

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΤΜΗΜΑ

ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

**ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ & ΣΥΓΧΡΟΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΦΥΤΙΚΗΣ
ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ, ΦΥΤΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ**



Μεταπτυχιακή Μελέτη με τίτλο:

**ΕΠΙΔΡΑΣΗ 4 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ ΑΡΓΙΛΙΟΥ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ
ΠΑΝΩ ΣΤΗ ΒΙΟΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗ ΣΕ ΓΑΙΟΣΚΩΛΗΚΕΣ ΤΟΥ
ΓΕΝΟΥΣ OCTODRILUS**

ΤΖΩΡΤΖΗ ΙΩΑΝΝΑ-ΕΥΤΕΝΙΑ

Αθήνα 2010

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Εμμανουήλ Νίκος, Καθηγητής Γ.Π.Α., ως επιβλέπων

Μπιλάλης Δημήτρης, Επίκουρος Καθηγητής Γ.Π.Α., ως μέλος

Βαβουλίδου Ευαγγελία, Ερευνήτρια Β' ΕΘΙΑΓΕ, ως μέλος

Ευχαριστίες

Από την θέση αυτή θα ήθελα να εκφράσω τις ιδιαίτερες ευχαριστίες μου στον Καθηγητή κ. Εμμανουήλ Νικόλαο τόσο για την ανάθεση του θέματος όσο και για τη συνεχή καθοδήγηση και τις εύστοχες διορθώσεις του κατά τη διάρκεια της συγγραφής της μεταπτυχιακής μελέτης. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Επίκουρο Καθηγητή κ. Μπιλάλη Δημήτριο και την Ερευνήτρια Β' κ. Βαβουλίδου Ευαγγελία των οποίων η στενή επίβλεψη και η πολύτιμη συνεργασία μαζί τους ήταν καθοριστική για την ολοκλήρωση της ερευνητικής αυτής εργασίας.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον κ. Τριανταφυλλίδη Βασίλειο, ΔΕΠ (Π.Δ. 407/80) του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων για την πολύτιμη βοήθεια τους στην ολοκλήρωση του πειράματος. Επίσης θέλω να ευχαριστήσω την κ. Δελλαπόρτα Λουκία για τις πολύτιμες πληροφορίες που μου προσέφερε.

Ευχαριστώ θερμά όλα τα μέλη του Εργαστηρίου Γεωργίας για την συμπαράσταση που έδειξαν καθ' όλη την διάρκεια της διατριβής. Ευχαριστώ τους υποψήφιους διδάκτορες Κωνσταντά Άρη και Παναγόπουλο Γεώργιο. Επίσης τον κ. Τσιώρο Στέλιο για τη βοήθεια κατά τις μετρήσεις.

Ακόμη θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Δάλλα Στέλιο του Εργαστηρίου Εδαφολογίας για την πολύτιμη βοήθεια.

Ευχαριστώ την υποψήφια διδάκτορα Πατσιαλή Σωτηρία και τη μεταπτυχιακή φοιτήτρια Αθανασοπούλου Μαρία για την έμπρακτη και ουσιαστική βοήθεια και στήριξη τους στη διεξαγωγή του πειράματος.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ευχαριστίες.....	3
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	11
Summary	12
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	13
1.1 Γαιοσκώληκες.....	13
1.1.1 Μορφολογικά χαρακτηριστικά γαιοσκωλήκων.....	14
1.1.2 Εμφάνιση και εξάπλωση γαιοσκωλήκων	20
1.1.3 Επίδραση των γαιοσκωλήκων πάνω στην εδαφική γονιμότητα	20
1.1.4 Επίδραση των περιβαλλοντικών παραγόντων πάνω στους γαιοσκώληκες	23
1.1.5 Οι γαιοσκώληκες ως βιοδείκτες	25
1.2 <i>Octodrilus complanatus</i>	28
1.3 Αλουμίνιο	34
1.3.1 Επίδραση του αλουμινίου πάνω στον άνθρωπο.....	35
1.3.2 Επίδραση του αλουμινίου πάνω στα φυτά.....	36
1.3.3 Επίδραση του αλουμινίου πάνω στα σπονδυλωτά.....	39
1.4 Σκοπός Μελέτης	40
2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	41
2.1 Πειραματικό σχέδιο	41
2.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του πειραματικού σχεδίου	41
2.3 Προσδιορισμοί-Μετρήσεις	51
2.3.1 pH	51
2.3.2 Ηλεκτρική αγωγιμότητα	51
2.3.3 Ικανότητα Ανταλλαγής Κατιόντων	51
2.3.4 Κοκκομετρική σύσταση	52
2.3.5 Ολικό Άζωτο	52

2.3.6	Ενεργό Ca^{++}	52
2.3.7	Νιτρικά	52
2.3.7	Αμμωνιακά	52
2.3.8	Αλουμίνιο	52
2.4	Στατιστική Ανάλυση	53
3.	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ.....	54
3.1	Οξύτητα εδάφους	54
3.2	Αγωγιμότητα	56
3.3	Ικανότητα Ανταλλαγής Κατιόντων	57
3.4	Ολικό Άζωτο στο έδαφος	59
3.5	Αμμωνιακά	60
3.6	Νιτρικά	61
3.7	Ανταλλάξιμο Αργίλιο στο έδαφος.....	63
3.8	Ανταλλάξιμο Ασβέστιο.....	65
3.9	Πρωτεΐνη Γαιοσκωλήκων.....	67
3.10	Βάρος Γαιοσκωλήκων.....	69
3.11	Κόπρανα Γαιοσκωλήκων.....	74
3.12	Ανταλλάξιμο Αργίλιο στους Γαιοσκώληκες.....	80
4.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	82
5.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	93

ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας 2.1 Βάρος γαιοσκωλήκων κατά την έναρξη του πειράματος.....	48
Πίνακας 3.1 Ανάλυση διασποράς για το pH για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$ (οι έντονοι αριθμοί δείχνουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές)	54
Πίνακας 3.2 Σύγκριση μέσων για το pH (Όπου $y_1=100\%$ της υδατοχωρητικότητας, $y_2=60\%$ της υδατοχωρητικότητας, $c_1=0$ ppm, $c_2=1.000$ ppm, $c_3=2.000$ ppm και $c_4=3.000$).....	55
Πίνακας 3.3 Ανάλυση διασποράς για την αγωγιμότητα για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$ (οι έντονοι αριθμοί δείχνουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές)....	56
Πίνακας 3.4 Σύγκριση μέσων για την αγωγιμότητα (Όπου $y_1=100\%$ της υδατοχωρητικότητας, $y_2=60\%$ της υδατοχωρητικότητας, $c_1=0$ ppm, $c_2=1.000$ ppm, $c_3=2.000$ ppm και $c_4=3.000$).....	57
Πίνακας 3.5 Ανάλυση διασποράς για την Ικανότητα Ανταλλαγής Κατιόντων (ΙΑΚ) για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$ (οι έντονοι αριθμοί δείχνουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές)	58
Πίνακας 3.6 Σύγκριση μέσων για την Ικανότητα Ανταλλαγής Κατιόντων (ΙΑΚ) (Όπου $y_1=100\%$ της υδατοχωρητικότητας, $y_2=60\%$ της υδατοχωρητικότητας, $c_1=0$ ppm, $c_2=1.000$ ppm, $c_3=2.000$ ppm και $c_4=3.000$).....	58
Πίνακας 3.7 Ανάλυση διασποράς για το άζωτο στο έδαφος για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$ (οι έντονοι αριθμοί δείχνουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές)...	59
Πίνακας 3.8 Σύγκριση μέσων για το άζωτο στο έδαφος (Όπου $y_1=100\%$ της υδατοχωρητικότητας, $y_2=60\%$ της υδατοχωρητικότητας, $c_1=0$ ppm, $c_2=1.000$ ppm, $c_3=2.000$ ppm και $c_4=3.000$).....	59
Πίνακας 3.9 Ανάλυση διασποράς για το αμμωνιακά στο έδαφος για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$ (οι έντονοι αριθμοί δείχνουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές)...	60
Πίνακας 3.10 Ανάλυση διασποράς για τα νιτρικά για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$ (οι έντονοι αριθμοί δείχνουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές).....	62
Πίνακας 3.11 Σύγκριση μέσων για τα νιτρικά (Όπου $y_1=100\%$ της υδατοχωρητικότητας, $y_2=60\%$ της υδατοχωρητικότητας, $c_1=0$ ppm, $c_2=1.000$ ppm, $c_3=2.000$ ppm και $c_4=3.000$).....	62
Πίνακας 3.12 Ανάλυση διασποράς για το ανταλλάξιμο αργίλιο στο έδαφος για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$ (οι έντονοι αριθμοί δείχνουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές)	63

Πίνακας 3.13 Ανάλυση διασποράς για το ανταλλάξιμο ασβέστιο για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$ (οι έντονοι αριθμοί δείχνουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές)....	65
Πίνακας 3.14 Ανάλυση διασποράς για την πρωτεΐνη για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$ (οι έντονοι αριθμοί δείχνουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές)...	67
Πίνακας 3.15 Ανάλυση διασποράς για το βάρος των γαιοσκωλήκων 0 Η.Ε.Π. για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$ (οι έντονοι αριθμοί δείχνουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές)	69
Πίνακας 3.16 Σύγκριση μέσων για το βάρος των γαιοσκωλήκων 0 Η.Ε.Π. (Όπου $y_1=100\%$ της υδατοχωρητικότητας, $y_2=60\%$ της υδατοχωρητικότητας, $c_1=0$ ppm, $c_2=1.000$ ppm, $c_3=2.000$ ppm και $c_4=3.000$).....	70
Πίνακας 3.17 Ανάλυση διασποράς για το βάρος των γαιοσκωλήκων 22 Η.Ε.Π. για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$ (οι έντονοι αριθμοί δείχνουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές)	70
Πίνακας 3.18 Ανάλυση διασποράς για το βάρος των γαιοσκωλήκων 50 Η.Ε.Π. για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$ (οι έντονοι αριθμοί δείχνουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές).....	72
Πίνακας 3.19 Σύγκριση μέσων για το βάρος των γαιοσκωλήκων 50 Η.Ε.Π. (Όπου $y_1=100\%$ της υδατοχωρητικότητας, $y_2=60\%$ της υδατοχωρητικότητας, $c_1=0$ ppm, $c_2=1.000$ ppm, $c_3=2.000$ ppm και $c_4=3.000$).....	72
Πίνακας 3.20 Ανάλυση διασποράς για τη μεταβολή του βάρους των γαιοσκωλήκων για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$ (οι έντονοι αριθμοί δείχνουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές).....	73
Πίνακας 3.21 Σύγκριση μέσων για τη μεταβολή του βάρους των γαιοσκωλήκων (Όπου $y_1=100\%$ της υδατοχωρητικότητας, $y_2=60\%$ της υδατοχωρητικότητας, $c_1=0$ ppm, $c_2=1.000$ ppm, $c_3=2.000$ ppm και $c_4=3.000$).....	73
Πίνακας 3.22 Ανάλυση διασποράς για τις θέσεις των κοπράνων των γαιοσκωλήκων 14 Η.Ε.Π. για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$ (οι έντονοι αριθμοί δείχνουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές)	74
Πίνακας 3.23 Σύγκριση μέσων για τις θέσεις των κοπράνων των γαιοσκωλήκων για τις 14 Η.Ε.Π (Όπου $y_1=100\%$ της υδατοχωρητικότητας, $y_2=60\%$ της υδατοχωρητικότητας, $c_1=0$ ppm, $c_2=1.000$ ppm, $c_3=2.000$ ppm και $c_4=3.000$).....	75
Πίνακας 3.24 Ανάλυση διασποράς για τις θέσεις των κοπράνων των γαιοσκωλήκων 37 Η.Ε.Π. για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$ (οι έντονοι αριθμοί δείχνουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές)	76

Πίνακας 3.25 Ανάλυση διασποράς για τις θέσεις των κοπράνων των γαιοσκωλήκων 50 Η.Ε.Π. για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$ (οι έντονοι αριθμοί δείχνουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές).....	78
Πίνακας 3.26 Σύγκριση μέσων για τις θέσεις των κοπράνων των γαιοσκωλήκων για τις 50 Η.Ε.Π. (Όπου $y_1=100\%$ της υδατοχωρητικότητας, $y_2=60\%$ της υδατοχωρητικότητας, $c_1=0$ ppm, $c_2=1.000$ ppm, $c_3=2.000$ ppm και $c_4=3.000$).....	78
Πίνακας 3.27 Ανάλυση διασποράς για τη μεταβολή των θέσεων των κοπράνων των γαιοσκωλήκων για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$ (οι έντονοι αριθμοί δείχνουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές).....	79
Πίνακας 3.28 Σύγκριση μέσων για τη μεταβολή των θέσεων των κοπράνων των γαιοσκωλήκων (Όπου $y_1=100\%$ της υδατοχωρητικότητας, $y_2=60\%$ της υδατοχωρητικότητας, $c_1=0$ ppm, $c_2=1.000$ ppm, $c_3=2.000$ ppm και $c_4=3.000$).....	80
Πίνακας 3.29 Ανάλυση διασποράς για το ανταλλάξιμο αργίλιο των γαιοσκωλήκων για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$ (οι έντονοι αριθμοί δείχνουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές).....	80

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

Διάγραμμα 3.1 Επίδραση της συγκέντρωσης του αλουμινίου πάνω στην συγκέντρωση των αμμωνιακών στο έδαφος (τα διαφορετικά γράμματα σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$)	61
Διάγραμμα 3.2 Επίδραση της συγκέντρωσης του αλουμινίου πάνω στην συγκέντρωση του ανταλλάξιμου αργιλίου στο έδαφος (τα διαφορετικά γράμματα σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$)	64
Διάγραμμα 3.3 Επίδραση της συγκέντρωσης του αλουμινίου πάνω στην συγκέντρωση του ανταλλάξιμου ασβεστίου (τα διαφορετικά γράμματα σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$)	66
Διάγραμμα 3.4 Επίδραση της συγκέντρωσης του αλουμινίου πάνω στην συγκέντρωση της πρωτεΐνης (τα διαφορετικά γράμματα σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$)	68
Διάγραμμα 3.5 Επίδραση της συγκέντρωσης του αλουμινίου πάνω στο βάρος των γαιοσκωλήκων 22 Η.Ε.Π. (τα διαφορετικά γράμματα σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$).....	71

Διάγραμμα 3.6 Επίδραση της συγκέντρωσης του αλουμινίου πάνω στο βάρος των γαιοσκωλήκων (τα διαφορετικά γράμματα σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$).....	77
Διάγραμμα 3.7 Επίδραση της συγκέντρωσης του αλουμινίου πάνω στο ανταλλάξιμο αργίλιο των γαιοσκωλήκων (τα διαφορετικά γράμματα σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$).....	81
Διάγραμμα 4.1 Συσχέτιση του του αλουμινίου στο έδαφος και του αλουμινίου στους γαιοσκώληκες	82
Διάγραμμα 4.2 Γραμμική συσχέτιση του Αλουμινίου στο έδαφος και του pH.....	83
Διάγραμμα 4.3 Γραμμική συσχέτιση μεταξύ pH και πρωτεΐνης.....	84
Διάγραμμα 4.4 Γραμμική συσχέτιση του pH με το ανταλλάξιμο ασβέστιο..	85
Διάγραμμα 4.5 Γραμμική συσχέτιση του pH και του αλουμινίου στους γαιοσκώληκες.....	86
Διάγραμμα 4.6 Γραμμική συσχέτιση του αλουμινίου στο έδαφος και του ανταλλάξιμου ασβεστίου.....	87
Διάγραμμα 4.7 Γραμμική συσχέτιση του αλουμινίου στους γαιοσκώληκες και του ανταλλάξιμου ασβεστίου	87
Διάγραμμα 4.8 Γραμμική συσχέτιση μεταξύ του αλουμινίου στο έδαφος και της πρωτεΐνης των γαιοσκωλήκων	88
Διάγραμμα 4.9 Γραμμική συσχέτιση μεταξύ του αλουμινίου στους γαιοσκώληκες και της πρωτεΐνης των γαιοσκωλήκων.....	89
Διάγραμμα 4.10 Γραμμική συσχέτιση μεταξύ της αλληλεπίδρασης του αλουμινίου στο έδαφος, του αλουμινίου στους γαιοσκώληκες και του pH.....	90
Διάγραμμα 4.11 Γραμμική συσχέτιση μεταξύ της αλληλεπίδρασης του αλουμινίου στο έδαφος, του pH και της πρωτεΐνης	91

EΙΚΟΝΕΣ

Εικόνα 1 Απεικόνιση του πεπτικού σωλήνα	15
Εικόνα 2 Σύζευξη γαιοσκωλήκων	17
Εικόνα 3 Σύζευξη γαιοσκωλήκων	17
Εικόνα 4 Βομβύκια (Cocoons)	18
Εικόνα 5 Ανατομία σώματος γαιοσκώληκα	19
Εικόνα 6 Απεικόνιση του σώματος του γαιοσκώληκα	19
Εικόνα 7 Γαιοσκώληκας <i>Octodrilus complanatus</i>	32
Εικόνα 8 Γαιοσκώληκας <i>Octodrilus complanatus</i>	33
Εικόνα 9 Αλουμίνιο	35
Εικόνα 10 Συλλογή γαιοσκωλήκων	44
Εικόνα 11 Διαλογή 3 ατόμων <i>Octodrilus complanatus</i> ανα δοχείο και πριν την τοποθέτηση τους στο δοχείο με το εδαφικό υπόστρωμα	45
Εικόνα 12 Γαιοσκώληκες <i>Octodrilus complanatus</i> λίγο μετά την τοποθέτησης τους στο πειραματικό δοχείο και πριν εισχωρήσουν μέσα στο εδαφικό υποστρώμα	46
Εικόνα 13 Αφθονία περιττωμάτων των <i>Octodrilus complanatus</i> κατά την παραμονή τους μέσα στο δοχείο με το εδαφικό υπόστρωμα.....	47
Εικόνα 14 Το σταυρόνημα που χρησιμοποιήθηκε για την καταγραφή των θέσεων των κοπρολυμάτων.....	49
Εικόνα 15 Έντυπο καταγραφής των θέσεων των κοπρολυμάτων.....	50

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι γαιοσκώληκες αποτελούν εξαιρετικούς βιοδείκτες της σχετικής ποιότητας των εδαφών και ασκούν σημαντικό ρόλο στην αξιολόγηση του επίγειου οικοτοξικολογικού κινδύνου. Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε η επίδραση 4 επιπέδων αργιλίου, στην εδαφική δράση και βιωσιμότητα των γαιοσκωλήκων του γένους *Octodrilus complanatus*. Οι γαιοσκώληκες παρέμειναν σε δοχεία που περιείχαν χώμα εμποτισμένο με αλουμίνιο στο διάστημα από τις 2-11-2009 έως τις 22-12-2009.

Τα χαρακτηριστικά του εδάφους που μελετηθήκαν ήταν το pH, η ηλεκτρική αγωγιμότητα, η Ικανότητα Ανταλλαγής Κατιόντων, το ανταλλάξιμο ασβέστιο, το ανταλλάξιμο αργίλιο, τα αμμωνιακά, τα νιτρικά και το ολικό άζωτο. Ακόμη προσδιορίστηκαν στους γαιοσκώληκες το ανταλλάξιμο αργίλιο, η πρωτεΐνη, το βάρος τους και η μεταβολή του και οι θέσεις των περιττωμάτων τους.

Από τα αποτελέσματα προέκυψε ότι η διαθεσιμότητα του αργιλίου στο έδαφος και στους γαιοσκώληκες επηρεάστηκε από το εύρος του pH. Ακόμη η προσθήκη Αργιλίου στο έδαφος επηρέασε θετικά τη βιοσυσσώρευση Αργιλίου στους γαιοσκώληκες. Επίσης, παρατηρήθηκε αρνητική σχέση μεταξύ του pH με το ανταλλάξιμο ασβέστιο, όπως επίσης σημειώθηκε ότι το αλουμίνιο των γαιοσκωλήκων προκάλεσε μείωση του ποσοστού της πρωτεΐνης των γαιοσκωλήκων. Ακόμη παρατηρήθηκε θετική συσχέτιση μεταξύ του pH και του αργιλίου στο έδαφος.

Διαπιστώθηκε ότι το Αργίλιο σε αυτές τις συγκεντρώσεις και στο διάστημα των επτά εβδομάδων δεν προκάλεσε θνησιμότητα στους γαιοσκώληκες. Ακόμη επιβεβαιώθηκε η δυνατότητα χρήσης των γαιοσκωλήκων *Octodrilus complanatus* ως βιοδείκτες σχετικά με τοξικότητας προκαλούμενη από βαρέα μέταλλα.

SUMMARY

Earthworms are excellent bioindicators of the soil quality and they also play an important role in the evaluation of the ecotoxicological risk. In this present dissertation the effect of four concentrations of Aluminum was studied on the territorial action and the viability of the earthworms of the genus *Octodrilus complanatus*. Earthworms remained in containers with soil soaked with aluminium from 02-11-09 until 22-12-09.

The characteristics of the soil that were determined were the following: pH, electrical conductivity, Cation Exchange Capacity, exchangeable calcium, ammonium, nitrates and total nitrogen. Also in earthworms were defined the exchangeable aluminium, protein, weight and the positions of the earthworms' castings.

The results showed that aluminium availability in the soil and on the earthworms was influenced by Ph. Furthermore the addition of aluminium in the soil affected positively the bioaccumulation of aluminium on earthworms. Additionally, a negative correlation between ph and exchangeable calcium was observed. Also aluminium caused reduced percentage of the earthworm's protein. A positive correlation between ph and soil aluminium was observed.

It was found that aluminium in these concentrations and in the period of seven weeks did not cause mortality. The use of *Octodrilus complanatus* earthworms as bioindicator of toxicity caused by heavy metals was also confirmed.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. ΓΑΙΟΣΚΩΛΗΚΕΣ

Οι γαιοσκώληκες ανήκουν στην τάξη Oligochaeta, η οποία περιλαμβάνει πάνω από 8.000 είδη σε περίπου 800 γένη. Βρίσκονται σε όλο τον κόσμο σε φυσικά οικοσυστήματα, λειμώνες καθώς και σε αγροοικοσυστήματα (Edwards, 2004). Ταξινομούνται στο φύλο Annelida, που προέρχεται από την λατινική λέξη Anellus που σημαίνει μικρά δαχτυλίδια. Όπως υπονοεί και η ονομασία το σώμα του γαιοσκώληκα είναι φτιαγμένο από μικρά δαχτυλίδια, γνωστό ως δακτυλιόσωμα (www.vermiculture.wordpress.com/2008/11/13/earthworm-anatomyie-erdwurm/). Οι γαιοσκώληκες απαντώνται στις περισσότερες περιοχές του κόσμου, εκτός εκείνων με ακραία κλίματα, όπως η έρημος ή περιοχές που είναι μονίμως κάτω από χιόνι και πάγο (Edwards, 2004). Στην Ελλάδα έχουν βρεθεί μέχρι σήμερα περισσότερα από 80 είδη (Βαβουλίδου Ε., αδημοσίευτα στοιχεία)

Η δραστηριότητα των γαιοσκωλήκων διαφέρει πολύ μεταξύ των εποχών σε περιοχές με εύκρατο κλίμα, όπου οι γαιοσκώληκες είναι δραστήριοι κυρίως την άνοιξη και το φθινόπωρο. Κατά τη διάρκεια του χειμώνα διεισδύουν στο χώμα διότι εκεί είναι πολύ καλύτερα προστατευμένοι από τις ακραίες χαμηλές θερμοκρασίες. Επίσης σε περιόδους ξηρού καλοκαιριού εισχωρούν βαθιά στο έδαφος και συχνά κατασκευάζουν στοές υπενδεδυμένες με βλέννα μέσα στις οποίες οι γαιοσκώληκες παραμένουν κουλουριασμένοι έως ότου οι περιβαλλοντικές συνθήκες γίνουν πάλι ευνοϊκές. Παρόλο που τα κουκούλια των γαιοσκωλήκων παράγονται καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου, συχνά η παραγωγή τους είναι εποχιακή. Σε εύκρατες περιοχές, η μεγαλύτερη παραγωγή κουκουλιών πραγματοποιείται την άνοιξη ή νωρίς το καλοκαίρι, με μια μικρότερη το φθινόπωρο. Ο αριθμός των κουκουλιών έχει εύρος 1 – 20 ανά ζευγάρι, ανάλογα με το είδος (Edwards, 2004).

Οι γαιοσκώληκες χάνουν υγρασία μέσω της εφυμενίδας τους, για τον λόγο αυτό είναι πολύ εξαρτημένοι από την εδαφική υγρασία και οι δραστηριότητές τους είναι στενά συνδεδεμένες με την βροχόπτωση. Όμως σε περιόδους έντονης βροχόπτωσης, κάποια είδη εξέρχονται από τις στοές τους και συχνά ανευρίσκονται στην επιφάνεια του εδάφους σε μεγάλους πληθυσμούς, όπου και πιθανότατα πεθαίνουν. Πολλά είδη δεν επιβιώνουν κάτω από τους 0°C και πολλά είδη δεν επιβιώνουν στους 30 με 35°C (Edwards, 1983).

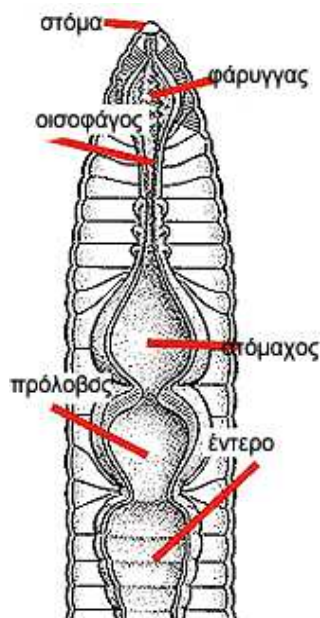
Το μέγεθός τους ποικίλει από μερικά χιλιοστά έως 2 μέτρα σε μήκος, από 10 χιλιοστόγραμμα έως σχεδόν 1 κιλό σε βάρος και έως τα 40 χιλιοστά σε διάμετρο. Οι μεγαλύτεροι γαιοσκώληκες βρίσκονται συνήθως σε νότιες περιοχές όπως η Ν. Αμερική, Αυστραλία, Ν. Ζηλανδία και η Ν. Αφρική (Edwards, 2004).

Οι πληθυσμοί των γαιοσκώληκων ποικίλουν πολύ σε σχέση με τη βιομάζα και την ποικιλομορφία. Το μέγεθος του πληθυσμού εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως ο τύπος του εδάφους, το pH, η ικανότητα του εδάφους να συγκρατεί υγρασία, η βροχόπτωση, η θερμοκρασία του περιβάλλοντος και το πιο σημαντικό από όλα, η διαθεσιμότητα της οργανικής ουσίας. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ της οργανικής ουσίας και των μικροοργανισμών προσφέρουν τροφή στους γαιοσκώληκες (Edwards, 2004).

1.1.1Μορφολογικά χαρακτηριστικά των γαιοσκώληκων

Το σώμα των γαιοσκώληκων δεν έχει αναπνευστικό σύστημα και η ανταλλαγή των αερίων γίνεται μέσω της εφυμενίδας του υγρού σώματος. Η πρόσληψη του οξυγόνου γίνεται από την αιμογλοβίνη του πλάσματος του αίματος. Η αιμογλοβίνη διαπερνά τα τριχοειδή αιμοφόρα αγγεία που είναι πολυάριθμα και την εφυμενίδα και έτσι το οξυγόνο εξέρχεται προς το

περιβάλλον. Το σώμα τους στερείται σκελετού και έχει ένα εξωτερικό στρώμα κυκλικών μυών και ένα εσωτερικό στρώμα επιμηκίων μυών.



Εικόνα 1 Απεικόνιση του πεπτικού σωλήνα

Πηγή: (www.ed101.bu.edu/StudentDoc/current/ED101sp09/eflukes/)

➤ Πεπτικό - Απεικκριτικό σύστημα

Το απεικκριτικό σύστημα αποτελείται από τα νεφρίδια που είναι τα κύρια όργανα της αζωτούχας απέκκρισης στα Ολιγόχαιτα. Ο πεπτικός σωλήνας των γαιοσκωλήμων είναι ένας σωλήνας που εκτείνεται από το στόμα έως τον πρωκτό και διαφοροποιείται στη στοματική κοιλότητα, τον φάρυγγα, τον οισοφάγο, τον στομάχο, τον πρόλοβο και το έντερο. Ο φάρυγγας που συνήθως δε διαφοροποιείται από τη στοματική κοιλότητα, εκτείνεται προς τα πίσω έως το έκτο μεταμερές. Οι γαιοσκώληκες χρησιμοποιούν τον φάρυγγα ως αντλία αναρρόφησης έτσι ώστε με τις μυϊκές συσπάσεις των τοιχωμάτων του φάρυγγα να τραβούν σωματίδια μέσα από το στόμα τους. Στο έντερο λαμβάνει μέρος

το μεγαλύτερο μέρος της πέψης και απορρόφησης της τροφής. Το έντερο έχει δύο μυώδη στρώματα, ένα εσωτερικό κυκλικό και εξωτερικό επιμήκες.

➤ **Νευρικό σύστημα**

Όσον αφορά το νευρικό σύστημα αποτελείται από εγκεφαλικά γάγγλια τα οποία αποτελούν τον 'εγκέφαλο' του ζώου, ενώ περιβάλλονται από παχύ στρώμα κολλαγόνου και μυς. Το νευρικό σχοινίο εκτείνεται έως το τέλος του σώματος του ζώου και νευρώνει όλο το σώμα του (Edwards & Bohlen, 1996).

➤ **Σωματικό περίβλημα**

Τούτο αποτελείται από μια εξωτερική στοιβάδα, την επιδερμίδα, ένα στρώμα νευρικών κυττάρων, κυκλικά και επιμήκη στρώματα μυών και τέλος το περιτόναιο που διαχωρίζει το σωματικό περίβλημα από το coelom (Edwards & Bohlen, 1996).

➤ **Αναπαραγωγικό σύστημα**

Οι γαιοσκώληκες είναι ερμαφρόδιτοι, το οποίο σημαίνει ότι φέρουν τόσο θηλυκά όσο και αρσενικά χαρακτηριστικά. Τα όργανα αναπαραγωγής είναι το επίσαγμα και τα ηβικά φύματα (Edwards, 1988; Reynolods, 1977). Τα περισσότερα είδη των Lumbricidae έχουν δύο ζεύγη όρχεων (ολοανδρικά) με εξαίρεση κάποια είδη που έχουν ένα μόνο ζεύγος (μεροανδρικά). Οι όρχεις των γαιοσκώληκων είναι λοβοειδή όργανα (Edwards & Bohlen, 1996). Δύο γαιοσκώληκες ζευγαρώνουν ακουμπώντας τα επίσαγματά τους, ανταλλάσσοντας σπέρμα και μετά χωρίζουν. Το σπέρμα που δέχονται οι γαιοσκώληκες αποθηκεύεται προσωρινά στους λεγόμενους σπερματοθηκικούς πόρους ενώ το επίσαγμα εκκρίνει ένα βλενώδες κουκούλι (<http://kentsimmons.uwinnipeg.ca>).



Εικόνα 2 Σύζευξη γαιοσκωλήκων (Αρχείο Ε.Βαβουλίδου)



Εικόνα 3 Σύζευξη γαιοσκωλήκων

Πηγή: www.kentsimmons.uwinnipeg.ca/16cm05/16labman05/lb6pg5.htm

Η σύζευξη γίνεται πολλές φορές το χρόνο , συνήθως σε υγρές και σχετικά θερμές εποχές του έτους κοντά στην επιφάνεια του εδάφους ή και μέσα σε αυτό και διαρκεί από λίγα λεπτά (30´) έως 5 ώρες . Σε ορισμένες περιπτώσεις ορισμένα είδη αναπαράγονται και χωρίς να έχει προηγηθεί σύζευξη με αυτογονιμοποίηση ή παρθενογέννηση. Τα ωάρια και τα

σπέρματα εναποτίθενται εντός μιας κάψας (βομβύκιο), όπου γίνεται και η γονιμοποίηση ενός ή περισσότερων ωαρίων ενώ ένα πρωτεϊνούχο υλικό αποτελεί την τροφή των παραγόμενων εμβρύων. Σε κάθε βομβύκιο μπορεί να υπάρχουν έως και 20 αυγά αλλά δεν εκκολάπτονται όλα.



Εικόνα 4 Βομβύκια (Cocoons) (Αρχείο Ε.Βαβουλίδου)

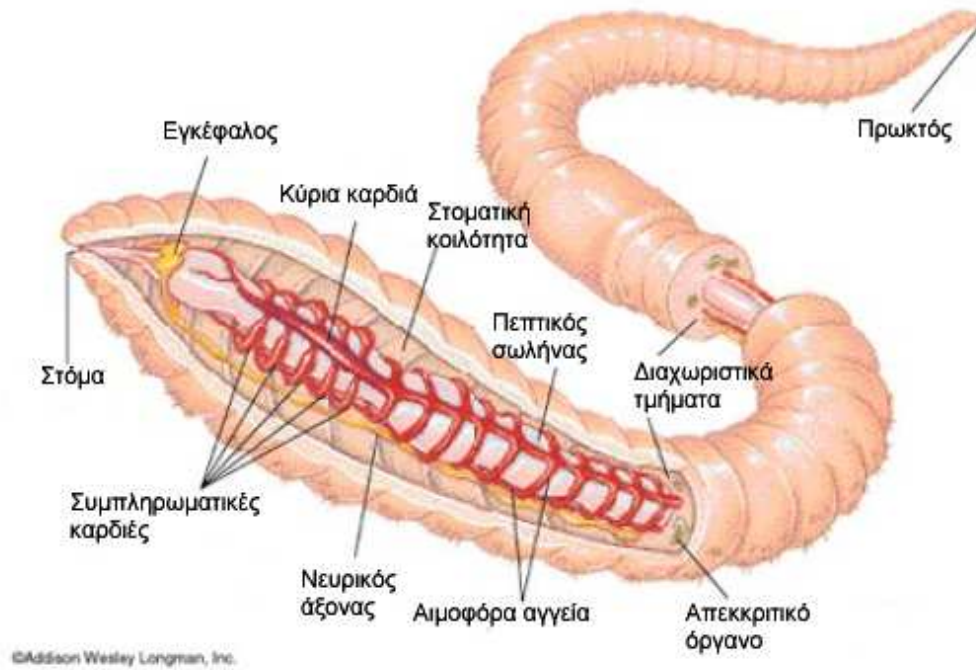
➤ **Κυκλοφορικό σύστημα**

Οι γαιοσκώληκες έχουν κλειστό κυκλοφορικό σύστημα αν και δεν είναι δυνατό να διαχωρίσουμε αρτηρίες και φλέβες. Αντιθέτως υπάρχει ένα σύστημα αποτελούμενο από αγγεία τα οποία διανέμουν το αίμα στις διάφορες κατευθύνσεις. Υπάρχουν 3 κύρια αιμοφόρα αγγεία, ένα ραχιαίο (Dorsal Vessel) και δύο κοιλιακά (Ventral Vessel), τα οποία εκτείνονται σε όλο περίπου το μήκος του σώματος (Edwards & Bohlen, 1996).

➤ **Χρωματισμός**

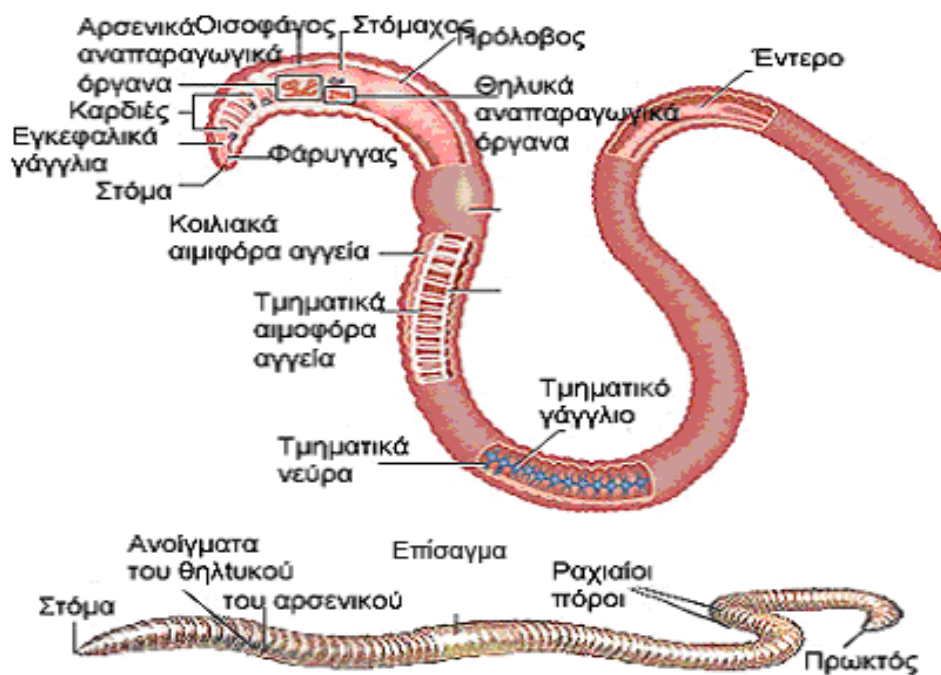
Το χρώμα των γαιοσκωλήκων εξαρτάται αποκλειστικά από την παρουσία ή απουσία της χρωστικής, που είναι είτε στη μορφή κόκκων ή μέσω της χρώσης

των κυττάρων στο υποδόριο στρώμα των μυών. Οι χρωστικές είναι συνήθως πορφυρίνες (Edwards & Bohlen, 1996).



Εικόνα 5 Ανατομία σώματος γαιοσκώληκα

Πηγή: (www.hubpages.com/hub/EarthwormAfraidSalts/)



Εικόνα 6 Απεικόνιση του σώματος του γαιοσκώληκα

Πηγή: (www.vermiculture.wordpress.com/2008/11/13/earthworm-anatomyie-erdwurm/)

1.1.2 Εμφάνιση και εξάπλωση των γαιοσκωλήκων

Η οικογένεια των γαιοσκωλήκων που είναι η πιο σημαντική στη βελτίωση των γεωργικών εδαφών είναι η Lumbricidae και περιλαμβάνει τα γένη Lumbricus, Aporrectodea καθώς και πολλά άλλα. Τα Lumbricids προέρχονται από την Ευρώπη και έχουν μεταφερθεί μέσω ανθρώπινων δραστηριοτήτων σε πολλά μέρη του κόσμου. Οι Η.Π.Α. έχει μόνο ένα ή δύο γνωστά ιθαγενή είδη των Lumbricids. Τα άλλα είδη εισήλθαν στη χώρα αυτή από μετανάστες, πιθανόν μέσα σε γλάστρες και μετά διανεμήθηκαν μέσα από ποτάμια.

Γενικά τα Lumbricids είναι πιο κοινά στο βόρειο και ανατολικό παρά στο ξηρό νότιο και δυτικό κομμάτι των Η.Π.Α. Συνήθως βρίσκονται σε αφθονία σε αργιλοπηλώδη και ακόμα σε ιλυώδη εδάφη. Αντίθετα σε αμμώδη και πηλώδη εδάφη δεν είναι τόσο συχνή η εμφάνιση τους. Ακόμη έχουμε μεγάλους πληθυσμούς σε αρδευόμενα εδάφη. Οι πληθυσμοί των γαιοσκωλήκων αυξάνονται όσο αυξάνεται το επίπεδο της οργανικής ουσίας του εδάφους ενώ αντίθετα μειώνονται με το όργωμα και εφαρμογή χημικών (www.hubpages.com/hub/EarthwormAfraidSalts).

1.1.3 Επίδραση των γαιοσκωλήκων πάνω στην εδαφική γονιμότητα

Όπως παρατήρησε πρώτος ο Αριστοτέλης και στη συνέχεια ο Δαρβίνος, οι γαιοσκώληκες μετακινούν μεγάλες ποσότητες εδάφους από τα βαθύτερα εδαφικά στρώματα στα επιφανειακά. Οι ποσότητες που μετακινούνται κατ' αυτόν τον τρόπο ποικίλουν από 2 έως 250 τόνους ανά εκτάριο ετησίως. Αυτό

ισοδυναμεί με την προσθήκη στρώματος εδάφους βάρους που κυμαίνεται μεταξύ 1 χιλιοστού και 5 εκατοστών πάχους στην επιφάνεια κάθε χρόνο, δημιουργώντας ένα στρώμα χωρίς πέτρες στην εδαφική επιφάνεια. Σε εύκρατα κλίματα, τα ανώτερα 15 εκατοστά μπορούν να αναστραφούν κάθε 10 με 20 χρόνια (Edwards & Bohlen, 1996). Η μεγαλύτερη αναστροφή από γαιοσκώληκες έχουν αναφερθεί σε τροπικά αγρό-οικοσυστήματα (Lavelle *et al.*, 1999).

Οι γαιοσκώληκες αντιπροσωπεύουν το κύριο τμήμα της βιομάζας της πανίδας που συναντάται στο έδαφος των οικοσυστημάτων και ενεργούν ως βασικά είδη στην αποσύνθεση και στον κύκλο των θρεπτικών στοιχείων (Edwards, 1998). Κάποια υπολείμματα φυτών και ζώων αποσυντίθεται γρήγορα από μικροοργανισμούς, αλλά το μεγαλύτερο ποσοστό της οργανικής ουσίας, ιδίως τα σκληρότερα φύλλα, οι ανθήρες και οι ρίζες διασπώνται πιο εύκολα αφού φαγωθούν από ασπόνδυλα που κατοικούν στο έδαφος. Οι γαιοσκώληκες είναι πιθανότατα τα σημαντικότερα ασπόνδυλα σε διάφορα εδάφη σε αυτό το πρωταρχικό στάδιο της ανακύκλωσης της οργανικής ουσίας. Η οργανική ουσία που περνά μέσα από το έντερο των γαιοσκωλήκων και εναποτίθεται στις στοές του εντέρου τους θα διασπαστεί σε μικρότερα κομμάτια έτσι ώστε μια μεγάλη επιφάνεια να είναι εκτεθειμένη στη μικροβιακή δράση. Τα κόπρανα των γαιοσκωλήκων είναι συνήθως πλούσια σε θρεπτικά στοιχεία όπως ο άνθρακας, το άζωτο και ο φώσφορος (Scheu, 1987; Aira *et al.*, 203). Οι μικροβιακοί πληθυσμοί των κοπράνων και των στοών που δημιουργούν οι γαιοσκώληκες διαφέρουν πολύ από τους αντίστοιχους μικροβιακούς πληθυσμούς εδαφών που στερούνται γαιοσκωλήκων (Sampedro & Whalen, 2007; Tiunov & Scheu, 1999, 2000). Εδάφη με λίγους ή καθόλου γαιοσκώληκες συχνά σχηματίζουν ένα στρώμα μη αποσυντεθειμένων υπολειμμάτων και οργανικής ουσίας στο ανώτερο επιφανειακό στρώμα, που ξεχωρίζει από το βαθύτερο έδαφος ορυκτών με ένα ευκρινές όριο. Αυτά τα εδάφη είναι γνωστά ως στείρα. Οι γαιοσκώληκες μπορούν να μετατρέψουν

γρήγορα τα στείρα εδάφη σε γόνιμα αφού αποικίσουν σε μια θέση όπου προηγουμένως δεν υπήρχαν γαιοσκώληκες (Edwards & Bohlen, 1996). Το ποσοστό της αποσύνθεσης εξαρτάται επίσης από τον τύπο των υπολειμμάτων, με αποτέλεσμα τα φύλλα της οξιάς να αποδομούνται πιο γρήγορα από τα φύλλα της δρυός (Edwards & Bohlen, 1996).

Η δραστηριότητα των γαιοσκωλήκων αυξάνει τόσο το πορώδες όσο και τον όγκο του αέρα στο έδαφος (Wolly, 1890; Hopp, 1974; Edwards & Lofty, 1977). Οι στοές που δημιουργούν οι γαιοσκώληκες είναι σημαντικές στην βελτίωση της εδαφικής αποστράγγισης. Οι στοές και οι πόροι επίσης αυξάνουν το ποσοστό διείσδυσης των ριζών (Slater & Hopp, 1947; Teotia *et al.*, 1950; Carter *et al.*, 1982). Ακόμη, η δραστηριότητα των γαιοσκωλήκων συμβάλλει σημαντικά στον αερισμό του εδάφους ιδίως στα βαριά εδάφη, (Stockli, 1928; Kretzschmar, 1978) μέσω της δημιουργίας καναλιών, που επιτρέπουν στον αέρα να διεισδύει στα βαθύτερα στρώματα, ελαχιστοποιώντας την παρουσία των αναερόβιων στρωμάτων (Edwards 2004).

Η συγκέντρωση των μετάλλων στο σώμα των γαιοσκωλήκων, εξαρτάται από την αλληλεπίδραση αυτών των μεγάλων σε μέγεθος ζώων με τις τοπικές εδαφολογικές συνθήκες (John E. *et al.*, 1990). Επιπλέον, το pH του εδάφους καθώς και άλλα εδαφικά χαρακτηριστικά με σημαντικότερο την οργανική ύλη, επηρεάζουν την τοξικότητα των βαρέων μετάλλων (Reinecke A.J. & Reinecke A.S. *et al.*, 1996).

Καθώς οι γαιοσκώληκες τρέφονται, το ποσοστό Άνθρακα : Αζώτου στην οργανική ουσία μειώνεται σταδιακά. Ακόμη, το περισσότερο μέρος του αζώτου μετατρέπεται σε αμμωνιακά ή νιτρικά. Ταυτόχρονα, άλλα θρεπτικά στοιχεία όπως ο φώσφορος και το κάλιο μετατρέπονται σε μορφές πιο αφομοιώσιμες από τα φυτά. Εδάφη που έχουν φτωχούς σε γαιοσκώληκες πληθυσμούς, συχνά σχηματίζουν μια δομή με ένα στρώμα αποσυντεθημένης οργανικής ουσίας στο επιφανειακό στρώμα (Kubiena, 1953).

Οι γαιοσκώληκες είναι σημαντικότεροι απόδομητές της νεκρής και αποσυντιθέμενης οργανικής ύλης και διατρέφονται από βακτήρια και μύκητες που βρίσκονται πάνω σε αυτές τις επιφάνειες. Κατακερματίζουν την οργανική ουσία και συμβάλλουν μέγιστα στην ανακύκλωση των θρεπτικών στοιχείων που αυτή περιέχει. Ακόμη μεταβάλλουν δραματικά την εδαφική δομή, την κίνηση του νερού, την ανάπτυξη των φυτών και την απορρόφηση των θρεπτικών στοιχείων. Η παρουσία τους σε ένα έδαφος είναι ένδειξη ενός υγιούς συστήματος. Γενικά εκτελούν διάφορες ευεργετικές λειτουργίες στα εδάφη.

Οι γαιοσκώληκες παίζουν σημαντικό ρόλο στον σχηματισμό και τη διαμόρφωση της “αρχιτεκτονικής” του εδαφικού συστήματος, κυρίως μέσα από τις δραστηριότητες τους όπου καταναλώνουν οργανική ουσία, θρυμματίζοντας την και αναμειγνύοντας την στενά με εδαφικά στοιχεία, επιτρέποντας έτσι την γρήγορη αποδόμηση της (Lavelle, 1988). Οι γαιοσκώληκες καθώς τρέφονται, προωθούν τη μικροβιακή δραστηριότητα (Edwards, 2004).

Κατά το πλείστον τρέφονται με οργανικά υπολείμματα - ιστούς φυτικής ή και ζωικής προέλευσης (φύλλα, νεκρές ρίζες, σπόρια, ζύμες, βακτηρίδια, μύκητες, πρωτόζωα, ακάρεα, κολλέμβολα κλπ) και ότι άλλο βρίσκεται μέσα στο χώμα στο οποίο ζουν.

1.1.4 Επίδραση των περιβαλλοντικών παραγόντων πάνω στους γαιοσκώληκες

Υγρασία

Το 75 – 90% του σωματικού βάρους των γαιοσκωλήκων αποτελείται από νερό (Grant, 1955a), οπότε η αποφυγή της απώλειας του νερού είναι ο σημαντικότερος παράγοντας στην επιβίωση των γαιοσκωλήκων. Ωστόσο, οι γαιοσκώληκες έχουν αξιοσημείωτη ικανότητα να επιβιώνουν σε δυσμενείς

συνθήκες υγρασίας, είτε με το να κινούνται σε περιοχές με μεγαλύτερη υγρασία είτε μέσω της καλοκαιρινής διάπαυσης. Αν δε μπορούν να αποφύγουν τα ξηρά εδάφη μπορούν να επιβιώσουν, καταναλώνοντας ένα μεγάλο μέρος της σωματικής τους υγρασίας. Τα *Lumbricus terrestris* μπορούν να χάσουν το 70% του συνολικού σωματικού νερού και παρόλα αυτά να επιβιώσουν (Roots, 1956). Η δραστηριότητα των γαιοσκωλήκων εξαρτάται από την επαρκή εδαφική υγρασία, όμως δεν έχουν όλα τα είδη τις ίδιες ανάγκες σε υγρασία (Edwards & Bohlen, 1996).

Θερμοκρασία

Η δραστηριότητα, ο μεταβολισμός, η ανάπτυξη, η αναπνοή και η αναπαραγωγή των γαιοσκωλήκων είναι διεργασίες που επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από την θερμοκρασία. Η θερμοκρασία και η υγρασία είναι συνήθως αντιστρόφως συνδεδεμένες και οι υψηλές επιφανειακές θερμοκρασίες μαζί με ξηρά εδάφη είναι συνθήκες πολύ πιο περιοριστικές για τους γαιοσκωλήκες απ' ό τι είναι οι χαμηλές θερμοκρασίες και τα κορεσμένα εδάφη (Nordström & Rundgren, 1974). Η γονιμότητα και η διάρκεια της επώασης των γαιοσκωλήκων επηρεάζονται πολύ από τις διάφορες θερμοκρασίες.

Οι ανώτερες θερμοκρασίες στις οποίες παρατηρείται θνησιμότητα στους γαιοσκωλήκες είναι χαμηλότερες από τις αντίστοιχες άλλων ασπόνδυλων. Οι χαμηλότερες θερμοκρασίες στις οποίες σημειώνεται θνησιμότητα στους γαιοσκωλήκες στα εύκρατα κλίματα είναι κοντά στο σημείο πήξεως. Τα κουκούλια των γαιοσκωλήκων έχει παρατηρηθεί ότι δεν είναι ανεκτικά στον παγετό (Edwards & Bohlen, 1996).

Αξίζει να αναφερθεί ότι πέραν των περιβαλλοντικών παραγόντων, οι πληθυσμοί των γαιοσκωλήκων επηρεάζονται και από άλλους παράγοντες που σχετίζονται με την καλλιέργεια της γης. Οι πληθυσμοί τους μειώνονται

δραστικά από την εντατική καλλιέργεια στις καλλιεργούμενες περιοχές (Vavoulidou *et al.*, 1999; Curry *et al.*, 2000). Επίσης επηρεάζονται άμεσα από τον τύπο και τη συχνότητα εφαρμογής ζιζανιοκτόνων (Edwards & Bohlen, 1992; Bilalis *et al.*, 2001; Vavoulidou *et al.*, 2008).

1.1.5 Οι γαιοσκώληκες ως βιοδείκτες

Το ενδιαφέρον για κατανόηση της επίδρασης των τοξικών και επικίνδυνων μετάλλων στο εδαφικό περιβάλλον έχει αυξηθεί τα τελευταία χρόνια και γίνονται ολοένα και περισσότερες προσπάθειες για την ανεύρεση μεθόδων αξιολόγησης αυτών των περιβαλλοντικών επιδράσεων. Οι πιο πρόσφατες μέθοδοι της περιβαλλοντικής αξιολόγησης των χημικών στοχεύουν κυρίως στην ανθρώπινη υγεία (Callahan, 1988). Υπάρχει εξίσου μεγάλη ανάγκη να εκτιμηθούν οι μακροπρόθεσμες επιδράσεις των χημικών στοιχείων πάνω στο επίγειο περιβάλλον καθώς και οι δυναμικές τους διεργασίες (Edwards & Bohlen, 1996). Ως τοξικό χημικό ή ρυπαντής μπορεί να προσδιοριστεί μια ουσία που έχει επιβλαβή επίδραση πάνω σε οργανισμούς και που μπορεί να εισαχθεί στο περιβάλλον από ανθρώπινη δραστηριότητα (Moriarty, 1983). Οι επιδράσεις των ρυπαντών πάνω στο περιβάλλον επειδή είναι δύσκολο να αναλυθούν σε γενικούς όρους, συχνά αξιολογούνται διαμέσου της ξεχωριστής επίδρασης τους σε κάποιους οργανισμούς. Η σοβαρότητα των επιδράσεων σε συγκεκριμένους οργανισμούς εξαρτάται από την δόση, την τυποποίηση, τον τρόπο με τον οποίο δημιουργείται το περιβαλλοντικό διαμέρισμα, και τη σημασία των οργανισμών-μαρτύρων (Edwards & Bohlen 1996).

Οι γαιοσκώληκες είναι σημαντικοί οργανισμοί όσον αφορά τη λειτουργικότητα του εδάφους (Brown *et al.*, 2000; Lavelle & Spain, 2001) και κατά συνέπεια παίζουν ένα πολύ σημαντικό ρόλο στην αξιολόγηση του επίγειου οικοτοξικολογικού κινδύνου (Sheppard *et al.*, 1997; Weeks *et al.*, 2004). Έχει προταθεί ότι οι γαιοσκώληκες είναι εξαιρετικοί βιοδείκτες της σχετικής υγείας

των εδαφικών οικοσυστημάτων (Kuhle, 1983). Αυτό επιβεβαιώνεται από το γεγονός ότι οι γαιοσκώληκες κατέχουν όλα τα χαρακτηριστικά που χρειάζονται τα ζώα που χρησιμοποιούνται ως εδαφικοί βιοδείκτες οικοσυστημάτων καθότι είναι μεγάλα, πολυάριθμα, εύκολα στη δειγματοληψία και εύκολα ταυτοποιήσιμα. Επίσης είναι ευρέως διαδεδομένα και βρίσκονται σε πλήρη επαφή με το υπόστρωμα στο οποίο ζουν και καταναλώνουν μεγάλες ποσότητες του (Morgan *et al.*, 1986).

Οι γαιοσκώληκες όχι μόνο θανατώνονται από τοξικά χημικά, αλλά επηρεάζονται και οι ρυθμοί ανάπτυξης, αναπαραγωγής και συμπεριφοράς τους. Περαιτέρω συσσωρεύουν κάποια χημικά στους ιστούς τους σε επίπεδα υψηλότερα από τα αντίστοιχα του μέσου στο οποίο ζούνε. Με αυτόν τον τρόπο, χαμηλές ποσότητες ρύπανσης του εδάφους μπορούν να εντοπιστούν μέσα από την περιοδική παρακολούθηση των γαιοσκωλήκων και των χημικών καταλοίπων που περιέχουν. Οι αναλύσεις των ιστών των γαιοσκωλήκων μπορούν να προσφέρουν ένα εξαιρετο ευρετήριο της βιοδιαθεσιμότητας των βαρέων μετάλλων στα εδάφη (Helmke *et al.*, 1979).

Οι γαιοσκώληκες έχουν επίσης χρησιμοποιηθεί παλαιότερα σε πείραμα και ως βιοδείκτες σε εδάφη μολυσμένα με ραδιενέργεια (Krivolutsky *et al.*, 1982). Κάποια επίπεδα ραδιενέργειας ήταν τοξικά και κάποια επηρέασαν την αναπαραγωγή των γαιοσκωλήκων και προκάλεσαν αλλαγές στο επιθήλιο του τομάχου (Edwards & Bohlen 1996).

Οι γαιοσκώληκες αποτελούν δείκτη ποιότητας των εδαφών για τη Βιολογική Γεωργία. Οι πληθυσμοί των γαιοσκωλήκων εξαιτίας της βιολογίας των γαιοσκωλήκων μπορούν να χρησιμεύσουν ως δείκτες της δομής, του μικροκλίματος, της θρεπτικής και τοξικής κατάστασης του εδάφους (Bilalis *et al.*, 2009). Οι πληθυσμοί των γαιοσκωλήκων μπορούν να επηρεάσουν την εδαφική δομή (Langmaack *et al.*, 1999) και την εδαφική γονιμότητα, ιδίως το πορώδες, τη διήθηση του νερού καθώς και τη διείσδυση των ριζών σε

συμπιεσμένα εδάφη. Οι βιολογικές δραστηριότητες των γαιοσκωλήκων ιδίως σε βαθιά εδαφικά στρώματα αναμένεται να αυξήσουν τα διαθέσιμα στα φυτά θρεπτικά στοιχεία όπως ο φώσφορος και το άζωτο στη ριζόσφαιρα (Sulber *et al.*, 1997; Schmidt & Curry, 1999; Curry *et al.*, 2000).

1.2 Ο Γαιοσκώληκας *OCTODRILUS COMPLANATUS*

Ο γαιοσκώληκας *Octodrilus complanatus*, ανήκει στο φύλο Annelida, στην οικογένεια Lumbricidae. Είναι μεσογειακό είδος και παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον καθώς απαντάται στον ελλαδικό χώρο. Ανήκει στους μεγαλόσωμους δακτυλιοσκώληκες και το μήκος του κυμαίνεται από 8 έως 18 εκατοστά του μέτρου. Έχουν βρεθεί αρκετά δείγματα, που ξεπερνούν τα 20 εκατοστά του μέτρου. Το πάχος του κυμαίνεται από 9-11 χιλιοστά. Το είδος αυτό ανήκει στα ονομαζόμενα ανερχόμενα είδη που ζουν μέσα στο έδαφος και εξέρχονται στην επιφάνεια μόνο για να τραφούν με φυτικά υπολείμματα την περίοδο της νύχτας. Ο γαιοσκώληκας αυτός έχει μεγάλη ευχέρεια στην διείσδυση στο έδαφος και ανοίγει κάθετες βαθιές στοές. Έχει καλή ικανότητα αναπαραγωγής και σε ορισμένες περιπτώσεις έχει υποχρεωτική διάπαυση (χαμηλούς ρυθμούς δράσης λόγω έλλειψης υγρασίας και υψηλής θερμοκρασίας). Εμφανίζεται κυρίως σε ανόργανα εδάφη κάτω από δενδρώδεις πολυετείς καλλιέργειες, επιβιώνει σε άριστη θερμοκρασία 10- 13°C, pH ουδέτερο έως αλκαλικό και αρκετή υγρασία. (Dugés, 1828).

Το σώμα του χωρίζεται σε μεταμερή με διαφράγματα τα λεγόμενα σέπτα. Ο αριθμός των μεταμερών του φθάνει τα 190 έως 200. Έχει προστόμιο επιλοβικό και ο πρώτος ραχιαίος πόρος αρχίζει από το 11/ 12 μεταμερές ή 13/14 μεσομεταμερές. Από το 29 μέχρι το 37 μεταμερές υπάρχει το επίσαγμα, που μοιάζει εμφανισιακά σαν σαμάρι και που αποτελεί ταξινομικό γνώρισμα. Το επίσαγμα είναι αναπαραγωγικό όργανο και είναι σχηματισμένο μόνο στα ενήλικα άτομα. Το χρώμα του είναι σκούρο κόκκινο προς το καφέ, η ουραία του περιοχή είναι πεπλατυσμένη, οι σμήριγγες είναι χωρισμένες μεταξύ τους και δεν είναι κατά ζεύγη, όπως συνηθίζεται σε άλλα είδη της οικογένειας Lumbricidae. Ο άρρην γεννητικός πόρος ο οποίος βρίσκεται στο 15. μεταμερές, είναι πάρα πολύ μικρός, μόλις που διακρίνεται σαν μια σχισμή. Τα

ηβικά φύματα τοποθετούνται στα 29. έως 39. μεταμερή. Το προστόμιο είναι επιλοβικό. Τα τέσσερα ζεύγη των σπερματικών κύστεων βρίσκονται τοποθετημένα στα 9. έως 12. μεταμερή. Το είδος αυτό διαθέτει επτά ζεύγη σπερματοθηκών, που τα βρίσκουμε στα 6. έως 12. μεταμερή. Οι σπερματοθηκικοί πόροι εκβάλλουν στα 6/7 έως και 12/13 μεσομεταμερή.

Σύμφωνα με τις μελέτες που διεξήχθησαν στο ΙΕΑ (Ε. Βαβουλιδου) είναι για τον Ελληνικό χώρο πολύ κοινό, ενώ όσο ανεβαίνουμε προς τα βόρεια της χώρας τόσο σπανίζει.

Octodrilus complanatus (Περιγραφή Mihalis K.).

Μήκος: 150-220mm

Πάχος: 9-11mm

Προστόμιο: Επιλοβικό

α' ραχιαίος πόρος (Dorsal pores) : δυσδιάκριτος 12/13 13/14

μεσομεταμερές

Επίσαγμα clitellum): 29-37 s(μεταμερές)

Ηβικά φύματα(Tubercula puberstativ): 28-39 s(μεταμερές)

Σπερματοκύστες: 9-12 s

Σπερματοθήκες : 6-12 s

Ασβεστικοί αδένες: 10-14 s

άριστη θερμοκρασία: ~10-13 °C

Σε προηγούμενη μελέτη (Δελλαπόρτα, 2004 και βάση των δεδομένων που προέρχονται από μη δημοσιευμένα στοιχεία της Ε. Βαβουλίδου, αναφέρεται ότι το είδος αυτό των γαιοσκωλήκων, βρίσκονται κυρίως σε εδάφη με αρκετή υγρασία και κυρίως σε ανόργανα βαθιά εδάφη, με pH: ουδέτερο – αλκαλικό, σε μαργώδη μητρικά υλικά (πλούσια σε CaCO₃), σε πολυετείς καλλιέργειες (ελαιώνες, αμπελώνες) και έχουν βρεθεί σε πολλές περιοχές της Ελλάδας (από Μακεδονία έως Κρήτη).

Μορφολογία *Octodrilus complanatus*

Το σωματικό περίβλημα περιβάλλει εξωτερικά όλο το σώμα του ζώου και εκεί εντοπίζονται οι μεγαλύτερες ποσότητες κολλαγόνου. Περιλαμβάνει τα εξής (Coggeshall, 1996):

- ✓ Εφυμενίδα: μη κυτταρικό στρώμα με δύο ή περισσότερα στρώματα από ινίδια κολλαγόνου και επίσης με ομογενή μη ινιδιακά στρώματα από κάτω.
- ✓ Επιδερμίδα: αποτελείται από διάφορους τύπους κυττάρων.
- ✓ Στρώμα νευρικού ιστού.
- ✓ Κυκλικούς μύες: μυϊκά ινίδια οργανωμένα σε ομάδες, καθένα από τα οποία περιβάλλεται από μια θήκη συνδετικού ιστού.
- ✓ Επιμήκεις μύες: μυϊκά ινίδια οργανωμένα σε δέματα. Ανάμεσα σε κάθε δέμα αυτών των μυϊκών ινών υπάρχει διπλό στρώμα συνδετικού ιστού με αιμοφόρα αγγεία.

Μετά το σωματικό περίβλημα υπάρχει η σωματική κοιλότητα που εκτείνεται και αυτό σε όλο το μήκος του σώματος του ζώου και περιέχει το υγρό της

κοιλότητας αυτής. Το υγρό αυτό αποτελείται από ανθρακικό νάτριο, αμοιβαδοκύτταρα, φαγοκύτταρα, κενοτοπικά, μουκοκύτταρα, παράσιτα, βακτήρια και πρωτόζωα (Edwards, 1988).

Μετά το φάρυγγα έως το 13ο μεταμερές του σώματος του ζώου εκτείνεται ο οισοφάγος, ένας στενός σωλήνας που τροποποιείται σε στόμαχο και πρόλοβο (στομάχι). Ο οισοφάγος φέρει ασβεστοφόνους αδένες με οισοφαγικά θυλάκια. Ο ρόλος τους είναι να ρυθμίζουν τη συγκέντρωση του ασβεστίου στο αίμα. Ο στόμαχος είναι μια αποθήκη με λεπτά τοιχώματα, ενώ ο πρόλοβος (προοικιλίδιο) είναι μυώδης με πιο παχύ επιθήλιο και εκτείνεται έως το 20ο μεταμερές. Ακολουθεί το έντερο που φτάνει μέχρι την ουρά του ζώου. Η εσωτερική του επιφάνεια έχει πολλές μικρές, επιμήκεις αναδιπλώσεις. Το επιθήλιο του αποτελείται από αδενώδη βλεφαριδωτά κύτταρα. Υπάρχουν δύο μυώδη στρώματα, ένα εσωτερικό κυκλικό και ένα εξωτερικό επίμηκες.

Η στοματική κοιλότητα αποτελεί το πρόσθιο τμήμα του πεπτικού συστήματος. Βρίσκεται αμέσως μετά το προστόμιο, ξεκινά από το στόμα και πιάνει τα δύο πρώτα μεταμερή και έχει μία ή δύο σωληνοειδείς εκφύσεις. Διαφοροποιείται στο φάρυγγα ο οποίος ξεκινά από το 3ο μεταμερές και εκτείνεται ως το 6ο. Ο φάρυγγας είναι απορροφητικό όργανο, εξωτερικά καλύπτεται από το επιθήλιο του βλεννογόνου, ενώ εσωτερικά υπάρχουν αδενικά βλεννογόνα κύτταρα που εκκρίνουν βλέννα και τα οποία περιβάλλονται από μυς. Εδώ υπάρχει μια κατανομή κολλαγόνου γύρω από το μυϊκό ιστό καθώς και πιο έντονη στη βάση του επιθηλίου των οργάνων.

Σε περισσότερα είδη η σύζευξη γίνεται στην επιφάνεια του εδάφους κατά τη διάρκεια της νύχτας ή και μέσα σε αυτό. Διαρκεί από μισή έως αρκετές ώρες (4-5) και μπορεί να γίνει πολλές φορές το χρόνο, αλλά είναι συνηθέστερη σε υγρές και σχετικά θερμές εποχές του έτους (τέλος φθινοπώρου έως τα μέσα της άνοιξης). Ορισμένα είδη αναπαράγονται και χωρίς να έχει προηγηθεί σύζευξη με αυτογονιμοποίηση ή παρθενογένεση αλλά μπορεί να

μην ακολουθήσει εμβρυακή ανάπτυξη μετά τη σύζευξη. Κατά το στάδιο της αναπαραγωγής το επίσαγμα αλλάζει χρώμα και μέγεθος (από ροζ σε πορτοκαλί, αργότερα καφέ και τελικά άσπρο), όταν ο αδενώδης ιστός έχει πάρει το μεγαλύτερο μέγεθος. Η υπερτροφία αρχίζει να μειώνεται μετά την ανάπτυξη του ωοφόρου (Mihalīs K. & Panidis S., 1995α, Mihalīs K. & Panidis S., 1995β).

Ο *Octodrilus complanatus* έχει μεγάλη εξάπλωση στην Ευρώπη και στη Β. Αφρική. Μεγάλοι πληθυσμοί αυτού του είδους συναντώνται σε χωράφια αραβοσίτου στη νοτιοδυτική Ισπανία (Monroy *et al*, 2007). Ο γαιοσκώληκας *Octodrilus complanatus* είναι ευρύτατα διαδεδομένος στον ελληνικό χώρο και χρησιμοποιείται ως βιοδείκτης (Vanolidou *et. al* 2010).



Εικόνα 7 Γαιοσκώληκας *Octodrilus complanatus*

Πηγή: (www.tomas-pavlicek-biologie.net/pages/earthworms_e.php)



Εικόνα 8 Γαιοσκώληκας *Octodrilus complanatus* (από το αρχείο της παρούσας μελέτης, -Τζωρτζή, Ι.Ε.)

1.3 ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ

Το αλουμίνιο παρατηρείται φυσιολογικά στα φυσικά οικοσυστήματα και καλύπτει περίπου το 8% της επιφάνειας της γης. Εμφανίζεται σε συνδυασμό με άλλα στοιχεία όπως μέταλλα και λίθους. Είναι λευκό-ασημί και ευλύγιστο. Χρησιμοποιείται για την κατασκευή μαγειρικών σκευών και για υλικά οικοδομών. Όταν το αλουμίνιο εισέρχεται στο φυσικό περιβάλλον διασπάται σε κομμάτια τα οποία διασπείρονται στον αέρα. Ακόμη, ανάλογα με την ποσότητα του νερού μπορεί να διαλυθεί σε ποτάμια, λίμνες και χείμαρους (www.wikipedia.org; Δελλαπόρτα, 2004).

Το αλουμίνιο είναι το τρίτο σε αφθονία στοιχείο στον φλοιό της Γης. Μια μεγάλη αναλογία του αλουμινίου όμως ενσωματώνεται στα εδαφικά ορυκτά όπως το αργυλλοπυριτικό με πολύ μικρές ποσότητες να εμφανίζονται σε διαλυτές μορφές που είναι ικανές να επηρεάσουν βιολογικά συστήματα (May & Nordstrom, 1991). Η διάλυση όλων των στοιχείων που περιέχουν αλουμίνιο μπορεί να ενισχυθεί σε όξινα εδάφη. Τα περισσότερα εδάφη υπόκεινται σε όξινη συνεχώς μέσω του εκσυχχρονισμού της γεωργίας και είναι μέρος των όξινων εναποθέσεων από την ατμόσφαιρα (Rengel, 2004). Εκτιμάται ότι περίπου το 50 % της παγκόσμιας καλλιεργούμενης έκτασης αποτελούνται από όξινα εδάφη (Panda *et al.*, 2009). Όταν το pH του εδάφους είναι χαμηλό (4.5-5.0), το αλουμίνιο απελευθερώνεται στη φυτοτοξική μορφή Al^{3+} , διαλυτοποιείται στο εδαφικό νερό και απορροφάται από τις ρίζες των φυτών (Matsumoto, 2000).



Εικόνα 9 Αλουμίνιο

Πηγή: (www.wikipedia.org)

Το αλουμίνιο όπως και άλλα βαρέα μέταλλα ελευθερώνονται στο περιβάλλον σε μεγάλες ποσότητες τόσο μέσα από φυσικές διαδικασίες όσο και από ανθρωπογενείς δραστηριότητες (Gensemer & Playle, 1999).

Το αλουμίνιο είναι αδιάλυτο στο νερό κάτω από φυσιολογικές συνθήκες. Είναι χαρακτηριστική η δυνατότητα του να αντιστέκεται στη διάβρωση εξαιτίας του φαινομένου της παθητικότητας (www.wikikipedia.org). Στους ποταμούς ως κύρια πηγή αλουμινίου αναφέρονται βιομηχανικές δραστηριότητες και η εφαρμογή φωσφορούχων λιπασμάτων (Englar, 2007).

1.3.1 Επίδραση του αλουμινίου στον άνθρωπο

Τα ενεργά συστατικά των αποσμητικών είναι τα άλατα του αλουμινίου, τα οποία έχουν συσχετιστεί από παλιά με τον καρκίνο (Betts, C.T., 1926), όπως και με άλλες ασθένειες του ανθρώπου (Exley, 2001). Ο τρόπος δράσης

των αποσμητικών στοχεύει στο μπλοκάρισμα των αδένων που παράγουν ιδρώτα, αποτρέποντας έτσι την έκκριση ιδρώτα στο σώμα. Αυτό συμβαίνει με τη δημιουργία ενός φυσικού στρώματος στην κορυφή του ιδρωτοποιού αδένου. Το στρώμα αυτό αποτελείται από έναν συνδυασμό κατεστραμμένων κυττάρων και αλάτων που καθιζάνουν (Laden & Felger, 1988). Τα άλατα του αλουμινίου όταν χρησιμοποιούνται ως αποσμητικά παραμένουν πάνω στο δέρμα στην περιοχή γύρω από τη μασχάλη και το στήθος και αντίθετα με τα σαμπουάν και τα σαπούνια δεν ξεπλένονται. Το γεγονός αυτό επιφέρει μόνιμη έκθεση του οργανισμού στα άλατα αυτά (Dabre, PD., 2005).

Το αλουμίνιο έχει αναφερθεί σε πρόσφατες έρευνες ότι είναι επικίνδυνο για τον άνθρωπο. Έως τώρα έχει βρεθεί ότι υψηλά επίπεδα αλουμινίου μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα στο νευρικό σύστημα που πιθανόν να οδηγήσουν σε ασθένειες του τύπου «άνοια» όπως το Αλτσχάϊμερ και η νόσος του Πάρκινσον. Σε πρόσφατη έρευνα βρέθηκε ότι το αλουμίνιο στα αποσμητικά είναι μια από τις αιτίες εμφάνισης του καρκίνου του μαστού στις γυναίκες (<http://www.pollutionissues.co.uk/aluminium-deodorants.html>).

1.3.2 Επίδραση του αλουμινίου στα φυτά

Ένας από τους κύριους παράγοντες αναστολής της ανάπτυξης των φυτών σε όξινα εδάφη είναι το αλουμίνιο. Παρόλο που γενικά το αλουμίνιο δεν προξενεί προβλήματα στην ανάπτυξη των φυτών σε εδάφη με ουδέτερο pH, στα όξινα εδάφη αντιθέτως η συγκέντρωση των τοξικών κατιόντων Al^{3+} αυξάνεται και παρεμποδίζει την ανάπτυξη και λειτουργία των φυτών (Andersson, Maud 1988). Η τοξικότητα του αλουμινίου σε εδάφη με pH χαμηλότερο από 5,5 είναι από τα βασικότερα προβλήματα στις καλλιέργειες. Κατά συνέπεια καλλιέργειες που αναπτύσσονται σε τέτοια εδάφη συχνά εμφανίζουν συμπτώματα τοξικότητας από το αλουμίνιο που περιλαμβάνουν υπανάπτυκτο ριζικό σύστημα, ανισορροπία θρεπτικών στοιχείων και τελικά

μειωμένη παραγωγή. Οι μηχανισμοί τοξικότητας του αλουμινίου είναι σύνθετοι και ακόμη δεν υπάρχουν ακριβείς τρόποι για εξακριβωσή τους (Zheng & Yang, 2005; Ma, 2007; Zheng *et al.*, 2007).

Η αναστολή της ανάπτυξης της ρίζας είναι από τα πρώτα και πιο δραματικά συμπτώματα που παρουσιάζονται στα φυτά που υποφέρουν από τοξικότητα αλουμινίου (Rengel, 2004). Το αλουμίνιο δεν επηρεάζει απλά το μέγεθος της ρίζας αλλά αλλάζει εντελώς τη δομή της (Clarkson, 1969). Ένα καχεκτικό ριζικό σύστημα με άφθονα, μικρά, πυκνά και εύθραυστα ριζίδια είναι ένα από τα αρχικά συμπτώματα της τοξικότητας του αλουμινίου στα βλαστικά όργανα (Ryan *et al.*, 1993; Doncheva *et al.*, 2005). Εκτεταμένες έρευνες πάνω στην επίδραση της χωροταξικής κατανομής της τοξικότητας του αλουμινίου στο κορυφαίο μερίστωμα της ρίζας (root apex) των φυτών καλαμποκιού έδειξαν ότι το πιο ευαίσθητο κομμάτι στο αλουμίνιο είναι η ζώνη μετάβασης (transition zone) (Sivaguru & Horst, 1998). Αυτή η ζώνη εντοπίζεται ανάμεσα στη ζώνη της ενεργής κυτταροδιαίρεσης και αυτής στην οποία διενεργείται η ταχεία επιμήκυνση των κυττάρων. Η σημασία αυτής της ζώνης τόσο για την αντίληψη των περιβαλλοντικών σημάτων όσο και για την ανάπτυξη της ρίζας γίνεται εμφανής όταν λάβουμε υπόψη ότι σε αυτή τη ζώνη μετάβασης τα μεταμιτωτικά κύτταρα αποκτούν θεμελιώδεις ιδιότητες. Οι ιδιότητες αυτές είναι αναντικατάστατες για να καταστήσουν τα κύτταρα αυτά ικανά για γρήγορη επιμήκυνση και περιλαμβάνουν μηχανικές ιδιότητες πάνω στα κυτταρικά τοιχώματα καθώς και για αναγνώριση του κυτταροσκελετού (Verbelen *et al.*, 2006). Η αλληλεπίδραση του αλουμινίου με αυτή την κορυφαία ριζική ζώνη δεν προκαλεί μόνο γρήγορη αναστολή της κυτταρικής επιμήκυνσης αλλά επίσης αναστέλλει την κυτταροδιαίρεση του κορυφαίου μεριστώματος της ρίζας μέσα σε λεπτά (Doncheva *et al.*, 2005). Τα κυτταρικά τοιχώματα και οι μεσοκυττάριοι χώροι, ο λεγόμενος αποπλάστης είναι τα πρώτα μέρη της ρίζας που έρχονται σ' επαφή με τα δυνητικώς τοξικά είδη αλουμινίου στο εδαφικό διάλυμα. Πολλές μελέτες δείχνουν ότι το περισσότερο

αλουμίνιο που συσσωρεύεται στις ρίζες, αντιστοιχεί στο αλουμίνιο σε αυτόν τον αποπλαστικό χώρο (Heim *et al.*, 1999).

Η αναστολή της ανάπτυξης της ρίζας που είναι μια από τις συνέπειες της τοξικότητας του αλουμινίου, επηρεάζει κατ' επέκταση την πρόσληψη των θρεπτικών στοιχείων και του νερού από τα φυτά (Foy, 1983). Οι ρίζες που θα υποστούν την μεγαλύτερη κυτταρική βλάβη, γίνονται υπανάπτυκτες και ευάλωτες, η ανάπτυξη των τριχιδίων των ριζών είναι φτωχή και τα ακρόρριζα διογκώνονται και καταστρέφονται (Clarkson, 1965).

Η προσαρμογή του σιταριού να αντέχει στο αλουμίνιο είναι τέτοια που το σιτάρι επιφέρει την έκκριση οργανικών ενώσεων οι οποίες δεσμεύουν τα επιβλαβή κατιόντα του αλουμινίου. Το σόργο φέρεται να έχει τον ίδιο μηχανισμό αντοχής. Το πρώτο γονίδιο που ευθύνεται για την αντοχή στο αλουμίνιο ταυτοποιήθηκε στο σιτάρι. Αποδείχτηκε ότι η αντοχή του σόργου στο αλουμίνιο ελέγχεται από ένα γονίδιο, όπως και στο σιτάρι (Magalheas, 2004).

Πολλά άγρια και καλλιεργούμενα φυτά εμφανίζουν διαφορές που βασίζονται σε γενετικά αίτια πάνω στην ευαισθησία των φυτών στο αλουμίνιο. Το γεγονός αυτό έχει επιτρέψει στους καλλιεργητές των φυτών να δημιουργήσουν μέσω γενετικών τροποποιήσεων ποικιλίες ανθεκτικές στο αλουμίνιο (Kochian, 1995).

Όσον αφορά την αντίσταση των φυτών σε βιοχημικό επίπεδο, διάφοροι μεταβολίτες όπως κάποια οργανικά οξέα (Barcelo *et al* 2002) και κάποιες φαινόλες έχουν προταθεί ως πιθανοί παράγοντες στην ανθεκτικότητα στο αλουμίνιο.

Οι περισσότερες από τις κύριες φυτικές καλλιέργειες αποκλείουν το αλουμίνιο. Αλλά ακόμα και σε συσσωρευτικά είδη, οι ευαίσθητες άκρες των ριζών πρέπει να προστατεύονται ενάντια του Al^{3+} . Η αποφυγή εισόδου του

φυτοτοξικού Al^{3+} σε τοποθεσίες-στόχους στα βλαστικά άκρα της ρίζας είναι απαραίτητη για την αντίσταση στο αλουμίνιο (Barcelo & Poschrieder, 2002).

Έχουν προταθεί διάφοροι μηχανισμοί για τον αποκλεισμό του αλουμινίου, όπως η μικρότερη δέσμευση του στα κυτταρικά τοιχώματα, η μικρότερη διαπερατότητα της πλασματικής μεμβράνης, η έκκριση χηλικοποιημένων ενώσεων ή ακόμα η ικανότητα των φυτών να προκαλούν αλλαγή του pH στη ριζόσφαιρα.

1.3.3 Επίδραση του αλουμινίου στα σπονδυλωτά

Το αλουμίνιο όπως και άλλα βαρέα μέταλλα, εισέρχεται στην τροφική αλυσίδα, από τα φυτά που το προσλαμβάνουν από το έδαφος, αλλά κυρίως από τους γαιοσκώληκες λόγω του ότι αποτελούν καλή τροφή για πολλά σπονδυλωτά (πτηνά, αγριόχοιροι). Επιπλέον οι γαιοσκώληκες χαρακτηρίζονται από μεγάλη βιοσυσσώρευση των βαρέων μετάλλων. Η νευροτοξικότητα του αλουμινίου στα σπονδυλωτά είναι επαρκώς εξακριβωμένη σε αριθμό μοντέλων ζώων (Erasmus *et al.*, 1993).

Μελέτες της βιολογικής χημείας του αλουμινίου μπορούν να προσδεύσουν σημαντικά από τη χρήση του μακρόβιου ισοτόπου ^{26}Al ως ιχνηθέτη, παρόλο που το κόστος του ισοτόπου αποκλείει τον προσδιορισμό του με την τεχνική της ραδιοχημικής μέτρησης AMS (Accelerator Mass Spectrometry) και παρέχει μια υπερευαίσθητη μέθοδο προσδιορισμού, απαλλαγμένη από ισοβαρική παρέμβαση από ατομικά ή μοριακά είδη. Οι πηγές υλών για την AMS μπορεί να είναι αλουμίνιο με τη μορφή οξειδίου ή φωσφορικού άλας, τα οποία και τα δύο μπορούν εύκολα να προετοιμαστούν σε ένα ικανοποιητικό επίπεδο καθαρότητας από βιολογικά υποστρώματα. Το φυσικό αλουμίνιο (^{27}Al , 100%) προστίθεται στις προετοιμασίες ως χημικό όργανο ελέγχου απόδοσης και παρέχει την αναφορά για την αναλογική

μέτρηση ισοτόπου. Οι αναλογίες $^{26}\text{Al} / ^{27}\text{Al}$, μπορούν να προσδιοριστούν πάνω από τη διακύμανση 10-14- 10-7, υπονοώντας ένα όριο ανίχνευσης για ^{26}Al γύρω στο 10-18g. Η ακρίβεια μέτρησης και μακρόχρονης αναπαραγωγής είναι μικρότερη του 5% και μικρότερη του 7% αντίστοιχα. Χημικές μεθοδολογίες για μετρήσεις ρουτίνας στα δείγματα αίματος και ούρων έχουν αναπτυχθεί (King *et al*, 1997).

Το έδαφος περιέχει αλουμίνιο σε διάφορες μορφές όπως το αργυλλοπυριτικό και ανταλλάξιμο ή διαλυτό Al (Sposito, 1989). Καθώς τα εδάφη γίνονται πιο όξινα, γεγονός που είναι συνέπεια τόσο φυσικών αιτιών όσο και ανθρώπινης δραστηριότητας, το αλουμίνιο μετατρέπεται σε πιο διαλυτή μορφή και πιθανόν πιο τοξική για τα φυτά (Foy & Brown, 1963).

1.4 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Ο σκοπός της παρούσας μελέτης είναι να μελετηθούν οι επιδράσεις των επιπέδων αργιλίου σε διαφορετικά επίπεδα υγρασίας, στην εδαφική δράση και βιωσιμότητα των γαιοσκωλήκων του γένους *Octodrilus complanatus*, που αποτελεί κυρίαρχο είδος γαιοσκωλήκων στον Ελλαδικό χώρο και βιοδείκτη στη Βιολογική γεωργία.

ΕΙΔΙΚΟ ΜΕΡΟΣ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

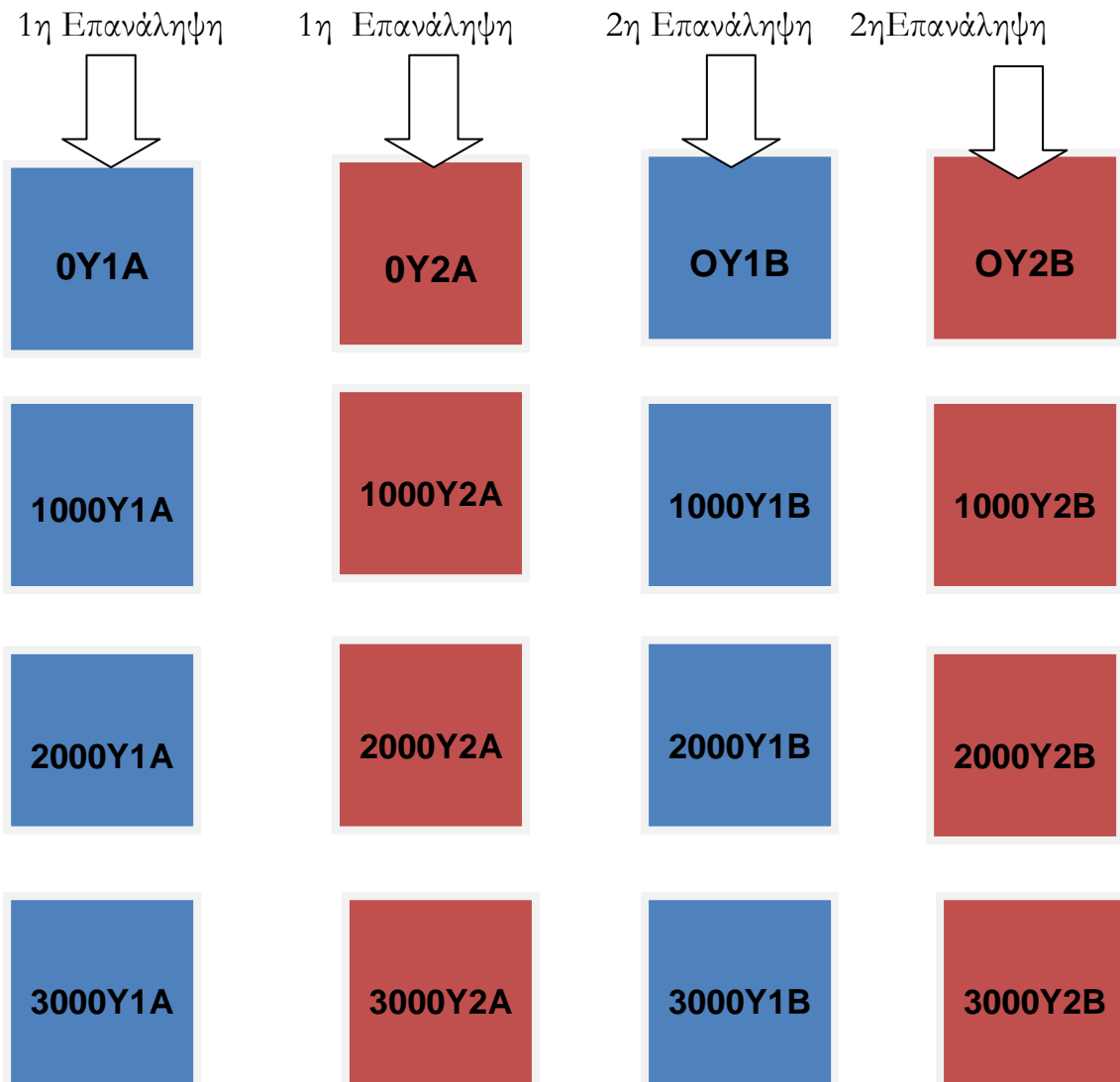
2.1 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

Ακολουθήθηκε το σχέδιο του πειράματος αυτό των τυχαιοποιημένων πλήρων ομάδων. Το πείραμα είχε 3 επίπεδα αλουμινίου και ένα τέταρτο επίπεδο τον μάρτυρα. Σε κάθε επίπεδο υπήρχαν 2 επίπεδα υγρασίας και σε όλα τα παραπάνω υπήρχαν 2 επαναλήψεις.

2.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΤΥΧΑΙΟΠΟΙΗΜΕΝΩΝ ΠΛΗΡΩΝ ΟΜΑΔΩΝ

Το σχέδιο των τυχαιοποιημένων πλήρων ομάδων προσφέρει μεγαλύτερη ακρίβεια σε σχέση με το εντελώς τυχαιοποιημένο σχέδιο. Μεγάλο πλεονέκτημα αυτού του σχεδίου είναι η έλλειψη περιορισμού στον αριθμό των επαναλήψεων και των ομάδων. Παρουσιάζει τη μεγάλη ευκολία ότι αν λείπουν κάποια δεδομένα υπάρχει δυνατότητα να υπολογιστούν χωρίς δυσκολία και να ενσωματωθούν με τα υπόλοιπα δεδομένα. Η στατιστική του ανάλυση είναι σχετικά απλή. Αντίθετα, παρουσιάζει το μειονέκτημα ότι στην περίπτωση που η παραλλακτικότητα μεταξύ των ομάδων είναι πολύ μεγάλη, ενδέχεται να υπάρχει μεγάλο πειραματικό λάθος. Αυτό συμβαίνει όταν ο αριθμός των επεμβάσεων είναι μεγάλος, κάτι που δεν ισχύει στο παρόν πείραμα (Δαλιάνης, 1984).

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ



Όπου 0Υ1A, 0Υ2A: είναι τα δύο διαφορετικά επίπεδα υγρασίας

0Υ1A, 0Υ2A, 0Υ1B, 0Υ2B: Τα 2 διαφορετικά επίπεδα υγρασίας του μάρτυρα για τις δύο επαναλήψεις

1.000 Υ1A, 1.000 Υ2A, 1.000 Υ1B, 1.000 Υ2B: Τα 2 διαφορετικά επίπεδα υγρασίας της συγκέντρωσης αργιλίου 1.000 ppm για τις δύο επαναλήψεις

2.000 Υ1A, 2.000Υ2A, 2.000 Υ1B, 2.000 Υ2B: Τα 2 διαφορετικά επίπεδα υγρασίας της συγκέντρωσης αργιλίου 2.000 ppm για τις δύο επαναλήψεις

3.000 Υ1A, 3.000Υ2A, 3.000 Υ1B, 3.000 Υ2B: Τα 2 διαφορετικά επίπεδα υγρασίας της συγκέντρωσης αργιλίου 2.000 ppm τις δύο επαναλήψεις

Μελετήθηκαν 3 επίπεδα αλουμινίου, το πρώτο στα 1.000, το δεύτερο στα 2.000, το τρίτο στα 3.000 ppm και υπήρχε και ο μάρτυρας. Στον μάρτυρα είχαμε 1.000 ml απιονισμένου νερού το οποίο κατανεμήθηκε ισόποσα στα 4 δοχεία των επαναλήψεων για τον μάρτυρα. Στο πρώτο επίπεδο του αλουμινίου χρησιμοποιήθηκαν 5,78 g υδροξειδίου του αλουμινίου και το υπόλοιπο της ογκομετρικής των 1.000 ml γέμισε με απιονισμένο νερό. Η ογκομετρική ανακινήθηκε για ώρες και μετά μοιράστηκε στα 4 δοχεία των επαναλήψεων ισόποσα. Για το δεύτερο επίπεδο του αλουμινίου χρησιμοποιήθηκαν 11,56 g υδροξειδίου του αλουμινίου και στο υπόλοιπο της ογκομετρικής των 1.000 ml προστέθηκε απιονισμένο νερό. Όπως και προηγουμένως μοιράστηκε το διάλυμα στα 4 δοχεία των επαναλήψεων. Στο τρίτο και τελευταίο επίπεδο του αλουμινίου χρησιμοποιήθηκαν 17,34 g υδροξειδίου του αλουμινίου και το υπόλοιπο της ογκομετρικής των 1.000 ml γέμισε με απιονισμένο νερό. Χρησιμοποιήσαμε τα συγκεκριμένα υδροξείδια ακολουθώντας πρακτικές άλλων πειραμάτων (Δελλαπόρτα, 2004).

Χρησιμοποιήθηκαν 2 επίπεδα υγρασίας, το Υ1 που ήταν στο 100% της υδατοχωρητικότητας και το Υ2 που ήταν στο 60% της υδατοχωρητικότητας. Το κάθε κιβώτιο περιείχε 1 kg ξηρό έδαφος και με βάση την υδατοχωρητικότητα τα Υ1 είχαν τελικό βάρος 1.320 g και τα Υ2 είχαν 1.192 g.

Η συλλογή χώματος έγινε από τον αγρό του Γ.Π.Α., το οποίο κοσκινίστηκε με κόσκινο των 2 χιλιοστών. Σε όλα τα 16 δοχεία προστέθηκε 1 kg από το κοσκινισμένο αυτό χώμα.



Εικόνα 10 Συλλογή γαιοσκωλήκων

Η συλλογή των γαιοσκωλήκων έγινε από τον αγρό του ΕΘΙΑΓΕ (23°04'12.16'' N, 23°46'30.89'' E, 196 m SAL) στη Λυκόβρυση. Κατόπιν οι γαιοσκώληκες μεταφέρθηκαν μέσα σε δοχεία στο εργαστήριο της Γεωργίας στο Γ.Π.Α. Χωρίστηκαν σε ομάδες των 3, με τρόπο τέτοιο ώστε να υπάρχει ομοιομορφία μεγέθους (Εικόνες 8, 9). Σε κάθε δοχείο προστέθηκαν 3 άτομα γαιοσκωλήκων και φύλλα για την τροφή τους.

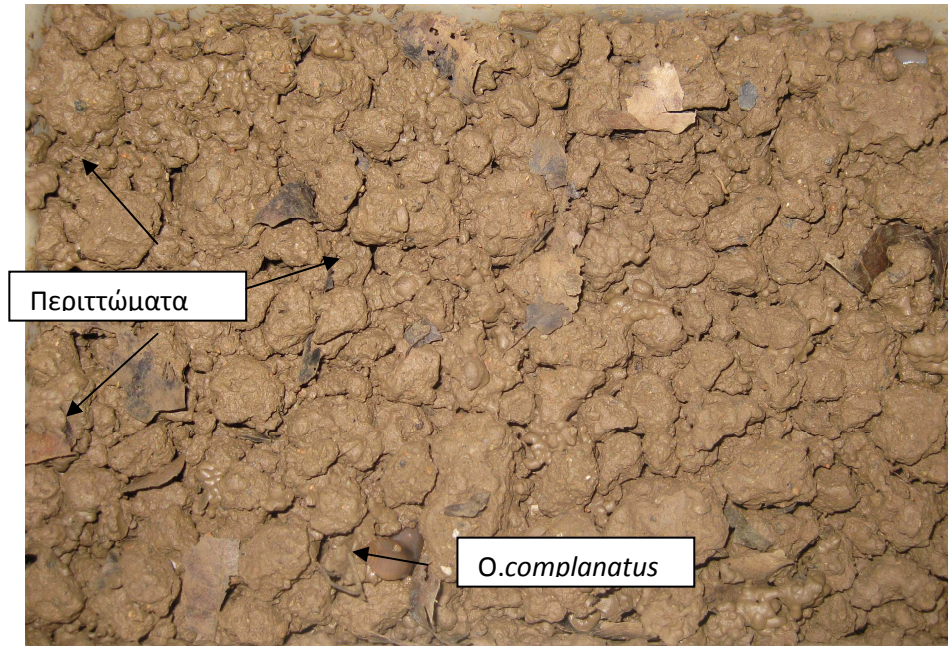


Εικόνα 11 Διαλογή 3 ατόμων *Octodrilus complanatus* ανά δοχείο και πριν την τοποθέτησή τους στο δοχείο με το εδαφικό υπόστρωμα (έδαφος+αργίλιο+νερό)

Τα χώματα στα δοχεία αφού είχαν προστεθεί οι αντίστοιχες ποσότητες αλουμινίου, αναδεύοντουσαν συχνά και για μεγάλο διάστημα έτσι ώστε να γίνει ομοιόμορφη κατανομή του αλουμινίου. Οι γαιοσκώληκες (3 άτομα ανά μεταχείριση) τοποθετήθηκαν στην επιφάνεια του εδάφους μέσα στα δοχεία στις 2 Νοεμβρίου 2009 και παρέμειναν εκεί έως το τέλος του πειράματος, στις 22 Δεκεμβρίου 2009 (Εικόνες 11,12).



Εικόνα 12 Γαιοσκώληκες *Octodrilus complanatus* λίγο μετά την τοποθέτησης τους στο πειραματικό δοχείο και πριν εισχωρήσουν μέσα στο εδαφικό υποστρώμα (από το αρχείο της παρούσας μελέτης, -Τζωρτζη, Ι.Ε.)



Εικόνα 13 Αφθονία περιττωμάτων των *Octodrilus complanatus* κατά την παραμονή τους μέσα στο δοχείο με το εδαφικό υπόστρωμα (από το αρχείο της παρούσας μελέτης, -Τζωρτζη, Ι.Ε.)

Πίνακας 2.1 Βάρος γαιοσκωλήγων κατά την έναρξη του πειράματος.

ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ		ΖΩΑ		M.O. ΖΩΟΥ
0Y1A	7,76	5,63	3,47	5,62
0Y2A	6,87	6,81	3,36	5,68
0Y1B	6,58	5,79	4,28	5,72
0Y2B	6,98	6,15	4,16	5,76
1000Y1A	8,78	5,62	3,94	6,11
1000Y2A	7,51	5,8	3,86	5,72
1000Y1B	7,34	5,95	3,52	5,60
1000Y2B	7,47	5,92	3,42	5,60
2000Y1A	8,46	5,03	3,79	5,76
2000Y2A	7,87	5,03	4,87	5,92
2000Y1B	6,76	5,73	4,57	5,69
2000Y2B	6,52	5,97	4,27	5,59
3000Y1A	8	4,73	3,66	5,46
3000Y2A	7,38	7,1	4,76	6,41
3000Y1B	6,86	5,36	3,32	5,18
3000Y2B	6,2	6,08	4,82	5,70

Οι γαιοσιώληκες λάμβαναν τροφή 2 φορές την εβδομάδα. Η τροφή ήταν αποκλειστικά είτε ξηρά φύλλα ίσης ποσότητας ανά δοχείο, τα οποία κοβόντουσαν σε μικρά κομμάτια και τους αφήναμε στην επιφάνεια. Η υγρασία του κάθε δοχείου μετριόταν 2 φορές την εβδομάδα και αν κρινόταν απαραίτητο διορθώνονταν. Η θερμοκρασία του εδάφους ελέγχθηκε 2 φορές κατά τη συνολική διάρκεια του πειράματος.

Φτιάχτηκε ειδικό διαφανές σταυρόνημα το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την καταγραφή των θέσεων των περιττωμάτων. Η καταγραφή τους γινόταν 2 φορές την εβδομάδα με την τεχνική διασταύρωσης των γραμμών “line intersect method” με τύπο $R = \pi NA / 2H$, όπου R:κοπρολύματα, N:διασταύρωση, A:περιοχή, H:ολικό μήκος σταυρού και $\pi:3.14$ (Newman, 1966).



Εικόνα 14 Το σταυρόνημα που χρησιμοποιήθηκε για την καταγραφή των θέσεων των περιττωμάτων.

Οι θέσεις των περιττωμάτων αφού καταγράφονταν με τη βοήθεια του ειδικού σταυρονήματος καταχωρούνταν σε ένα ειδικό έντυπο καταγραφής για να μπορεί να γίνει η παρακολούθηση των θέσεων τους.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	X	X	X								X				X						X	X	X							
2																														
3																														
4																														
5																														
6																														
7																														
8																														
9																														
10																														
11																														
12																														
13																														
14																														
15																														
16																														

Εικόνα 15 Έντυπο καταγραφής των θέσεων των περιττωμάτων.

Την τέταρτη εβδομάδα διεξαγωγής του πειράματος έγινε έλεγχος των γαιοσκωλήκων. Αναποδογυρίστηκε το κάθε δοχείο, ζυγίστηκαν οι γαιοσκωλήκες του κάθε δοχείου, τα συσσωματώματα χώματος που τυχόν είχαν δημιουργηθεί έσπασαν. Παρατηρήθηκαν ζωηρές αντιδράσεις από τα ζώα, το σώμα τους ήταν γυαλιστερό, υπήρχαν φρέσκα περιττώματα και στοές (κανάλια). Δεν παρατηρήθηκαν αντιδράσεις βλάβης σε κανένα ζώο. Από τον έλεγχο του βάρους των γαιοσκωλήκων φάνηκε ότι δεν είχαν αξιόλογη μείωση του βάρους τους.

Την έβδομη εβδομάδα το πείραμα ολοκληρώθηκε, οι γαιοσιώληγες περισυνελλέχθησαν, μετρήθηκε το βάρος και μπήκε το κάθε ζώο από τα 46 συνολικά σε τρυβλίο petri σε υγρό περιβάλλον για τέσσερις ημέρες για να αποβάλλουν τα περιττώματα (empty gut). Η διαδικασία αυτή γίνεται για την κένωση του εντέρου του γαιοσιώληγα από το χώμα, ώστε να είναι ορατή η συσσώρευση και κατανομή του αλουμινίου στο σώμα του.

Τα ζώα στη συνέχεια μεταφέρθηκαν σε βαθιά κατάψυξη κάτω από τους -40°C . Ακολούθησε τέφρωση των ζώων και ο ποσοτικός προσδιορισμός του αλουμινίου στους ιστούς τους έγινε με τη χρήση της ατομικής απορρόφησης.

2.3 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΙ – ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Οι μετρήσεις έγιναν όταν ολοκληρώθηκε το πείραμα δηλαδή 50 ημέρες μετά την έναρξη του πειράματος.

2.3.1 pH: Το pH μετρήθηκε σε υδατικό αιώρημα με αναλογία εδάφους-ύδατος 1:1, δηλαδή 50 γραμμάρια κοσκινισμένο χώμα και 50 ml απιονισμένο νερό με pH-μετρώ πλαστικού ηλεκτροδίου “gel filling”, αφού αφέθηκε για εξισορρόπηση περίπου 60 λεπτά (McClean, 1982).

2.3.2 Ηλεκτρική αγωγιμότητα: Προσδιορίστηκε με αγωγιμόμετρο και εκφράζεται σε $\mu\text{S}/\text{cm}$.

2.3.3 Ικανότητα Ανταλλαγής Κατιόντων (I.A.K.): Για τον προσδιορισμό της I.A.K. αρχικά επιτυγχάνεται κορεσμός των εδαφικών κolloειδών με ιόντα

νατρίου με τη χρήση 1N Οξικού νατρίου (CH_3COONa) σε pH 8,2, ακολούθως γίνεται έκπλυση της περίσσειας νατρίου με αλκοόλη και τελικά εκχύλιση των ιόντων νατρίου με προσθήκη 1N οξικού αμμωνίου ($\text{CH}_3\text{COONH}_4$) σε pH 7,0. Τα ελεύθερα ιόντα νατρίου μετρήθηκαν με φλογοφωτόμετρο (Black, 1965).

2.3.4 Κοκκομετρική σύσταση: Έγινε με τη μέθοδο των υδρομέτρων Βουγιούκου, που στηρίζεται στην αρχή της καθίζησης της ιλύος και της αργίλου, σύμφωνα με το νόμο του Stokes.

2.3.5 Ολικό-N: Ο προσδιορισμός στο έδαφος έγινε με την μέθοδο Kjeldahl που στηρίζεται στη μετατροπή όλων των μορφών του αζώτου σε κατιόντα αμμωνίου και στη συνέχεια στον προσδιορισμό του (Bremer, 1960).

2.3.6 Ενεργό Ca^{++} : Ο προσδιορισμός έγινε με τη μέθοδο Drouineau-Gallet (Αλεξιάδης 1976), που βασίζεται στην μέτρηση του οξαλικού ανιόντος, που συγγρατείται από το έδαφος, με διάλυμα KMnO_4 .

2.3.7 Νιτρικά - Αμμωνιακά: Αυτά προσδιορίστηκαν με τη μέθοδο αναγωγής με στήλες καδμίου (APHA, AWWA, WPCF, 1989).

2.3.8. Αλουμίνιο: Τα δυο στη συνέχεια μεταφέρθηκαν σε υπερκαταψύκτη (-40°C), ενώ κατά τη μεταφορά παρατηρήθηκε απώλεια χρώματος. Στην συνέχεια έγινε τέφρωση του βιολογικού υλικού, προκειμένου να ζυγιστεί το

βάρος σε ξηρή μάζα και όχι σε υγρή. Η διαδικασία αυτή ξεκινάει με στέγνωμα στους 1000C, παραμονή των ζώων εκεί για 30'. Η θερμοκρασία αυξήθηκε στους 100 μέχρι και τους 200 μετά στους 5000C, στο φούρνο μέχρι τέφρωσης του ιστού (απώλεια οργανικής μάζας).

Τα ζώα τοποθετήθηκαν σε φούρνο, σε ειδικά χωνευτήρια, με σταδιακή αύξηση 250C κάθε μισή ώρα, από τους 300 μέχρι τους 5000C. Παρατηρήθηκε εκτίναξη του ιστού στους 3000C. Για την απομάκρυνση των ριζών από το $Al(OH)_3$ έγινε διαλυτοποίηση με HCl. (ISO DIS..Soil quality-Effects of pollutants on earthworms, (*Eisenia fetida*) Part 2. determination of effects on reproduction .No-11268-2 1996, Geneve)

2.4 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Οι συγκρίσεις μέσω έγιναν με το κριτήριο της ΕΣΔ για επίπεδο 5% και χρησιμοποιήθηκε τόσο για την ανάλυση διασποράς, όσο και για τις συγκρίσεις. Το στατιστικό πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε είναι το Statistica (Stat soft 1996).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ

Αποτελέσματα Εδάφους

3.1 ΟΞΥΤΗΤΑ ΕΔΑΦΟΥΣ (pH)

Όπως φαίνεται και από το Πίνακα 3.1 δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$. Από τον πίνακα 3.2 φαίνεται ότι το pH στον μάρτυρα έχει τη σχετικά χαμηλότερη τιμή ενώ στην υψηλότερη συγκέντρωση C4 Αλουμινίου (3.000 ppm) μετρήθηκε η υψηλότερη τιμή για το pH.

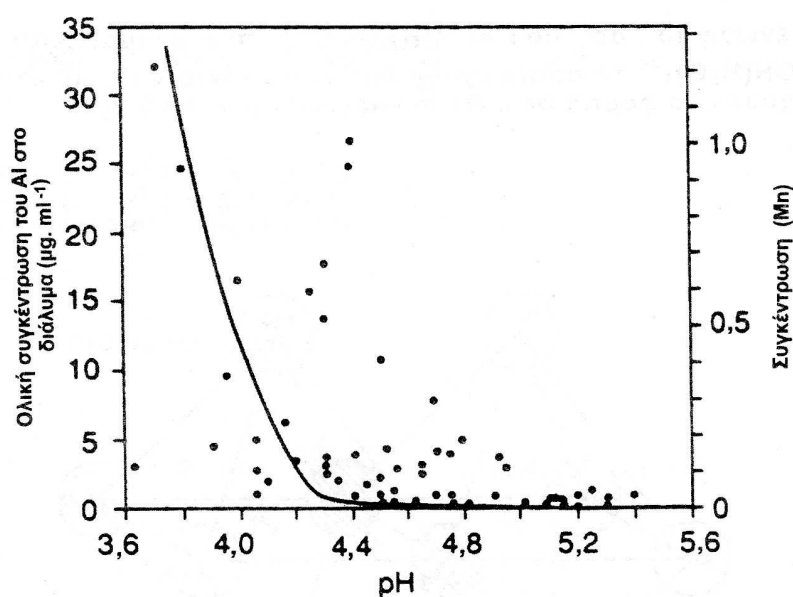
Πίνακας 3.1 Ανάλυση διασποράς για το pH για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$ (οι έντονοι αριθμοί δείχνουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές).

	Άθροισμα τετραγώνων	B.E.	Μέσο τετραγώνων	F	p-level
Συγκέντρωση	0,214	3	0,071	7,530	0,066
ΣυγκέντρωσηxΕπανάληψη	0,028	3	0,009		
Υγρασία	0,000	1	0,000	0,044	0,868
ΥγρασίαxΕπανάληψη	0,009	1	0,009		
ΣυγκέντρωσηxΥγρασία	0,053	3	0,018	4,965	0,110
ΣυγκενχΥγρασίαxΕπαναλ.	0,011	3	0,004		

Πίνακας 3.2 Σύγκριση μέσων για το pH (Όπου $\gamma_1=100\%$ της υδατοχωρητικότητας, $\gamma_2=60\%$ της υδατοχωρητικότητας, $c_1=0$ ppm, $c_2=1.000$ ppm, $c_3=2.000$ ppm και $c_4=3.000$).

Στήλη1	c1	c2	c3	c4	M.O.	ΕΣΔ _{5%}
γ1	7,23	7,38	7,56	7,68	7,46	Ns
γ2	7,37	7,47	7,52	7,53	7,47	Ns
M.O.	7,30	7,42	7,54	7,60		
ΕΣΔ_{5%}	Ns	Ns	ns	Ns		

Παρατηρούμε ότι όσο αυξανόταν η συγκέντρωση του αλουμινίου τόσο αυξανόταν η τιμή του pH. Ο Dickson (1978) έχει αναφέρει σημαντική συσχέτιση μεταξύ χαμηλού pH και υψηλής συγκέντρωσης αλουμινίου.



Εικ. 12 Η συγκέντρωση του αργιλίου σε όξινα εδαφικά διαλύματα. Η καμπύλη της γραφική παράστασης απεικονίζει τη θεωρητική ολική συγκέντρωση του αργιλίου στο διάλυμα που βρίσκεται σε χημική ισορροπία με τον γκιφίτη. Η

συγκέντρωση έχει υπολογιστεί από το Wild (1988) με την προϋπόθεση ότι μόνο Al^{3+} υπάρχει στο διάλυμα.

Από το διάγραμμα παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις του αργιλίου σε όξινα εδαφικά διαλύματα. Διαπιστώνεται ότι μικρή ποσότητα αργιλίου υπάρχει στο διάλυμα σε $pH > 5,5$ (Μήτσιος, Ι. 1999).

3.2 ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ

Όπως φαίνεται και από το Πίνακα 3.3 δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$. Από τον πίνακα 3.4 φαίνεται ότι η αγωγιμότητα στη συγκέντρωση C3 (2.000 ppm) έχει τη χαμηλότερη τιμή.

Πίνακας 3.3 Ανάλυση διασποράς για την αγωγιμότητα για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$ (οι έντονοι αριθμοί δείχνουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές).

	Άθροισμα τετραγώνων	B.E.	Μέσο τετραγώνων	F	p-level
Συγκέντρωση	0,026	3	0,009	0,368	0,783
ΣυγκέντρωσηΕπανάληψη	0,072	3	0,024		
Υγρασία	0,001	1	0,001	0,766	0,542
ΥγρασίαΕπανάληψη	0,002	1	0,002		
ΣυγκέντρωσηΥγρασία	0,035	3	0,012	2,932	0,200
ΣυγκενχΥγρασίαΕπαναλ.	0,012	3	0,004		

Πίνακας 3.4 Σύγκριση μέσων για την αγωγιμότητα (Όπου $y_1=100\%$ της υδατοχωρητικότητας, $y_2=60\%$ της υδατοχωρητικότητας, $c_1=0$ ppm, $c_2=1.000$ ppm, $c_3=2.000$ ppm και $c_4=3.000$).

Στήλη1	c1	c2	c3	c4	M.O.	ΕΣΔ _{5%}
y1	1,63	1,72	1,53	1,52	1,60	Ns
y2	1,61	1,61	1,58	1,67	1,62	Ns
M.O.	1,62	1,67	1,55	1,59		
ΕΣΔ_{5%}	Ns	Ns	ns	Ns		

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι ανάλογη της συνολικής συγκέντρωσης ιόντων στο διάλυμα.

3.3 ΙΑΚ

Όπως φαίνεται και από το Πίνακα 3.5 δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$. Από τον πίνακα 3.6 φαίνεται ότι η ΙΑΚ στη συγκέντρωση C2 (1.000 ppm) έχει την υψηλότερη τιμή, ενώ στην υψηλότερη συγκέντρωση C4 του Αλουμινίου (3.000 ppm) καταγράφηκε η χαμηλότερη τιμή της ΙΑΚ.

Πίνακας 3.5 Ανάλυση διασποράς για την Ικανότητα Ανταλλαγής Κατιόντων (ΙΑΚ) για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$ (οι έντονοι αριθμοί δείχνουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές).

	Άθροισμα τετραγώνων	B.E.	Μέσο τετραγώνων	F	p-level
Συγκέντρωση	0,492	3	0,164	0,072	0,971
ΣυγκέντρωσηxΕπανάληψη	6,796	3	2,265		
Υγρασία	0,608	1	0,608	1,260	0,463
ΥγρασίαxΕπανάληψη	0,483	1	0,483		
ΣυγκέντρωσηxΥγρασία	1,895	3	0,632	2,693	0,219
ΣυγκενxΥγρασίαxΕπαναλ.	0,704	3	0,235		

Πίνακας 3.6 Σύγκριση μέσων για την Ικανότητα Ανταλλαγής Κατιόντων (ΙΑΚ) (Όπου $y_1=100\%$ της υδατοχωρητικότητας, $y_2=60\%$ της υδατοχωρητικότητας, $c_1=0$ ppm, $c_2=1.000$ ppm, $c_3=2.000$ ppm και $c_4=3.000$).

Στήλη1	c1	c2	c3	c4	M.O.	ΕΣΔ _{5%}
y1	28,48	29,31	28,91	27,91	28,65	Ns
y2	28,26	28,04	28,22	28,53	28,26	Ns
M.O.	28,37	28,67	28,57	28,22		
ΕΣΔ_{5%}	Ns	Ns	ns	Ns		

Ο λόγος AI/ΙΑΚ είναι αρκετά μεγάλος στα όξινα εδάφη που σημαίνει ότι το επί τοις εκατό ποσοστό του αργιλίου στη συνολική ποσότητα των ανταλλάξιμων κατιόντων (ΙΑΚ) είναι μεγάλο στα όξινα εδάφη (Μήτσιος, I., 1999).

3.4 ΟΛΙΚΟ ΑΖΩΤΟ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ

Όπως φαίνεται και από το Πίνακα 3.7 δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$. Από τον πίνακα 3.8 φαίνεται ότι το άζωτο στο έδαφος έχει τη μεγαλύτερη τιμή στην υψηλότερη συγκέντρωση C4 του Αλουμινίου (3.000 ppm).

Πίνακας 3.7 Ανάλυση διασποράς για το άζωτο στο έδαφος για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$ (οι έντονοι αριθμοί δείχνουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές).

	Άθροισμα τετραγώνων	B.E.	Μέσο τετραγώνων	F	p-level
Συγκέντρωση	0,085	3	0,028	0,786	0,576
ΣυγκέντρωσηxΕπανάληψη	0,108	3	0,036		
Υγρασία	0,039	1	0,039	1,179	0,474
ΥγρασίαxΕπανάληψη	0,033	1	0,033		
ΣυγκέντρωσηxΥγρασία	0,111	3	0,037	1,017	0,495
ΣυγκενχΥγρασίαxΕπαναλ.	0,109	3	0,036		

Πίνακας 3.8 Σύγκριση μέσων για το άζωτο στο έδαφος (Όπου $y_1=100\%$ της υδατοχωρητικότητας, $y_2=60\%$ της υδατοχωρητικότητας, $c_1=0$ ppm, $c_2=1.000$ ppm, $c_3=2.000$ ppm και $c_4=3.000$).

Στήλη1	c1	c2	c3	c4	M.O.	ΕΣΔ _{5%}
Y1	0,12	0,11	0,10	0,08	0,10	Ns
Y2	0,13	0,11	0,09	0,47	0,20	Ns
M.O.	0,13	0,11	0,10	0,28		
ΕΣΔ_{5%}	Ns	Ns	Ns	Ns		

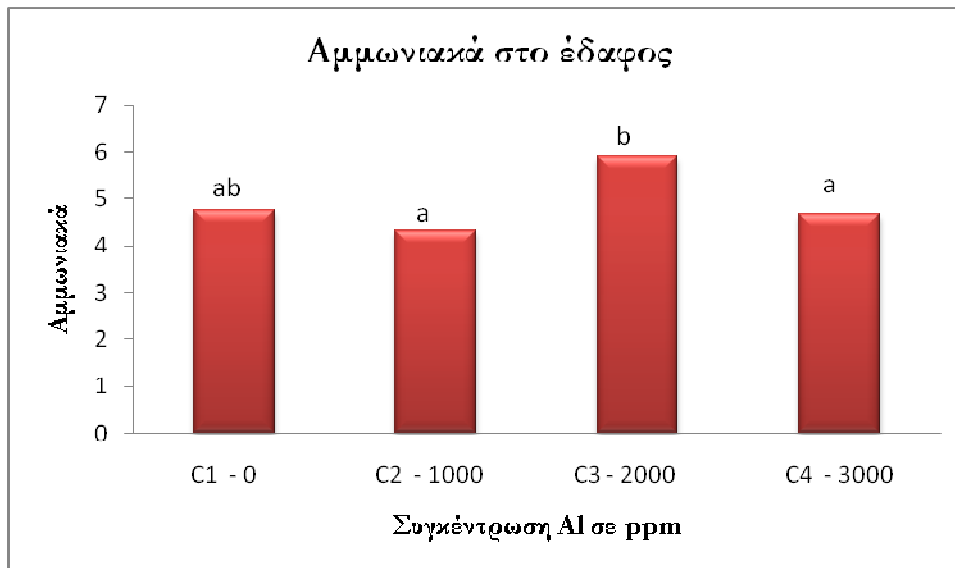
3.5 ΑΜΜΩΝΙΑΚΑ

Όπως φαίνεται και από τον Πίνακα 3.9 στατιστικά σημαντική επίδραση άσκησε η συγκέντρωση ($F= 12,257$; $p=0,034$) ενώ η υγρασία δεν επηρέασε στατιστικά σημαντικά ($F= 0,004$; $p=0,959$). Επίσης δεν παρατηρήθηκε αλληλεπίδραση μεταξύ των παραμέτρων.

Πίνακας 3.9 Ανάλυση διασποράς για το αμμωνιακά στο έδαφος για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$ (οι έντονοι αριθμοί δείχνουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές).

	Άθροισμα τετραγώνων	B.E.	Μέσο τετραγώνων	F	p-level
Συγκέντρωση	5,738	3	1,913	12,257	0,034
ΣυγκέντρωσηxΕπανάληψη	0,468	3	0,156		
Υγρασία	0,007	1	0,007	0,004	0,959
ΥγρασίαxΕπανάληψη	1,671	1	1,671		
ΣυγκέντρωσηxΥγρασία	4,068	3	1,356	3,306	0,176
ΣυγκενxΥγρασίαxΕπαναλ.	1,230	3	0,410		

Τα επίπεδα των αμμωνιακών ήταν υψηλότερα στη συγκέντρωση C3 (2.000 ppm) και οι διαφορές με τις συγκεντρώσεις C1 και C4 ήταν στατιστικά σημαντικές για επίπεδο $\alpha=0,5\%$, ενώ αντίθετα οι διαφορές με τον μάρτυρα δεν ήταν στατιστικά σημαντικές για επίπεδο $\alpha=0,5\%$ (Διάγραμμα 3.1).



Διάγραμμα 3.1 Επίδραση της συγκέντρωσης του αλουμινίου πάνω στην συγκέντρωση των αμμωνιακών στο έδαφος (τα διαφορετικά γράμματα σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$).

Κατά την απαμίνωση, τη διαδικασία δηλαδή της απομάκρυνσης του N από τα πεπτιδια υπό την μορφή του $-NH_2$ που μετατρέπεται τελικά σε NH_4^+ , τα παραγόμενα κατιόντα NH_4^+ υπόκεινται στη συνέχεια είτε σε προσρόφηση στην επιφάνεια των κολοειδών της αργίλου ή του χούμου ή νιτροποιούνται κατά τα μεγαλύτερο ποσοστό (Κουκουλάκης, Π., 2000). Παρατηρήθηκε λοιπόν παρόμοια συμπεριφορά με τις τιμές του pH γιατί οι τιμές του pH επηρεάζουν την απαμίνωση.

3.5 ΝΙΤΡΙΚΑ

Όπως φαίνεται και από το Πίνακα 3.10 δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$. Από τον πίνακα 3.11 φαίνεται ότι η μεγαλύτερη τιμή για τα νιτρικά ήταν στη συγκέντρωση C2 του Αλουμινίου (1.000 ppm).

Πίνακας 3.10 Ανάλυση διασποράς για τα νιτρικά για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$ (οι έντονοι αριθμοί δείχνουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές).

	Άθροισμα τετραγώνων	B.E.	Μέσο τετραγώνων	F	p-level
Συγκέντρωση	227,072	3	75,691	1,854	0,312
ΣυγκέντρωσηxΕπανάληψη	122,455	3	40,818		
Υγρασία	3,098	1	3,098	0,116	0,791
ΥγρασίαxΕπανάληψη	26,729	1	26,729		
ΣυγκέντρωσηxΥγρασία	109,729	3	36,576	3,320	0,175
ΣυγκενχΥγρασίαxΕπαναλ.	33,051	3	11,017		

Πίνακας 3.11 Σύγκριση μέσων για τα νιτρικά (Όπου $\gamma_1=100\%$ της υδατοχωρητικότητας, $\gamma_2=60\%$ της υδατοχωρητικότητας, $c_1=0$ ppm, $c_2=1.000$ ppm, $c_3=2.000$ ppm και $c_4=3.000$).

Στήλη1	c1	c2	c3	c4	M.O.	ΕΣΔ_{5%}
γ_1	18,10	24,97	10,73	9,19	15,74	Ns
γ_2	15,79	16,45	12,38	14,85	14,86	Ns
M.O.	16,94	20,71	11,55	12,02		
ΕΣΔ_{5%}	Ns	Ns	ns	Ns		

Ένα μεγάλο ποσοστό από τα κατιόντα NH_4^+ νιτροποιείται με τη δράση ορισμένων νιτροποιητικών μικροοργανισμών και μεταβάλλεται σε NO_2^- και στη συνέχεια σε NO_3^- . Η μετατροπή αυτή είναι γνωστή ως νιτροποίηση. Πολλοί παράγοντες επιδρούν στη νιτροποίηση, όπως ο αερισμός εδάφους, η

θερμοκρασία, το επίπεδο της οργανικής ουσίας και το pH. Σε pH = 6 νιτροποιείται περισσότερο NH_4^+ παρά σε pH με χαμηλότερη τιμή (Κουκουλάκης, Π., 2000). Η σχέση NH_4^+ - NO_3^- επηρεάζεται από τις τιμές του pH.

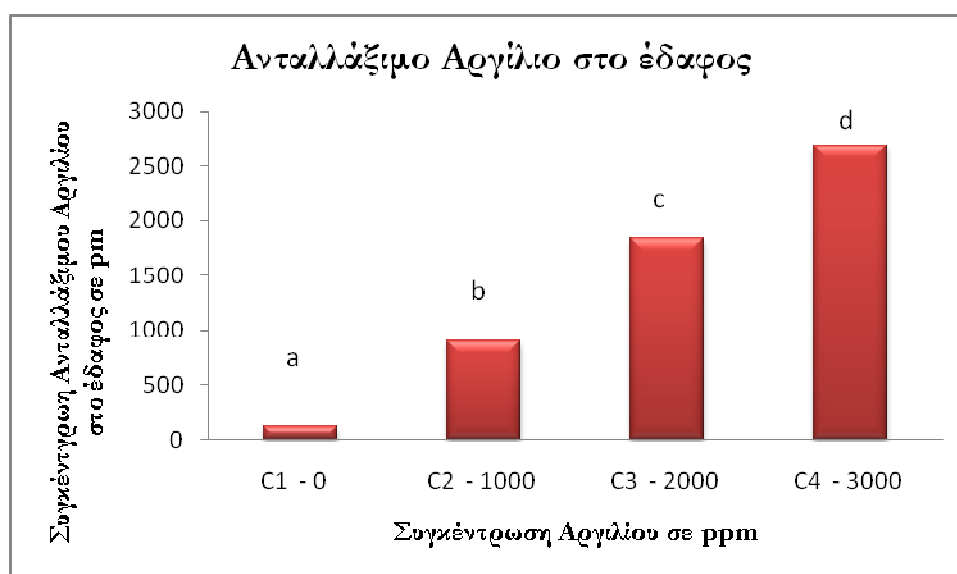
3.6 ΑΝΤΑΛΛΑΞΙΜΟ ΑΡΓΙΛΙΟ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ

Όπως φαίνεται και από τον Πίνακα 3.12 στατιστικά σημαντική επίδραση άσκησε η συγκέντρωση ($F= 1572,918$; $p=0,000$) ενώ η υγρασία δεν επηρέασε στατιστικά σημαντικά ($F= 0,3380$; $p=0,665$). Επίσης δεν παρατηρήθηκε αλληλεπίδραση μεταξύ των παραμέτρων.

Πίνακας 3.12 Ανάλυση διασποράς για το ανταλλάξιμο αργίλιο στο έδαφος για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$ (οι έντονοι αριθμοί δείχνουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές).

	Άθροισμα τετραγώνων	B.E.	Μέσο τετραγώνων	F	p-level
Συγκέντρωση	14970542	3	4990181	1572,918	0,001
ΣυγκέντρωσηxΕπανάληψη	9518	3	3173		
Υγρασία	1914,0625	1	1914,0625	0,3380	0,665
ΥγρασίαxΕπανάληψη	5662,5625	1	5662,5625		
ΣυγκέντρωσηxΥγρασία	6867,1875	3	2289,0625	0,3404	0,800
ΣυγκενχΥγρασίαxΕπαναλ.	20172,6875	3	6724,229004		

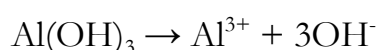
Τα επίπεδα του ανταλλάξιμου αργιλίου στο έδαφος ήταν υψηλότερα στην υψηλότερη συγκέντρωση Αλουμινίου (3.000 ppm) (2.685,0 ppm Al/kg εδάφους) και οι διαφορές με τις άλλες συγκεντρώσεις ήταν στατιστικά σημαντικές για επίπεδο $\alpha=0,5\%$ (Διάγραμμα 3.2). Επίσης στα δοχεία του μάρτυρα μετρήθηκε η μικρότερη συγκέντρωση ανταλλάξιμου αργιλίου (118,75 ppm Al/kg εδάφους).



Διάγραμμα 3.2 Επίδραση της συγκέντρωσης του αλουμινίου πάνω στην συγκέντρωση του ανταλλάξιμου αργιλίου στο έδαφος (τα διαφορετικά γράμματα σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$).

Η συγκέντρωση του αργιλίου στο εδαφικό διάλυμα εξαρτάται από τη διαλυτότητα του γκιψίτη, τα προϊόντα υδρόλυσης του αργιλίου στο διάλυμα και την αντίδραση του αργιλίου με τις οργανικές διαλυτές σύμπλοκες ενώσεις.

Ο γκιψίτης διαλύεται και παράγονται ιόντα αργιλίου και υδροξυλίων



Το αργίλιο σχηματίζει πολλές πολυμερείς ενώσεις, αλλά η χημική τους δομή δεν έχει προσδιορισθεί με ακρίβεια.

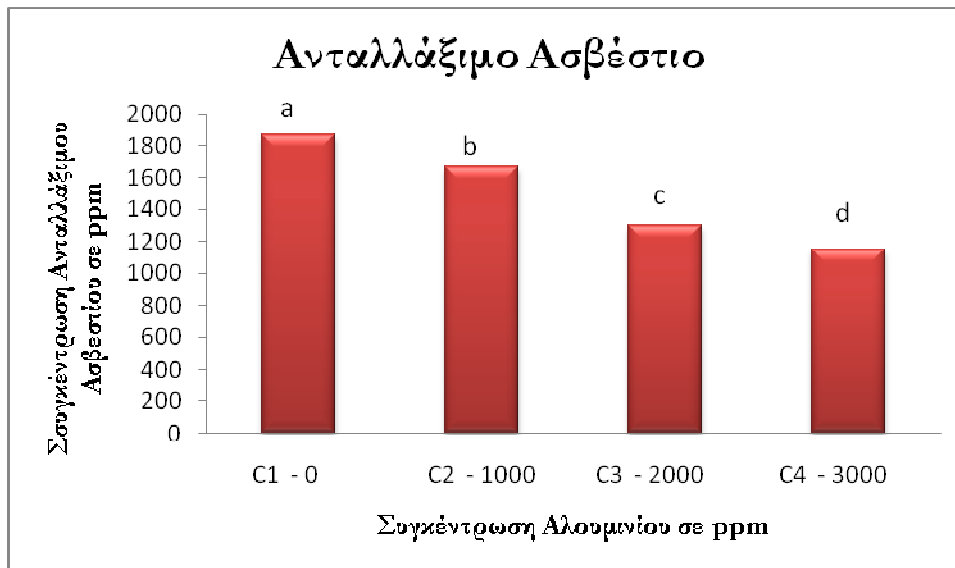
3.7 ΑΝΤΑΛΛΑΞΙΜΟ ΑΣΒΕΣΤΙΟ

Όπως φαίνεται και από τον Πίνακα 3.13 στατιστικά σημαντική επίδραση άσκησε η συγκέντρωση ($F= 156,9; p=0,0008$) ενώ η υγρασία δεν επηρέασε στατιστικά σημαντικά ($F= 0,08; p=0,82$). Επίσης δεν παρατηρήθηκε αλληλεπίδραση μεταξύ των παραμέτρων.

Πίνακας 3.13: Ανάλυση διασποράς για το ανταλλάξιμο ασβέστιο για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$ (οι έντονοι αριθμοί δείχνουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές).

	Άθροισμα τετραγώνων	B.E.	Μέσο τετραγώνων	F	p-level
Συγκέντρωση	1305218,8	3	435072,91	156,90083	0,000854
ΣυγκέντρωσηxΕπανάληψη	8318,75	3	2772,9167		
Υγρασία	506,25	1	506,25	0,0842872	0,8201199
ΥγρασίαxΕπανάληψη	6006,25	1	6006,25		
ΣυγκέντρωσηxΥγρασία	8318,75	3	2772,9167	0,2485528	0,8585652
ΣυγκενχΥγρασίαxΕπαναλ.	33468,75	3	11156,25		

Τα επίπεδα του ανταλλάξιμου ασβεστίου ήταν υψηλότερα στα δοχεία του μάρτυρα (1.8867,5 mg Ca⁺⁺/kg εδάφους) και οι διαφορές με τις άλλες συγκεντρώσεις ήταν στατιστικά σημαντικές για επίπεδο $\alpha=0,5\%$ (Διάγραμμα 3.3). Επίσης στην υψηλότερη συγκέντρωση Αλουμινίου (3.000 ppm) μετρήθηκε η μικρότερη συγκέντρωση ανταλλάξιμου ασβεστίου (1.150 mg Ca⁺⁺/kg εδάφους).



Διάγραμμα 3.3 Επίδραση της συγκέντρωσης του αλουμινίου πάνω στην συγκέντρωση του ανταλλάξιμου ασβεστίου (τα διαφορετικά γράμματα σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$, $c1=0$ ppm, $c2=1.000$ ppm, $c3=2.000$ ppm και $c4=3.000$ ppm).

Οι γαιοσκωλήκες συμβάλλουν μέσω της δράσης τους στην αύξηση του ανταλλάξιμου ασβεστίου. Η αύξηση της συγκέντρωσης του αλουμινίου μειώνει τη δράση των γαιοσκωλήκων και συνεπώς την επίδραση τους στο ανταλλάξιμο ασβέστιο.

Οι Marino *et al* έδειξαν ότι υπάρχει διαφοροποίηση ανάμεσα στους πληθυσμούς των γαιοσκωλήκων σε φυσικά χαρακτηριστικά όπως είναι η ικανότητα πρόσληψης του ασβεστίου. Ανάλογα με το είδος των γαιοσκωλήκων, μπορούν να απορροφήσουν ασβέστιο από ορυκτή μορφή και να το αποδώσει σε ανταλλάξιμη μορφή.

Αποτελέσματα από γαιοσκώληκες

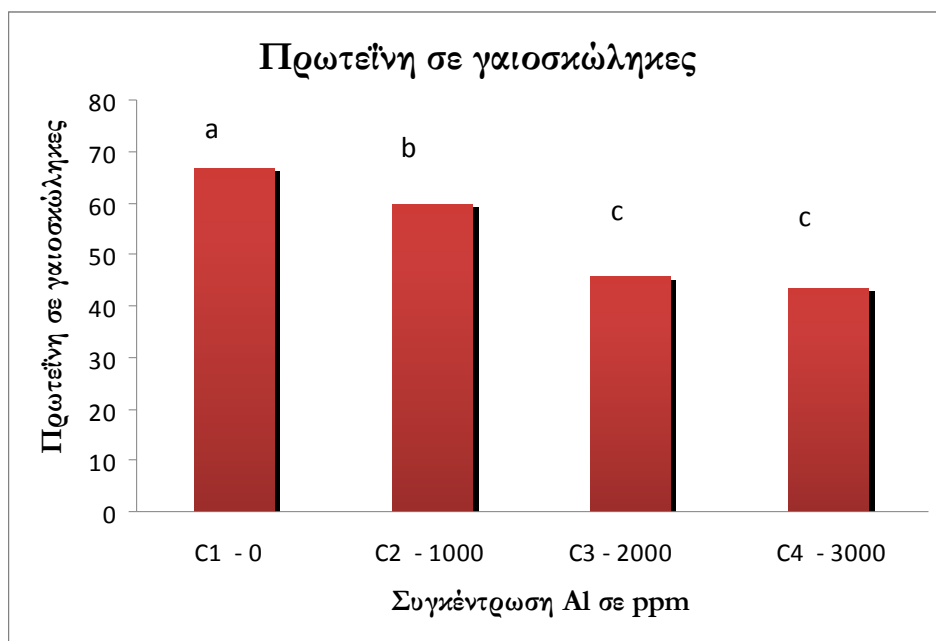
3.8 ΠΡΩΤΕΪΝΗ ΓΑΙΟΣΚΩΛΗΚΩΝ

Όπως φαίνεται και από τον Πίνακα 3.14 στατιστικά σημαντική επίδραση άσκησε η συγκέντρωση ($F= 275,0; p=0,000$) ενώ η υγρασία δεν επηρέασε στατιστικά σημαντικά ($F= 1,756; p=0,412$). Επίσης δεν παρατηρήθηκε αλληλεπίδραση μεταξύ των παραμέτρων.

Πίνακας 3.14: Ανάλυση διασποράς για την πρωτεΐνη για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$ (οι έντονοι αριθμοί δείχνουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές).

	Άθροισμα		Μέσο		
	τετραγώνων	B.E.	Τετραγώνων	F	p-level
Συγκέντρωση	1480,938	3	493,646	275,000	0,0001
ΣυγκέντρωσηxΕπανάληψη	5,385	3	1,795		
Υγρασία	2,744	1	2,744	1,756	0,412
ΥγρασίαxΕπανάληψη	1,563	1	1,563		
ΣυγκέντρωσηxΥγρασία	9,594	3	3,198	0,792	0,574
ΣυγκενχΥγρασίαxΕπαναλ.	12,107	3	4,036		

Τα επίπεδα της πρωτεΐνης βρέθηκαν υψηλότερα στα δοχεία του μάρτυρα (66,751)) και οι διαφορές με τις άλλες συγκεντρώσεις ήταν στατιστικά σημαντικές για επίπεδο $\alpha=0,5\%$. Οι διαφορές μεταξύ της συγκέντρωσης C3 και της συγκέντρωσης C4 δεν ήταν στατιστικά σημαντικές (Διάγραμμα 3.4). Επίσης στην υψηλότερη συγκέντρωση Αλουμινίου (3.000 ppm) μετρήθηκε η μικρότερη συγκέντρωση πρωτεΐνης (43,675).



Διάγραμμα 3.4 Επίδραση της συγκέντρωσης του αλουμινίου πάνω στην συγκέντρωση της πρωτεΐνης (τα διαφορετικά γράμματα σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$).

Οι γαιοσκώληκες είναι σχετικά μακρόβιοι οργανισμοί που ζουν σε ένα περιβάλλον πλούσιο σε μικροοργανισμούς. Επειδή τρέφονται απ' αυτό το υπόστρωμα προσλαμβάνουν μεγάλο ποσοστό απ' αυτούς τους μικροοργανισμούς (Kauschke *et al.*, 2007). Το ποσοστό πρωτεΐνης μέσα στους γαιοσκώληκες κυμαίνεται από 60 έως 80% (Lawrence & Millar, 1945; Sabine, 1978; Bouché, 1981).

Έχουν διεξαχθεί πολλές μελέτες πάνω στην περιεκτικότητα του σώματος των γαιοσκωλήκων σε αμινοξέα έτσι ώστε να εκτιμηθεί η πρωτεϊνική αξία των γαιοσκωλήκων ως πρωτεϊνούχα τροφή και πηγή απαραίτητων αμινοξέων για τα ζώα (Sabine, 1983; Lofs-Holmin, 1985; Edwards & Niederer, 1988).

3.9 ΒΑΡΟΣ ΓΑΙΟΣΚΩΛΗΚΩΝ

Το βάρος των γαιοσκωλήκων μετρήθηκε σε 3 ημερομηνίες κατά τη διάρκεια του πειράματος, η πρώτη ήταν στην αρχή του πειράματος (2-11-2009), η δεύτερη περίπου στα μισά 22 Η.Ε.Π. (24-11-2009) και η τρίτη στο τέλος του πειράματος 50 Η.Ε.Π. (22-12-2009).

ΒΑΡΟΣ 0 ΗΜΕΡΕΣ ΕΝΑΡΞΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Όπως φαίνεται και από το Πίνακα 3.15 δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$. Από τον πίνακα 3.16 φαίνεται ότι η μεγαλύτερη τιμή για το βάρος των γαιοσκωλήκων ήταν στη συγκέντρωση C2 του Αλουμινίου (1.000 ppm).

Πίνακας 3.15: Ανάλυση διασποράς για το βάρος των γαιοσκωλήκων 0 Η.Ε.Π. για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$ (οι έντονοι αριθμοί δείχνουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές).

	Άθροισμα τετραγώνων	B.E.	Μέσο τετραγώνων	F	p-level
Συγκέντρωση	0,014	3	0,005	0,077	0,968
ΣυγκέντρωσηxΕπανάληψη	0,181	3	0,060		
Υγρασία	0,096	1	0,096	15,016	0,161
ΥγρασίαxΕπανάληψη	0,006	1	0,006		
ΣυγκέντρωσηxΥγρασία	0,486	3	0,162	5,119	0,106
ΣυγκενxΥγρασίαxΕπαναλ.	0,095	3	0,032		

Πίνακας 3.16: Σύγκριση μέσων για το βάρος των γαιοσκωλήκων 0 Η.Ε.Π. (Όπου $y_1=100\%$ της υδατοχωρητικότητας, $y_2=60\%$ της υδατοχωρητικότητας, $c_1=0$ ppm, $c_2=1.000$ ppm, $c_3=2.000$ ppm και $c_4=3.000$).

Στήλη1	c1	c2	c3	c4	m.o.	ΕΣΔ _{5%}
γ1	5,67	5,86	5,73	5,32	5,64	Ns
γ2	5,72	5,66	5,76	6,06	5,80	Ns
	5,70	5,76	5,74	5,69		
ΕΣΔ _{5%}	Ns	Ns	Ns	Ns		

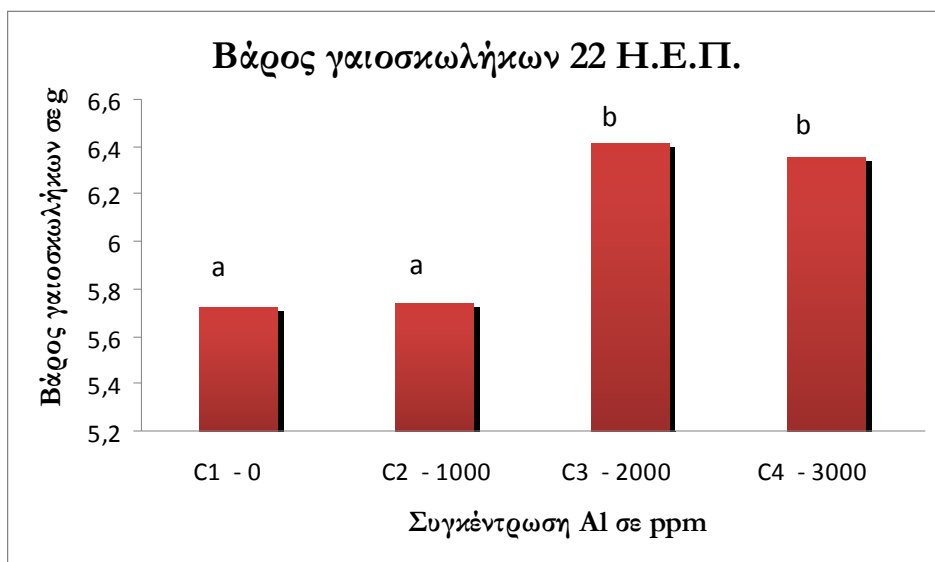
ΒΑΡΟΣ 22 ΗΜΕΡΕΣ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΝΑΡΞΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Όπως φαίνεται και από τον Πίνακα 3.17 στατιστικά σημαντική επίδραση άσκησε η συγκέντρωση ($F= 13,317$; $p=0,030$) ενώ η υγρασία δεν επηρέασε στατιστικά σημαντικά ($F= 0,0506$; $p=0,600$). Επίσης δεν παρατηρήθηκε αλληλεπίδραση μεταξύ των παραμέτρων.

Πίνακας 3.17: Ανάλυση διασποράς για το βάρος των γαιοσκωλήκων 22 Η.Ε.Π. για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$ (οι έντονοι αριθμοί δείχνουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές).

	Άθροισμα τετραγώνων	B.E.	Μέσο τετραγώνων	F	p-level
Συγκέντρωση	1,7103	3	0,5701	13,3171	0,0307
ΣυγκέντρωσηxΕπανάληψη	0,1284	3	0,0428		
Υγρασία	0,0506	1	0,0506	0,5268	0,6003
ΥγρασίαxΕπανάληψη	0,0961	1	0,0961		
ΣυγκέντρωσηxΥγρασία	0,5790	3	0,1930	0,2806	0,8378
ΣυγκενχΥγρασίαxΕπαναλ.	2,0635	3	0,6878		

Το βάρος των γαιοσκωλήκων βρέθηκε υψηλότερο στη συγκέντρωση C3 (6,415) και οι διαφορές με τις άλλες συγκεντρώσεις δεν ήταν στατιστικά σημαντικές για επίπεδο $\alpha=0,5\%$ (Διάγραμμα 3.5).



Διάγραμμα 3.5 Επίδραση της συγκέντρωσης του αλουμινίου πάνω στο βάρος των γαιοσκωλήκων 22 Η.Ε.Π. (τα διαφορετικά γράμματα σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$).

ΒΑΡΟΣ 50 ΗΜΕΡΕΣ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΝΕΡΞΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Όπως φαίνεται και από το Πίνακα 3.18 δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$. Από τον πίνακα 3.19 φαίνεται ότι η μεγαλύτερη τιμή για το βάρος των γαιοσκωλήκων ήταν στη συγκέντρωση C3 του Αλουμινίου (2.000 ppm).

Πίνακας 3.18: Ανάλυση διασποράς για το βάρος των γαιοσκωλήκων 50 Η.Ε.Π. για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$ (οι έντονοι αριθμοί δείχνουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές).

	Άθροισμα τετραγώνων	B.E.	Μέσο τετραγώνων	F	p-level
Συγκέντρωση	1,507	3	0,502	0,444	0,739
ΣυγκέντρωσηχΕπανάληψη	3,393	3	1,131		
Υγρασία	0,223	1	0,223	1,194	0,472
ΥγρασίαχΕπανάληψη	0,187	1	0,187		
ΣυγκέντρωσηχΥγρασία	5,480	3	1,827	1,205	0,441
ΣυγκενχΥγρασίαχΕπαναλ.	4,548	3	1,516		

Πίνακας 3.19: Σύγκριση μέσων για το βάρος των γαιοσκωλήκων 50 Η.Ε.Π. (Όπου $\gamma_1=100\%$ της υδατοχωρητικότητας, $\gamma_2=60\%$ της υδατοχωρητικότητας, $c_1=0$ ppm, $c_2=1.000$ ppm, $c_3=2.000$ ppm και $c_4=3.000$).

Στήλη1	c1	c2	c3	c4	m.o.	ΕΣΔ_{5%}
γ_1	5,54	6,01	7,44	5,72	6,18	Ns
γ_2	5,76	5,75	5,38	6,88	5,94	Ns
	5,65	5,88	6,41	6,30		
ΕΣΔ_{5%}	Ns	Ns	Ns	Ns		

ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΒΑΡΟΥΣ ΓΑΙΟΣΚΩΛΗΚΩΝ % ΤΟΥ ΒΑΡΟΥΣ ΤΟΥΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΝΑΡΞΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Όπως φαίνεται και από το Πίνακα 3.20 δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$. Από τον πίνακα 3.21 φαίνεται ότι η μεγαλύτερη τιμή για τη μεταβολή του βάρους των γαιοσκωλήκων ήταν στη συγκέντρωση C3 του Αλουμινίου (2.000 ppm).

Πίνακας 3.20: Ανάλυση διασποράς για τη μεταβολή του βάρους των γαιοσκωλήκων για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$ (οι έντονοι αριθμοί δείχνουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές).

	Άθροισμα τετραγώνων	B.E.	Μέσο τετραγώνων	F	p-level
Συγκέντρωση	445,001	3	148,334	0,311	0,818
ΣυγκέντρωσηxΕπανάληψη	1429,356	3	476,452		
Υγρασία	217,636	1	217,636	4,896	0,270
ΥγρασίαxΕπανάληψη	44,456	1	44,456		
ΣυγκέντρωσηxΥγρασία	1188,838	3	396,279	1,126	0,462
ΣυγκενxΥγρασίαxΕπαναλ.	1055,758	3	351,919		

Πίνακας 3.21: Σύγκριση μέσων για τη μεταβολή του βάρους των γαιοσκωλήκων (Όπου $y_1=100\%$ της υδατοχωρητικότητας, $y_2=60\%$ της υδατοχωρητικότητας, $c_1=0$ ppm, $c_2=1.000$ ppm, $c_3=2.000$ ppm και $c_4=3.000$).

Στήλη1	c1	c2	c3	c4	m.o.	ΕΣΔ _{5%}
y1	2,22	-2,37	-29,80	-8,00	-9,49	Ns
y2	-0,65	-1,71	7,21	-13,30	-2,11	Ns
	0,79	-2,04	-11,30	-10,65		
ΕΣΔ_{5%}	Ns	Ns	Ns	Ns		

3.10 ΚΟΠΡΑΝΑ ΓΑΙΟΣΚΩΛΗΚΩΝ

Οι θέσεις των κοπράνων των γαιοσκωλήκων μετρήθηκε σε 3 ημερομηνίες κατά τη διάρκεια του πειράματος, η πρώτη ήταν 14 Η.Ε.Π. (16-11-2009), η δεύτερη 37 Η.Ε.Π. (9-12-2009) και η τρίτη 50 Η.Ε.Π. (22-12-2009).

ΚΟΠΡΑΝΑ 14 ΗΜΕΡΕΣ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΝΑΡΞΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Όπως φαίνεται και από το Πίνακα 3.22 δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$. Από τον πίνακα 3.23 φαίνεται ότι η μεγαλύτερη τιμή για τις θέσεις των κοπράνων των γαιοσκωλήκων ήταν στη συγκέντρωση C4 του Αλουμινίου (3.000 ppm).

Πίνακας 3.22: Ανάλυση διασποράς για τις θέσεις των κοπράνων των γαιοσκωλήκων 14 Η.Ε.Π. για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$ (οι έντονοι αριθμοί δείχνουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές).

	Αθροισμα τετραγώνων	B.E.	Μέσο τετραγώνων	F	p-level
Συγκέντρωση	664,862	3	221,621	0,753	0,589
ΣυγκέντρωσηxΕπανάληψη	882,582	3	294,194		
Υγρασία	10,081	1	10,081	0,144	0,769
ΥγρασίαxΕπανάληψη	70,141	1	70,141		
ΣυγκέντρωσηxΥγρασία	159,232	3	53,077	0,432	0,746
ΣυγκενχΥγρασίαxΕπαναλ.	368,352	3	122,784		

Πίνακας 3.23: Σύγκριση μέσων για τις θέσεις των κοπράνων των γαιοσκώληκων για τις 14 Η.ΕΠ. (Όπου $y1=100\%$ της υδατοχωρητικότητας, $y2=60\%$ της υδατοχωρητικότητας, $c1=0$ rpm, $c2=1.000$ rpm, $c3=2.000$ rpm και $c4=3.000$).

Στήλη1	c1	c2	c3	c4	m.o.	ΕΣΔ _{5%}
y1	25,50	17,70	25,00	34,40	25,65	Ns
y2	23,00	16,15	37,50	32,30	27,24	Ns
	24,25	16,93	31,25	33,35		
ΕΣΔ_{5%}	Ns	Ns	Ns	Ns		

Οι γαιοσκώληκες βγαίνουν στην επιφάνεια για να αντιμετωπίσουν την τοξικότητα, για τον λόγο αυτό παρατηρείται η μέγιστη τιμή στην υψηλότερη συγκέντρωση του αλουμινίου. Η αυξημένη τοξικότητα του αλουμινίου κάνει τους γαιοσκώληκες να βγαίνουν συχνότερα στην επιφάνεια και κατ' επέκταση να παρατηρούνται περισσότερα κοπρολύματα.

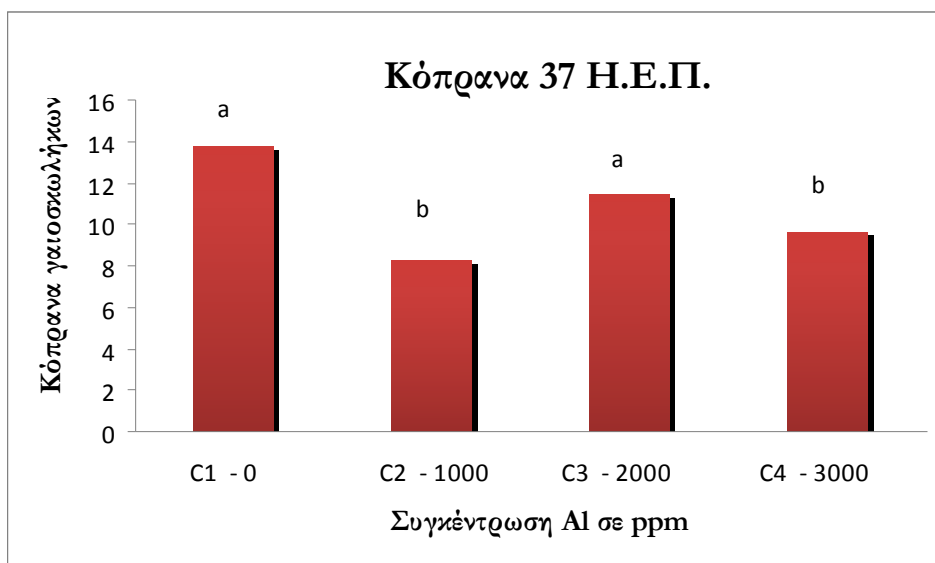
ΚΟΠΡΑΝΑ 37 ΗΜΕΡΕΣ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΝΑΡΞΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Όπως φαίνεται και από τον Πίνακα 3.24 στατιστικά σημαντική επίδραση άσκησε η συγκέντρωση ($F= 9,472$; $p=0,049$) ενώ η υγρασία δεν επηρέασε στατιστικά σημαντικά ($F= 0,0025$; $p=0,968$). Επίσης δεν παρατηρήθηκε αλληλεπίδραση μεταξύ των παραμέτρων.

Πίνακας 3.24: Ανάλυση διασποράς για τις θέσεις των κοπράνων των γαιοσκωλήκων 37 Η.Ε.Π. για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$ (οι έντονοι αριθμοί δείχνουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές).

	Άθροισμα τετραγώνων	B.E.	Μέσο τετραγώνων	F	p-level
Συγκέντρωση	66,425	3	22,142	9,472	0,049
ΣυγκέντρωσηxΕπανάληψη	7,012	3	2,338		
Υγρασία	0,0025	1	0,0025	0,0025	0,968
ΥγρασίαxΕπανάληψη	1	1	1		
ΣυγκέντρωσηxΥγρασία	1,602	3	0,534	0,083	0,964
ΣυγκενχΥγρασίαxΕπαναλ.	19,115	3	6,372		

Το βάρος των γαιοσκωλήκων βρέθηκε υψηλότερο στη συγκέντρωση C1 (?) και οι διαφορές με τις συγκεντρώσεις C2 και C4 ήταν στατιστικά σημαντικές, ενώ οι διαφορές του μάρτυρα με τη συγκέντρωση C3 δεν ήταν στατιστικά σημαντικές για επίπεδο $\alpha=0,5\%$ (Διάγραμμα 3.6).



Διάγραμμα 3.6 Επίδραση της συγκέντρωσης του αλουμινίου πάνω στο βάρος των γαιοσκωλήκων (τα διαφορετικά γράμματα σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$).

ΚΟΠΡΑΝΑ 50 ΗΜΕΡΕΣ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΝΑΡΞΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Όπως φαίνεται και από το Πίνακα 3.25 δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$. Από τον πίνακα 3.26 φαίνεται ότι η μεγαλύτερη τιμή για τις θέσεις των κοπράνων των γαιοσκωλήκων ήταν στη συγκέντρωση C1 του Αλουμινίου (0 ppm), ενώ στην υψηλότερη συγκέντρωση C4 του Αλουμινίου (3.000 ppm) καταγράφηκε η χαμηλότερη τιμή για τις θέσεις των κοπράνων των γαιοσκωλήκων.

Πίνακας 3.25: Ανάλυση διασποράς για τις θέσεις των κοπράνων των γαιοσκωλήκων 50 Η.Ε.Π. για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$ (οι έντονοι αριθμοί δείχνουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές).

	Άθροισμα τετραγώνων	B.E.	Μέσο τετραγώνων	F	p-level
Συγκέντρωση	45,8019	3	15,267	3,046	0,192
ΣυγκέντρωσηχΕπανάληψη	15,0369	3	5,012		
Υγρασία	18,7056	1	18,706	5,937	0,248
ΥγρασίαχΕπανάληψη	3,1506	1	3,151		
ΣυγκέντρωσηχΥγρασία	13,8069	3	4,602	1,331	0,410
ΣυγκενχΥγρασίαχΕπαναλ.	10,3719	3	3,457		

Πίνακας 3.26: Σύγκριση μέσων για τις θέσεις των κοπράνων των γαιοσκωλήκων για τις 50 Η.Ε.Π. (Όπου $y1=100\%$ της υδατοχωρητικότητας, $y2=60\%$ της υδατοχωρητικότητας, $c1=0$ rpm, $c2=1.000$ rpm, $c3=2.000$ rpm και $c4=3.000$).

Στήλη1	c1	c2	c3	c4	m.o.	ΕΣΔ_{5%}
y1	10,50	8,85	10,45	8,85	9,66	ns
y2	15,00	10,40	13,55	8,35	11,83	ns
	12,75	9,63	12,00	8,60		
ΕΣΔ_{5%}	Ns	Ns	ns	Ns		

ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΘΕΣΗΣ ΤΩΝ ΚΟΠΡΑΝΩΝ ΤΩΝ ΓΑΙΟΣΚΩΛΗΚΩΝ % ΤΗΣ ΘΕΣΗΣ ΤΟΥΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΝΑΡΞΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Όπως φαίνεται και από το Πίνακα 3.28 δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$. Από τον πίνακα 3.29 φαίνεται ότι η μεγαλύτερη τιμή για τις θέσεις των κοπράνων των γαιοσκωλήκων ήταν στη συγκέντρωση C4 του Αλουμινίου (3.000 ppm).

Πίνακας 3.27: Ανάλυση διασποράς για τη μεταβολή των θέσεων των κοπράνων των γαιοσκωλήκων για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$ (οι έντονοι αριθμοί δείχνουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές).

	Άθροισμα τετραγώνων	B.E.	Μέσο τετραγώνων	F	p-level
Συγκέντρωση	3750,609	3	1250,203	1,520	0,370
ΣυγκέντρωσηxΕπανάληψη	2467,732	3	822,577		
Υγρασία	1160,935	1	1160,935	4,884	0,271
ΥγρασίαxΕπανάληψη	237,699	1	237,699		
ΣυγκέντρωσηxΥγρασία	925,573	3	308,524	0,456	0,732
ΣυγκενχΥγρασίαxΕπαναλ.	2031,117	3	677,039		

Πίνακας 3.28: Σύγκριση μέσων για τη μεταβολή των θέσεων των κοπράνων των γαιοσκωλήκων (Όπου $y_1=100\%$ της υδατοχωρητικότητας, $y_2=60\%$ της υδατοχωρητικότητας, $c_1=0$ ppm, $c_2=1.000$ ppm, $c_3=2.000$ ppm και $c_4=3.000$).

Στήλη1	c1	c2	c3	c4	m.o.	ΕΣΔ _{5%}
γ1	58,31	48,98	58,26	72,71	59,56	Ns
γ2	27,59	15,69	52,61	74,23	42,53	Ns
	42,95	32,33	55,43	73,47		
ΕΣΔ _{5%}	Ns	Ns	ns	Ns		

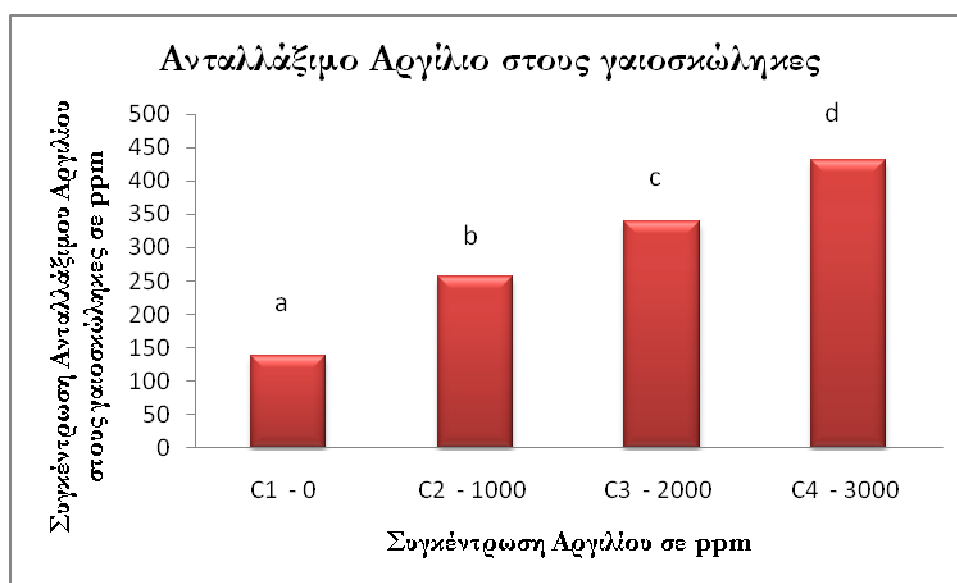
3.11 ΑΝΤΑΛΛΑΞΙΜΟ ΑΡΓΙΛΙΟ ΣΤΟΥΣ ΓΑΙΟΣΚΩΛΗΚΕΣ

Όπως φαίνεται και από τον Πίνακα 3.30 στατιστικά σημαντική επίδραση άσκησε η συγκέντρωση ($F= 6.317,464$; $p=0,000$) ενώ η υγρασία δεν επηρέασε στατιστικά σημαντικά ($F= 0,6944$; $p=0,5577$). Επίσης δεν παρατηρήθηκε αλληλεπίδραση μεταξύ των παραμέτρων.

Πίνακας 3.29: Ανάλυση διασποράς για το ανταλλάξιμο αργίλιο των γαιοσκωλήκων για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$ (οι έντονοι αριθμοί δείχνουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές).

	Άθροισμα τετραγώνων	B.E.	Μέσο τετραγώνων	F	p-level
Συγκέντρωση	186362,3	3	62120,750	6317,364	0,0001
ΣυγκέντρωσηxΕπανάληψη	29,5	3	9,830		
Υγρασία	156,25	1	156,250	0,6944	0,5577
ΥγρασίαxΕπανάληψη	225	1	225,000		
ΣυγκέντρωσηxΥγρασία	448,25	3	149,417	0,7075	0,6085
ΣυγκενχΥγρασίαxΕπαναλ.	633,5	3	211,167		

Τα επίπεδα του ανταλλάξιμου αργιλίου στο έδαφος ήταν υψηλότερα στην υψηλότερη συγκέντρωση Αλουμινίου (3.000 ppm) (431,75 ppm Al/kg εδάφους) και οι διαφορές με τις άλλες συγκεντρώσεις ήταν στατιστικά σημαντικές για επίπεδο $\alpha=0,5\%$ (Διάγραμμα 3.2). Επίσης στα δοχεία του μάρτυρα μετρήθηκε η μικρότερη συγκέντρωση ανταλλάξιμου αργιλίου (138, 50 ppm Al/kg εδάφους).

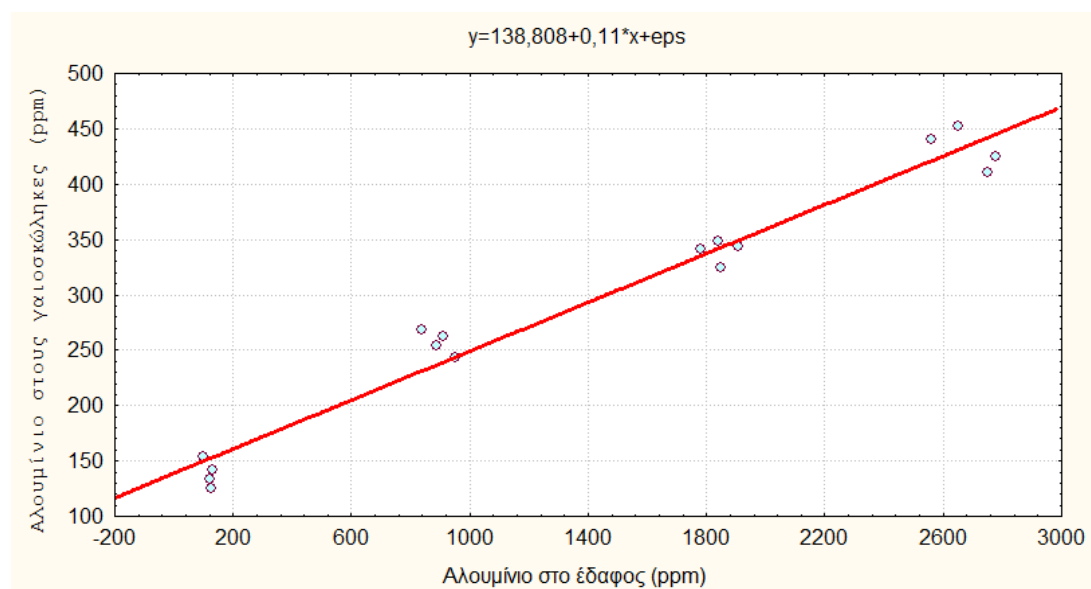


Διάγραμμα 3.7 Επίδραση της συγκέντρωσης του αλουμινίου πάνω στο ανταλλάξιμο αργίλιο των γαιοσκωλήκων (τα διαφορετικά γράμματα σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$, $c1=0$ ppm, $c2=1.000$ ppm, $c3=2.000$ ppm και $c4=3.000$ ppm).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Όπως ήταν αναμενόμενο η αυξημένη συγκέντρωση του Αργιλίου στο έδαφος επηρέασε θετικά τη βιοσυσσώρευση του Αργιλίου στους γαιοσκώληκες. Παρατηρήθηκε λοιπόν θετική συσχέτιση ($R= 0,984$, $p<0,001$) (Διάγραμμα 4.1) μεταξύ του αργιλίου στο έδαφος και του αργιλίου στους γαιοσκώληκες. Παρόμοια συμπεριφορά έχει παρατηρηθεί και για άλλα στοιχεία όπως ο Μόλυβδος σε είδη όπως ο *Lumbicus terrestris* (Darling & Thomas, 2005).

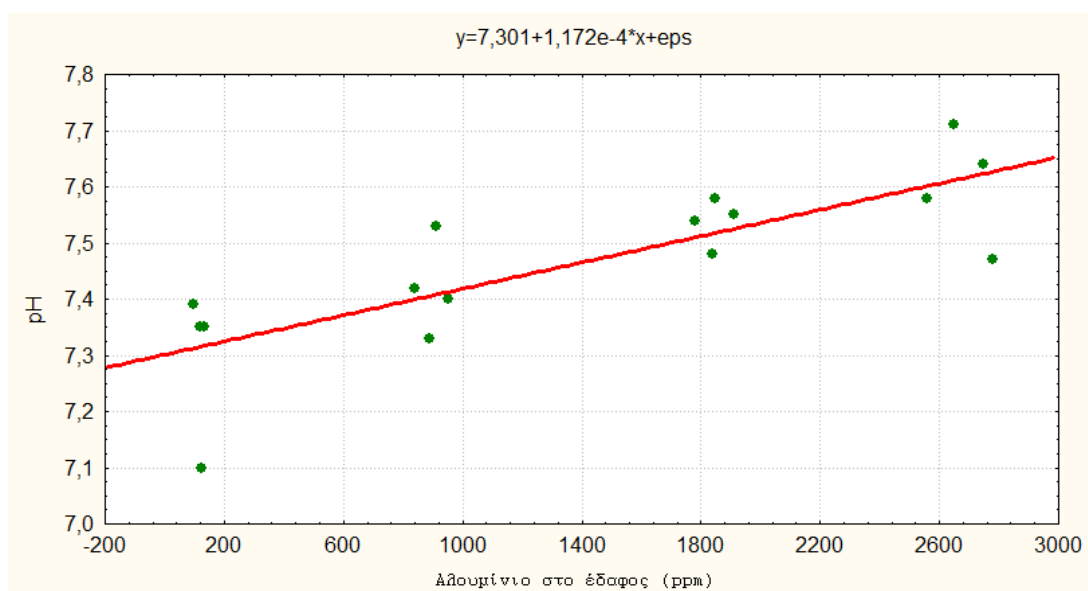


Διάγραμμα 4.1 Γραμμική συσχέτιση του του αλουμινίου στο έδαφος και του αλουμινίου στους γαιοσκώληκες

Η διαθεσιμότητα του αργιλίου στο έδαφος επηρεάζεται από το εύρος του pH (Μήτσιος, 1999). Έτσι λοιπόν παρατηρείται θετική συσχέτιση μεταξύ του pH και του αργιλίου στο έδαφος ($R= 0,798$, $p<0,001$) (Διάγραμμα 4.2). Συνεπώς

η δράση και η τοξικότητα του αλουμινίου στο έδαφος και τους γαιοσκώληκες επηρεάζεται σημαντικά από την τιμή του pH.

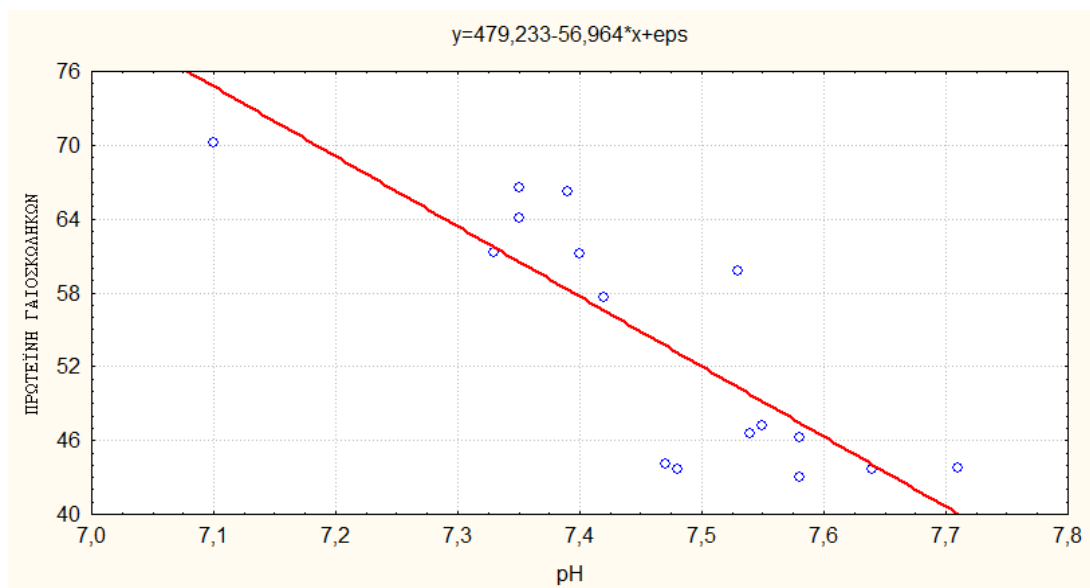
Μελλοντικά θα έπρεπε να διενεργηθεί ένα πείραμα σε εδαφικές συνθήκες με χαμηλότερο pH για να διευκρινιστεί πλήρως η επίδραση του pH πάνω στη βιοσυσσώρευση του αργιλίου. Καθώς στην παρούσα μελέτη δε σημειώθηκε θνησιμότητα θα πρέπει να εξεταστεί το κατά πόσο το ίδιο πείραμα σε εδάφη με χαμηλότερο pH θα μπορούσε να προκαλέσει θνησιμότητα τους γαιοσκώληκες.



Διάγραμμα 4.2 Γραμμική συσχέτιση του Αλουμινίου στο έδαφος και του pH.

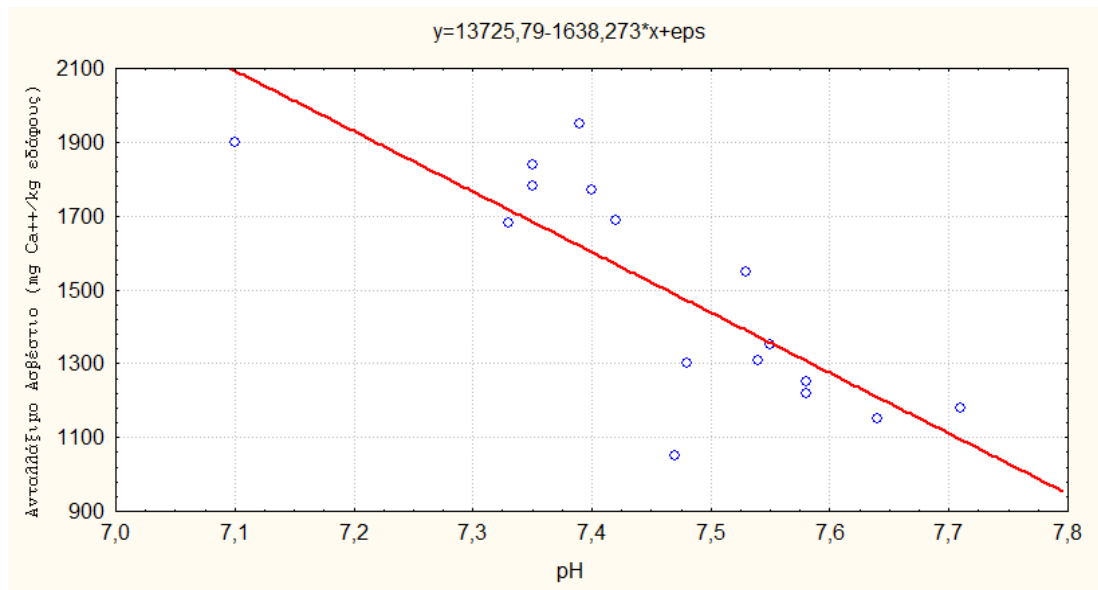
Η αύξηση του pH παρατηρεί μείωση του ποσοστού της πρωτεΐνης (N% * 6,24) των γαιοσκωλήκων. Το γεγονός αυτό φαίνεται από το Διάγραμμα 4.3 όπου υπάρχει αρνητική συσχέτιση μεταξύ του pH και της πρωτεΐνης ($R = -0,833$, $p < 0,001$). Βλέπουμε λοιπόν ότι όσο αυξάνεται το pH μειώνεται η απορρόφηση αζώτου από τους γαιοσκώληκες, γεγονός που μπορεί να συνδέεται με μειωμένο συντελεστή αξιοποίησης τροφής.

Σε επόμενο πείραμα θα πρέπει να διευρευνηθεί η περίπτωση το αργίλιο να επηρεάζει συγκεκριμένα είδη πρωτεΐνης και έτσι να καταφέρει να προκαλεί μείωση του ποσοστού της πρωτεΐνης.



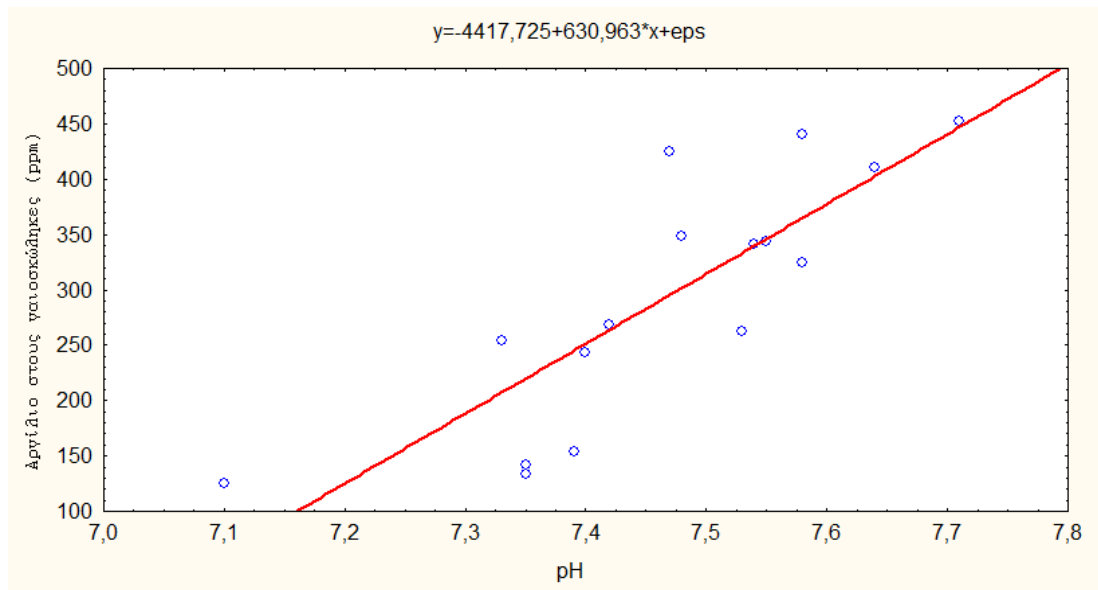
Διάγραμμα 4.3 Γραμμική συσχέτιση μεταξύ pH και πρωτεΐνης

Παρατηρούμε ότι όσο αυξάνεται το pH τόσο μειώνεται το ανταλλάξιμο ασβέστιο. Αυτό μπορεί να συνδέεται είτε με τη μειωμένη έκκριση ασβεστίου από τους γαιοσκώληκες είτε με την αυξημένη δέσμευση του ασβεστίου από τα ανθρακικά ιόντα (CO_3) του εδάφους σχηματίζοντας έτσι ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3). Αυτό φαίνεται και από το Διάγραμμα 4.4. όπου παρατηρείται η αρνητική σχέση μεταξύ του pH με το ανταλλάξιμο ασβέστιο ($R= -0,798$, $p<0,001$).



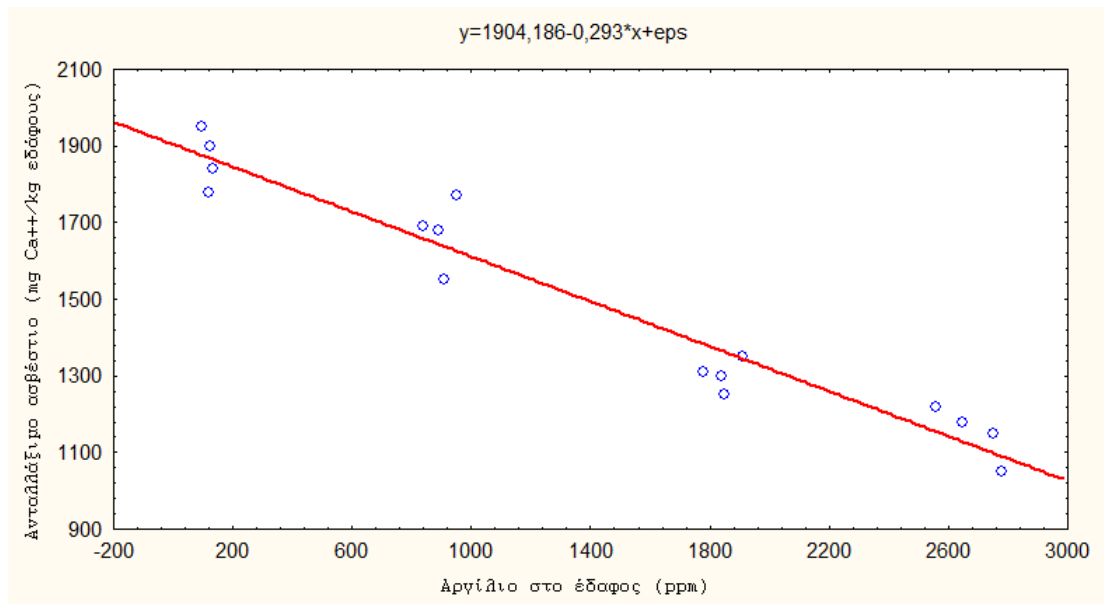
Διάγραμμα 4.4 Γραμμική συσχέτιση του pH με το ανταλλάξιμο ασβέστιο

Από το Διάγραμμα 4.5 βλέπουμε ότι υπάρχει αυξημένος ρυθμός απορρόφησης αργιλίου από τους γαιοσκώληκες όσο οι τιμές του pH αυξάνουν. Από το γραμμικό μοντέλο ($y = -4.417,7 + 630,9 * x$, $R = 0,828$, $p < 0,001$) επιβεβαιώνεται η αυξημένη διαθεσιμότητα και βιοσυσσώρευση του αργιλίου στους γαιοσκώληκες.

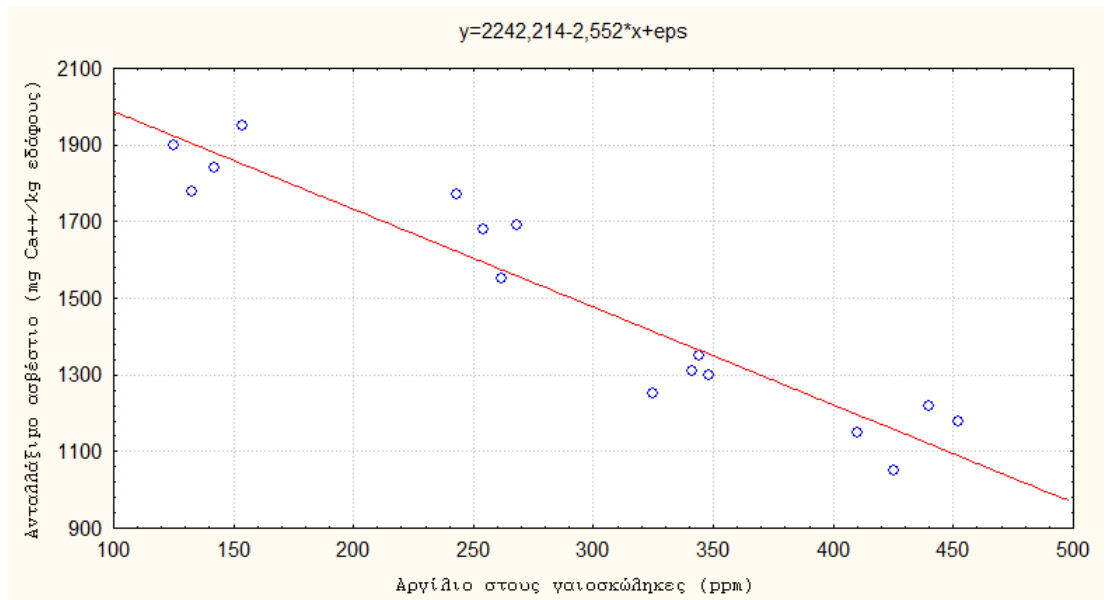


Διάγραμμα 4.5 Γραμμική συσχέτιση του pH και του αλουμινίου στους γαιοσικώληκες

Η συγκέντρωση του αργιλίου στο έδαφος δρα πιθανόν τοξικά στους γαιοσικώληκες με αποτέλεσμα τη μειωμένη έκκριση ασβεστίου από τους ασβεστογόνους αδένες. Αυτό φαίνεται από το Διάγραμμα 4.6 όπου η συσχέτιση μεταξύ του αλουμινίου στο έδαφος και του ανταλλάξιμου ασβεστίου είναι αρνητική ($R = -0,97$, $p < 0,001$). Τα παραπάνω επιβεβαιώνονται και από το Διάγραμμα 4.7 όπου όσο αυξάνει η συγκέντρωση του αργιλίου στους γαιοσικώληκες τόσο μειώνεται η συγκέντρωση του ανταλλάξιμου ασβεστίου. Η αρνητική αυτή συσχέτιση έχει συντελεστή συσχέτισης $R = -0,947$ και επίπεδο σημαντικότητας $p < 0,001$.

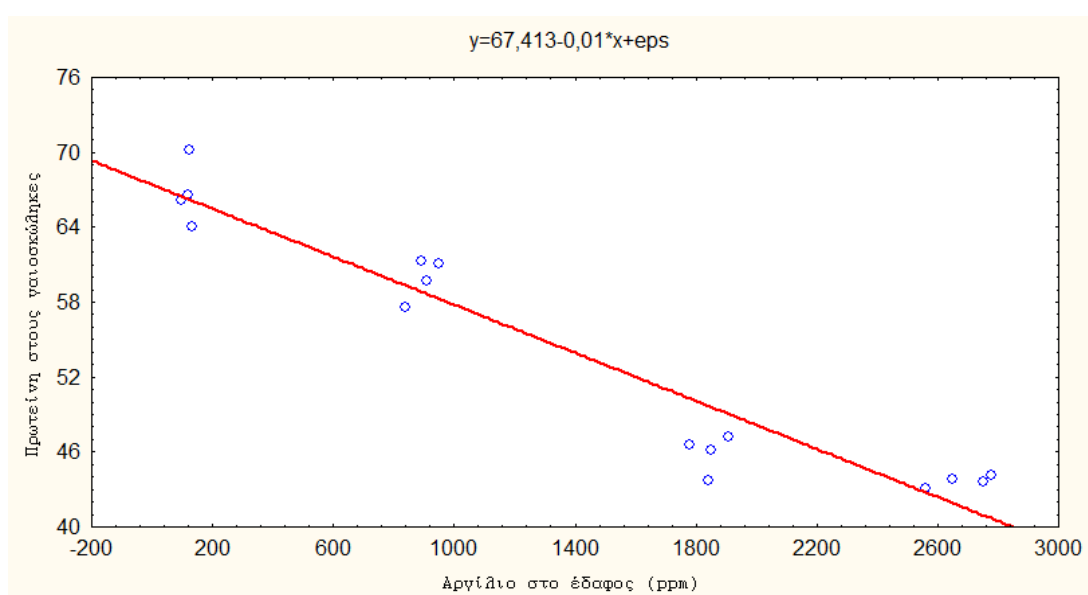


Διάγραμμα 4.6 Γραμμική συσχέτιση του αλουμινίου στο έδαφος και του ανταλλάξιμου ασβεστίου



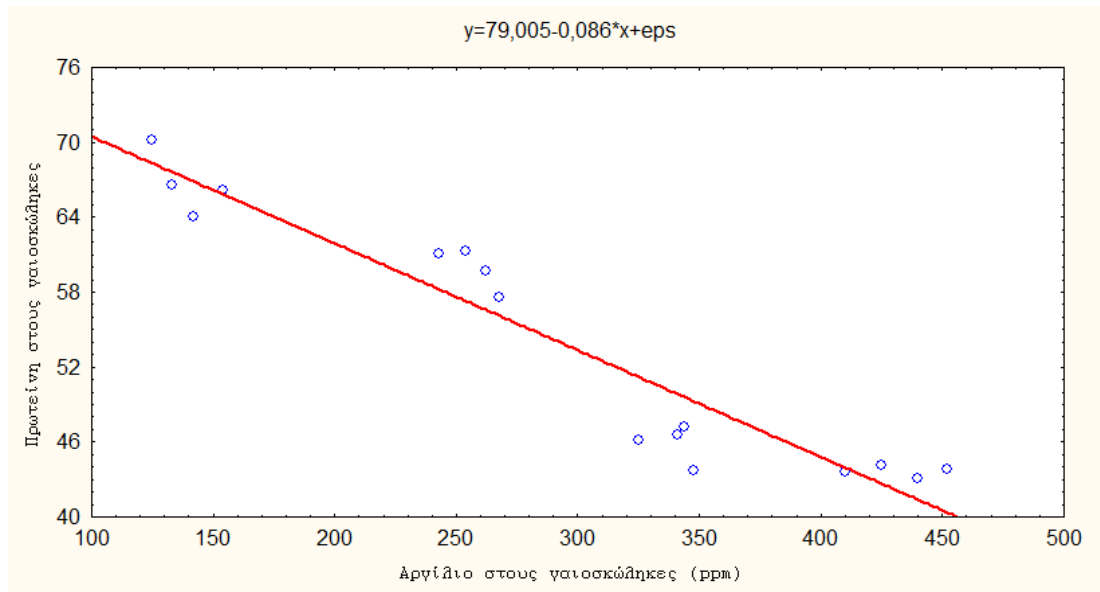
Διάγραμμα 4.7 Γραμμική συσχέτιση του αλουμινίου στους γαιοσκώληκες και του ανταλλάξιμου ασβεστίου.

Η αυξημένη συγκέντρωση του αργιλίου στο έδαφος και η τοξική του δράση επιβεβαιώνεται και από τη μείωση το ποσοστού της πρωτεΐνης στους γαιοσκώληκες. Η αρνητική αυτή συσχέτιση φαίνεται και από το Διάγραμμα 4.8 όπου ο συντελεστής συσχέτισης έχει τιμή $R = -0,957$ και το επίπεδο σημαντικότητας είναι $p < 0,001$.

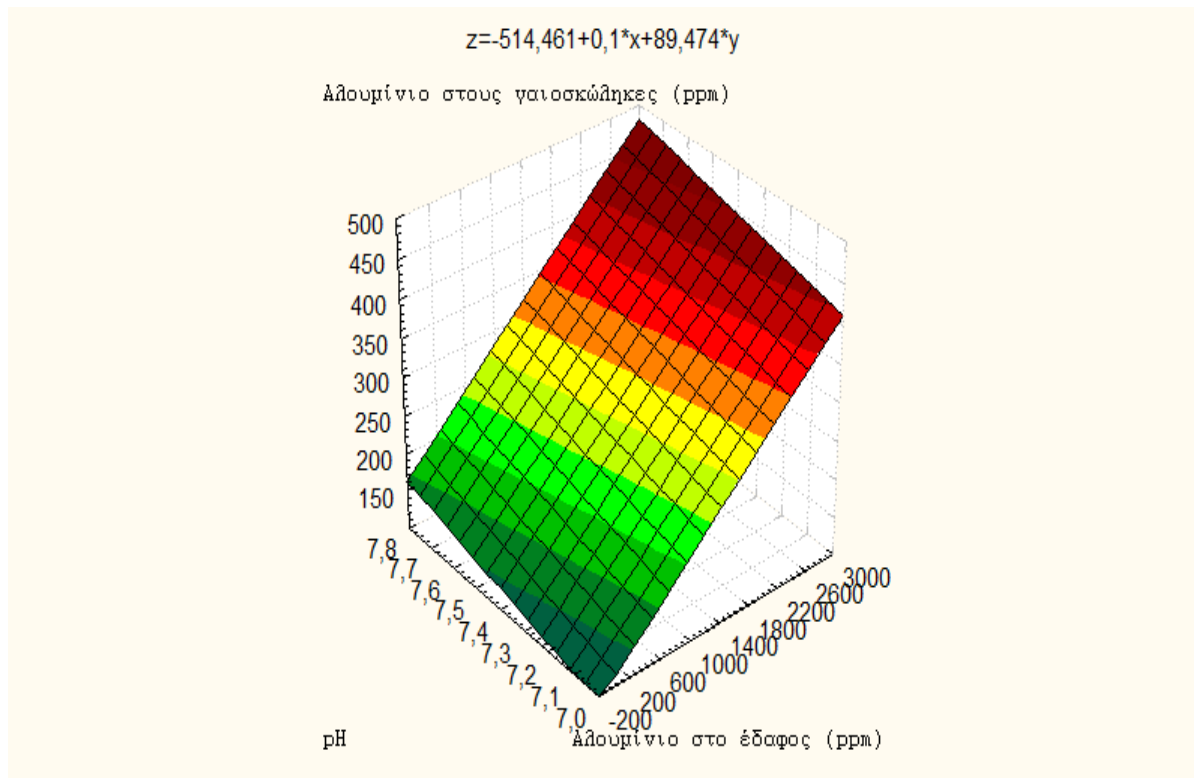


Διάγραμμα 4.8 Γραμμική συσχέτιση μεταξύ του αλουμινίου στο έδαφος και της πρωτεΐνης των γαιοσκώληγων

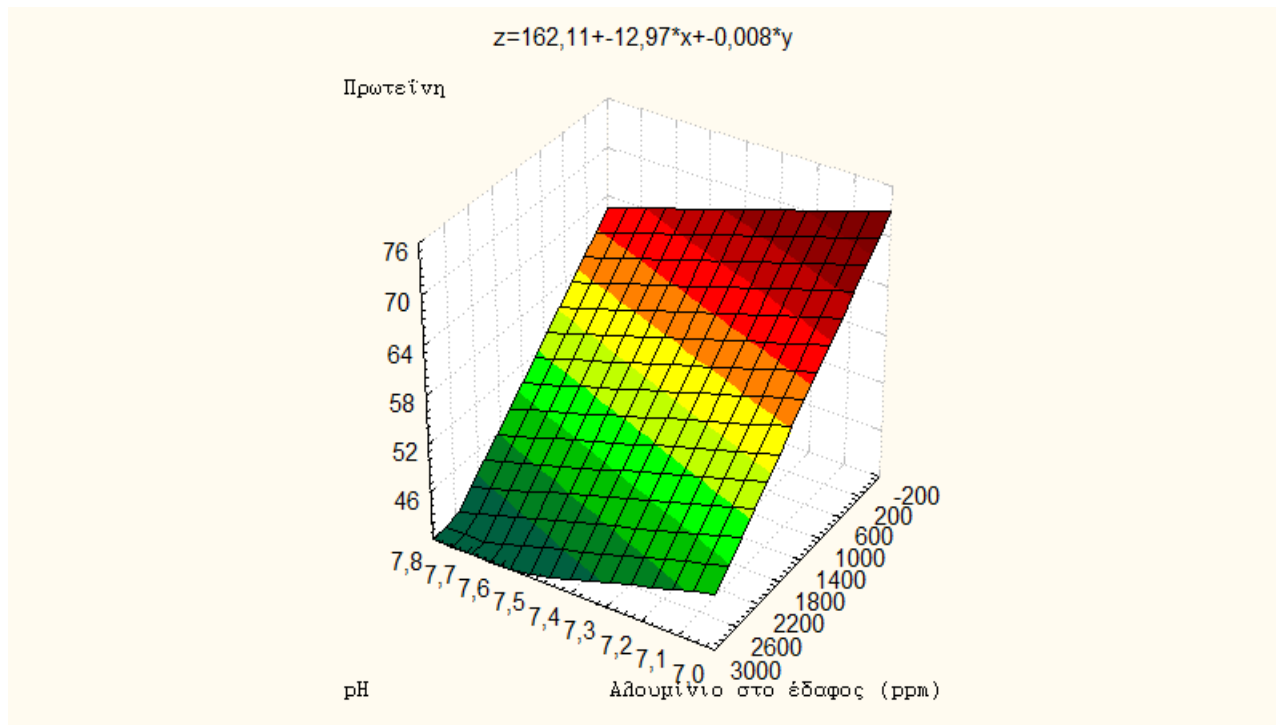
Όπως ήταν αναμενόμενο παρόμοια συμπεριφορά παρατηρήθηκε μεταξύ του αλουμινίου στους γαιοσκώληκες και της πρωτεΐνης τους. Η αρνητική αυτή συσχέτιση έχει αρνητικό συντελεστή συσχέτισης $R = -0,953$ και το επίπεδο σημαντικότητας είναι $p < 0,001$ όπως φαίνεται και από το Διάγραμμα 4.9



Διάγραμμα 4.9 Γραμμική συσχέτιση μεταξύ του αλουμινίου στους γαιοσκώληκες και της πρωτεΐνης των γαιοσκωλήγων



Διάγραμμα 4.10 Γραμμική συσχέτιση μεταξύ της αλληλεπίδρασης του αλουμινίου στο έδαφος, του αλουμινίου στους γαιοσκώληκες και του pH.



Διάγραμμα 4.11 Γραμμική συσχέτιση μεταξύ της αλληλεπίδρασης του αλουμινίου στο έδαφος, του pH και της πρωτεΐνης.

Συμπερασματικά, θα μπορούσαμε να πούμε ότι η αυξημένη συγκέντρωση του Αργιλίου στο έδαφος αύξησε τη βιοσυσσώρευση του Αργιλίου στους γαιοσκώληκες, επίσης ότι η τοξικότητα του αλουμινίου στο έδαφος και τους γαιοσκώληκες επηρεάζεται σημαντικά από την τιμή του pH. Η αύξηση της τιμής του pH προκάλεσε μείωση του ανταλλάξιμου ασβεστίου. Τέλος η τοξική δράση του αργιλίου στο έδαφος επιβεβαιώνεται και από τη μείωση το ποσοστού της πρωτεΐνης στους γαιοσκώληκες.

Μελλοντικά θα πρέπει να εξεταστεί η βιοσυσσώρευση του αργιλίου μακροπρόθεσμα καθώς το παρόν πείραμα ήταν του τύπου “short term” και

υπάρχει πιθανότητα το διάστημα να μην ήταν αρκετά μεγάλο για να φανεί η επίδραση του αλουμινίου στη βιωσιμότητα των γαιοσκωλήκων.

Επίσης, θα ήταν σκόπιμο να επαναληφθεί το ίδιο πείραμα αλλά σε διαφορετικούς τύπους εδαφών που να έχουν άλλες φυσικές ιδιότητες (pH, αγωγιμότητα κ.α.). Σε επόμενο στάδιο θα πρέπει οι γαιοσκώληκες που θα χρησιμοποιηθούν να προέρχονται από εκτροφή. Κατά αυτόν τον τρόπο θα έχουμε καθαρές σειρές και θα γνωρίζουμε ότι τα ζώα θα έχουν όσο το δυνατόν παρόμοια χαρακτηριστικά.

Η έρευνα θα πρέπει να συνεχιστεί και σε άλλα είδη. Στο παρόν πείραμα επιλέξαμε γαιοσκώληκες *Octodrilus complanatus* διότι είναι ευρέως διαδεδομένοι στον ελληνικό χώρο και την ιδιότητα τους ως βιοδείκτες. Το πείραμα μπορεί να επαναληφθεί χρησιμοποιώντας άλλα είδη όπως ο *Lumbricus terrestris* που είναι επίσης σε αφθονία στην Ελλάδα.

Μια ακόμη παράμετρος που θα πρέπει να εξεταστεί σε επόμενη μελέτη είναι ο χώρος στον οποίο παρέμειναν οι γαιοσκώληκες. Αντί οι γαιοσκώληκες να παραμένουν σε δοχεία όπως έγινε στην παρούσα μελέτη και στις περισσότερες βιβλιογραφικές αναφορές όπου παρατηρήθηκε η ίδια μεθοδολογία, θα πρέπει μελλοντικά το πείραμα να επαναληφθεί στον αγρό.

Τέλος πρέπει αν γίνει μια προσπάθεια διατμηματικής έρευνας όπου θα γίνει η ανάλυση του ιστού των γαιοσκωλήκων σε μοριακό επίπεδο για να δούμε με μεγαλύτερη ακρίβεια τη βιοσυσσώρευση του αλουμινίου στους ιστούς των γαιοσκωλήκων και το είδος των πρωτεϊνών που επηρεάζονται.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ

- Aira, M., Monroy, F., Dominguez, J., Mato, S.** 2003. Effects of two species of earthworms (*Allobophora* sp.) on soil systems: a microfaunal and biochemical analysis. *Pedobiologia* 47, 877-881.
- Andersson, Maud (1988)** Toxicity and tolerance of aluminium in vascular plants". *Water, Air, & Soil Pollution* 39 (3-4): 439-462. doi:10.1007/BF00279487 (inactive 2009-11-14).
- APHA, AWWA, WPCF:** Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 17th edition, APHA, Washington DC, 1989.
- Barcelo, C. Poschenrieder,** Fast root growth responses, root exudates, and internal detoxification as clues to the mechanisms of aluminum toxicity and resistance: a review, *Environ. Exp. Bot.* 48 (2002) 75-92 .
- Betts, C.T.** (1926). Aluminum poisoning. Toledo: Research Publishing Co.
- Bilalis, D., Efthimiadis, P., & Karagiannis, G.,** (2001). The phytotoxicity of various graminicides in Durum wheat in Greece. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 187, 121-126.
- Bilalis, D.,** Sidiras, N., Vavoulidou, E., Konstantas, A., 2009. Earthworm populations as affected by crop practices on clay loam soil in a Mediterranean climate. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Plant Soil Science* 59,440-446.
- Black, C.A. (ed)** 1965. Methods of soil analysis Am. Soc. Agron. Madison, Wisconsin.
- Bouché, M.B.,** 1981. Contribution des lombriciens aux migrations d'éléments dans les sols tempérés. *Colloques Int. Centre Nat. Rech. Sci.*, no. 303, 145-53.
- Bremer, J M.,** 1960. Determination of nitrogen in soil by kjedahl method. *J. Agr. Sci.* 55:1-23.
- Brown, G.G., Barois, I., Lavelle, P.,** 2000. Regulation of soil organic matter dynamics and microbial activity in the drilosphere and the role

of interactions with other edaphic functional domains. *European Journal of Soil Biology* 36, 177-198.

Callahan, C.A. (1988) Earthworms as ecotoxicological assessment tools, in *Earthworms in Waste and Environmental Management*, (eds C.A. Edwards and E.F. Neuhauser), SPB Acad. Publ., The Hague, The Netherlands, pp. 295-301

Carter, A., J. Heinonen, and J. de Vries. 1982. Earthworms and water movement, *Pedobiologia*, 23, 395-397.

Clarkson D.T.: The effect of aluminum and some trivalent metal cations on cell division in the root apices of *Allium cepa*. –*Ann. Bot.* 29: 309-315, 1965.

Clarkson D.T. Metabolic aspects of aluminum toxicity and some possible mechanisms for resistance. In: Ronison H, editor. *Ecological Aspects of the Mineral Nutrition in Plants*. Oxford: Blackwell; 1969. P.38-397.

Curry, J.P., Byrne, D., & Schmidt, O., (2000). Intensive cultivation can drastically reduce earthworm populations in arable land. *European Journal of Soil Biology*, 38, 127-130.

Dabre P.D. 2005. Aluminum, antiperspirants and breast cancer, Division of Cell and Molecular Biology, The University of Reading.

Darling, C.T.R. and Thomas, V.G., 2005. Lead bioaccumulation in earthworms, *Lumbricus terrestris*, from exposure to lead compounds of different solubility. Department of Zoology, College of Biological Science, University of Guelph, Guelph, Ontario, Canada.

Dellaporta, L., Vavoulidou, E., Bilalis, D., Tzortzi, I.E., (2009). Effects of Alluminum soil content, on earthworm's bioaccumulation on organic fields. 2nd Int. Conf. on Envir. Manag., Engin., Planning & Economics (CEMEPE) and SECOTOX Vol.I 319-325

Dickson, W. 1978. Some effects of the acidification of Swedish lakes. *Vehr. Int. Verein. Limnol*, 20, 851-856.

Doncheva S, Amenos M, Poschenrieder C, Barcelo J. Root cell patterning: a primary target for aluminum toxicity in maize. *J Exp Bot* 2005; 56:1213-20.

- Edwards, C.A.** 1983. Development of a Standardized Laboratory Method Assessing the Toxicity of Chemical Substances to Earthworms, Report EUR 8714 EN, Environment and Quality of Life, Commission of the European Communities, Brussels, Belgium.
- Edwards, C.A. and A. Niederer,** 1988. The production and processing of earthworm protein. In *Earthworms in Waste and Environmental Management* (C.A. Edwards and E.E. Neuhausers, Eds), pp.169-180. SPB Academic Publishing, The Hague.
- Edwards, C.A. and P.J. Bohlen.** 1996. *Earthworm Ecology and Biology*, Chapman & Hall, London.
- Edwards, C.A. and P.J. Bohlen.** 1982. The effects of toxic chemical on earthworms. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 125, 23-99.
- Edwards, C.A. and J.R. Lofty.** 1977. *Biology of Earthworms*, 2nd ed., Chapman & Hall, London.
- Englar, M.** 2007. In: *Bosnia-Herzegovina in Pictures* second ed. Twenty-First Century Books, Minneapolis, USA.
- Exley, C.** 2001. *Aluminum and Alzheimer's Disease: The Science that Describes The Link*. Elsevier Science, Amsterdam, p.441.
- Foy C D and Brown J C** 1963 Toxic factors in acid soils. I Characterization of aluminium toxicity in cotton. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 27, 403-407.
- Gesemer, R.W., Playle, R.C.,** 1999. The bioavailability and toxicity of aluminum in aquatic environments. *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.* 29, 315-450.
- Grant, W. C.** (1955a) Studies on moisture relationships in earthworms. *Ecology*, 36(3), 400-7.
- Heim A, Luster J, Frey B, Frossard E.** Effects of aluminum treatment on Norway spruce roots: aluminum binding forms, element distribution and release of organic substances. *Plant Soil* 1999; 216:103-15.

- Helmke, P.A., Robarge, W.P., Korotev, R.L. and Schomberg, P.J.** (1979) Effects of soil-applied sewage sludge on concentrations of elements in earthworms. *J. Environ. Qual.*, 8, 322-7.
- Hopp, H.** 1974. *What Every gardener Should Know About Earthworms*, Gardens Way Publishing, Charlotte, V.T.
- Kauschke, E., Mohrig, W., Cooper, E.L.** 2007. Coelomic fluid proteins as basic components of intake immunity of earthworms. *Europ. Journal of Biology*, 43 pp.110-115.
- King S.J., Oldham C., Popplewell J.F., Carling R.S., Day J.P., Filfield L.K., Gresswell R.G., Liu K. & Tada M.L.** Determination of Aluminium-26 in Biological Materials by Acceleratos Mass Spectrometry. *Analyst* vol. 122, pp. 1049-1055, 1997
- Kochian, L.V.:** Cellular mechanisms of aluminum toxicity abd resistance in plants.- In: Yokel, R., Golub, M.S. (ed): *Research Issues in Aluminum Toxicity*. Pp. 69-90. Taylor and Francis Publ., Washington, 1995.
- Kretzchmar, A.** 1978. Quantification ecologique des gaeeries de lombriciens. *Techniques et premieres estimations*, *Pedobiologia*, 18, 31-38.
- Krivolutsky, D., Turcaninova, V. and Mihkaltsova, Z.** (1982) Earthworms as bioindicators of radioactive soil pollution. *Terrest. Oligochaeta*, 263-5.
- Kubiena W. L.** 1953. *The soils of Europe*, Murray, London.
- Kühle, J.C.** (1983) Adaptation of earthworm populations to different soil treatments in an apple orchard, in *New Trends in Soil Biology*, (ed. Ph. Leburn), *Proc. 8th Intl Coll. Soil Zool.*, Louvain-la-Neuve, 1982, pp.487-501
- Laden K., Felger C.B.** 1988. *Antirespirants and Deodorants: Cosmetic Science and Technology Series*, vol. 7, Marcel Dekker, New York.
- Langmaack, M., Schrader, S., Rapp-Bernhardt, U., & Kotzke, K.** (1999). Quantitative analysis of earthworm burrow systems with respect to biological soil-structure regeneration after soil compaction. *Biology and Fertility of Soils*, 28, 219-229.

- Lavelle, P.**, 1988. Earthworm activities and the soil system. *Biol. Fert. Soils* 6, 237-251.
- Lavelle, P., Spain, A.**, 2001. *Soil Ecology*. Kluwer Scientific Publications, Amsterdam.
- Lavelle, P., L. Brussaard, and P. Hendrix.** 1999. *Earthworm Management in Tropical Agroecosystems*, CABI Wallingford, Oxford, U.K.
- Lawrence, R.D. & Millar, H.R.** (1945). Protein content of earthworms. *Nature, Lond.*, 155(39), 517.
- Lofs-Holmin A.** (1985). *Vermiculture*, Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Ecology and Environment Research (Rapport 20), Uppsala.
- Ma, J.F.**, 2007. Syndrome of aluminum toxicity and diversity of aluminum resistance in higher plants. *International Review of Cytology* 264, 225-252.
- Magalheas, J.V.** (2004) Comparative Mapping of a Major Aluminum Tolerance Gene in Sorghum and Other Species in the Poaceae. *Genetics* 167:1905.
- Matsumoto, H.**, 2000. Cell biology of aluminum toxicity and tolerance in higher plants. *Cytol*, 2000, 1-46.
- Michalis K. & Panidis S.** Seasonal variation in the reproductive activity of *Octodrilus complanatus* (Oligochaeta, Lumbricidae). *Eur J Soil Biol*, vol. 29, no. 3-4, pp. 161-166, 1993.
- Monroy, F., Aira, M., Gago, J.A., Dominguez, J.**, 2007. Life cycle of the earthworm *Octodrilus complanatus* (Oligochaeta, Lumbricidae). *Animal biology and pathology. Comptes Rendus Biologies*, pp. 389-391.
- Morgan, A.J., Morris, B., James, N. et al.** (1986) Heavy metals in terrestrial macroinvertebrates: species differences within and between trophic levels. *J. Chem. Ecol.*, 2, 251-61
- Moriarty, F.** (1983) *Ecotoxicology*. Academic Press, New York.

- Newman, E.I.**, 1966. A method of estimating total length of root in a sample. *Journal of Applied Ecology* 3 (1), 139-145.
- Nordström, S. and Rundgren, S.** (1974) Environmental factors and lumbricid associations in Southern Sweden. *Pedobiologia*, 14,1-27.
- Panda, S.K., Baluska, F., Matsumoto, H.**, 2009. Aluminum stress signaling in plants. *Plant Signal Behav.*, 4, 592-597.
- Reinecke A.J. & Reinecke S.A.**The influence of heavy metals on the growth and reproduction of the compost worm *Eisenia fetida* (oligochaeta).*pedobiol* vol.40, pp. 439-448, 1996.
- Rengel, Z.**, 2004. Aluminum cycling in the soil-plant-animal-human continuum. *Biometals* 17, 669-689.
- Roots, B.I.** (1955) The water relations of earthworms. I. The activity of the nephridiostome cilia of *L.terestris* L. and *A. chlorotica* (Sav.) in relation to the concentration of the bathing medium. *J.Exp. Biol.*,32,765-74.
- Ryan PR, DiTomaso JM, Kochian LV.** Aluminum toxicity in roots: an investigation of spatial sensitivity and the role of the root cap. *J Exp Bot* 1993; 44:437-46.
- Sabine, J.R.**, 1981. Vermiculture as an option for resource recovery in the intensive animal industries, *Proc. Workshop on the role of earthworms in the stabilization of organic residues*, (ed. M. Applehof), Beach Leaf Press, Kalamazoo, Michigan, vol. 1, pp. 241-54.
- Sabine, J.R.**, 1983. Earthworms as a source of food and drugs. In. *Earthworm Ecology from Darwin to Vermiculture* (J.E. Satchell, Ed., pp.285-296. Chapman and Holl, London
- Sampedro, L., Whalen, J.J.**, 2007. Changes in the fatty acid profiles through the digestive tract of the earthworm *Lumbricus terrestris* L. *Applied Soil Ecology* 35, 226-236.
- Scheu, S.**, 1987. Microbial activity and nutrient dynamics in earthworm casts (*Lumbricidae*). *Biology and Fertility of Soils* 5, 230-234.
- Schmidt, O., & Curry, P.J.** (1999). Effects of earthworms on biomass production, nitrogen allocation and nitrogen transfer in wheat-clover intercropping model systems. *Plant and Soil*, 214, 187-198.

- Sheppard, S.C., Bembridge. J.D., Holmstrup, ., Posthua, L.,** 1997. Advances in earthworm ecotoxicology. In: Proceedings from the Second International Workshop on Earthworm Ecotoxicology. SETAC, Amsterdam.
- Slater, C.S. and H. Hopp.** 1947. Relation of fall protection to earthworm populations and soil physical conditions, Proc. Soil Sci. Soc. Am. 12, 401-407
- Sposito G** 1989 Environmental Chemistry of Aluminium. CRC Press, Boca Raton, USA. 317p.
- StatSoft, Inc.,** 1996. STATISTICA for windows (Computer programm manual). <http://www.statsoftinc.com>.
- Stockli, A.** 1928. Studien über den Einfluss der Regenwürmer auf die Beschaffenheit des Bodens, Landwirtschaft Jahrbuch Schweiz, 42, I.
- Teotia, S.P., F.L. Duley, and T.M. McCalla.** 1950. Effect of stubble mulching on number and activity of earthworms, Neb. Agric. Exp. Stn. Bull., 165, 20.
- Tiunov, A., Scheu, S.,** 1999. Microbial respiration, biomass, biovolume and nutrient status in burrow walls of *Lumbricus terrestris* L. (Lumbricidae). Soil Biology and Biochemistry 31, 2039-2048.
- Vavoulidou e., Dellaporta I., Bilalis d.j.(2010):** Histological study of the earthworm *Octodrilus complanatus* and collagen distribution in its tissues. στο Zoology in the Middle East, Supplementum 2, 2010 , 175-180., «Advances in Earthworm Taxonomy IV (Annelida: Oligochaeta), Kasperek Verlag, Heidelberg, Germany , www.kasperek-verlag.de
- Vavoulidou, E.J. Avramides, M. Wood & P. Lolos (2008):** The response of soil quality indicators to the pesticide cadusaphos. Communication in Soil Science and Plant Analysis, 40,414-434.
- Vavoulidou, E., Römbke, J., Sidoras, N., Bilalis, D., & Tsgou, R.,** (1999). Effects of three different soil cultivation and fertilization treatments on earthworms and enchytraeids. Newsletter on Enchytraeids, 6, 91-100.
- Verbelen JP, De Cnodder T, Vissenberg K, Baluska F.** The root apex of *Arabidopsis thaliana* consists of four growth activities: meristematic

zone, transition zone, fast elongation zone and growth terminating zone. *Plant Signal Behav* 2006; 1:296-304.

Weeks, J.M., Sorokin, N., Johnson, I.J., Whitehouse, P., Ashton, D., Spurgeon, D., Hankard, P., Svendsen, C., 2004. Biological Test Methods for Assessing Contaminated Land Science Group Report P5-069/TRI. Environment Agency, Bristol, UK.

Wild, A. (ed) (1988) Russel's. Soil Conditions and Plant Growth. 11th ed. Longman Group UK Ltd, Harlow.

Yang, J.L., Jiang, F.Y., Ya, Y.L., Ping, W., Shao, J.Z., 2007. Magnesium enhances aluminum-induced citrate secretion in rice bean roots (*Vigna umbellata*) by restoring plasma membrane H⁺-ATPase activity. *Plant and Cell Physiology* 48, 66-73.

Zheng, K., Pan, J.W., Ye, I., Fu, Y., Peng, H.Z., Wan, B.Y., Gu, Q., Bian, H.W., Han, N., Wang, J.H., Kang, B., Pan, J.H., Shao, H.H., Wang, W.Z., Zhu, M.Y., 2007. Programmed cell death-involved aluminum toxicity in yeast alleviated by antiapoptotic members with decreased calcium signals. *Plant Physiology* 143, 38-49.

ΕΛΛΗΝΟΓΛΩΣΣΗ

Αλεξιάδης Κ.Α. (1976). Φυσική και χημική ανάλυση του εδάφους. ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη.

Δαλιάνης, Κ., 1984. Σχεδίαση και Ανάλυση Πειραμάτων.

Δελλαπόρτα, Λ., (2004). ΕΚΘΕΣΗ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΟΥ ΣΕ ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ: Η ΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗ ΤΩΝ ΒΑΡΕΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΚΑΙ ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΟΥΣ ΣΕ ΙΣΤΟΥΣ ΓΑΙΟΣΚΩΛΗΚΩΝ ΩΣ ΒΙΟΔΕΙΚΤΩΝ ΕΚΘΕΣΗΣ. Διδακτορική διατριβή στο Εθν. & Καποδ. Παν. Αθηνών, Σχολή Υγείας, Τμήμα Ιατρικής και Βιολογίας, Εργ. Βιολογίας Κυττάρου Καθ. Θ. Κατσώρχης.

Μήτσιος, Ι., 1999. Εδαφολογία

ΙΣΤΙΟΣΕΛΙΔΕΣ

<http://liberalbaptistrev.wordpress.com/2009/02/24/pray-for-my-earthworms/>

<http://hubpages.com/hub/EarthwormAfraidSalts>

<http://ed101.bu.edu/StudentDoc/current/ED101sp09/eflukes/>

<http://vermiculture.wordpress.com/2008/11/13/earthworm-anatomyie-erdwurm/>

http://www.tomas-pavlicek-biologie.net/pages/earthworms_e.php

<http://www.pollutionissues.co.uk/aluminium-deodorants>

www.wikipedia.org)

<http://kentsimmons.uwinnipeg.ca/16cm05/16labman05/lb6pg5.htm>