

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ

**ΤΜΗΜΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑΚΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΚΑΙ
ΑΝΘΟΚΟΜΙΑΣ**

**«ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ ΤΩΝ
ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΚΑΔΜΙΟΥ ΚΑΙ ΜΟΛΥΒΔΟΥ, Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥΣ
ΣΤΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΘΡΕΠΤΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΤΟΥΣ ΙΣΤΟΥΣ
ΤΟΥ ΜΑΡΟΥΛΙΟΥ (*LACTUCA SATIVA* var. *ROMANA*)»**



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Εισηγητής: Δρ. Πασχαλίδης Χρήστος

Σπουδάστρια: Καλλιγερή Χρυσούλα Αννέτα

Καλαμάτα Νοέμβριος 2006



ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αναφέρεται στην επίδραση του καδμίου και του μολύβδου στην ανάπτυξη, απόδοση και συσσώρευση των θρεπτικών στοιχείων και βαρέων μετάλλων στην καλλιέργεια μαρουλιού.

Η πραγματοποίηση της πτυχιακής εργασίας προέβλεπε την εκτέλεση πειραματικού μέρους με ανάπτυξη φυτών σε δοχεία, λήψη παρατηρήσεων, συγκέντρωση δειγμάτων φυτικών ιστών και εδάφους. Επίσης πραγματοποιήθηκαν εργαστηριακές αναλύσεις για τον προσδιορισμό των μακρο, μικροθρεπτικών στοιχείων και βαρέων μετάλλων στα δείγματα που συλλέχτηκαν.

Η πτυχιακή εργασία αποτελείται από 2 μέρη. Το πρώτο αφορά το φυτό μαρούλι, τις συνθήκες ανάπτυξής του, το ρόλο και την επίδραση στοιχείων στην ανάπτυξη του φυτού. Το δεύτερο μέρος αφορά το πειραματικό μέρος και αποτελείται από την περιγραφή των μεθόδων και των υλικών του πειραματισμού, τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερος τον επιβλέποντα καθηγητή μου δρ. Πασχαλίδη Χρήστο για την συμβολή του τόσο κατά τη διάρκεια εκπόνησης της πειραματικής εργασίας όσο και κατά τη διάρκεια συγγραφής της.

Θερμές ευχαριστίες θα ήθελα επίσης να εκφράσω για τον δρ. Καββαδία Βίκτωρ, επιστημονικό συνεργάτη και ερευνητή του ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε για την πολύτιμη καθοδήγηση και βοήθεια που μου προσέφερε κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την τεχνική βοηθό του εργαστηρίου εδαφολογίας κα. Κορίκη Αντωνία για τις πολύτιμες συμβουλές αλλά και για την αδιάκοπη βοήθεια που μου προσέφερε κατά την διάρκεια διεξαγωγής του πειράματος.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	2
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ	
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	7
1.1. Καταγωγή - Ιστορική διαδρομή – Εξάπλωση.....	9
1.2. Στοιχεία καλλιέργειας μαρουλιού.....	13
1.3 Διατροφική αξία μαρουλιού.....	14
1.4 Στατιστικά στοιχεία.....	17
1.5 Βοτανικά χαρακτηριστικά.....	19
1.5.1. Φυτό.....	19
1.5.2. Φύλλα.....	20
1.5.3.Βλαστός.....	21
1.5.4. Ανθικό στέλεχος.....	21
1.6 Πολλαπλασιασμός.....	22
1.7 Καλλιεργητικές φροντίδες.....	22
1.7.1.Προετοιμασία του εδάφους.....	22
1.7.2 Κλίμα	24
1.7.3 Λίπανση.....	24
1.7.4 Άρδευση.....	27
1.8 Σπορά	29
1.9 Συγκομιδή	31
1.10 Συντήρηση.....	33
1.11 Εχθροί και ασθένειες.....	33
1.11.1. Ζωικοί εχθροί.....	33
1.11.2. Μυκητολογικές ασθένειες.....	33
1.11.3 Βακτηριακές ασθένειες.....	34
1.11.4 Ιώσεις.....	34
1.11.5 Μη Παρασιτικές Ασθένειες.....	35
1.12 Φυτοπροστασία.....	36
1.13 Συμπεριφορά μικροθρεπτικών και βαρέων μετάλλων στο έδαφος.....	36
1.14 Ποσότητες μικροθρεπτικών και βαρέων μετάλλων στο εδαφικό διάλυμα.....	37

1.15 Δέσμευση των μικροθρεπτικών και βαρέων μετάλλων από τη στερεή φάση του εδάφους.....	37
1.16 Πρόσληψη των μικροθρεπτικών και βαρέων μετάλλων από τα φυτά.....	38
2 Βαρέα μέταλλα.....	40
2.1. Κάδμιο.....	40
2.1.1. Εισαγωγή.....	40
2.1.2. Προέλευση του καδμίου - Γεωχημική προέλευση του καδμίου.....	41
2.1.3. Προσθήκη καδμίου στο έδαφος με ατμοσφαιρική απόθεση.....	41
2.1.4. Προσθήκη καδμίου στο έδαφος με λιπάσματα.....	42
2.1.5. Προσθήκη καδμίου στο έδαφος από την ιλύς του βιολογικού καθαρισμού (sewage sludge).....	42
2.1.6. Χημική συμπεριφορά του καδμίου στα εδάφη.....	43
2.1.7. Το κάδμιο στο σύστημα έδαφος – φυτό. Το κάδμιο στα φυτά.....	46
2.1.8. Πρόσληψη και μεταφορά του καδμίου στα φυτά.....	47
2.2. Μόλυβδος.....	48
2.2.1. Εισαγωγή.....	48
2.2.2. Προέλευση του μόλυβδου - Γεωχημική προέλευση του μόλυβδου	48
2.2.3. Προσθήκη μόλυβδου από ατμοσφαιρική απόθεση.....	49
2.2.4. Προσθήκη μόλυβδου από γεωργικές δραστηριότητες.....	49
2.2.5. Προσθήκη μόλυβδου από την ιλύς του βιολογικού καθαρισμού.....	49
2.2.6. Χημική συμπεριφορά του μόλυβδου στο έδαφος.....	50
2.2.7. Ο μόλυβδος στο σύστημα έδαφος – φυτό . Ο μόλυβδος στα φυτά.....	51
2.2.8. Πρόσληψη και μεταφορά του μόλυβδου στα φυτά.....	52
2.3. Ψευδάργυρος.....	53
2.3.1. Εισαγωγή.....	53
2.3.2. Προέλευση του ψευδαργύρου - Γεωχημική προέλευση του Zn.....	54
2.3.3. Χημική συμπεριφορά του ψευδαργύρου στο έδαφος.....	54
2.3.4. Ο ψευδάργυρος στο σύστημα έδαφος – φυτό. Ο ψευδάργυρος στη θρέψη των φυτών.....	56
2.3.5. Πρόσληψη και μεταφορά του ψευδαργύρου στα φυτά.....	57
3. Ιχνοστοιχεία.....	58
3.1. Μαγγάνιο (Mn).....	58
3.1.1. Το μαγγάνιο στο σύστημα έδαφος – φυτό . Το μαγγάνιο στη θρέψη των φυτών.....	59

3.1.2. Πρόσληψη και μεταφορά του μαγγανίου στα φυτά.....	60
3.2. Χαλκός (Cu).....	61
3.2.1. Ο χαλκός στο σύστημα έδαφος-φυτό - Ο χαλκός στη θρέψη των φυτών....	61
3.2.2. Πρόσληψη και μεταφορά του χαλκού στα φυτά.....	62
3.3. Σίδηρος.....	63
3.3.1. Ο σίδηρος στο σύστημα έδαφος-φυτό.....	63
3.3.2 Πρόσληψη και μεταφορά του σιδήρου στα φυτά.....	64

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

Πειραματικό μέρος	66
Εισαγωγή.....	66
Στόχοι του πειράματος.....	67
Πειραματικό σχέδιο.....	68
Υλικά και μέθοδοι-Περιγραφή φυτικού υλικού.....	68
Προετοιμασία του πειραματικού. Πειραματικό σχέδιο.....	69
Προσδιορισμός ιχνοστοιχείων στους φυτικούς ιστούς με τη μέθοδο αποτέφρωσης.....	69
Προσδιορισμός ιχνοστοιχείων στο έδαφος με τη μέθοδο DTPA.....	70
Διαδικασία προσδιορισμού.....	71

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

Εδαφικά χαρακτηριστικά.....	72
Ηλεκτρική αγωγιμότητα στο έδαφος, E.C. (mS/cm).....	72
pH στο έδαφος.....	74
Οργανική ουσία στο έδαφος.....	75
Ολικό ανθρακικό ασβέστιο CaCO ₃ (gr%).....	76
Αφομοιώσιμος Φώσφορος στο έδαφος P-Olsen (ppm).....	77
Αφομοιώσιμο Κάλιο στο έδαφος, K (meq/100gr).....	78
Ανταλλάξιμο ασβέστιο στο έδαφος, Ca (meq/100gr).....	79
Ανταλλάξιμο μαγνήσιο στο έδαφος, Mg (meq/100gr).....	80
Ανταλλάξιμο νάτριο στο έδαφος, Na (meq/100gr).....	81
Αφομοιώσιμος μόλυβδος στο έδαφος, Pb.....	82

Αφομοιώσιμο κάδμιο στο έδαφος, Cd.....	83
Αφομοιώσιμος χαλκός στο έδαφος, Cu.....	84
Αφομοιώσιμο μαγγάνιο στο έδαφος, Mn.....	85
Αφομοιώσιμος σίδηρος στο έδαφος, Fe.....	86
Αφομοιώσιμος ψευδάργυρος στο έδαφος, Zn.....	87
Αυξητικές παράμετροι.....	88
Αριθμός φύλλων/φυτό.....	88
Ύψος φύλλων/φυτό.....	89
Παραγωγή σε υπέργεια νωπή μάζα (γρ./φυτό).....	90
Παραγωγή σε υπέργεια ξηρή μάζα (γρ./φυτό).....	91
Ξηρό και νωπό βάρος ριζών (γρ./φυτό).....	92
Χημική σύσταση φυτών.....	94
Συγκέντρωση Pb (ppm) στο υπέργειο τμήμα.....	94
Συγκέντρωση Cd (ppm) στο υπέργειο τμήμα.....	95
Συγκέντρωση Cu (ppm) στο υπέργειο τμήμα.....	96
Συγκέντρωση Mn (ppm) στο υπέργειο τμήμα.....	97
Συγκέντρωση Fe (ppm) στο υπέργειο τμήμα.....	98
Συμπεράσματα.....	99
Βιβλιογραφία.....	100

ΜΑΡΟΥΛΙ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τελευταία χρόνια στην Ελλάδα αλλά και διεθνώς έχει παρατηρηθεί μια σημαντική αλλαγή στις διατροφικές συνήθειες των ανθρώπων που ανάμεσα στα άλλα, περιλαμβάνει και μια πολύ πιο ενεργή συμμετοχή των λαχανικών στο καθημερινό διαιτολόγιο. Έχει γίνει πιο γνωστή και έχει εκτιμηθεί περισσότερο όχι μόνο η θρεπτική τους αξία και η υψηλή περιεκτικότητά τους σε βιταμίνες, αλλά και ο θετικός ρόλος τους ως χονδροειδής τροφές. Ανάμεσα στα λαχανικά το μαρούλι με την λεπτή του γεύση καταλαμβάνει κυρίαρχη θέση στην προτίμηση του καταναλωτικού κοινού και ίσως είναι το πιο διαδεδομένο σαλατικό. Η καλλιέργεια του στην Ελλάδα φτάνει περίπου τα 39000 στρέμματα με μία παραγωγή 69000 τόνους. Η κύρια καλλιέργεια έχει επεκταθεί όλο σχεδόν το χρόνο, με τη χρήση μεταφυτευμένων φυτών από νέες ποικιλίες, οι οποίες δεν βγάζουν εύκολα άνθη σε υψηλές θερμοκρασίες. Μεταξύ των διαφόρων καλλιεργητικών επεμβάσεων η λίπανση είναι ένας από τους κύριους παράγοντες της καλλιέργειας, ο οποίος σχετίζεται άμεσα με την απόδοση. Στη χώρα μας δεν υπάρχουν πολλά επιστημονικά δεδομένα λίπανσης του μαρουλιού. Έτσι ο παραγωγός κάνει εμπειρική λίπανση που πολλές φορές δεν προσεγγίζει με ακρίβεια την άριστη ποσότητα της λίπανσης, την οποία θα πρέπει να εφαρμόσει για να έχει το άριστο οικονομικά αποτέλεσμα, καθώς και να μην επιβαρύνει το προϊόν και το περιβάλλον με νιτρικά.

Ως οικονομικά άριστη λίπανση αναφέρεται η λίπανση, με την οποία ο παραγωγός θα επιτύχει το άριστο οικονομικά αποτέλεσμα, το οποίο πολλές φορές δεν συμπίπτει με την μέγιστη παραγωγή. Επιπλέον, μετά την ανάπτυξη της νομοθεσίας από την Ε.Ε. η οποία σχετίζεται τόσο με την μικρή περιεκτικότητα του προϊόντος σε νιτρικά όσο και με την μικρή επιβάρυνση του περιβάλλοντος, θα πρέπει σε πολλές καλλιέργειες να μιλάμε πλέον και για περιβαλλοντικά άριστη απόδοση. Δηλαδή, για μια απόδοση, η οποία θα εξασφαλίζει την μέγιστη απόδοση και όμως δεν επιβαρύνει το περιβάλλον.

Τα βαρέα μέταλλα και μεταλλοειδή που παρουσιάζουν ενδιαφέρον για τη μελέτη των επιπτώσεων στην υγεία του ανθρώπου, ως και στη ρύπανση των αγροτικών προϊόντων

και στην οικοτοξικολογία, είναι το κάδμιο, ο μόλυβδος, το σελήνιο, το νικέλιο, το χρώμιο, το αρσενικό, ο υδράργυρος, το θάλλειο, το ουράνιο, το κοβάλτιο, κ.λ.π.

Όταν τα στοιχεία Fe, Mn, Cu, Mo και B είναι σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις στο έδαφος ή σε θρεπτικά διαλύματα υδρολίπανσης των καλλιεργειών, εμφανίζονται συμπτώματα τροφοπενιών στα φύλλα των φυτών, χαρακτηριστικά για κάθε στοιχείο. Η έλλειψη αυτή προκαλεί τροφικές ανωμαλίες ως και υποβάθμιση της ποιότητας των προϊόντων και μείωση της παραγωγής των φυτών. Στην περίπτωση αυτή, τα στοιχεία αυτά χαρακτηρίζονται ως μικροθρεπτικά. Είναι γνωστό ότι στα μικροθρεπτικά υπάγονται και τα μη μεταλλικά στοιχεία βόριο και χλώριο. Όταν όμως τα στοιχεία αυτά βρίσκονται σε υψηλές συγκεντρώσεις στο έδαφος ή στο ύδωρ αρδεύσεως, ενδέχεται να προκαλέσουν τοξικά συμπτώματα στα φυτά.

Το ύδωρ αρδεύσεως που περιέχει από $0,75 \text{ mg L}^{-1}$ βόριο, πρέπει να χρησιμοποιείται με μεγάλη προσοχή. Το βόριο όταν βρίσκεται σε ύδωρ αρδεύσεως σε συγκέντρωση $0,2 \text{ mg L}^{-1}$ θεωρείται μικροθρεπτικό στοιχείο για τα φυτά και δεν προκαλεί τοξικά συμπτώματα, ενώ όταν βρίσκεται σε συγκέντρωση $1-2 \text{ mg L}^{-1}$ είναι επιβλαβές.

Τα βαρέα μέταλλα και τα μεταλλοειδή όταν βρίσκονται σε υψηλές συγκεντρώσεις στο έδαφος είναι λίαν τοξικά, τόσο για το περιβάλλον όσο και για τους ζωντανούς μικροοργανισμούς. Οι παράγοντες που ελέγχουν τις συνολικές και βιοδιαθέσιμες συγκεντρώσεις των μικροθρεπτικών, των βαρέων μετάλλων και μεταλλοειδών στα εδάφη, παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον σε σχέση με την ανθρώπινη τοξικολογία και την ανθρώπινη παραγωγικότητα. Παρά το γεγονός ότι το έδαφος είναι μια δεξαμενή πολλών και ποικίλων ρυπαντών, εντούτοις λειτουργεί και ως προστατευτικό φίλτρο των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων από πιθανή εισροή ρυπαντών. (Alloway, 1996b).

Στην πτυχιακή αυτή θα αναφερθεί λεπτομερώς η συμπεριφορά του καδμίου και του μόλυβδου, τόσο στο έδαφος όσο και στα φυτά.

1.1 ΚΑΤΑΓΩΓΗ –ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΔΡΟΜΗ –ΕΞΑΠΛΩΣΗ

Το καλλιεργούμενο μαρούλι (*Lactuca sativa* L.) θεωρείται ότι κατά πάσα πιθανότητα προήλθε από το άγριο μαρούλι *Lactuca serriola* ή *Scariola* L., το οποίο συναντάται ως ζιζάνιο σε πολλές περιοχές της Ευρώπης, ή κατόπιν διασταυρώσεων με τα άγρια είδη *L. saligna* και *L. virosa*. Υπάρχουν πάνω από εκατό είδη στο γένος *Lactuca*. Το μαρούλι ανήκει στη μεγαλύτερη βοτανική οικογένεια των φυτών, τα σύνθετα (*Compositae*) και στην υποδιαίρεση *Liguliflorae*, στην οποία τα ανθίδια έχουν χαρακτηριστικό σχήμα που μοιάζει σαν λουρί, και στους βλαστούς και τα φύλλα σχηματίζεται ένας γαλακτώδης χυμός (*Latex*). Συγγενικά είδη με το μαρούλι είναι το κichώριο (*chicory*), το αντίδι, κ.α. (*Ryder and Whitaker, 1976*).

Το μαρούλι τύπου *Cos* πιστεύεται ότι έχει διαδοθεί από την Ελλάδα και το όνομα του τύπου προέρχεται από την νήσο Κω, που βρίσκεται στο Αιγαίο Πέλαγος. Επίσης, χώροι προέλευσης του μαρουλιού θεωρούνται οι περιοχές της Ανατολικής Μεσογείου, Μικράς Ασίας, Καυκάσου, Περσίας και Τουρκιστάν. Στην Ελλάδα, όπως αναφέρει ο Καββαδάς (1956), αυτοφύονται 9 είδη του γένους *Lactuca*.

Ζωγραφιές του μαρουλιού τύπου *Cos* έχουν βρεθεί σε επιτύμβιες πλάκες στην Αίγυπτο από το 4.500 π.χ. και είναι γνωστό ότι το μαρούλι χρησιμοποιείται πάρα πολύ στη διατροφή του ανθρώπου πάνω από 2.000 χρόνια. Πολύ πριν από τη χρήση του σαν τροφή χρησιμοποιείτο για τις φαρμακευτικές του ιδιότητες (έχει ναρκωτικές και παυσίπονες ιδιότητες).

Ο χυμός του ήμερου μαρουλιού *L. sativa* καθώς και των *L. virosa* (λακτούκη η τοξική) και *L. capitata*, είναι φαρμακευτικός, λαμβάνεται δε από τομές που γίνονται στον ανθοφόρο βλαστό του φυτού. Φαρμακευτικό είναι επίσης και το "θριδάκινο ύδωρ", το οποίο λαμβάνεται μετά από απόσταξη των φύλλων του μαρουλιού. Τέλος, με σύνθλιψη του ανθοφόρου βλαστού λαμβάνεται η "θριδακία" (γαλλ. *tridace*), η οποία χρησιμοποιείται στην κατασκευή του φημισμένου σαπουνιού "tridace" (Γεννάδιο ς, 1959).

Αναφέρεται ότι οι Πέρσες το καλλιεργούσαν τον 6^ο π.Χ. αιώνα. Επίσης, ήταν γνωστό στους Αρχαίους Έλληνες και Ρωμαίους και αναφέρεται από τους Ηρόδοτο, Θεόφραστο, Διοσκουρίδη κ.α. με το όνομα "Θριδάξ" ή "Θριδακίνη", ενώ οι Κύπριοι το ονόμαζαν "Βρένθις". Ο Θεόφραστος το περιγράφει σαν λαχανικό "επίσπορο", ότι δηλ. μπορεί να σπαρθεί πολλές φορές μέσα σε ένα έτος και μάλιστα περιγράφει τέσσερα διαφορετικά είδη. Στην Κίνα μεταφέρθηκε το 900 μ.Χ.

Στην Αγγλία αναφέρεται για πρώτη φορά το κεφαλωτό μαρούλι το 1543. Στη Γαλλία, και ιδιαίτερα στην περιοχή του Παρισιού, για εκατοντάδες χρόνια εφαρμοζόταν μια εξειδικευμένη μέθοδος καλλιέργειας μαρουλιού σε 'τζάκια" με θερμοστρωμένες από ζυμούμενη κοπριά.

Σήμερα το μαρούλι, σε αντίθεση με πολλά άλλα λαχανικά που καλλιεργούνται σε εξειδικευμένες περιοχές, έχει διαδοθεί και καλλιεργείται σχεδόν σε όλα τα γεωγραφικά πλάτη και μήκη της υφηλίου ως ετήσιο λαχανικό (Πίνακας 9.1).

Στην Ασία παράγεται το 50% περίπου της παγκόσμιας παραγωγής, ενώ το 27% και 20% στη Β. & Κ. Αμερική και Ευρώπη αντίστοιχα. Η Κίνα και οι Η.Π.Α. είναι οι κυριότερες χώρες παραγωγής σε διεθνές επίπεδο, ενώ η Ιταλία, η Ισπανία και η Γαλλία σε ευρωπαϊκό επίπεδο.

Όσον αφορά την διακίνηση (εισαγωγές-εξαγωγές) μαρουλιού στην Ευρώπη, Β. Αφρική και Μέση Ανατολή, φαίνεται από τον Πίνακα 9.2 ότι η Γερμανία και το Ηνωμένο Βασίλειο εισάγουν μεγάλες ποσότητες, ενώ η Ισπανία και η Ολλανδία εξάγουν τις μεγαλύτερες ποσότητες.

Στην Ελλάδα το μαρούλι καλλιεργείται κυρίως σαν υπαίθρια καλλιέργεια σχεδόν όλη τη διάρκεια του χρόνου, αλλά κυρίως από νωρίς το φθινόπωρο μέχρι αργά την άνοιξη. Το καλοκαίρι η παραγωγή περιορίζεται σημαντικά, λόγω των προβλημάτων που δημιουργούνται (σχηματισμός ανθικών στελεχών) από τις υψηλές θερμοκρασίες και το μεγάλο μήκος ημέρας, πρόβλημα που γίνονται προσπάθειες να ξεπεραστεί με την επιλογή ποικιλιών ανθεκτικών στον πρώιμο σχηματισμό ανθικών στελεχών. Η ζήτηση μαρουλιού είναι πάρα πολύ μεγάλη και το καλοκαίρι. Εκτός από τις υπαίθριες καλλιέργειες τα τελευταία χρόνια καλλιεργείται μαρούλι και στα θερμοκήπια κατά τη διάρκεια του χειμώνα, γιατί η ανάπτυξη γίνεται πιο γρήγορα, παράγεται προϊόν πολύ καλής ποιότητας και εκτός από την καλλιέργεια στο έδαφος του θερμοκηπίου παρέχεται η δυνατότητα της ανάπτυξης των φυτών σε υδροπονικές καλλιέργειες και κυρίως στο NFT (θρεπτικό διάλυμα λεπτής στοιβάδας). Το μαρούλι καλλιεργείται σε όλες τις περιοχές της Ελλάδας, οι μεγαλύτερες όμως εκτάσεις συγκεντρώνονται γύρω από τα μεγάλα αστικά κέντρα όπου βρίσκονται και οι περισσότεροι καταναλωτές (Πίνακες 9.3 & 9.4).

Το παραγόμενο μαρούλι καταναλίσκεται αποκλειστικά στη ντόπια αγορά. Εξαγωγές δεν γίνονται, θα μπορούσε όμως να καλλιεργηθεί (οι τύποι που προτιμώνται) και για εξαγωγές στις χώρες της Β. Ευρώπης κατά τον χειμώνα, λόγω των πλεονεκτημάτων που παρουσιάζει η χώρα (κλίμα κ.λπ.).

Πίνακας 1.1.1: Παγκόσμια έκταση και παραγωγή μαρουλιού

	Έκταση ⁽¹⁾ x 1000 στρ.	Παραγωγή ⁽¹⁾ x 1000 MT*	% του συνόλου της παραγωγής
Παγκόσμια	6.887	15.263	100
Κατά Ήπειρο			
Αφρική	94	200	1,3
B. & K. Αμερική	1.269	4.205	27,6
N. Αμερική	112	134	0,9
Ασία	4.049	7.456	49,4
Ευρώπη	1.299	3.124	20,5
Ωκεανία	63	144	0,9
Κυριότερες Χώρες Παραγωγής			
1. Κίνα	2.200	5.500	36,0
2. Η.Π.Α.	1.136	3.949	25,9
3. Ισπανία	350	950	6,2
4. Ιταλία	481	851	5,6
5. Ινδία	1.160	765	5,0
6. Ιαπωνία	270	550	3,6
7. Γαλλία	180	480	3,1
8. Τουρκία	130	225	1,5
9. Ηνωμένο Βασίλειο	74	219	1,4
10. Κορέα	94	194	1,3
Χώρες Ε.Ε.			
1. Ισπανία	350	950	2,7
2. Ιταλία	481	851	1,8
3. Γαλλία	180	480	2,7
4. Ηνωμένο Βασίλειο	74	219	3,0
5. Βέλγιο & Λουξεμβούργο	25	173	6,3
6. Γερμανία	58	137	2,3
7. Ελλάδα	40	85	2,1
8. Ολλανδία	18	80	4,5
9. Πορτογαλία	14	32	2,3

Πίνακας 1.1.2 : Διακίνηση μαρουλιού στην Ευρώπη, Β. Αφρική και Μ. Ανατολή, κατά το έτος 1996.

	Εισαγωγή		Εξαγωγή	
	Ποσότητα ΜΤ*	Αξία \$ 1000**	Ποσότητα ΜΤ*	Αξία \$ 1000**
Ευρώπη				
Γερμανία	256.673	351.326	3.592	4.312
Ηνωμένο Βασίλειο	122.358	144.974	4.988	5.138
Γαλλία	47.958	46.757	64.427	119.360
Ολλανδία	41.713	51.179	113.282	160.761
Αυστρία	39.538	37.449	731	906
Ελβετία	39.076	65.373	11	20
Βέλγιο-Λουξεμβούργο	26.998	39.240	76.864	123.738
Σουηδία	26.654	37.323	221	277
Ιταλία	22.123	33.470	117.936	147.797
Φινλανδία	12.428	11.658	146	368
Δανία	10.928	14.624	590	851
Σλοβενία	8.760	10.523	33	9
Ισπανία	7.203	6.887	326.832	272.491
Ιρλανδία	5.880	10.181	290	684
Νορβηγία	4.027	6.692	93	212
Κροατία	2.075	2.501	38	30
Δημοκρατία της Τσεχίας	1.582	1.912	5	22
Πολωνία	1.860	1.166	180	661
Πορτογαλία	1.405	2.734	395	1.238
Ελλάδα	804	806	62	86
Χώρες Β. Αφρικής & Μ. Ανατολής				
Σαουδική Αραβία	13.875	5.679	1.118	579
Κουβέιτ	7.703	4.358	0	0
Μπαχρέιν	5.781	2.508	-	-
Κατάρ	2.395	574	-	-
Λίβανος	-	-	14.000	4.800
Ιορδανία	-	-	11.424	1.629

Πηγή: *FAO Production Yearbook* (1996)

* *ΜΤ*: Μετρικοί Τόνοι

* *Αξία* : Αξία σε χιλιάδες δολάρια

1.2 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΜΑΡΟΥΛΙΟΥ

Το μαρούλι είναι το σημαντικότερο φυλλώδες λαχανικό που χρησιμοποιείται ναπό σε σαλάτα στην Ελλάδα, κυρίως από το φθινόπωρο μέχρι την άνοιξη. Σημαντικό επίσης είναι σε πάρα πολλές χώρες του κόσμου όπως οι Η.Π.Α., οι χώρες της Κ. Ευρώπης, η Αυστραλία, η Νέα Ζηλανδία, η Ιαπωνία. Είναι κατά κανόνα υπαίθρια καλλιέργεια, αλλά καλλιεργείται και σε Θερμοκήπια, σε χώρες όπου ο χειμώνας είναι πάρα πολύ ψυχρός, όπως στις Β. χώρες της Ευρώπης, στον Καναδά, στη Β. Αμερική κ.λπ. Η ζήτηση και κατανάλωση μαρουλιού έχει σχέση με τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν. Για παράδειγμα, καλός καιρός προτρέπει τους καταναλωτές να φτιάχνουν σαλάτες, με αποτέλεσμα η ζήτηση να ανέρχεται, και αντίστροφα. Οι εκτάσεις και η παραγωγή υπαίθριας και θερμοκηπιακής καλλιέργειας μαρουλιού στην Ελλάδα την περίοδο 1980-97 δίνονται στον Πίνακα 1.2.1. και η κατανομή κατά γεωγραφικό διαμέρισμα υπαίθριας καλλιέργειας σε υψηλά Θερμοκήπια και χαμηλά σκέπαστρα δίνεται στον Πίνακα 1.2.2.

Σύμφωνα με στοιχεία της Εθνικής Στατιστικής υπηρεσίας κατά τη διάρκεια του 1999 εισήχθηκαν από χώρες της Ε.Ε. και τρίτες χώρες 1.444 τον. μαρουλιού, ενώ παράλληλα την αντίστοιχη περίοδο εξήχθηκαν 142 τον.

Πίνακας 1.2.1.: Έκταση και παραγωγή υπαίθριας και θερμοκηπιακής καλλιέργειας μαρουλιού στην Ελλάδα, στη χρονική περίοδο 1980-1997.

	Θερμοκηπίου		Υπαίθρια		Όλική	
	Έκταση (στρ.)	Παραγωγή (τον.)	Έκταση (στρ.)	Παραγωγή (τον.)	Έκταση (στρ.)	Παραγωγή (τον.)
1980	100	210	27.200	54.910	27.300	55.020
1981	400	840	25.970	53.830	26.370	54.670
1982	600	1.520	26.190	55.300	26.790	56.820
1983	650	1.610	27.590	56.960	28.240	58.570
1984	240	460	28.230	57.860	28.470	58.320
1985	370	710	26.980	57.360	27.350	58.070
1986	400	810	28.450	58.120	28.850	58.930
1987	460	980	31.640	67.290	32.100	68.270
1988	600	750	29.260	56.750	29.860	57.800
1989	560	500	31.080	61.890	31.640	62.390
1990	450	1.110	30.960	60.770	31.410	61.880
1991	560	1.380	32.180	62.390	32.740	63.770
1992	1.090	2.130	34.350	69.400	35.540	71.530
1993	1.010	1.989	33.630	69.220	34.440	71.020
1994	670	1.470	35.780	74.070	36.450	75.540
1995	700	1.680	32.980	63.900	33.680	65.580
1996	740	2.420	35.330	67.030	36.070	69.450
1997	1.420	4.020	32.810	61.540	34.230	65.560

Πηγή: Στατιστική Υπηρεσία Υπουργείου Γεωργίας

1.3 ΔΙΑΤΡΟΦΙΚΗ ΑΞΙΑ ΜΑΡΟΥΛΙΟΥ

Το μαρούλι τύπου *Cos* ή *Romaine* είναι πιο θρεπτικό από τους κεφαλωτούς τύπους μαρουλιού, γιατί έχει υψηλότερη περιεκτικότητα σε βιταμίνες Α και C. Το μαρούλι επίσης είναι μια καλή πηγή Ca και P. Η περιεκτικότητα των διαφόρων τύπων μαρουλιού σε διάφορα στοιχεία παρουσιάζεται στον πίνακα 9.5.

Το μαρούλι ως νωπό λαχανικό είναι μια από τις πιο υγιεινές τροφές που μπορεί να

αποτελέσει μέρος του καθημερινού διαιτολογίου του ανθρώπου. Προσφέρει αρκετές ποσότητες βιταμίνης Α, σιδήρου, ασβεστίου, καλίου και φωσφόρου, ενώ ταυτόχρονα η περιεκτικότητα του σε λίπη, υδατάνθρακες και ενέργεια είναι σχεδόν ασήμαντη. Υστερεί σε οργανοληπτικές ιδιότητες έναντι του άλλου ωμού φυλλώδους κηπευτικού, του λάχανου, του οποίου όμως η περιεκτικότητα σε βιταμίνη Α είναι σχεδόν υποδεκαπλάσια. Με εξαίρεση και την περιεκτικότητα της βιταμίνης C στην οποία το λάχανο είναι πλουσιότερο κατά πέντε περίπου φορές, τα δύο λαχανικά (μαρούλι και λάχανο) είναι σχεδόν ισοδύναμα διαιτητικά. Όμως στο μαρούλι αποδίδονται και φαρμακευτικές ιδιότητες στις οποίες ενδόμυχα πολύ υπολογίζουν οι καταναλωτές.

Στην χώρα μας στην προτίμηση των καταναλωτών βρίσκεται ο τύπος μαρουλιού Ρωμάνα και τα τελευταία χρόνια υπάρχει κάποια στροφή και προς τον τύπο Κεφαλωτού (*Butterhead*). Η κατανάλωση των άλλων τύπων μαρουλιού είναι ελάχιστη και για την κάλυψη των αναγκών, ιδιαίτερα των αλλοδαπών που ζουν ή παραθερίζουν στην χώρα μας, γίνονται και εισαγωγές από άλλες χώρες της Ε.Ε.

Πίνακας 1.3.1. : Τύποι μαρουλιού και χαρακτηριστικά τους

Στοιχεία	Κεφαλωτό (Butterhead)	Τύπος μαρουλιού Ρωμάνα (Cos or Romaine)	Κατσαρό Κεφαλωτό (Crispead)
Ενέργεια (θερμίδες)	11,00	16,00	11,0
Νερό (g)	96,00	94,00	95,0
Πρωτεΐνες (g)	1,20	1,60	0,8,0
Λίπη (g)	0,20	0,20	0,10
Υδατάνθρακες (g)	1,20	2,10	2,30
Βιταμίνη Α (IU) (mg)	1200,0	2600,0	300,0
« Β1 (mg)	0,07	0,10	0,07
« Β2 (mg)	0,07	0,10	0,03
« C (mg)	9,00	24,0	5,0
Νιασίνη (mg)	0,40	0,50	0,30
Άλατα Ca (mg)	40	60	13
« Fe (mg)	1,1	1,1	1,5
« Mg (mg)	16	6	7
« P (mg)	31	45	25

Πηγή : Howard et al., (1962)

Πίνακας 1.2.2.: Έκταση και παραγωγή μαρουλιού σε θερμοκήπια κατά γεωγραφικό διαμέρισμα στην Ελλάδα, κατά τις καλλιεργητικές περιόδους 1992-1993 και 1996-1997.

Γεωγραφικό Διαμέρισμα	1993			1997		
	Έκταση (στρ.)	Παραγωγή (τον.)	Αποδόσεις (τον./στρ.)	Αποδόσεις (τον./στρ.)	Παραγωγή (τον.)	Αποδόσεις (τον./στρ.)
Α.Μακεδονία- Θράκη	263	617	2,35	253	588	2,32
Δ.&Κ. Μακεδ.	490	830	1,69	735	920	1,25
Ήπειρος	71	136	1,91	64	100	1,56
Θεσσαλία	78	110	1,41	46	72	1,56
Πελοπόννησος						
Δ. Στερεά	25	95	3,80	39	83	2,13
Αττική-Νήσοι	83	201		286	2.259	7,90*
Σύνολο χώρας	1.010	1.989	2,42	1.423	4.022	

Πηγή: Στατιστική Υπηρεσία Υπουργείου Γεωργίας

* Η μέση παραγωγή στην περιοχή Αττικής και Νήσων ήταν υψηλή λόγω της υψηλής εντατικοποίησης της καλλιέργειας με υδροπονικές και άλλες μεθόδους.



Τα μαρούλια *Lactuca Sativa* ανήκουν στην οικογένεια των συνθέτων *Compositae*. Στην Ελλάδα καλλιεργείται σε έκταση 35.000 στρεμμάτων με παραγωγή 65.000 τόνους και διάθεση αποκλειστικά για τις εγχώριες ανάγκες.

1.4 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Το μαρούλι είναι το σημαντικότερο φυλλώδες λαχανικό που χρησιμοποιείται νωπό, σε σαλάτα στην Ελλάδα, κυρίως από το φθινόπωρο μέχρι την άνοιξη.

Στην Ελλάδα το μαρούλι καλλιεργείται κυρίως σαν υπαίθρια καλλιέργεια, σχεδόν καθ'όλη τη διάρκεια του χρόνου αλλά κυρίως από νωρίς το φθινόπωρο μέχρι αργά την άνοιξη. Οι εκτάσεις και η παραγωγή υπαίθριας και θερμοκηπιακής καλλιέργειας μαρουλιού την περίοδο 1980-2000 στην Ελλάδα παρουσιάζεται στον πίνακα 4.

Το καλοκαίρι η παραγωγή περιορίζεται σημαντικά λόγω των προβλημάτων που δημιουργούνται εξαιτίας των υψηλών θερμοκρασιών και του μεγάλου μήκους ημέρας (σχηματισμός ανθικών στελεχών και λήθαργος σπόρων). Τα τελευταία χρόνια το μαρούλι καλλιεργείται σε θερμοκήπιο κατά την διάρκεια του χειμώνα. Καλλιεργείται σε όλες τις περιοχές της Ελλάδας, αλλά ειδικά σε εκτάσεις γύρω από μεγάλα αστικά κέντρα, όπου υπάρχει και μεγαλύτερη κατανάλωση.

Πίνακας 1.4.1.: Έκταση και παραγωγή καλλιέργειας μαρουλιού, στη χρονική περίοδο 1990-2003.

ΕΤΟΣ	ΕΚΤΑΣΗ(ΣΤΡΕΜΜΑΤΑ)	ΠΑΡΑΓΩΓΗ (ΤΟΝΟΙ)
1990	29,704	73,646
1991	28,867	74,572
1992	31,678	62,131
1993	32,732	63,774
1994	34,690	70,212
1995	34,460	69,215
1996	36,460	75,443
1997	33,670	65,580
1998	36,080	69,450
1999	37,700	69,300
2000	37,300	69,340
2001	37,550	69,390
2002	38,600	70,215
2003	38,950	70,455

Σύμφωνα με τα στοιχεία του Υπουργείου Γεωργίας, στον πίνακα φαίνεται η κατανομή παραγωγής και υπαίθριας καλλιέργειας μαρουλιού κατά γεωγραφικό διαμέρισμα.

Πίνακας 1.4.2.: Έκταση και παραγωγή υπαίθριας καλλιέργειας μαρουλιού κατά γεωγραφικό διαμέρισμα στην Ελλάδα, στην χρονική περίοδο 2000.

ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑ	ΕΚΤΑΣΗ(ΣΤΡΕΜΜΑΤΑ)	ΠΑΡΑΓΩΓΗ(τον./στρ.)
Ανατολική Μακεδονία και Θράκη	8,020	12,640
Δυτική και Κεντρική Μακεδονία	1,210	1,675
Ηπείρου	3,010	5,580
Θεσσαλίας	14,840	33,490
Πελοποννήσου και Δυτικής Στερεάς.	13,860	14,990
Αττικής και Νήσων	1,420	1,840
Σύνολο χώρας	42,360	70,215

Η ζήτηση και κατανάλωση μαρουλιού έχει σχέση με τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν. Για παράδειγμα καλός καιρός προτρέπει τους καταναλωτές να φτιάχνουν σαλάτες με αποτέλεσμα η ζήτηση να ανέρχεται, και αντίστροφα.

1.5 ΒΟΤΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

1.5.1. ΦΥΤΟ

Το μαρούλι είναι φυτό μονοετές, ο σπόρος είναι αχαίνιο.

Το μαρούλι είναι διπλοειδές με $2n=18$ και τετραπλοειδές με $4n=36$ χρωματοσώματα. Το φυτό είναι ποώδες με πασσαλώδη ρίζα η οποία κατά τη μεταφύτευση καταστρέφεται εν μέρει και αντικαθίσταται από ένα θυσανώδες επιπόλαιο ριζικό σύστημα.

1.5.2. ΦΥΛΛΑ



Τα φύλλα φυτρώνουν από κοντό στέλεχος και είναι πλατιά, διάφορου μεγέθους και σχήματος με επιφάνεια λεία ή σγουρή και χρώμα πράσινο ή πρασινοκίτρινο και σε μερικές ποικιλίες με κοκκινωπές αποχρώσεις.



Κατά την ωρίμανση, τα φύλλα αλληλοεπικαλυπτόμενα σχηματίζουν σφαιρική ή επιμήκη κεφαλή, χαλαρή ή συνεκτικότερη αναλόγως του τύπου.



Κατά την άνθιση το στέλεχος του φυτού επιμηκύνεται μέχρι ύψους 50 έως 150 cm και σχηματίζει ταξιανθία. Τα άνθη είναι μικρά, κίτρινα, συνήθως αυτογονιμοποιούμενα.

Τα φύλλα αναπτύσσονται σπειροειδώς επί του κοντού βλαστού και είναι λεία, πλατιά διαφόρου μεγέθους και σχήματος, ωσειδή, καρδιοειδή, επιμήκη, είναι ακέραια ή κυματοειδή ή ακανόνιστα οδοντωτά. Τα πρώτα φύλλα είναι σχεδόν επίπεδα, ενώ τα επόμενα φύλλα σχηματίζουν, ανάλογα με τον τύπο και την ποικιλία, διαφόρου βαθμού κύρτωση και καλύπτει το ένα το άλλο σχηματίζοντας κεφαλή. Το χρώμα ανάλογα με τον τύπο και την ποικιλία κυμαίνεται από βαθύ πράσινο ή πρασινοκίτρινο ή με απόχρωση κοκκινωπή (περιέχουν την χρωστική ουσία ανθοκυανίνη).

1.5.3. ΒΛΑΣΤΟΣ

Κατά τη διάρκεια της βλαστικής φάσης είναι πολύ κοντός και φέρει πυκνά φύλλα, ενώ και κατά την παραγωγική φάση αναπτύσσεται σημαντικά φτάνοντας 1-1.5 m σε ύψος.

1.5.4. ΑΝΘΙΚΟ ΣΤΕΛΕΧΟΣ

Το ανθικό στέλεχος (ανθοφόρος βλαστός) έχει ύψος 60-120 cm, είναι όρθιο, χωρίς άκανθες, διακλαδιζόμενο και πολύφυλλο.

Ο βλαστός φέρει γύρω του ταξιανθίες-κεφαλές υπό μορφή κορυμβόμορφου βότρου ή φόβη. Κάθε άνθος είναι σύνθετο και φέρει 15-24 ανθίδια που έχουν κίτρινο χρώμα με στεφάνη που αποτελείται από 5 πέταλα, 5 στήμονες και μια ωοθήκη το καθένα.

Το μαρούλι αυτογονιμοποιείται. Όλα τα ανθίδια σε ένα άνθος ανοίγουν ταυτόχρονα σχεδόν και τα στίγματα είναι επιδεικτικά επικονίασης μόνο για μερικές ώρες το πρωί. Ο στύλος μεγαλώνει και ταυτόχρονα οι ανθήρες ανοίγουν αφήνοντας τη γύρη να πέσει μέσα στον κώνο των ανθίρων και επάνω στο στίγμα το οποίο επίσης ανοίγει επιτρέποντας έτσι τη γονιμοποίηση.

Η σταυρεπικονίαση είναι δύσκολο να γίνει και αφενός τα έντομα δεν ελκύονται από τα άνθη των μαρουλιών, αφετέρου λόγω της ιδιαίτερης κατασκευής και λειτουργίας του άνθους.

Η παραγωγή υβριδισμένου σπόρου στο μαρούλι δεν είναι εύκολη κυρίως λόγω αυτογονιμοποίησης, και για τον λόγο αυτό δεν κυκλοφορούν πολλά υβρίδια

1.6 ΠΟΛΛΑΠΛΑΣΙΑΣΜΟΣ

Σε γενικές γραμμές, το μαρούλι πολλαπλασιάζεται με σπόρο και είτε γίνεται απ'ευθείας σπορά στο χωράφι, μέθοδος που σπάνια ακολουθείται ή συνηθέστερα αναπτύσσονται φυτάρια σε σπορεία και ακολουθεί μεταφύτευση. Για καλλιέργειες στα θερμοκήπια εφαρμόζεται αποκλειστικά η μέθοδος της μεταφύτευσης.

Οι κυριότερες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται είναι οι εξής:

- Αυτόματη σπορά καλυμμένων (palleted) σπόρων σε κύβους εδάφους.
- Με το χέρι σπορά κανονικού σπόρου σε κύβους εδάφους.
- Σπορά καλυμμένων σπόρων με πλαστικούς σπόρους ή δίσκους από φελιζόλ.
- Σπορά σε κιβώτια και μεταφύτευση σε κύβους εδάφους ή δίσκους.
- Σπορά σε κιβώτια. Σε κιβώτια, αλίες ή θερμοσπορεία και μεταφύτευση απ'ευθείας στο έδαφος του θερμοκηπίου.

1.7 ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΙΚΕΣ ΦΡΟΝΤΙΔΕΣ

1.7.1 Προετοιμασία του εδάφους-Προφυτευτική Λίπανση (Βασική Λίπανση)

Οι ποσότητες των λιπασμάτων και ιδιαίτερα του αζώτου, φωσφόρου, καλίου θα εξαρτηθούν από τη γονιμότητα του εδάφους και από τον στόχο της παραγωγής. Έχει υπολογισθεί ότι η καλλιέργεια του μαρουλιού αφαιρεί από το έδαφος με την παραγωγή 1000 χιλιόγραμμων προϊόντος 2,1 χιλιόγραμμα Ν, 0,8 χιλιόγραμμα P₂O₅ και 4,8 χιλιόγραμμα K₂O. Το αζωτούχο λίπασμα προστίθεται πριν από την μεταφύτευση (βασική λίπανση) και εν μέρει κατά την ανάπτυξη των φυτών επιφανειακά. Όσον αφορά τον φώσφορο και το κάλιο, μεγαλύτερη αξιοποίηση του λιπάσματος έχουμε με την εφαρμογή του στη βασική ή προφυτευτική λίπανση. Κατά τη λίπανση με φώσφορο και κάλιο πρέπει να λαμβάνουμε υπόψη ότι ο υπερβολικός φώσφορος δύναται να ευνοήσει την πρόωμη ανάπτυξη ανθοφόρου βλαστού υπό θερμές συνθήκες.

Το μαρούλι είναι από τις ελάχιστες καλλιέργειες που οι ανάγκες του σε θρεπτικά στοιχεία για όλη την περίοδο ανάπτυξης μπορούν να ικανοποιηθούν με μια μόνο εφαρμογή πριν την εγκατάσταση της καλλιέργειας, επειδή η παραμονή του στο χωράφι είναι μικρής διάρκειας (45-80 ημέρες). Συνήθως ανάλογα με τον τρόπο του ποτίσματος οι παραγωγοί εφαρμόζουν 11 Kgr/ στρέμμα αζώτου και 15 Kgr/ στρέμμα φωσφόρου και καλίου αντίστοιχα μαζί με την εφαρμογή της κοπριάς, για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιούν σύνθετα λιπάσματα π.χ. 11-15-15. Η ανάγκη επιφανειακής λίπανσης, εάν υπάρξει τέτοια περιορίζεται κυρίως στο άζωτο. Τότε μπορούν να εφαρμοστούν μέχρι 5 φορές 2 κιλά ανά στρέμμα νιτρική αμμωνία (NH₄NO₃) ανάλογα με την ανάγκη της καλλιέργειας. Εξίσου καλά αποτελέσματα στην παραγωγή μπορεί να προκύψουν από την εφαρμογή ουρίας ή μείγματος ουρίας και νιτρικής αμμωνίας στο έδαφος.

Σε εδάφη βαριά και ιδιαίτερα στο θερμοκήπιο πολλοί παραγωγοί εφαρμόζουν υδρολίπανση (με στάγδην ή καταιονισμό). Στην περίπτωση αυτή μειώνονται ανάλογα οι ποσότητες των αζωτούχων, φωσφορούχων και καλιούχων λιπασμάτων κατά τη βασική λίπανση. Οποιαδήποτε μέθοδος λίπανσης και αν εφαρμοστεί πρέπει να σημειωθεί ότι η χορήγηση θειικής αμμωνίας θα πρέπει να γίνεται με προσοχή στη καλλιέργεια του μαρουλιού, επειδή μειώνει το pH ιδιαίτερα σε εδάφη με χαμηλή περιεκτικότητα σε CaCO₃. Επιπλέον εφαρμογή μεγάλης ποσότητας αμμωνιακού αζώτου προκαλεί την εμφάνιση χαρακτηριστικών συμπτωμάτων ιδιαίτερα στα αγγεία του ξύλου.

(Δημητράκης, 1983).

Για εκτεταμένες καλλιέργειες μαρουλιού χρειάζονται χώματα αμμοπηλώδη, γόνιμα, όπως συμβαίνει και με τα άλλα λαχανικά. Το χώμα προετοιμάζεται κατάλληλα για να δεχτεί τους μικρούς σπόρους και να βοηθήσει τις κοντές ρίζες να αναπτυχθούν κανονικά.

1.7.2 ΚΛΙΜΑ

Είναι φυτό δροσερών κλιμάτων και ευδοκimei καλύτερα την περίοδο από το φθινόπωρο μέχρι την άνοιξη. Αντέχει σε χαμηλές θερμοκρασίες μέχρι -5° C. Αριστη θερμοκρασία για τη βλάστηση των σπόρων είναι μεταξύ 15° και 20° C.

Τα μαρούλια, και ιδίως τα κεφαλωτά, απαιτούν κατά την περίοδο σχηματισμού της κεφαλής χαμηλές θερμοκρασίες.

Οι κεφαλές γίνονται χαλαρές, όταν βρέχει στην εποχή σχηματισμού τους, ενώ όταν οι θερμοκρασίες είναι υψηλές προκαλούν την επιμήκυνση του στελέχους, οπότε η ποιότητά τους μειώνεται. Με τη βελτίωση βρέθηκαν ποικιλίες, οι οποίες δε σχηματίζουν πρόωρα στελέχη για σποροποίηση.

1.7.3 ΛΙΠΑΝΣΗ

Το μαρούλι χαρακτηρίζεται από το βραχύ βιολογικό κύκλο, το πολύ επιτόλαιο ριζικό σύστημα και από την ιδιαίτερη ευαισθησία του στην έλλειψη νερού. Είναι επίσης ευαίσθητο στα όξινα εδάφη (προτιμά εδάφη με pH από 7 και πάνω) και πολύ ευαίσθητο στα άλατα του εδάφους.

Οι ποσότητες των λιπασμάτων και ιδιαίτερα του αζώτου, φωσφόρου, καλίου θα εξαρτηθούν από τη γονιμότητα του εδάφους και από τον στόχο της παραγωγής. Έχει υπολογισθεί ότι η καλλιέργεια του μαρουλιού αφαιρεί από το έδαφος με την παραγωγή 1000 χιλιόγραμμων προϊόντος 2,1 χιλιόγραμμα N, 0,8 χιλιόγραμμα P_2O_5 και 4,8 χιλιόγραμμα K_2O . Το αζωτούχο λίπασμα προστίθεται πριν από την μεταφύτευση (βασική λίπανση) και εν μέρει κατά την ανάπτυξη των φυτών επιφανειακά. Όσον αφορά τον φώσφορο και το κάλιο, μεγαλύτερη αξιοποίηση του λιπάσματος έχουμε με την εφαρμογή του στη βασική ή προφυτευτική λίπανση. Κατά τη λίπανση με φώσφορο και κάλιο πρέπει να λαμβάνουμε υπόψη ότι ο υπερβολικός φώσφορος δύναται να ευνοήσει την πρόωμη ανάπτυξη ανθοφόρου βλαστού υπό θερμές συνθήκες.

Το μαρούλι είναι από τις ελάχιστες καλλιέργειες που οι ανάγκες του σε θρεπτικά στοιχεία για όλη την περίοδο ανάπτυξης μπορούν να ικανοποιηθούν με μια μόνο εφαρμογή πριν την εγκατάσταση της καλλιέργειας, επειδή η παραμονή του στο χωράφι είναι μικρής διάρκειας (45-80 ημέρες). Συνήθως ανάλογα με τον τρόπο του ποτίσματος οι παραγωγοί

εφαρμόζουν 11 Kgr/ στρέμμα αζώτου και 15 Kgr/ στρέμμα φωσφόρου και καλίου αντίστοιχα μαζί με την εφαρμογή της κοπριάς, για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιούν σύνθετα λιπάσματα π. χ. 11-15-15. Η ανάγκη επιφανειακής λίπανσης, εάν υπάρξει τέτοια περιορίζεται κυρίως στο άζωτο. Τότε μπορούν να εφαρμοστούν μέχρι 5 φορές 2 κιλά ανά στρέμμα νιτρική αμμωνία (N₁NO₃) ανάλογα με την ανάγκη της καλλιέργειας. Εξίσου καλά αποτελέσματα στην παραγωγή μπορεί να προκύψουν από την εφαρμογή ουρίας ή μείγματος ουρίας και νιτρικής αμμωνίας στο έδαφος.

Σε εδάφη βαριά και ιδιαίτερα στο θερμοκήπιο πολλοί παραγωγοί εφαρμόζουν υδρολίπανση (με στάγδην ή καταιονισμό). Στην περίπτωση αυτή μειώνονται ανάλογα οι ποσότητες των αζωτούχων, φωσφορούχων και καλιούχων λιπασμάτων κατά τη βασική λίπανση. Οποιαδήποτε μέθοδος λίπανσης και αν εφαρμοστεί πρέπει να σημειωθεί ότι η χορήγηση θεικής αμμωνίας θα πρέπει να γίνεται με προσοχή στη καλλιέργεια του μαρουλιού, επειδή μειώνει το pH ιδιαίτερα σε εδάφη με χαμηλή περιεκτικότητα σε CaCO₃. Επιπλέον εφαρμογή μεγάλης ποσότητας αμμωνιακού αζώτου προκαλεί την εμφάνιση χαρακτηριστικών συμπτωμάτων ιδιαίτερα στα αγγεία του ξύλου. (Δημητράκης, 1983).

Για εκτεταμένες καλλιέργειες μαρουλιού χρειάζονται χώματα αμμοπηλώδη, γόνιμα, όπως συμβαίνει και με τα άλλα λαχανικά. Το χώμα προετοιμάζεται κατάλληλα για να δεχτεί τους μικρούς σπόρους και να βοηθήσει τις κοντές ρίζες να αναπτυχθούν κανονικά.

Ενδεικτικά, η συνιστώμενη λίπανση του μαρουλιού είναι όπως στον παρακάτω πίνακα.

Λιπαντικές μονάδες (kg στρ)		
N	P ₂ O ₅	K ₂ O
15 – 20	8 – 10	25 – 30

Για την αποφυγή της εναλάτωσης του εδάφους οι παραπάνω δόσεις εφαρμόζονται τμηματικά 4-5 φορές ισόποσα. Η πρώτη εφαρμογή γίνεται πριν ή κατά την εγκατάσταση της καλλιέργειας και η κάθε μια από τις επόμενες ανά 15 έως 20 ημέρες.

Το μαρούλι είναι πολύ ευαίσθητο στην έλλειψη των ιχνοστοιχείων βόριο και μολυβδαίνιο και χρειάζεται προσοχή για την πρόληψη των τροφωπενιών των στοιχείων αυτών. Επίσης το

μαρούλι είναι πολύ ευαίσθητο στο χλώριο που μπορεί να περιέχει το νερό του ποτίσματος.

Η λίπανση των καλλιεργειών για την αύξηση της παραγωγής είναι μια τεχνική που υπήρχε από την αρχαιότητα . Μέχρι το 18^ο αιώνα τα οργανικά λιπάσματα (φυτικά και ζωικά υπολείμματα) ήταν η μοναδική πηγή για την λίπανση των καλλιεργειών. Βασιζόμενος στο γεγονός αυτό ο Albrecht Thaer, ένας ιατρός που ερευνούσε τον τρόπο θρέψης των φυτών, διατύπωσε τη γνωστή θεωρία του «χούμους»(εδώ εννοείται η οργανική ουσία του εδάφους) που λέει ότι ο χούμος είναι αυτός που δίνει στα φυτά τα πιο απαραίτητα τρόφιμα.

Η θεωρία αυτή, σε μια εποχή που η επιστήμη της γεωργίας και ιδιαίτερα της θρέψης των φυτών δεν είχε εξελιχθεί ήταν η μοναδική βάση για την εξήγηση της θρέψης των φυτών.

Αργότερα όμως τα αποτελέσματα των ερευνών Liebig(1803-1873) απέδειξαν ότι δεν ήταν ο χούμος που θρέφει τα φυτά, αλλά τα ανόργανα χημικά στοιχεία τα οποία απορροφούν τα φυτά με τις ρίζες τους από το έδαφος, τα μεταφέρουν στα φύλλα τους και εκεί με την παρουσία του διοξειδίου του άνθρακα και του νερού σχηματίζουν τις πιο απαραίτητες για την ανάπτυξη τους ουσίες. Αυτό γίνεται εύκολα αντιληπτό όταν σκεφθεί κανείς ότι στην αρχή της εμφανίσεως των φυτών στην επιφάνεια της γης υπήρχε νερό και ανόργανα θρεπτικά στοιχεία, αλλά δεν υπήρχε χούμος, ή με άλλα λόγια οργανική ουσία.

Η ουσία αυτή σχηματίστηκε με την πάροδο του χρόνου από τα υπολείμματα των φυτών που παρέμεναν στο έδαφος, γι'αυτό ο χούμος είναι συνέπεια και όχι αιτία για την ανάπτυξη των φυτών. Εξάλλου όπως είναι γνωστό, μπορούμε να αναπτύσσουμε φυτό μέσα στο νερό στο οποίο προσθέτουμε τα ανόργανα θρεπτικά στοιχεία, χωρίς να είναι αναγκαία η παρουσία του χούμου. Με αυτόν τον τρόπο, που ονομάζεται υδροκαλλιέργεια, παράγονται πλέον ανεξάρτητα από το έδαφος λαχανικά, λουλούδια.

Ο Liebig με βάση αυτά τα αποτελέσματα διατύπωσε το 1840 τη θεωρία της ανόργανης θρέψης των φυτών, η οποία λέει ότι τα φυτά χρειάζονται για την ανάπτυξη τους ανόργανα στοιχεία όπου με την προσθήκη των αλάτων τους στο έδαφος, όταν αυτό έχει βέβαια έλλειψη από αυτά, έχουμε σημαντική αύξηση της παραγωγής. Τα σαφή αποτελέσματα της έρευνας του Liebig οδήγησαν στη συστηματική βιομηχανική παραγωγή των αλάτων αυτών των στοιχείων, κυρίως αζώτου, φωσφόρου, καλίου (N, P,K) γιατί αυτά είναι σε γενικές γραμμές εκείνα τα θρεπτικά στοιχεία που περισσότερο από όλα καθορίζουν την απόδοση των καλλιεργειών.

Η αλματώδης αύξηση της γεωργικής παραγωγής με την αυξημένη χρήση των βιομηχανικών λιπασμάτων υποστηρίζει την ορθότητα των απόψεων του Liebig. Αλλά και τα οργανικά λιπάσματα (κοπριάς, κομπόστες, χλωρή λίπανση) δεν έχασαν την αξία τους, γιατί

αυτά είναι πολύτιμες ουσίες που βελτιώνουν τις φυσικές και χημικές ιδιότητες των εδαφών γιατί χωρίς αυτές τις ουσίες, η παραγωγικότητα του εδάφους δεν θα φτάνει σε επιθυμητά επίπεδα, ακόμη και όταν σ' αυτό προσθέτουμε όλα τα ανόργανα θρεπτικά στοιχεία που με την πάροδο του χρόνου με την αποικοδόμηση της ελευθερώνονται και γίνονται προσιτά στα φυτά.(Cooke, Marschner).

1.7.4. ΑΡΔΕΥΣΗ

Για να επιτύχουμε μια άριστη παραγωγή μαρουλιού, απαιτείται σταθερός και πλούσιος ανεφοδιασμός με νερό καθ' όλη τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Απότομες μεταβολές της υγρασίας στο έδαφος, ειδικά στα αρχικά ή στα τελευταία στάδια ανάπτυξης του φυτού, έχουν ως αποτέλεσμα ανεπανόρθωτες ζημιές που εκδηλώνονται με πίκραση των φύλλων και μείωση της παραγωγής. Όμως και υπερβολική υγρασία στο έδαφος, ιδιαίτερα την εποχή σχηματισμού της κεφαλής, είναι ανεπιθύμητη επειδή συντελεί στην παραγωγή χαλαρών κεφαλών.

Η φύτευση γίνεται όταν το έδαφος βρίσκεται στο ρώγο του. Ακολουθεί το πρώτο πότισμα, κατά προτίμηση με καταιονισμό, μέχρι που η επιφανειακή στρώση εδάφους φθάσει στο σημείο της υδατο`ϊκανότητας του. Τις αμέσως επόμενες της μεταφύτευσης ημέρες τα φυτά αντλούν το νερό από βάθος 3-4 εκ. του εδάφους, συνεπώς οι ποσότητες νερού που απαιτούνται για το πότισμα είναι μικρές.

Το μαρούλι αναπτύσσει ριζικό σύστημα που μπορεί να φθάσει σε βάθος μέχρι τα 60 εκ. Όμως το μεγαλύτερο μέρος της θυσσανώδους ρίζας περιορίζεται στα πρώτα 30 εκ. του εδάφους. Γι' αυτό το λόγο όλες οι φροντίδες πρέπει να κατατείνουν στη διατήρηση ή τη βελτίωση των φυσικών, χημικών και βιολογικών ιδιοτήτων του εδάφους σ' αυτό το βάθος.

Ο χρόνος εφαρμογής των ποτισμάτων καθορίζεται από το επίπεδο της εδαφικής υγρασίας.. Η ποσότητα του νερού άρδευσης εξαρτάται από τη θερμοκρασία, τον τύπο του εδάφους, το βλαστικό στάδιο του φυτού, την ηλιοφάνεια, την εποχή του έτους.

Τα τελευταία χρόνια η εφαρμογή του ποτίσματος στο μαρούλι γίνεται με σύστημα καταιονισμού ή και στάγδην, το οποίο σχεδόν αντικατέστησε το πότισμα με αυλάκια. (Κανάκης, 1998)

Η απόφαση πότε θα εφαρμοστεί άρδευση και πόσο νερό θα δοθεί αποτελεί ένα από τα διαρκή προβλήματα της καλλιέργειας του μαρουλιού. Το έδαφος θα πρέπει να θεωρηθεί σαν μια αποθήκη νερού από την οποία το φυτό απορροφά νερό, το οποίο αναπληρώνεται κατά καιρούς με την άρδευση.

Πριν την μεταφύτευση το έδαφος πρέπει να ποτιστεί και να φτάσει στο σημείο της υδατο'ικανότητας του. Στη συνέχεια, σε αμμώδη εδάφη η φύτευση μπορεί να γίνεται την επόμενη μέρα, ενώ σε πιο βαριά εδάφη πιθανόν να χρειαστεί να περάσουν 3-4 ημέρες, ώστε το επιφανειακό στρώμα να χάσει υγρασία. Μετά τη μεταφύτευση το φυτό απορροφά νερό μόνο από τα επιφανειακά 3-4 εκ. Έτσι είναι σημαντικό το επιφανειακό στρώμα να διατηρείται υγρό. Εάν για οποιοδήποτε λόγο το επιφανειακό γόνιμο έδαφος ξηραθεί, ή ο κύβος εδάφους ή η "μπάλα" υποστρώματος, τότε η ανάπτυξη του φυτού είναι προβληματική.

Το μαρούλι αναπτύσσει θυσσανώδες επιφανειακό ριζικό σύστημα. Για το λόγο αυτό είναι προτιμότερο να ποτίζεται πολλές φορές με μικρές ποσότητες νερού. Όταν το φυτό πλησιάζει την περίοδο συγκομιδής το ριζικό του σύστημα θα έχει αναπτυχθεί σε όλο τον επιφανειακό όγκο του εδάφους σε βάθος 20-30 εκ.. Το πότισμα στο μαρούλι καλό είναι να γίνεται με καταιονισμό από ψηλά, για να γίνεται ομοιόμορφη κατανομή του νερού. Η ύπαρξη του συστήματος καταιονισμού στο θερμοκήπιο μπορεί να εξυπηρετήσει και στην αύξηση της υγρασίας (μείωση της διαπνοής) καθώς και στη μείωση της θερμοκρασίας στο χώρο του θερμοκηπίου. Αύξηση της υγρασίας στην ατμόσφαιρα, όταν πλησιάζει η συγκομιδή, μπορεί να βοηθήσει και στη μείωση της πιθανότητας εμφάνισης στα φύλλα και αποφυγής του φυσιολογικού καψίματος και του περιφερειακού εγκαύματος που προκαλούνται από υπερβολική ένταση της ακτινοβολίας και με χαμηλά επίπεδα ατμοσφαιρικής υγρασίας.

Πρέπει να γίνει κατανοητό ότι υπερβολική υγρασία δεν είναι επιθυμητή και μάλιστα κατά την εποχή που σχηματίζεται η κεφαλή, γιατί μπορεί να οδηγήσει στο σχηματισμό χαλαρών κεφαλών, αντίθετα, μεγάλες διακυμάνσεις της υγρασίας του εδάφους από ακανόνιστα ποτίσματα μπορεί να προκαλέσουν πίκραση των φύλλων.

Στην περίπτωση που εφαρμόζεται εδαφοκάλυψη με πλαστικό σε όλη την έκταση του θερμοκηπίου τότε το πότισμα ή γίνεται με την μέθοδο στάγδην από σωλήνες που βρίσκονται κάτω από το πλαστικό κάλυψης (1 σωλήνα κάθε 2 γραμμές φυτών) ή γίνεται με καταιονισμό αλλά θα πρέπει το πλαστικό της εδαφοκάλυψης να είναι διάτρητο.

1.8 ΣΠΟΡΑ

Η σπορά γίνεται συνήθως από τον Αύγουστο ή Σεπτέμβριο μέχρι το Φεβρουάριο για συγκομιδή κατά την περίοδο από τον Οκτώβριο μέχρι το Μάιο ή τον Ιούνιο. Εννοείται ότι είναι δυνατό να γίνονται σπορές κατά τη διάρκεια ολόκληρου του έτους, όταν χρησιμοποιούνται ποικιλίες κατάλληλες για τις διάφορες εποχές. Απαιτούνται 3-5 μήνες

από τη σπορά μέχρι τη συγκομιδή, ανάλογα με τη χρησιμοποιούμενη ποικιλία και την εποχή της καλλιέργειας.

Στη χώρα μας σπείρεται το μαρούλι σχεδόν αποκλειστικά σε υπαίθρια σπορεία και τα σχηματιζόμενα φυτάρια μεταφυτεύονται στον αγρό, όταν έχουν αποκτήσει 3-5 φύλλα.



Τα μαρούλια μεταφυτεύονται (με φυτευτήρι χεριού) με τη ρίζα τους κάθετα και όχι βαθύτερα από ότι στο σπορείο. Οι αποστάσεις φυτέματος είναι 25 X 40 cm. Συνήθως χρησιμοποιούνται σαμάρια μιας έως έξι γραμμών φυτών



και κυρίως, δύο ή τριών σειρών σαμάρια, για να μπορεί να κυκλοφορήσει και τρακτέρ με πλατφόρμα για συλλογή μέσα στα αυλάκια.

Σε χώρες της Ευρώπης η καλλιέργεια γίνεται με μηχανική σπορά με επενδυμένα σπέρματα με θρεπτικό υλικό (Pelleted Seeds) σε εδαφικούς κύβους (Soilblocks).



Διαδεδομένη είναι και η καλλιέργειά του σε NFT



όπου το μέγεθος του φυτού είναι πιο ομοιόμορφο και η μετάδοση ασθενειών ελαττώνεται πάρα πολύ.

Η καλλιέργεια του εδάφους μετά τη μεταφύτευση πρέπει να είναι επιπόλαιη για να διατηρείται το χώμα καθαρό από ζιζάνια. Όταν δεν υπάρχουν ζιζάνια, δεν πρέπει να γίνεται καλλιέργεια.

Η σπορά γίνεται συνήθως σε ψυχρά σπορεία ή και σε θερμαινόμενα κατά τη χειμερινή περίοδο στις ψυχρές περιοχές. Δεν συνηθίζεται να σπέρνουν απ'ευθείας στον αγρό, όπως σε άλλες χώρες που χρησιμοποιούν πολύ μεγάλες εκτάσεις για την καλλιέργεια αυτή.

1.9 ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ

Τα φυλλώδη μαρούλια μαζεύονται μόλις τα φύλλα τους μεγαλώσουν και υπάρχει ζήτηση στην αγορά.

Η συγκομιδή γίνεται όταν τα φυτά αποκτήσουν εμπορεύσιμο μέγεθος, σύμφωνα με τις απαιτήσεις της αγοράς και ανάλογα με τον τύπο του μαρουλιού και της ποικιλίας.

Στο μαρούλι τύπου Ρομάνο, η συγκομιδή γίνεται όταν εμφανιστεί η μικρή κεφαλή στο κέντρο του φυτού. Ο εργάτης κόβει το φυτό κοντά ή λίγο πιο κάτω από την επιφάνεια του εδάφους με μαχαίρι ή με ειδικό εργαλείο και στη συνέχεια αφαιρούνται τα εξωτερικά κατεστραμμένα φύλλα. Τοποθετούνται σε πλαστικά ή ξύλινα κιβώτια, όταν προορίζονται για την ντόπια αγορά ή σε χάρτινα κιβώτια, για την ντόπια αγορά ή για εξαγωγή.

Στα κεφαλωτά μαρούλια η συγκομιδή αρχίζει όταν η κεφαλή αποκτήσει το χαρακτηριστικό μέγεθος της ποικιλίας και ταυτόχρονα αποκτήσει καλή συνεκτικότητα. Σε θερμοκηπιακές καλλιέργειες όταν ακολουθείται η διαδικασία της μεταφύτευσης σε κύβους εδάφους ή σε υποστρώματα σε δίσκους, η ανάπτυξη του φυτού είναι ομοιόμορφη και η συγκομιδή γίνεται ταυτόχρονα σε όλα τα φυτά. Μάλιστα στην Ολλανδία και άλλες χώρες, εφαρμόζεται και μηχανική συγκομιδή.

Ο χρόνος που παραμένουν τα φυτά στο έδαφος του θερμοκηπίου και η εποχή συγκομιδής εξαρτάται από την εποχή μεταφύτευσης, την ποικιλία, την εποχή (το χειμώνα παραμένουν περισσότερο στο έδαφος). Γενικά μπορεί να ειπωθεί ότι στην Ελλάδα απαιτούνται 1.5-3 μήνες. Καθυστέρηση στη συγκομιδή προκαλεί υποβάθμιση της ποιότητας.

Η συγκομιδή πρέπει να γίνεται όταν η θερμοκρασία είναι χαμηλή και τα φυτά στεγνά. Αμέσως μετά τα φυτά θα πρέπει να τοποθετούνται σε χαμηλές θερμοκρασίες (ψυγεία) μέχρι να μεταφερθούν στην αγορά.

Εάν πρόκειται να συσκευαστούν για εξαγωγή τότε θα πρέπει να προσεχθούν ιδιαίτερα οι θερμοκρασίες κατά την μεταφορά στο συσκευαστήριο (αυτοκίνητο-ψυγείο), η αποφυγή ζημιών κατά την μεταφορά και τη συσκευασία.. Η διαλογή και συσκευασία γίνεται σύμφωνα με τις προδιαγραφές της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Στην Αμερική το προϊόν αμέσως μετά τη συγκομιδή και συσκευασία ψύχεται σε μεγάλα ψυγεία κενού (Vacuum coolers) ώστε να

ψύχεται το προϊόν όσο το δυνατόν πιο σύντομα στη θερμοκρασία 1° C και να εξασφαλίζεται η διατήρηση της ποιότητας του προϊόντος. Η μεταφορά στους τόπους κατανάλωσης γίνεται πάλι με αυτοκίνητα-ψυγεία ή τραίνα-ψυγεία. Το μαρούλι είναι πολύ ευπαθές λαχανικό λόγω της υψηλής περιεκτικότητας του σε νερό. Δεν διατηρείται για μεγάλο χρονικό διάστημα μετά τη συγκομιδή. Η υποβάθμιση της ποιότητας αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας αποθήκευσης. Διατηρεί την ποιότητα του καλή για 10-14 ώρες σε θερμοκρασία αποθήκευσης 1° C και 95-97% υγρασία.

Η ποιότητα στο μαρούλι καθορίζεται από την εμφάνιση, απουσία συμπτωμάτων από εχθρούς, ασθένειες και φυσιολογικές ανωμαλίες, απουσία ξένων ουσιών (χώμα, υπολείμματα φυτοφαρμάκων) την γεύση (γλυκιά όχι πικρή) και τα φύλλα



1.10 ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ

Τα μαρούλια διατηρούνται στο ψυγείο αρκετές ημέρες αν τα βάλουμε μέσα σε χάρτινες σακούλες των φρούτων και μετά τις τυλίξουμε με νάilon φύλλα σφικτά για να φύγει ο αέρας. Στα μεγάλα ψυγεία διατηρούνται σε θερμοκρασία 0 ° C, με σχετική υγρασία 90%. Ο χρόνος συντήρησης είναι περίπου μία έως τρεις εβδομάδες. Τα μαρούλια που πρόκειται να μεταφερθούν πρέπει να προψύχονται.

1.11 ΕΧΘΡΟΙ ΚΑΙ ΑΣΘΕΝΕΙΕΣ

1.11.1 Ζωικοί εχθροί

A) Νηματώδεις σκώληκες όπως : *Meloidogyne* sp., *Platylenchus* sp., *Nacobus batatiformis*

Προσβάλλουν το ριζικό σύστημα του μαρουλιού, αλλά στα θερμοκήπια δεν δημιουργούν προβλήματα επειδή καταπολεμούνται ολοσχερώς με την απολύμανση του εδάφους.

B) Έντομα

i) Οι αφίδες και ειδικά η πράσινη (*Myzus persicae*), ο θρύπας (*Frankliniella occidentalis*), ο λύγος (*Lugus* sp.) και άλλα μυζητικά έντομα προκαλούν τόσο άμεσες ζημιές στο μαρούλι που επιφέρουν μείωση της ανάπτυξης των φυτών και συνεπώς της παραγωγής και επικάλυψη των φύλλων με μελιτώματα όσο και έμμεσες ζημιές επειδή μεταφέρουν ιώσεις.

ii) Ο αλευρώδης (*Trialeuroides variegatum*) στην τέλεια μορφή του αλλά και οι προνύμφες του εγκαθίστανται στην κάτω επιφάνεια των φύλλων και τα απομυζούν. Έτσι υποβαθμίζεται η εμπορική αξία του μαρουλιού ενώ η παρουσία μεγάλου αριθμού αυγών στα φύλλα προκαλούν την αποστροφή του αγοραστή.

iii) Τα έντομα εδάφους (*Gryllotalpa*, *Agrotis* κ.α.) ενώ προκαλούν μεγάλες ζημιές στις υπαίθριες καλλιέργειες, δεν συνιστούν πρόβλημα στα θερμοκήπια επειδή καταπολεμούνται με την απολύμανση του εδάφους.

iv) Τα Λεπιδόπτερα *Trichoplusia ni*, *Spodoptera exigua* και *Heliothis zea* προκαλούν μεγάλες ζημιές επειδή οι προνύμφες τους κατατρώγουν τα φύλλα του μαρουλιού. Για την καταπολέμηση ή τον περιορισμό των προσβολών από τα έντομα διενεργούνται προληπτικοί, δολωματικοί και εξοντωτικοί ψεκασμοί με διάφορα εντομοκτόνα ή αναρτώνται παγίδες ή εναλλακτικά χρησιμοποιείται πρόγραμμα βιολογικής καταπολέμησης.

Γ) Κοιλίες και σαλιγκάρια

Μεγάλοι πληθυσμοί τους απειλούν την καλλιέργεια του μαρουλιού επειδή κατατρώγουν τα φύλλα. Καταπολεμούνται μάλλον εύκολα με δολώματα μεταλδεύδης.

(Κανάκης, 1998)

1.11.2. Μυκητολογικές ασθένειες

α) Περονόσπορος (*Bremia lactucae*)

Τα πρώτα συμπτώματα της ασθένειας είναι ακανόνιστες και οξύληκτες γωνιώδεις χλωρωπικές κηλίδες στην κάτω επιφάνεια των εξωτερικών φύλλων, σε περιοχές μεταξύ των νεύρων. Όταν οι συνθήκες ευνοούν την εξάπλωση της ασθένειας, οι ανωτέρω κηλίδες καλύπτονται από λευκές εξανθήσεις που μπορούν να προκαλέσουν από μικρές μέχρι και μεγάλες ζημιές σε καλλιέργειες μαρουλιού, ανάλογα με τις συνθήκες και τις καλλιεργητικές φροντίδες. Αντιμετωπίζονται με γενικά μέτρα προστασίας τα οποία λαμβάνονται για την καταπολέμηση των σοβαρών μυκητολογικών ασθενειών που αναφέρθηκαν προηγουμένως. (Κανάκης, 1998)

β) Κηλιδώσεις των φύλλων (*Microdochium panattonianum*)

Εκτός από το μαρούλι ο μύκητας *M. Panattonianum* προσβάλλει και άλλα είδη της οικογένειας *Compositae*. Στα παλαιότερα φύλλα εμφανίζονται (>5mm) υδατώδεις κηλίδες που αργότερα ξηραίνονται και παίρνουν χρώμα καστανό. Ο νεκρός ιστός στο έλασμα του φύλλου συρρικνώνεται και απορρίπτεται σχηματίζοντας τρύπα στο έλασμα. Χαρακτηριστικές είναι οι κηλίδες που σχηματίζονται στο μίσχο και τα κεντρικά νεύρα των φύλλων που είναι μακρόστενες, βυθισμένες και έχουν χρώμα καστανοκόκκινο. Σε σοβαρές προσβολές μολύνονται και τα εσωτερικά φύλλα. Η ασθένεια ευνοείται από υγρό ψυχρό καιρό. Τα σπόρια του μύκητα παράγονται άφθονα πάνω στους μολυσμένους ιστούς και μεταδίδονται σε γειτονικά υγιή φύλλα και φυτά, με πιτσιλίσματα νερού. Το αρχικό μόλυσμα προέρχεται από τα υπολείμματα παλαιότερης καλλιέργειας, από ζιζάνια και μερικές φορές από μολυσμένο σπόρο. (Ε.Φ.Ε., 1998).

γ) Τήξη σπορείων

Οφείλεται στους μύκητες *Pythium* sp., *Rhizoctonia solani*, *Phytophthora* sp., οι οποίοι προσβάλλουν τους βλαστάνοντες σπόρους και τα νεαρά σπορόφυτα.

δ) Σκληρωτινίαση

Οφείλεται στον μύκητα *Sclerotinia sclerotiorum* ο οποίος εισβάλλει στον κεντρικό άξονα του φυτού από το έδαφος και προσβάλλει τους μίσχους του φύλλου.

1.11.3. Βακτηριακές ασθένειες

Οφείλονται στα βακτήρια *Pseudomonas* sp. και *Xanthomonas* sp. και προκαλούν είτε σήψεις είτε στιγματώση στα φύλλα.

1.11.4. Ιώσεις

A) Μωσαϊκό του καπνού (LMV=Lettuce Mosaic Virus)

Είναι η σημαντικότερη ίωση που προσβάλλει το μαρούλι. Προκαλεί στικτή μωσαϊκή εμφάνιση των φύλλων με χλωρωτικές κηλίδες, νανισμό στα φυτά και πτυχωτή επιφάνεια στα φύλλα. Μεταδίδεται με τις αφίδες και μπορεί να προκαλέσει μεγάλες ζημιές. Για την πρόληψη της εμφανίζονται όλα εκείνα τα μέτρα που αφορούν τις ιώσεις, δηλαδή χρησιμοποίηση υγιών σπόρων, διαφύλαξη της υγείας των σπορόφυτων, έγκαιρη απομάκρυνση των ύποπτων φυτών, απολύμανση χεριών και εργαλείων, αποτελεσματική καταπολέμηση των αφίδων. Όμως η αντοχή στο μωσαϊκό του μαρουλιού έχει αποδειχθεί ότι μπορεί να προσδοθεί στα φυτά με ένα υπολειπόμενο αλληλόμορφο γονίδιο το οποίο για πρώτη φορά εντοπίστηκε στην ποικιλία Gallega.

B) Μεγάλο νεύρο του μαρουλιού (big vein of lettuce)

Η μόλυνση των φυτών από την ασθένεια μπορεί να συμβεί σε οποιοδήποτε βλαστικό στάδιο. Προσβλημένα νεαρά φυτά συνήθως αποθνήσκουν γρήγορα. Τα συμπτώματα από την ίωση συνήθως δεν εμφανίζονται πριν από την έκπτυξη του 5^{ου} ή 6^{ου} φύλλου. Τα πρώτα συμπτώματα εμφανίζονται ως ελαφρό κίτρινο ή λευκοκίτρινο χρώμα κατά μήκος των νεύρων, τα οποία σταδιακά γίνονται περισσότερο φανερά καθώς προκαλείται πάχυνση και πτύχωση στα φύλλα. Τα φυτά που προσβάλλονται σε μικρή ηλικία αδυνατούν να σχηματίσουν σφιχτή κεφαλή.

Η ασθένεια αυτή εθεωρείτο ότι οφείλεται στον μύκητα *Oidium brassicae*. Σήμερα πιστεύεται ότι οφείλεται σε ιό, ο οποίος μεταφέρεται με τον *Oidium brassicae* και με τα υπολείμματα των ριζών των μολυσμένων φυτών. Τα προβλήματα από την ασθένεια αυτή σε θερμοκηπιακές καλλιέργειες μαρουλιού είναι περιορισμένα επειδή με την απολύμανση καταστρέφονται οι φορείς του ιού, δηλαδή ο μύκητας και τα υπολείμματα των προσβεβλημένων ριζών.

Γ) Άλλες ιώσεις

Το μαρούλι προσβάλλεται επίσης και από τις εξής ιώσεις: Dandelion Yellow Mosaic, Tobacco Streak Virus, Turnip Mosaic Virus και Lettuce Ring-Spot Virus.

(Κανάκης, 1998)

1.11.5. Μη Παρασιτικές Ασθένειες

Στο μαρούλι έχουν αναφερθεί πολλές μη παρασιτικής αιτιολογίας ασθένειες οι οποίες σχετίζονται με ελλείψεις θρεπτικών στοιχείων, τοξικότητες ανόργανων θρεπτικών στοιχείων της ατμόσφαιρας καθώς και με την δυσμενή επίδραση του περιβάλλοντος και ρύποι της ατμόσφαιρας. Εδώ θα αναφερθεί η πιο κύρια μη παρασιτική ασθένεια του μαρουλιού και η οποία σχετίζεται με την λίπανση του αζώτου.

Κάψιμο της κορυφής (Tip burn)

Η ασθένεια εμφανίζεται συνήθως στα φύλλα της κορυφής του φυτού (καρδιά μαρουλιού) με την μορφή νεκρώσεων στην κορυφή των φύλλων. Η ασθένεια αυτή προκαλείται από την μη ισορροπημένη θρέψη των φυτών με ασβέστιο και επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες όπως υπερβολική αζωτούχα λίπανση, έλλειψη του ασβεστίου, συνθήκες οι οποίες επηρεάζουν την ομαλή τροφοδοσία των φυτών με νερό. Είναι γνωστό ότι το ασβέστιο μετακινείται στο υπέργειο μέρος των φυτών με το νερό της διαπνοής, έτσι οτιδήποτε διαταράσσει την ομαλή τροφοδοσία των φυτών με νερό π.χ. έλλειψη νερού, υπερβολικά υγρός καιρός ιδιαίτερα την νύχτα προκαλεί την ασθένεια. (Ε.Φ.Ε.. 1998, Grogan, Fink, 1956)

1.12 ΦΥΤΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑ

Τα εξωτερικά φύλλα κατά τις υγρές και θερμές ημέρες προσβάλλονται από διάφορους μύκητες, που προκαλούν χλωρωτικές κηλίδες. Τα τρυφερά και νόστιμα νεαρά φύλλα του μαρουλιού προσελκύουν τα πουλιά, που συμπληρώνουν την τροφή τους. Με τρεις τρόπους μπορούμε να προφυλάξουμε τα μαρούλια από τα πουλιά. Με λεπτό δίχτυ ή τούλι στηριγμένο σε πασσάλους, για να μην έρχεται σε επαφή με τα μαρούλια, με το 'σκιάχτρο' που απομακρύνει τα πουλιά, και τέλος με επικροτήρες, οι οποίοι από καιρό σε καιρό επικροτούν οπότε τα πουλιά φεύγουν.

1.13. ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΜΙΚΡΟΘΡΕΠΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΒΑΡΕΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ

Τα μικροθρεπτικά και βαρέα μέταλλα στο έδαφος βρίσκονται:

- Με τη διαλυτή μορφή στο εδαφικό διάλυμα καθώς και στο ύδωρ στράγγισης.
- Συγκρατούνται από τη στερεή φάση του εδάφους με διάφορες μορφές και ιοντικές καταστάσεις.
- Καταβυθίζονται με τη μορφή αδιάλυτων ενώσεων.
- Προσλαμβάνονται από τα φυτά που καλλιεργούνται στο έδαφος ή από τα φυτά που αναπτύσσονται σε αυτό.

- Παραμένουν στην αέρια φάση του εδάφους κατά τη μετατροπή τους με τη μορφή πτητικών ενώσεων (η περίπτωση αυτή αναφέρεται σε μεγαλύτερο βαθμό στον υδράργυρο, αλλά και στα μεταλλοειδή τα οποία μπορεί να υπάρχουν στο έδαφος).

1.14. ΠΟΣΟΤΗΤΕΣ ΜΙΚΡΟΘΡΕΠΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΒΑΡΕΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΣΤΟ ΕΔΑΦΙΚΟ ΔΙΑΛΥΜΑ

Η συγκέντρωση ενός μετάλλου στο εδαφικό διάλυμα είναι συνήθως μικρή. Σε εδάφη που μετρήθηκαν σε περιοχές της Νέας Υόρκης η μέση συγκέντρωση των στοιχείων κοβαλτίου, χαλκού, ψευδαργύρου και μαγγανίου ήταν αντίστοιχα 0,0005, 0,008, 0,015 και 0,06 $\mu\text{g MI}$. Η συγκέντρωση του μολυβδαινίου στο εδαφικό διάλυμα κυμαίνεται από 0,002 μέχρι 0,008 $\mu\text{g cm}^3$.

Οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων στο ύδωρ στράγγισης σε $\mu\text{g cm}^3$ είναι οι εξής:

Cd: 0.005, Cr: 0.1, Cu:0,04, Ni: 0.06, Pb: 0.03, Zn:0,08.

1.15. ΔΕΣΜΕΥΣΗ ΤΩΝ ΜΙΚΡΟΘΡΕΠΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΒΑΡΕΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΑΠΟ ΤΗ ΣΤΕΡΕΗ ΦΑΣΗ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ.

Η ικανότητα ή όχι ιονισμού ενός μετάλλου, ο αριθμός οξείδωσης με τον οποίο παρουσιάζεται, η δυνατότητα ή όχι σχηματισμού συμπλόκων με οργανικές ενώσεις, καθώς και η κινητικότητα του εξαρτάται κυρίως από τη φύση του ιόντος, αλλά και από τις κατωτέρω ιδιότητες του εδάφους:

- από την τιμή του pH του εδάφους
- από το δυναμικό οξειδοαναγωγής
- από το ποσοστό και το είδος της οργανικής ουσίας του εδάφους
- από την Ικανότητα Ανταλλαγής Κατιόντων του εδάφους
- από την περιεκτικότητα και το είδος των οξειδίων και υδροξειδίων του σιδήρου, μαγγανίου και αργιλίου του εδάφους
- από τα ορυκτά της αργίλου.

1.16. ΠΡΟΣΛΗΨΗ ΤΩΝ ΜΙΚΡΟΘΡΕΠΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΒΑΡΕΩΣ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΑΠΟ ΤΑ ΦΥΤΑ

Η μεταβολική πορεία και ο ρόλος ενός μικροθρεπτικού ή ενός βαρέως μετάλλου στο φυτό καθορίζεται από πολλούς παράγοντες οι οποίοι αναφέρονται παρακάτω:

- Πρόσληψη ή μη πρόσληψη και μετακίνηση των μικροθρεπτικών και των βαρέων μετάλλων στο φυτό
- Ενζυματικές διαδικασίες που πραγματοποιούνται στο φυτό
- Συγκεντρώσεις και μορφές των μετάλλων στο φυτό
- Έλλειψη και τοξικότητα
- Ανταγωνιστικά ιονικά φαινόμενα και αλληλεπιδράσεις μεταξύ των μικροθρεπτικών
- Η πρόσληψη των μεταλλικών μικροθρεπτικών και των βαρέων μετάλλων από τα φυτά γίνεται από τις ρίζες τους αλλά και από την φυλλική τους επιφάνεια.

Οι παράγοντες που καθορίζουν την πρόσληψη αυτών από τα φυτά είναι οι κατωτέρω:

- Η ποσότητα του μεταλλικού μικροθρεπτικού ή βαρέως μετάλλου που περιέχεται στο εδαφικό διάλυμα (μεγαλύτερη τάση για πρόσληψη παρατηρείται στις περιπτώσεις όπου οι συγκεντρώσεις των μετάλλων είναι χαμηλές).
- Η μορφή και το είδος του μετάλλου μέσα στο εδαφικό διάλυμα
- Η παρουσία ιόντων υδραργύρου ή άλλων ιόντων στο εδαφικό διάλυμα.
- Οι συνθήκες αερισμού και θερμοκρασίας που επικρατούν στο έδαφος, καθώς και η τιμή του δυναμικού οξειδοαναγωγής του εδάφους
- Το είδος του φυτού και η ικανότητα του να προσλαμβάνει ή όχι μεταλλικά στοιχεία.
- Το στάδιο ανάπτυξης του φυτού.
- Η κινητικότητα του μεταλλικού ιόντος στο εδαφικό διάλυμα προς την επιφάνεια της ρίζας του φυτού
- Η μεταφορά του μετάλλου από την επιφάνεια στο εσωτερικό της ρίζας
- Η μετακίνηση του μετάλλου από τη ρίζα προς το βλαστό και τα φύλλα.

Η πρόσληψη των μετάλλων από τις ρίζες των φυτών μπορεί να γίνει ενεργητικά ή παθητικά, δηλαδή με κατανάλωση ή όχι ενέργειας. Η ενεργητική πρόσληψη είναι μεταβολική διαδικασία, απαιτεί κατανάλωση ενέργειας και είναι δυνατό να παρεμποδιστεί από την

παρουσία τοξινών και ενάντια στη διαφορική μεταβολή των χημικών συστατικών του εδαφικού διαλύματος.

Η παθητική πρόσληψη είναι μια μη μεταβολική διαδικασία, και δεν απαιτείται ενέργεια για την πραγματοποίησή της, γίνεται δε με διάχυση των μεταλλικών ιόντων μέσα στο εδαφικό διάλυμα προς την ενδοδερμίδα της ρίζας. Τα μέταλλα εκείνα τα οποία είναι περισσότερο διαθέσιμα προς τα φυτά είναι αυτά που προσροφώνται από τα ορυκτά της αργίλου και κυρίως από τον ιλλίτη και τον μοντμοριλονίτη, ενώ εκείνα τα μέταλλα που είναι δεσμευμένα σε οξειδία είναι λιγότερο διαθέσιμα στα φυτά.

Η πρόσληψη των μετάλλων από τα φύλλα των φυτών συντελεί σημαντικά στη ρύπανση αυτών από τα στοιχεία Mn, Zn και Cu. Από τα φύλλα επίσης, είναι δυνατό να προσληφθούν σημαντικές ποσότητες ραδιενεργών ισοτόπων. Τα μέταλλα που προσλαμβάνονται από τα φύλλα μπορούν στη συνέχεια να οδηγηθούν και σε άλλα μέρη του φυτού και κυρίως στις ρίζες, όπου πολλές φορές συσσωρεύονται οι πλεονάζουσες ποσότητες των μεταλλικών αυτών στοιχείων.

Η σπουδαιότητα των βαρέων μετάλλων για την υγιή ανάπτυξη των φυτών και των ζώων μελετήθηκε σχετικά πρόσφατα. Σήμερα είναι γνωστά γύρω στα δέκα μέταλλα τα οποία είναι απαραίτητα στους ζωντανούς οργανισμούς, ενώ τα περισσότερα δημιουργούν προβλήματα σε αυτούς κυρίως όταν οι συγκεντρώσεις τους είναι υψηλότερες από μια συγκεκριμένη τιμή.

I. Μέθοδοι χωρίς την αποδόμηση / καταστροφή του δείγματος (non- destructive methods).

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι:

- Νετρονική ενεργοποίηση (Neutron Activation Analysis).
- Φθορισμομετρία ακτίνων-X (X-Ray Fluorescence).
- Φασματοσκοπία εκπομπής ακτίνων-X προκαλούμενων από πρωτόνια (Proton Induced X-Ray Emission, PIXE).

Η εφαρμογή των μεθόδων αυτών είναι περιορισμένη για τους εξής λόγους:

- Απαιτούνται αναλυτικά όργανα υψηλού κόστους.
- Δεν υπάρχει μεγάλη ποικιλία πρότυπων δειγμάτων για τη βαθμονόηση των οργάνων.

Παράλληλα η εφαρμογή των μεθόδων αυτών έχει και αρκετά πλεονεκτήματα (Spenackova και Kucera, 1989) κυριότερα των οποίων είναι:

- Η μη αποδομή / καταστροφή των δειγμάτων. Αυτό έχει ιδιαίτερη σημασία όταν πρόκειται για σπάνια δείγματα, όπως αρχαιολογικά ευρήματα.
- Η δυνατότητα ταυτόχρονου προσδιορισμού πολλών στοιχείων μετάλλων και αμετάλλων.

II. Μέθοδοι με κατάλληλη αποδόμηση / καταστροφή του δείγματος (destructive methods).

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν:

- ❖ Φασματοφωτομετρία υπεριώδους – ορατού(UV-VIS).
- ❖ Φθορισμομετρία(FA).
- ❖ Φλογοφασματομετρία Ατομικής Εκπομπής(AES).
- ❖ Φασματοσκοπία Ατομικής Εκπομπής με Επαγωγικά Συζευγμένο Πλάσμα(ICP-AES).
- ❖ Φλογοφασματομετρία Ατομικής Απορρόφησης(AAS) .
- ❖ Φασματοσκοπία Ατομικής Απορρόφησης με Φούρνο θερμαινόμενου Γραφίτη(FG-AAS).
- ❖ Αναλυτική Βολταμετρία κ.α.

2. ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ

2.1 Κάδμιο

2.1.1. Εισαγωγή

Το κάδμιο ανήκει στην IIB ομάδα .Δεν αποτελεί απαραίτητο στοιχείο για τους ζωντανούς οργανισμούς και είναι ισχυρά τοξικό σε φυτά και ζώα . Η εισαγωγή του καδμίου στο ανθρώπινο σώμα γίνεται κυρίως με την τροφή . Σημαντικές ωστόσο είναι και οι ποσότητες του καδμίου που εισάγονται με την εισπνοή των ατμών CdO από τις βιομηχανίες ή ακόμα και από το κάπνισμα.

Οι οργανισμοί FAO και WHO υποδεικνύουν ότι η μέγιστη επιτρεπτή εισερχόμενη ποσότητα καδμίου είναι από 400 μέχρι 500μg Cd την εβδομάδα, δηλ. 70μg Cd ημέρα⁻¹(Fassett 1980). Έχει υπολογιστεί ότι η ποσότητα του καδμίου που εισάγεται από την καθημερινή διαίτα κυμαίνεται από 25 μέχρι 75 μg Cd ημέρα⁻¹(Page et al 1981) . Οι καπνιστές καθημερινά δέχονται επιπλέον από 20μέχρι 35μg Cd.

Τις τελευταίες δεκαετίες η ρύπανση του περιβάλλοντος από το κάδμιο άρχισε να αυξάνεται εξαιτίας της πρόσφατης χρησιμοποίησής του , σε αντίθεση με άλλα μέταλλα , όπως ο μόλυβδος , ο χαλκός και ο υδράργυρος τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για αιώνες (Hutton , 1987).

Το κάδμιο βιομηχανικά χρησιμοποιείται : α)ως προστατευτικό κάλυμμα στο ατσάλι ,β) σε πολλά κράμματα , γ) σε πολλές χρωστικές ουσίες (για πλαστικά , για βερνίκια και για σμάλτο), δ) ως σταθεροποιητής στα πλαστικά , ε) σε μπαταρίες Ni-Cd , στ) σε φωτοβολταϊκά κύτταρα , η) για τον έλεγχο (στους μοχλούς ελέγχου) στους πυρηνικούς αντιδραστήρες .

2.1.2. Προέλευση του καδμίου Γεωχημική προέλευση του καδμίου

Η μέση περιεκτικότητα σε Cd του φλοιού της γης υπολογίζεται ότι είναι περίπου $0,1 \text{ mg Cd kg}^{-1}$ (Hekkrichs et al. 1980 ; Bowen, 1979).

Το κάδμιο σχετίζεται στενά με το ψευδάργυρο , διότι : α) τα δύο στοιχεία έχουν ανάλογη ιονική δομή , β) έχουν την ίδια τιμή ηλεκτροαρνητικότητας και γ) και τα δύο στοιχεία έχουν την τάση να δεσμεύονται από το ανθρακικό ασβέστιο . Το κάδμιο έχει μεγαλύτερη τάση για σύνδεση με το θείο σε σχέση με τον ψευδάργυρο . Ο μέσος όρος του λόγου Cd:Zn για όλα τα πετρώματα είναι περίπου 500:1 , αλλά κυμαίνονται από 27:1 μέχρι 7000:1 (Erstein 1974). Οι κύριες πηγές καδμίου στο έδαφος είναι τα ορυκτά ZnS (σφαλερίτης και βουρτσιίτης) , αλλά και άλλα δευτερεύοντα ορυκτά .

Τα ιζηματογενή πετρώματα περιέχουν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις καδμίου , ενώ οι φωσφορίτες (sedimentary Ca phosphater) και marine black shales (σχιστόλιθοι) εμφανίζονται να περιέχουν μεγαλύτερες ποσότητες καδμίου .

Οι συγκεντρώσεις καδμίου στα πετρώματα . Οι ερευνητές Page και Pigham (1973) , υποστηρίζουν ότι εδάφη που προέρχονται από : πυριγενή πετρώματα περιέχουν κάδμιο $0,1-0,3 \text{ mg Cd kg}^{-1}$ πετρώματος , τα μεταμορφωμένα πετρώματα περιέχουν κάδμιο $0,1-1 \text{ mg Cd kg}^{-1}$ πετρώματος τα ιζηματογενή περιέχουν κάδμιο $0,3-11 \text{ mg Cd kg}^{-1}$ πετρώματος.

Πίνακας 2.1 Συγκεντρώσεις καδμίου σε διάφορα πετρώματα. (Erstein , 1974;Page και Mohamed El-Amamy , 1987 ; Adriano, 1986 ; Thornton, 1992) .

Πέτρωμα	Εύρος συγκέντρωσης (mg Cd kg^{-1} πετρώματος)	Μέσος όρος συγκέντρωσης (mg Cd kg^{-1} πετρώματος)
Πυριγενή πετρώματα	0,03 -0,57	0,23
Γρανίτες	0,01-1,6	0,2
Βασάλτες	0,01-1,6	0,13
Shales-Clays	0,017-11	*
Σχιστόλιθοι	0,3-219	*
Sandstones	0,019	*
Ανθρακικά	0,007-12	0,065
Φωσφορίτες	<10-980	*
Γαιάνθρακες	0,01-300	*
Σφαλερίτης	0,2-0,4	*

2.1.3. Προσθήκη καδμίου στο έδαφος με ατμοσφαιρική απόθεση

Η συγκέντρωση του καδμίου στον αέρα κυμαίνεται από 1 μέχρι 50 ng Cd m^{-3} ανάλογα από την απόσταση από την πηγή της εκπομπής. Το εύρος της συγκέντρωσης του ατμοσφαιρικού καδμίου στην Ευρώπη κυμαίνεται από 1 μέχρι 6 ng Cd m^{-3} για τις αγροτικές περιοχές , $3,6-20 \text{ ng m}^{-3}$ για τις αστικές περιοχές και $16,5$ μέχρι 54 ng m^{-3} για τις

βιομηχανικές περιοχές σε ορισμένες δε περιπτώσεις μέχρι και 11000 ng m⁻³ (Hutton , 1982).

Οι βασικότερες πηγές ατμοσφαιρικής εκπομπής καδμίου είναι οι βιομηχανίες παραγωγής μη σιδηρούχων μεταλλευμάτων , η καύση ορυκτών καυσίμων και οι εκπομπές από τις βιομηχανίες παραγωγής σιδήρου και σιδηρομεταλλευμάτων (Tiller , 1989).

Η ύπαρξη του καδμίου στις περιοχές αυτές , οφείλεται στη μεγάλη πτητικότητα του καδμίου όταν εκτίθεται σε θερμοκρασίες υψηλότερες των 400 °C (Bowen , 1979) . Η συνολική εισροή καδμίου στο έδαφος τόσο από την ξηρή απόθεση , όσο και από τις βροχοπτώσεις κυμαίνεται από 2,6 μέχρι 19g Cd εκτάριο⁻¹ χρόνο⁻¹ στις αγροτικές περιοχές .

Η τιμή 3g Cd εκτάριο⁻¹ χρόνο⁻¹ θεωρείται ως η πιο αντιπροσωπευτική για την απόθεση καδμίου στις αγροτικές περιοχές της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Hutton, 1982).

2.1.4. Προσθήκη καδμίου στο έδαφος με λιπάσματα

Τα φωσφορικά λιπάσματα θεωρούνται ότι είναι η μεγαλύτερη πηγή καδμίου στα καλλιεργούμενα εδάφη . Ιδιαίτερα υψηλές είναι οι συγκεντρώσεις του καδμίου που βρίσκονται στους φωσφοριτές οι οποίοι χρησιμοποιούνται ως πρώτη ύλη στις βιομηχανίες λιπασμάτων . Οι συγκεντρώσεις καδμίου στα φωσφορικά λιπάσματα.

2.1.5. Προσθήκη καδμίου στο έδαφος από την ιλύς του βιολογικού καθαρισμού (sewage sludge).

Η ιλύς παρουσιάζει μεγάλες διαφοροποιήσεις ως προς τη συγκέντρωση του καδμίου ανάλογα με την πηγή από την οποία προέρχονται . Σχεδόν ολόκληρη η ποσότητα του καδμίου που περιέχεται στην ιλύς του βιολογικού καθαρισμού , βρίσκεται στο στερεό υπόλειμμα , που παραμένει μετά τη δευτεροβάθμια κατεργασία (Αντωνιάδης και Alloway , 1998). Η συγκέντρωση του καδμίου κυμαίνεται από 17 μέχρι 23 mg Cd kg⁻¹ ξηρής ουσίας (Davis , 1983 ; Williams et al. 1976) .

Τις τελευταίες δεκαετίες η συγκέντρωση του καδμίου στην ιλύς του βιολογικού έχει ελαττωθεί σημαντικά εξαιτίας των διαδικασιών ελαχιστοποίησης των αποβλήτων που έχουν επιβληθεί στις βιομηχανίες .

Πίνακας 2.2.: Συγκεντρώσεις καδμίου στα φωσφορικά λιπάσματα

Προέλευση του φωσφορίτη	Εύρος συγκέντρωση mg Cd kg ⁻¹ λιπάσματος	Βιβλιογραφία
Διάφορες χώρες	0,1 -170	Kabata – Pendias et al.1992
Διάφορες χώρες	3,3 – 40	Jones et al. 1987
Νησιά του Ειρηνικού	18-91	Williams και David , 1973
Δυτικές Η.Π.Α	<200	Jones et al 1987
Φλόριδα	<20	Jones et al 1987
	Εύρος συγκέντρωσης (mg Cd kg ⁻¹ P)	
Μαρόκο	137	Hutton , 1982
Η.Π.Α.	80	Hutton , 1982
Togo	367	Hutton , 1982
Σενεγάλη	584	Hutton , 1982
Ρωσία	1,8	Hutton , 1982
Τυνησία / Αλγερία	137	Hutton , 1982
Ισραήλ / Ιορδανία	82	Hutton , 1982

Τα όρια για την ιλύς του βιολογικού καθαρισμού που χρησιμοποιείται στη γεωργία καθορίστηκαν στην Αγγλία από 9 mg Cd kg⁻¹ ξηρή ουσίας το 1980/81 σε 3,2 mg kg⁻¹ ξηρής ουσίας το 1990/91 (Department of the Environment , UK, 1993).

2.1.6. Χημική συμπεριφορά του καδμίου στα εδάφη

Κατά τη αποσάρθρωση των μητρικών πετρωμάτων το κάδμιο διαλύεται και μεταβαίνει στο εδαφικό διάλυμα με τη μορφή ιόντων Cd²⁺ (Holm et al. 1996). Στα εδάφη το Cd μπορεί να βρίσκεται με τη μορφή αρκετών ανόργανων συμπλοκών ιόντων CdCl⁺ , CdOH⁺ , CdHCO₃⁺ , CdCl₃⁻ , CdCl₄²⁻ , Cd(OH)₃⁻ , Cd(OH)₄²⁻ , αλλά και οργανικών συμπλοκών (Kabata – Pendias et al . 1992) .

Η μέση περιεκτικότητα των εδαφών σε κάδμιο κυμαίνεται από 0,06 μέχρι 1,1 mg kg⁻¹ ξηρού εδάφους . Η υψηλότερη περιεκτικότητα εμφανίζεται στα Histosol 0,78 mg kg⁻¹ ξηρού εδάφους και η χαμηλότερη στα podzols 0,37 mg kg⁻¹ ξηρού εδάφους .

Οι μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις Cd στην ιλύς του βιολογικού καθαρισμού που χρησιμοποιούνται στη γεωργία (McGrath et al. 1994) .

Πίνακας 2.3. Μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις Cd στην ιλύς του βιολογικού καθορισμού που χρησιμοποιείται στην γεωργία και στα εδάφη που δέχτηκαν ιλύς βιολογικούς καθαρισμού ως και οι ετήσιες επιτρεπόμενες προσθήκες .

Χώρα	Έτος	Μέγιστη συγκέντρωση Cd (mg Cd kg ⁻¹)	Συγκέντρωση Cd σε εδάφη που δέχτηκαν ιλύ (mg kg ⁻¹ ξηρής ουσίας)	Ετήσιες επιτρεπόμενες προσθήκες (kg ⁻¹ ξηρής ουσίας)
Ευρωπαϊκή Ένωση	1986	20-40	1-3	0,15
Γαλλία	1988	20	2	0,15
Γερμανία	1992	10*	1,5	0,15
Ισπανία	1990	20	1,0	0,15
Δανία	1990	1,2	0,5	0,008
	1995	0,8	*	*
Φιλανδία	1995	1,5	0,5	0,0015
Σουηδία	1995	2,0	0,5	0,002
Η.Π.Α	1993	8,5	2,0	1,9

Ο αριθμός οξείδωσης με τον οποίο το κάδμιο βρίσκεται στο φυσικό περιβάλλον είναι το 2⁺ και οι σημαντικότεροι παράγοντες οι οποίοι καθορίζουν την κίνηση των ιόντων καδμίου είναι το pH του εδάφους και το δυναμικό οξειδοαναγωγής . Με τη χρήση ειδικών μοντέλων έχει αποδειχθεί ότι σε όξινα εδάφη , στο εδαφικό διάλυμα κυριαρχούν οι εξής μορφές του καδμίου : Cd²⁺ , CdSO₄ και CdCl₄⁺ , ενώ σε αλκαλικά εδάφη Cd²⁺ , CdCl⁺ , CdSO₄ και CdHCO₃⁺ (Sposito και Page , 1984).

Η συγκέντρωση του καδμίου στο έδαφος εξαρτάται από :

- Τη δέσμευση του καδμίου από τη φάση του εδάφους .
- Την καταβύθιση του καδμίου .

Οι ερευνητές Tiller et al (1979) και Soon (1981 , υποστήριξαν ότι η προσρόφηση του καδμίου από τη στερεή φάση του εδάφους ελέγχει σε μεγαλύτερο βαθμό τη συγκέντρωση του καδμίου στο εδαφικό διάλυμα από την καταβύθιση . Όταν όμως η τιμή του pH υπερβεί μία οριακή τιμή τότε η διαδικασία εκείνη η οποία επικρατεί είναι η καταβύθιση . Το διάγραμμα της διαλυτότητας του καδμίου σε σχέση με το pH του εδάφους :

Φαίνεται ότι σε pH>7,5 το κάδμιο δεν είναι ευκίνητο και καταβυθίζεται ως CdCO₃ ή και ως Cd₃(PO₄)₂ .

Ο ερευνητής John(1972) , ανέφερε ότι το κάδμιο προσροφάτε ευκολότερα από την οργανική ουσία του εδάφους και λιγότερο από την άργιλο .

Οι ερευνητές Abd –Elfattah και Wada (1981) , υποστηρίζουν ότι τα οξείδια του σιδήρου παρουσιάζουν ιδιαίτερα αυξημένη τάση για προσρόφηση του καδμίου . Ανάλογα ήταν και τα συμπεράσματα των Gadde και Laitinen (1974) ; των Forbes et al. (1976) και των Street et al . (1977).

Σε όλους τους τύπους εδαφών , η ενεργότητα (activity) του καδμίου επηρεάζεται έντονα από την τιμή του pH του εδάφους . Στα όξινα εδάφη , η διαλυτότητα του καδμίου επηρεάζεται από την οργανική ουσία και τα οξείδια και υδροξείδια , ενώ σε αλκαλικά εδάφη καθοριστικό ρόλο για την αποκατάσταση της ισορροπίας στο εδαφικό διάλυμα παίζει η καταβύθιση των ενώσεων του καδμίου .

Η δυναμική ισορροπία που αποκαθίσταται ανάμεσα στην ποσότητα του υδατοδιαλυτού καδμίου και στην ποσότητα του καδμίου που έχει προσροφήσει από τη στερεή φάση του εδάφους , εξαρτάται από τους εξής παράγοντες (Pickering ,1980 ; Gerritse και Van Driel , 1984) :

- Από το pH του εδάφους .
- από τις χημικές ιδιότητες των ιοντικών μορφών του καδμίου .
- από τη σταθερότητα των συμπλοκών του καδμίου .
- από την ιοντική ισχύ του εδαφικού διαλύματος .
- από την παρουσία ιόντων που δρουν ανταγωνιστικά .

Ο ερευνητής Christensen (1984 , υποστηρίζει ότι η προσρόφηση του καδμίου από τα αμμώδη και τα πηλώδη (loamy) εδάφη αυξάνονταν κατά ένα συντελεστή 3 για κάθε αύξηση της τιμής του pH κατά μία μονάδα και σε pH₄ και 7,7 .

Οι ερευνητές Farrah και Pickering (1977) , έδειξαν ότι η προσρόφηση του καδμίου αυξάνονταν σημαντικά με αύξηση της τιμής του pH πάνω από την τιμή 8 .

Οι ερευνητές Garcia-Miragaya και Page (1978) , οι Zachara και Smith (1994), καθώς και οι Cowan et al. (1992) ότι σε τιμές pH μεταξύ 6 και 7 , εδάφη τα οποία είναι πλούσια σε οργανική ουσία ή ένυδρα οξειδία του σιδήρου , είναι δυνατό να προσροφήσουν μεγαλύτερες ποσότητες καδμίου , σε σχέση με τα εδάφη εκείνα τα οποία περιέχουν ορυκτά της αργίλου του τύπου 2:1 και μεγάλες τομές C.E.C.

Με την ανύψωση της τιμής του pH του εδάφους η συγκέντρωση του καδμίου στο εδαφικό διάλυμα ελαττώνεται επειδή :

- Αυξάνεται η υδρόλυση .
- Αυξάνεται η τάση για προσρόφηση του καδμίου από τη στερεή φάση του εδάφους .
- Αυξάνεται το αρνητικό φορτίο του εδάφους που εξαρτάται από την τιμή του pH του εδάφους

Το υδατοδιαλυτό κάδμιο που βρίσκεται στο εδαφικό διάλυμα είναι δυνατό να σχηματίσει σύμπλοκα ιόντα και ενώσεις με πλήθος οργανικών υποκαταστάτων . Οι Ερευνητές Farrah και Pickering (1977) , υποστηρίζουν ότι η ένωση EDTA είναι δυνατό να συμπλοκοποιήσει σχεδόν ολόκληρη την ποσότητα των ιόντων του δισθενούς καδμίου σε εδάφη με τιμές pH που κυμαίνονται από 3 μέχρι 11.Ο υποκαταστάτης EDTA σχηματίζει ανιονικά σύμπλοκα αλλά όμως σε χαμηλές τιμές pH αυτά δίστανται .

Το αμινοξύ γλυκίνη προκαλεί μετατόπιση της καταβύθισης του καδμίου σε υψηλότερες τιμές pH , ενώ το ταρταρικό οξύ δεν επηρεάζει την προσρόφηση .

Το κάδμιο σχηματίζει ανιονικά σύμπλοκα με τα χουμικά και φουλβικά οξέα τα σύμπλοκα όμως αυτά είναι λιγότερο σταθερά σε σχέση με τα σύμπλοκα που σχηματίζουν ο χαλκός και ο μόλυβδος (Tjell et al. 1983 ; Livens , 1991) .

Οι οργανικοί υποκαταστάτες συμπλοκοποιούν τα βαρέα μέταλλα , ελαττώνουν τη δυνατότητα πρόσληψης τους από τα φυτά και με τον τρόπο αυτό περιορίζουν την εμφάνιση τοξικών συμπτωμάτων σ' αυτά . Τα σύμπλοκα του καδμίου με οργανικούς υποκαταστάτες είναι πολύ σταθερά , όπως άλλωστε και τα ανόργανα (Bolton et al. 1996) . Αντίθετα τα ελεύθερα ένυδρα οξειδία του καδμίου είναι πολύ πιο ευκίνητα και τοξικά στα φυτά .

Σημαντικό ρόλο στην προσρόφηση του καδμίου από τη στερεή φάση του εδάφους παίζει η παρουσία στο εδαφικό διάλυμα άλλων ιόντων , όπως του ασβεστίου , κοβαλτίου , χρωμίου , χαλκού , νικελίου και μόλυβδου . Τα ιόντα αυτά αναστέλλουν την προσρόφηση του καδμίου , Ο Christensen (1984) υποστηρίζει ότι όταν η συγκέντρωση του ασβεστίου

αυξάνεται με ένα συντελεστή 10 (π. χ από $10^{-3}M$ γίνεται $10^{-2}M$) τότε ελαττώνεται η ικανότητα προσρόφησης του καδμίου από ένα αμμοπηλώδες έδαφος κατά 67% .

Οι ερευνητές Cowan et al. (1991) , παρατήρησαν ότι υπάρχει έντονη ανταγωνιστική δράση ανάμεσα στα στοιχεία Cd και Ca για την προσρόφηση τους στα οξειδία του σιδήρου . Ο Christensen (1987) , υποστηρίζει ότι ο Zn έχει μεγαλύτερη ανασταλτική δράση στην προσρόφηση του καδμίου , λόγω του ανταγωνιστικού προτύπου Langmuir που επίσης παρουσιάζει η ισόθερμη προσρόφησης του. Παρόλα αυτά , αν και η προσρόφηση του καδμίου ελαττώνεται η μορφή της ισόθερμης διατηρείται .

Μείωση της προσρόφησης του καδμίου παρατηρείται επίσης , όταν στο εδαφικό διάλυμα είναι αυξημένη η ποσότητα των χλωριόντων . Τα σύμπλοκα του καδμίου με τα ιόντα του χλωρίου είναι ιδιαίτερα σταθερά και με αυτόν τον τρόπο αυξάνεται η κινητικότητα του καδμίου , δηλαδή ελαττώνεται η προσρόφηση του από την στερεή φάση (Smolders και McLaughlin , 1996). Επομένως μείωση της προσρόφησης του καδμίου παρατηρείται στα αλατούχα εδάφη , καθώς και στα εδάφη τα οποία αρδεύονται με αλμυρό ύδωρ .

Οι ερευνητές Evans et al. (1991) , απέδειξαν ότι παρατηρείται ελάττωση στην προσρόφηση των μετάλλων από το έδαφος , όταν υπάρχουν χλωριούχα , με την ακόλουθη σειρά : $Hg > Cd > Pb > Zn$. Η μείωση της προσρόφησης των μετάλλων αυτών από το έδαφος οφείλεται στην ικανότητά τους να σχηματίζουν σταθερά σύμπλοκα με τα χλωριόντα . Με αυτόν τον τρόπο , τα μέταλλα γίνονται περισσότερο διαθέσιμα στα φυτά .

Οι ερευνητές Alloway et al (1988) ; Papadopoulos και Rowell , (1988) , καθώς και οι Temminghoff et al. (1995) , έδειξαν ότι σε εδάφη τα οποία περιέχουν υψηλό ποσοστό $CaCO_3$, ελαττώνεται η διαθεσιμότητα του καδμίου γιατί προσροφάτε από το $CaCO_3$. Οι ανωτέρω ερευνητές έδειξαν ότι η προσρόφηση του καδμίου από τον ασβεστίτη είναι γραμμική σε χαμηλές συγκεντρώσεις ($< 1 \mu mol Cd g^{-1}$ ασβεστίτη).

Όταν όμως η συγκέντρωση του καδμίου είναι υψηλή , προηγείται η καταβύθιση του καδμίου με τη μορφή του $CdCO_3$. Η προσρόφηση του καδμίου από τον ασβεστίτη είναι ουσιαστικά **χημειορόφηση** και πραγματοποιείται εξαιτίας της αντικατάστασης του ασβεστίου από το κάδμιο στους επιφανειακούς κρυστάλλους του ασβεστίτη (Papadopoulos και Rowell ,1988).

2.1.7. Το κάδμιο στο σύστημα έδαφος – φυτό Το κάδμιο στα φυτά

Η τοξική δράση του καδμίου στα ζώα και στον άνθρωπο είναι αθροιστική . Για το λόγω αυτό έχει μελετηθεί εκτεταμένα η περιεκτικότητα των φυτών και των φυτικών τροφών σε κάδμιο .

Η περιεκτικότητα σε κάδμιο των τροφών φυτικής προέλευσης παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις . Σε μη ρυπασμένα εδάφη έχει υπολογιστεί ότι η υψηλότερη συγκέντρωση βρίσκεται στα φύλλα από σπανάκι ($0,11 mg kg^{-1}$ χλωρής μάζας) και στα φύλλα του μαρουλιού ($0,66 mg kg^{-1}$ ξηρής ουσίας , $3,00 mg kg^{-1}$ ξηρής ουσίας).

Σε περιοχές ρυπασμένες , τα φυτά εφοδιάζονται κάδμιο από το έδαφος και από τον αέρα , αλλά και σε πολλές περιπτώσεις από το ύδωρ που χρησιμοποιείται για την άρδευση των καλλιεργειών (McRaughlin et al 1990).Οι Cunningham et al. (1975) , συμπεραίνουν ότι το σημαντικότερο τοξικό σύμπτωμα το οποίο μπορεί να εμφανιστεί στα φυτά είναι η αναστολή της σύνθεσης της ανθοκυανίνης και της χλωροφύλλης .

Η ποσότητα της χλωροφύλλης που σχηματίζεται βρέθηκε ότι είναι συνάρτηση της συγκέντρωσης του καδμίου που βρίσκεται στους φυτικούς ιστούς και είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί ως δείκτης για την υψηλότερη κριτική συγκέντρωση του καδμίου στα φυτά (Burton et al . 1986).

Οι Kloke et al. (1984) , υπολόγισαν ότι η συγκέντρωση του καδμίου στην οποία εκδηλώνονται τοξικά συμπτώματα , κυμαίνεται από 5 μέχρι 10 mg kg⁻¹ ξηρής ουσίας σε ευαίσθητα είδη φυτών , ενώ οι Machicol και Beckett (1985), ανέφεραν ότι η κριτική συγκέντρωση του καδμίου κυμαίνεται από 10 μέχρι 20 mg kg⁻¹ ξηρής ουσίας.

Τα συμπτώματα που εμφανίζονται στα φυτά σε υψηλές συγκεντρώσεις καδμίου , είναι : καθυστέρηση της ανάπτυξης , καταστροφή των ριζών , χλώρωση των φύλλων και δημιουργία κόκκινων – καφέ χρωματισμών στα άκρα των φύλλων . Η τοξική δράση του καδμίου στα φυτά οδηγεί σε παρεμπόδιση του μεταβολισμού των θρεπτικών στοιχείων , παρεμποδίζει τη φωτοσύνθεση την αναπνοή και μειώνεται η διαπερατότητα της κυτταροπλασματικής μεμβράνης .

2.1.8. Πρόσληψη και μεταφορά του καδμίου στα φυτά

Το κάδμιο δεν είναι απαραίτητο στοιχείο για τη μεταβολικές διαδικασίες των φυτών , ωστόσο όμως προσλαμβάνεται από τις ρίζες και από τα φύλλα των φυτών .Επίσης συσσωρεύεται στους μικροοργανισμούς του εδάφους .Ο βασικός παράγοντας που ελέγχει την πρόσληψη του καδμίου από τα φυτά είναι η τιμή του pH του εδάφους. Οι Kitagishi και Yamane (1981), αναφέρουν ότι η πρόσληψη του καδμίου από σπόρους ρυζιού ήταν μεγαλύτερη σε τιμές pH από 4,5 μέχρι 5,5 . Παρόλα αυτά υπάρχουν και αντικρουόμενα αποτελέσματα στα οποία παρουσιάζεται ότι τα κάδμιο είναι ευκίνητο σε αλκαλικά εδάφη εξαιτίας του σχηματισμού συμπλοκών . Οι ερευνητές Babich και Stotzky (1978) και οι Chaney και Hornick (1977), υποστηρίζουν ότι και το κάδμιο είναι ευκίνητο σε αλκαλικά εδάφη εξαιτίας του σχηματισμού συμπλοκών .

Οι Kitagishi και Yamane (1981) , ανέφεραν ότι όταν το δυναμικό οξειδοαναγωγής των εδαφών ελαττώνεται , κατά 0,14 Vilt , η αναλογία του υδατοδιαλυτού καδμίου ελαττώνεται , κυρίως εξαιτίας της αναγωγής των θειικών σε θειούχα ιόντα . Όσο αυξάνεται η συγκέντρωση του καδμίου που περιέχεται στο εδαφικό διάλυμα , τόσο αυξάνεται και η πρόσληψη του καδμίου από τα φυτά . Τα διάφορα είδη φυτών προσλαμβάνουν διαφορετικές ποσότητες καδμίου . Η χαμηλότερη ποσότητα καδμίου έχει παρατηρηθεί στα φυτά ρυζιού και στο τριφύλλι και η υψηλότερη στο σπανάκι και στο γογγύλι .

Το κάδμιο είναι εύκολο να μετακινηθεί και μέσα στο φυτό από τις ρίζες προς τα φύλλα , όταν η συγκέντρωση του καδμίου στο εδαφικό διάλυμα είναι υψηλή .

Από έρευνες που πραγματοποιήθηκαν σε διάφορες ποικιλίες καπνού , σχετικά με την πρόσληψη Cd από τις ποικιλίες Burley , Virginia και Ελασσόνα , διαπιστώθηκε ότι η πρόσληψη του Cd ήταν διαφορετική σε κάθε ποικιλία . Συγκεκριμένα μεγαλύτερες ποσότητες Cd (1,7 mg Cd kg⁻¹ Ξ.Ο) από τις ποικιλίες Virginia (1mg Cd kg⁻¹ Ξ.Ο) και Ελασσόνα (1,6 mg Cd kg⁻¹ Ξ.Ο) (Golia E.E ,I.K Mitsios ,and C.D . Tsantilas ,Mitsios et al. 2003).

Το πιο σημαντικό βιομηχανικό χαρακτηριστικό του καδμίου είναι η έντονη τάση για σχηματισμό δεσμών με τις σουφρίδρυλο ομάδες αρκετών ενώσεων (Lande-Hesse, Dunemann και Schwedt , 1994). Επίσης το κάδμιο δημιουργεί δεσμούς με τις πλευρικές αλυσίδες των πρωτεϊνών καθώς και με φωσφορικές ομάδες .

Οι ερευνητές Dabin et al .(1978) και Braude et al (1980) , ανέφεραν ότι το κάδμιο συγκεντρώνεται στα πρωτεϊνικά κλάσματα που παρουσιάζονται στην παραγωγή . Η μεγάλη τοξική δράση του καδμίου στα φυτά οφείλεται στο ότι εμποδίζει τη δράση πολλών ένζυμων .

Το κάδμιο επίσης αναστέλλει τη μεταγραφή του DNA στους μικροοργανισμούς και παρεμποδίζει τη συμβίωση μικροβίων και φυτών. Οι McKenny και Vrisacker (1985) , απέδειξαν ότι το κάδμιο είναι ενεργός παρεμποδιστής της βιολογικής αναγωγής των νιτροδών ιόντων σε μονοξείδιο του αζώτου .

2.2.ΜΟΛΥΒΔΟΣ

2.2.1 Εισαγωγή

Ο μόλυβδος δεν είναι απαραίτητο και ωφέλιμο στοιχείο για τα ζώα και τα φυτά . Είναι γνωστό ότι ο μόλυβδος είναι ένα επικίνδυνο δηλητήριο για τον άνθρωπο και κυρίως για τα ανήλικα άτομα , τα οποία αποτελούν ιδιαίτερα ευαίσθητη ομάδα . Οι Wixson και Davies (1994), υποστήριξαν ότι υπάρχει γραμμική σχέση ανάμεσα στη συγκέντρωση του μολύβδου που βρέθηκε στο αίμα ανήλικων παιδιών , με τη συγκέντρωση του μολύβδου που υπάρχει στο έδαφος στο οποίο παίζουν .

Ο μόλυβδος βρίσκεται σε μη ρυπασμένα εδάφη σε συγκέντρωση $<20 \text{ mg Pb kg}^{-1}$ εδάφους , αλλά έχουν αναφερθεί πολύ μεγαλύτερες συγκεντρώσεις που οφείλονται σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες . Ο μόλυβδος στο περιβάλλον έχει εξαιρετικά μεγάλη τάση συσσώρευσης στο έδαφος , επειδή έχει χαμηλή διαλυτότητα και δεν αποικοδομείται με μικροβιακή δραστηριότητα .

2.2.2 Προέλευση του μολύβδου

Γεωχημική προέλευση του μολύβδου

Ο μέσος όρος της συγκέντρωσης του μολύβδου στα κρυσταλλικά πετρώματα είναι 16 mg Pb kg^{-1} πετρώματος . ο Niyagu (1978) , υπολόγισε ότι η μέση περιεκτικότητα του μολύβδου στους γάββους είναι $1,9 \text{ mg Pb kg}^{-1}$ ορυκτού , στον ανδεσίτη $8,3 \text{ mg Pb kg}^{-1}$ ορυκτού και στο γρανίτη $22,7 \text{ mg Pb kg}^{-1}$ πετρώματος . Τα στοιχεία αυτά φανερώουν την τάση του μολύβδου να συγκεντρώνεται σε ορυκτά τα οποία περιέχουν πυρίτιο . Ο μόλυβδος , επίσης , παρουσιάζει αυξημένη τάση να σχηματίζει σταθερές ενώσεις με το θείο . Για το λόγω αυτό βρίσκεται στα ορυκτά με δεσμούς με το θείο . Το πιο διαδεδομένο ορυκτό του μολύβδου είναι ο **γαληνίτης** (PbS) .

Σε μεγάλες επίσης , συγκεντρώσεις παρουσιάζεται ο μόλυβδος σε ιζηματογενή πετρώματα , όπως οι σχιστόλιθοι . Ο ι σχιστόλιθοι είναι πλούσιοι σε οργανική ουσία και σε σουλφίδια (Meyers et al 1992) και παρουσιάζουν συγκεντρώσεις μολύβδου $>23 \text{ mg Pb kg}^{-1}$ πετρώματος . Οι ασβεστόλιθοι και οι δολομίτες περιέχουν κατά μέσο όρο 71 mg Pb kg^{-1} πετρώματος .

Στην Αγγλία και Ουαλία ο Daviees (1983) , διαπίστωσε ότι η περιεκτικότητα σε μόλυβδο κυμαίνεται από 15 μέχρι $106 \text{ mg Pb kg}^{-1}$ εδάφους με γεωμετρικό μέσο , 42 mg Pb g^{-1} εδάφους .

Στους πυριτικούς κρυστάλλους ο μόλυβδος αντικαθιστά το κάλιο με τη διαδικασία της ισόμορφης αντικατάστασης , ενώ στα ανθρακικά άλατα και στον απατίτη αντικαθιστά το ασβέστιο . Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η ιονική ακτίνα του Pb^{2+} είναι 124 pm , ενώ του K^+ είναι 133 pm και του Ca^{2+} είναι 106 pm .

Ο μόλυβδος απαντάται κυρίως ως ιόν με τη μορφή του Pb^{2+} , άλλα και ως Pb^{4+} . Κατά τη διάρκεια της διάβρωσης τα σουλφίδια του μολύβδου , οξειδώνονται και σχηματίζουν ανθρακικά άλατα . Επίσης , είναι δυνατό τα ιόντα του μολύβδου να ενσωματωθούν σε ορυκτά της αργίλου , σε οξειδία του σιδήρου και του μαγγανίου , καθώς και στην οργανική ουσία του εδάφους .

2.2.3. Προσθήκη μόλυβδου από ατμοσφαιρική απόθεση

Οι ερευνητές Sposito και Page (1984), αναφέρουν ότι οι αέριες αποθέσεις του μόλυβδου από τον αέρα στο επιφανειακό στρώμα του εδάφους ανέρχονται σε 0,4 g Pb εκτάριο⁻¹ χρόνο⁻¹ στο Νότιο Πόλο , σε 7,2g Pb εκτάριο⁻¹ χρόνο⁻¹ στο Βορειοδυτικό Καναδά και σε 6,3 g Pb εκτάριο⁻¹ χρόνο⁻¹ στο Βόρειο Michigan στις Η.Π.Α .

Στις αγροτικές , μη βιομηχανοποιημένες περιοχές της κεντρικής Ευρώπης οι ποσότητες του μόλυβδου που αποτίθενται κυμαίνονται από 87μέχρι 536 g Pb εκτάριο⁻¹ χρόνο⁻¹ κατά μέσο όρο 189 g Pb εκτάριο⁻¹ χρόνο⁻¹ , ενώ στην βόρεια Αμερική από 71 μέχρι 20.498 g Pb εκτάριο⁻¹ χρόνο⁻¹ κατά μέσο όρο 4,257 g Pb εκτάριο⁻¹ χρόνο⁻¹ .

Οι ερευνητές Hilbebrand (1974) ; Olson και Skogerboe (1975) ; Harmesen , (1977) και οι Zimdahl και Hassett (1977) , υποστήριξαν ότι οι σπουδαιότερες πηγές ρύπανσης του μόλυβδου είναι οι βιομηχανίες επιμετάλλωσης . Οι μορφές με τις οποίες ο μόλυβδος βρίσκεται στο περιβάλλον είναι :PbS ,PbO ,PbSO₄ και PbO.PbSO₄. Επίσης , ο μόλυβδος βρίσκεται στις εκπομπές των οχημάτων με τη μορφή αλάτων με αλογόνα , όπως : PbBr₂ , PbBrCl , Pb(OH)Br και (PbO)₂PbBr₂ .

Η εκπομπή σωματιδίων στοιχειακού μόλυβδου είναι δυνατό επίσης να παρατηρηθεί . Ωστόσο όμως , τα σωματίδια αυτά είναι δυνατό ασταθή και μετατρέπονται σε οξείδια , ανθρακικά και θειούχα άλατα του μόλυβδου . Οι διαδικασίες μεθυλίωσης του μόλυβδου οι οποίες μπορεί να γίνουν είτε χημικά , είτε βιολογικά , είναι σημαντικές πηγές ρύπανσης γιατί εφοδιάζουν το περιβάλλον με πτητικές ενώσεις του μόλυβδου , όπως είναι ο τετραμεθυλιούχος και ο τετρααιθυλιούχος μόλυβδος .

Οι ενώσεις αυτές για δεκαετίες αποτελούσαν τις σπουδαιότερες πηγές ρύπανσης των εδαφών που βρίσκονταν κοντά σε δρόμους με τροχοφόρα . Οι ερευνητές Cannon , και Bowels (1962) , απέδειξαν ότι γρασιδία ακόμα και σε απόσταση 152 m από δρόμο ταχείας κυκλοφορίας στο Denver , Colorado, ήταν μολυσμένα με μόλυβδο . Σε ανάλογα συμπεράσματα κατέληξε και ο Chow (1969) , για τα εδάφη και για τα γρασιδία , στο Maryland χρησιμοποιώντας ισότοπα του μόλυβδου .

2.2.4. Προσθήκη μόλυβδου από γεωργικές δραστηριότητες

Οι ερευνητές Frank et al (1976) , υποστηρίζουν ότι ο αρσενικός μόλυβδος που χρησιμοποιήθηκε ως φυτοφάρμακο για το ψεκάσμο οπωροφόρων δέντρων , δημιούργησε υψηλές συγκεντρώσεις στα εδάφη όπου καλλιεργούνταν τα δέντρα αυτά. Τα τελευταία χρόνια δε χρησιμοποιείται πλέον ο αρσενικός μόλυβδος .

2.2.5. Προσθήκη μόλυβδου από την ύλη του βιολογικού καθαρισμού

Κατά τις κατεργασίες που πραγματοποιούνται στο βιολογικό καθαρισμό , τα βιομηχανικά απόβλητα συσσωρεύονται στον ίδιο χώρο με τους μεταλλικούς ρυπαντές , με αποτέλεσμα αυτοί να δεσμεύονται από την οργανική ύλη με τη μορφή συμπλοκών ενώσεων . Οι Bettow και Webber (1977) , ανέλυσαν 42 δείγματα ύλης από βιολογικό καθαρισμό σε πόλεις της Αγγλίας και της Ουαλίας στα οποία η συγκέντρωση του μόλυβδου κυμαίνονταν από 120 μέχρι 3000 mg Pb kg⁻¹ ξηρού υλικού . Ο Sommers (1977) , ανέφερε ότι η συγκέντρωση του μόλυβδου σε δείγματα ύλης βιολογικού καθαρισμού από οκτώ πολιτείες των Η.Π.Α κυμαίνονταν από 545 μέχρι 7431 mg Pb kg⁻¹ ξηρού υλικού .

2.2.6. Χημική συμπεριφορά του μόλυβδου στο έδαφος

Ο μόλυβδος συσσωρεύεται κυρίως στο επιφανειακό στρώμα των εδαφών (Launamma, 1959) σε εδαφικά δείγματα από επιλεγμένες περιοχές της Φιλανδίας. Ανάλογα ήταν και τα συμπεράσματα των ερευνητών Wright et al (1955), σε πειράματα που πραγματοποιήθηκαν στον Καναδά.

Το ότι ο μόλυβδος συσσωρεύεται στον επιφανειακό στρώμα των εδαφών συνδέεται με την ύπαρξη οργανικής ουσίας η οποία και δεσμεύει το μέταλλο δημιουργώντας συμπλοκές ενώσεις και ιόντα (Friedland et al 1984; Pinheiro et al 1994). Με βάση τις ανωτέρω εργασίες ο μόλυβδος εμφανίζεται σχεδόν ακίνητος, οπότε και δεν είναι δυνατό να μεταφερθεί στα βαθύτερα στρώματα της εδαφικής κατατομής με έκπλυση.

Οι Korte et al (1976), πραγματοποίησαν έκπλυση 11 εδαφών με διάλυμα το οποίο περιείχε ισότοπο μόλυβδου. Σε όλες τις περιπτώσεις ο μόλυβδος ήταν ακίνητος, εκτός από μία περίπτωση εδαφικού δείγματος Ultisol, με μηχανική σύσταση πηλοαμμώδη και πολύ χαμηλή τιμή της CEC ($<2 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ εδάφους).

Οι Santillan – Medrano και Jurinak (1975), υποστήριξαν ότι σε μη αλκαλικά εδάφη η διαλυτότητα του μόλυβδου ρυθμίζεται από τις ενώσεις $\text{Pb}(\text{OH})_2$, $\text{Pb}_3(\text{PO}_4)_2$, $\text{Pb}_5(\text{PO}_4)_2\text{OH}$, ενώ σε αλκαλικά εδάφη από το σχηματισμό της ένωσης PbCO_3 .

Κατά την εκπομπή καυσίμων από οχήματα τα οποία χρησιμοποιούν βενζίνη με πρόσθετα μόλυβδου, παράγονται οι ενώσεις PbBr_2 , PbBrCl , $\text{Pb}(\text{OH})\text{Br}$, $(\text{PbO})_2\text{PbBr}_2$ και $(\text{PbBrO})_2\text{PbBrCl}$ (Terhaar και Boyard 1971). Μετά από 18 ώρες οι ενώσεις του Br έχουν μειωθεί κατά 75% και οι ενώσεις του Cl έχουν μειωθεί κατά 30-40%, ενώ παράλληλα σχηματίζονται οξείδια του μόλυβδου, καθώς και ανθρακικά άλατα αυτού.

Οι ερευνητές Khan και Frankland (1984), προσδιόρισαν σε ρυπασμένα εδάφη τις ενώσεις PbCl_2 και PbO . Επιπλέον υποστήριξαν ότι μέσα σε μία ώρα οι ενώσεις του μόλυβδου που είναι υδατοδιαλυτές μετατρέπονται σε μορφές λιγότερο διαλυτές (εκχυλίσιμες με διάλυμα EDTA).

Οι σημαντικότεροι εδαφικοί παράγοντες οι οποίοι καθορίζουν την κινητικότητα ή την συγκράτηση του μόλυβδου από την στερεή φάση του εδάφους, είναι η τιμή του pH και η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων (C.E.C). Η επίδραση της οργανικής ουσίας στη συγκράτηση του μόλυβδου είναι σημαντικότερη σε σχέση με την καταβύθισή του ως ανθρακικό άλας ή την προσρόφηση του από τα ένυδρα οξείδια (Ainsworth et al 1994). Οι fattah και Pickering (1977), μελέτησαν τους πιθανούς μηχανισμούς προσρόφησης του μόλυβδου από το μοντμοριλλονίτη με διαδικασίες ιονανταλλαγής, ενώ από τον καολινίτη και τον ιλλίτη ο μόλυβδος προσροφάτε ανταγωνιστικά.

Οι Abd – Elfattah και Wada (1981), υποστήριξαν ότι παρατηρείται εκλεκτική προσρόφηση του μόλυβδου από τα οξείδια του σιδήρου, σε σχέση με το χούμο, τον καολινίτη και το μοντμοριλλονίτη.

Ο Garcia-Miragaya (1984), κατέληξε στο συμπέρασμα ότι σε εδάφη τα οποία βρίσκονταν δίπλα σε δρόμους το 0,7% του ποσοστού του μόλυβδου ήταν σε ανταλλάξιμη μορφή, ενώ το μεγαλύτερο ποσοστό, ήταν δεσμευμένο από την οργανική ουσία του εδάφους. Μικρό μόνο ποσοστό του μόλυβδου βρέθηκε να είναι δεσμευμένο στα οξείδια του σιδήρου.

Οι ερευνητές Hildebrand και Blum (1975), ανέφεραν ότι σημαντικό ρόλο στην ακινητοποίηση του μόλυβδου στο έδαφος παίζουν τα χουμικά και φουλβικά οξέα και ιδιαίτερα οι ενώσεις μεγάλου μοριακού βάρους. Οι συγκεντρώσεις του μόλυβδου στο εδαφικό διάλυμα είναι ιδιαίτερα χαμηλές με αποτέλεσμα να παρουσιάζονται πολλά αναλυτικά προβλήματα κατά τον ποσοτικό προσδιορισμό του. Η ερευνήτρια Al.Kabata (1972), προσδιόρισε συγκέντρωση μόλυβδου στο εδαφικό διάλυμα ίση με 10^{-7} M. Οι

Bradford et al (1975) ,προσδιόρισαν συγκέντρωση μόλυβδου 10^{-9} M σε 68 εδαφικά δείγματα στην καλιφόρνια των Η.Π.Α . 10^{-9} M . Τα αποτελέσματα των Gregson και Alloway , (1984).

Πίνακας 2.4. Μόλυβδος σε εδάφη και σε εδαφικό διάλυμα

Συνολική ποσότητα (mg kg^{-1} εδάφους)	Συγκέντρωση Pb στο εδαφικό διάλυμα (mg L^{-1})	Διαλυτός Pb (%) του ολικού
49900	112	0,05
2820	18	0,13
45800	11	0,005
1890	4	0,04
3830	4	0,02

Η συσσώρευση του μόλυβδου στην επιφάνεια των εδαφών έχει μεγάλη οικολογική σημασία , γιατί ο μόλυβδος επηρεάζει τη βιολογική δραστηριότητα στα εδάφη . Ο Tyler , (1975) ; οι Hughes et al (1980) και ο Woytowicz , (1980) , απέδειξαν ότι αυξημένα επίπεδα μόλυβδου στο έδαφος είναι δυνατό να περιορίσουν την ενζυματική δράση των μικροοργανισμών . Με αποτέλεσμα στον επιφανειακό ορίζοντα , να συσσωρεύετε οργανική ουσία η οποία δεν αποικοδομείται .

2.2.7. Ο μόλυβδος στο σύστημα έδαφος – φυτό

Ο μόλυβδος στα φυτά

Ο μόλυβδος έχει ανιχνευθεί σε μεγάλο αριθμό φυτών , όμως δεν είναι θρεπτικό στοιχείο και δεν συμμετέχει στο μεταβολισμό των φυτών . Οι Broyer et al (1972) , κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι ο μόλυβδος είναι ιδιαίτερα τοξικός στα φυτά σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες των 6 ppb .

Εξαιτίας της αλληλεπίδρασης του μόλυβδου με άλλα στοιχεία και επειδή μπορεί να μεταβληθεί η συγκέντρωσή του ή το είδος των ενώσεων του , δεν προσδιορίζονται με ακρίβεια τα όρια των συγκεντρώσεων του στα οποία έχει τοξική δράση σε ζωτικές λειτουργίες των φυτών . Έτσι έχει καθοριστεί από πολλούς ερευνητές ένα αρκετά μεγάλο εύρος συγκεντρώσεων του μόλυβδου που είναι τοξικό για τα φυτά ($30\text{-}300 \text{ mg kg}^{-1}$ ξηρού εδάφους) , (Bergmann και Cumakov , 1977 : Davis et al 1978) . Τα όρια περιεκτικότητας σε μόλυβδο καθώς και σε άλλα στοιχεία, σε μεγάλο αριθμό φυτών ως και η αντοχή αυτών στην τοξική δράση του μόλυβδου .

Πίνακας 2.5. Όρια περιεκτικότητας σε μόλυβδο ($mg\ kg^{-1}$ ξηρού εδάφους) καθώς και σε άλλα στοιχεία , σε μεγάλο αριθμό φυτών ως και αντοχή αυτών στην τοξική δράση του μολύβδου

Στοιχείο	Έλλειψη	Επάρκεια	Τοξική δράση	Αντοχή στις καλλιέργειες
Ag	*	0,5	5-10	*
Al	*	1-1,7	5-20	*
B	5-30	10-100	50-200	400
Ba	*	*	500	*
Be	*	<1-7	10-50	*
Cd	*	0,05-0,2	5-30	3
Co	*	0,02-11	15-50	5
Cr	*	0,1-0,5	5-30	2
Cu	2-5	5-30	20-100	50
F	*	5-30	50-500	*
Hg	*	*	1-3	*
Li	*	3	5-50	*
Mn	10-30	30-300	400-1000	300
Mo	0,1-0,3	0,2-5	10-50	*
Ni	*	0,1-5	10-100	50
Pb	*	5-10	30-300	10
Se	*	0,01-2	5-30	*
Sn	*	*	60	*
Sb	*	7-50	150	*
Ti	*	*	50-200	*
Tl	*	*	20	*
V	*	0,2-1,5	5-10	*
Zn	10-20	27-150	100-400	300
Zr	*	*	15	*

Τα τοξικά συμπτώματα που εμφανίζονται στα φυτά λόγω της μεγάλης συγκέντρωσης του μολύβδου , είναι δύσκολο να προσδιοριστούν . Τα χαρακτηριστικά συμπτώματα αυτών είναι , το σκούρο πράσινο χρώμα των φύλλων , η μάρανση των παλαιότερων φύλλων , η μη κανονική ανάπτυξη των φύλλων και ο σχηματισμός μικρών ριζών με καφέ χρώμα .

2.2.8. Πρόσληψη και μεταφορά του μολύβδου στα φυτά

Οι ερευνητές Zimdahl (1975) , οι Hughes et al (1980) , υποστήριξαν ότι η πρόσληψη του μολύβδου από τις ρίζες είναι παθητική διαδικασία . Ο μόλυβδος προσλαμβάνεται από τα ριζικά τριχίδια και συγκρατείται κυρίως στο κυτταρικό τοίχωμα της ρίζας .

Η ποσότητα του μολύβδου που προσλαμβάνεται από τα φυτά σχετίζεται με την ποσότητα του μολύβδου που υπάρχει στο έδαφος .

Η πρόσληψη του μολύβδου από τα φυτά αυξάνεται με την αύξηση της συγκέντρωσης του μολύβδου και με την πάροδο του χρόνου . Ο ρυθμός της πρόσληψης του μολύβδου από τα φυτά ελαττώνεται με την ανύψωση της τιμής του pH του εδάφους που συνήθως γίνεται με ασβέστωση . Ο ρυθμός πρόσληψης του μολύβδου περιορίζεται όταν η θερμοκρασία του

εδάφους ελαττώνεται . Ο ερευνητής Isermann (1977), υποστήριξε ότι παρά το γεγονός ότι ένα ποσοστό της ποσότητας του μόλυβδου που αποτίθεται στα φύλλα είναι δυνατό να απομακρύνεται με ξέπλυμα αυτών με ύδωρ , ένα μέρος όμως του μόλυβδου συγκρατείται στα κύτταρα των φύλλων .

Οι ερευνητές Diehl et al (1983) , διαπίστωσαν ότι οι τετραακυκλωμένες ενώσεις του μόλυβδου εύκολα μπορούν να μετατραπούν σε υδατοδιαλύτες ενώσεις οι οποίες μπορούν να προσληφθούν από τα φυτά . Οι Wilson και Cline (1966) μελέτησαν την προσρόφηση του ισότοπου ^{210}Pb σε καλλιέργεια καπνών Burley και απέδειξαν ότι μόνο ένα πολύ μικρό ποσοστό ίσο με 0,003 μέχρι 0,005% του ολικού μόλυβδου που βρίσκεται στο έδαφος προσλαμβάνεται από τα φυτά . Ο Zimdahl (1975) , απέδειξε ότι ποσοστό ίσο με 3% του μόλυβδου που βρίσκεται στις ρίζες μετακινείται προς το βλαστό .

Αυξημένες συγκεντρώσεις μόλυβδου στα φυτά είναι δυνατό να παρεμποδίσουν βιολογικές διεργασίες π.χ τη μίτωση , τη φωτοσύνθεση και την πρόσληψη ύδατος από το ριζικό σύστημα του φυτού . Η παρεμπόδιση τόσο της φωτοσύνθεσης , όσο και της αναπνοής οφείλονται στην παρεμπόδιση διεξαγωγής των αντιδράσεων μεταφοράς ηλεκτρονίων . Αρκετά είδη φυτών είναι δυνατό να αναπτύξουν μηχανισμούς άμυνας στις αυξημένες συγκεντρώσεις μόλυβδου . Οι μηχανισμοί αυτοί σχετίζονται με τις ιδιότητες των μεμβρανών των κυττάρων . Οι Lane et al (1978) , υποστήριξαν ότι ο μόλυβδος είναι δυνατό να συνδεθεί με την κυτταροπλασματική μεμβράνη των φυτικών κυττάρων . Με τον τρόπο αυτό τα είδη που είναι ανθεκτικά στις συγκεντρώσεις μόλυβδου , μπορούν να δεσμεύσουν και να αδρανοποιήσουν μεγάλες ποσότητες μόλυβδου .

2.3. Ψευδάργυρος

2.3.1.Εισαγωγή

Ο ψευδάργυρος απορροφάται από τα φυτά σε μικρές ποσότητες, υπό τη μορφή του δισθενούς ιόντος Zn. Επίσης είναι δυνατόν να προσληφθεί και από το φύλλωμα, υπό μορφή ορισμένων οργανικών συμπλόκων.

Ο ρόλος του σχετίζεται με το σχηματισμό ορισμένων ορμονών για την αύξηση των φυτών και τις αναπαραγωγικές τους λειτουργίες, καθώς επίσης και με τα συστήματα των ενζύμων των φυτών.

Ο ψευδάργυρος είναι απαραίτητο θρεπτικό στοιχείο σε μικρές ποσότητες στον άνθρωπο, στα ζώα και στα φυτά.

Ο Raulin (1869 και 1870), ανακάλυψε τα ευεργετικά αποτελέσματα της παρουσίας του Zn στην ανάπτυξη του *Aspergillus niger*, οι δε ερευνητές Sommer et al. (1926), διατύπωσαν την άποψη 'ότι ο Zn σε μικρές ποσότητες είναι απαραίτητος για την ανάπτυξη των ανώτερων φυτών και ζώων. Ο Mertz (1981), υποστήριξε ότι η μέση συνιστώμενη ποσότητα για τους ενήλικες είναι 15 mg Zn την ημέρα.

2.3.2. Προέλευση του ψευδαργύρου

Γεωχημική προέλευση του Zn

Ο Lindsay (1972), υποστήριξε ‘ότι η μέση ολική συγκέντρωση του ψευδαργύρου στη λιθόσφαιρα υπολογίζεται σε 80 mg Zn Kg^{-1} πετρώματος.. Οι κύριες πηγές ψευδαργύρου είναι τα θειούχα ορυκτά (ZnS) όπως ο σφαλερίτης και ο βουρσίτης, ο σμιθσονίτης (ZnCO_3), ο βιλλεμίτης (ZnSiO_4), ο τσινγοσίτης (ZnSO_4), ο φρανκλινίτης (ZnFe_2O_4) και ο οπείτης [$(\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O})$].

Ο Lindsay (1991), υποστήριξε ότι η μέση ολική συγκέντρωση του Zn κυμαίνεται από 40 mg Zn kg^{-1} πετρώματος στα όξινα πετρώματα (γρανίτες), μέχρι $100 \text{ mg Zn kg}^{-1}$ πετρώματος στα βασαλτικά πετρώματα.

Οι ερευνητές Kabata et al. (1992), υπολόγισαν ότι στα ιζηματογενή πετρώματα η συγκέντρωση του Zn κυμαίνεται από $80\text{-}120 \text{ mg Zn kg}^{-1}$ πετρώματος ενώ στα ασβεστολιθικά πετρώματα και τους δολομίτες η συγκέντρωση του είναι πιο μικρή και κυμαίνεται από $10\text{-}30 \text{ mg Zn kg}^{-1}$ πετρώματος.

2.3.3. Χημική συμπεριφορά του ψευδαργύρου στο έδαφος

Στο έδαφος ο Zn εμφανίζεται με τις εξής μορφές:

- ❖ Υδατοδιαλυτές μορφές Zn. Οι μορφές αυτές αποτελούν το σύνολο των ενώσεων του Zn που βρίσκονται στο εδαφικό διάλυμα.
- ❖ Ανταλλάξιμες μορφές Zn. Οι ανταλλάξιμες μορφές του Zn συγκρατούνται στη στερεή φάση του εδάφους.
- ❖ Συμπλοκοποιημένες μορφές Zn. Οι μορφές αυτές του Zn δημιουργούν σύμπλοκες ενώσεις με οργανικούς υποκαταστάτες. Στην ίδια κατηγορία περιλαμβάνονται οι ενώσεις του μετάλλου που είναι προσροφημένες στην οργανική ουσία.
- ❖ Μορφές Zn που είναι προσροφημένες – δεσμευμένες από τα ορυκτά της αργίλου και από τα αδιάλυτα μεταλλικά οξείδια.
- ❖ Μορφές του Zn σε μητρικά πετρώματα.

Οι μορφές του Zn που είναι βιοδιαθέσιμες, δηλαδή είναι δυνατό να προσληφθούν από τα φυτά είναι οι υδατοδιαλυτές.

Τα τελικά προϊόντα των αντιδράσεων εξαρτώνται από τους εξής παράγοντες:

- ❖ Από τη συγκέντρωση των ιόντων Zn^{2+} καθώς και την παρουσία άλλων ιόντων στο εδαφικό διάλυμα.
- ❖ Από το είδος και τον αριθμό των επιφανειών προσρόφησης της στερεής φάσης του εδάφους.
- ❖ Από τη συγκέντρωση των υποκαταστατών που βρίσκονται στο εδαφικό διάλυμα και οι οποίοι έχουν τη δυνατότητα να σχηματίσουν οργανικές ενώσεις του Zn.
- ❖ Από την τιμή του pH και του δυναμικού οξειδοαναγωγής του εδάφους.

Αν μεταβληθούν μία ή περισσότερες παράμετροι της συνολικής ισορροπίας, τότε θα σημειωθεί μετακίνηση προς τα δεξιά ή προς τα αριστερά των επιμέρους ισορροπιών μέχρις ότου στο σύστημα αποκατασταθεί μια νέα κατάσταση χημικής ισορροπίας.

Στο έδαφος ο Zn εμφανίζεται πιο συχνά με τη μορφή του δισθενούς ιόντος Zn^{2+} . Οι παράγοντες που καθορίζουν την κίνηση του ψευδαργύρου στο έδαφος είναι οι ίδιοι όπως και στην περίπτωση του χαλκού, αλλά ο ψευδάργυρος εμφανίζεται σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις στην υδατοδιαλυτή του μορφή σε σχέση με το χαλκό (Hinz και Selim, 1994).

Οι μηχανισμοί που διέπουν την προσρόφηση του ψευδαργύρου από το έδαφος δεν είναι αρκετά γνωστοί. Πλήθος επιστημόνων έχουν ασχοληθεί με τις αντιδράσεις προσρόφησης ανάμεσα στον ψευδάργυρο και τα συστατικά του εδάφους, όπως οι Lindsay (1972), οι Fattah και Pickering (1977), ο Pevena (1976), οι Kuo και Mikkelsen (1979), οι Waba και Abd-Elgattah (1978), οι Bruemmer et al.(1988).

Η προσρόφηση του Zn από το έδαφος γίνεται με δύο διαφορετικούς μηχανισμούς. Ο ένας μηχανισμός αναφέρεται σε όξινο περιβάλλον που εξαρτάται από τις επιφάνειες ιονοανταλλαγής και ο άλλος σε αλκαλικό περιβάλλον ο οποίος θεωρείται χημειορόφηση. Η χημειορόφηση εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από την παρουσία στο εδαφικό διάλυμα οργανικών υποκαταστατών.

Οι ερευνητές Zygin et al.(1976), υποστηρίζουν ότι η μεγαλύτερη ποσότητα του Zn συγκρατείται από τα οξείδια του σιδήρου και του αργιλίου (σε ποσοστό 14-38%), από τα ορυκτά της αργίλου (24-63%), ενώ οι υδατοδιαλυτές ενώσεις ανέρχονται σε 1 μέχρι 20%, τα δε σύμπλοκα με τις οργανικές ενώσεις σε ποσοστό 1,5 μέχρι 2,3% της συνολικής ποσότητας του Zn στο έδαφος.

2.3.4. Ο ψευδάργυρος στο σύστημα έδαφος – φυτό

Ο ψευδάργυρος στη θρέψη των φυτών.

Ο ψευδάργυρος συγκεντρώνεται στις ζώνες αύξησης και έντονης ενζυματικής δραστηριότητας. Είναι συστατικό ορισμένων ενζύμων και διαδραματίζει ρόλο στη σύνθεση της χλωροφύλλης. Ευνοεί την αύξηση της περιεκτικότητας σε τρυπτοφάνη, πρόδρομο αμινοξύ της αυξίνης, συνεπώς επηρεάζει θετικά την παρουσία της αυξίνης στο φυτό. Η κινητικότητα του Zn στο φυτό είναι καλύτερη των άλλων ιχνοστοιχείων.

Ο ψευδάργυρος παίζει σπουδαίο ρόλο στις οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις. Βασικές λειτουργίες του Zn σχετίζονται με το μεταβολισμό των υδατανθράκων, των πρωτεϊνών, των αυξινών και του RNA. Δρα είτε ως μεταλλικό συστατικό των ενζύμων, είτε ως λειτουργικός, δομικός ή ρυθμιστικός συμπαράγοντας μεγάλου αριθμού ενζύμων. Ο σχηματισμός IAA επηρεάζεται έμμεσα από την παρουσία Zn γιατί θεωρείται απαραίτητο συστατικό για την σύνθεση της θρυπτοφάνης που αποτελεί πρόδρομο μορφή του IAA.

Τροφοπενίες ψευδαργύρου είναι δυνατό να παρατηρηθούν στις εξής κατηγορίες εδαφών:

- Σε εδάφη τα οποία είναι όξινα και πολύ ξεπλυμένα.
- Σε εδάφη με χαμηλή περιεκτικότητα σε οργανική ουσία, διότι το ποσοστό του υδατοδιαλυτού Zn αυξάνεται με την αύξηση του ποσοστού της οργανικής ουσίας του εδάφους.
- Σε εδάφη ουδέτερα ή αλκαλικά. Το ποσοστό του Zn που είναι διαθέσιμο στα φυτά μειώνεται με την ανύψωση της τιμής του pH του εδάφους εξαιτίας της αυξημένης προσρόφησης του Zn από τις αρνητικά φορτισμένες επιφάνειες του εδάφους.
- Σε εδάφη με χαμηλές θερμοκρασίες ελαττώνεται η πρόσληψη του Zn από τα φυτά κυρίως λόγω της μικρότερης ανάπτυξης των ριζών.
- Σε εδάφη με υψηλές συγκεντρώσεις φωσφόρου ελαττώνεται η διαθεσιμότητα και η πρόσληψη του ψευδαργύρου από τα φυτά. Μεταξύ των στοιχείων ψευδαργύρου και φωσφόρου αναπτύσσονται έντονα ανταγωνιστικά φαινόμενα. Η ανταγωνιστική δράση του ψευδαργύρου με το φώσφορο σχετίζεται με τις χημικές αντιδράσεις που συμβαίνουν στη ριζόσφαιρα. (Olsen, 1972, Smilde et al., 1974). Έλλειψη ψευδαργύρου έχει ως αποτέλεσμα την εκδήλωση χλωρωτικών φαινομένων που εντοπίζονται στους μεταξύ των νευρώσεων χώρους του φύλλου.

Τοξικά συμπτώματα Zn στα φυτά παρουσιάζονται στα εξής εδάφη:

- Σε όξινα εδάφη με μεγάλο ποσοστό οργανικής ουσίας.
- Σε εδάφη που είναι ρυπασμένα από ψευδάργυρο προερχόμενου από επιμεταλλώσεις.
- Σε εδάφη τα οποία έχουν προκύψει από αποσάθρωση μητρικών πετρωμάτων που είναι πλούσια σε ψευδάργυρο.

Τα κυριότερα συμπτώματα τοξικότητας των φυτών από τον ψευδάργυρο είναι τα χλωρωτικά, κυρίως στα νεαρά φύλλα και προβλήματα στην ανάπτυξη των φυτών. Οι βιοχημικές διεργασίες που γίνονται στο φυτό 'όταν οι συγκεντρώσεις του ψευδαργύρου είναι ιδιαίτερα υψηλές και είναι παρόμοιες με αυτές του χαλκού. Ο ψευδάργυρος όμως θεωρείται ένα από τα λιγότερο φυτοτοξικά βαρέα μέταλλα. Το όριο φυτοτοξικότητας καθορίζεται από το είδος του φυτού και το γενότυπο του. Τα συνήθη όρια φυτοτοξικότητας σε μεγάλο αριθμό φυτών κυμαίνονται από 100 μέχρι 500 mg L⁻¹ (Macnicol και Beckett, 1985). Τα περισσότερα όμως είδη φυτών είναι ανθεκτικά σε μεγάλες ποσότητες ψευδαργύρου.

2.3.5. Πρόσληψη και μεταφορά του ψευδαργύρου στα φυτά

Η πρόσληψη του Zn από τα φυτά εξαρτάται από τη συγκέντρωση αυτού στο εδαφικό διάλυμα ή από τη συγκέντρωση αυτού στο θρεπτικό διάλυμα όπου αναπτύσσονται τα φυτά.

Οι μορφές που ο ψευδάργυρος προσλαμβάνεται από τα φυτά είναι οι εξής:

- Zn σε μεταλλική μορφή.
- Zn κυρίως ως προϊόν υδρόλυσης και
- Zn με τη μορφή συμπλόκων ενώσεων με την οργανική ουσία του εδάφους (Weinberg, 1977, Haivorsen και Lindsay, 1977).

Ο ψευδάργυρος σχηματίζει δεσμούς στο εσωτερικό των φυτών με χαμηλού μοριακού βάρους πρωτεΐνες.

Ο ρυθμός πρόσληψης του Zn από τα φυτά εξαρτάται από το είδος του φυτού, από τον τύπο του εδάφους ως και από την παρουσία του ασβεστίου στο έδαφος (Ibekwe et al., 1998, Brown et al., 1995). Η κίνηση του Zn στα φυτικά μέρη είναι υψηλότερη σε σχέση με την κίνηση του χαλκού. Αυτό συμβαίνει μόνο όταν η συγκέντρωση του Zn στο

εδαφικό διάλυμα είναι υψηλή. Στις περιπτώσεις που η συγκέντρωση του Zn είναι χαμηλή, μειώνεται και η κίνηση του προς τα διάφορα όργανα του φυτού.

Η περιεκτικότητα των ριζών σε Zn είναι υψηλότερη από την περιεκτικότητα αυτού στο υπέργειο τμήμα.

Ο βιοχημικός ρόλος του ψευδαργύρου στα φυτά είναι σημαντικός, καθώς αποτελεί δομικό συστατικό μεγάλου αριθμού ενζύμων: πρωτεϊνών, πεπτιδασών. Η βασική λειτουργία του ψευδαργύρου στα φυτά είναι ότι συμμετέχει στο μεταβολισμό των υδρογονανθράκων και των πρωτεϊνών, αλλά και στο σχηματισμό των ριβοσωμάτων και του RNA (Prince et al., 1972).

3. ΙΧΝΟΣΤΟΙΧΕΙΑ

3.1. Μαγγάνιο (Mn)

Το μαγγάνιο είναι πολύ βασικό στοιχείο για τη ζωή τόσο των μικροοργανισμών, όσο και των ανώτερων φυτών και ζώων.

Τα περιβαλλοντικά προβλήματα που δημιουργούνται από το μαγγάνιο είναι ασήμαντα σε σχέση με τα προβλήματα που δημιουργούνται από τα άλλα βαρέα μέταλλα.

Το ενδιαφέρον για το Mn άρχισε να αυξάνεται όταν έγινε γνωστός ο ρόλος του στην ανάπτυξη των φυτών και των ζώων. Ο ερευνητής Raulin (1863), διαπίστωσε ότι το Mn είναι ένα βασικό στοιχείο για την ανάπτυξη του fungus *Rhizopus* (*Ascomphora*) *nigricans*. Ο ρόλος του Mn ως ιχνοστοιχείο στα ανώτερα φυτά εντοπίστηκε από τον ερευνητή McHargue (1928), σε πειράματα που πραγματοποίησαν σε σόγια και τομάτα.

Το μαγγάνιο ενεργοποιεί μια σειρά ενζύμων στο φυτό. Η επίδραση του στην φωτοσύνθεση έχει υπογραμμιστεί από πολλούς ερευνητές, το ίδιο και ο ρόλος του στη βιοσύνθεση της χλωροφύλλης. Το μαγγάνιο είναι στοιχείο αναγκαίο στην αναγωγή των νιτρικών ιόντων, ρυθμίζει τη δραστηριότητα της νιτρικής ρεδοκτάσης. Στο έδαφος το μαγγάνιο βρίσκεται σε διάφορες μορφές (τετρασθενές, τρισθενές, δισθενές), όμως τα φυτά προσλαμβάνουν μόνο τη δισθενή μορφή. (Mn²⁺). Συμμετέχει στη φωτόλυση του νερού κατά την φωτοσύνθεση και στη δομή των θυλακοειδών στους χλωροπλάστες. Προστατεύει το φωτοσυνθετικό μηχανισμό από τις δηλητηριώδεις επιδράσεις του οξυγόνου. Ενεργοποιητής μερικών ενζύμων του κύκλου Krebs και κατά συνέπεια ο ρόλος του στο μεταβολισμό των υδατανθράκων είναι καθοριστικός.

Η απουσία Mn προκαλεί μείωση του ξηρού βάρους, της φωτοσυνθετικής ικανότητας, της περιεκτικότητας σε χλωροφύλλη και της κυτταροδιαίρεσης (αναστολή επιμήκυνσης ριζών). Ανταγωνίζεται την απορρόφηση του Fe.

Σε πολλές περιπτώσεις παρατηρείται νέκρωση, εμφανιζόμενη στην αρχή σαν μικρά καφέ στίγματα μεγέθους κεφαλής καρφίτσας, τα οποία εκτείνονται και σχηματίζουν μεγάλες νεκρωτικές κηλίδες που φανερώνουν πλήρη διάλυση του ιστού.

3.1.1. Το μαγγάνιο στο σύστημα έδαφος-φυτό

Το μαγγάνιο στη θρέψη των φυτών

Τα εδάφη εκείνα στα οποία τα καλλιεργούμενα φυτά ενδέχεται να παρουσιάσουν τροφοπενίες μαγγανίου είναι τα εξής:

- Εδάφη με μεγάλο ποσοστό οργανικής ουσίας με αλκαλικό υπέδαφος.
- Οργανικά εδάφη τα οποία δεν έχουν επαρκές ποσοστό υγρασίας.
- Εδάφη αλλουβιακά, που προέρχονται από ασβεστούχα υλικά.
- Ασβεστούχα εδάφη με μεγάλο ποσοστό άμμου.
- Εδάφη τα οποία για μεγάλο χρονικό διάστημα έχουν δεχτεί κοπριά και ασβέστωση.
- Εδάφη όξινα και αμμώδη, τα οποία έχουν πολύ μικρό ποσοστό σε ορυκτά του μαγγανίου.

Τα εδάφη που είναι δείκτες για τις τροφοπενίες του μαγγανίου είναι η μηλιά, η κερασιά, τα εσπεριδοειδή, η βρώμη και τα σακχαρότευτλα (Chapman et al., 1939, Chapman et al., Wallance, 1951). Συχνά όμως παρατηρούνται και τοξικά συμπτώματα στα φυτά, εξαιτίας της μεγάλης συγκέντρωσης του μαγγανίου που είναι διαθέσιμη σ' αυτά. Τα εδάφη στα οποία είναι δυνατόν να παρατηρηθούν τοξικά συμπτώματα μαγγανίου είναι τα εξής:

- Εδάφη ισχυρά όξινα (pH,5,5), τα οποία δημιουργούν τις ευνοϊκότερες προϋποθέσεις για την αύξηση της διαθεσιμότητας του μαγγανίου στα φυτά (Snider, 1943, Fried και Peech,1946).
- Εδάφη στα οποία επικρατούν αναγωγικές συνθήκες, όπου επίσης αυξάνεται η ποσότητα του μαγγανίου που είναι διαθέσιμη στα φυτά (Brandfield et al., 1934).

3.1.2. Πρόσληψη και μεταφορά του μαγγανίου στα φυτά.

Η πρόσληψη του μαγγανίου από τα φυτά ελέγχεται από μεταβολικές διαδικασίες με τρόπο ανάλογο με αυτόν που πραγματοποιείται η πρόσληψη άλλων δυσθερών κατιόντων, όπως του ασβεστίου και του μαγνησίου.

Ωστόσο όμως, πραγματοποιείται παθητική πρόσληψη του μαγγανίου στις περιπτώσεις εκείνες στις οποίες η συγκέντρωση του μαγγανίου στο έδαφος βρίσκεται σε ιδιαίτερα υψηλά επίπεδα.

Όταν η συγκέντρωση του μαγγανίου στο έδαφος βρίσκεται σε τοξικά επίπεδα, τότε προσλαμβάνεται ταχύτατα από τα φυτά και ταχύτατα διοχετεύεται προς τα νεώτερα μέρη του φυτού. Αντίθετα όταν η διαθέσιμη ποσότητα του μαγγανίου βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα, τότε παρατηρείται συσσώρευση του στα πιο ώριμα φύλλα και ελάχιστη μετακίνηση του προς τα νεώτερα, όπου είναι δυνατό να παρατηρηθούν προβλήματα τροφοπενίας.

Στις περισσότερες περιπτώσεις, η ποσότητα του μαγγανίου στα φύλλα είναι ανάλογη της διαθέσιμης ποσότητας στα εδάφη, παρουσιάζει ελάττωση με την αύξηση της τιμής του pH του εδάφους και αύξηση με την αύξηση της οργανικής ουσίας του εδάφους.

Ο βιοχημικός ρόλος του μαγγανίου στα φυτά σχετίζεται άμεσα με τις αντιδράσεις οξειδοαναγωγής που πραγματοποιούνται σε φυτά. Ο Boardmann (1975) ο Shkolnik (1974) και οι Mengel και Kirkby (1978), υποστηρίζουν ότι τα ιόντα μαγγανίου αποτελούν βασικό συστατικό των ενζύμων: αργινάσης και φωσφοτρανσαμινάσης. Επίσης το μαγγάνιο είναι δυνατό να αντικαταστήσει το μαγνήσιο σε μεγάλο αριθμό άλλων ενζύμων.

Το μαγγάνιο εμφανίζεται να συμμετέχει στο φωτοσυνθετικό μηχανισμό μεταφοράς ηλεκτρονίων καθώς και στην πρόσληψη οξυγόνου από τα φυτά.

Οι χλωροπλάστες είναι τα πιο ευαίσθητα τμήματα του κυττάρου στην έλλειψη του μαγγανίου, γιατί το μαγγάνιο αποτελεί δομικό συστατικό τους (Boardmann 1975).

Ο Foy (1983), υποστηρίζει ότι υψηλές ποσότητες μαγγανίου επηρεάζουν τη δραστηριότητα ορισμένων αμινοξέων, ενζύμων και ορμονών (αυξίνες και γιββεριλίνες).

3.2 Χαλκός (Cu)

Ο χαλκός αποτελεί μέρος του βορδιγάλειου πολτού που παρατηρήθηκε για πρώτη φορά ότι ήταν αποτελεσματικό εναντίον ομάδων κατωτέρων οργανισμών, σε συγκεντρώσεις μόλις μερικών ppm. Το 1931 αποδείχτηκε απαραίτητο στοιχείο για τα φυτά.

Στο έδαφος βρίσκεται σχεδόν αποκλειστικά με τη μορφή των δισθενών κατιόντων του Cu^{2+} . Η μέση τιμή στο έδαφος δεν υπερβαίνει τα 10-20 ppm, ενώ τα μεγαλύτερα ποσοστά του είναι συνήθως ενωμένα με μικρού μοριακού βάρους οργανικά συστατικά. Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις Cu από αυτές που υπάρχουν στο φυτό εντοπίζονται στα φύλλα και ειδικότερα στους χλωροπλάστες.

Ο χαλκός είναι ενεργοποιητής ενζύμων και ακόμη συμμετέχει στη σύνθεση άλλων που καταλύουν βιολογικές οξειδώσεις στη βάση αλλαγής του σθένους του. Μαζί με το σίδηρο και το βόριο συμμετέχει στη βιοσύνθεση των φαινολών. Βέβαια η έλλειψη χαλκού συγκριτικά με τις ελλείψεις άλλων ιχνοστοιχείων είναι λιγότερο συχνή και αφορά έναν μικρό αριθμό ειδών.

Ο χαλκός αποτελεί βασικό συστατικό μερικών ενζύμων, όπως για παράδειγμα της πλαστοκυανίνης, που είναι συστατικό της αλυσίδας μεταφοράς ηλεκτρονίων φωτοσυστήματος I, της υπεροξειδικής δισμουτάσης, που προστατεύει τους φωτοσυνθετικούς μηχανισμούς από τις δηλητηριώδεις επιδράσεις του οξυγόνου, της φαινολάσης, που συντελεί στην οξείδωση των φαινολών, συμμετέχει στη βιοσύνθεση της λιγνίνης (έλλειψη Cu έχει ως συνέπεια την εξασθενημένη αποξύλωση των κυτταρικών τοιχωμάτων) και των αλκαλοειδών καθώς επίσης και στο σχηματισμό μελανωτικών συστατικών (όταν κόβονται οι ιστοί και εκτίθενται στο οξυγόνο της ατμόσφαιρας, π.χ. το εμφανιζόμενο σκούρο χρώμα σε τομές μήλων και πατάτας). Συμμετέχει στην αναγωγή των νιτρικών. Συμπεριφέρεται όπως ο σίδηρος στο αίμα μερικών ζωικών ειδών (αιμοκ υανίνη).

3.2.1 Ο χαλκός στο σύστημα έδαφος-φυτό.

Ο χαλκός στη θρέψη των φυτών.

Τροφοπενίες χαλκού έχουν παρατηρηθεί σε όλο τον κόσμο. Σε 23 χώρες παρουσιάζονται τροφοπενίες χαλκού στο σιτάρι, σε 12 χώρες στη βρώμη, σε 12 χώρες στα βοσκοτόπια, σε 12 χώρες στο καλαμπόκι, σε 12 χώρες στο κριθάρι και σε 9 χώρες στο ρύζι.

Οι τροφοπενίες χαλκού παρουσιάζονται συχνότερα σε οργανικά εδάφη, κατόπιν σε Pozdols, τα οποία περιέχουν υψηλά ποσοστά άμμου και δεν έχουν την ικανότητα να συγκρατούν ικανοποιητικές ποσότητες ύδατος και θρεπτικών στοιχείων. Επίσης, σημαντικές τροφοπενίες χαλκού παρατηρούνται σε εδάφη νατριωμένα, στα οποία η τιμή του pH είναι ιδιαίτερα υψηλή, το ποσοστό διασποράς της αργίλου είναι ιδιαίτερα υψηλό και έχουν πολύ μικρό ποσοστό υγρασίας.

Ο χαλκός σε χαμηλές συγκεντρώσεις είναι απαραίτητος για την ανάπτυξη των φυτών, αλλά και για την υγεία των ζώων και του ανθρώπου. Ορισμένα είδη φυτών έχουν την ικανότητα να συσσωρεύουν μεγάλες ποσότητες χαλκού στους ιστούς τους.

Επειδή η απομάκρυνση του χαλκού από το έδαφος εξαιτίας της έκπλυσης είναι μηδαμινή, η προσθήκη ποσοτήτων χαλκού στο έδαφος οδηγεί στη δημιουργία υψηλών συγκεντρώσεων με αποτέλεσμα τοξικά συμπτώματα στα φυτά.

3.2.2. Πρόσληψη και μεταφορά του χαλκού στα φυτά.

Οι μηχανισμοί πρόσληψης του χαλκού από τα φυτά δεν έχουν ερευνηθεί σε ικανοποιητικό βαθμό. Σε πολλές περιπτώσεις η μεταφορά και πρόσληψη του χαλκού από τα φυτά γίνεται ενεργητικά, με κατανάλωση ενέργειας. Ωστόσο υπάρχουν περιπτώσεις όπου παρατηρείται παθητική μεταφορά και πρόσληψη του μετάλλου από το φυτό και ιδιαίτερα όταν τα φυτά αναπτύσσονται σε ρυπασμένα εδάφη.

Οι βιοχημικές λειτουργίες του χαλκού μέσα στο φυτό παρουσιάζονται κατωτέρω:

- Στους ιστούς της ρίζας παρουσιάζεται κυρίως με τη μορφή συμπλόκου με οργανικές ενώσεις χαμηλού μοριακού βάρους, καθώς και με πρωτεΐνες.

- Σε πολλές περιπτώσεις ο χαλκός περιέχεται σε ενώσεις που δεν έχουν γνωστό βιοχημικό ρόλο, αλλά και σε ένζυμα τα οποία παίζουν καθοριστικό ρόλο στο μεταβολισμό των φυτών.

- Ο χαλκός συμμετέχει σε μεγάλο αριθμό φυσιολογικών λειτουργιών που πραγματοποιούνται στο φυτό. Όπως στη διαδικασία της φωτοσύνθεσης, της αναπνοής, της αναγωγής του αζώτου, της σύνθεσης των υδρογονανθράκων, του σχηματισμού αλλά και της αποικοδόμησης του τοιχώματος των κυττάρων καθώς και στο μεταβολισμό των πρωτεϊνών.

- Ο χαλκός επηρεάζει τη μετακίνηση του ύδατος στα ξυλώδη αγγεία και επομένως καθορίζει τη διαθεσιμότητα του ύδατος στο φυτό.

- Καθορίζει την παραγωγή των νουκλεονικών οξέων (DNA και RNA). Συγκεκριμένα η έλλειψη του αναστάλλει την αναπαραγωγή των φυτών, καθώς ελαττώνεται σημαντικά η σποροπαραγωγή.

- Εμπλέκεται στους μηχανισμούς άμυνας των φυτών στις ασθένειες. Φυτά τα οποία έχουν πλεονάζοντα αποθέματα χαλκού παρουσιάζουν ευαισθησία σε μεγάλο αριθμό ασθενειών, ενώ η έλλειψη του σε αρκετές περιπτώσεις έδειξε ενίσχυση της αντίστασης των φυτών στις ασθένειες.

3.3. ΣΙΔΗΡΟΣ

Πρόκειται για ένα αρχαίο στοιχείο. Το 1843 αποδείχτηκε ότι αποτελεί απαραίτητο στοιχείο για τα φυτά. Είναι σημαντική η αναλογία σιδήρου:μαγγανίου, καθώς το μαγγάνιο ίσως ανταγωνίζεται την απορρόφηση και χρησιμοποίηση του σιδήρου.

Συνδέεται στενά με οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις, όπου τα ηλεκτρόνια προσλαμβάνονται και στη συνέχεια παραχωρούνται κατά τη διάρκεια μεταφοράς ηλεκτρονίων, με αποτέλεσμα εναλλάξ να ανάγεται και να οξειδώνεται.

Οι πιο γνωστές λειτουργίες του σιδήρου είναι στενά συνδεδεμένες με τα ενζυματικά συστήματα στα οποία συμμετέχει (καταλάση, περοξειδάση και κυτοχρώμων). Καταλύει τη βιοσύνθεση των πυρολικών πυρήνων, βασικών στοιχείων του μορίου της χλωροφύλλης. Είναι συστατικό των κυτοχρώμων, σημαντικών δηλαδή συστημάτων redox των κυττάρων, η δραστηριότητα των οποίων συνδέεται με το αντιστρεπτό πέρασμα του Fe από το ένα σθένος στο άλλο. Επιδρά στο μεταβολισμό του αζώτου.

3.3.1. Ο σίδηρος στο σύστημα έδαφος-φυτό.

Ο σίδηρος στη θρέψη των φυτών

Εδάφη που είναι δυνατό να εμφανίσουν τροφοπενίες σιδήρου στα καλλιεργούμενα φυτά είναι τα κατωτέρω:

- Εδάφη με υψηλές τιμές pH (αλκαλικά εδάφη).
- Εδάφη τα οποία δεν αρδεύονται ικανοποιητικά.
- Εδάφη με υψηλό ποσοστό ανθρακικού ασβεστίου, του μαγγανίου, υψηλή περιεκτικότητα σε μαγγάνιο, φώσφορο και HCO_3 .

Τα συμπτώματα που εμφανίζονται στα φυτά εξαιτίας της έλλειψης σιδήρου είναι η σημαντική μείωση της χλωροφύλλης στα πράσινα μέρη των φυτών. Τα συμπτώματα αυτά είναι γνωστά ως χλώρωση. Στις περιπτώσεις εκείνες που η χλώρωση δεν είναι έντονη, τα πράσινα μέρη των φυτών απώλεσαν το έντονο χρώμα τους. Στην περίπτωση αυτή η χλώρωση δεν είναι εύκολο να διαχωριστεί από την τροφοπενία του αζώτου ή και άλλων στοιχείων (Haas, 1942, Wallihan, 1955).

Το χαρακτηριστικό σύμπτωμα της τροφοπενίας του σιδήρου είναι ότι τα φύλλα δεν έχουν πράσινο χρώμα και αποκτούν παράλληλα κίτρινες κηλίδες, οι οποίες είναι δυνατό να επεκταθούν σε ολόκληρο το φυτό.

Φυτά δείκτες για την τροφοπενία του σιδήρου είναι το μπρόκολο (Wallace 1951 και 1952), τα δημητριακά, τα ψυχανθή και τα εσπεριδοειδή.

3.3.2 Πρόσληψη και μεταφορά του σιδήρου στα φυτά.

Η πρόσληψη του σιδήρου από τα φυτά είναι μεταβολική διαδικασία. Ο κυριότερος παράγοντας που καθορίζει την πρόσληψη σιδήρου από τα φυτά είναι η ικανότητα των ριζών να ανάγουν τα ιόντα του Fe^{3+} σε Fe^{2+} (Channey et al, 1972). Σε συνήθεις τιμές pH του εδάφους, τα φυτά προσλαμβάνουν τον απαιτούμενο για την ανάπτυξη τους σίδηρο με τη μορφή οργανικών ενώσεων και συμπλόκων. Στο ξυλώδες παρέγχυμα, η μορφή του σιδήρου που κυριαρχεί είναι τα ιόντα του δυσθενούς σιδήρου. Παρ'όλα αυτά η μετακίνηση του ελέγχεται από το σχηματισμό κιτρικών συμπλόκων, αλλά και ευδιάλυτων ferredixines. Εντός του φυτού ο σίδηρος δεν μετακινείται ιδιαίτερα γρήγορα και γι'αυτό εμφανίζονται προβλήματα τοξικότητας στα πιο νέα φυτά (Scheffer et al., 1979). Ο σίδηρος συμμετέχει σε μεγάλο αριθμό βιοχημικών αντιδράσεων και ελέγχει τις αντιδράσεις μετατροπής ενέργειας που είναι απαραίτητες για την σύνθεση και την ανάπτυξη των κυττάρων του φυτού (Boardman, 1975, Nicholas, 1975, Price et al., 1972, Markert, 1987).

Ο βιοχημικός ρόλος του σιδήρου στα φυτά συνοπτικά παρουσιάζεται ως εξής:

- Ο σίδηρος βρίσκεται στις πρωτεΐνες και συγκεντρώνεται κυρίως στους χλωροπλάστες των κυττάρων.
- Οι οργανικές σύμπλοκες ενώσεις του σιδήρου εμπλέκονται στο μηχανισμό μεταφοράς ηλεκτρονίων κατά τη διάρκεια της φωτοσύνθεσης.
- Nonheme σιδηροπρωτεΐνες ελέγχουν την αναγωγή των νιτροδών και των θειικών ιόντων.

- Ο σχηματισμός της χλωροφύλλης ελέγχεται από την παρουσία σιδήρου.
- Ο σίδηρος εμπλέκεται στο μεταβολισμό των νουκλεονικών οξέων.
- Τα ιόντα του δισθενούς και τρισθενούς σιδήρου έχουν δομικό ρόλο στα κύτταρα, αλλά συμμετέχουν και σε μεγάλο αριθμό πρωτεϊνών που δρουν καταλυτικά.

B ΜΕΡΟΣ: ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ

Στην αρχή της καλλιέργειας έγινε ριζοπότισμα και κατά την διάρκεια έγινε ψεκασμός για περονόσπορο. Προς το τέλος της καλλιέργειας και λίγο πριν την συγκομιδή άρχισαν να παρουσιάζονται προσβολές από βοτρυτή.

Η σπορά έγινε σε σποροδοχεία όπου καλύφθηκαν οι σπόροι με **βερμικουλίτη**. Μετά από δύο περίπου εβδομάδες αφού έγινε αραίωμα των φυτών, ακολούθησε η μεταφύτευση στα δοχεία ανάπτυξης.

Τα δοχεία που χρησιμοποιήθηκαν για την φύτευση των φυτών μαρουλιού αρχικά πλύθηκαν για την απομάκρυνση των υπολειμμάτων των προηγούμενων καλλιεργειών. Στη συνέχεια έγινε κοσκίνισμα του εδάφους και προσδιορισμός της υγρασίας και της υδατοχωρητικότητας του που βρέθηκαν 11,89% και 25,54% αντίστοιχα. Έπειτα ζυγίστηκαν τα λιπάσματα και εφαρμόστηκαν 21 μονάδες αζώτου, 20 μονάδες φωσφόρου και 50 μονάδες καλίου.

Στα δοχεία χωρητικότητας 5 L προστέθηκε έδαφος κοσκινισμένο (<4mm>) από την περιοχή του αγροκτήματος του ΤΕΙ.

Στον πυθμένα κάθε δοχείου τοποθετήθηκαν κομμάτια από πυλό, βάρους 95 gr., και χρησιμοποιήθηκαν σωλήνες μήκους 15 cm. με σκοπό το ελεγχόμενο πότισμα κάθε δοχείου. Στα δοχεία τοποθετήθηκε ο πυλός, εν συνεχεία επικαλύφτηκε με χαρτί και τοποθετήθηκαν και οι σωλήνες. Τέλος, προσθέσαμε 3819 gr. χώματος.

ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Εισαγωγή

Το Άζωτο (N), ο φώσφορος (P) και το κάλιο (K) είναι τα τρία πιο βασικά θρεπτικά στοιχεία τα οποία μελετώνται. Οι βασικές πληροφορίες που απαιτούνται για μια σωστή λίπανση είναι η σχέση ανάμεσα στα θρεπτικά στοιχεία που θα παρέχουμε στην καλλιέργεια με την παραγωγή της βιομάζας, αλλά και μια εκτίμηση των στοιχείων που ήδη υπάρχουν στο έδαφος.

.Ο πειραματικός προσδιορισμός των αναγκών για τα βασικά θρεπτικά στοιχεία, καθώς και η εφαρμογή της φυλλοδιαγνωστικής είναι αναγκαία, για να διαθέτουμε μια καλύτερη εικόνα για την θρέψη και για την σωστή λίπανση των φυτών μαρουλιού.

Το πειραματικό πραγματοποιήθηκε σε δοχεία ανάπτυξης φυτών επειδή μπορούμε να ελέγξουμε τα επίπεδα των θρεπτικών στοιχείων στο έδαφος και εγκαταστάθηκε σε χώρο του εργαστηρίου της εδαφολογίας.

Στόχοι του πειράματος.

Οι στόχοι του πειράματος ήταν:

- A) Η μελέτη της περιεκτικότητας καδμίου και μολύβδου στο έδαφος.
- B) Η επίδραση καδμίου και μολύβδου στη συγκέντρωση θρεπτικών στοιχείων στους ιστούς του μαρουλιού.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

A/A	ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ	ΜΕΤΑΧΕΙΡΙΣΕΙΣ
1	ΜΑΡΤΥΡΑΣ	1,2,3,4,5,6
2	5 ppm Pb(NO ₃) ₂	7,8,9,10,11,12
3	10 ppm Pb(NO ₃) ₂	13,14,15,16,17,18
4	50 ppm Pb(NO ₃) ₂	19,20,21,22,23,24
5	100 ppm Pb(NO ₃) ₂	25,26,27,28,29,30
6	N, P, K	31,32,33,34,35,36
7	N, P, K + 5 ppm Pb(NO ₃) ₂	37,38,39,40,41,42
8	N, P, K + 10 ppm Pb(NO ₃) ₂	43,44,45,46,47,48
9	N, P, K + 50 ppm Pb(NO ₃) ₂	49,50,51,52,53,54
10	N, P, K + 100 ppm Pb(NO ₃) ₂	55,56,57,58,59,60
11	N, P, K	61,62,63,64,65,66
12	N, P, K + 5 ppm Cd(NO ₃) ₂	67,68,69,70,71,72
13	N, P, K + 10 ppm Cd(NO ₃) ₂	73,74,75,76,77,78
14	N, P, K + 20 ppm Cd(NO ₃) ₂	79,80,81,82,83,84
15	N, P, K + 40 ppm Cd(NO ₃) ₂	85,86,87,88,89,90
16	N, P, K + 60 ppm Cd(NO ₃) ₂	91,92,93,94,95,96
17	N, P, K + 80 ppm Cd(NO ₃) ₂	97,98,99,100,101,102
18	N, P, K + 100 ppm Cd(NO ₃) ₂	103,104,105,106,107,108

Υλικά και μέθοδοι

Περιγραφή φυτικού υλικού.

Για την πραγματοποίηση του πειράματος στον πειραματικό χώρο του εργαστηρίου της εδαφολογίας του ΤΕΙ Καλαμάτας χρησιμοποιήθηκε η ποικιλία *Lactuca Sativa var. Romana*. Τα χαρακτηριστικά της ποικιλίας αυτής είναι τα ακόλουθα: είναι φυτό όρθιο, με λεπτή επιμήκη κεφαλή στο εσωτερικό και λεπτά μακριά φύλλα στο εξωτερικό με χρώμα συνήθως σκούρο πράσινο. Τα φύλλα αναπτύσσονται σπειροειδώς επί του κοντού

βλαστού και είναι λεία, πλατειά, διαφόρου μεγέθους και σχήματος, ωσειδή, καρπιοειδή, επιμήκη, είναι ακέραια ή κυματοειδή ή ακανόνιστα οδοντωτά. Είναι φυτό μονοετές, ποώδες. Ο βλαστός είναι πολύ κοντός και φέρει πυκνά φύλλα. Το ανθικό στέλεχος είναι όρθιο, χωρίς άκανθες, διακλαδιζόμενο και πολύφυλλο.

Προετοιμασία του πειραματικού.

Πειραματικό σχέδιο

Το πειραματικό σχέδιο περιλάμβανε 18 μεταχειρίσεις σε 6 επαναλήψεις. Μελετήθηκαν οι διαφορετικές συγκεντρώσεις καδμίου και μολύβδου. Σε κάθε δοχείο αναπτύχθηκε ένα φυτό μέχρι και το τέλος του πειράματος. Η λίπανση έγινε με την ανάμειξη των λιπασμάτων με το έδαφος πριν το γέμισμα των δοχείων. Η ποσότητα νερού που είχαμε αρχικά υπολογίσει δεν διατηρήθηκε σταθερή σε υδατοχωρητικότητα μέχρι το τέλος της καλλιεργητικής περιόδου, διότι αρχικά εφαρμόσαμε 70% και στη συνέχεια 60% εξαιτίας έντονων βροχοπτώσεων αρχικά, και αργότερα λόγω υψηλής υγρασίας στο χώρο του θερμοκηπίου. Η σπορά έγινε στις 05-10-2005 και μετά την έναρξη της βλαστικής περιόδου, ανά 10 ημέρες γινόταν μέτρηση ύψους και αριθμού φύλλων. Στις 12/01/2006 έγινε η πρώτη συγκομιδή και η καλλιέργεια ολοκληρώθηκε με τη συγκομιδή στις 28/02/2006.

Προσδιορισμός ιχνοστοιχείων στους φυτικούς ιστούς με τη μέθοδο αποτέφρωσης

Η μέθοδος αυτή είναι γρήγορη και ακίνδυνη, ενώ ταυτόχρονα μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε δείγματα μεγάλου βάρους (1-2 gr) που περιορίζουν τα σφάλματα των αναλύσεων. Με τη μέθοδο αυτή προσδιορίζονται και τα περισσότερα μικροστοιχεία. Η μέθοδος αυτή παρουσιάζει ορισμένα μειονεκτήματα όπως είναι η πιθανή εξάχνωση των P, B, Cl, S και ορισμένων άλλων στοιχείων. Για τον περιορισμό των μειονεκτημάτων αυτών προτείνεται η αποτέφρωση να γίνεται **στη μικρότερη δυνατή θερμοκρασία και σε όσο το δυνατόν μικρότερο χρόνο** για τον προσδιορισμό των παραπάνω στοιχείων. Ενώ όταν πρόκειται να προσδιορισθούν τα αμέταλλα κρίνεται σκόπιμο να αυξάνεται η περιεκτικότητα του δείγματος σε βάσεις έτσι ώστε να περιορίζεται ο σχηματισμός όξινων πτητικών ενώσεων. Π.χ. για τον προσδιορισμό του S, γίνεται προσθήκη $MgSO_4$ ή $(CH_3COO)_2 Mg$, για το Cl προστίθεται CaO και για το B προστίθεται NaOH ή CaO.

Γενικά πάντως είναι παραδεκτό ότι με τη μέθοδο αυτή παρατηρούνται κάποιες μικρότερες ή μεγαλύτερες απώλειες. (Piper 1950, Chapman και Pratt 1961).

Κατά τη μέθοδο αυτή κονιοποιούμενα δείγματα βάρους 0,5-1 gr. Τοποθετούνται σε χωνευτήρια από πορσελάνη Νο 102/40. Τα χωνευτήρια τοποθετούνται σε φούρνο υψηλής θερμοκρασίας και τα δείγματα αποτεφρώνονται στους 515°C για 3 ώρες. Μετά την καύση αφήνουμε το δείγμα να κρυώσει και προσθέτουμε 1-2 ml διαλύματος HCL 1:1 κατ'όγκο. Καλύπτουμε το χωνευτήρι με ύαλο ωρολογίου και τοποθετούμε σε ατμόλουτρο για 15 λεπτά. Ακολούθως διηθείται το δείγμα με ηθμό Νο 44 ο οποίος προηγουμένως έχει εκπλυθεί με διάλυμα HCL. Το διήθημα συλλέγεται σε ογκομετρικές φιάλες των 50 ml. Μετά τη διήθηση του δείγματος το χωνευτήρι και ο ηθμός ξεπλένονται 3-4 φορές με νερό. Τέλος γίνεται αναγωγή του όγκου του διηθήματος στα 50 ml με την προσθήκη νερού.

Το διάλυμα που παρασκευάζεται με τον τρόπο αυτό θεωρείται κατάλληλο για τον προσδιορισμό των Na, K, Ca, Mg, P, Fe, Mn, Al, Zn, Cu. Για τον προσδιορισμό του P στο διάλυμα αυτό έχει προταθεί να προστίθεται πριν από τη διάλυση με HCL, 5 ml διαλύματος 2% v/v $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Mg}$ και θέρμανση σε ατμόλουτρο μέχρι ξηρού (Allen 1974). Διερεύνηση του θέματος έδειξε ότι μπορεί το διάλυμα να χρησιμοποιηθεί απ'ευθείας για τη μέτρηση του P.

Προσδιορισμός ιχνοστοιχείων στο έδαφος με τη μέθοδο DTPA

Το εκχυλιστικό αυτό διάλυμα παρασκευάζεται με τη χρησιμοποίηση 0,005 M DTPA, 0.01 M CaCl_2 , 0.01 M TEA. Το pH του εκχυλιστικού αυτού διαλύματος διορθώνεται στο 7,3. Για να παρασκευασθούν 2 lit. του εκχυλιστικού αυτού διαλύματος διαλύουμε 29,84 g TEA, 3.94 g DTPA και 2,94 g $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ σε 200 ml απεσταγμένο νερό. Αφήνουμε το διάλυμα για αρκετή ώρα ώστε να διαλυθεί το DTPA. Ακολούθως, ανάγουμε τον όγκο του διαλύματος σε $7,3 \pm 0,05$ με τη χρησιμοποίηση κανονικού διαλύματος (1N) HCL με ταυτόχρονη ανάδευση. Μετά τη διόρθωση του pH γίνεται εκ νέου αναγωγή του όγκου του εκχυλιστικού διαλύματος στα 2 lit. Το διάλυμα αυτό είναι σταθερό και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μερικούς μήνες.

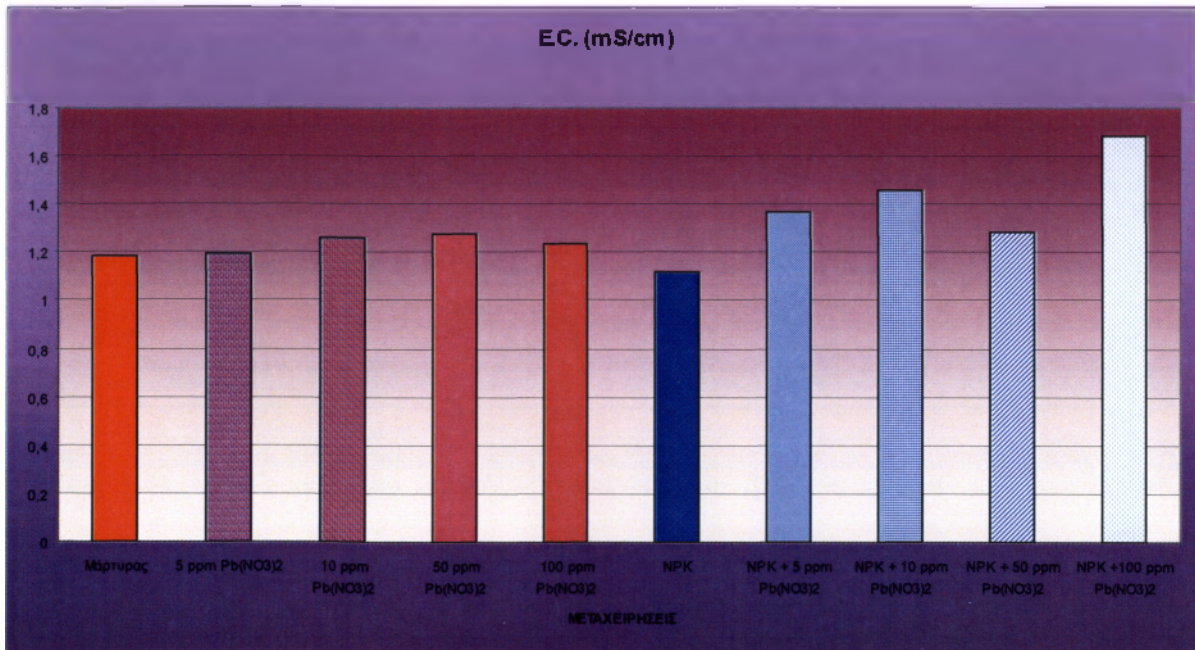
Διαδικασία προσδιορισμού

Σε κωνική φιάλη των 100 ml φέρονται 10 g αεροξηραθέντος εδάφους. Προστίθενται 20 ml από το παραπάνω αναφερόμενο εκχυλιστικό διάλυμα. Πωματίζουμε την κωνική φιάλη με πλαστικά πώματα και την ανακινούμε σε παλμικό ανακινητήρα για δύο ώρες. Τέλος το αιώρημα του εδάφους διηθείται με τη χρησιμοποίηση ηθμού Whatman No. 42. Το διήθημα αυτό θεωρείται κατάλληλο για την μέτρηση των Cu, Zn, Fe, Mn.

ΕΔΑΦΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

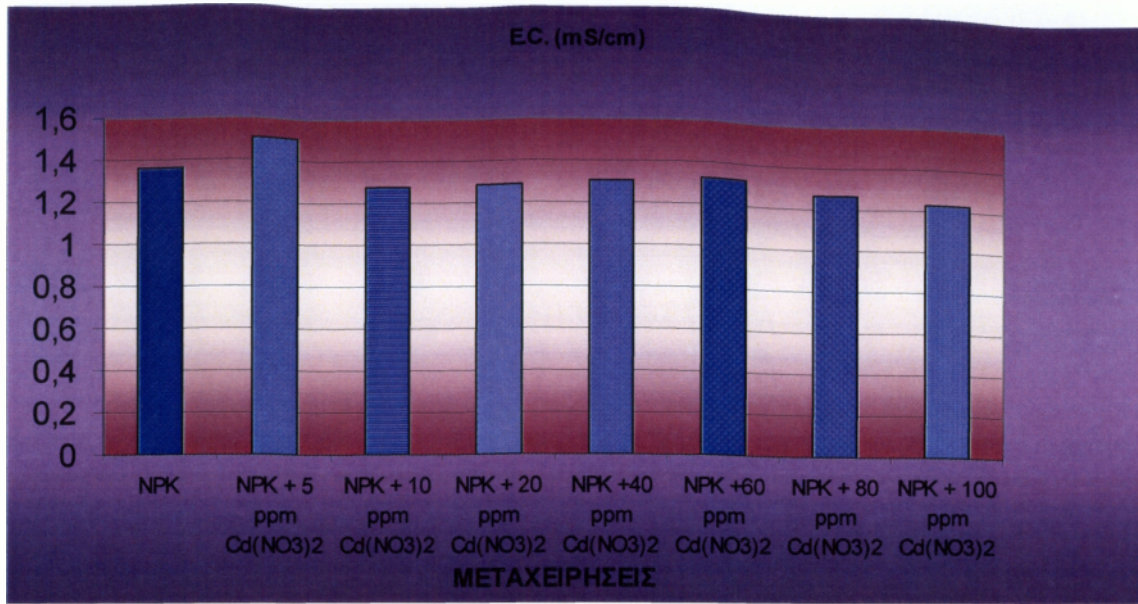
Ηλεκτρική αγωγιμότητα στο έδαφος, E.C. (mS/cm).

Πειραματικός με Pb



Η ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους κυμάνθηκε από 1,022 έως 1,867 και το έδαφος χαρακτηρίζεται μη αλατούχο. Στις μεταχειρίσεις με N-P-K η EC γενικά αυξήθηκε σε σχέση με τις μεταχειρίσεις χωρίς ανόργανη λίπανση και περισσότερο στη μεταχείριση με την εφαρμογή 100 ppm Pb.

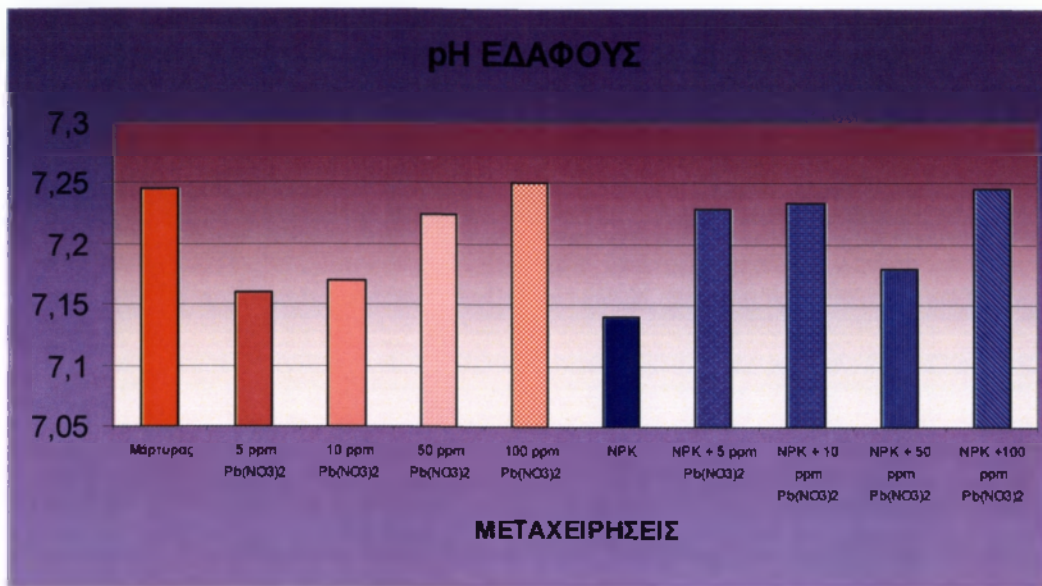
Πειραματικός με Cd



Η ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους κυμάνθηκε από 1,115 έως 1,581 και το έδαφος χαρακτηρίζεται μη αλατούχο. Δεν παρατηρήθηκαν μεγάλες διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων.

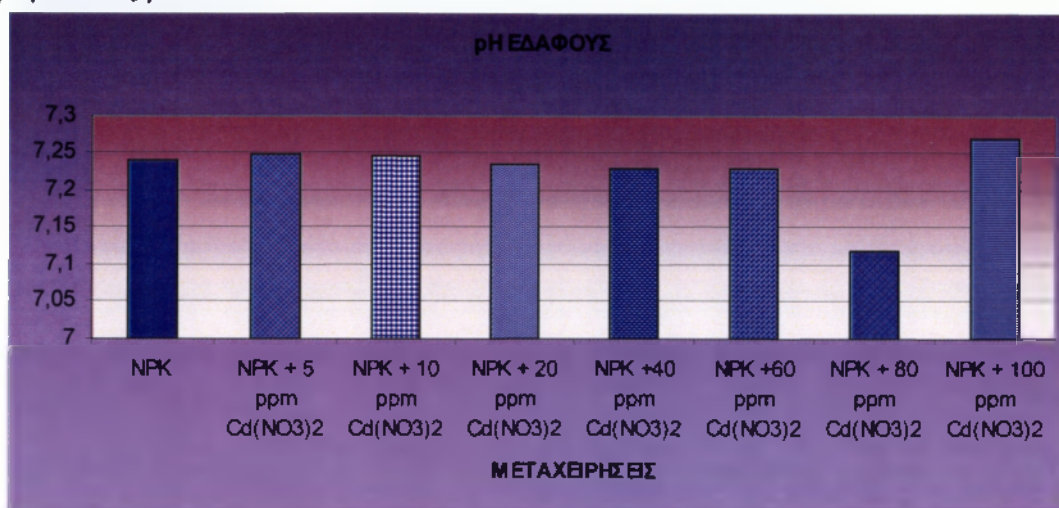
pH στο έδαφος

Πειραματικός με Pb



Το pH του εδάφους κυμάνθηκε από 7,1 έως 7,31 και το έδαφος χαρακτηρίζεται ως ουδέτερο. Με την αύξηση της δόσης του Pb το pH αυξήθηκε στις μεταχειρίσεις χωρίς ανόργανη λίπανση ενώ στις μεταχειρίσεις με N-P-K γενικά δεν παρατηρήθηκαν μεγάλες διαφορές.

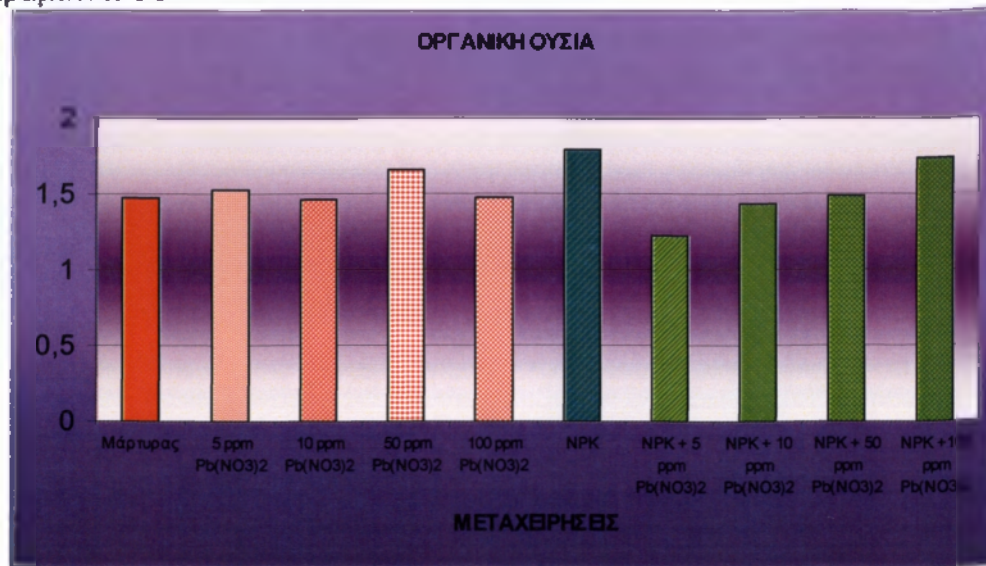
Πειραματικός με Cd



Το pH του εδάφους κυμάνθηκε από 7,11 έως 7,31 και το έδαφος χαρακτηρίζεται ως ουδέτερο. Δεν παρατηρήθηκε μεγάλη διακύμανση μεταξύ των μεταχειρίσεων ως προς την αντίδραση του εδάφους.

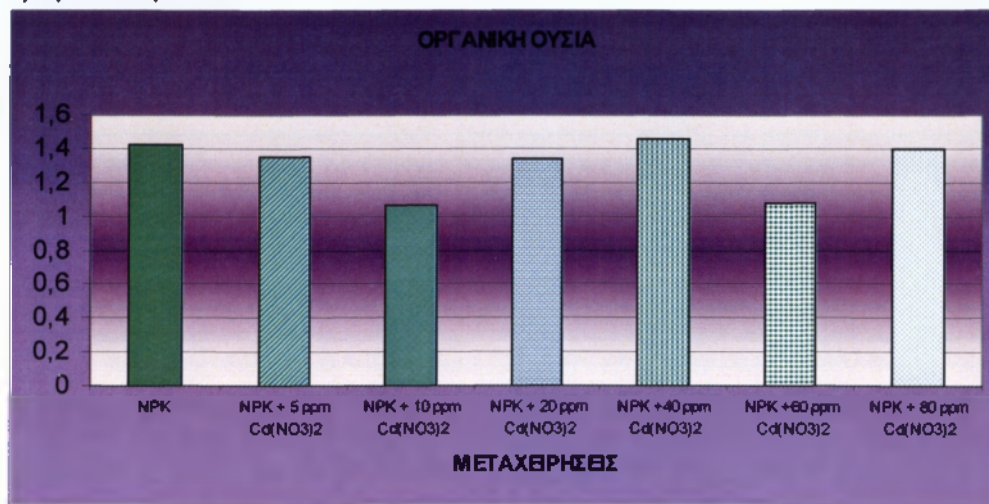
ΟΡΓΑΝΙΚΗ ΟΥΣΙΑ ΕΔΑΦΟΥΣ

Πειραματικό Pb



Η οργανική ουσία στο έδαφος κυμάνθηκε από 1,22 έως 1,73 % . το έδαφος είναι πτωχό σε οργανική ουσία.

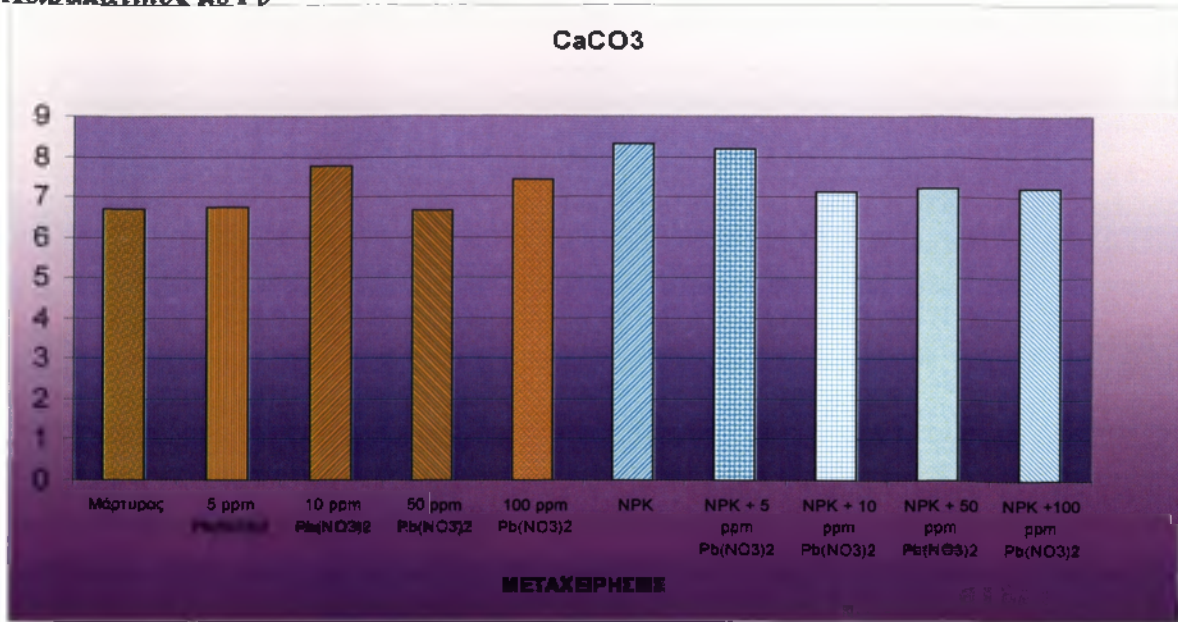
Πειραματικό με Cd



Η οργανική ουσία στο έδαφος κυμάνθηκε από 1,07 έως 1,61 % . Το έδαφος είναι πτωχό σε οργανική ουσία.

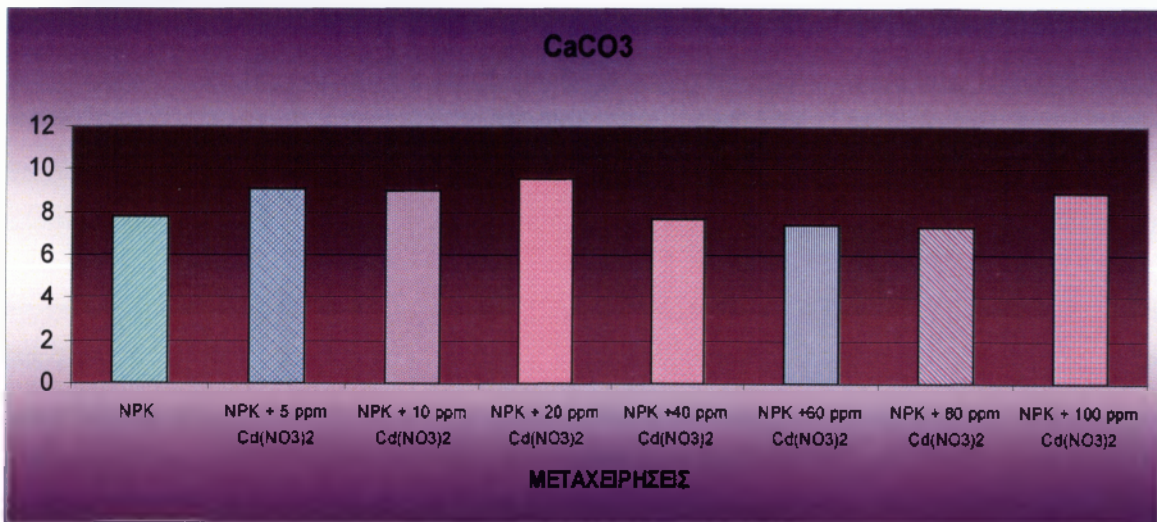
Ολικό Ανθρακικό ασβέστιο, CaCO₃ (gr %)

Πειραματικός με Pb



Το ολικό ανθρακικό ασβέστιο κυμάνθηκε από 5,16 έως 9,18 και το έδαφος χαρακτηρίζεται πλούσιο σε ανθρακικά άλατα.

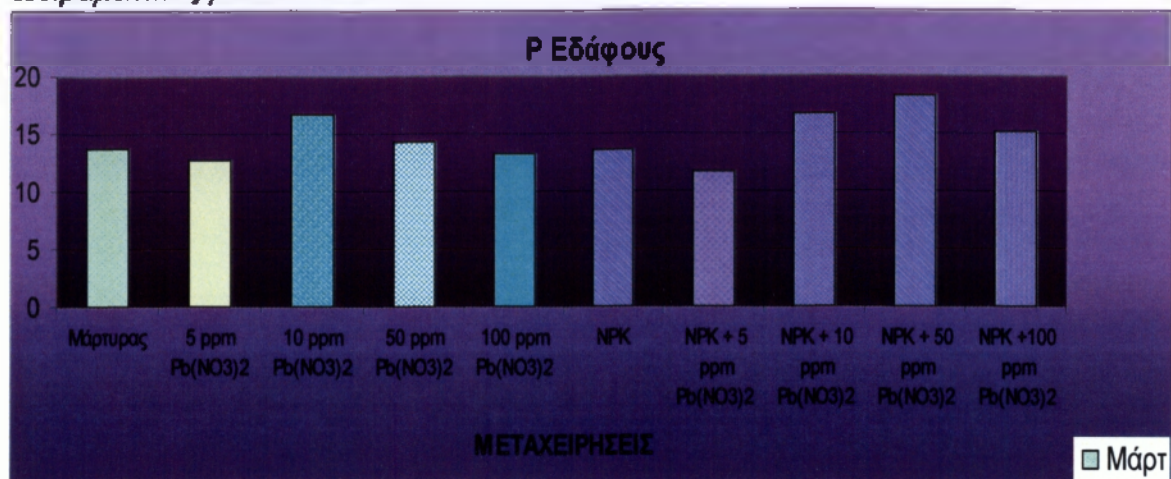
Πειραματικός με Cd



Το ολικό ανθρακικό ασβέστιο κυμάνθηκε από 6,49 έως 10,58 και το έδαφος χαρακτηρίζεται πλούσιο σε ανθρακικά άλατα.

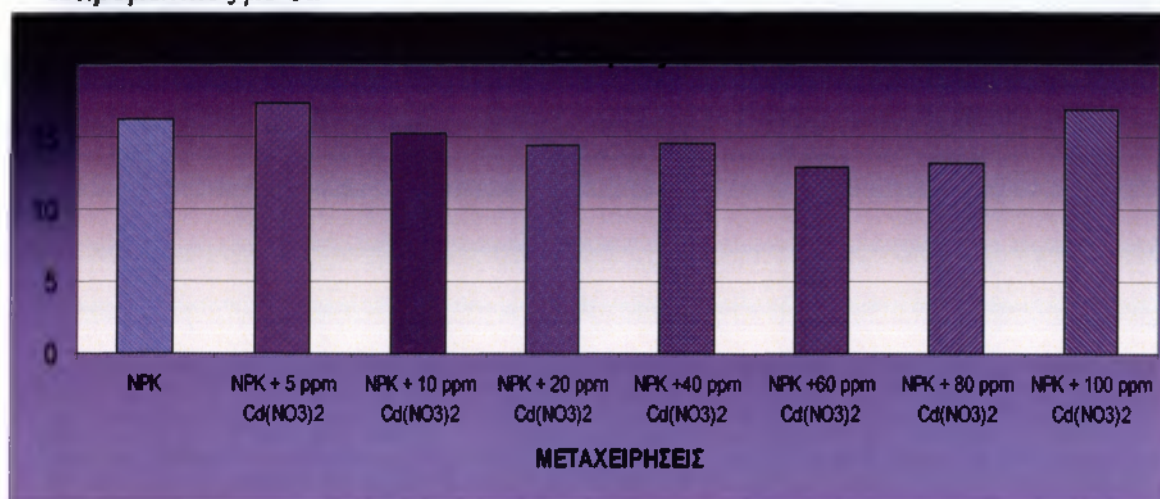
Ο αφομοιώσιμος φώσφορος στο έδαφος, P-Olsen (ppm)

Πειραματικός με Pb



Ο αφομοιώσιμος φώσφορος στο έδαφος κυμάνθηκε από 11,05 έως 21,25 και το έδαφος χαρακτηρίζεται είναι ανεπαρκώς εφοδιασμένο στο θρεπτικό στοιχείο αυτό.

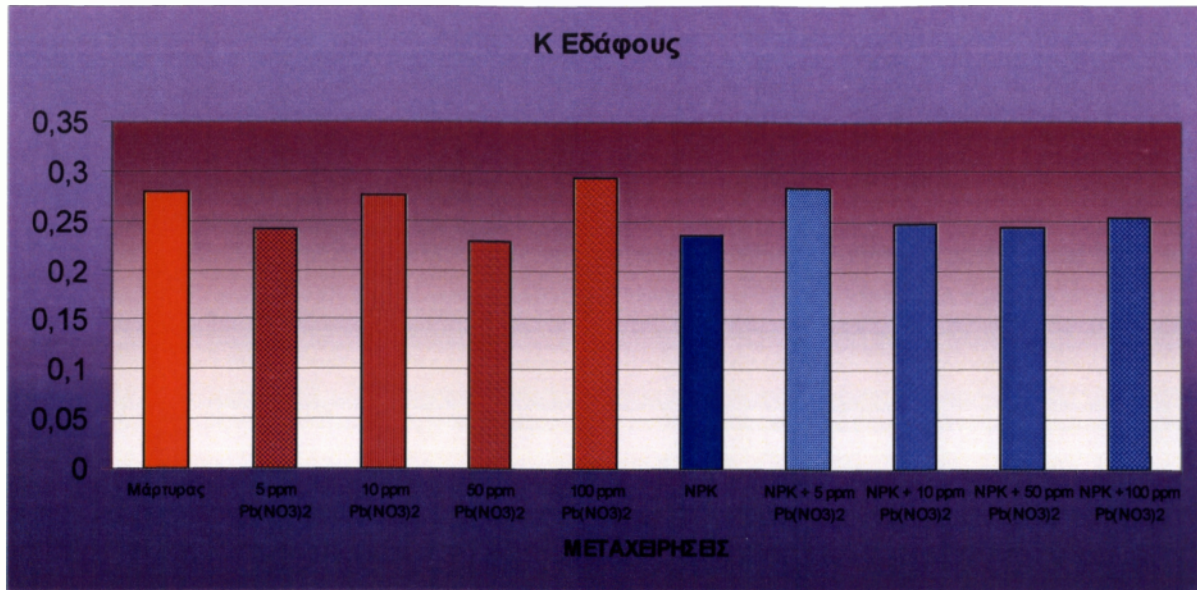
Πειραματικός με Cd



Ο αφομοιώσιμος φώσφορος στο έδαφος κυμάνθηκε από 11,45 έως 17,71 και το έδαφος χαρακτηρίζεται είναι ανεπαρκώς εφοδιασμένο στο θρεπτικό στοιχείο αυτό.

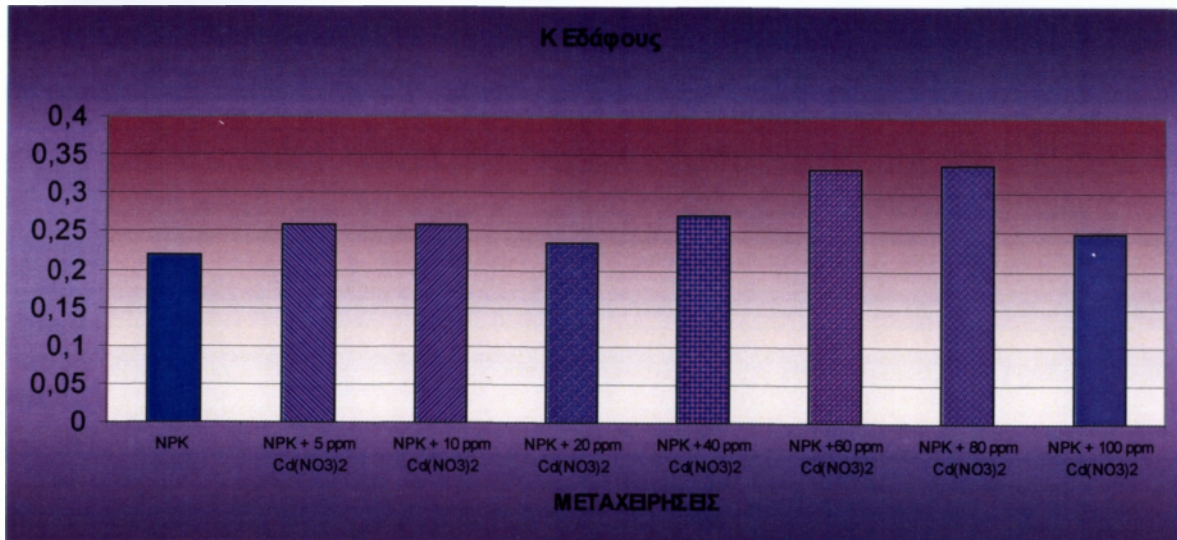
Αφομοιώσιμο κάλιο στο έδαφος, K (meq/100g)

Πειραματικός με Pb



Το ανταλλάξιμο κάλιο κυμάνθηκε από 0,138 έως 0,427 και το έδαφος θεωρείται ανεπαρκές έως μέτρια επαρκές σε αφομοιώσιμο κάλιο.

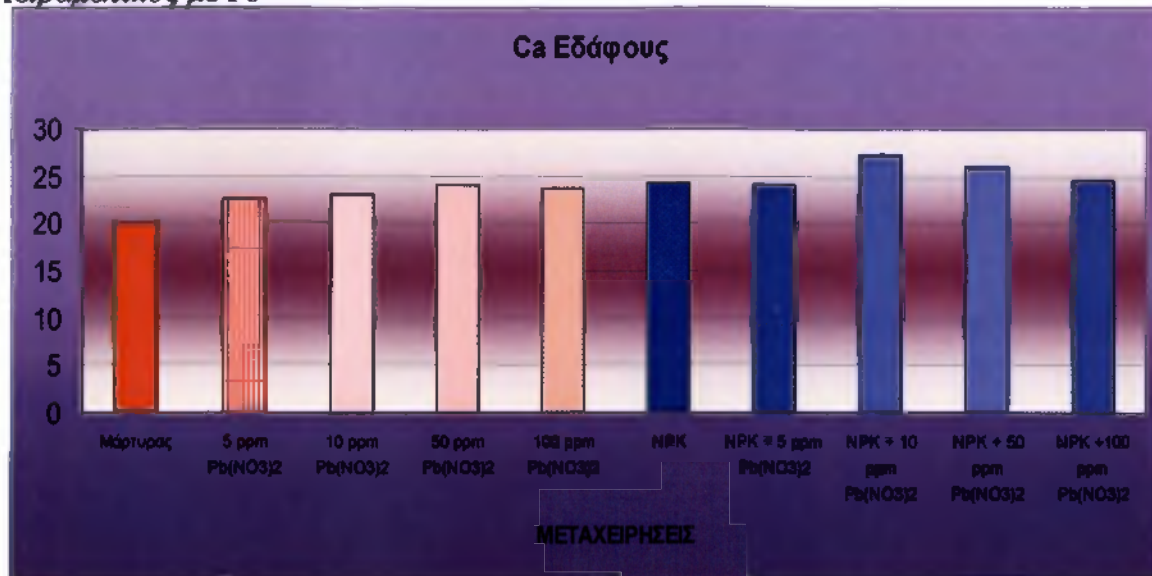
Πειραματικός με Cd



Το ανταλλάξιμο κάλιο κυμάνθηκε από 0,17 έως 0,49 και το έδαφος θεωρείται ανεπαρκές έως μέτρια επαρκές σε αφομοιώσιμο κάλιο.

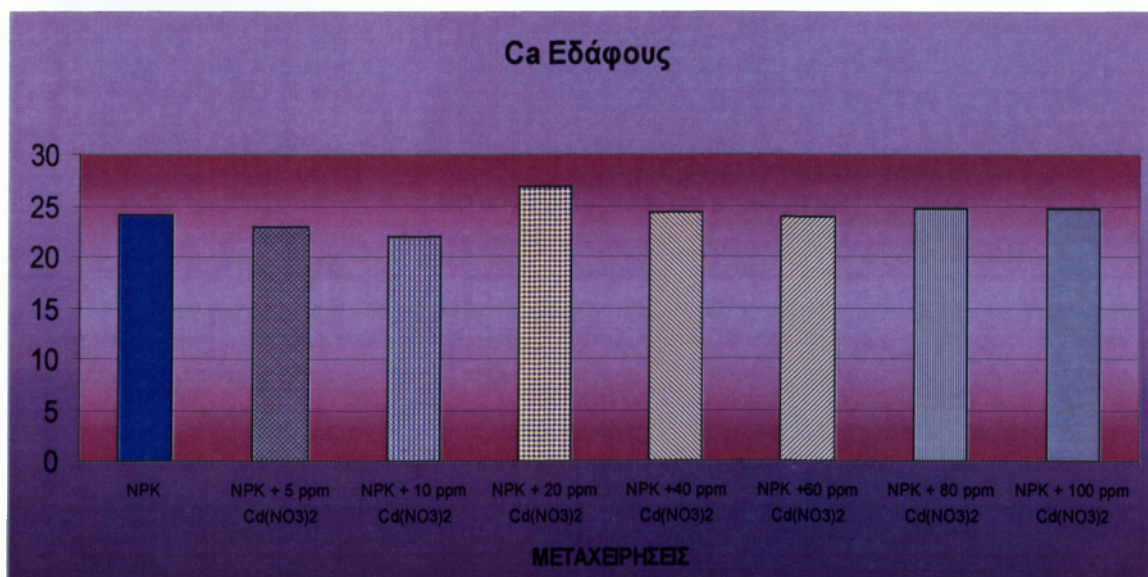
Ανταλλάξιμο ασβέστιο στο έδαφος, Ca (mea/100g)

Πειραματικός με Pb



Το ανταλλάξιμο ασβέστιο κυμάνθηκε από 15,555 έως 30,498 και το έδαφος θεωρείται πλούσιο σε ασβέστιο. Τα παραπάνω συσχετίζονται με τη μεγάλη περιεκτικότητα σε ολικό ανθρακικό ασβέστιο.

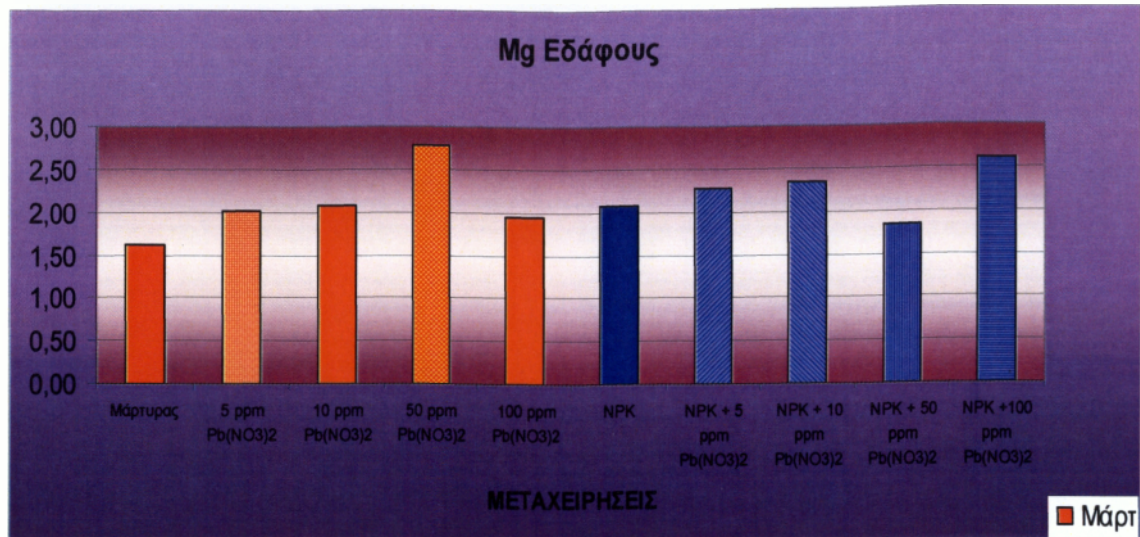
Πειραματικός με Cd



Το ανταλλάξιμο ασβέστιο κυμάνθηκε από 21,318 έως 29,58 και το έδαφος θεωρείται πλούσιο σε ασβέστιο. Τα παραπάνω συσχετίζονται με τη μεγάλη περιεκτικότητα σε ολικό ανθρακικό ασβέστιο.

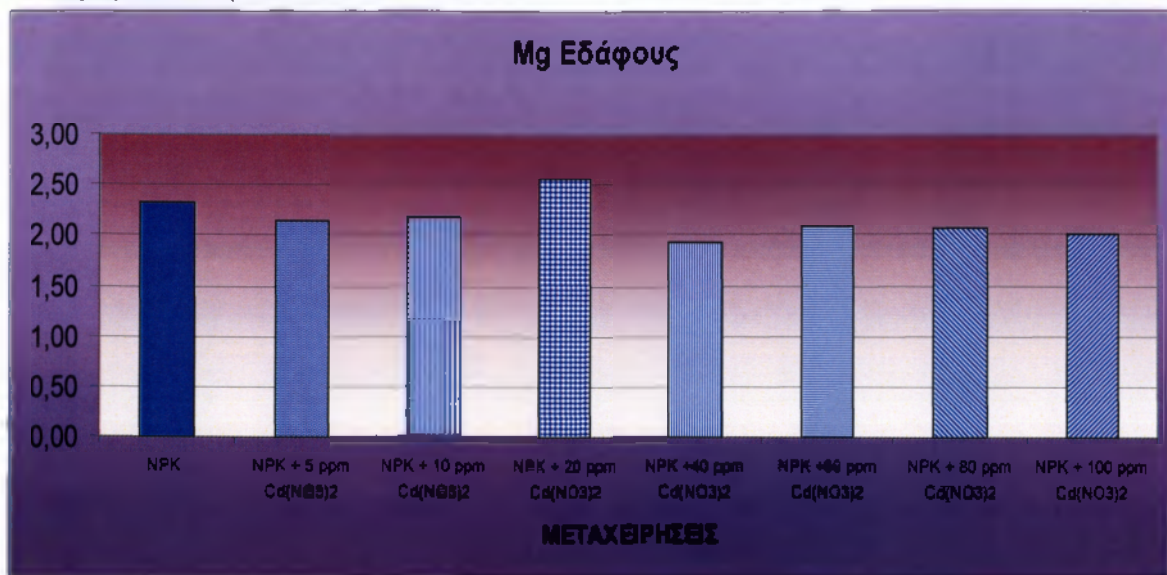
Ανταλλάξιμο μαγνήσιο στο έδαφος, Mg (meq/100g)

Πειραματικός με Pb



Το ανταλλάξιμο μαγνήσιο κυμάνθηκε από 1,343 έως 4,953 και το έδαφος θεωρείται πλούσιο σε Mg.

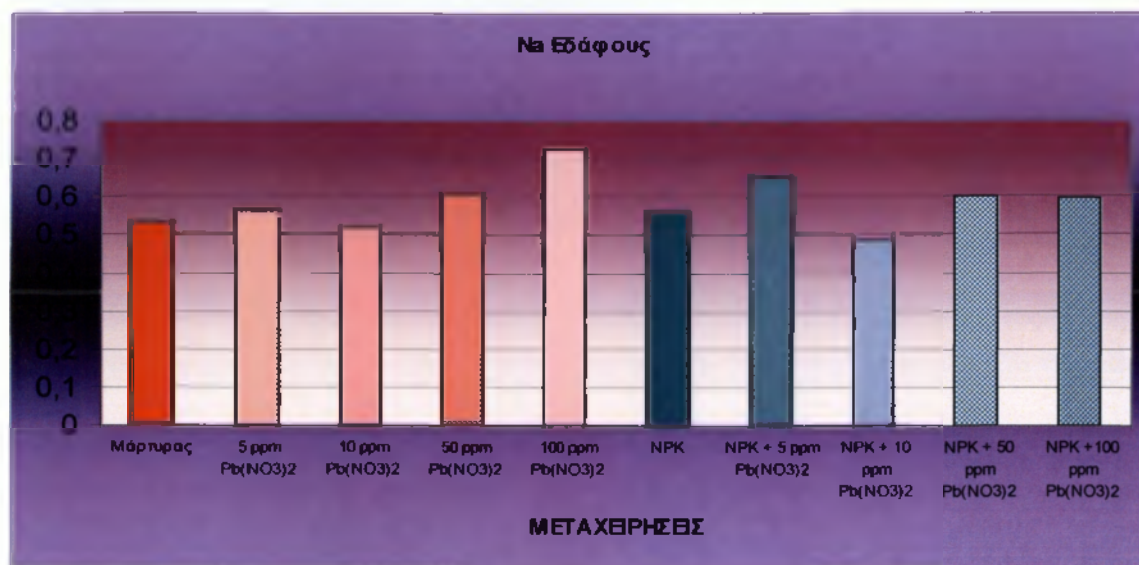
Πειραματικός με Cd



Το ανταλλάξιμο μαγνήσιο κυμάνθηκε από 1,427 έως 4,785 και το έδαφος θεωρείται πλούσιο σε Mg.

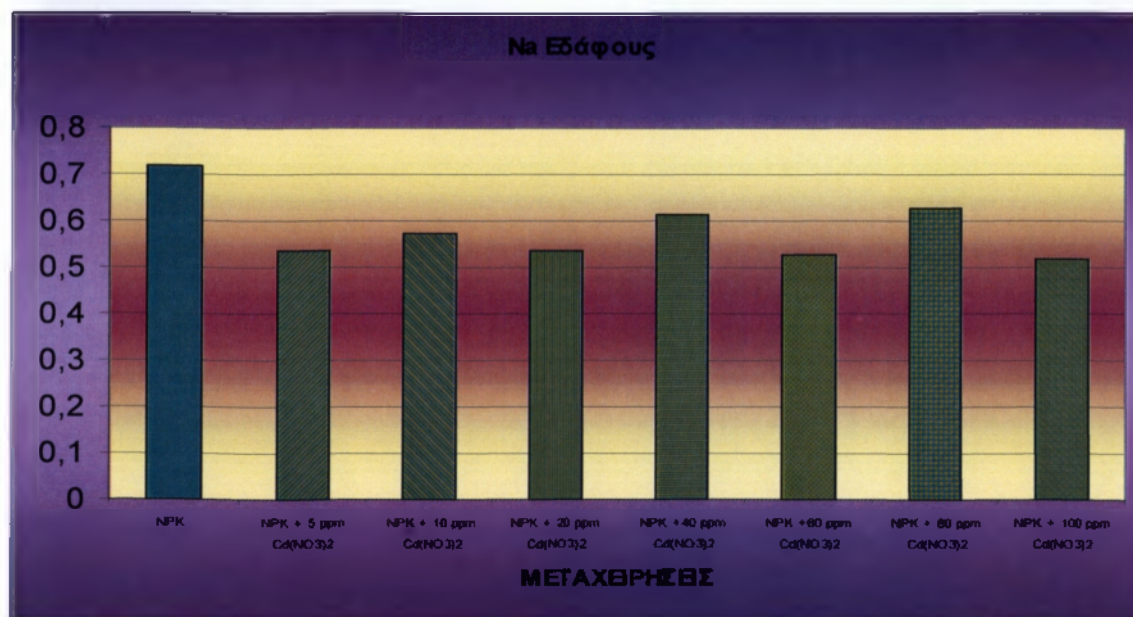
Ανταλλάξιμο Na στο έδαφος. Na (meq/100g)

Πειραματικός με Pb



Το ανταλλάξιμο Na κυμάνθηκε από 0,411 έως 0,840 και δεν αποτελεί κίνδυνο παθογένειας

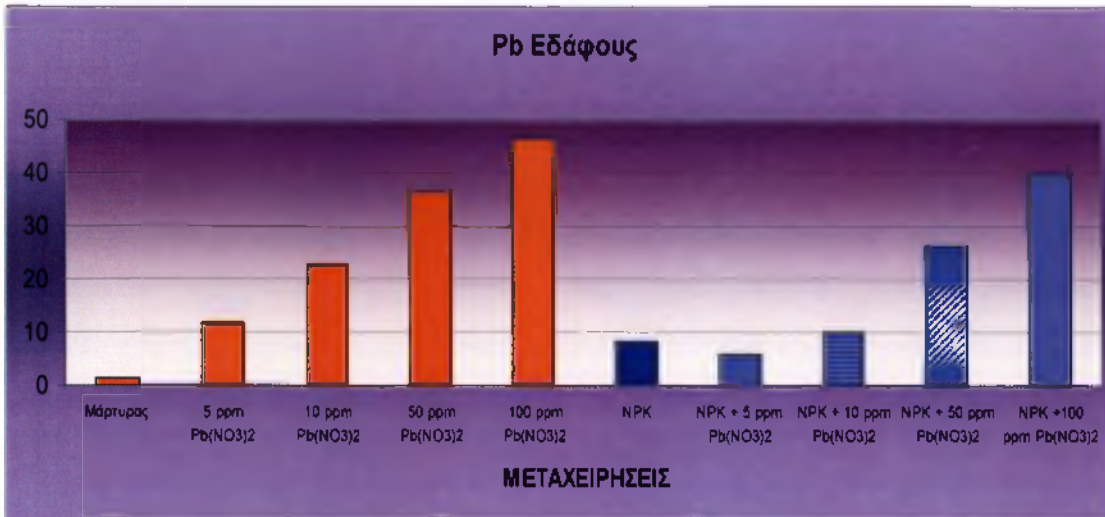
Πειραματικός με Cd



Το ανταλλάξιμο Na κυμάνθηκε από 0,464 έως 0,679 και δεν αποτελεί κίνδυνο παθογένειας.

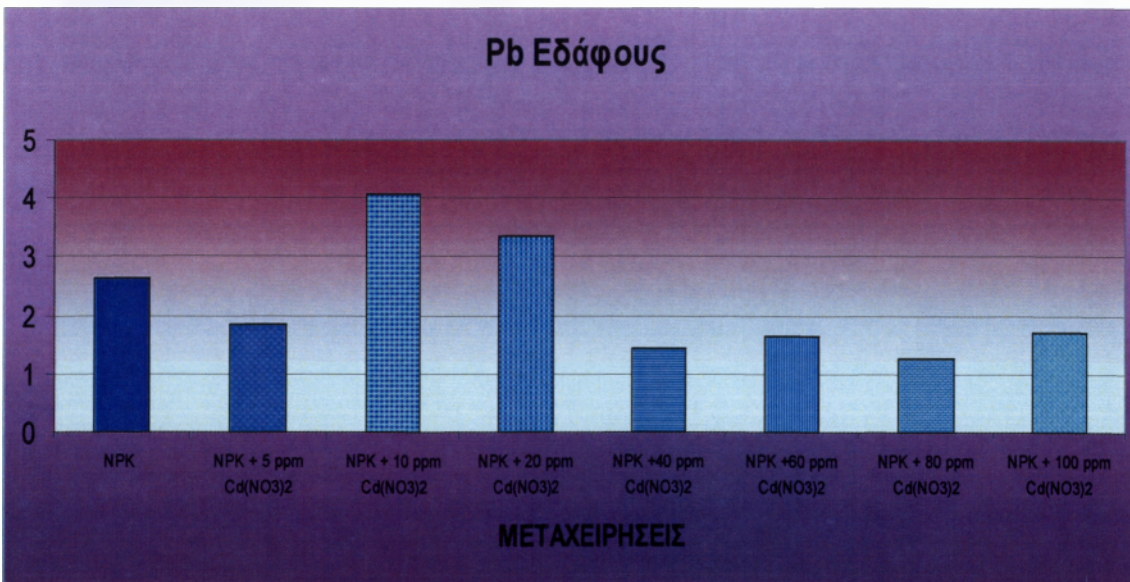
Pb-DTPA στο έδαφος

Πειραματικό με Pb



Ο Pb-DTPA στο έδαφος κυμάνθηκε σε κανονικά επίπεδα δηλ. από 0.744 έως 42.27 ppm. Σημαντική και θετική συσχέτιση παρατηρήθηκε μεταξύ του Pb στο έδαφος και των δόσεων Pb. Η αύξηση στο Pb-DTPA ήταν περισσότερο εμφανής στις μεταχειρίσεις χωρίς N-P-K.

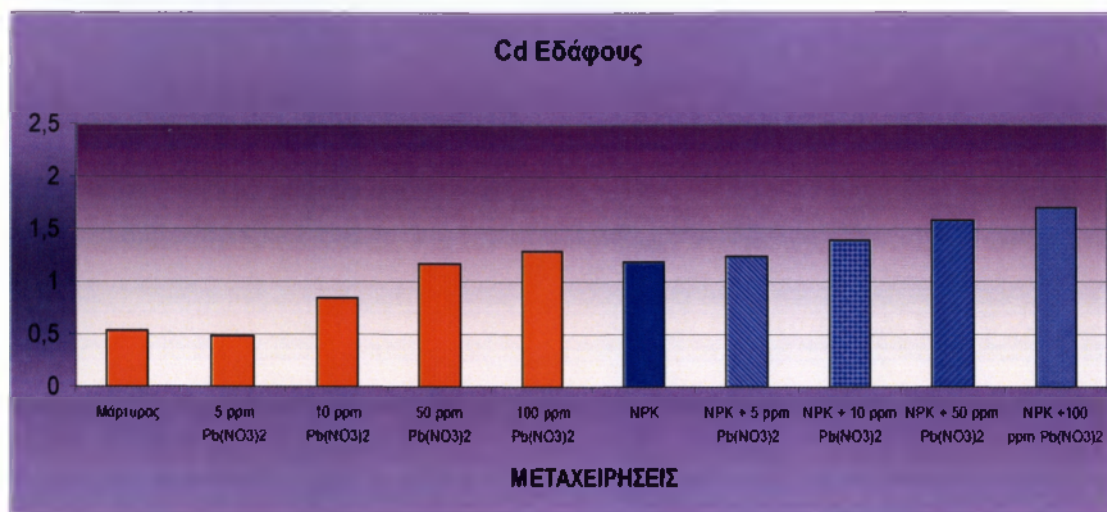
Πειραματικό με Cd



Ο Pb-DTPA στο έδαφος κυμάνθηκε σε κανονικά επίπεδα δηλ. από 0.484 έως 3.928 ppm. Οι δόσεις Cd δεν επηρέασαν σημαντικά τον Pb-DTPA.

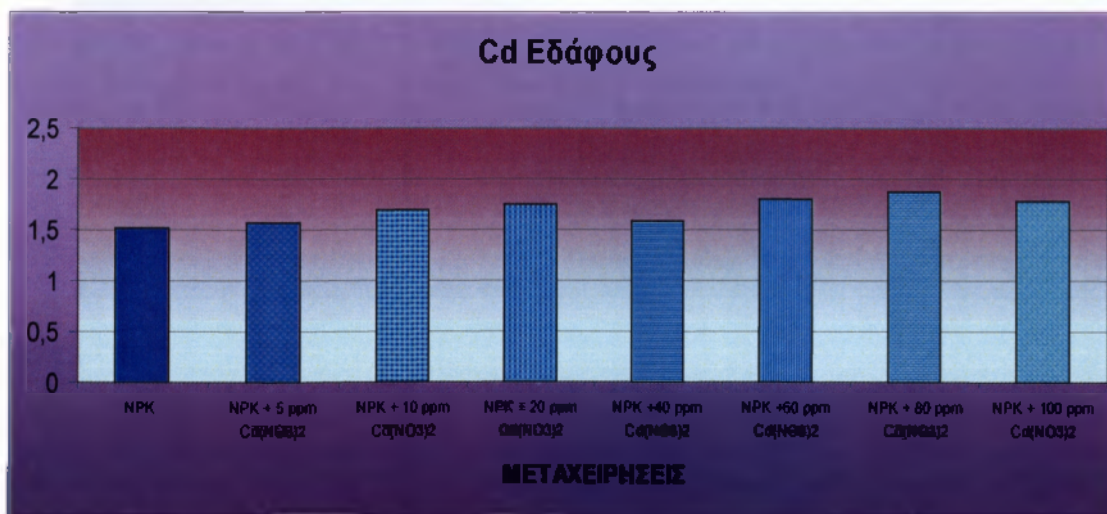
Cd-DTPA στο έδαφος

Πειραματικό με Pb



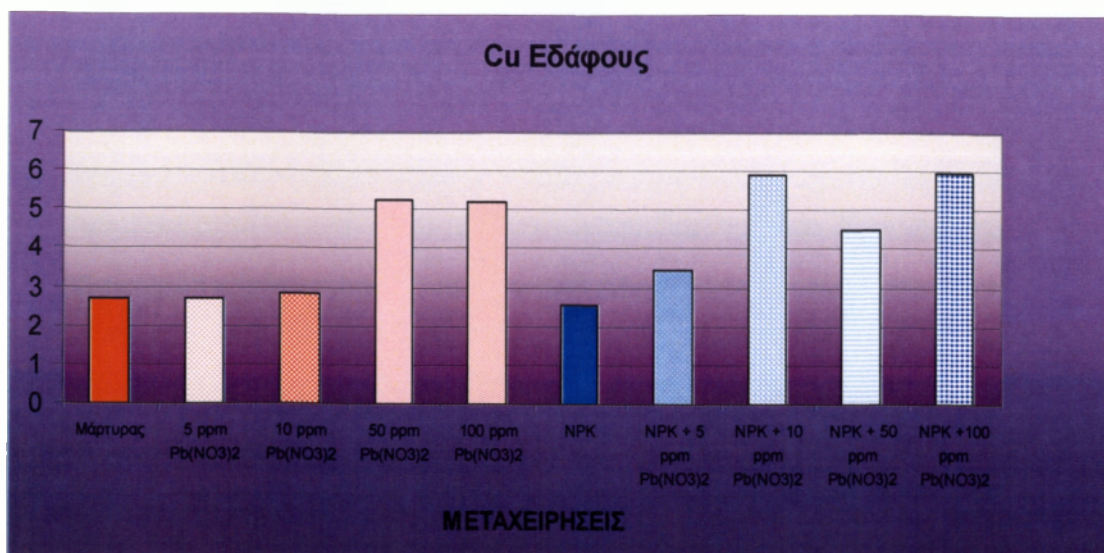
Το Cd-DTPA στο έδαφος κυμάνθηκε σε πολύ υψηλά επίπεδα δηλ. από 0.308 έως 1.908 ppm, και συσχετίστηκε θετικά με τις δόσεις Pb. Στις μεταχειρίσεις με N-P-K το έδαφος ήταν πλουσιότερο σε Cd-DTPA σε σχέση με το έδαφος χωρίς λίπανση, προφανώς λόγω της ύπαρξης Cd στα N-P-K λιπάσματα.

Πειραματικό με Cd



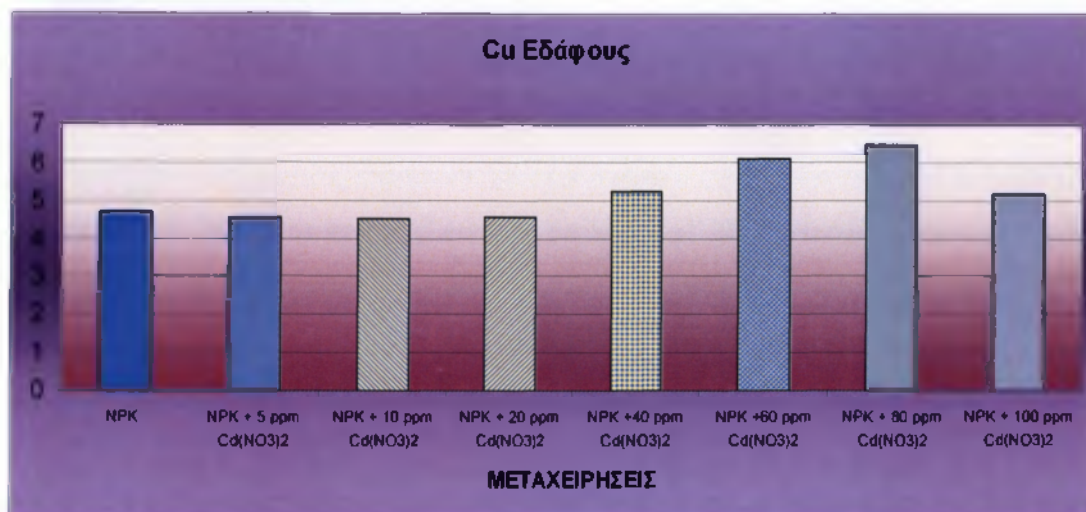
Το Cd-DTPA στο έδαφος κυμάνθηκε επίσης σε πολύ υψηλά επίπεδα δηλ. από 1.296 έως 2.04 ppm, αλλά δεν μεταβλήθηκε από τις δόσεις Cd σημαντικά.

Αφομοιώσιμο Cu στο έδαφος



Ο εκχυλίσμος με DTPA Cu διακυμάνθηκε σε πολύ υψηλά επίπεδα μεταξύ 1.92 και 7.68 ppm. Θετική συσχέτιση παρατηρήθηκε μεταξύ των δόσεων του Pb και του Cu στο έδαφος.

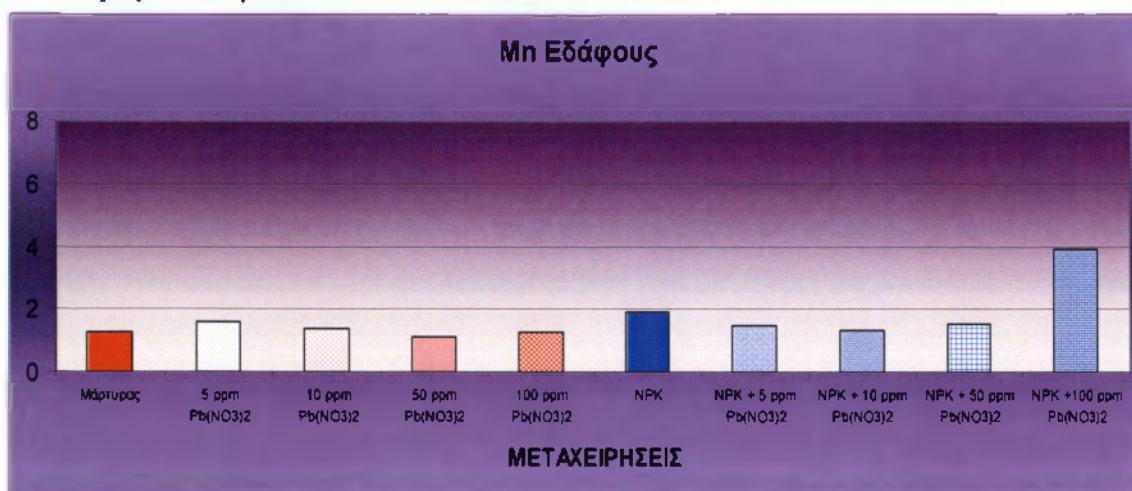
Πειραματικό με Cd



Ο εκχυλίσμος με DTPA Cu διακυμάνθηκε σε πολύ υψηλά επίπεδα μεταξύ 3.88 και 7.42 ppm.

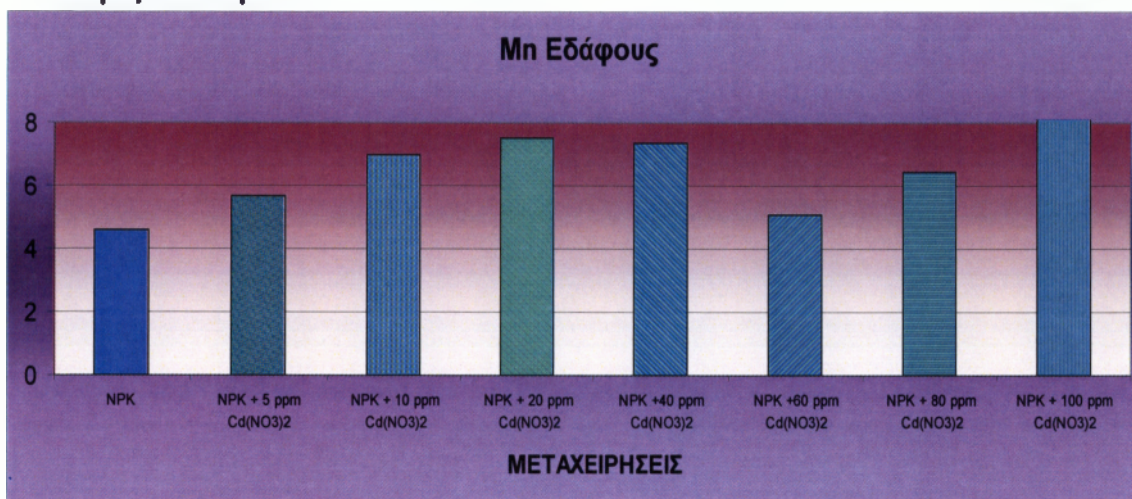
Αφομοίωση Mn στο έδαφος

Πειραματικό με Pb



Το αφομοίωση Mn στο έδαφος διακυμάνθηκε σε πολύ χαμηλά επίπεδα μεταξύ 0.764 και 2.72 ppm.

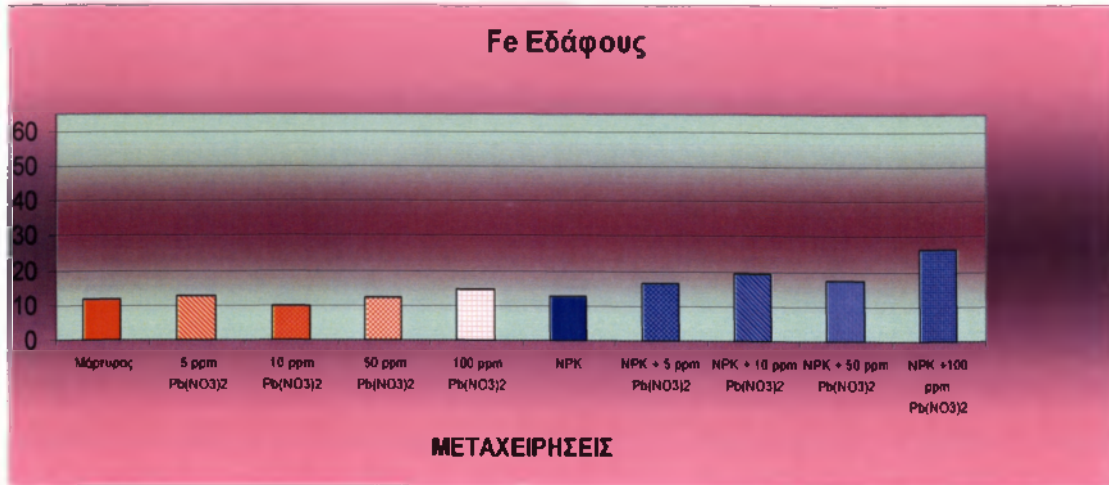
Πειραματικό με Cd



Το αφομοίωση Mn στο έδαφος διακυμάνθηκε σε χαμηλά επίπεδα μεταξύ 4.16 και 8.76 ppm.

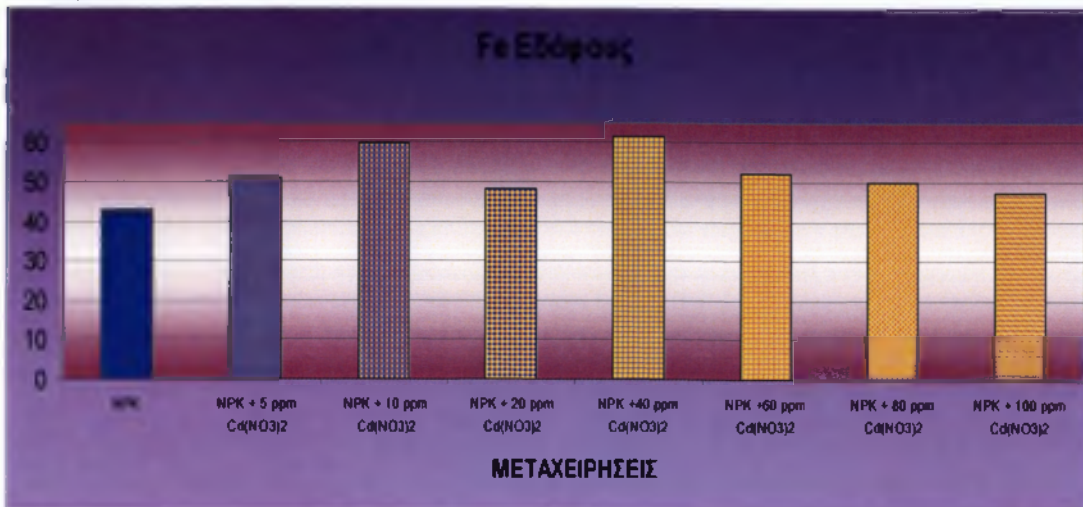
Αφομοιώσιμος Fe στο έδαφος

Πειραματικό με Pb



Ο αφομοιώσιμος Fe στο έδαφος διακυμάνθηκε σε μέτρια έως κανονικά επίπεδα δηλ μεταξύ 9.23 και 22.96 ppm.

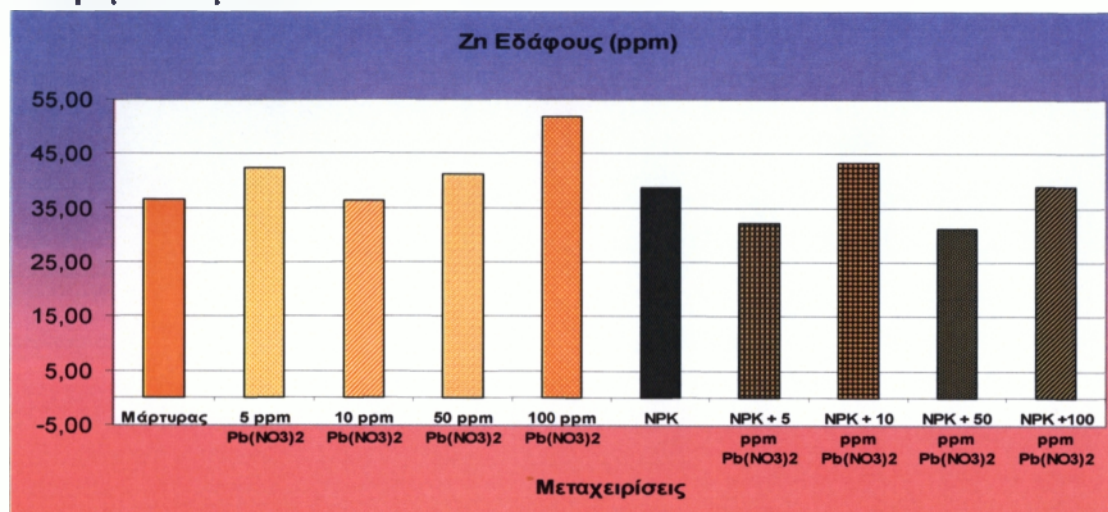
Πειραματικό με Cd



Ο αφομοιώσιμος Fe στο έδαφος διακυμάνθηκε σε πολύ υψηλά επίπεδα δηλ μεταξύ 30.94 και 70.3 ppm.

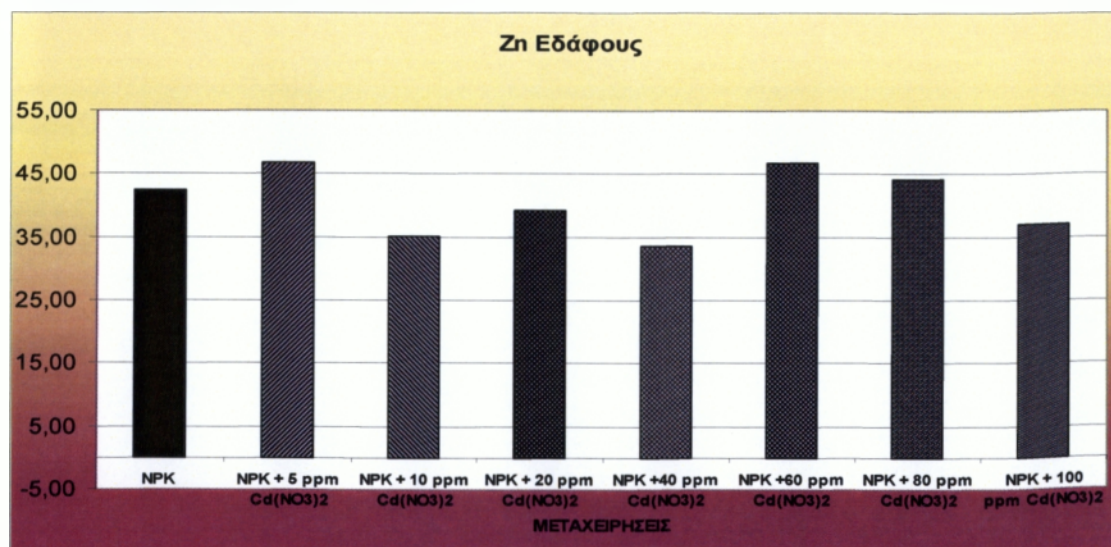
Zn-DTPA στο έδαφος

Πειραματικό με Pb



Ο Zn-DTPA στο έδαφος κυμάνθηκε σε χαμηλά επίπεδα και κυμάνθηκε από 0.486 μέχρι 1.12 ppm. Η λίπανση με N-P-K έδωσε χαμηλότερες συγκεντρώσεις αφομοιώσιμου Zn σε σύγκριση με τις μεταχειρίσεις χωρίς λίπανση.

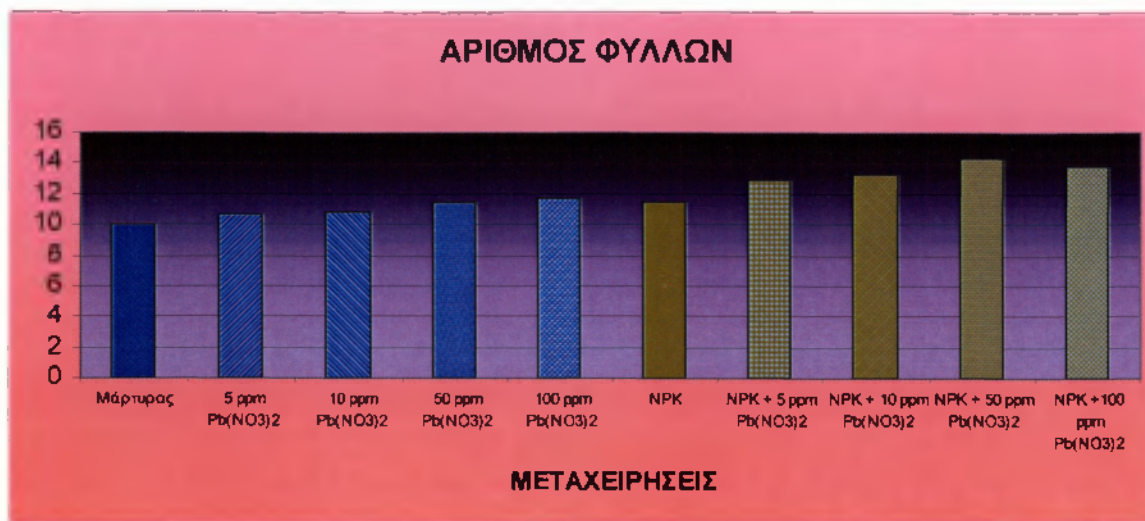
Πειραματικό με Cd



Ο Zn-DTPA στο έδαφος κυμάνθηκε σε χαμηλά επίπεδα και κυμάνθηκε από 0.476 μέχρι 1.17 ppm

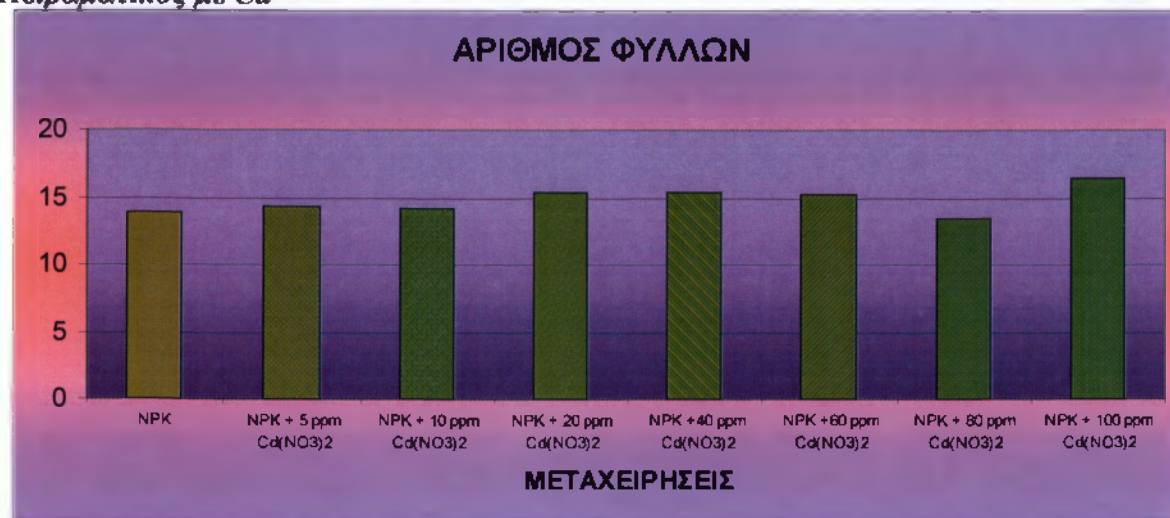
ΑΥΞΗΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ

Πειραματικό με Pb



Ο αριθμός των φύλλων ήταν μεγαλύτερος στις μεταχειρίσεις με N-P-K λίπανση σε σύγκριση με τις μεταχειρίσεις χωρίς N-P-K λίπανση και αυξάνονταν με τη αύξηση της δόσης του Pb. Το γεγονός αυτό μπορεί να οφείλεται στη νιτρική μορφή του Pb.

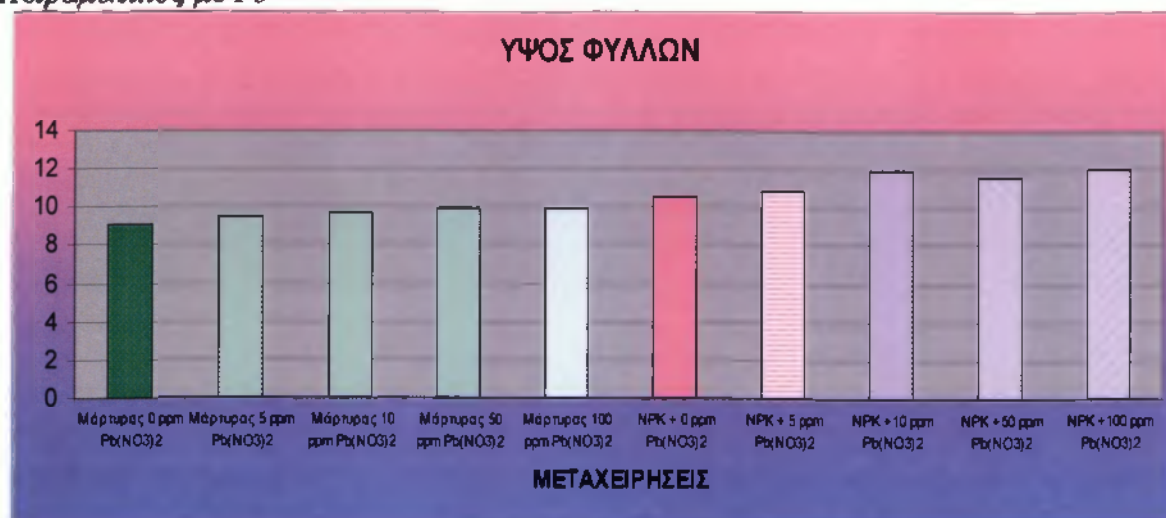
Πειραματικός με Cd



Ο αριθμός των φύλλων δεν επηρεάστηκε από τις επεμβάσεις.

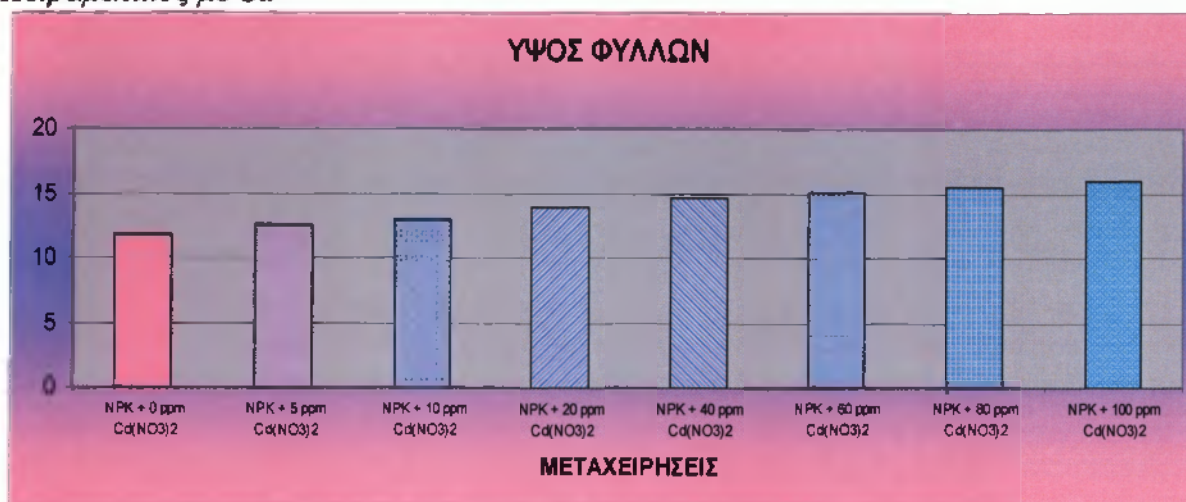
Ύψος φυτών (εκ.)

Πειραματικός με Pb



Ανάλογα αποτελέσματα με αυτά για τον αριθμό των φύλλων διαπιστώθηκαν και για το ύψος των φυτών.

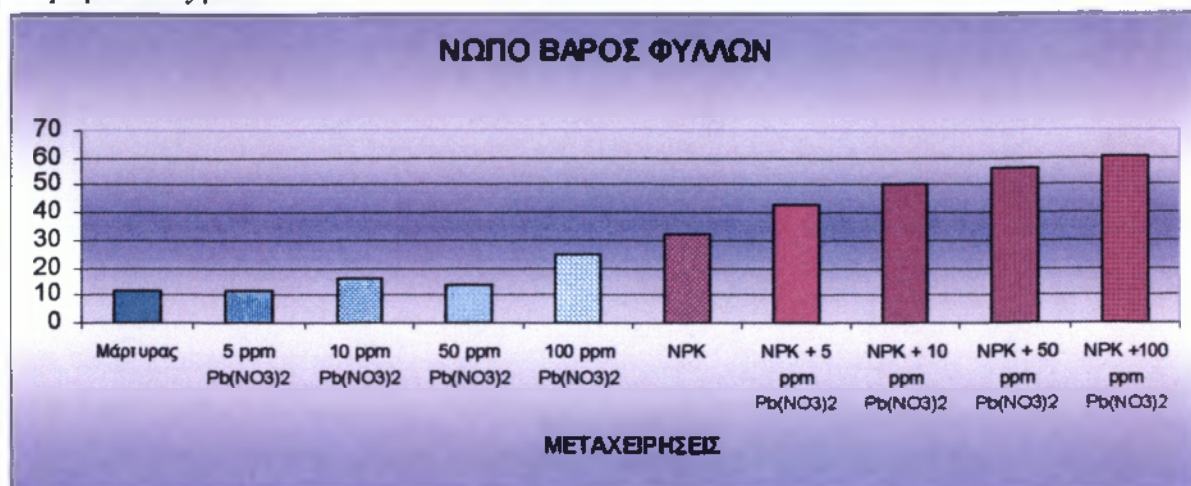
Πειραματικός με Cd



Τα φυτά αυξάνονταν σε ύψος με τη αύξηση της δόσης του **Cd**. Το γεγονός αυτό μπορεί να οφείλεται στη νιτρική μορφή του.

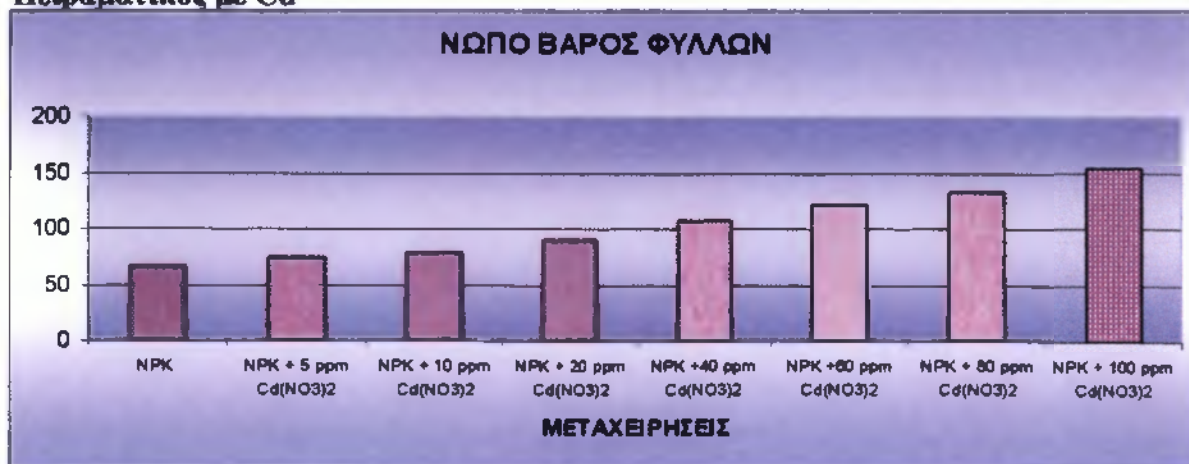
Παραγωγή σε υπέργεια νωπή μάζα (γρ./ φυτό)

Πειραματικός με Pb



Το υπέργειο νωπό βάρος ήταν μεγαλύτερο στις μεταχειρίσεις με N-P-K σε σχέση με τις μεταχειρίσεις χωρίς λίπανση. Οι δόσεις του Pb συσχετίστηκαν θετικά με το νωπό βάρος των φυτών.

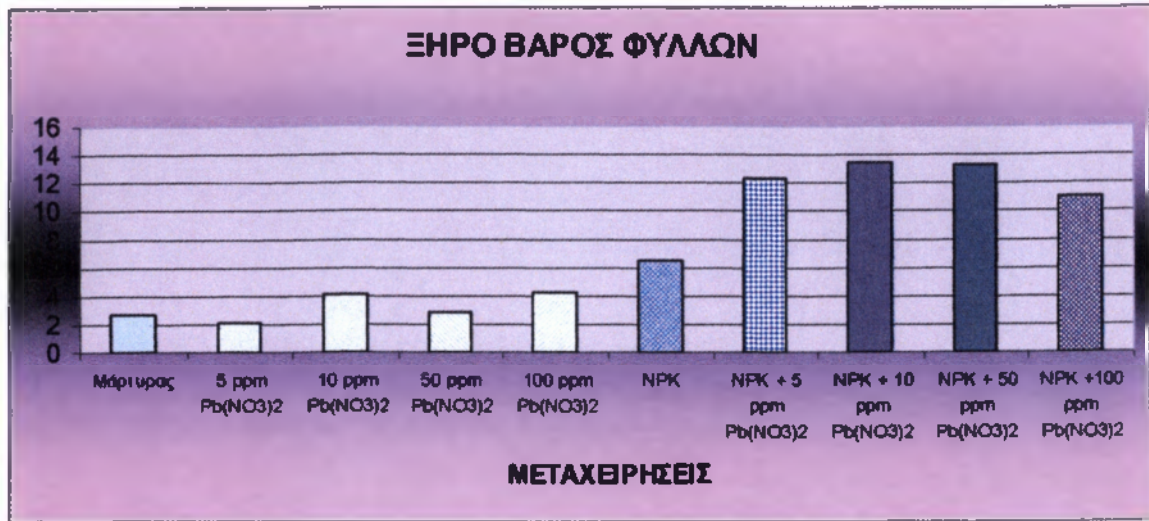
Πειραματικός με Cd



Οι δόσεις του Cd συσχετίστηκαν θετικά με το νωπό βάρος των φυτών.

Παραγωγή σε υπέργεια ξηρή μάζα (γρ./ φυτό)

Πειραματικός με Pb



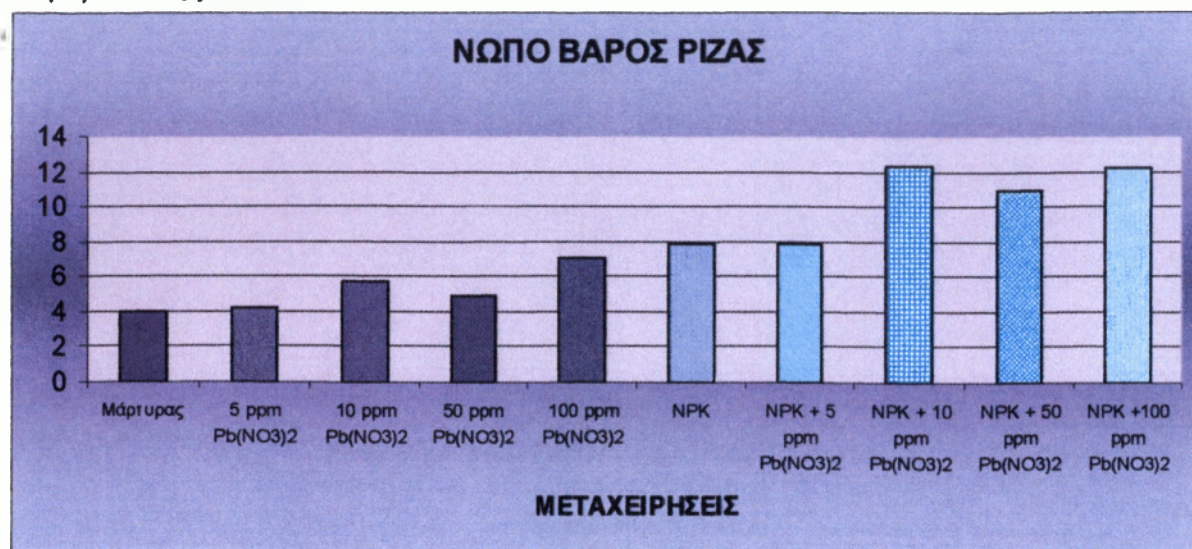
Πειραματικός με Cd



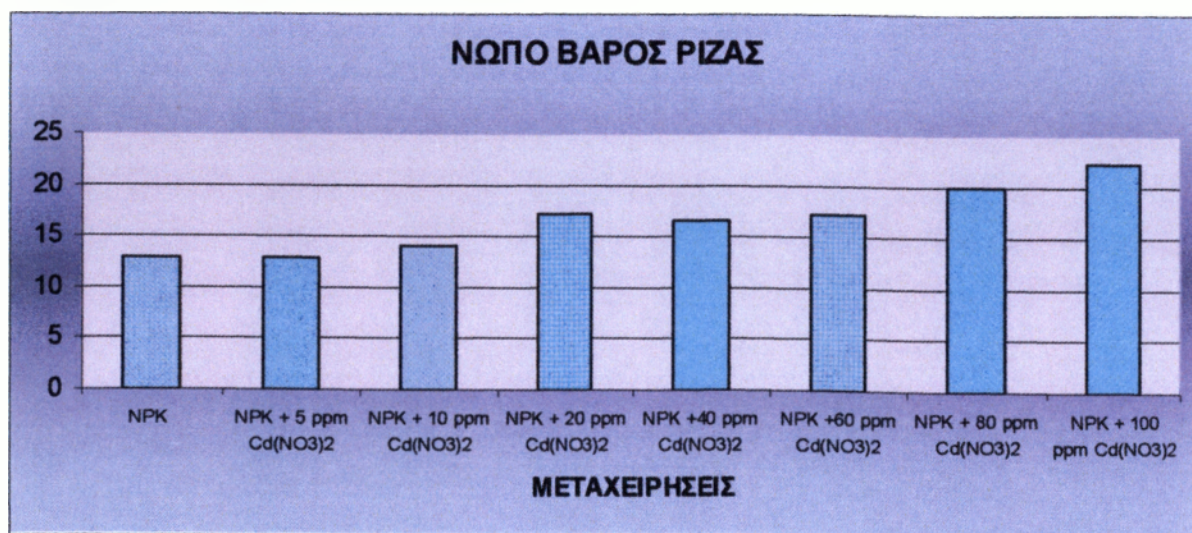
Ανάλογα αποτελέσματα με αυτά της απόδοσης προέκυψαν και για τα υπέργειο ξηρό βάρος

Ξηρό και ωπό βάρος ριζών (γρ./ φυτό)

Πειραματικός με Pb



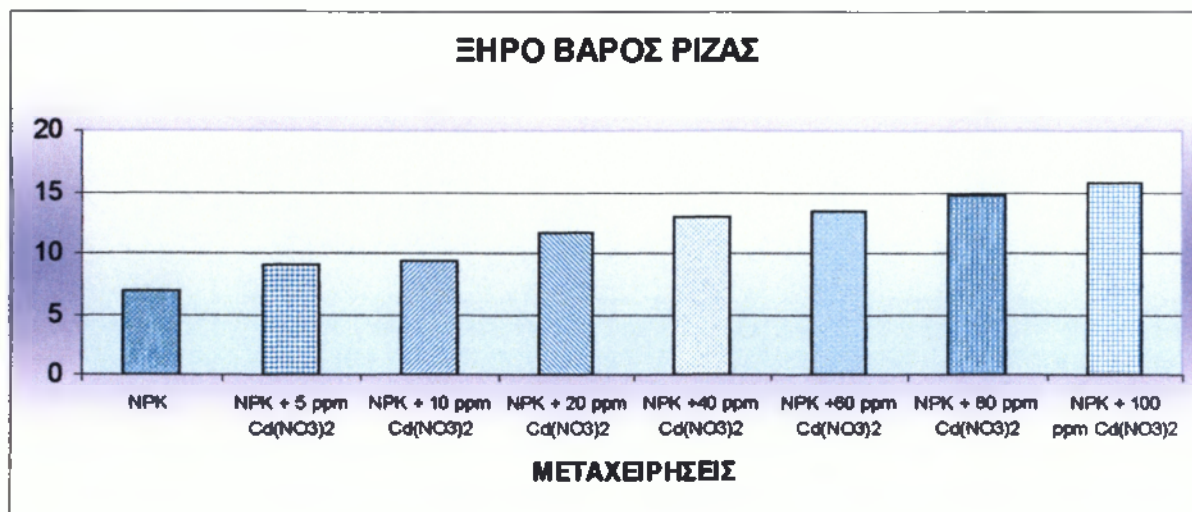
Πειραματικός με Cd



Πειραματικός με Pb



Πειραματικός με Cd

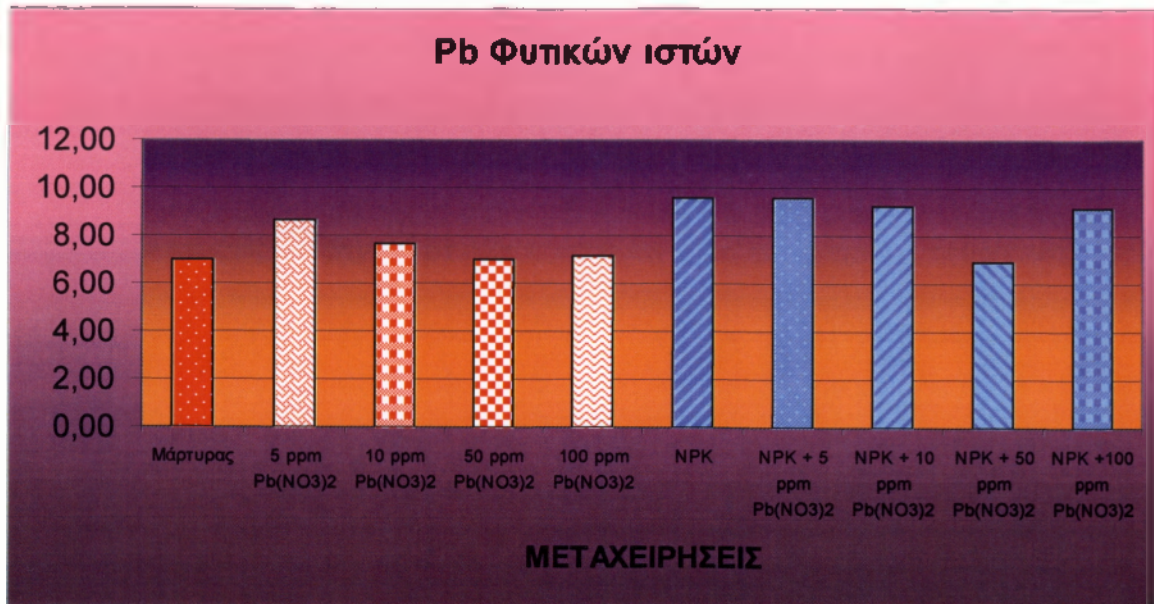


Ανάλογα αποτελέσματα με αυτά στο υπέργειο τμήμα προέκυψαν και για το βάρος των ριζών.

ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΦΥΤΩΝ

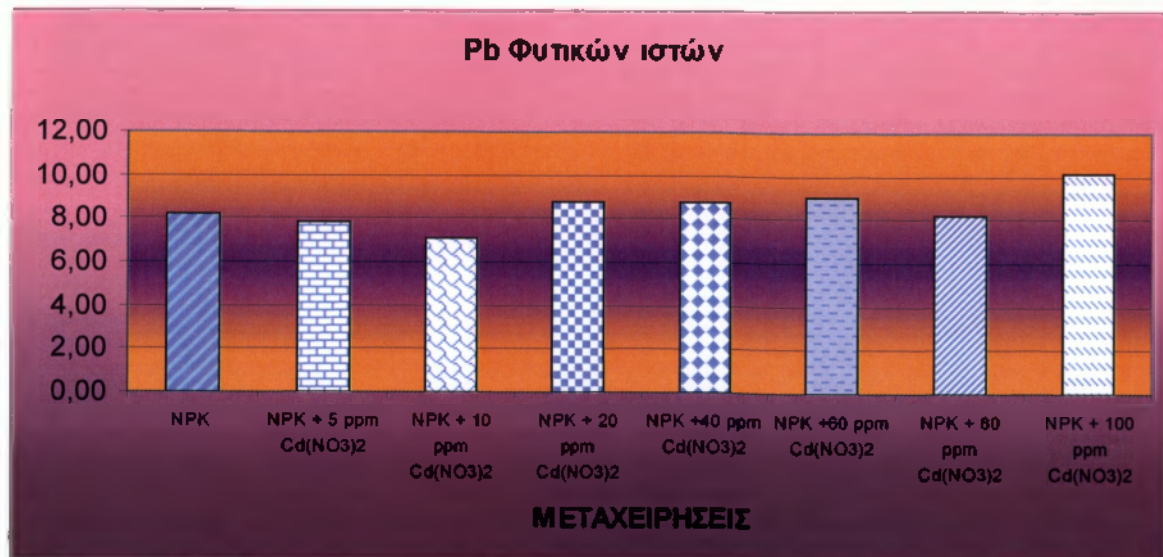
Συγκέντρωση Pb (ppm) στο υπέρυγιο τμήμα

Πειραματικός με Pb



Οι συγκεντρώσεις του Pb και στα δυο πειραματικά κυμάνθηκαν σε κανονικά επίπεδα από 5.97 έως 11.07 ppm.

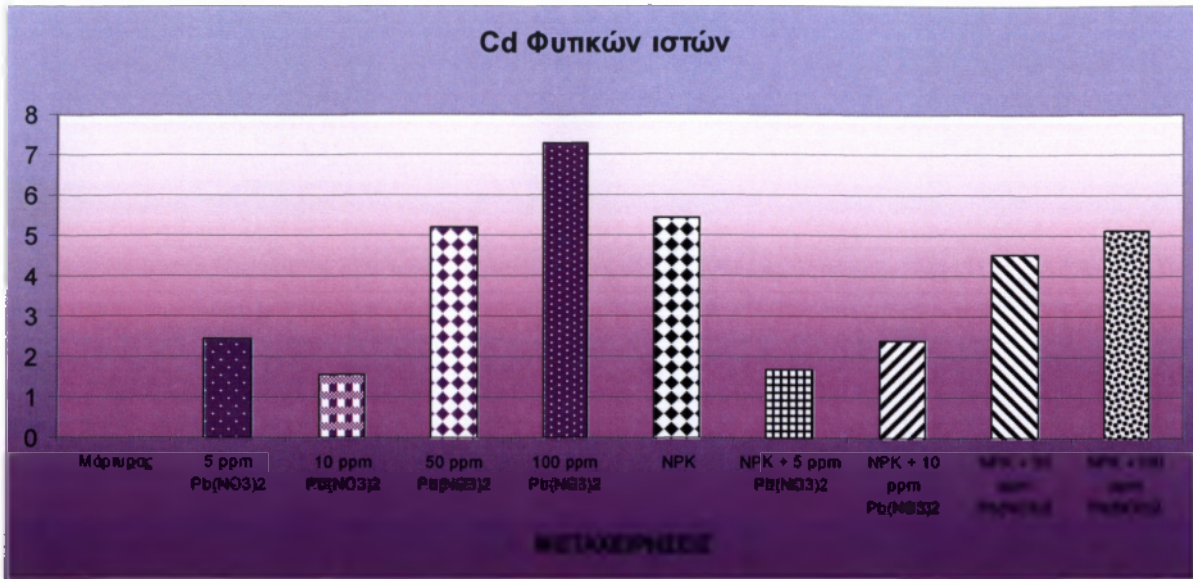
Πειραματικός με Cd



Δεν παρατηρήθηκαν μεγάλες διαφορές ως προς τη συγκέντρωση του Cd μεταξύ των μεταχειρίσεων

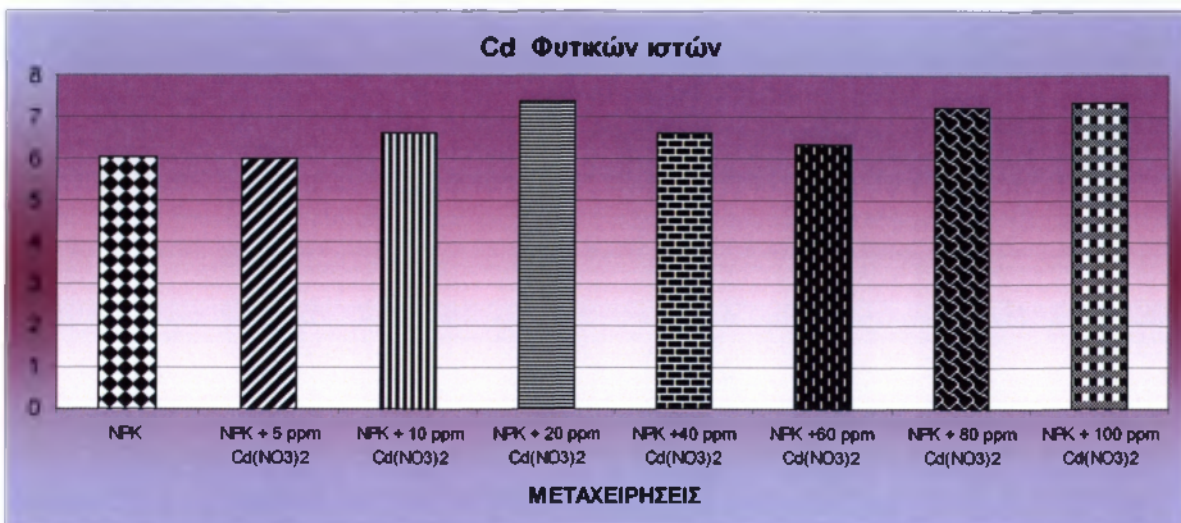
Συγκέντρωση Cd (ppm) στο υπέργειο τμήμα

Πειραματικός με Pb



Οι συγκεντρώσεις του Cd κυμάνθηκαν στα δυο πειραματικά σε κανονικά έως υψηλά επίπεδα δηλ. από 0.31 έως 11.95 ppm.

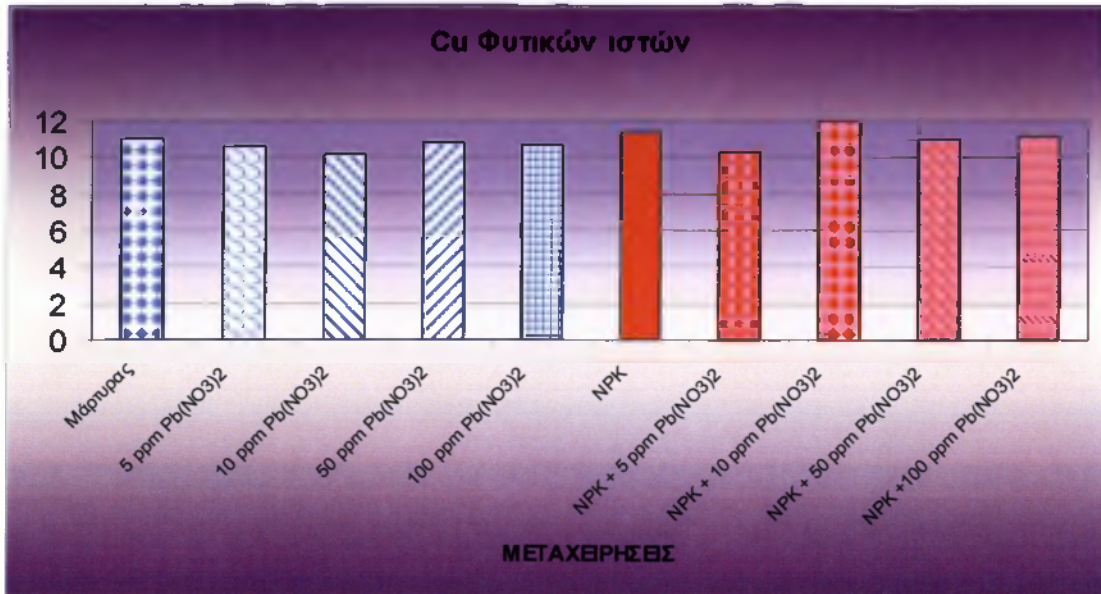
Πειραματικός με Cd



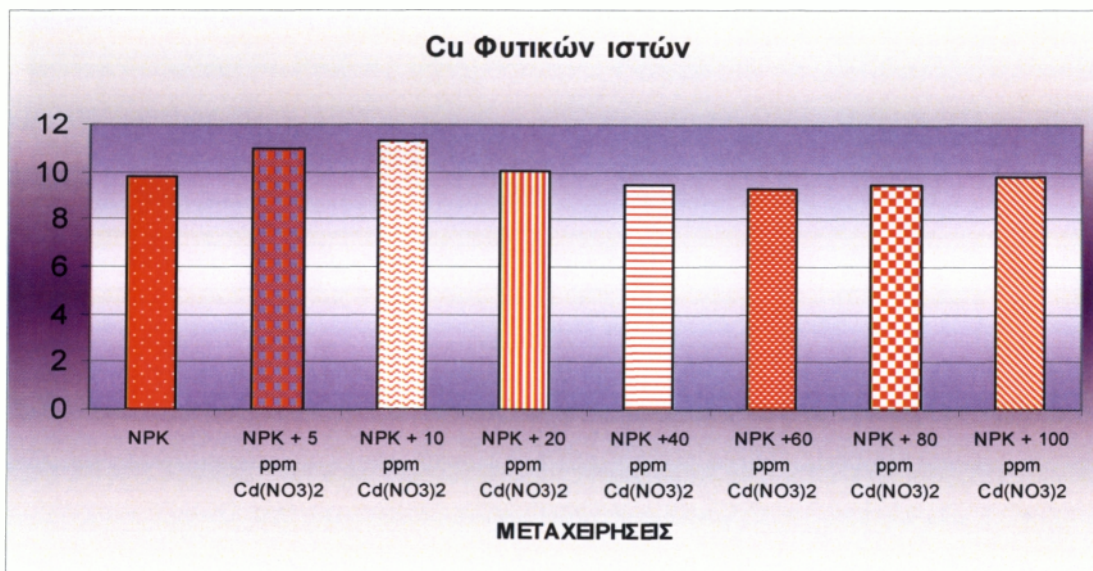
Το Cd στο υπέργειο τμήμα αυξήθηκε αλλά όχι σημαντικά από τις δόσεις Cd.

Συγκέντρωση Cu (ppm) στο υπέρυγιο τμήμα

Πειραματικός με Pb



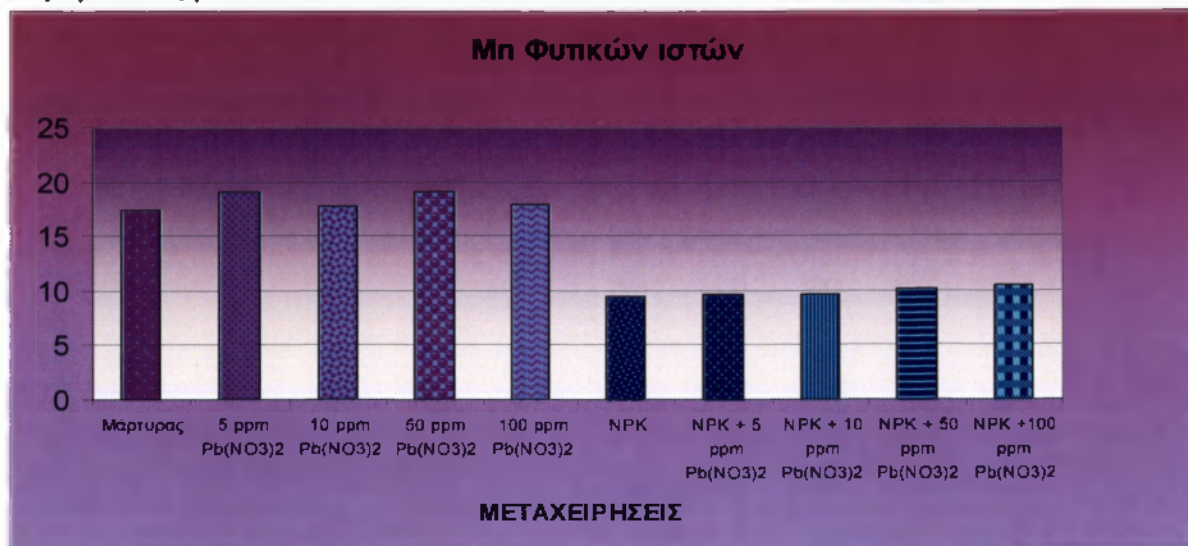
Πειραματικός με Cd



Η συγκέντρωση Cu στα φύλλα διακυμάνθηκε σε ικανοποιητικά επίπεδα από 8.175 έως 12.64 ppm. Δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές ως προς τη συγκέντρωση Cu μεταξύ των μεταχειρίσεων.

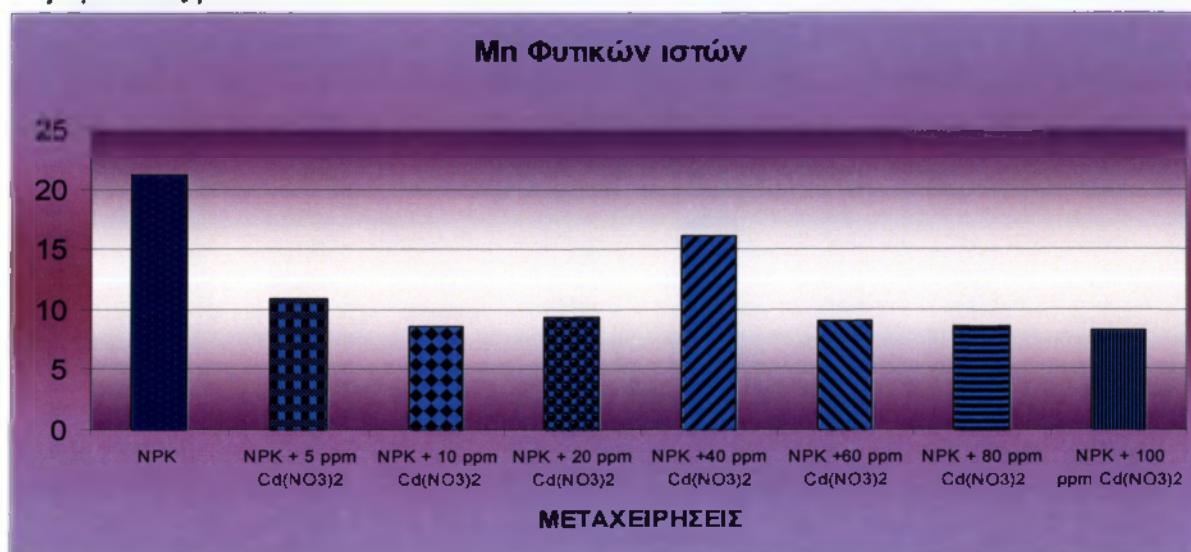
Συγκέντρωση Mn (ppm) στο υπέργειο τμήμα

Πειραματικός με Pb



Η συγκέντρωση του Mn στο υπέργειο τμήμα ήταν σημαντικά μικρότερη στις μεταχειρίσεις με N-P-K σε σύγκριση με τις μεταχειρίσεις χωρίς λίπανση όπου οι συγκεντρώσεις του Mn στα φύλλα διακυμάνθηκαν σε πολύ χαμηλά επίπεδα (από 5.25 έως 22.85 ppm). Οι τιμές αυτές της συγκέντρωσης Mn κυμαίνονται κάτω από τα όρια της τροφοπενίας. Η αύξηση των δόσεων του Pb δεν είχε στατιστικά σημαντικό αποτέλεσμα στο Mn.

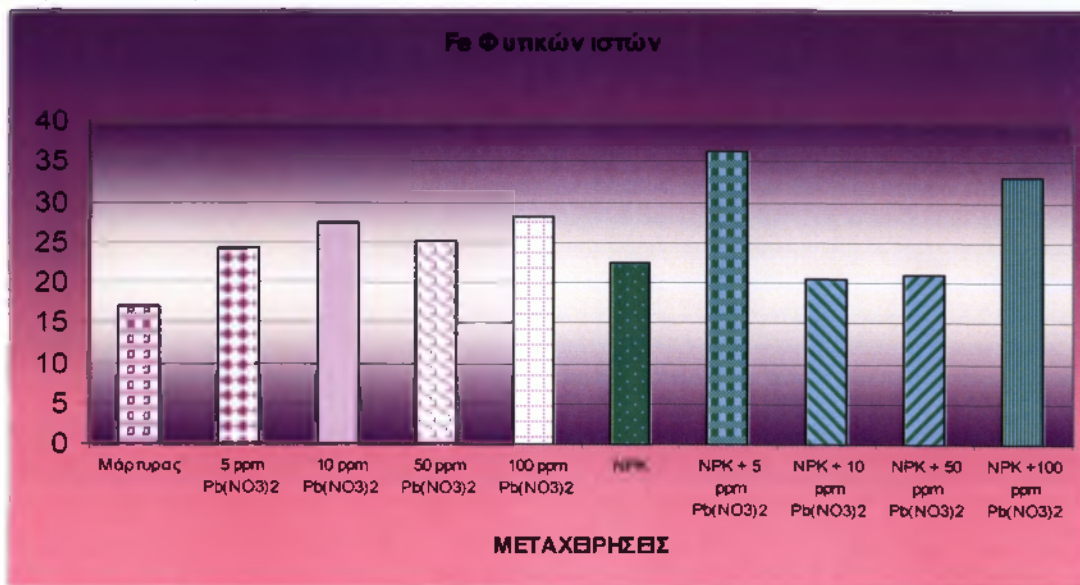
Πειραματικός με Cd



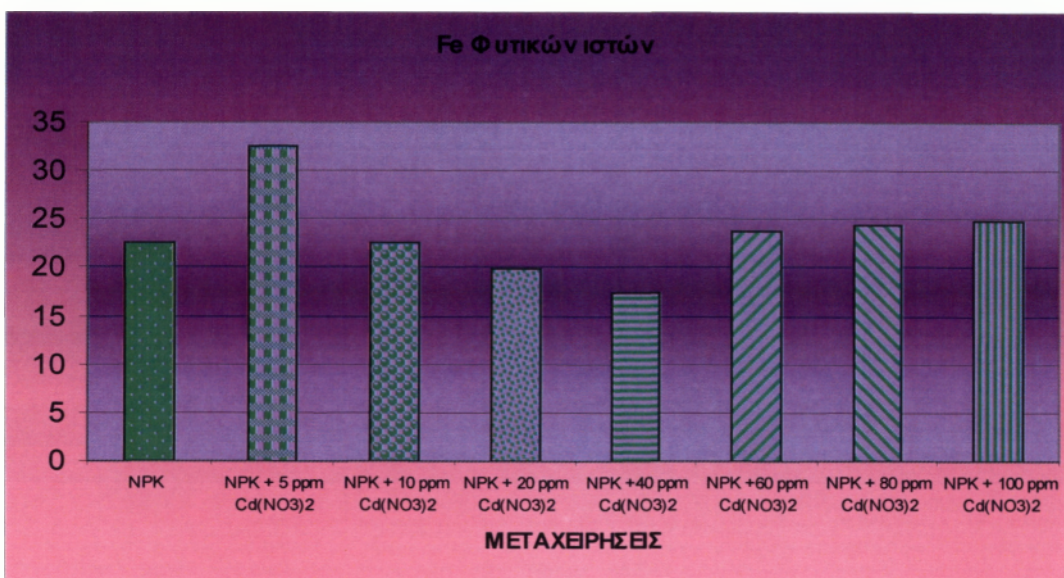
Οι συγκεντρώσεις του Mn στα φύλλα διακυμάνθηκαν σε πολύ χαμηλά επίπεδα (από 2.32 έως 23.38 ppm). Οι τιμές αυτές της συγκέντρωσης Mn κυμαίνονται κάτω από τα όρια της τροφοπενίας. Η προσθήκη Cd μείωσε σημαντικά τη συγκέντρωση του Mn σε σύγκριση με το μάρτυρα. Το Mn δεν επηρεάστηκε σχεδόν καθόλου από την αύξηση των δόσεων του Cd.

Συγκέντρωση Fe (ppm) στο υπέργειο τμήμα

Πειραματικός με Pb



Πειραματικός με Cd



Η συγκέντρωση Fe στα φύλλα διακυμάνθηκε από 10.25 έως 44.11. Τα όρια αυτά βρίσκονται κοντά στο κατώτερο όριο επάρκειας Fe για το μαρούλι. Δεν παρατηρήθηκε συγκεκριμένη τάση ως προς τη συγκέντρωση Fe στο φυτό.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Πειραματικός με Pb

- Ο αριθμός των φύλλων και το ύψος των φυτών ήταν μεγαλύτερο στις μεταχειρίσεις με N-P-K λίπανση σε σύγκριση με τις μεταχειρίσεις χωρίς λίπανση. Η αύξηση των δόσεων του Pb είχε θετικό αποτέλεσμα στα παραπάνω αυξητικά χαρακτηριστικά.
- Το υπέργειο νωπό βάρος ήταν μεγαλύτερο στις μεταχειρίσεις με N-P-K σε σχέση με τις μεταχειρίσεις χωρίς λίπανση. Οι δόσεις του Pb συσχετίστηκαν θετικά με το νωπό βάρος των φυτών.
- Σημαντική και θετική συσχέτιση παρατηρήθηκε μεταξύ του Pb στο έδαφος και των δόσεων Pb. Η αύξηση στο Pb-DTPA του εδάφους ήταν περισσότερο εμφανής στις μεταχειρίσεις χωρίς N-P-K.
- Οι συγκεντρώσεις του Pb στο υπέργειο τμήμα των φυτών κυμάνθηκαν σε κανονικά επίπεδα από έως 11 ppm. Περισσότερος Pb φαίνεται να συσσωρεύεται στα φυτά που δέχτηκαν N-P-K λίπανση. Δεν παρατηρήθηκε ουσιαστική μεταβολή στη συγκέντρωση του Pb με την αύξηση των δόσεων Pb.
- Οι συγκεντρώσεις του Cd κυμάνθηκαν σε κανονικά έως υψηλά επίπεδα δηλ. από 0.31 έως 11.95 ppm. Η αύξηση των δόσεων του Pb προκάλεσε σημαντική αύξηση της συγκέντρωσης του Cd στους φυτικούς ιστούς. Η αύξηση ήταν μεγαλύτερη στις μεταχειρίσεις χωρίς N-P-K.
- Οι συγκεντρώσεις του Mn στα φύλλα διακυμάνθηκαν κάτω από τα όρια της τροφωπενίας δηλ. από 5.25 έως 22.85 ppm

Πειραματικός με Cd

- Οι δόσεις του Cd συσχετίστηκαν θετικά με το ύψος και το νωπό βάρος των φυτών.
- Το Cd-DTPA στο έδαφος κυμάνθηκε σε πολύ υψηλά επίπεδα δηλ. από 1.296 έως 2.04 ppm, αλλά δεν μεταβλήθηκε από τις δόσεις Cd σημαντικά.
- Οι συγκεντρώσεις του Cd στο υπέργειο τμήμα κυμάνθηκαν σε κανονικά έως υψηλά επίπεδα δηλ. από 0.31 έως 11.95 ppm. Το Cd στο υπέργειο τμήμα αυξήθηκε αλλά όχι σημαντικά από τις δόσεις Cd.
- Οι συγκεντρώσεις του Pb κυμάνθηκαν σε κανονικά επίπεδα, από 5.97 έως 11.07 ppm. Δεν παρατηρήθηκαν μεγάλες διαφορές ως προς τη συγκέντρωση του Pb μεταξύ των μεταχειρίσεων

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Kavnadias V., Paschalidis C., Pavlou G., Staurinos E., Kosmidis I., Gasiamis P., 2004. Effects of NaCl and Fertilizer on Leaf Yield of Soil-grown Lettuce (*Lactuca sativa* L.) *Agroecology*, Vol. 7(1), 2004.46-55
- Σιμώνης Α.Δ. και Σεβάτου Ε.Β. (1995) «Γεωργική Τεχνολογία».
- Κανάκης Γ. Ανδρέας, Γενική Λαχανοκομία, ΤΕΙ Καλαμάτας, 1998.
- Σάββας Δ. και Αδαμίδης Κ., Automated Management of Nutrient Solutions Based of Targeted Electrical Conductivity, PH and Nutrient Concentration Ratios, 2000.
- Υπουργείο Γεωργίας, Τμήμα Αγροτικής Νομοθεσίας, Αθήνα.
- Πασχαλίδης Χ. 1999. Το εγχειρίδιο του καλλιεργητή. Οκτώβριος, σελ. 28-32, 163-165
- Κοσμάς Π. Παρασκευόπουλος. Σύγχρονη Λαχανοκομία
- Ιωάννης Χ. Καραμπέτσος Θρέψη φυτών. Καλαμάτα 2003.
- Ιωάννης Κ. Μήτσιος (2003), Γονιμότητα Εδαφών. Εκδόσεις Lynel.
- <http://www.teilar.gr/schools/steg/agriculture/lessons/lessons>
- www.agriplant.gr/proddetail.asp?prod=marouli