

A. Χρονοπούλου-Σερέλη¹

I. Χρονόπουλος²

A. Κανναβού¹

Καθηγητές του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών

Ενδημικά φυτά – υπερσυσσωρευτές μολύβδου στη Λαυρεωτική

Εισαγωγή

Η ΛΑΥΡΕΩΤΙΚΗ ΧΕΡΣΟΝΗΣΟΣ βρίσκεται στο νοτιοανατολικό άκρο της Αττικής. Εκτείνεται νότια της νοητής γραμμής Βουλιαγμένη-Λιμένας Μεσογαίας (Πόρτο-Ράφτη) και είναι γνωστή για την έντονη μεταλλευτική και μεταλλουργική της δραστηριότητα, η οποία έχει αρχίσει από την αρχαιότητα και συνεχίστηκε μέχρι το 1981. Σωροί στερεών αποβλήτων βρίσκονται μέχρι σήμερα σε διάφορα σημεία της πόλης, ενώ τα υγρά απόβλητα κατέληγαν για αρκετές δεκαετίες στην παραλία υποβαθμίζοντάς την. Εκτός όμως από τα στερεά και υγρά απόβλητα, κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του εργοστασίου, πυκνό νέφος κάλυπτε τη γύρω περιοχή αποδίδοντας υψηλές συγκεντρώσεις Pb στο περιβάλλον.

Οι υψηλές συγκεντρώσεις Pb που έχουν προσδιοριστεί στο έδαφος της Λαυρεωτικής (Δημητριάδης et al., 1994) έχουν επηρεάσει σημαντικά την ποικιλομορφία της ενδημικής χλωρίδας (Chronopoulos and Chronopoulou-Sereli, 1986, Chronopoulou-Sereli and Chronopoulos, 1991). Έχει παρατηρηθεί μείωση του αριθμού των αυτοφυών ειδών της περιοχής και δημιουργία οικοτύπων-φυτών υπερσυσσωρευτών μετάλλων, δηλαδή φυτικών ειδών τα οποία συσσωρεύουν υψηλές συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στις ρίζες και τους βλαστούς τους.

-
1. Εργαστήριο Γενικής και Γεωργικής Μετεωρολογίας.
 2. Εργαστήριο Ανθοκομίας και Αρχιτεκτονικής Τοπίου.

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η αναζήτηση και αξιολόγηση φυτικών ειδών υπερσυσσωρευτών Pb για να χρησιμοποιηθούν στην απορρύπανση επιβαρυσμένων εδαφών.

Μέθοδοι και υλικά

Έγινε συλλογή φυτικών δειγμάτων από τη Λαυρεωτική χερσόνησο και στα ίδια σημεία ελήφθησαν δείγματα εδάφους βάθους 0-20 cm. Τα φυτά διαχωρίστηκαν σε υπόγειο και υπέργειο μέρος και πλύθηκαν με απιονισμένο νερό. Το φυτικό υλικό ξηράνθηκε και πολτοποιήθηκε σε μύλο. Δείγματα 0,5 g από το πολτοποιημένο φυτικό υλικό χωνεύθηκαν με μίγμα $\text{HNO}_3/\text{H}_2\text{O}_2$ (6:1,v/v), χρησιμοποιώντας ένα πρόγραμμα χώνευσης 5 σταδίων σε αυτόματο φούρνο μικροκυμάτων. Τα χωνευμένα δείγματα συμπληρώθηκαν με απιονισμένο νερό, έως ένα σταθερό όγκο. Τα δείγματα του εδάφους αεροξηράνθηκαν, κοσκινίστηκαν (2 mm) και εκχυλίστηκαν με DTPA για να μετρηθεί ο ανταλλάξιμος Pb και χωνεύθηκαν με βασιλικό ύδωρ (μίγμα HCl/HNO_3 , 3:1,v/v) για να μετρηθεί ο ολικός Pb. Ο προσδιορισμός του Pb έγινε με Ατομική Απορρόφηση (GBC 908/909).

Μετά τον προσδιορισμό των συγκεντρώσεων Pb, λαμβάνοντας υπόψη τα κριτήρια του πίνακα 1, έγινε επιλογή των φυτικών ειδών *Chrysanthemum coronarium* και *Matthiola fruticulosa* για πειραματικό έλεγχο της ανθεκτικότητάς τους σε υψηλές συγκεντρώσεις Pb καθώς και της ιδιότητάς τους να συσσωρεύουν Pb στους ιστούς τους. Τα φυτά αναπτύχθηκαν σε υδροπονική καλλιέργεια, σε θερμοκήπιο με ελεγχόμενες συνθήκες θερμοκρασίας και φωτισμού. Η εφαρμογή του Pb έγινε με την προσθήκη $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ στο θρεπτικό διάλυμα της υδροπονικής καλλιέργειας. Χρησιμοποιήθηκε το εντελώς τυχαίοποιημένο σχέδιο με πέντε συγκεντρώσεις Pb (0, 5, 15, 45 και 135 μM). Όλες οι επεμβάσεις έγιναν εις τριπλούν. Τα φυτά συγκομίστηκαν τρεις εβδομάδες μετά την εφαρμογή του Pb, προετοιμάστηκαν όπως περιγράφηκε παραπάνω, και έγινε προσδιορισμός του Pb.

Κριτήρια επιλογής	<i>Glaucium flavum</i>	<i>Chrysanthemum coronarium</i>	<i>Ballota acetabulosa</i>	<i>Matthiola fruticulosa</i>	<i>Silene colorata</i>
Γρήγορη ανάπτυξη φυτού		√		√	√
Υψηλό ποσοστό βιομάζας	√	√	√		
Συγκέντρωση μολύβδου στη ρίζα	√	√	√	√	√
Συγκέντρωση μολύβδου στο βλαστό	√	√	√	√	√

Πίνακας 1: Κριτήρια επιλογής των φυτών για περαιτέρω έρευνα

Αποτελέσματα – συζήτηση

Τα αποτελέσματα της έρευνας πεδίου έδειξαν υψηλές συγκεντρώσεις Pb τόσο στο έδαφος, όσο και στα φυτικά είδη που ερευνήθηκαν. Η συσσώρευση του Pb στα υπό μελέτη φυτικά είδη ποικίλλει τόσο στις ρίζες όσο και στους βλαστούς (Πίνακας 2). Η μεταξύ τους διαφοροποίηση είναι συνάρτηση του είδους του φυτού και των ιδιοτήτων του εδάφους. Έχει διαπιστωθεί επίσης ότι οι υψηλές συγκεντρώσεις Pb στους φυτικούς ιστούς προκάλεσαν την αλλαγή του χρώματος των ανθέων της *Matthiola fruticulosa* και σοβαρές μορφολογικές διαφοροποιήσεις στα πέταλα των ανθέων των ειδών *Silene colorata* και *Papaver rhoeas* (Chronopoulou-Sereli and Chronopoulos, 1991), ενώ άλλα φυτικά είδη, πιο ανθεκτικά στο επιβαρυνόμενο αυτό περιβάλλον, παρουσίασαν ικανοποιητική ανάπτυξη.

Ο συντελεστής συσσώρευσης κάθε φυτικού είδους (Πιν. 2), ο οποίος εκφράζει το λόγο των συγκεντρώσεων Pb του βλαστού προς τη ρίζα, έχει ιδιαίτερο επιστημονικό ενδιαφέρον, διότι οδηγεί στην επιλογή του κατάλληλου φυτού, που πρέπει να ερευνηθεί, όσον αφορά στην ικανότητά του να βιοσυσσωρεύει και στη συνέχεια με την εκρίζωσή του να απομακρύνει το Pb από το έδαφος.

ΦΥΤΙΚΑ ΕΙΔΗ	Pb (mg/kg)		Συντελεστής συσσώρευσης
	Ρίζα	Βλαστός	
<i>Glaucium flavum</i>	546-1286	82-144	0,10-0,13
<i>Chrysanthemum coronarium</i>	510-2760	124-250	0,16-0,26
<i>Ballota acetabulosa</i>	97-316	97-284	0,88-1,26
<i>Matthiola fruticulosa</i>	207-326	336-537	1,42-1,90
<i>Silene colorata</i>	509-798	45-170	0,11-0,25
<i>Carthamus sp.</i>	217	42	0.19
<i>Lithospermum sp.</i>	983	198	0.20
<i>Crocus sieberi</i>	350	476	1.36
<i>Arisarum vulgare</i>	765	507	0.66
<i>Cyclamen graecum</i>	240	362	1.51

Πίνακας 2: Συντελεστής συσσώρευσης και συγκεντρώσεις Pb (mg/kg) στις ρίζες και τους βλαστούς αυτοφυών φυτών της Λαυρεωτικής

Ο συντελεστής συσσώρευσης, όπως φαίνεται στον Πιν. 2, παίρνει τιμές από 0,1 έως 1,9. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα φυτικά είδη *Matthiola fruticulosa*, *Crocus sieberi* και *Cyclamen graecum*, με συντελεστή συσσώρευσης μεγαλύτερο της μονάδας (>1), διότι έχουν την ικανότητα να μετατοπίζουν στο υπέργειο τμήμα τους, το μεγαλύτερο ποσοστό του Pb που προσλαμβάνουν με το ριζικό τους σύστημα.

Τα αποτελέσματα των επεμβάσεων με διαφορετικές συγκεντρώσεις Pb στα φυτά *Chrysanthemum coronarium* και *Matthiola fruticulosa*, έδειξαν μεγάλη συσσώρευση Pb τόσο στο υπέργειο όσο και στο υπόγειο τμήμα τους. Επανάληψη του πειράματος, με παράλληλη μείωση του pH και του περιεχόμενου στο θρεπτικό διάλυμα φωσφόρου, έδειξε αύξηση της πρόσληψης Pb από το ριζικό σύστημα των φυτών καθώς και αύξηση της μετατόπισής του στους βλαστούς. Γενικά οι επεμβάσεις με Pb προκάλεσαν ελαφρά μείωση της ανάπτυξης των φυτών καθώς και μείωση του ξηρού βάρους του υπέργειου μέρους τους καθώς αυξανόταν, έως 135 μM , η συγκέντρωση του Pb.

Τα αποτελέσματα από τη μελέτη του *Chrysanthemum coronarium* και της *Matthiola fruticulosa* ενθαρρύνουν τη συνέχιση της έρευνας και σε άλλα φυτικά είδη της περιοχής, έτσι ώστε να ερευνηθεί ένας ικανοποιητικός αριθμός φυτών ανθεκτικών στις υψηλές συγκεντρώσεις Pb, με μεγάλη βιομάζα και γρήγορη ανάπτυξη, προκειμένου να χρησιμοποιηθούν στην απορρύπανση επιβαρυσμένων εδαφών σε περιοχές με ανάλογο εδαφοκλιματικό περιβάλλον.

Η αποκατάσταση των εδαφών αυτών μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη μέθοδο της Φυτοθεραπείας (Phytoremediation), που είναι φιλική προς το περιβάλλον και η οποία ερευνάται διεθνώς από τις αρχές της δεκαετίας του 1980. Η Φυτοθεραπεία είναι μια τεχνολογία απορρύπανσης κατά την οποία χρησιμοποιούνται φυτά για να απομακρυνθούν οι ρύποι από το έδαφος και το νερό ή να καταστούν ακίνδunami (Cunningham and Berti, 1993). Τρεις τομείς της τεχνολογίας αυτής εφαρμόζονται στην αποκατάσταση περιοχών επιβαρυσμένων με τοξικά μέταλλα. Η Φυτοεξαγωγή (Phytoextraction) κατά την οποία χρησιμοποιούνται φυτά-υπερσυσσωρευτές μετάλλων για να απομακρυνθούν τα βαριά μέταλλα από το έδαφος, η Ριζοδιήθηση (Rhizofiltration) όπου χρησιμοποιείται το ριζικό σύστημα των φυτών για να απομακρυνθούν τα βαριά μέταλλα από τα ρυπασμένα ύδατα και η Φυτοσταθεροποίηση (Phytostabilization) κατά την οποία χρησιμοποιούνται φυτά για την ελαχιστοποίηση της βιοδιαθεσιμότητας των τοξικών μετάλλων στα εδάφη (Salt et al, 1998).

Προκειμένου να εφαρμοστεί η Φυτοεξαγωγή θα πρέπει η ρύπανση του εδάφους να είναι επιφανειακή και να περιορίζεται στο βάθος που φτάνει το ριζικό σύστημα των αυτοφυών φυτών, δηλαδή 15-20 cm. Η μέθοδος αυτή πλεονεκτεί έναντι των συμβατικών μηχανικών τεχνικών απορρύπανσης του εδάφους διότι είναι μια τεχνολογία φιλική προς το περιβάλλον και παράλληλα μειωμένου κόστους (Kumar et al, 1995).

Abstract

The high lead (Pb) levels in Lavreotiki's soils have significantly affected the diversity of the endemic flora. Serious reduction in the area's native plant species has been noticed as well as formation of plants-ecotypes that hyperaccumulate Pb.

Results, of a research that the Agricultural University of Athens has conducted in Lavreotiki's native plant species, have shown a serious accumulation of Pb in plant tissues. It has been also found that high Pb concentrations are responsible for the change of color in flowers of the plant species *Matthiola fruticulosa* as well as for the serious morphological modifications in flowers of plant species *Silene colorata* and *Papaver rhoeas*. Other tolerant plant species showed a satisfactory growth in this heavily polluted environment.

The ability of the investigated plant species to accumulate high Pb concentrations in their tissues, was evaluated and it was concluded that the site restoration in Lavreotiki's several areas is possible, using Phytoremediation, an environment-friendly remediation technique.

Βιβλιογραφία

- Chronopoulos J. and Chronopoulou-Sereli A., 1986. Vegetational development of halophytes resistant to heavy metals in industrial regions in Lavrion (Attika). *Landschaft und Stadt*, 18(1): 42-45.
- Chronopoulou-Sereli A. und Chronopoulos J., 1991. Untersuchungen über die Pb-Belastung der vegetation in Lavreotiki (Attika). *Vernlungen de Gesellschaft für Ökologie*, XIX/III: 226-228.
- Cunningham S.D. and Berti W.R., 1993. Remediation of contaminated soils with green plants: an overview. *In Vitro Cell. Dev. Biol.* 29: pp 207-12.
- Δημητριάδης Α., Σταυράκη Π., Βέργου-Βήχου Α. και Li X., 1994. Περιβαλλοντική Γεωχημική Μελέτη Λαυρεωτικής Χερσονήσου Αττικής. Τόμος 3: Περιβαλλοντική Εδαφοχημική Έρευνα στη Λαυρεωτική Χερσόνησο Αττικής. 146 pp.
- Kumar N., Dushenkov V., Motto H. and Raskin I., 1995. Phytoextraction: The Use of Plants to Remove Heavy Metals from Soils. *Environ. Sci. Technol.*, 29, pp: 1232-1238.
- Salt D.E., Smith R.D. and Raskin I., 1998. Phytoremediation. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 49: pp 643-68.