

ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΤΗΤΑ Cd ΚΑΙ Zn ΣΕ ΕΔΑΦΗ ΠΟΥ ΔΕΧΤΗΚΑΝ ΙΔΥ ΒΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΚΑΘΑΡΙΣΜΩΝ

B. Αντωνιάδης και B.J. Alloway

The University of Reading, Department of Soil Science P.O. Box 233, Reading, RG6 6DW, UK

Περίληψη

Σε πείραμα με πειραματικά δοχεία και φυτά έγινε συγκριτική μελέτη της διαθεσιμότητας του Cd και Zn στους 15 °C και 25 °C σε Ήρα πολυετή (*Lolium perenne* L.). Στο πείραμα χρησιμοποιήθηκαν δύο εδάφη, που διαφέρουν σημαντικά από πλευράς χημικών και φυσικών ιδιοτήτων και τρία επίπεδα ιλύος (0, 1 και 5 t στρ⁻¹). Το πείραμα ολοκληρώθηκε σε ένα έτος, κατά τη διάρκεια του οποίου παίρνονταν εδαφικά και φυτικά δείγματα σε τακτά χρονικά διαστήματα. Σαν δείκτες διαθεσιμότητας χρησιμοποιήθηκαν τα εκχυλιστικά 5 mM DTPA και 0,05 M CaCl₂. Οι μορφές του Zn που εκχυλίστηκαν με DTPA έτειναν να μειωθούν, ενώ οι μορφές και των δύο στοιχείων που εκχυλίστηκαν με CaCl₂ αυξήθηκαν στη διάρκεια του χρόνου του πειράματος. Η ίδια ανοδική τάση παρατηρήθηκε και στις συγκεντρώσεις των μετάλλων αυτών στη φυτομάζα. Εδαφικά και φυτικά δείγματα που πάρθηκαν από τα δοχεία της υψηλής θερμοκρασίας είχαν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις Cd και Zn από εκείνα της χαμηλότερης. Αυτό μπορεί να αποδοθεί στην οργανική ουσία, η οποία έτεινε να αποικοδομηθεί γρηγορότερα στο χώρο υψηλότερης θερμοκρασίας. Και τα δύο εκχυλιστικά αποδείχτηκαν αξιόπιστοι δείκτες για την πρόβλεψη της διαθεσιμότητας, αλλά το CaCl₂ ακολούθησε τις τάσεις των συγκεντρώσεων του φυτού με μεγαλύτερη ακρίβεια. Η θερμοκρασία είχε μεγάλη επίδραση στο Cd και Zn, καθώς διεύρυνε τη διαθεσιμότητά τους, ιδιαίτερα στα υψηλά επίπεδα εφαρμογής ιλύος.

Λέξεις-κλειδιά: Cd, Zn, θερμοκρασία, οργανική ουσία.

Εισαγωγή

Ιλύς είναι το στερεό υπόλειμμα των βιολογικών καθαρισμών αστικών λυμάτων. Έχει χρησιμοποιηθεί στη γεωργία επί πολλά χρόνια σαν οργανικό λίπασμα που περιέχει μακρο- και ιχνοστοιχεία. Ωστόσο, περιέχει και βαρέα μέταλλα, τα οποία μπορεί να έχουν τοξικές επιδράσεις στις καλλιέργειες. Όταν χρησιμοποιείται σε υψηλές ποσότητες υπάρχει ο κίνδυνος τα μέταλλα αυτά να υπεισέλθουν στην τροφική αλυσίδα του ανθρώπου (Chang *et al.*, 1983). “Διαθέσιμο” ονομάζεται εκείνο το κλάσμα των βαρέων μετάλλων που εύκολα μπορεί να προσληφθεί από το φυτό. Η διαθεσιμότητα των βαρέων μετάλλων εξαρτάται από το pH, τον τύπο εδάφους, την

οργανική ουσία και άλλες εδαφικές παραμέτρους (Kirkham, 1977; Alloway, 1995). Η οργανική ουσία είναι υπεύθυνη για την ελάττωση της διαθεσιμότητας του Cd και Zn στα φυτά. Έχει βρεθεί ότι η οργανική ουσία μειώνει τα συμπτώματα τοξικότητας των μετάλλων αυτών στα φυτά καθώς τα προσροφά (Alloway και Jackson, 1991; Bell *et al.*, 1991; El-Hassanin *et al.*, 1993). Ωστόσο, χαμηλού μοριακού βάρους φουλβικά οξέα ενδέχεται να αυξάνουν την κινητικότητα των μετάλλων, καθώς μειώνουν την προσρόφηση των μετάλλων αυτών στη στερεή φάση του εδάφους (Alloway, 1995). Η διαθεσιμότητα των βαρέων μετάλλων μπορεί να ποικίλλει με τη θερμοκρασία. Υπάρχει η ανησυχία ότι υψηλές θερμοκρασίες, όπου έχει εφαρμοστεί υλός, μπορεί να οδηγήσουν σε απελευθέρωση σημαντικά μεγάλων ποσοτήτων διαθέσιμων μετάλλων στα φυτά, λόγω γρηγορότερης αποικοδόμησης της οργανικής ουσίας του εδάφους. Σαν πιο αντιπροσωπευτικά βαρέα μέταλλα επιλέχτηκαν το Cd και ο Zn σε αυτήν την εργασία. Παρ' όλο που ο Zn είναι απαραίτητο στοιχείο για τη θρέψη των φυτών, ενώ το Cd δεν έχει καμία γνωστή βιολογική λειτουργία, και τα δύο έχουν παρόμοια χημική συμπεριφορά στο εδαφικό περιβάλλον. Στην εργασία μελετάται η επίδραση δύο θερμοκρασιών, 15 °C και 25 °C, οι οποίες αντιπροσωπεύουν συνθήκες θερμοκρασίας παρόμοιες με εκείνες της Αγγλίας και Ελλάδας αντίστοιχα, στη διαθεσιμότητα για τα φυτά Cd και Zn από μείγματα υλός και εδάφους.

Υλικά και Μέθοδοι

Πειραματικός σχεδιασμός

Από το αγρόκτημα του πανεπιστημίου του Reading έγινε επιλογή δύο δειγμάτων εδάφους έτσι ώστε αυτά να διαφέρουν σημαντικά από πλευράς χημικών και φυσικών ιδιοτήτων. Το ένα ήταν αργίλλοπηλώδες (CL), ενώ το άλλο πηλοαμμώδες (LS). Η συλλογή υλός έγινε από σταθμό βιολογικού καθαρισμού κοντά στο Λονδίνο και είχε περιεκτικότητα 8% σε στερεή ουσία. Τα ποσά της υλός που χρησιμοποιήθηκαν ήταν 0, 1 και 5 t στρ⁻¹ και τα μείγματα εδαφών και υλός τοποθετήθηκαν σε δοχεία 4L. Τα μισά από αυτά τοποθετήθηκαν σε θερμοκήπιο, όπου η θερμοκρασία διατηρούνταν στους 25 °C και τα άλλα μισά σε ένα δωμάτιο σταθερής θερμοκρασίας στους 15 °C. Όλα τα δοχεία φυτεύθηκαν με 10 σπόρους *Lolium perenne* L. Τα μείγματα διατηρήθηκαν σε συνθήκες υδατοικανότητας, καθώς ποτίζονταν από κάτω.

Μεθοδολογία

Εδαφικά και φυτικά δείγματα παίρνονταν σε τακτά χρονικά διαστήματα. Δηλαδή, Εβδομάδα 0 (ημέρα έναρξης του πειράματος), 2, 4, 8, 16, 32 και 48 για τα εδαφικά δείγματα και Εβδομάδα 7, 14, 21, 28, 35 και 51 από την εγκατάσταση της καλλιέργειας για τα φυτικά δείγματα.

Κατά τις περιόδους μεταξύ των Εβδομάδων 7 έως 14 και 21 έως 28 παρατηρήθηκε σημαντική μείωση της απόδοσης της καλλιέργειας στο θερμοκήπιο, λόγω επίθεσης εντόμων την πρώτη φορά και αποτυχίας του συστήματος θέρμανσης τη δεύτερη. Τα εδάφη αεροξηράνθηκαν και πέρασαν από κόσκιστο με ανοίγματα 2 mm. Για το φυσικοχημικό χαρακτηρισμό των εδαφών και της ιλύος (Πίνακας 1) έγιναν οι εξής αναλύσεις: CaCO₃ με ασβεστόμετρο, Οργανική Ουσία με τη μέθοδο Loss-On-Ignition, Ικανότητα Ανταλλαγής Κατιόντων με κορεσμό με Na⁺, Ηλεκτρική Αγωγιμότητα με αιώρημα 1:5 έδαφος:H₂O w/v, pH με αιώρημα 1:2,5 έδαφος:H₂O w/v και με 0,01 M CaCl₂ και Φαινόμενο Ειδικό Βάρος (Rowell, 1996), κοκκομετρική σύσταση με υδρόμετρο Βουγιούκου (Walinga *et al.*, 1995), υδατοδιαλυτά κατιόντα, με αιώρημα 1:5 έδαφος:H₂O w/v (Rhoades, 1982), και οξείδια Fe και Al (Bascomb, 1974). Η οργανική ουσία με τη μέθοδο Loss-On-Ignition μετρήθηκε σε όλα τα δείγματα εδάφους που πάρθηκαν στη διάρκεια των 48 εβδομάδων. Τα εκχυλιστικά 5 mM DTPA και 0,05 M CaCl₂ χρησιμοποιήθηκαν για να

Πίνακας 1. Φυσικές και χημικές ιδιότητες των εδαφών και της ιλύος.

	Άμμος	Ίλύς %	Άργιλλος	pH H ₂ O	pH CaCl ₂	OM# % LOI	CEC cmol. kg ⁻¹
CL*	32,43	35,82	31,75	7,65	7,19	10,40	49,03
LS*	78,37	14,64	6,99	7,21	6,68	2,70	8,75
SS*	-	-	-	8,15	7,45	42,03	-
	CaCO ₃ %	Ca ⁺²	Mg ⁺² mg L ⁻¹	Na ⁺	K ⁺	H.A. ! dS m ⁻¹	ΦΕΒ ** g cm ⁻³
CL	3,00	53,00	1,53	2,58	7,43	1,91	0,92
LS	1,10	9,36	0,53	1,53	3,36	0,17	1,21
SS	-	-	-	-	-	-	0,739
	Fe %	Al	Cd &	Ni & μg g ⁻¹	Pb &	Zn &	
CL	1,31	0,13	0,35	15,44	22,58	47,69	
LS	0,93	0,09	0,32	13,93	17,82	34,69	
SS	-	-	7,45	36,83	312,4	635,66	

* CL, LS και SS: Αργιλλοπηλώδες Έδαφος, Πηλοαμμώδες Έδαφος και Ίλύς Βιολογικού Καθαρισμού αντίστοιχα

#: Οργανική Ουσία με τη μέθοδο Loss-On-Ignition

!: Ηλεκτρική Αγωγιμότητα

** : Φαινόμενο Ειδικό Βάρος

&: Χωνεμένα με Aqua regia

εκχυλίσουν τις διαθέσιμες ποσότητες του Cd και Zn στα δείγματα εδάφους που πάρθηκαν στη διάρκεια των 48 εβδομάδων. Η εκχύλιση με DTPA γινόταν με μηχανική ανακίνηση 10 g εδάφους και 20 mL διαλύματος 5 mM DTPA για 2 ώρες (Lindsay και Norvell, 1978). Η εκχύλιση με CaCl₂ γινόταν με μηχανική ανακίνηση 5 g εδάφους με 50 mL διαλύματος 0,05 M CaCl₂ για 16 ώρες (Alloway και Morgan, 1986). Οι ολικές συγκεντρώσεις των μετάλλων αυτών υπολογίστηκαν με τη μέθοδο *Aqua regia*, κατά την οποία 1,5 g εδάφους χωνεύονταν με 10,5 mL π.HCl και 3,5 mL π.HNO₃ στους 120 °C για 3 ώρες. (McGrath και Cunliffe, 1985). Οι ολικές συγκεντρώσεις των Cd και Zn στα μείγματα υλός-εδαφών παρουσιάζονται στον Πίνακα 2. Τα φυτικά δείγματα μετά τη συγκομιδή τους ξηραίνονταν στους 75 °C, μέχρι που να μην σημειώνεται περαιτέρω μείωση του βάρους τους. Οι περιεκτικότητες των φυτών σε Cd και Zn υπολογίστηκαν με χώνευση 0,5 g φυτικού υλικού με 5 mL π.HNO₃ στους 130 °C για 6 ώρες (Hooda, 1992). Όλες οι μετρήσεις έγιναν είτε σε Φασματοφωτόμετρο Ατομικής Απορρόφησης (AAS), είτε σε ICP-OES. Τα επίπεδα του Cd που εκχυλίστηκαν με CaCl₂ ήταν κάτω από το όριο ανίχνευσης του ICP-OES (1 μg L⁻¹) και μετρήθηκαν σε Φούρνο Γραφίτη (GF-AAS), όπου το όριο ανίχνευσης του στοιχείου αυτού είναι 0,008 μg L⁻¹. Για τη στατιστική επεξεργασία των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε η δοκιμή LSD (Least Significant Differences) για p<0,005 (επίπεδο πιθανότητας μεγαλύτερο από 95 %).

Αποτελέσματα και Συζήτηση

Η πρόσληψη του Cd και Zn από τη φυτομάζα σε σχέση με το χρόνο παρουσιάζεται στα Σχήματα 1 και 2. Η εφαρμογή της υλός αύξησε την πρόσληψη των βαρέων μετάλλων, με μεγαλύτερη αύξηση να παρατηρείται στη δόση των 5 t στρ⁻¹. Τα φυτά που αναπτύχθηκαν στο έδαφος CL είχαν σε όλες τις μεταχειρίσεις υψηλότερα επίπεδα μετάλλων, από εκείνα που αναπτύχθηκαν στο έδαφος LS. Με εξαίρεση τους μάρτυρες, παρατηρείται μια τάση αύξησης των επιπέδων του Cd που προσλαμβάνονται από τα φυτά στις μεταχειρίσεις του θερμοκηπίου (25 °C). Η αύξηση αυτή φαίνεται να συμφωνεί με μια παρόμοια μεταβολή στις ποσότητες Cd που εκχύλισε το CaCl₂. Η συγκέντρωση του Zn, σε αντίθεση, δεν παρουσιάζει σημαντικές διαφορές κατά την περίοδο ενός έτους, στις επτά συνεχείς κοπές. Η γρήγορη αποικοδόμηση της οργανικής ουσίας είναι δυνατό να έχει προκαλέσει την αύξηση της πρόσληψης στο θερμό περιβάλλον, καθώς μέταλλα προηγουμένως προσροφημένα στην οργανική ουσία απελευθερώνονται και γίνονται πιο διαθέσιμα στα φυτά. Ωστόσο, στα φυτά που αναπτύχθηκαν στους 15 °C η πρόσληψη του Zn μειώθηκε και στα δύο εδάφη. Αυτή η τάση μείωσης στην πρόσληψη

Πίνακας 2: Ολικά ποσά Cd και Zn ($\mu\text{g g}^{-1}$) στα μείγματα ιλύος-εδαφών

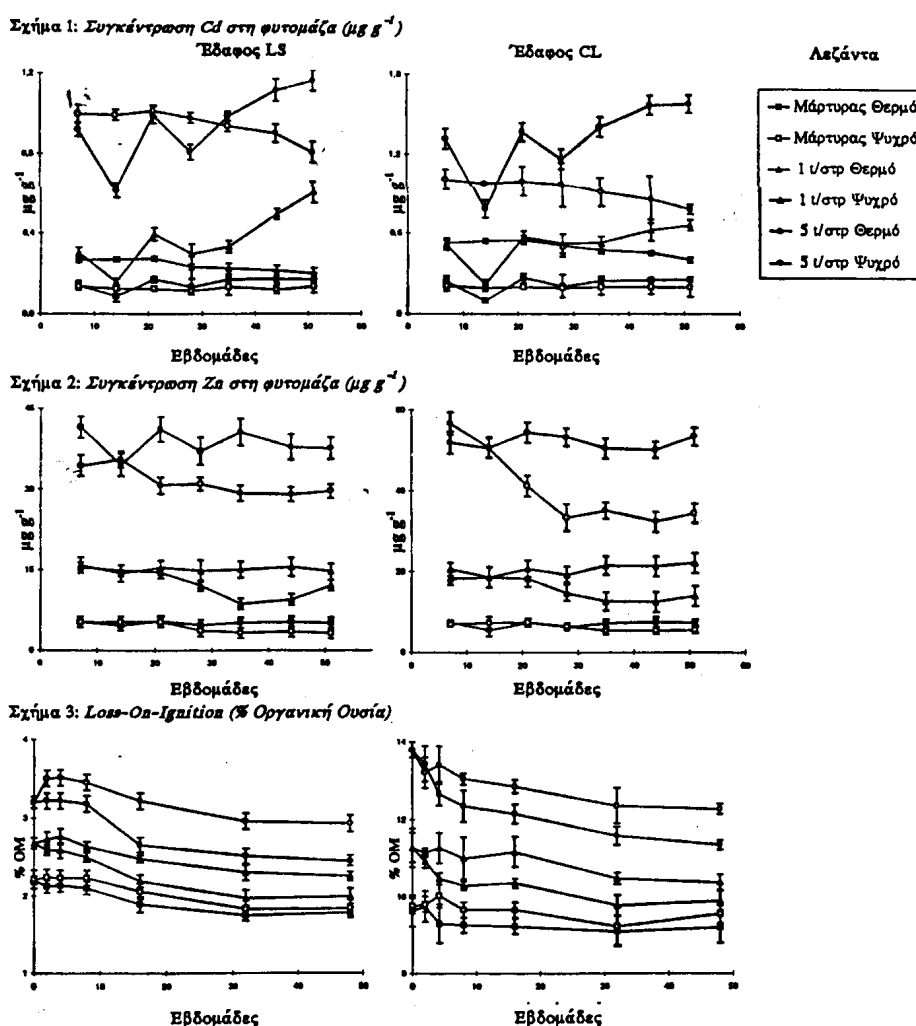
	Cd		Zn	
	Έδαφος LS			
Μάρτυρας	0,34	a*	35,2	a
1 t στρ ⁻¹	0,38	ab	46,8	b
5 t στρ ⁻¹	0,51	c	84,1	c
Έδαφος CL				
Μάρτυρας	0,52	a	48,6	a
1 t στρ ⁻¹	0,57	ab	63,4	b
5 t στρ ⁻¹	0,74	c	118,8	c

- : Διαφορετικά γράμματα σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των αριθμών

παρατηρείται και στο Cd επίσης. Όσο για τη μείωση στην πρόσληψη στα φυτά του ψυχρού περιβάλλοντος, αυτή η τάση έρχεται σε απόλυτη συμφωνία με τις εργασίες των Villagoel *et al.* (1993) και Chang *et al.* (1982), οι οποίοι βρήκαν ότι η πρόσληψη των βαρέων μετάλλων σε ψυχρά περιβάλλοντα μετά από εφαρμογή ιλύος ελαττώνεται και σε μερικούς μήνες τείνει να εξομοιωθεί με τους μάρτυρες. Η σημαντική μείωση στην πρόσληψη των μετάλλων που παρατηρείται στις Εβδομάδες 14 και 28 στις μεταχειρίσεις της υψηλής θερμοκρασίας, ιδιαίτερα για το Cd, ωφείλεται στη μείωση της απόδοσης της δοκιμαστικής καλλιέργειας στο θερμοκήπιο, η οποία προκλήθηκε από τους εξωτερικούς παράγοντες, δηλαδή την επίθεση εντόμων και την αποτυχία του συστήματος θέρμανσης, οι οποίοι εξηγούνται στα Υλικά και Μέθοδοι.

Οργανική Ουσία

Η εφαρμογή της ιλύος αύξησε την περιεκτικότητα των εδαφών σε οργανική ουσία σε όλες τις μεταχειρίσεις (Σχήμα 3). Στο έδαφος LS αυξήθηκε από 2,7% σε 3,2% και στο CL από 10,4% σε 13,7%, στη μεταχείριση των 5 t στρ⁻¹. Το ποσοστό αύξησης και στα δύο εδάφη ήταν παρόμοιο, δηλαδή 35% και 32% για το έδαφος LS και CL αντίστοιχα. Η περιεκτικότητα σε οργανική ουσία των εδαφών εξαρτάται από τη θερμοκρασία. Όπως αναμενόταν, η αποικοδόμηση ήταν ταχύτερη στο θερμό περιβάλλον, λόγω πιο εντατικής μικροβιακής δραστηριότητας. Αυτή η μείωση πάντως ήταν εμφανής ακόμα και στις μεταχειρίσεις του ψυχρού περιβάλλοντος. Τα αποτελέσματα στο Σχήμα 3 δείχνουν ότι η μείωση αυτή συνέβη κατά τη διάρκεια των 4 πρώτων μηνών. Μετά από αυτό το σημείο η οργανική ουσία φαίνεται να μειώνεται πολύ αργά. Το ίδιο βρέθηκε και από τον Karapanagiotis *et al.* (1990).

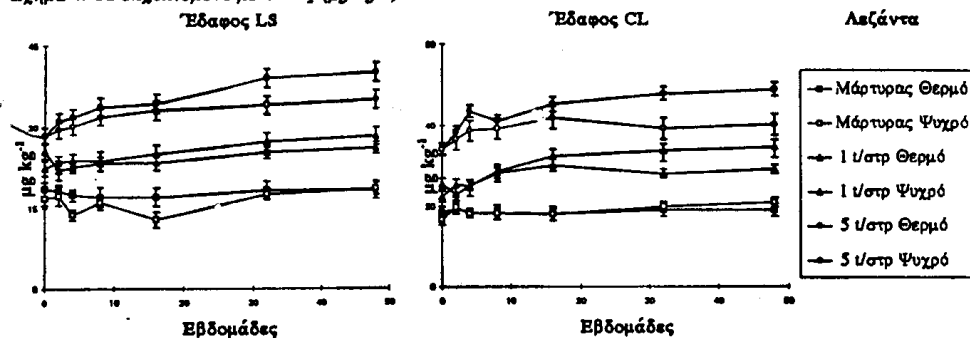


Cd και Zn εκχυλισμένα με CaCl_2

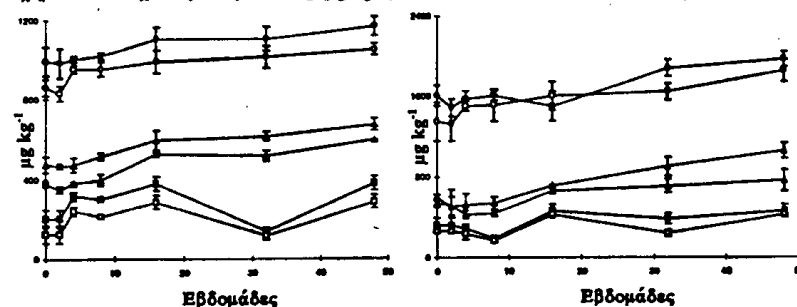
Όπως φαίνεται και στα Σχήματα 4 και 5 η εφαρμογή ιλύος αύξησε σημαντικά τις μορφές των Cd και Zn που εκχυλίστηκαν με CaCl_2 , με τα δείγματα από την υψηλή δόση να έχουν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις. Το έδαφος CL εκχύλισε μεγαλύτερες ποσότητες μετάλλων από το LS. Σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις, τα επίπεδα των μετάλλων ήταν υψηλότερα στο τέλος της περιόδου του ενός έτους. Σε όλες τις μεταχειρίσεις, δείγματα που πάρθηκαν από τα δοχεία του θερμοκηπίου είχαν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις σε βαρέα μέταλλα από εκείνα της χαμηλότερης θερμοκρασίας. Αυτό οφείλεται στην αποικοδόμιση της οργανικής ουσίας που έλαβε χώρα σε αυτό το διάστημα. Ως αποτέλεσμα, ποσότητες βαρέων μετάλλων είτε εισήλθαν στο εδαφικό

διάλυμα, είτε καταστάθηκαν ευκολότερα ανταλλάξιμα και έτσι εκχυλίστηκαν από το CaCl_2 . Αυτή η αύξηση συμφωνεί με εκείνη που παρατηρήθηκε στην πρόσληψη της φυτομάζας. Καθώς φαίνεται και στη βιβλιογραφία το CaCl_2 προσδιορίζει με μεγαλύτερη ακρίβεια τις διαθεσιμες μορφές των βαρέων μετάλλων, καθώς έχει βρεθεί να έχει υψηλότερους συντελεστές συσχέτισης με την πρόσληψη της φυτομάζας από πολλούς άλλους δείκτες διαθεσιμότητας. (Alloway, 1995; Morgan και Alloway, 1984).

Σχήμα 4: Cd εκχυλισμένο με CaCl_2 ($\mu\text{g kg}^{-1}$)

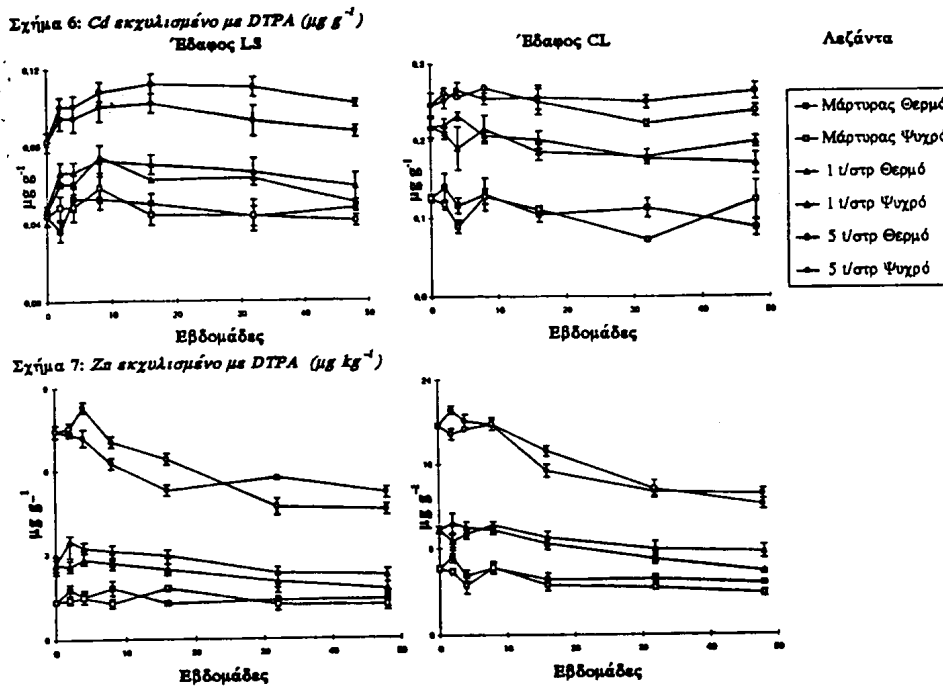


Σχήμα 5: Zn εκχυλισμένο με CaCl_2 ($\mu\text{g kg}^{-1}$)



Cd και Zn εκχυλισμένα με DTPA

Οι ποσότητες των Cd και Zn που εκχυλίστηκαν με DTPA επηρεάστηκαν από την εφαρμογή ιλύος, με τα εδάφη που δέχθηκαν τις υψηλές δόσεις να έχουν σημαντικά μεγαλύτερες συγκεντρώσεις στα μέταλλα αυτά, όπως φαίνεται και στα σχήματα 6 και 7. Η θερμοκρασία επηρέασε τις εκχυλιζόμενες με DTPA ποσότητες σημαντικά. Δείγματα από τη χαμηλότερη θερμοκρασία είχαν σε όλες τις περιπτώσεις μικρότερες ποσότητες από τα δύο μέταλλα, όπως και στην περίπτωση της εκχύλισης με CaCl_2 . Το Cd που εκχυλίστηκε με DTPA, στο έδαφος LS, αν εξαιρεθεί η αύξηση από την Εβδομάδα 0 στην Εβδομάδα 2, παρέμεινε ουσιαστικά αμετάβλητο στη διάρκεια του ενός έτους, ενώ ο Zn έδειξε μια σημαντική μείωση σε όλες τις μεταχειρίσεις, ιδιαίτερα στις υψηλές δόσεις εφαρμογής ιλύος. Η μείωση αυτή μπορεί να εξηγηθεί από το γεγονός ότι το DTPA εκχυλίζει εκείνες τις μορφές των μετάλλων που είναι δεμένες στην



οργανική ουσία. Καθώς η περιεκτικότητα σε οργανική ουσία των συστημάτων μειώνεται, οι ποσότητες των μετάλλων που έχουν συνάφεια με αυτήν επίσης μειώνονται. Στην περίπτωση του Cd αυτό δεν έγινε τόσο φανερό, όσο στην περίπτωση του Zn, αφού ο Zn έχει μεγαλύτερη συνάφεια με την οργανική ουσία από ό,τι το Cd (Spark *et al.*, 1997).

Συντελεστές Μεταφοράς

Ο Συντελεστής Μεταφοράς (ΣΜ) περιγράφεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$\Sigma\text{M} = \frac{[M]_{\text{φυτό}}}{[M]_{\text{έδαφος}}}$$

όπου, $[M]_{\text{φυτό}}$ είναι η συγκέντρωση ενός μετάλλου στη φυτομάζα μιας καλλιέργειας και $[M]_{\text{έδαφος}}$ είναι η ολική συγκέντρωση του μετάλλου αυτού στο έδαφος όπου αυτή η καλλιέργεια αναπτύσσεται. Ο ΣΜ ενός στοιχείου εξαρτάται από τη μορφή του στοιχείου αυτού στο έδαφος και τη συγκέντρωση άλλων στοιχείων που δρουν ανταγωνιστικά με αυτό. Οι ΣΜ δίνουν μια ένδειξη της κινητικότητας των στοιχείων στο έδαφος, και αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό στην περίπτωση των βαρέων μετάλλων. Υψηλοί ΣΜ για ένα μέταλλο σε μεγάλες δόσεις εφαρμογής υλός ενδέχεται να ενέχουν τον κίνδυνο το μέταλλο αυτό να υπεισέλθει στην τροφική αλυσίδα του ανθρώπου σε ποσότητες που να έχουν τοξικές επιδράσεις. Τα αποτελέσματα στον Πίνακα 3 δείχνουν ότι το Cd είναι ελαφρά πιο κινητικό από τον Zn. Αυτό έρχεται σε συμφωνία με τον

Kloke *et al.* (1984). Ωστόσο, και τα δύο έχουν πολύ μεγαλύτερους ΣΜ από άλλα βαρέα μέταλλα που εξετάστηκαν σε άλλες εργασίες. Οι Hooda και Alloway (1993) π.χ. βρήκαν το Cd έως και 250 φορές πιο κινητικό από το Pb. Οι αυξανόμενες δόσεις στην εφαρμογή της ιλύος οδήγησαν σε αύξηση των ΣΜ για τα δύο μέταλλα και στα δύο εδάφη., καθώς οι ποσότητες των βαρέων μετάλλων που εισάγονται στα εδαφικά συστήματα με την εφαρμογή της ιλύος είναι σημαντικά υψηλότερες σε σχέση με τους μάρτυρες. Το έδαφος CL έδωσε μεγαλύτερους ΣΜ από το έδαφος LS, και αυτό ήταν αναμενόμενο, καθώς το CL περιείχε μεγαλύτερες ποσότητες βαρέων μετάλλων αρχικά. Όμως, η διαφορά αυτή είναι πολύ μικρή. Η αρχική σημαντική διαφορά

Πίνακας 3: Συντελεστές Μεταφοράς των Cd και Zn

	Θερμό Έδαφος LS		Ψυχρό	
	Cd	Zn	Cd	Zn
Μάρτυρας	0,60	0,15	0,46	0,08
1 t στρ ⁻¹	1,65	0,29	0,51	0,23
5 t στρ ⁻¹	2,50	0,39	1,60	0,29
Έδαφος CL				
	Cd	Zn	Cd	Zn
Μάρτυρας	0,71	0,16	0,63	0,13
1 t στρ ⁻¹	1,54	0,28	0,87	0,15
5 t στρ ⁻¹	2,45	0,51	1,43	0,32

στις συγκεντρώσεις των μετάλλων των δύο εδαφών αντικατοπτρίζει μια πολύ μικρή μόνο διαφορά στις κινητικότητες. Αυτό δείχνει ότι ένα ελαφρύτερο έδαφος είναι πιθανό να αυξάνει την κινητικότητα των βαρέων μετάλλων. Οι ΣΜ στο ψυχρό περιβάλλον είναι συνεχώς μικρότεροι από το θερμό, και αυτό μπορεί να οφείλεται στους χαμηλότερους ρυθμούς αποικοδόμησης της οργανικής ουσίας στο περιβάλλον αυτό, κάτι που δίνει στα φυτά μικρότερη πρόσβαση στα μέταλλα. Μπορεί επίσης να ωφείλεται στην αργή αύξηση των φυτών στη χαμηλή θερμοκρασία, σε σχέση με εκείνη των φυτών του θερμοκηπίου.

Συμπεράσματα

Η οργανική ουσία παίζει έναν πολύ σημαντικό ρόλο στη διαθεσιμότητα των βαρέων μετάλλων στα φυτά. Ταχεία αποικοδόμηση της οργανικής ουσίας ενδέχεται να οδηγήσει σε υψηλότερα επίπεδα πρόσληψης (όπως φαίνεται στις μεταχειρίσεις της υψηλής θερμοκρασίας), τα

οποία δίνουν μεγαλύτερους ΣΜ, και για αυτό μεγαλύτερους κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία, ιδιαίτερα σε υψηλές δόσεις εφαρμογής ιλύος.

Το CaCl_2 και DTPA αποδείχτηκαν αξιόπιστοι δείκτες για την πρόβλεψη της διαθεσιμότητας των βαρέων μετάλλων, άλλα το CaCl_2 ακολούθησε τις τάσεις της πρόσληψης με μεγαλύτερη ακρίβεια.

Η θερμοκρασία είχε μεγάλη επίδραση στα βαρέα μέταλλα, καθώς διέυρνε την διαθεσιμότητά τους, ιδιαίτερα στις υψηλές δόσεις εφαρμογής ιλύος.

Το Cd ήταν πιο κινητικό μέταλλο από τον Zn σε αυτήν τη μελέτη. Η διαθεσιμότητά του εξαρτάται από την οργανική ουσία, τον τύπο του εδάφους και την θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Cd AND Zn AVAILABILITY IN SEWAGE SLUDGE-TREATED SOILS

V. Antoniadis and B.J. Alloway

The University of Reading, Department of Soil Science P.O. Box 233, Reading, RG6 6DW, UK

Abstract

A growth experiment to compare the availability of Cd and Zn to ryegrass (*Lolium perenne* L.) was conducted at 15 °C and 25 °C. Two soils, which represent a range of chemical and physical properties and three rates of sewage sludge (0, 10 and 50 t ha⁻¹) were used in an experiment lasting for one year, during which samples of soil and plant were taken at regular intervals. Extractions with 5 mM DTPA and 0.05M CaCl_2 solutions were used as availability indices. DTPA-extractable Zn tended to decrease, while the CaCl_2 -extractable forms of both elements increased over time. The same increasing trend was observed in the concentrations of these metals digested from the plants. Soil and plant samples taken from the higher temperature treatments had greater concentrations of Cd and Zn than samples taken from the temperature treatments. This may be attributed to the organic matter, which tended to decompose more rapidly at the higher temperature. Both DTPA and CaCl_2 proved reliable indices for predicting heavy metal availability, but CaCl_2 followed the plant concentration trends more precisely. Temperature had a marked effect on Cd and Zn, enhancing their availability, especially at the higher sewage sludge application rates.

Βιβλιογραφία

Alloway, B.J. 1995. Heavy metals in soils. 2nd Edition, Blackie Academic and Professional, London.

Alloway, B.J. and A.P. Jackson. 1991. The behaviour of heavy metals in sewage sludge-amended soils. *The Science of the Total Environment* 100: 151-176.

Alloway, B.J. and H. Morgan. 1986. The behaviour and availability of Cd, Ni and Pb in polluted soils. In: Assink, J.W. and W.J. van der Brink (Eds.). *Contaminated Soils*. Martinus Nijhoff, Dordrecht, pp. 101-113

Bascomb, C.L. 1974. Physical and chemical analysis of <2 mm samples. In: Avery, B.W. and C.L. Bascomb (Eds.). *Soil Survey Laboratory Methods*. Soil survey technical monograph No 6, Harpenden, pp. 14-42.

Bell, P.F., B.R. James and R.L. Chaney. 1991. Heavy metal extractability in long term sewage sludge and metal-salt amended soils. *Journal of Environmental Quality* 20: 481-486.

Chang, A.C., A.L. Page, J.E. Wameke, M.R. Resceto and T.E. Jones. 1983. Accumulation of cadmium and zinc in barley grown on sludge treated soils: a long-term field study. *Journal of Environmental Quality* 12: 391-397.

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 effluent. *Water, Air and Soil Pollution* 66: 239-249.

Hooda, P.S. 1992. The behaviour of trace metals in sewage sludge-amended soils. PhD Thesis, Department of Geography, Queen Mary and Westfield College, University of London, pp. 51-52.

Hooda, P.S. and B.J. Alloway. 1993. Effects of time and temperature on the bioavailability of Cd and Pb from sludge-amended soils. *Journal of Soil Science* 44: 97-110.

Karapanagiotis, N.K., R.M. Sterritt and J.N. Lester. 1990. Heavy metal binding by the polymeric organic fractions of sewage sludges. *Environmental Pollution* 67: 259-278.

Kirkham, M.B. 1977. Trace elements in sludge on land: effect on plants, soils and ground water. In: *Land as a waste management alternative*. Ann Arbor Science, Michigan, pp. 209-247.

Kloke, A., D.R. Sauerbeck and H. Vetter. 1984. The contaminations of plants and soils with heavy metals in the transport of metals in terrestrial food chain. In: Nriagu, J.O. (Ed.). *Changing metal cycles and human health*, Springer Verlag, Berlin, pp. 113-141.

Lindsay, W.L. and W.A. Norvell. 1978. Development of DTPA test for Zinc, Iron, Manganese and Copper. *Soil Science Society of America Journal* 42: 421-428.

McGrath, S.P. and C.H. Sunliffe. 1985. A simplified method for the 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.

Morgan, H. and B.J. Alloway. 1984. The value of chemical extractants for predicting the availability of cadmium to vegetables. In: Hemphill, B.D. (Ed.). *Trace substances and environmental health XVIII*, pp. 539-547.

Rhoades, J.D. 1982. Soluble salts. 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., Soil Science Society of America, Inc. Publisher, Madison, pp. 181-199.

Rowell, D.L. 1996. *Soil science: Methods and applications*. Longman, Harlow.

Spark, K.M., J.D. Wells and B.B. Johnson. 1997. Sorption of heavy metals by mineral-humic acid substrates. *Australian Journal of Soil Research* 35: 113-122.

Villaroel, J.R., A.C. Chang and C. Amrhein. 1993. Cd and Zn phytoavailability of a field stabilised sludge-treated soil. *Soil Science* 155: 197-205.