

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

Πιτσιάβα Κ. Θωμά

**«Αποτελεσματικότητα ζιζανίων και
καλλιεργούμενων ειδών στην αποκατάσταση
εδαφών επιβαρυνμένων με χαλκό»**

Μεταπτυχιακή Διατριβή

που υποβλήθηκε στο Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας
ως μερική υποχρέωση για τη λήψη
Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης
στην Κατεύθυνση : «Σύγχρονη Φυτοπροστασία»

Βόλος, Οκτώβριος 2005



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗΣ & ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»

Αριθ. Εισ.: 4968/1
Ημερ. Εισ.: 03-10-2006
Δωρεά: Συγγραφέα
Ταξιθετικός Κωδικός: Δ
631.81
ΠΠΤ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

Πιτσιάβα Κ. Θωμάη

**«Αποτελεσματικότητα ζιζανίων και
καλλιεργούμενων ειδών στην αποκατάσταση
εδαφών επιβαρημένων με χαλκό»**

Εξεταστική Επιτροπή

Π. Λόλας	Ι. Μήτσιος	Β. Σαμαράς
Καθηγητής, Επιβλέπων	Καθηγητής, Μέλος	Αναπλ. Ερευνητής, Μέλος

Βόλος, Οκτώβριος 2005

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ρύπανση του περιβάλλοντος αποτελεί ένα από τα σπουδαιότερα ζητήματα που απασχολούν τον σύγχρονο άνθρωπο. Τα εδάφη αποτελούν πηγές αλλά και αποθήκες ρυπογόνων στοιχείων. Τα καλλιεργούμενα φυτά εφοδιάζονται με τα ρυπογόνα στοιχεία και μέσω των εδαφών γεγονός που θέτει τη δημόσια υγεία σε κίνδυνο.

Τα τελευταία έτη το ενδιαφέρον αρκετών ερευνητών έχει στραφεί στη μελέτη και ανεύρεση ζιζανίων και γενικότερα φυτικών ειδών τα οποία θα μπορούν να χρησιμοποιούνται στον καθαρισμό εδαφών επιβαρημένων με βαρέα μέταλλα όπως Pb, Cd, Se, Hg και Cu καθώς και άλλων οργανικών κυρίως ρύπων.

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η μελέτη πέντε φυτικών ειδών (σκόρδο, τομάτα, καπνός, ήρα και ηλίανθος) ως πιθανοί φυτοαποκαταστάτες σε έδαφος επιβαρημένο με χαλκό (3,4 mg/kg διαθέσιμο - 35 mg/kg ολικό), με παράλληλη αξιολόγηση δύο οργανικών ενώσεων, του νιτριλοτριοξικού οξέος (NTA) και του σαλικυλικού οξέος (SA) σε δύο επίπεδα συγκέντρωσής τους, ως προς την τυχόν επίδρασή τους στην αύξηση των φυτών καθώς και στην υποβοήθηση πρόσληψης του Cu.

Το πειραματικό σχέδιο ήταν πλήρεις τυχαιοποιημένες ομάδες (RCB) για το κάθε είδος φυτού. Το πείραμα έγινε σε φυτοδοχεία. Αξιολογήθηκαν 5 μεταχειρίσεις κάθε μία σε 4 επαναλήψεις.

Οι 5 μεταχειρίσεις ήταν οι εξής :

Μάρτυρας (MAP 0) - μηδενική συγκέντρωση οργανικής ένωσης

Νιτριλοτριοξικό οξύ (NTA 1) - συγκέντρωση 200 mg/kg

Νιτριλοτριοξικό οξύ (NTA 2) - συγκέντρωση 400 mg/kg

Σαλικυλικό οξύ (SA 1) – συγκέντρωση 100 mg/kg

Σαλικυλικό οξύ (SA 2) – συγκέντρωση 200 mg/kg

Παρατηρήσεις πάρθηκαν στις 60 ημέρες από το φύτεμα για :

- 1) χλωρό βάρος υπέργειου μέρους φυτών,
- 2) χλωρό βάρος υπόγειου μέρους φυτών,
- 3) ξηρό βάρος υπέργειου μέρους φυτών,
- 4) ξηρό βάρος υπόγειου μέρους φυτών,

- 5) συγκέντρωση Cu στο υπέργειο και υπόγειο μέρος των φυτών,
- 6) συνολική ποσότητα Cu (mg/kg ξηρού βάρους),
- 7) ποσοστά (%) συγκέντρωσης Cu στο υπέργειο και υπόγειο μέρος των φυτών.

Βρέθηκε ότι από τα πέντε είδη φυτών που μελετήθηκαν η ήρα ήταν το είδος που απομάκρυνε από το έδαφος τη μεγαλύτερη ποσότητα Cu (31,97 mg/kg ξηρού βάρους) όπου έγινε χρήση του NTA στη μεγαλύτερη δόση με παράλληλη αύξηση του χλωρού βάρους.

Η τομάτα στο μάρτυρα απορρόφησε τη μεγαλύτερη συνολική ποσότητα Cu (29,14 mg/kg ξηρού βάρους) σε σχέση με τα άλλα είδη φυτών (καπνό, ηλίανθο, ήρα και σκόρδο). Η σειρά απορρόφησης Cu από τα φυτά από τη μεγαλύτερη προς την μικρότερη ικανότητα ήταν : τομάτα > καπνός > ηλίανθος > ήρα > σκόρδο.

Η οργανική ένωση NTA σε όλες τις δόσεις φαίνεται ότι υποβοήθησε την απορρόφηση του Cu (mg/kg ξηρού βάρους) στα είδη ήρα (26,33 - 31,97) και ηλίανθο (29,27 - 29,50) σε σχέση με το μάρτυρα (21,73 και 27,19 αντίστοιχα).

Η οργανική ένωση SA μείωσε την συνολική ποσότητα απορρόφησης Cu (mg/kg ξηρού βάρους) και στις δύο δόσεις στη τομάτα και στη χαμηλότερη δόση στην ήρα σε σχέση με το μάρτυρα. Μείωση της ποσότητας απορρόφησης Cu παρατηρήθηκε και στον ηλίανθο όπου έγινε χρήση της μεγαλύτερης δόσης (SA 2).

Από τα πέντε είδη φυτών η ήρα ήταν το είδος στο οποίο το μεγαλύτερο ποσοστό (έως 62%) Cu που προσλήφθηκε παρέμεινε στο ριζικό σύστημα (υπόγειο μέρος).

Το μεγαλύτερο ποσοστό συσσώρευσης του Cu στο υπέργειο μέρος παρατηρήθηκε στη τομάτα (88-91%), μετά στον ηλίανθο (74-85%), στον καπνό (76-83%) και τέλος στο σκόρδο (70-79%).

Από τα αποτελέσματα αυτά φαίνεται ότι τα είδη ήρα, τομάτα, ηλίανθος και καπνός έχουν την ιδιότητα να προσλαμβάνουν σχετικά υψηλές ποσότητες Cu από το έδαφος και χρήζουν περισσότερης μελέτης ως τυχόν φυτοαποκαταστάτες εδαφών επιβαρυνμένων με Cu.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω όλους όσους στήριξαν την προσπάθειά μου για την επίτευξη της μεταπτυχιακής διατριβής μου.

Πρώτα θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Επιβλέποντα Καθηγητή κ. Λόλα Χ. Πέτρο που με την ακαδημαϊκή του πείρα, συμβουλές και αμέριστη συμπαράστασή του με βοήθησε στην πραγματοποίηση της μεταπτυχιακής μου εργασίας.

Ευχαριστίες εκφράζω επίσης και στ' άλλα μέλη της Εξεταστικής Επιτροπής τον Καθηγητή κ. Ι. Μήτσιο και τον Αναπληρωτή Ερευνητή του ΕΘΙΑΓΕ – ΙΧΤΕΛ Δρ. Βασίλειο Σαμαρά για τις χρήσιμες υποδείξεις τους τόσο κατά την ανάγνωση όσο και κατά την παρουσίαση - εξέταση της Διατριβής.

Θερμές ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω επίσης στο επιστημονικό και εργατικό προσωπικό του Π.Ε.Γ.Ε.Α.Λ. Λάρισας και ιδιαίτερα τον συνάδελφο Γεωπόνο και φίλο κ. Ι. Βαρβαρούση για την πολύτιμη βοήθειά τους στις εργαστηριακές μετρήσεις.

Θα ήταν παράλειψή μου να μην αναφερθώ με ευχαριστίες και εκτίμηση στο συνάδελφο Γεωπόνο κ. Ντίνο Αλέξανδρο για τις χρήσιμες επισημάνσεις και βοήθειά του κατά την πορεία της εργασίας μου.

Τέλος θα ήθελα ιδιαίτερα να ευχαριστήσω τους γονείς μου Κωνσταντίνο και Ευαγγελία για την κατανόηση και την συμπαράστασή τους.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	Σελ.
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
2. ΦΥΤΟΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	3
3. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ	6
3.1 Βαρέα μέταλλα και φυτά υπερσυσσωρευτές	6
3.2 Χαλκός και φυτοαποκατάσταση	9
3.3 Βιοδιαθεσιμότητα μετάλλων και οργανικές ενώσεις	11
3.4 Φυτοαποκατάσταση και ζιζανιοκτόνα	13
4. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	15
5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ	19
5.1 Τα φυτικά είδη στο πείραμα	19
5.2 Χλωρό βάρος υπέργειου μέρους φυτών	19
5.3 Χλωρό βάρος υπόγειου μέρους φυτών	21
5.4 Ξηρό βάρος υπέργειου μέρους φυτών	22
5.5 Ξηρό βάρος υπόγειου μέρους φυτών	23
5.6 Συγκέντρωση Cu στο υπέργειο μέρος των φυτών	24
5.7 Συγκέντρωση Cu στο υπόγειο μέρος των φυτών	26
5.8 Συνολική ποσότητα Cu (mg/ kg ξηρού βάρους) για τα πέντε είδη φυτών	28
5.9 Ποσοστά (%) συγκέντρωσης Cu στο υπέργειο και υπόγειο μέρος των φυτών	30
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	34
7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	35
8. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	42

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ρύπανση των εδαφών από πολλούς και διαφορετικούς ρύπους, οργανικούς (π.χ. ζιζανιοκτόνα) και ανόργανους (π.χ. βαρέα μέταλλα) προκαλεί ιδιαίτερη ανησυχία όσον αφορά τους κινδύνους για την υγεία ανθρώπων και ζώων, τη φυτοτοξικότητα, την γονιμότητα των εδαφών, την ποιότητα των υδάτων καθώς και της καθαρότητας των επιμέρους οικοσυστημάτων.

Η επανόρθωση των εδαφών που επιβαρύνονται με βαρέα μέταλλα είναι σήμερα ιδιαίτερα σημαντική αναγκαιότητα σε ορισμένες περιπτώσεις. Αντίθετα από τις οργανικές ενώσεις, τα μέταλλα δεν μπορούν να αποδομηθούν. Σε ορισμένες περιπτώσεις μάλιστα είναι ενδεχόμενο να δεσμευτούν με διάφορες άλλες ουσίες, να σχηματίσουν σύμπλοκα και να μετατραπούν σε πιο τοξικές ενώσεις (π.χ. $PbCH_3$ στην περίπτωση Minamata).

Κατά συνέπεια ο καθαρισμός τους απαιτεί συνήθως την απομάκρυνσή τους. Οι παραδοσιακές μέθοδοι αφαίρεσης των μετάλλων από τα εδάφη, όπως είναι η μηχανική αποκατάσταση (π.χ. απομάκρυνση επιβαρυσμένου χώματος), η φυσική (π.χ. έκπλυση), η θερμική (υψηλές θερμοκρασίες, καύση) και η χημική, είναι απαγορευτικά ακριβές και επιπλέον επιδρούν στη μείωση της εδαφικής γονιμότητας με τις οποιοσδήποτε αρνητικές επιπτώσεις στο οικοσύστημα. Μια εναλλακτική πρόταση είναι η τεχνική της φυτοαποκατάστασης ως οικονομικώς αποδεκτή και φιλική προς το περιβάλλον.

Τα τελευταία έτη το ενδιαφέρον αρκετών ερευνητών έχει στραφεί στη μελέτη και ανεύρεση ζιζανίων και γενικότερα φυτικών ειδών τα οποία θα μπορούν να χρησιμοποιούνται στον καθαρισμό εδαφών επιβαρυσμένων με ζιζανιοκτόνα, με βαρέα μέταλλα (κυρίως Pb, Cd, Se, Hg και Cu) καθώς και άλλων ρύπων.

Ο Cu ανήκει στα βαρέα μέταλλα και χρησιμοποιείται ευρέως στη γεωργία. Τόσο στη βιολογική γεωργία όσο και στην Ολοκληρωμένη Διαχείριση Καλλιεργειών, σκευάσματα ενώσεων χαλκού χρησιμοποιούνται εντατικά σε υπαίθριες και θερμοκηπιακές καλλιέργειες για την αντιμετώπιση διαφόρων ασθενειών.

Αν και ο χαλκός αποτελεί απαραίτητο στοιχείο για όλους τους οργανισμούς συμπεριλαμβανομένων του ανθρώπου και ζώων, σε υψηλές συγκεντρώσεις στον αέρα, στα ύδατα, στα εδάφη και στα τρόφιμα μπορεί να καταστεί τοξικός.

Οι διάφορες ανθρωπογενείς δραστηριότητες όπως τα ορυχεία, τα εργοστάσια επεξεργασίας χαλκού (γεωργικών φαρμάκων, καλωδίων, χαλκουργιών κ.ά.) και η γεωργία συμβάλλουν στην υψηλή συγκέντρωση Cu σε ορισμένα εδάφη.

Κατά συνέπεια η χρήση φυτών για την αποκατάσταση τέτοιων εδαφών αποτελεί σημαντική επιστημονική εξέλιξη.

Στόχος της έρευνας είναι ο εντοπισμός φυτών που να έχουν τη γενετική και φυσιολογική ικανότητα να προσλαμβάνουν σχετικά γρήγορα διάφορους οργανικούς ή ανόργανους ρύπους και να τους μετατρέπουν μέσω του μεταβολισμού τους σε λιγότερο τοξικούς καθώς και καλλιεργητικών τεχνικών που υποβοηθούν σ' αυτή την κατεύθυνση.

Επιπλέον, εξαιτίας της χαμηλής κινητικότητας ορισμένων βαρέων μετάλλων στο έδαφος και εντός των φυτών, της δημιουργίας δυσδιάλυτων ιζημάτων και της δέσμευσής των από τα κολλοειδή του εδάφους, παρατηρείται έντονη ερευνητική δραστηριότητα στην εξεύρεση χηλικών ενώσεων και άλλων ουσιών που δύνανται να δημιουργήσουν υδατοδιαλυτά σύμπλοκα με τα μέταλλα αυξάνοντας έτσι τη βιοδιαθεσιμότητά τους.

Αναφορικά για το χαλκό έχουν προταθεί διάφορες ενώσεις όπως νιτριλοτριοξικό οξύ (NTA), αιθυλενετριαμινοτετραοξικό οξύ (EDTA), διαιθυλενετριαμινοπενταοξικό οξύ (DTPA) και σαλικυλικό οξύ (SA).

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η μελέτη πέντε ειδών φυτών (σκόρδο, τομάτα, καπνός, ήρα και ηλίανθος) ως πιθανοί φυτοαποκαταστάτες σε έδαφος επιβαρυνμένο με χαλκό, με παράλληλη αξιολόγηση δύο οργανικών ενώσεων, του νιτριλοτριοξικού οξέος (NTA) και του σαλικυλικού οξέος (SA) σε δύο επίπεδα συγκέντρωσής τους, ως προς την τυχόν επίδρασή τους στην αύξηση των φυτών καθώς και στην υποβοήθηση πρόσληψης του Cu.

2. ΦΥΤΟΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

Η φυτοαποκατάσταση, ορίζεται σαν κάθε σύστημα στο οποίο χρησιμοποιούνται φυτά, είτε για τη μείωση και το μηδενισμό των περιβαλλοντικών ρύπων σε εδάφη, ιζήματα ή νερά, είτε για να τους καταστήσουμε ακίνδυνους (Cunningham 1996, Λόλας 2001, Salt 1998). Δηλαδή, καλλιεργούμε ορισμένα φυτά για μερικά χρόνια και αυτά αφαιρούν τον περιβαλλοντικό ρύπο από το έδαφος ή μεταβάλουν τις φυσικοχημικές ιδιότητες του περιβαλλοντικού ρύπου μέσα στο έδαφος και έτσι αυτός δεν παρουσιάζει πλέον κίνδυνο για τον άνθρωπο ή το περιβάλλον.

Ο όρος φυτοαποκατάσταση είναι η απόδοση στα ελληνικά του αγγλικού όρου Phytoremediation. Σχηματίζεται από την ελληνική λέξη φυτό- και την λατινική "remedium" η οποία σημαίνει θεραπεύω, διορθώνω, αποκαθιστώ.

Η φυτοαποκατάσταση μπορεί να χρησιμοποιηθεί στον καθαρισμό του περιβάλλοντος από ζιζανιοκτόνα (ή άλλα φυτοφάρμακα), βαρέα μέταλλα, διάφορους διαλύτες, παραπροϊόντα πετρελαίου, PCBs, πολυαρωματικούς υδρογονάνθρακες (PAHs) κ.α.

Οι κυριότεροι μηχανισμοί που εξηγούν πως γίνεται η φυτοαποκατάσταση είναι οι εξής:

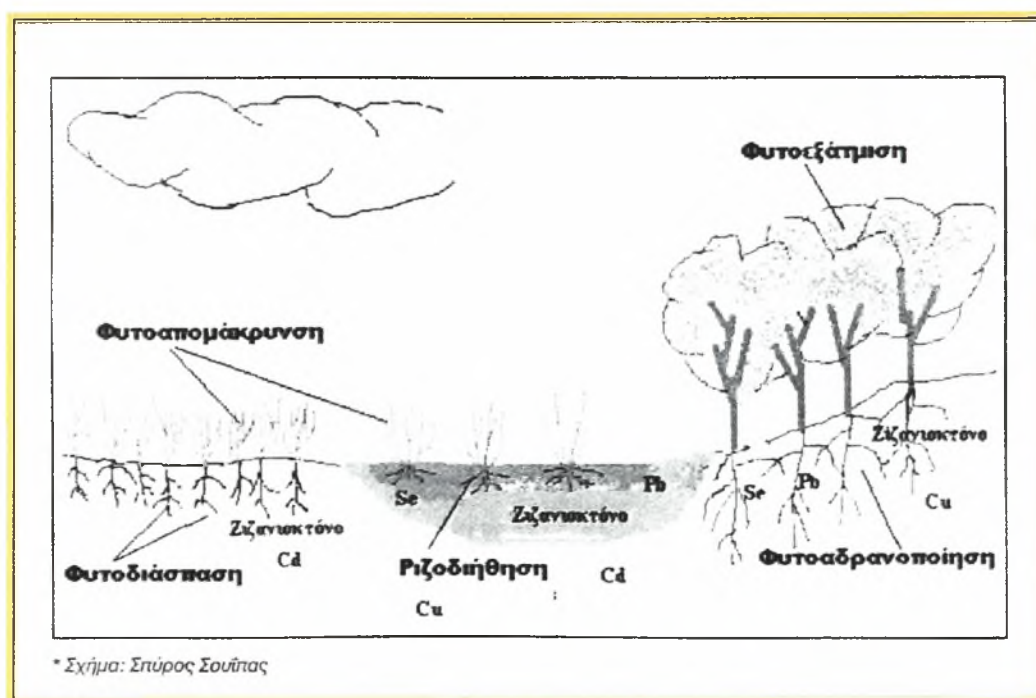
1. Πρόσληψη και συσσώρευση ή διάσπαση του περιβαλλοντικού ρύπου στους φυτικούς ιστούς. Είναι η περίπτωση της φυτοαποκατάστασης με απομάκρυνση (Phytoextraction) ή διάσπαση - μετατροπή (Phytodegradation, Phytotransformation) στην περίπτωση εδαφών και ριζοδιήθησης (Rhizofiltration) στην περίπτωση των νερών. Στην περίπτωση της ριζοδιήθησης ο περιβαλλοντικός ρύπος συσσωρεύεται στο ριζικό σύστημα και δεν μετακινείται σε αξιόλογο ποσοστό στο υπέργειο μέρος του φυτού.

2. Μετατροπή-σταθεροποίηση του περιβαλλοντικού ρύπου σε μορφές αδιάθετες για τους οργανισμούς (Phytostabilization). Αυτή η σταθεροποίηση γίνεται με συγκράτηση-προσρόφηση του περιβαλλοντικού ρύπου πάνω στις ρίζες, ή με σχηματισμό συμπλοκών στο ριζόστρωμα. Γνωστή είναι η περίπτωση ακινητοποίησης του Pb σαν σύμπλοκο με φώσφορο που ελευθερώνουν ορισμένα είδη φυτών.

3. Υποβοήθηση αποδόμησης του περιβαλλοντικού ρύπου από τους μικροοργανισμούς (μικροβιακή πανίδα) στη ριζόσφαιρα.

Η υποβοήθηση μπορεί να γίνεται κατά διάφορους τρόπους, με έκλυση από τα φυτά ειδικών ενζύμων (π. χ. περοξιδάση, νιτριλάση, απαλογονάση, κ.α.) στο έδαφος, με ελευθέρωση άλλων ουσιών (οξέα, σάκχαρα, κ.α.) οι οποίες συμβάλουν στη διάσπαση του ρύπου ή αποτελούν τροφή για τους μικροοργανισμούς, με αύξηση του μικροβιακού πληθυσμού, κ.α.

4. Ελευθέρωση, μέσου του φυτού, στην ατμόσφαιρα πτητικών περιβαλλοντικών ρύπων (Phytovolatilization). Η έρευνα σε αυτό τον τομέα έως τώρα έχει ασχοληθεί μόνο με τα βαρέα μέταλλα και ειδικά με το Se.



Εικόνα 1 : Σχηματική παράσταση των μηχανισμών φυτοαποκατάστασης

Προϋποθέσεις επιτυχίας της φυτοαποκατάστασης

1. Το ζιζανιοκτόνο, το βαρύ μέταλλο και γενικά ο περιβαλλοντικός ρύπος που υπάρχει στο έδαφος, στα ιζήματα, ή στα νερά όπου θα γίνει αποκατάσταση πρέπει να είναι βιοδιαθέσιμος. Ορισμένα ζιζανιοκτόνα αλλά και πολλοί άλλοι ρύποι συγκρατούνται ισχυρά σε εδαφικά κolloειδή ή σε σωματίδια στα ιζήματα ή στα νερά με αποτέλεσμα να μην είναι διαθέσιμα στους οργανισμούς αποκαταστάτες.

Η χρήση των χηλικών ουσιών καθιστά περισσότερο βιοδιαθέσιμους στα φυτά ορισμένους περιβαλλοντικούς ρύπους.

2. Πρόσληψη του περιβαλλοντικού ρύπου από το ριζικό σύστημα του ή των φυτών αποκαταστάτες. Από μόνη της η πρώτη προϋπόθεση δεν είναι αρκετή και ικανή να αξιοποιηθεί στην φυτοαποκατάσταση. Χρειάζεται ο περιβαλλοντικός ρύπος να εισέλθει μέσα στο φυτό όπου θα έχει μία από τις τύχες, διάσπαση, αδρανοποίηση, ή αποθήκευση του στο ριζικό σύστημα ή στο υπέργεια μέρη του φυτού όπως απαιτεί η τρίτη προϋπόθεση.

3. Μετακίνηση του περιβαλλοντικού ρύπου μέσα στο φυτό, όπου ανάλογα με τον ιστό στον οποίο θα καταλήξει θα έχει μία από τις τρεις τύχες στην δεύτερη προϋπόθεση.

4. Αντοχή του φυτού που χρησιμοποιείται στην αποκατάσταση σε υψηλές συγκεντρώσεις του περιβαλλοντικού ρύπου μέσα στο φυτό.

Πέρα από αυτές τις προϋποθέσεις είναι απαραίτητο να εξασφαλίζονται και οι κατάλληλες συνθήκες αύξησης - ανάπτυξης των φυτών κατά την φυτοαποκατάσταση.

Μειονεκτήματα της φυτοαποκατάστασης

Δύο είναι τα κυριότερα μειονεκτήματα της φυτοαποκατάστασης :

α) ο απαιτούμενος χρόνος συμπλήρωσης της φυτοαποκατάστασης, ο οποίος ανάλογα με τον περιβαλλοντικό ρύπο, τη συγκέντρωση και μορφή παρουσίας του, το είδος του φυτού αποκαταστάτη καθώς και το επιθυμητό επίπεδο αποκατάστασης, μπορεί να είναι από δύο έως και δέκα έτη, και

β) τυχόν βιομεγέθυνση στην τροφική αλυσίδα.

Λιγότερο σοβαρά μειονεκτήματα θεωρούνται τα: ορισμένα ζιζάνια που βρέθηκαν αποτελεσματικά παράγουν λίγη φυτομάζα, δηλαδή αφαιρούν μικρές ποσότητες περιβαλλοντικών ρύπων, έχουν σχετικά αργό ρυθμό αύξησης και άρα απαιτείται περισσότερος χρόνος. Έως τώρα πολύ λίγα ζιζάνια έχουν βρεθεί και μόνο για ορισμένους περιβαλλοντικούς ρύπους να είναι υπερσυσσωρευτές και αυτά όχι στον επιθυμητό βαθμό. Στην περίπτωση ορισμένων περιβαλλοντικών ρύπων π.χ. βαρέων μετάλλων είναι αναγκαίο να γίνει θερισμός και απομάκρυνση της φυτομάζας εκτός από την περίπτωση της φυτοεξάτμισης.

3. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

3.1 Βαρέα μέταλλα και φυτά υπερσυσσωρευτές

Ορισμένα φυτικά είδη έχουν μια φυσική ιδιότητα να προσλαμβάνουν διάφορα μέταλλα, χωρίς αυτά να τους είναι απαραίτητα. Μερικά μέταλλα όπως ο Χαλκός, το Κοβάλτιο, ο Σίδηρος, το Μαγγάνιο, το Νικέλιο, και ο Ψευδάργυρος, είναι ουσιαστικά ορυκτά θρεπτικά στοιχεία. Άλλα εντούτοις, όπως το Κάδμιο και ο Μόλυβδος δεν έχουν καμία φυσιολογική αξία για τα φυτά (Lasat, 2002).

Από τον 19^ο αιώνα, ο Baumann (1885) προσδιόρισε φυτικά είδη τα οποία ήταν ικανά να προσλαμβάνουν και να ανέχονται ασυνήθιστα υψηλά επίπεδα ψευδαργύρου.

Το 1935, ο Byers τεκμηρίωσε τη συσσώρευση του Σεληνίου σε είδη *Astragalus spp.*

Μια δεκαετία αργότερα, οι Minguzzi και Vergnani (1948) προσδιόρισαν είδη φυτών ικανά να ανέχονται συγκεντρώσεις Νικελίου μέχρι 1%.

Οι Brooks *et al.* (1977) χρησιμοποίησαν τον όρο υπερσυσσωρευτές (hyperaccumulators) για να περιγράψουν φυτά με συγκεντρώσεις Ni >1000 μg/g (0,1%) ξηρού βάρους φύλλων, οι οποίες θεωρούνται υπερβολικά υψηλές σε σχέση με τη συγκέντρωση Ni σε φυτά μη συσσωρευτές που απαντώνται σε Ni- φόρα εδάφη.

Ο Reeves (1992) διαμορφώνοντας τον παραπάνω ορισμό περιέλαβε μόνο αυτά τα είδη που συσσωρεύουν τέτοιες συγκεντρώσεις (>1000 μg/g ξηρού βάρους) όταν αναπτύσσονται στους φυσικούς τους βιότοπους. Αυτό το κριτήριο επίσης θεωρήθηκε κατάλληλο για να καθορίσει την υπερσυσσώρευση του χαλκού (Brooks *et al.*, 1980) και του μόλυβδου (Reeves και Brooks, 1983) ενώ για τον ψευδάργυρο προτάθηκε η συγκέντρωση 10000 μg/g (1,0%) ξηρού βάρους από τους ίδιους ερευνητές.

Η φυτοαποκατάσταση ως περιβαλλοντική τεχνική καθαρισμού προτάθηκε αρχικά για την επανόρθωση εδαφών επιβαρημένων με μέταλλα (Utsunomyia, 1980, Chaney, 1983, Baker *et al.*, 1991).

Τα φυτά έχουν αναπτύξει διάφορους μηχανισμούς ώστε να ανέχονται την πίεση των βαρέων μετάλλων. Οι δύο βασικοί μηχανισμοί είναι : η αποφυγή πρόσληψης και η αποτοξικοποίηση των μετάλλων (Baker, 1981). Τα φυτά που

αποφεύγουν την πρόσληψη των μετάλλων (excluders) αποτρέπουν τη πρόσληψη μετάλλων από τις ρίζες και τη δυνατότητα διακίνησης και τη συσσώρευσή τους στους βλαστούς (De Voss et al., 1991). Ένα τέτοιο είδος είναι π.χ. το *Agrostis tenuis* που αποφεύγει τη πρόσληψη των Cd, Cu, Pb, and Zn. Επιπλέον τα excluders αν και έχουν χαμηλή ικανότητα απορρόφησης μετάλλων εντούτοις μπορεί να χρησιμοποιηθούν για τη σταθεροποίηση του εδάφους και τη μείωση της πιθανότητας ρύπανσης από τα μέταλλα σε περίπτωση διάβρωσης (Dahmani-Muller et al., 2000). Αντίθετα οι υπερσυσσωρευτές (hyperaccumulators) έχουν την ικανότητα να προσλαμβάνουν υψηλές συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων και να μειώνουν την τοξικότητά τους αποθηκεύοντάς τα στο κυτταρόπλασμα (Assche και Clijsters, 1990, Meharg, 1994).

Οι Baker et al., (1994) πρότειναν ότι η καύση των φυτών που χρησιμοποιούνται για φυτοαποκατάσταση σε επιβαρημένα με Ni και Zn εδάφη είναι από τις πλέον οικονομικές και εύκολες τεχνικές.

Σε πειράματα τους οι Brown et al. (1994) χρησιμοποίησαν δύο μεταλλόφυτα, το *Thlaspi caerulescens* (υπερσυσσωρευτική Zn) και το *Silene vulgaris* (δείκτης) σε σύγκριση με τη τομάτα (*Lycopersicon esculentum*) για να αξιολογηθεί η απορρόφηση του Zn και Cd σε σχέση με το εδαφικό pH που κυμαίνονταν από 5,06 έως 7,04. Το *Thlaspi caerulescens* παρουσίασε πολύ μεγαλύτερη ανοχή στα μέταλλα από τα άλλα φυτά (μέχρι 18.455 mg/kg Zn και 1020 mg/kg Cd ξηρού βλαστού, χωρίς μείωση της παραγωγής) με την πίεση των μετάλλων στο φυτό μόνο στις συνθήκες χαμηλού pH.

Οι Banuelos et al. (1997) σε επιβαρημένο με σελήνιο (Se) έδαφος χρησιμοποιώντας τρία είδη φυτών, το *Brassica napus* (ελαιοκράμβη), το *Hibiscus cannabinus* (κενάφ), και το *Festuca arundinacea* (φεστούκα), παρατήρησαν ότι μόνο η ελαιοκράμβη και το κενάφ παρουσίασαν σημαντικά χαμηλότερη παραγωγή βλαστών απ' ότι σε μη επιβαρημένο έδαφος. Η συγκέντρωση Se στα φύλλα ήταν 470 mg/kg ξηρού βάρους στην ελαιοκράμβη, 45 mg/kg στο κενάφ και 50 mg/kg στη φεστούκα. Η καλλιέργεια όλων των ειδών οδήγησε σε μια σημαντική μείωση του συνολικού εδαφικού Se στα ακόλουθα ποσοστά: ελαιοκράμβη (47%), κενάφ (23%) και φεστούκα (21%).

Εργασία του Banuelos (1999) αναφέρει ότι για την φυτοαποκατάσταση εδαφών επιβαρημένων με βαρέα μέταλλα όπως ο Cu, Cd, Ni, Zn, Cr, Pb, Hg και

Se σημαντικό ρόλο παίζουν οι μηχανισμοί που επηρεάζουν την κινητικότητα, την διαλυτότητα και την πρόσληψή τους από τα φυτά.

Οι Lombi *et al.* (2001) σε πειράματα που έκαναν σε επιβαρημένο με μέταλλα έδαφος από βιομηχανικά λύματα, χρησιμοποιώντας από τη μία το φυτό υπερσυσσωρευτή *Thlaspi caerulescens* και από την άλλη τον αραβόσιτο υποβοηθώντας το με τη χηλική ένωση EDTA, παρατήρησαν ότι το *Thlaspi caerulescens* απομάκρυνε από το έδαφος περισσότερο από 8 mg/kg Cd και 200 mg/kg Zn (που αντιπροσώπευαν το 43 και 7% αντίστοιχα της συγκέντρωσης των δύο μετάλλων στο έδαφος). Αντίθετα η υψηλή συγκέντρωση του Cu στο συγκεκριμένο έδαφος μείωσε σοβαρά την αύξηση του *T. caerulescens*, περιορίζοντας τη δυνατότητα της φυτοαποκατάστασης. Το EDTA αύξησε πολύ τη διαλυτότητα των βαρέων μετάλλων και στα δύο εδάφη, αλλά αυτό δεν οδήγησε σε μια μεγάλη αύξηση στις συγκεντρώσεις μετάλλων στους βλαστούς του αραβόσιτου. Η φυτοαπομάκρυνση του Cd και του Zn από τον αραβόσιτο + EDTA ήταν πολύ μικρότερο από αυτό από το *T. caerulescens* από το επιβαρημένο έδαφος.

Έρευνα των Madejon *et al.* (2002) αναφέρει ότι η αγριάδα και το σόργο αποτέλεσαν καλούς φυτοαποκαταστάτες, μειώνοντας σημαντικά τα επίπεδα των μετάλλων As, Cd, Cu και Pb σε μια επιβαρημένη περιοχή στην Ισπανία.

Οι ίδιοι ερευνητές (2003) αναφέρουν ότι ο ηλίανθος δεν μείωσε σημαντικά τα επίπεδα των παραπάνω μετάλλων στην ίδια περιοχή αν και εκτιμούν ότι το συγκεκριμένο φυτό μπορεί να αποτελέσει προοπτικά καλό φυτοαποκαστάτη.

Πειράματα των Wang *et al.* (2002) με αρακά, βίκο, καλαμπόκι, σιτάρι και ράπα σε έδαφος επιβαρημένο με Cd, Cr, Zn, Pb, Cu και Mn έδειξαν ότι τα ψυχανθή και το σιτάρι είχαν μεγαλύτερη ανοχή σε υψηλές συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων. Επίσης το καλαμπόκι εμφάνισε τη μεγαλύτερη συγκέντρωση σε Cd, Zn και Mn. Η ράπα εμφάνισε τη μεγαλύτερη συγκέντρωση σε Cr, ο βίκος σε Cu και το σιτάρι σε Pb. Επιπλέον η κατανομή των μετάλλων στα διάφορα μέρη των φυτών ήταν : το Cd και ο Cu βρίσκονταν σε μεγαλύτερη συγκέντρωση στο σπόρο του σιταριού απ' ότι του καλαμποκιού. Γι' αυτό σε τέτοιες περιοχές, για λόγους ελαχιστοποίησης διατροφικού κινδύνου, προτάθηκε να καλλιεργείται το καλαμπόκι και η ράπα.

Οι ίδιοι ερευνητές (2003) παρατήρησαν ότι η χρήση του *Polygonum hydropiper* σε μολυσμένο έδαφος με Zn συσσωρεύσε 1061 mg/kg στους βλαστούς του. Επίσης το *Rumex acetosa* L. στο ίδιο έδαφος συσσωρεύσε 900 mg/kg σε βλαστό και ρίζα.

Πολλοί ερευνητές (Mench και Martin, 1991, Guadagnini, 2000, Kayser *et al.*, 2000) σε πειράματα για τη πρόσληψη βαρέων μετάλλων από τα φυτά έχουν χρησιμοποιήσει τον καπνό εξαιτίας της μεγάλης παραγωγής βιομάζας του.

3.2 Χαλκός και φυτοαποκατάσταση

Ο χαλκός αποτελεί πλέον ρύπο επειδή είναι ιδιαίτερα τοξικός σε πολλά είδη φυτών (Pahlsson, 1989) και λόγω της σχετικότητάς του ως εδαφολογικός ρύπος.

Οι μέγιστες επιτρεπτές συγκεντρώσεις Cu στο έδαφος κυμαίνονται από 50-140 mg/kg ξηρού εδάφους (ΦΕΚ 641/07-08-91). Σε διαθέσιμες μορφές (μέθοδος DTPA) η μέγιστη οριακή συγκέντρωση Cu στο έδαφος είναι 2,0 mg/kg (Τσιτσίας και Τσαντήλας, 2003).

Στην Ελβετία, περίπου 50.000 εκτάρια εδάφους παρουσιάζουν υψηλές συγκεντρώσεις Cu (Studer *et al.*, 1995).

Η υπερβολική συγκέντρωση Cu προκαλεί μια μείωση στη μικροβιακή βιομάζα και επομένως θέτει σε κίνδυνο την ποιότητα των εδαφών. Αν και τα πιθανά δυσμενή αποτελέσματα του Cu στην ανθρώπινη υγεία δεν θεωρούνται σημαντικά, η ευαισθησία των προβάτων στο Cu είναι ευρέως γνωστή (Bundesamt für Umwelt, Wald και Landschaft, 1997).

Μέχρι την δεκαετία του '80 ελάχιστες έρευνες είχαν πραγματοποιηθεί για φυτά υπερευαλωτά Cu. Οι περισσότερες έχουν γίνει στην περιοχή του Ν.Α. Ζαΐρ (σημερινή Δημοκρατία του Κονγκό) και στη Β.Δ. Ζάμπια της Αφρικής (Brooks *et al.*, 1980).

Εκτός της Αφρικής λίγες μελέτες έχουν γίνει για την υψηλή συγκέντρωση Cu σε διάφορα είδη όπως *Mimularia verna* (Caryophyllaceae) (1070 μg/g) Γερμανία (Ernst, 1974) και *Millotia myosotidifolia* (Asteraceae) (2400 μg/g) στην Ν. Αυστραλία (Blissett, 1966).

Έρευνες των Brooks *et al.*, (1978) και Malaisse *et al.*, (1979) σε Αφρικανικά είδη *Aeollanthus* έχουν αποδείξει ότι το *A. biformifolius* ήταν εξαιρετικός συσσωρευτής Cu (>13700 μg/g). Επιπλέον τα συγκεκριμένα είδη περιείχαν την

υψηλότερη συγκέντρωση Cu που είχε ποτέ καταγραφεί από οποιοδήποτε άλλο φανερόγαμο είδος φυτού.

Οι Brooks *et al.*, (1995) έχουν καταγράψει 24 είδη φυτών που είναι δυνατό να συσσωρεύουν υψηλές συγκεντρώσεις Cu.

Πειράματα των Dinelli και Lombini (1996) σε έδαφος που επιλέχθηκε από περιοχή ρήξης αποβλήτων ορυχείου χαλκοπυρίτη στο Vigonzano (Βόρεια Απέννινα, Ιταλία), υψηλής συγκέντρωσης σε Fe, Mg, Cu, Cr, Co και Ni και χρησιμοποιώντας 3 είδη φυτών που συλλέχθηκαν από τη ίδια περιοχή, το *Silene armenia* (Caryophyllaceae), το *Salix spp.* (Salicaceae) και το *Populus nigra* (Salicaceae), έδειξαν ότι : οι συγκεντρώσεις των μετάλλων στα φυτά αυξάνουν με τη γήρανση του φυτού και η υψηλότερη συγκέντρωση παρατηρήθηκε στα φύλλα. Το *Silene armenia* ήταν ικανό να ανέχεται υψηλές συγκεντρώσεις μετάλλων (πάνω από 504 μg/g Cu, 174 μg/g Zn, 127 μg/g Ni και 138 μg/g Cr) εξαιρετικά υψηλότερες συγκρινόμενο με πληθυσμούς του σε αμόλυντη περιοχή. Η ακολουθία απορρόφησης των μετάλλων ήταν η εξής : Zn > Co > Cu > Ni > Fe > Cr ή οποία μπορεί να γενικευτεί σε φυτά που αναπτύσσονται σε τέτοιες περιοχές.

Οι Ebbs *et al.*, (1997) εξετάζοντας σε υδροπονικό πείραμα την τοξικότητα και την ανοχή συσσώρευσης του Cu και του Zn σε 3 είδη Brassica (*B. juncea*, *B. rapa* και *B. napus*) σε συγκεντρώσεις Cu 0,32 mg/L και Zn 6,5 mg/L παρατήρησαν ότι : με λίγες εξαιρέσεις, το ξηρό βάρος ρίζας και βλαστών και για τα τρία είδη μειώθηκε σημαντικά παρουσία των βαρέων μετάλλων. Επιπλέον ο Cu εμπόδισε την πλευρική επιμήκυνση της ρίζας στο *B. rapa*, το *B. napus* και σε μικρότερη έκταση στο *B. juncea*, ενώ ο Zn έτεινε να μειώσει μόνο την πλευρική διάμετρο της ρίζας. Από την άποψη της αφαίρεσης των βαρέων μετάλλων, τα *Brassica spp.* ήταν αποτελεσματικότερα στην αφαίρεση του Zn από το θρεπτικό διάλυμα από ότι του Cu.

Οι Malaisse *et al.*, (1999) σε μελέτες τους στην επιβαρημένη με Cu/Co περιοχή Luiswishi του Κογκό, εξετάζοντας περίπου 73 διαφορετικά είδη φυτών σε σχέση με την συγκέντρωση μετάλλων στους ιστούς τους, κατέγραψαν ότι για το Cu υπερασσωρευτές ήταν δύο είδη : το *Bulbostylis cupricola* (Cyperaceae) και το *Pimpinella acutidentata* (Apiaceae).

Σε ερευνητική εργασία τους οι Matache *et al.*, (2003) με σκοπό την αξιολόγηση της φυτοαποκατάστασης στην περιοχή Moldova Nova της Ρουμανίας

χρησιμοποίησαν 3 ειδών φυτών, τα *Elaeagnus angustifolia*, *Robinia pseudoaccia* και *Hippophae rhamnoides*. Στην περιοχή αυτή, στην οποία εισέρχεται ο Δούναβης, υπάρχουν ορυχεία χαλκού και άλλων μετάλλων με αποτέλεσμα να υπάρχει μολυσματικό ίζημα χαλκού στα νερά του. Ο χαλκός όπως αναμενόταν ήταν υψηλός στα δείγματα εδαφών. Δυστυχώς η φυτοαδρανοποίηση του από τα τρία είδη δεν ήταν μεγάλη σε σχέση με τη βιομάζα τους. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων στις όχθες του Δούναβη έδειξαν αυξημένη επιβάρυνση. Ο Pb αν και υπήρχε ελάχιστος στα επιθέματα καταγράφηκε σημαντικός όσο αφορά την προσρόφησή του από τα φυτά όπως και ο Zn.

Έρευνα των O'Connor *et al.*, (2003) αναφέρει ότι μειώθηκε η τοξικότητα των βαρέων μετάλλων Cu, Cd και Ag με τη χρήση υβριδικής μεθόδου ηλεκτροφόρησης εδάφους και φύτευσης του *Lolium perenne*.

3.3 Βιοδιαθεσιμότητα μετάλλων και οργανικές ενώσεις

Στο έδαφος τα μέταλλα υπάρχουν ως ποικίλα χημικά είδη σε μια δυναμική ισορροπία που εξαρτάται από τις φυσικές, χημικές και βιολογικές ιδιότητες (Chaney, 1988). Η κινητική αυτής της αλληλεπίδρασης, που υπαγορεύει τελικά την έκταση της βιολογικής διαθεσιμότητας των μετάλλων, είναι ανεπαρκώς κατανοητή. Γενικά, ένα μέρος του μετάλλου στο έδαφος είναι εύκολα διαθέσιμο (bioavailable) για την πρόσληψη από τα φυτά. Το μεγαλύτερο μέρος του μετάλλου βρίσκεται συνήθως ως αδιάλυτες ενώσεις μη διαθέσιμες για τη μεταφορά στις ρίζες.

Μια ελπιδοφόρος στρατηγική για να αυξηθεί η διαθεσιμότητα των βαρέων μετάλλων για τα φυτά είναι να προστεθούν στα εδάφη χηλικές ή άλλες οργανικές ενώσεις και να διαμορφωθούν υδατοδιαλυτά σύμπλοκα.

Πολλοί ερευνητές, Jorgensen (1995), Blaylock *et al.*, (1997), Huang *et al.*, (1997), Epstein *et al.*, (1999), και Wu *et al.*, (1999) απέδειξαν ότι η απορρόφηση των μετάλλων από τα φυτά αυξάνεται με τη χρήση του EDTA.

Άλλοι ερευνητές αναφέρουν ότι η χρήση των χηλικών ενώσεων DTPA και EDTA δεν ενίσχυσαν (Athalye *et al.*, 1995) και σε μερικές περιπτώσεις μείωσαν (Robinson, 1997) τη πρόσληψη των βαρέων μετάλλων από τα φυτά.

Λίγες μελέτες (Kayser *et al.*, 2000, Kullli *et al.*, 1999) έχουν γίνει για τη χρήση του νιτριλοτριοξικού οξέος (NTA) στη υποβοήθηση της φυτοαπομάκρυνσης των μετάλλων από τα φυτά. Το NTA παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την

αύξηση της φυτοαπομάκρυνσης επειδή συνδυάζει υψηλή βιοδιασπασιμότητα (Bolton *et al.*, 1996, Tiedje and Mason, 1974) με τη δύναμη σχηματισμού χηλικής ένωσης, αντίθετα με το EDTA (Kari and Giger, 1996).

Οι Wenger *et al.*, (2003) σε πειράματά τους, μελετώντας την επίδραση του NTA στην απορρόφηση του Cu από τον καπνό (*Nicotiana tabacum*), παρατήρησαν ότι το NTA αύξησε την πρόσληψη και τη δυνατότητα μετακίνησης Cu στους βλαστούς του καπνού. Ούτε μείωση αύξησης ούτε οποιοδήποτε άλλο ορατό σημάδι τοξικότητας Cu δεν βρέθηκε παρουσία NTA με τις συγκεντρώσεις Cu 190 mg/kg στους βλαστούς. Απουσία NTA, οι υψηλές συγκεντρώσεις Cu στα δείγματα ρίζας προκάλεσαν έναν καφετή αποχρωματισμό των ριζών.

Σε πειράματά τους οι Kulli *et al.*, (1999) ερεύνησαν την επίδραση του NTA στην απορρόφηση των μετάλλων Cd, Cu και Zn στα φυτά αγριομάρουλο (*Lactuca sativa*) και ήρα (*Lolium perenne*). Παρατήρησαν ότι η απορρόφηση των μετάλλων από τα φυτά αυξήθηκε. Μάλιστα στην υψηλότερη δόση NTA (5,3 mol/m²) η συγκέντρωση των μετάλλων στο υπέργειο μέρος των φυτών ήταν 4 έως 24 φορές μεγαλύτερη από ότι στο μάρτυρα.

Οι Barocsi *et al.*, (2003) σε έρευνα τους επισήμαναν ότι η εφαρμογή της χημικής ουσίας EDTA σε καλλιέργεια *Brassica juncea* ελαχιστοποίησε τη φυτοτοξικότητα και αύξησε την ανοχή των φυτών επιτρέποντας έτσι τη φυτοαποκατάσταση σε επιβαρημένα με Pb και Cd (500 mg/kg και 15 mg/kg αντίστοιχα) εδάφη.

Σε πειράματά τους οι Kayser *et al.*, (2000) εξέτασαν την αποτελεσματικότητα 2 ειδών υπερσυσσωρευτών μετάλλων (*Alyssum murale* και *Thlaspi caerulescens*), 4 καλλιεργούμενων φυτών (*Brassica juncea*, *Nicotiana tabacum*, *Helianthus annuus* και *Zea mays*) και ενός δασικού είδους (*Salix viminalis*), στην φυτοαπομάκρυνση του Zn, Cd και Cu από επιβαρημένο ασβεστούχο έδαφος. Για υποβοήθηση της φυτοαπομάκρυνσης των μετάλλων στο έδαφος προστέθηκε η χηλική ένωση NTA και το χημικό στοιχείο θείο (S₈). Αν και η διαλυτότητα των μετάλλων αυξήθηκε σημαντικά με τη χρήση του NTA και του S₈ σε ποσοστά 21, 58 και 9, αντίθετα η απορρόφηση αυτών των μετάλλων από τα φυτά αυξήθηκε μόνο κατά 2-3 φορές.

Οι Metwally *et al.*, (2003) σε πείραμά τους παρατήρησαν ότι το σαλικυλικό οξύ (SA) μείωσε την τοξικότητα του Cd σε σπορόφυτα κριθαριού. Ο

ευεργετικός ρόλος του SA στα φυτά που εκτέθηκαν στο Cd εμφανίστηκε να μην αφορά στην ενεργοποίηση των αντιοξειδωτικών ενζύμων αλλά στην επίδραση άλλων μηχανισμών που αφορούν στην αποτοξίνωση του Cd.

3.4 Φυτοαποκατάσταση και ζιζανιοκτόνα

Όσον αφορά τα ζιζανιοκτόνα η έρευνα έως τώρα έχει επικεντρωθεί όπως είναι αυτονόητο σε αυτά που έχουν μεγάλη υπολειμματική διάρκεια ζωής και σε όσα θεωρούνται οικοτοξικολογικά (π.χ. atrazine, metolachlor, trifluralin κ.ά.).

Ο στόχος οποιασδήποτε επανόρθωσης της επιβάρυνσης εδάφους ή νερού είναι είτε να αφαιρεθεί ο μολυσματικός παράγοντας, είτε να καταστεί αβλαβής. Οι οργανικές ενώσεις (συμπεριλαμβανομένου του atrazine) βιοδιασπώνται χαρακτηριστικά ή αποδομούνται στα συστατικά, CO₂, H₂O, ανόργανα ιόντα και μόρια και ενδεχομένως σε κυτταρικά υλικά (Eweis et al. 1998). Πειράματα σε δέντρα λεύκης έδειξαν ότι ένα μέρος των υπολειμμάτων atrazine αφομοιώθηκε και έγινε μέρος των φύλλων, του βλαστού και της ρίζας των φυτών (Burken & Schnoor, 1996).

Οι ίδιοι ερευνητές (Burken & Schnoor, 1996) σε πειράματά τους απέδειξαν την επιτυχία του είδους *Populus deltoides nigra* DN34 στην ικανότητα απομάκρυνσης του atrazine και άλλων μολυσματικών παραγόντων από τα εδάφη. Επιπλέον, εξαιτίας της γρήγορης ανάπτυξης, της μακράς διάρκειας ζωής και της ανεκτικότητάς του στις οργανικές ουσίες, το καθιστούν κατάλληλο για μελέτες φυτοαποκατάστασης.

Σε παρόμοια πειράματα οι Perkonich *et al.*, (1996) παρατήρησαν ότι η διάσπαση του [14C] atrazine σε έδαφος με αρχική συγκέντρωση (50 µg/g) ήταν σημαντικά υψηλότερη παρουσία του ζιζανίου *Kochia scoparia* (ποσοστό διάσπασης >47% μετά από 36 ημέρες) .

Οι Wanger *et al.*, (1997) σε πειράματά τους έδειξαν ότι η ενσωμάτωση των υπολειμμάτων ήρας (*Lolium multiflorum* L.) ήταν αποτελεσματική στην διάσπαση του cyanazine και του fluometuron στα εδάφη. Ερευνώντας επίσης την διάσπαση του fluometuron (500 mole/kg εδάφους) χρησιμοποιώντας τα υπολείμματα 3 φυτικών ειδών : βίκο (*Vicia villosa*), ρύζι (*Oryza sativa*) και ήρα, παρατήρησαν ότι αρχικά και τα τρία είδη ενίσχυσαν την υποβάθμιση του fluometuron στο έδαφος κατά την διάρκεια του πειράματος (60 ημ.). Σε βραχυπρόθεσμες μελέτες (21 ημ.)

η ήρα είχε τη μεγαλύτερη επίδραση στους εδαφολογικούς βακτηριακούς πληθυσμούς και στις διάφορες ενζυμικές δραστηριότητες.

Σε πρόσφατες έρευνές τους οι Wang et al., (2005) με τη χρήση της βιοτεχνολογίας και των διαγονιδιακών φυτών μελέτησαν την δυνατότητα φυτοαποκατάστασης εδαφών με υπολείμματα atrazine με την εισαγωγή ενός τροποποιημένου βακτηριακού γονιδίου (*p-atzA*) σε 3 είδη φυτών : τριφύλλι, *Arabidopsis thaliana* and καπνό. Το atrazine chlorohydrolase (AtzA), είναι το πρώτο ένζυμο (από μια διαδικασία 6 βημάτων) που καταλύει αντιδράσεις υδρολυτικής αποχλωρίωσης και οδηγεί σε αποτοξικοποίηση της atrazine σε hydroxyatrazine. Και τα 3 είδη εξέφρασαν ενεργά το γονίδιο και αυξήθηκαν πέρα από το ευρύ φάσμα συγκεντρώσεων της atrazine. Οι αναλύσεις χρωματογραφίας έδειξαν ότι η έκφραση του *p-atzA* γονιδίου στα φυτά οδήγησε στην παραγωγή της hydroxyatrazine.

4. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Γενικά

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε το έτος 2004 σε ειδικό χώρο στο Π.Ε.Γ.Ε.Α.Λ. Λάρισας. Σκοπός του πειράματος ήταν να μελετηθεί η ικανότητα φυτοαποκατάστασης 5 ειδών φυτών : σκόρδο, τομάτα, καπνός, ήρα και ηλίανθος σε έδαφος επιβαρημένο με χαλκό, με παράλληλη αξιολόγηση δύο οργανικών ενώσεων, του νιτριλοτριοξικού οξέος (NTA) και του σαλικυλικού οξέος (SA) σε δύο επίπεδα συγκέντρωσής τους, ως προς την τυχόν επίδρασή τους στην αύξηση των φυτών καθώς και στην υποβοήθηση πρόσληψης του Cu.

Το πειραματικό σχέδιο ήταν πλήρεις τυχαιοποιημένες ομάδες (RCB) για το κάθε είδος φυτού. Το πείραμα έγινε σε φυτοδοχεία. Αξιολογήθηκαν οι 5 μεταχειρίσεις κάθε μία σε 4 επαναλήψεις.

Οι 5 μεταχειρίσεις ήταν οι εξής :

Μάρτυρας (MAP 0) - μηδενική συγκέντρωση οργανικής ένωσης

Νιτριλοτριοξικό οξύ (NTA 1) - συγκέντρωση 200 mg/kg

Νιτριλοτριοξικό οξύ (NTA 2) - συγκέντρωση 400 mg/kg

Σαλικυλικό οξύ (SA 1) – συγκέντρωση 100 mg/kg

Σαλικυλικό οξύ (SA 2) – συγκέντρωση 200 mg/kg

Το κάθε φυτοδοχείο περιεκτικότητας 500 g εδάφους και διαμέτρου 12 cm αποτελούσε ένα πειραματικό τεμάχιο.

Το αρχικό έδαφος που χρησιμοποιήθηκε πάρθηκε από βάθος 0-30 cm, από αγροτεμάχιο της περιοχής Χάλκης Λάρισας, το Μάρτιο του 2004, κατόπιν επιλογής του λόγω της σχετικά υψηλής περιεκτικότητας του σε Cu. Σε διαθέσιμη μορφή η συγκέντρωση του Cu ήταν 2,4 mg/kg εδάφους (μέθοδος DTPA), πάνω από την κρίσιμη οριακή τιμή των 2 mg/kg. Η ολική συγκέντρωση Cu ήταν 25 mg/kg εδάφους (μέθοδος Sposito).

Στο έδαφος αυτό, κατά την εισαγωγή του στα φυτοδοχεία, προστέθηκαν επιπλέον 10 mg Cu ανά kg εδάφους με τη μορφή της χημικής ένωσης $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, ύστερα από διάλυσή της σε νερό. Σαν αποτέλεσμα η τελική συγκέντρωση Cu στο έδαφος ήταν 35 mg/kg ολικός (3,4 mg/kg διαθέσιμος).

Μετά την πάροδο μίας εβδομάδας έγινε η προσθήκη στο έδαφος του NTA και του SA, στις συγκεντρώσεις των μεταχειρίσεων που προαναφέρθηκαν. Επειδή

οι ενώσεις αυτές ήταν δυσδιάλυτες στο νερό απαιτήθηκε συνεχής ανάδευση και ελαφρά θέρμανση για τουλάχιστον μία ώρα.

Η σπορά έγινε στις 30 Απριλίου 2004. Ο αριθμός φυτών ανά φυτοδοχείο για το κάθε είδος φυτού ήταν : σκόρδο 3 , τομάτα 8, καπνός 5, ήρα 14 και ηλίανθος 5.

Δεν πραγματοποιήθηκε καμία λίπανση, επειδή η εδαφολογική ανάλυση του εδάφους έδειξε ότι τα τρία κύρια θρεπτικά στοιχεία δεν ήταν περιοριστικά για την αύξηση των καλλιεργειών. N -12 mg/kg ($\text{NO}_3\text{-N}$ υδατοδιαλυτό), P -15 mg/kg (κατά Olsen) και K - 450 mg/kg (μέθοδος οξικού αμμωνίου 1N).

Η άρδευση των φυτών γινόταν μετά από μακροσκοπικό έλεγχο, κάθε 2-3 ημέρες.

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε δύο φορές.

Μετρήσεις

Χλωρό βάρος υπέργειου μέρους φυτών : στις 60 ημέρες από το φύτευμα μετρήθηκε το χλωρό βάρος του υπέργειου μέρους των φυτών. Η εξαγωγή των φυτών από το έδαφος των φυτοδοχείων γινόταν με προσοχή, μετά από άρδευση, τα οποία στη συνέχεια εμβαπτιζόνταν σε δοχείο με νερό για την απομάκρυνση υπολειμμάτων εδάφους χωρίς να θιχτεί στο μέγιστο δυνατό το ριζικό σύστημα. Μετά το στέγνωμα των φυτών αυτά κόβονταν στο ύψος του εδάφους και ζυγιζόταν το υπέργειο μέρος των φυτών σε ζυγό ακριβείας τριών δεκαδικών ψηφίων σε g.

Χλωρό βάρος υπόγειου μέρους φυτών : με την ίδια διαδικασία μετά το στέγνωμα των φυτών και αφού είχε διαχωριστεί το υπέργειο από το υπόγειο μέρος των φυτών, ζυγιζόταν το υπόγειο μέρος τους, στον ίδιο ζυγό.

Ξηρό βάρος υπέργειου μέρους φυτών : τα φυτά μετά τη μέτρηση του χλωρού βάρους τους τοποθετούνταν σε χαρτοθήκες για να μεταφερθούν σε κλιβάνους για ξήρανση. Αυτή γινόταν στους 80° C για 72 h και ακολουθούσε ζύγιση του υπέργειου μέρους τους σε ζυγό ακριβείας.

Ξηρό βάρος υπόγειου μέρους φυτών : με την ίδια διαδικασία μετά την ξήρανση γινόταν και η ζύγιση του υπόγειου μέρους των φυτών.

Συγκέντρωση Cu στο υπέργειο και υπόγειο μέρος των φυτών : για την μέτρηση της συγκέντρωσης Cu στα φυτικά δείγματα (βλαστούς και ρίζα)

χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της ξηρής καύσης. Ειδικότερα, μετά την ξήρανση των δειγμάτων ακολούθησε άλεση και τοποθέτησή τους σε πορσελάνινες κάψες. Οι κάψες εισήχθησαν σε φούρνο στους 480° C για 4 h. Μετά την εξαγωγή τους και αφού αφέθηκαν για 1 h προκειμένου να κρυώσουν, προστέθηκε σε κάθε κάψα διάλυμα 10 mL υδροχλωρικού οξέος (HCl) συγκέντρωσης 2N. Μετά από 2 h τα δείγματα διηθήθηκαν και τοποθετήθηκαν σε ειδικά φιαλίδια. Η συγκέντρωση του Cu μετρήθηκε σε φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης τύπου Varian spectra 220 FS.

Συγκέντρωση Cu στο έδαφος : για την μέτρηση της συγκέντρωσης Cu στο έδαφος των φυτοδοχείων, μετά την αφαίρεση των φυτών, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Sposito (υγρής καύσης). Ειδικότερα, ζυγίστηκαν 4 g εδάφους από κάθε δείγμα και τοποθετήθηκαν σε ειδικά φιαλίδια. Προστέθηκαν στα φιαλίδια 25 mL νιτρικού οξέος (HNO₃) 4M και τοποθετήθηκαν σε φούρνο στους 80° C για 24 h. Μετά την εξαγωγή τους και αφού αφέθηκαν για 1 h προκειμένου να κρυώσουν, τα δείγματα διηθήθηκαν και τοποθετήθηκαν σε άλλα φιαλίδια προκειμένου για μέτρηση της συγκέντρωσης του Cu σε φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης.

Έδαφος

Το έδαφος που χρησιμοποιήθηκε επιλέχθηκε μετά από διερεύνηση των αρχείων των εδαφοαναλύσεων του Π.Ε.Γ.Ε.Α.Λ. Λάρισας εξαιτίας της σχετικά υψηλής συγκέντρωσής του σε Cu.

Ο αγρός από τον οποίο πάρθηκε το έδαφος είχε δεχθεί κατεργασία εδάφους φθινοπώρου- άνοιξης. Τα δύο προηγούμενα έτη το αγροτεμάχιο καλλιεργούνταν με βαμβάκι. Το έδαφος πάρθηκε από βάθος 0-30 cm. Έγινε ανάλυση δομής, οργανικής ουσίας, pH, N, P, K και συγκέντρωσης Cu στα εργαστήρια του Π.Ε.Γ.Ε.Α.Λ. Λάρισας.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το έδαφος ήταν αργιλλοπηλώδες (CL), με περιεκτικότητα σε οργανική ουσία 1,51 %, N 12 mg/kg, P 15 mg/kg, K 450 mg/kg, συγκέντρωση Cu 25 mg/kg εδάφους και pH 8,1.

Στατιστική ανάλυση

Η στατιστική επεξεργασία των μετρήσεων αφορούσε ανάλυση παραλλακτικότητας για το κάθε φυτό ξεχωριστά, για τυχόν στατιστικά σημαντική διαφορά των μέσων όρων τους, κάτω από την επίδραση των μεταχειρίσεων και επαναλήψεων για επίπεδο σημαντικότητας 5% .

Όπου με τις τιμές του κριτηρίου F οι διαφορές κρίθηκαν στατιστικά σημαντικές, υπολογίστηκε η Ελάχιστη Σημαντική Διαφορά ($LSD_{0,05}$) για επίπεδο σημαντικότητας 5%.

Επίσης αποδόθηκαν κατά Newman-Keuls Student's t-test οι σημαντικές διαφορές (για επίπεδο σημαντικότητας 5%) των μέσων όρων, των μεταχειρίσεων.

Επιπλέον υπολογίστηκε ο συντελεστής παραλλακτικότητας (CV%) για κάθε στατιστική επεξεργασία καθώς και ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 για εξίσωση δευτέρου βαθμού και για επίπεδο σημαντικότητας 5%.

Για τη στατιστική ανάλυση και επεξεργασία των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκαν τα προγράμματα (H / Y) Excel - Microsoft και JMP – SAS.

5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

5.1 Τα φυτικά είδη στο πείραμα

Τα είδη φυτών που επιλέχθηκαν για το συγκεκριμένο πείραμα ως πιθανοί φυτοαποκαταστάτες ήταν : σκόρδο, τομάτα, καπνός, ήρα και ηλίανθος. Επιλέχθηκαν με βάση τη βιβλιογραφία για τη φυτοαποκατάσταση βαρέων μετάλλων, εκτός του σκόρδου. Η επιλογή του σκόρδου έγινε με κριτήριο τις σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις του σε Cu όπως έδειξαν πολλές μετρήσεις στο ΠΕΓΕΑΛ Λάρισας.

5.2 Χλωρό βάρος υπέργειου μέρους φυτών

Στο σκόρδο, στον καπνό και στον ηλίανθο δεν υπήρξαν διαφορές στατιστικά σημαντικές μεταξύ των μεταχειρίσεων (Πίνακας 1).

Αντίθετα, στην τομάτα παρατηρήθηκε σημαντική αύξηση του χλωρού βάρους του υπέργειου μέρους όπου έγινε χρήση και των 2 δόσεων NTA σε σχέση με το μάρτυρα. Επίσης σημαντική αύξηση του χλωρού βάρους παρατηρήθηκε με τη χρήση της μεγαλύτερης δόσης SA σε σχέση με το μάρτυρα (Πίνακας 1).

Στην ήρα σημαντική αύξηση του χλωρού βάρους του υπέργειου μέρους παρατηρήθηκε τόσο με τη χρήση των 2 δόσεων του NTA, όσο και με τη χρήση των 2 δόσεων του SA, με μεγαλύτερη αύξηση του χλωρού βάρους του υπέργειου όπου έγινε χρήση του SA (Πίνακας 1).

Τα αποτελέσματα αυτά δείχνουν ότι οι ενώσεις NTA και SA στο έδαφος μπορεί να επηρεάσουν την αύξηση ορισμένων ειδών.

Η επίδραση αυτή θα μπορούσε να αποδοθεί στην πρόσληψη και εφοδιασμό του φυτού με ικανοποιητική συγκέντρωση Cu. Όμως η συγκέντρωση 35 mg/kg Cu στο έδαφος αποκλείει μια τέτοια εξήγηση. Ίσως οι δύο αυτές ενώσεις να υποβοηθούν την πρόσληψη άλλων θρεπτικών στοιχείων και μέσω αυτών να ευνοείται η αύξηση των φυτών.

Σε παρόμοια πειράματά τους οι Wenger *et al.* (2003) παρατήρησαν ότι ούτε μείωσης αύξησης ούτε οποιοδήποτε άλλο ορατό σημάδι τοξικότητας Cu δεν βρέθηκε παρουσία του NTA στον καπνό με συγκεντρώσεις Cu 190 mg/kg στο βλαστό.

Στην περίπτωση του SA, ίσως αυτό ως φυτοορμόνη να υποβοηθά την αύξηση στα είδη που παρατηρήθηκε αύξηση του χλωρού βάρους σε σχέση με το μάρτυρα.

Αντίστοιχα οι Metwally *et al.* (2003) παρατήρησαν ότι το SA μείωσε την τοξικότητα του Cd σε σπορόφυτα κριθαριού με την επίδραση κάποιων μηχανισμών (εκτός της δράσης των αντιοξειδωτικών ενζύμων) που αφορούν στην αποτοξικοποίηση του Cd.

Πίνακας 1. Χλωρό βάρος (mg) υπέργειου μέρους ανά φυτό των πέντε ειδών σε σχέση με τη χρήση νιτρίλοτριοξικού οξέος (NTA) ή σαλικυλικού οξέος (SA).

Μεταχείριση	Είδος φυτού				
	Σκόρδο	Τομάτα	Καπνός	Ήρα	Ηλίανθος
Μάρτυρας	9164	1596 b	2922	331 c	3773
NTA 1, 200 mg/kg	11575	3528 a	3794	445 b	2122
NTA 2, 400 mg/kg	7289	4189 a	5626	479 b	2817
SA 1, 100 mg/kg	9011	1508 b	5141	542 a b	3266
SA 2, 200 mg/kg	10367	3079 a	4572	643 a	3816
LSD _{0,05}	NS	1389	NS	106	NS
CV %	19	32	35	14	36
R² *	0,57	0,71	0,45	0,82	0,36

* Δευτέρου βαθμού εξίσωση
Μέσοι όροι οι οποίοι δεν συνδέονται με το ίδιο γράμμα σε μία στήλη, διαφέρουν σημαντικά κατά Newman-Keuls, για επίπεδο σημαντικότητας 5%.

5.3 Χλωρό βάρος υπόγειου μέρους φυτών

Στα είδη σκόρδο, καπνό και ηλίανθο δεν υπήρξαν διαφορές στατιστικά σημαντικές μεταξύ των μεταχειρίσεων όπως και στο υπέργειο μέρος (Πίνακας 2).

Πίνακας 2. Χλωρό βάρος (mg) υπόγειου μέρους ανά φυτό των πέντε ειδών σε σχέση με τη χρήση νιτριλοτριοξικού οξέος (NTA) ή σαλικυλικού οξέος (SA).

Μεταχείριση	Είδος φυτού				
	Σκόρδο	Τομάτα	Καπνός	Ήρα	Ηλίανθος
Μάρτυρας	744	139 c	253	244 b	280
NTA 1, 200 mg/kg	1167	244 a b	414	226 b	189
NTA 2, 400 mg/kg	1433	291 a	419	254 b	199
SA 1, 100 mg/kg	1286	150 b c	285	397 a	173
SA 2, 200 mg/kg	1128	228 a b c	433	424 a	154
LSD _{0,05}	NS	94	NS	119	NS
CV %	57	29	55	25	45
R ² *	0,34	0,63	0,26	0,74	0,29

* Δευτέρου βαθμού εξίσωση
Μέσοι όροι οι οποίοι δεν συνδέονται με το ίδιο γράμμα σε μία στήλη, διαφέρουν σημαντικά κατά Newman-Keuls, για επίπεδο σημαντικότητας 5%.

Αντίθετα, στην τομάτα παρατηρήθηκε σημαντική αύξηση του χλωρού βάρους του υπόγειου μέρους όπου έγινε χρήση των 2 δόσεων NTA σε σχέση με το μάρτυρα. Δεν παρατηρήθηκε σημαντική αύξηση του χλωρού βάρους με τη χρήση του SA σε σχέση με το μάρτυρα (Πίνακας 2).

Στην ήρα δεν παρατηρήθηκε σημαντική αύξηση του χλωρού βάρους του υπόγειου μέρους με τη χρήση των 2 δόσεων του NTA, ενώ παρατηρήθηκε σημαντική αύξηση του χλωρού βάρους του υπόγειου με τη χρήση και των 2 δόσεων του SA (Πίνακας 2).

5.4 Ξηρό βάρος υπέργειου μέρους φυτών

Πίνακας 3. Ξηρό βάρος (mg) υπέργειου μέρους ανά φυτό των πέντε ειδών σε σχέση με τη χρήση νιτριλοτριοξικού οξέος (NTA) ή σαλικυλικού οξέος (SA).

Μεταχείριση	Είδος φυτού				
	Σκόρδο	Τομάτα	Καπνός	Ήρα	Ηλίανθος
Μάρτυρας	2792 b	222 c	380	436	1011
NTA 1, 200 mg/kg	3497 a	366 a b	439	495	761
NTA 2, 400 mg/kg	2611 b	380 a	564	389	951
SA 1, 100 mg/kg	2533 b	269 b c	541	412	990
SA 2, 200 mg/kg	3233 a	295 a b c	444	479	1089
LSD _{0,05}	382	107	NS	NS	NS
CV %	8	23	30	14	20
R ² *	0,83	0,56	0,37	0,58	0,45

* Δευτέρου βαθμού εξίσωση
Μέσοι όροι οι οποίοι δεν συνδέονται με το ίδιο γράμμα σε μία στήλη, διαφέρουν σημαντικά κατά Newman-Keuls, για επίπεδο σημαντικότητας 5%.

Το ξηρό βάρος του υπέργειου μέρους των φυτών δεν επηρεάστηκε σημαντικά από καμία μεταχείριση στον καπνό, στην ήρα και στον ηλιάνθο (Πίνακας 3).

Αντίθετα, στο σκόρδο παρατηρήθηκε σημαντική αύξηση του ξηρού βάρους του υπέργειου μέρους όπου έγινε χρήση της μικρότερης δόσης NTA και της μεγαλύτερης δόσης SA σε σχέση με το μάρτυρα (Πίνακας 3).

Στην τομάτα παρατηρήθηκε σημαντική αύξηση του ξηρού βάρους του υπέργειου μέρους με τη χρήση των 2 δόσεων του NTA, ενώ δεν παρατηρήθηκε σημαντική αύξηση με τη χρήση του SA (Πίνακας 3).

5.5 Ξηρό βάρος υπέργειου μέρους φυτών

Δεν παρατηρήθηκαν διαφορές στατιστικά σημαντικές σε κανένα είδος μεταξύ των μεταχειρίσεων (Πίνακας 4).

Τα αποτελέσματα παραπάνω δείχνουν ότι το χλωρό και ξηρό βάρος του υπέργειου μέρος των ειδών ήταν το χαρακτηριστικό που επηρεάστηκε στις περισσότερες περιπτώσεις. Όσον αφορά το χλωρό βάρος η επίδραση αυτή παρατηρήθηκε στα είδη τομάτα και ήρα όπου έγινε χρήση του NTA και SA στο έδαφος. Το ξηρό βάρος επηρεάστηκε στα είδη σκόρδο και τομάτα όπου έγινε χρήση του NTA.

Οι Ebbs *et al.*, (1997) εξετάζοντας σε υδροπονικό πείραμα την τοξικότητα και την ανοχή συσσώρευσης του Cu και του Zn σε 3 είδη Brassica (*B. juncea*, *B. rapa* και *B. napus*) σε συγκεντρώσεις Cu 0,32 mg/L και Zn 6,5 mg/L παρατήρησαν ότι : με λίγες εξαιρέσεις, το ξηρό βάρος ρίζας και βλαστών και για τα τρία είδη μειώθηκε σημαντικά παρουσία των βαρέων μετάλλων. Επιπλέον ο Cu εμπόδισε την πλευρική επιμήκυνση της ρίζας στο *B. rapa* , το *B. napus* και σε μικρότερη έκταση στο *B. juncea*, ενώ ο Zn έτεινε να μειώσει μόνο την πλευρική διάμετρο της ρίζας. Από την άποψη της αφαίρεσης των βαρέων μετάλλων, τα *Brassica spp.* ήταν αποτελεσματικότερα στην αφαίρεση του Zn από το θρεπτικό διάλυμα από ότι του Cu.

Πίνακας 4. Ξηρό βάρος (mg) υπόγειου μέρους ανά φυτό των πέντε ειδών σε σχέση με τη χρήση νιτριλοτριοξικού οξέος (NTA) ή σαλικυλικού οξέος (SA).

Μεταχείριση	Είδος φυτού				
	Σκόρδο	Τομάτα	Καπνός	Ήρα	Ηλίανθος
Μάρτυρας	647	26	32	217	158
NTA 1, 200 mg/kg	806	38	36	193	120
NTA 2, 400 mg/kg	889	29	31	197	148
SA 1, 100 mg/kg	914	51	36	287	132
SA 2, 200 mg/kg	836	49	33	263	180
LSD _{0,05}	NS	NS	NS	NS	NS
CV %	54	35	45	29	44
R ² *	0,28	0,56	0,12	0,53	0,15

* Δευτέρου βαθμού εξίσωση
Μέσοι όροι οι οποίοι δεν συνδέονται με το ίδιο γράμμα σε μία στήλη, διαφέρουν σημαντικά κατά Newman-Keuls, για επίπεδο σημαντικότητας 5%.

5.6 Συγκέντρωση Cu (mg/kg) στο υπέργειο μέρος των φυτών

Στο σκόρδο δεν υπήρξαν διαφορές στατιστικά σημαντικές στη συγκέντρωση του Cu μεταξύ των μεταχειρίσεων (Πίνακας 5). Κατά συνέπεια φαίνεται ότι δεν επηρεάστηκε η πρόσληψη του Cu στο υπέργειο μέρος των φυτών όπου έγινε χρήση των ενώσεων NTA και SA.

Στην τομάτα παρατηρήθηκε αύξηση της συγκέντρωσης Cu στο υπέργειο μέρος με τη μικρότερη δόση NTA 1 σε σχέση με το μάρτυρα αλλά δεν ήταν

στατιστικά σημαντική, ενώ μετρήθηκε μείωση της συγκέντρωσης Cu του υπέργειου μέρους με τη μεγαλύτερη δόση NTA. Επίσης μειώθηκε σημαντικά η συγκέντρωση Cu με τη χρήση και των 2 δόσεων του SA σε σχέση με το μάρτυρα (Πίνακας 5).

Πίνακας 5. Συγκέντρωση Cu (mg/kg) στο υπέργειο μέρος των πέντε φυτικών ειδών σε σχέση με τη χρήση νιτριλοτριοξικού οξέος (NTA) ή σαλικυλικού οξέος (SA).

Μεταχείριση	Είδος φυτού				
	Σκόρδο	Τομάτα	Καπνός	Ήρα	Ηλίανθος
Μάρτυρας	15,90	28,5 a	24,49 b	17,17 b	26,67 b
NTA 1, 200 mg/kg	14,79	29,08 a	25,69 a	17,99 b	29,32 a
NTA 2, 400 mg/kg	16,35	23,21 c	23,14 c	20,23 a	28,21 a b
SA 1, 100 mg/kg	15,58	24,94 b	22,9 c	13,68 c	27,55 a b
SA 2, 200 mg/kg	14,07	26,14 b	23,57 b c	12,4 d	19,41 c
LSD _{0,05}	NS	1,70	1,01	1,20	2,56
CV %	7	4	3	5	6
R ² *	0,52	0,87	0,81	0,96	0,89

* Δευτέρου βαθμού εξίσωση
Μέσοι όροι οι οποίοι δεν συνδέονται με το ίδιο γράμμα σε μία στήλη, διαφέρουν σημαντικά κατά Newman-Keuls, για επίπεδο σημαντικότητας 5%.

Στον καπνό αυξήθηκε σημαντικά η συγκέντρωση Cu στο υπέργειο μέρος με τη χρήση της μικρότερης δόσης του NTA, ενώ μειώθηκε σημαντικά με τη

χρήση της μεγαλύτερης δόσης του NTA και των 2 δόσεων του SA σε σχέση με το μάρτυρα (Πίνακας 5).

Στην ήρα αυξήθηκε σημαντικά η συγκέντρωση Cu στο υπέργειο μέρος με τη χρήση της μεγαλύτερης δόσης του NTA, ενώ μειώθηκε σημαντικά με τη χρήση και των 2 δόσεων του SA σε σχέση με το μάρτυρα. Μεγαλύτερη μείωση είχαμε στη μεγαλύτερη δόση του SA (Πίνακας 5).

Στον ηλιάνθο αυξήθηκε σημαντικά η συγκέντρωση Cu στο υπέργειο μέρος με τη χρήση της μικρότερης δόσης του NTA, ενώ δεν διέφερε σημαντικά στη μεγαλύτερη δόση του NTA. Επίσης παρατηρήθηκε μείωση της συγκέντρωσης Cu στο υπέργειο μέρος με τη χρήση της μεγαλύτερης δόσης του SA, ενώ δεν διέφερε σημαντικά σε σχέση με το μάρτυρα στη μικρότερη δόση του SA (Πίνακας 5).

Τα αποτελέσματα αυτά δείχνουν ότι παρουσία στο έδαφος ορισμένης ποσότητας της ένωσης NTA μπορεί να υποβοηθήσει την πρόσληψη Cu στο υπέργειο μέρος σε ορισμένα είδη (καπνός, ήρα και ηλιάνθος).

Η τομάτα, ο ηλιάνθος και ο καπνός ήταν τα τρία είδη με τη σειρά που συγκέντρωσαν τη μεγαλύτερη ποσότητα Cu στο υπέργειο μέρος τους χωρίς τη χρήση των ενώσεων NTA ή SA. Η συγκέντρωση αυτή αυξήθηκε σημαντικά και στα τρία είδη όπου έγινε χρήση NTA στη μεγαλύτερη ή στη μικρότερη δόση ανάλογα με το είδος.

Παρόμοια αποτελέσματα βρήκαν και οι Wenger *et al.* (2003) σε πειράματά τους στον καπνό και οι Kayser *et al.* (2000) στα είδη *Alyssum murale* και *Thlaspi caerulescens* όπου η παρουσία του NTA αύξησε την πρόσληψη και τη δυνατότητα μετακίνησης του Cu στους βλαστούς. Επίσης οι Kulli *et al.* (1999) παρατήρησαν ότι η επίδραση NTA αύξησε την συγκέντρωση του Cu στο υπέργειο μέρος σε σχέση με το μάρτυρα στα είδη ήρα και αγριομάρουλο.

5.7 Συγκέντρωση Cu (mg/kg) στο υπόγειο μέρος των φυτών

Στον Πίνακα 6 φαίνεται ότι στο σκόρδο αυξήθηκε σημαντικά η συγκέντρωση του Cu στο υπόγειο μέρος των φυτών με τη χρήση και των 2 δόσεων του NTA με τη μεγαλύτερη αύξηση να παρατηρείται στη μικρότερη δόση σε σχέση με το μάρτυρα. Επίσης, παρατηρήθηκε αύξηση της συγκέντρωσης του

Cu με τη χρήση και των 2 δόσεων του SA, με τη μεγαλύτερη αύξηση στη χρήση της μεγαλύτερης δόσης (Πίνακας 6).

Πίνακας 6. Συγκέντρωση Cu (mg/kg) στο υπόγειο μέρος των πέντε φυτικών ειδών σε σχέση με τη χρήση νιτριλοτριοξικού οξέος (NTA) ή σαλικυλικού οξέος (SA).

Μεταχείριση	Είδος φυτού				
	Σκόρδο	Τομάτα	Καπνός	Ήρα	Ηλίανθος
Μάρτυρας	17,68 e	34,43 b	62,33 e	30,82 d	30,58 d
NTA 1, 200 mg/kg	23,4 a	27,2 d	63,6 d	49,1 b	28,95 e
NTA 2, 400 mg/kg	22,83 b	43,88 a	127,33 a	54,68 a	36,92 b
SA 1, 100 mg/kg	18,63 d	17,13 e	69,8 c	26,75 e	35,68 c
SA 2, 200 mg/kg	21,99 c	28,07 c	107,5 b	38,42 c	38,32 a
LSD _{0,05}	0,15	0,14	1,23	0,35	0,24
CV %	0,5	0,3	1	0,5	0,5
R ² *	1,00	0,99	1,00	1,00	1,00

* Δευτέρου βαθμού εξίσωση
Μέσοι όροι οι οποίοι δεν συνδέονται με το ίδιο γράμμα σε μία στήλη, διαφέρουν σημαντικά κατά Newman-Keuls, για επίπεδο σημαντικότητας 5%.

Στην τομάτα ενώ παρατηρήθηκε αύξηση της συγκέντρωσης Cu του υπόγειου μέρους με τη μεγαλύτερη δόση NTA σε σχέση με το μάρτυρα, υπήρξε μείωση της συγκέντρωσης Cu όπου χρησιμοποιήθηκε η μικρότερη δόση NTA.

Επίσης μειώθηκε σημαντικά η συγκέντρωση Cu με τη χρήση και των 2 δόσεων του SA σε σχέση με το μάρτυρα, με τη μεγαλύτερη μείωση όπου έγινε χρήση της μικρότερης δόσης (Πίνακας 6).

Ο καπνός ήταν το φυτικό είδος στη μελέτη αυτή όπου αυξήθηκε σημαντικά η συγκέντρωση Cu στο υπόγειο μέρος με τη χρήση και των 2 οργανικών ενώσεων, με τη μεγαλύτερη αύξηση να παρατηρείται στις μεγαλύτερες δόσεις (NTA 2, SA 2) σε σχέση με το μάρτυρα (Πίνακας 6).

Στην ήρα αυξήθηκε σημαντικά η συγκέντρωση Cu στο υπόγειο μέρος με τη χρήση και των 2 δόσεων του NTA, με τη μεγαλύτερη αύξηση να παρατηρείται στη μεγαλύτερη δόση (NTA 2). Επίσης αυξήθηκε σημαντικά σε σχέση με το μάρτυρα με τη χρήση της μεγαλύτερης δόσης SA 2, ενώ μειώθηκε σημαντικά με τη χρήση της μικρότερης δόσης SA 1 (Πίνακας 6).

Στον ηλίανθο αυξήθηκε σημαντικά η συγκέντρωση Cu στο υπόγειο μέρος των φυτών με τη χρήση της μεγαλύτερης δόσης του NTA, ενώ μειώθηκε σημαντικά με τη χρήση της μικρότερης δόσης του NTA. Επίσης παρατηρήθηκε αύξηση της συγκέντρωσης Cu με τη χρήση του SA, με τη μεγαλύτερη αύξηση να παρατηρείται στη δόση SA2 σε σχέση με το μάρτυρα (Πίνακας 6).

Ανακεφαλαιώνοντας τα παραπάνω αποτελέσματα, φαίνεται ότι παρουσία NTA στο έδαφος υποβοήθησε την πρόσληψη Cu στο υπόγειο μέρος όλων των ειδών, σκόρδο, τομάτα, καπνό, ήρα και ηλίανθο. Το SA ευνόησε την πρόσληψη του Cu στο υπόγειο μέρος των ειδών, σκόρδο, καπνό, ήρα και ηλίανθο κυρίως στη μεγαλύτερη δόση SA 2. Τα είδη καπνός, ήρα και ηλίανθος ήταν εκείνα στα οποία τόσο το NTA όσο και το SA υποβοήθησαν την πρόσληψη Cu στο ριζικό τους σύστημα.

5.8 Συνολική ποσότητα Cu (mg/ kg ξηρού βάρους) για τα πέντε είδη φυτών

Στα είδη σκόρδο και καπνό η συνολική ποσότητα Cu σε mg/kg ξηρού βάρους δεν διέφερε σημαντικά σε όλες τις μεταχειρίσεις σε σχέση με το μάρτυρα (Πίνακας 7).

Στην τομάτα μετρήθηκε σημαντική μείωση της συνολικής ποσότητας Cu όπου έγινε χρήση της μεγαλύτερης δόσης NTA όπως επίσης και με τη χρήση των 2 δόσεων SA σε σχέση με το μάρτυρα (Πίνακας 7).

Στην ήρα αυξήθηκε σημαντικά η συνολική ποσότητα Cu όπου έγινε χρήση του NTA, με τη μεγαλύτερη αύξηση να παρατηρείται στη μεγαλύτερη δόση (NTA 2). Αντίθετα μειώθηκε σημαντικά η συνολική ποσότητα Cu με τη χρήση της μικρότερης δόσης SA σε σχέση με το μάρτυρα (Πίνακας 7).

Πίνακας 7. Συνολική ποσότητα Cu mg/kg ξηρού βάρους για τα πέντε είδη φυτών σε σχέση με τη χρήση νιτριλοτριοξικού οξέος (NTA) ή σαλικυλικού οξέος (SA).

Μεταχείριση	Είδος φυτού				
	Σκόρδο	Τομάτα	Καπνός	Ήρα	Ηλίανθος
Μάρτυρας	16,31	29,14 a	27,44	21,73 c	27,19 b
NTA 1, 200 mg/kg	16,29	28,89 a	28,68	26,33 b	29,27 a b
NTA 2, 400 mg/kg	17,84	24,65 c	28,46	31,97 a	29,50 a
SA 1, 100 mg/kg	16,40	23,7 c	25,94	18,93 d	28,47 a b
SA 2, 200 mg/kg	15,68	26,41 b	29,27	21,51 c	22,30 c
LSD _{0,05}	NS	1,48	NS	2,35	2,17
CV %	6,00	4	8	6	5
R² *	0,49	0,90	0,41	0,94	0,87

* Δευτέρου βαθμού εξίσωση
Μέσοι όροι οι οποίοι δεν συνδέονται με το ίδιο γράμμα σε μία στήλη, διαφέρουν σημαντικά κατά Newman-Keuls, για επίπεδο σημαντικότητας 5%.

Στον ηλίανθο μειώθηκε σημαντικά η συνολική ποσότητα Cu που προσλήφθηκε από τα φυτά όπου έγινε χρήση της μεγαλύτερης δόσης του SA ενώ η μεγαλύτερη δόση SA 2 καθώς επίσης και οι 2 δόσεις NTA φάνηκε ότι δεν

επηρέασαν σημαντικά την πρόσληψη του Cu (Πίνακας 7). Οι Madejon *et al.* (2003) αναφέρουν ότι ο ηλίανθος δεν μείωσε σημαντικά τα επίπεδα των βαρέων μετάλλων Cu, Cd, Pb και As σε επιβαρημένα εδάφη αν και εκτιμούν ότι μπορεί να αποτελέσει προοπτικά καλό φυτοαποκαταστάτη.

Από τα αποτελέσματα αυτά φαίνεται ότι στην ήρα η οργανική ένωση NTA υποβοήθησε την πρόσληψη Cu σε σχέση με το μάρτυρα. Αντίθετα το SA σε ορισμένες ποσότητες συνέβαλε στη μείωση της πρόσληψης του Cu στα είδη τομάτα, ήρα και ηλίανθο ανάλογα με το είδος. Παρόμοια αποτελέσματα βρήκαν και οι Wenger *et al.* (2003) στο καπνό όπου παρουσία του NTA αυξήθηκε η απορρόφηση και η μετακίνηση του Cu στο υπέργειο μέρος.

Από τα πέντε είδη φυτών που μελετήθηκαν η ήρα ήταν το είδος που απομάκρυνε από το έδαφος τη μεγαλύτερη ποσότητα Cu (31,97 mg/kg ξηρού βάρους) όπου έγινε χρήση του NTA στη μεγαλύτερη δόση.

Οι O' Connor *et al.* (2003) αναφέρουν ότι η ήρα μείωσε την τοξικότητα του Cu σε πειράματά τους. Επίσης οι Kulli *et al.* (1999) παρατήρησαν ότι η επίδραση NTA αύξησε την συγκέντρωση του Cu στο υπέργειο μέρος σε σχέση με το μάρτυρα στα είδη ήρα και αγριομάρουλο.

Η τομάτα στο μάρτυρα απορρόφησε τη μεγαλύτερη συνολική ποσότητα Cu (29,14 mg/kg ξηρού βάρους) σε σχέση με τα άλλα φυτά (καπνός, ηλίανθος, ήρα και σκόρδο). Η σειρά απορρόφησης Cu από τα φυτά από τη μεγαλύτερη προς την μικρότερη ικανότητα ήταν : τομάτα > καπνός > ηλίανθος > ήρα > σκόρδο.

Τα αποτελέσματα παραπάνω δείχνουν ότι οι ενώσεις NTA και SA δεν υποβοήθησαν ή παρεμπόδισαν σημαντικά την πρόσληψη του Cu ανάλογα με το είδος και τη συγκέντρωση της ένωσης. Υποβοήθησαν όμως σε αρκετές περιπτώσεις την αύξηση της συγκέντρωσης Cu στο ριζικό τους σύστημα.

5.9 Ποσοστά (%) συγκέντρωσης Cu στο υπέργειο και υπόγειο μέρος των φυτών

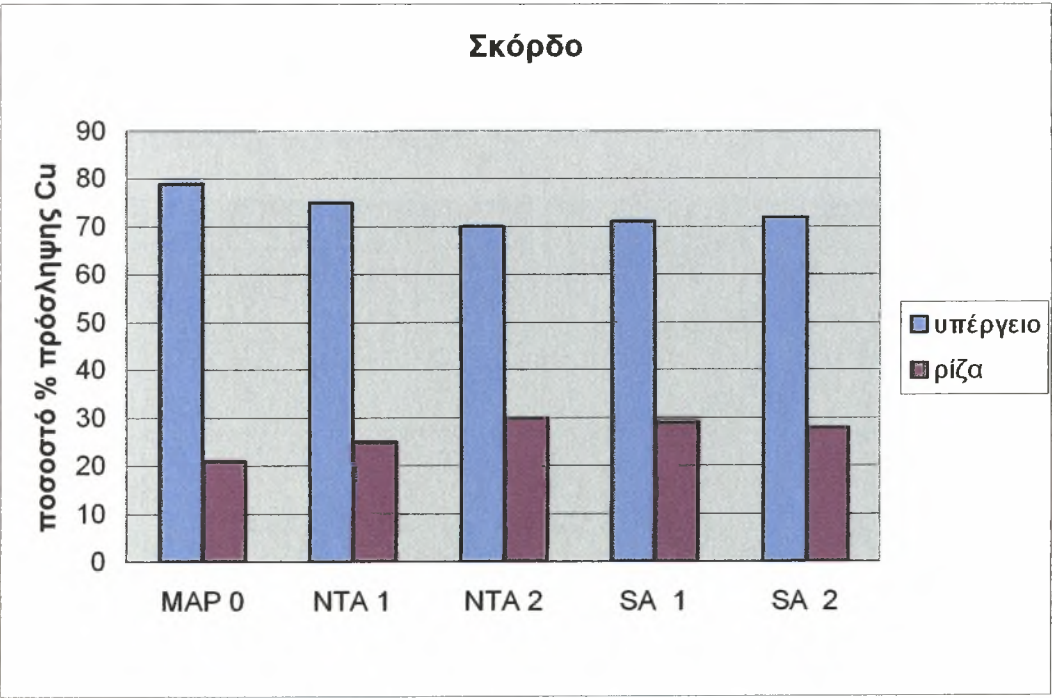
Από τα πέντε είδη φυτών η ήρα ήταν το είδος στο οποίο το μεγαλύτερο ποσοστό (έως 62%) Cu που προσλήφθηκε παρέμεινε στο ριζικό σύστημα (Πίνακας 8 -Παράρτημα και Σχήμα 9).

Στο σκόρδο οι οργανικές ενώσεις NTA και SA αύξησαν το ποσοστό (%) πρόσληψης Cu στη ρίζα (κατά 4 έως 9%) σε σχέση με το μάρτυρα (Σχήμα 6).

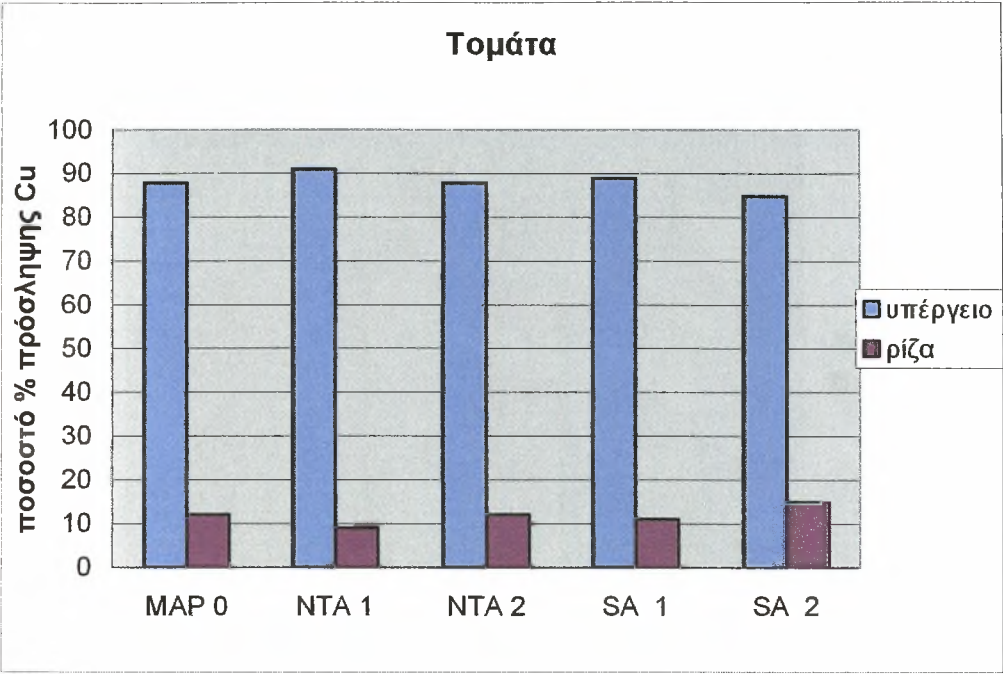
Στον ηλίανθο και στον καπνό παρατηρήθηκε αύξηση του ποσοστού (%) συσσώρευσης Cu στο υπόγειο μέρος του φυτού με την εφαρμογή της μεγαλύτερης δόσης της ένωσης SA χωρίς να παρατηρηθεί ταυτόχρονη αύξηση της συνολικής απορρόφησης του Cu (Πίνακες 6, 7 και 8, Σχήμα 8 και 10).

Στην τομάτα όπου έγινε χρήση της μικρότερης δόσης NTA παρατηρήθηκε υψηλότερο ποσοστό συσσώρευσης του Cu στο υπέργειο μέρος (91%) (Πίνακας 5,8 και Σχήμα 7).

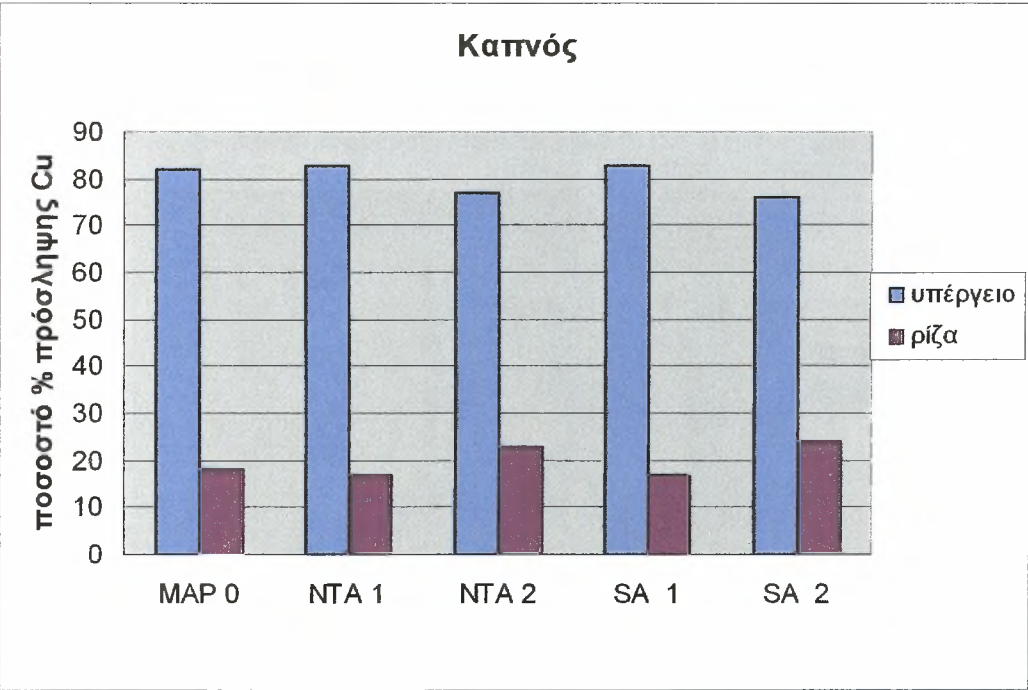
Το μεγαλύτερο ποσοστό συσσώρευσης του Cu στο υπέργειο μέρος παρατηρήθηκε στο είδος τομάτα (88-91%), μετά στον ηλίανθο (74-87%), στον καπνό (76-83%) και τέλος στο σκόρδο (70-79%) (Πίνακας 8, Σχήμ. 6,7,8,9,10).



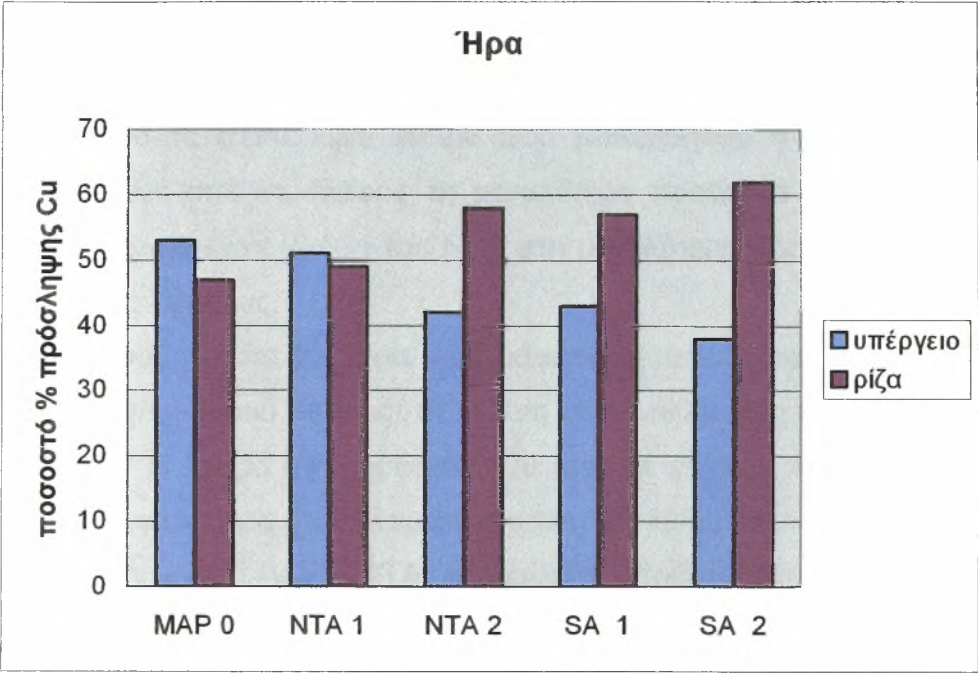
Σχήμα 6. Ποσοστό % πρόσληψης Cu στο υπέργειο και υπόγειο (ρίζα) μέρος του είδους σκόρδο.



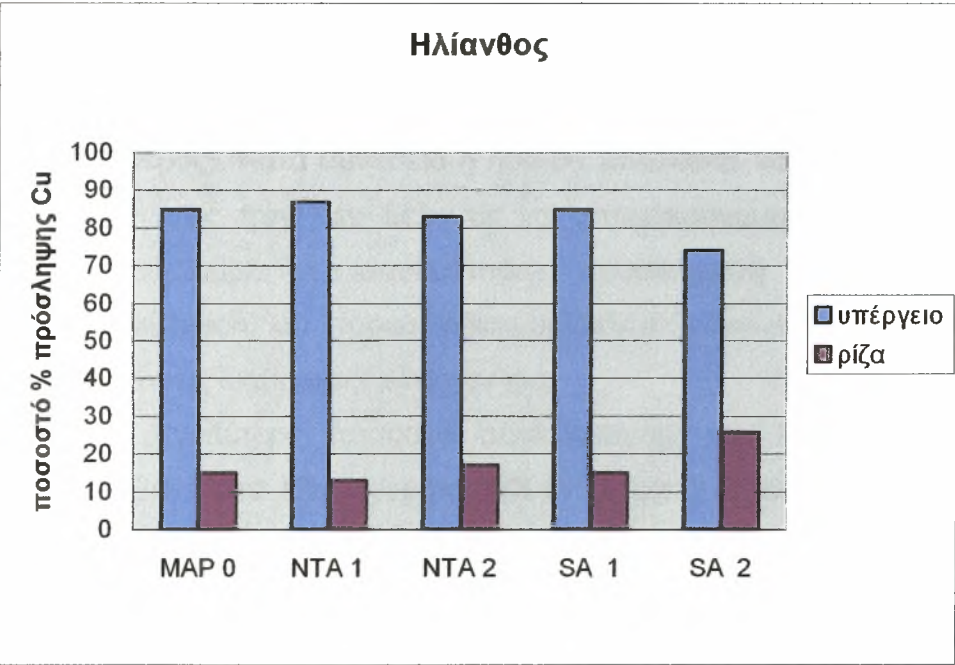
Σχήμα 7. Ποσοστό % πρόσληψης Cu στο υπέργειο και υπόγειο (ρίζα) μέρος του είδους τομάτα.



Σχήμα 8. Ποσοστό % πρόσληψης Cu στο υπέργειο και υπόγειο (ρίζα) μέρος του είδους καπνός.



Σχήμα 9. Ποσοστό % πρόσληψης Cu στο υπέργειο και υπόγειο (ρίζα) μέρος του είδους ήρα.



Σχήμα 10. Ποσοστό % πρόσληψης Cu στο υπέργειο και υπόγειο (ρίζα) μέρος του είδους ηλίανθος.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα πέντε είδη φυτών που μελετήθηκαν η ήρα ήταν το είδος που απομάκρυνε από το έδαφος τη μεγαλύτερη ποσότητα Cu (31,97 mg/kg ξηρού βάρους) όπου έγινε χρήση του ΝΤΑ στη μεγαλύτερη δόση με παράλληλη αύξηση του χλωρού βάρους.

Η τομάτα στο μάρτυρα απορρόφησε τη μεγαλύτερη συνολική ποσότητα Cu (29,14 mg/kg ξηρού βάρους) σε σχέση με τα άλλα είδη (σκόρδο, καπνό, ήρα και ηλίανθο). Η σειρά απορρόφησης Cu από τα φυτά με τη μεγαλύτερη προς την μικρότερη ικανότητα ήταν : τομάτα > καπνός > ηλίανθος > ήρα > σκόρδο.

Η οργανική ένωση ΝΤΑ φαίνεται ότι υποβοήθησε την απορρόφηση του Cu (mg/kg ξηρού βάρους) στα είδη ήρα (26,33 - 31,97) και ηλίανθο (29,27 - 29,50) σε σχέση με το μάρτυρα (21,73 και 27,19 αντίστοιχα).

Η οργανική ένωση SA μείωσε την συνολική ποσότητα απορρόφησης Cu (mg/kg ξηρού βάρους) και στις δύο δόσεις στη τομάτα και στη χαμηλότερη δόση στην ήρα σε σχέση με το μάρτυρα. Μείωση της ποσότητας απορρόφησης Cu παρατηρήθηκε και στον ηλίανθο όπου έγινε χρήση της μεγαλύτερης δόσης (SA 2).

Από τα πέντε είδη φυτών η ήρα ήταν το είδος στο οποίο το μεγαλύτερο ποσοστό (έως 62%) Cu που προσλήφθηκε παρέμεινε στο ριζικό σύστημα (υπόγειο μέρος). Κατά συνέπεια η ήρα θα μπορούσε να αποτελέσει καλή επιλογή σε περιπτώσεις που δεν θέλουμε να απομακρύνουμε το ρύπο αλλά να τον σταθεροποιήσουμε με συγκράτηση- προσρόφησή του πάνω στις ρίζες (Phytostabilization) και παρεμπόδιση μετακίνησής του εκτός θέσης παρουσίας του σε περιπτώσεις διάβρωσης εδαφών κ.α.

Το μεγαλύτερο ποσοστό συσσώρευσης του Cu στο υπέργειο μέρος παρατηρήθηκε στο είδος τομάτα (88-91%), μετά στον ηλίανθο (74-87%), στον καπνό (76-83%) και τέλος στο σκόρδο (70-79%).

Από τα αποτελέσματα αυτά φαίνεται ότι τα είδη ήρα, τομάτα, ηλίανθος και καπνός έχουν την ιδιότητα να προσλαμβάνουν σχετικά υψηλές ποσότητες Cu από το έδαφος και χρήζουν περισσότερης μελέτης ως τυχόν φυτοαποκαταστάτες εδαφών επιβαρυνμένων με Cu.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Athalye, V.V., V. Ramachandran, and T.J. D' Souza. 1995. Influence of chelating agents on plant uptake of ^{51}Cr , ^{210}Pb , and ^{210}Po . *Environ. Pollut.* 89:47-53.
- Assche, F., and H. Clijsters. 1990. Effects of metals on enzyme activity in plants. *Plant Cell Environ.* 24:1-15.
- Baker, A.J.M. 1981. Accumulators and excluders-strategies in the response of plants to heavy metals. *J. Plant Nutr.* 3:643-654.
- Baker, A.J.M., S.P. McGrath, C.M.D. Sidoli, and R.D. Reeves. 1994. The possibility of in situ heavy metal decontamination of polluted soils using crops of metal-accumulating plants. *Environmental Biotechnology in Waste Treatment & Recycle International Conference, Hong Kong. Resour. Conserv. Recycle* 11:41-49.
- Baker, A.J.M., R.D. Reeves, and A.S.H. Hajar. 1994. Heavy metal accumulation and tolerance in British populations of the metallophyte *Thlaspi caerulescens* J & C Press (Brassicaceae). *New Phytol.* 127:61-68.
- Baker, A.J.M., R.D. Reeves, and S.P. McGrath. 1991. In situ decontamination of heavy metal polluted soils using crops of metal-accumulating plants - A feasibility study. pp. 600-605. *In* R.E. Hinchee and R.F. Offenbittel (eds.), *In Situ Bioreclamation: Applications and Investigations for Hydrocarbon and Contaminated Site Remediation*. Battelle Memorial Institute, Columbus, OH. Butterworth-Heinemann, Boston, MA.
- Banuelos, G.S., H.A. Ajwa, B. Mackey, L.L. Wu, C. Cook, S. Akohoue, and S. Zambrzuski. 1997. Evaluation of different plant species used for phytoremediation of high soil selenium. *J. Environ. Qual.* 26:639-646.
- Banuelos, G.S., H.A. Ajwa, and S. Zambrzuski. 1997. Selenium-induced growth reduction in Brassica land races considered for phytoremediation. *J. Ecotoxicol. Environ. Saf.* 36:282.
- Banuelos, G.S. 1997. Phytoremediation of Se-laden soils in central California. *In* P.T. Kostecki and E.J. Calabrese (eds.), *12th Annual Conference on Contaminated Soils - Analysis, Site Assessment, Fate, Environmental and Human Risk Assessment, Remediation and Regulation*, October 20-23, 1997, Amherst, MA. Environmental Health Sciences Program, School of Public Health, University of Massachusetts, Amherst, MA.
- Banuelos, G.S., H.A. Ajwa. 1999. Trace elements in soils and plants: An overview. *J. Environ. Sci. Health* 34:951-974.

- Barocsi, A., Csintalan Z, Kocsanyi L, Dushenkov S, Kuperberg JM, Kucharski R, Richter PI. 2003. Optimizing phytoremediation of heavy metal-contaminated soil by exploiting plants' stress adaptation. *Int J Phytorem.* 5:13-23.
- Baumann, A. 1885. Das verhalten von zinksatzen gegen pflanzen und imboden. *Landwirtsch. Verss.* 3:1–53.
- Blaylock, M.J., D.E. Salt, S. Dushenkov, O. Zakharova, C. Gussman, Y. Kapulnik, B.D. Ensley, and I. Raskin. 1997. Enhanced accumulation of Pb in *Indian Mustard* by soil-applied chelating agents. *Environ. Sci. Technol.* 31:860-865.
- Blaylock, M.J. 1997. Field applications of phytoremediation to remediate lead contaminated soils. In P.T. Kostecki and E.J. Calabrese, (eds.) 12th Annual Conference on Contaminated Soils - Analysis, Site Assessment, Fate, Environmental and Human Risk Assessment, Remediation and Regulation, October 20-23, 1997, Amherst, MA. Environmental Health Sciences Program, School of Public Health, University of Massachusetts, Amherst, MA.
- Blaylock, M.J. 1997. Phytoremediation of lead contaminated soil at a brownfield site in New Jersey - A cost effective alternative. IBC's Second Annual Conference on Phytoremediation, Seattle, WA. International Business Communications, Southborough, MA.
- Blissett, A.H. 1966. Copper-tolerant plants from the Upakaringa Copper Mine, Wiliamstown. *Quarterly Geological Notes, Geological Survey of South Australia*, 18:1-4.
- Bolton, H., Jr., C.C. Girvin, A.E. Pymale, S.D. Harley, and D.J. Workman. 1996. Degradation of metal-nitrilotriacetate complexes by *Chelatobacter heintzii*. *Environ. Sc. Technol.* 30:931-938.
- Brooks, R.R. 1977. Copper and cobalt uptake by *Haumaniastrum* species. *Plant Soil* 48: 541-544.
- Brooks, R.R., E.D. Wither, and B. Zepernick. 1977. Cobalt and nickel in *Rinorea* species. *Plant Soil* 47:707-712.
- Brooks, R.R., J. Lee, R.D. Reeves, and T. Jaffre'. 1977. Detection of nickeliferous rocks by analysis of herbarium specimens of indicator plants. *J. Geochem. Explor.* 7:49-57.
- Brooks, R.R., and C.C. Radford. 1978. Nickel accumulation by European species of the genus *Alyssum*. *Proc. Roy. Soc. Lond.* B200:217-224.
- Brooks, R.R., R.S. Morrison, R.D. Reeves, and F. Malaisse. 1978. Copper and cobalt in African species of *Aeolanthus* Mart. (*Plectranthinae, Labiatae*). *Plant Soil* 50:503-507.

- Brooks, R.R., R.D. Reeves, R.S. Morrison, and F. Malaisse. 1980. Hyperaccumulation of copper and cobalt - a review. *Bulletin Societe Royale Botanique Belgique*. 113:166-172.
- Brooks, R.R., Dunn, C.E. and Hall, G.E.M. 1995. *Biological Systems in Mineral Exploration and Processing*. CRC Press, Boca Raton, 538 pp.
- Brown, S.L., R.L. Chaney, J.S. Angle, and A.J.M. Baker. 1994. Phytoremediation potential of *Thlaspi caerulescens* and Bladder Campion for zinc and cadmium contaminated soil. *J. Environ. Qual.* 23:1151-1157.
- Bundesamt fur Umwelt, Wald und Landaschaft. 1997. Derivation of trigger and clean-up values for inorganic pollutants in the soil. Bundesamt fur Umwelt, Wald und Landaschaft (BUWAL), Bern, Switzerland.
- Burken, J.G. And J. L. Schnoor. 1996. Phytoremediation: plant uptake of atrazine and role of root exudates. *J. Environ. Eng. (ASCE)* 122:958-963.
- Byers, H.G. 1935. Selenium occurrence in certain soils in the United States, with a discussion of the related topics. *U.S. Dep. Agric. Technol. Bull.* 482:1-47.
- Chaney, R.L. 1983. Plant uptake of inorganic waste constituents. pp. 50-76. *In* J.F. Parr, P.B. Marsh, and J.M. Kla (eds.), *Land Treatment of Hazardous Waste*. Noyes Data Corporation, Park Ridge, NJ.
- Chaney, R.L., W.N. Beyer, C.H. Gifford, and L. Sileo. 1988. Effects of zinc smelter emissions on farm and gardens at Palmerton, PA. *Trac. Subst./ Environ. Health* 22:263-280.
- Chaney, R.L. 1983. Zinc phytotoxicity. p. 135-150. *In* A.D. Robson (ed.), *Zinc in soils and plants*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands.
- Cunningham, S.D., T.A. Anderson, A.P. Schwab, and F.C. Hsu. 1996. Phytoremediation of soils contaminated with organic pollutants. *Adv. Agron.* 56:55-114.
- Cunningham, S.D., and D.W. Ow. 1996. Promises and prospects of phytoremediation. *Plant Physiol.* 110:715-719.
- Cunningham, S.D., J.W. Huang, J. Chen, and W.R. Berti. 1996. Phytoremediation of contaminated soils - Progress and promise. *Abstracts of Papers of the American Chemical Society*. 212: 87-AGRO.
- Dahmani-Muller, H., F. van Oort, B. Gélie, and M. Balabane. 2000. Strategies of heavy metal uptake by three plant species growing near a metal smelter. *Environ. Pollut.* 109:231-238.
- De Vos, C.H.R., H. Schat, M.A.M. De Waal, R. Voojs, and W.H.O. Ernst. 1991. Increased resistance to copper-induced damage of root cell

plasmalemma in copper tolerant *Silene cucubalus*. *Physiol. Plantarum* 82:523–528.

- Dinelli, E., and A. Lombini. 1996. Metal distributions in plants growing on copper mine spoils in Northern Apennines, Italy: the evaluation of seasonal variations. *Environ. Geochemistry*, January-March p:375-385.
- Ebbs, S.D., M.M. Lasat, D.J. Brandy, J. Cornish, R. Gordon, and L.V. Kochian. 1997. Heavy metals in the environment - Phytoextraction of cadmium and zinc from a contaminated soil. *J. Environ. Qual.* 26:1424-1430.
- Ebbs, S.D., and L.V. Kochian. 1997. Toxicity of zinc and copper to *Brassica* species: Implications for phytoremediation. *J. Environ. Qual.* 26:776-781.
- Epstein, A.L., C.D. Gussman, M.J. Blaylock, U. Yermiyahu, J.W. Huang, Y. Kapulnik, and C.S. Orser. 1999. EDTA and Pb-EDTA accumulation in *Brassica juncea* grown in Pb-amended soil. *Plant Soil* 208:87-94.
- Ernst, W.H.O. 1974. *Schwermetall vegetation der Erde*. G. Fischer, Verlag, Stuttgart.
- Ernst, W.H.O. 1975. Physiology of heavy metal resistance in plants. p. 121–136. *In* T.C. Hutchinson et al. (ed.) *Proceedings of an International Conference on Heavy Metals in the Environment*. CEP Consultants, Edinburgh.
- Eweis, J.B., S.J. Ergas, D.P.Y. Chang, and E.D. Schroeder. 1998. *Bioremediation Principles*. WCB/Mc Graw Hill. United States of America.
- Guadagnini, M. 2000. *In vitro*-breeding for metal-accumulation in two tobacco (*Nicotiana tabacum*) cultivars. Thesis. Univ. Freiburg, Switzerland.
- Huang, J.W. 1997. Phytoremediation of lead-contaminated soils: Role of synthetic chelates in lead phytoextraction. *Environ. Sci. Technol.* 31:800.
- Huang, J.W., J. Chen, W.R. Berti, and S.D. Cunningham. 1997. Phytoremediation of lead-contaminated soils: Role of synthetic chelates in lead phytoextraction. *Environ. Sci. Technol.* 31:800-805.
- Jorgensen, S.E. 1993. Removal of heavy metals from compost and soils by ecotechnological methods. *Ecol. Eng.* 2:89-100.
- Kari, F.G., and W. Giger. 1996. Speciation and fate of ethylenediaminetetraacetate (EDTA) in municipal wastewater treatment. *Water Res.* 30:122-134.
- Kayser, A., K. Wenger, A. Keller, W. Attinger, H.R. Felix, S.K. Gupta, R. Schulin. 2000. Enhancement of phytoextraction of Zn, Cd and Cu from calcareous soil: The use of NTA and sulfur amendments. *Environ. Sci. Technol.* 34:1778–1783.

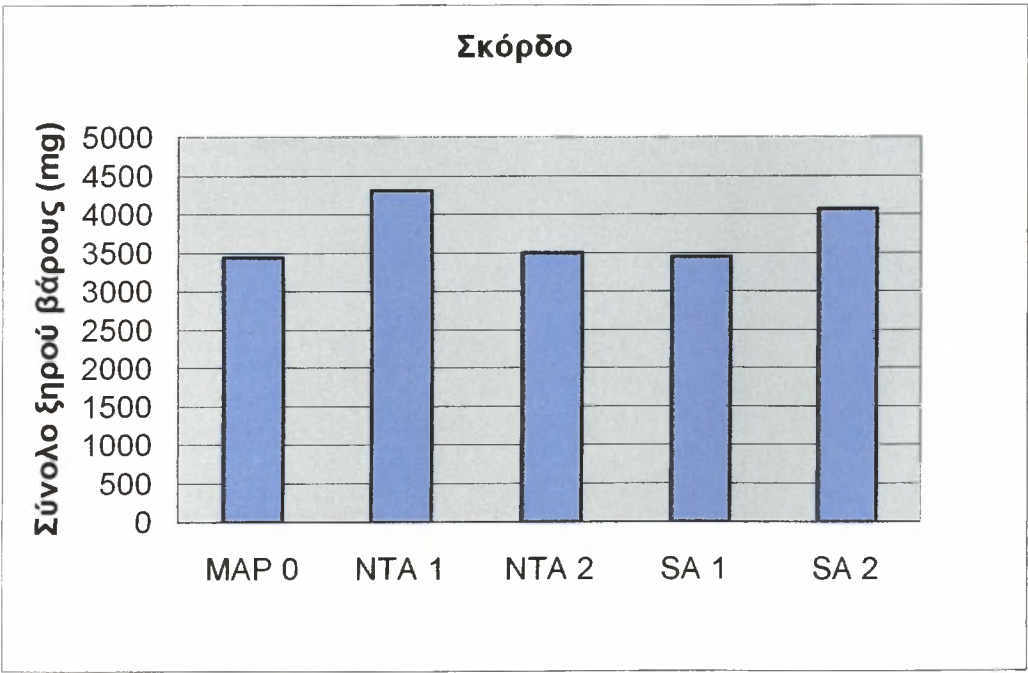
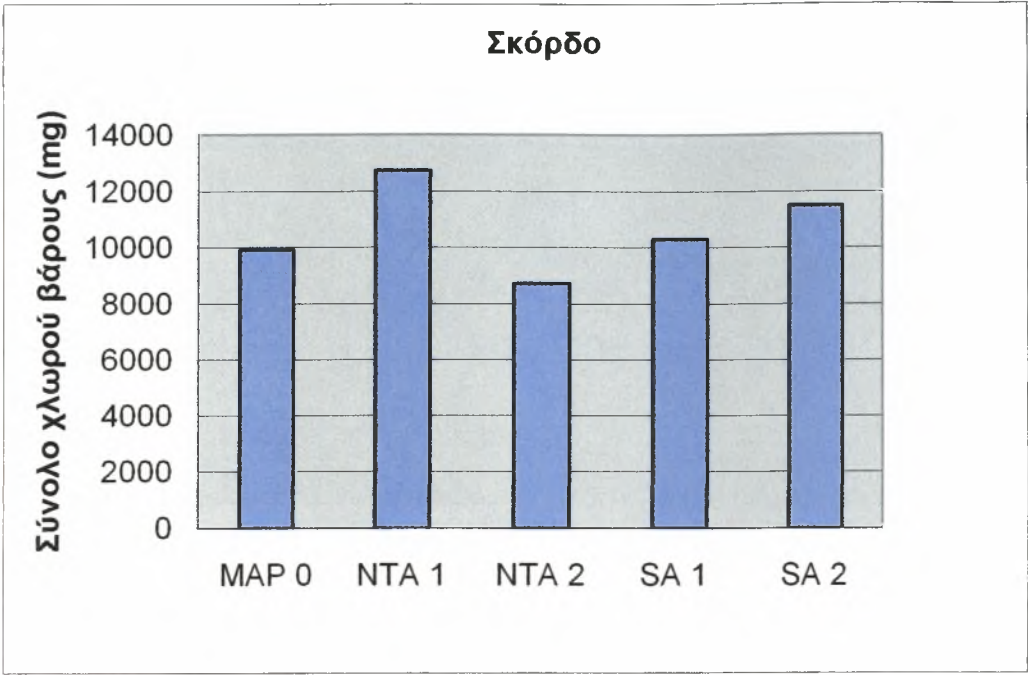
- Kulli, B., M. Balmer, R. Krebs, B. Lothenbach, G. Geiger, and R. Schulin. 1999. The influence of nitrilotriacetate on heavy metal uptake of lettuce and ryegrass. *J. Environ. Qual.* 28 :1699-1705.
- Lasat, M.M. 2002. Phytoextraction of Toxic Metal: A Review of Biological Mechanisms. *J. Environ. Qual.* 31:109-120.
- Λόλας, Π. Χ. 2001. Χρήση των ζιζανίων για φυτοαποκατάσταση εδαφών και νερών επιβαρυνμένων με ζιζανιοκτόνα ή βαρέα μέταλλα. *Περιοδικό Γεωπονικά* 392 :32-40.
- Lombi, E., F.J. Zhao, S.J. Dunham, and S.P. McGrath. 2001. Phytoremediation of Heavy Metal – Contaminated Soil: Natural Hyperaccumulation versus Chemically Enhanced Phytoextraction. *J. Environ. Qual.* 30:1919-1926.
- Madejon, P., J.M. Murillo, T. Maranon, F. Cabrera, M.A. Soriano. 2003. Trace element and nutrient accumulation in sunflower plants two years after the Aznalcollar mine spill. *Sci. Total Environ.* 307:239-257.
- Madejon, P., J.M. Murillo, T. Maranon, F. Cabrera, R. Lopez. 2002. Bioaccumulation of As, Cd, Cu, Fe and Pb in wild grasses affected by the Aznalcollar mine spill (SW Spain). *Sci. Total Environ.* 290:105-120.
- Malaisse, F., R.D. Reeves, R.S. Morrison, and R.R. Brooks. 1979. Copper and cobalt uptake by metallophytes from Zaire. *Plant Soil* 53:535.
- Malaisse, F., J. Gregoire, R.R. Morrison, and R.D. Reeves. 1978. *Aeolanthus biformifolius* De Wild.: A hyperaccumulator of copper from Zaire. *Science* 199:887-888.
- Malaisse, F., A. J.M. Baker, and S. Ruelle. 1999. Diversity of plant communities and leaf heavy metal content at Luiswishi copper/cobalt mineralization, Upper Katanga, Dem. Rep. Congo. *Biotechnol. Agron. Environ.* 3:104-114.
- Matache, M., L. Rozyłowicz, and C. Patroescu. 2003. Heavy metals contamination of soil surrounding waste deposits in Romania. *J. Phys. IV, France*, 170:851-854.
- Meharg, A.A. 1994. Integrated tolerance mechanisms: Constitutive and adaptive plant responses to elevated metal concentrations in the environment. *Plant Cell Environ.* 17:989–993.
- Mench, M., and E. Martin. 1991. Mobilization of cadmium and other metals from two soils by root exudates of *Zea mays* L., *Nicotiana tabacum* L. and *Nicotiana rustica* L. *Plant Soil* 132:187-196.
- Metwally, A., I. Finkemeier, M. Georgi, and K-J. Dietz. 2003. Salicylic Acid Alleviates the Cadmium Toxicity in Barley Seedlings. *Plant Physiology* 132:272-281.

- Minguzzi, C., and O. Vergnano. 1948. Il contenuto di nichel nelli ceneri di *Alyssum bertolonii* Desv. Atti della Societa Toscana di Science Naturali, Mem Ser A 55:49–77.
- O' Connor, C.S., N.W. Leppi, R. Edwards, G. Sunderland. 2003. The combined use of electrokinetic remediation and phytoremediation to decontaminate metal – polluted soils : a laboratory – scale feasibility study. Environ. Monit. Assess 84:141-158.
- Pahlsson, A-MB. 1989. Toxicity of heavy metals (Zn, Cu, Cd, Pb) to vascular plants. Water Air Soil Pollut. 47:287-319.
- Perkovich, B.S., T.A. Anderson, E.L. Kruger, and J.R. Coats. 1996. Enhanced mineralization of [14C] atrazine in *Kochia scoparia* rhizospheric soil from a pesticide-contaminated site. Pestic. sci. 46: 391-396.
- Reeves, R.D., R.R. Brooks, and T.R. Dudley. 1983. Uptake of nickel by species of *Alyssum*, *Bommuellera* and other genera of old world *Tribus alyssaeae*. Taxon. 32:184-192.
- Reeves, R.D., and R.R. Brooks. 1983. Hyperaccumulation of lead and zinc by two metallophytes from mining areas of central Europe. Environ. Pollut. 31:277-285.
- Reeves, R.D., and R.R. Brooks. 1983. European species of *Thlaspi* L. (Cruciferae) as indicators of nickel and zinc. J. Geochem. Explor. 18:275–283.
- Reeves, R.D., R.M. MacFarlane, and R.R. Brooks. 1983. Accumulation of nickel and zinc by western North American genera containing serpentine-tolerant species. Am. J. Bot. 70:1297-1303.
- Reeves, R.D. 1992. The hyperaccumulation of nickel by serpentine plants. pp. 253-277. In A.J.M. Baker, J. Proctor, and R.D. Reeves (eds.), The Ecology of Ultramafic Serpentine Soils. Intercept Ltd., Andover, Hants.
- Robinson, B.H. 1997. The phytoextraction of heavy metals from metalliferous soils. Thesis. Massey Univ., New Zealand.
- Robinson, B.H., A. Chiarucci, R.R. Brooks, D. Petit, J.H. Kirkman, P.E.H. Gregg, and V. DeDominicis. 1997. The nickel hyperaccumulator plant *Alyssum bertolonii* as a potential agent for phytoremediation and phytomining of nickel. J. Geochem. Explor. 59:78-86.
- Robinson, B.H., R.R. Brooks, A.W. Howes, J.H. Kirkman, and P.E.H. Gregg. 1997. The potential of the high-biomass nickel hyperaccumulator *Berkheya coddii* for phytoremediation and phytomining. J. Geochem. Explor. 60:115-126.
- Robinson, B.H., A. Chiarucci, R.R. Brooks, D. Petit, J.H. Kirkman, P.E.H. Gregg, and V. DeDominicis. 1997. The nickel hyperaccumulator plant

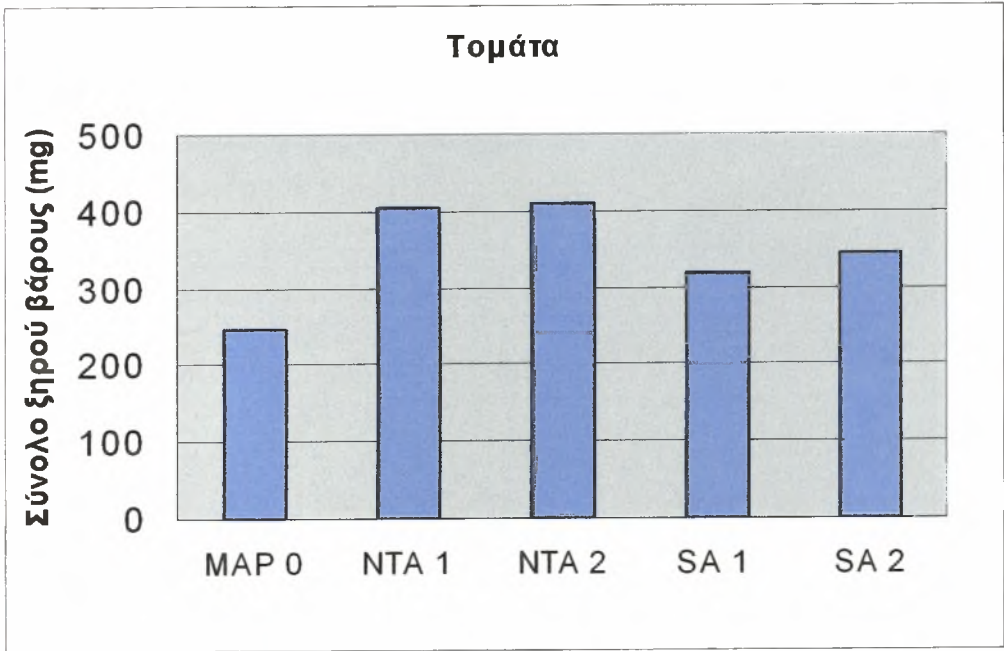
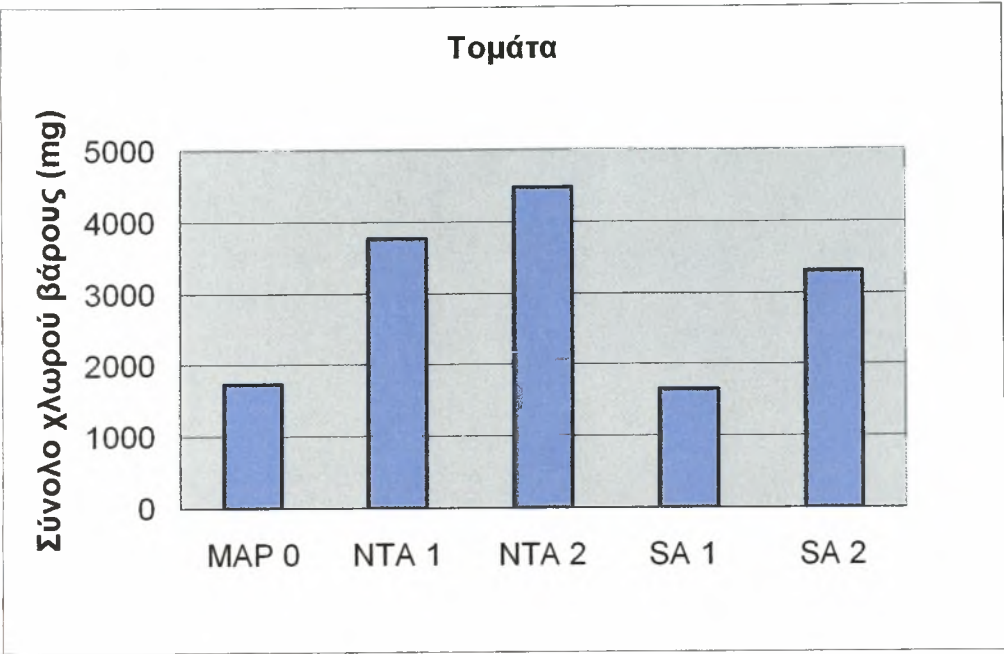
Alyssum bertolonii as a potential agent for phytoremediation and phytomining of nickel. J. Geochem. Explor. 59:75.

- Salt, D.E., M. Blaylock, P.B.A. Nanda Kumar, V. Dushenkov, B.D. Ensley, I. Chet, and I. Raskin. 1995. Phytoremediation: A novel strategy for the removal of toxic metals from the environment using plants. Biotechnol. 13:468-474.
- Sposito, G., L.J. Lund, and A.C. Chang. 1982. Trace Metal Chemistry in arid-Zone Field Soils Amended with Sewage Sludge. I. Fractionation of Ni, Cu, Zn, Cd and Pb in solid phases. Soil Sci. Soc. Am. J. 46:260-264.
- Studer, K., R. Gsponer, and A. Desales. 1995. Erfassung und Ausmass der flachenhaften Kupferbelastung in Rebbergoden der Schweiz Schriftenreihe der FAC 20. Liebefeld-Bern, Switzerland.
- Tiedje, J.M., and B.B. Mason. 1974. Biodegradation of nitrilotriacetate (NTA) in soil. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 38:278-283.
- Τσιπσίας Κ., Χ. Τσαντήλας. 2003. Λιπασματολογία και θρέψη φυτών. Σελ.:57-58.
- Utsunamyia, T. 1980. Japanese Patent Application No. 55-72959.
- Wagner, S. C. and Zablotowicz, R. M. 1997. Utilization of plant material for remediation of herbicide-contaminated soils. *Phytoremediation of soil and water contaminants*. Washington, DC: American Chemical Society, p: 65-76.
- Wang, QR, Liu XM, Dong YT, Christie P. 2002. Responses of legume and non – legume crop species to heavy metal in soils with multiple metal contamination. J. Environ. Sci. Health 37:611-21.
- Wang, QR, Cui YS, Liu XM, Dong YT, Christie P. 2003. Soil contamination and plant uptake of heavy metals at polluted sites in China. J. Environ. Sci. Health 38:823-838.
- Wang, L., D.A. Samac, N. Shapir, L.P. Wackett, C.P. Vance, N.E. Olszewski and M. J. Sadowsky. 2005. Plant Biotechn. J. 3:475.
- Wenger, K., S.K. Gupta, G. Furrer, R. Schulin. 2003. The Role of Nitrilotriacetate in Copper Uptake by Tobacco. J Environ Qual. 32: 1669-1676.
- Wu, J., F.C. Hsu, and S.D. Cunningham. 1999. Chelate-assisted Pb phytoextraction: Pb availability, uptake, and translocation constraints. Environ. Sci. Technol. 33:1898–1904.

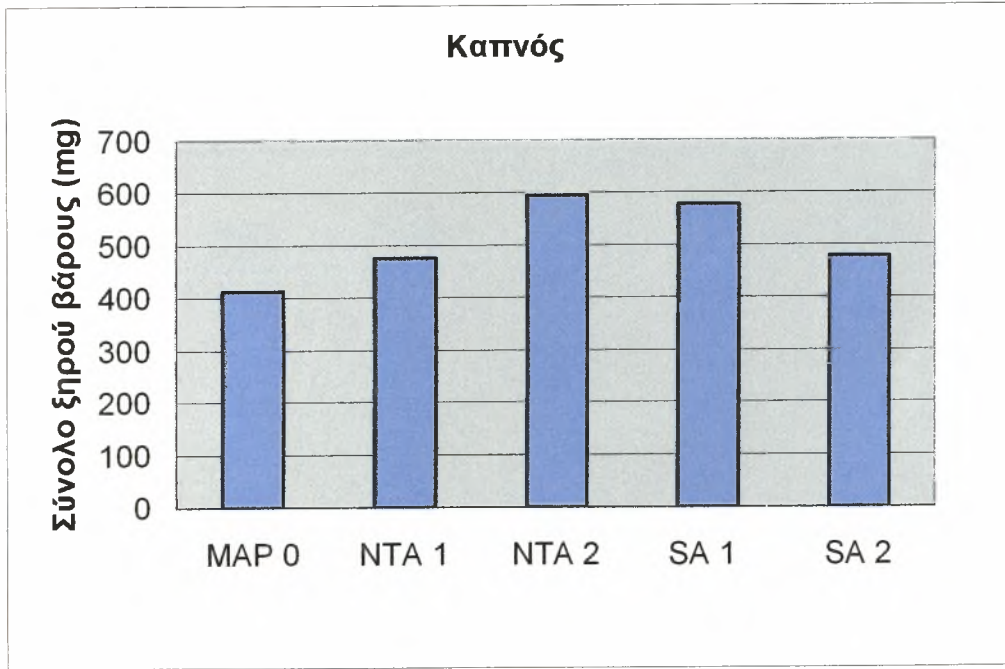
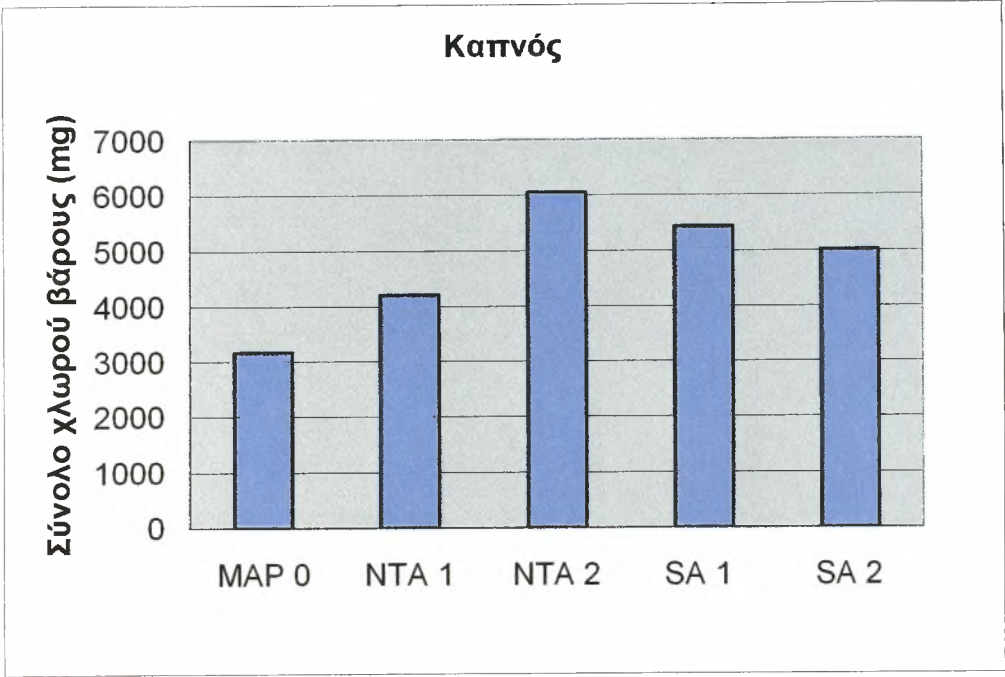
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ



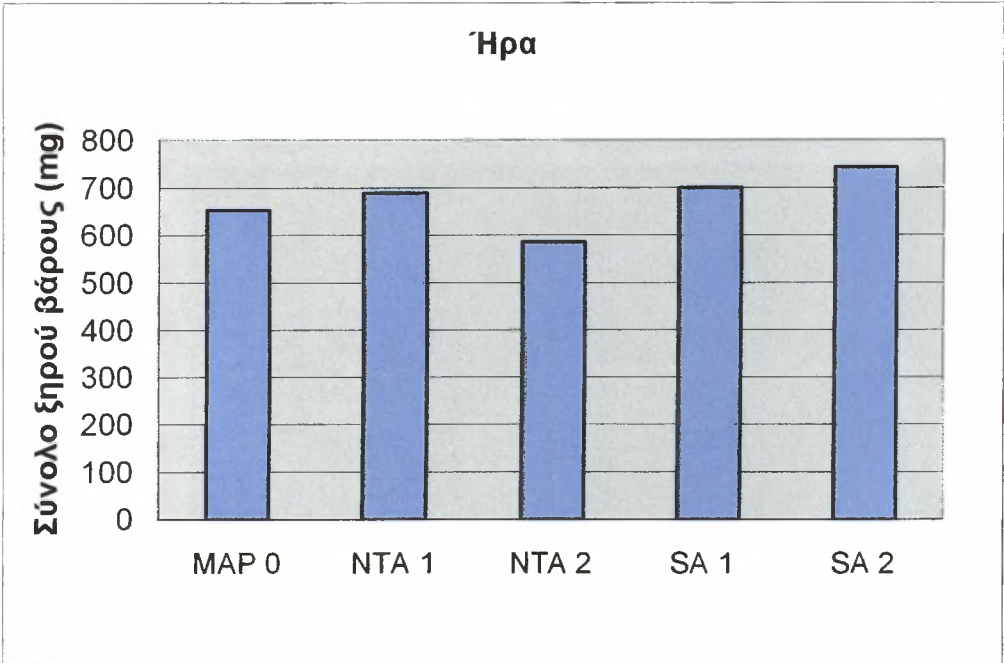
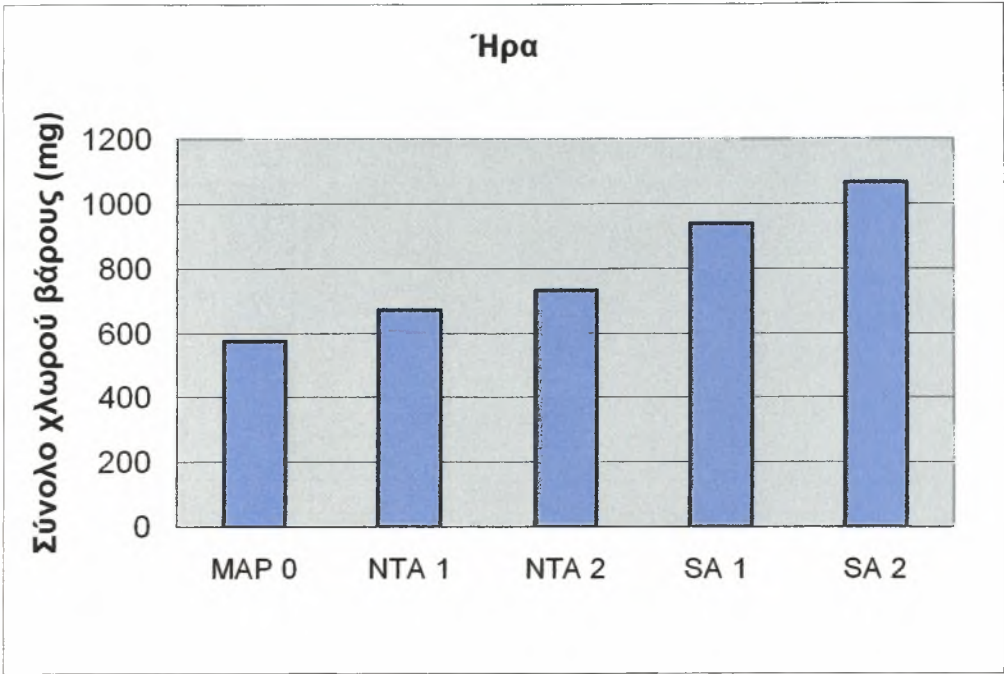
Σχήμα 1. Σύνολο χλωρού, ξηρού βάρους (mg) σκόρδου.



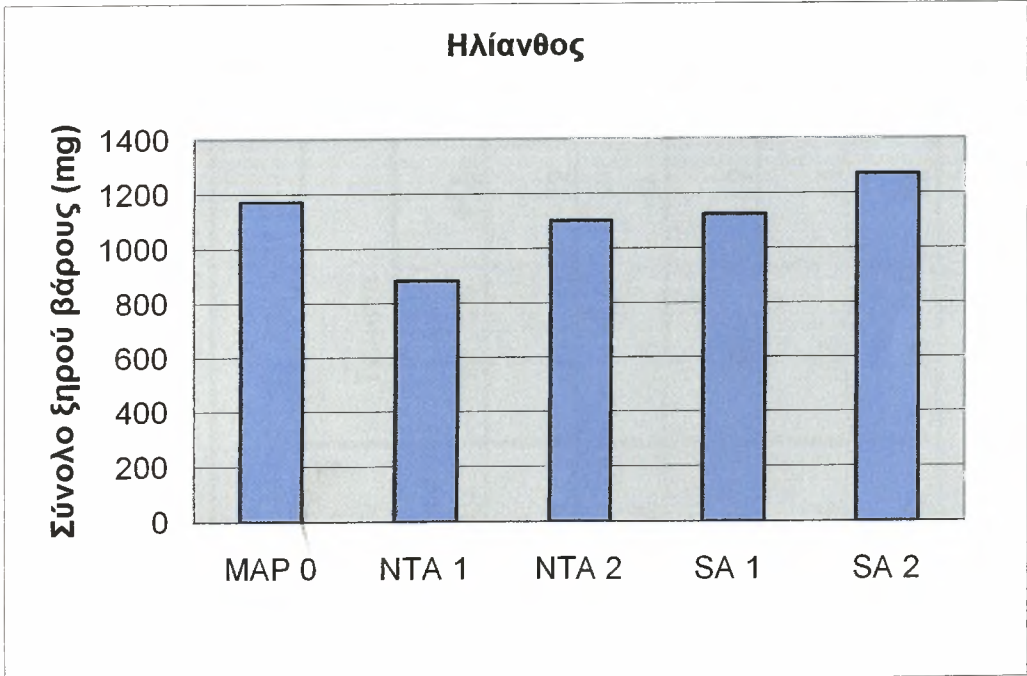
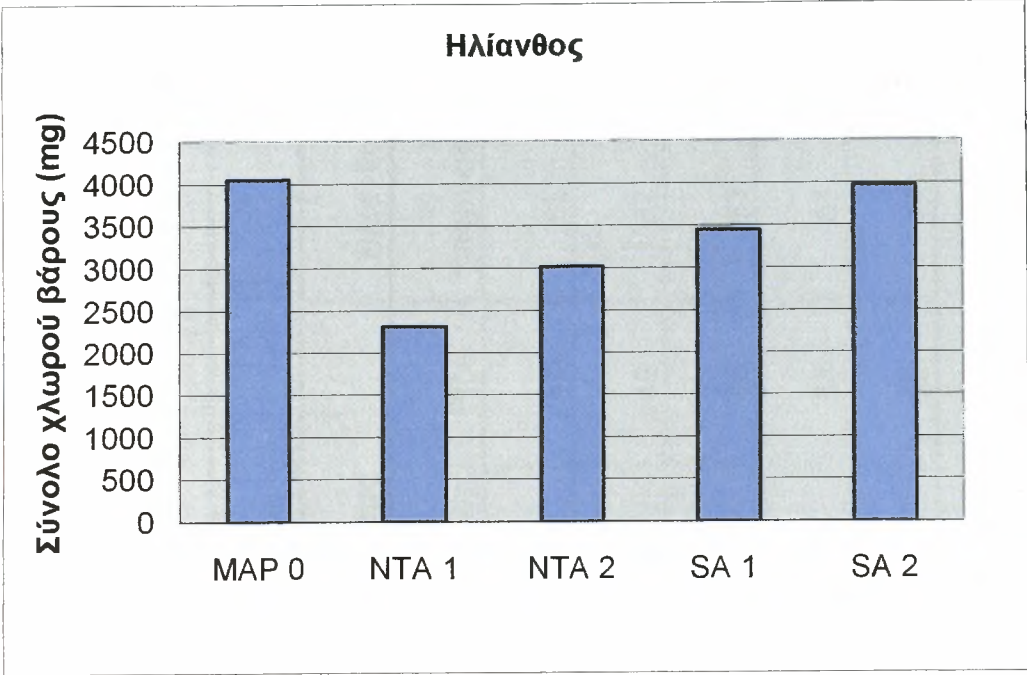
Σχήμα 2. Σύνολο χλωρού, ξηρού βάρους (mg) τομάτας.



Σχήμα 3. Σύνολο χλωρού, ξηρού βάρους (mg) καπνού.



Σχήμα 4. Σύνολο χλωρού, ξηρού βάρους (mg) ήρας.



Σχήμα 5. Σύνολο χλωρού, ξηρού βάρους (mg) ηλίανθου.

Πίνακας 8. Ποσοστά (%) συγκέντρωσης Cu στο υπέργειο και υπόγειο μέρος των πέντε φυτικών ειδών.

Είδος φυτού										
Μεταχ/ση	Σκόρδο		Τομάτα		Καπνός		Ήρα		Ηλίανθος	
	Υπέργειο	Ρίζα	Υπέργειο	Ρίζα	Υπέργειο	Ρίζα	Υπέργειο	Ρίζα	Υπέργειο	Ρίζα
MAP 0	79	21	88	12	82	18	53	47	85	15
NTA 1										
200 mg/kg	75	25	91	9	83	17	51	49	87	13
NTA 2										
400 mg/kg	70	30	88	12	77	23	42	58	83	17
SA 1										
100 mg/kg	71	29	89	11	83	17	43	57	85	15
SA 2										
200 mg/kg	72	28	85	15	76	24	38	62	74	26



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000074985