

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**  
**ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**  
**ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ**

Γιαννακός Ε. Ηλίας

**«Φυσιολογία – καταλληλότητα ορισμένων ζιζανίων και  
καλλιεργούμενων ειδών στην φυτοαποκατάσταση όξινων ή  
αλκαλικών 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 του Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης  
στην Κατεύθυνση : «Σύγχρονη Φυτοπροστασία»

Βόλος, 2008

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**  
**ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**  
**ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ**

Γιαννακός Ε. Ηλίας

**«Φυσιολογία – καταλληλότητα ορισμένων ζιζανίων και  
καλλιεργούμενων ειδών στην φυτοαποκατάσταση όξινων ή  
αλκαλικών εδαφών επιβαρυσμένων με χαλκό»**

**Εξεταστική Επιτροπή**

**Λόλας Πέτρος**  
**Καθηγητής Π.Θ.**  
**Επιβλέπων**

**Δημήρκου Ανθή**  
**Αν. Καθηγήτρια Π.Θ**  
**Μέλος**

**Βαρδαβάκης Εμμανουήλ**  
**Λέκτορας Π.Θ**  
**Μέλος**

Βόλος, 2008



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ  
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.: 7175/1  
Ημερ. Εισ.: 27-05-2009  
Δωρεά: Συγγραφέα  
Ταξιθετικός Κωδικός: Δ  
631.416  
ΓΙΑ

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ρύπανση του περιβάλλοντος αποτελεί ένα από τα σπουδαιότερα ζητήματα που απασχολούν τον σύγχρονο άνθρωπο. Η ρύπανση των εδαφών από διάφορους οργανικούς αλλά και ανόργανους ρύπους αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους κινδύνους τόσο για το οικοσύστημα όσο και για τη δημόσια υγεία. Τα εδάφη αποτελούν πηγές αλλά και αποθήκες ρυπογόνων στοιχείων. Τα καλλιεργούμενα αλλά και μη καλλιεργούμενα φυτά (π.χ. ζιζάνια) εφοδιάζονται με ρυπογόνα στοιχεία μέσω του εδάφους με αποτέλεσμα να τίθεται σε άμεσο κίνδυνο η δημόσια υγεία.

Η ραγδαία ανάπτυξη ορισμένων βιομηχανιών αλλά και η ανεξέλεγκτη χρήση φυτοπροστατευτικών προϊόντων η οποία ενδέχεται να επιβαρύνει το περιβάλλον, κρίνει επιτακτική την ανάγκη ανάπτυξης μεθόδων για την αποκατάσταση των επιβαρυσμένων εδαφών με οργανικούς και ανόργανους ρύπους. Έτσι λοιπόν τις τελευταίες δεκαετίες γίνεται έρευνα σχετικά με την ανεύρεση φυτικών ειδών ικανών να απομακρύνουν τους ρύπους των εδαφών όπως για παράδειγμα βαρέα μέταλλα π.χ Cu, Pb, Hg, Cr, Zn

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η μελέτη έξι φυτικών ειδών, τριών καλλιεργούμενων (καλαμπόκι, σιτάρι, ελαιοκράμβη) και τριών ζιζανίων (βρόμος, αγριοβαμβακιά και αγριοφασουλιά) ως πιθανοί φυτοαποκαταστάτες εδαφών επιβαρυσμένων με χαλκό. Η μελέτη πραγματοποιήθηκε σε δύο τύπους εδαφών: όξινο με pH 5.5 και αλκαλικό με pH 8.3 και σε συγκεντρώσεις χαλκού από 0 έως 300 mg/kg εδάφους.

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε σε φυτοδοχεία και στον αγρό. Το πειραματικό σχέδιο ήταν τυχαιοποιημένες πλήρεις ομάδες (Randomized Complete Blocks, RCB), με τρεις επαναλήψεις για κάθε μεταχείριση.

Οι συγκεντρώσεις Cu που χρησιμοποιήθηκαν για τις επεμβάσεις στα φυτοδοχεία ήταν: 0, 30, 60, 90, 120, 220 και 300 mg/kg εδάφους και για τους δυο τύπους εδαφών. Οι επεμβάσεις στον αγρό περιελάμβαναν συγκεντρώσεις Cu 0, 50, 100, 200 και 300 mg/kg εδάφους.

Παρατηρήσεις πάρθηκαν στις 40 ημέρες από τη σπορά και αφορούσαν:

- Χλωρό βάρος υπέργειου μέρους φυτών,
- Χλωρό βάρος υπόγειου μέρους φυτών,
- Ξηρό βάρος υπέργειου μέρους φυτών,



- ❖ Ξηρό βάρος υπόγειου μέρους φυτών,
- ❖ Ύψος φυτών,
- ❖ Χλωροφύλλη των φυτών (τιμές SPAD),
- ❖ Συγκέντρωση Cu στο υπέργειο μέρος φυτών,
- ❖ Συγκέντρωση διαθέσιμου Cu στο έδαφος.

Από τα έξι είδη που μελετήθηκαν το σιτάρι, ο βρόμος και η ελαιοκράμβη δεν ανέπτυξαν επαρκή βιομάζα και δεν προσδιορίστηκε η συγκέντρωση χαλκού στο υπέργειο τμήμα τους. Έτσι οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν για το καλαμπόκι, την αγριοβαμβακιά και την αγριοφασουλιά.

Από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι στο όξινο έδαφος στο θερμοκήπιο τα είδη με τη μεγαλύτερη προς τη μικρότερη συγκέντρωση χαλκού (mg/kg εδάφους) στο υπέργειο τμήμα είναι: καλαμπόκι (5.5-48) > αγριοφασουλιά (8-31.5) > αγριοβαμβακιά (9.5-24).

Όσο αφορά την αύξηση των υπό μελέτη ειδών στο όξινο έδαφος και υπό συνθήκες θερμοκηπίου οι μεταβολές του χλωρού και ξηρού βάρους, ανάλογα με τη συγκέντρωση του χαλκού στο έδαφος, έδειξαν ότι η κρίσιμη συγκέντρωση για την ανάπτυξη της ελαιοκράμβης ήταν τα 90 mg/kg εδάφους, ενώ για το σιτάρι 60-90 mg/kg εδάφους. Ο βρόμος δεν επηρεάστηκε σημαντικά ενώ παρουσίασε χαμηλή φυτρωτική ικανότητα. Στο καλαμπόκι, την αγριοβαμβακιά και την αγριοφασουλιά το βάρος μειωνόταν με την αύξηση της συγκέντρωσης του χαλκού με τις μεγαλύτερες αρνητικές επιδράσεις να παρατηρούνται στις συγκεντρώσεις χαλκού από 220-300 mg/kg εδάφους. Η φυτρωτική ικανότητα και η χλωροφύλλη δεν επηρεάστηκαν από την επίδραση του χαλκού ενώ μεγάλη μείωση του ύψους παρατηρήθηκε στο βρόμο, στο καλαμπόκι την αγριοβαμβακιά και την αγριοφασουλιά στις επεμβάσεις από 220-300 mg Cu/kg εδάφους.

Στο αλκαλικό έδαφος, επίσης στο θερμοκήπιο, τη μεγαλύτερη ικανότητα απορρόφησης χαλκού (mg/kg εδάφους) από το έδαφος παρουσίασε η αγριοβαμβακιά (6-39.6), ακολούθησε η αγριοφασουλιά (9-22) και μετά το καλαμπόκι (7-21.2). Επίσης, το χλωρό και ξηρό βάρος δεν επηρεάστηκαν σημαντικά από την επίδραση του χαλκού. Δεν παρατηρήθηκε επίσης σημαντική μεταβολή τόσο στη φυτρωτική ικανότητα και στη χλωροφύλλη αλλά και στο ύψος των φυτών

Στον αγρό, όπου το έδαφος ήταν αλκαλικό, την μεγαλύτερη ποσότητα χαλκού (mg/kg εδάφους) απορρόφησε το καλαμπόκι (4-27), ακολούθησε η αγριοφασουλιά

(5.5-18.5) και τέλος η αγριοβαμβακιά (4-18.5). Επίσης, το χλωρό και ξηρό βάρος δεν επηρεάστηκαν από τις εκάστοτε συγκεντρώσεις του χαλκού στο έδαφος. Να σημειωθεί ότι δεν παρατηρήθηκε η ίδια ομοιομορφία με το αλκαλικό έδαφος που παρατηρήθηκε στο θερμοκήπιο αλλά οι μικρές διαφορές που προέκυψαν οφείλονται στις ασταθείς εδαφοκλιματικές συνθήκες που επικρατούν στον αγρό σε σχέση με το θερμοκήπιο. Η ίδια εικόνα παρατηρήθηκε τόσο στη φυτρωτική ικανότητα και στη χλωροφύλλη αλλά και στο ύψος των φυτών.

Από τα αποτελέσματα αυτά φαίνεται ότι τα είδη καλαμπόκι, αγριοβαμβακιά και αγριοφασουλιά έχουν την ικανότητα να προσλαμβάνουν σχετικά υψηλές ποσότητες χαλκού τόσο σε αλκαλικό όσο και σε όξινο έδαφος και χηρίζουν περισσότερης μελέτης ως τυχόν φυτοαποκαταστάτες εδαφών επιβαρυμένων με χαλκό.

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστώ θερμά τον καθηγητή κ. Λόλα Πέτρο, για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο θέμα, αλλά και για τη συνεχή καθοδήγηση και υποστήριξή της καθ'όλη τη διάρκεια πραγματοποίησης της εργασίας αυτής.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω την κ. Δημήρκου Ανθή, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας και τον κ. Βαρδαβάκη Εμμανουήλ, Λέκτορα της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας για τις χρήσιμες συμβουλές και υποδείξεις αλλά και για το χρόνο που αφιέρωσαν για τη διόρθωση της διατριβής μου.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και τους φίλους μου για την αμέριστη συμπαράσταση που επέδειξαν τόσο κατά τη διάρκεια συγγραφής της μεταπτυχιακής μου διατριβής αλλά και κατά την μέχρι τώρα φοίτησή μου στο τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>	<b>9</b>
<b>2. ΦΥΤΟΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ.....</b>	<b>11</b>
2.1 Μηχανισμοί φυτοαποκατάστασης .....	11
2.2 Προϋποθέσεις επιτυχίας της φυτοαποκατάστασης .....	12
2.3 Πλεονεκτήματα φυτοαποκατάστασης .....	13
2.4 Μειονεκτήματα φυτοαποκατάστασης .....	13
<b>3. Ο ΧΑΛΚΟΣ ΣΤΟ ΈΔΑΦΟΣ ΚΑΙ ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗ ΣΗΜΑΣΙΑ.....</b>	<b>15</b>
3.2 Συγκεντρώσεις του χαλκού στο έδαφος.....	16
3.3 Επίδραση των μυκορριζικών μυκήτων στην πρόσληψη βαρέων μετάλλων. ....	17
<b>4. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ.....</b>	<b>19</b>
4.1 Βαρέα μέταλλα και φυτά υπερευαίσθητες .....	19
4.2 Χαλκός και φυτοαποκατάσταση.....	21
4.3 Ο ρόλος του pH του εδάφους στη βιοδιαθεσιμότητα του χαλκού στα φυτά .....	22
<b>5. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....</b>	<b>26</b>
5.1 Πείραμα θερμοκηπίου.....	28
5.1.1 Προετοιμασία εδάφους .....	28
5.1.2 Ενσωμάτωση χαλκού στο έδαφος.....	28
5.1.3 Σπορά .....	29
5.1.4.Μετρήσεις .....	29
5.2 Πείραμα στον αγρό .....	30
5.2.1 Περιγραφή πειραματικού αγρού. ....	30
5.2.2 Ενσωμάτωση χαλκού στο έδαφος.....	31
5.2.3 Σπορά .....	31
5.2.4 Μετρήσεις .....	32
5.3 Στατιστική Ανάλυση.....	33
<b>6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....</b>	<b>34</b>
6.1. Πείραμα στο θερμοκήπιο .....	34
6.1.1 Όξινο έδαφος (pH = 5.5).....	34
6.1.1.1 Χλωρό βάρος υπέργειου μέρους φυτών.....	34
6.1.1.2 Χλωρό βάρος υπόγειου μέρους φυτών .....	35
6.1.1.3 Ξηρό βάρος υπέργειου μέρους φυτών .....	36
6.1.1.4 Ξηρό βάρος υπόγειου μέρους φυτών .....	37



6.1.1.5 Φυτρωτική ικανότητα .....	38
6.1.1.6 Χλωροφύλλη .....	39
6.1.1.7 Ύψος φυτού .....	40
6.1.1.8 Συγκέντρωση Cu στο υπέργειο φυτικό τμήμα .....	41
6.1.1.9 Συγκέντρωση διαθέσιμου χαλκού στο έδαφος .....	43
6.1.2 Αλκαλικό έδαφος (pH = 8.3) .....	43
6.1.2.1 Χλωρό βάρος υπέργειου μέρους φυτών.....	43
6.1.2.2 Χλωρό βάρος υπόγειου μέρους φυτών .....	44
6.1.2.3 Ξηρό βάρος υπέργειου μέρους φυτών .....	45
6.1.2.4 Ξηρό βάρος υπόγειου μέρους φυτών .....	46
6.1.2.5 Φυτρωτική ικανότητα .....	47
6.1.2.6 Χλωροφύλλη .....	48
6.1.2.7 Ύψος φυτού .....	50
6.1.2.8 Συγκέντρωση Cu στο υπέργειο φυτικό τμήμα.....	50
6.1.2.9 Συγκέντρωση διαθέσιμου χαλκού στο έδαφος .....	51
6.2. Πείραμα στον αγρό .....	52
6.2.1 Αλκαλικό έδαφος (pH = 8.3) .....	52
6.2.2.1 Χλωρό βάρος υπέργειου μέρους φυτών.....	52
6.2.2.2 Χλωρό βάρος υπόγειου μέρους φυτών .....	53
6.2.2.3 Ξηρό βάρος υπέργειου μέρους φυτών .....	54
6.2.2.4 Ξηρό βάρος υπόγειου μέρους φυτών .....	55
6.1.2.5 Φυτρωτική ικανότητα .....	56
6.2.2.6 Χλωροφύλλη .....	57
6.2.2.7 Ύψος φυτού .....	58
6.2.2.8 Συγκέντρωση Cu στο υπέργειο φυτικό τμήμα.....	59
6.2.2.9 Συγκέντρωση διαθέσιμου χαλκού στο έδαφος. ....	60
<b>7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....</b>	<b>61</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>63</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ .....</b>	<b>71</b>

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η διαχείριση των φυσικών πόρων αποτελεί σήμερα μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις για το σύγχρονο άνθρωπο. Η ρύπανση του περιβάλλοντος και συγκεκριμένα η ρύπανση των εδαφών από διάφορους οργανικούς (π.χ ζιζανιοκτόνα) και ανόργανους ρύπους (π.χ βαρέα μέταλλα) εγκυμονεί εκατοντάδες κινδύνους καθώς επηρεάζεται αρνητικά το οικοσύστημα και η δημόσια υγεία.

Κρίνεται λοιπόν επιτακτική η ανάγκη εφαρμογής μεθόδων για την πρόληψη της ρύπανσης αλλά και μεθόδων για την αποκατάσταση των ήδη ρυπασμένων εδαφών.

Οι μέχρι τώρα γνωστές μέθοδοι για την απομάκρυνση ρύπων και ειδικότερα βαρέων μετάλλων από το έδαφος όπως η **μηχανική** (απομάκρυνση ρυπασμένου εδάφους), η **φυσική** (έκπλυση εδάφους), η **θερμική** (εφαρμογή υψηλών θερμοκρασιών, καύση) και η **χημική** (εφαρμογή σκευασμάτων που δεσμεύουν ή / και καθιστούν μη επιβλαβή τα μέταλλα) είναι απαγορευτικά ακριβές και επηρεάζουν αρνητικά τη γονιμότητα των εδαφών και κατ' επέκταση την ισορροπία του οικοσυστήματος.

Μία νέα τεχνική φιλική στο περιβάλλον, οικονομική σε σχέση με τις προαναφερθείσες αλλά και εύκολη στην εφαρμογή είναι η **φυτοαποκατάσταση**. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται σήμερα από οικονομικά προηγμένες χώρες όπως η Κίνα και οι ΗΠΑ οι οποίες αντιμετωπίζουν τεράστιο πρόβλημα ρύπανσης του εδάφους.

Έτσι λοιπόν από τις αρχές της δεκαετίας του 1970 το ενδιαφέρον αρκετών ερευνητών στρέφεται στη χρήση φυτικών ειδών, καλλιεργούμενων και ζιζανίων, τα οποία έχουν την ικανότητα να δεσμεύουν και να συσσωρεύουν οργανικούς αλλά και ανόργανους ρύπους όπως για παράδειγμα τα βαρέα μέταλλα (Cu, Zn, Hg, Cd, Se).

Η σημερινή γεωργία στρέφεται στη μείωση των εισροών στο αγροτικό περιβάλλον με τη χρήση μεθόδων και τεχνικών που συμβάλουν στην αειφορία των φυσικών πόρων όπως για παράδειγμα το έδαφος. Για το λόγο αυτό γίνεται συστηματική προσπάθεια ενίσχυσης της Ολοκληρωμένης Διαχείρισης των Καλλιεργειών και τις Βιολογικής Γεωργίας.

Ο χαλκός (Cu) ανήκει στα βαρέα μέταλλα και χρησιμοποιείται ως επί το πλείστον στη Βιολογική Γεωργία για την αντιμετώπιση διαφόρων ασθενειών των φυτών και σε μικρότερες ποσότητες για την κάλυψη των θρεπτικών αναγκών των φυτών. Να

σημειωθεί επίσης ότι ο Cu είναι μυκητοκτόνο με ευρύ φάσμα δράσης και είναι το κυριότερο που επιτρέπεται στη Βιολογική Γεωργία.

Εκτός από τη γεωργία και ειδικά τη Βιολογική Γεωργία, σημαντικό ρόλο στην υψηλή συγκέντρωση Cu στο έδαφος παίζει και η βιομηχανία. Για παράδειγμα τα εργοστάσια παραγωγής χάλκινων καλωδίων, η μεταλλευτική δραστηριότητα (ορυχεία), αλλά και η βιομηχανία παραγωγής χαλκούχων σκευασμάτων (φυτοπροστατευτικών) αποτελούν τις κυριότερες πηγές ρύπανσης. Επίσης, μεγάλες συγκεντρώσεις χαλκού παρουσιάζονται σε περιοχές με συχνή απόρριψη αστικών λυμάτων. (Baggato, et al., 1991, Barcan, 2002, Deluisa et al., 1996, Brun et al., 2001, McGrath et al., 1995, Kunito et al., 2001, Bhogal et al., 2003, Πυριανιάν, 2006)

Επειδή λοιπόν η προστασία των εδαφικών πόρων και κατ' επέκταση του περιβάλλοντος και τις ανθρώπινης υγείας αποτελούν ένα από τα κύρια μελήματα του σύγχρονου ανθρώπου, κρίνεται επιτακτική η ανάγκη χρήσης μεθόδων που συμβάλουν προς την κατεύθυνση αυτή. Η **φυτοαποκατάσταση** συμβάλει στην προσπάθεια αυτή με τη χρήση φυτών για την αποκατάσταση των επιβαρυσμένων εδαφών.

Σκοπός της παρούσας διατριβής ήταν η μελέτη έξι διαφορετικών φυτικών ειδών (3 καλλιεργούμενων και 3 ζιζανίων) ως προς τη φυσιολογία αλλά την καταλληλότητά τους για την φυτοαποκατάσταση όξινων ή αλκαλικών εδαφών επιβαρυσμένων με χαλκό.

## 2. ΦΥΤΟΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

Ως φυτοαποκατάσταση ορίζεται κάθε σύστημα στο οποίο χρησιμοποιούνται φυτά είτε για τη μείωση και /ή το μηδενισμό των περιβαλλοντικών ρύπων σε εδάφη, ιζήματα ή νερά, είτε για να τους καταστήσουν ακίνδυνους (Λόλας, 2001, Λόλας, 2003, Λόλας 2007, Neil, 2007, Salt et al., 1998).

Ορίζεται επίσης ως το φαινόμενο της φυσικής απομάκρυνσης ή διάσπασης ορισμένων ρύπων από ορισμένα είδη φυτών καθώς επίσης και ως η χρήση φυτικών ειδών για τη μείωση ή το μηδενισμό ανεπιθύμητων ρύπων σε επιβαρυμένα οικοσυστήματα. (Πρίτσα, 2004, Φωτιάδης, 2004, Φωτιάδης, 2006,)

Δηλαδή, καλλιεργούνται (ή ενσωματώνονται στο έδαφος) ορισμένα είδη φυτών για κάποιο χρονικό διάστημα και αυτά αφαιρούν τον περιβαλλοντικό ρύπο π.χ. από το έδαφος ή μεταβάλλουν τις φυσικοχημικές ιδιότητες του περιβαλλοντικού ρύπου μέσα στο έδαφος και έτσι αυτός δεν παρουσιάζει πλέον κίνδυνο για τον άνθρωπο ή το περιβάλλον (Λόλας 2003, Λόλας 2007).

Ο όρος φυτοαποκατάσταση είναι η απόδοση στα ελληνικά του αγγλικού όρου **Phytoremediation**. Είναι σύνθετη λέξη και συνίσταται από την ελληνική λέξη “φυτό” και την αγγλική λέξη “remediation” η οποία με τη σειρά της προέρχεται από τη λατινική λέξη “remedium” και ερμηνεύεται ως γιατρέυω, θεραπεύω. Επίσης ο αγγλικός όρος μεταφράζεται από τον Τσέκο (2003) ως **φυτοεπανόρθωση**.

### 2.1 Μηχανισμοί φυτοαποκατάστασης

Η φυτοαποκατάσταση ανάλογα με τον τρόπο με τον οποίο γίνεται η δέσμευση του ρύπου αλλά και το περιβάλλον στο οποίο γίνεται η διεργασία αυτή χωρίζεται σύμφωνα με τον Salt et al., (1998) στις εξής κατηγορίες:

**Φυτοαπομάκρυνση** (phytoextraction): αφορά τη χρήση φυτών για την απομάκρυνση οργανικών και ανόργανων ρύπων από το έδαφος μέσω της συγκομιδής των φυτών.

**Φυτοδιάσπαση** (phytodegradation): αφορά τη διάσπαση και αποδόμηση περιβαλλοντικών ρύπων από τα φυτά, μέσω διαφόρων μεταβολικών διεργασιών τους ενίοτε και με την παρουσία μικροοργανισμών στη ριζόσφαιρα.

**Ριζοδιήθηση** (rhizofiltration): η πρόσληψη των περιβαλλοντικών ρύπων (κυρίως μετάλλων) γίνεται από το ριζικό σύστημα φυτών αναπτυσσόμενα σε επιβαρυμένα νερά (λίμνες, κανάλια ροής υδάτινων αποβλήτων)

**Φυτοαδρανοποίηση** (phytostabilization): χρήση φυτών για τον περιορισμό της βιοδιαθεσιμότητας και /ή την παρεμπόδιση μετακίνησης εκτός θέσης παρουσίας των περιβαλλοντικών ρύπων.

**Φυταεξάτμιση** (phytonovolatilization): αφορά τη χρήση φυτών για την απομάκρυνση περιβαλλοντικών ρύπων που υπάρχουν στο έδαφος ή στο νερό μέσω της εξάτμισης

## 2.2 Προϋποθέσεις επιτυχίας της φυτοαποκατάστασης

Για να επιτευχθεί η διαδικασία της φυτοαποκατάστασης και να αποκατασταθεί το επιβαρυμένο έδαφος ή υδατικό σύστημα θα πρέπει να συνυπάρχουν οι παρακάτω προϋποθέσεις:

❖ Ο περιβαλλοντικός ρύπος (οργανικός, ανόργανος) που είναι παρόν στο έδαφος, στα ιζήματα και στα νερά θα πρέπει να είναι βιοδιαθέσιμος. Μάλιστα η διαθεσιμότητα του ρύπου εξαρτάται από τη μηχανική σύσταση του εδάφους, από την οργανική ουσία αλλά και το pH του εδάφους.

Πρόσληψη του ρύπου από το ριζικό σύστημα του φυτού.

❖ Μετακίνηση του ρύπου στο εσωτερικό του φυτού. Ο περιβαλλοντικός ρύπος εισερχόμενος στο φυτό διασπάται, αδρανοποιείται ή αποθηκεύεται στο ριζικό σύστημα ή στο υπέργειο τμήμα του φυτού.

❖ Αντοχή του εκάστοτε φυτικού είδους που χρησιμοποιείται σε υψηλές συγκεντρώσεις του ρύπου. Να σημειωθεί όμως ότι υπάρχει περίπτωση ο ρύπος να βρίσκεται σε μεγάλες συγκεντρώσεις τόσο στο έδαφος όσο και στο νερό αλλά να μην είναι βιοδιαθέσιμος για το φυτό. Έτσι λοιπόν εκτός από την ολική θα πρέπει να είναι γνωστή και η διαθέσιμη συγκέντρωση του ρύπου ώστε να αποφανθεί κάποιος αν το υπό μελέτη φυτό είναι ανθεκτικό ή όχι στις εκάστοτε συγκεντρώσεις.

Σε κάθε περίπτωση για εκτός από τις προαναφερθείσες προϋποθέσεις τα φυτά αποκαταστάτες θα πρέπει να αναπτύσσονται σε κατάλληλες εδαφοκλιματικές συνθήκες (θερμοκρασία, υγρασία), να βρίσκονται σε καλή θρεπτική και φυσιολογική κατάσταση αλλά και να είναι απαλλαγμένα από διάφορους εχθρούς και ασθένειες.



### 2.3 Πλεονεκτήματα φυτοαποκατάστασης

Τα πλεονεκτήματα της βελτίωσης με φυτά ρυπασμένων εδαφών και υδάτων με οργανικούς και ανόργανους ρύπους είναι τα εξής:

- ❖ Μικρό κόστος συγκρινόμενο με άλλες μεθόδους αποκατάστασης.
- ❖ Φυσική και ευχάριστη μέθοδος καθώς δημιουργεί ζώνες πρασίνου σε υποβαθμισμένες περιοχές.
- ❖ Μείωση της δυνατότητας μεταφοράς των ρύπων με τον αέρα και της διάβρωσης των εδαφών.
- ❖ Μικρός όγκος τοξικών ρυπασμένων φυτικών υπολειμμάτων λόγω της υπερσυσσώρευσης των ρύπων.
- ❖ Απομάκρυνση περισσότερων του ενός ρύπου με το ίδιο φυτό.

### 2.4 Μειονεκτήματα φυτοαποκατάστασης

Η φυτοαποκατάσταση αν και χαρακτηρίζεται ως φιλική προς το περιβάλλον παρόλα αυτά παρουσιάζει και μειονεκτήματα τα οποία είναι τα εξής:

- ❖ Ο χρόνος φυτοαποκατάστασης ποικίλει ανάλογα με τον περιβαλλοντικό ρυπό, τη συγκέντρωση και τη μορφή παρουσίας του, το είδος του φυτικού αποκαταστάτη, το επιθυμητό επίπεδο αποκατάστασης αλλά και τις εδαφοκλιματικές συνθήκες. Αυτό σημαίνει ότι ο χρόνος αποκατάστασης μπορεί να είναι μικρός αλλά και πολύ μεγάλος με αποτέλεσμα ο ρυπός να μετακινείται μέσω της διάβρωσης του εδάφους στα βαθύτερα στρώματα της εδαφικής κατατομής ή σε γειτονικές περιοχές. Άρα λοιπόν οι ρυθμοί αποκατάστασης των εδαφών πολλές φορές είναι βραδείς και δεν επιτυγχάνονται άμεσα τα επιθυμητά επίπεδα των ρύπων.
- ❖ Η αποτελεσματικότητα της βελτίωσης των εδαφών με φυτά καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από τη φύση του ρύπου, όπως προαναφέρθηκε, αλλά και από την ικανότητά του να διασπάται από φυσικούς μηχανισμούς.
- ❖ Τυχόν βιομεγέθυνση στην τροφική αλυσίδα. Υπάρχει δηλαδή μεγάλη πιθανότητα να εισέλθουν στην τροφική αλυσίδα τα επιβαρυμένα με ρύπους φυτά. Στη φυτοαποκατάσταση χρησιμοποιούνται και καλλιεργούμενα φυτά τα οποία μπορούν μετά από λάθος χειρισμούς να γίνουν τροφή για τους ανθρώπους ή και τα ζώα.

- ❖ Τα φυτικά υπολείμματα μπορεί να αποτελέσουν υλικά που θα ρυπάνουν το περιβάλλον εάν δεν υπάρχει σχέδιο για την ασφαλή διαχείρισή τους.
- ❖ Τέλος, οι πεσμένοι καρποί, τα φύλλα, αλλά και κλαδιά δέντρων – φυτοαποκαταστατών ενδεχομένως να αποτελούν εστίες ρύπανσης.

### 3. Ο ΧΑΛΚΟΣ ΣΤΟ ΈΔΑΦΟΣ ΚΑΙ ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗ ΣΗΜΑΣΙΑ

Ο χαλκός αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα και απαραίτητα στοιχεία τόσο για τα φυτά όσο και τα ζώα. Στην μεταλλική του κατάσταση ο χαλκός έχει χαρακτηριστική μεταλλική λάμψη και χρώμα κόκκινο. Στη φύση ο χαλκός εμφανίζεται σε διάφορες ενώσεις και σχηματισμούς, όπως σουλφίδια, από τα οποία απελευθερώνεται σε όξινο περιβάλλον, θεικές ενώσεις και ανθρακικά άλατα. Σε αναγωγικές συνθήκες βρίσκεται κυρίως με τη μεταλλική μορφή. (Σιμεωνίδης, 1995 Μητσιος, 2004)

#### 3.1 Πηγές του χαλκού στο έδαφος

Οι πηγές του Cu στο έδαφος είναι οι εξής:

- ❖ Το μητρικό υλικό (π.χ., βασάλτης, γρανίτης, άργιλος)
- ❖ Χαλκούχα φυτοπροστατευτικά σκευάσματα. Η χρήση μυκητοκτόνων συμβάλει σημαντικά στη ρύπανση του εδάφους με Cu, καθώς υπολογίζεται ότι περίπου  $7 \times 10^7$  kg Cu προστίθενται κάθε χρόνο στο έδαφος με τη μορφή του μίγματος Bordeaux ή βορδιγάλιος πολτός, το οποίο χρησιμοποιείται ευρύτατα σε πλήθος καλλιεργειών και ειδικότερα στη Βιολογική Γεωργία.
- ❖ Τα λιπάσματα. Τα χημικά λιπάσματα που χρησιμοποιούνται στη γεωργία σπάνια έχουν περιεκτικότητα μεγαλύτερη από 100 mg Cu kg<sup>-1</sup> λιπάσματος και γι' αυτό η συνεισφορά τους στη ρύπανση του εδάφους με Cu θεωρείται σχετικά μικρή.
- ❖ Ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα και εναποθέσεις της αιωρούμενης σκόνης. Για παράδειγμα στην Αγγλία έχει υπολογιστεί ότι η ετήσια ποσότητα Cu που αποτίθεται με τη σκόνη κυμαίνεται από 100 μέχρι 480 g Cu ha<sup>-1</sup>.
- ❖ Τα λύματα βιολογικών καθαρισμών.

Ο Cu μετά την εναπόθεσή του έδαφος αντιδρά με τα σωματίδια του εδάφους σχηματίζοντας σύμπλοκα, προσροφάται ή βρίσκεται στο εδαφικό διάλυμα. Έτσι λοιπόν ο Cu στο έδαφος βρίσκεται με τις παρακάτω μορφές: α) υδατοδιαλυτά ιόντα του μετάλλου καθώς και ανόργανα και οργανικά σύμπλοκα στο εδαφικό διάλυμα, β) ανταλλάξιμος χαλκός, γ) σταθερά οργανικά σύμπλοκα με την οργανική ουσία, δ) προσροφημένος Cu στα οξειδία και υδροξειδία του σιδήρου, μαγγανίου και αργιλίου, ε) προσροφημένος Cu στα κolloειδή σωματίδια της αργίλου ή των χουμικών οξέων

και στ) χαλκός που είναι δεσμευμένος στο κρυσταλλικό πλέγμα των ορυκτών του εδάφους. (Baker et al., 1990, Μήτσιος, 2004)

Να σημειωθεί όμως ότι μετρήσεις τόσο σε εδάφη όσο και σε ιζήματα έδειξαν ότι η μορφή του Cu που επικρατεί είναι αυτή που είναι δεσμευμένη με την οργανική ουσία, ακολουθεί η ποσότητά του που είναι δεσμευμένη από τα οξείδια και υπεροξείδια του σιδήρου και του μαγγανίου και τέλος, η ποσότητα του Cu που είναι συγκρατημένη στα ορυκτά της αργίλου. Επίσης ο σχηματισμός συμπλόκων μεταξύ του χαλκού και της οργανικής ουσίας του εδάφους είναι η σπουδαιότερη διεργασία που συμβαίνει στο έδαφος. Μεγάλος αριθμός οργανικών ενώσεων έχει την ικανότητα να δημιουργούν τόσο ευδιάλυτα όσο και αδιάλυτα σύμπλοκα, κυρίως με τα ιόντα του διασθενούς χαλκού. Επομένως, η διαλυτότητα του Cu στο έδαφος καθορίζεται σημαντικά από την περιεκτικότητα σε οργανική ουσία του εδάφους, (Ranndle et al., 1995, Ma et al., 1997, Impellitteri et al., 2002, Wu et al., 2002, Μήτσιος, 2004).

### **3.2 Συγκεντρώσεις του χαλκού στο έδαφος**

Οι μέγιστες επιτρεπτές συγκεντρώσεις Cu στο έδαφος κυμαίνονται από 50-140 mg/kg ξηρού εδάφους, ενώ στην ιλύ που προέρχεται από βιολογικό καθαρισμό 1000-1750 mg/kg ξηρής ιλύος (ΦΕΚ 641/07-08-91).

Να σημειωθεί επίσης ότι οι μεγαλύτερη ποσότητα του εδαφικού χαλκού βρίσκεται στα επιφανειακά στρώματα του εδάφους λόγω της ισχυρής προσρόφησής του από εδάφη διαφόρων τύπων αλλά και ιδιοτήτων (Merry et al., 1983, Deluisa et al., 1996)

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την περιεκτικότητα του εδάφους σε αφομοιώσιμες για τα φυτά μορφές Cu είναι οι συνθήκες αερισμού του εδάφους, το pH του εδάφους, η οργανική ουσία, η υφή και η δομή του εδάφους, το είδος των ορυκτών της αργίλου αλλά και η θερμοκρασία του εδάφους, καθώς επίσης και το φυτικό είδος. (Χατζηστάθης, 2004)

Επίσης η ικανότητα ή όχι ιονισμού του χαλκού, ο αριθμός οξειδωσης με τον οποίο παρουσιάζεται, η δυνατότητα ή όχι σχηματισμού συμπλόκων με οργανικές ενώσεις, καθώς και η κινητικότητά του εξαρτάται κυρίως από τη φύση του ιόντος, αλλά από τις παρακάτω ιδιότητες του εδάφους:

- α)** την τιμή του pH του εδάφους
- β)** το δυναμικό οξειδοαναγωγής
- γ)** το ποσοστό και το είδος της οργανικής ουσίας του εδάφους
- δ)** την ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων του εδάφους

- ε) την ποσότητα των ανθρακικών αλάτων του εδάφους
- στ) την περιεκτικότητα και το είδος των οξειδίων και υδροξειδίων του σιδήρου, μαγγανίου και αργιλίου του εδάφους.
- ζ) τα ορυκτά της αργίλου.

Στα επιφανειακά στρώματα του εδάφους, η ολική συγκέντρωση του Cu στο εδαφικό διάλυμα κυμαίνεται από 0.01-0.6  $\mu\text{M}$ . Η μικρή αυτή τιμή της συγκέντρωσης του χαλκού, οφείλεται στην τάση του να προσροφάται από τα οργανικά και ανόργανα κολλοειδή. Τοξικά φαινόμενα παρατηρούνται όταν τα επίπεδα του χαλκού στο εδαφικό διάλυμα κυμαίνεται από 1.5-4.5  $\text{mg Cu L}^{-1}$  με αποτέλεσμα σοβαρές καταστροφές στο ριζικό σύστημα του φυτού. Αν και ο χαλκός είναι ένα από τα λιγότερο ευκίνητα βαρέα μέταλλα, η συγκέντρωση στο εδαφικό διάλυμα ποικίλει ανάλογα με τον τύπο του εδάφους και κυμαίνεται από 3 μέχρι 135  $\mu\text{g Cu L}^{-1}$  εδαφικού διαλύματος. Βέβαια σε περιοχές που είναι αναπτυγμένη η βιομηχανική δραστηριότητα οι συγκεντρώσεις του Cu στο έδαφος κυμαίνονται σε πολύ μεγαλύτερα επίπεδα. Μάλιστα σε πολλές χώρες έχει αναφερθεί και επιβάρυνση του εδάφους μέσω της άρδευσης λόγω της μεγάλης περιεκτικότητας του αρδευτικού νερού σε χαλκό και σε άλλα βαρέα μέταλλα, όπως Cd και Hg. Στην Κίνα για παράδειγμα η συγκέντρωση του Cu στο νερό άρδευσης αλλά και ύδρευσης στην πόλη Yandank ήταν 182  $\text{mg/L}$ . Επίσης η ρύπανση με βαρέα μέταλλα, συμπεριλαμβανομένου και του Cu, στην Κίνα καταλαμβάνει έκταση ίση με  $2 \times 10^7$  εκτάρια, πράγμα που σημαίνει ότι το 1/5 της καλλιεργήσιμης γης είναι ρυπασμένο με Cu (Neil, 2007, Jin, 2001).

### 3.3 Επίδραση των μυκορριζικών μυκήτων στην πρόσληψη βαρέων μετάλλων.

Οι δενδρόμορφοι μυκορριζικοί μύκητες αυξάνουν την επιφάνεια απορρόφησης των ριζών με αποτέλεσμα να αυξάνεται και η πρόσληψη ανόργανων θρεπτικών στοιχείων και μεταλλικών ιόντων (Khan et al., 2000). Ύπαρξη μυκορριζικών μυκήτων έχει αναφερθεί σε φυτά που αναπτύσσονται σε εδάφη με βαρέα μέταλλα (Shetty et al., 1994, Chaudry et al., 1998, Ma et al., 2001). Μεταξύ των μυκορριζικών μυκήτων που απαντώνται σε εδάφη πλούσια σε βαρέα μέταλλα είναι τα είδη *Glomus spp.*, *Gigaspora spp.*, καθώς και *Eutrophosphora spp.* (Raman et Sambandan, 1998). Οι Weissenhorn και Leyval (1995) απομόνωσαν Cd από τις υφές του μύκητα *Glomus mosseae*. Ο Heggo et al., (1990) αντίθετα, δεν παρατήρησαν συσσώρευση Zn και Cu σε φυτά αποικισμένα από μυκορριζικούς μύκητες. Τα αδιαπέραστα κυτταρικά



τοιχώματα των υφών αναφέρονται ως πιθανός μηχανισμός προστασίας των φυτών από τα βαρέα μέταλλα (Galli et al., 1994). Επίσης οι μυκορριζικοί μύκητες βρέθηκε να επιδρούν στην μετακίνηση του Zn στους βλαστούς του *Andropogon gerardii*. Αντίθετα, δεν βρέθηκε τέτοια επίδραση στο καλαμπόκι. (Shetty et al., 1994, Khan et al., 2000). Συνεπώς, η επίδραση των μυκορριζικών μυκήτων στην πρόσληψη και μεταφορά των μετάλλων στο φυτό δεν είναι ξεκάθαρη και μάλιστα πολλές φορές αυτή εξαρτάται είτε από το είδος του φυτού είτε από το είδος του μύκητα (Lasat, 2002). Έτσι λοιπόν στις περιπτώσεις που η συμβίωση μυκορριζικών μυκήτων με φυτά επιδρά θετικά στην πρόσληψη βαρέων μετάλλων από τα φυτά τότε μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως αποκαταστάτες επιβαρυσμένων εδαφών.

## 4. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

### 4.1 Βαρέα μέταλλα και φυτά υπερσυσσωρευτές

Τα βαρέα μέταλλα, όπως ο χαλκός, το κοβάλτιο, ο ψευδάργυρος και το νικέλιο είναι απαραίτητα μικροστοιχεία για να ολοκληρώσουν τα φυτά τον κύκλο ζωής τους. Ωστόσο, όταν οι συγκεντρώσεις τους στο έδαφος ξεπερνούν τις ελάχιστες επιτρεπόμενες ποσότητες, τα βαρέα μέταλλα μπορεί να είναι άκρως τοξικά. (Lanaras et al., 1993, Ouzounidou et al, 2005)

Από τον Baker et al., (1989) αναφέρεται ότι ανεκτικά στα μέταλλα φυτά που έχουν τη ικανότητα να συσσωρεύουν υψηλές συγκεντρώσεις μετάλλων στα χυμοτόπιά τους καλούνται **υπερσυσσωρευτές**. Αναφέρεται επίσης ότι το ενδημικό στα σερπεντινικά εδάφη φυτό *Thlaspi goesingense* μπορεί να συσσωρεύει νικέλιο έως 9.5 mg/g, ή περίπου 1% του ξηρού βάρους και η *Sebertia acuminata*, ένα ενδημικό δέντρο της Νέας Καληδονίας, συσσωρεύει περίπου 20% του ξηρού του βάρους σε νικέλιο (Brooks, et al., 1977).

Τα φυτά υπερσυσσωρευτές αντιμετωπίζουν την περίσσεια των ιόντων των βαρέων μετάλλων βασιζόμενα σε δύο κυρίως μηχανισμούς για την αποτοξίνωση μετάλλων που έχουν προσληφθεί εντός του κυττάρου: α) σχηματισμός συμπλόκων με τα οργανικά συστατικά και β) διαμερισματοποίηση εντός του χυμοτοπίου (Kramer et al., 1996). Για παράδειγμα το κιτρικό και μηλικό έχει δειχθεί ότι συνδέονται με το κάδμιο και τον ψευδάργυρο αντίστοιχα. Επίσης τα αμινοξέα σχηματίζουν σύμπλοκα με ιόντα μετάλλων. Βρέθηκε λοιπόν ότι η ιστιδίνη συνιστά σύμπλοκο με το νικέλιο στον υπερσυσσωρευτή *Alyssum lesbiacum*.

Κατά τον Baker (1981) οι δύο μηχανισμοί ανεκτικότητας των φυτών στα βαρέα μέταλλα είναι η αποφυγή πρόσληψης και η αποτοξικοποίηση των μετάλλων. Τα φυτά που αποφεύγουν την πρόσληψη των μετάλλων (excluders) αποτρέπουν την πρόσληψη μετάλλων από τις ρίζες, τη δυνατότητα διακίνησης καθώς και τη συσσώρευσή τους στους βλαστούς. Ένα τέτοιο είδος είναι το *Agrostis tenuis* το οποίο αποφεύγει την πρόσληψη των Cu, Cd και Zn.

Έχει βρεθεί ότι αρκετά φυτά ανεκτικά σε υψηλές συγκεντρώσεις χαλκού, φέρουν γονίδια που κωδικοποιούν τις μεταλλοθειονίνες· πρόκειται για μικρές μεταλλοδεσμευτικές πρωτεΐνες που αρχικά ταυτοποιήθηκαν στα ζώα. Στο είδος *Arabidopsis* ταυτοποιήθηκαν τρεις κύριοι τύποι γονιδίων μεταλλοθειονίνης στους βλαστικούς ιστούς. Τα γονίδια αυτά είναι τα MT1, MT2 και MT3 (Murphy et al., 1997) και η

έκφραση του ενός από αυτά (MT2) σχετιζόταν προς την ανεκτικότητα αρτιβλάστων έναντι του χαλκού. Κατά συνέπεια, οι μεταλλοθειόνες φαίνεται να προστατεύουν κυτταρικά συστήματα από οξειδωτικές βλάβες που οφείλονται στη δράση μετάλλων, παρόλο που ο ακριβής ρόλος τους στην ανεκτικότητα στα μέταλλα παραμένει αδιευκρίνιστος (Murphy et al., 1995, 1997).

Στην περιοχή της Φλόριντα αναφέρεται από τον Joonky et al., (2006) σε επιβαρυνόμενα με χαλκό εδάφη, ότι η αγριάδα (*Cynodon dactylon*) δεσμεύει στις ρίζες της το 1/3 του διαθέσιμου στο έδαφος χαλκού. Σε παρόμοια εργασία από τον Madejon et al., (2002) αναφαίρεται ότι οι αγριάδα και το σόργο αποτέλεσαν καλούς φυτοαποκαταστάτες σε εδάφη επιβαρυνόμενα με βαρέα μέταλλα μεταξύ των οποίων Cu, Pd και As.

Επίσης η κύπερη (*Cyperus esculentus*), βρέθηκε να περιέχει στα υπέργειο τμήμα της ποσότητα χαλκού συγκέντρωσης 28 mg/kg, ίση περίπου με τη συγκέντρωση του χαλκού στο έδαφος.

Ο καπνός λόγω της μεγάλης φυτομάζας που αναπτύσσει ενδείκνυται για την αποκατάσταση εδαφών επιβαρυνόμενων με βαρέα μέταλλα μεταξύ των οποίων και ο χαλκός (Kayser et al., 2000).

Οι Khoshgofarmanesh et al., (2006) βρήκαν ότι η απορροφησιμότητα του χαλκού από σιτάρι (*Triticum aestivum*) σε αλατούχο έδαφος εξαρτάται τόσο από τη συγκέντρωση των αλάτων αλλά και το γενότυπο του σιταριού.

Σε επιβαρυνόμενο με κάδμιο έδαφος στη Νότια Γαλλία το θλάσπι (*Thlaspi caerulescens*) έχει βρεθεί να περιέχει στους ιστούς του μέχρι και 3000 mg/kg κάδμιο. Παρόλα αυτά μελετώντας τους διάφορους γενότυπους του είδους οι ερευνητές κατέληξαν ότι η ικανότητα απορρόφησης μεγάλων συγκεντρώσεων καδμίου οφείλεται στη γενετική παραλλακτικότητα και φυσικά στην ποσότητα του μετάλλου στο έδαφος (Schwartz et al., 2006)

Στην Ισπανία μελετήθηκε η επίδραση της θερμοκρασίας στη ρίζα της πατάτας (*Solanum tuberosum*) ως προς την απορρόφηση του χαλκού και του ψευδαργύρου. Βρέθηκε λοιπόν ότι το βέλτιστο εύρος για μεγαλύτερη απορρόφηση των μετάλλων είναι 20-23 °C (Baghour et al., 2002).

Συγκρίνοντας τα λούπινα (*Lupinus luteus*), της φακές (*Lens Culinaris*) τα ρεβίθια (*Cicer arietinum*) και το κριθάρι (*Hordeum vulgare*) βρέθηκε από τον Rodriguez et al., (2007) ότι η συγκέντρωση Hg στους ιστούς τους από τη μεγαλύτερη προς τη μικρότερη ακολουθεί την ίδια σειρά με την οποία αναφέρθηκαν τα είδη. Σε

αντίστοιχο πείραμα που αφορούσε την πρόσλυση Zn από το είδος *Potentilla griffithii* παρατηρήθηκε από τον Rongliang et al., (2006) ότι με την αύξηση της συγκέντρωσης του Zn στο έδαφος αυξανόταν και η συγκέντρωση στους υπέργειους και υπόγειους ιστούς του φυτού. Η τιμή της συγκέντρωσης Zn στο έδαφος είχε εύρος από 0-320 mg/kg εδάφους και βρέθηκε ότι το χλωρό βάρος αυξανόταν μέχρι και τη συγκέντρωση των 240 mg/kg εδάφους και στη συνέχεια μειώθηκε με την περαιτέρω αύξηση της συγκέντρωσης του Zn.

#### 4.2 Χαλκός και φυτοαποκατάσταση.

Ο χαλκός είναι συστατικό διαφόρων ενζύμων (π.χ οξειδάση του ασκορβικού οξέος, κυτοχρωμική οξειδάση, φαινολάση, λακκάση) και στους φυτικούς ιστούς είναι σε μεγάλο βαθμό συνδεδεμένος με σύμπλοκα όπως για παράδειγμα τα αμινοξέα (Bennet, 1994, Τσέκος, 2003)

Παρόλα αυτά σε μεγάλες συγκεντρώσεις ο χαλκός αποτελεί ρύπο λόγω της μεγάλης τοξικότητας σε πολλά είδη φυτών. Στην Ελβετία για παράδειγμα 50.000 εκτάρια εδάφους παρουσιάζουν υψηλές συγκεντρώσεις χαλκού (Πιτσιάβα, 2005)

Στη Νότια Πορτογαλία το πρόβλημα της συνεχούς αύξησης των επιβαρυνμένων εκτάσεων με χαλκό χρίζει ιδιαίτερης προσοχής (Nabais et al., 2007)

Για την αποκατάσταση επιβαρυνμένων εδαφών με χαλκό οι Ciura et al (2005) πειραματίστηκαν με αρκετά καλλιεργούμενα είδη μεταξύ των οποίων τα ζαχαρότευτλα (*Beta vulgaris*), τα φασόλια (*Phaseolus vulgaris*), το κριθάρι (*Hordeum vulgare*), το καλαμπόκι (*Zea mays*), τη μηδική (*Medicago sativa*) και το πεπόνι (*Cucurbita pepo*) ως πιθανοί αποκαταστάτες. Κατέληξε λοιπόν ότι το πεπόνι ήταν το πιο αποτελεσματικό.

Οι Barman et al., (2000) μελέτησαν τη δυνατότητα συσσώρευσης Cu στους ιστούς του σιταριού (*Triticum aestivum*), της ακακίας (*Acacia abunnea*), της αγριάδας (*Cynodon dactylon*) του *Rumex dentatus*, *Alternanthera sessilis*, *Polygonum lonigerum*, *Ipomea fistulosa* και *Dichanthium annulatum* . Από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι στη ρίζα, στο υπέργειο τμήμα και στα φύλλα τη μεγαλύτερη ποσότητα Cu συγκεντρώνει το *Dichanthium annulatum* (272.5, 92.5 και 82.5 μg/g ξηρού βάρους, αντίστοιχα)

Συγκρίνοντας το καλαμπόκι (*Zea mays*) και τον βίκο (*Vicia sativa*) ως προς την ικανότητα της αποκατάστασης εδαφών επιβαρυνμένων με χαλκό οι Peculyte et al., (2006) υποστηρίζουν ότι το καλαμπόκι έχει τη δυνατότητα συγκέντρωσης

μεγαλύτερης ποσότητας του μετάλλου απ'ότι ο βίκος ενώ αντίθετα ο βίκος φαίνεται ότι είναι καλύτερος συσσωρευτής Zn σε σχέση με το καλαμπόκι.

Αρκετά είδη αναφέρεται ότι είναι ανεκτικά σε υψηλές συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων μεταξύ των οποίων και ο χαλκός. Μερικά από αυτά είναι το *Polygonum hydropiper*, *Rumex acetosa*, *Lolium perene*, *Brassica Juncea* και *Vetiveria zizanioides* (Wang et al., 2003, O'Connor et al., 2003, Bennet et al., 2003, Lombiet al., 2001, Greenfield, 1989).

Το 2002 εξετάστηκε από τον Rossi και τους συνεργάτες του, η ικανότητα της ελαιοκράμβης (*Brassica napus*) ως προς την απορρόφηση καδμίου, ψευδαργύρου και χαλκού από επιβαρυμένα εδάφη. Μετά από πείραμα σε φυτοδοχεία παρατηρήθηκε ότι η ελαιοκράμβη συγκεντρώνει στους ιστούς της μεγαλύτερες ποσότητες καδμίου και ψευδαργύρου απ'ότι χαλκό.

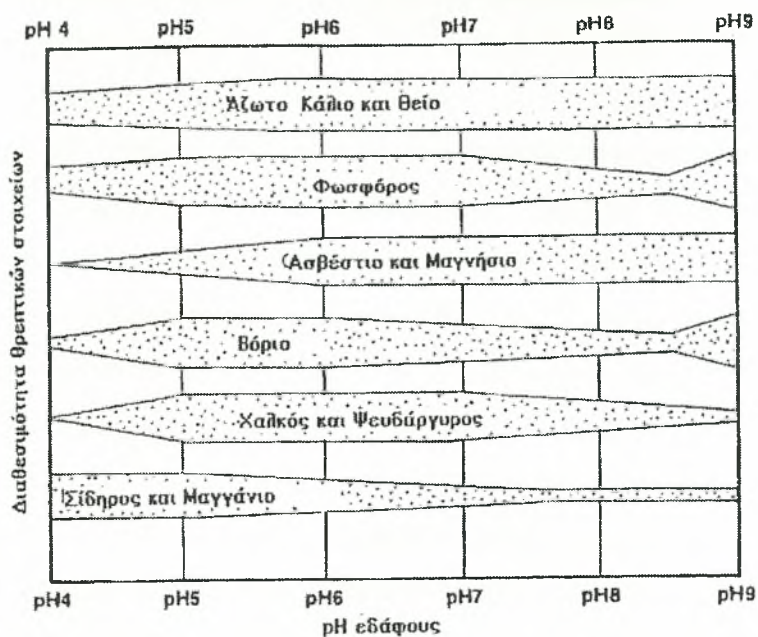
Τα είδη *Elsholtzia splendens* και *Silene vulgaris* μελετήθηκαν από τους Song et al., (2004) ως προς την ικανότητα απορρόφησης αλλά και την ανοχή σε υψηλές συγκεντρώσεις χαλκού στο έδαφος. Βρέθηκε ότι τα παραπάνω είδη έχουν την ικανότητα να φύονται και να αναπτύσσονται σε υψηλές συγκεντρώσεις χαλκού στο έδαφος.

#### **4.3 Ο ρόλος του pH του εδάφους στη βιοδιαθεσιμότητα του χαλκού στα φυτά**

Η τιμή του pH του εδάφους επηρεάζει σημαντικά τη χημική συμπεριφορά των μετάλλων. Η τιμή του pH στο έδαφος είναι δυνατό να εξαρτάται από τις μεταβολές που παρατηρούνται στο δυναμικό οξειδοαναγωγής, κυρίως σε εδάφη τα οποία περιοδικά κατακλύζονται από νερό. Συνήθως, όταν στα εδάφη επικρατούν αναγωγικές συνθήκες παρατηρείται αύξηση της τιμής του pH του εδάφους, ενώ αντίστροφα σε οξειδωτικές συνθήκες σημειώνεται ελάττωση της τιμής του pH του εδάφους (Κουκουλάκης, κ.α., 2007).

Τα μεταλλικά κατιόντα, μεταξύ των οποίων και ο χαλκός, είναι περισσότερο ευκίνητα σε όξινες συνθήκες. Στην εικόνα 4.1 που ακολουθεί φαίνεται η μεταβολή της συγκέντρωσης του χαλκού στο εδαφικό διάλυμα ανάλογα με την τιμή του pH.





**Εικόνα 1.** Διαθεσιμότητα χαλκού ανάλογα με το pH του εδάφους

Το ηλεκτρικό φορτίο που παρουσιάζουν οι επιφάνειες των εδαφών ελέγχεται από τη τιμή του pH. Επομένως η προσρόφηση του χαλκού από τη στερεή φάση του εδάφους καθώς και οι μορφές του χαλκού που παρουσιάζονται στα εδάφη καθορίζονται από την τιμή του pH του εδάφους (Μήτσιος, 2004, Joonki et al., 2006).

Η τιμή του pH στο έδαφος επηρεάζει τη συμπεριφορά αλλά και τη διαθεσιμότητα των βαρέων μετάλλων στα φυτά. Για παράδειγμα η προσρόφηση του χαλκού ως ανόργανη υδατοδιαλυτή ένωση, ως ανθρακικός χαλκός αλλά και ως οργανικό σύμπλοκο, αυξάνεται με την αύξηση της τιμής του pH. Επίσης η προσρόφηση των βαρέων μετάλλων στα ορυκτά της αργίλου και στην οργανική ουσία αυξάνεται με την αύξηση της οξύτητας (Smith, 1994, Harapriya, 2005). Έτσι λοιπόν, η διαθεσιμότητα των ιχνοστοιχείων, περιλαμβανομένου και του Cu, για τα καλλιεργούμενα φυτά είναι κατά πολύ μεγαλύτερη σε συνθήκες υψηλής οξύτητας (χαμηλή τιμή pH), ενώ αντίθετα η διαθεσιμότητά τους μειώνεται με τη σταδιακή αύξηση του χαλκού (Davis et al., 1980, Gupta et Aten, 1993). Επίσης, συχνά παρατηρείται μείωση των αποδόσεων των καλλιεργειών λόγω των υψηλών συγκεντρώσεων βαρέων μετάλλων στους ιστούς των φυτών στα οποία προκαλούν συμπτώματα τοξικότητας. Για παράδειγμα στο φασόλι και στο λάχανο αναφέρεται από τον Κουκουλάκη και τους συνεργάτες του (2007) ότι η αύξηση της παραγωγής αυξανόταν με την αύξηση της τιμής του pH από 4 σε 5.5. Επίσης στο βαμβάκι με την αύξηση της τιμής του pH από

4.8 σε 6 αυξανόταν και το μήκος της ρίζας των βαμβακοφύτων ενώ αντίθετα μειωνόταν η συγκέντρωση των ιόντων  $Al^{3+}$  που προκαλούσε τοξικά συμπτώματα (Adams et al., 1966).

Η οξύτητα του εδάφους, στο οποίο αναπτύσσονται μη οξύφιλα φυτά, περιορίζει την ανάπτυξή τους λόγω της δράσης διαφόρων χημικών παραγόντων και των αλληλεπιδράσεών τους. Έτσι λοιπόν σύμφωνα με τον Marschner (1991), στα όξινα εδάφη οι κύριοι περιοριστικοί παράγοντες είναι οι εξής: α) η αύξηση της συγκέντρωσης των ιόντων  $H^+$ ,  $Al^{3+}$ ,  $Mn^{2+}$  τα οποία προκαλούν και τοξικά συμπτώματα στη ρίζα και στους υπέργειους ιστούς, β) η μείωση της διαθεσιμότητας των ιόντων  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  και  $K^+$  αλλά και μείωση της διαλυτότητας του P και Mo, τα οποία προκαλούν και τις αντίστοιχες τροφопενίες και γ) περιορισμοί στην ανάπτυξη του ριζικού συστήματος και απώλειες θρεπτικών λόγω έκπλυσης.

Οι υψηλές συγκεντρώσεις όμως των ιόντων των βαρέων μετάλλων αλλά και η διαθεσιμότητά τους εξαρτώνται από το ηλεκτρικό φορτίο των σωματιδίων του εδάφους το οποίο με τη σειρά του επηρεάζεται από το pH του εδάφους (Davis et al., 1984, Sanders et al., 1986)

Σε πείραμα αγρού παρατηρήθηκε από τον Lexmond (1980), ότι σε όξινο-αμμώδες έδαφος η συγκέντρωση του χαλκού στα φύλλα καλλιέργειας καλαμποκιού μειώθηκε με την προσθήκη ανθρακικού ασβεστίου ( $CaCO_3$ ) για την ανύψωση του pH του εδάφους. Σε καλλιέργεια εσπεριδοειδών σε όξινο έδαφος η συγκέντρωση του χαλκού στις ρίζες των φυτών μειωνόταν με την προοδευτική αύξηση του pH του εδάφους (Alva et al., 1993)

Σε παρόμοιο πείραμα που πραγματοποιήθηκε στην Καβάλα από τον Χατζηστάθη (2004), βρέθηκε ότι σε καλλιέργειες λεύκας, ακακίας, καρυδιάς και ευκαλύπτου με την ασβέστωση και την αύξηση του pH παρατηρήθηκε ελάττωση της διαθέσιμης ποσότητας του Cu στο έδαφος έως και 3368, 6%. Στον πίνακα 4.1 που ακολουθεί φαίνεται η μεταβολή της ποσότητας του διαθέσιμου χαλκού στο έδαφος αλλά και στα φύλλα των καλλιεργειών πριν και μετά την ανύψωση του pH την ασβέστωση.

**Πίνακας 1.** Συγκεντρώσεις Cu στο έδαφος και στα φύλλα

<u>Είδος</u>	Έδαφος, Cu mg/kg		Φύλλα Cu mg/kg	
	Πριν	Μετά	Πριν	Μετά
<b>Ακακία</b>	600,4	68,5	21	8,6
<b>Λεύκα</b>	671,6	58	27	6,9
<b>Ευκάλυπτος</b>	697,7	63	17	0,1
<b>Καρυδιά</b>	758,8	42,3	22	10

(προσαρμογή από Χατζηστάθης, 2004)

Σε όξινο έδαφος με pH 3.8 στη Νέα Ζηλανδία μετά την προσθήκη ποσότητας χαλκού ίσης με 7μg/g εδάφους, η συγκέντρωσή του στο εδαφικό διάλυμα αυξήθηκε (McLaren, 1990).

## 5. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε τα έτη 2006 και 2007 σε φυτοδοχεία στο θερμοκήπιο ενώ το έτος 2007 πραγματοποιήθηκε στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Βελεστίνο.

Σκοπός της παρούσης διατριβής ήταν η μελέτη έξι φυτικών ειδών (καλαμπόκι, σιτάρι, ελαιοκράμβη, βρόμος, αγριοβαμβακιά και αγριοφασουλιά) ως πιθανοί φυτοαποκαταστάτες εδαφών επιβαρυσμένων με χαλκό.

Όσο αφορά το θερμοκήπιο η μελέτη πραγματοποιήθηκε σε δύο τύπους εδαφών: όξινο με pH 5.5 και αλκαλικό με pH 8.3 και σε συγκεντρώσεις χαλκού από 0 έως 300 mg/kg εδάφους και θερμοκρασία να κειμένεται από 25-30 °C . Στο δε αγρόκτημα καλλιεργήθηκαν τα παραπάνω φυτικά είδη σε αλκαλικό έδαφος (pH 8.3) και σε συγκεντρώσεις Cu από 0 έως 300 mg/kg εδάφους.

Ο χαλκός που εφαρμόστηκε είχε τη μορφή ένυδρου θειϊκού χαλκού (CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O) καθαρότητας 25.1 %.

Το πειραματικό σχέδιο στο θερμοκήπιο και στο αγρόκτημα ήταν τυχαιοποιημένες πλήρεις ομάδες (Randomized Complete Blocks, RCB). Στο θερμοκήπιο υπήρχαν επτά μεταχειρίσεις με τρεις επαναλήψεις για κάθε μεταχείριση καθώς και δύο τύποι εδάφους (όξινο και αλκαλικό). Στον αγρό υπήρχαν πέντε μεταχειρίσεις με τρεις επαναλήψεις και έναν τύπο εδάφους (αλκαλικό).

Οι μεταχειρίσεις ήταν οι εξής:

### Θερμοκήπιο

Στο θερμοκήπιο το όξινο έδαφος (pH 5.5) προερχόταν από τη περιοχή της Καρδίτσας ενώ το αλκαλικό έδαφος (pH 8.3) από το Αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Βελεστίνο. Οι συγκεντρώσεις Cu που εφαρμόστηκαν και στα δύο εδάφη ήταν οι εξής:

- ☛ Μάρτυρας – μηδενική συγκέντρωση Cu
- ☛ 30 mg Cu/kg εδάφους
- ☛ 60 mg Cu/kg εδάφους
- ☛ 90 mg Cu/kg εδάφους
- ☛ 120 mg Cu/kg εδάφους
- ☛ 220 mg Cu/kg εδάφους
- ☛ 300 mg Cu/Kg εδάφους

### Αγρός

Το πείραμα αγρού πραγματοποιήθηκε σε αλκαλικό έδαφος (pH 8.3) στο Αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Βελεστίνο και οι συγκεντρώσεις που εφαρμόστηκαν ήταν οι εξής:

- ☛ Μάρτυρας – μηδενική συγκέντρωση Cu
- ☛ 50 mg Cu/kg εδάφους
- ☛ 100 mg Cu/kg εδάφους
- ☛ 200 mg Cu/kg εδάφους
- ☛ 300 mg Cu/kg εδάφους

Οι σπόροι που χρησιμοποιήθηκαν ήταν του εμπορίου, όσο αφορά τα καλλιεργούμενα είδη. Συγκεκριμένα το σιτάρι ήταν ποικιλίας Iride, η ελαιοκράμβη ποικιλίας Royal και το καλαμπόκι ποικιλίας Kostanza.

Οι σπόροι των ζιζανίων συλλέχθηκαν από την προηγούμενη χρονιά από το αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας (βρόμος, αγριοφασουλιά), ενώ οι σπόροι της αγριοβαμβακιάς από την περιοχή της Καρδίτσας.

Το πείραμα στο θερμοκήπιο πραγματοποιήθηκε δυο φορές.



## 5.1 Πείραμα θερμοκηπίου

### 5.1.1 Προετοιμασία εδάφους

Το χώμα συλλέχθηκε από περιοχές με διαφορετικό pH για την κάλυψη των αναγκών του πειράματος. Δεν πραγματοποιήθηκε καμία λίπανση διότι όπως προέκυψε από την εδαφολογική ανάλυση τα κύρια θρεπτικά στοιχεία (N, P, K) βρισκόταν σε επάρκεια για την ανάπτυξη των καλλιεργειών. Μερικά εδαφολογικά χαρακτηριστικά των δυο εδαφών φαίνονται στον πίνακα 5.1 που ακολουθεί.

**Πίνακας 1.** Μερικά εδαφολογικά χαρακτηριστικά των εδαφών που χρησιμοποιήθηκαν

	<b>Όξινο</b>	<b>Αλκαλικό</b>
<b>pH</b>	5.5	8.3
<b>Οργανική Ουσία (0-33cm)</b>	1.09	1.17
<b>Μηχανική Σύσταση</b>	αμμοαργιλοπηλώδες	αργιλοπηλώδες
<b>Αγωγιμότητα (mS/cm)</b>	1.118	1.105
<b>Cu (mg/kg εδάφους)</b>	2.28	3.22

### 5.1.2 Ενσωμάτωση χαλκού στο έδαφος.

Η απαιτούμενη ποσότητα χαλκού προστέθηκε στο έδαφος με τη μορφή διαλύματος όγκου 20 mL (χαλκός και απεσταγμένο νερό) ώστε να προκύψουν οι επιθυμητές συγκεντρώσεις των 30, 60, 90, 120, 220 και 300 mg Cu/kg εδάφους. Η ενσωμάτωση γινόταν ως εξής: η ποσότητα χώματος που περιεχόταν σε κάθε φυτοδοχείο (περίπου 500g) απλωνόταν πάνω σε φύλλο πλαστικού. Στη συνέχεια το διάλυμα χαλκού (20 ml) διασκορπιζόταν στην επιφάνεια του χώματος με τη βοήθεια προχοήδας για καλύτερη διαβροχή. Το υγρό χώμα μεταφερόταν με προσοχή (για να μην υπάρχουν απώλειες) σε πλαστική σακούλα και ακολουθούσε ανακίνηση για πέντε λεπτά της ώρας ώστε να επιτευχθεί ομοιόμορφη ενσωμάτωση του χαλκού. Τέλος το χώμα μεταφερόταν στο φυτοδοχείο με κατάλληλο κωδικό για την παρακολούθησή του.

### 5.1.3 Σπορά

Σε κάθε φυτοδοχείο σπάρθηκαν επτά (7) σπόροι για κάθε είδος. Οι σπόροι που χρησιμοποιήθηκαν δεν υπέστησαν καμιά επεξεργασία εκτός από τους σπόρους της αγριοβαμβακιάς οι οποίοι προκειμένου να σπάσει ο λήθαργός τους τοποθετήθηκαν σε διάλυμα γιββερελλίνης 1000 mg/L για 24 ώρες αφού προηγήθηκε τρίψιμο των απόρων με γυαλόχαρτο προκειμένου να μειωθεί το πάχος του σκληρού περιβλήματος.

Μετά τη σπορά ακολούθησε άρδευση η οποία επαναλαμβάνονταν κάθε 2-3 ημέρες μετά από μακροσκοπικό έλεγχο της καλλιέργειας.

### 5.1.4.Μετρήσεις

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στις 40 ημέρες μετά τη σπορά και αφορούσαν:

- ❖ Χλωρό βάρος υπέργειου φυτικού τμήματος
- ❖ Χλωρό βάρος υπόγειου φυτικού τμήματος
- ❖ Ξηρό βάρος υπέργειου φυτικού τμήματος
- ❖ Ξηρό βάρος υπόγειου φυτικού τμήματος
- ❖ Ύψος φυτών
- ❖ Φυτρωτική ικανότητα
- ❖ Χλωροφύλλη
- ❖ Συγκέντρωση Cu στο υπέργειο φυτικό τμήμα.
- ❖ Συγκέντρωση διαθέσιμου Cu στο έδαφος.

#### Αναλυτικά:

**Χλωρό βάρος υπέργειου και υπόγειου φυτικού τμήματος:** αρχικά γινόταν εξαγωγή του φυτού από το φυτοδοχείο. Αυτό πραγματοποιούνταν με συνεχή ροή νερού ώστε να απομακρυνθεί το χώμα και στη συνέχεια ακολουθούσε προσεκτικά η εξαγωγή του ριζικού συστήματος. Τα φυτά τοποθετούνταν σε χάρτινη επιφάνεια προκειμένου να απομακρυνθεί η περίσσεια υγρασίας και ακολουθούσε διαχωρισμός του υπέργειου και υπόγειου τμήματος του φυτού και στη συνέχεια γινόταν ζύγιση τους σε ζυγό ακριβείας τριών δεκαδικών ψηφίων του γραμμαρίου (g).

**Ξηρό βάρος υπέργειου και υπόγειου φυτικού τμήματος:** τα χλωρά τμήματα μετά τη ζύγιση τοποθετούνταν σε χαρτοσακούλες οι οποίες με τη σειρά τους

τοποθετούνταν σε κλίβανο (πυριαντήριο) για 48 ώρες στους 80 °C προκειμένου να απομακρυνθεί η υγρασία και στη συνέχεια ακολουθούσε ζύγιση.

**Ύψος φυτών:** η μέτρηση του ύψους αφορούσε την απόσταση από το σημείο εξόδου του φυτού από το έδαφος ως το ακραίο μερίστωμα για τα πλατύφυλλα, ενώ για τα στενόφυλλα έως την κορυφή του τελευταίου φύλλου. Γινόταν μέτρηση για όλα τα φυτά της γλάστρας και υπολογιζόταν ο μέσος όρος. Η μετρήσεις γινόταν με εκατοστόμετρο.

**Φυτρωτική ικανότητα:** μετρούνταν ο αριθμός των φυτών ανά γλάστρα και με βάση τον αριθμό των σπόρων που είχαν σπαρεί (εφτά), υπολογιζόταν η φυτρωτική ικανότητα σε ποσοστό επί τοις εκατό (%).

**Χλωροφύλλη:** οι μετρήσεις (σε μονάδες SPAD) γινόταν σε τρία μεσαία φύλλα διαφορετικών φυτών ανά γλάστρα. Από κάθε φύλλο λαμβάνονταν πέντε μετρήσεις. Το όργανο που χρησιμοποιήθηκε ήταν το Chlorophyll Meter SPAD – 502 της εταιρίας Minolta.

**Συγκέντρωση Cu στο υπέργειο φυτικό τμήμα:** χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της ξηρής καύσης και η συγκέντρωση του χαλκού μετρήθηκε σε φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης.

**Συγκέντρωση διαθέσιμου Cu στο έδαφος:** για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης του διαθέσιμου χαλκού εφαρμόστηκε η DTPA μέθοδος.

## 5.2 Πείραμα στον αγρό

### 5.2.1 Περιγραφή πειραματικού αγρού.

Ο πειραματικός αγρός είχε διαστάσεις 41,5 m X 12 m και περιελάμβανε 5 επεμβάσεις με έξι φυτικά είδη και τρεις επαναλήψεις για το καθένα. Έτσι λοιπόν, όπως φαίνεται και στην εικόνα 1, υπήρχαν συνολικά 90 πειραματικά τεμάχια (5 επεμβάσεις X 6 φυτικά είδη X 3 επαναλήψεις = 90 πειραματικά τεμάχια) (παράρτημα I).



**Εικόνα 1.** Ο πειραματικός αγρός μετά την ενσωμάτωση του Cu.

Το κάθε πειραματικό τεμάχιο είχε διαστάσεις 2 m X 2 m και περιελάμβανε 4 γραμμές σποράς. Κάθε γραμμή είχε 14 θέσεις σποράς με μεταξύ τους απόσταση 15 cm ενώ η απόσταση μεταξύ των γραμμών ήταν 50 cm.

### **5.2.2 Ενσωμάτωση χαλκού στο έδαφος**

Αρχικά έγινε η χάραξη του πειραματικού αγρού και υπολογίστηκε η απαιτούμενη ποσότητα χαλκού για κάθε επέμβαση. Στη συνέχεια διαλύονταν σε νερό όγκου 3 L περίπου και το διάλυμα που προέκυπτε διασκορπιζόταν ομοιόμορφα σε κάθε πειραματικό τεμάχιο με τη βοήθεια ποτιστηριού με διαμορφωμένο στόμιο ώστε να είναι ελεγχόμενη η ροή του διαλύματος. Μετά ακολούθησε η ενσωμάτωση του χαλκού σε βάθος 10 cm με τη χρήση φρέζας.

### **5.2.3 Σπορά**

Η σπορά έγινε με το χέρι στις 22/5/2007 και οι θέσεις σποράς οριοθετήθηκαν με τη χρήση ξύλινων ράβδων ώστε να είναι ευδιάκριτες και να λαμβάνονται οι προβλεπόμενες παρατηρήσεις (εικόνα2).





**Εικόνα 2.** Σπορά στον αγρό

#### 5.2.4 Μετρήσεις

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στις 40 ημέρες μετά τη σπορά και αφορούσαν:

- Χλωρό βάρος υπέργειου φυτικού τμήματος
- Χλωρό βάρος υπόγειου φυτικού τμήματος
- Ξηρό βάρος υπέργειου φυτικού τμήματος
- Ξηρό βάρος υπόγειου φυτικού τμήματος
- Ύψος φυτών
- Φυτρωτική ικανότητα
- Χλωροφύλλη
- Συγκέντρωση Cu στο υπέργειο φυτικό τμήμα.
- Συγκέντρωση διαθέσιμου Cu στο έδαφος.

Οι μετρήσεις γινόταν σε πέντε φυτά ανά πειραματικό τεμάχιο και η επιλογή τους γινόταν τυχαία από τη μεσαία σειρά. Εξαιρέση αποτελούν οι μετρήσεις για τη φυτρωτική ικανότητα οι οποίες αφορούσαν όλα τα φυτά του πειραματικού τεμαχίου.

#### Αναλυτικά:

**Χλωρό βάρος υπέργειου και υπόγειου φυτικού τμήματος:** αρχικά γινόταν εξαγωγή του φυτού με τη βοήθεια σκαπτικών εργαλείων και στη συνέχεια ακολουθούσε εμβάπτιση του ριζικού συστήματος σε κουβά με νερό και στη συνέχεια γινόταν ξέπλυμα ώστε να απομακρυνθούν τα υπολείμματα εδάφους. Τα φυτά



τοποθετούνταν σε χάρτινη επιφάνεια προκειμένου να απομακρυνθεί η περίσσεια υγρασίας και ακολουθούσε διαχωρισμός του υπέργειου και υπόγειου τμήματος του φυτού και στη συνέχεια γινόταν ζύγιση σε ζυγό ακριβείας τριών δεκαδικών ψηφίων του γραμμαρίου (g).

**Ξηρό βάρος υπέργειου και υπόγειου φυτικού τμήματος:** τα χλωρά τμήματα μετά τη ζύγιση τοποθετούνταν σε χαρτοσακούλες οι οποίες με τη σειρά τους τοποθετούνταν σε κλίβανο (πυριαντήριο) για 48 ώρες στους 80 °C προκειμένου να απομακρυνθεί η υγρασία και στη συνέχεια ακολουθούσε ζύγιση.

**Ύψος φυτών:** η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν ίδια με αυτή που περιγράφηκε για το πείραμα στο θερμοκήπιο.

**Φυτρωτική ικανότητα:** μετρούνταν ο αριθμός των φυτών ανά πειραματικό τεμάχιο και με βάση τον αριθμό των σπόρων που είχαν σπαρεί (56), υπολογιζόταν η φυτρωτική ικανότητα σε ποσοστό επί τοις εκατό (%).

**Χλωροφύλλη:** οι μετρήσεις (σε μονάδες SPAD) γινόταν σε ένα μεσαίο φύλλο για καθένα από τα 5 επιλεγμένα φυτά. Από κάθε φύλλο λαμβάνονταν πέντε μετρήσεις. Το όργανο που χρησιμοποιήθηκε ήταν το ίδιο με αυτό που χρησιμοποιήθηκε και στο θερμοκήπιο.

**Συγκέντρωση Cu στο υπέργειο φυτικό τμήμα:** η μέθοδος που ακολουθήθηκε ήταν η ίδια με αυτή που περιγράφηκε για τις μετρήσεις στο θερμοκήπιο.

**Συγκέντρωση διαθέσιμου Cu στο έδαφος:** η μέθοδος που ακολουθήθηκε ήταν η ίδια με αυτή που περιγράφηκε για τις μετρήσεις στο θερμοκήπιο

### 5.3 Στατιστική Ανάλυση

Η στατιστική επεξεργασία των μετρήσεων αφορούσε την ανάλυση παραλλακτικότητας (ANOVA) για κάθε είδος ξεχωριστά, για τυχόν στατιστικά σημαντικές διαφορές των μέσων όρων των μεταχειρίσεων δηλαδή στα διάφορα επίπεδα συγκέντρωσης του Cu σε επίπεδο σημαντικότητας 5%. Σε κάθε περίπτωση που βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων, υπολογίστηκε η Ελάχιστη Σημαντική Διαφορά τους σε επίπεδο σημαντικότητας 5% (LSD<sub>0.05</sub>, Least Square Difference) καθώς και ο συντελεστής παραλλακτικότητας (CV, Coefficient of Variation) για κάθε στατιστική επεξεργασία. Για τη στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε το στατιστικό πακέτο MSTAT – C (version 1.2).

## 6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ

### 6.1. Πείραμα στο θερμοκήπιο

#### 6.1.1 Όξινο έδαφος (pH = 5.5)

##### 6.1.1.1 Χλωρό βάρος υπέργειου μέρους φυτών

Όπως προκύπτει από τον πίνακα 1 στον οποίο καταγράφεται το χλωρό βάρος του υπέργειου μέρους των φυτών ανά επέμβαση, το χλωρό βάρος της ελαιοκράμβης μειώθηκε στατιστικά σημαντικά σε σχέση με το μάρτυρα μέχρι τη συγκέντρωση των 30 mg Cu/kg εδάφους όπου και παρατηρήθηκε η μικρότερη τιμή. Στο βρόμο το χλωρό βάρος ανά φυτό αυξήθηκε στατιστικά σημαντικά στη συγκέντρωση των 60 mg Cu/kg εδάφους σε σχέση με το μάρτυρα και στη συνέχεια παρέμεινε σταθερά μειωμένο (αλλά στατιστικά ασήμαντο) με τη συνεχή αύξηση της συγκέντρωσης του χαλκού. Εξάιρεση αποτελεί η συγκέντρωση των 300 mg Cu/kg εδάφους όπου το χλωρό βάρος παρουσίασε τη μικρότερη τιμή η οποία και διέφερε στατιστικά.

Στο σιτάρι το χλωρό βάρος αυξήθηκε μέχρι τη συγκέντρωση των 60 mg Cu/kg εδάφους και μειώθηκε με τη διαδοχική αύξηση της συγκέντρωσης του Cu μέχρι τα 300 mg Cu/kg εδάφους. Παρόλα αυτά οι διαφορές στο χλωρό βάρος δεν ήταν στατιστικά σημαντικές σε επίπεδο σημαντικότητας 5%.

Στο καλαμπόκι το χλωρό βάρος μειώθηκε σε σχέση με το μάρτυρα καθώς η συγκέντρωση του Cu αυξήθηκε από τα 30 στα 300 mg Cu/kg εδάφους. Η μείωση ήταν σταθερή και στατιστικά σημαντική για τις συγκεντρώσεις από 30-90 mg Cu/kg εδάφους, ενώ από τα 120-300 mg Cu/kg εδάφους το χλωρό βάρος συνέχισε να μειώνεται πιο έντονα (στατιστικά σημαντικά) με τη μεγαλύτερη μείωση να παρατηρείται στις συγκεντρώσεις από 200-300 mg Cu/kg εδάφους. Η ίδια περίπου αντίδραση παρατηρήθηκε και στην αγριοφασουλιά με το χλωρό βάρος να είναι μειωμένο σε σχέση με το μάρτυρα. Παρόλα αυτά μεταξύ των επεμβάσεων από 0-120 mg Cu/kg εδάφους οι διαφορές δεν ήταν στατιστικά σημαντικές. Αντίθετα μεγάλη μείωση του χλωρού βάρους, και στατιστικά σημαντική, παρατηρήθηκε στις συγκεντρώσεις από 220-300 mg Cu/kg εδάφους. Χαρακτηριστική είναι η μείωση του χλωρού βάρους της αγριοβαμβακιάς με την αύξηση της συγκέντρωσης του χαλκού στο εδαφικό διάλυμα.

**Πίνακας 1.** Χλωρό βάρος (g) υπέργειου φυτικού τμήματος ανά συγκέντρωση Cu σε έδαφος με pH 5.5

<u>Μεταχείριση</u>	<u>Είδος</u>					
	<u>Ελαιοκράμβη</u>	<u>Βρόμος</u>	<u>Σιτάρι</u>	<u>Καλαμπόκι</u>	<u>Αγριοφ/λιά</u>	<u>Αγριοβ/κιά</u>
<u>0</u>	6.297 ab	1.964 ab	2.148 a	24.9 a	9.473 a	6.586 a
<u>30</u>	4.741 b	3.567 a	3.572 a	19.92 ab	6.420 a	3.797 b
<u>60</u>	6.217 ab	2.087 ab	3.867 a	19.86 ab	7.906 a	3.433 b
<u>90</u>	7.477 a	1.936 ab	2.890 a	19.44 ab	6.150 a	3.073 bc
<u>120</u>	6.210 ab	2.219 ab	1.763 a	13.9 bc	6.399 a	1.639 cd
<u>220</u>	4.759 b	2.039 ab	1.905 a	8.02 c	2.433 b	0.1672 d
<u>300</u>	6.092 ab	1.100 b	0.925 a	7.56 c	1.647 b	0.085 d
<u>LSD</u>	2.547	2.047	3.043	7.252	0.5512	1.738
<u>CV %</u>	23	24	25	25	33	36
<u>R<sup>2</sup>*</u>	0,07	0,12	0,08	0,73	0,38	0,81

<sup>abc</sup> Μέσοι όροι οι οποίοι δεν συνδέονται με το ίδιο γράμμα σε μία στήλη, διαφέρουν σημαντικά για επίπεδο σημαντικότητας 5%

\* Συντελεστής συσχέτισης

### 6.1.1.2 Χλωρό βάρος υπόγειου μέρους φυτών

Το χλωρό βάρος του υπόγειου τμήματος της ελαιοκράμβης αυξήθηκε διαδοχικά με την αύξηση της συγκέντρωσης του χαλκού και παρουσίασε τη μεγαλύτερη τιμή στη συγκέντρωση των 90 mg Cu/kg εδάφους (πίνακας 1). Στη συνέχεια το βάρος μειώθηκε με την περαιτέρω αύξηση της συγκέντρωσης του χαλκού μέχρι και τα 300 mg/kg εδάφους.

Στο βρόμο δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των επεμβάσεων.

Το χλωρό βάρος του ριζικού συστήματος του σιταριού αυξήθηκε διαδοχικά μέχρι και τη συγκέντρωση των 220 mg Cu/kg εδάφους ενώ αντίθετα μειωνόταν με την περαιτέρω αύξηση της συγκέντρωσης του χαλκού μέχρι και τα 300 mg Cu/kg εδάφους όπου και καταγράφηκε η μικρότερη τιμή μεταξύ των επεμβάσεων. Παρόλα αυτά στατιστικά σημαντικά διέφεραν μόνο οι επεμβάσεις των 90 και 300 mg/kg εδάφους, όπου και παρατηρήθηκε η μέγιστη και η μικρότερη τιμή βάρους αντίστοιχα.

Στο καλαμπόκι, την αγριοφασουλιά και την αγριοβαμβακιά το βάρος της ρίζας μειώθηκε σε όλες τις επεμβάσεις σε σχέση με το μάρτυρα με την αύξηση της συγκέντρωσης του Cu στο έδαφος.

**Πίνακας 2.** Χλωρό βάρος (g) υπόγειου φυτικού τμήματος ανά συγκέντρωση Cu σε έδαφος με pH 5.5

<u>Μεταχείριση</u>	<u>Είδος</u>					
	<u>Ελαιοκράμβη</u>	<u>Βρόμος</u>	<u>Σιτάρι</u>	<u>Καλαμπόκι</u>	<u>Αγριοφ/λιά</u>	<u>Αγριοβ/κιά</u>
<u>0</u>	0.9897 b	1.086 a	1.219 b	16.64 a	5.011 a	3.380 a
<u>30</u>	1.475 ab	1.042 a	1.375 b	12.33 b	2.732 bc	3.192 a
<u>60</u>	1.278 ab	0.771 a	2.157ab	12.83 b	2.638 bc	1.321 b
<u>90</u>	2.656 a	1.167 a	3.886 a	13.43 ab	3.146 b	1.347 b
<u>120</u>	1.968 ab	1.943 a	1.794 b	8.164 c	2.224 cd	1.519 b
<u>220</u>	1.212 ab	1.360 a	1.876 b	5.314 c	1.649 de	0.056 c
<u>300</u>	0.6683 b	0.7583 a	0.652 b	5.631 c	0.895 e	0.075 c
<u>LSD</u>	1.562	(NS)	1.803	3.690	0.079	1.617
<u>CV %</u>	23	28	35	19	18	38
<u>R<sup>2</sup>*</u>	0.00	0.01	0.00	0.61	0.07	0.65

<sup>abc</sup> Μέσοι όροι οι οποίοι δεν συνδέονται με το ίδιο γράμμα σε μία στήλη, διαφέρουν σημαντικά για επίπεδο σημαντικότητας 5%

\* Συντελεστής συσχέτισης



### 6.1.1.3 Ξηρό βάρος υπέργειου μέρους φυτών

Στον πίνακα 3 καταγράφεται το ξηρό βάρος του υπέργειου μέρους των φυτών ανά επέμβαση το οποίο μεταβλήθηκε ανάλογα με το χλωρό βάρος. Η ίδια αναλογία δεν παρατηρήθηκε στο βρόμο και στην αγριοφασουλιά για όλες τις επεμβάσεις. Στο βρόμο σε επίπεδο σημαντικότητας 5% δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές, ενώ στην αγριοφασουλιά το βάρος μειώθηκε σε όλες τις επεμβάσεις και η μικρότερη τιμή παρατηρήθηκε στα 200-300 mg Cu/kg εδάφους μεταξύ των οποίων δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές..

Πίνακας 3. Ξηρό βάρος (g) υπέργειου φυτικού τμήματος ανά συγκέντρωση Cu σε έδαφος με pH 5.5

<u>Μεταχείριση</u>	<u>Είδος</u>					
mg Cu /kg Ξ.Ε	<u>Ελαιοκράμβη</u>	<u>Βρόμος</u>	<u>Σιτάρι</u>	<u>Καλαμπόκι</u>	<u>Αγριοφ/λιά</u>	<u>Αγριοβ/κιά</u>
<u>0</u>	0.601 ab	0.2143 a	0.284abc	3.591 a	1.90 a	1.111 a
<u>30</u>	0.373 b	0.2342 a	0.50 ab	2.794 ab	1.16 b	0.9511 ab
<u>60</u>	0.473 ab	0.3922 a	0.535 a	1.934 bc	1.47 ab	0.562 bc
<u>90</u>	0.747 a	0.2023 a	0.39 abc	2.511 ab	1.02 bc	0.436 cd
<u>120</u>	0.546 ab	0.1095 a	0.134 bc	2.013 bc	0.59 cd	0.349 cd
<u>220</u>	0.398 b	0.1706 a	0.16 abc	0.883 c	0.23 de	0.083 d
<u>300</u>	0.638 ab	0.2133 a	0.058 c	1.025 c	0.24 de	0.032 d
<u>LSD</u>	0.303	0.483	0.373	1.164	0.56	0.4247
<u>CV %</u>	31	54	51	31	34	37
<u>R<sup>2</sup>*</u>	0.01	0.02	0.26	0.63	0.34	0.74

<sup>abc</sup> Μέσοι όροι οι οποίοι δεν συνδέονται με το ίδιο γράμμα σε μία στήλη, διαφέρουν σημαντικά για επίπεδο σημαντικότητας 5%

\* Συντελεστής συσχέτισης

#### 6.1.1.4 Ξηρό βάρος υπόγειου μέρους φυτών

Πως μεταβλήθηκε το ξηρό βάρος του υπόγειου τμήματος των φυτών σε σχέση με τη συγκέντρωση του Cu στο έδαφος, φαίνεται στον πίνακα 4 που ακολουθεί.

Στην ελαιοκράμβη η μεγαλύτερη τιμή ξηρού βάρους σε σχέση με το μάρτυρα παρατηρήθηκε στη συγκέντρωση των 90 mg Cu/kg εδάφους και στη συνέχεια μειωνόταν με τη διαδοχική αύξηση της συγκέντρωσης του χαλκού. Στο βρόμο παρατηρήθηκε μεγάλη ανομοιομορφία μεταξύ των μεταχειρίσεων. Αυτό πιθανότατα να οφείλεται στην μικρή φυτρωτική ικανότητα του ζιζανίου αλλά και στο γεγονός ότι όλα τα φυτάρια δεν είχαν την ίδια ευρωστία μέσα σε κάθε επέμβαση.

Στο σιτάρι το ξηρό βάρος αυξανόταν με την αύξηση της συγκέντρωσης του χαλκού μέχρι τα 90 mg Cu/kg εδάφους ενώ αντίθετα από τα 120-300 mg Cu/kg εδάφους μειωνόταν. Στο καλαμπόκι το ξηρό βάρος μειώθηκε σε σχέση με το μάρτυρα σε όλες τις συγκεντρώσεις με την ελάχιστη μετρούμενη τιμή στα 300 mg Cu/kg εδάφους. Στην αγριοφασουλιά σε όλες τις επεμβάσεις μειώθηκε το ξηρό βάρος σε



σχέση με το μάρτυρα αλλά οι διαφορές δεν ήταν στατιστικά σημαντικές. Στην αγριοβαμβακιά το ξηρό βάρος μειώθηκε σε σχέση με το μάρτυρα. Εξαιρέση αποτελεί η συγκέντρωση των 30 mg Cu/kg εδάφους όπου παρατηρήθηκε οριακή αλλά στατιστικά σημαντική αύξηση. Στις υπόλοιπες συγκεντρώσεις η μείωση ήταν μεγαλύτερη και έφτανε κάτω από το μισό του βάρους του μάρτυρα.

Πίνακας 4. Ξηρό βάρος (g) υπόγειου φυτικού τμήματος ανά συγκέντρωση Cu σε έδαφος με pH 5.5

<u>Μεταχείριση</u>	<u>Είδος</u>					
mg Cu /kg Ξ.Ε	<u>Ελαιοκράμβη</u>	<u>Βρόμος</u>	<u>Σιτάρι</u>	<u>Καλαμπόκι</u>	<u>Αγριοφ/λιά</u>	<u>Αγριοβ/κιά</u>
<u>0</u>	0.124 b	0.053 b	0.115 b	3.594 a	0.41 a	0.365 ab
<u>30</u>	0.167 b	0.409 a	0.075 b	2.354 ab	0.141 a	0.376 a
<u>60</u>	0.045 b	0.252 a	0.382 ab	2.308 ab	0.143 a	0.075 c
<u>90</u>	0.511 a	0.069 b	0.621 a	3.117 ab	0.222 a	0.196 abc
<u>120</u>	0.239 ab	0.222 a	0.347 ab	1.940 b	0.341 a	0.059 c
<u>220</u>	0.210 b	0.114 a	0.151 b	0.5692 c	0.291 a	0.164 bc
<u>300</u>	0.042 b	0.425 a	0.059 b	0.4374 c	0.091 a	0.011 c
<u>LSD</u>	0.2869	0.045	0.4096	1.341	NS	0.210
<u>CV %</u>	54	53	59	37	59	51
<u>R<sup>2</sup>*</u>	0.00	0.02	0.00	0.65	0.02	0.41

<sup>abc</sup> Μέσοι όροι οι οποίοι δεν συνδέονται με το ίδιο γράμμα σε μία στήλη, διαφέρουν σημαντικά για επίπεδο σημαντικότητας 5%

\* Συντελεστής συσχέτισης

#### 6.1.1.5 Φυτρωτική ικανότητα

Στην ελαιοκράμβη, το σιτάρι, την αγριοφασουλιά και την αγριοβαμβακιά δεν παρατηρήθηκαν διαφορές ως προς τη φυτρωτική ικανότητα (πίνακας 5). Στο βρόμο αν και παρουσίασε στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων ενδεχομένως να μην οφείλεται στη συγκέντρωση του χαλκού αλλά στη χαμηλή βλαστική ικανότητα –ποιότητα του σπόρου του ζιζανίου.

Στο καλαμπόκι η φυτρωτική ικανότητα κυμαινόταν σε ποσοστό μεγαλύτερο από 90% εκτός από τα 300 mg Cu/kg εδάφους όπου μειώθηκε στο 76% .

Γενικά, σε όλα τα είδη η χαμηλότερη φυτρωτική ικανότητα παρατηρήθηκε στα 300 mg Cu/kg εδάφους.

**Πίνακας 5.** Φυτρωτική ικανότητα ανά συγκέντρωση Cu σε έδαφος με pH 5.5

<u>Μεταχείριση</u>	<u>Είδος</u>					
<u>mg Cu /kg Ξ.Ε</u>	<u>Ελαιοκράμβη</u>	<u>Βρόμος</u>	<u>Σιτάρι</u>	<u>Καλαμπόκι</u>	<u>Αγριοφ/λιά</u>	<u>Αγριοβ/κιά</u>
<u>0</u>	90.48 a	80.95 a	100 a	95.24 ab	95.24 a	76.19 a
<u>30</u>	95.24 a	33.33 b	100 a	100.0 a	95.24 a	47.62 a
<u>60</u>	85.71 a	42.86 b	85.71 a	95.24 ab	95.24 a	61.90 a
<u>90</u>	80.95 a	85.71 a	100 a	90.48 ab	95.24 a	52.38 a
<u>120</u>	90.48 a	71.43 a	95.24 a	95.24 ab	95.24 a	42.86 a
<u>220</u>	95.24 a	61.90 ab	100 a	95.24 ab	85.71 a	38.10 a
<u>300</u>	95.24 a	33.33 b	80.95 a	76.19 b	80.95 a	42.86 a
<u>LSD</u>	NS	28	NS	20.25	NS	NS
<u>CV %</u>	13	27	22	12	13	44
<u>R<sup>2</sup>*</u>	0.02	0.02	0.00	0.18	0.18	0.21

<sup>abc</sup> Μέσοι όροι οι οποίοι δεν συνδέονται με το ίδιο γράμμα σε μία στήλη, διαφέρουν σημαντικά για επίπεδο σημαντικότητας 5%

\* Συντελεστής συσχέτισης

#### 6.1.1.6 Χλωροφύλλη

Η χλωροφύλλη (σε τιμές SPAD) επηρεάστηκε με την αύξηση της συγκέντρωσης του χαλκού στο βρόμο, στο σιτάρι και στην αγριοβαμβακιά όπου και παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές (πίνακας 6). Στο βρόμο η μικρότερη τιμή παρατηρήθηκε στη συγκέντρωση των 300 mg Cu/kg εδάφους ενώ στο σιτάρι η τιμή της χλωροφύλλης μειωνόταν (στατιστικά σημαντικά) από τη συγκέντρωση των 120 mg Cu/kg εδάφους και η μικρότερη τιμή παρατηρήθηκε και εδώ στα 300 mg Cu/kg εδάφους. Στην αγριοβαμβακιά αυξήθηκε οριακά σε σχέση με το μάρτυρα στις συγκεντρώσεις 30-120 mg Cu/kg εδάφους, αλλά στατιστικά σημαντικά, ενώ από τα 220-300 mg Cu/kg εδάφους μειώθηκε και η μικρότερη τιμή χλωροφύλλης παρατηρήθηκε στην τελευταία συγκέντρωση χαλκού.

**Πίνακας 6.** Τιμές χλωροφύλλης ανά συγκέντρωση Cu σε έδαφος με pH 5.5

<u>Μεταχείριση</u>	<u>Είδος</u>					
mg Cu /kg Ξ.Ε	<u>Ελαιοκράμβη</u>	<u>Βρόμος</u>	<u>Σιτάρι</u>	<u>Καλαμπόκι</u>	<u>Αγριοφ/λιά</u>	<u>Αγριοβ/κιά</u>
<u>0</u>	26.50 a	21.6 ab	42.27 a	20.23 a	24.10 a	23.83 ab
<u>30</u>	24.70 a	23.77 a	41.50 a	20.20 a	23.27 a	24.50 a
<u>60</u>	28.60 a	19.87 ab	41.90 a	18.87 a	25.03 a	25.27 a
<u>90</u>	27.33 a	21.77 a	42.07 a	21.20 a	24.00 a	24.27 a
<u>120</u>	25.53 a	22.23 a	38.17 ab	19.80 a	20.43 a	24.77 a
<u>220</u>	27.27 a	17.23 bc	32.33 ab	19.20 a	23.73 a	21.67 b
<u>300</u>	28.33	13.57 c	31.00 ab	18.00 a	20.27 a	19.30 c
<u>LSD</u>	NS	4.369	16.48	NS	NS	2.268
<u>CV %</u>	9	12	26	13	13	5
<u>R<sup>2</sup>*</u>	0.05	0.44	0.08	0.06	0.14	0.4

<sup>abc</sup> Μέσοι όροι οι οποίοι δεν συνδέονται με το ίδιο γράμμα σε μία στήλη, διαφέρουν σημαντικά για επίπεδο σημαντικότητας 5%

\* Συντελεστής συσχέτισης

#### 6.1.1.7 Ύψος φυτού

Το ύψος των φυτών στην ελαιοκράμβη ήταν οριακά μεγαλύτερο σε σχέση με το μάρτυρα για όλες τις συγκεντρώσεις αλλά δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές (πίνακας 7). Στο βρόμο μειώθηκε από τη συγκέντρωση των 120 mg Cu/kg εδάφους και η μικρότερη τιμή παρατηρήθηκε στα 300 mg Cu/kg εδάφους. Στο σιτάρι η μικρότερη τιμή καταγράφηκε στη συγκέντρωση των 300 mg Cu/kg εδάφους ενώ στο καλαμπόκι το ύψος των φυτών μειώθηκε με τη διαδοχική αύξηση της συγκέντρωσης του χαλκού από 120-300 mg Cu/kg εδάφους. Σε παρόμοια αποτελέσματα κατέληξε και η έρευνα του Dale et al., (2006) όπου το ύψος του καλαμποκιού μειωνόταν με την αύξηση της συγκέντρωσης του χαλκού στο έδαφος. Στην αγριοφασουλιά και στην αγριοβαμβακιά μειώθηκε σε όλες τις επεμβάσεις και η μεγαλύτερη μείωση και για τα δύο είδη παρατηρήθηκε στα 200-300 mg Cu/kg εδάφους (παράρτημα IV).

Πίνακας 7. Ύψος φυτού (cm) ανά συγκέντρωση Cu σε έδαφος με pH 5.5

<u>Μεταχείριση</u>	<u>Είδος</u>					
	<u>Ελαιοκράμβη</u>	<u>Βρόμος</u>	<u>Σιτάρι</u>	<u>Καλαμπόκι</u>	<u>Αγριοφ/λιά</u>	<u>Αγριοβ/κιά</u>
<u>0</u>	12.00 a	24.67 a	12.00 a	48.33 a	29.00 a	18.33 a
<u>30</u>	14.00 a	24.67 a	11.33 ab	43.67 a	24.67 ab	17.00 ab
<u>60</u>	13.00 a	23.33 a	12.66 a	43.33 a	21.00 b	13.00 bc
<u>90</u>	13.33 a	24.67 a	16.33 a	46.83 a	20.33 b	12.33 c
<u>120</u>	13.33 a	21.00 ab	11.00 ab	39.67 a	21.33 b	11.00 c
<u>220</u>	13.00 a	17.00 b	11.33 ab	27.00 b	5.667 c	5.00 c
<u>300</u>	13.33 a	6.667 c	5.333 b	19.67 b	4.667 c	3.333 d
<u>LSD</u>	NS	5.037	6.656	10.45	5.533	4.305
<u>CV %</u>	12	14	33	15	17	21
<u>R<sup>2</sup>*</u>	0.02	0.58	0.1	0.64	0.78	0.84

<sup>abc</sup> Μέσοι όροι οι οποίοι δεν συνδέονται με το ίδιο γράμμα σε μία στήλη, διαφέρουν σημαντικά για επίπεδο σημαντικότητας 5%

\* Συντελεστής συσχέτισης

#### 6.1.1.8 Συγκέντρωση Cu στο υπέργειο φυτικό τμήμα

Στον πίνακα 8 που ακολουθεί φαίνονται οι ποσότητες του χαλκού που μετρήθηκαν στο υπέργειο φυτικό τμήμα για την αγριοβαμβακιά, την αγριοφασουλιά και το καλαμπόκι. Να σημειωθεί ότι η μικρή βιομάζα της αγριοβαμβακιάς δεν επέτρεψε την πραγματοποίηση εργαστηριακών αναλύσεων σε όλες τις μεταχειρίσεις για την μέτρηση της ποσότητας του απορροφημένου χαλκού.

Οι μετρήσεις που αφορούσαν τη συγκέντρωση του χαλκού στο υπέργειο τμήμα των φυτών πραγματοποιήθηκαν στο Ι.Χ.Τ.Ε.Λ. Λάρισας, με τη συσκευή της ατομικής απορρόφησης.

Στο σιτάρι, το βρόμο και την ελαιοκράμβη δεν μετρήθηκε η απορροφηθείσα ποσότητα χαλκού λόγω της μικρής βιομάζας των φυταρίων που αναπτύχθηκε σε χρονικό διάστημα 40 ημερών μετά τη σπορά.

Στο καλαμπόκι με την αύξηση της συγκέντρωσης του χαλκού στο έδαφος αυξήθηκε και η συγκέντρωσή στους υπέργειους ιστούς. Στα ίδια αποτελέσματα

κατέληξε και Πυριανίαν (2006) μελετώντας την ικανότητα του καλαμποκιού να συγκεντρώνει Cu στους υπέργειους ιστούς σε έδαφος με pH 4.3.

Στην αγριοφασουλιά παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων ενώ στην αγριοβαμβακιά η συγκέντρωση του Cu στους υπέργειους ιστούς αυξήθηκε με την αύξησή του έδαφος..

**Πίνακας 8.** Συγκέντρωση Cu στο υπέργειο φυτικό τμήμα.

<u>Μεταχείριση</u>	<u>Είδος</u>		
	<u>mg Cu /kg Ξ.Ε</u>	<u>Καλαμπόκι</u>	<u>Αγριοφ/λιά</u>
<u>0</u>	5.50 c	8.00 a	9.50 a
<u>30</u>	13.50 c	17.50 a	15.50 b
<u>60</u>	22.00 c	23.50 ab	24.50 c
<u>90</u>	22.50 c	31.50 bc	-
<u>120</u>	39.50 ab	31.50 bc	-
<u>220</u>	27.50 bc	30.50 bc	-
<u>300</u>	48.00 a	30.50 bc	-
<u>LSD</u>	16.23	12.14	3.75
<u>CV %</u>	24	14	11
<u>R<sup>2</sup>*</u>	0.62	0.07	0.88

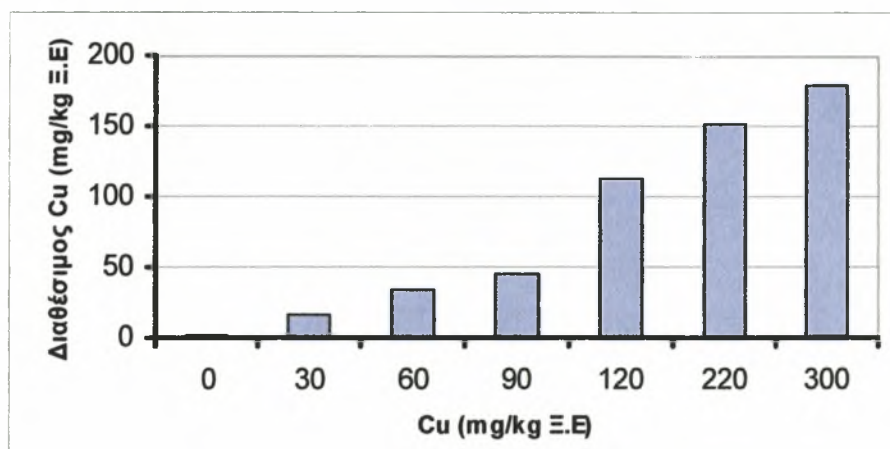
<sup>abc</sup> Μέσοι όροι οι οποίοι δεν συνδέονται με το ίδιο γράμμα σε μία στήλη, διαφέρουν σημαντικά για επίπεδο σημαντικότητας 5%

\* Δευτέρου βαθμού εξίσωση.



### 6.1.1.9 Συγκέντρωση διαθέσιμου χαλκού στο έδαφος

Στο γράφημα που ακολουθεί φαίνονται οι ποσότητες του διαθέσιμου εδαφικού χαλκού ανά επέμβαση σε έδαφος pH 5.5, η οποία αυξάνεται με την αύξηση της συγκέντρωσης του χαλκού στο έδαφος. Παρατηρείται ότι ο χαλκός ως μεταλλικό κατιόν, είναι περισσότερο ευκίνητος σε όξινες συνθήκες και επιβεβαιώνεται με την αύξηση την συγκέντρωσής του στο έδαφος ανά επέμβαση.



Γράφημα 1. Συγκέντρωση διαθέσιμου χαλκού σε έδαφος με pH 5.5

### 6.1.2 Αλκαλικό έδαφος (pH = 8.3)

#### 6.1.2.1 Χλωρό βάρος υπέργειου μέρους φυτών

Στα είδη ελαιοκράμβη, βρόμο, καλαμπόκι, αγριοφασουλιά και αγριοβαμβακιά δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων όπως προκύπτει από τον πίνακα 9 που παρατίθεται στη συνέχεια.. Στο σιτάρι αντίθετα το χλωρό βάρος του υπέργειου τμήματος αυξανόταν με την αύξηση της συγκέντρωσης του χαλκού μέχρι τη συγκέντρωση των 90 mg Cu/kg εδάφους και στη συνέχεια μειωνόταν με την περαιτέρω αύξηση της συγκέντρωσης του χαλκού. Παρόλα αυτά η μικρότερη τιμή παρατηρήθηκε στα 300 mg Cu/kg εδάφους.

Γενικά, όπως και στο όξινο έδαφος, έτσι και στο αλκαλικό η τάση που παρατηρήθηκε ήταν η μείωση του βάρους ανά φυτό με την αύξηση της συγκέντρωσης του χαλκού έδαφος. Η τάση αυτή ήταν πιο έντονη στην περίπτωση του όξινου εδάφους.

Πίνακας 9. Χλωρό βάρος (g) υπέργειου φυτικού τμήματος ανά συγκέντρωση Cu σε έδαφος με pH 8.3

<u>Μεταχείριση</u>	<u>Είδος</u>					
mg Cu /kg Ξ.Ε	<u>Ελαιοκράμβη</u>	<u>Βρόμος</u>	<u>Σιτάρι</u>	<u>Καλαμπόκι</u>	<u>Αγριοφ/λιά</u>	<u>Αγριοβ/κιά</u>
<u>0</u>	10.02 a	6.544 a	3.00 c	18.309 a	6.858 a	9.901 a
<u>30</u>	7.642 a	4.584 a	3.93 abc	19.485 a	7.648 a	10.39 a
<u>60</u>	7.802 a	4.297 a	4.722 a	21.978 a	8.299 a	10.81 a
<u>90</u>	7.824 a	4.843 a	4.787 a	19.354 a	7.208 a	15.60 a
<u>120</u>	8.518 a	4.004 a	4.503 ab	17.177 a	7.909 a	16.56 a
<u>220</u>	9.202 a	4.212 a	4.162 ab	18.155 a	7.496 a	14.64 a
<u>300</u>	8.107 a	3.230 a	3.601 bc	17.707 a	6.888 a	9.004 a
<u>LSD</u>	NS	NS	1.079	NS	NS	NS
<u>CV %</u>	24	28	15	13	14	50
<u>R<sup>2</sup>*</u>	0.0	0.1	0.003	0.06	0.0	0.02

<sup>abc</sup> Μέσοι όροι οι οποίοι δεν συνδέονται με το ίδιο γράμμα σε μία στήλη, διαφέρουν σημαντικά για επίπεδο σημαντικότητας 5%

\* Συντελεστής συσχέτισης

#### 6.1.2.2 Χλωρό βάρος υπόγειου μέρους φυτών

Στον πίνακα 10 φαίνεται ότι στα είδη ελαιοκράμβη, βρόμος, σιτάρι, καλαμπόκι, αγριοφασουλιά και αγριοβαμβακιά δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων, όπως αντίστοιχα παρατηρήθηκε και για το χλωρό βάρος του υπέργειου τμήματος. Στην περίπτωση του σιταριού το χλωρό βάρος αυξανόταν, σε σχέση με το μάρτυρα, με την αύξηση της συγκέντρωσης του χαλκού μέχρι τα 60 mg Cu/kg εδάφους και στη συνέχεια μειωνόταν με την μικρότερη παρατηρούμενη τιμή στα 300 mg Cu/kg εδάφους. Παρόλα αυτά οι διαφορές δεν ήταν στατιστικά σημαντικές.

Πίνακας 10. Χλωρό βάρος (g) υπόγειου φυτικού τμήματος ανά συγκέντρωση Cu σε έδαφος με pH 8.3

<u>Μεταχείριση</u>	<u>Είδος</u>					
<u>mg Cu /kg Ξ.Ε</u>	<u>Ελαιοκράμβη</u>	<u>Βρόμος</u>	<u>Σιτάρι</u>	<u>Καλαμπόκι</u>	<u>Αγριοφ/λιά</u>	<u>Αγριοβ/κιά</u>
<u>0</u>	1.114 a	3.535 a	1.456 a	12.670 a	1,571 a	3.777 a
<u>30</u>	1.052 a	4.312 a	2.228 a	13.585 a	2,049 a	4.235 a
<u>60</u>	1.251 a	3.937 a	2.628 a	15.915 a	1,503 a	4.820 a
<u>90</u>	1.529 a	3.451 a	2.352 a	13.424 a	1,558 a	6.880 a
<u>120</u>	1.287 a	3.059 a	2.108 a	13.479 a	1,823 a	6.582 a
<u>220</u>	2.048 a	3.460 a	2.274 a	12.275 a	1,729 a	6.865 a
<u>300</u>	1.542 a	2.296 a	2.550 a	13.629 a	1,281 a	3.958 a
<u>LSD</u>	NS	NS	NS	NS	NS	NS
<u>CV %</u>	20	25		9	19	36
<u>R<sup>2*</sup></u>	0.19	0.15	0.15	0.01	0.06	0.04

<sup>abc</sup> Μέσοι όροι οι οποίοι δεν συνδέονται με το ίδιο γράμμα σε μία στήλη, διαφέρουν σημαντικά για επίπεδο σημαντικότητας 5%

\* Συντελεστής συσχέτισης

### 6.1.2.3 Ξηρό βάρος υπέργειου μέρους φυτών

Το ξηρό βάρος του υπέργειου τμήματος των φυτών της ελαιοκράμβης, του βρόμου, του σιταριού και της αγριοβαμβακιάς παρέμεινε σταθερό μεταξύ των επεμβάσεων σε επίπεδο σημαντικότητας 5% καθώς δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των επεμβάσεων (πίνακας 11). Στο καλαμπόκι το ξηρό βάρος μειώθηκε (στατιστικά σημαντικά) σε σχέση με το μάρτυρα σε όλες τις επεμβάσεις και η μικρότερη παρατηρούμενη τιμή αντιστοιχούσε στη συγκέντρωση των 300 mg Cu/kg εδάφους. Στην αγριοφασουλιά το ξηρό βάρος ήταν αυξημένο σε σχέση με το μάρτυρα για όλες τις επεμβάσεις. Στα 30 mg Cu/kg εδάφους παρατηρήθηκε η μέγιστη τιμή ενώ στη συνέχεια το βάρος μειώθηκε στατιστικά σημαντικά με τη διαδοχική αύξηση της συγκέντρωσης του χαλκού στο έδαφος.

**Πίνακας 11.** Ξηρό βάρος (g) υπέργειου φυτικού τμήματος ανά συγκέντρωση Cu σε έδαφος με pH 8.3

<u>Μεταχείριση</u>	<u>Είδος</u>					
<u>mg Cu /kg Ξ.Ε</u>	<u>Ελαιοκράμβη</u>	<u>Βρόμος</u>	<u>Σιτάρι</u>	<u>Καλαμπόκι</u>	<u>Αγριοφ/λιά</u>	<u>Αγριοβ/κιά</u>
<u>0</u>	0.515 a	0.236 a	0.259 a	2.857 a	0.343 b	2.547 a
<u>30</u>	0.486 a	0.469 a	0.415 a	1.173 b	0.656 a	2.010 a
<u>60</u>	0.492 a	0.658 a	0.494 a	1.302 b	0.468 ab	2.466 a
<u>90</u>	0.577 a	0.154 a	0.482 a	1.316 b	0.382 ab	3.326 a
<u>120</u>	0.556 a	0.269 a	0.463 a	0.876 b	0.340 b	3.143 a
<u>220</u>	0.860 a	0.143 a	0.418 a	1.224 b	0.501 ab	3.456 a
<u>300</u>	0.714 a	0.155 a	0.433 a	0.778 b	0.377 ab	2.086 a
<u>LSD</u>	NS	NS	NS	1.025	0.3081	NS
<u>CV %</u>	32	39	32	32	39	36
<u>R<sup>2</sup>*</u>	0.12	0.0	0.07	0.34	0.02	0.02

<sup>abc</sup> Μέσοι όροι οι οποίοι δεν συνδέονται με το ίδιο γράμμα σε μία στήλη, διαφέρουν σημαντικά για επίπεδο σημαντικότητας 5%

\* Συντελεστής συσχέτισης

#### 6.1.2.4 Ξηρό βάρος υπόγειου μέρους φυτών

Στον πίνακα 12 που ακολουθεί φαίνονται οι τιμές ξηρού βάρους ανά επέμβαση για κάθε φυτικό είδος. Για όλα τα φυτικά είδη εκτός του βρόμου και του καλαμποκιού το ξηρό βάρος του ριζικού συστήματος δεν διέφερε στατιστικά σημαντικά μεταξύ των επεμβάσεων.

Στο βρόμο το ξηρό βάρος αυξανόταν με την αύξηση της συγκέντρωσης του χαλκού μέχρι και τα 60 mg Cu/kg εδάφους όπου και παρατηρήθηκε η μέγιστη τιμή και στη συνέχεια μειωνόταν με τη μικρότερη παρατηρούμενη τιμή στα 300 mg Cu/kg εδάφους. Παρόλα αυτά στατιστικά σημαντικές διαφορές σε σχέση με το μάρτυρα παρατηρήθηκαν μόνο στη συγκέντρωση των 60 και 90 Cu/kg εδάφους.

Στο καλαμπόκι αντίθετα το ξηρό βάρος ήταν μειωμένο και διέφερε στατιστικά σημαντικά σε σχέση με το μάρτυρα σε όλες τις μεταχειρίσεις και η μικρότερη τιμή βάρους παρατηρήθηκε στην επέμβαση των 300 mg Cu/kg εδάφους.

**Πίνακας 12.** Ξηρό βάρος (g) υπόγειου φυτικού τμήματος ανά συγκέντρωση Cu σε έδαφος pH 8.3

<u>Μεταχείριση</u>	<u>Είδος</u>					
<u>mg Cu /kg Ξ.Ε</u>	<u>Ελαιοκράμβη</u>	<u>Βρόμος</u>	<u>Σιτάρι</u>	<u>Καλαμπόκι</u>	<u>Αγριοφ/λιά</u>	<u>Αγριοβ/κιά</u>
<u>0</u>	0.095 a	0.184 b	0.122 a	2.857 a	0.185 a	0.972 a
<u>30</u>	0.136 a	0.348 b	0.261 a	1.264 bc	0.202 a	0.811 a
<u>60</u>	0.064 a	0.678 a	0.381 a	1.473 bc	0.222 a	0.969 a
<u>90</u>	0.077 a	0.182 a	0.327 a	1.405 bc	0.278 a	1.074 a
<u>120</u>	0.085 a	0.228 b	0.206 a	1.014 c	0.310 a	1.003 a
<u>220</u>	0.095 a	0.166 b	0.288 a	2.152 ab	0.135 a	1.236 a
<u>300</u>	0.097 a	0.164 b	0.384 a	0.988 c	0.119 a	0.642 a
<u>LSD</u>	NS	0.292	NS	1.095	NS	NS
<u>CV %</u>	53	59	57	39	36	29
<u>R<sup>2</sup>*</u>	0.01	0.02	0.06	0.15	0.02	0.0

<sup>abc</sup> Μέσοι όροι οι οποίοι δεν συνδέονται με το ίδιο γράμμα σε μία στήλη, διαφέρουν σημαντικά για επίπεδο σημαντικότητας 5%

\* Συντελεστής συσχέτισης

#### 6.1.2.5 Φυτρωτική ικανότητα

Με βάση τις μετρήσεις της φυτρωτικής ικανότητας των υπό μελέτη ειδών προκύπτει ότι για τα είδη βρόμος, σιτάρι, καλαμπόκι, αγριοφασουλιά και αγριοβαμβακιά δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων (πίνακας 13).

Στην ελαιοκράμβη υψηλές τιμές φυτρωτικής ικανότητας παρατηρήθηκαν σε όλες τις μεταχειρίσεις εκτός από την πρώτη και πέμπτη. Η μειωμένη παρατηρούμενη φυτρωτική ικανότητα στις παραπάνω μεταχειρίσεις οφείλεται σε σήψεις των σπόρων και για το λόγο αυτό παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές..



**Πίνακας 13** Φυτρωτική ικανότητα ανά συγκέντρωση Cu σε έδαφος με pH 8.3

<u>Μεταχείριση</u>	<u>Είδος</u>					
	<u>Ελαιοκράμβη</u>	<u>Βρόμος</u>	<u>Σιτάρι</u>	<u>Καλαμπόκι</u>	<u>Αγριοφ/λιά</u>	<u>Αγριοβ/κιά</u>
<u>0</u>	52.38 b	42.86 a	95.23 a	100 a	95.23 a	52.38 a
<u>30</u>	85.71 ab	42.85 a	80.95 a	100 a	95.23 a	57.14 a
<u>60</u>	90.48 a	38.09 a	66.66 a	95.23 a	85.71 a	52.38 a
<u>90</u>	76.19 ab	38.09 a	80.95 a	90.47 a	90.47 a	47.61 a
<u>120</u>	52.38 b	42.85 a	85.71 a	100 a	71.42 a	57.14 a
<u>220</u>	90.48 a	52.38 a	85.71 a	90.47 a	80.95 a	28.57 a
<u>300</u>	85.71 ab	52.38 a	76.19 a	95.23 a	95.23 a	42.85 a
<u>LSD</u>	34.48	NS	NS	NS	NS	NS
<u>CV %</u>	25	43	20	7	17	26
<u>R<sup>2</sup>*</u>	0.06	0.34	0.02	0.1	0.05	0.15

<sup>abc</sup> Μέσοι όροι οι οποίοι δεν συνδέονται με το ίδιο γράμμα σε μία στήλη, διαφέρουν σημαντικά για επίπεδο σημαντικότητας 5%

\* Συντελεστής συσχέτισης

#### 6.1.2.6 Χλωροφύλλη

Οι μετρούμενες τιμές χλωροφύλλης, σε τιμές SPAD, για όλα τα υπό μελέτη φυτικά είδη δείχνουν πως δεν υπάρχουν διαφορές στατιστικά σημαντικές μεταξύ των επεμβάσεων (πίνακας 14). Παρατηρείται δηλαδή ότι η αυξανόμενη συγκέντρωση του χαλκού στο έδαφος δεν επηρέασε την ποσότητα της περιεχόμενης χλωροφύλλης στα υπό μέτρηση φύλλα των εκάστοτε ειδών.

**Πίνακας 14.** Τιμές χλωροφύλλης ανά συγκέντρωση Cu σε έδαφος με pH 8.3

<u>Μεταχείριση</u>	<u>Είδος</u>					
<u>mg Cu /kg Ξ.Ε</u>	<u>Ελαιοκράμβη</u>	<u>Βρόμος</u>	<u>Σιτάρι</u>	<u>Καλαμπόκι</u>	<u>Αγριοφ/λιά</u>	<u>Αγριοβ/κιά</u>
<u>0</u>	29.10 a	19.86 a	39.66 a	25.06 a	27.63 a	22.23 a
<u>30</u>	27.33 a	18.40 a	38.03 a	24.26 a	29.53 a	23.60 a
<u>60</u>	28.30 a	17.30 a	34.40 a	25.56 a	29.43 a	21.30 a
<u>90</u>	27.36 a	19.26 a	36.06 a	25.86 a	27.03 a	23.10 a
<u>120</u>	26.23 a	16.10 a	36.53 a	23.60 a	26.23 a	23.36 a
<u>220</u>	27.23 a	17.13 a	34.40 a	21.36 a	27.83 a	23.16 a
<u>300</u>	25.53 a	18.70 a	38.00 a	21.20 a	27.46 a	24.13 a
<u>LSD</u>	NS	NS	NS	NS	NS	NS
<u>CV %</u>	11	9	5	9	6	4
<u>R<sup>2</sup>*</u>	0.13	0.21	0.11	0.29	0.06	0.18

<sup>abc</sup> Μέσοι όροι οι οποίοι δεν συνδέονται με το ίδιο γράμμα σε μία στήλη, διαφέρουν σημαντικά για επίπεδο σημαντικότητας 5%

\* Συντελεστής συσχέτισης

### 6.1.2.7 Ύψος φυτού

Στο βρόμο, σιτάρι, καλαμπόκι, αγριοφασουλιά και αγριοβαμβακιά δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων σε επίπεδο σημαντικότητας 5% (πίνακας 15). Στην ελαιοκράμβη αντίθετα το ύψος των φυτών ήταν μειωμένο σε σχέση με το μάρτυρα σε όλες τις επεμβάσεις και η μικρότερη τιμή ύψους παρατηρήθηκε στη συγκέντρωση των 300 mg Cu/kg εδάφους.

Πίνακας 15. Ύψος φυτού (cm) ανά συγκέντρωση Cu σε έδαφος με pH 8.3

<u>Μεταχείριση</u>	<u>Είδος</u>					
	<u>Ελαιοκράμβη</u>	<u>Βρόμος</u>	<u>Σιτάρι</u>	<u>Καλαμπόκι</u>	<u>Αγριοφ/λιά</u>	<u>Αγριοβ/κιά</u>
<u>0</u>	20.00 a	26.00 a	15.00 a	41.00 a	27.00 a	21.66 a
<u>30</u>	17.67 ab	21.66 a	17.67 a	40.33 a	23.33 a	18.33 a
<u>60</u>	15.67 bc	21.66 a	19.33 a	43.00 a	25.00 a	27.33 a
<u>90</u>	17.33 ab	22.33 a	18.33 a	43.33 a	21.33 a	23.00 a
<u>120</u>	18.00 ab	21.33 a	17.00 a	38.00 a	23.66 a	21.00 a
<u>220</u>	15.00 bc	23.66 a	18.67 a	43.33 a	22.33 a	23.66 a
<u>300</u>	13.33 c	23.33 a	18.00 a	42.66 a	19.33 a	22.00 a
<u>LSD</u>	3.432	NS	NS	NS	NS	NS
<u>CV %</u>	11	5	6	4	18	13
<u>R<sup>2</sup>*</u>	0.39	0.19	0.16	0.04	0.13	0.01

<sup>abc</sup> Μέσοι όροι οι οποίοι δεν συνδέονται με το ίδιο γράμμα σε μία στήλη, διαφέρουν σημαντικά για επίπεδο σημαντικότητας 5%

\* Συντελεστής συσχέτισης

### 6.1.2.8 Συγκέντρωση Cu στο υπέργειο φυτικό τμήμα

Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται τη συγκέντρωση του χαλκού στο επιφανειακό τμήμα της αγριοβαμβακιάς, της αγριοφασουλιάς και του καλαμποκιού ανά επέμβαση σε αλκαλικό έδαφος με pH 8.3.

Στο καλαμπόκι η συγκέντρωση του Cu αυξήθηκε σε σχέση με το μάρτυρα σε όλες τις συγκεντρώσεις, ενώ στην αγριοφασουλιά η συγκέντρωση στους επιφανειακούς ιστούς αυξήθηκε και μάλιστα διέφερε στατιστικά σημαντικά σε σχέση με τον

μάρτυρα μέχρι και τα 90 mg Cu/kg εδάφους. Η μέγιστη τιμή παρατηρήθηκε στα 60 mg Cu/kg εδάφους.

Στην αγριοβαμβακιά η συγκέντρωση του χαλκού στους ιστούς αυξήθηκε (στατιστικά σημαντικά σε σχέση με το μάρτυρα) σε όλες τις επεμβάσεις με την αύξηση της συγκέντρωσής του στο έδαφος.

**Πίνακας 6.16.** Συγκέντρωση Cu στο υπέργειο φυτικό τμήμα

<u>Μεταχείριση</u>	<u>Είδος</u>		
	<u>mg Cu /kg Ξ.Ε</u>	<u>Καλαμπόκι</u>	<u>Αγριοφ/λιά</u>
<u>0</u>	7.50 a	9.00 c	6.00 a
<u>30</u>	21.15 b	19.50 ab	22.50 b
<u>60</u>	19.50 b	22.00 a	36.50 c
<u>90</u>	20.40 b	20.00 ab	39.50 cd
<u>120</u>	21.25 b	19.00 abc	36.00 de
<u>220</u>	19.55 b	16.50 bc	33.50 de
<u>300</u>	16.30 a	14.00 c	31.50 e
<u>LSD</u>	NS	5.379	7.253
<u>CV %</u>	11	12	6
<u>R<sup>2</sup>*</u>	0.3	0.33	0.75

<sup>abc</sup> Μέσοι όροι οι οποίοι δεν συνδέονται με το ίδιο γράμμα σε μία στήλη, διαφέρουν σημαντικά για επίπεδο σημαντικότητας 5%

\* Συντελεστής συσχέτισης

#### 6.1.2.9 Συγκέντρωση διαθέσιμου χαλκού στο έδαφος

Η ποσότητα του διαθέσιμου χαλκού στο έδαφος που μετρήθηκε αφορούσε μόνο τα δείγματα από το πείραμα του αγρού για μεγαλύτερη αξιοπιστία αποτελεσμάτων λόγω της επίδρασης πραγματικών περιβαλλοντικών συνθηκών σε αντίθεση με τις ελεγχόμενες συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας που επικρατούν στο θερμοκήπιο .

## 6.2. Πείραμα στον αγρό

### 6.2.1 Αλκαλικό έδαφος (pH = 8.3)

#### 6.2.2.1 Χλωρό βάρος υπέργειου μέρους φυτών

Σύμφωνα με τον πίνακα 17 που παρατίθεται, στο βρόμο η μικρότερη τιμή (σε σχέση με το μάρτυρα) παρατηρήθηκε στα 100 mg Cu/kg εδάφους. Παρόλα αυτά δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων.

Στο καλαμπόκι σε όλες τις επεμβάσεις το χλωρό βάρος ανά φυτό ήταν μικρότερο από το μάρτυρα και όλοι οι μέσοι όροι διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους σε επίπεδο σημαντικότητας 5%.

Στην αγριοφασουλιά η μεγαλύτερη τιμή παρατηρήθηκε στα 100 mg Cu/kg εδάφους και η μικρότερη στα 50 mg Cu/kg εδάφους και όλοι οι μέσοι όροι διέφεραν στατιστικά σημαντικά σε σχέση με τον μάρτυρα.

Στην αγριοβαμβακιά δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές όπως αντίστοιχα παρατηρήθηκε και στο θερμοκήπιο.

Πίνακας 17 Χλωρό βάρος (g) υπέργειου φυτικού τμήματος ανά συγκέντρωση Cu σε έδαφος με pH 8.3

<u>Μεταχείριση</u>	<u>Είδος</u>					
	<u>mg Cu /kg Ξ.Ε</u>	<u>Ελαιοκράμβη</u>	<u>Βρόμος</u>	<u>Σιτάρι</u>	<u>Καλαμπόκι</u>	<u>Αγριοφ/λιά</u>
<u>0</u>	82.975 a	16.46 ab	52.244 a	1233 a	173.3 bc	173.290 a
<u>50</u>	103.406 a	17.09 a	23.037 a	789.5 b	135.7 c	161.846 a
<u>100</u>	108.187 a	7.125 c	38.315 a	743.9 b	230.6 a	209.593 a
<u>200</u>	114.413 a	8.515 bc	43.865 a	558.2 c	201.2 ab	206.064 a
<u>300</u>	86.027 a	9.364 abc	47.621 a	735.6 b	173.3 bc	141.406 a
<u>LSD</u>	NS	8.291	NS	156.9	42.71	NS
<u>CV %</u>	40	51	43	21	26	50
<u>R<sup>2</sup>*</u>	0.00	0.1	0.01	0.39	0.03	0.00

<sup>abc</sup> Μέσοι όροι οι οποίοι δεν συνδέονται με το ίδιο γράμμα σε μία στήλη, διαφέρουν σημαντικά για επίπεδο σημαντικότητας 5%

\* Συντελεστής συσχέτισης



### 6.2.2.2 Χλωρό βάρος υπόγειου μέρους φυτών

Μετρώντας το χλωρό βάρος του υπόγειου φυτικού τμήματος ανά συγκέντρωση χαλκού, στατιστικά σημαντικές διαφορές παρατηρήθηκαν μόνο στην αγριοφασουλιά και στην αγριοβαμβακιά (πίνακας 16).

Στην αγριοφασουλιά το χλωρό βάρος αυξήθηκε στατιστικά σημαντικά σε σχέση με το μάρτυρα στη συγκέντρωση των 100 mg Cu/kg εδάφους. Όμως μεταξύ των δυο πρώτων και δυο τελευταίων επεμβάσεων δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές.

Στη δε αγριοβαμβακιά το χλωρό βάρος μειώθηκε στατιστικά σημαντικά σε όλες τις επεμβάσεις σε σχέση με το μάρτυρα. Να σημειωθεί όμως ότι μεταξύ των 100 και 200 mg Cu/kg εδάφους δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές.

Πίνακας 18. Χλωρό βάρος (g) υπόγειου φυτικού τμήματος ανά συγκέντρωση Cu σε έδαφος με pH 8.3

<u>Μεταχείριση</u>	<u>Είδος</u>					
	<u>Ελαιοκράμβη</u>	<u>Βρόμος</u>	<u>Σιτάρι</u>	<u>Καλαμπόκι</u>	<u>Αγριοφ/λιά</u>	<u>Αγριοβ/κιά</u>
<u>0</u>	5.446 a	2.257 a	3.425 a	147.697 a	7.837 b	4.695 a
<u>50</u>	7.093 a	2.446 a	2.027 a	148.986 a	6.865 b	3.714 ab
<u>100</u>	6.690 a	1.332 a	2.536 a	136.531 a	11.89 a	2.078 b
<u>200</u>	4.592 a	1.996 a	2.394 a	75.992 a	8.451 b	2.370 b
<u>300</u>	4.446 a	1.661 a	2.669 a	96.757 a	8.384 b	2.805 ab
<u>LSD</u>	NS	NS	NS	NS	2.469	1.918
<u>CV %</u>	47	30	52	40	32	42
<u>R<sup>2</sup>*</u>	0.06	0.02	0.01	0.2	0.01	0.01

<sup>abc</sup> Μέσοι όροι οι οποίοι δεν συνδέονται με το ίδιο γράμμα σε μία στήλη, διαφέρουν σημαντικά για επίπεδο σημαντικότητας 5%

\* Συντελεστής συσχέτισης

### 6.2.2.3 Ξηρό βάρος υπέργειου μέρους φυτών

Στο βρόμο, το σιτάρι και το καλαμπόκι το ξηρό βάρος μειώθηκε σε όλες τις επεμβάσεις (πίνακας 19) και μάλιστα οι μέσοι όροι μεταξύ των επεμβάσεων διέφεραν στατιστικά σημαντικά σε σχέση με το μάρτυρα σε επίπεδο σημαντικότητας 5%. Στην αγριοφασουλιά η μεγαλύτερη τιμή βάρους παρατηρήθηκε στα 100 mg Cu/kg εδάφους ενώ αντίθετα η μικρότερη στα 300 mg Cu/kg εδάφους. Στην ελαιοκράμβη και την αγριοβαμβακιά δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων.

Πίνακας 19. Ξηρό βάρος (g) υπέργειου φυτικού τμήματος ανά συγκέντρωση Cu σε έδαφος με pH 8.3

<u>Μεταχείριση</u>	<u>Είδος</u>					
	<u>Ελαιοκράμβη</u>	<u>Βρόμος</u>	<u>Σιτάρι</u>	<u>Καλαμπόκι</u>	<u>Αγριοφ/λιά</u>	<u>Αγριοβ/κιά</u>
<u>0</u>	12.002 a	4.695 a	18.49 a	137.5 a	32.36 b	31.493 a
<u>50</u>	16.881 a	3.714 ab	9.569 b	121.5 ab	23.03 c	33.432 a
<u>100</u>	14.688 a	2.078 b	12.45 ab	107.7 ab	45.00 a	41.745 a
<u>200</u>	14.786 a	2.370 b	16.57 a	54.67 c	22.17 c	35.994 a
<u>300</u>	13.108 a	2.805 ab	15.14 ab	99.05 b	25.15 c	26.017 a
<u>LSD</u>	NS	1.918	6.206	33.55	7.110	NS
<u>CV %</u>	43	30	48	36	27	53
<u>R<sup>2</sup>*</u>	0.00	0.1	0.00	0.19	0.04	0.00

<sup>abc</sup> Μέσοι όροι οι οποίοι δεν συνδέονται με το ίδιο γράμμα σε μία στήλη, διαφέρουν σημαντικά για επίπεδο σημαντικότητας 5%

\* Συντελεστής συσχέτισης

#### 6.2.2.4 Ξηρό βάρος υπόγειου μέρους φυτών

Σε όλα τα είδη, εκτός από το καλαμπόκι δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές σε επίπεδο σημαντικότητας 5% (πίνακας 20).

Στο καλαμπόκι το ξηρό βάρος του ριζικού συστήματος μειώθηκε σε σχέση με το μάρτυρα σε όλες τις συγκεντρώσεις με τη μικρότερη μετρούμενη τιμή να παρατηρείται στα 200 mg/kg εδάφους.

Παρατηρείται λοιπόν, ότι η επίδραση του χαλκού στο ριζικό σύστημα των υπό μελέτη ειδών (πλην του καλαμποκιού) είναι στατιστικά ασήμαντη σε όλες τις μεταχειρίσεις. Αυτό αποδεικνύει ότι τα ιόντα του χαλκού είναι δυσκίνητα και μη διαθέσιμα στο εδαφικό διάλυμα σε υψηλή τιμή pH και για τον συγκεκριμένο τύπο εδάφους.

Πίνακας 20. Ξηρό βάρος (g) υπόγειου φυτικού τμήματος ανά συγκέντρωση Cu σε έδαφος με pH 8.3

<u>Μεταχείριση</u>	<u>Είδος</u>					
	<u>Ελαιοκράμβη</u>	<u>Βρόμος</u>	<u>Σιτάρι</u>	<u>Καλαμπόκι</u>	<u>Αγριοφ/λιά</u>	<u>Αγριοβ/κιά</u>
<u>0</u>	3.058 a	1.392 a	2.929 a	26.545 a	2.281 a	5.458 a
<u>50</u>	3.133 a	0.936 a	1.844 a	21.191 ab	3.322 a	5.216 a
<u>100</u>	2.692 a	0.941 a	2.111 a	14.981 bc	3.174 a	6.445 a
<u>200</u>	1.557 a	1.124 a	1.978 a	13.712 c	2.912 a	5.566 a
<u>300</u>	1.820 a	1.034 a	2.437 a	19.521 bc	2.055 a	2.932 a
<u>LSD</u>	NS	NS	NS	6.324	NS	NS
<u>CV %</u>	45	19	25	36	19	41
<u>R<sup>2</sup>*</u>	0.21	0.01	0.01	0.13	0.00	0.04

<sup>abc</sup> Μέσοι όροι οι οποίοι δεν συνδέονται με το ίδιο γράμμα σε μία στήλη, διαφέρουν σημαντικά για επίπεδο σημαντικότητας 5%

\* Συντελεστής συσχέτισης

### 6.1.2.5 Φυτρωτική ικανότητα

Η φυτρωτική ικανότητα δεν διέφερε στατιστικά σημαντικά σε κανένα είδος μεταξύ των μεταχειρίσεων όπως προκύπτει από τον πίνακα 21. Παρατηρείται λοιπόν ότι όπως στο όξινο έτσι και στο αλκαλικό έδαφος η φυτρωτική ικανότητα δεν επηρεάστηκε σημαντικά μεταξύ των διαφόρων επιπέδων συγκέντρωσης χαλκού.

**Πίνακας 21.** Φυτρωτική ικανότητα ανά συγκέντρωση Cu σε έδαφος με pH 8.3

<u>Μεταχείριση</u>	<u>Είδος</u>					
	<u>Ελαιοκράμβη</u>	<u>Βρόμος</u>	<u>Σιτάρι</u>	<u>Καλαμπόκι</u>	<u>Αγριοφ/λιά</u>	<u>Αγριοβ/κιά</u>
<u>0</u>	76.923 a	43.588 a	97.437 a	100.00 a	97.437 a	53.847 a
<u>50</u>	80.770 a	42.307 a	96.155 a	100.00 a	98.718 a	47.435 a
<u>100</u>	73.077 a	47.435 a	98.718 a	100.00 a	98.718 a	60.255 a
<u>200</u>	82.052 a	39.745 a	96.155 a	100.00 a	96.155 a	60.255 a
<u>300</u>	73.078 a	46.153 a	93.592 a	100.00 a	96.155 a	55.12 a
<u>LSD</u>	NS	NS	NS	NS	NS	NS
<u>CV %</u>	19.99	21.21	4.83	0.00	4.23	23.35
<u>R<sup>2</sup>*</u>	0.00	0.00	0.05	0.00	0.03	0.03

<sup>abc</sup> Μέσοι όροι οι οποίοι δεν συνδέονται με το ίδιο γράμμα σε μία στήλη, διαφέρουν σημαντικά για επίπεδο σημαντικότητας 5%

\* Συντελεστής συσχέτισης

### 6.2.2.6 Χλωροφύλλη

Ο πίνακας 22 δείχνει ότι οι τιμές SPAD της χλωροφύλλης δεν διέφεραν στατιστικά σημαντικά σε κανένα είδος μεταξύ των μεταχειρίσεων σε σχέση με το μάρτυρα. Η αντίστοιχη παρατήρηση έγινε και για το όξινο έδαφος. Αποδεικνύεται δηλαδή ότι η ποσότητα της χλωροφύλλης σε τιμές SPAD δεν επηρεάστηκε από την αυξανόμενη συγκέντρωση του χαλκού στο έδαφος στους από μελέτη τύπους των εδαφών.

**Πίνακας 22.** Τιμές χλωροφύλλης ανά συγκέντρωση Cu σε έδαφος με pH 8.3

<u>Μεταχείριση</u>	<u>Είδος</u>					
	<u>Ελαιοκράμβη</u>	<u>Βρόμος</u>	<u>Σιτάρι</u>	<u>Καλαμπόκι</u>	<u>Αγριοφ/λιά</u>	<u>Αγριοβ/κιά</u>
<u>0</u>	14.3 a	12.1 a	63.43 a	61.63 a	41.74 a	35.96 a
<u>50</u>	14.2 a	12.9 a	63.69 a	59.37 a	44.42 a	37.14 a
<u>100</u>	12.3 a	9.9 a	60.77 a	64.58 a	43.86 a	38.34 a
<u>200</u>	13.1 a	11.5 a	63.61 a	61.00 a	49.80 a	38.16 a
<u>300</u>	13.7 a	11.0 a	64.87 a	61.17 a	46.62 a	35.01 a
<u>LSD</u>	NS	NS	NS	NS	NS	NS
<u>CV %</u>	18	27	6	8	8	5
<u>R<sup>2</sup>*</u>	0.03	0.00	0.01	0.00	0.23	0.00

<sup>abc</sup> Μέσοι όροι οι οποίοι δεν συνδέονται με το ίδιο γράμμα σε μία στήλη, διαφέρουν σημαντικά για επίπεδο σημαντικότητας 5%

\* Συντελεστής συσχέτισης



### 6.2.2.7 Ύψος φυτού

Στο σιτάρι το ύψος διέφερε σημαντικά σε σχέση με το μάρτυρα σε επίπεδο σημαντικότητας 5% και η μέγιστη τιμή αφορούσε την τιμή των 200 mg Cu/kg εδάφους (πίνακας 23). Στα υπόλοιπα φυτικά είδη ο χαλκός δεν επηρέασε των ύψος των φυτών σε σχέση με το μάρτυρα όπως αντίστοιχα παρατηρήθηκε και για το αλκαλικό έδαφος στο θερμοκήπιο. Αντίθετα με το αλκαλικό, στο όξινο έδαφος η αυξανόμενη συγκέντρωση του χαλκού έτεινε να μειώνει στατιστικά σημαντικά το ύψος των φυτών και με τη μεγαλύτερη τάση να παρατηρείται στις συγκεντρώσεις 220 - 300 mg Cu/kg εδάφους.

**Πίνακας 23.** Ύψος φυτών (cm) ανά συγκέντρωση Cu σε έδαφος με pH 8.3

<u>Μεταχείριση</u>	<u>Είδος</u>						
	<u>mg Cu /kg Ξ.Ε</u>	<u>Ελαιοκράμβη</u>	<u>Βρόμος</u>	<u>Σιτάρι</u>	<u>Καλαμπόκι</u>	<u>Αγριοφ/λιά</u>	<u>Αγριοβ/κιά</u>
<u>0</u>		14.35 a	12.10 a	38.50 ab	83.70 a	32.61 a	24.80 a
<u>50</u>		14.20 a	12.90 a	27.20 c	81.30 a	33.37 a	23.80 a
<u>100</u>		12.30 a	9.90 a	33.90 b	80.00 a	34.76 a	23.82 a
<u>200</u>		13.10 a	11.50 a	39.30 a	78.40 a	33.22 a	27.50 a
<u>300</u>		13.70 a	11.00 a	37.80 ab	82.60 a	33.00 a	25.10 a
<u>LSD</u>		NS	NS	5.218	NS	NS	NS
<u>CV %</u>		18	27	16	5	16	24
<u>R<sup>2</sup>*</u>		0.02	0.03	0.05	0.15	0.23	0.01

<sup>abc</sup> Μέσοι όροι οι οποίοι δεν συνδέονται με το ίδιο γράμμα σε μία στήλη, διαφέρουν σημαντικά για επίπεδο σημαντικότητας 5%

\* Συντελεστής συσχέτισης

#### 6.2.2.8 Συγκέντρωση Cu στο υπέργειο φυτικό τμήμα

Ο πίνακας 24 δείχνει τη συγκέντρωση του χαλκού στο επιφανειακό τμήμα των εαρινών φυτών του πειράματος ανά επέμβαση σε αλκαλικό έδαφος με pH 8.3.

Στο καλαμπόκι, στην αγριοβαμβακιά και στην αγριοφασουλιά η ποσότητα του προσροφημένου χαλκού ήταν αυξημένη σε όλες τις επεμβάσεις σε σχέση με το μάρτυρα. Όσο αφορά το καλαμπόκι, στα ίδια συμπεράσματα κατέληξε και ο Brun et al., (2000) μετά από καλλιέργεια καλαμποκιού σε έδαφος επιβαρυνόμενο με χαλκό και προερχόμενο από αμπέλια στη Νότια Γαλλία.

Πίνακας 24. Συγκέντρωση Cu στο υπέργειο φυτικό τμήμα

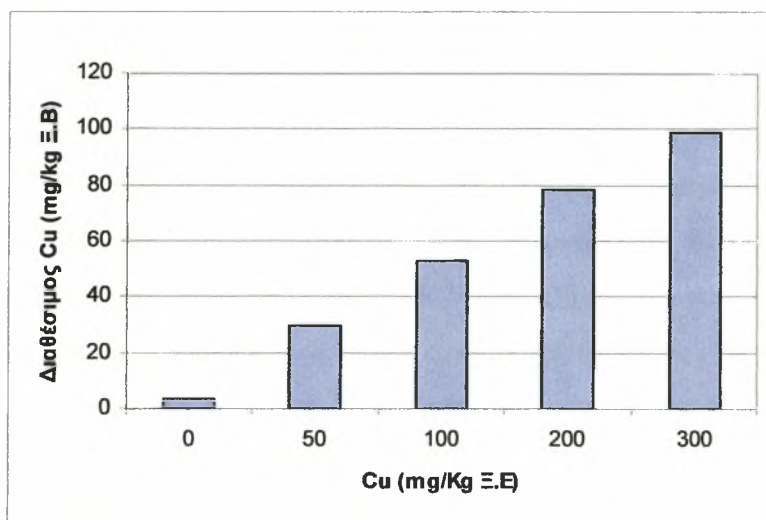
<u>Μεταχείριση</u>	<u>Είδος</u>		
	<u>Καλαμπόκι</u>	<u>Αγριοφ/λιά</u>	<u>Αγριοβ/κιά</u>
<u>0</u>	4.00 a	5.50 a	4.50 a
<u>50</u>	23.50 b	14.65 b	18.50 b
<u>100</u>	27.00 b	14.00 b	15.50 b
<u>200</u>	19.50 b	17.50 b	17.50 b
<u>300</u>	18.50 b	18.50 bc	17.55 b
<u>LSD</u>	11.36	3.745	10.23
<u>CV %</u>	32	8	9
<u>R<sup>2</sup>*</u>	0.23	0.12	0.02

<sup>abc</sup> Μέσοι όροι οι οποίοι δεν συνδέονται με το ίδιο γράμμα σε μία στήλη, διαφέρουν σημαντικά για επίπεδο σημαντικότητας 5%

\* Συντελεστής συσχέτισης

### 6.2.2.9 Συγκέντρωση διαθέσιμου χαλκού στο έδαφος.

Στο αλκαλικό έδαφος η συγκέντρωση του διαθέσιμου χαλκού αυξάνεται με την αύξηση της ποσότητας χαλκού στο έδαφος όπως προκύπτει από το γράφημα 2. Βέβαια οι διαθέσιμες για τα φυτά ποσότητες είναι σε χαμηλότερα επίπεδα ανά επέμβαση, σε σχέση με το όξινο έδαφος, λόγω της αυξημένης τιμής του εδαφικού pH και της δέσμευσης των ιόντων Cu από τα εδαφικά κolloειδή.



Γράφημα 2. Συγκέντρωση διαθέσιμου χαλκού σε έδαφος με pH 8.3

## 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα διατριβή, η διερεύνηση της φυσιολογίας – καταλληλότητας τριών ζιζανίων και τριών καλλιεργούμενων ειδών στην φυτοαποκατάσταση όξινων ή αλκαλικών εδαφών επιβαρυσμένων με χαλκό οδήγησε στη εξαγωγή των παρακάτω συμπερασμάτων:

Στο όξινο έδαφος (pH 5.5), στο θερμοκήπιο, οι μεταβολές του χλωρού και ξηρού βάρους, ανάλογα με τη συγκέντρωση του χαλκού στο έδαφος, δείχνουν ότι η κρίσιμη συγκέντρωση για την ανάπτυξη της ελαιοκράμβης ήταν τα 90 mg/kg εδάφους, ενώ για το σιτάρι 60-90 mg/kg εδάφους. Στο καλαμπόκι την αγριοβαμβακιά και την αγριοφασουλιά το βάρος μειωνόταν με την αύξηση της συγκέντρωσης του χαλκού με τις μεγαλύτερες αρνητικές επιδράσεις να παρατηρούνται στις συγκεντρώσεις χαλκού από 220 και 300 mg/kg ξηρού εδάφους. Κρίσιμες συγκεντρώσεις για το καλαμπόκι και την αγριοβαμβακιά φαίνεται ότι ήταν οι συγκεντρώσεις των 30 mg/kg και 30-60 mg/kg ξηρού εδάφους αντίστοιχα. Στην αγριοφασουλιά αν και το βάρος των φυτών μειωνόταν σε σχέση με το μάρτυρα οι διαφορές δεν ήταν στατιστικά σημαντικές σε επίπεδο σημαντικότητας 5%. Η φυτρωτική ικανότητα και η χλωροφύλλη δεν επηρεάστηκαν από την επίδραση του χαλκού ενώ μεγάλη μείωση του ύψους παρατηρήθηκε στο καλαμπόκι την αγριοβαμβακιά και την αγριοφασουλιά στις επεμβάσεις 220 και 300 mg Cu/kg εδάφους.

Τα είδη από τη μεγαλύτερη προς τη μικρότερη συγκέντρωση χαλκού (mg/kg βάρους) στο υπέργειο τμήμα ήταν: καλαμπόκι (5.5-48) > αγριοφασουλιά (8-31.5) > αγριοβαμβακιά (9.5-24). Στα είδη σιτάρι, βρόμο και ελαιοκράμβη δεν μετρήθηκε η συγκέντρωση χαλκού λόγω της μικρής βιομάζας που ανέπτυξαν τόσο στο όξινο όσο στο αλκαλικό έδαφος.

Στο αλκαλικό έδαφος (pH 8.3), στο θερμοκήπιο, το χλωρό και ξηρό βάρος δεν επηρεάστηκαν σημαντικά από τις συγκεντρώσεις του χαλκού. Δεν παρατηρήθηκε επίσης σημαντική μεταβολή τόσο στη φυτρωτική ικανότητα και στη χλωροφύλλη αλλά και στο ύψος των φυτών. Ως προς την ικανότητα απορρόφησης χαλκού (mg/kg ξηρού βάρους) από το έδαφος, προηγείται η αγριοβαμβακιά (6-39.6) ακολουθούν η αγριοφασουλιά (9-22) και έπεται το καλαμπόκι (7-21.2).

Από τα δεδομένα του αγρού (έδαφος με pH 8.3) προκύπτει ότι το χλωρό και ξηρό βάρος δεν επηρεάστηκαν από τις εκάστοτε συγκεντρώσεις του χαλκού στα έδαφος. Βέβαια δεν παρατηρήθηκε η ίδια ομοιομορφία με το αλκαλικό έδαφος στο

θερμοκήπιο αλλά οι μικρές διαφορές που προέκυψαν οφείλονται στις ασταθείς εδαφοκλιματικές συνθήκες που επικρατούν στον αγρό σε σχέση με το θερμοκήπιο. Η ίδια εικόνα παρατηρήθηκε στη φυτρωτική ικανότητα, στη χλωροφύλλη αλλά και στο ύψος των φυτών.

Στον αγρό την μεγαλύτερη ποσότητα χαλκού (mg/Kg βάρους) απορρόφησε το καλαμπόκι (4-27), ακολουθεί η αγριοφασουλιά (5.5-18.5) και τέλος η αγριοβαμβακιά (4.5-18.5).

Στο όξινο έδαφος οι συγκεντρώσεις του χαλκού στο υπέργειο μέρος των φυτών ήταν σε μεγαλύτερα επίπεδα σε σχέση με το αλκαλικό διότι όπως είναι γνωστό, με την αύξηση του εδαφικού pH μειώθηκε η διαθεσιμότητα του εδαφικού χαλκού.

Από τα παραπάνω αποτελέσματα προκύπτει ότι τα είδη καλαμπόκι, αγριοβαμβακιά και αγριοφασουλιά έχουν την ικανότητα να προσλαμβάνουν σχετικά υψηλές ποσότητες χαλκού τόσο σε αλκαλικό όσο και σε όξινο έδαφος και χρήζουν περισσότερης μελέτης ως τυχόν φυτοαποκαταστάτες εδαφών επιβαρυνμένων με χαλκό.



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### Ελληνική

- Κουκουλάκης, Π.Χ., Παπαδόπουλος, Αρ.Η., 2007.** Τα προβληματικά εδάφη και η βελτίωσή τους. Εκδόσεις Σταμούλης, Αθήνα
- Λόλας, Χ.Π., 2001.** Χρήση των ζιζανίων για φυτοαποκατάσταση εδαφών και νερών επιβαρυσμένων με ζιζανιοκτόνα ή βαρέα μέταλλα. Γεωπονικά, 392, 32-40.
- Λόλας, Χ.Π., 2003.** Ζιζανιολογία, Ζιζάνια – Ζιζανιοκτόνα, Τύχη και Συμπεριφορά στο Περιβάλλον. Εκδόσεις Σύγχρονη Παιδεία, Θεσσαλονίκη.
- Λόλας, Χ.Π., 2007.** Ζιζανιολογία, Ζιζάνια – Ζιζανιοκτόνα, Τύχη και Συμπεριφορά στο Περιβάλλον. Β' Έκδοση. Εκδόσεις Σύγχρονη Παιδεία, Θεσσαλονίκη.
- Μήτσιος, Ι., 2004.** Γονιμότητα εδαφών. Θρεπτικά στοιχεία φυτών (μακροθρεπτικά, μικροθρεπτικά) και βαρέα μέταλλα. Μέθοδοι και Εφαρμογές. Εκδόσεις Zymel. Αθήνα.
- Μήτσιος, Ι., Τούλιος, Μ., Χαρούλης, Α., Γάτσιος, Φ. και Φλωράς, Σ., 2000.** Εδαφολογική μελέτη και εδαφολογικός χάρτης του αγροκτήματος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στην περιοχή του Βελεστίνου. Εκδόσεις Zymel. Αθήνα.
- Πυριανιά, Ν., 2006.** Φυσιολογία – αποτελεσματικότητα φυτοαποκατάστασης ζιζανίων και καλλιεργούμενων ειδών σε διάφορα επίπεδα Cu. Μεταπτυχιακή Διατριβή. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, τμήμα Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος. Βόλος
- Πιτσιάβα, Θ., 2005.** Αποτελεσματικότητα ζιζανίων και καλλιεργούμενων ειδών στην αποκατάσταση εδαφών επιβαρυσμένων με χαλκό. Μεταπτυχιακή Διατριβή. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, τμήμα Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος. Βόλος
- Πρίτσα, Θ., Φωτιάδης, Ε.Α., Λόλας, Π.Χ., 2004.** Φυσιολογία ζιζανίων και καλλιεργούμενων ειδών σε διάφορα επίπεδα atrazine και Cd. 13<sup>0</sup> Συνέδριο Ελληνικής Ζιζανιολογικής Εταιρείας, Ορεστιάδα.
- Σιμεωνίδης, Α.,Δ., 1995.** Τα θρεπτικά στοιχεία των φυτών. Γεωργία και Κτηνοτροφία, 9: 48-57.

- Τσέκος, I.B.**, 2003. Φυσιολογία Φυτών. Τόμος I. Εκδοτικός Οίκος Αδερφών Κυριακίδη, Θεσσαλονίκη.
- Φωτιάδης, E., Πρίτσα, Θ., Λόλας, Π.**, 2006. Ζιζάνια και καλλιεργούμενα είδη με δυνατότητα φυτοαποκατάστασης εδαφών επιβαρυσμένων με Cd. 14<sup>0</sup> Συνέδριο Ελληνικής Ζιζανιολογικής Εταιρίας, Βόλος.
- Φωτιάδης, E.A., Πρίτσα, Θ.Σ., Λόλας, Π.Χ.**, 2004. Ζιζάνια και καλλιεργούμενα είδη με δυνατότητα στη φυτοαποκατάσταση. 13<sup>0</sup> Συνέδριο Ελληνικής Ζιζανιολογικής Εταιρίας, Ορεστιάδα.
- Χατζηστάθης, X., Αλιφραγκής, Δ.** 2004. Επίδραση της ασβέστωσης των εδαφών στη μείωση της τοξικότητας Cu, Mn σε φυτείες λεύκης, ακακίας, καρδιάς και ευκαλύπτου. 10<sup>0</sup> Πανελλήνιο Εδαφολογικό Συνέδριο, Βόλος.

### Ξένη

- Adms,F., Lund, Z.F.**, 1966. Effect of chemical activity of soil solution aluminum on cotton root penetration of acid subsoils. Soil Science, 101(3):193-8  
also available: <http://chemport.cas.org/cgi-bin/sdcgi?APP>
- Alva, A.K., Graham, J.H., Tucker, D.P.H.**, 1993. Role of calcium in amelioration of copper phytotoxicity for citrus. Soil Science 155:211-218.
- Baggato, G., Shorthouse, J.D.**, 1991. Accumulation of copper and nickel in plant tissues and an aspect gal of lowbush blueberry, *Vaccinium angustifolium*, near an ore smelter at Sudbury, Ontario, Canada. Canadian Journal of Botany 69: 1483-1490.
- Baghour, M., Moreno, D.A., Villora, G., Lopez-Cantarero, I., Hernandez, J., Castilia, N., Romero, L.**, 2002. Root-zone temperature influences the distribution of Cu and Zn in potato plant organs. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 50:140-146.
- Baker, D.E., Senft, J.P.**, 1990. Copper. In heavy metals in soils, pages 179-205.
- 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.

- Bennet, L.E., Burkhead, J.L., Hale, K.L., Terry, N., Pilon, M., Pilon-smits, E.A.,** 2003. Analysis of transgenic Indian mustard plants for phytoremediation of metal-contaminated mine tailings. *Journal of Environment Quality*, 32(2):432-440
- Barcan, V.** 2002. Leaching of nickel and copper from soil contaminated by metallurgical dust. *Environment International* 28: 63-68.
- Barman, S.C., Sahu, R.K., Bhargava, S.K., Chatterjee, C.,** 2000. Distribution of heavy metals in wheat, Mustard and weed grown in field irrigated with industrial effluents. *Environmental Contamination and Toxicology*, 64:489-496
- Bennet, W.,** 1994. *Nutrient Deficiencies and Toxicities in Crop Plants*. APS PRESS, The American Phytopathological Society. St. Paul, Minnesota.
- Bhogal, A., Nicholson, F.A., Chambers, B.J., Shepherd, M.A.** 2003. Effects past sewage sludge additions on heavy metal availability in light textured soils: Implications for crop yields and metal uptake. *Environmental Pollution* 12: 413-423
- Brooks, R.R., Wither, E.D., Zepernick, B.,** 1977. Cobalt and nickel in *Rinorea* species. *Plant soil* 47:707-712
- Brun, L.A., Maillet, J., Hinsinger, P., Pepin, M.,** 2001. Evaluation of copper availability to plants in copper contaminated vineyard soils. *Environmental pollution* 111:293-302.
- Brun, L.A., Maillet, J., Richarte, J., Herrmann, P., Remy, J.C.,** 1998. Relationships between extractable copper, soil properties and copper uptake by wild plants in vineyard soils. *Environmental pollution* 102:151-161.
- Chaudry, T.M., Hayes, W.J., Khan, A.J., Khoo, C.S.,** 1998. Phytoremediation focusing on accumulator plants that remediate metal contaminated soils. *Austrian Journal of Ecotoxicology* 4:37-51
- Deluisa, A., Giandon, P., Aichner, M., Bortolami, P., Bruna, L., Lupetti, A., Nardelli, F., Stringari, G.,** 1996. Copper pollution in Italian vineyard soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 27: 1537-1548.
- Davis, R. D. & Coker, E. G.** 1980. *Cadmium in Agriculture, with Special Reference to the Utilization of Sewage Sludge on Land*. Technical Report TR139. WRc Medmenham, Marlow.

- Davis, R. D. & Carlton-Smith, C. H.** (1984). An investigation into the phytotoxicity of zinc, copper and nickel using sewage sludge of controlled metal content. *Environ. Pollut. (Ser. B)*, 8: 63-85.
- Dele Peciulyte, Jurate Repeckiene, Loreta Levinskaite, Aibinas Lugauskas.** 2006. Growth and metal accumulation ability of plants in soil polluted with Cu, Zn and Pb. *Ekologija*, Nr. 1:48-58
- Deluisa, A., Giandon, P., Aichner, M., Bortolami, P., Bruna, L., Lupetti, A., Nardelli, F., Stringari, G.,** 1996. Copper pollution in Italian vineyard soils. *Commun. Soil Sci Plant Anal.* 27:1537-1548.
- De Vos, C.H.R., Schat, H., De Waal, M.A.M., Voojs, R., Ernst, W.H.O,** 1991. Increase resistance to copper-induced damage of root cell plasmalemma in copper tolerant *Silene cucubalus*. *Physiology Plantarum* 82:523-528
- Galli, U., Scheupp, H., Brunold, C.,** 1994. Heavy metal binding by mycorrhizal fungi. *Physiologia Plantarum* 92:364-368
- Gupta, S.K., Aten, C.,** 1993. Comparison and evaluation of extraction media and their suitability in a simple model to predict the biological relevance of heavy metal concentrations in contaminated soils. *Intern. J. Environ. Anal. Chem.* 51:25-46.
- Greenfield, J.C.,** 1989. Vetiver grass (*Vetiveria zizanioides*) the ideal plant for vegetative soil and moisture. The word Bank. Washington, DC.
- Harapriya Mohapatra, Rani Gupta.** 2005. Concurrent sorption of Zn(II), Cu(II) and Co(II) by *Oscillatoria angustissima* as a function of pH in binary and ternary metal solutions. *Bioresource Technology* 96:1387-1398
- Heggo, A., Angle, J.S., Chaney, R.L.,** 1990. Effects of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi on heavy metal uptake by soybean. *Soil Biology and Biochemistry* 22:856-869
- Hogg, D.S., McLaren, R.G., Swift, R.S.,** 1993. Desorption of Copper from some New Zealand soils. *Soil Sci. Soc. of Am. J.* 57: 361-366.
- Impellitteri, C.A., Yuefeng, Lu., Saxe, J.K., Allen, H.E., J.G.M., Peijnenburg,** 2002. Correlation of the partitioning of dissolved organic matter fractions with the desorption of Cd, Cu, Ni, Pb and Zinc from 18 Dutch soils. *Environment International* 28: 401-410.

- Jin, L.P.** 2001. Twenty percent of arable lands contaminated with three industrial wastes in Zhejiang Province. *Zhejiang Daily News of Science and Technology*, Nov. 28:A1.
- Joonki, Y., Xinde, C., Qixing, Z., Lena, Q.Ma.,** 2006. Accumulation of Pb, Cu, and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site. *Science of the Total Environment* 368:456-464
- Kayser, A., Wenger, K., Keller, A., Attinger, W., Felix, H.R., Gupta, S.K., Schulin, R.,** 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.
- Khan, A.G., Keuk, C., Chaudhry, T.M., Khoo, C.S., Hayers, W.J.,** 2000. Role of plants, mycorrhizae and phytochelators in heavy metal contaminated land remediation. *Chemosphere* 41: 197-207.
- Khoshgoftarmanesh, A.H., Shariatmadari, H., Karimian., N., Kalbasi, M., van der Zee, S.E.A.T.M.,** 2006. Cadmium and Zinc in Saline Soil Solutions and Their Concentrations in Wheat. *Soil Science Society of America* 70:582-589
- Kramer, U., Cotter-Howells, J.D., Chornock, J.M., Baker, A.J.M., Smith, J.A.C.,** 1996. Free histidine as a metal chelator in plants that accumulate nickel. *Nature* 379:635-638
- Kunito, T., Saeki, K., Goto, S., Hayashi, H., Oyaizu, H., Matsumoto S.** 2001. Copper and Zinc fractions affecting microorganisms in long-term sludge-amended soils. *Bioresource Technology* 79: 135-146.
- Lanaras, T., Moustakas, M., Symeonidis, L., Diamantoglou, S., Karataglis, S.,** 1993. Plant metal content, growth responses and some photosynthetic measurements on field-cultivated wheat growing on ore bodies enriched in Cu. *Physiol. Plant*, 88:307-314
- Lasat, M.** 2002. Phytoextraction, of Toxic Metals: A Review of biological mechanisms. *Journal of Environmental Quality* 31:109-120.
- Lexmond, Th.M.,** 1980. The effect of soil pH on copper toxicity to forage maize grown under field conditions. *Neth. J. agric. Sci.* 28:164-183.
- Lombi, E., Zhao, F.J., Dunham, S.J., McGrath, S.P.,** 2001. Phytoremediation of heavy metal contaminated soils: natural hyper-accumulation versus chemically enhanced phytoextraction. *Journal of Environmental Quality*, 30(6): 1919-1926.



- Ma, L.Q., Tan, F., Harris, W.G.,** 1997. Concentrations and distributions of eleven metals in Florida soils. *Journal of Environmental Quality*, 26: 769-775.
- Ma, L.Q., Komar, K.M., Tu, C., Zhang, W., Cai, Y., Kenelley, E.D.,** 2001. A fern that hyper accumulates arsenic. *Nature* 409:579
- Marschner, H.,** 1991. Mechanism of adaptation of plants to acids soils. *Plant and soil*, 134:120
- McGrath, S.P., Chaudri, A.M., Giller, K.E.,** 1995. Long-term effects of metals in sewage sludge on soils, microorganisms and plants. *Journal of Industrial Microbiology* 14: 94-243.
- McLaren, R.G., Hogg D.S., Swift, R.S.,** 1990. Some factors affecting the availability of native and applied soil copper in New Zealand soils. *Forest Ecology and Management*, 37:131-142
- Madejon, P., Murillo, M., Maranon, T., Cabrera, F., Lopez, R.,** 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
- Merry, R.H., Tiller, K.G., Alston, A.M.,** 1983. Accumulation of copper, lead and arsenic in some Australian orchard soils. *Aust. J. Soil Res.* 21, 549-561.
- Murphy, A., Taiz, L.,** 1995. Comparison of metallothionein gene expression and nonprotein thiols in ten *Arabidopsis* ecotypes: Correlation with copper tolerance. *Plant Physiology* 109:945-954
- Murphy, A., Taiz, L.,** 1997. Correlation between long term  $K^+$  leakage and copper tolerance in ten *Arabidopsis* ecotypes. *New phytol.* 136:211-222
- Murphy, A., Zhou, J., Goldsbrough, P.B., Taiz, L.,** 1997. Purification and immunological identification of metallothioneins 1 and 2 from *Arabidopsis thaliana*. *Plant Physiology* 113:1293-1301.
- Neil, W.,** 2007. *Phytoremediation, Methods and Reviews*. Humana Press. Totowa, New Jersey
- Nabais, C., Goncalves, S.C., Freitas, H.,** 2007. *Phytoremediation in Portugal. Present and Future. Phytoremediation, Methods and Reviews*. Humana Press. Totowa, New Jersey
- Ouzounidou, G., Ilias, I.,** 2005. Hormone-induced protection of sunflower photosynthetic apparatus against copper toxicity. *Biol. Plant*, 49:223-228.
- O'Connor, C.S., Leppi, N.W., Edwards, R., Sunderland, G.,** 2003. The combined use of electro-kinetic remediation and Phytoremediation to decontaminate

- metal-polluted soils: laboratory-scale feasibility study. *Environ. Monit. Assess.*, 84(1-2):141-158
- Raman, N., Sambandan, S.**, 1998. Distribution of VAM fungi in tannery effluent polluted soils of Tamil Nadu. *India Bulletin Contamination and Toxicology* 60:183-190
- Rodriguez, L., Rincon, J., Asencio, I., Rodriguez-Castellanos, L.**, 2007. Capability of selected crop plants for shoot mercury accumulation from polluted soils: Phytoremediation perspectives. *International Journal of Phytoremediation*, 9:1-13
- Rongliang Qiu, Xiaohang Fang, Yeteo Tang, Suojun Du, Xiaowen Zeng**, 2006. Zinc hyperaccumulation and uptake by *Potentilla Griffithii* hook. *International Journal of Phytoremediation*, 8:299-310.
- Rossi, G., Figliolia, A., Socciarbelli, S., Pennelli, B.**, 2002. Capability of *Brassica napus* to accumulate cadmium, zinc and copper from soil. *Acta Biotechnol.* 22:133-140
- Salt, D., E., Smith, R., D., Raskin, I.**, 1998. Phytoremediation. *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 49:643-668
- Sanders, J. R., McGrath, S. P. & Adams, T. McM.** 1986. Zinc, copper and nickel concentrations in ryegrass grown on sewage sludge-contaminated soils of different pH. *J. Sci. Food and Agriculture*, 37:961-8
- Schwartz, C., Sirguey, C., Perrony, S., Reeves, R.D., Bourgaud, F., Morel, J.L.**, 2006. Testing of outstanding individuals of *Thlaspi caerulescens* for cadmium phytoextraction. *International Journal of aphytortemediation*, 8:339-357
- Shetty, K.G., Hetrick, B.A.D., Fidge, D.A.H., Schwab, A.P.**, 1994. Effects of mycorrhizae and other soil microbes on revegetation of heavy metal contaminated mine spoil. *Environmental Pollution* 86: 181-188.
- Smith, S.R.**, 1994. Effect of soil pH on availability to crops of metals in sewage sludge – treated soils. I. nickel, copper and zinc uptake and toxicity to ryegrass. *Environmental pollution* 85:321-327.
- Song, J., Fang, Z., Yong, L., McGrath, S.P., Zhang, H.**, 2004. Copper uptake by *Elsholtzia splendens* and *Silene vulgaris* and assessment of copper phytoavailability in contaminated soils. *Environmental Pollution*, 128:307-315

- Wang, Q.R, Cui, Y.S., Liu, X.M., Dong, Y.T., Christine, P.,** 2003. Soil contamination and plant uptake of heavy metals at polluted sites in China. *J. Environ. Cci. Health.*, 38(5):823-838.
- Weissenhorn, I., Leyval, C.,**1995. Root colonization of maize by a Cd-sensitive and a Cd-tolerant *Glomus mossae* and cadmium uptake in sand culture. *Plant Soil* 175:223-238
- Wu, J., West, L.J., Stewart, D.I.,** 2002. Effect of humic substances on Cu (II) solubility in kaolin-sand soil. *Journal of Hazardous materials* 94: 223-238

# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1**

**ΣΚΑΡΙΦΗΜΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΥ ΑΓΡΟΥ**

<b>ΕΠΑΝΑΛΗΨΗ 1</b>				<b>ΕΠΑΝΑΛΗΨΗ 2</b>				<b>ΕΠΑΝΑΛΗΨΗ 3</b>					
<b>ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ (mg/kg)</b>				<b>ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ (mg/kg)</b>				<b>ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ (mg/kg)</b>					
<b>50</b>	<b>100</b>	<b>0</b>	<b>200</b>	<b>300</b>	<b>0</b>	<b>300</b>	<b>200</b>	<b>0</b>	<b>50</b>	<b>200</b>	<b>0</b>	<b>50</b>	<b>100</b>
Σ1	Κ1	Β1	Σ1	ΑΦ1	ΑΦ2	Σ2	ΑΒ2	Κ2	Ε2	Ε3	ΑΦ3	Σ3	Β3
Β1	ΑΒ1	Ε1	Κ1	Β1	Ε2	Κ2	Β2	ΑΦ2	ΑΦ3	Σ3	Ε3	Ε3	ΑΦ3
Ε1	Σ1	ΑΦ1	ΑΒ1	Ε1	Σ2	ΑΒ2	Σ2	Β2	ΑΒ2	ΑΒ3	Κ3	Σ3	Κ3
Κ1	ΑΦ1	Κ1	Ε1	Σ1	Κ2	Β2	ΑΦ2	ΑΦ2	Β2	Κ3	Ε3	Ε3	ΑΦ3
ΑΒ1	Ε1	ΑΒ1	Β1	Κ1	ΑΒ2	Ε2	ΑΒ2	Ε2	Κ2	ΑΦ3	Σ3	ΑΒ3	ΑΒ3
ΑΦ1	Β1	Σ1	ΑΦ1	ΑΒ1	Β2	Ε2	Κ2	Ε2	Σ2	Β3	ΑΒ3	Κ3	Ε3
<b>ΔΙΑΡΡΟΜΟΣ</b>												<b>ΔΙΑΡΡΟΜΟΣ</b>	

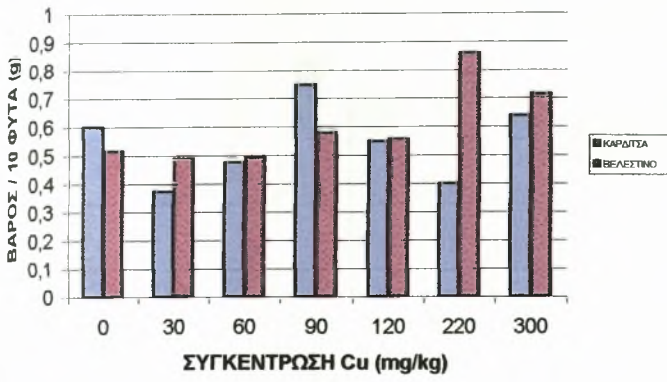
Σ: σιτάρι  
 Β: βρόμος  
 Κ: καλαμπόκι  
 Ε: ελαιοκράμβη  
 ΑΒ: αγριοβαμβακιά  
 ΑΦ: αγριοφασουλιά

**Σχήμα 1.** Σκαρίφημα πειραματικού αγρού.

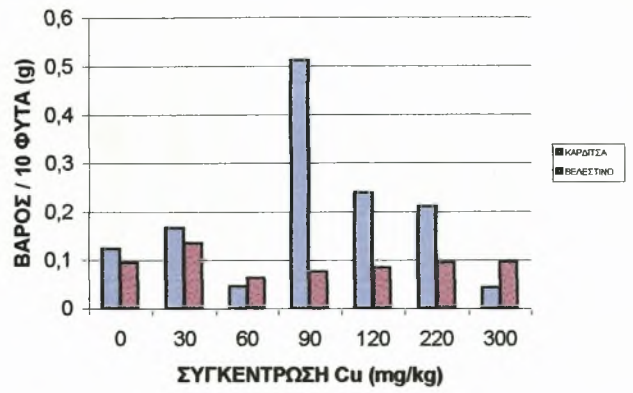


## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

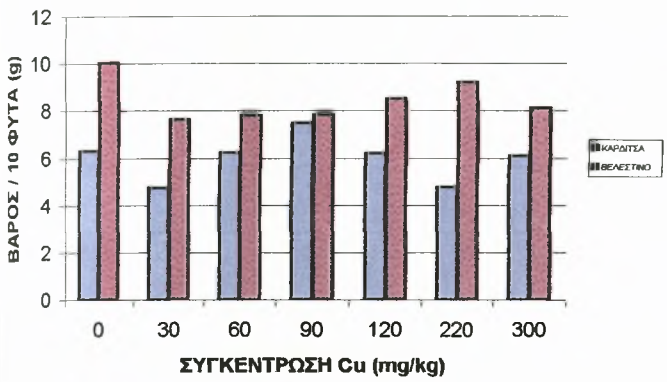
**ΞΗΡΟ ΒΑΡΟΣ (ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟ) ΕΛΑΙΟΚΡΑΜΒΗ**



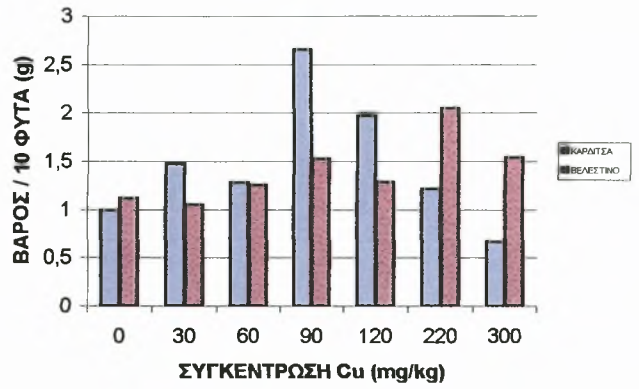
**ΞΗΡΟ ΒΑΡΟΣ (ΥΠΟΓΕΙΟ) ΕΛΑΙΟΚΡΑΜΒΗ**



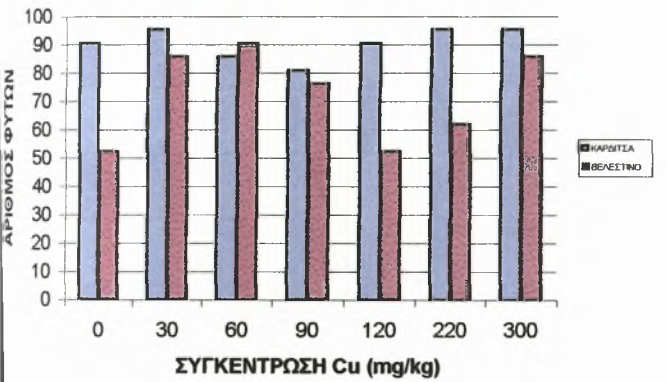
**ΧΛΩΡΟ ΒΑΡΟΣ (ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟ) ΕΛΑΙΟΚΡΑΜΒΗ**



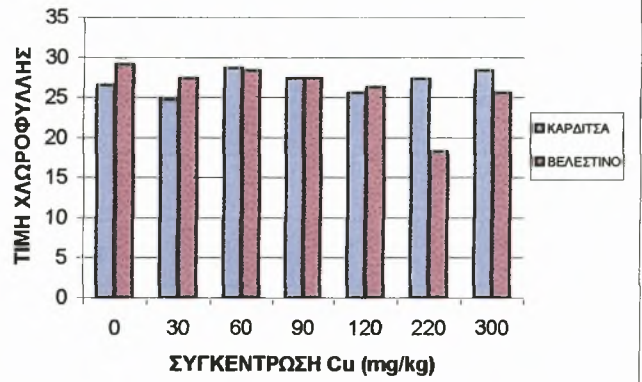
**ΧΛΩΡΟ ΒΑΡΟΣ (ΥΠΟΓΕΙΟ) ΕΛΑΙΟΚΡΑΜΒΗ**



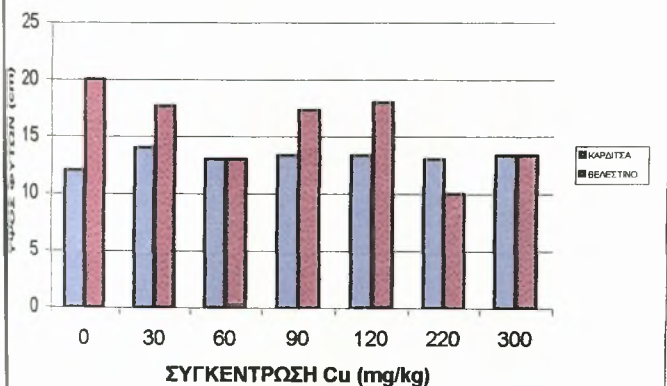
**ΦΥΤΡΩΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ - ΕΛΑΙΟΚΡΑΜΒΗ**



**ΧΛΩΡΟΦΥΛΛΗ - ΕΛΑΙΟΚΡΑΜΒΗ**

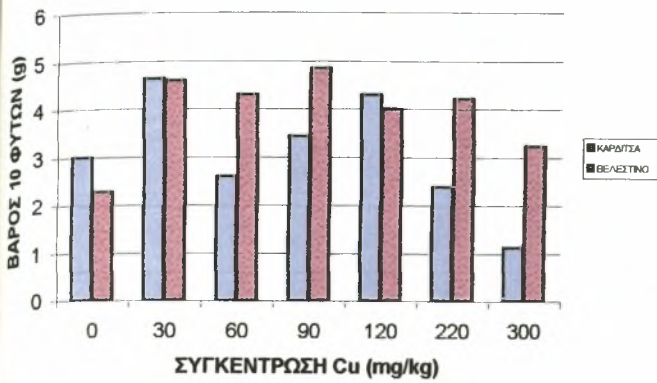


**ΥΨΟΣ ΨΥΤΩΝ - ΕΛΑΙΟΚΡΑΜΒΗ**

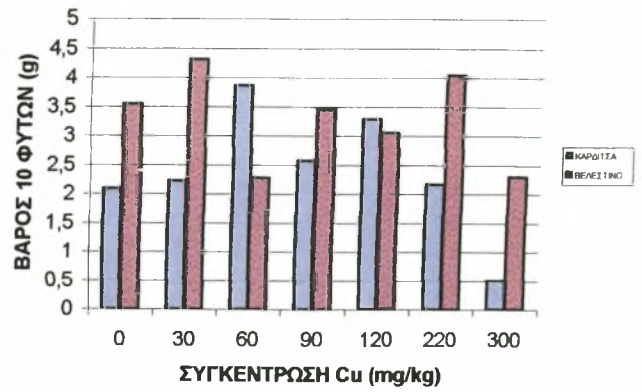


**Γράφημα 1. Μερικά χαρακτηριστικά ελαιοκράμβης σε όξινο και αλκαλικό έδαφος στο θερμοκήπιο**

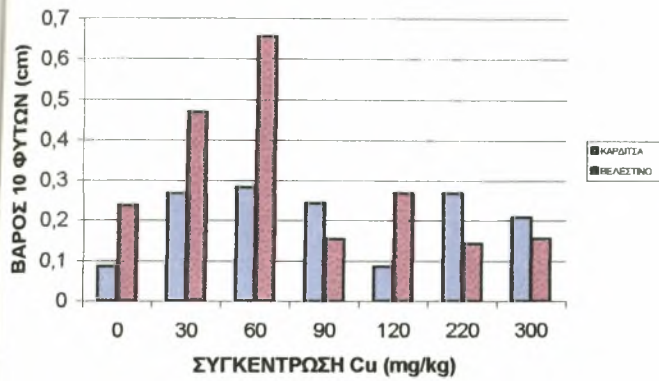
### ΧΛΩΡΟ ΒΑΡΟΣ- ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟ- ΒΡΟΜΟΣ



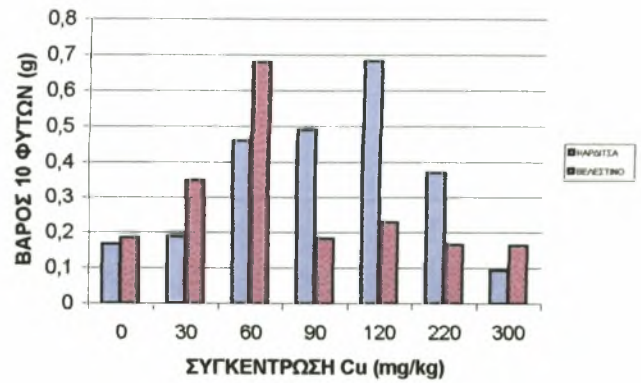
### ΧΛΩΡΟ ΒΑΡΟΣ - ΥΠΟΓΕΙΟ - ΒΡΟΜΟΣ



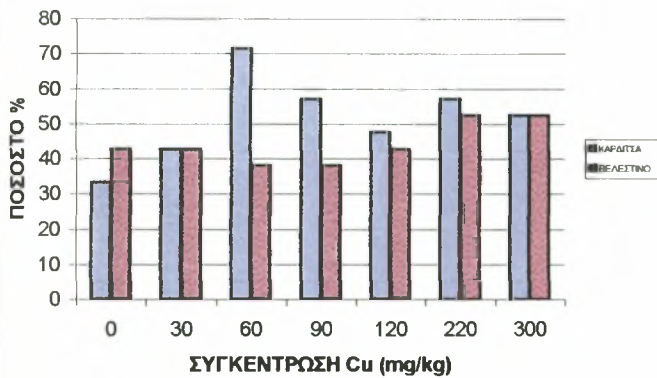
### ΞΗΡΟ ΒΑΡΟΣ - ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟ - ΒΡΟΜΟΣ



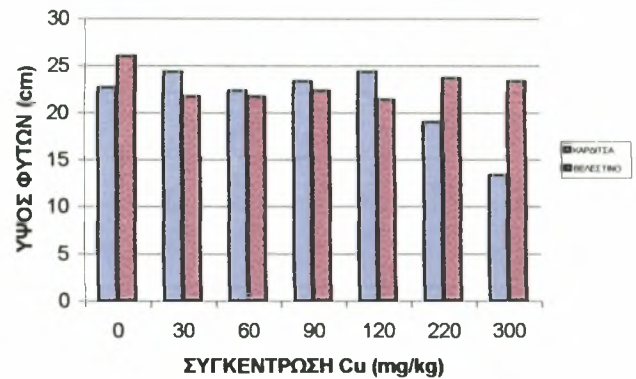
### ΞΗΡΟ ΒΑΡΟΣ - ΥΠΟΓΕΙΟ - ΒΡΟΜΟΣ



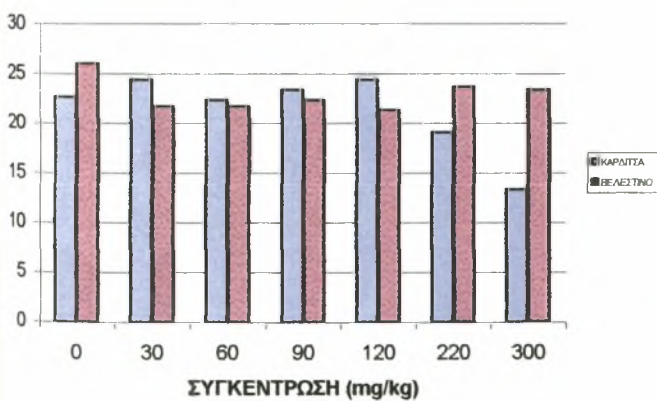
### ΦΥΤΡΩΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ - ΒΡΟΜΟΣ



### ΥΨΟΣ ΦΥΤΩΝ - ΒΡΟΜΟΣ

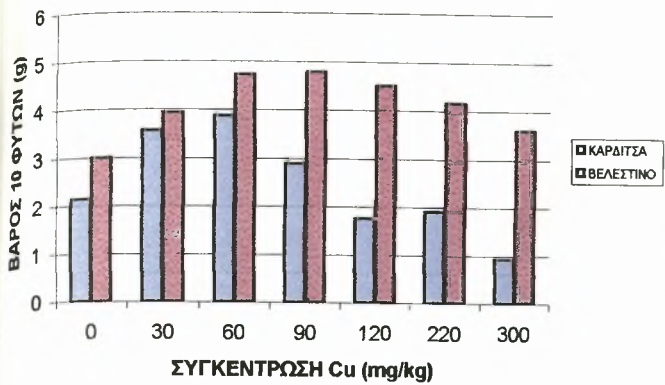


### ΧΛΩΡΟΦΥΛΛΗ - ΒΡΟΜΟΣ

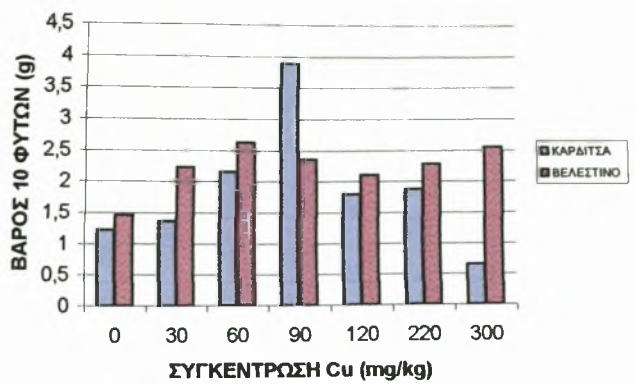




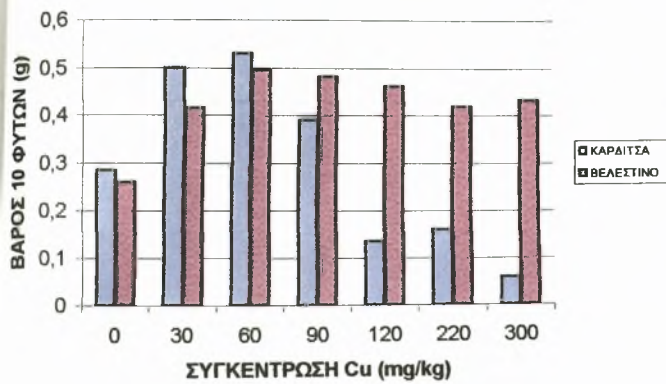
**ΧΛΩΡΟ ΒΑΡΟΣ - ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟ - ΣΙΤΑΡΙ**



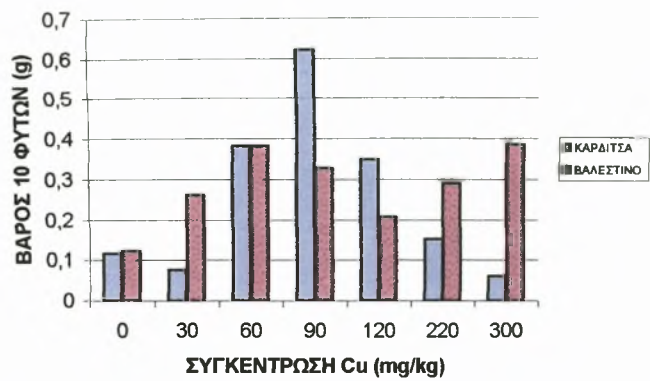
**ΧΛΩΡΟ ΒΑΡΟΣ - ΥΠΟΓΕΙΟ - ΣΙΤΑΡΙ**



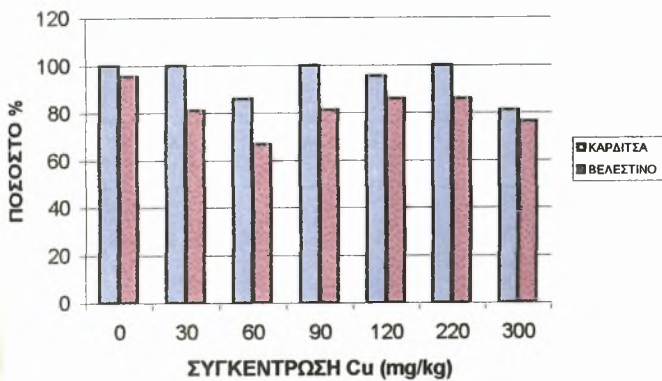
**ΞΗΡΟ ΒΑΡΟΣ - ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟ - ΣΙΤΑΡΙ**



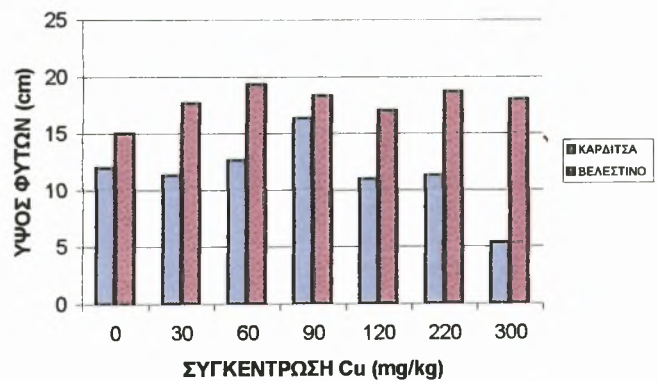
**ΞΗΡΟ ΒΑΡΟΣ - ΥΠΟΓΕΙΟ - ΣΙΤΑΡΙ**



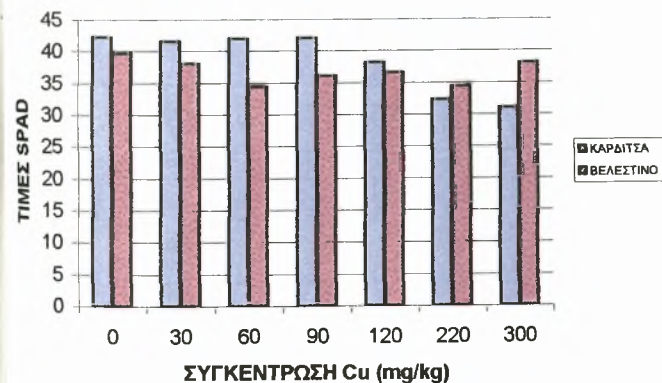
**ΦΥΤΡΩΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ**



**ΥΨΟΣ ΦΥΤΩΝ - ΣΙΤΑΡΙ**

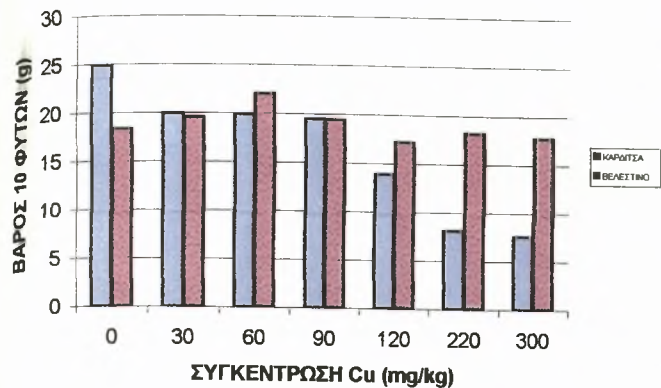


**ΧΛΩΡΟΦΥΛΛΗ - ΣΙΤΑΡΙ**

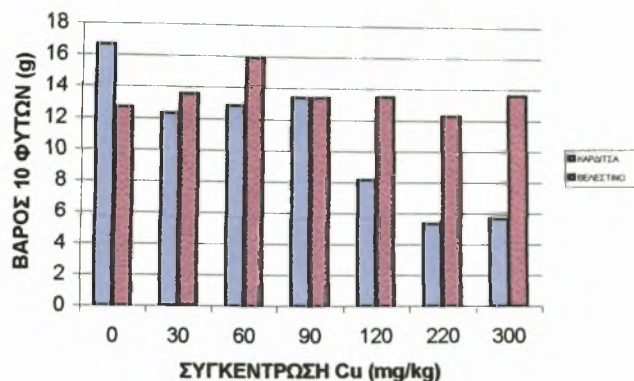


**Γράφημα 3. Φυσιολογικά χαρακτηριστικά σιταριού σε όξινο και αλκαλικό έδαφος στο θερμοκήπιο**

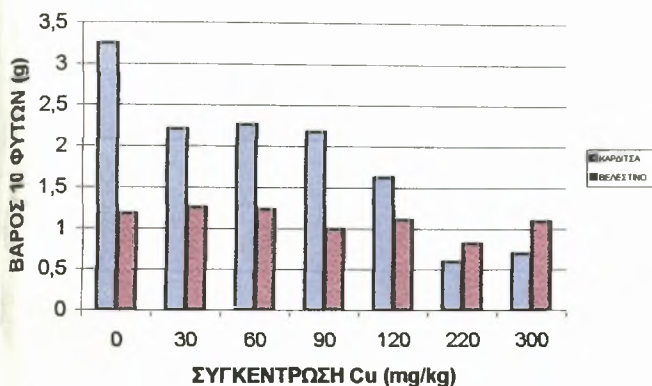
**ΧΛΩΡΟ ΒΑΡΟΣ - ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟ - ΚΑΛΑΜΠΟΚΙ**



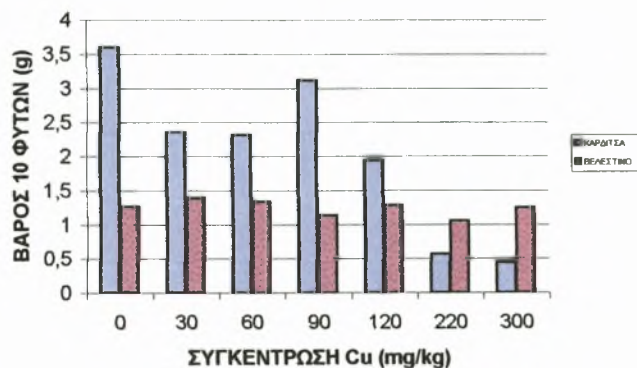
**ΧΛΩΡΟ ΒΑΡΟΣ - ΥΠΟΓΕΙΟ - ΚΑΛΑΜΠΟΚΙ**



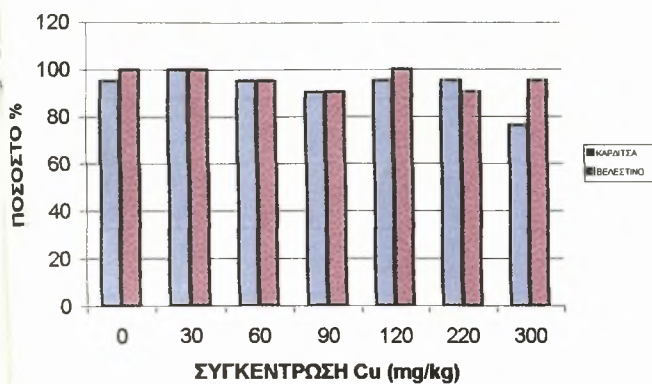
**ΞΗΡΟ ΒΑΡΟΣ - ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟ - ΚΑΛΑΜΠΟΚΙ**



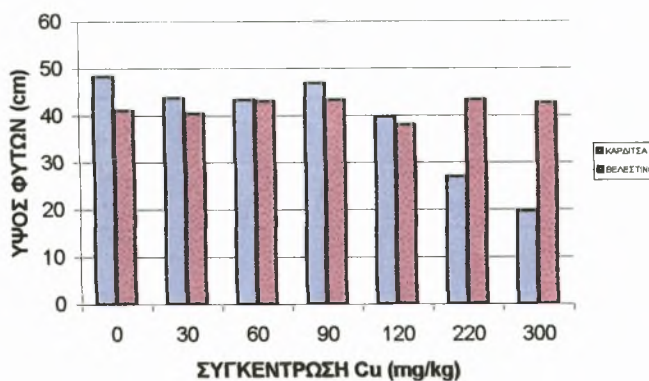
**ΞΗΡΟ ΒΑΡΟΣ - ΥΠΟΓΕΙΟ - ΚΑΛΑΜΠΟΚΙ**



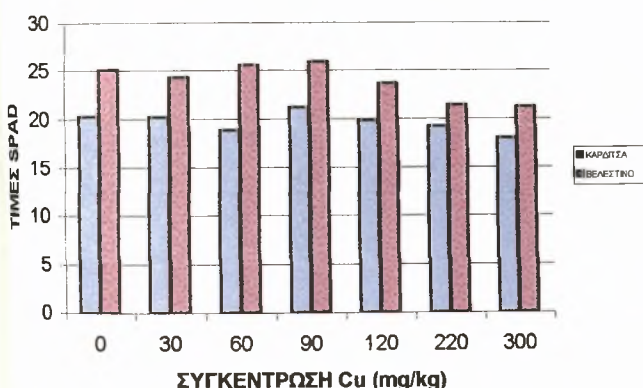
**ΦΥΤΡΩΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ - ΚΑΛΑΜΠΟΚΙ**



**ΥΨΟΣ ΦΥΤΩΝ - ΚΑΛΑΜΠΟΚΙ**



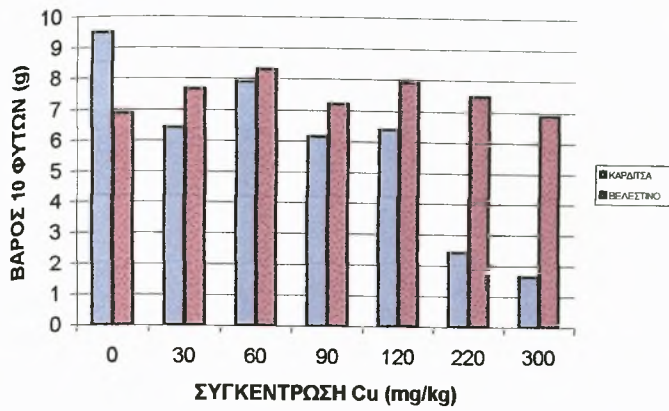
**ΧΛΩΡΟΦΥΛΛΗ - ΚΑΛΑΜΠΟΚΙ**



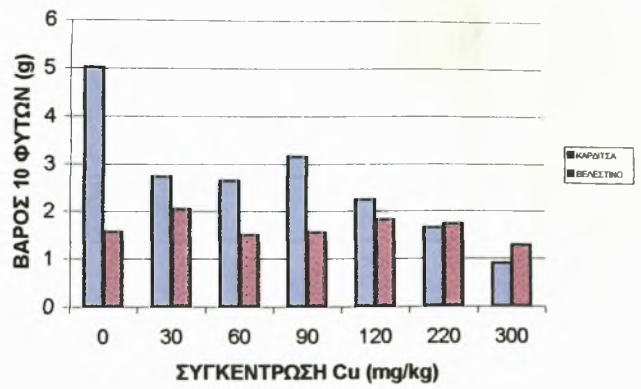
**Γράφημα 4. Φυσιολογικά χαρακτηριστικά καλαμποκιού σε όξινο και ακαλικό έδαφος στο θερμοκήπιο**



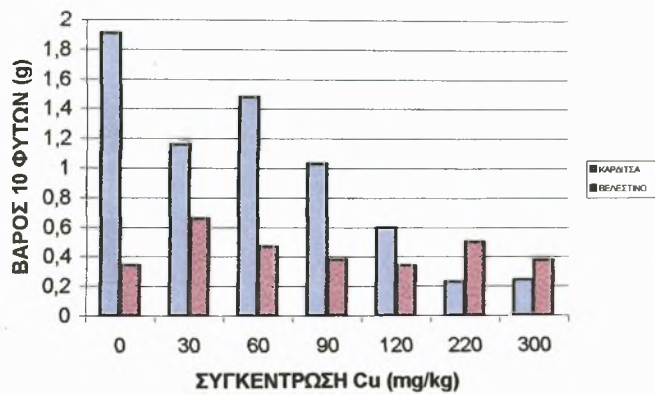
**ΧΛΩΡΟ ΒΑΡΟΣ - ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟ - ΑΓΡΙΟΦΑΣΟΥΛΙΑ**



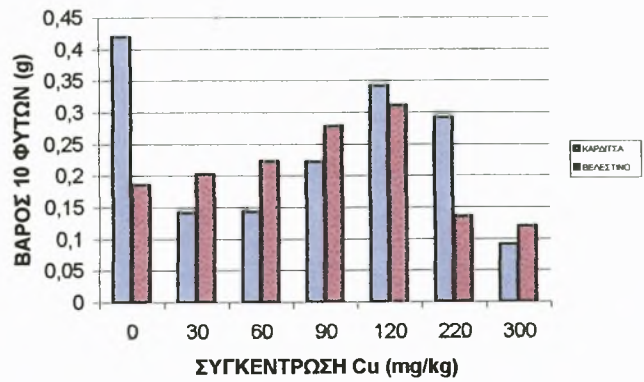
**ΧΛΩΡΟ ΒΑΡΟΣ - ΥΠΟΓΕΙΟ - ΑΓΡΙΟΦΑΣΟΥΛΙΑ**



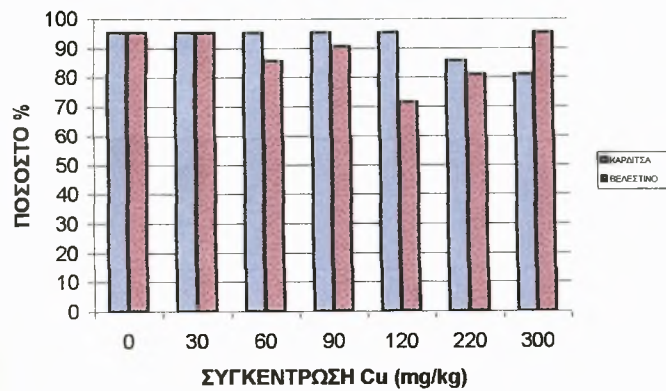
**ΞΗΡΟ ΒΑΡΟΣ - ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟ - ΑΓΡΙΟΦΑΣΟΥΛΙΑ**



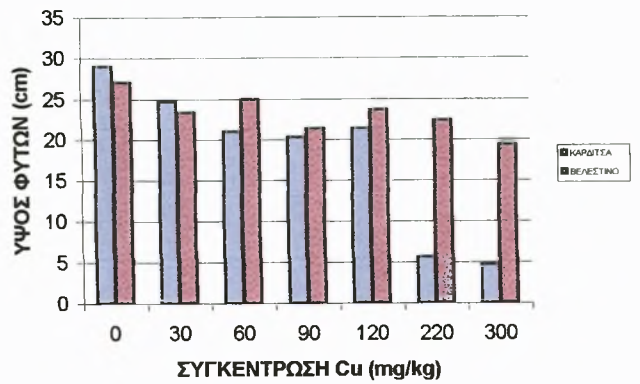
**ΞΗΡΟ ΒΑΡΟΣ - ΥΠΟΓΕΙΟ - ΑΓΡΙΟΦΑΣΟΥΛΙΑ**



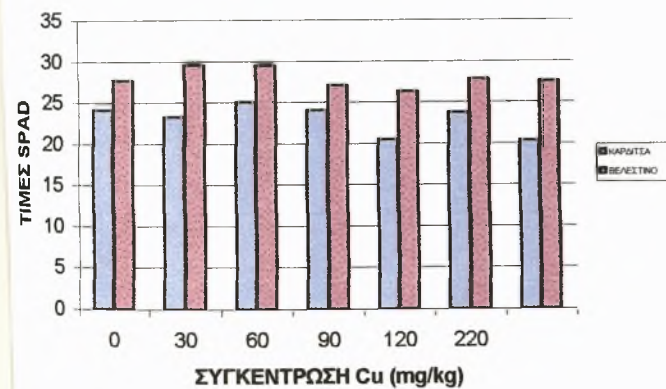
**ΦΥΤΡΩΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ - ΑΓΡΙΟΦΑΣΟΥΛΙΑ**



**ΥΨΟΣ ΦΥΤΩΝ - ΑΓΡΙΟΦΑΣΟΥΛΙΑ**

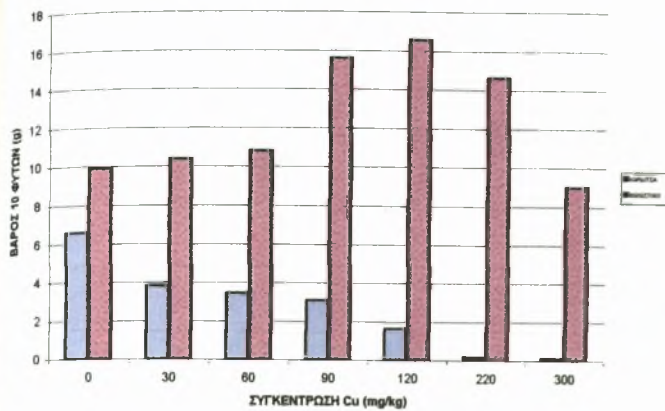


**ΧΛΩΡΟΦΥΛΛΗ - ΑΓΡΙΟΦΑΣΟΥΛΙΑ**

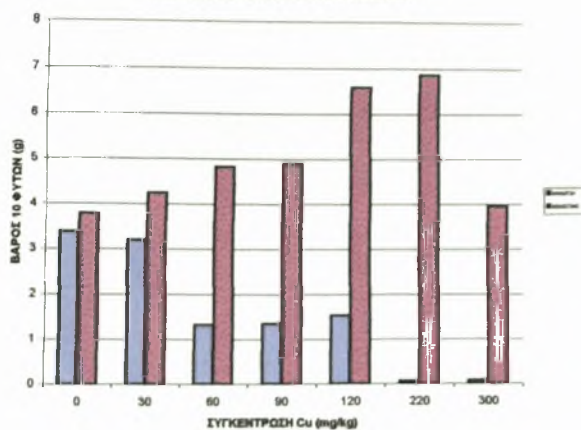




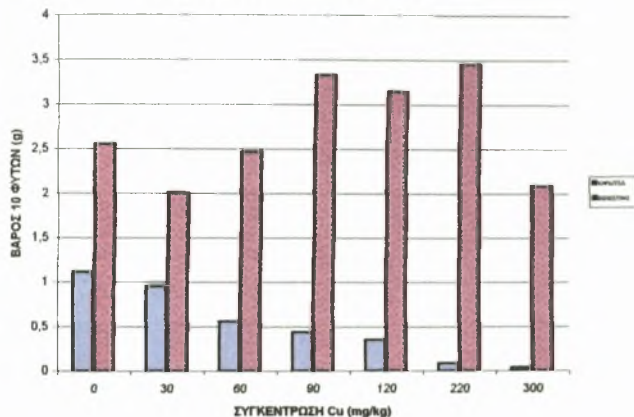
ΧΛΩΡΟ ΒΑΡΟΣ - ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟ - ΑΓΡΙΟΒΑΜΒΑΚΙΑ



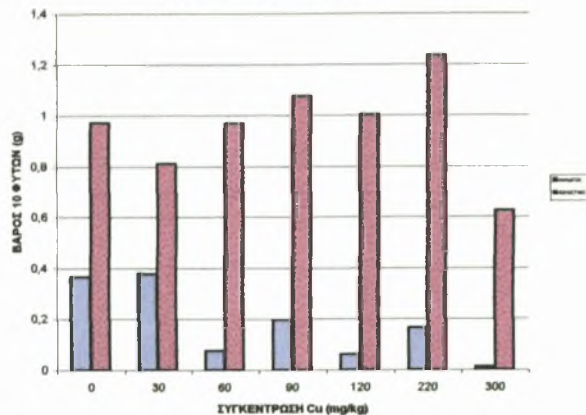
ΧΛΩΡΟ ΒΑΡΟΣ - ΥΠΟΓΕΙΟ - ΑΓΡΙΟΒΑΜΒΑΚΙΑ



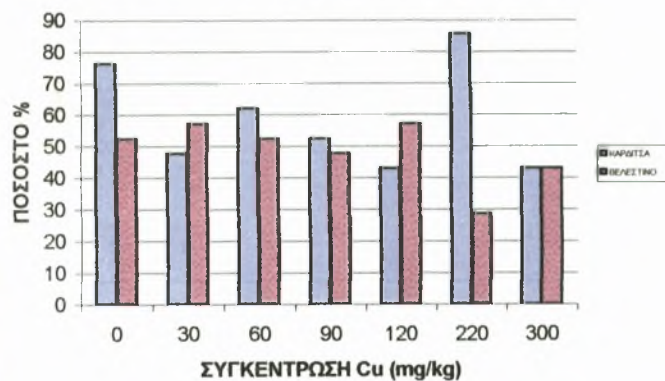
ΞΗΡΟ ΒΑΡΟΣ - ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟ - ΑΓΡΙΟΒΑΜΒΑΚΙΑ



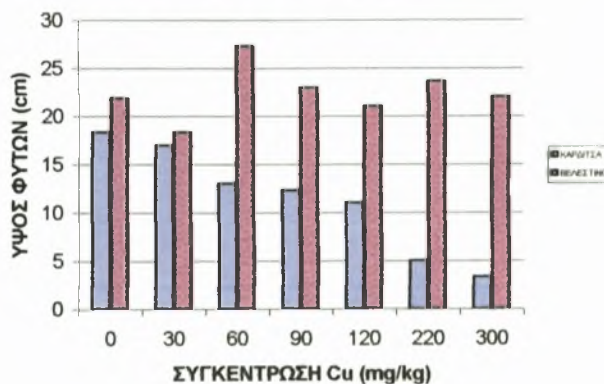
ΞΗΡΟ ΒΑΡΟΣ - ΥΠΟΓΕΙΟ - ΑΓΡΙΟΒΑΜΒΑΚΙΑ



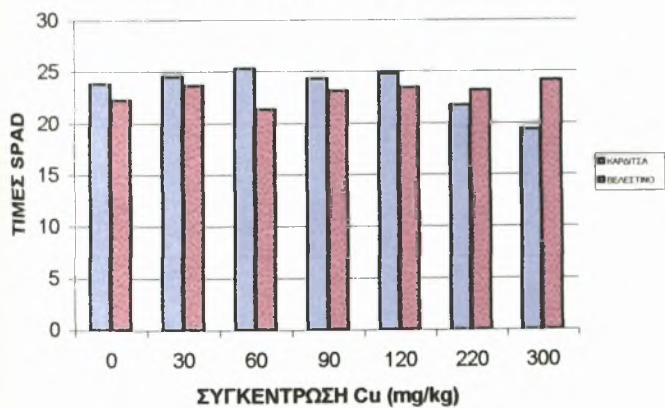
ΦΥΤΡΩΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ - ΑΓΡΙΟΒΑΜΒΑΚΙΑ



ΥΨΟΣ ΦΥΤΩΝ - ΑΓΡΙΟΒΑΜΒΑΚΙΑ



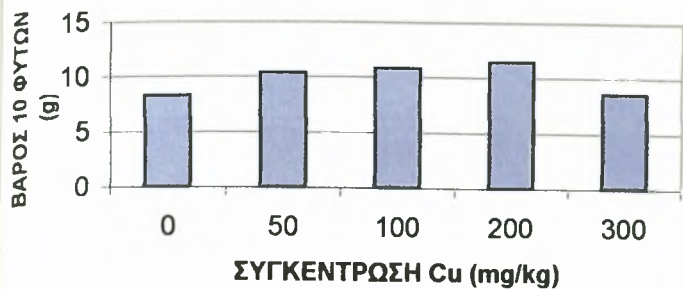
ΧΛΩΡΟΦΥΛΛΗ - ΑΓΡΙΟΒΑΜΒΑΚΙΑ



Γράφημα 6. Φυσιολογικά χαρακτηριστικά αγριοβαμβακιάς σε όξινο και ακαλικό έδαφος στο θερμοκήπιο

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ Β

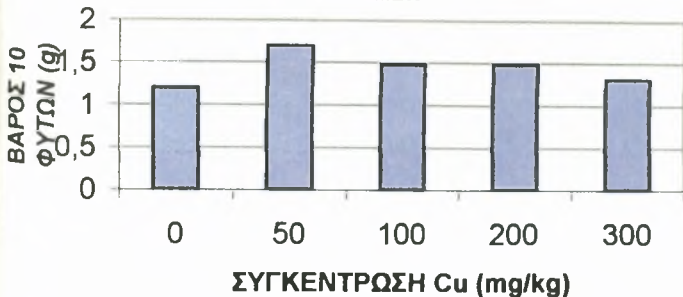
ΒΕΛΕΣΤΙΝΟ - ΧΛΩΡΟ ΒΑΡΟΣ - ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟ - ΕΛΑΙΟΚΡΑΜΒΗ



ΒΕΛΕΣΤΙΝΟ - ΧΛΩΡΟ ΒΑΡΟΣ - ΥΠΟΓΕΙΟ - ΕΛΑΙΟΚΡΑΜΒΗ



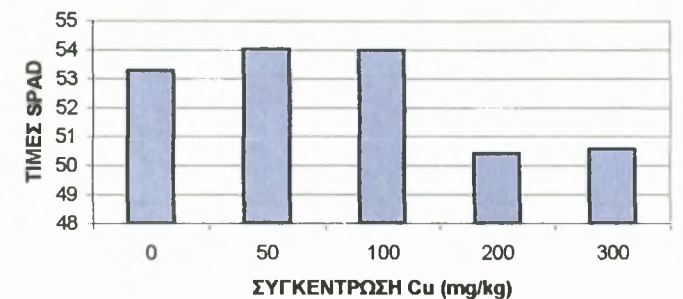
ΒΕΛΕΣΤΙΝΟ - ΞΗΡΟ ΒΑΡΟΣ - ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟ - ΕΛΑΙΟΚΡΑΜΒΗ



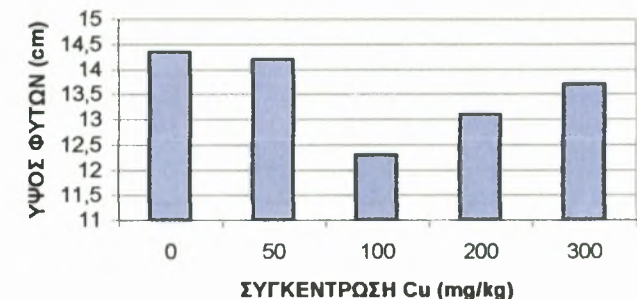
ΒΕΛΕΣΤΙΝΟ - ΞΗΡΟ ΒΑΡΟΣ - ΥΠΟΓΕΙΟ - ΕΛΑΙΟΚΡΑΜΒΗ



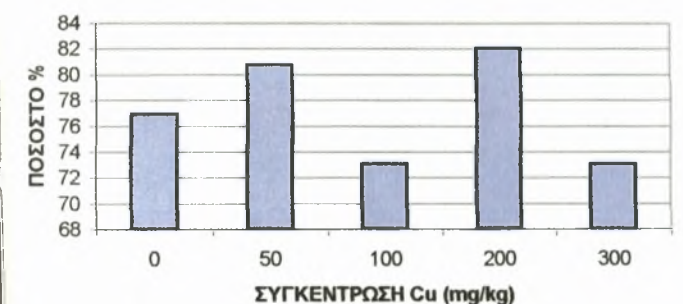
ΒΕΛΕΣΤΙΝΟ - ΧΛΩΡΟΦΥΛΛΗ - ΕΛΑΙΟΚΡΑΜΒΗ



ΒΕΛΕΣΤΙΝΟ - ΥΨΟΣ ΦΥΤΩΝ - ΕΛΑΙΟΚΡΑΜΒΗ



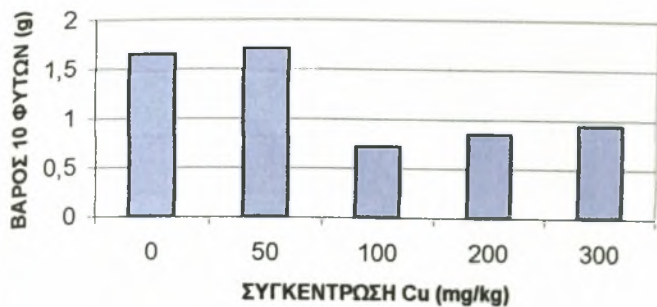
ΒΕΛΕΣΤΙΝΟ - ΒΛΑΣΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ



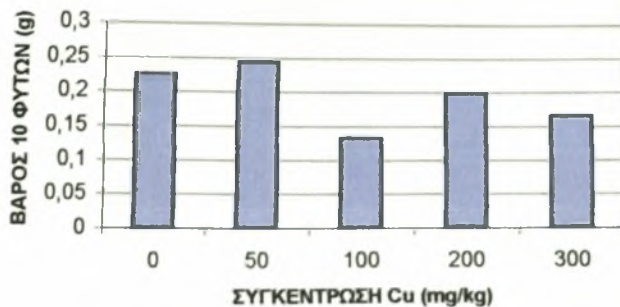
Γράφημα 1. Φυσιολογικά χαρακτηριστικά της ελαιοκράμβης σε ακαλικό έδαφος στον αγρό



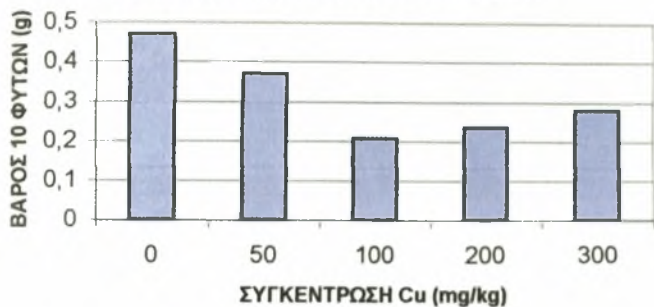
ΒΕΛΕΣΤΙΝΟ - ΧΛΩΡΟ ΒΑΡΟΣ - ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟ



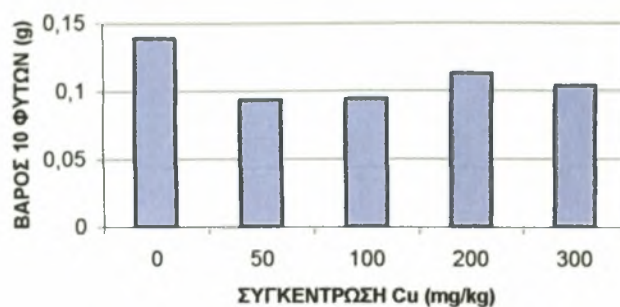
ΒΕΛΕΣΤΙΝΟ - ΧΛΩΡΟ ΒΑΡΟΣ - ΥΠΟΓΕΙΟ



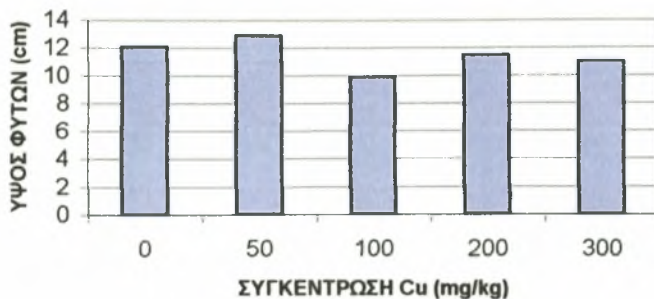
ΒΕΛΕΣΤΙΝΟ - ΞΗΡΟ ΒΑΡΟΣ - ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟ



ΒΕΛΕΣΤΙΝΟ - ΞΗΡΟ ΒΑΡΟΣ - ΥΠΟΓΕΙΟ



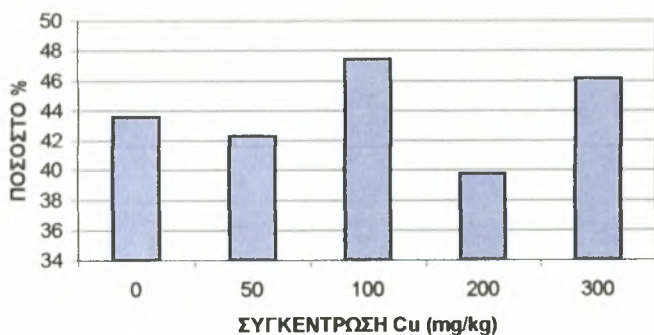
ΒΕΛΕΣΤΙΝΟ - ΥΨΟΣ ΦΥΤΩΝ



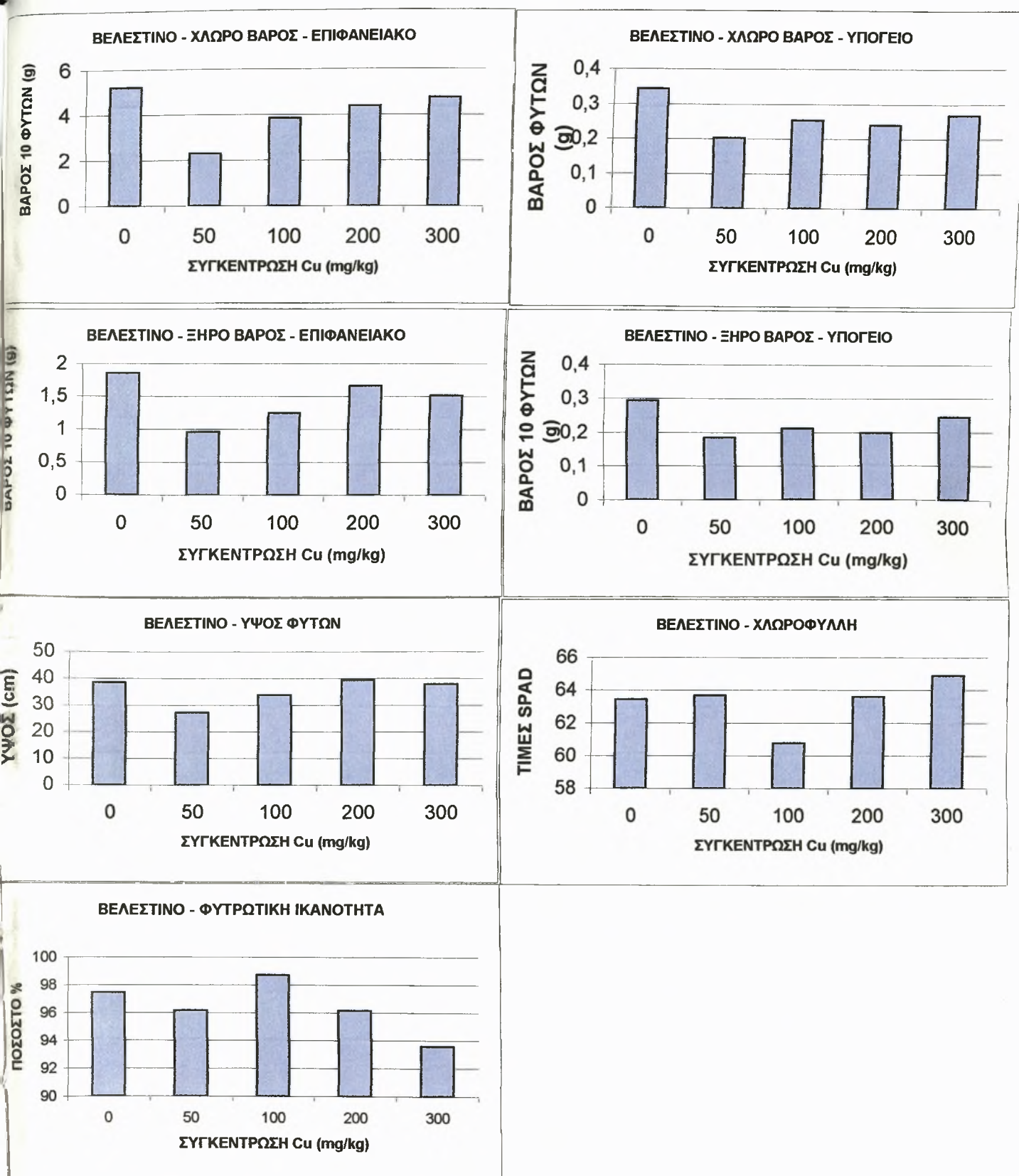
ΒΕΛΕΣΤΙΝΟ - ΧΛΩΡΟΦΥΛΛΗ



ΒΕΛΕΣΤΙΝΟ - ΦΥΤΡΩΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ

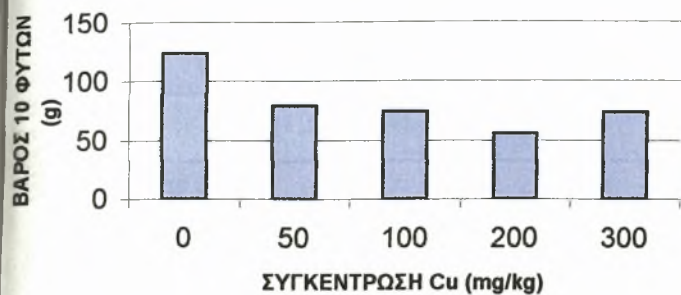


Γράφημα 2. Φυσιολογικά χαρακτηριστικά του βρόμου σε ακλαλικό έδαφος στον αγρό.

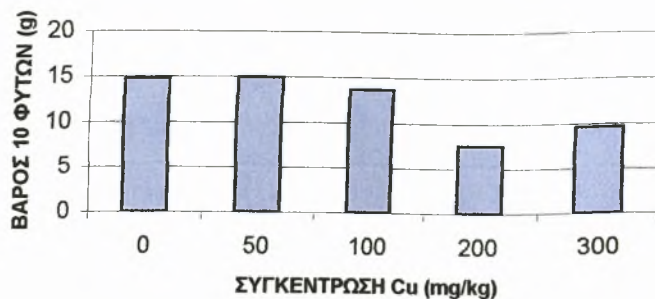


**Γράφημα 3.** Φυσιολογικά χαρακτηριστικά του σιταριού σε ακλαλικό έδαφος στον αγρό

ΒΕΛΕΣΤΙΝΟ - ΧΛΩΡΟ ΒΑΡΟΣ - ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟ - ΚΑΛΑΜΠΟΚΙ



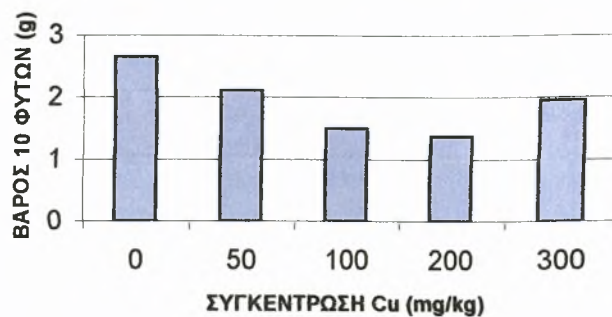
ΒΕΛΕΣΤΙΝΟ - ΧΛΩΡΟ ΒΑΡΟΣ - ΥΠΟΓΕΙΟ - ΚΑΛΑΜΠΟΚΙ



ΒΕΛΕΣΤΙΝΟ - ΞΗΡΟ ΒΑΡΟΣ - ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟ - ΚΑΛΑΜΠΟΚΙ



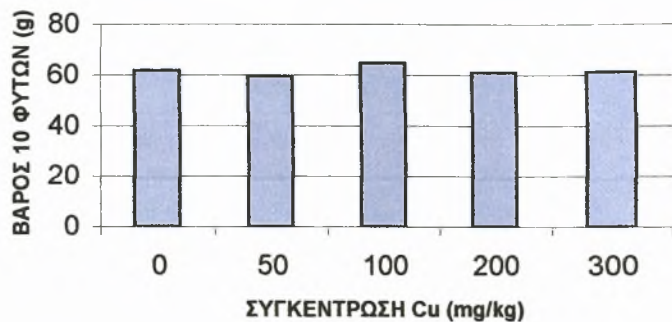
ΒΕΛΕΣΤΙΝΟ - ΞΗΡΟ ΒΑΡΟΣ - ΥΠΟΓΕΙΟ - ΚΑΛΑΜΠΟΚΙ



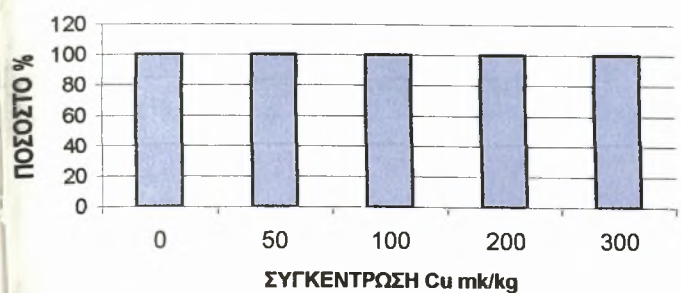
ΚΑΛΑΜΠΟΚΙ - ΥΨΟΣ



ΒΕΛΕΣΤΙΝΟ - ΧΛΩΡΟΦΥΛΛΗ

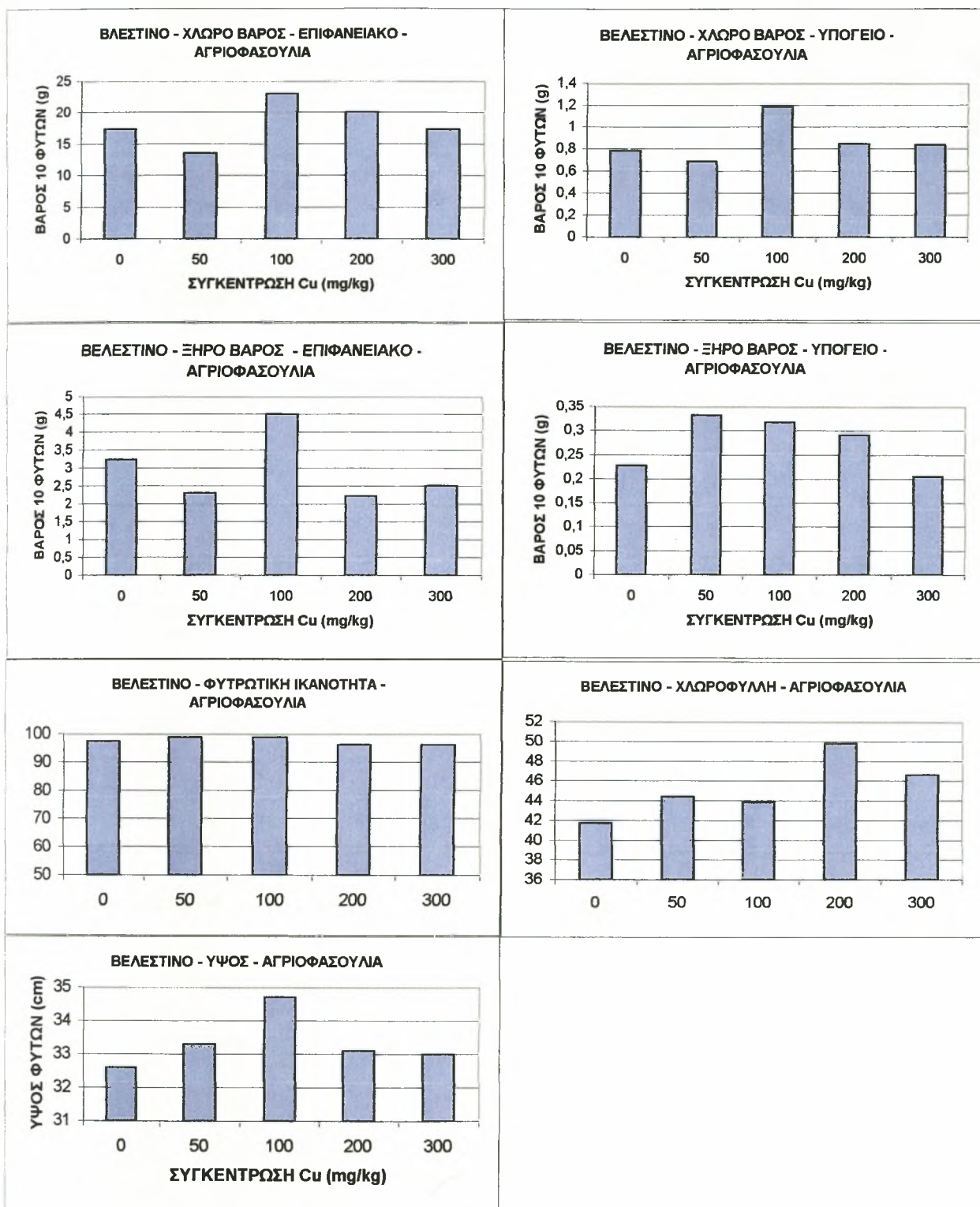


ΒΕΛΕΣΤΙΝΟ ΦΥΤΡΩΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ



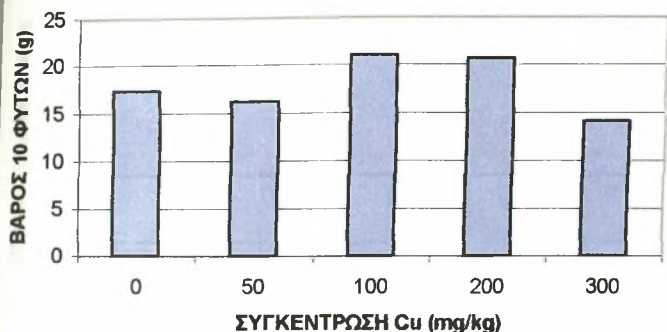
Γράφημα 4. Φυσιολογικά χαρακτηριστικά του καλαμποκιού σε ακαλαλικό έδαφος στον αγρό



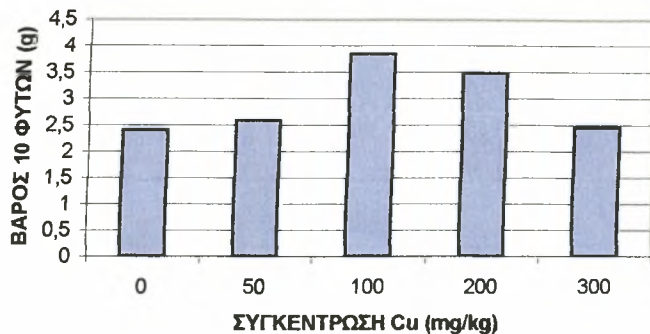


Γράφημα 5. Φυσιολογικά χαρακτηριστικά της αγριοφασουλιάς σε αλκαλικό έδαφος στον αγρό

ΒΕΛΕΣΤΙΝΟ - ΧΛΩΡΟ ΒΑΡΟΣ - ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟ - ΑΓΡΙΟΒΑΜΒΑΚΙΑ



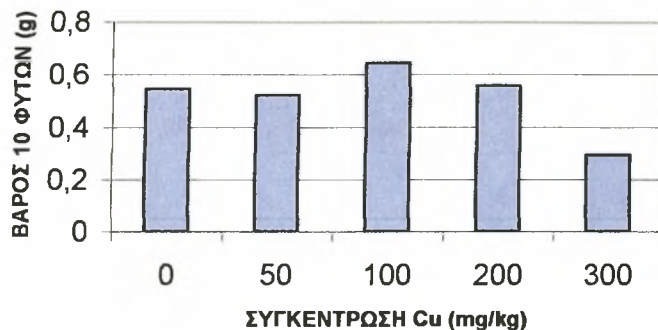
ΒΕΛΕΣΤΙΝΟ - ΧΛΩΡΟ ΒΑΡΟΣ - ΥΠΟΓΕΙΟ - ΑΓΡΙΟΒΑΜΒΑΚΙΑ



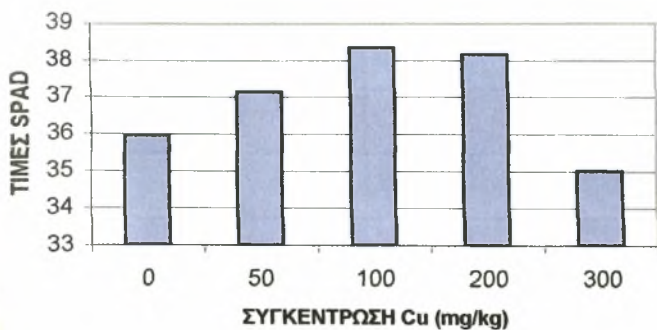
ΒΕΛΕΣΤΙΝΟ - ΞΗΡΟ ΒΑΡΟΣ - ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟ - ΑΓΡΙΟΒΑΜΒΑΚΙΑ



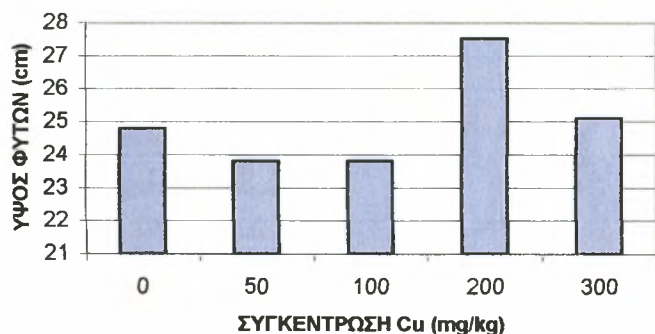
ΒΕΛΕΣΤΙΝΟ - ΞΗΡΟ ΒΑΡΟΣ - ΥΠΟΓΕΙΟ - ΑΓΡΙΟΒΑΜΒΑΚΙΑ



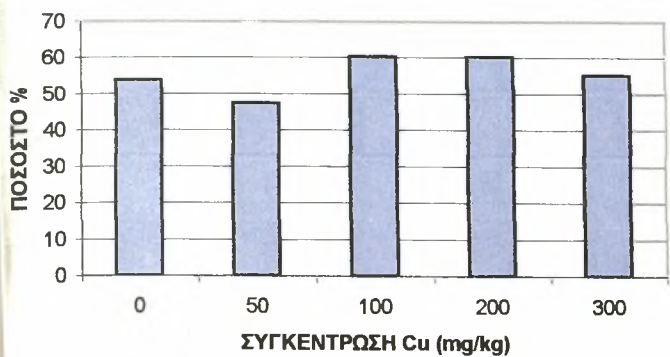
ΒΕΛΕΣΤΙΝΟ - ΧΛΩΡΟΦΥΛΛΗ - ΑΓΡΙΟΒΑΜΒΑΚΙΑ



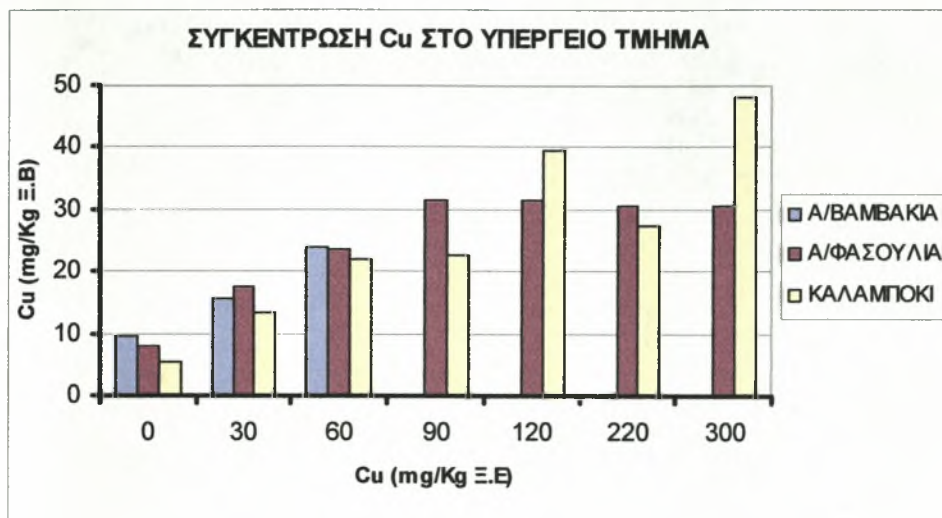
ΒΕΛΕΣΤΙΝΟ - ΥΨΟΣ ΦΥΤΩΝ - ΑΓΡΙΟΒΑΜΒΑΚΙΑ



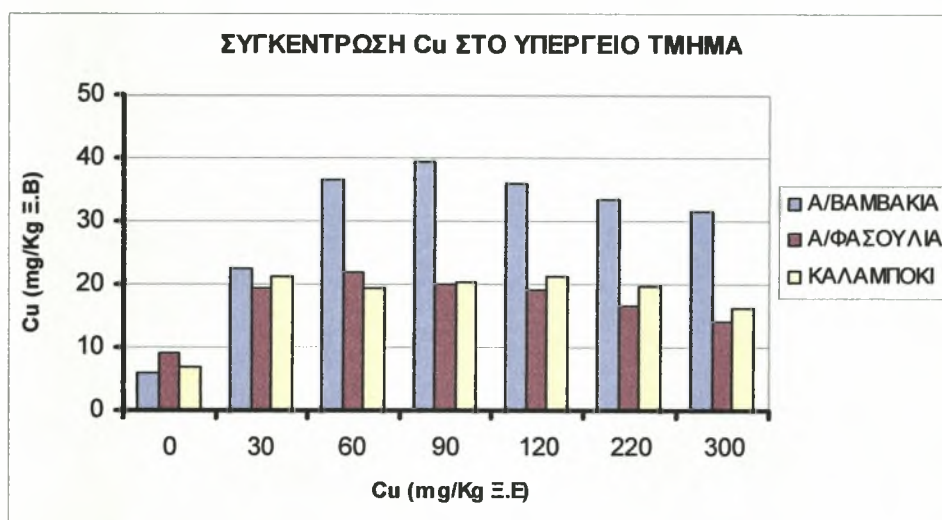
ΒΕΛΕΣΤΙΝΟ - ΦΥΤΡΩΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ



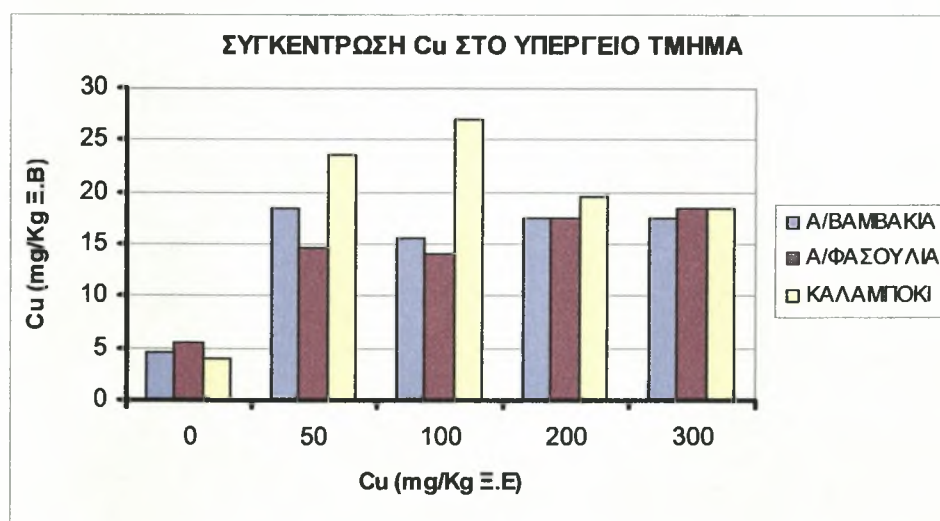
Γράφημα 6. Φυσιολογικά χαρακτηριστικά της αγριοβαμβακιάς σε ακλαλικό έδαφος στον αγρό



Σχήμα 7. Συγκέντρωση Cu στο υπέργειο τμήμα σε pH (5.5) στο θερμοκήπιο



Σχήμα 8. Συγκέντρωση Cu στο υπέργειο τμήμα σε pH (8.3) στο θερμοκήπιο



Σχήμα 9. Συγκέντρωση Cu στο υπέργειο τμήμα σε pH (8.3) στον αγρό.



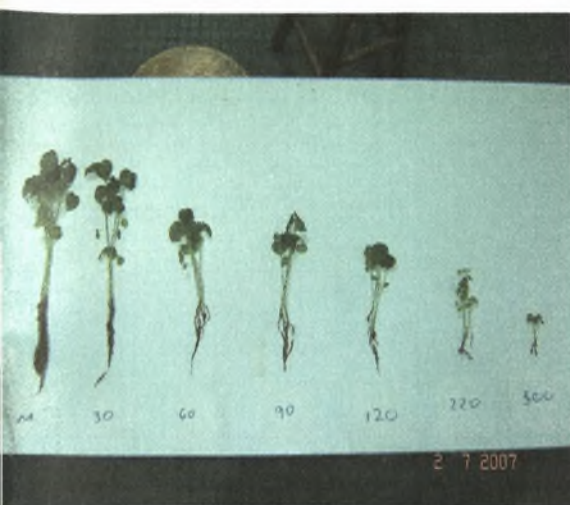
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV



καλαμπόκι στο θερμοκήπιο – pH 8.3



καλαμπόκι στο θερμοκήπιο – pH 5.5



αγριοβαμβακιά στο θερμοκήπιο – pH 5.5



αγριοβαμβακιά στο θερμοκήπιο – pH 5.5



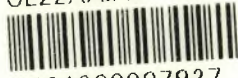
αγριοφασουλιά στο θερμοκήπιο – pH 5.5



αγριοφασουλιά στο θερμοκήπιο – pH 8.3



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000097927