

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΣΥΓΧΡΟΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΤΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ
ΧΩΡΟ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΗΝ ΔΕΙΦΟΡΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΤΗ
ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΝΕΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ»**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

**ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΚΟΜΠΟΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΙΛΥΟΣ ΤΟΥ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΥ
ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ ΛΑΡΙΣΑΣ ΣΤΑ ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ
ΕΛΑΦΟΥΣ**

ΔΙΑΜΑΝΤΟΥΛΗΣ Ιωάννης

Βόλος
Μάρτιος, 2013

Μέλη Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

Αντωνιάδης Βασίλειος, (Εφαρμοσμένη Εδαφολογία – Ρύπανση Εδαφών με Βαρέα
Μέταλλα, Λέκτορας – επιβλέπων)

.

Δημήρκου Ανθούλα, (Εδαφολογία με Έμφαση στη Χημεία Εδάφους, Καθηγήτρια).

Δαναλάτος Νικόλαος, (Γεωργία – Οικολογία Φυτών Μεγάλης Καλλιέργειας,
Καθηγητής).

Ευχαριστίες

Θερμά ευχαριστώ τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Αντωνιάδη Βασίλειο για την ένθερμη υποστήριξη και την αδιάλειπτη καθοδήγηση.

Ευχαριστώ την κα Κολινιάτη Ρεβέκκα και την κα Μπρόζου Εύα για την αμέριστη βοήθεια στο εργαστήριο.

Θέλω να ευχαριστήσω το Ινστιτούτο Χαρτογράφησης και Ταξινόμησης Εδαφών Λάρισας (ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε.) και ιδιαιτέρως τον διευθυντή του Δρ. Τσαντήλα Χρήστο για την αρχική καθοδήγηση.

Θέλω να ευχαριστήσω τον διευθυντή της ΔΕΥΑ Λάρισας Δρ. Παπακωνσταντίνου Αργύρη για τη συνεργασία στη λήψη και διανομή της βιολογικής ιλύς στα αγροτεμάχια, όπου έγινε η διανομή και η εφαρμογή των πειραμάτων.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η χρήση της ιλύος βιολογικών καθαρισμών (IBK) στην γεωργία είναι ελκυστική, γιατί η IBK είναι πλούσια σε οργανική ουσία και θρεπτικά. Ενδεχομένως όμως να υπάρχουν κίνδυνοι εξαιτίας των υψηλών συγκεντρώσεων ιχνοστοιχείων που πιθανώς περιέχουν. Σε περιοχές της Μεσογείου δεν έχουν γίνει έρευνες για τη χρήση της IBK σε μόνιμες φυτείες (πχ. καρυδιές), ενώ και σε ετήσιες καλλιέργειες (π.χ., αραβόσιτο) οι δόσεις IBK είναι πολύ υψηλότερες των συνηθισμένων. Έτσι σκοπός της εργασίας ήταν η μελέτη της επίδρασης της IBK στις ιδιότητες εδάφους και φυτού σε αγρό αραβόσιτου και καρυδιών σε χαμηλές-συνηθισμένες δόσεις χορήγησης και η σύγκρισή της με συμβατική ανόργανη λίπανση. Στήθηκαν δύο παράλληλα πειράματα σε δύο κοντινούς αγρούς, αραβόσιτου και καρυδιών με μεταχειρίσεις IBK (I), ανόργανου λιπάσματος (Λ) και μάρτυρα χωρίς προσθήκες (M). Ελήφθησαν δείγματα εδάφους 4 φορές και φυτικά δύο φορές κατά την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Όλα τα μακροθρεπτικά είχαν παρόμοια επίπεδα μεταξύ I και Λ. Τα ιχνοστοιχεία, ήταν χαμηλότερα στο έδαφος στην I από την Λ, λόγω δημιουργίας (πιθανολογούμε, προσωρινών) αδιάλυτων συμπλόκων με την οργανική ουσία, αλλά στο φυτό τέτοιες διαφορές δεν παρατηρήθηκαν. Και στις δύο μεταχειρίσεις Λ και I το ποσό του N, του P και του K που θα εμπλούτιζαν το έδαφος αν κάναμε ενσωμάτωση των μη συγκομιζόμενων φυτικών υλικών (στελέχη και φύλλα) θα ήταν σημαντικό και παρόμοιο. Ίδιες τάσεις βρήκαμε και στις καρυδιές. Συμπεραίνουμε ότι η χρήση μικρών δόσεων χορήγησης IBK, ιδίως IBK χωρίς επιβάρυνση σε ιχνοστοιχεία, είναι ασφαλής και ότι μπορεί επιτυχώς να αντικαταστήσει την ενεργοβόρο συμβατική λίπανση χωρίς αρνητικές επιπτώσεις στις καλλιέργειες.

Λέξεις-κλειδιά: Άζωτο, φώσφορος, κάλιο, ιχνοστοιχεία, απόδοση καλλιέργειας, αραβόσιτος, καρυδιές

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Σελίδα

1. Εισαγωγή.....	11
1.1 Διαχείριση θρεπτικών στη γεωργία.....	11
1.2 Γιατί είναι σημαντική η οργανική λίπανση.....	17
1.3 Η καλλιέργεια του αραβόσιτου.....	20
1.4 Η καλλιέργεια της καρυδιάς.....	21
1.5 Αναγκαιότητα έρευνας και σκοποί της εργασίας	23
2. Υλικά και μέθοδοι	25
2.2 1 Πειραματικός σχεδιασμός αραβόσιτου.....	25
2.2 2 Πειραματικός σχεδιασμός καρυδεώνα.....	26
2.3 Μέθοδοι ανάλυσης.....	27
2.3.1 Προετοιμασία δείγματος εδάφους.....	27
2.3.2 Μέτρηση pH.....	28
2.3.3 Κοκκομετρική σύσταση.....	28
2.3.4 Μέτρηση υγρασίας δειγμάτων(Μέτρηση ξηράς ουσίας).....	29
2.3.5 Μέτρηση οργανικής ουσίας (υγρή οξείδωση).....	29
2.3.6 Μέτρηση φωσφόρου κατά Olsen.....	30
2.3.7 Μέτρηση διαθέσιμου αζώτου.....	32
2.3.7.1 Μέτρηση αμμωνιακού αζώτου (NH ₄ -N).....	32
2.3.7.2 Μέτρηση νιτρικού αζώτου (NO ₃ -N).....	33
2.3.8 Μέτρηση διαθέσιμων ιχνοστοιχείων (εκχύλιση με DTPA).....	34
2.3.9 Ολικές συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων με βασιλικό νερό.....	34
2.3.10 Ανταλλάξιμα κατιόντα Ca, Mg, K, Na.....	35
2.3.11 Μέτρηση ολικού αζώτου στο έδαφος (Kjeldahl method).....	35
2.4 Φυτοκομικές μέθοδοι ανάλυσης.....	35
2.4.1 Προετοιμασία και εκχύλιση της φυτομάζας.....	35
2.4.2 Ολικό άζωτο στο φυτό (κατά Kjeldahl).....	36
2.4.3 Μέτρηση φωσφόρου στο φυτικό ιστό (Olsen method).....	38
2.4.4 Μέτρηση λοιπών μακροστοιχείων (Ca, Mg, K).....	39
2.4.5 Μέτρηση ιχνοστοιχείων στο φυτικό ιστό.....	39
3. Αποτελέσματα και συζήτηση.....	40
3.1 Πείραμα αραβόσιτου.....	40
3.2 Πείραμα καρυδιών.....	44

3.3 Συμπεράσματα	46
4. Βιβλιογραφία, ξενόγλωσση	48
Ελληνική βιβλιογραφία	50
Αναφορές από το διαδίκτυο	52
Abstract	95

ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

		Σελίδα
Πίνακας 1.1.1	Σχετικές ποσότητες ορισμένων στοιχείων ξ. ο. σε ιστό φύλλου	53
Πίνακας 1.1.2	Λειτουργίες των ανόργανων θρεπτικών στοιχείων στα φυτά.	54
Πίνακας 1.2.1	Είδη οργανικών λιπασμάτων.	55
Πίνακας 1.2.2	Μέση οργανική και ανόργανη σύσταση των βιολογικών λασπών (ιλύος), οι οποίες είναι κατάλληλες για γεωργική αξιοποίηση.	56
Πίνακας 1.2.3	Ποσότητες και περιεκτικότητες σε άζωτο που περιέχονται σε 500 kg βιολογικής λάσπης ανά στρέμμα.	57
Πίνακας 1.2.4	Ποσότητες σε βαριά μέταλλα που μπορούν να προστίθενται ετησίως στα καλλιεργούμενα εδάφη με βάση το μέσο όρο 10 ετών.	58
Πίνακας 1.2.5	Γενικά χαρακτηριστικά της ιλύος(ξ. ο.), προερχόμενη από το βιολογικό καθαρισμό Κατερίνης.	59
Πίνακας 1.2.6	Εκτίμηση για την διανομή IBK κατά το έτος 2005.	60
Πίνακας 1.2.7	Μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις μετάλλων στην ιλύ για γεωργική επαναχρησιμοποίηση (Οδηγία 86/278/Ε.Ε. και Κ.Υ.Α. 80568/4225/91)	61
Πίνακας 1.2.8	Μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις μετάλλων στο έδαφος(για δεδομένο διάστημα τιμών pH) στο οποίο θα γίνει εφαρμογή ιλύος (Οδηγία 86/278/Ε.Ε. και Κ.Υ.Α. 80568/4225/91)	62
Πίνακας 1.2.9.	Προτεινόμενες από τη ΕΕ μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις στην ιλύ για εδαφική εφαρμογή.	63
Πίνακας 1.2.10	Προτεινόμενες από τη ΕΕ μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις μετάλλων στο έδαφος (για δεδομένα διαστήματα τιμών pH) στο οποίο θα γίνει εφαρμογή της ιλύος.	64
Πίνακας 1.2.11	Προτεινόμενες από την ΕΕ μέγιστες επιτρεπόμενες ετήσιες φορτίσεις	65
Πίνακας 1.2.12	Βασικά χαρακτηριστικά των εναλλακτικών μεθόδων υγειονομοποίησης	66
Πίνακας 1.3.1	Ετήσιες εξαγόμενες και ακινητοποιημένες ποσότητες θρεπτικών στοιχείων από ένα δένδρο καρυδιάς ποικιλίας	

	(Franquette) Φρανκέτ ηλικίας δένδρου 14 ετών (πυκνότητα φύτευσης 178 φυτά/ha). Δεδομένα τα οποία αναφέρονται στο εναέριο κομμάτι, των φρούτων και των ανακυκλώσιμων αποσύρσεων (φύλλων). 67	
Πίνακας 1.3.2	Συγκέντρωση των θρεπτικών στοιχείων στα φύλλα καρυδιάς. Δεδομένα αναφερόμενα στην ξ. ουσία των φύλλων που πάρθηκαν στα μέσα Ιουλίου 68	
Πίνακας 1.3.3	Ετήσιες εξαγόμενες και ακινητοποιημένες ποσότητες θρεπτικών στοιχείων από ένα εκτάριο καρυδεώνα για φρούτα σε πλήρη παραγωγή. Τα δεδομένα αναφέρονται μόνο στο αέριο τμήμα 69	
Πίνακας 2.1	Χαρακτηριστικές φυσικές και χημικές ιδιότητες εδαφών και ύλους βιολογικό καθαρισμού του πειράματος 70	
Πίνακας 2.2.1	Πρόγραμμα δειγματοληψιών 71	
Πίνακας 3.1	Ανταλλάξιμα κατιόντα (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ και Na^+) στην αρχή (22-3-2012) και στο τέλος (23-9-2012) του πειράματος αραβοσίτου στις μεταχειρίσεις της συμβατικής λίπανσης (Λ), της ύλους βιολογικού καθαρισμού (Ι) και στην περιοχή του μάρτυρα χωρίς προσθήκες 72	
Πίνακας 3.2	Συγκέντρωση θρεπτικών στα στελέχη και στους καρπούς του αραβοσίτου στο τέλος (23-9-2012) του πειράματος στις μεταχειρίσεις της συμβατικής λίπανσης (Λ) και της ύλους βιολογικού καθαρισμού (Ι). 73	
Πίνακας 3.3	Φυτοκομικά χαρακτηριστικά του αραβοσίτου στο τέλος (23-9-2012) του πειράματος στις μεταχειρίσεις της συμβατικής λίπανσης (Λ) και της ύλους βιολογικού καθαρισμού. 74	
Πίνακας 3.4	Πρόσληψη μακροθρεπτικών ($kg\ στρ^{-1}$) στις μεταχειρίσεις της συμβατικής λίπανσης (Λ) και της ύλους βιολογικού καθαρισμού (Ι). 75	
Πίνακας 3.5	Πρόσληψη ιχνοστοιχείων ($g\ στρ^{-1}$) στις μεταχειρίσεις της συμβατικής λίπανσης (Λ) και της ύλους βιολογικού καθαρισμού (Ι) 76	
Πίνακας 3.6	Συνολική επιστροφή N, P και K στο έδαφος στην περίπτωση που η βιομάζα του αραβοσίτου μετά τη συγκομιδή του καρπού ενσωματωθεί στο έδαφος. 77	
Πίνακας 3.7	Ανταλλάξιμα κατιόντα (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ και Na^+) στην αρχή (22-3-2012) και στο τέλος (23-9-2012) του πειράματος καρυδιών στις μεταχειρίσεις της συμβατικής λίπανσης, της ύλους βιολογικού καθαρισμού και στην περιοχή του μάρτυρα χωρίς προσθήκες. 78	
Πίνακας 3.8	Συγκέντρωση θρεπτικών στους καρπούς των καρυδιών στο τέλος (23-9-2012) του πειράματος στις μεταχειρίσεις του μάρτυρα (Μ), της συμβατικής λίπανσης (Λ) και της ύλους βιολογικού καθαρισμού (Ι). 79	
Πίνακας 3.9	Βάρος 100 καρπών (σε gr) καρυδιών στο τέλος (23-9-2012) του πειράματος στις μεταχειρίσεις του μάρτυρα (Μ), της συμβατικής λίπανσης (Λ) και της ύλους βιολογικού καθαρισμού (Ι). Καμία από τις διαφορές μεταξύ Μ, Λ και Ι δεν είναι στατιστικά σημαντική 80	

ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

	Σελίδα
Σχήμα 1. Δυναμική (α) NO ₃ -N και (β) NH ₄ -N του εδάφους κατά τις 4 δειγματοληψίες στο πείραμα αραβοσίτου στις μεταχειρίσεις της συμβατικής λίπανσης (Λ) και της ιλύος βιολογικού καθαρισμού (I)	81
Σχήμα 2. Εκχυλίσιμες συγκεντρώσεις στο έδαφος (α) P (κατά Olsen) και (β) K (ανταλλάξιμο) στην αρχή στην Δ1 , Δ2 (δειγματοληψία) στον αραβόσιτο, στην (Λ), (I).	82
Σχήμα 3. Εκχυλίσιμες με DTPA συγκεντρώσεις στο έδαφος (α) Zn, (β) Cu, (γ) Fe και (δ) Mn στην αρχή (Δ1, 22-3-2012) και στο τέλος (Δ4, 23-9-2012) του πειράματος αραβοσίτου στις μεταχειρίσεις της συμβατικής λίπανσης (Λ) και της ιλύος βιολογικού καθαρισμού (I). Οι οριζόντιες κόκκινες γραμμές αντιπροσωπεύουν το μάρτυρα (περιοχή χωρίς καμία προσθήκη	83
Σχήμα 4. Συγκεντρώσεις στα φύλλα αραβοσίτου (α) N, (β) P, (γ) K, (δ) Mg και (ε) Ca στις 4-6-2012 (Δ1) και στο τέλος (Δ4, 23-9-2012) στις μεταχειρίσεις της συμβατικής λίπανσης (Λ) και της ιλύος βιολογικού καθαρισμού (I).	84
Σχήμα 5. Συγκεντρώσεις στα φύλλα αραβοσίτου (α) Zn, (β) Cu, (γ) Fe και (δ) Mn στις 4-6-2012 (Δ1) και στο τέλος (Δ4, 23-9-2012) στις μεταχειρίσεις της συμβατικής λίπανσης (Λ) και της ιλύος βιολογικού καθαρισμού (I).	86
Σχήμα 6. Δυναμική (α) NO ₃ -N και (β) NH ₄ -N του εδάφους κατά τις 4 δειγματοληψίες στο πείραμα καρυδιών στις μεταχειρίσεις του μάρτυρα (M), της συμβατικής λίπανσης (Λ) και της ιλύος βιολογικού καθαρισμού (I).	87
Σχήμα 7. Εκχυλίσιμες συγκεντρώσεις στο έδαφος (α) P (κατά Olsen) και (β) K (ανταλλάξιμο) στην αρχή (Δ1, 22-3-2012) και στο τέλος (Δ4, 23-9-2012) του πειράματος καρυδιών στις μεταχειρίσεις της συμβατικής λίπανσης (Λ) και της ιλύος βιολογικού καθαρισμού (I)	88
Σχήμα 8. Εκχυλίσιμες με DTPA συγκεντρώσεις στο έδαφος (α) Zn, (β) Cu, (γ) Fe και (δ) Mn στην αρχή (Δ1, 22-3-2012) και στο τέλος (Δ4, 23-9-2012) του πειράματος καρυδιών στις μεταχειρίσεις της συμβατικής λίπανσης (Λ) και της ιλύος βιολογικού καθαρισμού (I).	89
Σχήμα 9. Συγκεντρώσεις στα φύλλα καρυδιών (α) N, (β) P, (γ) K, (δ) Mg και (ε) Ca στις 4-6-2012 (Δ2) και στο τέλος (Δ4, 23-9-2012) στις μεταχειρίσεις του μάρτυρα (M), της συμβατικής λίπανσης (Λ) και της ιλύος βιολογικού καθαρισμού (I).	90
Σχήμα 10. Συγκεντρώσεις στα φύλλα καρυδιών (α) Fe, (β) Mn, (γ) Cu και (δ) Zn στις 4-6-2012 (Δ1) και στο τέλος (Δ4, 23-9-2012) στις μεταχειρίσεις της συμβατικής λίπανσης (Λ) και της ιλύος βιολογικού καθαρισμού (I).	92

ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

	Σελίδα
Εικόνα 1. Οι πειραματικές μονάδες κατά τη διαδικασία διανομής IBK στον καρυδεώνα	93
Εικόνα 2. Η διανομή IBK στον καρυδεώνα με κοπροδιανομέα	94

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΘΡΕΠΤΙΚΩΝ ΣΤΗ ΓΕΩΡΓΙΑ

Γνωρίζουμε ότι από τα 100 στοιχεία που βρίσκονται στη χημική σύσταση της γης μόνο τα 16 απ' αυτά είναι απαραίτητα στη σύσταση της ζώσας ύλης, διότι τα χημικά χαρακτηριστικά τους είναι τέτοια που να τα κάνει ειδικά προσαρμοσμένα τόσο στη δημιουργία των σύνθετων βιολογικών μορίων, όσο και στην λειτουργία τους (Πίνακας 1.1.1) Από τα δεκαέξι στοιχεία, μόνο μερικά απαιτούνται από το κύτταρο σε υψηλές ποσότητες και για αυτό λέγονται μακροθρεπτικά. Θα απαριθμήσουμε μεταξύ αυτών τον άνθρακα, το οξυγόνο, το υδρογόνο, το άζωτο, το ασβέστιο, το κάλιο, το θείο, τον φώσφορο και το μαγνήσιο. Άλλα υπάρχουν σε πολύ μικρές ποσότητες και λέγονται μικροθρεπτικά, και είναι ο σίδηρος, ο χαλκός, ο ψευδάργυρος, το μαγγάνιο, το βόριο, το χλώριο και το μολυβδαίνιο. Μερικές φορές μπορεί να βρούμε από τις αναλύσεις των ιστών εκτός από αυτά που αναφέραμε ίχνη και άλλων, τα οποία απορροφήθηκαν τυχαία από το φυτό, χωρίς να εξυπηρετούν καμία εμφανή δράση και τυχόν απουσία τους δεν προκαλεί συμπτώματα έλλειψης, όπως συμβαίνει με ένα από τα προαναφερθέντα. Έλλειψη ακόμη και ενός απαραίτητου στοιχείου, για μεγάλο χρονικό διάστημα, μπορεί να προκαλέσει ως γνωστό από την παθολογία ακόμη και το θάνατο του φυτού.

Άζωτο

Το N εισέρχεται στη βιολογική σύσταση πολλών βιολογικών μορίων, όπως τα αμινοξέα, δηλαδή στις πρωτεΐνες, στα νουκλεοτίδια δηλαδή στα νουκλεϊκά οξέα, βιταμίνες, ορμόνες κλπ. Το βρίσκουμε στις οργανικές ουσίες δημιουργώντας δυνατές βάσεις. Οι αμμίνες είναι δεμένες με μέταλλα όπως K^+ , Mn^{2+} , Fe^{2+} κλπ. Η ιστινίνη π.χ. συχνά συμμετέχει στη δημιουργία συμπλέγματος σιδηρο-πρωτεΐνης, είναι εκείνη η πυρηνοφιλική ομάδα αντίδρασης στην ενζυματική κατάλυση. Τα αναγωγίμο άζωτο συμμετέχει στη δημιουργία δευτερογενών και τριτογενών μακρομορίων που είναι οι πρωτεΐνες και το DNA. Το N επεμβαίνει και σε ορισμένες χημικές αντιδράσεις η δε έλλειψη του προκαλεί χλώρωση με σταδιακό αποχρωματισμό των πράσινων φύλλων, ξεκινώντας από τα παλιά και σε ορισμένα είδη όπως καλαμπόκι, ντομάτα δίνοντας ένα χρώμα κοκκινωπό - μοβ στους μίσχους και στα νεύρα των φύλλων χάρη στη συγκέντρωση χρωστικών ουσιών, τύπου ανθοκυανινών. Περίσσεια N, ειδικά στην αμμωνιακή μορφή, μπορεί να χαλάσει την ισορροπημένη ανάπτυξη του φυτού,

δημιουργώντας δε σε πολλά φυτά όπως στις καρυδιές μεγαλύτερη ευαισθησία από ασθένειες όπως αφίδες, ανθράκωση, βακτηρίωση. Από την ισορροπία του N με το P και το K εξαρτάται η ποσότητα και η ποιότητα των σπόρων και των φρούτων που μπορούν να παραχθούν από τα καλλιεργήσιμα φυτά.

Θείο

Υπάρχει σε πολλές κυτταρικές συνθέσεις. Στο έδαφος το βρίσκουμε τόσο σε ανόργανη, όσο και σε οργανική μορφή. Το μοριακό θείο δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τα φυτά, γιατί θα πρέπει να οξειδωθεί σε θειικό και στη συνέχεια να απορροφηθεί από τις ρίζες. Η πιο σημαντική πηγή πρόσληψης είναι από τα θειικά άλατα και η αφομοίωση του θείου μοιάζει με αυτή του αζώτου. Η πρόσληψη των θειικών από τα φυτικά κύτταρα προϋποθέτει την απαραίτητη αναγωγή τους για την ενσωμάτωση του θείου στα αμινοξέα, τις πρωτεΐνες και τα συνένζυμα. Το θείο είναι βασικό συστατικό των αμινοξέων κυστεΐνης, κιστίνης και μεθειονίνης, καθώς και άλλων βιολογικά δραστικών συστατικών, όπως της φερρεδοξίνης, θειαμίνης (βιταμίνης B1), του συνένζυμου A κ.α. Συνήθως συμμετέχει με τη μορφή της σουλφυδρυλικής ομάδας (-SH), που είναι και η ενεργός θέση μερικών ενζύμων, όπως επίσης και οι δισουλφιδικές γέφυρες S-S, που συμβάλλουν στη σταθεροποίηση της δευτεροταγούς και τριτοταγούς δομής των πρωτεϊνικών μακρομορίων.

Φώσφορος

Βρίσκεται σε πολλές οργανικές φυτικές ενώσεις. Οι πιο συνηθισμένες είναι οι υδατάνθρακες (π.χ. 6-φωσφορικός εστέρας της γλυκόζης), τα νουκλεϊνικά οξέα, τα φωσφολιπίδια κ.λ.π. Είναι γνωστό ότι οι υδατάνθρακες πριν από το μεταβολισμό τους για να ενεργοποιηθούν φωσφορυλιώνονται (φωτοσύνθεση και αναπνοή). Έτσι η παρουσία του φώσφορου στη μοριακή δομή των σακχάρων τα καθιστά πιο ενεργά. Επίσης τα νουκλεοτίδια με φωσφορικούς δεσμούς υψηλής χημικής ενέργειας διαδραματίζουν βασικό ρόλο στη μεταφορά ενέργειας με τη φωσφορυλίωση. Ο P παίζει σπουδαίο ρόλο στον ενεργειακό μεταβολισμό, κατά συνέπεια η έλλειψη του επηρεάζει όλα τα στάδια του φυτικού μεταβολισμού και της ανάπτυξης.

Κάλιο

Είναι απαραίτητο στοιχείο για όλους τους ζωντανούς οργανισμούς. Στη φυσιολογία του φυτού είναι ένα από τα πιο σημαντικά κατιόντα όχι μόνο γιατί περιέχεται σε μεγάλα

σχετικά ποσοστά στους φυτικούς ιστούς, αλλά κυρίως για τις φυσιολογικές και βιοχημικές λειτουργίες του. Οι υψηλές συγκεντρώσεις ιόντων K^+ μέσα στο κυτόπλασμα και στους χλωροπλάστες χρειάζονται για να μετατρέπουν σε ουδέτερα τα διαλυτά και αδιάλυτα μακρομοριακά ανιόντα έτσι ώστε να σταθεροποιείται το pH μεταξύ 7 και 8 σε αυτούς τους χώρους. Η παραπάνω τιμή του pH είναι η άριστη για τις περισσότερες ενζυμικές αντιδράσεις, το οποίο συμμετέχει σε περισσότερα από 50 ένζυμα, και είτε εξαρτώνται είτε ενεργοποιούνται από τα ιόντα K^+ . Στα περισσότερα φυτικά είδη τα ιόντα του K^+ είναι τα κατεξοχήν υπεύθυνα για τις μεταβολές της σπαργής στα καταφρακτικά κύτταρα και συνεπώς για το μηχανισμό άνοιγμα-κλείσιμο των στομάτων. Διαπιστώθηκε ότι αύξηση της περιεκτικότητας του K στα φύλλα συνοδεύεται από την αύξηση της φωτοσύνθεσης και της φωτοαναπνοής, ενώ η έλλειψη έχει ως αποτέλεσμα αύξηση της αναπνοής.

Ασβέστιο

Είναι άφθονο στα περισσότερα εδάφη και συνεπώς τα φυτά κάτω από φυσιολογικές συνθήκες σπάνια έχουν έλλειψη ασβεστίου. Η συγκέντρωση των ιόντων Ca^{2+} στα εδαφικά διαλύματα είναι περίπου 10 φορές μεγαλύτερη από αυτή των ιόντων του καλίου (K^+). Παρόλα αυτά, το ποσοστό πρόσληψης Ca^{2+} είναι συνήθως χαμηλότερο από εκείνο του K^+ . Η μικρότερη δυνατότητα προμήθειας του Ca^{2+} οφείλεται κυρίως στο ότι τα ιόντα ασβεστίου απορροφούνται μόνο από νεαρά ακρορίζια, των οποίων τα κυτταρικά τοιχώματα της ενδοδερμίδας δεν έχουν αποφελλωθεί ακόμη. Σε αντίθεση με άλλα μακροστοιχεία, ένα μεγάλο ποσοστό της συνολικής ποσότητας του Ca^{2+} στους φυτικούς ιστούς εντοπίζεται στα κυτταρικά τοιχώματα (αποπλάστης) και κυρίως στη μέση πλάκα. Έχει διαπιστωθεί ότι τα φύλλα των φυτών, που περιέχουν αυξημένα επίπεδα Ca^{2+} κατά τη διάρκεια της αύξησής τους, έχουν αυξημένη αναλογία πηκτικών υλικών υπό τη μορφή πηκτινικού ασβεστίου. Η ποσότητα του πηκτινικού ασβεστίου στα κυτταρικά τοιχώματα παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, γιατί καθορίζει την ευπάθεια των φυτικών ιστών στις μυκητιάσεις και στη ωρίμανση των καρπών. Στις μεριστωματικές ζώνες φυτών, που αναπτύσσονται απουσία ασβεστίου, εκδηλώνουν έντονα τα συμπτώματα έλλειψης ασβεστίου αρκετά νωρίς με αποτέλεσμα να εμποδίζεται η κυτταρική διαίρεση και ο σχηματισμός νέων κυτταρικών τοιχωμάτων (Καράταγλης, 1994).

Μαγνήσιο

Είναι δομικό συστατικό των χλωροφυλλών και ενεργοποιητής ένζυμων. Είναι απαραίτητο συστατικό των ριβοσωμάτων, γιατί συντελεί στη σύνδεση των υπομονάδων του. Όταν ελαττώνεται η συγκέντρωση του Mg^{2+} , τότε αποχωρίζονται οι υπομονάδες με άμεσο αποτέλεσμα το σταμάτημα της πρωτεϊνοσύνθεσης. Επίσης το μαγνήσιο είναι απαραίτητο στις RNA-πολυμεράσες και συνεπώς στο σχηματισμό του πυρηνικού RNA. Έλλειψη Mg^{2+} έχει ως αποτέλεσμα τη διακοπή της σύνθεσης RNA, η οποία όμως ξαναρχίζει αμέσως με την προσθήκη Mg^{2+} . Υπάρχει μεγάλος αριθμός ενζυμικών αντιδράσεων που χρειάζεται μαγνήσιο. Για παράδειγμα στις αντιδράσεις μεταφοράς φωσφορικών αλάτων, όπως η σύνθεση του ATP από ADP, διότι αποτελεί το συνδετικό κρίκο μεταξύ ADP και του ενζύμου. Μια άλλη βασική λειτουργική δράση είναι η ρύθμιση της συγκέντρωσης της καρβοξυλάσης της διφωσφορικής ριβουλόζης στο στρώμα των χλωροπλαστών. Κατά συνέπεια η έλλειψη Mg^{2+} επηρεάζει άμεσα πολλές βασικής σημασίας διαδικασίες του μεταβολισμού.

Σίδηρος

Συνδέεται στενά με τις οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις που παίρνουν μέρος στους ζωντανούς οργανισμούς. Αρκετά κυτοχρώματα, τόσο στα μιτοχόνδρια, όσο και στους χλωροπλάστες, περιέχουν σίδηρο. Άλλες ενώσεις, που περιέχουν σίδηρο, είναι η φερεδοξίνη στους χλωροπλάστες και μερικά ένζυμα όπως οι καταλάσες και περοξειδάσες. Κάτω από συνθήκες έλλειψης Fe, η ενζυμική δραστηριότητα των δυο τελευταίων ενζύμων ελαττώνεται. Κατά συνέπεια ο σίδηρος παίζει σπουδαίο ρόλο στις αντιδράσεις μετατροπής ενέργειας, τόσο στη φωτοσύνθεση όσο και στην αναπνοή. Έλλειψη σιδήρου προκαλεί χλωρωτικά φαινόμενα, επειδή ο σίδηρος είναι απαραίτητο στοιχείο για τη σύνθεση της χλωροφύλλης. Για την επανάκαμψη των φυτών στις περιπτώσεις αυτές γίνεται χρήση διαφόρων αλάτων σιδήρου στο έδαφος ή ψεκασμός με διαλύματα αλάτων σιδήρου.

Βόριο

Βρίσκεται σε πολύ μικρά ποσά στο έδαφος, ενώ η διαθέσιμη του μορφή γίνεται ακόμη μικρότερη επειδή σχηματίζει σταθερές ενώσεις. Παρόλο που τα φυτά χρειάζονται B για την κανονική τους ανάπτυξη οι ποσότητες αυτές πρέπει να είναι πολύ μικρές, επειδή η άριστη συγκέντρωση για την αύξηση πλησιάζει πάρα πολύ τα τοξικά επίπεδα για αρκετά φυτά. Πολλές φορές όμως τα άριστα επίπεδα του εδάφους προσεγγίζουν τα τοξικά, εξαιτίας της αυξημένης ποσότητας B, που περιέχει το νερό άρδευσης. Το B

θεωρείται απαραίτητο στοιχείο για τη σύνθεση αζωτούχων βάσεων, μεταξύ των οποίων και η ουρακίλη, η οποία είναι βασικό στοιχείο του RNA. Επομένως η έλλειψη του B επηρεάζει τη σύνθεση RNA και κατ' επέκταση την πρωτεϊνοσύνθεση. Ο σχηματισμός της ριβόλης, η σύνθεση των ριβονουκλεϊκών οξέων και η σύνθεση των πρωτεϊνών είναι οι πιο βασικές διαδικασίες των μεριστωματικών ιστών. Η έλλειψη B προκαλεί αυξητικές ανωμαλίες, όπως αναστολή της επιμήκυνσης της ρίζας και του βλαστού, καθώς και αναστολή της ανθοφορίας. Σε έλλειψη B οφείλονται πολλές φορές μερικές παθολογικές καταστάσεις όπως η εμφάνιση φελλώδους ιστού στο σαρκώδες μέρος των μήλων, σάπισμα του εσωτερικού μέρους των ζαχαρότευτλων, ρωγμές στο βλαστό του σέλινου καθώς και άλλες βλάβες.

Ψευδάργυρος

Είναι στοιχείο, που χρειάζεται απ' όλα τα φυτά. Στο έδαφος υπάρχει σε ποσότητες που είναι ικανοποιητικές για την αύξηση των φυτών. Παίζει σπουδαίο ρόλο στις οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις και οι βασικές λειτουργίες του Zn σχετίζονται με το μεταβολισμό των υδατανθράκων, των πρωτεϊνών, των αυξινών και του RNA. Ο Zn δρα είτε ως μεταλλικό συστατικό των ενζύμων, είτε ως λειτουργικός, δομικός ή ρυθμιστικός συμπαράγοντας μεγάλου αριθμού ενζύμων. Επίσης η καρβονική ανυδράση είναι το μοναδικό ένζυμο που ενεργοποιείται ειδικά από τα ιόντα του Zn. Αποτελεί απαραίτητο συστατικό για τη σύνθεση της θρυπτοφάνης, η οποία προκαλεί πρόδρομο μορφή ου IAA (ινδολιλοξικό οξύ). Έλλειψη του Zn έχει ως αποτέλεσμα την εκδήλωση χλωρωτικών φαινομένων, που εντοπίζεται στους μεταξύ των νευρώσεων χώρων του φύλλου. Στα καρποφόρα δένδρα αναστέλλεται η ανάπτυξη των φύλλων, ενώ σχηματίζονται ροζέτες μικρών σκληρών φύλλων στα άκρα των νεαρών βλαστών. Ανάλογη επίδραση έχει στην ανάπτυξη των ανθοφόρων οφθαλμών, οι περισσότεροι των οποίων παραμένουν κλειστοί. Τέλος προκαλεί ελάττωση της σύνθεσης RNA και συνεπώς και των πρωτεϊνών, ανώμαλη ανάπτυξη των grana και πιθανώς επηρεάζει το σχηματισμό αμύλου.

Μαγγάνιο

Τα φυτά παραλαμβάνουν το Mn από το έδαφος υπό τη μορφή των κατιόντων Mn^{2+} και με την ίδια μορφή μεταφέρονται από τη ρίζα στο βλαστό. Συμμετέχει στη φωτοσυνθετική απελευθέρωση του οξυγόνου, στο φωτοσύστημα II όπου πραγματοποιείται η φωτόλυση του νερού και ως μεταφορέας ηλεκτρονίων. Η βασική

του λειτουργία είναι η προστασία του φωτοσυνθετικού μηχανισμού από τις δηλητηριώδεις επιδράσεις του οξυγόνου. Επίσης θεωρείται ενεργοποιητής μερικών ένζυμων του Krebs και συνεπώς είναι καθαριστικό για το μεταβολισμό των υδατανθράκων. Απουσία του Mn προκαλεί μείωση του ξηρού βάρους, της φωτοσυνθετικής ικανότητας, της περιεκτικότητας σε χλωροφύλλη και της αναλογίας της κυτταροδιαίρεσης. Στην τελευταία περίπτωση έχουμε αναστολή της επιμήκυνσης των ριζών.

Χαλκός

Βρίσκεται στο έδαφος σχεδόν αποκλειστικά με τη μορφή των δισθενών κατιόντων του Cu^{2+} . Η μέση τιμή του δεν υπερβαίνει τα 10-20 mg kg^{-1} , ενώ τα μεγαλύτερα ποσοστά του είναι συνήθως ενωμένα με μικρού μοριακού βάρους οργανικά συστατικά. Συνεπώς οι μεγαλύτερες ποσότητες του Cu, που βρίσκονται στο έδαφος, διατίθενται με μορφή που δεν είναι άμεσα διαθέσιμη στα φυτά. Έτσι τα φυτά κάτω από φυσιολογικές συνθήκες παραλαμβάνουν από το έδαφος πολύ μικρές ποσότητες χαλκού. Οι μεγαλύτερες ποσότητες Cu από αυτές που υπάρχουν στο φυτό εντοπίζονται στους χλωροπλάστες. Ο Cu αποτελεί βασικό συστατικό μερικών ενζύμων, όπως της πλαστοκυανίνης, της υπεροξειδικής δισμουτάσης, της κυτοχρωμικής οξειδάσης και της φαινόλασης. Η πλαστοκυανίνη είναι συστατικό της αλυσίδας μεταφοράς ηλεκτρονίων του φωτοσυστήματος I. Έτσι όταν έχουμε έλλειψη Cu παρατηρείται μείωση στην περιεκτικότητα της πλαστοκυανίνης και ελάττωση της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας. Επιπλέον φαίνεται ότι επηρεάζει και τη σύνθεση της πλαστοκινόνης. Η υπεροξειδική δισμουτάση (SOD) είναι κατά βάση το ένζυμο εκείνο που προστατεύει τους φωτοσυνθετικούς μηχανισμούς από τις δηλητηριώδεις επιδράσεις του οξυγόνου. Η φαινόλαση εκτός από το ότι συντελεί στην οξείδωση των φαινολών, συμμετέχει στη βιοσύνθεση της λιγνίνης και των αλκαλοειδών καθώς επίσης και στο σχηματισμό μελανωτικών συστατικών. Έλλειψη Cu έχει ως αποτέλεσμα τη μη κανονική σύνθεση της λιγνίνης και κατά συνέπεια την εξασθενημένη αποξύλωση των κυτταρικών τοιχωμάτων.

Μολυβδαίνιο

Τα περισσότερα εδάφη περιέχουν ικανοποιητικές ποσότητες Mo σε διαθέσιμη μορφή. Η κυριότερη μορφή με την οποία προσλαμβάνεται από τα φυτά είναι η MoO_4^{2-} . Οι απαιτήσεις των φυτών σε Mo είναι οι χαμηλότερες από οποιοδήποτε άλλο θρεπτικό

στοιχείο, ενώ αναγνωρίζεται ως ένα από τα βασικότερα μικροστοιχεία. Στα φυτά έχουν βρεθεί πολύ λίγα ένζυμα, που να περιέχουν ως ενεργό ομάδα Mo. Τέτοια είναι η οξειδάση/δεϋδρογονάση της ξανθίνης, η νιτρική ρεδοκτάση και η νιτρογενάση. Όλα τα βιολογικά συστήματα δέσμευσης αζώτου απαιτούν την παρουσία της νιτρογενάσης, το μόριο της οποίας περιέχει δυο άτομα Mo ενωμένα με Fe και S. Οι δεσμοί Fe και S είναι όμοιοι με αυτούς της φερρεδοξίνης. Πιστεύεται ότι συμμετέχει άμεσα στην αναγωγή του αζώτου, ενώ ο Fe ενεργεί ως μεταφορέας ηλεκτρονίων. Το Mo συμμετέχει επίσης ως συμπαραστάτης στην αναγωγική αντίδραση της νιτρικής ρεδοκτάσης. Κατά συνέπεια το Mo παίζει σπουδαίο ρόλο στα ενζυμικά εκείνα συστήματα του αζώτου και στη μεταφορά του. Η έλλειψη του Mo είναι σπάνια όταν όμως υπάρχει τότε εμφανίζονται ορισμένα συμπτώματα όπως χλώρωση, στένεμα του πλατύσματος των φύλλων και αναστολή της αύξησης.

Χλώριο

Το χλώριο βρίσκεται στο εδαφικό διάλυμα ως πολύ ευδιάλυτο αρνητικά φορτισμένο ιόν (Cl⁻). Το χλώριο δεν προστίθεται με τη μορφή λιπασμάτων, διότι περιέχεται και στο νερό της βροχής το οποίο είναι αρκετό για τις ανάγκες του φυτού. Είναι γνωστό ότι συμμετέχει στις αντιδράσεις της φωτοσύνθεσης, που οδηγούν στη φωτόλυση του νερού και την απελευθέρωση του οξυγόνου (Πίνακας 1.1.2).

1.2 ΓΙΑΤΙ ΕΙΝΑΙ ΣΗΜΑΝΤΙΚΗ Η ΟΡΓΑΝΙΚΗ ΛΙΠΑΝΣΗ

Η σημασία της οργανικής λίπανσης εκτιμάται ως θετική απ' όλες ανεξαιρέτως τις κατηγορίες των ειδικών. Μέχρι πριν από ένα αιώνα χρησιμοποιούσαμε μόνο οργανικά λιπάσματα. Είναι γνωστό ότι κατά τη διάρκεια των αιώνων συνέβαλαν τόσο στην αναπλήρωση όσο στην αύξηση της οργανικής ουσίας, βελτιώνοντας ταυτόχρονα τη δομή των εδαφών. Στον Πίνακα 1.2.1 βλέπουμε τα είδη των οργανικών λιπασμάτων (Σιδηράς, 1997). Η ιλύς των βιολογικών καθαρισμών (IBK) είναι ιζήματα από αστικά λύματα τα οποία προκύπτουν κατόπιν επεξεργασίας. Η χρησιμοποίησή τους διέπεται από την Οδηγία 91/157/ΕΟΚ, της οποίας η εφαρμογή ελαφρύνει το περιβάλλον. Είναι πλούσια τόσο σε οργανική ουσία, όσο και σε θρεπτικά στοιχεία. Αξιοποιείται σε γεωργικές εκτάσεις όχι μόνο ως οργανικό λίπασμα, αλλά και ως εδαφοβελτιωτικό. Είναι ένα παραπροϊόν το οποίο ανακυκλώνουμε, είναι άφθονο και καλά είναι να το αξιοποιούμε ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας κατά κάποιο τρόπο. Δυστυχώς μπορεί να έχει βλαβερές χημικές ουσίες, βαριά μέταλλα, παθογόνους μικροοργανισμούς και

ενίοτε σπόρους ζιζανίων. Για αυτό το λόγο θα πρέπει πριν την χρησιμοποίησή της να γίνουν περιοδικές αναλύσεις, τόσο στην ιλύ, όσο και στα εδάφη όπου πρόκειται να διανεμηθεί. Ρίχνεται με κοπριοδιανομείς, για να υπάρχει ομοιομορφία στην κατανομή της. Η διανομή της γίνεται την Άνοιξη, όταν τα όρια σχετικά με τα βαριά μέταλλα είναι επιτρεπτά, ενσωματώνοντας την επιφανειακά. Στον Πίνακα 1.2.2 παρατηρούμε τη μέση οργανική και ανόργανη σύσταση των βιολογικών λασπών (ιλύος), οι οποίες είναι κατάλληλες για γεωργική αξιοποίηση, σύμφωνα με έρευνες της LUFA του Augustenberg και του Κρατικού Σταθμού Γ. Χημείας (Σιδηράς, 1997). Στον Πίνακα 1.2.3 παρατηρούμε τις ποσότητες και περιεκτικότητες σε Ν που περιέχονται σε 500 kg IBK ανά στρέμμα. Οι ποσότητες σε βαριά μέταλλα που μπορούν να προστίθενται ετησίως στα καλλιεργούμενα εδάφη με βάση το μέσο όρο 10 ετών είναι συγκεκριμένες όπως παρατηρούμε από τον Πίνακα 1.2.4. Στον Πίνακα 1.2.5 παρατηρούμε ότι η IBK προερχόμενη από το βιολογικό καθαρισμό Κατερίνης είναι πλούσια σε θρεπτικά συστατικά και οργανική ουσία (Σιδηράς, 1997).

Από το 1992-2005 η ποσότητα της ετησίας παραγομένης IBK έχει αυξηθεί κατά 50% φτάνοντας τους 8,3 εκατομμύρια τόνους ξηρών στερεών (ΕΕ, 2004). Το 2005 εκτιμήθηκε ότι το 55% της IBK αξιοποιήθηκε εδαφικά, το 20% ενταφιάστηκε υγειονομικά και το 25% κάηκε (Πίνακα 1.2.6). Στόχος της Ευρωπαϊκής Ένωσης είναι η ελαχιστοποίηση της ταφής IBK και η προώθηση εναλλακτικών μεθόδων αξιοποίησης, με προτίμηση στην ανάκτηση χρήσιμων υλικών, μέσω διάθεσης σε καλλιεργούμενες εκτάσεις και γενικά στο έδαφος. Αλλά η IBK περιέχει δυνητικά επικίνδυνες ουσίες (παθογόνα, βαρέα μέταλλα, τοξικές οργανικές συνθετικές ενώσεις). Να τονίσουμε ότι υπάρχει η 1^η θεμελιώδης αρχή, στην οποία έχουμε την αποδοχή συσσώρευσης βαρέων μετάλλων σε επιτρεπτά όρια. Στον Πίνακα 1.2.7 αναφέρονται οι μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις μετάλλων στην IBK για γεωργική επαναχρησιμοποίηση (Οδηγία 86/278/Ε.Ε. και Κ.Υ.Α. 80568/4225/91). Στον Πίνακα 1.2.8 αναφέρονται οι μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στο έδαφος (για δεδομένο εύρος τιμών pH) στο οποίο θα γίνει εφαρμογή ιλύος (Οδηγία 86/278/Ε.Ε. και Κ.Υ.Α. 80568/4225/91). Στο βαθμό που εξασφαλίζονται τα όρια του Πίνακα 1.2.7 (όσον αφορά την καταλληλότητα της IBK) και του Πίνακα 1.2.8 (όσον αφορά την καταλληλότητα του εδάφους), καθορίζονται οι επιτρεπόμενες ετήσιες φορτίσεις για κάθε μέταλλο (Πίνακας 1.2.4). Υπάρχει και η 2^η θεμελιώδης αρχή, στην οποία έχουμε την αποδοχή μηδενικής συσσώρευσης βαρέων μετάλλων και σε κάποια κράτη οι νόμοι για τη

χρησιμοποίηση της είναι πιο αυστηροί (Σουηδία, Δανία, Γερμανία) ή δεν επιτρέπεται καν η χρήση της (Ολλανδία). Στον Πίνακα 1.2.9 αναφέρονται οι μελλοντικά προτεινόμενες από τη Ε.Ε. μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις στην IBK για εδαφική εφαρμογή, των οποίων οι τιμές πρόκειται να μειωθούν δραστικά. Αντίστοιχα στον Πίνακα 1.2.10 αναφέρονται οι προτεινόμενες από τη Ε.Ε. μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις μετάλλων στο έδαφος (για δεδομένα εύρη τιμών pH) στο οποίο θα γίνει εφαρμογή της IBK. Τέλος, στον Πίνακα 1.2.11 αναφέρονται οι προτεινόμενες από την Ε.Ε. μέγιστες επιτρεπόμενες ετήσιες φορτίσεις.

Όσον αφορά τους παθογόνους οργανισμούς πρέπει να γίνεται υγειονομοποίηση της IBK πριν την χρησιμοποίηση της, όπως επίσης πρέπει να τονιστεί ότι υπάρχουν διαφορετικοί μέθοδοι υγειονομοποίησης:

1. Θερμόφιλη αναερόβια χώνευση,
2. Θερμοφιλική αερόβια χώνευση,
3. Λιπασματοποίηση (κομποστοποίηση),
4. Επεξεργασία με ασβέστη,
5. Θερμική ξήρανση,
6. Παστερίωση

Οι γενικοί ενδεικτικοί δείκτες θεωρούνται ότι πετυχαίνουν αποτελεσματική υγειονομοποίηση όταν μειώνεται το ποσοστό των κολοβακτηρίων και της σαλμονέλας έχοντας ως στόχο όλων των μεθόδων την αποτελεσματική καταστροφή των παθογόνων. Βάσει των παρακάτω καθοριστικών κριτηρίων γίνεται η επιλογή της μεθόδου υγειονομοποίησης:

- τα χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος όπως π.χ. οι οσμές και ο τρόπος χειρισμού, η διαθεσιμότητα της αγοράς, η αγρονομική αξία και ο βαθμός αποδοχής.
- το κόστος της μεθόδου (αρχικό και λειτουργικό),
- την ευελιξία της μεθόδου και το σχετικό βαθμό τεχνολογικής πολυπλοκότητας
- την ευκολία ελέγχου της ποιότητας.

Στον Πίνακα 1.2.12 παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά των εναλλακτικών μεθόδων υγειονομοποίησης και τα συγκριτικά τους πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

Στην Ελληνική επικράτεια παρατηρείται μια κινητικότητα η οποία γεννά ελπίδες για μια σωστή επαναχρησιμοποίηση των IBK. Υπάρχουν περιφερειακοί δήμοι, όπως ο δήμος Λαρισαίων ο οποίος έχει προχωρήσει στην κομποστοποίηση της IBK και στην μεταφορά και φόρτωση με τον κοπροδιανομέα ιδιοκτησίας του στον τελικό αποδέκτη. Ουσιαστικά η αγροτική επιχείρηση διαθέτει μόνο τον γεωργικό ελκυστήρα με τον χειριστή του. Ενθαρρυντικό είναι ότι προς το παρόν όλες οι IBK της περιφέρειας μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως εδαφοβελτιωτικό των αγρών, βάζοντας ένα μικρό λιθάρaki στην αύξηση της οργανικής ουσίας που ως γνωστό είναι μεταξύ των χαμηλότερων των κρατών της Μεσογείου.

1.3 Η ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΤΟΥ ΑΡΑΒΟΣΙΤΟΥ

Από τα 40 εκατομμύρια στρέμματα καλλιεργούμενης γης στην Ελλάδα, τα 1,5 εκατομμύρια στρέμματα καλλιεργούνται με αραβόσιτο. Οι χρήσεις του αραβόσιτου είναι πολλαπλές και χρησιμοποιείται τόσο στην ανθρώπινη όσο και στη ζωική διατροφή, στην ανθρώπινη ως αλεύρι, ως pop-corn, ως λαχανικό, δηλαδή βραστό ή ψημένο, και στη ζωική δημιουργώντας ενσιρώματα και ως ξηρός καρπός μέσα στα μίγματα των σιτηρεσιών. Η απόδοση ξεπερνά τα 1200 kg στρ⁻¹, σε αντίθεση με τις ΗΠΑ που είναι 700 kg στρ⁻¹, η διεθνής τιμή είναι €0,2 kg⁻¹ (τιμές 2012, Δαναλάτος, προσωπική επικοινωνία, 2012) Είναι εαρινό φυτό το οποίο σπέρνεται την άνοιξη, όταν η θερμοκρασία εδάφους είναι πάνω από 10 °C. Για τη σπορά χρησιμοποιούνται 3-4 kg στρ⁻¹, με σπαρτικές μηχανές ακριβείας, γραμμικά σε αποστάσεις 75-85 cm μεταξύ των γραμμών και ανά 17 cm πάνω στη σειρά, με πυκνότητα 6 φυτών m⁻² για τις πρώιμες ποικιλίες και 8 φυτών m⁻² για τις όψιμες. Είναι φυτό γρήγορα αναπτυσσόμενο (χρησιμοποιεί την C₄ φωτοσύνθεση) και όταν έχει τις ιδανικές συνθήκες ανάπτυξης (θερμοκρασίας, υγρασίας, φωτισμού και θρεπτικών συστατικών) μεγαλώνει αυξάνοντας 40 kg ξηρής ουσίας στρ⁻¹ ημέρα⁻¹. Ο αραβόσιτος ανθοφορεί κατά τα μέσα Ιουλίου, βγάζοντας πρώτα την αρσενική ταξιανθία (φόβη) και μετά από λίγο την θηλυκή, σχηματίζοντας τη ρόκα. Από την ανθοφορία και μετά χρειάζεται παρά πολύ μεγάλη προσοχή, απαιτείται αρκετό νερό ποτίσματος, συνολικά 800 m³ στρ⁻¹ για την παραγωγή 1200 kg στρ⁻¹. Ο αραβόσιτος είναι εξίσου απαιτητικό φυτό στη λίπανση, περιέχει 2% N και για παραγωγή 1300 kg στρ⁻¹, απαιτούνται 26 μονάδες (kg) N στρ⁻¹. Από το έδαφος παίρνει 5-8 μονάδες και μένουν οι υπόλοιπες μονάδες από την βασική και την επιφανειακή λίπανση, τις οποίες συμπληρώνουμε για να καλύψουμε τις ανάγκες ρίχνοντας 35 kg στρ⁻¹ βασικό λίπασμα τύπου (20-10-10) και επιφανειακά τις υπόλοιπες

μονάδες είτε με γραμμικό λιπασματοδιανομέα, είτε με υδρολίπανση όπως με λίπασμα τίτλου 33,5-0-0. Κατά την ανθοφορία το LAI (leaf area index, δείκτης φυλλικής επιφάνειας) είναι γύρω στο 5 (Bonciarelli, 1991). Ο αραβόσιτος έχει πολλαπλές χρήσεις και συγκομίζεται όταν η υγρασία είναι κάτω από 15%, διαφορετικά απαιτείται ξήρανση. Όταν υπάρχει δυνατότητα οργανικής λίπανσης ή αυτή είναι ευπρόσδεκτη, όπως έγινε και στην περίπτωση των πραγματοποιηθέντων πειραμάτων, όπου εφαρμόσαμε 2 t στρ⁻¹ IBK κατόπιν συμβουλής και αναλύσεων από το ΕΘΙΑΓΕ σε συνεργασία με τη ΔΕΥΑ Λάρισας (Τσαντήλας, προφορική επικοινωνία, 2012).

1.4 Η ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΤΗΣ ΚΑΡΥΔΙΑΣ

Η Καλιφόρνια παράγει το 40% της παγκόσμιας παραγωγής καρυδιών με μεγάλα αγροτεμάχια φυτεμένα με τις καλύτερες ποικιλίες, μηχανικό κλάδεμα και συγκομιδή, άριστη τυποποίηση και συντήρηση, μικρό κόστος παραγωγής. Είναι η κύρια εξαγωγός χώρα στον κόσμο και τα καρύδια της πωλούνται και στην Ελλάδα. Αντίθετα, στην Ελλάδα παρά τις επιδοτήσεις επί πολλά έτη για εντατικές φυτεύσεις καρυδιάς (επιδότηση αρχικής εγκατάστασης μέχρι και δικτύου άρδευσης και φράκτη αγροτεμαχίου και επιδότηση πρώτων ετών μη παραγωγής) οι καρυδιές παραμένουν σε στάσιμο αριθμό (2,25 εκατομμύρια δέντρα) και η παραγωγή δεν αυξάνεται (περίπου 20000 t το 1998). Οι καλλιεργούμενες ποικιλίες προέρχονται όλες από την *Juglans regia* και έχουν προέλθει σχεδόν όλες από βελτιωτικά προγράμματα της Καλιφόρνιας. Αυτές οι ποικιλίες έχουν σαν χαρακτηριστικά την πλαγιοκαρπία, την ταχεία είσοδο στην καρποφορία (από το 3^ο – 4^ο έτος) και μικρό μέγεθος δέντρου (φυτεύσεις σε τετράγωνα 8-10 m x 8-10 m, μεγάλη στρεμματική απόδοση), τις ποικίλες κλιματικές συνθήκες (με πολλές ή λίγες απαιτήσεις σε ώρες χαμηλών θερμοκρασιών το χειμώνα, με διαφορετική αντοχή στο θερμό καλοκαίρι) και την άριστη ποιότητα καρπού (ανοικτό χρώμα ενδοκαρπίου και σπέρματος, γεύση).

- Franquette: παλιά γαλλική ποικιλία, μεγάλο δέντρο, χαμηλή παραγωγή, οψιμανθής για ορεινές περιοχές και επικονίαση.
- Hartley: από τις κύριες ποικιλίες καλλιέργειας στην Καλιφόρνια, ελάχιστη πλαγιοκαρπία, μεγάλο δέντρο, άριστη ποιότητα καρπού.
- Chandler: η καλύτερη σε ποιότητα και παραγωγή, πλαγιοκαρπεί (90%).
- Επικ. Vina, Franquette. Vina, Pedro, Ηλιάνα: πλαγιοκαρπούσες προς επέκταση, για περιοχές με σπάνιους παγετούς.

- Amigo, Gustine: για θερμές περιοχές της Ελλάδας, πρωιμανθείσες. Ο πολλαπλασιασμός στην Ελλάδα γίνεται το Μάιο με εμβολιασμό πλακίτη σε σπορόφυτο ηλικίας ενός έτους με εμβολιοφόρους που παρέμειναν στο ψυγείο από το Μάρτιο. Εντατικοί καρυδεώνες για παραγωγή υψηλής ποιότητας καρπού με πλαγιοκαρπούσες ποικιλίες, φύτευσης 8 m x 8 m, διαμόρφωσης σε τροποποιημένο κεντρικό άξονα, άρδευσης με ατομικούς εκτοξευτήρες νερού ή υπόγεια άρδευση, μηχανικό κλάδεμα, επίπεδο έδαφος για μηχανική συγκομιδή.

Οι κυριότερες ασθένειες του είδους είναι το βακτήριο *Xanthomonas campestris* pv. *juglandis* το οποίο προκαλεί ζημιά σε ανθοταξίες, καρπίδια, φύλλα και βλαστούς, οι ασθένειες εδάφους που προκαλούνται από τη φυτόφθορα, και την *Armillaria* (νέκρωση ολόκληρων δέντρων), από την καρπόκαψα (ζημιά στους καρπούς), από τις αφίδες, τους τετράνυχους (στο νεαρό βλαστό και φύλλωμα) και τα κοκκοειδή (σε φύλλα και κλαδίσκους) (Νάνος, 2013). Όσον αφορά τη λίπανση, εάν είναι εύκολη η εξεύρεση κοπριάς πριν την εγκατάσταση του καρυδεώνα, ενδείκνυται η προσθήκη 2-3 t στρ⁻¹ για τη βελτίωση της γονιμότητας του εδάφους (Ποντίκης, 1996). Το ίδιο μπορούμε να κάνουμε και με την κομποστοποιημένη ιλύ βιολογικού καθαρισμού (IBK), ρίχνοντας 2 τόνους πριν την εγκατάσταση της δεντροκαλλιέργειας (Τσαντήλας, προφορική επικοινωνία, 2012). Διαφορετικά θεωρείται αναγκαία η λίπανση του βάρους ρίχνοντας 10-20 kg στρ⁻¹ P₂O₅ και 15-20 kg στρ⁻¹ K₂O (Giannini and Mercurio, 1997). Για παράδειγμα θα πρέπει να ρίξουμε 100-130 kg στρ⁻¹ λίπασμα τύπου 11-15-15 ή 80-100 kg στρ⁻¹ λίπασμα τύπου 0-20-20. Στον Πίνακα 1.3.1 βλέπουμε τις ετήσιες εξαγόμενες και ακινητοποιημένες ποσότητες θρεπτικών στοιχείων από ένα δένδρο καρυδιάς ποικιλίας Franquette ηλικίας 14 ετών (πυκνότητα φύτευσης 178 φυτά ha⁻¹), δεδομένα τα οποία αναφέρονται στο εναέριο κομμάτι, των φρούτων και των ανακυκλώσιμων αποσύρσεων (φύλλων) (Giannini and Mercurio, 1997). Για την λίπανση των καρυδεώνων η τεχνική της φυλλοδιαγνωστικής είναι σπουδαίας βοήθειας διαμέσου της οποίας δύναται να προσδιορίσουμε πιθανές θρεπτικές ελλείψεις. Στον Πίνακα 1.3.2 βλέπουμε τη συγκέντρωση των θρεπτικών στοιχείων στα φύλλα καρυδιάς, δεδομένα αναφερόμενα στην ξηρά ουσία των φύλλων που πάρθηκαν στα μέσα Ιουλίου (Giannini and Mercurio, 1997). Γενικά σε εδάφη με καλή γονιμότητα η επιφανειακή λίπανση αφορά ως επί το πλείστον το άζωτο. Για τους καρυδεώνες παραγωγής καρπού οι Giannini and Mercurio (1997) συμβουλεύουν την αυξανόμενη χορήγηση του N (από 100 έως 500 g N ανά δένδρο περνώντας από το 1^ο στο 5^ο έτος της καλλιέργειας)

ρίχνοντας κοντά στη προβολή του φυλλώματος κάθε δένδρου. Αυτές οι ποσότητες πρέπει να δίνονται σε 2 δόσεις κλασματοποιημένες σε 2/3 τον Φεβρουάριο-Μάρτιο και 1/3 στα μέσα Μαΐου. Από το 5^ο – 6^ο έτος και μετά ορισμένοι συγγραφείς συμβουλεύουν οι λιπάνσεις να γίνονται με 6-8 kg στρ⁻¹ P₂O₅, 8-10 kg στρ⁻¹ του K₂O, και του N με 8-10 kg στρ⁻¹ (Giannini and Mercurio, 1997). Στον Πίνακα 1.3.3 αναφέρονται τα θρεπτικά που απομακρύνονται κατά έτος ανά εκτάριο. Στον Πίνακα 1.3.3 φαίνονται οι ετήσιες εξαγόμενες και ακινητοποιημένες ποσότητες θρεπτικών στοιχείων από ένα εκτάριο καρυδεώνα για παραγωγή φρούτων σε πλήρη παραγωγή, αναφερόμενα μόνο στο αέριο τμήμα (Giannini and Mercurio, 1997).

1.5 ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑ ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ ΣΚΟΠΟΙ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η χρήση της IBK ως οργανικού λιπάσματος σε καλλιέργειες του Μεσογειακού χώρου, όπως ο αραβόσιτος, έχει απασχολήσει πολλές ερευνητικές ομάδες, και υπάρχει σχετικά ικανοποιητικός όγκος δημοσιεύσεων τα τελευταία χρόνια (π.χ., Antoniadis et al., 2010). Όμως σε τέτοιες εργασίες συνήθως εφαρμόζονται μεγάλες ποσότητες IBK, με σκοπό την γρηγορότερη και την ευκρινέστερη εξαγωγή αποτελεσμάτων. Αυτό οδηγεί σε πιθανά λάθη εκτίμησης, καθώς κάποιες τάσεις που αφορούν εδαφικές ιδιότητες και συμπεριφορές του φυτού υπερεκτιμώνται. Έτσι, υπάρχει ανάγκη για έρευνα στον αραβόσιτο που θα επικεντρώνεται σε δόσεις εφαρμογής ίσες με τις συνιστώμενες από τις εταιρείες ύδρευσης – αποχέτευσης που διαχειρίζονται τη διάθεση της IBK (όπως στην περίπτωση μας, της ΔΕΥΑΛ). Επίσης, στο Μεσογειακό χώρο όπου οι κλιματολογικές συνθήκες είναι ιδιόζυγες (ξηροθερμικές συνθήκες, που τείνουν να προκαλούν ταχύτερη αποικοδόμηση της προστιθέμενης οργανικής ουσίας, σε αντίθεση με τις εύκρατες συνθήκες της Βόρειας Ευρώπης και Βόρειας Αμερικής, όπου διεξάγεται το μεγαλύτερο μέρος τέτοιων πειραμάτων), δεν υπάρχουν έρευνες που να μελετούν τη συμπεριφορά μόνιμων φυτειών (όπως π.χ., οι καρυδεώνες) μετά την εφαρμογή IBK. Ο λόγος είναι ότι η ανταπόκριση της καλλιέργειας δεν αναμένεται να είναι άμεση. Εξ όσων γνωρίζουμε, δημοσιευμένη έρευνα για τη χρήση IBK σε μόνιμη φυτεία δεν υπάρχει.

Με βάση τα παραπάνω, σκοποί της παρούσας εργασίας ήταν:

1) Η μελέτη της εφαρμογής μικρής (σύμφωνα με τις προδιαγραφές ασφάλειας της ΔΕΥΑΛ) ποσότητας IBK σε αγρούς με ετήσια καλλιέργεια (αραβόσιτος) και με μόνιμη

φυτεία (καρυδιές), όσο αφορά τις επιπτώσεις της IBK στις κύριες φυσικοχημικές εδαφικές παραμέτρους, όπως επίσης και στην απόδοση των φυτών.

2) Η σύγκριση της επίδρασης της IBK με συνηθισμένη συμβατική λίπανση με ανόργανο λίπασμα.

3) Η μελέτη «χημικών» παραμέτρων των φυτών (συγκέντρωση και πρόσληψη μακρο- και ιχνοστοιχείων) και η σύγκρισή τους μεταξύ των μεταχειρίσεων IBK και ανόργανου λιπάσματος.

4) Η μελέτη της διαφοράς της εφαρμογής IBK όσον αφορά τις επιπτώσεις της στα φυτοκομικά και χημικά χαρακτηριστικά του αραβόσιτου και της καρυδιάς.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.2.1 ΠΕΙΡΑΜΑ ΑΡΑΒΟΣΙΤΟΥ

Σε επιλεγμένο αγρό στην περιοχή της Γιάννουλης Ν. Λάρισας εγκαταστάθηκε πειραματικός αγρός με αραβόσιτο. Σε αυτόν είχαμε τις εξής 3 μεταχειρίσεις σε πειραματικά τεμάχια $5 \times 5 \text{ m}^2$, ως εξής:

Μεταχείριση «μάρτυρα» (Μ): Δεν έγινε καμιά εφαρμογή κανενός υλικού.

Μεταχείριση IBK (Ι): Έγινε εφαρμογή IBK σε ποσότητα 2 t στρ^{-1} .

Μεταχείριση συμβατικής λίπανσης (Λ): Εφαρμόσαμε προσπαρτικά 40 kg στρ^{-1} σύνθετο λίπασμα με τίτλο 30-10-0, δηλαδή συνολικά 12 μονάδες N στρ^{-1} και $4 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ στρ}^{-1}$ πριν την σπορά και στη συνέχεια ρίξαμε 3 φορές ουρία (τίτλου 46-0-0) από $3,33 \text{ kg στρ}^{-1}$, δηλαδή συνολικά 4,6 μονάδες αζώτου στρ^{-1} .

Η επιλογή της ποσότητας IBK των 2 t στρ^{-1} έγινε με γνώμονα την εφαρμογή δεδομένης χορήγησης N σε βάθος χρόνου 2 ετών, σύμφωνα με τις προδιαγραφές ασφαλείας της ΔΕΥΑΛ. Η κομποστοποιημένη ιλύς (IBK) προήλθε από το βιολογικό καθαρισμό Λάρισας. Στην IBK προσδιορίστηκε το ποσοστό υγρασίας, και η περιεκτικότητα της σε οργανικό C, ολικό N κατά Kjeldahl και ολικά κατά βασιλικό νερό κατιοντικά ιχνοστοιχεία (Fe, Mn, Zn, Cu, Cd, Pb). Πριν από την σπορά έγινε η εφαρμογή του ανόργανου λιπάσματος στην ποσότητα όπως αναφέρεται παραπάνω κάνοντας επιφανειακή ενσωμάτωση σε βάθος 5-10 cm με καλλιεργητή. Επίσης έγινε η εφαρμογή και ενσωμάτωση της IBK σε ίδιο βάθος με καλλιεργητή. Τα πειραματικά τεμάχια των τριών μεταχειρίσεων σημάνθηκαν με ταινία σήμανσης και έγινε η πρώτη δειγματοληψία εδάφους στις 22 Μαρτίου 2012. Η δειγματοληψία έγινε από 3 σημεία απομακρυσμένα μεταξύ τους, και τα σημεία αυτά σημάνθηκαν με πασαλάκια, έτσι ώστε οι επόμενες δειγματοληψίες να γίνουν στα ίδια σημεία (δειγματοληψία Δ1). Τα δείγματα που ελήφθησαν στην Δ1 χρησιμοποιήθηκαν για να γίνουν οι αναλύσεις χαρακτηρισμού των εδαφών (οργανική ουσία, ανθρακικό ασβέστιο, κοκκομετρική σύσταση, ανταλλάξιμα κατιόντα Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , pH, ηλεκτρική αγωγιμότητα), ολικά με βασιλικό νερό κατιοντικά ιχνοστοιχεία (Fe, Mn, Zn, Cu, Cd, Pb), εκχυλίσιμα με DTPA τα ίδια κατιοντικά ιχνοστοιχεία, νιτρικό και αμμωνιακό άζωτο και φώσφορος κατά Olsen). Οι μέθοδοι ανάλυσης αναφέρονται αναλυτικά παρακάτω. Κατόπιν έγινε η

σπορά του αραβόσιτου στις 2 Απριλίου 2012 με την ποικιλία Άρμα με σπαρτική μηχανή ακριβείας.

Στις 4 Ιουνίου 2012, (πίνακας 2.2.1) όταν η καλλιέργεια βρίσκονταν στο στάδιο της ανύψωσης (ύψος αραβόσιτου περίπου στο 1 m), ελήφθησαν δείγματα εδάφους (δειγματοληψία Δ2) από τα πειραματικά τεμάχια και από φύλλα. Στα δείγματα εδάφους έγιναν οι αναλύσεις του $\text{NO}_3\text{-N}$ και του $\text{NH}_4\text{-N}$, και στα φύλλα μετρήθηκαν N (κατά Kjeldahl), P, K, Ca, Mg, Na, Cu, Zn, Fe και Mn. Οι μέθοδοι εκχύλισης και ανάλυσης των φυτικών δειγμάτων αναφέρονται αναλυτικά παρακάτω. Στις 10 Ιουλίου 2012, κατά το στάδιο της ανθοφορίας ελήφθησαν δείγματα εδάφους (δειγματοληψία Δ3) από τα πειραματικά τεμάχια, όπου έγιναν οι αναλύσεις του $\text{NO}_3\text{-N}$ και του $\text{NH}_4\text{-N}$. Στις 23 Σεπτεμβρίου 2012 έγινε μέτρηση του ύψους των φυτών. Κατόπιν έγινε συγκομιδή της καλλιέργειας με το χέρι σε επιλεγμένα φυτά, τα οποία στο εργαστήριο μετρήθηκαν για τα εξής: Αριθμό σπόρων, βάρος 1000 σπόρων, αριθμό ροκών, βάρος φύλλων, βάρος στελεχών και βάρος σπόρων. Για τα βάρη προσδιορίστηκε το νωπό βάρος, και κατόπιν ξήρανσης (θα εξηγηθεί παρακάτω) το ξηρό βάρος. Κατόπιν το ξηρό βάρος το ανάγαμε σε επίπεδο αγρού, σε kg στρ^{-1} . Κατόπιν στα τρία αυτά μέρη του αραβόσιτου (καρπός, φύλλα και στελέχη) έγινε ανάλυση των ίδιων 9 στοιχείων που αναφέρονται παραπάνω. Μετά τη συγκομιδή ελήφθησαν και δείγματα εδάφους (δειγματοληψία Δ4), στα οποία έγιναν οι εξής αναλύσεις: Εκχύλισμα ιχνοστοιχεία κατά DTPA, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$, Olsen-P και ανταλλάξιμα κατιόντα Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ και Na^+ . Οι ιδιότητες του εδάφους στον αγρό του αραβόσιτου φαίνεται στον Πίνακα 2.1. Το πρόγραμμα των δειγματοληψιών φαίνεται στον Πίνακα 2.2.

2.2.2 ΠΕΙΡΑΜΑ ΚΑΡΥΔΕΩΝΑ

Σε επιλεγμένο αγρό στην περιοχή της Γιάννουλης Ν. Λάρισας εγκαταστάθηκε το παρακάτω πείραμα σε καρυδεώνα 2,35 ha. Σε αυτόν είχαμε τις εξής 3 μεταχειρίσεις σε πειραματικά τεμάχια των 3 δένδρων έκαστη. Τα δένδρα ήταν φυτεμένα με πυκνότητα 28 δένδρων στρ^{-1} σε απόσταση 7 m μεταξύ των σειρών και απόσταση 5 m επί της σειράς. Ο καρυδεώνας εγκαταστάθηκε το 2002. Οι μεταχειρίσεις ήταν ως εξής:

Μεταχείριση «μάρτυρα» (M): Δεν έγινε καμιά εφαρμογή κανενός υλικού.

Μεταχείριση IBK (I): Έγινε εφαρμογή ιλύος σε ποσότητα 1 t στρ^{-1} .

Μεταχείριση συμβατικής λίπανσης (Λ): Εφαρμόσαμε επιφανειακά σε 3 δόσεις ουρίας (τίτλου 46-0-0) με τον υδρολιπαντήρα, από 3,33 κιλά N στρ⁻¹ ανά δόση, δηλαδή συνολικά 4,6 μονάδες (kg) N στρ⁻¹. Η επιλογή της ποσότητας ιλύος του 1 t στρ⁻¹ έγινε σύμφωνα με τη συνήθη πρακτική χορήγησης σε δενδροκομικές καλλιέργειες. Η κομποστοποιημένη ιλύς (IBK) προήλθε από το βιολογικό καθαρισμό Λάρισας. Στην IBK προσδιορίστηκαν οι ίδιες ιδιότητες όπως αναφέρονται παραπάνω. Πριν από την σπορά έγινε η εφαρμογή του ανόργανου λιπάσματος όπως αναφέρεται παραπάνω, και εφαρμογή και ενσωμάτωση της IBK σε βάθος 5 cm με φρέζα. Τα πειραματικά τεμάχια των τριών μεταχειρίσεων σημάνθηκαν με ταινία σήμανσης και έγινε η πρώτη δειγματοληψία εδάφους στις 22 Μαρτίου 2012. Η δειγματοληψία έγινε από 3 σημεία απομακρυσμένα μεταξύ τους, και τα σημεία αυτά σημάνθηκαν με πασαλάκια, έτσι ώστε οι επόμενες δειγματοληψίες να γίνουν στα ίδια σημεία (δειγματοληψία Δ1). Τα δείγματα που ελήφθησαν στην Δ1 χρησιμοποιήθηκαν για να γίνουν οι αναλύσεις χαρακτηρισμού των εδαφών (ίδιες με τις αντίστοιχες στον αραβόσιτο). Στις 4 Ιουνίου 2012, όταν η καλλιέργεια βρίσκονταν στο στάδιο της πλήρους ανάπτυξης ελήφθησαν δείγματα εδάφους (δειγματοληψία Δ2) από τα πειραματικά τεμάχια και από φύλλα. Στα δείγματα εδάφους και φύλλων έγιναν οι αναλύσεις όπως αναφέρονται για τον αραβόσιτο στην Δ2. Στις 10 Ιουλίου 2012, κατά το στάδιο της καρποφορίας, ελήφθησαν δείγματα εδάφους (δειγματοληψία Δ3) από τα πειραματικά τεμάχια, όπως στον αραβόσιτο στην Δ3. Στις 23 Σεπτεμβρίου 2012 έγινε συγκομιδή των καρυδιών και των φύλλων στα επιλεγμένα δένδρα, τα οποία στο εργαστήριο μετρήθηκαν για το βάρος τσοφλιών και το βάρος ψίχας. Για τα βάρη προσδιορίστηκε το νωπό βάρος, και κατόπιν ξήρανσης το ξηρό βάρος. Κατόπιν στα μέρη αυτά του καρυδεώνα έγινε ανάλυση των ίδιων στοιχείων που αναφέρονται παραπάνω. Μετά τη συγκομιδή ελήφθησαν και δείγματα εδάφους (Δ4), στα οποία έγιναν οι ίδιες αναλύσεις με αυτές που αναφέρονται για τον αραβόσιτο. Οι ιδιότητες του εδάφους στον αγρό των καρυδιών φαίνεται στον Πίνακα 2.1. Το πρόγραμμα των δειγματοληψιών φαίνεται στον Πίνακα 2.2

2.3 ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΕΔΑΦΟΥΣ

2.3.1 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΕΔΑΦΟΥΣ

Το εδαφικό δείγμα απλώθηκε και το αφήσαμε να αεροξηρανθεί. Το χρονικό διάστημα ποικίλει ανάλογα με την κοκκομετρική του σύσταση: Τα ελαφρά εδάφη αεροξηραίνονται σε 2-3 μέρες, ενώ τα αργιλώδη χρειάζονται έως και 10 μέρες. Εναλλακτικά, τα εδάφη τοποθετούνται μέσα σε χαρτοσακούλες και πάνω σε

αλουμινένιους δίσκους σε φούρνο στους 40-50 °C, όπου η αεροζήρανση ολοκληρώθηκε σε όχι περισσότερο από 2-3 μέρες. Κατόπιν τα δείγματα λειοτριβήθηκαν σε πορσελάνινο γουδί και κοσκινίστηκαν σε κόσκινο με ανοίγματα 2 mm. Το κοσκινισμένο δείγμα αποθηκεύθηκε σε χαρτονένια κουτιά και ήταν έτοιμα για τις αναλύσεις.

2.3.2 ΜΕΤΡΗΣΗ pH

Για την μέτρηση του pH ελήφθησαν 5 g δείγματος σε ζυγαριά ακριβείας και τοποθετήθηκαν σε φιάλες τύπου falcon. Σε αυτές προστέθηκαν 25 mL απιονισμένο ύδατος και ανακινήθηκαν για 30 min. Στη συνέχεια παρέμειναν σε ηρεμία για τουλάχιστον 1/2 ώρα πριν την μέτρηση με πεχάμετρο. Πριν την έναρξη των μετρήσεων και ανά 10 μετρήσεις γινόταν έλεγχος του πεχάμετρο με διάλυμα buffer pH= 6.

2.3.3 ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ

Για την μέτρηση της κοκκομετρικής σύστασης ελήφθησαν περίπου 25 g εδάφους ακριβώς καταγεγραμμένο και τοποθετήθηκαν σε ποτήρι ζέσεως των 250 mL. Έπειτα προστέθηκαν 25 mL 1% (NaPO₃)₆ και ακολούθησε ανάδευση με ηλεκτρικό αναδευτήρα για 10 min. Στη συνέχεια το μίγμα τοποθετήθηκε σε ογκομετρικό κύλινδρο του 1 λίτρου και συμπληρώθηκε με απιονισμένο ύδωρ έως τη χαραγή. Με ειδική ράβδο αναδύουμε και καταγράφουμε την μέτρηση με το πυκνόμετρο Βουγιούκου ύστερα από 40 sec χρόνος στον οποίο θεωρούμε ότι η άμμος έχει καθιζάνει. Την μέτρηση αυτή την ονομάζουμε μέτρηση Α. Παράλληλα μετρούμε και την θερμοκρασία με θερμομέτρο. Μετά από 2 h αναμονή θεωρείται ότι έχει καθιζάνει και η ιλύς και μετριέται εκ νέου η πυκνότητα του αιωρήματος. Η δεύτερη μέτρηση είναι η μέτρηση Β. Επιπλέον όπως και για την μέτρηση Α έτσι και για την μέτρηση Β μετρούμε την θερμοκρασία. Η καταγραφή των θερμοκρασιών γίνεται για να διορθώσουμε τις μετρήσεις Α και Β στη θερμοκρασία αναφοράς 20 °C. Αυτό συμβαίνει διότι η ταχύτητα καθίζησης των εδαφικών κλασμάτων, εξαρτάται από τη θερμοκρασία. Η διόρθωση γίνεται με τις ακόλουθες σχέσεις:

$$A' = A + \Sigma\Theta \text{ και } B' = B + \Sigma\Theta$$

όπου Α και Β είναι οι αντίστοιχες μετρήσεις με το πυκνόμετρο Βουγιούκου, ΣΘ ο συντελεστής διόρθωσης της θερμοκρασίας. Α' και Β' οι διορθωμένες τιμές. Το ΣΘ δίνεται από τον τύπο $\Sigma\Theta = (\Theta_{\text{θερμοκρασία}} - 20) / 2,5$.

Στη συνέχεια γίνεται ο υπολογισμός του % άμμου, ιλύς και αργίλου από τις παρακάτω σχέσεις:

$$\text{Αργίλος (\%)} = 100 \times B' / \Gamma$$

$$\text{Ιλύς (\%)} = 100 \times (A' - B') / \Gamma$$

$$\text{Άμμος (\%)} = 100 - (\text{Αργίλος\%} + \text{Ιλύς\%})$$

Όπου Γ είναι το βάρος του εδάφους που χρησιμοποιήσαμε.

2.3.4 ΜΕΤΡΗΣΗ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ

Δείγματα νωπού χώματος βάρους 5 g τοποθετούνται μέσα σε κάψες γνωστού βάρους κατόπιν ζυγίζονται και καταγράφεται το βάρος της κάθε κάψας μαζί με το βάρος του νωπού χώματος. Στη συνέχεια αυτές οι κάψες τοποθετούνται μέσα σε φούρνο στους 105 °C για 24 ώρες. Οι κάψες μαζί με το ξηρό πλέον εδαφικό δείγμα ζυγίζονται εκ νέου και καταγράφεται το βάρος τους.

$$\text{Υγρασία\%} = 100 \times (A - B) / \Gamma$$

Το A είναι το βάρος του νωπού χώματος με κάψα σε g.

Το B είναι το βάρος του ξηρού χώματος με κάψα σε g.

Όπου Γ είναι το βάρος (g) του νωπού δείγματος εδάφους που χρησιμοποιήσαμε.

2.3.5 ΜΕΤΡΗΣΗ ΟΡΓΑΝΙΚΗΣ ΟΥΣΙΑΣ (με τη μέθοδο της υγρής οξειδωσης)

Σε κωνική φιάλη τοποθετούμε ακριβώς καταγεγραμμένο 0,5 g δείγματος και προστίθενται 10 mL διχρωμικό κάλιο, το οποίο είναι ισχυρά οξειδωτικό μέσο με σκοπό την οξείδωση – αποικοδόμηση της οργανικής ουσίας και 10 mL πυκνό θειικό οξύ με σκοπό την αύξηση της θερμοκρασίας του δείγματος καθώς προκαλεί εξώθερμη αντίδραση, για την πληρέστερη κατά το δυνατό δράση του οξειδωτικού μέσου. Μετά από μια ώρα αναμονής, προστίθενται 200 mL απιονισμένο νερό για την αραιώση του διαλύματος, 10 mL πυκνό φωσφορικό οξύ (H_3PO_4) και 5-6 σταγόνες διφαινυλαμίνης. Το δείγμα χρωματίζεται ανοιχτό καφέ. Στη συνέχεια ογκομετρούμε με επταένυδρο θειικό σίδηρο 0,5 M ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) μέχρι να παρατηρηθεί απότομη αλλαγή χρώματος σε σκούρο πράσινο. Η ίδια ακριβώς διαδικασία ακολουθείται στην περίπτωση του λευκού δείγματος, που έχουμε για την τιτλοδότηση του διαλύματος ογκομέτρησης. Ο οργανικός άνθρακας του εδάφους υπολογίζεται από τον τύπο:

Οργανικός C % = $0.195 \times [(mL \text{ ογκομέτρησης λευκού δείγμα.} - mL \text{ ογκομέτρησης δείγματος})/g \text{ δείγματος εδάφους}]$

Η δε οργανική ουσία υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$OM\% = OC\% / 0.58 =$$

2.3.6 ΜΕΤΡΗΣΗ ΦΩΣΦΟΡΟΥ ΚΑΤΑ OLSEN

Στη μέθοδο αυτή χρησιμοποιείται όξινο ανθρακικό νάτριο και αναπτύσσεται κυανό χρώμα. Γίνεται σε δυο στάδια: α) εκχύλιση και β) ανάπτυξη κυανού χρώματος με την μέτρηση του εκχυλίσματος.

Παρασκευή αντιδραστηρίου Α

1^ο Βήμα. Διαλύονται 12 g μολυβδαινικό αμμώνιο $[(NH_4)_6MO_7O_{24} \cdot 2H_2O]$ σε περίπου 250 mL απιονισμένου ύδατος.

2^ο Βήμα. Διαλύονται 0,2908 g τρυγικό κάλιο-αντιμονύλιο $(KSbO \cdot C_4H_4O)$ σε περίπου 100 mL απιονισμένου ύδατος.

3^ο Βήμα. Σε ογκομετρική φιάλη του 1 L προστίθενται 140 mL πυκνό θειικό οξύ (H_2SO_4) και συμπληρώνεται με απιονισμένο έως το 1 L.

4^ο Βήμα. Μεταφέρονται τα διαλύματα τα παραπάνω 3 βημάτων σε ογκομετρική των 2 L συμπληρώνεται με απιονισμένο έως τα 2 L. Το διάλυμα ανακινείται καλά και αποθηκεύεται σε πλαστικές φιάλες.

Παρασκευή αντιδραστηρίου Β

Σε 200 mL του αντιδραστηρίου Α διαλύονται 1,056 g ασκορβικού οξέος $(C_6H_8O_6)$. Το διάλυμα που προκύπτει είναι κίτρινο και το ονομάζουμε αντιδραστήριο Β.

Παρασκευή διαλύματος 5 ppm P

Ζυγίζουμε 0,387 g ευδιάλυτου φωσφορικού άλατος (NaH_2PO_4) και το διαλύουμε σε 100 mL απιονισμένο νερό μέσα σε ογκομετρική φιάλη. Το διάλυμα αυτό αποτελεί το stock solution 1000 mg P L^{-1} . Από το stock solution λαμβάνεται 10 mL και τα μεταφέρουμε σε άλλη ογκομετρική φιάλη των 100 mL την οποία πληρώνουμε έως τα 100 mL με απιονισμένο νερό. Από την τελευταία ογκομετρική φιάλη λαμβάνεται 5 mL και τα μεταφέρουμε σε άλλη ογκομετρική φιάλη των 100 mL την οποία πληρώνουμε

έως τα 100 mL με απιονισμένο νερό. Η συγκέντρωση του P σε αυτή τη φιάλη είναι 5 mg P L⁻¹.

Εκχύλιση

Λαμβάνεται 1 g εδάφους και τοποθετείται σε φιάλη τύπου falcon. Προστίθεται 20 mL όξινο ανθρακικό νάτριο NaHCO₃ 0,5 M pH = 8.5. Ανακινείται το περιεχόμενο για 30 λεπτά. Στη συνέχεια διηθείται το εκχύλισμα με μέτριο διηθητικό χαρτί σε νέα φιάλη τύπου falcon.

Ανάπτυξη χρώματος

Σε ογκομετρική φιάλη των 25 mL μεταφέρεται 5 mL διηθήματος με αυτόματη πιπέτα.

Προστίθενται:

- 2,5 mL αντιδραστηρίου B και κατόπιν γίνεται χαλαρή περιοδική ανάδευση μέχρι την παύση του αφρισμού
- πλήρωση έως τα 25 mL με απιονισμένο νερό, δηλαδή μέχρι τη χαραγή της ογκομετρικής.

Στη συνέχεια πωματίζονται οι φιάλες και ανακινούνται μέχρι την παύση του αφρίσματος. Για την πλήρη ανάπτυξη του κυανού χρώματος αναμένουμε για 1 h πριν την μέτρηση με το φασματοφωτόμετρο.

Μέτρηση

Η μέτρηση γίνεται σε φασματοφωτόμετρο στα 882 nm στο οπτικό φάσμα (VIS). Στην αρχή φασματοφωτομετρήθηκαν τα γνωστά δείγματα 0, 0,1, 0,4, 0,6, 0,8 και 1,2 mg P L⁻¹ για την κατασκευή της καμπύλης βαθμονόμησης. Τα γνωστά δείγματα παρασκευάστηκαν χρησιμοποιώντας το διάλυμα 5 mg L⁻¹ P. Εκτός από την τελευταία μέτρηση του εδάφους όπου χρησιμοποιήθηκε 1 mL διαλύματος. Ακολούθως μετρήθηκαν τα άγνωστα δείγματα και χαρακτηρίστηκαν με την καμπύλη βαθμονόμησης.

Φώσφορος (mg kg⁻¹ εδάφους) = (mL διαλύματος εκχύλισης * mL ογκομετρικής φιάλης / mL διηθήματος στην ογκομετρική φιάλη) * (A/B). Όπου A= mg.kg⁻¹ P στο εκχύλισμα (αυτό που μετράμε στο φασματοφωτόμετρο) και B = βάρος εδάφους σε g.

2.3.7 ΜΕΤΡΗΣΗ ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΥ ΑΖΩΤΟΥ

Παρασκευή διαλύματος 2 M KCl

Ζυγίζουμε 296 g KCl και το διαλύουμε με συνεχή ανάδευση σε περίπου 800 mL απιονισμένου νερού μέσα σε ογκομετρική φιάλη. Μεταφέρω το διάλυμα αυτό σε ογκομετρική φιάλη των 2 L και την πληρώνουμε έως τα 2 L με απιονισμένο νερό.

Εκχύλιση

Ελήφθησαν περίπου 2 g δείγματος νωπού χόματος ακριβώς καταγεγραμμένο και τοποθετήθηκαν σε φιάλες τύπου Falcon. Σε αυτές προστέθηκαν 20 mL διαλύματος 2 M KCl και ανακινήθηκαν για 2 h στα.

Διήθηση

Ακολουθεί διήθηση του εκχυλίσματος με μέτριο διηθητικό χαρτί σε νέα φιάλη τύπου falcon. Από αυτό διήθημα θα μετρήσουμε το αμμωνιακό και το νιτρικό άζωτο.

2.3.7.1 ΜΕΤΡΗΣΗ ΑΜΜΩΝΙΑΚΟΥ ΑΖΩΤΟΥ (NH₄-N)

Για την μέτρηση του αμμωνιακού αζώτου είναι απαραίτητη η παρασκευή 3 αντιδραστηρίων:

Παρασκευή αντιδραστηρίου Δ 1

Sodium salicylate – Sodium nitroprusside (S.S.) Διαλύονται 78,13 g σαλικυλικού νατρίου και 1,25 g νιτροπρουσσικού νατρίου σε φιάλη του 1 L. Το διάλυμα φυλάσσεται σε σκοτεινή φιάλη στο ψυγείο.

Παρασκευή αντιδραστηρίου Δ2 (Buffer hypochlorite)

Σε ογκομετρική φιάλη των 250 mL προστίθενται:

16,55 g Na₂HPO₄·2H₂O

7,4 g NaOH και

25 mL NaOCl

Η φιάλη πληρώνεται έως τα 250, δηλαδή ως τη χαραγή με απιονισμένο νερό και αναδεύεται.

Παρασκευή αντιδραστηρίου EDTA

Διαλύονται 60 g Na₂EDTA αρχικά σε 500 mL απιονισμένου ύδατος σε ογκομετρική φιάλη των 1000 mL και πληρώνεται έως τα 1000 mL με απιονισμένο ύδωρ. Φυλάσσεται στο ψυγείο.

Ανάπτυξη χρώματος

Σε ογκομετρική των 25 mL προστίθενται:

- 1 mL εκχυλίσματος EDTA με την αυτόματη πιπέτα,
- 4 mL αντιδραστηρίου Δ1,
- 4 mL αντιδραστηρίου Δ2, όχι με το σταγονόμετρο αλλά με τη βοήθεια γυάλινου δοσομετρητή,

στο διάλυμα της κάθε ογκομετρικής, προσθέτω προσεκτικά με τη βοήθεια σταγονόμετρου απιονισμένο νερό μέχρι την ένδειξη της χαραγής, τέλος πωματίζουμε και πραγματοποιούμε ανακίνηση. Για την πλήρη ανάπτυξη του πράσινου χρώματος τοποθετούμε σε θάλαμο στους 37°C τις ογκομετρικές φιάλες για 30 min πριν την μέτρηση.

Μέτρηση

Η μέτρηση γίνεται σε φασματοφωτόμετρο στα 667nm στο οπτικό φάσμα (VIS). Στην αρχή φασματοφωτομετρήθηκαν γνωστά δείγματα κλιμακούμενης συγκέντρωσης αζώτου (standards) 0, 0,08, 0,16, 0,24, 0,40 και 0,80 mg L⁻¹ για την δημιουργία της καμπύλης βαθμονόμησης. Τα γνωστά δείγματα παρασκευάστηκαν χρησιμοποιώντας αντίστοιχα 0, 1, 2, 3, 5, 10 διαλύματος 2 mg L⁻¹ N σε 6 ογκομετρικές φιάλες των 25 mL. Επίσης σε κάθε φιάλη προστέθηκαν

- 5 ml KCl 2 M,
- 4 mL EDTA
- 4 mL αντιδραστηρίου Δ 1
- 2 mL αντιδραστηρίου Δ 2

Οι φιάλες πληρώθηκαν έως τα 25 mL με απιονισμένο ύδωρ και αναδεύτηκαν. Για την πλήρη ανάπτυξη του πράσινου χρώματος τοποθετούμε σε θάλαμο στους 37 °C τις ογκομετρικές φιάλες για 30 min πριν την μέτρηση. Ακολούθως μετρήθηκαν τα άγνωστα δείγματα και χαρακτηρίστηκαν με την καμπύλη βαθμονόμησης.

2.3.7.2 ΜΕΤΡΗΣΗ ΝΙΤΡΙΚΟΥ ΑΖΩΤΟΥ (NO₃-N)

Για την μέτρηση του νιτρικού αζώτου χρησιμοποιούνται τα εκχυλίσματα CaCl_2 τα οποία χρησιμοποιήθηκαν και στην μέτρηση του αμμωνιακού αζώτου. Η μέτρηση γίνεται σε φασματοφωτόμετρο στα 210 nm στο υπεριώδες φάσμα (UV) χρησιμοποιώντας κυψελίδα χαλαζία. Πριν την έναρξη των μετρήσεων προηγήθηκε προθέρμανση της λυχνίας. Πριν από κάθε μέτρηση ακολουθεί μηδενισμός της ένδειξης με απιονισμένο νερό. Στην αρχή μετρήθηκαν γνωστά δείγματα κλιμακούμενης συγκέντρωσης αζώτου (standards) $0 - 1 \text{ mg L}^{-1}$ για την δημιουργία της καμπύλης βαθμονόμησης. Στη συνέχεια μετρήθηκαν τα άγνωστα δείγματα. Πραγματοποιήθηκε απευθείας φασματοφωτομέτρηση των εκχυλισμάτων των δειγμάτων χωρίς ανάπτυξη χρώματος.

2.3.8 ΜΕΤΡΗΣΗ ΔΙΑΘΕΣΙΜΩΝ ΙΧΝΟΣΤΟΙΧΕΙΩΝ (εκχύλιση με DTPA)

Το διάλυμα DTPA (diethylo-triamino-pentaphosphoric acid, διαίθυλο-τριάμινο-πενταφωσφορικό οξύ) παρασκευάζεται με την ανάμιξη 9,835 g DTPA, 7,4 g $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ και 74.5 g τριαιθανολαμίνης σε 5 L H_2O . Το pH του διαλύματος γίνεται 7,3 με λίγες σταγόνες HCl. Η εκχύλιση γίνεται με τη ζύγιση 10 g εδάφους σε πλαστικό μπουκάλι τύπου falcon των 30 mL και την ανάμιξή του με 20 mL διαλύματος DTPA. Ακολουθεί ανακίνηση για 2 ώρες, φυγοκέντρηση και διήθηση. Το εκχύλισμα κατόπιν μετριέται σε ατομική απορρόφηση για ιχνοστοιχεία. Οι υπολογισμοί γίνονται με τον ακόλουθο τύπο:

$$M = (\text{mL διαλύματος εκχύλισης}) * A/B \text{ mg kg}^{-1} \text{ εδάφους}$$

Όπου M είναι τα ιχνοστοιχεία που εκχυλίζονται (Fe, Ni, Mg, Ca, Mn, Zn, Cu, Mo, Cr, κτλ.), A η συγκέντρωση (mg L^{-1}) που λαμβάνεται στην ατομική απορρόφηση, και B το βάρος του εδάφους σε g.

2.3.9 ΟΛΙΚΕΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΙΧΝΟΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΜΕ ΒΑΣΙΛΙΚΟ ΝΕΡΟ

Σε σωλήνα πέψης των 300 mL ζυγίζουμε 1 g εδάφους (κοσκινισμένο από λεπτό κόσκινο με ανοίγματα 500 μm). Προσθέτουμε 15 mL πυκνό HCl και 5 mL πυκνό HNO_3 σε απαγωγό αερίων. Το μίγμα αυτό των πυκνών οξέων HCl και HNO_3 σε αναλογία 3:1 λέγεται βασιλικό νερό (*aqua regia*). Οι δοκιμαστικοί σωλήνες τοποθετούνται σε ειδικό block πέψης που έχει τοποθετηθεί μέσα σε απαγωγό αερίων. Τα δείγματα παραμένουν ως έχουν σε θερμοκρασία δωματίου για 16 ώρες, έτσι ώστε τα οξέα να εισχωρήσουν σε όλους τους πόρους του εδάφους και να διευκολυνθεί η

διαλυτοποίηση των ορυκτών του εδάφους. Την επόμενη μέρα θερμαίνουμε το block πέψης στους 50 °C μέχρι τον τερματισμό κάθε αντίδρασης (συνήθως για μία ώρα). Κατόπιν θερμαίνουμε το block πέψης στους 140 °C για 3 h. Ύστερα αφήνουμε τα δείγματα να κρυώσουν και μεταφέρουμε ποσοτικά και διηθούμε το περιεχόμενο των δοκιμαστικών σωλήνων με απιονισμένο νερό σε ογκομετρικές φιάλες των 100 mL. Το εκχύλισμα αυτό μετρείται σε ατομική απορρόφηση για ιχνοστοιχεία. Οι υπολογισμοί γίνονται με τον ακόλουθο τύπο:

$$M \text{ (mg kg}^{-1} \text{ εδάφους)} = (\text{mL ογκομετρικής φιάλης όπου έγινε η διήθηση}) * A/B$$

Όπου M είναι τα ιχνοστοιχεία, A η συγκέντρωση (mg L⁻¹) που λαμβάνεται στην ατομική απορρόφηση, και B το βάρος του εδάφους σε g.

2.3.10 ΑΝΤΑΛΛΑΞΙΜΑ ΚΑΤΙΟΝΤΑ Ca, Mg, K, Na

Σε φιαλίδια τύπου falcon 50 mL ζυγίζουμε 3 g εδάφους, προσθέτουμε 30 mL CH₃COONH₄ 1 M pH 7 (78 g CH₃COONH₄ σε 1 L H₂O και διόρθωση pH είτε με CH₃COOH είτε με NH₃) και ανακινούμε για 1 h. Κατόπιν διηθούμε, και στο διήθημα κάνουμε 10 φορές αραιώση και 100 φορές αραιώση. Στο «πυκνό» διήθημα μετράμε Na, στο 10 φορές αραιωμένο διήθημα μετράμε K, και στο 100 φορές αραιωμένο μετράμε Ca και Mg. Na και K μετράμε σε φλογοφωτόμετρο, ενώ Ca και Mg μετράμε στην ατομική απορρόφηση.

2.3.11 ΟΛΙΚΟ ΑΖΩΤΟ (Κατά Kjeldahl)

Η μέθοδος θα αναφερθεί παρακάτω για τον φυτικό ιστό.

2.4 ΦΥΤΟΚΟΜΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

2.4.1 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΚΑΙ ΕΚΧΥΛΙΣΗ ΦΥΤΟΜΑΖΑΣ

Το φυτικό υλικό πλένεται με απιονισμένο νερό, τοποθετείται σε χάρτινες σακούλες σε φούρνο στους 70 °C μέχρι τη μη περαιτέρω απώλεια βάρους και κονιορτοποιείται σε μύλο άλεσης. Το κονιορτοποιημένο δείγμα, τοποθετείται σε πλαστικές σακούλες και αποθηκεύεται για τις εκχυλίσεις. Η διαδικασία της εκχύλισης με αποτέφρωση γίνεται για να μετρήσουμε (από το ίδιο εκχύλισμα) όλα τα μη πτητικά συστατικά (πτητικά είναι ο C και το N).

Διαδικασία αποτέφρωσης φυτικού ιστού

- Σκοπός: Η καταστροφή της οργανικής ουσίας των φυτικών ιστών ή άλλου βιολογικού δείγματος με καύση σε υψηλή θερμοκρασία.
- Αντιδραστήρια: HCl 20% v/v. Διαλύονται σε αποσταγμένο νερό 20 mL πυκνό HCl ανά 100 mL τελικού διαλύματος.
- Καύση: Ζυγίζονται 0,5 g από τον κονιορτοποιημένο φυτικό ιστό και τοποθετούνται σε χωνευτήρια πορσελάνης για να καούν σε ηλεκτρικό φούρνο σε θερμοκρασία 500 °C για 4 ώρες (αυξάνοντας σταδιακά ανά 100 °C) στον αποτεφρωτή.
- Εκχύλιση: Όταν κρυώσουν οι κάψες αποτέφρωσης, παραλαμβάνεται η τέφρα του φυτικού ιστού με 20 mL 20% HCl και διηθείται από διηθητικό χαρτί σε ογκομετρικές φιάλες των 50 mL. Το εκχύλισμα αυτό θα χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση όλων πλην των πτητικών στοιχείων.
- Αραίωση: Κατόπιν τα εκχυλίσματα αραιώνονται κατά 100 φορές για τη μέτρηση των μακροστοιχείων Ca, Mg, P και κατά 20 φορές για τη μέτρηση του K, ενώ το «πυκνό» εκχύλισμα χρησιμοποιείται για τη μέτρηση των ιχνοστοιχείων όπως B, Mn, Fe, Cu και Zn.

2.4.2 ΟΛΙΚΟ ΑΖΩΤΟ (Κατά Kjeldahl)

Η μέτρηση ολικού αζώτου γίνεται με τη μέθοδο Kjeldahl, η οποία μπορεί να αναλυθεί σε τρία βασικά βήματα: (α) πέψη, (β) απόσταξη και (γ) ογκομέτρηση.

Αντιδραστήρια και υλικά

Για την πέψη

- Σωλήνες πέψης 300 mL
- Πυκνό H₂SO₄
- Ταμπλέτες Kjeltab σεληνίου. Οι ταμπλέτες σεληνίου περιέχουν 200 mg CuSO₄ και 10 g K₂SO₄.
- Τεμπλέτες antifoam, για αποφυγή έντονου αφρισμού των δειγμάτων στην πέψη.

Για την απόσταξη

- Κωνικές φιάλες 250 mL
- Βορικό οξύ 4%. Ζυγίζουμε 40 g H₃BO₃ σε 1 L νερό.
- Διάλυμα alkali (καυστικό νάτριο). Ζυγίζουμε 400 g NaOH σε 1 L H₂O.

Για την ογκομέτρηση

- 0.1103 N (0.055 M) H₂SO₄. Αραιώνουμε 30 mL πυκνού H₂SO₄ σε 1000 mL H₂O. Αυτό το διάλυμα έχει συγκέντρωση 1.103 N. Από αυτό κάνουμε 10 φορές αραιώση (πχ., 100 mL διαλύματος 1.103 N σε 1000 mL ογκομετρική φιάλη) και λαμβάνουμε το διάλυμα 0.1103 N H₂SO₄.
- Μικτός δείκτης bromocresol green και methyl red.

Διαδικασία

Πέψη

Ζυγίζονται 1 g δείγματος φυτού κονιορτοποιημένου (αντίστοιχα για έδαφος, ζυγίζονται 5 g υλικού, και για κοπριά 1-2 g υλικού) σε σωλήνα πέψης. Προστίθενται 20 mL πυκνό H₂SO₄, 2 ταμπλέτες Kjeltab σεληνίου και 1 ταμπλέτα antifoam. Σε κάθε block πέψης πρέπει να υπάρχει και ένας σωλήνας «λευκού» προσδιορισμού. Το «λευκό» αποτελείται από 20 mL H₂SO₄, 2 ταμπλέτες Kjeltab σεληνίου και 1 ταμπλέτα antifoam (δηλαδή περιέχει όλα τα άλλα εκτός από έδαφος ή φυτό). Στις στήλες προσαρμόζεται από επάνω το σύστημα συλλογής και υγροποίησης των αναθυμιάσεων, για τη λειτουργία του οποίου η βρύση του απαγωγού αερίων πρέπει να παραμένει ανοιχτή. Η πέψη γίνεται στο block πέψης του Εργαστηρίου στο Πρόγραμμα 1. Αλλιώς, η πέψη γίνεται στα εξής στάδια

- Προθέρμανση στους 150 °C για 15 min.
- Πέψη στους 290 °C για 10 min.
- Πέψη στους 420 °C για 50 min. (ή πιο σωστά, μέχρι να αποχρωματιστούν τα δείγματα, σύμφωνα πάντα με το «λευκό»).

Στο τέλος της διαδικασίας πέψης, οι σωλήνες πέψης ανασηκώνονται από το block για να κρυώσουν ταχύτερα.

Απόσταξη

Αφού κρυώσουν τα δείγματα γίνεται η απόσταξη στο σύστημα της αυτόματης απόσταξης του Εργαστηρίου.

Ογκομέτρηση

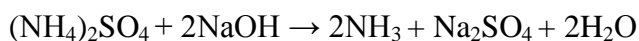
Μετά το τέλος της απόσταξης, το περιεχόμενο της κωνικής φιάλης είναι διαφανές, και σε αυτό προστίθενται 5 σταγόνες μικτού δείκτη πράσινου bromocresol + κόκκινου methyl. Το απόσταγμα με την προσθήκη του δείκτη γίνεται πράσινο. Ακολουθεί ογκομέτρηση με 0.1103 N (=0,0551 M) H₂SO₄, στο τέλος της οποίας το διάλυμα γίνεται ροζ. Η ίδια διαδικασία γίνεται και στα άγνωστα δείγματα και στο «λευκό». Η τιμή του «λευκού» (κοινή για όλη τη φουρνιά πέψης κάθε φορά) αφαιρείται από την τιμή της ογκομέτρησης του άγνωστου δείγματος.

Υπολογισμοί αποτελεσμάτων

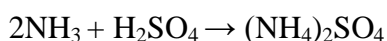
Κατά την πέψη, ανοργανοποιείται το οργανικό άζωτο (το οργανικό άζωτο έχει τη μορφή αμμωνιακού αζώτου) και παράγεται θειική αμμωνία, ως εξής



Κατόπιν στην απόσταξη η θειική αμμωνία αντιδράει με περίσσεια καυστικού νατρίου (alkali) για την παραγωγή αμμωνίας, η οποία διαλύεται στο διάλυμα που παραλαμβάνουμε στην κωνική στο τέλος της απόσταξης, ως εξής:



Τέλος η αμμωνία (που είναι βάση) εξουδετερώνεται με ογκομέτρηση με οξύ (0.1103 N H₂SO₄) για την παραγωγή άλατος (θειικής αμμωνίας), ως εξής:



Άρα ο τύπος υπολογισμού του ολικού αζώτου είναι ο εξής:

$$\text{N}\% = [1.401 * N_A * (V_A - V_B)] / S$$

όπου V_A = ο όγκος του οξέος που καταναλώθηκε κατά την ογκομέτρηση του άγνωστου δείγματος,

V_B = ο όγκος του οξέος που καταναλώθηκε κατά την ογκομέτρηση του «λευκού» δείγματος,

N_A = η κανονικότητα του διαλύματος ογκομέτρησης (εδώ ίσο με 0,1103)

S = το βάρος σε γραμμάρια του δείγματος που προστέθηκε στους σωλήνες πέψης.

2.4.3 ΜΕΤΡΗΣΗ ΦΩΣΦΟΡΟΥ

Η μέτρηση γίνεται όπως στο εκχύλισμα του εδάφους, με την ανάπτυξη κυανού χρώματος. Χρησιμοποιούμε το αραιωμένο κατά 100 φορές εκχύλισμα. Η μέτρηση του εκχυλίσματος γίνεται στο φασματοφωτογράφο.

Ο φώσφορος υπολογίζεται από τον τύπο:

$P \text{ (mg kg}^{-1} \text{ φυτού)} = (\text{mL ογκομετρικής φιάλης διήθησης} * \text{φορές αραιώσης εκχυλίσματος}) * (\text{mL ογκομετρικής φιάλης όπου αναπτύχθηκε χρώμα} / \text{mL εκχυλίσματος στη φιάλη όπου αναπτύχθηκε χρώμα}) * (A/B)$. Όπου $A = \text{mg L}^{-1} P$ στο εκχύλισμα (αυτό που μετράμε στο φασματοφωτόμετρο) και $B = \text{βάρος φυτού σε g για την αποτέφρωση}$.

2.4.4 ΜΕΤΡΗΣΗ ΛΟΙΠΩΝ ΜΑΚΡΟΣΤΟΙΧΕΙΩΝ (Ca, Mg, K)

Η μέτρηση Ca και Mg γίνεται στο 100 φορές αραιωμένο φυτικό εκχύλισμα στην ατομική απορρόφηση. Το K μετριέται στο 20 φορές αραιωμένο εκχύλισμα στο φλογοφωτόμετρο. Οι τύποι υπολογισμού των συγκεντρώσεων είναι οι εξής:

$M \text{ (mg kg}^{-1} \text{ φυτού)} = (A/B) * (\text{mL ογκομετρικής φιάλης παραλαβής εκχυλίσματος}) * (\text{φορές αραιώσης του εκχυλίσματος})$, όπου M είναι κατά περίπτωση το Ca, το Mg και το K, $A = \text{mg L}^{-1}$ μετάλλου στο εκχύλισμα (αυτό που μετράμε στην ατομική απορρόφηση) και $B = \text{βάρος φυτού σε g για την αποτέφρωση}$.

2.4.5 ΜΕΤΡΗΣΗ ΙΧΝΟΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Το «πυκνό» εκχύλισμα μετριέται σε ατομική απορρόφηση για την περιεκτικότητά του σε ιχνοστοιχεία. Ο τελικός τύπος που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των ιχνοστοιχείων είναι:

$M = (\text{mL ογκομετρικής φιάλης διήθησης}) * (A/B)$, όπου M είναι κατά περίπτωση το Ni, το Mn, ο Zn και ο Cu, $A = \text{mg L}^{-1}$ μετάλλου στο εκχύλισμα (αυτό που μετράμε στην ατομική απορρόφηση) και $B = \text{βάρος φυτού σε g για την αποτέφρωση}$.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

3.1 ΠΕΙΡΑΜΑ ΑΡΑΒΟΣΙΤΟΥ

Το έδαφος στον αγρό του αραβόσιτου ήταν βαρύ (αργιλοπηλώδες), αλκαλικό, με φυσιολογικά χαμηλά ποσοστά οργανικής ουσίας, και χωρίς κάποιον ιδιαίτερο επιβαρυντικό παράγοντα (Πίνακας 2.1). Πρέπει να τονιστεί ότι στον αγρό του αραβόσιτου, η καλλιέργεια των φυτών του μάρτυρα απέτυχε, λόγω ανεπαρκούς φυτρώματος. Αποτέλεσμα αυτού ήταν ότι ενώ παρουσιάζουμε δεδομένα εδαφολογικά, δεν διαθέτουμε στοιχεία φυτοκομικά. Στις μεταχειρίσεις IBK (I) και συμβατικού λιπάσματος (Λ) διερευνήθηκε η δυναμική του αζώτου, η οποία ήταν ενδεχόμενο να διαφέρει εξαιτίας του ρυθμού ανοργανοποίησης (παραγωγή $\text{NH}_4\text{-N}$ από την οργανική ουσία) και της μετέπειτα νιτροποίησης (παραγωγή με βιολογική οξείδωση $\text{NO}_3\text{-N}$ από $\text{NH}_4\text{-N}$). Στη μεταχείριση I θα περίμενε κανείς υψηλότερη ανοργανοποίηση λόγω της προσθήκης IBK, και άρα και υψηλότερες συγκεντρώσεις $\text{NH}_4\text{-N}$. Αντίστοιχα στο $\text{NO}_3\text{-N}$ θα αναμέναμε υψηλότερες συγκεντρώσεις, αντίστοιχα με το $\text{NH}_4\text{-N}$, αλλά με μια χρονική υστέρηση, λόγω του ότι η νιτροποίηση $\text{NH}_4\text{-N}$ λαμβάνει χώρα σε ένα διάστημα μερικών εβδομάδων από την «είσοδο» $\text{NH}_4\text{-N}$ στο έδαφος. Επειδή η δυναμική N αναμένονταν να δείξει διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων, καταγράψαμε το διαθέσιμο N ($\text{NH}_4\text{-}$ και $\text{NO}_3\text{-N}$). Παρατηρούμε ότι τα $\text{NO}_3\text{-N}$ στην πρώτη δειγματοληψία (Δ1) είχαν χαμηλές συγκεντρώσεις, αν και της ιλύος (μεταχείριση I) ήταν λίγο υψηλότερη (και μη σημαντική, Σχήμα 1α). Αυτό είναι αναμενόμενο επειδή η IBK προσέθεσε διαθέσιμο N με αυτή την μορφή. Στη συνέχεια, στη δεύτερη δειγματοληψία που έγινε τον Ιούνιο, με την αύξηση της θερμοκρασίας, παρατηρούμε και στις τρεις μεταχειρίσεις σημαντική αύξηση των συγκεντρώσεων. Πρόκειται για αποτέλεσμα νιτροποίησης που γίνεται από νιτροποιητικά βακτήρια, τα οποία ευνοούνται από την αύξηση της θερμοκρασίας. Η νιτροποίηση λαμβάνει χώρα όταν το εδαφικό pH είναι ουδέτερο προς αλκαλικό, υπάρχει επαρκής αερισμός εδάφους, υπάρχει αφθονία αμμωνιακών, και ικανοποιητική για την ανάπτυξη των βακτηρίων θερμοκρασία (Sahrawat, 2008). Φαίνεται ότι στην Δ2 οι δύο τελευταίοι παράγοντες αυξήθηκαν και προκλήθηκε νιτροποίηση. Η Δ2 είναι και μόνη χρονική στιγμή κατά την οποία η I και η Λ έχουν σημαντική διαφορά. Στην 3^η δειγματοληψία βλέπουμε να επέρχεται μια μείωση όλων των μεταχειρίσεων (σημαντική στην I, μη σημαντική στην Λ), λόγω της πρόσληψης από τα φυτά, ενώ στην Δ4 (μετά την συγκομιδή) τα επίπεδα των $\text{NO}_3\text{-N}$ και στις δύο μεταχειρίσεις είναι ίδια μεταξύ τους και σταθερά σε σχέση με την Δ3. Παρατηρούμε ότι δεν υπάρχουν στο τέλος του πειράματος διαφορές στην υπολειμματικότητα του N. Με

τα NH₄-N παρατηρούμε μια σταδιακή αύξηση, όπως ήταν αναμενόμενο με την αύξηση της θερμοκρασίας και την ανοργανοποίηση της οργανικής ουσίας με τη βοήθεια των μικροοργανισμών (Σχήμα 1β). Ωστόσο από την Δ1 ως την Δ3 δεν υπάρχουν σημαντικές αυξήσεις. Αύξηση σημαντική με το χρόνο παρατηρείται μόνο στην Δ4, όπου η Λ είναι μεγαλύτερη της Ι. Είναι γεγονός ότι με το χρόνο ακόμα και οι τιμές του μάρτυρα αυξάνονται. Για αυτό το λόγο πιθανολογούμε ότι η αύξηση της Λ οφείλεται σε μια γενική τάση ανοργανοποίησης στον αγρό, και όχι λόγω προσθήκης επιπλέον N από ανοργανοποίηση της προστιθέμενης οργανικής ουσίας στην Ι.

Ο Ρ και το Κ, σε αντίθεση με το Ν, δεν αναμένονταν να έχουν έντονες μεταβολές με το χρόνο, για αυτό μετρήθηκαν μόνο στην αρχή (Δ1) και στο τέλος (Δ4). Ο εκχυλίσματος Ρ μειώθηκε σημαντικά στην Δ4 από την Δ1, αν και μεταξύ μεταχειρίσεων σε κάθε δειγματοληψία δεν υπήρχαν διαφορές (Σχήμα 2α). Αυτή η ραγδαία μείωση είναι δύσκολο να εξηγηθεί, γιατί αφορά και το μάρτυρα. Αποκλείοντας την δέσμευση του Ρ από εδαφικά στερεά σε τόσο δραματικό βαθμό μέσα σε 6 μήνες, θα επιλέγαμε σε ένα δεύτερο στάδιο να επαναλάβουμε τις εργαστηριακές αναλύσεις. Όσο αφορά το Κ, αυτό ήταν σταθερά υψηλότερο στην Λ σε σχέση με την Ι, αν και παρατηρείται και εδώ μείωση με το χρόνο και στις δύο μεταχειρίσεις. Εδώ είναι πιθανό η μείωση να οφείλεται σε εξάλειψη του εδαφικού Κ λόγω πρόσληψης από την καλλιέργεια, γιατί ο μάρτυρας είναι σταθερός με το χρόνο. Το ίδιο συνέβη και με τα ανταλλάξιμα κατιόντα του εδάφους (Ca, Mg, K, Na, Πίνακας 3.1), όπου φαίνεται ότι και στην αρχή και στο τέλος του πειράματος οι συνολικές τιμές τους αθροιζόμενες σε μονάδες cmolc kg⁻¹ παραμένουν σχετικά σταθερές (περί του 17 έως 20).

Όσο αφορά τα εκχυλίσματα ιχνοστοιχεία του εδάφους, παρατηρούμε ότι στην Ι ο Ζn είναι σημαντικά υψηλότερος από ό,τι στην Λ (Σχήμα 3α), αλλά στα υπόλοιπα 3 στοιχεία (Σχήμα 3β για Cu, Σχήμα 3γ για Fe και Σχήμα 3δ για Mn) η Λ εκχυλίζει υψηλότερες συγκεντρώσεις σε σχέση με την Ι. Αυτό δείχνει καταρχήν ότι δεν υφίσταται ορατός κίνδυνος τοξικότητας ιχνοστοιχείων από την εφαρμογή της IBK, όταν αυτή ακολουθεί τις χαμηλές δόσεις εφαρμογής σύμφωνα με τις αυστηρές προδιαγραφές της ΕΕ. Για παράδειγμα οι Sivapatham et al. (2012) βρήκαν ότι σε δόση εφαρμογής IBK έως και 100 t ha⁻¹ (δεκαπλάσια από τη δική μας) η συγκέντρωση ιχνοστοιχείων δεν αυξήθηκε στη φυτομάζα σημαντικά. Δεύτερο, ο Fe, ο Cu και το Mn εξαρτώνται σημαντικά όσο αφορά την διαθεσιμότητά τους από την οργανική ουσία. Με τη

χορήγηση μεγάλου μοριακού βάρους μη-επαρκώς χουμοποιημένων οργανικών ενώσεων, τα κατιόντα αυτά οδηγούνται σε μείωση της διαθεσιμότητάς τους, γιατί δημιουργούνται χηλικές ενώσεις, οι οποίες λόγω μεγάλου μεγέθους είναι αδιάλυτες και μη απορροφήσιμες από τα φυτά. Πράγματι, οι Achiba et al. (2009) βρήκαν ότι οι μορφές των ιχνοστοιχείων που δεσμεύονται ως μη-διαθέσιμες μορφές σε οργανικά σύμπλοκα αυξάνονται με τη δόση της εφαρμογής τα IBK στο έδαφος. Εδώ λοιπόν παρατηρούμε ότι με την χορήγηση IBK έχουμε μείωση της εκχυλισιμότητας των ιχνοστοιχείων, γιατί αφενός δεν προστίθενται στο έδαφος μεγάλες συγκεντρώσεις με την IBK, αφετέρου γιατί και αυτά που υπάρχουν στο έδαφος δεσμεύονται από την προστιθέμενη οργανική ουσία.

Όσο αφορά την περιεκτικότητα θρεπτικών στα φύλλα του αραβόσιτου, το N δεν είχε διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων, και, όπως αναμένονταν, μειώθηκε δραματικά στην Δ4 σε σχέση με την Δ2 (Σχήμα 4α). Ο λόγος είναι ότι το N είναι ευκίνητο στοιχείο στο φυτό (phloem-mobile), το οποίο μετακινείται από τα φύλλα προς τον καρπό στα τελικά στάδια την ανάπτυξης της καλλιέργειας, πριν από την συγκομιδή, σύμφωνα και με τα ευρήματα του Jongschaap (2006). Ομοίως παρατηρούμε και με το K (Σχήμα 4γ). Ο P από την άλλη μεριά δεν μειώθηκε στην Δ4, και, σε αντίθεση με το N και το K, ήταν σημαντικά υψηλότερος στην I από ό,τι στην Λ (Σχήμα 4β), παρόλο ότι αυτή η διαφορά δεν την πρόβλεψαν οι εδαφικές εκχυλίσεις (ο P κατά Olsen ήταν ίδιος στις δύο μεταχειρίσεις). Αυτό οφείλεται το γεγονός ότι η IBK χορηγεί υψηλές ποσότητες P, και όταν ο στόχος λίπανσης είναι το N (όπως γίνεται συνήθως και έγινε κι εδώ), τότε η χορήγηση του P είναι υψηλότερη του κανονικού (Fuentes et al., 2006). Πρέπει να τονιστεί βέβαια ότι τα επίπεδα του P στην Λ ήταν μάλλον χαμηλά σε σχέση με τα αναμενόμενα φυσιολογικά όρια, άρα με την επιπλέον χορήγηση P με την IBK το πιο πιθανό είναι ότι αποκαταστάθηκαν τα φυσιολογικά επίπεδα του P. Αυτό αποτελεί και μια ένδειξη ότι μάλλον οι συγκεντρώσεις του Olsen-P της Δ2 ήταν υπερεκτιμημένες και της Δ4 οι κανονικές και όχι αντίστροφα. Άρα η υπερ-χορήγηση P με την IBK αποκατέστησε τα χαμηλά επίπεδα P στο φυτό, χωρίς ακόμα η εκχύλιση κατά Olsen στο έδαφος να καταγράψει την αύξηση αυτή. Όσο αφορά το Mg (Σχήμα 4δ) και το Ca (Σχήμα 4ε), οι τάσεις ήταν παρόμοιες: Στην Δ2 η I υπερείχε της Λ (πιθανώς λόγω της επιπλέον χορήγησης αυτών των στοιχείων από την IBK), αλλά στην Δ4 δεν υπήρχαν διαφορές στις δύο μεταχειρίσεις (λόγω μείωσης με το χρόνο του Mg, και λόγω διατήρησης με το χρόνο του Ca). Η σημαντική μείωση του Mg με το χρόνο αποδεικνύει

ότι πρόκειται για ευκίνητο στο φυτό στοιχείο (όπως βεβαιώνουν και οι Karely and White, 2009).

Όσο αφορά τα ιχνοστοιχεία στα φύλλα του φυτού, είναι χαρακτηριστικό ότι οι διαφορές που πρόβλεψαν οι εκχυλίσεις με DTPA δεν επαληθεύονται. Ο Zn παραμένει ίδιος με το χρόνο και στις μεταχειρίσεις (Σχήμα 5α), ενώ ο Cu, ο Fe και το Mn (Σχήματα 5β,γ,δ, αντίστοιχα) έχουν την τάση να είναι υψηλότερα στην I, αν και οι διαφορές δεν έχουν στατιστική σημαντικότητα. Αυτό δείχνει καταρχήν ότι δεν υπάρχει ορατός κίνδυνος τοξικότητας με τη χορήγηση της IBK, και δεύτερο ότι παρόλη τη μείωση των ιχνοστοιχείων στο έδαφος με την IBK (όπως φαίνεται στα Σχήμα 3 και συζητήθηκε παραπάνω) έστω πρόσκαιρα (κατά την τρέχουσα καλλιεργητική περίοδο) το φυτό βρίσκει μηχανισμούς πρόσληψής τους ώστε οι συγκεντρώσεις τους στο φυτό να είναι ικανοποιητικές.

Στα συγκομιζόμενα φυτά έγιναν αναλύσεις θρεπτικών σε στελέχη και καρπούς μόνο κατά την Δ4, λόγω του καταστροφικού χαρακτήρα μιας τέτοιας δειγματοληψίας ολόκληρων φυτών. Βρήκαμε ότι στα θρεπτικά δεν υπήρχαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο μεταχειρίσεων, παρά μόνο στον P, το Mg και το Ca στα στελέχη και μόνο στο Mn στους καρπούς (Πίνακας 3.2). Μάλιστα η Λ υπερέιχε δύο φορές (στον P και το Mn) και άλλες δύο η I (στο Mg και το Ca), κάτι που φανερώνει ότι μάλλον δεν υπάρχει μια ξεκάθαρη τάση μεταξύ των μεταχειρίσεων, αλλά κάποιες μεταβολές χωρίς επιπλέον σημασία.

Όσο αφορά τα φυτοκομικά χαρακτηριστικά των φυτών στις δύο μεταχειρίσεις, φαίνεται ξεκάθαρα η ίδια τάση που φάνηκε και παραπάνω με τα θρεπτικά: Διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων δεν υπάρχουν. Μετρήθηκαν το ύψος, το βάρος φύλλων, στελεχών και καρπών, η συνολική βιομάζα (άθροισμα των τριών παραπάνω) και το βάρος 1000 σπόρων, χωρίς να σημειωθεί καμιά σημαντική διαφορά σε καμία από τις παραπάνω παραμέτρους (Πίνακας 3.3). Αυτό δείχνει ότι η IBK, ακόμα και εφαρμοζόμενη σε μικρές δόσεις χορήγησης, μπορεί να αντικαταστήσει το ανόργανο λίπασμα χωρίς επιπτώσεις σε μείωση παραγωγής. Αξίζει δε να τονιστεί ότι η σοδειά σε καρπό (επίπεδο των 1450 kg ξηρής ουσίας ανά στρέμμα), αν και δεν αποτέλεσε την κορυφαία επίδοση, ήταν σημαντική.

Όσο αφορά την πρόσληψη θρεπτικών (σε kg στρ⁻¹) πάλι δεν σημειώθηκαν διαφορές μεταξύ των δύο μεταχειρίσεων (εκτός από το Ca στα στελέχη, λόγω της αντίστοιχης διαφοράς στη συγκέντρωση), και αυτό φαίνεται ιδίως στην συνολική πρόσληψη (άθροισμα φύλλων, στελεχών και καρπού, Πίνακας 3.4). Φαίνεται επίσης ότι συνολικές ανάγκες σε N ανήλθαν σε 33-35 kg στρ⁻¹, κάτι που μάλλον αποτελεί υπερεκτίμηση, ενώ σε P ήταν π. 4 kg στρ⁻¹ (ισοδύναμο με 9 kg P₂O₅ στρ⁻¹) και σε K π. 8 kg στρ⁻¹ (ισοδύναμο με 9.6 kg K₂O στρ⁻¹), τιμές όχι πολύ διαφορετικές από εκείνες που αναφέρουν τα εγχειρίδια γεωργίας (π.χ., Κουκουλάκης και Παπαδόπουλος, 2002). Ομοίως η πρόσληψη των ιχνοστοιχείων (σε g στρ⁻¹ για καλύτερη ευκρίνεια των αριθμών), παρά τις επιμέρους διαφορές, συνολικά δεν είχαν καμία διαφορά μεταξύ των δύο μεταχειρίσεων.

Τέλος για την πληρέστερη εικόνα της διαχείρισης του αγρού σε μια υψηλής απόδοσης καλλιέργεια, όπως εδώ του αραβόσιτου, διερευνήσαμε το σενάριο της ενσωμάτωσης των μη συγκομιζόμενων φυτικών μερών, δηλαδή φύλλων και στελεχών στο έδαφος (Πίνακας 3.6). Κάνοντας μια προσπάθεια να προσεγγίσουμε την εισροή N, P και K (ο υπολογισμός έγινε για λόγους ευκολίας μόνο για αυτά τα 3 στοιχεία), ανάγαμε το διαθέσιμο N (NH₄- και NO₃-N) σε επίπεδο αγρού, σε kg N στρ⁻¹. Κατόπιν αθροίσαμε το συνολικό N φύλλων και των στελεχών και εκτιμήσαμε ότι το 30% του N θα κατασταθεί διαθέσιμο κατά την πρώτη χρονιά (εκτίμηση σύμφωνα με τους Gil et al. (2011), οι οποίοι βρήκαν ότι εδάφη που δέχονται IBK ανοργανοποιούν το οργανικό N σε ποσοστά που κυμαίνονται από 10% έως 40%, ποσοστά που εξαρτώνται από τις εδαφικές ιδιότητες). Ίδια διερεύνηση έγινε και για το P και για το K, και καταλήξαμε στις συνολικές εισροές σε kg P₂O₅ και K₂O στρ⁻¹. Βρήκαμε ότι μεταξύ μεταχειρίσεων δεν υπάρχουν διαφορές στις εισροές αυτών των κύριων θρεπτικών. Κάνοντας την διαχείριση της ενσωμάτωσης μετά το πέρας της καλλιεργητικής περιόδου, εμπλουτίζουμε το έδαφος με 7-8 kg N στρ⁻¹, όπως επίσης και περίπου 1 kg P₂O₅ και K₂O στρ⁻¹. Αυτές οι εισροές, ιδιαίτερα σημαντικές για το N, αλλά όχι και ευκαταφρόνητες για P και K, εξοικονομούν πόρους για τη χρήση της επόμενης καλλιεργητικής περιόδου. Με αυτόν τον τρόπο και το έδαφος εμπλουτίζεται σε οργανική ουσία, και «ανοίγει» η δομή αυτού του βαρέως εδάφους, χωρίς να υπάρχει σημαντικός κίνδυνος έκπλυσης του πλεονάζοντος NO₃-N (κίνδυνος που είναι πολύ μικρός σε αργιλώδη εδάφη).

3.2 ΠΕΙΡΑΜΑ ΚΑΡΥΔΙΩΝ

Στον αγρό των καρυδιών το έδαφος ήταν μέσης σύστασης με τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά παρόμοια με εκείνα του εδάφους του αραβόσιτου (χαρακτηριστικά χαμηλή περιεκτικότητα σε οργανική ουσία και αλκαλικό pH, Πίνακας 2.1). Είναι χαρακτηριστικό ότι η συμπεριφορά του διαλυτού N ήταν παρόμοια με εκείνη στο έδαφος του αραβόσιτου, κάτι που δείχνει ότι πράγματι οι μεταβολές του $\text{NH}_4\text{-N}$ και $\text{NO}_3\text{-N}$ επηρεάστηκαν από τους μηχανισμούς ανοργανοποίησης και νιτροποίησης, όπως αυτοί περιγράφηκαν στο σχετικό κομμάτι περί αραβόσιτου (Σχήμα 6α για το $\text{NO}_3\text{-N}$ και Σχήμα 6β για το $\text{NH}_4\text{-N}$). Η διαφορά στο $\text{NO}_3\text{-N}$ είναι σε σχέση με τον αραβόσιτο είναι ότι στην Δ4 σημειώθηκε αύξηση των συγκεντρώσεων στην Ι. Στα $\text{NH}_4\text{-N}$ είναι χαρακτηριστικό ότι σε καμιά δειγματοληψία δεν υπήρχαν διαφορές μεταξύ των 3 μεταχειρίσεων (στις καρυδιές υπάρχει και μεταχείριση μάρτυρα), εκτός από την Δ1, όπου υπερέρχει η Ι.

Στην εκχύλιση του P η Ι ήταν χαρακτηριστικά υψηλότερη της Λ στην Δ1, αλλά μειώθηκε δραματικά στην Δ4. Επειδή ο Μ δεν μεταβλήθηκε, οι τιμές που καταγράφονται είναι ασφαλείς. Πιθανολογούμε ότι η IBK πρόσθεσε ποσότητες P που παρέλαβε η εκχύλιση κατά Olsen, οι οποίες στην πορεία του χρόνου δεσμεύτηκαν ισχυρά από το έδαφος. Αντίθετα η αύξηση με το χρόνο στην Λ μπορεί να οφείλεται στην βαθμιαία διαλυτοποίηση P από τα λιπάσματα. Όσο αφορά το K, η Ι είχε σημαντικά υψηλότερες τιμές από την Λ, κάτι που προφανώς οφείλεται στην χορήγηση K από την IBK. Πρέπει να τονιστεί πάντως ότι ακόμα και στα ελάχιστα που παρατηρήθηκαν σε P και K, οι τιμές αυτές ήταν υψηλότερες από τα όρια επάρκειας των θρεπτικών αυτών στο έδαφος. Όπως και στον αγρό του αραβόσιτου, τα ανταλλάξιμα κατιόντα δεν σημείωσαν σημαντικές διαφορές ούτε με το χρόνο, ούτε μεταξύ μεταχειρίσεων σε ίδιες δειγματοληψίες (Πίνακας 3.7).

Όσο αφορά τα εκχυλίσιμα ιχνοστοιχεία, παρατηρούμε ότι ο Zn είναι υψηλότερος στην Ι από την Λ, όπως και στον αραβόσιτο (Σχήμα 8α), αλλά τα υπόλοιπα στοιχεία, σε αντίθεση με τον αγρό του αραβόσιτου, είχαν είτε ίδιες συγκεντρώσεις μεταξύ Ι και Λ είτε υπερείχε η Ι (Σχήμα 8β, γ, δ για Cu, Fe και Mn, αντίστοιχα). Η IBK χορηγήθηκε στις καρυδιές νωρίτερα από ό,τι στον αγρό του αραβόσιτου, και για αυτό είναι πιθανό οι χουμικές ενώσεις (που δημιούργησαν αδιάλυτα σύμπλοκα και μείωσαν την

εκχυλισιμότητα των ιχνοστοιχείων στον αγρό του αραβόσιτου) να είχαν χρόνο να αποικοδομηθούν.

Όσο αφορά τις καρυδιές, κάναμε δειγματοληψίες φύλλων στις Δ2 και Δ4. Σε αντίθεση με τον αραβόσιτο, η περιεκτικότητα σε N δεν μεταβλήθηκε με το χρόνο, ούτε διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων σημειώθηκαν (Σχήμα 9α). Αυτό οφείλεται σε διαφορές των φυτικών ειδών. Στην καρυδιά η ανθοφορία, η καρπόδεση και η καρποφορία είναι συνεχής και βαθμιαία, σε αντίθεση με τον αραβόσιτο που τα στάδια ανάπτυξης είναι πιο ομοιογενή. Άρα στην καρυδιά δεν υπάρχει συγκεκριμένο χρονικό διάστημα που να απαιτείται η αποψίλωση του N από τα φύλλα και μετακίνησή του σε καρποφόρα τμήματα. Το ίδιο παρατηρήθηκε και με το K (Σχήμα 9γ) και το Mg (Σχήμα 9δ), ενώ στον P (Σχήμα 9β) και Ca (Σχήμα 9ε) σημειώθηκε αύξηση με τον χρόνο, χωρίς ανάμεσα στις μεταχειρίσεις να υπάρχουν διαφορές. Παρόμοιες τάσεις (αύξηση με το χρόνο, από την Δ2 στην Δ4) παρατηρήσαμε και στην περιεκτικότητα σε ιχνοστοιχεία στα φύλλα, και συγκεκριμένα σε Fe (Σχήμα 10α), σε Mn (Σχήμα 10β) και σε Cu (Σχήμα 10γ), ενώ ο Zn (Σχήμα 10δ) έμεινε στα ίδια επίπεδα μεταξύ Δ2 και Δ4. Η αύξηση με το χρόνο στα στοιχεία P, Ca, Fe, Mn και Cu πιθανολογούμε ότι οφείλεται στην απευθείας απορρόφηση επιπλέον ποσοτήτων θρεπτικών από τις ρίζες, παρά σε μετακίνηση εντός του φυτού προς όφελος των φύλλων. Όπως στα φύλλα, έτσι και στους καρπούς, διαφορές μεταξύ μεταχειρίσεων όσο αφορά την περιεκτικότητά τους σε θρεπτικά δεν υπήρχαν, με μόνη εξαίρεση τον Fe, όπου ο Μ είχε σημαντικά υψηλότερη συγκέντρωση από την Ι και την Λ (Πίνακας 3.8). Παρόμοια εικόνα σημειώνεται και στα φυτοκομικά χαρακτηριστικά των καρυδιών και συγκεκριμένα στο βάρος 100 καρπών, όπου βλέπουμε την απουσία σημαντικών διαφορών μεταξύ των μεταχειρίσεων (Πίνακας 3.9). Αυτό δείχνει ότι ο αγρός ήταν μάλλον λιπασμένος υπερ-επαρκώς σε τέτοιο βαθμό ώστε ο Μ να σημειώνει ικανοποιητικές αποδόσεις όσο και οι δύο μεταχειρίσεις όπου χορηγήθηκαν θρεπτικά.

3.3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Η προσθήκη αζώτου με την IBK αύξησε τη συγκέντρωση του $\text{NH}_4\text{-N}$ άμεσα, αλλά και έμμεσα, με την ανοργανοποίηση της οργανικής ουσίας της IBK. Ως αποτέλεσμα, και η έκλυση του $\text{NO}_3\text{-N}$, αποτέλεσμα της νιτροποίησης, ήταν υψηλότερη στην Ι σε σχέση με την Λ. Στο τέλος του πειράματος όμως τα επίπεδα του διαλυτού N ήταν ίδια. Όσο αφορά τα άλλα σημαντικά θρεπτικά, ο P και το K

δεν διέφεραν σημαντικά μεταξύ μεταχειρίσεων. Αυτή η εικόνα παρουσιάστηκε και στον αραβόσιτο, όπου τόσο η συγκέντρωση των θρεπτικών (mg θρεπτικών kg^{-1} φυτού) όσο και η πρόσληψη (kg θρεπτικού στρ^{-1}) δεν είχαν διαφορές μεταξύ Ι και Λ. Σε αντίθεση με τα αναμενόμενα, τα ιχνοστοιχεία στην Ι ήταν χαμηλότερα της Λ, μάλλον λόγω (προσωρινής, υποθέτουμε) δέσμευσής τους σε αδιάλυτες χηλικές ενώσεις με μεγάλου μοριακού βάρους οργανικά σύμπλοκα της οργανικής ουσίας που προστίθεται με την IBK. Ωστόσο, στον αραβόσιτο, δεν καταγράφονται διαφορές στα ιχνοστοιχεία.

- Αυτό δείχνει ότι σε βάθος χρόνου ενός έτους η επίδραση της προστιθέμενης ιλύος σε αγρό ετήσιας υψηλής στρεμματικής απόδοσης καλλιέργειας δεν επιφέρει αρνητικές επιδράσεις, και ότι μπορεί κάλλιστα να αντικαταστήσει πλήρως την συμβατική (και πολυδάπανη) ανόργανη λίπανση. Αυτό φαίνεται και από το γεγονός ότι στο σενάριο της ενσωμάτωσης των μη συγκομιζόμενων φυτικών υλικών (στελέχη και φύλλα) ο εμπλουτισμός του εδάφους σε N (π. $7-8 \text{ kg N στρ}^{-1}$), σε P (π. $1 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ στρ}^{-1}$) και σε K (π. $1 \text{ kg K}_2\text{O στρ}^{-1}$) ήταν παρόμοιος στις δύο μεταχειρίσεις.
- Το ίδιο συμπεραίνουμε μετά από πειραματισμό μίας καλλιεργητικής περιόδου σε αγρό με μόνιμη φυτεία (καρυδιές). Ούτε τα μακροστοιχεία ούτε τα ιχνοστοιχεία διέφεραν σημαντικά από μεταχείριση σε μεταχείριση.
- Οι αγροί όπου έγινε ο πειραματισμός σε αυτήν την εργασία, λόγω της μακροχρόνιας και συνεπούς λίπανσης κατά τα προηγούμενα χρόνια, είχαν συντηρήσει ένα ικανοποιητικό επίπεδο θρεπτικών, όπως φανερώνει η συμπεριφορά του μάρτυρα στις καρυδιές (όπου δεν βρήκαμε σημαντικές διαφορές σε σχέση με την Ι και την Λ). Αρα καταλήγουμε ότι για εξαγωγή ασφαλέστερων συμπερασμάτων απαιτείται πειραματισμός σε μεγαλύτερο βάθος χρόνου.

Βιβλιογραφία

Ξενόγλωσση

Achiba, W.B., Gabteni, N., Lakhdar, A., Laing, G.D., Verloo, M., Jedidi, N., and Gallali, T. 2009. Effects of 5-year application of municipal solid waste compost on the distribution and mobility of heavy metals in a Tunisian calcareous soil. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 130, 156-163.

Alpi, A., Pupillo, P., and Rigano, C. 2000. Le sostanze nutritive e loro distribuzione. *Fisiologia delle Piante*, 3^a Edizione. Societa Editrice Scientifica, Napoli, Italia, pp. 222-237.

Andreakakis, A., Mamais, D., Gavalaki, E., and Kampylafka S. 2002. Sludge utilization in agriculture: Possibilities and prospects in Greece. *Water Science and Technology*, 46, 231-238.

Antoniadis, V., Tsadilas, C.D., and Samaras, V. 2010. Trace element availability in a sewage sludge-amended cotton-grown Mediterranean soil. *Chemosphere* 80, 1308-1313.

Bonciarelli, F. 1991. *Mais. Coltivazione Erbacee da Pieno Campo*, Edizione Agricole della Calderini s.r.l., Bologna, Italia, pp. 93-127.

European Union, 2000. *Working Document of Sludge, 3rd Draft Proposal for Sewage Sludge Management*- ENV. E. 3/LM. Brussels, Belgium.

European Union, 2002. European Commission DG Environment- B 2. ‘*Disposal and Recycling of Sewage Sludge*’, Part 1- *Sludge use acceptance*, October 2001, Part 2 – *Regulatory report*, October 2001, Part 3- *Scientific and technical subcomponent report*, October 2001, Part 4- report January 2002.

Fuentes, B., Bolan, N., Naidu, R., and Mora, M.d.l.L. 2006. Phosphorus in organic waste-soil systems. *Journal of Soil and Plant Nutrition* 6, 64-83.

Giannini, R., and Mercurio, R. 1997. *Il noce Comune per la Produzione Legnosa*, Edizione Avenue Media, Bologna, Italia, 121-143

Gil, M.V., Garballo, M.T., and Calvo, L.F. 2011. Modelling N mineralization from bovine manure and sewage sludge. *Bioresource Technology* 102, 863-871.

Jongschaap, R.E.E. 2006. Run-time calibration of simulation models by integrating remote sensing estimates of leaf area index and canopy nitrogen. *European Journal of Agronomy* 24, 316-324.

Karely, A.J., and White, P.J. 2009. Moving cationic minerals to edible tissues: Potassium, magnesium, calcium. *Current Opinion in Plant Biology* 12, 291-298.

MAFF, 1993. *Code of Good Agriculture Practice for the Protection of Soil*, London, England.

Sahrawat, K.L. 2008. Factors affecting nitrification in soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 39, 1436-1446.

Sivapatham, P., Potts, M.C., Delice, A., Sajwan, K.S., Alva, A.K., Jayaraman, K., and Chakraborty, P. 2012. Evaluation of wastewater treatment by-products as soil amendments: Growth of sorghum-sudan grass and trace elements concentrations. *Journal of Environmental Science and Health, Part A: Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering* 47, 1678-1686.

Ελληνική βιβλιογραφία

Ανδρεάκης, Α. 2002 *Διαχείριση ιλύος: Ελληνική Πραγματικότητα και Προοπτικές*.

ΕΥΤ. 1997-2000. *Ερευνητικό Πρόγραμμα ΕΜΠ Υγειονομική Διαχείριση Ιλύος- για Αγροτική Χρήση-* (ΕΥ, 1997-2000).

Ευρωπαϊκή Οικονομική Κοινότητα, 1978. *Κοινοτική Οδηγία 86/278 σχετικά με την προστασία του περιβάλλοντος και ιδίως του εδάφους κατά τη χρησιμοποίηση της ιλύος καθαρισμού λυμάτων στη Γεωργία*. Βρυξέλες, Βέλγιο.

Ευρωπαϊκή Ένωση, 2004. *3^η Έκθεση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για την εφαρμογή της Οδηγίας 91/271-* Έκδοση 2004.

Θεριός, Ι. 2005. *Ανόργανη Θρέψη και Λιπάσματα*. Εκδόσεις Γαρταγάνης, Θεσσαλονίκη, σ. 392.

Καράταγλης, Σ. 1994. *Σημασία των Θρεπτικών Στοιχείων. Φυσιολογία Φυτών*. Εκδόσεις Art of Text, Θεσσαλονίκη, σ. 170.

Κουκουλάκης, Π.Χ., Σιμώνης, Α.Δ., και Παπαδόπουλος, Α.Η. 1999. *Ανάλυση εδάφους, φυτού – συμβουλευτική λίπανση*. Επιστημονική διημερίδα Θρέψη- λίπανση – Περιβάλλον, 18-19 Νοεμβρίου 1999, Λάρισα, Γεωπονικός Σύλλογος Λάρισας, σ. 49-58.

Κουκουλάκης, Π.Χ., και Παπαδόπουλος, Α.Η. 2002. *Η Ανάλυση του Εδάφους και η Ερμηνεία του*. Εκδόσεις Σταμούλη, Θεσσαλονίκη.

Κουλουμπής, Π. και Τσαντήλας, Χ., 2007. *Εγχειρίδιο Ορθής Γεωργικής Πρακτικής για την Ενδεδειγμένη Αξιοποίηση της Ιλύος των Αστικών Λυμάτων*. Εκδόσεις Υπουργείου Ανάπτυξης και Τροφίμων, Αθήνα.

Κοινή Υπουργική Απόφαση 80568/4225/91. *Μέθοδοι, Όροι και Περιορισμοί για τη Χρησιμοποίηση στη Γεωργία της Ιλύος που Προέρχεται από Επεξεργασία Οικιακών και Αστικών Λυμάτων* - ΦΕΚ 641Β/7-8-91.

Μήτσος, Ι.Κ. 2004. *Γονιμότητα Εδαφών*. Εκδόσεις Zymel, Αθήνα, σ. 574

Νάνος, Γ. 2012. *Σημειώσεις Δενδροκομίας*. pomology.agr.uth.gr (τελευταία επίσκεψη Ιανουάριος 2013).

Ποντίκης, Α. Κ. 1996. *Καρδιά. Ειδική δενδροκομία*. Εκδόσεις Σταμούλης, Αθήνα, σ. 103-128.

Σιδηράς, Ν. 1997. *Οργανική Λίπανση και Αμειψισπορές*. Έκδοση ΔΗΩ, Αθήνα.

Αναφορές από το διαδίκτυο

1. [http://www1.agric.gov.ab.ca/\\$department/softdown.nsf/main!OpenForm&type=AFFIRM&page=setup&txtJS=4213353590781981723](http://www1.agric.gov.ab.ca/$department/softdown.nsf/main!OpenForm&type=AFFIRM&page=setup&txtJS=4213353590781981723) (τελευταία επίσκεψη Μάιος 2012).

2. <http://www.ag.ndsu.edu/pubs/plantsci/soilfert/sf713w.htm> (τελευταία επίσκεψη Μάιος 2012).

3. <http://www.biosolids.com>, The U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Water Environment Federation (WEF) and Association of Metropolitan Sewerage Agencies all promote. (τελευταία επίσκεψη Ιανουάριος 2013).

Πίνακας 1.1.1 Σχετικές ποσότητες ορισμένων στοιχείων ξηρής ουσίας σε ιστό φύλλου (Alpi et al., 2000).

Στοιχείο	Ποσότητα(mg kg ⁻¹)
Άζωτο	20000
Κάλιο	15000
Ασβέστιο	15000
Μαγνήσιο	3000
Φώσφορος	2500
Θείο	2000
Σίδηρος	100
Βόριο	40
Μαγγάνιο	40
Ψευδάργυρος	40
Χαλκός	25
Μόλυβδος	1

Πίνακας 1.1.2 Λειτουργίες των ανόργανων θρεπτικών στοιχείων στα φυτά.

Στοιχεία	Κυριότερες μορφές με τις οποίες τα στοιχεία απορροφούνται	Συνήθεις συγκεντρώσεις στα υγιή φυτά	Ενδιαφέρουσες λειτουργίες
<i>Μακροστοιχεία</i>			
Άνθρακας	CO ₂	44%	Συστατικό των οργαν. ενώσεων
Οξυγόνο	H ₂ O ή O ₂	44%	Συστατικό των οργαν. ενώσεων
Υδρογόνο	H ₂ O	6%	Συστατικό των οργαν. ενώσεων
Άζωτο	NO ₃ ⁻ ή NH ₄ ⁺	1-4%	Αμινοξέα, πρωτεΐνες, νουκλεοτίδια, νουκλ. οξέα, χλωροφύλλη και συνένζυμα.
Κάλιο	K ⁺	0,5-6%	Ένζυμα, αμινοξέα και πρωτεϊνική σύνθεση. Ενεργοποιητής πολλών ενζύμων. Άνοιγμα και κλείσιμο των στομάτων.
Ασβέστιο	Ca ²⁺	1,2-3,5%	Ca στα κυτταρ. τοιχώματα. Διαπερατότητα του κυττάρου.
Φώσφορος	H ₂ PO ₄ ⁻ ή HPO ₄ ²⁻	0,1-0,8%	Σχηματισμός των «ψηλής ενέργειας» φωσφορικών συστατικών (ATP και ADP). Νουκλεϊκά οξέα. Φωσφορυλίωση σακχάρων. Πολλά βασικά ένζυμα. Φωσφολιπίδια.
Μαγνήσιο	Mg ²⁺	0,1-0,8%	Μέρος του μορίου της χλωροφύλλης. Ενεργοποιητής πολλών ενζύμων.
Θείο	SO ₄ ²⁻	0,05-1%	Μερικά αμινοξέα και πρωτεΐνες. Συνένζυμα Α.
<i>Ιχνοστοιχεία</i>			
Σίδηρος	Fe ²⁺ ή Fe ³⁺	25-3000 mg.kg ⁻¹	Σύνθεση χλωροφύλλης, κυτοχρώματα, νιτρογενάση.
Χλώριο	Cl ⁻	100-10000 mg.kg ⁻¹	Ώσμωση και ισορροπία ιόντων. Πιθανώς βασικό στις φωτοσυνθετικές αντιδράσεις για την παραγωγή οξυγόνου.
Χαλκός	Cu ²⁺	4-30 mg.kg ⁻¹	Ενεργοποιητής μερικών ενζύμων.
Μαγγάνιο	Mn ²⁺	15-30 mg.kg ⁻¹	Ενεργοποιητής μερικών ενζύμων.
Ψευδάργυρος	Zn ²⁺	15-100 mg.kg ⁻¹	Ενεργοποιητής μερικών ενζύμων.
Μολυβδένιο	MoO ₄ ²⁻	0,1-50 mg.kg ⁻¹	Δέσμευση N. Νιτρική αναγωγή.
Βόριο	BO ₃ ⁻ ή B ₄ O ₇ ²⁻	5-75 mg.kg ⁻¹	Επίδραση χρησιμοποίησης Ca ²⁺ .
<i>Βασικά στοιχεία σε μερικά φυτά ή οργανισμούς</i>			
Κοβάλτιο	Co ²⁺	ίχνη	Απαιτείται από τους αζωτοδεσμευτικούς μικροοργανισμούς.
Νάτριο	Na ⁺	ίχνη	Όσμωτική και ιοντική ισορροπία, πιθανώς μη απαραίτητο για πολλά φυτά. Πιθανώς χρειάζεται απ' όλα τα φυτά που χρησιμοποιούν την C ₄ φωτοσ

Πίνακας 1.2.1 Είδη οργανικών λιπασμάτων

A. Απορρίμματα στάβλων

1. Κοπριές
2. Ούρα
3. Μείγματα κοπριάς και ούρων
4. Κομπόστ
5. Ζωικά υπολείμματα

Γ. Αστικά υπολείμματα

1. Υγρά απόβλητα
2. Ιλύς βιολογικών καθαρισμών
3. Κομπόστ από σκουπίδια

E. Οργανικές ύλες

1. Τύρφες
2. Λιγνίτες

B. Υπολείμματα θεριζοαλωνισμών

1. Καλαμιές
2. Άχυρα φυτικών ειδών
3. Ριζικά υπολείμματα
4. Καρποί και άλλα είδη

Δ. Υποπροϊόντα βιομηχανιών

1. Ζαχαρουργείων
 2. Εκκοκκιστηρίων βάμβακος
 3. Ελαιουργείων
 4. Καπνοβιομηχανιών κ.λ.π.
-

Πίνακας 1.2.2 Μέση οργανική και ανόργανη σύσταση των βιολογικών λασπών (ιλύος), οι οποίες είναι κατάλληλες για γεωργική αξιοποίηση (σύμφωνα με έρευνες της LUFA του Augustenberg και του Κρατικού Σταθμού Γεωργικής Χημείας, Σιδηράς, 1997).

	Υγρές λάσπες 12%	Εν μέρει αποστραγγισμένη 13-30% ξ. ο.	Αποστραγγισμένες λάσπες 30%
Ξηρή ουσία%	5,6	20,30	45,00
Βάρος όγκος(t m ⁻³)	1,0	0,92	110,88
Αζωτο (N, kg.m ⁻³)	2,2	5,00	8,50
Φώσφορος (P ₂ O ₅ , kg.m ⁻³)	2,0	5,60	11,40
Κάλιο (K ₂ O, kg.m ⁻³)	0,3	0,70	1,20
Ασβέστιο(CaO, kg.m ⁻³)	4,2	17,60	71,00
Μαγνήσιο (MgO, kg.m ⁻³)	0,6	1,90	4,20
<i>Βαριά μέταλλα</i>			
Μόλυβδος (Pb, mg.kg ⁻¹)	176,0	188,00	198,00
Κάδμιο (Cd mg.kg ⁻¹)	4,1	4,20	4,00
Χρώμιο (Cr mg.kg ⁻¹)	73,8	89,20	103,00
Χαλκός (Cu mg.kg ⁻¹)	343,0	333,00	353,00
Νικέλιο (Ni mg.kg ⁻¹)	33,6	35,70	36,40
Υδράργυρος (Hg mg.kg ⁻¹)	2,7	2,80	2,80
Ψευδάργυρος (Zn mg.kg ⁻¹)	1448,0	1419,00	1249,00

Πίνακας 1.2.3 Ποσότητες και περιεκτικότητες σε άζωτο που περιέχονται σε 500 kg βιολογικής λάσπης ανά στρέμμα.

Τύποι βιολογικής λάσπης	Αριθμός μελετηθέντων βιολογικών λασπών	Ποσοστό επί τοις % της ξηράς ουσίας		Προσθήκη στο έδαφος σε kg στρ ⁻¹	
		ολικό-N	NH ₄ -N	ολικό-N	NH ₄ -N
Υγρή Λάσπη	840	4,73	0,84	23,6	4,2
Μερικώς αποστραγγισμένη	170	2,79	0,28	14	1,4
Αποστραγγισμένη	169	1,78	0,17	8,9	0,9

Πίνακας. 1.2.4 Ποσότητες σε βαριά μέταλλα που μπορούν να προστίθενται ετησίως στα καλλιεργούμενα εδάφη με βάση το μέσο όρο 10 ετών (ν. 641/7-8-1991, άρθρο 12)

Είδος μετάλλου	Οριακές τιμές mg στρ ⁻¹ έτος ⁻¹
Κάδμιο	0,015
Χαλκός	1,2
Νικέλιο	0,3
Μόλυβδος	1,5
Ψευδάργυρος	3
Υδράργυρος	0,01
Χρώμιο	

Πίνακας 1.2.5 Γενικά χαρακτηριστικά της ιλύος (ξηράς ουσίας), προερχόμενη από το βιολογικό καθαρισμό Κατερίνης(Σιδηράς, 1997).

pH						P	
εκχ. κορ.	O.O. %	CaCO ₃ %	E.C. mS.m ⁻¹	N %	mL.kg ⁻¹	I.A.K. cmolc.kg ⁻¹	
7,5	14,4	6,14	0,68	2,66	266	27,86	
Υδατοδιαλυτά άλατα ιλύος meq/l							
Κατιόντα				Ανιόντα			
K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	
8,13	10,72	10,75	5,06	12,25	6,5	15,9	

Πίνακας 1.2.6 Εκτίμηση για την διανομή ΙΒΚ κατά το έτος 2005.

ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗ ΤΑΦΗ 20%	ΕΔΑΦΙΚΗ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ 55%	ΚΑΥΣΗ 25%
----------------------------	------------------------------	--------------

Πίνακας 1.2.7. Μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις μετάλλων στην ιλύ για γεωργική επαναχρησιμοποίηση (Οδηγία 86/278/Ε.Ε. και Κ.Υ.Α. 80568/4225/91).
* Μόνο στην Κ.Υ.Α. 80568/4225/91.

Μέταλλο	mg.kg ⁻¹ ξηράς ουσίας
Cd	20-40
Cr	510*
Cu	1000-1750
Hg	16-25
Ni	300-400
Pb	750-1200
Zn	2500-4000

Πίνακας 1.2.8. Μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις μετάλλων στο έδαφος(για δεδομένο διάστημα τιμών pH) στο οποίο θα γίνει εφαρμογή ιλύος (Οδηγία 86/278/Ε.Ε. και Κ.Υ.Α. 80568/4225/91)

Μέταλλο	mg.kg ⁻¹ ξηράς ουσίας (6< pH<7)
Cd	1-3
Cu	50-140
Hg	1-1,5
Ni	30-75
Pb	50-300
Zn	150-300

Πίνακας 1.2.9. Προτεινόμενες από τη ΕΕ μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις στην
 ιλύ για εδαφική εφαρμογή.

Μέταλλο	2005	2015	2025
		mg.kg ⁻¹ ξηράς ουσίας	
Cd	10	5	2
Cr	30	800	600
Cu	1000	800	600
Hg	10	5	2
Ni	300	200	100
Pb	750	500	200
Zn	2500	2000	1500

Πίνακας 1.2.10. Προτεινόμενες από τη ΕΕ μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις μετάλλων στο έδαφος (για δεδομένα διαστήματα τιμών pH) στο οποίο θα γίνει εφαρμογή της ύλης.

Μέταλλο	$5 \leq \text{pH} \leq 6$	$6 \leq \text{pH} \leq 7$	$\text{pH} \geq 7$
	mg kg^{-1} ξηράς ουσίας		
Cd	0,5	1	1,5
Cr (ολικό)	30	60	100
Cu	20	50	100
Hg	0,1	0,5	1
Ni	15	50	70
Pb	70	70	100
Zn	60	150	200

Πίνακας 1.2.11 Προτεινόμενες από την ΕΕ μέγιστες επιτρεπόμενες ετήσιες φορτίσεις

Μέταλλο	2015	2025
	mg kg ⁻¹ ξηράς ουσίας	
Cd	0,015	0,006
Cr	2,4	1,8
Cu	2,4	1,8
Hg	0,015	0,006
Ni	0,6	0,3
Pb	1,5	0,6
Zn	6	4,5

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.2.12 Βασικά χαρακτηριστικά των εναλλακτικών μεθόδων υγειονοποίησης

Μέθοδος	Μείωση όγκου	Μείωση οργανικού φορτίου	Μείωση παθογόνων	Παρατηρήσεις
Ξήρανση	++++ ^a		Y ^b	Δραστική μείωση του όγκου(περίπου 70%) και αποτελεσματική υγειονοποίηση. Υψηλή δαπάνη κατασκευής και υψηλές ενεργειακές δαπάνες. Καλή αποδοχή και ευελιξία διάθεσης προϊόντος. Ενδεχόμενο πρόβλημα σκόνης και ανάφλεξης. Πιθανές οσμές, Εξειδικευμένο προσωπικό.
Αερόβια θερμοφιλική χώνευση	+ ^c	+	Y	Υψηλές ενεργειακές δαπάνες. Μείωση οργανικών. Ευαίσθητη λειτουργία. Αποτελεσματική υγειονοποίηση. Κολλώδες προϊόν, δύσκολο στο χειρισμό και με αναγνωρίσιμη προέλευση.
Αναερόβια θερμοφιλική χώνευση	+	+	Y	Θερμικές απαιτήσεις μεγαλύτερες από την παραγωγή βιοαερίου. Μείωση οργανικών. Ευαίσθητη λειτουργία. Αποτελεσματική υγειονοποίηση. Κολλώδες προϊόν, δύσκολο στο χειρισμό και με αναγνωρίσιμη προέλευση.
Παστερίωση			Y	Υψηλές ενεργειακές απαιτήσεις. Απαιτείται πρόσθετη αναερόβια χώνευση. Αποτελεσματική υγειονοποίηση.
Επεξεργασία με άνυδρο ασβέστη (CaO)			Y	Αποτελεσματική υγειονοποίηση. Χαμηλό κόστος κατασκευής. Αρκετά υψηλό κόστος λειτουργίας λόγω προσθήκης χημικών. Απλή λειτουργία. Καλή αποδοχή προϊόντος. Κρίσιμη η διαδικασία ανάμιξη ιλύος με ασβέστη. Πιθανές οσμές.
Επεξεργασία με υδρασβέστιο (Ca(OH) ₂)				Αποτελεσματική υγειονοποίηση, σε συνδυασμό με αποθήκευση της ιλύος για τουλάχιστον 3 μήνες. Χαμηλό κόστος κατασκευής. Αρκετά υψηλό κόστος λειτουργίας λόγω προσθήκης χημικών. Καλή αποδοχή. Πιθανές οσμές.
Λιπασματοποίηση		+	Y	Συνήθως σε συνδυασμό με συμπαγές οργανικό υλικό (π.χ. απορρίμματα). Σε αντίθετη περίπτωση απαιτούνται κατάλληλα διογκωτικά υλικά. Αρκετά υψηλό κόστος παραγωγής και λειτουργίας, ιδίως στην περίπτωση προσθήκης διογκωτικού υλικού. Απαιτήση έκτασης στα ανοιχτά συστήματα.

a: Μεγαλύτερη επίδραση, b: Υγειονοποίηση, c: Μικρότερη επίδραση

Πίνακας 1.3.1. Ετήσιες Εξαγόμενες και ακινητοποιημένες ποσότητες θρεπτικών στοιχείων από ένα δένδρο καρυδιάς ποικιλίας Franquette ηλικίας 14 ετών(πυκνότητα φύτευσης 178 φυτά/ha). Δεδομένα τα οποία αναφέρονται στο εναέριο κομμάτι, των φρούτων και των ανακυκλώσιμων αποσύρσεων (φύλλων) (Giannini and Mercurio, 1997).

Αποσύρσεις και ακινητοποιήσεις	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Zn	B
	g	g	g	g	g	mg	mg	mg
Ευλεία κλαδέματος	26,6	2,9	16	72,7	4,4	102	97	53
Ετήσια κλαδιά	15,2	2,9	12,6	30	2,8	49	25	22
Αύξηση των πολυετών οργάνων	85,5	9,3	52,1	222,6	14,9	313	208	141
Τελικό	127,3	15,1	80,7	325,3	22,1	464	330	216

Πίνακας 1.3.2. Συγκέντρωση των θρεπτικών στοιχείων στα φύλλα καρδιάς. Δεδομένα αναφερόμενα στην ξ. ουσία των φύλλων που πάρθηκαν στα μέσα Ιουλίου (Giannini and Mercurio, 1997).

ΣΤΟΧΕΙΟ	Συγκέντρωση		
	Φτωγή	άριστη	υψηλή
N (%)	< 2	2,1-3	>3,1
P (%)	< 0,1	0,1-0,3	>0,3
K (%)	< 1	1,2-1,6	>1,7
Ca (%)	< 0,9	1-1,4	
Mg (%)	< 0,2	0,3-0,6	>0,7
Mn (mg.kg ⁻¹)		>20	
Zn (mg.kg ⁻¹)	< 18		
B (mg.kg ⁻¹)	< 20	35-200	>300

Πίνακας 1.3.3.Ετήσιες εξαγόμενες και ακινητοποιημένες ποσότητες θρεπτικών στοιχείων από ένα εκτάριο καρυδεώνα για φρούτα σε πλήρη παραγωγή. Τα δεδομένα αναφέρονται μόνο στο αέριο τμήμα (Giannini and Mercurio, 1997).

	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Zn	B
Αποσύρσεις	kg	Kg	kg	kg	kg	g	g	g
Συνολικές	218,5	19,8	172	224,9	21,8	555,2	519,2	256
Εκτός από τις ανακυκλώσιμες αποσύρσεις (φύλλα και κέλυφος)	74,9	9,2	29,3	64,9	6,3	127,3	200,6	87,3

Πίνακας 2.1. Χαρακτηριστικές φυσικές και χημικές ιδιότητες εδαφών και ιλύος βιολογικού καθαρισμού του πειράματος.

	Έδαφος Αραβόσιτου	Έδαφος Καρυδιών	IBK
Άργιλος (%)	39	27	-
Ιλύς (%)	2	29	-
Άμμος (%)	60	44	-
Υφή	Αμμοαργιλώδες	Πηλώδες	-
pH ^α	7,98	8,27	6,76
pH ^β	7,40	8,05	-
EC ^β (μS cm ⁻¹)	554,6	986,7	-
CaCO ₃ (%)	0,26	1,11	-
OM ^α (%)	0,98	1,55	36,65
OM ^β (%)	2,00	3,60	-
Ολικός Pb ^α (mg kg ⁻¹)	-	7,29	115,23
Ολικός Pb ^β (mg kg ⁻¹)	-	9,28	-
Ολικός Cu ^α (mg kg ⁻¹)	49,81	65,23	157,63
Ολικός Cu ^β (mg kg ⁻¹)	13,57	49,18	-
Ολικό Cd ^α (mg kg ⁻¹)	-	-	-
Ολικό Cd ^β (mg kg ⁻¹)	-	-	-
Ολικό Cr ^α (mg kg ⁻¹)	83,38	58,48	42,86
Ολικό Cr ^β (mg kg ⁻¹)	109,67	72,49	-
Ολικό Ni ^α (mg kg ⁻¹)	116,95	124,97	274,73
Ολικό Ni ^β (mg kg ⁻¹)	163,52	112,73	-
Ολικός Zn ^α (mg kg ⁻¹)	55,92	90,59	112,48
Ολικός Zn ^β (mg kg ⁻¹)	62,97	134,02	-
Ολικός Fe ^α (mg kg ⁻¹)	10079,38	7164,62	9443,714
Ολικός Fe ^β (mg kg ⁻¹)	8612,37	11243,6	-
Ολικό Mn ^α (mg kg ⁻¹)	856,91	675,87	177,98
Ολικό Mn ^β (mg kg ⁻¹)	800,53	714,53	-
Ολικό N (%)	-	-	0,935
NH ₄ -N (mg kg ⁻¹)	-	-	728

α: Πριν από την εφαρμογή ιλύος

β: Μετά από την εφαρμογή ιλύος

Πίνακας 2.2.1 Πρόγραμμα δειγματοληψιών.

Ημερομηνία		
22/3/2012 (Δ1)	1 ^ο δείγμα εδάφους	
4/6/2012 (Δ2)	2 ^ο δείγμα εδάφους	1 ^ο δείγμα φυτικού ιστού
10/7/2012 (Δ3)	3 ^ο δείγμα εδάφους	
23/9/2012 (Δ4)	4 ^ο δείγμα εδάφους	2 ^ο δείγμα φυτικού ιστού

Πίνακας 3.1 Ανταλλάξιμα κατιόντα (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ και Na^+) στην αρχή (22-3-2012) και στο τέλος (23-9-2012) του πειράματος αραβοσίτου στις μεταχειρίσεις της συμβατικής λίπανσης (Λ), της ιλύος βιολογικού καθαρισμού (Ι) και στην περιοχή του μάρτυρα χωρίς προσθήκες.

<u>Μάρτυρας</u>	<u>Αρχή (22-3-2012)</u>		<u>Τέλος (23-9-2012)</u>	
	<u>mg kg⁻¹</u>	<u>cmol_c kg⁻¹</u>	<u>mg kg⁻¹</u>	<u>cmol_c kg⁻¹</u>
Ca	2490,05	12,45		
Mg	815,55	6,80		
K	207,23	0,53		
Na	56,49	0,25		
Σ		20,02		
<u>Λίπανση</u>				
Ca	2520,02	12,60	2308,00	11,54
Mg	706,18	5,88	921,24	7,68
K	226,14	0,58	177,94	0,46
Na	59,35	0,26	42,46	0,18
Σ		19,32		19,86
<u>Ιλύς</u>				
Ca	2208,31	11,04	2506,00	12,53
Mg	668,08	5,57	746,18	6,22
K	151,78	0,39	75,02	0,19
Na	54,35	0,24	70,03	0,30
Σ		17,23		19,25

Πίνακας 3.2 Συγκέντρωση θρεπτικών στα στελέχη και στους καρπούς του αραβοσίτου στο τέλος (23-9-2012) του πειράματος στις μεταχειρίσεις της συμβατικής λίπανσης (Λ) και της ιλύος βιολογικού καθαρισμού (Ι).

	Στελέχη			Καρποί		
	Λ	Ι		Λ	Ι	
N (g 100 g ⁻¹)	0,930	1,284	NS	1,694	1,617	NS
P (mg kg ⁻¹)	2178	1451	a	1718	1785	NS
K (mg kg ⁻¹)	4649	4512	NS	3282	3351	NS
Mg (mg kg ⁻¹)	3164	4354	α	1677	1734	NS
Ca (mg kg ⁻¹)	4909	8307	α	1699	1558	NS
Fe (mg kg ⁻¹)	40,97	42,43	NS	52,67	61,45	NS
Mn (mg kg ⁻¹)	1,57	1,78	NS	7,27	2,04	*
Cu (mg kg ⁻¹)	6,77	6,77	NS	5,08	6,77	NS
Zn (mg kg ⁻¹)	18,64	15,98	NS	37,29	35,56	NS

NS = Μη στατιστικά σημαντική διαφορά.

* Στατιστικά σημαντική διαφορά στο επίπεδο του $p < 0.05$.

Πίνακας 3.3 Φυτοκομικά χαρακτηριστικά του αραβοσίτου στο τέλος (23-9-2012) του πειράματος στις μεταχειρίσεις της συμβατικής λίπανσης (Λ) και της ιλύος βιολογικού καθαρισμού (Ι). Καμία από τις διαφορές μεταξύ Λ και Ι δεν είναι στατιστικά σημαντική.

	Λ	Ι
Ύψος (m)	2,747	2,608
Φύλλα (kg στρ ⁻¹)	446	467
Στελέχη (kg στρ ⁻¹)	503	489
Ρόκες (kg στρ ⁻¹)	207	218
Καρποί (kg στρ ⁻¹)	1440	1454
Συνολική βιομάζα (kg στρ ⁻¹)	2596	2629
1000 σπόροι (g)	340,83	356,87

Πίνακας 3.4 Πρόσληψη μακροθρεπτικών (kg στρ⁻¹) στις μεταχειρίσεις της συμβατικής λίπανσης (Λ) και της ιλύος βιολογικού καθαρισμού (Ι). Καμία από τις διαφορές μεταξύ Λ και Ι, εκτός από την μία που σημειώνεται με αστερίσκο, δεν είναι στατιστικά σημαντική.

		<u>Φύλλα</u>	<u>Στελέχη</u>	<u>Καρπός</u>	<u>Σύνολο</u>
N	Λ	4,05	4,57	24,37	32,99
	Ι	4,96	6,32	23,48	34,77
P	Λ	0,25	1,11	2,53	3,90
	Ι	0,68	0,71	2,58	3,97
K	Λ	1,06	2,30	4,73	8,09
	Ι	1,00	2,22	4,87	8,09
Mg	Λ	1,85	1,59	2,38	5,82
	Ι	1,52	2,13	2,54	6,18
Ca	Λ	5,27	2,42	2,47	10,16
	Ι	5,25	4,05*	2,22	11,52

* Στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ Ca στις μεταχειρίσεις Λ και Ι στο επίπεδο του $p<0.05$.

Πίνακας 3.5 Πρόσληψη ιχνοστοιχείων (g στρ⁻¹) στις μεταχειρίσεις της συμβατικής λίπανσης (Λ) και της ιλύος βιολογικού καθαρισμού (I). Καμία από τις διαφορές μεταξύ Λ και I, εκτός από τις τρεις που σημειώνονται με αστερίσκο, δεν είναι στατιστικά σημαντική.

		Φύλλα	Στελέχη	Καρπός	Σύνολο
Fe	Λ	39,58	20,31	76,51	136,41
	I	56,51	20,78	88,73	166,02
Mn	Λ	24,77	0,57	7,43	32,76
	I	36,19	0,87	2,92*	39,98
Cu	Λ	2,32	3,34	7,32	12,98
	I	6,33	3,32	9,93	19,58
Zn	Λ	9,89	9,37	53,88	73,14
	I	15,64 ^a	5,10 ^a	51,54	72,28

*Στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των μεταχειρίσεων Λ και I στο ίδιο μέταλλο στο επίπεδο του $p < 0.05$.

Πίνακας 3.6 Συνολική επιστροφή N, P και K στο έδαφος στην περίπτωση που η βιομάζα του αραβόσιτου μετά τη συγκομιδή τού καρπού ενσωματωθεί στο έδαφος.

			<u>Δ</u>	<u>Ι</u>
N	Σ(AN) ^α	mg kg ⁻¹	70,03	48,30
	Σ(AN) ^β	kg στρ ⁻¹	5,25	3,62
	Φύλλα	kg στρ ⁻¹	4,05	4,96
	Φύλλα (x 30%) ^γ	kg στρ ⁻¹	1,22	1,49
	Στελέχη	kg στρ ⁻¹	4,57	6,32
	Στελέχη (x 30%) ^γ	kg στρ ⁻¹	1,37	1,90
	Σ = ^δ	kg στρ ⁻¹	7,84	7,01
P	Φύλλα	kg στρ ⁻¹	0,25	0,68
	Φύλλα (x 30%) ^γ	kg στρ ⁻¹	0,08	0,20
	Στελέχη	kg στρ ⁻¹	1,11	0,71
	Στελέχη (x 30%) ^γ	kg στρ ⁻¹	0,33	0,21
	Σ (ως P) = ^ε	kg στρ ⁻¹	0,41	0,42
	Σ (ως P ₂ O ₅) =	kg στρ ⁻¹	0,94	0,96
K	Φύλλα	kg στρ ⁻¹	1,06	1,00
	Φύλλα (x 30%) ^γ	kg στρ ⁻¹	0,32	0,30
	Στελέχη	kg στρ ⁻¹	2,30	2,22
	Στελέχη (x 30%) ^γ	kg στρ ⁻¹	0,69	0,67
	Σ (ως K) = ^ε	kg στρ ⁻¹	1,01	0,97
	Σ (ως K ₂ O) =	kg στρ ⁻¹	1,21	1,16

α = Σύνολο ανόργανου αζώτου του εδάφους στο τέλος της καλλιεργητικής περιόδου (23-9-2012). Αποτελεί το άθροισμα του NO₃-N και του NH₄-N κατά την τέταρτη δειγματοληψία σε μικροσκοπικό επίπεδο (mg kg⁻¹).

β = Σύνολο ανόργανου αζώτου του εδάφους εκφρασμένο σε επίπεδο αγρού (kg στρ⁻¹). Για την μετατροπή θεωρούμε ενεργό βάθος 10 cm και φαινόμενο ειδικό βάρος εδάφους 1,33 g cm⁻³.

γ = Ποσοστό ανοργανοποίησης της προστιθέμενης βιομάζας (στελέχη και φύλλα) σε διάρκεια ενός έτους. Αποτελεί το 30% της συνολικής περιεκτικότητας της βιομάζας (στελέχη και φύλλα) σε N, P και K.

δ = Άθροισμα N που παραμένει στο έδαφος μετά το τέλος της καλλιεργητικής περιόδου, ως άθροισμα του διαθέσιμου ανόργανου αζώτου του εδάφους και του 30% του N που εμπεριέχεται στην ενσωματωθείσα βιομάζα.

ε = Άθροισμα θρεπτικών που παραμένουν στο έδαφος μετά το τέλος της καλλιεργητικής περιόδου, ως άθροισμα του 30% του P και του K που εμπεριέχονται στην ενσωματωθείσα βιομάζα.

Πίνακας 3.7 Ανταλλάξιμα κατιόντα (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ και Na^+) στην αρχή (22-3-2012) και στο τέλος (23-9-2012) του πειράματος καρυδιών στις μεταχειρίσεις της συμβατικής λίπανσης, της ύλος βιολογικού καθαρισμού και στην περιοχή του μάρτυρα χωρίς προσθήκες.

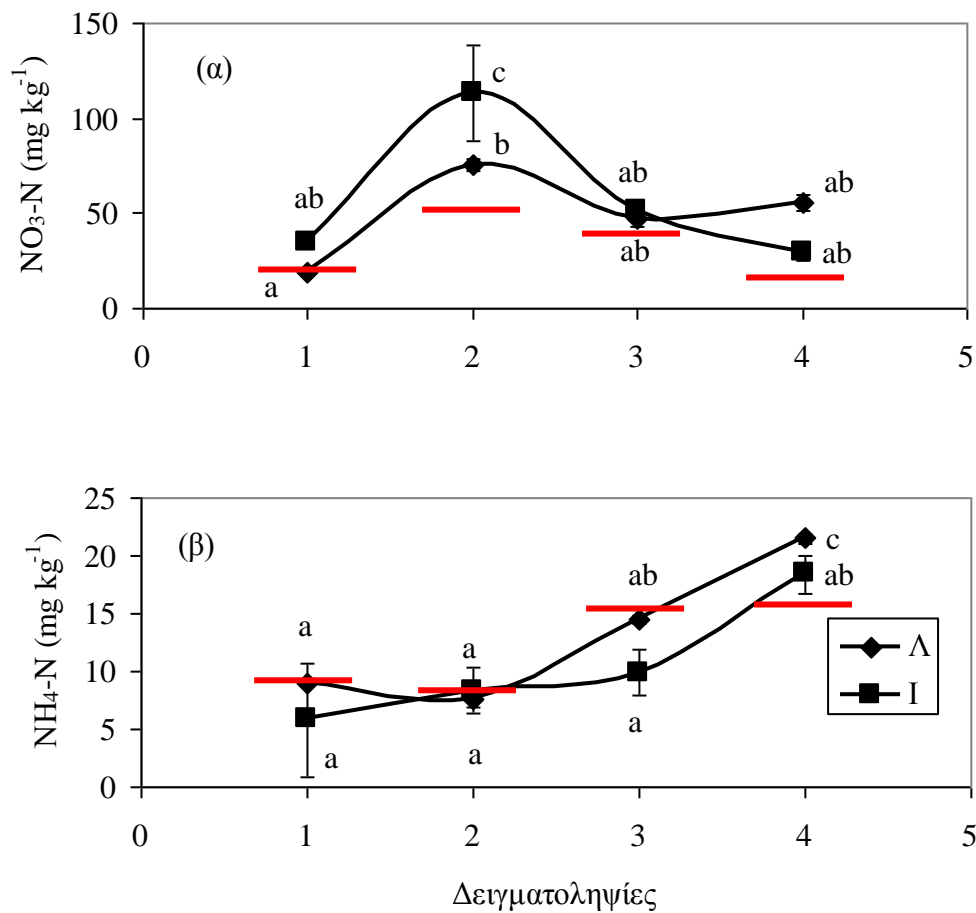
<u>Μάρτυρας</u>	Αρχή (22-3-2012)		Τέλος (23-9-2012)	
	mg kg ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹
Ca	5756,68	28,78		
Mg	982,96	8,19		
K	524,49	1,34		
Na	53,79	0,23		
Σ=		38,55		
<u>Λίπανση</u>				
Ca	4916,64	24,58	4968,46	24,84
Mg	1496,04	12,47	1123,55	9,36
K	398,46	1,02	475,25	1,22
Na	49,11	0,21	105,01	0,46
Σ=		38,29		35,88
<u>Ύλος</u>				
Ca	6506,70	32,53	6420,06	32,10
Mg	765,44	6,38	992,54	8,27
K	606,03	1,55	705,18	1,81
Na	51,80	0,23	46,84	0,20
Σ=		40,69		42,38

Πίνακας 3.8 Συγκέντρωση θρεπτικών στους καρπούς των καρυδιών στο τέλος (23-9-2012) του πειράματος στις μεταχειρίσεις του μάρτυρα (Μ), της συμβατικής λίπανσης (Λ) και της υλός βιολογικού καθαρισμού (Ι).

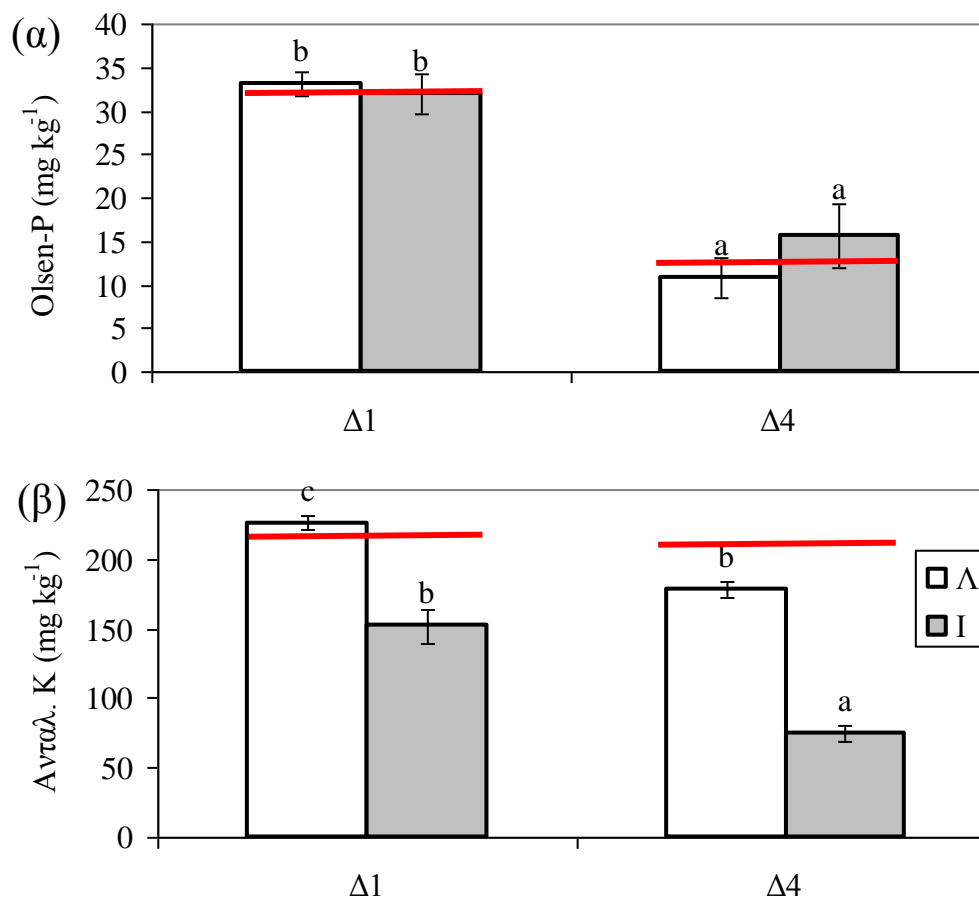
	Μ	Λ	Ι	
N (g 100 g ⁻¹)	2,89	2,98	2,82	NS
P (mg kg ⁻¹)	2850	2557	2950	NS
K (mg kg ⁻¹)	3282	2941	2599	NS
Mg (mg kg ⁻¹)	1835	2006	1766	NS
Ca (mg kg ⁻¹)	4177	4059	3823	NS
Fe (mg kg ⁻¹)	120,71	62,92	71,70	*
Mn (mg kg ⁻¹)	16,94	17,04	19,59	NS
Cu (mg kg ⁻¹)	18,63	16,09	19,47	NS
Zn (mg kg ⁻¹)	39,17	40,89	38,07	NS

Πίνακας 3.9 Βάρος 100 καρπών (σε g) των καρυδιών στο τέλος (23-9-2012) του πειράματος στις μεταχειρίσεις του μάρτυρα (Μ), της συμβατικής λίπανσης (Λ) και της ύλης βιολογικού καθαρισμού (Ι). Καμία από τις διαφορές μεταξύ Μ, Λ και Ι δεν είναι στατιστικά σημαντική.

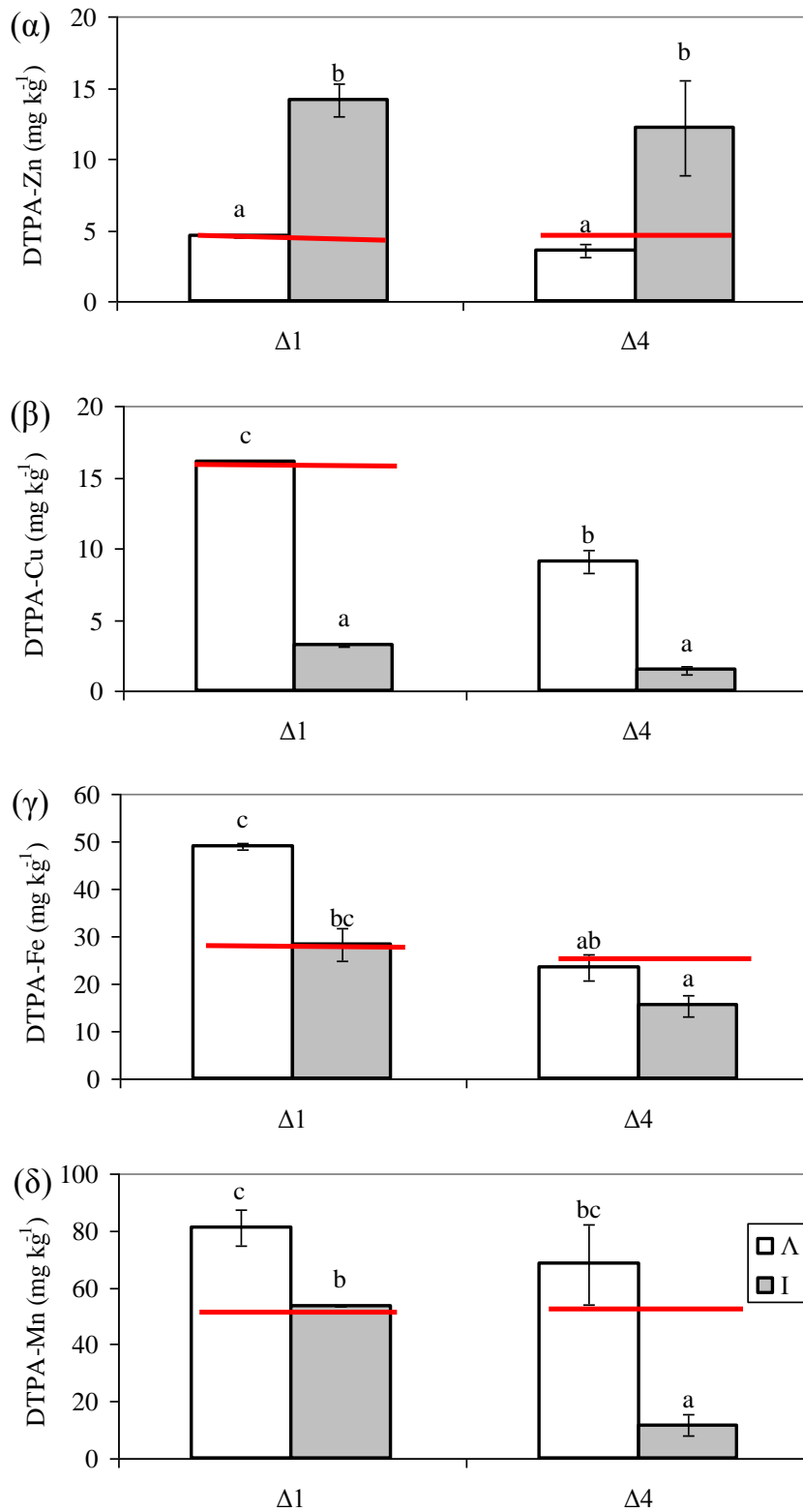
	Τσόφλια	Ψίχα	Σύνολο
Μ	869	923	1847
Λ	795	825	1650
Ι	789	826	1652



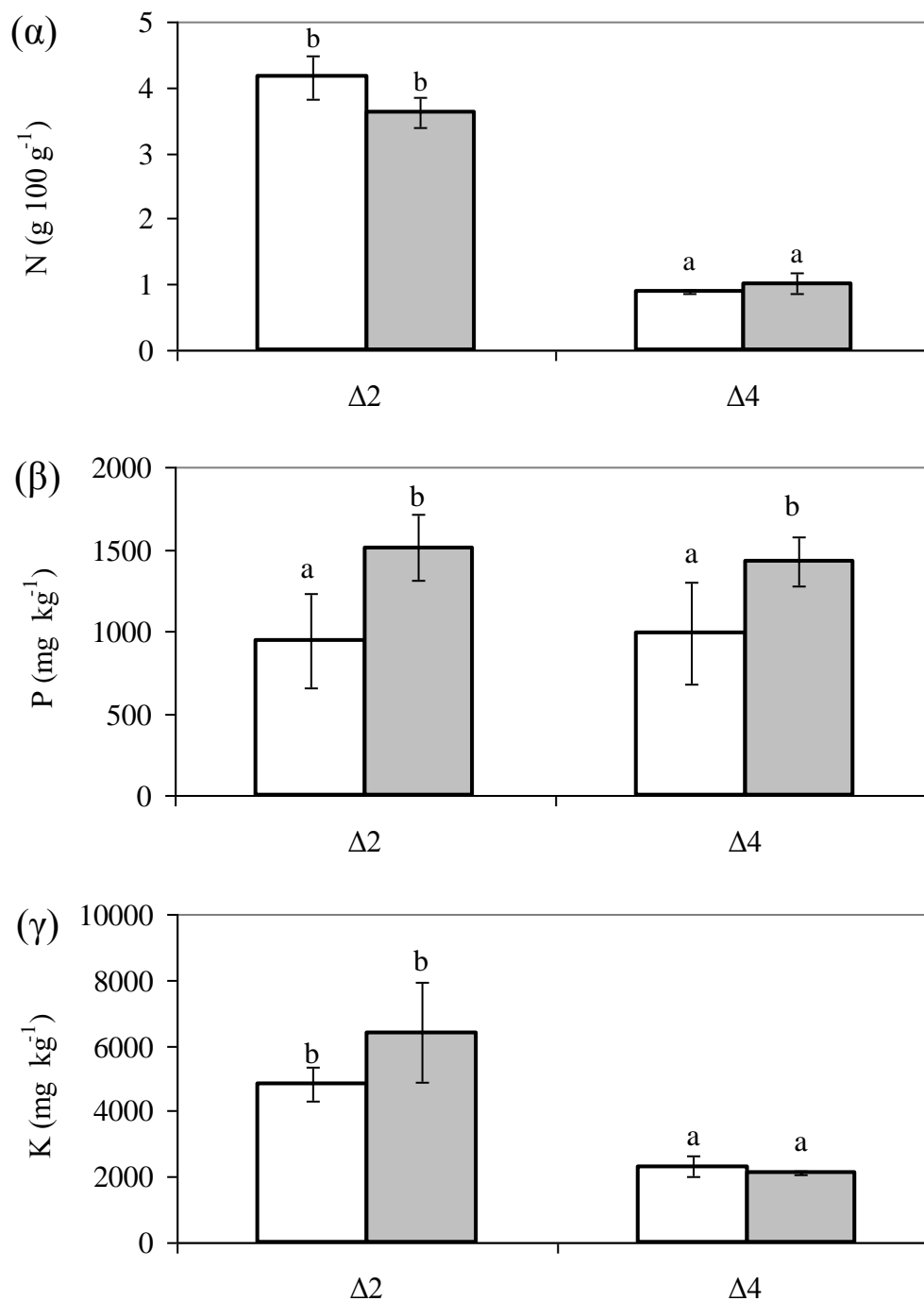
Σχήμα 1. Δυναμική (α) NO₃-N και (β) NH₄-N του εδάφους κατά τις 4 δειγματοληψίες στο πείραμα αραβοσίτου στις μεταχειρίσεις της συμβατικής λίπανσης (Λ) και της ύλους βιολογικού καθαρισμού (I). Η δειγματοληψία 1 έγινε στις 22-3-2012, η δειγματοληψία 2 έγινε στις 4-6-2012, η δειγματοληψία 3 έγινε στις 10-7-12 και η δειγματοληψία 4 έγινε στις 23-9-2012. Οι οριζόντιες κόκκινες γραμμές αντιπροσωπεύουν το μάρτυρα (περιοχή χωρίς καμία προσθήκη).



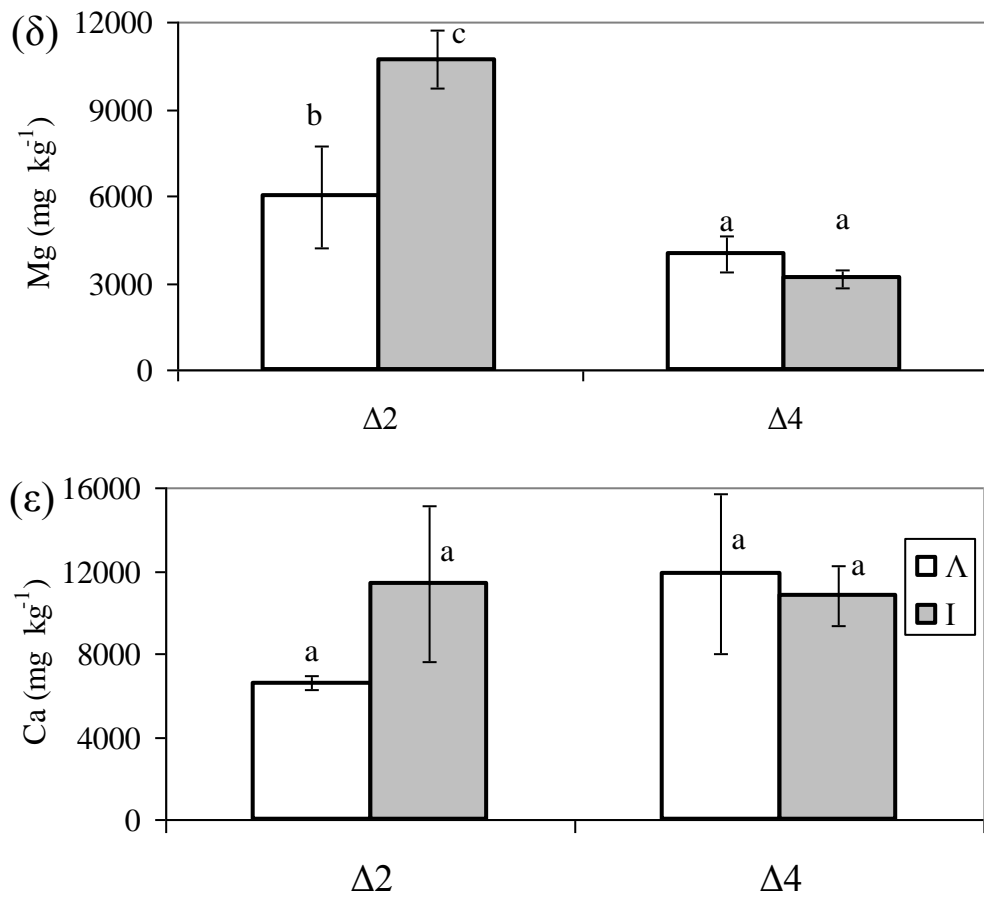
Σχήμα 2. Εκχυλίσιμες συγκεντρώσεις στο έδαφος (α) P (κατά Olsen) και (β) K (ανταλλάξιμο) στην αρχή (Δ1, 22-3-2012) και στο τέλος (Δ4, 23-9-2012) του πειράματος αραβοσίτου στις μεταχειρίσεις της συμβατικής λίπανσης (Λ) και της ύψος βιολογικού καθαρισμού (I). Οι οριζόντιες κόκκινες γραμμές αντιπροσωπεύουν το μάρτυρα (περιοχή χωρίς καμία προσθήκη).



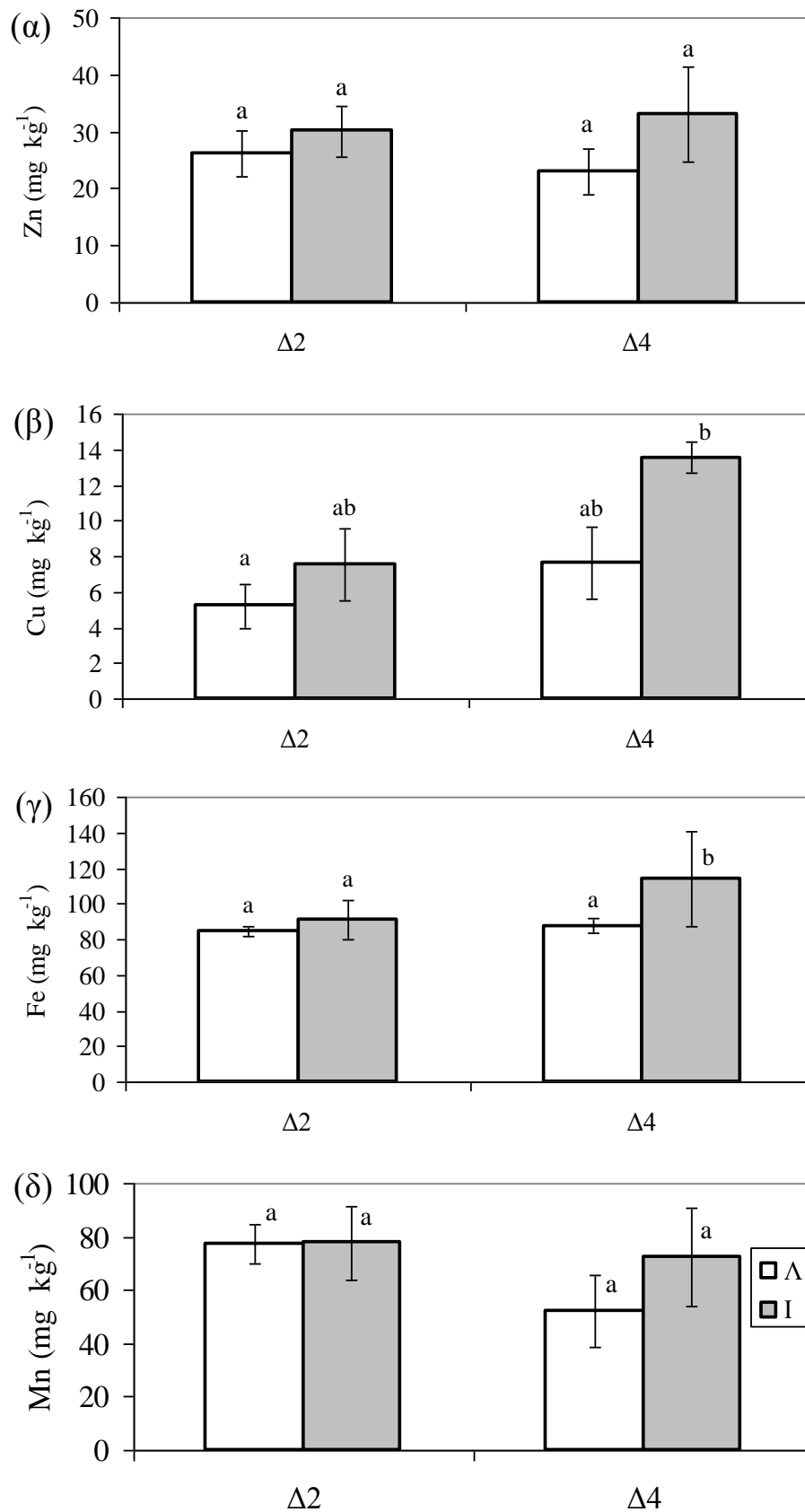
Σχήμα 3. Εκχυλίσιμες με DTPA συγκεντρώσεις στο έδαφος (α) Zn, (β) Cu, (γ) Fe και (δ) Mn στην αρχή (Δ1, 22-3-2012) και στο τέλος (Δ4, 23-9-2012) του πειράματος αραβοσίτου στις μεταχειρίσεις της συμβατικής λίπανσης (Λ) και της ιλύος βιολογικού καθαρισμού (I). Οι οριζόντιες κόκκινες γραμμές αντιπροσωπεύουν το μάρτυρα (περιοχή χωρίς καμία προσθήκη).



Σχήμα 4. Συγκεντρώσεις στα φύλλα αραβοσίτου (α) N, (β) P, (γ) K, (δ) Mg και (ε) Ca στις 4-6-2012 (Δ1) και στο τέλος (Δ4, 23-9-2012) στις μεταχειρίσεις της συμβατικής λίπανσης (Λ) και της ιλύος βιολογικού καθαρισμού (Ι).

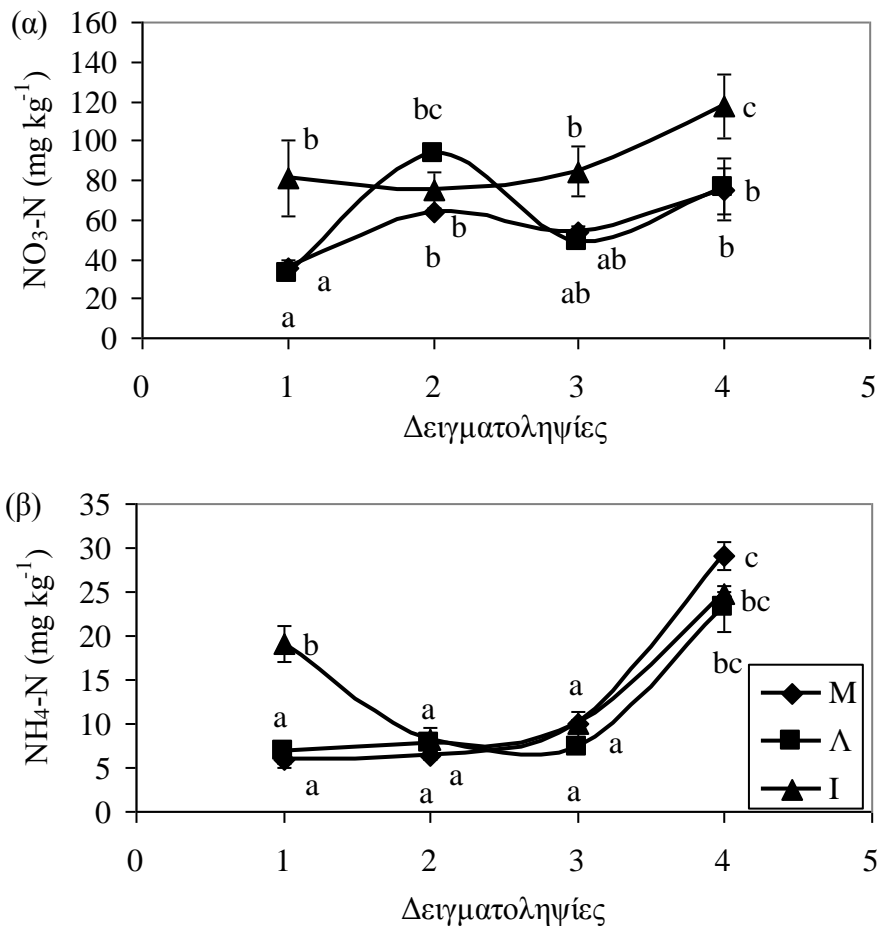


Σχήμα 4 (συνέχεια)

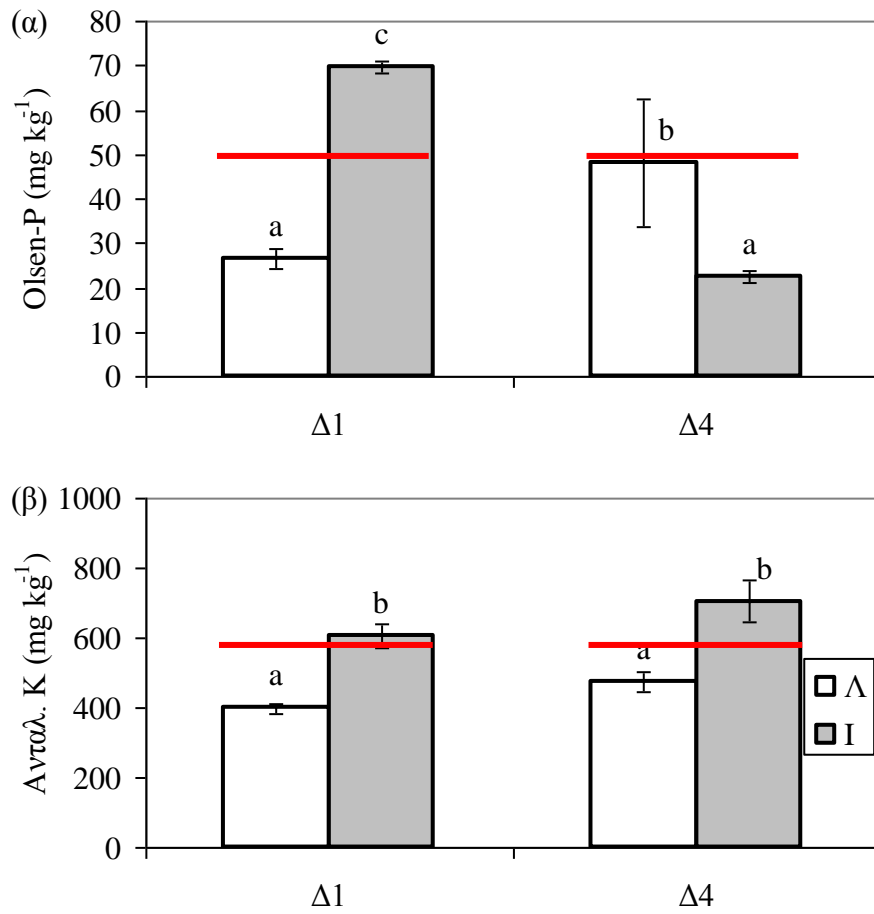


Σχήμα 5. Συγκεντρώσεις στα φύλλα αραβοσίτου (α) Zn, (β) Cu, (γ) Fe και (δ) Mn στις 4-6-2012 (Δ1) και στο τέλος (Δ4, 23-9-2012) στις μεταχειρίσεις της συμβατικής λίπανσης (Λ) και της υλός βιολογικού καθαρισμού (Ι).

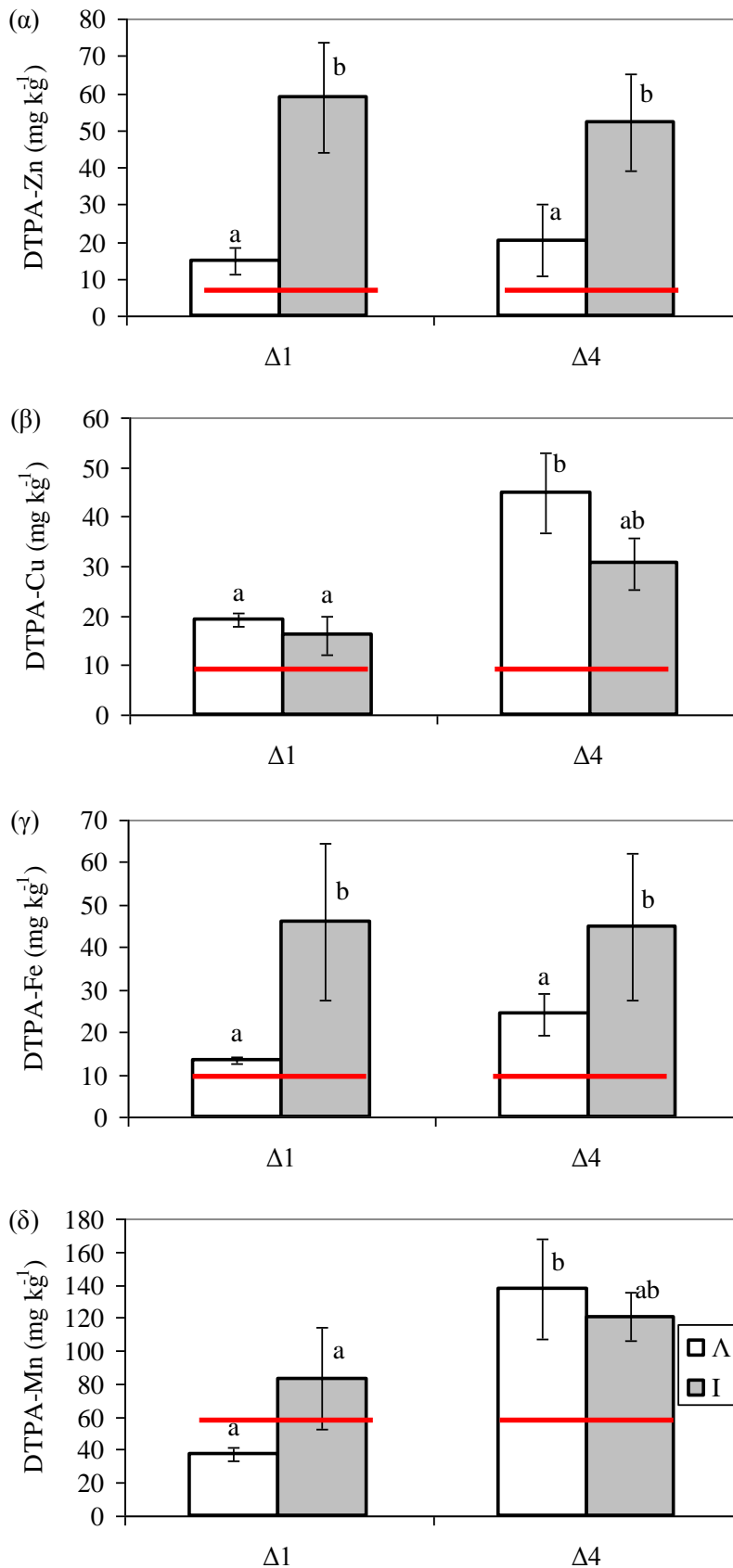
Σχήμα 6 Δυναμική (α) $\text{NO}_3\text{-N}$ και (β) $\text{NH}_4\text{-N}$ του εδάφους κατά τις 4 δειγματοληψίες στο πείραμα καρυδιών στις μεταχειρίσεις του μάρτυρα (M), της συμβατικής λίπανσης (Λ) και της ιλύος βιολογικού καθαρισμού (I). Η δειγματοληψία 1 έγινε στις 22-3-2012, η δειγματοληψία 2 έγινε στις 4-6-2012, η δειγματοληψία 3 έγινε στις 10-7-12 και η δειγματοληψία 4 έγινε στις 23-9-2012.



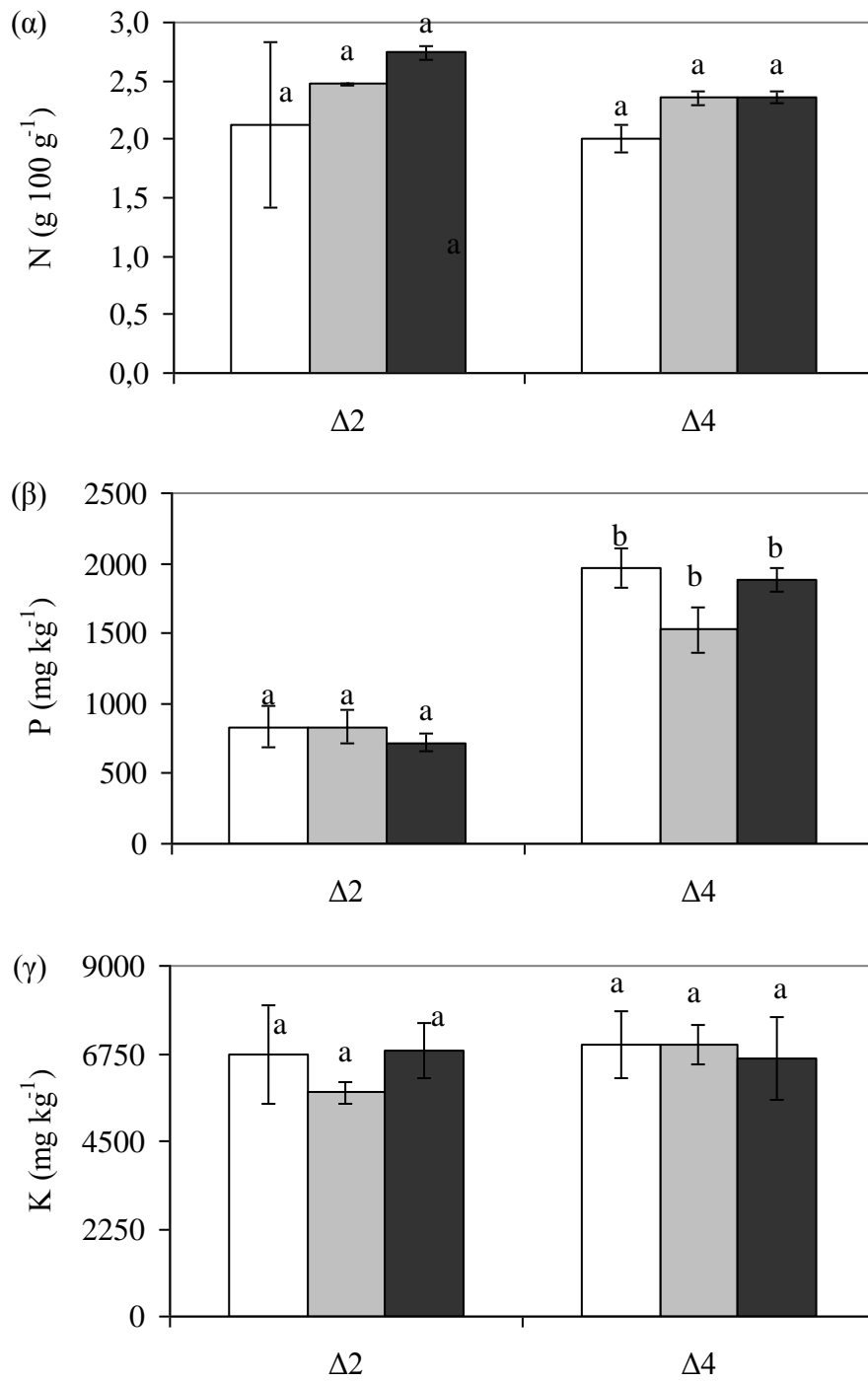
Σχήμα 7 Εκχυλίσιμες συγκεντρώσεις στο έδαφος (α) P (κατά Olsen) και (β) K (ανταλλάξιμο) στην αρχή (Δ1, 22-3-2012) και στο τέλος (Δ4, 23-9-2012) του πειράματος καρυδιών στις μεταχειρίσεις της συμβατικής λίπανσης (Λ) και της ύλος βιολογικού καθαρισμού (I). Οι οριζόντιες κόκκινες γραμμές αντιπροσωπεύουν το μάρτυρα (περιοχή χωρίς καμία προσθήκη).



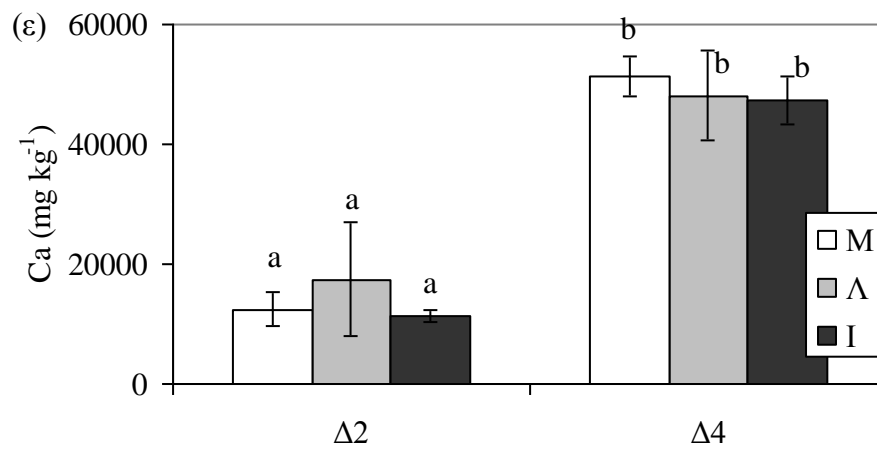
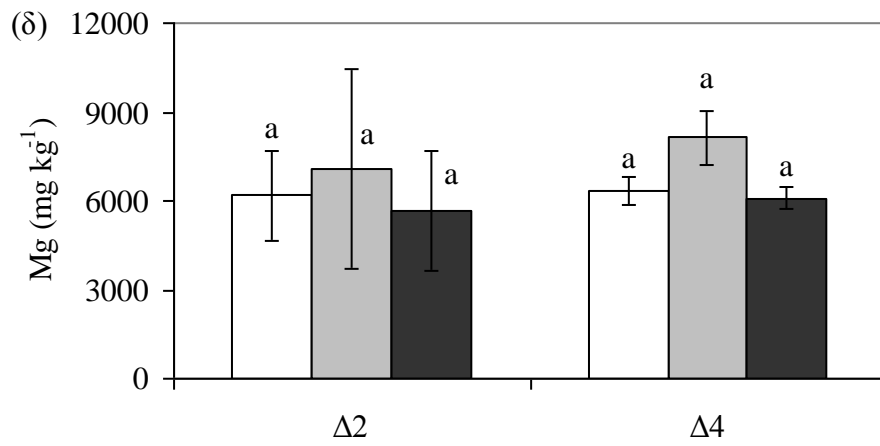
Σχήμα 8 Εκχυλίσιμες με DTPA συγκεντρώσεις στο έδαφος (α) Zn, (β) Cu, (γ) Fe και (δ) Mn στην αρχή (Δ1, 22-3-2012) και στο τέλος (Δ4, 23-9-2012) του πειράματος καρυδιών στις μεταχειρίσεις της συμβατικής λίπανσης (Λ) και της ύλης βιολογικού καθαρισμού (I). Οι οριζόντιες κόκκινες γραμμές αντιπροσωπεύουν το μάρτυρα (περιοχή χωρίς καμία προσθήκη).



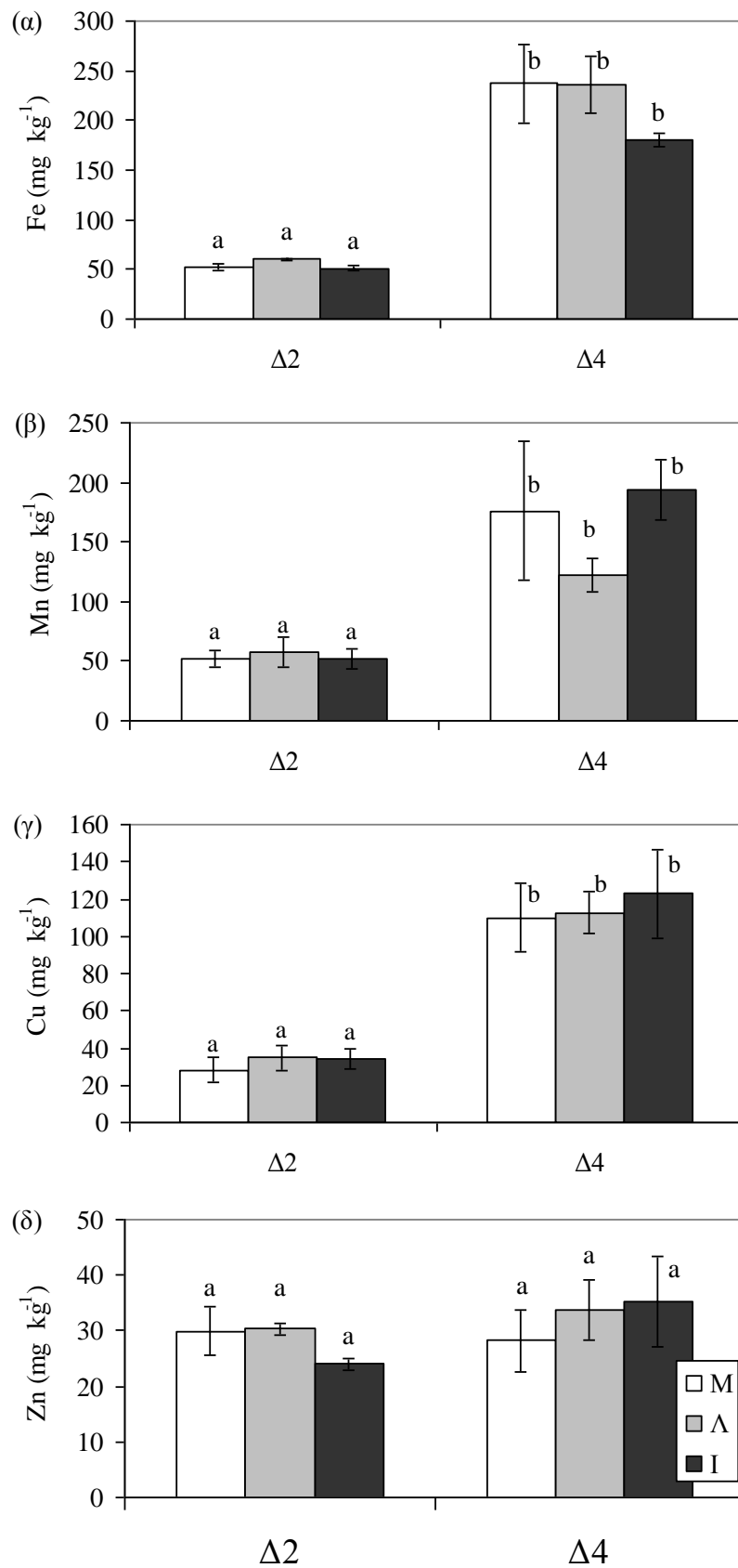
Σχήμα 9 Συγκεντρώσεις στα φύλλα καρυδιών (α) N, (β) P, (γ) K, (δ) Mg και (ε) Ca στις 4-6-2012 (Δ2) και στο τέλος (Δ4, 23-9-2012) στις μεταχειρίσεις του μάρτυρα (M), της συμβατικής λίπανσης (Λ) και της ιλύος βιολογικού καθαρισμού (Ι).



Σχήμα 9(συνέχεια)



Σχήμα 10 Συγκεντρώσεις στα φύλλα καρυδιών (α) Fe, (β) Mn, (γ) Cu και (δ) Zn στις 4-6-2012 (Δ1) και στο τέλος (Δ4, 23-9-2012) στις μεταχειρίσεις της συμβατικής λίπανσης (Λ) και της υλός βιολογικού καθαρισμού (I).



Εικόνα 1 Οι πειραματικές μονάδες κατά τη διαδικασία διανομής ΙΒΚ στον καρυδεώνα



Εικόνα 2 Η διανομή IBK στον καρδεώνα με κοπροδιανομέα



ABSTRACT

The use of sewage sludge (SS) in agriculture is an attractive option, because SS contains organic matter and nutrients. However, SS may also contain potentially toxic trace elements. In Mediterranean areas there have not been research efforts concerning tree plantations (e.g., walnut trees), while other experiments in yearly cultivations (e.g., maize) tend to apply higher-than-normal SS quantities. Thus our aim was to study the effect of SS in soil and plant properties in two fields planted with walnut trees and maize at low SS rates. We established three treatments per field, addition of SS, addition of inorganic fertilizer (IF), and unamended control. We found that in maize all macronutrients had similar levels in SS and IF. Trace elements were lower in the soil at SS than at IF, due to insoluble (short-lived, we assume) organometallic ligands, but in maize such differences were not evident. In both treatments (SS and IF), the quantity (in kg 1000 m⁻²) of N, P, and K that enrich the soil if non-harvested maize leftover parts were incorporated in the soil, would be similar in SS and IF. Same trends were found in the walnut field as well. We concluded that the application of small (in the level of 10-20 t ha⁻¹) SS doses, especially when SS is not trace element-loaded, is safe and may successfully substitute high-cost conventional fertilization.

Keywords: Nitrogen, phosphorus, potassium, trace elements, crop yield, maize, walnut trees