

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

Σχολή Γεωπονικών Επιστημών

Τμήμα Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος



Πτυχιακή διατριβή

**«Επίδραση μολύβδου παρουσία και απουσία αζώτου στην ανάπτυξη της γλυστρίδας
(*Portulaca oleracea*)»**

**“Effect of added lead in the presence and absence of nitrogen in the development of
purslane (*Portulaca oleracea*)”**

Επιβλέπων: Αντωνιάδης Βασίλειος

ΝΟΚΑΣ Β. ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

ΒΟΛΟΣ 2021

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Επίδραση μολύβδου παρουσία και απουσία αζώτου στην ανάπτυξη της γλυστρίδας
(*Portulaca oleracea*)»

“Effect of added lead in the presence and absence of nitrogen in the development of purslane
(*Portulaca oleracea*)”

ΝΟΚΑΣ Β. ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Αντωνιάδης Βασίλειος: (επιβλέπων)	Αναπληρωτής Καθηγητής Εφαρμοσμένης Εδαφολογίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Λεβίζου Ευθυμία:	Επίκουρη Καθηγήτρια Φυσιολογίας Φυτών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Δαναλάτος Νικόλαος:	Καθηγητής Γεωργίας και Οικολογίας Φυτών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΔΗΛΩΣΗ- DISCLAIMER

Βεβαιώνω πως είμαι ο συγγραφέας αυτής της πτυχιακής εργασίας, η οποία εκπονήθηκε σύμφωνα με τον Κανονισμό Εκπόνησης Πτυχιακής Εργασίας του ΤΓΦΠΑΠ.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Για την εκπλήρωση της εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Αντωνιάδη Βασίλειο, Επιβλέπων Καθηγητή της πτυχιακής μου, ο οποίος με εμπιστεύτηκε να ολοκληρώσω την πτυχιακή εργασία μου και να χρησιμοποιήσω τον εξοπλισμό του Εργαστηρίου Εδαφολογίας του Τμήματος. Καθ' όλη την διάρκεια του πειράματος αλλά και κατά την διάρκεια της συγγραφής της πτυχιακής ήταν παρών ως καθοδηγητής, προσφέροντας βοήθεια, η οποία δεν μου στερήθηκε ποτέ.

Επίσης, θέλω να ευχαριστήσω θερμά των Θαλασσινό Γιώργο, υποψήφιο Διδάκτορα Εδαφολογίας του Π.Θ, ο οποίος βρισκόταν πάντα στο πλευρό μου από την αρχή μέχρι και την ολοκλήρωση των πτυχιακής μου, με καθοριστική συμβολή στην διεξαγωγή του πειράματος και στην συγκέντρωση των αποτελεσμάτων, καθώς και την Ανδρούδη Μαρία, συμφοιτήριά μου, η οποία με την συμμετοχή της στο πείραμα συνέβαλε στην διεκπεραίωση του πειράματος.

Τέλος, οφείλω να ευχαριστήσω τους γονείς μου και τους φίλους μου, οι οποίοι από την πρώτη στιγμή στάθηκαν δίπλα και με ενθάρρυναν συνεχώς ώστε να φέρω εις πέρας την πτυχιακή αλλά και καθώς πολλές φορές με βοήθησαν στην εύρεση πληροφοριών για την συγγραφή.

Στους γονείς και τους φίλους μου

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο μόλυβδος είναι ένα ιδιαίτερα τοξικό στοιχείο σε ανθρώπους και φυτά και ένας τρόπος αντιμετώπισης της τοξικότητάς τους σε ρυπασμένες περιοχές μπορεί να είναι η φυτοαποκατάσταση με χρήση κάποιων φυτών που συμπεριφέρονται ως συσσωρευτές. Η αντράκλα ή γλυστρίδα (*Portulaca oleraceae*), φυτό γνωστό για την αντοχή του σε διάφορες αβιοτικές καταπονήσεις, δεν έχει δοκιμαστεί επαρκώς ως συσσωρευτής μολύβδου. Σκοπός της εργασίας ήταν η μελέτη της επίδρασης του μολύβδου στην ανάπτυξη της γλυστρίδας ώστε να μελετηθεί αν δύναται να λειτουργήσει ως συσσωρευτής ή παρεμποδιστής του Pb. Το πείραμα πραγματοποιήθηκε με προσθήκη 4 διαφορετικών συγκεντρώσεων Pb και του μάρτυρα (0, 150, 300, 600 και 900 ppm) στο έδαφος αλλά και με παρουσία και απουσία αζώτου, με 10 επαναλήψεις για κάθε μεταχείριση. Για τις αναλύσεις πραγματοποιήθηκε μέτρηση των συγκεντρώσεων Pb στο έδαφος, οι ψευδο-ολικές με την μέθοδο του βασιλικού νερού(aqua regia) και οι διαθέσιμες με την μέθοδο DTPA. Αντίστοιχα μετρήθηκαν και οι συγκεντρώσεις Pb στο υπόγειο και υπέργειο τμήμα των φυτών με την μέθοδο της εκχύλισης με 20% HCl. Επίσης μετρήθηκαν φυσιολογικά χαρακτηριστικά των φυτών, όπως η συγκέντρωση χλωροφύλλης (SPAD) και ο ρυθμός φωτοσύνθεσης. Επίσης μετρήθηκαν και τα αναπτυξιακά χαρακτηριστικά των φυτών για κάθε μεταχείριση (ύψος φυτών, νωπό βάρος φύλλων και φυλλική επιφάνεια). Οι χορηγούμενες ποσότητες Pb δεν επηρέασαν τα αναπτυξιακά χαρακτηριστικά των φυτών. Όμως η βιομάζα των φυτών στις μεταχειρίσεις παρουσία N ήταν μεγαλύτερη σε σχέση με τις μεταχειρίσεις απουσία N. Αυτό ενδεχομένως να οφείλεται στην αζωτούχο λίπανση που πραγματοποιήθηκε. Επίσης οι συγκεντρώσεις Pb στις ρίζες ήταν πολύ μεγαλύτερες από αυτές που μετρήθηκαν στο υπέργειο τμήμα των φυτών, γεγονός που υποδεικνύει πιθανή ανάπτυξη μηχανισμού άμυνας των φυτών στην τοξικότητα του Pb. Συνεπώς συμπεραίνουμε ότι η γλυστρίδα έδρασε ως παρεμποδιστής Pb και όχι ως υπερσυσσωρευτής, καθώς συσσώρευσε και κράτησε στην ρίζα την μεγαλύτερη ποσότητα Pb και δεν την μετατόπισε παρά σε μικρό ποσοστό στο υπέργειο μέρος.

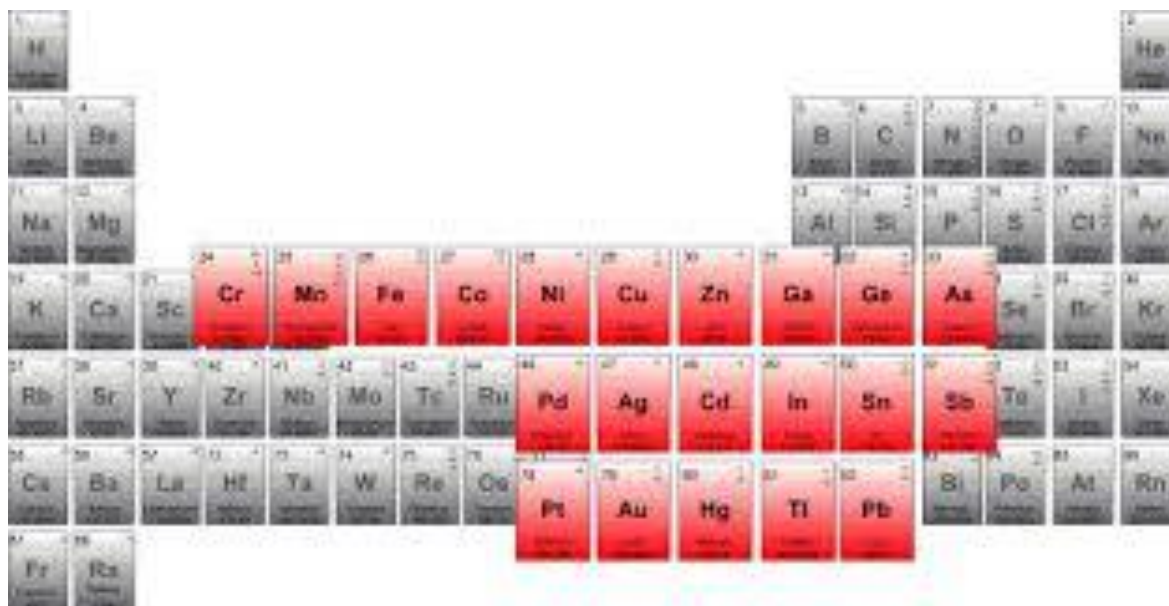
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	4
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή.....	5
1.1 Βαρέα Μέταλλα.....	6
1.1.1 Πηγές προέλευσης βαρέων μετάλλων (Φυσικές και Ανθρωπογενείς).....	6
1.1.2 Χημικές Ιδιότητες Βαρέων Μετάλλων.....	8
1.1.3 Χρήσεις Βαρέων Μετάλλων.....	8
1.1.4 Προβλήματα Βαρέων Μετάλλων στο Περιβάλλον και την Δημόσια Υγεία.....	9
1.1.5 Επίδραση στα φυτά.....	10
1.1.6 Εδαφικές ιδιότητες από τις οποίες εξαρτάται η διαθεσιμότητα των Βαρέων Μετάλλων.....	10
1.2 Μόλυβδος Pb.....	11
1.2.1 Βιο-γεω-χημικοί κύκλοι και ροές του μολύβδου.....	12
1.2.2 Χρήσεις Μολύβδου.....	13
1.2.3 Τοξικές επιδράσεις Μολύβδου σε φυτό και άνθρωπο.....	13
1.2.4 Μέγιστα επιτρεπόμενα όρια μολύβδου.....	15
1.2.5 Επίπεδα ρύπανσης στην Ελλάδα.....	15
1.3 Γλυστρίδα.....	15
1.3.1 Γενικά.....	15
1.3.2 Χαρακτηριστικά.....	15
1.3.3 Χρήσεις.....	16
Κεφάλαιο 2: Υλικά και Μέθοδοι.....	17
2.1 Πειραματικός Σχεδιασμός.....	17
2.2 Μέθοδοι Ανάλυσης.....	17
2.2.1 Αναλύσεις στο έδαφος.....	17
2.2.2 Αναλύσεις στο φυτό.....	18
2.3 Στατιστική Ανάλυση.....	19
Κεφάλαιο 3: Αποτελέσματα- Συζήτηση.....	20
3.1 Αποτελέσματα.....	20
3.2 Συζήτηση.....	36
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	39
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	40

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

1.1 Βαρέα Μέταλλα

Τα βαρέα μέταλλα είναι χημικά στοιχεία, του Περιοδικού Πίνακα, και ανήκουν στις ομάδες των μετάλλων και των μεταλλοειδών. Οι ομάδες αυτές περιλαμβάνουν στοιχεία όπως ο μόλυβδος (Pb), το κάδμιο (Cd), ο ψευδάργυρος (Zn), ο χαλκός (Cu), ο σίδηρος (Fe), το χρώμιο (Cr), κ.α. (Manavi Yadav et al. 2019).



The image shows a periodic table of elements. The elements from Chromium (Cr) to Lead (Pb) are highlighted in red, representing heavy metals. These include Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Br, Kr, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Tc, Ru, Rh, Pd, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Te, I, Xe, Cs, Ba, La, Hf, Ta, W, Re, Os, Ir, Pt, Au, Hg, Tl, Pb, Bi, Po, At, Rn, Fr, Ra, Ac, Th, Pa, U, Np, Pu, Am, Cm, Bk, Cf, Es, Fm, Md, No, Lr.

(Πηγή: http://digital-analysis.com/TArticles/Heavy_Metal_Reduction.html)

1.1.1 Πηγές προέλευσης βαρέων μετάλλων (Φυσικές και Ανθρωπογενείς)

Οι ποσότητες των βαρέων μετάλλων στο έδαφος είναι το σύνολο των συγκεντρώσεων των στοιχείων που πηγάζουν από τα μητρικά υλικά στη βάση των οποίων έχει σχηματιστεί το έδαφος και των εισροών από ένα ευρύ φάσμα ενδεχόμενων ανθρωπογενών πηγών (Alloway 2012).

Φυσικές πηγές προέλευσης βαρέων μετάλλων

Ο φλοιός της Γης κατά 99% αποτελείται από μεγάλες συγκεντρώσεις στοιχείων, όπως O, Si, Al, Fe, Mg, Ca κ.α. Αντιθέτως το 1% περιλαμβάνεται από ιχνοστοιχεία που εμφανίζονται σε μικρές συγκεντρώσεις, με αποτέλεσμα τα αναγκαία ποσοστά πρόσληψης αυτών από διάφορους μικροοργανισμούς να είναι σε πολύ χαμηλά επίπεδα (Alloway 2012). Σε αυτό το 1% περιλαμβάνονται και τα βαρέα μέταλλα δεδομένου πως βρίσκονται σε μικρές συγκεντρώσεις στο περιβάλλον (Tchounwou et al. 2012).

Οι Ryamond A. και Felix E. το 2011, ανέφεραν πως τα βαρέα μέταλλα δύναται να εμφανιστούν με φυσικό τρόπο στο περιβάλλον του εδάφους μέσω των διεργασιών αποσάθρωσης του μητρικού υλικού σε επίπεδα που μπορεί να θεωρηθούν χαμηλά ($< 1000 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$). Σύμφωνα με τον Alloway το 2012, τα βαρέα μέταλλα δύναται να δημιουργηθούν από την αποσάθρωση των μητρικών πετρωμάτων, μέσω της οποίας σχηματίζεται το έδαφος και τα συστατικά του, μέρος των οποίων είναι τα βαρέα μέταλλα που εμφανίζονται είτε αυτούσια είτε ως μεταλλεύματα, συγκεντρωμένα στα ορυκτά. Επιπλέον φυσικές πηγές βαρέων μετάλλων αποτελούν η καύση δασικών εκτάσεων, η αιολική διάβρωση των εδαφών κ.α, που παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.1.2 (Birks et al. 1992).

Πίνακας 1.1.1: Παγκόσμιες εκπομπές βαρέων μετάλλων από φυσικές πηγές (kt/yr) (Πηγή: Birks et al. 1992)

ΣΤΟΙΧΕΙΟ	Αιολική διάβρωση εδάφους	Θαλασσινό άλας	Ηφαιστεια	Καύση δασικών εκτάσεων	Βιογενείς πηγές	Σύνολο
Αντιμόνιο	0,78	0,56	0,71	0,22	0,29	2,6
Αρσένιο	2,6	1,7	3,8	0,19	3,9	12
Κάμδιο	0,21	0,06	0,82	0,11	0,24	1,4
Χρώμιο	27	0,07	15	0,09	1,1	43
Μόλυβδος	3,9	1,4	3,3	1,9	1,7	12
Ψευδάργυρος	19	0,44	9,6	7,6	8,1	45
Χαλκός	8	3,6	9,4	3,8	3,3	28

Ανθρωπογενείς πηγές προέλευσης βαρέων μετάλλων

Τα εδάφη μπορούν να μολυνθούν από βαρέα μέταλλα τόσο από ανθρωπογενείς όσο και από φυσικές πηγές. Πιο συγκεκριμένα, τα εδάφη δύνανται να επιβαρυνθούν από συσσώρευση βαρέων μετάλλων και μεταλλοειδών από τη δραστηριότητα βιομηχανιών και ορυχείων, από απόβλητα με υψηλά ποσοστά περιεκτικότητας σε βαρέα μέταλλα, από την χρήση βενζινοκίνητων οχημάτων και χρωμάτων που εμπεριέχουν μόλυβδο. Επίσης η μόλυνση μπορεί να προέρχεται και από γεωργικές εργασίες, δηλαδή τη χρήση λιπασμάτων, φυτοφαρμάκων αλλά και κοπριάς ζωικής προέλευσης. Ακόμα πηγή μόλυνσης από βαρέα μέταλλα αποτελούν και τα κατάλοιπα καύσης άνθρακα, η διαρροή πετροχημικών και η ατμοσφαιρική εναπόθεση (Raymond A. Wuana and Felix E. Okieimen, 2011).

Η εξόρυξη και μεταφορά ορυκτών, η σύντηξη και ο εξευγενισμός μεταλλευμάτων, η παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος μέσω ορυκτών καυσίμων, πυρηνικής και γεωθερμικής ενέργειας είναι μερικές από τις δραστηριότητες του ανθρώπου που μολύνουν το εδαφικό περιβάλλον. Επίσης, διάφορες κατασκευαστικές και βιομηχανικές δραστηριότητες, χημικές βιομηχανίες ή κατασκευής γυαλιών, τσιμέντου, πλαστικών κ.α, συμβάλουν στην επιβάρυνση αυτή των εδαφών (Khan et al. 2008). Παράλληλα, εξαιτίας της αποστράγγισης οξέων στα ορυχεία επιβαρύνεται ο υδροφόρος ορίζοντας με αύξηση των συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων, καθώς το έδαφος γίνεται αποδέκτης αυτών μέσω των κατακρημνίσεων και των ροών (Naja and Volesky 2009).

Μεγάλο ποσοστό των εδαφών του αγροτικού και αστικού περιβάλλοντος μπορούν να μολυνθούν από ποσότητες βαρέων μετάλλων που ξεπερνούν τα επιτρεπτά όρια συσσώρευσης, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η πιθανότητα κινδύνου στην ανθρώπινη υγεία, τα φυτά, τα ζώα κλπ. Ένα εδαφικό περιβάλλον μπορεί να μολυνθεί από βαρέα μέταλλα καθώς:

- i) Οι ρυθμοί παραγωγής τους μέσω ανθρωπογενών κύκλων είναι πιο γρήγοροι σε σχέση με τους φυσικούς
- ii) Μεταφέρονται από ορυχεία σε διάφορες τοποθεσίες του περιβάλλοντος με αποτέλεσμα να είναι μεγαλύτερος ο βαθμός έκθεσής τους
- iii) Οι συγκεντρώσεις μετάλλων σε διάφορα προϊόντα/ απορρίμματα είναι συνήθως μεγαλύτερες από εκείνες που διαθέτει το περιβάλλον υποδοχής

- iv) Η χημική μορφή με την οποία ένα μέταλλο βρίσκεται περιβάλλον υποδοχής του μπορεί να το καταστήσει πιο ενεργό (αύξηση της διαθεσιμότητας του, της κίνησης του, κλπ) (Ryamond A. et al., 2011)

1.1.2 Χημικές Ιδιότητες Βαρέων Μετάλλων

Ο ορισμός των βαρέων μετάλλων διαφέρει σε επίπεδο διεθνής βιβλιογραφίας αλλά και ανά επιστημονικό κλάδο. Ως απόρροια, πολλοί επιστήμονες ορίζουν τα βαρέα μέταλλα ως στοιχεία με Ατομικό Βάρος από 63,54 έως 200,59 και με Ειδικό Βάρος 4 gr/cm³, αντιθέτως άλλοι επιστήμονες τα κατατάσσουν σε μια ομάδα του Περιοδικού Πίνακα, με Ατομική Πυκνότητα μεγαλύτερη από 6 gr/cm³ (Μανουσάκης 2008).

Κάποια βαρέα μέταλλα, όταν βρίσκονται σε μικρές συγκεντρώσεις αποτελούν σημαντικά στοιχεία για την δράση βιταμινών, για ζωτικές λειτουργίες καθώς και για την ανάπτυξη των φυτών, καθώς πολλά ένζυμα και πρωτεΐνες τα εμπεριέχουν. Παράδειγμα αποτελεί πως ο Zn²⁺ δρα ως συνένζυμο σε κάποια ένζυμα (Nagajyoti et al. 2010).

Πίνακας 1.1.2: Πυκνότητα και Ατομικό Βάρος βαρέων μετάλλων (Πηγή: Γερασιμοπούλου, 2009)

Βαρέα μέταλλα	Σύμβολο	Πυκνότητα (g/cm ³)	Ατομικό Βάρος
Αντιμόνιο	Sb	6,6	121,76
Βισμούθιο	Bi	9,8	208,98
Κάδμιο	Cd	8,6	112,41
Χρώμιο	Cr	7,2	51,99
Κοβάλτιο	Co	8,9	58,93
Χαλκός	Cu	9	63,54
Χρυσός	Au	19,3	196,97
Σίδηρος	Fe	7,9	55,85
Μόλυβδος	Pb	11,3	207,2
Μαγγάνιο	Mn	7,4	54,94
Υδράργυρος	Hg	13,6	200,59
Μολυβδαίνιο	Mo	10,2	95,94
Νικέλιο	Ni	8,9	58,69
Όσμιο	Os	22,5	190,23
Λευκόχρυσος	Pt	21,5	195,09
Σελήνιο	Se	7,3	78,96
Άργυρος	Ag	10,5	107,86
Κασσίτερος	Sn	7,3	118,71
Βολφραΐμιο	W	19,3	183,84
Ουράνιο	U	18,7	238,07
Βανάδιο	V	6,1	50,95
Ψευδάργυρος	Zn	7,2	65,39
Ζιρκόνιο	Zr	6,5	91,22

1.1.3 Χρήσεις Βαρέων Μετάλλων

Τα βαρέα μέταλλα έχουν ευρύ φάσμα χρήσεων σε διάφορες βιομηχανικές και όχι μόνο δραστηριότητες. Τα κύρια που χρησιμοποιούνται είναι το Χρώμιο (Cr), το Κάδμιο (Cd), ο Μόλυβδος (Pb), ο Χαλκός (Cu), ο

Ψευδάργυρος (Zn), το Νικέλιο (Ni) κ.α. Στον Πίνακα 1.1.3 αποτυπώνονται κάποιες βασικές χρήσεις 8 βαρέων μετάλλων, σύμφωνα με την Agarwal το 2009.

Πίνακας 1.1.3: Χρήσεις 8 βασικών βαρέων μετάλλων (Πηγή: Agarwal 2009)

Χρήσεις Βαρέων Μετάλλων	As	Cd	Cr	Cu	Pb	Hg	Ni	Zn
Εξόρυξη και επεξεργασία μεταλλευμάτων	+	+		+		+		+
Μεταλλουργία	+	+	+	+	+	+	+	+
Χημική Βιομηχανία	+	+	+	+	+	+		+
Βιομηχανία Κραμάτων					+			
Βιομηχανία Χρωμάτων		+	+		+			+
Βιομηχανία Γυαλών	+				+	+		
Εργοστάσια Χαρτοπολτού			+	+	+	+	+	
Μαύρισμα Δέρματος	+		+			+		+
Βαφή και μεταξοτυπία κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων	+	+		+	+	+	+	+
Χημική Βιομηχανία Λιπασμάτων	+	+	+	+	+	+	+	+
Βιομηχανία χλωριούχων αλκαλίων	+	+	+		+	+		+
Διύλιση Πετρελαίου	+	+	+	+	+	+		+
Καύση Άνθρακα	+	+	+	+	+	+	+	

1.1.4 Προβλήματα Βαρέων Μετάλλων στο Περιβάλλον και την Δημόσια Υγεία

Η συνεχόμενη και ανοδική παραγωγή και ζήτηση μετάλλων στις ανεπτυγμένες κυρίως χώρες φανερώνει τον κίνδυνο διασποράς και επαφής τους με το περιβάλλον. Η διασπορά αυτή δύναται να γίνει καθ' όλη τη διαδικασία από την εξόρυξη ως και το τελικό παραγόμενο προϊόν. Η τήξη και ο εξευγενισμός των Zn, Cd, Pb, Cu και As, και όχι μόνο αυτές οι δραστηριότητες, εμφανίζονται ως οι βασικότερες αιτίες απελευθέρωσης αυτών. Επιπλέον, τα μέταλλα Cd, Cr, Pb, Mo, Zn, Cu, Hg και Se προερχόμενα από λειτουργίες βιομηχανιών παρουσιάζουν 10 ως 20 φορές εντονότερη κινητικότητα σε σχέση με την περίπτωση που αυτά προέρχονταν από την αποσάθρωση μητρικών πετρωμάτων (Adriano, 2001).

Η τήξη των μεταλλευμάτων αποτελεί βασική αιτία επιμόλυνσης του περιβάλλοντος από μέταλλα, κυρίως κοντά σε περιοχές που βρίσκονται χυτήρια. Μάλιστα οι επιπτώσεις των εισροών αυτών δύναται να εμφανιστούν και σε μεγάλη απόσταση από αυτά. Παρ' όλα αυτά, τα προβλήματα που δημιουργούνται δεν προέρχονται μόνο από τα μέταλλα αλλά και από τα οξικά συστατικά μέσω της διαδικασίας της επεξεργασίας των μεταλλευμάτων (Dudka και Adriano, 1997). Παράλληλα, πέρα από τις ανθρώπινες δραστηριότητες που επιβαρύνουν το περιβάλλον με βαρέα μέταλλα υπάρχουν και οι φυσικές. Πιο συγκεκριμένα, η διάβρωση των πετρωμάτων, η έκπλυση των εδαφών και τα παράγωγα ηφαιστειακών δραστηριοτήτων, που περιέχουν σε μεγάλο ποσοστό βαρέα μέταλλα αποτελούν βασικές πηγές επιβάρυνσης του περιβάλλοντος καθώς μεταφέρονται μέσω των ποταμιών, του αέρα, κ.α (Bryan, 1976).

Η τοξική δράση των βαρέων μετάλλων είναι σε συνάρτηση με τη συγκέντρωσή τους, με βάση τον τρόπο που εισέρχεται σε έναν οργανισμό, αλλά και τα χαρακτηριστικά αυτού (Tchounpou et al., 2012). Τα τοξικά στοιχεία εισέρχονται στους οργανισμούς μέσω διαφόρων οδών. Κάποια από αυτές τις οδούς είναι η επαφή, η τροφή, η αναπνοή, καθώς και η χρόνια θρέψη με προϊόντα πλούσια σε βαρέα μέταλλα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το κίνδυνο εμφάνισης καρκίνου και άλλων ειδών ασθένειες, γεγονός που καθιστά τα βαρέα μέταλλα επιζήμια για την δημόσια υγεία (Liu et al., 2013). Διαφόρων ειδών καρδιαγγειακής νόσου έχουν ως αιτία τόσο την υποβάθμιση γενικότερα του περιβάλλοντος όσο και την συσσώρευση βαρέων μετάλλων και την έκθεση του ανθρώπου σε αυτά. Παράλληλα, πρόσφατες έρευνες αποδεικνύουν πως τα βαρέα μέταλλα

αποτελούν πηγή εκδήλωσης διαβήτη και υπέρτασης σε ανθρώπους, οι οποίες ασθένειες δύναται να προκαλέσουν στον ανθρώπινο οργανισμό καρδιαγγειακές παθήσεις (CVD). Ενδεικτικά, ορισμένα μέταλλα που σχετίζονται με CVD είναι το As, το Cd, ο Pd, ο Hg, ο Cu, το Cr και το Ni (Ai- Mi Yang et al., 2020).

Ο Victor, 2013, αναφέρει πως:

- ❖ Το Αργίλιο αποτελεί παράγοντα για τις νόσους του Αλτσχάιμερ και Πάρκινσον.
- ❖ Το Αρσένιο και η έκθεση σε αυτό προκαλεί καρκίνο, πόνους στην κοιλιακή χώρα και είναι υπεύθυνο για την ασθένεια του Μαύρου Ποδιού.
- ❖ Το κάδμιο δύναται να προκαλέσει νευρική βλάβη και υπέρταση.
- ❖ Ο Μόλυβδος και ο Ψευδάργυρος συμβάλουν σε εκδήλωση παθήσεων των αρθρώσεων, των νεφρών, του κυκλοφορικού και νευρικού συστήματος.
- ❖ Το Νικέλιο δημιουργεί προβλήματα στο ήπαρ, τα νεφρά και τους πνεύμονες.
- ❖ Το Χρώμιο προκαλεί καρκίνο και είναι επιζήμιο για τους πνεύμονες.

1.1.5 Επίδραση στα φυτά

Τα βαρέα μέταλλα έχουν ιδιαίτερη επίδραση τόσο στον άνθρωπο όσο και στα φυτά ακόμα και όταν βρίσκονται σε μικρές συγκεντρώσεις. Το βασικό τους χαρακτηριστικό είναι πως δεν βιοδιασπώνται με αποτέλεσμα να παρατηρείται συσσώρευση αυτών στο έδαφος και τα ύδατα και ως απόρροια να μεταφέρονται στην τροφική αλυσίδα. Η συσσώρευση των βαρέων μετάλλων στα φυτά εμφανίζεται στο υπόγειο τμήμα των φυτών, δηλαδή τη ρίζα, η οποία ανάλογα με το είδος του φυτού εμφανίζει διάφορους μηχανισμούς αντιμετώπισης και ανθεκτικότητας προς αυτά, αλλά και στο υπέργειο που αποτελείται από τους βλαστούς και τα φύλλα (Μήτσιος, 2009). Τα μέταλλα Mn, Cu, Mo και B αποτελούν βασικά συστατικά για την ανάπτυξη των περισσότερων φυτών. Όμως όταν αυτά βρίσκονται σε χαμηλότερες από τις απαιτούμενες συγκεντρώσεις στο εδαφικό διάλυμα παρατηρείται το φαινόμενο της τροφοπενίας στα φυτά, ενώ παράλληλα όταν αυτά βρίσκονται σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις υπάρχει μεγάλος κίνδυνος τοξικότητας τόσο στα φυτά όσο και στους οργανισμούς που ζουν στο περιβάλλον εκείνο (Μήτσιος, 2009).

Οι συνέπειες των βαρέων μετάλλων στα φυτά λόγω της φυτοτοξικότητας αποτελούνται από αλλαγές σε κυτταρικό επίπεδο και ως απόρροια δυσκολίες στην διαδικασία της κυτταρικής διαίρεσης. Ως αποτέλεσμα αυτών, έχει παρατηρηθεί μείωση του ρυθμού ανάπτυξης των φυτών, της φωτοσυνθετικής τους ικανότητας, της παραγωγής χλωροφύλλης, αλλά και παρεμπόδιση πρόσληψης θρεπτικών και νερού από το φυτό (Wasia Wani et al., 2018). Σύμφωνα με τον Alloway (2012), τα φυτά όταν εκτεθούν σε μεγάλες συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων, κυρίως στην περίπτωση της άμεσης επαφής τους με μολυσμένο έδαφος και αέρα, εμφανίζουν συμπτώματα φυτοτοξικότητας. Το φαινόμενο αυτό λαμβάνει χώρα καθώς διαφοροποιείται η διαπερατότητα της μεμβράνης τους και αυξάνεται ο ανταγωνισμός των βαρέων μετάλλων με άλλα βασικά στοιχεία και μεταβολίτες για το φυτό.

1.1.6 Εδαφικές ιδιότητες από τις οποίες εξαρτάται η διαθεσιμότητα των Βαρέων Μετάλλων

Σύμφωνα με έναν γενικό ορισμό, «*Το βιοδιαθέσιμο κλάσμα μιας χημικής ουσίας είναι το κλάσμα της συνολικής της ποσότητας που υπάρχει σε ένα συγκεκριμένο περιβαλλοντικό διαμέρισμα, το οποίο, μέσα σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, είτε είναι διαθέσιμο είτε μπορεί να είναι διαθέσιμο για πρόσληψη από μικροοργανισμούς είτε από το άμεσο περιβάλλον του οργανισμού είτε με την κατάποση τροφής*» (Reijnenburg et al., 2007). Σύμφωνα με τον Selinus et al. (2005), βιοδιαθεσιμότητα είναι η ικανότητα ζωντανών οργανισμών να προσλαμβάνουν διάφορες χημικές ουσίες είτε μέσω της τροφικής αλυσίδας είτε απευθείας από το περιβάλλον, σε ποσοστό που δύναται οι ουσίες αυτές να επηρεάσουν τον μεταβολισμό των οργανισμών.

Η συμπεριφορά των μετάλλων στο έδαφος επηρεάζεται τόσο από αβιοτικές όσο και από βιοτικές διαδικασίες, οι οποίες αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους. Στις διαδικασίες αυτές περιλαμβάνονται η ανταλλαγή κατιόντων, η διαλυτοποίηση και η απορρόφηση από τα φυτά. Οι ρίζες των φυτών καθώς και οι μικροοργανισμοί, επηρεαζόμενοι από τις διαλυτές ουσίες του εδάφους, αποτελούν παράγοντα της διαλυτότητας και μεταφοράς των μετάλλων. Συνεπώς, μέσω αυτών των διαδικασιών καθορίζεται η διαλυτότητα, κινητικότητα, βιοδιαθεσιμότητα και τοξικότητα αυτών (Adriano, 2001). Οι εδαφικές ιδιότητες συμβάλλουν σημαντικά τόσο στην κατανομή όσο και στην διαθεσιμότητα των βαρέων μετάλλων. Ενδεικτικά, κάποιες από αυτές είναι η τιμή pH του εδάφους, το ποσοστό Οργανικής Ουσίας που διαθέτει, η συγκέντρωση Fe και Al στο έδαφος καθώς και η παρεμβάσεις που γίνονται σε αυτό από τον άνθρωπο κυρίως (Zhong et al. 2011, Hou et al. 2017).

- ✓ Το εδαφικό pH είναι ο σημαντικότερος παράγοντας που επηρεάζει την διαθεσιμότητα των βαρέων μετάλλων στο έδαφος. Τα βαρέα μέταλλα ανάλογα με το αν είναι σε μορφή κατιόντων ή ανιόντων συμπεριφέρονται διαφορετικά, η οποία επηρεάζεται από την τιμή του pH. Πιο συγκεκριμένα, οι χαμηλές τιμές του pH επιδρούν θετικά ως την κινητικότητα των κατιόντων, συνεπώς αυξάνεται και η διαθεσιμότητά τους. Αντίστροφα, τα ανιόντα έχουν μεγαλύτερη κινητικότητα όταν παρατηρούνται υψηλές τιμές pH στο εδαφικό διάλυμα. Επιπλέον έχει διαπιστωθεί πως η ύπαρξη ασβέστη σε έδαφος με όξινο pH και στην περίπτωση που το έδαφος δεν είναι μολυσμένο, τα βαρέα μέταλλα είναι δύσκολα διαθέσιμα.
- ✓ Η διαθεσιμότητα των βαρέων μετάλλων στο έδαφος επηρεάζεται και από το ανθρακικό ασβέστιο, το οποίο βρίσκεται σε συνάρτηση με την τιμή του pH. Το CaCO_3 λόγω της διάλυσής του παράγει HCO_3^- με αποτέλεσμα η ύπαρξη του προσδίδει στο έδαφος τιμή pH πάνω του 7, δηλαδή γίνεται αλκαλικό και να μειώνεται έτσι η διαθεσιμότητα των βαρέων μετάλλων στο έδαφος.
- ✓ Το ποσοστό περιεκτικότητας του εδάφους σε άργιλο σχετίζεται με την διαθεσιμότητα και κινητικότητα των βαρέων μετάλλων. Αυτό συμβαίνει καθώς η άργιλος ρυθμίζει την Ικανότητα Ανταλλαγής Κατιόντων (ΙΑΚ). Πιο συγκεκριμένα, αργιλώδη εδάφη έχουν την δυνατότητα μεγάλου ποσοστού συγκράτησης βαρέων μετάλλων σε υψηλές συγκεντρώσεις, εξαιτίας της υψηλής ΙΑΚ.
- ✓ Η Οργανική Ουσία διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στην διαθεσιμότητα και κινητικότητα των ιχνοστοιχείων και μετάλλων. Ειδικότερα, η οργανική ουσία αυξάνει την ΙΑΚ και ως απόρροια μειώνεται η διαθεσιμότητα των μετάλλων. Παράλληλα, βελτιώνει την δυνατότητα συγκράτησης νερού στο έδαφος αλλά και το εδαφικό πορώδες. Τέλος, η οργανική ουσία σχηματίζει δεσμούς εύκολα με στοιχεία μεγάλου Μοριακού Βάρους, όπως είναι και τα βαρέα μέταλλα, με αποτέλεσμα να μειώνεται η διαθεσιμότητά τους (Antoniadis et al., 2017).

1.2 Μόλυβδος Pb

Ο μόλυβδος είναι ένα χημικό στοιχείο που ανήκει στην Vία ομάδα του Περιοδικού Πίνακα. Ο συμβολισμός του είναι Pb και το Ατομικό Βάρος του 82. Έχει πυκνότητα $11,34 \text{ gr/cm}^3$, ενώ το σημείο βρασμού και τήξης του είναι $1,704^\circ \text{C}$ και $327,5^\circ \text{C}$ αντίστοιχα (http 2 και 3).

1.2.1 Βιο-γεω-χημικοί κύκλοι και ροές του μολύβδου

Ο μόλυβδος στο έδαφος

Η συσσώρευση του Pb στο έδαφος εντοπίζεται κυρίως στα επιφανειακά στρώματα του εδάφους, σε βάθος κυρίως από 0 έως 15 cm. Αυτό αποδεικνύει πως βρίσκεται σε άμεση συσχέτιση με την Οργανική Ουσία (Adelekan and Abegunde, 2011). Στην πραγματικότητα η οργανική ουσία δημιουργεί σύμπλοκα ενώσεων και

ιόντων με τα μέταλλα, δεσμευόντάς τα με αποτέλεσμα να μην μπορούν να μετακινηθούν προς τα βαθύτερα επίπεδα του εδάφους (Ronizovsky and Mironenko, 2001). Ο μόλυβδος χαρακτηρίζεται από μεγάλη συσσώρευση στο έδαφος εξαιτίας της την μειωμένη διαλυτότητας και δεν δέχεται μικροβιακή αποικοδόμηση (Μήτσιος, 2004). Το μεγαλύτερο ποσοστό του μολύβδου αναφέρεται πως βρίσκεται σε δεσμευμένη μορφή στο έδαφος ως μόριο ενώσεων ανθρακικών και θειούχων αλάτων αλλά και με οξείδια σιδήρου, αργιλίου και μαγγανίου, οι οποίες ενώσεις είναι χαμηλής διαλυτότητας (Brady και Weil, 2011).

Σε μελέτη που έγινε σε Αρ ορίζοντα ενός αμμοπηλώδους εδάφους στο Michigan, στην οποία χρησιμοποιήθηκε ιλύς βιολογικών καθαρισμών, βγήκαν τα παρακάτω αποτελέσματα:

Πίνακας 1.2.1: Μορφές Pb που βρέθηκαν στον Αρ ορίζοντα ενός αμμοπηλώδους εδάφους σειράς Metea (Typic Hapludalfs) στο Michigan όπου εφαρμόστηκαν 870 Mg/ ha (ξηρούς βάρους) «βρόμικης» ιλύος βιολογικών καθαρισμών για περισσότερα από 10 έτη (Πηγή: Brady and Weil, 2011).

Μορφές στο έδαφος	Συγκέντρωση Pb (mg/kg)	Διαλυτότητα
Ανταλλάξιμο και διαλυτό	< 4	Μεγαλύτερη
Διαλυτό σε οξύ	19	
Οργανική ύλη	35	↓
Οξείδια Fe και Mn	28	
Υπόλειμμα	99	
Σύνολο όλων των μορφών	181	Μικρότερη

Η συγκέντρωση του μολύβδου στο έδαφος με φυσικό τρόπο έρχεται ως αποτέλεσμα από την περιεκτικότητά του στα μητρικά πετρώματα. Η περιεκτικότητά του στο έδαφος επηρεάζεται σημαντικά από το ποσοστό άργιλου αλλά και από το είδος της, δηλαδή στα αργιλικά ιζήματα παρατηρείται μεγαλύτερη συγκέντρωση Pb σε σύγκριση με τις άμμους, ψαμμίτες και ασβεστόλιθους. Συνολικά η μέση τιμή του Pb σε διαφόρων ειδών εδάφη είναι περίπου 25 mg/ kg (Kabata- Pendias και Pendias, 2001). Σε διεθνές επίπεδο έχουν παρατηρηθεί και ποσότητες Pb ως και 126.000 mg/kg εδάφους, κυρίως σε χώρους παραγωγής μπαταριών (Adie and Osibanjo, 2009).

Από διάφορες μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί φαίνεται πως οι συγκεντρώσεις Pb σε μη ρυπασμένα εδάφη διαφέρουν. Οι Kabata- Pendias και Pendias (1992) κατέληξαν στο συμπέρασμα πως οι ποσότητες μολύβδου κατά μέσον όρο σε διάφορες κατηγορίες εδαφών είναι μεταξύ 22 ως 28 ppm (DW), ενώ σε αυτό διαφέρουν τα Histosols, στα οποία εμφανίζονται μεγαλύτερες τιμές, στα 44 ppm. Την ίδια χρονιά, οι Angelone και Bini (1992) δήλωσαν πως οι συγκεντρώσεις μολύβδου σε μη επιβαρυσμένα εδάφη είναι περίπου 100 mg/kg. Επίσης πιο πρόσφατη έρευνα έδειξε πως ο Pb εντοπίζεται, φυσικώς σε όλα τα εδάφη, σε συγκεντρώσεις από 1 έως και 200 mg/kg, με μέσο όρο τα 15 mg/kg (Chirenje et al., 2004).

Ο μόλυβδος στα φυτά

Σύμφωνα με τον Alloway (1995), αναφερόμενος και σε άλλες βιβλιογραφίες αποτυπώνει πως μόνο ένα μικρό ποσοστό Pb από την συνολική ποσότητα που βρίσκεται στο έδαφος, είναι άμεσα διαθέσιμο από τα φυτά. Συνεπώς, εξαιτίας της χαμηλής διαθεσιμότητας, διαλυτότητας και κινητικότητας του, ο μόλυβδος καθίσταται ως στοιχείο με χαμηλή φυτοτοξικότητα. Παρ' όλα αυτά όμως, όπως αναφέρει ο Adriano (2001), η διαθεσιμότητα των Pb μπορεί να αυξηθεί από την μείωση του pH του εδάφους, την οργανική ύλη, τα ανόργανα κολλοειδή, τα οξείδια του Fe αλλά και από την περιεκτικότητά σε P. Όπως είναι σαφές, η διαθεσιμότητα του από τα φυτά έχει άμεση συσχέτιση με την ικανότητα του εδάφους να δεσμεύει και ανταλλάσσει τον μόλυβδο.

Ο μόλυβδος που απορροφάται από τα φυτά εντοπίζεται στις ρίζες και αποθηκεύεται στα κυτταρικά τοιχώματα. Έχει παρατηρηθεί πως μόνο το 3% της ποσότητας του Pb που εντοπίζεται στις ρίζες μεταφέρεται προς το υπόλοιπο τμήμα του φυτού, δηλαδή το υπέργειο (Wang et al., 2006 και Adriano, 2001). Αυτό το φάνηκε και σε πείραμα που έγινε με καλαμπόκι, πως δηλαδή η συγκέντρωση του μετάλλου στους βλαστούς ήταν πολύ μικρότερη από αυτή στις ρίζες, αποδεικνύοντας με αυτό τον τρόπο την δυσκολία μετακίνησης του Pb στα υπόλοιπα μέρη του φυτού (Hamidpour et. al., 2010). Σύμφωνα με τους Kabata- Pendias και Pendias (2000), το φαινόμενο αυτό αποδίδεται ως ένας μηχανισμός αντοχής των φυτών στο ενδεχόμενο ύπαρξης μεγάλης συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων στο περιβάλλον της ρίζας.

1.2.2 Χρήσεις Μολύβδου

Ο μόλυβδος αποτελεί βασικό στοιχείο που συμμετέχει σε κάθε βιομηχανική οικονομία. Αναφέρεται πως διάφορες βιομηχανίες και εμπορικά προϊόντα χρησιμοποιούν τον μόλυβδο ή τον έχουν ως βάση. Παράδειγμα αποτελούν οι συσσωρευτές, οι συγκολλήσεις, διάφορα πλαστικά είδη, στην βενζίνη ως αντικροτικό, κλπ.

Η κύρια χρήση του είναι ως συστατικό παρασκευής επαναφορτιζόμενων μπαταριών, η οποία καλύπτει το 65% της παγκόσμιας χρήσης του. Παράλληλα, χρησιμοποιείται στην παραγωγή χρωστικών, ελαστικών προϊόντων, για μανδύες καλωδίων, σφαίρες και πυρομαχικά, αλλά και ως πρόσθετα στην βενζίνη. Σε μικρότερο βαθμό ο Pb αξιοποιείται στην κατασκευή προστατευτικών υλικών από την ακτινοβολία, κεραμικών, βερνικιών και κρυστάλλων, βαριδίων που χρησιμοποιούνται στην αλιεία καθώς και ως σταθεροποιητής της θερμοκρασίας στην παραγωγή PVC πλαστικών (Alloway, 1995 και OECD, 1993). Επιπλέον, ο μόλυβδος αξιοποιείται στα χυτήρια, στην παραγωγή κραμάτων, χημικών προϊόντων, μαλλιού, καθώς και για άλλους σκοπούς. Η διευρυμένη χρήση του βασίζεται τόσο στις φυσικές όσο και στις χημικές ιδιότητές του. Τα τελευταία χρόνια η χρήση του ως πρόσθετο στην βενζίνη έχει μειωθεί αρκετά στα πλαίσια της προσπάθειας που γίνεται ώστε να μειωθεί η ατμοσφαιρική ρύπανση. Για αυτό τον λόγο μια σειρά χώρες έχουν επιβάλει αυστηρούς περιορισμούς για την εκπομπή μολύβδου στο περιβάλλον καθώς συνεχίζει να αποτελεί βασική πηγή ρύπανσης σε παγκόσμιο επίπεδο (Kabata-Pendias και Mukherjee, 2007).

1.2.3 Τοξικές επιδράσεις Μολύβδου σε φυτό και άνθρωπο

Η παρουσία του μολύβδου Pb στο περιβάλλον σηματοδοτεί υψηλό κίνδυνο, ακόμα και σε πολύ μικρές ποσότητες, καθώς έχει διαπιστωθεί μεγάλη τοξική δράση σε μικροοργανισμούς, στα φυτά, σε ζώα αλλά και στον ανθρώπινο οργανισμό (Sobolev and Begonia, 2008).

Τοξικότητα στα φυτά

Η εδαφική μόλυνση λόγω μολύβδου συνεπάγεται και απορρόφηση αυτού από τα φυτά από το ριζικό σύστημα, κύρια από τα ριζικά τριχίδια, μέσω της παθητικής διαδικασίας. Αυτό έχει ως ενδεχόμενο αποτέλεσμα την εμφάνιση φυτοτοξικότητας και αλλαγή στον πληθυσμό των φυτών εκείνης της περιοχής (Gimmler et al, 2002).

Η τοξικότητα του Pb δεν επηρεάζεται μόνο από την συνολική του συγκέντρωση αλλά και από την μορφή στην οποία βρίσκεται, αλλά και από την αντίσταση που μπορεί να προβάλει το φυτό, η οποία διαδραματίζει καθοριστικό παράγοντα. Το δυναμικό της τοξικότητας του μολύβδου δύσκολα αξιολογείται, όμως αν παρατηρηθεί συγκέντρωση που κυμαίνεται μεταξύ 100 και 500 mg/kg θεωρείται πως είναι μεγάλη και επικίνδυνη (Kabata-Pendias και Mukherjee, 2007).

Τα συμπτώματα που ενδεχομένως να εμφανισθούν στα φυτά λόγω τοξικότητας του Pb είναι μικροφυλλία και καχεκτική ανάπτυξη, γλώρωση των φύλλων, εμφάνιση κοκκινωπών χρωματισμών, καθώς και νεκρώσεις.

Επιπλέον, οι υψηλές συγκεντρώσεις μολύβδου επιδρούν αρνητικά και σε φυσιολογικές λειτουργίες των φυτών, όπως η φωτοσύνθεση, η μίτωση αλλά και η ικανότητα απορρόφησης νερού των φυτών (Kabata-Pendias και Pendias, 1992).

Τοξικότητα στον άνθρωπο

Ο τρόπος εισαγωγής του Pb στον ανθρώπινο οργανισμό γίνεται μέσω της διατροφής του, του νερού και του αέρα. Ειδικότερα για τους εργαζόμενους σε χυτήρια Pb- Zn και σε ορυχεία, η κύρια είσοδος του στοιχείου γίνεται μέσω της διαδικασίας της εισπνοής. Επίσης σε παγκόσμια κλίμακα η μέση πρόσληψη Pb μέσω της διατροφής σε ενήλικες ανέρχεται στα 400 μg/d. Σε αντίθεση με τους ενήλικες τα παιδιά απορροφούν και διατηρούν μεγαλύτερες ποσότητες μολύβδου. Πιο συγκεκριμένα, στα παιδιά μπορεί να εισέρθει ο Pb μέχρι και σε ποσοστό 50% από την διατροφή τους, ενώ στους ενήλικες το ποσοστό αυτό είναι περίπου στο 10% (WHO, 1995).

Σύμφωνα με τους Kabata- Pendias και Mukherjee (2007), ο Pb μεταφέρεται με το αίμα στους μαλακούς ιστούς και τα οστά, συμπεριλαμβανομένων και των δοντιών. Η πλειοψηφία του Pb που εισέρχεται στον οργανισμό συσσωρεύεται στα οστά και τα δόντια καθώς ο ανθρώπινος οργανισμός δεν μπορεί να τον διαχωρίσει από το Ca. Επίσης, σημειώνεται πως η επιβάρυνση του Pb μπορεί να προκαλέσει:

1. Βλάβη στο νευρικό σύστημα
2. Αναστολή του σχηματισμού του αίματος
3. Βλάβη στα νεφρά
4. Αναιμία
5. Διαταραγμένη ψυχική ανάπτυξη των παιδιών σε μικρή ηλικία
6. Καρκινογένεση και γονιδιατοξικότητα
7. Μειωμένη ικανότητα αναπαραγωγής

Ακόμα και μικρές δόσεις του μετάλλου μπορούν να προκαλέσουν δηλητηρίαση στον ανθρώπινο οργανισμό καθώς συσσωρεύεται καθ' όλη τη διάρκεια της ζωής ενός ανθρώπου και παράλληλα μεταβολίζεται με πολύ αργούς ρυθμούς. Για τον λόγο αυτόν η επιβάρυνση του οργανισμού με Pb έχει ως συνέπεια την αύξηση κινδύνου για επιβλαβείς επιδράσεις, ειδικότερα στην παιδική ηλικία που δύναται να προκαλέσει ακόμα και μόνιμες βλάβες. Μια μελέτη έδειξε πως η επιβάρυνση από τον μόλυβδο σε παιδιά ηλικίας 2 ετών είχε άσχημες συνέπειες στο κεντρικό νευρικό σύστημα του οργανισμού με ελλείψεις στην νευρολογική ανάπτυξη καθώς και σε χαμηλότερες τιμές του IQ των παιδιών. Επίσης, άλλη έρευνα, στην οποία συμμετείχαν παιδιά με επίπεδα μολύβδου στα δόντια χωρίς όμως να είναι γνωστό το ιστορικό δηλητηρίασεως από Pb, απέδειξε πως τα παιδιά αντιμετώπιζαν προβλήματα σε τεστ νοημοσύνης, στην ομιλία, στην προσοχή και στην απόδοση στην τάξη συγκριτικά με παιδιά που είχαν χαμηλά επίπεδα Pb (Adriano, 2001).

1.2.4 Μέγιστα επιτρεπόμενα όρια μολύβδου

Τα επιτρεπόμενα όρια Pb που μπορεί να υπάρχουν στο νερό προς ανθρώπινη κατανάλωση ανέρχονται στα 10 μg/L (CEU, 1998). Ενώ για το έδαφος τα ανώτατα επιτρεπόμενα όρια, στην Ευρώπη και στην Ελλάδα, ανέρχονται στα 300 mg/ kg. Όμως τα όρια μεταξύ των χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης διαφέρουν. Πιο συγκεκριμένα στην Ιταλία και την Πολωνία είναι 1000 mg/kg, στην Γαλλία και την Γερμανία είναι 2000 mg/kg, στην Τσεχία είναι 800mg/kg (Antoniadis V. et al. 2019).

1.2.5 Επίπεδα ρύπανσης στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα υπάρχουν διάφορες περιοχές στις οποίες έχει αποδειχθεί πως είναι επιβαρυνμένες με βαρέα μέταλλα. Οι περιοχές αυτές βρίσκονται κοντά σε εγκαταστάσεις εξόρυξης, κυρίως σε ορυχεία Pb/Zn αλλά

και Μπ. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αυτό των περιοχών στην Ελλάδα αποτελούν η Κίρκη στην βόρεια Ελλάδα, το Λαύριο στην νότια Αθήνα και η Δράμα στην βόρεια Ελλάδα.

Παράλληλα, στην χώρα μας υπάρχουν περιοχές οι οποίες, λόγω των δραστηριοτήτων που λαμβάνουν χώρα σε αυτές, μπορεί να είναι μολυσμένες με βαρέα μέταλλα αλλά δεν έχουν διερευνηθεί ακόμα. Μια από αυτές τι περιοχές είναι ο Βόλος. Στην περιοχή του Βόλου υπάρχουν τόσο βαριές βιομηχανίες όσο και αυτοκινητόδρομοι οι οποίοι αποτελούν εστία μόλυνσης του περιβάλλοντος από βαρέα μέταλλα. Μόλυνση η οποία μπορεί να έχει επιζήμιες συνέπειες για την ανθρώπινη υγεία καθώς στην περιοχή αυτή αποτελείται από μεγάλες εκτάσεις αγροτικής παραγωγής καθώς και οι βιομηχανίες βρίσκονται κοντά στον αστικό ιστό της πόλης. Στην έρευνα που διεξάχθηκε τα αποτελέσματα έδειξαν πως οι συγκεντρώσεις αρκετών ιχνοστοιχείων ήταν μεγαλύτερες από τα μέγιστα επιτρεπόμενα όρια, τέτοια στοιχεία είναι το Cr, το Ni, το Mo. Στην ίδια έρευνα τα αποτελέσματα έδειξαν πως αλλά στοιχεία όπως ο Pb και το Cd βρίσκονται σε χαμηλά επίπεδα συγκεντρώσεων (Antoniadis V. et al., 2019).

1.3 Γλυστρίδα

1.3.1 Γενικά

Η *Portulaca oleracea* L. ή αλλιώς στην κοινή ονομασία γλυστρίδα ή αντρακλάς, είναι ετήσιο φυτό, το οποίο ανήκει στο γένος *Portulaca* της οικογένειας *Portulacaceae* (Nemzer et al., 2020). Η ονομασία *Portulaca* προέρχεται από την λατινική λέξη «portula» που σημαίνει μικρή πόρτα ως παρομοίωση με τον τρόπο με τον οποίο ανθίζει το φυτό. Άλλη ερμηνεία για το όνομα είναι πως προέρχεται από τη λέξη «porto» που σημαίνει μεταφέρω και από τη λέξη “lac” που σημαίνει γάλα, κάτι το οποίο φαίνεται να σχετίζεται με τη χυμώδη σύσταση του κορμού και των φύλλων του φυτού (Zhou et al., 2015).

Είναι αυτοφυές φυτό και εντοπίζεται στα δάση, στους δρόμους, το γκαζόν και σε χωράφια. Το φυτό εμφανίζεται κυρίως σε τροπικές και υποτροπικές περιοχές του κόσμου (Liu et al., 2021). Είναι ποώδες, λείο φυτό που φέρει σπόρους και από πολλούς θεωρείται ως ζιζάνιο (Zhou et al., 2015).

Η γλυστρίδα είναι ένα φυτό διαδεδομένο σε παγκόσμια κλίμακα καθώς έχει μεγάλο ποσοστό προσαρμοστικότητας σε διάφορες κλιματικές συνθήκες και ανθεκτικότητας σε αντίξοες συνθήκες (Petrooulos S. et al., 2016). Θεωρείται ως το όγδοο πιο κοινό φυτό στον κόσμο και εντοπίζεται κυρίως στις περιοχές της Κίνας, των Η.Π.Α, της Ευρώπης, της Αφρικής, της Ινδίας και της Αυστραλίας (Uddin et al., 2014).

1.3.2 Χαρακτηριστικά

Το ύψος καθώς και το στέλεχος της έχουν ύψος 30cm. Τα σαρκώδη φύλλα της έχουν μεταβλητό σχήμα με μήκος 1-5cm και μπορεί να είναι είτε πράσινα είτε πράσινα με κόκκινο στα άκρα. Η ανθοφορία του φυτού πραγματοποιείται τον Μάιο έως τον Ιούνιο και τα άνθη, τα οποία ανοίγουν κατά τη διάρκεια ηλιόλουστης μέρας, είναι μικρά με πορτοκαλί, μωβ και ανοιχτό ροζ χρώμα. Δημιουργεί κάψουλες (4-8mm), οι οποίες περιβάλλουν τους πολυάριθμους, μικρούς, καρπούς τις γλυστρίδας και αυτοί απελευθερώνονται κατά το άνοιγμά αυτών (Uddin et al., 2014). Έχει την ικανότητα να αναπτύσσεται σε ξηρά καθώς και με ελλιπή σε θρεπτικά συστατικά εδάφη. (Alam et al., 2015).

1.3.3 Χρήσεις

Τα φύλλα και οι μίσχοι του φυτού χρησιμοποιούνται ευρέως στην διατροφή είτε ωμά είτε μαγειρεμένα στις σαλάτες, καθώς είναι πλούσια σε θρεπτικά στοιχεία, ωφέλιμα για την ανθρώπινη υγεία (Petrooulos S. et al., 2016).

Η *Portulaca oleracea* περιέχει σε μεγάλες ποσότητες θρεπτικά συστατικά και διάφορες βιοδραστικές ουσίες όπως πολυσακχαρίτες, πολυφαινόλες, φλαβονοειδή και αλκαλοειδή, χρήσιμες για την ανθρώπινη υγεία

και όχι μόνο. Η γλυστρίδα χρησιμοποιείται επίσης και για φαρμακευτική χρήση. Έρευνες έχουν αποδείξει πως το φυτό έχει αντιβακτηριακές, αντιφλεγμονώδεις, αντικαρκινικές αλλά και αντικές ιδιότητες, ενώ παραδοσιακά χρησιμοποιείται ενάντια σε διάφορες ασθένειες (Liua Y. et al., 2021).

Το φυτό εξαιτίας της μεγάλης προσαρμοστικότητας και ανθεκτικότητας που παρουσιάζει αλλά και του μικρού βιολογικού του κύκλου μπορεί να αξιοποιηθεί για φυτοεξυγίανση. Αυτό οφείλεται κυρίως στην ικανότητα απορρόφησης μεγάλων ποσοτήτων γλουτένης. Επιπλέον δύναται να χρησιμοποιηθεί ως συσσωρευτής βαρέων μετάλλων και ιχνοστοιχείων όπως Cr, Cd, Zn, Pb, As, Cu και Ni. Εκτός όμως από βαρέα μέταλλα, η *Portulaca oleracea* σε κάποιες μελέτες έχει δείξει πως μπορεί να απομακρύνει από το έδαφος ιόντα Cl^- και Na^+ καθώς και Mg^{2+} . Τέλος, το φυτό λαμβάνει χώρα τόσο στην συμβατή όσο και στην βιολογική γεωργία δεδομένου της υψηλής αλληλοπαθητικής ικανότητας του, με σκοπό την χρήση του ως ρυθμιστής ανάπτυξης ή ακόμα και ως φυσικό ζιζανιοκτόνο (Petrooulos S. et al., 2016).

Κεφάλαιο 2: Υλικά και Μέθοδοι

2.1 Πειραματικός σχεδιασμός

Το συγκεκριμένο πείραμα έλαβε χώρα στις εγκαταστάσεις του Τμήματος Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών. Το πείραμα ξεκίνησε με την σπορά του φυτού *Portulaca oleracea* σε καρτέλες στις 14 και 16 Σεπτεμβρίου 2019. Παράλληλα σε 200 σακούλες των 3 L προσθέσαμε 1 Kg ξηρό έδαφος και το αναμείξαμε με 800 mL περλίτη. Στις σακούλες με το έδαφος προσθέταμε, ανά τακτά χρονικά διαστήματα, ποσότητα νερού μέχρι την υδατοικανότητα του εδάφους. Έπειτα από 9 μέρες, από την παρασκευή του εδαφικού διαλύματος, προσθέσαμε τα διαλύματα Pb σε αυτά με συγκεντρώσεις 0, 150, 300, 600 και 900 mL/Kg, ώστε να υπάρχουν 20 σακούλες για κάθε συγκέντρωση. Μέχρι την ημέρα της μεταφύτευσης αναδεύαμε το έδαφος με τον περλίτη και το διάλυμα Pb και προσθέταμε νερό μέχρι την υδατοϊκανότητα του εδάφους. Η τελευταία ανάδευση πραγματοποιήθηκε στις 14/10/2019. Στις 16/10/2019 έγινε η μεταφύτευση, σε γλαστράκια με το έδαφος που παρασκευάσαμε, και η τοποθέτηση ετικετών.

Για την παρασκευή διαλύματος όξινου Pb, χρησιμοποιήθηκε διάλυμα Pb συγκέντρωσης 1000 ppm. Πιο συγκεκριμένα για τα 150 ppm στο έδαφος βάλαμε 15 mL/Kg, για τα 300 ppm βάλαμε 30 mL/Kg, για τα 600 ppm 60 mL/Kg και για τα 900 ppm 90 mL/Kg από το αρχικό διάλυμα μολύβδου συγκέντρωσης 1000 ppm. Ενώ για τα 0 ppm στο έδαφος δεν τοποθετήθηκε καθόλου διάλυμα Pb.

Στα 10 από τα 20 γλαστράκια της κάθε συγκέντρωσης βάλαμε συνολικά 40 μονάδες N, οι οποίες έγινες σε 4 δόσεις. Η 1^η δόση με 5 μονάδες N έγινε στις 24/9/2019 και, η 2^η με 5 μονάδες N στις 24/10/2019, η 3^η με 10 μονάδες N στις 1/11/2019 και η 4^η με 20 μονάδες N στις 17/11/2019.

Η δειγματοληψία από το υπέργειο και υπόγειο τμήμα των φυτών καθώς και από το έδαφος πραγματοποιήθηκε στις 5/12/2019.

2.2 Μέθοδοι ανάλυσης

2.2.1 Αναλύσεις εδάφους

Για την μέτρηση ολικών συγκεντρώσεων ιχνοστοιχείων χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος με βασιλικό νερό. Πιο συγκεκριμένα, σε σωλήνας πέψης των 250 mL ζυγίζουμε 2 g εδάφους (κοσκινισμένο από λεπτό κόσκινο με ανοίγματα 2 mm). Προσθέτουμε 15 mL πυκνό HCl και 5 mL HNO₃ σε απαγωγό αερίων. Οι δοκιμαστικοί σωλήνες τοποθετούνται σε ειδικό block πέψης μέσα σε απαγωγό αερίων και αφήνονται για 16 ώρες. Την επόμενη μέρα πραγματοποιούμε πέψη στο πρόγραμμα 2. Ύστερα αφήνουμε τα δείγματα να κρυώσουν και γίνεται η διήθηση σε ογκομετρικές φιάλες των 25 mL. Τα εκχυλίσματα αυτά μετριοούνται σε ατομική απορρόφηση. Οι υπολογισμοί γίνονται ως εξής: $M \text{ (mg/kg εδάφους)} = A * (\text{mL ογκομετρικής φιάλης όπου έγινε η διήθηση} / B)$. Όπου M είναι τα ιχνοστοιχεία, A η συγκέντρωση (mg/L) που λαμβάνεται στην ατομική απορρόφηση και B το βάρος του εδάφους σε g. $M = 100 * A/B \text{ mg/kg εδάφους}$.

Η 2^η μέτρηση είναι η εκχύλιση διαθέσιμων ιχνοστοιχείων με DTPA. Η εκχύλιση έγινε με τη ζύγιση 20 g εδάφους σε πλαστικό falcon των 50 mL και την ανάμιξη του με 40 mL DTPA (Ανάμειξη 9,835 g DTPA, 7,4 g CaCl₂·2H₂O και 74,5 g τριαιθανολαμίνης σε 5 L H₂O. Χρησιμοποιήθηκε, επίσης, ελάχιστο HCl για τη ρύθμιση του pH στο 7,3.). Ακολουθεί ανακίνηση για 2 ώρες και διήθηση. Το εκχύλισμα κατόπιν μετρήθηκε σε ατομική απορρόφηση. Οι υπολογισμοί έγιναν με βάση τον ακόλουθο τύπο: $M \text{ (mg/kg εδάφους)} = A * (\text{mL διαλύματος εκχύλισης} / B)$. Όπου M είναι τα ιχνοστοιχεία που εκχυλίζονται, A η συγκέντρωση (mg/L) που λαμβάνεται στην ατομική απορρόφηση και B το βάρος του εδάφους σε g. $M = 20 * A/B \text{ mg/kg εδάφους}$.

Για την μέτρηση του νιτρικού N, σε πλαστικά falcon των 50 mL ζυγίστηκαν 2 g εδάφους. Έπειτα προστέθηκαν 20 mL KCl 2 M και ανακινήθηκαν για 1 ώρα. Μετά έγινε διήθηση και παραλαβή σε

ογκομετρικές φιάλες των 100 mL. Παράλληλα έγινε δημιουργία standard διαλυμάτων με συγκεντρώσεις 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.7, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, και 3.0 mg NO₃-N L⁻¹ (ppm N). Τα νιτρικά μετρήθηκαν χωρίς ανάπτυξη χρώματος στα 210 και στα 270 nm στο υπεριώδες φάσμα στο φασματοφωτόμετρο σε κυψελίδες χαλαζία. Οι τιμές που πήραμε στα 270 nm αφαιρέθηκαν από τις τιμές που λάβαμε στα 210 nm. Οι υπολογισμοί των αποτελεσμάτων έγιναν με τον εξής τρόπο: Νιτρικό N (mg/kg)= A*(φορές αραιώσης)* (mL διαλύματος εκχύλισης/ B). Α η συγκέντρωση όπως μετρείται στο φασματοφωτόμετρο και Β το βάρος του εδάφους σε g.

2.2.2 Αναλύσεις το φυτό

Για την μέτρηση Pb στις ρίζες στον φυτών, έγινε καύση των κονιορτοποιημένων φυτικών ιστών, τα οποία είχαν τοποθετηθεί σε χωνευτήρια πορσελάνης, σε ηλεκτρικό φούρνο για 4 ώρες στους 500°C. Έπειτα, μόλις κρύωσαν οι κάψες, παραλάβαμε όλη την ποσότητα του φυτικού ιστού με 10 mL 20% HCl και έγινε διήθηση σε ογκομετρικές φιάλες των 25 mL. Για να υπολογίσουμε το βάρος των φυτικών ιστών υπολογίσαμε αρχικά το βάρος των κενών falcon και έπειτα το βάρος των falcon με το δείγμα και υπολογίσαμε την διαφορά. Τα εκχυλίσματα μετρήθηκαν στην ατομική απορρόφηση. Η ίδια διαδικασία έγινε και με το υπέργειο τμήμα των φυτών για την μέτρηση του Pb.

Στις 3/11/2019 και στις 3/12/2019 πραγματοποιήθηκε μέτρηση χλωροφύλλης των φυτών με την μέθοδο SPAD, με φορητό όργανο Li-6400XT, LI-COR, USA.

Στις 11/11/2019 έγινε μέτρηση ρυθμού φωτοσύνθεσης σε θάλαμο με σταθερή ακτινοβολία τα 250 μmol/cm²* sec. Η μονάδα μέτρησης των αποτελεσμάτων είναι μmol CO₂/ cm²* sec.

Στις 6/11/2019 και στις 3/12/2019 μετρήθηκε το ύψος των φυτών σε cm.

Στις 5/12/2019 μετρήθηκε το ξηρό και νωπό ολικό βάρος των φυτών. Αντίστοιχα μετρήθηκαν το ξηρό βάρος του υπέργειου και υπόγειου τμήματος των φυτών.

Επίσης μετρήθηκε και η φυλλική επιφάνεια των φυτών.

Για την μέτρηση P στο υπέργειο τμήμα των φυτών χρησιμοποιήθηκε το εκχύλισμα εδάφους για την μέτρηση του Pb, το οποίο αραιώθηκε κατά 20 φορές. Για την ανάπτυξη χρώματος «αγνώστων» διαλυμάτων, σε ογκομετρικές φιάλες των 25 mL τοποθετήθηκαν 5 mL εκχυλίσματος αποτέφρωσης, 2,5 mL αντιδραστηρίου B και συμπληρώθηκε η φιάλη με νερό μέχρι την χαραγή. Για την ανάπτυξη χρώματος των standard δειγμάτων, σε ογκομετρικές φιάλες των 25 mL δημιουργήσαμε πρότυπα διαλύματα με συγκέντρωση P 0, 0.1, 0.2, 0.4 και 0.8 ppm (mg P/L), στα οποία προστέθηκαν 2,5 mL Αντιδραστηρίου B και συμπληρώθηκε η κάθε φιάλη με νερό μέχρι την χαραγή. Έπειτα αφήσαμε τα διαλύματα για 30 min ώστε να αναπτυχθεί το χρώμα. Με τα αποτελέσματα που πήραμε από τα standard δείγματα φτιάξαμε την πρότυπη καμπύλη βαθμολόγησης, στην οποία και υπολογίστηκε η συγκέντρωση P σε κάθε εκχύλισμα (ppm ή mg/L). Ο φώσφορος υπολογίστηκε από τον τύπο: P (mg/kg φυτού)= A*(φορές αραιώσης εκχυλίσματος)* (mL ογκομετρικής φιάλης όπου αναπτύχθηκε χρώμα/ mL εκχυλίσματος που τοποθετήσαμε στη φιάλη όπου αναπτύχθηκε το χρώμα)* (mL ογκομετρικής φιάλης διήθησης/ B). Όπου A= ppm P στο εκχύλισμα και B= βάρος φυτού σε g για την αποτέφρωση.

Τέλος για μέτρηση K στο υπέργειο τμήμα των φυτών, από το ίδιο εκχύλισμα και με την χρήση standard δειγμάτων έγιναν οι μετρήσεις με το φλογοφωτόμετρο και έτσι δημιουργήθηκε η πρότυπη καμπύλη και υπολογίσαμε την συγκέντρωση του K.

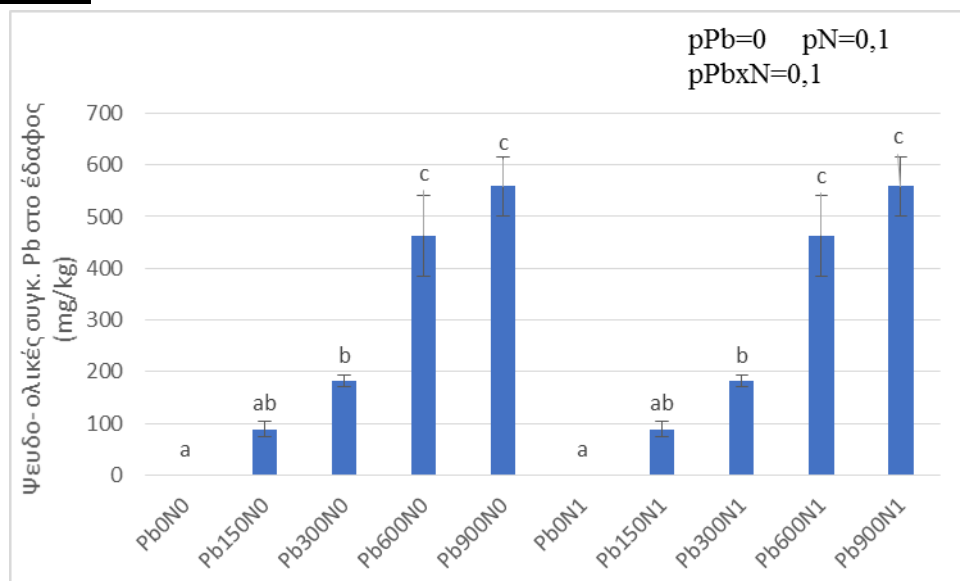
2.3 Στατιστική επεξεργασία

Αρχικά υπολογίστηκαν οι μέσοι όροι για κάθε είδος μεταχείρισης. Κατόπιν έγινε υπολογισμός των standard errors και έγινε post- hoc για την One-way ANOVA. Η ανάλυση των δεδομένων έγινε και με two-

way ANOVA για να δούμε τις διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων ανά παράμετρο, έχοντας ως παράμετρο 1 τον προστιθέμενο μόλυβδο και ως παράγοντα 2 το άζωτο.

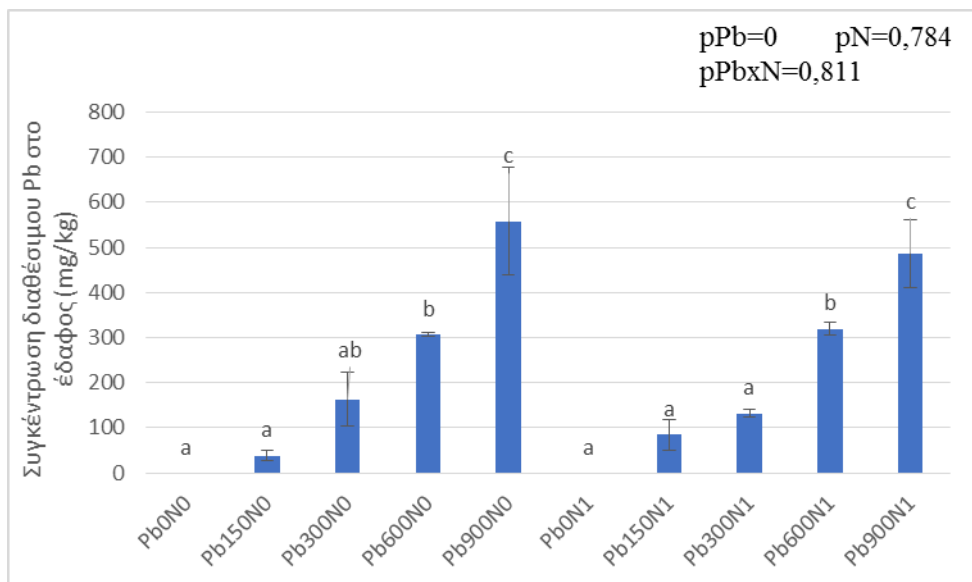
Κεφάλαιο 3: Αποτελέσματα και Συζήτηση

3.1 Αποτελέσματα



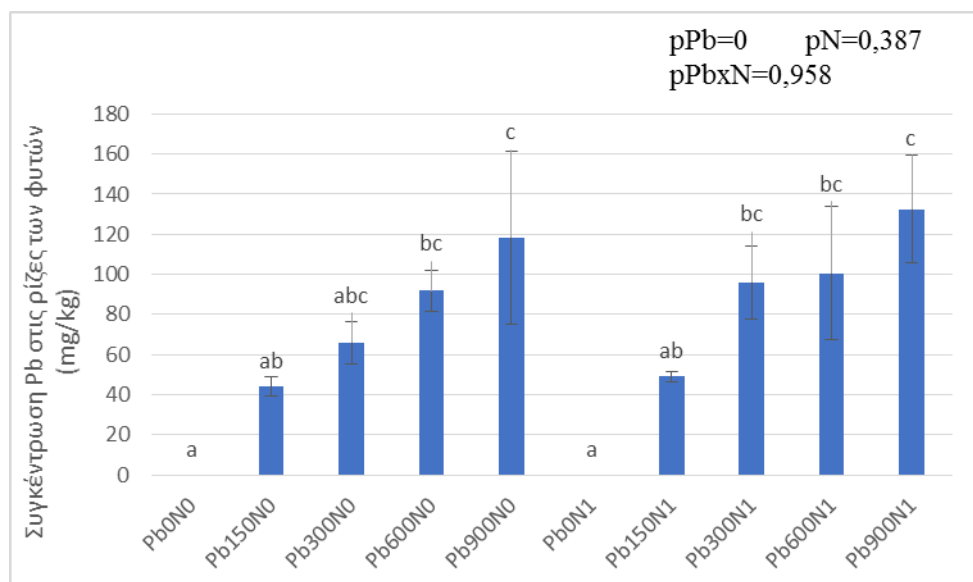
Σχήμα 1. Συγκέντρωση μολύβδου εκχυλισμένου με aqua regia (ψευδο-ολική συγκέντρωση) στο έδαφος στις μεταχειρίσεις του πειράματος. Οι μεταχειρίσεις που φαίνονται στον άξονα x, και είναι οι εξής: Pb0N0=μάρτυρας, Pb150N0=χωρίς αζωτούχο λίπασμα και με προσθήκη 150 mg Pb kg⁻¹, Pb300N0= χωρίς αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 300 mg Pb Kg⁻¹, Pb600N0= χωρίς αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 600 mg Pb Kg⁻¹, Pb900N0= χωρίς αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 900 mg Pb Kg⁻¹, Pb0N1= μάρτυρας με αζωτούχο λίπανση, Pb150N1= με αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 150 mg Pb Kg⁻¹, Pb300N1= με αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 300 mg Pb Kg⁻¹, Pb600N1= με αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 600 mg Pb Kg⁻¹, Pb900N1= με αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 900 mg Pb Kg⁻¹.

Η ψευδο-ολική συγκέντρωση του Pb στο έδαφος ήταν μηδέν στις μεταχειρίσεις του μάρτυρα με και χωρίς N (Pb0N0 και Pb0N1), και παρουσίασαν μια τάση αύξησης με την προσθήκη Pb στο έδαφος. Όμως μόνο η Pb300 διέφερε σημαντικά σε σχέση με το μάρτυρα, ενώ η Pb150 όχι. Η αύξηση συνεχίστηκε και στις μεταχειρίσεις Pb600 και Pb900 με και χωρίς N, με τις συγκεντρώσεις του Pb στις μεταχειρίσεις αυτές να μην διαφέρει στατιστικά σημαντικά. Οι μεταχειρίσεις είναι χαρακτηριστικό ότι δεν επηρεάστηκαν από την προσθήκη του N (p_N=0.100). Είναι επίσης χαρακτηριστικό ότι οι συγκεντρώσεις Pb που μετρήσαμε ήταν πάντα πολύ μικρότερες από εκείνες που προστέθηκαν στο έδαφος: Στο Pb150N0 ήταν 88,5 και όχι 150 mg/kg, στο Pb300N0 ήταν 181,7, στο Pb600N0 462,6 και στο Pb900N0 558,5 mg/kg.



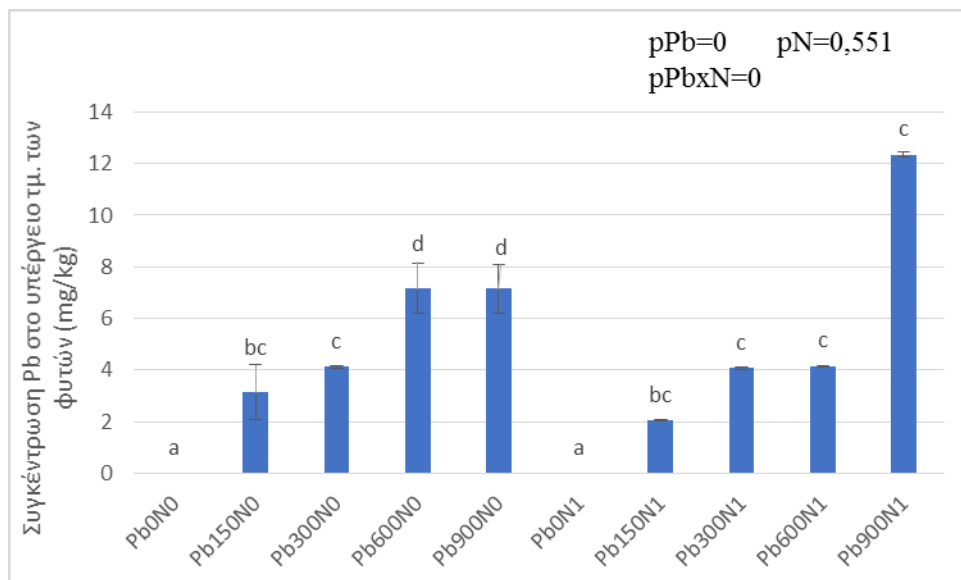
Σχήμα 2. Συγκέντρωση διαθέσιμου μολύβδου εκχυλισμένου με DTPA έδαφος στις μεταχειρίσεις του πειράματος. Οι μεταχειρίσεις που φαίνονται στον άξονα x, και είναι οι εξής: Pb0N0=μάρτυρας, Pb150N0=χωρίς αζωτούχο λίπασμα και με προσθήκη 150 mg Pb kg⁻¹, Pb300N0= χωρίς αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 300 mg Pb Kg⁻¹, Pb600N0= χωρίς αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 600 mg Pb Kg⁻¹, Pb900N0= χωρίς αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 900 mg Pb Kg⁻¹, Pb0N1= μάρτυρας με αζωτούχο λίπανση, Pb150N1= με αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 150 mg Pb Kg⁻¹, Pb300N1= με αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 300 mg Pb Kg⁻¹, Pb600N1= με αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 600 mg Pb Kg⁻¹, Pb900N1= με αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 900 mg Pb Kg⁻¹.

Η συγκέντρωση διαθέσιμου Pb στο έδαφος ήταν μηδέν στις μεταχειρίσεις του μάρτυρα με και χωρίς N (Pb0N0 και Pb0N1) και παρουσίασαν μια τάση αύξησης με την προσθήκη Pb στο έδαφος. Οι μεταχειρίσεις Pb150 και Pb300 δεν διέφεραν στατιστικά σημαντικά με τον μάρτυρα. Η αύξηση συνεχίστηκε και στις μεταχειρίσεις Pb600 και Pb900 με και χωρίς N, με τις συγκεντρώσεις του Pb να διαφέρουν στατιστικά σημαντικά σε σχέση με τον μάρτυρα. Οι μεταχειρίσεις είναι χαρακτηριστικό ότι δεν επηρεάστηκαν από την προσθήκη του N ($p_N=0.784$). Επίσης χαρακτηριστικό είναι πως οι διαθέσιμες συγκεντρώσεις Pb που μετρήσαμε ήταν πάντα πολύ μικρότερες από αυτές που προστέθηκαν στο έδαφος: Στο Pb150N0 ήταν 38,7 mg/kg και όχι 150 mg/kg, στο Pb300N0 ήταν 163,2, στο Pb600N0 ήταν 307,6 και στο Pb900N0 ήταν 558 mg/kg. Επίσης στο Pb150N1 ήταν 84,4, στο Pb300N1 ήταν 132,4, στο Pb600N1 ήταν 319,6 και στο Pb900N1 ήταν 386,2 mg/kg.



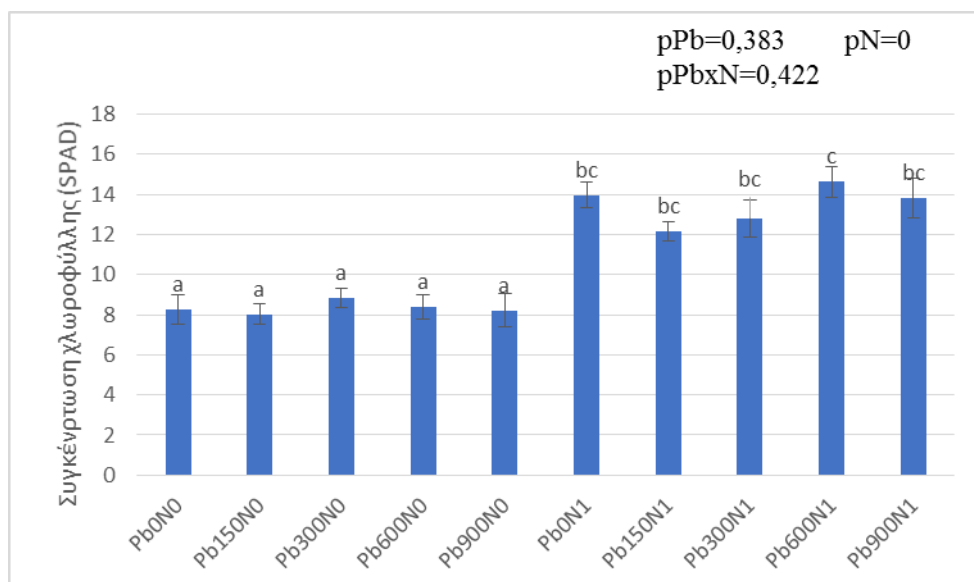
Σχήμα 3. Συγκέντρωση μολύβδου με εκχύλιση 20% HCl στις ρίζες των φυτών στις μεταχειρίσεις του πειράματος. Οι μεταχειρίσεις που φαίνονται στον άξονα x, και είναι οι εξής: Pb0N0=μάρτυρας, Pb150N0=χωρίς αζωτούχο λίπασμα και με προσθήκη 150 mg Pb kg⁻¹, Pb300N0= χωρίς αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 300 mg Pb Kg⁻¹, Pb600N0= χωρίς αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 600 mg Pb Kg⁻¹, Pb900N0= χωρίς αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 900 mg Pb Kg⁻¹, Pb0N1= μάρτυρας με αζωτούχο λίπανση, Pb150N1= με αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 150 mg Pb Kg⁻¹, Pb300N1= με αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 300 mg Pb Kg⁻¹, Pb600N1= με αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 600 mg Pb Kg⁻¹, Pb900N1= με αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 900 mg Pb Kg⁻¹.

Η συγκέντρωση Pb στις ρίζες των φυτών ήταν μηδέν στις μεταχειρίσεις του μάρτυρα με και χωρίς N (Pb0N0 και Pb0N1) και παρουσίασαν μια τάση αύξησης με την προσθήκη Pb στο έδαφος. Στις μεταχειρίσεις χωρίς προσθήκη N, το Pb150 και το Pb300 δεν διαφέρουν στατιστικά σημαντικά σε σχέση με τον μάρτυρα, ενώ το Pb600 και το Pb900 διαφέρουν στατιστικά σημαντικά με τον μάρτυρα. Επίσης στις μεταχειρίσεις με προσθήκη N, μόνο το Pb150 δεν διέφερε στατιστικά σημαντικά σε σχέση με τον μάρτυρα. Είναι χαρακτηριστικό πως οι μεταχειρίσεις δεν επηρεάστηκαν από την προσθήκη N ($p_N=0.387$), όμως επηρεάστηκαν σημαντικά από την προσθήκη Pb ($p_{Pb}=0$). Επίσης χαρακτηριστικό είναι πως οι διαθέσιμες συγκεντρώσεις Pb που μετρήσαμε ήταν πάντα πολύ μικρότερες από αυτές που προστέθηκαν στο έδαφος: Στο Pb150N0 ήταν 44,3 mg/kg και όχι 150 mg/kg, στο Pb300N0 ήταν 66,1, στο Pb600N0 ήταν 91,9 και στο Pb900N0 ήταν 118,4 mg/kg. Επίσης στο Pb150N1 ήταν 49, στο Pb300N1 ήταν 96,2, στο Pb600N1 ήταν 100,5 και στο Pb900N1 ήταν 132,6 mg/kg.



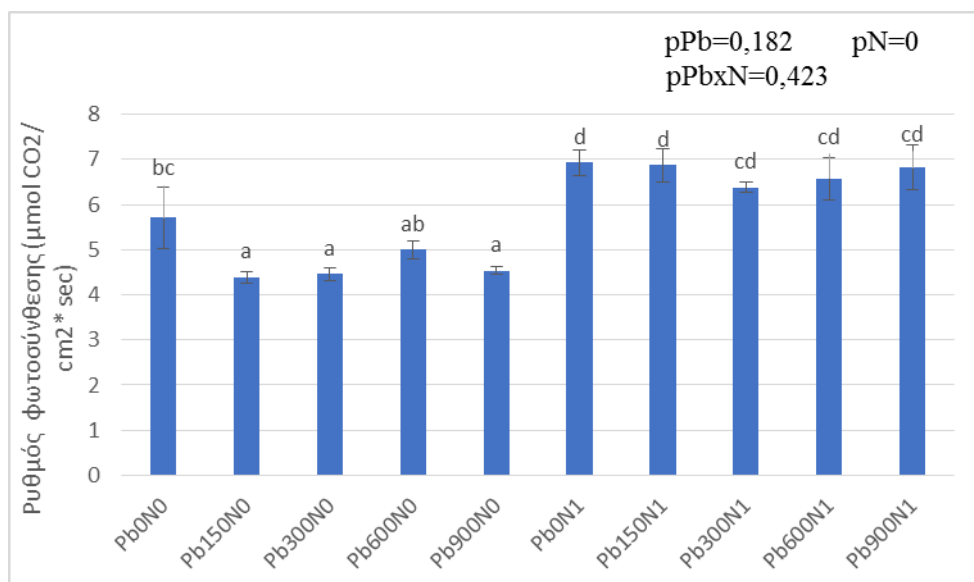
Σχήμα 4. Συγκέντρωση μολύβδου με εκχύλιση 20% HCl στο υπέργειο τμήμα των φυτών στις μεταχειρίσεις του πειράματος. Οι μεταχειρίσεις που φαίνονται στον άξονα x, και είναι οι εξής: Pb0N0=μάρτυρας, Pb150N0=χωρίς αζωτούχο λίπασμα και με προσθήκη 150 mg Pb kg⁻¹, Pb300N0= χωρίς αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 300 mg Pb Kg⁻¹, Pb600N0= χωρίς αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 600 mg Pb Kg⁻¹, Pb900N0= χωρίς αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 900 mg Pb Kg⁻¹, Pb0N1= μάρτυρας με αζωτούχο λίπανση, Pb150N1= με αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 150 mg Pb Kg⁻¹, Pb300N1= με αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 300 mg Pb Kg⁻¹, Pb600N1= με αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 600 mg Pb Kg⁻¹, Pb900N1= με αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 900 mg Pb Kg⁻¹.

Η συγκέντρωση Pb στο υπέργειο τμήμα των φυτών ήταν μηδέν στις μεταχειρίσεις του μάρτυρα με και χωρίς N (Pb0N0 και Pb0N1) και παρουσίασαν μια μικρή τάση αύξησης με την προσθήκη Pb στο έδαφος. Είναι χαρακτηριστικό πως όλες οι μεταχειρίσεις με και χωρίς προσθήκη N διέφεραν στατιστικά σημαντικά σε σχέση με τον μάρτυρα. Παράλληλα, οι μεταχειρίσεις δεν επηρεάστηκαν από την προσθήκη N ($p_N=0.551$), ενώ επηρεάστηκαν από την προσθήκη Pb ($p_{Pb}=0$) και από τον συνδυασμό Pb και N ($p_{Pb \times N}=0$). Επίσης χαρακτηριστικό είναι πως στο υπέργειο τμήμα των φυτών μετρήθηκαν πολύ μικρές συγκεντρώσεις Pb: Στο Pb150N0 ήταν 3,1 mg/kg, στο Pb300N0 ήταν 4,1, στο Pb600N0 ήταν 7,2 και στο Pb900N0 ήταν 7,1 mg/kg. Επίσης στο Pb150N1 ήταν 2, στο Pb300N1 ήταν 4, στο Pb600N1 ήταν 4,2 και στο Pb900N1 ήταν 12,4 mg/kg.



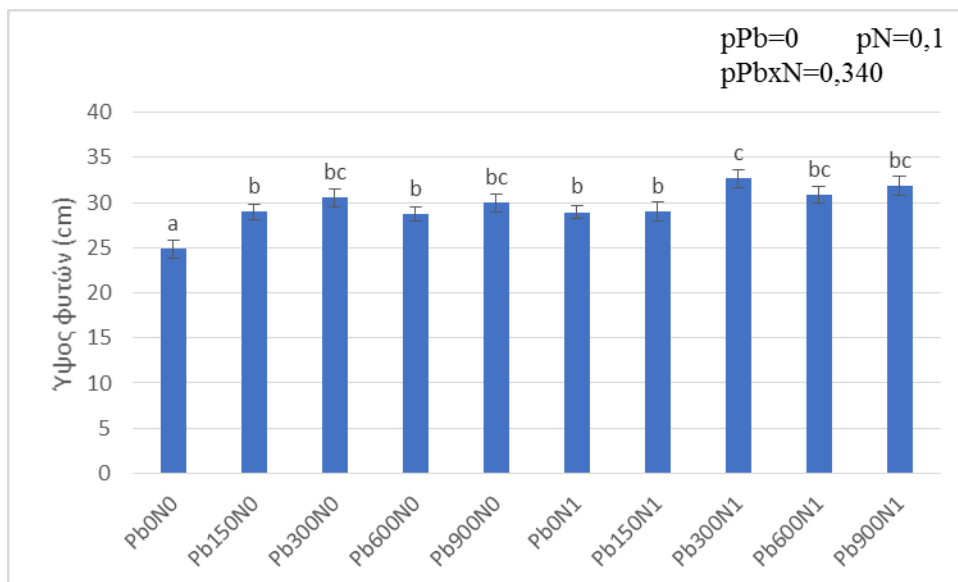
Σχήμα 5. Μέτρηση χλωροφύλλης των φυτών με την μέθοδο SPAD στις μεταχειρίσεις του πειράματος. Οι μεταχειρίσεις που φαίνονται στον άξονα x, και είναι οι εξής: Pb0N0=μάρτυρας, Pb150N0=χωρίς αζωτούχο λίπασμα και με προσθήκη 150 mg Pb kg⁻¹, Pb300N0= χωρίς αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 300 mg Pb Kg⁻¹, Pb600N0= χωρίς αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 600 mg Pb Kg⁻¹, Pb900N0= χωρίς αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 900 mg Pb Kg⁻¹, Pb0N1= μάρτυρας με αζωτούχο λίπανση, Pb150N1= με αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 150 mg Pb Kg⁻¹, Pb300N1= με αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 300 mg Pb Kg⁻¹, Pb600N1= με αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 600 mg Pb Kg⁻¹, Pb900N1= με αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 900 mg Pb Kg⁻¹.

Στην μέτρηση συγκέντρωσης χλωροφύλλης στις μεταχειρίσεις του πειράματος απουσία αζώτου παρατηρούμαι πως δεν διαφέρουν στατιστικά σημαντικά ούτε μεταξύ τους ούτε και με τον μάρτυρα (Pb0N0). Αντίστοιχα συμβαίνει και στις μεταχειρίσεις παρουσία αζώτου οι μεταχειρίσεις δεν διαφέρουν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους αλλά ούτε και με τον μάρτυρα (Pb0N1). Παράλληλα οι μεταχειρίσεις επηρεάστηκαν από την προσθήκη N (p_N=0), ενώ δεν επηρεάστηκαν από την προσθήκη Pb (p_{Pb}=0.383) και από τον συνδυασμό Pb και N (p_{PbXN}=0.422). Οι τιμές των συγκεντρώσεων χλωροφύλλης στις μεταχειρίσεις είναι ως εξής: Στο Pb0N0 ήταν 8.26, στο Pb150N0 ήταν 8.02, στο Pb300N0 ήταν 8.83, στο Pb600N0 ήταν 8.39 και στο Pb900N0 ήταν 8.21. Επίσης στο Pb0N1 ήταν 13.96, στο Pb150N1 ήταν 12.16, στο Pb300N1 ήταν 12.80, στο Pb600N1 ήταν 14.63 και στο Pb900N1 ήταν 13.81.



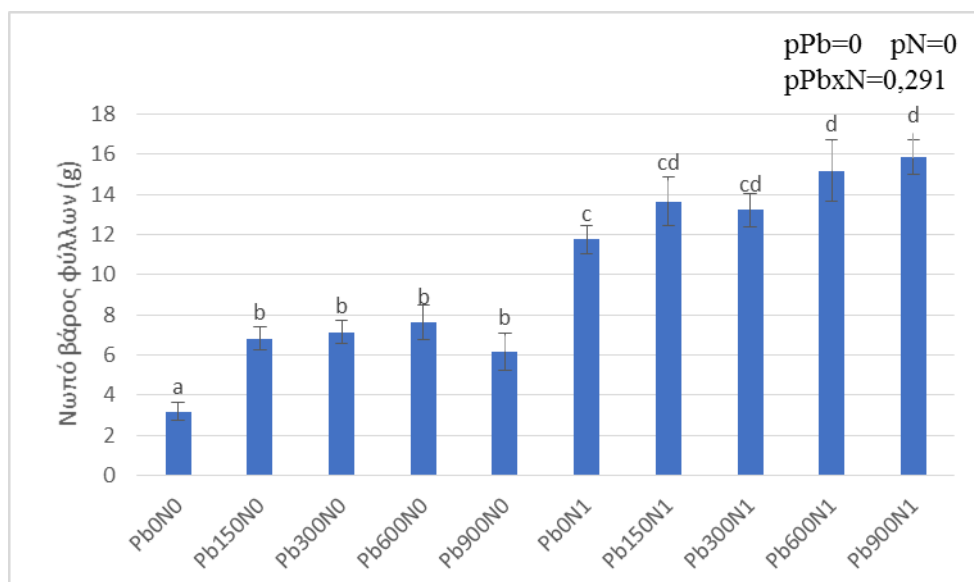
Σχήμα 6. Μέτρηση ρυθμού φωτοσύνθεσης στα φυτά στις μεταχειρίσεις του πειράματος. Οι μεταχειρίσεις που φαίνονται στον άξονα x, και είναι οι εξής: Pb0N0=μάρτυρας, Pb150N0=χωρίς αζωτούχο λίπασμα και με προσθήκη 150 mg Pb kg⁻¹, Pb300N0= χωρίς αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 300 mg Pb Kg⁻¹, Pb600N0= χωρίς αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 600 mg Pb Kg⁻¹, Pb900N0= χωρίς αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 900 mg Pb Kg⁻¹, Pb0N1= μάρτυρας με αζωτούχο λίπανση, Pb150N1= με αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 150 mg Pb Kg⁻¹, Pb300N1= με αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 300 mg Pb Kg⁻¹, Pb600N1= με αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 600 mg Pb Kg⁻¹, Pb900N1= με αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 900 mg Pb Kg⁻¹.

Στην μέτρηση του ρυθμού φωτοσύνθεσης στις μεταχειρίσεις του πειράματος απουσία αζώτου παρατηρήθηκε πως μόνο η μεταχείριση Pb600N0 δεν διέφερε στατιστικά σημαντικά με τον μάρτυρα (Pb0N0), ενώ οι άλλες διέφεραν στατιστικά σημαντικά. Στις μεταχειρίσεις παρουσία αζώτου οι μεταχειρίσεις δεν διέφεραν στατιστικά σημαντικά με τον μάρτυρα (Pb0N1) αλλά ούτε και μεταξύ τους. Παράλληλα οι μεταχειρίσεις επηρεάστηκαν από την προσθήκη N (p_N=0), ενώ δεν επηρεάστηκαν από την προσθήκη Pb (p_{Pb}=0.182) και από τον συνδυασμό Pb και N (p_{PbxN}=0.423). Οι τιμές των συγκεντρώσεων χλωροφύλλης στις μεταχειρίσεις είναι ως εξής: Στο Pb0N0 ήταν 5.71, στο Pb150N0 ήταν 4.40, στο Pb300N0 ήταν 4.46, στο Pb600N0 ήταν 5.00 και στο Pb900N0 ήταν 4.53. Επίσης στο Pb0N1 ήταν 6.93, στο Pb150N1 ήταν 6.87, στο Pb300N1 ήταν 6.38, στο Pb600N1 ήταν 6.58 και στο Pb900N1 ήταν 6.82.



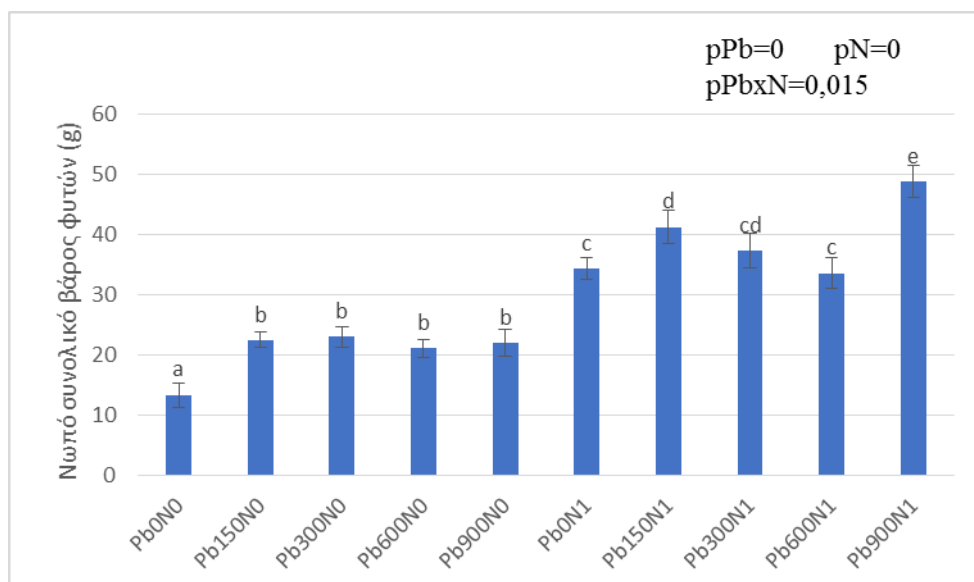
Σχήμα 7. Μέτρηση ύψους των φυτών στις μεταχειρίσεις του πειράματος. Οι μεταχειρίσεις που φαίνονται στον άξονα x, και είναι οι εξής: Pb0N0=μάρτυρας, Pb150N0=χωρίς αζωτούχο λίπασμα και με προσθήκη 150 mg Pb kg⁻¹, Pb300N0= χωρίς αζωτούχο λίπασμα και με προσθήκη 300 mg Pb Kg⁻¹, Pb600N0= χωρίς αζωτούχο λίπασμα και με προσθήκη 600 mg Pb Kg⁻¹, Pb900N0= χωρίς αζωτούχο λίπασμα και με προσθήκη 900 mg Pb Kg⁻¹, Pb0N1= μάρτυρας με αζωτούχο λίπασμα, Pb150N1= με αζωτούχο λίπασμα και με προσθήκη 150 mg Pb Kg⁻¹, Pb300N1= με αζωτούχο λίπασμα και με προσθήκη 300 mg Pb Kg⁻¹, Pb600N1= με αζωτούχο λίπασμα και με προσθήκη 600 mg Pb Kg⁻¹, Pb900N1= με αζωτούχο λίπασμα και με προσθήκη 900 mg Pb Kg⁻¹.

Στην μέτρηση του ύψους των φυτών στις μεταχειρίσεις του πειράματος απουσία αζώτου παρατηρήθηκε πως όλες οι μεταχειρίσεις διέφεραν στατιστικά σημαντικά με τον μάρτυρα (Pb0N0). Στις μεταχειρίσεις παρουσία αζώτου παρατηρήθηκε πως μόνο η μεταχείριση Pb300N1 διέφερε στατιστικά σημαντικά με τον μάρτυρα (Pb0N1). Παράλληλα οι μεταχειρίσεις επηρεάστηκαν από την προσθήκη Pb ($p_{Pb}=0$), δεν επηρεάστηκαν από την προσθήκη N ($p_N=0.1$) και από τον συνδυασμό Pb και N ($p_{Pb \times N}=0.340$). Οι τιμές του ύψους των φυτών στις μεταχειρίσεις του πειράματος είναι ως εξής: Στο Pb0N0 ήταν 24,84 cm, στο Pb150N0 ήταν 29.00, στο Pb300N0 ήταν 30.5, στο Pb600N0 ήταν 28.74 και στο Pb900N0 ήταν 30.00. Επίσης στο Pb0N1 ήταν 29.00, στο Pb150N1 ήταν 29.00, στο Pb300N1 ήταν 32.67, στο Pb600N1 ήταν 30.88 και στο Pb900N1 ήταν 31.84 cm.



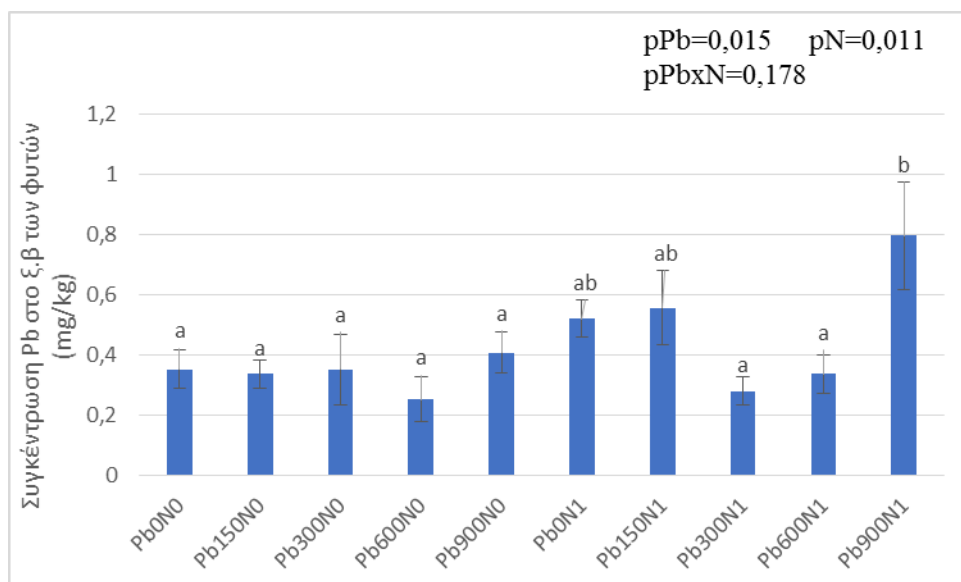
Σχήμα 8. Μέτρηση βάρους των φύλλων των φυτών στις μεταχειρίσεις του πειράματος. Οι μεταχειρίσεις που φαίνονται στον άξονα x, και είναι οι εξής: Pb0N0=μάρτυρας, Pb150N0=χωρίς αζωτούχο λίπασμα και με προσθήκη 150 mg Pb kg⁻¹, Pb300N0= χωρίς αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 300 mg Pb Kg⁻¹, Pb600N0= χωρίς αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 600 mg Pb Kg⁻¹, Pb900N0= χωρίς αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 900 mg Pb Kg⁻¹, Pb0N1= μάρτυρας με αζωτούχο λίπανση, Pb150N1= με αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 150 mg Pb Kg⁻¹, Pb300N1= με αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 300 mg Pb Kg⁻¹, Pb600N1= με αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 600 mg Pb Kg⁻¹, Pb900N1= με αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 900 mg Pb Kg⁻¹.

Στην μέτρηση του βάρους των φύλλων στις μεταχειρίσεις του πειράματος παρουσία αζώτου παρατηρήθηκε πως όλες οι μεταχειρίσεις διέφεραν στατιστικά σημαντικά με τον μάρτυρα (Pb0N0). Στις μεταχειρίσεις παρουσία αζώτου μόνο οι μεταχειρίσεις Pb600N1 και Pb900N1 διέφεραν στατιστικά σημαντικά με τον μάρτυρα. Παράλληλα η προσθήκη N και η προσθήκη Pb επηρέασαν τις μεταχειρίσεις του πειράματος (p_N=0 και p_{Pb}=0 αντίστοιχα), ενώ ο συνδυασμός Pb και N δεν επηρέασαν τις μεταχειρίσεις (p_{PbXN}=0.291). Οι τιμές του βάρους των φύλλων των φυτών στις μεταχειρίσεις του πειράματος είναι ως εξής: Στο Pb0N0 ήταν 0,17 gr, στο Pb150N0 ήταν 6.82, στο Pb300N0 ήταν 7.14, στο Pb600N0 ήταν 7.64 και στο Pb900N0 ήταν 6.17 gr. Επίσης στο Pb0N1 ήταν 11.75, στο Pb150N1 ήταν 13.64, στο Pb300N1 ήταν 13.24, στο Pb600N1 ήταν 15.19 και στο Pb900N1 ήταν 15.85 g.



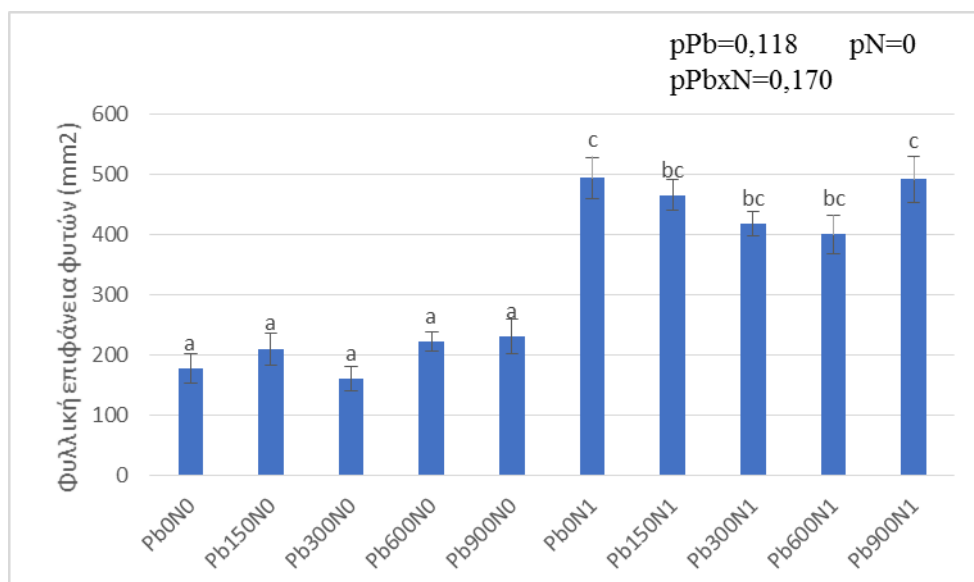
Σχήμα 9. Μέτρηση συνολικού βάρους των φυτών στις μεταχειρίσεις του πειράματος. Οι μεταχειρίσεις που φαίνονται στον άξονα x, και είναι οι εξής: Pb0N0=μάρτυρας, Pb150N0=χωρίς αζωτούχο λίπασμα και με προσθήκη 150 mg Pb kg⁻¹, Pb300N0= χωρίς αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 300 mg Pb Kg⁻¹, Pb600N0= χωρίς αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 600 mg Pb Kg⁻¹, Pb900N0= χωρίς αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 900 mg Pb Kg⁻¹, Pb0N1= μάρτυρας με αζωτούχο λίπανση, Pb150N1= με αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 150 mg Pb Kg⁻¹, Pb300N1= με αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 300 mg Pb Kg⁻¹, Pb600N1= με αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 600 mg Pb Kg⁻¹, Pb900N1= με αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 900 mg Pb Kg⁻¹.

Στην μέτρηση του συνολικού βάρους των φυτών στις μεταχειρίσεις του πειράματος παρουσία αζώτου παρατηρήθηκε πως όλες οι μεταχειρίσεις διέφεραν στατιστικά σημαντικά με τον μάρτυρα. Στις μεταχειρίσεις παρουσία αζώτου παρατηρήθηκε πως μόνο οι μεταχειρίσεις Pb900N1 και Pb150N1 διέφεραν στατιστικά σημαντικά με τον μάρτυρα. Παράλληλα η προσθήκη N και η προσθήκη Pb επηρέασαν τις μεταχειρίσεις του πειράματος ($p_N=0$ και $p_{Pb}=0$ αντίστοιχα), αλλά και ο συνδυασμός Pb και N επηρέασε τις μεταχειρίσεις ($p_{Pb \times N}=0.015$). Οι τιμές του συνολικού βάρους των φυτών στις μεταχειρίσεις του πειράματος είναι ως εξής: Στο Pb0N0 ήταν 13,36 gr, στο Pb150N0 ήταν 22,46, στο Pb300N0 ήταν 23.00, στο Pb600N0 ήταν 21,10 και στο Pb900N0 ήταν 22,02 gr. Επίσης στο Pb0N1 ήταν 34,33, στο Pb150N1 ήταν 41,27, στο Pb300N1 ήταν 37,33, στο Pb600N1 ήταν 37,57 και στο Pb900N1 ήταν 48,84 g.



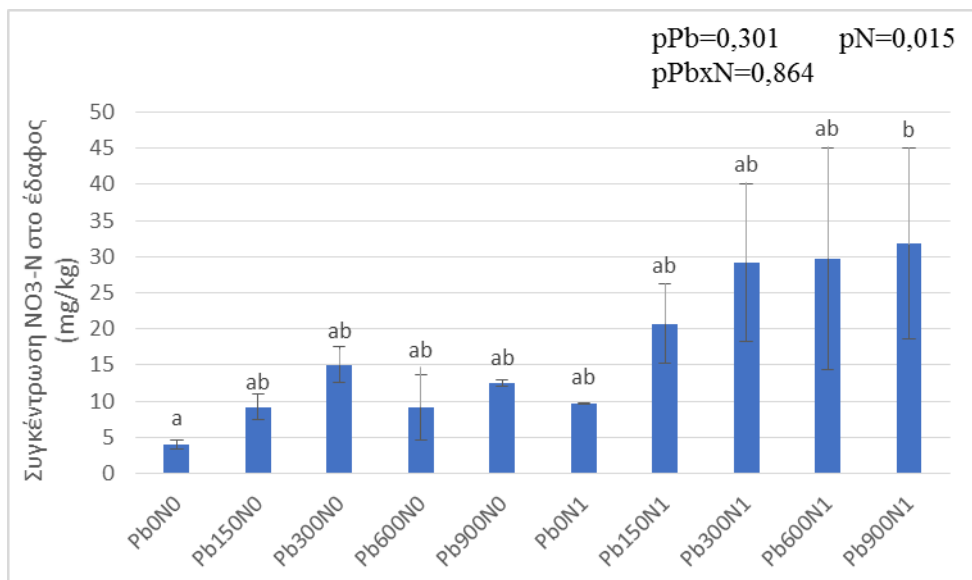
Σχήμα 10. Μέτρηση μολύβδου με εκχύλιση 20% HCl στο ξηρό βάρος των φυτών στις μεταχειρίσεις του πειράματος. Οι μεταχειρίσεις που φαίνονται στον άξονα x, και είναι οι εξής: Pb0N0=μάρτυρας, Pb150N0=χωρίς αζωτούχο λίπασμα και με προσθήκη 150 mg Pb kg⁻¹, Pb300N0= χωρίς αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 300 mg Pb Kg⁻¹, Pb600N0= χωρίς αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 600 mg Pb Kg⁻¹, Pb900N0= χωρίς αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 900 mg Pb Kg⁻¹, Pb0N1= μάρτυρας με αζωτούχο λίπανση, Pb150N1= με αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 150 mg Pb Kg⁻¹, Pb300N1= με αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 300 mg Pb Kg⁻¹, Pb600N1= με αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 600 mg Pb Kg⁻¹, Pb900N1= με αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 900 mg Pb Kg⁻¹.

Στην μέτρηση Pb στο ξηρό βάρος των φυτών στις μεταχειρίσεις του πειράματος παρουσία και απουσία αζώτου, οι μεταχειρίσεις δεν διέφεραν στατιστικά σημαντικά με τους μάρτυρες (Pb0N0 και Pb0N1). Παράλληλα, παρατηρήθηκε πως οι μεταχειρίσεις επηρεάστηκαν από την προσθήκη N και Pb ($p_N=0.011$ και $p_{Pb}=0.015$ αντίστοιχα), ενώ ο συνδυασμός N και Pb δεν επηρέασαν τις μεταχειρίσεις ($p_{Pb \times N}=0.178$). Οι συγκεντρώσεις Pb στο ξηρό βάρος των φυτών που μετρήσαμε ήταν οι εξής: Στο Pb0N0 ήταν 0,35mg/kg, στο Pb150N0 ήταν 0.34 mg/kg και όχι 150 mg/kg, στο Pb300N0 ήταν 0.35, στο Pb600N0 ήταν 0.25 και στο Pb900N0 ήταν 0.41 mg/kg. Επίσης στο Pb0N1 ήταν 0.52 mg/kg, στο Pb150N1 ήταν 0.56, στο Pb300N1 ήταν 0.28, στο Pb600N1 ήταν 0.34 και στο Pb900N1 ήταν 0.80 mg/kg.



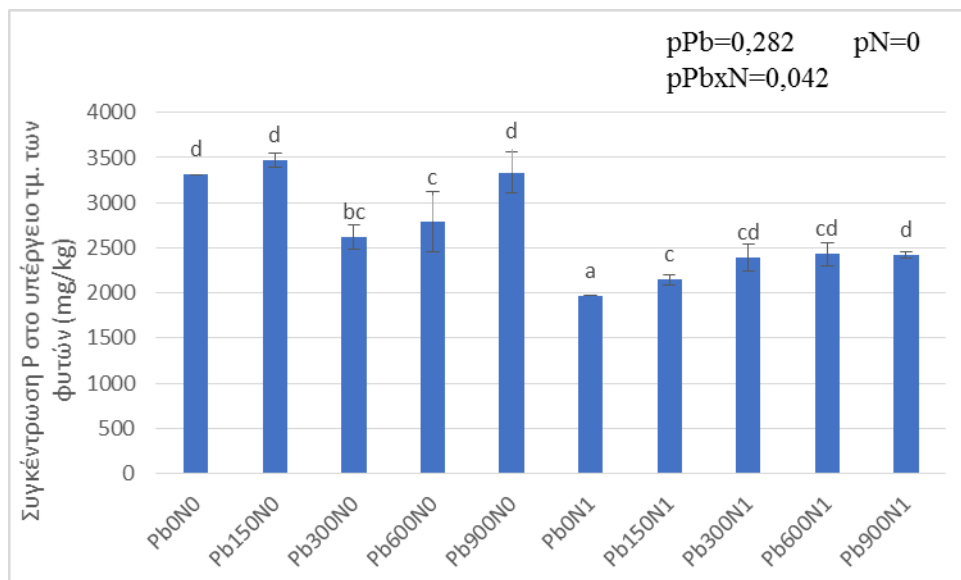
Σχήμα 11. Μέτρηση φυλλικής επιφάνειας των φυτών στις μεταχειρίσεις του πειράματος. Οι μεταχειρίσεις που φαίνονται στον άξονα x, και είναι οι εξής: Pb0N0=μάρτυρας, Pb150N0=χωρίς αζωτούχο λίπασμα και με προσθήκη 150 mg Pb kg⁻¹, Pb300N0=χωρίς αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 300 mg Pb Kg⁻¹, Pb600N0= χωρίς αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 600 mg Pb Kg⁻¹, Pb900N0= χωρίς αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 900 mg Pb Kg⁻¹, Pb0N1= μάρτυρας με αζωτούχο λίπανση, Pb150N1= με αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 150 mg Pb Kg⁻¹, Pb300N1= με αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 300 mg Pb Kg⁻¹, Pb600N1= με αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 600 mg Pb Kg⁻¹, Pb900N1= με αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 900 mg Pb Kg⁻¹.

Στην μέτρηση φυλλικής επιφάνειας των φυτών στις μεταχειρίσεις του πειράματος παρουσία και απουσία αζώτου, οι μεταχειρίσεις διέφεραν στατιστικά σημαντικά με τους μάρτυρες (Pb0N1 και Pb0N0 αντίστοιχα). Παράλληλα είναι χαρακτηριστικό πως οι μεταχειρίσεις επηρεάστηκαν από την προσθήκη N (p_N=0). Οι τιμές της φυλλικής επιφάνειας των φυτών στις μεταχειρίσεις του πειράματος είναι ως εξής: Στο Pb0N0 ήταν 178.00 mm², στο Pb150N0 ήταν 210.33 mm², στο Pb300N0 ήταν 160.40, στο Pb600N0 ήταν 222.00 και στο Pb900N0 ήταν 230.53 mm². Επίσης στο Pb0N1 ήταν 499.33 mm², στο Pb150N1 ήταν 465.33, στο Pb300N1 ήταν 418.67, στο Pb600N1 ήταν 400.33 και στο Pb900N1 ήταν 492.00 mm².



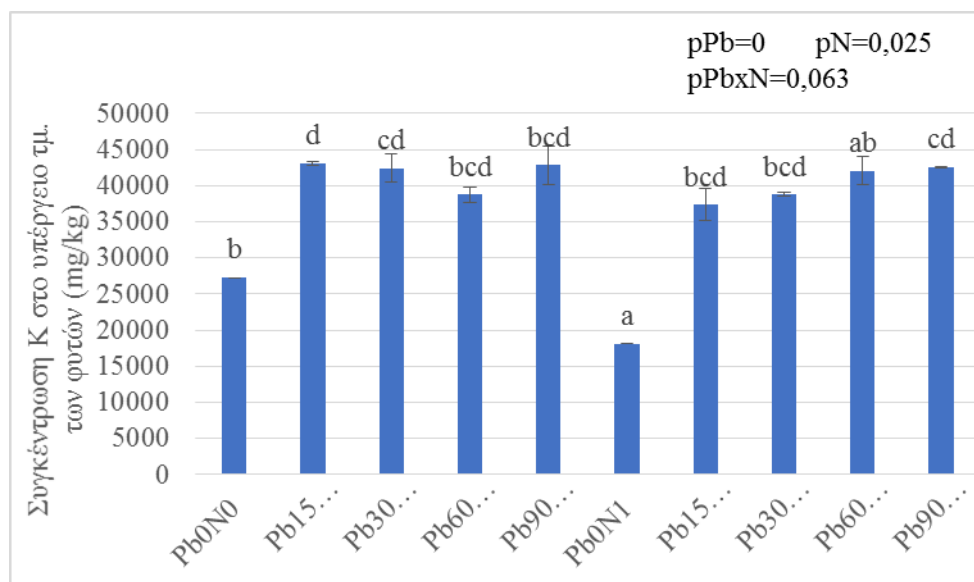
Σχήμα 12. Μέτρηση νιτρικού αζώτου στο έδαφος στις μεταχειρίσεις του πειράματος. Οι μεταχειρίσεις που φαίνονται στον άξονα x, και είναι οι εξής: Pb0N0=μάρτυρας, Pb150N0=χωρίς αζωτούχο λίπασμα και με προσθήκη 150 mg Pb kg⁻¹, Pb300N0= χωρίς αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 300 mg Pb Kg⁻¹, Pb600N0= χωρίς αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 600 mg Pb Kg⁻¹, Pb900N0= χωρίς αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 900 mg Pb Kg⁻¹, Pb0N1= μάρτυρας με αζωτούχο λίπανση, Pb150N1= με αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 150 mg Pb Kg⁻¹, Pb300N1= με αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 300 mg Pb Kg⁻¹, Pb600N1= με αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 600 mg Pb Kg⁻¹, Pb900N1= με αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 900 mg Pb Kg⁻¹.

Στην μέτρηση νιτρικού αζώτου στο έδαφος στις μεταχειρίσεις του πειράματος παρουσία και απουσία αζώτου, οι μεταχειρίσεις δεν διέφεραν στατιστικά σημαντικά με τους μάρτυρες (Pb0N1 και Pb0N0 αντίστοιχα). Επίσης στις μεταχειρίσεις παρουσία αζώτου παρατηρήθηκε μια τάση αύξησης των τιμών με τον προσθήκη Pb. Είναι χαρακτηριστικό πως οι μεταχειρίσεις επηρεάστηκαν από την προσθήκη αζώτου στο έδαφος (pN=0,015). Οι τιμές νιτρικού αζώτου που μετρήθηκαν στο έδαφος είναι οι εξής: Στο Pb0N0 ήταν 4.03 mg/kg, στο Pb150N0 ήταν 9.15, στο Pb300N0 ήταν 15.03, στο Pb600N0 ήταν 9.13 και στο Pb900N0 ήταν 12.51 mg/kg. Επίσης στο Pb0N1 ήταν 9.71, στο Pb150N1 ήταν 20.72, στο Pb300N1 ήταν 29.22, στο Pb600N1 ήταν 29.75 και στο Pb900N1 ήταν 31.79 mg/kg.



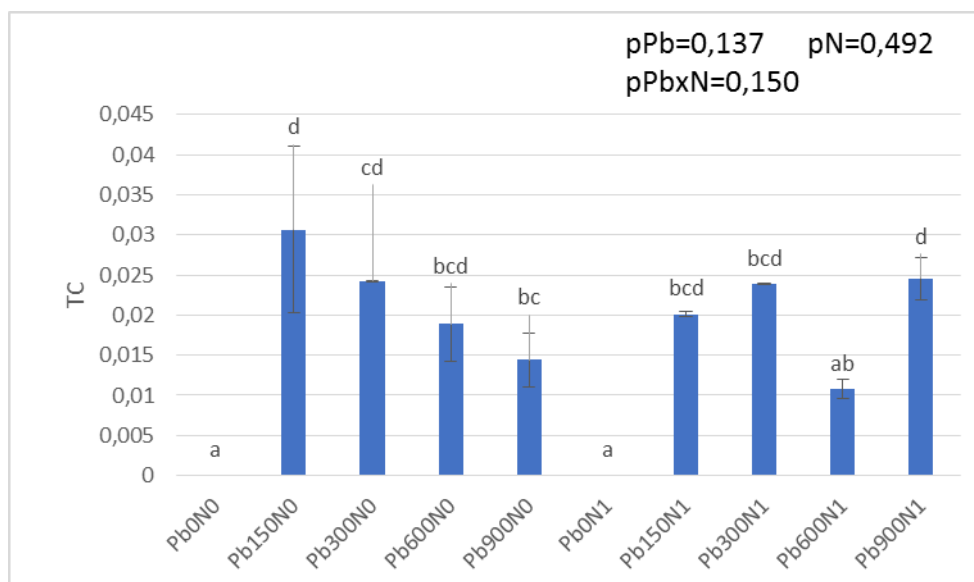
Σχήμα 13. Μέτρηση φωσφόρου στο υπέργειο τμήμα των φυτών στις μεταχειρίσεις του πειράματος. Οι μεταχειρίσεις που φαίνονται στον άξονα x, και είναι οι εξής: Pb0N0=μάρτυρας, Pb150N0=χωρίς αζωτούχο λίπασμα και με προσθήκη 150 mg Pb kg⁻¹, Pb300N0= χωρίς αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 300 mg Pb Kg⁻¹, Pb600N0= χωρίς αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 600 mg Pb Kg⁻¹, Pb900N0= χωρίς αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 900 mg Pb Kg⁻¹, Pb0N1= μάρτυρας με αζωτούχο λίπανση, Pb150N1= με αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 150 mg Pb Kg⁻¹, Pb300N1= με αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 300 mg Pb Kg⁻¹, Pb600N1= με αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 600 mg Pb Kg⁻¹, Pb900N1= με αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 900 mg Pb Kg⁻¹.

Στην μέτρηση φωσφόρου στο υπέργειο τμήμα των φυτών στις μεταχειρίσεις του πειράματος απουσία αζώτου, μόνο οι μεταχειρίσεις Pb300N0 και Pb600N0 διέφεραν στατιστικά σημαντικά με τον μάρτυρα (Pb0N0). Στις μεταχειρίσεις παρουσία αζώτου, όλες οι μεταχειρίσεις διέφεραν στατιστικά σημαντικά με τον μάρτυρα (Pb0N1). Παράλληλα παρατηρήθηκε πως οι μεταχειρίσεις επηρεάστηκαν από την προσθήκη N (p_N=0) και από τον συνδυασμό Pb και N (p_{PbxN}=0.042). Οι τιμές φωσφόρου στο υπέργειο τμήμα των φυτών που μετρήθηκαν είναι οι εξής: Στο Pb0N0 ήταν 3312,81 mg/kg, στο Pb150N0 ήταν 3472,23 mg/kg, στο Pb300N0 ήταν 2617,63, στο Pb600N0 ήταν 2790,21 και στο Pb900N0 ήταν 3332,11 mg/kg. Επίσης στο Pb0N1 ήταν 1967,26 mg/kg, στο Pb150N1 ήταν 2145,85, στο Pb300N1 ήταν 2393,53, στο Pb600N1 ήταν 2433,52 και στο Pb900N1 ήταν 2416,83 mg/kg.



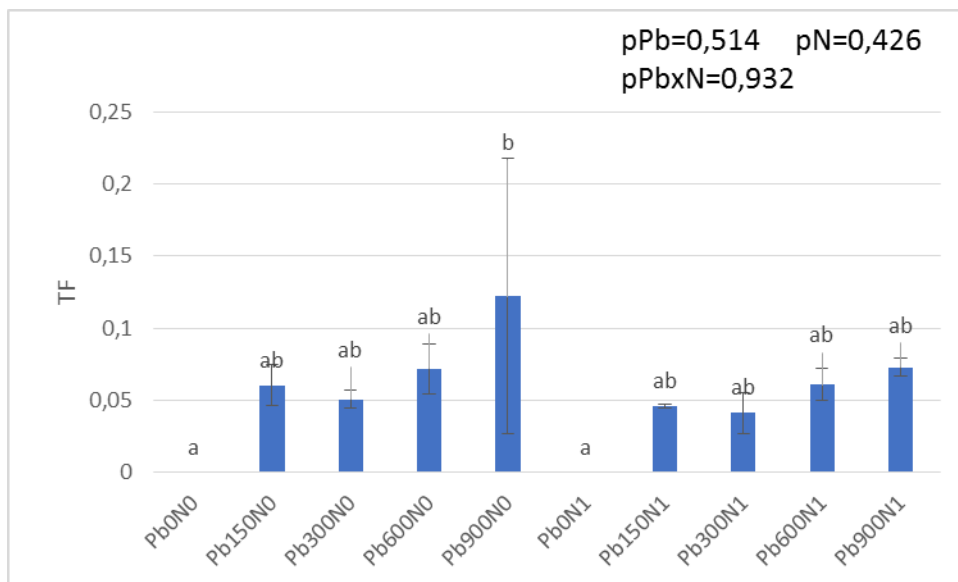
Σχήμα 14. Μέτρηση καλίου στο υπέργειο τμήμα των φυτών στις μεταχειρίσεις του πειράματος. Οι μεταχειρίσεις που φαίνονται στον άξονα x, και είναι οι εξής: Pb0N0=μάρτυρας, Pb150N0=χωρίς αζωτούχο λίπασμα και με προσθήκη 150 mg Pb kg⁻¹, Pb300N0= χωρίς αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 300 mg Pb Kg⁻¹, Pb600N0= χωρίς αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 600 mg Pb Kg⁻¹, Pb900N0= χωρίς αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 900 mg Pb Kg⁻¹, Pb0N1= μάρτυρας με αζωτούχο λίπανση, Pb150N1= με αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 150 mg Pb Kg⁻¹, Pb300N1= με αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 300 mg Pb Kg⁻¹, Pb600N1= με αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 600 mg Pb Kg⁻¹, Pb900N1= με αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 900 mg Pb Kg⁻¹.

Στην μέτρηση καλίου στο υπέργειο τμήμα των φυτών στις μεταχειρίσεις του πειράματος απουσία αζώτου, μόνο οι μεταχειρίσεις Pb150N0 και Pb300N0 διέφεραν στατιστικά σημαντικά με τον μάρτυρα (Pb0N0). Στις μεταχειρίσεις παρουσία αζώτου, μόνο η μεταχείριση Pb600N1 δεν διέφερε στατιστικά σημαντικά σε σχέση με τον μάρτυρα (Pb0N1). Οι μεταχειρίσεις επηρεάστηκαν από την προσθήκη N (p_N=0.025) αλλά και από την προσθήκη Pb (p_{Pb}=0). Οι τιμές καλίου στο υπέργειο τμήμα των φυτών είναι οι εξής: Στο Pb0N0 ήταν 27281,11 mg/kg, στο Pb150N0 ήταν 43105,79 mg/kg, στο Pb300N0 ήταν 42437,35, στο Pb600N0 ήταν 38726,26 και στο Pb900N0 ήταν 42810,51 mg/kg. Επίσης στο Pb0N1 ήταν 18113,77 mg/kg, στο Pb150N1 ήταν 37346,52, στο Pb300N1 ήταν 38775,81, στο Pb600N1 ήταν 42079,8 και στο Pb900N1 ήταν 42514,49 mg/kg.



Σχήμα 15. Υπολογισμός του δείκτη TC στις μεταχειρίσεις του πειράματος. Οι μεταχειρίσεις που φαίνονται στον άξονα x, και είναι οι εξής: Pb0N0=μάρτυρας, Pb150N0=χωρίς αζωτούχο λίπασμα και με προσθήκη 150 mg Pb kg⁻¹, Pb300N0= χωρίς αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 300 mg Pb Kg⁻¹, Pb600N0= χωρίς αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 600 mg Pb Kg⁻¹, Pb900N0= χωρίς αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 900 mg Pb Kg⁻¹, Pb0N1= μάρτυρας με αζωτούχο λίπανση, Pb150N1= με αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 150 mg Pb Kg⁻¹, Pb300N1= με αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 300 mg Pb Kg⁻¹, Pb600N1= με αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 600 mg Pb Kg⁻¹, Pb900N1= με αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 900 mg Pb Kg⁻¹.

Η τιμή του δείκτη TC ήταν μηδέν στις μεταχειρίσεις του μάρτυρα με και χωρίς N (Pb0N0 και Pb0N1). Στις μεταχειρίσεις απουσία αζώτου όλες οι μεταχειρίσεις διέφεραν στατιστικά σημαντικά με τον μάρτυρα (Pb0N0). Στις μεταχειρίσεις παρουσία αζώτου μόνο η μεταχείριση Pb600N1 δεν διέφερε στατιστικά σημαντικά σε σχέση με τον μάρτυρα (Pb0N1). Είναι χαρακτηριστικό πως οι μεταχειρίσεις δεν επηρεάστηκαν από την προσθήκη N, ούτε και από την προσθήκη Pb. Οι τιμές του δείκτη TC στις μεταχειρίσεις του πειράματος είναι οι εξής: Στο Pb150N0 ήταν 0,031, στο Pb300N0 ήταν 0,024, στο Pb600N0 ήταν 0,019 και στο Pb900N0 ήταν 0,014. Επίσης στον Pb150N1 ήταν 0,020, στο Pb300N1 ήταν 0,024, στο Pb600N1 ήταν 0,011 και στο Pb900N1 ήταν 0,025.



Σχήμα 16. Υπολογισμός του δείκτη TF στις μεταχειρίσεις του πειράματος. Οι μεταχειρίσεις που φαίνονται στον άξονα x, και είναι οι εξής: Pb0N0=μάρτυρας, Pb150N0=χωρίς αζωτούχο λίπασμα και με προσθήκη 150 mg Pb kg⁻¹, Pb300N0= χωρίς αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 300 mg Pb Kg⁻¹, Pb600N0= χωρίς αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 600 mg Pb Kg⁻¹, Pb900N0= χωρίς αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 900 mg Pb Kg⁻¹, Pb0N1= μάρτυρας με αζωτούχο λίπανση, Pb150N1= με αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 150 mg Pb Kg⁻¹, Pb300N1= με αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 300 mg Pb Kg⁻¹, Pb600N1= με αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 600 mg Pb Kg⁻¹, Pb900N1= με αζωτούχο λίπανση και με προσθήκη 900 mg Pb Kg⁻¹.

Η τιμή του δείκτη TF ήταν μηδέν στις μεταχειρίσεις του μάρτυρα με και χωρίς N (Pb0N0 και Pb0N1). Στις μεταχειρίσεις απουσία αζώτου όλες οι μεταχειρίσεις διέφεραν στατιστικά σημαντικά με τον μάρτυρα (Pb0N0). Στις μεταχειρίσεις παρουσία αζώτου μόνο η μεταχείριση Pb600N1 δεν διέφερε στατιστικά σημαντικά σε σχέση με τον μάρτυρα (Pb0N1). Είναι χαρακτηριστικό πως οι μεταχειρίσεις δεν επηρεάστηκαν από την προσθήκη N, ούτε και από την προσθήκη Pb. Οι τιμές του δείκτη TC στις μεταχειρίσεις του πειράματος είναι οι εξής: Στο Pb150N0 ήταν 0,060, στο Pb300N0 ήταν 0,051, στο Pb600N0 ήταν 0,072 και στο Pb900N0 ήταν 0,122. Επίσης στον Pb150N1 ήταν 0,046, στο Pb300N1 ήταν 0,041, στο Pb600N1 ήταν 0,061 και στο Pb900N1 ήταν 0,073.

3.2 Συζήτηση

Στις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν παρατηρήθηκε πως η ψευδο-ολική συγκέντρωση μολύβδου στο έδαφος ήταν πολύ μικρότερη από την αρχική προσθήκη Pb. Παράλληλα από τις συγκεντρώσεις μολύβδου (κατά aqua regia) στο έδαφος ακόμα λιγότερες ήταν σε διαθέσιμη μορφή (κατά DTPA). Αυτό οφείλεται στην δέσμευση του μολύβδου από τα κolloειδή του εδάφους καθώς και από την χαμηλή διαθεσιμότητά του, όπως επιβεβαιώνεται και από τους Korittke et al. (2008) και Punamiya et al. (2010).

Η συσσώρευση μολύβδου στις ρίζες των φυτών στις μεταχειρίσεις του πειράματος είναι αποτέλεσμα της προσθήκης Pb στο έδαφος. Αυτό επιβεβαιώνεται από τα αποτελέσματα άλλων ερευνών (Pouput et al., 2011, Zaier et al., 2010). Η τάση αύξησης που παρατηρήθηκε οφείλεται στις διαφορετικές συγκεντρώσεις μολύβδου που τοποθετήθηκαν στις μεταχειρίσεις του πειράματος.

Οι συγκεντρώσεις Pb στο υπέργειο τμήμα των φυτών στις μεταχειρίσεις του πειράματος ήταν πολύ μικρότερες σε σύγκριση με τις συγκεντρώσεις στις ρίζες των φυτών. Στα ίδια αποτελέσματα κατέληξαν και οι Pouput et al. (2011), Zaier et al. (2010) και Liu et al. (2000). Με βάση την έρευνα αυτών επιβεβαιώνονται και τα δικά μας ευρήματα, δηλαδή πως στις ρίζες των φυτών παρατηρούνται μεγαλύτερες συγκεντρώσεις μολύβδου σε σχέση με το υπέργειο τμήμα. Αυτό αποδίδεται σε φυσικό μηχανισμό άμυνας του φυτού δεδομένου πως αναγνωρίζει τον μόλυβδο ως τοξικό. Επίσης οφείλεται και σε φυσικά εμπόδια που υπάρχουν στην ενδοδερμίδα της ρίζας των φυτών.

Η συγκέντρωση χλωροφύλλης (κατά SPAD) αλλά και ο ρυθμός φωτοσύνθεσης των φυτών στις μεταχειρίσεις του πειράματος παρατηρήθηκε πως ήταν μικρός. Αυτό οφείλεται στην τοξική δράση που έχει ο μόλυβδος στο φυτό. Στα ίδια αποτελέσματα κατέληξαν και οι Sharma et al. (2005), Huang et al. (2019) και Pouput et al. (2011). Σύμφωνα με αυτούς, η μικρή συγκέντρωση χλωροφύλλης καθώς ο μικρός ρυθμός φωτοσύνθεσης οφείλεται στην αναστολή της βιοσύνθεσης χλωροφύλλης, των δραστηριοτήτων των ενζύμων στον κύκλο του Calvin και της μεταφοράς των ηλεκτρονίων κ.α.

Το ύψος των φυτών στις μεταχειρίσεις του πειράματος δεν επηρεάστηκε από την προσθήκη N. Στις μεταχειρίσεις απουσία N η ελάχιστη τιμή που καταγράφηκε ήταν στο Pb0N0 24,84 cm ενώ η μέγιστη ήταν στο Pb900N0 30 cm. Επίσης στις μεταχειρίσεις παρουσία N η μέγιστη τιμή ήταν 32,67 στο Pb300N1 και η ελάχιστη ήταν 29 cm στα Pb0N1 και Pb150N1. Παράλληλα παρατηρείται μια αυξομείωση των τιμών του ύψους των φυτών στις μεταχειρίσεις του πειράματος. Τα αποτελέσματα του πειράματος αυτού όμως δεν συμβαδίζουν με την έρευνα του Sharma et al. (2005), ο οποίος αναφέρει πως ο Pb λόγω της φυτοτοξικότητάς του μειώνει την βλαστική ικανότητα των φυτών. Στο ίδιο αποτέλεσμα κατέληξαν και οι Verma και Dubey (2003).

Στο Σχήμα 8. παρατηρείται μια σημαντική διαφορά των τιμών του βάρους των φύλλων των φυτών μεταξύ των μεταχειρίσεων παρουσίας και απουσίας N. Πιο συγκεκριμένα στις μεταχειρίσεις απουσίας N η ελάχιστη τιμή ήταν 0,17 gr στο Pb0N0 και η μέγιστη ήταν 7,64 gr στο Pb600N0. Ενώ στις μεταχειρίσεις παρουσίας N, η ελάχιστη τιμή ήταν 11,75 gr στο Pb0N1 και η μέγιστη ήταν 15,19 gr στο Pb600N1. Παρόμοια αποτελέσματα φαίνονται και στο Σχήμα 9. που παρουσιάζεται το συνολικό βάρος των φυτών στις μεταχειρίσεις του πειράματος, στο οποίο παρατηρείται μεγάλη διαφορά των τιμών μεταξύ των μεταχειρίσεων απουσίας και παρουσίας αζώτου. Πιο συγκεκριμένα στις μεταχειρίσεις απουσίας N η ελάχιστη τιμή ήταν 13,36 gr στο Pb0N0 και η μέγιστη ήταν 23,00 gr στο Pb300N0. Ενώ στις μεταχειρίσεις παρουσίας N, η ελάχιστη τιμή ήταν 34,33 gr στο Pb0N1 και η μέγιστη ήταν 48,84 gr στο Pb600N1. Η διαφορά μεταξύ των μεταχειρίσεων απουσίας και παρουσίας N, οφείλεται στην προσθήκη N στην καλλιέργεια των φυτών. Στα ίδια αποτελέσματα κατέληξαν και οι Ahl et al. (2009) και Sotiropoulou et al. (2010).

Στο Σχήμα 10. Παρατηρείται μια αυξομείωση των συγκεντρώσεων Pb στο ξηρό βάρος των φυτών. Παράλληλα μετρήθηκαν πολύ μικρές συγκεντρώσεις μολύβδου σε σχέση με αυτές που μετρήθηκαν στο υπέργειο και υπόγειο τμήμα των φυτών στις μεταχειρίσεις του πειράματος που αποτυπώνονται στο Σχήμα 4 και 3 αντίστοιχα. Σύμφωνα με του Pourrut et al. (2011) αυτό οφείλεται στο γεγονός πως το ιόν Pb^{2+} συνδέεται στις κυτταρικές μεμβράνες και τα κυτταρικά τοιχώματα των φυτών. Επίσης τα φυτά προς αποφυγή της τοξικότητας από τον μόλυβδο αντιστέκονται στην είσοδο του στα κύτταρα. Αυτό επιβεβαιώνει και το γεγονός πως παρατηρήθηκαν μικρές συγκεντρώσεις στο ξηρό βάρος των φυτών στις μεταχειρίσεις του πειράματος.

Σε σχέση με την φυλλική επιφάνεια των φυτών στις μεταχειρίσεις του πειράματος παρατηρήθηκε μεγάλη διαφορά των τιμών μεταξύ των μεταχειρίσεων απουσίας και παρουσίας αζώτου στις μεταχειρίσεις του πειράματος. Πιο συγκεκριμένα στις μεταχειρίσεις απουσίας N η ελάχιστη τιμή ήταν $160,40 \text{ mm}^2$ στο Pb300N0 ενώ η μέγιστη ήταν $230,53 \text{ mm}^2$ στο Pb900N0. Στις μεταχειρίσεις παρουσία N η ελάχιστη ήταν $418,67 \text{ mm}^2$ στο Pb300N1 ενώ η μέγιστη ήταν $494,33 \text{ mm}^2$ στο Pb900N1. Φαίνεται δηλαδή πως η προσθήκη N επηρέασε θετικά την φυλλική επιφάνεια των φυτών. Στο ίδιο αποτέλεσμα κατέληξαν και οι Ahl et al. (2009), Babalar et al. (2010) και Benard et al. (2009). Τα αποτελέσματα δείχνουν πως η θρέψη των φυτών με N αύξησε την ζωτικότητα τους με αποτέλεσμα το φυτό να αναπτύξει φυσικούς μηχανισμούς άμυνας και να αντιμετωπίσει την τοξικότητα του Pb.

Το νιτρικό N στο έδαφος, με βάση το Σχήμα 12., στις μεταχειρίσεις του πειράματος παρουσία N ήταν αυξημένο σε σχέση με τις μεταχειρίσεις απουσίας αζώτου. Πιο συγκεκριμένα στις μεταχειρίσεις απουσίας N η ελάχιστη τιμή ήταν $4,03 \text{ mg/kg}$ στο Pb0N0 ενώ η μέγιστη ήταν $15,03 \text{ mg/kg}$ στο Pb300N0. Στις μεταχειρίσεις παρουσία N η ελάχιστη ήταν $9,71 \text{ mg/kg}$ στο Pb0N1 ενώ η μέγιστη ήταν $31,79 \text{ mg/kg}$ στο Pb900N1. Η διαφορά αυτή των τιμών μεταξύ των μεταχειρίσεων παρουσία και απουσίας αζώτου οφείλεται στην προσθήκη αζωτούχας λίπανσης στις μεταχειρίσεις, με αποτέλεσμα να μείνει μεγαλύτερη ποσότητα ως υπολειμματική στο έδαφος. Αυτό επιβεβαιώνεται και από τα αποτελέσματα του Brooks (2003).

Η συγκέντρωση P στο υπέργειο τμήμα των φυτών στις μεταχειρίσεις απουσία N είναι μεγαλύτερη σε σχέση με τις μεταχειρίσεις παρουσία N. Πιο συγκεκριμένα στις μεταχειρίσεις απουσίας N η ελάχιστη τιμή ήταν $2617,63 \text{ mg/kg}$ στο Pb300N0 ενώ η μέγιστη ήταν $3472,23 \text{ mg/kg}$ στο Pb150N0. Στις μεταχειρίσεις παρουσία N η ελάχιστη ήταν $1967,26 \text{ mg/kg}$ στο Pb0N1 ενώ η μέγιστη ήταν $2433,52 \text{ mg/kg}$ στο Pb600N1. Επίσης παρατηρήθηκαν μεγάλες συγκεντρώσεις φωσφόρου στο υπέργειο τμήμα των φυτών στις μεταχειρίσεις του πειράματος, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 13. Αντίστοιχα μεγάλες συγκεντρώσεις K παρατηρήθηκαν στο υπέργειο τμήμα των φυτών. Οι συγκεντρώσεις K επηρεάστηκαν από την προσθήκη N και Pb. Στις μεταχειρίσεις απουσίας N η ελάχιστη τιμή ήταν $27281,11 \text{ mg/kg}$ στο Pb0N0 ενώ η μέγιστη ήταν $43105,79 \text{ mg/kg}$ στο Pb150N0. Στις μεταχειρίσεις παρουσία N η ελάχιστη ήταν $18113,77 \text{ mg/kg}$ στο Pb0N1 ενώ η μέγιστη ήταν $42514,49 \text{ mg/kg}$ στο Pb900N1.

Σχετικά με τον συντελεστή μεταφοράς, με βάση το Σχήμα 15., παρατηρήθηκε πως ήταν μικρός σε κάθε μεταχείριση του πειράματος. Αυτό οφείλεται στην ισχυρή δέσμευση του μολύβδου στα κolloειδή του εδάφους. Σε παρόμοια αποτελέσματα κατέληξαν και οι Wang et al. (2006) και Sipos et al. (2008). Επίσης στις μεταχειρίσεις του πειράματος απουσία N, παρατηρήθηκε πως η μεταχείριση Pb150N0 είχε την μεγαλύτερη τιμή (0.031), ενώ όσο αυξανόταν η συγκέντρωση Pb στις μεταχειρίσεις η τιμή του δείκτη μειωνόταν. Αυτό το γεγονός δικαιολογείται εξαιτίας του ότι όσο μεγαλύτερη είναι η συγκέντρωση ενός στοιχείου στο έδαφος τόσο μικρότερο ποσοστό απορροφά το φυτό (Antoniadis et al., 2017). Ακόμα στις μεταχειρίσεις του πειράματος παρουσία N παρατηρήθηκε πως παρόλο την αυξομείωση των τιμών, η μέγιστη τιμή ήταν 0,025 στο Pb900N1 και ελάχιστη ήταν 0,011 στο Pb600N1. Αντιστοίχως στις μεταχειρίσεις απουσία N η μέγιστη ήταν 0,031 στο Pb150N1 και η ελάχιστη ήταν 0,014 στο Pb900N1. Αυτό οφείλεται στην

αζωτούχο λίπανση η οποία έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της τιμής του pH των εδαφών, αλλά και την μείωση της κινητικότητας του Pb στο έδαφος.

Όσο αφορά τον παράγοντα μετατόπισης, με βάση το Σχήμα 16, παρατηρήθηκε και αυτός αρκετά μικρός. Σε όλες τις μεταχειρίσεις ήταν $TF < 1$. Με βάση αυτό βγαίνει το συμπέρασμα πως το φυτό τείνει να συσσωρεύει τον Pb στην ρίζα (Antoniadis et al., 2017).

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- i) Η αύξηση της συγκέντρωσης του μολύβδου στο έδαφος και στις ρίζες των φυτών, εξαιτίας της προσθήκης Pb, δεν επηρέασαν την ανάπτυξη των φυτών. Όμως επηρέασαν την φωτοσυνθετική ικανότητα των φυτών, ενώ δεν επηρέασε την απορρόφηση θρεπτικών (P και K) από τα φυτά.
- ii) Η χορήγηση N σε συνδυασμό με την προσθήκη Pb επηρέασαν, με θετικό πρόσημο, την ανάπτυξη βιομάζας των φυτών.
- iii) Επίσης η χορήγηση N στο έδαφος είχε ως αποτέλεσμα των φυτών να αυξήσουν την ζωτικότητα και τη βιομάζα τους. Αυτό είχε και ως πιθανό αποτέλεσμα την ανάπτυξη μηχανισμών άμυνας των φυτών και να αντιμετωπίσουν την τοξικότητα του Pb.
- iv) Η γλυστρίδα είναι ανθεκτική στην τοξικότητα του Pb.
- v) Οι υψηλές συγκεντρώσεις Pb στο έδαφος και στο υπόγειο τμήμα των φυτών και οι χαμηλές συγκεντρώσεις στο υπέργειο τμήμα αποδεικνύουν πως η γλυστρίδα λειτουργεί ως παρεμποδιστής του Pb και όχι ως συσσωρευτής.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική Βιβλιογραφία:

1. **Γερασιμοπούλου Σοφία, 2009**, Επίδραση καδμίου (Cd) σε μορφολογικά χαρακτηριστικά φυτών *nicotiana tabacum* και *nicotiana glauca*, Πτυχιακή εργασία, Σχολή Τεχνολογίας Γεωπονίας, ΤΕΙ Κρήτης, σελ12
2. **Μανουσάκη, Ε., 2008**. Χαρακτηρισμός της ικανότητας μεσογειακών φυτών για απομάκρυνση Pb και Cd από ρυπασμένα εδάφη. Διδακτορική διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, Κρήτη.
3. **Μήτσιος, Κ.Ι., 2004**. Γονιμότητα εδαφών θρεπτικά στοιχεία φυτών (μακροθρεπτικά, μικροθρεπτικά) και βαρέα μέταλλα – μέθοδοι και εφαρμογές. Zymel, Ελλάδα.

Ξένη βιβλιογραφία:

1. **[OECD] Organization of Economic Cooperation and Development, 1993**. Risk Reduction. Monograph 1: Lead. OECD. Paris.
2. **Adelekan B. A. and Abegunde K. D., 2011**. Heavy metals contamination of soil and groundwater at automobile mechanic villages in Ibadan, Nigeria, *International Journal of the Physical Sciences*, 6(5): 1045-1058.
3. **Adie G. U. and Osibanjo O., 2009**, Assessment of soil pollution by slag from an automobile battery manufacturing plant in Nigeria, *Environmental Science Technology*, 3(9): 239-250, September, Available online at: www.academicjournals.org/ajest.
4. **Adriano, D.C., 2001**. Trace elements in terrestrial environments- Biochemistry, Bioavailability and risks of metals. Springer- Verlag, New York, pp. 867
5. **Ahl, S.A.H.A.H., Ayad, H.S., Hendawy, S.F. 2009**. Effect of potassium humate and nitrogen fertilizer on herb and essential oil of oregano under different irrigation intervals. *Journal of Applied Science*, 2(3), 322.
6. **Ai-Min Yang, Kenneth Lo, Tong-Zhang Zheng, Jing-Li Yang, Ya-Na Bai, Ying- Qing Feng, Ning Cheng, Si-Min Liu, 2020**. Environmental heavy metals and cardiovascular diseases: Status and future direction. *Chronic Diseases and Translational Medicine*, pp.251-259
7. **Alam, M. A., Juraimi, A. S., Rafii, M. Y., Hamid, A. A., Arolu, I. W. & Abdul Latif, M., 2015**. “Genetic diversity analysis among collected purslane (*Portulaca oleracea* L.) accessions using ISSR markers”. *Comptes Rendus Biologies*, 338, pp 1-11.
8. **Alloway B. J., 1995**, Cadmium. In: *Heavy Metals in Soils*, Second Edition (BJ Alloway, ed.), Blackie, New York, pp. 122-151.
9. **ALLOWAY, B. J. 2012**. *Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability*, 3rd ed., Reading: Springer, 3–50.

10. **Antoniadis V., Baum, C., Levizou. E., Ok, Y.S., Prasad, M.N.V., Rinklebe, S., Sebastian, A., Shaheen, S.M. and Wenzel, W.W. 2017.** 'Trace elements in the soil-plant interface: Phytoavailability, translocation, and phytoremediation—A review', *Earth-Science Reviews*. Elsevier B.V, 171, pp. 621–645. doi: 10.1016/j.earscirev.2017.06.005.
11. **Babalar, M., Mumivand, H., Hadian, J., Tabatabaei, S.M.F. 2010.** Effects of nitrogen and calcium carbonate on growth, rosmarinic acid content and yield of *Saturejahortensis* L. *Journal Agricultural Science*, 2(3), 94.
12. **Benard, C., Gautier, H., Bourgaud, F., Grassely, D., Navez, B., Caris-Veyrat, C., Weiss, M., Genard, M. 2009.** Effects of low nitrogen supply on tomato (*Solanum lycopersicum*) fruit yield and quality with special emphasis in sugars, Acid's, ascorbate, carotenoids and phenolic compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57, 4112—4123.
13. **Bertrand Pourrut, Muhammad Shalid, Camille Dumat, Peter winterton, 2011.** Lead Uptake, Toxicity and Detoxification in Plants. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*.
14. **Boris Nemzer, Fadwa Al-Taher, Nebiyu Abshiru, 2020.** Phytochemical composition and nutritional value of different plant parts in two cultivated and wild purslane (*Portulaca oleracea* L.) genotypes. *Food Chemistry*
15. **Brooks, M.L. 2003.** Effects of increased soil nitrogen on the dominance of alien annual plants in the Mojave Desert. *Journal of Applied Ecology*, 40, 344—353.
16. **CEU (COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION), 1998.** The quality of water intended for human consumption. COUNCIL DIRECTIVE 98/83/EC of 3 November 1998. Official Journal of the European Communities No L 330/32.
17. **Chirenje T. Ma L., Reeves M., Szulczewski M., 2004.** Lead Distribution in Near- Surface Soils of Two Florida Cities: Gainesville and Miami, *Geoderma*, 119: 113–120.
18. **Dudka S. and Adiano D.C, 1997.** *Journal of Environmental Quality*. 26: 590-602
19. **Gimmler H., Carandang J., Boots A., Reisberg E., Voitke M., 2002.** Heavy Meta Content and Distribution within a Woody Plant during and after Seven Years continuous Growth on Municipal Solid Waste (MSW) Bottom slag Rich in Heavy Metals, *Applied Microbiology and Biotechnology*, 76: 203–217.
20. **Hamidpour M., Afyuni M., Kalbasi M., Khoshgoftarmanes H. A., Inglezakis J. V., 2010,** Mobility and plant-availability of Cd(II) and Pb(II) adsorbed on zeolite and bentonite, *Applied Clay Science*, 48: 342–348.
21. **Hou D, O'Connor D, Nathanail P, Tian L, Ma Y, 2017.** Integrated GIS and multivariate statistical analysis for regional scale assessment of heavy metal soil contamination: a critical review. *Environ Pollut* 231:1188–1200
22. **John W. Birks Jack G. Calvert Robert E. Sievers, 1992.** The Chemistry of the Atmosphere: Its Impact on Global Change CHEMRAWN VII PERSPECTIVES AND RECOMMENDATIONS.
23. **Kabata- Pendias A. and Mukherjee A.B, 2007.** Trace elements from soil to humans. Springer. Berlin. pp: 550
24. **Kabata- Pendias A. and Pendias H., 2001.** Trace Metals in Soil and Plants, CRC Press, Boca Raton, Fla, USA, 2nd edition.

25. **Kabata-Pendias A. and Pendias A. K., 1992**, Trace elements in soils and plants, 2nd edn. CRC, Ann Arbor, MI, USA, p. 112-128.
26. **Kabata-Pendias A. and Pendias H., 2000**, Trace Elements in Soils and Plants, CRC Press, Boca Raton, FL, p. 143–157.
27. **Khan, S., Cao, Q., zheng, Y.M., Huang, Y.Z., and Zhu, Y.G, 2008**. Health risks of heavy metals in contaminated soils and fod crops irrigated with wastewater in Beijing, China. *Enviromental Pollution*, 152, no. 3, pp.686-692
28. **Kopittke, P.M., Asher, C.J., Kopittke, R.A., Menzies, N.W. 2008**. Prediction of Pb speciation in concentrated and dilute nutrient solutions. *Environmental Pollution*. 153, 548—554.
29. **Liu, D., Jiang, W., Liu, C., Xin, C., Hou, W., 2000**. Uptake and accumulation of lead by roots, hypocotyls and shoots of Indian mustard [*Brassica juncea* (L.)]. *Bioresource Technology*. 71, 273—277.
30. **LIU, X., SONG, Q., TANG, Y., LI, W., XU, J., WU, J., WANG, F. & BROOKES, P. C. 2013**. Human health risk assessment of heavy metals in soil-vegetable system: a multi-medium analysis. *Sci Total Environ*, 463-464, 530-40.
31. **Manavi Yadav, Radhika Gupta, Rakesh Kumar Sharma. 2019**. Chapter 14 - Green and Sustainable Pathways for Wastewater Purification. *Advances in Water Purification Techniques. Meeting the Needs of Developed and Developing Countries*. Pages 355-383
32. **Nagajyoti P. C., Lee K. D. and Sreekanth T. V. M., 2010**, Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: a review, *Environmental Chemistry Letters*, 8(3): 199-216.
33. **NAJA, G. M., VOLESKY, B. 2009**. Toxicity and Sources of Pb, Cd, Hg, Cr, As, and Radionuclides in the Environment. In *Heavy Metals in the Environment*, USA: Taylor and Francis Group, 13-58.
34. **Nyle C. Brady and Ray R. Weil, 2011**. The nature and properties of soils, 14th Edition, Pearson Education, pp: 823-824
35. **Ponizovsky A. and Mironenko E., 2001**, Speciation and sorption of lead (II) in soils, In: Iskandar, I.K., Kirkham, M. B. (Eds), *Trace Elements in Soil: Bioavailability, Flux and Transfer*, CRC Press, p. 257-275.
36. **Punamiya, P., Datta, R., Sarkar, D., Barber, S., Patel, M., Das, P., 2010**. Symbiotic role of glomus mosseae in phytoextraction of lead in vetiver grass [*Chrysopogon zizanioides* (L.)]. *Journal of Hazardous Materials*, 177, 465—474.
37. **Raymond A. Wuana¹ and Felix E. Okieimen, 2011**. Heavy Metals in Contaminated Soils: A Review of Sources, Chemistry, Risks and Best Available Strategies for Remediation,
38. **Selinus O., Alloway B., Centeno j.A., Finkelman R.B., Fuge R., Lindh U. and Smedley P., 2005**. *Essentias of Medical Geology- Impacts of the natural environment on public health*. Elsevier Academic Press, USA, pp. 812

39. **Shalini Verma, R.S. Dubey, 2003.** Lead toxicity induces lipid peroxidation and alters the activities of antioxidant enzymes in growing rice plants. *Plants Sci.* 164: 645-655.
40. **Sharma, P., Dubey, R.S. 2005.** Lead toxicity in plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 17, 35—52.
41. **Sipos, P., Nemeth, T., Kis, V.K., Mohai, I. 2008.** Sorption of copper, zinc and lead on soil mineral phases. *Chemosphere.* 73, 461—469.
42. **Sobolev D. and Begonia M. F. T., 2008,** Effects of Heavy Metal Contamination upon Soil Microbes: Lead-induced Changes in General and Denitrifying Microbial Communities as Evidenced by Molecular Markers, *Environmental Research and Public Health*, 5(5): 451.
43. **Sotiropoulou, D.E., Karamanos, A.J. 2010.** Field studies of nitrogen application on growth and yield of Greek oregano (*Origanum vulgare* spp. *Hirtum* (Link) *letsweet*). *Industrial Crops and Products.* 32, 450—457.
44. **Spyridon Petropoulos, Anestis Karkanis, Natalia Martins, Isabel C.F.R. Ferreira, 2016.** Phytochemical composition and bioactive compounds of common purslane (*Portulaca oleracea* L.) as affected by crop management practices. *Trends in Food Science & Technology.* pp: 1-10.
45. **Uddin, M. K., Juraimi, A. S., Hossain, M. S., Nahar, M. A., Ali, M. E. & Rahman, M. M., 2014.** “Purslane weed (*Portulaca oleracea*): a prospective plant source of nutrition, omega-3 fatty acid, and antioxidant attributes”. *ScientificWorldJournal*, 201 (2014), pp 6. [Online] DOI:10.1155/2914/951019 (Accessed: 25/5/2015).
46. **Vasileios Antoniadis, Evangelia E. Golia, Yu-Ting Liub, Shan-Li Wang, Sabry M. Shaheen, Jörg Rinklebe, 2019.** Soil and maize contamination by trace elements and associated health risk assessment in the industrial area of Volos, Greece. *Environment International*
47. **Vasileios Antoniadisa, Sabry M. Shaheen, Efi Levizou, Muhammad Shahid, Nabeel Khan Niazi, Meththika Vithanage, Yong Sik Ok, Nanthi Bolan, Jörg Rinklebe, 2019.** A critical prospective analysis of the potential toxicity of trace element regulation limits in soils worldwide: Are they protective concerning health risk assessment?. *Environment International.*
48. **W.J.G.M. Peijnenburg, R. Baerselman, A.C. de Groot, T. Jager, L. Posthuma, R.P.M. Van Veen, 1999.** Relating environmental availability to bioavailability: soil-type dependent metal accumulation in the Oligochaete *Eisenia Andrei*. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 44, pp. 294-310
49. **Wang, G., Su, M.Y., Chen, Y.H., Lin, F.F., Luo, D., Gao, S.F. 2006.** Transfer characteristics of cadmium and lead from soil to the edible parts of six vegetable species in southeastern China. *Environmental Pollution.* 144, 127—135.
50. **Wani, W, Masoodi, K.Z., Zaid, A., Wani, S.H., Shah, F, Meena V.S., Wani, S.A., Mosa, K.A., 2018.** Engineering plants for heavy metal stress tolerance. *Scienze Fisiche e Naturali*, 29:709–723.
51. **WHO, 1995.** Inorganic lead. *Environmental Health Criteria*, Geneva 134.

52. **X.H Huang, F. Zhu, W.D Yan, X.H Chen, G.J Wang, R.J Wang, 2019.** Effects of Pb and Zn toxicity on chlorophyll fluorescence and biomass productions of *Koeleria paniculata* and *Zelkova schneideriana* young plants. *Photosynthetica*, 57(2),688-697.
53. **Yueyue Liua, Lu Zhao, Yunhui Xie, Zhi Chen, Shifa Yang, Bin Yin, Guiming Li, Huijun Guo, Shuqian Lin, Jiaqiang Wu, 2021.** Antiviral activity of portulaca oleracea L. extracts against porcine epidemic diarrhea virus by partial suppression on myd88/NF- κ b activation in vitro. *Microbial Pathogenesis*
54. **Zaier, H., Ghnaya, T., Lakhdar, A., Baioui, R., Ghabriche, R., Mnasri, M., Sghair, S., Lutts, S., Abdely, C. 2010.** Comparative study of Pb-phytoextraction potential in *Sesuviumportulacastrum* and *Brassica juncea*: Tolerance and accumulation. *Journal of Hazardous Materials*, 183, 609—615.
55. **Zhong X, Zhou S, Zhu Q, Zhao Q, 2011.** Fraction distribution and bioavailability of soil heavy metals in the Yangtze River Delta—a case study of Kunshan City in Jiangsu Province, China. *J Hazard Mater* 198:13–21
56. **Zhou, Y. X., Xin, H. L., Rahman, K., Wang, S. J., Peng, C. & Zhang, H. (2015)** “Portulaca oleracea L.: a review of phytochemistry and pharmacological effects” *Biomed Res Int*, 2015. pp 11. [Online] DOI: 10.1155/2015/925631 (Accessed: 25/5/2015)

Ηλεκτρονικές πηγές:

http 1) VICTOR, B. Heavy metal contamination of global environment. Retrieved 2019, from: <https://www.slideshare.net/biotechvictor1950/heavy-metal-contamination-of-global-environment>.

http 2) www.chem.uoa.gr, University of Athens, Department of Chemistry, η χημική ένωση του στοιχείου: Μόλυβδος.

http 3) www.lenntech.com, Water Treatment Solutions

http 4) http://digital-analysis.com/TArticles/Heavy_Metal_Reduction.html