

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΒΙΟΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗΣ ΒΑΡΕΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΑΠΟ
ΔΥΟΣΜΟ ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΜΕΝΟ ΣΕ ΡΥΠΑΣΜΕΝΑ ΕΔΑΦΗ**

**STUDY OF BIOACCUMULATION OF HEAVY METALS FROM
SPEARMINT CULTIVATED IN POLLUTED SOIL**

ΚΑΓΙΑΥΤΑΚΗ ΕΛΕΝΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΛΥΔΑΚΗΣ – ΣΗΜΑΝΤΗΡΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΧΑΝΙΑ, ΙΟΥΝΙΟΣ 2008

Την αφιερώνω σ' όλους όσους αγαπώ...

Ελένη Καγιαυτάκη

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Σαν χθες θυμάμαι τη μέρα που πήγα στο T.E.I. να συναντήσω τον καθηγητή Δρ. Λυδάκη – Σημαντήρη Νικόλαο για να συζητήσουμε το θέμα της πτυχιακής εργασίας μου. Όταν άκουσα το θέμα που μου πρότεινε, ανάμεικτα συναισθήματα με κυρίεψαν. Απ' τη μία ο φόβος του άγνωστου (ποτέ πριν δεν είχα ακούσει τον όρο φυτοεξυγίανση και ότι αφορά το θέμα αυτό) μήπως δεν μπορέσω να ανταπεξέλθω σ' αυτή την εργασία, αλλά απ' την άλλη ήθελα τόσο πολύ ν' ασχοληθώ μ' ένα θέμα που αφορά κυρίως την έρευνα είτε σε πειραματικό είτε σε θεωρητικό επίπεδο. Αμέσως διαλύθηκαν οι φόβοι μου και άρχισα να το επεξεργάζομαι στο μυαλό μου, πού θα έβρισκα τις πηγές μου για το θεωρητικό κομμάτι, αλλά και η αγωνία για τη διεξαγωγή των πειραμάτων και των αποτελεσμάτων που θα προέκυπταν.

Στο θεωρητικό μέρος με βοήθησε πολύ ο καθηγητής μου Δρ. Λυδάκης – Σημαντήρης Νικόλαος. Απ' τη βιβλιοθήκη του Πολυτεχνείου Κρήτης βρήκα ελληνική βιβλιογραφία που με βοήθησε αρχικά να καταλάβω του όρους, άγνωστους μέχρι τότε για μένα, ώστε να μπορέσω έπειτα να καταλάβω το υλικό που μου έδωσε κυρίως ο καθηγητής μου που ήταν στα Αγγλικά.

Το θεωρητικό κομμάτι ήταν το πρώτο μέρος, αλλά το εντυπωσιακότερο ξεκίνησε μετά τη γνωριμία μου με τη Δρ. Μελπομένη Σκουλά, υπεύθυνη του Πάρκου Διάσωσης Χλωρίδας και Πανίδας του Πολυτεχνείου Κρήτης, που την ευχαριστώ θερμά για την πολύτιμη βοήθεια της και ήταν πράγματι μεγάλη μου τιμή που συνεργάστηκα μαζί της. Με τις γνώσεις της με βοήθησε πολύ στην ανάπτυξη των φυτών, αλλά και στην ασφαλή διεξαγωγή των πειραμάτων στο χώρο που μου παραχώρησε και στο εργαστήριο αλλά και στο θερμοκήπιο του Πάρκου Διάσωσης Χλωρίδας και Πανίδας του Πολυτεχνείου Κρήτης. Φυσικά όταν ολοκληρώθηκε η εργασία με βοήθησε πολύ στην επεξεργασία των αποτελεσμάτων των μετρήσεων που λήφθηκαν καθ' όλη τη διάρκεια των πειραμάτων στο χώρο αυτό με τις σημαντικές παρατηρήσεις και συμπεράσματά της.

Στο σημείο αυτό νιώθω την ανάγκη να ευχαριστήσω από καρδιάς την οικογένεια μου για την ηθική υποστήριξη αλλά και την ουσιαστική βοήθεια τους κάθε φορά που ήταν αναγκαία. Κάθε φορά που χρειάστηκε να μεταφερθούν τα φυτά σε άλλο χώρο ή την μέτρηση των μακροσκοπικών παραμέτρων, το πότισμα κλπ ήταν δίπλα μου και με βοηθούσαν συνεχώς.

Μετά τη συλλογή των δειγμάτων, η επεξεργασία έγινε στο εργαστήριο «Ανόργανης και Οργανικής Γεωχημείας και Οργανικής Πετρογραφίας» του Τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης με Διευθυντή Εργαστηρίου τον Καθηγητή Περδικάτση Βασίλη. Ευχαριστώ όλους όσους με βοήθησαν για το χώρο, τα υλικά και τα μηχανήματα που μου παραχώρησαν για την ομαλή διεξαγωγή του εργαστηριακού μέρους του πειράματος. Στο κομμάτι αυτό της εργασίας πολύτιμη βοήθεια είχα απ' τον καθηγητή μου Δρ. Λυδάκη – Σημαντήρη Νικόλαο που μου εξήγησε την διαδικασία που ακολουθήθηκε με κάθε λεπτομέρεια αλλά ταυτόχρονα μου έδωσε τη δυνατότητα να λειτουργήσω στο χώρο του εργαστηρίου αναπτύσσοντας πρωτοβουλία. Τον ευχαριστώ για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε και μου εμπιστεύθηκε την εργασία αυτή γιατί μου δόθηκε η

δυνατότητα να ασχοληθώ με ένα θέμα που όχι απλά μου άρεσε αλλά με ενθουσίασε, με γέμισε αγωνία και χαρά για τ' αποτελέσματα, απ' την πρώτη μέρα μέχρι και την τελευταία.

Τέλος θα ήθελα για ακόμα μία φορά να ευχαριστήσω εξίσου όλους όσους με βοήθησαν και με στήριξαν καθ' όλη τη διάρκεια της εργασίας αυτής και θα ήταν μεγάλη μου χαρά και τιμή να συνεργαστώ ξανά με τον καθηγητή μου Δρ. Λυδάκη – Σημαντήρη Νικόλαο και τη Δρ. Μελπομένη Σκουλά.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της εργασίας αυτής ήταν η διερεύνηση των επιπτώσεων των βαρέων μετάλλων στην ανάπτυξη των φυτών, την ανθεκτικότητά τους, την ικανότητα πρόσληψης μέσω των ριζών συγκεντρώσεων βαρέων μετάλλων και την ικανότητα μεταφοράς τους στο υπέργειο τμήμα τους.

Η εργασία αυτή πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο του Πάρκου Διάσωσης Χλωρίδας και Πανίδας του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Το πείραμα διήρκησε περίπου τέσσερις μήνες.

Το φυτό που επιλέχθηκε ήταν ο δυόσμος.

Το χώμα της κάθε γλάστρας ρυπάνθηκε με διαφορετικές τελικές συγκεντρώσεις Cd, Ni και Pb.

Χρησιμοποιήθηκαν συνολικά 35 δείγματα, τα 5 εκ των οποίων χρησιμοποιήθηκαν ως μάρτυρες και τα υπόλοιπα επιμολύνθηκαν ως ακολούθως: 10 δείγματα με Cd, 10 με Ni και 10 με Pb. Όλα τα πειράματα επαναλήφθηκαν δύο φορές.

Τα φυτά αναπτύχθηκαν κάτω από συνθήκες θερμοκηπίου στο Πάρκο Διάσωσης Χλωρίδας και Πανίδας του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Οι μακροσκοπικοί παράμετροι που μετρήθηκαν ήταν: ο αριθμός των φύλλων, η επιφάνεια του κάθε φύλλου και το ύψος των φυτών.

Συλλέχθηκαν δείγματα φύλλων, ρίζας και χώματος, τα οποία ξηράθηκαν και κάηκαν στο φούρνο καύσης. Τέλος, οι στάχτες κάθε δείγματος διαλυτοποιήθηκαν, διηθήκαν και μετρήθηκαν οι συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στο φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης στο εργαστήριο «Ανόργανης και Οργανικής Γεωχημείας και Οργανικής Πετρογραφίας» του Τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Απ' τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης παρατηρήθηκε επίδραση των βαρέων μετάλλων στην ανάπτυξη των φυτών. Ο δυόσμος έχει την ικανότητα μέσω των ριζών του να προσλαμβάνει τα βαρέα μέταλλα και στην περίπτωση των υψηλών συγκεντρώσεων νικελίου και καδμίου στο χώμα να τα μεταφέρει στα υπέργεια τμήματά του. Τέλος, παρατηρήθηκε μείωση στην ποσότητα και στην επιφάνεια των φύλλων με τάση εξομοίωσης του μήκος με το πλάτος.

ABSTRACT

The scope of this assignment was the investigation of the effect of heavy metals on the growth of plants. Furthermore, their resistibility, their capability to uptake via the roots contaminations of heavy metals and their ability to transport them in their aboveground was examined.

This work was performed at the Laboratory of the Park of Rescue of Flora and Fauna of the Technical University of Crete.

The duration of the experiment was roughly 4 months.

The plant species that was selected was spearmint.

The soil of each pot was polluted with different final concentrations of Cd, Ni and Pb.

35 samples were used in total, 5 were used as blanks and the rest ones were polluted as follows: 10 samples with Cd, 10 with Ni and 10 with Pb. All the experiments were repeated twice.

The plants grew under greenhouse conditions in the Park of Rescue of Flora and Fauna of the Technical University of Crete.

The macroscopic parameters that were measured were: the number of leaves, the area of each leaf and the plants height.

Samples of leaves, root and soil were collected, dried, and ashed in the combustion oven. Finally, the ash of each sample was solubilised, filtered and the heavy metal concentrations were determined by atomic absorption spectroscopy at the laboratory of "Inorganic and Organic Geochemistry and Organic Petrography" of the Department of Mineral Resources Engineering at the Technical University of Crete.

The results of this study show that the heavy metals influence the growth of the plants. The spearmint has the ability via its roots to uptake the heavy metals and, in the case of high concentrations of Ni and Cd in the soil, to transport them in its aboveground. Finally, reduction in the quantity of its leaves and their area was observed with the tendency to get even in length and width.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Σκοπός της εργασίας αυτής ήταν η διερεύνηση των επιπτώσεων των βαρέων μετάλλων στην ανάπτυξη των φυτών, την ανθεκτικότητά τους, την ικανότητα πρόσληψης μέσω των ριζών συγκεντρώσεων βαρέων μετάλλων και την ικανότητα μεταφοράς τους στο υπέργειο τμήμα τους.

Σύμφωνα με μία μελέτη του North Atlantic Treaty Organization ο ορισμός για τη ρύπανση του εδάφους δίδεται από τον Smith ως «η γη η οποία περιέχει ουσίες, οι οποίες όταν βρίσκονται σε συγκεκριμένες ποσότητες ή συγκεντρώσεις ενδέχεται να προκαλέσουν βλάβη, έμμεσα ή άμεσα, στον άνθρωπο, το περιβάλλον, ή σύμφωνα με τις περιστάσεις κάπου αλλού». Ο ορισμός αυτός δίδει μεγαλύτερη έμφαση στην παρουσία επικίνδυνων ουσιών και όχι τόσο στην προέλευση της, δηλαδή στην παρελθοντική χρήση της γης (π.χ. αγροτική, βιομηχανική). Γενικά, οποιαδήποτε ανεπιθύμητη αλλαγή στα φυσικά, χημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά του εδάφους ονομάζεται ρύπανση του εδάφους, η οποία ενδέχεται να γίνει ζημιογόνος για τον άνθρωπο και τους φυτικούς και ζωικούς οργανισμούς ανάλογα το μέγεθος της [22,104].

Επικίνδυνες ουσίες θεωρούνται τα ανόργανα χημικά στοιχεία και οι ενώσεις τους, οι οργανικές χημικές ενώσεις, τα έλαια και οι πίσσες, τα τοξικά αέρια, τα εκρηκτικά μίγματα αερίων, τα καύσιμα, τα ραδιενεργά υλικά, ο αμιάντος και άλλα επικίνδυνα ορυκτά. Οι βιομηχανικές δραστηριότητες συμβάλλουν επίσης στη ρύπανση του εδάφους όπως οι βιομηχανίες εκμετάλλευσης μεταλλείων, οι μεταλλουργίες, τα χυτήρια, τα διυλιστήρια, τα χαλυβουργεία, οι περιοχές απόρριψης άχρηστων μετάλλων και αποβλήτων, οι βιομηχανίες αερίων, διατήρησης ξύλων, αμιάντου, κατασκευής ή χρήσης εντομοκτόνων, χημικών προϊόντων, εκρηκτικών και πυρομαχικών, χρωμάτων, παραγωγής και αποθήκευσης ελαίων, ο σιδηρόδρομος, λύματα, αποβάθρες, εργοστάσια παραγωγής οξέων και βάσεων, φαρμακοβιομηχανίες και βιομηχανίες καλλυντικών [22].

Κύρια πηγή ρύπανσης του εδάφους είναι η χρήση χημικών λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων, που ναι μεν αυξάνουν την παραγωγή σε μεγάλο βαθμό, αλλά ταυτόχρονα το υποβαθμίζουν διότι περιέχουν ίχνη από τοξικά μέταλλα τα οποία παραμένουν και συσσωρεύονται στους επιφανειακούς ορίζοντες και ιδιαίτερα στις περιοχές κοντά στις ρίζες. Άλλη πηγή ρύπανσης είναι οι αέριοι ρύποι οι οποίοι μέσω της βροχής κυρίως καταλήγουν στο έδαφος και στη συνέχεια τα υδατοδιαλυτά διέρχονται απ' αυτό και καταλήγουν στον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα και στις θάλασσες. Επίσης πολλά οικιακά απορρίμματα καταλήγουν στο έδαφος όπως πλαστικά κουτιά, γυάλινα μπουκάλια και άλλα υλικά τα οποία αποδομούνται πολύ αργά ή καθόλου. Τα περισσότερα από αυτά μπορούν να ανακυκλωθούν και επαναχρησιμοποιηθούν και με αυτό τον τρόπο ο κάθε ένας από εμάς μπορεί να συμβάλει στον περιορισμό των οικιακών απορριμμάτων, της ρύπανσης γενικότερα αλλά και για πολλούς άλλους λόγους που μόνο θετικά μπορούν να επιδράσουν στο περιβάλλον. Τέλος τα βιομηχανικά τοξικά απόβλητα τα οποία καταλήγουν σε αστικές ή υπαίθριες περιοχές προκαλούν ρύπανση αλλά και αισθητική υποβάθμιση του περιβάλλοντος γενικότερα [104].

Η ρύπανση του εδάφους έχει επιπτώσεις στη ζωή του ανθρώπου και υπονομεύει την υγεία του. Άλλωστε είναι στενά συνδεδεμένη με τη ρύπανση του υδροφόρου ορίζοντα αφού οι τοξικές ουσίες όπως αναφέρθηκε και παραπάνω καταλήγουν σε αυτόν. Όπως και ορισμένοι φυτικοί οργανισμοί για παράδειγμα τα λαχανικά δε μεταβολίζουν πλήρως τις ουσίες αυτές (κυρίως τα νιτρικά) αυξάνοντας της συγκέντρωσή τους στη φυτική μάζα και μέσω της τροφικής αλυσίδας καταλήγουν στον άνθρωπο. Η αλόγιστη χρήση φυτοφαρμάκων για την καταπολέμηση των εχθρών των καλλιεργειών έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία ανθεκτικών στελεχών των εχθρών αλλά και εμφάνιση νέων ασθενειών που προκαλούν προβλήματα σε όλους τους οργανισμούς του οικοσυστήματος που επιδρούν και όχι μόνο σε αυτούς [104].

Η φυτοεξυγίανση είναι μία καινοτόμος εναλλακτική οικονομική μέθοδος εξυγίανσης ρυπασμένων εδαφών. Η αποτελεσματικότητα της μεθόδου αυτής εξαρτάται από το κλίμα, το έδαφος και την υδρογεωλογία της περιοχής, αλλά και από την επιλογή του κατάλληλου φυτού. Ανάλογα με τον τύπο του ρύπου και της έκτασης του επιλέγεται ένα ή και περισσότερα φυτά ή μία ή και συνδυασμός μεθόδων φυτοεξυγίανσης για την εξυγίανση της περιοχής. Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι καθαρισμού που βασίζονται στη χρήση φυτών για την απομάκρυνση ή σταθεροποίηση των ρύπων.

Κατάλληλα φυτά στη φυτοεξυγίανση θεωρούνται αυτά που έχουν γρήγορη ανάπτυξη, υψηλή βιομάζα, βαθύ ριζικό σύστημα, εύκολη συγκομιδή, ανθεκτικότητα στο ρύπο, ικανότητα συσσώρευσης υψηλών συγκεντρώσεων βαρέων μετάλλων στα υπέργεια και συγκομηδινικά μέρη τους. Τα φυτικά είδη που προτιμώνται είναι τα φυτά – υπερσυσσωρευτές και κατά προτίμηση τα γηγενή, δηλαδή τα φυτά που ήδη υπάρχουν στην περιοχή, διότι έχουν καλύτερους όρους ανάπτυξης σε σχέση με αυτά που εισάγονται από άλλο περιβάλλον.

Στην εργασία αυτή που πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο του Πάρκου Διάσωσης Χλωρίδας και Πανίδας του Πολυτεχνείου Κρήτης το φυτό που επιλέχθηκε ήταν ο δυόσμος. Το πείραμα διήρκεσε τέσσερις μήνες περίπου σε συνθήκες θερμοκηπίου στο Πάρκο Διάσωσης Χλωρίδας και Πανίδας του Πολυτεχνείου Κρήτης. Το έδαφος ρυπάνθηκε με τρία διαφορετικά βαρέα μέταλλα (μόλυβδος, κάδμιο, νικέλιο) σε πέντε διαφορετικές συγκεντρώσεις. Για την παρακολούθηση της ανάπτυξης των φυτών μετρήθηκαν ο αριθμός και η επιφάνεια των φύλλων καθώς και το ύψος του υπέργειου τμήματος. Για την εξέταση της ικανότητας πρόσληψης και μεταφοράς των βαρέων μετάλλων από τα φυτά, λήφθηκαν δείγματα ρίζας, φύλλων και χώματος, τα οποία επεξεργάστηκαν στο εργαστήριο «Ανόργανης Γεωχημείας, Οργανικής Χημείας και Οργανικής Πετρογραφίας» του Τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης. Το γενικό συμπέρασμα που προκύπτει από την παρακολούθηση της ανάπτυξης των φυτών αλλά και από την επεξεργασία των δειγμάτων είναι ότι υπάρχει επίδραση των βαρέων μετάλλων στα φυτά.

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία το πρώτο κεφάλαιο αναφέρεται στα αρωματικά φυτά, τη χρήση και τα οφέλη τους. Επίσης γίνεται αναφορά στο φυτό που επιλέχθηκε στο συγκεκριμένο πείραμα, δηλαδή περιγραφή της βοτανικής του δυόσμου και χρήσεις του.

Στο δεύτερο κεφάλαιο της εργασίας αυτής γίνεται μία γενική περιγραφή των βαρέων μετάλλων και των πηγών τους. Γίνεται εκτενής αναφορά και για τα τρία μέταλλα που χρησιμοποιήθηκαν για την επιμόλυνση των δειγμάτων (νικέλιο, κάδμιο, μόλυβδο), επίσης αναφέρονται και παραδείγματα επίδρασης βαρέων μετάλλων σε φυτά που έχουν καταγραφεί από άλλες μελέτες.

Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφονται μορφές εξυγίανσης εδαφών, φυτοεξυγίανση (γενικά, συμπεράσματα, πλεονεκτήματα, μειονεκτήματα) και ανάλυση των διαφόρων μορφών φυτοεξυγίανσης. Γίνεται αναφορά στα φυτά – υπερσυσσωρευτές με παραδείγματα φυτών και περιγραφή των χαρακτηριστικών τους, όπως επίσης και στην προτίμηση χρήσης γηγενών φυτών για την εξυγίανση εδαφών επιβαρημένων με ρύπους.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αναπτύσσεται αναλυτικά όλη η πειραματική διαδικασία από την πρώτη μέρα επιμόλυνσης των δειγμάτων μέχρι το τέλος των εργαστηριακών πειραμάτων. Αρχικά αναφέρεται στη διαδικασία παρακολούθησης της ανάπτυξης των φυτών και καλλιέργειας τους στο θερμοκήπιο, έπειτα αναλύεται ο τρόπος συλλογής των δειγμάτων, επεξεργασία των αποτελεσμάτων των μετρήσεων, χημικές αναλύσεις, μέθοδοι αναλύσεων των δειγμάτων, υλικά, μηχανήματα, επεξεργασία των αποτελεσμάτων με πίνακες και γραφήματα και καταγραφή των συμπερασμάτων.

Στο πέμπτο κεφάλαιο υπάρχει φωτογραφικό υλικό των δειγμάτων στο θερμοκήπιο του πάρκου Διάσωσης Χλωρίδας και Πανίδας του Πολυτεχνείου Κρήτης με τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την παρακολούθηση της ανάπτυξης των φυτών σε συνδυασμό με όλες τις μετρήσεις, τις αναλύσεις και τα αποτελέσματα που προέκυψαν καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Κεφάλαιο 1°

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| Αρωματικά φυτά – Δυόσμος (Μέντα)..... | 1 |
| 1.1 Αρωματικά φυτά..... | 1 |
| 1.1.1 Ιστορία και αρωματικά φυτά..... | 1 |
| 1.1.2 Τάση για χρήση αρωματικών φυτών – ανθρώπινη υγεία – άλλες εφαρμογές..... | 2 |
| 1.1.3 Αρωματοθεραπεία..... | 3 |
| 1.1.4 Περιβαλλοντικά οφέλη απ’ την καλλιέργεια αρωματικών φυτών..... | 4 |
| 1.1.5 Οικονομικά οφέλη απ’ την καλλιέργεια αρωματικών φυτών..... | 4 |
| 1.1.5.1 Οικονομικά οφέλη και Πολιτεία..... | 4 |
| 1.1.5.2 Παράδειγμα οικονομικού οφέλους της αξιοποίησης αρωματικών φυτών στην Ελλάδα..... | 5 |
| 1.1.6 Τα αρωματικά φυτά της Κρήτης..... | 6 |
| 1.2 Δυόσμος – Μέντα..... | 6 |
| 1.2.1 Βοτανική..... | 7 |
| 1.2.2 Χρήσεις του Δυόσμου – Μέντας..... | 7 |

Κεφάλαιο 2°

| | |
|---------------------------------------------------------|----|
| Βαρέα μέταλλα..... | 9 |
| 2.1 Εισαγωγή..... | 9 |
| 2.2 Πηγές βαρέων μετάλλων..... | 11 |
| 2.2.1 Φυσικές πηγές..... | 11 |
| 2.2.2 Γεωργικές πηγές..... | 11 |
| 2.2.3 Βιομηχανικές πηγές..... | 12 |
| 2.2.4 Αστικές πηγές..... | 12 |
| 2.3. Κάδμιο – Μόλυβδος – Νικέλιο..... | 12 |
| 2.3.1 Κάδμιο..... | 12 |
| 2.3.2 Μόλυβδος..... | 13 |
| 2.3.3 Νικέλιο..... | 14 |
| 2.4 Παραδείγματα επίδρασης βαρέων μετάλλων σε φυτά..... | 15 |

Κεφάλαιο 3°

| | |
|----------------------------------------------------------------------------|----|
| Τεχνολογίες εξυγίανσης εδαφών μολυσμένων με βαρέα μέταλλα..... | 18 |
| 3.1 Γενικά..... | 18 |
| 3.2 Φυτοεξυγίανση..... | 18 |
| 3.2.1 Μορφές φυτοεξυγίανσης..... | 21 |
| 3.2.1.1 Φυτοεξαγωγή (phytoextraction)..... | 21 |
| 3.2.1.2 Φυτοσταθεροποίηση (phytostabilization)..... | 23 |
| 3.2.1.3 Ριζοδιήθηση (rhizofiltration)..... | 24 |
| 3.2.1.4 Φυτοεξαέρωση (phytovolatilization)..... | 24 |
| 3.2.1.5 Φυτοδιάσπαση (phytodegradation)..... | 24 |
| 3.2.1.6 Ριζοδιάσπαση (rhizodegradation)..... | 25 |
| 3.3 Συμπεράσματα των τεχνικών φυτοεξυγίανσης..... | 25 |
| 3.4 Φυτοεξυγίανση ανόργανων ρυπαντών με χρήση φυτών – υπερσυσσωρευτών..... | 26 |

| | | |
|-------|--------------------------------------------------------------|----|
| 3.4.1 | Γενικά..... | 26 |
| 3.4.2 | Χαρακτηριστικά φυτών – υπερσυσσωρευτών..... | 26 |
| 3.4.3 | Παραδείγματα φυτών – υπερσυσσωρευτών..... | 27 |
| 3.5 | Φυτοεξυγίανση σε χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων..... | 27 |
| 3.6 | Χρήση γηγενών φυτών στη φυτοεξυγίανση..... | 28 |

Κεφάλαιο 4°

| | | |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| | Πειραματικό μέρος..... | 29 |
| 4.1 | Περιγραφή πειράματος..... | 29 |
| 4.2 | Αποτελέσματα μετρήσεων – πίνακες – γραφήματα – συμπεράσματα..... | 31 |
| 4.2.1 | Μάρτυρες..... | 31 |
| 4.2.2 | Cd..... | 33 |
| 4.2.3 | Ni..... | 63 |
| 4.2.4 | Pb..... | 93 |
| 4.2.5 | Συμπεράσματα..... | 123 |
| 4.3 | Χημικές αναλύσεις φύλλων – ριζών – χώματος | 124 |
| 4.3.1 | Φύλλα..... | 124 |
| 4.3.2 | Ρίζα..... | 124 |
| 4.3.3 | Χώμα..... | 124 |
| 4.4 | Πειραματική διαδικασία για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης των βαρέων μετάλλων στα διάφορα μέρη των φυτών..... | 125 |
| 4.4.1 | Υλικά εργαστηρίου – αντιδραστήρια – όργανα..... | 125 |
| 4.4.2 | Ρίζες – φύλλα (περιγραφή πειραματικής διαδικασίας)..... | 125 |
| 4.4.3 | Χώμα (περιγραφή πειραματικής διαδικασίας)..... | 126 |
| 4.4.4 | Αποτελέσματα αναλύσεων - πίνακες - γραφήματα - συμπεράσματα...127 | |
| 4.4.4.1.1 | Χώμα Cd..... | 131 |
| 4.4.4.1.2 | Ρίζα Cd..... | 132 |
| 4.4.4.1.3 | Φύλλα Cd..... | 133 |
| 4.4.4.1.4 | Συμπεράσματα Cd..... | 134 |
| 4.4.4.2.1 | Χώμα Ni..... | 135 |
| 4.4.4.2.2 | Ρίζα Ni..... | 136 |
| 4.4.4.2.3 | Φύλλα Ni..... | 137 |
| 4.4.4.2.4 | Συμπεράσματα Ni..... | 138 |
| 4.4.4.3.1 | Χώμα Pb..... | 139 |
| 4.4.4.3.2 | Ρίζα Pb..... | 140 |
| 4.4.4.3.3 | Φύλλα Pb..... | 141 |
| 4.4.4.3.4 | Συμπεράσματα Pb..... | 142 |

Κεφάλαιο 5°

| | | |
|--|----------------------------------------------------------|-----|
| | Αποτελέσματα μετρήσεων – φωτογραφίες – συμπεράσματα..... | 143 |
|--|----------------------------------------------------------|-----|

| | |
|--------------------------|------------|
| Βιβλιογραφία..... | 150 |
|--------------------------|------------|

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο **ΑΡΩΜΑΤΙΚΑ ΦΥΤΑ – ΔΥΟΣΜΟΣ (MENTA)**

1.1 Αρωματικά φυτά

Αρωματικά ορίζονται γενικά τα φυτά απ' τα οποία λαμβάνονται με διάφορες μεθόδους αρωματικές ουσίες (τα αιθέρια έλαια). Όλες οι παραμεσόγειες χώρες είναι πλούσιες σε αυτοφυή αρωματικά φυτά και πολλά απ' αυτά καλλιεργούνται συστηματικά. Τα κυριότερα απ' αυτά ανήκουν στις οικογένειες Labiatae, Umbelliferae, Lauracae, Myrtacae και Compositae [1].

Στο Ελληνικό έδαφος από την αρχαιότητα μέχρι και σήμερα τα αρωματικά φυτά αποτελούν σημαντικό μέρος της χλωρίδας. Εκτός απ' τις θεραπευτικές τους ιδιότητες, και η Ελληνική κουζίνα ενισχύεται γευστικά με αυτά. Για παράδειγμα, ο μαϊντανός, πηγή σιδήρου και βιταμινών Α, C και Ε, υπάρχει σε όλη τη περιοχή της Μεσογείου. Οι αρχαίοι Έλληνες τον θεωρούσαν ιερό και δεν τον έτρωγαν, ενώ οι Ρωμαίοι τον σέρβιραν ως γαρνιτούρα και για να βελτιώσουν τη γεύση των φαγητών [2].

Τέλος, κάθε είδος αρωματικού φυτού έχει τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του και τις απαιτήσεις του όσον αφορά την καλλιέργειά του [2].

1.1.1 Ιστορία και αρωματικά φυτά

Τα αρωματικά φυτά και βότανα είχαν μια ιδιαίτερη θέση σε όλους τους αρχαίους λαούς. Εκτός απ' τους αρχαίους Έλληνες, οι Κινέζοι, οι Σουμέριοι, οι Βαβυλώνιοι, οι Αιγύπτιοι αναγνώριζαν επίσης την αξία τους [3,4].

Οι αρχαίοι Έλληνες τα χρησιμοποιούσαν για τις θεραπευτικές τους ιδιότητες και για τη διατροφική τους αξία. Σύμφωνα με τη μυθολογία, η κορυφή του Ολύμπου, όπου κατοικούσαν οι θεοί, ήταν καλυμμένη από λουλούδια και βότανα που βρίσκονταν εκεί για εξυπηρέτηση των θεών αλλά και των θνητών [5].

Ο πατέρας της Ιατρικής Ιπποκράτης, για καλή υγεία συνιστούσε καθαρό αέρα, άσκηση, ισορροπημένη διατροφή και τη χρήση βοτάνων. Κατέγραψε τη χρήση περίπου 400 βοτάνων και αρωματικών φυτών για τη θεραπεία διαφόρων ασθενειών. Πίστευε ότι η ασθένεια ήταν μια ανισορροπία μεταξύ των βασικών στοιχείων μέσα στο σώμα και με την κατάλληλη χρήση των βοτάνων θα μπορούσε η ισορροπία να αποκατασταθεί [5].

Τη φιλοσοφία του Ιπποκράτη επέκτεινε ο Γαλήνος. Η μελέτη του «De Simplicibus» έγινε το κύριο και πλέον καθιερωμένο ιατρικό κείμενο στην αρχαία Ρώμη. Η πιο σημαντική όμως πηγή βοτανικής γνώσης για τα επόμενα 1.500 χρόνια γράφτηκε τον 1^ο αιώνα μ.Χ. απ' τον Διοσκουρίδη με τίτλο «De Materia Medica» [5].

Τα χειρόγραφα του Ιπποκράτη και του Διοσκουρίδη διατηρήθηκαν μέσα στα μεσαιωνικά μοναστήρια όπου και μεταφράστηκαν και αντιγράφηκαν απ' τους μοναχούς, ενώ οι ρωμαϊκοί στρατοί συνέβαλαν στη διάδοση της

βοτανικής γνώσης σε όλη την Ευρώπη, καθώς μετέφεραν αρωματικά φυτά και βότανα στις κατακτήσεις τους [5].

Ο Πλίνιος (23 – 79 μ.Χ.), Ρωμαίος βοτανολόγος, συνέταξε μια εγκυκλοπαίδεια βοτανικής γνώσης αποκαλούμενη «Naturalis Historia» [5].

1.1.2 Τάση για χρήση αρωματικών φυτών – ανθρώπινη υγεία – άλλες εφαρμογές

Μέσα στους αιώνες ένας μικρός αριθμός παραδοσιακών βοτανοθεραπευτών δημιούργησε τοπικά κέντρα βοτανοθεραπείας σε όλη την Ευρώπη. Τον 19^ο αιώνα αναλύθηκε η χημική σύνθεση ορισμένων βοτάνων και αποκάλυψε και επιστημονικά πλέον την ευεργετική επίδρασή τους στον ανθρώπινο οργανισμό. Πολλά αρωματικά φυτά και βότανα στη συνέχεια έγιναν βάση των κυριότερων σύγχρονων φαρμάκων [5].

Οι φαρμακοβιομηχανίες στρέφονται πλέον στα θεραπευτικά βότανα και φυτά και αναζητούν εκεί μέσα πρόληψης και θεραπείας για σύγχρονες ασθένειες όπως ο καρκίνος. Τα αρωματικά φυτά και βότανα λαμβάνουν από τη γη τα απαραίτητα για αυτά συστατικά και τα μετατρέπουν σε βιταμίνες, ανόργανα άλατα, υδατάνθρακες, πρωτεΐνες και λίπη τα οποία το ανθρώπινο σώμα μπορεί να χρησιμοποιήσει για τη θεραπεία και τη τροφοδότησή του. Σε κάθε αρωματικό βότανο περιλαμβάνονται σχεδόν 200 διαφορετικές χημικές ενώσεις των οποίων συνδυασμοί μπορούν να ωφελήσουν τον ανθρώπινο οργανισμό. Υπάρχει γενικότερα μια στροφή των ανθρώπων στα φυσικά προϊόντα ως απαραίτητα στοιχεία της καθημερινής ζωής και ανακαλύπτουν ξανά θεραπείες που πηγάζουν απ' τα βότανα του χρόνου. Στην Ελλάδα η τάση για χρήση τους αυξάνεται διαρκώς ως δημοφιλής θεραπευτική και γαστρονομική επιλογή [5].

Βέβαια, τα τελευταία χρόνια με το σύνθημα «επιστροφή στη φύση» υπάρχει ένα αυξανόμενο παγκόσμιο ενδιαφέρον ζήτησης φυσικών προϊόντων και εναλλακτικών ιατρικών θεραπειών και απομάκρυνσή τους από τα φυτοφάρμακα, τα συντηρητικά, τα συνθετικά, τα γλυκαντικά, τις χρωστικές και τις ορμονούχες τροφές [6].

Χρήσεις: [3,4,6,7]

- α) βοτανοθεραπεία
- β) αρωματοθεραπεία (για τη βελτίωση της υγείας και της ομορφιάς)
- γ) φαρμακοβιομηχανία (πολλά φάρμακα χρησιμοποιούν σαν πρώτη ύλη τα φυτά)
- δ) στη μαγειρική (σαν αρτύματα ή καρυκεύματα φαγητού όπως η δάφνη, η ρίγανη, το δεντρολίβανο κ.τ.λ.)
- ε) ως αφεψήματα
- ζ) τα αιθέρια έλαια που περιέχουν τα αρωματικά φυτά χρησιμοποιούνται απ' τις βιομηχανίες αρωμάτων, σαπουνιών, καλλυντικών, τσιγάρων, τροφίμων κ.τ.λ.

- η) τα αιθέρια έλαια περιέχουν μεταξύ άλλων θρεπτικές ουσίες, δραστικά οξέα και βιταμίνες και θεωρούνται ιδανικά για μασάζ, ανανέωση κυττάρων, τόνωση και ξεκούραση στο μπάνιο
- θ) τα αιθέρια έλαια χρησιμοποιούνται ως αρωματικά χώρου και για τον καθαρισμό της ατμόσφαιρας
- ι) στη διατροφή μας (συγκεκριμένα βιοδραστικά συστατικά προσφέρουν προστασία στην ανθρώπινη υγεία)
- κ) στις ζωοτροφές (μετά την απαγόρευση χρήσης αντιβιοτικών, τα αιθέρια έλαια χρησιμοποιούνται στα σιτηρέσια ως μικροβιοκτόνα, είναι φυσικά προϊόντα, δημιουργούν ευεξία στα ζώα, αυξάνουν τη ζωική παραγωγή και θεωρούνται φυσικοί αυξητικοί παράγοντες)

Πλεονεκτήματα της καλλιέργειας των αρωματικών φυτών [7]:

1. μπορούν να καλλιεργηθούν χωρίς φυτοφάρμακα και λιπάσματα σε ορεινές και ημιορεινές περιοχές
2. μπορούν να καλλιεργηθούν σε φτωχά εδάφη
3. απαιτούν ελάχιστη καλλιεργητική φροντίδα

1.1.3 Αρωματοθεραπεία

Η αρωματοθεραπεία είναι μία πανάρχαια μέθοδος, η ιστορία της οποίας χάνεται μέσα στα βάθη των αιώνων, γιατί η αρμονία της υγείας και της ομορφιάς αποτελούσε ζητούμενο για τον άνθρωπο κάθε εποχής. Έτσι η αρωματοθεραπεία, η μέθοδος αξιοποίησης των αιθέριων ελαίων βρίσκεται στην ακμή της [1,6].

Τα αιθέρια έλαια είναι ελαιώδη, υγρά και πτητικά (εξατμίζονται γρήγορα). Τα παίρνουμε από διάφορα μέρη του φυτού όπως άνθη, φύλλα, βλαστούς, ρίζες κ.τ.λ. Σε κάθε ένα από τα αιθέρια έλαια βρίσκονται μέχρι και 200 διαφορετικές χημικές ενώσεις, έτσι εξηγείται και η ποικιλία των ιδιοτήτων τους. Μπορούν να δρουν σαν καλλυντικά, αντισηπτικά, αντιμικροβιακά, τονωτικά κ.τ.λ. [1].

Οι Αιγύπτιοι χρησιμοποιούσαν τα αιθέρια έλαια για θεραπευτικούς σκοπούς και βαλσάμωση, ενώ οι αρχαίοι Κινέζοι ήταν αρκετά εξοικειωμένοι με τα μυστικά της αρωματοθεραπείας. Οι γνώσεις αυτές πέρασαν στους Έλληνες και μετά στους Ρωμαίους. Οι Έλληνες γιατροί κυρίως βελτίωσαν επιστημονικά την αρωματοθεραπεία με κορυφαία την ίδρυση της Ιατρικής σχολής στην Κω από τον Ιπποκράτη, τον πατέρα της Ιατρικής. Στην αρχαία Ρώμη ο Γαλήνος, ο πατέρας της Φαρμακευτικής, ήταν φανατικός χρήστης της αρωματοθεραπείας. Στη Βίβλο υπάρχουν αναφορές της. Οι Άραβες (8^ο αιώνα μ.Χ.) βελτίωσαν τις μεθόδους λήψης των αιθέριων ελαίων και έφτιαξαν καινούρια ελιξίρια και φάρμακα [1].

1.1.4 Περιβαλλοντικά οφέλη απ' την καλλιέργεια αρωματικών φυτών [8]:

Τα τελευταία χρόνια λόγω της αυξανόμενης οικολογικής και περιβαλλοντικής συνείδησης των πολιτών της κοινωνίας, αλλά και της ζήτησης βιολογικών και οικολογικών προϊόντων, η καλλιέργεια αρωματικών φυτών εμπεριέχει και περιβαλλοντικές διαστάσεις οι οποίες αναφέρονται παρακάτω και είναι οι εξής:

1. προστασία του περιβάλλοντος λόγω της επιφερομένης μείωσης της αλόγιστης και άναρχης συλλογής και εκμετάλλευσης αυτοφυών αρωματικών και φαρμακευτικών φυτών
2. οι καλλιέργειες αυτές συμβάλλουν στη μείωση της διάβρωσης του εδάφους, άρα και στην αποφυγή της ερημοποίησης
3. εξοικονόμηση υδατικού δυναμικού λόγω της μηδενικής ή μικρής ποσότητας νερού που απαιτούν τα περισσότερα είδη
4. φιλικότητα στο περιβάλλον λόγω μηδενικών ή ελάχιστων εισροών σε φυτοφάρμακα, λιπάσματα κ.ά. που απαιτούν αυτές οι καλλιέργειες
5. συμβάλλει στην ανάπλαση και αποκατάσταση περιοχών

1.1.5 Οικονομικά οφέλη απ' την καλλιέργεια αρωματικών φυτών

Λόγω της γεωλογικής διαμόρφωσης κυρίως στην ορεινή και ημιορεινή ζώνη, όπου άλλες καλλιέργειες δεν μπορούν να αποδώσουν, η καλλιέργεια αρωματικών φυτών και βοτάνων αποτελεί την καλύτερη εναλλακτική λύση για τη βελτίωση του αγροτικού εισοδήματος και θα αύξανε τα κίνητρα για παραμονή του πληθυσμού στη περιοχή. Το αρνητικό όμως του τομέα αυτού είναι ότι έμεινε στάσιμος διότι δεν εξελίχθηκε στη συστηματική καλλιέργεια, τη συσκευασία και την αξιοποίηση των αρωματικών φυτών μέσα απ' τη βιομηχανία ή τη βιοτεχνία παραγωγής αιθέριων ελαίων. Μια νέα αγορά λοιπόν δημιουργείται, μεγάλου οικονομικού ενδιαφέροντος, αλλά χρειάζεται σωστή συνεργασία μεταξύ Πολιτείας και ενδιαφερομένων. Τα θετικά που θα προκύψουν απ' αυτή τη συνεργασία είναι εκτός απ' το οικονομικό όφελος και το κοινωνικό. Δημιουργούνται νέες θέσεις εργασίας με την ίδρυση μικρών μεταποιητικών μονάδων σε χωριά που θα ασχολούνται με την πρωτογενή μεταποίηση και θα συνεργάζονται με μεγαλύτερες μονάδες. Συνέπεια αυτού είναι η συγκράτηση του αγροτικού πληθυσμού σε αγροτικές, νησιωτικές και μειονεκτικές περιοχές [6,8].

1.1.5.1 Οικονομικά οφέλη και Πολιτεία

Για να αναπτυχθεί ο κλάδος αυτός θα πρέπει να γίνει μια σοβαρή προσπάθεια από μέρους της Πολιτείας. Η επιδίωξή της θα πρέπει να είναι η κατάρτιση των κατοίκων στις ορεινές περιοχές και γενικότερα στις περιοχές

ενδιαφέροντος, πάνω στην καλλιέργεια, συσκευασία και τρόπο διάθεσης των προϊόντων [6,8].

Σύμφωνα με έρευνα του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, το γεωργικό εισόδημα απ' την καλλιέργεια ενός στρέμματος σιταριού είναι 20,54€, ενώ το αντίστοιχο σε βασιλικό είναι 2.790,00€, σε ρίγανη 675,00€, σε δίκταμο 1.320,00€ και σε τσάι του βουνού 530,00€. Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι η καλλιέργεια αρωματικών και φαρμακευτικών φυτών είναι ιδανική εναλλακτική λύση για τις ορεινές – μειονεκτικές περιοχές και όχι μόνο [9].

1.1.5.2 Παράδειγμα οικονομικού οφέλους της αξιοποίησης αρωματικών φυτών στην Ελλάδα

- Το παράδειγμα του όρους Γράμμος στο Νομό Καστοριάς [10].

Στο όρος Γράμμος του Νομού Καστοριάς δεκάδες αρωματικά και φαρμακευτικά φυτά ευδοκιμούν, ενώ η καλλιέργειά τους αποτελεί νέα πηγή εισόδων.

Στα πλαίσια του εγκεκριμένου προγράμματος Interreg χρηματοδοτήθηκε η προσπάθεια εντοπισμού και καταγραφής των αρωματικών και φαρμακευτικών φυτών στην περιοχή του όρους Γράμμος και σε ημερίδα που πραγματοποιήθηκε στη Φλώρινα απ' το Τ.Ε.Ι. Δυτικής Μακεδονίας παρουσιάστηκαν προτάσεις για ορθολογική αξιοποίηση τους. Μέχρι τώρα, αν και υπάρχει οικονομικό ενδιαφέρον για τους κατοίκους της περιοχής, το όρος Γράμμος κινδυνεύει απ' την υπερβόσκηση, υπερεκμετάλλευση και πυρκαγιά.

Υπάρχει θετική ανταπόκριση απ' τους καλλιεργητές της περιοχής στην προοπτική εναλλακτικής καλλιέργειας αρωματικών φυτών αν φυσικά δημιουργηθούν οι κατάλληλες προϋποθέσεις όπως ίδρυση συνεταιρισμών για τη διάθεση και προώθηση των προϊόντων στην ελληνική αγορά και στο εξωτερικό.

- Το παράδειγμα της Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης [9]

Στην Ελλάδα δεν υπάρχει μεγάλη εμπειρία στην καλλιέργεια αρωματικών φυτών, εκτός από έξι (βασιλικό, κρόκο, δίκταμο, ρίγανη, τσάι του βουνού, μαστίχα).

Τα αρωματικά φυτά σύμφωνα με τους ειδικούς δεν είναι απαιτητικά σε νερό, λίπανση και ποιοτικά εδάφη, επομένως μπορούν να καλλιεργηθούν σε αγροτεμάχια, που ήδη καλλιεργούνται φυτά χαμηλής προσόδου ή που μένουν ακαλλιέργητα και δεν απαιτούν εξειδικευμένο μηχανικό εξοπλισμό για τη σπορά και συλλογή, ούτε ειδικά αρδευτικά συστήματα και μεγάλους αποθηκευτικούς χώρους. Στην καλλιέργεια τους ως επί το πλείστον εφαρμόζονται νέες τεχνολογίες που επιτρέπουν σταθερή παραγωγή ανεξάρτητα απ' τις καιρικές συνθήκες και καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, όπως και την υπερπαραγωγή με βιοτεχνολογικές μεθόδους (in vitro).

Τα δεδομένα αυτά προκάλεσαν το ενδιαφέρον της Περιφέρειας Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης. Μέσω του Γ' Κ.Π.Σ. η Περιφέρεια εξασφάλισε χρηματοδότηση για πιλοτικό πρόγραμμα καλλιέργειας

αρωματικών – φαρμακευτικών, ενεργειακών και κτηνοτροφικών φυτών στον Έβρο, τη Ροδόπη, την Ξάνθη, τη Δράμα και την Καβάλα. Η επιδότηση φτάνει τα 318€/στρέμμα. Το πρόγραμμα αφορά πάνω από 300 καλλιεργητές και κτηνοτρόφους.

Υπό την καθοδήγηση της Διεύθυνσης Αγροτικής Ανάπτυξης Ροδόπης έχουν γίνει επαφές με μεταποιητικές επιχειρήσεις τόσο στην Ελλάδα όσο και στο εξωτερικό (ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχει εκδηλώσει η Γερμανία).

Το πρόγραμμα αυτό εντάσσεται στο Γ' Κ.Π.Σ., ανήκει στο Περιφερειακό επιχειρησιακό πρόγραμμα της Περιφέρειας Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης, χρηματοδοτείται κατά 75% απ' την Ε.Ε. και είναι ζετούς διάρκειας.

Τέλος η Περιφέρεια Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης και η αρμόδια Διεύθυνση Αγροτικής Ανάπτυξης αναλαμβάνουν την παρακολούθηση και πορεία των καλλιεργειών, παρέχοντας τις κατάλληλες συμβουλές στους παραγωγούς ώστε να τηρούνται όλες οι προϋποθέσεις που ορίζει το πρόγραμμα.

1.1.6 Τα αρωματικά φυτά της Κρήτης

Στην Κρήτη τα αρωματικά φυτά αποτελούν παράδοση και σύμφωνα με βοτανολογικές μελέτες η Κρήτη έχει ένα απ' τα πιο πλούσια και ενδιαφέροντα οικοσυστήματα της Ευρώπης. Υπάρχει μεγάλος αριθμός ενδημικών φυτών, δηλαδή φυτών που υπάρχουν αυτοφυή μόνο στην Κρήτη, όπως η μαλοτύρα (*Siderites Syriaca*) και ο δίκταμος (*Origanum dictamnus* L.). Ο δίκταμος είναι γνωστός απ' την αρχαιότητα για τις αντισηπτικές του ιδιότητες και ο Ιπποκράτης τον συνιστούσε στις έγκυες για ανώδυνο και γρήγορο τοκετό.

Τα αρωματικά φυτά της Κρήτης συλλέγονται στα απόκρημνα βουνά όπου και φυτρώνουν. Στη συνέχεια κάτω από φυσικές συνθήκες αποξηραίνονται και έπειτα οδηγούνται σε σύγχρονα συσκευαστήρια, όπου δεν υπόκεινται σε καμία χημική ή άλλη επεξεργασία.

Σήμερα στην αγορά προσφέρεται πλήθος βοτάνων όπως η ρίγανη κ.ά.. Από τα αρχαία χρόνια όλα χρησιμοποιούνται ως φαρμακευτικά και υπάρχουν πολλά κείμενα αρχαίων συγγραφέων που αποδίδουν σ' αυτά θεραπευτικές ιδιότητες [11].

1.2 Δυόσμος - Μέντα

Επιστημονική ονομασία: *Mentha spicata* (Ηδύοσμος ο πιπερώδης) – *Mentha viridis* (Μέντα η πράσινη)

άλλα ονόματα και τύποι: Ηδύοσμος, Αγριοδυόσμος, Αβάρσαμος ή Βάρσαμος, Αγιασμός, Φλισκούνη, Βληχούνη, Μίνθη, Μίνθα, Γλήχων, Γλυφώνι κ.ά., το χρησιμότερο είδος όμως είναι ο Ηδύοσμος ο πιπερώδης, ο φαρμακευτικός, δηλαδή η μέντα [12].

1.2.1 Βοτανική

Ο δυόσμος και η μέντα ανήκουν στην ίδια οικογένεια των χειλανθών. Αν και αναφέρονται χωριστά, σε όποια βοτανολογία ελληνική ή ξένη και αν κοιτάξουμε, περιγράφοντας το δυόσμο αναφέρονται και στη μέντα και το αντίστροφο [12].

Τα δύο αρωματικά αυτά φυτά ήρθαν στην Ευρώπη απ' την Ανατολή και έχουν περίπου τις ίδιες ιδιότητες [12].

Σύμφωνα με τη μυθολογία, το όνομα προήλθε απ' τη νύμφη Μίνθη, όπου η Περσεφόνη την μεταμόρφωσε σε ένα ταπεινό χορταράκι με μωβ ανθάκια, ώστε να περνάει απαρατήρητη, γιατί την είδε στην αγκαλιά του Πλούτωνα. Αυτός επειδή τη λυπήθηκε, της χάρισε την θεϊκή ευωδία η οποία και της χάρισε την «αθανασία» και μία ξεχωριστή θέση στο γαστρονομικό πάνθεον των αρωματικών βοτάνων [13].

Για του αρχαίους Αιγυπτίους, Έλληνες και Ρωμαίους, ο δυόσμος ήταν ένα σπουδαίο αρωματικό φυτό. Ο Διοσκουρίδης, Ο Ιπποκράτης και ο Πλίνιος το αναφέρουν ως ένα φυτό με μεγάλη φαρμακευτική αξία και ωραίο άρωμα. Οι αρχαίοι Έλληνες έτριβαν τα τραπέζια τους με δυόσμο πριν καθίσουν να φάνε, όπως επίσης τον έβαζαν στο νερό του μπάνιου τους [12].

Ο δυόσμος είναι φυτό με βλαστούς και φύλλα πράσινα. Τα φύλλα του είναι ωσειδή. Τα άνθη του είναι μικρά, ρόδινα ή μωβ ανοικτό και βγαίνουν πολλά μαζί σε στάχεις στις κορυφές των βλαστών. Υπάρχει παντού σαν αυτοφυές ή καλλιεργούμενο και μαζεύεται όλο το χρόνο. Όλα τα φυτά της οικογένειας αυτής είναι πολυετή, απλώνονται πολύ γρήγορα και ευδοκούν όταν ποτίζονται πολύ. Επίσης διατηρούνται φρέσκα σε γλάστρα ή φυλάγονται ξερά σε βάζο [12,15].

Τα χρήσιμα μέρη του είναι τα φύλλα και οι ανθισμένες κορυφές. Δραστικές ουσίες είναι το μινθέλαιο που περιέχει μεντόλη, μεντόνη, ιασμόνη, ταννίνη, αλκοόλες, αλδεΐδες και πικρές ουσίες (ανάλογα τον τύπο και το είδος δυόσμου ή μέντας περιέχονται διαφορετικές ποσότητες της κάθε ουσίας, π.χ. η Νερομέντα δεν περιέχει καθόλου μεντόλη, ενώ η Ιαπωνική Μέντα περιέχει 92% μεντόλη) [12].

1.2.2 Χρήσεις του Δυόσμου – Μέντα

Είναι φυτό αρωματικό – φαρμακευτικό και χρησιμοποιείται στη μαγειρική ως καρύκευμα ή αφέψημα, στη σαπωνοποιία, τη μυροποιία και τη ζαχαροπλαστική [14].

Το έγχυμα του δυόσμου μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν λοσιόν. Η μεντόλη ή μεντοκαμφορά που περιέχει ο δυόσμος και η μέντα χρησιμεύει σαν βελτιωτικό της μυρωδιάς και της γεύσης πολλών φαρμάκων. Με το αιθέριο έλαιο αρωματίζονται παστίλιες για το λαιμό, караμέλες, τσίχλες, ζαχαρωτά. Επίσης χρησιμοποιείται για γαργάρες σε περιπτώσεις αμυγδαλίτιδας, ουλίτιδας και φλεγμονές του ρινοφάρυγγα. Τα φρέσκα φύλλα ανακουφίζουν του πόνους ρευματισμών και πονοκεφάλου, επίσης παλαιότερα τα έτριβαν στα δόντια τους για λεύκανση, ενώ στα αποστήματα βάζουμε επάνω σκόνη από τριμμένα

ξερά φύλλα. Σαν αφέψημα ή έγχυμα το τσάι συνιστάται σε περιπτώσεις δυσπεψίας, διάρροιας, αϋπνίες, κράμπες, λόξιγκα, για να καταπραΰνει τις φλεγμονές του εντερικού συστήματος, νευρικό ξερόβηχα, κολικούς του νεφρού κ.τ.λ.. Τέλος επειδή τα ποντίκια δεν αγγίζουν ποτέ τρόφιμα που μυρίζουν δυόσμο, αποφεύγονται σκορπίζοντας ξερά ή φρέσκα φύλλα στο σπίτι [12,15].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2° ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ

2.1 Εισαγωγή

Τα βαρέα μέταλλα είναι φυσικά συστατικά του φλοιού της γης. Δε μπορούν να διασπαστούν σε απλούστερες μορφές ή να καταστραφούν. Είναι στοιχεία που εύκολα χάνουν ηλεκτρόνια για να σχηματίσουν φορτισμένα ιόντα. Συνήθως είναι καλοί αγωγοί του ηλεκτρισμού και αποτελούν στοιχεία με υψηλή τοξικότητα και μεγάλη πυκνότητα. Τα κυριότερα στοιχεία που ανήκουν στη κατηγορία αυτή είναι το αρσενικό (As), το κάδμιο (Cd), το χρώμιο (Cr), ο χαλκός (Cu), ο μόλυβδος (Pb), ο υδράργυρος (Hg), το νικέλιο (Ni) και ο ψευδάργυρος (Zn). Η τοξικότητά τους ποικίλει από στοιχείο σε στοιχείο. Τα κυριότερα χαρακτηριστικά των βαρέων μετάλλων είναι η τάση τους να συσσωρεύονται στο εδαφικό σύστημα σε υψηλά pH και η μειωμένη δυνατότητα απομάκρυνσής τους από το επιφανειακό στρώμα εδάφους. Στο εδαφικό διάλυμα βρίσκονται με τη μορφή ενώσεων με οργανικές ουσίες, αιωρούμενα και με τη διαλυτή τους μορφή των ενώσεων που σχηματίζουν [16,17].

Σε μικρή έκταση εισάγονται στον ανθρώπινο οργανισμό μέσω των τροφίμων, του πόσιμου νερού και του αέρα. Σαν ιχνοστοιχεία μερικά βαρέα μέταλλα (π.χ. χαλκός, σελήνιο, ψευδάργυρος) είναι απαραίτητα για να διατηρηθεί ο μεταβολισμός του ανθρώπινου σώματος. Εντούτοις, σε υψηλότερες συγκεντρώσεις μπορούν να είναι τοξικά. Δηλητηρίαση από βαρέα μέταλλα μπορεί να προκύψει, για παράδειγμα, απ' τη μόλυνση πόσιμου νερού (π.χ. σωλήνες μολύβδου), υψηλές συγκεντρώσεις στον περιβάλλοντα αέρα κοντά σε πηγές εκπομπής, ή εισαγωγή μέσω της τροφικής αλυσίδας. Η τροφική δηλητηρίαση από βαρέα μέταλλα είναι πολύ σπάνια και στις περισσότερες περιπτώσεις εμφανίζεται μόνο μετά από περιβαλλοντική ρύπανση, όπως για παράδειγμα στην Ιαπωνία μεταξύ 1932 – 1955 όπου λύματα που περιείχαν υδράργυρο απελευθερώνονταν στο κόλπο Μιμιμάτα. Ο υδράργυρος συσσωρεύθηκε στη θαλάσσια ζωή και μέσω της κατανάλωσης θαλασσινών το 1952 παρουσιάσθηκαν τα πρώτα κρούσματα δηλητηρίασης [16].

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται αύξηση του ρυθμού συσσώρευσης βαρέων μετάλλων στα τρόφιμα και επειδή τα γεωργικά και κτηνοτροφικά προϊόντα αποτελούν το βασικότερο κρίκο στην τροφική αλυσίδα εκφράζονται ανησυχίες απ' τους επιστήμονες. Προτείνουν συστηματική έρευνα σε όλη τη χώρα, έλεγχο των τροφίμων, λήψη μέτρων προστασίας στις υποβαθμισμένες περιοχές, διερεύνηση των ομάδων πληθυσμού υψηλού κινδύνου και συνιστούν στους καταναλωτές να μην προμηθεύονται ζωοκομικά προϊόντα, ιδιαίτερα συκώτι και νεφρά που προέρχονται από ζώα μεγάλης ηλικίας ή από περιοχές με μεγάλη ρύπανση [105].

Τα βαρέα μέταλλα είναι πλέον μεγάλου περιβαλλοντικού ενδιαφέροντος, διότι είναι επιβλαβή για τους ανθρώπους και τα ζώα και

τείνουν να βιοσυσσωρεύονται στη τροφική αλυσίδα. Δραστηριότητες όπως μεταλλευτικές και τήξη ορυκτών μετάλλων για διαχωρισμό, βιομηχανικές εκπομπές και εφαρμογές εντομοκτόνων και λιπασμάτων έχουν συμβάλει στην ανύψωση των επιπέδων των βαρέων μετάλλων στο περιβάλλον. Αν και απελευθερώνονται στο περιβάλλον κυρίως μέσω ανθρώπινων δραστηριοτήτων, απελευθερώνονται επίσης και μέσω φυσικών διαδικασιών όπως ηφαιστειακή δράση και διάβρωση. [18,19,20,21].

Τα βαρέα μέταλλα σε αντίθεση με τους οργανικούς ρύπους δε βιοδιασπώνται ούτε καταστρέφονται, γι' αυτό και η απομάκρυνσή τους απ' το έδαφος αποτελεί ένα δύσκολο τεχνολογικό πρόβλημα. Τεχνολογίες που έχουν εφαρμοστεί με επιτυχία και που έχουν αναφερθεί είναι οι τεχνικές έκπλυσης που στηρίζονται κυρίως στον εμπλουτισμό [22].

Παρακάτω περιγράφονται καταγεγραμμένες περιοχές με υψηλά επίπεδα ρύπανσης στον Ελλαδικό χώρο:

- Στην Ελλάδα μια απ' τις περισσότερο ρυπασμένες περιοχές είναι η περιοχή του Λαυρίου, που στα τέλη του 1800 αποτέλεσε την πρώτη βιομηχανική πόλη της σύγχρονης Ελλάδας ενώ το μεγαλύτερο μέρος της χτίστηκε πάνω στα μεταλλευτικά απορρίμματα. Πηγή μεταλλευτικού πλούτου της αρχαίας Αθήνας όπου για πάνω από 3000 χρόνια διατηρήθηκαν μεταλλευτικές και μεταλλουργικές δραστηριότητες πολυμεταλλικών θειούχων μεταλλευμάτων, αλλά σαν αποτέλεσμα είχαν τη ρύπανση του υπόγειου υδροφορέα και του εδάφους με βαρέα μέταλλα. Οι δραστηριότητες αυτές σταμάτησαν το 1988 και η αποβιομηχανοποίηση της περιοχής συντέλεσε στην ανάγκη αναβάθμισης της [22,107].

- Σύμφωνα με έρευνες υδρογεωλόγων του Ι.Γ.Μ.Ε. και ειδικών επιστημόνων του Α.Π.Θ. υπάρχει υποβάθμιση των υπόγειων υδάτων σε διάφορες περιοχές της Μακεδονίας και Θράκης. Αυτό οφείλεται κυρίως στην υφαλμύρωση λόγω υπεράντλησης αλλά και στη νιτρορύπανση απ' τις γεωργικές καλλιέργειες. Οι πιο ρυπασμένες περιοχές είναι οι λεκάνες Μυγδονίας όπου είναι η ευρύτερη περιοχή των λιμνών Κορώνειας και Βόλβης (απ' τα πιο επικίνδυνα νερά της Ελλάδας λόγω των υψηλών συγκεντρώσεων σε βαρέα μέταλλα), Ανθεμούντα (υφαλμύρωση) και Αξιού (υπολείμματα γεωργικών φαρμάκων στο ποτάμι, βρέθηκαν συγκεντρώσεις σιδήρου και ψευδαργύρου ενώ υψηλές είναι και οι συγκεντρώσεις μολύβδου, καδμίου, βαρίου, νικελίου, ουρανίου και αρσενικού) [106].

- Ο Θερμαϊκός κόλπος αντιμετωπίζει προβλήματα ρύπανσης λόγω κυρίως των ρύπων που μεταφέρονται απ' τα τρία μεγάλα ποτάμια Αξιός, Λουδίας και Αλιάκμονας και που καταλήγουν σ' αυτόν, όπως επίσης από τοπικούς εποχιακούς χείμαρρους, αποστραγγιστικές τάφρους, βυρσοδεψεία, φρεάτια υπερχείλισης, αστικά και γεωργικά εκπλύματα, εκροές αστικών λυμάτων, βιομηχανική ζώνη και ανεπαρκή λειτουργία βιολογικών καθαρισμών. Σύμφωνα με μελέτη του εργαστηρίου ελέγχου ρύπανσης περιβάλλοντος του

Α.Π.Θ. παρατηρήθηκε ρύπανση από βαρέα μέταλλα κατά μήκος των ακτών. Συγκεκριμένα συγκεντρώσεις ψευδαργύρου και χαλκού (πιθανότατα από φυτοφάρμακα που περιέχουν χαλκό) σε περιοχές γύρω απ' το Καράμπουρνο (Περαία, Μηχανιώνα, Αεροδρόμιο) και τον Μακρύγιαλο Περίας όπως επίσης και υψηλές συγκεντρώσεις χρωμίου εντοπίζονται στην ακτή του Καλοχωρίου (απ' τις δραστηριότητες των βυρσοδεψείων). Σαν συνέπεια έχει τη μείωση της θαλάσσια πανίδας του Θερμαϊκού κόλπου [106,108].

- Ιδιαίτερη περίπτωση είναι αυτή του ποταμού Έβρου. Ως γνωστό διέρχεται από άλλες δύο χώρες εκτός απ' την Ελλάδα, τη Βουλγαρία και την Τουρκία. Δεν είναι μόνο η εγχώρια ρύπανση αλλά και η εισαγόμενη που επιβαρύνει και μάλιστα σε μεγαλύτερο βαθμό. Πηγές ρύπανσης είναι τα αστικά λύματα, βιομηχανικά απόβλητα, τοπικές δραστηριότητες (κτηνοτροφία, γεωργία) και απορροές από καλλιέργειες [109].

2.2 Πηγές Βαρέων Μετάλλων

Υπάρχουν πολλές ρυπογόνες πηγές όπως οι φυσικές πηγές (τα βαρέα μέταλλα μπορεί να έχουν και γεωλογική προέλευση), οι γεωργικές πηγές (χρήση ορισμένων τεχνικών της σύγχρονης γεωργίας όπως τα χημικά λιπάσματα και φυτοφάρμακα), οι βιομηχανικές πηγές (βιομηχανίες τροφίμων, υφαντουργίες, βιομηχανίες φαρμακευτικών ειδών και παραγωγής μυκητοκτόνων και εντομοκτόνων, γενικότερα όλες οι βιομηχανικές δραστηριότητες) και οι αστικές πηγές (μονάδες αποτέφρωσης στερεών απορριμμάτων, καυστήρες κατοικιών). Παρακάτω περιγράφονται αναλυτικότερα οι πηγές αυτές [105].

2.2.1 Φυσικές πηγές

α) Οι συγκεντρώσεις μετάλλων εξαρτώνται απ' το τύπο του πετρώματος και τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Παραδείγματος χάριν ένα πυριγενές πέτρωμα έχει υψηλότερες συγκεντρώσεις σε Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Hg, Pb απ' ότι ένα ιζηματογενές.

β) Ηφαιστειογενή αέρια. Έχει αναφερθεί ότι τα ηφαίστεια αποπνέουν υψηλά επίπεδα κάποιων στοιχείων όπως Al, Zn, Mn, Pb, Cu και Hg, όπως επίσης και κάποια τοξικά και επιβλαβή αέρια όπως SO₂ και H₂S. Ο αέρας συνήθως βοηθάει στην εξάπλωσή τους σε μεγαλύτερες αποστάσεις.

γ) Ο άνεμος απ' τις ερήμους μπορεί να μεταφέρει Mn, Cr, Zn, Ni και Pb.

δ) Άλλες φυσικές πηγές είναι η διάβρωση και οι πυρκαγιές [23].

2.2.2 Γεωργικές πηγές

Αυτή η ομάδα περιλαμβάνει ανόργανα και οργανικά λιπάσματα, προσθήκη ασβεστίου για αύξηση του pH του εδάφους, λάσπη

επεξεργασμένων αποβλήτων, νερό άρδευσης και μικροβιοκτόνα (κυρίως μηκυτοκτόνα). Τα ανόργανα (φωσφορικά άλατα) λιπάσματα έχουν διαφορετικά επίπεδα Cd, Cr, Ni, Pb και Zn. Το Cd συσσωρεύεται σε υψηλά επίπεδα στα φύλλα πολλών φυτών και αποκτά ιδιαίτερο ενδιαφέρον γιατί μπορεί να καταναλωθεί ως τροφή απ' τα ζώα και τους ανθρώπους. Η λάσπη επεξεργασμένων αποβλήτων έχει υψηλή συγκέντρωση σε Zn, Cr, Pb, Ni, Cd και Cu. Το έδαφος μπορεί να μολυνθεί με μόλυβδο και κάδμιο απ' το νερό άρδευσης. Η μόλυνση και η συσσώρευση εξαρτώνται απ' τη πηγή προέλευσης του νερού (βαθιά πηγάδια, ποτάμια, λίμνες ή αρδευτικά κανάλια) [23,24].

Επίσης, η χρήση των υγρών αποβλήτων προκαλεί εμπλουτισμό του εδάφους με βαρέα μέταλλα και οδηγεί στην αύξηση της λήψης Zn, Cd και Pb απ' το φύλλωμα και τη ρίζα των φυτών [23,25].

2.2.3 Βιομηχανικές πηγές

Σ' αυτή την ομάδα περιλαμβάνονται μεταλλευτικές δραστηριότητες καθώς και η ανακύκλωση μετάλλων. Άλλες βιομηχανικές πηγές μόλυνσης είναι η επεξεργασία πλαστικών, υφασμάτων, μικροηλεκτρονικών, συντήρηση ξύλου και η επεξεργασία χαρτιού [23].

Τα βαρέα μέταλλα χρησιμοποιούνται ευρύτατα στη βιομηχανία ως πρώτες ύλες, προϊόντα και καταλύτες [26].

2.2.4 Αστικές πηγές

Σ' αυτή την ομάδα περιλαμβάνονται η αποτέφρωση απορριμμάτων, οι χώροι υγειονομικής ταφής απορριμμάτων, η καύση φυσικών καυσίμων (κάρβουνο και πετρέλαιο) και οι εκπομπές απ' τα μέσα μεταφοράς. Η ιπτάμενη τέφρα που δημιουργείται απ' τη καύση του κάρβουνου και των απορριμμάτων είναι ιδιαίτερα επιβλαβής. Έχει εκτιμηθεί ότι η καύση του κάρβουνου είναι υπεύθυνη για την εναπόθεση περίπου 34% Cd και 31% Ni στο έδαφος. Επίσης η καύση του πετρελαίου θέρμανσης συμβάλλει στην αύξηση του Fe, Pb και Ni [23].

2.3 Κάδμιο – Μόλυβδος – Νικέλιο

2.3.1 Κάδμιο

Το κάδμιο ανακαλύφθηκε το 1817 στη Γερμανία. Το όνομά του πήρε απ' το λατινικό Cadmia και το ελληνικό Κάδμεια. Είναι σχετικά σπάνιο, μαλακό στην αφή, ελαφρώς γαλάζιο, τοξικό μέταλλο και συναντάται στον ορυκτό ψευδάργυρο. Βρίσκεται κυρίως στο φλοιό της γης σε συνδυασμό πάντα με τον ψευδάργυρο. Βρίσκεται επίσης στις βιομηχανίες ως παραπροϊόν του ψευδαργύρου, του μόλυβδου και του χαλκού κατά την εξαγωγή τους. Χρησιμοποιείται στις ηλεκτροεπιμεταλλώσεις, ως σταθεροποιητικό στα

πλαστικά, ως συστατικό στις μπαταρίες νικελίου – καδμίου και στη κατασκευή χρωμάτων [27,28,29,30].

Το κάδμιο είναι ένα ευρέως διαδεδομένο βαρύ μέταλλο, που απελευθερώνεται στο περιβάλλον από συστήματα θέρμανσης, μεταλλουργικές βιομηχανίες, κλιβάνους αποτέφρωσης απορριμμάτων, αστική κίνηση, εργοστάσια συγκολλήσεων και ως μολύνον υλικό λιπασμάτων φωσφορικών αλάτων [20,21].

Κύριες πηγές ρύπανσης των εδαφών και του νερού από κάδμιο είναι οι βιομηχανίες επεξεργασίας χαλκού, χρωμάτων, πλαστικών και μεταλλείων ψευδαργύρου [105].

Η μόλυνση των γεωργικών εκτάσεων απ' το κάδμιο είναι παγκοσμίως ανησυχητικό φαινόμενο, τόσο για περιβαλλοντικούς λόγους όσο και για λόγους υγείας. Για τις γεωργικές περιοχές το μεγαλύτερο μέρος της ετήσιας εισαγωγής καδμίου οφείλεται στη χρήση φωσφορούχων λιπασμάτων. Τα εδάφη είναι συνήθως βεβαρημένα ταυτόχρονα με κάδμιο και ψευδάργυρο, λόγω της παρεμφερούς γεωχημικής συμπεριφοράς τους [21,31].

Το κάδμιο ανήκει στις καρκινογενείς ενώσεις. Είναι ένα βαρύ τοξικό μέταλλο που απορροφάται εύκολα από τα φυτά και διοχετεύεται μέσω της τροφικής αλυσίδας στον άνθρωπο. Έχει την ικανότητα να βιοσυσσωρεύεται σε μικροοργανισμούς και σε ιστούς φυτών και ζώων. Η συσσώρευσή του σε μακρόφυτα ποικίλει ανάλογα με το είδος και τους ιστούς που εξετάζονται. Το κάδμιο συσσωρεύεται κυρίως στις ρίζες των υδρόβιων μακρόφυτων αντί στα φύλλα και τον κορμό [32].

Το μεγαλύτερο ποσοστό καδμίου προσλαμβάνεται από τον άνθρωπο μέσω των τροφών και το υπόλοιπο από το νερό και το κάπνισμα. Συσσωρεύεται κυρίως στο ήπαρ, στα νεφρά, στη σπλήνα και στο θυρεοειδή αδένα [105].

Μερικές μελέτες έχουν δείξει ότι η λήψη καδμίου εμφανίζεται να είναι μέσω της ίδιας διάβασης με τον ψευδάργυρο, και εάν μοιράζονται μια κοινή διάβαση η συγγένεια του μεταφορέα εμφανίζεται να είναι αρκετά υψηλότερη για το κάδμιο απ' ότι για τον ψευδάργυρο [23,33].

2.3.2 Μόλυβδος

Ο μόλυβδος είναι ένα αρκετά μαλακό και εύκαμπτο μέταλλο, χρώματος γκριζου – μπλε. Αντιδρά εύκολα με το οξυγόνο της ατμόσφαιρας δημιουργώντας μια θαμπή γκριζα οξειδωμένη επιφάνεια. Στη φύση συναντάμε το μόλυβδο ενωμένο με διάφορα στοιχεία. Ο γαληνίτης (ένωση μόλυβδου και θείου) είναι η κύρια πηγή εξόρυξης του μετάλλου [34].

Πηγές έκθεσης στο μόλυβδο και τις ενώσεις του είναι α) οι εργασίες εξόρυξης, χύτευσης και τήξης του μετάλλου, β) η παραγωγή και χρήση μολυβδούχων χρωμάτων και βερνικιών, γ) η παραγωγή και χρήση σμάλτων για τη κεραμική, δ) η παραγωγή και συντήρηση συσσωρευτών (μπαταριών αυτοκινήτων), ε) η παραγωγή και χρήση μολυβδούχων ηλεκτροδίων για συγκολλήσεις, στ) η παραγωγή κρυστάλλων και υαλικών, ζ) η παραγωγή μολυβδούχων κραμάτων για σφαίρες και σκάγια, η) οι τυπογραφικές εργασίες

με μολυβδόυχα στοιχεία, θ) οι εργασίες φανοποιείας και επιδιόρθωσης μηχανών αυτοκινήτου, ι) η χρήση του μολύβδου σαν σταθεροποιητικό στη βιομηχανία πλαστικών και κ) η παραγωγή ηλεκτρικών καλωδίων [34].

Η συγκέντρωση του μολύβδου σε μη μολυσμένο έδαφος είναι γύρω στα 10 – 20 μg/g, ενώ κοντά σε μολυσμένες περιοχές όπως χυτήρια και αυτοκινητόδρομους (εξατμίσεις οχημάτων) η συγκέντρωσή του μπορεί να φθάσει τα 1000 – 4000 μg/g στην επιφάνειά του. Στο έδαφος βρίσκεται σε βάθος 0 – 10 cm όπου συγκρατείται με διαδικασίες όπως η προσρόφηση, η καθίζηση, η ιοντοανταλλαγή και η συμπλοκοποίηση με την οργανική ουσία. Η ικανότητα του εδάφους να προσροφά το μόλυβδο αυξάνεται με αύξηση του pH, της ικανότητας ανταλλαγής κατιόντων (CEC), του οργανικού φορτίου του εδάφους, του δυναμικού οξειδοαναγωγής (Eh εδάφους/νερού) και του επιπέδου των φωσφορικών [23,35-37].

Στα φυτά η ποσότητα μολύβδου που συσσωρεύεται στους βλαστούς είναι σημαντικά μικρότερη από αυτή που συσσωρεύεται στις ρίζες. Σημαντικός περιοριστικός παράγοντας είναι η μεταφορά του μετάλλου από τη ρίζα στο βλαστό. Τα φυτά που έχουν μεγαλύτερη ικανότητα μεταφοράς έχουν και μεγαλύτερη συγκέντρωση μολύβδου στο βλαστό και προτιμώνται στη φυτοεξαγωγή καθώς μόνο οι βλαστοί συλλέγονται και απομακρύνονται. Η συσσώρευση του μετάλλου εξαρτάται από το είδος του φυτού, την ποικιλία, την περιεκτικότητα του μετάλλου στο έδαφος, τις εδαφικές συνθήκες και την παρουσία άλλων μετάλλων [37].

Ο μόλυβδος είναι ένα από τα μέταλλα που έχουν καταστρεπτικά αποτελέσματα στην ανθρώπινη υγεία. Μπορεί να εισαχθεί στον ανθρώπινο οργανισμό μέσω της λήψης τροφίμων, νερού και αέρα. Ο καπνός των τσιγάρων επίσης περιέχει μικρή ποσότητα μολύβδου. Μπορεί να εισχωρήσει στο πόσιμο νερό μέσω της διάβρωσης των σωλήνων και αυτό είναι πιθανότερο να συμβεί όταν το νερό είναι ελαφρώς όξινο. Όταν ο μόλυβδος καταναλώνεται στην τροφή, συσσωρεύεται στο ανθρώπινο σώμα προκαλώντας βλάβες στον εγκέφαλο και το ήπαρ και μπορεί να προσβάλλει το νευρικό σύστημα. Στα ζώα ο μόλυβδος συγκεντρώνεται κυρίως στα οστά, στο σκώτι, στα νεφρά και δευτερευόντως στο κρέας [23,38,39,105].

2.3.3 Νικέλιο

Το νικέλιο είναι αργυρόλευκο και κάτω από τους 385 βαθμούς Κελσίου ελαφρώς μαγνητικό μέταλλο. Είναι ελατό, ανθεκτικότερο του σιδήρου και αμετάβλητο στον αέρα ως συμπαγές. Διαλύεται στο νιτρικό οξύ, ενώ στο υδροχλωρικό οξύ διαλύεται αργά και εν βρασμό. Δεν αντιδρά με τα αλκάλια [28].

Κυριότερες πηγές νικελίου είναι το ορυκτό γαρνιερίτης (υδατούχο πυριτικό άλας) και οι σιδηροπυρίτες. Το νικέλιο εμφανίζεται στο περιβάλλον σε χαμηλά επίπεδα, για παράδειγμα τα τρόφιμα περιέχουν φυσικώς μικρές ποσότητες αυτού. Η σοκολάτα και τα λίπη περιέχουν σημαντικά υψηλές ποσότητες νικελίου. Το νικέλιο επίσης μπορεί να βρεθεί στα απορρυπαντικά [28,40].

Χρησιμοποιείται ευρύτατα ως καταλύτης υδρογόνωσης των ελαίων στην παρασκευή λιπών. Εκτός της χρήσης του ως καταλύτης σε μικροποσότητες, σε μεγάλες ποσότητες το νικέλιο χρησιμοποιείται κυρίως σε κράματα με το χάλυβα για επαύξηση της σκληρότητας και της ανθεκτικότητας. Χρησιμοποιείται επίσης σε υλικά οικιακής χρήσεως για προστασία από τη διάβρωση (νικέλωση), στη κατασκευή εργαλείων, χημικών οργάνων, εξαρτημάτων ραδιοφώνων και ηλεκτρονικών συσκευών, ασυρμάτων και στη παραγωγή ειδικών κραμάτων νικελίου [28].

Οι άνθρωποι μπορούν να εκτεθούν στο νικέλιο με την εισπνοή του αέρα, το πόσιμο νερό, το κάπνισμα, με επαφή του δέρματος σε μολυσμένο από νικέλιο χώμα ή νερό, αλλά και απ' την κατανάλωση τροφίμων λόγω του ότι τα φυτά το συσσωρεύουν. Σε μικρές ποσότητες είναι απαραίτητο, αλλά όταν η λήψη του είναι πολύ υψηλή μπορεί να αποτελέσει κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία [40].

Στα ανώτερα φυτά η ουρεάση είναι μέχρι στιγμής το μόνο γνωστό ένζυμο που περιέχει νικέλιο. Τοξικότητα νικελίου μπορεί να προκληθεί απ' τη χρήση λάσπης επεξεργασμένων αποβλήτων, η οποία έχει συνήθως υψηλή συγκέντρωση σε νικέλιο. Η ανθεκτικότητα των φυτών – υπερσυσσωρευτών στο νικέλιο κυρίως επιτυγχάνεται από συμπλοκοποίηση του νικελίου με οργανικά οξέα, συγκεκριμένα με μαλικό και κιτρικό οξύ [23,41].

2.4 Παραδείγματα επίδρασης βαρέων μετάλλων σε φυτά

Ο Arduini και οι συνεργάτες του (1998) πρόσθεσαν 0.1, 1 και 5 μM καδμίου για να αναπτύξουν τα σπορόφυτα *Pinus pinea*, *Pinus pinaster* και *Fraxinus angustifolia* και βρήκαν ότι το κάδμιο ελαττώνει την ποσότητα χλωροφύλλης σε όλα τα πειραματικά φυτά [23,42].

Η επίδραση του καδμίου και του νικελίου παρατηρήθηκε στην ανάπτυξη των σπόρων, της ρίζας και του βλαστού στο φυτό *Medicago sativa*. Γενικά υπήρχε μείωση της ανάπτυξης του σπόρου καθώς οι συγκεντρώσεις καδμίου και νικελίου αυξάνονταν. Στα 10 ppm Cd και 20 ppm Ni υπήρξε σημαντική μείωση. Σε συγκεντρώσεις 40 ppm Cd και Ni η μείωση της ανάπτυξης ήταν 45 – 55% σε σύγκριση με τα φυτά μάρτυρες. Στις αυξημένες δόσεις των μετάλλων παρατηρήθηκε επίσης μείωση στο μήκος της ρίζας. Οι επιδράσεις των βαρέων μετάλλων στην ανάπτυξη του βλαστού ήταν διαφορετικές στις περιπτώσεις του καδμίου και του νικελίου. Η ελάχιστη συγκέντρωση σε κάδμιο (5 ppm) περιόρισε το μέγεθος του βλαστού. Η ίδια συγκέντρωση σε νικέλιο αύξησε την ανάπτυξη κατά 36% αντίστοιχα σε σχέση με την ανάπτυξη του μάρτυρα. Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις (10 ppm, 20 ppm και 40 ppm) και στα δύο μέταλλα μείωσαν την ανάπτυξη του βλαστού. Στη συγκέντρωση 20 ppm τα μέταλλα ελάττωσαν την ανάπτυξή του από 63 – 66%, στην υψηλότερη συγκέντρωση (40 ppm) τα μέταλλα έδειξαν θανατηφόρες επιδράσεις στα φυτά [23,43].

Οι Shute και Macfie [44] διεξήγαγαν μία μελέτη σε θερμοκήπιο για να βρουν τί ποσότητα καδμίου και ψευδαργύρου συσσωρεύει η σόγια όταν τα μέταλλα βρίσκονται μαζί ή χωριστά στο χώμα. Η υψηλότερη δόση καδμίου

(1000mg/kg) μείωσε το ύψος του φυτού και το ξηρό του βάρος (κάτω απ' το 40% και 34% του μάρτυρα, αντιστοίχως), η υψηλότερη δόση ψευδαργύρου (2000mg/kg) μείωσε το ύψος του φυτού στο 55% και το ξηρό του βάρος στο 70% σε σχέση με το μάρτυρα. Με τη παρουσία και των δύο μετάλλων, τα φυτά είχαν περίπου το ίδιο μέγεθος με αυτά που περιείχαν μόνο κάδμιο. Η συγκέντρωση καδμίου στις ρίζες παρέμεινε ανεπηρέαστη απ' την παρουσία ψευδαργύρου. Σε άλλους ιστούς, η επίδραση του ψευδαργύρου στη συσσώρευση καδμίου εξαρτήθηκε απ' τις δόσεις. Στις χαμηλές δόσεις, η προσθήκη ψευδαργύρου μείωσε τη συγκέντρωση καδμίου στους υπέργειους ιστούς στο 40 -50 % σε σχέση με αυτό που βρέθηκε στα φυτά που εκτέθηκαν μόνο στο κάδμιο. Ωστόσο όταν εφαρμόστηκε σε υψηλές δόσεις, η παρουσία του ψευδαργύρου σε εδάφη μολυσμένα με κάδμιο αύξησε τη λήψη και τη συσσώρευση καδμίου στους υπέργειους ιστούς πάνω απ' το 42%. Αντιθέτως, σε υψηλές δόσεις, η παρουσία καδμίου σε έδαφος μολυσμένο με ψευδάργυρο, είχε σαν αποτέλεσμα περίπου 35% χαμηλότερη συγκέντρωση ψευδαργύρου σε όλους τους ιστούς. Στη χαμηλότερη δόση, το κάδμιο δεν είχε καμία επίδραση στη συγκέντρωση ψευδαργύρου στους ιστούς του φυτού. Οι επιδράσεις υψηλών δόσεων του ενός μετάλλου στη λήψη του άλλου μετάλλου μπορεί εν μέρει να εξηγηθεί απ' τις επιδράσεις του ενός μετάλλου στη βιοδιαθεσιμότητα του άλλου μετάλλου. Σε εδάφη όπου μόνο ένα μέταλλο είχε προστεθεί το βιοδιαθέσιμο κάδμιο ήταν το 70 – 80% του ολικού καδμίου και ο βιοδιαθέσιμος ψευδάργυρος ήταν το 50 – 70% του ολικού ψευδαργύρου. Όταν προστέθηκαν και τα δύο μέταλλα στο έδαφος, το 80 – 100% του καδμίου και το 46 – 60% του ψευδαργύρου ήταν βιοδιαθέσιμα. Και στα δύο μέταλλα οι συγκεντρώσεις ήταν υψηλότερες στους ριζικούς ιστούς σε σχέση με το υπέργειο τμήμα (δεκαπλάσια υψηλότερη για το κάδμιο και πάνω απ' το διπλάσιο υψηλότερη για τον ψευδάργυρο) [44].

Η φωτοσύνθεση θεωρείται η πιο ευαίσθητη μεταβολική διαδικασία των φυτών στη παρουσία του μολύβδου. Το μέταλλο εμποδίζει τη φωτοσύνθεση σε διαφορετικό βαθμό ανάλογα με το φυτό. Στα φυτά σφένδαμος και σόγια βρέθηκαν ότι η περιεκτικότητα του φύλλου σε Pb^{+2} μειώνει κατά 50% τη φωτοσύνθεση [37,45].

Η συγκέντρωση νικελίου στους φυτικούς ιστούς αυξάνεται όσο αυξάνεται η ποσότητα νικελίου στο φυσικό μέσο. Η τοξικότητά του φαίνεται στη γενική όψη των φυτών, μπορεί να δημιουργεί κιτρίνισμα των φύλλων και θάνατο, μικρή ανάπτυξη των ριζών και μίσχων και αλλοίωση αρκετών μερών του φυτού. Ο Palacios και οι συνεργάτες του [46] επίσης παρατήρησαν την επίδραση του νικελίου σε φυτά ντομάτας που αναπτύσσονταν σε θρεπτικό διάλυμα με αυξημένες ποσότητες Ni (0, 5, 15 και 30 mg/L). Φάνηκε ότι υπάρχει ισχυρή συσχέτιση ανάμεσα στις προστιθέμενες και στις συσσωρευμένες ποσότητες νικελίου στα φυτά. Στο πείραμα τα συμπτώματα της τοξικότητας ήταν ορατά απ' την πρώτη εβδομάδα της ανάπτυξης του φυτού. Μια γενική ένδειξη της τοξικότητας του νικελίου ήταν η ανάπτυξη λαμπερών σημαδιών πάνω στα φύλλα, ομαδοποίηση των βλαστών και νέα φύλλα στις αναπτυσσόμενες ζώνες, πτώση φύλλων, μικρά φύλλα και καρποί και γενικά έλλειψη στόμφου. Με την αύξηση της συγκέντρωσης νικελίου η ανάπτυξη, το μήκος και η διάμετρος των μίσχων επηρεάστηκαν αρνητικά σε

σχέση με τα φυτά μάρτυρες. Η ανάπτυξη των κλαδιών δεν επηρεάστηκε, αλλά το βάρος και το μήκος επηρεάστηκαν αρνητικά ειδικότερα στην υψηλότερη συγκέντρωση συγκρίνοντας το με τα φυτά μάρτυρες. Εξαιτίας του νικελίου προκλήθηκε πολύ σημαντική μείωση στην επιφάνεια του φύλλου. Από την εργασία αυτή [46] έγινε φανερό ότι η χαμηλότερη συγκέντρωση του στοιχείου κατά κάποιο τρόπο βοήθησε στην ανάπτυξη του φύλλου τις πρώτες εβδομάδες της ανάπτυξής του, αλλά οι υψηλότερες συγκεντρώσεις είχαν αρνητική επίδραση στην ανάπτυξη του νωπού βάρους και της επιφάνειας του φύλλου [23,46].

Ο Μογα και οι συνεργάτες του [47] ασχολήθηκαν με ρύζι σπορόφυτο που αναπτύχθηκε σε διάφορες συγκεντρώσεις καδμίου και νικελίου. Η καλλιέργεια του σπορόφυτου παρουσία είτε καδμίου είτε νικελίου κατέληξε σε μείωση και των δύο, βλαστού και μήκους ρίζας, μαζί με μια αύξηση του λόγου ξηρού/νωπού βάρους. Ο λόγος ξηρό βάρος/νωπό βάρος είναι ένας σημαντικός δείκτης της τοξικότητας του μετάλλου για κάποιο συγκεκριμένο φυτό. Η αύξηση ήταν κυρίως λόγω της μείωσης στο νωπό βάρος εφόσον το ξηρό δεν επηρεάστηκε τόσο πολύ. [23,47].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΕΞΥΓΙΑΝΣΗΣ ΕΔΑΦΩΝ ΜΟΛΥΣΜΕΝΩΝ ΜΕ ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ

3.1 Γενικά

Υπάρχουν διάφορες τεχνικές για την εξυγίανση εδαφών και υπόγειων υδάτων, που έχουν ρυπανθεί με οργανικές χημικές ουσίες ή βαρέα μέταλλα.

Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται είναι οι εξής:

- εκσκαφή ρυπασμένων εδαφών και η περαιτέρω επεξεργασία τους (soil excavation)
- άντληση των υπόγειων υδάτων και επεξεργασία (pump and treat)
- υγειονομική ταφή (landfilling)
- αποτέφρωση (incineration)

Όπως αναφέρθηκε, διάφορες τεχνολογίες είναι διαθέσιμες για την εξυγίανση εδαφών που είναι μολυσμένα από βαρέα μέταλλα. Εν τούτοις, πολλές απ' αυτές τις τεχνολογίες έχουν κάποιους περιορισμούς κατά την εφαρμογή τους, δηλαδή είναι δαπανηρές με υψηλό κόστος λειτουργίας (π.χ. εκσκαφή ρυπασμένων εδαφών και χημική/φυσική εξυγίανση) ή δεν επιτυγχάνουν μακροπρόθεσμη ούτε καλαίσθητη λύση και δεν είναι αποδεκτές απ' τις τοπικές κοινωνίες [19,48-52].

3.2 Φυτοεξυγίανση

Η φυτοεξυγίανση είναι ένας γενικός όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει τους διάφορους μηχανισμούς από τους οποίους τα φυτά αλλάζουν τη χημική σύνθεση του εδάφους στο οποίο αναπτύσσονται. Ουσιαστικά, είναι η χρήση γηγενών φυτών στον καθαρισμό ρυπασμένων εδαφών, ιζημάτων ή υδάτων. Η λέξη «φυτοεξυγίανση» προέρχεται από το ελληνικό πρόθεμα phyto – σημαίνοντας «φυτό» και τη λατινική ρίζα της λέξης «remedium» - σημαίνοντας «να διορθώσει ή να αφαιρέσει ένα κακό». Στο έδαφος, το «κακό» θα μπορούσε να είναι ανθρωπογενείς (προκαλούμενοι από τον άνθρωπο) ρύποι όπως οι οργανικοί διαλύτες, τα βαρέα μέταλλα, τα φυτοφάρμακα κ.τ.λ. [111].

Η φυτοεξυγίανση είναι μία καινοτόμος εναλλακτική οικονομική μέθοδος εξυγίανσης ρυπασμένων εδαφών και υπόγειων υδάτων που βασίζεται στη διαπίστωση ότι τα φυτά έχουν τη δυνατότητα να προσλαμβάνουν και να διασπούν τοξικές οργανικές ουσίες, τόσο απ' το έδαφος όσο και από την ατμόσφαιρα. Τα φυτά μπορεί να εξασθενίσουν ή να υποβιβάσουν οργανικούς ρύπους, ή να αφαιρέσουν και να σταθεροποιήσουν ρύπους μετάλλων. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μέσω μίας μεθόδου ή συνδυασμό μεθόδων φυτοεξυγίανσης. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται στη φυτοεξυγίανση ρύπων

από μέταλλα είναι λίγο διαφορετικές απ' αυτές που χρησιμοποιούνται στην εξυγίανση περιοχών μολυσμένων με οργανικούς ρύπους [48,110].

Το πρώτο σύστημα επεξεργασίας αστικών λυμάτων βασιζόμενο στη χρήση φυτών, λειτούργησε στη Γερμανία στις αρχές του 17^{ου} αιώνα [48,53].

Η τεχνολογία αυτή εμπνεύστηκε από τις αναρίθμητες φυσικές, χημικές και βιολογικές αλληλεπιδράσεις που συμβαίνουν ανάμεσα στα φυτά και στο περιβαλλοντικό μέσο. Η φυτοεξυγίανση εξελίσσεται σε ένα μέσο οικονομικά αποδοτικό της διαχείρισης απορριμμάτων, αλλά ιδιαίτερα στους πετρελαϊκούς υδρογονάνθρακες, πολυκυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες, εκρηκτικά, οργανικά υλικά και βαρέα μέταλλα. Εφαρμογές της έχουν δοκιμαστεί για τον καθαρισμό μολυσμένου εδάφους, νερού και αέρα [54,55].

Διάφορα χαρακτηριστικά κάνουν τη φυτοεξυγίανση μια ελκυστική εναλλακτική μέθοδο σε πολλές, επί του παρόντος εμπειρικές, *in situ* και *ex situ* τεχνολογίες. Αυτές συμπεριλαμβάνουν χαμηλό κεφάλαιο και διατήρηση χαμηλού κόστους, εύκολο ξεκίνημα, υψηλή δημόσια αποδοχή και την ευχάριστη τοπιογραφία όπου αναφάινεται ως τελικό προϊόν. Η μέθοδος δηλαδή αυτή μπορεί να εξασφαλίσει μία οικονομικά αποδοτική, μακράς διάρκειας και καλαισθητή λύση για την εξυγίανση μολυσμένων περιοχών [19,55-57].

Η φυτοεξυγίανση εξαρτάται απ' τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ εδάφους, φυτών, ρύπων και μικροοργανισμών. Επίσης η αποτελεσματικότητα της φυτοεξυγίανσης εξαρτάται και από διάφορους εξωγενείς παράγοντες όπως το κλίμα, το έδαφος και η υδρογεωλογία της περιοχής [37].

Για τη φυτοεξυγίανση το ιδανικό φυτό θα πρέπει να κατέχει πολλαπλές ιδιότητες όπως γρήγορη ανάπτυξη, να έχει υψηλή βιομάζα, βαθιές ρίζες, να είναι εύκολο στη συγκομιδή και θα πρέπει να ανέχεται και να συσσωρεύει μία εκτεταμένη ποσότητα βαρέων μετάλλων στα υπέργεια και συγκομιδητικά μέρη του [21,58].

Τις τελευταίες δεκαετίες, στρατηγικές φυτοεξυγίανσης έχουν εξεταστεί ως μέσο για τον καθαρισμό ενός αριθμού από οργανικούς (υδρογονάνθρακες, διαλύτες, εντομοκτόνα) και ανόργανους (βαρέα μέταλλα) ρυπαντές, χλωριωμένους διαλύτες, αγροχημικά, πολυκυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες, πολυχλωριωμένα διφαινύλια, εκρηκτικά και ραδιονουκλειικά. Αυτοί οι διαλυτοί οργανικοί και ανόργανοι ρύποι, οι οποίοι μετακινούνται μέσα στις φυτικές ρίζες ή στη ριζόσφαιρα μέσω της διαδικασίας διάχυσης της ροής της μάζας, εμφανίζεται να είναι σχεδόν υπόλογοι στη διαδικασία της φυτοεξαγωγής. Σε αρκετές περιπτώσεις, φυτά και/ή τα ακόλουθα ριζοσφαιρικά μικρόβια τους έχουν δείξει να μεταφέρουν κάποια χημικά μείγματα σε κάποιο βαθμό. Τα φυτά είναι γνωστό ότι απομονώνουν, αλλοιώνουν και διεγείρουν τη χημική αποικοδόμηση των οργανικών ρυπαντών στο έδαφος. Η απομόνωση των βαρέων μετάλλων απ' τα φυτά είναι μία αποτελεσματική μέθοδος μείωσης της μόλυνσης του εδάφους από αυτά [48,55,59-78].

Τέλος, η φυτοεξυγίανση μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την εξυγίανση της ατμόσφαιρας μέσω των φύλλων των φυτών τα οποία καλύπτονται με κηρώδεις ουσίες οι οποίες ευνοούν την προσρόφηση λιποφιλικών πτητικών οργανικών ουσιών, όπως οι αρωματικοί

υδρογονάνθρακες και συμβάλουν με αυτό τον τρόπο στον περιορισμό της συγκέντρωσης αυτών των ουσιών στην ατμόσφαιρα [48,79].

Όπως με τις περισσότερες νέες τεχνολογίες η φυτοεξυγίανση έχει πολλά υπέρ και κατά. Όταν συγκρίνεται με άλλες παραδοσιακές μεθόδους περιβαλλοντικής εξυγίανσης γίνεται σαφέστερο ποιά είναι τα σχετικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Μια συνοπτική αναφορά στα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι τα παρακάτω [48,110,111]:

Πλεονεκτήματα φυτοεξυγίανσης σε σχέση με τις κλασσικές μεθόδους εξυγίανσης:

- επιτυγχάνει την επεξεργασία των ρυπαντών (κυρίως των οργανικών) σε απλούστερες και λιγότερο τοξικές ενώσεις
- επεξεργασία in situ χωρίς να προκαλεί περιβαλλοντικές διαταραχές
- είναι πιθανότερο να γίνει αποδεχτό απ' την κοινή γνώμη δεδομένου ότι είναι αισθητικά πιο ευχάριστο από τις παραδοσιακές μεθόδους
- ανάκτηση των συσσωρευμένων στη φυτική βιομάζα, βαρέων μετάλλων (phytomining)
- είναι οικονομικότερα βιώσιμη μέθοδος διότι χρησιμοποιεί τα ίδια εργαλεία και εφόδια με τη γεωργία και είναι λιγότερο αποδιοργανωτική στο περιβάλλον καθώς χρησιμοποιεί φυτικά είδη που ήδη υπάρχουν στην περιοχή (γηγενή)
- περιοχές διάθεσης δεν απαιτούνται
- έχει τη δυνατότητα εξυγίανσης περιοχών μολυσμένων με περισσότερους από έναν τύπο ρύπων
- αποφεύγει την εκσκαφή και τη μεταφορά των μολυσμένων μέσων που μειώνουν έτσι τον κίνδυνο διάδοσης της μόλυνσης
- τα φυτά μπορούν εύκολα να ελεγχθούν για να εξασφαλίσουν κατάλληλη ανάπτυξη
- τα πολύτιμα μέταλλα μπορούν να ανακτηθούν και να επαναχρησιμοποιηθούν μέσω της φυτοεξυγίανσης
- είναι η λιγότερο καταστρεπτική μέθοδος εξυγίανσης επειδή χρησιμοποιεί φυσικούς οργανισμούς
- συντηρεί τη φυσική κατάσταση του περιβάλλοντος

Μειονεκτήματα φυτοεξυγίανσης σε σχέση με τις κλασσικές μεθόδους εξυγίανσης:

- δυσκολία πρόβλεψης της απόδοσης
- εφαρμογή της σε σχετικά περιορισμένο βάθος ρύπανσης
- απαιτείται μεγάλη χρονική διάρκεια για την ολοκλήρωσή της
- εξαρτάται απ' τις φυσικοχημικές και περιβαλλοντικές συνθήκες της περιοχής, δηλαδή τις συνθήκες ανάπτυξης που απαιτούνται από τα φυτά όπως κλίμα, γεωλογία, ύψος, θερμοκρασία
- η συχνά μη επιτυχής μετάβαση απ' τις εργαστηριακές έρευνες στις επικρατούσες συνθήκες στην περιοχή της ρύπανσης
- η επιτυχία εξαρτάται από την ανθεκτικότητα των φυτών στο ρύπο

- οι ρύποι που συλλέγονται στους ιστούς ενδέχεται να απελευθερωθούν πίσω στο περιβάλλον το φθινόπωρο
- οι ρύποι μπορεί να συλλεχθούν στους ξύλινους ιστούς που χρησιμοποιούνται ως καύσιμα
- η διαλυτότητα των ρύπων μπορεί να αυξηθεί οδηγώντας σε μεγαλύτερη περιβαλλοντική ζημιά και στη δυνατότητα διήθησης τους
- η εξυγίανση είναι περιορισμένη στην περιοχή που καλύπτεται από τα βάρη των ριζών
- αργός ρυθμός ανάπτυξης και μικρή βιομάζα συνεπάγεται μεγάλα χρονικά διαστήματα δέσμευσης του ρύπου
- απειλή βιοσυσσώρευσης των ρύπων όπως τα βαρέα μέταλλα από πρωτογενής σε δευτεροβάθμιους καταναλωτές στην τροφική αλυσίδα

3.2.1 Μορφές Φυτοεξυγίανσης

Η φυτοεξυγίανση είναι μία μέθοδος καθαρισμού που βασίζεται στη χρήση φυτών για την απομάκρυνση, συγκράτηση και σταθεροποίηση των ρύπων. Τα φυτά μπορεί να χρησιμοποιηθούν για την ακινητοποίηση των οργανικών ενώσεων στις ρίζες, αλλά και για τη συγκέντρωση των μετάλλων και άλλων ανόργανων ενώσεων του εδάφους στο βλαστό τους. Γενικότερα, η μέθοδος αυτή μπορεί να εφαρμοσθεί σε περιοχές με μικρή σχετικά συγκέντρωση μετάλλων και ο τύπος του εδάφους να βοηθά στην ανάπτυξη των φυτών. Οι εφαρμογές της περιορίζονται έως το βάθος των ριζών και απαιτεί μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα σε σχέση με άλλες τεχνολογίες [22].

Υπάρχουν διάφορες μορφές φυτοεξυγίανσης, αυτές που περιγράφονται παρακάτω εφαρμόζονται σε εδάφη ρυπασμένα από μέταλλα.

3.2.1.1 Φυτοεξαγωγή (phytoextraction)

Φυτοεξαγωγή είναι η διαδικασία λήψης των μεταλλικών ρύπων από το έδαφος μέσω των φυτικών ριζών και η μεταφορά τους στους ανωτέρω φυτικούς ιστούς. Δεδομένου ότι τα διαφορετικά είδη φυτών έχουν διαφορετικές δυνατότητες λήψης, μεταφοράς και αντίστασης στους ρύπους μπορούν σε περιοχές που είναι μολυσμένες με περισσότερους από έναν ρύπους, να χρησιμοποιηθούν διάφορα είδη φυτών ανάλογα την περίπτωση [110].

Η απομόνωση των ρυπαντών εντός των φυτών είναι η βάση για τη φυτοεξαγωγή εδαφών και υδάτων μολυσμένων με βαρέα μέταλλα. Τα μέταλλα που στοχεύονται από αυτή τη διαδικασία συμπεριλαμβάνουν Cd, Pb, Zn, Cu, Cr, Ni, Se και Hg. Στη φυτοεξαγωγή χρησιμοποιούνται φυτά υπερσυσσωρευτές και αποδεικνύεται να είναι μία από τις πιο αποτελεσματικές μεθόδους φυτοεξυγίανσης για τον καθαρισμό ρυπασμένων περιοχών με μέταλλα. Διάφορα είδη φυτών, συμπεριλαμβανομένου του *Thlaspi sp.*, έχουν δείξει ότι συσσωρεύουν πολύ υψηλά επίπεδα Ni, Zn και Cd από τα εδάφη [55,61,80-82].

Τα φυτά αυτά που χρησιμοποιούνται στη μέθοδο της φυτοεξαγωγής απορροφούν, συγκεντρώνουν και μεταφέρουν τη ρύπανση από το έδαφος στην υπέργεια βιομάζα τους (βλαστούς, φύλλα κ.τ.λ.). Το βασικότερο πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ότι ο ρύπος απομακρύνεται μόνιμα από το έδαφος κατά τη συγκομιδή του.

Τα φυτά αυτά θα πρέπει να έχουν τα παρακάτω χαρακτηριστικά για να είναι εφαρμόσιμη η μέθοδος αυτή:

- να απορροφούν οι ρίζες τους σχετικά μεγάλες ποσότητες μετάλλων
- να παράγουν μεγάλη ποσότητα φυτικής βιομάζας
- να μεταφέρουν στα υπέργεια τμήματα τους τα βαρέα μέταλλα
- να είναι ανεκτικά στη συσσώρευση υψηλών ποσοτήτων μετάλλου στους βλαστούς τους
- να έχουν γρήγορο ρυθμό ανάπτυξης, υψηλό ρυθμό εξατμισοδιαπνοής και βαθύ ριζικό σύστημα
- να μετατρέπουν το ρυπαντή σε μη τοξικά παράγωγα
- να έχουν την ικανότητα να συσσωρεύουν υψηλές συγκεντρώσεις μετάλλων στη βιομάζα τους [37,48,83]

Η φυτοεξαγωγή μπορεί να επιτευχθεί με τη φύτευση δένδρων, ποών και βρώσιμων φυτών. Τα δέντρα επειδή έχουν υψηλή παραγωγή βιομάζας χρησιμοποιούνται για απομάκρυνση μεγάλων ποσοτήτων ρύπων, αλλά απαιτείται μακροχρόνια επεξεργασία του εδάφους και από την πτώση των φύλλων μπορεί να προκληθεί επιπρόσθετο πρόβλημα. Οι πόες έχουν μικρή παραγωγή βιομάζας επομένως και χαμηλή απομάκρυνση ρύπων. Η χρήση βρώσιμων φυτών ερευνάται, με δυνατότητα συσσώρευσης ρύπων στις ρίζες και στο βλαστό τους, διότι παρουσιάζουν υψηλή παραγωγή βιομάζας και σχετικά υψηλούς ρυθμούς ανάπτυξης. Το μειονέκτημα των βρώσιμων φυτών είναι ότι απειλούν την τροφική αλυσίδα [22].

Γενικότερα η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται κυρίως σε περιπτώσεις ρυπασμένων εδαφών με βαρέα μέταλλα. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω τα φυτά που χρησιμοποιούνται έχουν μεγάλη ικανότητα συσσώρευσης των ρύπων και μεταφέρουν τα μέταλλα από το έδαφος στις ρίζες, στο βλαστό και τα φύλλα τους. Μετά από κάποιο χρονικό διάστημα τα φυτά αυτά θερίζονται και στη συνέχεια είτε ξηραίνονται, είτε συμπιέζονται, είτε καίγονται. Η διαδικασία της συγκομιδής επαναλαμβάνεται αρκετές φορές εωσότου μειωθεί η μόλυνση στα αποδεκτά επίπεδα. Το συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι στη φυτοεξαγωγή, διαμέσω της λήψης και της συσσώρευσης των μετάλλων μέσα στους φυτικούς βλαστούς, όπου μπορούν τότε να μαζευτούν και να μεταφερθούν από τη περιοχή, επιτυγχάνεται η μόνιμη απομάκρυνση του ρύπου από το έδαφος. Ενώσεις μετάλλων που έχουν επιτυχώς φυτοεξαχθεί συμπεριλαμβάνουν τον ψευδάργυρο, το χαλκό και το νικέλιο, αλλά υπάρχει ελπιδοφόρα έρευνα που ολοκληρώνεται σε φυτά που απορροφούν χρώμιο και μόλυβδο [19,22,48,83,110].

3.2.1.2 Φυτοσταθεροποίηση (Phytostabilization)

Η φυτοσταθεροποίηση περιλαμβάνει μηχανισμούς οι οποίοι στοχεύουν στην αδρανοποίηση και απομόνωση του ρυπαντή ώστε να παρεμποδιστεί η μετανάστευσή του απ' το έδαφος στο υπόγειο νερό ή στην ατμόσφαιρα. Τα φυτά μέσω των ριζών τους εκκρίνουν ουσίες οι οποίες ευνοούν μηχανισμούς όπως η χουμοποίηση (δέσμευση του ρυπαντή στα χουμικά συστατικά του εδάφους), η λιγνιτοποίηση (δέσμευση στα κυτταρικά τοιχώματα των ριζών) και δέσμευση στα εδαφικά σωματίδια [48,49].

Η μέθοδος αυτή βασίζεται στη χρήση φυτών για σταθεροποίηση των ρύπων, όπου χρησιμοποιούνται στην ελαχιστοποίηση της κινητικότητας του μετάλλου. Τα φυτά αυτά περιορίζουν την κινητικότητα και βιοδιαθεσιμότητα των μετάλλων στο έδαφος. Φυτοσταθεροποιητικά φυτά χαρακτηρίζονται τα φυτά που είναι ανθεκτικά στα ρυπασμένα εδάφη και ακινητοποιούν τους ρύπους στο έδαφος με αντιδράσεις ρόφησης, καταβύθισης, συμπλοκοποίησης και αναγωγής. Επίσης παρουσιάζουν χαμηλά επίπεδα συσσώρευσης ρύπων στο βλαστό τους για να μην παράγονται επικίνδυνα απορρίμματα από τα υπολείμματα των θερισμένων βλαστών [19,22].

Με τη χρήση φυτών περιορίζεται η κινητικότητα των ρυπαντών και η βιοδιαθεσιμότητα τους στο έδαφος.

Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου αυτής είναι:

- δε χρειάζεται να απομακρυνθεί ο ρύπος
- είναι αποτελεσματική όταν απαιτείται γρήγορη ακινητοποίηση του ρύπου
- επιφέρει μείωση της διάβρωσης του εδάφους

Τα μειονεκτήματα της μεθόδου αυτής είναι:

- ο ρύπος παραμένει στο έδαφος
- απαιτείται προσθήκη εδαφοβελτιωτικών ουσιών όπου μπορεί και εκεί να οφείλεται η σταθεροποίηση των ρύπων
- χρειάζεται παρακολούθηση με μετρήσεις. Χρησιμοποιούνται κυρίως φυτά αγρωστώδη της οικογένειας Graminae [37].

Τέλος, η φυτοσταθεροποίηση είναι η χρήση ορισμένων φυτών για την ακινητοποίηση των ρύπων σε έδαφος και νερό. Ο ρύπος απορροφάται και συσσωρεύεται από τις ρίζες, απορροφάται επάνω στις ρίζες ή κατακρημνίζεται στη ριζόσφαιρα. Αυτό μειώνει ή ακόμα και αποτρέπει την κινητικότητα των ρύπων εμποδίζοντας τη μετανάστευση στα υπόγεια νερά ή τον αέρα, και μειώνει επίσης τη βιοδιαθεσιμότητα των ρύπων παρεμποδίζοντας έτσι τη διάδοση μέσω της τροφικής αλυσίδας. Αυτή η τεχνική μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για να επανεγκαθιδρύσει μια κοινότητα φυτών στις περιοχές που έχουν απογυμνωθεί λόγω των υψηλών επιπέδων της ρύπανσης με μέταλλα. Μόλις ιδρυθεί μια κοινότητα των ανεκτικών ειδών η δυνατότητα για αέρια διάβρωση (και έτσι του ρύπου) μειώνεται όπως επίσης και η διύλιση των εδαφικών ρύπων [110].

3.2.1.3 Ριζοδιήθηση (rhizofiltration)

Ριζοδιήθηση είναι η ρόφηση ρυπαντών που βρίσκονται σε υδατικά διαλύματα στις φυτικές ρίζες [48].

Χρησιμοποιούνται φυτά (υδρόβια ή ξηρικά) που απορροφούν, συγκεντρώνουν και καθιζάνουν τους ρύπους, από υδατικές πηγές στις ρίζες τους. Χρησιμοποιείται για τα μέταλλα Pb, Cd, Cu, Ni, Zn και Cr τα οποία αρχικά συγκρατούνται ανάμεσα στις ρίζες. Το πλεονέκτημα της διαδικασίας αυτής είναι η χρήση χερσαίων και υδρόβιων φυτών για εφαρμογές *in situ* και *ex situ*. Επίσης δεν είναι αναγκαίο οι ρύποι να μεταφερθούν στους βλαστούς [37].

Με τη χρήση κατάλληλων φυτών επιτυγχάνεται η προσρόφηση, συγκέντρωση και καταβύθιση μετάλλων από υδατικά απόβλητα, τα οποία μπορεί να περιλαμβάνουν και εκχυλίσματα του εδάφους. Χερσαία είδη φυτών χρησιμοποιούνται αντί υδατικών ειδών, διότι αναπτύσσουν μακρύτερα ινοειδή συστήματα ριζών που καλύπτουν μεγάλη επιφάνεια. Οι υδροβιότοποι που έχουν αναπτυχθεί για την επεξεργασία ρυπασμένων υδατικών αποβλήτων είναι ένα παράδειγμα ριζοδιήθησης. Είναι μια οικονομικά ανταγωνιστική τεχνολογία στην επεξεργασία υδατικών αποβλήτων χαμηλής περιεκτικότητας σε μέταλλα [22].

3.2.1.4 Φυτοεξαέρωση (phytovolatilization)

Τα φυτά προσλαμβάνουν τους ρύπους απ' το έδαφος, τους μετατρέπουν σε πτητικές μορφές και τους διαπνέουν στην ατμόσφαιρα. Επιτυγχάνεται η εξυγίανση χωρίς να είναι απαραίτητη η συγκομιδή του φυτικού υλικού. Η τεχνική αυτή εφαρμόζεται κυρίως για τον υδράργυρο. Το πλεονέκτημα είναι ότι ναι μεν ο ρύπος μετατρέπεται σε μια λιγότερο τοξική μορφή, αλλά με το να ελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα μπορεί να ανακυκλωθεί και να αποτεθεί πάλι σε ποτάμια και λίμνες. [37,48,79].

Φυτοεξαέρωση είναι η διαδικασία όπου τα φυτά λαμβάνουν τους ρύπους που είναι υδατοδιαλυτοί και τους απελευθερώνουν στην ατμόσφαιρα κατά τη διαπνοή του νερού. Ο ρύπος μπορεί να αλλαχθεί κατά μήκος της διαδρομής, καθώς το νερό ταξιδεύει κατά μήκος του αγγειακού συστήματος του φυτού από τις ρίζες στα φύλλα, με το οποίο οι ρύποι εξατμίζονται ή εξαερώνονται στον αέρα που περιβάλλει τα φυτά. Υπάρχουν ποικίλοι βαθμοί επιτυχίας με τα φυτά ως φυτοεξαερωτικά με μια μελέτη που παρουσιάζει δέντρα λεύκες να εξατμίζουν μέχρι 90% του TCE που απορροφούν [110].

3.2.1.5 Φυτοδιάσπαση (phytodegradation)

Είναι η διαδικασία που οδηγεί στη διάσπαση/ αποδόμηση του ρυπαντή. Η διάσπασή του πραγματοποιείται είτε εντός του φυτού μέσω μεταβολικών διεργασιών, είτε εξωτερικά στην περιοχή της ρίζας μέσω της παραγωγής ενζύμων. Μετά τη διάσπαση του ρυπαντή, πραγματοποιείται η ενσωμάτωσή

του στους φυτικούς ιστούς. Ανάλογα το είδος του φυτού και του ρυπαντή, σε ορισμένες περιπτώσεις, τα τελικά προϊόντα της διάσπασης ελευθερώνονται στο περιβάλλον [48].

Φυτοδιάσπαση είναι η υποβάθμιση ή η διάσπαση των οργανικών ρύπων από εσωτερικές και εξωτερικές μεταβολικές διαδικασίες που οδηγούνται από τα φυτά. Οι *ex planta* μεταβολικές διαδικασίες υδρολύουν τις οργανικές ενώσεις στις μικρότερες μονάδες που μπορούν να απορροφηθούν από τα φυτά. Μερικοί ρύποι μπορούν να απορροφηθούν από τα φυτά και αποσταθεροποιούνται έπειτα από τα φυτικά ένζυμα. Αυτά τα μικρότερα μολυσματικά μόρια μπορούν έπειτα να χρησιμοποιηθούν ως μεταβολίτες από τα φυτά καθώς αναπτύσσονται και κατά συνέπεια ενσωματώνονται στους φυτικούς ιστούς. Τα φυτικά ένζυμα έχουν προσδιοριστεί ότι διασπούν απόβλητα πυρομαχικών, χλωριωμένους διαλύτες όπως TCE (Trichloroethane), και άλλα που υποβιβάζουν οργανικά ζιζανιοκτόνα [110].

3.2.1.6 Ριζοδιάσπαση (rhizodegradation)

Στη ριζόσφαιρα αναπτύσσονται μικροβιακοί πληθυσμοί οι οποίοι διασπούν τους οργανικούς ρυπαντές στο έδαφος και τους χρησιμοποιούν ως θρεπτικό υπόστρωμα για την ανάπτυξή τους. Μέσω των ριζών των φυτών εκκρίνονται ουσίες και μεταφέρεται οξυγόνο και νερό, στοιχεία απαραίτητα για τη μικροβιακή ανάπτυξη, έτσι ευνοείται η διαδικασία της εξυγίανσης [48].

Ριζοδιάσπαση είναι η διάσπαση των οργανικών ρύπων στο έδαφος από τους μικροβιακούς πληθυσμούς του εδάφους που ενισχύονται από την παρουσία της ριζόσφαιρας. Ορισμένοι μικροβιακοί πληθυσμοί αφομοιώνουν τους οργανικούς ρύπους όπως τα καύσιμα και οι διαλύτες, παράγοντας τα αβλαβή προϊόντα μέσω μιας διαδικασίας γνωστής ως βιοεξυγίανση. Τα εκκρίματα της ρίζας των φυτών όπως τα σάκχαρα, οι αλκοόλες και τα οργανικά οξέα ενεργούν ως πηγές υδατανθράκων για τη μικροχλωρίδα του εδάφους και ενισχύουν τη μικροβιακή ανάπτυξη και δραστηριότητα. Οι ρίζες των φυτών χαλαρώνουν επίσης το χώμα και μεταφέρουν νερό στη ριζόσφαιρα έτσι ενισχύοντας επιπρόσθετα τη μικροβιακή δραστηριότητα [110].

3.3 Συμπεράσματα των τεχνικών φυτοεξυγίανσης

Οι τεχνικές αποκατάστασης των εδαφών με κριτήριο το στόχο διακρίνονται σε:

- α) τεχνικές περιορισμού της διάδοσης της ρύπανσης στην ευρύτερη περιοχή
- β) σταθεροποίηση των ρύπων ώστε να είναι ακίνδυνοι για το περιβάλλον
- γ) τεχνικές απομάκρυνσης ή καταστροφής των ρύπων

Οι τεχνικές αποκατάστασης εδαφών με κριτήριο τον τρόπο εφαρμογής διακρίνονται σε:

- α) επί τόπου επεξεργασία των ρυπασμένων εδαφών (*in situ*)

β) στην επεξεργασία των ρυπασμένων εδαφών με εκσκαφή της ρυπασμένης περιοχής (ex situ)

Οι μέθοδοι απομάκρυνσης των ρύπων χαρακτηρίζονται ως καλύτερες συγκριτικά με τις τεχνολογίες περιορισμού της διάδοσης των ρύπων και της σταθεροποίησης, επειδή απομακρύνουν τους ρύπους απ' το έδαφος και αποτελούν την οριστικότερη λύση για την αποκατάσταση μιας ρυπασμένης περιοχής.

Τέλος, η φυτοεξυγίανση, είναι μια νέα τεχνολογία κατάλληλη για την αποκατάσταση περιοχών με εκτεταμένη ρύπανση, όπου η συγκέντρωση των ρύπων είναι σχετικά χαμηλή και το βάθος της ρύπανσης μικρό, μέχρι τα όρια ανάπτυξης του συστήματος των ριζών. Είναι μία τεχνολογία που βρίσκεται σε εξέλιξη και στο μέλλον ενδέχεται να αποτελέσει μία καλή εναλλακτική λύση [22].

3.4 Φυτοεξυγίανση ανόργανων ρυπαντών με χρήση φυτών – υπερσυσσωρευτών

3.4.1 Γενικά

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, τα βαρέα μέταλλα είναι ουσίες που παραμένουν σχετικά αμετάβλητες χωρίς να υφίστανται σημαντικές βιολογικές και φυσικοχημικές μεταβολές και ο προσδιορισμός και ανίχνευση είναι σχετικά εύκολος [48].

Στη φυτοεξυγίανση βαρέων μετάλλων χρησιμοποιούνται φυτά με υψηλή ικανότητα συσσώρευσης μετάλλων στη βιομάζα τους τα οποία ονομάζονται υπερσυσσωρευτές. [48,84].

Τα μέταλλα σε υψηλές συγκεντρώσεις έχουν τοξική επίδραση στους οργανισμούς. Τα φυτά ανάλογα με το είδος τους χρησιμοποιούν διάφορα μέταλλα για τις ανάγκες της φυσιολογικής λειτουργίας τους όπως Zn, Mg, Mn, Cu, Fe, Co. Έχουν βρεθεί φυτά που συσσωρεύουν στη βιομάζα τους μέταλλα που δεν είναι απαραίτητα για τη λειτουργία τους, όπως Ni, Cd, Se, Pb [48,85,86].

Επισημαίνεται ξανά ότι τα φυτά που χρησιμοποιούνται στην φυτοεξυγίανση ανόργανων ρυπαντών θα πρέπει να έχουν τα εξής χαρακτηριστικά [48,87]:

- α) υψηλό ρυθμό αύξησης της βιομάζας τους
- β) ικανότητα πρόσληψης υψηλών συγκεντρώσεων ρυπαντών μέσω των ριζών
- γ) ικανότητα μεταφοράς των ρυπαντών στο υπέργειο τμήμα του φυτού

3.4.2 Χαρακτηριστικά φυτών – υπερσυσσωρευτών

Γενικά, φυτικά είδη υπερσυσσωρευτές μετάλλων είναι βοτανώδη με μικρό βλαστό και ριζικό σύστημα. Επειδή μπορούν να εξαγάγουν μέταλλα μόνο απ' τα επιφανειακά στρώματα, η χρησιμότητα τους σε συστήματα

υγειονομικής ταφής απορριμμάτων είναι περιορισμένη. Είναι αρκετά γνωστό ότι ένα μόνο φυτικό είδος δεν μπορεί να συσσωρεύσει όλα τα τοξικά μέταλλα. Για παράδειγμα, η ανάπτυξη υπερσυσσωρευτή νικελίου μπορεί να περιοριστεί απ' την παρουσία του μολύβδου, όπου κάνει το πρόγραμμα εξυγίανσης λιγότερο αποτελεσματικό. Για να ξεπεραστεί αυτό το πρόβλημα, φυτά που υπερσυσσωρεύουν ένα μέταλλο και είναι ανεκτικά σε άλλα μέταλλα πρέπει να χρησιμοποιούνται. Φυτά ικανά να συσσωρεύουν αρκετά μέταλλα είναι επίσης κατάλληλα. Η έρευνα λοιπόν θα πρέπει να επικεντρωθεί σε αυτές τις κατευθύνσεις [55].

Πάνω από τετρακόσια φυτά είναι γνωστά ως υπερσυσσωρευτές μετάλλων, όπου μπορούν να συσσωρεύουν υψηλές συγκεντρώσεις μετάλλων μέσα στην υπέργεια βιομάζα τους. Αυτά τα φυτά συμπεριλαμβάνουν δέντρα, καλλιεργούμενα λαχανικά, χόρτα και αγριόχορτα. Βασισμένο στους Baker and Brooks (1989), υπερσυσσωρευτές ορίζονται τα φυτά που συσσωρεύουν περισσότερο από 1000 mg/Kg Cu, Co, Cr, Ni ή Pb, ή περισσότερο από 10.000 mg/kg Mn ή Zn. Υπερσυσσωρευτές των Co (26 είδη), Cu (24), Mn (8), Ni (145), Pb (5) και Zn (4) έχουν αναφερθεί [19,88].

Τα είδη φυτών – υπερσυσσωρευτών είναι αυτά που απορροφούν μεγαλύτερες ποσότητες ρύπων από τα άλλα είδη και χρησιμοποιούνται σε αρκετές περιπτώσεις λόγω της αντοχής τους σε σχετικά υψηλά επίπεδα ρύπανσης [110].

3.4.3 Παραδείγματα φυτών – υπερσυσσωρευτών

Το *Brassica juncea* έχει βρεθεί ότι είναι ένα έξοχο φυτό συσσωρευτής για μέταλλα όπως Cd, Cr, Ni, Zn και Cu στα εδάφη και διάφορα φυτικά είδη έχουν δείξει ότι συσσωρεύουν Pb [55,61,62,89,90].

Οι πέντε υπερσυσσωρευτές Pb συμπεριλαμβάνουν τα *Armeria martima*, *Thlaspi rotundifolium*, *Thlaspi alpestre*, *Alyssum wulfenianum* και *Polycarpala synandra*. Η λήψη του μετάλλου απ' το φυτό επηρεάζεται από εδαφικούς παράγοντες συμπεριλαμβανομένου του pH, οργανικά υλικά και ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων ως επίσης και απ' το είδος του φυτού, της καλλιέργειας και της ηλικίας του. Η κινητικότητα και διαθεσιμότητα των βαρέων μετάλλων στο έδαφος είναι γενικά χαμηλή, ιδιαίτερα όταν το έδαφος έχει υψηλό pH, λάσπη και οργανικά υλικά [19,91,92].

3.5 Φυτοεξυγίανση σε χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων

Η επιτυχία της φυτοεξυγίανσης εξαρτάται απ' την ανάπτυξη των φυτών. Περισσότερος χρόνος μπορεί να απαιτείται για τη φυτοεξυγίανση μιας περιοχής συγκρίνοντας με τις συμβατικές τεχνολογίες καθαρισμού. Η εκσκαφή και η υγειονομική ταφή απορριμμάτων, ή η αποτέφρωση μπορεί να χρειάζεται εβδομάδες έως μήνες να ολοκληρωθεί ενώ η φυτοεξαγωγή ή η χημική αποικοδόμηση μπορεί να χρειάζεται αρκετά χρόνια. Συνεπώς για περιοχές έντονου κινδύνου για τον άνθρωπο και άλλων οικολογικών δεκτών, η

φυτοεξυγίανση μπορεί να μην είναι η τεχνική της επιλογής. Η επαφή της ρίζας είναι ένας κύριος περιορισμός στην εφαρμοσιμότητα της φυτοεξυγίανσης. Η εξυγίανση με φυτά απαιτεί οι ρύποι να είναι σε επαφή με τη ριζική ζώνη των φυτών. Αλλιώς τα φυτά πρέπει να είναι ικανά να εκτείνουν τις ρίζες τους ως τους ρύπους ή τα μολυσμένα μέσα θα πρέπει να μετακινηθούν στη ριζόσφαιρα των φυτών. Υψηλές συγκεντρώσεις ρύπων μπορεί να αναστείλουν την ανάπτυξη του φυτού και λόγω αυτού έχει περιορισμένη εφαρμογή σε κάποιες περιοχές ή κάποια τμήματα περιοχών. Αυτή η φυτοτοξικότητα μπορεί να δικαιολογεί στρωματική προσέγγιση εξυγίανσης στην οποία υψηλή συγκέντρωση απορριμμάτων είναι καθοδηγούμενη με ακριβές *ex situ* τεχνικές όπως εκσκαφή και υγειονομική ταφή απορριμμάτων, έκπλυση εδάφους από μοριακό διαχωρισμό, υαλοποίηση, θερμαντικός χειρισμός και ηλεκτροκινητική. Αυτά γρήγορα μειώνουν το έντονο ρίσκο ενώ *in situ* φυτοεξυγίανση μπορεί να χρησιμοποιείται για μεγαλύτερη χρονική περίοδο για τον καθαρισμό υψηλών ποσοτήτων από χαμηλότερες συγκεντρώσεις ρύπων. Περιοχές με εκτεταμένη, μεσαίου επιπέδου μόλυνση εντός της ριζικής ζώνης είναι ενδεχομένως υποψήφιες για διαδικασίες φυτοεξυγίανσης [55,62,93-98].

Το υψηλό ενδεχόμενο για επιτυχή βιοσταθεροποίηση με τη χρήση των δέντρων λεύκας έχει αποδειχθεί από αρκετούς ερευνητές. Σειρές από γρήγορα αναπτυσσόμενες λεύκες με βαθιές ρίζες έχει φανεί ότι απορροφούν και αποπνέουν μεγάλες ποσότητες νερού από τις ρίζες μέσω των βλαστών στην ατμόσφαιρα. Η εφαρμογή δέντρων όπως οι λεύκες στον έλεγχο της κίνησης του υπόγειου νερού σε χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων βρίσκεται ακόμη σε εξέλιξη. Αυτή μπορεί να είναι μία αποτελεσματική μέθοδος στην ακινητοποίηση της υδατοδιαλυτής μόλυνσης και εμπόδισης της μετανάστευσης και μπορεί να μη μετακινεί ρυπαντές όπως βαρέα μέταλλα από τη τοποθεσία [55,99,100].

3.6 Χρήση γηγενών φυτών στη φυτοεξυγίανση

Είναι σημαντική η χρήση γηγενών φυτών στη φυτοεξυγίανση, γιατί τα φυτά αυτά έχουν συνήθως καλύτερους όρους επιβίωσης, ανάπτυξης και αναπαραγωγής κάτω από περιβαλλοντική πίεση, από ότι τα φυτά που εισάγονται από άλλο περιβάλλον. Υπάρχει ένα συνεχές ενδιαφέρον στην αναζήτηση γηγενών φυτών όπου είναι ανεκτικά σε βαρέα μέταλλα, ωστόσο, λίγες μελέτες έχουν αποτιμήσει το ενδεχόμενο φυτοεξυγίανσης από γηγενή φυτά σε συνθήκες πεδίου [19,101,102].

Τα βαρέα μέταλλα μπορούν να προκαλέσουν σφοδρή φυτοτοξικότητα, και μπορεί να ενεργούν ως ισχυρή δύναμη για την εξέλιξη της ανεκτικότητας του φυτικού πληθυσμού. Επομένως είναι λογικό να προσδιορίσουμε φυτικά είδη ανεκτικά στα μέταλλα από ντόπια βλάστηση σε αγροτικές περιοχές όπου είναι μολυσμένες με διάφορα βαρέα μέταλλα [19].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

4.1 Περιγραφή πειράματος

Η πειραματική περίοδος διήρκησε περίπου 4 μήνες, από τις 15/09/2006 έως τις 8/01/2007. Το φυτικό είδος που επιλέχθηκε ήταν δυόσμος. Χρησιμοποιήθηκαν γλάστρες του 1 L, χώμα Blumenerde (της εταιρίας Klasmann – Deilmann GmbH με κύρια συστατικά τύρφη, κομπόστ και ίνες ξύλου, με πρόσθετο λίπασμα 1.5 Kg/m³ (CNPk 12:12:17:2), ηλεκτρική αγωγιμότητα 60 mS/m (+/- 25%) και τιμή pH (H₂O) 5,5 – 6,5), όπου φυτεύτηκαν ρίζες δυόσμου με βλαστό. Το χώμα κάθε γλάστρας επιμολύνθηκε στις 15/9/2006 με διάλυμα Cd, Ni ή Pb ως εξής:

Από πυκνά διαλύματα 4% (w/v) σε Cd, Ni και Pb σε απιονισμένο νερό παρασκευάστηκαν τελικά διαλύματα όγκου 100 mL με συγκεντρώσεις που παρουσιάζονται στον Πίνακα 1. Για την παρασκευή των διαλυμάτων χρησιμοποιήθηκαν νιτρικά άλατα των μετάλλων.

Πίνακας 1. Συγκεντρώσεις διαλυμάτων που χρησιμοποιήθηκαν για την επιμόλυνση των δειγμάτων με βαρέα μέταλλα.

| | | | | | |
|-----------------|-----|-----|------|------|------|
| Cd (ppm) | 100 | 200 | 400 | 800 | 1600 |
| Ni (ppm) | 200 | 400 | 800 | 1600 | 3200 |
| Pb (ppm) | 400 | 800 | 1600 | 3200 | 6400 |

ppm = mg/L

Από τις συγκεντρώσεις των διαλυμάτων στον Πίνακα 1 και τον όγκο του κάθε διαλύματος που χρησιμοποιήθηκε για την επιμόλυνση του χώματος συνάγεται ότι οι ολικές ποσότητες από τα βαρέα μέταλλα που προστέθηκαν στις γλάστρες ήταν αυτές που παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.

Πίνακας 2. Ολικές ποσότητες βαρέος μετάλλου στο χώμα.

| Διάλυμα (mg/L) | Ποσότητα (mg) βαρέος μετάλλου στο χώμα |
|-----------------------|-----------------------------------------------|
| Cd 100 ppm | 10 mg |
| Cd 200 ppm | 20 mg |
| Cd 400 ppm | 40 mg |
| Cd 800 ppm | 80 mg |
| Cd 1600 ppm | 160 mg |
| Ni 200 ppm | 20 mg |
| Ni 400 ppm | 40 mg |
| Ni 800 ppm | 80 mg |
| Ni 1600 ppm | 160 mg |
| Ni 3200 ppm | 320 mg |
| Pb 400 ppm | 40 mg |
| Pb 800 ppm | 80 mg |
| Pb 1600 ppm | 160 mg |
| Pb 3200 ppm | 320 mg |
| Pb 6400 ppm | 640 mg |

Τα τελικά διαλύματα των βαρέων μετάλλων χρησιμοποιήθηκαν για το πότισμα των αντίστοιχων γλαστρών, με τρόπο ώστε το διάλυμα να διαποτίσει κατά το δυνατόν ολόκληρο τον όγκο του χώματος ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή ομοιογένεια.

Χρησιμοποιήθηκαν 35 δείγματα, τα πέντε εκ των οποίων ήταν μάρτυρες και τα υπόλοιπα επιμολύνθηκαν ως εξής: 10 δείγματα με Cd, 10 δείγματα με Ni και 10 δείγματα με Pb. Για κάθε ποσότητα μετάλλου έγιναν δύο επαναλήψεις. Σε κάθε γλάστρα δόθηκε κωδικός σύμφωνα με τον Πίνακα 3. Οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων στο χώμα σε ppm αναφέρονται σε mg βαρέος μετάλλου ανά 1 Kg χώματος.

Πίνακας 3. Κωδική ονομασία που δόθηκε σε κάθε γλάστρα για τη διεξαγωγή του πειράματος.

| | | |
|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| - για τους μάρτυρες | Μάρτυρας 1 Μάρτυρας 2 Μάρτυρας 3 Μάρτυρας 4 Μάρτυρας 5 | |
| - για το κάδμιο | Cd 1a 10 ppm Cd 2a 20 ppm Cd 3a 40 ppm Cd 4a 80 ppm Cd 5a 160 ppm | Cd 1b 10 ppm Cd 2b 20 ppm Cd 3b 40 ppm Cd 4b 80 ppm Cd 5b 160 ppm |
| - για το νικέλιο | Ni 1a 20 ppm Ni 2a 40 ppm Ni 3a 80 ppm Ni 4a 160 ppm Ni 5a 320 ppm | Ni 1b 20 ppm Ni 2b 40 ppm Ni 3b 80 ppm Ni 4b 160 ppm Ni 5b 320 ppm |
| - για το μόλυβδο | Pb 1a 40 ppm Pb 2a 80 ppm Pb 3a 160 ppm Pb 4a 320 ppm Pb 5a 640 ppm | Pb 1b 40 ppm Pb 2b 80 ppm Pb 3b 160 ppm Pb 4b 320 ppm Pb 5b 640 ppm |

ppm = mg/Kg

Τα φυτά αναπτύχθηκαν κάτω από συνθήκες θερμοκηπίου στο Πάρκο Διάσωσης Χλωρίδας και Πανίδας με υπεύθυνη τη Δρ. Μελπομένη Σκουλά.

Τα φυτά ποτίζονταν δύο με τρεις φορές την εβδομάδα ανάλογα τις περιβαλλοντικές συνθήκες (ηλιοφάνεια, συννεφιά κ.τ.λ.). Η ποσότητα του νερού που προστίθονταν κατά το πότισμα ήταν τόση ούτως ώστε να μην υπάρχουν απώλειες βαρέων μετάλλων από τις απορροές.

Στις 16/09/2006, 23/09/2006, 30/09/2006, 14/10/2006, 21/10/2006, 25/11/2006, 9/12/2006 και 22/12/2006 πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις κάθε φορά μέχρι δέκα φύλλα απ' το κάθε φυτό. Οι μακροσκοπικοί παράμετροι που μετρήθηκαν ιδιαίτερα ήταν ο αριθμός των φύλλων, η επιφάνεια του φύλλου (x το μήκος και y πλάτος του φύλλου) και το ύψος του φυτού (α).

4.2 Αποτελέσματα μετρήσεων – πίνακες – γραφήματα – συμπεράσματα

Όπως προαναφέρθηκε, για την παρακολούθηση της ανάπτυξης των φυτών κατά τη διάρκεια του πειράματος πραγματοποιούνταν μετρήσεις του αριθμού των φύλλων, της επιφάνειας των φύλλων και του ύψους τους σε κάθε φυτό.

Μία παράμετρος που υπολογίσθηκε είναι ο λόγος μήκος / πλάτος (x/y) του φύλλου. Ο λόγος αυτός προκύπτει από το μέσο όρο του μήκους και πλάτους των φύλλων που μετρήθηκαν την ημέρα της μέτρησης και επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία για όλες τις ημερομηνίες μετρήσεων.

Μία άλλη παράμετρος που υπολογίσθηκε είναι η φυλλική επιφάνεια και προκύπτει από τον τύπο $(\pi * x * y)/4$. Όπου x ο μέσος όρος του μήκους των φύλλων, y ο μέσος όρος του πλάτους των φύλλων και $\pi = 3,14$. Επαναλαμβάνεται η διαδικασία αυτή για κάθε ημερομηνία μετρήσεων.

Για τον υπολογισμό του ύψους του φυτού σε κάθε δείγμα μετρήθηκαν όλες οι παραφυάδες. Πιο συγκεκριμένα το ύψος του φυτού μετρήθηκε από μεσογονάτιο διάστημα σε μεσογονάτιο διάστημα σε κάθε παραφυάδα για να μειωθεί η περίπτωση σφάλματος διότι το συγκεκριμένο φυτό ως γνωστό είναι ποώδες και έχει την ιδιότητα να δημιουργεί παραφυάδες καθώς αναπτύσσεται. Το άθροισμα που προκύπτει από τη διαδικασία αυτή είναι το ύψος (a) του φυτού σε εκατοστά και επαναλαμβάνεται για όλες τις ημερομηνίες των μετρήσεων.

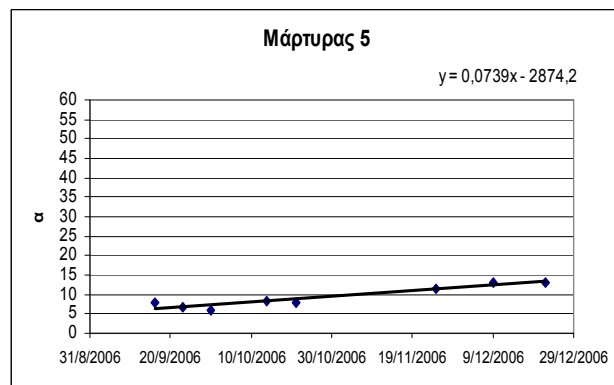
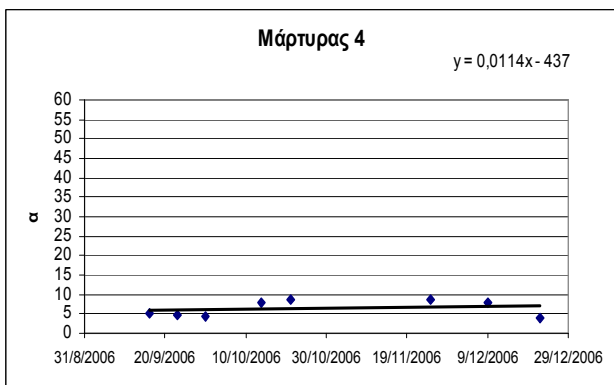
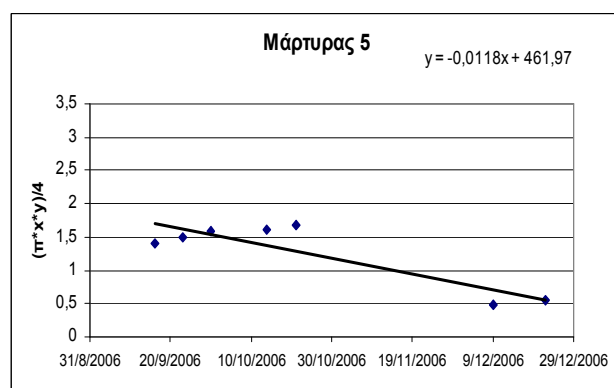
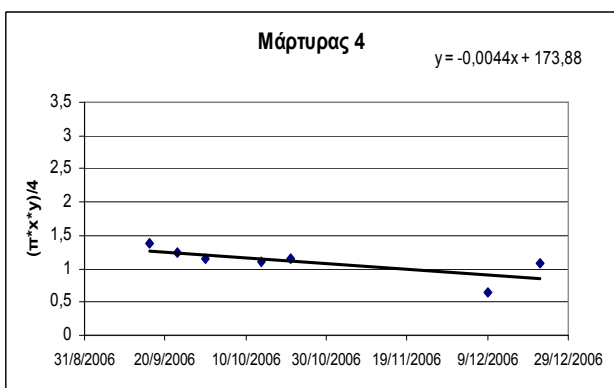
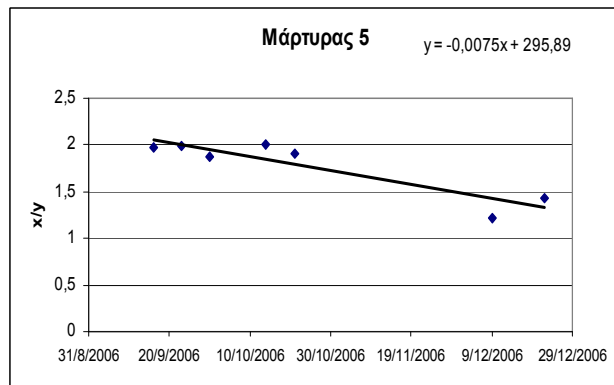
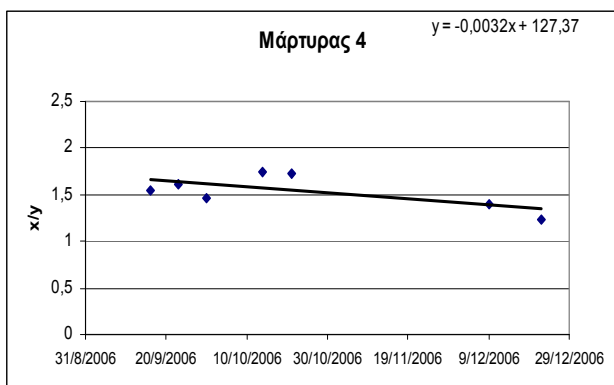
Στους παρακάτω πίνακες όπου υπάρχουν κενά δεν ήταν δυνατή η συλλογή φύλλων λόγω των εντόμων. Στις 21/10/2006 έγινε συλλογή φύλλων και χώματος αλλά λόγω βλάβης του φούρνου τα δείγματα κάηκαν, με αποτέλεσμα να μη γίνει η ενδιαμέση μέτρηση.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων αυτών περιγράφονται παρακάτω.

4.2.1 Μάρτυρες

Πίνακας 3. Αποτελέσματα μετρήσεων παρακολούθησης ανάπτυξης των φυτών του μάρτυρα.

| | 16/9/06 | 23/9/06 | 30/9/06 | 14/10/06 | 21/10/06 | 25/11/06 | 9/12/06 | 22/12/06 |
|--------------------------------------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|---------|----------|
| Μάρτυρας 4 | | | | | | | | |
| x/y | 1,55 | 1,61 | 1,47 | 1,74 | 1,72 | | 1,39 | 1,24 |
| $(\pi * x * y)/4$ (cm ²) | 1,39 | 1,24 | 1,14 | 1,11 | 1,16 | | 0,65 | 1,08 |
| a (cm) | 5,30 | 4,90 | 4,20 | 7,70 | 8,70 | 8,50 | 8,00 | 3,80 |
| Μάρτυρας 5 | | | | | | | | |
| x/y | 1,98 | 1,99 | 1,88 | 2,00 | 1,90 | | 1,22 | 1,43 |
| $(\pi * x * y)/4$ (cm ²) | 1,40 | 1,50 | 1,58 | 1,62 | 1,67 | | 0,49 | 0,55 |
| a (cm) | 7,70 | 6,60 | 5,90 | 8,40 | 8,00 | 11,50 | 13,10 | 13,10 |

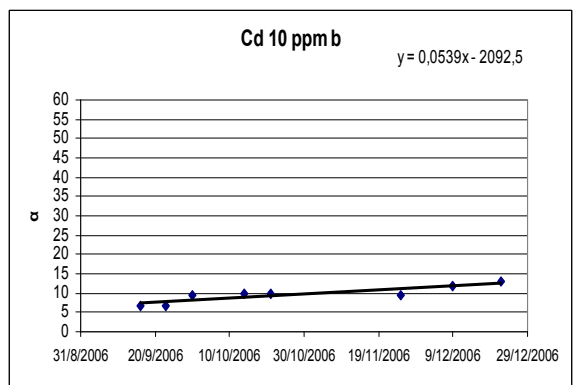
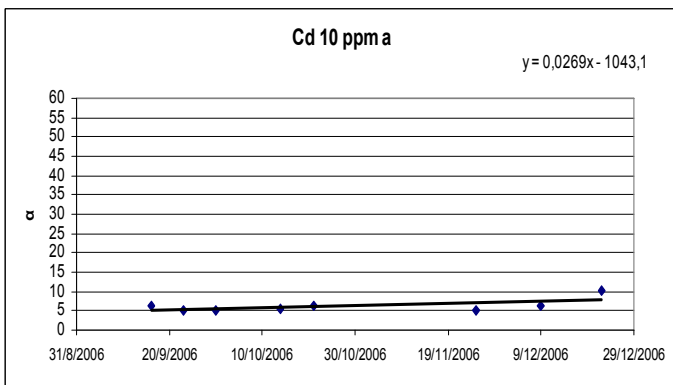
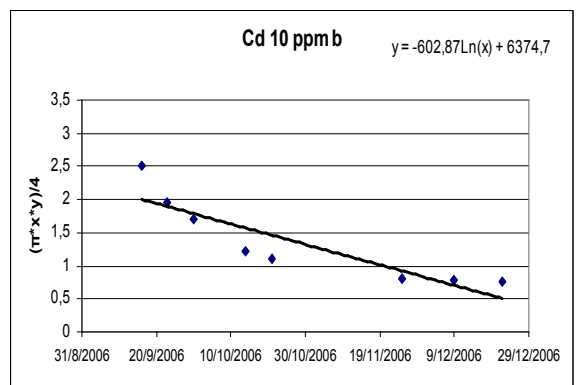
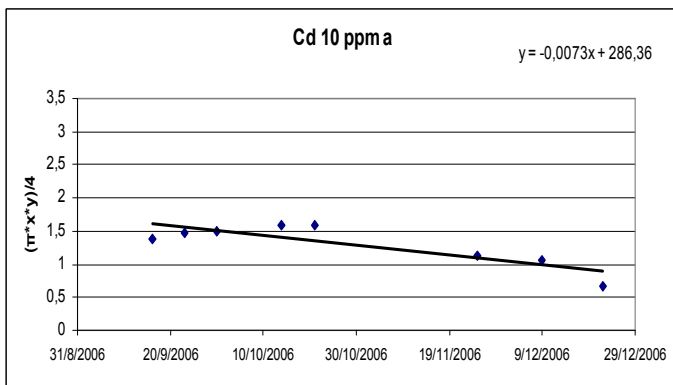
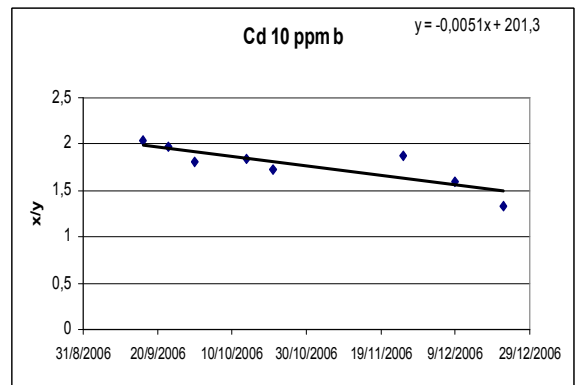
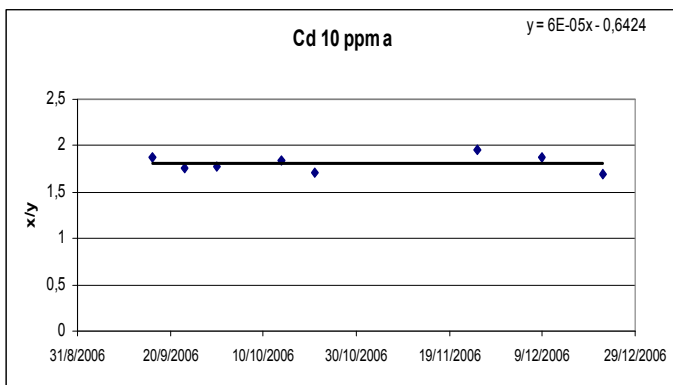


Γράφημα 1. Γραφήματα περιγραφής του λόγου μήκος / πλάτος (x/y) των φύλλων, της φυλλικής επιφάνειας [(π*x*y)/4] και του ύψους (α) των φυτών του μάρτυρα σε cm σε συνάρτηση με τις ημερομηνίες που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις.

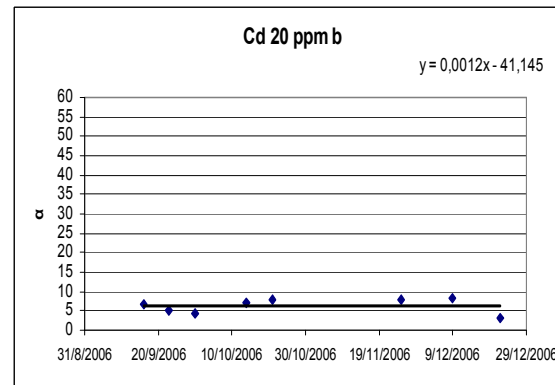
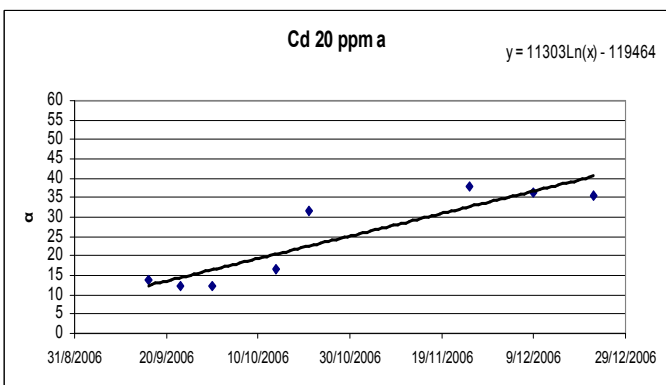
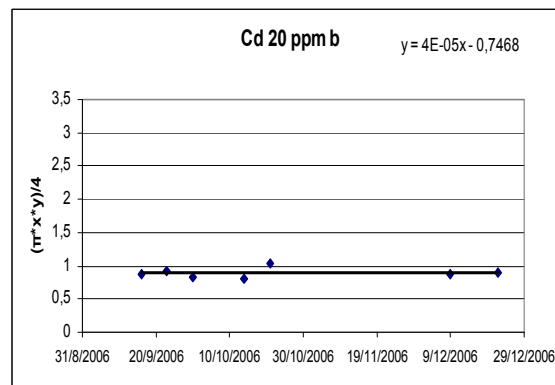
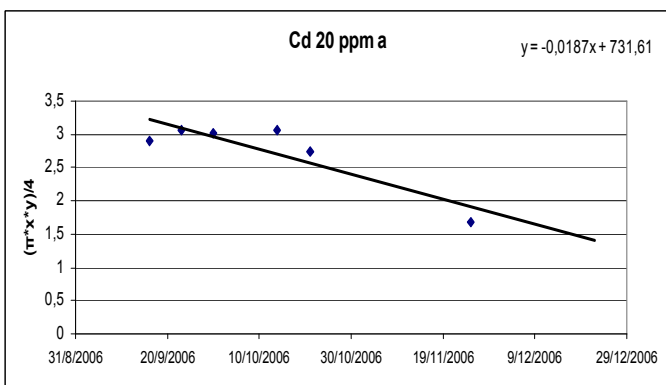
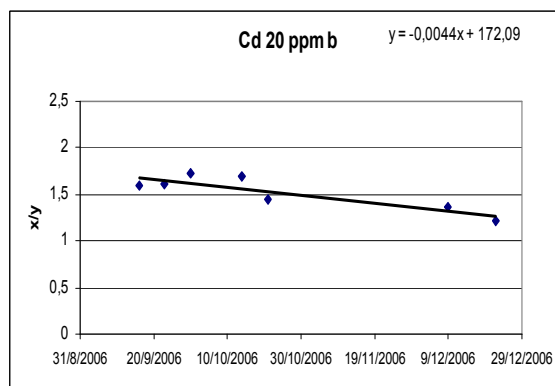
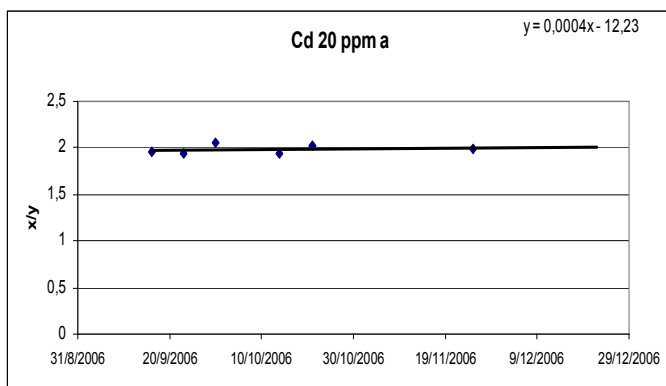
4.2.2 Cd

Πίνακας 4. Αποτελέσματα μετρήσεων παρακολούθησης ανάπτυξης των φυτών σε χώμα εμποτισμένο με κάδμιο. Οι ποσότητες x/y και $(\pi*x*y)/4$ είναι εκφρασμένες σε cm.

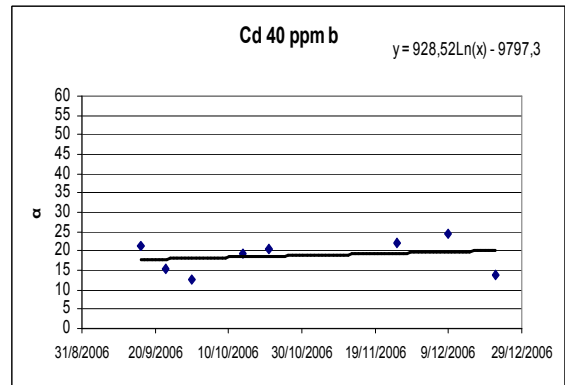
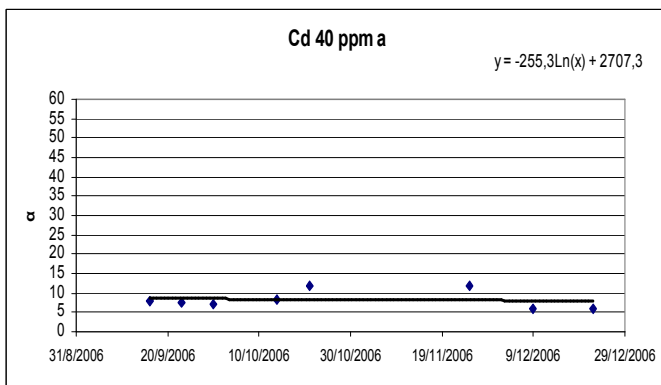
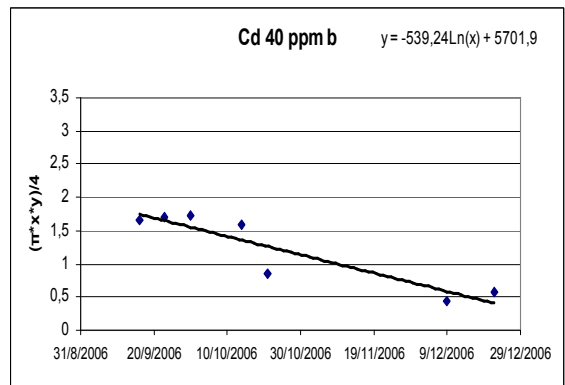
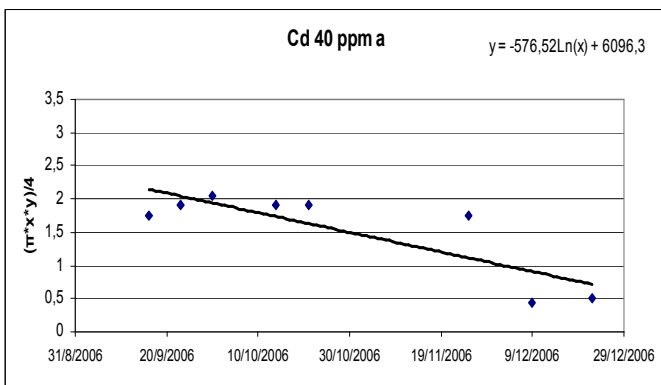
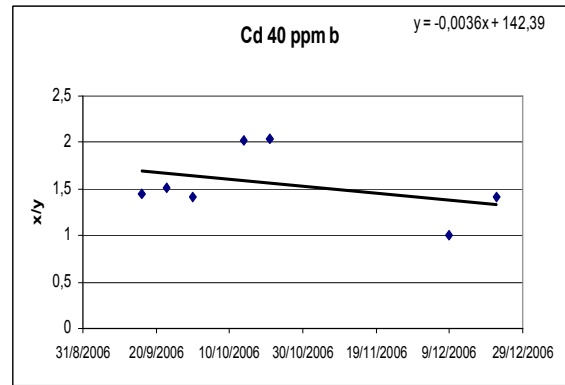
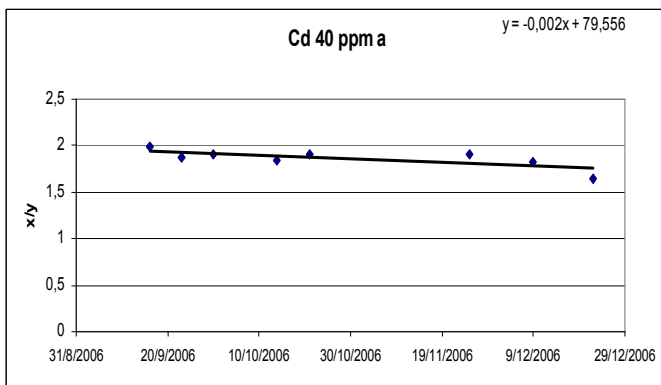
| | 16/9/06 | 23/9/06 | 30/9/06 | 14/10/06 | 21/10/06 | 25/11/06 | 9/12/06 | 22/12/06 |
|---------------------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|---------|----------|
| Cd 10 ppm a | | | | | | | | |
| x/y | 1,88 | 1,76 | 1,78 | 1,85 | 1,71 | 1,95 | 1,88 | 1,70 |
| $(\pi*x*y)/4$ | 1,38 | 1,48 | 1,49 | 1,59 | 1,58 | 1,13 | 1,07 | 0,67 |
| α | 6,40 | 5,30 | 5,30 | 5,60 | 6,50 | 5,30 | 6,40 | 10,20 |
| Cd 10 ppm b | | | | | | | | |
| x/y | 2,04 | 1,98 | 1,81 | 1,84 | 1,73 | 1,87 | 1,60 | 1,33 |
| $(\pi*x*y)/4$ | 2,52 | 1,95 | 1,70 | 1,23 | 1,10 | 0,81 | 0,79 | 0,75 |
| α | 6,60 | 6,60 | 9,30 | 9,90 | 9,90 | 9,60 | 11,90 | 13,00 |
| Cd 20 ppm a | | | | | | | | |
| x/y | 1,96 | 1,94 | 2,05 | 1,94 | 2,02 | 1,99 | | |
| $(\pi*x*y)/4$ | 2,91 | 3,06 | 3,01 | 3,06 | 2,73 | 1,68 | | |
| α | 13,70 | 12,10 | 12,30 | 16,40 | 31,70 | 37,70 | 36,40 | 35,70 |
| Cd 20 ppm b | | | | | | | | |
| x/y | 1,60 | 1,61 | 1,73 | 1,69 | 1,44 | | 1,36 | 1,21 |
| $(\pi*x*y)/4$ | 0,88 | 0,93 | 0,84 | 0,81 | 1,04 | | 0,87 | 0,90 |
| α | 6,60 | 5,00 | 4,40 | 7,00 | 7,80 | 8,00 | 8,20 | 3,00 |
| Cd 40 ppm a | | | | | | | | |
| x/y | 1,99 | 1,87 | 1,90 | 1,85 | 1,91 | 1,91 | 1,83 | 1,64 |
| $(\pi*x*y)/4$ | 1,75 | 1,92 | 2,05 | 1,92 | 1,91 | 1,75 | 0,43 | 0,51 |
| α | 7,70 | 7,50 | 7,20 | 8,30 | 12,00 | 11,90 | 5,90 | 6,10 |
| Cd 40 ppm b | | | | | | | | |
| x/y | 1,44 | 1,52 | 1,41 | 2,03 | 2,04 | | 1,00 | 1,41 |
| $(\pi*x*y)/4$ | 1,65 | 1,71 | 1,73 | 1,59 | 0,86 | | 0,44 | 0,58 |
| α | 21,40 | 15,50 | 12,60 | 19,50 | 20,60 | 22,20 | 24,50 | 14,00 |
| Cd 80 ppm a | | | | | | | | |
| x/y | 2,01 | 1,98 | 1,99 | 1,87 | 1,50 | 2,42 | 1,73 | 1,63 |
| $(\pi*x*y)/4$ | 2,42 | 2,53 | 2,33 | 2,09 | 1,22 | 0,68 | 0,48 | 0,70 |
| α | 11,00 | 10,70 | 10,30 | 10,80 | 18,70 | 14,00 | 16,90 | 17,70 |
| Cd 80 ppm b | | | | | | | | |
| x/y | 1,93 | 1,91 | 1,92 | 1,72 | 2,06 | 2,04 | 1,34 | 1,41 |
| $(\pi*x*y)/4$ | 0,96 | 0,92 | 0,94 | 1,03 | 0,79 | 0,79 | 0,28 | 0,70 |
| α | 5,00 | 6,00 | 4,80 | 7,10 | 10,30 | 9,50 | 9,80 | 6,80 |
| Cd 160 ppm a | | | | | | | | |
| x/y | 2,15 | 1,99 | 1,80 | 1,73 | 1,83 | | 1,73 | 1,66 |
| $(\pi*x*y)/4$ | 1,68 | 1,90 | 1,73 | 1,46 | 1,50 | | 0,39 | 0,45 |
| α | 10,60 | 8,30 | 5,30 | 10,50 | 18,60 | 19,30 | 17,50 | 17,00 |
| Cd 160 ppm b | | | | | | | | |
| x/y | 1,89 | 1,95 | 1,94 | 1,91 | 1,87 | | 1,24 | 1,23 |
| $(\pi*x*y)/4$ | 2,68 | 2,77 | 2,72 | 2,41 | 2,52 | | 0,55 | 0,70 |
| α | 10,70 | 10,50 | 12,30 | 13,60 | 16,30 | 21,00 | 20,50 | 6,00 |



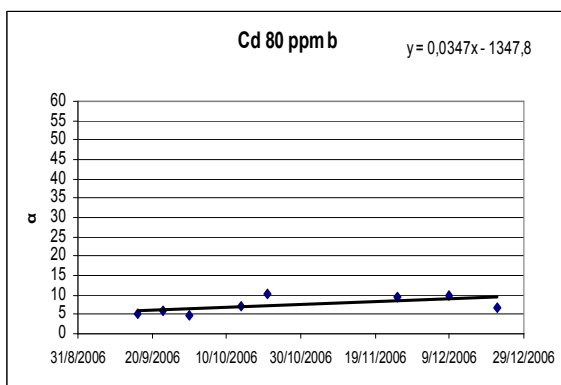
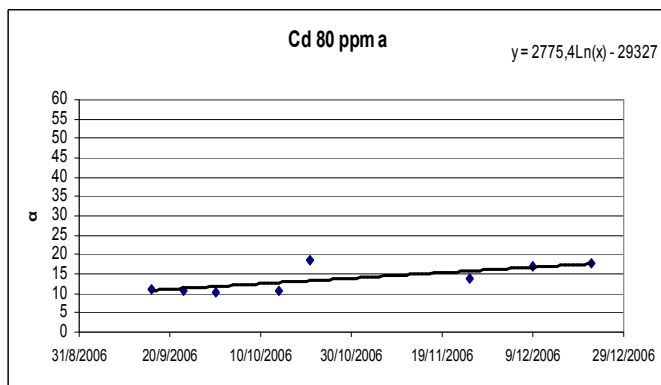
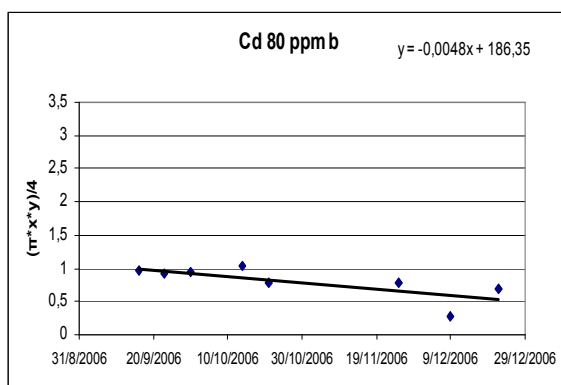
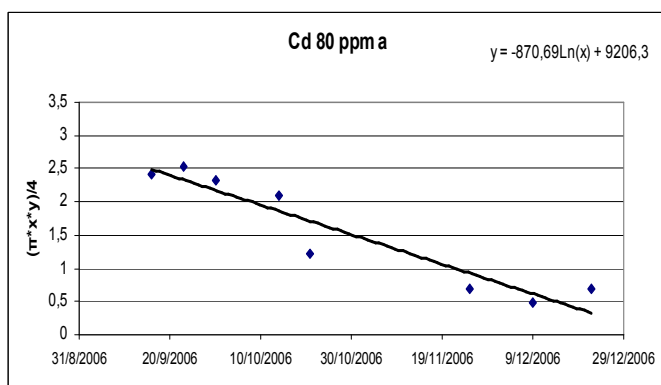
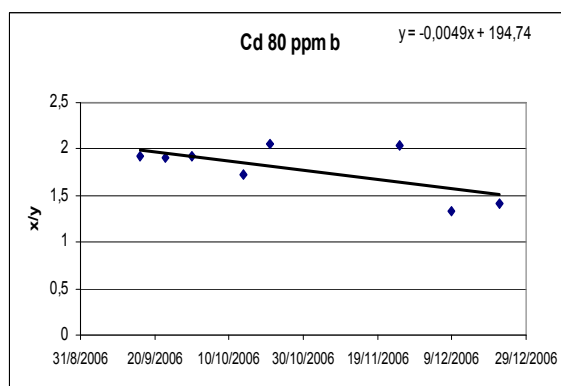
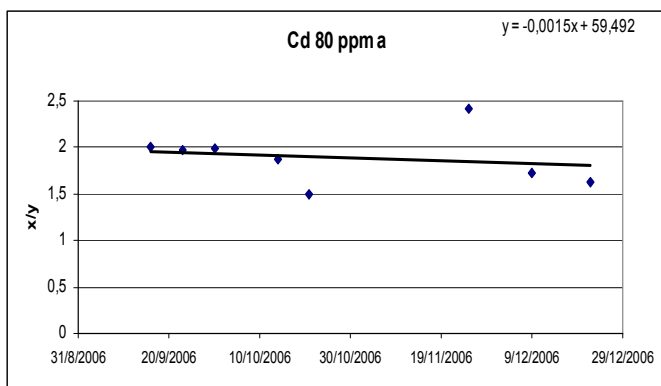
Γράφημα 2.1. Γραφήματα περιγραφής του λόγου μήκος / πλάτος (x/y) των φύλλων, της φυλλικής επιφάνειας [(π*x*y)/4] και του ύψους (α) των φυτών σε cm που αναπτύχθηκαν σε χώμα εμποτισμένο με Cd 10 ppm σε συνάρτηση με τις ημερομηνίες που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις.



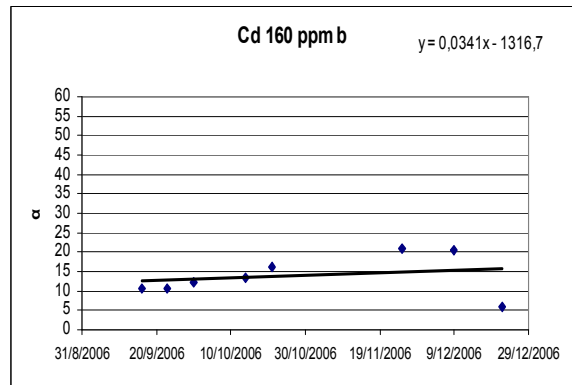
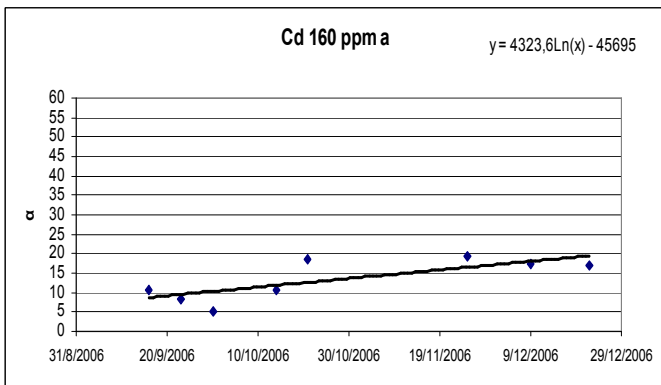
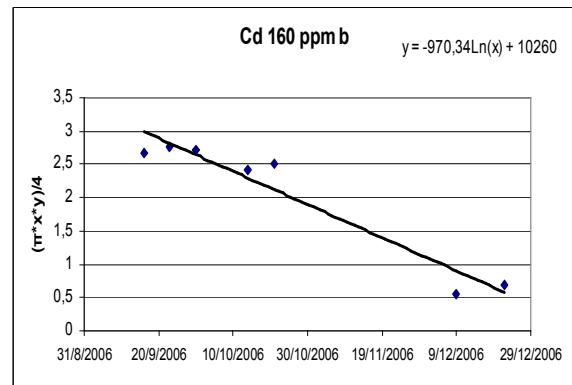
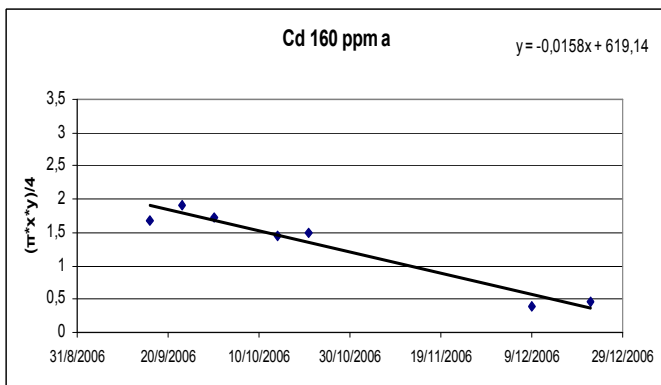
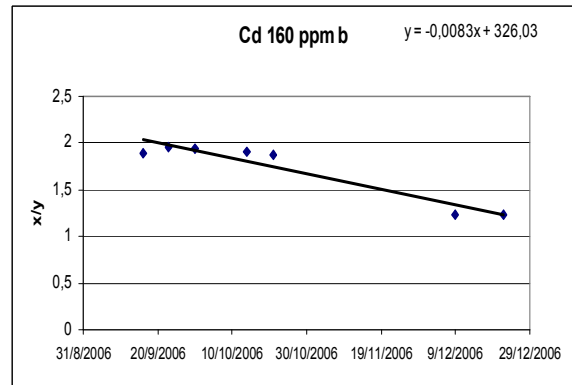
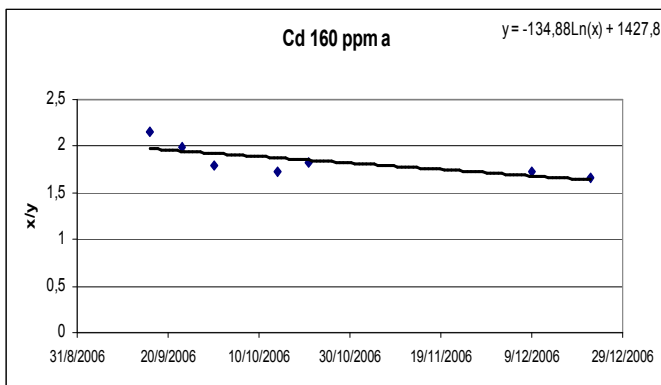
Γράφημα 2.2. Γραφήματα περιγραφής του λόγου μήκος / πλάτος (x/y) των φύλλων, της φυλλικής επιφάνειας [($\pi \cdot x \cdot y$)/4] και του ύψους (α) των φυτών σε cm που αναπτύχθηκαν σε χώμα εμποτισμένο με Cd 20 ppm σε συνάρτηση με τις ημερομηνίες που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις.



Γράφημα 2.3. Γραφήματα περιγραφής του λόγου μήκος / πλάτος (x/y) των φύλλων, της φυλλικής επιφάνειας $[(\pi*x*y)/4]$ και του ύψους (α) των φυτών σε cm που αναπτύχθηκαν σε χώμα εμποτισμένο με Cd 40 ppm σε συνάρτηση με τις ημερομηνίες που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις.



Γράφημα 2.4. Γραφήματα περιγραφής του λόγου μήκος / πλάτος (x/y) των φύλλων, της φυλλικής επιφάνειας $[(\pi*x*y)/4]$ και του ύψους (α) των φυτών σε cm που αναπτύχθηκαν σε χώμα εμποτισμένο με Cd 80 ppm σε συνάρτηση με τις ημερομηνίες που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις.



Γράφημα 2.5. Γραφήματα περιγραφής του λόγου μήκος / πλάτος (x/y) των φύλλων, της φυλλικής επιφάνειας [(π*x*y)/4] και του ύψους (α) των φυτών σε cm που αναπτύχθηκαν σε χώμα εμποτισμένο με Cd 160 ppm σε συνάρτηση με τις ημερομηνίες που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις.

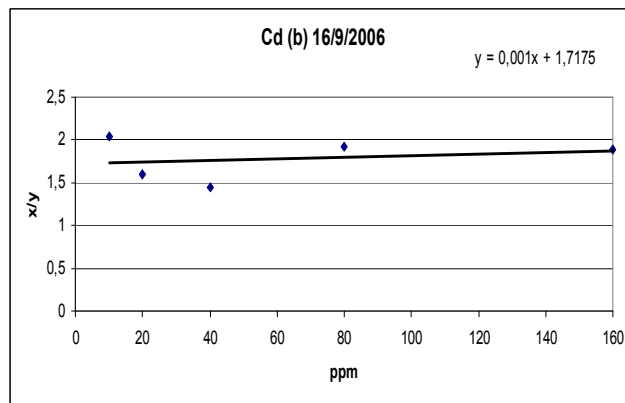
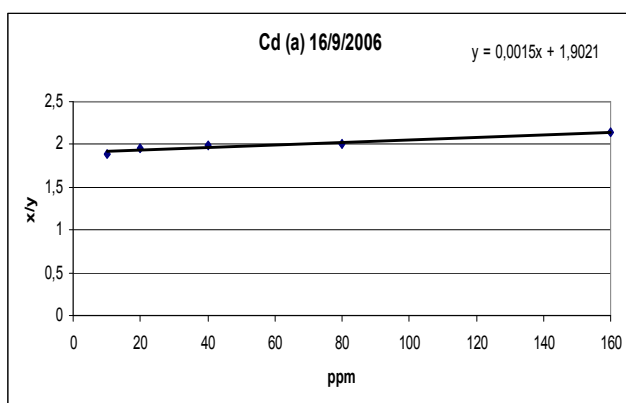
Πίνακας 5.1. Πίνακες περιγραφής των Μ.Ο. του λόγου μήκος / πλάτος (x/y) των φύλλων που μετρήθηκαν στις 16/9/2006 σε συνάρτηση με τις διάφορες συγκεντρώσεις καδμίου σε ppm στα φυτά.

ημερομηνία **16/9/2006**

| Δείγμα | x/y (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------|-----|
| Cd 10 ppm a | 1,88 | 10 |
| Cd 20 ppm a | 1,96 | 20 |
| Cd 40 ppm a | 1,99 | 40 |
| Cd 80 ppm a | 2,01 | 80 |
| Cd 160 ppm a | 2,15 | 160 |

ημερομηνία **16/9/2006**

| Δείγμα | x/y (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------|-----|
| Cd 10 ppm b | 2,04 | 10 |
| Cd 20 ppm b | 1,60 | 20 |
| Cd 40 ppm b | 1,44 | 40 |
| Cd 80 ppm b | 1,93 | 80 |
| Cd 160 ppm b | 1,89 | 160 |



Γράφημα 3.1. Γραφήματα περιγραφής των Μ.Ο. του λόγου μήκος / πλάτος (x/y) των φύλλων στις διάφορες συγκεντρώσεις καδμίου σε ppm στα φυτά στις 16/9/2006.

Πίνακας 5.2. Πίνακες περιγραφής των Μ.Ο. του λόγου μήκος / πλάτος (x/y) των φύλλων που μετρήθηκαν στις 23/9/2006 σε συνάρτηση με τις διάφορες συγκεντρώσεις καδμίου σε ppm στα φυτά.

ημερομηνία

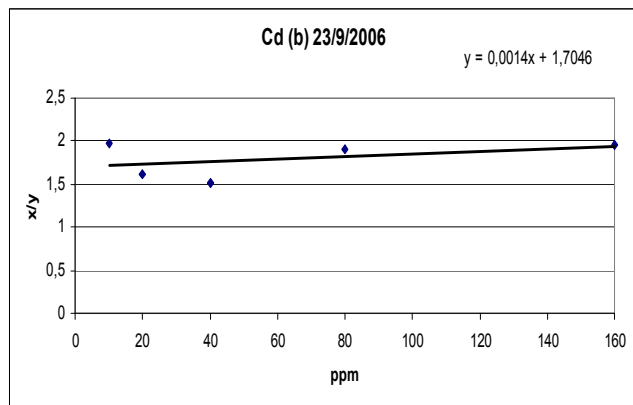
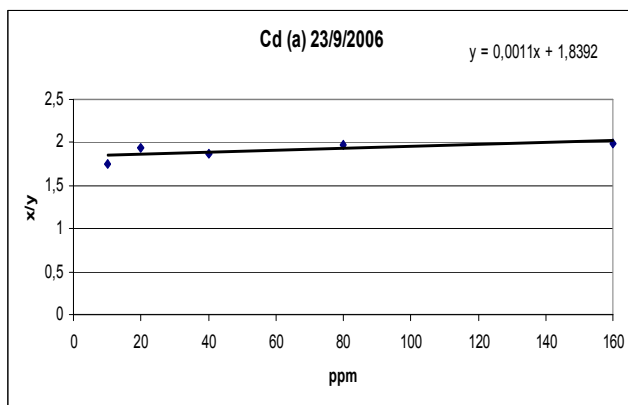
23/9/2006

ημερομηνία

23/9/2006

| Δείγμα | x/y (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------|-----|
| Cd 10 ppm a | 1,76 | 10 |
| Cd 20 ppm a | 1,94 | 20 |
| Cd 40 ppm a | 1,87 | 40 |
| Cd 80 ppm a | 1,98 | 80 |
| Cd 160 ppm a | 1,99 | 160 |

| Δείγμα | x/y (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------|-----|
| Cd 10 ppm b | 1,98 | 10 |
| Cd 20 ppm b | 1,61 | 20 |
| Cd 40 ppm b | 1,52 | 40 |
| Cd 80 ppm b | 1,91 | 80 |
| Cd 160 ppm b | 1,95 | 160 |



Γράφημα 3.2. Γραφήματα περιγραφής των Μ.Ο. του λόγου μήκος / πλάτος (x/y) των φύλλων στις διάφορες συγκεντρώσεις καδμίου σε ppm στα φυτά στις 23/9/2006.

Πίνακας 5.3. Πίνακες περιγραφής των Μ.Ο. του λόγου μήκος / πλάτος (x/y) των φύλλων που μετρήθηκαν στις 30/9/2006 σε συνάρτηση με τις διάφορες συγκεντρώσεις καδμίου σε ppm στα φυτά.

ημερομηνία

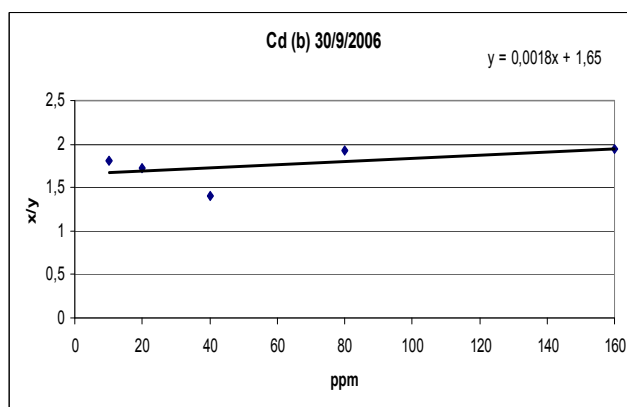
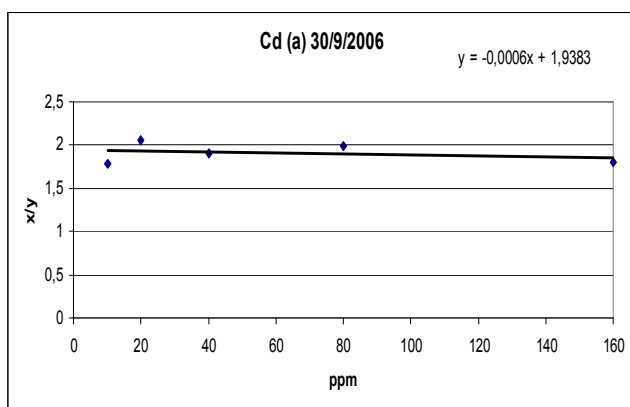
30/9/2006

ημερομηνία

30/9/2006

| Δείγμα | x/y (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------|-----|
| Cd 10 ppm a | 1,78 | 10 |
| Cd 20 ppm a | 2,05 | 20 |
| Cd 40 ppm a | 1,90 | 40 |
| Cd 80 ppm a | 1,99 | 80 |
| Cd 160 ppm a | 1,80 | 160 |

| Δείγμα | x/y (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------|-----|
| Cd 10 ppm b | 1,81 | 10 |
| Cd 20 ppm b | 1,73 | 20 |
| Cd 40 ppm b | 1,41 | 40 |
| Cd 80 ppm b | 1,92 | 80 |
| Cd 160 ppm b | 1,94 | 160 |



Γράφημα 3.3. Γραφήματα περιγραφής των Μ.Ο. του λόγου μήκος / πλάτος (x/y) των φύλλων στις διάφορες συγκεντρώσεις καδμίου σε ppm στα φυτά στις 30/9/2006.

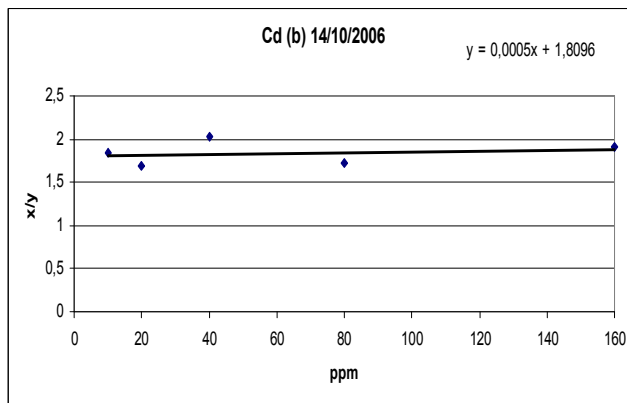
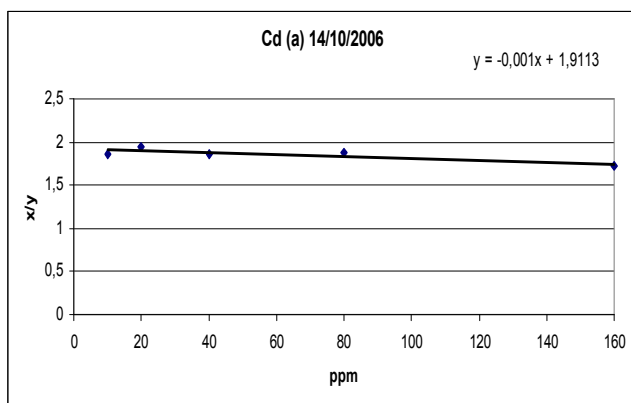
Πίνακας 5.4. Πίνακες περιγραφής των Μ.Ο. του λόγου μήκος / πλάτος (x/y) των φύλλων που μετρήθηκαν στις 14/10/2006 σε συνάρτηση με τις διάφορες συγκεντρώσεις καδμίου σε ppm στα φυτά.

ημερομηνία **14/10/2006**

| Δείγμα | x/y (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------|-----|
| Cd 10 ppm a | 1,85 | 10 |
| Cd 20 ppm a | 1,94 | 20 |
| Cd 40 ppm a | 1,85 | 40 |
| Cd 80 ppm a | 1,87 | 80 |
| Cd 160 ppm a | 1,73 | 160 |

ημερομηνία **14/10/2006**

| Δείγμα | x/y (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------|-----|
| Cd 10 ppm b | 1,84 | 10 |
| Cd 20 ppm b | 1,69 | 20 |
| Cd 40 ppm b | 2,03 | 40 |
| Cd 80 ppm b | 1,72 | 80 |
| Cd 160 ppm b | 1,91 | 160 |



Γράφημα 3.4. Γραφήματα περιγραφής των Μ.Ο. του λόγου μήκος / πλάτος (x/y) των φύλλων στις διάφορες συγκεντρώσεις καδμίου σε ppm στα φυτά στις 14/10/2006.

Πίνακας 5.5. Πίνακες περιγραφής των Μ.Ο. του λόγου μήκος / πλάτος (x/y) των φύλλων που μετρήθηκαν στις 21/10/2006 σε συνάρτηση με τις διάφορες συγκεντρώσεις καδμίου σε ppm στα φυτά.

ημερομηνία

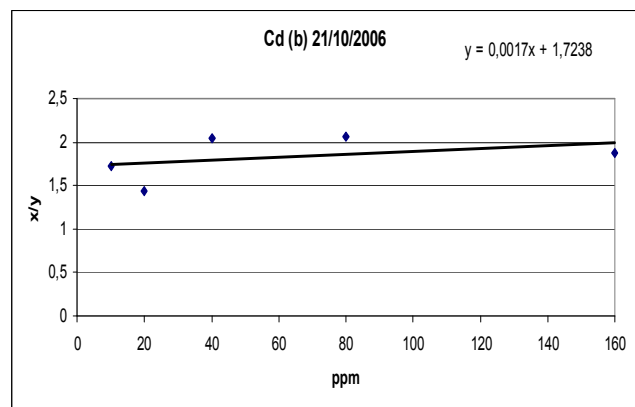
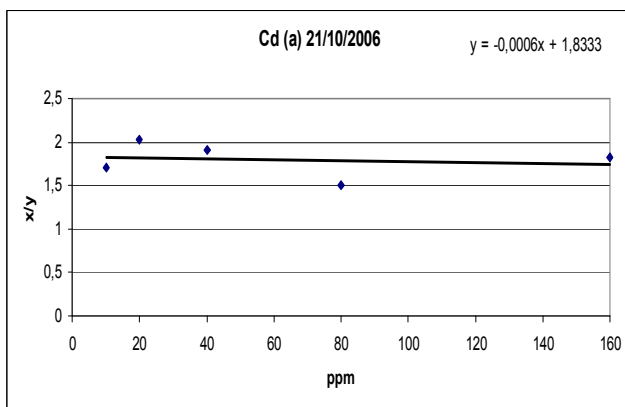
21/10/2006

| Δείγμα | x/y (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------|-----|
| Cd 10 ppm a | 1,71 | 10 |
| Cd 20 ppm a | 2,02 | 20 |
| Cd 40 ppm a | 1,91 | 40 |
| Cd 80 ppm a | 1,50 | 80 |
| Cd 160 ppm a | 1,83 | 160 |

ημερομηνία

21/10/2006

| Δείγμα | x/y (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------|-----|
| Cd 10 ppm b | 1,73 | 10 |
| Cd 20 ppm b | 1,44 | 20 |
| Cd 40 ppm b | 2,04 | 40 |
| Cd 80 ppm b | 2,06 | 80 |
| Cd 160 ppm b | 1,87 | 160 |



Γράφημα 3.5. Γραφήματα περιγραφής των Μ.Ο. του λόγου μήκος / πλάτος (x/y) των φύλλων στις διάφορες συγκεντρώσεις καδμίου σε ppm στα φυτά στις 21/10/2006.

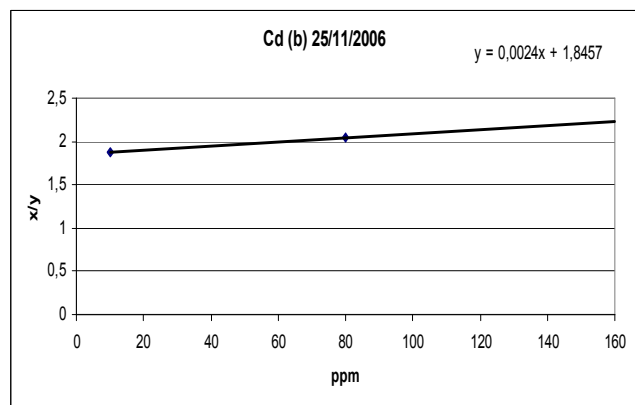
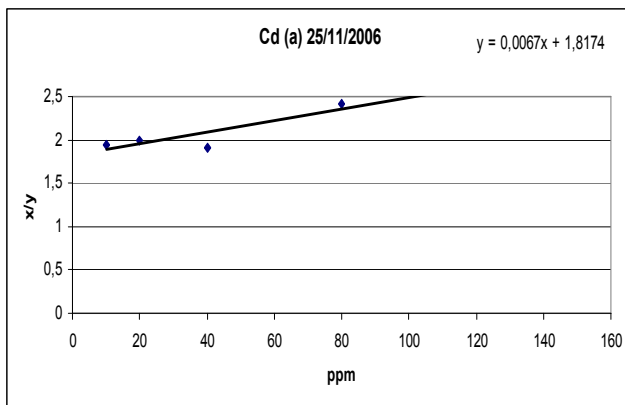
Πίνακας 5.6. Πίνακες περιγραφής των Μ.Ο. του λόγου μήκος / πλάτος (x/y) των φύλλων που μετρήθηκαν στις 25/11/2006 σε συνάρτηση με τις διάφορες συγκεντρώσεις καδμίου σε ppm στα φυτά.

ημερομηνία **25/11/2006**

| Δείγμα | x/y (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------|-----|
| Cd 10 ppm a | 1,95 | 10 |
| Cd 20 ppm a | 1,99 | 20 |
| Cd 40 ppm a | 1,91 | 40 |
| Cd 80 ppm a | 2,42 | 80 |
| Cd 160 ppm a | | 160 |

ημερομηνία **25/11/2006**

| Δείγμα | x/y (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------|-----|
| Cd 10 ppm b | 1,87 | 10 |
| Cd 20 ppm b | | 20 |
| Cd 40 ppm b | | 40 |
| Cd 80 ppm b | 2,04 | 80 |
| Cd 160 ppm b | | 160 |



Γράφημα 3.6. Γραφήματα περιγραφής των Μ.Ο. του λόγου μήκος / πλάτος (x/y) των φύλλων στις διάφορες συγκεντρώσεις καδμίου σε ppm στα φυτά στις 25/11/2006.

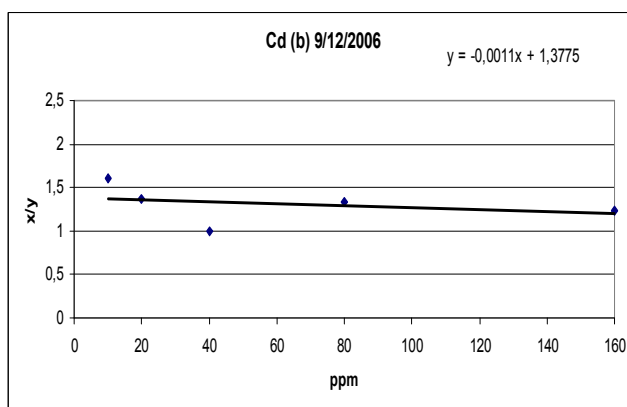
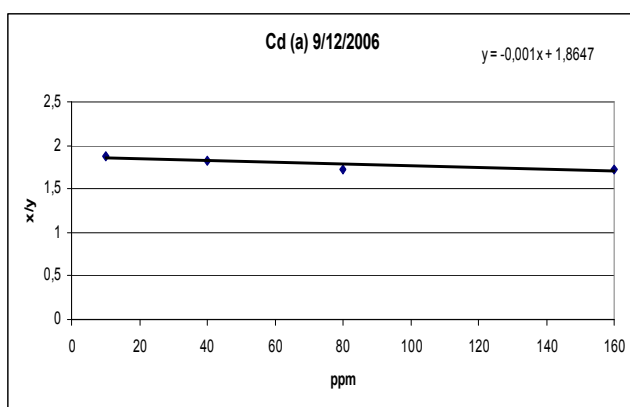
Πίνακας 5.7. Πίνακες περιγραφής των Μ.Ο. του λόγου μήκος / πλάτος (x/y) των φύλλων που μετρήθηκαν στις 9/12/2006 σε συνάρτηση με τις διάφορες συγκεντρώσεις καδμίου σε ppm στα φυτά.

ημερομηνία **9/12/2006**

| Δείγμα | x/y (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------|-----|
| Cd 10 ppm a | 1,88 | 10 |
| Cd 20 ppm a | | 20 |
| Cd 40 ppm a | 1,83 | 40 |
| Cd 80 ppm a | 1,73 | 80 |
| Cd 160 ppm a | 1,73 | 160 |

ημερομηνία **9/12/2006**

| Δείγμα | x/y (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------|-----|
| Cd 10 ppm b | 1,60 | 10 |
| Cd 20 ppm b | 1,36 | 20 |
| Cd 40 ppm b | 1,00 | 40 |
| Cd 80 ppm b | 1,34 | 80 |
| Cd 160 ppm b | 1,24 | 160 |



Γράφημα 3.7. Γραφήματα περιγραφής των Μ.Ο. του λόγου μήκος / πλάτος (x/y) των φύλλων στις διάφορες συγκεντρώσεις καδμίου σε ppm στα φυτά στις 9/12/2006.

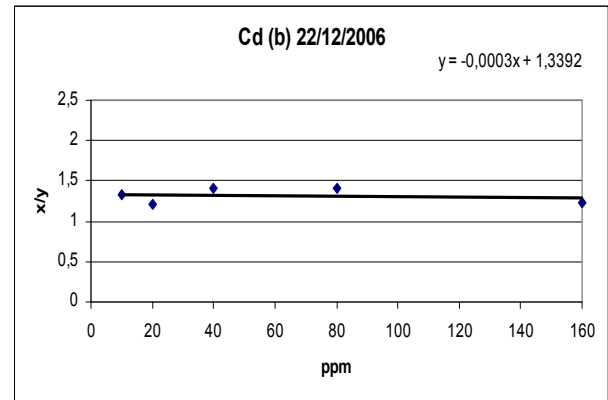
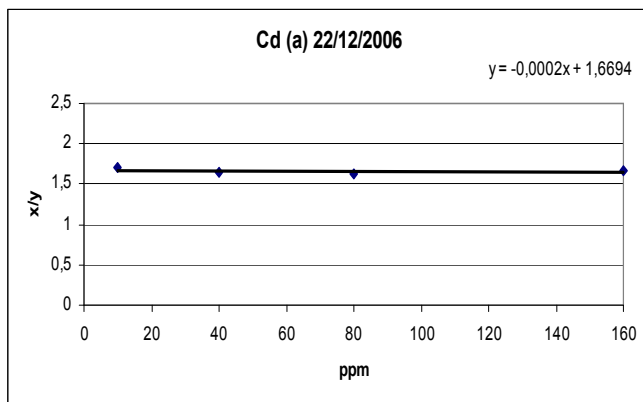
Πίνακας 5.8. Πίνακες περιγραφής των Μ.Ο. του λόγου μήκος / πλάτος (x/y) των φύλλων που μετρήθηκαν στις 22/12/2006 σε συνάρτηση με τις διάφορες συγκεντρώσεις καδμίου σε ppm στα φυτά.

ημερομηνία **22/12/2006**

| Δείγμα | x/y (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------|-----|
| Cd 10 ppm a | 1,70 | 10 |
| Cd 20 ppm a | | 20 |
| Cd 40 ppm a | 1,64 | 40 |
| Cd 80 ppm a | 1,63 | 80 |
| Cd 160 ppm a | 1,66 | 160 |

ημερομηνία **22/12/2006**

| Δείγμα | x/y (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------|-----|
| Cd 10 ppm b | 1,33 | 10 |
| Cd 20 ppm b | 1,21 | 20 |
| Cd 40 ppm b | 1,41 | 40 |
| Cd 80 ppm b | 1,41 | 80 |
| Cd 160 ppm b | 1,23 | 160 |



Γράφημα 3.8. Γραφήματα περιγραφής των Μ.Ο. του λόγου μήκος / πλάτος (x/y) των φύλλων στις διάφορες συγκεντρώσεις καδμίου σε ppm στα φυτά στις 22/12/2006.

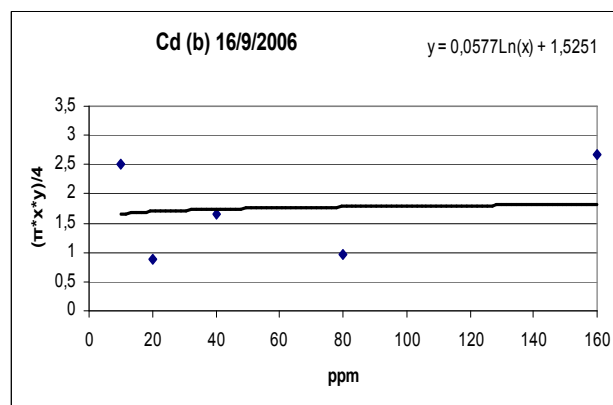
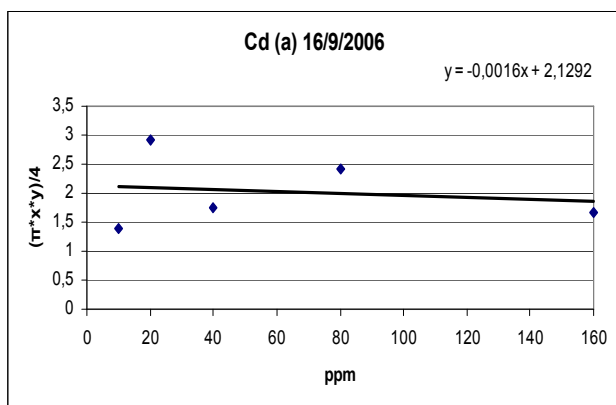
Πίνακας 6.1. Πίνακες περιγραφής των Μ.Ο. της φυλλικής επιφάνειας $[(\pi \cdot x \cdot y)/4]$ των φύλλων που μετρήθηκαν στις 16/9/2006 σε συνάρτηση με τις διάφορες συγκεντρώσεις καδμίου σε ppm στα φυτά.

ημερομηνία 16/9/2006

| Δείγμα | $[(\pi \cdot x \cdot y)/4]$ (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------------------------------|-----|
| Cd 10 ppm a | 1,38 | 10 |
| Cd 20 ppm a | 2,91 | 20 |
| Cd 40 ppm a | 1,75 | 40 |
| Cd 80 ppm a | 2,42 | 80 |
| Cd 160 ppm a | 1,68 | 160 |

ημερομηνία 16/9/2006

| Δείγμα | $[(\pi \cdot x \cdot y)/4]$ (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------------------------------|-----|
| Cd 10 ppm b | 2,52 | 10 |
| Cd 20 ppm b | 0,88 | 20 |
| Cd 40 ppm b | 1,65 | 40 |
| Cd 80 ppm b | 0,96 | 80 |
| Cd 160 ppm b | 2,68 | 160 |



Γράφημα 4.1. Γραφήματα περιγραφής των Μ.Ο. της φυλλικής επιφάνειας $[(\pi \cdot x \cdot y)/4]$ των φύλλων στις διάφορες συγκεντρώσεις καδμίου σε ppm στα φυτά στις 16/9/2006.

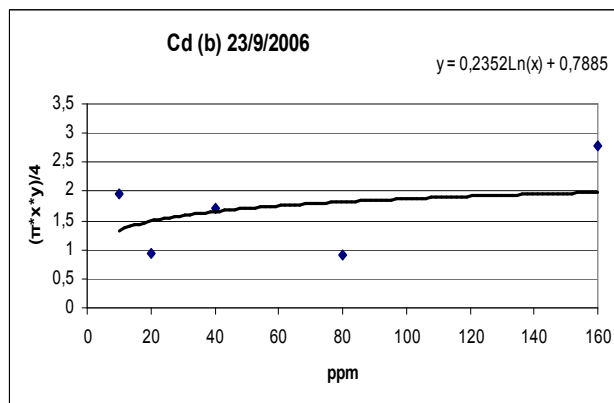
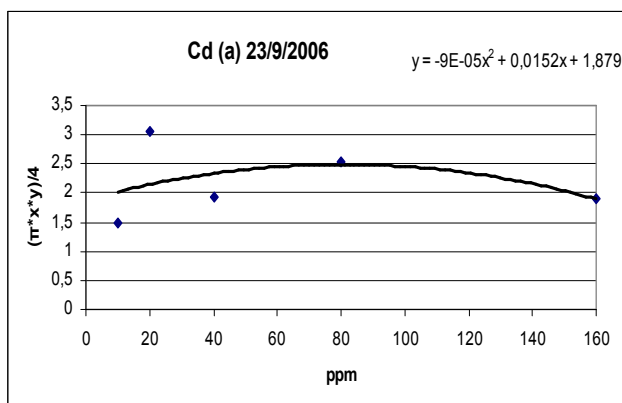
Πίνακας 6.2. Πίνακες περιγραφής των Μ.Ο. της φυλλικής επιφάνειας $[(\pi \cdot x \cdot y)/4]$ των φύλλων που μετρήθηκαν στις 23/9/2006 σε συνάρτηση με τις διάφορες συγκεντρώσεις καδμίου σε ppm στα φυτά.

ημερομηνία **23/9/2006**

| Δείγμα | $[(\pi \cdot x \cdot y)/4]$ (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------------------------------|-----|
| Cd 10 ppm a | 1,48 | 10 |
| Cd 20 ppm a | 3,06 | 20 |
| Cd 40 ppm a | 1,92 | 40 |
| Cd 80 ppm a | 2,53 | 80 |
| Cd 160 ppm a | 1,90 | 160 |

ημερομηνία **23/9/2006**

| Δείγμα | $[(\pi \cdot x \cdot y)/4]$ (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------------------------------|-----|
| Cd 10 ppm b | 1,95 | 10 |
| Cd 20 ppm b | 0,93 | 20 |
| Cd 40 ppm b | 1,71 | 40 |
| Cd 80 ppm b | 0,92 | 80 |
| Cd 160 ppm b | 2,77 | 160 |



Γράφημα 4.2. Γραφήματα περιγραφής των Μ.Ο. της φυλλικής επιφάνειας $[(\pi \cdot x \cdot y)/4]$ των φύλλων στις διάφορες συγκεντρώσεις καδμίου σε ppm στα φυτά στις 23/9/2006.

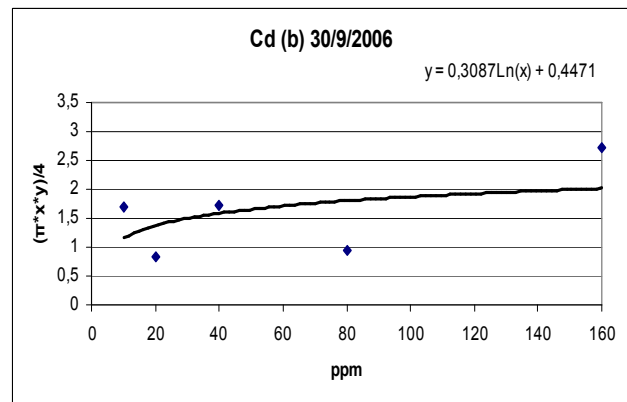
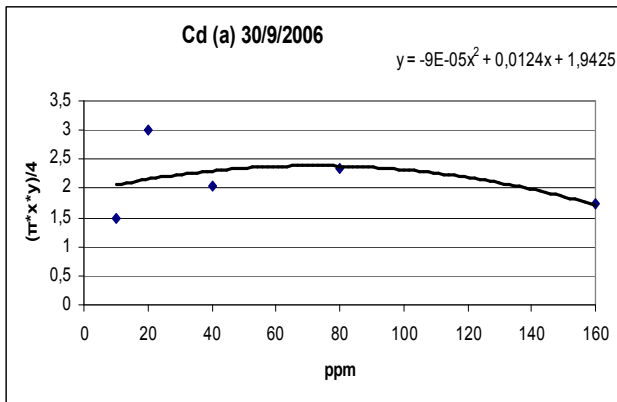
Πίνακας 6.3. Πίνακες περιγραφής των Μ.Ο. της φυλλικής επιφάνειας [(π*χ*γ)/4] των φύλλων που μετρήθηκαν στις 30/9/2006 σε συνάρτηση με τις διάφορες συγκεντρώσεις καδμίου σε ppm στα φυτά.

ημερομηνία 30/9/2006

| Δείγμα | [(π*χ*γ)/4 (Μ.Ο.)] | ppm |
|--------------|--------------------|-----|
| Cd 10 ppm a | 1,49 | 10 |
| Cd 20 ppm a | 3,01 | 20 |
| Cd 40 ppm a | 2,05 | 40 |
| Cd 80 ppm a | 2,33 | 80 |
| Cd 160 ppm a | 1,73 | 160 |

ημερομηνία 30/9/2006

| Δείγμα | [(π*χ*γ)/4 (Μ.Ο.)] | ppm |
|--------------|--------------------|-----|
| Cd 10 ppm b | 1,70 | 10 |
| Cd 20 ppm b | 0,84 | 20 |
| Cd 40 ppm b | 1,73 | 40 |
| Cd 80 ppm b | 0,94 | 80 |
| Cd 160 ppm b | 2,72 | 160 |



Γράφημα 4.3 Γραφήματα περιγραφής των Μ.Ο. της φυλλικής επιφάνειας [(π*χ*γ)/4] των φύλλων στις διάφορες συγκεντρώσεις καδμίου σε ppm στα φυτά στις 30/9/2006.

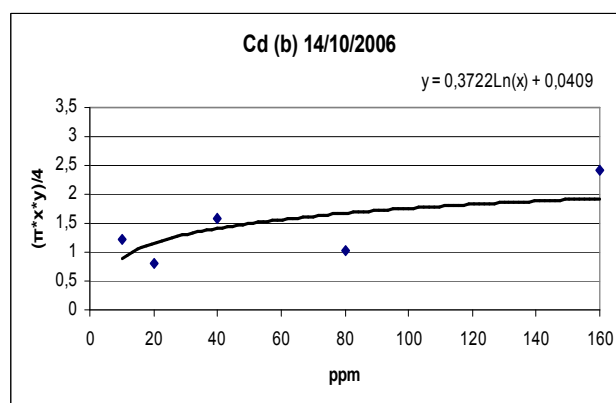
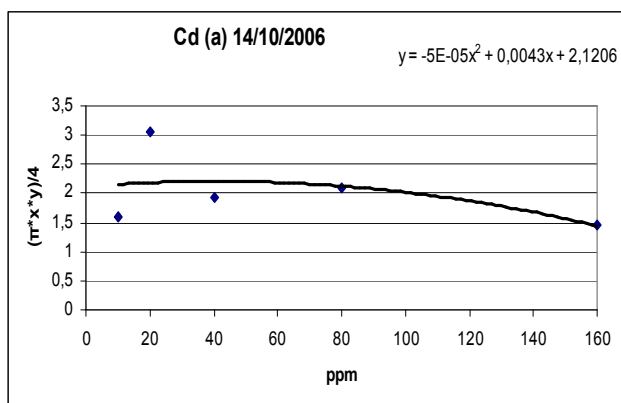
Πίνακας 6.4. Πίνακες περιγραφής των Μ.Ο. της φυλλικής επιφάνειας $[(\pi \cdot x \cdot y)/4]$ των φύλλων που μετρήθηκαν στις 14/10/2006 σε συνάρτηση με τις διάφορες συγκεντρώσεις καδμίου σε ppm στα φυτά.

ημερομηνία **14/10/2006**

| Δείγμα | $[(\pi \cdot x \cdot y)/4]$ (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------------------------------|-----|
| Cd 10 ppm a | 1,59 | 10 |
| Cd 20 ppm a | 3,06 | 20 |
| Cd 40 ppm a | 1,92 | 40 |
| Cd 80 ppm a | 2,09 | 80 |
| Cd 160 ppm a | 1,46 | 160 |

ημερομηνία **14/10/2006**

| Δείγμα | $[(\pi \cdot x \cdot y)/4]$ (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------------------------------|-----|
| Cd 10 ppm b | 1,23 | 10 |
| Cd 20 ppm b | 0,81 | 20 |
| Cd 40 ppm b | 1,59 | 40 |
| Cd 80 ppm b | 1,03 | 80 |
| Cd 160 ppm b | 2,41 | 160 |



Γράφημα 4.4. Γραφήματα περιγραφής των Μ.Ο. της φυλλικής επιφάνειας $[(\pi \cdot x \cdot y)/4]$ των φύλλων στις διάφορες συγκεντρώσεις καδμίου σε ppm στα φυτά στις 14/10/2006.

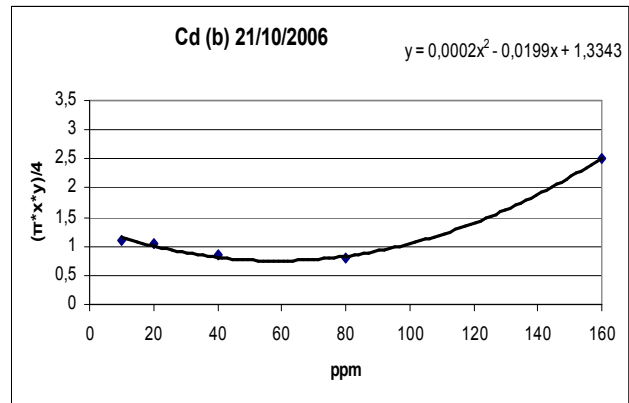
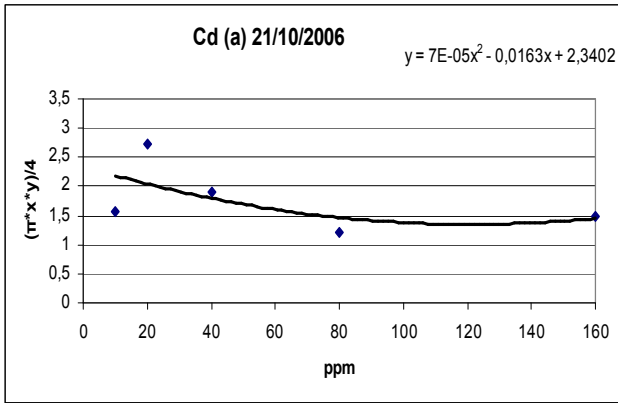
Πίνακας 6.5. Πίνακες περιγραφής των Μ.Ο. της φυλλικής επιφάνειας [(π*χ*γ)/4] των φύλλων που μετρήθηκαν στις 21/10/2006 σε συνάρτηση με τις διάφορες συγκεντρώσεις καδμίου σε ppm στα φυτά.

ημερομηνία **21/10/2006**

| Δείγμα | [(π*χ*γ)/4 (Μ.Ο.)] | ppm |
|--------------|--------------------|-----|
| Cd 10 ppm a | 1,58 | 10 |
| Cd 20 ppm a | 2,73 | 20 |
| Cd 40 ppm a | 1,91 | 40 |
| Cd 80 ppm a | 1,22 | 80 |
| Cd 160 ppm a | 1,50 | 160 |

ημερομηνία **21/10/2006**

| Δείγμα | [(π*χ*γ)/4 (Μ.Ο.)] | ppm |
|--------------|--------------------|-----|
| Cd 10 ppm b | 1,10 | 10 |
| Cd 20 ppm b | 1,04 | 20 |
| Cd 40 ppm b | 0,86 | 40 |
| Cd 80 ppm b | 0,79 | 80 |
| Cd 160 ppm b | 2,52 | 160 |



Γράφημα 4.5. Γραφήματα περιγραφής των Μ.Ο. της φυλλικής επιφάνειας [(π*χ*γ)/4] των φύλλων στις διάφορες συγκεντρώσεις καδμίου σε ppm στα φυτά στις 21/10/2006.

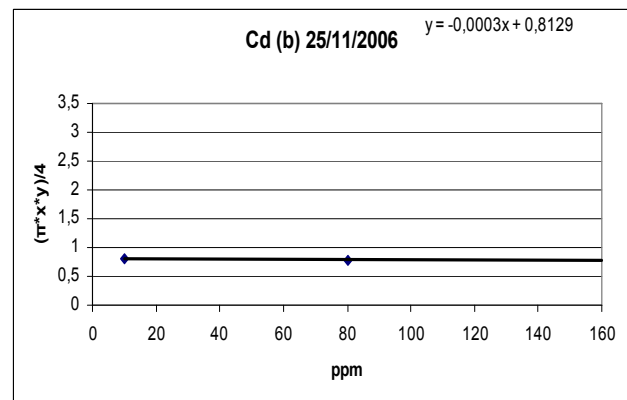
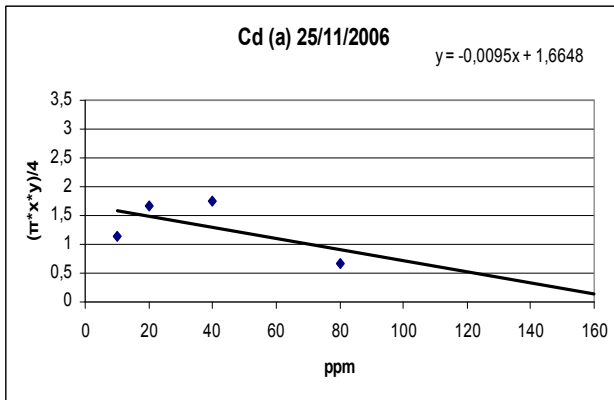
Πίνακας 6.6. Πίνακες περιγραφής των Μ.Ο. της φυλλικής επιφάνειας $[(\pi*x*y)/4]$ των φύλλων που μετρήθηκαν στις 25/11/2006 σε συνάρτηση με τις διάφορες συγκεντρώσεις καδμίου σε ppm στα φυτά.

ημερομηνία **25/11/2006**

| Δείγμα | $[(\pi*x*y)/4]$ (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------------------|-----|
| Cd 10 ppm a | 1,13 | 10 |
| Cd 20 ppm a | 1,68 | 20 |
| Cd 40 ppm a | 1,75 | 40 |
| Cd 80 ppm a | 0,68 | 80 |
| Cd 160 ppm a | | 160 |

ημερομηνία **25/11/2006**

| Δείγμα | $[(\pi*x*y)/4]$ (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------------------|-----|
| Cd 10 ppm b | 0,81 | 10 |
| Cd 20 ppm b | | 20 |
| Cd 40 ppm b | | 40 |
| Cd 80 ppm b | 0,79 | 80 |
| Cd 160 ppm b | | 160 |



Γράφημα 4.6. Γραφήματα περιγραφής των Μ.Ο. της φυλλικής επιφάνειας $[(\pi*x*y)/4]$ των φύλλων στις διάφορες συγκεντρώσεις καδμίου σε ppm στα φυτά στις 25/11/2006.

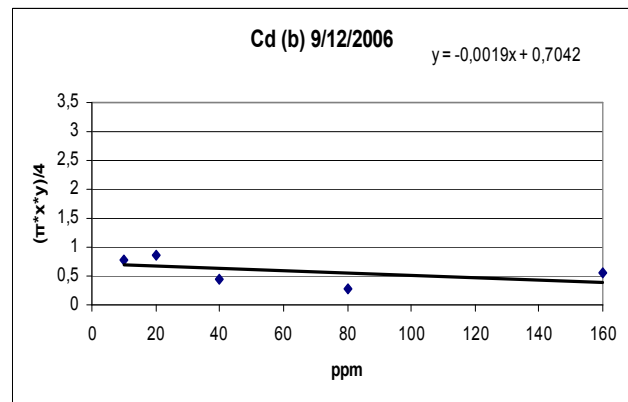
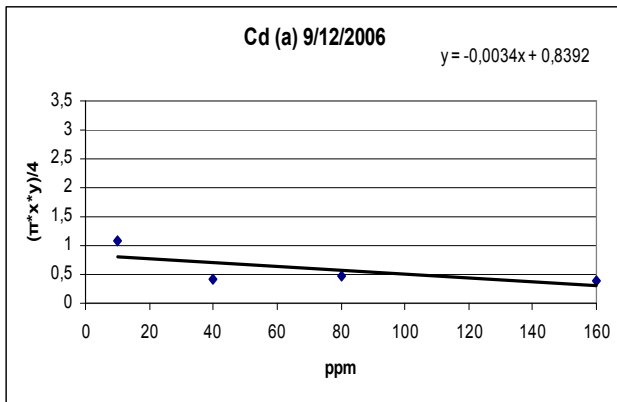
Πίνακας 6.7. Πίνακες περιγραφής των Μ.Ο. της φυλλικής επιφάνειας [(π*χ*γ)/4] των φύλλων που μετρήθηκαν στις 9/12/2006 σε συνάρτηση με τις διάφορες συγκεντρώσεις καδμίου σε ppm στα φυτά.

ημερομηνία 9/12/2006

| Δείγμα | [(π*χ*γ)/4 (Μ.Ο.)] | ppm |
|--------------|--------------------|-----|
| Cd 10 ppm a | 1,07 | 10 |
| Cd 20 ppm a | | 20 |
| Cd 40 ppm a | 0,43 | 40 |
| Cd 80 ppm a | 0,48 | 80 |
| Cd 160 ppm a | 0,39 | 160 |

ημερομηνία 9/12/2006

| Δείγμα | [(π*χ*γ)/4 (Μ.Ο.)] | ppm |
|--------------|--------------------|-----|
| Cd 10 ppm b | 0,79 | 10 |
| Cd 20 ppm b | 0,87 | 20 |
| Cd 40 ppm b | 0,44 | 40 |
| Cd 80 ppm b | 0,28 | 80 |
| Cd 160 ppm b | 0,55 | 160 |



Γράφημα 4.7. Γραφήματα περιγραφής των Μ.Ο. της φυλλικής επιφάνειας [(π*χ*γ)/4] των φύλλων στις διάφορες συγκεντρώσεις καδμίου σε ppm στα φυτά στις 9/12/2006.

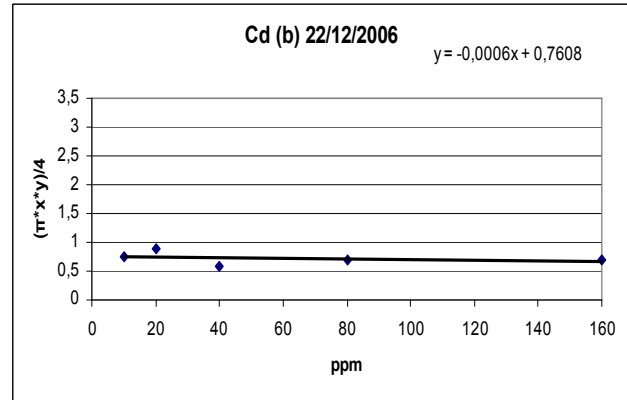
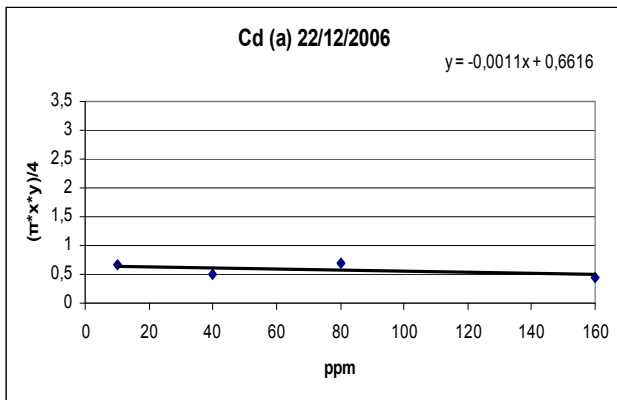
Πίνακας 6.8. Πίνακες περιγραφής των Μ.Ο. της φυλλικής επιφάνειας $[(\pi \cdot x \cdot y)/4]$ των φύλλων που μετρήθηκαν στις 22/12/2006 σε συνάρτηση με τις διάφορες συγκεντρώσεις καδμίου σε ppm στα φυτά.

ημερομηνία 22/12/2006

| Δείγμα | $[(\pi \cdot x \cdot y)/4]$ (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------------------------------|-----|
| Cd 10 ppm a | 0,67 | 10 |
| Cd 20 ppm a | | 20 |
| Cd 40 ppm a | 0,51 | 40 |
| Cd 80 ppm a | 0,70 | 80 |
| Cd 160 ppm a | 0,45 | 160 |

ημερομηνία 22/12/2006

| Δείγμα | $[(\pi \cdot x \cdot y)/4]$ (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------------------------------|-----|
| Cd 10 ppm b | 0,75 | 10 |
| Cd 20 ppm b | 0,90 | 20 |
| Cd 40 ppm b | 0,58 | 40 |
| Cd 80 ppm b | 0,70 | 80 |
| Cd 160 ppm b | 0,70 | 160 |



Γράφημα 4.8. Γραφήματα περιγραφής των Μ.Ο. της φυλλικής επιφάνειας $[(\pi \cdot x \cdot y)/4]$ των φύλλων στις διάφορες συγκεντρώσεις καδμίου σε ppm στα φυτά στις 22/12/2006.

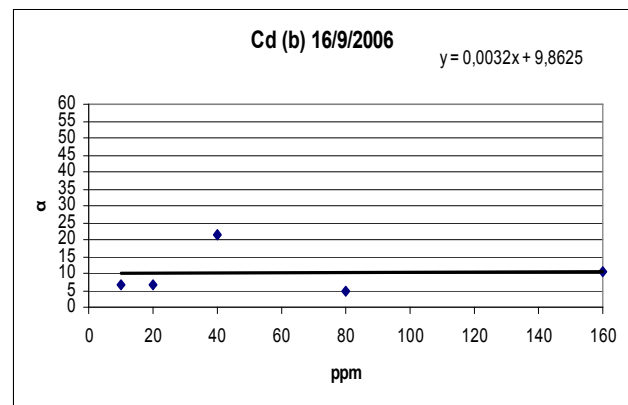
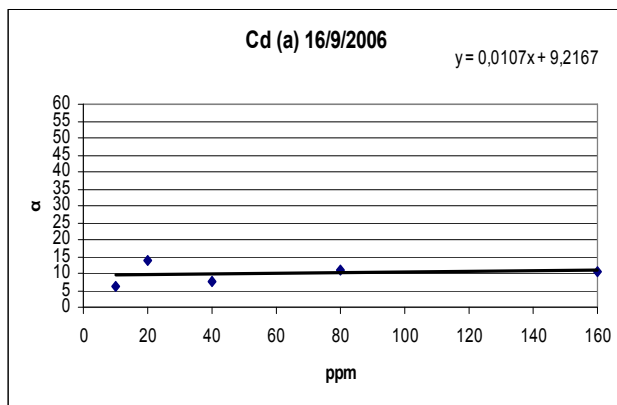
Πίνακας 7.1. Πίνακες περιγραφής του ύψους (α) των φυτών που μετρήθηκαν στις 16/9/2006 σε συνάρτηση με τις διάφορες συγκεντρώσεις καδμίου σε ppm στα φυτά.

ημερομηνία **16/9/2006**

| Δείγμα | α | ppm |
|--------------|-------|-----|
| Cd 10 ppm a | 6,40 | 10 |
| Cd 20 ppm a | 13,70 | 20 |
| Cd 40 ppm a | 7,70 | 40 |
| Cd 80 ppm a | 11,00 | 80 |
| Cd 160 ppm a | 10,60 | 160 |

ημερομηνία **16/9/2006**

| Δείγμα | α | ppm |
|--------------|-------|-----|
| Cd 10 ppm b | 6,60 | 10 |
| Cd 20 ppm b | 6,60 | 20 |
| Cd 40 ppm b | 21,40 | 40 |
| Cd 80 ppm b | 5,00 | 80 |
| Cd 160 ppm b | 10,70 | 160 |



Γράφημα 5.1. Γραφήματα περιγραφής του ύψους (α) των φυτών στις διάφορες συγκεντρώσεις καδμίου σε ppm στα φυτά στις 16/9/2006.

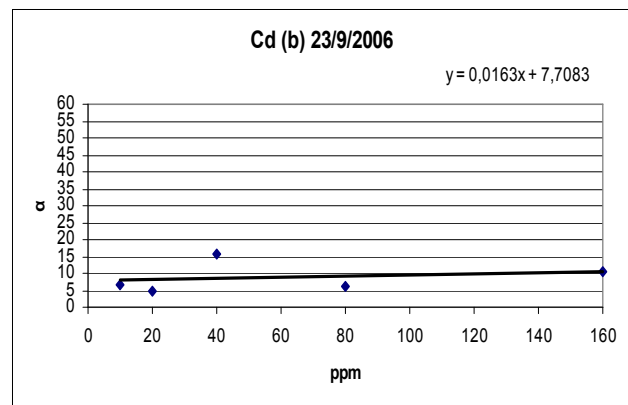
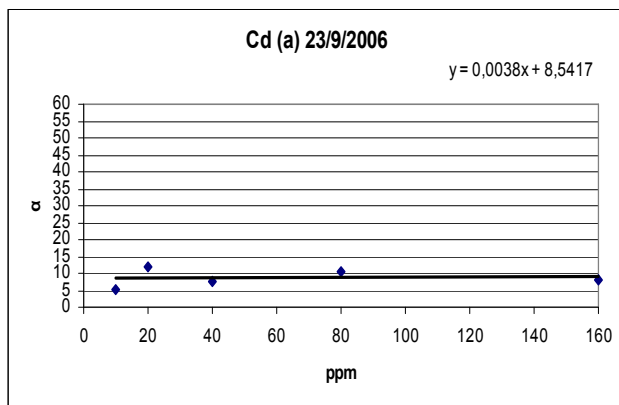
Πίνακας 7.2. Πίνακες περιγραφής του ύψους (α) των φυτών που μετρήθηκαν στις 23/9/2006 σε συνάρτηση με τις διάφορες συγκεντρώσεις καδμίου σε ppm στα φυτά.

ημερομηνία **23/9/2006**

| Δείγμα | α | ppm |
|--------------|-------|-----|
| Cd 10 ppm a | 5,30 | 10 |
| Cd 20 ppm a | 12,10 | 20 |
| Cd 40 ppm a | 7,50 | 40 |
| Cd 80 ppm a | 10,70 | 80 |
| Cd 160 ppm a | 8,30 | 160 |

ημερομηνία **23/9/2006**

| Δείγμα | α | ppm |
|--------------|-------|-----|
| Cd 10 ppm b | 6,60 | 10 |
| Cd 20 ppm b | 5,00 | 20 |
| Cd 40 ppm b | 15,50 | 40 |
| Cd 80 ppm b | 6,00 | 80 |
| Cd 160 ppm b | 10,50 | 160 |



Γράφημα 5.2. Γραφήματα περιγραφής του ύψους (α) των φυτών στις διάφορες συγκεντρώσεις καδμίου σε ppm στα φυτά στις 23/9/2006.

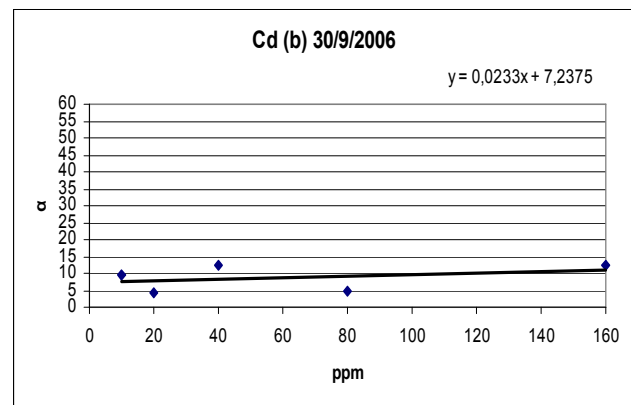
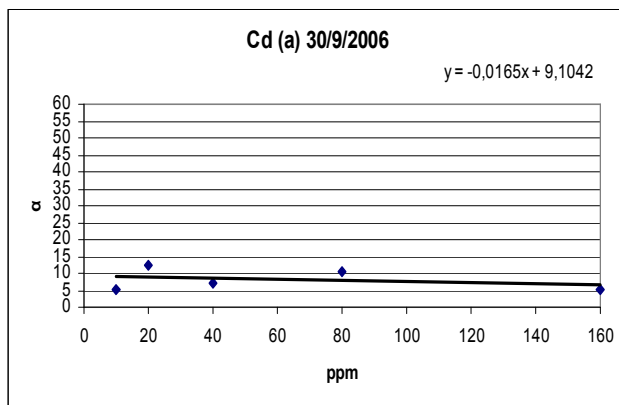
Πίνακας 7.3. Πίνακες περιγραφής του ύψους (α) των φυτών που μετρήθηκαν στις 30/9/2006 σε συνάρτηση με τις διάφορες συγκεντρώσεις καδμίου σε ppm στα φυτά.

ημερομηνία 30/9/2006

| Δείγμα | α | ppm |
|--------------|-------|-----|
| Cd 10 ppm a | 5,30 | 10 |
| Cd 20 ppm a | 12,30 | 20 |
| Cd 40 ppm a | 7,20 | 40 |
| Cd 80 ppm a | 10,30 | 80 |
| Cd 160 ppm a | 5,30 | 160 |

ημερομηνία 30/9/2006

| Δείγμα | α | ppm |
|--------------|-------|-----|
| Cd 10 ppm b | 9,30 | 10 |
| Cd 20 ppm b | 4,40 | 20 |
| Cd 40 ppm b | 12,60 | 40 |
| Cd 80 ppm b | 4,80 | 80 |
| Cd 160 ppm b | 12,30 | 160 |



Γράφημα 5.3. Γραφήματα περιγραφής του ύψους (α) των φυτών στις διάφορες συγκεντρώσεις καδμίου σε ppm στα φυτά στις 30/9/2006.

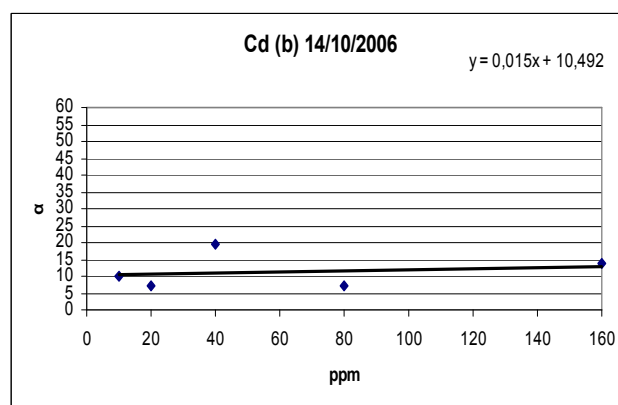
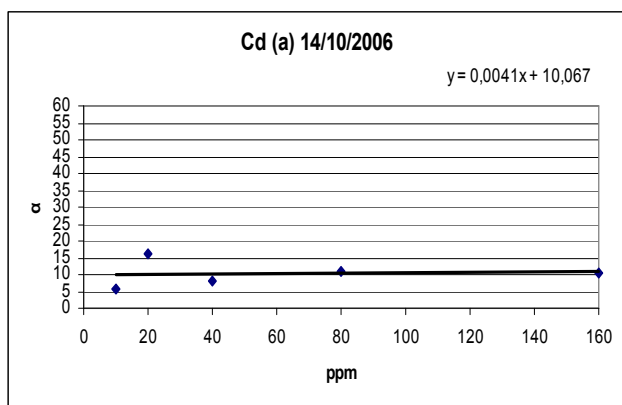
Πίνακας 7.4. Πίνακες περιγραφής του ύψους (α) των φυτών που μετρήθηκαν στις 14/10/2006 σε συνάρτηση με τις διάφορες συγκεντρώσεις καδμίου σε ppm στα φυτά.

ημερομηνία **14/10/2006**

| Δείγμα | α | ppm |
|--------------|-------|-----|
| Cd 10 ppm a | 5,60 | 10 |
| Cd 20 ppm a | 16,40 | 20 |
| Cd 40 ppm a | 8,30 | 40 |
| Cd 80 ppm a | 10,80 | 80 |
| Cd 160 ppm a | 10,50 | 160 |

ημερομηνία **14/10/2006**

| Δείγμα | α | ppm |
|--------------|-------|-----|
| Cd 10 ppm b | 9,90 | 10 |
| Cd 20 ppm b | 7,00 | 20 |
| Cd 40 ppm b | 19,50 | 40 |
| Cd 80 ppm b | 7,10 | 80 |
| Cd 160 ppm b | 13,60 | 160 |



Γράφημα 5.4. Γραφήματα περιγραφής του ύψους (α) των φυτών στις διάφορες συγκεντρώσεις καδμίου σε ppm στα φυτά στις 14/10/2006.

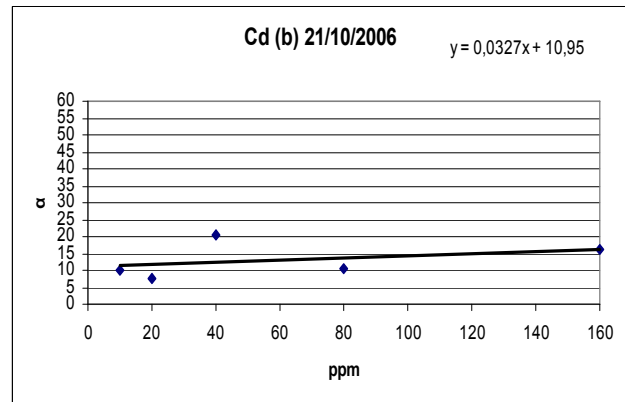
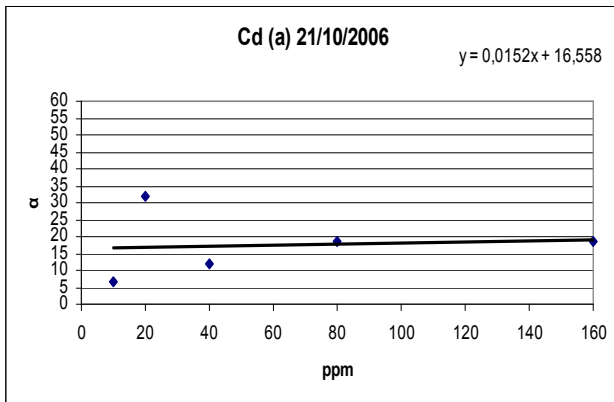
Πίνακας 7.5. Πίνακες περιγραφής του ύψους (α) των φυτών που μετρήθηκαν στις 21/10/2006 σε συνάρτηση με τις διάφορες συγκεντρώσεις καδμίου σε ppm στα φυτά.

ημερομηνία **21/10/2006**

| Δείγμα | α | ppm |
|--------------|-------|-----|
| Cd 10 ppm a | 6,50 | 10 |
| Cd 20 ppm a | 31,70 | 20 |
| Cd 40 ppm a | 12,00 | 40 |
| Cd 80 ppm a | 18,70 | 80 |
| Cd 160 ppm a | 18,60 | 160 |

ημερομηνία **21/10/2006**

| Δείγμα | α | ppm |
|--------------|-------|-----|
| Cd 10 ppm b | 9,90 | 10 |
| Cd 20 ppm b | 7,80 | 20 |
| Cd 40 ppm b | 20,60 | 40 |
| Cd 80 ppm b | 10,30 | 80 |
| Cd 160 ppm b | 16,30 | 160 |



Γράφημα 5.5. Γραφήματα περιγραφής του ύψους (α) των φυτών στις διάφορες συγκεντρώσεις καδμίου σε ppm στα φυτά στις 21/10/2006.

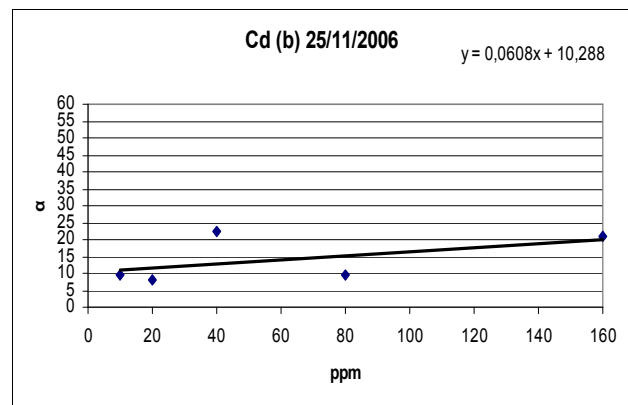
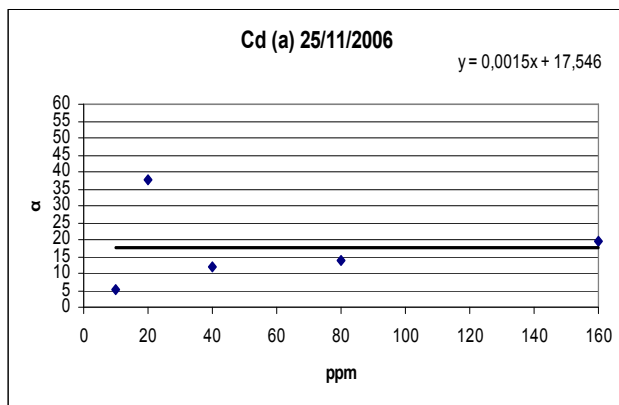
Πίνακας 7.6. Πίνακες περιγραφής του ύψους (α) των φυτών που μετρήθηκαν στις 25/11/2006 σε συνάρτηση με τις διάφορες συγκεντρώσεις καδμίου σε ppm στα φυτά.

ημερομηνία **25/11/2006**

| Δείγμα | α | ppm |
|--------------|-------|-----|
| Cd 10 ppm a | 5,30 | 10 |
| Cd 20 ppm a | 37,70 | 20 |
| Cd 40 ppm a | 11,90 | 40 |
| Cd 80 ppm a | 14,00 | 80 |
| Cd 160 ppm a | 19,30 | 160 |

ημερομηνία **25/11/2006**

| Δείγμα | α | ppm |
|--------------|-------|-----|
| Cd 10 ppm b | 9,60 | 10 |
| Cd 20 ppm b | 8,00 | 20 |
| Cd 40 ppm b | 22,20 | 40 |
| Cd 80 ppm b | 9,50 | 80 |
| Cd 160 ppm b | 21,00 | 160 |



Γράφημα 5.6. Γραφήματα περιγραφής του ύψους (α) των φυτών στις διάφορες συγκεντρώσεις καδμίου σε ppm στα φυτά στις 25/11/2006.

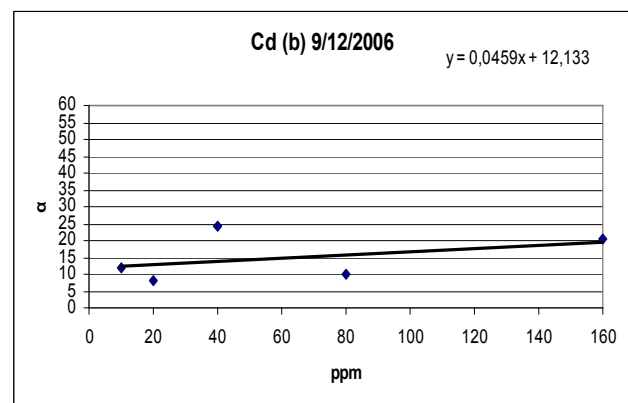
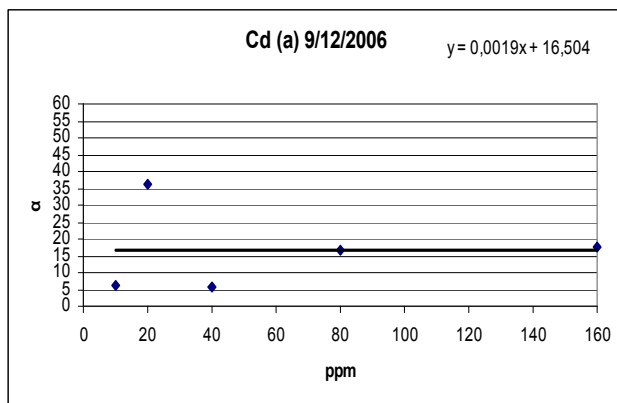
Πίνακας 7.7. Πίνακες περιγραφής του ύψους (α) των φυτών που μετρήθηκαν στις 9/12/2006 σε συνάρτηση με τις διάφορες συγκεντρώσεις καδμίου σε ppm στα φυτά.

ημερομηνία 9/12/2006

| Δείγμα | α | ppm |
|--------------|-------|-----|
| Cd 10 ppm a | 6,40 | 10 |
| Cd 20 ppm a | 36,40 | 20 |
| Cd 40 ppm a | 5,90 | 40 |
| Cd 80 ppm a | 16,90 | 80 |
| Cd 160 ppm a | 17,50 | 160 |

ημερομηνία 9/12/2006

| Δείγμα | α | ppm |
|--------------|-------|-----|
| Cd 10 ppm b | 11,90 | 10 |
| Cd 20 ppm b | 8,20 | 20 |
| Cd 40 ppm b | 24,50 | 40 |
| Cd 80 ppm b | 9,80 | 80 |
| Cd 160 ppm b | 20,50 | 160 |



Γράφημα 5.7. Γραφήματα περιγραφής του ύψους (α) των φυτών στις διάφορες συγκεντρώσεις καδμίου σε ppm στα φυτά στις 9/12/2006.

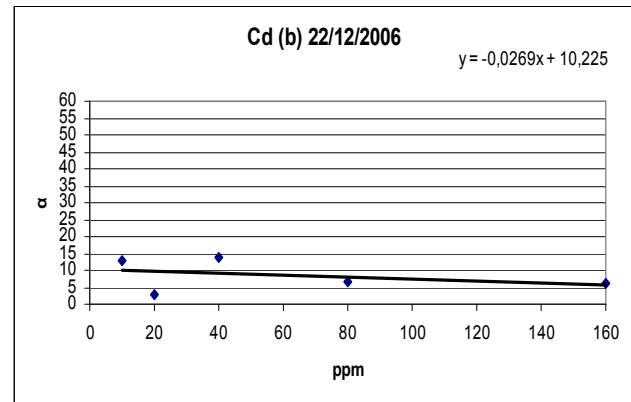
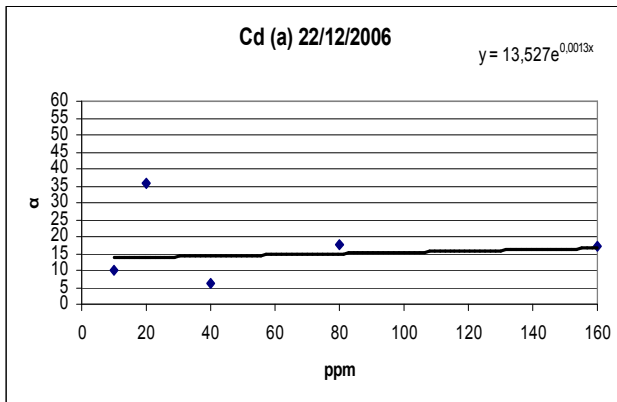
Πίνακας 7.8. Πίνακες περιγραφής του ύψους (α) των φυτών που μετρήθηκαν στις 22/12/2006 σε συνάρτηση με τις διάφορες συγκεντρώσεις καδμίου σε ppm στα φυτά.

ημερομηνία 22/12/2006

| Δείγμα | α | ppm |
|--------------|-------|-----|
| Cd 10 ppm a | 10,20 | 10 |
| Cd 20 ppm a | 35,70 | 20 |
| Cd 40 ppm a | 6,10 | 40 |
| Cd 80 ppm a | 17,70 | 80 |
| Cd 160 ppm a | 17,00 | 160 |

ημερομηνία 22/12/2006

| Δείγμα | α | ppm |
|--------------|-------|-----|
| Cd 10 ppm b | 13,00 | 10 |
| Cd 20 ppm b | 3,00 | 20 |
| Cd 40 ppm b | 14,00 | 40 |
| Cd 80 ppm b | 6,80 | 80 |
| Cd 160 ppm b | 6,00 | 160 |

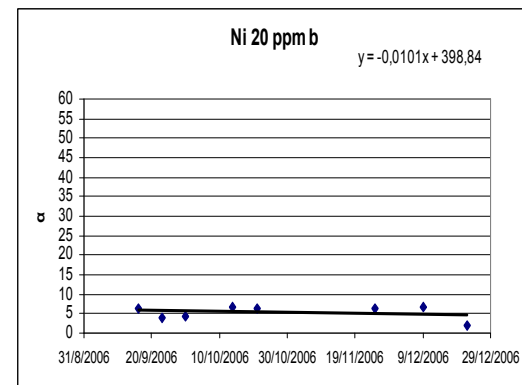
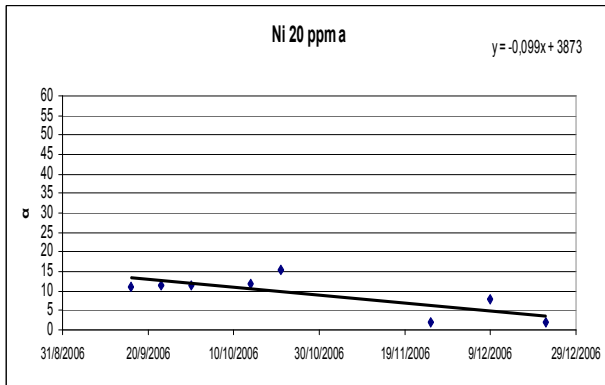
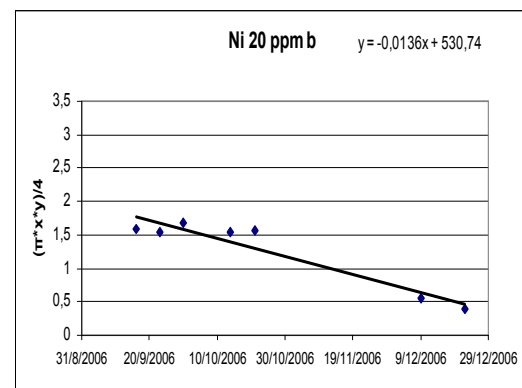
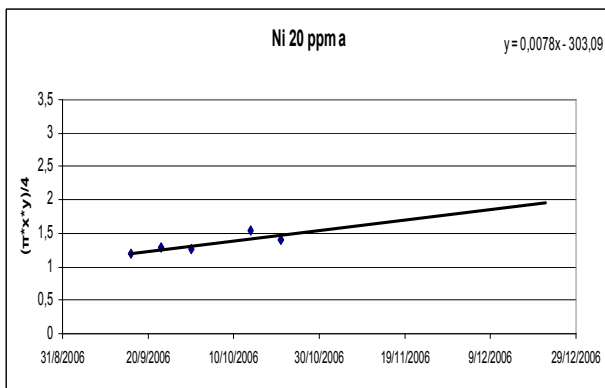
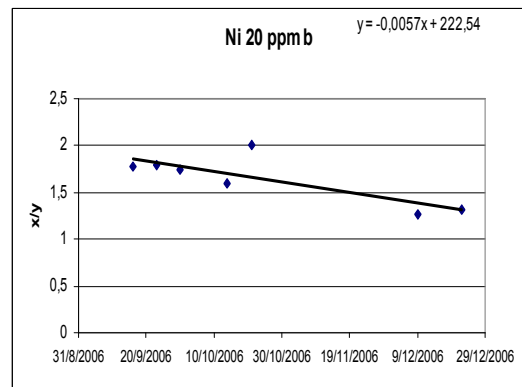
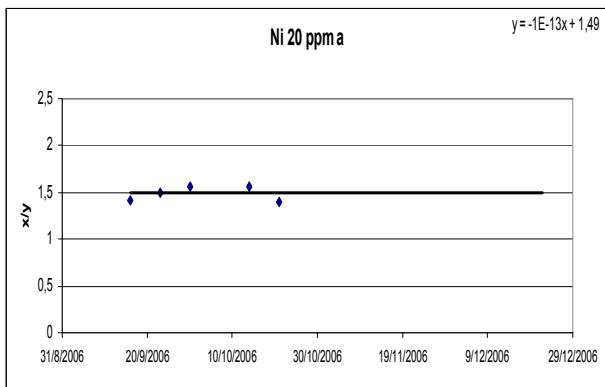


Γράφημα 5.8. Γραφήματα περιγραφής του ύψους (α) των φυτών στις διάφορες συγκεντρώσεις καδμίου σε ppm στα φυτά στις 22/12/2006.

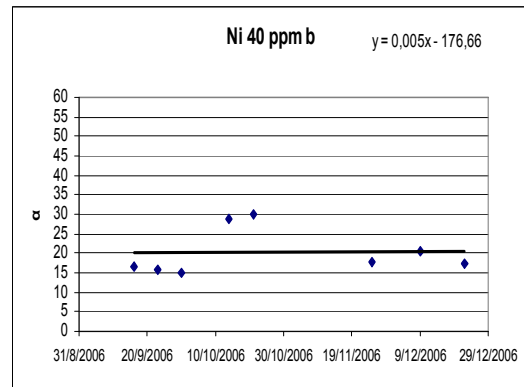
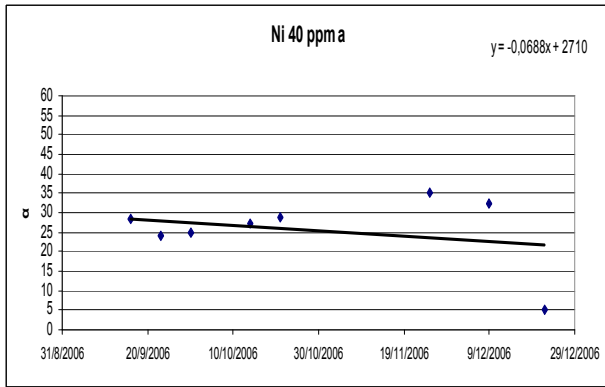
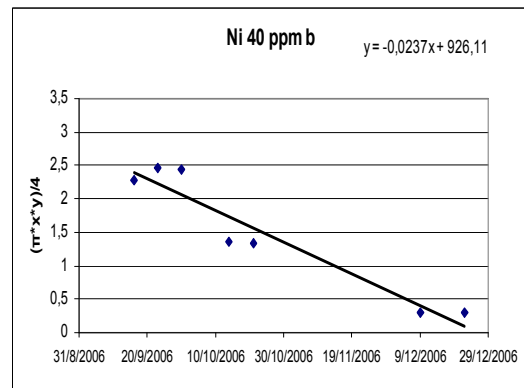
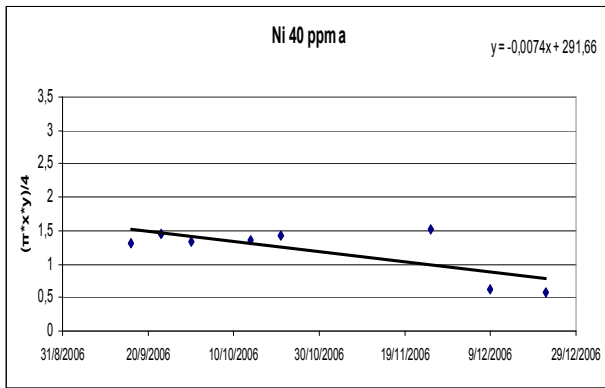
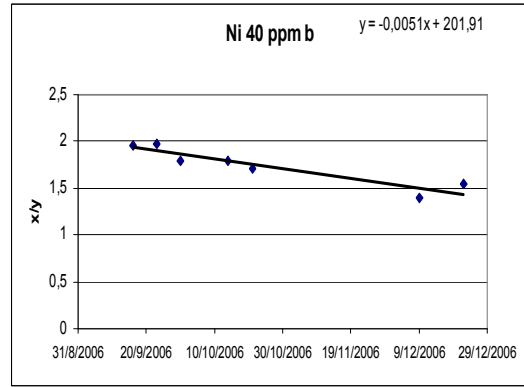
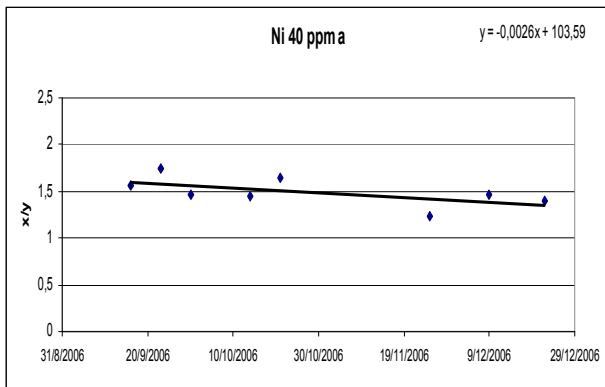
4.2.3 Ni

Πίνακας 8 Αποτελέσματα μετρήσεων παρακολούθησης ανάπτυξης των φυτών σε χώμα εμποτισμένο με νικέλιο. Οι ποσότητες x/y και $(n*x*y)/4$ είναι εκφρασμένες σε cm.

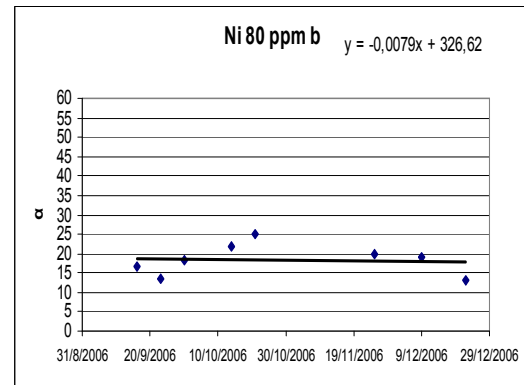
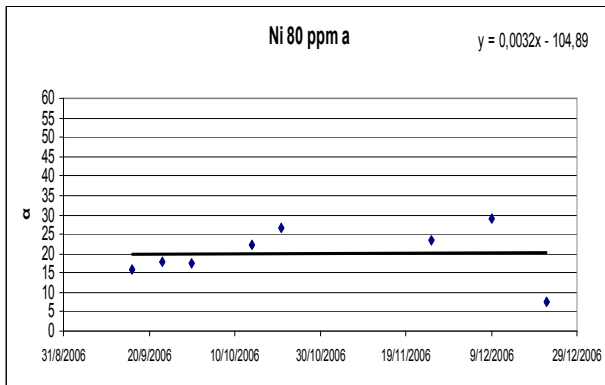
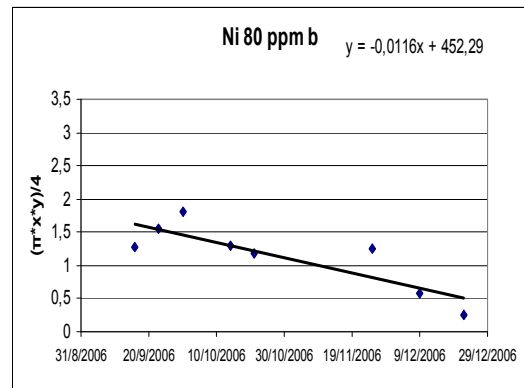
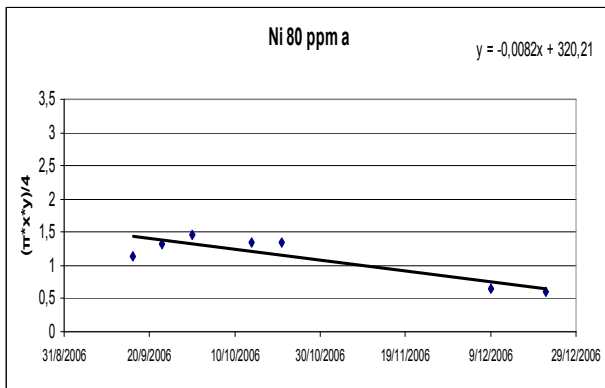
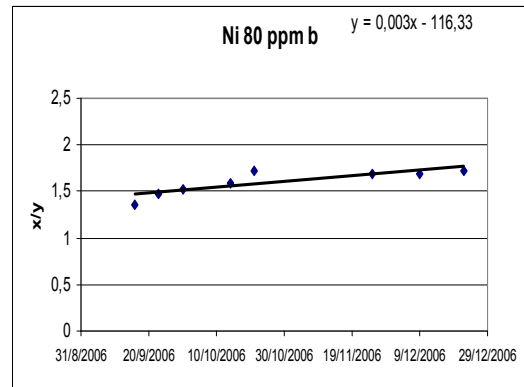
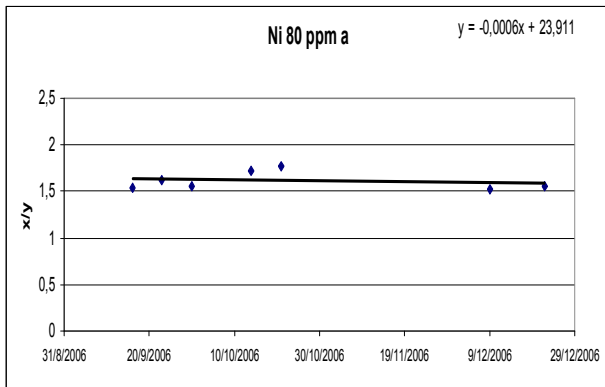
| | 16/9/06 | 23/9/06 | 30/9/06 | 14/10/06 | 21/10/06 | 25/11/06 | 9/12/06 | 22/12/06 |
|---------------------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|---------|----------|
| Ni 20 ppm a | | | | | | | | |
| x/y | 1,42 | 1,50 | 1,57 | 1,56 | 1,40 | | | |
| $(n*x*y)/4$ | 1,20 | 1,29 | 1,26 | 1,54 | 1,41 | | | |
| α | 11,10 | 11,60 | 11,30 | 11,80 | 15,30 | 2,00 | 8,00 | 2,00 |
| Ni 20 ppm b | | | | | | | | |
| x/y | 1,78 | 1,79 | 1,75 | 1,60 | 2,00 | | 1,27 | 1,32 |
| $(n*x*y)/4$ | 1,58 | 1,55 | 1,68 | 1,54 | 1,57 | | 0,56 | 0,40 |
| α | 6,50 | 3,80 | 4,50 | 6,70 | 6,50 | 6,50 | 6,60 | 2,00 |
| Ni 40 ppm a | | | | | | | | |
| x/y | 1,56 | 1,74 | 1,46 | 1,45 | 1,64 | 1,24 | 1,46 | 1,39 |
| $(n*x*y)/4$ | 1,32 | 1,46 | 1,33 | 1,37 | 1,43 | 1,52 | 0,63 | 0,57 |
| α | 28,30 | 23,90 | 24,80 | 27,30 | 28,70 | 35,00 | 32,30 | 5,10 |
| Ni 40 ppm b | | | | | | | | |
| x/y | 1,95 | 1,98 | 1,79 | 1,80 | 1,71 | | 1,40 | 1,54 |
| $(n*x*y)/4$ | 2,27 | 2,47 | 2,43 | 1,36 | 1,33 | | 0,31 | 0,29 |
| α | 16,60 | 15,60 | 15,10 | 28,80 | 29,90 | 17,80 | 20,40 | 17,30 |
| Ni 80 ppm a | | | | | | | | |
| x/y | 1,54 | 1,63 | 1,56 | 1,72 | 1,77 | | 1,53 | 1,56 |
| $(n*x*y)/4$ | 1,14 | 1,33 | 1,46 | 1,34 | 1,34 | | 0,64 | 0,60 |
| α | 16,00 | 17,70 | 17,30 | 22,40 | 26,70 | 23,30 | 29,10 | 7,50 |
| Ni 80 ppm b | | | | | | | | |
| x/y | 1,36 | 1,48 | 1,53 | 1,59 | 1,72 | 1,69 | 1,69 | 1,73 |
| $(n*x*y)/4$ | 1,28 | 1,55 | 1,80 | 1,29 | 1,18 | 1,25 | 0,57 | 0,25 |
| α | 16,80 | 13,60 | 18,20 | 21,90 | 25,00 | 19,90 | 19,20 | 13,00 |
| Ni 160 ppm a | | | | | | | | |
| x/y | 1,09 | 1,19 | 1,22 | 1,47 | 1,51 | | | 1,40 |
| $(n*x*y)/4$ | 1,87 | 2,46 | 2,41 | 2,22 | 2,24 | | | 0,90 |
| α | 7,80 | 6,90 | 8,40 | 8,70 | 18,60 | 17,00 | 21,30 | 7,50 |
| Ni 160 ppm b | | | | | | | | |
| x/y | 1,40 | 1,44 | 1,60 | 1,28 | 1,42 | | 1,34 | 1,30 |
| $(n*x*y)/4$ | 1,29 | 1,94 | 2,18 | 2,08 | 2,03 | | 0,55 | 0,15 |
| α | 17,60 | 20,40 | 28,30 | 55,50 | 53,30 | 59,10 | 57,50 | 46,50 |
| Ni 320 ppm a | | | | | | | | |
| x/y | 1,79 | 1,65 | 1,59 | | | | 1,00 | 1,27 |
| $(n*x*y)/4$ | 2,03 | 1,25 | 1,45 | | | | 0,28 | 0,26 |
| α | 12,70 | 12,90 | 12,40 | 33,00 | 36,00 | 27,00 | 27,80 | 16,00 |
| Ni 320 ppm b | | | | | | | | |
| x/y | 1,29 | 1,36 | 1,25 | | 2,02 | | 1,46 | 1,29 |
| $(n*x*y)/4$ | 0,65 | 1,29 | 1,52 | | 0,66 | | 0,39 | 0,37 |
| α | 8,40 | 10,10 | 11,00 | 27,00 | 25,20 | 25,20 | 25,50 | 17,00 |



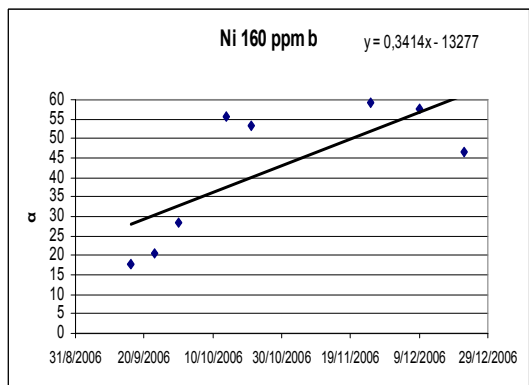
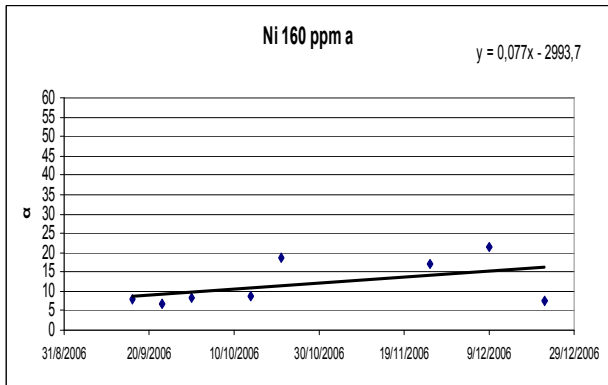
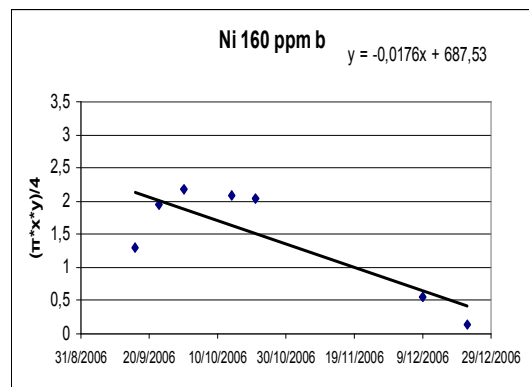
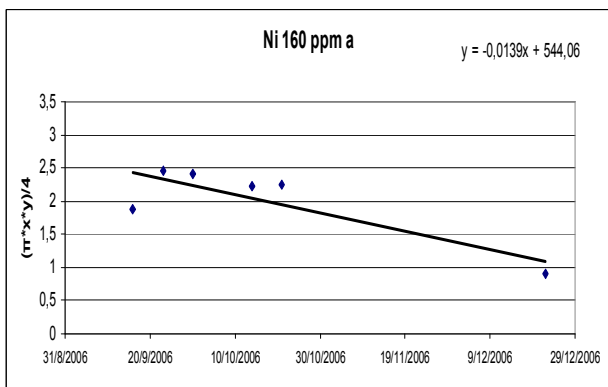
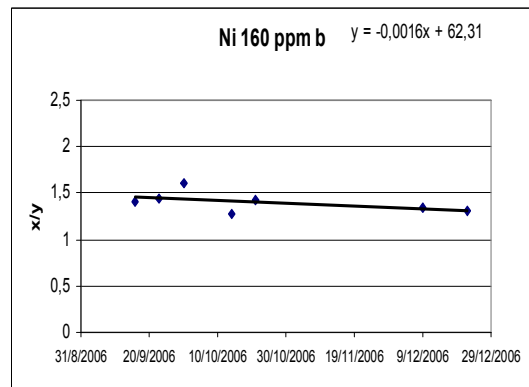
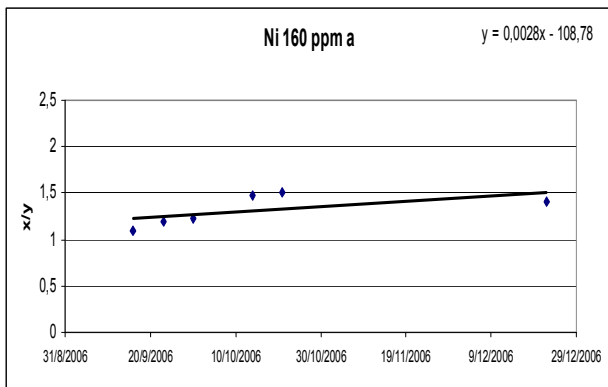
Γράφημα 6.1. Γραφήματα περιγραφής του λόγου μήκος / πλάτος (x/y) των φύλλων, της φυλλικής επιφάνειας [(π*x*y)/4] και του ύψους (α) των φυτών σε cm που αναπτύχθηκαν σε χώμα εμποτισμένο με Ni 20 ppm σε συνάρτηση με τις ημερομηνίες που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις.



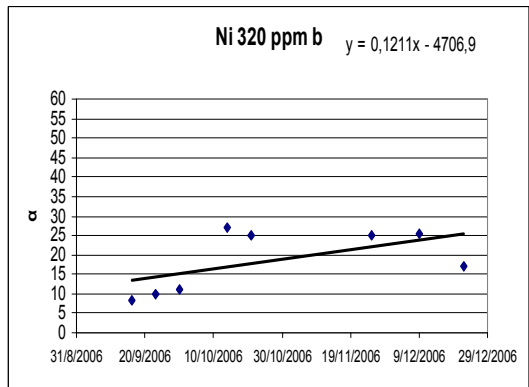
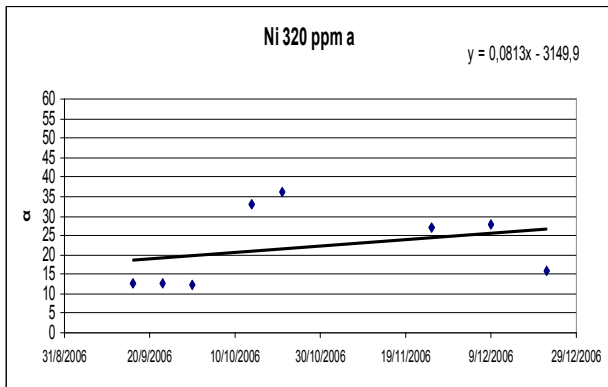
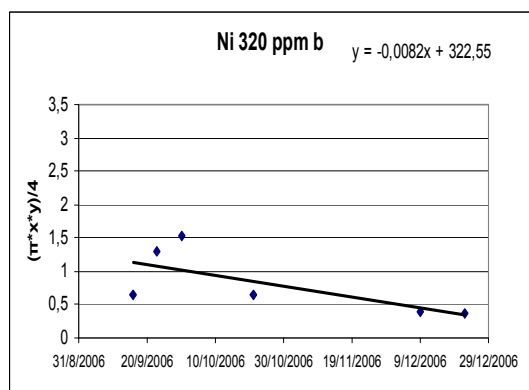
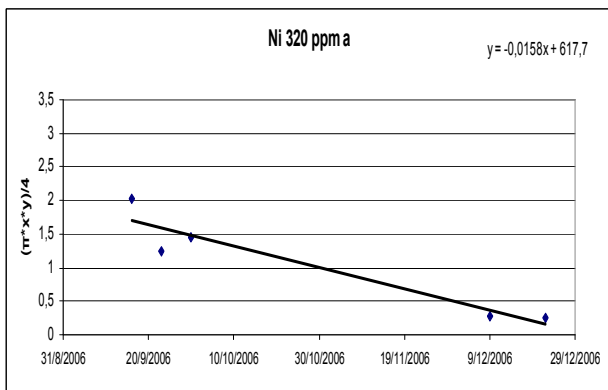
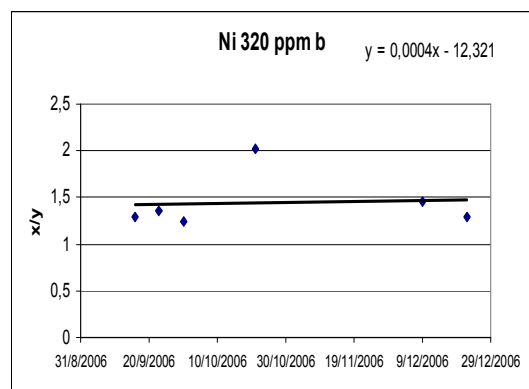
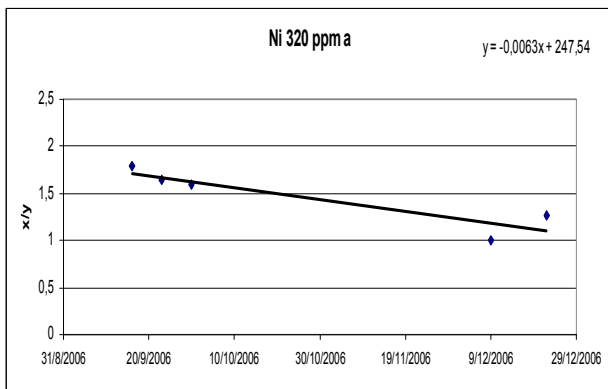
Γράφημα 6.2. Γραφήματα περιγραφής του λόγου μήκος / πλάτος (x/y) των φύλλων, της φυλλικής επιφάνειας [(π*x*y)/4] και του ύψους (α) των φυτών σε cm που αναπτύχθηκαν σε χώμα εμποτισμένο με Ni 40 ppm σε συνάρτηση με τις ημερομηνίες που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις.



Γράφημα 6.3. Γραφήματα περιγραφής του λόγου μήκος / πλάτος (x/y) των φύλλων, της φυλλικής επιφάνειας [(π*x*y)/4] και του ύψους (α) των φυτών σε cm που αναπτύχθηκαν σε χώμα εμποτισμένο με Ni 80 ppm σε συνάρτηση με τις ημερομηνίες που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις.



Γράφημα 6.4. Γραφήματα περιγραφής του λόγου μήκος / πλάτος (x/y) των φύλλων, της φυλλικής επιφάνειας [(π*x*y)/4] και του ύψους (α) των φυτών σε cm που αναπτύχθηκαν σε χώμα εμποτισμένο με Ni 160 ppm σε συνάρτηση με τις ημερομηνίες που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις.



Γράφημα 6.5. Γραφήματα περιγραφής του λόγου μήκος / πλάτος (x/y) των φύλλων, της φυλλικής επιφάνειας [(π*x*y)/4] και του ύψους (α) των φυτών σε cm που αναπτύχθηκαν σε χώμα εμποτισμένο με Ni 320 ppm σε συνάρτηση με τις ημερομηνίες που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις.

Πίνακας 9.1. Πίνακες περιγραφής των Μ.Ο. του λόγου μήκος / πλάτος (x/y) των φύλλων που μετρήθηκαν στις 16/9/2006 σε συνάρτηση με τις διάφορες συγκεντρώσεις νικελίου σε ppm στα φυτά.

ημερομηνία

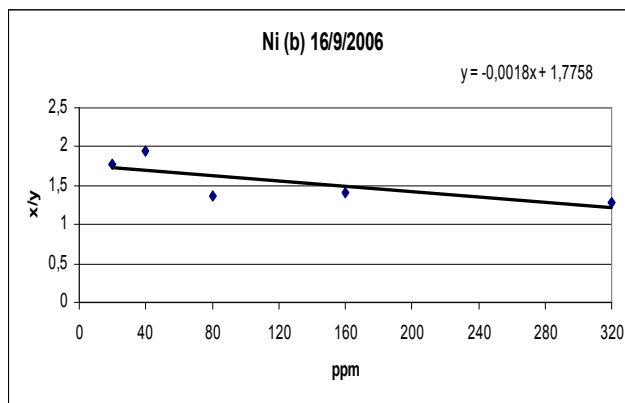
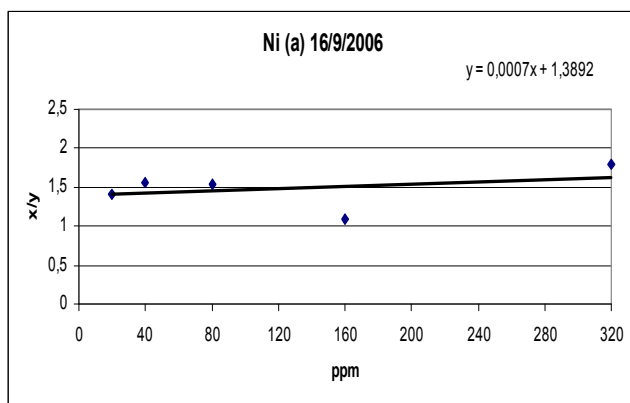
16/9/2006

| Δείγμα | x/y (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------|-----|
| Ni 20 ppm a | 1,42 | 20 |
| Ni 40 ppm a | 1,56 | 40 |
| Ni 80 ppm a | 1,54 | 80 |
| Ni 160 ppm a | 1,09 | 160 |
| Ni 320 ppm a | 1,79 | 320 |

ημερομηνία

16/9/2006

| Δείγμα | x/y (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------|-----|
| Ni 20 ppm b | 1,78 | 20 |
| Ni 40 ppm b | 1,95 | 40 |
| Ni 80 ppm b | 1,36 | 80 |
| Ni 160 ppm b | 1,40 | 160 |
| Ni 320 ppm b | 1,29 | 320 |



Γράφημα 7.1. Γραφήματα περιγραφής των Μ.Ο. του λόγου μήκος / πλάτος (x/y) των φύλλων στις διάφορες συγκεντρώσεις νικελίου σε ppm στα φυτά στις 16/9/2006.

Πίνακας 9.2. Πίνακες περιγραφής των Μ.Ο. του λόγου μήκος / πλάτος (x/y) των φύλλων που μετρήθηκαν στις 23/9/2006 σε συνάρτηση με τις διάφορες συγκεντρώσεις νικελίου σε ppm στα φυτά.

ημερομηνία

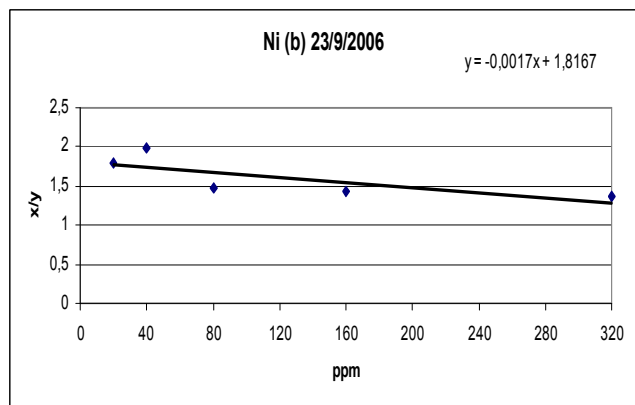
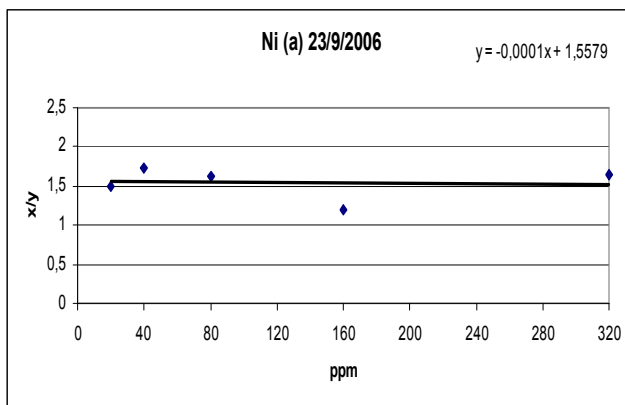
23/9/2006

ημερομηνία

23/9/2006

| Δείγμα | x/y (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------|-----|
| Ni 20 ppm a | 1,50 | 20 |
| Ni 40 ppm a | 1,74 | 40 |
| Ni 80 ppm a | 1,63 | 80 |
| Ni 160 ppm a | 1,19 | 160 |
| Ni 320 ppm a | 1,65 | 320 |

| Δείγμα | x/y (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------|-----|
| Ni 20 ppm b | 1,79 | 20 |
| Ni 40 ppm b | 1,98 | 40 |
| Ni 80 ppm b | 1,48 | 80 |
| Ni 160 ppm b | 1,44 | 160 |
| Ni 320 ppm b | 1,36 | 320 |



Γράφημα 7.2. Γραφήματα περιγραφής των Μ.Ο. του λόγου μήκος / πλάτος (x/y) των φύλλων στις διάφορες συγκεντρώσεις νικελίου σε ppm στα φυτά στις 23/9/2006.

Πίνακας 9.3. Πίνακες περιγραφής των Μ.Ο. του λόγου μήκος / πλάτος (x/y) των φύλλων που μετρήθηκαν στις 30/9/2006 σε συνάρτηση με τις διάφορες συγκεντρώσεις νικελίου σε ppm στα φυτά.

ημερομηνία

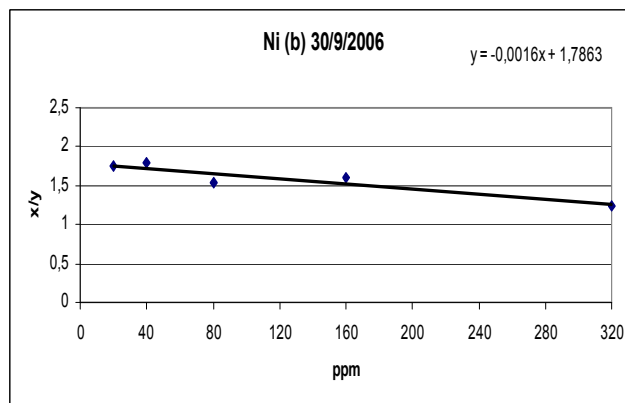
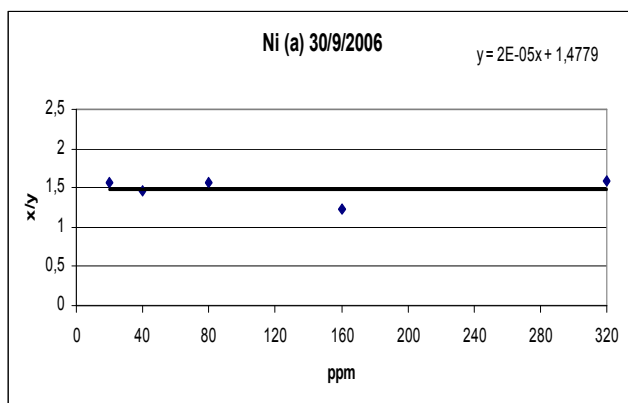
30/9/2006

| Δείγμα | x/y (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------|-----|
| Ni 20 ppm a | 1,57 | 20 |
| Ni 40 ppm a | 1,46 | 40 |
| Ni 80 ppm a | 1,56 | 80 |
| Ni 160 ppm a | 1,22 | 160 |
| Ni 320 ppm a | 1,59 | 320 |

ημερομηνία

30/9/2006

| Δείγμα | x/y (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------|-----|
| Ni 20 ppm b | 1,75 | 20 |
| Ni 40 ppm b | 1,79 | 40 |
| Ni 80 ppm b | 1,53 | 80 |
| Ni 160 ppm b | 1,60 | 160 |
| Ni 320 ppm b | 1,25 | 320 |



Γράφημα 7.3. Γραφήματα περιγραφής των Μ.Ο. του λόγου μήκος / πλάτος (x/y) των φύλλων στις διάφορες συγκεντρώσεις νικελίου σε ppm στα φυτά στις 30/9/2006.

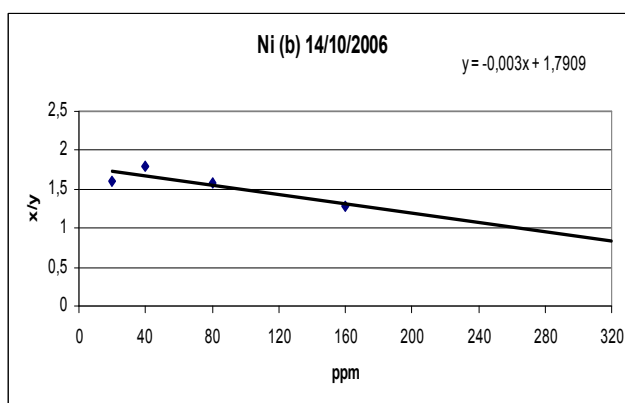
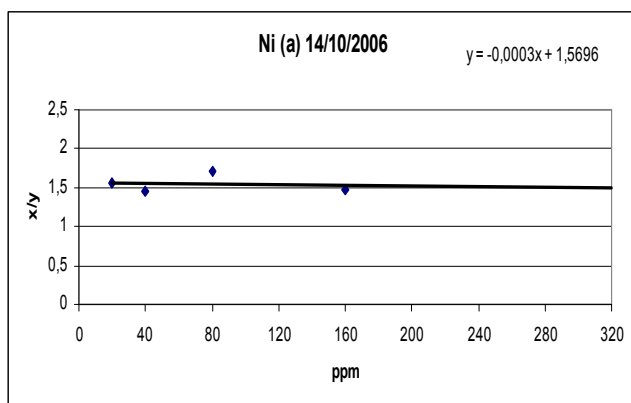
Πίνακας 9.4. Πίνακες περιγραφής των Μ.Ο. του λόγου μήκος / πλάτος (x/y) των φύλλων που μετρήθηκαν στις 14/10/2006 σε συνάρτηση με τις διάφορες συγκεντρώσεις νικελίου σε ppm στα φυτά.

ημερομηνία **14/10/2006**

| Δείγμα | x/y (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------|-----|
| Ni 20 ppm a | 1,56 | 20 |
| Ni 40 ppm a | 1,45 | 40 |
| Ni 80 ppm a | 1,72 | 80 |
| Ni 160 ppm a | 1,47 | 160 |
| Ni 320 ppm a | | 320 |

ημερομηνία **14/10/2006**

| Δείγμα | x/y (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------|-----|
| Ni 20 ppm b | 1,60 | 20 |
| Ni 40 ppm b | 1,80 | 40 |
| Ni 80 ppm b | 1,59 | 80 |
| Ni 160 ppm b | 1,28 | 160 |
| Ni 320 ppm b | | 320 |



Γράφημα 7.4. Γραφήματα περιγραφής των Μ.Ο. του λόγου μήκος / πλάτος (x/y) των φύλλων στις διάφορες συγκεντρώσεις νικελίου σε ppm στα φυτά στις 14/10/2006.

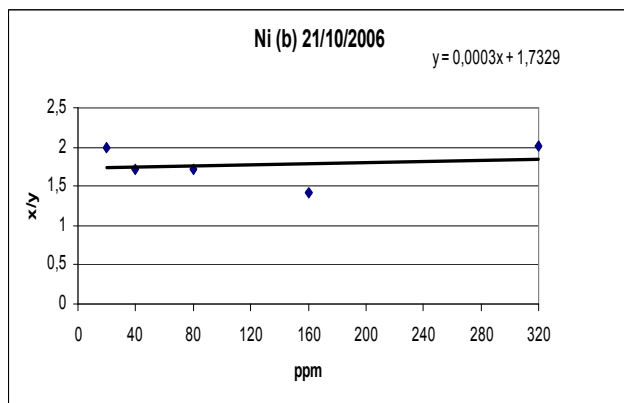
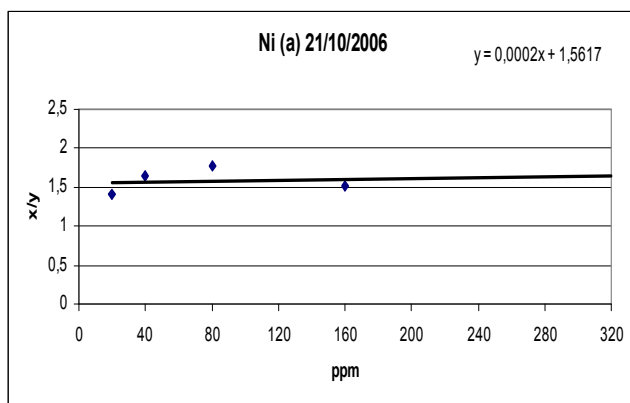
Πίνακας 9.5. Πίνακες περιγραφής των Μ.Ο. του λόγου μήκος / πλάτος (x/y) των φύλλων που μετρήθηκαν στις 21/10/2006 σε συνάρτηση με τις διάφορες συγκεντρώσεις νικελίου σε ppm στα φυτά.

ημερομηνία **21/10/2006**

| Δείγμα | x/y (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------|-----|
| Ni 20 ppm a | 1,40 | 20 |
| Ni 40 ppm a | 1,64 | 40 |
| Ni 80 ppm a | 1,77 | 80 |
| Ni 160 ppm a | 1,51 | 160 |
| Ni 320 ppm a | | 320 |

ημερομηνία **21/10/2006**

| Δείγμα | x/y (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------|-----|
| Ni 20 ppm b | 2,00 | 20 |
| Ni 40 ppm b | 1,71 | 40 |
| Ni 80 ppm b | 1,72 | 80 |
| Ni 160 ppm b | 1,42 | 160 |
| Ni 320 ppm b | 2,02 | 320 |



Γράφημα 7.5. Γραφήματα περιγραφής των Μ.Ο. του λόγου μήκος / πλάτος (x/y) των φύλλων στις διάφορες συγκεντρώσεις νικελίου σε ppm στα φυτά στις 21/10/2006.

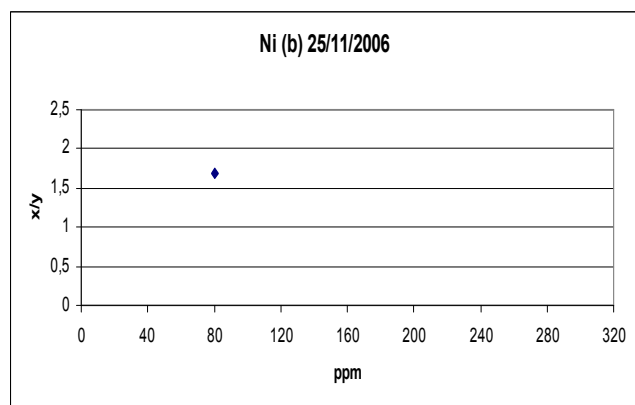
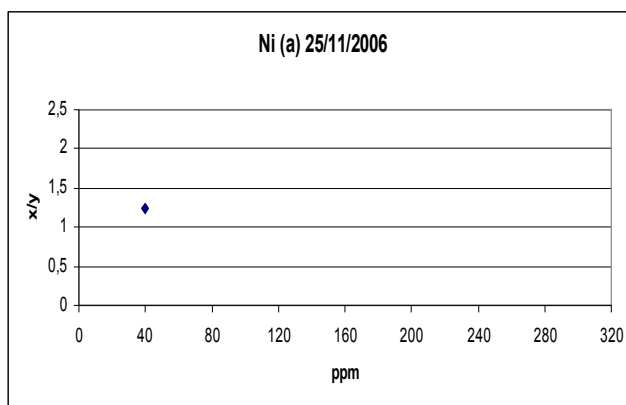
Πίνακας 9.6. Πίνακες περιγραφής των Μ.Ο. του λόγου μήκος / πλάτος (x/y) των φύλλων που μετρήθηκαν στις 25/11/2006 σε συνάρτηση με τις διάφορες συγκεντρώσεις νικελίου σε ppm στα φυτά.

ημερομηνία **25/11/2006**

| Δείγμα | x/y (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------|-----|
| Ni 20 ppm a | | 20 |
| Ni 40 ppm a | 1,24 | 40 |
| Ni 80 ppm a | | 80 |
| Ni 160 ppm a | | 160 |
| Ni 320 ppm a | | 320 |

ημερομηνία **25/11/2006**

| Δείγμα | x/y (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------|-----|
| Ni 20 ppm b | | 20 |
| Ni 40 ppm b | | 40 |
| Ni 80 ppm b | 1,69 | 80 |
| Ni 160 ppm b | | 160 |
| Ni 320 ppm b | | 320 |



Γράφημα 7.6. Γραφήματα περιγραφής των Μ.Ο. του λόγου μήκος / πλάτος (x/y) των φύλλων στις διάφορες συγκεντρώσεις νικελίου σε ppm στα φυτά στις 25/11/2006.

Πίνακας 9.7. Πίνακες περιγραφής των Μ.Ο. του λόγου μήκος / πλάτος (x/y) των φύλλων που μετρήθηκαν στις 9/12/2006 σε συνάρτηση με τις διάφορες συγκεντρώσεις νικελίου σε ppm στα φυτά.

ημερομηνία

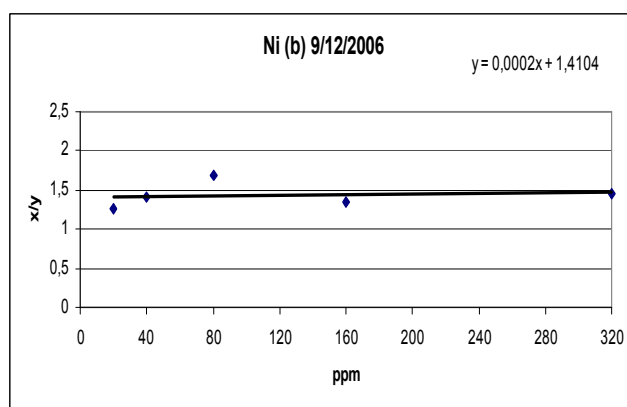
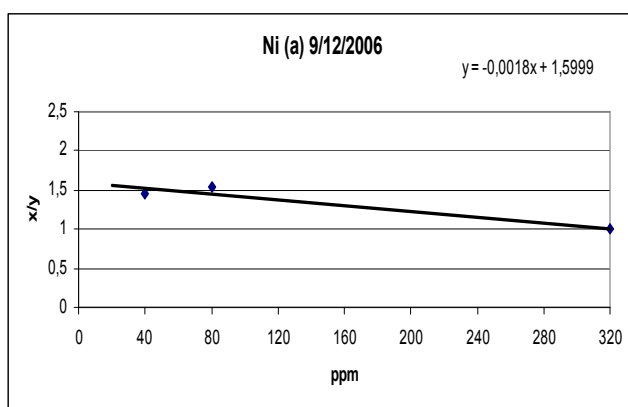
9/12/2006

| Δείγμα | x/y (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------|-----|
| Ni 20 ppm a | | 20 |
| Ni 40 ppm a | 1,46 | 40 |
| Ni 80 ppm a | 1,53 | 80 |
| Ni 160 ppm a | | 160 |
| Ni 320 ppm a | 1,00 | 320 |

ημερομηνία

9/12/2006

| Δείγμα | x/y (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------|-----|
| Ni 20 ppm b | 1,27 | 20 |
| Ni 40 ppm b | 1,40 | 40 |
| Ni 80 ppm b | 1,69 | 80 |
| Ni 160 ppm b | 1,34 | 160 |
| Ni 320 ppm b | 1,46 | 320 |



Γράφημα 7.7. Γραφήματα περιγραφής των Μ.Ο. του λόγου μήκος / πλάτος (x/y) των φύλλων στις διάφορες συγκεντρώσεις νικελίου σε ppm στα φυτά στις 9/12/2006.

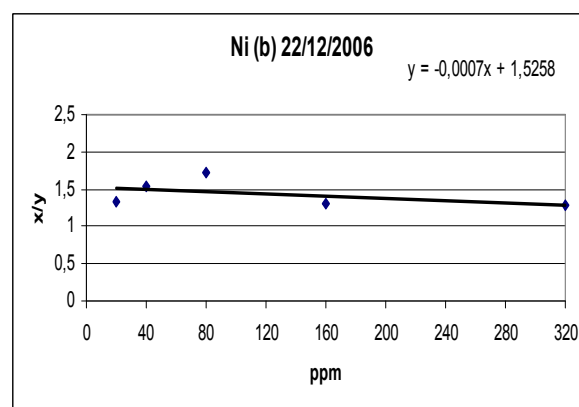
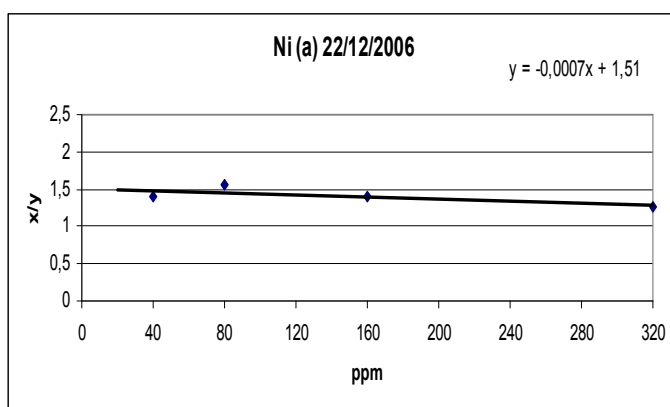
Πίνακας 9.8. Πίνακες περιγραφής των Μ.Ο. του λόγου μήκος / πλάτος (x/y) των φύλλων που μετρήθηκαν στις 22/12/2006 σε συνάρτηση με τις διάφορες συγκεντρώσεις νικελίου σε ppm στα φυτά.

ημερομηνία **22/12/2006**

| Δείγμα | x/y (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------|-----|
| Ni 20 ppm a | | 20 |
| Ni 40 ppm a | 1,39 | 40 |
| Ni 80 ppm a | 1,56 | 80 |
| Ni 160 ppm a | 1,40 | 160 |
| Ni 320 ppm a | 1,27 | 320 |

ημερομηνία **22/12/2006**

| Δείγμα | x/y (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------|-----|
| Ni 20 ppm b | 1,32 | 20 |
| Ni 40 ppm b | 1,54 | 40 |
| Ni 80 ppm b | 1,73 | 80 |
| Ni 160 ppm b | 1,30 | 160 |
| Ni 320 ppm b | 1,29 | 320 |



Γράφημα 7.8. Γραφήματα περιγραφής των Μ.Ο. του λόγου μήκος / πλάτος (x/y) των φύλλων στις διάφορες συγκεντρώσεις νικελίου σε ppm στα φυτά στις 22/12/2006.

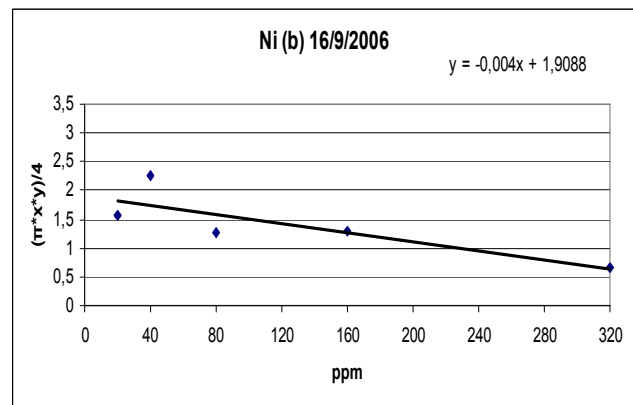
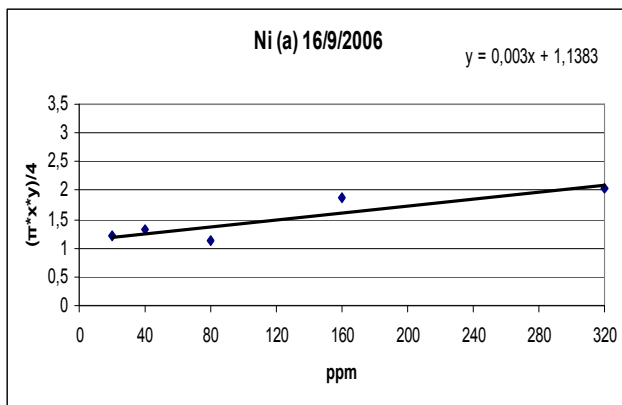
Πίνακας 10.1. Πίνακες περιγραφής των Μ.Ο. της φυλλικής επιφάνειας $[(\pi \cdot x \cdot y)/4]$ των φύλλων που μετρήθηκαν στις 16/9/2006 σε συνάρτηση με τις διάφορες συγκεντρώσεις νικελίου σε ppm στα φυτά.

ημερομηνία **16/9/2006**

| Δείγμα | $[(\pi \cdot x \cdot y)/4]$ (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------------------------------|-----|
| Ni 20 ppm a | 1,20 | 20 |
| Ni 40 ppm a | 1,32 | 40 |
| Ni 80 ppm a | 1,14 | 80 |
| Ni 160 ppm a | 1,87 | 160 |
| Ni 320 ppm a | 2,03 | 320 |

ημερομηνία **16/9/2006**

| Δείγμα | $[(\pi \cdot x \cdot y)/4]$ (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------------------------------|-----|
| Ni 20 ppm b | 1,58 | 20 |
| Ni 40 ppm b | 2,27 | 40 |
| Ni 80 ppm b | 1,28 | 80 |
| Ni 160 ppm b | 1,29 | 160 |
| Ni 320 ppm b | 0,65 | 320 |



Γράφημα 8.1. Γραφήματα περιγραφής των Μ.Ο. της φυλλικής επιφάνειας $[(\pi \cdot x \cdot y)/4]$ των φύλλων στις διάφορες συγκεντρώσεις νικελίου σε ppm στα φυτά στις 16/9/2006.

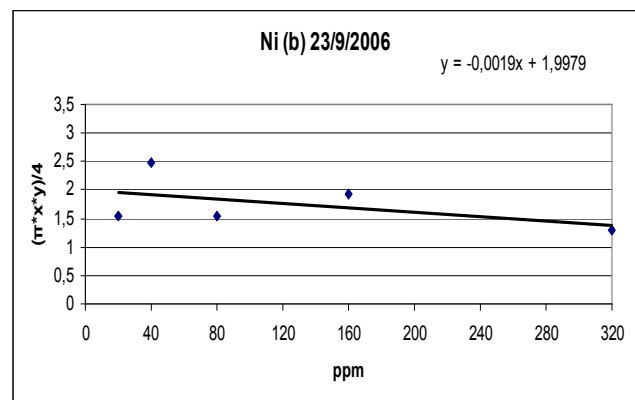
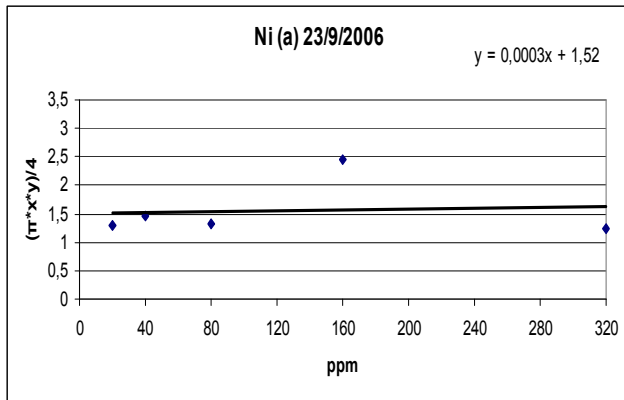
Πίνακας 10.2. Πίνακες περιγραφής των Μ.Ο. της φυλλικής επιφάνειας $[(\pi*x*y)/4]$ των φύλλων που μετρήθηκαν στις 23/9/2006 σε συνάρτηση με τις διάφορες συγκεντρώσεις νικελίου σε ppm στα φυτά.

ημερομηνία **23/9/2006**

| Δείγμα | $[(\pi*x*y)/4]$ (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------------------|-----|
| Ni 20 ppm a | 1,29 | 20 |
| Ni 40 ppm a | 1,46 | 40 |
| Ni 80 ppm a | 1,33 | 80 |
| Ni 160 ppm a | 2,46 | 160 |
| Ni 320 ppm a | 1,25 | 320 |

ημερομηνία **23/9/2006**

| Δείγμα | $[(\pi*x*y)/4]$ (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------------------|-----|
| Ni 20 ppm b | 1,55 | 20 |
| Ni 40 ppm b | 2,47 | 40 |
| Ni 80 ppm b | 1,55 | 80 |
| Ni 160 ppm b | 1,94 | 160 |
| Ni 320 ppm b | 1,29 | 320 |



Γράφημα 8.2. Γραφήματα περιγραφής των Μ.Ο. της φυλλικής επιφάνειας $[(\pi*x*y)/4]$ των φύλλων στις διάφορες συγκεντρώσεις νικελίου σε ppm στα φυτά στις 23/9/2006.

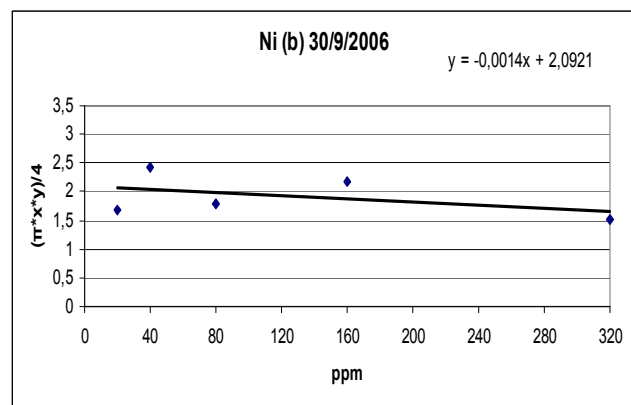
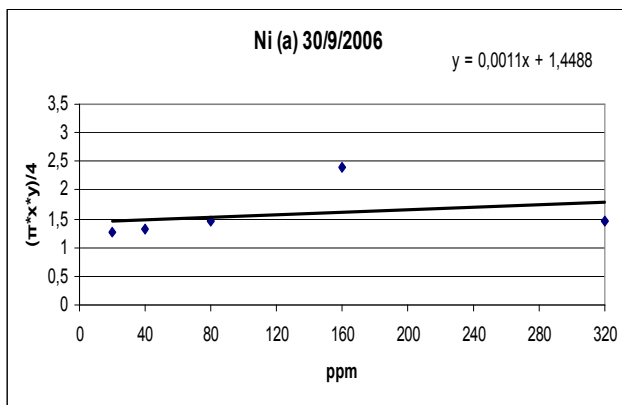
Πίνακας 10.3. Πίνακες περιγραφής των Μ.Ο. της φυλλικής επιφάνειας $[(\pi*x*y)/4]$ των φύλλων που μετρήθηκαν στις 30/9/2006 σε συνάρτηση με τις διάφορες συγκεντρώσεις νικελίου σε ppm στα φυτά.

ημερομηνία **30/9/2006**

| Δείγμα | $[(\pi*x*y)/4]$ (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------------------|-----|
| Ni 20 ppm a | 1,26 | 20 |
| Ni 40 ppm a | 1,33 | 40 |
| Ni 80 ppm a | 1,46 | 80 |
| Ni 160 ppm a | 2,41 | 160 |
| Ni 320 ppm a | 1,45 | 320 |

ημερομηνία **30/9/2006**

| Δείγμα | $[(\pi*x*y)/4]$ (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------------------|-----|
| Ni 20 ppm b | 1,68 | 20 |
| Ni 40 ppm b | 2,43 | 40 |
| Ni 80 ppm b | 1,80 | 80 |
| Ni 160 ppm b | 2,18 | 160 |
| Ni 320 ppm b | 1,52 | 320 |



Γράφημα 8.3. Γραφήματα περιγραφής των Μ.Ο. της φυλλικής επιφάνειας $[(\pi*x*y)/4]$ των φύλλων στις διάφορες συγκεντρώσεις νικελίου σε ppm στα φυτά στις 30/9/2006.

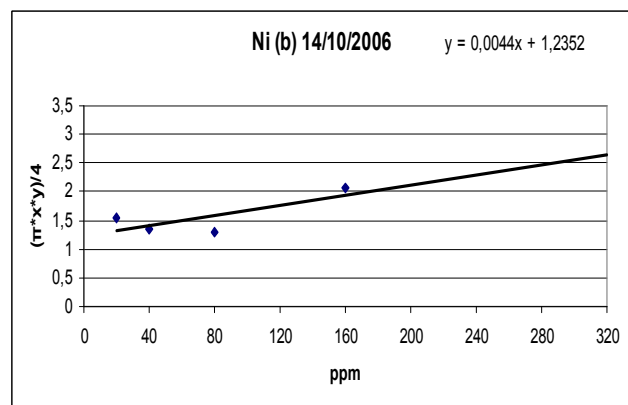
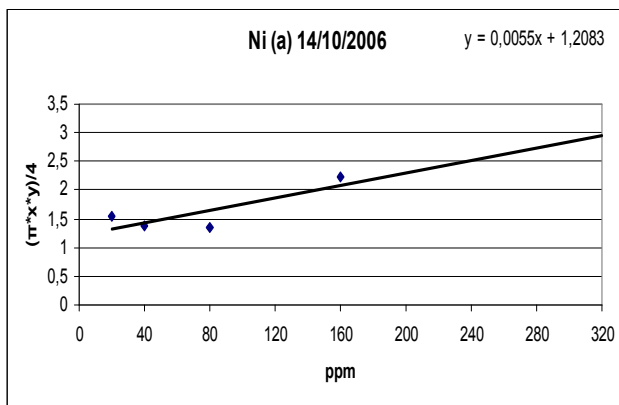
Πίνακας 10.4. Πίνακες περιγραφής των Μ.Ο. της φυλλικής επιφάνειας $[(\pi*x*y)/4]$ των φύλλων που μετρήθηκαν στις 14/10/2006 σε συνάρτηση με τις διάφορες συγκεντρώσεις νικελίου σε ppm στα φυτά.

ημερομηνία **14/10/2006**

| Δείγμα | $[(\pi*x*y)/4]$ (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------------------|-----|
| Ni 20 ppm a | 1,54 | 20 |
| Ni 40 ppm a | 1,37 | 40 |
| Ni 80 ppm a | 1,34 | 80 |
| Ni 160 ppm a | 2,22 | 160 |
| Ni 320 ppm a | | 320 |

ημερομηνία **14/10/2006**

| Δείγμα | $[(\pi*x*y)/4]$ (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------------------|-----|
| Ni 20 ppm b | 1,54 | 20 |
| Ni 40 ppm b | 1,36 | 40 |
| Ni 80 ppm b | 1,29 | 80 |
| Ni 160 ppm b | 2,08 | 160 |
| Ni 320 ppm b | | 320 |



Γράφημα 8.4. Γραφήματα περιγραφής των Μ.Ο. της φυλλικής επιφάνειας $[(\pi*x*y)/4]$ των φύλλων στις διάφορες συγκεντρώσεις νικελίου σε ppm στα φυτά στις 14/10/2006.

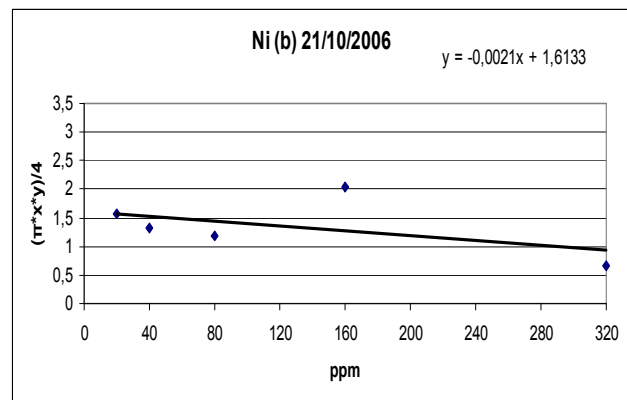
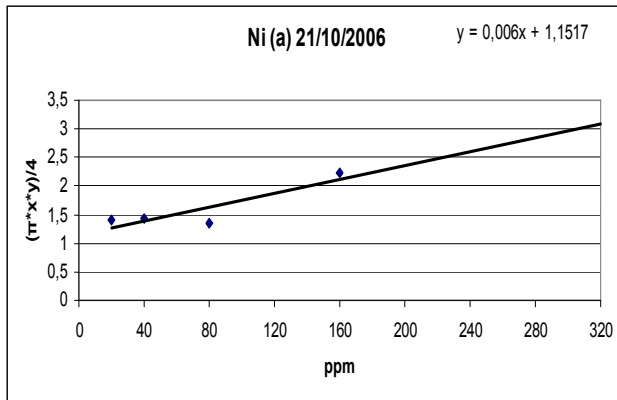
Πίνακας 10.5. Πίνακες περιγραφής των Μ.Ο. της φυλλικής επιφάνειας $[(\pi*x*y)/4]$ των φύλλων που μετρήθηκαν στις 21/10/2006 σε συνάρτηση με τις διάφορες συγκεντρώσεις νικελίου σε ppm στα φυτά.

ημερομηνία **21/10/2006**

| Δείγμα | $[(\pi*x*y)/4]$ (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------------------|-----|
| Ni 20 ppm a | 1,41 | 20 |
| Ni 40 ppm a | 1,43 | 40 |
| Ni 80 ppm a | 1,34 | 80 |
| Ni 160 ppm a | 2,24 | 160 |
| Ni 320 ppm a | | 320 |

ημερομηνία **21/10/2006**

| Δείγμα | $[(\pi*x*y)/4]$ (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------------------|-----|
| Ni 20 ppm b | 1,57 | 20 |
| Ni 40 ppm b | 1,33 | 40 |
| Ni 80 ppm b | 1,18 | 80 |
| Ni 160 ppm b | 2,03 | 160 |
| Ni 320 ppm b | 0,66 | 320 |



Γράφημα 8.5. Γραφήματα περιγραφής των Μ.Ο. της φυλλικής επιφάνειας $[(\pi*x*y)/4]$ των φύλλων στις διάφορες συγκεντρώσεις νικελίου σε ppm στα φυτά στις 21/10/2006.

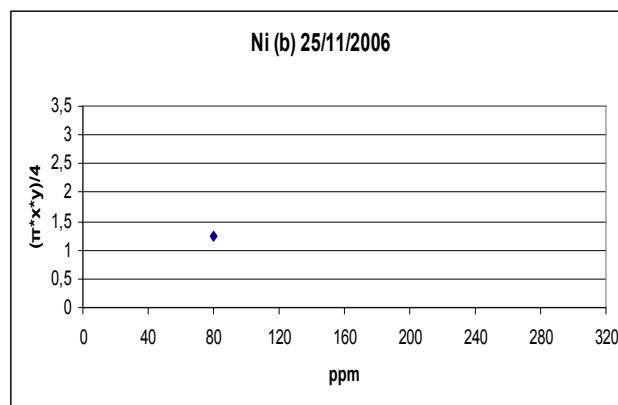
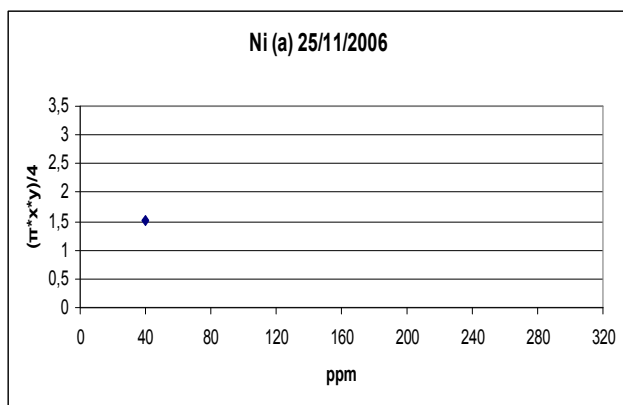
Πίνακας 10.6. Πίνακες περιγραφής των Μ.Ο. της φυλλικής επιφάνειας $[(\pi*x*y)/4]$ των φύλλων που μετρήθηκαν στις 25/11/2006 σε συνάρτηση με τις διάφορες συγκεντρώσεις νικελίου σε ppm στα φυτά.

ημερομηνία **25/11/2006**

| Δείγμα | $[(\pi*x*y)/4]$ (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------------------|-----|
| Ni 20 ppm a | | 20 |
| Ni 40 ppm a | 1,52 | 40 |
| Ni 80 ppm a | | 80 |
| Ni 160 ppm a | | 160 |
| Ni 320 ppm a | | 320 |

ημερομηνία **25/11/2006**

| Δείγμα | $[(\pi*x*y)/4]$ (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------------------|-----|
| Ni 20 ppm b | | 20 |
| Ni 40 ppm b | | 40 |
| Ni 80 ppm b | 1,25 | 80 |
| Ni 160 ppm b | | 160 |
| Ni 320 ppm b | | 320 |



Γράφημα 8.6. Γραφήματα περιγραφής των Μ.Ο. της φυλλικής επιφάνειας $[(\pi*x*y)/4]$ των φύλλων στις διάφορες συγκεντρώσεις νικελίου σε ppm στα φυτά στις 25/11/2006.

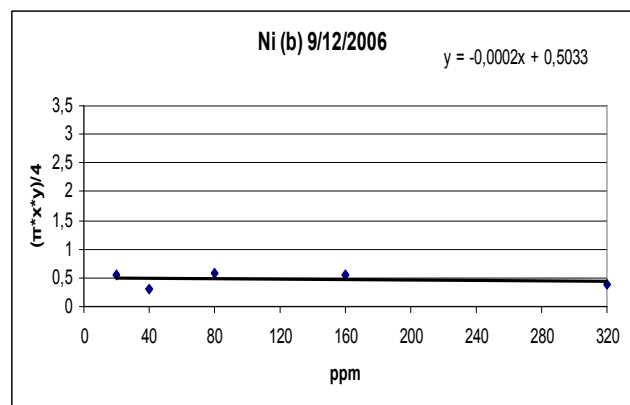
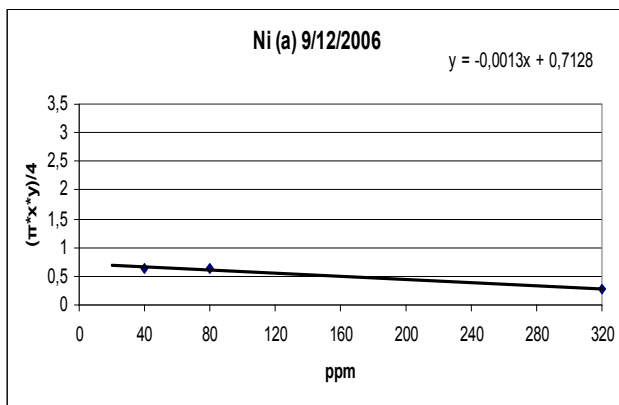
Πίνακας 10.7. Πίνακες περιγραφής των Μ.Ο. της φυλλικής επιφάνειας $[(\pi*x*y)/4]$ των φύλλων που μετρήθηκαν στις 9/12/2006 σε συνάρτηση με τις διάφορες συγκεντρώσεις νικελίου σε ppm στα φυτά.

ημερομηνία 9/12/2006

| Δείγμα | $[(\pi*x*y)/4]$ (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------------------|-----|
| Ni 20 ppm a | | 20 |
| Ni 40 ppm a | 0,63 | 40 |
| Ni 80 ppm a | 0,64 | 80 |
| Ni 160 ppm a | | 160 |
| Ni 320 ppm a | 0,28 | 320 |

ημερομηνία 9/12/2006

| Δείγμα | $[(\pi*x*y)/4]$ (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------------------|-----|
| Ni 20 ppm b | 0,56 | 20 |
| Ni 40 ppm b | 0,31 | 40 |
| Ni 80 ppm b | 0,57 | 80 |
| Ni 160 ppm b | 0,55 | 160 |
| Ni 320 ppm b | 0,39 | 320 |



Γράφημα 8.7. Γραφήματα περιγραφής των Μ.Ο. της φυλλικής επιφάνειας $[(\pi*x*y)/4]$ των φύλλων στις διάφορες συγκεντρώσεις νικελίου σε ppm στα φυτά στις 9/12/2006.

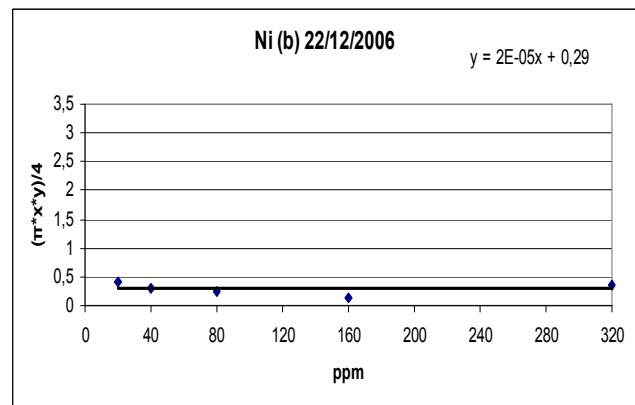
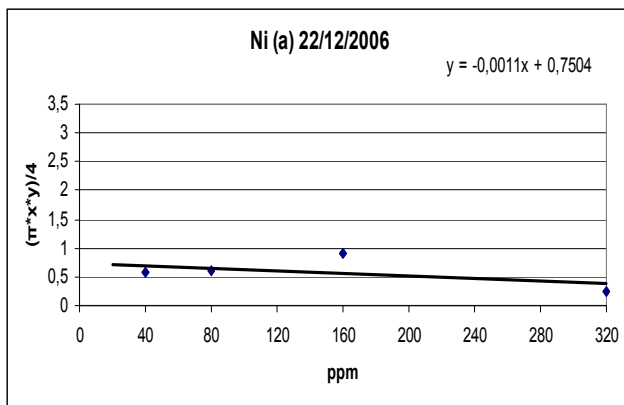
Πίνακας 10.8. Πίνακες περιγραφής των Μ.Ο. της φυλλικής επιφάνειας [(π*χ*γ)/4] των φύλλων που μετρήθηκαν στις 22/12/2006 σε συνάρτηση με τις διάφορες συγκεντρώσεις νικελίου σε ppm στα φυτά.

ημερομηνία 22/12/2006

| Δείγμα | [(π*χ*γ)/4] (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|--------------------|-----|
| Ni 20 ppm a | | 20 |
| Ni 40 ppm a | 0,57 | 40 |
| Ni 80 ppm a | 0,60 | 80 |
| Ni 160 ppm a | 0,90 | 160 |
| Ni 320 ppm a | 0,26 | 320 |

ημερομηνία 22/12/2006

| Δείγμα | [(π*χ*γ)/4] (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|--------------------|-----|
| Ni 20 ppm b | 0,40 | 20 |
| Ni 40 ppm b | 0,29 | 40 |
| Ni 80 ppm b | 0,25 | 80 |
| Ni 160 ppm b | 0,15 | 160 |
| Ni 320 ppm b | 0,37 | 320 |



Γράφημα 8.8. Γραφήματα περιγραφής των Μ.Ο. της φυλλικής επιφάνειας [(π*χ*γ)/4] των φύλλων στις διάφορες συγκεντρώσεις νικελίου σε ppm στα φυτά στις 22/12/2006.

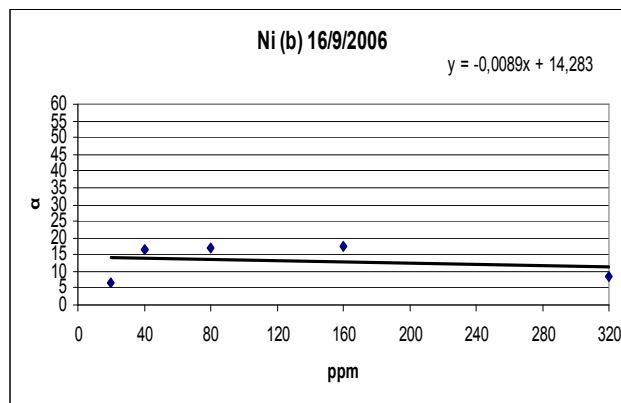
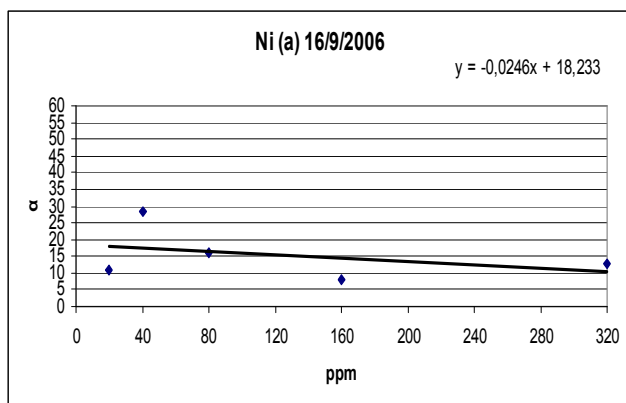
Πίνακας 11.1. Πίνακες περιγραφής του ύψους (α) των φυτών που μετρήθηκαν στις 16/9/2006 σε συνάρτηση με τις διάφορες συγκεντρώσεις νικελίου σε ppm στα φυτά.

ημερομηνία **16/9/2006**

| Δείγμα | α | ppm |
|--------------|-------|-----|
| Ni 20 ppm a | 11,10 | 20 |
| Ni 40 ppm a | 28,30 | 40 |
| Ni 80 ppm a | 16,00 | 80 |
| Ni 160 ppm a | 7,80 | 160 |
| Ni 320 ppm a | 12,70 | 320 |

ημερομηνία **16/9/2006**

| Δείγμα | α | ppm |
|--------------|-------|-----|
| Ni 20 ppm b | 6,50 | 20 |
| Ni 40 ppm b | 16,60 | 40 |
| Ni 80 ppm b | 16,80 | 80 |
| Ni 160 ppm b | 17,60 | 160 |
| Ni 320 ppm b | 8,40 | 320 |



Γράφημα 9.1. Γραφήματα περιγραφής του ύψους (α) των φυτών στις διάφορες συγκεντρώσεις νικελίου σε ppm στα φυτά στις 16/9/2006.

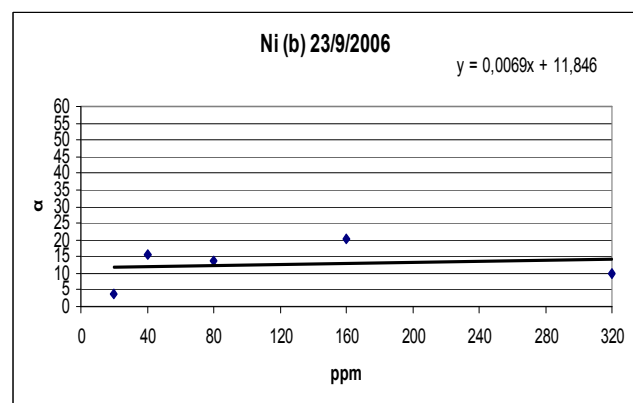
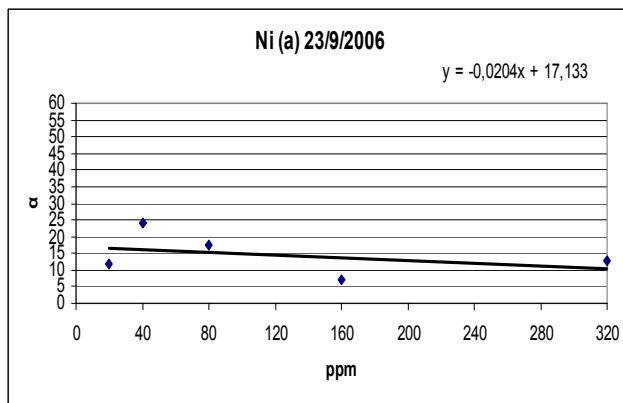
Πίνακας 11.2. Πίνακες περιγραφής του ύψους (α) των φυτών που μετρήθηκαν στις 23/9/2006 σε συνάρτηση με τις διάφορες συγκεντρώσεις νικελίου σε ppm στα φυτά.

ημερομηνία **23/9/2006**

| Δείγμα | α | ppm |
|--------------|-------|-----|
| Ni 20 ppm a | 11,60 | 20 |
| Ni 40 ppm a | 23,90 | 40 |
| Ni 80 ppm a | 17,70 | 80 |
| Ni 160 ppm a | 6,90 | 160 |
| Ni 320 ppm a | 12,90 | 320 |

ημερομηνία **23/9/2006**

| Δείγμα | α | ppm |
|--------------|-------|-----|
| Ni 20 ppm b | 3,80 | 20 |
| Ni 40 ppm b | 15,60 | 40 |
| Ni 80 ppm b | 13,60 | 80 |
| Ni 160 ppm b | 20,40 | 160 |
| Ni 320 ppm b | 10,10 | 320 |



Γράφημα 9.2. Γραφήματα περιγραφής του ύψους (α) των φυτών στις διάφορες συγκεντρώσεις νικελίου σε ppm στα φυτά στις 23/9/2006.

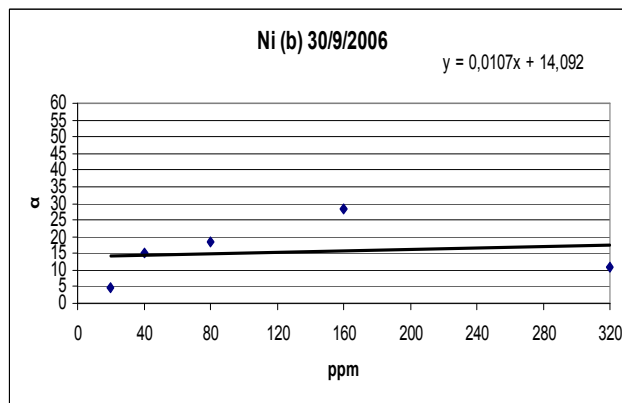
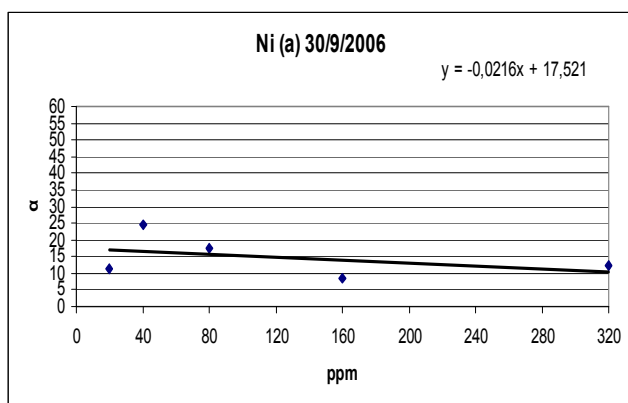
Πίνακας 11.3. Πίνακες περιγραφής του ύψους (α) των φυτών που μετρήθηκαν στις 30/9/2006 σε συνάρτηση με τις διάφορες συγκεντρώσεις νικελίου σε ppm στα φυτά.

ημερομηνία **30/9/2006**

| Δείγμα | α | ppm |
|--------------|-------|-----|
| Ni 20 ppm a | 11,30 | 20 |
| Ni 40 ppm a | 24,80 | 40 |
| Ni 80 ppm a | 17,30 | 80 |
| Ni 160 ppm a | 8,40 | 160 |
| Ni 320 ppm a | 12,40 | 320 |

ημερομηνία **30/9/2006**

| Δείγμα | α | ppm |
|--------------|-------|-----|
| Ni 20 ppm b | 4,50 | 20 |
| Ni 40 ppm b | 15,10 | 40 |
| Ni 80 ppm b | 18,20 | 80 |
| Ni 160 ppm b | 28,30 | 160 |
| Ni 320 ppm b | 11,00 | 320 |



Γράφημα 9.3. Γραφήματα περιγραφής του ύψους (α) των φυτών στις διάφορες συγκεντρώσεις νικελίου σε ppm στα φυτά στις 30/9/2006.

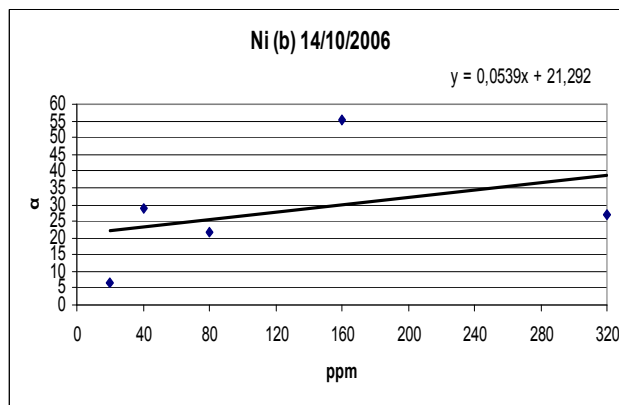
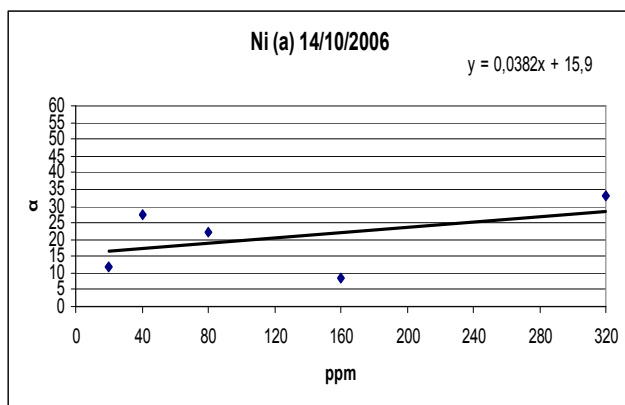
Πίνακας 11.4. Πίνακες περιγραφής του ύψους (α) των φυτών που μετρήθηκαν στις 14/10/2006 σε συνάρτηση με τις διάφορες συγκεντρώσεις νικελίου σε ppm στα φυτά.

ημερομηνία **14/10/2006**

| Δείγμα | α | ppm |
|--------------|-------|-----|
| Ni 20 ppm a | 11,80 | 20 |
| Ni 40 ppm a | 27,30 | 40 |
| Ni 80 ppm a | 22,40 | 80 |
| Ni 160 ppm a | 8,70 | 160 |
| Ni 320 ppm a | 33,00 | 320 |

ημερομηνία **14/10/2006**

| Δείγμα | α | ppm |
|--------------|-------|-----|
| Ni 20 ppm b | 6,70 | 20 |
| Ni 40 ppm b | 28,80 | 40 |
| Ni 80 ppm b | 21,90 | 80 |
| Ni 160 ppm b | 55,50 | 160 |
| Ni 320 ppm b | 27,00 | 320 |



Γράφημα 9.4. Γραφήματα περιγραφής του ύψους (α) των φυτών στις διάφορες συγκεντρώσεις νικελίου σε ppm στα φυτά στις 14/10/2006.

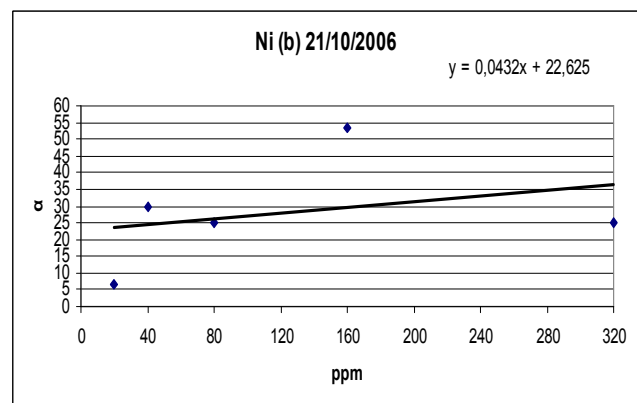
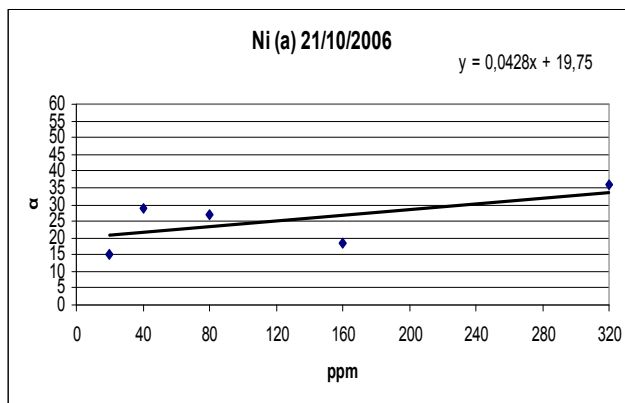
Πίνακας 11.5. Πίνακες περιγραφής του ύψους (α) των φυτών που μετρήθηκαν στις 21/10/2006 σε συνάρτηση με τις διάφορες συγκεντρώσεις νικελίου σε ppm στα φυτά.

ημερομηνία **21/10/2006**

| Δείγμα | α | ppm |
|--------------|-------|-----|
| Ni 20 ppm a | 15,30 | 20 |
| Ni 40 ppm a | 28,70 | 40 |
| Ni 80 ppm a | 26,70 | 80 |
| Ni 160 ppm a | 18,60 | 160 |
| Ni 320 ppm a | 36,00 | 320 |

ημερομηνία **21/10/2006**

| Δείγμα | α | ppm |
|--------------|-------|-----|
| Ni 20 ppm b | 6,50 | 20 |
| Ni 40 ppm b | 29,90 | 40 |
| Ni 80 ppm b | 25,00 | 80 |
| Ni 160 ppm b | 53,30 | 160 |
| Ni 320 ppm b | 25,20 | 320 |



Γράφημα 9.5. Γραφήματα περιγραφής του ύψους (α) των φυτών στις διάφορες συγκεντρώσεις νικελίου σε ppm στα φυτά στις 21/10/2006.

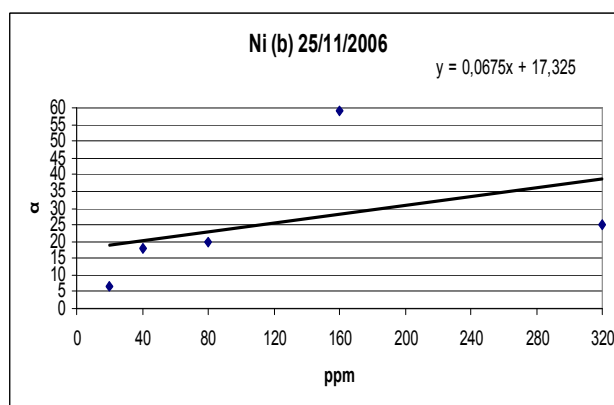
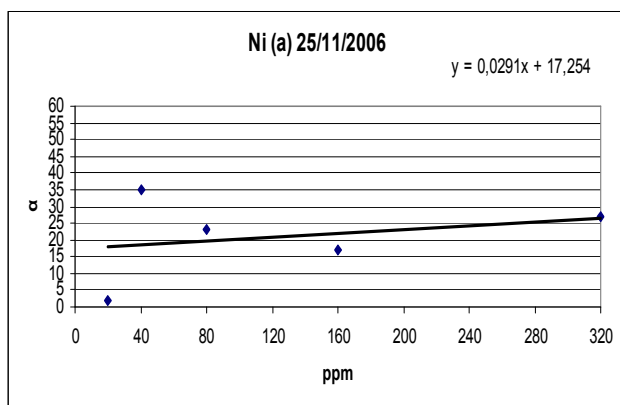
Πίνακας 11.6. Πίνακες περιγραφής του ύψους (α) των φυτών που μετρήθηκαν στις 25/11/2006 σε συνάρτηση με τις διάφορες συγκεντρώσεις νικελίου σε ppm στα φυτά.

ημερομηνία **25/11/2006**

| Δείγμα | α | ppm |
|--------------|-------|-----|
| Ni 20 ppm a | 2,00 | 20 |
| Ni 40 ppm a | 35,00 | 40 |
| Ni 80 ppm a | 23,30 | 80 |
| Ni 160 ppm a | 17,00 | 160 |
| Ni 320 ppm a | 27,00 | 320 |

ημερομηνία **25/11/2006**

| Δείγμα | α | ppm |
|--------------|-------|-----|
| Ni 20 ppm b | 6,50 | 20 |
| Ni 40 ppm b | 17,80 | 40 |
| Ni 80 ppm b | 19,90 | 80 |
| Ni 160 ppm b | 59,10 | 160 |
| Ni 320 ppm b | 25,20 | 320 |



Γράφημα 9.6. Γραφήματα περιγραφής του ύψους (α) των φυτών στις διάφορες συγκεντρώσεις νικελίου σε ppm στα φυτά στις 25/11/2006.

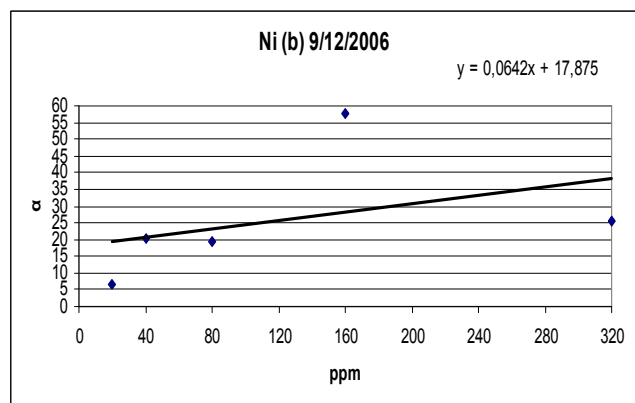
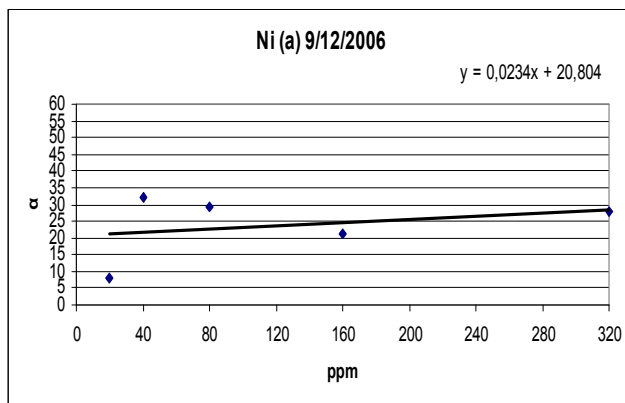
Πίνακας 11.7. Πίνακες περιγραφής του ύψους (α) των φυτών που μετρήθηκαν στις 9/12/2006 σε συνάρτηση με τις διάφορες συγκεντρώσεις νικελίου σε ppm στα φυτά.

ημερομηνία 9/12/2006

| Δείγμα | α | ppm |
|--------------|-------|-----|
| Ni 20 ppm a | 8,00 | 20 |
| Ni 40 ppm a | 32,30 | 40 |
| Ni 80 ppm a | 29,10 | 80 |
| Ni 160 ppm a | 21,30 | 160 |
| Ni 320 ppm a | 27,80 | 320 |

ημερομηνία 9/12/2006

| Δείγμα | α | ppm |
|--------------|-------|-----|
| Ni 20 ppm b | 6,60 | 20 |
| Ni 40 ppm b | 20,40 | 40 |
| Ni 80 ppm b | 19,20 | 80 |
| Ni 160 ppm b | 57,50 | 160 |
| Ni 320 ppm b | 25,50 | 320 |



Γράφημα 9.7. Γραφήματα περιγραφής του ύψους (α) των φυτών στις διάφορες συγκεντρώσεις νικελίου σε ppm στα φυτά στις 9/12/2006.

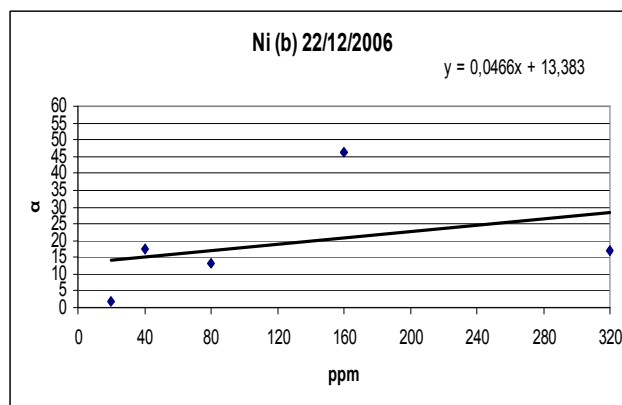
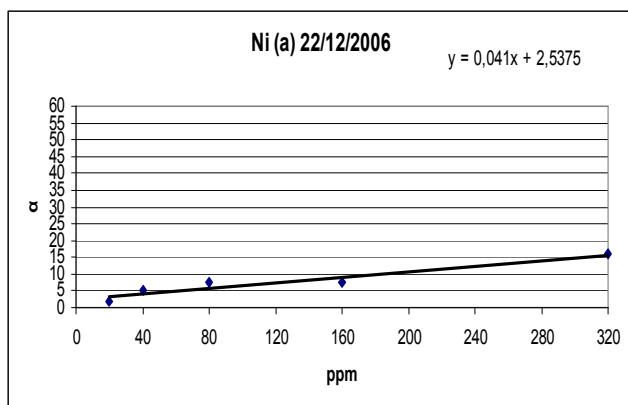
Πίνακας 11.8. Πίνακες περιγραφής του ύψους (α) των φυτών που μετρήθηκαν στις 22/12/2006 σε συνάρτηση με τις διάφορες συγκεντρώσεις νικελίου σε ppm στα φυτά.

ημερομηνία 22/12/2006

| Δείγμα | α | ppm |
|--------------|-------|-----|
| Ni 20 ppm a | 2,00 | 20 |
| Ni 40 ppm a | 5,10 | 40 |
| Ni 80 ppm a | 7,50 | 80 |
| Ni 160 ppm a | 7,50 | 160 |
| Ni 320 ppm a | 16,00 | 320 |

ημερομηνία 22/12/2006

| Δείγμα | α | ppm |
|--------------|-------|-----|
| Ni 20 ppm b | 2,00 | 20 |
| Ni 40 ppm b | 17,30 | 40 |
| Ni 80 ppm b | 13,00 | 80 |
| Ni 160 ppm b | 46,50 | 160 |
| Ni 320 ppm b | 17,00 | 320 |

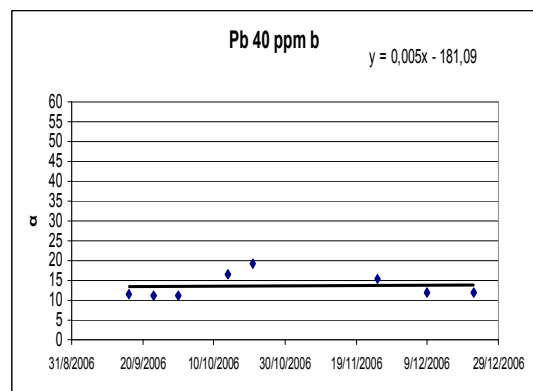
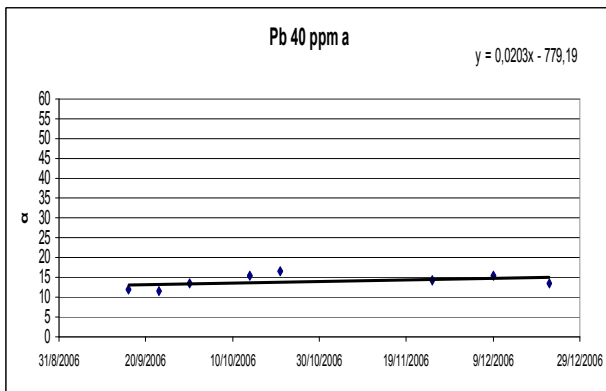
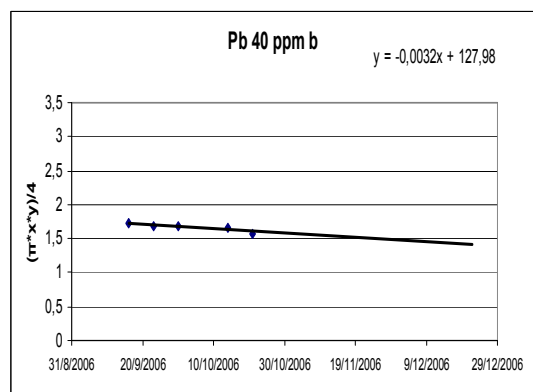
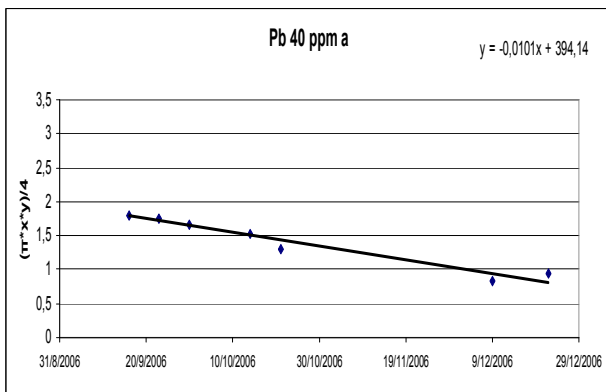
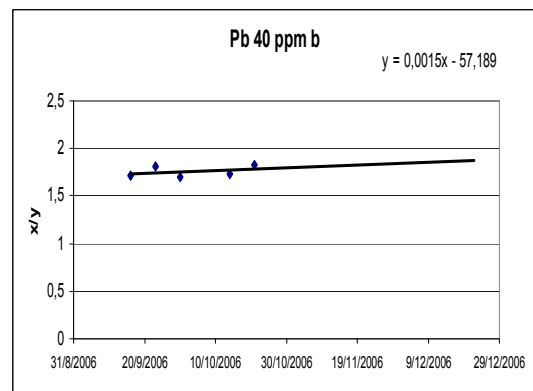
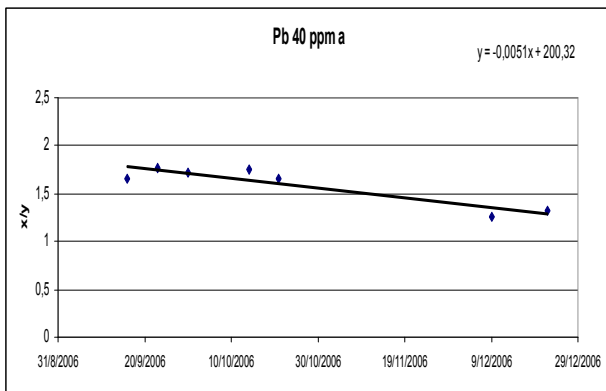


Γράφημα 9.8. Γραφήματα περιγραφής του ύψους (α) των φυτών στις διάφορες συγκεντρώσεις νικελίου σε ppm στα φυτά στις 22/12/2006.

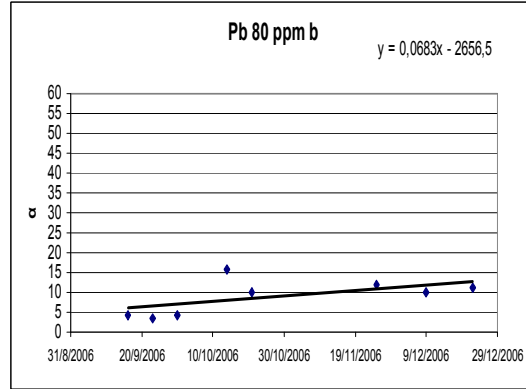
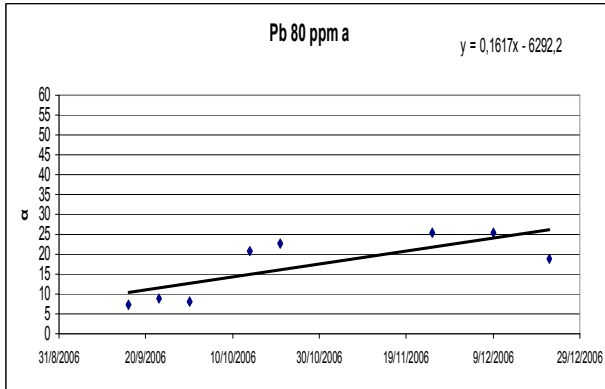
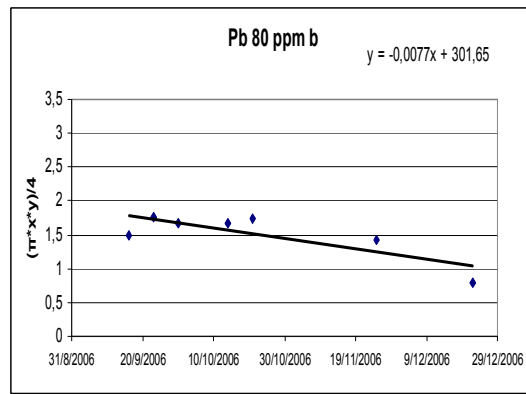
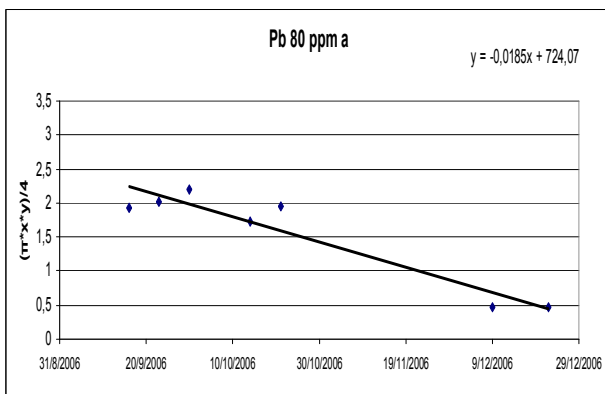
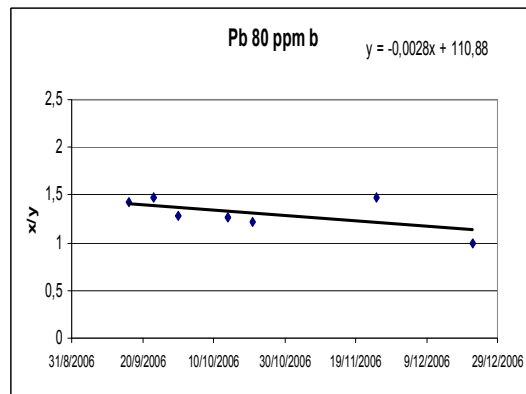
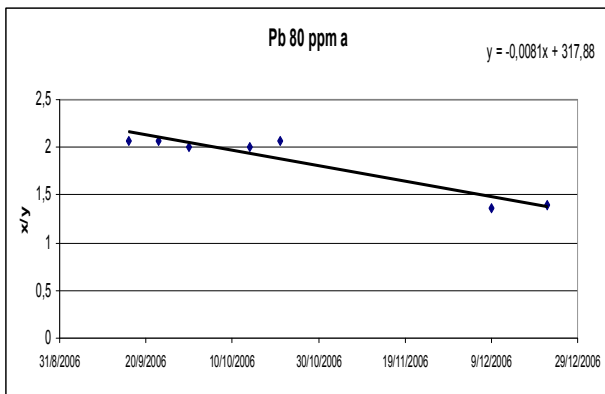
4.2.4 Pb

Πίνακας 12. Αποτελέσματα μετρήσεων παρακολούθησης ανάπτυξης των φυτών σε χώμα εμποτισμένο με μόλυβδο. Οι ποσότητες x/y και $(\pi*x*y)/4$ είναι εκφρασμένες σε cm.

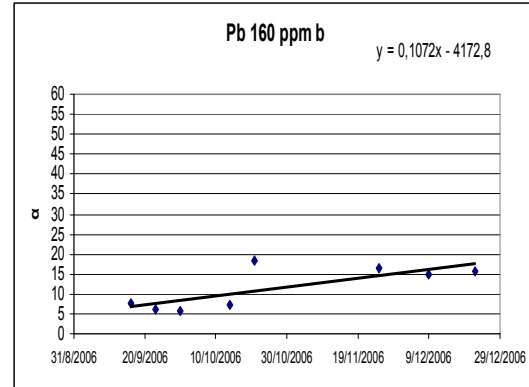
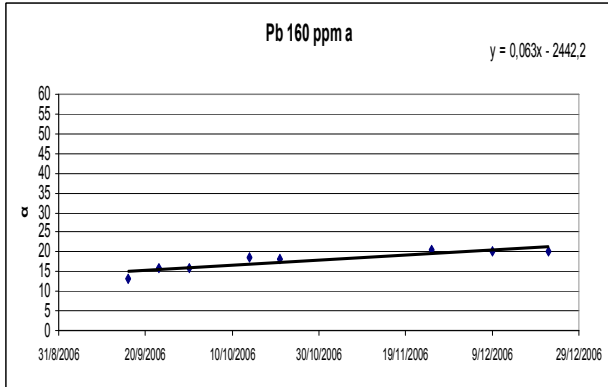
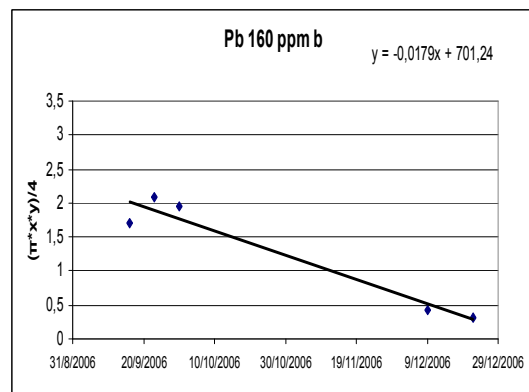
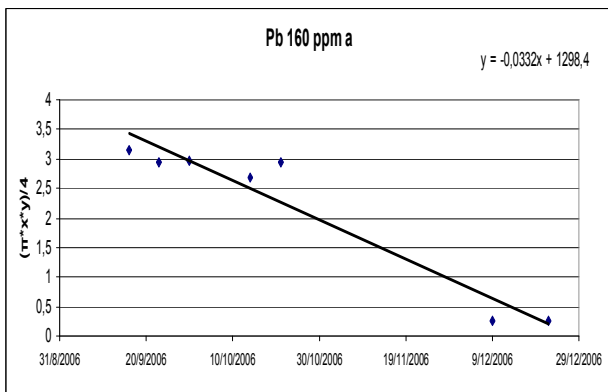
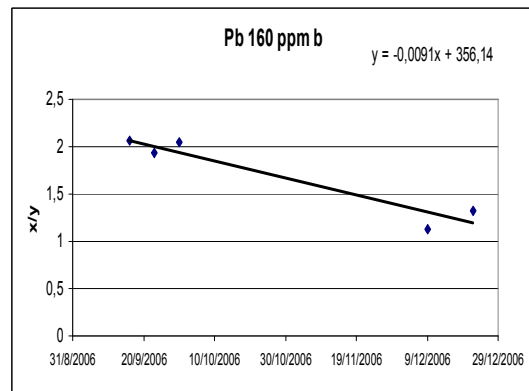
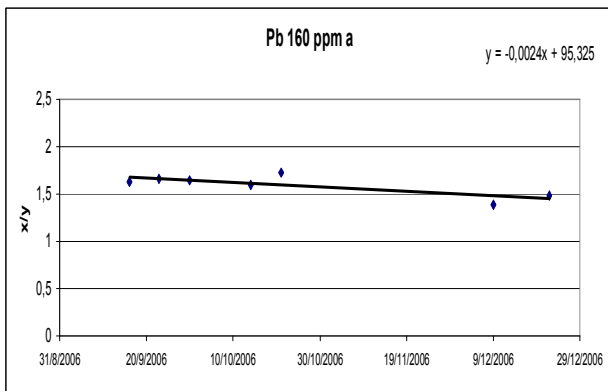
| | 16/9/06 | 23/9/06 | 30/9/06 | 14/10/06 | 21/10/06 | 25/11/06 | 9/12/06 | 22/12/06 |
|---------------------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|---------|----------|
| Pb 40 ppm a | | | | | | | | |
| x/y | 1,66 | 1,77 | 1,72 | 1,75 | 1,65 | | 1,26 | 1,32 |
| $(\pi*x*y)/4$ | 1,80 | 1,76 | 1,66 | 1,53 | 1,31 | | 0,82 | 0,94 |
| α | 11,90 | 11,60 | 13,30 | 15,40 | 16,40 | 14,10 | 15,40 | 13,60 |
| Pb 40 ppm b | | | | | | | | |
| x/y | 1,71 | 1,81 | 1,70 | 1,73 | 1,82 | | | |
| $(\pi*x*y)/4$ | 1,72 | 1,69 | 1,69 | 1,67 | 1,58 | | | |
| α | 11,60 | 11,30 | 11,20 | 16,70 | 19,10 | 15,50 | 12,00 | 12,00 |
| Pb 80 ppm a | | | | | | | | |
| x/y | 2,07 | 2,07 | 2,01 | 2,00 | 2,06 | | 1,37 | 1,39 |
| $(\pi*x*y)/4$ | 1,94 | 2,03 | 2,19 | 1,73 | 1,95 | | 0,47 | 0,48 |
| α | 7,40 | 8,70 | 8,00 | 20,90 | 22,70 | 25,50 | 25,50 | 18,90 |
| Pb 80 ppm b | | | | | | | | |
| x/y | 1,43 | 1,47 | 1,29 | 1,27 | 1,22 | 1,48 | | 1,00 |
| $(\pi*x*y)/4$ | 1,49 | 1,77 | 1,66 | 1,66 | 1,73 | 1,43 | | 0,79 |
| α | 4,40 | 3,50 | 4,20 | 15,70 | 10,00 | 12,00 | 10,00 | 11,00 |
| Pb 160 ppm a | | | | | | | | |
| x/y | 1,63 | 1,66 | 1,64 | 1,59 | 1,73 | | 1,38 | 1,49 |
| $(\pi*x*y)/4$ | 3,16 | 2,95 | 2,96 | 2,68 | 2,95 | | 0,25 | 0,27 |
| α | 13,00 | 16,00 | 15,80 | 18,60 | 18,10 | 20,50 | 20,20 | 20,00 |
| Pb 160 ppm b | | | | | | | | |
| x/y | 2,07 | 1,93 | 2,05 | | | | 1,13 | 1,33 |
| $(\pi*x*y)/4$ | 1,70 | 2,09 | 1,96 | | | | 0,43 | 0,32 |
| α | 7,50 | 6,00 | 5,90 | 7,40 | 18,50 | 16,50 | 14,90 | 15,50 |
| Pb 320 ppm a | | | | | | | | |
| x/y | 1,39 | 1,18 | 1,18 | | | 1,69 | 1,29 | |
| $(\pi*x*y)/4$ | 2,00 | 2,01 | 2,06 | | | 2,93 | 1,60 | |
| α | 1,90 | 4,00 | 3,90 | 13,00 | 16,80 | 23,00 | 22,20 | 24,40 |
| Pb 320 ppm b | | | | | | | | |
| x/y | 1,85 | 1,89 | 1,95 | 1,73 | 2,02 | | 1,71 | 1,50 |
| $(\pi*x*y)/4$ | 2,38 | 2,20 | 1,83 | 1,47 | 1,31 | | 0,55 | 0,19 |
| α | 15,70 | 16,60 | 15,90 | 18,30 | 19,90 | 20,00 | 20,60 | 18,50 |
| Pb 640 ppm a | | | | | | | | |
| x/y | 1,92 | 1,97 | 2,11 | 1,91 | 1,50 | | 1,06 | 1,15 |
| $(\pi*x*y)/4$ | 1,78 | 2,33 | 1,91 | 1,81 | 1,70 | | 0,97 | 0,71 |
| α | 6,50 | 6,90 | 7,80 | 7,40 | 7,10 | 14,70 | 13,00 | 9,70 |
| Pb 640 ppm b | | | | | | | | |
| x/y | 1,96 | 1,99 | 1,93 | 2,07 | | | 1,34 | 1,25 |
| $(\pi*x*y)/4$ | 2,20 | 2,54 | 2,48 | 2,55 | | | 0,64 | 0,56 |
| α | 8,40 | 7,40 | 8,70 | 26,90 | 42,50 | 41,50 | 39,00 | 40,10 |



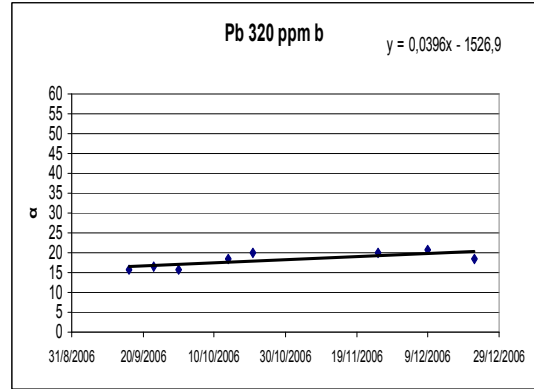
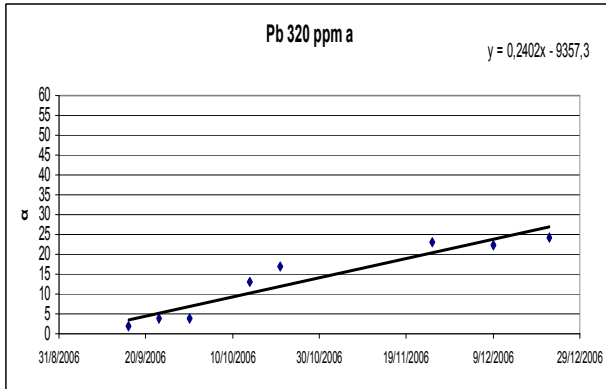
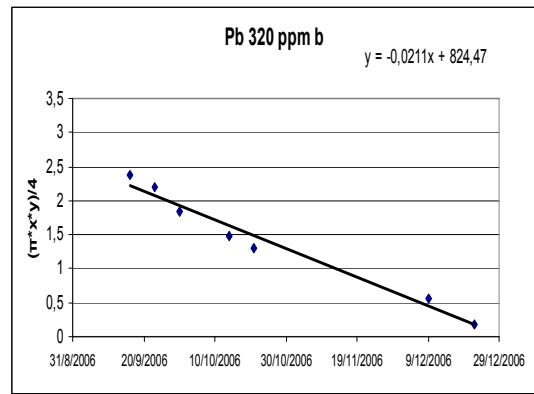
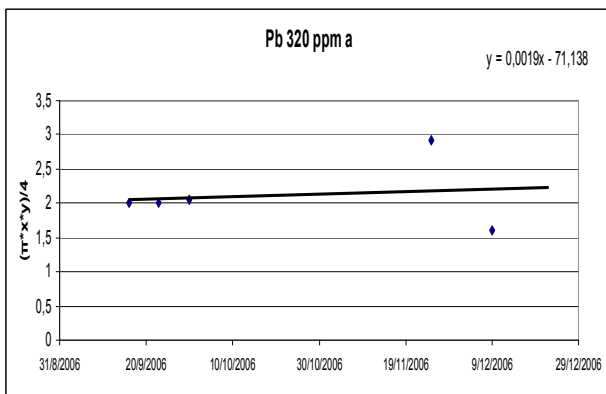
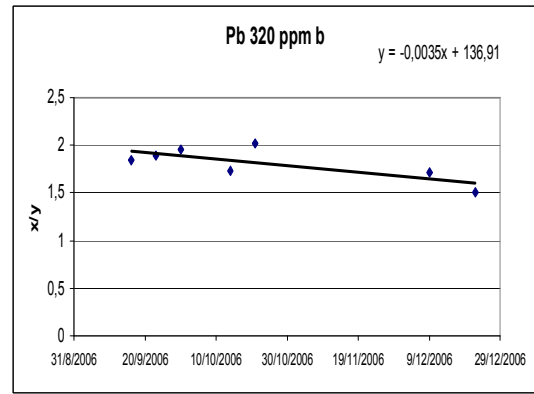
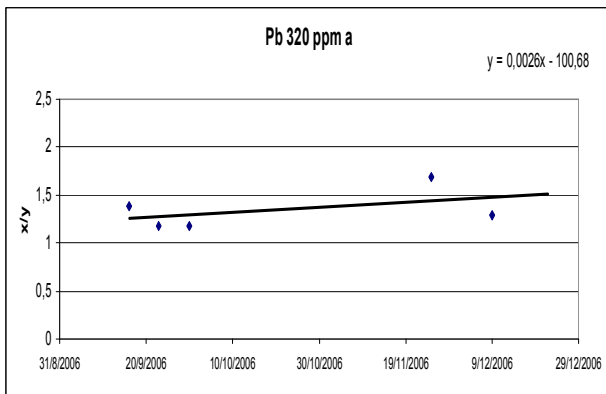
Γράφημα 10.1. Γραφήματα περιγραφής του λόγου μήκος / πλάτος (x/y) των φύλλων, της φυλλικής επιφάνειας [(π*x*y)/4] και του ύψους (α) των φυτών σε cm που αναπτύχθηκαν σε χώμα εμποτισμένο με Pb 40 ppm σε συνάρτηση με τις ημερομηνίες που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις.



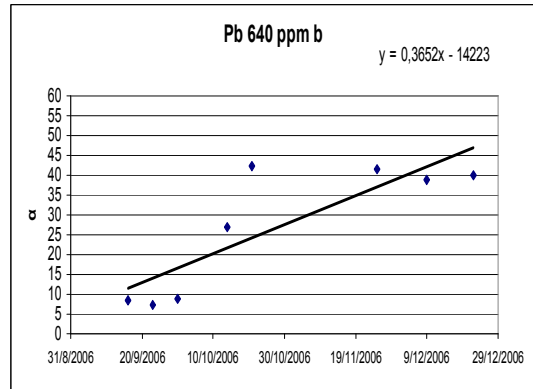
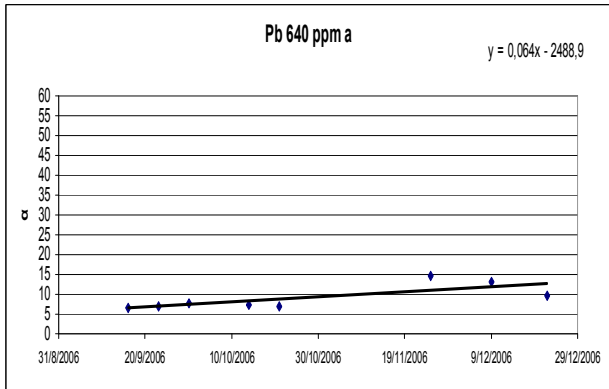
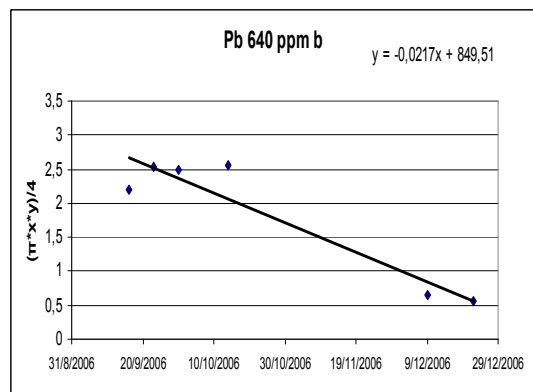
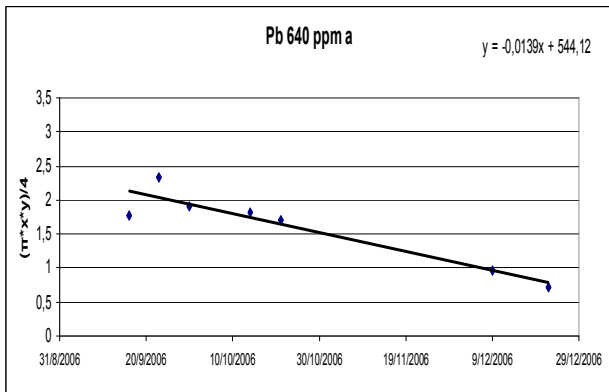
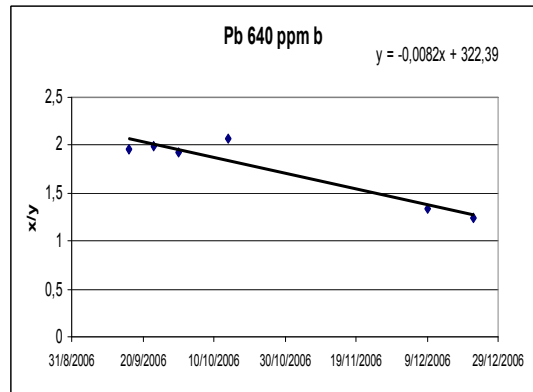
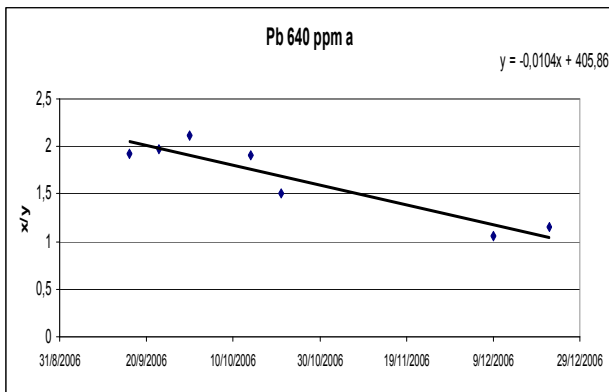
Γράφημα 10.2. Γραφήματα περιγραφής του λόγου μήκος / πλάτος (x/y) των φύλλων, της φυλλικής επιφάνειας $[(\pi \cdot x \cdot y)/4]$ και του ύψους (α) των φυτών σε cm που αναπτύχθηκαν σε χώμα εμποτισμένο με Pb 80 ppm σε συνάρτηση με τις ημερομηνίες που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις.



Γράφημα 10.3. Γραφήματα περιγραφής του λόγου μήκος / πλάτος (x/y) των φύλλων, της φυλλικής επιφάνειας $[(\pi \cdot x \cdot y)/4]$ και του ύψους (α) των φυτών σε cm που αναπτύχθηκαν σε χώμα εμποτισμένο με Pb 160 ppm σε συνάρτηση με τις ημερομηνίες που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις.



Γράφημα 10.4. Γραφήματα περιγραφής του λόγου μήκος / πλάτος (x/y) των φύλλων, της φυλλικής επιφάνειας [(π*x*y)/4] και του ύψους (α) των φυτών σε cm που αναπτύχθηκαν σε χώμα εμποτισμένο με Pb 320 ppm σε συνάρτηση με τις ημερομηνίες που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις.



Γράφημα 10.5. Γραφήματα περιγραφής του λόγου μήκος / πλάτος (x/y) των φύλλων, της φυλλικής επιφάνειας [(π*x*y)/4] και του ύψους (α) των φυτών σε cm που αναπτύχθηκαν σε χώμα εμποτισμένο με Pb 640 ppm σε συνάρτηση με τις ημερομηνίες που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις.

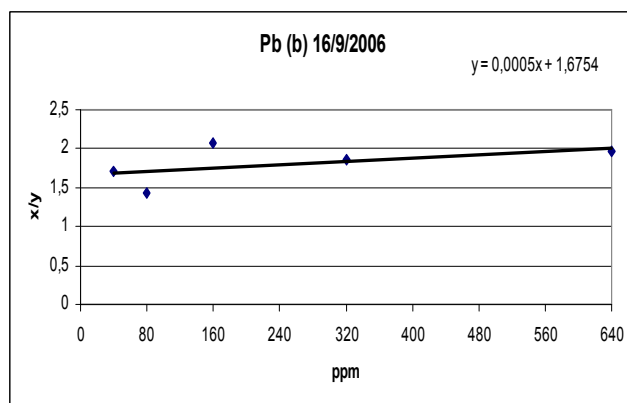
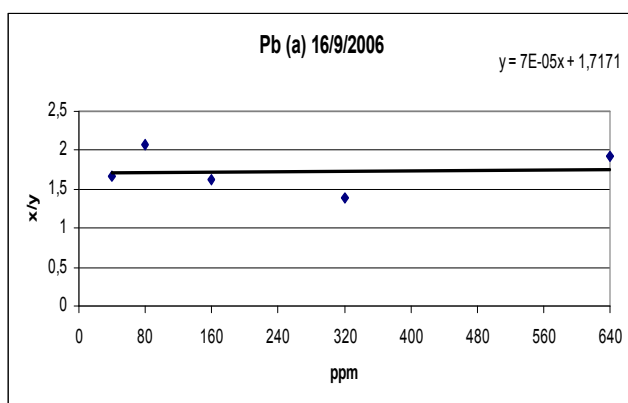
Πίνακας 13.1. Πίνακες περιγραφής των Μ.Ο. του λόγου μήκος / πλάτος (x/y) των φύλλων που μετρήθηκαν στις 16/9/2006 σε συνάρτηση με τις διάφορες συγκεντρώσεις μολύβδου σε ppm στα φυτά.

ημερομηνία **16/9/2006**

| Δείγμα | x/y (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------|-----|
| Pb 40 ppm a | 1,66 | 40 |
| Pb 80 ppm a | 2,07 | 80 |
| Pb 160 ppm a | 1,63 | 160 |
| Pb 320 ppm a | 1,39 | 320 |
| Pb 640 ppm a | 1,92 | 640 |

ημερομηνία **16/9/2006**

| Δείγμα | x/y (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------|-----|
| Pb 40 ppm b | 1,71 | 40 |
| Pb 80 ppm b | 1,43 | 80 |
| Pb 160 ppm b | 2,07 | 160 |
| Pb 320 ppm b | 1,85 | 320 |
| Pb 640 ppm b | 1,96 | 640 |



Γράφημα 11.1. Γραφήματα περιγραφής των Μ.Ο. του λόγου μήκος / πλάτος (x/y) των φύλλων στις διάφορες συγκεντρώσεις μολύβδου σε ppm στα φυτά στις 16/9/2006.

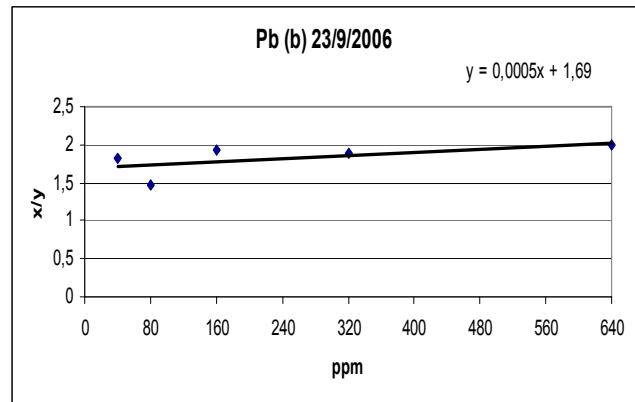
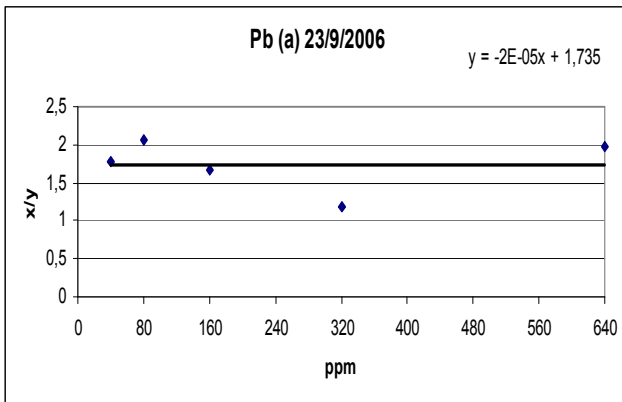
Πίνακας 13.2. Πίνακες περιγραφής των Μ.Ο. του λόγου μήκος / πλάτος (x/y) των φύλλων που μετρήθηκαν στις 23/9/2006 σε συνάρτηση με τις διάφορες συγκεντρώσεις μολύβδου σε ppm στα φυτά.

ημερομηνία **23/9/2006**

| Δείγμα | x/y (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------|-----|
| Pb 40 ppm a | 1,77 | 40 |
| Pb 80 ppm a | 2,07 | 80 |
| Pb 160 ppm a | 1,66 | 160 |
| Pb 320 ppm a | 1,18 | 320 |
| Pb 640 ppm a | 1,97 | 640 |

ημερομηνία **23/9/2006**

| Δείγμα | x/y (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------|-----|
| Pb 40 ppm b | 1,81 | 40 |
| Pb 80 ppm b | 1,47 | 80 |
| Pb 160 ppm b | 1,93 | 160 |
| Pb 320 ppm b | 1,89 | 320 |
| Pb 640 ppm b | 1,99 | 640 |



Γράφημα 11.2. Γραφήματα περιγραφής των Μ.Ο. του λόγου μήκος / πλάτος (x/y) των φύλλων στις διάφορες συγκεντρώσεις μολύβδου σε ppm στα φυτά στις 23/9/2006.

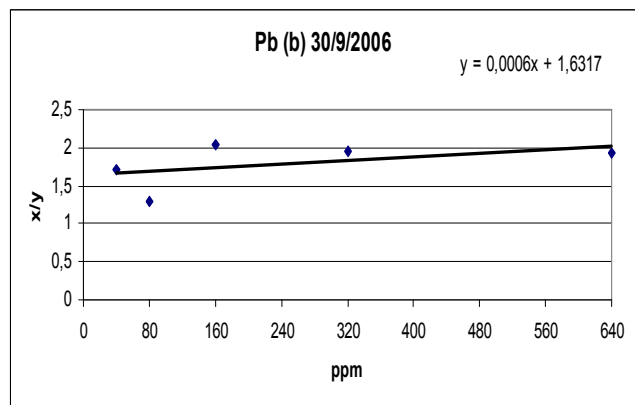
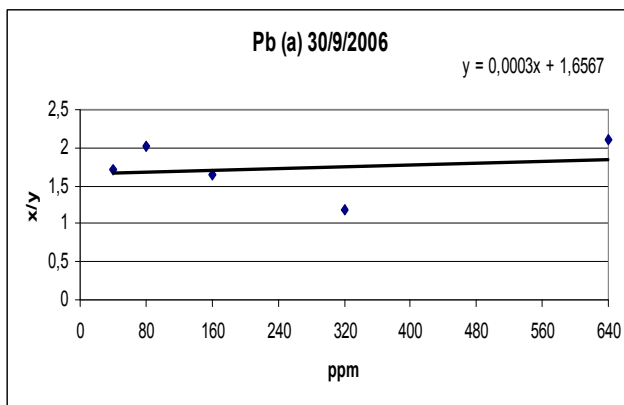
Πίνακας 13.3. Πίνακες περιγραφής των Μ.Ο. του λόγου μήκος / πλάτος (x/y) των φύλλων που μετρήθηκαν στις 30/9/2006 σε συνάρτηση με τις διάφορες συγκεντρώσεις μολύβδου σε ppm στα φυτά.

ημερομηνία **30/9/2006**

| Δείγμα | x/y (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------|-----|
| Pb 40 ppm a | 1,72 | 40 |
| Pb 80 ppm a | 2,01 | 80 |
| Pb 160 ppm a | 1,64 | 160 |
| Pb 320 ppm a | 1,18 | 320 |
| Pb 640 ppm a | 2,11 | 640 |

ημερομηνία **30/9/2006**

| Δείγμα | x/y (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------|-----|
| Pb 40 ppm b | 1,70 | 40 |
| Pb 80 ppm b | 1,29 | 80 |
| Pb 160 ppm b | 2,05 | 160 |
| Pb 320 ppm b | 1,95 | 320 |
| Pb 640 ppm b | 1,93 | 640 |



Γράφημα 11.3. Γραφήματα περιγραφής των Μ.Ο. του λόγου μήκος / πλάτος (x/y) των φύλλων στις διάφορες συγκεντρώσεις μολύβδου σε ppm στα φυτά στις 30/9/2006.

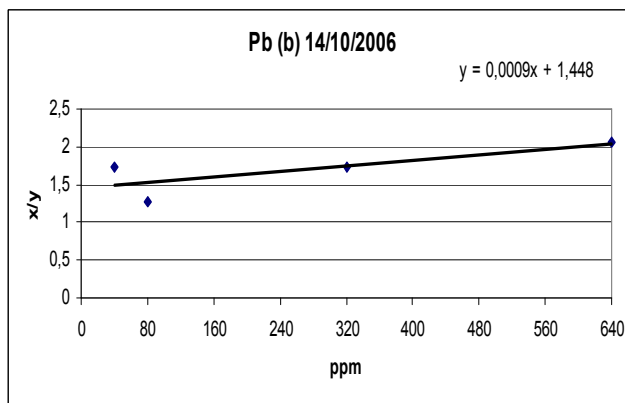
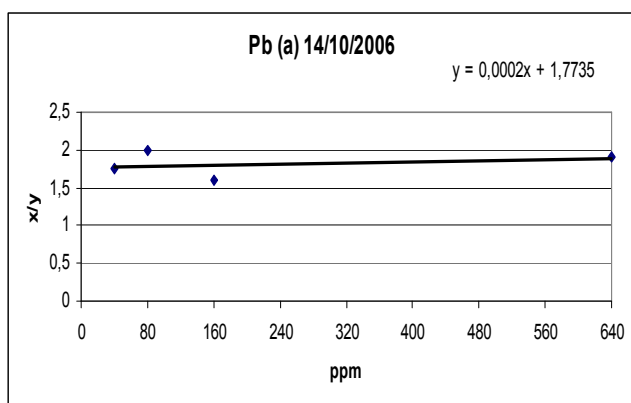
Πίνακας 13.4. Πίνακες περιγραφής των Μ.Ο. του λόγου μήκος / πλάτος (x/y) των φύλλων που μετρήθηκαν στις 14/10/2006 σε συνάρτηση με τις διάφορες συγκεντρώσεις μολύβδου σε ppm στα φυτά.

ημερομηνία **14/10/2006**

| Δείγμα | x/y (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------|-----|
| Pb 40 ppm a | 1,75 | 40 |
| Pb 80 ppm a | 2,00 | 80 |
| Pb 160 ppm a | 1,59 | 160 |
| Pb 320 ppm a | | 320 |
| Pb 640 ppm a | 1,91 | 640 |

ημερομηνία **14/10/2006**

| Δείγμα | x/y (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------|-----|
| Pb 40 ppm b | 1,73 | 40 |
| Pb 80 ppm b | 1,27 | 80 |
| Pb 160 ppm b | | 160 |
| Pb 320 ppm b | 1,73 | 320 |
| Pb 640 ppm b | 2,07 | 640 |



Γράφημα 11.4. Γραφήματα περιγραφής των Μ.Ο. του λόγου μήκος / πλάτος (x/y) των φύλλων στις διάφορες συγκεντρώσεις μολύβδου σε ppm στα φυτά στις 14/10/2006.

Πίνακας 13.5. Πίνακες περιγραφής των Μ.Ο. του λόγου μήκος / πλάτος (x/y) των φύλλων που μετρήθηκαν στις 21/10/2006 σε συνάρτηση με τις διάφορες συγκεντρώσεις μολύβδου σε ppm στα φυτά.

ημερομηνία

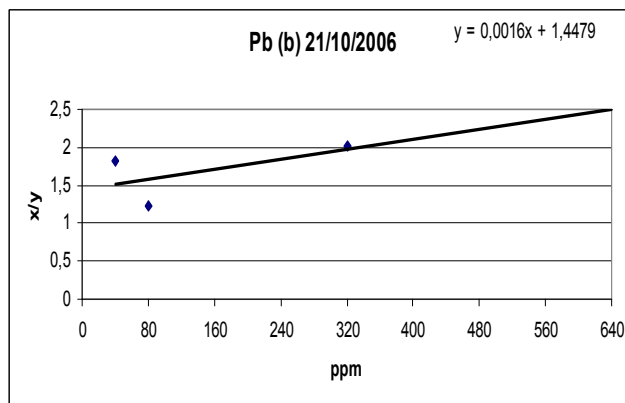
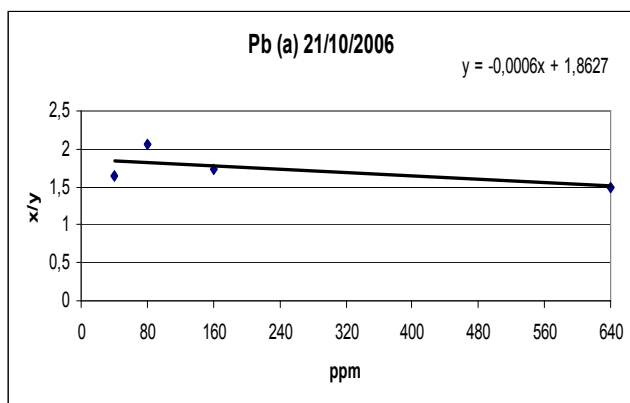
21/10/2006

ημερομηνία

21/10/2006

| Δείγμα | x/y (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------|-----|
| Pb 40 ppm a | 1,65 | 40 |
| Pb 80 ppm a | 2,06 | 80 |
| Pb 160 ppm a | 1,73 | 160 |
| Pb 320 ppm a | | 320 |
| Pb 640 ppm a | 1,50 | 640 |

| Δείγμα | x/y (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------|-----|
| Pb 40 ppm b | 1,82 | 40 |
| Pb 80 ppm b | 1,22 | 80 |
| Pb 160 ppm b | | 160 |
| Pb 320 ppm b | 2,02 | 320 |
| Pb 640 ppm b | | 640 |



Γράφημα 11.5. Γραφήματα περιγραφής των Μ.Ο. του λόγου μήκος / πλάτος (x/y) των φύλλων στις διάφορες συγκεντρώσεις μολύβδου σε ppm στα φυτά στις 21/10/2006.

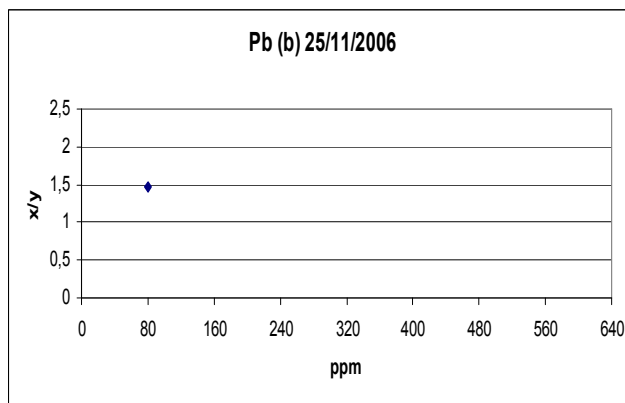
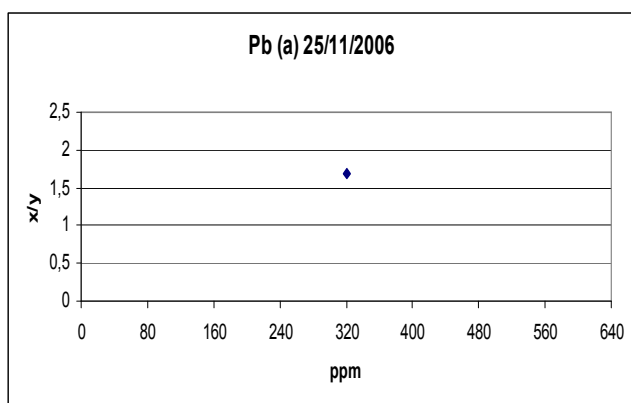
Πίνακας 13.6. Πίνακες περιγραφής των Μ.Ο. του λόγου μήκος / πλάτος (x/y) των φύλλων που μετρήθηκαν στις 25/11/2006 σε συνάρτηση με τις διάφορες συγκεντρώσεις μολύβδου σε ppm στα φυτά.

ημερομηνία **25/11/2006**

| Δείγμα | x/y (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------|-----|
| Pb 40 ppm a | | 40 |
| Pb 80 ppm a | | 80 |
| Pb 160 ppm a | | 160 |
| Pb 320 ppm a | 1,69 | 320 |
| Pb 640 ppm a | | 640 |

ημερομηνία **25/11/2006**

| Δείγμα | x/y (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------|-----|
| Pb 40 ppm b | | 40 |
| Pb 80 ppm b | 1,48 | 80 |
| Pb 160 ppm b | | 160 |
| Pb 320 ppm b | | 320 |
| Pb 640 ppm b | | 640 |



Γράφημα 11.6. Γραφήματα περιγραφής των Μ.Ο. του λόγου μήκος / πλάτος (x/y) των φύλλων στις διάφορες συγκεντρώσεις μολύβδου σε ppm στα φυτά στις 25/11/2006.

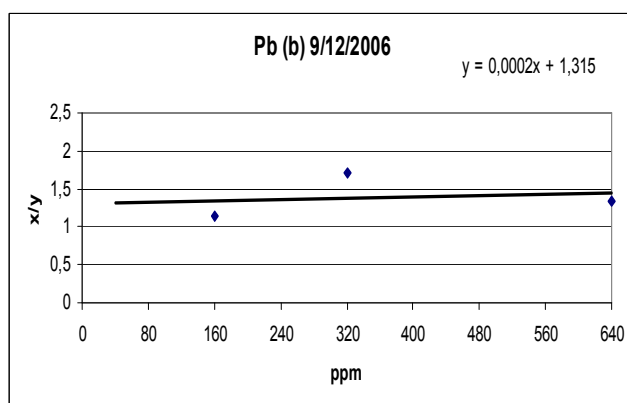
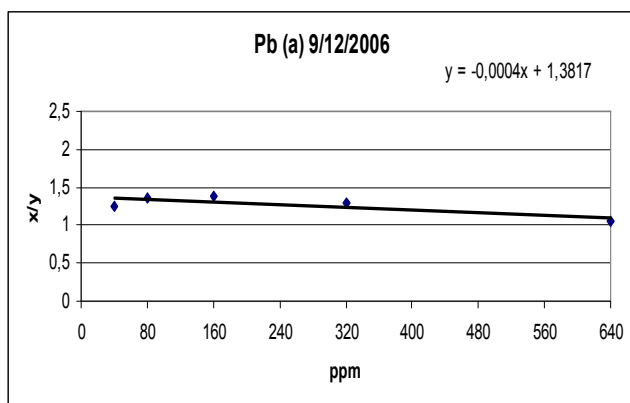
Πίνακας 13.7. Πίνακες περιγραφής των Μ.Ο. του λόγου μήκος / πλάτος (x/y) των φύλλων που μετρήθηκαν στις 9/12/2006 σε συνάρτηση με τις διάφορες συγκεντρώσεις μολύβδου σε ppm στα φυτά.

ημερομηνία **9/12/2006**

| Δείγμα | x/y (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------|-----|
| Pb 40 ppm a | 1,26 | 40 |
| Pb 80 ppm a | 1,37 | 80 |
| Pb 160 ppm a | 1,38 | 160 |
| Pb 320 ppm a | 1,29 | 320 |
| Pb 640 ppm a | 1,06 | 640 |

ημερομηνία **9/12/2006**

| Δείγμα | x/y (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------|-----|
| Pb 40 ppm b | | 40 |
| Pb 80 ppm b | | 80 |
| Pb 160 ppm b | 1,13 | 160 |
| Pb 320 ppm b | 1,71 | 320 |
| Pb 640 ppm b | 1,34 | 640 |



Γράφημα 11.7. Γραφήματα περιγραφής των Μ.Ο. του λόγου μήκος / πλάτος (x/y) των φύλλων στις διάφορες συγκεντρώσεις μολύβδου σε ppm στα φυτά στις 9/12/2006.

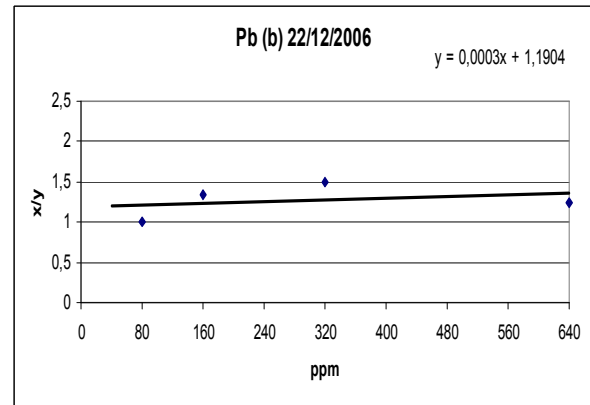
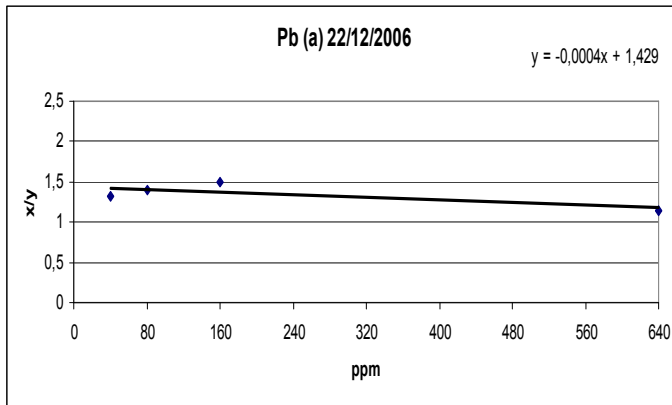
Πίνακας 13.8. Πίνακες περιγραφής των Μ.Ο. του λόγου μήκος / πλάτος (x/y) των φύλλων που μετρήθηκαν στις 22/12/2006 σε συνάρτηση με τις διάφορες συγκεντρώσεις μολύβδου σε ppm στα φυτά.

ημερομηνία **22/12/2006**

ημερομηνία **22/12/2006**

| Δείγμα | x/y (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------|-----|
| Pb 40 ppm a | 1,32 | 40 |
| Pb 80 ppm a | 1,39 | 80 |
| Pb 160 ppm a | 1,49 | 160 |
| Pb 320 ppm a | | 320 |
| Pb 640 ppm a | 1,15 | 640 |

| Δείγμα | x/y (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------|-----|
| Pb 40 ppm b | | 40 |
| Pb 80 ppm b | 1,00 | 80 |
| Pb 160 ppm b | 1,33 | 160 |
| Pb 320 ppm b | 1,50 | 320 |
| Pb 640 ppm b | 1,25 | 640 |



Γράφημα 11.8. Γραφήματα περιγραφής των Μ.Ο. του λόγου μήκος / πλάτος (x/y) των φύλλων στις διάφορες συγκεντρώσεις μολύβδου σε ppm στα φυτά στις 22/12/2006.

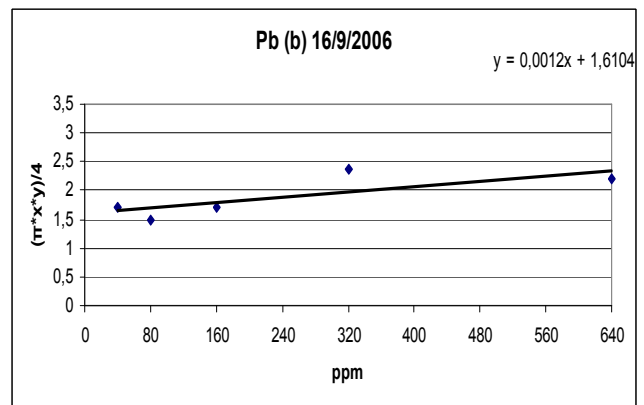
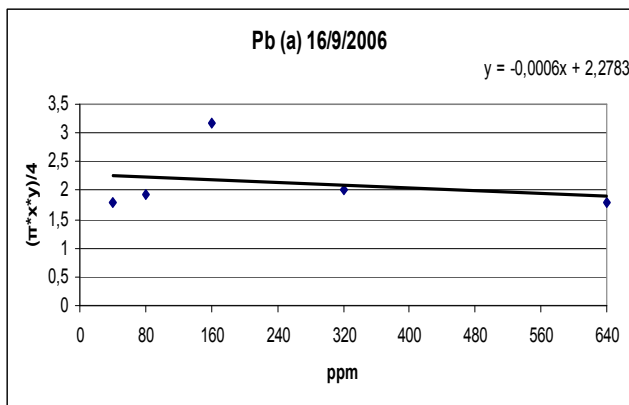
Πίνακας 14.1. Πίνακες περιγραφής των Μ.Ο. της φυλλικής επιφάνειας $[(\pi*x*y)/4]$ των φύλλων που μετρήθηκαν στις 16/9/2006 σε συνάρτηση με τις διάφορες συγκεντρώσεις μολύβδου σε ppm στα φυτά.

ημερομηνία **16/9/2006**

| Δείγμα | $[(\pi*x*y)/4]$ (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------------------|-----|
| Pb 40 ppm a | 1,80 | 40 |
| Pb 80 ppm a | 1,94 | 80 |
| Pb 160 ppm a | 3,16 | 160 |
| Pb 320 ppm a | 2,00 | 320 |
| Pb 640 ppm a | 1,78 | 640 |

ημερομηνία **16/9/2006**

| Δείγμα | $[(\pi*x*y)/4]$ (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------------------|-----|
| Pb 40 ppm b | 1,72 | 40 |
| Pb 80 ppm b | 1,49 | 80 |
| Pb 160 ppm b | 1,70 | 160 |
| Pb 320 ppm b | 2,38 | 320 |
| Pb 640 ppm b | 2,20 | 640 |



Γράφημα 12.1. Γραφήματα περιγραφής των Μ.Ο. της φυλλικής επιφάνειας $[(\pi*x*y)/4]$ των φύλλων στις διάφορες συγκεντρώσεις μολύβδου σε ppm στα φυτά στις 16/9/2006.

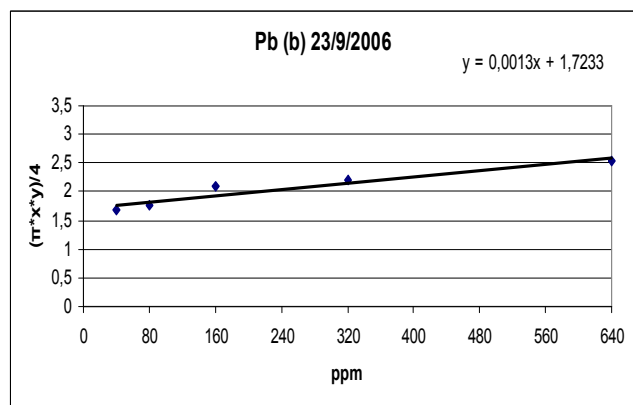
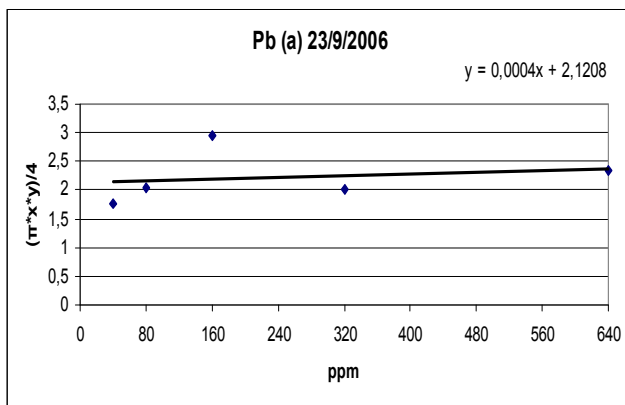
Πίνακας 14.2. Πίνακες περιγραφής των Μ.Ο. της φυλλικής επιφάνειας $[(\pi*x*y)/4]$ των φύλλων που μετρήθηκαν στις 23/9/2006 σε συνάρτηση με τις διάφορες συγκεντρώσεις μολύβδου σε ppm στα φυτά.

ημερομηνία **23/9/2006**

| Δείγμα | $[(\pi*x*y)/4]$ (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------------------|-----|
| Pb 40 ppm a | 1,76 | 40 |
| Pb 80 ppm a | 2,03 | 80 |
| Pb 160 ppm a | 2,95 | 160 |
| Pb 320 ppm a | 2,01 | 320 |
| Pb 640 ppm a | 2,33 | 640 |

ημερομηνία **23/9/2006**

| Δείγμα | $[(\pi*x*y)/4]$ (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------------------|-----|
| Pb 40 ppm b | 1,69 | 40 |
| Pb 80 ppm b | 1,77 | 80 |
| Pb 160 ppm b | 2,09 | 160 |
| Pb 320 ppm b | 2,20 | 320 |
| Pb 640 ppm b | 2,54 | 640 |



Γράφημα 12.2. Γραφήματα περιγραφής των Μ.Ο. της φυλλικής επιφάνειας $[(\pi*x*y)/4]$ των φύλλων στις διάφορες συγκεντρώσεις μολύβδου σε ppm στα φυτά στις 23/9/2006.

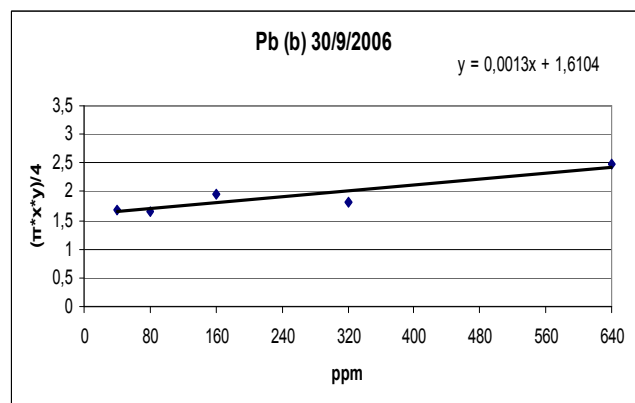
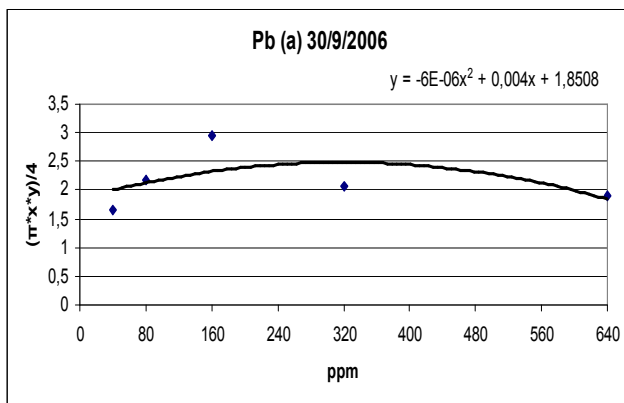
Πίνακας 14.3. Πίνακες περιγραφής των Μ.Ο. της φυλλικής επιφάνειας $[(\pi*x*y)/4]$ των φύλλων που μετρήθηκαν στις 30/9/2006 σε συνάρτηση με τις διάφορες συγκεντρώσεις μολύβδου σε ppm στα φυτά.

ημερομηνία **30/9/2006**

| Δείγμα | $[(\pi*x*y)/4]$ (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------------------|-----|
| Pb 40 ppm a | 1,66 | 40 |
| Pb 80 ppm a | 2,19 | 80 |
| Pb 160 ppm a | 2,96 | 160 |
| Pb 320 ppm a | 2,06 | 320 |
| Pb 640 ppm a | 1,91 | 640 |

ημερομηνία **30/9/2006**

| Δείγμα | $[(\pi*x*y)/4]$ (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------------------|-----|
| Pb 40 ppm b | 1,69 | 40 |
| Pb 80 ppm b | 1,66 | 80 |
| Pb 160 ppm b | 1,96 | 160 |
| Pb 320 ppm b | 1,83 | 320 |
| Pb 640 ppm b | 2,48 | 640 |



Γράφημα 12.3. Γραφήματα περιγραφής των Μ.Ο. της φυλλικής επιφάνειας $[(\pi*x*y)/4]$ των φύλλων στις διάφορες συγκεντρώσεις μολύβδου σε ppm στα φυτά στις 30/9/2006.

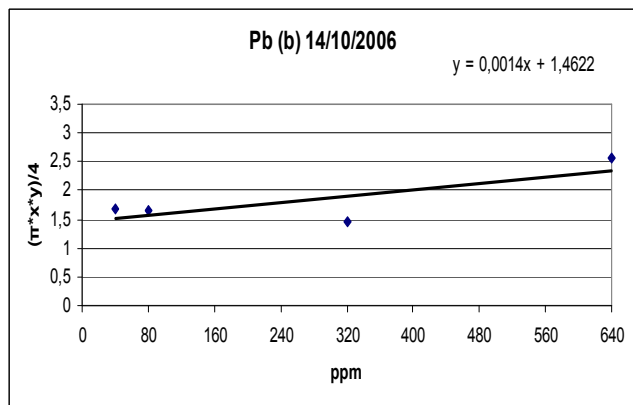
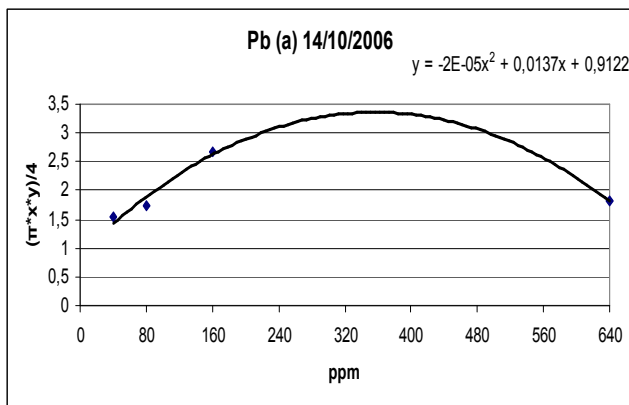
Πίνακας 14.4. Πίνακες περιγραφής των Μ.Ο. της φυλλικής επιφάνειας $[(\pi*x*y)/4]$ των φύλλων που μετρήθηκαν στις 14/10/2006 σε συνάρτηση με τις διάφορες συγκεντρώσεις μολύβδου σε ppm στα φυτά.

ημερομηνία **14/10/2006**

| Δείγμα | $[(\pi*x*y)/4]$ (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------------------|-----|
| Pb 40 ppm a | 1,53 | 40 |
| Pb 80 ppm a | 1,73 | 80 |
| Pb 160 ppm a | 2,68 | 160 |
| Pb 320 ppm a | | 320 |
| Pb 640 ppm a | 1,81 | 640 |

ημερομηνία **14/10/2006**

| Δείγμα | $[(\pi*x*y)/4]$ (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------------------|-----|
| Pb 40 ppm b | 1,67 | 40 |
| Pb 80 ppm b | 1,66 | 80 |
| Pb 160 ppm b | | 160 |
| Pb 320 ppm b | 1,47 | 320 |
| Pb 640 ppm b | 2,55 | 640 |



Γράφημα 12.4. Γραφήματα περιγραφής των Μ.Ο. της φυλλικής επιφάνειας $[(\pi*x*y)/4]$ των φύλλων στις διάφορες συγκεντρώσεις μολύβδου σε ppm στα φυτά στις 14/10/2006.

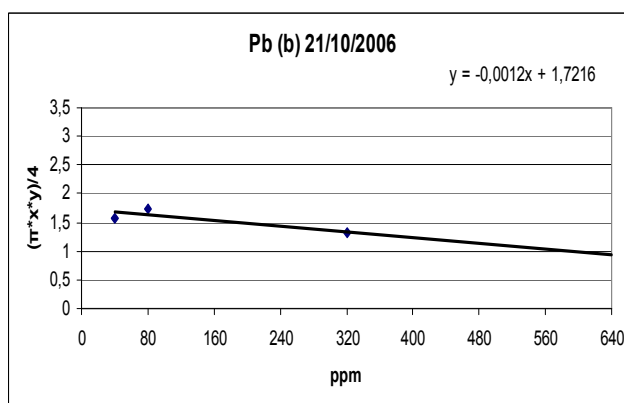
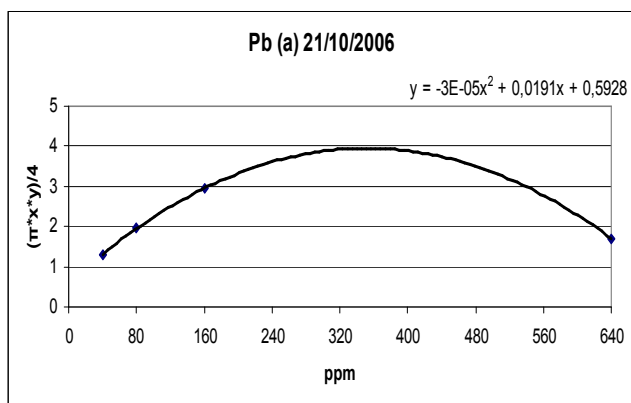
Πίνακας 14.5. Πίνακες περιγραφής των Μ.Ο. της φυλλικής επιφάνειας $[(\pi*x*y)/4]$ των φύλλων που μετρήθηκαν στις 21/10/2006 σε συνάρτηση με τις διάφορες συγκεντρώσεις μολύβδου σε ppm στα φυτά.

ημερομηνία **21/10/2006**

| Δείγμα | $[(\pi*x*y)/4]$ (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------------------|-----|
| Pb 40 ppm a | 1,31 | 40 |
| Pb 80 ppm a | 1,95 | 80 |
| Pb 160 ppm a | 2,95 | 160 |
| Pb 320 ppm a | | 320 |
| Pb 640 ppm a | 1,70 | 640 |

ημερομηνία **21/10/2006**

| Δείγμα | $[(\pi*x*y)/4]$ (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------------------|-----|
| Pb 40 ppm b | 1,58 | 40 |
| Pb 80 ppm b | 1,73 | 80 |
| Pb 160 ppm b | | 160 |
| Pb 320 ppm b | 1,31 | 320 |
| Pb 640 ppm b | | 640 |



Γράφημα 12.5. Γραφήματα περιγραφής των Μ.Ο. της φυλλικής επιφάνειας $[(\pi*x*y)/4]$ των φύλλων στις διάφορες συγκεντρώσεις μολύβδου σε ppm στα φυτά στις 21/10/2006.

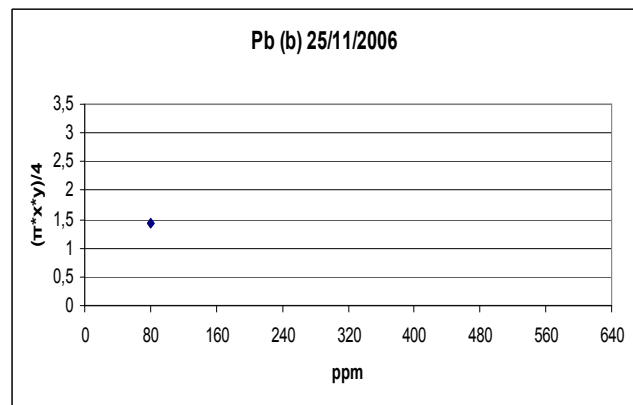
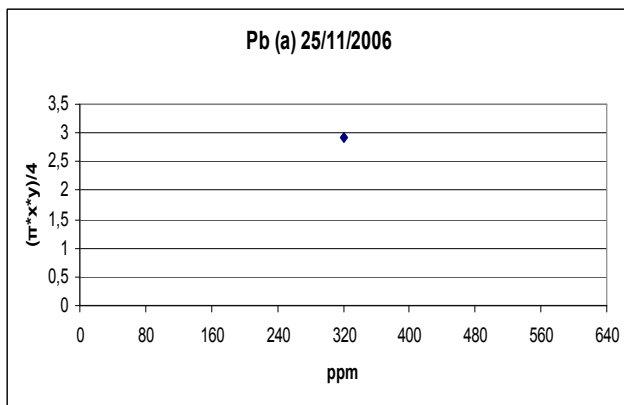
Πίνακας 14.6. Πίνακες περιγραφής των Μ.Ο. της φυλλικής επιφάνειας $[(\pi*x*y)/4]$ των φύλλων που μετρήθηκαν στις 25/11/2006 σε συνάρτηση με τις διάφορες συγκεντρώσεις μολύβδου σε ppm στα φυτά.

ημερομηνία **25/11/2006**

| Δείγμα | $[(\pi*x*y)/4]$ (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------------------|-----|
| Pb 40 ppm a | | 40 |
| Pb 80 ppm a | | 80 |
| Pb 160 ppm a | | 160 |
| Pb 320 ppm a | 2,93 | 320 |
| Pb 640 ppm a | | 640 |

ημερομηνία **25/11/2006**

| Δείγμα | $[(\pi*x*y)/4]$ (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------------------|-----|
| Pb 40 ppm b | | 40 |
| Pb 80 ppm b | 1,43 | 80 |
| Pb 160 ppm b | | 160 |
| Pb 320 ppm b | | 320 |
| Pb 640 ppm b | | 640 |



Γράφημα 12.6. Γραφήματα περιγραφής των Μ.Ο. της φυλλικής επιφάνειας $[(\pi*x*y)/4]$ των φύλλων στις διάφορες συγκεντρώσεις μολύβδου σε ppm στα φυτά στις 25/11/2006.

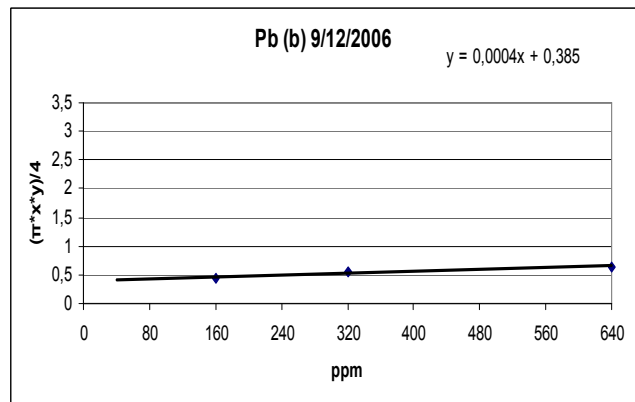
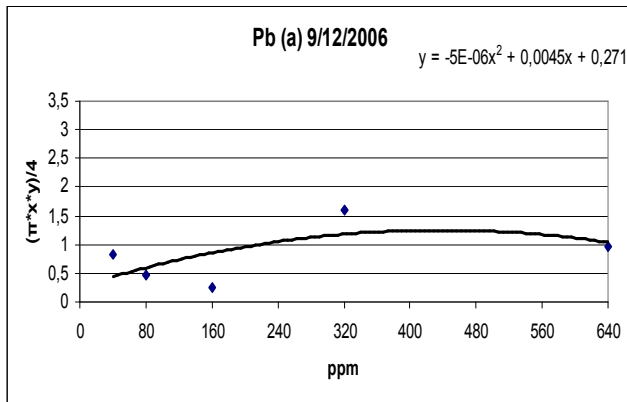
Πίνακας 14.7. Πίνακες περιγραφής των Μ.Ο. της φυλλικής επιφάνειας $[(\pi*x*y)/4]$ των φύλλων που μετρήθηκαν στις 9/12/2006 σε συνάρτηση με τις διάφορες συγκεντρώσεις μολύβδου σε ppm στα φυτά.

ημερομηνία 9/12/2006

| Δείγμα | $[(\pi*x*y)/4]$ (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------------------|-----|
| Pb 40 ppm a | 0,82 | 40 |
| Pb 80 ppm a | 0,47 | 80 |
| Pb 160 ppm a | 0,25 | 160 |
| Pb 320 ppm a | 1,60 | 320 |
| Pb 640 ppm a | 0,97 | 640 |

ημερομηνία 9/12/2006

| Δείγμα | $[(\pi*x*y)/4]$ (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------------------|-----|
| Pb 40 ppm b | | 40 |
| Pb 80 ppm b | | 80 |
| Pb 160 ppm b | 0,43 | 160 |
| Pb 320 ppm b | 0,55 | 320 |
| Pb 640 ppm b | 0,64 | 640 |



Γράφημα 12.7. Γραφήματα περιγραφής των Μ.Ο. της φυλλικής επιφάνειας $[(\pi*x*y)/4]$ των φύλλων στις διάφορες συγκεντρώσεις μολύβδου σε ppm στα φυτά στις 9/12/2006.

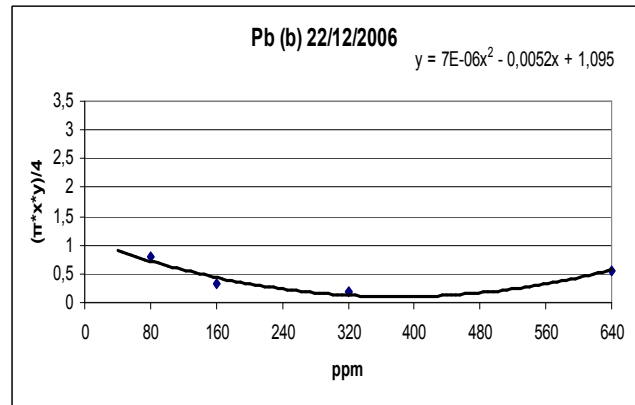
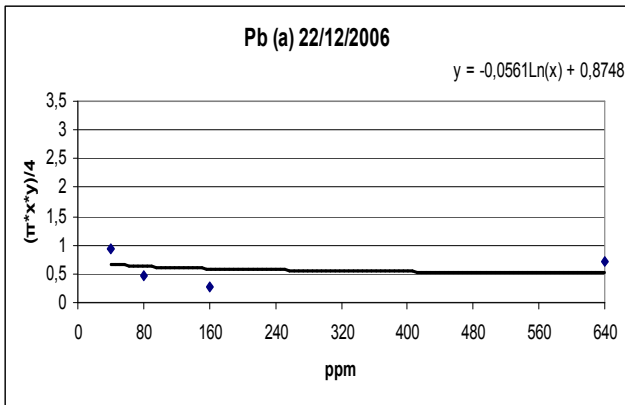
Πίνακας 14.8. Πίνακες περιγραφής των Μ.Ο. της φυλλικής επιφάνειας $[(\pi*x*y)/4]$ των φύλλων που μετρήθηκαν στις 22/12/2006 σε συνάρτηση με τις διάφορες συγκεντρώσεις μολύβδου σε ppm στα φυτά.

ημερομηνία 22/12/2006

| Δείγμα | $[(\pi*x*y)/4]$ (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------------------|-----|
| Pb 40 ppm a | 0,94 | 4 |
| Pb 80 ppm a | 0,48 | 8 |
| Pb 160 ppm a | 0,27 | 16 |
| Pb 320 ppm a | | 32 |
| Pb 640 ppm a | 0,71 | 64 |

ημερομηνία 22/12/2006

| Δείγμα | $[(\pi*x*y)/4]$ (Μ.Ο.) | ppm |
|--------------|------------------------|-----|
| Pb 40 ppm b | | 4 |
| Pb 80 ppm b | 0,79 | 8 |
| Pb 160 ppm b | 0,32 | 16 |
| Pb 320 ppm b | 0,19 | 32 |
| Pb 640 ppm b | 0,56 | 64 |



Γράφημα 12.8. Γραφήματα περιγραφής των Μ.Ο. της φυλλικής επιφάνειας $[(\pi*x*y)/4]$ των φύλλων στις διάφορες συγκεντρώσεις μολύβδου σε ppm στα φυτά στις 22/12/2006.

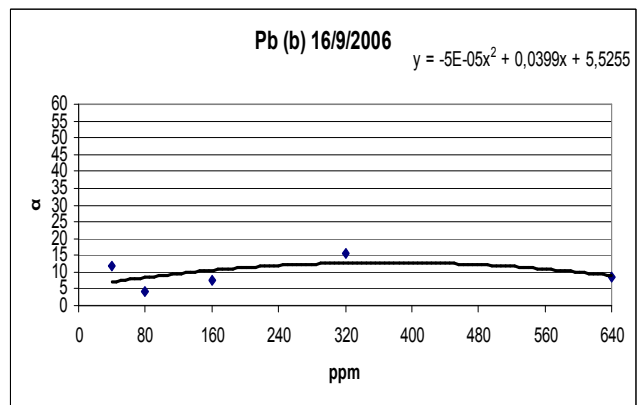
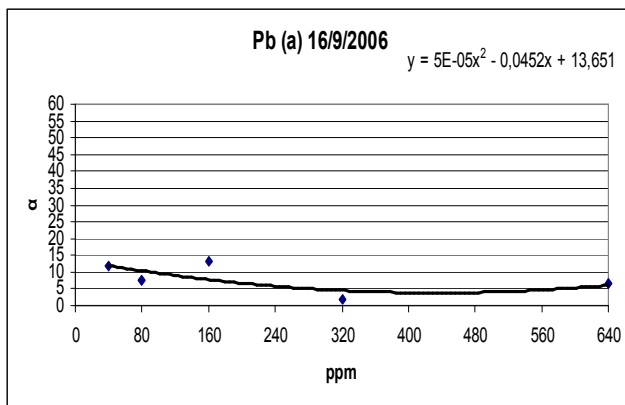
Πίνακας 15.1. Πίνακες περιγραφής του ύψους (α) των φυτών που μετρήθηκαν στις 16/9/2006 σε συνάρτηση με τις διάφορες συγκεντρώσεις μολύβδου σε ppm στα φυτά.

ημερομηνία **16/9/2006**

| Δείγμα | α | ppm |
|--------------|-------|-----|
| Pb 40 ppm a | 11,90 | 40 |
| Pb 80 ppm a | 7,40 | 80 |
| Pb 160 ppm a | 13,00 | 160 |
| Pb 320 ppm a | 1,90 | 320 |
| Pb 640 ppm a | 6,50 | 640 |

ημερομηνία **16/9/2006**

| Δείγμα | α | ppm |
|--------------|-------|-----|
| Pb 40 ppm b | 11,60 | 40 |
| Pb 80 ppm b | 4,40 | 80 |
| Pb 160 ppm b | 7,50 | 160 |
| Pb 320 ppm b | 15,70 | 320 |
| Pb 640 ppm b | 8,40 | 640 |



Γράφημα 13.1. Γραφήματα περιγραφής του ύψους (α) των φυτών στις διάφορες συγκεντρώσεις μολύβδου σε ppm στα φυτά στις 16/9/2006.

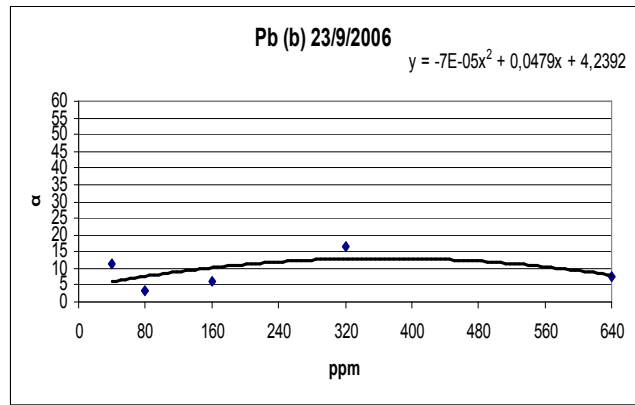
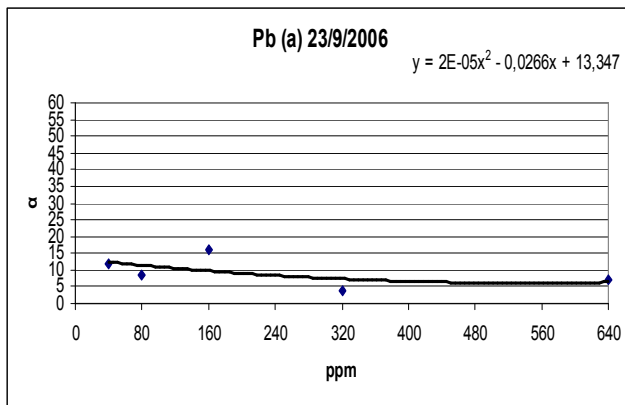
Πίνακας 15.2. Πίνακες περιγραφής του ύψους (α) των φυτών που μετρήθηκαν στις 23/9/2006 σε συνάρτηση με τις διάφορες συγκεντρώσεις μολύβδου σε ppm στα φυτά.

ημερομηνία **23/9/2006**

| Δείγμα | α | ppm |
|--------------|-------|-----|
| Pb 40 ppm a | 11,60 | 40 |
| Pb 80 ppm a | 8,70 | 80 |
| Pb 160 ppm a | 16,00 | 160 |
| Pb 320 ppm a | 4,00 | 320 |
| Pb 640 ppm a | 6,90 | 640 |

ημερομηνία **23/9/2006**

| Δείγμα | α | ppm |
|--------------|-------|-----|
| Pb 40 ppm b | 11,30 | 40 |
| Pb 80 ppm b | 3,50 | 80 |
| Pb 160 ppm b | 6,00 | 160 |
| Pb 320 ppm b | 16,60 | 320 |
| Pb 640 ppm b | 7,40 | 640 |



Γράφημα 13.2. Γραφήματα περιγραφής του ύψους (α) των φυτών στις διάφορες συγκεντρώσεις μολύβδου σε ppm στα φυτά στις 23/9/2006.

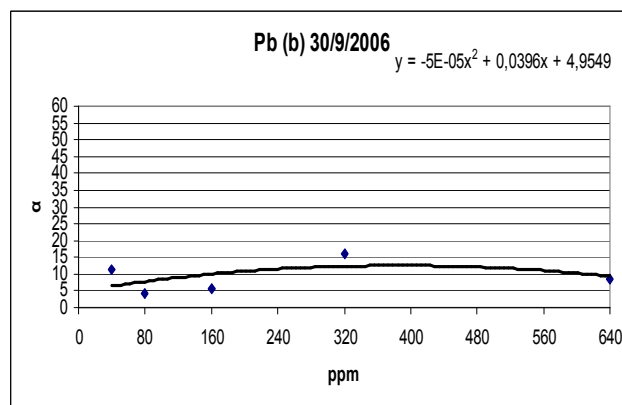
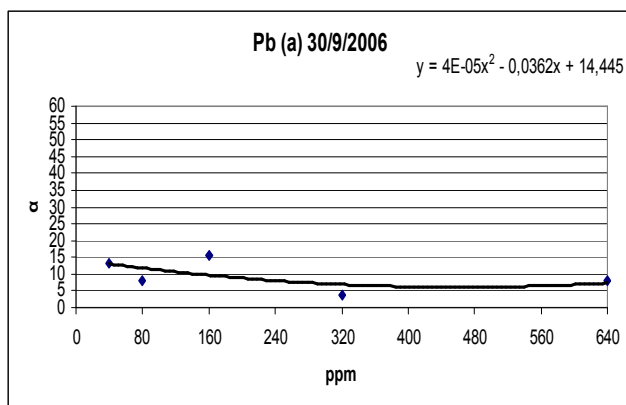
Πίνακας 15.3. Πίνακες περιγραφής του ύψους (α) των φυτών που μετρήθηκαν στις 30/9/2006 σε συνάρτηση με τις διάφορες συγκεντρώσεις μολύβδου σε ppm στα φυτά.

ημερομηνία **30/9/2006**

| Δείγμα | α | ppm |
|--------------|-------|-----|
| Pb 40 ppm a | 13,30 | 40 |
| Pb 80 ppm a | 8,00 | 80 |
| Pb 160 ppm a | 15,80 | 160 |
| Pb 320 ppm a | 3,90 | 320 |
| Pb 640 ppm a | 7,80 | 640 |

ημερομηνία **30/9/2006**

| Δείγμα | α | ppm |
|--------------|-------|-----|
| Pb 40 ppm b | 11,20 | 40 |
| Pb 80 ppm b | 4,20 | 80 |
| Pb 160 ppm b | 5,90 | 160 |
| Pb 320 ppm b | 15,90 | 320 |
| Pb 640 ppm b | 8,70 | 640 |



Γράφημα 13.3. Γραφήματα περιγραφής του ύψους (α) των φυτών στις διάφορες συγκεντρώσεις μολύβδου σε ppm στα φυτά στις 30/9/2006.

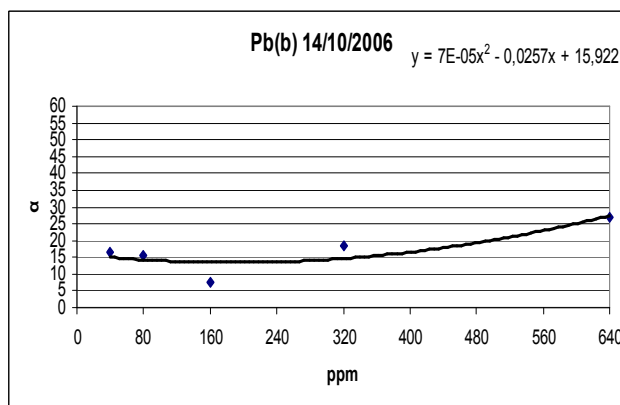
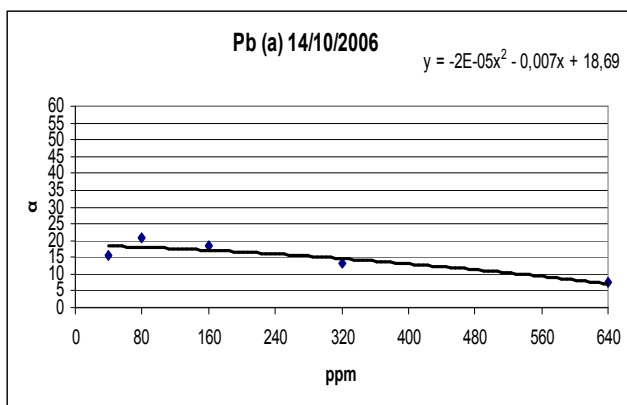
Πίνακας 15.4. Πίνακες περιγραφής του ύψους (α) των φυτών που μετρήθηκαν στις 14/10/2006 σε συνάρτηση με τις διάφορες συγκεντρώσεις μολύβδου σε ppm στα φυτά.

ημερομηνία **14/10/2006**

| Δείγμα | α | ppm |
|--------------|-------|-----|
| Pb 40 ppm a | 15,40 | 40 |
| Pb 80 ppm a | 20,90 | 80 |
| Pb 160 ppm a | 18,60 | 160 |
| Pb 320 ppm a | 13,00 | 320 |
| Pb 640 ppm a | 7,40 | 640 |

ημερομηνία **14/10/2006**

| Δείγμα | α | ppm |
|--------------|-------|-----|
| Pb 40 ppm b | 16,70 | 40 |
| Pb 80 ppm b | 15,70 | 80 |
| Pb 160 ppm b | 7,40 | 160 |
| Pb 320 ppm b | 18,30 | 320 |
| Pb 640 ppm b | 26,90 | 640 |



Γράφημα 13.4. Γραφήματα περιγραφής του ύψους (α) των φυτών στις διάφορες συγκεντρώσεις μολύβδου σε ppm στα φυτά στις 14/10/2006.

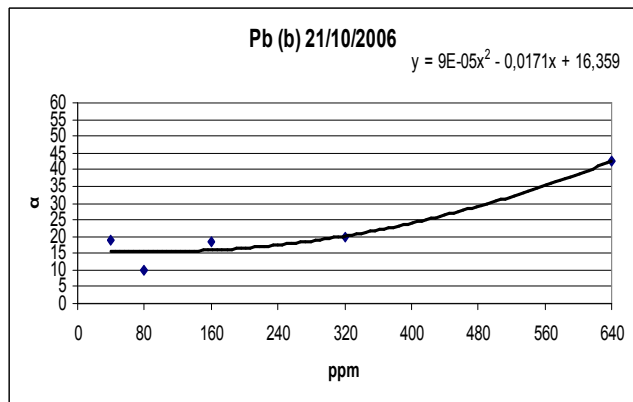
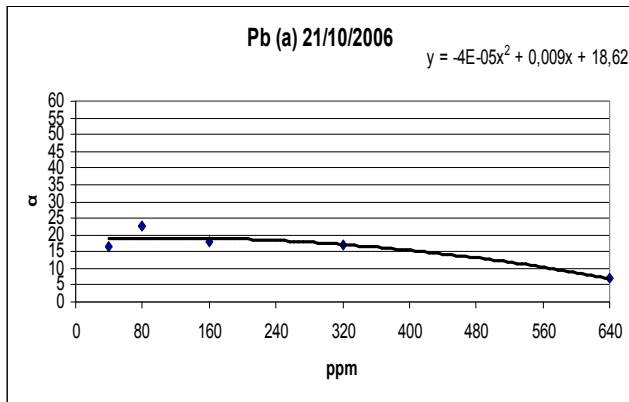
Πίνακας 15.5. Πίνακες περιγραφής του ύψους (α) των φυτών που μετρήθηκαν στις 21/10/2006 σε συνάρτηση με τις διάφορες συγκεντρώσεις μολύβδου σε ppm στα φυτά.

ημερομηνία **21/10/2006**

| Δείγμα | α | ppm |
|--------------|-------|-----|
| Pb 40 ppm a | 16,40 | 40 |
| Pb 80 ppm a | 22,70 | 80 |
| Pb 160 ppm a | 18,10 | 160 |
| Pb 320 ppm a | 16,80 | 320 |
| Pb 640 ppm a | 7,10 | 640 |

ημερομηνία **21/10/2006**

| Δείγμα | α | ppm |
|--------------|-------|-----|
| Pb 40 ppm b | 19,10 | 40 |
| Pb 80 ppm b | 10,00 | 80 |
| Pb 160 ppm b | 18,50 | 160 |
| Pb 320 ppm b | 19,90 | 320 |
| Pb 640 ppm b | 42,50 | 640 |



Γράφημα 13.5. Γραφήματα περιγραφής του ύψους (α) των φυτών στις διάφορες συγκεντρώσεις μολύβδου σε ppm στα φυτά στις 21/10/2006.

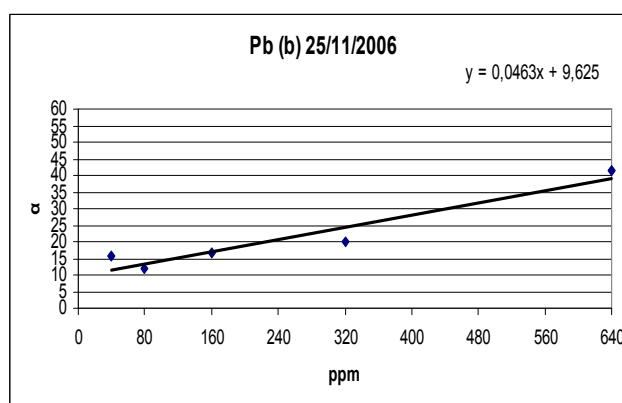
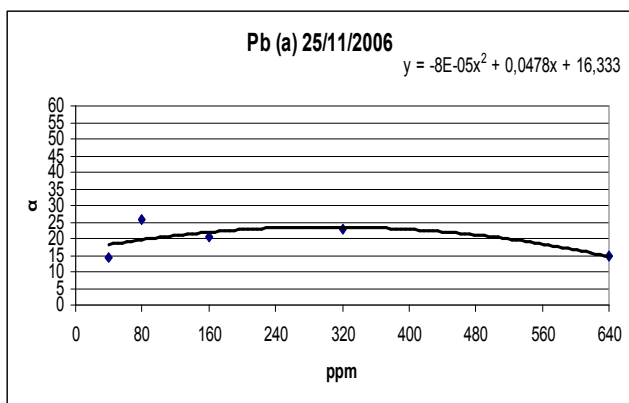
Πίνακας 15.6. Πίνακες περιγραφής του ύψους (α) των φυτών που μετρήθηκαν στις 25/11/2006 σε συνάρτηση με τις διάφορες συγκεντρώσεις μολύβδου σε ppm στα φυτά.

ημερομηνία 25/11/2006

| Δείγμα | α | ppm |
|--------------|-------|-----|
| Pb 40 ppm a | 14,10 | 40 |
| Pb 80 ppm a | 25,50 | 80 |
| Pb 160 ppm a | 20,50 | 160 |
| Pb 320 ppm a | 23,00 | 320 |
| Pb 640 ppm a | 14,70 | 640 |

ημερομηνία 25/11/2006

| Δείγμα | α | ppm |
|--------------|-------|-----|
| Pb 40 ppm b | 15,50 | 40 |
| Pb 80 ppm b | 12,00 | 80 |
| Pb 160 ppm b | 16,50 | 160 |
| Pb 320 ppm b | 20,00 | 320 |
| Pb 640 ppm b | 41,50 | 640 |



Γράφημα 13.6. Γραφήματα περιγραφής του ύψους (α) των φυτών στις διάφορες συγκεντρώσεις μολύβδου σε ppm στα φυτά στις 25/11/2006.

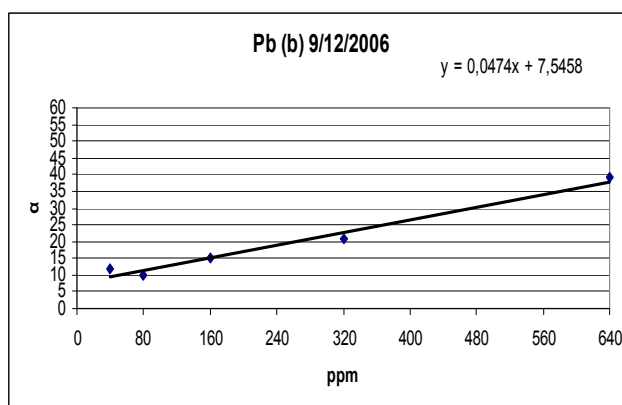
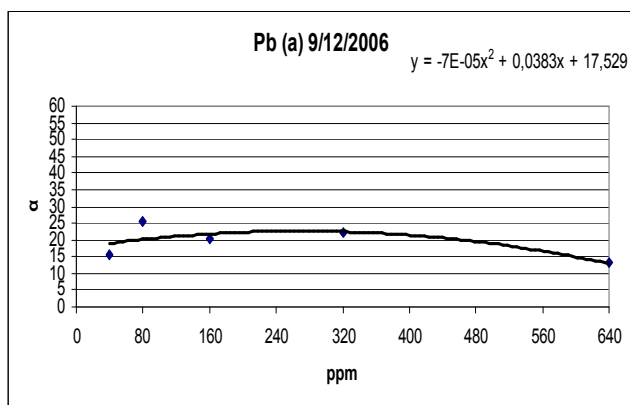
Πίνακας 15.7. Πίνακες περιγραφής του ύψους (α) των φυτών που μετρήθηκαν στις 9/12/2006 σε συνάρτηση με τις διάφορες συγκεντρώσεις μολύβδου σε ppm στα φυτά.

ημερομηνία 9/12/2006

| Δείγμα | α | ppm |
|--------------|-------|-----|
| Pb 40 ppm a | 15,40 | 40 |
| Pb 80 ppm a | 25,50 | 80 |
| Pb 160 ppm a | 20,20 | 160 |
| Pb 320 ppm a | 22,20 | 320 |
| Pb 640 ppm a | 13,00 | 640 |

ημερομηνία 9/12/2006

| Δείγμα | α | ppm |
|--------------|-------|-----|
| Pb 40 ppm b | 12,00 | 40 |
| Pb 80 ppm b | 10,00 | 80 |
| Pb 160 ppm b | 14,90 | 160 |
| Pb 320 ppm b | 20,60 | 320 |
| Pb 640 ppm b | 39,00 | 640 |



Γράφημα 13.7. Γραφήματα περιγραφής του ύψους (α) των φυτών στις διάφορες συγκεντρώσεις μολύβδου σε ppm στα φυτά στις 9/12/2006.

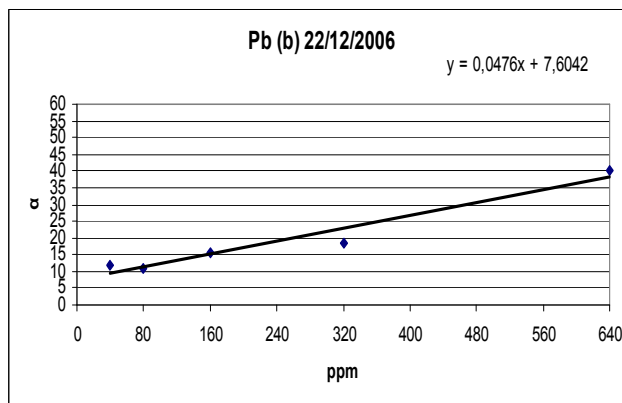
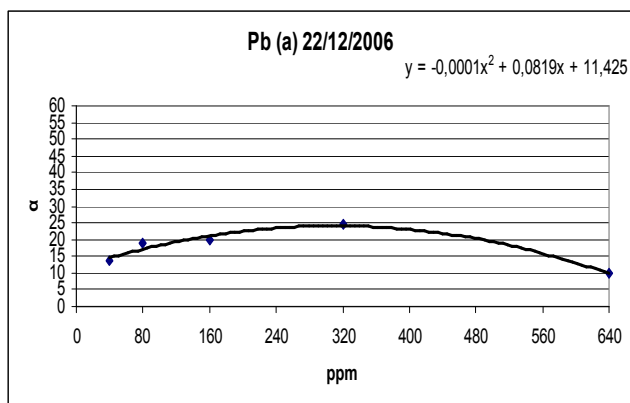
Πίνακας 15.8. Πίνακες περιγραφής του ύψους (α) των φυτών που μετρήθηκαν στις 22/12/2006 σε συνάρτηση με τις διάφορες συγκεντρώσεις μολύβδου σε ppm στα φυτά.

ημερομηνία 22/12/2006

| Δείγμα | α | ppm |
|--------------|-------|-----|
| Pb 40 ppm a | 13,60 | 40 |
| Pb 80 ppm a | 18,90 | 80 |
| Pb 160 ppm a | 20,00 | 160 |
| Pb 320 ppm a | 24,40 | 320 |
| Pb 640 ppm a | 9,70 | 640 |

ημερομηνία 22/12/2006

| Δείγμα | α | ppm |
|--------------|-------|-----|
| Pb 40 ppm b | 12,00 | 40 |
| Pb 80 ppm b | 11,00 | 80 |
| Pb 160 ppm b | 15,50 | 160 |
| Pb 320 ppm b | 18,50 | 320 |
| Pb 640 ppm b | 40,10 | 640 |



Γράφημα 13.8. Γραφήματα περιγραφής του ύψους (α) των φυτών στις διάφορες συγκεντρώσεις μολύβδου σε ppm στα φυτά στις 22/12/2006.

4.2.5 Συμπεράσματα

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την παρακολούθηση της ανάπτυξης των φυτών και που περιγράφονται στους παραπάνω πίνακες και γραφήματα είναι τα εξής:

1^{ov} Τα δείγματα μάρτυρα αναπτύχθηκαν φυσιολογικά.

2^{ov} Στα δείγματα καδμίου παρατηρείται μείωση της επιφάνειας των φύλλων αλλά και της ποσότητας, και μικρή αύξηση του ύψους τους.

3^{ov} Τα δείγματα Νικελίου που εμποτίστηκαν με μικρές ποσότητες δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερη μεταβολή στο ύψος τους, όμως στις μεγαλύτερες (160 ppm και 320 ppm) αυξάνεται αρκετά και φαίνεται να βοηθάει στην ανάπτυξή τους. Η μικρή και η μεγάλη διάμετρος των φύλλων τείνουν να εξομοιωθούν και τα φύλλα γίνονται σχεδόν στρογγυλά. Η επιφάνεια των φύλλων μικραίνει όπως και η ποσότητά τους λιγοστεύει.

4^{ov} Στα δείγματα μολύβδου το ύψος των φυτών αυξάνεται. Η επιφάνεια των φύλλων μικραίνει και τα φύλλα στρογγυλεύουν. Η ποσότητα των φύλλων μειώνεται.

Επίσης παρατηρούνται γενικά ότι:

- Στα φυτά παρατηρείται συγκέντρωση κόκκινων – μωβ χρωστικών (ανθοκυανίνες) που είναι χαρακτηριστικό συνθηκών έντασης.
- Η επιμήκυνση των μεσογονατίων διαστημάτων και επομένως και η αύξηση του μήκους του βλαστού του φυτού είναι ακόμα μια ένδειξη συνθηκών έντασης, όπου το φυτό αδυνατώντας να φωτοσυνθέσει επιμηκύνεται.
- Η μείωση της φωτοσυνθετικής λειτουργίας φαίνεται επίσης από την έλλειψη δημιουργίας νέων φύλλων.

4.3 Χημικές αναλύσεις φύλλων – ριζών – χώματος

4.3.1 Φύλλα

Στις 8 Ιανουαρίου 2007 παραλήφθηκαν δείγματα φύλλων τα οποία ξηράνθηκαν σε φούρνο στους 60°C για 12h.

4.3.2 Ρίζα

Στις 26 Μαρτίου 2007 παραλήφθηκαν τα δείγματα ριζών, μετά από μακρά διακοπή του ποτίσματος των φυτών, για να μπορεί να γίνει ευκολότερα ο διαχωρισμός της ρίζας απ' το χώμα. Οι ρίζες εκπλύθηκαν με νερό και αφέθηκαν να στεγνώσουν μέσα στο εργαστήριο του Πάρκου Διάσωσης Χλωρίδας και Πανίδας του Πολυτεχνείου Κρήτης. Κατόπιν ξηράνθηκαν σε φούρνο στους 50°C για 8h.

4.3.3 Χώμα

Στις 9 Ιανουαρίου 2007 παραλήφθηκαν δείγματα χώματος και με προσοχή αφαιρέθηκαν τυχόν ριζίδια που υπήρχαν. Δείγματα από τους πέντε μάρτυρες ομογενοποιήθηκαν σε ένα τελικό δείγμα και στα υπόλοιπα δείγματα έγινε ανάμιξη του χώματος των δύο επαναλήψεων για κάθε συγκέντρωση μετάλλου. Τα δείγματα αφέθηκαν να στεγνώσουν με φυσικό αερισμό για μία εβδομάδα περίπου στο εργαστήριο του Πάρκου Διάσωσης Χλωρίδας και Πανίδας του Πολυτεχνείου Κρήτης, και κατόπιν κωδικοποιήθηκαν σύμφωνα με τον Πίνακα 16.

Πίνακας 16. Ποσότητες βαρέος μετάλλου στο χώμα και κωδική ονομασία δειγμάτων

| ποσότητα βαρέος μετάλλου στο χώμα (mg/Kg) | κωδικός δείγματος |
|-------------------------------------------|-------------------|
| 0 | Μάρτυρας 1 |
| 0 | Μάρτυρας 2 |
| Cd 10 | Cd 10 ppm ab |
| Cd 20 | Cd 20 ppm ab |
| Cd 40 | Cd 40 ppm ab |
| Cd 80 | Cd 80 ppm ab |
| Cd 160 | Cd 160 ppm ab |
| Ni 20 | Ni 20 ppm ab |
| Ni 40 | Ni 40 ppm ab |
| Ni 80 | Ni 80 ppm ab |
| Ni 160 | Ni 160 ppm ab |
| Ni 320 | Ni 320 ppm ab |
| Pb 40 | Pb 40 ppm ab |
| Pb 80 | Pb 80 ppm ab |
| Pb 160 | Pb 160 ppm ab |
| Pb 320 | Pb 320 ppm ab |
| Pb 640 | Pb 640 ppm ab |

4.4 Πειραματική διαδικασία για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης των βαρέων μετάλλων στα διάφορα μέρη των φυτών

4.4.1 Υλικά εργαστηρίου – αντιδραστήρια – όργανα

Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο «Ανόργανης και Οργανικής Γεωχημείας και Οργανικής Πετρογραφίας» του Τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Τα υλικά εργαστηρίου που χρησιμοποιήθηκαν είναι σιφώνια, ηθμοί, κάψες, σταγονόμετρα, χωνιά, ογκομετρικές φιάλες των 10, 25, 50 και 1000 mL, ποτήρι ζέσεως 1000 mL, μαγνητάκι, πλαστικά μπουκαλάκια.

Για τη διαλυτοποίηση των δειγμάτων φύλλων και ρίζας χρησιμοποιήθηκαν διάλυμα υδροχλωρικού οξέος (HCl 1:1), πυκνό νιτρικό οξύ (HNO₃) και απιονισμένο νερό.

Για την εκχύλιση της βιοδιαθέσιμης ποσότητας των βαρέων μετάλλων από τα δείγματα χώματος παρασκευάστηκε διάλυμα DTPA. Τα αντιδραστήρια που χρησιμοποιήθηκαν για την παρασκευή του είναι 1,96 gr DTPA, 1,47 gr CaCl₂, 14,92 gr TEA και απιονισμένο H₂O μέχρι 1000 mL. Το pH = 7,3 ρυθμίστηκε με HCl 6M. Οι τελικές συγκεντρώσεις των αντιδραστηρίων στο διάλυμα ήταν DTPA, 0,005M, TEA 0,1M και CaCl₂ 0,01M.

Τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν για τις μετρήσεις είναι αναλυτικός ζυγός (μετρήθηκε η ξηρή μάζα των δειγμάτων), φούρνος καύσης Nabertherm D-2804 Germany και φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης Perkin Elmer AAnalyst.100, pHμετρο, συσκευή ανάδευσης techmatic και παλινδρομικός ανακινητήρας Edmund Buhler.

4.4.2 Ρίζες – φύλλα (περιγραφή πειραματικής διαδικασίας)

Στις 3 Απριλίου 2007 ζυγίστηκαν στον αναλυτικό ζυγό στο εργαστήριο οι μάζες των ξηρών ριζών των δειγμάτων μάρτυρας 2, 3, 4, 5 και Cd 1a, 1b, 2a, 2b, 3a, 3b, 4a, 4b, 5a, 5b. Τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε κάψες στο φούρνο καύσης αρχικά για μία ώρα στους 100 °C και έπειτα για τέσσερις ώρες στους 450 °C. Κατόπιν, οι στάχτες απ' τα δείγματα διαλυτοποιήθηκαν με το διάλυμα των οξέων ως εξής:

Με τη βοήθεια σιφωνίου τοποθετήθηκαν 5 mL διαλύματος υδροχλωρικού οξέος 1:1, σε κάθε δείγμα και προστέθηκαν με το σταγονόμετρο 5 σταγόνες πυκνού νιτρικού οξέος με ανάδευση. Χρησιμοποιήθηκαν ογκομετρικές φιάλες των 10 mL εκτός απ' το δείγμα Cd 3a όπου χρησιμοποιήθηκε ογκομετρική φιάλη των 25 mL. Τα δείγματα διηθήθηκαν στις ογκομετρικές φιάλες με τη βοήθεια χωνιών και ηθμών και ο όγκος στις ογκομετρικές φιάλες συμπληρώθηκε με απιονισμένο νερό μέχρι 10 mL εκτός απ' το Cd 3a μέχρι τα 25 mL. Την ίδια μέρα ζυγίστηκαν σε καθαρές κάψες δείγματα ριζών Ni 1a, 1b, 2a, 2b, 3a, 3b, 4a, 4b, 5a, 5b και Pb 1a, 1b, 2a, 2b. Τοποθετήθηκαν στο φούρνο αρχικά για μία ώρα στους 150 °C και έπειτα στους 450°C για τέσσερις ώρες. Στις 5 Απριλίου ακολουθήθηκε η ίδια

διαδικασία όπως περιγράφεται παραπάνω για τα δείγματα Pb 3a, 3b, 4a, 4b, 5a, 5b.

Στις 5 Απριλίου 2007 παρασκευάστηκαν πρότυπα διαλύματα Pb (5, 10 και 20 ppm) από πυκνό πρότυπο διάλυμα Pb 1000 ppm. Επίσης παρασκευάστηκαν πρότυπα διαλύματα Cd και Ni (2, 1, 0.5 ppm) από πυκνά πρότυπα διαλύματα 1000 ppm. Τα πρότυπα διαλύματα φτιάχτηκαν για τη βαθμονόμηση του φασματοφωτόμετρου ατομικής απορρόφησης.

Στις 11 Απριλίου 2007 ζυγίστηκαν τα υπόλοιπα δείγματα ριζών του Pb και ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία όπως περιγράφεται παραπάνω. Επίσης την ίδια μέρα ζυγίστηκαν δείγματα φύλλων Pb 1a, 1b, 2a, 2b, 3a, 3b, 4a, 4b και η διαδικασία που ακολουθήθηκε είναι η ίδια με αυτή των ριζών αλλά με την διαφορά ότι εξαιτίας του ότι οι μάζες των φύλλων ήταν πολύ μικρότερες προστέθηκαν 2 mL υδροχλωρικού οξέος και μία σταγόνα νιτρικού οξέος.

Στις 8 και 9 Αυγούστου 2007 μετρήθηκαν οι μάζες ξηρών φύλλων του Pb 5a, Pb 5b, όλων των δειγμάτων Cd, Ni και των μαρτύρων. Σε όλα τα δείγματα χρησιμοποιήθηκαν ογκομετρικές φιάλες των 10 mL εκτός απ' τα δείγματα Ni που χρησιμοποιήθηκαν ογκομετρικές φιάλες των 25 mL (με εξαίρεση τα δείγματα Ni 1a και Ni 1β που χρησιμοποιήθηκαν ογκομετρικές φιάλες των 10 mL).

4.4.3 Χώμα (περιγραφή πειραματικής διαδικασίας)

Η ποσότητα χώματος που χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό της βιοδιαθέσιμης ποσότητας βαρέων μετάλλων σε όλα τα δείγματα ήταν 25 gr. Τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε πλαστικά μπουκάλια των 250 mL. Σε κάθε δείγμα προστέθηκαν 100 mL διαλύματος DTPA (αναλογία 1 προς 4) και αυτό εξαιτίας της φύσης του εδάφους. Αρχικά χρησιμοποιήθηκε διάλυμα DTPA σε αναλογία έδαφος προς διάλυμα 1 προς 2, αλλά δεν ήταν επαρκής, γι' αυτό η μέθοδος τροποποιήθηκε και χρησιμοποιήθηκε διάλυμα σε αναλογία έδαφος προς διάλυμα 1 προς 4 [103].

Τοποθετήθηκαν τα μπουκαλάκια στον παλινδρομικό ανακινητήρα για δύο ώρες και τέλος το διάλυμα των εκχυλισμένων βαρέων μετάλλων διαχωρίστηκε από το χώμα με διήθηση.

4.4.4 Αποτελέσματα αναλύσεων – πίνακες – γραφήματα – συμπεράσματα

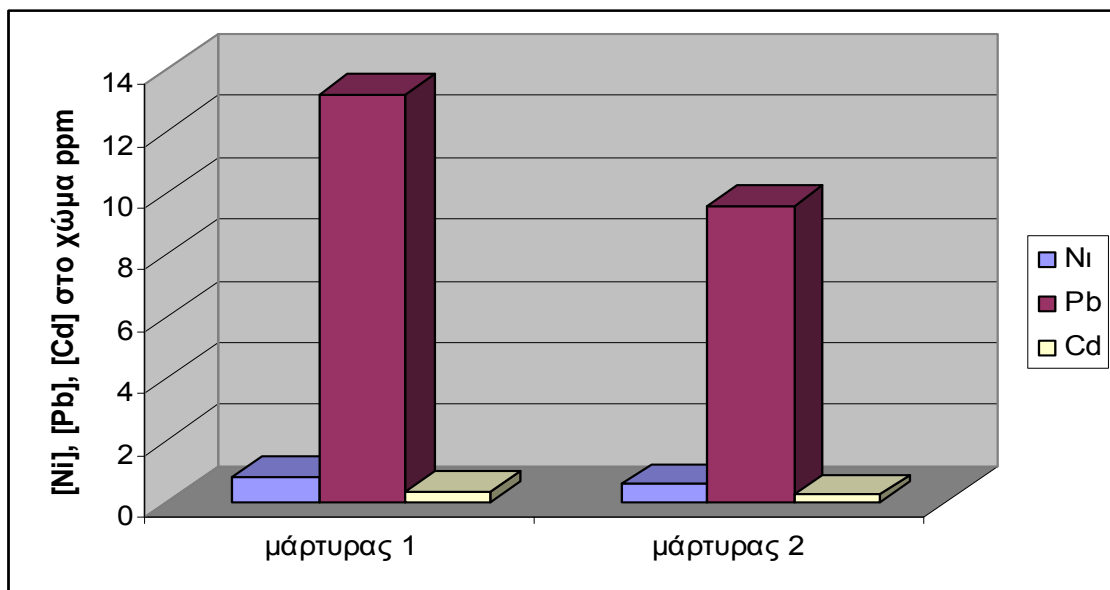
Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων στο φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης η ενέργεια της αντίστοιχης λυχνίας κοίλης καθόδου κυμαινόταν ως εξής: Ni από 48 έως 51, Pb από 63 έως 64, Cd από 59 έως 61 και με συντελεστή συσχέτισης (R^2) να κυμαίνεται ανάμεσα στο 0,99 και 1.

Μάρτυρας

- χώμα

Πίνακας 17.1. Συγκέντρωση Ni, Pb, Cd στο χώμα σε δείγματα μάρτυρες.

| Δείγμα | μάζα χώματος (g) | Ni (ppm) | Pb (ppm) | Cd (ppm) |
|------------|------------------|----------|----------|----------|
| Μάρτυρας 1 | 25 | 0,8 | 13,2 | 0,316 |
| Μάρτυρας 2 | 25 | 0,56 | 9,6 | 0,236 |



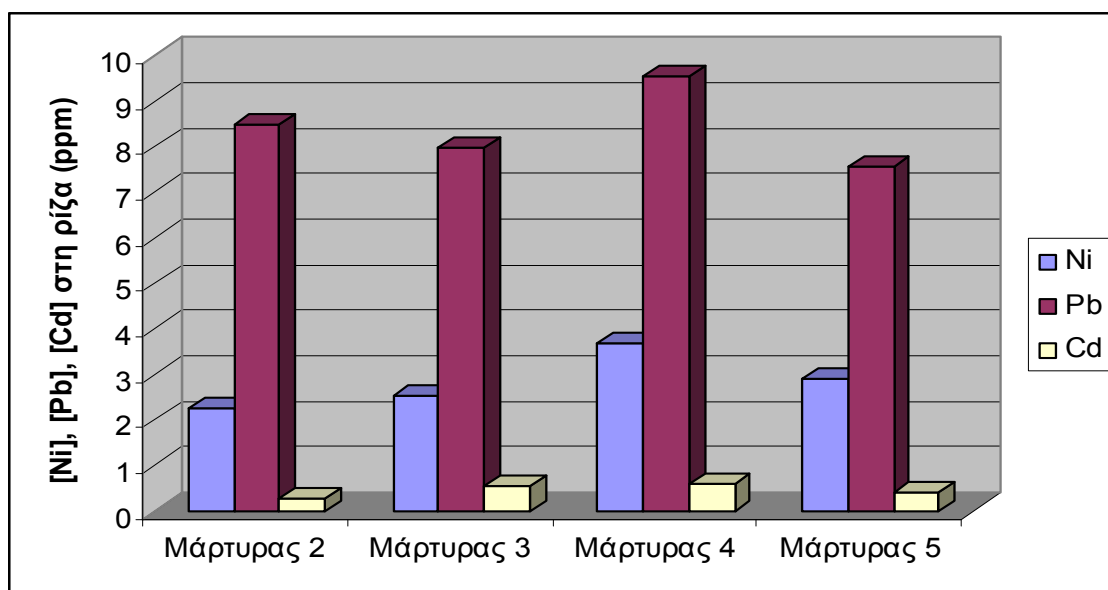
Γράφημα 14. Συγκεντρώσεις [Ni], [Pb] και [Cd] σε χώμα μη ρυπασμένο.

- ρίζα

Πίνακας 17.2. Συγκέντρωση Ni, Pb, Cd σε ρίζες δυόσμου σε δείγματα μάρτυρες.

| Δείγμα * | μάζα ξηρής ρίζας (g) | Ni (ppm) | Pb (ppm) | Cd (ppm) |
|------------|----------------------|----------|----------|----------|
| Μάρτυρας 2 | 0,2234 | 2,238 | 8,505 | 0,269 |
| Μάρτυρας 3 | 0,2387 | 2,514 | 7,960 | 0,545 |
| Μάρτυρας 4 | 0,136 | 3,676 | 9,559 | 0,588 |
| Μάρτυρας 5 | 0,1719 | 2,909 | 7,563 | 0,407 |

* κατά τη διαδικασία καθαρισμού της ρίζας του μάρτυρα 1, αυτή καταστράφηκε με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατή η μέτρηση των συγκεντρώσεων Ni, Pb, Cd στο δείγμα αυτό.

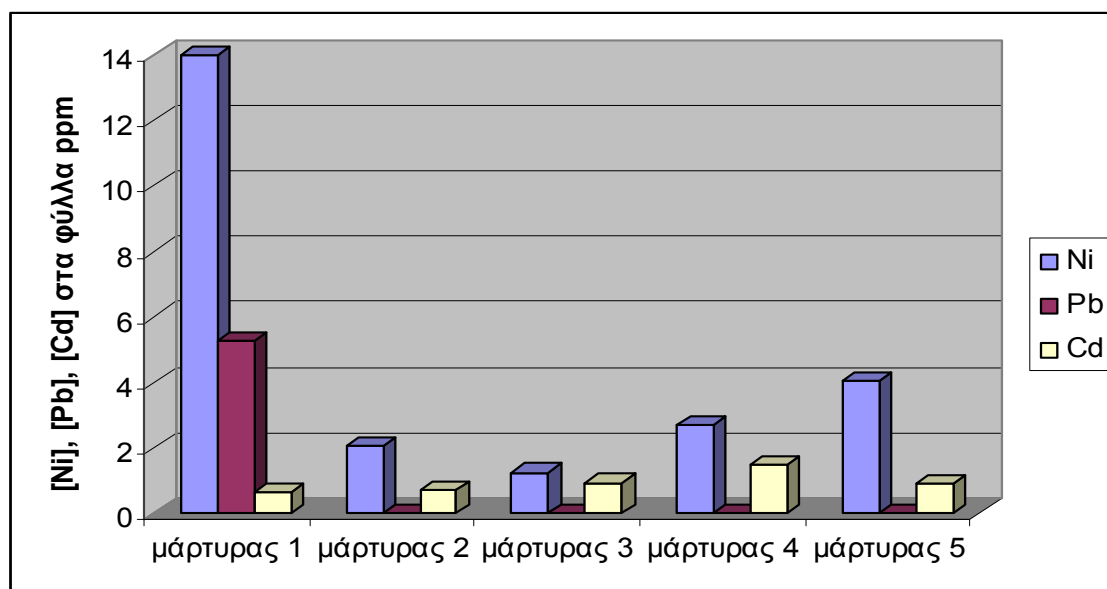


Γράφημα 15. Συγκεντρώσεις [Ni], [Pb] και [Cd] στις ρίζες δυόσμου καλλιεργημένου σε μη ρυπασμένο χώμα.

- φύλλα

Πίνακας 17.3. Συγκέντρωση Ni, Pb, Cd σε φύλλα δυόσμου σε δείγματα μάρτυρες.

| Δείγμα | μάζα ξηρού φύλλου (g) | Ni (ppm) | Pb (ppm) | Cd (ppm) |
|------------|-----------------------|----------|----------|----------|
| Μάρτυρας 1 | 0,093 | 13,978 | 5,269 | 0,645 |
| Μάρτυρας 2 | 0,0676 | 2,071 | 0 | 0,740 |
| Μάρτυρας 3 | 0,0316 | 1,266 | 0 | 0,949 |
| Μάρτυρας 4 | 0,0668 | 2,695 | 0 | 1,497 |
| Μάρτυρας 5 | 0,0544 | 4,044 | 0 | 0,919 |



Γράφημα 16. Συγκεντρώσεις [Ni], [Pb] και [Cd] σε φύλλα δυόσμου καλλιεργημένου σε μη ρυπασμένο χώμα.

Συμπεράσματα

Από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων των αναλύσεων δειγμάτων χώματος μη ρυπασμένου από τα υπό μελέτη βαρέα μέταλλα προκύπτει το συμπέρασμα ότι η συγκέντρωση μολύβδου σε χώμα μη ρυπασμένο είναι αρκετά υψηλότερη σε σχέση με τις συγκεντρώσεις νικελίου και καδμίου παρότι και αυτά τα δύο μέταλλα είναι παρόντα σε μετρήσιμες συγκεντρώσεις. Πιο συγκεκριμένα συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των μετρήσεων των συγκεντρώσεων των μετάλλων προκύπτει ότι η συγκέντρωση μολύβδου είναι περίπου 17 φορές μεγαλύτερη από το νικέλιο και 40 φορές μεγαλύτερη από το κάδμιο.

Κάτι αντίστοιχο παρατηρείται και στα δείγματα των ριζών δυόσμου με τη συγκέντρωση του μολύβδου να είναι αρκετές φορές μεγαλύτερη σε σχέση με του νικελίου και του καδμίου.

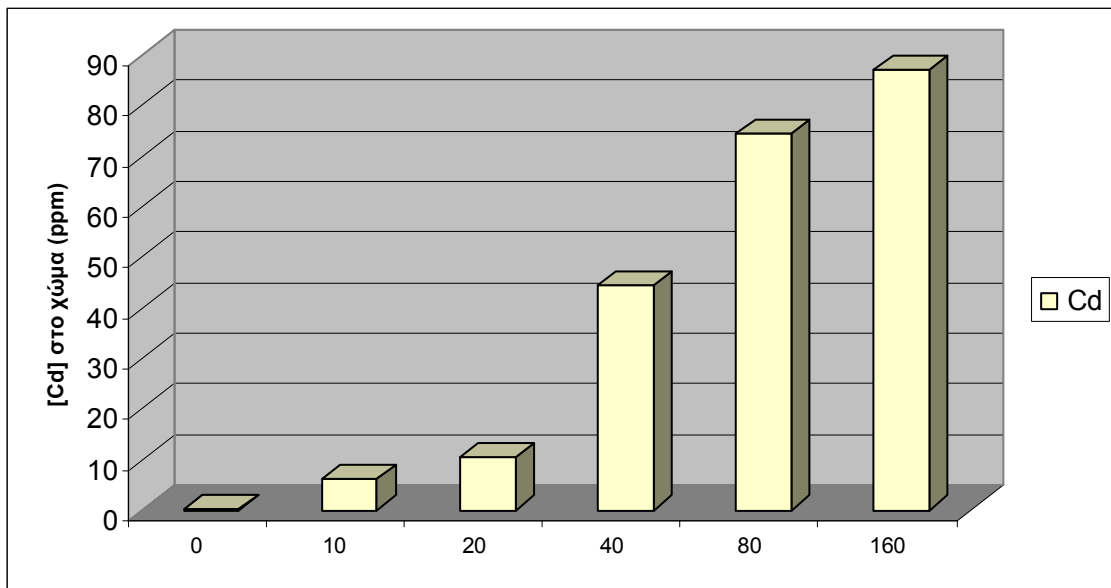
Στα αποτελέσματα των μετρήσεων στα φύλλα του δυόσμου η συγκέντρωση κατά μέσο όρο που υπερτερεί είναι του νικελίου και έπονται κατά σειρά το κάδμιο και ο μολύβδος. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο μάρτυρας 1 έδειξε γενικότερα διαφορετική συμπεριφορά από αυτή των υπόλοιπων. Οι συγκεντρώσεις του νικελίου και του μολύβδου στο δείγμα αυτό είναι πολύ υψηλές και θα μπορούσαν να αποδοθούν σε μόλυνση του τελικού δείγματος ανάλυσης από κακό χειρισμό σε κάποιο στάδιο της προετοιμασίας του.

Το γενικό συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι το χώμα περιείχε σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις μολύβδου όπου κατακρατήθηκαν από τις ρίζες (γι' αυτό έχουμε υψηλές τιμές [Pb] στις ρίζες) αλλά δεν επετράπη η διέλευση προς τα φύλλα όπου και παρατηρείται, αν εξαιρέσουμε τον μάρτυρα 1, μηδενική απορρόφηση.

4.4.4.1.1 Χώμα Cd

Πίνακας 18.1. Συγκέντρωση διαθέσιμου Cd σε χώμα εμποτισμένο με Cd.

| Δείγμα | μάζα χώματος (g) | Cd (ppm) |
|-----------------|------------------|----------|
| Μάρτυρας 1 | 25 | 0,316 |
| Μάρτυρας 2 | 25 | 0,236 |
| Μάρτυρας (Μ.Ο.) | | 0,276 |
| Cd 10 ppm ab | 25 | 6,256 |
| Cd 20 ppm ab | 25 | 10,576 |
| Cd 40 ppm ab | 25 | 44,400 |
| Cd 80 ppm ab | 25 | 74,400 |
| Cd 160 ppm ab | 25 | 87,000 |



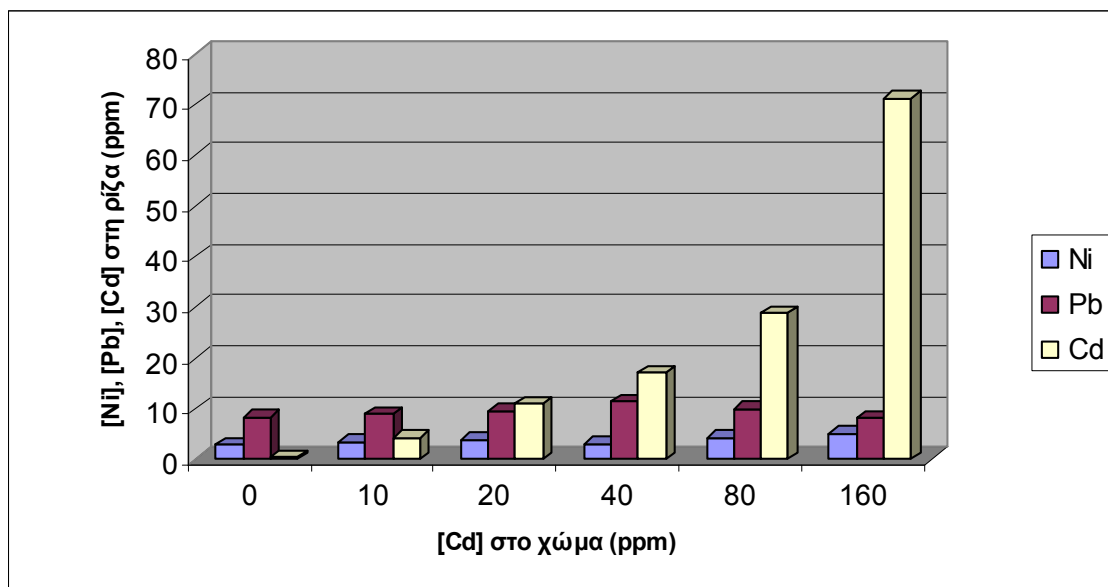
Γράφημα 17. Συγκέντρωση διαθέσιμου [Cd] σε χώμα ρυπασμένο με διαφορετικές συγκεντρώσεις καδμίου.

4.4.4.1.2 Ρίζα Cd

Πίνακας 18.2. Συγκέντρωση Ni, Pb, Cd σε ρίζες δυόσμου σε δείγματα ρυπασμένα με Cd.

| Δείγμα* | μάζα ξηρής ρίζας (g) | Ni (ppm) | Pb (ppm) | Cd (ppm) |
|-------------------|----------------------|----------|----------|----------|
| Μάρτυρας 2 | 0,2234 | 2,238 | 8,505 | 0,269 |
| Μάρτυρας 3 | 0,2387 | 2,514 | 7,960 | 0,545 |
| Μάρτυρας 4 | 0,136 | 3,676 | 9,559 | 0,588 |
| Μάρτυρας 5 | 0,1719 | 2,909 | 7,563 | 0,407 |
| Μάρτυρας (Μ.Ο.) | | 2,834 | 8,397 | 0,452 |
| Cd 10 ppm a | 0,1456 | 4,121 | 10,302 | 4,533 |
| Cd 10 ppm b | 0,2377 | 2,945 | 7,573 | 4,207 |
| Cd 10 ppm (Μ.Ο.) | | 3,533 | 8,938 | 4,370 |
| Cd 20 ppm a | 0,6001 | 1,833 | 5,332 | 11,465 |
| Cd 20 ppm b | 0,1154 | 6,066 | 13,865 | 10,399 |
| Cd 20 ppm (Μ.Ο.) | | 3,950 | 9,599 | 10,932 |
| Cd 40 ppm a | 0,3781 | 4,628 | 9,918 | 16,331 |
| Cd 40 ppm b | 0,2508 | 1,595 | 12,759 | 18,022 |
| Cd 40 ppm (Μ.Ο.) | | 3,112 | 11,339 | 17,177 |
| Cd 80 ppm a | 0,3207 | 0,624 | 7,172 | 37,761 |
| Cd 80 ppm b | 0,139 | 7,914 | 12,950 | 19,928 |
| Cd 80 ppm (Μ.Ο.) | | 4,269 | 10,061 | 28,845 |
| Cd 160 ppm a | 0,2613 | 4,975 | 8,419 | 74,053 |
| Cd 160 ppm b | 0,31 | 5,161 | 8,065 | 68,355 |
| Cd 160 ppm (Μ.Ο.) | | 5,068 | 8,242 | 71,204 |

* Από τη συγκέντρωση Cd 40 ppm b έως και την Cd 160 ppm b κατά τη διάρκεια των μετρήσεων το blank έδειξε 0,1 ppm.

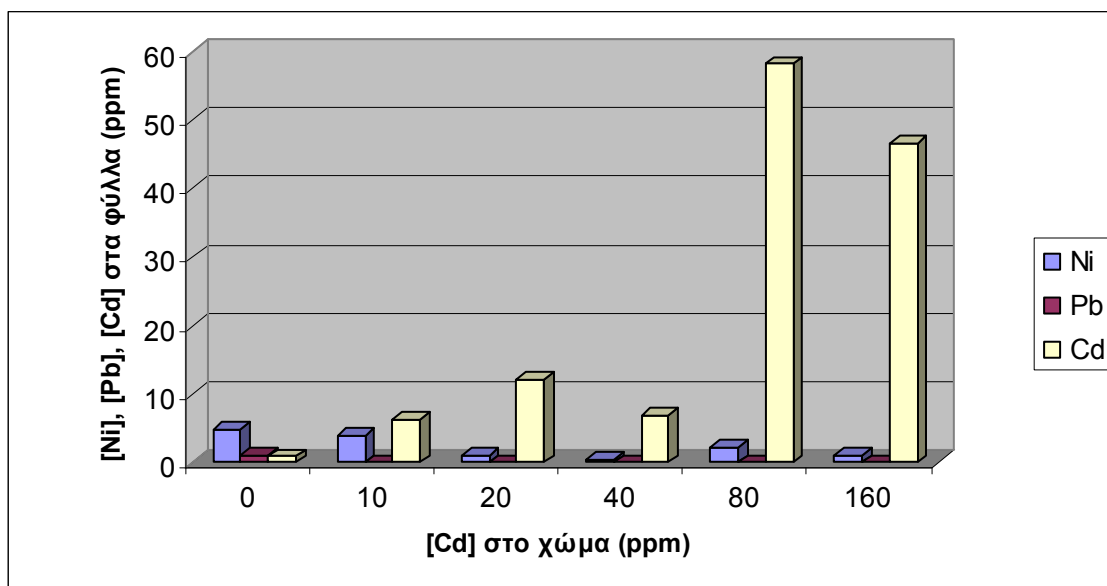


Γράφημα 18. Συγκεντρώσεις [Ni], [Pb] και [Cd] σε ρίζες δυόσμου καλλιεργημένου σε χώμα ρυπασμένο με διαφορετικές συγκεντρώσεις καδμίου.

4.4.4.1.3 Φύλλα Cd

Πίνακας 18.3. Συγκέντρωση Ni, Pb, Cd σε φύλλα δυόσμου σε δείγματα ρυπασμένα με Cd.

| Δείγμα | μάζα ξηρού φύλλου (g) | Ni (ppm) | Pb (ppm) | Cd (ppm) |
|-------------------|-----------------------|----------|----------|----------|
| Μάρτυρας 1 | 0,093 | 13,98 | 5,269 | 0,645 |
| Μάρτυρας 2 | 0,0676 | 2,071 | 0 | 0,74 |
| Μάρτυρας 3 | 0,0316 | 1,266 | 0 | 0,949 |
| Μάρτυρας 4 | 0,0668 | 2,695 | 0 | 1,497 |
| Μάρτυρας 5 | 0,0544 | 4,044 | 0 | 0,919 |
| Μάρτυρας (Μ.Ο.) | | 4,811 | 1,054 | 0,95 |
| Cd 10 ppm a | 0,0557 | 5,386 | 0 | 10,952 |
| Cd 10 ppm b | 0,0356 | 2,528 | 0 | 1,685 |
| Cd 10 ppm (Μ.Ο.) | | 3,957 | 0 | 6,319 |
| Cd 20 ppm a | 0,0313 | 1,917 | 0 | 22,684 |
| Cd 20 ppm b | 0,0233 | 0 | 0 | 1,717 |
| Cd 20 ppm (Μ.Ο.) | | 0,959 | 0 | 12,201 |
| Cd 40 ppm a | 0,0198 | 0 | 0 | 1,515 |
| Cd 40 ppm b | 0,038 | 0,789 | 0 | 12,105 |
| Cd 40 ppm (Μ.Ο.) | | 0,395 | 0 | 6,810 |
| Cd 80 ppm a | 0,0726 | 4,408 | 0 | 116,116 |
| Cd 80 ppm b | 1,0303 | 0,019 | 0 | 0,291 |
| Cd 80 ppm (Μ.Ο.) | | 2,214 | 0 | 58,204 |
| Cd 160 ppm a | 0,0253 | 0 | 0 | 30,830 |
| Cd 160 ppm b | 0,0409 | 2,200 | 0 | 62,347 |
| Cd 160 ppm (Μ.Ο.) | | 1,100 | 0 | 46,599 |



Γράφημα 19. Συγκεντρώσεις [Ni], [Pb] και [Cd] σε φύλλα δυόσμου καλλιεργημένου σε χώμα ρυπασμένο με διαφορετικές συγκεντρώσεις καδμίου.

4.4.4.1.4 Συμπεράσματα Cd

Από τα αποτελέσματα των μετρήσεων σε δείγματα χώματος ρυπασμένα με διαφορετικές συγκεντρώσεις καδμίου, η συγκέντρωση του διαθέσιμου καδμίου αυξάνεται ανάλογα με την ποσότητα που έχει ρυπανθεί.

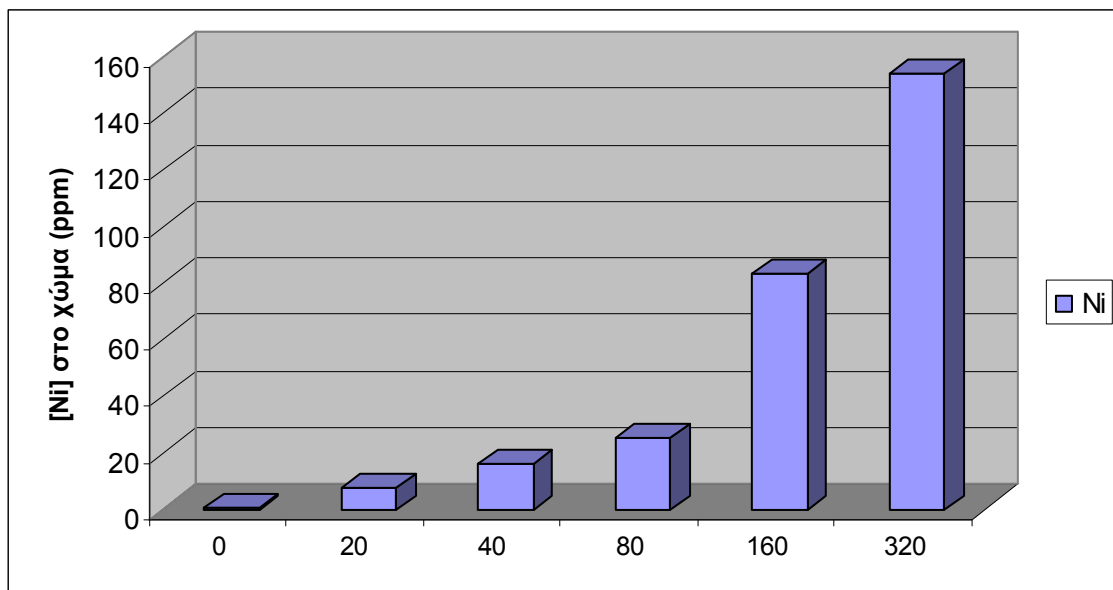
Οι ρίζες δυόσμου που καλλιεργήθηκαν σε χώμα ρυπασμένο με διαφορετικές συγκεντρώσεις καδμίου παρουσιάζουν περιεκτικότητα καδμίου η οποία είναι αναλογικά αυξανόμενη. Κάτι παρόμοιο προκύπτει περίπου και στα φύλλα. Πρέπει να σημειωθεί ότι μεταξύ των δύο φυτών που καλλιεργήθηκαν στις ίδιες συνθήκες επιμόλυνσης του χώματος υπήρξαν πολλές περιπτώσεις που η διαφορά στις τιμές του προσδιοριζόμενου καδμίου τόσο στις ρίζες όσο και στα φύλλα ήταν πολύ μεγάλη. Αυτό δεν είναι πρωτοφανές σε τέτοιου είδους πειράματα και μπορεί να οφείλεται σε πολλούς παράγοντες. Ο τρόπος να πάρει κανείς ασφαλή αποτελέσματα είναι η πραγματοποίηση πολλών επαναλήψεων σε κάθε συνθήκη καλλιέργειας, πράγμα που δεν ήταν εφικτό στην παρούσα πτυχιακή εργασία.

Το γενικό συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι ο δυόσμος που καλλιεργήθηκε σε χώμα ρυπασμένο με διαφορετικές συγκεντρώσεις καδμίου επιτρέπει τη λήψη του από τις ρίζες και την μεταφορά του στο υπέργειο τμήμα του, δηλ. στα φύλλα, τουλάχιστο στα φυτά που καλλιεργήθηκαν σε χώμα ρυπασμένο με τις υψηλές συγκεντρώσεις καδμίου.

4.4.4.2.1 Χώμα Ni

Πίνακας 19.1. Συγκέντρωση διαθέσιμου Ni σε χώμα εμποτισμένο με Ni.

| Δείγμα | μάζα χώματος (g) | Ni (ppm) |
|-----------------|------------------|----------|
| Μάρτυρας 1 | 25 | 0,8 |
| Μάρτυρας 2 | 25 | 0,56 |
| Μάρτυρας (Μ.Ο.) | | 0,68 |
| Ni 20 ppm ab | 25 | 7,60 |
| Ni 40 ppm ab | 25 | 16,00 |
| Ni 80 ppm ab | 25 | 25,00 |
| Ni 160 ppm ab | 25 | 83,40 |
| Ni 320 ppm ab | 25 | 154,10 |

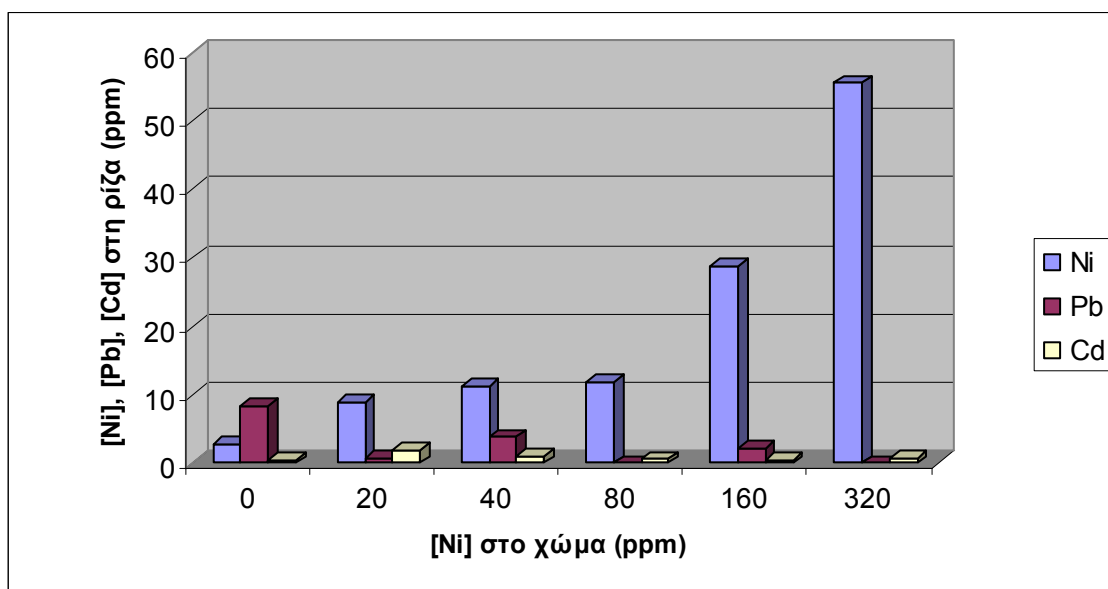


Γράφημα 20. Συγκέντρωση διαθέσιμου [Ni] σε χώμα ρυπασμένο με διαφορετικές συγκεντρώσεις νικελίου.

4.4.4.2.2 Ρίζα Ni

Πίνακας 19.2. Συγκέντρωση Ni, Pb, Cd σε ρίζες δυόσμου σε δείγματα ρυπασμένα με Ni.

| Δείγμα | μάζα ξηρής ρίζας (g) | Ni (ppm) | Pb (ppm) | Cd (ppm) |
|-------------------|----------------------|----------|----------|----------|
| Μάρτυρας 2 | 0,2234 | 2,238 | 8,505 | 0,269 |
| Μάρτυρας 3 | 0,2387 | 2,514 | 7,960 | 0,545 |
| Μάρτυρας 4 | 0,136 | 3,676 | 9,559 | 0,588 |
| Μάρτυρας 5 | 0,1719 | 2,909 | 7,563 | 0,407 |
| Μάρτυρας (Μ.Ο.) | | 2,834 | 8,397 | 0,452 |
| Ni 20 ppm a | 0,2695 | 0,566 | 1,633 | 0,891 |
| Ni 20 ppm b | 0,0492 | 17,276 | 0 | 2,846 |
| Ni 20 ppm (Μ.Ο.) | | 8,921 | 0,817 | 1,869 |
| Ni 40 ppm a | 0,3962 | 6,815 | 4,644 | 1,136 |
| Ni 40 ppm b | 0,4521 | 15,572 | 3,008 | 1,040 |
| Ni 40 ppm (Μ.Ο.) | | 11,194 | 3,826 | 1,088 |
| Ni 80 ppm a | 0,3895 | 12,837 | 0 | 0,616 |
| Ni 80 ppm b | 0,4131 | 10,821 | 0 | 0,508 |
| Ni 80 ppm (Μ.Ο.) | | 11,829 | 0 | 0,562 |
| Ni 160 ppm a | 0,8602 | 22,332 | 4,418 | 0,395 |
| Ni 160 ppm b | 0,6951 | 35,448 | 0 | 0,432 |
| Ni 160 ppm (Μ.Ο.) | | 28,890 | 2,209 | 0,414 |
| Ni 320 ppm a | 0,2975 | 79,933 | 0 | 0,874 |
| Ni 320 ppm b | 0,3136 | 31,282 | 0 | 0,638 |
| Ni 320 ppm (Μ.Ο.) | | 55,608 | 0 | 0,756 |

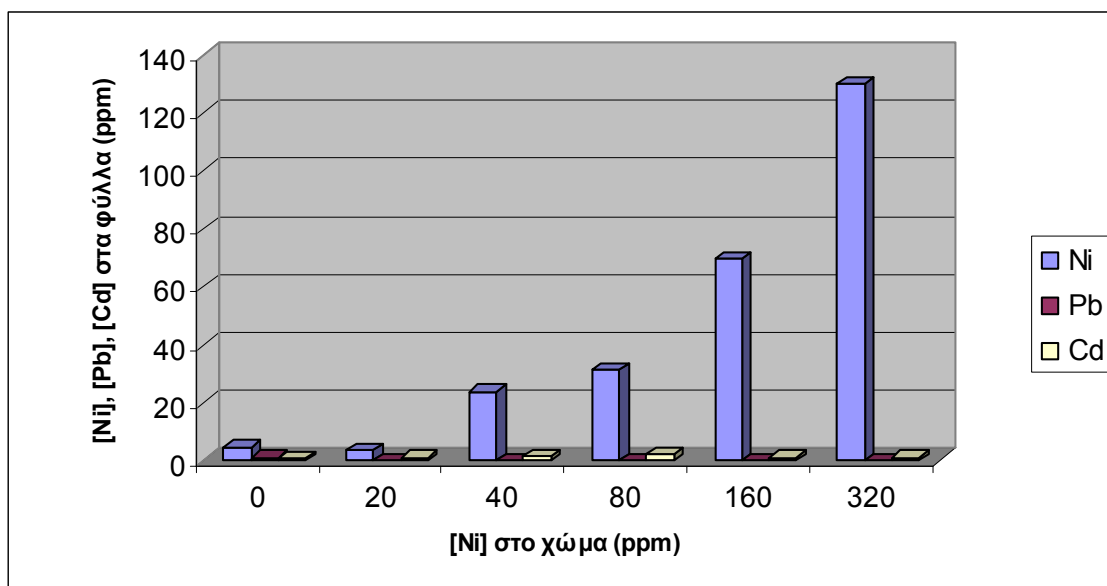


Γράφημα 21. Συγκεντρώσεις [Ni], [Pb] και [Cd] σε ρίζες δυόσμου καλλιεργημένου σε χώμα ρυπασμένο με διαφορετικές συγκεντρώσεις νικελίου.

4.4.4.2.3 Φύλλα Ni

Πίνακας 19.3. Συγκέντρωση Ni, Pb, Cd σε φύλλα δυόσμου σε δείγματα ρυπασμένα με Ni.

| Δείγμα | μάζα ξηρού φύλλου (g) | Ni (ppm) | Pb (ppm) | Cd (ppm) |
|-------------------|-----------------------|----------|----------|----------|
| Μάρτυρας 1 | 0,093 | 13,98 | 5,269 | 0,645 |
| Μάρτυρας 2 | 0,0676 | 2,071 | 0 | 0,74 |
| Μάρτυρας 3 | 0,0316 | 1,266 | 0 | 0,949 |
| Μάρτυρας 4 | 0,0668 | 2,695 | 0 | 1,497 |
| Μάρτυρας 5 | 0,0544 | 4,044 | 0 | 0,919 |
| Μάρτυρας (Μ.Ο.) | | 4,811 | 1,054 | 0,95 |
| Ni 20 ppm a | 0,013 | 7,692 | 0 | 1,538 |
| Ni 20 ppm b | 0,0226 | 0 | 0 | 0,885 |
| Ni 20 ppm (Μ.Ο.) | | 3,846 | 0 | 1,212 |
| Ni 40 ppm a | 0,0577 | 19,064 | 0 | 1,300 |
| Ni 40 ppm b | 0,0475 | 28,947 | 0 | 1,579 |
| Ni 40 ppm (Μ.Ο.) | | 24,006 | 0 | 1,440 |
| Ni 80 ppm a | 0,0407 | 2,457 | 0 | 1,843 |
| Ni 80 ppm b | 0,0278 | 31,475 | 0 | 2,698 |
| Ni 80 ppm (Μ.Ο.) | | 16,966 | 0 | 2,271 |
| Ni 160 ppm a | 0,0733 | 62,074 | 0 | 1,364 |
| Ni 160 ppm b | 0,1104 | 76,993 | 0 | 1,359 |
| Ni 160 ppm (Μ.Ο.) | | 69,534 | 0 | 1,362 |
| Ni 320 ppm a | 0,0365 | 228,082 | 0 | 1,370 |
| Ni 320 ppm b | 0,0561 | 31,640 | 0 | 1,337 |
| Ni 320 ppm (Μ.Ο.) | | 129,861 | 0 | 1,354 |



Γράφημα 22. Συγκεντρώσεις [Ni], [Pb] και [Cd] σε φύλλα δυόσμου καλλιεργημένου σε χώμα ρυπασμένο με διαφορετικές συγκεντρώσεις νικελίου. Στη συγκέντρωση 80 ppm Ni απορρίφθηκε η μέτρηση του δείγματος Ni 80 ppm a λόγω πιθανού λάθους.

4.4.4.2.4 Συμπεράσματα Ni

Η συγκέντρωση του διαθέσιμου νικελίου σε δείγματα χώματος που έχουν ρυπανθεί με διαφορετικές συγκεντρώσεις νικελίου αυξάνεται ανάλογα με την ποσότητα του νικελίου που έχει προστεθεί.

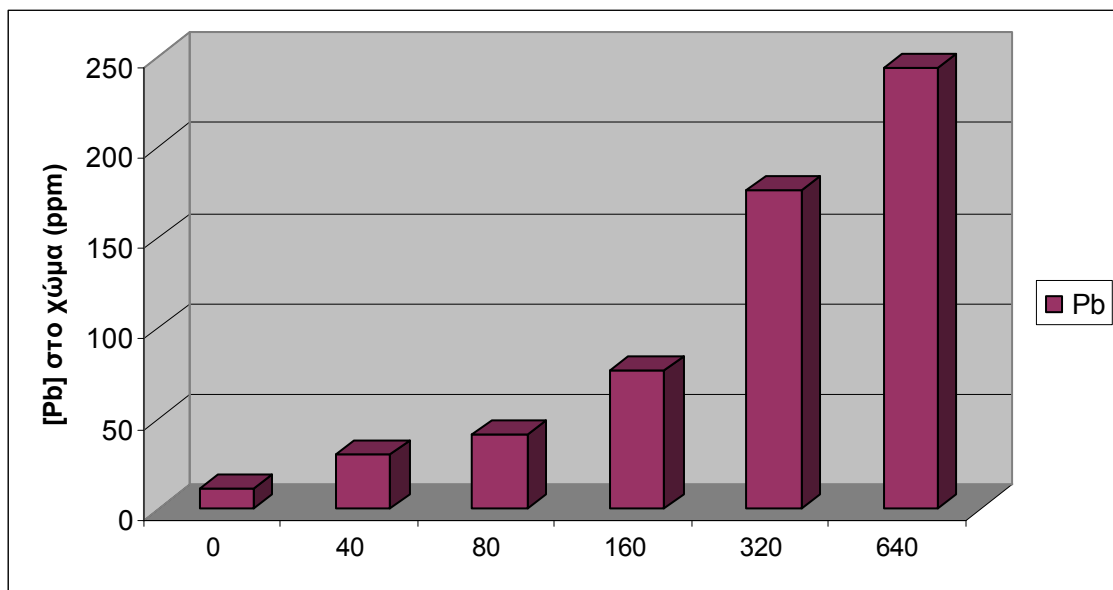
Το γενικό συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι οι ρίζες δυόσμου απορρόφησαν ποσότητες Νικελίου αναλογικά με τις ποσότητες που έχουν ρυπανθεί και μετέφεραν τον ρύπο στα φύλλα. Οι συγκεντρώσεις νικελίου στα φύλλα είναι πολύ μεγαλύτερες σε σχέση με τις ρίζες.

Όπως και στην περίπτωση της επιμόλυνσης με κάδμιο, οι διακυμάνσεις μεταξύ των συγκεντρώσεων του νικελίου σε ιστούς (φύλλα ή ρίζες) φυτών που καλλιεργήθηκαν στις ίδιες συνθήκες ήταν σε πολλές περιπτώσεις μεγάλες. Γι' αυτό το λόγω η μέτρηση Ni 80 ppm α δεν χρησιμοποιήθηκε στο Γράφημα 22.

4.4.4.3.1 Χώμα Pb

Πίνακας 20.1. Συγκέντρωση διαθέσιμου Pb σε χώμα εμποτισμένο με Pb.

| Δείγμα | μάζα χώματος (g) | Pb (ppm) |
|-----------------|------------------|----------|
| Μάρτυρας 1 | 25 | 13,2 |
| Μάρτυρας 2 | 25 | 9,6 |
| Μάρτυρας (Μ.Ο.) | | 11,4 |
| Pb 40 ppm ab | 25 | 30,16 |
| Pb 80 ppm ab | 25 | 41,08 |
| Pb 160 ppm ab | 25 | 77,20 |
| Pb 320 ppm ab | 25 | 176,80 |
| Pb 640 ppm ab | 25 | 244,40 |

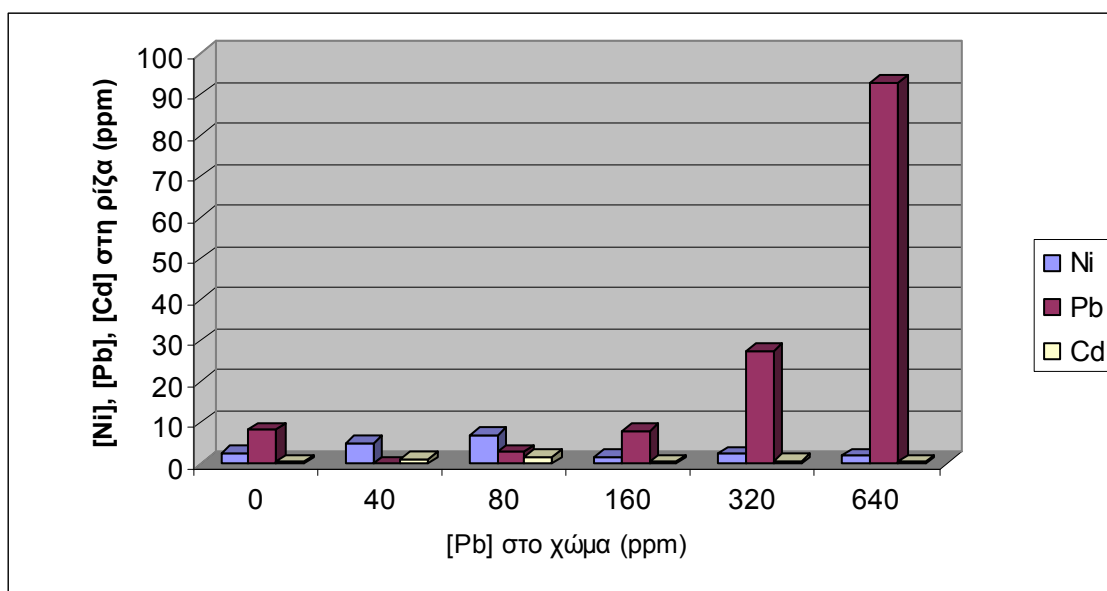


Γράφημα 23. Συγκέντρωση διαθέσιμου [Pb] σε χώμα ρυπασμένο με διαφορετικές συγκεντρώσεις μολύβδου.

4.4.4.3.2 Ρίζα Pb

Πίνακας 20.2. Συγκέντρωση Ni, Pb, Cd σε ρίζες δυόσμου σε δείγματα ρυπασμένα με Pb.

| Δείγμα | μάζα ξηρής ρίζας (g) | Ni (ppm) | Pb (ppm) | Cd (ppm) |
|-------------------|----------------------|----------|----------|----------|
| Μάρτυρας 2 | 0,2234 | 2,238 | 8,505 | 0,269 |
| Μάρτυρας 3 | 0,2387 | 2,514 | 7,960 | 0,545 |
| Μάρτυρας 4 | 0,136 | 3,676 | 9,559 | 0,588 |
| Μάρτυρας 5 | 0,1719 | 2,909 | 7,563 | 0,407 |
| Μάρτυρας (Μ.Ο.) | | 2,834 | 8,397 | 0,452 |
| Pb 40 ppm a | 0,42 | 3,976 | 0 | 1,976 |
| Pb 40 ppm b | 0,2443 | 6,140 | 0 | 0,737 |
| Pb 40 ppm (Μ.Ο.) | | 5,058 | 0 | 1,357 |
| Pb 80 ppm a | 0,3261 | 4,569 | 0 | 2,883 |
| Pb 80 ppm b | 0,2433 | 9,864 | 5,754 | 0,822 |
| Pb 80 ppm (Μ.Ο.) | | 7,217 | 2,877 | 1,853 |
| Pb 160 ppm a | 0,4755 | 1,893 | 10,557 | 0,504 |
| Pb 160 ppm b | 0,1748 | 1,716 | 5,435 | 0,458 |
| Pb 160 ppm (Μ.Ο.) | | 1,805 | 7,996 | 0,481 |
| Pb 320 ppm a | 0,9734 | 3,154 | 24,687 | 0,709 |
| Pb 320 ppm b | 0,4999 | 1,780 | 30,666 | 0,700 |
| Pb 320 ppm (Μ.Ο.) | | 2,467 | 27,677 | 0,705 |
| Pb 640 ppm a | 0,2507 | 2,234 | 91,145 | 0,558 |
| Pb 640 ppm b | 0,407 | 1,744 | 94,840 | 0,369 |
| Pb 640 ppm (Μ.Ο.) | | 1,989 | 92,993 | 0,464 |

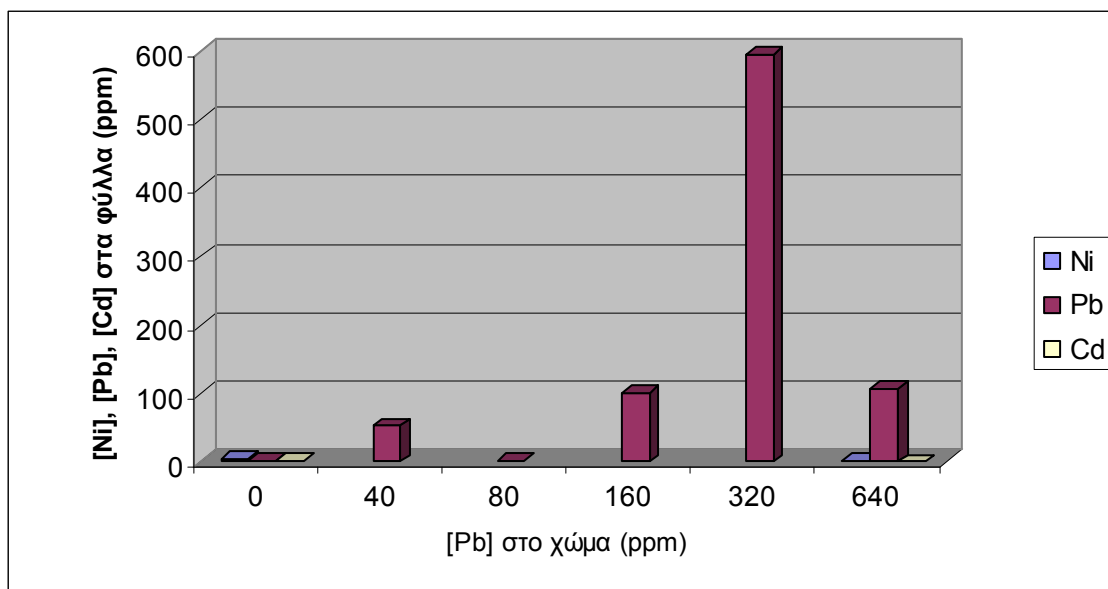


Γράφημα 24. Συγκεντρώσεις [Ni], [Pb] και [Cd] σε ρίζες δυόσμου καλλιεργημένου σε χώμα ρυπασμένο με διαφορετικές συγκεντρώσεις μολύβδου.

4.4.4.3.3 Φύλλα Pb

Πίνακας 20.3. Συγκέντρωση Ni, Pb, Cd σε φύλλα δυόσμου σε δείγματα ρυπασμένα με Pb.

| Δείγμα | μάζα ξηρού φύλλου (g) | Ni (ppm) | Pb (ppm) | Cd (ppm) |
|-------------------|-----------------------|----------|----------|----------|
| Μάρτυρας 1 | 0,093 | 13,98 | 5,269 | 0,645 |
| Μάρτυρας 2 | 0,0676 | 2,071 | 0 | 0,74 |
| Μάρτυρας 3 | 0,0316 | 1,266 | 0 | 0,949 |
| Μάρτυρας 4 | 0,0668 | 2,695 | 0 | 1,497 |
| Μάρτυρας 5 | 0,0544 | 4,044 | 0 | 0,919 |
| Μάρτυρας (Μ.Ο.) | | 4,811 | 1,054 | 0,95 |
| Pb 40 ppm a | 0,0823 | | 14,095 | |
| Pb 40 ppm b | 0,0285 | | 90,877 | |
| Pb 40 ppm (Μ.Ο.) | | | 52,486 | |
| Pb 80 ppm a | 0,0364 | | 0 | |
| Pb 80 ppm b | 0,0182 | | 2,198 | |
| Pb 80 ppm (Μ.Ο.) | | | 1,099 | |
| Pb 160 ppm a | 0,0325 | | 0 | |
| Pb 160 ppm b | 0,0442 | | 203,620 | |
| Pb 160 ppm (Μ.Ο.) | | | 101,81 | |
| Pb 320 ppm a | 0,0474 | | 78,481 | |
| Pb 320 ppm b | 0,0208 | | 1113,942 | |
| Pb 320 ppm (Μ.Ο.) | | | 596,212 | |
| Pb 640 ppm a | 0,0332 | 2,711 | 117,470 | 0,904 |
| Pb 640 ppm b | 0,0815 | 1,963 | 95,706 | 0,491 |
| Pb 640 ppm (Μ.Ο.) | | 2,337 | 106,588 | 0,698 |



Γράφημα 25. Συγκεντρώσεις [Ni], [Pb] και [Cd] σε φύλλα δυόσμου καλλιεργημένου σε χώμα ρυπασμένο με διαφορετικές συγκεντρώσεις μολύβδου.

4.4.4.3.4 Συμπεράσματα Pb

Οι συγκεντρώσεις του διαθέσιμου μολύβδου σε χώμα ρυπασμένο με διαφορετικές συγκεντρώσεις του, αυξάνονται ανάλογα με την ποσότητα του μολύβδου που έχει προστεθεί. Παρατηρείται μια αυξητική τάση απορροφητικότητας συγκεντρώσεως μολύβδου στις ρίζες, δηλ. στις μεγαλύτερες ποσότητες ρυπασμένου χώματος η απορροφητικότητα είναι αρκετά μεγαλύτερη σε σχέση με τις μικρότερες. Τα φύλλα εμφανίζουν αυξημένες συγκεντρώσεις μολύβδου σε σύγκριση με τις ρίζες, αποτέλεσμα αντίθετο από αυτό που έχει εξαχθεί από μελέτες άλλων ενδημικών αρωματικών φυτών της Κρήτης (χαμομήλι φασκομηλιά και θυμάρι) [23], ως προς τη μεταφορά του μολύβδου από τις ρίζες στο υπέργειο τμήμα τους.

Και σε αυτή την περίπτωση, όπως και στις περιπτώσεις του καδμίου και του νικελίου οι διακυμάνσεις στις συγκεντρώσεις του μολύβδου στους ιστούς των φυτών που καλλιεργήθηκαν στις ίδιες συνθήκες είναι μεγάλες, γεγονός που επιβάλλει την ανάγνωση των αποτελεσμάτων με μια επιφύλαξη ως προς την ποσοτική συμπεριφορά. Αν λάβει όμως κανείς υπόψη του και τις μετρήσεις που έγιναν τόσο στο χώμα όσο και στους φυτικούς ιστούς για τα μέταλλα τα οποία δεν προστέθηκαν κάθε φορά (για παράδειγμα μετρήσεις Ni, και Cd σε δείγματα καλλιεργημένα σε χώμα που επιμολύνθηκε με Pb) κοκ., οι οποίες έδειξαν μια σταθερότητα σε πολύ χαμηλές τιμές (όπως άλλωστε αναμένεται), τότε ποιοτικά τουλάχιστον οι τάσεις που περιγράφονται από τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται σε αυτή την πτυχιακή είναι αξιόπιστες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ – ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ



Το θερμοκήπιο που τοποθετήθηκαν τα φυτά στο Πάρκο Διάσωσης Χλωρίδας και Πανίδας του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Οι φωτογραφίες που ακολουθούν τραβήχτηκαν στις 16/09/2006, 21/10/2006 και 22/12/2006. Γίνεται σύγκριση μεταξύ των δειγμάτων σε συνδυασμό με τις μετρήσεις που λήφθηκαν στο Πάρκο Διάσωσης Χλωρίδας και Πανίδας, δηλαδή ύψος φυτού και επιφάνεια φύλλου. Η 16/09/2006 (φωτογραφίες στα αριστερά όπως παρουσιάζονται παρακάτω) είναι η πρώτη μέρα των μετρήσεων, ενώ η 22/12/2006 (φωτογραφίες στα δεξιά) είναι η τελευταία. Η 21/10/2006 (φωτογραφίες στο κέντρο) είναι η ημερομηνία που έγινε η πρώτη συλλογή δειγμάτων, αλλά λόγω βλάβης του φούρνου τα δείγματα κάηκαν. Η ημερομηνία αυτή είναι χαρακτηριστική γιατί μπορούμε να δούμε την ανάπτυξη των φυτών μέχρι εκείνη την μέρα και έπειτα πως αναπτύχθηκαν, διότι είχαν ληφθεί όλα τα φύλλα των φυτών για τη διεξαγωγή του πειράματος.

- Μάρτυρας



Από τις 16/09/2006 έως τις 21/10/2006 τα φύλλα δεν έχουν ιδιαίτερη μεταβολή και το ύψος των φυτών αυξάνει κανονικά. Απ' τις 21/10/2006 έως 22/12/2006 τα φύλλα είναι μικρότερα αλλά με τάση να μεγαλώσουν.

- Κάδμιο



Στα δείγματα Cd 10 ppm a και Cd 10 ppm b η επιφάνεια και η ποσότητα των φύλλων τους μειώνεται. Το ύψος των φυτών αυξάνεται λίγο σταδιακά.



Στα δείγματα Cd 20 ppm a και Cd 20 ppm b το ύψος αυξάνεται. Μέχρι και τις 21/10/2006 η επιφάνεια των φύλλων αυξάνεται σταδιακά, ενώ μετά είναι αρκετά μικρότερη. Σημαντική μείωση στην ποσότητα των φύλλων παρατηρείται στην τελευταία φωτογραφία που τραβήχθηκε στις 22/12/2006 σε σχέση με τις προηγούμενες. Το σχήμα των φύλλων από ωοειδές γίνεται στρογγυλό.



Στα δείγματα Cd 40 ppm a και Cd 40 ppm b το ύψος είναι σχετικά σταθερό. Αρχικά η επιφάνεια των φύλλων αυξάνεται, όμως σε λιγότερο από μήνα αρχίζει να μειώνεται. Η ποσότητα των φύλλων μετά τις 21/10/2006 μειώνεται.

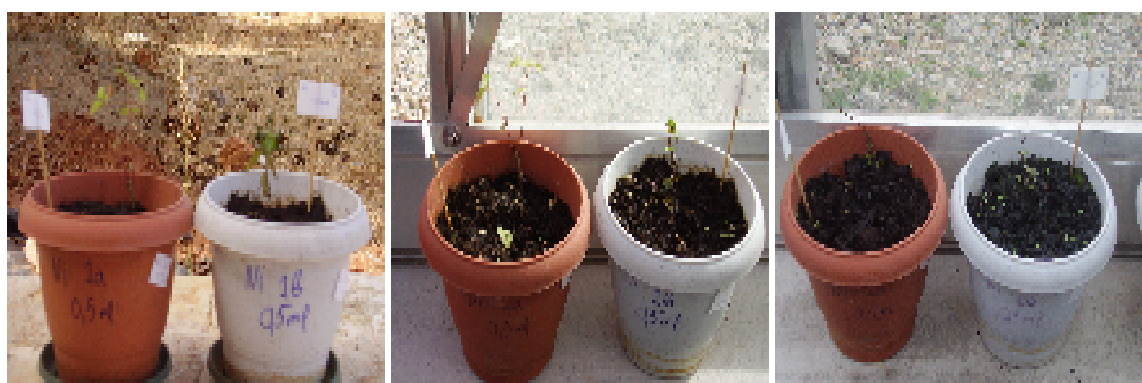


Στα δείγματα Cd 80 ppm a και Cd 80 ppm b το ύψος παρουσιάζει μικρή τάση να αυξηθεί. Αρχικά η επιφάνεια των φύλλων αυξάνεται ενώ μετά μειώνεται. Επίσης και η ποσότητα των φύλλων μειώνεται.



Στα δείγματα Cd 160 ppm a και Cd 160 ppm b μέχρι τις 21/10/2006 το ύψος αυξάνεται. Μετά τις 21/10/2006 η ποσότητα των φύλλων και το ύψος μειώνονται, τα φυτά ξεραίνονται και η επιφάνεια των φύλλων μειώνεται. Το σχήμα των φύλλων από ωσειδές γίνεται στρογγυλό.

- Νικέλιο



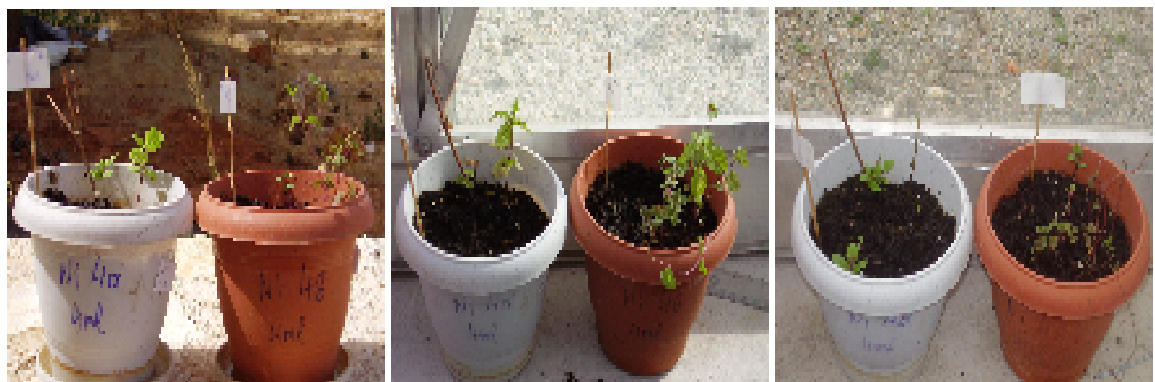
Στο δείγμα Ni 20 ppm a η επιφάνεια των φύλλων μεγαλώνει, αλλά μετά την 21/10/2006 δεν ξαναβγήκαν. Στο Ni 20 ppm b η επιφάνεια των φύλλων αρχικά μεγαλώνει και μετά μικραίνει πολύ και στο τέλος έχει λιγότερα φύλλα. Το ύψος παραμένει σχετικά σταθερό και τα φύλλα στρογγυλεύουν.



Στα δείγματα Ni 40 ppm a και Ni 40 ppm b δεν παρατηρείται ιδιαίτερη μεταβολή στο ύψος, αλλά τον τελευταίο μήνα μειώνεται σημαντικά. Η επιφάνεια των φύλλων μικραίνει πολύ, όπως και η ποσότητα, ενώ η μικρή με τη μεγάλη διάμετρο τείνουν να εξομοιωθούν.



Στα δείγματα Ni 80 ppm a και Ni 80 ppm b το ύψος διατηρείται σταθερό, αλλά η επιφάνεια των φύλλων σε λιγότερο από μήνα μειώνεται. Η ποσότητα των φύλλων μειώνεται και τα φύλλα στρογγυλεύουν.



Στα δείγματα Ni 160 ppm a και Ni 160 ppm b αν και το ύψος του φυτού αυξάνεται εντυπωσιακά, η επιφάνεια των φύλλων μειώνεται σημαντικά, όπως επίσης και η ποσότητά τους. Το σχήμα των φύλλων από ωσειδές γίνεται στρογγυλό.



Στα δείγματα Ni 320 ppm a και Ni 320 ppm b το ύψος αυξάνεται, αλλά η επιφάνεια των φύλλων μειώνεται. Η μικρή με τη μεγάλη διάμετρο των φύλλων τείνουν να εξομοιωθούν.

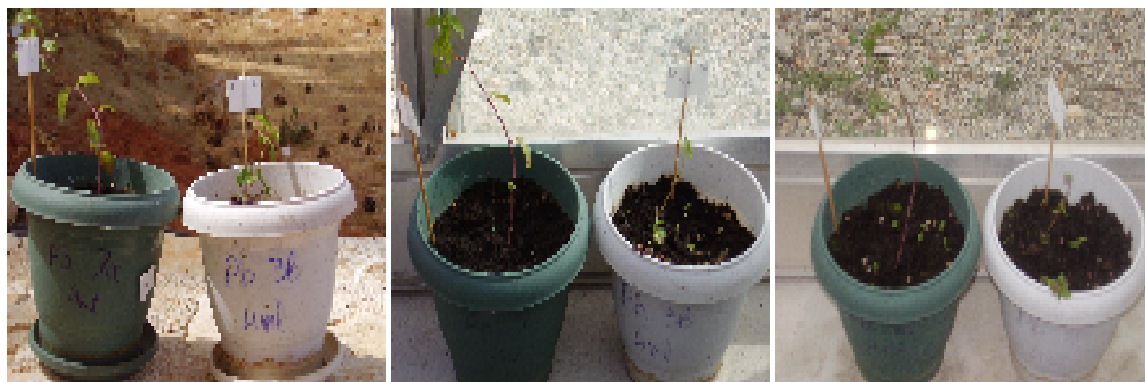
- Μόλυβδος



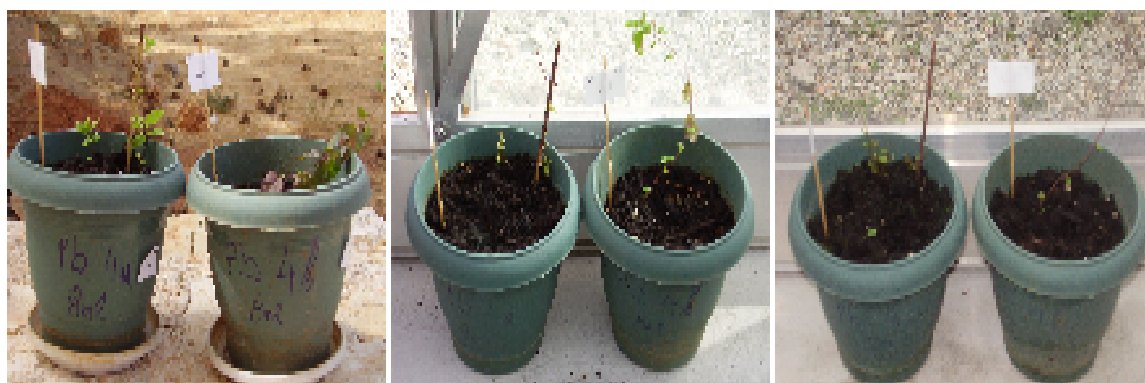
Στα δείγματα Pb 40 ppm a και Pb 40 ppm b η επιφάνεια των φύλλων μειώνεται, τα φύλλα στρογγυλεύουν, ενώ δεν σημειώνονται ιδιαίτερες μεταβολές στο ύψος.



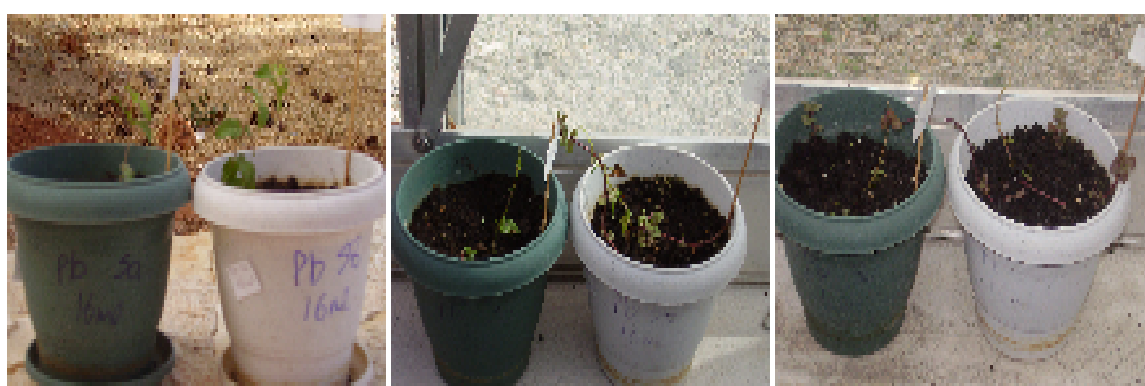
Στα δείγματα Pb 80 ppm a και Pb 80 ppm b το ύψος αυξάνεται, αλλά η επιφάνεια των φύλλων μειώνεται όπως και η ποσότητά τους. Το σχήμα των φύλλων από ωσειδές γίνεται στρογγυλό.



Στα δείγματα Pb 160 ppm a και Pb 160 ppm b το ύψος παρουσιάζει μια μικρή αύξηση, αλλά παρατηρείται μεγάλη μείωση στην επιφάνεια και την ποσότητα των φύλλων, επίσης η μικρή και η μεγάλη διάμετρος των φύλλων τείνουν να εξομοιωθούν.



Στα δείγματα Pb 320 ppm a και Pb 320 ppm b το ύψος αυξάνεται, ενώ η επιφάνεια και η ποσότητα των φύλλων μειώνεται. Τα φύλλα στρογγυλεύουν.



Στα δείγματα Pb 640 ppm a και Pb 640 ppm b το ύψος αυξάνεται, ενώ η επιφάνεια και η ποσότητα των φύλλων μειώνεται. Επίσης το σχήμα των φύλλων από ωοειδές γίνεται στρογγυλό.

Συμπερασματικά λοιπόν η επίδραση του καδμίου όσον αφορά την ανάπτυξη του φυτού ήταν μείωση της επιφάνειας και της ποσότητας των φύλλων και μικρή αύξηση του ύψους του. Ενώ όσον αφορά τη βιοσυσσώρευση του στο υπέργειο τμήμα του διαπιστώθηκε ότι ο δυόσμος που καλλιεργήθηκε σε χώμα ρυπασμένο με διαφορετικές συγκεντρώσεις καδμίου παρουσιάζει περιεκτικότητα καδμίου η οποία είναι αναλογικά αυξανόμενη όπως και στη ρίζα, δηλ. οι ρίζες επιτρέπουν τη λήψη αλλά και τη μεταφορά συγκεντρώσεων καδμίου στο υπέργειο τμήμα του φυτού, τουλάχιστο στα φυτά που καλλιεργήθηκαν σε χώμα ρυπασμένο με τις υψηλές συγκεντρώσεις καδμίου. Η βιοδιαθεσιμότητα του στο χώμα σε δείγματα ρυπασμένα με διαφορετικές συγκεντρώσεις καδμίου η συγκέντρωση του διαθέσιμου καδμίου αυξάνεται ανάλογα με την ποσότητα που έχει ρυπανθεί.

Η επίδραση του νικελίου στην ανάπτυξη του φυτού σε δείγματα που εμποτίστηκαν με μικρές ποσότητες δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερη μεταβολή στο ύψος τους, ενώ στις μεγαλύτερες αυξάνεται αρκετά και φαίνεται να βοηθάει στην ανάπτυξη τους. Επίσης η μικρή και η μεγάλη διάμετρος των φύλλων τείνουν να εξομοιωθούν και τα φύλλα γίνονται σχεδόν στρογγυλά, ενώ η επιφάνεια των φύλλων μικραίνει και η ποσότητα τους λιγοστεύει. Όσον αφορά τη βιοσυσσώρευση του στο υπέργειο τμήμα του διαπιστώθηκε ότι οι συγκεντρώσεις νικελίου είναι πολύ μεγαλύτερες σε σχέση με τις ρίζες και σε αυτή την περίπτωση οι ρίζες δυόσμου απορρόφησαν ποσότητες νικελίου αναλογικά με τις ποσότητες που έχουν ρυπανθεί και μετέφεραν τον ρύπο στα φύλλα. Η βιοδιαθεσιμότητα του στο χώμα αυξάνεται ανάλογα με την ποσότητα νικελίου που έχει προστεθεί.

Τέλος, παρατηρείται επίδραση του μολύβδου στην ανάπτυξη του φυτού δηλ. στην αύξηση του ύψους του, αλλά και στη μείωση της ποσότητας και της επιφάνειας των φύλλων με την τάση το σχήμα τους να γίνεται από ωοειδές στρογγυλό. Όσον αφορά τη βιοσυσσώρευση του στο υπέργειο τμήμα του διαπιστώθηκε ότι εμφανίζουν αυξημένες συγκεντρώσεις μολύβδου σε σύγκριση με τις ρίζες, αποτέλεσμα αντίθετο απ' αυτό που έχει εξαχθεί από μελέτες άλλων ενδημικών αρωματικών φυτών της Κρήτης. Η βιοδιαθεσιμότητα του στο χώμα αυξάνεται ανάλογα με την ποσότητα που έχει προστεθεί.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. http://www.valentine.gr/mentaV_gr.htm, πρόσβαση 31/05/2007
2. <http://www.tanea.gr>, πρόσβαση 31/05/2007
3. http://www.esoterica.gr/articles/alt_med/botana/botana.htm, πρόσβαση 31/05/2007
4. http://www.esoterica.gr/articles/alt_med/plants/plants.htm, πρόσβαση 31/05/2007
5. <http://www.kerasma.gr>, πρόσβαση 31/05/2007
6. <http://www.servitoros.gr/dirfi/view.php/31/492/>, πρόσβαση 31/05/2007
7. <http://www.alex.eled.duth.gr/SYLLOGOI/6othrakiko/polysion.html>, πρόσβαση 31/05/2007
8. <http://www.agrotypos.gr>, πρόσβαση 31/05/2007
9. http://www.agronews.gr/common_files/ms_static, πρόσβαση 31/05/2007
10. <http://www.ethnos.gr>, πρόσβαση 31/05/2007
11. <http://www.cretan-nutrition.gr>, πρόσβαση 31/05/2007
12. Μπαζαίος, Κ., 100 Βότανα 1000 θεραπείες, εκδόσεις Κέντρου Μελετών και Εφαρμογών Διατροφής, Αθήνα, 1986.
13. <http://cretashop.gr/gr/productsgr/dietgr/8spices.htm>, πρόσβαση 13/10/2006.
14. <http://mani.org.gr/hlorida/diosmos/dios.htm>, πρόσβαση 20/03/2006.
15. Σφήκας, Γ., Φαρμακευτικά φυτά της Ελλάδας, εκδόσεις Efstathiadis Group A.E., Αθήνα, 1994.
16. <http://www.food-info.net/gr/metal/intro.htm>, πρόσβαση 10/04/2007.
17. Αντωνόπουλος, Β., Ποιότητα και ρύπανση υπόγειων νερών, εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, 2001.
18. Alloway BJ. Toxic metals in soil – plant systems. Chichester, UK: John Wiley and Sons; 1994.

19. Yoon, J., Cao, X., Zhou, Q., Ma, L., Accumulation of Pb, Cu and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site, *Science of the Total Environment*, 368, 456 – 464, 2006.
20. Sanita di Toppi, L., Gabbriellini, R., 1999. Response to cadmium in higher plants. *Environmental and Experimental Botany* 41, 105 – 130.
21. Grispen, V., Nelissen, H., Verkleij, J., Phytoextraction with *Brassica napus* L.: A tool for sustainable management of heavy metal contaminated soils, *Environmental Pollution*, 144, 77 – 83, 2006.
22. Ταμπούρης, Σ., Εξυγίανση εδαφών με υδρομεταλλουργικές μεθόδους, Διδακτορική διατριβή. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο – τμήμα Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών, Αθήνα 2003.
23. Fabian, M., Effect of Cd, Pb and Ni on growth and quality of chamomile, sage and thyme cultivated on soil enriched with heavy metal, Master Thesis, Mediteranian Agronomic Institute of Chania, 2003.
24. Pessarakli M. 1999. Handbook of plant and crop stress. Marcel Dekkar, New York.
25. Truby P., and R. A. 1990. Heavy metal uptake by garden plants from Freiburg sewage farm waste water. *Agribiological Research*. 43: 139 – 146.
26. <http://www.postgrasrv.hydro.ntua.gr>, πρόσβαση 16/03/2007.
27. <http://pneuma.enea.it>, πρόσβαση 10/04/2007.
28. <http://el.wikipedia.org>, πρόσβαση 16/03/2007.
29. <http://www.food-info.net/gr/metal/cadmium.htm>, πρόσβαση 10/04/2007.
30. <http://www.iatronet.gr>, πρόσβαση 16/03/2007.
31. Narwal, R.P., Singh, M., Singh, J.P., Dahiya, D.J., 1993. Cadmium – zinc interaction in maize grown on sewer water irrigated soil. *Arid Soil Research and Rehabilitation* 7, 125 – 131.
32. Δρ. Μιχάλης Χάλαρης, Πρόεδρος της ένωσης Ελλήνων Χημικών, Κάδμιο: Οκοτοξικολογικές Έρευνες και Τοξικολογικές Επιπτώσεις, εκπαιδευτικό υλικό προσβάσιμο από, http://www.eex.gr/filemgmt_data/files/Cadmio.pdf, πρόσβαση 10/04/2007.
33. Hart J.J., Welch R.M., Norvel W.A., Sulliven L.A., and Kochian L.V. 1998. Characterization of cadmium binding, uptake and translocation in intact

seedling of bread and durum wheat cultivars. *Plant physiology*. 116:1413-1420.

34. Ελληνικό Ινστιτούτο Υγιεινής και Ασφάλειας της Εργασίας, μόλυβδος και εργασία, Αθήνα, 1998.

35. Treshow M., and Anderson F.K. 1989. Effect of sulfur dioxide and heavy metals. In *Plant Stress from Air pollution*. 57-59.

36. Henry R.J., 2001. An Overview of the phytoremediation of lead and mercury, Prepared for U.S. Environmental Protection Agency, <http://clu-in.org>

37. Τζομπάνογλου, Δ., Η χρήση φυτών για την εξυγίανση εδαφών ρυπασμένων από βαρέα μέταλλα – Pb – As, μια σύνοψη, Διπλωματική εργασία. Πολυτεχνείο Κρήτης – Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Χανιά, 2001.

38. <http://www.food-info.net/gr/metal/lead.htm>, πρόσβαση 10/04/2007.

39. Abdel-Fattah (2000). Studies on the effect of lead and some agents for remediation of lead ions on the performance of carrot plant (*Daucus carota*). In Botany department, Faculty of Agriculture, Minufiya University. 1-21.

40. <http://www.food-info.net/gr/metal/nickel.htm>, πρόσβαση 10/04/2007.

41. Marschner H. 1995. Functions of mineral nutrient: micronutrients: nickel. In *Mineral Nutrition of Higher plants*. 2.edition, editor. Academic press. 364-369.

42. Arduini I., Godbold DL., Stefani A., and P.E. 1998. Heavy metals influence mineral nutrition of tree seedlings. Special issue: Stress factor and air pollution.

43. Peralta J.R., Gardea – Torresdey J.L., Tiemann K.J., Gomez E., Arteaga S., Rascon E., and Parsonson J.G. 2000. Study of effect of heavy metals on seed germination and plant growth on alfalfa plant (*Medicago sativa*) growth in solid media. In *Proceeding of the 2000 conference on hazardous waste research*. 135-140.

44. Shute, T., Macfie, S., 2006. Cadmium and zinc accumulation in soybean: A threat to food safety?, *Science of the Total Environment*, 371, 63 – 73.

45. Singh R., Tripathi R., Sinha S.K., Maheshwari R., Srivastava H. 1997. Response of higher plants to lead contaminated environment. *Chemosphere* 34: 2467 – 2493

46. Palacios G., Gomez I., Moral R., and Mataix J. 1995. Nickel accumulation in tomato plants, effect on plant growth. *Fresenius Envir. Bull.* 4:469-474.
47. Moya J.L., Ross R., and Picazo I. 1993. Influence of cadmium and nickel on growth, net photosynthesis and carbohydrate distribution in rice plants. *Photosynthetic research.* 36:75-80.
48. Ζαμπετάκης, Λ., Αποκατάσταση εδαφών δια της μεθόδου της φυτοεξυγίανσης παρουσίαση μαθηματικού μοντέλου για την πρόσληψη ξενοβιοτικών ουσιών από φυτά. Πολυτεχνείο Κρήτης – Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Χανιά 2000.
49. Gabriel, P.F. (1992). Innovative technologies for contaminated soil remediation: focus on bioremediation. In *Bioremediation: the state of practice in Hazardous waste remediation operations: AWMA/HWAC.*
50. Cao X, Ma LQ, Chen M, Singh SP, Harris WG, 2002. Impacts of phosphate amendments on lead biochemistry in a contaminated site. *Environ Sci Technol*; 36:5296-304.
51. Mulligan CN, Yong RN, Gibbs BF, 2001. Remediation technologies for metal – contaminated soils and groundwater, an evaluation. *Eng Geol*; 60:193-207.
52. Kavanaugh, M.C. (1996). An overview of the management of contaminated sites in the US: The conflict between technology and public policy. *Water Science Technology*, 34, 275-283.
53. Hartman, W.J. (1975). An evaluation of land treatment of municipal wastewater and physical sitting facility installations. Washington D.C.:U.S Department of Army.
54. McCutcheon, S.C., Schnoor, J.L., 2003. Overview of phytotransformation and control of wastes. In: McCutcheon, Steven C., Schnoor, Jerald L. (Eds.), *Phytoremediation: Transformation and Control of Contaminants.* John Wiley & Sons, Inc., New York, p. 987.
55. Nagendran, R., Selvam, A., Joseph, K., Chiemchaisri, C., 2006. Phytoremediation and rehabilitation of municipal solid waste landfills and dumpsites: A brief review, *Waste Management*, 26, 1357 – 1369.
56. Boyajian, G.E., Carreira, L.H., 1997. Phytoremediation: a clean transition from laboratory to marketplace?. *Nature Biotechnol*, 15 127-128.
57. Ma LQ, Komar KM, Tu C, Zhang W, 2001. A fern that hyperaccumulates arsenic. *Nature*; 409:579.

58. Clemens, S., Palmgren, M.G., Kramer, U., 2002. A long ahead: understanding and engineering plant metal accumulation. *Trends in Plant Science* 7, 309-315.
59. Miller, P.G. (1996). *Phytoremediation: Ground Water Remediation Technologies Analysis Center*, pp. 10.
60. Raskin, I., Salt, D., Kramer, U., and Schulman, R. (1998). *Phytoremediation: Green and Clean. Acta Horticulture*, 457, 329-331.
61. Kumar, P.B., Dushenkov, V., Motto, H., Raskin, I., 1995. Phytoextraction: the use of plants to remove heavy metals from soils. *Environ. Sci. Technol.* 29, 1232-1238.
62. Salt, D., Blaylock, M., NandaKumar, P.B.A., Dushenkov, V., Ensley, B.D., Chet, I., Raskin, I., 1995. Phytoremediation: a novel strategy for the removal of toxic metals from the environment using plants. *Biotechnology* 13, 468-474.
63. Chaney, R.L., Malik, M., Li, Y.M., Brown, S.L., Brewer, E.P., Angle, J.S., Baker, A.J.M., 1997. Phytoremediation of soil metals. *Curr. Opin. Biotechnol.* 8, 279-284.
64. Walton, B.T., Hoylman, A.M., Perez, M.M., Anderson, T.A., Johnson, T.R., Guthrie, E.A., Christman, R.F., 1994. Bioremediation through rhizosphere technology. In: Anderson, T.A., Coats, J.R. (Eds.), *Rhizosphere Microbial Communities as a Plant Defense Against Toxic Substances in Soils*. American Chemical Society, Washington, DC, pp. 82-92.
65. Haby, P.A., Crowley, D.E., 1996. Biodegradation of 3-chlorobenzoate as affected by rhizodeposition and selected carbon substrates. *J. Environ. Qual.* 25, 304-310.
66. Anderson, T.A., Kruger, E.L., Coats, J.R., 1994. Enhanced degradation of a mixture of three herbicides in the rhizosphere of a herbicide-tolerant plant. *Chemosphere* 28, 1551-1557.
67. Aprill, W., Sims, R.C., 1990. Evaluation of the use of prairie grasses for stimulating polycyclic aromatic hydrocarbon treatment in soil. *Chemosphere* 20, 253-265.
68. Reilly, K.A., Banks, M.A., Schwab, A.P., 1996. Organic chemicals in the environment: dissipation of polycyclic aromatic hydrocarbons in the rhizosphere. *J. Environ. Qual.* 25, 212-219.
69. Brazil, G.M., Kenefick, L., Callanan, M., Haro, A., de Lorenzo, V., Dowling, D.N., O'Gara, F., 1995. Construction of a rhizosphere pseudomonad with

potential to degrade polychlorinated biphenyls and detection of bph gene expression in the rhizosphere. *Appl. Environ. Microbiol.* 61, 1946-1952.

70. Donnelly, P.K., Fletcher, J.A., 1995. PCB metabolism by ectomycorrhizal fungi. *Bull. Environ. Toxicol.* 54, 507-513.

71. Schnoor, J.L., Licht, L.A., McCutcheon, S.C., Wolfe, N.L., Carreira, L.H., 1995. Phytoremediation of organic and nutrient contaminants. *Environ. Sci. Technol.* 29, 318-323.

72. Entry, J.A., Watrud, L.S., Manasse, R.S., Vance, N.C., 1997. Phytoremediation and reclamation of soils contaminated with radionuclides. In: Kruger, E.L., Anderson, T.A., Coats, J.R. (Eds), *Phytoremediation of Soil and Water Contaminants*, vol. 664. American Chemical Society, Washington, DC, pp. 299-306.

73. Cunningham, S.D., Anderson, T.A., Schwab, A.P., Hsu, F.C., 1996. Phytoremediation of soils contaminated with organic pollutants. *Adv. Agron.* 56, 55-114.

74. Crowley, D.E., Brennerova, M.V., Irvin, C., Brenner, V., Focht, D.D., 1996. Rhizosphere effects on biodegradation of 2,5-dichlorobenzoate by a bioluminescent strain of root – colonizing *Pseudomonas fluorescens*. *FEMS Microbiol. Ecol.* 20, 79-89.

75. Siciliano, S.D., Germida, J.J., 1998b. Degradation of chlorinated benzoic acid mixtures by plant-bacteria associations. *Environ. Toxicol. Chem.* 17, 728-733.

76. Anderson, T.A., Guthrie, E.A., Wahon, B.T., 1993. Bioremediation in the rhizosphere. *Environ. Sci. Technol.* 27, 2630-2636.

77. Shimp, J.F., Tracy, J.C., Davis, L.C., Lee, E., Huang, W., Erickson, L.E., Schnoor, J.L., 1993. Beneficial effects of plants in the remediation of soil and groundwater contaminated with organic materials. *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.* 23, 41-77.

78. Cunningham, S.D., Berti, W.R., Huang, J.W., 1995. Phytoremediation of contaminated soils. *Trends Biotechnol.* 13, 393-397.

79. Cunningham, S.D., Anderson, T.A., Schwab, A.P., and Hsu, F.C. (1996). Phytoremediation of soil contaminated with organic pollutants. *Advances in Agronomy*, 56, 55-114.

80. Raskin, I., Smith, R.D., Salt, D.E., 1997. Phytoremediation of metals: using plants to remove pollutants from the environment. *Curr. Opin. Biotechnol.* 8, 221-226.

81. Baker, A.J.M., Brooks, R.R., 1989. Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements – a review of their distribution, ecology and phytochemistry. *Biorecovery* 1, 81-126.
82. Kramer, U., Smith, R.D., Wenzel, W., Raskin, I., Salt, D.E., 2000. Subcellular localization and speciation of nickel in hyperaccumulator and non-accumulator *Thlaspi* species. *Plant Physiol.* 122, 1343-1353.
83. McCrath, S.P. (1998). Phytoextraction for soil remediation. In plants that Hyperaccumulate Heavy Metals: their role in Phytoremediation, Microbiology, Archaeology, Mineral Exploration and Phytomining, R. R. Brooks, ed. (New York: CAB International), pp. 261-287.
84. Brooks, R. R. (1998). Phytochemistry of Hyperaccumulators. In plants that Hyperaccumulate Heavy Metals: their role in Phytoremediation, Microbiology, Archaeology, Mineral Exploration and Phytomining, R. R. Brooks, ed. (New York: CAB International), pp. 15-52.
85. Boyd, R.S. (1998). Hyperaccumulation as a plant defensive strategy. In plants that Hyperaccumulate Heavy Metals: their role in Phytoremediation, Microbiology, Archaeology, Mineral Exploration and Phytomining, R. R. Brooks, ed. (New York: CAB International), pp. 181-201.
86. Bruno, S., and Stumm, W. (1994). Chemical properties of metals and the process of bioaccumulation in terrestrial plants. In *Plants as biomonitors: Indicators for heavy metals in the terrestrial environment*, B. Market, ed. (New York: Weinhum), pp. 32-62.
87. Brennan, M. A., and Shelley, M. L. (1999). A model of uptake, translocation and accumulation of lead by maize for the purpose of phytoextraction. *Ecological Engineering*, 12, 271-297.
88. Baker AJM, Brooks RR, 1989. Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements – a review of their distribution, ecology and phytochemistry. *Biorecovery*; 1:81-126.
89. Dushenkov, S., Nandakumar, P.B., Motto, A.H., Raskin, I., 1995. Rhizofiltration: the use of plants to remove heavy metals from aqueous streams. *Environ. Sci. Technol.* 29, 1239-1245.
90. Cunningham, S.D., Shann, J.R., Crowley, D.E., Anderson, T.A., 1997. Phytoremediation of contaminated water and soil. In: Kruger, E.L., Anderson, T.A., Coats, J.R. (Eds.), *Phytoremediation of Soil and Water Contaminants*, vol. 664. American Chemical Society, Washington, DC, pp. 2-17.

91. Jung MC, Thornton I, 1996. Heavy metal contamination of soils and plants in the vicinity of a lead – zinc mine, Korea. *Appl Geochem*; 11:53-9.
92. Roselli W, Keller C, Boschi K, 2003. Phytoextraction capacity of trees growing on metal contaminated soil. *Plant Soil*; 256:265-72.
93. Baker, A.J.M., McGrath, S.P., Sidoli, C.M.D., Reeves, R.D., 1994. Possibility of in situ heavy metal decontamination of polluted soils using crops of metal accumulating plants. *Resour. Conserv. Recycl.* 11, 41-49.
94. Brown, S.L., Chaney, R.L., Angle, J.S., Beker, A.J.M., 1994. Phytoremediation potential of *Thlaspi caerulescens* and Bladder Campion for zinc and cadmium-contaminated soil. *J. Environ. Qual.* 23, 1151-1157.
95. Raskin, I., Ensley, B.D., 2000. *Phytoremediation of toxic metals. Using plants to clean up the environment.* John Wiley, New York.
96. Rock, S., Sayre, P.G., 2000. Regulatory considerations for phytoremediation. In: Raskin, I., Ensley, B.D. (Eds.), *Phytoremediation of Toxic Metals: Using Plants to Clean up the Environment.* John Wiley, New York, pp. 43-49.
97. Berti, W.R., Cunningham, S.D., 2000. Phytostabilization of metals. In Raskin, I., Ensley, B.D. (Eds.), *Phytoremediation of Toxic Metals: Using Plants to Clean up the Environment.* John Wiley, New York, pp. 71-88.
98. Glass, D.J., 2000. Economic potential of phytoremediation. In: Raskin, I., Ensley, B.D. (Eds.), *Phytoremediation of Toxic Metals: Using Plants to Clean up the Environment.* John Wiley, New York, pp. 15-31.
99. Miller, M., Dana, J., Davis, L.C., Narayanan, M., Erickson, L.E., 1996. Phytoremediation of VOC contaminated groundwater using Poplar trees. In: Proc. 26th Annual Biochem. Eng. Symp. Kansas State University, Manhattan, September 21.
100. Schnoor, J.L., 2000. Phytostabilization of metals using hybrid poplar trees. In: Raskin, I., Ensley, B.D. (Eds.), *Phytoremediation of Toxic Metals. Plants to Clean up the Environment.* John Wiley, New York, pp. 133-150.
101. Shu WS, Ye ZH, Lan CY, Zhang ZQ, Wong MH, 2002. Lead, zinc and copper accumulation and tolerance in populations of *Paspalum distichum* and *Cynodon dactylon*. *Environ Pollut*; 120:445-53.
102. Mcgrath SP, Zhao FJ, 2003. Phytoextraction of metals and metalloids from contaminated soils. *Curr Opin Biotechnol*; 14:1-6.

103. Lindsay, W.L., and W.A. Norvell. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. Soil Sci. Soc. Am. J. 42: 421-428.

104. <http://1tee-volou.mag.sch.gr/ecology/pollution.htm>, πρόσβαση 1/10/2007.

105. <http://tovima.dolnet.gr>, πρόσβαση 1/10/2007.

106. <http://news.kathimerini.gr>, πρόσβαση 9/10/2007.

107. <http://1tee-lavriou.att.sch.gr/env-molibdos.htm>, πρόσβαση 9/10/2007.

108. <http://www.ecocity.gr>, πρόσβαση 9/10/2007.

109. <http://tovima.dolnet.gr>, πρόσβαση 9/10/2007.

110. <http://arabidopsis.info/students/dom/mainpage.html>, πρόσβαση 3/10/2007.

111. http://www.civil.northwestern.edu/ehe/html_kag/kimweb/MEOP/Section3.htm, πρόσβαση 3/10/2007.