

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ (Τ.Ε.Ι.) ΜΕΣΣΟΛΟΓΓΙΟΥ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ  
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ & ΥΔΑΤΙΝΩΝ ΠΟΡΩΝ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Θέμα: Προσρόφηση καδμίου υπό συνθήκες υψηλής  
αλατότητας σε φυτά αντιδιού (*Cichorium Endivia L.*)**



**Σπουδαστές: Κουμανιώτης Δημήτριος  
Σούλης Ιωάννης**

**Εισηγητής: Δρ. Μπαρούχας Π.  
Κουλόπουλος Αθ.**

**ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2008**

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ</b> .....	6
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup></b> .....	7
<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	7
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup></b> .....	9
<b>ΚΑΔΜΙΟ</b> .....	9
2.1. ΓΕΝΙΚΑ.....	9
2.1.1. Γενικά για το Cd και το ρόλο του στη φυσιολογία του φυτού.....	11
2.1.2. Η παρουσία του Cd στη λιθόσφαιρα και στο έδαφος.....	12
2.1.3. Ανθρωπογενείς επεμβάσεις, που επηρεάζουν την παρουσία Cd στα εδάφη.....	13
2.2. Η ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΟΥ Cd ΣΤΑ ΕΔΑΦΗ.....	13
2.2.1. Το Cd του εδαφικού διαλύματος.....	14
2.2.2. Το Cd της στερεής φάσεως των εδαφών.....	16
2.2.3. Cd έγκλειστο στα οξείδια και στα ανθρακικά άλατα.....	17
2.2.4. Cd συνδεδεμένο με την οργανική ουσία.....	18
2.3. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΥ Cd ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ.....	19
2.3.1. Κλασμάτωση των μορφών Cd στη στερεή φάση.....	20
2.4. ΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ, ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΠΡΟΣΛΗΨΗ ΤΟΥ Cd ΑΠΟ ΤΑ ΦΥΤΑ.....	21
2.4.1. Ιδιότητες του εδάφους.....	21
2.4.2. Η περιεκτικότητα των εδαφών σε Cd.....	22
2.4.3. Το pH του εδάφους.....	22
2.4.4. Τα οργανικά οξέα μικρού Μ.Β. ως εκκρίσεις των ριζών.....	24
2.4.5. Η παρουσία ανταγωνιστικών κατιόντων.....	26
2.5. ΦΥΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ.....	27
2.6. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ.....	28
2.7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΙΚΑ ΣΧΟΛΙΑ.....	30

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup></b> .....	33
<b>ΓΕΝΙΚΑ</b> .....	33
3.1. ΑΛΑΤΟΤΗΤΑ.....	35
3.1.1. Αλάτωση εδαφών. Αλάτωση εξαιτίας της γεωγραφικής θέσης και της τοπογραφίας.....	37
3.1.2. Αλάτωση των εδαφών με το νερό άρδευσης .....	39
3.2. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΑΛΑΤΟΥΧΩΝ ΕΔΑΦΩΝ.....	39
3.2.1. Κατηγορίες αλατούχων εδαφών .....	40
3.3. ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΑΡΔΕΥΣΗΣ. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΑΡΔΕΥΣΗΣ. ....	41
3.4. ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΔΗΜΙΟΥΡΓΟΥΝΤΑΙ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΕΔΑΦΩΝ.....	51
3.4.1. Η επίδραση των αλάτων ενός αλατούχου εδάφους στις φυσικές ιδιότητες του εδάφους .....	52
3.4.2. Δυσμενείς συνέπειες της αλατότητας στα φυτά.....	54
3.4.3. Η ανθεκτικότητα διάφορων φυτών στα άλατα .....	58
3.5. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΑΛΑΤΟΥΧΩΝ ΚΑΙ ΑΛΚΑΛΙΩΜΕΝΩΝ (ΜΕ ΝΑΤΡΙΟ) ΕΔΑΦΩΝ .....	61
3.5.1. Στράγγιση .....	62
3.5.2. Κατανομή των αλάτων στο έδαφος σε σχέση με τη μέθοδο άρδευσης των καλλιεργούμενων φυτών.....	64
 <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup></b> .....	 67
<b>ΑΝΤΙΔΙ</b> .....	67
4.1. ΓΕΝΙΚΑ.....	67
4.2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΦΥΤΟΥ.....	67
4.3. ΚΛΙΜΑ.....	69
4.4. ΣΠΟΡΑ ΚΑΙ ΦΥΤΕΥΣΗ.....	69
4.5. ΑΛΛΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ .....	70
4.6. ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ – ΑΠΟΔΟΣΗ – ΔΙΑΤΗΡΗΣΗ.....	71
4.7. ΠΟΙΚΙΛΙΕΣ.....	71
4.8. ΒΕΛΤΙΩΣΗ .....	73
4.9. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΟΥ ΣΠΟΡΟΥ .....	73

4.10. ΦΥΤΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΣΥΝΘΕΤΩΝ.....	74
4.11. ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΓΙΑ ΤΑ ΑΝΤΙΔΙΑ ΚΑΙ ΤΑ ΠΛΑΤΥΦΥΛΛΑ	
ΑΝΤΙΔΙΑ .....	76
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup></b> .....	80
<b>ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ – ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ</b> .....	80
5.1. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	80
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup></b> .....	92
<b>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ</b> .....	92
6.1. ΤΟ ΜΗΚΟΣ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟΝ ΧΡΟΝΟ.....	106
6.2. ΜΑΖΑ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ ΑΝΑ ΜΕΤΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΑΔΜΙΟΥ ΚΑΙ	
ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ.....	107
6.2.1. Νωπή και ξηρή μάζα των βλαστών ανά μεταχείριση καδμίου και	
αλατότητας .....	107
6.2.2. Νωπή και ξηρή μάζα των ριζών ανά μεταχείριση καδμίου και αλατότητας.....	110
6.3. Η ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ ΣΕ Cd.....	113
6.3.1. Εβδομάδα 1 <sup>η</sup> .....	114
6.3.2. Εβδομάδα 4 <sup>η</sup> .....	116
6.3.3. Εβδομάδα 5 <sup>η</sup> .....	118
6.4. Η ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ ΣΕ Ca, Na και K.....	122
6.4.1. Περιεκτικότητα σε Ασβέστιο.....	123
6.4.1.1. Εβδομάδα 1 <sup>η</sup> .....	123
6.4.1.2. Εβδομάδα 2 <sup>η</sup> .....	125
6.4.1.3. Εβδομάδα 3 <sup>η</sup> .....	127
6.4.1.4. Εβδομάδα 4 <sup>η</sup> .....	129
6.4.1.5. Εβδομάδα 5 <sup>η</sup> .....	131
6.4.2. Περιεκτικότητα σε Na.....	135
6.4.2.1. Εβδομάδα 1 <sup>η</sup> .....	135
6.4.2.2. Εβδομάδα 2 <sup>η</sup> .....	137
6.4.2.3. Εβδομάδα 3 <sup>η</sup> .....	139
6.4.2.4. Εβδομάδα 4 <sup>η</sup> .....	141
6.4.2.5. Εβδομάδα 5 <sup>η</sup> .....	143

6.4.3. Περιεκτικότητα σε Κ. ....	147
6.4.3.1. Εβδομάδα 1 <sup>η</sup> .....	147
6.4.3.2. Εβδομάδα 2 <sup>η</sup> .....	149
6.4.3.3. Εβδομάδα 3 <sup>η</sup> .....	151
6.4.3.4. Εβδομάδα 4 <sup>η</sup> .....	153
6.4.3.5. Εβδομάδα 5 <sup>η</sup> .....	155
6.6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	159
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>162</b>

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

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 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. Ηπείρου στην Άρτα που μας διέθεσε χώρο και εξοπλισμό του για την ανάλυση των δειγμάτων.

Τέλος, ευχαριστούμε τους γονείς μας και τους φίλους μας Χατζιμιχάλη Γιώργο και Θεοδωράκη Τζίνα, για την ηθική και υλική βοήθεια που μας πρόσφεραν κατά την διάρκεια των σπουδών μας.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

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 (Warner, G. J. 1993). Η ρύπανση των εδαφών με κάδμιο έχει αυξηθεί κατά τη διάρκεια του 20<sup>ου</sup> αιώνα λόγω των μεταλλείων και της επικάθισης 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 απορροφάτε από ένα μεγάλο αριθμό εδάδιμων φυτών (Bingham, 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; Jackson, Alloway). Το συνολικό ποσό του καδμίου που απορροφάτε από τα φυτά εξαρτάται από τη συνολική συγκέντρωσή του στο έδαφος και τη διαθεσιμότητα 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 συσσώρευση του στους φυτικούς ιστούς ποικίλει ανάλογα με το είδος του φυτού, τον τρόπο καλλιέργειας και τους οργανισμούς (Oliver, 1997). Οι Davis και 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 συσσωρεύετε 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, Akoumiakis et al., 2006) έχουν γίνει προκειμένου να μελετηθεί η επίδραση αυξανόμενων ποσοτήτων Cd στη συσσώρευσή 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.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>

### ΚΑΔΜΙΟ

#### 2.1. ΓΕΝΙΚΑ

Είναι σχετικά νέο μέταλλο, ανακαλύφθηκε το 1818 από το Γερμανό μεταλλουργό Strohmeyer (το κάδμιο οφείλει το όνομα του στο ότι ανακαλύφθηκε στην καδμεία γη). Υπάρχει σε διάφορες ποσότητες στον αέρα, στο νερό και στις τροφές. Η παραγωγή του καδμίου άρχισε το 1928 στην Άνω Σικελία μια περιοχή της Κεντρικής Ευρώπης η οποία αργότερα μοιράστηκε μεταξύ της Πολωνίας, της Τσεχοσλοβακίας και της Γερμανίας. Η παραγωγή στις Η.Π.Α. άρχισε το 1907 και από τότε αυξάνει σταθερά. Το 1979 η ετήσια ποσότητα καδμίου που εισερχόταν στο περιβάλλον υπολογίστηκε ότι ήταν περίπου 2000 – 5000 τόνοι περίπου. Το 10<sup>-5</sup>% του γήινου φλοιού αποτελείται από κάδμιο, το οποίο βρίσκεται κυρίως σε ορυκτά θειούχου καδμίου (Cds) και στα μεταλλεύματα ψευδαργύρου, σφαλερίτη και σμισθονίτη.

Το κάδμιο είναι σχετικά, μαλακό και λαμπερό μέταλλο. Όταν πυρωθεί στον αέρα καίγεται με φωταύγεια. Η χημική συμπεριφορά του καδμίου, είναι ανάλογη με εκείνη του ψευδαργύρου. Το κάδμιο συνυπάρχει στα ορυκτά του ψευδαργύρου. Καθαρά ορυκτά ψευδαργύρου είναι πολύ σπάνια.

Η *μεταλλουργία του καδμίου* συνίσταται, ουσιαστικά, στην απομάκρυνση του Cd από τα ορυκτά του ψευδαργύρου. Η απομάκρυνση αυτή μπορεί να γίνει με προσθήκη Zn στο διάλυμα που προκύπτει μετά την κατεργασία των ορυκτών του Zn με H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Μπορεί, όμως, το Cd να απομακρυνθεί από τον Zn - από το κράμα Zn-Cd - και με τη μέθοδο της κλασματικής αποστάξεως.

Το κάδμιο είναι πολύ τοξικό. Ευτυχώς, με ουσίες που έχουν κάδμιο ο άνθρωπος έρχεται σπάνια σε επαφή. Το κίτρινο χρώμα των διαφόρων πήλινων δοχείων είναι, κυρίως, θειούχο κάδμιο.

Το κάδμιο είναι μέταλλο, που ανήκει στην ομάδα ΙΙΒ του Περιοδικού Πίνακα και με βάση την πυκνότητά του (8,642 g/m L), κατατάσσεται στα βαρέα μέταλλα. Δεν συμμετέχει σε καμία λειτουργία των ζωντανών οργανισμών και είναι ιδιαίτερα τοξικό, όταν μέσω της τροφικής αλυσίδας μεταφέρεται στον άνθρωπο.

Η παρουσία του Cd στα γεωργικά οικοσυστήματα αποδίδεται στη χρήση των φωσφορικών λιπασμάτων, στα οποία το Cd αποτελεί συστατικό της πρώτης ύλης παραγωγής τους και σχετικά πρόσφατα στη χρήση των αστικών αποβλήτων ως λιπασμάτων και εδαφοβελτιωτικών (Adriano,1986).

Τα φυτά προσλαμβάνουν το Cd από το εδαφικό διάλυμα, στο οποίο η συγκέντρωσή του είναι της τάξης των  $2 \cdot 10^{-4}$  έως  $6 \cdot 10^{-3}$   $\mu\text{g}/\text{m L}$ . Το Cd του εδαφικού διαλύματος αναπληρώνεται από τα αποθέματα Cd, στη στερεή φάση του εδάφους και συνεπώς για την πληρέστερη κατά το δυνατόν περιγραφή της συμπεριφοράς του πρέπει να έχουμε πληροφορίες τόσο για τις μορφές του Cd στο εδαφικό διάλυμα όσο και για αυτές της στερεής φάσεως, αλλά και των μηχανισμών συγκράτησής του από τα στερεά συστατικά του εδάφους.

Σύμφωνα με τους Sauve et al (2002) and Alloway (1995), η τοξική δράση ενός μετάλλου προσδιορίζεται περισσότερο από τη χημική μορφή, που αυτό απαντά στο εδαφικό διάλυμα, παρά από τη συγκέντρωσή του σε αυτό. Η σημαντικότερη χημική μορφή του Cd στο εδαφικό διάλυμα είναι το + εφυδατωμένο κατιόν  $\text{Cd}^{2+}$  και με μικρότερη συμμετοχή τα ιονικά ζεύγη  $\text{CdCl}$ ,  $\text{CdOH}$ ,  $\text{CdHCO}_3$ ,  $\text{CdSO}_4$  και τα σύμπλοκα που το Cd σχηματίζει με ουσίες που εκκρίνουν οι ρίζες (π.χ. οργανικά οξέα μικρού μοριακού βάρους) αλλά και οι χημικές ενώσεις που σχηματίζει με τα υδατοδιαλυτά χουμικά ή φουλβικά οξέα.

Ορισμένες έρευνες έδειξαν ότι τα μικρού μοριακού βάρους οργανικά οξέα παίζουν σημαντικό ρόλο στην διαθεσιμότητα και τελικά στην πρόσληψη του Cd από τα φυτά.

Οι μορφές-κλάσματα Cd στα εδάφη, σε συνδυασμό με τη μελέτη της συγκρατήσεως του Cd από τη στερεή φάση των εδαφών, έχουν επίσης χρησιμοποιηθεί για την ερμηνεία της συμπεριφοράς του Cd στα εδάφη. Τα διάφορα κλάσματα Cd εκτιμώνται με την διαδικασία της διαδοχικής εκχύλισης με διαφορετικά εκχυλιστικά, ενώ η συγκράτηση του με την χρήση ισοθέμων προσρόφησης (Alloway,1995).

Το Cd του εδαφικού διαλύματος, οι διαθέσιμες ποσότητες, τα κλάσματα, η συγκράτηση από την στερεή φάση και κατά συνέπεια η πρόσληψη από τα φυτά επηρεάζονται από παράγοντες όπως οι φυσικοχημικές ιδιότητες του εδάφους και αγρονομικές πρακτικές, όπως η άρδευση, η λίπανση, η ασβέστωση κ.α. (Lugon-Moulin et al., 2004). Μεταξύ των φυσικοχημικών ιδιοτήτων του εδάφους, κυρίαρχη θέση στην πρόσληψη του Cd από τα φυτά κατέχουν η περιεκτικότητα των εδαφών σε

Cd και το pH (Wagner, 1993), ενώ μικρότερη σημασία έχουν η περιεκτικότητα σε οργανική ουσία, η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων και η παρουσία ανταγωνιστικών κατιόντων (Ryan et al., 1982; Davis, 1984).

### **2.1.1. Γενικά για το Cd και το ρόλο του στη φυσιολογία του φυτού**

Το Cd είναι μέταλλο, με ατομικό βάρος 112,40, πυκνότητα 8,642 g/mL και σημείο τήξεως τους 320,9°C. Ανήκει στην ομάδα IIB του Περιοδικού Πίνακα και με βάση το ειδικό βάρος ταξινομείται στα βαρέα μέταλλα (Adriano, 1986).

Είναι σχετικά σπάνιο μέταλλο και κατατάσσεται στην 67η θέση αφθονίας μεταξύ των στοιχείων στο στερεό φλοιό της γης (Alloway, 1995).

Το Cd ανακαλύφθηκε το 1817 από τον Γερμανό χημικό F. Strohmayer αλλά δεν αξιοποιήθηκε εμπορικά έως το τέλος του 19ου αιώνα, οπότε η χρήση του αρχίζει να επεκτείνεται. Χαρακτηρίζεται ως μέταλλο της σύγχρονης εποχής και μερικές από τις πολλές εφαρμογές του είναι στη βιομηχανία ηλεκτρονικών, σε χρώματα και ως σταθεροποιητής πολυμερών (Alloway, 1995).

Το Cd δεν συμμετέχει σε καμία βιολογική λειτουργία και συνεπώς δεν ανήκει στα απαραίτητα για τα φυτά θρεπτικά στοιχεία. Αν και όπως υποστηρίζεται από μερικούς ερευνητές (Gupta and Gupta, 1998), δεν είναι τοξικό για τα φυτά, εν τούτοις η συσσώρευσή του σε μεγάλες ποσότητες σε αυτά το καθιστά τοξικό για τα ζώα και τον άνθρωπο, στον οποίο τελικά μεταφέρεται μέσω της τροφικής αλυσίδας.

Άλλοι ερευνητές ωστόσο, (Hernandez et al., 1996; Barcelo et al., 1986, Obata et al., 1996), θεωρούν ότι το Cd δρά τοξικά και στα διάφορα φυτικά είδη, καθώς έχει αναφερθεί ότι: α) μειώνει την απορρόφηση των νιτρικών με απενεργοποίηση του ενζύμου νιτρική ρεδοκτάση, β) προκαλεί δραστική μείωση στο άνοιγμα των στοματίων, γ) μειώνει την κανονική ανταλλαγή των ιόντων  $H^+/K^+$ , καθώς και τη δραστηριοποίηση της μεμβράνης του πλάσματος και δ) μειώνει τη δράση διαφόρων άλλων ενζύμων. Οι Aery και Jagetina (1997), αναφέρουν ότι σχετική τοξικότητα θεωρείται η συγκέντρωση εκείνη του Cd στο έδαφος (εκχύλιση με DTPA), η οποία επιφέρει μείωση στην ανάπτυξη των ριζών και των φυτικών ιστών σε σχέση με το μάρτυρα κατά 10%. Οι παραπάνω ερευνητές σε πειράματα με φυτά κριθαριού βρήκαν ότι το επίπεδο τοξικότητας του εκχυλιζόμενου με DTPA Cd ήταν 1 μg/gr εδάφους για τις ρίζες του κριθαριού και 1,5 μg/gr για τους βλαστούς. Σε αντίστοιχα πειράματα οι Reed and al. (1999), βρήκαν ότι η αύξηση της συγκεντρώσεως Cd σε

θρεπτικό διάλυμα, στο οποίο αναπτύχθηκαν τεύτλα, είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση της βιομάζας κατά 31,39 και 47% για τις ρίζες, τα φύλλα και τα στελέχη αντίστοιχα. Οι Evangelou and al. (2004), σε πειράματα με φυτά καπνού, βρήκαν ότι συγκεντρώσεις  $Cd > 10 \mu\text{g}/\text{gr}$  ξηρής ουσίας, προκάλεσαν ορατά συμπτώματα τοξικότητας στα φύλλα του καπνού, όπως χλωρώσεις και νεκρώσεις.

Όσον αφορά στο κρίσιμο επίπεδο της συγκεντρώσεως Cd σε φυτικούς ιστούς, πάνω από το οποίο υπάρχουν ενδείξεις για τοξική δράση, οι Macnicol and Beckett (1985), αναφέρουν το επίπεδο των  $5 \mu\text{g Cd}/\text{gr}$  ξηρής ουσίας και ο Forstner (1995), το επίπεδο  $5\text{-}10 \mu\text{g Cd}/\text{gr}$  ξηρής ουσίας.

### **2.1.2. Η παρουσία του Cd στη λιθόσφαιρα και στο έδαφος**

Τα θειούχα ορυκτά και η παρουσία τους στα πετρώματα αποτελούν τη βασική πηγή Cd στη λιθόσφαιρα και τα εδάφη. Σύμφωνα με τους Kabata - Pendias and Pendias (2001), η συγκέντρωση Cd των πυριγενών και ιζηματογενών πετρωμάτων δεν είναι μεγαλύτερη από  $0,3 \mu\text{g}/\text{gr}$  ενώ άλλοι (Alloway, 1995), αναφέρουν, ότι στα πυριγενή και μεταμορφωσιγενή πετρώματα η περιεκτικότητα σε Cd κυμαίνεται μεταξύ  $0,02$  και  $0,2 \mu\text{g}/\text{gr}$  και στα ιζηματογενή είναι μεγαλύτερη και κυμαίνεται μεταξύ  $0,1$  και  $25 \mu\text{g}/\text{gr}$ .

Εκτός όμως από τη σπουδαιότητα των μητρικών πετρωμάτων και των διαδικασιών της εδαφογενέσεως, στην παρουσία του Cd στα εδάφη, πολύ σημαντικό ρόλο σε αυτήν και μάλιστα αυξανόμενο τις τελευταίες δεκαετίες, παίζει η δραστηριότητα του ανθρώπου, ως αποτέλεσμα των ανθρωπογενών επεμβάσεων στα οικοσυστήματα.

Η εκπομπή καπνού από μεταλλεία εξορύξεως Zn, που περιέχει οξείδια Zn και Cd, καθώς και η σκόνη, η προερχόμενη από την τριβή με το δρόμο, των ελαστικών των αυτοκινήτων τα οποία περιέχουν  $20\text{-}70 \mu\text{g}/\text{gr Cd}$ , είναι κατά τον Mortvedt 1972, παραδείγματα επιβαρύνσεως των εδαφών με Cd εξαιτίας ανθρωπογενών δραστηριοτήτων. Επίσης είναι γενικά αποδεκτό ότι οι μορφές των μετάλλων αλλά και του Cd, οι προερχόμενες από ανθρωπογενείς δραστηριότητες, όπως για παράδειγμα η χρήση ιλύος αστικών και βιομηχανικών αποβλήτων στη γεωργία, είναι περισσότερο υδατοδιαλυτές και συνεπώς περισσότερο διαθέσιμες για τα φυτά (Naidu et al., 1997; Mulchi et al., 1991; Bell et al., 1988).

### **2.1.3. Ανθρωπογενείς επεμβάσεις, που επηρεάζουν την παρουσία Cd**

#### **στα εδάφη.**

Όσον αφορά την περιεκτικότητα των εδαφών σε Cd, ο Adriano (1986), αναφέρει ότι στα εδάφη η περιεκτικότητα σε Cd δεν υπερβαίνει το 1 μg/gr εδάφους. Οι Kabata-Pendias and Pendias (2001), αναφέρουν ότι κυμαίνεται μεταξύ 0,06-1,1 μg/gr εδάφους με μέση τιμή 0,53 μg/gr εδάφους. Περιεκτικότητες Cd στα εδάφη μεγαλύτερες από αυτές που προαναφέρθηκαν, αποδίδονται στην επιβάρυνση των εδαφών από ανθρωπογενείς δραστηριότητες και κυρίως από τη χρήση φωσφορικών λιπασμάτων σε ποσοστό 54-58% , από τις ατμοσφαιρικές αποθέσεις σε ποσοστό 39-41% και τέλος από τη χρήση στη γεωργία της ιλύος βιομηχανικών και αστικών λυμάτων σε ποσοστό 2-5% (Alloway, 1995). Οι He and Singh (1994), διαπίστωσαν ότι η χρήση λιπασμάτων, τα οποία περιείχαν υψηλή περιεκτικότητα Cd, σε καλλιέργειες βρώμης, καρότου, rye-grass (*Lolium perenne*, L.) και σπανακιού, είχαν ως αποτέλεσμα την αύξηση της συγκεντρώσεως του Cd στις καλλιέργειες αυτές. Οι Jeng and Singh (1995), αξιοποιώντας δεδομένα από πολυετές (70ετές) πείραμα λιπάνσεως rye-grass στη Νορβηγία έδειξαν, ότι η ετήσια αύξηση στην λιπάνση κυμαίνονταν μεταξύ 0,04 και 0,12%.

Τέλος οι Semu and Singh (1996), σε έρευνα-επισκόπηση εδαφών, που καλλιεργούνταν με καπνό, διαπίστωσαν ότι οι περιοχές που δέχθηκαν τις υψηλότερες δόσεις λιπασμάτων και χαλκούχων μυκητοκτόνων ήταν εκείνες, οι οποίες εμφάνιζαν αύξηση στη συγκέντρωση του Cd στα φύλλα του καπνού.

## **2.2. Η ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΟΥ Cd ΣΤΑ ΕΔΑΦΗ**

Ως γνωστόν το εδαφικό διάλυμα αποτελεί τη βασική πηγή τροφοδοσίας των φυτών για το σύνολο των στοιχείων, θρεπτικών και μη. Συνεπώς η χημική συμπεριφορά του Cd στα εδάφη και ειδικότερα οι χημικές μορφές με τις οποίες εμφανίζεται το Cd στο εδαφικό διάλυμα έχει ιδιαίτερη σημασία για την πρόσληψή του από τα φυτά.

Επιπλέον οι μορφές, με τις οποίες το Cd, εμφανίζεται στη στερεή φάση παίζουν καθοριστικό ρόλο στη διαθεσιμότητα και συνεπώς στην πρόσληψη του στοιχείου από τα φυτά.

### 2.2.1. Το Cd του εδαφικού διαλύματος

Η συγκέντρωση του εδαφικού διαλύματος των εδαφών σε Cd κυμαίνεται σε επίπεδα, της τάξεως των  $2 \cdot 10^4$ - $6 \cdot 10$   $\mu\text{g/ml}$ . Συγκεντρώσεις 0,3-0,4  $\mu\text{g/ml}$  αναφέρονται σε περιπτώσεις εδαφών, που έχουν ρυπανθεί με Cd (Kabata Pendias and Pendias, 2001). Ο Wagner (1993), αναφέρει ότι σε μη ρυπασμένα εδάφη η συγκέντρωση του Cd στο εδαφικό διάλυμα κυμαίνεται μεταξύ 4,5-10 και 0,035  $\mu\text{g/ml}$  ενώ σε ρυπασμένα εδάφη μεταξύ 0,035 και 0,11  $\mu\text{g/ml}$ .

Καθώς η διαθεσιμότητα και συνεπώς η πιθανή τοξική δράση του Cd εξαρτάται κυρίως από τις χημικές μορφές και όχι τόσο από τη συγκέντρωσή του (Sauve et al., 2000, Alloway, 1995), ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι μορφές, με τις οποίες το Cd εμφανίζεται στο εδαφικό διάλυμα. Η μορφή που κυριαρχεί στο διάλυμα των περισσότερων εδαφών είναι το ελεύθερο ιόν,  $\text{Cd}^{2+}$ .

Πέραν της βασικής αυτής μορφής, το Cd στο εδαφικό διάλυμα απαντάται και με τη μορφή ιονικών ζευγών. Τα κυριότερα από τα ιονικά ζεύγη σε υδατικά - διαλύματα είναι οι υδροξυλιωμένες μορφές Cd όπως,  $\text{CdOH}^+$ ,  $\text{Cd}(\text{OH})_3$ ,  $\text{Cd}(\text{OH})_4^{2-}$ , ενώ σε διαλύματα ηλεκτρολυτών, όπως το εδαφικό διάλυμα, κυριαρχούν τα ιονικά ζεύγη  $\text{CdCl}$ ,  $\text{CdCl}_2$ ,  $\text{CdCl}_3$ ,  $\text{CdCl}_4$ ,  $\text{CdSO}_4$  και  $\text{CdHCO}_3^+$ .

Η μικροβιακή δραστηριότητα των εδαφών θεωρείται ότι παίζει ένα σημαντικό ρόλο στη χημική συμπεριφορά του Cd. Οι Isenbeck et al. (1987), παρατήρησαν ότι η αύξηση των ανθρακικών ανιόντων στο εδαφικό διάλυμα εξαιτίας της δράσεως των μικροοργανισμών οδήγησε σε ολική ιζηματοποίηση και συνεπώς ακινητοποίηση του Cd. Την ίδια παρατήρηση υποστήριξε σε έρευνά του και ο Christensen (1984).

Το pH του εδαφικού διαλύματος καθορίζει την παρουσία του Cd στο διάλυμα, τόσο με τη μορφή του ελεύθερου ιόντος όσο και με τη μορφή των ιονικών ζευγών. Ως κρίσιμη τιμή οξύτητας του εδαφικού διαλύματος των ανόργανων εδαφών θεωρείται η περιοχή μεταξύ 4,0 και 4,5 αφού μία μικρή μείωση της τιμής κατά 0,2 μονάδες, μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση της συγκεντρώσεως του Cd κατά 3-5 φορές (Kabata-Pendias, 2001). Οι Sposito and Page (1984), βρήκαν ότι σε όξινα εδάφη στο εδαφικό διάλυμα κυριαρχούν κατά σειρά φθίνουσας αφθονίας, το ιόν  $\text{Cd}^{2+}$  και τα ιονικά ζεύγη  $\text{CdSO}_4$ ,  $\text{CdCl}$  + ενώ σε αλκαλικά εδάφη το ιόν  $\text{Cd}^{2+}$  και τα ιονικά ζεύγη  $\text{CdCl}$ ,  $\text{CdSO}_4$ ,  $\text{CdHCO}_3$ . Οι Tills and Alloway (1983), σε εδάφη ρυπασμένα με Cd, βρήκαν ότι σε όξινες τιμές pH το ιόν,  $\text{Cd}^{2+}$  είναι κυρίαρχο στο εδαφικό διάλυμα, ενώ αντίθετα σε τιμές pH  $0 > 6,5$  κυρίαρχα είναι τα ουδέτερα ιονικά ζεύγη  $\text{CdCl}_2$  ή  $\text{CdSO}_4$ .

Τα ανιόντα Cl σχηματίζουν ιοντικά ζεύγη με το κατιόν Cd αυξάνοντας κατά αυτόν τον τρόπο την κινητικότητα του Cd στο έδαφος (Mc Laughlin et al., 1994).

Μερικά από τα ιοντικά ζεύγη αυτά, όπως τα  $\text{CdCl}_3^-$  και  $\text{CdCl}_4^{2-}$  είναι αρνητικά φορτισμένα και ως εκ τούτου μειώνουν την προσρόφηση του Cd στις θέσεις ιοντικής ανταλλαγής. Συνεπώς σε συνθήκες εδαφικού διαλύματος με αυξημένη συγκέντρωση ιόντων Cl, όπως αυτό συμβαίνει στα αλατούχα εδάφη, η κινητικότητα και η διαθεσιμότητα του Cd μπορούν να αυξηθούν σημαντικά.

Παρόμοια συμπεριφορά του Cd ωστόσο εμφανίζεται πολλές φορές και σε εδάφη, στα οποία η συγκέντρωση του Cl είναι συνήθης. Οι Mc Laughlin et al. (1994), όπως και οι Smolders και Mc Laughlin (1996), αναφέρουν ότι η αύξηση των ιονικών ζευγών του Cd με το Cl στο εδαφικό διάλυμα θα μπορούσε να αυξήσει τη διάχυση του Cl προς τις ρίζες των φυτών.

Το ρόλο των ανιόντων Cl στην πρόσληψη του Cd από διαφορετικά φυτικά είδη έχουν μελετήσει αρκετοί ερευνητές. Οι Norvell et al. (2000), σε αγρό με μεγάλη παραλλακτικότητα στην τιμή του pH αλλά και στη συγκέντρωση του Cl, που καλλιεργούνταν με σκληρό σιτάρι διαπίστωσαν ισχυρή συσχέτιση μεταξύ της συγκεντρώσεως του Cd στους κόκκους του σιταριού και της συγκεντρώσεως του υδατοδιαλυτού Cl. Οι Smolders et al. (1998), σε πειράματα σε δοχεία με τεύτλα, που καλλιεργήθηκαν σε δύο εδάφη και δέχθηκαν την προσθήκη Cl κατέληξαν, ότι η αύξηση της συγκεντρώσεως του Cl στο εδαφικό διάλυμα προκάλεσε αντίστοιχη αύξηση στη συγκέντρωση του Cd στο διάλυμα αλλά και αύξηση της συγκεντρώσεως του Cd στα τεύτλα. Οι Li et al. (1994), σε έρευνα-επισκόπηση, που πραγματοποίησαν σε 22 αγρούς, οι οποίοι καλλιεργούνταν με ηλίανθο, βρήκαν ότι ανάμεσα στους παράγοντες, που επηρεάζουν την πρόσληψη του Cd από τα φυτά του ηλίανθου κυρίαρχη θέση έχει η συγκέντρωση του υδατοδιαλυτού Cl.

Τα  $\text{SO}_4^{2-}$  παίζουν επίσης σημαντικό ρόλο στην πρόσληψη του Cd από τα φυτά, ειδικά σε καλλιέργειες όπως ο καπνός και οι πατάτες οι οποίες αφενός συσσωρεύουν Cd και αφετέρου δέχονται μεγάλες ποσότητες αζωτούχων και καλιούχων λιπασμάτων με τις μορφές του θειϊκού αμμωνίου και του θειϊκού καλίου. Δεδομένα από πειράματα με θρεπτικά διαλύματα έδειξαν ότι η διαθεσιμότητα για τα φυτά των ιονικών ζευγών, που σχηματίζει το Cd με τα ιόντα  $\text{SO}_4^{2-}$  είναι ισοδύναμη με αυτή του ελεύθερου ιόντος,  $\text{Cd}^{2+}$  (McLaughlin et al, 1998). Οι Bingham et al. (1986), σε όξινο έδαφος, που καλλιεργήθηκε με τεύτλα, έδειξαν ότι η συγκέντρωση

του Cd είχε άμεση σχέση με την παρουσία οξυγόνου στο εδαφικό διάλυμα του  $Cd^{2+}$  αλλά και του ιοντικού ζεύγους  $CdSO_4$ . Αντίθετα η συγκέντρωση του Cd στα τεύτλα, που καλλιεργήθηκαν στο ίδιο έδαφος μετά από ασβέστωση, είχε άμεση σχέση με την παρουσία στο διάλυμα του  $Cd^{2++}$  αλλά αυτή τη φορά του ιοντικού ζεύγους  $CdCl^+$ .

### 2.2.2. Το Cd της στερεής φάσεως των εδαφών

Το Cd βρίσκεται στη στερεή φάση του εδάφους κυρίως ως ανταλλάξιμο, ως προσροφημένο στα οξείδια του Fe και του Mn και ως συνδεδεμένο με την οργανική ουσία. Οι Harter and Naidu (2001), αναφέρουν ότι μεταξύ όλων των μετάλλων, το κατιόν  $Cd^{2+}$  είναι εκείνο, το οποίο συγκρατείται ασθενέστερα στη στερεή φάση του εδάφους. Αυτό σημαίνει ότι πολύ εύκολα μπορεί να αντικατασταθεί από άλλα ανταγωνιστικά κατιόντα, όπως το  $Ca^{2+}$  ή να εκροφηθεί στο εδαφικό διάλυμα και συνεπώς να καταστεί διαθέσιμο για τα φυτά.

Η έκταση της συγκρατήσεως - απελευθερώσεως του Cd, από τα στερεά συστατικά του εδάφους εξαρτάται κυρίως από τις ιδιότητες της επιφάνειας του προσροφητικού μέσου, όπως είναι η πυκνότητα και το είδος του φορτίου στις επιφάνειες ανταλλαγής (Sanchez - Martin and Sanchez - Camazano, 1993) αλλά και από παραμέτρους, όπως είναι η θερμοκρασία καθώς και από ιδιότητες του εδαφικού διαλύματος, όπως το pH, η συγκέντρωση του Cd, η συγκέντρωση άλλων μετάλλων και η παρουσία ανιόντων και διαλυτών οργανικών ενώσεων με τις οποίες το Cd μπορεί να σχηματίσει σύμπλοκα ή χημικές ενώσεις (Harter and Naidu; 2001, Kasap et al., 1998; Shuman and Wang, 1991; Tsadilas et al., 1997).

Ο συνηθέστερος τρόπος για την περιγραφή της σχέσεως μεταξύ της ποσότητας του Cd, που συγκρατείται στη στερεή φάση του εδάφους και της συγκεντρώσεως του Cd στο διάλυμα ισορροπίας είναι η χρησιμοποίηση των ισοθέρμων προσροφήσεως. Μία από τις συνηθέστερες χρησιμοποιούμενη είναι η εξίσωση του Langmuir.

Η εξίσωση του Langmuir περιγράφεται από την παρακάτω σχέση:  $X = K \cdot M \cdot C / (1 + K \cdot C)$  (1) όπου: X = ποσό προσροφημένου Cd/μονάδα προσροφητικού C= συγκέντρωση Cd στο διάλυμα ισορροπίας, K= σταθερά ισορροπίας της αντιδράσεως προσροφήσεως, που σχετίζεται με την ενέργεια σύνδεσης, και M = μέγιστο προσροφήσεως. Συνήθως χρησιμοποιείται η γραμμική μορφή της εξίσώσεως (1):  $C/X = (1/M) + (1/K \cdot M \cdot C)$ .



Η πιο απλή εξίσωση, που χρησιμοποιήθηκε για να περιγράψει τη συγκράτηση του Cd από τη στερεή φάση των εδαφών, είναι η απλή γραμμική εξίσωση:  $q = K_d \cdot c$  όπου:  $c$  = η συγκέντρωση του Cd στο διάλυμα ισορροπίας,  $q$  = η ποσότητα του προσροφημένου Cd και  $K_d$  = συντελεστής κατανομής.

Καθώς η στερεή φάση του εδάφους αποτελεί για το Cd, όπως και για τα υπόλοιπα στοιχεία τη «δεξαμενή» από την οποία αντλούνται τα αποθέματα Cd, που αναπληρώνουν τις απώλειες του εδαφικού διαλύματος λόγω εκπλύσεως ή προσλήψεως από τα φυτά, γίνεται φανερή η σημασία που έχει η κατανόηση και η ερμηνεία του φαινομένου της συγκρατήσεως του Cd από τη στερεή φάση των εδαφών.

### **2.2.3. Cd έγκλειστο στα οξείδια και στα ανθρακικά άλατα**

Τα οξείδια του Fe και του Mn, τα οποία απαντούν στο έδαφος ως επικαλύψεις των εδαφικών τεμαχιδίων, ή ως ανεξάρτητα τεμαχίδια (συγκρίμματα), ασκούν σημαντική επίδραση στη συμπεριφορά του Cd.

Σύμφωνα με τον Shuman (1991), το Cd, όπως και τα άλλα βαρέα μέταλλα, συγκρατείται από τα οξείδια Fe και Mn με μηχανισμούς προσροφήσεως, σχηματισμού συμπλόκων, ιονικής ανταλλαγής, διεισδύσεως στο κρυσταλλικό τους πλέγμα και συγκατακρημνίσεως.

Η σημασία της παρουσίας των οξειδίων του Fe και του Mn στα εδάφη ως παράγοντα σημαντικού για την κινητοποίηση ή την αδρανοποίηση του Cd έχει μελετηθεί από πολλούς ερευνητές. Ο Alloway (1995), χρησιμοποιώντας 22 εδάφη διαπίστωσε ότι μαζί με το pH και την οργανική ουσία, και η παρουσία των οξειδίων Fe και Mn επηρεάζει σημαντικά τη δέσμευση του Cd σε εξειδικευμένες θέσεις προσροφήσεως. Από την άλλη πλευρά οι Wilkens and Loch (1997), με όξινα ( $pH < 5,5$ ) αμμώδη εδάφη, τα οποία ρυπάνθηκαν από ατμοσφαιρικές αποθέσεις Cd και Zn από γειτονικά λατομεία, διαπίστωσαν ότι σε χαμηλές τιμές pH, τα οξείδια του Fe και του Mn είναι μειωμένης σπουδαιότητας όσον αφορά στην συγκράτηση του Cd από τη στερεή φάση των εδαφών. Οι Mench et al. (1994), μελέτησαν σε δύο εδάφη ρυπασμένα με Cd, το ένα λόγω μακροχρόνιας προσθήκης ιλύος αστικών αποβλήτων και το δεύτερο λόγω γειτνιάσεως με μεταλλείο σιδήρου, τους παράγοντες, που επηρεάζουν την μεταφορά του Cd από τη στερεή φάση στο εδαφικό διάλυμα των εδαφών. Στα αποτελέσματα της έρευνάς τους, διαπίστωσαν ότι η προσθήκη οξειδίων

του Mn, είχε ως αποτέλεσμα την κατά 60 και 87% μείωση του υδατοδιαλυτού Cd και την κατά 75 και 95% μείωση του ανταλλάξιμου Cd για τα δύο εδάφη αντίστοιχα.

Επίσης διαπίστωσαν ότι η προσθήκη των οξειδίων του Mn στα εδάφη, συνετέλεσε στην κατά 58 και 76 % μείωση της συγκεντρώσεως του Cd σε φυτά rye-grass και στην κατά 41 και 63% μείωση της συγκεντρώσεως του Cd σε φυτά καπνού για τα δύο εδάφη αντίστοιχα. Οι ίδιοι ερευνητές μάλιστα αναφέρουν ότι τα αποτελέσματα τους δείχνουν ότι ο καπνός συσσωρεύσε 10 φορές περισσότερο Cd από ότι το rye-grass.

Σε εδάφη με παρουσία ελεύθερων ανθρακικών αλάτων είναι δυνατόν να σημειωθεί συγκράτηση του Cd από τα ανθρακικά άλατα του Ca και του Mg. Ο Mc Bride (1980), καθώς και οι Papadopoulos and Rowell (1988), μελέτησαν τη συγκράτηση του Cd από τον ασβεστίτη, και βρήκαν ότι η επιφάνεια του ασβεστίτη εμφανίζει μεγάλη συγγένεια με το Cd. Η αντίδραση Cd και επιφάνειας ασβεστίτη μπορούσε να περιγραφεί με μία γραμμική ισόθερμο προσροφήσεως όταν οι συγκεντρώσεις του Cd ήταν χαμηλές (<1μmol/g). Οι παραπάνω ερευνητές, όπως και ο Sposito (1983), καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι κατά το σχηματισμό δευτερογενούς CaCO<sub>3</sub>, ιόντα, όπως, Zn<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, Fe<sup>2+</sup> ή Cd<sup>2+</sup>, αντικαθιστούν το Ca<sup>2+</sup>. Σε αντίθεση με τα ανωτέρω, όταν το Cd βρεθεί σε υψηλές συγκεντρώσεις, τότε ο μηχανισμός της συγκατακρημνίσεώς του με τα ανθρακικά άλατα ως CdCO<sub>3</sub> (οκταβίτης) υπερτερεί κάθε άλλου μηχανισμού συγκρατήσεώς του από αυτά. Οι O'Connor et al. (1984), σε πειράματα προσροφήσεως Cd σε εδάφη με ανθρακικό ασβέστιο (CaCO<sub>3</sub>, 5,0-11,0 % ), αναφέρουν ως εξήγηση στην παρατηρηθείσα μείωση, στην ποσότητα του προσροφημένου Cd, το σχηματισμό ιζήματος με τη μορφή CdCO<sub>3</sub>.

#### **2.2.4. Cd συνδεδεμένο με την οργανική ουσία**

Είναι γνωστό ότι σημαντικές ποσότητες ανόργανων κατιόντων και μεταξύ αυτών συμπεριλαμβάνονται και τα τοξικά μέταλλα, συγκρατούνται από την οργανική ουσία (χουμικά και φουλβικά οξέα) με μηχανισμούς ιοντικής ανταλλαγής (Adriano,1986). Εκτός όμως της ιοντικής ανταλλαγής, το Cd μπορεί να συγκρατηθεί από τις ενεργές ομάδες των χουμικών και φουλβικών οξέων με δημιουργία χημικού δεσμού. Στην περίπτωση αυτή η κινητοποίησή του και συνεπώς η απελευθέρωσή του στο εδαφικό διάλυμα είναι δυσκολότερη από την περίπτωση της συγκρατήσεώς του

ηλεκτροστατικά.

Επί πλέον των ανωτέρω το Cd σχηματίζει σύμπλοκα με τα χουμικά και τα φουλβικά οξέα και ιδιαίτερα με τις καρβοξυλικές και φαινολικές ομάδες των οξέων αυτών (Chen and Stevenson, 1986). Ο σχηματισμός υδατοδιαλυτών συμπλόκων έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της συγκεντρώσεως του Cd στο εδαφικό διάλυμα διότι το προστατεύει από τους διάφορους μηχανισμούς, οι οποίοι τείνουν να το αδρανοποιήσουν (προσρόφηση, ιζηματοποίηση). Ωστόσο υπάρχουν και περιπτώσεις, όπου το Cd συγκρατείται ισχυρά από την οργανική ουσία μέσω του σχηματισμού οργανικών συμπλόκων με τα χουμικά οξέα σε τιμές pH συνηθισμένες στα φυσικά περιβάλλοντα, με αποτέλεσμα τη μείωση της διαθεσιμότητάς του (Bolton et al., 1996).

### 2.3. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΥ Cd ΣΤΟ ΕΛΑΦΟΣ

Η εκτίμηση των διαθέσιμων μορφών ενός οποιουδήποτε στοιχείου είναι μία πολύ σημαντική διαδικασία καθώς αποτυπώνει την εικόνα της περιεκτικότητας του εδάφους στο συγκεκριμένο στοιχείο και μάλιστα της ποσότητας εκείνης, που μπορεί να προσληφθεί από τα φυτά.

Κατά καιρούς έχουν προταθεί και χρησιμοποιηθεί με μεγαλύτερη ή με μικρότερη επιτυχία διάφορα εκχυλιστικά διαλύματα για τον προσδιορισμό των διαθέσιμων μορφών του Cd όπως και των άλλων μικροθρεπτικών αλλά και τοξικών στοιχείων. Τα εκχυλιστικά, που έχουν χρησιμοποιηθεί για την εκχύλιση του Cd μπορούν να καταταχθούν στις παρακάτω κατηγορίες (Beckett, 1990):

- **Υδατικά διαλύματα ουδέτερων αλάτων** ( $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ): Παραλαμβάνουν το ανταλλάξιμο και το υδατοδιαλυτό Cd.
- **Αραιά διαλύματα ισχυρών οξέων** ( $\text{HCl}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ): Παραλαμβάνουν το Cd του εδαφικού διαλύματος, το ανταλλάξιμο, και αυτό, που απελευθερώνεται με διαλυτοποίηση από τα ανθρακικά άλατα, τα οξυ-υδροξείδια Fe, Mn και την άργιλο.
- **Διαλύματα, που περιέχουν στη σύνθεσή τους ενώσεις, οι οποίες σχηματίζουν χηλικές ενώσεις με το Cd**: Αποτελούν τη συνηθέστερα χρησιμοποιούμενη ομάδα εκχυλιστικών. Κατά τη διαδικασία της εκχύλισης η

προσθήκη των ενώσεων αυτών στο εκχυλιστικό διάλυμα έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία υδατοδιαλυτών χηλικών ενώσεων με το Cd, μειώνοντας κατά αυτόν τον τρόπο την συγκέντρωσή του στο εδαφικό διάλυμα.

Το γεγονός αυτό συνεπάγεται τη μετακίνηση Cd από τη στερεή φάση, προς αναπλήρωση των απωλειών του εδαφικού διαλύματος. Ο τρόπος δράσεως αυτής της ομάδας των εκχυλιστικών θεωρείται ότι προσομοιάζει περισσότερο με τη δράση του ριζικού συστήματος των φυτών.

### **2.3.1. Κλασμάτωση των μορφών Cd στη στερεή φάση**

Η ανάγκη για το διαχωρισμό των μορφών, με τις οποίες το Cd εμφανίζεται κυρίως στη στερεή φάση των εδαφών και ιδίως αυτών, που έχουν δεχθεί τη χρήση της ιλύος αστικών και βιομηχανικών αποβλήτων, οδήγησε στο να χρησιμοποιηθούν και άλλες διαδικασίες παραλαβής των μορφών αυτών. Οι διαδικασίες αυτές είναι γνωστές ως διαδοχική εκχύλιση, αφού διάφορα εκχυλιστικά διαλύματα εφαρμόζονται διαδοχικά στην ίδια ποσότητα εδάφους και παραλαμβάνουν διαφορετικές μορφές. Ο Shuman (1991), όπως και ο Beckett (1990), συζητούν διεξοδικά τα διάφορα σχήματα διαδοχικής εκχυλίσεως, που έχουν κατά καιρούς χρησιμοποιηθεί από διάφορους ερευνητές.

Όσον αφορά στον Ευρωπαϊκό χώρο, η διαδικασία της διαδοχικής εκχυλίσεως για την παραλαβή των διάφορων μορφών εδαφικού Cd, που περιγράφεται από τους Ure et al. (1993), προτείνεται από το Ευρωπαϊκό Γραφείο Αναφοράς, BCR (Community Bureau Reference).

Ενδεικτικά αναφέρονται μερικές τιμές των μορφών-κλασμάτων Cd, όπως αυτές προέκυψαν από διαδοχικές εκχυλίσεις, που πραγματοποίησαν διάφοροι ερευνητές θέλοντας να μελετήσουν τις μορφές Cd στη στερεή φάση των εδαφών. Οι Sposito et al. (1982), εφαρμόζοντας ένα σχήμα διαδοχικής εκχυλίσεως σε δύο εδάφη, τα οποία δέχθηκαν την προσθήκη ιλύος αστικών αποβλήτων, βρήκαν το Cd σε ποσοστά >60% (συνδεδεμένο με τα ανθρακικά), σε ποσοστά 20-30 % (συνδεδεμένο με την οργανική ουσία) και τέλος σε ποσοστά 20-40% (υπολειμματικό). Οι Singh et al. (1998), σε επιφανειακά εδάφη του Βελγίου, που αναπτύχθηκαν σε αποθέσεις ιζημάτων εφάρμοσαν το σχήμα διαδοχικής εκχυλίσεως των Ure et al. (1993), και βρήκαν το Cd σε ποσοστά 40-60% στο κλάσμα του οξικού οξέος (ανταλλάξιμο) ενώ το Cd, που ήταν στα κλάσματα της υδροχλωρικής υδροξυλαμίνης (έγκλειστου στα

οξειδία Fe και Mn) και του οξικού αμμωνίου (συνδεδεμένου με την οργανική ουσία και τα σουλφίδια), σε ποσοστά μεταξύ 15-40% και 5-10% αντίστοιχα.

## **2.4. ΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ, ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΠΡΟΣΛΗΨΗ ΤΟΥ Cd ΑΠΟ ΤΑ ΦΥΤΑ**

Οι μηχανισμοί μετακινήσεως των διάφορων στοιχείων προς το ριζικό σύστημα των φυτών είναι τρεις, η πρόσληψη λόγω της αναπτύξεως των ριζών σε επαφή με νέες μάζες εδάφους (root interception), η μαζική ροή των στοιχείων από το εδαφικό διάλυμα προς τις ρίζες (mass-flow), και η διάχυση των στοιχείων από περιοχές με υψηλότερη συγκέντρωση σε περιοχές με μικρότερη. Στην περίπτωση του Cd, σύμφωνα με τους Grant et al. (1998) and Marschner (1995), η διάχυση φαίνεται να είναι ο κυρίαρχος μηχανισμός τροφοδοσίας των ριζών.

Η πρόσληψη του Cd από τα φυτά επηρεάζεται από ένα σύνολο παραγόντων. Οι Lugon - Moulin et al. (2004), στον όρο παράγοντες συμπεριλαμβάνουν εκτός από τις φυσικοχημικές ιδιότητες των εδαφών και αγρονομικές πρακτικές, όπως λίπανση, άρδευση, ασβέστωση οξίνων εδαφών, προσθήκη εδαφοβελτιωτικών (κοπριά), καθώς και τις συνθήκες του περιβάλλοντος, που αναπτύσσονται τα φυτά. Μεταξύ των εδαφικών παραγόντων κυρίαρχη θέση κατέχουν οι φυσικοχημικές ιδιότητες των εδαφών και κυρίως η περιεκτικότητα των εδαφών σε Cd, το pH, η παρουσία στο εδαφικό διάλυμα ανταγωνιστικών προς το Cd κατιόντων, ή ανιόντων με τα οποία το Cd σχηματίζει υδατοδιαλυτά ιοντικά ζεύγη και η περιεκτικότητα των εδαφών σε οργανική ουσία (Jansson, 2002; Mc Bride, 2002; Mc Bride, 1997; Alloway, 1995; Wagner, 1993; Adriano, 1986), ενώ στους φυτικούς παράγοντες το είδος του φυτού αλλά και η ποικιλία του κάθε φυτικού είδους (Kuboi et al., 1986; Yang et al., 1995).

### **2.4.1. Ιδιότητες του εδάφους**

Στις επόμενες ενότητες ο σχολιασμός αφορά τις ιδιότητες του εδάφους, όπως: α) η περιεκτικότητα των εδαφών σε ολικό Cd, β) το pH, γ) η Ικανότητα Αναταλλαγής Κατιόντων, (I.A.K.), δ) η οργανική ουσία, και ε) η σύσταση του εδαφικού διαλύματος και ιδιαίτερα η παρουσία στο εδαφικό διάλυμα οργανικών οξέων μικρού μοριακού βάρους, ως αποτέλεσμα των εκκρίσεων του ριζικού συστήματος αλλά και η παρουσία

ανταγωνιστικών κατιόντων στο εδαφικό διάλυμα, που επηρεάζουν την πρόσληψη του Cd από τα φυτά.

Η συζήτηση για το ρόλο των ιδιοτήτων του εδάφους στην πρόσληψη του Cd από τα φυτά περιλαμβάνει και τη συζήτηση, που θα χρειαζόταν να αναπτυχθεί σχετικά με λοιπούς συναφείς εδαφικούς παράγοντες, όπως οι αγρονομικές πρακτικές. Και τούτο γιατί οι αγρονομικές πρακτικές, όπως η λίπανση, η άρδευση, η προσθήκη υλικού ασβεστώσεως ή κοπριάς στα εδάφη, στην ουσία μεταβάλλουν τις εδαφικές ιδιότητες και συνεπώς δεν υπάρχει λόγος για ξεχωριστή συζήτηση.

#### **2.4.2. Η περιεκτικότητα των εδαφών σε Cd**

Η περιεκτικότητα των εδαφών σε ολικό Cd είναι ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες, που έχει διαπιστωθεί ότι επηρεάζουν τη διαθεσιμότητα του Cd και άρα και την πρόσληψή του από τα φυτά. Οι Lechoczky and Kiss (2002), καλλιέργησαν rye-grass σε δοχεία και βρήκαν ότι η συσχέτιση μεταξύ της ολικής περιεκτικότητας του Cd (εκχύλιση με  $\text{HNO}_3$  και  $\text{H}_2\text{O}_2$ ) και της προσλήψεως του Cd ήταν υψηλότερη από τη συσχέτιση μεταξύ του διαθέσιμου Cd (εκχύλιση με KCl και EDTA) και της προσλήψεως από φυτά rye-grass. Οι Kabata Pendias and Pendias (2001), παραθέτουν δεδομένα, που δείχνουν ότι η συγκέντρωση του Cd σε στελέχη πατάτας και κόκκους κριθαριού εμφάνισαν μία γραμμική συσχέτιση με την ολική συγκέντρωση του Cd των εδαφών, στα οποία καλλιεργήθηκαν τα παραπάνω φυτά. Ο Alloway (1995), βρήκε ότι η ολική συγκέντρωση του Cd συσχετιζόταν με τη συγκέντρωση του Cd στο εδάωμο τμήμα λάχανου, καρότου, μαρουλιού και ρεπανιού, όταν αυτά καλλιεργήθηκαν σε 50 διαφορετικά εδάφη, τα οποία είχαν ρυπανθεί με Cd από διαφορετικές πηγές. Ο ίδιος ερευνητής αναφέρει ότι εκτός από την ολική περιεκτικότητα των εδαφών σε Cd σημασία έχει και η προέλευση του Cd, η οποία καθορίζει και τις μορφές (διαθέσιμες ή μη).

#### **2.4.3. Το pH του εδάφους**

Το pH του εδάφους είναι ίσως η σημαντικότερη ιδιότητα, η οποία καθορίζει την διαθεσιμότητά του από τα φυτά. Σε τιμές  $\text{pH} < 6,0$  το Cd, όπως και άλλα βαρέα μέταλλα βρίσκονται στο εδαφικό διάλυμα σε υψηλότερες συγκεντρώσεις με κυρίαρχη μορφή αυτή του ελεύθερου κατιόντος,  $\text{Cd}^{2+}$ . Οι de Villaroel et al. (1993), όπως και οι Holm et al. (1995), έδειξαν ότι το ιόν,  $\text{Cd}^{2+}$ , μπορεί να αποτελέσει το 40-

90% του συνολικού Cd του εδαφικού διαλύματος. Σε τιμές pH 6-8, εμφανίζεται ως έλασσον κλάσμα μετά το  $\text{Cd}^{2+}$ , το - ιονικό ζεύγος  $\text{CdOH}^-$ , ενώ σε τιμές pH υψηλότερες, 7,0 - 7,5 με αποκορύφωμα τιμές 8,2 - 9,0 το ιονικό ζεύγος  $\text{CdOH}^+$  και τέλος ιονικό ζεύγος το  $\text{Cd}(\text{OH})_2$  σε τιμές  $\text{pH} > 9,0$ .

Ο King (1988), σε πειράματα με καπνό, που καλλιεργήθηκε σε όξινα εδάφη με τιμές pH, που κυμαίνονταν μεταξύ 4,1 και 6,2 κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η μεταβολή της τιμής του pH από το 5,7 μέχρι και το 7,0 (μετά από προσθήκη  $\text{CaCO}_3$ ) προκάλεσε δραστική μείωση στη συγκέντρωση του Cd στα φύλλα του καπνού. Η μείωση μάλιστα ήταν μεγαλύτερη στα κατώτερα φύλλα, τα οποία εμφάνισαν και τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις Cd. Σε παρόμοια συμπεράσματα κατέληξαν και οι Khan et al. (1992), σε πειράματα με καπνό τύπου Maryland. Οι Adam et al. (1989), σε 11 εδάφη καλλιεργούμενα με καπνό τύπου Maryland, βρήκαν ότι η τιμή του pH των εδαφών συσχετιζόταν αρνητικά ( $r = -0,39$ ) με τη συγκέντρωση του Cd στα φύλλα του καπνού. Η συσχέτιση μάλιστα αυτή εμφανίζονταν να είναι στατιστικώς σημαντική για πιθανότητα 99% .

Όσον αφορά άλλα φυτά, οι Tyler and Olsson (2001), σε πειράματα προσλήψεως 55 στοιχείων από φυτά gye-grass που καλλιεργήθηκαν σε όξινο μοριακού βάρους, όπως τα χουμικά οξέα είναι συνήθως δυσδιάλυτες και συνεπώς μη διαθέσιμες για τα φυτά (Alloway, 1995; Brady and Weil, 1996).

Εκτός από τον σχηματισμό συμπλόκων και χηλικών ενώσεων του Cd με τις οργανικές ενώσεις, το Cd ως κατιόν μπορεί να συγκρατηθεί από τα χουμικά και φουλβικά οξέα σε θέσεις ιονικής ανταλλαγής. Άλλωστε είναι γνωστό ότι σημαντικό μέρος της Ικανότητας Ανταλλαγής Κατιόντων των εδαφών οφείλεται στην παρουσία της οργανικής ουσίας (Alloway, 1995).

Οι αναφορές σχετικά με το ρόλο της οργανικής ουσίας είναι αντικρουόμενες. Έτσι ο Shuman (1998), σε έρευνά του με 2 εδάφη διαφορετικής μηχανικής σύστασης μελέτησε την επίδραση, που είχε η προσθήκη 5 διαφορετικών οργανικών υλικών φυσικής ή εμπορικής προέλευσης στις διαθέσιμες μορφές του εδαφικού Cd. Τα συμπεράσματα στα οποία κατέληξε ήταν ότι το Cd μετατρέπεται σε περισσότερο ή λιγότερο διαθέσιμες μορφές ανάλογα με το προστιθέμενο οργανικό υλικό αλλά και τη μηχανική σύσταση του εδάφους. Πιο συγκεκριμένα μεταξύ των προστεθέντων οργανικών υλικών, εκείνα που προέρχονται από υπολείμματα καλλιέργειας μανιταριών ή από εμπορικά σκευάσματα χουμικών οξέων μείωσαν τις ποσότητες του εδαφικού ανταλλάξιμου Cd και στα δύο εδάφη, ενώ αύξησαν το κλάσμα του Cd το

συνδεδεμένο με την οργανική ουσία μόνο στο αμμώδες έδαφος. Από την άλλη πλευρά η προσθήκη οργανικού υλικού προερχόμενου από υπολείμματα πουλερικών είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση του ανταλλάξιμου Cd αλλά και του συνδεδεμένου με την οργανική ουσία.

Άλλοι, όπως οι Neal and Sposito (1986), έδειξαν ότι η χρήση των υπολειμμάτων αστικών και βιομηχανικών λυμάτων, ως εδαφοβελτιωτικών για τα εδάφη οδηγούν στις περισσότερες περιπτώσεις σε αύξηση των διαθέσιμων μορφών του εδαφικού Cd εξαιτίας της υψηλής διαλυτότητας, που εμφανίζουν οι οργανικές ενώσεις αυτών των υλικών. Οι παραπάνω συγγραφείς, σε πειράματα με 6 διαφορετικά εδάφη, βρήκαν ότι όταν οι συγκεντρώσεις του Cd στο εδαφικό διάλυμα είναι πολύ χαμηλές (0,001-12  $\mu\text{M}$ ), η συγκράτηση του Cd από τη στερεή φάση εμποδίζεται από τη δημιουργία διαλυτών συμπλόκων, που το Cd σχηματίζει με τα οργανικά μόρια.

#### **2.4.4. Τα οργανικά οξέα μικρού Μοριακού Βάρους ως εκκρίσεις των ριζών**

Τα οργανικά οξέα μικρού μοριακού βάρους, (Low Molecular Weight Organic Acids, L.M.W.O.A.), εμφανίζονται στο εδαφικό διάλυμα λόγω της αποσύνθεσης της οργανικής ουσίας του εδάφους από τις εκκρίσεις μυκήτων και από τις εκκρίσεις του ριζικού συστήματος των φυτών. Καθοριστικό ρόλο στην παρουσία τους στο εδαφικό διάλυμα παίζει η μικροβιακή μάζα του εδάφους (Jones, 1998; Strobel, 2001). Μία μικρή ποσότητα των οξέων αυτών μπορεί να προστεθεί στα εδάφη ως ατμοσφαιρική απόθεση (βρόχινο νερό), ενώ έρευνες έχουν δείξει ότι τα οξέα αυτά βρίσκονται και ως συστατικό της κοπριάς φρέσκιας ή και χωνεμένης, που συχνά χρησιμοποιείται στα γεωργικά εδάφη (Baziramankenga and Simard, 1998).

Τα οργανικά οξέα μικρού μοριακού βάρους, που έχει αναφερθεί η παρουσία τους στο εδαφικό διάλυμα γεωργικών και δασικών εδαφών, είναι το μυρμηκικό οξύ (μία καρβοξυλική ομάδα), το οξικό (μία καρβοξυλική ομάδα), το οξαλικό (δύο καρβοξυλικές ομάδες), το ηλεκτρικό (δύο καρβοξυλικές ομάδες), το τρυγικό (δύο καρβοξυλικές ομάδες), το μηλικό (δύο καρβοξυλικές ομάδες), το μηλονικό (δύο καρβοξυλικές ομάδες) και τέλος το κιτρικό (τρεις καρβοξυλικές ομάδες).

Τα οξέα αυτά χαρακτηρίζονται από  $\text{MB} < 300$  και από την παρουσία μίας ή περισσότερων καρβοξυλικών ομάδων οι οποίες δίστανται κατά το σχήμα:  $\text{R-COOH}$



R-COO + H με συνέπεια να φορτίζονται αρνητικά και ως εκ τούτου να σχηματίζουν διαλυτά σύμπλοκα και χηλικές ενώσεις με κατιόντα και συνεπώς και με το Cd, που βρίσκονται στο εδαφικό διάλυμα.

Σύμφωνα με τους Strobel (2001) και Jones (1998), ο ρόλος των οργανικών οξέων μικρού MB στην κινητοποίηση του Cd είναι πολύ σημαντικός καθώς τα σύμπλοκα, που σχηματίζονται στο εδαφικό διάλυμα συγκρατούνται από τη στερεή φάση, ενώ προστατεύουν το Cd από έκπλυση και ταυτόχρονα μπορούν να το μετατρέψουν σε διαθέσιμο για το ριζικό σύστημα των φυτών.

Οι συγκεντρώσεις των οργανικών οξέων μικρού MB είναι υψηλότερες στο εδαφικό διάλυμα, που προέρχεται από το επιφανειακό στρώμα του εδάφους, όπου ο συνολικά περιεχόμενος άνθρακας στα οξέα αυτά αποτελεί το 10% του συνολικά διαλυμένου οργανικού άνθρακα.

Οι συγκεντρώσεις των συνήθως εμφανιζόμενων οργανικών οξέων με δύο και τρία καρβοξύλια, όπως είναι το οξαλικό, το ηλεκτρικό, το τρυγικό και το κιτρικό οξύ, κυμαίνονται μεταξύ 0-50  $\mu\text{M}$  με τις υψηλότερες να εμφανίζονται στο διάλυμα εδαφών προερχόμενων από λιβάδια και δασικά εδάφη παρά από γεωργικά εδάφη. Σε αντίθεση, οι συγκεντρώσεις στο εδαφικό διάλυμα των οργανικών οξέων με ένα καρβοξύλιο, όπως για παράδειγμα το οξικό κυμαίνονται μεταξύ 0-1 mM, ενώ υψηλές συγκεντρώσεις βρίσκονται στο εδαφικό διάλυμα δασικών και γεωργικών εδαφών (Strobel, 2001; Jones, 1998).

Η χημική συμπεριφορά των οργανικών οξέων μικρού μοριακού βάρους στο εδαφικό διάλυμα προσομοιάζει με εκείνη των διαλυτών ενώσεων του χούμου, δηλαδή με τη συμπεριφορά των φουλβικών οξέων, καθώς τα καρβοξυλικά ανιόντα δεσμεύουν το κατιόν  $\text{Cd}^{2+}$  με τη μορφή συμπλόκων και συνεπώς το καθιστούν «εν δυνάμει διαθέσιμο» για τις ρίζες των φυτών. Οι Cieslinski et al. (1998), σε πειράματά τους σε γλάστρες με 3 διαφορετικά εδάφη, στα οποία καλλιεργήθηκαν δύο ποικιλίες σκληρού σιταριού με διαφορετικότητα ως προς την πρόσληψη Cd, αναφέρουν ότι: α) ο τύπος του εδάφους επηρέασε τη συνολική ποσότητα των οργανικών οξέων μικρού μοριακού βάρους στο εδαφικό διάλυμα, δείχνοντας ότι οι χημικές και βιολογικές ιδιότητες του εδάφους μπορούν να μεταβάλλουν τη σύνθεση αλλά και την ποσότητα των οξέων στο διάλυμα, β) τα οξέα ήταν παρόντα στη ριζόσφαιρα και όχι στο υπόλοιπο έδαφος γεγονός που επιβεβαιώνει ότι η προέλευσή τους οφείλεται στις εκκρίσεις του ριζικού συστήματος και στη μικροβιακή δράση, γ) το 84-93% της συνολικής ποσότητας ήταν το οξικό και το ηλεκτρικό οξύ, δ) η ποικιλία σκληρού

σιταριού υψηλής πρόσληψης σε Cd, που δοκιμάστηκε, βρέθηκε να έχει στην περιοχή της ριζόσφαιρας μεγαλύτερη συγκέντρωση οργανικών οξέων μικρού μοριακού βάρους από ότι η αντίστοιχη ποικιλία χαμηλής πρόσληψης σε Cd.

Σε επιβεβαίωση των ανωτέρω, μελέτες προσροφήσεως του Cd από τη στερεή φάση των εδαφών με ή χωρίς την παρουσία στο διάλυμα των οργανικών οξέων μικρού μοριακού βάρους έδειξαν ότι: α) η παρουσία του Cd στο διάλυμα είναι με τη μορφή συμπλόκου Cd-ανιόν οξέος, β) η κινητικότητα του συμπλόκου Cd-ανιόν οξέος οφείλεται κυρίως στη διάχυση και γ) η συνεχής απελευθέρωση των οργανικών οξέων ως εκκρίσεων από τις ρίζες των φυτών έχει ως αποτέλεσμα τη διαρκή παρουσία διαθέσιμων μορφών του Cd στο διάλυμα (Krishnamurti et al., 1997). Σε πειράματα προσροφήσεως, που πραγματοποίησαν οι Chubin and Street (1981), με δύο κλάσματα αργίλου, διαπίστωσαν ότι η παρουσία κιτρικού ανιόντος στο διάλυμα συνετέλεσε στη μείωση της προσροφήσεως του Cd από τη στερεή φάση κατά 25% κάτω από όξινες συνθήκες. Οι Naidu and Harter (1998), βρήκαν ότι η παρουσία οργανικών οξέων στο διάλυμα κάτω από όξινες συνθήκες οδήγησε στην μετακίνηση («εκρόφιση») ποσοτήτων Cd από τη στερεή φάση προς το εδαφικό διάλυμα με τα ιόντα του μηλικού οξέος να μετακινούν μεγαλύτερες ποσότητες σε σύγκριση με αυτά του οξικού οξέος.

#### **2.4.5. Η παρουσία ανταγωνιστικών κατιόντων**

Η παρουσία στο εδαφικό διάλυμα ανταγωνιστικών με το Cd κατιόντων ως προς την προσρόφιση του από τα στερεά συστατικά του εδάφους συμβάλλει στη διατήρηση υψηλών συγκεντρώσεων Cd στο εδαφικό διάλυμα και επομένως αυξάνει την πρόσληψη του από τα φυτά. Σύμφωνα με τους Garcia - Miragaya and Page (1976), τρεις είναι οι βασικοί μηχανισμοί, οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για τη μείωση της συγκρατήσεως του Cd από τη στερεή φάση εξαιτίας της παρουσίας ανταγωνιστικών και άλλων ιόντων στο εδαφικό διάλυμα: α) ο ανταγωνισμός των άλλων υπάρχοντων κατιόντων με το Cd<sup>2+</sup> για θέσεις ιονικής ανταλλαγής, β) η μείωση της ενεργότητας του Cd<sup>2+</sup> στο διάλυμα και γ) ο σχηματισμός μη φορτισμένων ή και αρνητικά φορτισμένων συμπλόκων του Cd με τα υπάρχοντα ανιόντα στο διάλυμα.

Ο Christensen (1984), αναφέρει ότι αν και ο Zn δεν ανταγωνίζεται ισχυρά το Cd, εν τούτοις η παρουσία του στο εδαφικό διάλυμα αλλά και η παρουσία κατιόντων, όπως το Ca<sup>2+</sup> και το H<sup>+</sup> είναι δυνατόν να αντικαταστήσουν το Cd στις θέσεις

συγκρατήσεως στα εδαφικά τεμαχίδια και κατά αυτόν τον τρόπο να αυξήσουν τη συγκέντρωσή του στο εδαφικό διάλυμα. Αντίθετα με τα παραπάνω, οι Abdel-Sabour et al. (1987), σε πειράματα με ένα ιλυοπηλώδες έδαφος, στο οποίο προστέθηκαν Cd και Zn και καλλιεργήθηκε στη συνέχεια με καλαμπόκι και τεύτλα, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η αύξηση της προσθήκης του Zn σε τιμές >50 μg/g εδάφους, είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση της συγκεντρώσεως του Cd στα φυτά αυτά.

Ειδικότερα για το Ca, οι Temminghoff et al. (1995), Boekhold et al. (1993), Cowan et al. (1991), έδειξαν ότι η παρουσία του στο διάλυμα μειώνει την προσρόφηση του Cd από τη στερεή φάση λόγω ανταγωνισμού για τις θέσεις προσροφήσεως και αυξάνει τη συγκέντρωσή του στο εδαφικό διάλυμα.

Εκτός των κατιόντων που αναφέρθηκαν η παρουσία και άλλων κατιόντων, όπως  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$  στο εδαφικό διάλυμα φαίνεται ότι επηρεάζει την πρόσληψη του Cd από τα φυτά. Οι Lorenz et al. (1994), με πειράματα σε δοχεία με φυτά ρεπανιού, που καλλιεργήθηκαν σε ένα αμμώδες έδαφος, έδειξαν ότι η προσθήκη περίσσειας λιπασμάτων αζώτου ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) και καλίου ( $\text{KNO}_3$ ) προκάλεσε μείωση της τιμής του pH, αύξηση των βασικών κατιόντων (K, Mg) αλλά και των βαρέων μετάλλων (Mn, Cd) στο εδαφικό διάλυμα καθώς και αύξηση στην πρόσληψη του Cd από φυτά ρεπανιού. Σύμφωνα με την ερμηνεία, που έδωσαν οι ερευνητές αυτοί τα παραπάνω οφείλονται σε μηχανισμούς ιονικής ανταλλαγής και διαλυτοποίησης των ανθρακικών, οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για την απελευθέρωση των ιόντων στο εδαφικό διάλυμα.

## 2.5. ΦΥΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ

Μεταξύ των φυτικών παραγόντων το είδος του φυτού και η ποικιλία είναι οι παράγοντες εκείνοι, που επηρεάζουν την πρόσληψη του Cd. Τα διάφορα φυτικά είδη όπως και οι ποικιλίες του ίδιου φυτικού είδους έχουν διαφορετική ικανότητα στο να προσλαμβάνουν, συσσωρεύουν αλλά και να ανέχονται την παρουσία του Cd στους φυτικούς τους ιστούς.

Οι Kuboi et al. (1986), ανέπτυξαν διάφορα φυτικά είδη σε θρεπτικά διαλύματα και κατέληξαν στο ότι: α) φυτά με χαμηλή βιοσυσώρευση Cd είναι, όσα ανήκουν στα ψυχανθή (φασόλι, μπιζέλι, κλπ), β) φυτά με μέτρια βιοσυσώρευση Cd είναι, όσα ανήκουν στα αγρωστώδη (σιτάρι, κριθάρι, αραβόσιτος, κλπ), κολοκυνθώδη

(κολοκύθι, πεπόνι, αγγούρι, κλπ), λιλιανθή (κρεμμύδι, σκόρδο, υάκινθος κλπ), σκιαδοφόρα (καρότο) και γ) φυτά με μεγάλη βιοσυσώρευση είναι, όσα ανήκουν στα σολανώδη (καπνός, τομάτα, πατάτα, κλπ), στα σταυρανθή (κουνουπίδι, λαχανίδα, μπρόκολο, ελαιοκράμβη, ρεπάνι κλπ), στα χηνοποδοειδή (σπανάκι, παντζάρι, κλπ), και τέλος στα σύνθετα (ηλίανθος, χαμομήλι, κλπ). Οι Mench et al. (1994), σε πειράματα με φυτά καπνού και gye-grass, σε εδάφη ρυπασμένα με Cd βρήκαν ότι ο καπνός συσσωρεύει 10 φορές περισσότερο Cd από ότι τα φυτά gye-grass.

Οι Mc Laughlin et al. (1994b), βρήκαν σημαντικές διαφορές ως προς την πρόσληψη του Cd από 14 ποικιλίες πατάτας, που καλλιεργήθηκαν σε 12 διαφορετικές τοποθεσίες, με μία μέση συγκέντρωση που κυμαίνονταν μεταξύ 30-50  $\mu\text{g/g}$  χλωρού φυτικού βάρους.

Οι Xue and Harison (1991), βρήκαν ότι ανάμεσα σε 6 ποικιλίες μαρουλιών υπάρχουν σημαντικές διαφορές ως προς την πρόσληψη του Cd από τα φύλλα με αποτέλεσμα η κατανάλωση της ποικιλίας με την μικρότερη πρόσληψη να μπορεί να μειώσει τη ημερήσια πρόσληψη Cd στον καταναλωτή κατά 40%.

Οι Wagner and Yeargan (1986), έδειξαν ότι μεταξύ των ειδών του καπνού *Nicotiana tabacum* and *Nicotiana rustica*, το μεν πρώτο βιοσυσσωρεύει το Cd στα φύλλα και στις ρίζες, ενώ το δεύτερο κυρίως στις ρίζες εμφανίζοντας τη μισή συγκέντρωση Cd στα φύλλα από την αντίστοιχη του *Nicotiana tabacum*.

Επί πλέον έδειξαν ότι η συγκέντρωση του Cd ήταν μεγαλύτερη στα παλαιότερα φύλλα και στις νεότερες ρίζες (ριζικά τριχίδια).

Επιπρόσθετα από την επίδραση της ποικιλίας του φυτού στην πρόσληψη του Cd, η μεταφορά του και η βιοσυσώρευσή του στα διάφορα τμήματα του φυτού ποικίλει. Γενικά θεωρείται ότι οι συγκεντρώσεις του Cd είναι χαμηλότερες στους σπόρους, και στα στελέχη σε σύγκριση με τις συγκεντρώσεις Cd στις ρίζες και στα φύλλα, όπως αυτό προκύπτει από σχετικές έρευνες στο λάχανο, στο σπανάκι και στον καπνό (Adriano, 1986).

## **2.6. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ**

Η ανθρώπινη έκθεση στο κάδμιο εμφανίζεται και στα επαγγελματικά και στα μη επαγγελματικά περιβάλλοντα. Έχει πολύ μεγάλο χρόνο ημίσειας ζωής (10 χρόνια) και μπορεί εύκολα σε μικρές ποσότητες να συσσωρευτεί στον οργανισμό σιγά-σιγά

και να προκαλέσει τοξικότητα (χρειάζονται, ωστόσο, αρκετά χρόνια τέτοιας έκθεσης για να συμβεί κάτι τέτοιο). Η προσρόφηση του καδμίου μέσω του δέρματος είναι χαμηλή. Η κατανάλωση μολυσμένων τροφίμων είναι η πιο κοινή πηγή μόλυνσης του γενικού πληθυσμού, ενώ η επαγγελματική έκθεση εμφανίζεται κυρίως μέσω της εισπνοής. Η καθημερινή λήψη από τα τρόφιμα υπολογίζεται ότι κυμαίνεται μεταξύ 35 έως 90  $\mu\text{g}$ , ενώ αυτή από το νερό υπολογίζεται ότι είναι μεταξύ 20-30  $\mu\text{g}$ . Το ποσοστό απορρόφησης από το γαστρεντερικό σύστημα είναι 5% με 10%, αλλά αυτό μπορεί να αυξηθεί σε 20% σε άτομα με ανεπάρκεια σιδήρου. Η απορρόφηση του καδμίου μετά από έκθεση στο αναπνευστικό σύστημα ποικίλλει πολύ και εξαρτάται από τη διαλυτότητα και το μέγεθος του μορίου. Τα μεγαλύτερα μόρια καθαρίζονται από το αναπνευστικό σύστημα, αλλά αυτά μπορούν να καταπωθούν και να απορροφηθούν από το γαστρεντερικό σύστημα. Αντίθετα, περίπου το 90% των διαλυτών ενώσεων καδμίου που κατατίθενται βαθιά στον πνεύμονα απορροφώνται. Περίπου το 10% του καδμίου που εισπνέεται από τον καπνό του τσιγάρου απορροφάται.

Μόλις απορροφηθεί, το κάδμιο ( $\text{Cd}^{+2}$ ) προσκολλάται στη λευκωματίνη και σε άλλες πρωτεΐνες ψηλού μοριακού βάρους στο αίμα και αυτή η δεσμευμένη μορφή κατακρατείται στο συκώτι. Η λήψη  $\text{Cd}^{+2}$  λαμβάνει χώρα από έναν μηχανισμό μεταφοράς που περιλαμβάνει έναν ενδιάμεσο υποδοχέα και κανάλια ανταλλαγής ιόντων ασβεστίου ( $\text{Ca}^{+2}$ ). Το  $\text{Cd}^{+2}$  προκαλεί σύνθεση μεταλλοθειονινών (metallothionein) στα ηπατοκύτταρα και το  $\text{Cd}^{+2}$  δεσμεύεται σε αυτές τις πρωτεΐνες. Τα σύμπλοκα καδμίου-μεταλλοθειονίνες επανέρχονται στην κυκλοφορία, όπου αφομοιώνονται στο νεφρό. Στο νεφρό, σύμπλοκα καδμίου-μεταλλοθειονίνες αποικοδομούνται σε  $\text{Cd}^{+2}$  το οποίο προκαλεί σύνθεση μεταλλοθειονινών και νέα σύμπλοκα καδμίου-μεταλλοθειονίνες συνθέτονται. Το δεσμευμένο στις μεταλλοθειονίνες κάδμιο δεν είναι τοξικό, αλλά, αν η αφομοίωση του καδμίου υπερβαίνει τη σύνθεση των μεταλλοθειονινών, τότε υπάρχει πρόβλημα τοξικότητας.

Ο βιολογικός χρόνος ημιζωής του  $\text{Cd}^{+2}$  στον άνθρωπο είναι 25 έως 30 έτη. Το ποσοστό απέκκρισης υπολογίζεται ότι είναι περίπου 0,005% για έναν άνθρωπο ηλικίας 50 ετών.

Το αναπνευστικό (πνεύμονας) και το γαστρεντερικό σύστημα είναι τα κύρια όργανα που υπόκεινται στις κύριες επιπτώσεις μιας οξείας έκθεσης. Η έκθεση σε ατμούς καδμίου μπορεί να προκαλέσει ζημία στους πνεύμονες, ενώ η μακροπρόθεσμη έκθεση συνδέεται με χρόνια νόσο των πνευμόνων.

Ο χρόνος της μισής ζωής του καδμίου στο σώμα είναι μεγάλος, περίπου 7-30 χρόνια και η αποβολή του αργή. Η κύρια οδός αποβολής είναι από τα ούρα. Το κάδμιο συσσωρεύεται κυρίως στους νεφρούς και το ήπαρ και σε μικρότερες ποσότητες σε άλλα όργανα. Οξεία δηλητηρίαση από εισπνοή ατμών οξειδίου του καδμίου μπορεί να συμβεί κατά τη χύτευσή του, τα φαινόμενα της οποίας εμφανίζονται μετά από 4-10 ώρες με δύσπνοια, βήχα, βάρος στο στήθος και αίσθημα καύσου. Εμφανίζονται επίσης συμπτώματα, όπως το σύνδρομο του πυρετού από καπνούς μετάλλου με ρίγη και μυαλγίες εντοπιζόμενες στη μέση και τα άκρα. Μετά 24 - 48 ώρες από την έκθεση παρουσιάζεται οξύ πνευμονικό οίδημα, το οποίο σε ελαφρές περιπτώσεις υποχωρεί μετά μία εβδομάδα περίπου και σε βαριές περιπτώσεις η δύσπνοια είναι επιδεινούμενη με συρρίττουσα αναπνοή και αιμοπτύσεις. Στις περιπτώσεις αυτές μέσα σε μία εβδομάδα επισυμβαίνει ο θάνατος. Η χρόνια δηλητηρίαση περιγράφηκε από τον Friberg το 1948, ο οποίος μελέτησε μια ομάδα εργαζομένων σε αλκαλικές μπαταρίες στη Σουηδία. Παρατήρησε εμφύσημα, αναιμία καταστροφή των νεφρών, ηπατοπάθεια, ανοσμία, κιτρίνισμα των δοντιών, δύσπνοια και καταβολή των δυνάμεων. Τα ευρήματα αυτά του Friberg επιβεβαιώθηκαν αργότερα και από άλλους ερευνητές με πρωταρχικά την καταστροφή των νεφρών και των πνευμόνων. Το πρώτο εργαστηριακό εύρημα κατά τη χρόνια δηλητηρίαση είναι η πρωτεϊνουρία, η οποία προκαλείται από τη δυσλειτουργία των εσπειραμένων σωληναρίων. Η νεφρική καταστροφή διαπιστώνεται από την έκκριση στα ούρα πρωτεϊνών μικρού μοριακού βάρους, όπως είναι οι β2-μικρολευκωματίνες, οι οποίες μερικές φορές χρησιμοποιούνται για τον βιολογικό έλεγχο.

Επιδημιολογικά στοιχεία για επαγγελματικές εκθέσεις, υποδεικνύουν ότι το κάδμιο ανήκει στην ομάδα 1 που προκαλούν καρκίνο στον άνθρωπο. Ο πνεύμονας αποτελεί τον πρώτο στόχο στην ανάπτυξη καρκίνου στον άνθρωπο. Εντούτοις, η επαγγελματική και περιβαλλοντική έκθεση στο κάδμιο συνδέεται επίσης με ανάπτυξη καρκίνου στον προστάτη, στα νεφρά, στο συκώτι και στα αιματοποιητικά συστήματα.

## **2.7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΙΚΑ ΣΧΟΛΙΑ**

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.

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 αξιολογικά, 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 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.

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.

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.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>

### ΓΕΝΙΚΑ

Ως έδαφος ορίζεται το ανώτερο στρώμα της επιφάνειας της γης, πάνω στο οποίο αναπτύσσονται τα φυτά. Προέρχεται από την αποσάρθρωση των πετρωμάτων λόγω ατμοσφαιρικών και βιολογικών επιδράσεων. Μέσα στο έδαφος υπάρχουν διάφορα διαλυτά άλατα καθώς και ιόντα διαφόρων στοιχείων προσροφημένα στην επιφάνεια των κολλοειδών του εδάφους. Τα κολλοειδή είναι εδαφικά τεμαχίδια που προέρχονται από ανόργανα συστατικά του εδάφους. Τα κολλοειδή φέρουν κατά κανόνα, αρνητικό ηλεκτρικό φορτίο, πράγμα που τους δίνει την ιδιότητα να έλκουν και να συγκρατούν στην επιφάνεια τα ιόντα με θετικό φορτίο, γνωστά ως κατιόντα. Τα εδάφη, ανάλογα με την περιεκτικότητά τους σε διαλυτά άλατα και σε κατιόντα προσροφημένου ανταλλάξιμου νατρίου ( $\text{Na}^+$ ), χαρακτηρίζονται ως αλατούχα, μη αλατούχα-αλκαλιωμένα και αλατούχα-αλκαλιωμένα. Πειράματα έδειξαν ότι οι επιβλαβείς επιδράσεις των διαλυτών αλάτων στα φυτά δεν οφείλονται μόνο στις υψηλές συγκεντρώσεις των αλάτων, αλλά επίσης και στη συγκέντρωση του νατρίου στο έδαφος και ειδικότερα, στη σχέση του νατρίου με τα επίπεδα του ασβεστίου και μαγνησίου. Μεγάλες συγκεντρώσεις νατρίου είναι επιζήμιες στις φυσιολογικές λειτουργίες των φυτών, καθώς και στις χημικές και φυσικές παραμέτρους του εδάφους. Εξαιτίας των δυσμενών επιδράσεων των διαλυτών αλάτων, τόσο στα φυτά όσο και στο έδαφος, αναπτύχθηκαν διάφορες τεχνικές για τον προσδιορισμό εκτός του εδαφικού pH και άλλων τριών βασικών ιδιοτήτων, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για το χαρακτηρισμό των εδαφών που περιέχουν διαλυτά άλατα.

Οι τρεις αυτές ιδιότητες είναι:

- Η ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους (Electrical Conductivity- EC).
- Το εναλλακτικό νάτριο επί τοις εκατό (Exchangeable Sodium Percentage - ESP).
- Το SAR (Sodium Adsorption Ratio) το οποίο εκφράζει το λόγο προσρόφησης του νατρίου.

Το ESP εκφράζει την ιδιότητα που έχει το έδαφος να δεσμεύει δηλαδή να

---

\* Το Κεφάλαιο 3 αναφέρεται στον Παναγιωτόπουλο Λ. (2004)

προσροφά στην επιφάνεια των κολλοειδών ιόντα  $\text{Na}^+$ .

Το SAR εκφράζει το λόγο προσρόφησης του νατρίου, δηλαδή το SAR εκφράζει τη χαρακτηριστική ιδιότητα των ιόντων σχετικά με τη διαλυτότητα αυτών στο εδαφικό διάλυμα.

$$\text{SAR} = \frac{(\text{Na}^+)}{\sqrt{\frac{(\text{Ca}^{2+} + (\text{Mg}^{2+}))}{2}}} + (\text{Mg}^{2+})$$

Οι συγκεντρώσεις των κατιόντων  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  και  $\text{Mg}^{2+}$ , εκφράζονται σε meq/L σε διάλυμα του εδάφους, αλλά έχει χρησιμοποιηθεί και για το χαρακτηρισμό των νερών άρδευσης.

Στον πίνακα 3. 1. παρουσιάζονται οι ιδιότητες των κανονικών εδαφών σε σχέση με τα όξινα, αλατούχα, αλατούχα-αλκαλιωμένα και μη αλατούχα-αλκαλιωμένα εδάφη.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3. 1. Ιδιότητες των κανονικών εδαφών σε σχέση με τα Όξινα, Αλατούχα, Αλατούχα-Αλκαλιωμένα και Αλκαλιωμένα (με Νάτριο) εδάφη**

ΕΛΑΦΗ	PH	ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ (EC) DSM <sup>-1</sup>	SAR*
Κανονικά	6,7 – 7,2	<4	<13-15
Όξινα	<6,5	<4	<13-15
Αλατούχα	<8,5	>4	<13-15
Αλατούχα – Αλκαλιωμένα	<8,5	>4	<13-15
Αλκαλιωμένα (με νάτριο)	>8,5	<4	>13-15

Ως αλατούχα εδάφη χαρακτηρίζονται εκείνα που παρουσιάζουν ηλεκτρική αγωγιμότητα μεγαλύτερη από 4 dSm<sup>-1</sup> σε θερμοκρασία 25°C και η εκατοστιαία αναλογία ανταλλάξιμου νατρίου σε σχέση προς το σύνολο των ανταλλάξιμων κατιόντων είναι μικρότερη από 15.

Το pH των εδαφών αυτών είναι κατώτερο από 8,5 και αυτό οφείλεται κυρίως στο ότι τα άλατα είναι στην πλειονότητά τους ουδέτερα. Τα αλατούχα εδάφη αναγνωρίζονται μακροσκοπικά από την παρουσία σ' αυτά λευκής κρούστας και για

\* Το ESP των εδαφών και το SAR σχετίζονται πολύ στενά στα περισσότερα εδάφη.

αυτό λέγονται και λευκά αλκαλικά εδάφη, (white alkali). Τα εδάφη αυτά δεν είναι κατάλληλα για γεωργική εκμετάλλευση, παρά μόνο μετά την απομάκρυνση των αλάτων τους, ύστερα από σειρά διαδοχικών εκπλύσεων.

Ως μη αλατούχα - αλκαλιωμένα χαρακτηρίζονται τα εδάφη που παρουσιάζουν ηλεκτρική αγωγιμότητα μικρότερη από  $4\text{dSm}^{-1}$  σε θερμοκρασία  $25^{\circ}\text{C}$  και η εκατοστιαία αναλογία του ανταλλάξιμου νατρίου σε σχέση προς το σύνολο των ανταλλάξιμων κατιόντων είναι μεγαλύτερη από 15.

Τα εδάφη αυτά έχουν pH που κυμαίνεται μεταξύ 8,5 και 10 και αντιστοιχούν στα μαύρα αλκαλιωμένα εδάφη.

Ως αλατούχα - αλκαλιωμένα εδάφη χαρακτηρίζονται τα εδάφη που παρουσιάζουν ηλεκτρική αγωγιμότητα μεγαλύτερη από  $4\text{dSm}^{-1}$  σε θερμοκρασία  $25^{\circ}\text{C}$  και η εκατοστιαία αναλογία του ανταλλάξιμου νατρίου προς το σύνολο των ανταλλάξιμων κατιόντων είναι μεγαλύτερη από 15. Τα εδάφη αυτά, που είναι ταυτόχρονα και αλατούχα και αλκαλιωμένα, έχουν ιδιότητες που εκφράζουν τη συνδυασμένη δράση της αλατότητας και της αλκαλιώσεως. Η τιμή του pH σ' αυτά σπάνια είναι μεγαλύτερη από 8,5.

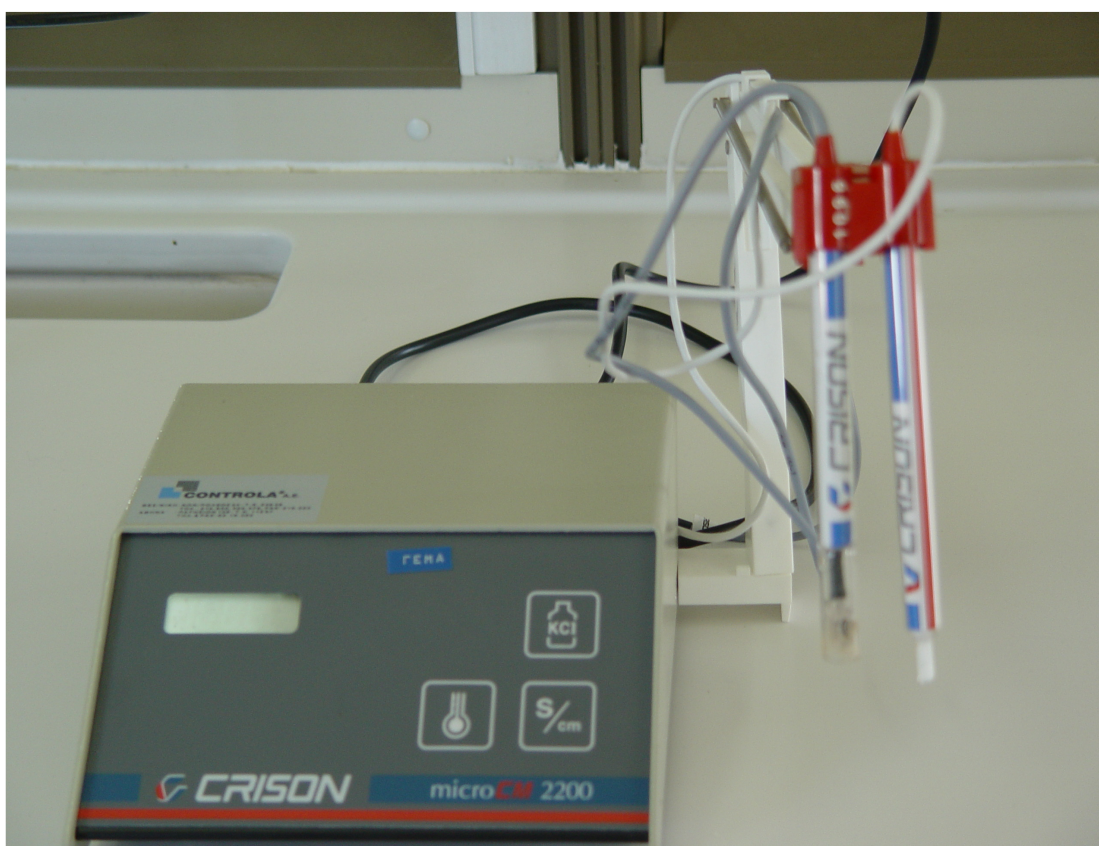
### 3.1. ΑΛΑΤΟΤΗΤΑ

Με τον όρο διαλυτά άλατα εννοούμε όλες τις ανόργανες ενώσεις που έχουν μεγαλύτερη διαλυτότητα από το γύψο ( $\text{CaSO}_4 - 2\text{H}_2\text{O}$ ) του οποίου η διαλυτότητα είναι  $2,4\text{g/L}$  σε νερό  $0^{\circ}\text{C}$ . Για να γίνει κατανοητή η διαφορά της διαλυτότητας των διαφόρων αλάτων αναφέρεται ότι το κοινό επιτραπέζιο αλάτι ( $\text{NaCl}$ ) έχει διαλυτότητα 150 φορές μεγαλύτερη από το γύψο, δηλαδή  $357\text{g/L}$ . Στο έδαφος τα πιο κοινά άλατα αποτελούνται από τα κατιόντα, νάτριο ( $\text{Na}^+$ ), ασβέστιο ( $\text{Ca}^{2+}$ ) και μαγνήσιο ( $\text{Mg}^{2+}$ ) και τα ανιόντα, χλώριο ( $\text{Cl}^-$ ), θειικό ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), και όξινο ανθρακικό ( $\text{HCO}_3^-$ ). Σε μικρότερες ποσότητες υπάρχουν τα ιόντα καλίου ( $\text{K}^+$ ), του αμμωνίου ( $\text{NH}_4^+$ ) του νιτρικού ( $\text{NO}_3^-$ ) και του ανθρακικού ( $\text{CO}_3^{2-}$ ). Υπάρχουν εδάφη, που το εδαφικό τους διάλυμα έχει μεγαλύτερη συγκέντρωση αλάτων από το θαλασσίνο νερό που έχει 3-4% ολικά άλατα.

Τα διαλυτά άλατα μετρώνται με την ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC, electrical conductivity) και τις μονάδες αγωγιμότητας του διεθνούς συστήματος που βασική του

μονάδα είναι siemens/meter (s/m), αλλά στην πράξη χρησιμοποιείται συνήθως η υποδιαίρεση decisiemens/meter (ds/m). Μερικοί χρησιμοποιούν ακόμη τις παλιές μονάδες που είναι το mmhos/cm. Οι σχέσεις μεταξύ των μονάδων είναι  $1\text{s/m}=10\text{ds/m}=10\text{mmhos/cm}$ .

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα μετρείται με το ηλεκτρικό αγωγιμόμετρο (Εικ. 3.1.).



**Εικ.: 3.1. Ηλεκτρικό αγωγιμόμετρο για τη μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας**

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα μετράται στο εκχύλισμα κορεσμού ή σε αραιώση εδάφους : νερού που έχουν σχέση 1:2 ή 1:5. Ένα δείγμα εδάφους ζυγίζεται και ακολούθως προστίθεται σταδιακά νερό μέχρι να σχηματιστεί μια κορεσμένη πάστα. Με απλό φιλτράρισμα ή με την βοήθεια κενού λαμβάνεται το εκχύλισμα από την

πάστα στο οποίο μετράται η ηλεκτρική αγωγιμότητα με το αγωγιμόμετρο (εικ. 3.1.).

Επίσης, για πρακτικούς λόγους, μπορούμε να υπολογίσουμε την συγκέντρωση των αλάτων στο έδαφος, αν πολλαπλασιάσουμε την EC ( $\text{dsm}^{-1}$ ) με το 10.

$$C \text{ αλάτων} = 10 \cdot EC$$

όπου: C αλάτων = η συγκέντρωση των αλάτων στο έδαφος σε  $\text{meq/L}$  (όπου  $10 \text{ dsm}^{-1} = 100 \text{ meq/L}$ ) και EC = ηλεκτρική αγωγιμότητα σε  $\text{dsm}^{-1}$ .

### **3.1.1. Αλάτωση εδαφών. Αλάτωση εξαιτίας της γεωγραφικής θέσης και της τοπογραφίας**

- Παραθαλάσσιες περιοχές και περιοχές δέλτα των ποταμών.

Στις περιοχές αυτές τα εδάφη έρχονται σε συνεχή επαφή με το νερό της θάλασσας, με αποτέλεσμα να καθίστανται αλατούχα. Είναι γνωστό ότι το νερό της θάλασσας περιέχει άλατα με κυρίαρχο χημικό στοιχείο το νάτριο, που βρίσκονται με τη μορφή του  $\text{NaCl}$  και λιγότερο, ασβέστιο, και μαγνήσιο. Στον πίνακα 3.2. παρουσιάζεται η χημική σύσταση του θαλασσινού νερού. Τα αποτελέσματα του πίνακα 3.2. προέρχονται από αναλύσεις που έγιναν στο εργαστήριο εδαφολογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Τα εδάφη που έρχονται σε επαφή με το νερό της θάλασσας στην αρχή αλατώνονται και στη συνέχεια νατρίωνονται.

- Περιοχές που βρίσκονται στα χαμηλότερα σημεία μιας ευρύτερης λεκάνης.

Στις περιοχές αυτές συγκεντρώνονται όλα τα απορρέοντα νερά των περιοχών της λεκάνης που την περιβάλλουν. Επίσης, είναι δυνατόν να συγκεντρώνονται τα διηθούμενα νερά ολόκληρης της λεκάνης που περιβάλλει τις χαμηλότερες περιοχές. Έτσι, στις περιοχές αυτές παρατηρείται υψηλή στάθμη υδροφόρου ορίζοντα. Όταν στις περιοχές αυτές δεν υπάρχει στραγγιστικό σύστημα ή όταν δεν υπάρχει φυσική διέξοδος των νερών προς τους ποταμούς ή στη θάλασσα, τότε εξαιτίας της εξάτμισης στα εδάφη αυτά συγκεντρώνονται άλατα, με αποτέλεσμα τα εδάφη να καθίστανται αλατούχα και στη συνέχεια νατριομένα.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2. Αποτελέσματα αναλύσεων θαλασσινού νερού**

<b>Ηλεκτρική αγωγιμότητα:</b>		
<b>59.000μmhos/cm (μS/cm) στους 25°C pH = 6,84</b>		
<b>Ανιόντα</b>	<b>Meg/l</b>	<b>ppm</b>
Χλώριο, Cl <sup>-</sup>	540,0	19144,6
Ανθρακικά, CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	0,0	0,0
Όξινα ανθρακικά HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	3,6	219,7
Θειικά, SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	128,6	6176,8
<b>Σύνολο</b>	<b>672,2</b>	<b>25541,1</b>
<b>Κατιόντα</b>		
Ασβέστιο, Ca <sup>2+</sup>	24,8	497,0
Μαγνήσιο, Mg <sup>2+</sup>	110,9	1348,1
Νάτριο, Na <sup>+</sup>	536,5	12334,0
Κάλιο, K <sup>+</sup>		
<b>Σύνολο</b>	<b>672,2</b>	<b>14179,1</b>

**ΠΙΘΑΝΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΑΛΑΤΩΝ**

<b>Άλατα</b>	<b>Meg/l</b>	<b>ppm</b>
Ca (HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	3,6	291,8
Mg (HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	0,0	0,0
NaHCO <sub>3</sub>	0,0	0,0
CaCO <sub>3</sub>	0,0	0,0
CaCO <sub>4</sub>	21,2	1443,1
MgCO <sub>4</sub>	107,4	6464,1
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,0	0,0
MgCO <sub>3</sub>	0,0	0,0
CaCl <sub>2</sub>	0,0	0,0
MgCl <sub>2</sub>	3,5	166,6
NaCl	536,5	31354,7
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	0,0	0,0

- Περιοχές με εδάφη βαριάς σύστασης και μικρής διαπερατότητας.

Στις περιοχές αυτές τα εδάφη, εξαιτίας του μεγάλου ποσοστού σε άργιλο, παρουσιάζουν μικρή διαπερατότητα, με αποτέλεσμα τα νερά στα εδάφη αυτά να μη διηθούνται σχετικά γρήγορα. Στα εδάφη αυτά εξαιτίας της εξάτμισης επέρχεται συμπύκνωση του εδαφικού διαλύματος και απόθεση των αλάτων στην εδαφική κατατομή.

### **3.1.2. Αλάτωση των εδαφών με το νερό άρδευσης**

Τα νερά των ποταμών, λιμνών και των υπογείων υδροφόρων στρωμάτων, που χρησιμοποιούνται για άρδευση των καλλιεργειών, περιέχουν σε διάλυση ή αραίωση ποσότητες αλάτων ευδιάλυτων ή δυσδιάλυτων. Η ποιότητα του νερού διαφέρει από περιοχή σε περιοχή και εξαρτάται από το κλίμα, τα πετρώματα, τα ορυκτά και το έδαφος από το οποίο διέρχεται. Στο νερό άρδευσης συνήθως επικρατούν τα άλατα του ασβεστίου (όξινα ανθρακικά, θειικά, χλωριούχα ανθρακικά). Ανάλογα με την προέλευση των νερών σε μικρότερο ποσοστό υπάρχουν άλατα του μαγνησίου, του νατρίου, του καλίου και ενδεχομένως άλατα ορισμένων στοιχείων όπως του βορίου ή ιχνοστοιχείων.

Με την άρδευση των καλλιεργειών ένα μέρος από τα άλατα που περιέχουν τα νερά, αποτίθεται στο έδαφος. Τα άλατα αυτά είτε διαλύονται στο εδαφικό διάλυμα των υγρών εδαφών, είτε αποτίθενται με την κρυσταλλική μορφή στα ξηρά εδάφη.

## **3.2. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΑΛΑΤΟΥΧΩΝ ΕΛΑΦΩΝ**

Τα αλατούχα εδάφη ταξινομούνται με βάση την ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) και το ποσοστό ανταλλάξιμου νατρίου (ESP, Exchangeable Sodium Percentage). Το ποσοστό ανταλλάξιμου νατρίου (ESP) είναι η αναλογία της ολικής ικανότητας ανταλλαγής κατιόντων ενός εδάφους που καταλαμβάνουν τα ιόντα νατρίου και δίδεται από την εξίσωση:

$$ESP\% = \frac{\text{ανταλλάξιμο νάτριο}}{IAK} \times 100$$

όπου IAK = Ικανότητα Ανταλλαγής Κατιόντων

Η τιμή του ESP χρησιμοποιείται για την εκτίμηση του κινδύνου που έχει ένα έδαφος να διασπαρθούν τα συσσωματώματα του και επομένως να μειωθεί η υδραυλική αγωγιμότητα. Η τιμή της ESP, όταν είναι ίση ή μεγαλύτερη από 15, δείχνει ότι το έδαφος είναι νατριούχο (Παλιός όρος αλκαλιωμένο). Εδάφη με μικρή υδραυλική αγωγιμότητα δεν στραγγίζουν καλά και έχουν κολλοειδείς ιδιότητες όταν το ποσοστό της αργίλου είναι σημαντικό.

Το SAR (Sodium Adsorption Ratio) ενός αρδευτικού νερού χρησιμοποιείται για να υπολογισθεί ποια τιμή θα έχει το ESP ενός εδάφους κατά προσέγγιση όταν χρησιμοποιηθεί το νερό για άρδευση του εδάφους. Επίσης μπορεί να προσδιορισθεί το SAR ενός εκχυλίσματος κορεσμού ώστε να αποκτηθεί μια ένδειξη του ποσοστού του εναλλακτικού  $\text{Na}^+$  σε σχέση με εκείνα του  $\text{Ca}^{2+}$  και  $\text{Mg}^{2+}$  του εδάφους.

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{\frac{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}}{2}}}$$

Οι συγκεντρώσεις των ιόντων σε mmoles/L ή milliequivalents/L.

Οι μονάδες το SAR είναι (mmoles/L)<sup>1/2</sup> αλλά συνήθως παραλείπονται. Υπάρχει καλή σχέση μεταξύ ESP και SAR που έχει προκύψει εμπειρικά και δίδεται από την εξίσωση:

$$\frac{\text{ESP}}{100-\text{ESP}} = 0,015 \text{ SAR}$$

Όταν ένα αρδευτικό νερό έχει SAR 13 τότε το ESP του εδάφους θα γίνει 15 και η υδραυλική αγωγιμότητα θα μειωθεί σημαντικά όταν απομακρυνθούν τα άλατα και διασπαρθούν τα κολλοειδή.

### 3.2.1. Κατηγορίες αλατούχων εδαφών

Με βάση την ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) του εκχυλίσματος κορεσμού, το SAR (ή το αντίστοιχο ESP) τα εδάφη ταξινομούνται στις παρακάτω κατηγορίες:

- **Εδάφη αλατούχα.** Τα εδάφη αυτά είναι μη νατριωμένα που περιέχουν υδατοδιαλυτά άλατα σε ποσότητες τέτοιες, που να αναστέλλουν την αύξηση των περισσότερων φυτών. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδαφικού



εκχυλίσματος του πολτού (του νερού κορεσμού) είναι μεγαλύτερη από  $4 \text{ dSm}^{-1}$  στους  $25^\circ\text{C}$ , το ποσοστό ανταλλάξιμου νατρίου (ESP) είναι μικρότερο από 15 και το pH συνήθως  $< 8,5$ .

- **Εδάφη αλατούχα - νατριωμένα.**  $\text{EC}_e > 4 \text{ dSm}^{-1}$ ,  $\text{SAR} > 13$ ,  $\text{ESP} > 15$ ,  $\text{pH} < 8,5$
- **Εδάφη μη αλατούχα-νατριωμένα.**  $\text{EC}_e < 4 \text{ dSm}^{-1}$ ,  $\text{SAR} > 13$ ,  $\text{ESP} > 15$ ,  $\text{pH} < 8,5$

### 3.3. ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΑΡΔΕΥΣΗΣ.

#### ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΑΡΔΕΥΣΗΣ.

Η εντατικοποίηση της γεωργίας κατά τα τελευταία χρόνια με τη δημιουργία νέων ποικιλιών και την αναζήτηση σύγχρονων καλλιεργητικών μεθόδων για τη μεγιστοποίηση της παραγωγής δημιούργησε τις προϋποθέσεις για διαρκώς αυξανόμενες ανάγκες σε νερό για την άρδευση των καλλιεργειών. Οι νέες ποικιλίες που δημιουργήθηκαν και αξιοποιήθηκαν στη γεωργία για να προσεγγίσουν το μέγιστο της απόδοσής τους εκτός των άλλων χρειάζονται μεγάλες ποσότητες νερού για την άρδυσή τους.

Το νερό για την άρδευση των καλλιεργειών μιας συγκεκριμένης περιοχής θα πρέπει να αξιολογηθεί πριν χρησιμοποιηθεί και είναι απαραίτητο να λάβουμε υπόψη μας τις μεταβολές που θα δημιουργηθούν στο σύστημα έδαφος - νερό - φυτό. Οι μεταβολές που θα επηρεάσουν το σύστημα αυτό μετά από συνεχή χρησιμοποίηση του νερού άρδευσης εξαρτώνται από τις ιδιότητες που έχει το νερό αυτό. Τα εδάφη θα πρέπει να διατηρούνται σε καλή κατάσταση (μη αλατούχα - μη νατριωμένα), και αυτό επιτυγχάνεται με τη χρησιμοποίηση καλής ποιότητας νερού και επαρκή στράγγιση των εδαφών.

Τα κριτήρια για ποιοτική κατάταξη του νερού άρδευσης σε υψηλή κατηγορίας καταλληλότητας είναι:

- Μικρή αλατότητα,
- Μικρή SAR για να εμποδίζεται ο σχηματισμός νατριωμένων εδαφών,
- Μικρή συγκέντρωση των ιόντων που μπορεί να επηρεάσουν τα ευαίσθητα σ' αυτά φυτά.

Εργαστηριακά η περιεκτικότητα των νερών σε ουδέτερα διαλυτά άλατα

προσδιορίζεται με μεθόδους οι οποίες βασίζονται στην ιδιότητα των ιόντων να συμπεριφέροντε ως καλοί αγωγοί του ηλεκτρισμού.

Η περιεκτικότητα των νερών σε ουδέτερα διαλυτά άλατα εκφράζεται ως ηλεκτρική αγωγιμότητα. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα των νερών για την άρδευση των καλλιεργειών μετρείται με το ηλεκτρικό αγωγιμόμετρο (Εικ. 3.1.).

Το εργαστήριο αλατούχων εδαφών των Η.Π.Α. κατατάσσει την ποιότητα των νερών για την άρδευση των καλλιεργειών με βάση την αλατότητα του νερού ή την συνολική συγκέντρωση των αλάτων που εκφράζονται σε mmhos/cm στους 25°C ή σαν συγκέντρωση αλάτων mg/l ή ppm. Σύμφωνα με την κατάταξη αυτή υπάρχουν οι πέντε παρακάτω κατηγορίες νερών για το πότισμα των καλλιεργειών:

- Κατηγορίας C<sub>1</sub>: Νερό μικρής αλατότητας.

Το νερό έχει ηλεκτρικό αγωγιμότητας  $\leq 250$  mmhos/cm στους 25°C και είναι κατάλληλο για όλες σχεδόν τις καλλιέργειες και για όλα σχεδόν τα εδάφη.

- Κατηγορίας C<sub>2</sub>: Νερό μέτριας αλατότητας.

Στην κατηγορία αυτή η ηλεκτρική αγωγιμότητα κυμαίνεται μεταξύ 250-270 mmhos/cm στους 25°C. Το νερό της κατηγορίας αυτής μπορεί να χρησιμοποιηθεί με μέτρια έκπλυση καλή στράγγιση και για καλλιέργειες μετρίως ανθεκτική στα άλατα.

- Κατηγορίας C<sub>3</sub>: Νερό μέσης αλατότητας.

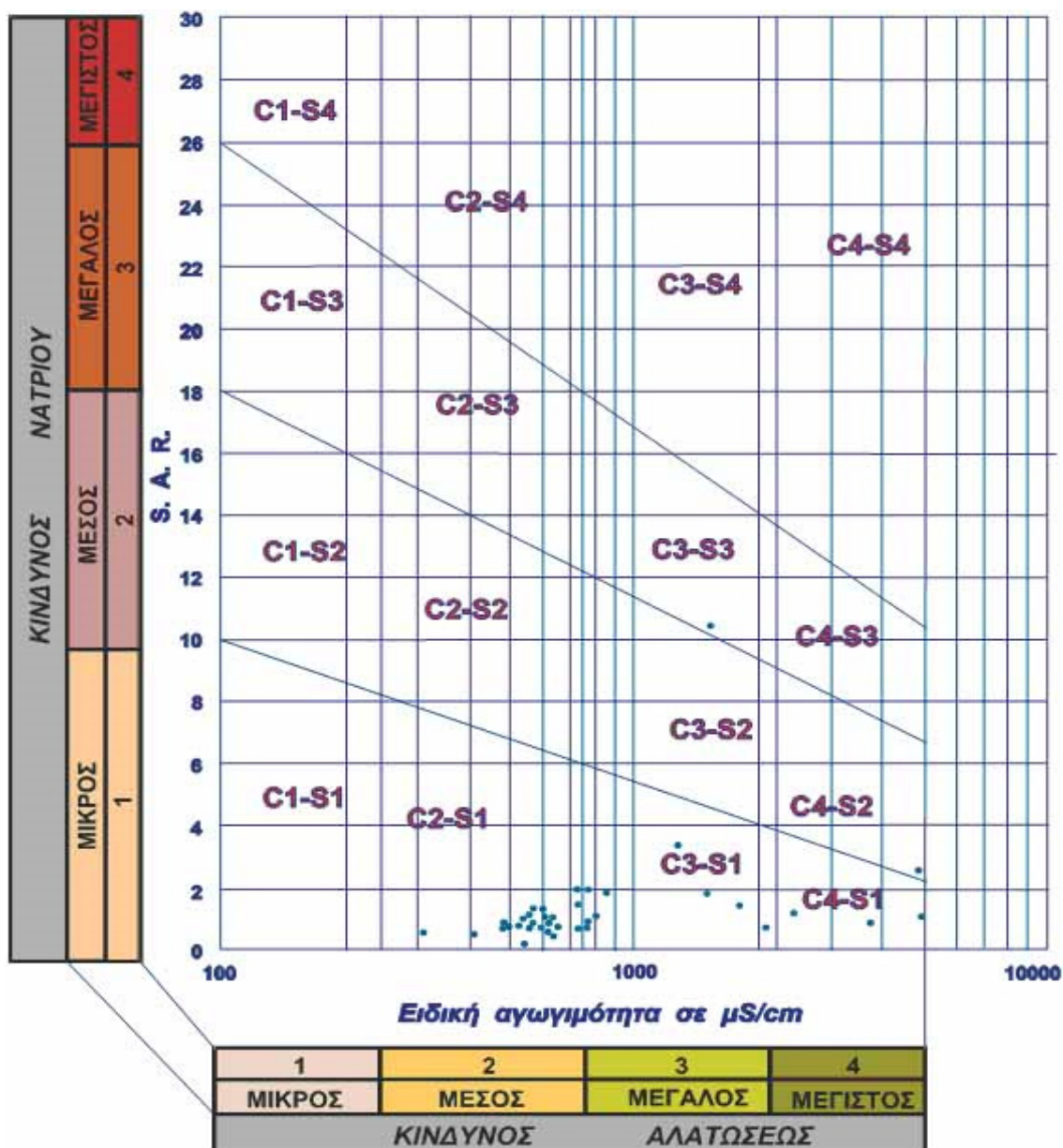
Το νερό έχει ηλεκτρική αγωγιμότητα που κυμαίνεται μεταξύ 750 και 2.250 mmhos/cm. Το νερό αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί εφ' όσον εξατμίζεται επαρκής έκπλυση σε εδάφη καλής στράγγισης και σε καλλιέργειες ανθεκτικές στα άλατα.

- Κατηγορίας C<sub>4</sub>: Νερό υψηλής αλατότητας.

Το νερό χαρακτηρίζεται από ηλεκτρική αγωγιμότητα που κυμαίνεται μεταξύ 2.250 μέχρι 4.000 mmhos/cm. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εδάφη πολύ διαπερατά με επαρκή έκπλυση και για ανθεκτικές καλλιέργειες στα άλατα.

- Κατηγορίας C<sub>5</sub>: Νερό υψηλής αλατότητας.

Η αγωγιμότητα της κατηγορίας αυτής είναι  $>4.000$  mmhos/cm. Μπορεί περιστασιακά να χρησιμοποιηθεί κάτω από ειδικά αυστηρές και ελεγχόμενες συνθήκες.



Εικ. 3.2. Κατάταξη των νερών άρδευσης με βάση την ηλεκτρική αγωγιμότητα και την τιμή SAR.

Τα αρδευτικά νερά με βάση το δείκτη SAR ταξινομούνται σύμφωνα με το σύστημα του U.S. Salinity Lab, σε τέσσερις κατηγορίες του κινδύνου αλκαλίωσης:

- Κατηγορία S<sub>1</sub>: Νερό μικρής αλκαλίωσης.

Νερό κατάλληλο για όλα τα εδάφη και για όλες τις καλλιέργειες εκτός από τις πολύ ευαίσθητες στο νάτριο καλλιέργειες (πυρινόκαρπα και αβοκάντο)  $\text{SAR} \leq 10$  meq/L.

- Κατηγορία S<sub>2</sub>: Νερό μέσης αλκαλίωσης.

Νερό αυτής της κατηγορίας είναι κατάλληλο για ελαφρά και οργανικά εδάφη καλής διαπερατότητας. Σε βαρεία εδάφη πρέπει να αποφεύγεται (SAR= 10-18 meq/L).

- Κατηγορία S<sub>3</sub>: Νερό υψηλής αλκαλίωσης.

Το νερό αυτό είναι επικίνδυνο στα περισσότερα εδάφη. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί αν εξασφαλιστεί επαρκής στράγγιση, άφθονη έκπλυση και προσθήκη οργανικής ουσίας. (SAR= 18-26 mmhos/cm).

- Κατηγορία S<sub>4</sub>: Νερό πολύ υψηλής αλκαλίωσης.

Το νερό αυτής της κατηγορίας είναι ακατάλληλο για όλες τις συνηθισμένες περιπτώσεις. (SAR>26 mmhos/cm).

Εκτός από την παραπάνω ποιοτική κατάταξη των νερών άρδευσης (κατάταξη εργαστηρίου αλατότητας των Η.Π.Α.) τα νερά κατατάσσονται και με βάση την κατάταξη Doneen (1954).

Η ποιοτική κατάταξη των νερών με βάση την κατάταξη Doneen βασίζεται:

1. Στη δυνατότητα δημιουργίας αλατότητας στο έδαφος, και
2. Στον κίνδυνο αλκαλίωσης των εδαφών.

Η δυνατότητα δημιουργίας αλατότητας στο έδαφος υπολογίζεται ως εξής:

$$\text{Δυνατότητα δημιουργίας αλατότητας στο έδαφος} = \text{Cl}^- + \frac{1}{2} \text{SO}_4^{2-}$$

Η συγκέντρωση των Cl<sup>-</sup> και SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> εκφράζονται, σε meq/L.

Για την κατάταξη των νερών με βάση τον κίνδυνο αλκαλίωσης των εδαφών που μπορούν να προκαλέσουν λαμβάνεται υπόψη ο Δείκτης Περαιτότητας. Ο Δείκτης Περαιτότητας του εδάφους υπολογίζεται όπως παρακάτω:

$$\text{Δείκτης Περαιτότητας} = \frac{(\text{Na}^+) + \sqrt{\text{HCO}_3^-}}{(\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2} + \text{Na}^+)} \times 100$$

Όπου οι συγκεντρώσεις των ιόντων  $\text{Na}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{+2}$   $\text{Mg}^{+2}$  εκφραζόμενες σε meq/L.

Ο Doneen (1954) με βάση τη δυνατότητα δημιουργίας αλατότητας στο έδαφος κατατάσσει τα αρδευτικά νερά σε 3 κατηγορίες (πίνακας 3).

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3. 3. Ταξινόμηση των νερών άρδευσης με βάση τη δυνατότητα δημιουργίας στο έδαφος. (Doneen, 1954)**

Εδαφικές συνθήκες	Δυνατότητα δημιουργίας αλατότητας = = $\text{Cl}^- + \frac{1}{2} \text{SO}_4^{2-}$ σε meq/L		
	Κατηγορίες αρδευτικού νερού		
Μικρή μέχρι μηδενική έκπλυση του εδάφους	1	2	3
Κάποια έκπλυση αλλά περιορισμένη. Στράγγιση μικρή.	<3	3-5	>5
Εδάφη περατά με καλή στράγγιση.	<7	7-15	>15

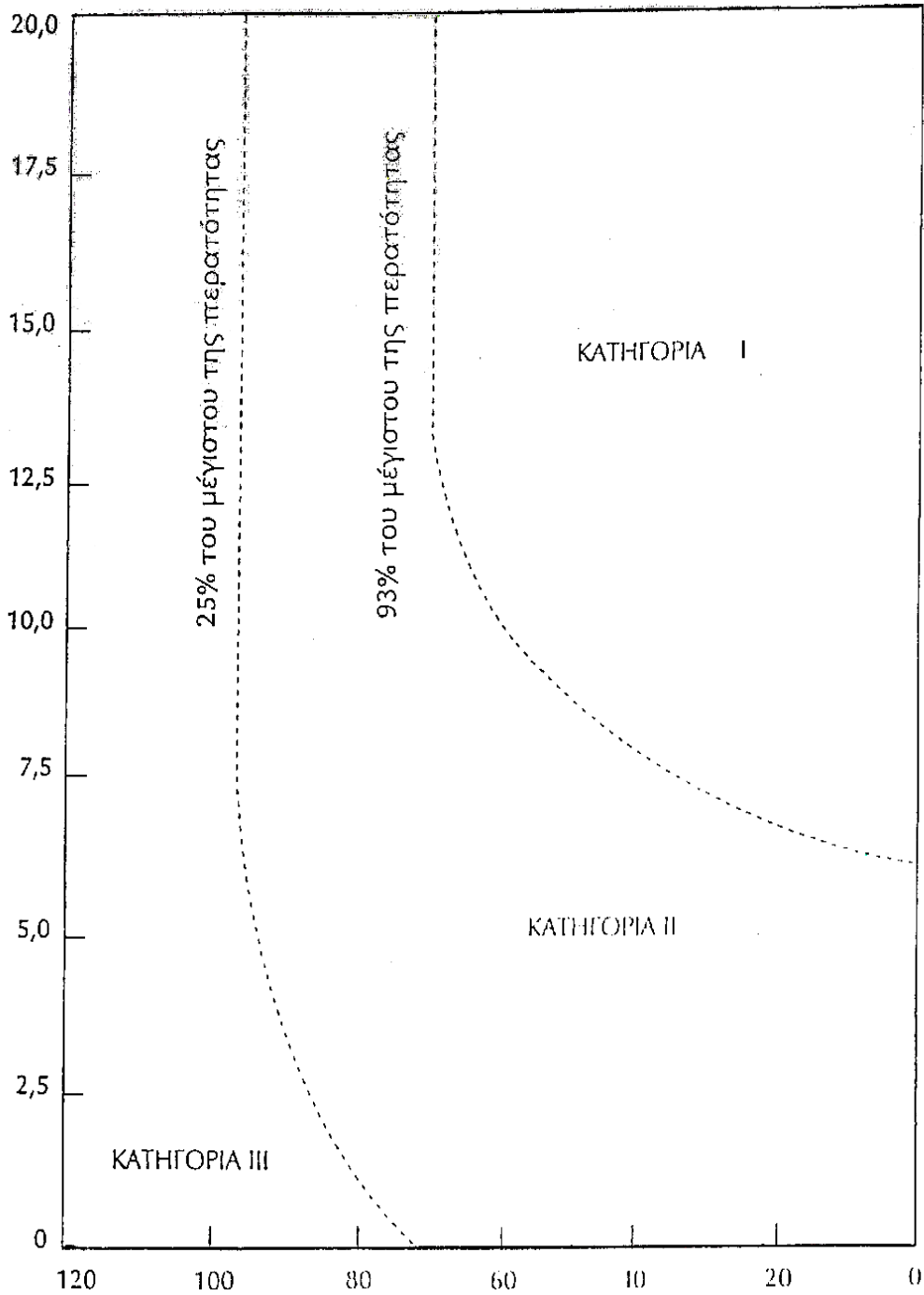
Ανάλογα με τον κίνδυνο αλκαλίωσης των εδαφών και για εδάφη με μικρή, μέση και μεγάλη περατότητα, τα νερά ταξινομούνται σε 3 κατηγορίες (εικόνες 3.3.α., 3.3.β, 3.3.γ.).

Ο ερευνητής Eaton (1950) και οι ερευνητές Wilxon.et.al. (1967) εισήγαγαν την έννοια του υπολειμματικού ανθρακικού νατρίου «Residual Sodium Carbonate» (RSC) στα νερά της άρδευσης. Το υπολειμματικό ανθρακικό νάτριο (RSC) υπολογίζεται ως εξής:

$$\text{RSC} = (\text{CO}_3^{2-}) + (\text{HCO}_3^-) - (\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2})$$

Όλες οι συγκεντρώσεις των ιόντων εκφράζονται σε meq/L. Στις περιπτώσεις που η διαφορά είναι αρνητική, αυτό σημαίνει ότι δεν υπάρχει υπολειμματικό ανθρακικό νάτριο. Επομένως, το υπολειμματικό ανθρακικό νάτριο εκφράζει την επιπλέον συγκέντρωση των διττανθρακικών και ανθρακικών ιόντων ασβεστίου και μαγνησίου.

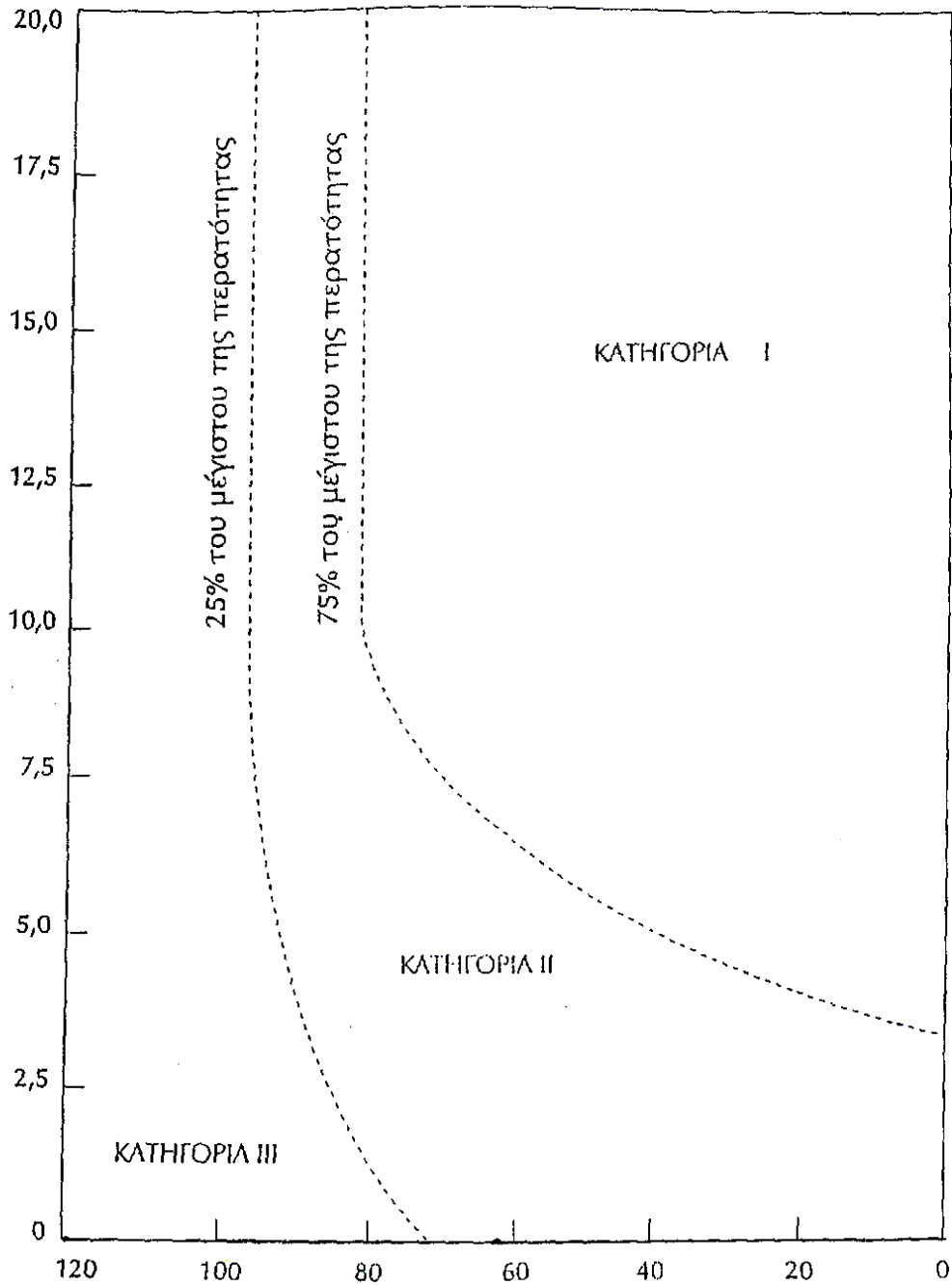
Ολική συγκέντρωση  
 Meq/L  
 ( $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+$ )



$$\text{Δείκτης περατότητας} = \frac{\text{Na}^+ + \sqrt{\text{HCO}_3^-}}{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+} \times 100$$

Εικ. 3.3.α. Ταξινόμηση των νερών για εδάφη μικρής περατότητας (Doneen, 1954)

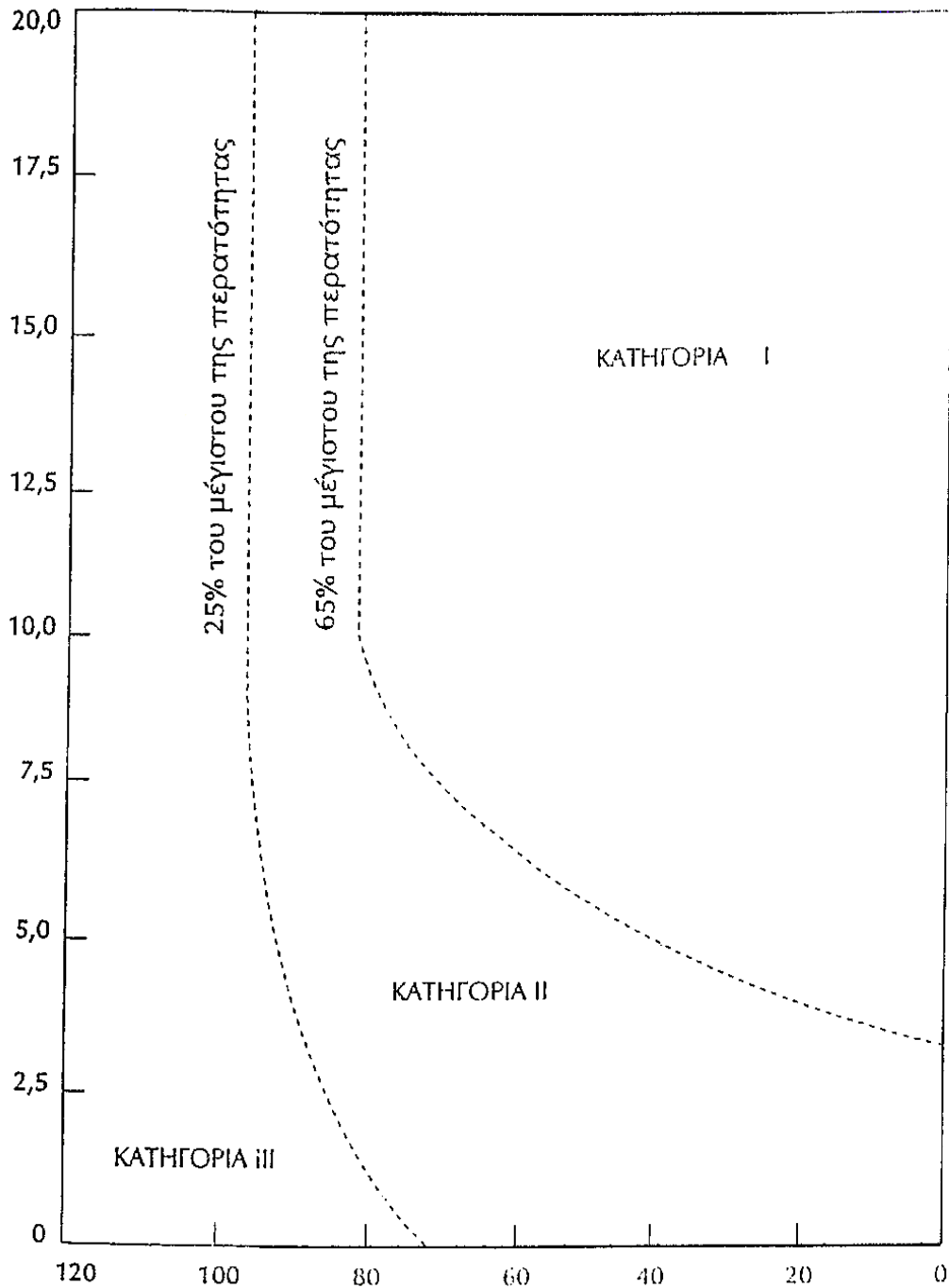
Ολική συγκέντρωση  
Μεq/L  
(Ca<sup>2+</sup> + Mg<sup>2+</sup> + Na<sup>+</sup>)



$$\text{Δείκτης περατότητας} = \frac{\text{Na}^+ + \sqrt{(\text{HCO}_3^-)}}{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+} \times 100$$

Εικ. 3.3.β. Ταξινόμηση των νερών για εδάφη μέσης περατότητας (Doneen, 1954)

Ολική συγκέντρωση  
 Meq/L  
 ( $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+$ )



$$\text{Δείκτης περατότητας} = \frac{\text{Na}^+ + \sqrt{(\text{HCO}_3^-)}}{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+} \times 100$$

Εικ. 3.3.γ. Ταξινόμηση των νερών για εδάφη μεγάλης περατότητας (Doneen, 1954)



Οι παραπάνω ερευνητές με βάση το υπολειμματικό ανθρακικό νάτριο κατατάσσουν τα νερά άρδευσης όπως φαίνεται παρακάτω:

1. Όταν η συγκέντρωση του RSC στα νερά άρδευσης είναι πολύ μικρότερη της τιμής 1,25 meq/L ( $RSC \ll 1,25$ ), τότε τα νερά αυτά δεν περιέχουν κίνδυνο υπολειμματικού ανθρακικού νατρίου.
2. Όταν η συγκέντρωση του RSC στα νερά άρδευσης είναι μικρότερη της τιμής 1,25 meq/L ( $RSC < 1,25$ ), τότε τα νερά αυτά περιέχουν λίγο υπολειμματικό ανθρακικό νάτριο.
3. Όταν η συγκέντρωση του RSC στα νερά άρδευσης κυμαίνεται μεταξύ 1,25 - 2,5 meq/L ( $RSC = 1,25 - 2,5$ ), τότε τα νερά αυτά περιέχουν μέτριο υπολειμματικό ανθρακικό νάτριο.
4. Όταν η συγκέντρωση του RSC στα νερά άρδευσης είναι μεγαλύτερη της τιμής 2,5 meq/L ( $RSC > 2,5$ ), τότε τα νερά αυτά περιέχουν πολύ υπολειμματικό ανθρακικό νάτριο.

Με βάση την παραπάνω κατάταξη, τα νερά άρδευσης που περιέχουν υπολειμματικό ανθρακικό νάτριο σε συγκέντρωση μεγαλύτερη από 2,5 meq/L είναι ακατάλληλα για άρδευση των καλλιεργειών. Τα νερά άρδευσης που περιέχουν υπολειμματικό ανθρακικό νάτριο μεταξύ 1,25 - 2,5 meq/L θα προκαλέσουν στα φυτά σοβαρές ζημιές εξαιτίας της αύξησης του pH του εδάφους.

Οι ερευνητές Christiansen et al., (1977) κατατάσσουν τα νερά άρδευσης με βάση τις παραμέτρους:

- Ηλεκτρική αγωγιμότητα
- Το επί τοις εκατό (%) ποσοστό νατρίου (βαθμός αλκαλίωσης νατρίου)\*.
- Το SAR.
- Το υπολειμματικό ανθρακικό νάτριο (RSC).
- Τη συγκέντρωση χλωρίου και βορίου.

Οι συγκεντρώσεις των στοιχείων εκφράζονται σε meq/L. Η ποιότητα των νερών με βάση την ποιοτική κατάταξη των Christiansen et al., (1977) παρουσιάζεται στον πίνακα 3. 4.

---

\* Το ποσοστό του νατρίου υπολογίζεται ως εξής:

$$Na(\%) = \left[ \frac{(Na^+)}{(Na^+ + Ca^{+2} + Mg^{+2} + K^+)} \right] \times 100$$

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3. 4. Εκτίμηση της ποιότητας των νερών άρδευσης σύμφωνα με τους Christiansen et al. (1977).**

Κατηγορίες Ποιότητας Αρδευτικών Νερών	E.C. dS m <sup>-1</sup>	Na %	SAR	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> meq/L	Cl <sup>-</sup> meq/L	B meq/L
Άριστο	<0,5	<40	<3	<0,5	<3	<0,5
Καλό	0,5-1,0	40-60	3-6	0,5-1,0	3-6	0,5-1,0
Ανεκτό	1,0-2,0	60-70	6-9	1,0-2,0	6-10	1,0-2,0
Αμφίβολο	2,0-3,0	70-80	9-12	2,0-3,0	10-15	2,0-3,0
Επιβλαβές	3,0-4,0	80-90	12-15	3,0-4,0	15-20	3,0-4,0
Ακατάλληλο	>4,0	>90	>15	>4,0	>20	>4,0

Η κατάταξη των νερών άρδευσης με βάση την περιεκτικότητα αυτών σε βόριο είναι μεγάλης σημασίας, επειδή το βόριο σε μεγάλες συγκεντρώσεις προκαλεί τοξικά συμπτώματα στα φυτά.

Στη διεθνή βιβλιογραφία αναφέρεται και η κατάταξη των νερών άρδευσης με βάση τις παρακάτω παραμέτρους:

- Αλατότητα (Ηλεκτρική αγωγιμότητα του νερού άρδευσης).
- Διήθηση.
- Τοξικότητα ειδικών ιόντων, ειδικότερα νατρίου, χλωρίου, βορίου.
- Τις διάφορες επιδράσεις του αζώτου με τη νιτρική μορφή και των διττανθρακικών.

Οι ερευνητές Ayers and Westcot (1976) με βάση τις παραπάνω παραμέτρους, ταξινομούν ποιοτικά τα νερά άρδευσης όπως φαίνεται παρακάτω:

- Αρδευτικά νερά που δε δημιουργούν προβλήματα στα εδάφη.
- Αρδευτικά νερά με αυξανόμενο πρόβλημα στα εδάφη.
- Αρδευτικά νερά που δημιουργούν σοβαρό πρόβλημα στα εδάφη.

Στον πίνακα 3.5. παρουσιάζεται η κατάταξη των νερών άρδευσης σύμφωνα με τους Ayers and Westcot (1976).

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3. 5. Εκτίμηση της ποιότητας των νερών άρδευσης  
(Ayers and Westcot, 1976)**

Άρδευτικό πρόβλημα	Μονάδες	Βαθμός προβλήματος		
		Χωρίς πρόβλημα	Αυξανόμενο πρόβλημα	Σοβαρό πρόβλημα
<b>Αλατότητα</b>				
E.C.	dSm <sup>-1</sup>	< 0,7	0,7-3,0	>3,0
Διαλυτά άλατα	mg/l	<450	450-2000	>2000
Διαλυτά άλατα	mg/l	<7	7-30	>30
<b>Διήθηση</b>				
SAR= 0- 3 και EC=	dSm <sup>-1</sup>	>0,7	0,7-0,2	<0,2
= 3-6 =	dSm <sup>-1</sup>	>1,2	1,2-0,3	<0,3
= 6-12 =	dSm <sup>-1</sup>	>1,9	1,9-0,5	<0,5
= 12-20 =	dSm <sup>-1</sup>	>2,9	2,9-1,3	<1,3
= 20-40 =	dSm <sup>-1</sup>	>5,0	5,0-2,9	<2,9
<b>Τοξικότητα ειδικών ιόντων</b>				
<b>Νάτριο</b>				>9,0
Άρδευση με ροή	SAR	<3	3,0-9,0	
Καταιόνηση	meq/l	<3	>3,0	
<b>Χλώριο</b>				

### 3.4. ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΔΗΜΙΟΥΡΓΟΥΝΤΑΙ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΕΛΑΦΩΝ

Η δυσμενής επίδραση των υδατοδιαλυτών αλάτων στην ανάπτυξη και την παραγωγικότητα των καλλιεργειών οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι αυτά αυξάνουν τη συγκέντρωση αλάτων στο εδαφικό διάλυμα (δηλαδή το νερό που υπάρχει στο έδαφος με τα άλατα που είναι διαλυμένα σ' αυτό). Με την αύξηση της συγκέντρωσης

αλάτων, το εδαφικό διάλυμα καθίσταται πιο πυκνό με άμεση συνέπεια να δυσχεραίνεται η πρόσληψη του νερού από το ριζικό σύστημα λόγω αυξησεως οσμωτικής πίεσης. Μερικές φορές, όταν το εδαφικό διάλυμα γίνεται πολύ πυκνό, παρατηρείται και το φαινόμενο της πλασμολύσεως των κυττάρων των φυτών (στην περίπτωση αυτή έχουμε έξοδο νερού από το ριζικό κύτταρο προς τον περιβάλλοντα χώρο). Επίσης δεν θα πρέπει να παραλειφθούν και οι τοξικές επιδράσεις των αλάτων στις διάφορες καλλιέργειες, η ευπάθεια των οποίων ποικίλλει ανάλογα με το είδος των καλλιεργούμενων φυτών. Τα περιεχόμενα στα αλατούχα εδάφη διαλυτά άλατα αποτελούνται στην πλειονότητα τους από κατιόντα Νάτριο ( $\text{Na}^+$ ) ασβεστίου ( $\text{Ca}^{++}$ ) και μαγνησίου ( $\text{Mg}^{++}$ ) και από ανιόντα χλωρίου ( $\text{Cl}^-$ ) και θείου ( $\text{SO}_4^- = \text{Θειϊκή ρίζα}$ ).

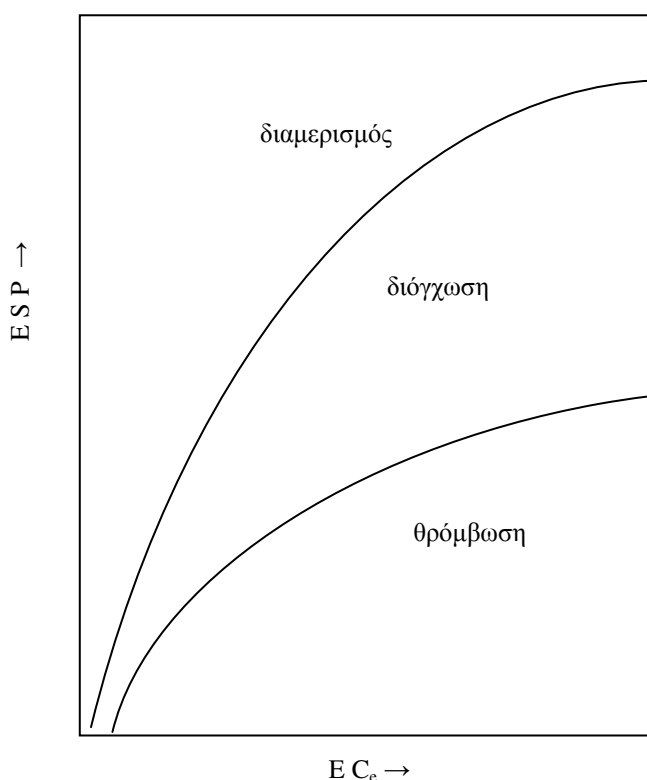
Σε μικρότερες ποσότητες εμφανίζονται κατιόντα καλίου ( $\text{K}^+$ ) και ανιόντα  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_3^-$  και  $\text{NO}_3^-$ . Από τα παραπάνω κατιόντα ιδιαίτερη σημασία έχουν τα κατιόντα  $\text{Na}^+$  και  $\text{K}^+$ , γιατί προσδιορίζουν το βαθμό αλκαλιώσεως του εδάφους ως την εκατοστιαία αναλογία των ανταλλάξιμων ιόντων νατρίου και καλίου ως προς την ολική ικανότητα προσροφήσεως του. Από τα κατιόντα  $\text{Na}^+$  και  $\text{K}^+$  το νάτριο απαντάται σε σαφώς μεγαλύτερες ποσότητες από ότι το κάλιο στις περισσότερες περιπτώσεις και για το λόγο αυτό λαμβάνεται ως βάση για το χαρακτηρισμό των εδαφών ως αλκαλιωμένων ή ως μη αλκαλιωμένων.

#### **3.4.1. Η επίδραση των αλάτων ενός αλατούχου εδάφους στις φυσικές ιδιότητες του εδάφους**

Όταν το έδαφος είναι αλατούχο τότε έχουμε μόνο την επίδραση της συγκέντρωση των αλάτων του εδαφικού διαλύματος στις φυσικές ιδιότητες του εδάφους και κυρίως στη διηθητικότητα του. Με τον όρο διηθητικότητα εννοούμε τη διείσδυση του νερού από την επιφάνεια του εδάφους μέσα στην μάζα του. Όταν η συγκέντρωση των αλάτων είναι μεγάλη, τότε η άργιλος του εδάφους βρίσκεται σε κατάσταση ισχυρής θρόμβωσης. Η ισχυρή θρόμβωση δημιουργεί στο έδαφος μεγάλη διηθητικότητα. Αν η συγκέντρωση των αλάτων είναι μικρή τότε μειώνεται και η διηθητικότητά του.

Όταν το έδαφος είναι αλατούχο - αλκαλιωμένο τότε υπάρχουν δύο παράγοντες που καθορίζουν και διαμορφώνουν τη διηθητικότητα του εδάφους. Ο ένας παράγοντας είναι η συγκέντρωση των αλάτων του εδαφικού διαλύματος και ο άλλος είναι το εναλλακτικό νάτριο της στερεής φάσης. Η μεγάλη συγκέντρωση των

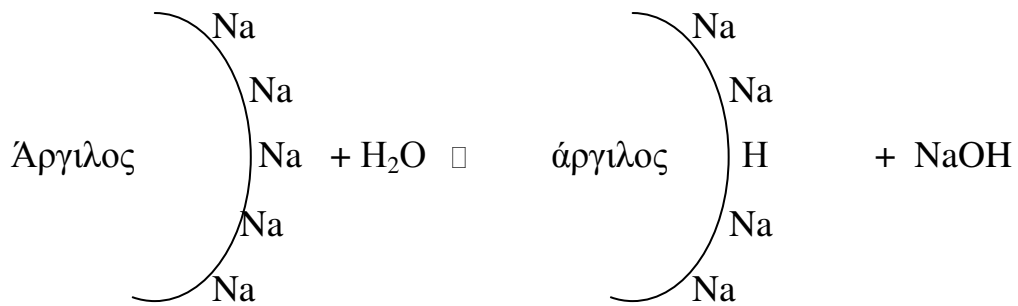
αλάτων δημιουργεί προϋποθέσεις θρόμβωσης της αργίλου ενώ το υψηλό ποσοστό του εναλλακτικού νατρίου ( $ESP > 15\%$ ) δημιουργεί τις προϋποθέσεις διόγκωσης και διαμερισμού της. Το τι ακριβώς θα συμβεί σ' ένα συγκεκριμένο αλατούχο-αλκαλιωμένο έδαφος εξαρτάται από τους συνδυασμούς της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του νερού κορεσμού ( $EC_e$ ) και του ESP, όπως φαίνεται και στο ακόλουθο διάγραμμα.



**Εικ. 3.4.1.α.: Σχηματικό διάγραμμα το οποίο δείχνει τη συμπεριφορά του αργίλου στις μεταβολές του ESP και  $EC_e$ .**

Όταν η ηλεκτρική αγωγιμότητα αυξάνεται έναντι της περιεκτικότητας σε εναλλακτικό νάτριο (ESP), τότε η άργιλος βρίσκεται σε θρόμβωση και έτσι διατηρείται η διηθητικότητα σε ικανοποιητική κατάσταση.

Τέλος, όταν το έδαφος είναι μη αλατούχο-αλκαλιωμένο τότε το υψηλό ποσοστό του εναλλακτικού νατρίου και το υψηλό pH (>8.5) καθορίζουν τη διηθητικότητα του εδάφους. Η πολύ μικρή συγκέντρωση αλάτων στο εδαφικό διάλυμα αποτελεί παράγοντα αύξησης της ταχύτητας υδρολύσεως ενός ποσοστού του εναλλακτικού νατρίου που έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία NaOH (υδροξειδίου του νατρίου) και την αύξηση του pH.



**Εικ. 3.4.1.β. Υδρόλυση εναλλακτικού νατρίου**

Όπως φαίνεται και από το προηγούμενο διάγραμμα η μικρή ηλεκτρική αγωγιμότητα και η μεγάλη περιεκτικότητα σε εναλλακτικό νάτριο σε συνδυασμό με το pH δημιουργούν τις προϋποθέσεις διόγκωσης και διαμερισμού της αργίλου που συνεπάγεται το κλείσιμο των πόρων του εδάφους και την πτώση σε μηδενικά σχεδόν επίπεδα της διηθητικότητάς του.

Σήμερα στη χώρα μας, η έκταση που καταλαμβάνουν εδάφη των παραπάνω κατηγοριών, που με μια λέξη θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν ως παθογενή εδάφη, είναι περίπου  $1 \times 10^6$  στρέμματα, από τα οποία τα περισσότερα είναι αλατούχα-αλκαλιωμένα. Ακολουθούν τα αλατούχα σε αναλογία προς τα προηγούμενα περίπου 4 : 1 και τέλος τα αλκαλιωμένα σε πολύ μικρό ποσοστό (περίπου το 3% του συνόλου των παθογενών εδαφών). Πέρα από αυτές τις εκτάσεις υπάρχουν και άλλες, τα εδάφη των οποίων για πολλούς λόγους (κλιματικοί, γεωλογικοί, τοπογραφικοί, στραγγιστικοί και άλλους) είναι επιρρεπή προς παθογένεια. Για τις εκτάσεις αυτές δεν διατίθενται, δυστυχώς ακριβή συγκεντρωτικά στοιχεία, για να αντιμετωπιστεί συστηματικά και αποτελεσματικά το πρόβλημα στο σύνολο του. Πάντως η συνολική έκταση των αλατούχων γενικά εδαφών της χώρας αντιπροσωπεύει τουλάχιστον 6 με 7% της καλλιεργούμενης εκτάσεως και η σημασία της για τη φυσική παραγωγή είναι ακόμα μεγαλύτερη, αν ληφθεί υπ όψη ότι τα εδάφη αυτά είναι συνήθως ή καθίστανται αρδευόμενα.

### **3.4.2. Δυσμενείς συνέπειες της αλατότητας στα φυτά.**

Οι τρόποι επίδρασης των διαλυτών αλάτων στην ανάπτυξη των φυτών είναι:

- Αυτοί που αναφέρονται σε ειδικές επιζήμιες επιδράσεις στα φυτά και οφείλονται σε συγκεκριμένα ιόντα που υπάρχουν στο έδαφος, και

- Αυτοί που αναφέρονται σε μια καθολική επίδραση στα φυτά, σαν αποτέλεσμα αύξησης της οσμωτικής πίεσης του εδαφικού διαλύματος γύρω από τις ρίζες των φυτών.

Οι ειδικές επιζήμιες επιδράσεις στα φυτά κατατάσσονται σε δυο κατηγορίες:

- α) Σε αυτές που οφείλονται στα ιόντα, τα οποία βρίσκονται σε χαμηλές συγκεντρώσεις στο εδαφικό διάλυμα, και
- β) Σ' αυτές που οφείλονται στα ιόντα, τα οποία βρίσκονται σε μεγάλες συγκεντρώσεις στο εδαφικό διάλυμα.

Τα ιόντα που βρίσκονται σε χαμηλές συγκεντρώσεις στο εδαφικό διάλυμα και προκαλούν ειδικές επιζήμιες επιδράσεις στα φυτά, υπάρχουν στο έδαφος με τη μορφή ανθρακικού νατρίου και των διαλυτών αλάτων βορίου. Οι επιζήμιες επιδράσεις που παρατηρούνται στα φυτά δεν οφείλονται αποκλειστικά στην επιζήμια δράση των στοιχείων νατρίου και βορίου, αλλά και στην επιζήμια δράση στα φυτά του υψηλού εδαφικού pH. Σε περιπτώσεις που υπάρχει υψηλό pH, τα φωσφορικά ιόντα, ο σίδηρος και το μαγγάνιο του εδάφους δεν είναι διαθέσιμα στα φυτά. Επίσης, στις περιπτώσεις που έχουμε υψηλό pH στο έδαφος, η δομή του εδάφους καθίσταται ασταθής στη δράση του νερού, με αποτέλεσμα τη μειωμένη κίνηση του νερού στα βαθύτερα στρώματα της εδαφικής κατανομής, τη μείωση του αερισμού, καθώς και τη μείωση της ικανότητας του εδάφους για μηχανική κατεργασία.

Πολλά φυτά είναι ευαίσθητα στην παρουσία του νατρίου στο έδαφος. Σε μεγάλες όμως συγκεντρώσεις νατρίου παρατηρούνται τοξικά συμπτώματα σ' αυτά. Στον πίνακα 3.6. παρουσιάζεται η ανθεκτικότητα διάφορων φυτών σε διάφορα ESP του εδάφους.

Επίσης, σε ισοδύναμες αρκετά υψηλές οσμωτικές πιέσεις, τα ιόντα του μαγνησίου είναι περισσότερο τοξικά από τα ιόντα του νατρίου. Μεγάλη συγκέντρωση χλωριούχου νατρίου μπορεί να δράσει επιζήμια στα φυτά, επειδή το χλωριούχο νάτριο επιδρά περιοριστικά στην πρόσληψη των θρεπτικών στοιχείων από τις ρίζες των φυτών. Το νάτριο δρα ανταγωνιστικά στην πρόσληψη του καλίου από νεαρά φυτά ορισμένων ποικιλιών κριθαριού. Στην προκειμένη περίπτωση απαιτούνται μεγάλες συγκεντρώσεις καλίου στο εδαφικό διάλυμα. Μεγάλος αριθμός φυτών δείχνει γενετική ποικιλομορφία στην αντίδραση σε μεγάλες συγκεντρώσεις διαλυτών

αλάτων. Η δημιουργία ποικιλιών ανθεκτικών στις μεγάλες συγκεντρώσεις διαλυτών αλάτων, μπορεί να αποτελέσει μια από τις καλύτερες λύσεις.

Γενικά, η υψηλή αλατότητα προκαλεί νανισμό στα φυτά. Ο νανισμός αυτός μπορεί να μην γίνει αντιληπτός, αν δεν υπάρχουν για σύγκριση φυτά που αναπτύσσονται σε έδαφος με μικρή αλατότητα. Η υψηλή αλατότητα μπορεί να προκαλέσει μείωση της απόδοσης των καλλιεργειών κατά 20%, χωρίς βέβαια να υπάρχουν εμφανή συμπτώματα αντιληπτά στους γεωργούς, που να οφείλονται στην επιζήμια δράση των αλάτων. Όταν η συγκέντρωση των διαλυτών αλάτων είναι υψηλή, τότε σε ορισμένα είδη φυτών η επιζήμια δράση τους γίνεται εμφανής γιατί τα φύλλα των φυτών αποκτούν ένα μουντό χρώμα, συνήθως κοκκινοπράσινο και στη συνέχεια καλύπτονται από μια κηρώδη επίστρωση.

Πολλά φυτά καλλιεργούμενα σε πολύ αλατούχα εδάφη δεν παρουσιάζουν εμφανή τα συμπτώματα της μάρανσης, με αποτέλεσμα οι γεωργοί, επειδή δεν το γνωρίζουν αυτό, να μην ποτίζουν τα φυτά.

Η καθυστέρηση στο πότισμα των καλλιεργειών μέχρις όταν τα συμπτώματα της μάρανσης γίνουν ορατά, θα προκαλέσει μεγάλες απώλειες στις αποδόσεις των καλλιεργειών. Οι επιζήμιες επιδράσεις των διαλυτών αλάτων συνοψίζονται παρακάτω:

- Φυσιολογική δίψα στα φυτά, που είναι αποτέλεσμα της επίδρασης της οσμωτικής πίεσης.
- Αυξανόμενη υδραυλική αντίσταση των ριζών και των φυτών.
- Μεταβολή των ορμονικών επιπέδων στα φυτά, που επιδρούν στους ρυθμούς ανάπτυξης των φυτών.
- Άμεση επιζήμια επίδραση, ειδικότερα στους μηχανισμούς φωτοσύνθεσης των φυτών.
- Ανταγωνισμός των θρεπτικών στοιχείων με αποτέλεσμα τη χρήση αυξημένης ενέργειας, προκειμένου να διατηρηθεί η ισορροπία του K/Na.



**ΠΙΝΑΚΑΣ 3.6. Ανθεκτικότητα των φυτών σε διάφορα ESP Των εδαφών (Pearson, 1960)**

<b>Ανθεκτικότητα</b>	<b>Βοτανικό είδος</b>	<b>Καλλιεργούμενα φυτά Ελληνικό όνομα</b>	<b>Αγγλικό όνομα</b>	<b>Αντίδραση των φυτών σε συνθήκες αγρού</b>
Πάρα πολύ ευαίσθητα φυτά (ESP=2-10)	Prunus avium	Κερασιά	Cherry tree	Τοξικά συμπτώματα στα φυτά ακόμα και σε χαμηλές τιμές ESP
	Prunus persica	Ροδακινιά	Reach	
	Prunus armeniaca	Βερικοκιά	Apricot	
	Citrus sinensis	Πορτοκαλιά	Orange	
	Citrus paradise	Γκρέιπ φρούτ	Grape fruit	
	Persea americana	Αβοκάντο	Avocado	
Ευαίσθητα φυτά (ESP=2-10)	Phaseolus spp	Φασόλια	Beans	Παρατηρείται νανισμός στα φυτά σε χαμηλές τιμές ESP, ακόμα και στις περιπτώσεις που οι εδαφικές συνθήκες είναι ικανοποιητικές
Μέτρια ανθεκτικά φυτά (ESP=20-40)	Trifolium hybridum	Αγριοτριφύλλο	Alsike	Παρατηρείται νανισμός στα φυτά που έχει σαν αιτία την κακή θρέψη των φυτών και τις δυσμενείς εδαφικές συνθήκες
	Trifolium pretense	Τριφύλλι το λειμώνιο	Red Clovers	
	Avena arundinacea	Βρώμη	Oats	
	Festuca arundinacea	Φεστούκα	Tall fescue	
	Oryza sativa	Ρύζι	Rice	
Ανθεκτικά φυτά (ESP=40-60)	Triticum eastivum	Σιτάρι	Wheat	Παρατηρείται νανισμός στα φυτά που οφείλεται στις δυσμενείς εδαφικές συνθήκες
	Gossypium hirsutum	Βαμβάκι	Cotton	
	Medicago sativa	Μηδική	Alfalfa, Lucerne	
	Hordeum vulgare	Κριθάρι	Barley	
	Lycopersicum esculentum	Τομάτα	Tomato	
	Beta vulgaris	Ζαχαρότευτλα	Sugar beet	
	Beta vulgaris	Παντζάρια	Beets	
Πάρα πολύ ανθεκτικά φυτά (ESP>60)	Agropyron elengatum	Αγρόπυρο	Tall wheatgrass	Παρατηρείται νανισμός στα φυτά που οφείλεται στις δυσμενείς εδαφικές συνθήκες
	Agropyron desertorum	Αγρόπυρο	Crested wheatgrass	

### **3.4.3. Η ανθεκτικότητα διάφορων φυτών στα άλατα**

Τα φυτά διαφέρουν, ως προς την ικανότητα που έχουν να αντέχουν στις επιζήμιες επιδράσεις της αλατότητας των εδαφών. Επίσης, δείχνουν διαφορετική ικανότητα απορρόφησης νερού από τα εδάφη που η υγρασία τους βρίσκεται στο σημείο μάρανσης των φυτών. Τα φυτά δε που έχουν προσαρμοστεί και αναπτύσσονται κανονικά σε αλατούχα εδάφη έχουν την ικανότητα να απορροφούν νερό με μεγαλύτερη ικανότητα σε συνθήκες ξηρασίας. Όμως, η αντοχή των φυτών στα διαλυτά άλατα καθώς και στην ξηρασία, δεν είναι απαραίτητο να σχετίζονται μεταξύ τους.

Όσο μεγαλύτερη είναι η αλατότητα των εδαφών, τόσο λιγότερο νερό μπορούν να απορροφούν τα φυτά από το έδαφος, πριν αρχίσουν να υποφέρουν από την έλλειψη νερού. Έτσι λοιπόν, αρδευόμενα εδάφη με υπερβολικές συγκεντρώσεις διαλυτών αλάτων χρειάζονται συχνότερες αρδεύσεις από τα μη-αλατούχα εδάφη (Shalhevet et al, 1983).

Η αντοχή των φυτών στα διαλυτά άλατα είναι πολύπλοκη υπόθεση για πολλούς λόγους. Μπορεί να είναι μικρή όταν τα φυτά είναι νέα και όταν αυτά αναπτυχθούν κανονικά να έχουν μεγάλη αντοχή στα διαλυτά άλατα. Ένα παράδειγμα είναι η μηδική. Τα φυτά μπορεί να επιζήσουν σε μεγάλη συγκέντρωση διαλυτών αλάτων, αλλά να αναπτύσσονται πολύ λίγο. Επίσης, μπορεί τα φυτά να αναπτύσσονται σε μέτρια συγκέντρωση διαλυτών αλάτων, αλλά όμως το παραγόμενο προϊόν να έχει μικρή εμπορική αξία.

Υπάρχουν και περιπτώσεις που τα φυτά μπορεί να αναπτύσσονται σε πολύ αλατούχα εδάφη. Στις περιπτώσεις αυτές, η ποιότητα των συγκομιζόμενων προϊόντων επηρεάζεται αρνητικά από τις μεγάλες συγκεντρώσεις των αλάτων. Για παράδειγμα, τα σιτηρά μπορεί σε αλατούχα εδάφη να παράγουν χλωρή μάζα, για παραγωγή καρπού τα εδάφη αυτά είναι ακατάλληλα. Τα ζαχαρότευτλα που καλλιεργούνται σε αλατούχα εδάφη παράγουν κονδύλους με χαμηλό ζαχαρικό τίτλο.

Τα φυτά μπορεί να ταξινομηθούν σε τρεις κατηγορίες σε σχέση με την αντοχή τους στα διαλυτά άλατα, όταν καλλιεργούνται σε αρδευόμενες συνθήκες. Οι κατηγορίες αυτές περιλαμβάνουν φυτά που εμφανίζουν καλή αντοχή, μέτρια αντοχή και ευαίσθητα στα υδατοδιαλυτά άλατα. Στον πίνακα 3.7. παρουσιάζονται τα φυτά που καλλιεργούνται στις Δυτικές Πολιτείες της Αμερικής σε αρδευόμενες συνθήκες. Τα φυτά, χουρμαδιά, βαμβάκι, ζαχαρότευτλα και κριθάρι, ταξινομούνται

στην κατηγορία των φυτών, που παρουσιάζουν μεγάλη ανθεκτικότητα στα διαλυτά άλατα. Επίσης, στην κατηγορία αυτή συμπεριλαμβάνονται τα γρασίδια Βερμούδα (*Cynodon dactylon*) για τις θερμές περιοχές και το Αγρόπυρο (*Agropyron elongatum*) στις δροσερές περιοχές. Ενώ αντίθετα, τα κουκιά (*Vicia faba*), πολλά είδη φασολιών (*Phaseolus spp*) και πολλά είδη τριφυλλιών είναι ευαίσθητα στα διαλυτά άλατα.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3.7. Σχετική αντοχή των φυτών στα διαλυτά άλατα στις Δυτικές Πολιτείες των Η.Π.Α.**

Πολύ ανθεκτικά φυτά	μέτρια ανθεκτικά φυτά	ευαίσθητα φυτά
Χουρμαδιά	Συκιά, Ελιά, Αμπέλι,	Αχλαδιά, Μηλιά,
Κριθάρι	Ροδιά, Ρύζι, Σιτάρι,	Πορτοκαλιά,
Ζαχαρότευτλα	Βρώμη, Σόργο, Σίκαλη,	Γρέιπ Φρούτ,
Ελαιοκράμβη	Καλαμπόκι, Πατάτες,	Βερικοκιά, Ροδακινιά,
Βαμβάκι	Κουκιά, Ήρα ή πολυετής	ποικιλίες πράσινων
Βερμούδα	Μελίλωτος, Μηδική,	φασολιών, Τριφύλλια
Αγρόπυρο ( <i>Agropyron Elongatum</i> )	Τριφύλλια ( <i>Trifolium fragiferum</i> )	( <i>Trifolium pratense</i> και <i>Trifolium repens</i> )

Επίσης στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται η ανθεκτικότητα πολλών καλλιεργούμενων φυτών στα διαλυτά άλατα, καθώς και η επίδραση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους στη μείωση της παραγωγής.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3. 8. Ανθεκτικότητα διάφορων φυτών στα άλατα**

Καλλιεργούμενα φυτά			Ηλεκτρική αγωγιμότητα (dSm <sup>-1</sup> ) στους 25°C που η παραγωγή μειώνεται		
Βοτανικό είδος	Ελληνικό όνομα	Αγγλικό όνομα	10%	25%	50%
<b>Φυτά για χλοοτάπητες και σανοδοτικά φυτά</b>					
Cynodon dactylon	Βερμούδα	Bermudagrass	13	16	18
Agropyron elongatum	Αργόπυρο	Tall wheatgrass	11	15	18
Agropyron desertorum	Αργόπυρο	Grested wheatgrass	6	11	18
Festuca arundinacea	Φεστούκα	Tall fescue	7	10,5	14,5
Hordeum vulgare	Κριθάρι για σανό	Barley, hay	8	11	13,5
Lolium perenne	Λόλιοτο πολυτελές -Ηρα η πολυετής- γκαζόν	Perennial ryegrass	8	10	13
Phalaris stenoptera	Φάλαρη	Handling grass	8	10	13
Lotus tenuifolius	Λωτός	Narrow-leaf birdfoot trefoil	6	8	10
Elymus triticoides	Έλυμος	Beardless wild rye	4	7	11
Medicago sativa	Μηδική	Alfalfa	3	5	8
Dactylis glomerata	Δακτυλίδα	Orchardgrass	2,5	4,5	8
Alopecurus pratensis	Ασβέλιαφος - Αλεπονούρα	Meadow foxtail	2	3,5	6,5
Trifolium hybridum	Αγριοτριφύλλο	Alsike	2	2,5	4
Trifolium pratense	Τριφύλλι το λειμώνιο	Red clovers	2	2,5	4
<b>Φυτά μεγάλης καλλιέργειας</b>					
Hordeum vulgare (α)	Κριθάρι για καρπό	Barley, grain	12	16	19
Beta vulgaris (β)	Ζαχαρότευτλα	Sugarbeet	10	13	16
Gossypium hirsutum	Βαμβάκι	Cotton	10	12	16
Carthamus tinctorius	Ατρακτηλίδα	Safflower	8	11	12
Triticum aestivum (α)	Σιτάρι	Wheat	7	10	14
Sorghum vulgare	Σόργο	Sorghum	6	9	12
Glycine max	Σόγια	Soybean	5,5	7	9
Saccharum officinarum	Ζαχαροκάλαμο	Sugarcane	3	5	8,5
Oryza sativa	Ρύζι	Rice	5	6	8
Zea mays	Καλαμπόκι	Corn	5	6	7
Vicia faba	Κουκιά	Broadbean	3,5	4,5	6,5
Linum usitatissimum	Λινάρι	Flax	3,0	4,5	6,5
Phaseolus vulgaris	Φασόλια	Field bean	1,5	2,0	3

Καλλιεργούμενα φυτά			Ηλεκτρική αγωγιμότητα (dSm <sup>-1</sup> ) στους 25°C που η παραγωγή μειώνεται		
Βοτανικό είδος	Ελληνικό όνομα	Αγγλικό όνομα	10%	25%	50%
<b>Κηπευτικά φυτά</b>					
Beta vulgaris (α)	Παντζάρια	Beets	8	10	12
Spinacia oleracea	Σπανάκι	Spinach	5,5	7	8
Lycopersicum esculentum	Τομάτα	Tomato	4	6,5	8
Brassica oleracea var italica	Μπρόκολο	Broccoli	4	6	8
Brassica oleracea var capitata	Μάππα	Cabbage	2,5	4	7
Solunum tuberosum	Πατάτες	Potato	2,5	4	6
Zea mays	Γλυκό καλαμπόκι	Sweet corn	2,5	4	6
Ipomoea batatas	Γλυκοπατάτα	Sweet potato	2,5	3,5	6
Lactuca sativa	Μαρούλι	Lettuce	2	3	5
Capxicum annum	Πιπεριά	Bell pepper	2	3	5
Allium cepa	Κρεμμύδι	Onion	2	3,5	4
Deucus carota	Καρότο	Carrot	1,5	2,5	4
Phaseolus vulgaris	Φασόλια	Green bean	1,5	2	3,5

Σημείωση για τον πίνακα:

Όπου (α) σημαίνει φυτά λιγότερο ανθεκτικά κατά το στάδιο του φυτρώματος. Η αλατότητα σ' αυτό το στάδιο δε θα πρέπει να υπερβαίνει την  $EC = 4 - 5 \text{ mmhos.cm}^{-1} \text{ (dSm}^{-1}\text{)}$ .

Όπου (β) σημαίνει ότι κατά τη διάρκεια του φυτρώματος των σπόρων η αλατότητα δε θα πρέπει να υπερβαίνει τα  $3 \text{ mmhos.cm}^{-1} \text{ (dSm}^{-1}\text{)}$ .

### 3.5. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΑΛΑΤΟΥΧΩΝ ΚΑΙ ΑΛΚΑΛΙΩΜΕΝΩΝ (ΜΕ ΝΑΤΡΙΟ) ΕΛΑΦΩΝ

Υπάρχουν διάφορες τεχνικές για τον έλεγχο της αλατότητας του εδάφους, όμως στην καθημερινή γεωργική πρακτική εφαρμόζονται συνδυασμένες τεχνικές. Πριν από κάθε προσπάθεια αντιμετώπισης της αλατότητας πρέπει να έχουμε υπόψη μας τα εξής:

- Τη μεγάλη σπουδαιότητα που έχει η έκπλυση (απομάκρυνση) των αλάτων κάτω από τη ζώνη των ριζών, πριν ακόμα τα άλατα προκαλέσουν προβλήματα στα φυτά.
- Τη διατήρηση στο έδαφος ικανής διαθέσιμης υγρασίας για τα φυτά καθ' όλη την καλλιεργητική περίοδο. Ο μακροπρόθεσμος όμως έλεγχος της αλατότητας επιτυγχάνεται με την καλή στράγγιση του εδάφους που σε διαφορετική περίπτωση δεν θα ήταν δυνατόν να επιτευχθεί ο έλεγχος αυτός.
- Στις περιπτώσεις που η στράγγιση του εδάφους είναι σε ικανοποιητικό επίπεδο τότε το νερό που χρειάζεται για την απομάκρυνση των αλάτων εξαρτάται από το βαθμό αντοχής των καλλιεργειών στα άλατα και από τη συγκέντρωση των αλάτων στο νερό άρδευσης. Στις περιπτώσεις που η αλατότητα είναι μεγάλη, η ποσότητα του νερού που απαιτείται για την απομάκρυνση των αλάτων μπορεί να είναι πολύ μεγάλη. Το στραγγιστικό σύστημα που θα εξασφαλίζει καλή στράγγιση των αλάτων δεν είναι μόνο απαραίτητο για τις περιπτώσεις που αναφέραμε παραπάνω, αλλά ακόμα και στις περιπτώσεις που το νερό άρδευσης είναι καλής ποιότητας, προκειμένου να μειωθούν οι πιθανότητες συγκέντρωσης αλάτων στο ριζόστρωμα των καλλιεργούμενων φυτών. Η απομάκρυνση των αλάτων επιτυγχάνεται σε ικανοποιητικό βαθμό όταν η στράγγιση κάτω από το ριζόστρωμα είναι ικανοποιητική και εμποδίζει την ανύψωση της υπόγειας στάθμης του νερού για να παύσει να αποτελεί πηγή αλάτων.

Στις περιπτώσεις που η αλατότητα του εδάφους δεν οφείλεται στο νερό άρδευσης κρίνεται απαραίτητο να εφαρμοστεί ένα πρόγραμμα στράγγισης και βελτίωσης καθώς και προσωρινή αλλαγή των καλλιεργειών. Μετά τη βελτίωση του εδάφους το καλλιεργητικό σύστημα που θα εφαρμοστεί, θα εξαρτηθεί από την ποιότητα του νερού άρδευσης. Για την αντιμετώπιση της αλατότητας του εδάφους εφαρμόζονται πολλές εναλλακτικές λύσεις όπως η στράγγιση, ο έλεγχος της αλατότητας με βαθιά διήθηση και διάφορα καλλιεργητικά μέτρα που θα αναπτυχθούν στη συνέχεια.

### **3.5.1. Στράγγιση**

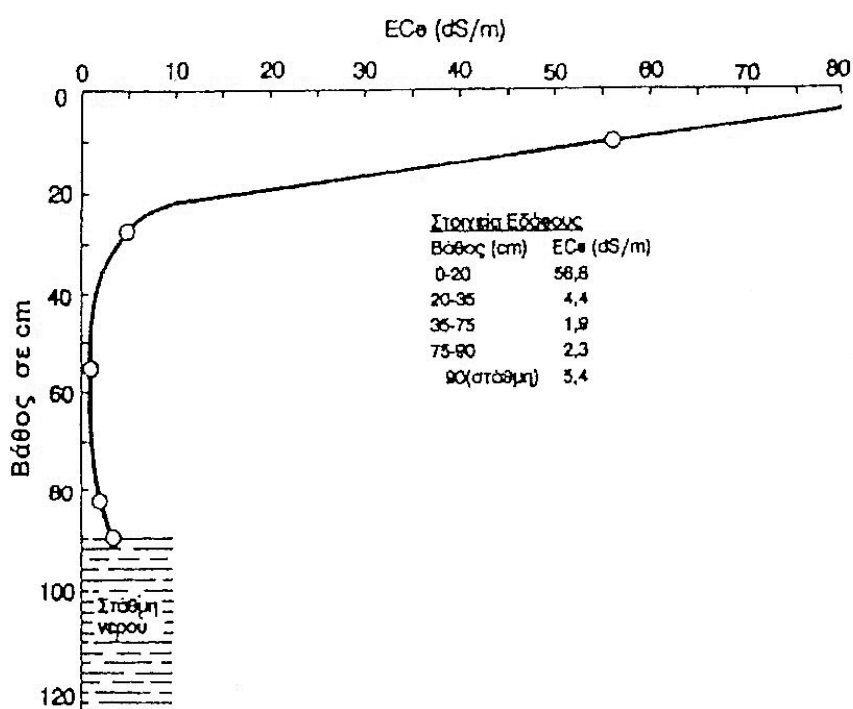
Τα προβλήματα της αλατότητας που σχετίζονται με την άρδευση των καλλιεργειών πολλές φορές συνδέονται με την υπόγεια στάθμη του νερού όταν αυτή

βρίσκεται μεταξύ ενός ή δύο μέτρων από την επιφάνεια του εδάφους.

Στα περισσότερα εδάφη με υψηλή υπόγεια στάθμη, το νερό ανέρχεται τριχοειδώς μέχρι το ριζόστρωμα, οπότε αν το νερό περιέχει άλατα εφοδιάζει μ' αυτά το ριζόστρωμα, καθώς τα φυτά χρησιμοποιούν το νερό αυτό, ή εξατμίζεται από την επιφάνεια του εδάφους οπότε τα άλατα συγκεντρώνονται στο επιφανειακό στρώμα του εδάφους. (εικόνα 3.5.1.)

Η αλάτωση του εδάφους σε αρδευόμενες περιοχές που οφείλεται στο φαινόμενο αυτό, επιτυγχάνεται σε θερμά κλίματα όταν το έδαφος αφήνεται ακαλλιέργητο για μεγάλο χρονικό διάστημα.

Στις ξηρές και ημίξηρες περιοχές, όταν η αλατότητα συνδέεται με πλημμυρή στράγγιση, είναι πολύ δύσκολο να ελεγχθεί αν προηγουμένως η υπόγεια στάθμη δε σταθεροποιηθεί σ' ένα βάθος τουλάχιστον δυο μέτρων.



Εικ. 3.5.1.: Κατανομή της αλατότητας στην εδαφική κατανομή με υψηλή υπόγεια στάθμη

### **3.5.2. Κατανομή των αλάτων στο έδαφος σε σχέση με τη μέθοδο**

#### **άρδευσης των καλλιεργούμενων φυτών.**

Η κατανομή των αλάτων στο έδαφος σχετίζεται άμεσα με τη μέθοδο άρδευσης.

Στην εικόνα (3.5.2.) παρουσιάζεται η συγκέντρωση των αλάτων στο έδαφος ανάλογα με τη μέθοδο (Ayers and Wescot, 1985). Ο καταιονισμός και η κατάκλιση του εδάφους με νερό δημιουργούν μια αυξανόμενη συγκέντρωση των αλάτων στα βαθύτερα στρώματα της εδαφικής κατατομής.

Η μέθοδος άρδευσης με κατάκλιση σε λεκάνες δημιουργεί όχι μόνο αύξηση της αλατότητας στα βαθύτερα στρώματα της εδαφικής κατατομής, αλλά δημιουργεί και αυξημένη συγκέντρωση αλάτων στα υπερυψωμένα τμήματα των λεκανών. Στις μεθόδους με αυλάκια και στάγδην παρατηρείται το ίδιο απιοειδές σχήμα μεταξύ των αυλακίων και μεταξύ των σταλακτήρων με συγκέντρωση των αλάτων στην περιφέρεια του απιοειδούς σχήματος.

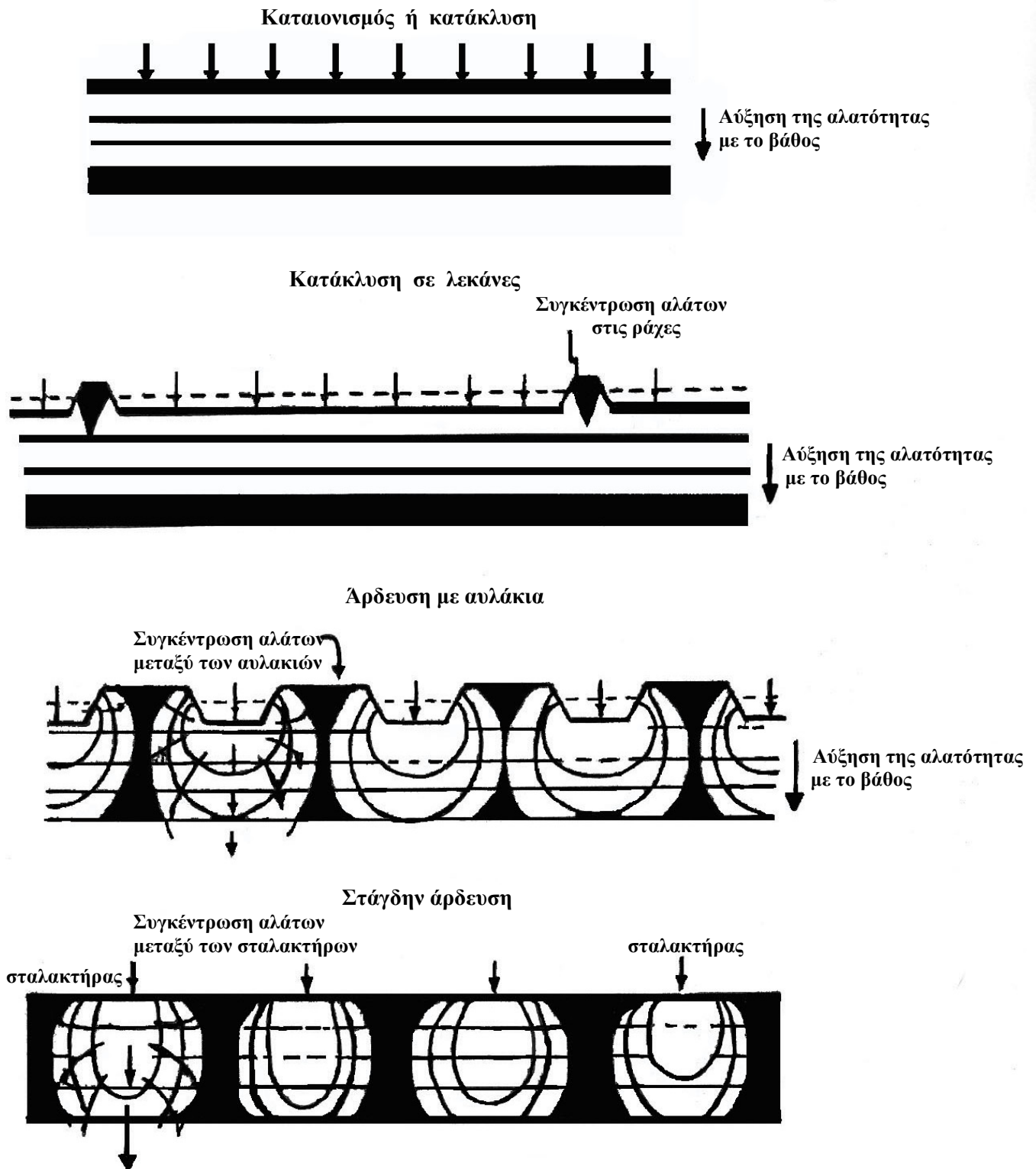
Από τη σχηματική απεικόνιση (εικόνα 3.5.2.) της κατανομής των αλάτων ανάλογα με τη μέθοδο άρδευσης δίνονται πληροφορίες σχετικά με τη θέση του φυτού ή του σταλακτήρα στο έδαφος, προκειμένου το φυτό να βρίσκεται σε ευνοϊκό περιβάλλον και με χαμηλή συγκέντρωση αλάτων.

Η κατανομή των αλάτων στα βαθύτερα στρώματα της εδαφικής κατατομής επηρεάζεται και από τη διηθητικότητα. Στο χωράφι πολλές φορές εξαιτίας της κακής διηθητικότητας δημιουργούνται περιοχές με αυξημένη συγκέντρωση αλάτων. Στις μεθόδους άρδευσης με κατάκλιση (λεκάνες, ή αυλάκια ή ολική κατάκλιση) η κατανομή της ποσότητας του νερού στο έδαφος δεν είναι ομοιόμορφη σ' όλη την επιφάνεια που κατακλύζεται, διότι αφενός η διηθητικότητα είναι ανομοιογενής και αφετέρου ο χρόνος που απαιτείται για να ολοκληρωθεί η διήθηση του νερού σ' όλη την επιφάνεια του χωραφιού δεν είναι ομοιόμορφος. Η ανομοιογένεια στη διηθητικότητα οφείλεται στη διαφορετική μηχανική σύσταση του εδάφους, στην τοπογραφία του εδάφους και στο διάφορο βαθμό συμπίεσης εξαιτίας των γεωργικών μηχανημάτων καθώς και άλλων αιτιών.

Το σύστημα άρδευσης με καταιονισμό παρέχει ποιο ομοιόμορφη κατανομή του νερού στην επιφάνεια του χωραφιού και διευκολύνει την αποφυγή της επιφανειακής απορροής. Έτσι επιτυγχάνεται με το σύστημα αυτό κανονική παροχή νερού στα φυτά καθώς και ομοιόμορφη έκπλυση των αλάτων. Όταν πνέει δυνατός αέρας είναι δυνατόν να προκληθούν προβλήματα τοξικότητας από νάτριο ή χλώριο με



εγκαύματα στα φυτά εξαιτίας της μετακίνησης σταγόνων νερού από τους εκτοξευτήρες στα φύλλα των φυτών.



Εικ. 3.5.2.: Συγκέντρωση των αλάτων στο έδαφος ανάλογα με τη μέθοδο άρδευσης

Τα διάφορα συστήματα της στάγδην άρδευσης παρέχουν νερό με μικρές παροχές συνήθως 2-8 λίτρα νερό ανά σταλακτήρα. Με την παροχή αυτή διατηρείται το έδαφος σχεδόν στην υδατοϊκανότητά του και αντικαθίσταται σχεδόν σε ημερήσια βάση το νερό που καταναλώνεται από τα φυτά. Οι ποσότητες αυτές του νερού εκπλύνουν τα άλατα προς τα βαθύτερα στρώματα της εδαφικής κατατομής. Όμως και στα συστήματα στάγδην παρατηρείται απόθεση αλάτων στο έδαφος μεταξύ των σταλακτήρων, καθώς και στην περιφέρεια του απιοειδούς σχήματος όπως παρουσιάζεται στην εικόνα (3.5.1.). Με το χρόνο, η συγκέντρωση των αλάτων μπορεί να φθάσει σε υψηλά επίπεδα και υπάρχει κίνδυνος να μετακινηθούν με έκπλυση τα άλατα αυτά (με τα νερά της βροχής) προς το ριζόστρωμα.

Στις περιπτώσεις που το ετήσιο βροχομετρικό ύψος είναι μεγάλο τότε τα άλατα είναι δυνατόν να εκπλυθούν και να μετακινηθούν κάτω από τη ζώνη του ριζοστρώματος και τα φυτά δε θα υποστούν τις συνέπειες της αλατότητας.

Στις περιπτώσεις που το ετήσιο βροχομετρικό ύψος δεν είναι μεγάλο, τα άλατα μπορεί να μετακινηθούν στο ριζόστρωμα και να παρατηρηθεί μεγάλη συγκέντρωση αλάτων και τα φυτά να υποστούν άμεσα τις συνέπειες της αλατότητας.

Στην περίοδο αμέσως μετά την πρώτη βροχόπτωση τα άλατα μπορεί να μετακινηθούν στο ριζόστρωμα. Στις περιπτώσεις αυτές και προκειμένου τα άλατα να μετακινηθούν κάτω από τη ζώνη του ριζοστρώματος είναι απαραίτητο να γίνουν αρδεύσεις μέχρι 50-100 mm νερού, ανάλογα με τη μηχανική σύσταση του εδάφους. Όταν στο χωράφι πέσει 100 mm ύψος βροχής ή 100 mm νερό άρδευσης, αυτό σημαίνει ότι στο χωράφι μας έπεσαν 100 κυβικά μέτρα νερό ανά στρέμμα. Με τα διάφορα συστήματα της στάγδην άρδευσης και με τη χρήση καλής ποιότητας νερού επιτυγχάνονται αποδόσεις εξίσου καλές ή και καλύτερες από άλλες μεθόδους.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>

### ΑΝΤΙΔΙΑ

#### 4.1. ΓΕΝΙΚΑ

Τα αντίδια *Cichorium Endivia* ανήκουν στην οικογένεια των συνθέτων *Compositae*. Υπάρχουν τετραπλοειδείς ποικιλίες με  $4n = 36$  χρωματοσώματα.



Η καλλιέργεια αντιδίων και ραδικιών, κατά τα τελευταία χρόνια παρουσιάζει αύξηση, λόγω της μεγαλύτερης χρησιμοποίησης των χορταρικών σε σαλάτες ή μαγειρεμένων. Στη χώρα μας καλλιεργούνται σε 15.000-16.000 στρέμματα με παραγωγή 18.000-20.000 τόνους.

#### 4.2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΦΥΤΟΥ



Υπάρχουν δύο τύποι αντιδιών, τα σγουρά και τα λειόφυλλα, γνωστά ως Escarole.

---

*Cichorium endivia* L. Αντίδι κατσαρό

---

**Variety**

Demi  
Grosse pangalieri  
Pancalieri a costa bianca  
Riccia  
Romanesca da taglio  
Ruffec  
On-farm production

---

Το αντίδι είναι φυτό ποώδες με βραχύτατο βλαστό, από τον οποίο αναπτύσσονται πολυάριθμα, συνήθως παράρριζα, κατσαρά και οδοντωτά φύλλα. Από το σχήμα των φύλλων όπως διακρίνεται πιο πάνω έχουμε δύο τύπους: το *C. endivia* var. *crispa* με φύλλα βαθιά σχισμένα και περιορισμένου πλάτους και το *C. endivia* var. *latifolia*, το οποίο περιλαμβάνει ποικιλίες με φύλλα σχετικώς πλατιά και ελαφρώς οδοντωτά. Τα τελευταία είναι οι λεγόμενες σκαρόλες (*scarole*), στις οποίες οι ευρωπαϊκές αγορές δείχνουν ιδιαίτερη προτίμηση.

Αυτό το τραγανό πικρό λάχανο το χρησιμοποιούμε σε σαλάτες ή μαγειρεύεται σαν συνοδευτικό πιάτο. Τα εξωτερικά φύλλα είναι πράσινα και κάπως πικρά – τα ωχρά εσωτερικά φύλλα είναι περισσότερο τρυφερά και γλυκά.

Το φυτό ως σαλάτα νωπή είναι πλούσια πηγή βιταμινών, κυρίως της Α και C, περιέχει δε περίπου 94% νερό, 1,3% πρωτεΐνες και 2% υδατάνθρακες.

Ο αριθμός των χρωμοσωμάτων του είδους είναι  $n = 9$ . Οι καλλιεργούμενες ποικιλίες είναι τετραπλοειδείς με  $4n = 36$  χρωμοσώματα.

Στο στάδιο της αναπαραγωγής το στέλεχος του φυτού επιμηκύνεται και διακλαδίζεται. Στις διακλαδώσεις αυτές σχηματίζονται οι ταξιανθίες-κεφαλές, κάθε μια από τις οποίες φέρει 18-20 άνθη αυτογόνιμα και συνήθως αυτογονιμοποιούμενα. Κάθε άνθος έχει 5 στήμονες με επιμήκεις ανθήρες, οι οποίοι σχηματίζουν σωλήνα γύρω από το στύλο. Αυτός επιμηκύνεται κατά την άνθηση και επικονιάζεται το δίλοβο στίγμα του παρασύροντας τη γύρη κατά το πέρασμα του δίπλα από τους ώριμους ήδη ανθήρες.

Ο καλούμενος σπόρος είναι μικρός κωνικός καρπός (αχαίνιο) και φέρει «πάππο»-φούντα, όπως και οι σπόροι των άλλων συνθέτων, με τη βοήθεια του οποίου μπορεί να ταξιδέψει αεροπορικώς σε μακρινές αποστάσεις.

Το πρώτο είδος φοβάται το κρύο και γι' αυτό στην καλλιέργεια σε ανοιχτό χώρο η συλλογή γίνεται το αργότερο το καλοκαίρι – φθινόπωρο. Οι σκαρόλες (escarola) απεναντίας αντέχουν πιο πολύ στο κρύο και γι' αυτό η σπορά γίνεται τον Ιούλιο – Αύγουστο, αυτές γενικά είναι πιο ανθεκτικές και λιγότερο απαιτητικές σε σχέση με τα κατσαρά αντίδια. Το αντίδι θέλει μεσαία εδάφη, βαθιά, φρέσκα, ουδέτερα και γόνιμα. Επειδή οι ρίζες αναπτύσσονται πολύ πρέπει να αποφεύγονται τα βαριά εδάφη και τα αργιλώδη, ενώ το επάνω μέρος του εδάφους πρέπει να είναι καλά δουλεμένο με την φρέζα. Οι καλλιεργητικές φροντίδες είναι ίδιες και για τα δύο είδη αν και αλλάζει η εποχή συνεπώς και ο τρόπος σποράς. Οι ρίζες είναι χονδρές με πολυάριθμες μικρές ρίζες που φυτρώνουν από την κύρια ρίζα.

#### **4.3. ΚΛΙΜΑ**

Τα αντίδια, αν και φυτά χαμηλών θερμοκρασιών, καλλιεργούνται καλύτερα σε ήπια κλίματα κυρίως, ως φθινοπωρινή ή χειμωνιάτικη ή, κυρίως, ανοιξιιάτικη καλλιέργεια. Τα αντίδια πάντως, είναι δυνατό να καλλιεργηθούν όλο το χρόνο. Το καλοκαίρι χρειάζονται πότισμα. Το άνθος χρειάζεται χαμηλές θερμοκρασίες για να εαρινοποιηθεί και μακρές φωτοπεριόδους για να σποροποιήσει. Πολύ πρώιμα αντίδια είναι δυνατό να μεταφυτευτούν από σπορόφυτα θερμοκηπίου (θερμοκρασίας 15-16°C), για να αποφύγουν και την πρώιμη άνθηση.

#### **4.4. ΣΠΟΡΑ ΚΑΙ ΦΥΤΕΥΣΗ**

Η σπορά γίνεται σε σπορείο ή απευθείας στον αγρό. Στον αγρό σπέρνονται συνήθως κατά τον Αύγουστο ή Σεπτέμβριο ή και μέχρι των αρχών της άνοιξης όπου οι συνθήκες το επιτρέπουν. Σπέρνονται σε βραγιές ή δίπλα σε αυλάκια κ.λ.π. κατά γραμμές, οι οποίες απέχουν η μία από την άλλη 40-50 εκ. και μετά το φύτευμα αραιώνονται τα φυτά, ώστε τα διατηρούμενα να απέχουν μεταξύ τους 20-30 εκ. ανάλογα με την καλλιεργούμενη ποικιλία. Με αυτή τη μέθοδο καλλιέργειας

απαιτούνται 400-500 γρ. σπόρου κατά στρέμμα.

Στο σπορείο σπέρνονται κατά το τέλος Ιουλίου μέχρι τα μέσα Αυγούστου εφόσον πρόκειται για ποικιλίες τύπου "σκαρόλα" ή από τον Απρίλιο έως το Μάιο για τις στενόφυλλες ποικιλίες τύπου *crispa*. Οι πρώτες έχουν φυτά μεγαλύτερα των στενόφυλλων και απαιτούν τις μεγαλύτερες αποστάσεις μεταξύ των φυτών, είτε αυτά αποκτήθηκαν με απευθείας σπορά είτε με σπορά σε σπορείο.

Το σπορείο μπορεί να είναι υπαίθριο, προστατευμένο από τους ψυχρούς ανέμους, με έδαφος καλά προετοιμασμένο και λιπασμένο. Η σπορά γίνεται σε γραμμές με 2-3 γρ. σπόρου κατά  $m^2$ , το οποίο είναι συνήθως αρκετό να δώσει φυτά για φύτευση 100  $m^2$ . Ο σπόρος καλύπτεται σε βάθος 1-1,5 εκ. και ακολουθεί αμέσως πότισμα με ποτιστήρι. Τα φυτάρια εμφανίζονται μετά 7-10 ημέρες και δέχονται τις συνήθεις περιποιήσεις των σπορείων, αραίωμα όπου είναι πυκνά φυτρωμένα, βοτανίσματα και ποτίσματα ή και ψεκασμούς για την πρόληψη ασθενειών.

Τα φυτά εκριζώνονται όταν αποκτήσουν 4-5 φύλλα - υσττέρα από ένα καλό πότισμα - και μεταφυτεύονται στον αγρό κατά γραμμές, στις αναφερθείσες ήδη αποστάσεις των 40-50x20-30 εκ.

Η εποχή της σποράς εξαρτάται από τον επιθυμητό χρόνο συγκομιδής. Περίπου περνούν 2,5-4 μήνες από τη σπορά μέχρι τη συγκομιδή του προϊόντος, ανάλογα με την εποχή καλλιέργειας και την ποικιλία που χρησιμοποιείται.

#### **4.5. ΑΛΛΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ**

Τις απευθείας στον αγρό σπορές, εφόσον έγιναν σε ξηρό έδαφος, ακολουθεί αμέσως πότισμα όπως και στις μεταφυτευτικές καλλιέργειες, το οποίο επαναλαμβάνεται στο εξής κατά διαστήματα ανάλογα με τις υπάρχουσες εδαφοκλιματικές συνθήκες.

Στις καλλιέργειες με απευθείας σπορά, μετά το φύτευμα και όταν τα φυτά έχουν σχηματίσει 3-4 φύλλα, είναι αναγκαίο το αραίωμά τους ώστε να διατηρηθούν μόνο φυτά στις επιθυμητές αποστάσεις. Στην περίπτωση μεταφύτευσης γίνεται αντικατάσταση των φυτών που απέτυχαν.

Βοτανίσματα και σκαλίσματα για την καταστροφή των ζιζανίων είναι επίσης απαραίτητα. Γι' αυτό το σκοπό μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ζιζανιοκτόνα όπως π.χ. το Pronamide (Kerb), το οποίο εφαρμόζεται είτε πριν τη σπορά ή τη μεταφύτευση

με ενσωμάτωση είτε μετά με πότισμα.

Απαραίτητες είναι και οι επιφανειακές λιπάνσεις με αζωτούχο λίπασμα (νιτρικής μορφής), όπως επίσης οι επεμβάσεις για την προστασία της καλλιέργειας από ασθένειες κ.λ.π., όταν υπάρχει ανάγκη.

Για την αύξηση των αποδόσεων χρησιμοποιούν σήμερα και το γιββερελλικό οξύ (20 mg/l) με ένα πρώτο ψεκασμό των φυτών 1,5 μήνα πριν τη συγκομιδή και ένα δεύτερο 20 ημέρες μετά τον πρώτο. Στο ψεκαστικό υγρό προσθέτουν και προσκολλητικό, κάνουν δε και πρόσθετη αζωτούχο λίπανση.

#### **4.6. ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ – ΑΠΟΔΟΣΗ – ΔΙΑΤΗΡΗΣΗ**

Στην αγορά εμφανίζονται αντιδία συνήθως κατά την περίοδο Οκτωβρίου-Μαΐου. Η συγκομιδή γίνεται τμηματικώς με κοπή των φυτών στο ύψος της επιφάνειας του εδάφους, δηλαδή από τη βάση τους. Πριν από την αποστολή τους στην αγορά, απαλλάσσονται από τα κατεστραμμένα και χλωρωτικά εξωτερικά φύλλα, πλένονται, ταξινομούνται και συσκευάζονται σύμφωνα με τις απαιτήσεις της αγοράς.

Από έκταση μεταφυτευτικής καλλιέργειας ενός στρέμματος μπορούν να παραχθούν 6.500-12.000 φυτά, βάρους 3.000 περίπου χιλιόγραμμων. Το βάρος κάθε φυτού εξαρτάται από την ποικιλία και τις καλλιεργητικές συνθήκες, μπορεί δε να φτάσει στους πλατύφυλλους τύπους (σκαρόλες) τα 600 και πλέον γραμμάρια. Η εσωτερική αγορά δεν είναι ιδιαίτερα απαιτητική ως προς το μέγεθος των φυτών, οπωσδήποτε όμως τεμάχια μέτριου έως μεγάλου μεγέθους προτιμώνται.

Η διατήρηση των αντιδίων υπό συνθήκες ψυγείου με θερμοκρασία 0°C και σχετική υγρασία 90-95% μπορεί να διαρκέσει τουλάχιστον δύο μήνες.

#### **4.7. ΠΟΙΚΙΛΙΕΣ**

Είναι πολλές οι ποικιλίες που αναφέρονται σε καταλόγους σπόρων και αρκετές που έχουν εισαχθεί και δοκιμαστεί στην Ελλάδα. Σημειώνουμε μερικές μόνο από αυτές:

### **Geante Maraichere**

**(Salanca).** Είναι σκαρόλα κατάλληλη για καλλιέργεια από το καλοκαίρι μέχρι τις αρχές του χειμώνα. Φυτό μεγάλο και συμπαγή με λευκά τα εσωτερικά φύλλα.

**Elysée.** Ποικιλία τύπου «σκαρόλα», πρώιμη, ενδεικνυόμενη για καλλιέργεια σε εύκρατες-ήπιες περιοχές. Φυτό συμπαγές με φύλλα κυματοειδή, εύκολα λευκαινόμενα.

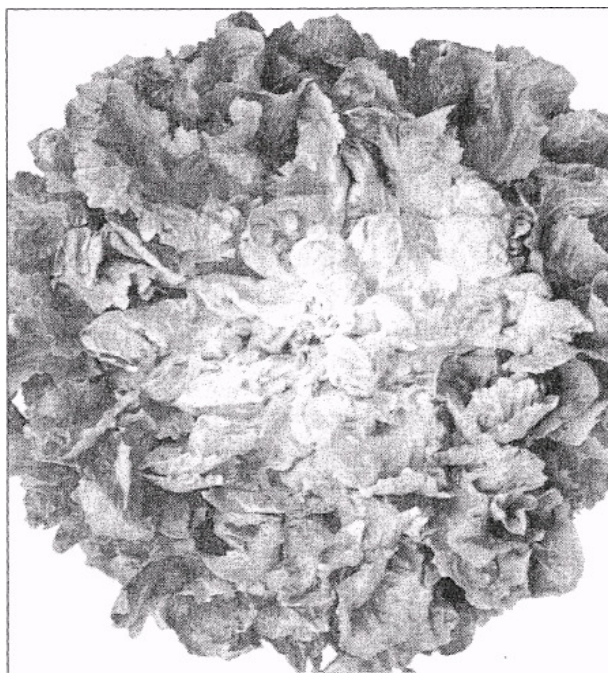
### **Tres fine Maraichere**

**(Galia, Coquette).** Είναι ποικιλία τύπου «crispa» με φύλλα λεπτά και κατσαρά. Πολύ πρώιμη,

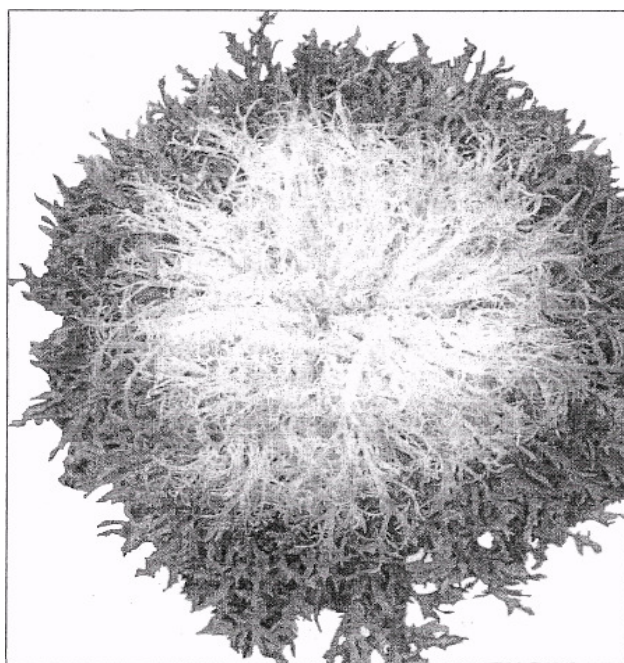
κατάλληλη για ανοιξιότικη πρώιμη και καλοκαιρινή καλλιέργεια. Φυτό συμπαγές, πολύ καλής εμφάνισης με καρδιά λευκή.

**Tosca.** Πρώιμη ποικιλία με φύλλα λεπτά και πολύ κατσαρά όπως η προηγούμενη, ανθεκτική στην έκπτυξη ανθοφόρου βλαστού. Φυτό μεγάλου μεγέθους, πολύ καλής εμφάνισης, με το κέντρο (καρδιά) λευκό.

Ενδείκνυται ιδιαιτέρως για καλλιέργεια υπό κάλυψη την άνοιξη και το φθινόπωρο.



Αντίδι τύπου «σκαρόλα» ποικιλίας  
Grosse Bouglée



Αντίδι τύπου «σκαρόλα» ποικιλίας  
Grosse Bouglée



**Romanesca.** Φυτά υψηλά, όρθια και φύλλα πολύ σχισμένα με μίσχους λευκοπράσινους. Είναι ποικιλία που μοιάζει με την ντόπια (υψηλού αναστήματος) και σπέρνεται απευθείας στον αγρό όλες τις εποχές, σε μικρότερες των συνηθισμένων αποστάσεις. Καλλιεργείται για διαδοχικές κοπές.

**Rico.** Πρώιμη ποικιλία που είναι έτοιμη για συγκομιδή 70 ημέρες μετά τη σπορά. Φυτό μέτριου ύψους, όρθιο, με φύλλα κατσαρά. Καλλιεργείται για καλοκαιρινή και φθινοπωρινή συγκομιδή. Αρμόζουν και γι' αυτήν οι μικρότερες αποστάσεις φύτευσης.

#### **4.8. ΒΕΛΤΙΩΣΗ**

Από όσα αναφέρθηκαν στα προηγούμενα, φαίνεται ποιοι είναι οι επιθυμητοί χαρακτήρες των φυτών του αντιδίου, ώστε εκείνος που θα θελήσει να ασχοληθεί με βελτιωτική πάνω σε αυτό εργασία να βοηθηθεί στην προσπάθειά του και να έχει ένα μέτρο σύγκρισης για την αξιολόγηση των μορφών που θα δημιουργήσει. Τα στοιχεία εξάλλου που δίνονται στο κεφάλαιο «Περιγραφή του φυτού» για τη μορφολογία και τη βιολογία του άνθους θα μπορούσαν να φανούν χρήσιμα σε επεμβάσεις που έχουν σχέση με τη βελτίωση του φυτού. Όμως είναι τόσες πολλές και τόσο ενδιαφέρουσες οι ποικιλίες αντιδίου που έχουν δημιουργηθεί σε άλλες χώρες, ώστε είναι μάλλον άσκοπο να διαθέσει κανείς τόσο χρόνο για να δημιουργήσει κάποια ποικιλία, η οποία δεν θα ήταν καλύτερη από εκείνες.

#### **4.9. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΟΥ ΣΠΟΡΟΥ**

Σε μία κοινή καλλιέργεια μπορεί να ληφθεί καλής ποιότητας σπόρος από τα καλύτερα άτομα, τα οποία είναι υγιή και αντιπροσωπεύουν την καλλιεργούμενη ποικιλία. Εάν η καλλιέργεια είναι φθινοπωρινή και η περιοχή χαρακτηρίζεται από βαρύ χειμώνα, τα επιλεγμένα φυτά εκριζώνονται εγκαίρως και διατηρούνται καλυπτόμενα με υγρή άμμο ή χώμα για να μεταφυτευτούν κατά το Μάρτιο σε νέο αγρό, όπου και θα παραμείνουν δεχόμενα τις γνωστές περιποιήσεις μέχρι την ωρίμαση του σπόρου, δηλαδή μέχρι τον Αύγουστο ή και Σεπτέμβριο.

Η αυτογονιμοποίηση των φυτών είναι συνήθως εξασφαλισμένη, αλλά ανεπιθύμητες διασταυρώσεις με άλλες ποικιλίες (με έντομα) είναι επίσης δυνατές. Έτσι, η καλλιέργεια από την οποία θα ληφθεί σπόρος πρέπει να βρίσκεται μακριά από άλλες συνανθούσες ποικιλίες του είδους, σε απόσταση τουλάχιστον 200 μέτρων.

Η άνθηση είναι διαδοχική και μπορεί να διαρκέσει στο ίδιο φυτό ένα μήνα ή και περισσότερο. Όμως, κάθε ανθοταξία συμπληρώνει την άνθησή της μέσα σε ένα πρωινό, ιδίως κατά τις ηλιόλουστες ημέρες. Κατά τις απογευματινές ώρες η στεφάνη των ανθέων κλείνει και μαραίνεται.

Η ωρίμαση του σπόρου είναι επίσης διαδοχική σε κάθε φυτό και η συγκομιδή του γίνεται όταν οι διακλαδώσεις του φυτού έχουν αρχίσει να ξηραίνονται. Τότε αυτές κόβονται από τη βάση τους και απλώνονται υπό σκιά για να συμπληρωθεί η ξήρανση, μετά την οποία ελευθερώνεται ο σπόρος με κτυπήματα (ραβδισμούς). Για διευκόλυνση της ελευθέρωσης των σπόρων, πριν από το ραβδισμό τα κλαδιά βρέχονται επί λίγες ώρες τοποθετούμενα μέσα σε νερό. Ακολουθεί το στέγνωμα των σπόρων, ο καθαρισμός τους με λίχνισμα και η αποθήκευσή τους σε χώρο ξηρό. Υπό καλές συνθήκες διατήρησης η βλαστική ικανότητα του σπόρου μπορεί να διατηρηθεί επί 5-7 έτη.

Από έκταση ενός στρέμματος καλλιέργειας σποροπαραγωγής λαμβάνονται γύρω στα 30 χιλιόγραμμα σπόρου. Περίπου 600 σπόροι ζυγίζουν ένα γραμμάριο.

#### **4.10. ΦΥΤΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΣΥΝΘΕΤΩΝ**

##### **Εχθροί και Ασθένειες**

Ακολουθούν οι κυριότεροι εχθροί και ασθένειες του μαρουλιού και του αντιδιού.

##### **Ασθένειες**

###### **1. Περονόσπορος *Bremia lactucae* (μαρούλι)**

Προκαλεί κίτρινες μεσονε, υριες κηλίδες με λευκή εξάνθιση στην αντίστοιχη κάτω επιφάνεια. Καταπολεμείται με καλή στράγγιση του χωραφιού, καλό αερισμό, και σε έντονη προσβολή με ψεκασμούς με Αντρακόλ, Ζινέμπ, Μανέμπ, Θειράμ, χαλκούχα.

2. Ωίδιο *Erisyphæ cichorarearum*, *Oidium erisyphoides*  
Σχηματίζει χαρακτηριστική λευκή εξάνθιση στην πάνω επιφάνεια των φύλλων. Καταπολεμείται με θειαφίσματα, ή ψεκασμούς με Μορεστάν, Σαπρόλ, Αφοθγκάν.
3. Ανθράκνοση *Marssonina ranattoniana*  
Σχηματίζει καστανοκίτρινες κηλίδες που εξελίσσονται σε νεκρωτικές. Οι νεκρωμένοι ιστοί πέφτουν και αφήνουν τρύπες στα φύλλα. Καταπολεμείται με απολύμανση σπόρου και ψεκασμούς με Θειράμ, Καπτάν, Μανέμπ
4. Αλτερναρίωση *Alternaria porri* f.sp. *cichorii*  
Σχηματίζει κηλίδες στα φύλλα με μορφή μαύρων ομόκεντρων δακτυλίων. Καταπολεμείται με απολύμανση σπόρου και ψεκασμούς με Θειράμ, Καπτάν, Μανέμπ.
5. Σήψεις λαιμού *Botrytis cinerea*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Rhizoctonia solani* (συνήθως σε μαρούλια)  
Προκαλούν σήψεις στο λαιμό με κιτρίνισμα και πτώση των κατώτερων εξωτερικών φύλλων. Καταπολεμούνται με καλό αερισμό και στράγγιση του εδάφους, αποφυγή πρόκλησης πληγών και ριζοποτίσματα με Νεοτοψίν, Μπενλέιτ, Μποτράν, ( Ρονιλάν και Ροβράλ όπου το παθογόνο είναι βοτρυτής).

### **Εχθροί**

Αφίδες (διάφορα είδη)

Προκαλούν ποιοτική υποβάθμιση της παραγωγής και είναι φορείς ιώσεων. Καταπολεμούνται με ψεκασμούς Πιριμόρ, Χοστακούικ, Μετασυστόξ, Ορθέν, Θειοντάν.

Σαλιγκάρια *Agriolimax agrestis*

Προκαλούν ζημιές με φαγώματα στα φύλλα των μαρουλιών.

### **Ιώσεις**

Μωσαϊκό του μαρουλιού **LMV** Παρατηρείται κιτρινοπράσινο μωσαϊκό στα φύλλα. Τα κεφαλωτά μαρούλια δεν σχηματίζουν κεφάλι. Μεταδίδεται με αφίδες Χοντρές νευρώσεις του μαρουλιού. Έχει φορέα τον μύκητα *Oidium brassicae*

### **Βακτηριώσεις**

*Pseudomonas cichorii*, *Pseudomonas marginalis*

Σχηματίζουν σκοτεινόχρωμες κηλίδες στα φύλλα των Σύνθετων. Καταπολεμούνται με λήψη προληπτικών μέτρων: Υγιεινή κατάσταση φυτών, καλή στράγγιση, αποφυγή βρεξίματος των φύλλων κατά το πότισμα.

#### **4.11. ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΓΙΑ ΤΑ ΑΝΤΙΔΙΑ ΚΑΙ ΤΑ ΠΛΑΤΥΦΥΛΛΑ ΑΝΤΙΔΙΑ**

##### **I. ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΠΡΟΪΟΝΤΟΣ**

Η παρούσα προδιαγραφή αναφέρεται στα κατσαρά αντίδια που ανήκουν σε καλλιεργούμενα είδη που προέρχονται από το *Cichorium endivia* L. var. *crispum* Lam. και στα πλατύφυλλα αντίδια (σκαρόλες που προέρχονται από το *Cichorium endivia* L. var *latifolium* Lam., που προορίζονται να διατεθούν νωπά στον καταναλωτή.

##### **II. ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΠΟΥ ΑΦΟΡΟΥΝ ΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ**

Προδιαγραφή αποσκοπεί στον καθορισμό των ιδιοτήτων που πρέπει να έχουν τα προϊόντα μετά την προετοιμασία και τη συσκευασία.

---

#### ***Cichorium endivia* L.**

---

Γενική εμφάνιση του φυτού

Φύλλα:

- 2.1 Εμφάνιση της καρδιάς
- 2.2 Σχήμα των νεαρών φύλλων της καρδιάς (scarole)
- 2.3 Σχήμα του πλήρους ανεπτυγμένου φυτού
- 2.4 Χρώμα του φύλλου
- 2.5 Στιλπνότης του φύλλου
- 2.6 Εμφάνιση της επιφάνειας του ελάσματος (scarole)
- 2.7 Εμφάνιση των άκρων του ελάσματος
- 2.8 Ανθοκύανη στην κύρια νεύρωση: παρουσία  
η απουσία(Αντίδι σγουρό)

Ταξινόμηση πρωϊμότητας

Αντοχή στην πρώιμη άνθηση.

---

## A. Ελάχιστα χαρακτηριστικά

Σε όλες τις κατηγορίες, λαμβανομένων υπόψη των ειδικών διατάξεων που προβλέπονται για κάθε κατηγορία και των επιτρεπόμενων ορίων ανοχής, τα προϊόντα πρέπει να είναι: ακέραια, υγιή· αποκλείονται τα προϊόντα που έχουν σαπίσει ή έχουν υποστεί αλλοιώσεις τέτοιες που να καθίστανται ακατάλληλα για κατανάλωση, καθαρά και περιποιημένα, δηλαδή απαλλαγμένα από χόμα οποιαδήποτε άλλη ουσία και απαλλαγμένα από ορατές ξένες ουσίες, φρέσκα, συμπαγή, απαλλαγμένα από παράσιτα, απαλλαγμένα από προσβολές παρασίτων, μη προχωρημένης ανάπτυξης, χωρίς ασυνήθιστη εξωτερική υγρασία, χωρίς ξένη οσμή και γεύση. Όσον αφορά τα μαρούλια, επιτρέπεται λόγω της χαμηλής θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της βλάστησης να έχουν αποκτήσει χρώμα που να πλησιάζει προς το κόκκινο, χωρίς βέβαια να αλλάζει σημαντικά εμφάνιση του προϊόντος. Οι ρίζες πρέπει να κόβονται στη βάση των τελευταίων φύλλων. Τα προϊόντα πρέπει να παρουσιάζουν κανονική ανάπτυξη. Επίσης, πρέπει να είναι σε κατάσταση και σε στάδιο ανάπτυξης που να τους επιτρέπει: να αντέξουν κατά τη μεταφορά και τη μετακίνηση και να φθάσουν σε ικανοποιητική κατάσταση στον τόπο προορισμού.

## B. Κατάταξη

Τα προϊόντα κατατάσσονται σε δύο κατηγορίες που καθορίζονται ως εξής:

### 1. Κατηγορία I

Τα προϊόντα που κατατάσσονται στην κατηγορία αυτή πρέπει να είναι καλής ποιότητας. Πρέπει να φέρουν τα χαρακτηριστικά της ποικιλίας του εμπορικού τύπου, κυρίως δε το χρωματισμό.

Τα προϊόντα πρέπει να είναι:

καλά σχηματισμένα, κλειστά, λαμβάνοντας υπόψη τον τρόπο καλλιέργειας και τον τύπο του προϊόντος, να μην έχουν υποστεί ζημιές αλλοιώσεις που να επηρεάζουν την εδωδιμότητά τους, να μην έχουν προσβληθεί από παγετό.

Το κεντρικό μέρος των κατσαρών αντιδίων και των πλατύφυλλων αντιδίων (σκαρόλες) πρέπει να είναι χρώματος κίτρινου.

### 2. Κατηγορία II

Κατηγορία αυτή περιλαμβάνει τα προϊόντα που δεν μπορούν να καταταχθούν στην κατηγορία I, αλλά ανταποκρίνονται στα ελάχιστα χαρακτηριστικά που καθορίζονται ανωτέρω.

Τα προϊόντα αυτά πρέπει να είναι:  
αρκετά καλά σχηματισμένα, απαλλαγμένα από ελαττώματα και αλλοιώσεις που επηρεάζουν σημαντικά την εδωδιμότητά τους.

Τα προϊόντα αυτά επιτρέπεται να παρουσιάζουν τα ακόλουθα ελαττώματα, υπό τον όρο ότι διατηρούν τα βασικά χαρακτηριστικά ποιότητας, διατηρησιμότητας και παρουσίασης:

Ελαφρές αλλοιώσεις χρώματος,

Ελαφρές προσβολές από παράσιτα.

### **ΙΙΙ. ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΠΟΥ ΑΦΟΡΟΥΝ ΤΗΝ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΑΤΑ ΜΕΓΕΘΟΣ**

Ταξινόμηση κατά μέγεθος καθορίζεται σε βάρος ανά τεμάχιο.

#### **A. Ελάχιστο βάρος**

Το ελάχιστο βάρος ανέρχεται για τις κατηγορίες I και II σε:

Στο ύπαιθρο	Υπό κάλυψη
Κατσαρά αντίδια και πλατύφυλλα αντίδια	200
	150

#### **B. Ομοιογένεια**

Αντίδια κατσαρά και πλατύφυλλοι (σκαρόλες)

Για όλες τις κατηγορίες, διαφορά ανάμεσα στο βάρος των ελαφρότερων και των βαρύτερων τεμαχίων μέσα στην ίδια, συσκευασία δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 300 γραμμάρια.

### **ΙV. ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΠΟΥ ΑΦΟΡΟΥΝ ΤΗΝ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ**

Το περιεχόμενο κάθε συσκευασίας πρέπει να είναι ομοιογενές και να περιέχει μόνο προϊόντα της ίδιας καταγωγής, ποικιλίας, εμπορικού τύπου ποιότητας και μεγέθους.

Ωστόσο, τα μείγματα των διαφόρων τύπων προϊόντων που καλύπτονται από την παρούσα προδιαγραφή μπορούν να συσκευαστούν μαζί, με την επιφύλαξη ότι τα προϊόντα θα είναι ομοιογενή ως προς την ποιότητα, και για κάθε εμπορικό τύπο ως προς το μέγεθος. Επιπλέον, οι παρουσιαζόμενοι τύποι του προϊόντος και αναλογία καθενός από τους τύπους που παρουσιάζονται στη συσκευασία πρέπει να είναι ορατή χωρίς να πρέπει να καταστραφεί συσκευασία.

Η εμφανής πλευρά του περιεχομένου της συσκευασίας πρέπει να είναι αντιπροσωπευτική του συνόλου.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup>

### ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ – ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

#### 5.1. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

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  $37 \text{ cm}^3 \text{ HNO}_3$  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. Τα διαλύματα αντιστοιχούν σε 0, 20, 40 και 60mmoleNa/lt.

Όσον αφορά τις μεταχειρίσεις του καδμίου, παρασκευάστηκαν πέντε διαλύματα Cd, το οποίο προστέθηκε υπό μορφή CdO. 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 CdO.

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 μέχρι όγκου 16 lt.

Ο υπολογισμός των λιπασμάτων έγινε με την βοήθεια λογισμικού προγράμματος το οποίο χρησιμοποιείται για υδροπονικές καλλιέργειες (Savvas and Adamidis, 1999). Η τελική διάταξη του πειράματος φαίνεται στην εικ. 5.4.

Η σπορά του αντιδιού (*Cichorium endivial*) έγινε σε δίσκους 198 θέσεων οι οποίες είχαν πληρωθεί με τύρφη ( $\gamma = 1,36 \text{ g} / \text{cm}^3$ ). 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. Πέντε ημέρες μετά τη σπορά παρατηρήθηκε βλάστηση των φυτών αντιδιού. Έξι ημέρες μετά τη βλάστηση πραγματοποιήθηκε αραιώμα των φυτών ώστε σε κάθε θέση να παραμείνουν τρία φυτά και κατά προτίμηση τα πιο εύρωστα (Εικ. 5.1., 5.2.).





**Εικ. 5.1.: Βλάστηση των σπόρων**



**Εικ. 5.2.: Μέτρηση έντασης φωτισμού**



**Εικ. 5.3.: Ανάμιξη της τύρφης με την άμμο**

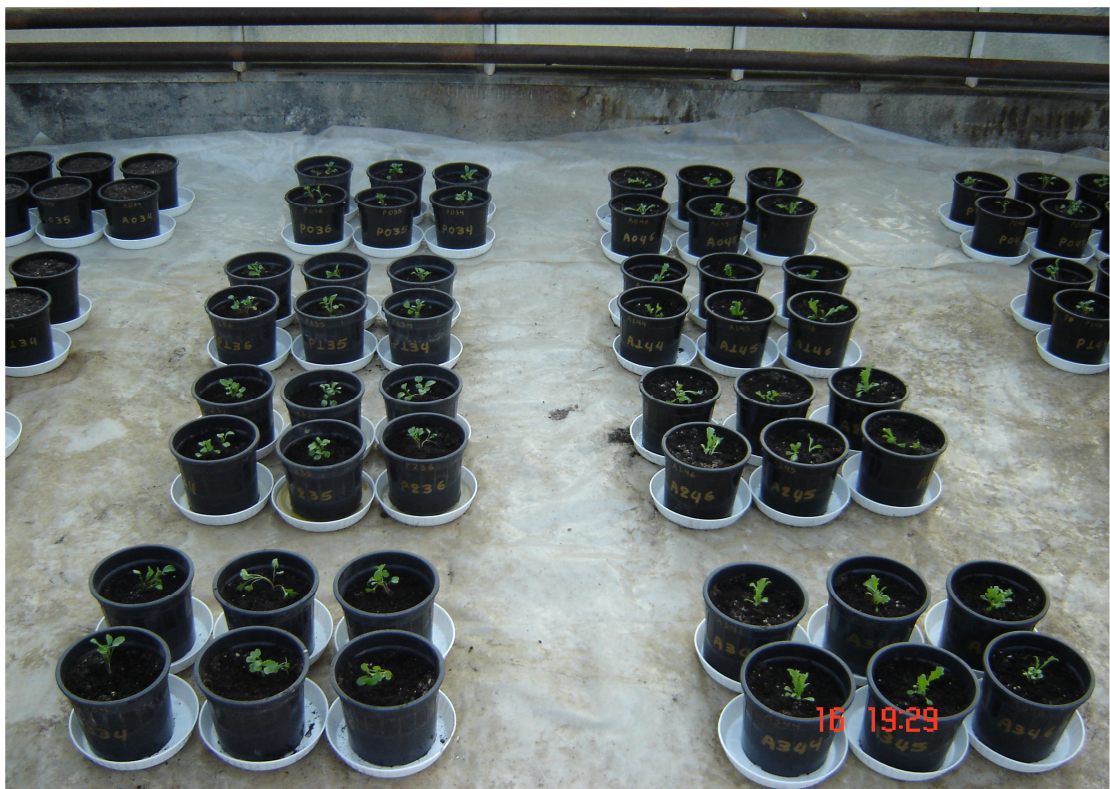
Δεκατέσσερις ημέρες αργότερα και ενώ τα ποτίσματα γίνονταν καθημερινά, πραγματοποιήθηκε μεταφύτευση των σποριόφυτων σε γλάστρες οι οποίες είχαν εγκατασταθεί στο θερμοκήπιο σε διάταξη διαιρούμενων τεμαχίων (split plot design) (σε κάθε μεταχείριση Cd – NaCl αντιστοιχούσαν 6 επαναλήψεις). Οι γλάστρες περιείχαν εδαφικό υπόστρωμα που αποτελούταν από τύρφη και άμμο σπαστή ποταμίσια σε αναλογία 1:1. (Εικ. 5.3). Παράλληλα, έγινε μεταφύτευση σε 10 επιπλέον γλάστρες που χρησιμοποιήθηκαν ως εναλλακτικές (Εικ. 5.4., 5.5.). 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. 5.6).

Cd NaCl	(0) 0ppm (24 ΓΛΑΣΤΡΕΣ)		(1) 1ppm (24 ΓΛΑΣΤΡΕΣ)		(2) 5ppm (24 ΓΛΑΣΤΡΕΣ)		(3) 10ppm (24 ΓΛΑΣΤΡΕΣ)		(4) 20ppm (24 ΓΛΑΣΤΡΕΣ)	
	(0) (30 ΓΛΑΣΤΡΕΣ)	A001	A004	A011	A014	A021	A024	A031	A034	A041
	A002	A005	A012	A015	A022	A025	A032	A035	A042	A045
	A003	A006	A013	A016	A023	A026	A033	A036	A043	A046
(0) (30 ΓΛΑΣΤΡΕΣ) 20mM	A101	A104	A111	A114	A121	A124	A131	A134	A141	A144
	A102	A105	A112	A115	A122	A125	A132	A135	A142	A145
	A103	A106	A113	A116	A123	A126	A133	A136	A143	A146
(0) (30 ΓΛΑΣΤΡΕΣ) 40mM	A201	A204	A211	A214	A221	A224	A231	A234	A241	A244
	A202	A205	A212	A215	A222	A225	A232	A235	A242	A245
	A203	A206	A213	A216	A223	A226	A233	A236	A243	A246
(0) (30 ΓΛΑΣΤΡΕΣ) 60mM	A301	A304	A311	A314	A321	A324	A331	A334	A341	A344
	A302	A305	A312	A315	A322	A325	A332	A335	A342	A345
	A303	A306	A313	A316	A323	A326	A333	A336	A343	A346

Εικ. 5.4.: Ταξινόμηση των γλαστρών κατά split plot design



**Εικ. 5.5.: Τοποθέτηση γλαστρών στο θερμοκήπιο κατά split plot design**



**Εικ. 5.6.: Μετά την μεταφύτευση**

Οι αρδεύσεις γίνονταν με ποσότητα 250ml των λιπασμάτων που αντιστοιχούσαν σε κάθε μεταχείριση NaCl σύμφωνα με τις ενδείξεις του πορώδους πλακιδίου (κάθε 2-3 ημέρες), σε κάθε γλάστρα. Η ποσότητα αυτή αυξήθηκε στα 300ml 19 ημέρες μετά τη μεταφύτευση και στα 500ml 24 ημέρες μετά τη μεταφύτευση. Επίσης, 24 ημέρες μετά τη μεταφύτευση οι αρδεύσεις πραγματοποιούνταν εναλλάξ με τα λιπάσματα και με νερό (εικ. 5.7).



**Εικ. 5.7.: Μέτρηση εδαφικής υγρασίας με την συσκευή βουγιούκος**

Μια επιπλέον μέτρηση στο έδαφος μέσα στις γλάστρες ήταν αυτή της ενεργότητας, η οποία γινόταν πριν και μετά την άρδευση. Η μέτρηση αυτή γινόταν πάντα στην ίδια γλάστρα (επανάληψη) ανεξαρτήτως μεταχείρισης Cd - NaCl, σε τρία διαφορετικά βάθη, δηλαδή στην επιφάνεια του εδάφους, περίπου στο μέσο του εδαφικού προφίλ (βάθος ριζοστρώματος) και στο κατώτερο σημείο της γλάστρας (εικ. 5.8).



**Εικ. 5.8.: Μέτρηση της ενεργότητας**

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



**Εικ. 5.9.: Διάταξη φυτών μετά την αφαίρεση της τρίτης σειράς**

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. 5.9). Την τελευταία εβδομάδα απομακρύνθηκαν οι δύο τελευταίες επαναλήψεις μαζί. Αφαιρέθηκε το χώμα από τις γλάστρες και φυλάχθηκε σε πλαστικές σακούλες στις οποίες είχε αναγραφεί ο κωδικός της κάθε γλάστρας. Στη συνέχεια ξεπλύθηκαν οι ρίζες των φυτών και μετρήθηκε το μήκος της ρίζας και του υπέργειου τμήματος του φυτού. Ακολούθησε ζύγιση για τον προσδιορισμό της νωπής μάζας της ρίζας και του υπέργειου τμήματος και τοποθέτηση των δειγμάτων στο πυριαντήριο στους 60°C έως την ξήρανσή τους. Αφού χάθηκε όλη την υγρασία τους, τα δείγματα κονιοροποιήθηκαν. Στη συνέχεια τοποθετήθηκε ποσότητα του κάθε δείγματος, μάζας 500mg, 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 περιλαμβάνει τα εξής: προσθήκη 5ml πυκνού HNO<sub>3</sub>, πέρασμα από ηθμό για τη συγκράτηση τυχόν στερεών σωματιδίων και αραιώση με απεσταγμένο νερό μέχρις όγκου 50ml. Τα δείγματα τοποθετούνται σε πλαστικά μπουκαλάκια στα οποία έχει επίσης αναγραφεί ο αντίστοιχος κωδικός. Τέλος γίνεται ο προσδιορισμός της περιεκτικότητας σε Cd των δειγμάτων με χρήση φασματοφωτόμετρου ατομικής απορρόφησης και μέτρηση καλίου, ασβεστίου και νατρίου με χρήση του φλωγοφωτόμετρου.



**Εικ. 5.10.: Μεταφορά φυτών στο εργαστήριο**



**Εικ. 5.11.: Τοποθέτηση του εδαφικού υποστρώματος από τις γλάστρες σε σακούλες πλαστικές**



**Εικ. 5.12.: Μέτρηση υπέργειου και υπόγειου τμήματος των φυτών**





Εικ. 5.13.: Τεμαχισμός των φυτών και τοποθέτηση σε ταψάκια



Εικ. 5.14.: Ζύγιση των φυτών



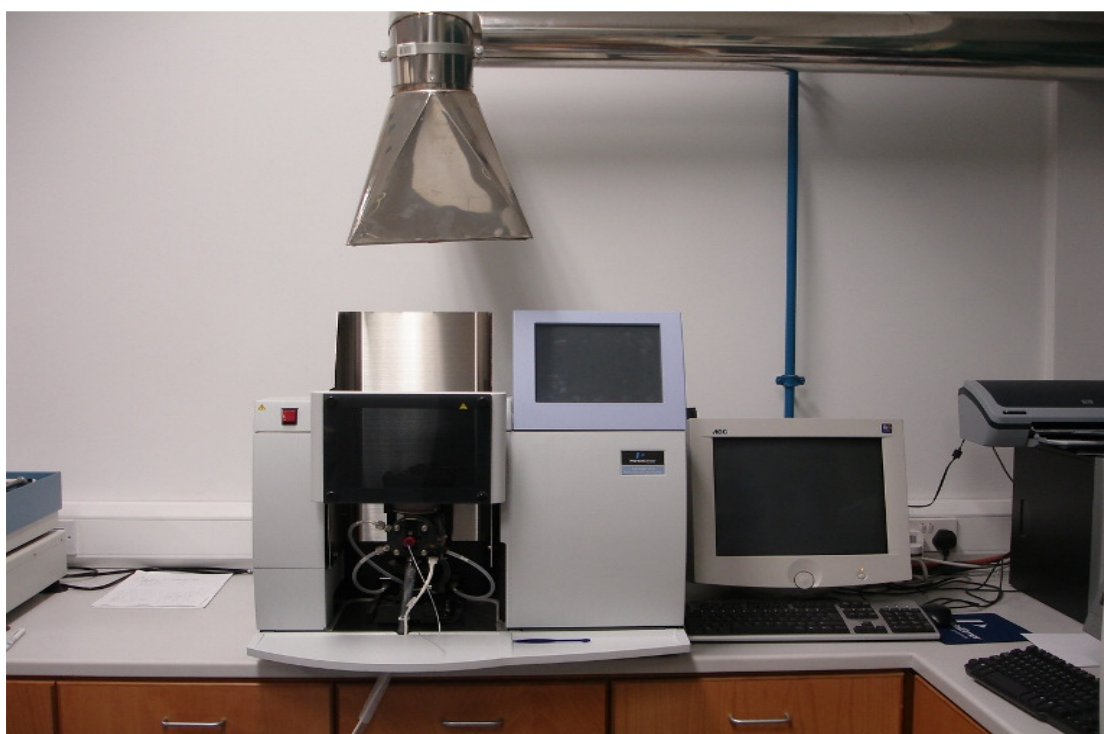
**Εικ. 5.15.: Τοποθέτηση των φυτών στο πυριαντήριο για ξήρανση**



**Εικ. 5.16.: Κονιορτοποίηση των αποξηραμένων φυτών και τοποθέτηση σε πλαστικά μπουκαλάκια**



**Εικ. 5.17.: Φλόγοφωτόμετρο (μέτρηση ασβεστίου, νατρίου και καλίου)**



**Εικ. 5.18.: Φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης (μέτρηση καδμίου)**

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup>

### ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Όπως αναφέρθηκε, κάθε εβδομάδα, κατά την αφαίρεση των σειρών των φυτών, πραγματοποιούνταν μετρήσεις που αφορούσαν στην ανάπτυξή τους. Έτσι, μετρήθηκε 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. Ακόμα μετρήθηκε και η περιεκτικότητα σε Ασβέστιο, Νάτριο και Κάλιο, όπως φαίνεται 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 ( $\mu\text{g Cd/g}$  φυτικού ιστού).

**Πίνακας 6.1. Μεταχείριση 0mM NaCl – 0ppm Cd**

Εβδομάδα	Νωπή μάζα βλαστού	Ξηρή μάζα βλαστού	Μήκος βλαστού	Περιεκτικότητα σε Cd βλαστού (ppm)	Περιεκτικότητα σε Ca βλαστού	Περιεκτικότητα σε Na βλαστού (%)	Περιεκτικότητα σε K βλαστού
1	14,9	1,3	16,2	2	0,5	0,5	7
2	61,2	4,4	23,1	-	3	3	8,2
3	141,4	8,1	30,8	-	0,8	0,8	9
4	244,8	14,4	32,1	4	0,4	0,4	8,8
5	375,8	18,1	28,5	6	1,2	1,2	9,9

**Πίνακας 6.2. Μεταχείριση 0mM NaCl – 0ppm Cd**

Εβδομάδα	Νωπή μάζα ρίζας	Ξηρή μάζα ρίζας	Μήκος ρίζας	Περιεκτικότητα σε Cd ρίζας (ppm)	Περιεκτικότητα σε Ca ρίζας	Περιεκτικότητα σε Na ρίζας (%)	Περιεκτικότητα σε K ρίζας
1	4,5	0,5	31,3	3,4	0,9	0,6	3,9
2	8,6	0,6	16,3	-	0,1	0,9	6,6
3	7,9	0,9	28,9	-	0,2	0,8	4,2
4	12,7	1,4	11,1	6	0,09	0,5	3,2
5	19,3	1,8	18,7	6	1,4	0,4	2,5

**Πίνακας 6.3. Μεταχείριση 0mM NaCl – 1ppm Cd**

Εβδομάδα	Νωπή μάζα βλαστού	Ξηρή μάζα βλαστού	Μήκος βλαστού	Περιεκτικότητα σε Cd βλαστού (ppm)	Περιεκτικότητα σε Ca βλαστού	Περιεκτικότητα σε Na βλαστού (%)	Περιεκτικότητα σε K βλαστού
1	16,8	1,5	18	3	0,6	1	8,2
2	50,0	3,8	22,4	-	1,4	0,4	5,3
3	111,8	7,06	25,5	-	1,6	0,6	9,0
4	247,4	13,7	30,7	5	0,4	1,96	8,4
5	373,6	17,4	26,2	2,5	0,5	0,6	8,9

**Πίνακας 6.4. Μεταχείριση 0mM NaCl – 1ppm Cd**

Εβδομάδα	Νωπή μάζα ρίζας	Ξηρή μάζα ρίζας	Μήκος ρίζας	Περιεκτικότητα σε Cd ρίζας (ppm)	Περιεκτικότητα σε Ca ρίζας	Περιεκτικότητα σε Na ρίζας (%)	Περιεκτικότητα σε K ρίζας
1	7,2	0,8	39,9	3	2	0,5	5,2
2	6,5	0,5	16,8	-	0,09	0,7	5,8
3	6,2	0,06	23,5	-	0,2	0,5	4,8
4	11,9	1,2	9,8	5	0,3	0,5	3,8
5	15,9	1,4	15,6	1,5	2,2	0,8	4,1

**Πίνακας 6.5. Μεταχείριση 0mM NaCl – 5ppm Cd**

Εβδομάδα	Νωπή μάζα βλαστών	Ξηρή μάζα βλαστών	Μήκος βλαστού	Περιεκτικότητα σε Cd βλαστού (ppm)	Περιεκτικότητα σε Ca βλαστού	Περιεκτικότητα σε Na βλαστού (%)	Περιεκτικότητα σε K βλαστού
1	18,8	1,2	19,8	3	0,3	0,9	9,4
2	61,1	4,0	23,8	-	0,9	0,7	8,6
3	91,2	5,8	29,3	-	0,4	0,5	8,8
4	178,4	10,9	29	6	0,2	0,5	10
5	372,1	18,3	28,4	3	0,8	0,4	8,8

**Πίνακας 6.6. Μεταχείριση 0mM NaCl – 5ppm Cd**

Εβδομάδα	Νωπή μάζα ρίζας	Ξηρή μάζα ρίζας	Μήκος ρίζας	Περιεκτικότητα σε Cd ρίζας (ppm)	Περιεκτικότητα σε Ca ρίζας	Περιεκτικότητα σε Na ρίζας (%)	Περιεκτικότητα σε K ρίζας
1	5,3	0,4	23,2	2,6	1	0,5	4,5
2	10,1	0,7	19,2	-	2,2	0,7	5,8
3	5,5	0,6	27,5	-	0,2	0,7	5
4	8,4	1,1	13	5	0,4	0,5	3,8
5	16,9	1,7	22,6	4	0,1	0,4	3,5

**Πίνακας 6.7. Μεταχείριση 0mM NaCl – 10ppm Cd**

Εβδομάδα	Νωπή μάζα βλαστών	Ξηρή μάζα βλαστών	Μήκος βλαστού	Περιεκτικότητα σε Cd βλαστού (ppm)	Περιεκτικότητα σε Ca βλαστού	Περιεκτικότητα σε Na βλαστού (%)	Περιεκτικότητα σε K βλαστού
1	24,3	1,7	17,6	3	0,9	1,0	7,8
2	57,2	4,4	20,2	-	1	0,6	6
3	149,9	9,1	27,5	-	0,5	0,9	8,4
4	116	8,8	26,1	6	0,6	0,4	7,6
5	421,4	22,4	35,5	9	1,1	0,6	8

**Πίνακας 6.8. Μεταχείριση 0mM NaCl – 10ppm Cd**

Εβδομάδα	Νωπή μάζα ρίζας	Ξηρή μάζα ρίζας	Μήκος ρίζας	Περιεκτικότητα σε Cd ρίζας (ppm)	Περιεκτικότητα σε Ca ρίζας	Περιεκτικότητα σε Na ρίζας (%)	Περιεκτικότητα σε K ρίζας
1	11	0,7	39,9	0	2	0,8	4,4
2	9,2	0,7	23,8	-	0,2	0,9	5,2
3	7,8	0,9	14,5	-	0,1	0,6	3,6
4	8	1	23,4	4	0,2	0,5	3,4
5	19,8	1,9	26,7	2	0,2	0,4	2

**Πίνακας 6.9. Μεταχείριση 0mM NaCl – 20ppm Cd**

Εβδομάδα	Νωπή μάζα βλαστών	Ξηρή μάζα βλαστών	Μήκος βλαστού	Περιεκτικότητα σε Cd βλαστού (ppm)	Περιεκτικότητα σε Ca βλαστού	Περιεκτικότητα σε Na βλαστού (%)	Περιεκτικότητα σε K βλαστού
1	30,0	2,0	19,1	17	0,9	1,1	8
2	61,4	4,0	20,6	-	1,5	1,3	5,5
3	105,8	6,1	25	-	2	0,6	9,2
4	206,2	12,9	31,2	14	0,6	0,6	9,2
5	480,4	23,7	31,9	9	15,6	0,6	8,6

**Πίνακας 6.10. Μεταχείριση 0mM NaCl – 20ppm Cd**

Εβδομάδα	Νωπή μάζα ρίζας	Ξηρή μάζα ρίζας	Μήκος ρίζας	Περιεκτικότητα σε Cd ρίζας (ppm)	Περιεκτικότητα σε Ca ρίζας	Περιεκτικότητα σε Na ρίζας (%)	Περιεκτικότητα σε K ρίζας
1	7,6	0,5	32,5	6,4	0,3	0,8	5,5
2	7,2	0,6	20,4	-	2,8	0,8	6,2
3	6,5	0,8	13,7	-	0,1	0,6	4,6
4	12,8	1,4	13,6	8	0,7	0,5	4
5	18,4	1,8	18,9	6	0,2	0,4	2,6

**Πίνακας 6.11. Μεταχείριση 20mM NaCl – 0ppm Cd**

Εβδομάδα	Νωπή μάζα βλαστών	Ξηρή μάζα βλαστών	Μήκος βλαστού	Περιεκτικότητα σε Cd βλαστού (ppm)	Περιεκτικότητα σε Ca βλαστού	Περιεκτικότητα σε Na βλαστού (%)	Περιεκτικότητα σε K βλαστού
1	19,7	1,6	16,9	6	1,6	1,3	7,6
2	55,7	4,6	22,4	-	2,4	1,1	6,6
3	111,7	7,1	28,9	-	0,5	1,4	0,9
4	214,0	13,4	29,4	7	2,7	0,8	9,8
5	361,9	19,1	28,8	6	0,4	2,1	7,0

**Πίνακας 6.12. Μεταχείριση 20mM NaCl – 0ppm Cd**

Εβδομάδα	Νωπή μάζα ρίζας	Ξηρή μάζα ρίζας	Μήκος ρίζας	Περιεκτικότητα σε Cd ρίζας (ppm)	Περιεκτικότητα σε Ca ρίζας	Περιεκτικότητα σε Na ρίζας (%)	Περιεκτικότητα σε K ρίζας
1	7,8	0,6	32,8	2	1,8	0,7	0,4
2	10,7	0,8	14,5	-	3,4	10,4	0,6
3	6,6	0,8	16,7	-	0,1	0,9	0,5
4	11,4	1,4	10	3	0,07	0,9	4
5	19,1	0,6	22,6	4	0,3	0,6	2,9

**Πίνακας 6.13. Μεταχείριση 20mM NaCl – 1ppm Cd**

Εβδομάδα	Νωπή μάζα βλαστών	Ξηρή μάζα βλαστών	Μήκος βλαστού	Περιεκτικότητα σε Cd βλαστού (ppm)	Περιεκτικότητα σε Ca βλαστού	Περιεκτικότητα σε Na βλαστού (%)	Περιεκτικότητα σε K βλαστού
1	14,4	1,2	16	3	0,8	1,4	8
2	45,4	3,4	19,1	-	1,3	0,8	4,7
3	125,2	8,3	27,3	-	6,8	1,4	8,6
4	161,0	12,1	24,2	3	0,3	1,4	8
5	357,3	21,1	29,1	2,5	0,5	2,3	6,1

**Πίνακας 6.14. Μεταχείριση 20mM NaCl – 1ppm Cd**

Εβδομάδα	Νωπή μάζα ρίζας	Ξηρή μάζα ρίζας	Μήκος ρίζας	Περιεκτικότητα σε Cd ρίζας (ppm)	Περιεκτικότητα σε Ca ρίζας	Περιεκτικότητα σε Na ρίζας (%)	Περιεκτικότητα σε K ρίζας
1	7,5	0,7	38,9	7	1,02	0,7	1,8
2	5,9	0,4	20,2	-	0,1	1	5,7
3	6,6	0,7	22,7	-	0,1	1,0	5,4
4	10,2	1,3	17,3	5	0,1	0,8	4
5	19,1	2,2	13,3	3	1,4	0,8	2,8



**Πίνακας 6.15. Μεταχείριση 20mM NaCl – 5ppm Cd**

Εβδομάδα	Νωπή μάζα βλαστών	Ξηρή μάζα βλαστών	Μήκος βλαστού	Περιεκτικότητα σε Cd βλαστού (ppm)	Περιεκτικότητα σε Ca βλαστού	Περιεκτικότητα σε Na βλαστού (%)	Περιεκτικότητα σε K βλαστού
1	27,1	1,9	20,8	4	0,6	1,1	8
2	58,7	4	23,2	-	0,3	1,1	8,8
3	124,7	7,2	28,4	-	0,2	1,5	10
4	206,4	12,7	26,7	5	0,2	1,7	9,4
5	371	18,9	30	4	0,4	1,7	7,5

**Πίνακας 6.16. Μεταχείριση 20mM NaCl – 5ppm Cd**

Εβδομάδα	Νωπή μάζα ρίζας	Ξηρή μάζα ρίζας	Μήκος ρίζας	Περιεκτικότητα σε Cd ρίζας (ppm)	Περιεκτικότητα σε Ca ρίζας	Περιεκτικότητα σε Na ρίζας (%)	Περιεκτικότητα σε K ρίζας
1	10,3	0,7	30	1	0,9	0,7	4
2	9,9	0,7	20	-	0,1	0,9	5,6
3	5,9	0,6	20,8	-	0,1	0,9	4,4
4	8,9	1,3	13,3	4	0,1	0,8	3,6
5	17,5	1,7	16,1	4	0,4	0,8	2,9

**Πίνακας 6.17. Μεταχείριση 20mM NaCl – 10ppm Cd**

Εβδομάδα	Νωπή μάζα βλαστών	Ξηρή μάζα βλαστών	Μήκος βλαστού	Περιεκτικότητα σε Cd βλαστού (ppm)	Περιεκτικότητα σε Ca βλαστού	Περιεκτικότητα σε Na βλαστού (%)	Περιεκτικότητα σε K βλαστού
1	23,1	1,8	17,8	4	0,6	1	7,6
2	61,1	4,5	17	-	1,7	1,1	4,9
3	151,8	9,3	29,5	-	0,5	1,5	8
4	238,4	12,8	25,6	4	0,2	2,1	10
5	361,2	18,9	26,3	11	0,7	1,4	8,2

**Πίνακας 6.18. Μεταχείριση 20mM NaCl – 10ppm Cd**

Εβδομάδα	Νωπή μάζα ρίζας	Ξηρή μάζα ρίζας	Μήκος ρίζας	Περιεκτικότητα σε Cd ρίζας (ppm)	Περιεκτικότητα σε Ca ρίζας	Περιεκτικότητα σε Na ρίζας (%)	Περιεκτικότητα σε K ρίζας
1	7,8	0,5	24,1	0	0,4	1	5,4
2	11,0	0,7	17	-	0,4	1,2	4
3	8,5	0,9	12,8	-	0,1	1	4,4
4	12,6	1,5	11,9	7	0,1	0,9	3,4
5	20	3,9	20,5	3	0,2	0,8	2,8

**Πίνακας 6.19. Μεταχείριση 20mM NaCl – 20ppm Cd**

Εβδομάδα	Νωπή μάζα βλαστών	Ξηρή μάζα βλαστών	Μήκος βλαστού	Περιεκτικότητα σε Cd βλαστού (ppm)	Περιεκτικότητα σε Ca βλαστού	Περιεκτικότητα σε Na βλαστού (%)	Περιεκτικότητα σε K βλαστού
1	24,8	1,7	20,3	8,7	0,3	0,8	5,8
2	75,3	5,2	23,9	-	1,1	1,3	8,6
3	87,9	5,5	24,5	-	0,4	1,3	8,6
4	256,7	15,8	29,7	13	0,1	1,7	7,8
5	389,3	22	27,3	7	0,5	2,2	7,1

**Πίνακας 6.20. Μεταχείριση 20mM NaCl – 20ppm Cd**

Εβδομάδα	Νωπή μάζα ρίζας	Ξηρή μάζα ρίζας	Μήκος ρίζας	Περιεκτικότητα σε Cd ρίζας (ppm)	Περιεκτικότητα σε Ca ρίζας	Περιεκτικότητα σε Na ρίζας (%)	Περιεκτικότητα σε K ρίζας
1	5,7	0,3	28,5	0	0,1	1,1	7,2
2	11,1	0,7	14,2	-	0,3	1,1	6
3	4,6	0,5	17	-	0,1	0,9	4,4
4	11,9	1,3	14,2	4	0,1	1,1	3,8
5	19,1	1,9	17,4	3	0,2	4,5	2,5

**Πίνακας 6.21. Μεταχείριση 40mM NaCl – 0ppm Cd**

Εβδομάδα	Νωπή μάζα βλαστών	Ξηρή μάζα βλαστών	Μήκος βλαστού	Περιεκτικότητα σε Cd βλαστού (ppm)	Περιεκτικότητα σε Ca βλαστού	Περιεκτικότητα σε Na βλαστού (%)	Περιεκτικότητα σε K βλαστού
1	19,9	1,7	13,1	3	0,9	1,3	7,2
2	59,8	4,6	21,1	-	1,1	1,5	6,4
3	81,3	6,1	24,3	-	0,2	1,1	5,6
4	171,5	11,9	31,6	6	0,1	2,2	8,4
5	337,1	17,6	28,3	8	0,2	2,6	7,2

**Πίνακας 6.22. Μεταχείριση 40mM NaCl – 0ppm Cd**

Εβδομάδα	Νωπή μάζα ρίζας	Ξηρή μάζα ρίζας	Μήκος ρίζας	Περιεκτικότητα σε Cd ρίζας (ppm)	Περιεκτικότητα σε Ca ρίζας	Περιεκτικότητα σε Na ρίζας (%)	Περιεκτικότητα σε K ρίζας
1	4,5	0,5	32,1	0	0,8	0,8	4,4
2	11,4	0,8	22	-	0,2	1,3	5,8
3	5,6	0,7	36,4	-	0,1	0,8	4
4	9,8	1,1	10,4	1	0,1	1,1	4,2
5	17,3	1,7	29,5	4	0,1	1	3,1

**Πίνακας 6.23. Μεταχείριση 40mM NaCl – 1ppm Cd**

Εβδομάδα	Νωπή μάζα βλαστών	Ξηρή μάζα βλαστών	Μήκος βλαστού	Περιεκτικότητα σε Cd βλαστού (ppm)	Περιεκτικότητα σε Ca βλαστού	Περιεκτικότητα σε Na βλαστού (%)	Περιεκτικότητα σε K βλαστού
1	6,2	0,5	14,8	4	0,3	1,1	7
2	49,5	3,8	21,7	-	1,3	1	5,1
3	69,9	5,1	23,8	-	0,4	1,9	7,6
4	128,9	8,6	20,9	6	0,3	2	7,8
5	323,1	16,9	25,2	9	0,4	1,7	6,6

**Πίνακας 6.24. Μεταχείριση 40mM NaCl – 1ppm Cd**

Εβδομάδα	Νωπή μάζα ρίζας	Ξηρή μάζα ρίζας	Μήκος ρίζας	Περιεκτικότητα σε Cd ρίζας (ppm)	Περιεκτικότητα σε Ca ρίζας	Περιεκτικότητα σε Na ρίζας (%)	Περιεκτικότητα σε K ρίζας
1	1,3	0,1	9,1	10	1,1	1,5	5
2	8,1	0,7	15,9	-	0,1	1,1	5
3	5,2	0,5	20	-	0,1	1	4
4	9,8	1,3	27,9	2	0,1	0,9	3,6
5	21,5	2,6	18,1	6	0,2	0,8	2,5

**Πίνακας 6.25. Μεταχείριση 40mM NaCl – 5ppm Cd**

Εβδομάδα	Νωπή μάζα βλαστών	Ξηρή μάζα βλαστών	Μήκος βλαστού	Περιεκτικότητα σε Cd βλαστού (ppm)	Περιεκτικότητα σε Ca βλαστού	Περιεκτικότητα σε Na βλαστού (%)	Περιεκτικότητα σε K βλαστού
1	22	1,6	20	4	0,8	1,6	8,4
2	49,6	3,6	20,6	-	0,6	1,6	6,6
3	80,3	5,6	24,1	-	0,4	2	7,2
4	134,8	9,1	23,4	3	0,2	1,8	6,6
5	292,6	16,5	24,2	3	0,5	1,8	6,1

**Πίνακας 6.26. Μεταχείριση 40mM NaCl – 5ppm Cd**

Εβδομάδα	Νωπή μάζα ρίζας	Ξηρή μάζα ρίζας	Μήκος ρίζας	Περιεκτικότητα σε Cd ρίζας (ppm)	Περιεκτικότητα σε Ca ρίζας	Περιεκτικότητα σε Na ρίζας (%)	Περιεκτικότητα σε K ρίζας
1	7,6	0,6	27,8	0	0,7	1	4,2
2	6,5	0,5	15,4	-	0,1	1,2	5,6
3	5,1	0,6	28,5	-	0,1	1,3	4,4
4	7,8	0,9	12,7	3	0,2	1,1	3,6
5	16,6	1,4	10	15,8	0,4	2,7	4

**Πίνακας 6.27. Μεταχείριση 40mM NaCl – 10ppm Cd**

Εβδομάδα	Νωπή μάζα βλαστών	Ξηρή μάζα βλαστών	Μήκος βλαστού	Περιεκτικότητα σε Cd βλαστού (ppm)	Περιεκτικότητα σε Ca βλαστού	Περιεκτικότητα σε Na βλαστού (%)	Περιεκτικότητα σε K βλαστού
1	22,3	1,6	18	5	0,4	1,4	8
2	52,4	5,4	16,8	-	1,4	1,1	5
3	119,6	7,9	24,9	-	0,4	2	8,2
4	202,1	11,9	27,7	4	0,2	2,3	8,6
5	344	20	27	5	0,9	2,5	6,5

**Πίνακας 6.28. Μεταχείριση 40mM NaCl – 10ppm Cd**

Εβδομάδα	Νωπή μάζα ρίζας	Ξηρή μάζα ρίζας	Μήκος ρίζας	Περιεκτικότητα σε Cd ρίζας (ppm)	Περιεκτικότητα σε Ca ρίζας	Περιεκτικότητα σε Na ρίζας (%)	Περιεκτικότητα σε K ρίζας
1	8,1	0,5	17,3	3,3	0,5	0,9	4,8
2	7,8	0,6	15,4	-	0,1	1,3	5,4
3	7,1	0,9	23,9	-	0,1	1,1	4,6
4	10,4	1,3	15,5	4	0,1	1,1	3,4
5	19	1,8	13,8	4	0,4	1	2,6

**Πίνακας 6.29. Μεταχείριση 40mM NaCl – 20ppm Cd**

Εβδομάδα	Νωπή μάζα βλαστών	Ξηρή μάζα βλαστών	Μήκος βλαστού	Περιεκτικότητα σε Cd βλαστού (ppm)	Περιεκτικότητα σε Ca βλαστού	Περιεκτικότητα σε Na βλαστού (%)	Περιεκτικότητα σε K βλαστού
1	22	1,6	18,2	19	0,6	1	7,8
2	65,1	4,9	19,6	-	0,8	1,8	4
3	120,9	8,7	24,4	-	1,1	1,8	7,8
4	169,7	14	23,9	6	0,1	1,9	8
5	337,5	21,7	24,1	7	0,4	2,4	6

**Πίνακας 6.30. Μεταχείριση 40mM NaCl – 20ppm Cd**

Εβδομάδα	Νωπή μάζα ρίζας	Ξηρή μάζα ρίζας	Μήκος ρίζας	Περιεκτικότητα σε Cd ρίζας (ppm)	Περιεκτικότητα σε Ca ρίζας	Περιεκτικότητα σε Na ρίζας (%)	Περιεκτικότητα σε K ρίζας
1	5,2	0,3	27,5	2	0,1	1,2	6,8
2	11,8	1	33	-	0,7	0,9	4
3	12,1	1,1	15,1	-	0,6	1,2	4,6
4	8,6	1,2	23,8	6	0,1	1	3,8
5	16	2	16,4	4	2,2	0,8	2,6

**Πίνακας 6.31. Μεταχείριση 60mM NaCl – 0ppm Cd**

Εβδομάδα	Νωπή μάζα βλαστών	Ξηρή μάζα βλαστών	Μήκος βλαστού	Περιεκτικότητα σε Cd βλαστού (ppm)	Περιεκτικότητα σε Ca βλαστού	Περιεκτικότητα σε Na βλαστού (%)	Περιεκτικότητα σε K βλαστού
1	18,8	1,7	18,3	1,7	1	0,9	5,9
2	44,9	4	23,2	-	2,4	1,7	6,2
3	85,2	6,5	19,7	-	0,4	2,1	6,4
4	143,5	9,3	22,8	3	0,2	2,5	7,6
5	267,5	15,4	21,8	3	0,4	2,8	5,4

**Πίνακας 6.32. Μεταχείριση 60mM NaCl – 0ppm Cd**

Εβδομάδα	Νωπή μάζα ρίζας	Ξηρή μάζα ρίζας	Μήκος ρίζας	Περιεκτικότητα σε Cd ρίζας (ppm)	Περιεκτικότητα σε Ca ρίζας	Περιεκτικότητα σε Na ρίζας (%)	Περιεκτικότητα σε K ρίζας
1	4,3	0,5	33,8	5,3	0,5	0,8	4,2
2	11,1	0,9	17,4	-	0,5	1,2	4,4
3	5,7	0,6	9,4	-	0,1	1,2	4,4
4	8,2	0,9	15	3	0,1	1,2	4
5	13,7	1,5	12,4	1	0,1	1,2	2,8

**Πίνακας 6.33. Μεταχείριση 60mM NaCl – 1ppm Cd**

Εβδομάδα	Νωπή μάζα βλαστών	Ξηρή μάζα βλαστών	Μήκος βλαστού	Περιεκτικότητα σε Cd βλαστού (ppm)	Περιεκτικότητα σε Ca βλαστού	Περιεκτικότητα σε Na βλαστού (%)	Περιεκτικότητα σε K βλαστού
1	13,7	1,2	14,7	6	0,3	1,6	7,4
2	39	2,9	18	-	1	2	6,6
3	80,8	5,8	21,5	-	0,2	2	7,6
4	148,8	11	25,4	5	0,2	2,4	7,4
5	243,6	13,8	24,4	4	1,1	2,9	5,8

**Πίνακας 6.34. Μεταχείριση 60mM NaCl – 1ppm Cd**

Εβδομάδα	Νωπή μάζα ρίζας	Ξηρή μάζα ρίζας	Μήκος ρίζας	Περιεκτικότητα σε Cd ρίζας (ppm)	Περιεκτικότητα σε Ca ρίζας	Περιεκτικότητα σε Na ρίζας (%)	Περιεκτικότητα σε K ρίζας
1	6,3	0,6	27,6	3	1,6	0,6	3,2
2	7,5	0,5	10	-	1	1,4	5
3	6,4	0,7	21,5	-	0,1	1,2	5
4	8,3	1,3	15,1	2	0,05	1	3,4
5	13,7	1,5	23	3	0,2	1,1	3,8

**Πίνακας 6.35. Μεταχείριση 60mM NaCl – 5ppm Cd**

Εβδομάδα	Νωπή μάζα βλαστών	Ξηρή μάζα βλαστών	Μήκος βλαστού	Περιεκτικότητα σε Cd βλαστού (ppm)	Περιεκτικότητα σε Ca βλαστού	Περιεκτικότητα σε Na βλαστού (%)	Περιεκτικότητα σε K βλαστού
1	20,1	1,5	18	2	0,5	1,5	8,2
2	41,7	3,2	23,1	-	0,9	1,2	6
3	84,8	6,3	23,3	-	0,3	1,3	5,8
4	143,1	10	22,6	7	0,3	2,3	7
5	281,5	15,9	27,5	10	0,3	2,5	5

**Πίνακας 6.36. Μεταχείριση 60mM NaCl – 5ppm Cd**

Εβδομάδα	Νωπή μάζα ρίζας	Ξηρή μάζα ρίζας	Μήκος ρίζας	Περιεκτικότητα σε Cd ρίζας (ppm)	Περιεκτικότητα σε Ca ρίζας	Περιεκτικότητα σε Na ρίζας (%)	Περιεκτικότητα σε K ρίζας
1	3,9	0,4	30,9	5,9	0,4	1	5,2
2	8,8	0,6	15,6	-	0,1	1,2	4,8
3	6	0,7	12,7	-	0,1	1,3	4,2
4	7,9	1	18,8	3	0,1	1,2	3,4
5	14,4	0,8	15,5	10	0,7	1,2	3,8

**Πίνακας 6.37. Μεταχείριση 60mM NaCl – 10ppm Cd**

Εβδομάδα	Νωπή μάζα βλαστών	Ξηρή μάζα βλαστών	Μήκος βλαστού	Περιεκτικότητα σε Cd βλαστού (ppm)	Περιεκτικότητα σε Ca βλαστού	Περιεκτικότητα σε Na βλαστού (%)	Περιεκτικότητα σε K βλαστού
1	18,5	1,4	17,2	5	0,2	1,4	7,4
2	55,4	4,3	17,7	-	2	2	5,6
3	92,5	7,2	21,8	-	0,9	2,2	6,6
4	151,1	9,9	21,3	5	0,1	2,5	6,8
5	293,4	19	11,9	5	0,5	2,2	5,7

**Πίνακας 6.38. Μεταχείριση 60mM NaCl – 10ppm Cd**

Εβδομάδα	Νωπή μάζα ρίζας	Ξηρή μάζα ρίζας	Μήκος ρίζας	Περιεκτικότητα σε Cd ρίζας (ppm)	Περιεκτικότητα σε Ca ρίζας	Περιεκτικότητα σε Na ρίζας (%)	Περιεκτικότητα σε K ρίζας
1	6,8	0,4	29	1	1	0,9	4,2
2	8,7	0,7	16,3	-	0,1	1,2	5,6
3	6,9	0,8	14,2	-	0,1	1,3	4,6
4	8	1,1	10,7	3	0,1	1	2,8
5	15,7	1,6	22,3	3	0,3	0,8	2,5



**Πίνακας 6.39. Μεταχείριση 60mM NaCl – 20ppm Cd**

Εβδομάδα	Νωπή μάζα βλαστών	Ξηρή μάζα βλαστών	Μήκος βλαστού	Περιεκτικότητα σε Cd βλαστού (ppm)	Περιεκτικότητα σε Ca βλαστού	Περιεκτικότητα σε Na βλαστού (%)	Περιεκτικότητα σε K βλαστού
1	21,1	1,7	21	8	0,8	1,6	7,2
2	50,1	4	20,4	-	0,2	2	6
3	108	7,6	26,2	-	0,2	2,2	7,8
4	175,8	14,9	30	13	0,1	2,3	7
5	321,8	20,6	28,9	6	0,4	2,5	3,5

**Πίνακας 6.40. Μεταχείριση 60mM NaCl – 20ppm Cd**

Εβδομάδα	Νωπή μάζα ρίζας	Ξηρή μάζα ρίζας	Μήκος ρίζας	Περιεκτικότητα σε Cd ρίζας (ppm)	Περιεκτικότητα σε Ca ρίζας	Περιεκτικότητα σε Na ρίζας (%)	Περιεκτικότητα σε K ρίζας
1	9,7	0,6	39,2	7	0,4	1,1	5,2
2	13,9	0,9	29	-	3,2	1,5	5,4
3	7	0,9	15	-	0,1	1,1	4,4
4	10,5	1,6	16	7	0,1	1,1	3,6
5	20,3	2,3	16,6	9	0,2	2,1	2,6

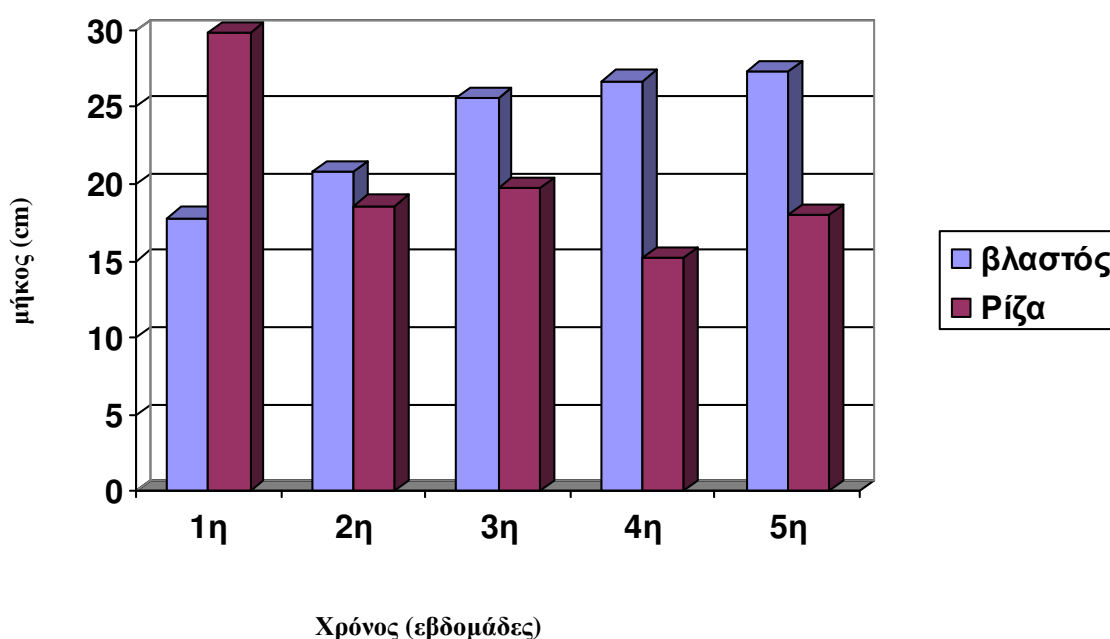
Παρακάτω παρατίθενται πίνακες που περιέχουν τα δεδομένα των παραπάνω πινάκων για τους μέσους όρους κάθε μεταχείρισης. Επίσης δίνονται και αντίστοιχα γραφήματα από τα οποία φαίνονται παραστατικά η ανάπτυξη των φυτών και η περιεκτικότητά τους σε κάδμιο.

## 6.1. ΤΟ ΜΗΚΟΣ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟΝ ΧΡΟΝΟ

**Πίνακας 6.41.** Οι μετρήσεις των μηκών των βλαστών και των ριζών (κατά μέσο όρο) σε σχέση με το χρόνο

	Μήκος βλαστού (cm)	Μήκος ρίζας (cm)
Εβδομάδα 1	17,8	29,8
Εβδομάδα 2	20,8	18,6
Εβδομάδα 3	25,6	19,7
Εβδομάδα 4	26,7	15,2
Εβδομάδα 5	27,3	18

Στον Πίνακα 6.41. 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. 6.1.:** Γραφική απεικόνιση των μηκών των βλαστών και των ριζών (κατά μέσο όρο) σε σχέση με το χρόνο

Από την εικόνα 6.1. παρατηρούμε μια σταθερή αύξηση των βλαστών σε μήκος, με ελάχιστη τιμή τα 17,8 εκατοστά κατά τη μέτρηση την πρώτη εβδομάδα και μέγιστη τιμή τα 27,3 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. Παρ' όλα αυτά είναι εμφανές ότι στην περίοδο των πέντε εβδομάδων η ανάπτυξη των ριζών όλων των φυτών κυμάνθηκε στα ίδια επίπεδα (περίπου 18 εκατοστά).

## **6.2. ΜΑΖΑ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ ΑΝΑ ΜΕΤΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΑΔΜΙΟΥ ΚΑΙ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ**

Παρακάτω παρατίθενται τα δεδομένα από τις μετρήσεις που πραγματοποιούνταν στο εργαστήριο κάθε εβδομάδα, όπου αφαιρούνταν 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.

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

Παρατίθεται 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.

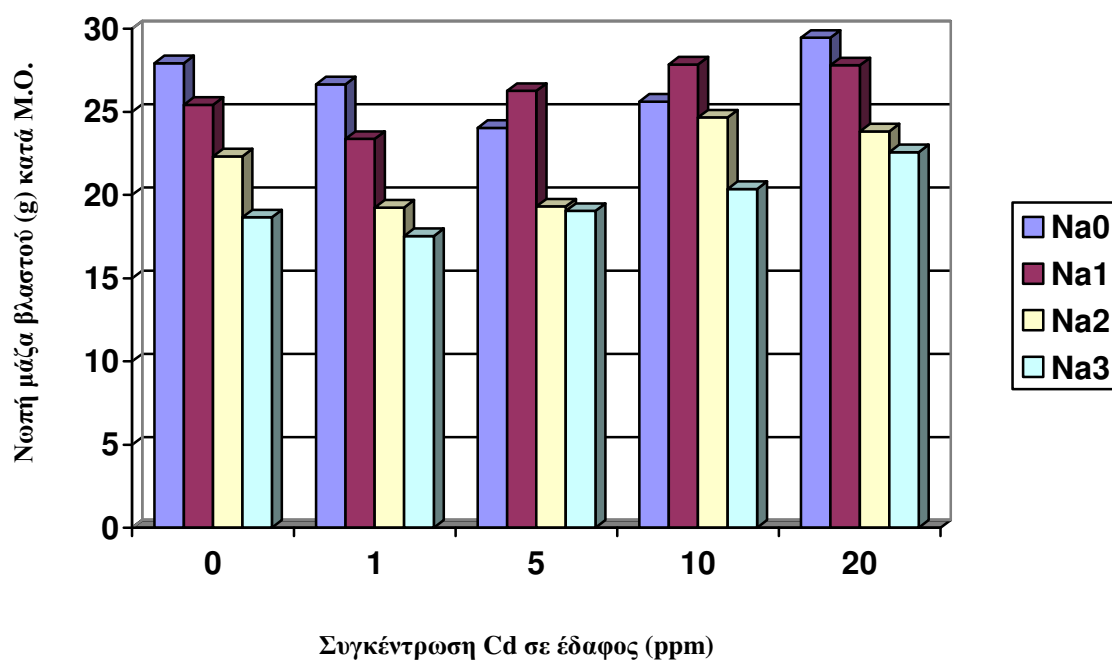
Na 1 αντιστοιχεί στη μεταχείριση με τη μικρότερη προσθήκη NaCl (281g NaCl στο αρχικό διάλυμα).

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

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

Πίνακας 6.42. Νωπή μάζα βλαστών

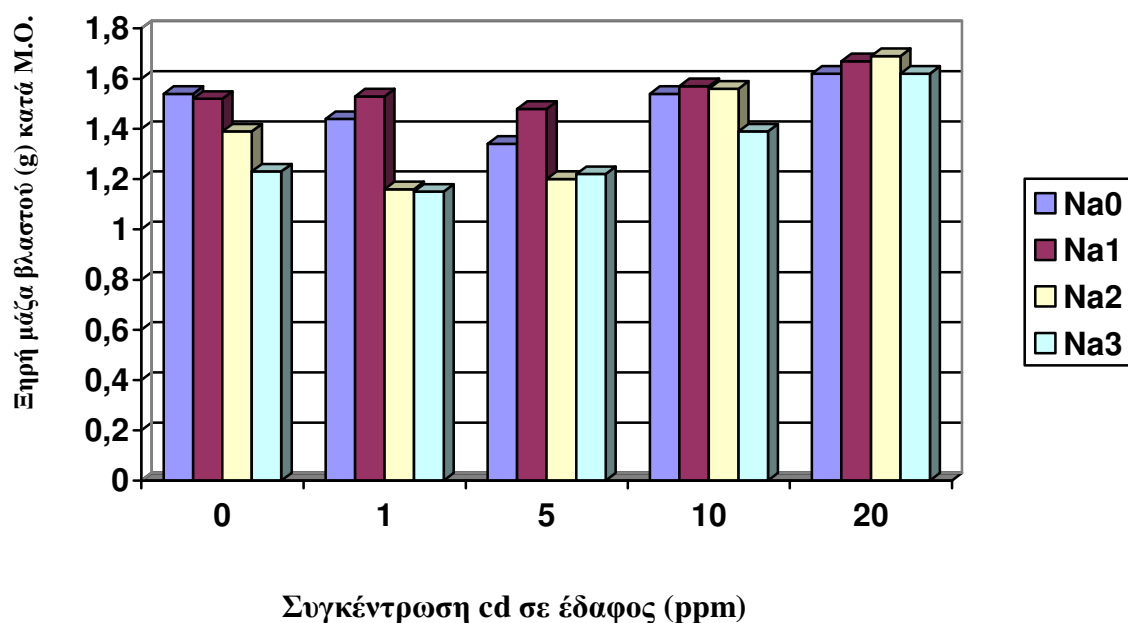
	Νωπή μάζα βλαστού (g) Na0	Νωπή μάζα βλαστού (g) Na1	Νωπή μάζα βλαστού (g) Na2	Νωπή μάζα βλαστού (g) Na3
Συγκέντρωση Cd (ppm) 0	27,93	25,43	22,32	18,66
Συγκέντρωση Cd (ppm) 1	26,65	23,38	19,25	17,53
Συγκέντρωση Cd (ppm) 5	24,05	26,26	19,31	19,04
Συγκέντρωση Cd (ppm) 10	25,62	27,85	24,67	20,36
Συγκέντρωση Cd (ppm) 20	29,45	27,8	23,84	22,56



Εικόνα. 6.2.: Η νωπή μάζα των βλαστών αναφορικά με τη μεταχείριση του καδμίου και ανά μεταχείριση NaCl

Πίνακας 6.43. Ξηρή μάζα βλαστών

	Ξηρή μάζα βλαστού (g)		Ξηρή μάζα βλαστού (g)		Ξηρή μάζα βλαστού (g)		Ξηρή μάζα βλαστού (g)	
	Na0		Na1		Na2		Na3	
Συγκέντρωση Cd (ppm) 0	0,055	1,54	0,059	1,52	0,062	1,39	0,065	1,23
Συγκέντρωση Cd (ppm) 1	0,054	1,44	0,065	1,53	0,060	1,16	0,065	1,15
Συγκέντρωση Cd (ppm) 5	0,055	1,34	0,056	1,48	0,062	1,2	0,064	1,22
Συγκέντρωση Cd (ppm) 10	0,060	1,54	0,056	1,57	0,063	1,56	0,068	1,39
Συγκέντρωση Cd (ppm) 20	0,055	1,62	0,060	1,67	0,070	1,69	0,071	1,62
Avg	0,055		0,059		0,063		0,066	
Περιεκτικότητα σε νερό water %	94,5%		94,1%		93,7%		93,4%	



Εικόνα. 6.3.: Η ξηρή μάζα των βλαστών αναφορικά με τη μεταχείριση του καδμίου και ανά μεταχείριση NaCl

Από τα δύο αυτά γραφήματα μπορεί να παρατηρηθεί μία μικρή υπεροχή του βάρους 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 τις δύο μεγαλύτερες σε προσθήκη NaCl στις δύο ηπιότερες μεταχειρίσεις καδμίου.

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

Παρατίθεται 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.

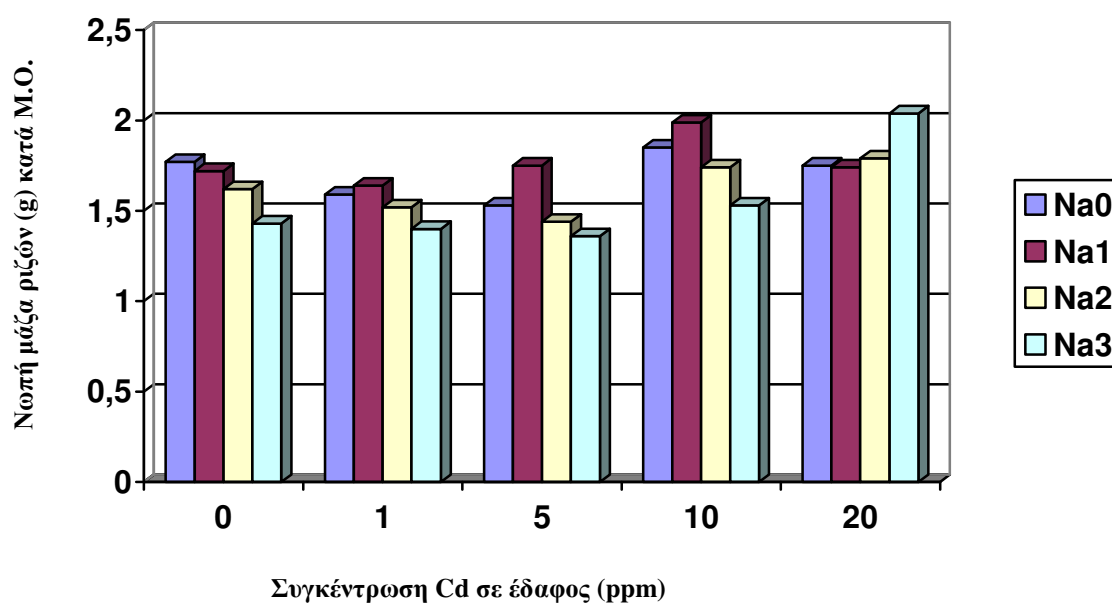
Na 1 αντιστοιχεί στη μεταχείριση με τη μικρότερη προσθήκη NaCl (281g NaCl στο αρχικό διάλυμα).

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

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

**Πίνακας 6.44. Νωπή μάζα ριζών**

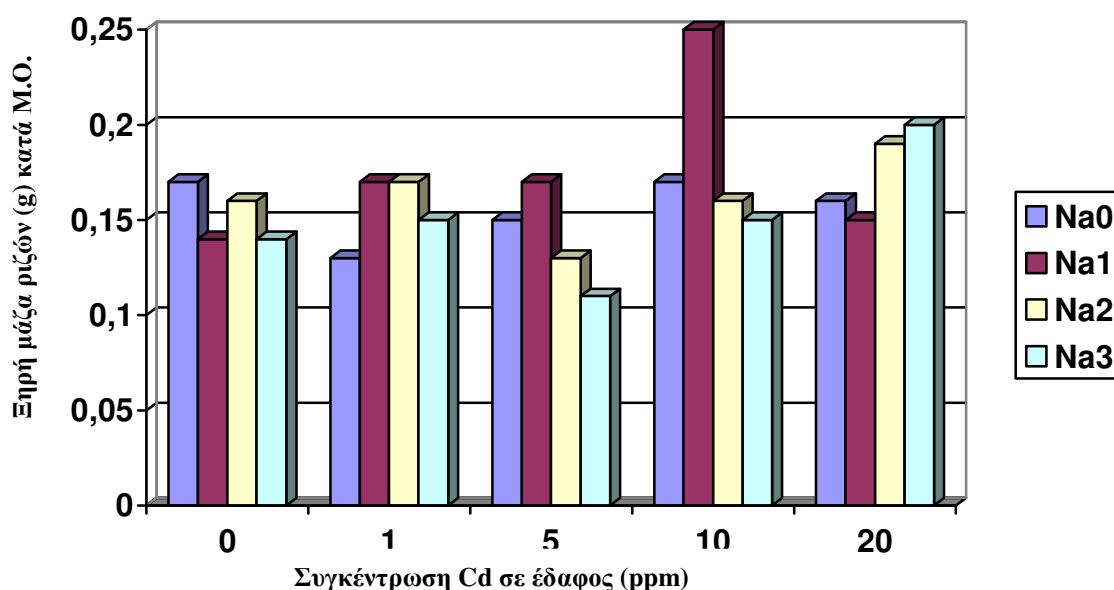
	Νωπή μάζα ρίζας (g) Na0	Νωπή μάζα ρίζας (g) Na1	Νωπή μάζα ρίζας (g) Na2	Νωπή μάζα ρίζας (g) Na3
Συγκέντρωση Cd (ppm) 0	1,77	1,72	1,62	1,43
Συγκέντρωση Cd (ppm) 1	1,59	1,64	1,52	1,40
Συγκέντρωση Cd (ppm) 5	1,53	1,75	1,44	1,36
Συγκέντρωση Cd (ppm) 10	1,85	1,99	1,74	1,53
Συγκέντρωση Cd (ppm) 20	1,75	1,74	1,79	2,04



**Εικόνα 6.4. Η νωπή μάζα των ριζών αναφορικά με τη μεταχείριση του καδμίου και ανά μεταχείριση NaCl.**

Πίνακας 6.45. Ξηρή μάζα ριζών

	Ξηρή μάζα ρίζας (g) Na0		Ξηρή μάζα ρίζας (g) Na1		Ξηρή μάζα ρίζας (g) Na2		Ξηρή μάζα ρίζας (g) Na3	
Συγκέντρωση Cd (ppm) 0	0,096	0,17	0,081	0,14	0,098	0,16	0,097	0,14
Συγκέντρωση Cd (ppm) 1	0,081	0,13	0,103	0,17	0,111	0,17	0,107	0,15
Συγκέντρωση Cd (ppm) 5	0,098	0,15	0,097	0,17	0,090	0,13	0,080	0,11
Συγκέντρωση Cd (ppm) 10	0,091	0,17	0,125	0,25	0,091	0,16	0,098	0,15
Συγκέντρωση Cd (ppm) 20	0,091	0,16	0,086	0,15	0,106	0,19	0,098	0,20
Avg.	0,091		0,098		0,099		0,096	
Περιεκτικότητα σε νερό water %	90,9%		90,2%		90,1%		90,4%	



Εικόνα 6.5. 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 αντικατροπίζουν σε απόλυτο βαθμό την πραγματικότητα.



Παρόλα αυτά, παρατηρείται, όπως και στην περίπτωση των βλαστών διαφοροποίηση στις τιμές της μάζας σε κάθε μεταχείριση καδμίου και αλατότητας. Όπως όμως και στους βλαστούς, είναι εμφανές η σύγκλιση των τιμών που αντιστοιχούν στη μεγαλύτερη μεταχείριση καδμίου. Τέλος, παρατηρούμαι η μάζα των ριζών των φυτών που αντιστοιχούν στην μεταχείριση της αλατότητας με μηδενική προσθήκη NaCl, παρουσιάζει υστέρηση.

### **6.3. Η ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ 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 193 mg Cd (10 ppm).

Μεταχείριση Cd 4 αντιστοιχεί στη μεταχείριση με προσθήκη 386 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 (281g NaCl στο αρχικό διάλυμα).

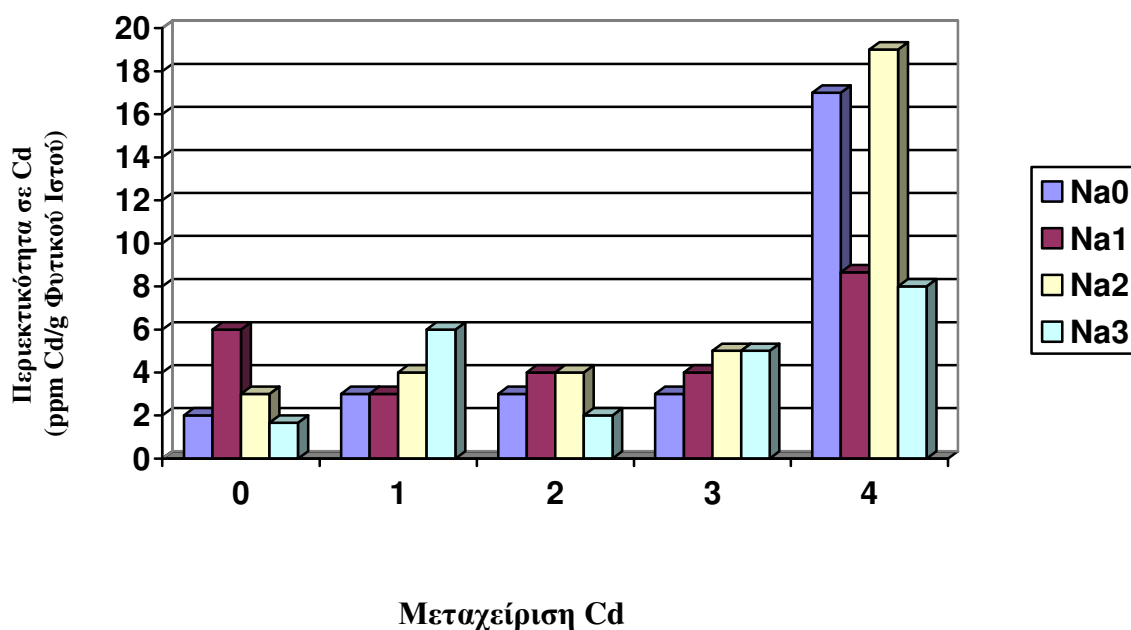
Na 2 αντιστοιχεί στη μεταχείριση με μέση προσθήκη NaCl (562g NaCl στο αρχικό διάλυμα).

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

### 6.3.1. Εβδομάδα 1<sup>η</sup>

Πίνακας 6.46. Περιεκτικότητα σε κάδμιο των βλαστών των φυτών που αφαιρέθηκαν την πρώτη εβδομάδα

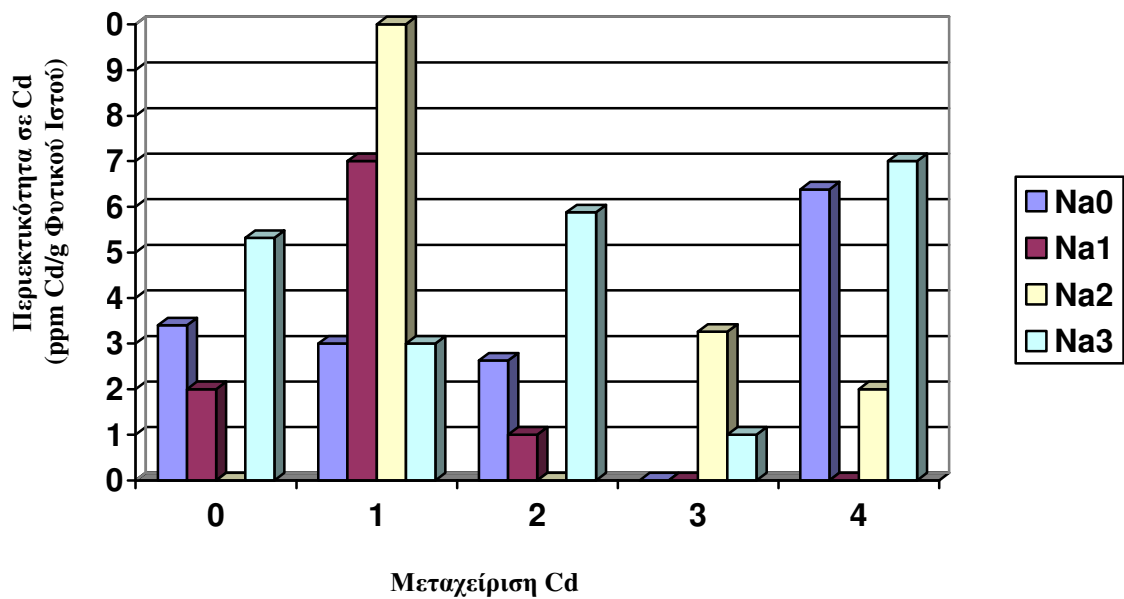
	Περιεκτικότητα σε Cd για την μεταχείριση Na0	Περιεκτικότητα σε Cd για την μεταχείριση Na1	Περιεκτικότητα σε Cd για την μεταχείριση Na2	Περιεκτικότητα σε Cd για την μεταχείριση Na3
Μεταχείριση Cd 0	2	6	3	1,66
Μεταχείριση Cd 1	3	3	4	6
Μεταχείριση Cd 2	3	4	4	2
Μεταχείριση Cd 3	3	4	5	5
Μεταχείριση Cd 4	17	8,66	19	8



Εικόνα 6.6. Περιεκτικότητα σε κάδμιο των βλαστών των φυτών που αφαιρέθηκαν την πρώτη εβδομάδα σε συνάρτηση με τις μεταχειρίσεις NaCl.

**Πίνακας 6.47. Περιεκτικότητα σε κάδμιο των ριζών των φυτών που αφαιρέθηκαν την πρώτη εβδομάδα**

	Περιεκτικότητα σε Cd για την μεταχείριση Na0	Περιεκτικότητα σε Cd για την μεταχείριση Na1	Περιεκτικότητα σε Cd για την μεταχείριση Na2	Περιεκτικότητα σε Cd για την μεταχείριση Na3
Μεταχείριση Cd 0	3,4	2	0	5,32
Μεταχείριση Cd 1	3	7	10	3
Μεταχείριση Cd 2	2,63	1	0	5,88
Μεταχείριση Cd 3	0	0	3,26	1
Μεταχείριση Cd 4	6,38	0	2	7

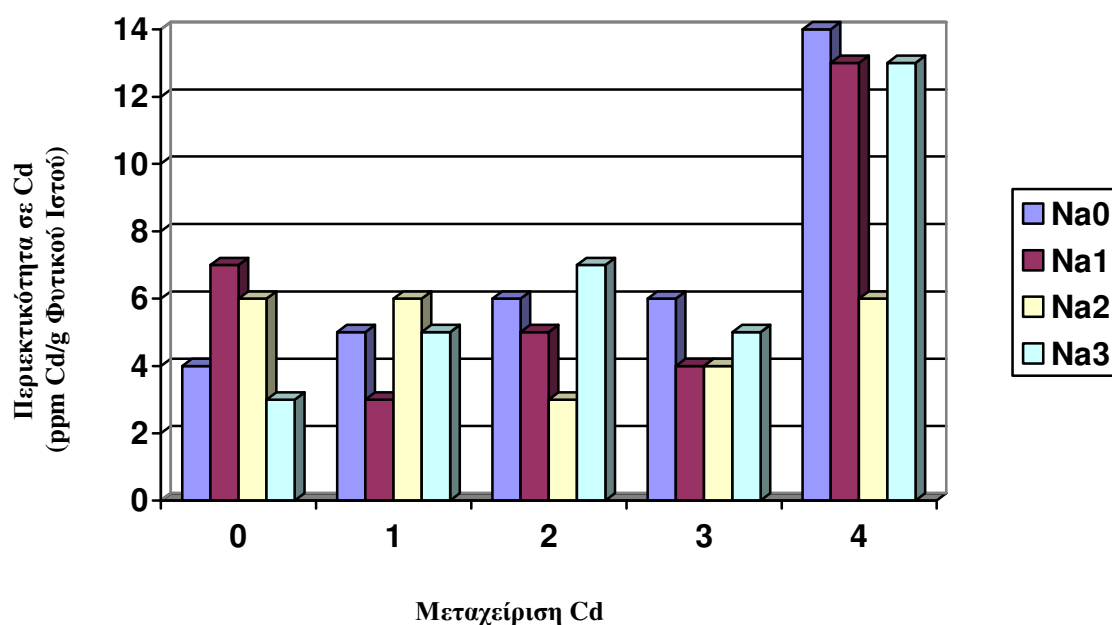


**Εικόνα 6.7. Περιεκτικότητα σε κάδμιο των ριζών των φυτών που αφαιρέθηκαν την πρώτη εβδομάδα σε συνάρτηση με τις μεταχειρίσεις NaCl.**

### 6.3.2. Εβδομάδα 4<sup>η</sup>

Πίνακας 6.48. Περιεκτικότητα σε κάδμιο των βλαστών των φυτών που αφαιρέθηκαν την τέταρτη εβδομάδα

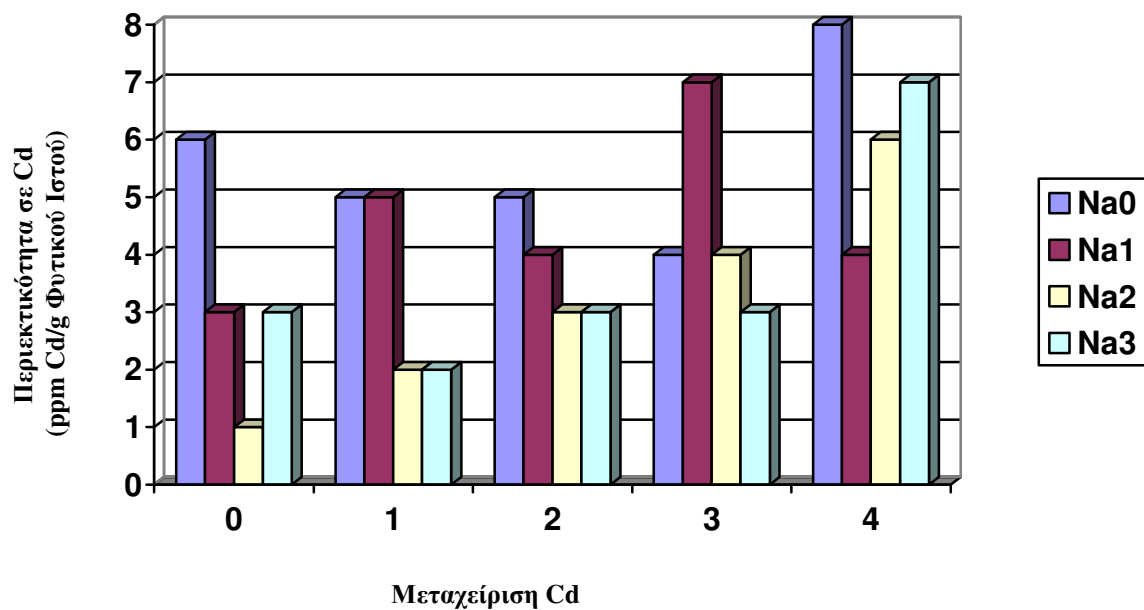
	Περιεκτικότητα σε Cd για την μεταχείριση Na0	Περιεκτικότητα σε Cd για την μεταχείριση Na1	Περιεκτικότητα σε Cd για την μεταχείριση Na2	Περιεκτικότητα σε Cd για την μεταχείριση Na3
Μεταχείριση Cd 0	4	7	6	3
Μεταχείριση Cd 1	5	3	6	5
Μεταχείριση Cd 2	6	5	3	7
Μεταχείριση Cd 3	6	4	4	5
Μεταχείριση Cd 4	14	13	6	13



Εικόνα 6.8. Περιεκτικότητα σε κάδμιο των βλαστών των φυτών που αφαιρέθηκαν την τέταρτη εβδομάδα σε συνάρτηση με τις μεταχειρίσεις NaCl.

**Πίνακας 6.49. Περιεκτικότητα σε κάδμιο των ριζών των φυτών που αφαιρέθηκαν την τέταρτη εβδομάδα**

	Περιεκτικότητα σε Cd για την μεταχείριση Na0	Περιεκτικότητα σε Cd για την μεταχείριση Na1	Περιεκτικότητα σε Cd για την μεταχείριση Na2	Περιεκτικότητα σε Cd για την μεταχείριση Na3
Μεταχείριση Cd 0	6	3	1	3
Μεταχείριση Cd 1	5	5	2	2
Μεταχείριση Cd 2	5	4	3	3
Μεταχείριση Cd 3	4	7	4	3
Μεταχείριση Cd 4	8	4	6	7

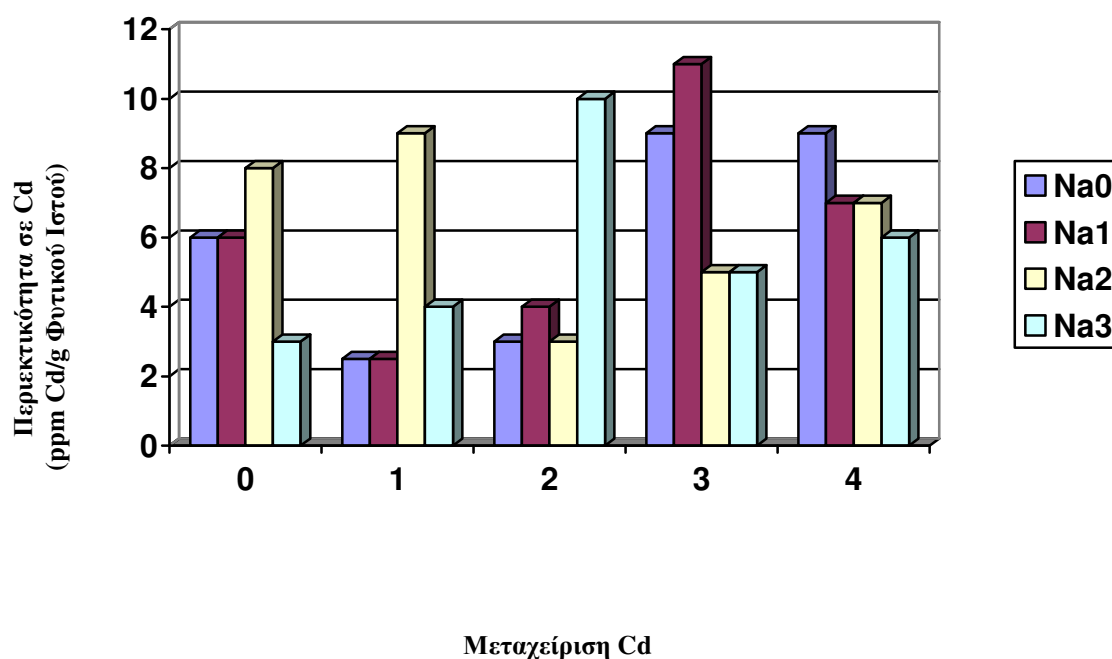


**Εικόνα 6.9. Περιεκτικότητα σε κάδμιο των ριζών των φυτών που αφαιρέθηκαν την τέταρτη εβδομάδα σε συνάρτηση με τις μεταχειρίσεις NaCl.**

### 6.3.3. Εβδομάδα 5<sup>η</sup>

**Πίνακας 6.50. Περιεκτικότητα σε κάδμιο των βλαστών των φυτών που αφαιρέθηκαν την πέμπτη εβδομάδα (αφαιρέθηκαν δυο σειρές φυτών αυτή την εβδομάδα. Άρα έχουμε τον μέσο όρο των φυτών)**

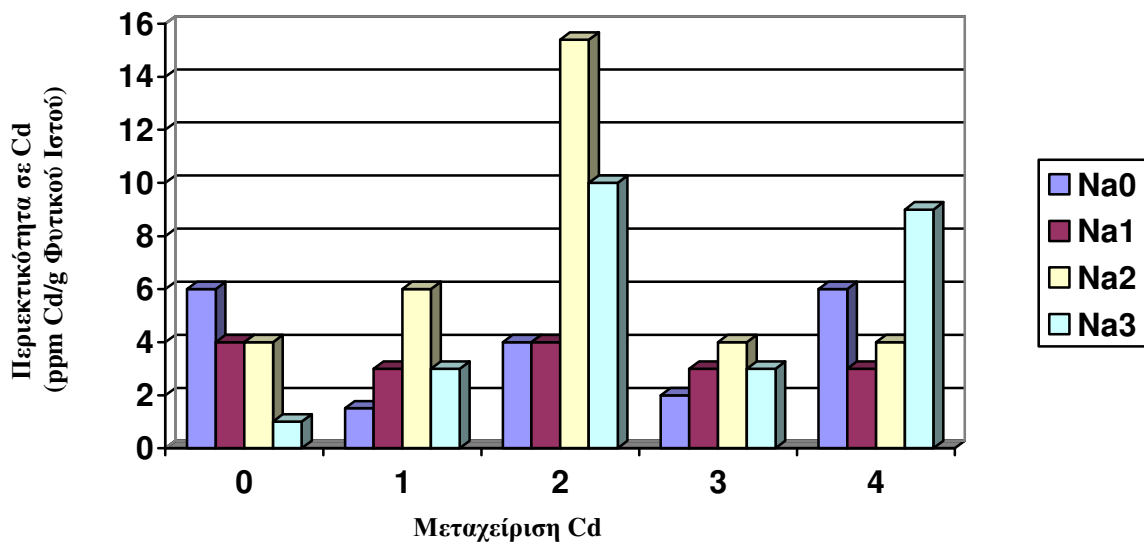
	Περιεκτικότητα σε Cd για την μεταχείριση Na0	Περιεκτικότητα σε Cd για την μεταχείριση Na1	Περιεκτικότητα σε Cd για την μεταχείριση Na2	Περιεκτικότητα σε Cd για την μεταχείριση Na3
Μεταχείριση Cd 0	6	6	8	3
Μεταχείριση Cd 1	2,5	2,5	9	4
Μεταχείριση Cd 2	3	4	3	10
Μεταχείριση Cd 3	9	11	5	5
Μεταχείριση Cd 4	9	7	7	6



**Εικόνα 6.10. Περιεκτικότητα σε κάδμιο των βλαστών των φυτών που αφαιρέθηκαν την Πέμπτη εβδομάδα σε συνάρτηση με τις μεταχειρίσεις NaCl.**

**Πίνακας 6.51. Περιεκτικότητα σε κάδμιο των ριζών των φυτών που αφαιρέθηκαν την πέμπτη εβδομάδα**

	Περιεκτικότητα σε Cd για την μεταχείριση Na0	Περιεκτικότητα σε Cd για την μεταχείριση Na1	Περιεκτικότητα σε Cd για την μεταχείριση Na2	Περιεκτικότητα σε Cd για την μεταχείριση Na3
Μεταχείριση Cd 0	6	4	4	1
Μεταχείριση Cd 1	1,5	3	6	3
Μεταχείριση Cd 2	4	4	15,4	10
Μεταχείριση Cd 3	2	3	4	3
Μεταχείριση Cd 4	6	3	4	9



**Εικόνα 6.11. Περιεκτικότητα σε κάδμιο των ριζών των φυτών που αφαιρέθηκαν την πέμπτη εβδομάδα σε συνάρτηση με τις μεταχειρίσεις NaCl.**

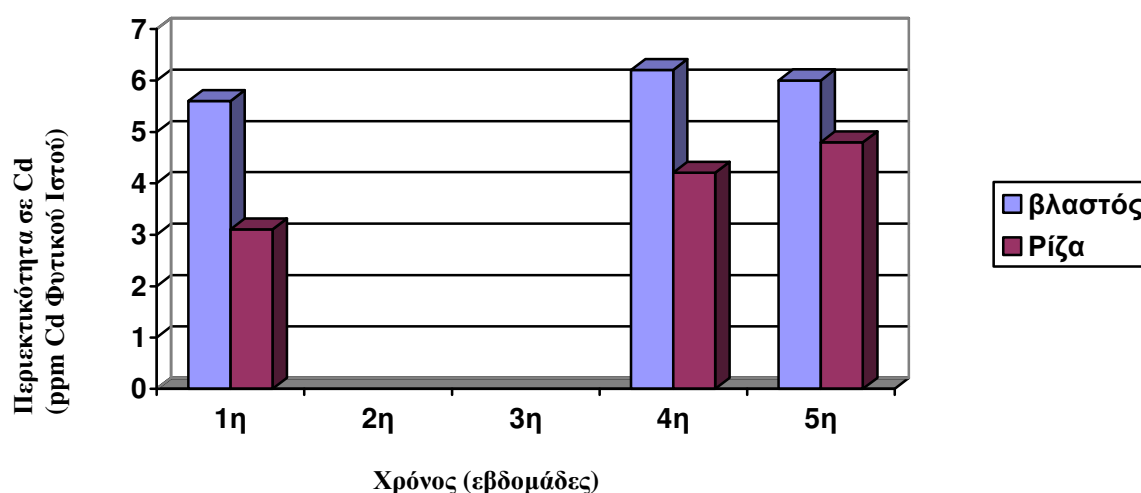
Από τα ανώτερα γραφήματα είναι εμφανής η υψηλή, στις περισσότερες περιπτώσεις, συγκέντρωση του καδμίου στους ιστούς των φυτών. Επίσης, παρατηρείται μία μείωση της περιεκτικότητας των φυτικών ιστών σε κάδμιο με την πάροδο του χρόνου. Οι τιμές της συγκέντρωσης του καδμίου κυμαίνονται σε υψηλότερα επίπεδα την τέταρτη 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, ανεξαρτήτως μεταχείρισης καδμίου και NaCl.

Τέλος, είναι εμφανές ότι στο ριζικό σύστημα των φυτών την πρώτη και την τέταρτη εβδομάδα έχουν συσσωρευτή μεγαλύτερες ποσότητες καδμίου, ενώ την τελευταία εβδομάδα έχουν συσσωρευτή μεγαλύτερες ποσότητες καδμίου στους βλαστούς των φυτών.

**Πίνακας 6.52. Περιεκτικότητα των φυτών σε Κάδμιο (Cd)**  
(κατά μέσο όρο) σε σχέση με το χρόνο

	Βλαστός	- ppm -	Ρίζα
Εβδομάδα 1 <sup>η</sup>	5,6		3,1
Εβδομάδα 2 <sup>η</sup>	-		-
Εβδομάδα 3 <sup>η</sup>	-		-
Εβδομάδα 4 <sup>η</sup>	6,2		4,2
Εβδομάδα 5 <sup>η</sup>	6		4,8



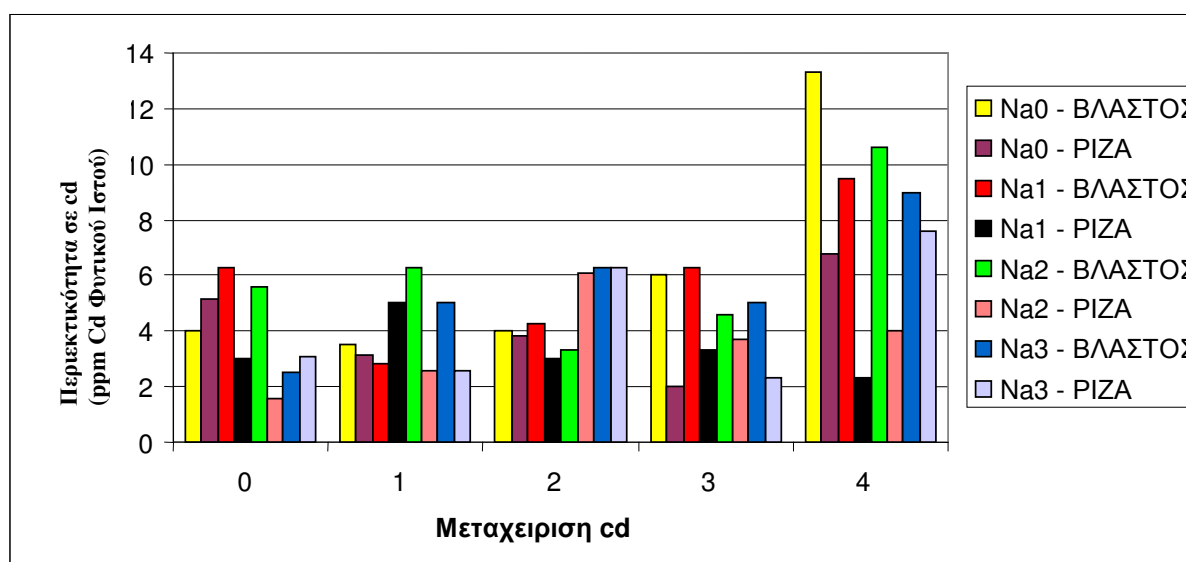
**Εικόνα 6.12. Περιεκτικότητα σε κάδμιο των φυτών κατά μέσο όρο σε σχέση με τον χρόνο.**

Γενικά παρατηρούμε, για τις ρίζες ότι υπάρχει μία αύξηση της περιεκτικότητας σε κάδμιο από την πρώτη έως την τελευταία εβδομάδα και για τους βλαστούς παρατηρούμε ότι οι τιμές κυμαίνονται περίπου στα ίδια επίπεδα με μεγαλύτερη συγκέντρωση την τέταρτη εβδομάδα.



**Πίνακας 6.53. Περιεκτικότητα σε κάδμιο των βλαστών και των ριζών των φυτών κατά μέσο όρο όλων των εβδομάδων (σε όλες τις μεταχειρίσεις cd και NaCl)**

Μ.Ο.	Περιεκτικότητα σε Cd για την μεταχείριση Na0		Περιεκτικότητα σε Cd για την μεταχείριση Na1		Περιεκτικότητα σε Cd για την μεταχείριση Na2		Περιεκτικότητα σε Cd για την μεταχείριση Na3	
	ΒΛΑΣΤΟΣ	ΡΙΖΑ	ΒΛΑΣΤΟΣ	ΡΙΖΑ	ΒΛΑΣΤΟΣ	ΡΙΖΑ	ΒΛΑΣΤΟΣ	ΡΙΖΑ
Εβδομάδα 1 <sup>η</sup>	4	5,16	6,3	3	5,6	1,6	2,5	3,1
Εβδομάδα 2 <sup>η</sup>	3,5	3,16	2,8	5	6,3	2,6	5	2,6
Εβδομάδα 3 <sup>η</sup>	4	3,86	4,3	3	3,3	6,1	6,3	6,3
Εβδομάδα 4 <sup>η</sup>	6	2	6,3	3,3	4,6	3,7	5	2,3
Εβδομάδα 5 <sup>η</sup>	13,3	6,8	9,5	2,3	10,6	4	9	7,6



**Εικόνα 6.13. Περιεκτικότητα σε κάδμιο των ριζών και των βλαστών των φυτών κατά μέσο όρο όλων των εβδομάδων**

Από το παραπάνω γράφημα είναι εμφανής η υψηλή συγκέντρωση καδμίου στην μεταχείριση cd 4σε ρίζες και βλαστούς σε όλα τα επίπεδα αλατότητας σε σχέση με τις τέσσερις προηγούμενες μεταχειρίσεις.

Επίσης παρατηρούμε στη δεύτερη μεταχείριση έχουμε μία ισοροπία στην απορρόφηση καδμίου από τις ρίζες και τους βλαστούς, ενώ στις μεταχειρίσεις Cd 3 και Cd 4 η απορρόφηση καδμίου είναι αρκετά μεγαλύτερη από τους βλαστούς σε σχέση με τις ρίζες.

#### 6.4. Η ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ ΣΕ Ca, Na και K

Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την ανάλυση των δειγμάτων (βλαστών και ριζών) με το διαθλασίμετρο για τον προσδιορισμό της περιεκτικότητάς τους σε ασβέστιο, νάτριο και κάλιο. 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 193 mg Cd (10 ppm).

Μεταχείριση Cd 4 αντιστοιχεί στη μεταχείριση με προσθήκη 386 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 (281g NaCl στο αρχικό διάλυμα).

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

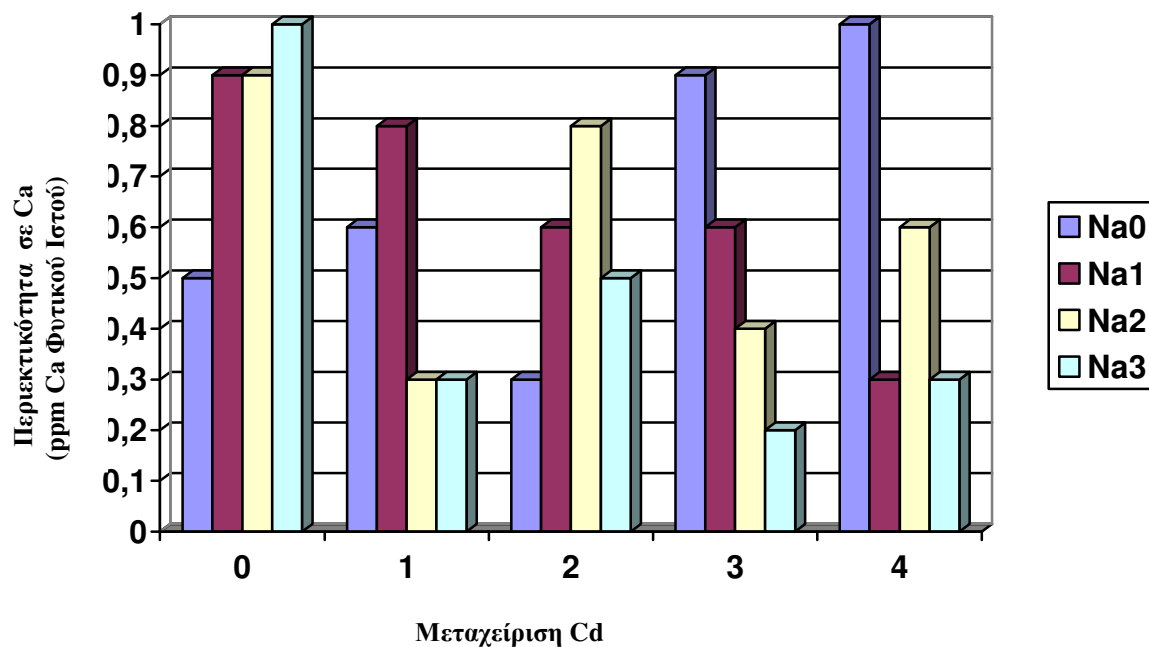
Na 3 αντιστοιχεί στη μεταχείριση με τη μεγαλύτερη προσθήκη NaCl (842g NaCl στο αρχικό διάλυμα).

### 6.4.1. Περιεκτικότητα σε Ασβέστιο

#### 6.4.1.1. Εβδομάδα 1<sup>η</sup>

**Πίνακας 6.54. Περιεκτικότητα σε Ασβέστιο των βλαστών των φυτών που αφαιρέθηκαν την πρώτη εβδομάδα (%)**

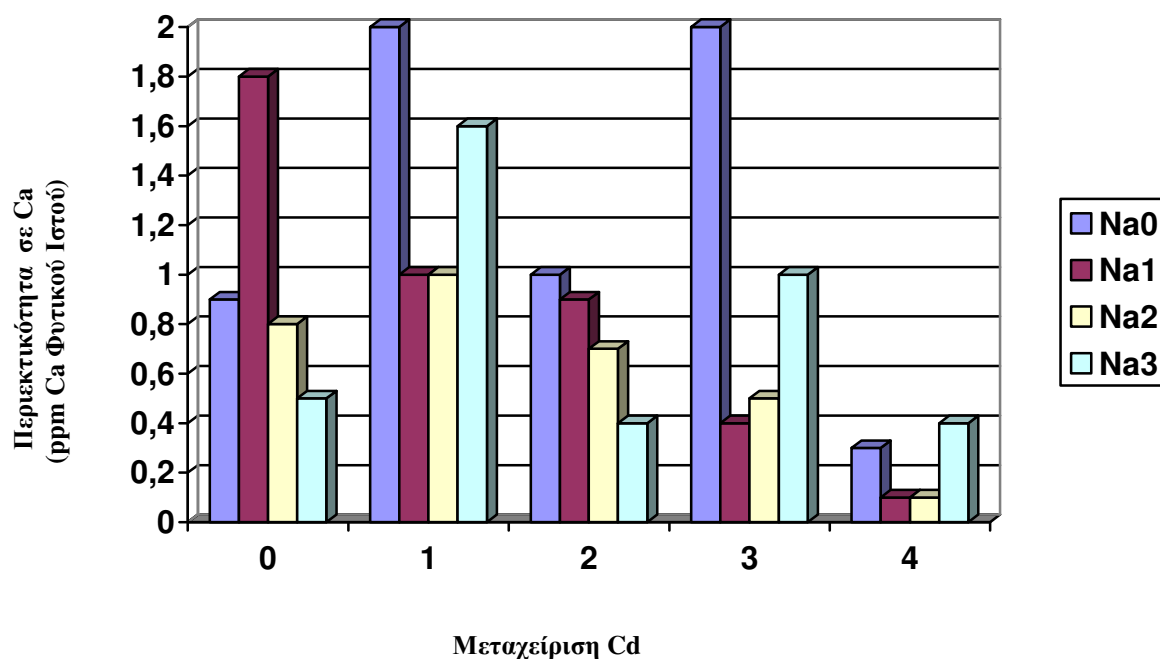
	Περιεκτικότητα σε Ca για τη μεταχείριση Na0	Περιεκτικότητα σε Ca για τη μεταχείριση Na1	Περιεκτικότητα σε Ca για τη μεταχείριση Na2	Περιεκτικότητα σε Ca για τη μεταχείριση Na3
Μεταχείριση Cd0	0,5	0,9	0,9	1
Μεταχείριση Cd1	0,6	0,8	0,3	0,3
Μεταχείριση Cd2	0,3	0,6	0,8	0,5
Μεταχείριση Cd3	0,9	0,6	0,4	0,2
Μεταχείριση Cd4	1	0,3	0,6	0,3



**Εικόνα 6.14. Περιεκτικότητα σε ασβέστιο των βλαστών των φυτών που αφαιρέθηκαν την πρώτη εβδομάδα σε συνάρτηση με τις μεταχειρίσεις NaCl.**

**Πίνακας 6.55. Περιεκτικότητα σε Ασβέστιο των ριζών των φυτών που αφαιρέθηκαν την πρώτη εβδομάδα (%)**

	Περιεκτικότητα σε Ca για τη μεταχείριση Na0	Περιεκτικότητα σε Ca για τη μεταχείριση Na1	Περιεκτικότητα σε Ca για τη μεταχείριση Na2	Περιεκτικότητα σε Ca για τη μεταχείριση Na3
Μεταχείριση Cd0	0,9	1,8	0,8	0,5
Μεταχείριση Cd1	2	1	1	1,6
Μεταχείριση Cd2	1	0,9	0,7	0,4
Μεταχείριση Cd3	2	0,4	0,5	1
Μεταχείριση Cd4	0,3	0,1	0,1	0,4

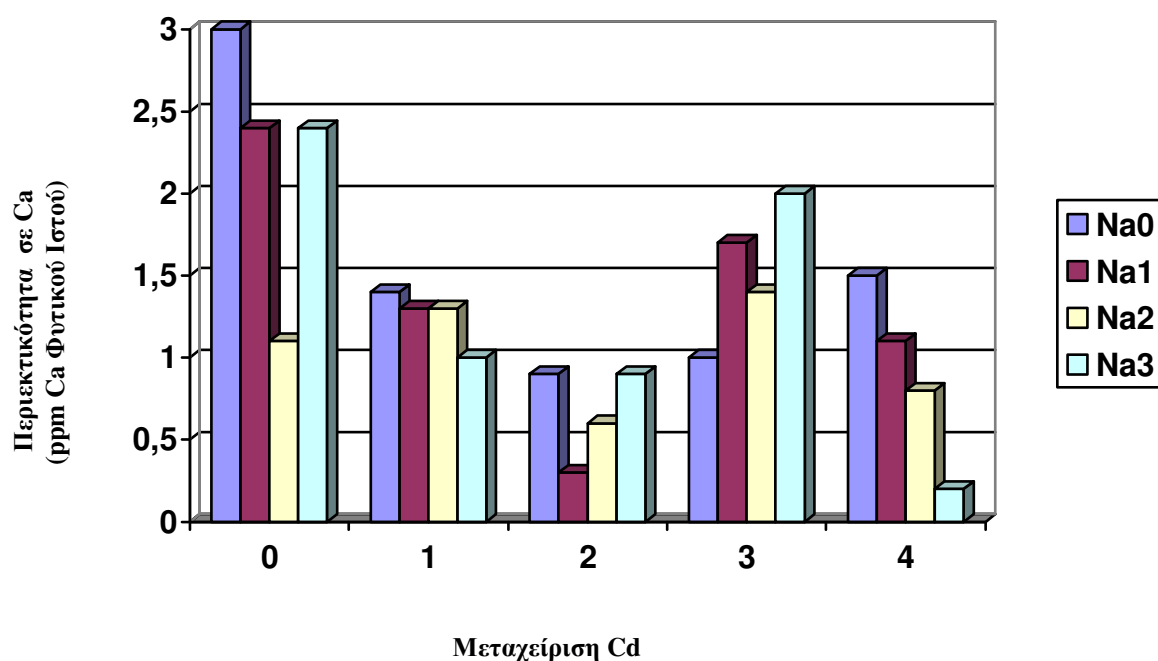


**Εικόνα 6.15. Περιεκτικότητα σε ασβέστιο των ριζών των φυτών που αφαιρέθηκαν την πρώτη εβδομάδα σε συνάρτηση με τις μεταχειρίσεις NaCl.**

### 6.4.1.2. Εβδομάδα 2<sup>η</sup>

**Πίνακας 6.56. Περιεκτικότητα σε Ασβέστιο των βλαστών των φυτών που αφαιρέθηκαν την δεύτερη εβδομάδα (%)**

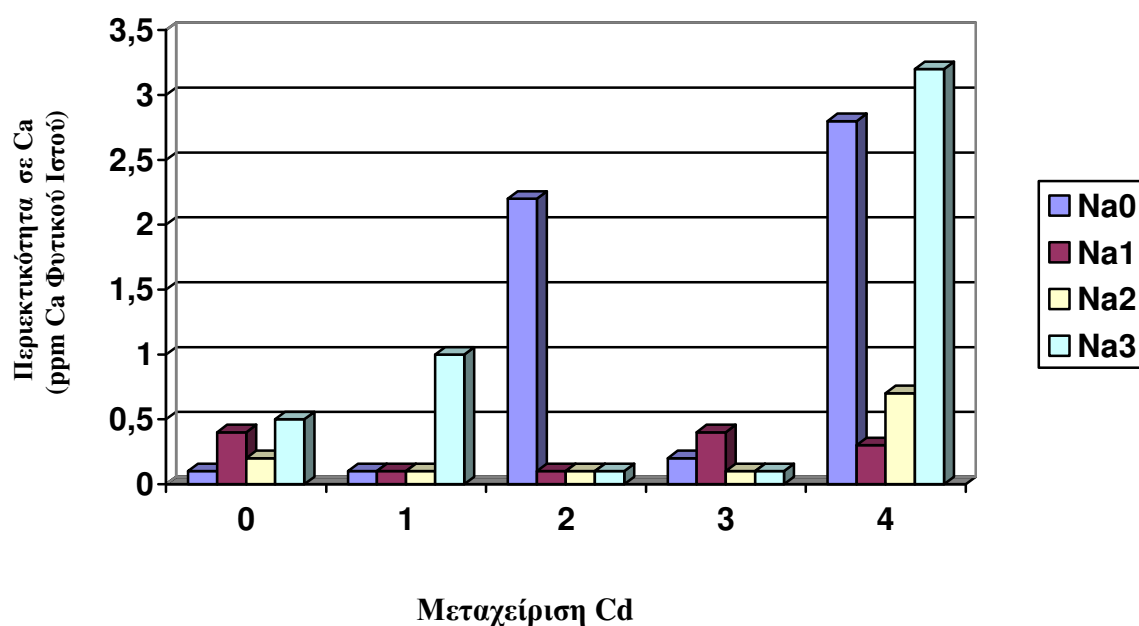
	Περιεκτικότητα σε Ca για τη μεταχείριση Na0	Περιεκτικότητα σε Ca για τη μεταχείριση Na1	Περιεκτικότητα σε Ca για τη μεταχείριση Na2	Περιεκτικότητα σε Ca για τη μεταχείριση Na3
Μεταχείριση Cd0	3	2,4	1,1	2,4
Μεταχείριση Cd1	1,4	1,3	1,3	1
Μεταχείριση Cd2	0,9	0,3	0,6	0,9
Μεταχείριση Cd3	1	1,7	1,4	2
Μεταχείριση Cd4	1,5	1,1	0,8	0,2



**Εικόνα 6.16. Περιεκτικότητα σε ασβέστιο των βλαστών των φυτών που αφαιρέθηκαν την δεύτερη εβδομάδα σε συνάρτηση με τις μεταχειρίσεις NaCl.**

**Πίνακας 6.57. Περιεκτικότητα σε Ασβέστιο των ριζών των φυτών που αφαιρέθηκαν την δεύτερη εβδομάδα (%)**

	Περιεκτικότητα σε Ca για τη μεταχείριση Na0	Περιεκτικότητα σε Ca για τη μεταχείριση Na1	Περιεκτικότητα σε Ca για τη μεταχείριση Na2	Περιεκτικότητα σε Ca για τη μεταχείριση Na3
Μεταχείριση Cd0	0,1	0,4	0,2	0,5
Μεταχείριση Cd1	0,1	0,1	0,1	1
Μεταχείριση Cd2	2,2	0,1	0,1	0,1
Μεταχείριση Cd3	0,2	0,4	0,1	0,1
Μεταχείριση Cd4	2,8	0,3	0,7	3,2

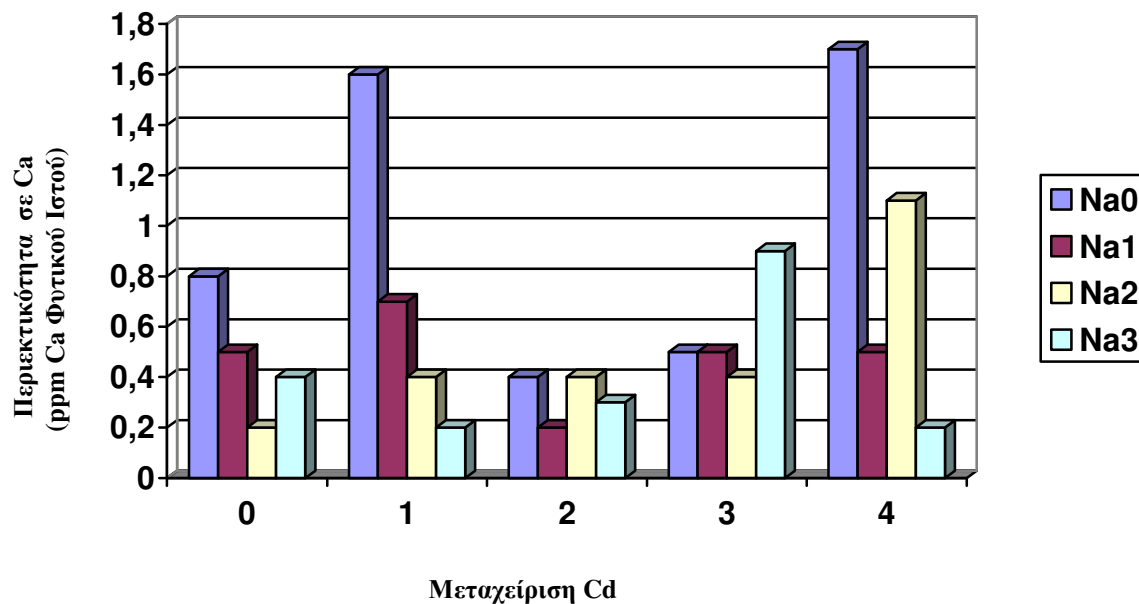


**Εικόνα 6.17. Περιεκτικότητα σε ασβέστιο των ριζών των φυτών που αφαιρέθηκαν την δεύτερη εβδομάδα σε συνάρτηση με τις μεταχειρίσεις NaCl.**

### 6.4.1.3. Εβδομάδα 3<sup>η</sup>

**Πίνακας 6.58. Περιεκτικότητα σε Ασβέστιο των βλαστών των φυτών που αφαιρέθηκαν την τρίτη εβδομάδα (%)**

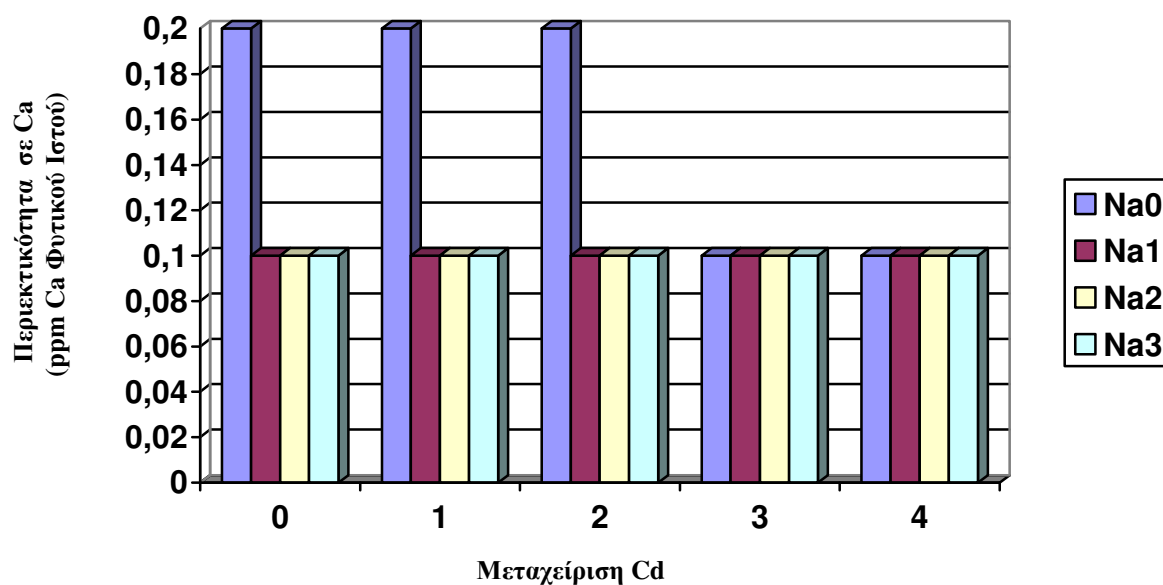
	Περιεκτικότητα σε Ca για τη μεταχείριση Na0	Περιεκτικότητα σε Ca για τη μεταχείριση Na1	Περιεκτικότητα σε Ca για τη μεταχείριση Na2	Περιεκτικότητα σε Ca για τη μεταχείριση Na3
Μεταχείριση Cd0	0,8	0,5	0,2	0,4
Μεταχείριση Cd1	1,6	0,7	0,4	0,2
Μεταχείριση Cd2	0,4	0,2	0,4	0,3
Μεταχείριση Cd3	0,5	0,5	0,4	0,9
Μεταχείριση Cd4	1,7	0,5	1,1	0,2



**Εικόνα 6.18. Περιεκτικότητα σε ασβέστιο των βλαστών των φυτών που αφαιρέθηκαν την τρίτη εβδομάδα σε συνάρτηση με τις μεταχειρίσεις NaCl.**

**Πίνακας 6.59. Περιεκτικότητα σε Ασβέστιο των ριζών των φυτών που αφαιρέθηκαν την τρίτη εβδομάδα (%)**

	Περιεκτικότητα σε Ca για τη μεταχείριση Na0	Περιεκτικότητα σε Ca για τη μεταχείριση Na1	Περιεκτικότητα σε Ca για τη μεταχείριση Na2	Περιεκτικότητα σε Ca για τη μεταχείριση Na3
Μεταχείριση Cd0	0,2	0,1	0,1	0,1
Μεταχείριση Cd1	0,2	0,1	0,1	0,1
Μεταχείριση Cd2	0,2	0,1	0,1	0,1
Μεταχείριση Cd3	0,1	0,1	0,1	0,1
Μεταχείριση Cd4	0,1	0,1	0,1	0,1



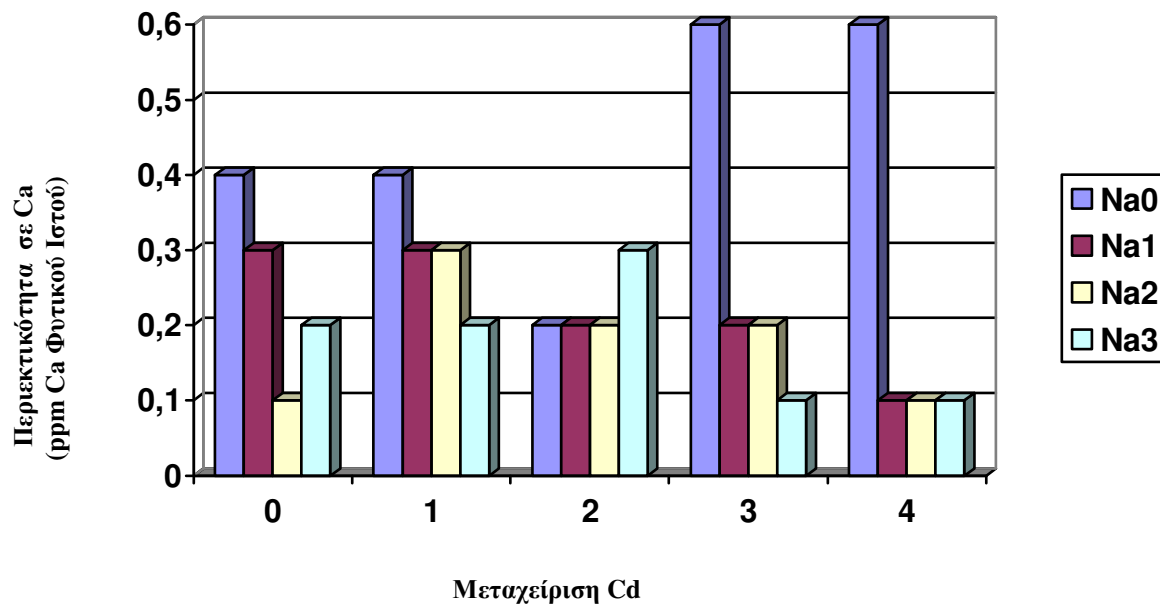
**Εικόνα 6.19. Περιεκτικότητα σε ασβέστιο των ριζών των φυτών που αφαιρέθηκαν την τρίτη εβδομάδα σε συνάρτηση με τις μεταχειρίσεις NaCl.**



#### 6.4.1.4. Εβδομάδα 4<sup>η</sup>

Πίνακας 6.60. Περιεκτικότητα σε Ασβέστιο των βλαστών των φυτών που αφαιρέθηκαν την τέταρτη εβδομάδα (%)

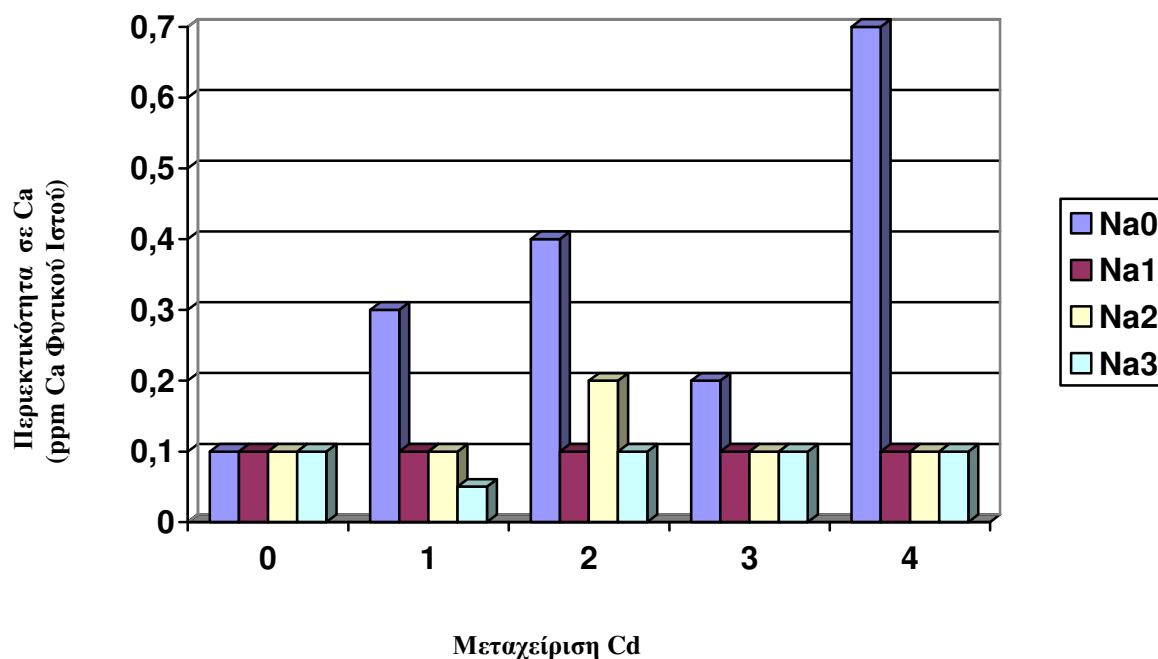
	Περιεκτικότητα σε Ca για τη μεταχείριση Na0	Περιεκτικότητα σε Ca για τη μεταχείριση Na1	Περιεκτικότητα σε Ca για τη μεταχείριση Na2	Περιεκτικότητα σε Ca για τη μεταχείριση Na3
Μεταχείριση Cd0	0,4	0,3	0,1	0,2
Μεταχείριση Cd1	0,4	0,3	0,3	0,2
Μεταχείριση Cd2	0,2	0,2	0,2	0,3
Μεταχείριση Cd3	0,6	0,2	0,2	0,1
Μεταχείριση Cd4	0,6	0,1	0,1	0,1



Εικόνα 6.20. Περιεκτικότητα σε ασβέστιο των βλαστών των φυτών που αφαιρέθηκαν την τέταρτη εβδομάδα σε συνάρτηση με τις μεταχειρίσεις NaCl.

**Πίνακας 6.61. Περιεκτικότητα σε Ασβέστιο των ριζών των φυτών που αφαιρέθηκαν την τέταρτη εβδομάδα (%)**

	Περιεκτικότητα σε Ca για τη μεταχείριση Na0	Περιεκτικότητα σε Ca για τη μεταχείριση Na1	Περιεκτικότητα σε Ca για τη μεταχείριση Na2	Περιεκτικότητα σε Ca για τη μεταχείριση Na3
Μεταχείριση Cd0	0,1	0,1	0,1	0,1
Μεταχείριση Cd1	0,3	0,1	0,1	0,05
Μεταχείριση Cd2	0,4	0,1	0,2	0,1
Μεταχείριση Cd3	0,2	0,1	0,1	0,1
Μεταχείριση Cd4	0,7	0,1	0,1	0,1

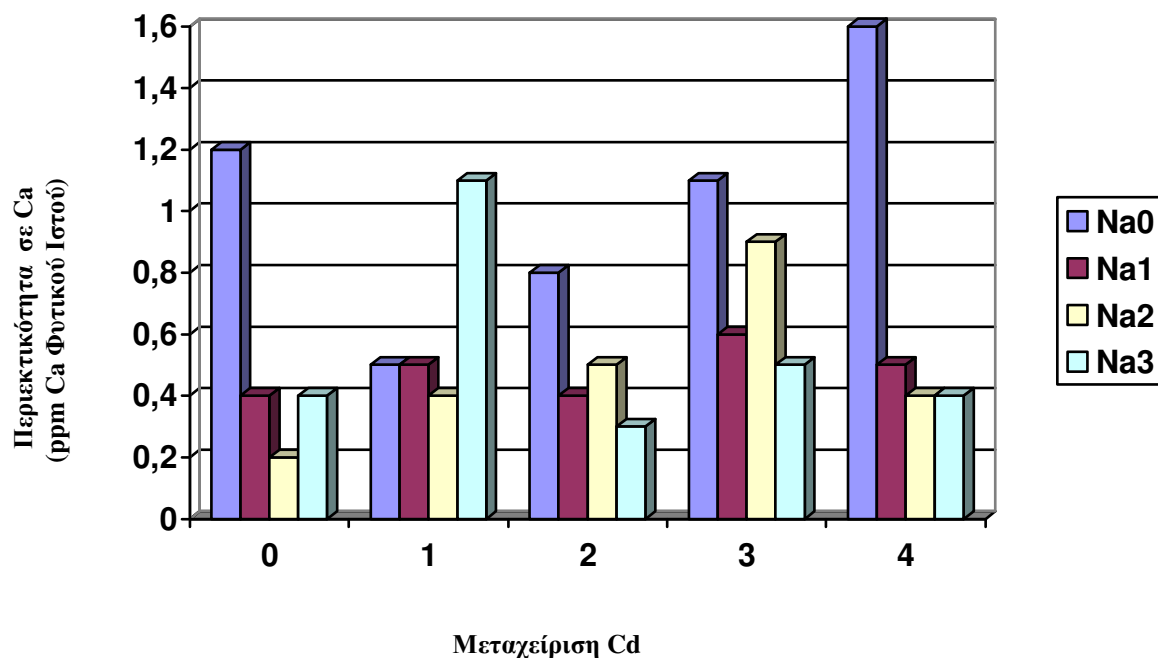


**Εικόνα 6.21. Περιεκτικότητα σε ασβέστιο των ριζών των φυτών που αφαιρέθηκαν την τέταρτη εβδομάδα σε συνάρτηση με τις μεταχειρίσεις NaCl.**

#### 6.4.1.5. Εβδομάδα 5<sup>η</sup>

**Πίνακας 6.62. Περιεκτικότητα σε Ασβέστιο των βλαστών των φυτών που αφαιρέθηκαν την πέμπτη εβδομάδα (%)**

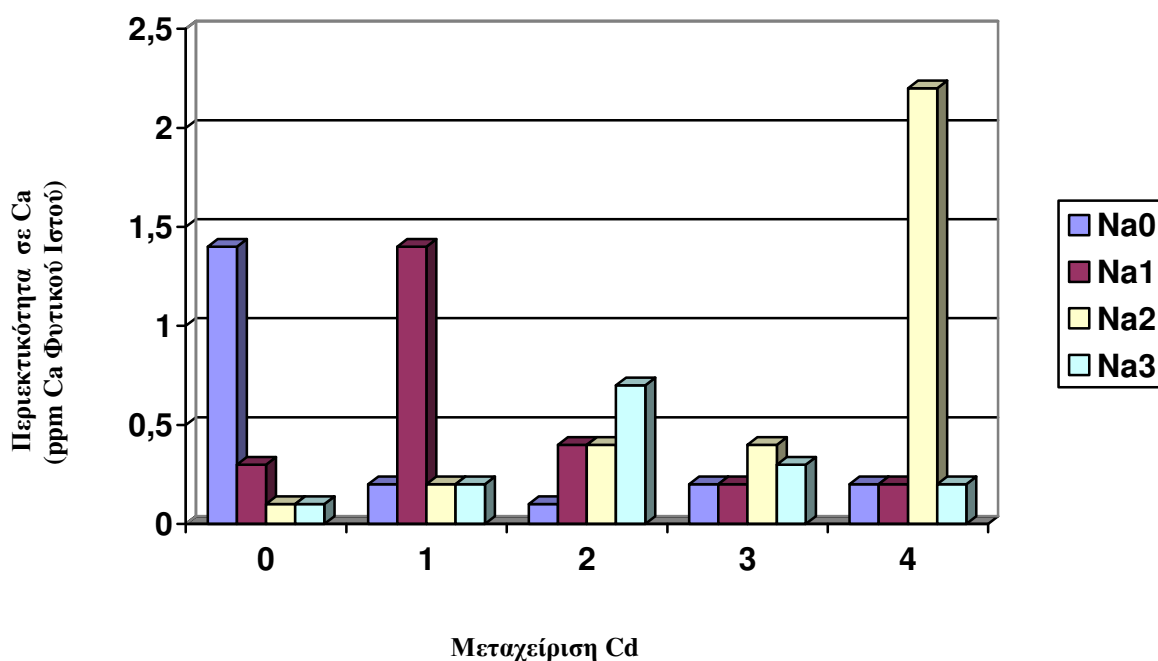
	Περιεκτικότητα σε Ca για τη μεταχείριση Na0	Περιεκτικότητα σε Ca για τη μεταχείριση Na1	Περιεκτικότητα σε Ca για τη μεταχείριση Na2	Περιεκτικότητα σε Ca για τη μεταχείριση Na3
Μεταχείριση Cd0	1,2	0,4	0,2	0,4
Μεταχείριση Cd1	0,5	0,5	0,4	1,1
Μεταχείριση Cd2	0,8	0,4	0,5	0,3
Μεταχείριση Cd3	1,1	0,6	0,9	0,5
Μεταχείριση Cd4	1,6	0,5	0,4	0,4



**Εικόνα 6.22. Περιεκτικότητα σε ασβέστιο των βλαστών των φυτών που αφαιρέθηκαν την πέμπτη εβδομάδα σε συνάρτηση με τις μεταχειρίσεις NaCl.**

**Πίνακας 6.63. Περιεκτικότητα σε Ασβέστιο των ριζών των φυτών που αφαιρέθηκαν την πέμπτη εβδομάδα (%)**

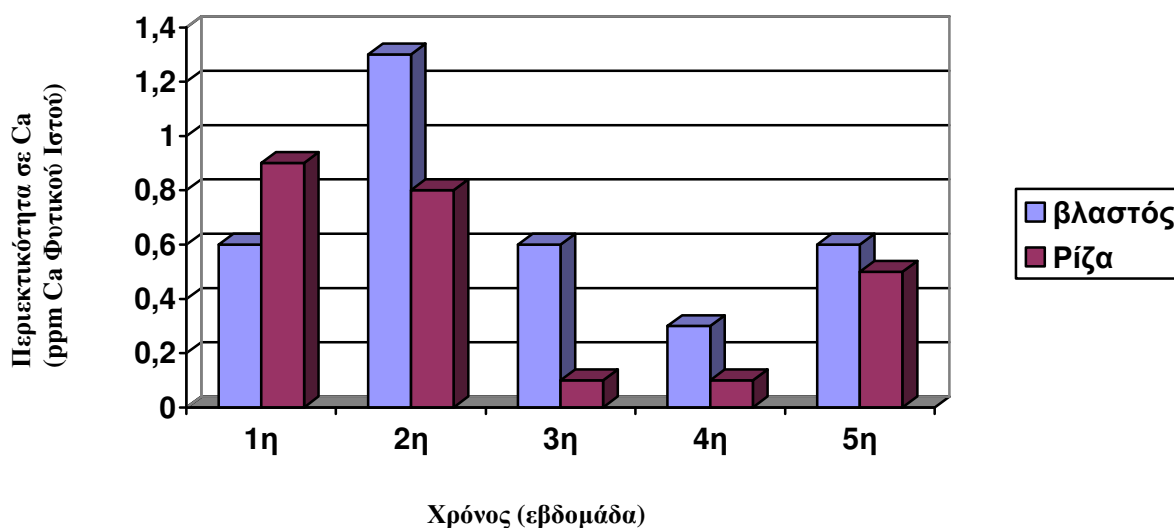
	Περιεκτικότητα σε Ca για τη μεταχείριση Na0	Περιεκτικότητα σε Ca για τη μεταχείριση Na1	Περιεκτικότητα σε Ca για τη μεταχείριση Na2	Περιεκτικότητα σε Ca για τη μεταχείριση Na3
Μεταχείριση Cd0	1,4	0,3	0,1	0,1
Μεταχείριση Cd1	0,2	1,4	0,2	0,2
Μεταχείριση Cd2	0,1	0,4	0,4	0,7
Μεταχείριση Cd3	0,2	0,2	0,4	0,3
Μεταχείριση Cd4	0,2	0,2	2,2	0,2



**Εικόνα 6.23. Περιεκτικότητα σε ασβέστιο των ριζών των φυτών που αφαιρέθηκαν την πέμπτη εβδομάδα σε συνάρτηση με τις μεταχειρίσεις NaCl.**

**Πίνακας 6.64. Περιεκτικότητα των φυτών σε Ασβέστιο (Ca)  
(κατά μέσο όρο) σε σχέση με το χρόνο**

	Βλαστός	- % -	Ρίζα
Εβδομάδα 1 <sup>η</sup>	0,6		0,9
Εβδομάδα 2 <sup>η</sup>	1,3		0,8
Εβδομάδα 3 <sup>η</sup>	0,6		0,1
Εβδομάδα 4 <sup>η</sup>	0,3		0,1
Εβδομάδα 5 <sup>η</sup>	0,6		0,5



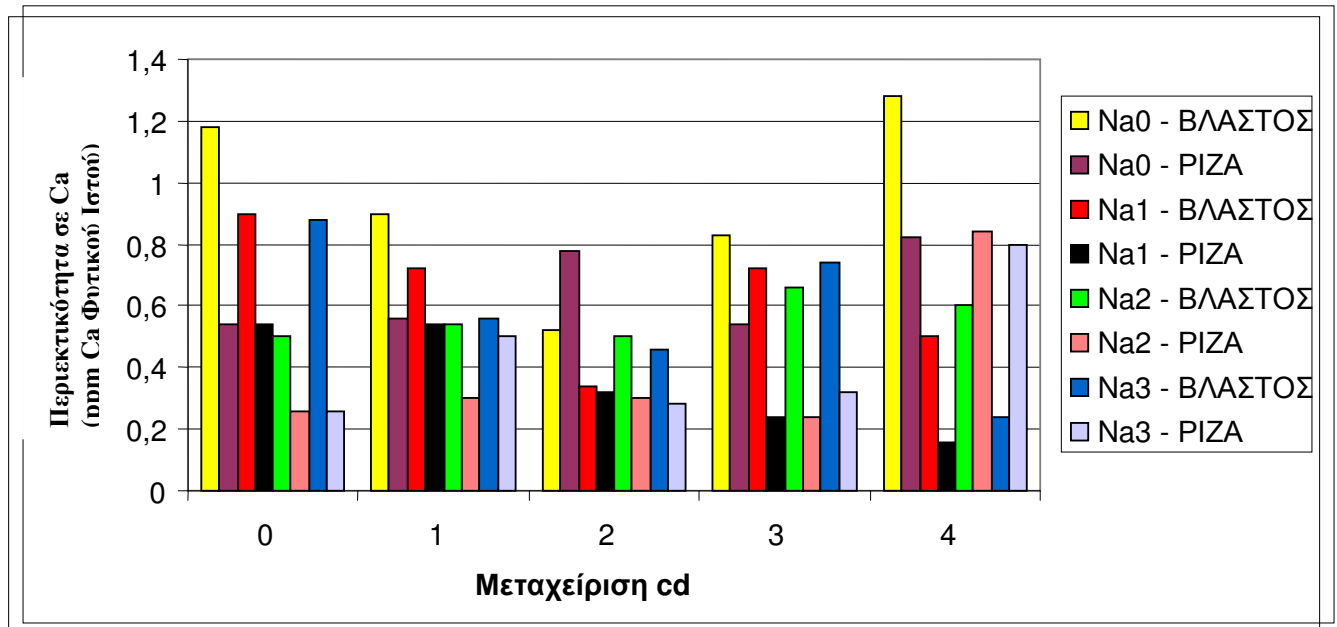
**Εικόνα 6.24. Περιεκτικότητα σε ασβέστιο των φυτών κατά μέσο όρο σε σχέση με τον χρόνο.**

Από τα παραπάνω παρατηρούμε ότι υπάρχει ανομοιομορφία στις τιμές του ασβεστίου, εκτός των εβδομάδων πρώτη, τρίτη και πέμπτη που αφορούν το βλαστό και των εβδομάδων τρίτη και τέταρτη που αφορούν τις ρίζες, έχουμε ταύτιση των τιμών του ασβεστίου.

Τέλος, την μεγαλύτερη συγκέντρωση στους βλαστούς την έχουμε τη δεύτερη εβδομάδα και για τις ρίζες την πρώτη εβδομάδα.

**Πίνακας 6.65. Περιεκτικότητα σε ασβέστιο των βλαστών και των ριζών των φυτών κατά μέσο όρο όλων των εβδομάδων (σε όλες τις μεταχειρίσεις cd και Nacl)**

Μ.Ο.	Περιεκτικότητα σε Ca για την μεταχείριση Na0		Περιεκτικότητα σε Ca για την μεταχείριση Na1		Περιεκτικότητα σε Ca για την μεταχείριση Na2		Περιεκτικότητα σε Ca για την μεταχείριση Na3	
	ΒΛΑΣΤΟΣ	ΡΙΖΑ	ΒΛΑΣΤΟΣ	ΡΙΖΑ	ΒΛΑΣΤΟΣ	ΡΙΖΑ	ΒΛΑΣΤΟΣ	ΡΙΖΑ
Εβδομάδα 1 <sup>η</sup>	1,18	0,54	0,9	0,54	0,5	0,26	0,88	0,26
Εβδομάδα 2 <sup>η</sup>	0,9	0,56	0,72	0,54	0,54	0,3	0,56	0,5
Εβδομάδα 3 <sup>η</sup>	0,52	0,78	0,34	0,32	0,5	0,3	0,46	0,28
Εβδομάδα 4 <sup>η</sup>	0,82	0,54	0,72	0,24	0,66	0,24	0,74	0,32
Εβδομάδα 5 <sup>η</sup>	1,28	0,82	0,5	0,16	0,6	0,84	0,24	0,8



**Εικόνα 6.25. Περιεκτικότητα σε ασβέστιο των ριζών και των βλαστών των φυτών κατά μέσο όρο όλων των εβδομάδων**

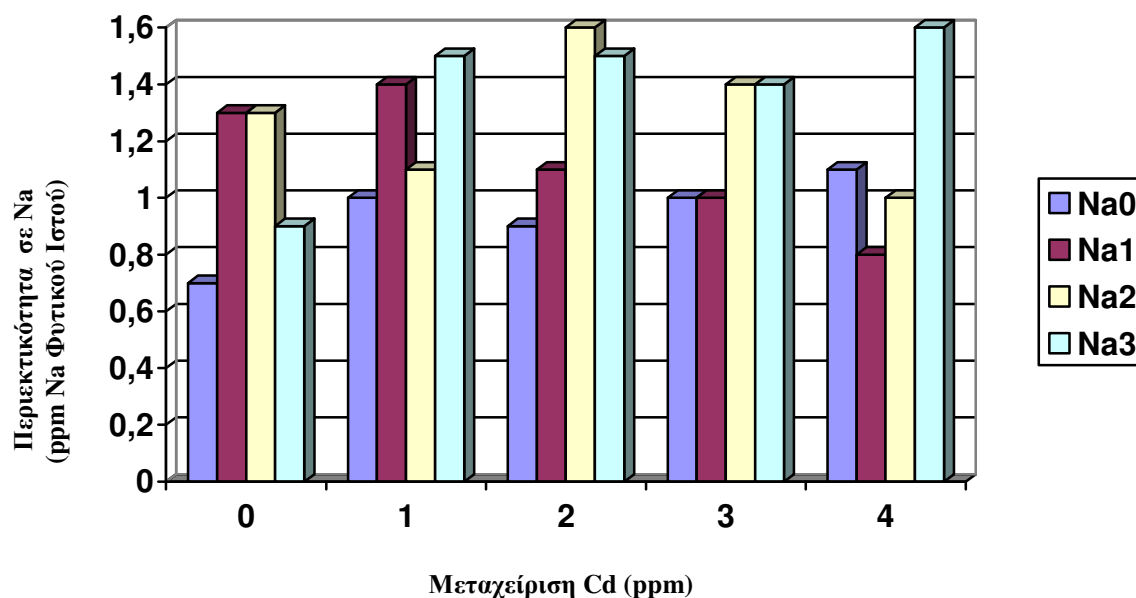
Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι υπάρχει ανομοιομορφία στις τιμές του ασβεστίου. Γενικά παρατηρούμε μικρότερη απορρόφηση ασβεστίου στην μεταχείριση cd 2 και από τους βλαστούς και από τις ρίζες, δεύτερον ότι με μηδενική ποσότητα αλατιού έχουμε υψηλότερη απορρόφηση ασβεστίου και τέλος στις υψηλές περιεκτικότητες σε αλάτι, δεν έχουμε μεγάλη ανομοιομορφία στις τιμές ασβεστίου, στις ρίζες και στους βλαστούς των φυτών, εκτός της τελευταίας εβδομάδα όπου αυξάνεται η περιεκτικότητα σε ασβέστιο στις ρίζες των φυτών, ενώ στους βλαστούς μειώνεται.

## 6.4.2. Περιεκτικότητα σε Na

### 6.4.2.1. Εβδομάδα 1<sup>η</sup>

Πίνακας 6.66. Περιεκτικότητα σε Νάτριο των βλαστών των φυτών που αφαιρέθηκαν την πρώτη εβδομάδα (%)

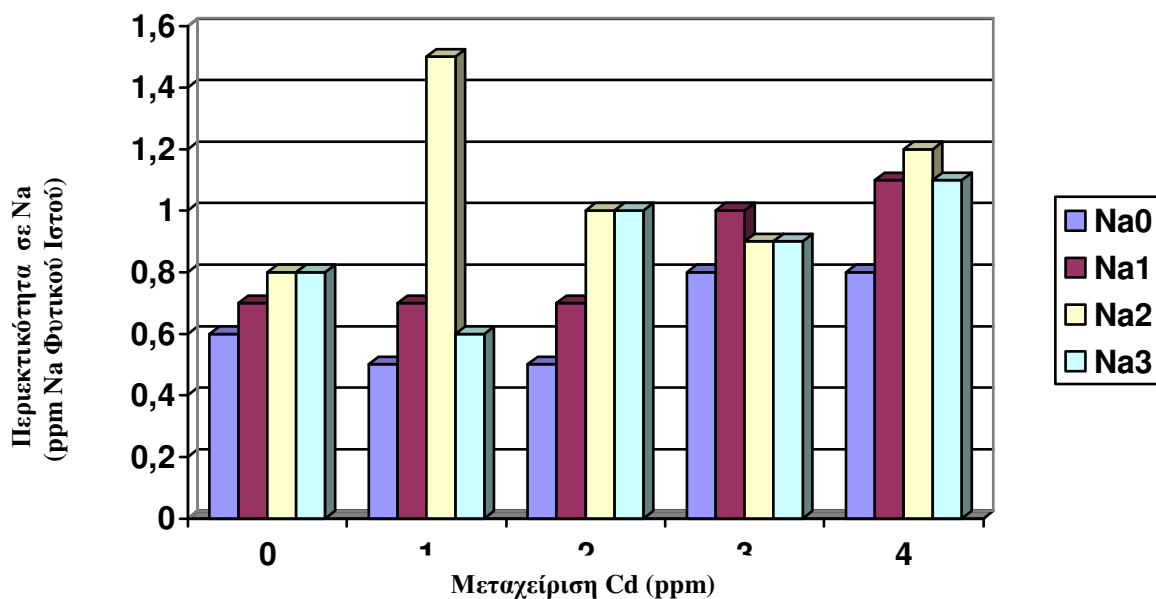
	Περιεκτικότητα σε Na για τη μεταχείριση Na0	Περιεκτικότητα σε Na για τη μεταχείριση Na1	Περιεκτικότητα σε Na για τη μεταχείριση Na2	Περιεκτικότητα σε Na για τη μεταχείριση Na3
Μεταχείριση Cd0	0,7	1,3	1,3	0,9
Μεταχείριση Cd1	1	1,4	1,1	1,5
Μεταχείριση Cd2	0,9	1,1	1,6	1,5
Μεταχείριση Cd3	1	1	1,4	1,4
Μεταχείριση Cd4	1,1	0,8	1	1,6



Εικόνα 6.26. Περιεκτικότητα σε νάτριο των βλαστών των φυτών που αφαιρέθηκαν τη πρώτη εβδομάδα σε συνάρτηση με τις μεταχειρίσεις NaCl.

**Πίνακας 6.67. Περιεκτικότητα σε Νάτριο των ριζών των φυτών που αφαιρέθηκαν την πρώτη εβδομάδα (%)**

	Περιεκτικότητα σε Na για τη μεταχείριση Na0	Περιεκτικότητα σε Na για τη μεταχείριση Na1	Περιεκτικότητα σε Na για τη μεταχείριση Na2	Περιεκτικότητα σε Na για τη μεταχείριση Na3
Μεταχείριση Cd0	0,6	0,7	0,8	0,8
Μεταχείριση Cd1	0,5	0,7	1,5	0,6
Μεταχείριση Cd2	0,5	0,7	1	1
Μεταχείριση Cd3	0,8	1	0,9	0,9
Μεταχείριση Cd4	0,8	1,1	1,2	1,1



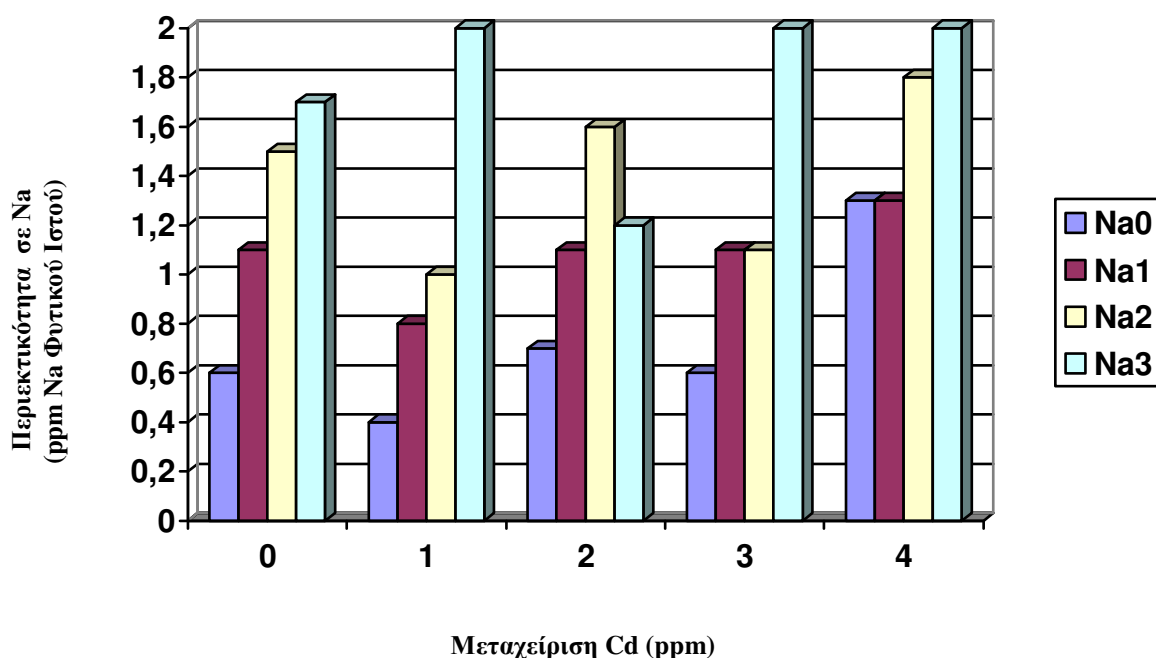
**Εικόνα 6.27. Περιεκτικότητα σε νάτριο των ριζών των φυτών που αφαιρέθηκαν την πρώτη εβδομάδα σε συνάρτηση με τις μεταχειρίσεις NaCl.**



### 6.4.2.2 Εβδομάδα 2<sup>η</sup>

Πίνακας 6.68. Περιεκτικότητα σε Νάτριο των βλαστών των φυτών που αφαιρέθηκαν την δεύτερη εβδομάδα (%)

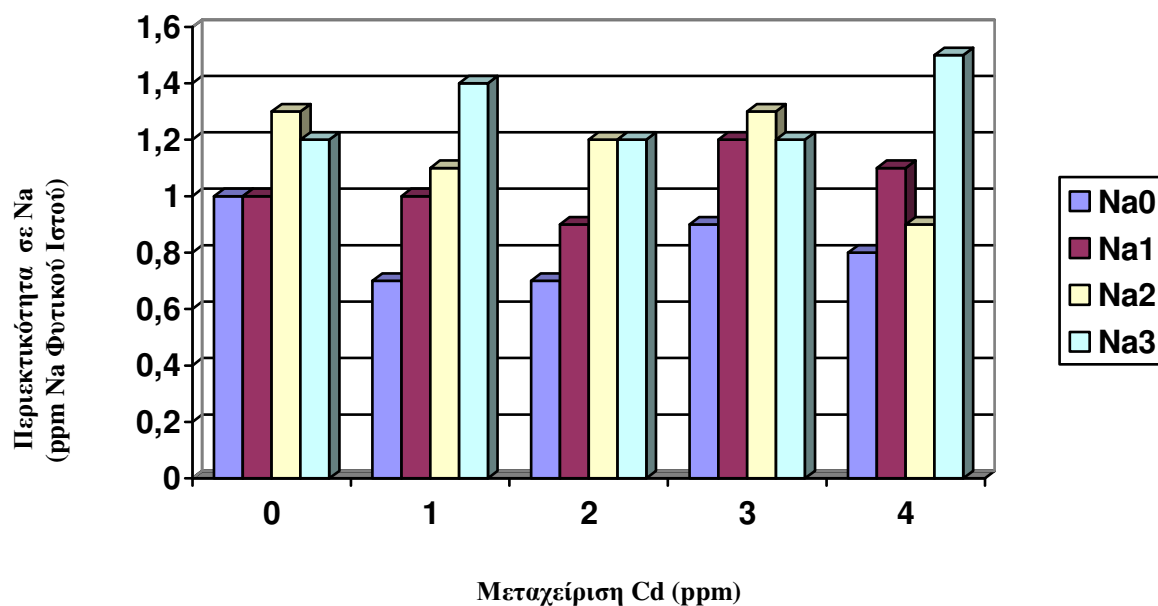
	Περιεκτικότητα σε Na για τη μεταχείριση Na0	Περιεκτικότητα σε Na για τη μεταχείριση Na1	Περιεκτικότητα σε Na για τη μεταχείριση Na2	Περιεκτικότητα σε Na για τη μεταχείριση Na3
Μεταχείριση Cd0	0,6	1,1	1,5	1,7
Μεταχείριση Cd1	0,4	0,8	1	2
Μεταχείριση Cd2	0,7	1,1	1,6	1,2
Μεταχείριση Cd3	0,6	1,1	1,1	2
Μεταχείριση Cd4	1,3	1,3	1,8	2



Εικόνα 6.28. Περιεκτικότητα σε νάτριο των βλαστών των φυτών που αφαιρέθηκαν την δεύτερη εβδομάδα σε συνάρτηση με τις μεταχειρίσεις NaCl.

**Πίνακας 6.69. Περιεκτικότητα σε Νάτριο των ριζών των φυτών που αφαιρέθηκαν την δεύτερη εβδομάδα (%)**

	Περιεκτικότητα σε Na για τη μεταχείριση Na0	Περιεκτικότητα σε Na για τη μεταχείριση Na1	Περιεκτικότητα σε Na για τη μεταχείριση Na2	Περιεκτικότητα σε Na για τη μεταχείριση Na3
Μεταχείριση Cd0	1	1	1,3	1,2
Μεταχείριση Cd1	0,7	1	1,1	1,4
Μεταχείριση Cd2	0,7	0,9	1,2	1,2
Μεταχείριση Cd3	0,9	1,2	1,3	1,2
Μεταχείριση Cd4	0,8	1,1	0,9	1,5

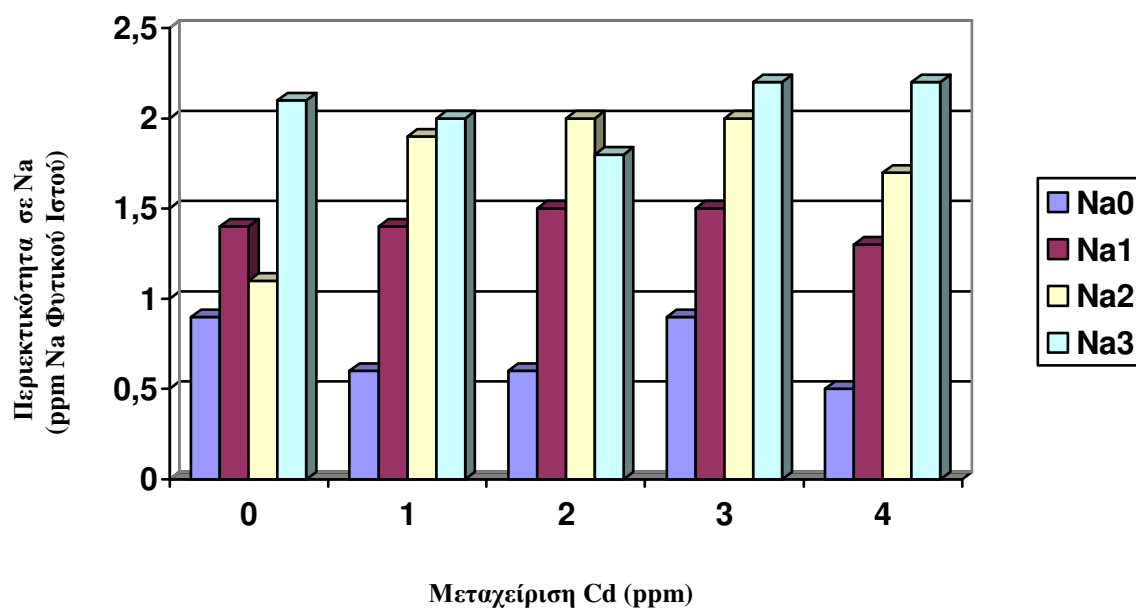


**Εικόνα 6.29. Περιεκτικότητα σε νάτριο των ριζών των φυτών που αφαιρέθηκαν την δεύτερη εβδομάδα σε συνάρτηση με τις μεταχειρίσεις NaCl.**

### 6.4.2.3. Εβδομάδα 3<sup>η</sup>

**Πίνακας 6.70. Περιεκτικότητα σε Νάτριο των βλαστών των φυτών που αφαιρέθηκαν την τρίτη εβδομάδα (%)**

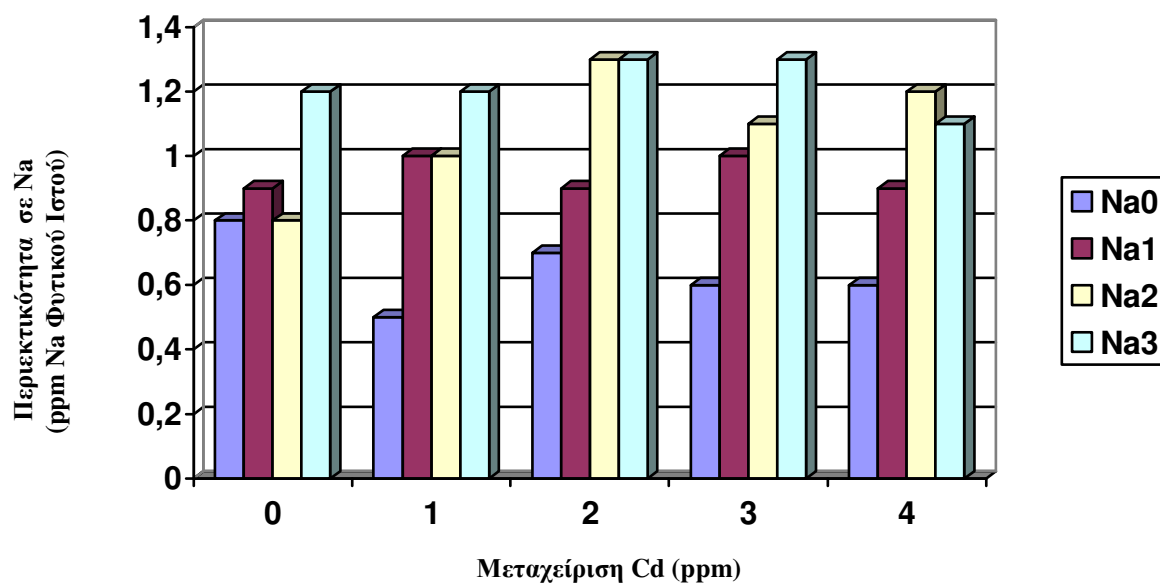
	Περιεκτικότητα σε Na για τη μεταχείριση Na0	Περιεκτικότητα σε Na για τη μεταχείριση Na1	Περιεκτικότητα σε Na για τη μεταχείριση Na2	Περιεκτικότητα σε Na για τη μεταχείριση Na3
Μεταχείριση Cd0	0,9	1,4	1,1	2,1
Μεταχείριση Cd1	0,6	1,4	1,9	2
Μεταχείριση Cd2	0,6	1,5	2	1,8
Μεταχείριση Cd3	0,9	1,5	2	2,2
Μεταχείριση Cd4	0,5	1,3	1,7	2,2



**Εικόνα 6.30. Περιεκτικότητα σε νάτριο των βλαστών των φυτών που αφαιρέθηκαν την τρίτη εβδομάδα σε συνάρτηση με τις μεταχειρίσεις NaCl.**

**Πίνακας 6.71. Περιεκτικότητα σε Νάτριο των ριζών των φυτών που αφαιρέθηκαν την τρίτη εβδομάδα (%)**

	Περιεκτικότητα σε Na για τη μεταχείριση Na0	Περιεκτικότητα σε Na για τη μεταχείριση Na1	Περιεκτικότητα σε Na για τη μεταχείριση Na2	Περιεκτικότητα σε Na για τη μεταχείριση Na3
Μεταχείριση Cd0	0,8	0,9	0,8	1,2
Μεταχείριση Cd1	0,5	1	1	1,2
Μεταχείριση Cd2	0,7	0,9	1,3	1,3
Μεταχείριση Cd3	0,6	1	1,1	1,3
Μεταχείριση Cd4	0,6	0,9	1,2	1,1

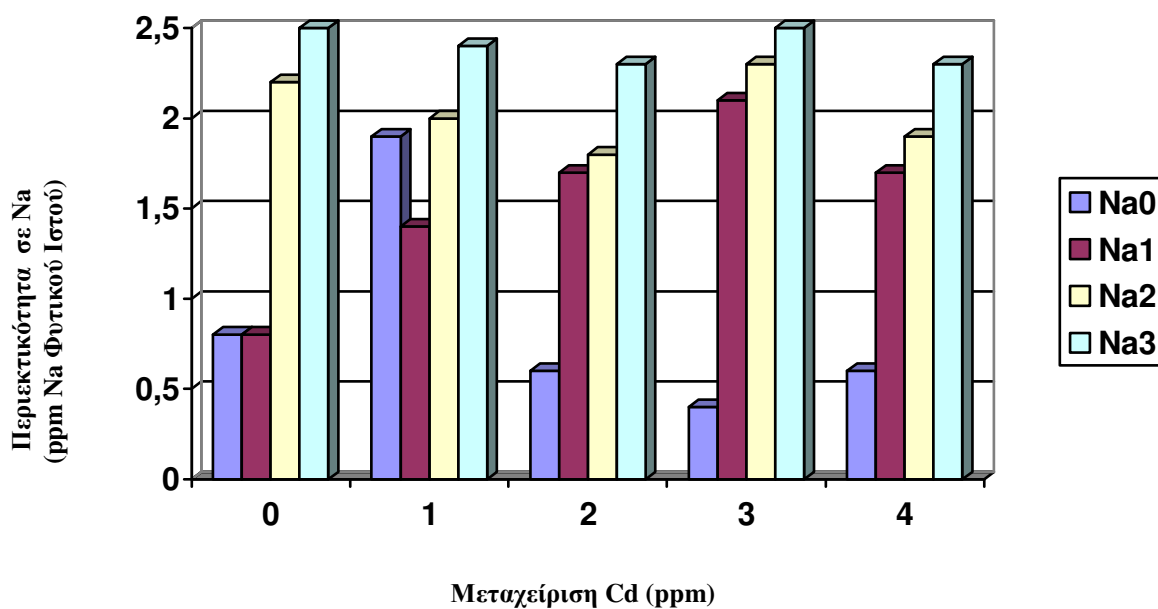


**Εικόνα 6.31. Περιεκτικότητα σε νάτριο των ριζών των φυτών που αφαιρέθηκαν την τρίτη εβδομάδα σε συνάρτηση με τις μεταχειρίσεις NaCl.**

#### 6.4.2.4. Εβδομάδα 4<sup>η</sup>

Πίνακας 6.72. Περιεκτικότητα σε Νάτριο των βλαστών των φυτών που αφαιρέθηκαν την τέταρτη εβδομάδα (%)

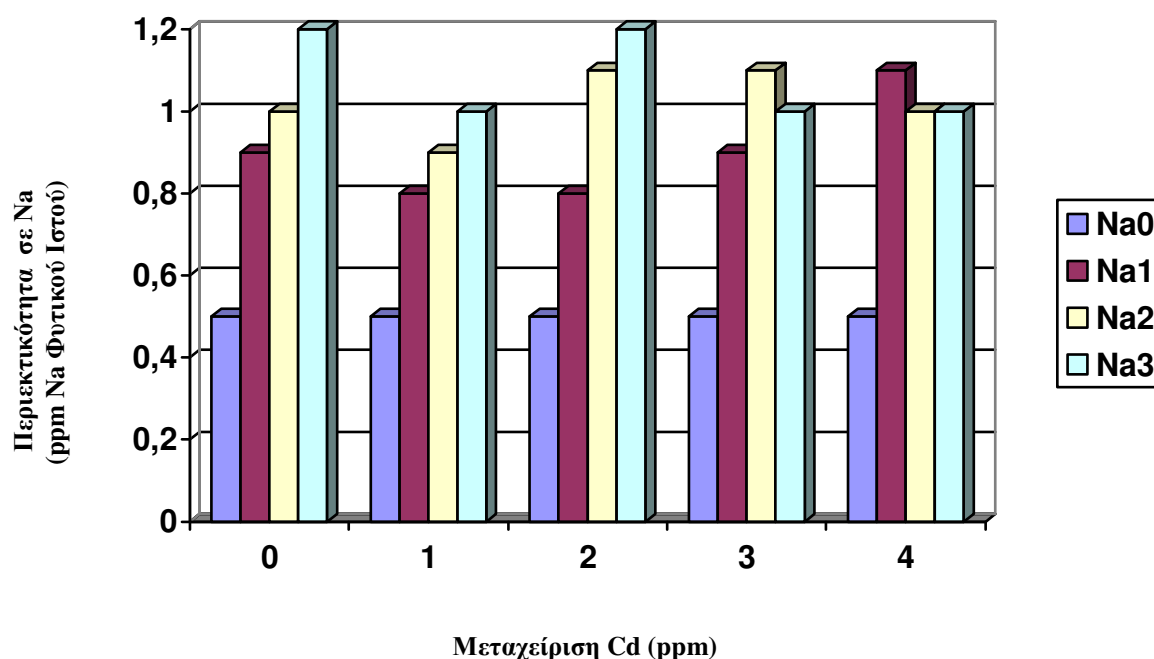
	Περιεκτικότητα σε Na για τη μεταχείριση Na0	Περιεκτικότητα σε Na για τη μεταχείριση Na1	Περιεκτικότητα σε Na για τη μεταχείριση Na2	Περιεκτικότητα σε Na για τη μεταχείριση Na3
Μεταχείριση Cd0	0,8	0,8	2,2	2,5
Μεταχείριση Cd1	1,9	1,4	2	2,4
Μεταχείριση Cd2	0,6	1,7	1,8	2,3
Μεταχείριση Cd3	0,4	2,1	2,3	2,5
Μεταχείριση Cd4	0,6	1,7	1,9	2,3



Εικόνα 6.32. Περιεκτικότητα σε νάτριο των βλαστών των φυτών που αφαιρέθηκαν την τέταρτη εβδομάδα σε συνάρτηση με τις μεταχειρίσεις NaCl.

**Πίνακας 6.73. Περιεκτικότητα σε Νάτριο των ριζών των φυτών που αφαιρέθηκαν την τέταρτη εβδομάδα (%)**

	Περιεκτικότητα σε Na για τη μεταχείριση Na0	Περιεκτικότητα σε Na για τη μεταχείριση Na1	Περιεκτικότητα σε Na για τη μεταχείριση Na2	Περιεκτικότητα σε Na για τη μεταχείριση Na3
Μεταχείριση Cd0	0,5	0,9	1	1,2
Μεταχείριση Cd1	0,5	0,8	0,9	1
Μεταχείριση Cd2	0,5	0,8	1,1	1,2
Μεταχείριση Cd3	0,5	0,9	1,1	1
Μεταχείριση Cd4	0,5	1,1	1	1

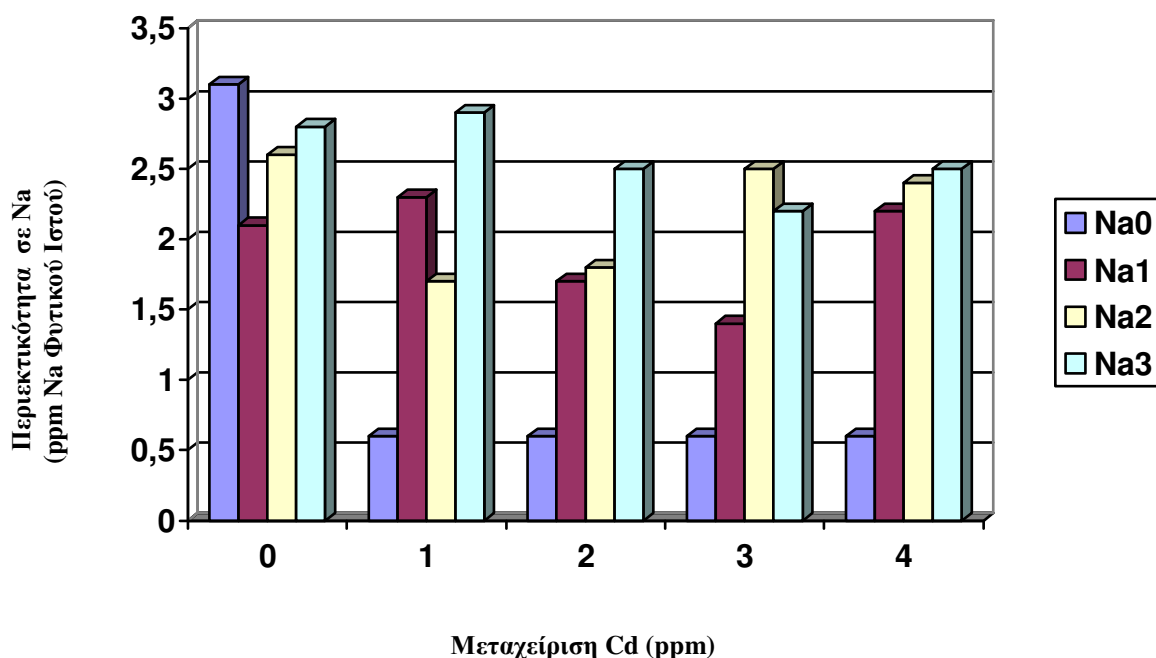


**Εικόνα 6.33. Περιεκτικότητα σε νάτριο των ριζών των φυτών που αφαιρέθηκαν την τέταρτη εβδομάδα σε συνάρτηση με τις μεταχειρίσεις NaCl.**

#### 6.4.2.5. Εβδομάδα 5<sup>η</sup>

**Πίνακας 6.74. Περιεκτικότητα σε Νάτριο των βλαστών των φυτών που αφαιρέθηκαν την πέμπτη εβδομάδα (%)**

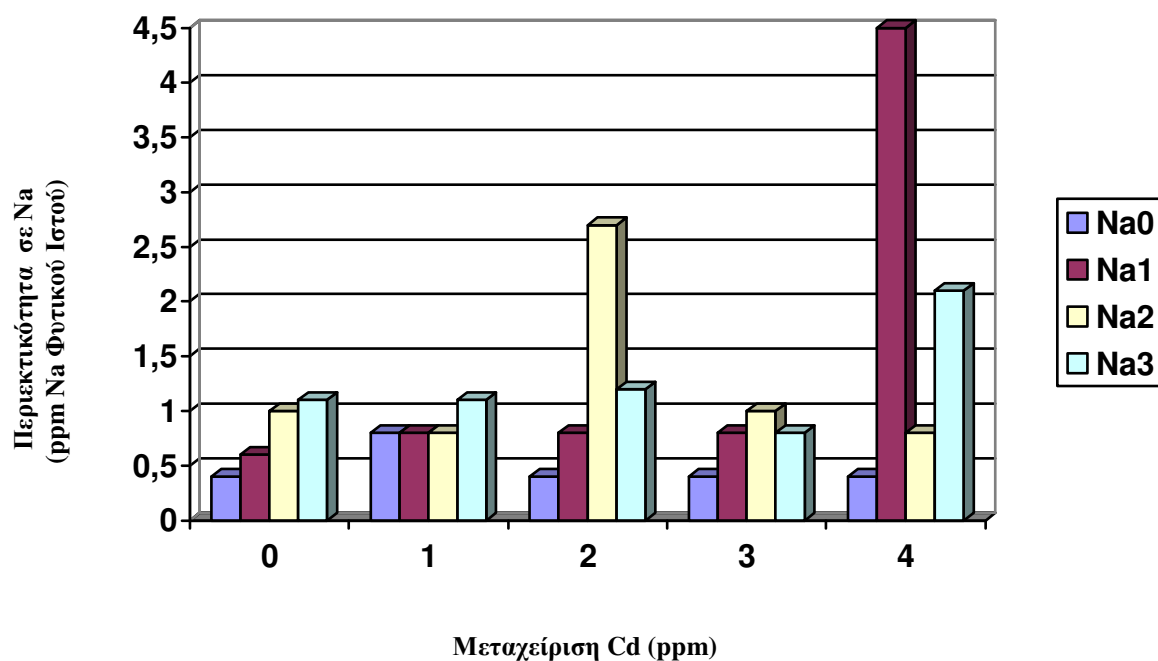
	Περιεκτικότητα σε Na για τη μεταχείριση Na0	Περιεκτικότητα σε Na για τη μεταχείριση Na1	Περιεκτικότητα σε Na για τη μεταχείριση Na2	Περιεκτικότητα σε Na για τη μεταχείριση Na3
Μεταχείριση Cd0	3,1	2,1	2,6	2,8
Μεταχείριση Cd1	0,6	2,3	1,7	2,9
Μεταχείριση Cd2	0,6	1,7	1,8	2,5
Μεταχείριση Cd3	0,6	1,4	2,5	2,2
Μεταχείριση Cd4	0,6	2,2	2,4	2,5



**Εικόνα 6.34. Περιεκτικότητα σε νάτριο των βλαστών των φυτών που αφαιρέθηκαν την πέμπτη εβδομάδα σε συνάρτηση με τις μεταχειρίσεις NaCl.**

**Πίνακας 6.73. Περιεκτικότητα σε Νάτριο των ριζών των φυτών που αφαιρέθηκαν την πέμπτη εβδομάδα (%)**

	Περιεκτικότητα σε Na για τη μεταχείριση Na0	Περιεκτικότητα σε Na για τη μεταχείριση Na1	Περιεκτικότητα σε Na για τη μεταχείριση Na2	Περιεκτικότητα σε Na για τη μεταχείριση Na3
Μεταχείριση Cd0	0,4	0,6	1	1,1
Μεταχείριση Cd1	0,8	0,8	0,8	1,1
Μεταχείριση Cd2	0,4	0,8	2,7	1,2
Μεταχείριση Cd3	0,4	0,8	1	0,8
Μεταχείριση Cd4	0,4	4,5	0,8	2,1

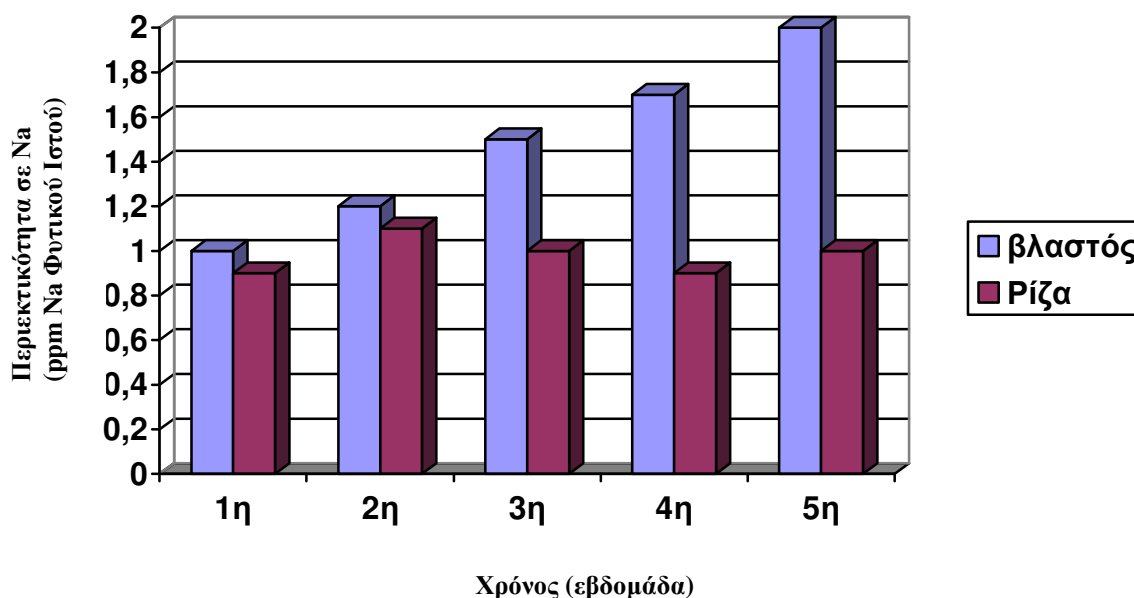


**Εικόνα 6.35. Περιεκτικότητα σε νάτριο των ριζών των φυτών που αφαιρέθηκαν την πέμπτη εβδομάδα σε συνάρτηση με τις μεταχειρίσεις NaCl.**



**Πίνακας 6.76. Περιεκτικότητα των φυτών σε Νάτριο (Na)**  
(κατά μέσο όρο) σε σχέση με το χρόνο

	Βλαστός	- % -	Ρίζα
Εβδομάδα 1 <sup>η</sup>	1		0,9
Εβδομάδα 2 <sup>η</sup>	1,2		1,1
Εβδομάδα 3 <sup>η</sup>	1,5		1
Εβδομάδα 4 <sup>η</sup>	1,7		0,9
Εβδομάδα 5 <sup>η</sup>	2		1

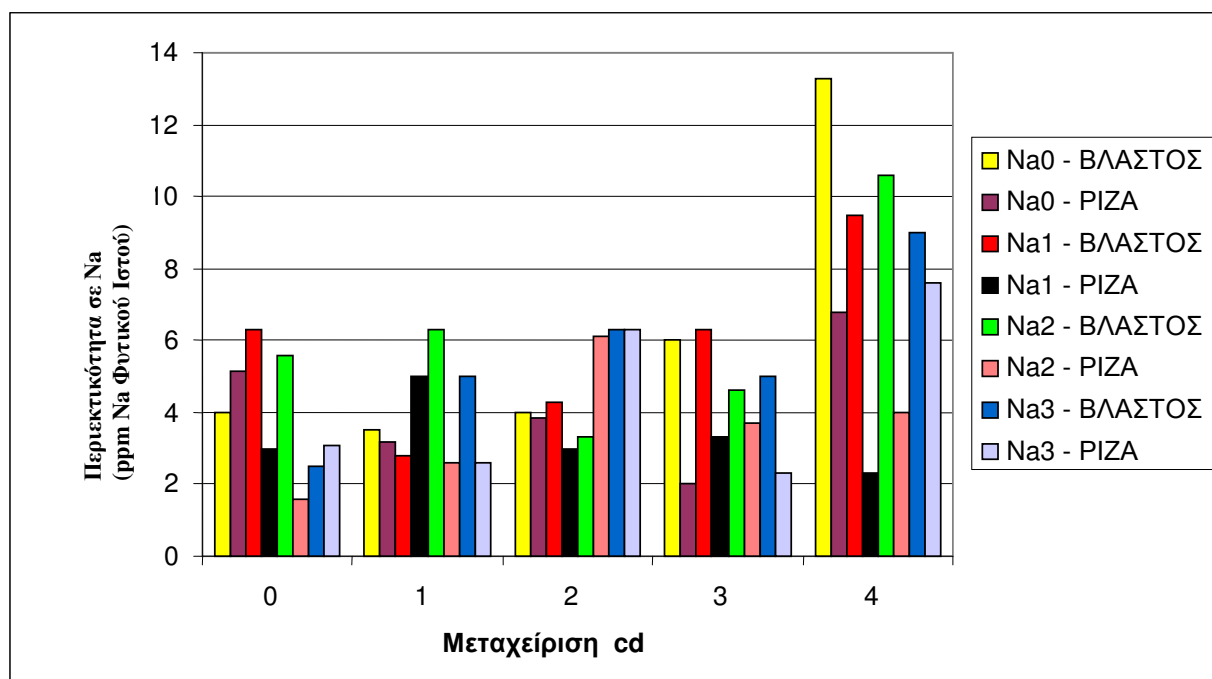


**Εικόνα 6.36. Περιεκτικότητα σε νάτριο των φυτών κατά μέσο όρο σε σχέση με τον χρόνο.**

Από τα παραπάνω παρατηρούμε ότι για τις ρίζες οι τιμές κυμαίνονται περίπου στα ίδια επίπεδα περιεκτικότητας νατρίου για όλες τις εβδομάδες. Για τους βλαστούς παρατηρούμε ότι έχουμε μία σταδιακή αύξηση των τιμών έως την τελευταία εβδομάδα.

**Πίνακας 6.77. Περιεκτικότητα σε νάτριο των βλαστών και των ριζών των φυτών κατά μέσο όρο όλων των εβδομάδων (σε όλες τις μεταχειρίσεις cd και NaCl)**

Μ.Ο.	Περιεκτικότητα σε Na για την μεταχείριση Na0		Περιεκτικότητα σε Na για την μεταχείριση Na1		Περιεκτικότητα σε Na για την μεταχείριση Na2		Περιεκτικότητα σε Na για την μεταχείριση Na3	
	ΒΛΑΣΤΟΣ	ΡΙΖΑ	ΒΛΑΣΤΟΣ	ΡΙΖΑ	ΒΛΑΣΤΟΣ	ΡΙΖΑ	ΒΛΑΣΤΟΣ	ΡΙΖΑ
Εβδομάδα 1 <sup>η</sup>	1,22	0,66	1,34	0,82	1,74	0,98	2	1,1
Εβδομάδα 2 <sup>η</sup>	0,9	0,6	1,26	0,86	1,54	1,06	2,16	1,06
Εβδομάδα 3 <sup>η</sup>	0,68	0,56	1,42	0,82	1,6	1,46	1,86	1,18
Εβδομάδα 4 <sup>η</sup>	0,7	0,64	1,42	0,98	0,86	1,08	2,06	1,04
Εβδομάδα 5 <sup>η</sup>	1,82	0,62	1,46	1,74	0,76	1,02	2,12	1,36



**Εικόνα 6.37. Περιεκτικότητα σε νάτριο των ριζών και των βλαστών των φυτών κατά μέσο όρο όλων των εβδομάδων**

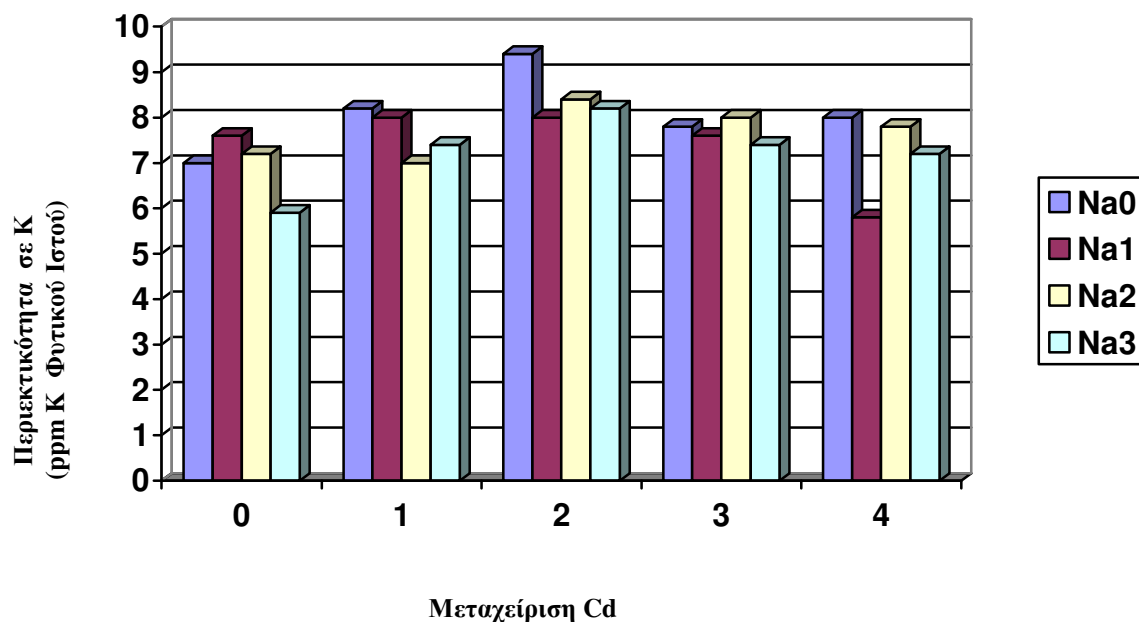
Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι στην μεταχείριση Cd 4 έχουμε υψηλή περιεκτικότητα Νατρίου. Επίσης παρατηρούμε στην μεταχείριση Cd 2 μία ισοροπία απορρόφησης Na από ρίζες και βλαστούς, ενώ στις μεταχειρίσεις Cd 3 και Cd 4 η απορρόφηση Na είναι πολύ μεγαλύτερη από τους βλαστούς σε σχέση με τις ρίζες.

### 6.4.3. Περιεκτικότητα σε Κ.

#### 6.4.3.1. Εβδομάδα 1<sup>η</sup>

Πίνακας 6.78. Περιεκτικότητα σε Κάλιο των βλαστών των φυτών που αφαιρέθηκαν την πρώτη εβδομάδα (%)

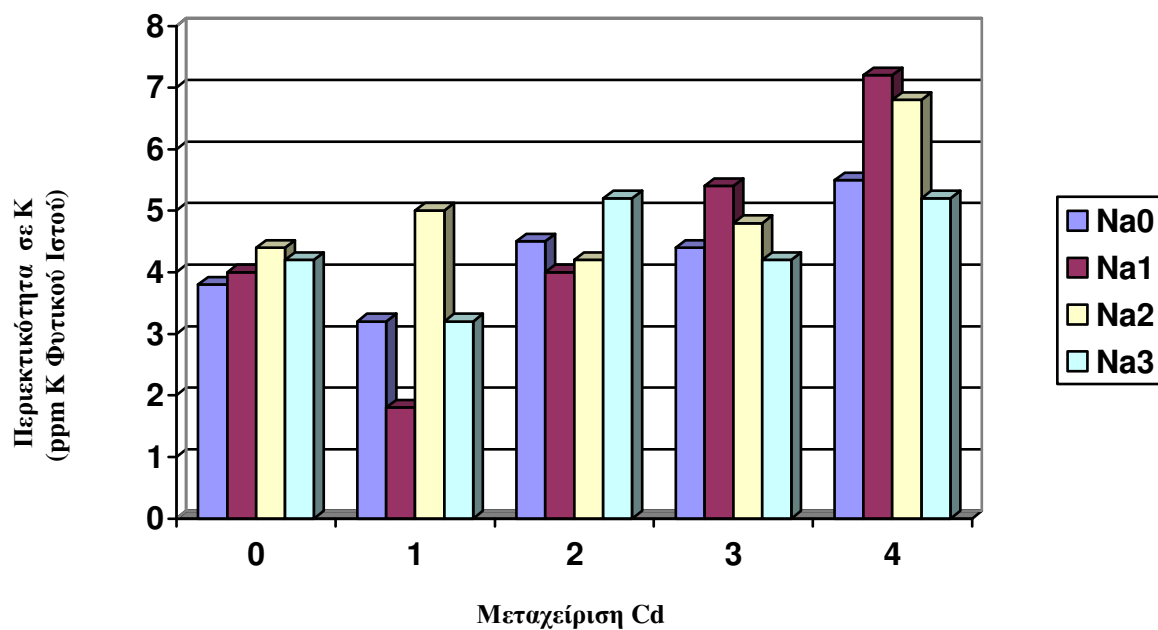
	Περιεκτικότητα σε Κ για τη μεταχείριση Na0	Περιεκτικότητα σε Κ για τη μεταχείριση Na1	Περιεκτικότητα σε Κ για τη μεταχείριση Na2	Περιεκτικότητα σε Κ για τη μεταχείριση Na3
Μεταχείριση Cd0	7	7,6	7,2	5,9
Μεταχείριση Cd1	8,2	8	7	7,4
Μεταχείριση Cd2	9,4	8	8,4	8,2
Μεταχείριση Cd3	7,8	7,6	8	7,4
Μεταχείριση Cd4	8	5,8	7,8	7,2



Εικόνα 6.38. Περιεκτικότητα σε κάλιο των βλαστών των φυτών που αφαιρέθηκαν την πρώτη εβδομάδα σε συνάρτηση με τις μεταχειρίσεις NaCl.

**Πίνακας 6.79. Περιεκτικότητα σε Κάλιο των ριζών των φυτών που αφαιρέθηκαν την πρώτη εβδομάδα (%)**

	Περιεκτικότητα σε Κ για τη μεταχείριση Na0	Περιεκτικότητα σε Κ για τη μεταχείριση Na1	Περιεκτικότητα σε Κ για τη μεταχείριση Na2	Περιεκτικότητα σε Κ για τη μεταχείριση Na3
Μεταχείριση Cd0	3,8	4	4,4	4,2
Μεταχείριση Cd1	3,2	1,8	5	3,2
Μεταχείριση Cd2	4,5	4	4,2	5,2
Μεταχείριση Cd3	4,4	5,4	4,8	4,2
Μεταχείριση Cd4	5,5	7,2	6,8	5,2

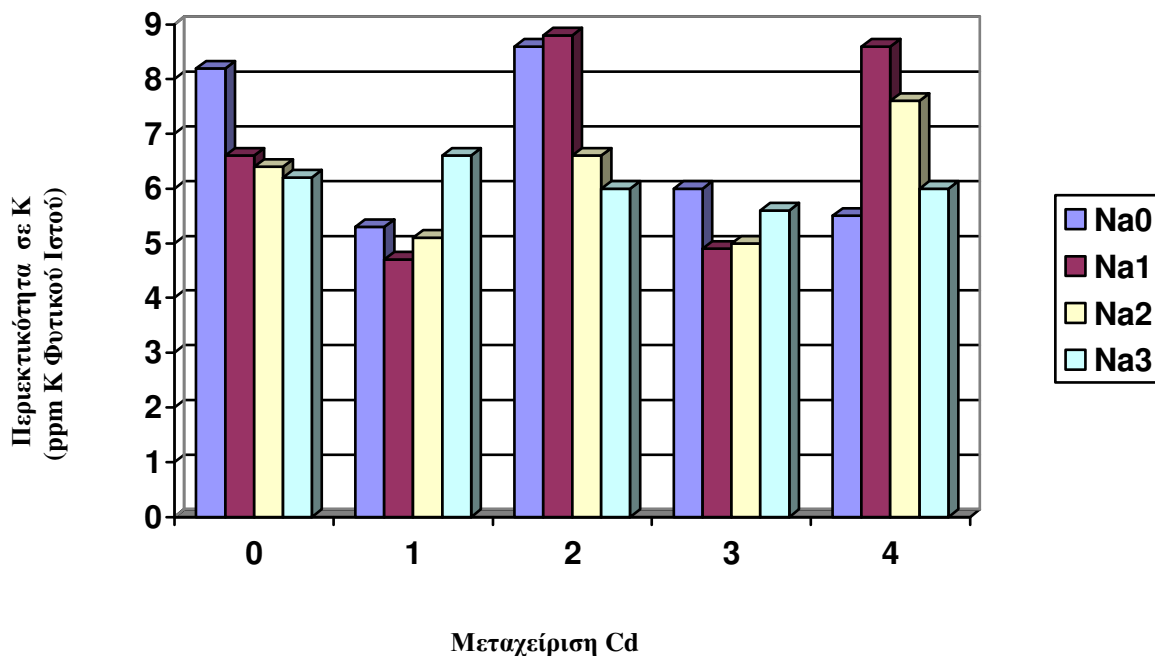


**Εικόνα 6.39. Περιεκτικότητα σε κάλιο των ριζών των φυτών που αφαιρέθηκαν την πρώτη εβδομάδα σε συνάρτηση με τις μεταχειρίσεις NaCl.**

### 6.4.3.2. Εβδομάδα 2<sup>η</sup>

**Πίνακας 6.80. Περιεκτικότητα σε Κάλιο των βλαστών των φυτών που αφαιρέθηκαν την δεύτερη εβδομάδα (%)**

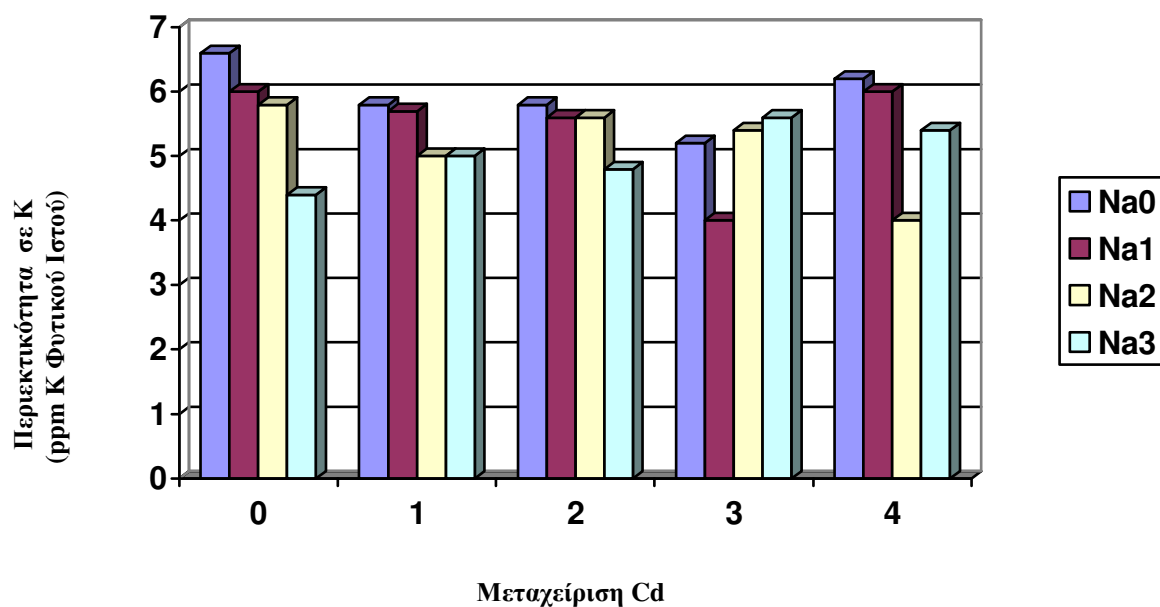
	Περιεκτικότητα σε Κ για τη μεταχείριση Na0	Περιεκτικότητα σε Κ για τη μεταχείριση Na1	Περιεκτικότητα σε Κ για τη μεταχείριση Na2	Περιεκτικότητα σε Κ για τη μεταχείριση Na3
Μεταχείριση Cd0	8,2	6,6	6,4	6,2
Μεταχείριση Cd1	5,3	4,7	5,1	6,6
Μεταχείριση Cd2	8,6	8,8	6,6	6
Μεταχείριση Cd3	6	4,9	5	5,6
Μεταχείριση Cd4	5,5	8,6	7,6	6



**Εικόνα 6.40. Περιεκτικότητα σε κάλιο των βλαστών των φυτών που αφαιρέθηκαν την δεύτερη εβδομάδα σε συνάρτηση με τις μεταχειρίσεις NaCl.**

**Πίνακας 6.81. Περιεκτικότητα σε Κάλιο των ριζών των φυτών που αφαιρέθηκαν την δεύτερη εβδομάδα (%)**

	Περιεκτικότητα σε Κ για τη μεταχείριση Na0	Περιεκτικότητα σε Κ για τη μεταχείριση Na1	Περιεκτικότητα σε Κ για τη μεταχείριση Na2	Περιεκτικότητα σε Κ για τη μεταχείριση Na3
Μεταχείριση Cd0	6,6	6	5,8	4,4
Μεταχείριση Cd1	5,8	5,7	5	5
Μεταχείριση Cd2	5,8	5,6	5,6	4,8
Μεταχείριση Cd3	5,2	4	5,4	5,6
Μεταχείριση Cd4	6,2	6	4	5,4

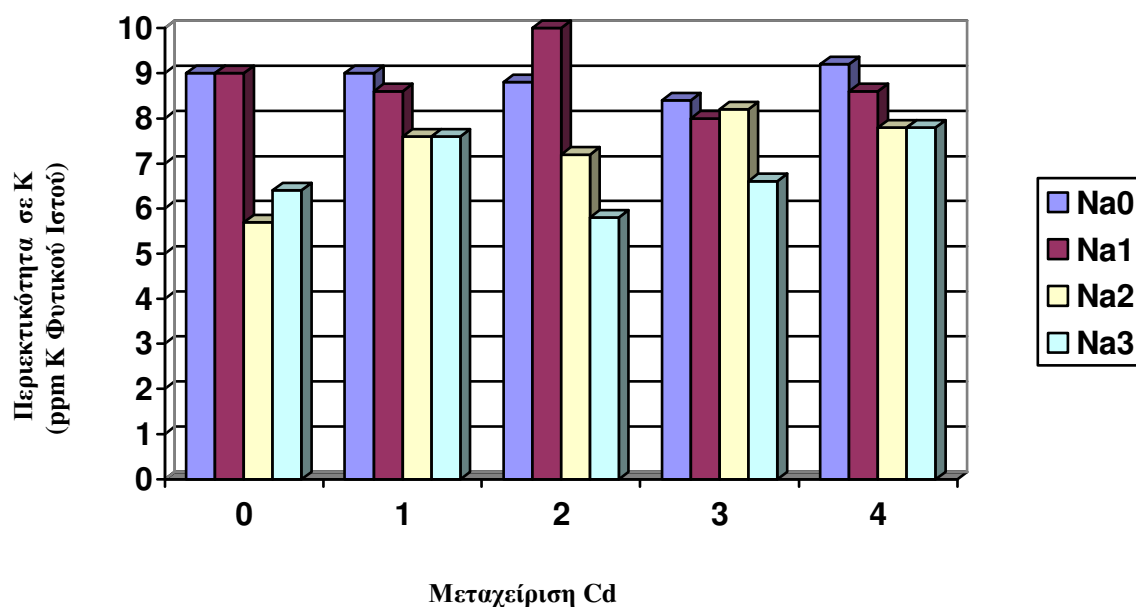


**Εικόνα 6.41. Περιεκτικότητα σε κάλιο των ριζών των φυτών που αφαιρέθηκαν την δεύτερη εβδομάδα σε συνάρτηση με τις μεταχειρίσεις NaCl.**

### 6.4.3.3. Εβδομάδα 3<sup>η</sup>

Πίνακας 6.82. Περιεκτικότητα σε Κάλιο των βλαστών των φυτών που αφαιρέθηκαν την τρίτη εβδομάδα (%)

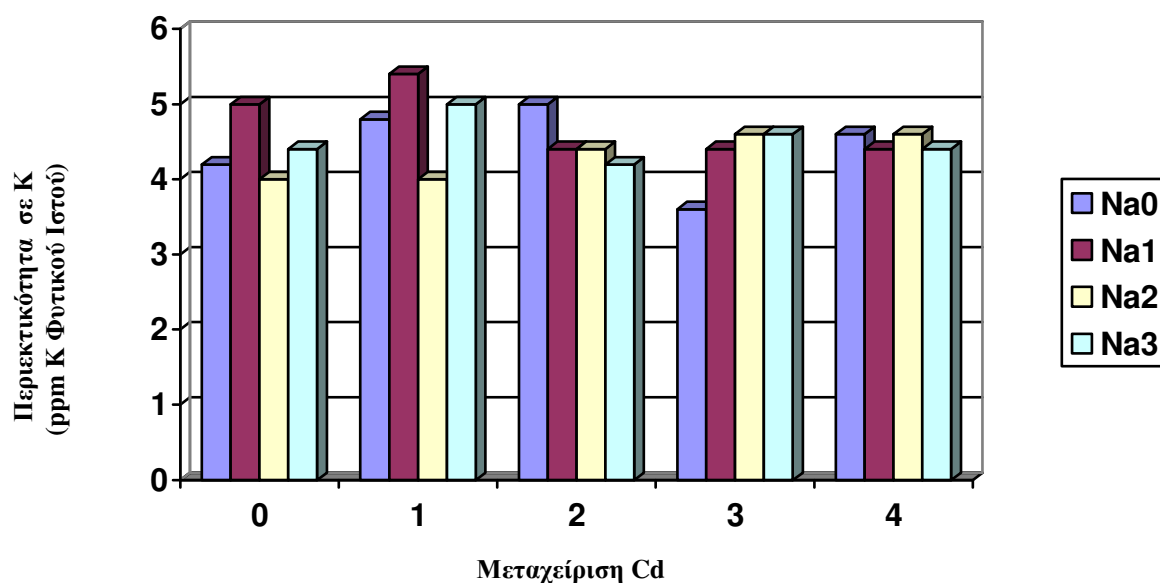
	Περιεκτικότητα σε Κ για τη μεταχείριση Na0	Περιεκτικότητα σε Κ για τη μεταχείριση Na1	Περιεκτικότητα σε Κ για τη μεταχείριση Na2	Περιεκτικότητα σε Κ για τη μεταχείριση Na3
Μεταχείριση Cd0	9	9	5,7	6,4
Μεταχείριση Cd1	9	8,6	7,6	7,6
Μεταχείριση Cd2	8,8	10	7,2	5,8
Μεταχείριση Cd3	8,4	8	8,2	6,6
Μεταχείριση Cd4	9,2	8,6	7,8	7,8



Εικόνα 6.42. Περιεκτικότητα σε κάλιο των βλαστών των φυτών που αφαιρέθηκαν την τρίτη εβδομάδα σε συνάρτηση με τις μεταχειρίσεις NaCl.

**Πίνακας 6.83. Περιεκτικότητα σε Κάλιο των ριζών των φυτών που αφαιρέθηκαν την τρίτη εβδομάδα (%)**

	Περιεκτικότητα σε Κ για τη μεταχείριση Na0	Περιεκτικότητα σε Κ για τη μεταχείριση Na1	Περιεκτικότητα σε Κ για τη μεταχείριση Na2	Περιεκτικότητα σε Κ για τη μεταχείριση Na3
Μεταχείριση Cd0	4,2	5	4	4,4
Μεταχείριση Cd1	4,8	5,4	4	5
Μεταχείριση Cd2	5	4,4	4,4	4,2
Μεταχείριση Cd3	3,6	4,4	4,6	4,6
Μεταχείριση Cd4	4,6	4,4	4,6	4,4



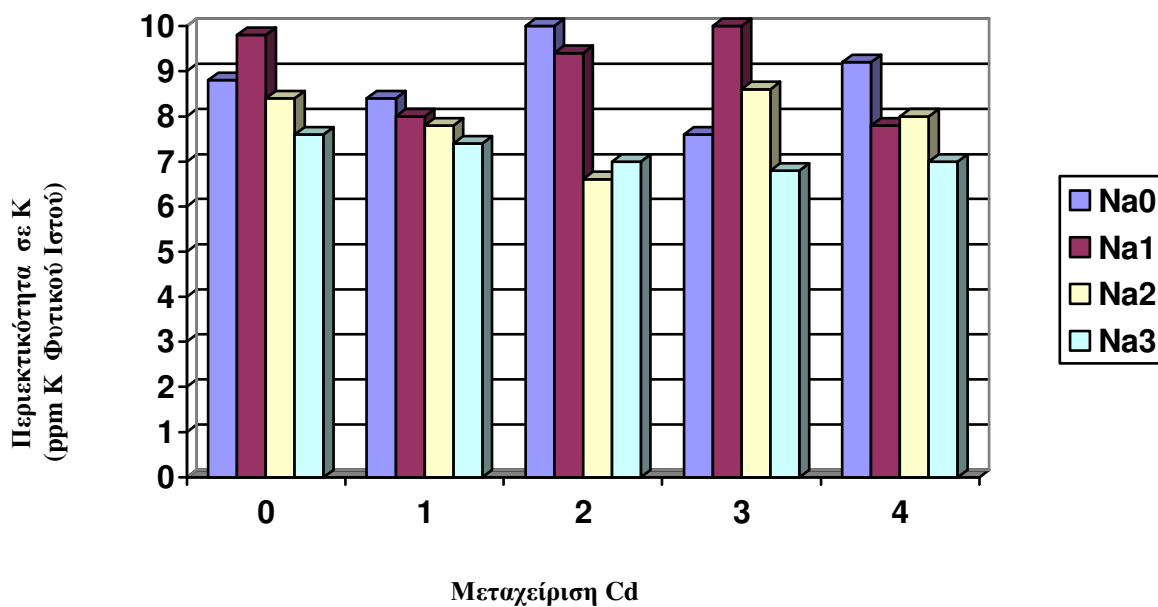
**Εικόνα 6.43. Περιεκτικότητα σε κάλιο των ριζών των φυτών που αφαιρέθηκαν την τρίτη εβδομάδα σε συνάρτηση με τις μεταχειρίσεις NaCl.**



#### 6.4.3.4. Εβδομάδα 4<sup>η</sup>

Πίνακας 6.84. Περιεκτικότητα σε Κάλιο των βλαστών των φυτών που αφαιρέθηκαν την τέταρτη εβδομάδα (%)

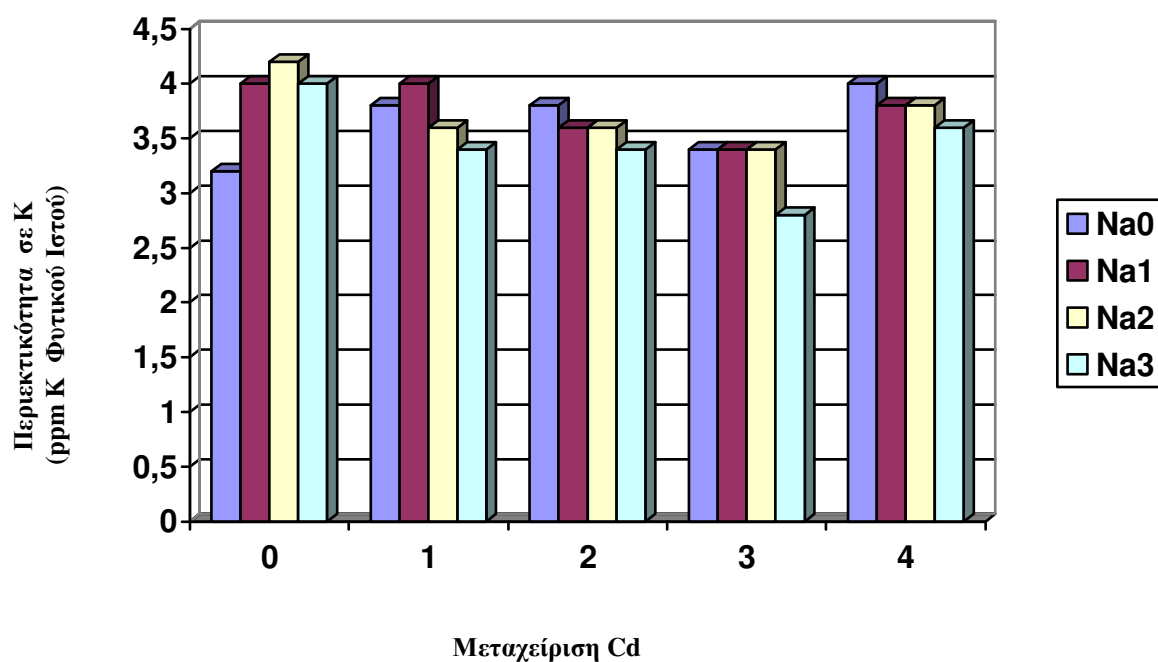
	Περιεκτικότητα σε Κ για τη μεταχείριση Na0	Περιεκτικότητα σε Κ για τη μεταχείριση Na1	Περιεκτικότητα σε Κ για τη μεταχείριση Na2	Περιεκτικότητα σε Κ για τη μεταχείριση Na3
Μεταχείριση Cd0	8,8	9,8	8,4	7,6
Μεταχείριση Cd1	8,4	8	7,8	7,4
Μεταχείριση Cd2	10	9,4	6,6	7
Μεταχείριση Cd3	7,6	10	8,6	6,8
Μεταχείριση Cd4	9,2	7,8	8	7



Εικόνα 6.44. Περιεκτικότητα σε κάλιο των βλαστών των φυτών που αφαιρέθηκαν την τρίτη εβδομάδα σε συνάρτηση με τις μεταχειρίσεις NaCl.

**Πίνακας 6.85. Περιεκτικότητα σε Κάλιο των ριζών των φυτών που αφαιρέθηκαν την τέταρτη εβδομάδα (%)**

	Περιεκτικότητα σε Κ για τη μεταχείριση Na0	Περιεκτικότητα σε Κ για τη μεταχείριση Na1	Περιεκτικότητα σε Κ για τη μεταχείριση Na2	Περιεκτικότητα σε Κ για τη μεταχείριση Na3
Μεταχείριση Cd0	3,2	4	4,2	4
Μεταχείριση Cd1	3,8	4	3,6	3,4
Μεταχείριση Cd2	3,8	3,6	3,6	3,4
Μεταχείριση Cd3	3,4	3,4	3,4	2,8
Μεταχείριση Cd4	4	3,8	3,8	3,6

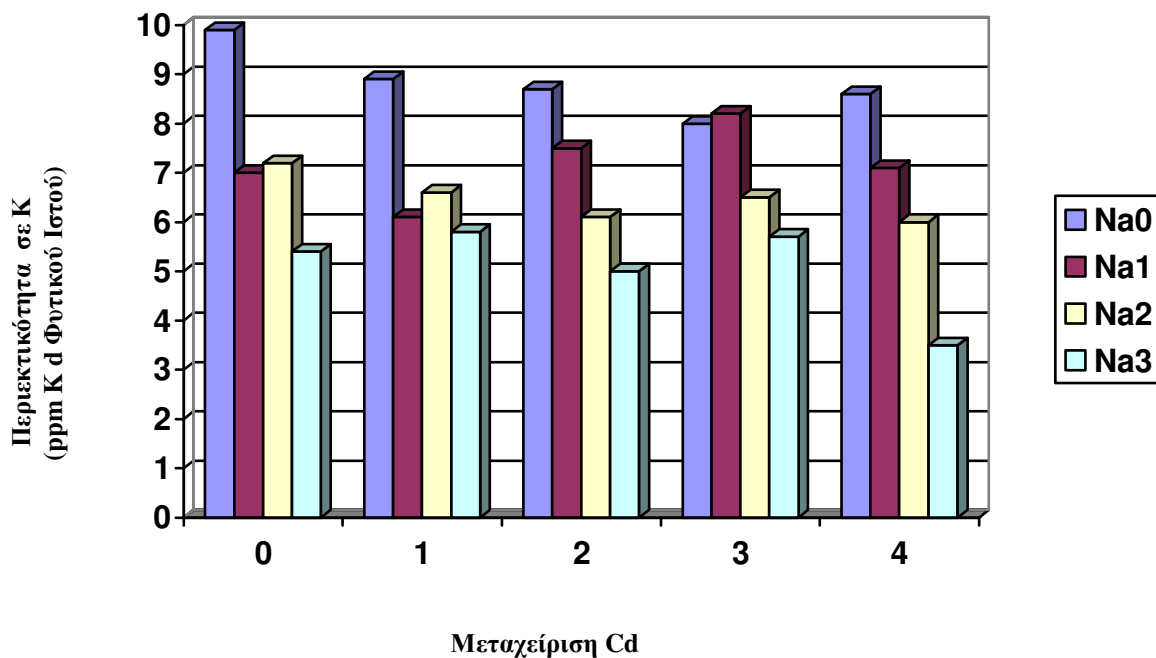


**Εικόνα 6.45. Περιεκτικότητα σε κάλιο των ριζών των φυτών που αφαιρέθηκαν την τέταρτη εβδομάδα σε συνάρτηση με τις μεταχειρίσεις NaCl.**

### 6.4.3.5. Εβδομάδα 5<sup>η</sup>

**Πίνακας 6.86. Περιεκτικότητα σε Κάλιο των βλαστών των φυτών που αφαιρέθηκαν την πέμπτη εβδομάδα (%)**

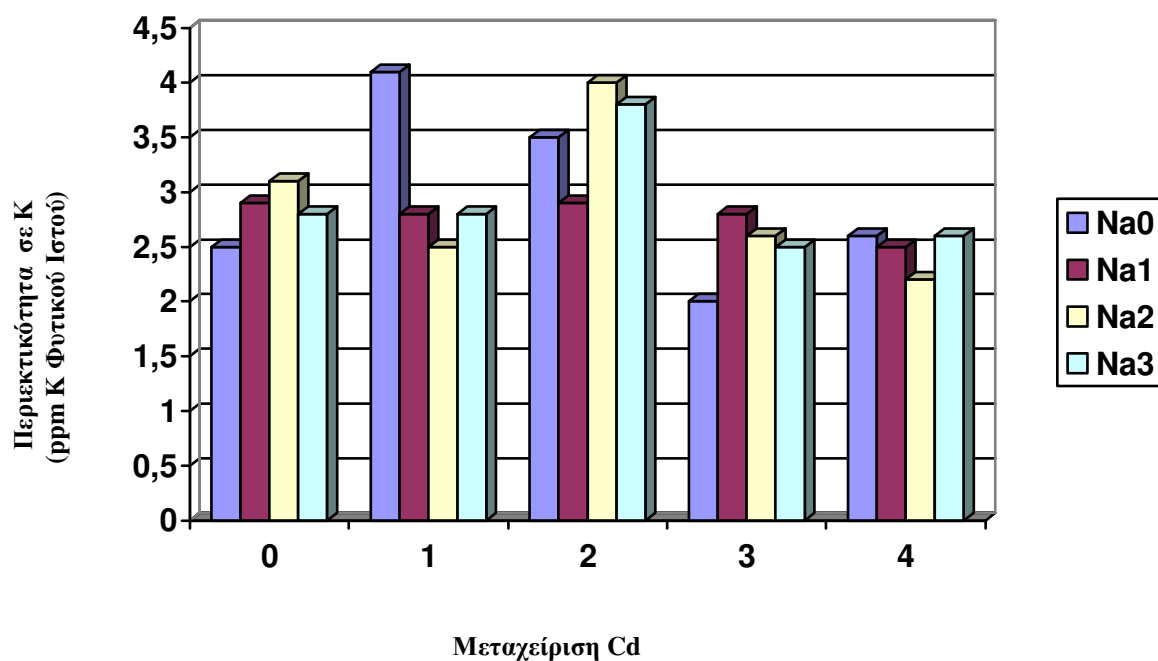
	Περιεκτικότητα σε Κ για τη μεταχείριση Na0	Περιεκτικότητα σε Κ για τη μεταχείριση Na1	Περιεκτικότητα σε Κ για τη μεταχείριση Na2	Περιεκτικότητα σε Κ για τη μεταχείριση Na3
Μεταχείριση Cd0	9,9	7	7,2	5,4
Μεταχείριση Cd1	8,9	6,1	6,6	5,8
Μεταχείριση Cd2	8,7	7,5	6,1	5
Μεταχείριση Cd3	8	8,2	6,5	5,7
Μεταχείριση Cd4	8,6	7,1	6	3,5



**Εικόνα 6.46. Περιεκτικότητα σε κάλιο των βλαστών των φυτών που αφαιρέθηκαν την πέμπτη εβδομάδα σε συνάρτηση με τις μεταχειρίσεις NaCl.**

**Πίνακας 6.87 Περιεκτικότητα σε Κάλιο των ριζών των φυτών που αφαιρέθηκαν την πέμπτη εβδομάδα (%)**

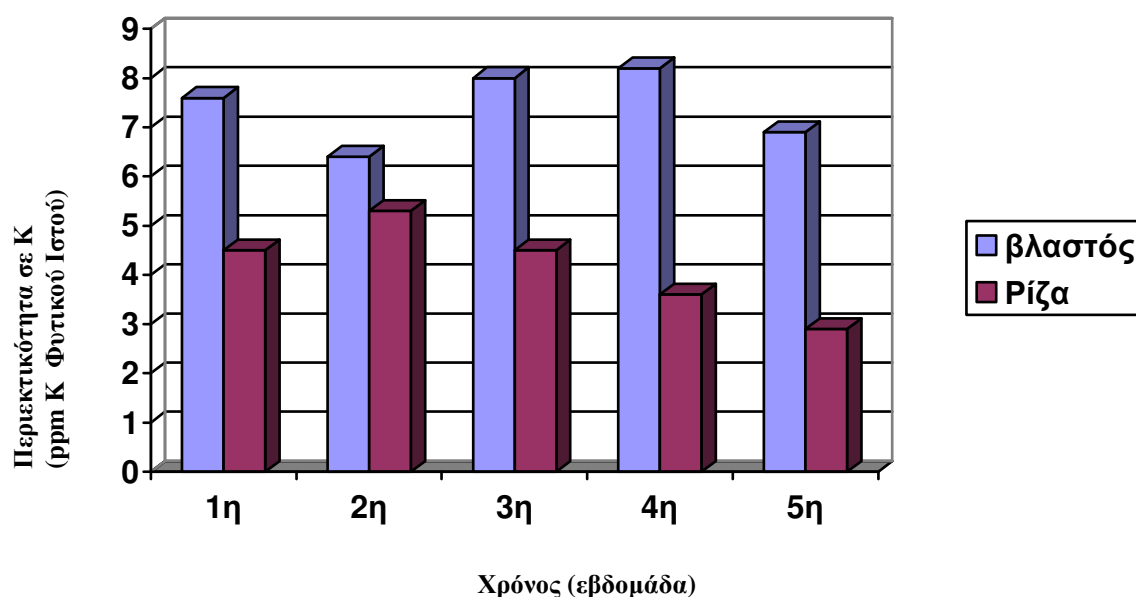
	Περιεκτικότητα σε Κ για τη μεταχείριση Na0	Περιεκτικότητα σε Κ για τη μεταχείριση Na1	Περιεκτικότητα σε Κ για τη μεταχείριση Na2	Περιεκτικότητα σε Κ για τη μεταχείριση Na3
Μεταχείριση Cd0	2,5	2,9	3,1	2,8
Μεταχείριση Cd1	4,1	2,8	2,5	2,8
Μεταχείριση Cd2	3,5	2,9	4	3,8
Μεταχείριση Cd3	2	2,8	2,6	2,5
Μεταχείριση Cd4	2,6	2,5	2,2	2,6



**Εικόνα 6.47. Περιεκτικότητα σε κάλιο των ριζών των φυτών που αφαιρέθηκαν την πέμπτη εβδομάδα σε συνάρτηση με τις μεταχειρίσεις NaCl.**

**Πίνακας 6.88. Περιεκτικότητα των φυτών σε Κάλιο (Κ)  
(κατά μέσο όρο) σε σχέση με το χρόνο**

	Βλαστός	- % -	Ρίζα
Εβδομάδα 1 <sup>η</sup>	7,6		4,5
Εβδομάδα 2 <sup>η</sup>	6,4		5,3
Εβδομάδα 3 <sup>η</sup>	8		4,5
Εβδομάδα 4 <sup>η</sup>	8,2		3,6
Εβδομάδα 5 <sup>η</sup>	6,9		2,9

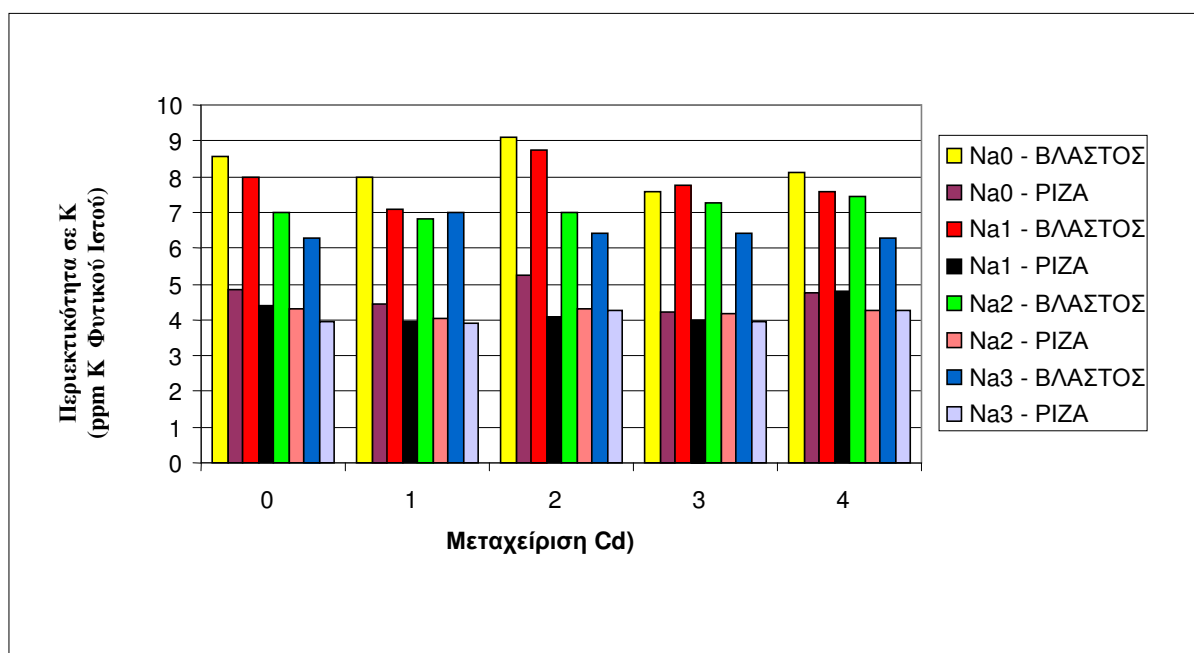


**Εικόνα 6.48. Περιεκτικότητα σε κάλιο των φυτών κατά μέσο όρο σε σχέση με τον χρόνο.**

Από το παραπάνω γράφημα παρατηρούμε ότι η μεγαλύτερη τιμή για τους βλαστούς σημειώθηκε την τέταρτη εβδομάδα και για τις άλλες εβδομάδες υπάρχει μικρή αυξομείωση των τιμών. Επίσης για τις ρίζες παρατηρούμε τη μεγαλύτερη περιεκτικότητα καλίου την δεύτερη εβδομάδα και μετά αυτής μία σταδιακή μείωση.

**Πίνακας 6.89. Περιεκτικότητα σε κάλιο των βλαστών και των ριζών των φυτών κατά μέσο όρο όλων των εβδομάδων. (σε όλες τις μεταχειρίσεις cd και NaCl)**

Μ.Ο.	Περιεκτικότητα σε Κ για την μεταχείριση Na0		Περιεκτικότητα σε Κ για την μεταχείριση Na1		Περιεκτικότητα σε Κ για την μεταχείριση Na2		Περιεκτικότητα σε Κ για την μεταχείριση Na3	
	ΒΛΑΣΤΟΣ	ΡΙΖΑ	ΒΛΑΣΤΟΣ	ΡΙΖΑ	ΒΛΑΣΤΟΣ	ΡΙΖΑ	ΒΛΑΣΤΟΣ	ΡΙΖΑ
Εβδομάδα 1 <sup>η</sup>	8,58	4,86	8	4,38	6,98	4,3	6,3	3,96
Εβδομάδα 2 <sup>η</sup>	7,96	4,44	7,08	3,94	6,82	4,02	6,98	3,88
Εβδομάδα 3 <sup>η</sup>	9,1	5,24	8,74	4,1	6,98	4,3	6,4	4,28
Εβδομάδα 4 <sup>η</sup>	7,56	4,2	7,74	4	7,26	4,16	6,42	3,94
Εβδομάδα 5 <sup>η</sup>	8,1	4,76	7,58	4,78	7,44	4,28	6,3	4,24



**Εικόνα 6.49. Περιεκτικότητα σε κάδμιο των ριζών και των βλαστών των φυτών κατά μέσο όρο όλων των εβδομάδων**

Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι και για τις ρίζες και για τους βλαστούς η απορρόφηση καλίου είναι υψηλή αλλά υψηλότερη είναι στους βλαστούς, επίσης δεν υπάρχει μεγάλη ανομοιομορφία στις τιμές του καλίου για τους βλαστούς και για τις ρίζες σε όλες τις μεταχειρίσεις cd και NaCl, δηλαδή θα μπορούσαμε να πούμε ότι είναι σταθερή η απορρόφηση καλίου δεν επηρεάζεται πολύ από την ποσότητα του καδμίου.

## 6.6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

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, γιατί από τις μετρήσεις, συμπεραίνουμε ότι το κάδμιο σε συνδυασμό με τις υπάρχουσες συνθήκες αλατότητας δεν είχαν κάποια επίδραση στην ανάπτυξη, αφού το μήκος των βλαστών κατά μέσο όρο, από την πρώτη μέτρηση μέχρι και το τέλος του πειράματος, αυξανόταν σταδιακά.

Παρόλα αυτά διαπιστώνεται, ότι η μάζα των βλαστών και των ριζών των φυτών, κυμάνθηκε περίπου στις ίδιες τιμές, στα διάφορα επίπεδα αλατότητας. Γενικά, στις μεγαλύτερες μεταχειρίσεις καδμίου (5, 10 και 20 ppm) παρατηρείται αύξηση της μάζας των βλαστών και των ριζών. Μεγαλύτερες τιμές παρουσίασε η μάζα των βλαστών των φυτών. Μοναδική εξαίρεση αποτέλεσαν τα φυτά των οποίων στα 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.

Από τις μετρήσεις που έγιναν για τον προσδιορισμό της περιεκτικότητας των φυτών σε κάδμιο είναι προφανές ότι το αντίδι 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 ριζών σε κάδμιο είχε αυξητικές τάσεις, ενώ των βλαστών των φυτών την τελευταία εβδομάδα, την οποία παρατηρήθηκε και ανθοφορία, η συσσώρευση του μετάλλου στα φυτά περιορίστηκε πιθανότατα διότι μεγάλες ποσότητες καδμίου συσσωρεύτηκαν στα άνθη, τα οποία αφαιρούνταν τακτικά. Επίσης, είναι σαφές ότι οι βλαστοί των φυτών συσσωρεύουν πολύ μεγαλύτερες ποσότητες καδμίου, απ' ότι οι ρίζες.

Στις περισσότερες περιπτώσεις είναι εμφανές μία 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 (20ppm) 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 και στο ριζικό σύστημά του, υπό συνθήκες χαμηλής αλατότητας.

Επίσης γενικά παρατηρούμε ότι η περιεκτικότητα σε ασβέστιο των φυτών έχει μια σταδιακή αύξηση στις δύο μεγαλύτερες μεταχειρίσεις καδμίου Cd και η μεγαλύτερη τιμή σημειώθηκε στην μηδενική μεταχείριση NaCl και στην μεγαλύτερη μεταχείριση καδμίου (20 ppm). Επίσης ο βλαστός του φυτού είναι αυτός που απορροφά μεγαλύτερης περιεκτικότητας σε ασβέστιο.

Για το Na έχουμε και σταδιακή αύξηση της περιεκτικότητας Na από τη μικρότερη μεταχείριση καδμίου (1 ppm) έως την μεγαλύτερη (20 ppm) και τέλος ο βλαστός είναι αυτός που απορροφά μεγαλύτερη ποσότητα Na.

Για το K παρατηρούμε γενικά ότι ο βλαστός είναι αυτός που απορροφά περισσότερο K και για την ρίζα του φυτού έχουμε μία σταδιακή μείωση των τιμών του K από την δεύτερη εβδομάδα.

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

- Το αντίδι είναι φυτό που μπορεί να επιβιώσει υπό συνθήκες υψηλής αλατότητας στο νερό άρδευσης.
- Τα φυτά αντιδίου φαίνεται να μην επηρεάζονται από την παρουσία NaCl στο νερό άρδευσης, όσον αφορά την παραγωγή νωπής μάζας.
- Το αντίδι προσλαμβάνει κάδμιο στους βλαστούς του, παρουσία του μετάλλου στο νερό άρδευσης.



- Υπάρχει μία τάση μείωσης της πρόσληψης καδμίου από τα φυτά αντιδίου 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.
- Επίσης ο βλαστός του φυτού αντιδίου είναι αυτός που απορροφά τις μεγαλύτερες ποσότητες Ca, Na, και K. Το Ca επηρεάζεται αρνητικά με την παρουσία υψηλότερης ποσότητας NaCl αλλά θετικά με την υψηλή ποσότητα καδμίου, και το Na εννοείται με την παρουσία υψηλής ποσότητας NaCl και με την αύξηση της ποσότητας του Cd.

## BIBΛIOΓPAΦIA

- Adamu, C. A., C. L. Muchi and P. F. Bell. 1989. Relationships between soil pH, clay, organic matter and CEC and heavy metal concentrations in soils and tobacco. *Tob. Sci.*33 :96-100.
- Adriano, D.S., 1986. Trace elements in the terrestrial environment. Springer verlag, New York inc.
- Aery, N.C., and B. L. Jagetiya. 1997. Relative toxicity of cadmium, lead, and zinc on barley. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 28 (11&12): 949-960.
- Alloway, B.J.1995. Cadmium .p.123-151. in B. J. Alloway (ed). Heavy metals in soils. 2nd ed. Blackie Academic & Professional-London.
- Anderson, P. R., and T. H.Cristensen. 1988. Distribution coefficients of Cd, Co, Ni, and Zn in soils. *J. SoilSci.*39:15-22.
- Ayers, R. S. and Westcot, D. W. 1985. Water quality for agriculture. Irrigation and drainage paper no 29, FAO, Rome.
- Ayers, R. S. and Westcott, D. L. (1976). Water quality for agriculture. FAO irrigation and drainage paper 29, FAO, Rome. 97p
- Barcelo, J., C. Poschenrieder, I. Andreu, Gunse, B., 1986. Cadmium -induced decrease of water stress resistance in bush bean plants (phase olusvulgaris l. CV. Contender) I. Effects of cd on water potential, relative water content and cell wall elasticity. *J. Plantphysiol.*125:17-25.
- Baziram Ankenga, R., and R. R. Sim and.1998. Low molecular weight aliphatic acid contents of composted manures. *J. Environ. Qual.*27:557-561.

- Beckett, P.H.T.1990. The use of extract ants in studies on trace metals in soils, sewage sludges, and sludge-treated soils. p: 143-176. in B. Astewart (ed). Advances in soil science. Volume 9. Springer-verlag.n.y. USA.
- Bell, P. F., C. A. Adamu, C. L. Mulchim. McIntosh, and R. L. Chaney. 1988.
- Bernstein, L. (1964). Salt tolerance of plants. USDA agricultural information bulletin, 283, p.23
- Bingham, F. T., G. Sposito and J.E.Strong.1986.The effect to sulfate on the availability of cadmium .SoilSci.141 (2): 172-177.
- Boefchold, A-E. and S.E.A.T.M .Van DerZee.1992.A scaled sorption model validated at the column scale to predict cadmium contents in a spatially variable field Soil Sci.154:105-112.
- Boekhold, A. E., EJ. M Tern Ming off and SJE. A. T.M . Van Der Zee. 1993. Influence of electrolyte composition and pH on Cd sorption by an acid sandy soil. J.SoilSci.44:85-96.
- Brady, N. C. and R.R.W eil.1996. The nature and properties of soils.11th ed. Prentice hall international editions. New Jersey. USA.
- Chen and F. J. Stevenson.1986. Soil organic m atterinteractions with trace elements. p.73-116.in Y.chen and Y.avnimelech (eds). The role of organic matter in modern agriculture. martinus nijhoff publishers, dordrecht, Boston.
- Christensen, T. 1984. b. cadmium soil sorption at low concentrations: II. Reversibility, effect of changes in solute composition, and effect of soil aging. Water, Air Soil Pollut.21:115-125.
- Chistiansen, J. E., Olsen, E. G., and Willardson L. S. (1977). Irrigation water quality. J. Irrig. and drain. Div. Asce, 103, 2, 155-169.

- Chubin, R. G., and J. J. Street. 1981. Adsorption of cadmium on soil constituents in the presence of complexing ligands. *J. Environ. Qual.* 10(2):225-228.
- Cowan, C.E., J. M. Zachara and C. T. Resch, 1991. Cadmium adsorption on Iron oxides in the presence of alkaline-earth elements. *Environ Sci. Technol.* 25:437-446.
- Davis, R. D. 1984. Cadmium in sludge used as fertilizer. *experientia* 40:117-126.
- De Villarroel, J. R., A. C. Chang, and C. Amrhein. 1993. Cd and Zn phyto availability of a field-stabilized sludge-treated soil. *Soil Sci.* 155:197-205.
- Doneen, L. D. (1954) Salinization of soil by salts in the irrigation water. *Trans. American geophysical union*, 35, 943-950.
- Δημητράκη Κ. 1973. Λαχανοκομία β', ΑΘΗΝΑ, εκδόσεις ΑγρόΤυπος Α.Ε.
- Δημητράκη Κ. 1982. Πρακτική Λαχανοκομία POTAMITIS PRESS. ΑΘΗΝΑ, εκδόσεις ΑγρόΤυπος Α.Ε.
- Eaton, F. M. (1950). Significance of carbonates in irrigation water. *Soil science*, 69, 123-133.
- Evangelou, M.W.H. H. Daghan and A. Schaeffer. 2004. The influence of humic acid on the phytoextraction of cadmium from soil. *Chemosphere.* 57:207-213.
- Forster, U. 1995. Land contamination by metals: global scope and magnitude of problem. pp: 1-33. In: H. E. Allen et al (eds). *Metal speciation of soils*. Lewis Publishers.
- Garcia-Miragaya, J., and A.L. Page. 1976. Influence of ionic strength and inorganic complex formation on the sorption of trace amounts of Cd by montmorillonite. *SoilSci. SocAm* .1.40:658-663.

- Grant, C. A., W. T. Buckley, L. D. Bailey, and F. Selles. 1998. Cadmium accumulation in crops. *Can. J. Plant Sci.* 78:1-17.
- Gupta, U. C., and S.C. Gupta. 1998. Trace elements toxicity relationships to crop production and livestock and human health: implications for management. *Commun. soilsci. and plantanal.* 29(11-14):1491-1522.
- Harter, R.D., and R. Naidu. 2001. An assessment of environmental and solution parameter impact on trace-metal sorption by soils. *Soilsci. Soc. Am. J.* 65:597-612.
- He Q. B. and Singh B. R. 1994. a. Crop up take of cadmium from phosphorus fertilizers: I. Yield and cadmium content. *Water Air Soil Pollut.* 74: 251-265.
- Hernandez, L.E., R. Carpenaruiz, a. garate. 1996. Alterations in the mineral nutrition of pea seedling exposed to cadmium. *J. Plant Nutr.* 19:1581- 1598.
- Isenbeck. M., J. Schroter, T. Taylor, M. Fic, A. Pekdegen and G. Matthes. 1987. Adsorption/desorption and solution/precipitation behaviour of Isenbeck as influenced by the chemical properties of ground water and aquifer material *Meyniana.* 39:7 Isermann, K., P. Karch, and A. Schmidt 1983. Cd-content of the edible plant parts of different varieties of several crop species grown on highly C decontaminated neutral loam soil. *Landwirtsch Forsch. Kongreb and* 36: 283-294.
- Jansson, g. 2002. Cadmium in arable crops. The influence of soil factors and liming. Doctoral thesis. Swedish university of agricultural sciences. Uppsala.
- Jeng, A. S. and B. R. and B. R. Singh. 1995. Cadmium status of soils and plants from a long-term fertility experiment in southeast Norway. *Plant and Soil.* 175:67-74.
- Jones, D.L. 1998. Organic acids in the rhizosphere-a critical review. *Plant and soil.* 205 :25-44.

- Kabata-Pendias, a. 2001. Trace elements in soils and plants. ch.7. elements of group ii. Cadmium p.143-157. Third edition. Crc press. Washington d.c.
- Kasap, y., s.irmak, and h.gunal.1998. Path analysis of some heavy metal had sorption by soil. Precision agriculture. Proceeding of the 4t international conference. Asa. Csssassa :91-100.
- Khan, M. A., C. Mulchi, and C. G. Mckee. 1992 Influence of pH and soils on the bioaccumulation of trace elements in Mary land tobacco. Tob.Sci.36:53- 56.
- King, L. D. 1988, Effect of selected soil properties on cadmium content of tobacco. J. Environ. Qual 17:251-255.
- Krishnamurti, G. S. R., G. Cieslinski, p. m. Huang, and K. C.J. Van rees.1997.
- Kuboi, T., A. Noguchi, and J. Yazaki. 1986. Family-dependent cadmium accumulation characteristics in higher plants. Plant and soil. 92:405-415.
- Lee, S. Z., H. E. Alen, C. P. Huang, D. L. Sparks, P. F. Sanders, and W.J.G.M . Peijnenburg. 1996. Predicting soil-water partition coefficients for cadmium. Environ. Sci. Technol.30:3418-3424.
- Leehoczky, E. and Z. Kiss. 2002. Cadmium and zinc up take by ryegrass (*Lolium Perenne* L.) in relation to soil metals. Commun. SoilSci. Plant Anal. 33(15-8):3177-3187.
- Lorenz, S.E., R. E. Hamon, and S.P. Mc Grath. 1994, P.E. Holm, and T. H. Christensen. 1994. Applications of fertilizer cations affect cadmium and zinc concentration in soil solutions and uptake by plants. Eur. J. SoilSci. 45:1590165.
- Lugon-Moulin n.,m.,2004. Zhang, f.gadani, l.rossi, D. Koller, m . Krauss, and g.j.

- Macnicol, R.D. and P.H.T. Beckett. 1985. Critical tissue concentrations of potentially toxic elements. *Plant and Soil*. 85:107-129.
- Marchner, H. 1995. *Mineral nutrition of higher plants*. Second edition. Academic Press. Harcourt Brace & Company, Publishers.
- Mc Bride, M .B.1980. Chemisorptions of cadmium on calcite surfaces. *Soil Sci. Soc. Am J.*1.43:26-28.
- Mc bride, s. sauve and W .Hendershot.1997.solubility control of cd, zn and cu in contaminated soils. *eur. J. Soils.*48:337-346.
- McBride, M .B.2002. Cadmium uptake by crops estimated from soil total cd and Ph.*Soils.*167 (1):62-67.
- Mclaughlin, M .J., L. T. Palmer, K. G. Tiller, T. A. Beech, and M.K. Smart.1994. Increased soil salinity causes elevated cadmium concentration in field grown potato tubers. *J. Environ. Qual.* 23:1013-1018.
- Mclaughlin, M .J., R. M . Lam brechts, e. smolders, and M .K. Smart. 1998. Effects of sulfate on cadmium uptake by swiss chard: ii. Effects due to sulphate addition to soil. *Plant and soil.*202 :211-216.
- Mench, M J, V. L. Didier, M . Loffler, A. Gomez and P. Masson. 1994. A mimicked in situ-remediation study of m et al-contaminated soils with emphasis on cadmium and lead. *J. Environ. Qual.* 23:58-63.
- Mohamed, N. A. and Amer, F. 1972. Sodium car-bonate formation in ferhash area and possibility of biological dealkatinization. *Proc. Intern. Symp. On new developments in the field of salt affected soils*. Ministry of agriculture, cairo. p.346
- Mortvedt, J. J. 1972. Gadmiun. In. J. J. Mortvedt(ed)p: 619-635. *Micronutrients in Agriculture*. SSSA. Inc. Madison. Wisconsin. USA.

- Mulchi, C. L., C. A. Adamu, and P.F.Bell.1991a. Comparison of extract ants for estimating heavy metal availability in mid-atlantic coastal plain soils. *Tob. Sci.*35:43-48.
- Μήτσιος Ιωάννης. Αλατούχα και Αλκαλιωμένα (με νάτριο)εδάφη. Ποιοτική κατάταξη των νερών άρδευσης. Σελ. 11-38, 43-50, 72-75
- Μιτσοπολίνος Νίκος. Προβληματικά εδάφη, σελ.43-54, 71-79, 94-96
- Naidu, R., and R. D. Harter 1998. Effect of different organic ligands on cadmium sorption by and extractability from soils. *SoilSci. Soc. Am J.*62:644-650.
- Naidu, R.,R.S. Kooham A, M .E. Summer, R.D. Harter, and K.G. Tiller.1997. Cadmium sorption and transport in variable charge soils: a review. *J. Environ.qual.*26:602-617.
- Neal, R.H., and G. Sposito. 1986. Effects of soluble organic matter and sewage sludge amendments on cadmium sorption by soils at low cadmium concentrations. *SoilSci.*142(3): 164-172.
- Obata, H., N. Inonue, and M. Umabayashi.1996.Effect of cadmium on plasmamembrane transport from plant roots differing in tolerance to cadmium. *Soilsci. Plantnutr.*42 :361-366.
- Papadopoulos, P, and D. L. Rowell. 1988. The reactions of cadmium with calcium carbonate surfaces. *J. SoilSci.*39:23-36.
- Παναγιωτόπουλος Λεωνίδας, αρδεύσεις - στραγγίσεις (σημειώσεις του τμήματος γεωργικής μηχανολογίας και υδάτινων πόρων Τ.Ε.Ι. Μεσολογγίου) σελ. 149-193.
- Παναγιωτόπουλος Λεωνίδας, εδαφολογία (σημειώσεις του τμήματος γεωργικής μηχανολογίας και υδάτινων πόρων Τ.Ε.Ι. Μεσολογγίου) σελ. 110-119.



- Reed, R. L., M.A. Sanderson, V. G. Allen and A.G. Matches. 1999. Growth and cadmium accumulation in selected switch grass cultivars. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 30 (19&20):2655-2667.
- Ryan, J. A., H. R. Pahren, and J. B. Lucas. 1982. Controlling cadmium in the human chain: review and rationale based on health effects. *Environm. Res.*28:251-302.
- Ραπτόπουλου Θ. 1973. Γενική και Ειδική Λαχανοκομία. ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ, εκδόσεις ΑγρόΤυπος Α.Ε.
- Sanchez-Martin, M .G., and M. Sanchez-Camazano. 1993. Adsorption and mobility of cadmium in natural, uncultivated soils. *J. Environ. Q ual.* 22:737-742.
- Sauve, S, W .A. Norvell, M . M Cbride, and W. Hendershot. 2000. Speciation and complexation of cadmium in extracted soil solutions. *Environ. sci. Technol.*34:291-296.
- Semu, E. and B. R. Singh 1996. Accumulation of heavy metals in soils and plants after long-term use of fertilizers and fungicides in Tanzania. *Fertilizer Research.* 44:241-248.
- Shalhavet, J. 1983. Management of irrigation with brackish water. In: soil salinity under irrigation. I. Shainberg and J, Shalhavet (eds). *Ecological studies* 51:298-318. Springer-verlag.
- Shuman, L. M ,1998. Effect of organic waste amendments on Cd and Pb in Soil fractions of two soils. *Commun. Soil. Sci. Plant. Anal.* 29 (19&20) :1939- 2952.
- Shuman, L. M ., and J. Wang. 1991. Chemical form s of micronutrients in soils.p:113-144.in J. J. Mortvedtetal(eds).*Micronutrients in agriculture.* 2<sup>nd</sup> ed. Sssa. madison. W li.

- Smolbers, E., and M. J. McLaughlin. 1996 a. Chloride increases cadmium uptake in Swiss Chard in a resin-buffered nutrient solution. *Soil Sci. Soc. Am . J.* 60:1443-1447.
- Smolbers, E., and M. J. McLaughlin. 1996 b. Effects of Cl on Cd uptake by Swiss Chard in a unbuffered and chelate-buffered nutrient solution. *Plant Soil.* 179:57-69.
- Smolders, E., R. M . Lambregts, M . J. McLaughlin, and K. G. Tiller. 1998. Effect of soil solution chloride on cadmium availability to Swiss Chard. *J. Environ. Qual.* 27:426-431.
- Sposito, G ., L. J. Lund, and A. C. Chang. 1982. Trace elements chemistry in arid-zone field soils amended with sewage sludge: I. Fractionatibli of Ni, CU, Zn, Cd and Pb in solid phases. *Soil Sci. Soc. Am . J.* 46:260-264.
- Strobel, B. W . 2001. Influence of vegetation on low-m olecular-weight carboxylic acids in soil solution- a review. *Geoderma.* 99:169-198.
- Σπάρτση Ν. 1987. Γενική και Ειδική Λαχανοκομία. Ο.Ε.Δ.Β. ΑΘΗΝΑ, εκδόσεις ΑγρόΤυπος Α.Ε.
- Termminghoff, E. J. M ., S.E.A.T.M. Van Der Zee, and F.A.M . De Haan. 1995. Speciation and calcium competition on cadmium sorption by sandy soil at various pHs. *Eur. J. of Soil Sci.* 46: 649-655.
- Tsadilas, C. D. , D. Dimoyiannis, and V. Sam aras. 1997. Effect of zeolite application and soil ph on cadmium sorption in soils. *Com m un. Soils. Plant anal.* 28(17&18):1591-1602.
- Tyler, G., and T. Olsson. 2001. Plant uptake of major and minor mineral elements as influenced by soil acidity and liming. *Plant and Soil* 230:307-321.

- Ure, A. M., Ph. Quevauviller, H. Muntau, and B. Griepink. 1993, Speciation of heavy metals in soils and sediments. An account of the improvement and harmonization of extraction techniques undertaken under the auspices of the BCR of the Commission of the European Communities. *Intern. J. Environ. Chem.* 51:135-151.
- Wagner, G. J. 1993. Accumulation of cadmium in crop plants and its consequences to human health. *Adv. Agron.* 51:173-212.
- Wagner, G. J., and R. Yeargan. 1986. Variation in cadmium accumulation potential and tissue distribution of cadmium in tobacco. *Plant Physiol* 82:274-279.
- Wilkens, B J., and P.G. Loch. 1997. Accumulation of cadmium and zinc from diffuse immission on acid sandy soils, as a function of soil composition.
- Wilxon, L. V. and Durum, W. H. (1967). Irrigation of agricultural lands. *Amer. Soc. Agron. Monograph*, 11, Madison, wisc.
- Xue, Q., H. C. Harison. 1991. Effect of soil zinc, pH, and cultivar on cadmium uptake in leaf lettuce (*Lactuca sativa* L. var. *crispa*). *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 22 (9&10):975-991.
- Yang, X. V.C. Baligar, D.C. Martins, and R.B. Clark. 1995. influx, transport and accumulation of cadmium in plant species grown at different Cd<sup>2+</sup> activities. *J. environ. Health.* B 30(4) : 569-583.