

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ (Τ.Ε.Ι.) ΜΕΣΟΛΟΓΓΙΟΥ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ  
ΓΡΗΜΙΑ ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ & ΥΛΑΤΙΝΩΝ ΠΟΡΩΝ

Τ.Ε.Ι. ΜΕΣΟΛΟΓΓΙΟΥ  
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ  
Αριθ. Εισαγωγής

## ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Θέμα: Προσροφή καθόλου υπό συνθήκες υψηλής αλατινότητας  
σε φυτό ροκάς



Σπουδαστές: Καρακούστα Παντελής  
Σκέφα Παρασκευή

Εισηγητής: Δρ. Μπαρούλιας Π.  
Κουλιόπουλος Δθ.

Φεβρουάριος 2006

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά όλους εκείνους που συνέβαλαν ώστε να ολοκληρωθεί η εργασία μας.

Πρώτιστα, ευχαριστούμε τους Καθηγητές και εισηγητές της εργασίας μας, Δρ. Μπαρούχα Παντελή και Κουλόπουλο Θανάση για την καθοδήγηση που μας προσέφεραν καθ' όλη τη διάρκεια, τόσο του πειράματος, όσο και της σύνταξης του βιβλίου αυτού.

Επίσης, το Τμήμα Γεωργικής Μηχανολογίας και Υδάτινων Πόρων του Τ.Ε.Ι. Μεσολογγίου που μας διέθεσε τον απαραίτητο εξοπλισμό κι εξασφάλισε τα χρήματα για την απόκτηση των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν στο πείραμα. Ακόμα, ευχαριστούμε το Τμήμα Θερμοκηπιακών Καλλιεργειών και Ανθοκομίας του Τ.Ε.Ι. Μεσολογγίου που μας παραχώρησε χώρο στο θερμοκήπιο για την πραγματοποίηση του πειράματος και το Τμήμα Ανθοκομίας και Αρχιτεκτονικής Τοπίου του Τ.Ε.Ι. Ηλείου στην Άρτα που μας διέθεσε χώρο και εξοπλισμό του για την ανάλυση των δειγμάτων.

Τέλος, ευχαριστούμε τις οικογένειές μας για την υποστήριξή τους και τους φίλους μας Γιάννη Γιαννίκο, Κατερίνα Βουδαντά, Σπύρο Τσαντέ, Αθανασία Γονή και Μαρία Κανίνη για την πολύτιμη βοήθειά τους κατά την πειραματική διαδικασία, τη συλλογή βιβλιογραφίας και τη σύνταξη αυτού του βιβλίου.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. Εισαγωγή .....	1
2. Κάδμιο.....	3
2.1. Γενικά.....	3
2.2. Γεωχημική συμπεριφορά του καδμίου.....	4
2.3. Προέλευση του καδμίου στα εδάφη.....	5
2.3.1. Μητρικά υλικά του εδάφους.....	5
2.3.1.1. Συγκεντρώσεις καδμίου στο έδαφος.....	6
2.3.2. Υλικά που χρησιμοποιούνται στη γεωργία.....	9
2.3.2.1. Κοπριά από φάρμες εκτροφής ζώων (FYM).....	12
2.3.3. Ατμοσφαιρική ιζηματική απόθεση καδμίου.....	12
2.3.4. Λάσπες βιολογικών καθαρισμών.....	14
2.3.5. Άλλες πηγές καδμίου.....	17
2.3.6. Εισροές καδμίου στα εδάφη.....	17
2.4. Η χημική συμπεριφορά του καδμίου στα εδάφη.....	18
2.4.1. Διαφοροποίηση του καδμίου στο εδαφικό διάλυμα.....	18
2.4.2. Η προσρόφηση του καδμίου στα εδάφη.....	20
2.4.2.1. Ισόθερμες προσρόφησης.....	21
2.4.2.2. Επιδράσεις του pH.....	22
2.4.2.3. Επιδράσεις από τον ανταγωνισμό με άλλα μεταλλικά ιόντα	22
2.4.2.4. Η προσρόφηση σε ασβεστίτη.....	23
2.4.2.5. Επιπτώσεις των οργανικά συνδεδεμένων μορίων.....	23
2.4.2.6. Επιδράσεις σε χλωριούχα ιόντα.....	25
2.5. Σχέσεις εδάφους – φυτών.....	25
2.5.1. Παράγοντες του εδάφους που επηρεάζουν την πρόσληψη του καδμίου από τα φυτά.....	26
2.5.1.1. Η περιεκτικότητα του εδάφους σε κάδμιο.....	26
2.5.1.2. Το pH του εδάφους.....	27
2.5.1.3. Η απορροφητική ικανότητα των εδαφών.....	28
2.5.1.4. Συνθήκες οξειδοαναγωγής.....	30
2.5.1.5. Επιδράσεις άλλων στοιχείων στο έδαφος.....	31
2.5.2. Παράγοντες του φυτού που επηρεάζουν την πρόσληψη καδμίου από το έδαφος.....	32

2.5.2.1.	Γονότυπος του φυτού.....	32
2.5.2.2.	Κατανομή του καδμίου στα φυτά.....	33
2.6.	Εδάφη μολυσμένα με κάδμιο.....	33
2.6.1.	Ρύπανση από μεταλλοφόρα εξόρυξη και καμίνευση.....	34
2.6.2.	Μόλυνση του εδάφους από αυξημένη χρήση λασπών βιολογικών καθαρισμών.....	36
2.6.3.	Βελτίωση και αποκατάσταση των εδαφών που είναι μολυσμένα με κάδμιο.....	41
2.7.	Επιπτώσεις του καδμίου στον άνθρωπο.....	42
2.7.1.	Ταυτότητα, φυσικές και χημικές ιδιότητες και μέθοδοι ανάλυσης.....	42
2.7.2.	Πηγές ανθρώπινης και περιβαλλοντικής έκθεσης.....	43
2.7.3.	Επίπεδα στο περιβάλλον και έκθεση του ανθρώπου.....	43
2.8.	Συμπερασματικά σχόλια.....	44
3.	Αλατότητα.....	47
3.1.	Γενικά.....	47
3.2.	Αντιδράσεις των φυτών.....	47
3.3.	Επιλογή των μέτρων ελέγχου και διαχείρισης της αλατότητας.....	49
3.4.	Έλεγχος της τοξικότητας στα φυτά, της αλατότητας στη ζώνη των ριζών και της περιεκτικότητας σε νάτριο.....	50
3.4.1.	Η ανάπτυξη κατάλληλων καλλιεργειών, ανθεκτικών στην αλατότητα	51
3.4.2.	Ελαχιστοποίηση της συγκέντρωσης αλάτων στο εδαφικό στρώμα σποράς.....	51
3.4.3.	Εφαρμογή του νερού άρδευσης ομοιόμορφα και αποδοτικά.....	52
3.5.	Βασικές αντιδράσεις των φυτών στην αλατότητα.....	55
3.6.	Επίδραση της αλατότητας του νερού στο φύτερωμα των σπόρων.....	57
4.	Ρόκα.....	58
4.1.	Γενικά.....	58
4.2.	Παλαιότερο πείραμα πάνω στη ρόκα.....	59
4.2.1.	Γενικά.....	59
4.2.2.	Μεθοδολογία.....	61
4.2.2.1.	Καλλιεργητική περίοδος 1999.....	61
4.2.2.2.	Καλλιεργητική περίοδος 2000.....	61
4.2.2.3.	Καλλιεργητική περίοδος 2001.....	62

4.2.3. Περίοδος ανθοφορίας 2001.....	62
4.2.4. Αξιολόγηση των ποικιλιών καθυστερημένης ανθοφορίας στο χωράφι, το 2001.....	63
4.2.5. Αποτελέσματα.....	64
4.2.6. Συμπεράσματα.....	66
4.3. Γενετικές διαφοροποιήσεις στη ρόκα.....	67
4.4. Πρώτα αποτελέσματα υδροπονικών συστημάτων σε καλλιέργεια ρόκας.....	67
5. Διεθνής ερευνητική δραστηριότητα σε σχέση με το κάδμιο και την αλατότητα.....	68
6. Σκοπός του πειράματος, υλικά και μέθοδοι.....	85
6.1. Σκοπός του πειράματος.....	85
6.2. Υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για το πείραμα.....	85
6.3. Πειραματική διαδικασία.....	86
7. Αποτελέσματα – συζήτηση.....	96
7.1. Το μήκος των φυτών σε σχέση με το χρόνο.....	103
7.2. Μάζα των φυτών ανά μεταχείριση καδμίου και αλατότητας.....	104
7.2.1. Νωπή και ξηρή μάζα των βλαστών ανά μεταχείριση καδμίου και αλατότητας.....	104
7.2.2. Νωπή και ξηρή μάζα των ριζών ανά μεταχείριση καδμίου και αλατότητας.....	106
7.3. Η περιεκτικότητα των φυτών σε Cd.....	109
7.3.1. Εβδομάδα 1 <sup>η</sup> .....	110
7.3.2. Εβδομάδα 2 <sup>η</sup> .....	112
7.3.3. Εβδομάδα 3 <sup>η</sup> .....	114
7.3.4. Εβδομάδα 4 <sup>η</sup> .....	116
7.3.5. Εβδομάδα 5 <sup>η</sup> .....	118
7.4. Στατιστική ανάλυση.....	122
8. Συμπεράσματα.....	125
9. Προτάσεις.....	127
10. Βιβλιογραφία.....	128

# 1. Εισαγωγή

Το κάδμιο στις μέρες μας είναι ένα χημικό στοιχείο που έχει απασχολήσει έντονα την επιστημονική κοινότητα, καθώς τα τελευταία χρόνια αναφέρεται ως ρυπαντής ιδιαίτερα επικίνδυνος για τη δημόσια υγεία (Wagner, 1993). Η ρύπανση των εδαφών με κάδμιο έχει αυξηθεί κατά τη διάρκεια του 20<sup>ου</sup> αιώνα λόγω των μεταλλείων και της επικάλυψης ατμοσφαιρικής σκόνης πλούσια σε κάδμιο από την επεξεργασία του μολύβδου (Pb) και του ψευδαργύρου (Zn), την καύση ορυκτών καυσίμων, την εναπόθεση αποβλήτων όπως μπαταριών που περιέχουν κάδμιο και τη χρήση λιπασμάτων και λάσπης βιολογικών καθαρισμών (Alloway, 1995). Η χρήση φωσφορικών λιπασμάτων στη γεωργία είναι κυρίως υπεύθυνη για τη ρύπανση των εδαφών με κάδμιο. Το κάδμιο στα φωσφορικά λιπάσματα αποτελεί πρόσμιξη και η συγκέντρωσή του κυμαίνεται από 2 έως 156  $\mu\text{g kg}^{-1}$  (Tiller, 1989). Το κάδμιο συσσωρεύεται στον επιφανειακό εδαφικό ορίζοντα και αποτελεί μακροχρόνιο πρόβλημα καθώς μπορεί να παραμένει για 15 – 1100 χρόνια περίπου.

Το κάδμιο αποτελεί στοιχείο ιδιαίτερου ενδιαφέροντος για την επιστήμη της Γεωπονίας καθώς μπορεί να απορροφάται από ένα μεγάλο αριθμό εδάδιμων φυτών (Bingham et. al. 1975). Το κάδμιο δεν συμμετέχει στη φυσιολογία των φυτών γι' αυτό δεν χρησιμοποιείται στο βιολογικό τους κύκλο με αποτέλεσμα να είναι πολύ τοξικό τόσο για τα φυτά όσο και τα ζώα (Wagner, 1993). Το συνολικό ποσό του καδμίου που απορροφάται από τα φυτά εξαρτάται από τη συνολική συγκέντρωσή του στο έδαφος και τη διαθεσιμότητά του (Alloway, 1995). Η διαθεσιμότητα του καδμίου από το έδαφος προς τα φυτά εξαρτάται από πολλούς παράγοντες μεταξύ των οποίων είναι η εδαφική οξύτητα, η θερμοκρασία του εδάφους, η περιεκτικότητα σε οργανική ουσία, η περιεκτικότητα σε ασβέστιο και η ύπαρξη χλωριούχων αλάτων (Davis and Carlton-Smith, 1980; WHO, 1996).

Η απορρόφηση του καδμίου και η συσσώρευσή του στους φυτικούς ιστούς ποικίλει ανάλογα με το είδος του φυτού, τον τρόπο καλλιέργειας και τους οργανισμούς (Oliver, 1997). Οι Davis and Carlton – Smith (WHO, 1996) έδειξαν ότι το μαρούλι, το σπανάκι, το σέλερυ και το λάχανο τείνουν να συσσωρεύουν μεγάλες ποσότητες καδμίου. Μικρότερες ποσότητες συσσωρεύουν φυτά όπως η πατάτα, το καλαμπόκι και το μπιζέλι.

Η τροφική αλυσίδα αποτελεί τον κύριο μηχανισμό μέσω του οποίου το κάδμιο εισέρχεται στο ανθρώπινο σώμα (Oliver, 1997). Η μέγιστη επιτρεπτή ποσότητα καδμίου που μπορεί να προσλαμβάνει ο άνθρωπος σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας είναι  $70 \mu\text{g Cd day}^{-1}$  (Edmunds and Smedley, 1996). Η μέγιστη επιτρεπόμενη ποσότητα προσλαμβανόμενου καδμίου για τα παιδιά είναι 2 έως  $25 \mu\text{g Cd day}^{-1}$  και 15 έως  $50 \mu\text{g day}^{-1}$  για τους ενήλικες. Παρόλα αυτά, έστω και μικρές περιεκτικότητες των τροφών σε κάδμιο μπορεί να αποτελέσει σοβαρό πρόβλημα καθώς συσσωρεύεται στους ανθρώπινους ιστούς.

Η πρόσληψη του καδμίου από τον άνθρωπο εξαρτάται κυρίως από την περιεκτικότητα αυτού στα φαγώσιμα μέρη του φυτού και όχι στο σύνολο του φυτού. Διάφορα πειράματα (Moustakas et al., 2001, Akoumianakis et al., 2006) έχουν γίνει προκειμένου να μελετηθεί η επίδραση αυξανόμενων ποσοτήτων Cd στη συσσώρευση του στα εδάδιμα μέρη στο μαρούλι (*Lactuca sativa* L.), στο ραπάνι (*Raphanus sativus* L.) και το αγγούρι (*Cucumis sativus* L.) και στην απόδοση της παραγωγής. Η γνώση όμως πρόσληψης καδμίου υπό συνθήκες stress δεν έχει μελετηθεί.

## 2. Κάδμιο

### 2.1 Γενικά

Το κάδμιο ανήκει στην ομάδα ΙΙΒ του περιοδικού πίνακα, αποτελεί σχετικά σπάνιο μέταλλο και καταλαμβάνει την 67<sup>η</sup> θέση στην κατάταξη περισσειας των στοιχείων. Δεν συμμετέχει σε καμία βιολογική λειτουργία και είναι ιδιαίτερα τοξικό για φυτά και ζώα. Παρόλα αυτά, οι συγκεντρώσεις του Cd (καδμίου) που συναντώνται φυσιολογικά στο περιβάλλον δεν προκαλούν ιδιαίτερη τοξικότητα. Ο μεγαλύτερος κίνδυνος για την ανθρώπινη υγεία από το Cd είναι η χρόνια συσσώρευσή του στα νεφρά, όπου μπορεί να προκαλέσει δυσλειτουργία αν η συγκέντρωση στο νεφρικό ιστό ξεπεράσει τα 200 mg kg<sup>-1</sup> καθαρό βάρος (Fassett, 1980). Η τροφή είναι η κύρια οδός από την οποία το Cd εισέρχεται στο σώμα, όμως το κάπνισμα και η έκθεση λόγω επαγγέλματος σε ατμούς CdO αποτελούν επίσης σημαντικές πηγές μόλυνσης. Η ανώτερη ανεκτή τιμή πρόσληψης Cd όπως συνιστά ο Π.Ο.Υ (Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας) – FAO/WHO – είναι 400 με 500 μg ανά εβδομάδα, που ισοδυναμεί με περίπου 70 μg day<sup>-1</sup> (Fassett, 1980). Η κατά μέσο όρο πρόσληψη Cd λόγω διατροφής ανά τον κόσμο κυμαίνεται μεταξύ 25 και 75 μg day<sup>-1</sup> (Page et.al. 1981) και δημιουργείται πρόβλημα εκεί όπου η πρόσληψη είναι κοντά στο ανώτερο όριο της κλίμακας. Οι καπνιστές συνήθως προσθέτουν 20 με 35 μg Cd ημερησίως.

Λαμβάνοντας υπόψη τους κινδύνους της χρόνιας συσσώρευσης του Cd στο ανθρώπινο σώμα, οι παράγοντες που επηρεάζουν τη συσσώρευση του σε εδάφιμα φυτά είναι μεγάλης σημασίας. Εφόσον οι συγκεντρώσεις του μετάλλου σε μη μολυσμένα εδάφη είναι συνήθως χαμηλές, το κύριο ενδιαφέρον μας εστιάζεται στις πηγές μόλυνσης και στη συμπεριφορά του Cd στα μολυσμένα εδάφη. Με χρόνο ημιζωής του Cd στα εδάφη να κυμαίνεται μεταξύ 15 και 1100 ετών (Kabata Pendias and Pendias, 1992), δημιουργείται μακροπρόθεσμο πρόβλημα και η μόλυνση πρέπει να αποτρέπεται ή να ελαχιστοποιείται, όπου είναι δυνατόν.

Η ρύπανση του περιβάλλοντος από το κάδμιο αυξάνεται ραγδαία τις τελευταίες δεκαετίες ως αποτέλεσμα της αυξανόμενης χρήσης Cd από τη βιομηχανία. Η ρύπανση αποτελεί μια αναπόφευκτη συνέπεια της εξόρυξης, μεταποίησης και διάθεσης / αποκομιδής μετάλλων. Σε αντίθεση με τα στοιχεία Pb, Cu και Hg, τα



οποία χρησιμοποιούνται εδώ και αιώνες, το Cd έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως μόλις αυτό τον αιώνα. Περισσότερο από το μισό Cd που έχει χρησιμοποιηθεί στη βιομηχανία έχει παραχθεί τα τελευταία 25 χρόνια (Hutton, 1987). Προκύπτει ως υποπροϊόν της καύσης Zn και άλλων βασικών μετάλλων, ενώ κανένα ορυκτό μέταλλευμα δε χρησιμοποιείται ως πρωταρχική πηγή Cd. Η παγκόσμια παραγωγή Cd αυξήθηκε από 11000 τόνους το 1960 στους 20200 τόνους το 1990 (Nriagu, 1988; Aylett, 1979). Οι βασικές χρήσεις του είναι (1) ως προστατευτική επιστρώση στο ατσάλι, (2) σε διάφορα κράματα μετάλλων, (3) σε χρωστικές ύλες (για πλαστικά, εμαγιέ και υαλώδεις επιστρώσεις), (4) ως σταθεροποιητής για το πλαστικό, (5) σε μπαταρίες Ni-Cd ξηρών στοιχείων και (6) για διάφορες άλλες χρήσεις, συμπεριλαμβανομένων των φωτοβολταϊκών στοιχείων και των ράβδων ελέγχου για πυρηνικούς αντιδραστήρες (World Resources Institute, 1992; Oxford University Press, 1992).

Πηγές ρύπανσης του εδάφους από Cd αποτελούν η εξόρυξη και η καύση Pb και Zn, η ατμοσφαιρική ρύπανση από τις μεταλλουργικές βιομηχανίες, η διάθεση των λυμάτων που περιέχουν Cd, όπως η αποτέφρωση των πλαστικών δοχείων και των μπαταριών, η απόθεση στο έδαφος της λάσπης βιολογικών καθαρισμών και η καύση των ορυκτών καυσίμων (Hutton, 1982). Πριν ακόμη το Cd χρησιμοποιηθεί εμπορικά, υπήρχε ρύπανση προερχόμενη από μια μεγάλη ποικιλία υλικών που περιείχαν Cd, με τη μορφή ακαθαρσιών. Τα φωσφορικά λιπάσματα αποτελούν ένα σημαντικό παράδειγμα αυτού. Οι περιεκτικότητες τους σε Cd ποικίλλουν, αλλά η συνεχής χρήση τους έχει οδηγήσει σε σημαντικές αυξήσεις στις περιεκτικότητες σε Cd πολλών γεωργικών εδαφών. Η εναπόθεση των σωματιδίων αερολυμάτων / αεροζόλ από την αστική / βιομηχανική ατμοσφαιρική ρύπανση επηρεάζει επίσης τα εδάφη στις περισσότερες βιομηχανικές χώρες, ενώ το Cd από αυτή την πηγή μπορεί επίσης να απορροφηθεί άμεσα από τα φυτά μέσω του φυλλώματος.

## 2.2 Γεωχημική συμπεριφορά του καδμίου

Η μέση συγκέντρωση Cd στον εξωτερικό φλοιό της γης υπολογίζεται ότι βρίσκεται στην περιοχή του  $0,1 \text{ mg kg}^{-1}$  (Heinrichs et.al. 1980). Το κάδμιο σχετίζεται στενά με τον Zn στη γεωχημεία του. Και τα δύο στοιχεία έχουν παρόμοιες ιοντικές δομές και ηλεκτραρνητικότητες (ιδιότητα σχετιζόμενη με το δυναμικό ιονισμού) και

τα δύο είναι ιδιαίτερα χαλκόφιλα, παρότι το Cd έχει μεγαλύτερη έλξη για το S από τον Zn. Η μέση αναλογία Zn:Cd για όλα τα πετρώματα είναι περίπου 500:1, αλλά ποικίλλει από 27:1 έως 7000:1 (Epstein, 1974). Το κάδμιο αποκτάται ως υποπροϊόν από την καύση των θειούχων ορυκτών μεταλλευμάτων, στα οποία έχει αντικαταστήσει κάποιο μέρος του Zn. Οι πιο άφθονες πηγές καδμίου είναι τα ZnS μεταλλεύματα σφαλερίτης και βουρτζίτης και δευτερεύοντα μεταλλεύματα, όπως ο  $ZnCO_3$  (σμιθσονίτης) τα οποία τυπικά περιέχουν 0,2 – 0,4% Cd παρότι μπορούν να βρεθούν και συγκεντρώσεις Cd μέχρι και 5% (Rose et.al. 1979; World Resources Institute, 1992; Oxford University Press, 1992).

Τα ιζηματογενή πετρώματα παρουσιάζουν μεγαλύτερη ποικιλία στη συγκέντρωση του Cd από άλλους τύπους πετρωμάτων, με τους φωσφορίτες (ιζηματογενή Ca φωσφορικά άλατα) και τους θαλάσσιους μαύρους σχιστόλιθους να έχουν τις μεγαλύτερες περιεκτικότητες (Πίν. 2.1). Οι φωσφορίτες και οι θαλάσσιοι μαύροι σχιστόλιθοι περιέχουν επίσης ασυνήθιστα υψηλές συγκεντρώσεις σε πολλά άλλα βαρέα μέταλλα επιπροσθέτως του Cd. Και οι δύο τύποι πετρωμάτων σχηματίζονται από ιζήματα πλούσια σε οργανικές ύλες υπό αναερόβιες συνθήκες και από βαρέα μέταλλα που συσσωρεύονται όπως θειούχες και οργανικές ενώσεις.

## **2.3 Προέλευση του καδμίου στα εδάφη**

### **2.3.1 Μητρικά υλικά του εδάφους**

Οι Page and Bingham (1973), προτείνουν ότι εδάφη που προέρχονται από πυριγενή πετρώματα έχουν περιεκτικότητες σε Cd 0,1 – 0,3 mg kg<sup>-1</sup> και αυτά που προέρχονται από μεταμορφωσιγενή πετρώματα θα περιέχουν 0,1 – 1,0 mg kg<sup>-1</sup> και εκείνα που προέρχονται από ιζηματογενή πετρώματα θα έχουν περιεκτικότητες 0,3 – 11 mg kg<sup>-1</sup> Cd. Γενικά, τα περισσότερα εδάφη αναμένονται να περιέχουν <1 mg kg<sup>-1</sup>, εκτός από εκείνα που έχουν μολυνθεί από ξεχωριστές πηγές ή εκείνα που έχουν δημιουργηθεί πάνω σε μητρικά υλικά με ασυνήθιστα υψηλές περιεκτικότητες σε Cd, όπως οι μαύροι σχιστόλιθοι.

**Πίνακας 2.1. Συγκεντρώσεις καδμίου στα πετρώματα ( $\text{mg kg}^{-1}$  ή % όπου υπάρχουν τιμές) (Page and Bingham, 1973).**

	<i>ΚΑΙΜΑΚΑ</i>	<i>ΜΕΣΟ</i>
<b><u>ΠΥΡΙΓΕΝΗ ΟΡΥΚΤΑ</u></b>		
Ριαλίτες	0,03 – 0,57	0,23
Γρανίτες	0,01 – 1,60	0,20
Βασάλτες	0,01 – 1,60	0,13
<b><u>ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΙΓΕΝΗ</u></b>		
<b><u>ΥΛΙΚΑ</u></b>		
Γνευσίτης	0,007 – 0,26	0,04
Σχίστες	0,005 – 0,87	0,02
<b><u>ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΗ</u></b>		
<b><u>ΟΡΥΚΤΑ</u></b>		
Σχιστόλιθοι και άργιλος	0,017 – 11	-
Μαύροι σχιστόλιθοι	0,30 – 219	-
Αμμόπετρες και κροκαλοπαγείς	0,019 – 0,4	-
Άλατα ανθρακικού οξέος	0,007 – 12	0,065
Φωσφορίτες	<10 – 980	-
Κάρβουνο	0,01 – 300	
Αργό πετρέλαιο	0,01 – 10000	
<b><u>ΘΕΙΟΥΧΑ ΟΡΥΚΤΑ</u></b>		
<b><u>ΜΕΤΑΛΛΕΥΜΑΤΑ</u></b>		
Σφαλερίτης	0,2 – 0,4 (<5%)	
Ορυκτό θειούχου μολύβδου	<0,5%	
<b><u>ΤΕΤΡΑ – ΥΔΡΙΤΕΣ</u></b>		
(Cu.Zn) (Sb.As) S	<0,24%	
Metacinnabar (HgS)	11,7%	

### 2.3.1.1 Συγκεντρώσεις καδμίου στο έδαφος

Από μια ανασκόπηση της σχετικής βιβλιογραφίας, οι Kabata Pendias and Pendias (1992), συμπεραίνουν ότι οι μέσες τιμές της περιεκτικότητας σε Cd που έχουν αναφερθεί από τις περισσότερες αναλυτικές έρευνες για εδάφη κυμαίνονται από 0,06 ως 1,1  $\text{mg kg}^{-1}$  με παγκόσμιο αριθμητικό μέσο 0,53  $\text{mg kg}^{-1}$ . Μια έρευνα

των γεωργικών εδαφών στις Η.Π.Α., κατά την οποία συγκεντρώθηκαν 3045 αντιπροσωπευτικά δείγματα, 307 διαφορετικών εδαφοσειρών, συλλέχθηκαν από θέσεις απομακρυσμένες από εμφανείς πηγές ρύπανσης από μεταλλεύματα, έδειξε ότι η μέση συγκέντρωση Cd στο ανώτερο στρώμα του εδάφους ήταν  $0,265 \text{ mg kg}^{-1}$  και κυμαίνονταν σε ένα εύρος από  $<0,01 - 2,0 \text{ mg kg}^{-1}$  (Holmgren et. al. 1993). Μια έρευνα επί 2476 ιαπωνικών εδαφών ορυζώνων από εμφανώς μη μολυσμένες θέσεις κατέδειξε αριθμητικό μέσο συγκέντρωσης Cd  $0,4 \text{ mg kg}^{-1}$  (Yamagata, 1978).

Μια πρόσφατα δημοσιευμένη έρευνα επί 5962 δειγμάτων εδαφών που συγκεντρώθηκαν από όλη την Αγγλία και την Ουαλία κατέδειξε ότι ο αριθμητικός μέσος συγκέντρωσης Cd στα επιφανειακά στρώματα του εδάφους είναι  $0,8 \text{ mg kg}^{-1}$  και εύρος  $<0,2 - 40,9 \text{ mg kg}^{-1}$  (McGrath and Loverland, 1992). Στη μελέτη αυτή εξετάστηκαν τόσο γεωργικά εδάφη όσο και εμφανώς μολυσμένες θέσεις. Κάποια από τα εδάφη που περιλαμβάνονται σε αυτή την αναλυτική μελέτη είχαν δεχθεί λάσπες βιολογικών καθαρισμών και άλλα είχαν ρυπανθεί από διαδικασίες εξόρυξης μετάλλων. Μια προηγούμενη έρευνα σε εδάφη της Μεγάλης Βρετανίας από τον Archer (1980), βασισμένη στην ανάλυση 659 δειγμάτων, έδειξε ότι ο στατιστικός μέσος όρος περιεκτικότητας Cd ήταν  $1,0 \text{ mg kg}^{-1}$  και το εύρος  $0,08 - 10 \text{ mg kg}^{-1}$ . Οι Ure and Barrow (1982) όρισαν τον παγκόσμιο γεωμετρικό μέσο όρο συγκέντρωσης Cd στα εδάφη σε  $0,62 \text{ mg kg}^{-1}$  με εύρος  $<0,005 - 8,1$ .

Μια γεωχημική αναγνωριστική έρευνα στην Αγγλία και την Ουαλία βασισμένη στην ανάλυση περίπου 50000 δειγμάτων ιζημάτων ρυακιών από παραποτάμια αποστράγγιση έδειξε ότι περίπου  $1200 \text{ km}^2$ , ή  $0,33\%$  της περιοχής που μελετήθηκε, περιείχαν σημαντικά αυξημένες συγκεντρώσεις Cd εξαιτίας τόσο των διάφορων μητρικών υλικών όσο και λόγω διάφορων πηγών περιβαλλοντικής μόλυνσης (Marples and Thornton, 1980).

Σε μια μελέτη των εδαφών 94 αστικών λαχανόκηπων στην Αγγλία, οι Moir and Thornton (1984) ανέφεραν ένα γεωμετρικό μέσο συγκέντρωσης Cd  $0,53 \text{ mg kg}^{-1}$  με εύρος  $<0,2 - 5,9 \text{ mg kg}^{-1}$ . Οι Culbard et.al. (1988) προσδιόρισαν ότι 579 εδάφη κήπων σε αστικές περιοχές του Λονδίνου είχαν ένα γεωμετρικό μέσο όρο συγκέντρωσης Cd  $1,3 \text{ mg kg}^{-1}$  και εύρος  $<1 - 4,0 \text{ mg kg}^{-1}$ .

Εδάφη που σχηματίστηκαν από μητρικά υλικά με ασυνήθιστα υψηλές συγκεντρώσεις Cd, ειδικά από μαύρους σχιστόλιθους, μπορούν να παρουσιάζουν σημαντικά αυξημένες συνολικές συγκεντρώσεις Cd ακόμη και απύσης εμφανούς μόλυνσης από ανθρωπογενείς πηγές. Οι γνωστές συγκεντρώσεις καδμίου για εδάφη

που προήλθαν από μαύρους σχιστόλιθους ποικίλουν από  $<22 \text{ mg kg}^{-1}$  σε σχιστόλιθους του Μοντερέι στην Καλιφόρνια των Η.Π.Α. (Page et.al. 1987),  $<24 \text{ mg kg}^{-1}$  σε εδάφη από ανθρακούχους μαύρους σχιστόλιθους του Derbyshire, Η.Β (Marples and Thornton, 1980) και  $<11 \text{ mg kg}^{-1}$  σε εδάφη αλλουβιακών αποθέσεων σε μια περιοχή μαύρων σχιστόλιθων στη Νότια Κορέα (Kim and Thornton, 1993).

Εντός των προφίλ των εδαφών, το Cd βρίσκεται κανονικά συγκεντρωμένο στον επιφανειακό ορίζοντα, κάτι το οποίο οφείλεται σε ένα συνδυασμό παραγόντων: αποτελεί τη ζώνη με την υψηλότερη περιεκτικότητα σε οργανική ουσία και τα μέταλλα μπορούν να συγκρατούνται σε αυτόν τον εδαφικό ορίζοντα με τη μορφή οργανομεταλλικών συμπλόκων ως αποτέλεσμα του κύκλου της βλάστησης ή από την εφαρμογή λιπασμάτων και κοπριών που περιέχουν Cd ή από τις αποθέσεις ιζημάτων της ατμόσφαιρας. Οι Holmgren et.al. (1993) ανέφεραν δεδομένα για επιφανειακά και κατώτερα στρώματα του εδάφους για 26 θέσεις όπου η περιεκτικότητα σε Cd ήταν  $>1 \text{ mg kg}^{-1}$ . Σε τρεις από τις δέκα θέσεις στα ανόργανα εδάφη, η περιεκτικότητα σε Cd ήταν υψηλότερη στο υπέδαφος αλλά η αναλογία των συγκεντρώσεων Cd στην επιφάνεια προς αυτές στο υπέδαφος για τις δέκα θέσεις κυμαινόταν στο 11 ( $1,8 \text{ mg kg}^{-1}$  στο υπέδαφος). Για τις 16 θέσεις σε οργανικά εδάφη, οι 15 είχαν υψηλότερες συγκεντρώσεις Cd στο επιφανειακό στρώμα του εδάφους και οι αναλογίες και για τις 16 θέσεις κυμαίνονταν από 5,9 ( $1,3 \text{ mg kg}^{-1}$  στην επιφάνεια και  $0,22 \text{ mg kg}^{-1}$  στο υπέδαφος) μέχρι 0,61 ( $1,1 \text{ mg kg}^{-1}$  στην επιφάνεια και  $1,8 \text{ mg kg}^{-1}$  στο υπέδαφος). Σε εργαστηριακά πειράματα διήθησης ο Tyler (1981) αναφέρει ότι χρειάζονται 6 χρόνια για να μειωθεί η περιεκτικότητα Cd του Ο ορίζοντα (Mor humus φυλλόχωμα αποσάθρωσης οργανικής ουσίας) όταν το pH διατηρείται στο 4,2, αλλά μόνο 3 χρόνια για να μειωθεί κατά το ίδιο ποσό σε pH 3,2.

Σε εδάφη που έχουν διατεθεί λάσπες βιολογικών καθαρισμών είναι γενικά αποδεκτό ότι συντελείται μικρή καθοδική κίνηση των βαρέων μετάλλων βραχυπρόθεσμα (5 – 10 χρόνια) (Alloway and Jackson, 1991). Παρόλα αυτά, πολλοί παράγοντες χρειάζεται να ληφθούν υπόψη, συμπεριλαμβανομένου του κλίματος, του pH και της διαπερατότητας του εδάφους. Σε ημίξερους περιοχές στην Καλιφόρνια οι Williams et.al. (1987) βρήκαν ότι ακόμη και μετά από εφαρμογή 1800 τόνων ανά εκτάριο ( $\text{t ha}^{-1}$ ) ( $180 \text{ ton / στρέμμα}$ ) βιολογικών λασπών, το Cd και άλλα μέταλλα παρέμειναν εντός της ζώνης ενσωμάτωσης μετά από 9 χρόνια. Κάτω από υγρές κλιματικές συνθήκες οι Davis et.al. (1988) αναφέρουν ότι 60 – 100% των Cd, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb και Zn παρέμειναν στα επιφανειακά 10 πρώτα εκατοστά των εδαφών που

είχαν δεχθεί βιολογικές λάσπες μετά από πολλά χρόνια. Παρομοίως, πολλοί συγγραφείς αναφέρουν ότι ελάχιστη καθοδική κίνηση συντελείται σε δασοσκέπαστα εδάφη που έχουν δεχθεί βιολογικές λάσπες.

Παρόλα αυτά, υπάρχουν αναφορές στη βιβλιογραφία για ένα μεγαλύτερο βαθμό κίνησης του Cd καθοδικά στις κατατομές – προφίλ κάποιων εδαφών που είχαν δεχθεί λάσπες βιολογικών καθαρισμών. Οι Legret et.al. (1988), σε ένα πείραμα σε ένα χονδρόκοκκο έδαφος στην Νοτιοδυτική Γαλλία, το οποίο είχε δεχθεί μεγάλες ποσότητες λάσπης βιολογικών καθαρισμών, βρήκαν ότι το Cd είχε κινηθεί καθοδικά στην εδαφική κατατομή σε βάθη 60 – 80 εκατοστών. Σε μια θέση ενός αγροκτήματος με έδαφος αργιλώδους σύστασης προερχόμενο από ασβεστόλιθο στην Αγγλία, που είχε δεχθεί παλαιότερα βιολογικές λάσπες, παρατηρήθηκε ότι το Cd είχε μετακινηθεί καθοδικά στα 100 εκατοστά ή και βαθύτερα στην εδαφική κατατομή (Pike et.al. 1988; Alloway, 1988). Αυτά τα ευρήματα είναι σημαντικά γιατί σχετίζονται με μια μεγαλύτερη χρονική περίοδο (πάνω από 100 χρόνια) σε σύγκριση με πολλές άλλες δημοσιευμένες μελέτες.

### **2.3.2 Υλικά που χρησιμοποιούνται στη Γεωργία**

Τα φωσφορικά λιπάσματα θεωρούνται γενικά ως η πιο ευρέως διαδεδομένη πηγή ρύπανσης των γεωργικών εδαφών με Cd. Σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις Cd (<500 mg kg<sup>-1</sup>) μπορούν να βρεθούν σε φωσφορίτες (ορυκτά φωσφορικά άλατα) που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή λιπασμάτων (Πίν. 2.2). Παρόλα αυτά, μπορεί να φανεί από τον Πίνακα 2.2 ότι οι συγκεντρώσεις Cd που βρέθηκαν σε λιπάσματα P μπορούν να ποικίλουν κατά πολύ, ανάλογα με την προέλευση της πρώτης ύλης του φωσφορίτη. Η παρασκευή φωσφορικών λιπασμάτων θεωρείται επίσης ότι αποτελεί μια καθοριστική πηγή ρύπανσης Cd στο περιβάλλον (στερεά και υγρά απόβλητα). Στις Η.Π.Α., λιπάσματα P που παρασκευάστηκαν από φωσφορίτες της Φλόριντα και περιείχαν <10 mg kg<sup>-1</sup> Cd συνεισέφεραν 0,3 ως 1,2 g Cd ha<sup>-1</sup> ετησίως σε εδάφη, σε μακροχρόνια πειράματα γονιμότητας του εδάφους (Mortvedt, 1987). Αντίθετα, λιπάσματα P που είχαν παρασκευαστεί από Δυτικά κοιτάσματα φωσφοριτών που περιείχαν κατά μέσο όρο 174 mg kg<sup>-1</sup> Cd συνεισέφεραν 100 g Cd ha<sup>-1</sup> ετησίως στα εδάφη, σε ένα 36ετές πείραμα σε εκτάσεις της Καλιφόρνια, στις Η.Π.Α.. Η συγκέντρωση Cd στο έδαφος αυξήθηκε από 0,07 mg kg<sup>-1</sup> (τιμή μάρτυρα) σε 1,0 mg kg<sup>-1</sup> στα λιπασμένα αγροτεμάχια (Mulla et.al. 1980). Σημαντικές αυξήσεις στις

συγκεντρώσεις Cd στις καλλιέργειες σε αυτά τα εδάφη σημειώθηκαν στην Καλιφόρνια, αλλά όχι όπου είχαν χρησιμοποιηθεί λιπάσματα που είχαν παρασκευαστεί από φωσφορίτες της Φλόριντα (Mulla et.al. 1980; Mortvedt, 1987). Περίπου το 70% των λιπασμάτων P που χρησιμοποιούνται στις Η.Π.Α. παράγεται από τους σχετικά χαμηλής περιεκτικότητας σε Cd φωσφορίτες της Φλόριντα. Τα λιπάσματα που προέρχονται από την Αυστραλία γενικά περιέχουν μεταξύ 25 και 50 mg kg<sup>-1</sup> Cd (Williams and David, 1973). Φωσφορικά λιπάσματα με περιεκτικότητα 3 – 8 mg Cd kg<sup>-1</sup> που χρησιμοποιήθηκαν σε μακροχρόνια πειράματα συνεισέφεραν 2 g Cd ha<sup>-1</sup> ετησίως σε ένα καλλιεργήσιμο έδαφος και 7,2 g Cd ha<sup>-1</sup> ετησίως σε έδαφος μόνιμα καλυμμένο με χόρτο (Jones et.al. 1987). Η υψηλότερη συσσώρευση Cd στο έδαφος του λιβαδότοπου θα μπορούσε εν μέρει να οφείλεται στην έλλειψη της εναλλαγής των καλλιεργειών και στη μεγαλύτερη προσρόφηση λόγω της μεγαλύτερης ποσότητας οργανικής ουσίας. (Jones et.al. 1987).

Τα τελευταία 10 χρόνια περίπου, οι εκτιμήσεις των εισροών Cd από λιπάσματα P έχουν υπολογιστεί σε 4,3 g ha<sup>-1</sup> ετησίως στο Ηνωμένο Βασίλειο (Hutton and Symon, 1986) και 3,5 g ha<sup>-1</sup> ετησίως στην πρώην Δυτική Γερμανία (Kloke et.al. 1984). Οι Nriagu and Pacyna (1988) χρησιμοποίησαν μια κλίμακα συγκεντρώσεων Cd σε λιπάσματα ύψους 0,2 – 15 mg kg<sup>-1</sup> για να υπολογίσουν την ετήσια παγκόσμια εισαγωγή Cd στα εδάφη από όλα τα είδη των λιπασμάτων. Η συνολική εισροή Cd στα εδάφη από τη χρήση λιπασμάτων ορίστηκε στους 30 – 250 τόνους Cd ετησίως.

Λαμβάνοντας υπόψιν ότι οι φωσφορίτες αποτελούν την κύρια πηγή ρύπανσης των εδαφών με Cd τα τελευταία έτη, κάποιοι μεγάλοι κατασκευαστές έχουν στραφεί σε πηγές πρώτης ύλης φωσφοριτών με χαμηλότερες συγκεντρώσεις Cd κι αυτό έχει οδηγήσει σε μια μείωση της συγκέντρωσής του σε λιπάσματα P σε κάποιες χώρες ή περιοχές. Μια πρόσφατη έρευνα επί 66 δειγμάτων λιπασμάτων στο Ηνωμένο Βασίλειο έδειξε έναν αριθμητικό μέσο συγκέντρωσης Cd στο υλικό ύψους 36,7 mg Cd kg<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (ή 84 mg Cd kg<sup>-1</sup> P). Σχεδόν σε όλα τα εδάφη που χρησιμοποιούνται για εμπορική γεωργία θα αυξηθεί η περιεκτικότητά τους σε Cd, τουλάχιστον κατά ένα μικρό μέρος, λόγω της χρήσης φωσφορικών λιπασμάτων.

**Πίνακας 2.2. Συγκεντρώσεις καδμίου σε φωσφορικά λιπάσματα.**

<u>ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΤΟΥ</u>	<u>ΚΛΙΜΑΚΑ:</u>	<u>Πηγή:</u>
<u>ΦΩΣΦΟΡΙΤΗ:</u>	(mg Cd kg <sup>-1</sup> λιπάσματος)	
Διάφορα	0,1 – 170	Alloway and Jackson, 1991
Διάφορα	3,3 – 40	De Villarroel et.al., 1993
Νησιά του Ειρηνικού	18 – 91	Department of the Environment, 1993
Δυτικές Η.Π.Α.	<200	Duffy et.al., 1988
Φλόριντα, Η.Π.Α.	<20	Duffy et.al., 1988
	<u>ΚΛΙΜΑΚΑ:</u>	<u>Πηγή:</u>
	(mg Cd kg <sup>-1</sup> P)	
Μαρόκο	137	Archer, 1980
Η.Π.Α.	80	Archer, 1980
Τόγκο	367	Archer, 1980
Σενεγάλη	584	Archer, 1980
Ρωσία	1,8	Archer, 1980
Τυνησία – Αλγερία	137	Archer, 1980
Ισραήλ – Ιορδανία	82	Archer, 1980
<u>ΦΩΣΦΟΡΙΚΑ</u>		
<u>ΛΙΠΑΣΜΑΤΑ ΠΟΥ</u>	<u>ΚΛΙΜΑΚΑ:</u>	<u>Πηγή:</u>
<u>ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ</u>	(mg Cd kg <sup>-1</sup> λιπάσματος)	
<u>ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΧΩΡΕΣ:</u>		
Καναδάς	2,1 – 9,3	Elliot and Denny, 1982
Αυστραλία	18 – 91	
Η.Π.Α.	7,4 – 156	
Ολλανδία	9 – 30	
Σουηδία	2 – 30	

Παρότι οι Αυστραλιανοί τρόποι διατροφής τείνουν να είναι ανάμεσα στους χαμηλότερους σε περιεκτικότητα Cd στον κόσμο (15  $\mu\text{g day}^{-1}$ ), επικρατεί αυξημένη ανησυχία τα τελευταία χρόνια σχετικά με τη συσσώρευση Cd που προέρχεται από λιπάσματα P στις πατάτες και σε άλλες σοδειές. Οι πατάτες θεωρούνται ως η πηγή του Cd με ποσοστό 55% στην Αυστραλιανή διατροφή σε σύγκριση με το 24% στις Η.Π.Α.. Η αυστραλιανή κυβέρνηση έχει ορίσει ως μέγιστη επιτρεπόμενη περιεκτικότητα σε Cd κάποιων τροφίμων ύψους 50  $\mu\text{g kg}^{-1}$  (ή 0,05  $\text{mg kg}^{-1}$ ) βάρους νωπού προϊόντος (McLaughline et.al. 1994). Τα φωσφορικά λιπάσματα θεωρούνται



ότι αποτελούν την κύρια πηγή Cd στα γεωργικά εδάφη ενώ κάποια από αυτά τα λιπάσματα έτειναν να παρασκευάζονται από φωσφορίτες με σχετικά υψηλές περιεκτικότητες σε Cd. Δεν είναι ασύνηθες για λιπάσματα P στην Αυστραλία να περιέχουν  $<300 \text{ mg Cd kg}^{-1} \text{ P}$  και αυτά μπορούν να προσθέσουν επιπλέον  $30 - 60 \text{ g Cd ha}^{-1}$  στα εδάφη καλλιέργειας πατάτας (McLaughline et.al. 1994). Αυτό οφείλεται στο ότι κάποια από τα Αυστραλιανά εδάφη έχουν μεγάλη έλλειψη σε P και στις υψηλές απαιτήσεις σε P της καλλιέργειας, κατά συνέπεια είναι απαραίτητο να γίνεται χρήση μεγάλων ποσοτήτων του λιπάσματος σε κάθε καλλιέργεια πατάτας. Σε πειράματα στη Νότια Αυστραλία, οι εισαγωγές Cd από λιπάσματα P για μια καλλιέργεια πατάτας ποίκιλαν από  $2,8 \text{ g ha}^{-1}$  με μονοαμμωνιακό φωσφορικό άλας (MAP) έως  $40 \text{ g Cd ha}^{-1}$  με το απλό υπερφωσφορικό άλας (SSP). Η προσρόφηση καδμίου στους βολβούς της πατάτας ποίκιλλε από  $0,8 \text{ g ha}^{-1}$  (MAP) ως  $9,6 \text{ g ha}^{-1}$  (SSR) (McLaughline et.al. 1994). Κάποιοι συγγραφείς έχουν αναφέρει διαφορές στη διαθεσιμότητα του Cd σε διάφορες μορφές λιπασμάτων P σε θερμοκηπιακά πειράματα (το Cd σε διαμμωνιακό φωσφορικό άλας λιγότερο διαθέσιμο στο φυτό από το αυτό στο τριπλό υπερφωσφορικό άλας). Παρόλα αυτά, ο McLaughlin και άλλοι (McLaughline et.al. 1994) δε βρήκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των τύπων των λιπασμάτων P σε δοκιμές πεδίου με πατάτες στη Νότια Αυστραλία και θεώρησαν ότι ήταν το υπολειπόμενο Cd από προηγούμενες χρήσεις λιπασμάτων που αποτελούσε τη σημαντικότερη πηγή για τη σοδειά.

#### 2.3.2.1 Κοπριά από φάρμες εκτροφής ζώων (FYM)

Τιμές από  $0,3 - 1,8 \text{ mg Cd kg}^{-1}$  ξηρής μάζας έχουν αναφερθεί για κοπριά από φάρμες εκτροφής ζώων (Williams and David, 1973; Kabata Pendias and Pendias, 1992). Μεγάλες ετήσιες χρήσεις ( $35 \text{ tn}$  νωπό βάρος  $\text{ha}^{-1}$ ) κοπριάς βρέθηκαν να αποτελούν σημαντικότερη πηγή καδμίου σε ένα μακροχρόνιο πείραμα πεδίου στο Rothamsted από ότι οι συνδυασμένες εισαγωγές από φωσφορικά λιπάσματα και από τις ατμοσφαιρικές ιζηματικές αποθέσεις.

#### **2.3.3 Ατμοσφαιρική ιζηματική απόθεση καδμίου**

Οι συγκεντρώσεις καδμίου στον αέρα συνήθως ποικίλλουν από  $1$  έως  $50 \text{ ng m}^{-3}$ , ανάλογα με την απόσταση από τις πηγές εκπομπών (Jones et.al. 1987). Οι

τυπικές κλίμακες για τις ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις Cd στην Ευρώπη είναι 1 – 6 ng m<sup>-3</sup> για τις αγροτικές περιοχές, 3,6 – 20 ng m<sup>-3</sup> για τις αστικές περιοχές και 16,5 – 54 ng m<sup>-3</sup> για βιομηχανικές περιοχές, φτάνοντας τα 11000 ng m<sup>-3</sup> κοντά σε ένα εργοστάσιο ανάκτησης μετάλλων (Hutton, 1982). Οι πρωταρχικές πηγές των ατμοσφαιρικών εκπομπών είναι η μη σιδηρούχος παραγωγή μεταλλεύματος, η αποτέφρωση απορριμμάτων από την καύση ορυκτών καυσίμων και η παραγωγή σιδήρου και ατσαλιού, όπως φαίνεται στον πίνακα 2.3 (Tiller, 1989). Η σχετικά υψηλή πτητικότητα του Cd όταν θερμαίνεται πάνω από τους 400<sup>0</sup>C εξηγεί τη σπουδαιότητα των ατμοσφαιρικών εκπομπών από αυτές τις πηγές (Bowen, 1979). Η συνολική ετήσια ατμοσφαιρική εκπομπή Cd σε όλο τον κόσμο υπολογίστηκε από τον Nriagu (Nriagu, 1980) ότι είναι 8100 τόνοι (800 τόνοι από φυσικές πηγές και 7300 τόνοι από ανθρωπογενείς πηγές). Οι κατά μέσο όρο ετήσιοι ρυθμοί εκπομπών από παγκόσμιες ανθρωπογενείς πηγές αυξήθηκαν από 3400 τόνους (κατά τη διάρκεια της δεκαετίας 1951 – 1960) στους 5400 τόνους (κατά τη διάρκεια της δεκαετίας 1961 – 1970) και στους 7400 τόνους (κατά τη διάρκεια της δεκαετίας 1971 – 1980) (Nriagu, 1979). Οι συνολικές εισροές Cd τόσο από την απόθεση ξηρών ιζημάτων όσο και από τη βροχόπτωση, ποικίλλουν από 2,6 έως 19 g ha<sup>-1</sup> ετησίως στις αγροτικές περιοχές, με τα 3 g ha<sup>-1</sup> ετησίως να θεωρούνται ως η αντιπροσωπευτική τιμή για την απόθεση Cd επί της αγροτικής γης στην Ευρωπαϊκή Κοινότητα (Hutton, 1982). Η ατμοσφαιρική απόθεση έχει βρεθεί να ποικίλει από 0,06 g ha<sup>-1</sup> ετησίως στη Γροιλανδία, ως 44,4 g ha<sup>-1</sup> ετησίως στη Νέα Υόρκη και 135,6 g ha<sup>-1</sup> ετησίως κοντά στην κύρια υψικάμινο καύσης Pb – Zn στο Avonmouth στην Αγγλία (Williams and Harrison, 1984). Οι Nriagu and Pacyna (1988) υπολόγισαν ότι η παγκόσμια ατμοσφαιρική απόθεση του Cd στα εδάφη το 1988 βρισκόταν μεταξύ 2200 – 8400 tn Cd ετησίως. Οι Sposito and Page (1984) υπολόγισαν ότι η απόθεση του Cd επί των εδαφών στην Ευρώπη και στις Η.Π.Α. κυμαίνεται από <0,2 ως 978 g ha<sup>-1</sup> ετησίως, με υψηλότερα επίπεδα απόθεσης στην Ευρώπη. Υπολόγισαν ότι οι αυξήσεις των συγκεντρώσεων Cd στο ανώτερο στρώμα του εδάφους (0 – 15 cm), οι οφειλόμενες στην ατμοσφαιρική απόθεση στις Η.Π.Α. είναι <0,98 μg kg<sup>-1</sup> ετησίως στις αγροτικές περιοχές, 29 μg kg<sup>-1</sup> ετησίως στις βιομηχανικές περιοχές και 0,98 μg kg<sup>-1</sup> ετησίως στις μητροπολιτικές περιοχές (Sposito and Page, 1984). Ο Nriagu (1980) υπολόγισε ότι η παγκόσμια απόθεση Cd από την ατμόσφαιρα είναι 5700 tn ετησίως στην ξηρά και 2400 tn ετησίως στους ωκεανούς.

**Πίνακας 2.3. Υπολογισμένες ατμοσφαιρικές εκπομπές Cd από βασικές πηγές στην Ευρώπη το 1970. (Pacyna, 1987).**

Πρωτογενής μη-σιδηρούχα παραγωγή μετάλλου	1631,4
Καύση γαιάνθρακα	143,7
Καύση πετρελαίου	108,2
Αποτέφρωση υπολειμμάτων	83,6
Κατασκευή σιδήρου και ατσαλιού	59
Βιομηχανικές εφαρμογές των μετάλλων	19,7

#### **2.3.4 Λάσπες βιολογικών καθαρισμών**

Οι λάσπες βιολογικών καθαρισμών ποικίλλουν σε σύνθεση και περιέχουν Cd από διάφορες πηγές, συμπεριλαμβανομένων των ανθρωπίνων απεκκρίσεων, οικιακών προϊόντων που περιέχουν Zn, νερά καταιγίδων που περιέχουν μόρια από ελαστικά από καουτσούκ και διάφορα βιομηχανικά παράγωγα. Σχεδόν όλο το Cd συσσωρεύεται στις αδιάλυτες λάσπες βιολογικών καθαρισμών που παράγονται κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας των λυμάτων και μια μεγάλη κλίμακα συγκεντρώσεων Cd στις λάσπες βιολογικών καθαρισμών έχει αναφερθεί από ολόκληρο τον κόσμο (<math>3650 \text{ mg kg}^{-1}</math> ξηρό βάρος). Στο παρελθόν, οι αριθμητικά μέσες τιμές για τις βρετανικές λάσπες βιολογικών καθαρισμών κυμαίνονταν μεταξύ 17 και 23  $\text{mg kg}^{-1}$  DM (Williams, 1975; Davis, 1983) και η αριθμητικά μέση τιμή των 16  $\text{mg kg}^{-1}$  DM έχει προσδιοριστεί για λάσπες βιολογικών καθαρισμών των Η.Π.Α. (Sommers, 1977). Οι Nriagu and Pacyna (1988) χρησιμοποίησαν μια κλίμακα από 1,0 ως 20,0  $\text{mg kg}^{-1}$  για το Cd στις λάσπες βιολογικών καθαρισμών καθώς κυμαίνονται από 20 ως 340  $\text{tn Cd}$  ετησίως. Παρόλα αυτά, κατά την τελευταία δεκαετία και περισσότερο, οι περιεκτικότητες σε Cd των λασπών βιολογικών καθαρισμών μειώνονται με τη χρήση διαφόρων τεχνολογιών ελαχιστοποίησης των απορριμμάτων και ελέγχων των παραγώγων. Οι μέσες αριθμητικές τιμές (50 εκατοστιαίες μονάδες) για τις λάσπες βιολογικών καθαρισμών που χρησιμοποιούνται σε γεωργική γη στο Ηνωμένο Βασίλειο μειώθηκαν από 9,0  $\text{mg kg}^{-1}$  ξηρό βάρος το 1980/81 σε 3,2  $\text{mg kg}^{-1}$  ξηρό βάρος το 1990/91 και για τα ανώτερα επίπεδα, το 90% των τιμών έχουν μειωθεί από 33  $\text{mg Cd kg}^{-1}$  το 1980/81 σε 12,0  $\text{mg Cd kg}^{-1}$  το 1990/91 (Department of the Environment, 1993). Η μέση αριθμητική τιμή περιεκτικότητας σε Cd των εδαφών στα

οποία έχουν χρησιμοποιηθεί βιολογικές λάσπες το 1990/91 ήταν  $0,55 \text{ mg kg}^{-1}$  μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή ύψους  $3,0 \text{ mg kg}^{-1} \text{ Cd}$ ) (Department of the Environment, 1993).

Στις Η.Π.Α., μια εθνική έρευνα επί των λασπών βιολογικών καθαρισμών που πραγματοποιήθηκε το 1990 και περιλάμβανε μια έρευνα με ερωτηματολόγιο επί όλων των 11047 δημόσιας ιδιοκτησίας εργοστασίων επεξεργασίας στη χώρα από τα οποία 208 αντιπροσωπευτικά εργοστάσια επιλέχθηκαν για μια διεξοδική ανάλυση δειγμάτων βιολογικής λάσπης που περιλάμβανε 412 αναλύσεις για κάθε δείγμα (Chaney, 1990). Τα αποτελέσματα για το Cd από αυτή την έρευνα ήταν μια αριθμητική μέση τιμή ύψους  $7,0 \text{ mg kg}^{-1}$ , μια τιμή επί του 95% των δειγμάτων ύψους  $21 \text{ mg kg}^{-1}$  και μια τιμή επί του 98% των δειγμάτων ύψους  $25 \text{ mg kg}^{-1}$ . Τα δεδομένα από αυτή την έρευνα χρησιμοποιήθηκαν κατόπιν σε συνδυασμό με υπολογισμούς έκθεσης για να καθοριστούν οι περιοριστικές συγκεντρώσεις για λάσπες βιολογικών καθαρισμών και τα όρια επιβάρυνσης των εδαφών.

Οι μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις Cd στις λάσπες βιολογικών καθαρισμών που χρησιμοποιούνται σε γεωργικά εδάφη στις ευρωπαϊκές χώρες και στις Η.Π.Α. έχουν συνοψιστεί και συζητηθεί από τον McGrath και άλλους (McGrath et.al. 1994). Οι περιοριστικές τιμές δίνονται στον πίνακα 2.4 μαζί με τα μέγιστα όρια για το Cd σε εδάφη όπου χρησιμοποιούνται λάσπες βιολογικών καθαρισμών. Εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης υπάρχουν χαρακτηριστικές διαφορές στα επιτρεπόμενα ανώτατα όρια αλλά όλα είναι πολύ χαμηλότερα από αυτά που χρησιμοποιούνται τώρα στις Η.Π.Α. (EPA, 1992). Υπάρχει εμφανώς μια μεγάλη διαφορά στην πολιτική ανάμεσα στο EPA των Η.Π.Α. και της Ευρωπαϊκής Ένωσης όσο και στα υπουργεία που ασχολούνται με την περιβαλλοντική ποιότητα στις μεμονωμένες χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Βασικά, η προσέγγιση του EPA των Η.Π.Α. βασίζεται στην ανάλυση 14 διαφορετικών δεδομένων έκθεσης μαζί με τα δεδομένα από την Εθνική Έρευνα Λασπών Βιολογικών Καθαρισμών του 1990 από όπου καθορίστηκαν τα αθροιστικά όρια επιβάρυνσης για την ρύπανση. Οι κανονισμοί έθεσαν τα όρια συγκέντρωσης για υψηλής ποιότητας «καθαρές» λάσπες βιολογικών καθαρισμών, οι οποίες θα μπορούσαν να εφαρμοστούν σε ένα ρυθμό ύψους  $10 \text{ tn ha}^{-1}$  για 100 χρόνια πριν να ξεπεράσουν τα όρια επιβάρυνσης. Η αθροιστική αρχή επιβάρυνσης που υιοθετήθηκε στις Η.Π.Α. βασίζεται στην ικανότητα του εδάφους να αφομοιώνει και να μειώνει τη διαθεσιμότητα των ρυπαντών. Αντίθετα, οι Ευρωπαϊκές χώρες τείνουν να χρησιμοποιούν την «προσέγγιση ισορροπίας μετάλλων». Εφόσον οι εισαγωγές των

μετάλλων στα εδάφη των βιομηχανοποιημένων χωρών πάντοτε ξεπερνούν τις απώλειες μέσω του διαχωρισμού και της διήθησης των εργοστασίων, αρκετές χώρες όπως η Ολλανδία, η Σουηδία και η Δανία στοχεύουν στην ελαχιστοποίηση της εισαγωγής μετάλλων στο έδαφος από λάσπες βιολογικών καθαρισμών. Μια περισσότερο πραγματιστική προσέγγιση γίνεται στο Ηνωμένο Βασίλειο, αλλά το Νοέμβριο του 1993 μια ειδική επιτροπή που συστάθηκε από το Βρετανικό Υπουργείο Γεωργίας, Αλιείας και Τροφίμων συνέστησε μια μείωση στη μέγιστη επιτρεπόμενη συγκέντρωση Zn στα εδάφη που δέχονται λάσπες βιολογικών καθαρισμών, από 300 mg Zn kg<sup>-1</sup> σε 250 mg Zn kg<sup>-1</sup> ως αποτέλεσμα των ευρημάτων ότι οι μικροοργανισμοί του εδάφους επηρεάζονται σημαντικά σε επίπεδα πάνω από αυτή τη χαμηλότερη τιμή. Αυτή είναι η προσέγγιση «συγκέντρωσης με τις χαμηλότερες παρατηρούμενες παρενέργειες», η οποία βασίζεται στις πραγματικές παρατηρήσεις των τοξικών επιδράσεων σε διάφορους τύπους βασικών οργανισμών (McGrath et.al. 1994).

**Πίνακας 2.4. Μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις Cd σε λάσπες βιολογικών καθαρισμών που χρησιμοποιούνται σε γεωργική γη και σε εδάφη που τις έχουν δεχθεί (McGrath et.al. 1994).**

ΧΩΡΑ:	ΕΤΟΣ:	ΜΕΓΙΣΤΑ ΒΟΘΡΟΛΥΜΑΤΑ:	ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ	
			ΣΕ ΕΔΑΦΗ ΠΟΥ ΕΧΟΥΝ ΔΕΧΘΕΙ ΒΟΘΡΟΛΥΜΑΤΑ: (mg kg <sup>-1</sup> DM)	ΕΤΗΣΙΑ ΟΡΙΑ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΗΣ: (kg Cd ha <sup>-1</sup> y <sup>-1</sup> )
Ε.Ε.	1986	20 – 40	1 – 3	0,15
Γαλλία	1988	20	2	0,15
Γερμανία	1992	10	1,5	0,15
Δανία	1990	1,2	0,5	0,008
	1995	0,8	-	-
Φινλανδία	1995	1,5	0,5	0,0015
Σουηδία	1995	2,0	0,5	0,002
Η.Π.Α.	1993	8,5	2,0	1,9

Η Πολιτική Προστασίας του Εδάφους που αναπτύχθηκε στην Ολλανδία σχεδιάστηκε αρχικά για την αξιολόγηση και την αποκατάσταση μολυσμένων εδαφών και συγκέντρωνε τιμές «Α», «Β» και «Γ». Οι «Α» τιμές είναι τιμές αναφοράς που βασίζονται σε εδάφη σε φυσικές προστατευόμενες περιοχές, οι οποίες εκτίθενται

μόνο σε ατμοσφαιρική ρύπανση. Οι τιμές «B» δε χρησιμοποιούνται πλέον αλλά ήταν αρχικά οι τιμές – ερεθίσματα που υποδείκνυαν την ανάγκη για περαιτέρω διερεύνηση. Οι τιμές «Γ» είναι οι «τιμές παρέμβασης» που προκύπτουν από οικοτοξικολογικές και ανθρώπινες τοξικολογικές εκτιμήσεις επικινδυνότητας. Αυτές οι τιμές, όπως αυτές του EPA των Η.Π.Α., βασίστηκαν σε δεδομένα έκθεσης και αποτελούν τις συγκεντρώσεις πάνω από τις οποίες υπάρχει κίνδυνος σοβαρών επιδράσεων επί των λειτουργικών ιδιοτήτων του εδάφους. Οι Ολλανδικές τιμές «A» και «Γ» για το Cd είναι 0,8 και 12 mg Cd kg<sup>-1</sup> αντιστοίχως, (Ministry of Housing, Physical Planning and Environment 1991; McGrath et.al. 1994). Εδάφη που έχουν δεχθεί αφύσικα μεγάλες ποσότητες λασπών βιολογικών καθαρισμών συζητούνται στην ενότητα 2.6.

Παρόλο ότι οι βιολογικές λάσπες αποτελούν μια πηγή N και P μακροθρεπτικών συστατικών για τα φυτά, η χρήση τους στη γεωργία οδηγεί σε σημαντική ρύπανση των εδαφών με Cd και άλλα ιχνοστοιχεία, τα οποία αναπόφευκτα θα οδηγήσουν στην αυξημένη προσρόφησή τους στις καλλιέργειες.

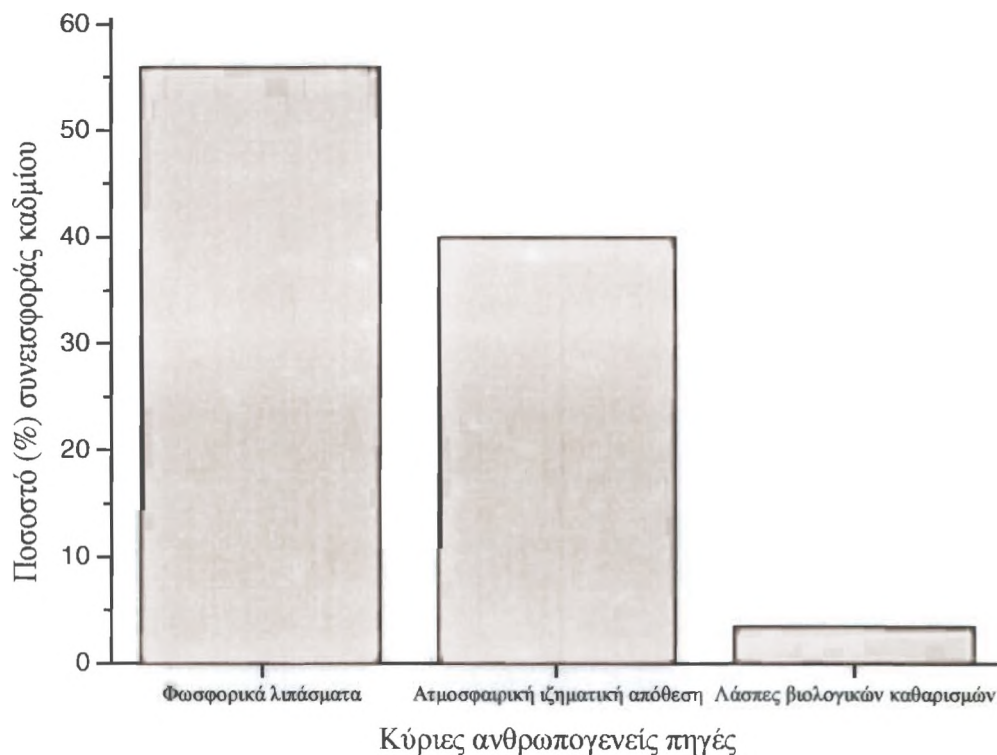
### **2.3.5 Άλλες πηγές καδμίου**

Οι άλλες βασικές πηγές Cd που μπορούν να προκαλέσουν μόλυνση των εδαφών είναι η εξόρυξη, η διαδικασία σπασίματος και επίπλευσης των μεταλλευμάτων και η καμίνευση θειούχων μεταλλευμάτων που περιέχουν κάδμιο και μπορούν να έχουν μέχρι και 5% περιεκτικότητα σε Cd. Η διασπορά των ξεχωριστών σωματιδίων από αυτές τις πηγές μπορεί να προκληθεί με τη βαρύτητα από φθαρμένες άκρες, από τον άνεμο και από το νερό μέσω της διάβρωσης και της ποτάμιας μεταφοράς υπολειμμάτων εξόρυξης από παλιά ορυχεία και ράμπες επεξεργασίας μεταλλευμάτων. Εδάφη που έχουν μολυνθεί σημαντικά από εξόρυξη και καμίνευση Pb – Zn έχουν βρεθεί να περιέχουν μέχρι και 750 mg Cd kg<sup>-1</sup> (Fergusson, 1990). Τα εδάφη που έχουν ρυπανθεί από κάδμιο εξετάζονται με περισσότερη λεπτομέρεια στην ενότητα 2.6.

### **2.3.6 Εισροές καδμίου στα εδάφη**

Για τις δυτικές χώρες οι σχετικές συνεισφορές καδμίου από τις κύριες ανθρωπογενείς πηγές έχουν υπολογιστεί ότι είναι: φωσφορικά λιπάσματα 54 – 58%,

ατμοσφαιρική ιζηματική απόθεση 39 – 41% και λάσπες βιολογικών καθαρισμών 2 – 5% (Yost and Miles, 1979;Tjell et.al., 1983). Αυτές οι πηγές αυξάνουν τη μέση ετήσια περιεκτικότητα σε Cd των γεωργικών εδαφών στη Δανία κατά 0,6% (Tjell et.al., 1983). Παρόλα αυτά, πολύ μεγαλύτερες εισροές συμβαίνουν σε θέσεις κοντά σε εργοστάσια μετάλλων που εκπέμπουν Cd ή όπου προστίθενται λάσπες ιολογικών καθαρισμών στη γη.



**Εικόνα 2.1. Οι σχετικές συνεισφορές καδμίου από τις κύριες ανθρωπογενείς πηγές για τις δυτικές χώρες.**

## **2.4 Η χημική συμπεριφορά του καδμίου στα εδάφη**

### **2.4.1 Διαφοροποίηση του καδμίου στο εδαφικό διάλυμα**

Είναι σημαντικό να μπορούμε να αναγνωρίζουμε τις μορφές των μετάλλων στο έδαφος, ειδικά στο εδαφικό διάλυμα, προκειμένου να κατανοήσουμε πλήρως τη δυναμική των μετάλλων στα γεωργικά και φυσικά οικοσυστήματα. Η τοξική

επίδραση ενός μετάλλου καθορίζεται περισσότερο από τη μορφή του από ότι από τη συγκέντρωσή του. Το ελεύθερο ιόν  $Cd^{2+}$  είναι πιο πιθανό να απορροφηθεί από τις επιφάνειες των εδαφικών στερεών από ότι άλλα είδη, όπως τα ουδέτερα ή ανιονικά είδη. Η βασική μορφή του Cd στο εδαφικό διάλυμα είναι  $Cd^{2+}$  αλλά το μέταλλο μπορεί επίσης να σχηματίσει τα ακόλουθα σύνθετα ιόντα:  $CdCl^+$ ,  $CdOH^+$ ,  $CdHCO^+$ ,  $CdCl_3^-$ ,  $CdCl_4^{2-}$ ,  $Cd(OH)_3^-$  και  $Cd(OH)_4^{2-}$  μαζί με οργανικές ενώσεις (Kabata Pendias and Pendias, 1992).

Οι συγκεντρώσεις ενός μετάλλου όπως το κάδμιο στο εδαφικό διάλυμα θα εξαρτάται μερικώς από τη συγκέντρωση των χημικών ενώσεων που συμμετέχει στο εδαφικό διάλυμα και τις σταθερές χημικής ισορροπίας των ενώσεων αυτών. Υπάρχουν αρκετά διαθέσιμα μοντέλα για την πρόβλεψη των ειδών που είναι παρόντα σε υδάτινα συστήματα, όπως το GEOCHEM που αναπτύχθηκε από τους Mattigod και Sposito (Mattigod and Sposito, 1970) ειδικά για εδάφη. Αυτό το μοντέλο περιλαμβάνει μια βάση δεδομένων με τυπικές τιμές σταθερών χημικής ισορροπίας για μεμονωμένα ζεύγη μετάλλων – χημικών ενώσεων. Η εισαγωγή των παραμέτρων όπως το pH, ο οργανικός C και οι συγκεντρώσεις ανιόντων και κατιόντων, διευκολύνει μια πρόβλεψη των χημικών ενώσεων που θα δημιουργηθούν. Χρησιμοποιώντας αυτό το μοντέλο έχει προβλεφθεί ότι τα κύρια χημικά είδη του Cd σε οξειδωτικά εδαφικά διαλύματα είναι (σε φθίνουσα σειρά):  $Cd(II)$ ,  $CdSO_4(0)$  και  $CdCl_4^+$ , σε όξινα εδάφη  $Cd(II)$ ,  $CdCl^+$ ,  $CdSO_4(0)$  και  $CdHCO^+$  σε αλκαλικά εδάφη (Sposito and Page, 1984). Παρόλα αυτά, κάποιοι μελετητές έχουν βρεί ότι οι προβλέψεις του GEOCHEM για τα ελευθέρων ιόντων περιεχόμενα κάποιων μετάλλων σε εδαφικά διαλύματα δε βρίσκονταν σε συμφωνία με αυτές που είχαν καθοριστεί πειραματικά. Οι McGrath et.al. (1984, 1986) βρήκαν ότι τα ποσοστά Cu, Ni και Pb στα διαλύματα των εδαφών που είχαν προστεθεί λάσπες βιολογικών καθαρισμών, είχαν υπερεκτιμηθεί σε μεγάλη έκταση από το GEOCHEM. Μια νέα εκδοχή αυτού του μοντέλου που ονομάζεται SOILCHEM έχει αναπτυχθεί και πολλά από τα προβλήματα που είχαν προκύψει με το GEOCHEM έχουν ξεπεραστεί.

Τα κυρίαρχα διαλυτά είδη Cd σε εδάφη που έχουν μολυνθεί από πολλές διαφορετικές πηγές διαχωρίστηκαν σε κλάσματα από τους Tills and Alloway (1983) χρησιμοποιώντας ένα συνδυασμό ανταλλαγής ιόντων και χρωματογραφίας αντίστροφης φάσης. Ανακάλυψαν ότι το ελεύθερο ιόν  $Cd^{2+}$  κυριαρχούσε, με ουδέτερα είδη, όπως το  $CdSO_4$  και το  $CdCl_2$ , παρόντα σε αυξανόμενους αριθμούς όταν το pH ήταν μεγαλύτερο από 6,5. Η αναλογία του οργανικά δεσμευμένου Cd στα



εδαφικά διαλύματα ήταν σχετικά χαμηλή. Ένα έδαφος το οποίο είχε δεχθεί μεγάλες ποσότητες λασπών βιολογικών καθαρισμών είχε μόνο 13,2% οργανικά δεσμευμένο Cd. Η μέθοδος μπορεί ίσως να υποτίμησε την αναλογία του οργανικά δεσμευμένου Cd, αλλά τα αποτελέσματα ήταν συγκρίσιμα με αυτά που προβλέφθηκαν, για τα εδάφη που είχαν δεχθεί λάσπες βιολογικών καθαρισμών, από τους Mahler et.al. (1978) χρησιμοποιώντας το μοντέλο GEOCHEM.

#### **2.4.2 Η προσρόφηση του καδμίου στα εδάφη**

Η δυναμική ισορροπία ανάμεσα στο Cd στο εδαφικό διάλυμα και σε αυτό που έχει απορροφηθεί από τη στερεή φάση του εδαφικού διαλύματος εξαρτάται από το pH, τη χημική φύση των μετάλλων, τη χημική σταθερότητα των ενώσεων του Cd, τη δύναμη του χημικού δεσμού που σχηματίζει με άλλες ομάδες και την ιονική ισχύ των διαλυμάτων και των ανταγωνιζόμενων ιόντων (Pickering, 1980; Gerritse and Van Driel, 1984). Η προσρόφηση οποιουδήποτε βαρέως μετάλλου στο έδαφος είναι σπάνια μια απλή σχέση ανάμεσα στον συντελεστή διαλυτότητάς του και των ιδιοτήτων του εδάφους, επειδή περισσότερα από ένα είδη από κάθε μέταλλο προκύπτουν συνήθως στο εδαφικό διάλυμα ως αποτέλεσμα του σχηματισμού των ανόργανων ή των οργανικών ενώσεων. Κάποιες πλευρές της χημικής συμπεριφοράς του Cd στα εδάφη μπορεί να ερμηνευθεί με την αρχή των ασταθών – σταθερών οξέων – βάσεων του Lewis (HSAB). Το κάδμιο είναι ένα ασταθές Lewis οξύ και κατά συνέπεια θα αντιδράσει και θα ενωθεί πιο εύκολα με ασταθείς Lewis βάσεις, όπως οι ομάδες χλωριδίων και υδροξυλίων.

Το κάδμιο τείνει να είναι πιο ευκίνητο στα εδάφη και κατά συνέπεια περισσότερο διαθέσιμο στα φυτά από πολλά άλλα βαρέα μέταλλα, συμπεριλαμβανομένων των Cu και Pb. Η επιλεκτικότητα διαφόρων προσροφητικών στοιχείων του εδάφους για το Cd ήταν χαμηλότερη από ότι για το Cu ή το Pb. Παρόλα αυτά, οι μηχανισμοί προσρόφησης εξακολουθούν να είναι πολύ σημαντικοί στη δυναμική του Cd στα εδάφη και η ακόλουθη σύντομη επισκόπηση σκοπεύει να καταδείξει τους σημαντικότερους παράγοντες που επηρεάζουν την προσρόφηση.

Ένα από τα προβλήματα στην επίδραση του υλικού επί της προσρόφησης του Cd στα εδάφη είναι ότι έχουν χρησιμοποιηθεί σε κάποιες περιπτώσεις μη ρεαλιστικά υψηλές συγκεντρώσεις του μετάλλου και κατά συνέπεια τα ευρήματα δεν είναι δυνατόν να εξαχθούν συμπερασματικά στις συνθήκες πεδίου (Christensen, 1984). Ο

Christensen (1984) υποστηρίζει ότι τα επίπεδα θα πρέπει να είναι  $<50 \mu\text{g Cd l}^{-1}$  (50 ppb) σε διάλυμα και  $<20 \text{ mg συνολικό Cd kg}^{-1}$ , αλλά κάποιοι μελετητές έχουν χρησιμοποιήσει μέχρι και  $500 \text{ mg Cd l}^{-1}$  σε διάλυμα (Street et.al. 1977). Οι διαδικασίες προσρόφησης και περισσότερο από την ιζηματοποίηση, φαίνονται να ελέγχουν την κατανομή του Cd ανάμεσα στις διαλυτές και τις δεσμευόμενες από το έδαφος μορφές στις συγκεντρώσεις που συνήθως απαντώνται ακόμη και στην πλειοψηφία των ρυπασμένων εδαφών. Παρόλα αυτά, σε πολύ υψηλές συγκεντρώσεις Cd, ιζήματα φωσφορικών αλάτων Cd ή αλάτων ανθρακικού οξέως Cd θα μπορούσαν να αναμένονται ότι θα σχηματιστούν (Street et.al. 1977).

#### 2.4.2.1 Ισόθερμες προσρόφησης

Σε πολλές περιπτώσεις έχει βρεθεί ότι η προσρόφηση του Cd από το έδαφος ταυτίζεται είτε με την ισόθερμη εξίσωση του Langmuir είτε με εκείνη του Freundlich (Levi – Minzi et.al. 1976; Cavallaro and McBride, 1978). Η επιλογή του μοντέλου δεν είναι πολύ σημαντική εφόσον το Cd βρίσκεται συνήθως αρκετά κάτω από τον κορεσμό όταν χρησιμοποιούνται ρεαλιστικές κλίμακες συγκέντρωσης (Tjell et.al. 1983). Οι Gerritse και Van Driel (Gerritse and Van Driel, 1984) βρήκαν τις ισόθερμες καμπύλες του Langmuir περισσότερο κατάλληλες για την προσρόφηση του Cd από 33 μολυσμένα εδάφη της Ολλανδίας, της Βρετανίας και της Γαλλίας. Η προσρόφηση του Cd και του Zn έδειξε μεγαλύτερη ευαισθησία στο pH από ότι αυτή του Cu και του Pb. Ανάμεσά τους, το 10 ως 50% των προσροφημένων Cd, Zn και Cu ήταν ανταλλάξιμα, σε σύγκριση με το 1 – 5% του προσροφημένου Pb.

Σε δύο ειδικές μελέτες επί της ειδικής προσρόφησης του Cd από μια ευρεία κλίμακα εδαφών, ανακαλύφθηκε ότι τα δεδομένα ταίριαζαν με την ισόθερμη εξίσωση προσρόφησης του Freundlich σε δύο ξεχωριστούς τομείς (Jarvis and Jones, 1980; Alloway et.al. 1985). Έτσι προτάθηκαν δύο τύποι θέσεων προσρόφησης: (α) χαμηλής χωρητικότητας, υψηλής έλξης θέσεις για διαλύματα χαμηλής συγκέντρωσης σε Cd και (β) χαμηλότερης έλξης αλλά μεγαλύτερης χωρητικότητας θέσεις σε διαλύματα υψηλότερων συγκεντρώσεων σε Cd. Αυτός ο τύπος της καμπύλης των δύο τμημάτων έχει επίσης βρεθεί και από άλλους μελετητές για Zn, Ni, Cu και Pb. Η προσρόφηση του Cd είναι συνήθως ραγδαία με το περισσότερο από το 90% να συμβαίνει τα πρώτα 10 λεπτά (Christensen, 1984).

#### 2.4.2.2 Επιδράσεις του pH

Ο Christensen (1984) έδειξε ότι η προσρόφηση του καδμίου από αμμώδη και αργιλώδη εδάφη αυξανόταν επί 3 για κάθε αύξηση μονάδας του pH μεταξύ pH 4 και 7,7. Οι Farrah and Pickering (1977) έδειξαν ότι η προσρόφηση του καδμίου αυξανόταν χαρακτηριστικά στην περίπτωση που το pH ήταν μέχρι και 8. Οι Naidu et.al. (1994) βρήκαν ότι η προσρόφηση του καδμίου από δύο Αυστραλιανά Oxisol εδάφη αυξανόταν με αυξανόμενο pH ως αποτέλεσμα της αύξησης του επιφανειακού αρνητικού φορτίου. Αυξήσεις στην ιοντική ισχύ προκάλεσαν μείωση στην προσρόφηση του καδμίου. Τα αποτελέσματά τους υπέδειξαν ότι ανάλογα με το pH και το (PZC) Point Zero Charge, υπήρχαν ενδείξεις τόσο για ειδική όσο και για μη ειδική προσρόφηση του καδμίου. Οι Garcia – Miragaya and Page (1978) αναφέρουν ότι μεταξύ pH 6 και 7, εδάφη με υψηλή περιεκτικότητα είτε σε οργανική ουσία είτε σε ένυδρα οξείδια του σιδήρου απορροφούσαν περισσότερο κάδμιο από αυτά με μεγάλες ποσότητες αργίλου τύπου 2:1, παρότι τα τελευταία είχαν υψηλότερες ΙΑΚ. Ο Pickering (Pickering, 1980) ανακάλυψε ότι το ορυκτό υδρογονούχου οξειδίου του σιδήρου απομάκρυνε όλο το κάδμιο από το διάλυμα σε περίπου τρεις μονάδες pH κάτω από τη θεωρητική τιμή  $pK_i$ . Με αυξανόμενο pH οι συγκεντρώσεις καδμίου στο διάλυμα μειώνονταν λόγω των αυξήσεων σε: (α) υδρόλυση, (β) πυκνότητα προσρόφησης και (γ) αρνητικά φορτία εξαρτώμενα από το pH. Χρησιμοποιώντας πολλαπλή παλινδρόμηση οι Alloway et.al. (1985) κατέδειξαν ότι το pH είναι ένας από τους καθοριστικούς παράγοντες, μαζί με τις περιεκτικότητες σε οργανική ουσία και ένυδρα οξείδια σιδήρου – μαγγανίου που ρυθμίζουν την ειδική προσρόφηση του καδμίου από 22 διαφορετικά εδάφη. Η ποσότητα του καδμίου που προσροφάται από ένυδρα οξείδια του Mn έχει βρεθεί να αυξάνεται σχεδόν γραμμικά με το pH ως ένα μέγιστο, ενώ αυτή η διαδικασία προσρόφησης, η εξαρτώμενη από το pH, είναι κατά μεγάλο μέρος αναστρέψιμη (Pickering, 1980).

#### 2.4.2.3 Επιδράσεις από τον ανταγωνισμό με άλλα μεταλλικά ιόντα

Ο ανταγωνισμός με άλλα μεταλλικά ιόντα, όπως Ca, Co, Cr, Cu, Ni και Pb μπορεί να ανασχέσει την προσρόφηση του καδμίου. Ο Christensen (Christensen, 1984) βρήκε ότι αυξάνοντας τη συγκέντρωση Ca του διαλύματος κατά ένα παράγοντα του 10 ( $10^{-3}$  έως  $10^{-2}$  M) μείωνε την ικανότητα προσρόφησης ενός

αμμώδους, αργιλώδους εδάφους κατά 67%. Οι Cowan et.al. (1991) παρατήρησαν μια ισχυρή ανταγωνιστική επίδραση ανάμεσα στο Cd και στο Ca για προσρόφηση σε ένυδρα οξείδια του σιδήρου (Fe) και θεώρησαν ότι αυτό συμβαίνει μέσω της επενέργειας της μάζας σε αμοιβαία προσβάσιμες θέσεις. Παρομοίως, οι Naidu et.al. (1994) βρήκαν ότι το Ca ανταγωνιζόταν με το Cd για την προσρόφηση σε Oxisol εδάφη. Ο Christensen (1987) βρήκε ότι ο Zn έχει τη μεγαλύτερη ανασχετική επίδραση στην προσρόφηση του Cd κι αυτό θα μπορούσε να ερμηνευθεί από ένα ανταγωνιστικό μοντέλο Langmuir. Παρότι η προσρόφηση του Cd μειώθηκε, το σχήμα των ισοθερμικών προσρόφησης ήταν το ίδιο (Christensen, 1987).

#### 2.4.2.4 Η προσρόφηση σε ασβεστίτη

Οι Alloway et.al. (1988) κατέληξαν στο ότι τα εδάφη που περιέχουν ελεύθερο  $\text{CaCO}_3$  μπορούν να απορροφούν Cd και να μειώνουν τη βιοδιαθεσιμότητά του. Η προσρόφηση του Cd στον ασβεστίτη έχει ερευνηθεί λεπτομερώς από τους McBride (1980), Papadopoulos and Rowell (1988). Βρέθηκε ότι ο ασβεστίτης είχε μεγάλη συνάφεια / έλξη για το Cd και έδινε μια γραμμική ισοθερμική εξίσωση σε χαμηλές συγκεντρώσεις Cd ( $<1 \mu\text{mol g}^{-1}$ ). Ωστόσο, με υψηλές συγκεντρώσεις Cd κυριαρχούσε η ιζηματοποίηση του  $\text{CdCO}_3$ . Η συγκράτηση του Cd σε χαμηλές συγκεντρώσεις με χημικούς δεσμούς, θεωρούνταν ότι περιλαμβάνει την αντικατάσταση του Ca από το Cd στους επιφανειακούς κρυστάλλους του ασβεστίτη (Papadopoulos and Rowell, 1988).

#### 2.4.2.5 Επιπτώσεις των οργανικά συνδεδεμένων μορίων

Η ένωση του Cd με ορισμένα οργανικά συνδεδεμένα μόρια στο εδαφικό διάλυμα μπορεί να έχει σημαντικές επιπτώσεις στις απορροφώμενες ποσότητες. Οι Farrah and Pickering (1977) βρήκαν ότι το EDTA απέτρεπε την προσρόφηση του Cd όταν το pH ήταν 3 – 11. Η περίσσεια του αμινοξέος γλυκίνη προκάλεσε τη μετατόπιση της ιζηματοποίησης σε περιοχές υψηλότερου pH, αλλά το τρυγικό οξύ δεν είχε καμία επίδραση στην προσρόφηση. Προέκυψε το συμπέρασμα ότι τα αργιλώδη εδάφη δεν προσροφούν ανιονικές μεταλλικές ενώσεις σε κάποια σημαντική έκταση και ότι η προσρόφηση των κατιονικών ειδών μπορεί να μειωθεί σημαντικά μέσω του ανταγωνισμού από συνδεδεμένα μόρια με πρόσθετα πρωτόνια. Οι Elliot

and Denny (1982) βρήκαν επίσης ότι το EDTA προκαλούσε ανάσχεση της προσρόφησης του Cd από τα εδάφη μέσω του σχηματισμού μη προσροφητικών ενώσεων, αλλά ο εστέρας οξαλικού οξέως και το άλας οξικού οξέως δεν είχαν καμία επίδραση. Όλες οι ισόθερμες εξισώσεις προσρόφησης έδειξαν μια τυπική εξάρτηση από το pH με ένα μέγιστο σε pH περίπου 7. Με την αυξανόμενη οξειδωση του διαλύματος, λιγότερο μέταλλο ενωνόταν με τα συνδεδεμένα μόρια επειδή το  $H^+$  δεσμευόταν κατά προτίμηση σε συνθήκες χαμηλού pH. Παρότι το Cd σχηματίζει ανιονικές ενώσεις με τα οργανικά οξέα και το φουλβικό οξύ (Duffy et.al. 1988), αυτές είναι λιγότερο σταθερές από αυτές που σχηματίζονται με Cu και Pb (Tjell et.al. 1983; Livens, 1991).

Οι ισοθερμικές εξισώσεις προσρόφησης του Cd σχήματος S των Neal and Sposito (1986) για εδάφη που είχαν δεχθεί λάσπες βιολογικών καθαρισμών, υποδεικνύουν ότι τα συνδεδεμένα μόρια στο υδαρές διάλυμα είχαν ισχυρότερη έλξη / συνάφεια για χαμηλές συγκεντρώσεις Cd από ότι τα επιφανειακά φορτία επί του εδάφους. Ωστόσο, μετά την απόπλυση των εδαφών για την αφαίρεση των διαλυτών συνδεδεμένων μορίων, οι ισόθερμες προσρόφησης είχαν την πιο συνηθισμένη καμπύλη σχήματος L. Τα οργανικά συνδεδεμένα μόρια όχι μόνο ενισχύουν τις διαλυτότητες των ιχνοστοιχείων και των μετάλλων, αλλά επίσης μειώνουν τις τοξικές τους επιπτώσεις στα φυτά επειδή το ελεύθερο ένυδρο ιόν φαίνεται να είναι πιο τοξικό από ότι οι πολύ σταθερές ανόργανες ενώσεις όπως το  $CdCl^-$  και οργανικές ενώσεις (Sposito, 1983). Οι Baham et.al. (1978) βρήκαν ότι το κάδμιο σε διαλύματα φουλβικών οξέων που είχαν εξαχθεί από λάσπες βιολογικών καθαρισμών ήταν μόνο ασθενώς δεσμευμένα (λιγότερο δεσμευμένα από ότι ο Zn και το Ni) αλλά διαφοροποιήσεις θα μπορούσαν να προκύψουν σε διαφορετικά φουλβικά οξέα, προερχόμενα από άλλες λάσπες βιολογικών καθαρισμών. Ο Stevenson (1976) καθόρισε τις σταθερές χημικής ισορροπίας των ενώσεων του καδμίου με οργανικά οξέα που δημιουργούνται κατά την αποσύνθεση φυτών χρησιμοποιώντας ποτενσιομετρικές στοιχειομετρικές αναλύσεις. Το κάδμιο ήταν περισσότερο ασθενώς δεσμευμένο από το Pb και το Cu ειδικά σε χαμηλότερα pH. Προκύπτει το συμπέρασμα ότι οι ομάδες των καρβοξυλίων και των φαινοξυλίων ήταν αναμειγμένες στην ένωση όλων των μετάλλων.

#### 2.4.2.6 Επιδράσεις σε χλωριούχα ιόντα

Το κάδμιο σχηματίζει πολύ σταθερές διαλυτές ενώσεις με συνδεδεμένα μόρια  $\text{Cl}^-$  και αρκετοί συγγραφείς έχουν αναφέρει μια μείωση στην προσρόφηση / αύξηση στην κινητοποίηση σε εδάφη με υψηλές συγκεντρώσεις υδατοδιαλυτών ιόντων  $\text{Cl}^-$  όπως στα αλατούχα εδάφη, στην άρδευση με αλατούχο / αλμυρό νερό και στη μόλυνση από προϊόντα διήθησης από χωματερές. Οι Evans et.al. (1991) βρήκαν ότι η μείωση στην προσρόφηση μετάλλου εν τη παρουσία του  $\text{Cl}^-$  ήταν:  $\text{Zn} < \text{Pb} < \text{Cd} < \text{Hg}$  και αυτό ήταν άμεσα σχετιζόμενο με την ικανότητα των μετάλλων να σχηματίζουν ενώσεις με το  $\text{Cl}^-$ . Στη Νότια Αυστραλία, οι McLaughlin et.al. (1994) βρήκαν ότι η απορρόφηση του καδμίου από πατάτες ήταν υψηλότερη όπου χρησιμοποιούνταν αλατούχα / αλμυρά νερά άρδευσης. Αυτοί ανακάλυψαν ότι οι συγκεντρώσεις καδμίου στους κονδύλους της πατάτας σε αυτή την περιοχή ήταν θετικά συσχετιζόμενες με το εκ του νερού εξαγωγίμο  $\text{Cl}^-$  στο έδαφος.

#### **2.5 Σχέσεις εδάφους – φυτών**

Οι χημικές διεργασίες του εδάφους που επηρεάζουν τη διαθεσιμότητα του καδμίου για απορρόφηση από τα φυτά είναι ιδιαίτερα σημαντικές στις θεωρήσεις της επίπτωσης της ρύπανσης του εδάφους στην ανθρώπινη υγεία. Παρότι η τοξικότητα του καδμίου μπορεί να συμβεί σε φυτά σε βαριά μολυσμένα εδάφη, η συσσώρευση του στις καλλιέργειες σε υποτοξικά επίπεδα αποτελεί μεγαλύτερο λόγο για ανησυχία εξαιτίας της επικινδυνότητας της αυξημένης διατροφικής έκθεσης των καταναλωτών. Ακόμη και ελαφρώς αυξημένες συγκεντρώσεις στις τροφές μπορούν να έχουν σημαντική επίπτωση μακροπρόθεσμα.

Οι Mitchell et.al. (1978) βρήκαν ότι η σειρά της τοξικότητας σε φυτά σιταριού και μαρουλιών σε όξινα εδάφη είναι  $\text{Cd} > \text{Ni} > \text{Zn}$ . Οι Chaney and Giordano (1977) τονίζουν ότι δεν είναι δυνατόν να βασιστεί κανείς στην αναγνώριση των αρχικών ορατών συμπτωμάτων της τοξικότητας του καδμίου ως προειδοποίηση όταν οι εδωδιμες καλλιέργειες έχουν συσσωρεύσει υπερβολικές ποσότητες μετάλλων, όπως το  $\text{Cd}$ , που μπορούν να είναι επικίνδυνες για την υγεία. Σχετικά μεγάλες συγκεντρώσεις καδμίου μπορούν να συσσωρευτούν σε βρώσιμα μέρη χωρίς το φυτό να παρουσιάζει συμπτώματα στρες. Η οξεία τοξικότητα του  $\text{Cd}$  προκαλεί

συμπτώματα όπως η χλωραναιμία / κιτρίνισμα των φύλλων, μαρασμός και ελλιπής ανάπτυξη, αλλά απαντάται σπάνια. Πολλές περιπτώσεις τοξικότητας σε βαριά μολυσμένα εδάφη από μέταλλα οφείλονται σε περίσσειες άλλων στοιχείων που είναι παρόντα σε πολύ υψηλότερες συγκεντρώσεις.

Η ποσότητα του Cd που απορροφάται από τα φυτά εξαρτάται από ένα συνδυασμό παραγόντων του εδάφους και του φυτού, οι οποίοι συζητούνται παρακάτω.

### **2.5.1 Παράγοντες του εδάφους που επηρεάζουν την πρόσληψη του καδμίου από τα φυτά**

#### **2.5.1.1 Η περιεκτικότητα του εδάφους σε κάδμιο**

Παρότι διάφορες παράμετροι του εδάφους μπορούν να επηρεάσουν τη διαθεσιμότητα του Cd, η συνολική ποσότητα του στοιχείου που βρίσκεται στο έδαφος είναι ένας από τους βασικούς παράγοντες που επηρεάζει τις περιεκτικότητες σε Cd των φυτών. Οι Kabata Pendias and Pendias (1992) παραθέτουν δεδομένα τα οποία δείχνουν ότι το Cd σε μίσχους πατάτας και σε κόκκους κριθαριού έχουν εμφανή σχέση με το Cd στο έδαφος, ενώ τα φύλλα του σπανακιού παρουσίασαν μια κανονική λογαριθμική σχέση με το Cd του εδάφους. Ο Alloway (1986) βρήκε ότι το συνολικό Cd είναι στενά συσχετιζόμενο με τις περιεκτικότητες σε Cd των βρώσιμων μερών λάχανου, καρότου, μαρουλιού και στα ραπανάκια που είχαν καλλιεργηθεί σε 50 διαφορετικά εδάφη μολυσμένα από διάφορες πηγές. Οι Chumbley and Unwin (1982) επεσήμαναν πολύ σημαντικούς συσχετισμούς ανάμεσα στη συνολική περιεκτικότητα σε Cd των εδαφών που έχουν δεχθεί λάσπες βιολογικών καθαρισμών και των περιεκτικότητων σε Cd των μαρουλιών και των λάχανων. Οι Lund et.al. (1981) επίσης, αναφέρουν σημαντικούς συσχετισμούς μεταξύ του Cd στο έδαφος και των συγκεντρώσεων Cd στα φύλλα διαφόρων καλλιεργειών. Οι Hornberg and Brummer (1986) βρήκαν ότι οι περιεκτικότητες σε Cd των κόκκων σιταριού σχετίζονταν γραμμικά με τη συνολική περιεκτικότητα σε Cd του εδάφους.

Η προέλευση του Cd στο έδαφος μπορεί επίσης να επηρεάσει τη βιοδιαθεσιμότητά του. Οι Alloway et.al. (1985) βρήκαν ότι το Cd σε εδάφη μολυσμένα από ανόργανες ουσίες, όπως κατά την εξόρυξη μετάλλων και την καμίνευση, παρουσίαζε την τάση να συσσωρεύεται πιο εύκολα στα βρώσιμα μέρη

των λαχανικών από ότι στα εδάφη που είχαν δεχθεί λάσπες βιολογικών καθαρισμών. Ωστόσο, οι χαμηλότερες αναλογίες συσσώρευσης (Cd στις σοδειές / Cd στο έδαφος) όλων είχαν βρεθεί σε καλλιέργειες που είχαν αναπτυχθεί σε ασβεστολιθικά, μολυσμένα από την εξόρυξη εδάφη (Alloway et.al. 1988). Οι λάσπες βιολογικών καθαρισμών αποτελούν την πιο κοινή πηγή σχετικά υψηλών συγκεντρώσεων Cd στα εδάφη. Η οργανική ουσία που περιέχεται στις λάσπες βιολογικών καθαρισμών αυξάνει την ικανότητα προσρόφησης μετάλλων του εδάφους που τις έχει δεχθεί.

Αρκετοί μελετητές έχουν αναφέρει ότι οι καλλιέργειες που έχουν αναπτυχθεί σε εδάφη που έχουν εμπλουτιστεί με άλατα Cd προσλαμβάνουν περισσότερο κάδμιο από εκείνες που έχουν καλλιεργηθεί σε εδάφη που περιέχουν την αντίστοιχη ποσότητα Cd από λάσπες βιολογικών καθαρισμών. Οι Korcak and Fanning (1985) έδειξαν ότι η πρόσληψη στο καλαμπόκι ήταν 5 έως 18 φορές μεγαλύτερη σε εδάφη που είχαν εμπλουτιστεί με CdSO<sub>4</sub> σε σύγκριση με αντίστοιχες ποσότητες καδμίου σε εδάφη που εφαρμόστηκαν λάσπες βιολογικών καθαρισμών. Πειράματα από τους Mahler et.al. (1978) σε εδάφη που είχαν εμπλουτιστεί με CdSO<sub>4</sub> και είχαν δεχθεί λάσπες βιολογικών καθαρισμών και σε εδάφη χωρίς προσθήκη λάσπης βιολογικών καθαρισμών, έδειξαν ότι το Cd ήταν λιγότερο διαθέσιμο από τα εμπλουτισμένα εδάφη με λάσπες βιολογικών καθαρισμών. Η προσθήκη ασβεστίου στα εδάφη οδήγησε σε μειωμένη πρόσληψη Cd κι αυτή η επίδραση ήταν μεγαλύτερη στα εδάφη που είχαν δεχθεί λάσπες βιολογικών καθαρισμών. Ο Alloway (1986) βρήκε ότι το Cd ήταν περισσότερο διαθέσιμο σε εδάφη που είχαν εμπλουτιστεί με μεταλλικά άλατα σε σχέση με δείγματα εδάφους που είχαν συλλεχθεί από μολυσμένες θέσεις εκτάσεων, παρότι αυτά είχαν αφεθεί να ισορροπήσουν για πολλούς μήνες μετά την αποκατάσταση.

Οι Bingham et.al. (1983) βρήκαν ότι η δραστηριότητα του Cd<sup>2+</sup> στα εδαφικά διαλύματα συσχετιζόταν καλύτερα με την φυτική πρόσληψη από το ελβετικό παντζάρι από ότι το συνολικό διαλυτό Cd ή οι συγκεντρώσεις ελεύθερων ιόντων και ζευγών ιόντων. Διαπίστωσαν ότι το μοντέλο GEOCHEM αποτελούσε τον καλύτερο τρόπο υπολογισμού των κύριων διαλυτών ειδών Cd.

#### 2.5.1.2 Το pH του εδάφους

Το pH του εδάφους είναι ο κύριος παράγοντας που καθορίζει τη διαθεσιμότητα του καδμίου στο έδαφος, επειδή επηρεάζει όλους τους μηχανισμούς



προσρόφησης και τη διαφοροποίηση σε νέο είδος των μετάλλων στο εδαφικό διάλυμα. Η πρόσληψη καδμίου είναι αντιστρόφως ανάλογα συνδεδεμένη με το pH του εδάφους. Οι Page et.al. (1981) ανέφεραν ότι η περιεκτικότητα σε κάδμιο των φύλλων του ελβετικού παντζαριού αυξήθηκε κατά 2 ως 3,9 φορές όταν το pH του εδάφους μειώθηκε από 7,4 σε 4,5. Η πρόσληψη του καδμίου από το ρύζι μειώθηκε όταν το pH αυξήθηκε από 5,5 σε 7,5 και το σιτάρι επέδειξε μια ανάλογη αντίδραση (Bingham et.al. 1986). Οι Jackson and Alloway (1992) ανέφεραν ότι η προσθήκη ασβεστίου για την αύξηση του pH μιας ευρείας ποικιλίας εδαφών που είχαν δεχθεί λάσπες βιολογικών καθαρισμών, σε pH 7,0 είχε ως συνέπεια τη μείωση των συγκεντρώσεων του καδμίου στα λάχανα κατά ένα μέσο όρο ύψους 43% και οι περιεκτικότητες σε Cd των μαρουλιών κατά 41%. Μολαταύτα, δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές μειώσεις στις συγκεντρώσεις καδμίου στους κόνδυλους πατάτας.

Οι Andersson and Nilsson (1974) βρήκαν ότι η προσθήκη CaO στα εδάφη μείωνε την πρόσληψη καδμίου από ελαιοκράμβη ζωοτροφής εξαιτίας τόσο της αύξησης του pH όσο και του ανταγωνισμού ανάμεσα στα ιόντα  $Ca^{2+}$  και  $Cd^{2+}$ . Με αυξανόμενη οξύτητα, η αυξημένη δραστηριότητα του  $Cd^{2+}$  οφείλεται εν μέρει στη διάλυση των ένυδρων οξειδίων και των επίσης ιζηματοποιημένων μετάλλων τους και στη μειωμένη προσρόφηση στα κολλοειδή εξαιτίας ενός αρνητικού φορτίου εξαρτώμενου από το μειωμένο pH. Μια εξαίρεση στη σχέση μεταξύ pH και πρόσληψης αναφέρθηκε από τους Pepper et.al. (1983) που δεν παρατήρησαν μείωση στην περιεκτικότητα σε Cd του καλαμποκιού μετά από την προσθήκη ασβεστίου σε έδαφος που είχε δεχθεί αναερόβια χωνεμένες λάσπες βιολογικών καθαρισμών, με pH 6,5.

Οι Alloway et.al. (1989) βρήκαν ότι το pH (μετρημένο σε M CaCl<sub>2</sub>) αποτελούσε το δεύτερο σημαντικότερο παράγοντα επιρροής (μετά από το συνολικό Cd) στις πολλαπλές εξισώσεις παλινδρόμησης που προκύπτουν για την περιγραφή της συσσώρευσης του Cd από 4 καλλιέργειες σε 50 διαφορετικά μολυσμένα και ελεγχόμενα εδάφη. Οι υψηλότερες αναλογίες συσσώρευσης Cd έτειναν να παρουσιάζονται σε φυτά καλλιεργημένα σε όξινα εδάφη (Alloway et.al. 1988).

### 2.5.1.3 Η απορροφητική ικανότητα των εδαφών

Διάφοροι μελετητές έχουν διαπιστώσει ότι η περιεκτικότητα σε Cd των φυτών είναι αντιστρόφως ανάλογη με την ΙΑΚ των εδαφών στα οποία είχαν καλλιεργηθεί

(John et.al. 1972; Miller et.al. 1976; Hinesly et.al. 1982). Οι Alloway et.al. (1985) βρήκαν μια αντίστροφη σχέση μεταξύ των συντελεστών διανομής ( $K_d$ ) για το Cd που καθοριζόταν από τις ισόθερμες που προέκυπταν από πειράματα ειδικής προσρόφησης και την περιεκτικότητα σε Cd των λάχανων σε διάφορα εδάφη (Πίν. 2.5).

Η οργανική ουσία συνεισφέρει κατά ένα μέρος στην ΙΑΚ του εδάφους αλλά επίσης απορροφά βαρέα μέταλλα με το σχηματισμό ενώσεων. Οι Hinesly et.al. (1982) ανέφεραν ότι η πρόσληψη Cd από το καλαμπόκι σχετιζόταν αντίστροφα με την ΙΑΚ των εδαφών που είχαν εμπλουτιστεί με  $CdCl_2$  αλλά δεν σχετιζόταν με την ΙΑΚ σε εδάφη που είχαν δεχθεί λάσπες βιολογικών καθαρισμών που περιείχαν Cd. Οι Mahler et.al. (1978) δε βρήκαν κάποια σταθερή σχέση ανάμεσα στην ΙΑΚ του εδάφους και στην περιεκτικότητα σε Cd τόσο των μαρουλιών όσο και των φύλλων των ελβετικών παντζαριών. Παρομοίως, οι Alloway and Jackson (1991) δε βρήκαν να αποτελεί η ΙΑΚ μια σημαντική μεταβλητή σε μοντέλα που προέκυπταν για την πρόσληψη του Cd από τέσσερις καλλιέργειες σε μια ποικιλία εδαφών.

Η σχέση μεταξύ ΙΑΚ και πρόσληψης από το φυτό παραμένει ασαφής επειδή η ανταλλαγή κατιόντων αποτελεί μόνο έναν από τους διάφορους μηχανισμούς προσρόφησης που επηρεάζουν τη διαλυτότητα του Cd στα εδάφη. Παρότι τα ένυδρα οξείδια δεν συνεισφέρουν πολλά στην ΙΑΚ του εδάφους, ειδικά κάτω από pH 8, απορροφούν τεράστιες ποσότητες Cd. Θα μπορούσε λοιπόν να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι η ΙΑΚ από μόνη της δεν αποτελεί την πιο κατάλληλη παράμετρο για την υπόδειξη της ικανότητας ενός εδάφους να προσροφά μέταλλα σαν το κάδμιο.

**Πίνακας 2.5. Η διαφοροποίηση στην πρόσληψη Cd και παράμετροι εδάφους για δύο διαφορετικές υφές και συνθήκες οξειδοαναγωγής από ένα πείραμα πεδίου με πανομοιότυπες εφαρμογές λασπών βιολογικών καθαρισμών (Alloway et.al. 1985).**

	pH:	ΟΡΓΑΝΙΚΗ ΥΛΗ (%):	ΕΝΥΔΡΟΣ Fe (%):	ΟΞΕΙΔΙΑ ΤΟΥ Mn (mg/l):	ΣΥΝΟΛΙΚΟ Cd ΕΔΑΦΟΥΣ (mg kg <sup>-1</sup> ):	Κ <sub>d</sub>	ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΕ Cd ΤΟΥ ΛΑΧΑΝΟΥ (mg kg <sup>-1</sup> στερεή ύλη):
Αργιλώδες	5,4	13,6	2,07	98	7,8	297	9,5
Αμμώδες & λασπώδες έδαφος	5,5	8,5	4,18	535	6,1	582	4,9

#### 2.5.1.4 Συνθήκες οξειδοαναγωγής

Το ρύζι είναι η μοναδική καλλιέργεια, η οποία μπορεί να αναπτυχθεί τόσο υπό αναγωγικές συνθήκες σε πλημμυρισμένους ορυζώνες όσο και υπό οξειδωτικές συνθήκες όταν οι ορυζώνες αποστραγγίζονται και αφήνονται να στεγνώσουν. Κάποιες ποικιλίες ρυζιού καλλιεργούνται επίσης σαν καλλιέργειες πεδίου χωρίς πλημμύρα (ορεινό ρύζι). Έχει διαπιστωθεί ότι το ρύζι που καλλιεργείται υπό συνθήκες πλημμύρας συσσωρεύει πολύ λιγότερο Cd και παρουσιάζει πολύ χαμηλότερες απώλειες απόδοσης από ότι όταν καλλιεργείται σε οξειδωτικές οξείδωσης (Bingham et.al. 1976). Αυτό οφείλεται στο σχηματισμό στερεάς μορφής CdS. Στην κοιλάδα Jintsu στην Ιαπωνία όπου η ασθένεια “itai- itai” αναφέρθηκε για πρώτη φορά στη δεκαετία του 1950, η περιεκτικότητα σε Cd του ρυζιού των ορυζώνων βρέθηκε να συσχετίζεται με τον αριθμό των ημερών που οι ορυζώνες αποξηραίνονταν και αερίζονταν πριν από τη συγκομιδή (Page et.al. 1981) (παράγραφος 2.6).

Παρότι πολλά άλλα είδη καλλιεργειών δε μπορούν να αντέξουν παρατεταμένες συνθήκες μείωσης / προσθήκης ηλεκτρονίων (οξειδοαναγωγικά φαινόμενα), πολλά είδη μπορούν να επηρεαστούν από τις έμμεσες επιπτώσεις της προσθήκης ηλεκτρονίων. Τα περισσότερα καλλιεργημένα εδάφη είναι πηλώδη που έχουν συνθήκες οξυγόνωσης στο επιφανειακό στρώμα του εδάφους για μεγάλο τμήμα του έτους ως συνέπεια της αποστράγγισης των χωραφιών και των καλλιεργειών. Το κάδμιο μπορεί να είναι περισσότερο διαθέσιμο σε αυτά τα εδάφη από ότι σε μη πηλώδη εξαιτίας των χαμηλότερων δυνατοτήτων προσρόφησης του Cd που προκαλούνται από χαμηλότερες περιεκτικότητες οξειδίων του Fe και του Mn. Αυτό παρουσιάζεται στον Πίνακα 2.6. Λαχανικά που καλλιεργήθηκαν σε γλάστρες με αργιλώδες έδαφος και με αμμοαργιλώδες έδαφος από δοκιμές πεδίου με πανομοιότυπες προσθήκες λασπών βιολογικών καθαρισμών έδειξαν μεγαλύτερη πρόσληψη Cd στο αργιλώδες έδαφος. Αυτό το αργιλώδες έδαφος είχε μικρότερες περιεκτικότητες σε ένυδρα οξείδια του Fe και του Mn και χαμηλότερη τιμή  $K_d$  (συντελεστής διανομής) για το Cd από ότι το αμμοαργιλώδες έδαφος (Alloway et.al. 1985).

### 2.5.1.5 Επιδράσεις άλλων στοιχείων στο έδαφος

Αυξημένη περιεκτικότητα Cu, Ni, Se, Mn και P μπορεί να μειώσει την πρόσληψη Cd από τα φυτά (Page et.al. 1981). Η κατάσταση με τον Zn είναι λιγότερο σαφής και φαίνεται να εξαρτάται από την περιεκτικότητα σε Cd του εδάφους. Ο ψευδάργυρος έχει βρεθεί ότι διαθέτει μια ανταγωνιστική επίδραση στην πρόσληψη Cd σε εδάφη με χαμηλές περιεκτικότητες σε Cd και είτε μια συνεργική είτε μηδενική επίδραση με σχετικά υψηλές περιεκτικότητες σε Cd (Page et.al. 1981). Οι Smilde et.al. (1992) παρατήρησαν τις ανταγωνιστικές επιδράσεις του προστιθέμενου στο έδαφος Zn στην πρόσληψη Cd από τα φυτά για πάνω από πέντε διαδοχικές χρονιές δοκιμών σε γλάστρες με μαρούλι, σπανάκι, ανοιξιάτικο σιτάρι, αντίδι και καλαμπόκι σε αμμώδες και σε αργιλώδες έδαφος. Το Cd είχε επίσης μια ανταγωνιστική επίδραση στην πρόσληψη Zn αλλά όχι τόσο καθοριστική ενώ στο αργιλώδες έδαφος υπήρχαν ενδείξεις για μια συνεργική επίδραση όπου η πρόσληψη Zn αυξανόταν με τη χρήση Cd. Οι Oliver et.al. (1994) αναφέρουν ότι οι εφαρμογές χαμηλών αναλογιών Zn ( $5 \text{ kg ha}^{-1}$ ) προκαλούν αισθητά τη μείωση των συγκεντρώσεων Cd στους κόκκους σιταριού σε περιοχές οριακής έως σοβαρής έλλειψης Zn στη Νότια Αυστραλία. Προτείνουν ότι αυτή η επίδραση θα μπορούσε κατά ένα μέρος να οφείλεται στην αποκατάσταση της βλάβης στους ριζικούς ιστούς που προκλήθηκε από την έλλειψη Zn καθώς επίσης και στον ανταγωνισμό ανάμεσα στο Cd και τον Zn για απορρόφηση. Ο σίδηρος θεωρείται πως έχει μια συνεργική επίδραση στην πρόσληψη Cd εξαιτίας του ότι απορροφάται πιο εύκολα, αφήνοντας έτσι περισσότερο Cd στο διάλυμα (Adriano, 1986). Η μεταφορά του Cd στους βλαστούς του φυτού μπορεί επίσης να αποτραπεί από σχετικές περίσσειες άλλων στοιχείων (Chaney and Giordano, 1977). Ο De Villarroel et.al. (1993) έδειξαν ότι η εφαρμογή λιπασμάτων N σε ελβετικό παντζάρι που αναπτύσσεται σε έδαφος που έχει δεχθεί λάσπες βιολογικών καθαρισμών παρουσίασε αύξηση της πρόσληψης Cd. Με την αυξημένη απόδοση η πρόσληψη του Cd αυξήθηκε κατά 50% αλλά αυτή του Zn παρέμεινε αμετάβλητη. Η αυξημένη ανάπτυξη των ριζών που προέκυψε από την λίπανση με N φαίνεται να έχει διευκολύνει τη συγκράτηση του καδμίου από το ριζικό σύστημα.

## 2.5.2 Παράγοντες του φυτού που επηρεάζουν την πρόσληψη καδμίου από το έδαφος

### 2.5.2.1 Γονότυπος του φυτού

Τα είδη των φυτών και οι ποικιλίες (καλλιεργήσιμα είδη) διαφέρουν κατά πολύ στην ικανότητά τους να απορροφούν, να συσσωρεύουν και να αντέχουν βαρέα μέταλλα. Οι Davis and Calton – Smith (1980) έδειξαν ότι το μαρούλι, το σπανάκι, το σέλινο και το λάχανο έτειναν να συσσωρεύουν σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις καδμίου, ενώ οι κόνδυλοι της πατάτας, το καλαμπόκι, τα γαλλικά φασόλια και τα μπιζέλια συσσωρεύαν μόνο μικρές ποσότητες καδμίου. Πολλοί ερευνητές έχουν βρει ότι το μαρούλι είναι ο μεγαλύτερος συσσωρευτής καδμίου ανάμεσα στις καλλιέργειες (Adriano, 1986). Τα φύλλα της ντομάτας βρέθηκαν να συσσωρεύουν 70 φορές περισσότερο κάδμιο από τα φύλλα του καρότου από το ίδιο διάλυμα καλλιέργειας (Turner, 1977). Οι Bingham et.al. (1975) έδωσαν την ακόλουθη σειρά φθίνουσας ευαισθησίας στην τοξικότητα του καδμίου, βασισμένη στη συγκέντρωση του καδμίου στο έδαφος, που προκαλούσε μια μείωση 25% στην απόδοση: σπανάκι > σόγια > κατσαρό κάρδαμο > μαρούλι > καλαμπόκι > καρότο > γογγύλι > φασόλι του αγρού > σιτάρι > ραδίκι > τομάτα > κολοκύθι > λάχανο > ελβετικό παντζάρι > ορεινό ρύζι. Ωστόσο, αυτή η σειρά ισχύει μόνο για καλλιεργήσιμο είδος από κάθε λαχανικό. Τα καλλιεργήσιμα είδη ενός λαχανικού μπορούν να διαφέρουν κατά πολύ στην αντοχή τους σε ίχνοστοιχεία. Στη Νότια Αυστραλία, οι McLaughlin et.al. (1994) συνέκριναν την πρόσληψη καδμίου από 14 συνήθως καλλιεργούμενα είδη πατάτας σε 12 τοποθεσίες και ανακάλυψαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των καλλιεργήσιμων ειδών στις περισσότερες τοποθεσίες και μια μέση κλίμακα συγκέντρωσης ύψους από 30 ως 50  $\mu\text{g kg}^{-1}$  νωπό βάρος. Σε κάποιες από τις τοποθεσίες, μεμονωμένα καλλιεργήσιμα είδη ξεπερνούσαν τη μέγιστη επιτρεπόμενη συγκέντρωση των 50  $\mu\text{g kg}^{-1}$  νωπό βάρος.

Οι Sposito and Page (1984) υπολόγισαν την απομάκρυνση του καδμίου από τα εδάφη από τις σοδειές που συλλέχτηκαν (σε  $\text{g ha}^{-1} \text{y}^{-1}$ ) να είναι: πατάτες 0,79, ντομάτες 0,22, σπανάκι 0,57, σιτάρι 0,06. Όταν συγκρίνονται σε σχέση με τους υπολογισμούς για τις προσθήκες καδμίου στο έδαφος (παράγραφος 2.3), μπορεί να διαφανεί ότι υπάρχει μια θετική ισορροπία με την προσθήκη να ξεπερνά την απομάκρυνση.

### 2.5.2.2 Κατανομή του καδμίου στα φυτά

Το κάδμιο μαζί με το Mn, τον Zn, το B, το Mo και το Se θεωρούνται ότι αποτελούν τα ιχνοστοιχεία που μεταφέρονται εύκολα στις κορυφές των φυτών μετά την απορρόφηση μέσω των ριζών (Chaney and Giordano, 1977). Ο MacLean (1976) έδειξε ότι το κάδμιο ήταν παρόν σε υψηλότερες συγκεντρώσεις στις ρίζες από ότι σε άλλα μέρη της βρώμης, της σόγιας, του γρασιδιού τύπου τίμοθυ, του τριφυλλιού, του καλαμποκιού και της ντομάτας, αλλά κανένα από αυτά δεν καλλιεργείται για την κατανάλωση των ριζών του. Παρόλα αυτά, στο μαρούλι, στο καρότο, στον καπνό και στην πατάτα οι περιεκτικότητες σε κάδμιο ήταν υψηλότερες στα φύλλα (MacLean, 1976). Στα φυτά της σόγιας, το 2% του συσσωρευμένου καδμίου βρισκόταν στα φύλλα και το 8% στους σπόρους (Cataldo et.al. 1981).

Η διαφοροποίηση του καδμίου στους ιστούς των εδάδιμων φυτών αποτελεί ένα σημαντικό παράγοντα για τον καθορισμό της συσσώρευσής του στο ανθρώπινο σώμα. Το κάδμιο έχει βρεθεί να είναι ενωμένο στις κυτταροπλασματικές πρωτεΐνες που συνήθως περιέχουν κυστεΐνη και ονομάζονται συλλογικά φυτοκελατίνες. Αυτές οι πρωτεΐνες έχουν εντοπιστεί στα μανιτάρια, στα φασόλια, στη σόγια, στο λάχανο, στο σιτάρι και σε άλλα φυτά (Spivey Fox, 1988). Δεν είναι ακόμη γνωστό αν κάποιοι παράγοντες του εδάφους μπορούν να επηρεάσουν τη διαφοροποίηση του καδμίου στις καλλιέργειες, πέραν του να καθορίζουν την ποσότητα του μετάλλου που προσλαμβάνεται. Οι αυξημένες συγκεντρώσεις καδμίου στους ιστούς των φυτών μπορεί να προκαλέσει το σχηματισμό φυτοκελατίνων.

Επιπλέον της πρόσληψης μέσω των ριζών, το κάδμιο μπορεί να απορροφηθεί αποτελεσματικά στο φύλλωμα και να μετατοπιστεί σε όλο το φυτό και αυτή αποτελεί μια σημαντική διαδρομή για το κάδμιο στην τροφική αλυσίδα σε περιοχές επηρεασμένες από την ατμοσφαιρική μόλυνση (Tjell et.al. 1983).

## **2.6 Εδάφη μολυσμένα με κάδμιο**

Πέρα από τις μικρές, αλλά σημαντικές προσλήψεις του καδμίου από την ατμοσφαιρική απόθεση και τα λιπάσματα P, που είναι σχετικά ευρέως διαδεδομένα, οι πιο συνηθισμένες πηγές υψηλών συγκεντρώσεων μολυσματικού καδμίου στα

εδάφη είναι: (α) εξόρυξη Pb – Zn και καμίνευση και (β) μεγάλη χρήση λασπών βιολογικών καθαρισμών για πολλά χρόνια.

### **2.6.1 Ρύπανση από μεταλλοφόρα εξόρυξη και καμίνευση**

Όπου ο ZnS, ο ZnCO<sub>3</sub> ή άλλα θειούχα μεταλλεύματα εξορύσσονται ή καμινεύονται, εκεί υφίσταται η πιθανότητα της ρύπανσης από κάδμιο. Η κύρια πηγή των μετάλλων στα εδάφη που περιβάλλουν τα παλιά ορυχεία είναι οι σωροί των πολύ ψιλά αλεσμένων υπολειμμάτων της εκμετάλλευσης τα οποία συνήθως περιέχουν από 1 ως 10 mg Cd kg<sup>-1</sup> αλλά μπορούν να έχουν ως 500 mg kg<sup>-1</sup>. Σε μια μελέτη γύρω από δύο ιστορικά ορυχεία Pb – Zn στο Ηνωμένο Βασίλειο οι Merrington and Alloway (1994) βρήκαν ότι τα αερομεταφερόμενα σωματίδια των υπολειμμάτων συνεισέφεραν μέχρι και 3,3 kg Cd y<sup>-1</sup> στα εδάφη εντός 300 μέτρων από τις σωρούς των υπολειμμάτων της εξόρυξης. Μέχρι 4,8 kg Cd y<sup>-1</sup> μεταφέρονταν από τις σωρούς με τα παραποτάμια ρυάκια και το 88% από αυτό ήταν σε διάλυμα ως αποτέλεσμα της αποσάθρωσης του εναπομείναντα σφαλερίτη. Οι Davies and Roberts (1975) ανέφεραν συνολικές συγκεντρώσεις καδμίου μέχρι και 540 mg kg<sup>-1</sup> σε εδάφη μολυσμένα από εξόρυξη Pb – Zn στη Βόρεια Ουαλία του Ηνωμένου Βασιλείου. Στη Μοντάνα των Η.Π.Α. οι Little and Martin (1972) βρήκαν μέχρι 750 mg Cd kg<sup>-1</sup> σε εδάφη σε κοντινή απόσταση από μια υψικάμινο Zn. Οι ασυνήθιστες συγκεντρώσεις στα εδάφη εντοπίστηκαν μέχρι και 40 km από ένα βιομηχανικό συγκρότημα καύσης στη Νότια Ουαλία του Ηνωμένου Βασιλείου (Holmes, 1976) και μέχρι 10 με 15 km από την υψικάμινο του Avonmouth κοντά στο Bristol του Ηνωμένου Βασιλείου (Asami, 1984).

Η μόνη καθαρά αποσαφηνισμένη περίπτωση ρύπανσης του εδάφους και του νερού που προκάλεσε δηλητηρίαση από κάδμιο σε ανθρώπους, ήταν ανάμεσα σε καλλιέργειες ρυζιού στην κοιλάδα Jintsu στην περιφέρεια Toyama στην Ιαπωνία. Ένα ορυχείο Pb – Zn προκαλούσε εκτεταμένη μόλυνση του ποτάμιου νερού και των εδαφών των ορυζώνων στην πεδιάδα κατάκλυσης της κοιλάδας Jintsu για πολλά χρόνια. Κατά τη διάρκεια και μετά το Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο, περισσότερες από 200 γηραιές γυναίκες που είχαν γεννήσει πολλά παιδιά ανέπτυξαν σκελετικές παραμορφώσεις και βλάβες στα νεφρά και 65 πέθαναν. Αυτή η κατάσταση (αρρώστια “itai- itai”) προκλήθηκε πρωταρχικά από τοξικότητα καδμίου που υποστηρίχθηκε από διατροφικές ελλείψεις σε Ca, σε βιταμίνη D και πρωτεΐνες, επιπλέον των επιπτώσεων

των εγκυμοσύνων και της γήρανσης. Τόσο το τοπικά καλλιεργημένο ρύζι όσο και το πόσιμο νερό είχαν καταφανώς μολυνθεί από κάδμιο (Fassett, 1980). Οι μέσες περιεκτικότητες σε κάδμιο του ρυζιού ήταν 10 φορές υψηλότερες από τα τοπικά όρια ελέγχου ( $0,7 \text{ mg kg}^{-1}$  και  $0,07 \text{ mg kg}^{-1}$  καθαρού βάρους αντίστοιχα) με ένα μέγιστο  $3,4 \text{ mg Cd kg}^{-1}$  (Fassett, 1980; Adriano, 1986). Μια πρόσφατη έρευνα ρυζιού σε 22 χώρες έδειξε μια μέση συγκέντρωση ύψους  $0,029 \text{ mg Cd kg}^{-1}$ , αλλά ο αριθμητικός μέσος για την Ιαπωνία ήταν  $0,065 \text{ mg Cd kg}^{-1}$  (Adriano, 1986). Η πρόσληψη καδμίου από τους κατοίκους της κοιλάδας Jintsu υπολογίστηκε πως ήταν  $600 \mu\text{g day}^{-1}$  που είναι δέκα φορές υψηλότερη από τη μέγιστη ανεκτή πρόσληψη (Fassett, 1980). Στην Ιαπωνία, το 9,5% των εδαφών των ορυζώνων έχουν βρεθεί να είναι μολυσμένα από κάδμιο, καθορισμένο επί τη βάση της παραγωγής ρυζιού με περιεκτικότητα σε κάδμιο  $1 \text{ mg Cd kg}^{-1}$  ή ανωτέρω. Ένα επιπλέον 3,2% των ορεινών εδαφών και το 7,5% των δενδρόκηπων είναι επίσης ρυπασμένα από κάδμιο (Kjellstrom, 1979). Το ρύζι αποτελεί την πηγή του πάνω από 60% του καδμίου που καταναλώνεται στις περιοχές που θεωρούνται μη μολυσμένες στην Ιαπωνία (Kjellstrom, 1979). Η απόδοση του ρυζιού δε μειώνεται από την τοξικότητα του καδμίου μέχρι οι συγκεντρώσεις του καδμίου στο ρύζι να είναι πολύ υψηλότερες από  $1 \text{ mg Cd kg}^{-1}$  μέγιστη επιτρεπόμενη συγκέντρωση για ανθρώπινη κατανάλωση (Rose et.al. 1979). Οι Sims and Morgan (1988) ανέφεραν ότι τα επίπεδα έκθεσης σε κάδμιο στην Ιαπωνία ήταν 3 φορές υψηλότερα από αυτά στη Σουηδία ή στις Η.Π.Α., κάτι που σημαίνει ότι η κύρια διατροφή με ρύζι περιέχει περισσότερο κάδμιο από τα συστατικά της διατροφής σε άλλες χώρες.

Μια άλλη περίπτωση περιβαλλοντικής μόλυνσης από Cd, Pb και Zn μεγάλης κλίμακας, σε μια κατοικημένη περιοχή, έλαβε χώρα στο χωριό του Shipham στο Somerset του Ηνωμένου Βασιλείου όπου ο Zn εξορυσσόταν κατά τη διάρκεια του δεκάτου όγδοου και δεκάτου ένατου αιώνα. Η μεγάλη κλίμακας εξάπλωση του χωριού συνέβη μεταξύ 1951 και 1981, όταν οι περισσότερες από τις νέες κατοικίες χτίστηκαν στις θέσεις των παλιών ορυχείων. Γεωχημικές έρευνες στο έδαφος αποκάλυψαν ότι υπήρχαν πολύ υψηλές συγκεντρώσεις Cd, Pb και Zn στα εδάφη του χωριού (Morgan and Sims, 1988). Υπό το πρίσμα των πιθανών επιπτώσεων στην υγεία εξαιτίας αυτής της μόλυνσης, μια εμπειριστατωμένη έρευνα πραγματοποιήθηκε το 1979 για να καταγράψει τα βαρέα μέταλλα στα εδάφη, στη σκόνη των σπιτιών και στις καλλιέργειες και για να εκτιμήσει την υγεία των κατοίκων του Shipham και ενός κοντινού χωριού ως μέτρο αναφοράς.



Οι κλίμακες και οι μέσες αριθμητικές τιμές ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) αντίστοιχα για 329 δείγματα εδαφών από το Shipham ήταν: Cd 2 – 360 (91), Zn 250 – 37200 (7600) και Pb 108 – 6540 (2340). Η μέση αριθμητική συγκέντρωση Cd (καθαρό βάρος) σχεδόν 1000 δειγμάτων λαχανικών ήταν  $0,25 \text{ mg kg}^{-1}$  που ήταν σχεδόν 17 φορές υψηλότερο από τον εθνικό μέσο όρο των  $0,015 \text{ mg Cd kg}^{-1}$ . Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις Cd βρέθηκαν σε φυλλώδη λαχανικά, όπως το σπανάκι, το μαρούλι και τα φυτά του γένους brassica. Τα περισσότερα μολυσμένα λαχανικά περιείχαν 15 ως 60 φορές περισσότερο κάδμιο από αυτά που καλλιεργούνταν σε κανονικά εδάφη. Οι μελέτες υγείας σε 500 ανθρώπους (περίπου το 50% του πληθυσμού) αποκάλυψαν μικρές αλλά σημαντικές διαφορές σε κάποιες βιοχημικές παραμέτρους, αλλά δεν υπήρχαν αποδείξεις για δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία στα συμμετέχοντα μέλη του πληθυσμού (Bhattacharyya, 1991). Εμφανείς διαφορές υπάρχουν ανάμεσα στον πληθυσμό του Shipham και σε αυτόν της κοιλάδας Jintsu. Οι άνθρωποι του Shipham είχαν μια θρεπτικά ανώτερη διατροφή, με μόνο ένα μικρό μέρος της διατροφής τους να παράγεται στα μολυσμένα εδάφη, ενώ και πολλοί άνθρωποι είχαν ζήσει στην περιοχή μόνο λίγα χρόνια.

Σε εργαστηριακά πειράματα με θηλυκά ποντίκια, βρέθηκε ότι η περίσσεια διατροφικού Cd μπορούσε να προκαλέσει μια εξαρτώμενη (από την ποσότητα Cd) απώλεια Ca από τα οστά των πολύτοκων νεαρών θηλυκών ποντικών, αλλά όχι από νεαρά θηλυκά ποντίκια με μία μόνο γέννα. Το Cd συνέτεινε στην παθογένεια του Cd και πιθανώς δρα άμεσα στα οστά από ότι έμμεσα ως αποτέλεσμα της νεφρικής δυσλειτουργίας (McGrath et.al. 1986).

### **2.6.2 Μόλυνση του εδάφους από αυξημένη χρήση λασπών βιολογικών καθαρισμών**

Κανονισμοί υπάρχουν σε πολλές χώρες για τα μέγιστα φορτία Cd του εδάφους από λάσπες βιολογικών καθαρισμών. Το υποχρεωτικό όριο της Ε.Ε. για τον ρυθμό πρόσθεσης είναι  $0,15 \text{ kg Cd ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$  με μέγιστη επιτρεπόμενη συνολική περιεκτικότητα Cd του εδάφους τα  $3 \text{ mg Cd kg}^{-1}$  (McGrath et.al. 1994).

Οι Pike et.al. (1988) αναφέρουν περιεκτικότητες Cd μέχρι και  $61 \text{ mg Cd kg}^{-1}$ ,  $2470 \text{ mg Pb kg}^{-1}$  και  $2020 \text{ mg Cr kg}^{-1}$  στο έδαφος ενός χώρου απόθεσης λασπών βιολογικών καθαρισμών στο Leicester του Ηνωμένου Βασιλείου. Οι Alloway et.al. (1988) ερεύνησαν πάνω από 20 τοποθεσίες που είχαν δεχτεί μεγάλες ποσότητες λασπών βιολογικών καθαρισμών και βρήκαν συνολικές περιεκτικότητες σε Cd του

εδάφους μέχρι και  $64,2 \text{ mg Cd kg}^{-1}$  (με μέχρι και  $938 \text{ mg Pb kg}^{-1}$ ,  $1478 \text{ mg Zn kg}^{-1}$ ,  $770 \text{ mg Cu kg}^{-1}$ ,  $333 \text{ mg Ni kg}^{-1}$  και  $6000 \text{ mg Cr kg}^{-1}$ ). Οι Chumbley and Unwin (1982) βρήκαν συγκεντρώσεις Cd μέχρι και  $16,8 \text{ mg kg}^{-1}$  ξηρό βάρος στο μαρούλι και  $8,0 \text{ mg kg}^{-1}$  ξηρό βάρος στο σπανάκι που καλλιεργήθηκαν σε εδάφη που είχαν δεχθεί μεγάλες ποσότητες λασπών βιολογικών καθαρισμών για αρκετά χρόνια με συνολικές περιεκτικότητες σε κάδμιο μέχρι και  $26,2 \text{ mg kg}^{-1}$ . Οι Mahler et.al. (1978) βρήκαν περιεκτικότητες καδμίου μέχρι και  $96,3 \text{ mg Cd kg}^{-1}$  ξηρό βάρος στο καλαμπόκι και μέχρι  $53,2 \text{ mg kg}^{-1}$  σε ελβετικά παντζάρια σε εδάφη που είχαν προηγούμενα δεχθεί λάσπες βιολογικών καθαρισμών.

Οι Hinesly et.al. (1979) βρήκαν ότι ασυνήθιστα υψηλές περιεκτικότητες σε Zn, Cu, Ni, Cd και Cr από λάσπες βιολογικών καθαρισμών είχαν παραμείνει στο επιφανειακό στρώμα του εδάφους ενός μονοπατιού χωραφιού για πάνω από 40 χρόνια μετά από την εφαρμογή των λασπών. Σε μια επισκόπηση μιας άλλης εργασίας, οι Hinesly et.al. (1979) βρήκαν ότι η πρόσληψη μετάλλων από τις καλλιέργειες στα χρόνια μετά την εφαρμογή λασπών παρέμενε σταθερή σε 9 από τις 11 μελέτες που λήφθηκαν υπόψη. Από τις δύο μελέτες, οι οποίες ανέφεραν μια μείωση στην πρόσληψη από το φυτό κατά την υπόλοιπη περίοδο, η μια περιπλέχθηκε λόγω μεγάλων αλλαγών στο pH, αλλά η άλλη, από τους Bidwell and Dowdy (1987), έδειξε μια μείωση της πρόσληψης από την καλλιέργεια κατά τη διάρκεια των τεσσάρων χρόνων μετά την εφαρμογή των λασπών. Μια ραγδαία μείωση στην πρόσληψη καδμίου ( $\text{g ha}^{-1}$ ) από το καλαμπόκι αναφέρθηκε μετέπειτα από τους Bidwell and Dowdy (1987). Αυτοί ανέφεραν ότι οι εφαρμογές λασπών αύξησαν τις συγκεντρώσεις Cd και Zn στα στελέχη του καλαμποκιού και στο σπόρο, αλλά μετά από τον τερματισμό των εφαρμογών, αυτές οι συγκεντρώσεις μειώθηκαν ραγδαία στα πρώτα δύο ή τρία χρόνια. Οι περιεκτικότητες σε κάδμιο είχαν μειωθεί κατά 80% σε έξι χρόνια μετά από τη χρήση λασπών. Ούτε το τεστ εδάφους με DTPA ούτε εκείνο με  $\text{HNO}_3$  πρόβλεψαν αυτή τη μείωση στην πρόσληψη από τα φυτά. Ο Ryan (1987) υπέδειξε ότι σε υψηλούς ρυθμούς εφαρμογών οι ίδιες οι λάσπες βιολογικών καθαρισμών αποτελούν τον κύριο παράγοντα που καθορίζει τη βιοδιαθεσιμότητα των μετάλλων που δημιουργήθηκαν στις λάσπες βιολογικών καθαρισμών από ότι οι ιδιότητες του εδάφους. Οι Jing and Logan (1992) έδειξαν ότι η πρόσληψη καδμίου από το φυτό από ένα έδαφος που έχει δεχθεί λάσπες βιολογικών καθαρισμών είναι στενά συσχετιζόμενη με την περιεκτικότητα σε κάδμιο των λασπών και με τις αναλογίες Cd:P σε αυτά. Οι Hooda and Alloway (1993) βρήκαν ότι η πρόσληψη

καδμίου από το φυτό γένους *Lolium* (ryegrass) από μείγματα εδάφους – λασπών με 50 tn λασπών ha<sup>-1</sup> και 150 tn λασπών ha<sup>-1</sup> ήταν υψηλότερη από την ηπιότερη χρήση λασπών. Αυτό υποδείκνυε ότι παρότι ο υψηλότερος ρυθμός συνεισέφερε περισσότερο κάδμιο και άλλα μέταλλα στο αναπτυσσόμενο περιβάλλον, η μεγαλύτερη ποσότητα της οργανικής ουσίας και άλλων απορροφητικών ουσιών καθιστούσε τα μέταλλα λιγότερο διαθέσιμα σε αυτή την εφαρμογή.

Η βιοδιαθεσιμότητα των μετάλλων σε εδάφη που έχουν δεχθεί λάσπες βιολογικών καθαρισμών κατά τη διάρκεια της υπόλοιπης περιόδου μεταβάλλεται ανάλογα με τις διαφοροποιήσεις του pH. Καθώς η οργανική ουσία ορυκτοποιείται, το έδαφος είναι πιθανό να γίνει πιο όξινο. Η προσθήκη ασβεστίου σε εδάφη με pH 7, που συνεχίζουν να δέχονται λάσπες βιολογικών καθαρισμών, προκαλεί μια μείωση στην πρόσληψη καδμίου από τις καλλιέργειες (Mahler et.al. 1978; Jackson and Alloway, 1992). Οι Jackson and Alloway (1992) βρήκαν ότι η προσθήκη ασβεστίου σε 18 διαφορετικά εδάφη με pH 7 που δέχονται μεγάλες ποσότητες λασπών μείωνε την περιεκτικότητα σε κάδμιο του λάχανου κατά ένα μέσο όρο 43% και αυτή του μαρουλιού κατά 41%. Οι Ryan et.al. (1982) υπολόγισαν ότι η διατήρηση των εδαφών σε τιμή pH 7 που δέχονται λάσπες βιολογικών καθαρισμών θα επέτρεπε να εφαρμοστεί σχεδόν τρεις φορές περισσότερο κάδμιο ανά εκτάριο στα εδάφη που χρησιμοποιούνται για παραγωγή εδώδιμων καλλιεργειών από ότι θα μπορούσε να εφαρμοστεί σε όξινα εδάφη (pH 5,6).

Έχει βρεθεί ότι οι σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις των μετάλλων που βρίσκονται στα εδάφη που δέχονται μεγάλες ποσότητες λασπών έχουν μια ανασχετική επίπτωση στη μικροβιακή βιομάζα του εδάφους. Αυτό είναι περισσότερο εμφανές στην περίπτωση του *Rhizobium leguminosum* το οποίο έχει αποδειχθεί πως είναι πολύ ευαίσθητο στην τοξικότητα του καδμίου (Chaudri et.al. 1982). Σε πολλά εδάφη που δέχονται λάσπες βιολογικών καθαρισμών, η υψηλή περιεκτικότητα σε Zn θεωρείται πως θέτει ένα σημαντικότερο πρόβλημα μικροβιολογικής τοξικότητας από το κάδμιο (το οποίο βρίσκεται συχνά σε πολύ χαμηλότερες συγκεντρώσεις) αλλά το κάδμιο είναι πιο τοξικό για τους μικροοργανισμούς. Η σειρά τοξικότητας βρέθηκε πως είναι: Cu > Cd > Ni > Zn (Chaudri et.al. 1982).

Επιπλέον της μείωσης του pH, η διαδικασία δημιουργίας οργανομεταλλικών συμπλόκων θα μπορούσε επίσης να μειώσει την ικανότητα προσρόφησης καδμίου σε κάποια εδάφη, ειδικότερα αμμώδη εδάφη που έχουν μικρή περιεκτικότητα σε αργιλικά συστατικά. Ο Alloway (1988) είχε ενδείξεις αυτού σε ένα αμμώδες έδαφος

που είχε δεχθεί λάσπες βιολογικών καθαρισμών από μια έκταση στη Νοτιοδυτική Γαλλία, που είχε περιεκτικότητα σε οργανική ουσία μόνο 1,8% και μεγάλη αναλογία διαλυτού καδμίου (Πίν. 2.6). Ωστόσο, οι Hinesly et.al. (1979) δε διαπίστωσε τάση προς αύξηση της διαθεσιμότητας του καδμίου σε ένα αμμοαργιλώδες έδαφος σχεδόν 30 χρόνια μετά την παύση της εφαρμογής λασπών βιολογικών καθαρισμών. Όμως το κλίμα δε συνέβαλε τόσο πολύ στην οξείδωση της οργανικής ουσίας όπως αυτό στη Νοτιοδυτική Γαλλία. Οι Hooda and Alloway (1993) έδειξαν ότι τόσο το pH όσο και η περιεκτικότητα σε οργανική ουσία των μιγμάτων των εδαφών – λασπών βιολογικών καθαρισμών μειώθηκε σε μια περίοδο δύο χρόνων μετά την ανάμιξη.

Αυτή η μείωση ήταν σχετικά ραγδαία κατά τη διάρκεια των δύο πρώτων μηνών και στη συνέχεια πιο ομαλή. Το pH του μίγματος με το χαμηλότερο ρυθμό εφαρμογής λασπών βιολογικών καθαρισμών ( $50 \text{ tn ha}^{-1}$ ) μειώθηκε σε ένα επίπεδο σημαντικά χαμηλότερο από αυτό του εδάφους αναφοράς (μάρτυρα) και αυτό του υψηλότερου ρυθμού έφτασε το ίδιο pH όπως αυτό του εδάφους αναφοράς. Αυτά τα ευρήματα υποδεικνύουν ότι η εφαρμογή λασπών μπορεί να έχει μια συνολική οξειδωτική επίδραση σε εδάφη με χαμηλή ικανότητα προστασίας. Οι προβλεφθείσες αλλαγές στο παγκόσμιο κλίμα για τα επόμενα 40 χρόνια λόγω του «φαινομένου του θερμοκηπίου» είναι πιθανό να έχουν σημαντικές επιπτώσεις στην περιεκτικότητα σε οργανική ουσία και στην έκταση διήθησης στα εδάφη. Κατά συνέπεια, η βιοδιαθεσιμότητα του καδμίου και των άλλων βαρέων μετάλλων σε μολυσμένα εδάφη σε πολλές περιοχές είναι πιθανό να αλλάξει κατά τη διάρκεια αυτού του χρονικού διαστήματος.

Ο Πίνακας 2.6 δίνει κάποια αποτελέσματα για εδάφη που έχουν μολυνθεί από την εξόρυξη και για εδάφη που έχουν δεχθεί λάσπες βιολογικών καθαρισμών, σχετικά με τις περιπτώσεις που συζητήθηκαν ανωτέρω. Είναι φανερό ότι τα εδάφη του Shipham έχουν τη χαμηλότερη αναλογία καδμίου στο εδαφικό διάλυμα εξαιτίας του υψηλού pH τους και της περιεκτικότητάς τους σε άλατα ανθρακικού οξέως. Το έδαφος στη Δυτική Ουαλία που μολύνθηκε από την εξόρυξη παρουσιάζει την υψηλότερη σχετική διαλυτότητα αλλά τη χαμηλότερη συνολική περιεκτικότητα σε κάδμιο. Αυτή η υψηλή διαλυτότητα οφείλεται προφανώς στο πολύ χαμηλό του pH. Το έδαφος στη Γαλλία που δέχθηκε λάσπες βιολογικών καθαρισμών έχει χαμηλή περιεκτικότητα σε οργανική ουσία και σχετικά υψηλή αναλογία διαλυτού καδμίου, σε σύγκριση με τα εδάφη της φάρμας εναπόθεσης λασπών που έχει υψηλότερη περιεκτικότητα σε οργανική ουσία και παρόμοιο ή χαμηλότερο pH. Το έδαφος της

κοιλιάδας Jintsu ήταν σε μια αερόβια κατάσταση περισσότερο από την πιο χαρακτηριστική συνδεδεμένη με το νερό κατάσταση μη οξυγόνωσης. Η χαμηλή του προσροφητική ικανότητα για κάδμιο οφειλόταν προφανώς στη μικρή περιεκτικότητά του σε ένυδρα οξείδια, στο σχετικά χαμηλό pH και στη χαμηλή περιεκτικότητα σε οργανική ουσία (Alloway, 1988).

**Πίνακας 2.6 Οι συνολικές και διαλυτές περιεκτικότητες σε Cd των εδαφών που έχουν μολυνθεί από πολλές διαφορετικές πηγές % OM. (Hooda and Alloway, 1993).**

ΕΔΑΦΟΣ	ΠΗΓΗ Cd	pH	% OM	ΣΥΝΟΛΙΚΟ Cd	ΔΙΑΛΥΤΟ Cd	S/T %
Κοιλιάδα Jintsu (Ιαπωνία)	Μετάλλευμα Pb – Zn	5,1	7,5	3,0	0,119	3,97
Shipham	Μετάλλευμα Zn	7,5	10,2	134	0,053	0,04
Έκταση	Μετάλλευμα Zn	7,8	8,6	365	0,158	0,04
Δ. Ουαλία	Μετάλλευμα Pb – Zn	4,1	12,4	1,4	0,227	16,2
Γαλλία	Λάσπες βιολογικών καθαρισμών	6,4	1,8	80,2	2,652	3,31
Φάρμα εναπόθεσης λάσπης βιολογικών καθαρισμών 1	Λάσπες βιολογικών καθαρισμών	5,1	28,4	20,0	0,236	1,18
Φάρμα εναπόθεσης λάσπης βιολογικών καθαρισμών 2	Λάσπες βιολογικών καθαρισμών	6,5	26,9	64,24	0,099	0,15
Φάρμα εναπόθεσης λάσπης βιολογικών καθαρισμών 3	Λάσπες βιολογικών καθαρισμών	5,5	19,6	59,8	0,250	0,43

### 2.6.3 Βελτίωση και αποκατάσταση των εδαφών που είναι μολυσμένα με κάδμιο

Η διακινδύνευση της υγείας των φυτών, των ζώων και των ανθρώπων από εδάφη μολυσμένα με κάδμιο μπορεί να μειωθεί ή να εξαλειφθεί με τις ακόλουθες ενέργειες:

(α) Πλήρης απομάκρυνση του ρυπασμένου εδάφους, ασφαλής απόρριψή του (όπως σε μια χωματερή με άδεια) και αντικατάσταση με καθαρό (μη ρυπασμένο) έδαφος. Αυτό βέβαια διαταράσσει την περιοχή και κοστίζει πολύ ακριβά.

(β) Κάλυψη του ρυπασμένου εδάφους με ένα στρώμα (συνήθως πάχους <1m) μη ρυπασμένου εδάφους («παχύ στρώμα κάλυψης»). Συχνά, μια προστατευτική μεμβράνη τοποθετείται πάνω στο υποκείμενο ρυπασμένο έδαφος για να ελαχιστοποιήσει την ανοδική τριχοειδή κίνηση των διαλυτών. Τα εδάφη των ορυζώνων που είναι ρυπασμένα αποκαθίστανται με την τοποθέτηση ενός στρώματος καθαρού εδάφους 30cm πάνω στο ρυπασμένο. Ωστόσο, οι οξειδοαναγωγικές συνθήκες σε βάθος διευκολύνουν αυτή την αποκατάσταση επειδή ένα μεγάλο μέρος του καδμίου θα παραμείνει σαν αδιάλυτο CdS. Όπως με την απομάκρυνση του ρυπασμένου στρώματος του εδάφους, η προσθήκη ενός στρώματος κάλυψης είναι επίσης ακριβή και μπορεί να δημιουργήσει μηχανικά προβλήματα σε κάποιες περιπτώσεις.

(γ) Ο περιορισμός του pH στην τιμή 7 για τη μείωση της βιοδιαθεσιμότητας, αποτελεί την πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδο αποκατάστασης και απαιτεί τακτική παρακολούθηση του pH του εδάφους για τη διατήρησή του σε υψηλά επίπεδα.

(δ) Η ανάμιξη πρόσθετης οργανικής ουσίας (καθαρές λάσπες βιολογικών καθαρισμών, κοπριά αγροκτημάτων, διάλυμα πηλού ή γύψου και άλλοι τύποι οργανικών αποβλήτων) στο ανώτερο στρώμα για την αύξηση της ΙΑΚ του εδάφους. Αυτή αποτελεί μια πιθανή στρατηγική αποκατάστασης αλλά σπάνια χρησιμοποιείται μόνη της.

(ε) Η ανάμιξη απορροφητικών βιομηχανικών μεταλλευμάτων όπως οι ζεολίτες, το kieselguhr και πιθανώς ένυδρα οξείδια του Mn στο ανώτερο στρώμα για την αύξηση της ΙΑΚ των εδαφών για κάδμιο και άλλα εν δυνάμει τοξικά στοιχεία. Ο Gworek (1992) έδειξε ότι η προσθήκη σβόλων συνθετικών ζεολιτών σε μολυσμένα εδάφη μείωσε σημαντικά (κατά 86%) την προσρόφηση του καδμίου στη βρώμη και στα φυτά του γένους *Lolium* σε πειράματα με γλάστρες. Παρότι οι Mench et.al. (1993)

θεώρησαν τα ένυδρα οξείδια του Mn ως τα πιο αποτελεσματικά από τα πέντε απορροφητικά σύμπλοκα μεταλλευμάτων για τη μείωση της πρόσληψης του Cd και του Pb από ένα έδαφος που έχει μολυνθεί από υψικάμινο, εκδήλωσαν την ανησυχία τους σχετικά με την μακροπρόθεσμη σταθερότητα αυτού του οξειδίου σε χαμηλό pH ή σε χαμηλές συνθήκες  $E_h$ .

(στ) Η μείωση της περιεκτικότητας σε κάδμιο του ρυπασμένου εδάφους με τη διήθηση με οξέα. Πρέπει να ληφθεί μέριμνα για την αποφυγή ρύπανσης των υπογείων υδάτων. Όπου χρησιμοποιείται η διήθηση οξέως υπάρχει ο κίνδυνος η διαθεσιμότητα του μετάλλου να αυξηθεί παρότι η συνολική περιεκτικότητα σε κάδμιο μειώνεται σημαντικά.

(ζ) Η κατάκλυση για τη δημιουργία οξειδοαναγωγικών συνθηκών και τη μετατροπή του μετάλλου σε αδιάλυτο CdS. Αυτή είναι η μόνη κατάλληλη για περιοχές καλλιέργειας ρυζιού ή για περιοχές όπου μπορούν να δημιουργηθούν λίμνες ή βάλτοι.

(η) Η καλλιέργεια υπερσυσσωρευτικών φυτών για την αφαίρεση μεγάλων ποσοτήτων του διαθέσιμου καδμίου και άλλων μετάλλων. Αυτή η τεχνική βρίσκεται κατά πολύ σε εμβρυϊκό στάδιο αλλά παρουσιάζει αξιοσημείωτο δυναμικό ειδικά για τον Zn (McGrath et.al. 1993).

(θ) Η καλλιέργεια μη εδάδιμων φυτών, ή σε περιπτώσεις ελαφριάς μόλυνσης, καλλιέργεια ειδών ή καλλιεργήσιμων ποικιλιών φυτών με χαμηλό δυναμικό συσσώρευσης του μετάλλου. Εναλλακτικά, φυτά που προορίζονται για παραγωγή ζωοτροφών για μηρυκαστικά θα μπορούσαν να καλλιεργηθούν και τα όργανα των ζώων που συσσωρεύουν το κάδμιο, όπως τα νεφρά, να απορρίπτονται από την ανθρώπινη κατανάλωση.

## **2.7 Επιπτώσεις του καδμίου στον άνθρωπο**

### **2.7.1 Ταυτότητα, φυσικές και χημικές ιδιότητες και μέθοδοι ανάλυσης**

Διάφορες μέθοδοι είναι διαθέσιμες για τον προσδιορισμό του καδμίου σε βιολογικά υλικά. Η φασματομετρία ατομικής απορρόφησης είναι η περισσότερο χρησιμοποιούμενη, αλλά απαιτείται προσεκτική επεξεργασία των δειγμάτων και διορθωτική παρέμβαση για την ανάλυση αυτών με χαμηλές συγκεντρώσεις καδμίου. Συνιστάται έντονα η ανάλυση να συνοδεύεται από πρόγραμμα εξασφάλισης της

ποιότητας. Προς το παρόν, είναι δυνατό υπό ιδανικές συνθήκες να καθοριστούν οι συγκεντρώσεις της τάξης του  $0,1 \mu\text{g l}^{-1}$  στα ούρα και στο αίμα και  $1 - 10 \mu\text{g kg}^{-1}$  στα τρόφιμα και σε δείγματα ιστών.

### **2.7.2 Πηγές ανθρώπινης και περιβαλλοντικής έκθεσης**

Το κάδμιο είναι ένα σχετικά σπάνιο στοιχείο και οι τρέχουσες διαδικασίες ανάλυσης δείχνουν πολύ χαμηλότερες συγκεντρώσεις του μετάλλου σε περιβαλλοντικά μέσα σε σχέση με προηγούμενες μετρήσεις. Προς το παρόν, δεν είναι δυνατό να διαπιστωθεί αν οι ανθρώπινες δραστηριότητες έχουν προκαλέσει μια ιστορική αύξηση στα επίπεδα καδμίου στους πόλους.

Η εμπορική παραγωγή του καδμίου ξεκίνησε στην αρχή αυτού του αιώνα. Τα δεδομένα για την κατανάλωση καδμίου έχουν αλλάξει τα τελευταία χρόνια με σημαντικές μειώσεις στην ηλεκτρολυτική επιμετάλλωση και αυξήσεις σε μπαταρίες και σε ειδικές ηλεκτρονικές χρήσεις. Στις περισσότερες από τις σημαντικότερες χρήσεις του καδμίου, αυτό χρησιμοποιείται υπό μορφή ενώσεων οι οποίες υπάρχουν σε χαμηλή συγκέντρωση. Αυτά τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα περιορίζουν την ανακύκλωση του καδμίου. Περιορισμοί σε ορισμένες χρήσεις του καδμίου που επιβάλλονται από μερικές χώρες μπορούν να έχουν εκτεταμένη επίδραση σε αυτές τις εφαρμογές.

Εδώδιμοι οργανισμοί που διαβιούν ελεύθεροι όπως τα οστρακόδερμα, τα καρκινοειδή και οι μύκητες, είναι φυσικοί συσσωρευτές καδμίου. Όπως και στην περίπτωση των ανθρώπων, υπάρχουν αυξημένα επίπεδα καδμίου στο συκώτι και στο νεφρό των αλόγων και μερικών άγριων ζώων. Η κανονική κατανάλωση αυτών των μερών μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένη έκθεση. Ορισμένα θαλάσσια σπονδυλωτά περιέχουν εμφανώς αυξημένες συγκεντρώσεις καδμίου στο νεφρό, οι οποίες, αν και θεωρούνται ότι είναι φυσικής προέλευσης, έχουν συνδεθεί με σημάδια ζημίας των νεφρών στους οργανισμούς αυτούς.

### **2.7.3 Επίπεδα στο περιβάλλον και έκθεση του ανθρώπου**

Ο κυριότερος τρόπος της έκθεσης στο κάδμιο για πληθυσμό μη καπνιστών είναι μέσω των τροφίμων. Η συμβολή άλλων τρόπων για τη συνολική προσρόφηση είναι μικρή. Ο καπνός είναι μια σημαντική πηγή προσρόφησης καδμίου στους



καπνιστές. Σε μολυσμένες περιοχές, η έκθεση στο κάδμιο μέσω των τροφίμων μπορεί να μεταφράζεται σε έως και αρκετά μg ημερησίως. Σε εκτιθέμενους εργαζομένους, η απορρόφηση του καδμίου μέσω των πνευμόνων μετά από την εισπνοή του αέρα των χώρων εργασίας είναι ο πιο σημαντικός τρόπος της έκθεσης. Αυξημένη λήψη μπορεί επίσης να προκύψει σαν συνέπεια της μόλυνσης από τα τρόφιμα και τον καπνό.

## 2.8 Συμπερασματικά σχόλια

Η εξαιρετικά ασταθής συμπεριφορά του Cd στα εδάφη, ειδικά σε εκείνα που είναι ρυπασμένα με σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις του μετάλλου, αποτελεί ένα σημαντικό παράγοντα στη συσσώρευση του Cd στην ανθρώπινη διατροφή. Η έμφαση πρέπει να δοθεί στην επισήμανση όλων των εδαφών με ασυνήθιστα υψηλές συγκεντρώσεις καδμίου προκειμένου να γίνουν οι κατάλληλοι χειρισμοί. Πρέπει να θυμόμαστε ότι, στις περισσότερες περιπτώσεις, αυτά τα εδάφη θα παραμείνουν ρυπασμένα για εκατοντάδες χρόνια (πιθανότατα πάνω από 1000) και ότι η βιοδιαθεσιμότητα του καδμίου θα ποικίλλει αυτό το διάστημα ως αποτέλεσμα των αλλαγών στις ιδιότητες του εδάφους. Παρότι οι διαδικασίες «καθαρισμού» μπορεί να είναι δυνατό να εφαρμοστούν σε κάποιες περιπτώσεις, είναι απίθανο να είναι εφαρμόσιμες για την πλειοψηφία των γεωργικών εδαφών.

Οι Holmgren et.al. (1993) που πραγματοποίησαν την έρευνα στα «μη ρυπασμένα» εδάφη στις Η.Π.Α., συμπέραναν ότι η συσσώρευση του καδμίου στα εδάφη δεν αποτελούσε ένα σημαντικό πρόβλημα. Παρόλα αυτά, σε πολλές χώρες, σχετικά μεγάλες εκτάσεις μπορεί να έχουν ήδη μολυνθεί ή θα μολυνθούν από διάφορες πηγές όπως οι ατμοσφαιρικές εκπομπές, οι λάσπες βιολογικών καθαρισμών ή τα λιπάσματα υψηλής περιεκτικότητας σε Cd και P.

Θα ήταν λογικό να αποφεύγεται ή να ελαχιστοποιείται η περαιτέρω ρύπανση των εδαφών από υλικά που περιέχουν κάδμιο αλλά τα λιπάσματα P και οι λάσπες βιολογικών καθαρισμών αποτελούν προβλήματα. Τα φωσφορικά λιπάσματα είναι σημαντικά για τις μοντέρνες μεθόδους εντατικής γεωργίας και έτσι ο μόνος πιθανός δρόμος για τη μείωση των εισροών από αυτή την πηγή είναι η χρήση πρώτων υλών με χαμηλή περιεκτικότητα σε κάδμιο ή η αφαίρεση του μετάλλου όταν παρασκευάζονται. Παρότι οι περιεκτικότητες του Cd των κοιτασμάτων φωσφοριτών ποικίλουν αξιοσημείωτα, είναι απίθανο να είναι οικονομικά εφικτή η χρήση μόνο

εκείνων με χαμηλές συγκεντρώσεις του μετάλλου. Ωστόσο, η εφαρμογή της τεχνολογίας για την αφαίρεση του Cd κατά τη διάρκεια της διαδικασίας παρασκευής του λιπάσματος μπορεί να καταστεί εφικτή. Στην περίπτωση των λασπών βιολογικών καθαρισμών, είναι πιθανό να υπάρξει αυξημένη διάθεσή τους στο έδαφος, τουλάχιστον στις παραθαλάσσιες Ευρωπαϊκές χώρες ως αποτέλεσμα της απαγόρευσης της απόρριψης των λυμάτων στη θάλασσα. Ευτυχώς οι συγκεντρώσεις καδμίου στις λάσπες βιολογικών καθαρισμών μειώνονται, αλλά παρά το γεγονός ότι τα επίπεδα του καδμίου σε εδάφη που έχουν δεχθεί λάσπες βιολογικών καθαρισμών θα κρατηθούν κάτω από τις οριακές συγκεντρώσεις, το μέταλλο θα παραμείνει σε μια εν δυνάμει βιοδιαθέσιμη μορφή για πολλά χρόνια. Από ερευνητική σκοπιά, τίθεται η ανάγκη παρακολούθησης της συμπεριφοράς του καδμίου και άλλων μετάλλων σε εδάφη που έχουν δεχθεί λάσπες βιολογικών καθαρισμών για αόριστη χρονική περίοδο. Η περισσότερη από τη δουλειά που έχει δημοσιευτεί επί αυτού του θέματος σχετίζεται μόνο με περιόδους μέχρι και 10 χρόνων. Στην ανασκόπησή τους επί των μακροπρόθεσμων πειραμάτων για τις λάσπες βιολογικών καθαρισμών, οι Juste and Mench (1992) ανακάλυψαν ότι από τα 40 πειράματα πεδίου για τα οποία μπορούσαν να βρουν λεπτομέρειες, το παλαιότερο ξεκίνησε το 1942 (Woburn, Ηνωμένο Βασίλειο) και το δεύτερο παλαιότερο ξεκίνησε το 1958 (Βόννη, Γερμανία). Τα 52 χρόνια αποτελούν μια πολύ σύντομη χρονική περίοδο σε σχέση με την ανθεκτικότητα των μετάλλων στο έδαφος και συνεπώς αυτές οι μακροπρόθεσμες πειραματικές τοποθεσίες πρέπει να διατηρηθούν και να παρακολουθούνται. Τοποθεσίες με μεγαλύτερη ιστορία χρήσης λασπών υπάρχουν και χρειάζεται να επισημανθούν προκειμένου να καταστεί δυνατόν επίσης να μελετηθούν. Το πιο σημαντικό κριτήριο είναι το χρονικό διάστημα από την τελευταία χρήση λασπών.

Η εμφανής ρύπανση γύρω από παλιά ορυχεία και ερειπωμένα βιομηχανικά συγκροτήματα είναι περισσότερο άμεση στην αντιμετώπισή της και είναι λιγότερο πιθανό, σε σχέση με την απόρριψη λασπών, να επηρεάσει τις αγροτικές καλλιέργειες. Με την εγκαταλειμμένη γη οι επιλογές είναι να απομονωθεί και να περιοριστεί το μολυσμένο υλικό και έδαφος ή να καθαριστεί η περιοχή. Στις περισσότερες περιπτώσεις οι εκτάσεις χρησιμοποιούνται για βιομηχανικούς, εμπορικούς ή κερδοσκοπικούς σκοπούς και δεν επιστρέφονται στη γεωργία. Μολαταύτα, όπου εγκαταλειμμένη γη χρησιμοποιείται για οικιστικούς σκοπούς, πρέπει να ληφθεί η κατάλληλη μέριμνα ώστε τα εδάφη των κήπων να είναι κατάλληλα για την καλλιέργεια λαχανικών.

Η μελέτη στο Shipham του Ηνωμένου Βασιλείου (Bhattacharyya, 1991), δεν ανέφερε κάποιες σοβαρές συνέπειες του ρυπασμένου με κάδμιο εδάφους στην ανθρώπινη υγεία. Πολύ χαμηλότερα επίπεδα ρύπανσης Cd ( $<2,5 \text{ mg kg}^{-1}$ ) από βιομηχανικές εκπομπές σε ένα χωριό (Luuykestel) στο Kempenland της Ολλανδίας βρέθηκε ότι προκαλούν αυξημένα σωματικά βάρη και διαφοροποιημένη νεφρική λειτουργία (Kreis et.al. 1992). Υπάρχει μια εμφανής ανάγκη για την πραγματοποίηση περισσότερης έρευνας επί του προσδιορισμού της επικινδυνότητας των μολυσμένων από κάδμιο εδαφών, αλλά η ασφαλέστερη πολιτική θα ήταν η ελαχιστοποίηση των εισροών καδμίου στο έδαφος, όπου είναι εφικτό και ο περιορισμός της διαθεσιμότητας του στο σύστημα έδαφος – φυτό – ζώο. Επιπλέον των εμφανών ρόλων που διαδραματίζουν ο έλεγχος της ρύπανσης και η γεωχημεία, η καλλιέργεια φυτών μπορεί να συνεισφέρει ζωτικά μέσω της επιλογής και χρήσης των γονότυπων φυτών που θα συσσωρεύουν το λιγότερο κάδμιο (και άλλα εν δυνάμει τοξικά στοιχεία). Από την άλλη πλευρά, μείζονες συσσωρευτές βαρέων μετάλλων μπορεί να αποδειχτούν χρήσιμοι στον *in situ* (στον αρχικό) καθαρισμό του ρυπασμένου εδάφους.

## 3. Αλατότητα

### 3.1 Γενικά

Όταν ένα ιόν υπάρχει στο εδαφικό διάλυμα σε μια συγκέντρωση που ξεπερνά την απαιτούμενη ποσότητα για ιδανική ανάπτυξη, μπορεί να γίνει τοξικό για το φυτό. Διάφορα είδη ιόντων έχουν διαφορετικά τοξικά επίπεδα. Συγκεντρώσεις χλωρίου μέχρι  $200 \text{ mol m}^{-3}$  ή περισσότερο, μπορούν να γίνουν ανεκτές από κάποια φυτά, ενώ μια τόσο μικρή ποσότητα όπως  $0,2 \text{ mol m}^{-3}$  του βορίου είναι τοξική για κάποια φυτά. Η αλατότητα, όσον αφορά το έδαφος, δηλώνει μια περίσσεια αλάτων που προέρχονται από μέταλλα όπως  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  και  $\text{Mg}^{2+}$ . Τα κυρίαρχα ανιόντα είναι συνήθως  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  και  $\text{HCO}_3^-$ . Ένα έδαφος επηρεασμένο από άλατα είναι το έδαφος που περιέχει αρκετά εν διαλύσει άλατα ώστε να ανακόψει την ανάπτυξη της καλλιέργειας. Η σχετική αναλογία  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  και  $\text{Mg}^{2+}$  που περιέχουν τα εδάφη παίζει επίσης σημαντικό ρόλο. Οι σχετικές συγκεντρώσεις αυτών των ιόντων μπορούν να ποικίλουν μεταξύ των εδαφών. Οι επιπτώσεις τους στα φυτά, ειδικότερα σε ακραίες αναλογίες, μπορούν επίσης να ποικίλουν. Γενικά, τα φυτά αντιδρούν παρόμοια στην αλατότητα για μια αρκετά ευρεία κλίμακα συνδυασμών αλάτων. Η ανοχή στην αλατότητα αναφέρεται στην αντοχή μιας καλλιέργειας που αναπτύσσεται σε ένα αλατούχο έδαφος. Η ανοχή στα ειδικά ιόντα θα εξεταστεί χωριστά.

### 3.2 Αντιδράσεις των φυτών

Οι περισσότερες σχέσεις για τον προσδιορισμό της αλατότητας έχουν δημιουργηθεί για την καλύτερη κατανόηση των συνθηκών του φυσικού περιβάλλοντος υπό τις οποίες αναπτύσσονται τα φυτά. Κατά συνέπεια, η αντίδραση των φυτών στην αλατότητα αποτελεί ένα σημαντικό στοιχείο. Τα φυτά υφίστανται πιέσεις λόγω του νερού όταν το οσμωτικό δυναμικό είναι υψηλό και η αλατότητα μπορεί να διαταράξει τη θρέψη του φυτού καθώς υπάρχει ανισορροπία μεταξύ ορισμένων ανιόντων και κατιόντων. Αυτοί οι παράγοντες με τη σειρά τους μπορούν να επηρεάσουν την ανάπτυξη του φυτού, τον τρόπο ανάπτυξης των ριζών και τη διαίτησή. Η άμεση επίπτωση της αλατότητας είναι η μείωση της ανάπτυξης των φυτών.

Το κύριο πρόβλημα στη δημιουργία μοντέλων για την αντίδραση των φυτών στην αλατότητα είναι η έλλειψη της ποσοτικής γνώσης της αντίδρασης των φυτών στη διακύμανση της αλατότητας. Τα επίπεδα αλατότητας κυμαίνονται σε αντιστοιχία με τους κύκλους υγρασίας και ξηρασίας. Η εναλλαγή μικρής και μεγάλης διήθησης των αλάτων θεωρείται πιο σημαντική από την εναλλαγή υγρασίας και ξηρασίας. Παράδοσιακά, η αντίδραση των φυτών στην αλατότητα εκφράζεται με ένα ανώτατο όριο αλατότητας, πάνω από το οποίο η απόδοση του φυτού μειώνεται ως συνάρτηση της αύξησης της αλατότητας. Σε πολλά μοντέλα, η προσομοιωμένη διήθηση συνδέεται άμεσα με την απόδοση της καλλιέργειας.

$$Y_r = T_r = Y/Y_p = T/T_p \quad (1)$$

Όπου  $T_p$  = δυναμικό ή μέγιστη διήθηση

$Y_p$  = το αντίστοιχο δυναμικό ή μέγιστη απόδοση

$Y$  = πραγματική απόδοση

$T$  = πραγματική διήθηση

$Y_r$  = σχετική απόδοση

$T_r$  = σχετική διήθηση

Η συνολική πρόσληψη είναι το ποσό της εξαγωγής από κάθε τμήμα εδάφους, υπολογιζόμενη ως εξής:

$$Q = \sum \Delta t * [Rf_i * K_i * (H_{root} + R_{root} * z - h_i - s_i)] / \Delta x \Delta z \quad (2)$$

Όπου δείκτης  $i$  = το στρώμα του εδάφους

$Rf$  = η αναλογία των ενεργών ριζών

$H_{root}$  = υδάτινο δυναμικό στη ρίζα στην επιφάνεια του εδάφους (ή επιφανειακό δυναμικό)

$R_{root}$  = αντίσταση των ριζών

$Q$  = η επιθυμητή ροή δυναμικού διήθησης κατά ένα χρονικό διάστημα  $\Delta t$

$h$  = το δυναμικό του τμήματος αναπαραγωγής του φυτού

$s$  = το οσμωτικό δυναμικό του μεγαλύτερου τμήματος του εδάφους

$K$  = η υδραυλική αγωγιμότητα

Τα  $h$ ,  $s$  και  $K$  προκύπτουν από τις υπολογισμένες τιμές σε απόσταση  $\Delta x$  από τη ρίζα του φυτού. Το πάχος του στρώματος του εδάφους ( $\Delta z$ ) στη εξίσωση (2) συνδέει το  $Q$

σε μια αλλαγή του  $\theta$ . Η χρήση μιας επαναληπτικής διαδικασίας για τον καθορισμό του  $H_{\text{root}}$  μας επιτρέπει να προσομοιώσουμε τον τρόπο εξαγωγής του νερού διαμέσου της διατομής του εδάφους. Εάν θέσουμε χαμηλότερα όρια στο  $H_{\text{root}}$  και στο  $s$ , η πραγματική διήθηση πέφτει κάτω από το δυναμικό καθώς το έδαφος ξηραίνεται.

Η επιτυχία αυτής της προσέγγισης εξαρτάται από τους ακριβείς υπολογισμούς της κατανομής των ριζών και της διήθησης. Τα προηγούμενα μπορούν να προβλεφθούν με τη χρήση εμπειρικών εξισώσεων που συνδέουν το βάθος των ριζών και την πυκνότητα με το χρόνο, αλλά τέτοιες εξισώσεις ισχύουν για ένα συγκεκριμένο φυτό και έδαφος και δεν αποδίδουν τις επιδράσεις ενός ασυνήθιστου φυσικού και χημικού περιβάλλοντος.

### **3.3 Επιλογή των μέτρων ελέγχου και διαχείρισης της αλατότητας**

Η αύξηση της αλατότητας του εδάφους και του νερού επέρχονται αναπόφευκτα με την άρδευση. Γι' αυτό το λόγο, πρέπει να εφαρμοστούν μέτρα ελέγχου της αλατότητας αν στοχεύουμε στη διατήρηση της αρδευόμενης γεωργίας μακροπρόθεσμα. Για να είναι ιδανικά τέτοια μέτρα θα πρέπει να είναι συμβατά με διαδικασίες στο φυσικό υδρογεωλογικό σύστημα.

Οι πρακτικές διαχείρισης προσφέρουν διάφορα επίπεδα ελέγχου. Κάποιες αποσκοπούν στον έλεγχο της αλατότητας εντός της ζώνης των ριζών σε ένα συγκεκριμένο χωράφι. Άλλες ελέγχουν την αλατότητα σε μια μεγαλύτερη κλίμακα, όπως ένα σχέδιο άρδευσης. Οι πρακτικές θα πρέπει να προστατεύουν τα περιβάλλοντα που βρίσκονται εκτός πεδίου, όπως τα επιφανειακά και υπόγεια ύδατα. Οι πρακτικές διαχείρισης της αλατότητας που εφαρμόζονται σε φάρμες αποτελούνται από τεχνικές καλλιέργειας και μηχανολογικές τεχνικές που εφαρμόζονται από χωράφι σε χωράφι. Οι πρακτικές διαχείρισης που εφαρμόζονται σε μια ευρύτερη περιφερειακή κλίμακα γενικά αποτελούνται από ενέργειες για τον έλεγχο του νερού (τόσο για την παροχή όσο και για την απομάκρυνσή του) και από συστήματα για τη μεταχείριση και διάθεση των νερών αποστράγγισης.

Συνήθως δεν επαρκεί μία μόνο μέθοδος για τον έλεγχο της αλατότητας ενός αρδευόμενου χωραφιού. Αντίθετα, πολλές πρακτικές συνδυάζονται. Ο κατάλληλος συνδυασμός των μεθόδων ελέγχου της αλατότητας εξαρτάται από παράγοντες οικονομικούς, κλιματικούς, κοινωνικούς, εδαφικούς και υδρογεωλογικούς. Έτσι οι

διαγνωστικές διαδικασίες δε μπορούν να εφαρμοστούν εδώ για την επιλογή ενός γενικού συνόλου πρακτικών ελέγχου. Αντίθετα, κάποιοι σημαντικοί στόχοι, αρχές και πρακτικές που θα πρέπει να ληφθούν υπόψη στην επιλογή των πρακτικών διαχείρισης αλατότητας πραγματεύονται εδώ.

### **3.4 Έλεγχος της τοξικότητας στα φυτά, της αλατότητας στη ζώνη των ριζών και της περιεκτικότητας σε νάτριο**

Οι πρακτικές διαχείρισης για τον έλεγχο της αλατότητας, της περιεκτικότητας σε νάτριο και της τοξικότητας στη ζώνη των ριζών περιλαμβάνουν:

- 1) Επιλογή καλλιεργειών ή ποικιλιών που παράγουν ικανοποιητικές αποδόσεις κάτω από τις υπάρχουσες συνθήκες της αλατότητας, της περιεκτικότητας σε νάτριο και της τοξικότητας.
- 2) Χρήση διαδικασιών φύτευσης που ελαχιστοποιούν τη συσσώρευση αλάτων κοντά στο σπόρο.
- 3) Χρήση μεθόδων προετοιμασίας του εδάφους που διευκολύνουν την ομοιόμορφη διείσδυση του νερού άρδευσης.
- 4) Υιοθέτηση μεθόδων άρδευσης που διατηρούν την κατάλληλη διαθέσιμη υγρασία του εδάφους και προκαλούν περιοδική διήθηση κατά την κατατομή του εδάφους.
- 5) Εγκατάσταση και διατήρηση συστημάτων άρδευσης που διευκολύνουν τη διήθηση και την ανάπτυξη των ριζών.
- 6) Χρήση μεθόδων, όπως προσθήκη χημικών ουσιών και οργανικής ουσίας, για τη διατήρηση της διαπερατότητας του εδάφους και της δομής.

Οι ιδιότητες του εδάφους, το βάθος διήθησης του νερού και η ποιότητα του νερού άρδευσης πρέπει να ληφθούν επίσης υπόψη όταν επιλέγεται μια συγκεκριμένη πρακτική διαχείρισης.

#### **3.4.1 Η ανάπτυξη κατάλληλων καλλιεργειών, ανθεκτικών στην αλατότητα**

Μια καλλιέργεια που παράγει ικανοποιητικές ποσότητες υπό τις επικρατούσες ή τις αναμενόμενες συνθήκες αλατότητας, περιεκτικότητας σε νάτριο ή συγκεκριμένων συγκεντρώσεων διαλυμένων αλάτων θα πρέπει να επιλεγεί με βάση την αντοχή της στην αλατότητα. Το κριθάρι, το ζαχαρότευτλο, το βαμβάκι, το γρασίδι

τύπου Μπερμιούντα, το γρασίδι τύπου Ρόδου, το τριφύλλι τύπου μπερντιφούτ, τα επιτραπέζια παντζάρια / τεύτλα, το λάχανο, το σπαράγγι, το σπανάκι και η ντομάτα είναι όλα είδη που παρουσιάζουν υψηλή αντοχή στην αλατότητα. Το ραπανάκι, ο μαϊντανός, τα φασόλια, το τριφύλλι και σχεδόν όλα τα οπωροφόρα δέντρα είναι καλλιέργειες που παρουσιάζουν χαμηλή αντοχή στην αλατότητα. Τα μέγιστα αναμενόμενα επίπεδα αλατότητας, περιεκτικότητας σε νάτριο ή συγκεκριμένων συγκεντρώσεων διαλυμένων αλάτων που προκύπτουν από μακροχρόνια άρδευση μπορούν να προβλεφθούν με τη χρήση μοντέλων.

### **3.4.2 Ελαχιστοποίηση της συγκέντρωσης αλάτων στο εδαφικό στρώμα σποράς**

Πολλές καλλιέργειες είναι πιο ευαίσθητες στην αλατότητα κατά την πρώιμη ανάπτυξη. Τέτοιες καλλιέργειες παρουσιάζουν συχνά μειωμένη ανάπτυξη εξαιτίας των υψηλών επιπέδων αλατότητας στο εδαφικό στρώμα σποράς. Η αποτυχία του φυτού, που αναπτύσσεται σε μέτρια αλατούχα εδάφη, να αποκτήσει το κατάλληλο ύψος, συχνά περιορίζει την επιτυχημένη συγκομιδή. Η τοποθέτηση σποριόφυτων για την ανάπτυξη καλλιεργειών αρδευόμενων με αυλάκια είναι ιδιαίτερα δύσκολη επειδή τα διαλυτά άλατα τείνουν να συσσωρεύονται σε ανυψωμένα στρώματα που ποτίζονται με νερό.

Οι πρακτικές που διευκολύνουν την τοποθέτηση των σποριόφυτων σε αλατούχα εδάφη περιλαμβάνουν την τροποποίηση του σχήματος του εδαφικού στρώματος σποράς, του αριθμού των σπόρων και των τεχνικών τοποθέτησης και άρδευσης. Για την επιτάχυνση του φυτρώματος, οι σπόροι μπορούν να μένουν μουλιασμένοι εκ των προτέρων πριν από τη σπορά. Αυτό είναι αποτελεσματικό, αλλά σπάνια χρησιμοποιείται.

Τα άλατα τείνουν να συσσωρεύονται κοντά στο σπόρο κατά την άρδευση με αυλάκια. Αυτή η τάση είναι μεγαλύτερη σε καλλιεργήσιμα εδάφη μονής σειράς με στρογγυλεμένη επιφάνεια. Τέτοιου είδους επιφάνειες πρέπει να αποφεύγονται υπό αλατούχες συνθήκες. Με επιφάνειες διπλής σειράς, τα περισσότερα άλατα μεταφέρονται στο κέντρο της επιφάνειας, αφήνοντας τις άκρες σχετικά ελεύθερες από άλατα για την τοποθέτηση σποριόφυτων. Οι επικλινείς επιφάνειες είναι οι καλύτερες για τα αλατούχα εδάφη, επειδή τα σποριόφυτα μπορούν να τοποθετηθούν στην πλαγιά κάτω από τη ζώνη συσσώρευσης των αλάτων. Τα άλατα απομακρύνονται κατ' αυτό τον τρόπο από τα σποριόφυτα αντί να τα πλησιάζουν. Η φύτευση σε αυλάκια ή



σε λεκάνες είναι ικανοποιητική από πλευράς ελέγχου αλατότητας, αλλά συχνά μη ευνοϊκή για τη δημιουργία πολλών σειρών φυτών επειδή υφίστανται λιγότερο ευνοϊκές συνθήκες δημιουργίας κρούστας και αερισμού στις αυλακίες και στις λεκάνες.

Άρδευση πριν από τη δημιουργία των σειρών της καλλιέργειας με γραμμές στάγδην άρδευσης, τοποθετημένων κοντά στη γραμμή σποράς μπορεί να βοηθήσει στη διατήρηση της αλατότητας σε χαμηλά επίπεδα στο εδαφικό στρώμα σποράς. Επίσης, προσωρινές μικρές αυλακίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν αντί για γραμμές στάγδην άρδευσης. Μετά την τοποθέτηση των σποριόφυτων, αυτές οι αυλακίες μπορούν να εγκαταλειφθούν και να δημιουργηθούν νέες αυλακίες μεταξύ των σειρών. Το σχήμα της εδαφικής επιφάνειας μπορεί επίσης να αλλάξει και ο καταιονισμός μπορεί να αντικατασταθεί από άρδευση με αυλάκια.

Ο ρυθμός σποράς μπορεί να αυξηθεί για να διευκολυνθεί η αποκατάσταση της ανάπτυξης των φυτών που σχετίζεται με το φύτεμα και τα προβλήματα ανάδυσης του σπόρου. Εναλλακτικά, μπορεί να γίνει χρήση της μεταφύτευσης σποριόφυτων για την εξασφάλιση της σωστής ανάπτυξης σε αλατούχα εδάφη.

### ***3.4.3 Εφαρμογή του νερού άρδευσης ομοιόμορφα και αποδοτικά***

Η διαχείριση της άρδευσης αποτελεί στοιχείο ύψιστης σπουδαιότητας για τον έλεγχο της αλατότητας.

Η ισοπέδωση της επιφάνειας του εδάφους είναι απαραίτητη για τη διευκόλυνση της ομοιόμορφης εφαρμογής και διήθησης του νερού άρδευσης και, κατά συνέπεια, για τον έλεγχο της αλατότητας. Άγονες ή φτωχές σε απόδοση περιοχές σε κατά τα άλλα παραγωγικά χωράφια συχνά δημιουργούνται σε σημεία όπου δεν φιλτράρεται αρκετό νερό για την ανάπτυξη της καλλιέργειας ή για τη διήθηση. Συνήθως, τα εδάφη που έχουν αρδευτεί για ένα ή δύο χρόνια μετά την ισοπέδωση της επιφάνειας του εδάφους, θα πρέπει να υφίστανται κατεργασία εκ νέου για την εξάλειψη των ανωμαλιών που προκαλούνται σ' αυτό από τα υλικά πρόσχωσης που κατακάθονται. Οι ετήσιες καλλιέργειες θα πρέπει να εγκαθίστανται αμέσως μετά την πρώτη ισοπέδωση της επιφάνειας του εδάφους, ούτως ώστε η εκ νέου κατεργασία του εδάφους να μπορεί να πραγματοποιηθεί πριν από την εγκατάσταση των πολυετών καλλιεργειών.

Η άρδευση με κατάκλυση είναι κατάλληλη για τον έλεγχο της αλατότητας αν η γη είναι επαρκώς επίπεδη, παρότι μπορούν να προκύψουν προβλήματα αερισμού του εδάφους και δημιουργίας επιφανειακής κρούστας. Η άρδευση με αυλάκια είναι κατάλληλη για καλλιέργειες σε σειρές και για εδάφη που έχουν μεγάλη κλίση και δε μπορούν να πλημμυρίσουν με νερό. Τα προβλήματα αερισμού και δημιουργίας εδαφικής κρούστας είναι ελάχιστα με την άρδευση κατά αυλακιές, αλλά τα άλατα τείνουν να συσσωρεύονται στα εδαφικά στρώματα. Αν συσσωρεύονται μεγάλες ποσότητες αλάτων, συστήνεται μια περιοδική αλλαγή των μεθόδων άρδευσης σε κατάκλυση ή καταιονισμό σε συνδυασμό με μια αλλαγή σε καλλιέργειες σιτηρών ή σε άλλες καλλιέργειες ανθεκτικές στην αλατότητα. Εναλλακτικά, μετά την τοποθέτηση των σποριόφυτων, μπορεί να μειωθεί το βάθος των αυλακιών ή της άρδευσης, ούτως ώστε τα εδαφικά στρώματα να πλημμυρίζουν και να διηθείται το νερό.

Η άρδευση με καταιονισμό επιτρέπει καλύτερο έλεγχο της ποσότητας και της κατανομής του νερού. Κατά συνέπεια, χρησιμοποιείται συχνά σε εδάφη με κλίση. Υπάρχει μια τάση να εφαρμόζεται πολύ λίγο νερό για να καλύψει τις προϋποθέσεις διήθησης με αυτή τη μέθοδο και η διήθηση των αλάτων πέρα από τη ζώνη των ριζών συχνά απαιτεί ειδική προσπάθεια. Όπως εξηγήθηκε νωρίτερα, η δημιουργία επιφανειακής κρούστας είναι πιθανότερο να συμβεί κατά την άρδευση με καταιονισμό. Ένας άλλος ενδεχόμενος κίνδυνος της άρδευσης με καταιονισμό είναι η επικάλυψη των αλάτων στο φύλλωμα και το κάψιμο των φύλλων λόγω της επαφής με το νερό. Η άρδευση με καταιονισμό θα πρέπει να αποφεύγεται αν το νερό περιέχει μεγάλα ποσοστά νατρίου και χλωρίου, παρότι ο νυχτερινός καταιονισμός μπορεί να βοηθήσει σε τέτοιες περιπτώσεις.

Η υπόγεια άρδευση, κατά την οποία ο υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας διατηρείται κοντά στην επιφάνεια του εδάφους, δε συστήνεται όταν τίθεται ζήτημα αλατότητας, εκτός αν ο ορίζοντας αυτός μπορεί να μειωθεί περιοδικά και να απομακρυνθούν τα συσσωρευμένα άλατα με τη διήθηση λόγω βροχόπτωσης ή με περιοδικές επιφανειακές εφαρμογές νερού.

Η στάγδην άρδευση, αν σχεδιαστεί κατάλληλα, ελαχιστοποιεί την αλατότητα και τις πιέσεις στο τμήμα αναπαραγωγής του φυτού επειδή η περιεκτικότητα σε νερό του εδάφους διατηρείται σε υψηλό επίπεδο και τα άλατα διηθούνται στην περίμετρο του ποτισμένου όγκου εδάφους, όπου είναι ελάχιστη η δραστηριότητα των ριζών (Παναγιωτόπουλος, 2005). Η στάγδην άρδευση αποτελεί συνήθως τη μέθοδο

επιλογής όταν το νερό έχει μεγάλη περιεκτικότητα σε άλατα, παρότι η μεγάλη συγκέντρωση των αλάτων στα περιθώρια της ποτισμένης περιοχής μπορεί τελικά να αποτελέσει πρόβλημα.

Τα συστήματα καταιονισμού σταθερού τύπου, γραμμικής κίνησης και κεντρικής περιστροφής δίνουν καλό έλεγχο και κατανομή του νερού αν τα διαχειριστεί κανείς σωστά. Τα συστήματα βαρύτητας, αν σχεδιαστούν και λειτουργήσουν κανονικά, μπορούν επίσης να επιτύχουν καλό έλεγχο. Για δενδρώδεις καλλιέργειες, ένα χαμηλής κεφαλής σύστημα άρδευσης τύπου σιντριβανιού παρέχει εξαιρετο έλεγχο ενώ ελαχιστοποιεί τις προϋποθέσεις πίεσης.

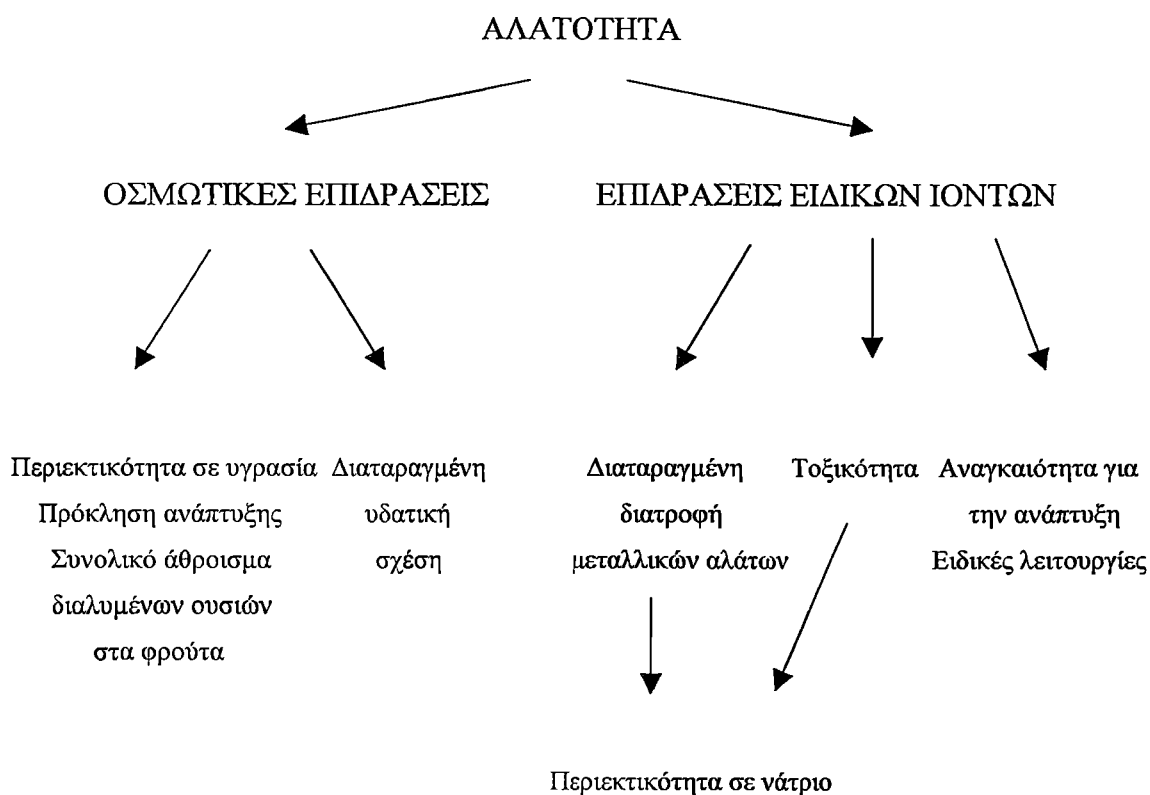
Η ισοπέδωση του εδάφους με μηχανήματα ακριβείας λείζερ διευκολύνει την καλύτερη εδαφική κατανομή του νερού και μικρότερες εφαρμογές νερού. Σε συνδυασμό με την αυτοματοποίηση, έχει οδηγήσει σε μεγάλες αποδοτικότητες άρδευσης για εντελώς επίπεδα συστήματα κατάκλυσης. Τέτοια συστήματα βελτιώνουν την αποδοτικότητα της άρδευσης και τον έλεγχο της αλατότητας.

Η υπερβολική απώλεια του νερού άρδευσης από κανάλια διανομής που δεν είναι σωστά ενισχυμένα αποτελεί μια σημαντική αιτία για τη δημιουργία αλατούχων εδαφών σε πολλά σχέδια άρδευσης. Τέτοιες στάγδην απώλειες θα πρέπει να μειωθούν με την ενίσχυση των καναλιών με αδιαπέραστα υλικά ή με το να καταστήσουμε τα τοιχώματα των καναλιών συμπαγή για την επίτευξη χαμηλής διαπερατότητας. Κλειστά συστήματα άρδευσης, παρά ανοιχτοί αγωγοί, θα πρέπει να χρησιμοποιούνται για τους πλευρικούς αγωγούς, όπου είναι δυνατόν, εξαιτίας του πιο αποτελεσματικού τους ελέγχου. Σε περιοχές άρδευσης με αυλάκια, η ομοιομορφία στην πρόσληψη νερού μπορεί κάποιες φορές να αυξηθεί και να μειωθεί η απώλεια του τελευταίου νερού με τη μείωση του μήκους των αυλακιών και τη χρήση συστημάτων πολλαπλών κατευθύνσεων. Για κάποια εδάφη, η άρδευση κατά κύματα μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για τη βελτίωση της ομοιομορφίας στην άρδευση σε διαβαθμισμένες αυλακιές (Παναγιωτόπουλος, 2005).

Είναι σημαντικό να αναγνωρίσουμε ότι η μη αποτελεσματική άρδευση αποτελεί μια σημαντική αιτία για την αλατότητα και την υψηλή στάθμη νερού στα περισσότερα σχέδια άρδευσης παγκοσμίως και ότι η ανάγκη για τεχνητή αποξήρανση μπορεί να μειωθεί σημαντικά μέσω των βελτιώσεων στη διαχείριση της άρδευσης. Πολλά παραδοσιακά συστήματα ενθαρρύνουν την υπερεντατική άρδευση με την παροχή νερού σύμφωνα με κανονισμένα χρονοδιαγράμματα ή σε κανονισμένες ποσότητες, ανεξάρτητα από τις εποχιακές διακυμάνσεις στις ανάγκες των

καλλιιεργειών. Θα πρέπει να αναζητηθούν τρόποι βελτίωσης της αποτελεσματικότητας της άρδευσης πριν αυξηθεί η ικανότητα αποστράγγισης των εδαφών.

### 3.5 Βασικές αντιδράσεις των φυτών στην αλατότητα



**Εικόνα 3.1. Οι επιπτώσεις της αλατότητας και του νατρίου στα φυτά.**

Στην Εικόνα 3.1 φαίνονται σχηματικά οι επιπτώσεις της αλατότητας και του νατρίου στα φυτά. Οι επιπτώσεις της αλατότητας στα φυτά οφείλονται στη μια ή άλλη από δύο ιδιότητες των αλατούχων μέσων, αλλά συνήθως και οι δύο εμπλέκονται. Η αλατότητα καταπιέζει το εξωτερικό δυναμικό του νερού, μια φυσική επίπτωση και τα ειδικά ιόντα μπορεί να έχουν χημικές επιπτώσεις. Το αριστερό και το δεξιό μέρος του σχήματος υποδηλώνουν ότι κάποιες επιπτώσεις της αλατότητας στα φυτά δεν είναι επιβλαβείς. Με λίγες εξαιρέσεις, εντούτοις, οι συνθήκες υψηλής αλατότητας βλάπτουν τις καλλιέργειες.

Η μείωση του εξωτερικού οσμωτικού δυναμικού από υψηλές συγκεντρώσεις αλατος τείνει να μειώσει τη διαφορά μεταξύ εξωτερικού και εσωτερικού υδατικού δυναμικού των κυττάρων. Σε υψηλές αλατότητες, το εξωτερικό οσμωτικό δυναμικό

μπορεί να πιεστεί από το δυναμικό του κυττάρου, καταλήγοντας σε πλασμόλυση. Όμως, ακόμη και σε λιγότερο ακραίες καταστάσεις, η διαθεσιμότητα του νερού στα φυτά, τουλάχιστον αρχικά, θα τείνει να μειώνεται. Η μείωση στο οσμωτικό δυναμικό του μέσου θεωρείται ότι αποτελεί την πρωταρχική αιτία, άμεσα ή έμμεσα, των δυσμενών επιπτώσεων της αλατότητας στην ανάπτυξη των φυτών (Maas and Nieman, 1978).

Οι αθροιστικά εξαρτώμενες ιδιότητες ενός διαλύματος, όπως η μείωση του δυναμικού του νερού, εξαρτώνται από τον αριθμό των διαλυμένων ουσιών που τις προκαλούν. Τα ειδικά ιόντα εντούτοις, παράλληλα με το να συνεισφέρουν στην πτώση του οσμωτικού δυναμικού, επηρεάζουν την ανταπόκριση των φυτών στην αλατότητα. Όπως υποδηλώνεται στην Εικόνα 3.1, αυτές οι επιπτώσεις των ειδικών ιόντων μπορούν να υπαχθούν σε τρεις κατηγορίες.

α.) οι υψηλές συγκεντρώσεις ενός δεδομένου ιόντος μπορούν να προκαλέσουν δυσλειτουργίες στη διατροφή με ιχνοστοιχεία. Παραδείγματος χάριν, οι υψηλές συγκεντρώσεις νατρίου μπορούν να προκαλέσουν ελλείψεις άλλων στοιχείων, όπως το κάλιο ή το ασβέστιο. β.) συγκεκριμένα ιόντα, όπως χλωριούχα οξέα, μπορεί να έχουν τοξικές επιπτώσεις, οι οποίες μπορούν, όχι πάντα, να είναι καθαρά διακριτές από τις ελλείψεις. γ.) μπορεί να υπάρξουν συγκεκριμένες ιονικές επιπτώσεις οι οποίες ευνοούν την ανάπτυξη ή τα ποιοτικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα των φυτών.

Η περιεκτικότητα σε νάτριο οφείλεται στην υψηλή ενεργότητα των ιόντων  $\text{Na}^+$ , σε σχέση με αυτές των ιόντων  $\text{Ca}^{2+}$  και  $\text{Mg}^{2+}$ . Η περιεκτικότητα σε νάτριο μπορεί, κατά κύριο λόγο, να έχει δύο από τις επιπτώσεις σχετικά με την αλατότητα: διαταραχές των ιχνοστοιχείων της διατροφής και τοξικότητα. Η περιεκτικότητα σε νάτριο δεν προκαλεί αποκλειστικά οσμωτικές συνέπειες.

Όπως αναφέρθηκε ήδη, η αλατότητα μπορεί επίσης να επηρεάσει θετικά την ανάπτυξη των φυτών και τη σύνθεση. Μπορεί να ευνοήσει την ανάπτυξη αλλόφυτων ή να αυξήσει την απόδοση ή την ποιότητα των καλλιεργειών (Pasternak, 1987). Η μέτρια αλατότητα μπορεί να αυξήσει τις αποδόσεις του βαμβακιού (Pasternak et.al. 1979), να αυξήσει τη συγκέντρωση των συνολικά διαλυμένων στερεών στις τομάτες, ένα χαρακτηριστικό ποιότητας (Rush and Epstein, 1981) και να αυξήσει την αντοχή των εσπεριδοειδών στον παγετό (Syvertsen and Yelenosky, 1988).

### 3.6 Επίδραση της αλατότητας του νερού στο φύτρωμα των σπόρων

Το φύτρωμα των σπόρων είναι μεταξύ όλων των φυσιολογικών διαδικασιών, μια διαδικασία από τις πιο ευαίσθητες στο στρες. Η χρήση υφάλμυρου νερού μπορεί να μειώσει την απορρόφηση νερού από τους σπόρους και συνεπώς να εμποδίσει όλες τις διαδικασίες που συνδέονται με τη χρήση των αποθεμάτων των θρεπτικών στοιχείων και της ανάπτυξης των εμβρυακών σπόρων. Εργαστηριακά πειράματα έχουν πραγματοποιηθεί για τη μελέτη των συνεπειών της αλατότητας στο φύτρωμα του βασιλικού (*Ocimum basilicum* L.), της ρόκας (*Eruca sativa* L.) και του μαϊντανού (*Petroselinum hortense* Hoffm.). Οι τυποποιημένες τεχνικές φυτρώματος έχουν πραγματοποιηθεί με τη χρήση δίσκων Petri, που περιέχουν χάρτινα φίλτρα ποτισμένα με 11 διαφορετικές συγκεντρώσεις διαλυμάτων NaCl, που ποικίλουν από 0 έως 10 mS cm<sup>-1</sup>. Αποδείχθηκε ότι η αλατότητα δε μείωσε σημαντικά τα ποσοστά φυτρώματος του βασιλικού και της ρόκας. Ο μαϊντανός αποδείχθηκε λιγότερο ανθεκτικός αφού υπήρξε άμεση σχέση μεταξύ των μειωμένων ποσοστών φυτρώματος και των αυξημένων ποσοστών αλατότητας. Ο μέσος χρόνος φυτρώματος αποδείχθηκε ότι ήταν περισσότερος, επηρεαζόμενος από την αλατότητα του νερού. Τα υψηλότερα επίπεδα ηλεκτρικής αγωγιμότητας του νερού καθυστέρησαν σημαντικά το φύτρωμα των σπόρων του βασιλικού, της ρόκας και του μαϊντανού.

## 4. Ρόκα

### 4.1 Γενικά

Η ρόκα ήταν γνωστή από την αρχαιότητα με το όνομα εύζωμον και τρωγόταν ως ωμή σαλάτα από τους Αρχαίους Έλληνες και τους Ρωμαίους. Το όνομα του γένους προέρχεται από το λατινικό ρήμα *urete*, που σημαίνει καίω και αναφέρεται στη δυνατή, σαν του σιναπιού, γεύση της. Ήταν πολύ δημοφιλής από το Μεσαίωνα μέχρι τον περασμένο αιώνα. Υπάρχουν αρκετές αναφορές σε παλιότερες βοτανολογίες, που απέδιδαν στη ρόκα παυσίπνες ιδιότητες ή τη συνιστούσαν για ασθένειες των πνευμόνων, δε φαίνεται όμως να ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα. Επειδή εντυπωσίαζε η έντονη γεύση της, της απέδιδαν και διεγερτικές ιδιότητες.

Η ρόκα είναι ένα ανθεκτικό στο κρύο ετήσιο φυτό, με ύψος 60 – 80 εκατ. Η ρίζα της είναι πασσαλώδης. Οι βλαστοί της είναι σαρκώδεις, τριχωτοί, διακλαδιζόμενοι και τα φύλλα της ανομοιόμορφα, επιμήκη, με μακρύ μίσχο, δυνατό κεντρικό νεύρο και έλασμα που χωρίζεται σε λοβούς. Ανθίζει από τα μέσα της άνοιξης μέχρι τέλη καλοκαιριού, σε όρθιους, ανθοφόρους βλαστούς. Τα άνθη είναι μικρά, έχουν τέσσερα πέταλα, χρώμα λευκό, με καφετιά νεύρα. Οι καρποί της είναι μικροί λοβοί, με λίγα σπέρματα. Είναι μελισσοκομικό φυτό.



Εικόνα 4.1. Άγρια ρόκα

Βρίσκεται σε όλη την Ελλάδα, σε υγρά, γόνιμα εδάφη. Φυτρώνει τέλη χειμώνα και ζει μέχρι αρχές φθινοπώρου. Είναι αυτοφυής, καλλιεργείται όμως, με σπορά από την άνοιξη. Τα φύλλα της κόβονται συχνά, παρεμποδίζεται έτσι η ανθοφορία και το φυτό παράγει καινούρια. Αν αφεθεί να ολοκληρώσει το βιολογικό του κύκλο, τα φύλλα πικρίζουν, σκληραίνουν και δεν τρώγονται.

Μαζεύονται τα φύλλα και οι τρυφερές κορυφές των βλαστών της, που τρώγονται ωμά ως ξιδάτη σαλάτα, μόνα τους ή μαζί με μαρούλι, λάχανο, τοματάκια ή φρέσκα κουκιά. Τα φύλλα της άγριας ρόκας έχουν πιο έντονη γεύση από τα φύλλα της καλλιεργούμενης (Παπούλιας, 1999).

## **4.2 Παλαιότερο πείραμα πάνω στη ρόκα**

### **4.2.1 Γενικά**

Η ρόκα καταναλώνεται ευρέως στην Ιταλία όπου εκτιμώνται οι πικάντικες ιδιότητές της, είτε καταναλώνεται μόνη της ως λαχανικό, είτε ως μέρος μιας ανάμικτης σαλάτας, είτε ως μαγειρεμένο λαχανικό και τώρα αποκτά ολοένα μεγαλύτερη δημοτικότητα ως γαρνίρισμα στις πίτσες. Η άγρια μορφή με τα λεπτά οδοντωτά φύλλα αυξάνει την δημοτικότητά της. Η ρόκα εμφανίστηκε στις αμερικανικές αγορές από την παραγωγή της Καλιφόρνιας και μπορεί να βρεθεί σε επιλεγμένα σούπερ μάρκετ ως εκλεκτό λαχανικό.

Η καλλιέργεια της ρόκας ευδοκμεί στις μεσοδυτικές πολιτείες της Αμερικής και προσφέρει τη δυνατότητα παραγωγής ενός εκλεκτού λαχανικού που θα μπορούσε να είναι διαθέσιμο για μεγάλες χρονικές περιόδους με την εφαρμογή τεχνικών επέκτασης της καλλιεργητικής περιόδου, καθώς και με χρήση θερμοκηπίου. Στην πράξη, μπορεί να συγκομιστεί μετά από 20 έως 27 ημέρες και μετά διαδοχικά να συγκομιστεί από επαναληπτική ανάπτυξη. Το ευρωπαϊκό συμφέρον για την προώθηση αυτής της υποχρησιμοποιούμενης καλλιέργειας προκάλεσε το σχηματισμό του δικτύου των γενετικών πόρων της ρόκας, ένα σχέδιο του International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI) (Διεθνές Ινστιτούτο Γενετικών Πηγών των Φυτών). Ένα εργαστηριακό πείραμα του 1996 (Ρόκα, μια μεσογειακή καλλιέργεια για τον κόσμο) περιλαμβάνει έναν αριθμό εργασιών για την καλλιέργειά της και τη βιολογία της.



Αυτή η μελέτη πραγματοποιήθηκε για τη διερεύνηση της δυνατότητας της ρόκας ως νέα καλλιέργεια για την Ιντιάνα και τις μεσοδυτικές πολιτείες των Η.Π.Α. Η εμπειρία με αυτή την καλλιέργεια, τόσο αγρονομικά όσο και οργανοληπτικά ως λαχανικό σαλάτας, είναι ενθαρρυντική ώστε να γίνουν προσπάθειες για ευρεία παραγωγή αυτού του είδους παρά το γεγονός ότι δεν είναι ιδιαίτερα γνωστή ή εκτιμημένη σε αυτή την περιοχή. Το κύριο εμπόδιο για αυτή την καλλιέργεια φαίνεται να είναι το πρώιμο ξεσταχύασμα ενώ αυτή η μελέτη ξεκίνησε αρχικά για τη διερεύνηση της πιθανότητας επιλογής υλικού καθυστερημένου ξεσταχύασματος καθώς και για να διερευνηθεί η προσαρμοστικότητα αυτού του είδους στις μεσοδυτικές συνθήκες. Τώρα πιστεύεται ότι η διαδοχική φύτευση, σε συνδυασμό με την επαναλαμβανόμενη συγκομιδή μπορεί να αποτελεί ένα τρόπο διαχείρισης αυτής της καλλιέργειας, παρά το υψηλό επίπεδο ξεσταχύασματος σε υψηλές θερμοκρασίες.

#### **4.2.2 Μεθοδολογία**

##### 4.2.2.1 Καλλιεργητική περίοδος 1999

Ο σπόρος της *E. sativa* (“Astro” και “Arugula”) και της άγριας *D. tenuifolia* (“Sylvetta”) φυτεύτηκε σε 128 σπορεία (3 σπόροι ανά κελί και συγχωνεύθηκαν σε ένα ενιαίο σποριόφυτο) στα θερμοκήπια του Τμήματος Ανθοκομίας, του πανεπιστημίου Purdue στις 17 Ιουνίου του 1999, (“Astro” είναι μια ποικιλία που δημιουργήθηκε από την εταιρεία Johnny, με μεγάλα φύλλα, με λιγότερο «οδοντωτό» σχήμα από του τύπου “Arugula”). Υπήρχαν τέσσερις δίσκοι ανά πειραματικό τεμάχιο που παρήγαγαν έναν αρχικό πληθυσμό 512 φυτών. Τα φυτά καλλιεργήθηκαν υπό συνεχή φωτισμό με λαμπτήρες πυρακτώσεως κατά τη διάρκεια του πειράματος. Κάθε δίσκος τοποθετήθηκε σε πλαστικό κάλυμμα που θα μπορούσε να διατηρήσει το υγρό λίπανσης προκειμένου να αποτραπεί η ξήρανση των φυτών παρά τη μικρή ποσότητα χώματος. Τα φυτά άρχισαν να ανθίζουν 30 μέρες μετά τη φύτευση ενώ τα ανθισμένα φυτά αφαιρούνταν καθημερινά όταν μπορούσαν να διακριθούν τα πρώτα άνθη.

#### 4.2.2.2 Καλλιεργητική περίοδος 2000

5 σπόροι τύπου “Astro” και 4 τύπου “Arugula” από ποικιλίες καθυστερημένης ανθοφορίας και η αρχική ποικιλία “Astro” φυτεύτηκαν σε σπορεία σε θερμοκήπιο στις 10 Απριλίου 2000 και μεταφέρθηκαν σε πλαστικά θερμοκήπια την 1<sup>η</sup> Μαΐου. Άνθη εμφανίστηκαν στις 8 Μαΐου και τα ανθισμένα φυτά απομακρύνονταν καθημερινά κατά τη διάρκεια των επόμενων 4 εβδομάδων. Κατά συνέπεια, δύο μήνες μετά από τη φύτευση στους δίσκους, 46 φυτά (9%) είχαν αφαιρεθεί από τις ποικιλίες της καθυστερημένης ανθοφορίας και 178 φυτά (35%) αφαιρέθηκαν από το αρχικό “Astro”. Αυτή η διαφορά αντικατοπτρίζει την αποτελεσματικότητα της αρχικής ποικιλίας. Τα φυτά που δεν άνθισαν σκληραγωγήθηκαν στην ύπαιθρο και μετά μεταφυτεύτηκαν σε εδαφικά στρώματα καλυμμένα με πλαστικό κάλυμμα προστασίας και ταινία άρδευσης από κάτω, στις 2 Ιουνίου. Τα ανθισμένα φυτά αφαιρούνταν και απομακρύνονταν μέχρι τις 15 του Αυγούστου ταυτόχρονα με τον τεχνητό μαρασμό των φυτών καθυστερημένης ανθοφορίας που ξεχώριζαν. Σπόροι των πιο ελπιδοφόρων φυτών καθυστερημένης ανθοφορίας, συλλέχθηκαν από τις 27 Σεπτεμβρίου μέχρι τις 3 Οκτωβρίου, καθαρίστηκαν και αποθηκεύτηκαν στους 4°C. Υπήρχαν συνολικά 64 φυτά ποικιλίας καθυστερημένης ανθοφορίας.

#### 4.2.2.3 Καλλιεργητική περίοδος 2001

64 ποικιλίες καθυστερημένης ανθοφορίας (LFS) από την προηγούμενη καλλιεργητική περίοδο και 3 ποικιλίες αναφοράς (“Astro”, “Arugula” και “καλλιεργημένης Arugula” από την ιταλική εμπορική πηγή Florsilva) φυτεύτηκαν στις 17 Απριλίου στο θερμοκήπιο υπό φυσικό φως και τα σποριόφυτα από το χωράφι μεταφυτεύτηκαν σε εδαφικά στρώματα καλυμμένα με πλαστικό κάλυμμα προστασίας, στις 15 Μαΐου. Τα αγροτεμάχια είχαν δύο σειρές των 9 φυτών που απείχαν μεταξύ τους κατά 60 εκατοστά. Από 1152 φυτά που αξιολογήθηκαν, το 97,7% απορρίφθηκε εξαιτίας πρώιμης ανθοφορίας ή κακής εμφάνισης και 27 φυτά καθυστερημένης ανθοφορίας (2,3%) που ξεχώρισαν, συγκομίστηκαν στις 12 Σεπτεμβρίου, καθαρίστηκαν και αποθηκεύτηκαν στους 4°C.

#### 4.2.3 Περίοδος ανθοφορίας 2001

Για να ελεγχθεί η διακύμανση της ανθοφορίας (DTF) και της αποτελεσματικότητας της ποικιλίας όσον αφορά την καθυστερημένη ανθοφορία, οι σπόροι “Agugula” από την ιταλική πηγή Detassis (συνολικός επιζήσας πληθυσμός 1664) και οι σπόροι των φυτών με καθυστερημένη ανθοφορία (ο συνολικός επιζήσας πληθυσμός από 178) επί συνόλου 2000 σπόρων, φυτεύτηκαν σε 128 σπορεία στα θερμοκήπια του τμήματος ανθοκομίας και αρχιτεκτονικής τοπίων στις 10 Ιανουαρίου 2001. Τα φυτά υποβάλλονταν καθημερινά σε 16 ώρες φωτισμού με λαμπτήρες πυρακτώσεως αμέσως μετά το φύτευμα για τους επόμενους 3 μήνες. Τα πλαστικά επίπεδα καλύμματα τοποθετήθηκαν κάτω από τους δίσκους «φραγής» και λιπαίνονταν σύμφωνα με τις απαιτήσεις τους. Ο αριθμός των φυτών που άνθιζαν (τουλάχιστον ένα άνθος ανοικτό) καταγραφόταν καθημερινά. Μετά από 65 ημέρες, τα υπόλοιπα φυτά που δεν είχαν ανθίσει μεταφυτεύτηκαν σε γλάστρες 10 εκατοστών, όμως τα φυτά που άνθιζαν συνεχώς αφαιρούνταν. Το πείραμα ολοκληρώθηκε στις 11 Απριλίου του 1991.



Εικόνα 4.2. Άνθη ρόκας.

Στο τέλος του πειράματος, εννέα θερμοκηπιακές καθυστερημένης ανθοφορίας ποικιλίες “καλλιεργούμενης Arugula” και μία ποικιλία LFS από την καλλιεργητική περίοδο 2001 επιβίωσαν. Αυτεπικονιάσεις (όπου έχουν ανοιχτό άνθος και μπουμπούκι) και διασταυρώσεις πραγματοποιήθηκαν ανάμεσα στις ποικιλίες.

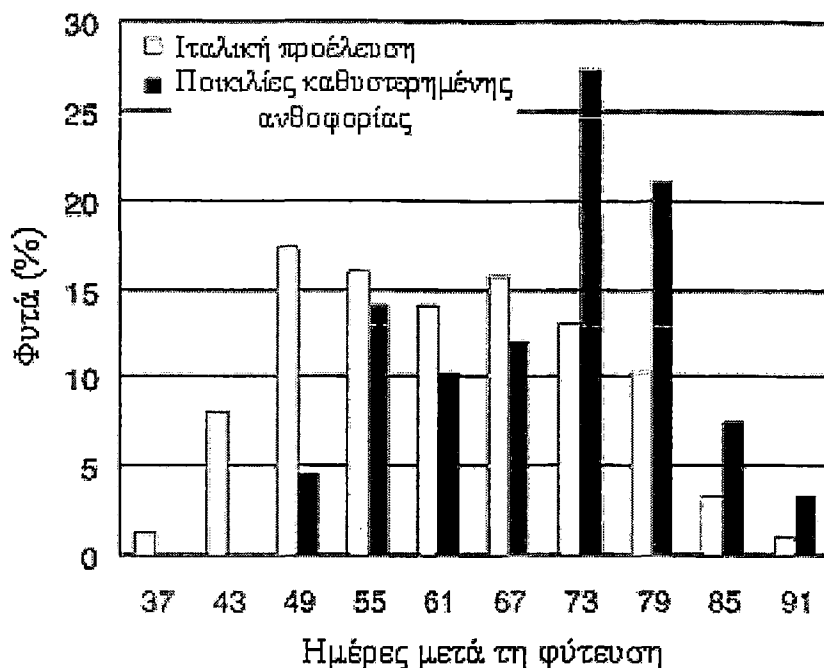
#### **4.2.4 Αξιολόγηση των ποικιλιών καθυστερημένης ανθοφορίας στο χωράφι, το 2001**

Δεκαεπτά ποικιλίες LFS και τρεις ποικιλίες ελέγχου (“Astro”, “Arugula”, και “καλλιεργούμενη Arugula”, του είδους Florsilva) αξιολογήθηκαν σε ένα χωράφι στο Rockville (Ρόκβιλ) της Ιντιάνα, το 2001. Η καλλιέργεια εγκαταστάθηκε κατά τυχαίο σχήμα ολοκληρωμένου τετραγώνου με τρεις επαναλήψεις, στις 22 Απριλίου του 2001. Τα αγροτεμάχια ήταν από 90 εκατοστά μέχρι 1,2 μέτρα και είχαν 3 σειρές χωρισμένες 15cm η μία με την άλλη. Ο σπόρος φυτεύτηκε με ένα χειροκίνητο σπορέα λαχανικών χρησιμοποιώντας μία πλάκα σχήματος «ραπανακίου» και τον κατάλληλο σπόρο ούτως ώστε να αναλογούν 4 – 6 σπόροι ανά ίντσα. Τα αγροτεμάχια καλλιεργήθηκαν οργανικά και τα ζιζάνια ελέγχθηκαν με το χέρι. Το νερό χορηγήθηκε με στάγδην άρδευση. Η συγκομιδή έγινε στις 19 Μαΐου, κόβοντας τα φυτά περίπου 2 εκατοστά πάνω από το έδαφος. Τα φυτά αφέθηκαν να αναπτυχθούν εκ νέου και ξανάγινε συγκομιδή στις 8 Ιουνίου 2001.

#### **4.2.5 Αποτελέσματα**

Μια εμπορική πηγή καλλιεργημένης “Arugula” του γένους *Detassis* παρουσίασε μεγάλη διακύμανση κατά την περίοδο της πρώτης ανθοφορίας (Εικ. 4.3), των σχημάτων των φύλλων (Εικ. 4.4 και 4.5), του χρώματος των μίσχων καθώς και της συμπεριφοράς της διακλάδωσης (Εικ. 4.6). Αυτή η διακύμανση αναμένεται να επιτρέψει την πρόοδο με τη χρήση μαζικής επιλογής στο χωράφι. Παρόλα αυτά, χαμηλός φυσικός σπόρος που έχει χρησιμοποιηθεί στο θερμοκήπιο καθιστά τις ποικιλίες του θερμοκηπίου δύσκολες στο χειρισμό μίας πηγής επικονιαστικών εντόμων. Εντοπίστηκαν διαφορές στην οξύτητα των ποικιλιών, αλλά αυτό δε

μπορούσε να αναλυθεί εκτενώς λόγω της χρήσης εντομοκτόνων για έλεγχο των εντόμων στο θερμοκήπιο.

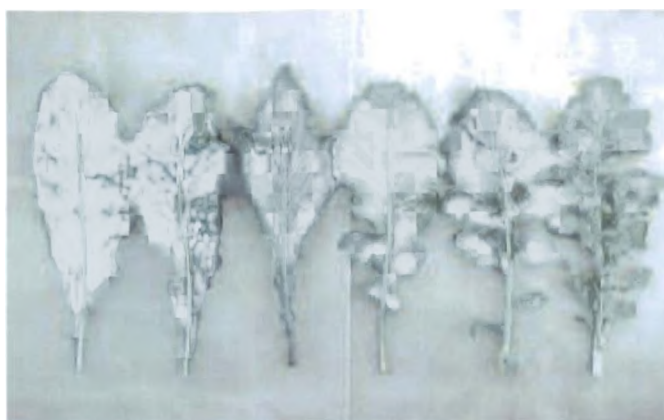


**Εικόνα 4.3.** Σύγκριση της κατανομής της ανθοφορίας ανάμεσα στην Ιταλικής προέλευσης ποικιλία τύπου Detassis και της ποικιλίας καθυστερημένης ανθοφορίας.

Παρότι οι έλεγχοι είναι προκαταρκτική φάση, φάνηκε ότι η ποικιλία καθυστερημένης ανθοφορίας μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση της μαζικής επιλογής. Παραδείγματος χάριν, μετά από ένα μόνο κύκλο της ποικιλίας της καθυστερημένης ανθοφορίας μόνο το 9% των σποριόφυτων που προέρχονταν από τις ποικιλίες καθυστερημένης ανθοφορίας άνθισαν μέσα σε δύο μήνες από τη φύτευση, σε σύγκριση με το 35% της αρχικής καλλιεργήσιμης ποικιλίας. Επιπλέον, σε εκτιμήσεις θερμοκηπίου, οι αρχικές ποικιλίες αποδείχθηκαν να είναι 15% καθυστερημένες από μία συγκρίσιμη Ιταλική καθυστερημένη ποικιλία.



**Εικόνα 4.4.** Φυτά ρόκας της ποικιλίας βλαστοπλάσματος που αναπτύσσεται σε θερμοκήπιο. Παρατηρούνται διαφορές στο μέγεθος και στο σχήμα των φύλλων.



**Εικόνα 4.5.** Ποικιλομορφία της μορφολογίας των φύλλων της ρόκας.



**Εικόνα 4.6.** Διαφοροποίηση της μορφολογίας και του χρώματος (πράσινο ως μοβ) του μίσχου της ρόκας.

#### **4.2.6 Συμπεράσματα**

Η ρόκα είναι ένα πολλά υποσχόμενο λαχανικό για τις μεσοδυτικές πολιτείες με μια πικάντικη γεύση που μπορεί να ανταγωνιστεί το μαρούλι. Αντίθετα από το μαρούλι, η ρόκα δεν είναι πικρή.

Η ρόκα μπορεί να συγκομιστεί από διαδοχικά φυτέματα και είναι πιθανό να αποδίδει πολλές σοδειές. Η διαδοχική συγκομιδή φαίνεται να καθυστερεί την ανθοφορία. Συστήνεται φύτευση κάθε 2 – 3 εβδομάδες.

Το πρώτο ξεστάχασμα μπορεί να μειωθεί με την καλλιέργεια ποικιλίας καθυστερημένης ανθοφορίας. Προκαταρκτικά αποτελέσματα δείχνουν ότι μαζική ποικιλία για καθυστερημένη ανθοφορία είναι αποτελεσματική.

Η εκτίμηση της διακύμανσης της αντίδρασης ανθοφορίας σε φωτοπερίοδο 16 ωρών, 158 αποκτημάτων της συλλογής βλαστοπλάσματος USDA και τριών ιταλικών καλλιεργούμενων ποικιλιών (δύο καλλιεργημένων και μιας «άγριας») υπέδειξε ότι οι δύο καλλιεργημένες Ιταλικές καλλιεργήσιμες ποικιλίες καθυστερούσαν 2 φορές περισσότερο από οποιεσδήποτε άλλες προσθήκες στη συλλογή.

#### **4.3 Γενετικές διαφοροποιήσεις στη ρόκα**

Η ρόκα φύτεται εκτενώς στην περιοχή της Μεσογείου και στη βόρεια Αφρική. Τρεις διαφορετικοί μορφότυποι της ρόκας είχαν συλλεχθεί από το κεντρικό Σουδάν και διαφέρουν σε χαρακτηριστικά που σχετίζονται άμεσα με τη χρήση της ως διατροφικό προϊόν. Κάθε μορφότυπος έχει το δικό του χαρακτηριστικό μέγεθος και σχήμα φύλλου, τη νοστιμιά και το χρόνο άνθισης. Επίσης, ποικίλουν σε μεγέθη και χρώματα σπόρων στεφάνης του άνθους.

#### **4.4 Πρώτα αποτελέσματα υδροπονικών συστημάτων σε καλλιέργεια ρόκας**

Τα υδροπονικά συστήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή μικρού μεγέθους φυλλωδών λαχανικών ή για λαχανικά έτοιμα προς κατανάλωση, που συγκεντρώνουν όλο και περισσότερο το ενδιαφέρον όλων των καταναλωτών.

Ο στόχος αυτής της μελέτης ήταν η αποτίμηση των συνεπειών της διαφορετικής αλατότητας του θρεπτικού διαλύματος και του παρεχόμενου νερού πριν από τη συγκομιδή, σε φυτά ρόκας (*Eruca sativa* L.) που καλλιεργήθηκαν υδροπονικά με τη χρήση κινητού υδροπονικού συστήματος.

Ο κύκλος ανάπτυξης υδροπονικής καλλιέργειας πραγματοποιήθηκε σε θερμοκήπιο κατά τους μήνες Μάρτιο – Απρίλιο του 2002. Συγκρίθηκαν δύο θρεπτικά διαλύματα με διαφορετική ηλεκτρική αγωγιμότητα (2,8 και 3,8 mS cm<sup>-1</sup>). Και τα δύο διαλύματα είχαν την ίδια θρεπτική σύνθεση και οι διαφορές στην ηλεκτρική τους αγωγιμότητα δημιουργήθηκαν με τη χρήση νερού με διαφορετική αλατότητα (EC<sub>w</sub> 0,8 και 1,6 mS cm<sup>-1</sup>). Πέντε ημέρες πριν από τη συγκομιδή, στα μισά από τα κινούμενα πάνελ χορηγήθηκε μόνο νερό αντί του θρεπτικού διαλύματος, προκειμένου να αξιολογηθεί η επίδραση της εφαρμογής στην περιεκτικότητα των φύλλων σε νιτρικά άλατα. Τα δεδομένα συγκεντρώθηκαν με βάση το ύψος των φυτών, την περιοχή των φύλλων, την απόδοση και την αναλογία και περιεκτικότητα του φυτού σε ανιόντα και κατιόντα.

Η ρόκα παρουσιάζει καλή προσαρμοστικότητα σε αυτό το σύστημα καλλιέργειας. Τα επίπεδα EC που εφαρμόστηκαν δεν επηρέασαν το ύψος του φυτού αλλά επηρέασαν ελαφρώς την απόδοση. Η χρήση νερού πριν από τη συγκομιδή, είχε ως αποτέλεσμα υψηλότερη απόδοση και χαμηλότερη συγκέντρωση νιτρικού άλατος.



## 5. Διεθνής ερευνητική δραστηριότητα σε σχέση με το κάδμιο και την αλατότητα

Αντίστοιχα ερευνητικά προγράμματα έχουν πραγματοποιηθεί παλαιότερα ώστε να μελετηθεί η προσρόφηση του καδμίου στα φυτά αλλά και η συμπεριφορά του όταν εμπλέκονται παράγοντες όπως το pH του εδάφους, η περιεχόμενη στο έδαφος οργανική ουσία κτλ.

Μελετήθηκε από τους Huang et.al. (2004), η διαθεσιμότητα του καδμίου από κάποια λιπάσματα φωσφόρου σε φυτά μαρουλιού. Το διετές πείραμα πραγματοποιήθηκε εκτός θερμοκηπίου και είχε σκοπό τον προσδιορισμό του μεγέθους της μεταφοράς του Cd από τα λιπάσματα στα φυτά, ειδικά υπό συνθήκες χωραφιού. Τα λιπάσματα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν ένα φωσφορικό άλας (PR) και ένα τριπλό υπερφωσφορικό (TSP), ενώ έγινε και προσθήκη ασβεστίου. Βρέθηκε ότι οι συσσωρεύσιμες ποσότητες Cd που προστέθηκαν από τα λιπάσματα κατά τη διάρκεια της διετούς περιόδου κυμάνθηκαν από 0 έως  $1440 \text{ g ha}^{-1}$ . Η παραγωγή μαρουλιού αυξήθηκε με την αύξηση της ποσότητας του TSP, αλλά δεν επηρεάστηκε καθόλου από το PR. Σημαντική επίδραση στη συσσώρευση Cd στο μαρούλι είχαν η προέλευση και η ποσότητα του Cd, το ασβέστιο και ο χρόνος. Στο δεύτερο έτος εφαρμογής, το μέγεθος της μεταφοράς Cd αυξήθηκε στο έδαφος όπου έγινε εφαρμογή του PR, αλλά μειώθηκε στο έδαφος όπου έγινε εφαρμογή του TSP. Από την ποσότητα του Cd που προστέθηκε μέσω των λιπασμάτων, κατά μέσο όρο το 1,0% ή λιγότερο συσσωρεύτηκε στον ιστό του συγκομισμένου μαρουλιού. Εφαρμογές των λιπασμάτων σε μεγάλες ποσότητες θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε αυξανόμενη συσσώρευση Cd στο έδαφος με την πάροδο του χρόνου. Στο διάστημα του πρώτου έτους παρατηρήθηκε μια μείωση της διαθεσιμότητας του Cd του TSP και μια αύξηση της διαθεσιμότητας του Cd του PR. Το συνολικό Cd του εδάφους, ενώ παρουσίασε αντιστοιχία με την ποσότητα του Cd που προστέθηκε, δεν ήταν ενδεικτικό της επίδρασης της προσθήκης ασβεστίου και της προέλευσης του Cd στη διαθεσιμότητά του στο μαρούλι.

Πραγματοποιήθηκε μια έρευνα των Pinto et.al. (2004), σχετικά με την επίδραση της οργανικής ουσίας στην απορρόφηση του καδμίου, του ψευδαργύρου, του χαλκού και του σιδήρου από φυτά σόργου. Το πείραμα πραγματοποιήθηκε υπό ελεγχόμενες συνθήκες περιβάλλοντος, για να ερευνηθούν τα αποτελέσματα μέρους

ενός φουλβικού οξέος της οργανικής ουσίας του εδάφους στην ανάπτυξη των φυτών, στην προσρόφηση καδμίου (Cd) και στην ανακατανομή του στο σόργο. Επιπρόσθετα, καθορίστηκε η προσρόφηση χαλκού (Cu), ψευδάργυρου (Zn) και σιδήρου (Fe). Το σόργο αναπτύχθηκε σε θρεπτικά διαλύματα με 0, 0,1, 1 και 10 mg Cd dm<sup>-3</sup>, με την παρουσία ή μη οργανικής ουσίας (32 mg C dm<sup>-3</sup>), για διάφορες περιόδους έως 20 ημέρες. Παρατηρήθηκε μια μείωση στη βιομάζα του σόργου λόγω της τοξικότητας Cd στα 10 mg Cd dm<sup>-3</sup>, αλλά για τις συγκεντρώσεις των 0,1 και 1 mg Cd dm<sup>-3</sup> η βιομάζα αυξήθηκε, χωρίς φανερά συμπτώματα τοξικότητας. Η παρουσία οργανικής ουσίας αύξησε περαιτέρω την παραγωγή βιομάζας. Το κάδμιο συγκρατήθηκε κυρίως στις ρίζες του σόργου, όπου συνήθως βρίσκεται στα ανθεκτικά φυτά, όμως η συσσώρευση του Cd στο σόργο ήταν μεγαλύτερη σε σχέση με άλλα Gramineae, ή ακόμα και σε πιο ανθεκτικά φυτά όπως το μαρούλι. Η παρουσία της οργανικής ουσίας μείωσε τη βιολογική διαθεσιμότητα του Cd που διατηρήθηκε μερικώς στο διάλυμα από τα σύμπλοκα της οργανικής ουσίας. Εντούτοις, η οργανική ουσία διευκόλυνε τη μετακίνηση του Cd στους βλαστούς, επίδραση που μπορεί να θέσει σε κίνδυνο τη δημόσια υγεία επειδή η μεταφορά του Cd από τα φυτά στα ζώα θα αυξανόταν. Η παρουσία της οργανικής ουσίας μείωσε την προσρόφηση του Cu, του Zn και του Fe. Η προσθήκη 0,1 mg Cd dm<sup>-3</sup> ενίσχυσε την προσρόφηση Fe, ασχέτως ύπαρξης ή μη οργανικής ουσίας. Με βάση αυτές τις σύντομες μελέτες το *Sorghum bicolor* (L.) θα μπορούσε να θεωρηθεί ένα φυτό που συσσωρεύει Cd αφού παρουσιάζει σχετικά υψηλή προσρόφηση. Οι συγκεντρώσεις του καδμίου στα εδάφιμα μέρη του σόργου ήταν, ακόμη και σε χαμηλές συγκεντρώσεις Cd μέσα σε θρεπτικά διαλύματα, σημαντικά υψηλότερες από τις επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις για ζωική τροφή φυτικής προέλευσης (1 mg Cd kg<sup>-1</sup> d.m.) (European Council Directive 1999/29/EC). Η υψηλή ικανότητα του Cd να συσσωρεύεται στα εδάφιμα μέρη του σόργου συνοδευόμενη από την απουσία ορατών συμπτωμάτων τοξικότητας υποδεικνύει έναν πιθανό κίνδυνο για τα ζώα και για τους ανθρώπους. Εντούτοις, η μεγάλη ικανότητα συσσώρευσης του Cd στο σόργο θα μπορούσε να ερευνηθεί περαιτέρω εστιάζοντας στην απόσπαση του Cd εκ μέρους των φυτών από τα μολυσμένα εδάφη.

Οι Huang et.al. (2003) μελέτησαν την προσρόφηση του καδμίου σε φυτά μαρουλιού που καλλιεργήθηκαν σε έδαφος εμπλουτισμένο με λιπάσματα φωσφόρου και ιχνοστοιχείων. Μερικά λιπάσματα που περιέχουν φώσφορο και ιχνοστοιχεία μπορεί να περιέχουν μεγάλες ποσότητες τοξικών μετάλλων όπως το κάδμιο (Cd) και

οι επαναλαμβανόμενες χρήσεις των λιπασμάτων αυτών σε υψηλά ποσοστά με την πάροδο του χρόνου μπορούν να αυξήσουν την προσρόφηση Cd από τα φυτά. Στην έρευνα αυτή χρησιμοποιήθηκαν λιπάσματα φωσφορικού άλατος (PR), ψευδάργυρου (G-ZN) και σιδήρου (IR) τα οποία προέρχονται από προϊόντα βιομηχανικών αποβλήτων. Το υδατοδιαλυτό CdCl<sub>2</sub> συμπεριλήφθηκε στη μελέτη για να υπάρχει μέτρο σύγκρισης. Εφαρμογές Cd μέσω των λιπασμάτων ή του CdCl<sub>2</sub> ως 16 φορές περισσότερο από τα Καναδικά πρότυπα που αφορούν το μέγιστο ετήσιο όριο συγκέντρωσης Cd, αύξησαν τη συνολική ποσότητα Cd στο έδαφος. Αυτό ίσχυε επίσης για το ασταθές ανταλλάξιμο Cd από το DTPA (δισοθειονοτριαμινοπεντοξικό οξύ) ή το 0,05 M CaCl<sub>2</sub> για όλες τις πηγές Cd εκτός από το IR. Ο ασβεστόλιθος και η πηγή Cd όπως και η συχνότητα της εφαρμογής τους επηρέασαν συνολικά τη διαθεσιμότητα του Cd στο έδαφος και τη συσσώρευσή του στο φυτό. Το Cd που προήλθε από το CdCl<sub>2</sub> ήταν ασταθέστερο και εύκολα διαθέσιμο στο φυτό σε σχέση με το Cd που προήλθε από το PR ή το G-ZN. Το Cd στο μαρούλι χαρακτηρίστηκε καλύτερα σαν CaCl<sub>2</sub>-Cd, ακολουθούμενο από DTPA-Cd, με το συνολικό Cd στο έδαφος να είναι ελάχιστα ενδεικτικό για το Cd στο μαρούλι. Ο συντελεστής μεταφοράς Cd για τα λιπάσματα θα έπρεπε να υπολογιστεί βασιζόμενος στο ασταθές ανταλλάξιμο Cd από το CaCl<sub>2</sub> ή το DTPA, αντί του συνολικού Cd του εδάφους. Ο βασισμένος στο ασταθές Cd συντελεστής μεταφοράς θα μπορούσε να βελτιώσει την αξιολόγηση του κινδύνου για την έκθεση του ανθρώπου στα μέταλλα που περιέχονται στα λιπάσματα, μέσω της κατανάλωσης των συκομιζόμενων προϊόντων. Μια ουσιαστική αύξηση στο προστεθέν Cd από το PR, που αποσπάστηκε από το DTPA σημειώθηκε αφότου το PR ενσωματώθηκε με το έδαφος και εξισορροπήθηκε σ' αυτό για αρκετούς μήνες. Το προστεθέν Cd από το PR, το G-Zn, ή το CdCl<sub>2</sub> σε υψηλές ποσότητες αύξησε επίσης τη συσσώρευση του Cd στο μαρούλι. Περισσότερο προστεθέν Cd από το CdCl<sub>2</sub> παρά από τα λιπάσματα μεταφέρθηκε στα φυτά σε όλες τις μεταχειρίσεις ασβεστίου. Η χρησιμοποίηση του Tc (συντελεστής μεταφοράς) που βασίστηκε στο ασταθές Cd πιθανώς θα βελτιώνει την αξιολόγηση του κινδύνου της έκθεσης του ανθρώπου στο Cd από επαναλαμβανόμενες προσθήκες λιπασμάτων που περιέχουν υψηλές ποσότητες Cd.

Πραγματοποιήθηκε μια έρευνα για τη συσσώρευση βαρέων μετάλλων σε φυτά *Polygonum thunbergii* από τους In Sung Kim et.al. (2003). Σε αυτή τη μελέτη προσδιορίστηκε το ποσοστό του καδμίου, του μολύβδου, του χαλκού και του ψευδάργυρου στο *Polygonum thunbergii* και στο έδαφος που βρέχεται από τον

ποταμό Mankyung στην Κορέα. Τα εδαφικά δείγματα περιείχαν ανιχνεύσιμο μόλυβδο ( $< 17,5 \mu\text{g g}^{-1}$ ), χαλκό ( $< 8,4 \mu\text{g g}^{-1}$ ) και ψευδάργυρο ( $< 24,5 \mu\text{g g}^{-1}$ ), ενώ το κάδμιο δεν ήταν ανιχνεύσιμο. Ολόκληρα φυτά *Polygonum thunbergii* περιείχαν ανιχνεύσιμο μόλυβδο ( $< 320,8 \mu\text{g g}^{-1}$ ), χαλκό ( $< 863,2 \mu\text{g g}^{-1}$ ) και ψευδάργυρο ( $< 2427,3 \mu\text{g g}^{-1}$ ), ενώ το κάδμιο ήταν ανιχνεύσιμο μόνο στο μίσχο ( $< 7,4 \mu\text{g g}^{-1}$ ) και στη ρίζα ( $< 10,1 \mu\text{g g}^{-1}$ ). Οι συγκεντρώσεις σε ολόκληρο το φυτό ήταν πολύ διαφορετικές για κάθε μέταλλο, ειδικά στην περίπτωση του ψευδάργυρου. Η μέση περιεκτικότητα των βαρέων μετάλλων σε ολόκληρο το φυτό καθορίστηκε κατά σειρά: κάδμιο ( $8,5 \mu\text{g g}^{-1}$ )  $<$  μόλυβδος ( $183,3 \mu\text{g g}^{-1}$ )  $<$  χαλκός ( $548,1 \mu\text{g g}^{-1}$ )  $<$  ψευδάργυρος ( $1506,7 \mu\text{g g}^{-1}$ ). Ο μόλυβδος, ο χαλκός και ο ψευδάργυρος του εδάφους συσχετιζόνταν με τη συσσώρευση κάθε μετάλλου στα φυτά. Ο περιεχόμενος μόλυβδος στις ρίζες και στα φύλλα είχε άμεση σχέση, όπως και ο περιεχόμενος μόλυβδος στις ρίζες και στους μίσχους. Το φυτό *Polygonum thunbergii* είναι ένα ετήσιο ζιζάνιο και παρουσιάζει γρήγορη ανάπτυξη από τους οφθαλμούς που παρουσιάζει στο βλαστό. Αυτό το είδος φθάνει στη μέγιστη βιομάζα γύρω στα τέλη του Σεπτεμβρίου. Με βάση τα αποτελέσματα της μελέτης καταλήγει κανείς στο συμπέρασμα ότι τα φυτά του *Polygonum thunbergii* μπορούν αποτελεσματικά να συσσωρεύσουν το κάδμιο, το μόλυβδο, το χαλκό και τον ψευδάργυρο του εδάφους ή των διαλυμάτων που προστίθενται σ' αυτό. Απομακρύνει επίσης ενεργά μεγάλες ποσότητες βαρέων μετάλλων από το έδαφος και τα διαλύματα και τα μεταφέρει από τις ρίζες στους βλαστούς. Η ικανότητα της εκ νέου γρήγορης ανάπτυξης του *Polygonum thunbergii* καθιστά πιθανό ότι είναι απαραίτητη η συχνή κοπή των φυτών για την αφαίρεση τοξικών ιόντων μετάλλων από το μολυσμένο περιβάλλον καθ' όλη τη διάρκεια του καλοκαιριού.

Οι Berndes et.al. (2004) πραγματοποίησαν μελέτη σχετικά με την εκχύλιση και συσσώρευση καδμίου στα φυτά σε καλλιεργήσιμο έδαφος της Σουηδίας. Η συσσώρευση καδμίου σε καλλιεργήσιμα εδάφη προκαλεί ανησυχία λόγω των πιθανών άμεσων επιπτώσεων στο περιβάλλον και των κινδύνων για την υγεία που συνδέονται με την έκθεση των ανθρώπων στο κάδμιο μέσω των γεωργικών προϊόντων. Σκοπός της μελέτης αυτής ήταν ο προσδιορισμός του μεγέθους του προβλήματος της συσσώρευσης καδμίου σε καλλιεργήσιμες εκτάσεις της Σουηδίας και η αξιολόγηση της καλλιέργεια του *Salix* (*Salix viminalis*) ως εργαλείο για τον προσδιορισμό του προβλήματος αυτού. Διαπιστώθηκε ότι η καλλιέργεια του *Salix* αποτελεί μια αποτελεσματική επιλογή για τον προσδιορισμό της συσσώρευσης

καδμίου, ειδικά όταν τα ανώτερα στρώματα του εδάφους έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε κάδμιο λόγω ανθρώπινων επεμβάσεων και το υπέδαφος φυσικά περιέχει λίγο κάδμιο. Πρακτικά, το εκτιμώμενο δυναμικό για τη διαχείριση καδμίου με βάση το Salix (περίπου 490000 εκτάρια) είναι πολύ μεγάλο συγκριτικά με τη σημερινή έκταση καλλιέργειας του Salix στη Σουηδία (περίπου 15000 εκτάρια). Εντούτοις, η εκτίμηση της καθαρής οικονομικής αξίας της απομάκρυνσης του καδμίου από καλλιεργήσιμο έδαφος δείχνει ότι τα οικονομικά λόγω της παραγωγής Salix δε θα βελτιωθούν σημαντικά εξαιτίας μιας επιδιωκόμενης απομάκρυνσης καδμίου. Επομένως, η διαχείριση καδμίου που βασίζεται στο Salix, θα πραγματοποιηθεί πιθανότατα σε χώρες όπου η καλλιέργειά του είναι εφικτή ώστε να επικρατήσει ως παραγωγή της απαραίτητης βιομάζας στον τομέα της ενέργειας. Το επιπλέον κόστος για τη θερμότητα ή / και την ηλεκτρική ενέργεια κατά το διαχωρισμό του καδμίου από την τέφρα που παράγεται όταν καίγεται το Salix είναι σημαντικά χαμηλότερο από το κατ' εκτίμηση οικονομικό όφελος της αφαίρεσης του καδμίου από το καλλιεργήσιμο έδαφος. Το κατ' εκτίμηση καθαρό οικονομικό όφελος της αφαίρεσης καδμίου είναι σχετικά μικρό έναντι του κόστους παραγωγής του Salix. Κατά συνέπεια, παρόλο που οι δυνατότητες είναι πολλές, δεν είναι πιθανό ότι η καλλιέργεια του Salix για την παραγωγή ενέργειας θα αυξηθεί εντυπωσιακά ακόμα κι αν οι αγρότες ειδοποιηθούν από ενημερωτικές εκστρατείες για τη δυνατότητα συνδυασμού καλλιέργειας Salix με την αφαίρεση του καδμίου από το καλλιεργήσιμο έδαφος. Τέλος, αυτή η μελέτη επικεντρώθηκε στις συνθήκες που επικρατούν στη Σουηδία, οι οποίες είναι αρκετά διαφορετικές από αυτές των άλλων βιομηχανικών χωρών, όπου οι κανονισμοί σχετικά με το κάδμιο στο έδαφος και στα λιπάσματα είναι λιγότερο αυστηροί.

Οι Ramos et.al. (2002) πραγματοποίησαν έρευνα σχετικά με την προσρόφηση καδμίου και τη διαμοριακή διανομή του σε φυτά *Lactuca* sp. και την αλληλεπίδραση Cd – Mn. Μελετήθηκε η προσρόφηση Cd και η υπομοριακή διανομή σε φυτά του γένους *Lactuca Sativa* cv. *Grandes Lagos*. Πραγματοποιήθηκαν πειράματα υπό ιδανικές συνθήκες και μη, για να μελετηθεί η επίδραση του Cd στην προσρόφηση Mn και στην υπομοριακή διανομή του. Τα φυτά μαρουλιού αναπτύχθηκαν υδροπονικά με θρεπτικά διαλύματα που περιείχαν 0,1 και 1,0 mg Cd l<sup>-1</sup> σε ένα θερμοκήπιο (πειράματα υπό πραγματικές συνθήκες). Επίσης, το Cd εισχώρησε άμεσα στα φύλλα του μαρουλιού στις μελέτες υπό εργαστηριακές συνθήκες (0,5 και 1 mg Cd l<sup>-1</sup>), για να ελαχιστοποιηθούν οι διαδικασίες απορρόφησης και μεταφοράς. Έγινε δειγματοληψία

στη ρίζα και στους βλαστούς μετά από 16 ημέρες έκθεσης στα διαλύματα Cd. Το Cd, το Mn και άλλα στοιχεία αξιολογήθηκαν στα διαφορετικά μέρη των φυτών στα οποία έγινε η δειγματοληψία και στα υπομοριακά μέρη που εφαρμόστηκε η προσθήκη των μετάλλων μέσω των διαλυμάτων, με χρήση φασματοφωτόμετρου ατομικής απορρόφησης. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι το Cd συσσωρεύτηκε στα φύλλα κυρίως στα κυτταρικά τοιχώματα (64%) και αυτή η συσσώρευση ήταν αρκετά ανεξάρτητη από το ποσοστό του Cd στο θρεπτικό διάλυμα. Η μικρότερη συγκέντρωση Cd (12 – 14%) βρέθηκε στους χλωροπλάστες και για τις δύο ποσότητες Cd που εφαρμόστηκαν. Η αύξηση της συγκέντρωσης του προστεθέντος Cd προκάλεσε μια αύξηση στην προσρόφηση Mn και στη διακίνησή του στους βλαστούς των φυτών μαρουλιού, σε αντίθεση με τη συμπεριφορά των άλλων ουσιαστικών μικροστοιχείων, και μια αύξηση στην περιεκτικότητα σε Mn στους χλωροπλάστες, που υποδεικνύει μια αλληλεπίδραση μεταξύ του Cd και του ποσοστού του Mn στους χλωροπλάστες. Οι ποικιλίες *Lactuca* sp. (μαρούλια και αντίδια) μπορούν να θεωρηθούν ως είδη που έχουν μεγάλη δυνατότητα συσσώρευσης Cd και διακίνησής του στα διάφορα μέρη τους. Οι συγκεντρώσεις του Cd που βρέθηκαν στα εδάδια μέρη των αντιδίων και των μαρουλιών που αναπτύχθηκαν σε θρεπτικά διαλύματα είναι μάλλον υψηλά και αυτά τα εδάδια μέρη δεν παρουσιάζουν κανένα ορατό σύμπτωμα τοξικότητας εξαιτίας του Cd. Εντούτοις, η διακίνηση του Cd στους βλαστούς φαίνεται να είναι ηπιότερη όταν η συγκέντρωση του Cd σε ολόκληρο το φυτό αυξάνεται. Παρατηρήθηκε μια αύξηση του Mn στους βλαστούς των φυτών μαρουλιού μετά από 16 ημέρες ανάπτυξής τους με το Cd, ενώ ο Fe, ο Cu και ο Zn υπέστησαν μια μείωση. Σε υπομοριακό επίπεδο, υπάρχει μια υψηλότερη συσσώρευση Mn στους χλωροπλάστες όταν το Cd είναι παρόν στα θρεπτικά διαλύματα. Παρόμοια αποτελέσματα για την υπομοριακή ανακατανομή του Mn παρατηρούνται στα φύλλα του μαρουλιού που εφαρμόστηκε το Cd υπό εργαστηριακές συνθήκες. Τα αποτελέσματα αυτά δείχνουν ότι τα φυτά του είδους *Lactuca* είναι σε θέση να συγκρατήσουν το Cd στα κυτταρικά τοιχώματα και ότι θα ήταν πιο ανεκτικά στην παρουσία του Cd από άλλα φυτά (όπως φασόλι, μπιζέλι, αραβόσιτος) και θα επιβίωναν με υψηλότερη συγκέντρωση Cd στους βλαστούς χωρίς οποιοδήποτε σύμπτωμα τοξικότητας. Επίσης, παρουσία Cd, παρατηρήθηκε υψηλότερη συγκέντρωση Mn στους βλαστούς και αύξηση του ποσοστού του Mn που συσσωρεύτηκε στους χλωροπλάστες, σε συμφωνία με αποτελέσματα που εξάχθηκαν από προηγούμενα πειράματα, όπου παρατηρήθηκε επίδραση του Cd στην

προσρόφηση και στη διανομή του Mn. Όλα αυτά τα αποτελέσματα οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι η αύξηση της προσρόφησης και ανακατανομής του Mn στα φυτά είναι ένας πιθανός μηχανισμός αντίστασης, σε επίπεδο χλωροπλαστών, στην τοξικότητα εξαιτίας του Cd, στα φυτά του είδους *Lactuca*.

Οι Oliver et.al. (1998) πραγματοποίησαν έρευνα σχετικά με την επίδραση του pH του εδάφους και του εφαρμοζόμενου καδμίου στη συγκέντρωση του καδμίου στους καρπούς του σιταριού. Οι επιδράσεις του pH του εδάφους και του εφαρμοζόμενου Cd στο έδαφος, στη συγκέντρωση του Cd στους καρπούς του σιταριού καθορίστηκαν χρησιμοποιώντας 4 εδάφη σε μια θερμοκηπιακή μελέτη. Οι συγκεντρώσεις του Cd στους καρπούς αυξήθηκαν σημαντικά με αυξανόμενες εφαρμογές του Cd για όλα τα εδάφη. Γενικά, για τα Alfisols η συγκέντρωση του Cd στους καρπούς μειώθηκε με την αύξηση του pH του εδάφους για όλες τις μεταχειρίσεις Cd. Οι συγκεντρώσεις του Cd στους καρπούς των φυτών που καλλιεργήθηκαν αυξήθηκαν σε Harloxeert, παρουσίασαν ποικίλες αντιδράσεις στις μεταβολές του pH, ανάλογα με τη μεταχείριση του Cd. Μικρότερες μειώσεις στη συγκέντρωση του Cd στους καρπούς σιταριού ενώ αυξήθηκε το pH σημειώθηκαν στα εδάφη με το εγγενές Cd έναντι των καρπών από τα εδάφη στα οποία είχε προστεθεί Cd. Γενικά, η προσρόφηση Cd (mg / δοχείο) στο σιτάρι που καλλιεργήθηκε σε Alfisols με αυξανόμενο pH παρουσίασε ίδιες τάσεις όπως οι συγκεντρώσεις Cd στους καρπούς, αποκλείοντας κάθε επίδραση των θρεπτικών διαλυμάτων. Στο έδαφος Bordertown η αναλογία του Cd στους βλαστούς (αποκλείοντας τους καρπούς) προς τη συγκέντρωση του Cd στους καρπούς βρέθηκε να αυξάνεται σημαντικά με την αύξηση των μεταχειρίσεων Cd και να μειώνεται σημαντικά με την αύξηση του pH. Η αναλογία στο έδαφος Bordertown δεν παρέμεινε σταθερή με τις μεταχειρίσεις του Cd ή του pH, γεγονός που υποδηλώνει ότι η χρήση των εδαφικών δοκιμών για την πρόβλεψη της συγκέντρωσης του Cd στους καρπούς μπορεί να είναι λανθασμένη. Οι συντελεστές μεταφοράς για τα εδάφη Kapinnie, Freeling και Bordertown εξαρτήθηκαν από το pH, ενώ ήταν ανεξάρτητοι από το pH για το έδαφος Inman Valley. Η σχέση μεταξύ του αμοιβαίου συντελεστή διανομής και των συντελεστών μεταφοράς (Cd καρπών / Cd εδάφους) ήταν γενικά καλή για όλα τα εδάφη εκτός από το Vertisol από το Inman Valley. Η αύξηση του pH μείωσε αποτελεσματικά τις συγκεντρώσεις του καδμίου στα φυτά που καλλιεργούνται σε μέσης ως ελαφριάς σύστασης εδάφη. Η αύξηση της ισορροπίας του pH εντούτοις, δε μείωσε τη

συγκέντρωση του καδμίου στους καρπούς των φυτών που καλλιεργούνται σε βαρύτερης σύστασης έδαφος.

Οι Oliver et.al. (1998) έκαναν σύγκριση τριών εδαφικών τεστ για την αξιολόγηση της συσσώρευσης Cd σε καρπούς σιταριού. Συγκρίθηκαν τρία μέσα απόσπασης, ονομαστικά το αιθυλενοδιαμινοτετραοξικό οξύ (EDTA), το  $\text{CaCl}_2$ , και το  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  για να αξιολογηθεί η σχέση μεταξύ των ποσοτήτων του καδμίου (Cd) που αποσπάται από το έδαφος και της συγκέντρωσης του Cd στους καρπούς του σιταριού, με την προοπτική να χρησιμοποιηθεί ένα εδαφικό τεστ για να προβλεφθούν οι συγκεντρώσεις του Cd στο σιτάρι. Τα εδάφη που χρησιμοποιήθηκαν προήλθαν από 1 θερμοκηπιακό πείραμα και δείγματα από 31 χωράφια κατά τη διάρκεια 2 ετών, τα οποία είχαν δεχθεί Cd μόνο από προηγούμενες εφαρμογές φωσφορικών λιπασμάτων. Τα εδάφη ποίκιλαν από βαριά πηλώδη με μια σχετικά υψηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα έως και αμμώδη. Οι τιμές του pH ποίκιλαν από 4,5 ως 7,8. Η σχέση μεταξύ της συγκέντρωσης του Cd και του αποσπάσιμου από τα  $\text{CaCl}_2$  και  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  Cd του εδάφους διέφερε. Η χρήση μόνο του pH για την πρόβλεψη της συγκέντρωσης του Cd στους καρπούς του σιταριού ήταν σημαντική για όλα τα εδάφη που χρησιμοποιήθηκαν στο θερμοκήπιο εκτός από το έδαφος με την μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε πηλό (Inman Valley). Στα πειράματα στο χωράφι, η σχέση μεταξύ των συγκεντρώσεων του Cd στο σιτάρι και του pH ήταν σημαντική. Ο συνυπολογισμός του pH και του αποσπάσιμου Cd του εδάφους [ $\text{CaCl}_2$  και  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ] για τον καθορισμό της συγκέντρωσης του Cd στο σιτάρι βελτίωσε μόνο τη σχέση στις μισές περιπτώσεις στη μελέτη αυτή. Αυτό υποδηλώνει ότι μπορεί να υπάρξει μικρό όφελος στην πρόβλεψη της συγκέντρωσης του Cd στο σιτάρι από τη χρήση των μέσων απόσπασης σε σχέση με το pH του εδάφους. Το pH του εδάφους είναι επίσης μια πιο εύκολη, οικονομική και γρήγορη μέτρηση συγκριτικά με μια μέτρηση του αποσπάσιμου Cd του εδάφους, ειδικά σε εδάφη με χαμηλές συγκεντρώσεις Cd. Σε κάθε περίπτωση, η συγκέντρωση του Cd στο σιτάρι και το αποσπάσιμο από το EDTA Cd του εδάφους συσχετίζονταν ελάχιστα.

Ο McBride (2002) ασχολήθηκε με τον υπολογισμό της προσρόφησης του Cd στις καλλιέργειες συνυπολογίζοντας το συνολικό Cd και το pH του εδάφους. Στη μελέτη του, αναλύοντας ξανά τα διαθέσιμα στοιχεία όσον αφορά την προσρόφηση του καδμίου στο μαρούλι, στο ελβετικό chard και στα φύλλα του καλαμποκιού από εδάφη στα οποία έχει εφαρμοστεί λάσπη βιολογικών καθαρισμών, προέκυψε μια εξίσωση της γενικής μορφής:



$$\log (Cd)_{\text{καλλιέργειας}} = a + b \log (Cd \text{ εδάφους}) - c (\text{pH εδάφους})$$

η οποία συμπεριλαμβάνει μόνο τους ενδεικτικούς παράγοντες του εδάφους pH και συνολικό Cd και ήταν αρκετά ακριβής για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης Cd στους υπέργειους φυτικούς ιστούς,  $[(Cd)_{\text{καλλιέργειας}}]$ , αν και οι συντελεστές a, b, και c ποίκιλαν ανάλογα με το εκάστοτε έδαφος, το κλίμα και το είδος της καλλιέργειας. Εντούτοις, αυτή η εξίσωση επιτρέπει μια αμεσότερη σύγκριση μεταξύ της βιολογικής διαθεσιμότητας του Cd σε εδάφη με προσθήκη λάσπης βιολογικών καθαρισμών και αυτής σε μη ρυπασμένα εδάφη, επειδή σε πολλά πειράματα, το pH του εδάφους είναι πολύ διαφορετικό στο έδαφος στο οποίο γίνεται το πείραμα από τα εδάφη που χρησιμοποιούνται σε πειράματα υπό εργαστηριακές συνθήκες. Αφού συνυπολογιστεί ο παράγοντας του pH, τα αποτελέσματα δεν αποδίδουν με συνέπεια ότι το Cd που προστίθεται στα εδάφη μέσω της λάσπης βιολογικών καθαρισμών είναι λιγότερο βιολογικά διαθέσιμο από το ήδη περιεχόμενο Cd ή το Cd από άλλες πηγές μόλυνσης. Γενικά, η μακροπρόθεσμη βιολογική διαθεσιμότητα εξαρτήθηκε πρωτίστως από το pH του εδάφους και τη συγκέντρωση του Cd σ' αυτό. Παρόλο που άλλοι παράγοντες, ιδιαίτερα η περιεχόμενη οργανική ουσία στο έδαφος και η εδαφική και ορυκτολογική σύσταση, έχουν πιθανώς επιπτώσεις στη βιολογική διαθεσιμότητα του Cd στα διάφορα εδάφη, η έλλειψη στοιχείων που θα προέκυπταν με συνυπολογισμό αυτών των εδαφικών παραμέτρων έχει εμποδίσει την εκτίμηση της σημασίας τους στον έλεγχο προσρόφησης στα φυτά. Η προσρόφηση Cd στις φυλλώδεις καλλιέργειες υπολογίζεται με αρκετή ακρίβεια με χρήση του συνδυασμού του συνολικού Cd και του pH του εδάφους. Αυτές οι δύο μεταβλητές του εδάφους είναι ακόμη πιο σημαντικές από το συνολικό Cd του εδάφους, αφού σχετίζονται με το εκάστοτε έδαφος και τη μεταβλητότητα της συγκέντρωσης του Cd στις καλλιέργειες σε σχέση με το χρόνο. Εντούτοις, πολυάριθμα άλλα εδάφη, καλλιέργειες και κλιματολογικές μεταβλητές επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα της προσρόφησης Cd κι έτσι δεν υπάρχει μια μοναδική σχέση της συγκέντρωσης του Cd στις φυλλώδεις καλλιέργειες με το pH του εδάφους και το περιεχόμενο Cd. Ένας πιο άμεσος τρόπος υπολογισμού της δυνατότητας προσρόφησης Cd σε μια καλλιέργεια θα ήταν η μέτρηση διαλυμένου Cd σε εδαφικό διάλυμα απευθείας, αλλά στις περισσότερες δημοσιευμένες μελέτες σχετικά με την προσρόφηση Cd, όπως εκείνες που αναφέρονται σε αυτή τη δημοσίευση, το Cd του εδαφικού διαλύματος δεν μετρήθηκε.

Οι Wong et.al. (2004) ασχολήθηκαν με τα αλκαλικά biosolids και το EDTA ως θεραπεία των φυτών σε ένα όξινο πηλώδες έδαφος στο οποίο έχει προστεθεί κάδμιο. Πραγματοποίησαν πείραμα σε θερμοκήπιο για να διερευνηθεί η ανάπτυξη του *Brassica juncea* και της απόσπασης Cd εκ μέρους των φυτών σε ένα μολυσμένο με Cd όξινο πηλώδες έδαφος που υπέστη βελτίωση με αλκαλικά biosolids, τα οποία παρασκευάστηκαν από λάσπη λυμάτων, παρουσία και μη, EDTA ποσότητας 2 mmol kg<sup>-1</sup>. Το όξινο πηλώδες έδαφος εμπλουτίστηκε με 0, 5, 20, 50 και 100 mg Cd kg<sup>-1</sup> υπό μορφή CdCO<sub>3</sub> και έπειτα με 4% κατ' όγκο αλκαλικών biosolids. Η προσθήκη αλκαλικών biosolids και 0,12% CaCO<sub>3</sub> οδήγησαν σε υψηλότερη παραγωγή βιομάζας σε σχέση με το μη βελτιωμένο έδαφος που εμπλουτίστηκε με 20 mg Cd kg<sup>-1</sup> όπου τα φυτά δεν επέζησαν και μεταξύ των δύο βελτιώσεων, εκείνη με τα αλκαλικά biosolids είχε υψηλότερη παραγωγή ξηρού βάρους φυτών και απόσπαση Cd. Η προσθήκη των 2 mmol kg<sup>-1</sup> EDTA στο βελτιωμένο έδαφος με αλκαλικά biosolids αύξησε σημαντικά τη διαλυτότητα των ιόντων Cd από 9 ως 29 φορές, αλλά η συσσώρευση Cd στα φυτά μειώθηκε κατά 24 – 48%. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η προσθήκη αλκαλικών biosolids είναι μια αποτελεσματική προσέγγιση για την ενίσχυση της ανάπτυξης του *B. juncea* και της απόσπασης του Cd εκ μέρους των φυτών από το μολυσμένο όξινο πηλώδες έδαφος, αλλά η περαιτέρω εφαρμογή χηλικών ενώσεων δεν ενισχύει την αποδοτικότητα της απόσπασης του Cd εκ μέρους των φυτών. Συμπερασματικά, η βελτίωση του εδάφους με αλκαλικά biosolids είναι αποτελεσματικότερη για την ενίσχυση της εξυγίανσης μέσω των φυτών από το Cd του μολυσμένου όξινου πηλώδους εδάφους σε σχέση με τη βελτίωση του εδάφους με προσθήκη ασβεστίου.

Οι Millis et.al. (2004) ερεύνησαν την ανομοιογένεια της συγκέντρωσης του καδμίου στο έδαφος σε σχέση με την προσρόφησή του στα φυτά και τις επιπτώσεις του στην αξιολόγηση του κινδύνου για την ανθρώπινη υγεία. Ο σημαντικότερος τρόπος έκθεσης των ανθρώπων στο τοξικό στοιχείο κάδμιο (Cd) είναι μέσω της κατανάλωσης λαχανικών που έχουν καλλιεργηθεί σε έδαφος μολυσμένο με Cd. Είναι ευρέως γνωστό ότι το pH του εδάφους είναι μία από τις κύριες ιδιότητες του εδάφους που ελέγχουν τη βιολογική διαθεσιμότητα του Cd στα φυτά. Αυτό αναγνωρίζεται στα πρότυπα αξιολόγησης του κινδύνου για την υγεία του ανθρώπου που περιλαμβάνουν το pH ως παράγοντα που επηρεάζει τη συγκέντρωση (CF = Cd στα φυτά / Cd στο έδαφος). Εντούτοις, η ποικιλία στην ανομοιογένεια των θρεπτικών ουσιών και των βαρέων μετάλλων στο έδαφος μπορεί να έχει μια ουσιαστική επίδραση στην απόδοση των φυτών και στην προσρόφηση των θρεπτικών ουσιών και των βαρέων μετάλλων.

Εδώ παρουσιάζεται για το μαρούλι (ποικιλία Crispino) ότι η ανομοιογένεια του Cd στα φυτά και στο έδαφος έχει επιπτώσεις στη βιολογική διαθεσιμότητα και ως εκ τούτου ο FC επηρεάζεται από έναν διπλό παράγοντα. Η παραγωγή του φυτού επηρεάζεται επίσης σημαντικά. Αυτό έχει σημαντικές επιπτώσεις στην αξιολόγηση του κινδύνου της υγείας του ανθρώπου, αφού η διαφοροποίηση του FC επηρεάζει την προβλεφθείσα έκθεση και στη φυτοπροστασία όπου απαιτείται ο βέλτιστος συνδυασμός παραγωγής φυτών και συσσώρευσης μολυσματικών παραγόντων.

Ο Karaca (2004) μελέτησε την επίδραση των οργανικών αποβλήτων στην ικανότητα απόσπασης του καδμίου, του χαλκού, του νικελίου και του ψευδάργυρου στο έδαφος. Πραγματοποίησε πείραμα ενσωμάτωσης στο έδαφος, διάρκειας 6 μηνών για να εξακριβωθούν τα αποτελέσματα της σκόνης καπνού, κομπόστας και ιζήματος σταφυλιών, τα οποία περιέχουν μεγάλες ποσότητες οργανικής ουσίας, στο αποσπάσιμο κάδμιο, στο χαλκό, στο νικέλιο και στον ψευδάργυρο του εδάφους. Τα ποσοστά των οργανικών αποβλήτων που προστέθηκαν σε υγρή κατάσταση ήταν 0%, 2%, 4%, και 8% του ξηρού εδάφους κατά βάρος. Το pH του εδάφους μειώθηκε σημαντικά στα εδάφη στα οποία προστέθηκε η κομπόστα και το ίζημα από σταφύλι κατά τη διάρκεια της περιόδου ενσωμάτωσης. Η προσθήκη και των τριών οργανικών αποβλήτων προκάλεσαν μια σημαντική αύξηση στην περιεκτικότητα των εδαφών σε οργανική ουσία. Η εφαρμογή της σκόνης καπνού αύξησε σημαντικά την περιεκτικότητα του εδάφους σε αποσπάσιμο Cd του DTPA, ενώ η προσθήκη του ιζήματος σταφυλιών και της κομπόστας προκάλεσε μια σημαντική μείωση στην περιεκτικότητα σε αποσπάσιμο Cd των εδαφών. Ο αποσπάσιμος Cu του DTPA μειώθηκε σημαντικά με τη μεταβαλλόμενη αύξηση των ποσοστών ιζήματος σταφυλιών και αυξήθηκε με τη μεταβαλλόμενη αύξηση των ποσοστών σκόνης καπνού, αλλά δεν υπήρξε καμία επίδραση της κομπόστας. Η ποσότητα του αποσπάσιμου από το DTPA Ni ήταν μεγαλύτερη στην κομπόστα που προστέθηκε στο έδαφος απ' ότι στο ίζημα του σταφυλιού λόγω της περισσότερης περιεχόμενης οργανικής ουσίας στο δεύτερο. Ο αποσπάσιμος από το DTPA Zn αυξήθηκε με τη μεταβαλλόμενη αύξηση των ποσοστών και των τριών οργανικών αποβλήτων. Η επίδραση της εφαρμογής οργανικών αποβλήτων στην ικανότητα απόσπασης του Cd, του Cu, του Ni και του Zn στο έδαφος CL (χαρακτηριστικό xerofluvent) εξαρτήθηκε από το pH, την περιεχόμενη οργανική ουσία στα οργανικά απόβλητα, τα μέταλλα που μελετήθηκαν και το χρόνο μετά από την εφαρμογή τους. Η εφαρμογή του TD προκάλεσε αύξηση της ποσότητας των αποσπασίμων Cd, Cu, Ni και Zn από το

DTPA και πιθανώς μείωσε το pH. Παρατηρήθηκε αύξηση του αποσπάσιμου Zn με την προσθήκη των GM και MC, ενώ αυτά τα οργανικά απόβλητα οδήγησαν σε μείωση των αποσπάσιμων Cd και Ni. Ο αποσπάσιμος Cu από το DTPA μειώθηκε με την προσθήκη του GM, αλλά δεν υπήρξε επίδραση λόγω του MC. Οι συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στην παρούσα μελέτη ήταν υψηλότερες μετά από 6 μήνες ενσωμάτωσης απ' ό,τι την πρώτη ημέρα, πιθανώς λόγω της μείωσης της οργανικής ουσίας και της απελευθέρωσης των μετάλλων, τα οποία αναμίχθηκαν με την οργανική ουσία στην αρχή της ενσωμάτωσης. Η περιεχόμενη οργανική ουσία και η τιμή του pH του εδάφους είναι σχετικά εύκολο να αλλάξουν. Επομένως, η επίδραση της οργανικής ουσίας και του pH στην ικανότητα απόσπασης των μετάλλων χρίζει ιδιαίτερης προσοχής.

Οι Adams et.al. (2004) επιχείρησαν να κάνουν πρόβλεψη των συγκεντρώσεων καδμίου σε καρπούς σιταριού και κριθαριού με βάση τις ιδιότητες του εδάφους. Η είσοδος του Cd στην τροφική αλυσίδα είναι ανησυχητική αφού μπορεί να προκαλέσει χρόνια προβλήματα υγείας. Για να ερευνηθεί η σχέση μεταξύ των ιδιοτήτων του εδάφους και της συγκέντρωσης του Cd στους καρπούς του σιταριού (*Triticum aestivum* L.) και του κριθαριού (*Hordeum vulgare* L.), αναλύθηκαν 162 δείγματα καρπών σίτου και 215 δείγματα καρπών κριθαριού που συλλέχθηκαν κατά τη διάρκεια ερευνών από ταξινομημένα κατά ζεύγη εδάφη και καλλιέργειες στη Βρετανία και δείγματα σιταριού και κριθαριού από δύο εκτενή πειράματα στα οποία χρησιμοποιήθηκε λάσπη βιολογικών καθαρισμών. Οι συγκεντρώσεις καδμίου ήταν πολύ χαμηλότερες στους καρπούς του κριθαριού από αυτές στους καρπούς του σιταριού υπό συγκρίσιμες συνθήκες του εδάφους. Η ανάλυση πολλαπλής παλινδρόμησης έδειξε ότι το συνολικό Cd και το pH του εδάφους ήταν οι σημαντικοί παράγοντες που επηρέασαν τις συγκεντρώσεις του Cd στους καρπούς. Σημαντικές διαφορές στην προσρόφηση του Cd παρατηρήθηκαν στο σιτάρι και στο κριθάρι ανάλογα με την ποικιλία. Οι συγκεντρώσεις του Cd στους καρπούς του σιταριού θα μπορούσαν να προβλεφθούν με αρκετή ακρίβεια με βάση το συνολικό Cd και το pH του εδάφους χρησιμοποιώντας την ακόλουθη σχέση:  $\log(\text{Cd}_{\text{καρπών}}) = a + b \log(\text{Cd}_{\text{εδάφους}}) - c (\text{pH}_{\text{εδάφους}})$ , περιλαμβάνοντας το 53% των ποικιλιών. Οι συντελεστές που λαμβάνονται από τα στοιχεία των ερευνών από τα ταξινομημένα κατά ζεύγη εδάφη και τις καλλιέργειες και από τα εκτενή πειράματα στα οποία χρησιμοποιήθηκε λάσπη βιολογικών καθαρισμών ήταν παρόμοια, υποδεικνύοντας παρόμοιους παράγοντες ελέγχου της βιολογικής διαθεσιμότητας του Cd στα εδάφη στα οποία

εφαρμόστηκε λάσπη βιολογικών καθαρισμών ή στα εδάφη που δεν υπέστησαν καμία παρέμβαση. Για το κριθάρι, η σχέση ήταν λιγότερο ικανοποιητική για την πρόβλεψη της συγκέντρωσης Cd στους καρπούς (για το 22% των ποικιλιών). Η σχέση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη της πιθανότητας το Cd των καρπών του σιταριού να υπερβαίνει τους νέους κανονισμούς τροφίμων της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Ε.Ε.) σχετικά με τη μέγιστη επιτρεπτή συγκέντρωση Cd υπό διάφορες συνθήκες του εδάφους, ιδιαίτερα σε σχέση με τις υπάρχουσες οδηγίες και τις προτεινόμενες νέες οδηγίες για τις εφαρμογές της λάσπης βιολογικών καθαρισμών στο έδαφος. Ο συνυπολογισμός άλλων ιδιοτήτων του εδάφους, συμπεριλαμβανομένης της οργανικής ουσίας του εδάφους, την περιεκτικότητα σε Fe, Al και οξείδια του Mn, και την αναλογία Zn : Cd, δε βελτίωσε σημαντικά την παραπάνω σχέση. Υπολογισμοί που στηρίζονται στη σχέση αυτή έδειξαν ότι οι ισχύοντες κανονισμοί στη Μεγάλη Βρετανία σχετικά με τις εφαρμογές της λάσπης βιολογικών καθαρισμών, που επιτρέπουν συσσώρευση του Cd στο έδαφος μέχρι  $3 \text{ mg kg}^{-1}$ , δεν είναι αρκετά προστατευτικοί, αφού το Cd στους καρπούς του σιταριού υπερβαίνει τους ισχύοντες κανονισμούς της Ε.Ε.. Αντίθετα, τα προσφάτως προτεινόμενα σχέδια για τους κανονισμούς της Ε.Ε. σχετικά με τις εφαρμογές της λάσπης βιολογικών καθαρισμών, που επιτρέπουν  $<0,5 \text{ mg Cd kg}^{-1}$  για pH εδάφους 5 έως 6,  $<1,0 \text{ mg Cd kg}^{-1}$  για pH εδάφους 6 έως 7 και  $1,5 \text{ mg Cd kg}^{-1}$  για pH εδάφους  $>7$ , θα παρείχαν ικανοποιητική προστασία. Το pH και η συγκέντρωση του συνολικού Cd του εδάφους ήταν οι δύο σημαντικοί παράγοντες που επηρέασαν τη συγκέντρωση του Cd στους καρπούς μιας ανοιξιάτικης ποικιλίας κριθαριού στα δύο εκτενή πειράματα στα οποία χρησιμοποιήθηκε λάσπη βιολογικών καθαρισμών και στις χειμερινές ποικιλίες κριθαριού στις έρευνες με τα ταξινομημένα κατά ζεύγη εδάφη. Τα αποτελέσματα από τις έρευνες με τα ταξινομημένα κατά ζεύγη εδάφη και από τα εκτενή πειράματα στα οποία χρησιμοποιήθηκε λάσπη βιολογικών καθαρισμών έδειξαν ότι το κριθάρι που αναπτύχθηκε στη Μεγάλη Βρετανία υπό χαρακτηριστικές συνθήκες χωραφιού είναι απίθανο να υπερβούν τους κανονισμούς της Ε.Ε. για το Cd.

Οι Jinadasa et.al. (1997) έκαναν έρευνα για τα επίπεδα του καδμίου στα λαχανικά και στα εδάφη της ευρύτερης περιοχής του Σύδνεϋ στην Αυστραλία. Το κάδμιο στο 10% των ριζών και των φυλλωδών λαχανικών που πωλούνται στην αγορά του Σύδνεϋ υπερβαίνει τη μέγιστη επιτρεπόμενη συγκέντρωση (MPC) που έχει τεθεί από την αρχή τροφίμων της Αυστραλίας Νέας Ζηλανδίας (ANZ) ( $0,05 \text{ mg kg}^{-1}$  νωπό βάρος). Τα φυλλώδη λαχανικά παράγονται κυρίως στην ευρύτερη περιοχή του

Σύδνεϋ. Επομένως, ερευνήθηκε η μόλυνση από το Cd στα εδάφη και στα λαχανικά της περιοχής. Λήφθηκαν και αναλύθηκαν δείγματα από καλλιέργειες και επιφανειακά στρώματα εδαφών (0 – 15 εκατ.) από 29 αγροκτήματα και από ακαλλιέργητα εδάφη. Τα φρούτα είχαν γενικά τα χαμηλότερα επίπεδα Cd και τα φυλλώδη λαχανικά τα υψηλότερα, υπερβαίνοντας το MPC κατά 0 και 27% αντίστοιχα. Το κάδμιο στα καλλιεργημένα εδάφη ήταν από 0,11 έως 6,37 mg kg<sup>-1</sup> (περίπου 1,33 mg kg<sup>-1</sup>) και στα ακαλλιέργητα εδάφη κατά μέσο όρο 0,36 mg kg<sup>-1</sup>. Τα εδάφη που προήλθαν από σχιστόλιθο είχαν τα πιο υψηλά επίπεδα Cd. Προσθήκες P, Zn και Cd μέσω των λιπασμάτων δικαιολόγησαν τα σημαντικά ποσοστά της αύξησης των συγκεντρώσεων στο έδαφος του P και του Zn, αλλά όχι και του Cd. Οι αυξήσεις του καδμίου ήταν αντίστοιχες με αυτές του Zn και των ανταλλάξιμων κατιόντων, γεγονός που οφείλεται σε μια προϊστορία βαρέων, ετήσιων εφαρμογών λιπασμάτων προερχόμενων από ορنيθοτροφεία. Τα χαρακτηριστικά ποσοστά προσθήκης Cd αντιστοιχούσαν σε περίπου 10 φορές περισσότερο από τα ανεκτά όρια. Οι οδηγίες του ANZ για την περιβαλλοντική έρευνα σχετικά με το Cd του εδάφους (3 mg kg<sup>-1</sup>), ήταν ένας ανεπαρκής δείκτης της μόλυνσης των καλλιεργειών, επειδή 0,3 mg Cd kg<sup>-1</sup> εδάφους οδήγησε σε ποσότητα Cd στο μαρούλι (*Lactuca sativa* L.) και στο μπρόκολο (*Brassica oleracea*) που υπερέβαινε τα όρια του MPC. Το κάδμιο συσσωρεύεται στην τροφική αλυσίδα και είναι τοξικό για τους ανθρώπους. Συνεπώς τα επίπεδα του Cd στα τρόφιμα ελέγχονται στην Αυστραλία από το 1970. Από το 1989, η περιεκτικότητα σε Cd επιλεγμένων λαχανικών ελέγχεται επίσης χρησιμοποιώντας δείγματα από την κύρια αγορά για την πόλη του Σύδνεϋ στη Νέα Νότια Ουαλία (NSW). Τα λαχανικά που παλούνται είναι συνήθως, αλλά όχι αποκλειστικά, παραγόμενα στην Αυστραλία. Λαμβάνονται δείγματα από λαχανικά εποχής και το 5 έως 8% υπερβαίνουν τα 0,05 mg Cd kg<sup>-1</sup> νωπού βάρους, το οποίο είναι το όριο του MPC για το Cd στα αυστραλιανά λαχανικά. Το MPC είναι αυτήν την περίοδο υπό αναθεώρηση. Το ευρύτερο Σύδνεϋ περιλαμβάνει κάποια από τα παλαιότερα αγροκτήματα της Αυστραλίας (> 100 έτη) και τα αγροκτήματα που παράγουν τα περισσότερα από τα φρέσκα λαχανικά για το Σύδνεϋ. Στη φυσική τους κατάσταση τα εδάφη του Σύδνεϋ παρουσιάζουν μικρές περιεκτικότητες σε Cd. Εντούτοις, αναμενόταν ότι τα επίπεδα του Cd θα είχαν αυξηθεί με τη χρήση μεγάλων ποσοτήτων φωσφορικών λιπασμάτων μολυσμένων με Cd. Συνεπώς αποφασίστηκε να ερευνηθεί η έκταση της μόλυνσης του Cd και των πηγών του σε 29 εντατικά καλλιεργούμενα αγροκτήματα στο ευρύτερο Σύδνεϋ. Παρουσιάστηκε ένας ισχυρός συσχετισμός

μεταξύ εκτεταμένων εφαρμογών υπερφωσφορικών λιπασμάτων και αυξήσεων του Cd στην επιφάνεια και σε βάθος μέχρι 7,5 εκατ. των αυστραλιανών εδαφών. Το 1976, αναφέρθηκε ότι τα 0,006 έως 0,13 mg Cd kg<sup>-1</sup> ήταν αποσπάσιμα από HCl 1 M από έξι επιφανειακά εδάφη χωρίς προσθήκη λιπασμάτων και συνήθως εκτεθειμένα σε έντονες καιρικές συνθήκες από τη Νέα Νότια Ουαλία. Προσθήκες λιπασμάτων P είχαν αυξήσει τα επίπεδα Cd περισσότερο από 10 φορές σε δύο από τα εδάφη που χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή των λαχανικών. Η μόλυνση από το Cd στα λιπάσματα P που κατασκευάζονται στην Αυστραλία έχει μειωθεί σταδιακά. Μέχρι πρόσφατα, τα υπερφωσφορικά δημιουργήθηκαν με την οξίνιση του φωσφορικού άλατος guano που εισήχθη από το Ναούρου τα Χριστούγεννα, και τα ωκεάνια νησιά. Μέχρι το 1989, η Αυστραλία είχε εισάγει περίπου 78 εκατομμύρια τόνους φωσφορικού άλατος από αυτά τα νησιά. Υπήρχε λίγο Cd στο θειικό οξύ, το οποίο ήταν υποπροϊόν των μεταλλευμάτων Zn και Cu. Τα υπερφωσφορικά που κατασκευάστηκαν μεταξύ 1959 και 1972 περιείχαν από 380 έως 480 mg Cd kg<sup>-1</sup> P. Το 1994, η Ομοσπονδία Βιομηχανίας Λιπασμάτων της Αυστραλίας πρότεινε ως ανώτατα όρια για το Cd στα υπερφωσφορικά και στα μικτά λιπάσματα τα 350 και 250 mg Cd kg<sup>-1</sup> P. Εντούτοις, ακόμη και 250 mg Cd kg<sup>-1</sup> P είναι πιθανό να προκαλέσουν υπερβολικά επίπεδα Cd στα λαχανικά, λόγω των υψηλών ποσοτήτων προστιθέμενων λιπασμάτων. Η μόλυνση των γεωργικών εκτάσεων από το Cd μέσω των λιπασμάτων P είναι ένα παγκόσμιο πρόβλημα. Έχει αναφερθεί επίσης ότι προσθήκες Zn μειώνουν την προσρόφηση Cd στα φυτά. Η έρευνα αυτή είναι η πρώτη που έγινε για τα επίπεδα Cd στα εδάφη που χρησιμοποιούνται για την καλλιέργεια λαχανικών στην περιοχή του Σύδνεϋ και στα λαχανικά που καλλιεργούνται σε αυτά. Οι υπολογισμένες προσθήκες Cd, Zn και P είναι συγκρίσιμες με τις συγκεντρώσεις που βρίσκονται στο έδαφος.

Οι Ρανλίκονα et.al. (2002) μελέτησαν την επίδραση της περιεκτικότητας σε Cd και Zn των φυτών στους δεσμούς Fe στις οργανικές ουσίες της βιομάζας σπανακιού. Ερευνήθηκαν ο μερικός χαρακτηρισμός των δεσμών στις ενώσεις σιδήρου στην υπέργεια βιομάζα του σπανακιού και οι διαφορές μεταξύ των δεσμών Cd, Zn και Fe στη βιομάζα σπανακιού σε δύο εδάφη στα οποία έγινε εφαρμογή λάσπης βιολογικών καθαρισμών σε πείραμα πρότυπων δοχείων. Μετά την εφαρμογή της λάσπης και στα δύο εδάφη, η συσσώρευση Cd και Zn στη βιομάζα σπανακιού αυξήθηκε στις μεταχειρίσεις λάσπης. Η συνολική περιεκτικότητα σε Fe της βιομάζας παρουσίασε αντίθετη τάση από αυτή των μεταχειρίσεων και μειώθηκε κατά 2,5 – 2,7 φορές. Τα

αποτελέσματα από την ανάλυση της βιομάζας σπανακιού έδειξαν χαμηλότερες ποσότητες σιδήρου σε όλα τα μεμονωμένα μέρη και στις δύο μεταχειρίσεις λάσπης βιολογικών καθαρισμών έναντι των φυσιολογικών μεταχειρίσεων με τις οποίες έγινε και η σύγκριση. Οι μεγαλύτερες διαφορές στην περιεκτικότητα σε σίδηρο μεταξύ των φυσιολογικών και των μεταχειρίσεων λάσπης βιολογικών καθαρισμών παρουσιάστηκαν στο τμήμα του αιθυλικού οξικού άλατος. Αποσπασματικά, το μερίδιο του Fe στη βιομάζα σπανακιού ήταν 87,7 – 90,7% στις μεταχειρίσεις χωρίς λάσπη και 76,1 – 83,5% στις μεταχειρίσεις λάσπης. Τα αποτελέσματα έδειξαν ισχυρότερους δεσμούς σιδήρου με τις κυτταρικές μεμβράνες των φυτών σε αντίθεση με το κάδμιο και τον ψευδάργυρο.



## 6. Σκοπός του πειράματος, υλικά και μέθοδοι

### 6.1 Σκοπός του πειράματος

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε σε θερμοκήπιο του Γ.Ε.Ι Μεσολογγίου και αποσκοπούσε στην ανάπτυξη τεχνογνωσίας για την αποφυγή πρόσληψης βαρέων μετάλλων από καλλιεργούμενα εδάδια φυτά υπό άρδευση με κακής ποιότητας αρδευτικό νερό. Επιδιωκόμενοι στόχοι ήταν: α) Μελέτη της πρόσληψης καδμίου από εδάδια λαχανοκομικά φυτά και β) μείωση της προσλαμβανόμενης ποσότητας καδμίου από εδάδια φυτά. Για το σκοπό αυτό εγκαταστάθηκε πειραματικός σταθμός στον οποίο καλλιεργήθηκαν φυτά ρόκας (*Etuca sativa*) μέσα σε γλάστρες σε θερμοκηπιακή εγκατάσταση.

### 6.2 Υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για το πείραμα

Στο πείραμα αυτό χρησιμοποιήθηκαν τριών ειδών θρεπτικά διαλύματα. Το πρώτο, σε συνολικό όγκο 16 lt., περιείχε εν διαλύσει 143 g.  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ , 56 g.  $\text{KNO}_3$ , 11 g.  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  και 10 g. χηλικό σίδηρο 6%. Το δεύτερο, σε ίδιο όγκο περιείχε 132 g.  $\text{KNO}_3$ , 35 g.  $\text{MgSO}_4$ , 57 g. MKP και 6 g.  $\text{K}_2\text{SO}_4$ . Το τρίτο, επίσης σε όγκο 16 lt. περιείχε 37 cm<sup>3</sup>  $\text{HNO}_3$  68%.

Για κάθε μεταχείριση Na, παρασκευάστηκαν αρχικά τέσσερα διαλύματα, το καθένα όγκου 3 lt. Έτσι, στο πρώτο διαλύθηκαν 842 g. NaCl σε απιονισμένο νερό, στο δεύτερο 562 g. NaCl, στο τρίτο 281 g. NaCl, ενώ στο τέταρτο δεν έγινε προσθήκη NaCl.

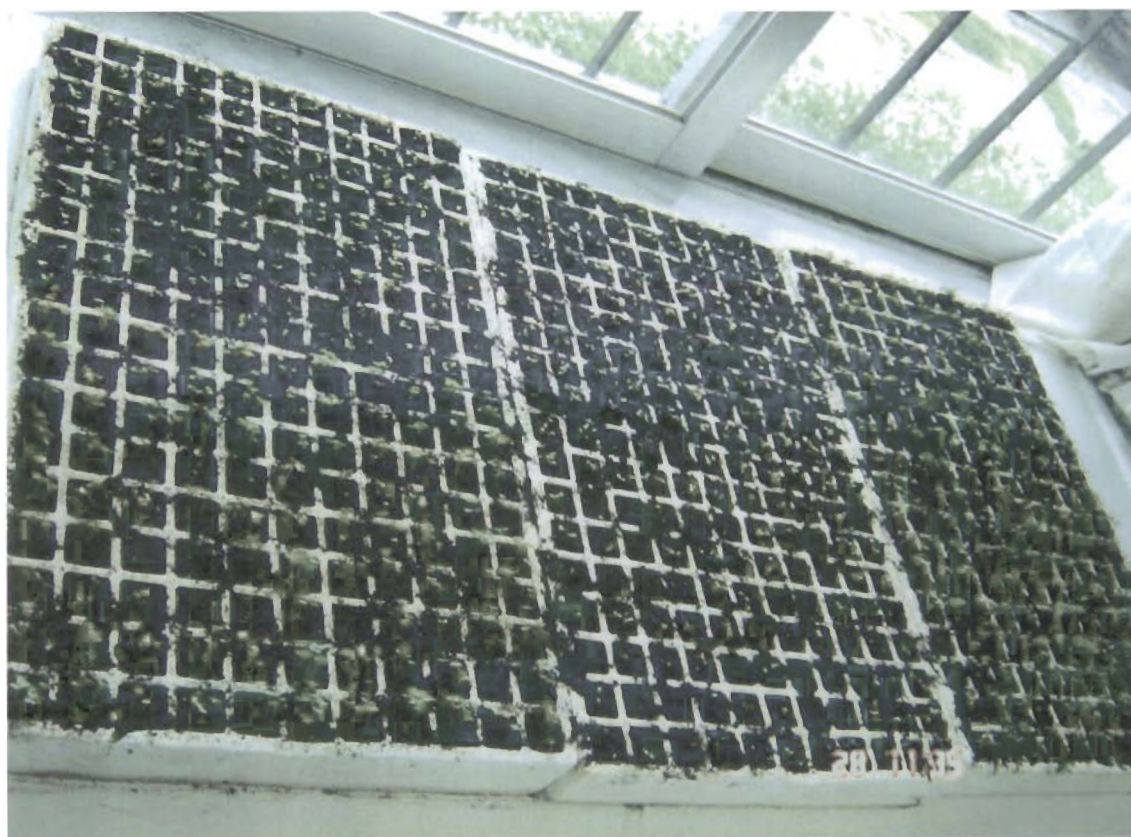
Όσον αφορά τις μεταχειρίσεις του καδμίου, παρασκευάστηκαν πέντε διαλύματα Cd, το οποίο προστέθηκε υπό μορφή  $\text{CdSO}_4$ . Καθένα από αυτά είχε συνολικό όγκο 12 lt. Στο πρώτο δεν έγινε προσθήκη Cd, ενώ στα υπόλοιπα είχαμε διαδοχικά εν διαλύσει 190 mg, 951 mg, 1903 mg και 3806 mg  $\text{CdSO}_4$ .

Τα λιπάσματα που χρησιμοποιήθηκαν παρασκευάστηκαν με την ανάμιξη 1 lt. καθενός από τα θρεπτικά διαλύματα, 200 ml διαλύματος NaCl για την αντίστοιχη μεταχείριση Na και αραιώση αυτών με νερό μέχρις όγκου 16 lt.

Ο υπολογισμός των λιπασμάτων έγινε με τη βοήθεια λογισμικού προγράμματος, το οποίο χρησιμοποιείται για υδροπονικές καλλιέργειες (Savvas and Adamidis, 1999).

### 6.3 Πειραματική διαδικασία

Αρχικά έγινε σπορά αρωματικής ρόκας (*Eruca sativa* L.) σε σπορεία 198 θέσεων, τα οποία είχαν πληρωθεί με τύρφη ( $\gamma = 1,36 \text{ g / cm}^3$ ). Σε κάθε θέση έγινε σπορά κατά μέσο όρο 5 σπόρων. Στη συνέχεια προστέθηκε νερό ώστε το έδαφος να είναι αρκετά υγρό. Οι δίσκοι τοποθετήθηκαν σε ευήλιο μέρος, ενώ τα σπορεία διαβρέχονταν καθημερινά ώστε να διατηρείται η υγρασία στην τύρφη. Τρεις ημέρες μετά τη σπορά παρατηρήθηκε βλάστηση των φυτών της ρόκας (Εικ. 6.1). Τέσσερις ημέρες μετά τη βλάστηση πραγματοποιήθηκε αραιώμα των φυτών ώστε σε κάθε θέση να παραμείνουν τρία φυτά και κατά προτίμηση τα πιο εύρωστα.



Εικόνα 6.1. Βλάστηση των σπόρων.



**Εικόνα 6.2. Μέτρηση της έντασης φωτισμού.**

Δεκατέσσερις ημέρες αργότερα και ενώ τα ποτίσματα γίνονταν καθημερινά, πραγματοποιήθηκε μεταφύτευση των σποριόφυτων σε γλάστρες (Εικ. 6.6) οι οποίες είχαν εγκατασταθεί στο θερμοκήπιο σε διάταξη διαιρούμενων τεμαχίων (split plot design) (σε κάθε μεταχείριση Cd – NaCl αντιστοιχούσαν 6 επαναλήψεις) (Εικ. 6.4 και 6.5). Οι γλάστρες περιείχαν εδαφικό υπόστρωμα που αποτελούταν από τύρφη και άμμο σπαστή ποταμίσια σε αναλογία 1:1 (Εικ. 6.3).



**Εικόνα 6.3. Προετοιμασία του εδαφικού υποστρώματος. Ανάμιξη της τύρφης με την άμμο (16/3/2005).**

Cd NaCl	(0) 0 ppm (24 ΓΛΑΣΤΡΕΣ)	(1) 1 ppm (24 ΓΛΑΣΤΡΕΣ)	(2) 5 ppm (24 ΓΛΑΣΤΡΕΣ)	(3) 10 ppm (24 ΓΛΑΣΤΡΕΣ)	(4) 20 ppm (24 ΓΛΑΣΤΡΕΣ)
	(0) (30 ΓΛΑΣΤΡΕΣ)	P00 P00 P00	P01 P01 P01	P02 P02 P02	P03 P03 P03
(1) (30 ΓΛΑΣΤΡΕΣ) 20mM	P10 P10 P10	P11 P11 P11	P12 P12 P12	P13 P13 P13	P14 P14 P14
(2) (30 ΓΛΑΣΤΡΕΣ) 40mM	P20 P20 P20	P21 P21 P21	P22 P22 P22	P23 P23 P23	P24 P24 P24
(3) (30 ΓΛΑΣΤΡΕΣ) 60mM	P30 P30 P30	P31 P31 P31	P32 P32 P32	P33 P33 P33	P34 P34 P34

Εικόνα 6.4. Ταξινόμηση των γλαστρών στο θερμοκήπιο κατά split plot design.





**Εικόνα 6.5. Εγκατάσταση των γλαστρών στο θερμοκήπιο σε διάταξη διαιρούμενων τεμαχίων (split plot design) (16/3/2005).**

Παράλληλα, έγινε μεταφύτευση σε 5 επιπλέον γλάστρες που χρησιμοποιήθηκαν ως εναλλακτικές. Αμέσως μετά ακολούθησε εγκατάσταση ενός πορώδους πλακιδίου Βουγιούκος στο βάθος του ριζικού συστήματος ενός φυτού ενδεικτικά ώστε να ελέγχεται ανά πάσα στιγμή η εδαφική υγρασία. Γίνονταν επίσης τρεις μετρήσεις της έντασης του φωτισμού (φυσικό φως) καθημερινά στο θερμοκήπιο (Εικ. 6.2).



**Εικόνα 6.6. Μετά τη μεταφύτευση στο θερμοκήπιο (16/3/2005).**

Οι αρδεύσεις γίνονταν με ποσότητα 250 ml των λιπασμάτων που αντιστοιχούσαν σε κάθε μεταχείριση NaCl σύμφωνα με τις ενδείξεις του πορώδους πλακιδίου (Εικ. 6.7) (κάθε 2 – 3 ημέρες), σε κάθε γλάστρα. Η ποσότητα αυτή αυξήθηκε στα 300 ml 19 ημέρες μετά τη μεταφύτευση και στα 500 ml 24 ημέρες μετά τη μεταφύτευση. Επίσης, 24 ημέρες μετά τη μεταφύτευση οι αρδεύσεις πραγματοποιούνταν εναλλάξ με τα λιπάσματα και με νερό.



**Εικόνα 6.7. Έλεγχος της εδαφικής υγρασίας με τη συσκευή Βουγιούκου.**



**Εικόνα 6.8. Διάταξη των φυτών στο θερμοκήπιο μετά την αφαίρεση της δεύτερης σειράς (επανάληψη).**



**Εικόνα 6.9.** Διάταξη των φυτών στο θερμοκήπιο μετά την αφαίρεση της τρίτης σειράς.

Δώδεκα ημέρες μετά τη μεταφύτευση έγινε η πρώτη εφαρμογή των διαλυμάτων του καδμίου. Έτσι τα φυτά αρδεύτηκαν επιπλέον, εκτός από τα λιπάσματα, με 50 ml σε κάθε γλάστρα αντίστοιχου διαλύματος καδμίου. Οι εφαρμογές των διαλυμάτων του καδμίου συνεχίστηκαν με συχνότητα μίας εβδομάδας μέχρι το τέλος του πειράματος.

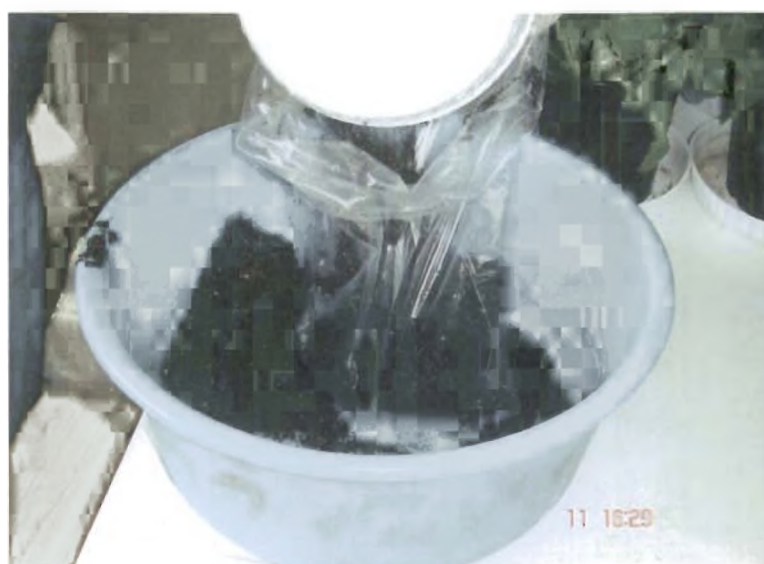
Είκοσι ημέρες μετά τη μεταφύτευση απομακρύνθηκε από το χώρο του θερμοκηπίου μία μεταχείριση που επιλέχθηκε τυχαία. Οι υπόλοιπες επαναλήψεις απομακρύνθηκαν ανά εβδομάδα, επίσης με τυχαία σειρά (Εικ. 6.8 και 6.9). Την τελευταία εβδομάδα απομακρύνθηκαν οι δύο τελευταίες επαναλήψεις μαζί. Αφαιρέθηκε το έδαφος από τις γλάστρες και φυλάχτηκε σε πλαστικές σακούλες στις οποίες είχε αναγραφεί ο κωδικός της κάθε γλάστρας. Στη συνέχεια ξεπλύθηκαν οι ρίζες των φυτών (Εικ. 6.11) και μετρήθηκε το μήκος της ρίζας και του υπέργειου τμήματος του φυτού (Εικ. 6.12). Ακολούθησε τεμαχισμός των φυτών (Εικ. 6.13) ζύγιση για τον προσδιορισμό της νωπής μάζας της ρίζας και του υπέργειου τμήματος (Εικ. 6.14) και τοποθέτηση των δειγμάτων στο πυριαντήριο στους 60°C έως την ξήρανσή τους (Εικ. 6.15). Αφού έχασαν όλη την υγρασία τους, τα δείγματα κονιορτοποιήθηκαν και αποθηκεύτηκαν σε πλαστικά μπουκαλάκια (Εικ. 6.16). Στη συνέχεια τοποθετήθηκε ποσότητα του κάθε δείγματος, μάζας 500 mg, σε



πορσελάνινες κάψες που με τη σειρά τους τοποθετήθηκαν σε φούρνο. Τα δείγματα κάηκαν στους 550°C για 8 – 16 ώρες. Η επεξεργασία των δειγμάτων στη συνέχεια περιέλαβε τα εξής: προσθήκη 5 ml πυκνού HNO<sub>3</sub>, πέρασμα από ηθμό για τη συγκράτηση τυχόν στερεών σωματιδίων και αραιώση με απεσταγμένο νερό μέχρις όγκου 50 ml. Τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε πλαστικά μπουκαλάκια στα οποία είχε επίσης αναγραφεί ο αντίστοιχος κωδικός. Τέλος έγινε ο προσδιορισμός της περιεκτικότητας σε Cd των δειγμάτων με χρήση φασματοφωτόμετρου ατομικής απορρόφησης (Εικ. 6.17).



**Εικόνα 6.10.** Μεταφορά μιας σειράς φυτών στο εργαστήριο (ανά εβδομάδα).

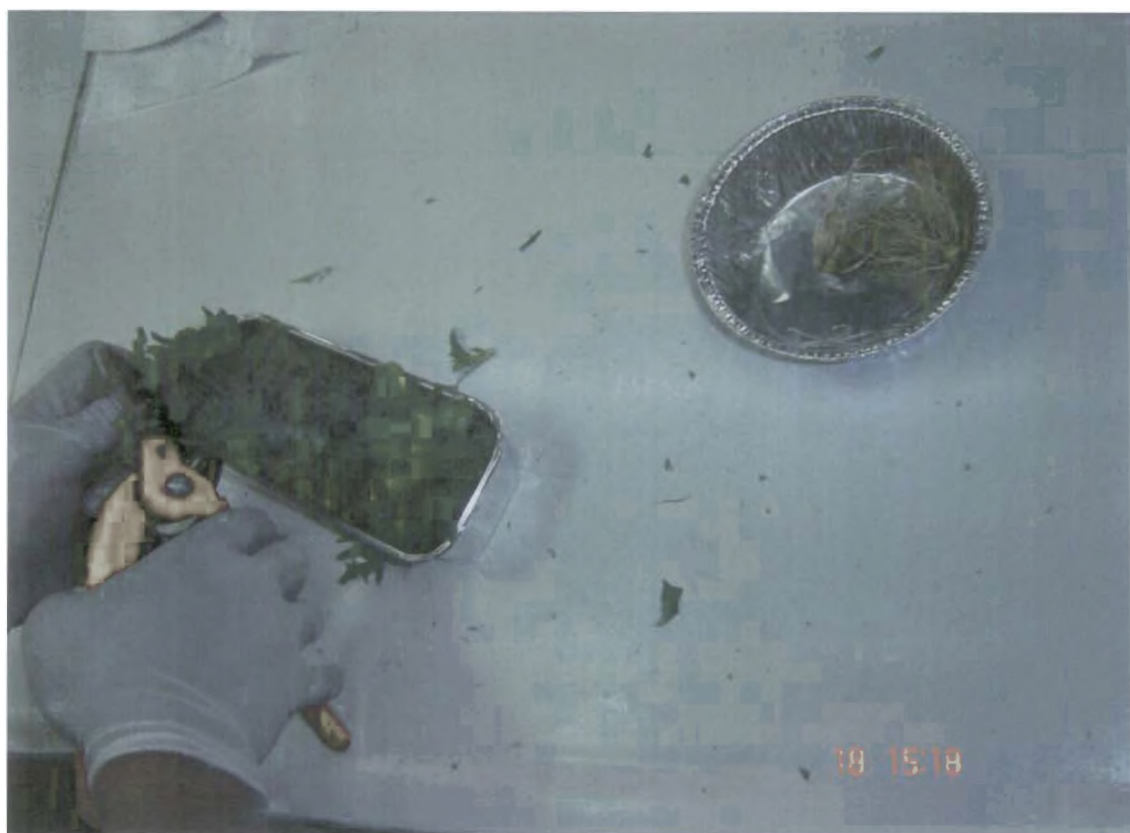


**Εικόνα 6.11.** Αφαίρεση του εδαφικού υποστρώματος από τις γλάστρες και φύλαξή του σε πλαστικές σακούλες.



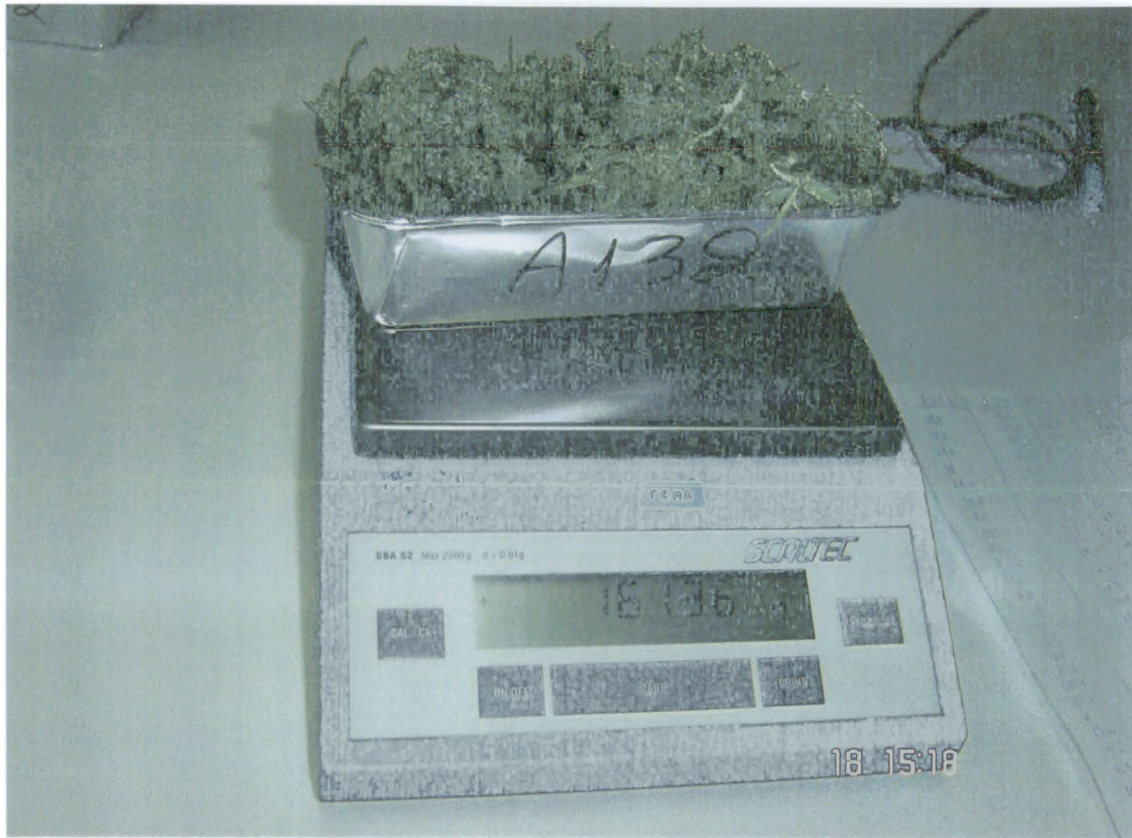


**Εικόνα 6.12. Μέτρηση της ανάπτυξης των φυτών.**



**Εικόνα 6.13. Τεμαχισμός των φυτών.**





**Εικόνα 6.14.** Ζύγιση των φυτών.



**Εικόνα 6.15.** Ξήρανση των φυτών.





**Εικόνα 6.16. Κονιορτοποίηση των δειγμάτων μετά την ξήρανσή τους και αποθήκευση σε πλαστικά μπουκαλάκια.**



**Εικόνα 6.17. Φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης.**

## 7. Αποτελέσματα – συζήτηση

Όπως αναφέρθηκε, κάθε εβδομάδα, κατά την αφαίρεση των σειρών των φυτών, πραγματοποιούνταν μετρήσεις που αφορούσαν στην ανάπτυξή τους. Έτσι, συγκεντρώθηκαν μετρήσεις όπως το μήκος των βλαστών, το μήκος των ριζών (και κατά συνέπεια και το ολικό μήκος των φυτών) και οι αντίστοιχες μάζες τους. Επίσης, στο τελικό στάδιο της πειραματικής διαδικασίας έγινε προσδιορισμός της περιεκτικότητας σε κάδμιο των φυτών. Συνοπτικά, οι μετρήσεις αυτές φαίνονται στους παρακάτω πίνακες. Με βάση τα δεδομένα του πίνακα αυτού μπορούν να αποδοθούν γραφικά η ανάπτυξη των φυτών (μήκος σε cm και μάζα σε g) και η περιεκτικότητά τους σε κάδμιο ( $\mu\text{g Cd} / \text{g}$  φυτικού ιστού).

**Πίνακας 7.1. Μεταχείριση 0mM NaCl – 0ppm Cd.**

Εβδομάδα	Νωπή μάζα βλαστού	Νωπή μάζα ρίζας	Ξηρή μάζα βλαστού	Ξηρή μάζα ρίζας	Μήκος βλαστού	Μήκος ρίζας	Περιεκτικότητα σε Cd βλαστού	Περιεκτικότητα σε Cd ρίζας
1	22,12	1,32	1,83	0,08	21,10	20,3	5,00	0,00
2	52,84	1,36	3,94	0,15	26,1	22,0	0,00	0,00
3	88,96	1,88	8,19	0,31	32,0	33,0	1,00	0,00
4	98,18	3,00	10,60	0,50	32,5	16,0	3,00	0,00
5(α)	185,56	8,65	25,11	1,17	40,5	18,1	1,00	0,00
5(β)	31,43	1,41	5,68	0,19	22,5	3,7	1,00	6,66

**Πίνακας 7.2. Μεταχείριση 0mM NaCl – 1ppm Cd.**

Εβδομάδα	Νωπή μάζα βλαστού	Νωπή μάζα ρίζας	Ξηρή μάζα βλαστού	Ξηρή μάζα ρίζας	Μήκος βλαστού	Μήκος ρίζας	Περιεκτικότητα σε Cd βλαστού	Περιεκτικότητα σε Cd ρίζας
1	14,00	0,70	1,12	0,04	22,0	11,6	2,00	0,00
2	14,42	1,05	1,56	0,08	20,2	12,9	0,00	16,66
3	26,77	0,56	2,49	0,08	18,5	9,0	1,00	0,00
4	69,01	1,93	8,05	0,34	28,0	8,9	0,00	0,00
5(α)	63,36	1,87	7,33	0,16	28,3	4,9	14,00	0,00
5(β)	200,97	11,54	23,45	1,73	35,5	14,5	0,00	1,00

**Πίνακας 7.3. Μεταχείριση 0mM NaCl – 5ppm Cd.**

Εβδομάδα	Νωπή μάζα βλαστού	Νωπή μάζα ρίζας	Ξηρή μάζα βλαστού	Ξηρή μάζα ρίζας	Μήκος βλαστού	Μήκος ρίζας	Περιεκτικότητα σε Cd βλαστού	Περιεκτικότητα σε Cd ρίζας
1	18,50	0,78	1,40	0,06	19,7	12,3	3,00	0,00
2	51,84	2,78	4,34	0,26	25,1	18,4	3,00	2,17
3	81,98	1,67	7,41	0,27	30,5	26,5	2,00	0,00
4	137,37	6,39	15,60	1,00	35,2	17,8	0,00	0,00
5(α)	140,85	5,98	20,49	0,75	36,6	20,4	6,00	2,00
5(β)	162,96	9,67	20,90	1,06	36,6	21,5	0,00	0,00

**Πίνακας 7.4. Μεταχείριση 0mM NaCl – 10ppm Cd.**

Εβδομάδα	Νωπή μάζα βλαστού	Νωπή μάζα ρίζας	Ξηρή μάζα βλαστού	Ξηρή μάζα ρίζας	Μήκος βλαστού	Μήκος ρίζας	Περιεκτικότητα σε Cd βλαστού	Περιεκτικότητα σε Cd ρίζας
1	18,98	0,85	1,65	0,11	21,6	11,8	2,00	14,28
2	56,27	1,69	4,52	0,19	25,6	24,8	1,00	2,77
3	99,18	2,40	8,57	0,37	32,3	26,7	2,00	2,17
4	160,58	6,37	17,34	0,98	47,6	17,3	2,00	0,00
5(α)	105,49	3,26	15,85	0,71	34,5	6,5	4,00	1,04
5(β)	123,24	4,55	21,42	1,14	35,4	15,9	0,00	3,00

**Πίνακας 7.5. Μεταχείριση 0mM NaCl – 20ppm Cd.**

Εβδομάδα	Νωπή μάζα βλαστού	Νωπή μάζα ρίζας	Ξηρή μάζα βλαστού	Ξηρή μάζα ρίζας	Μήκος βλαστού	Μήκος ρίζας	Περιεκτικότητα σε Cd βλαστού	Περιεκτικότητα σε Cd ρίζας
1	16,10	1,50	1,23	0,12	18,1	29,9	9,00	0,00
2	20,80	0,56	2,10	0,07	19,3	13,9	18,00	41,66
3	45,52	1,03	4,30	0,14	25,7	9,8	12,00	46,15
4	163,64	6,62	16,00	1,11	34,0	14,5	7,00	8,00
5(α)	176,03	11,87	22,50	2,15	38,8	18,0	3,00	3,00
5(β)	196,26	12,82	22,76	2,24	42,4	26,3	4,00	8,00

**Πίνακας 7.6. Μεταχείριση 20mM NaCl – 0ppm Cd.**

Εβδομάδα	Νωπή μάζα βλαστού	Νωπή μάζα ρίζας	Ξηρή μάζα βλαστού	Ξηρή μάζα ρίζας	Μήκος βλαστού	Μήκος ρίζας	Περιεκτικότητα σε Cd βλαστού	Περιεκτικότητα σε Cd ρίζας
1	21,82	0,92	1,75	0,05	19,3	12,1	0,00	8,33
2	59,28	1,42	4,63	0,17	9,2	25,2	4,00	9,37
3	24,16	0,64	2,82	0,11	23,0	10,5	3,00	0,00
4	144,06	4,15	15,88	0,77	31,2	19,8	2,00	3,00
5(α)	266,41	15,69	27,09	2,75	36,2	35,0	2,00	2,00
5(β)	267,89	8,93	25,43	0,89	34,1	20,4	1,00	2,00

**Πίνακας 7.7. Μεταχείριση 20mM NaCl – 1ppm Cd.**

Εβδομάδα	Νωπή μάζα βλαστού	Νωπή μάζα ρίζας	Ξηρή μάζα βλαστού	Ξηρή μάζα ρίζας	Μήκος βλαστού	Μήκος ρίζας	Περιεκτικότητα σε Cd βλαστού	Περιεκτικότητα σε Cd ρίζας
1	9,96	0,59	0,76	0,02	30,1	11,5	3,00	
2	58,53	1,72	4,70	0,17	26,2	18,8	6,00	0,00
3	58,30	1,26	5,26	0,21	24,8	19,6	3,00	2,77
4	137,95	3,24	13,24	0,49	38,7	20,2	1,00	1,13
5(α)	242,57	13,93	24,88	2,48	35,0	19,0	0,00	2,00
5(β)	29,84	0,67	5,63	0,08	27,8	1,8	3,00	0,00

**Πίνακας 7.8. Μεταχείριση 20mM NaCl – 5ppm Cd.**

Εβδομάδα	Νωπή μάζα βλαστού	Νωπή μάζα ρίζας	Ξηρή μάζα βλαστού	Ξηρή μάζα ρίζας	Μήκος βλαστού	Μήκος ρίζας	Περιεκτικότητα σε Cd βλαστού	Περιεκτικότητα σε Cd ρίζας
1	16,21	0,81	1,28	0,08	21,2	22,2	2,00	12,50
2	51,57	1,86	4,16	0,16	27,4	16,1	3,00	0,00
3	48,47	1,51	4,32	0,18	23,2	9,8	1,00	9,37
4	166,22	8,81	18,67	1,28	36,4	21,7	1,00	1,00
5(α)	116,96	3,08	21,43	0,28	29,6	11,4	0,00	1,16
5(β)	102,09	1,52	22,92	0,10	40,3	10,9	3,00	2,17

**Πίνακας 7.9. Μεταχείριση 20mM NaCl – 10ppm Cd.**

Εβδομάδα	Νωπή μάζα βλαστού	Νωπή μάζα ρίζας	Ξηρή μάζα βλαστού	Ξηρή μάζα ρίζας	Μήκος βλαστού	Μήκος ρίζας	Περιεκτικότητα σε Cd βλαστού	Περιεκτικότητα σε Cd ρίζας
1	23,62	2,78	1,97	0,20	30,9	9,0	2,00	2,63
2	27,33	1,30	3,51	0,19	19,5	21,5	4,00	0,00
3	96,89	2,59	9,19	0,42	27,2	21,0	3,00	0,00
4	176,35	6,79	18,82	1,09	31,8	16,0	0,00	1,00
5(α)	267,96	9,14	26,21	0,24	38,5	33,4	0,00	1,00
5(β)	252,23	11,73	26,12	1,87	38,7	21,0	5,00	0,00

**Πίνακας 7.10. Μεταχείριση 20mM NaCl – 20ppm Cd.**

Εβδομάδα	Νωπή μάζα βλαστού	Νωπή μάζα ρίζας	Ξηρή μάζα βλαστού	Ξηρή μάζα ρίζας	Μήκος βλαστού	Μήκος ρίζας	Περιεκτικότητα σε Cd βλαστού	Περιεκτικότητα σε Cd ρίζας
1	22,62	2,63	1,90	0,26	20,4	29,3	5,00	8,69
2	34,41	0,95	3,13	0,10	24,6	12,1	6,00	13,63
3	46,65	1,39	4,15	0,20	25,5	15,0	18,00	16,66
4	164,76	3,40	16,44	0,55	31,1	14,3	5,00	5,00
5(α)	250,00	9,10	27,35	1,29	38,9	18,9	4,00	2,00
5(β)	229,18	7,94	24,52	0,62	37,2	23,4	0,00	1,00

**Πίνακας 7.11. Μεταχείριση 40mM NaCl – 0ppm Cd.**

Εβδομάδα	Νωπή μάζα βλαστού	Νωπή μάζα ρίζας	Ξηρή μάζα βλαστού	Ξηρή μάζα ρίζας	Μήκος βλαστού	Μήκος ρίζας	Περιεκτικότητα σε Cd βλαστού	Περιεκτικότητα σε Cd ρίζας
1	7,33	0,44	0,60	0,02	22,7	11,2	0,00	
2	25,57	0,73	2,27	0,07	19,6	22,6	10,00	0,00
3	30,23	0,47	4,80	0,04	22,3	2,8	1,00	0,00
4	52,23	1,91	5,99	0,26	21,0	11,5	0,00	0,00
5(α)	39,91	0,85	5,01	0,23	19,7	2,3	0,00	0,00
5(β)	208,33	12,57	21,19	5,33	27,1	18,7	2,00	2,00

**Πίνακας 7.12. Μεταχείριση 40mM NaCl – 1ppm Cd.**

Εβδομάδα	Νωπή μάζα βλαστού	Νωπή μάζα ρίζας	Ξηρή μάζα βλαστού	Ξηρή μάζα ρίζας	Μήκος βλαστού	Μήκος ρίζας	Περιεκτικότητα σε Cd βλαστού	Περιεκτικότητα σε Cd ρίζας
1	18,66	0,80	1,52	0,06	24,9	12,7	10,00	0,00
2	43,54	1,64	3,92	0,20	23,2	18,0	2,00	0,00
3	44,68	0,97	4,35	0,14	20,1	12,8	4,00	0,00
4	87,21	2,03	10,65	0,31	33,9	10,5	0,00	0,00
5(α)	258,44	9,10	24,12	0,84	51,5	12,4	1,00	
5(β)	258,38	7,91	25,12	0,94	36,5	21,0	5,00	1,00

**Πίνακας 7.13. Μεταχείριση 40mM NaCl – 5ppm Cd.**

Εβδομάδα	Νωπή μάζα βλαστού	Νωπή μάζα ρίζας	Ξηρή μάζα βλαστού	Ξηρή μάζα ρίζας	Μήκος βλαστού	Μήκος ρίζας	Περιεκτικότητα σε Cd βλαστού	Περιεκτικότητα σε Cd ρίζας
1	22,48	1,32	1,86	0,12	19,3	17,9	4,00	6,66
2	45,25	1,71	4,26	0,18	25,3	13,4	7,00	0,00
3	92,79	2,19	9,00	0,38	34,0	20,0	1,00	1,42
4	145,07	6,29	17,72	1,06	35,5	14,0	1,00	0,00
5(α)	82,91	0,88	16,67	0,07	27,8	7,7	2,00	0,00
5(β)	292,46	9,13	27,07	0,96	38,0	22,3	0,00	2,00

**Πίνακας 7.14. Μεταχείριση 40mM NaCl – 10ppm Cd.**

Εβδομάδα	Νωπή μάζα βλαστού	Νωπή μάζα ρίζας	Ξηρή μάζα βλαστού	Ξηρή μάζα ρίζας	Μήκος βλαστού	Μήκος ρίζας	Περιεκτικότητα σε Cd βλαστού	Περιεκτικότητα σε Cd ρίζας
1	21,49	1,44	1,79	0,10	20,4	22,9	0,00	0,00
2	53,87	2,09	4,98	0,25	25,0	20,6	0,00	1,78
3	32,28	0,73	3,62	0,10	19,2	4,7	6,00	0,00
4	119,21	4,32	12,28	0,59	27,5	18,0	0,00	4,00
5(α)	272,37	10,05	24,05	1,30	36,5	29,5	2,00	1,00
5(β)	262,48	6,91	27,85	0,74	38,7	15,6	0,00	0,00



**Πίνακας 7.15. Μεταχείριση 40mM NaCl – 20ppm Cd.**

Εβδομάδα	Νωπή μάζα βλαστού	Νωπή μάζα ρίζας	Ξηρή μάζα βλαστού	Ξηρή μάζα ρίζας	Μήκος βλαστού	Μήκος ρίζας	Περιεκτικότητα σε Cd βλαστού	Περιεκτικότητα σε Cd ρίζας
1	28,72	1,26	2,47	0,15	21,1	14,9	3,00	3,57
2	54,19	1,67	4,94	0,24	23,7	16,1	11,00	7,14
3	90,72	2,46	9,00	0,38	32,9	22,1	12,00	5,00
4	122,98	3,38	13,76	0,51	31,2	12,8	8,00	6,12
5(α)	212,79	7,75	21,61	0,94	36,8	20,0	11,00	4,00
5(β)	257,03	10,09	24,13	1,43	32,9	17,4	0,00	3,00

**Πίνακας 7.16. Μεταχείριση 60mM NaCl – 0ppm Cd.**

Εβδομάδα	Νωπή μάζα βλαστού	Νωπή μάζα ρίζας	Ξηρή μάζα βλαστού	Ξηρή μάζα ρίζας	Μήκος βλαστού	Μήκος ρίζας	Περιεκτικότητα σε Cd βλαστού	Περιεκτικότητα σε Cd ρίζας
1	22,41	1,69	1,92	0,10	19,1	22,9	4,00	0,00
2	47,71	1,62	4,48	0,24	21,0	20,0	0,00	0,00
3	89,04	2,26	8,05	0,33	35,0	14,5	1,00	4,54
4	129,71	2,72	13,58	0,49	32,0	29,8	5,00	0,00
5(α)	292,71	8,75	27,79	1,06	33,5	15,0	0,00	0,00
5(β)	233,01	6,57	24,49	0,77	38,0	35,0	3,00	3,00

**Πίνακας 7.17. Μεταχείριση 60mM NaCl – 1ppm Cd.**

Εβδομάδα	Νωπή μάζα βλαστού	Νωπή μάζα ρίζας	Ξηρή μάζα βλαστού	Ξηρή μάζα ρίζας	Μήκος βλαστού	Μήκος ρίζας	Περιεκτικότητα σε Cd βλαστού	Περιεκτικότητα σε Cd ρίζας
1	5,66	0,44	0,51	0,01	23,9	8,3	2,08	
2	42,58	1,97	3,46	0,15	22,7	18,6	2,00	0,00
3	59,42	0,97	5,50	0,14	26,0	12,0	11,0	0,00
4	114,93	2,63	11,62	0,46	30,9	14,2	4,00	2,38
5(α)	105,38	1,56	12,68	0,04	27,8	4,0	3,00	0,00
5(β)	189,50	6,70	21,03	0,61	27,9	23,9	0,00	2,00

**Πίνακας 7.18. Μεταχείριση 60mM NaCl – 5ppm Cd.**

Εβδομάδα	Νωπή μάζα βλαστού	Νωπή μάζα ρίζας	Ξηρή μάζα βλαστού	Ξηρή μάζα ρίζας	Μήκος βλαστού	Μήκος ρίζας	Περιεκτικότητα σε Cd βλαστού	Περιεκτικότητα σε Cd ρίζας
1	10,63	0,81	0,86	0,05	17,1	14,8	3,00	0,00
2	44,14	1,65	3,84	0,19	24,6	34,7	3,00	0,00
3	62,03	1,46	5,97	0,24	28,0	16,0	2,00	4,76
4	33,77	0,53	4,57	0,07	21,6	2,9	0,00	20,00
5(α)	139,47	6,50	15,72	0,34	25,6	19,0	0,00	0,00
5(β)	121,93	4,25	19,54	0,22	25,9	15,1	0,00	0,00

**Πίνακας 7.19. Μεταχείριση 60mM NaCl – 10ppm Cd.**

Εβδομάδα	Νωπή μάζα βλαστού	Νωπή μάζα ρίζας	Ξηρή μάζα βλαστού	Ξηρή μάζα ρίζας	Μήκος βλαστού	Μήκος ρίζας	Περιεκτικότητα σε Cd βλαστού	Περιεκτικότητα σε Cd ρίζας
1	23,49	2,41	2,13	0,17	18,5	26,2	0,00	5,88
2	45,03	1,35	4,11	0,16	22,6	23,5	0,00	0,00
3	82,60	1,47	6,81	0,19	32,4	21,6	4,00	2,63
4	173,10	6,16	15,62	0,86	37,7	13,3	3,00	1,00
5(α)	163,75	2,18	24,48	0,11	39,0	8,0	3,00	0,00
5(β)	118,59	8,79	23,13	1,12	33,4	20,6	0,00	0,00

**Πίνακας 7.20. Μεταχείριση 60mM NaCl – 20ppm Cd.**

Εβδομάδα	Νωπή μάζα βλαστού	Νωπή μάζα ρίζας	Ξηρή μάζα βλαστού	Ξηρή μάζα ρίζας	Μήκος βλαστού	Μήκος ρίζας	Περιεκτικότητα σε Cd βλαστού	Περιεκτικότητα σε Cd ρίζας
1	11,38	0,73	1,06	0,06	16,2	22,3	15,00	25,00
2	48,94	2,10	5,01	0,35	19,8	22,0	1,00	9,67
3	108,47	2,11	10,02	0,39	27,7	18,6	7,00	10,00
4	130,61	3,85	14,55	0,66	32,9	12,0	7,00	4,00
5(α)	201,12	8,69	22,01	1,01	32,4	24,3	14,00	7,00
5(β)	276,85	8,42	27,64	0,94	35,6	17,2	1,00	0,00

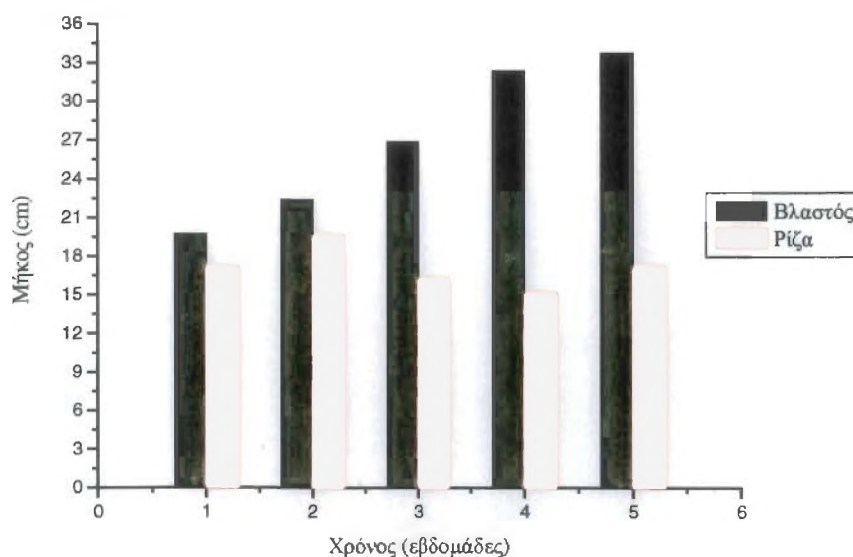
Παρακάτω παρατίθενται πίνακες που περιέχουν τα δεδομένα των παραπάνω δύο πινάκων (κατά μέσο όρο) κατηγοριοποιημένα. Επίσης δίνονται και αντίστοιχα γραφήματα από τα οποία φαίνεται παραστατικά η ανάπτυξη των φυτών και η περιεκτικότητά τους σε κάδμιο.

## 7.1 Το μήκος των φυτών σε σχέση με το χρόνο

**Πίνακας 7.21.** Οι μετρήσεις των μηκών των βλαστών και των ριζών (κατά μέσο όρο) σε σχέση με το χρόνο.

	Μήκος βλαστού (cm)	Μήκος ρίζας (cm)
<b>Εβδομάδα 1</b>	19,8	17,2
<b>Εβδομάδα 2</b>	22,5	19,7
<b>Εβδομάδα 3</b>	27,0	16,3
<b>Εβδομάδα 4</b>	32,5	15,2
<b>Εβδομάδα 5</b>	33,9	17,3

Στον Πίνακα 7.21 φαίνονται οι μέσοι όροι των μηκών των βλαστών και των ριζών όπως αυτά μετρήθηκαν στο εργαστήριο επί του συνόλου των φυτών που αφαιρούνταν κάθε εβδομάδα, ανεξαρτήτως μεταχείρισης καδμίου και αλατότητας.



**Εικόνα 7.1.** Γραφική απεικόνιση των μηκών των βλαστών και των ριζών (κατά μέσο όρο) σε σχέση με το χρόνο.

Από την Εικόνα 7.1 παρατηρούμε μια σταθερή αύξηση των βλαστών σε μήκος, με ελάχιστη τιμή τα 19,8 εκατοστά κατά τη μέτρηση την πρώτη εβδομάδα και μέγιστη τιμή τα 33,9 εκατοστά την τελευταία εβδομάδα. Δεν ισχύει το ίδιο και για τα μήκη των ριζών αφού παρατηρείται ανομοιομορφία στην ανάπτυξή τους αναφορικά με το χρόνο. Η ανομοιομορφία αυτή πιθανότατα οφείλεται και σε απώλειες κατά τον καθαρισμό των ριζών και το διαχωρισμό τους από το χώμα. Παρόλα αυτά είναι εμφανές ότι στην περίοδο των πέντε εβδομάδων η ανάπτυξη των ριζών όλων των φυτών κυμάνθηκε στα ίδια επίπεδα (περίπου 17 εκατοστά).

## **7.2 Μάζα των φυτών ανά μεταχείριση καδμίου και αλατότητας**

Παρακάτω παρατίθενται τα δεδομένα από τις μετρήσεις που πραγματοποιούνταν στο εργαστήριο κάθε εβδομάδα, οπότε και αφαιρούταν από το θερμοκήπιο μια σειρά (επανάληψη) φυτών. Τα δεδομένα που παρουσιάζονται στους πίνακες και στα γραφήματα είναι τιμές που αντιστοιχούν σε κάθε φυτό (βλαστό ή ρίζα) κατά μέσο όρο.

### **7.2.1 Νωπή και ξηρή μάζα των βλαστών ανά μεταχείριση καδμίου και αλατότητας**

Παρατίθενται πίνακες που παρουσιάζουν τη νωπή και ξηρή μάζα των βλαστών αναφορικά με τη μεταχείριση του καδμίου και της αλατότητας, καθώς και η γραφική απεικόνιση των δεδομένων αυτών. Στους πίνακες αυτούς οι μεταχειρίσεις της αλατότητας έχουν ως εξής:

Na 0 αντιστοιχεί στη μεταχείριση με μηδενική προσθήκη NaCl.

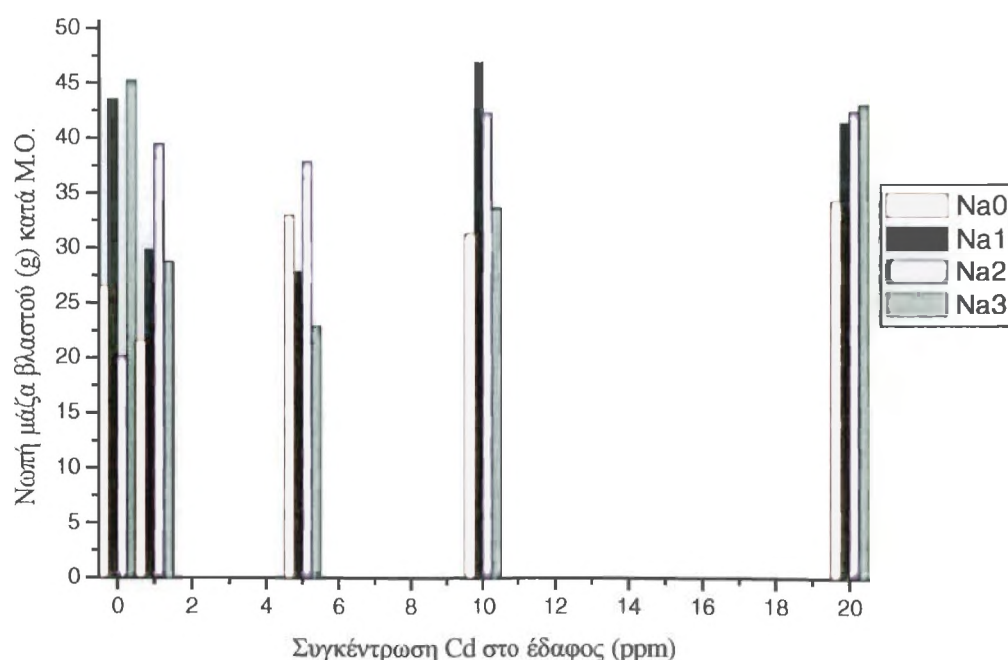
Na 1 αντιστοιχεί στη μεταχείριση με τη μικρότερη προσθήκη NaCl (281 g NaCl στο αρχικό διάλυμα).

Na 2 αντιστοιχεί στη μεταχείριση με μέση προσθήκη NaCl (562 g NaCl στο αρχικό διάλυμα).

Na 3 αντιστοιχεί στη μεταχείριση με τη μεγαλύτερη προσθήκη NaCl (842 g NaCl στο αρχικό διάλυμα).

**Πίνακας 7.22. Νωπή μάζα βλαστών.**

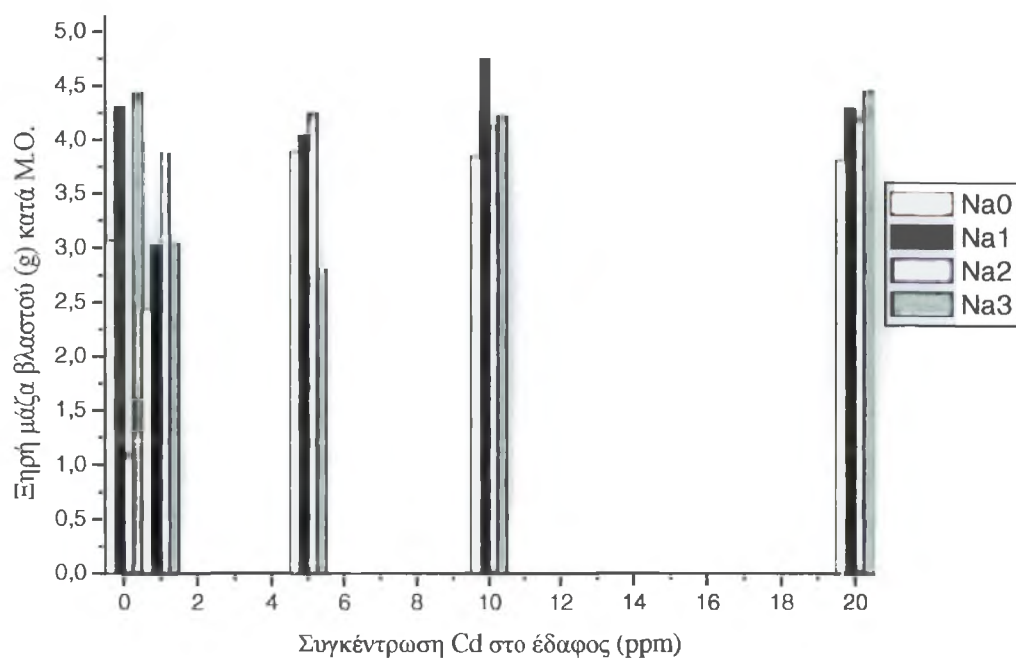
	Νωπή μάζα βλαστού (g) Na 0	Νωπή μάζα βλαστού (g) Na 1	Νωπή μάζα βλαστού (g) Na 2	Νωπή μάζα βλαστού (g) Na 3
Συγκέντρωση Cd (ppm) 0	26,61	43,53	20,20	45,25
Συγκέντρωση Cd (ppm) 1	21,58	29,84	39,49	28,74
Συγκέντρωση Cd (ppm) 5	32,97	27,86	37,83	22,88
Συγκέντρωση Cd (ppm) 10	31,31	46,91	42,31	33,69
Συγκέντρωση Cd (ppm) 20	34,35	41,53	42,57	43,18



**Εικόνα 7.2.** Η νωπή μάζα των βλαστών αναφορικά με τη μεταχείριση του καδμίου και ανά μεταχείριση NaCl.

**Πίνακας 7.23. Ξηρή μάζα βλαστών.**

	Ξηρή μάζα βλαστού (g) Na 0	Ξηρή μάζα βλαστού (g) Na 1	Ξηρή μάζα βλαστού (g) Na 2	Ξηρή μάζα βλαστού (g) Na 3
Συγκέντρωση Cd (ppm) 0	3,07	4,31	1,10	4,43
Συγκέντρωση Cd (ppm) 1	2,44	3,02	3,87	3,04
Συγκέντρωση Cd (ppm) 5	3,89	4,04	4,25	2,80
Συγκέντρωση Cd (ppm) 10	3,85	4,76	4,14	4,23
Συγκέντρωση Cd (ppm) 20	3,82	4,3	4,21	4,46



**Εικόνα 7.3.** Η ξηρή μάζα των βλαστών αναφορικά με τη μεταχείριση του καδμίου και ανά μεταχείριση NaCl.

Από τα δύο αυτά γραφήματα μπορεί να παρατηρηθεί σε γενικές γραμμές μια υστέρηση της μάζας των βλαστών των φυτών που ανήκουν στη μεταχείριση της αλατότητας χωρίς προσθήκη NaCl. Επίσης, ενώ υπάρχει εμφανής διαφοροποίηση της μάζας των βλαστών σε κάθε μεταχείριση καδμίου και αλατότητας, παρατηρείται σύγκλιση των τιμών στη μεγαλύτερη μεταχείριση καδμίου, ανεξαρτήτως μεταχείρισης NaCl, με εξαίρεση εκείνη με μηδενική προσθήκη NaCl. Τέλος, παρατηρείται σχεδόν ταύτιση των τιμών των μεταχειρίσεων της αλατότητας με τη μικρότερη και τη μεγαλύτερη προσθήκη NaCl στις δύο ηπιότερες μεταχειρίσεις καδμίου.

### **7.2.2 Νωπή και ξηρή μάζα των ριζών ανά μεταχείριση καδμίου και αλατότητας**

Παρατίθενται πίνακες που παρουσιάζουν τη νωπή και ξηρή μάζα των ριζών αναφορικά με τη μεταχείριση του καδμίου και της αλατότητας, καθώς και η γραφική απεικόνιση των δεδομένων αυτών. Στους πίνακες αυτούς οι μεταχειρίσεις της αλατότητας έχουν ως εξής:

Na 0 αντιστοιχεί στη μεταχείριση με μηδενική προσθήκη NaCl.

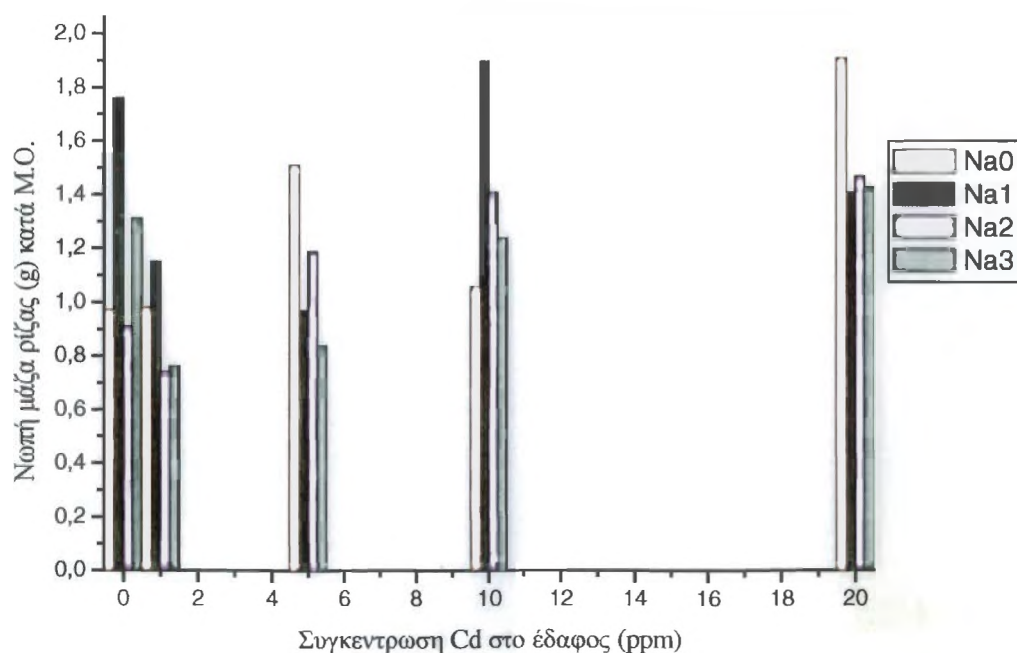
Na 1 αντιστοιχεί στη μεταχείριση με τη μικρότερη προσθήκη NaCl (281 g NaCl στο αρχικό διάλυμα).

Na 2 αντιστοιχεί στη μεταχείριση με μέση προσθήκη NaCl (562 g NaCl στο αρχικό διάλυμα).

Na 3 αντιστοιχεί στη μεταχείριση με τη μεγαλύτερη προσθήκη NaCl (842 g NaCl στο αρχικό διάλυμα).

**Πίνακας 7.24. Νωπή μάζα ριζών.**

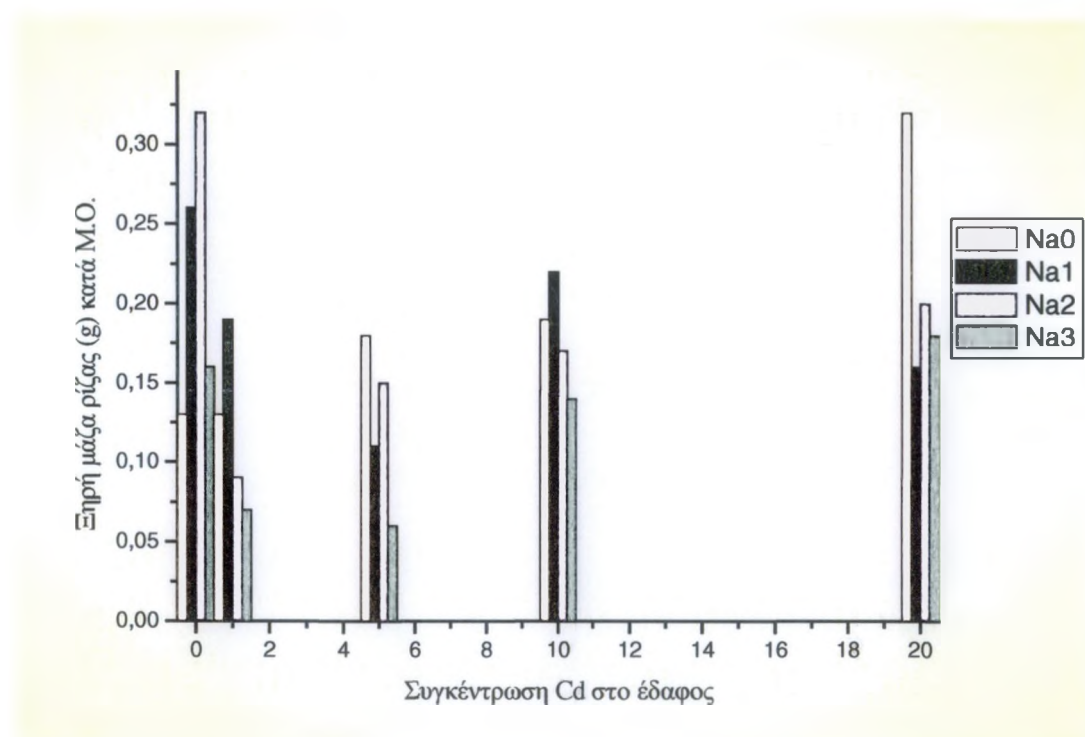
	Νωπή μάζα ρίζας (g) Na 0	Νωπή μάζα ρίζας (g) Na 1	Νωπή μάζα ρίζας (g) Na 2	Νωπή μάζα ρίζας (g) Na 3
Συγκέντρωση Cd (ppm) 0	0,97	1,76	0,91	1,31
Συγκέντρωση Cd (ppm) 1	0,98	1,15	0,74	0,76
Συγκέντρωση Cd (ppm) 5	1,51	0,97	1,19	0,84
Συγκέντρωση Cd (ppm) 10	1,06	1,90	1,41	1,24
Συγκέντρωση Cd (ppm) 20	1,91	1,41	1,47	1,43



**Εικόνα 7.4. Η νωπή μάζα των ριζών αναφορικά με τη μεταχείριση του καδμίου και ανά μεταχείριση NaCl.**

**Πίνακας 7.25. Ξηρή μάζα ριζών.**

	Ξηρή μάζα ρίζας (g) Na 0	Ξηρή μάζα ρίζας (g) Na 1	Ξηρή μάζα ρίζας (g) Na 2	Ξηρή μάζα ρίζας (g) Na 3
Συγκέντρωση Cd (ppm) 0	0,13	0,26	0,32	0,16
Συγκέντρωση Cd (ppm) 1	0,13	0,19	0,09	0,07
Συγκέντρωση Cd (ppm) 5	0,18	0,11	0,15	0,06
Συγκέντρωση Cd (ppm) 10	0,19	0,22	0,17	0,14
Συγκέντρωση Cd (ppm) 20	0,32	0,16	0,20	0,18



**Εικόνα 7.5. Η ξηρή μάζα των ριζών αναφορικά με τη μεταχείριση του καδμίου και ανά μεταχείριση NaCl.**

Όπως αναφέρθηκε και προηγούμενα, κατά τον καθαρισμό των ριζών και το διαχωρισμό τους από το χώμα υπήρξαν απώλειες. Κατά συνέπεια είναι πιθανό τα δεδομένα που παρατέθηκαν πιο πάνω να μην αντικατοπτρίζουν σε απόλυτο βαθμό την πραγματικότητα.

Παρόλα αυτά, παρατηρείται, όπως και στην περίπτωση των βλαστών έντονη διαφοροποίηση στις τιμές της μάζας σε κάθε μεταχείριση καδμίου και αλατότητας. Όπως όμως και στους βλαστούς, είναι εμφανής η σύγκλιση των τιμών που αντιστοιχούν στη μεγαλύτερη μεταχείριση καδμίου. Αντίθετα όμως από την περίπτωση των βλαστών, η μάζα των ριζών των φυτών που αντιστοιχούν στη



μεταχείριση της αλατότητας με μηδενική προσθήκη NaCl, παρουσιάζει ισχυρό προβάδισμα.

### 7.3. Η περιεκτικότητα των φυτών σε Cd

Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την ανάλυση των δειγμάτων (βλαστών και ριζών) με το φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης, για τον προσδιορισμό της περιεκτικότητάς τους σε κάδμιο. Τα δεδομένα δίνονται σε αντιστοιχία με το χρόνο αφαίρεσης των φυτών.

Οι μεταχειρίσεις του καδμίου όπως έχουν στους πίνακες έχουν ως εξής:

Μεταχείριση Cd 0 αντιστοιχεί στη μεταχείριση χωρίς προσθήκη καδμίου (0 ppm).

Μεταχείριση Cd 1 αντιστοιχεί στη μεταχείριση με προσθήκη 190 mg Cd (1 ppm).

Μεταχείριση Cd 2 αντιστοιχεί στη μεταχείριση με προσθήκη 951 mg Cd (5 ppm).

Μεταχείριση Cd 3 αντιστοιχεί στη μεταχείριση με προσθήκη 1903 mg Cd (10 ppm).

Μεταχείριση Cd 4 αντιστοιχεί στη μεταχείριση με προσθήκη 3806 mg Cd (20 ppm).

Οι μεταχειρίσεις της αλατότητας έχουν ως εξής:

Na 0 αντιστοιχεί στη μεταχείριση με μηδενική προσθήκη NaCl.

Na 1 αντιστοιχεί στη μεταχείριση με τη μικρότερη προσθήκη NaCl (281 g NaCl στο αρχικό διάλυμα).

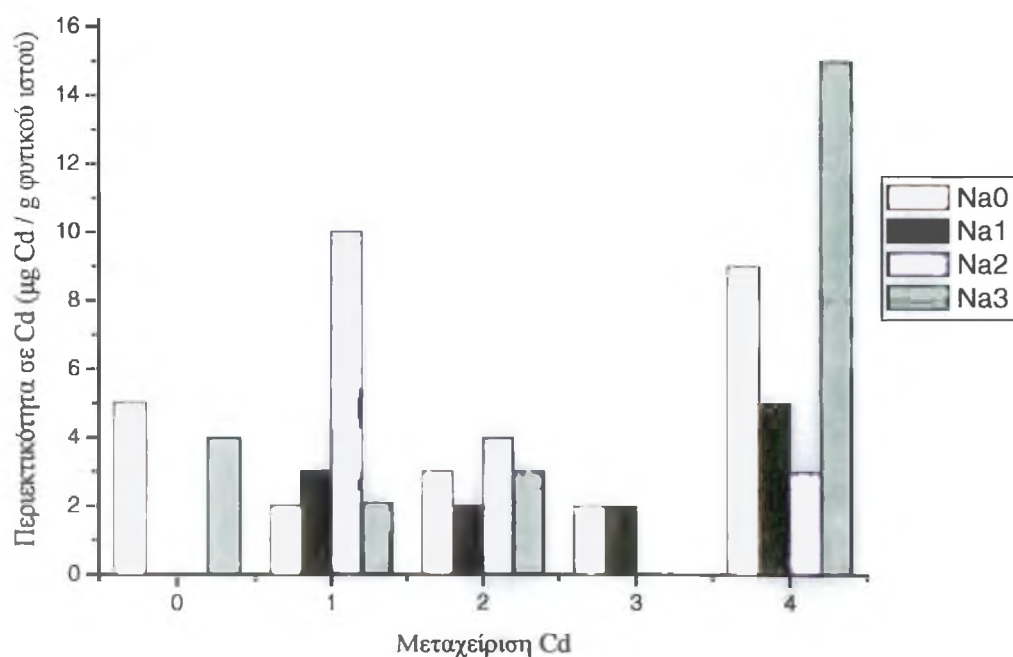
Na 2 αντιστοιχεί στη μεταχείριση με μέση προσθήκη NaCl (562 g NaCl στο αρχικό διάλυμα).

Na 3 αντιστοιχεί στη μεταχείριση με τη μεγαλύτερη προσθήκη NaCl (842 g NaCl στο αρχικό διάλυμα).

### 7.3.1 Εβδομάδα 1<sup>η</sup>

Πίνακας 7.26. Περιεκτικότητα σε κάδμιο των βλαστών των φυτών που αφαιρέθηκαν την πρώτη εβδομάδα.

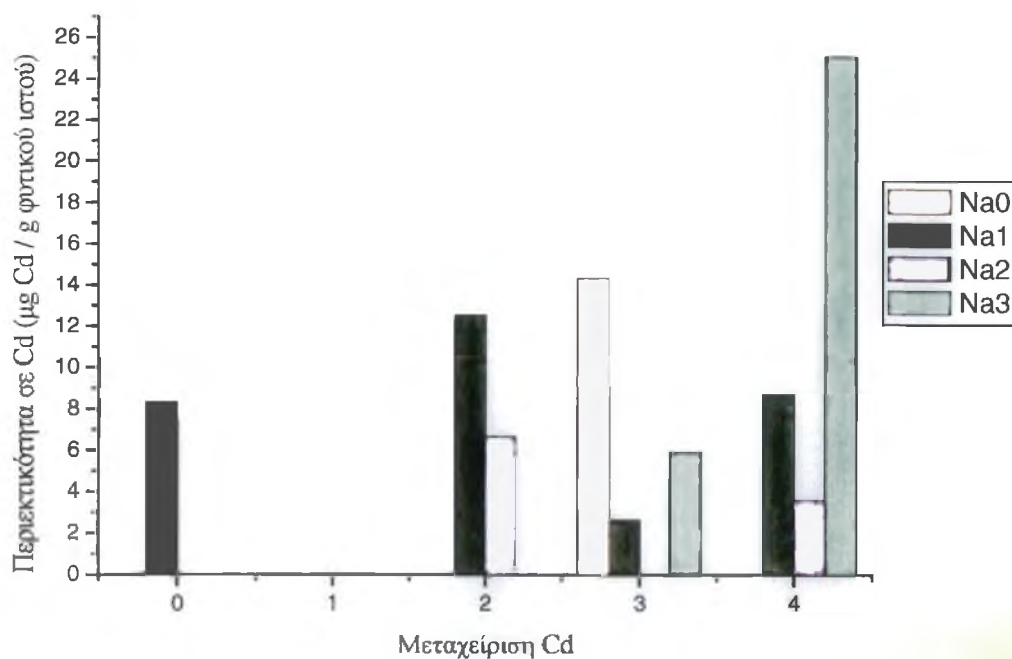
	Περιεκτικότητα σε Cd για τη μεταχείριση Na 0	Περιεκτικότητα σε Cd για τη μεταχείριση Na 1	Περιεκτικότητα σε Cd για τη μεταχείριση Na 2	Περιεκτικότητα σε Cd για τη μεταχείριση Na 3
Μεταχείριση Cd 0	5	0	0	4
Μεταχείριση Cd 1	2	3	10	2,08
Μεταχείριση Cd 2	3	2	4	3
Μεταχείριση Cd 3	2	2	0	0
Μεταχείριση Cd 4	9	5	3	15



Εικόνα 7.6. Περιεκτικότητα σε κάδμιο των βλαστών των φυτών που αφαιρέθηκαν την πρώτη εβδομάδα σε συνάρτηση με τις μεταχειρίσεις NaCl.

**Πίνακας 7.27. Περιεκτικότητα σε κάδμιο των ριζών των φυτών που αφαιρέθηκαν την πρώτη εβδομάδα.**

	Περιεκτικότητα σε Cd για τη μεταχείριση Na 0	Περιεκτικότητα σε Cd για τη μεταχείριση Na 1	Περιεκτικότητα σε Cd για τη μεταχείριση Na 2	Περιεκτικότητα σε Cd για τη μεταχείριση Na 3
Μεταχείριση Cd 0	0	8,33		0
Μεταχείριση Cd 1	0		0	
Μεταχείριση Cd 2	0	12,5	6,66	0
Μεταχείριση Cd 3	14,28	2,63	0	5,88
Μεταχείριση Cd 4	0	8,69	3,57	25

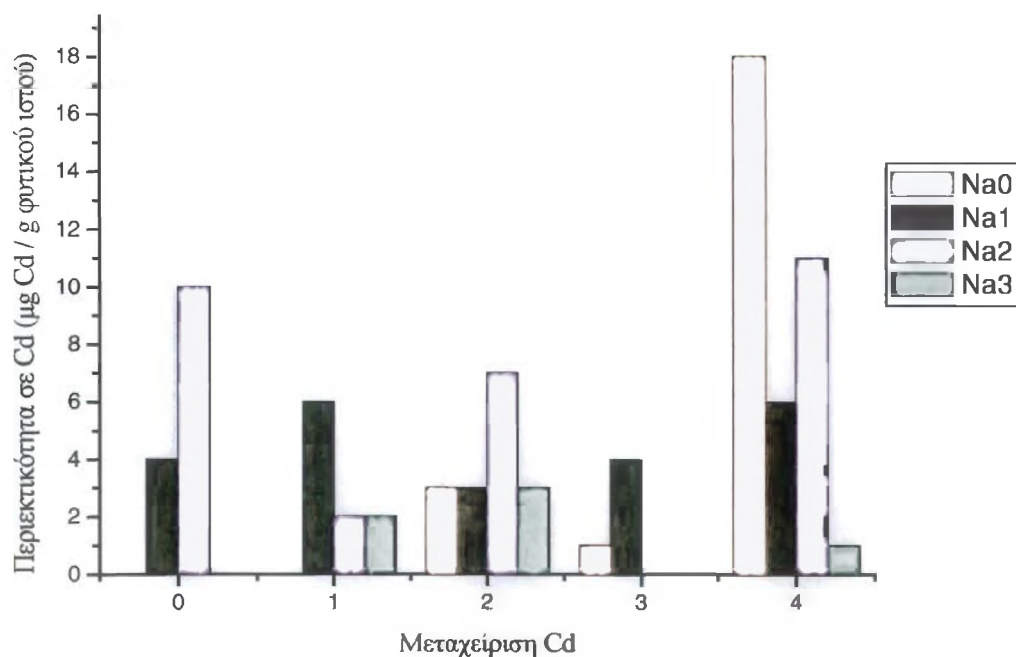


**Εικόνα 7.7. Περιεκτικότητα σε κάδμιο των ριζών των φυτών που αφαιρέθηκαν την πρώτη εβδομάδα σε συνάρτηση με τις μεταχειρίσεις NaCl.**

### 7.3.2 Εβδομάδα 2<sup>η</sup>

Πίνακας 7.28. Περιεκτικότητα σε κάδμιο των βλαστών των φυτών που αφαιρέθηκαν τη δεύτερη εβδομάδα.

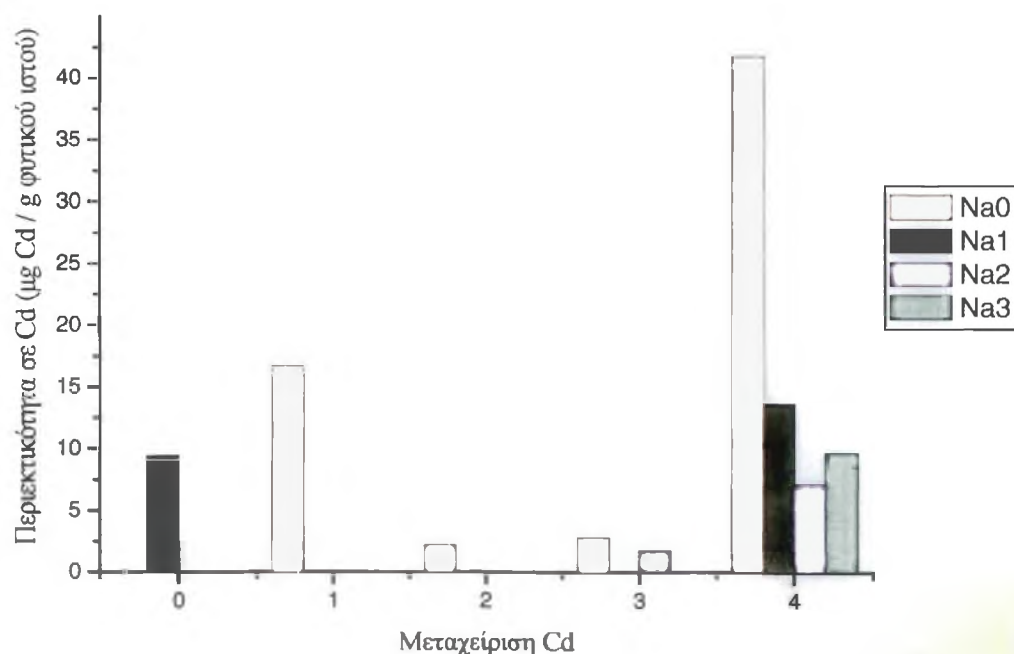
	Περιεκτικότητα σε Cd για τη μεταχείριση Na 0	Περιεκτικότητα σε Cd για τη μεταχείριση Na 1	Περιεκτικότητα σε Cd για τη μεταχείριση Na 2	Περιεκτικότητα σε Cd για τη μεταχείριση Na 3
Μεταχείριση Cd 0	0	4	10	0
Μεταχείριση Cd 1	0	6	2	2
Μεταχείριση Cd 2	3	3	7	3
Μεταχείριση Cd 3	1	4	0	0
Μεταχείριση Cd 4	18	6	11	1



Εικόνα 7.8. Περιεκτικότητα σε κάδμιο των βλαστών των φυτών που αφαιρέθηκαν τη δεύτερη εβδομάδα σε συνάρτηση με τις μεταχειρίσεις NaCl.

Πίνακας 7.29. Περιεκτικότητα σε κάδμιο των ριζών των φυτών που αφαιρέθηκαν τη δεύτερη εβδομάδα.

	Περιεκτικότητα σε Cd για τη μεταχείριση Na 0	Περιεκτικότητα σε Cd για τη μεταχείριση Na 1	Περιεκτικότητα σε Cd για τη μεταχείριση Na 2	Περιεκτικότητα σε Cd για τη μεταχείριση Na 3
Μεταχείριση Cd 0	0	9,37	0	0
Μεταχείριση Cd 1	16,66	0	0	0
Μεταχείριση Cd 2	2,17	0	0	0
Μεταχείριση Cd 3	2,77	0	1,78	0
Μεταχείριση Cd 4	41,66	13,63	7,14	9,67

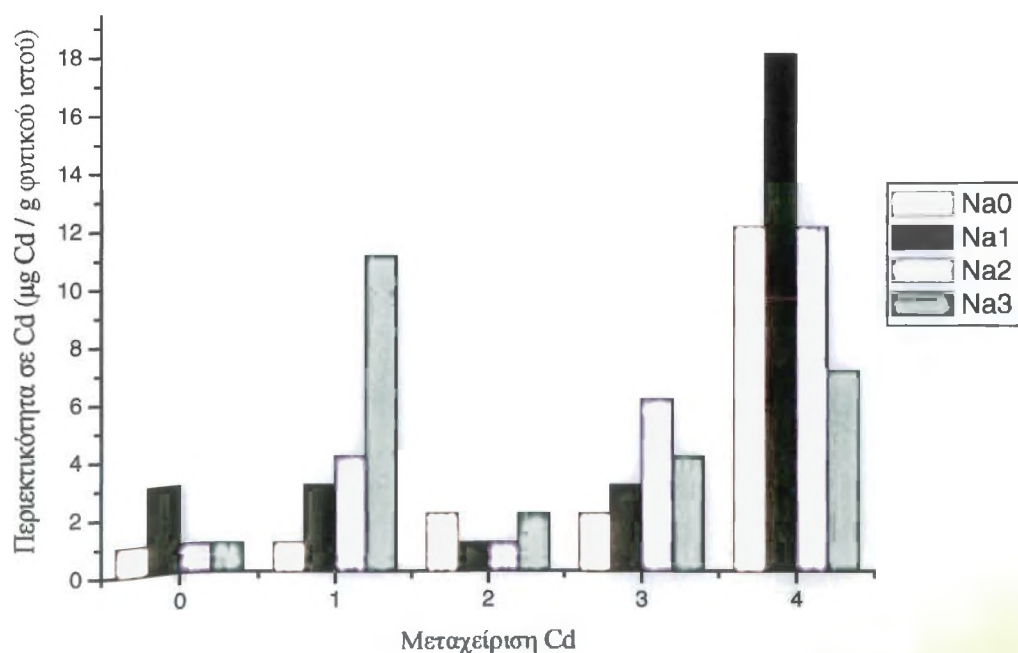


Εικόνα 7.9. Περιεκτικότητα σε κάδμιο των ριζών των φυτών που αφαιρέθηκαν τη δεύτερη εβδομάδα σε συνάρτηση με τις μεταχειρίσεις NaCl.

### 7.3.3 Εβδομάδα 3<sup>η</sup>

Πίνακας 7.30. Περιεκτικότητα σε κάδμιο των βλαστών των φυτών που αφαιρέθηκαν την τρίτη εβδομάδα.

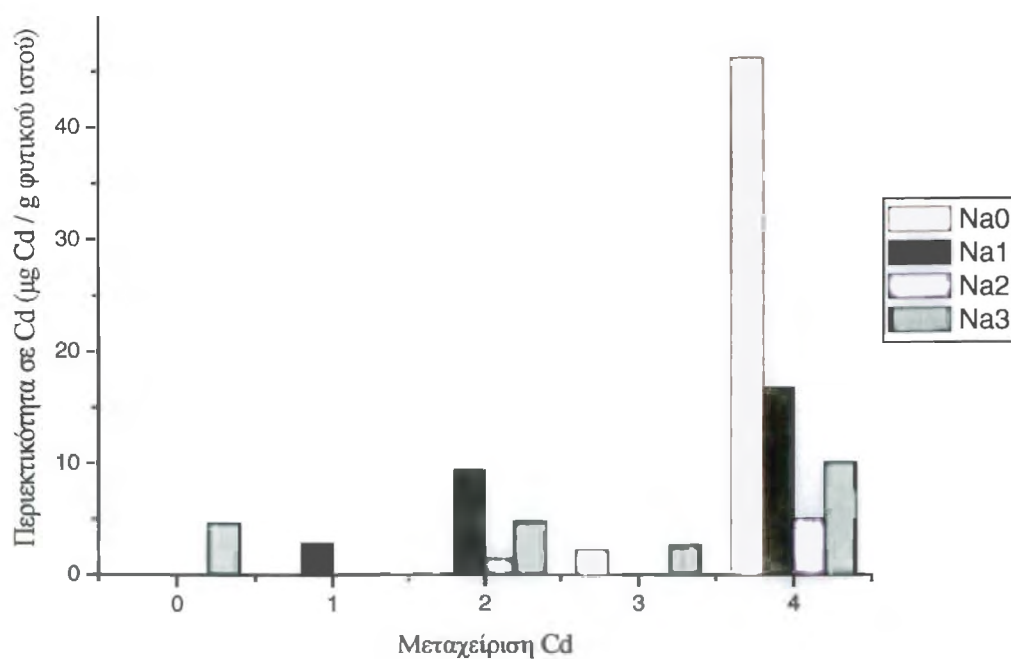
	Περιεκτικότητα σε Cd για τη μεταχείριση Na 0	Περιεκτικότητα σε Cd για τη μεταχείριση Na 1	Περιεκτικότητα σε Cd για τη μεταχείριση Na 2	Περιεκτικότητα σε Cd για τη μεταχείριση Na 3
Μεταχείριση Cd 0	1	3	1	1
Μεταχείριση Cd 1	1	3	4	11
Μεταχείριση Cd 2	2	1	1	2
Μεταχείριση Cd 3	2	3	6	4
Μεταχείριση Cd 4	12	18	12	7



Εικόνα 7.10. Περιεκτικότητα σε κάδμιο των βλαστών των φυτών που αφαιρέθηκαν την τρίτη εβδομάδα σε συνάρτηση με τις μεταχειρίσεις NaCl.

**Πίνακας 7.31. Περιεκτικότητα σε κάδμιο των ριζών των φυτών που αφαιρέθηκαν την τρίτη εβδομάδα.**

	Περιεκτικότητα σε Cd για τη μεταχείριση Na 0	Περιεκτικότητα σε Cd για τη μεταχείριση Na 1	Περιεκτικότητα σε Cd για τη μεταχείριση Na 2	Περιεκτικότητα σε Cd για τη μεταχείριση Na 3
Μεταχείριση Cd 0	0	0	0	4,54
Μεταχείριση Cd 1	0	2,77	0	0
Μεταχείριση Cd 2	0	9,37	1,42	4,76
Μεταχείριση Cd 3	2,17	0	0	2,63
Μεταχείριση Cd 4	46,15	16,66	5	10

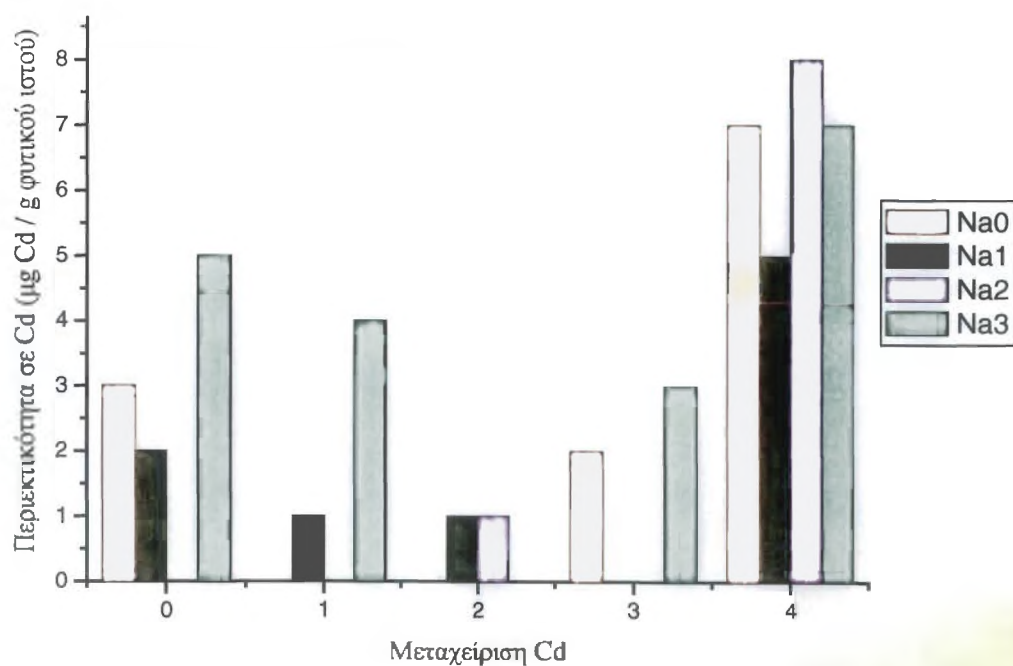


**Εικόνα 7.11. Περιεκτικότητα σε κάδμιο των ριζών των φυτών που αφαιρέθηκαν την τρίτη εβδομάδα σε συνάρτηση με τις μεταχειρίσεις NaCl.**

### 7.3.4 Εβδομάδα 4<sup>η</sup>

Πίνακας 7.32. Περιεκτικότητα σε κάδμιο των βλαστών των φυτών που αφαιρέθηκαν την τέταρτη εβδομάδα.

	Περιεκτικότητα σε Cd για τη μεταχείριση Na 0	Περιεκτικότητα σε Cd για τη μεταχείριση Na 1	Περιεκτικότητα σε Cd για τη μεταχείριση Na 2	Περιεκτικότητα σε Cd για τη μεταχείριση Na 3
Μεταχείριση Cd 0	3	2	0	5
Μεταχείριση Cd 1	0	1	0	4
Μεταχείριση Cd 2	0	1	1	0
Μεταχείριση Cd 3	2	0	0	3
Μεταχείριση Cd 4	7	5	8	7

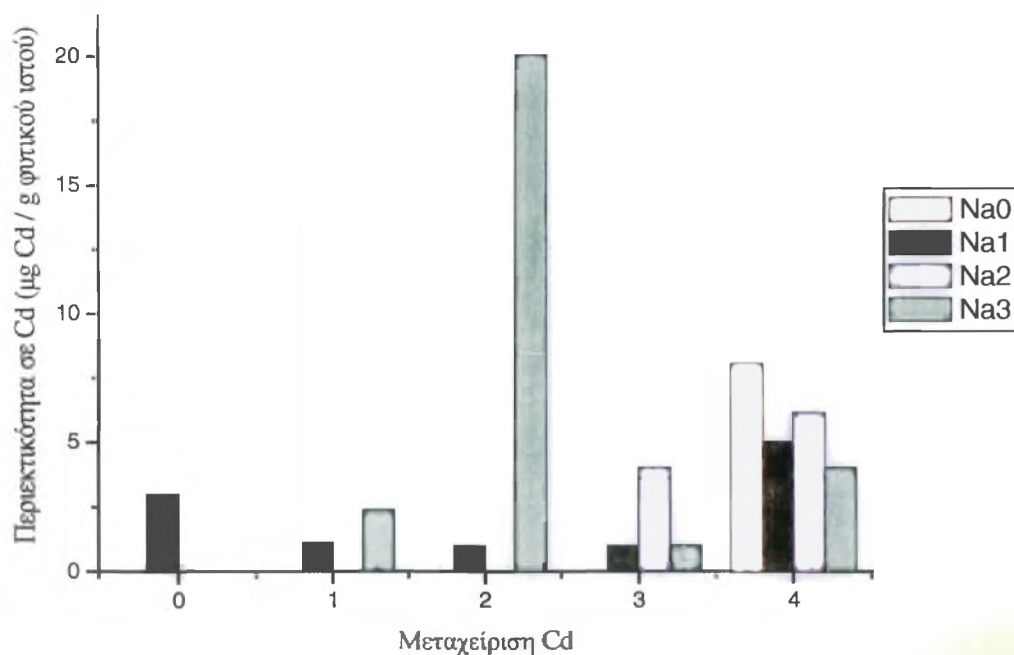


Εικόνα 7.12. Περιεκτικότητα σε κάδμιο των βλαστών των φυτών που αφαιρέθηκαν την τέταρτη εβδομάδα σε συνάρτηση με τις μεταχειρίσεις NaCl.



**Πίνακας 7.33. Περιεκτικότητα σε κάδμιο των ριζών των φυτών που αφαιρέθηκαν την τέταρτη εβδομάδα.**

	Περιεκτικότητα σε Cd για τη μεταχείριση Na 0	Περιεκτικότητα σε Cd για τη μεταχείριση Na 1	Περιεκτικότητα σε Cd για τη μεταχείριση Na 2	Περιεκτικότητα σε Cd για τη μεταχείριση Na 3
Μεταχείριση Cd 0	0	3	0	0
Μεταχείριση Cd 1	0	1,13	0	2,38
Μεταχείριση Cd 2	0	1	0	20
Μεταχείριση Cd 3	0	1	4	1
Μεταχείριση Cd 4	8	5	6,12	4



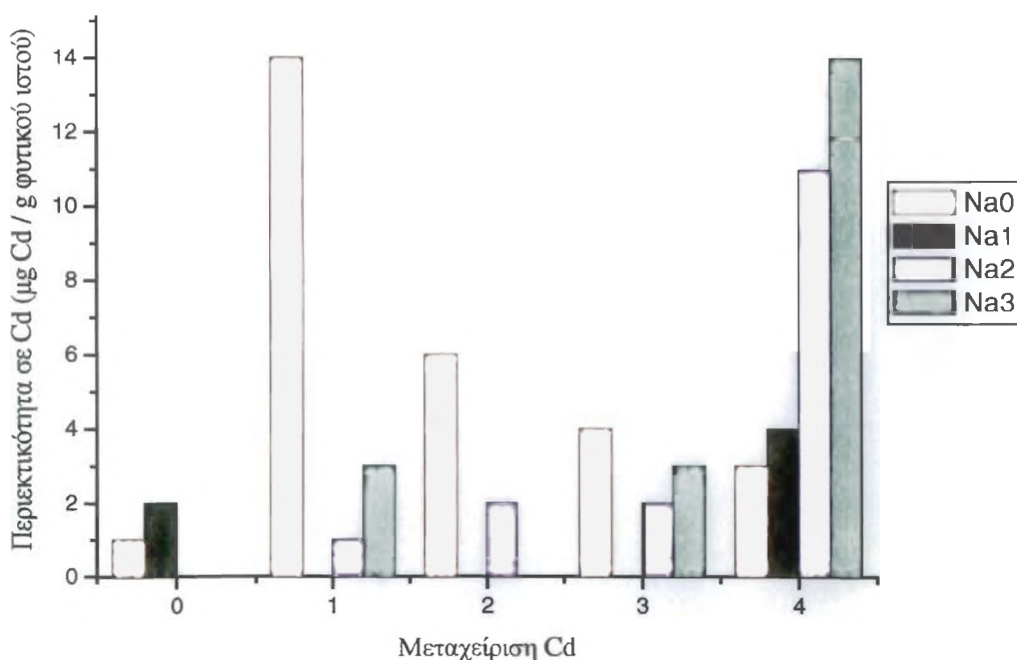
**Εικόνα 7.13. Περιεκτικότητα σε κάδμιο των ριζών των φυτών που αφαιρέθηκαν την τέταρτη εβδομάδα σε συνάρτηση με τις μεταχειρίσεις NaCl.**

### 7.3.5 Εβδομάδα 5<sup>η</sup>

Την πέμπτη και τελευταία εβδομάδα του πειράματος απομακρύνθηκαν από το θερμοκήπιο οι δύο τελευταίες σειρές φυτών. Συνεπώς, για την εβδομάδα αυτή υπάρχουν δεδομένα για δύο σειρές φυτών.

**Πίνακας 7.34.** Περιεκτικότητα σε κάδμιο των βλαστών της πρώτης σειράς φυτών που αφαιρέθηκαν την πέμπτη εβδομάδα.

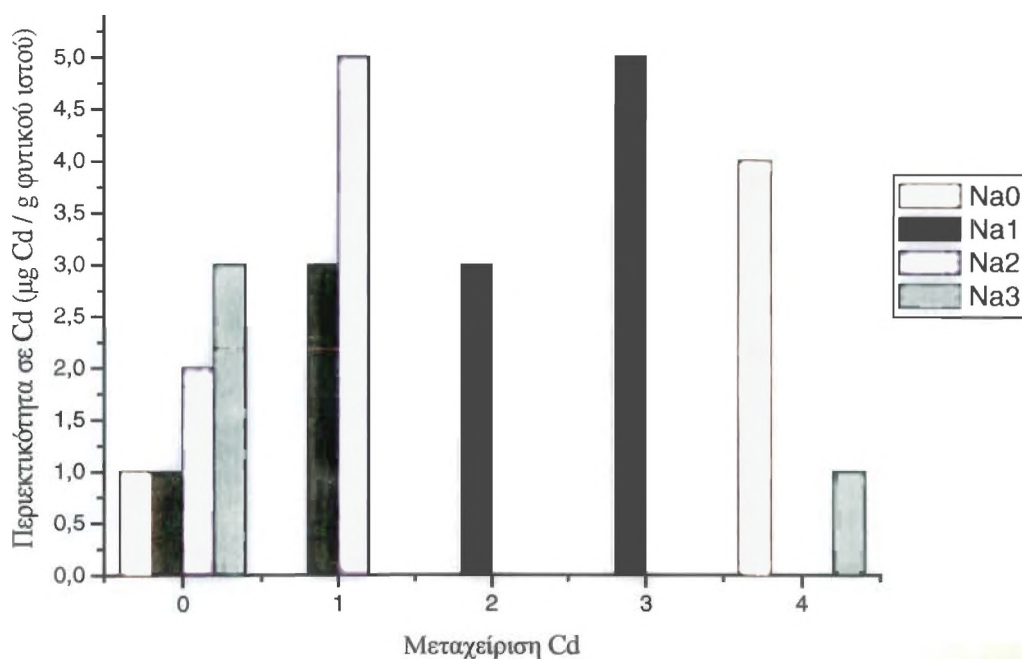
	Περιεκτικότητα σε Cd για τη μεταχείριση Na 0	Περιεκτικότητα σε Cd για τη μεταχείριση Na 1	Περιεκτικότητα σε Cd για τη μεταχείριση Na 2	Περιεκτικότητα σε Cd για τη μεταχείριση Na 3
Μεταχείριση Cd 0	1	2	0	0
Μεταχείριση Cd 1	14	0	1	3
Μεταχείριση Cd 2	6	0	2	0
Μεταχείριση Cd 3	4	0	2	3
Μεταχείριση Cd 4	3	4	11	14



**Εικόνα 7.14.** Περιεκτικότητα σε κάδμιο των βλαστών της πρώτης σειράς φυτών που αφαιρέθηκαν την πέμπτη εβδομάδα σε συνάρτηση με τις μεταχειρίσεις NaCl.

**Πίνακας 7.35. Περιεκτικότητα σε κάδμιο των βλαστών της δεύτερης σειράς φυτών που αφαιρέθηκαν την πέμπτη εβδομάδα.**

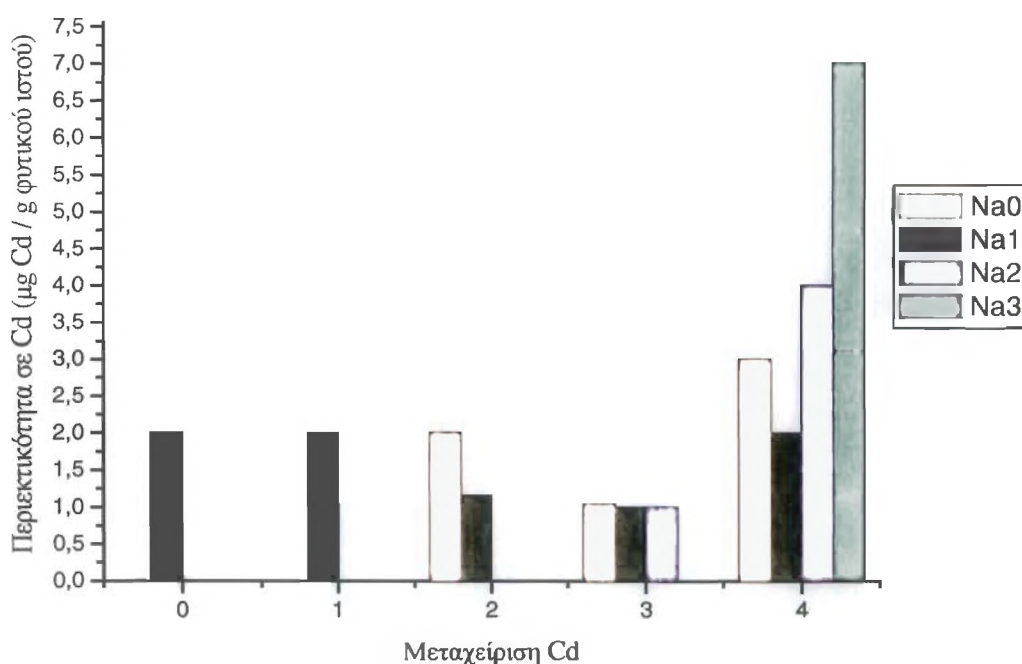
	Περιεκτικότητα σε Cd για τη μεταχείριση Na 0	Περιεκτικότητα σε Cd για τη μεταχείριση Na 1	Περιεκτικότητα σε Cd για τη μεταχείριση Na 2	Περιεκτικότητα σε Cd για τη μεταχείριση Na 3
Μεταχείριση Cd 0	1	1	2	3
Μεταχείριση Cd 1	0	3	5	0
Μεταχείριση Cd 2	0	3	0	0
Μεταχείριση Cd 3	0	5	0	0
Μεταχείριση Cd 4	4	0	0	1



**Εικόνα 7.15. Περιεκτικότητα σε κάδμιο των βλαστών της δεύτερης σειράς φυτών που αφαιρέθηκαν την πέμπτη εβδομάδα σε συνάρτηση με τις μεταχειρίσεις NaCl.**

**Πίνακας 7.36. Περιεκτικότητα σε κάδμιο των ριζών της πρώτης σειράς φυτών που αφαιρέθηκαν την πέμπτη εβδομάδα.**

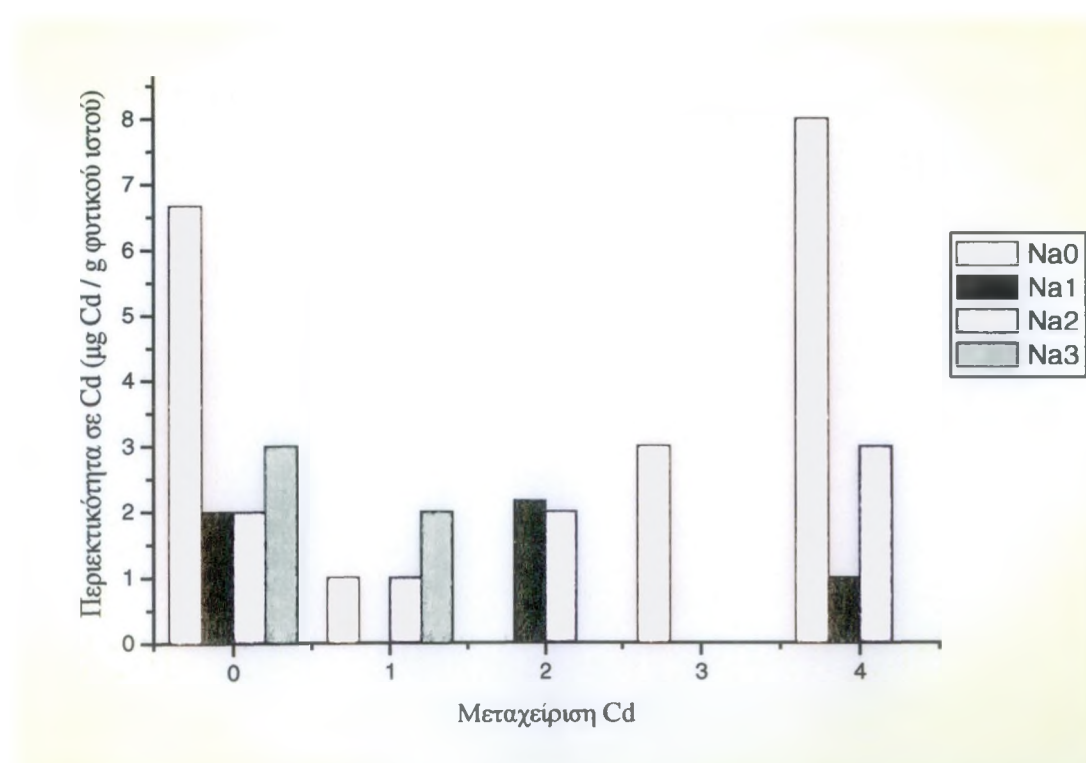
	Περιεκτικότητα σε Cd για τη μεταχείριση Na 0	Περιεκτικότητα σε Cd για τη μεταχείριση Na 1	Περιεκτικότητα σε Cd για τη μεταχείριση Na 2	Περιεκτικότητα σε Cd για τη μεταχείριση Na 3
Μεταχείριση Cd 0	0	2	0	0
Μεταχείριση Cd 1	0	2		0
Μεταχείριση Cd 2	2	1,16	0	0
Μεταχείριση Cd 3	1,04	1	1	0
Μεταχείριση Cd 4	3	2	4	7



**Εικόνα 7.16. Περιεκτικότητα σε κάδμιο των ριζών της πρώτης σειράς φυτών που αφαιρέθηκαν την πέμπτη εβδομάδα σε συνάρτηση με τις μεταχειρίσεις NaCl.**

**Πίνακας 7.37. Περιεκτικότητα σε κάδμιο των ριζών της δεύτερης σειράς φυτών που αφαιρέθηκαν την πέμπτη εβδομάδα.**

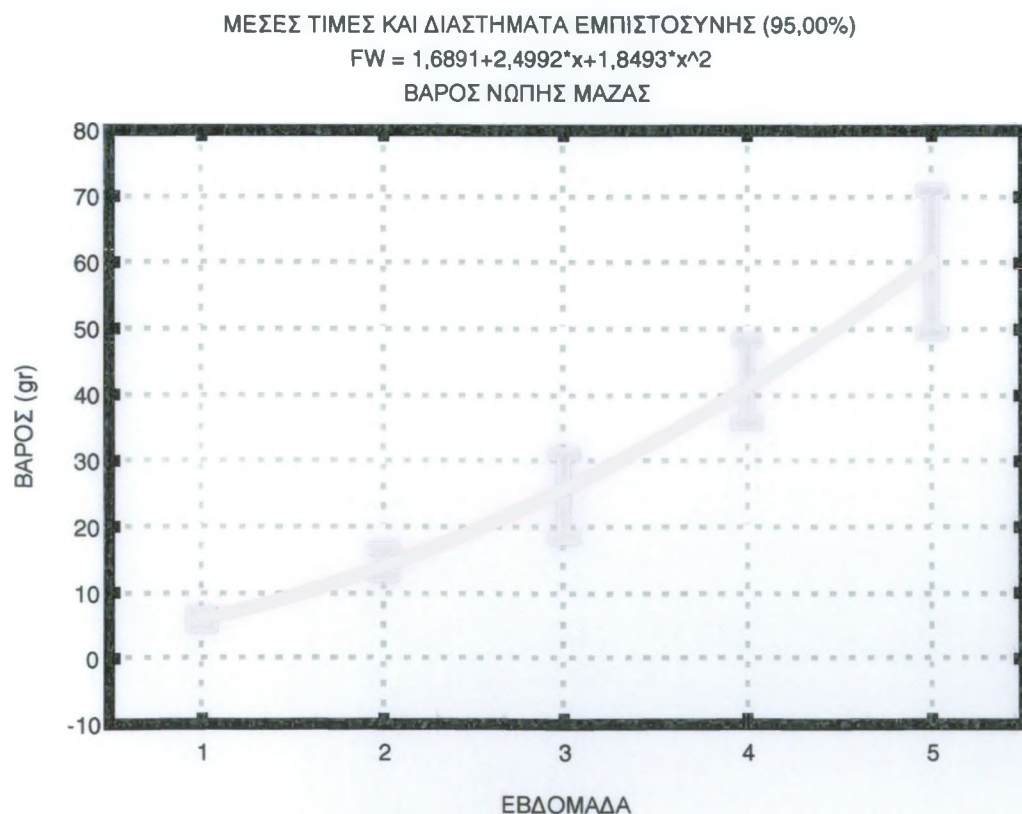
	Περιεκτικότητα σε Cd για τη μεταχείριση Na 0	Περιεκτικότητα σε Cd για τη μεταχείριση Na 1	Περιεκτικότητα σε Cd για τη μεταχείριση Na 2	Περιεκτικότητα σε Cd για τη μεταχείριση Na 3
Μεταχείριση Cd 0	6,66	2	2	3
Μεταχείριση Cd 1	1	0	1	2
Μεταχείριση Cd 2	0	2,17	2	0
Μεταχείριση Cd 3	3	0	0	0
Μεταχείριση Cd 4	8	1	3	0



**Εικόνα 7.17. Περιεκτικότητα σε κάδμιο των ριζών της δεύτερης σειράς φυτών που αφαιρέθηκαν την πέμπτη εβδομάδα σε συνάρτηση με τις μεταχειρίσεις NaCl.**

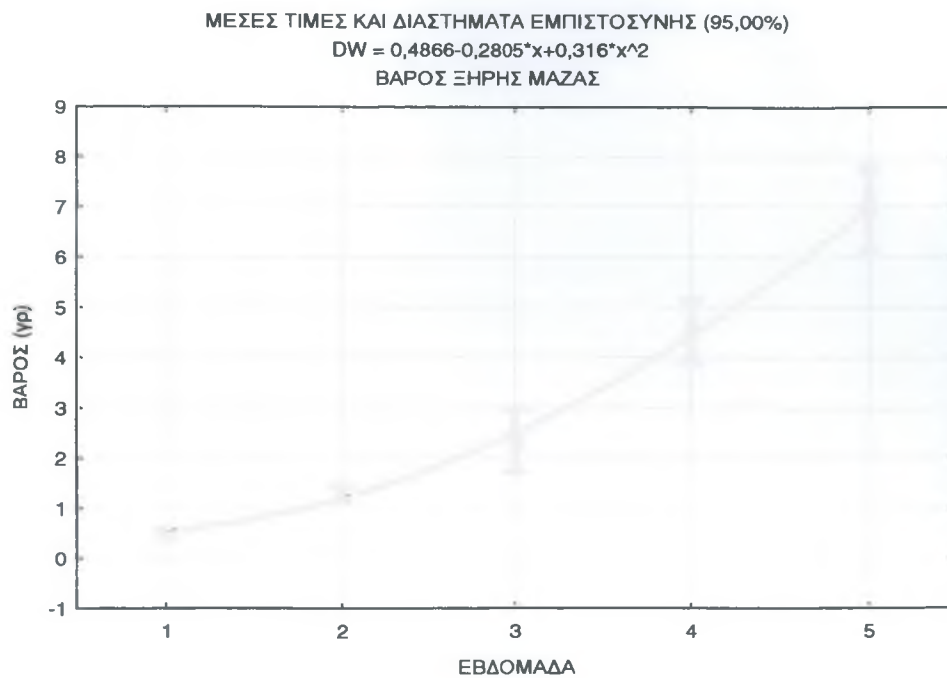
Από τα ανωτέρω γραφήματα είναι εμφανής η υψηλή, στις περισσότερες περιπτώσεις, συγκέντρωση του καδμίου στους ιστούς των φυτών. Επίσης, παρατηρείται μια μείωση της περιεκτικότητας των φυτικών ιστών σε κάδμιο με την πάροδο του χρόνου. Οι τιμές της συγκέντρωσης του καδμίου κυμαίνονται σε υψηλότερα επίπεδα την πρώτη εβδομάδα, για παράδειγμα, σε σχέση με την τελευταία. Κάποιες ασυνήθιστες συγκεντρώσεις καδμίου που βρέθηκαν σε ιστούς φυτών της μεταχείρισης καδμίου 0, δηλαδή χωρίς προσθήκη καδμίου, ίσως οφείλονται στο εδαφικό υπόστρωμα που χρησιμοποιήθηκε. Συνολικά, καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος παρατηρείται έντονη ανομοιομορφία στις συγκεντρώσεις του καδμίου στους φυτικούς ιστούς, ανεξαρτήτως μεταχείρισης καδμίου και NaCl. Τέλος, είναι εμφανές ότι στο ριζικό σύστημα των φυτών έχουν συσσωρευτεί μεγαλύτερες ποσότητες καδμίου, απ' ότι στους βλαστούς.

#### 7.4 Στατιστική ανάλυση

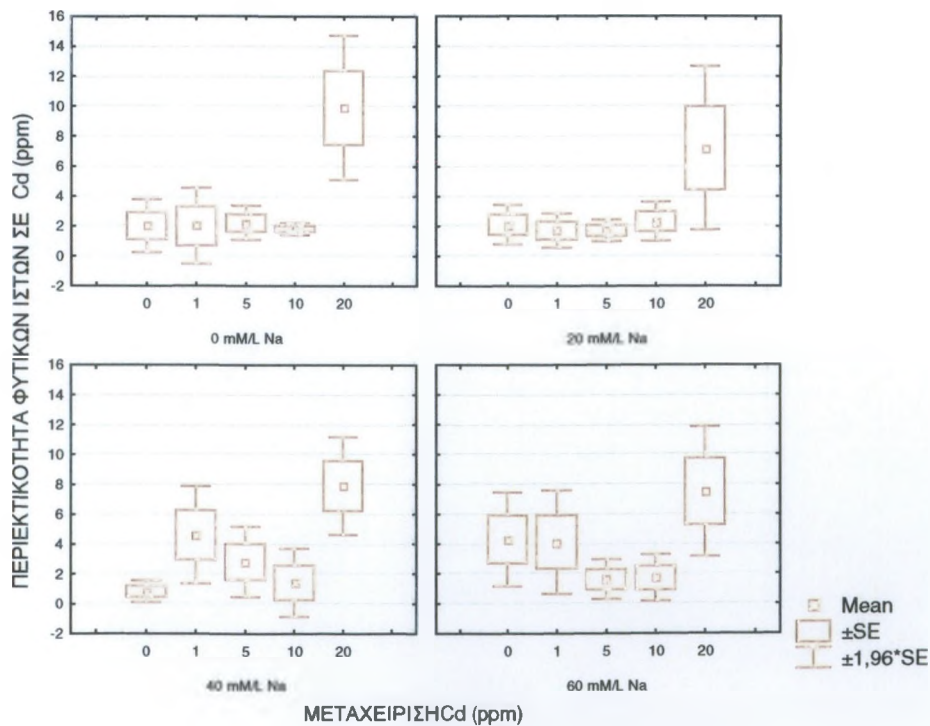


Εικόνα 7.18. Μεταβολή του βάρους νωπών φυτικών ιστών σε διάστημα πέντε (5) εβδομάδων για όλες τις μεταχειρίσεις.

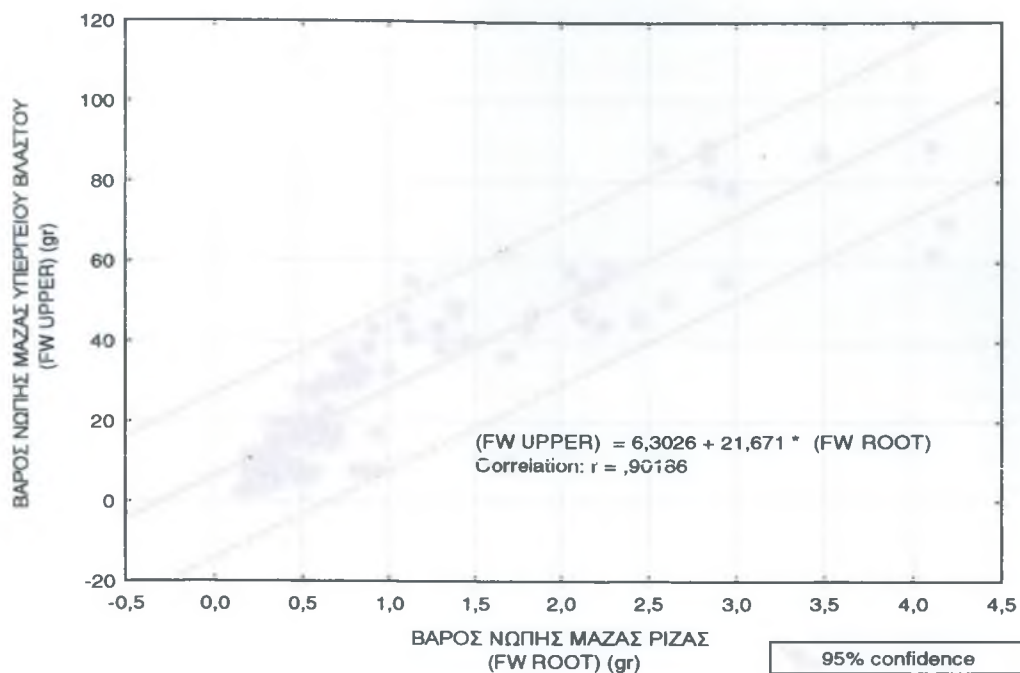




Εικόνα 7.19. Μεταβολή του βάρους ξηρών φυτικών ιστών σε διάστημα πέντε (5) εβδομάδων για όλες τις μεταχειρίσεις.



Εικόνα 7.20. Μέσες τιμές και τυπικά σφάλματα περιεκτικότητας φυτικών ιστών σε κάδμιο ανά μεταχείριση NaCl.



**Εικόνα 7.21. Συσχέτιση βάρους νωπής μάζας υπέργειου βλαστού και ρίζας.**

Η στατιστική ανάλυση των δεδομένων πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια του στατιστικού πακέτου STATISTICA 6.0<sup>TM</sup> και με τη μέθοδο ANOVA.

Καμία σημαντική επίδραση δεν υπήρξε στο ύψος των φυτών καθώς και στο βάρος τόσο της νωπής όσο και της ξηρής μάζας από τη συνδυασμένη επίδραση Na και Cd. Παρόλα αυτά υπήρξε μία τάση μείωσης της παραγωγής τόσο νωπής όσο και ξηρής μάζας αυξανόμενης της συγκέντρωσης NaCl στο νερό άρδευσης. Επίσης, δεν παρατηρήθηκαν συμπτώματα τοξικότητας σε καμία μεταχείριση. Η μεταβολή του βάρους της νωπής μάζας του φυτού στη διάρκεια πέντε εβδομάδων, περιγράφηκε με τη δευτεροβάθμια εξίσωση ( $y = 1,8493x^2 + 2,4992x + 1,6891$ ,  $r=0,98$ ,  $p<0,05$ ), ενώ η μεταβολή του βάρους της ξηρής μάζας του φυτού περιγράφηκε με τη δευτεροβάθμια εξίσωση ( $y = 0,316x^2 - 0,2805x + 0,4866$ ,  $r=0,98$ ,  $p<0,05$ ). Σημαντική διαφοροποίηση παρατηρήθηκε στο μήκος της ρίζας σε σχέση με την περιεκτικότητα του εδάφους σε Cd, ανεξάρτητα από τη συγκέντρωση NaCl στο νερό άρδευσης. Από τα αποτελέσματα δεν βγήκαν σαφή συμπεράσματα σχετικά με την επίδραση της αλατότητας στην προσρόφηση του καδμίου.



## 8. Συμπεράσματα

Συνολικά, με την πάροδο του χρόνου και κατά τη διάρκεια του πειράματος, το κάδμιο φάνηκε να μην επηρεάζει την ανάπτυξη (μήκος) των βλαστών των φυτών. Αντίθετα, από τις μετρήσεις, συμπεραίνουμε ότι το κάδμιο σε συνδυασμό με τις υπάρχουσες συνθήκες αλατότητας είχαν κάποια επίδραση στην ανάπτυξη του ριζικού συστήματος, αφού το μήκος των ριζών κατά μέσο όρο, από την πρώτη μέτρηση μέχρι και το τέλος του πειράματος, παρέμεινε περίπου στα ίδια επίπεδα.

Παρόλα αυτά διαπιστώνεται μια υστέρηση της μάζας των βλαστών των φυτών, στον οποίο τα θρεπτικά διαλύματα δεν έγινε προσθήκη NaCl. Γενικά, στις μεγαλύτερες μεταχειρίσεις καδμίου (5, 10 και 20 ppm) παρατηρείται αύξηση της μάζας των βλαστών. Εξαιρέση αποτελεί η μικρότερη μεταχείριση καδμίου οπότε και η μάζα είναι συνολικά μικρότερη. Μάλιστα, στη συγκεκριμένη μεταχείριση παρατηρείται μείωση της μάζας των βλαστών σε σχέση ακόμα και με αυτή κατά την οποία δεν έγινε προσθήκη καδμίου. Αντίθετα, όσον αφορά τη μάζα των ριζών των φυτών, οι μετρήσεις δίνουν μια πιο ξεκάθαρη εικόνα. Μεγαλύτερες τιμές παρουσίασε η μάζα των ριζών των φυτών που ανήκουν στη μεταχείριση με μηδενική προσθήκη καδμίου. Οι χαμηλότερες τιμές παρουσιάστηκαν στις δύο μικρότερες μεταχειρίσεις καδμίου (1 και 5 ppm), ενώ στις δύο μεγαλύτερες (10 και 20 ppm) παρουσιάστηκε άνοδος. Μοναδική εξαίρεση αποτέλεσαν τα φυτά στον οποίο τα θρεπτικά διαλύματα δεν έγινε προσθήκη NaCl. Η μάζα των ριζών των φυτών αυτών παρουσίασε αυξητικές τάσεις με την αύξηση της μεταχείρισης του καδμίου. Μπορεί έτσι να συμπεράνει κάποιος ότι το κάδμιο επιδρά με διαφορετικό τρόπο στα φυτά, ανάλογα με τις υπάρχουσες συνθήκες αλατότητας στο εδαφικό διάλυμα. Χωρίς τη χρήση υφάλμυρου νερού άρδευσης, το κάδμιο τείνει να ευνοεί την αύξηση της μάζας της ρίζας των φυτών.

Η παρουσία NaCl δυσχεραίνει την ανάπτυξη της ρίζας και έμμεσα το φυτό δεν προσλαμβάνει κάδμιο. Άλλωστε αυτό φαίνεται και από τη στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων που έδειξε ότι υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά στην ανάπτυξη της ρίζας μεταξύ των μεταχειρίσεων.

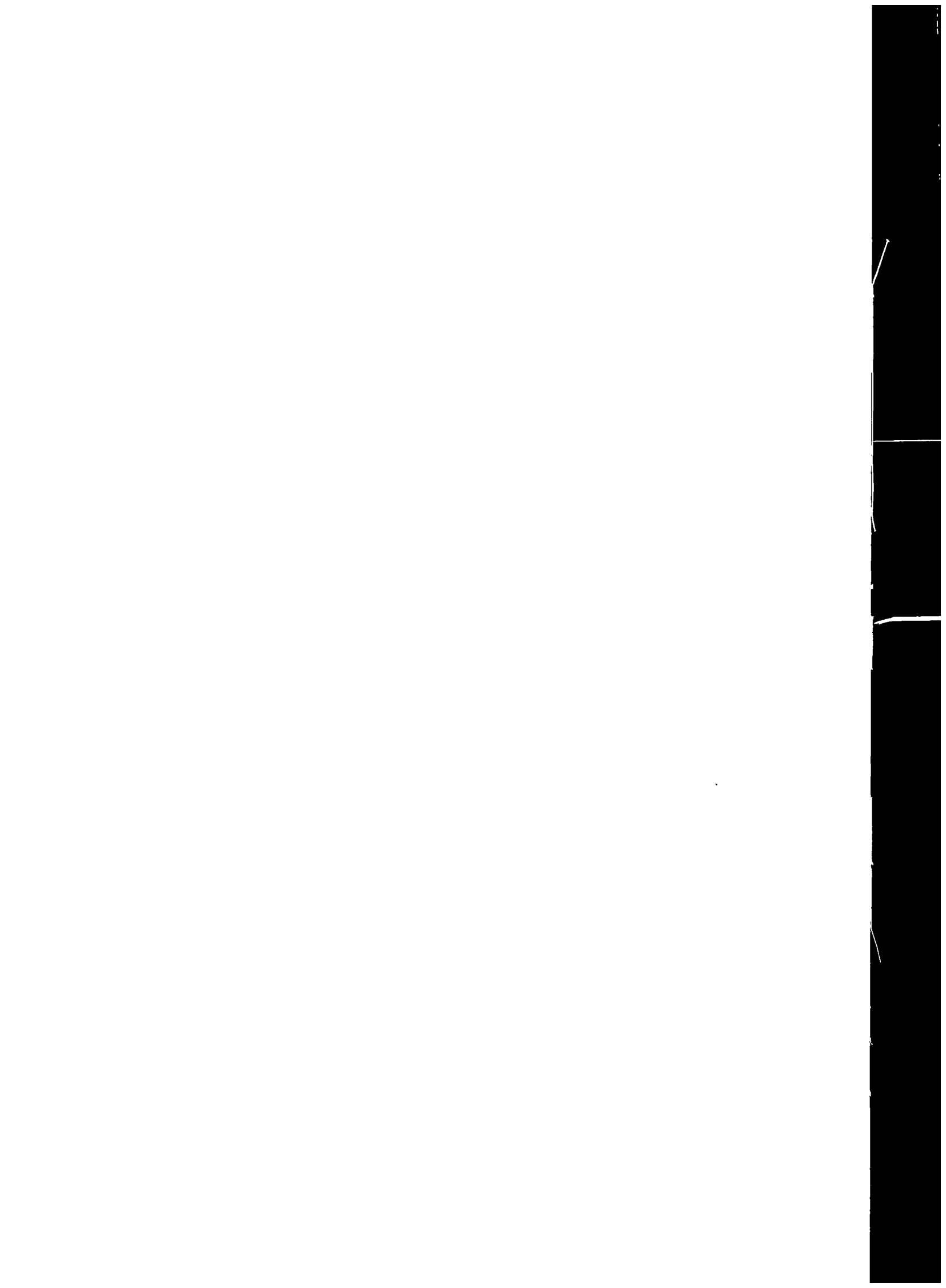
Από τις μετρήσεις που έγιναν για τον προσδιορισμό της περιεκτικότητας των φυτών σε κάδμιο είναι προφανές ότι η ρόκα είναι ένα από τα φυτά που τείνει να συσσωρεύει αρκετά μεγάλες ποσότητες του μετάλλου. Παρατηρήθηκε

διαφοροποίηση της συσσώρευσης του καδμίου αναφορικά με το χρόνο. Η περιεκτικότητα των φυτών σε κάδμιο είχε αυξητικές τάσεις τις τρεις πρώτες εβδομάδες, ενώ τις δύο επόμενες κατά τις οποίες παρατηρήθηκε και ανθοφορία, η συσσώρευση του μετάλλου στα φυτά περιορίστηκε σε μεγάλο βαθμό, πιθανότατα διότι μεγάλες ποσότητες καδμίου συσσωρεύτηκαν στα άνθη, τα οποία αφαιρούνταν τακτικά. Επίσης, είναι σαφές ότι οι ρίζες των φυτών συσσωρεύουν πολύ μεγαλύτερες ποσότητες καδμίου, απ' ό,τι οι βλαστοί. Συγκεκριμένα, για τις τέσσερις πρώτες εβδομάδες, η συσσώρευση στις ρίζες των φυτών είχε έως και διπλάσιες τιμές από την αντίστοιχη στους βλαστούς των φυτών.

Στις περισσότερες περιπτώσεις είναι εμφανής μια άμεση συσχέτιση της περιεκτικότητας του εδαφικού διαλύματος σε κάδμιο και της περιεκτικότητας των φυτών στο μέταλλο. Η σχέση αυτή είναι περισσότερο χαρακτηριστική στη μεγάλη μεταχείριση καδμίου (20 ppm) όπου η περιεκτικότητα των φυτών σε κάδμιο είναι αυξημένη, εκτός των δύο τελευταίων εβδομάδων (λόγω έντονης ανθοφορίας). Παρόλο που δεν είναι σαφής η σχέση της περιεκτικότητας σε κάδμιο και της αλατότητας, υπάρχουν ενδείξεις που οδηγούν στο συμπέρασμα ότι μεγαλύτερες ποσότητες καδμίου συσσωρεύονται στα βρώσιμα μέρη του φυτού αλλά και στο ριζικό σύστημά του, υπό συνθήκες χαμηλής αλατότητας.

Συνοπτικά, από τον πειραματισμό μπορούμε να καταλήξουμε στα πιο κάτω συμπεράσματα:

- Η ρόκα (*Eruca Sativa*) είναι φυτό που μπορεί να επιβιώσει υπό συνθήκες υψηλής αλατότητας στο νερό άρδευσης.
- Τα φυτά ρόκας φαίνεται να μην επηρεάζονται από την παρουσία NaCl στο νερό άρδευσης, όσον αφορά την παραγωγή νωπής μάζας.
- Η ρόκα προσλαμβάνει κάδμιο στους βλαστούς της, παρουσία του μετάλλου στο νερό άρδευσης.
- Υπάρχει μια τάση μείωσης της πρόσληψης καδμίου από τα φυτά ρόκας παρουσία υψηλής αλατότητας (NaCl) στο νερό άρδευσης που πιθανό να οφείλεται στη μείωση του μήκους της ρίζας και τον έντονο ανταγωνισμό στην πρόσληψη των θρεπτικών στοιχείων.



## 9. Προτάσεις

Από την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων του πειράματος προκύπτουν διάφορα ερωτήματα σχετικά με τον τρόπο πρόσληψης του καδμίου από τα φυτά ρόκας υπό συνθήκες υψηλής αλατότητας στο νερό άρδευσης. Θα ήταν σκόπιμο ο πειραματισμός να συνεχιστεί και να επικεντρωθεί:

- α. Στη σχέση υψηλής αλατότητας στο νερό άρδευσης και της πρόσληψης καδμίου.  
Μπορεί υψηλή αλατότητα να αποτρέψει την πρόσληψη του καδμίου;
- β. Στον τρόπο λίπανσης των φυτών και την πρόσληψη καδμίου. Μπορεί η χορήγηση στα φυτά θρεπτικών διαλυμάτων (υδρολίπανση) να είναι πιο αποτελεσματική στην αποτροπή πρόσληψης του καδμίου και την αντοχή των φυτών στην υψηλή αλατότητα;

## 10. Βιβλιογραφία

- Adams M.L., Zhao F.J., McGrath S.P., Nicholson F.A. and Chambers B.J. 2004. Predicting Cadmium Concentrations in Wheat and Barley Grain Using Soil Properties. *J. Environ. Qual.* 33:532-541. ASA, CSSA, SSSA.
- Adriano, D.C. 1986. Trace Elements in the Terrestrial Environment, Springer-Verlag: Berlin, Germany.
- Adriano, D.C. 1986. Trace Elements In The Terrestrial Environment, Springer-Verlag, New York.
- Akoumianakis Konstantinos A., Harold C. Passam, Pandelis E. Barouchas and Nicolaos K. Moustakas. 2006. Influence of cadmium on yield and cadmium concentration in the edible tissues of endive (*Cichorium endivia* L.) and rocket (*Eruca sativa* Mill.) *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*
- Alloway, B.J. 1988. Unpublished Res. Report, Doe Pecd 7/8/05.
- Alloway, B.J. Cadmium. 1995. In *Heavy Metals in Soils*, 2<sup>nd</sup> Ed.; Alloway, B.J, Ed.;
- Alloway, B.J. and Jackson, A.P. 1991. *Science Total Environment*, 151-176.
- Alloway, B.J., Jackson, A. and Morgan, H. 1989. *Sciences Total Environ.*
- Alloway, B.J., Thornton, I., Smart, G.A., Sherlock, J. and Quinn, M.J. 1988. *Science Total Environ.*, 41-69.
- Alloway, B.J., Tills, A.R. and Morgan, H. 1985. In *Trace Substancers In Environmental Health*, 187-201.
- Andersson, A. and Nilsson, K.O. 1974. *Ambio*, 198-200.
- Anguissola Scotti I., Silva S. and Baffi C. 1999. Effects of fly ash pH on the uptake of heavy metals by chicory *Water, Air, and Soil Pollution* 109: 397-406. Kluwer Academic Publishers.
- Archer, F.C. 1980. Trace Elements In England And Wales, In Anon Ed. *Inorganic Pollution And Agriculture* Ministry Of Agriculture, Fisheries And Food, London.
- Asami, T. 1984. *Changing Metal Cycles And Human Health*, Ed. Nriagu, J.O., Springer-Verlag, Berlin, 95-111.
- Aylett, B.J. 1979. In *The Chemistry, Biochemistry And Biology Of Cadmium*, Ed. Webb, M. Elsevier, Amsterdam, 1-43.
- Baham, J., Ball, N.B. and Sposito, G. 1978. *J. Environ. Qual.*, 181-188.

- Berndes G., Fredrikson F. and Borjesson P. 2004. Cadmium accumulation and Salix-based phytoextraction on arable land in Sweden. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 103:207–223. Elsevier B.V.
- Bhattacharyya, M.J. 1991. *Water, Air And Soil Pollut.*, 665-673.
- Bidwell, A.M. and Dowdy, R.H. 1987. *J. Environ. Qual.*, 438-442.
- Bingham, F.T., Page, A.L., Mahler, R.J. and Ganje, T.J. 1975. *Environ. Qual.*, 207-211.
- Bingham, F.T., Page, A.L., Mahler, R.J., Canje, T.J. 1975. Growth and Cadmium Accumulation of Plants Grown on Soil Treated with Cadmium-Enriched Sewage Sludge. *J. Env. Qual.*, 4:207-211.
- Bingham, F.T., Page, A.L., Mahler, R.J. and Ganje, T.J. 1976. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 715-719.
- Bingham, F.T., Peryea, F.J. and Jarrell, W. 1986. In *Metal Ions In Biological Systems Vol.1*, Ed. Sigel, H., Marcel Dekker, New York, 119-156.
- Bingham, F.T., Strong, J.E. and Sposito, G. 1983. *Soil Sciences*, 160-165.
- Bingham, F.T., Strong, J.E. and Sposito, G. 1983. Influence of Chloride Salinity on Cadmium Uptake by Swiss Chard. *Soil Sci.*, 135: 160-165.
- Bowen, H.J.M. 1979. *Environmental Chemistry Of The Elements*, Academic Press, London.
- Cataldo, D.A., Garland, T.R. and Wildung, R.E.C. 1981. *Plant Phys.*, 835-839.
- Cavallaro, N. and McBride, M.B. 1978. *Soil Sciences Soc. Am. J.*, 550-556.
- Chaney, R.L. 1990. *Biocycle*, 68-73.
- Chaney, R. and Giordano, P.M. 1977. In *Soils For Management Of Organic Wastes And Waste Waters*, Eds. Elliot, L.F. And Stevenson, F.J. *Soil Sciences Soc. Am., Am. Soc. Agron & Crop Sci. Soc. Am., Madison*, 235-279.
- Chaudri, A.M., Mcgrath, S.P. and Giller, K.E. 1982. *Soil Biol. Biochem.*, 625-632.
- Christensen, T.H. 1984. *Water, Air And Soil Pollution*, 105-114.
- Christensen, T.J. 1987. *Water, Air And Soil Pollution*, 305-314.
- Chumbley, C.G. and Unwin, R.J. 1982. *Environmental Pollution*, 231-237.
- Cornelis A.M. Van Gestel and Josee E. Koolhaas. 2004. Water-extractability, free ion activity, and pH explain cadmium sorption and toxicity to *folsomia candida* (collembola) in seven soil-pH combinations. *Environmental Toxicology and Chemistry*, Vol. 23, No. 8, pp. 1822–1833.
- Cowan, C.E., Zachara, J.M. and Resch, C.T. 1991. *Environ. Sci. Technol.*, 437-446.

- Culbard, E.B., Thornton, I., Watt, J., Wheatley, M., Moorcroft, S. and Thompson, M. 1988. *J. Environment Qual.* 226-234.
- Davies, B.E. and Roberts, L.J. 1975. *Environ. Pollut.*, 49-57.
- Davis, R.D. 1983. In *Heavy Metals In The Environment*, Cep Consultants, Edinburgh, 330-337.
- Davis, R.D. and Carlton-Smith, C. 1980. *Crops as Indicators of the Significance of Contamination of Soils by Heavy Metals.*, Tech. Rep. No. 40. Water Research Center, Stevenage, UK.
- Davis, R.D. and Carlton-Smith, C. 1980. *Crops As Indicators Of The Significance Of Contamination Of Soil By Heavy Metals*, Wrc, Stevenage Tr140.
- Davis, R.D., Carlton-Smith, C.H., Stark, J.H. and Campbell, J.A. 1988. *Environmental Pollution*, 99-115.
- De Villarroel, J.R., Chang, A.C. and Amrhein, C. 1993. *Soil Sciences*, 197-205.
- Department Of The Environment. 1993. *Uk Sewage Sludge Survey. Final Report.* Consultants In Environmental Sciences Ltd, Gateshead.
- Duffy, S.J., Hay, G.W., Micklethwaite, R.K. and Van Loon, G.W. 1988. *Sciences Total Environment*, 203-215.
- Edmunds, W.M. and Smedley, P.L. 1996. *Ground Water Geochemistry and Health: An Overview.* *Environmental Geochemistry and Health*; Appleton, J.D., Funge, R., McCall, G.J.H., Eds., Spec.Publ. No. 113. Geological Society of Science: London, 91-105.
- Elliot, H.A. and Denny, C.M. 1982. *J. Environ. Qual.*, 658-662.
- Epstein, S. 1974. *Environment Health Perspective*, 253-323.
- Evans, L.J., Lumsdon, D.G. and Bolton, K.A. 1991. *The Influence Of pH And Chloride On The Retention Of Zinc, Lead, Cadmium And Mercury By Soil*, In *Proc. Technology Transfer Conf. The Multimedia Approach: Integrated Environmental Protection Vol. 1*, Canada, Toronto, 123-130.
- Farrar, H. and Pickering, B. 1977. *Aust. J. Chem.*, 1417-1422.
- Farrar, H. and Pickering, W.F. 1977. *Water, Air And Soil Pollution*, 189-197.
- Fassett, D.W. 1980. In *Metals In The Environment* Ed. Waldron, H.A. Academic Press, London.
- Fergusson, J.E. 1990. *The Heavy Elements: Chemistry, Environmental Impact And Health Effects*, Pergemmon Press, Oxford.
- Fletcher, P. and Beckett, P.H.T. 1987. *Water Resources*, 1163-1172.

- Garcia-Miragaya, J. and Page, A.L. 1978. *Water, Air And Soil Pollution*, 289-299.
- Gerritse, R.G. and Van Driel, W. 1984. *Environ. Qual.*, 197-204.
- Gworek, B. 1992. *Environ. Pollut.*, 269-271.
- Heinrichs, H., Schultz-Dobrick, B. and Wedepohl, K.J. 1980. *Geochemist Cosmochim. Acta.* 1519-1532.
- Hinesly, T.D., Redborg, K.E., Ziegler, E.L. and Alexander, J.D. 1982. *Soil Sciences Soc. Am. J.*, 490-197.
- Hinesly, T.D., Ziegler, E.L. and Barrett, G.L. 1979. *J. Environ. Qual.*, 35-38.
- Holmes, R. 1976. *The Regional Distribution Of Cadmium In England And Wales.* Unpublished Phd Thesis, University Of London.
- Holmgren, C.G.S., Meyer, M.W., Chaney, R.L. and R.B. Daniels, J. 1993. *Environ Qual.* 335-348.
- Hooda, P.S. and Alloway, B.J. 1993. *J. Soil Sci.*, 97.
- Hornberg, V. and Brummer, G.W. 1986. Cadmium Availability In Soils And Content In Wheat. In Anke, M., Braunlein, H., Bruckner, C. And Groppe, B. (Eds) *Fifth Symposium On Lodine And Other Elements*, Schiller University Jena, 916.
- Huang, B., Kuo, S. and Bembenek, R. 2003. Cadmium uptake by lettuce from soil amended with phosphorus and trace element fertilizers. *Water, Air, and Soil Pollution* 147: 109–127. Kluwer Academic Publishers.
- Huang, B., Kuo, S. and Bembenek, R. 2004. Availability of cadmium in some phosphorus fertilizers to field-grown lettuce. *Water, Air, and Soil Pollution* 158: 37–51. Kluwer Academic Publishers.
- Hutton, M. 1982. *Cadmium In The European Community*, Marc Rep. No. 2, Maarc, London.
- Hutton, M. 1987. In *Lead, Mercury, Cadmium And Arsenic In The Environment*, Scope 31, Eds. Hutchinson, T.C. And Meema, K.M. John Wiley, Chichester, 35-41.
- Hutton, M. and Symon, C. 1986. *Science Total Environment*, 129-150.
- In Sung Kim, Kyung Hong Kang, Perry Johnson-Green and Eun Ju Lee. 2003. Investigation of heavy metal accumulation in *Polygonum thunbergii* for phytoextraction. *Environmental Pollution* 126:235–243. Elsevier Ltd.
- Jackson, A.P. and Alloway, B.J. 1992. Transfer Of Cadmium From Soils To The Human Food Chain, In Adriano, D.C., *Biogeochemistry Of Trace Metals*, Lewis Publisher, Baton Rouge, Fla. 109-158.
- Jarvis, S.C. and Jones, L.H.P. 1980. *J. Soil Sciences*, 469-479.



- Jinadasa K. B. P. N., Milham P. J., Hawkins C. A., Cornish P. S., Williams P. A., Kaldor C. J. and Conroy J. P. 1997. Survey of Cadmium Levels in Vegetables and Soils of Greater Sydney, Australia. *Journal of Environmental Quality* v26 p924-33 JI/Ag '97.
- Jing, J. and Logan, T.J. 1992. *Environ. Qual.*, 73-81.
- John, M.K., Van Laerhoven, C.J. and Church, H.H. 1972. *Environ. Sci. Technol.* 1005-1009.
- Jones, K.C., Symon, K.C. and Johnston, A.E. 1987. *Science Total Environment*, 75-90.
- Juste, C. and Mench, M. 1992. Long-Term Application Of Sewage Sludge And Its Effect On Metal Uptake By Crops, In Adriano, D.C., Eds. *Biogeochemistry Of Trace Metals*, Lewis Publishers, Boca Raton, Fla, 159-193.
- Kabata Pendias, A. and Pendias, H. 1992. *Trace Elements In Soils And Plants* 2<sup>nd</sup> Edition, Crc Press, Baton Rouge, Fa.
- Karaca A. 2004. Effect of organic wastes on the extractability of cadmium, copper, nickel, and zinc in soil. *Geoderma* 122: 297-303. Elsevier B.V.
- Kim, K.W. and Thornton, I. 1993. *Environment Geochemistry And Health*, 119-133.
- Kjellstrom, T. 1979. *Environ. Health Persp.*, 169-197.
- Kloke, A., Sauerbeck, D.R. and Vetter, H. 1984. The Contamination Of Plants And Soils With Heavy Metals And Transport Of Metals In Terrestrial Food Chains. In Nriagu, J.O. Ed. *Changing Metal Cycles In Human Health*, Springer Veriag, Berlin, 113-141.
- Knight B., Zhao F.J., McGrath S.P. and Shen Z.G.. 1997. Zinc and cadmium uptake by the hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens* in contaminated soils and its effects on the concentration and chemical speciation of metals in soil solution. *Plant and Soil* 197: 71-78. Kluwer Academic Publishers.
- Korcak, R.F. and Fanning, D.S. 1985. *Soil Sciences*, 23-34.
- Kreis, I.A., Wijga, A. and Van Wijnen, J.H. 1992. *Sciences Total Environ.*, 281-292.
- Legret, M.L., Divet, L. and Juste, C. 1988. *Water Research*, 953-959.
- Levi-Minzi, R., Soldatini, G.F.D. and Riffaldi, R. 1976. *Soil Sciences*, 10-15.
- Little, P. and Martin, M.H. 1972. *Environ. Pollut.*, 159-172.
- Livens, F.R. 1991. *Environmental Pollution*, 183-208.
- Lund, L.J., Betty, E.E., Page, A.L. and Elliott, R.A. 1981. *Environ. Qual.*, 551-556.

- Maas, E.V. and Nieman, R.H. (1978). "Physiology of plant tolerance to salinity." In: *Crop Tolerance to Suboptimal Land Conditions*. G.A. Jung, ed. American Society of Agronomy, Madison, pp. 277-299.
- Maclea, A.J. 1976. *Can. J. Soil.Sci.*, 129-138.
- Mahler, R.J., Bingham, F.T. and Page, A.L. 1978. *Environ. Qual.*, 274-281.
- Marples, A.E. and Thornton, I. 1980. The Distribution Of Cadmium Derived From Geochemical And Industrial Sources In Agricultural And Pasture Herbage In Parts Of Britain. In *Cadmium 1979, Proc. Of Second International Cadmium Conference, Cannes, 1979, Metal Bulletin, London*.
- Mattigod, S.V. and Sposito, G. 1970. In *Chemical Modelling In Aqueous Systems*, Ed. Jemme, A., American Chemical Soc., Washington D.C., 837-856.
- Mcbride, M.B. 1980. *Soil Sciences Soc. Am. J.*, 26-28.
- McBride M.B. 2002. Cadmium uptake by crops estimated from soil total Cd and pH. *Soil Science 0038-075C/02/16701-62-67*. Lippincott Williams & Wilkins, Inc.
- Mcgrath, S.P., Chang, A.C., Page, A.L. and Witter, E. 1994. *Environmental Reviews*.
- Mcgrath, S.P. and Loverland, P.J. 1992. *The Soil Geochemical Atlas Of England And Wales*, Blackie Academic Ad Professional, Glasgow.
- Mcgrath, S.P., Sanders, J.R., Laurie, S.H. and Tancock, N.P. 1986. *Analyst*, 559-565.
- Mcgrath, S.P., Sanders, J.R., Tancock, N.P. and Laurie, S.H. 1984. In *Soil Contamination*, Cep Consultants, Edinburgh, 707-712.
- Mcgrath, S.P., Sidoli, C.M.D., Baker, A.J.M. and Reeves, R.D. 1993. The Potential For Use Of Metal-Accumulating Plants For The In Situ Decontamination Of Metal-Polluted, In *Eijackers, Protection*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Mclaughline, M.J., Maier, N.A., Freeman, K., Tiller, K.G., Willaims, C.M.L. and Smart, M.K. 1994. *Fert. Res.*
- Mclaughline, M.J., Palmer, L.T., Tiller, K.G., Breech, T.A. and Smart, M.K. 1994. *J. Environ. Qual.*
- Mclaughline, M.J., Williams, C.M.J., Mc Kay, A., Kirkham, R. Gunton, J., Jackson, K.J., Thompson, R., Dowling, B., Patrington, D., Smart, M.K. and Tiller, K.G. 1994. *Austr. J. Agric. Res.*
- Mench, M., Didier, V., Gomez, A. and Loffler, M. 1993. *Remediation Of Metal Contaminated Soils In Eijsackers*.
- Merington, G. and Alloway, B.J. 1994. *Applied Geochemistry*.
- Merington, G. and Alloway, B.J. 1994. *Water, Air And Soil Pollution*, 333-334.

- Miller, J.E., Hassett, J.J. and Koepe, D.E. 1976. *Environ. Qual.*, 18-20.
- Millis P.R., Ramsey M.H. and John E.A. 2004. Heterogeneity of cadmium concentration in soil as a source of uncertainty in plant uptake and its implications for human health risk assessment. *Science of the Total Environment* 326: 49–53. Elsevier B V.
- Ministry Of Housing, Physical, Planning And Environment. 1991. Director General For Environmental Protection (Netherlands), *Environmental Standards For Soil And Water*, Leidschendam.
- Mitchell, G.A., Bingham, F.T., Pafe, A.L. and Nash, P. 1978. *J. Environ. Qual.*, 164-171.
- Mohamed H.H., Aibek U. and Ghada J. I. 1999. Growth and uptake of Cd and Zn by *Leucaena leucocephala* in reclaimed soils as affected by NaCl salinity. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 1999, 162, 589-592.
- Möhling H. Karl and Lauchli Andre. 2002. Interaction of NaCl and Cd stress on compartmentation pattern of cations, antioxidant enzymes and proteins in leaves of two wheat genotypes differing in salt tolerance. *Plant and Soil* 253: 219–231, 2003. Kluwer Academic Publishers.
- Moir, A.M. and Thornton, I. 1984. *Environment Geochemical Health*, 113-120.
- Morales, M. and Janick J. 2002. Arugula: A promising specialty leaf vegetable. p. 418–423. In: J. Janick and A. Whipkey (eds.), *Trends in new crops and new uses*. ASHS Press, Alexandria, VA.
- Morgan, H. and Sims, D.L. 1988. *Sci. Total Environ.*, 135-143.
- Mortvedt, J.J. 1987. *Environment Qual.*, 137-142.
- Moustakas, N.K., Akoumianakis, K.A. and Passam, H.C. 2001. Cadmium accumulation and its effect on yield of lettuce, radish and cucumber. *Comm. Soil. Sci. Plant. Anal.* 32: 1793-1802.
- Mulla, D.J., Page, A.L. and Ganje, T.J. 1980. *Environment*, 408-412.
- Naidu, R., Bolan, N.S., Kookana, R.S. And Tiller, K.G. 1994. *European J. Soil Sciences*.
- Neal, R.H. and Sposito, G. 1986. *Soil Sciences*, 164-172.
- Nriagu, J.D. 1988. *Environment Pollution*, 139-161.
- Nriagu, J.E. (Ed) 1980. *Cadmium In The Environment*, 1: Ecological Cycling, John Wiley, New York.
- Nriagu, J.O. 1979. *Nature*, 409-411.

- Nriagu, J.O. and Pacyna, J.M. 1988. *Nature*, 134-139. London.
- Oliver, D.P., Hannam, R., Tiller, K.G., Wilhelm, N.S., Merry, R.H. and Cozens, G.D. 1994. *Environ. Qual.*
- Oliver D.P., Tiller K.G., Alston A.M., Cozens G.D. and Merry R.H. 1998. Effects of soil pH and applied cadmium on cadmium concentration in wheat grain. *Australian Journal of Soil Research*. July-August 1998 v36 n4 p571(13). CSIRO Publishing.
- Oliver, M.A. 1997. Soil and Human Health: A Review. *European J. Soil Sci.*, 48:573-592.
- Pacyna, J.M. 1987. In *Lead, Mercury, Cadmium And Arsenic In The Environment* Scope 31. Eds. Hutchinson, T.C. And Meema, K.M., John Wiley, Chichester, 69-87.
- Page, A.L. and Bingham, F.T. 1973. *Residue Rev.* 1-43.
- Page, A.L., Bingham, F.T. and Chang, A.C. 1981. In *Effect Of Heavy Metal Pollution On Plants*, Vol. 1 Ed. Lepp, N.W. Applied Science, London.
- Page, A.L., Chang, A.C. and Mohamed El-Amamy. 1987. In *Lead, Mercury, Cadmium And Arsenic In The Environment* Scope 31, Eds. Hutchinson, T.C. and Meema, K.M. John Wiley, Chichester, 119-146.
- Παναγιωτόπουλος Α. 2005. Αρδεύσεις – Στραγγίσεις II. Σημειώσεις Τ.Ε.Ι. Μεσολογγίου, Μεσολόγγι.
- Papadopoulos, P. and Rowell, D.L. 1988. *J. Soil Sciences*, 23-36.
- Παπούλιας Θανάσης. 1999. Τα άγρια φαγώσιμα χόρτα του βουνού και του κάμπου. Εκδόσεις Ψύχαλου. σελ. 106 – 107.
- Pasternak, D. 1987. "Salt tolerance and crop production - a comprehensive approach." *Ann. Rev. Phytophathol.* 25:271-291.
- Pasternak, D., Twersky, M. and De Malach, Y. (1979). "Salt resistance in agricultural crops." *Stress Physiology in Crop Plants*. H. Mussel and R.C. Staples, eds. John Wiley and Sons Inc., New York, pp. 127-142.
- Pavlikova D., Pavlik M., Szakova J., Vasickova S., Tlustos P. and Balik J. 2002. The effect of Cd and Zn contents in plants on Fe binding into organic substances of spinach biomass. *ROSTLINNA VYROBA*, 48, 12: 531–535.
- Pepper, I.L., Bedizeck, D.F., Baker, A.S. and Sims, J.M. 1983. *Environ. Qual.*, 270-275.
- Pickering, W. 1980. In *Cadmium In The Environment Part 1 Ecological Cycling*, Ed. Nriagu, J.O. John Wiley, New York, 365-397.
- Pike, E.R., Graham, L.C. and Fogdem, M.W. 1988. *J. Ass. Publ. Analysts*, 48-63.

- Rose, A.W., Hawkes, H.E. and Webb, J.S. 1979. *Geochemistry In Mineral Exploration*, 2<sup>nd</sup> Edn. Academic Press, London.
- Pinto A.P., Mota A.M., A. de Varennes and Pinto F.C. 2004. Influence of organic matter on the uptake of cadmium, zinc, copper and iron by sorghum plants. *Science of the Total Environment* 326 239-247. Elsevier B.V.
- Ramos I., Esteban E., Lucena J.J. and Garate A. 2002. Cadmium uptake and subcellular distribution in plants of *Lactuca* sp. Cd – Mn interaction. *Plant Science* 162: 761-767. Elsevier Science Ireland Ltd.
- Renkou Xu, Anzhen Zhao, Qingman Li, Xiaoling Kong and Guoliang Ji. 2003. Acidity regime of the Red Soils in a subtropical region of southern China under field conditions. *Geoderma* 115 (2003) 75– 84. Available online at [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)
- Reuss, J.O., Dooley, H.L. and Griffiss, W. 1978. *Environ. Qual.*, 128-133.
- Rush, D.W. and Epstein, E. 1981. "Breeding and selection for salt tolerance by the incorporation of wild germplasm into a domestic tomato." *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 106:699-704.
- Ryan, J.A. 1987. Eds. *Land Application Of Sludge: Food Chain Implication*, Lewis Publishers, Chelsea, M.I., 25-27.
- Ryan, J.A., Pahren, H.R. and Lucas, J.B. 1982. *Environ. Res.*, 251-302.
- Savvas and Adamidis. 1999. Automated management of nutrient solutions based on target electrical conductivity, pH, and nutrient concentration ratios. *Journal of plant Nutrition*, 22: 1415-1432.
- Sims, D.L. and Morgan, H. 1988. *Sci. Total Environ.*, 1-10.
- Smilde, K.W., Van Luit, B. and Van Driel, W. 1992. *Plant And Soil*, 233-238.
- Sommers, L.W. 1977. *J. Environ. Qual.*, 225-232.
- Spivey Fox, M.R. 1988. *Environ. Qual.*, 175-180.
- Sposito, G. 1983. In *Applied Environmental Geochemistry*, Ed. Thornton, I., Academic Press, New York, 123-170.
- Sposito, G. and Page, A.L. 1984. In *Metal Ions In Biological Systems*, Ed. Sigel, H., Marcal Dekker, New York.
- Stevenson, F.J. 1976. *Soil Sciences Soc. Am.*, 665-672.
- Street, J., Lindsay, W.L. and Sabey, B.R. 1977. *Environ. Qual.*, 72-77.
- Syvertsen, J.P. and Yelenosky, G. 1988. "Salinity can enhance freeze tolerance of citrus rootstock seedlings by modifying growth, water relations, and mineral nutrition." *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 113:889-893.

- Thornton, I. 1992. Sources And Pathways Of Cadmium In The Environment. In Nordberg, G.F., Alessio, L. and Herber, R.F.M. 1992. Cadmium In The Human Environment, International Agency For Research On Cancer, Lyon.
- Tiller, K.G. 1989. Advances In Soil Science, 113-142.
- Tiller, K.G. 1989. Heavy Metals in Soils and Their Environmental Significance. *Sdv. Soil Sci.*, 9: 113-142.
- Tills, A.R. and Alloway, B.J. 1983. *J. Soil Sciences*, 769-781.
- Tjell, J.C., Christensen, T.H. and Bro-Rasmussen, B. 1983. *Ecotoxicology And Environmental Safety*, 122-140.
- Turner, M.A., 1977. *Environ. Qual.*, 118-119.
- Tyler ,G. 1981. *Water, Air And Soil Pollution*, 353.
- Ure, A.M. and Berrow, M.L. 1982. In *Environmental Chemistry*, Ed. Bowen, London.
- Wagner, G.J. 1993. Accumulations of Cadmium in Crop Plants and its Consequences to Human Health. *Adv. Agron.*, 51: 173-213.
- WHO. 1973. *Trace Elements in Human Nutrition*, Tech. Rep. No. 532. World Health Organization, Geneva.
- WHO. 1996. *Trace Elements in Human Nutrition*, World Health Organization, Geneva.
- Williams, C.H. and David, D.J. 1973. *Aust. J. Soil Res.*, 43-56.
- Williams, C.R. and Harrison, R.M. 1984. *Experientia*, 29-36.
- Williams, D.E., Vlamis, J., Pukite, A.H. and Corey, J.E. 1987. *Soil Science*.
- Williams, J.H. 1975. *Water Pollution Control*, 635-642.
- Wong J.W.C., Wong W.W.Y., Wei Z. and Jagadeesan H. 2004. Alkaline biosolids and EDTA for phytoremediation of an acidic loamy soil spiked with cadmium. *Science of the Total Environment* 324: 235-246. Elsevier B.V.
- World Resources Institute Press. 1992. *World Resources 1992/1993*, Oxford University Press, New York.
- Yamagata, N. 1978. *Cadmium In The Environment And Humans*.
- Yost, K.J. and Miles, L.J. 1979. *Environmental Sciences Health*, 285-311.

### **Πηγές από το Internet**

- D' Anna F., Miceli A. and Vetrano F.. First results of floating systemcultivation of *Eruca Sativa L.*, *ISHS Acta Horticulturae* 609: International Symposium on

Managing Greenhouse Crops in Saline Environment.

javascript:createWindow('http://www.actahort.org/members/citation?tocite=609\_54','ActaCitation','height=200,width=480,resizable,scrollbars')

Ferrante A., Incrocci L., Maggini R., Tognoni F. and Serra G.. Preharvest and postharvest strategies for reducing nitrate content in rocket (*Eruca Sativa*). ISHS Acta Horticulturae 628: XXVI International Horticultural Congress: Issues and Advances in Postharvest Horticulture.

javascript:createWindow('http://www.actahort.org/members/citation?tocite=628\_18','ActaCitation','height=200,width=480,resizable,scrollbars')

Miceli A., Moncada A. and D'Anna F. Effect of water salinity on seeds-germination of *Ocimum Basilicum* L., *Eruca Sativa* L., and *Petroselinum Hortense* Hoffm.. ISHS Acta Horticulturae 609: International Symposium on Managing Greenhouse Crops in Saline Environment.

Javascript:createWindow('http://www.actahort.org/members/citation?tocite=609\_55','ActaCitation','height=200,width=480,resizable,scrollbars')

Nicola S., Hoeberechts J. and Fontana E. Rocket (*Eruca Sativa* Mill.) and Corn Salad (*Valerianella Olitoria* L.): production and shelf-life of two leafy vegetables grown in a soilless culture system. ISHS Acta Horticulturae 633: XXVI International Horticultural Congress: Protected Cultivation 2002: In Search of Structures, Systems and Plant Materials for Sustainable Greenhouse Production,

javascript:createWindow('http://www.actahort.org/members/citation?tocite=633\_64','ActaCitation','height=200,width=480,resizable,scrollbars').