

**ΒΙΟΔΙΑΘΕΣΙΜΟΤΗΤΑ Pb ΚΑΙ Zn ΣΕ ΕΔΑΦΗ ΠΟΥ ΛΗΠΑΝΘΗΚΑΝ ΜΕ ΙΛΥ
ΒΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΚΑΘΑΡΙΣΜΩΝ: ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΔΟΚΙΜΗ ΣΕ ΑΓΓΛΙΑ ΚΑΙ
ΕΛΛΑΔΑ**

Αντωνιάδης, Β.¹, Π. Παπαδόπουλος², Β. J. Alloway¹, Α. Δημήρκου² και Ι. Ακρίβος³

1: The University of Reading, Dept. of Soil Science, Reading, RG6 6DW, UK,

2: ΕΘΙΑΓΕ, Ινστιτούτο Εδαφολογίας, Σ. Βενιζέλου 1, Αθήνα,

3: Σταθμός Γεωργικής Έρευνας Βαρδατών, Νέο Κρίκελο, 351 00, Λαμία.

“ Περίληψη

Για τη διερεύνηση του ρόλου της οργανικής ουσίας στη μεταβολή της διαθεσιμότητας του Pb και του Zn στις καλλιέργειες καθώς και για το πώς αυτός επηρεάζεται από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος, διεξήχθησαν συγκριτικά πειράματα αγρού στην Αγγλία (Sonning Farm) και την Ελλάδα (Βαρδάτες). Τα τεμάχια λυπάνθηκαν με ιλύ βιολογικών καθαρισμών σε επίπεδα 0, 10 και 50 t ha⁻¹ ξ.ο., φυτεύθηκαν με Ήρα πολυετή (*Lolium perenne* L.) και συγκομιζόταν σε τακτά χρονικά διαστήματα για να μετρηθεί η διαθεσιμότητα του Pb και Zn. Στο Sonning Farm η οργανική ουσία δεν έδειξε να μειώνεται μέχρι και την Εβδομάδα 32 από την έναρξη του πειράματος. Στο ίδιο διάστημα τα επίπεδα των μετάλλων στη φυτομάζα δεν μεταβλήθηκαν, πιθανότατα λόγω του ότι η οργανική ουσία κρατήσε τα μέταλλα δεσμευμένα στο έδαφος. Στις Βαρδάτες ο Zn στους 50 t ha⁻¹ δυπλασιάστηκε στη φυτομάζα από την πρώτη στη δεύτερη κοπή.

Λέξεις-Κλειδιά: Οργανική ουσία, θερμοκρασία, βαρέα μέταλλα.

Εισαγωγή

Η ιλύς είναι το στερεό υπόλειμμα των βιολογικών καθαρισμών αστικών λυμάτων. Έχει χρησιμοποιηθεί στη γεωργία ως οργανικό λίπασμα για πολλά χρόνια, αφού περιέχει οργανική ουσία και μακρο- και ιχνοστοιχεία (Chaney, 1988). Ωστόσο, περιέχει και βαρέα μέταλλα, τα οποία μπορεί να έχουν αρνητικές επιδράσεις στις καλλιέργειες, και ίσως και στους καταναλωτές. ‘Βιοδιαθέσιμο’ ονομάζεται εκείνο το κλάσμα των βαρέων μετάλλων που μπορεί να προσληφθεί από τα φυτά. Η διαθεσιμότητα των βαρέων μετάλλων εξαρτάται από το pH, την οργανική ουσία και άλλες εδαφικές παραμέτρους (Alloway, 1995). Ιδιαίτερα η οργανική ουσία έχει σημαντική επίδραση στη χημεία των μετάλλων, καθώς αυξάνει την ικανότητα

αντιλλαγής κατιόντων του εδάφους (CEC) με αποτέλεσμα να μειώνει τη διαθεσιμότητα τους στα φυτά (El-Hassanin *et al.*, 1993). Η διαθεσιμότητα των βαρέων μετάλλων μπορεί επίσης να επηρεαστεί από τη θερμοκρασία. Οι Αντωνιάδης και Alloway (1998) σε πείραμα σε γλάστρες και σε μείγματα ιλύος βιολογικών καθαρισμών (IBK) βρήκαν ότι υψηλές θερμοκρασίες μπορεί να αυξήσουν τους ρυθμούς αποικοδόμησης της οργανικής ουσίας και έτσι να απελευθερώσουν σημαντικές ποσότητες βαρέων μετάλλων στο εδαφικό διάλυμα με το πέρασμα του χρόνου. Αυτές οι ποσότητες μπορούν να είναι διαθέσιμες στα φυτά. Αυτό είναι μεγάλης σημασίας από περιβαλλοντικής άποψης, γιατί η διαθεσιμότητα των βαρέων μετάλλων στις καλλιέργειες μπορεί να αυξηθεί μήνες ή και χρόνια μετά τη λίπανση των εδαφών με IBK, αν οι συνθήκες είναι κατάλληλες, δηλαδή σε περιβάλλοντα με υψηλές θερμοκρασίες (White *et al.*, 1997). Ωστόσο, από καιρό έχει αναγνωριστεί ότι οι συνθήκες στον αγρό διαφέρουν από αυτές σε γλάστρες σε θερμοκήπια.

Για αυτό το λόγο, μια συγκριτική δοκιμή σε αγρούς στην Αγγλία και την Ελλάδα έλαβε χώρα για να μελετηθεί η επίδραση της θερμοκρασίας στην βιοδιαθεσιμότητα των βαρέων μετάλλων. Τα μέταλλα που εξετάστηκαν ήταν ο Pb και ο Zn, γιατί καλύπτουν μεγάλο φάσμα ενδιαφέροντος. Ο Zn είναι ευκίνητος στο εδαφικό περιβάλλον, ενώ ο Pb θεωρείται λιγότερο ευκίνητος, αλλά και πιο τοξικός από τον Zn. Οι υποθέσεις που ελέγχθηκαν ήταν οι εξής: 1) Η αποικοδόμηση της οργανικής ουσίας σε εδάφη όπου εφαρμόστηκε IBK απελευθερώνει βαρέα μέταλλα σε πιο κινητικές μορφές, και έτσι αυτά είναι πιο διαθέσιμα στα φυτά, και 2) Υψηλότερες θερμοκρασίες περιβάλλοντος αυξάνουν τη βιοδιαθεσιμότητα των βαρέων μετάλλων.

Υλικά και Μέθοδοι

Πειραματικός σχεδιασμός

Το πείραμα στην Αγγλία διεξήχθη στο αγρόκτημα 'Sonning Farm' του Πανεπιστημίου του Reading, στη Νοτιοδυτική Αγγλία. Η IBK που πάρθηκε από ένα σταθμό βιολογικού καθαρισμού του Λονδίνου είχε 23% ολικά στερεά, και εφαρμόστηκε σε 3 επίπεδα, ισοδύναμα με 0, 10 και 50 t ha⁻¹ σε τεμάχια 2x4 m². Η εφαρμογή της έγινε σε 4 επαναλήψεις για την καλύτερη στατιστική χρήση των αποτελεσμάτων. Η IBK εφαρμόστηκε το Δεκέμβριο 1996, και ενσωματώθηκε στο έδαφος μέχρι βάθους 5 cm. Οι δειγματοληψίες, που έγιναν σε βάθος 10 cm με ειδικό δειγματολήπτη, ξεκίνησαν στις 13 Ιανουαρίου 1997 και τελείωσαν στις 15 Δεκεμβρίου 1997. Έλαβαν δε χώρα κατά τις Εβδομάδες 0, 2, 4, 8, 16, 32 και 48. Τα τεμάχια

φυτεύτηκαν όταν ο καιρός επέτρεψε, δηλαδή τον Απρίλιο 1997 με Ηρα πολυετή (*Lolium perenne* L.). Από τότε έγιναν 6 κοπές: στις 5 Ιουνίου, 20 Ιουνίου, 16 Ιουλίου, 12 Αυγούστου, 4 Σεπτεμβρίου και 31 Οκτωβρίου 1997.

Πίνακας 1α: Χαρακτηριστικές φυσικές και χημικές ιδιότητες του εδάφους και της IBK στο Sonning Farm.

	Άμμος	Ιλύς	Αργίλος	pH	CEC ^α
	%				cmol _c kg ⁻¹
Έδαφος	74,61	5,09	20,30	7,19	15,21
IBK	-	-	-	6,46	-
	Βασιλικό νερό (μg g ⁻¹)		ΑΣΚ ^β	ΦΕΒ ^γ	ΗΑ ^δ
	Pb	Zn	%	g cm ⁻¹	dS m ⁻¹
Έδαφος	30,4	42,6	4,4	1,08	0,48
IBK	317,2	645,5	41,8	0,85	-

α: Ικανότητα Ανταλλαγής Κατιόντων, β Απώλεια Στην Καύση, γ: Φαινόμενο Ειδικό Βάρος, δ: Ηλεκτρική Αγωγιμότητα

Πίνακας 1β: Χαρακτηριστικές φυσικές και χημικές ιδιότητες του εδάφους και της IBK στις Βαρδάτες.

	pH	ΗΑ ^α	ΑΣΚ ^β	ΟΟ ^γ	Βασιλικό νερό (μg g ⁻¹)	
		dS m ⁻¹	%	%	Pb	Zn
Έδαφος	8,44	0,13	3,8	1,93	7,9	75,1
IBK	7,54	0,27	72,3	-	130,1	756,3

α: Ηλεκτρική Αγωγιμότητα, β: Απώλεια Στην Καύση, γ: Οργανική Ουσία

Στην Ελλάδα το αντίστοιχο πείραμα διεξήχθη στον πειραματικό σταθμό του ΕΘΙΑΓΕ στις Βαρδάτες, Νομός Φθιώτιδας. Η IBK που πάρθηκε από το σταθμό βιολογικού καθαρισμού της Λαμίας είχε 9% ολικά στερεά και εφαρμόστηκε σε επίπεδα ίδια με εκείνα του Sonning Farm. Τα τεμάχια ήταν διαστάσεων 2,5x5 m². Η IBK εφαρμόστηκε το Νοέμβριο 1996 μέχρι βάθους 10 cm και οι μεταχειρίσεις αυτές έγιναν σε 3 επαναλήψεις. Οι δειγματοληψίες εδάφους, που έγιναν με ειδικό δειγματολήπτη σε βάθος 10 cm, ξεκίνησαν στις 13 Νοεμβρίου 1996 και έλαβαν χώρα κατά τις Εβδομάδες 3, 6, 9, 17, 33 και 48. Τα τεμάχια φυτεύτηκαν το Νοέμβριο 1996 με την ίδια καλλιέργεια όπως στο Sonning Farm, και πάρθηκαν 3 κοπές κατά τις Εβδομάδες 33, 44 και 48.

Αναλύσεις

Οι μέθοδοι που ακολουθήθηκαν αναφέρονται με λεπτομέρεια στον Antoniadis (1998). Δείγματα από τα εδάφη και τις IBK, και στις δύο χώρες, αεροξηράνθηκαν και πέρασαν από κόσκινο με ανοίγματα 2 mm. Για το χαρακτηρισμό των εδαφών και των IBK (Πίνακες 1α και 1β) έγιναν οι εξής αναλύσεις φυσικών και χημικών ιδιοτήτων: CaCO_3 με ασβεστόμετρο, οργανική ουσία με απώλεια στην καύση (400°C), ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων (CEC) με κορεσμό σε Na^+ , pH σε αιώρημα 1:2,5 H_2O w/v και φαινόμενο ειδικό βάρος (Rowell, 1994). Επίσης, κοκκομετρική σύσταση με πυκνόμετρο Βουγιούκου (Sheldrick and Wang, 1993), ηλεκτρική αγωγιμότητα και υδατοδιαλυτά κατιόντα σε αιώρημα 1:5 H_2O w/v (Rhoades, 1982), οξείδια Fe και Al (Bascomb, 1974) και οι ολικές συγκεντρώσεις του Pb και Zn με Βασιλικό νερό (McGrath and Cuncliffe, 1985). Η οργανική ουσία στη διάρκεια των 48 Εβδομάδων μετρήθηκε σε όλα τα εδαφικά δείγματα με την προαναφερθήσα μέθοδο. Τα φυτικά δείγματα μετά τη συγκομιδή τους ξηραίνονταν με απιονισμένο νερό, ζηραίνονταν στους 75°C μέχρι που να μη σημειώνεται περαιτέρω μείωση του βάρους τους, και κονιοροτοποιούνταν σε μύλο. Οι περιεκτικότητες των φυτών σε Pb και Zn μετριούνταν μετά από υγρή καύση με πυκνό HNO_3 (Antoniadis, 1998).

Οι μετρήσεις των αναλύσεων έγιναν σε Φασματοφωτόμετρο Ατομικής Απορρόφησης και Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometer (ICP-OES). Για τη στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων έγινε Ανάλυση Παραλλακτικότητας (ANOVA) και εφαρμόστηκε σε αυτά ο έλεγχος LSD (Least Significant Difference). Στα Σχήματα, για κάθε τιμή εφαρμόστηκαν error bars, που αντιπροσωπεύουν το τυπικό σφάλμα κάθε μιας από αυτές τις τιμές.

Πίνακας 2: Ολικές συγκεντρώσεις του Pb και του Zn στο Sonning Farm και τις Βαρδάτες ($\mu\text{g g}^{-1}$).

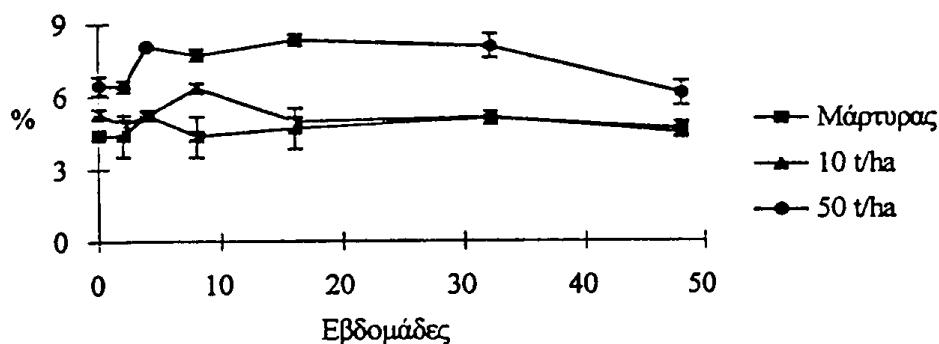
	Sinning Farm		Βαρδάτες	
	Pb	Zn	Pb	Zn
Μάρτυρας	27,1 α*	48,2 α	7,9	74,1
10 t ha^{-1}	29,4 αβ	55,8 β	11,3	75,3
50 t ha^{-1}	38,1 γ	86,5 γ	12,3	89,1

*: Διαφορετικά γράμματα σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ αριθμών κάθε στήλης, σύμφωνα με τη δοκιμή LSD.

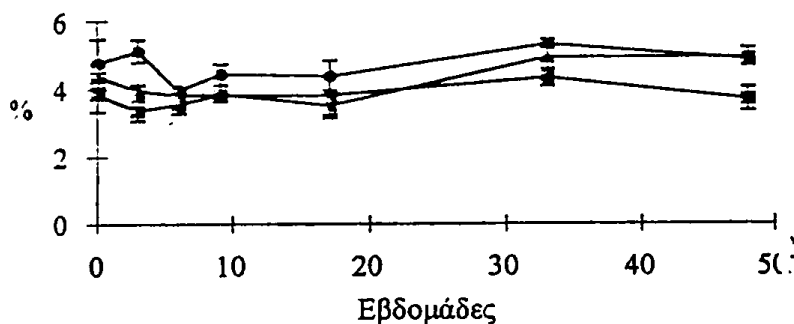
Αποτελέσματα και Συζήτηση

Συγκεντρώσεις Pb και Zn στο έδαφος

Οι συγκεντρώσεις των μετάλλων στα δύο πειράματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 2. Σε αυτόν φαίνεται ότι η εφαρμογή της IBK στα εδάφη αύξησε σημαντικά τις ολικές συγκεντρώσεις του Pb και του Zn.



Σχήμα 1α. % Απώλεια στην καύση στο Sonning Farm.



Σχήμα 1β. % Απώλεια στην καύση στις Βαρδατες.

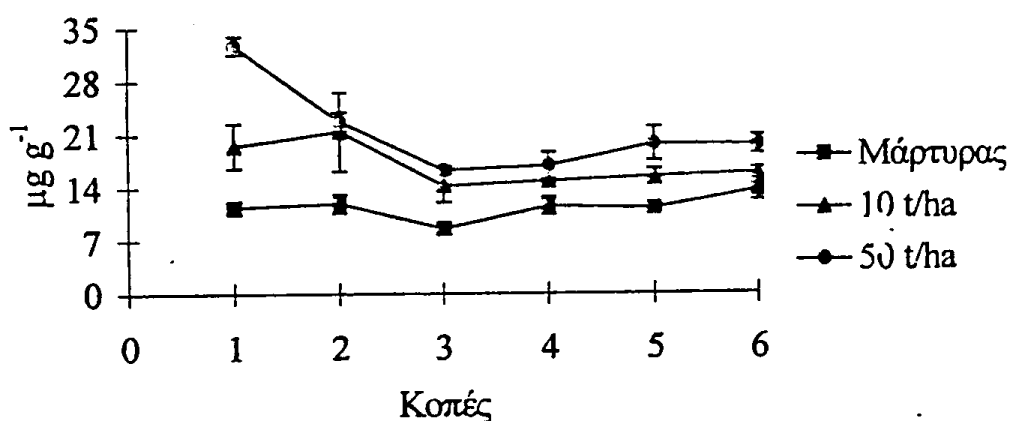
Οργανική ουσία

Στο πείραμα του Sonning Farm η οργανική ουσία επηρεάστηκε σημαντικά από την εφαρμογή της IBK στο έδαφος (Σχήμα 1α). Παρ' όλα αυτά, ο μάρτυρας δεν διέφερε από τη μεταχείριση των 10 t ha^{-1} . Η μόνη σημαντική διαφορά ήταν στη μεταχείριση των 50 t ha^{-1} . Στη διάρκεια του ενός έτους, η οργανική ουσία δεν μειώθηκε πολύ στο μάρτυρα και στους 10 t ha^{-1} . Στους 50 t ha^{-1} , υπήρξε μια μείωση 32 εβδομάδες μετά την εφαρμογή της IBK. Αυτή η υστέρηση στη μείωση της οργανικής ουσίας πρέπει να οφείλεται στο ότι το πείραμα επηρεάστηκε από τις καιρικές συνθήκες (θερμοκρασιακές μεταβολές και διαθεσιμότητα υγρασίας). Και αυτό γιατί το πρώτο σημάδι μείωσης της

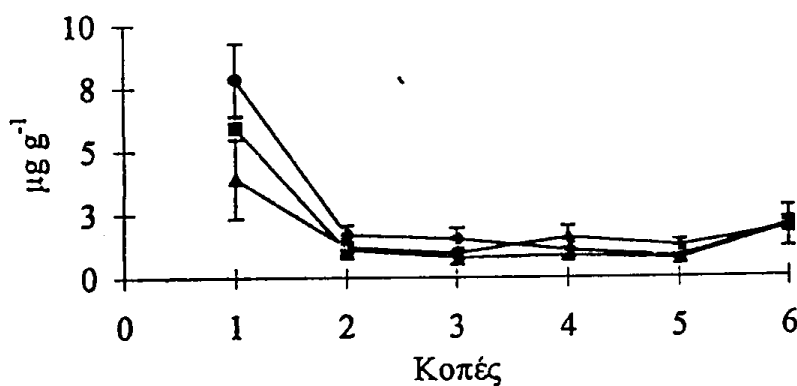
οργανικής ουσίας δόθηκε μόνο μετά την Εβδομάδα 32 (δηλαδή μετά τον Ιούλιο), όταν οι θερμοκρασίες είναι πιθανό να υποβοήθησαν την αποικοδόμηση της οργανικής ουσίας. Στις Βαρδάτες η εικόνα ήταν περίπου ίδια με εκείνη στο Sonning Farm με την οργανική ουσία, μετά από κάποιες αρχικές μεταβολές, να μην μειώνεται σημαντικά μέχρι και την Εβδομάδα 33 (Σχήμα 1β).

Πίνακας 3: Συγκεντρώσεις του Zn στη φυτομάζα στις Βαρδάτες ($\mu\text{g g}^{-1}$).

	Κοπή 1	Κοπή 2	Κοπή 3
Μάρτυρας	12,6	25,7	16,7
10 t ha ⁻¹	13,7	29,4	18,6
50 t ha ⁻¹	15,8	29,1	30,5



Σχήμα 2α. Συγκέντρωση Zn στη φυτομάζα στο Sonning Farm

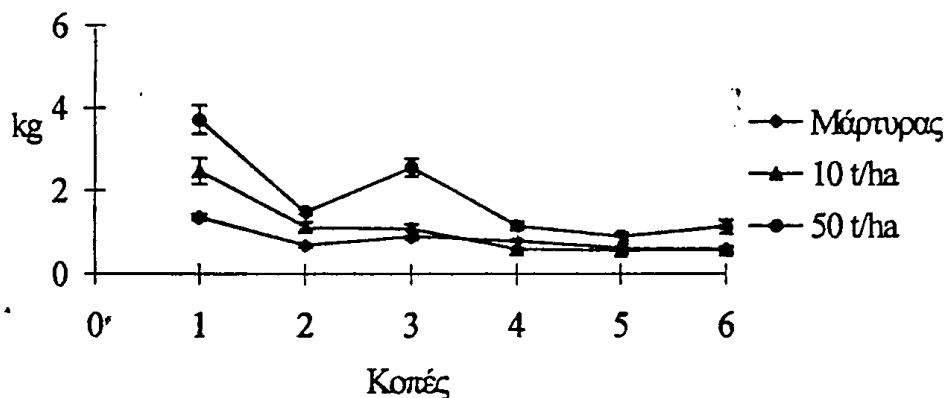


Σχήμα 2β. Συγκέντρωση Pb στη φυτομάζα στο Sonning Farm

Συγκεντρώσεις Pb και Zn στη φυτομάζα

Στο Sonning Farm, ο Pb και ο Zn αυξήθηκαν σημαντικά με την αύξηση της εφαρμογής της IBK. Όμως αυτό συνέβη μόνο στην πρώτη κοπή (Σχήματα 2α και 2β). Μετά από αυτήν, η συγκέντρωση του Pb στη φυτομάζα δεν επηρεάστηκε από την αύξηση της δόσης της IBK, καθώς οι μεταχειρίσεις του μάρτυρα και των 10 και 50 t ha⁻¹ δεν διέφεραν, ενώ για τον Zn υπήρχαν διαφορές, αλλά αυτές ήταν μικρές.

Ο χρόνος ήταν ένας σημαντικός παράγοντας που επηρέασε τη συγκέντρωση του Pb και του Zn. Η συγκέντρωση του Pb μειώθηκε από την πρώτη μέχρι την τελευταία κοπή και το ίδιο συνέβη και με τον Zn, αλλά μόνο στους 50 t ha⁻¹, ενώ στις άλλες μεταχειρίσεις η συγκέντρωση του Zn δεν μεταβλήθηκε με το χρόνο. Απεναντίας, για τον Pb η τάση μείωσης παρατηρήθηκε και στις υπόλοιπες μεταχειρίσεις. Είναι χαρακτηριστικό ότι οι τάσεις διαθεσιμότητας του Pb και του Zn είναι παρόμοιες με την απόδοση της καλλιέργειας σε φυτομάζα (Σχήμα 3), τουλάχιστον στο Sonning Farm. Δηλαδή, στην πρώτη κοπή η πρόσληψη του Pb και του Zn ήταν μεγάλη, ενώ αργότερα μειώθηκε, και το ίδιο συνέβη και με την απόδοση σε φυτομάζα.



Σχήμα 3. Απόδοση καλλιέργειας στο Sonning Farm

Στις Βαρδάτες, η συγκέντρωση του Pb που μετρήθηκε στη φυτομάζα ήταν χαμηλότερη από το όριο ανίχνευσης του ICP-OES. Στην επόμενη κοπή οι συγκεντρώσεις του Zn αυξήθηκαν δραματικά σε σχέση με την πρώτη κοπή, αλλά στην τρίτη κοπή οι μεταχειρίσεις του μάρτυρα και των 10 t ha⁻¹ μειώθηκαν σχεδόν στο μισό (Πίνακας 3). Απεναντίας, ο Zn στους 50 t ha⁻¹ παρέμεινε σε υψηλά επίπεδα, κάτι που

δείχνει ότι η διαθεσιμότητα του Zn στα φυτά στις Βαρδάτες ίσως να αυξήθηκε με το χρόνο στην υψηλή δόση εφαρμογής της IBK.

Αρκετοί ερευνητές έχουν βρει ότι πειράματα σε θερμοκήπια που αφορούν στη βιοδιαθεσιμότητα των βαρέων μετάλλων τείνουν να υπερεκτιμήσουν τους κινδύνους από τη χρήση της IBK στο έδαφος. Οι De Vries and Tiller (1978) υπέθεσαν ότι η διαφορά στα αποτελέσματα οφείλεται στις ευνοϊκές συνθήκες που επικρατούν στο θερμοκήπιο, όπως θερμοκρασία, υγρασία και φως. Στο παρόν πείραμα αστάθμητοι παράγοντες φάνηκε να επηρεάζουν την απόδοση της καλλιέργειας σε φυτομάζα, η οποία με τη σειρά της επηρέασε τη διαθεσιμότητα των βαρέων μετάλλων. Εξάλλου είναι χαρακτηριστικό ότι οι συγκεντρώσεις του Zn στη φυτομάζα στις Βαρδάτες αυξήθηκαν στη δεύτερη κοπή σε όλες τις μεταχειρίσεις, ακόμα και στο μάρτυρα, πράγμα που δείχνει ότι αυτή η αύξηση δεν οφείλεται σε παράγοντες που αφορούν τη χημεία του εδάφους (αφού η οργανική ουσία δεν μεταβλήθηκε με το χρόνο), αλλά σε άλλους εξωγενείς παράγοντες που μάλλον αφορούν την βελτίωση των καιρικών συνθηκών (η δεύτερη και τρίτη κοπή έγιναν το φθινόπωρο, όπου η αύξηση της βροχόπτωσης είναι πιθανό να υποβοήθησε την απόδοση της καλλιέργειας σε φυτομάζα να αυξηθεί).

Η πρόσληψη του Pb και του Zn στα φυτά αυξήθηκε με την αύξηση των δόσεων της IBK. Ωστόσο, αυτή η αύξηση δεν ήταν γραμμική μέχρι τους 50 t ha⁻¹. Η συγκέντρωση του Zn μεταξύ των 10 και 50 t ha⁻¹ έδειξε μια αύξηση κατά 1,5 φορές μόνο (αν ο μάρτυρας αφαιρεθεί). Στην περίπτωση δε του Pb, αυτή η αύξηση δεν ήταν τόσο ξεκάθαρη. Αυτό δείχνει ότι αυξήσεις των ποσοτήτων της IBK στο έδαφος, η οποία εξ ορισμού αυξάνει τις ολικές συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων στο έδαφος, δεν αρκεί για να μεγαλώσει τη διαθεσιμότητα αυτών των μετάλλων στα φυτά κατά τον ίδιο βαθμό. Σε συμφωνία με τα παραπάνω, οι Sposito *et al.* (1982) βρήκαν ότι με την εφαρμογή της IBK στο έδαφος οι διαθέσιμες μορφές των βαρέων μετάλλων αυξήθηκαν, αλλά όχι γραμμικά. Παρόμοια ήταν και τα συμπεράσματα των Luo and Christie (1993) που διεξήγαγαν πειράματα στον αγρό.

Η οργανική ουσία στα πειραματικά τεμάχια που δέχτηκαν IBK αυξήθηκε σε σχέση με τους μάρτυρες, αλλά αυτό ήταν αισθητό μόνο στο Sonning Farm. Σε πείραμα σε θερμοκήπιο με αντίστοιχες συνθήκες με το παρόν, οι Αντωνιάδης και Alloway (1998) είχαν προβλέψει ότι η συμπεριφορά της οργανικής ουσίας που προστίθεται στο έδαφος με την IBK είναι ένας αποφασιστικός παράγοντας για το αν η διαθεσιμότητα των βαρέων μετάλλων θα αυξηθεί με το χρόνο ή όχι. Είχε βρεθεί δηλαδή ότι η

αποικοδόμηση της οργανικής ουσίας απελευθέρωσε βαρέα μέταλλα σε μορφές ευκολότερα προσλήψιμες από τις καλλιέργειες, πράγμα που οδήγησε στην αύξηση της διαθεσιμότητάς τους με το χρόνο. Ωστόσο, στο παρόν πείραμα η περιεκτικότητα σε οργανική ουσία των εδαφών που δέχτηκαν IBK δεν μειώθηκε σημαντικά, παρά μόνο την Εβδομάδα 48. Όμως αυτή η συμπεριφορά της οργανικής ουσίας δεν είναι ανεξήγητη. Ο McBride (1995) είτε ότι η μικροβιακή δραστηριότητα του εδάφους είναι πιθανό να γίνει λιγότερο αποτελεσματική στο να εποικοδομεί την οργανική ουσία όταν εφαρμοστεί IBK, λόγω τοξικών επιδράσεων των βαρέων μετάλλων στους μικροοργανισμούς, κάτι που έχει ως αποτέλεσμα τη δέσμευση των βαρέων μετάλλων για κάποιο χρονικό διάστημα μετά την εφαρμογή της IBK. Έτσι η τοξική επίδραση της IBK στα φυτά χρειάζεται χρόνο για να γίνει αισθητή. Στο παρόν πείραμα λυπόν, ως αποτέλεσμα του γεγονότος ότι τα επίπεδα της οργανικής ουσίας δεν μεταβλήθηκαν πολύ με το χρόνο, η διαθεσιμότητα του Pb και του Zn στα φυτά δεν αυξήθηκε, αν εξαιρέσει κανείς την πρώτη κοπή, όπου η πρόσληψη του Pb και του Zn ήταν υψηλή και πιθανό να οφειλόταν σε δευτερεύοντες παράγοντες, οι οποίοι δεν εξετάστηκαν εδώ. Αυτό αποδεικνύει τη συμβολή της οργανικής ουσίας στη μεταβολή ή μη της διαθεσιμότητας των βαρέων μετάλλων στα φυτά.

Οι διάφοροι εξωγενείς παράγοντες όπως θερμοκρασία και υγρασία περιβάλλοντος που επηρέασαν τις συγκεντρώσεις του Pb και του Zn στη φυτομάζα δεν είναι δυνατό να προβλεφθούν από αντίστοιχα πειράματα σε θερμοκήπια, όπου οι συνθήκες είναι σχεδόν απόλυτα ελεγχόμενες. Το γεγονός αυτό, σε συνάρτηση με το ότι πειράματα σε θερμοκήπια έχουν βρεθεί να υπερεκτιμούν τη διαθεσιμότητα των βαρέων μετάλλων στα φυτά, καθιστά σημαντική την ύπαρξη και αξιολόγηση περισσότερων στοιχείων που θα προέρχονται από πειράματα σε αγρό, για την καλύτερη πρόβλεψη της συμπεριφοράς των βαρέων μετάλλων σε έδαφος και φυτό σε σχέση με το χρόνο.

Ευχαριστίες

Ο πρώτος συγγραφέας ευχαριστεί το Ίδρυμα Κρατικών Υποτροφιών για τη χρηματοδότηση του πειράματος αυτού στα πλαίσια της εκπόνησης του διδακτορικής του διατριβής στο Πανεπιστήμιο του Reading, Μ. Βρετανία. Επίσης, οι συγγραφείς ευχαριστούν το Βρετανικό Συμβούλιο και το Εθνικό Ίδρυμα Αγροτικών Ερευνών για τη χρηματοδότηση του παρόντος κοινού ερευνητικού προγράμματος.

**BIOAVAILABILITY OF Pb AND Zn IN SEWAGE SLUDGE-TREATED SOILS:
COMPARATIVE STUDY IN ENGLAND AND GREECE**

Antoniadis, V.¹, P. Papadopoulos², B.J. Alloway¹, A. Dimirkou² and L. Akrivos³

1: The University of Reading, Department of Soil Science, Reading, RG6 6DW, UK,

2: NAGREF, Institute of Soil Science, S. Venizelou 1, Athens,

3: Station of Agricultural Research at Vardates, Neo Krikelo, 351 00, Lamia.

Abstract

In order to assess the role of sludge-borne organic matter and ambient temperature in Pb and Zn availability to ryegrass (*Lolium perenne* L.) comparative field experiments were conducted in England (Sonning Farm) and Greece (Vardates). Three rates of sewage sludge (0, 10 and 50 t ha⁻¹) were applied in the plots. Lead and Zn concentrations in the ryegrass and the soil organic matter content were monitored over one year after the addition of the sludge. At Sonning Farm organic matter did not decline until Week 32 from the commencement of the experiment. During that time, the metal concentrations in the ryegrass did not change significantly, probably because organic matter kept the metals bound in the solid phase. In Vardates, Zn concentrations in the ryegrass had a two-fold increase at 50 t ha⁻¹ from the first to the second cutting.

Key words: Organic matter, temperature, heavy metals.

Βιβλιογραφία

- Alloway, B.J. 1995. Soil processes and the behaviour of metals. pp. 38-57. In Alloway, B.J. (ed.) *Heavy Metals in Soils*. Blackie Academic and Professional, London, UK.
- Antoniadis, V. 1998. *Heavy Metal Availability and Mobility in Sewage Sludge-Treated Soils*. PhD Thesis, The University of Reading, Department of Soil Science.
- Αντωνιάδης, Β. και Β.Α. Alloway. 1998. Διαθεσιμότητα Cd και Zn σε εδάφη που δέχτηκαν υλικά βιολογικών καθαρισμών. σσ. 397-408. Πρακτικά 7^{ου} Πανελληνίου Εδαφολογικού Συνεδρίου, Αγρίνιο.
- Bascomb, C.L. 1974. Physical and chemical analysis of <2 mm samples. pp. 14-42. In Avery, B.W. and Bascomb, C.L. (eds.) *Soil Survey Laboratory Methods*. Soil Survey Technical Monograph, No 6, Harpenden, UK.

- Chaney, R.L. 1988. Effective utilisation of sewage sludge on cropland in the United States and toxical considerations for land application. pp. 77-105. In *Land Application of Sewage Sludge*. Association for the Utilisation of Sewage Sludge, Tokyo.
- De Vries, M.P.C. and K.G. Tiller. 1978. Sewage sludge as a soil amendment, with special reference to Cd, Cu, Mn, Pb and Zn- Comparison of results from experiments conducted inside and outside a glasshouse. *Environmental Pollution* 16: 231-240.
- El-Hassanin, A.S., T.M. Labib and A.T. Dobal. 1993. Potential Pb, Cd, Zn and B contamination of sandy soils after different irrigation periods with sewage sludge effluent. *Water, Air and Soil Pollution* 66: 239-249.
- Luo, Y.M and P. Christie. 1998. Bioavailability of cadmium and zinc in soils treated with alkaline stabilised sewage sludges. *Journal of Environmental Quality* 27: 325-342.
- McBride, M.B. 1995. Toxic metal accumulation from agricultural use of sludge- Are USEPA regulations protective. *Journal of Environmental Quality* 24: 5-18.
- McGrath, S.P. and C.H. Cuncliffe. 1985. A simplified method for extraction of the metals Fe, Zn, Cu, Ni, Cd, Pb, Cr, Co and Mn from soils and sewage sludges. *Journal of Science of Food and Agriculture* 36: 794-798.
- Rhoades, J.D. 1982. Soluble salts. pp. 181-199. In Page, A.L., R.H. Miller and D.R. Keegly (eds.) *Methods of Soil Analysis-Part 2*. 2nd Edition, American Society of Agronomy Inc. and Soil Science Society of America Inc. Publisher, Madison, USA.
- Rowell, D.L. 1994. *Soil Science: Methods and Applications*. Longman, Harlow, UK.
- Sheldrick, B.H. and C. Wang. 1993. Particle size distribution. pp. 499-509. In Carter, M.R. (ed.) *Soil Sampling and Methods of Analysis*. Canadian Society of Soil Science, Lewis Publishers, London, UK.
- Sposito, G., L.J. Lung and A.C. Chang. 1982. Trace metal chemistry in arid- zone field soils amended with sewage sludge: I. Fractionation of Ni, Cu, Zn, Cd and Pb in solid phases. *Soil Science Society of America Journal* 46: 260-264.
- White, C.S., S.R. Lotfin and R. Aguilar. 1997. Application of biosolids to degraded semiarid rangeland: Nine-year responses. *Journal of Environmental Quality* 26: 1663-1671.