επεμβάσεις. Στο όξινο υπόστρωμα ανάπτυξης επίσης αυξήθηκε η συγκέντρωση Cd στις ρίζες με τις αυξανόμενες επεμβάσεις με Cd, ενώ παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά στις ρίζες των φυτών που δέχτηκαν επεμβάσεις με 5 mg Cd L⁻¹ σε σχέση με τα φυτά – μάρτυρες και τα φυτά που δέχτηκαν 1 mg Cd L⁻¹ (Πίνακας 3.2.4).

Γενικά, με την προσθήκη αυξανόμενης συγκέντρωσης Cd, αυξήθηκε η ολική συγκέντρωση Cd στα φυτά του υπέρικου, γεγονός που αναφέρουν και οι Akoumianakis και συνεργάτες (2008) για το αντίδι και τη ρόκα, οι Moreno-Caselles και συνεργάτες (2008) για το αγγούρι και ο John (1973) για το σπανάκι, το καρότο, το ραπανάκι, τον αρακά τη βρώμη και 3 είδη *Brassica*. Τα υπέργεια τμήματα και οι ρίζες των φυτών φάνηκε να συγκεντρώνουν μεγαλύτερες ποσότητες Cd σε όξινο υπόστρωμα (Πίνακας 3.2.4).

Στον ίδιο Πίνακα φαίνεται ότι οι ρίζες του φυτού απορρόφησαν αρκετά μεγαλύτερες ποσότητες Cd σε σχέση με τα υπέργεια τμήματα και στα δύο υποστρώματα ανάπτυξης. Οι Benavides και συνεργάτες, (2005) αναφέρουν ότι ανεξαρτήτως της κινητικότητας των μεταλλικών ιόντων στα φυτά, η συγκέντρωση αυτών είναι κατά κανόνα μεγαλύτερη στις ρίζες σε σχέση με τα υπέργεια τμήματα. Τα ποσοστά της συγκέντρωσης Cd στις ρίζες των φυτών που αναπτύχθηκαν στο ουδέτερο υπόστρωμα ήταν 74,18%, 82,57%, 68,05% και 77,79% της ολικής συγκέντρωσης Cd στα φυτά, για τις επεμβάσεις 0, 1, 2 και 5 mg Cd L⁻¹ αντίστοιχα,

ενώ στις ρίζες των φυτών που αναπτύχθηκαν σε όξινο υπόστρωμα τα ποσοστά ήταν 63,62%, 66,36%, 69,29% και 73,42% της ολικής συγκέντρωσης Cd αντίστοιχα.

Πίνακας 3.2.4 Συγκέντρωση Cd από τα υπέργεια τμήματα, τις ρίζες και από ολόκληρα τα φυτά *H. empetrifolium subsp. empetrifolium* στις αυξανόμενες επεμβάσεις με Cd σε ουδέτερο και όξινο υπόστρωμα ανάπτυξης

Επέμβαση Cd (mg L ⁻¹)	Συγκέντρωση Cd Υπέργειο (mg kg ⁻¹)	Συγκέντρωση Cd Ρίζες (mg kg ⁻¹)	Συγκέντρωση Cd/ φυτό (mg kg ⁻¹)
Ουδέτερο			
0	3,00 b	8,62 b	11,62 c
1	3,00 b	14,21 b	17,21 bc
2	6,33 a	13,48 b	19,81 b
5	6,66 a	23,32 a	29,98 a
F=	5,31*	7,01*	8,31*
Όξινο			
0	6,33 b	11,07 c	17,40 b
1	8,33 ab	16,43 bc	24,76 b
2	10,00 a	22,56 ab	32,56 a
5	9,67 a	26,71 a	36,38 a
F=	5,73*	8,35*	11,30*

Ίδια γράμματα στην ίδια στήλη δηλώνουν μη στατιστικά σημαντική διαφορά, σύμφωνα με το Duncan's test σύγκρισης μέσων όρων σε επίπεδο σημαντικότητας $P \leq 0,05$.

3.2.5 Επίδραση Cd στην ποσότητα του ανταλλάξιμου Cd με DTPA, σε ουδέτερο και σε όξινο υπόστρωμα ανάπτυξης φυτών *H. empetrifolium* subsp. *empetrifolium* στις αυξανόμενες επεμβάσεις με Cd

Στον Πίνακα 3.2.5 φαίνεται ότι το ανταλλάξιμο Cd με DTPA από το ουδέτερο και το όξινο υπόστρωμα αυξήθηκε με την αύξηση του προστιθέμενου Cd, σημείωσε όμως μεγαλύτερες τιμές στο όξινο υπόστρωμα. Επίσης το ανταλλάξιμο Cd με DTPA παρουσίασε στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των διαφορετικών επεμβάσεων με Cd και στα δύο υποστρώματα ανάπτυξης.

Πίνακας 3.2.5 Ανταλλάξιμο Cd με DTPA στο ουδέτερο και στο όξινο υπόστρωμα ανάπτυξης των φυτών *H. empetrifolium* subsp. *empetrifolium* στις αυξανόμενες επεμβάσεις με Cd

Επέμβαση Cd (mg L ⁻¹)	Ανταλλάξιμο Cd με DTPA (mg kg ⁻¹)
Ουδέτερο	
0	0,42 d
1	1,38 c
2	2,86 b
5	8,21 a
F=	169,20*
Όξινο	
0	0,00 d
1	1,79 c
2	3,21 b
5	9,54 a
F=	196,30*

Ίδια γράμματα στην ίδια στήλη δηλώνουν μη στατιστικά σημαντική διαφορά, σύμφωνα με το Duncan's test σύγκρισης μέσων όρων σε επίπεδο σημαντικότητας $P \leq 0,05$.

4. Συμπεράσματα

Συνοψίζοντας, τα αποτελέσματα των μετρήσεων και των αναλύσεων για την *Echinacea purpurea* είναι τα εξής:

Το ύψος των φυτών δεν επηρεάστηκε ιδιαίτερα από τις αυξανόμενες επεμβάσεις με Cd. Τα φυτά που αναπτύχθηκαν σε όξινο υπόστρωμα, παρουσίασαν μεγαλύτερες μεταβολές ύψους σε σχέση με τα φυτά που αναπτύχθηκαν σε ουδέτερο υπόστρωμα.

Η προσθήκη Cd σε συγκέντρωση 5 mg Cd L^{-1} στο όξινο υπόστρωμα ανάπτυξης αύξησε σημαντικά το ξηρό βάρος των υπεργείων τμημάτων σε σχέση με τις μεταχειρίσεις μικρότερων συγκεντρώσεων, ενώ οι αυξανόμενες μεταχειρίσεις με Cd δεν επηρέασαν το νωπό και ξηρό βάρος των φυτών στις υπόλοιπες περιπτώσεις. Οι μεταχειρίσεις συγκέντρωσης μεγαλύτερης του 1 mg Cd L^{-1} αύξησαν σημαντικά τη συγκέντρωση Cd στο υπέργειο τμήμα του φυτού, ενώ στη ρίζα παρατηρήθηκε σημαντική αύξηση της συγκέντρωσης Cd στην μεταχείριση των 5 mg Cd L^{-1} . Στο ουδέτερο υπόστρωμα, η συγκέντρωση Cd στο υπέργειο τμήμα του φυτού αυξήθηκε σημαντικά στην μεταχείριση με 5 mg Cd L^{-1} , ενώ η συγκέντρωση Cd στη ρίζα αυξήθηκε με την προσθήκη Cd συγκέντρωσης μεγαλύτερης του 2 mg Cd L^{-1} και παρατηρήθηκε σημαντική διαφορά από το μάρτυρα.

Η συγκέντρωση Cd αυξήθηκε με τις αυξανόμενες επεμβάσεις με Cd τόσο στα υπέργεια τμήματα όσο και στις ρίζες, αν και οι ρίζες απορρόφησαν αρκετά μεγαλύτερες ποσότητες Cd σε σχέση με τα υπέργεια μέρη των φυτών και στα δύο είδη υποστρωμάτων, ενώ η ολική συγκέντρωση ήταν μεγαλύτερη στο όξινο υπόστρωμα ανάπτυξης.

Το ανταλλάξιμο Cd με DTPA από το ουδέτερο και το όξινο υπόστρωμα αυξήθηκε με την αύξηση του προστιθέμενου Cd, σημείωσε όμως μεγαλύτερες τιμές στο όξινο υπόστρωμα.

Συνοψίζοντας, τα αποτελέσματα των μετρήσεων και των αναλύσεων για το *Hypericum empetrifolium subsp. empetrifolium* είναι τα εξής:

Το ύψος των φυτών δεν επηρεάστηκε από τις αυξανόμενες επεμβάσεις με Cd, τα φυτά όμως που αναπτύχθηκαν σε όξινο υπόστρωμα, παρουσίασαν μεγαλύτερες μεταβολές ύψους.

Στο ουδέτερο υπόστρωμα ανάπτυξης παρατηρήθηκε αύξηση του ξηρού βάρους της ρίζας σε μεταχειρίσεις συγκέντρωσης μεγαλύτερης του 1 mg Cd L^{-1} . Στο

όξινο υπόστρωμα ανάπτυξης, η προσθήκη Cd σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες των 2 mg Cd L⁻¹ αύξησε το ξηρό βάρος ρίζας. Η συγκέντρωση Cd στο υπέργειο τμήμα του φυτού αυξήθηκε με την αύξηση της προσθήκης Cd, ενώ στη ρίζα παρατηρήθηκε σημαντική διαφορά στη συγκέντρωση Cd μεταξύ του μάρτυρα και της μεταχείρισης των 5 mg Cd L⁻¹. Η ολική συγκέντρωση του Cd στα φυτά αυξήθηκε με τις αυξανόμενες επεμβάσεις με Cd και στα δύο υποστρώματα ανάπτυξης, ενώ στο όξινο σημείωσε μεγαλύτερες τιμές.

Το ανταλλάξιμο Cd με DTPA από το ουδέτερο και το όξινο υπόστρωμα αυξήθηκε με την αύξηση του προστιθέμενου Cd, σημείωσε όμως μεγαλύτερες τιμές στο όξινο υπόστρωμα

Μορφολογικά συμπτώματα τοξικότητας ή τροφοπενιών, καθώς και μεταβολές ή δυσλειτουργίες στην ανάπτυξη των *E. purpurea* και *H. empetrifolium* subsp. *empetrifolium*, δεν παρατηρήθηκαν στις διάφορες μεταχειρίσεις με Cd στα φυτά, σε κανένα από τα δύο υποστρώματα.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Πίνακας 1. Μέσοι όροι του ύψους των φυτών *E. purpurea* που δέχτηκαν αυξανόμενες επεμβάσεις με Cd και αναπτύχθηκαν σε ουδέτερο και σε όξινο υπόστρωμα από την έναρξη μέχρι τη λήξη αυτών

Υπόστρωμα	Επέμβαση Cd (mg L ⁻¹)	0 ημέρες (cm)	15 ημέρες (cm)	30 ημέρες (cm)	45 μέρες (cm)
Όξινο	0	10,00	18,38	26,87	29,25
	1	8,68	15,85	25,26	28,56
	2	10,21	13,53	19,55	27,18
	5	10,78	16,90	22,88	25,57
Ουδέτερο	0	7,3	11,98	18,45	23,37
	1	8,21	11,37	15,52	20,02
	2	9,93	12,40	17,05	21,02
	5	9,83	11,75	12,18	16,62

Ίδια γράμματα στην ίδια στήλη δηλώνουν μη στατιστικά σημαντική διαφορά, σύμφωνα με το Duncan's test σύγκρισης μέσω όρων σε επίπεδο σημαντικότητας $P \leq 0,05$.

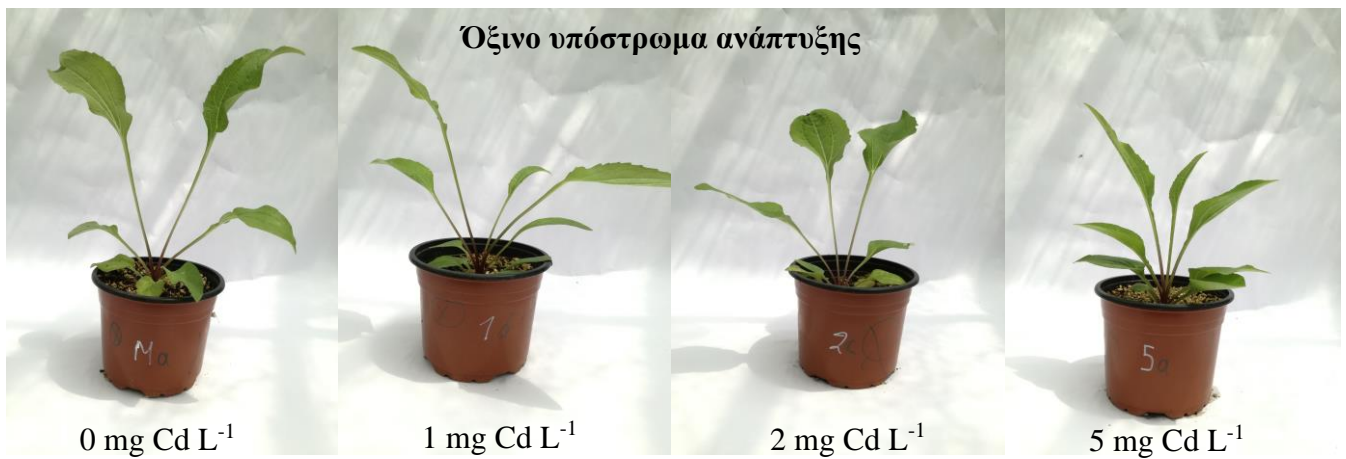
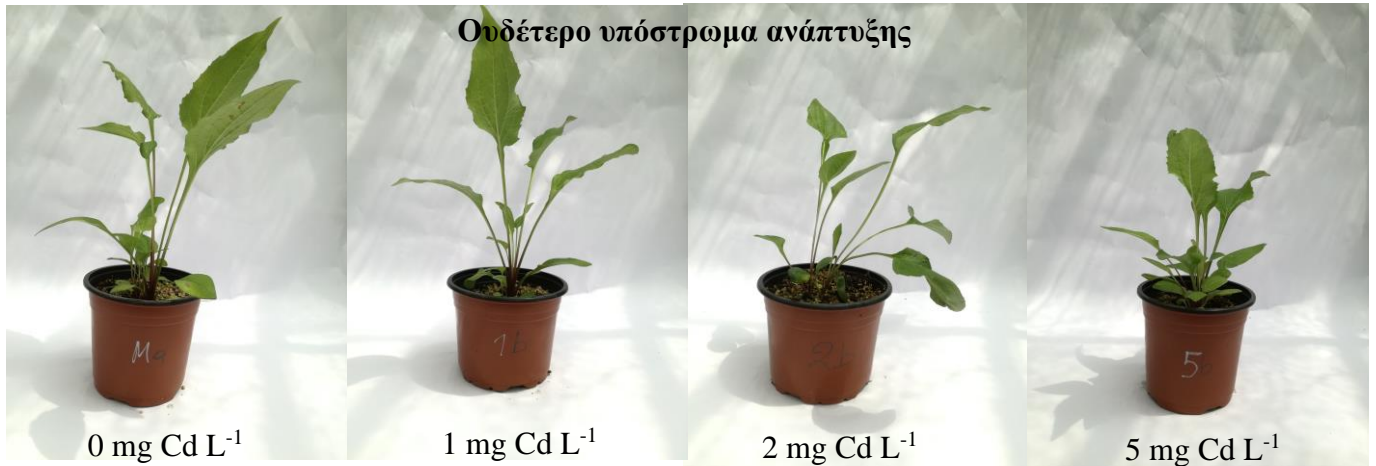
Πίνακας 2. Μέσοι όροι του ύψους των φυτών *H. empetrifolium* subsp. *empetrifolium* που δέχτηκαν αυξανόμενες επεμβάσεις με Cd και αναπτύχθηκαν σε ουδέτερο και σε όξινο υπόστρωμα από την έναρξη μέχρι τη λήξη αυτών

Υπόστρωμα	Επέμβαση Cd (mg L ⁻¹)	0 ημέρες (cm)	15 ημέρες (cm)	30 ημέρες (cm)	45 μέρες (cm)
Όξινο	0	29,90	37,13	41,77	43,03
	1	28,00	35,30	42,60	43,77
	2	28,48b	34,12	38,07	38,77
	5	25,95	31,87	38,15	39,63
Ουδέτερο	0	23,20	25,53	29,01	31,85
	1	26,43	30,42	35,02	37,55
	2	25,38	28,52	32,48	34,85
	5	23,97	26,87	30,10	31,25

Ίδια γράμματα στην ίδια στήλη δηλώνουν μη στατιστικά σημαντική διαφορά, σύμφωνα με το Duncan's test σύγκρισης μέσω όρων σε επίπεδο σημαντικότητας $P \leq 0,05$.

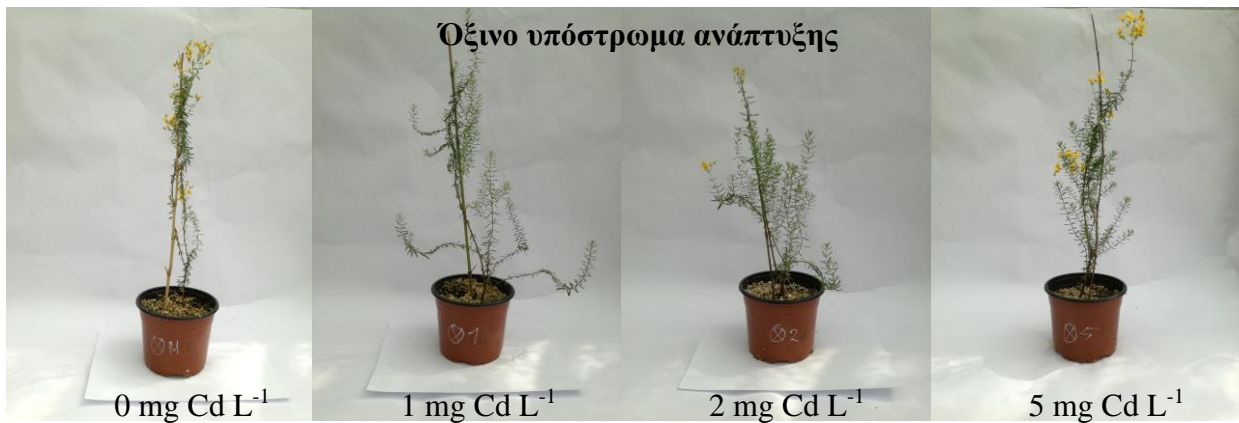
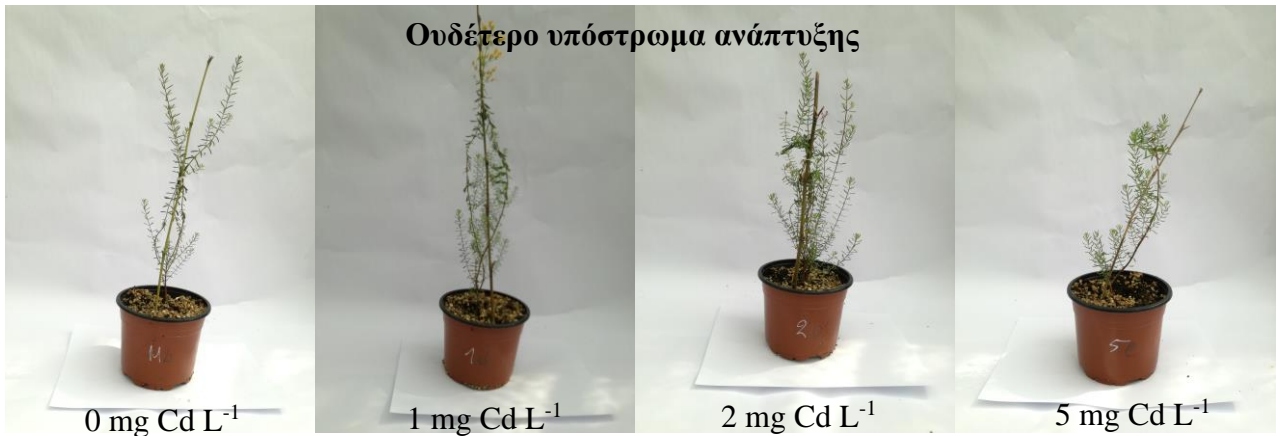
Τεύχος φωτογραφιών

Echinacea purpurea



Φυτά *E. purpurea* που αναπτύχθηκαν σε ουδέτερο (επάνω) και όξινο υπόστρωμα (κάτω) και δέχτηκαν αυξανόμενες επεμβάσεις με Cd, 45 ημέρες μετά την έναρξη των επεμβάσεων (ημέρα καταστροφικού πειράματος)

Hypericum empetrifolium subsp. *empetrifolium*



Φυτά *H. empetrifolium* subsp. *empetrifolium* που αναπτύχθηκαν σε ουδέτερο (επάνω) και όξινο υπόστρωμα (κάτω) και δέχτηκαν αυξανόμενες επεμβάσεις με Cd, 45 ημέρες μετά την έναρξη των επεμβάσεων (ημέρα καταστροφικού πειράματος)

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Διεθνής

- Akoumianaki-Ioannidou A., Gerasimidou E., Salta A., Roussis I. and Bilalis D., 2019. Sexual and Vegetative propagation of *Hypericum empetrifolium* Willd. subsp. *empetrifolium*. Not Bot Horti Agrobi, 47(2):282-287
- Akoumianakis K.A., Passam H.C., Barouchas P.E. and Moustakas N.K., 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 and Environment, Vol. 6 (3 & 4): 206-209
- Alloway B.J., 2013. Heavy metals in soils. Environmental Pollution Series (Book 22), Springer; 3rd edition, pp 614
- Alloway, B. J. 1995. Soil processes and the behaviour of heavy metals. In Heavy Metals in Soils, 2nd Ed.; B.J. Alloway. Eds. Blackie Academic and Professional. London. England. Pp.11-38.
- Alloway B.J., Thornton I., Smart G.A., Sherlock J.C. and Quinn M.J., 1988. Metal Availability. Special edition dedicated to the Shipham Study. Eds. D Sims and H Morgan. Sci. Total Environ. 75, 41–68.
- Appenroth K-J. 2010. Definition of “Heavy Metals” and their role in biological systems. In: Sherameti A., Verma A. (eds) Soil heavy metals. Springer, Berlin, pp 19–29
- Astolfi S., Zuchi S. and Passera C. 2005. Effect of cadmium on H⁺ATPase activity of plasma membrane vesicles isolated from roots of different S-supplied maize (*Zea mays* L.) plants. Plant Science 169: 361–368.
- Azevedo R.A., Gratão P.L., Monteiro C.C. and Carvalho R.F. 2012. What is new in the research on cadmium-induced stress in plants?. Food and Energy Security 1(2):133-140
- Barett B., 2003. Medicinal properties of *Echinacea*: A critical review. Phytomedicine, 10:66-68
- Barnes J., Anderson L.A., Gibbons S. and Phillipson D.J., 2005. Echinacea species (*E. angustifolia* (DC) Hell., *E. pallida* (Nutt.) Nutt., *E. purpurea* (L.) Moench): A review of their chemistry, pharmacology and clinical properties. Journal of Pharmacy and Pharmacology, 57: 929-954
- Baskin C.C., Baskin J.M. and Hoffman F.R., 1992. Seed dormancy in the prairie for *E. angustifolia* var. *angustifolia* (*Asteraceae*): After ripening pattern during cold stratification. Intl. J. Plant Sci. 153:239-243
- Benavides M.P., Gallego S.M. and Tomaro M.L., 2005. Cadmium toxicity in plants. Braz. J. Plant Physiol. Vol 17, No 1

- Bone K., 1997. *Echinacea*: What makes it work? *Alternative Medicine Review*, Vol 2, No 2:87-93
- Chang Y.C., Zouari M., Gogorcena Y., Lucena J.J. and Abadia J., 2003. Effects of cadmium and lead on ferric chelate reductase activities in sugar beet roots. *Plant Physiology and Biochemistry* Volume 41, Issues 11–12, pp 999-1005
- Christensen, Y.K.L., 2013. Metals in blood and urine, and thyroid function among adults in the United States 2007-2008. *Int. J. Hyg. Environ. Health* 216, 624-632.
- Crockett S.L. and Robson N.K., 2011. Taxonomy and Chemotaxonomy of the genus *Hypericum*. *Med. Arom. Plant Biotech.* 5 (special Issue 1):1-13
- Das P., Samantaray S. & Rout G.R., 1997. Studies on cadmium toxicity in plants: A review. *Environmental Pollution* 98: 29–36.
- De Souza Costa T.E., Guimarães L.R., Guilherme L.R., De Melo E.C., Ribeiro B.T., Dos Santos E.B., Da Costa E.S., Faquin V., and Hale B.A., 2011. Assessing the Tolerance of Castor Bean to Cd and Pb for Phytoremediation Purposes. *Biological Trace Element Research*, Vol. 145, Issue 1, pp 93-100
- Dirr M.A. and Heuser C.W., 1990. *The reference manual of woody plant propagation: From seed to tissue culture: A practical working guide to the propagation of over 1100 species, varieties, and cultivars.* Athens, GA: Varsity Press, U.S.
- Duffus J.H. 2002. “Heavy metal” – a meaningless term? *Pure Appl Chem* 74:793–807
- Ernst E., 2003. *Hypericum: The genus Hypericum*, Taylor and Francis, London UK, p 256
- Finnerty T. and Zajicek J.M., 1992. Effects of seed priming on plug production of *Coreopsis lanceolata* and *Echinacea purpurea*. *J. Envir. Hort.* 10:129-132
- Fusco, N., L. Micheletto, G. Dal Corso, L. Borgato, and A. Furini. 2005. Identification of cadmium-regulated genes by cDNA-AFLP in the heavy metal accumulator *Brassica juncea* L. *J. Exp. Bot.* 56:3017–3027.
- Garcia-Miragaya J. and Page A.L., 1976. Influence of Ionic Strength and Inorganic Complex Formation on the Sorption of Trace Amounts of Cd by Montmorillonite. *SSSAJ* Vol. 40 No. 5, p. 658-663
- Gardea-Torresdey J.L. Peralta-Videa J.R., de la Rosa G. and Parsons J.G., 2005. Phytoremediation of heavy metals and study of the metal coordination by X-ray adsorption spectroscopy. *Coord. Chem. Rev.* 249, 1797-1810.
- Ghosh M. and Singh S.P., 2005. A Review on Phytoremediation of Heavy Metals and Utilization of It's by Products. *As. J. Energy Env.* 2005, 6(04), 214-231
- Godt J., Scheidig F., Grosse-Siestrup C., Esche V., Brandenburg P., Reich A. and Groneberg D.A.. 2006. The toxicity of Cadmium and resulting hazards for human health. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*, 1:22

- Gratão, P. L., C. C. Monteiro, R. F. Carvalho, T. Tezotto, F. A. Piotto, L. E. P. Peres, et al. 2012. Biochemical dissection of diageotropica and Never ripe tomato mutants to Cd stressful conditions. *Plant Physiol. Biochem.* 56:79–96.
- Hajagha R.I., Kirici S., Tabrizi L., Asgarzadeh A. and Hamidi A., 2017. Evaluation of Growth and Yield of Purple Coneflower (*Echinacea purpurea* L.) in Response to Biological and Chemical Fertilizers. *Journal of Agricultural Science*, Vol 9, No 3
- Hobbs C., 1994. *Echinacea*: A Literature review; Botany, History, Chemistry, Pharmacology, Toxicology and Clinical uses. *Herbal Gram*, Issue 30, pp 33
<http://researchdirect.uws.edu.au/islandora/object/uws%3A6398/datastream/PDF/view>
- Jarup, L., 2003. Hazards of heavy metal contamination. *Br. Med. Bull.* 68, 167e182.
- John M.K., 1973. Cadmium Uptake by eight Food Crops as Influenced by Various Soil Levels of Cadmium. *Environmental Pollution*, Vol. 4, Issue 1, pp 7-15
- Kabata-Pendias A. and Pendias, H., 1992. *Trace Elements in Soils and Plants*, CRC Press, Baton Raton, FL. p. 365.
- Kaulbars A., Kaulbars C. and King C., 2005. *Commercial Echinacea production*. Edmonton: Alberta Agriculture, Food and Rular Development, Information Packaging Center
- Kindscher K. and Riggs M., 2016. *Echinacea: Herbal Medicine with a Wild History*. Springer International Publishing, Switzerland, pp 235
- Kindscher K., 1989. Ethnobotany of purple coneflower (*Echinacea angustifolia*, *Asteraceae*) and other *Echinacea* species. *Economic Botany*, Vol. 43, issue 4, pp498-507
- Krantev A, Popova L., Yordanova R, Janda T. and Szalai G., 2008. Treatment with salicylic acid decreases the effect of cadmium on photosynthesis in maize plants. *Journal of Plant Physiology* 165: 920–931
- Lagriffoul A., Mocquot B., Mench M. and Vangronsveld J. 1998. Cadmium toxicity effects on growth, mineral and chlorophyll contents and activities of stress related enzymes in young maize plants (*Zea mays* L.) *Plant & Soil*, Vol 200, Issue 2 pp 241-250
- Lakshmanan P., Danesh M. and Taji A., 2002. Production of commercially cultivated *Echinacea* species by different methods of in vitro regeneration. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 77:2, pp 158-163
- Lasat M.M., 2000. The use of plants for the removal of toxic metals form contaminated soil. Prepared for US Environmental Protection Agency, <http://www.clu-in.org/download/remed/lasat.pdf>.
- Lee K., Bae D.W., Kim S.H., Han H.J., Liu X., Park H.C., Lim C.O., Lee S.Y. & Chung W.S. 2010. Comparative proteomic analysis of the short-term responses of rice roots and leaves to cadmium. *Journal of Plant Physiology* 167: 161–168.

- Letchamo W., Polydeonny L.V., Gladisheva N.O., Arnason T.J., Livesey J. and Awang D.V.C., 2002. Factors affecting *Echinacea* quality. In: J. Janick and A. Whipkey (eds.), Trends in new crops and new uses, pp 514-521. ASHS Press, Alexandria, VA
- Li T.S.C, 1998. *Echinacea*: Cultivation and Medicinal Value. Hort. Technology, 8: (2)
- Mc Keown K.A., 1999. A review of taxonomy of the genus *Echinacea*. In J. Janick (ed.), Perspectives on New Crops and New Uses, pp 482-490. Purdue University, USA
- McGrath S.P., Zhao F.J. and Lombi E., 2001. Plant and rhizosphere processes involved in phytoremediation of metal-contaminated soils. Plant and Soil Volume 232, Issue 1–2, pp 207–214
- Metwally A., Safronova V.I., Belimov A.A .& Dietz K.J., 2005. Genotypic variation of the response to cadmium toxicity in *Pisum sativum* L. Journal of Experimental Botany 56: 167–178.
- Moustakas N.K., Akoumianaki-Ioannidou A. and Barouchas P.E., 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): 277-282
- Moreno-Caselles J., Moral R., Perez-Espinosa A. and Perez-Murcia M.D., 2008. Cadmium accumulation and distribution in cucumber plant. Journal of Plant Nutrition, Vol. 23, Issue 2, pp 243-250
- Mulligan, C.N., Yong, R.N., Gibbs, B.F., 2001. Remediation technologies for metalcontaminated soils and groundwater: an evaluation. Eng. Geol. 60, 193-207.
- Nazar R., Iqbal N., Masood A., Iqbal M., Khan R., Syeed S., Khan N., 2012. Cadmium Toxicity in Plants and Role of Mineral Nutrients in Its Alleviation. American Journal of Plant Sciences 3:1476-1489
- Olivier A., Price J., Li T.S.C. and Gunner A., 1995. *Echinacea*: Purple coneflower. B.C. Min. Agr. Fisheries Food Specialty Crops Infosheet
- Pickering D.F., 1982. Extraction of copper, lead, zinc or cadmium ions sorbed on calcium carbonate. Water, Air and Soil Pollution Volume 20, Issue 3, pp 299–309
- Prasad M.N.V., 1995. Cadmium toxicity and tolerance in vascular plants. Environmental and Experimental Botany 35: 525–545.
- Rascio N., Dalla Vecchia ., La Rocca N., Barbato R., Pagliano C., Raviolo M., Gonnelli C. and Gabbrielli R., 2008. Metal accumulation and damage in rice (cv. Vialone nano) seedlings exposed to cadmium. Environmental and Experimental Botany 62: 267–278
- 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

- Samfield D.M., Zajicek J.M. and Cobb B.G., 1991. Rate and uniformity of herbaceous perennial seed germination and emergence as affected by priming. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 116:10-13
- Satarug, S., Baker, J.R., Urbenjapol, S., Haswell-Elkins, M., Reilly, P.E., Williams, D.J., Moore, M.R., 2003. A global perspective on cadmium pollution and toxicity in non-occupationally exposed population. *Toxicol. Lett.* 137, 65-83
- Satarug, S., Vesey, D.A., Gobe, G.C., 2017. Kidney cadmium toxicity, diabetes and high blood Pressure: the perfect storm. *Tohoku J. Exp. Med.* 241, 65-87
- Seth C.S., Mirsa V., Chauhan L.K.S. and Singh R.R., 2008. Genotoxicity of Cadmium on root meristem cells of *Allium cepa*: cytogenic assay approach. *Ecotoxicology and Environmental Safety* Volume 71, Issue 3, pp 711-716
- Shacklette H.T., 1972. Cadmium in plants. Geological Survey Bulletin 1314-G, United States Government Printing Office
- Shalaby A.S., El-Genhaihi S.E., El-Khayat A.S. and Hendawy S.F., 1997. Growth and Yield of *Echinacea purpurea* L. as Influenced by Planting Density and Fertilization. *Journal of Herbs, Spices and Medicinal Plants*, 5:1, pp 69-76
- Shalaby M., Omran M., Raslan M., 1996. "Heavy metals and seed germination in some medicinal and aromatic plants" *Egyptian Journal of Soil Science*, 36, 133-43
- Shing S., Parihar P., Shing R., Shing V.P. and Prasad S.M., 2016. Heavy Metal Tolerance in Plants: Role of Transcriptomics, Proteomics, Metabolomics and Ionomics. *Front. Plant Sci.* 6:13
- Siddiqui S., Meghvansi M., Wani M. & Jabee F., 2009. Evaluating cadmium toxicity in the root meristem of *Pisum sativum* L. *Acta Physiologiae Plantarum* 31: 531–536
- Tran T.A. and Popova L.P., 2012. Functions and toxicity of cadmium in plants: recent advances and future prospects. *Turkish Journal of Botany* 37:1-13
- Walker D.J., Clemente R., Roig A. and Bernal M.P., 2003. The effects of soil amendments on heavy metal bioavailability in two contaminated Mediterranean soils. *Environ. Pollut.* 122, 303-312.
- Wild A. 1995. *Soils and the Environment*. Cambridge University Press
- Yadav S.K., 2010. Heavy metals toxicity in plants: An overview on the role of glutathione and phytochelatins in heavy metal stress tolerance of plants. *South African Journal of Botany* 76: 167–179

Ελληνική

Κουϊμτζής, Θ., Φυτιάνος, Κ., Σαμαρά-Κωνσταντινίδου, Κ., 1998. Χημεία Περιβάλλοντος. 1η έκδοση, University Studio Press, Θεσσαλονίκη

Μήτσιος Ι. 2004. Γονιμότητα Εδαφών Θρεπτικά στοιχεία φυτών: Μακροθρεπτικά, μικροθρεπτικά και βαρέα μέταλλα. Μέθοδοι και εφαρμογές. Zymel, Αθήνα

Πυλαρά Α., Καρατζά Ε. και Ιατρού Γ., 2007. Το γένος *Hypericum* L. Στην Ελλάδα. Πρακτικά διημερίδας της Ελληνικής Εταιρείας Εθνοφαρμακολογίας, Όλυμπος, Λιτόχωρο

Τέζιας Σ., 2007. Τα είδη του γένους *Hypericum*. Πρακτικά διημερίδας της Ελληνικής Εταιρείας Εθνοφαρμακολογίας, Όλυμπος, Λιτόχωρο

Διαδικτυακές πηγές

World Health Organisation 1993. “Codex Alimentarius”

World Health Organisation 2001. “Codex Alimentarius Commission”
http://etheses.dur.ac.uk/3970/1/3970_1486.pdf?UkUDh:CyT

www.wikipedia.com

ΦΕΚ641/7.8.1991. http://www.elinyae.gr/el/lib_file_upload/641b91.114983781640_0.pdf.