

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΑΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗΣ – ΒΙΟΛΟΓΙΚΗΣ
ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ

«ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΟΞΥΤΗΤΑΣ ΤΟΥ
ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙ ΣΤΗ
ΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗ ΠΡΩΤΕΪΝΗΣ ΣΤΟ
ΓΑΙΟΣΚΩΛΗΚΑ *OCTODRILUS*
COMPLANATUS»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

ΤΗΣ Χαλκιά Α. Χριστίνα – Μαρία

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘ.: Μπιλάλης Δημήτριος

ΑΘΗΝΑ 2015

Επίδραση της οξύτητας του εδάφους στην ανάπτυξη
και στη συσσώρευση πρωτεΐνης στο γαιοσκώληκα
Octodrilus complanatus

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

της Χαλκιά Α. Χριστίνα – Μαρία

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Μπιλάλης Δημήτριος, Αν. Καθηγητής Γ.Π.Α., ως επιβλέπων

Εμμανουήλ Νικόλαος, Καθηγητής Γ.Π.Α., ως μέλος

Βαβουλίδου Ευαγγελία, Ερευνήτρια Α' ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε., ως μέλος

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι γαιοσκώληκες είναι σημαντικοί παράγοντες για την αύξηση της γονιμότητας του εδάφους, ιδίως σε βιολογικές καλλιέργειες, όπου μπορούν να αναπτυχθούν σημαντικοί πληθυσμοί. Η παρούσα μελέτη στοχεύει στην εξέταση της καταλληλότητας 2 φυτικών υλικών, των φύλλων μουριάς και των βλαστών μηδικής και 2 εδαφικών τύπων, του ελαφρά όξινου, με pH 6,4 και του ελαφρά αλκαλικού, με pH 7,34, στην ανάπτυξη του γαιοσκώληκα *Octodrilus complanatus*. Επιπλέον, στοχεύει στην διερεύνηση των επιδράσεων της διατροφής του ιδίου είδους με χλωρούς φυτικούς ιστούς στην ανάπτυξη του. Μετρήθηκε η μεταβολή του βάρους των γαιοσκωλήκων, η περιεκτικότητα των ιστών τους σε πρωτεΐνη και ο αριθμός των επιφανειακών κοπρολυμάτων ως μέτρο της επιφανειακής δραστηριότητας.

Το βάρος των γαιοσκωλήκων μειώθηκε από την κατανάλωση της χλωρής τροφής. Μεταξύ των δύο τροφών, η μηδική είχε πιο αρνητική επίδραση στο βάρος από τη μουριά. Αυτό οφείλεται μάλλον στην ύπαρξη αντιδιατροφικών παραγόντων, που είναι περισσότεροι και πιο δραστικοί στη μηδική. Η μηδική μειονεκτεί σε σχέση με τη μουριά και διότι περιέχει πολλές ακατέργαστες ίνες που αφομοιώνονται δυσκολότερα στον πεπτικό σωλήνα των γαιοσκωλήκων.

Οι ιστοί των γαιοσκωλήκων ήταν πλουσιότεροι σε πρωτεΐνη όταν διατράφηκαν με μηδική παρά με μουριά, πιθανώς διότι η χλωρή μηδική είναι πολύ κακής ποιότητας τροφή από ενεργειακή άποψη.

Το ελαφρά όξινο έδαφος ήταν καλύτερο από το ελαφρά αλκαλικό για το βάρος και την πρωτεΐνη των γαιοσκωλήκων.

Η επιφανειακή δραστηριότητα δεν επηρεάσθηκε σημαντικά από την τροφή, αλλά από την οξύτητα του εδάφους. Μεταβλήθηκε με την υγρασία

του υποστρώματος. Ήταν εντονότερη στο αλκαλικό έδαφος από ότι στο όξινο, πιθανώς λόγω δυσφορίας των ζώων μέσα στο περιβάλλον αυτό.

Οι δύο τροφές επέδρασαν στις ιδιότητες των εδαφών στα οποία προστέθηκαν. Η μηδική αύξησε το pH του εδάφους, ενώ η μουριά το μείωσε. Άλλες παράμετροι που επηρεάσθηκαν από την τροφή ήταν η I.A.K. και η οργανική ουσία του εδάφους. Η μικροβιακή δραστηριότητα δεν επηρεάσθηκε από την τροφή, αλλά διαφοροποιήθηκε στους 2 τύπους εδαφών. Το N του εδάφους, αν και σημείωσε μεγάλη μείωση, δεν διαφοροποιήθηκε από την τροφή ή τον τύπο του εδάφους.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: *Octodrilus complanatus*, διατροφή γαιοσκωλήκων, οξύτητα εδάφους, πρωτεΐνη γαιοσκωλήκων, βάρος γαιοσκωλήκων, επιφανειακή δραστηριότητα γαιοσκωλήκων

SUMMARY

Earthworms are important parameters for the fertility of soils, mainly in biological production, where the population density can be increased.

The aim of the present study is to investigate the importance of lucern and mulberry leaves for feeding earthworms of the species *Octodrilus complanatus*, as well as the suitability of 2 soil types, a slightly acid, with pH 6,4 and a slightly alkaline with pH 7,34 as habitats for the same species. An additional scope of this study was to test if fresh dried plant tissue can be used as food for earthworms.

Measurements of body weight and protein content of the tissues were taken. The number of surface casts were also counted as indicators of the soil surface activity.

The body weight of the earthworms was reduced by the consumption of fresh dried leaves. Between the two foods, lucern was worse, possibly due to the existence of antitrophic factors, which are more abundant and severer than in mulberry leaves. Moreover, lucern contains higher percentage of crude fibre, not easily assimilatable, compared to mulberry leaves, which have high percentage of soluble carbohydrates.

Protein concentration was higher when earthworms fed with lucern compared to mulberry, possibly due to the fact that fresh dried stems of lucern have very bad quality concerning energy.

The acid soil was better than the alkaline one, as far as weight and protein content were concerned.

The surface activity was not significantly influenced by soil acidity but by food type. It was altered according to moisture content of the substrate. It

was higher in alkaline soil, possibly due to excessive discomfort of the earthworms which live inside this environment.

Both food type and type of substrate altered the soil parameters. Lucern increased the soil pH, whereas mulberry decreased it slightly. Soil C.E.C. and soil organic matter were significantly influenced by food and microbial activity was differentiated by soil type. Soil total N content, decreased a lot, but was influenced neither by food type nor by soil acidity.

KEY WORDS: *Octodrilus complanatus*, earthworm diet, soil acidity, earthworm body protein, earthworm body weight, surface activity of earthworms

Ευχαριστίες

Πρώτα απ' όλους νοιώθω την ανάγκη να ευχαριστήσω τον υπεύθυνο καθηγητή μου κ. Δ. Μπιλάλη, γιατί διευκόλυνε με κάθε δυνατό τρόπο την πραγματοποίηση αυτής της μελέτης και μου παρείχε ανακουφιστικές απλουστεύσεις, τόσο χρήσιμες, όσο και απαραίτητες στο συγκεκριμένο επιστημονικό πεδίο με το οποίο ασχολήθηκα.

Θερμές ευχαριστίες απευθύνω στον καθηγητή κ. Ν. Εμμανουήλ για την ενθάρρυνση και την αποδοχή που μου έδειξε για το παρόν πόνημα.

Ακόμα, πρέπει να ευχαριστήσω ιδιαίτερα την κ. Ε. Βαβουλίδου ερευνήτρια Α' στο Ινστιτούτο Εδαφολογίας του ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε., διότι πρόθυμα μου προσέφερε τις εξειδικευμένες γνώσεις της και καθοδήγησε την πραγματοποίηση του πειράματος και την ερμηνεία των αποτελεσμάτων του.

Επίσης, επιθυμώ να ευχαριστήσω τον δόκτορα Β. Τριανταφυλλίδη, στέλεχος του Εργαστηρίου Φυτικής Παραγωγής του Τμήματος Δ.Ε.Α.Π.Τ. του Πανεπιστημίου Πατρών, γιατί έκανε τις εργαστηριακές αναλύσεις για τις παραμέτρους του εδάφους και τον προσδιορισμό της πρωτεΐνης των γαιοσκωλήκων.

Οφείλω ευγνωμοσύνη στον συνάδελφο κ. Α. Κατσιλιέρο, μέλος του εργαστηρίου Βελτίωσης Φυτών και Γεωργικού Πειραματισμού, που πρόθυμα με βοήθησε στην επεξεργασία των αποτελεσμάτων.

Ευχαριστώ ιδιαίτερα τον συνάδελφο και φίλο μου, βιοκαλλιεργητή Ε. Ψιλλάκη ο οποίος με ξενάγησε στην επιχείρησή του και με πληροφόρησε για πρακτικά θέματα της βιοκαλλιέργειας.

Ακόμα, ευχαριστώ το προσωπικό του εργαστηρίου Γεωργικής Χημείας του Γ.Π.Α., στο οποίο έγινε ο προσδιορισμός της οξύτητας των τροφών.

Θερμά ευχαριστώ το προσωπικό των εργαστηρίων Γεωργίας και Μελισσοκομίας – Σηροτροφίας του Γ.Π.Α. γιατί πρόθυμα μου παρείχαν οποιαδήποτε βοήθεια χρειάστηκε.

Τελευταίες ευχαριστίες, απευθύνονται στο προσωπικό του εργαστηρίου Γεωργικής Ζωολογίας και Εντομολογίας του Γ.Π.Α. για τη συμπαράσταση που μου έδειξαν και την βοήθεια τους κατά την εκπόνηση της παρούσας μελέτης.

1. Εισαγωγή

1.1 Εδαφική οξύτητα

Το pH του εδάφους αποτελεί σημαντικότερη ιδιότητα του διότι επηρεάζει πολλές άλλες ιδιότητες που σχετίζονται με την ζωή μέσα σ' αυτό (Γιάσογλου, 1981):

1. Τη διαλυτότητα και κινητικότητα των πρωτογενών (μαγνητίτη: Fe_5O_4) και δευτερογενών (μαγεμίτη: $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$, λεπιδοχρωσίτη: $\gamma\text{-FeOOH}$, γκαιτίτη: $\alpha\text{-FeOOH}$ και αιματίτη: $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) οξειδίων του Fe και των σιδηροϋδροξειδίων (δισθενές: $\text{Fe}(\text{OH})_2$ και τρισθενές: $\text{Fe}(\text{OH})_3$). Σε αλκαλικά περιβάλλοντα τα υδροξείδια του Fe είναι στερεά. Σε ουδέτερα περιβάλλοντα υπάρχουν ιόντα δισθενούς Fe και σχηματίζεται το ιδιαίτερα δυσδιάλυτο σύμπλοκο $\text{Fe}^{2+} \cdot 2\text{Fe}^{3+}(\text{OH})_8$. Ο Fe^{3+} σε εδαφικό pH 4-8,5 είναι πολύ χαμηλός. Σε τέτοια pH ο Fe μετακινείται όχι υπό μορφή ιόντων, αλλά σαν οξείδια τοποθετημένα στην επιφάνεια της κolloειδούς αργίλου ή σαν οργανομεταλλικά σύμπλοκα. Τα παραπάνω διασπώνται σε ορισμένα κατώτερα σημεία της κατατομής στα οποία το pH είναι μεγαλύτερο.

Το ίδιο συμβαίνει με το Al. Τα άμορφα ένυδρα οξείδια του Al είναι σπάνια στο έδαφος, εκτός από περιπτώσεις κolloειδών gel. Έχουν ισοηλεκτρικό σημείο σε pH 4,8. Έτσι σε μικρότερα pH είναι θετικά φορτισμένα και επικολλώνται στα ορυκτά της αργίλου προκαλώντας σ' αυτή θρόμβωση και αποτρέπουν την μετακίνηση της αργίλου σε βαθύτερα στρώματα. Σε λιγότερο όξινα εδάφη, τα άμορφα, ένυδρα οξείδια του Al βρίσκονται ως αρνητικά φορτισμένα σωματίδια υδραργιλίτη και η άργιλος διασπείρεται και μπορεί να υποστεί κατακόρυφη μεταφορά.

Ακόμα επηρεάζει την διαλυτότητα οξειδίων, όπως του Fe, το Al_2O_3 και το SiO_2 . Σε pH 6 ο σίδηρος είναι 10^5 φορές πιο διαλυτός απ' ό τι σε pH 8,5,

διότι μειώνεται το δυναμικό οξειδοαναγωγής του σε ψηλά pH. Έτσι σε αλκαλικά περιβάλλοντα καταναλώνεται λιγότερη ενέργεια για απώλεια ηλεκτρονίων, επομένως παραμένουν περισσότερα μόρια οξειδωμένου Fe και τελικά έχουμε μεγαλύτερη σταθερότητα στα οξείδια. Η σχέση pH και διαλυτότητας SiO₂ και Al₂O₃ είναι παρόμοια.

2. Το pH επηρεάζει τη διαλυτότητα ενός στερεού που στο μόριο του έχει ρίζα ασθενούς οξέος, όπως πολλά ορυκτά του εδάφους. Έτσι, σε συνθήκες υψηλού pH, ο Fe³⁺ μπορεί να γίνει διαλυτός και να κινητοποιείται στο έδαφος αρκεί να σχηματίσει σύμπλοκα με εκχυλίσματα φύλλων δένδρων που περιέχουν πολυφαινόλες. Τα σύμπλοκα αυτά είναι χηλικές ενώσεις (EDTA).
3. Το pH επηρεάζει τη διαλυτότητα του ασβεστίτη (CaCO₃). Έτσι, στους 16°C η σχέση διαλυτότητας και pH είναι η ακόλουθη:

pH	Διαλυτότητα (g CaCO ₃ /l)
10,23	0,0131
8,48	0,0627
7,47	0,2106

Εκτός από το pH ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει τη διαλυτότητα του ανθρακικού ασβεστίου είναι η συγκέντρωση του CO₂. Η σχέση που δίνεται είναι:

$$pH - 1/2pCa = 4,85 - 1/2pCO_2$$

Η διαλυτοποίηση του ανθρακικού ασβεστίου ευνοείται σε όξινα περιβάλλοντα και από την παρουσία CO₂. Συνεπώς οι βροχοπτώσεις, τα οργανικά οξέα και το παραγόμενο λόγω αποσύνθεσης της οργανικής ουσίας CO₂ επιταχύνουν την αποσάθρωση του ανθρακικού ασβεστίου. Ένας τρόπος βελτίωσης όξινων εδαφών είναι η αύξηση του pH τους με την προσθήκη ανθρακικών αλάτων. Αποτέλεσμα είναι η βελτίωση της δομής τους και της παραγωγικότητας τους, βελτίωση της θρόμβωσης των

κολλοειδών, οξείδωση του σιδήρου και του Μn, μείωση της αποσάθρωσης, καλύτερες συνθήκες για τους μικροοργανισμούς.

Το pH του εδάφους εξαρτάται στενά από την περιεκτικότητα των εδαφών σε CaCO_3 . Τα εδάφη που έχουν CaCO_3 έχουν pH μεταξύ 7 και 8,3. Όσα στερούνται CaCO_3 έχουν pH χαμηλότερο του 7, εξαρτώμενο από το βαθμό κορεσμού διαβάσεων.

4. Το pH επηρεάζει το ηλεκτρικό φορτίο και την πυκνότητα της επιφάνειας των κολλοειδών τεμαχιδίων. Το αρνητικό φορτίο των κολλοειδών της αργίλου δημιουργείται λόγω ισόμορφης αντικατάστασης στα τετράεδρα και οκτάεδρα του κρυσταλλικού πλέγματος και λόγω θραύσεως των δεσμών. Επίσης, το θετικό φορτίο των κολλοειδών της αργίλου δημιουργείται στην επιφάνεια των οξειδίων του Fe και Μn και λόγω δεσμεύσεως πρωτονίων εκτεθειμένων στην επιφάνεια των ορυκτών οκταεδρικών ομάδων.
5. Το pH επηρεάζει την ΙΑΚ μέσω της επίδραση του στα επιφανειακά φορτία των κολλοειδών. Η ΙΑΚ είναι ιδιότητα του εδάφους που προκύπτει, μεταξύ άλλων, από τη διάσταση των $-\text{OH}$ και $-\text{COOH}$ της επιφάνειας των κολλοειδών και από σπασμένους δεσμούς $-\text{O}$ στην επιφάνεια των τεμαχιδίων. Αυτά έχουν επαμφοτερίζουσες ιδιότητες. Το μέρος της ΙΑΚ που οφείλεται σε ισόμορφη αντικατάσταση δεν επηρεάζεται από το pH. Καθώς αυξάνεται το pH, αυξάνεται το αρνητικό φορτίο των κολλοειδών και η ΙΑΚ. Για το λόγο αυτό η ΙΑΚ μετριέται στα εδάφη σε pH 7.
6. Το pH επηρεάζει το βαθμό κορεσμού διαβάσεων, που είναι η % αναλογία των ανταλλάξιμων βάσεων επί του συνόλου των κατιόντων, δηλαδή η % αναλογία των κατιόντων, πλην του H^+ και του Al^{3+} . Σε όξινα εδάφη κυριαρχούν τα H^+ και Al^{3+} που μειώνουν το pH άμεσα (λόγω του H^+) και μέσω του σχηματισμού υδροξυλίων του Al.

Ο βαθμός κορεσμού δια βάσεων επηρεάζει την αφομοιωσιμότητα των θρεπτικών ιόντων από τις ρίζες. Έτσι, ιόντα όπως το Ca σε όξινα περιβάλλοντα βρίσκονται σε μικρό ποσοστό στα κolloειδή του εδάφους και αντικαθίστανται δύσκολα από τα H^+ των ριζών.

7. Το pH επηρεάζει την θρόμβωση των κolloειδών του εδάφους που προσδίδει σ' αυτά καλή δομή και αυξάνει την παραγωγικότητά τους. Σε όξινα εδάφη, όπου δεν υπάρχουν άλατα η θρόμβωση αποδίδεται στα ιόντα Al^{3+} , τα οποία αυξάνουν το θετικό φορτίο των κolloειδών και μειώνουν το φορτίο Z της εσωτερικής στοιβάδας των κolloειδών, που είναι υπεύθυνο για τη διασπορά τους.
8. Το pH επηρεάζει την αποσάθρωση των εδαφών, μέσω της επίδραση του στην διαλυτότητα οξέων και βάσεων. Όσο αυξάνεται η οξύτητα, τόσο μειώνεται η διαλυτότητα των οξέων και αυξάνεται η διάσταση των βάσεων.
9. Το pH επηρεάζει την υδρόλυση ορυκτών, δηλαδή την αποσύνθεση τους από το νερό. Αποτέλεσμα της υδρόλυσης είναι η δημιουργία βάσεων και οξέων με ιοντική ισχύ ανάλογη με τη φύση των ορυκτών. Κάθε ορυκτό ή πέτρωμα που υδρολύεται δίδει στο αιώρημα διάφορο pH. Συνήθως από την υδρόλυση των περισσότερων ορυκτών, αποδίδονται OH^- στο έδαφος. Αυτά μπορούν να απομακρυνθούν με προσθήκη H^+ , όπως γίνεται μέσω των ριζικών εκκριμάτων και των όξινων αργιλίων. Τα φυτά αποτελούν συνεχή πηγή H^+ , οξυνίζουν το έδαφος και προάγουν την υδρόλυση ορυκτών.
10. Το pH επηρεάζει το οξειδοαναγωγικό δυναμικό μιας ουσίας, ευνοώντας την αποσάθρωση των εδαφών. Με την αύξηση του pH αυξάνονται οι οξειδώσεις και μειώνονται οι αναγωγές. Έτσι, στοιχεία όπως το Mn, σε ψηλά pH βρίσκονται σε δύσκολα αφομοιώσιμη τετρασθενή

μορφή, με κίνδυνο εμφάνισης τροφοπενιών, όπως συμβαίνει σε Ca-ούχα εδάφη. Σε ψηλά pH ο σίδηρος οξειδώνεται σε αδιάλυτη μορφή $\text{Fe}(\text{OH})_3$, με κίνδυνο εμφάνισης τροφοπενιών.

11. Το pH επηρεάζει το χρώμα του εδάφους, μέσω της δημιουργίας οξειδίων του Fe. Σε ψηλό pH (οξειδωτικό περιβάλλον) τα οξείδια του Fe έχουν τεφρόχρωες ή πρασινοκυανές αποχρώσεις. Σε χαμηλά pH (αναγωγικό περιβάλλον) τα οξείδια του Fe δίνουν κίτρινες ή ερυθρές αποχρώσεις.
12. Η οξύτητα του εδάφους επηρεάζει τη νιτροποίηση του αμμωνιακού αζώτου που γίνεται με την μεσολάβηση βακτηρίων. Σε χαμηλά pH ο βαθμός κορεσμού δια βάσεων είναι μικρός και η ανάπτυξη των βακτηρίων περιορισμένη. Αν υπάρχουν βάσεις η νιτροποίηση προχωρά και σε όξινα περιβάλλοντα, όπως σε ορισμένα οργανικά εδάφη. Σε αλκαλικά εδάφη, η προσθήκη μεγάλων ποσοτήτων αμμωνιακού N μπορεί να οδηγήσει σε τοξική συγκέντρωση νιτρωδών ($-\text{NO}_2^-$). Σε εδάφη που στερούνται ανθρακικά άλατα, ή γενικά βάσεις, η λίπανση με αμμωνιακό N προκαλεί πτώση του pH. Γι' αυτό η λίπανση με αμμωνιακό N σε όξινα εδάφη, πρέπει να συνδυάζεται με προσθήκη Ca.
13. Το pH επηρεάζει την απώλεια αμμωνιακών λιπασμάτων υπό μορφή αμμωνίας, που είναι μεγάλη σε αλκαλικά εδάφη.
14. Το pH επηρεάζει την ορυκτοποίηση του P στο έδαφος, δηλαδή, την αποβολή $(\text{PO}_4)^{3-}$ από οργανικές ενώσεις, όπως ο ινοσίτης. Καθώς αυξάνεται το pH εντείνεται η ορυκτοποίηση του P. Η συγκέντρωση των φωσφορικών αλάτων στο έδαφος εξαρτάται από το pH. Σε όξινα εδάφη υπερिशύουν τα $(\text{H}_2\text{PO}_4)^-$, ενώ σε ουδέτερα και αλκαλικά, τα $(\text{HPO}_4)^{2-}$. Σε ακόμα μεγαλύτερα pH υπερτερούν τα $(\text{PO}_4)^{3-}$. Τα φυτά προσλαμβάνουν τα φωσφορικά ιόντα με την εξής ευκολία: $(\text{H}_2\text{PO}_4)^- > (\text{HPO}_4)^{2-} > (\text{PO}_4)^{3-}$. Σε

όξινα εδάφη υπάρχουν διαλυμένα ιόντα Fe, Al και Mn, τα οποία δεσμεύουν τα φωσφορικά σε αδιάλυτα ιζήματα. Τα φωσφορικά ανιόντα δεσμεύονται στην επιφάνεια υδροξειδίων του Fe και Al ως αδιάλυτα υδροξυ-φωσφορικά άλατα σε οποιοδήποτε pH, οπότε θεωρούνται υπεύθυνα για την αδιαλυτοποίηση του P σε μη όξινα εδάφη. Τέλος τα φωσφορικά ανιόντα δεσμεύονται από αργιλικά ορυκτά, στα σημεία των οκταεδρικών OH⁻. Η δέσμευση μπορεί να γίνει είτε πάνω στο αργιλικό πλέγμα, είτε στα οξείδια του Al, Fe και Mn που επικαθονται στην άργιλο. Αυτή η δέσμευση αυξάνεται με την μείωση του pH. Ένα μέρος που δεσμευμένου με τον παραπάνω τρόπο φωσφόρου, μπορεί να αντικατασταθεί από άλλο ανιόν κατά την ανταλλαγή ανιόντων με την αύξηση του pH.

Τα φωσφορικά ανιόντα μπορεί να σχηματίσουν άλατα με το Ca²⁺. Ο σχηματισμός αλάτων επηρεάζεται από τον διαμελισμό του CaCO₃ και το pH.

Σε pH κοντά στο 6,5 είναι δυνατόν να σχηματισθούν άλατα φωσφόρου με κορεσμένη σε Ca άργιλο. Σε περισσότερο αλκαλικά pH συμβαίνει κατακρήμνιση Ca₃(PO₄)₂

15. Το pH επηρεάζει την χημική ισορροπία του K στο έδαφος. Σε όξινα εδάφη, όπου επικρατούν τα ιόντα Al³⁺ και H⁺, τα οποία συγκρατούνται ισχυρότερα στην επιφάνεια των κολλοειδών από ότι το K, συμβαίνει έκπλυση K. Σε ψηλό pH οι απώλειες του ανταλλάξιμου K είναι μικρές. Οι ασβεστώσεις των όξινων εδαφών, περιορίζουν την έκπλυση του K.
16. Το pH επηρεάζει την αφομοιωσιμότητα θρεπτικών στοιχείων του εδάφους (μαζί με τον βαθμό κορεσμού δια βάσεων και την αλληλεπίδραση άλλων στοιχείων). Είναι επομένως, καθοριστικό του τύπου του λιπάσματος που πρέπει να προστεθεί στο έδαφος.

Για το Mg σε όξινα εδάφη χρησιμοποιείται κυρίως ο δολομιτικός ασβεστόλιθος, αν και έχει μικρή διαλυτότητα.

Για τα Fe, Mn, Zn, Cu και BO_3^{3-} , τα οποία είναι ευδιάλυτα σε χαμηλό pH, άρα πιο εύκολα αφομοιώσιμα, δημιουργείται πρόβλημα όταν αυξάνεται το pH, οπότε σχηματίζονται αδιάλυτα υδροξείδια. Όμως σε όξινα εδάφη, λόγω της υψηλής διαλυτότητας πληθώρας στοιχείων, μπορεί να παρατηρηθεί ανταγωνισμός αυτών και μείωση της αφομοιωσιμότητας τους.

Το Mo και ο P είναι αφομοιώσιμα σε όξινα και αλκαλικά περιβάλλοντα, ενώ είναι λιγότερο προσλήψιμα σε ουδέτερα pH.

Το Mn βρίσκεται υπό δισθενή μορφή στο έδαφος, οπότε είναι υδατοδιαλυτό και ευπρόσληπτο από τα φυτά, υπό 3σθενή, οπότε είναι πολύ ασταθές και μεταπίπτει σε τετρασθενή ή δισθενή και ως τετρασθενές, οπότε σχηματίζει δυσδιάλυτα οξείδια σκοτεινού χρώματος (MnO_2). Η οξειδωση του Mn ευνοείται σε υψηλό pH, γι' αυτό σε ασβεστούχα εδάφη βρίσκεται κυρίως με αυτή τη μορφή. Το δισθενές απαντά σε όξινα εδάφη. Άρα το υδατοδιαλυτό και ανταλλάξιμο Mn μειώνεται γραμμικά με την αύξηση του pH.

Για τον Cu ισχύουν όσα αναφέρονται και για τα προηγούμενα μεταλλικά στοιχεία. Ειδικά γι' αυτόν, επειδή βρίσκεται στο έδαφος και ως οργανομεταλλική ένωση και ως συστατικό χαλκούχων ορυκτών, οι σχέσεις pH και αφομοιωσιμότητας είναι πολύπλοκες. Η αύξηση του pH ευνοεί τη δέσμευση του στοιχείου αλλά ενίοτε μπορεί να το καταστήσει πιο αφομοιώσιμο, ανάλογα με τις ειδικές διασπάσεις και οργανομεταλλικών ενώσεων του Cu.

Το B είναι ευκολότερα προσλήψιμο όταν το pH είναι χαμηλό, χωρίς να γνωρίζουμε την αιτία. Πιθανώς σε υψηλά pH υπάρχουν υδροξείδια του Al, που δεσμεύουν το βόριο με προσρόφηση.

Το Mo (προσλήψιμο από τα φυτά ως $(\text{MoO}_4)^{2-}$) αφομοιώνεται καλύτερα σε ψηλά pH, οπότε τα OH^- ευνοούν την αντικατάσταση του προσροφημένου Mo στα κolloειδή της αργίλου. Ακόμα, σε ψηλά pH ο Fe και Al βρίσκονται υπό μορφή οξειδίων και δεν αντιδρούν με το Mo για να σχηματίσουν αδιάλυτα άλατα.

Το Co προσροφάται ισχυρά στα κolloειδή των εδαφών. Αύξηση του pH και υψηλή περιεκτικότητα σε οργανική ουσία προκαλούν δέσμευση και μείωση της αφομοιωσιμότητας του Co.

17. Το pH επηρεάζει την διαθεσιμότητα του S στο έδαφος. Κατ' αρχάς επηρεάζει την ορυκτοποίηση του οργανικού S μέσω της μικροβιακής δραστηριότητας των βακτηρίων, μαζί με άλλους παράγοντες, όπως η υγρασία, θερμοκρασία και αερισμός. Το τελικό προϊόν της ορυκτοποίησης είναι το θειικό ανιόν, που προκύπτει μέσω ενδιάμεσων μορφών, λιγότερο οξειδωμένων. Άρα το S είναι σπουδαίος παράγοντας οξύνισης των εδαφών. Αυτή η οξύνιση είναι ευεργετική, γιατί προάγει την αποσάθρωση των ορυκτών και δημιουργεί στο περιβάλλον των ριζών ευεργετικό pH για διαλυτοποίηση θρεπτικών συστατικών. Έτσι, το S χρησιμοποιείται για την βελτίωση αλκαλικών εδαφών και για εκπλύσεις αλατούχων εδαφών. Η οξείδωση του S ευνοείται σε χαμηλά pH, διότι εκεί δρουν καλύτερα τα υπεύθυνα βακτήρια. Τα φυτά προσλαμβάνουν εύκολα το τελικό προϊόν της οξείδωσης $(\text{SO}_4)^{2-}$, το οποίο βρίσκεται προσροφημένο στα κolloειδή του εδάφους, κατά προτεραιότητα σε σχέση με τα NO_3^- και Cl^- . Σε αναερόβιες συνθήκες οι θειικές ενώσεις υφίστανται αναγωγή με τη βοήθεια άλλων μικροοργανισμών και μετατρέπονται σε σουλφίδια, που αντιδρούν με τον Fe του εδάφους και δίνουν FeS . Αν δεν υπάρχει επαρκής Fe^{2+} τα σουλφίδια γίνονται H_2S που διαφεύγει στην ατμόσφαιρα. Το SO_4^{2-} προσροφάται σε συστατικά του εδάφους, όπως ο καολινίτης και τα υδροξείδια του Fe και Al, τα οποία είναι κυρίως συγκεντρωμένα στον Β ορίζοντα (με αντικατάσταση των OH^- της επιφάνειάς τους). Έτσι, το S

βρίσκεται κυρίως στον Β ορίζοντα. Σε χαμηλά pH η δέσμευση του SO_4^{2-} στην επιφάνεια των κolloειδών είναι εντονότερη, ενώ σε αλκαλικά εδάφη ευνοείται η αποδέσμευση του SO_4^{2-} από τα ορυκτά και η απελευθέρωση H_2SO_4 . Σε ασβεστούχα εδάφη, που συνήθως έχουν αλκαλική αντίδραση, το SO_4^{2-} δεσμεύεται σε CaSO_4 , το οποίο είναι αδιάλυτο.

Οξύνιση των εδαφών λέγεται το φαινόμενο κατά το οποίο τα SO_4^{2-} , που προσλαμβάνονται με μικρότερη διάθεση σε σχέση με τα $\text{NO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$ από τις ρίζες των φυτών, συγκεντρώνονται στο περιβάλλον των ριζών. Για την εξουδετέρωση τους τα φυτά αποβάλλουν H^+ . Οξύνιση παρατηρείται ακόμα λόγω ατμοσφαιρικών ρύπων και διάσπασης της οργανικής ουσίας.

18. Το pH επηρεάζει την αποσύνθεση της οργανικής ουσίας του εδάφους, διότι επιδρά στους μικροοργανισμούς που εκτελούν αυτή την διαδικασία. Τα βακτήρια ως επί το πλείστον δρουν σε pH 6,5 – 7,5. Οι ακτινομύκητες προτιμούν αλκαλικά pH (8 – 9). Οι μύκητες δρουν καλύτερα σε όξινο περιβάλλον.

1.2 Διατροφή

Η τροφή που λαμβάνει ένας ζωικός οργανισμός περιέχει ενέργεια υπό μορφή χημικής ενέργειας, την οποία χρησιμοποιεί το ζώο για την κάλυψη των αναγκών της ζωής και θρεπτικά συστατικά που επίσης τροποποιούνται από το ζώο, ώστε να δομηθούν οι δικές του χημικές ουσίες. Τα συστατικά της τροφής ανήκουν από χημική άποψη στις ίδιες κατηγορίες ενώσεων στις οποίες ανήκουν και τα συστατικά του σώματος των ζώων. Με το φαινόμενο του μεταβολισμού πραγματοποιείται συνεχής μεταβολή των συστατικών του σώματος του ζώου και αντικατάσταση αυτών με άλλα που προέρχονται από όσα αποδομούνται, αλλά και από την τροφή (Καλαϊσάκης κ.ά., 2000). Τα συστατικά της τροφής των ζώων είναι τα ακόλουθα δύο: νερό και ξηρή ουσία.

Η ξηρή ουσία διακρίνεται σε ολική τέφρα που περιλαμβάνει ανόργανα στοιχεία και οργανική ουσία που περιλαμβάνει όλες τις κύριες κατηγορίες ενώσεων των ζωντανών οργανισμών, δηλαδή: υδατάνθρακες, λίπη, πρωτεΐνες, νουκλεοξέα, οργανικά οξέα και βιταμίνες.

Οι πρωτεΐνες ενός ζωικού οργανισμού σχηματίζονται από τις αζωτούχες ουσίες των τροφών του. Οι πρωτεΐνες τόσο στα φυτά, όσο και στα ζώα αποτελούν το σημαντικότερο τμήμα των αζωτούχων συστατικών τους. Στα φυτά, όπου το μεγαλύτερο μέρος των πρωτεϊνών βρίσκεται υπό μορφή ενζύμων, η περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη είναι υψηλή στα νεαρά, αναπτυσσόμενα όργανα και μειώνεται με την ωρίμανση (Καλαϊσάκης κ.ά., 2000). Από τις φυτικές ζωοτροφές, πλούσιες σε πρωτεΐνη θεωρούνται τα ελαιούχα σπέρματα και τα υποπροϊόντα της βιομηχανικής τους επεξεργασίας, τα σπέρματα ψυχανθών, οι ζύμες και τα έμβρυα δημητριακών.

Εκτός των πρωτεϊνών η ζωοτροφή περιέχει και άλλες αζωτούχες ουσίες όπως: νουκλεϊνικά οξέα, αλκαλοειδή, αζωτούχους γλυκοζίτες, αμμωνιακά και νιτρικά άλατα, όξινα αμίδια, βεταΐνες, αμμωνία, νιτρικά άλατα, ουρία, χιτίνη

κλπ. Ορισμένες από τις ενώσεις αυτές βρίσκονται και στους ζωικούς οργανισμούς αλλά σε πολύ μικρά ποσά. Από τις φυτικές τροφές φτωχά σ' αυτές είναι τα σπέρματα και οι καρποί. Αντίθετα, η νεαρή χλόη και η ενσιρωμένη τροφή περιέχουν μεγάλες ποσότητες. Γενικά οι φυτικές ζωοτροφές περιέχουν τις ενώσεις αυτές σε ποσοστό 15 – 25%. (Καλαϊσάκης κ.ά., 2000)

Κάποιες από τις ενώσεις αυτές είναι αντιδιαιτητικοί παράγοντες με διάφορες δράσεις όπως (Καλαϊσάκης κ.ά., 2000):

1. Γλυκοζίτες: είναι αντιδιαιτητικοί παράγοντες που απαντώνται μόνο στις ζωοτροφές φυτικής προέλευσης και στο σώμα των ζώων (αλλά σε πολύ μικρά ποσά). Διακρίνονται σε α) κυανογόνους γλυκοζίτες. Το CN⁻ είναι πολύ τοξικό και προκαλεί διακοπή της κυτταρικής αναπνοής. β) θειογλυκοζίτες. Περιέχουν την θειοκυανική ρίζα SCN⁻ που επηρεάζει αρνητικά τον θυρεοειδή αδένα. γ) σαπωνίνες. Δρουν τοπικά στον εντερικό σωλήνα, λόγω αδυναμίας απορρόφησης, οπότε επηρεάζουν την δράση πεπτικών ενζύμων.
2. Αλκαλοειδή: Προσβάλλουν το νευρικό σύστημα των ζώων.
3. Αιμοσυγκολλητίνες: Πρωτεϊνικές ενώσεις με αιμοσυγκολλητικές ιδιότητες.
4. Παρεμποδιστές πρωτεασών: Πρωτεϊνικές ενώσεις που αδρανοποιούν τις ενδογενείς πρωτεάσες.
5. Νιτρικά άλατα: Η μαζική μετατροπή τους σε νιτρώδη προκαλεί τοξικότητα στα ζώα.

Ενώ για τα εκτρεφόμενα ζώα η χορήγηση τροφής αποτελεί μέλημα του ανθρώπου, στην προσπάθειά του να πάρει το μέγιστο και καλύτερο δυνατόν προϊόν, να εξασφαλίσει διάρκεια στην απόδοση του ζωικού του κεφαλαίου και να βελτιστοποιήσει την παραγωγή των ζώων του, για τους γαιοσκώληκες, που δεν βρίσκονται κάτω από την προστασία του ανθρώπου, η ύπαρξη της

κατάλληλης τροφής αποτελεί οικολογική προϋπόθεση για την ανάπτυξη του πληθυσμού. Δεν θα βρούμε γαιοσκώληκες σε περιοχές που δεν υπάρχουν διαθέσιμοι κατάλληλοι τροφικοί πόροι.

Στη φύση οι τροφικοί πόροι, ή απλούστερα η τροφή με την οποία τρέφονται οι γαιοσκώληκες είναι κατά κύριο λόγο η οργανική ουσία του εδάφους. Μερικά είδη καταπίνουν συγχρόνως και ανόργανο χώμα. Συχνά, ένα σημαντικό μέρος (το 25%) του επιφανειακού Α ορίζοντα του εδάφους περνά ετησίως από το πεπτικό σύστημα των γαιοσκωλήκων, ιδίως στους τροπικούς, όπου κυριαρχούν οι ενδόγειοι γαιοσκώληκες (Edwards, 2004). Το χώμα τους χρησιμεύει για να διευκολύνουν την πέψη και λειοτριβήση της οργανικής ουσίας. Κάποια άλλα τρέφονται μόνο με αποσυντιθέμενη οργανική ύλη, σε πρώιμο ή προχωρημένο στάδιο αποδόμησης, ανάλογα με το είδος. Μπορούν ακόμα να διατραφούν από αποχωρήματα διαφόρων ζώων, ρίζες, κυρίως σε κατάσταση αποσύνθεσης, αλλά σπανιότερα και ζωντανές και νεαρά σπορόφυτα. Έχουν αναφερθεί ζημιές από γαιοσκώληκες σε ρίζες ρυζιού και άλλων καλλιεργειών (Edwards, 2004).

Κατά την διαδικασία πρόσληψης της τροφής τους, οι γαιοσκώληκες μπορεί να προσλαμβάνουν και να επεξεργάζονται διάφορους μικροοργανισμούς του εδάφους, όπως βακτήρια, μυκόρριζες, ακτινομύκητες, σαπροφάγους ή φυτοφάγους μύκητες και πρωτόζωα, δείχνουν μάλιστα επιλεκτική προτίμηση σε ορισμένους μύκητες (Edwards, 2004), γεγονός που σημαίνει ότι οι μύκητες είναι τροφική επιλογή του ζώου. Μπορεί ακόμα να καταπιούν και να πέψουν κάποιους νηματώδεις και συμβάλουν στη μείωση του μολύσματος στο έδαφος.

Ακόμα στη φύση οι γαιοσκώληκες μπορεί να καταπιούν σπόρους διαφόρων φυτών. Ορισμένοι από αυτούς αλλοιώνονται στο πεπτικό σύστημα του ζώου, άλλοι αποβάλλονται ακέραιοι με τα κοπρολύματα, οπότε επωφελούνται γιατί διασπείρονται και τοποθετούνται στο ευνοϊκό περιβάλλον των κοπρολυμάτων.

Οι γαιοσκώληκες μπορεί να καταπιούν τα δικά τους κοπρολύματα ή τα κοπρολύματα άλλων ειδών γαιοσκωλήκων με τα οποία συνυπάρχουν, καθώς και τα αποχωρήματα άλλων εδαφόβιων ασπονδύλων (Edwards, 2004). Θα λέγαμε ότι χρησιμοποιούν ως τροφή την οργανική ουσία που έχει αποθεθεί στο έδαφος σε οποιοδήποτε στάδιο αποδόμησης και αν βρίσκεται. Μπορούν να προστατεύσουν την οργανική ουσία του εδάφους, εγκλείοντας την στα σταθεροποιημένα κοπρολύματα και να μειώσουν την ανοργανοποίηση του εδάφους κατά 5%. Η υπόθεση αυτή χρειάζεται διερεύνηση, εφ' όσον, στην ίδια βιβλιογραφική πηγή αναφέρεται ότι οι απώλειες σε C των κοπρολυμάτων μπορεί να είναι μεγαλύτερες από το περιβάλλον έδαφος υπό συνθήκες έντονης εναλλαγής υγρής – ξηρής περιόδου.

Διατρεφόμενοι από το ανόργανο μέρος του εδάφους, οι γαιοσκώληκες μπορούν να αφομοιώσουν τα ανόργανα στοιχεία του.

Οι γαιοσκώληκες επιλεκτικά καταναλώνουν οργανική ουσία στο έδαφος που έχει μικρό λόγο C/N (Edwards, 2004).

Λόγω της ιδιότητας τους να καταναλώνουν οργανική ύλη ποικίλης προελεύσεως και σταδίου αποδόμησης, αλλά και διότι πολλά είδη είναι εύκολα ως προς την εκτροφή, πολλαπλασιάζονται γρήγορα και έχουν υψηλή γονιμότητα, οι γαιοσκώληκες έχουν χρησιμοποιηθεί για την αξιοποίηση υποπροϊόντων ή την αποκατάσταση ρυπογόνων αποβλήτων. Έτσι οι γαιοσκώληκες μπορούν να διατραφούν από αστικά λύματα, αστικά απόβλητα, οικιακά οργανικά απορρίμματα, απορρίμματα σούπερ-μάρκετ, σχολείων και εστιατορίων, απορρίμματα βιομηχανιών, όπως ζυθοποιίας, χαρτοβιομηχανίας, υποπροϊόντα ξυλουργείων, επεξεργασίας πατάτας, υπολείμματα ελαιουργείων, καλλιέργειας μανιταριών, κοπριά πολλών εκτρεφόμενων ζώων. Ακόμα οργανικά υπολείμματα καλλιεργειών και απορρίμματα κηπουρικής. Στους τροπικούς ένα καλό υπόστρωμα ανάπτυξης των γαιοσκωλήκων είναι τα υπολείμματα καλλιέργειας του καφέ και του ζαχαροκάλαμου (Edwards, 2004). Τα παραπάνω υλικά χρησιμοποιούνται

αυτούσια ή σε μίγματα, αρκεί να εξασφαλισθεί ο λόγος C/N = 30/1 (Lavelle et al., 1999). Η διαδικασία επεξεργασίας των παραπάνω υλικών λέγεται vermicomposting, είναι σχετικά απλή και με λίγες τεχνολογικές απαιτήσεις και μ' αυτή, όχι μόνο περιορίζονται οι ρύποι, αλλά παράγεται και ένα προϊόν, η κομπόστα γαιοσκωλήκων, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υπόστρωμα ανάπτυξης φυτών, ή για οργανική λίπανση εδαφών. Το προϊόν αυτό είναι απαλλαγμένο από τα περισσότερα ανθρώπινα παράσιτα, από δυσάρεστες οσμές, είναι πλούσιο σε C, N και πολλά θρεπτικά στοιχεία, άμεσα αφομοιώσιμα από τα φυτά, δεν έχει φυτοπαθογόνα παράσιτα, έχει υψηλή μικροβιακή δραστηριότητα, είναι εμπλουτισμένο με βιταμίνες και ρυθμιστές ανάπτυξης. Με λίγα λόγια είναι εφάμιλλο με τα εμπορικά οργανικά υποστρώματα που χρησιμοποιούνται στην φυτοτεχνία και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως οργανικό λίπασμα.

Η παραγωγή vermicompost μπορεί να συνδυασθεί με την εκτροφή γαιοσκωλήκων με σκοπό την παραγωγή πρωτεΐνης για διατροφή ζώων. Η πειραματική εκτροφή σολομών, κοτόπουλων και χοίρων με πρωτεΐνη γαιοσκωλήκων έδειξε πολύ καλά αποτελέσματα (Edwards, 2004). Το προϊόν που παράγεται είναι φθινό και καλής ποιότητας. Στη βιομηχανία αυτή το σπουδαιότερο πρόβλημα είναι η δυσκολία συλλογής των γαιοσκωλήκων και ο διαχωρισμός τους από το υπόστρωμα εκτροφής. Στην συνέχεια τα ζώα θανατώνονται και η πρωτεΐνη συντηρείται με κατάλληλες μεθόδους ανάλογα με το είδος ζώου για το οποίο προορίζεται το προϊόν, τις μέγιστες επιτρεπόμενες απώλειες ξηρής ουσίας και θρεπτικότητας, καθώς και οικονομικά κριτήρια.

1.3 Πρωτεΐνες

Είναι πολυμερείς ενώσεις που σχηματίζονται από την ένωση των αμινοξέων. Ο ρόλος τους στον ζωικό και φυτικό οργανισμό είναι τεράστιος και ποικιλόμορφος. Αποτελούν το βασικό τμήμα των ενζύμων, των μυών και των συσταλών οργάνων, των μεμβρανών των κυττάρων και των οργανιδίων τους. Είναι συστατικά του πλάσματος και του αιμάτινου ιστού. Οι ορμόνες, που είναι χημικοί συντονιστές του ζωικού και φυτικού κυττάρου και άλλες ρυθμιστικές ουσίες είναι όλες πρωτεϊνικής φύσεως. Οι πρωτεΐνες μετέχουν στη νευροδιαβίβαση ερεθισμάτων, ως ένζυμα ρυθμιστικά και ως μόρια μεταγωγής σημάτων, στην άμυνα του οργανισμού, καθώς και στην σύνθεση πολλών μικρών μορίων π.χ. κρεατινίνη (Gibney et al., 2008).

Μέσα στο ζωικό ευκαρυωτικό κύτταρο βρίσκουμε πρωτεΐνες ως δομικά συστατικά των οργανιδίων του: α) Στις κυτταρικές μεμβράνες, όπου ορισμένες εξ αυτών (οι περμεάσες) αποτελούν διόδους μεταφοράς ουσιών από και προς το κύτταρο, άλλες αποτελούν υποδοχείς μορίων και άλλες είναι εξειδικευμένες ουσίες σήμανσης, όπως τα αντισώματα, που δίνουν μία μορφή ανοσίας στον οργανισμό. Πρέπει να σημειωθεί ότι η ενεργός μεταφορά διαμέσου της κυτταρικής μεμβράνης είναι ένα σύνθετο φαινόμενο που μπορεί να γίνει και με ενδοκύτωση, οπότε εμπλέκονται πολλές πρωτεΐνες, όπως η μυοσίνη, η ακτίνη, η κλαθρίνη κ.ά. β) Μέσα στους πυρήνες των κυττάρων, όπου απαντώνται οι ιστόνες και άλλες όξινες πρωτεΐνες γ) στις μεμβράνες των οργανιδίων του κυττάρου, όπως ενδοπλασμικού δικτύου, πυρηνικού φακέλου, ριβοσωμάτων, στα οποία γίνεται και η σύνθεση (αναβολισμός) των πρωτεϊνών, των κενοτοπίων και των μιτοχονδρίων δ) στο εσωτερικό των κυστιδίων των στοιχείων Golgi, όπου απαντώνται κυρίως απεκκριτικές πρωτεΐνες ε) στο εσωτερικό των λυσοσωμάτων, οπότε οι πρωτεΐνες αυτές είναι δραστηκότερα ένζυμα που χρησιμεύουν στο μεταβολισμό ξένων σωμάτων και την απόπτωση γερασμένων ή φθαρμένων κυττάρων και οργανιδίων στ) στα κυτταρικά κενοτόπια, όπου περιέχονται

ένζυμα ζ) στο εσωτερικό των μιτοχονδρίων, όπου επίσης απαντώνται ένζυμα η) στον κυτταροσκελετό, που είναι υπεύθυνος για την διατήρηση του σχήματος κάθε ζωικού κυττάρου και που αποτελείται από μικροϊνίδια ακτίνης και από άλλες πρωτεΐνες, όπως η μυοσίνη (αυτή απαντάται μόνο στα μυικά κύτταρα). Εκτός από τα μικροϊνίδια ακτίνης, ο κυτταροσκελετός απαρτίζεται και από μικροσωληνίσκους τουμπουλίνης, μιας άλλης πρωτεΐνης που παίζει ιδιαίτερο ρόλο κατά την κυτταρική διαίρεση και από ενδιάμεσα ινίδια που εμφανίζονται σε 5 διαφορετικούς τύπους.

Επίσης μέσα στο κυτταρόπλασμα υπάρχουν πρωτεΐνες, όπως οι κυκλίνες, που ρυθμίζουν τους κύκλους του κυττάρου, αλλά και άλλα ένζυμα, καθώς και ελεύθερα αμινοξέα.

Πρωτεΐνες και αμινοξέα βρίσκουμε ακόμα στο εξωκυτταρικό υγρό και το αίμα, που αποτελούν την δεξαμενή των ουσιών αυτών, απ' όπου οι ιστοί αντλούν τα υλικά που χρειάζονται. Η δεξαμενή αυτή δημιουργείται από τις πρωτεΐνες των τροφών, που απελευθερώνουν τα αμινοξέα τους στο έντερο και στη συνέχεια αυτά απορροφούνται και κυκλοφορούν στο αίμα και από την υδρόλυση των πρωτεϊνών του σώματος. Από την δεξαμενή αμινοξέων τα ζώα ανασυνθέτουν τις πρωτεΐνες που χρειάζονται, ενώ το πλεόνασμα διασπάται προς παραγωγή ενέργειας (Bender, 2008).

Πρωτεΐνες απαντάμε ακόμα σε πολλούς ιστούς των ζωικών οργανισμών ως δομικά και λειτουργικά συστατικά: στο αίμα και τη λέμφο, όπου εκτός από τις γνωστές αιμοσφαιρίνη, αλβουμίνη και γλοβουλίνη, υπάρχουν και πολλές άλλες λειτουργικές πρωτεΐνες, όπως η προθρομβίνη, το ιοδογόνο, πρωτεΐνες αναγνώρισης κυττάρων ή μείζον σύστημα ιστοσυμβατότητας (MHC) και ανοσοσφαιρίνες (Gibney et al., 2008).

Στον ινώδη συνδετικό ιστό, στον οποίο απαντάται το κολλαγόνο, ως συστατικό των κυττάρων. Τον ινώδη ιστό τον συναντάμε κάτω από το δέρμα των θηλαστικών, μεταξύ των μυών και γύρω από τα αιμοφόρα αγγεία. Στον χόνδρινο ή χονδρίτη ιστό με μεσοκυττάρια ουσία την χονδρίνη που

απαντάται στο λάρυγγα, την τραχεία, το σκελετό του εμβρύου, στα πτερύγια των αυτιών και στη μύτη και μεταξύ των σπονδύλων.

Στον μυϊκό ιστό, όπου απαντούμε πρωτεΐνες όπως η μυοσίνη, ακτίνη, η τροπομυοσίνη και η τροπονίνη και άλλες (Πελεκάσης, 1986).

Στο σάλιο, ως ένζυμα ή ως μουκοπρωτεΐνες που διευκολύνουν τη διολίσθηση βλωμών και στα πεπτικά υγρά, στα δάκρυα και υπό μορφή αντισωμάτων στη λέμφο των θηλαστικών. Πρωτεϊνικής φύσεως είναι το εξώτατο, μη ζωντανό στρώμα της επιδερμίδας των ζώων που λέγεται κερατίνη, το σκληρό και ανθεκτικό προεπιδερμίδιο των αρθροπόδων, που λέγεται σκληρωτίνη. Τα νύχια και οι τρίχες των θηλαστικών. Τέλος η λέκιθος των ωών πιθανώς να είναι πρωτεϊνικής φύσεως.

Οι πρωτεΐνες ενός οργανισμού υφίστανται συνεχή διάσπαση και ανασύνθεση κατά την διαδικασία του μεταβολισμού και αυτό αποτελεί μια δυναμική κατάσταση. Κάθε πρωτεΐνη διατηρείται ακέραιη μέσα στον οργανισμό για ένα χρονικό διάστημα που εξαρτάται από τη φύση και τη λειτουργικότητα του μορίου της και ανακυκλώνεται με χαρακτηριστικό ρυθμό. Ο ρυθμός αποδόμησης των πρωτεϊνών σε έναν οργανισμό εξαρτάται, εκτός από τον τύπο της πρωτεΐνης, από την ηλικία, την διατροφή του, το στρες, την κατάσταση της υγείας του, τις ορμόνες και την σωματική του κατάσταση (D'Mello, 2000). Υπό αυτή την έννοια οι πρωτεΐνες χαρακτηρίζονται από συγκεκριμένο χρόνο ημιζωής. Τα ένζυμα έχουν χρόνο ημιζωής κάποια λεπτά ή ώρες, ενώ υπάρχουν άλλες πιο σταθερές πρωτεΐνες, όπως το κολλαγόνο του ερειστικού ιστού, που έχει χρόνο ημιζωής σχεδόν 1 έτος (Bender, 2008).

Οι πρωτεΐνες συντίθενται στα ριβοσώματα του κυττάρου μετά από αποκωδικοποίηση του αγγελιοφόρου mRNA με αρχικά δομικά συστατικά τα αμινοξέα. Στα θηλαστικά υπάρχουν 21 διαφορετικά αμινοξέα για τη σύνθεση των πρωτεϊνών, καθώς και πολλά ακόμα που δημιουργούνται ως αποτέλεσμα μετασυνθετικών διαφοροποιήσεων (Bender, 2008). Εννέα αμινοξέα

χαρακτηρίζονται ως απαραίτητα για τον άνθρωπο, διότι δεν μπορούν να συντεθούν από τον ίδιο, αλλά πρέπει να λαμβάνονται αυτούσια μέσω της τροφής. Τα μη απαραίτητα αμινοξέα, μπορούν να δημιουργηθούν μέσα στον οργανισμό με κατάλληλες ενζυμικές αντιδράσεις και στον άνθρωπο συντίθενται στους νεφρούς από πρόδρομες ουσίες. Λίγες πρωτεΐνες συντίθενται στα μιτοχόνδρια (Gibney et al., 2008).

Πολλές από τις πρωτεΐνες ενός οργανισμού συντίθενται σε διαφορετικό ιστό από αυτόν που τις χρησιμοποιεί, π.χ. στον άνθρωπο το ήπαρ είναι υπεύθυνο για την σύνθεση των πρωτεϊνών του πλάσματος του αίματος (αλβουμίνες, γλοβουλίνες, ινωδογόνο κλπ.) (Gibney et al., 2008). Αυτές οι πρωτεΐνες μαζί με τα αμινοξέα που πλεονάζουν αποτελούν στα εξωκυτταρικά υγρά (αίμα, λέμφος, υγρό των ιστών) την δεξαμενή από την οποία τα διάφορα όργανα συνθέτουν τις πρωτεΐνες τους (Καλαϊσάκης κ.ά., 2000). Το ήπαρ συνθέτει ακόμα τις δικές του ηπατικές πρωτεΐνες.

Ο οργανισμός μπορεί να συνθέσει αμινοξέα, αλλά κυρίως λαμβάνει όσα χρειάζεται με την τροφή. Μεταξύ της σύστασης του σώματος του ζώου και της φυτικής τροφής που τρώει δεν υπάρχουν αξιόλογες ποιοτικές διαφορές, αλλά κυρίως ποσοτικές (Καλαϊσάκης κ.ά., 2000).

Οι πρωτεΐνες της τροφής υδρολύονται και όσα από τα αμινοξέα τους δεν διασπασθούν, απορροφώνται από το λεπτό έντερο. Με την κυκλοφορία των σωματικών υγρών, τα αμινοξέα φθάνουν στο ήπαρ, όπου το μέγιστο αυτών μεταβολίζεται και τα υπόλοιπα χρησιμοποιούνται για πρωτεϊνοσύνθεση. Τυχόν περίσσειμα αμινοξέων εισέρχεται στην κυκλοφορία και τροφοδοτεί τις εφεδρικές δεξαμενές αμινοξέων που είναι το πλάσμα, η λέμφος και το εξωκυτταρικό υγρό. Από αυτές τις δεξαμενές, καθώς και από τις πρωτεΐνες του πλάσματος αντλούν αμινοξέα οι ιστοί για την σύνθεση των οικείων πρωτεϊνών (Gibney et al., 2008). Τα πλεονάσματα των αμινοξέων που δεν χωρούν στις δεξαμενές αποδομούνται στο ήπαρ (Καλαϊσάκης κ.ά., 2000).

Ο καταβολισμός των πρωτεϊνών γίνεται μέσα στα κύτταρα και είναι δυναμικός και συνεχής, με ρυθμό που προσδιορίζεται από το χρόνο ημιζωής της πρωτεΐνης. Στην περίπτωση αυτή συντίθενται νέες πρωτεΐνες προς αντικατάσταση όσων καταβολίζονται, ενώ το ήπαρ εφοδιάζει τις δεξαμενές με καινούργιες πρωτεΐνες και αμινοξέα. (Gibney et al., 2008, Καλαϊσάκης κ.ά., 2000). Ο καταβολισμός των πρωτεϊνών εξαρτάται και ελέγχεται από τους ίδιους παράγοντες με την πρωτεϊνοσύνθεση. Το ήπαρ αποτελεί το κύριο όργανο καταβολισμού των αμινοξέων.

Οι πρωτεΐνες των ιστών καταβολίζονται μέσα στους ίδιους τους ιστούς και αντικαθίστανται από άλλες. Σε περίπτωση ανεπάρκειας των εφεδρικών δεξαμενών, οι πρωτεΐνες των ιστών μεταφέρονται στο ήπαρ, όπου διασπώνται προς παραγωγή γλυκογόνου που χρειάζεται ο οργανισμός για να συμπληρώσει τις ενεργειακές του ανάγκες (Gibney et al., 2008, Καλαϊσάκης κ.ά., 2000). Κάτω από τέτοιες συνθήκες οι εφεδρικές και οι δομικές δεξαμενές πρωτεϊνών αδειάζουν, οι μύες καταναλώνονται και ο οργανισμός, αφού επιβιώσει για κάποιο διάστημα υπό ανεπάρκεια πρωτεϊνών, εξαντλείται και πεθαίνει. Οι πρωτεΐνες που είναι «ξένες» προς τον οργανισμό και εισήχθησαν με ενδοκύττωση ή πινοκύττωση, αποδομούνται μέσα στα λυσοσώματα από οικεία ένζυμα (Gibney et al., 2008).

Με την διάσπαση των πρωτεϊνών παράγεται NH_3 , η οποία είναι πολύ τοξική. Το ήπαρ των θηλαστικών και των αμφιβίων διαθέτει μηχανισμούς μετατροπής της αμμωνίας σε ουρία και γλουταμίνη που είναι λιγότερο τοξικά. Η σύνθεση της ουρίας είναι ενεργειακά δαπανηρή (Gibney et al., 2008, Bender, 2008, Καλαϊσάκης κ.ά., 2000). Στα πτηνά, αρθρόποδα και ερπετά το τελικό προϊόν αποδόμησης είναι το ουρικό οξύ (Καλαϊσάκης κ.ά., 2000).

Το σημαντικότερο τμήμα των αζωτούχων ουσιών του σώματος ενός ζωικού οργανισμού είναι οι πρωτεΐνες και τα αμινοξέα (Καλαϊσάκης κ.ά., 2000), πλην όμως, στον ζωικό οργανισμό απαντώνται και αζωτούχες ενώσεις

μη πρωτεϊνικής φύσεως, όπως: γενετικό υλικό (τα νουκλεοξέα με τις αζωτούχες βάσεις τους – πουρίνες και πυριμιδίνες), τα αλκαλοειδή, οι αζωτούχοι γλυκοζίτες, αμμωνιακά άλατα, όξινα αμίδια, βεταΐνες.

Σ' ένα ζωικό οργανισμό οι εισροές σε άζωτο οφείλονται στην τροφή του και είναι κυρίως πρωτεϊνικής φύσεως. Οι εκροές αποδίδονται στον μεταβολισμό και την πέψη, αλλά και σε απώλειες από τα σωματικά υγρά (δάκρυα, ιδρώτα, σίελο), ανανέωση του δέρματος, του τριχώματος, του εξωσκελετού και των ονύχων (Bender, 2008).

Ο μεταβολισμός οδηγεί σε παραγωγή άχρηστων προϊόντων που απορρίπτονται μέσω των ούρων και της κόπρου. Το αζωτούχο προϊόν του μεταβολισμού των πρωτεϊνών είναι η αμμωνία που είναι πολύ τοξική. Αυτή αποβάλλεται εύκολα στα υδρόβια ζώα, μέσω των αναπνευστικών επιφανειών με διάχυση. Αντίθετα τα χερσαία ζώα μετατρέπουν την αμμωνία σε ουρία ή ουρικό οξύ και την αποβάλουν μέσω των ούρων. Επιπλέον, υπάρχει και μία ποικιλία άλλων αζωτούχων ουσιών που συντίθενται για την απομάκρυνση της NH_3 από τον οργανισμό (Hickman et al., 2002).

Η κόπρος περιέχει N ουσίες που προέρχονται από: α) το πρωτεϊνικό τμήμα των ζωοτροφών που αποδομήθηκε κατά την πέψη β) βακτηριακή και άλλη πρωτεΐνη του εντερικού σωλήνα γ) πρωτεΐνη βλέννας που εκκρίνεται στο πεπτικό σύστημα. Αυτή η βλέννα είναι αρκετά σταθερή και χρησιμεύει για την διευκόλυνση της διολίσθησης του τροφών και την προστασία των εντερικών βλεννογόνων από τραυματισμούς δ) κύτταρα του εντερικού επιθηλίου που απορρίπτονται ε) πεπτικά ένζυμα, ουρία, εξοζαμίνες.

Στο φυτικό κύτταρο, οι πρωτεΐνες περιέχονται στα ίδια οργανίδια με το ζωικό κύτταρο. Οι σπουδαιότερες διαφορές μεταξύ των 2 τύπων κυττάρων είναι οι παρακάτω: Το φυτικό κύτταρο έχει μορφή οργανιδίων που λέγονται σφαιροσώματα. Προέρχονται από το ενδοπλασμικό δίκτυο και τελικώς μεταμορφώνονται σε σταγονίδια λίπους, μετά από συσσώρευση λιπιδίων. Τα σφαιροσώματα περιβάλλονται από οικεία μεμβράνη με πρωτεΐνες, εγκλείουν

πρωτεϊνικής φύσεως ένζυμα που σχετίζονται με την εναπόθεση λίπους. Θεωρούνται ομόλογα των λυσοσωμάτων των ζωικών κυττάρων, που όμως λείπουν από τα φυτικά. Το φυτικό κύτταρο έχει χλωροπλάστες και άλλα πλαστίδια. Είναι μικρότατα σωματίδια που περιβάλλονται από πρωτεϊνική μεμβράνη, έχουν στο εσωτερικό τους σύστημα ελασματοειδών μεμβρανών και περιέχουν πρωτεϊνικές ουσίες και χρωστικές όπως η χλωροφύλλη και άλλες. Από τις χρωστικές, άλλες είναι αζωτούχοι εστέρες, όπως η χλωροφύλλη και άλλες, όπως τα καροτένια και οι ξανθοφύλλες, δεν είναι αζωτούχες ενώσεις. Το φυτικό κύτταρο διαθέτει χυμοτόπια που περιβάλλονται από πρωτεϊνική μεμβράνη που λέγεται τονοπλάστης. Εντός του χυμοτοπίου απεκκρίνονται άχρηστα ή πλεονάζοντα συστατικά του κυττάρου, μεταξύ αυτών N-χες ουσίες, όπως αμίδια, αμινοξέα, κ.ά. Στο χυμοτόπιο εντοπίζονται ακόμα διάφορες υδατοδιαλυτές χρωστικές, ταννίνες, αρωματικά και ισοκυκλικά οργανικά οξέα, γλυκοζίτες, αμυλόκοκκοι, φυτίνη, καθώς και αζωτούχες ουσίες, όπως τα αλκαλοειδή (νικοτίνη, κωνεΐνη, ατροπίνη κ.ά.) και διάφορες πρωτεΐνες (σφαιρίνες, γλοβουλίνες, αλβουμίνες). Τέλος, τα φυτικά κύτταρα περιβάλλονται από τα κυτταρικά τοιχώματα, που είναι μη πρωτεϊνικής, αζωτούχου συστάσεως και αποτελούνται από κυτταρίνη, ημικυτταρίνες, πηκτίνες, λιγνίνη, κυτίνη ή φελλίνη.

Πλούσια σε πρωτεΐνες φυτικά όργανα είναι ορισμένα σπέρματα.

Οι γαιοσκώληκες έχουν αρκετή πρωτεΐνη στο σώμα τους και τα ζώα αυτά αποτελούν στη φύση μια ξεχωριστή λιχουδιά για διάφορα αρπακτικά όπως πτηνά, μιγαλές, ασβούς κ.ά. (Edwards, 2004). Η διαιτητική τους αξία έγκειται στο ότι η πρωτεΐνη τους είναι πλούσια στα απαραίτητα αμινοξέα για τον άνθρωπο και τα θηλαστικά, περιέχουν πολλά λιπαρά οξέα που δεν μπορούν να συντεθούν από τα μη μυρηκαστικά ζώα, καθώς και πολλά ανόργανα συστατικά. Ακόμα είναι πλούσια πηγή βιταμινών, κυρίως νιασύνης και B₁₂. Έτσι οι γαιοσκώληκες αποτελούν ένα καλό σιτηρέσιο για εκτρεφόμενα ζώα.

1.3 Γαιοσκώληκες

Οι γαιοσκώληκες ανήκουν στο φύλο Annelida, στην κλάση Clitellata και στην τάξη Oligochaeta. Έχουν συνήθως σε κάθε σωματικό δακτύλιο 4 ζεύγη κοντών, χιτίνινων τριχών, πολύ λιγότερα από του υδρόβιους Πολύχαιτους (Προφήτου, 2012).

Το σώμα τους χαρακτηρίζεται από εξωτερική μεταμέρεια, δηλαδή, αποτελούνται από 15 – 250 δακτυλίους και αντίστοιχα εσωτερικά τμήματα που χωρίζονται με εγκάρσια διαφράγματα. Η διάπλαση αυτή δίνει τη δυνατότητα στο ζώο, μέσω της συστολής ή διαστολής των μυών του στα διάφορα τμήματα του σώματος να προωθείται ή να σταθεροποιείται, διευκολύνοντας έτσι την επιβίωση μέσα στο αφιλόξενο σύστημα του εδάφους. Ο πρώτος σωματικός δακτύλιος λέγεται προστόμιο και καλύπτει το στόμα και ο τελευταίος φέρει την έδρα.

Οι γαιοσκώληκες, αν και μορφολογικά φαίνεται ότι έχουν πολύ απλό σώμα, είναι αρκετά εξελιγμένα ζώα. Το νευρικό τους σύστημα αποτελείται από εγκέφαλο, περιφαρυγγικό δακτύλιο και κοιλιακή γαγγλιακή αλυσίδα, νευροεκκριτικά κύτταρα στον εγκέφαλο και στα γάγγλια, καθώς και απλά αισθητήρια κύτταρα, εντοπισμένα κυρίως στο προστόμιο και τα πρώτα και τελευταία μεταμερή (Λαζαρίδου, 1991). Γύρω από τον εγκέφαλο υπάρχουν μύες και παχύ στρώμα κολλαγόνου (Προφήτου, 2012). Άφθονο κολλαγόνο υπάρχει επίσης κάτω από την επιδερμίδα και στους μύες (Βαβουλίδου κ.ά., 2010). Δεν έχουν οφθαλμούς, αλλά αντιλαμβάνονται το φως με φωτοευαίσθητα κύτταρα, τοποθετημένα στα τελευταία τμήματα. Το νευρικό τους σύστημα είναι εφοδιασμένο με χονδρές νευρικές ίνες, που βρίσκονται κοντά στην κοιλιακή γαγγλιακή αλυσίδα και ονομάζονται γιγαντιαίες ίνες. Ο ρόλος τους είναι να μεταφέρουν το μήνυμα ακαριαία (ίσως επειδή

περιβάλλονται από μυελίνη) και μεταδίδουν την αντίδραση σε περισσότερα από ένα μεταμερή.

Έχουν πολύ καλά ανεπτυγμένο μυϊκό σύστημα, με του οποίου τις περισταλτικές κινήσεις μπορούν να κινούνται.

Έχουν ένα αποδοτικότατο πεπτικό σύστημα.

Οι γαιοσκώληκες έχουν αίμα και αιμογλοβίνη. Το κυκλοφοριακό τους σύστημα είναι κλειστό και αποτελείται από το νωτιαίο αγγείο, ανάλογο με αυτό των αρthropόδων, στο οποίο το αίμα κυκλοφορεί από πίσω προς τα μπρος, από 5 αορτικά πλευρικά αγγεία και 2 ή 4 επιμήκη κοιλιακά αγγεία που στέλνουν το αίμα προς τα πίσω. Όλα αυτά διακλαδίζονται σε μικρότερα αγγεία και καταλήγουν στα όργανα του ζώου. Εκτός από τα αγγεία, το αίμα κυκλοφορεί σε χώρο (αιματόκοιλο) ανάμεσα στο εντερικό επιθήλιο και στοιβάδα κυττάρων που λέγονται χλωρογενή, οπότε παραλαμβάνει τα θρεπτικά στοιχεία από την πέψη των τροφών.

Οι γαιοσκώληκες έχουν δερματική αναπνοή και για το λόγο αυτό, χρειάζεται να κρατούν το δέρμα τους υγρό.

Είναι ερμαφρόδιτοι αλλά τα περισσότερα είδη αναπαράγονται αμφιγονικά. Το αρσενικό αναπαραγωγικό σύστημα απαρτίζεται από 1 – 4 ζεύγη όρχεων και σπερματοκύστες, μέσα στις οποίες γίνονται οι μειωτικές διαιρέσεις. Το σπέρμα μπαίνει στο χοανοειδές άκρο του σπερματογωγού και από κει διατρέχει αρκετά μεταμερή, ώσπου να καταλήξει στον αρσενικό γονοπόρο. Το θηλυκό αναπαραγωγικό σύστημα αποτελείται από ένα ζεύγος ωοθηκών, που βρίσκεται σε μεταμερές πίσω από αυτά των όρχεων. Υπάρχουν και σ' αυτό ωόσακκοι (σαν σχηματισμοί των κοιλωματικών διαφραγμάτων), μέσα στους οποίους γίνεται η μείωση.

Τέλος υπάρχουν οι σπερματοθήκες που βρίσκονται, σε διαφορετικά μεταμερή από τα αναπαραγωγικά, για την αποθήκευση του σπέρματος του συντρόφου. Τα αναπαραγωγικά όργανα βρίσκονται, ανάλογα με το είδος, στο 9° – 15° μεταμερές. Μέρος του αναπαραγωγικού συστήματος είναι το



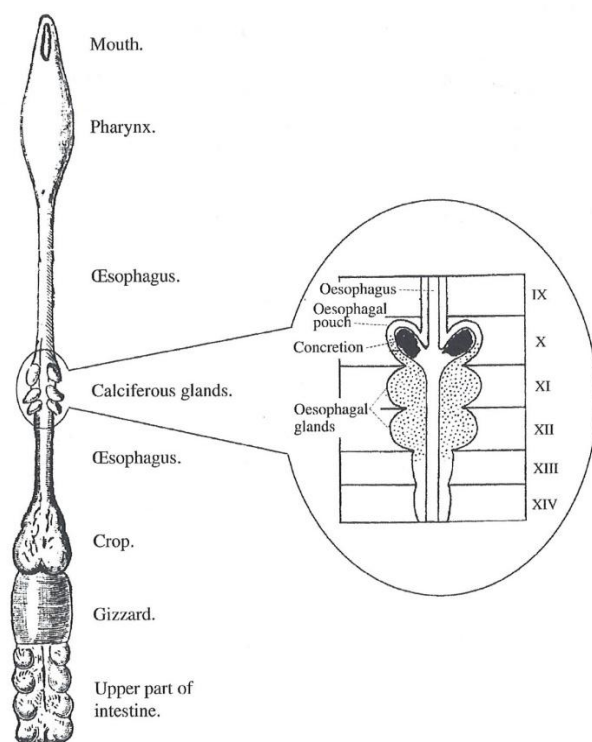
Εικόνα 1: Βομβύκια γαιοσκωλήκων

επίσαγμα: αδενική διόγκωση της επιδερμίδας, μέσα στην οποία αποθηκεύονται τα ωάρια και σπερματοζωάρια μαζί με θρεπτικό υλικό, ώστε να δημιουργηθεί το ζυγωτό και να εξελιχθεί το νεαρό άτομο. Το επίσαγμα αποβάλλεται σχηματίζοντας το βομβύκιο (κουκούλι), από το οποίο θα προκύψουν 1 – 25 νεαρά. Η ανάπτυξη των γαιοσκωλήκων είναι άμεση.

Το πεπτικό σύστημα απαρτίζεται από το στόμα, τον φάρυγγα, οισοφάγο, πρόλοβο, προστόμαχο, έντερο και την έδρα (Λαζαρίδου, 1991, Hickman et al., 2002, Edwards et al., 1988). Το στόμα ανοίγεται στο πρώτο μεταμερές μετά το μυώδες προστόμιο που παίζει ρόλο του χείλους. Διαθέτει μύες που του επιτρέπουν να εξωθείται και αισθητήρια κύτταρα που του επιτρέπουν να αναγνωρίζει την κατάλληλη τροφή προς κατανάλωση (Edwards et al., 1988). Το στοματικό επιθήλιο εκκρίνει βλέννα στην οποία προσκολλάται η τροφή και στη συνέχεια εισάγεται στη στοματική κοιλότητα με μύζηση που δημιουργείται λόγω κενού με την κατάλληλη κίνηση των μυών. Η τροφή στο στόμα υγραίνεται και προωθείται στον φάρυγγα πάλι με μύζηση. Η τροφή κατεβαίνει στον οισοφάγο χάρις στις περισταλτικές κινήσεις των μυών γύρω από τον οισοφάγο και μετά στον πρόλοβο.

Στην είσοδο του οισοφάγου υπάρχουν 2 τυφλά, που στα περισσότερα είδη διαφοροποιούνται σε πολύλοβους ασβεστικούς αδένες. Η λειτουργία τους έγκειται στο να αποσπών ιόντα Ca^{2+} από τα σωματικά υγρά και να τα αποδίδουν στον πεπτικό σωλήνα. Είναι απαραίτητη προσαρμογή των γαιοσκωλήκων στην επιβίωση σε περιβάλλοντα με υψηλή περιεκτικότητα σε

Ca, όπως τα αλκαλικά εδάφη και σε ατμόσφαιρα με υψηλή συγκέντρωση CO₂, όπως αυτή του εδάφους (Versteegh et al., 2014). Λειτουργούν ως όργανα ρυθμιστικά του εσωτερικού pH και όχι ως όργανα απέκκρισης (Hickman et al., 2002, Lambkin et al., 2011). Σε ορισμένα είδη, μπροστά από τους αδένες υπάρχουν και οισοφαγικά θυλάκια, όπου το CaCO₃ που δημιουργείται στους αδένες, προωθείται και συμπυκνώνεται σε μεγαλύτερους, κρυσταλλικούς κόκκους (Canti et al., 2003).



Εικόνα 2: Σχηματική παράσταση του πεπτικού συστήματος των γαιοσκωλήκων, από Canti et al. (2003).

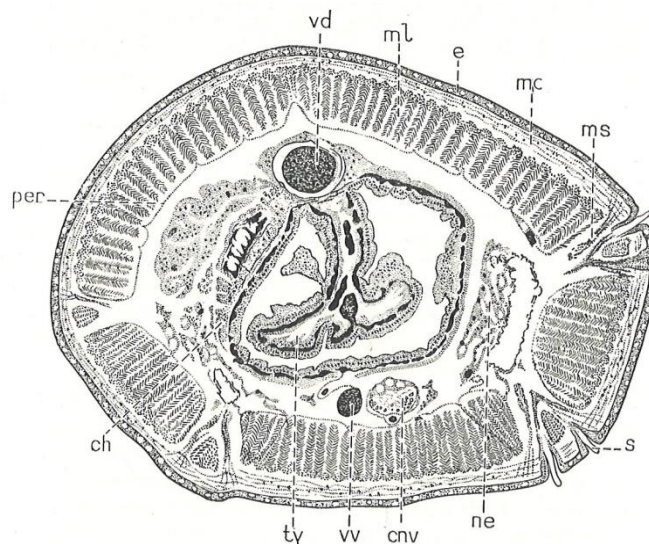
Οι αδένες ή τα θυλάκια αποβάλλουν το περιεχόμενό τους μέσα στον οισοφάγο. Το CaCO₃ που παράγουν οι αδένες αυτοί, είναι κρύσταλλοι τύπου καλσίτη και δευτερευόντως αραγονίτη, βατερίτη ή άμορφο (Lambkin et al., 2011), με μέγεθος από πολύ μικρό (0,125mm) έως μεγαλύτερο (2,5 mm, όπως έχει αναφερθεί για το *Lubricus terrestris*). Οι κόκκοι CaCO₃ αποβάλλονται στο έδαφος και είναι ανθεκτικοί μέσα σ' αυτό. Έχουν προσδιορισθεί ακόμα και από αρχαιολογικά ευρήματα. Ο κυριότερος παράγοντας διάλυσης τους είναι η οξύτητα του εδάφους, με την αύξηση της

οποίας αυξάνεται η διαλυτότητα. Ταυτόχρονα, η παραγωγή κρυσταλλικών κόκκων CaCO_3 στους οισοφαγικούς αδένες αυξάνει σε ασβεστούχα εδάφη, ως αποτέλεσμα της εξισορρόπησης της περίσσειας Ca που εισάγεται στον οργανισμό (Briones et al., 2008), αλλά και σε αλκαλικά εδάφη (Lambkin et al., 2011). Ο C των κόκκων CaCO_3 μπορεί να προέρχεται από την τροφή ή από το CO_2 της ατμόσφαιρας του εδάφους (Canti et al., 2009). Σημειώνουμε ότι το Ca^{2+} είναι απαραίτητο για την επιβίωση, διότι μετέχει σε σημαντικές βιολογικές λειτουργίες, είναι ενεργοποιητής ενζύμων, βοηθά κατά την κίνηση του οργανισμού, στην μετάδοση των παλμών κλπ. (Auclerc et al., 2011).

Μετά τον οισοφάγο ακολουθεί ο πρόλοβος (crop), όπου η τροφή αποθηκεύεται προσωρινά πριν μπει στον προστόμαχο. Οι 2 αυτές περιοχές δρουν συνεργατικά στην προώθηση της τροφής και το περιεχόμενο τους έχει ίδια σύσταση. Ο πρόλοβος συσπάται πιο συχνά από τον προστόμαχο. Οι συσπάσεις και στα 2 τμήματα ενεργοποιούνται με την παρουσία στερεάς τροφής. Ο πρόλοβος έχει αναδιπλώσεις που ρυθμίζουν την διόδο της τροφής στον προστόμαχο και βοηθούν στην ανάμιξη της τροφής. Ο προστόμαχος είναι η περιοχή όπου γίνεται η λειοτρίβηση της τροφής και γι' αυτό περιέχει κόκκους άμμου. Μεταξύ προστόμαχου και εντέρου υπάρχει σφικτήρας για τον έλεγχο της διόδου της τροφής. Τελικά η τροφή προωθείται μέσα στο κυλινδρικό έντερο, που είναι κυρίως υπεύθυνο για τον καταβολισμό και την απορρόφηση των θρεπτικών συστατικών. Το πρόσθιο σακκόμορφο τμήμα του εντέρου διαστέλλεται και συστέλλεται ρυθμικά βοηθώντας την κίνηση της τροφής. Ακόμα η τροφή στο έντερο κινείται με τις περισταλτικές κινήσεις των μυών του πεπτικού συστήματος και με την ώθηση που δέχεται όταν το ζώο μετακινείται. Ο χρόνος διόδου της τροφής μέσα στον πεπτικό σωλήνα είναι 3 – 4 ώρες για το είδος *Einsenia fetida* και 12 -20 ώρες για το *L. terrestris*.

Το έντερο επενδύεται από κυλινδρικό επιθήλιο και χαρακτηρίζεται από 4 διακεκριμένες περιοχές: Την 1^η συστολική περιοχή όπου εκκρίνεται

βλέννα και πρωτεΐνες, την 2^η περιοχή που διαθέτει βλεφαρίδες και έχει αδενικά κύτταρα, την 3^η οπίσθια περιοχή, όπου η τροφή εγκλείεται σε υμένα (την περιτροφική μεμβράνη) και θεωρείται υπεύθυνη για την απορρόφηση των θρεπτικών στοιχείων και τέλος την τελευταία περιοχή, που καταλήγει στην έδρα.



Εικόνα 3: Εγκάρσια τομή του σώματος των γαιοσκωλήκων στο ύψος του εντέρου, από Grassé (1959). ty: τυφλοσωλήνας, ch: χλωραγωγά κύτταρα, e: επιδερμίδα, mc: κυκλικοί μύες, ml: επιμήκεις μύες, ms: μύες σμηρίγκων, s: σμηρίγγα, per: περιτόναιο, vd: νωτιαίο αγγείο, vv: κοιλιακό αγγείο, cnv: κοιλιακή γαγγλιακή αλυσίδα, ne: νεφρίδιο.

Κατά μήκος της ραχιαίας πλευράς του εντέρου, το τοίχωμα σχηματίζει μία εγκόλπωση, τον τυφλοσωλήνα, ώστε να αυξάνεται η απορροφητική ικανότητα του εντέρου και η πεπτική επιφάνεια. Κατά μήκος του τυφλοσωλήνα και πάνω από αυτόν, είναι τοποθετημένο το νωτιαίο κυκλοφοριακό αγγείο. Γύρω από το έντερο και το νωτιαίο αγγείο υπάρχει ένα στρώμα από κιτρινωπά κύτταρα που λέγονται χλωραγωγά κύτταρα. Ο ιστός αυτός επιδεικνύει απεκκριτικό ρόλο αλλά λειτουργεί επίσης ως δότης θρεπτικών συστατικών σε διάφορα όργανα, όπως ακριβώς λειτουργεί το ήπαρ άλλων ζώων. Προέρχεται από το περιτόναιο. Στα χλωραγωγά κύτταρα συντίθεται γλυκογόνο και λίπος. Όταν γεμίσουν με λίπος τα χλωραγωγά

κύτταρα απελευθερώνονται στο κοίλωμα και μεταφέρουν το περιεχόμενό τους στους ιστούς. Τότε ονομάζονται ελαιοκύτταρα. Μπορούν να περάσουν το διάφραγμα και έχουν βρεθεί συγκεντρωμένα γύρω από τραύματα.

Αν και δεν είναι γνωστή η ενζυμική δραστηριότητα που αφορά την πέψη στους γαιοσκώληκες, ο πιο πιθανός μηχανισμός είναι ο εξής: Στο στόμα η τροφή υγραίνεται, στον φάρυγγα αναμιγνύεται με αμυλάση και όξινη βλέννα που εκκρίνει ο φαρυγγικός αδένας, όχι όμως με πρωτεάσες. Στον πρόλοβο, προστόμαχο και πρόσθιο έντερο ενεργοποιούνται αμυλάσες και πρωτεάσες. Στο μέσο έντερο εκκρίνεται ουδέτερη βλέννα και πιθανώς χιτινάση. Στο πρόσθιο έντερο έχει παρατηρηθεί έντονη πρωτεολυτική δραστηριότητα ενζύμων, που προέρχονται από τα αδενικά κύτταρα της περιοχής αυτής. Τόσο η χιτινάση, όσο και η κυτταρινάση θεωρούνται κυρίως ενδογενούς προέλευσης και κατά δεύτερο λόγο προέρχονται από τους μικροοργανισμούς της τροφής. Η απορρόφηση γίνεται σ' όλο το μήκος του εντέρου και κυρίως στο 3^ο τμήμα του (Edwards et al., 1988).

Η απέκκριση γίνεται μέσω των μετανεφριδίων. Βρίσκονται σε ζεύγη σε κάθε σωματικό δακτύλιο εκτός από τους 3 πρώτους και τον τελευταίο. Διαθέτουν ένα βλεφαριδοφόρο χωνί, το νεφρόστομα, που ανοίγει στον προηγούμενο δακτύλιο από αυτόν που βρίσκεται το κυρίως σώμα και συνδέεται με αυτό με μικρό βλεφαριδοφόρο σωληνίσκο, που περνά μέσα από το διάφραγμα. Το κυρίως σώμα είναι ένας περιελιγμένος αγωγός που διευρύνεται σε κύστη και εκβάλλει στο εξωτερικό περιβάλλον ανάμεσα στις κοιλιακές σμήριγγες, μέσω ενός ανοίγματος που ονομάζεται νεφριδιοπόρος. Τα άχρηστα υλικά από το κοίλωμα μεταφέρονται στο νεφρόστομα με τη βοήθεια των βλεφαρίδων και αποβάλλονται από τον νεφριδιοπόρο. Ακόμα, άχρηστα υλικά από το σώμα του ζώου μεταφέρονται στο μετανεφρίδιο μέσω των τριχοειδών αγγείων. Στο μετανεφρίδιο υπάρχει δυνατότητα επαναπορρόφησης νερού και υλικών, ώστε να διατηρείται η υδατική κατάσταση του ζώου (Hickman et al., 2002, Λαζαρίδου, 1991).

Απέκκριση Ν ουσιών γίνεται ακόμα και μέσω της επιδερμίδας.

Οι γαιοσκώληκες του εδάφους αποβάλλουν ουρία ή και αμμωνία ως προϊόντα μεταβολισμού αζωτούχων ουσιών. Μέσω των μετανεφριδίων μπορεί να αποβληθούν χλωραγωγά κύτταρα ή τα προϊόντα του μεταβολισμού τους.

Οικολογικές κατηγορίες (Edwards, 2004).

Οι γαιοσκώληκες χωρίζονται ανάλογα με τις οικολογικές τους συνήθειες στις εξής κατηγορίες:

1) Επίγεια είδη. Ζουν στην επιφάνεια του εδάφους και τρέφονται από οργανικά υπολείμματα καλλιεργειών. Δεν δημιουργούν στοές και δεν μεταβάλλουν τη δομή και άλλες φυσικοχημικές ιδιότητες του εδάφους. Είναι πολύ καλοί αποδομητές των υπολειμμάτων καλλιεργειών ή της εδαφοστρωμνής. Συμβάλλουν με τον τεμαχισμό της τροφής στην αποτελεσματικότερη δράση των μικροοργανισμών. Είναι μικροί σε μέγεθος. Εξασκούν την r στρατηγική επιβίωσης, με πολλές γενιές και μεγάλο αριθμό απογόνων.

2) Ενδόγεια είδη. Ζουν μέσα στο έδαφος αλλά όχι πολύ βαθειά (ως 15cm περίπου). Ανοίγουν πολύπλοκο σύστημα στοών, καταπίνοντας χώμα και την οργανική ύλη που βρίσκεται στο δρόμο τους, σε όποιο στάδιο αποσύνθεσης και αν βρίσκεται. Τρέφονται με φτωχής ποιότητας τροφή. Τα αποχωρήματα τους αποτίθενται μέσα στις στοές τους και σπανίως στην επιφάνεια του εδάφους. Είναι μετρίου μεγέθους. Ακολουθούν την r και K στρατηγική επιβίωσης.

3) Ανεκικά είδη. Είναι μεγάλα σε μέγεθος. Ζουν σε κατακόρυφες στοές που μπορεί να φθάσουν τα 2 μέτρα, που ανοίγουν καταπίνοντας χώμα. Οι στοές τους επενδύονται με βλέννα και σπανίως αφοδεύουν στο εσωτερικό, αλλά στην επιφάνεια του εδάφους. Τρέφονται με υπολείμματα καλλιεργειών διαφόρων φυτών που αναζητούν στην επιφάνεια του εδάφους την σκοτεινή

περίοδο του 24ώρου, αλλά και με χύμα, ανακατεύοντας τα ανόργανα συστατικά του με την οργανική ύλη. Εφαρμόζουν την Κ στρατηγική επιβίωσης, είναι δηλαδή μακρόβιοι, πολύ ανθεκτικοί και γεννούν λίγους απογόνους. Είναι υπεύθυνοι για την διαμόρφωση της εδαφικής δομής και επηρεάζουν την υδατική και αέρια ισορροπία του εδάφους.

Ρόλος των γαιοσκωλήκων στη φύση

Η σημασία των γαιοσκωλήκων στο οικοσύστημα εντοπίζεται κυρίως σε 2 σημεία: α) στην ικανότητα τους να τροποποιούν την δομή του εδάφους και β) στην χρησιμοποίηση της οργανικής ουσίας και των φυτικών υπολειμμάτων ως διατροφικό πόρο.

Οι γαιοσκώληκες ανήκουν στη μακροπανίδα του εδάφους. Έχουν την ικανότητα να προσλαμβάνουν ανόργανο έδαφος στο πεπτικό τους σύστημα και να το επεξεργάζονται μαζί με το οργανικό μέρος του σιτηρεσίου τους. Η λειοτρίβηση και συμπίεση που υφίστανται αυτά τα υλικά στο πεπτικό τους σωλήνα οδηγεί σε διάσπαση των συσσωματωμάτων, αλλά και ακόμα περισσότερο σε ανασύσταση των ορυκτών της αργίλου (Curry et al., 2007, Edwards, 2004). Όλα αυτά ανακατεύονται με την οργανική ουσία και εμπλουτίζονται με βλέννα που είναι πηγή ευπρόσληπτων πρωτεϊνών και σακχάρων για πολλούς μικροοργανισμούς. Στο στομάχι και το έντερο των γαιοσκωλήκων υπάρχουν ενδογενείς μικροοργανισμοί που επεξεργάζονται ακόμα καλύτερα την τροφή. Επιπλέον οι γαιοσκώληκες, μαζί με την τροφή, παραλαμβάνουν και μικροοργανισμούς όλων των ταξινομικών ομάδων (βακτήρια, ακτινομύκητες, μύκητες, πρωτόζωα, μυκόρριζες κλπ). Προτιμούν να καταναλώνουν οργανικά υπολείμματα που έχουν ήδη υποστεί κάποιο βαθμό επεξεργασίας από μικροοργανισμούς. Πολλοί από αυτούς υφίστανται πέψη μέσα στο έντερο (Aira et al., 2009). Κάποιοι άλλοι, όμως, βρίσκουν ευνοϊκό περιβάλλον (pH, υγρασία, πρωτεΐνες, σάκχαρα κλπ) και πολλαπλασιάζονται. Στο στομάχι των γαιοσκωλήκων βρίσκει εφαρμογή το

φαινόμενο «sleeping beauty paradox», που χαρακτηρίζει πολλούς μικροοργανισμούς του εδάφους. Στα αποχωρήματα των ζώων αυτών, τα λεγόμενα κοπρούματα, ο μικροβιακός πληθυσμός είναι πολύ μεγαλύτερος από το εξωτερικό περιβάλλον (Edwards et al., 1988). Από την δίοδο στον πεπτικό σωλήνα των γαιοσκωλήκων κυρίως επωφελούνται οι ακτινομύκητες και τα βακτήρια. Αντίθετα, οι ζύμες και οι μύκητες μάλλον αφομοιώνονται από τους γαιοσκώληκες και επομένως μειώνεται ο πληθυσμός τους.

Οι γαιοσκώληκες και ιδιαίτερα οι ενδόγειοι γαιοφάγοι, καταναλώνουν το έδαφος και αφομοιώνουν την οργανική ουσία που υπάρχει εκεί σε οποιοδήποτε στάδιο επεξεργασίας κι αν βρίσκεται. Τρέφονται δηλαδή με τροφή πολύ χαμηλής διατροφικής αξίας (Curry et al., 2007). Έχουν χαμηλή δυνατότητα αφομοίωσης των διατροφικών τους πόρων (2 – 6% για τον C και λίγο περισσότερο για το N) και χρησιμοποιούν τους μικροοργανισμούς ως πηγή τροφής (Edwards, 2004). Πολλοί ενδόγειοι γαιοσκώληκες καταναλώνουν τα αποχωρήματα τους, ή έδαφος από τη ριζόσφαιρα, που είναι εμπλουτισμένο με εκκρίματα ριζών. Η αφομοίωση της τροφής είναι μεγαλύτερη στους επίγειους γαιοσκώληκες και τους ανεκικούς, λόγω καλύτερης ποιότητας τροφής.

Οι γαιοσκώληκες με την ιδιότητα τους να καταναλώνουν μικροοργανισμούς μπορεί να συμβάλουν στην διασπορά τους, μεταξύ αυτών και πολλών παθογόνων, όπως συμβαίνει με πολλούς φυτοπαθογόνους μύκητες. Ακόμα επηρεάζουν τους πληθυσμούς άλλων ασπονδύλων π.χ. νηματωδών. Έχει βρεθεί ότι ενεργοποιούν την εκκόλαψη αυγών των κυστογόνων νηματωδών, ενώ μειώνουν τους πληθυσμούς άλλων νηματωδών (Curry et al., 2007), πιθανώς λόγω διασποράς νηματοδοκτόνων μυκήτων ή διότι τρέφονται από αυτούς.

Όσον αφορά την επίδραση των γαιοσκωλήκων στη δομή του εδάφους, αυτή είναι τόσο σημαντική ώστε τα ζώα αυτά αναφέρονται, μαζί με τους τερμίτες και τα μυρμήγκια, ως «μηχανικοί περιβάλλοντος». Έχουν την

ιδιότητα να επιλέγουν τα εδαφικά σωματίδια που θα καταναλώσουν, διαλέγοντας συνήθως τα λεπτόκοκκα, και αφήνουν πίσω την άμμο (Pilar Ruiz et al., 2006). Η κατανάλωση εδάφους είναι σημαντική. Οι γαιοσκώληκες μπορούν να καταναλώνουν το 25% του επιφανειακού Ah ορίζοντα του εδάφους σε ένα χρόνο (Edwards, 2004).

Οι γαιοσκώληκες αφήνουν μέσα στο έδαφος τις κατασκευές τους, υπεύθυνες για την μεταβολή της δομής του. Αυτές είναι 3 ειδών:

- 1) **Οι στοές.** Οι γαιοσκώληκες τρώνε το έδαφος ή το διαπερνούν χάρις στην ώθηση που τους δίνει η κατασκευή του σώματος τους. Ιδιαίτερα οι ανεκικοί γαιοσκώληκες, αλλά και λιγότερο οι ενδόγειοι, κατασκευάζουν στοές που μπορεί να φθάσουν σε βάθος 2 μέτρων. Οι στοές έχουν ικανή διατομή (>2mm), ώστε να επιτρέπουν την κυκλοφορία του αέρα και την διήθηση του νερού, δύο στοιχεία ζωτικά για την επιβίωση κάθε όντος μέσα στο έδαφος. Στους ανεκικούς οι στοές φθάνουν ως την επιφάνεια του εδάφους και επισημαίνονται με οπές που λέγονται βιοπόροι.



Εικόνα 4: Ανεκικός γαιοσκώληκας μέσα στη στοά του και τα κοπρολύματα που έχει αποθέσει στην είσοδο της στοάς, από Lowenfels et al. (2006).

Οι στοές των γαιοσκωλήκων και αυτές που δημιουργούνται από τη διείδυση των ριζών είναι οι μόνες ικανές να παρακάμψουν την μύζηση του εδάφους και να βελτιώσουν την υδατοπερατότητα και τον αερισμό

του. Οι στοές των γαιοσκωλήκων, ιδιαίτερα των ανεκικών που αποτελούν μόνιμα καταφύγια, επενδύονται με βλέννα, συσσωρεύουν νιτρικά και αμμωνιακά άλατα, και P και, όπως η ριζόσφαιρα, συγκεντρώνουν πλήθος μικροοργανισμών. Μπορούν να παραμείνουν ανέπαφες για χρόνια, ιδιαίτερα σε αρκετό βάθος από την επιφάνεια. Το επιφανειακό τους τμήμα συνήθως καταστρέφεται κατά την ξηρή περίοδο. Οι ανεκικοί γαιοσκώληκες επιλέγουν εγκαταλειμμένες στοές για να εγκατασταθούν, τις οποίες φροντίζουν κατάλληλα (Kautz et al., 2014).

2) Τα κοπρολύματα. Είναι γαιώδεις σφαιρικοί ή κοκκώδεις σχηματισμοί, εμπλουτισμένοι με βλέννα από το στομάχι τους και με την οργανική ουσία που δεν έχει αφομοιωθεί. Είναι πιο υγρά από το περιβάλλον έδαφος και έχουν μεγαλύτερη υδατοχωρητικότητα (Lal, 1988, Edwards, 2004) το πορώδες τους, όμως, μειώνεται με την ύγρανση τους (Clause et al., 2013), έχουν περισσότερη οργανική ουσία, N-ούχες και P-ούχες ουσίες και ανταλλάξιμα κατιόντα. Οι κατασκευές αυτές δεν είναι ασήμαντες σε μέγεθος αθροιστικά. Σε αδιατάρακτα εδάφη και στους τροπικούς, όπου συναντάμε μεγάλους γαιοσκώληκες, η παραγωγή κοπρολυμάτων μπορεί να φθάσει ως 24 kg/m² ετησίως και ακόμα περισσότερο (Edwards, 2004). Στις εύκρατες περιοχές, η παραγωγή κοπρολυμάτων σε λιβάδια εκτιμήθηκε κατά μέσον όρο σε 4 – 5 kg/m² ετησίως (Anderson et al., 1988).

Οι γαιοσκώληκες με το σχηματισμό των κοπρολυμάτων πραγματοποιούν αυτό που είναι γνωστό στη βιβλιογραφία ως 'soil turnover', διότι μεταφέρουν λεπτόκοκκο έδαφος από τα βαθύτερα στρώματα στην επιφάνεια και αντίστροφα. Είναι υπεύθυνοι για την μεταφορά οργανικών υλικών στους κατώτερους ορίζοντες και αργίλου στην επιφάνεια. Τα κοπρολύματα είναι μια μορφή συσσωμάτωσης του εδάφους. Μέσα σ' αυτά η οργανική ουσία χουμποποιείται και προστατεύεται (Scullion et al., 2001). Τα κοπρολύματα αποδιοργανώνονται με τη βροχή και την έκθεση

στην ξηρασία. Το λεπτόκοκκο υλικό τους, όμως, παραμένει στην επιφάνεια του εδάφους και είναι υποκείμενο σε διάβρωση. Η μορφολογία και η αντοχή των κοπρολυμάτων εξαρτάται από το είδος του γαιοσκώληκα και τον τύπο του εδάφους. Σε ασβεστούχα εδάφη σχηματίζονται ανθεκτικά κοπρολύματα, αντίθετα από τα όξινα. Ορισμένα είδη σχηματίζουν μεγάλα κοπρολύματα, επενδυμένα με λεπτόκοκκο συμπαγές εδαφικό υλικό, που είναι πολύ ανθεκτικά, εγκλείουν την οργανική ουσία και εμποδίζουν τη χρήση της από τους μικροοργανισμούς. Αυτά τα είδη προκαλούν συμπίεση στα εδάφη που διαβιούν. Άλλα είδη δημιουργούν μικρά, σφαιρικά κοπρολύματα που προστατεύουν την οργανική ουσία προσωρινά στο εσωτερικό τους και επιτρέπουν στους μικροοργανισμούς να την επεξεργασθούν. Αυτά τα είδη προκαλούν χαλάρωση του εδάφους στο οποίο ζουν και είναι ωφέλημα (Edwards, 2004). Τα κοπρολύματα έχουν αναφερθεί και ως ανεπιθύμητοι σχηματισμοί, όταν συσσωρεύονται σε ποσότητες στο γκαζόν, όπως η περίπτωση του γηπέδου γκολφ που αναφέρεται από τους Redmond et al.(2014). Οι γαιοσκώληκες συνεισφέρουν ακόμα στη δημιουργία δομής στο έδαφος με την βλέννα τους, την αποβολή CaCO_3 και τη συγκέντρωση ουσιών, όπως ο P και το Mg στους σχηματισμούς τους.

3) Τα middens. Δημιουργούνται από τα ανεκτικά είδη και είναι φυτικά υπολείμματα από την επιφάνεια του εδάφους τραβηγμένα μέσα στους βιοπόρους και ανακατεμένα με χώμα. Εκεί παραμένουν σφηνωμένα για κάποιο διάστημα και όταν υποστούν την πρώτη κατεργασία από μικροοργανισμούς, που προσελκύονται από την ύγραση και τη μηχανική κατεργασία των υλικών αυτών, γίνονται πιο εύπεπτα και καταναλώνονται από τους γαιοσκώληκες.

Εδάφη με ικανό πληθυσμό γαιοσκωλήκων, που έχουν τους παραπάνω σχηματισμούς σε ικανοποιητικό αριθμό, ονομάζονται **‘vermic’**.

Οι γαιοσκώληκες μεταβάλουν τις χημικές ιδιότητες του εδάφους, αυξάνοντας τη γονιμότητα του. Συμβάλουν στην ανοργανοποίηση της οργανικής ουσίας και αναδιοργανώνουν το ανόργανο κομμάτι του εδάφους. Έτσι αποδίδουν ευπρόσληπτα θρεπτικά συστατικά στα κοπρολύματα τους και στις απεκκρίσεις τους.

Οι γαιοσκώληκες αποδίδουν στο έδαφος σημαντικά ποσά N, ως προϊόντα του μεταβολισμού τους και ως εκκρίσεις μουκοπρωτεΐνης (Edwards, 2004). Αναφέρεται ότι σε εύκρατα λιβάδια μπορεί να αποδοθούν 29 – 36 κιλά N/ha/έτος, λόγω των γαιοσκωλήκων. Στα κοπρολύματα συσσωρεύεται εύληπτος, ανόργανος P. Αναφέρεται ότι σε λιβάδια της Ν. Ζηλανδίας μπορεί να συσσωρευτούν 9 – 13 κιλά P/ha/έτος (Edwards, 2004).

Οι γαιοσκώληκες ενεργοποιούν τη μικροχλωρίδα και μικροπανίδα του εδάφους και εκτελούν διασπορά αυτών μέσα στο έδαφος, λειτουργία πολύ σημαντική και για τις μυκόρριζες (Edwards, 2004).

Επειδή βρίσκονται σε αφθονία, πολλαπλασιάζονται γρήγορα, εκτρέφονται εύκολα και ακόμα είναι άμεσα εκτεθειμένοι στους ρύπους του εδαφικού συστήματος, μπορεί να χρησιμοποιηθούν ως βιοδείκτες της αιφόρου παραγωγής και έχουν χρησιμοποιηθεί σε πειράματα οικοτοξικολογικών μελετών (Pérès et al., 2011, Bilalis et al.,).

Οικολογικές προτιμήσεις

Οι γαιοσκώληκες επηρεάζονται από πολλούς αβιοτικούς παράγοντες και από άλλους οργανισμούς και χειρισμούς του εδάφους ως προς την βιομάζα, τον πληθυσμό και τον αριθμό των ειδών (Edwards, 2004). Υπάρχουν διαφορές ανάμεσα στις οικολογικές κατηγορίες και μεταξύ των ειδών. Σε γενικές γραμμές προτιμούν υγρά περιβάλλοντα, γι’ αυτό απαντώνται κατά την περίοδο των βροχοπτώσεων, ενώ την ξηρή περίοδο ηρεμούν

κουλουριασμένοι σε βαθιά σημεία του εδάφους ή επιβιώνουν σαν ανθεκτικά χιτίνινα κουκούλια. Το εύρος θερμοκρασίας επιβίωσης είναι 0-35°C. Τα είδη της ευκράτου παρουσιάζουν ορθ θερμοκρασιακό εύρος 10 – 20°C και τα τροπικά 20 – 30°C.



Εικόνα 5: Δύο άτομα σε θέση διαθερισμού. Κουλουριασμένα μαζί εξοικονομούν καλύτερα την υγρασία.

Προτιμούν εδάφη μέτριας υφής, καλά στραγγιζόμενα με μεγάλη υδατοχωρητικότητα και αρκετό βάθος. Ο πιο σημαντικός παράγοντας για τον πληθυσμό των γαιοσκωλήκων είναι η οξύτητα του εδάφους (Moore et al., 2013). Δεν αναπτύσσονται σε $pH < 3,5$. Αντιδρούν θετικά στην προσθήκη γύψου ως πρακτική διόρθωσης του pH όξινων εδαφών και έχουν ορθ pH : 5 – 7,4 (Auclerc et al., 2011). Η εξάρτηση από την οξύτητα εξαρτάται από το είδος. Τα ανεκικά δεν αντέχουν πολύ χαμηλά pH , ενώ σ' άλλες κατηγορίες ο πληθυσμός απαρτίζεται κυρίως από νεαρά και όχι από ακμαία και αντέχουν. Αυτό αφορά, σύμφωνα με τις εργασίες των Hlava et al. (2013), αρκετά χαμηλές τιμές pH : 3,2 – 3,78. Προτιμούν εδάφη πλούσια σε Ca, Mg και N, ενώ δεν ευδοκιμούν όταν υπάρχει υψηλή αλατότητα.

Η ποσότητα και η ποιότητα της οργανικής ουσίας του εδάφους επηρεάζει την ανάπτυξη των γαιοσκωλήκων. Τα ανεκικά και επίγεια είδη θέλουν φυτικά υπολείμματα στην επιφάνεια του εδάφους, ενώ τα ενδόγεια

δεν επηρεάζονται από την ύπαρξη αυτών. Αν και μπορεί να τραφούν ακόμα και με ζωντανούς ιστούς, αφομοιώνουν καλύτερα την τροφή σε κάποιο στάδιο αποσύνθεσης (Edwards, 2004).

Τα άλλα ασπόνδυλα που βρίσκονται στο οικοσύστημα είναι φυσικό να επηρεάζουν τους πληθυσμούς των γαιοσκωλήκων. Έχουν πολλούς φυσικούς εχθρούς, όπως διάφορα πτηνά, ο τυφλοπόντικας, η μυγαλή, ο ασβός, η αλεπού, χηλόποδα και κολεόπτερα Carabidae (Edwards, 2004).

Οι καλλιεργητικοί χειρισμοί επηρεάζουν τους γαιοσκώληκες. Αναπτύσσονται καλύτερα σε αδιατάρακτα εδάφη, διότι η καλλιέργεια προκαλεί ενσωμάτωση των φυτικών υπολειμμάτων, τραυματισμούς στο σώμα τους και καταστροφή των στοών τους. Για τον τελευταίο κυρίως λόγο περισσότερο αρνητικά επηρεάζονται οι ανεκικοί γαιοσκώληκες (Edwards, 2004, Boström, 1995).

Οι γαιοσκώληκες εμφανίζονται σε διασπαρμένες κηλίδες διαμέτρου 20-40 μέτρων, στις οποίες βρίσκουν τους τροφικούς πόρους που τους χρειάζονται για να ζήσουν (Edwards, 2004).

1.5 Ο γαιοσκώληκας *Octodrilus complanatus* (Dugés, 1828)

Πρόκειται για ένα ανεκικό είδος της οικογένειας Lubricidae, ευρέως διαδεδομένο στη λεκάνη της Μεσογείου (Stojanović et al., 2008, Pavlíček et al., 2006). Είναι μεγάλο σε μέγεθος. Το μήκος του κυμαίνεται από 15 – 22cm, το πάχος από 0,9 – 1,1mm και το βάρος από 6 – 8g. (Βαβουλίδου, προσωπική επικοινωνία). Σύμφωνα με τους Monroy et al. (2007), που μελέτησαν τη βιολογία του στο εργαστήριο, σε θερμοκρασία 20°C, ο γαιοσκώληκας αυτός ενηλικιώνεται σε 150 μέρες από την εκκόλαψη. Ζευγαρώνει και παράγει βομβύκια μετά από 34 μέρες από το ζευγάρι. Συνολικά παράγει 52 βομβύκια/έτος. Μετά από επώαση 55 ημερών, από κάθε βομβύκιο εκκολάπτεται 1 νεαρό. Το ποσοστό εκκόλαψης των βομβυκίων είναι μόλις 55%.



Εικόνα 6: Βομβύκιο του *Octodrilus complanatus* ανάμεσα σε εδαφικό υλικό.

Το είδος αυτό προτιμά αλκαλικό έδαφος, αρκετή υγρασία στο έδαφος και εδάφη χουμώδη, ενώ η άριστη θερμοκρασία είναι περίπου 10°C (Βαβουλίδου, προσ. επικ.).

Είναι κοινό στα λιβάδια και χορτολίβαδα (Monroy et al., 2007) και σε δάση καστανιάς και μελιάς (Sáez et al., 1997). Σύμφωνα με τους Kherbouche et al. (2012) δεν το βρίσκουμε σε ελαιώνες, διότι τα φύλλα της ελιάς περιέχουν πολλές μη υδατοδιαλυτές φαινολικές ενώσεις που δεν του επιτρέπουν να ευδοκιμήσει. Έχει βρεθεί σε φυτείες εσπεριδοειδών και σε κηποτεχνικές επιχειρήσεις.

2. Υλικά και μέθοδοι

Χρησιμοποιήθηκαν γαιοσκώληκες του γένους *Octodrilus complanatus* προερχόμενοι από τον αγρό του Ινστιτούτου Εδαφολογίας, στην Λυκόβρυση Αττικής, καθώς και από τον αγρό των εργαστηρίων Γεωργίας και Μελισσοκομίας του Γ.Π.Α. Η συλλογή των γαιοσκωλήκων έγινε με την μέθοδο της φορμαλδεΐδης (διάλυμα 0,3%), καθώς και με σκάψιμο και επιτόπια διαλογή (Römbke, 2006).



Εικόνα 7: Συλλογή γαιοσκωλήκων με τη μέθοδο της φορμαλδεΐδης.

Τα ζώα παρέμειναν επί 1 μήνα τουλάχιστον σε συνθήκες δωματίου για εγκλιματισμό, τρεφόμενα με διάφορα λεπτοκομμένα φύλλα σε αποσύνθεση. Οι κατάλληλες συνθήκες εκτροφής ρυθμίσθηκαν σύμφωνα με διάφορα επιστημονικά άρθρα (Lowe et al., 2007, Lowe at al., 2005). Για το πείραμα επιλέχθηκαν τα ακμαία ζώα, τα οποία είχαν αναπτύξει το επίσαγμα και τα μεγαλύτερα σε μέγεθος από το ανώριμα.

Ως πειραματικά κελιά χρησιμοποιήθηκαν πλαστικά τάπερ διαστάσεων 20X14X10εκ., με ερμητικά κλειστό πώμα, στο οποίο ανοίχθηκε παράθυρο διαστάσεων 11X5εκ. που καλύφθηκε με τούλι για αερισμό. Στα πειραματικά

κελιά τοποθετήθηκε χώμα ξηρού βάρους 1 κιλού, που στην συνέχεια υγράνθηκε με ψεκάσμο απεσταγμένου νερού στην επιφάνεια του, μέχρι 27% κατά βάρος. Πάνω από το χώμα παρέμεναν 6εκ. ελεύθερου χώρου. Στα μισά κελιά τοποθετήθηκε αλκαλικό χώμα και στα υπόλοιπα όξινο. Και τα δύο εδάφη προέρχονταν από τον αγρό του εργαστηρίου Γεωργίας του Γ.Π.Α. και πρόκειται για το αυτόχθονο έδαφος και για μεγάλο όγκο εδάφους άλλης περιοχής που είχε μεταφερθεί εκεί για τις ανάγκες προτεραιού πειράματος. Το χώμα μετά την συλλογή του, ξεράθηκε στον αέρα και κοσκινίστηκε με κόσκινο 2 χιλιοστών. Οι ιδιότητες των εδαφών αυτών φαίνονται στον πίνακα 2.1.

Πίνακας 2.1: Χημικές ιδιότητες του όξινου και αλκαλικού τύπου εδάφους που χρησιμοποιήθηκαν στο πείραμα.

	ΟΞΙΝΟ	ΑΛΚΑΛΙΚΟ
τύπος	CL	CL
pH	6,4	7,36
C (%)	1,18	1,78
N-total (%)	1,13	1,22
C/N	1,04	1,46
P (ppm)	25	31
K (ppm)	135	155

Σε κάθε πειραματικό κελί τοποθετήθηκαν 3 γαιοσκώληκες. Έγινε προσπάθεια να υπάρξει μικρή απόκλιση στη συνολική βιομάζα των ζώων των κελιών. Το μέσο συνολικό βάρος των γαιοσκωλήκων σε κάθε κελί ήταν $15,04 \pm 0,12$ γρ. Επίσης, στην επιφάνεια του χώματος, τοποθετήθηκαν 2,5 γρ. χλωρά φύλλα μουριάς ή μηδικής που είχαν αποξηρανθεί στον αέρα και τεμαχισθεί σε μικρά κομμάτια, αφού πρώτα υγράνθηκαν με λίγο απεσταγμένο νερό. Επιλέχθηκαν χλωρά φύλλα, ώστε να γίνουν φανερές οι επιπτώσεις της διατροφής των γαιοσκωλήκων από αυτά, αν και είναι γνωστή η ευδοκίμηση των ζώων αυτών με μισοαποδομημένα φύλλα. Η μηδική

συλλέχθηκε από τον αγρό του εργαστηρίου Γεωργίας του Γ.Π.Α. και προέρχονταν από βιολογική καλλιέργεια και τα φύλλα μουριάς συλλέχθηκαν από τον μορεώνα του Γ.Π.Α. Η σύσταση των φυτών αυτών, δίνεται στη συνέχεια:

Πίνακας 2.2: Χημική σύσταση των χλωρών φύλλων μουριάς και μηδικής.

	Μηδική*	Μουριά**
Ξηρή ουσία %	19,3 – 22,5	87,28
Ακατέργαστες πρωτεΐνες (% ξ.ο.)	22,2 – 17,9	19,43
Ακατέργαστες ίνες (% ξ.ο.)	28,6 – 34,5	12,01
Ολική τέφρα (% ξ.ο.)***	8,9	16

* Σύμφωνα με αναλύσεις του εργαστηρίου Γεωργίας του Γ.Π.Α.

** Σύμφωνα με αναλύσεις του εργ. Μελισσοκομίας – Σηροτροφίας του Γ.Π.Α.

***Κοντσιώτου (2005), για τη μηδική και εργ. Μελισσοκομίας – Σηροτροφίας Γ.Π.Α., για τη μουριά.

Οι τροφές αυτές δεν διαφέρουν ως προς την περιεκτικότητα της ξηρής ουσίας σε πρωτεΐνη, αλλά ως προς τις ίνες, δηλαδή το δυσκολοαποδομούμενο τμήμα της οργανικής τους ουσίας, που είναι σχεδόν τριπλάσιο στη μηδική σε σχέση με τη μουριά. Κάθε συνδυασμός χώματος και τροφής επαναλήφθηκε επί 4 φορές. Στο σχήμα 2.1 φαίνεται το σχέδιο του πειράματος:



Εικόνα 8: Τα πειραματικά κελιά.

Τα κελιά τοποθετήθηκαν σε δροσερό, υπόγειο δωμάτιο, σε θερμοκρασία αέρα. Στο χώρο υπήρχε πολύ αμυδρός φυσικός φωτισμός. Η θερμοκρασία του χώρου λαμβάνονταν σε τακτά χρονικά διαστήματα και δεν ξεπέρασε τους 25°C.

Όξινο - Μηδική 1	Όξινο - Μηδική 2	Όξινο - Μηδική 3	Όξινο - Μηδική 4
Όξινο – Μουριά 1	Όξινο – Μουριά 2	Όξινο – Μουριά 3	Όξινο – Μουριά 4
Αλκαλικό – Μηδική 1	Αλκαλικό – Μηδική 2	Αλκαλικό – Μηδική 3	Αλκαλικό – Μηδική 4
Αλκαλικό – Μουριά 1	Αλκαλικό – Μουριά 2	Αλκαλικό – Μουριά 3	Αλκαλικό – Μουριά 4

Σχήμα 2.1: Σχέδιο του πειράματος.

Μία φορά την εβδομάδα προσθέτονταν 2,5 γρ. τροφής στην επιφάνεια του χώματος κάθε κελιού. Δύο φορές την εβδομάδα τα κελιά ζυγίζονταν και αν υπήρχαν απώλειες νερού λόγω εξάτμισης, αναπληρώνονταν με ψεκασμό απεσταγμένου ύδατος στην επιφάνεια του χώματος. Πληροφορίες για την πραγματοποίηση του πειράματος αναφέρονται και σε προηγούμενη παρόμοια μελέτη με τον γαιοσκώληκα *Octodrilus* (Τζώρτζη, 2010).

Το βάρος των γαιοσκωλήκων μετριόταν κάθε 10 ημέρες. Η μη καταναλωμένη τροφή αφαιρείτο από την επιφάνεια του εδάφους και αναμοχλεύονταν το χώμα μέχρι να βρεθούν οι γαιοσκώληκες. Αυτοί ξεπλένονταν με απεσταγμένο νερό και ζυγίζονταν, ο καθένας χωριστά. Στη συνέχεια, το χώμα επανατοποθετείτο στα κελιά και πάνω στην επιφάνεια του τοποθετούνταν οι γαιοσκώληκες και η τροφή. Επίσης, κάθε 10 μέρες μετριόταν ο αριθμός των κοπρολυμάτων στην επιφάνεια του χώματος. Αφού

παραμεριζόταν η μη καταναλωμένη τροφή, μετριόνταν τα εμφανή κοπρολύματα σε όλη την επιφάνεια του κελιού. Οι διαστάσεις της επιφάνειας αυτής είναι $20 \times 14 = 280 \text{ cm}^2$.



Εικόνα 9: Εισαγωγή των γαιοσκωλήκων στα κελιά μαζί με την πράσινη τροφή τους.

Το πείραμα περατώθηκε μετά από 8 εβδομάδες από την εισαγωγή των γαιοσκωλήκων. Τότε οι γαιοσκώληκες ξεπλύθηκαν με απεσταγμένο νερό, ζυγίσθηκαν, παρέμειναν σε τρυβλία με νερό επί 24 ώρες, ώστε να αδειάσουν το περιεχόμενο του πεπτικού τους σωλήνα και θανατώθηκαν σε οινόπνευμα 70%. Τοποθετήθηκαν σε χάρτινα σακουλάκια στην κατάψυξη (-20°C) επί 1 ώρα και σε θάλαμο θερμοκρασίας 65°C επί 24 ώρες, ώστε να αποξηρανθούν. Αποθηκεύθηκαν στο ψυγείο μέχρι τον προσδιορισμό της πρωτεΐνης τους που έγινε με την μέθοδο microkjeldahl, στο εργαστήριο Φυτικής Παραγωγής του τμήματος Διοίκησης Επιχειρήσεων Αγροτικών Προϊόντων & Τροφίμων (Δ.Ε.Α.Π.Τ.) του Πανεπιστημίου Πατρών. Στο ίδιο εργαστήριο έγινε η ανάλυση του εδάφους των πειραματικών κελιών για τον προσδιορισμό του pH, της CEC, του εκλυόμενου CO_2 , της οργανικής ουσίας και του ολικού N, με σκοπό την διερεύνηση των μεταβολών σε παραμέτρους του εδάφους. Για το σκοπό αυτό, αφού απομακρύνθηκαν κατά το δυνατόν τα υπολείμματα της τροφής, 100 γρ. αεροξεραμένου χώματος από κάθε κελί, τοποθετήθηκαν σε χάρτινο

σακουλάκι και στάλθηκαν για ανάλυση. Το pH του εδάφους μετρήθηκε με πεχάμετρο σε πάστα κορεσμού 1:1 με νερό. Το ολικό N του εδάφους προσδιορίστηκε με τη μέθοδο Kjeldahl και η καύση και η εκχύλιση έγιναν σε συσκευή Büchi 316. Το εκλυόμενο CO₂ προσδιορίστηκε με την μέθοδο των Isermeyer (1952) & Koerf., (1950) και η οργανική ουσία υπολογίστηκε με την μέθοδο της υγρής οξειδωσης (Walkey & Black, 1934).

Στατιστική ανάλυση

Το πείραμα είναι τριπαραγοντικό, με παράγοντες τον χρόνο καθώς και την οξύτητα του εδάφους και το είδος της τροφής, με 2 επίπεδα ο καθένας και 4 επαναλήψεις ανά επέμβαση. Το πειραματικό σχέδιο που ακολουθήθηκε ήταν το εντελώς τυχαίοποιημένο σχέδιο.

Κατ' αρχάς ελέγχτηκε αν τα δεδομένα ακολουθούν την κανονική κατανομή, με τη δοκιμασία Sapiro – Wilk W test και αν έχουν ομοιογενή διασπορά, από το στατιστικό πρόγραμμα Jump. Με το ίδιο στατιστικό πρόγραμμα έγινε και η ανάλυση όλων των αποτελεσμάτων. Οι συγκρίσεις των μέσων όρων έγιναν με την βοήθεια της δοκιμασίας Student's test και επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$.

Σκοπός της μελέτης

Η μελέτη αυτή σχεδιάστηκε για να διερευνηθούν οι επιπτώσεις στους γαιοσκώληκες από την διατροφή τους με χλωρά φύλλα μουριάς και μηδικής, σε αντίθεση με ότι συμβαίνει στη φύση, δηλαδή την κατανάλωση φύλλων σε κάποιο στάδιο αποδόμησης. Επίσης, έχει ως σκοπό τη σύγκριση των δύο τροφών ως προς την καταλληλότητα για ανάπτυξη των γαιοσκωλήκων. Τέλος, στοχεύει να διερευνήσει την επίδραση του εδαφικού pH σε παραμέτρους ανάπτυξης των ζώων αυτών, όπως το βάρος τους, η δραστηριότητα τους και η πρωτεΐνη τους.

3. Αποτελέσματα

Στο τέλος του πειράματος το υγρό χώμα είχε εμφανώς κολλώδη υφή, προφανώς λόγω των βλεννωδών εκκρίσεων των γαιοσκωλήκων. Επίσης, πολλά κελιά είχαν πληθώρα κοπρολυμάτων στο εσωτερικό του χώματος.

Κατά τη διεξαγωγή του πειράματος συνέβησαν απώλειες ζωντανών γαιοσκωλήκων σε διάφορα κελιά. Όσες έγιναν ως τις 15/5/2014, δηλαδή ως 10 μέρες από την έναρξη του πειράματος, αναπληρώθηκαν με άλλα ζώα. Όσες έγιναν αργότερα, δεν αναπληρώθηκαν. Κατά την στατιστική τους επεξεργασία έγινε διόρθωση των αποτελεσμάτων. Οι απώλειες ήταν οι εξής:

Πίνακας 3.1: Απώλειες γαιοσκωλήκων μετά την έναρξη του πειράματος.

Μέτρηση	Οξύτητα	Τροφή	Επανάληψη	Αριθμός ατόμων	Αναπλήρωση
8/5	Αλκαλικό	Μηδική	2	1	ΝΑΙ
	Αλκαλικό	Μηδική	3	1	ΝΑΙ
	Αλκαλικό	Μουριά	3	1	ΝΑΙ
12/5	Αλκαλικό	Μουριά	4	1	ΝΑΙ
15/5	Όξινο	Μηδική	1	1	ΝΑΙ
	Όξινο	Μουριά	1	1	ΝΑΙ
	Αλκαλικό	Μηδική	4	1	ΝΑΙ
19/5	Όξινο	Μηδική	1	3	ΟΧΙ
22/5	Αλκαλικό	Μηδική	1	1	ΟΧΙ
	Αλκαλικό	Μουριά	2	1	ΟΧΙ
26/5	Αλκαλικό	Μηδική	1	1	ΟΧΙ
	Αλκαλικό	Μηδική	2	1	ΟΧΙ
29/5	Αλκαλικό	Μηδική	1	1	ΟΧΙ
16/6	Όξινο	Μηδική	2	1	ΟΧΙ

Επίσης στο τέλος του πειράματος εμφανίσθηκαν σε ορισμένα κελιά νεαρά, νεοεκκολαφθέντα άτομα, όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 3.2: Αριθμός νεοεκκολαφθέντων γαιοσκωλήκων στα διάφορα πειραματικά κελιά.

	Μηδική				Μουριά			
Όξινο	-	0	0	0	0	0	0	0
Αλκαλικό	-	3	2	6	4	2	2	5

Τα νεαρά αυτά δεν είναι εξακριβωμένο αν προέρχονται από γαιοσκώληκες που συμμετείχαν στο πείραμα ή από εκκολάψεις βομβυκίων που προϋπήρχαν στο έδαφος πριν την εισαγωγή των γαιοσκωλήκων. Επειδή η διάρκεια εκκόλαψης των ωών του *Octodrilus complanatus* είναι 60 ημέρες στους 20°C (Μονroy et al., 2007), δηλαδή οριακό διάστημα σε σχέση με τη διάρκεια του πειράματος και επειδή τα νεαρά εμφανίσθηκαν μόνο στο αλκαλικό έδαφος, εκτιμούμε ότι το έδαφος, παρότι ήταν αποξηραμένο (όχι όμως απολυμασμένο), περιείχε βομβύκια που ήταν ζωντανά και τα οποία εκκολάφθηκαν κατά τη διάρκεια του πειράματος. Πρέπει ακόμα να σημειωθεί ότι οι συνθήκες του πειράματος προφανώς ήταν οι κατάλληλες για την εκκόλαψη και την επιβίωση των νεαρών ζώων.

Επίσης, κατά το μέσον της διάρκειας του πειράματος και στη συνέχεια παρατηρήθηκε σε πολλά κελιά μαζική εμφάνιση ακμαίων δίπτερων Sciaridae και των προνυμφών τους, οι οποίες σε πολλές περιπτώσεις τρέφονταν στην επιφάνεια του εδάφους από την τροφή των γαιοσκωλήκων. Επομένως το έδαφος, παρότι ήταν αεροξεραμένο (αλλά όχι απολυμασμένο) διατήρησε τη ζωτικότητα των ωών και των νυμφών των δίπτερων αυτών, τα οποία δραστηριοποιήθηκαν με τις ευνοϊκές συνθήκες του πειράματος.

Βάρος γαιοσκωλήκων

Η ανάλυση διασποράς φαίνεται στον παρακάτω πίνακα 3.3:

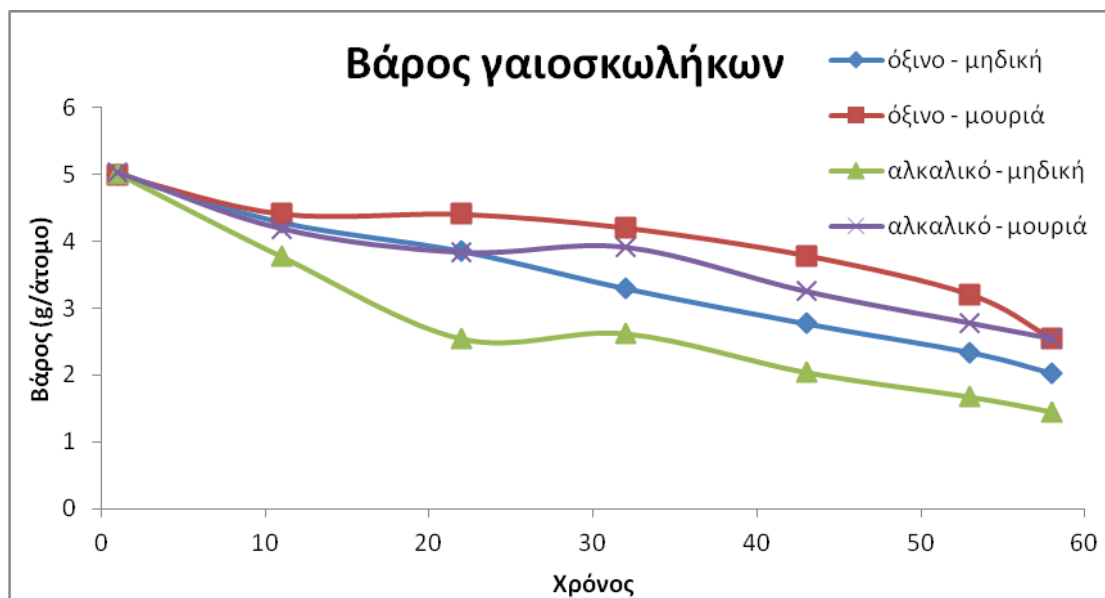
Πίνακας 3.3: ANOVA της επίδρασης του χρόνου, της τροφής και της οξύτητας του εδάφους στο βάρος των γαιοσκωλήκων (από την ανάλυση έχουν εξαιρεθεί τα βάρη εισαγωγής στα κελιά).

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio	Prob > F
Time	5	42,209506		62,3033	<,0001*
Acidity	1	6,178791		45,6010	<,0001*
Time*acidity	5	0,980341		1,4470	0,2200
Food	1	15,985465	2,86260	117,9766	<,0001*
Time*food	5	1,887540		2,7861	0,0246*
Acidity*food	1	0,876661		6,4700	0,0134*
Time*acidity*food	5	0,204766		0,3022	0,9098
Error	63	8,536307	0,13550		
C. Total	86	74,376118			

Οι σημαντικές επιδράσεις σημειώνονται με αστερίσκο.

Παρατηρούμε ότι η τριπλή επίδραση των παραγόντων δεν είναι σημαντική ούτε η αλληλεπίδραση της οξύτητας του εδάφους με τον χρόνο. Η αλληλεπίδραση του χρόνου και της τροφής, καθώς και η αλληλεπίδραση της οξύτητας και της τροφής είναι σημαντικές. Το ίδιο ισχύει και για τις κύριες επιδράσεις κάθε παράγοντα χωριστά.

Μελετήθηκε η μεταβολή του βάρους των γαιοσκωλήκων στο χρόνο, υπό την επίδραση των 2 παραγόντων. Οι μεταβολές στο βάρος παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 3.1: Μεταβολή του βάρους των γαιοσκωλήκων με το χρόνο, στους 2 τύπους εδαφών και τροφής.

Είναι φανερό ότι, το βάρος των γαιοσκωλήκων ακολουθεί πτωτική πορεία με το χρόνο. Στην αρχή όλες οι μεταχειρίσεις χάνουν βάρος. Στη συνέχεια, οι μεταχειρίσεις αλκαλικό - μουριά και όξινο - μουριά τείνουν να σταθεροποιηθούν και τελικά, από τις 32 μέρες και μετά, εμφανίζεται και πάλι προοδευτική απώλεια βάρους. Οι γραμμές της τροφής απέχουν λιγότερο μεταξύ τους από τις γραμμές τις οξύτητας, άρα, μάλλον η τροφή έχει μεγαλύτερη βαρύτητα στον καθορισμό του βάρους από την οξύτητα. Η μουριά έχει καλύτερη συμπεριφορά ως τροφή σε σχέση με τη μηδική και στα δύο εδάφη. Η μεταχείριση αλκαλικό - μηδική παρουσιάζει τις μεγαλύτερες απώλειες καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος. Ακολουθεί η μεταχείριση όξινο - μηδική, η οποία φαίνεται να έχει προοδευτική συνεχή μείωση του βάρους και τέλος οι συνδυασμοί όξινο - μουριά και αλκαλικό - μουριά που

καταλήγουν στο ίδιο τελικό βάρος. Μεταξύ των 2 τελευταίων φαίνεται από το σχήμα ότι το όξινο – μουριά είχε μικρότερη μείωση βάρους σ' όλη τη διάρκεια του πειράματος. Το μικρότερο βάρος ήταν 1,45g, σημειώθηκε στο τέλος του πειράματος (58 μέρες) στη μεταχείριση αλκαλικό - μηδική και διέφερε στατιστικά σημαντικά από το αλκαλικό - μουριά (2,55g) και όξινο - μουριά (2,54g), όχι όμως από το όξινο - μηδική (2,03g) της ίδιας ημερομηνίας (πιν. 3.17).

Απώλειες βάρους αναφέρονται και από άλλους ερευνητές (Auclerc et al., 2013) και αποδίδονται στις δυσμενείς συνθήκες στις οποίες υποβάλλονται τα ζώα κατά την διεξαγωγή πειραμάτων μακράς διάρκειας. Αναφέρεται μάλιστα ότι ο μάρτυρας δεν πρέπει να παρουσιάζει απώλειες βάρους μεγαλύτερες από 30%. Στην παρούσα μελέτη, παρότι έγινε προσπάθεια να προγραμματίσουμε και να διατηρήσουμε τις συνθήκες προς όφελος των γαιοσκωλήκων, οι απώλειες ήταν μεγάλες. Οι ποσοστιαίες απώλειες βάρους στις επεμβάσεις μας φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 3.4: Ποσοστιαία μείωση του βάρους των γαιοσκωλήκων συνολικά και στους 2 τύπους εδαφών και τροφής.

	Μηδική	Μουριά	Σύνολο
Όξινο	69,5	49,2	59,3
Αλκαλικό	78,2	49,2	63,7
Σύνολο	74,4	49,2	61,7

Σημαντικότερο βάρος έχασαν οι γαιοσκώληκες που αναπτύχθηκαν σε αλκαλικό χώμα και όσοι διατράφηκαν με μηδική. Σε κάποια κελιά με μηδική ως τροφή, τόσο στο όξινο έδαφος, όσο και στο αλκαλικό, οι γαιοσκώληκες δεν κατάφεραν να παραμείνουν ζωντανοί ως το τέλος του πειράματος.

Η σημαντικότητα της μεταβολής των βαρών των επεμβάσεων με τον χρόνο φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

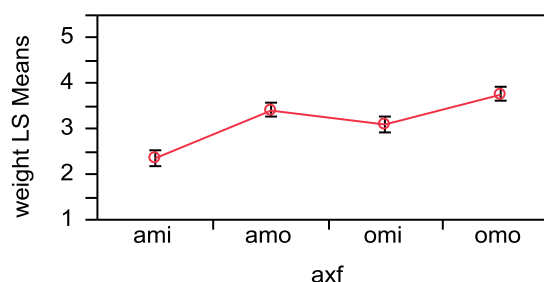
Πίνακας 3.5: Μεταβολές του βάρους των γαιοσκωλήκων με τον χρόνο, ανάλογα με τον τύπο εδάφους και την τροφή.

	Δοκιμασία Student's		
	α=5% t=2,16037		
Όξινο – Μηδική	11	a	4,28875
	22	a	3,85500
	32	b	3,29733
	43	c	2,77100
	53	c d	2,34033
	58	d	2,02933
	α=5% t=2,10092		
Όξινο – Μουριά	11	a	4,41550
	22	a	4,40900
	32	a b	4,20375
	43	b c	3,78875
	53	c	3,20200
	58	d	2,54025
	α=5% t=2,14479		
Αλκαλικό – Μηδική	11	a	3,78050
	32	b	2,62500
	22	b	2,54825
	43	b c	2,04666
	53	c	1,67933
	58	c	1,45666
	α=5% t=2,10092		
Αλκαλικό – Μουριά	11	a	4,19300
	32	a	3,91625
	22	a	3,83875
	43	b	3,25800
	53	b c	2,78575
	58	c	2,55475

Παρατηρούμε ότι στις περιπτώσεις όξινο – μηδική και όξινο – μουριά συμβαίνει προοδευτική απώλεια βάρους, ενώ στις περιπτώσεις αλκαλικό – μηδική και αλκαλικό – μουριά το βάρος την 32^η μέρα είναι μεγαλύτερο από ότι την 22^η, χωρίς όμως σημαντικότητα.

Οι γενικοί μέσοι των μεταχειρίσεων διαφέρουν στατιστικά σημαντικά και διαμορφώθηκαν ως εξής:

Δοκιμασία Student's		
α=5% t=1,99834		
ο.,μο.	α	3,7598750
α.,μο.	β	3,4244167
ο.,μη.	γ	3,0969583
α.,μη.	δ	2,3560694



Σχήμα 3.2: Μέσα βάρη γαιοσκωλήκων, όπως διαμορφώθηκαν στους 2 τύπους εδαφών και στις 2 τροφές.

Ο συνδυασμός όξινου εδάφους και τροφή μουριά είναι ο καλύτερος, με μέσο 3,76 g, ακολουθεί ο συνδυασμός αλκαλικού εδάφους και τροφή μουριά (3,42g), ενώ ο χειρότερος όλων είναι το αλκαλικό έδαφος και τροφή μηδική (2,36g). Όλοι οι γενικοί μέσοι διαφέρουν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους.

Μελετήθηκε η πιθανή συσχέτιση του βάρους με το χρόνο υπό την επίδραση του συνδυασμού τροφής-τύπου εδάφους και διερευνήθηκε η σημαντικότητα της με πιθανότητα $p=0,05$. Σε όλες τις περιπτώσεις ήταν σημαντική και αρνητική, όπως φαίνεται από τον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 3.6: Συντελεστές συσχέτισης του βάρους και του χρόνου στους 2 τύπους εδαφών και τροφής και η σημαντικότητά τους.

	Συντελεστής συσχέτισης r	πιθανότητα
Όξινο – μηδική	- 0,9621	< 0,0001*
Όξινο – μουριά	- 0,8244	< 0,0001*
Αλκαλικό – μηδική	- 0,8566	< 0,0001*
Αλκαλικό – μουριά	- 0,8680	< 0,0001*

Οι ευθείες παλινδρόμησης του βάρους ως προς τον χρόνο είναι:

$$\text{Όξινο – μηδική: } \check{Y} = 4,8476708 - 0,0480116T$$

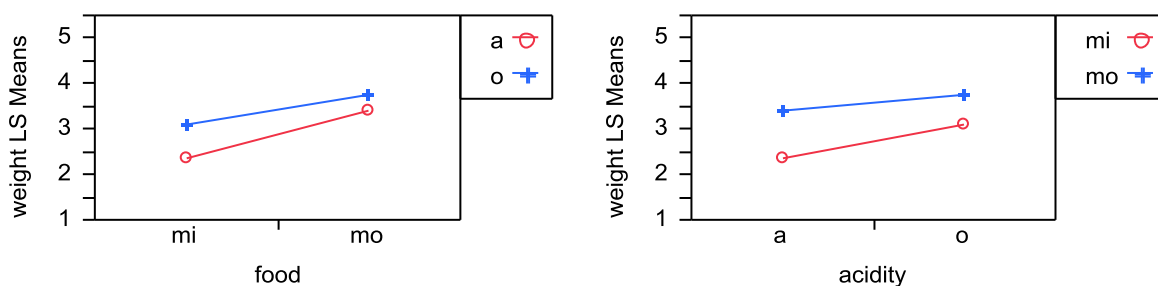
$$\text{Όξινο – μουριά: } \check{Y} = 5,1552953 - 0,0382307T$$

$$\text{Αλκαλικό – μουριά: } \check{Y} = 4,7046693 - 0,0350754T$$

$$\text{Αλκαλικό – μηδική: } \check{Y} = 3,9623781 - 0,0442168T$$

Στις παραπάνω εξισώσεις διερευνήθηκε η σημαντικότητα της κλίσης β από την ANOVA και βρέθηκε σημαντική σε επίπεδο $\alpha=5\%$.

Αναλύθηκε η αλληλεπίδραση της οξύτητας και της τροφής:



Σχήμα 3.3: Γραφική παράσταση της αλληλεπίδρασης της εδαφικής οξύτητας και της τροφής στο βάρος των γαιοσκωλήκων.

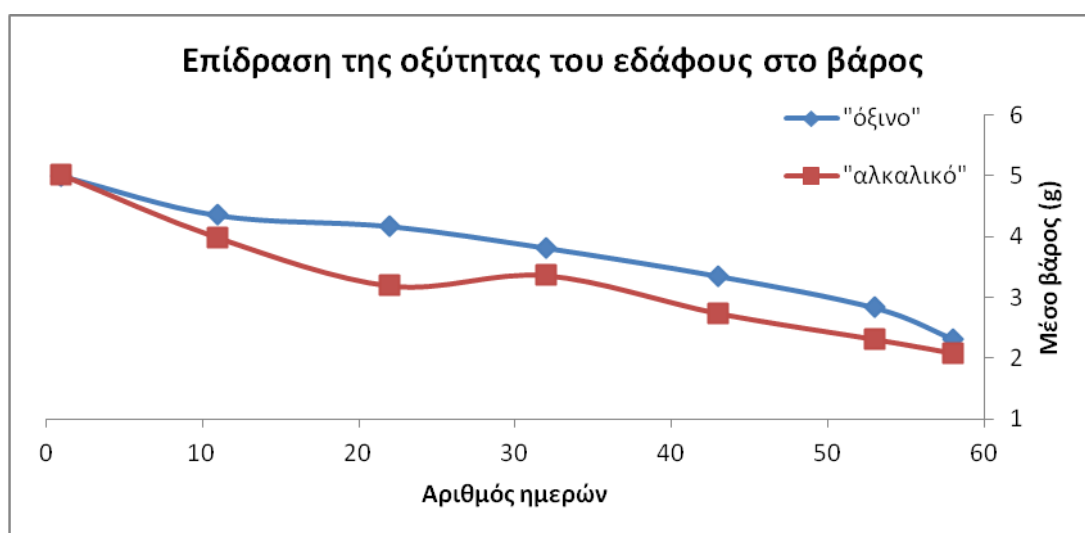
Όπως φαίνεται στα σχήματα, όπου οι ευθείες δεν είναι παράλληλες, επαληθεύεται γραφικά η ύπαρξη αλληλεπίδρασης μεταξύ των 2 παραγόντων. Είναι φανερό η ευεργετική επίδραση του όξινου εδάφους και της μουριάς ως τροφής. Η μουριά ως τροφή περιορίζει την αρνητική επίδραση του αλκαλικού εδάφους και το όξινο έδαφος μειώνει την ακαταλληλότητα της μηδικής ως τροφή. Θεωρήθηκε απαραίτητο να διερευνηθεί κατά πόσον οι τροφές μεταβάλλουν οι ίδιες την οξύτητα του υποστρώματος στο οποίο προσθέτονται. Το pH των τροφών μετρήθηκε σε υδατικό διάλυμα αλεσμένης τροφής 1:10 (βάρος/όγκο) και στο διήθημα του, 24 ώρες αργότερα. Η μέτρηση έγινε στο εργαστήριο Γεωργικής Χημείας του Γ.Π.Α. με πεχάμετρο Eutech (Cyberscan) και μας έδωσε τα εξής αποτελέσματα στους 25°C:

Πίνακας 3.7: Οξύτητα της υδατικής πάστας και του εκχυλίσματος των 2 τροφών.

	Διάλυμα	Εκχύλισμα
Μηδική	5,75	6,18
Μουριά	7,06	6,59

Στη συνέχεια μελετήθηκε η μεταβολή του βάρους των γαιοσκωλήκων με το χρόνο υπό την επίδραση του κάθε παράγοντα ξεχωριστά.

Για την οξύτητα του εδάφους η ANOVA έδειξε έλλειψη σημαντικότητας αλληλεπίδρασης με το χρόνο. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η μεταβολή του βάρους των γαιοσκωλήκων στο χρόνο υπό την επίδραση του τύπου του εδάφους.



Σχήμα 3.4: Μεταβολή του βάρους των γαιοσκωλήκων με το χρόνο υπό την επίδραση της οξύτητας του εδάφους.

Είναι φανερό ότι το βάρος των γαιοσκωλήκων μειώνεται με το χρόνο περισσότερο στο αλκαλικό έδαφος από ότι στο όξινο. Στην οξύτητα, όπως και στις μεταχειρίσεις, η μικρότερη μέτρηση σημειώθηκε στο τέλος του πειράματος (58 μέρες) στο αλκαλικό έδαφος και ήταν 2γρ. Η τιμή αυτή δεν διαφέρει στατιστικά σημαντικά από τη μικρότερη τιμή του όξινου εδάφους, που σημειώθηκε κατά τον ίδιο χρόνο (58 μέρες) και ήταν 2,28γρ.

Οι μέσοι των βαρών στους 2 τύπους εδαφών, όπως μεταβλήθηκαν με το χρόνο, και η σημαντικότητα των διαφορών τους φαίνεται παρακάτω.

Πίνακας 3.8: Μέσα βάρη γαιοσκωλήκων στους 2 τύπους εδαφών και στους διάφορους δειγματοληπτικούς χρόνους.

	Δοκιμασία Student's		
Όξινο	α=5% t=2,03951		
	11	a	4,3521250
	22	a b	4,1320000
	32	b	3,7505417
	43	c	3,2798750
	53	d	2,7711667
	58	e	2,2847917
Αλκαλικό	α=5% t=2,03693		
	11	a	3,9867500
	32	b	3,2706250
	22	b	3,1935000
	43	c	2,6523333
	53	c d	2,2325417
	58	d	2,0057083

Από την εισαγωγή τους στα κελιά το βάρος μεταβλήθηκε, κατά μέσο όρο, στο όξινο έδαφος κατά 2,72γρ. και στο αλκαλικό κατά 3,021 γρ.

Ο παράγοντας οξύτητα εδάφους έχει σημαντική επίδραση στο βάρος των γαιοσκωλήκων, σύμφωνα με την ανάλυση διασποράς. Οι μέσοι των βαρών των γαιοσκωλήκων όπως διαμορφώθηκαν στο σύνολο του πειράματος για τους 2 τύπους εδαφών διαφέρουν σημαντικά και δίνονται στη συνέχεια:

	Δοκιμασία Student's: α=5% t=1,99834	
Όξινο	α	3,4284167
Αλκαλικό	β	2,8902431

Όσον αφορά την κύρια επίδραση του παράγοντα «τύπος εδάφους» ήταν σημαντική στις παρακάτω ημερομηνίες:

Πίνακας 3.9: Στατιστικά σημαντικές επιδράσεις της οξύτητας του εδάφους στο βάρος των γαισκωλήκων.

<p>Στις 26/5 (22 μέρες από την εισαγωγή)</p> <p>$\alpha=5\%$ $t=2,20099$</p> <p>ο a 4,13200 α b 3,19350</p>	<p>Επίδραση της οξύτητας του εδάφους στη βάρος των γ. την 22^η ημέρα</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Τύπος εδάφους</th> <th>Βάρος (g)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>όξινο</td> <td>4,13200</td> </tr> <tr> <td>αλκαλικό</td> <td>3,19350</td> </tr> </tbody> </table>	Τύπος εδάφους	Βάρος (g)	όξινο	4,13200	αλκαλικό	3,19350
Τύπος εδάφους	Βάρος (g)						
όξινο	4,13200						
αλκαλικό	3,19350						
<p>Στις 16/6 (43 μέρες από την εισαγωγή)</p> <p>$\alpha=5\%$ $t=2,22814$</p> <p>ο a 3,279875 α b 2,652333</p>	<p>Επίδραση της οξύτητας στο βάρος των γ. την 43^η ημέρα</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Τύπος εδάφους</th> <th>Βάρος (g)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>όξινο</td> <td>3,279875</td> </tr> <tr> <td>αλκαλικό</td> <td>2,652333</td> </tr> </tbody> </table>	Τύπος εδάφους	Βάρος (g)	όξινο	3,279875	αλκαλικό	2,652333
Τύπος εδάφους	Βάρος (g)						
όξινο	3,279875						
αλκαλικό	2,652333						
<p>Στις 26/6 (53 μέρες από την εισαγωγή)</p> <p>$\alpha=5\%$ $t=2,22814$</p> <p>ο a 2,771166 α b 2,232541</p>	<p>Επίδραση της οξύτητας του εδάφους στο βάρος των γ. την 53^η ημέρα</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Τύπος εδάφους</th> <th>Βάρος (g)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>όξινο</td> <td>2,771166</td> </tr> <tr> <td>αλκαλικό</td> <td>2,232541</td> </tr> </tbody> </table>	Τύπος εδάφους	Βάρος (g)	όξινο	2,771166	αλκαλικό	2,232541
Τύπος εδάφους	Βάρος (g)						
όξινο	2,771166						
αλκαλικό	2,232541						

Όπως και με τον συνδυασμό των παραγόντων, ο χρόνος σχετίζεται στενά και αρνητικά με το βάρος των γαιοσκωλήκων στους 2 τύπους εδαφών. Ο συντελεστής συσχέτισης στην περίπτωση αυτή υπολογίσθηκε και εκτιμήθηκε η σημαντικότητα του από το στατιστικό πρόγραμμα:

Για το όξινο έδαφος το r είναι - 0,8168 και για το αλκαλικό είναι - 0,6858. Η σημαντικότητα των συντελεστών συσχέτισης φαίνεται παρακάτω:

Πίνακας 3.10: Σημαντικότητα των συντελεστών συσχέτισης του βάρους των γαιοσκωλήκων με το χρόνο υπό την επίδραση της οξύτητας.

	Variable	by Variable	Correlation	Count	Lower 95%	Upper 95%	Signif Prob
Όξινο	time	weight	-0,8212	43	-0,8996	-0,6914	<,0001*
Αλκαλικό	time	weight	-0,6901	44	-0,8192	-0,4946	<,0001*

*Σημαντικό για $\alpha = 5\%$

Οι γραμμές παλινδρόμησης του βάρους με το χρόνο ως προς τον τύπο του εδάφους δίδονται στην συνέχεια. Η ανάλυση διασποράς φαίνεται στον παρακάτω πίνακα (3.11) και οι ευθείες παλινδρόμησης είναι:

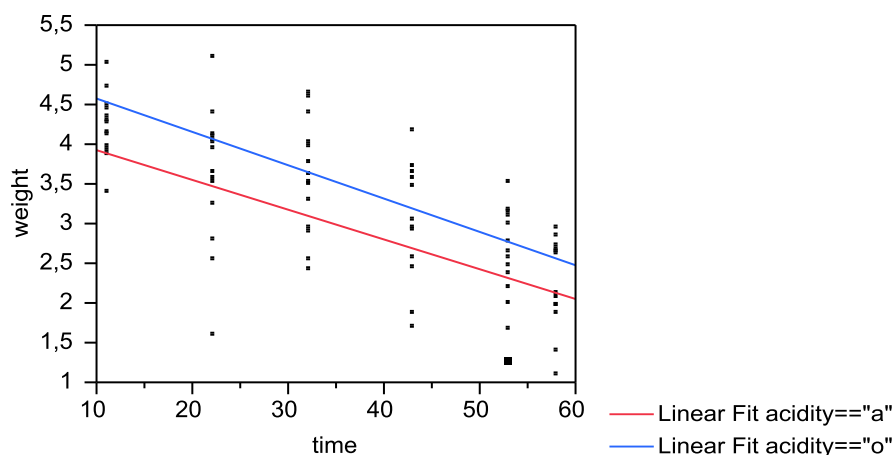
- για το όξινο έδαφος $\check{Y} = 5,0005989 - 0,0419396T$ - ερμηνεύεται το 66,64% ($R_{\text{οξ.}}^2$) της παραλλακτικότητας.
- για το αλκαλικό έδαφος $\check{Y} = 4,3084412 - 0,0374505T$ - ερμηνεύεται το 46,38% ($R_{\text{αλκ.}}^2$) της παραλλακτικότητας.

Πίνακας 3.11: Ανάλυση διασποράς της γραμμικής παλινδρόμησης του βάρους των γαιοσκωλήκων με τον χρόνο σε εδάφη διαφορετικής οξύτητας.

	Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio	Prob > F
Αλκαλικό	Model	1	17,428812	17,4288	38,1910	<,0001*
	Error	42	19,167071	0,4564		
	C. Total	43	36,595883			
Όξινο	Model	1	21,525138	21,5251	84,9048	<,0001*
	Error	41	10,394357	0,2535		
	C. Total	42	31,919495			

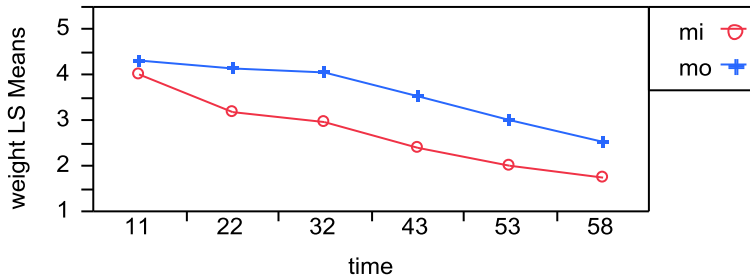
*Σημαντικό για $\alpha = 5\%$

Ακολουθούν οι γραφικές παραστάσεις των γραμμών παλινδρόμησης του βάρους με τον χρόνο ως προς τον τύπο του εδάφους.



Σχήμα 3.5: Γραμμική παλινδρόμηση του βάρους των γαιοσκωλήκων με το χρόνο στους 2 τύπους εδαφών.

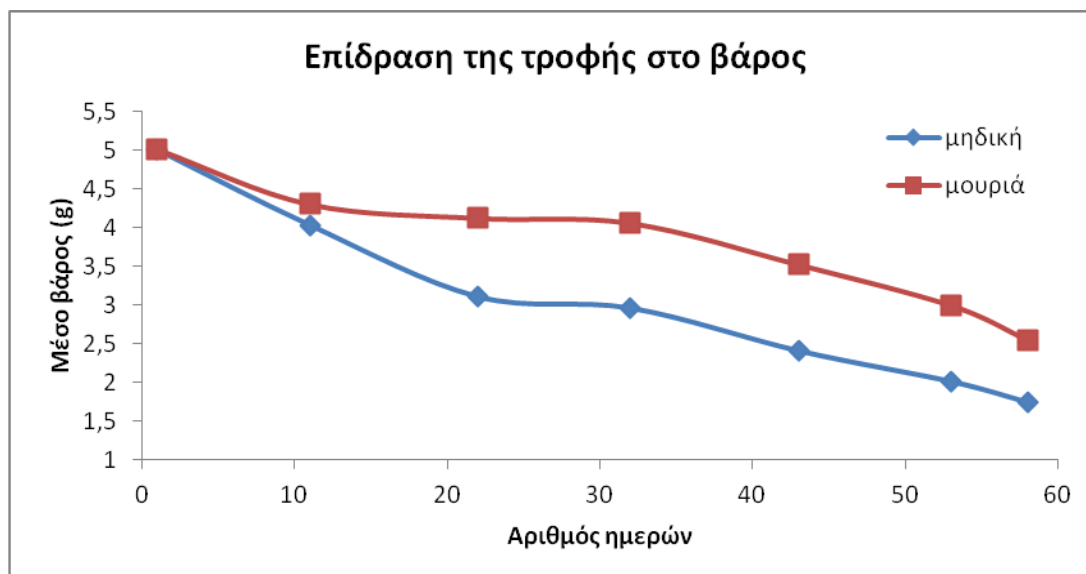
Για τους παράγοντες χρόνος και τροφή η ANOVA έδειξε σημαντικότητα στην αλληλεπίδραση. Παρακάτω παρουσιάζεται αυτή γραφικά (σχήμα 3.6).



Σχήμα 3.6: Γραφική παράσταση της αλληλεπίδρασης του βάρους των γαιοσκωλήκων με το χρόνο στους 2 τύπους τροφής.

Επιβεβαιώνεται γραφικά η ύπαρξη σημαντικής αλληλεπίδρασης μεταξύ χρόνου και βάρους που είχε αποκαλυφθεί από την ανάλυση διασπορά (πιν. 3.3). Αυτή αποδίδεται κυρίως στον χρόνο 11, δηλαδή στην πρώτη πραγματική μέτρηση του βάρους μετά την εισαγωγή των γαιοσκωλήκων, κατά την οποία τα ζώα είχαν αποθέματα τροφής στο σώμα τους, ενώ στη συνέχεια οι ευθείες είναι παράλληλες. Είναι φανερό η αρνητική επίδραση της μηδικής ως τροφή που εκδηλώνεται με απώλεια βάρους στην αρχή του πειράματος. Από ένα χρόνο και μετά (22 μέρες) τα ζώα εξοικειώνονται στο σιτηρέσιο τους, όποιο και να είναι αυτό και συνεχίζουν την επιβίωση τους, χωρίς να παρουσιάζονται διαφοροποιήσεις μεταξύ των 2 τροφών.

Η μεταβολή του βάρους με τον χρόνο υπό την επίδραση της τροφής φαίνεται στο παρακάτω σχήμα 3.7:



Σχήμα 3.7: Μεταβολή του βάρους των γαιοσκωλήκων με το χρόνο υπό την επίδραση της τροφής.

Είναι φανερό ότι το βάρος ακολουθεί πτωτική πορεία, η μηδική έχει περισσότερο αρνητική επίδραση στο βάρος από την μουριά. Το μικρότερο βάρος μετρήθηκε και στις 2 τροφές κατά την τελευταία δειγματοληψία και ήταν 1,74γρ. για τη μηδική και 2,55γρ. για την μουριά. Οι τιμές αυτές διαφέρουν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους, όπως φαίνεται στον πίνακα 3.13.

Οι μέσοι των βαρών στις 2 τροφές, όπως μεταβλήθηκαν με το χρόνο, και η σημαντικότητα των διαφορών τους φαίνεται παρακάτω.

Πίνακας 3.12: Μέσα βάρη γαιοσκωλήκων στις 2 τροφές και σε κάθε δειγματοληπτικό χρόνο.

	Δοκιμασία Student's		
	α=5% t=2,05183		
Μηδική	11	a	4,0346250
	22	b	3,2016250
	32	b c	2,9611667
	43	c d	2,4088333
	53	d e	2,0098333
	58	e	1,7430000
	α=5% t=2,02809		
Μουριά	11	a	4,3042500
	22	a	4,1238750
	32	a	4,0600000
	43	b	3,5233750
	53	c	2,9938750
	58	d	2,5475000

Από την εισαγωγή τους στα κελιά το βάρος μεταβλήθηκε, κατά μέσο όρο, με τροφή μηδική κατά 3,27 g και με τροφή μουριά κατά 2,47 g.

Οι μέσοι των βαρών των γαιοσκωλήκων όπως διαμορφώθηκαν στο σύνολο του πειράματος για τους 2 τύπους τροφής διαφέρουν σημαντικά και δίνονται στη συνέχεια:

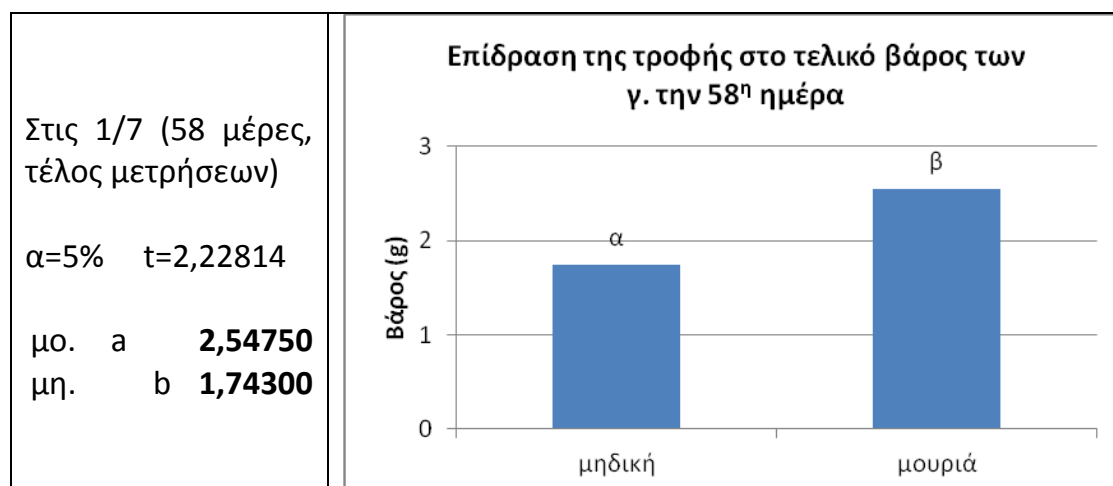
	Δοκιμασία Student's α=5% t=1,99834	
Μηδική	α	2,7265139
Μουριά	β	3,5921458

Όσον αφορά την κύρια επίδραση του παράγοντα «τροφή» ήταν σημαντική σχεδόν σε όλες τις δειγματοληψίες όπως φαίνεται παρακάτω.

Πίνακας 3.13: Στατιστικά σημαντικές επιδράσεις της τροφής στο βάρος των γαιοσκωλήκων.

<p>Στις 26/5 (22 μέρες από την έναρξη του πειράματος)</p> <p>$\alpha=5\%$ $t=2,20099$</p> <p>μο. a 4,12387 μη. b 3,20162</p>	<p>Επίδραση της τροφής στο βάρος των γ. την 22^η ημέρα</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Τροφή</th> <th>Βάρος (g)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>μηδική (α)</td> <td>3,20162</td> </tr> <tr> <td>μουριά (β)</td> <td>4,12387</td> </tr> </tbody> </table>	Τροφή	Βάρος (g)	μηδική (α)	3,20162	μουριά (β)	4,12387
Τροφή	Βάρος (g)						
μηδική (α)	3,20162						
μουριά (β)	4,12387						
<p>Στις 5/6 (32 μέρες από την έναρξη του πειράματος)</p> <p>$\alpha=5\%$ $t=2,22814$</p> <p>μο. a 4,06000 μη. b 2,96116</p>	<p>Επίδραση της τροφής στο βάρος των γ. την 32^η ημέρα</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Τροφή</th> <th>Βάρος (g)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>μηδική (α)</td> <td>4,06000</td> </tr> <tr> <td>μουριά (β)</td> <td>2,96116</td> </tr> </tbody> </table>	Τροφή	Βάρος (g)	μηδική (α)	4,06000	μουριά (β)	2,96116
Τροφή	Βάρος (g)						
μηδική (α)	4,06000						
μουριά (β)	2,96116						
<p>Στις 16/6 (43 μέρες από την έναρξη του πειράματος)</p> <p>$\alpha=5\%$ $t=2,22814$</p> <p>μο. a 3,52337 μη. b 2,40883</p>	<p>Επίδραση της τροφής στο βάρος γ. την 43^η ημέρα</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Τροφή</th> <th>Βάρος (g)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>μηδική (α)</td> <td>2,40883</td> </tr> <tr> <td>μουριά (β)</td> <td>3,52337</td> </tr> </tbody> </table>	Τροφή	Βάρος (g)	μηδική (α)	2,40883	μουριά (β)	3,52337
Τροφή	Βάρος (g)						
μηδική (α)	2,40883						
μουριά (β)	3,52337						
<p>Στις 26/6 (53 μέρες από την έναρξη του πειράματος)</p> <p>$\alpha=5\%$ $t=2,22814$</p> <p>μο. a 2,99387 μη. b 2,00983</p>	<p>Επίδραση της τροφής στο βάρος των γ. την 53^η ημέρα</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Τροφή</th> <th>Βάρος (g)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>μηδική (α)</td> <td>2,00983</td> </tr> <tr> <td>μουριά (β)</td> <td>2,99387</td> </tr> </tbody> </table>	Τροφή	Βάρος (g)	μηδική (α)	2,00983	μουριά (β)	2,99387
Τροφή	Βάρος (g)						
μηδική (α)	2,00983						
μουριά (β)	2,99387						

Πίνακας 3.13 (συνέχεια)



Όπως και με τον συνδυασμό των παραγόντων ο χρόνος σχετίζεται στενά και αρνητικά με το βάρος των γαιοσκωλήκων υπό την επίδραση κάθε τροφής.

Υπολογίσθηκαν οι συντελεστές συσχέτισης και η σημαντικότητα τους. Για τη μηδική το r είναι $-0,8260$ και για τη μουριά είναι $-0,8209$. Η σημαντικότητα των συντελεστών φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 3.14: Σημαντικότητα των συντελεστών συσχέτισης του βάρους των γαιοσκωλήκων με το χρόνο υπό την επίδραση της τροφής.

	Variable	by Variable	Correlation	Count	Lower 95%	Upper 95%	Signif Prob
Μηδική	weight	Time	-0,8333	39	-0,9097	-0,7025	<,0001*
Μουριά	weight	Time	-0,8209	48	-0,8961	-0,7001	<,0001*

*σημαντικό για $\alpha = 5\%$

Οι γραμμές παλινδρόμησης του βάρους με το χρόνο ως προς την τροφή δίδονται στην συνέχεια. Η ανάλυση διασποράς φαίνεται στον παρακάτω πίνακα (3.15) και οι ευθείες παλινδρόμησης είναι:

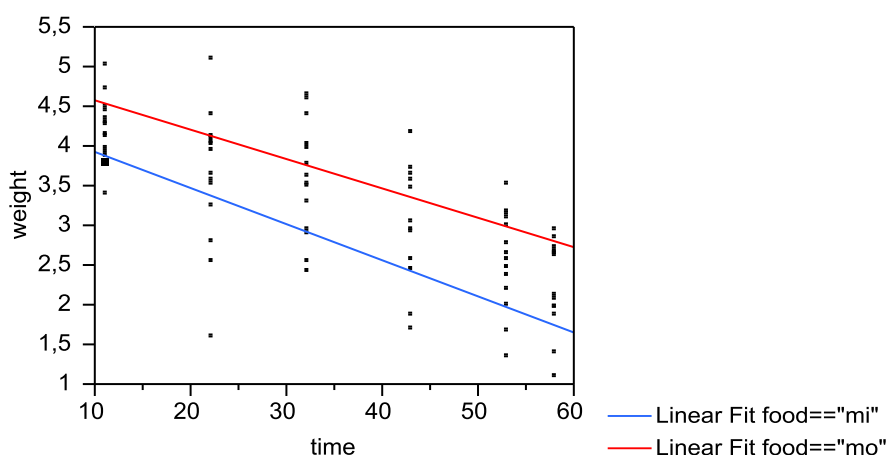
- Για τη μηδική $\hat{Y} = 4,3789707 - 0,0456612T$, με τον τύπο αυτό ερμηνεύεται το 68,62% ($R_{μηδ.}^2$) της παραλλακτικότητας.
- Για τη μουριά $\hat{Y} = 4,9299823 - 0,0366531T$, με τον τύπο αυτό ερμηνεύεται το 66,68% ($R_{μου.}^2$) της παραλλακτικότητας.

Πίνακας 3.15: ANOVA της γραμμικής παλινδρόμησης του βάρους των γαιοσκωλήκων ως προς τον χρόνο για τη μηδική και τη μουριά.

	Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio	Prob > F
μηδική	Model	1	23,655213	23,6552	84,0839	<,0001*
	Error	37	10,409166	0,2813		
	C. Total	38	34,064379			
μουριά	Model	1	17,814099	17,8141	95,0749	<,0001*
	Error	46	8,618975	0,1874		
	C. Total	47	26,433074			

*σημαντικό για $\alpha=5\%$

Ακολουθεί η γραφική παράσταση της γραμμικής παλινδρόμησης του βάρους με το χρόνο για τις 2 τροφές.



Σχήμα 3.8: Γραμμική παλινδρόμηση του βάρους των γαιοσκωλήκων με το χρόνο υπό την επίδραση των 2 τροφών.

Όσον αφορά τους μέσους για τον παράγοντα χρόνο, έχουν ήδη παρουσιασθεί οι πίνακες της μεταβολής των βαρών των γαιοσκωλήκων για κάθε μεταχείριση (πίν. 3.5) και των επιδράσεων του τύπου του εδάφους και της τροφής (πίν. 3.8 και 3.12). Ακολουθεί ο πίνακας με τα γενικά μέσα βάρη των γαιοσκωλήκων ως προς το χρόνο και η σημαντικότητα των διαφορών τους.

Πίνακας 3.16: Μέσα βάρη των γαιοσκωλήκων σε κάθε δειγματοληψία.

Μέρες	Σημαντικότητα	Μέσα βάρη
1	a	5,0141250
11	b	4,1694375
22	c	3,6627500
32	c	3,5105833
43	d	2,9661042
53	e	2,5018542
58	f	2,1452500

Η μείωση του μέσου βάρους των γαιοσκωλήκων σε κάθε δειγματοληπτικό χρόνο είναι σημαντική, με εξαίρεση τους χρόνους 22 και 32 μέρες. Ο χρόνος μείωσε το μέσο βάρος των γαιοσκωλήκων κατά 2,87γρ. συνολικά.

Στην συνέχεια παρουσιάζεται ο πίνακας των μέσων βαρών των γαιοσκωλήκων στις διάφορες δειγματοληψίες και γίνεται η σύγκριση των διαφορών τους.

Παρατηρούμε ότι διαφορές στο βάρος παρουσιάζονται ήδη από την πρώτη ημερομηνία μετά την εισαγωγή των γαιοσκωλήκων και γίνονται πιο πολλές όσο περνά ο χρόνος. Στο τέλος του πειράματος οι διαφορές αμβλύνονται, προφανώς λόγω εξάντλησης των ζώων. Οι συνδυασμοί όξινο-μουριά και αλκαλικό-μηδική είναι πάντα στατιστικά διαφορετικοί (εξαιρούνται τα βάρη εισαγωγής).

Πίνακας 3.17: Μέσα βάρη γαιοσκωλήκων σε κάθε δειγματοληπτικό χρόνο.

Χρόνος	Διαφορές κατά Student's			
5/5	$\alpha=5\%$ $t=2,17881$			
	α.μο.	a		5,03150
	α.μη.	a		5,02150
	ο.μο.	a		5,00300
	ο.μη.	a		5,00050
15/5	$\alpha=5\%$ $t=2,17881$			
	ο.μο.	a		4,41550
	ο.μη.	a	b	4,28875
	α.μο.	a	b	4,19300
	α.μη.		b	3,78050
26/5	$\alpha=5\%$ $t=2,20099$			
	ο.μο.	a		4,40900
	ο.μη.	a		3,85500
	α.μο.	a		3,83875
	α.μη.		b	2,54825
5/6	$\alpha=5\%$ $t=2,22814$			
	ο.μο.	a		4,20375
	α.μο.	a	b	3,91625
	ο.μη.		b c	3,29733
	α.μη.		c	2,62500
16/6	$\alpha=5\%$ $t=2,22814$			
	ο.μο.	a		3,78875
	α.μο.		b	3,25800
	ο.μη.		b	2,77100
	α.μη.		c	2,04666
26/6	$\alpha=5\%$ $t=2,22814$			
	ο.μο.	a		3,20200
	α.μο.		b	2,78575
	ο.μη.		c	2,34033
	α.μη.		d	1,67933
1/7	$\alpha=5\%$ $t=2,26216$			
	α.μο.	a		2,55475
	ο.μο.	a		2,54025
	ο.μη.	a	b	2,02933
	α.μη.		b	1,45666

Επιφανειακά κοπρολύματα

Κατά τον ίδιο τρόπο αναλύθηκαν οι μετρήσεις των κοπρολυμάτων. Η ανάλυση διασποράς φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

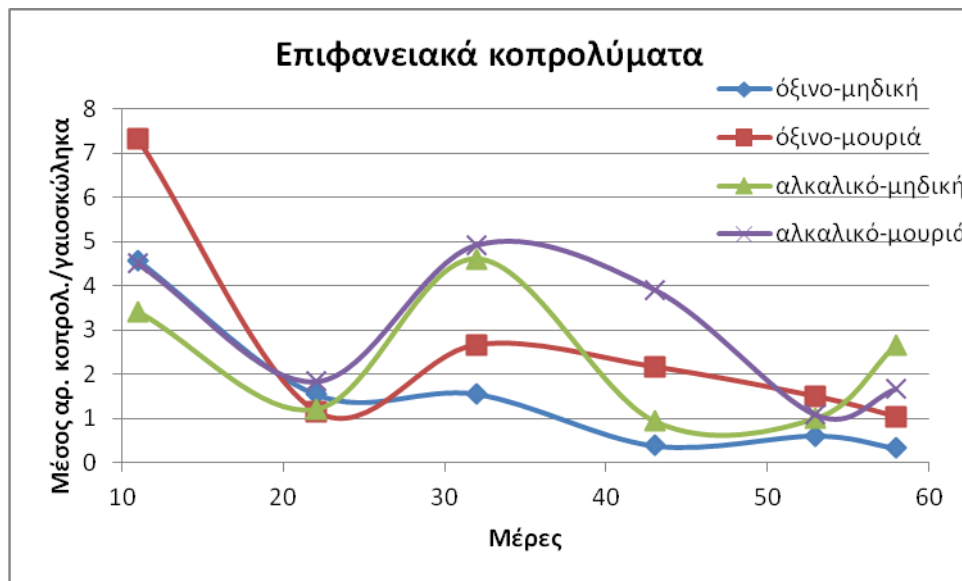
Πίνακας 3.18: ANOVA της επίδρασης του χρόνου, της τροφής και της οξύτητας του εδάφους στον αριθμό των επιφανειακών κοπρολυμάτων.

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio	Prob > F
Time	5	175,38529		16,2474	<,0001*
Acidity	1	6,50894		3,0149	0,0875
food	1	17,81749		8,2529	0,0056*
Acidity*food	1	1,03092	11,8479	0,4775	0,4921
Time*Acidity*food	5	7,93951		0,7355	0,5997
Acidity*Time	5	46,48835		4,3066	0,0020*
food*Time	5	17,83380		1,6521	0,1597
Error	62	133,85416	2,1589		
C. Total	85	406,35501			<,0001*

Οι σημαντικές επιδράσεις σημειώνονται με αστερίσκο

Είναι φανερό ότι, σημαντική επίδραση στον αριθμό των κοπρολυμάτων έχουν μόνο ο χρόνος, η αλληλεπίδραση χρόνου και οξύτητας και η τροφή.

Ακολουθεί η γραφική παράσταση της μεταβολής του αριθμού των κοπρολυμάτων με τον χρόνο.



Σχήμα 3.9: Μεταβολή του αριθμού των επιφανειακών κοπρολυμάτων των γαιοσκωλήκων με το χρόνο, στους 2 τύπους εδαφών και τροφής.

Η παρουσία των κοπρολυμάτων στην επιφάνεια του εδάφους σημαίνει μεγάλη δραστηριότητα των ζώων. Όπως παρουσιάζεται στο διάγραμμα, κατά το πρώτο δεκαήμερο από την εισαγωγή οι γαιοσκώληκες έχουν μεγάλη δραστηριότητα σε όλες τις μεταχειρίσεις και ιδιαίτερα στο όξινο έδαφος και τροφή μουριά. Τις επόμενες 10 μέρες η επιφανειακή δραστηριότητα μειώνεται πολύ σε όλες τις μεταχειρίσεις. Στη συνέχεια, συμβαίνουν διακυμάνσεις στη δραστηριότητα σε όλες τις μεταχειρίσεις, εκτός από το συνδυασμό όξινο-μηδική που συνεχώς μειώνεται μέχρι ένα ελάχιστο στο τέλος του πειράματος. Στις υπόλοιπες μεταχειρίσεις, παρατηρούνται πολλά κοπρολύματα στις 32 μέρες από την εισαγωγή. Η μικρότερη δραστηριότητα σημειώνεται στο όξινο έδαφος και τροφή μηδική σχεδόν σε όλους τους χρόνους. Ο μεγαλύτερος αριθμός κοπρολυμάτων παρατηρείται στη μεταχείριση όξινο έδαφος και τροφή μουριά, στην αρχή του πειράματος (11 μέρες)(7,33 κοπρολύματα). Η τιμή αυτή (7,33 κοπρολύματα) διαφέρει στατιστικά από τις τιμές της ίδιας μεταχείρισης σε όλους τους άλλους δειγματοληπτικούς χρόνους (πιν. 3.19). Στον ίδιο χρόνο η μέγιστη τιμή διαφέρει στατιστικά μόνο από τη μεταχείριση αλκαλικό – μηδική (3,42 κοπρολύματα) (πιν. 3.28). Ο ελάχιστος αριθμός κοπρολυμάτων παρατηρείται

στο όξινο έδαφος και τροφή μηδική, στην τελευταία δειγματοληψία (58 μέρες) και είναι 0,33 κοπρ./γαιοσκώληκα. Η τιμή αυτή δεν διαφέρει από τις υπόλοιπες της ίδιας μεταχείρισης (εκτός από τον δειγματοληπτικό χρόνο 11 μέρες), όπως φαίνεται στον πίνακα 3.19, ενώ κατά τον ίδιο χρόνο διαφέρει μόνο από το αλκαλικό – μηδική (2,67 κοπρ./γ., πιν. 3.28).

Η έξαρση του αριθμού των κοπρολυμάτων, που παρατηρείται σε ορισμένες μεταχειρίσεις 32 μέρες μετά την εισαγωγή, μάλλον οφείλεται στην επιπλέον προσθήκη 50γρ. νερού σε κάθε πειραματικό κελί κατά την 21^η ημέρα του πειράματος, που αποφασίσθηκε όταν διαπιστώθηκε ότι υπήρχε ανεπάρκεια νερού στο υπόστρωμα ώστε να υποστηρίξει μια ικανοποιητική δραστηριότητα για τα ζώα.



Εικόνα 9: Λεία επιφάνεια χώματος σε επιφανειακό κυπελόμορφο κοπρόλυμα.

Η σημαντικότητα της μεταβολής του μέσου αριθμού επιφανειακών κοπρολυμάτων των 4 επεμβάσεων με τον χρόνο φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 3.19: Μεταβολή του μέσου αριθμού επιφανειακών κοπρολυμάτων στους διάφορους πειραματικούς χρόνους για κάθε τύπο εδάφους και τροφής.

	Δοκιμασία Student's		
Όξινο – Μηδική	α=5% t=2,16037		
	11	a	4,58000
	32	b	1,55333
	22	b	1,55333
	53	b	0,61000
	43	b	0,38666
Όξινο – Μουριά	α=5% t=2,10092		
	11	a	7,33000
	32	b	2,66500
	43	b	2,16500
	53	b	1,49500
	22	b	1,16250
Αλκαλικό – Μηδική	α=5% t=2,14479		
	32	a	4,61000
	11	a b	3,41500
	58	b c	2,66666
	22		d 1,04000
	53	c d	1,00000
Αλκαλικό – Μουριά	α=5% t=2,10982		
	32	a	4,91500
	11	a	4,49500
	43	a b	3,91250
	22	b c	1,83000
	58	b c	1,55000
	53	c	1,16250

Δεν παρατηρούμε μεγάλες στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στους μέσους στους διάφορους χρόνους, ιδιαίτερα στο όξινο έδαφος.

Οι γενικοί μέσοι των μεταχειρίσεων διαφέρουν στατιστικά σημαντικά και διαμορφώθηκαν ως εξής:

Δοκιμασία Student's			
$\alpha=5\%$ $t=1,99897$			
α.μο.	a		2,9775000
ο.μο	a		2,6429167
α.μη.	a	b	2,2791667
ο.μη.		b	1,5022222

Ο συνδυασμός αλκαλικό – μουριά είχε τον μεγαλύτερο αριθμό κοπρολυμάτων και ακολουθούν οι όξινο – μουριά και αλκαλικό - μηδική, αλλά οι τρεις αυτοί μέσοι δεν διαφέρουν στατιστικά σημαντικά.

Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων για κάθε δειγματοληπτικό χρόνο χωριστά, βρέθηκε ότι σε καμία χρονική στιγμή δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ τύπου εδάφους και τροφής στον αριθμό των επιφανειακών κοπρολυμάτων.

Οι συντελεστές συσχέτισης των κοπρολυμάτων με το χρόνο για τις επεμβάσεις μας είναι αρνητικοί και σημαντικοί σε όλες τις περιπτώσεις εκτός από το αλκαλικό - μηδική. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι συντελεστές συσχέτισης και η σημαντικότητα τους.

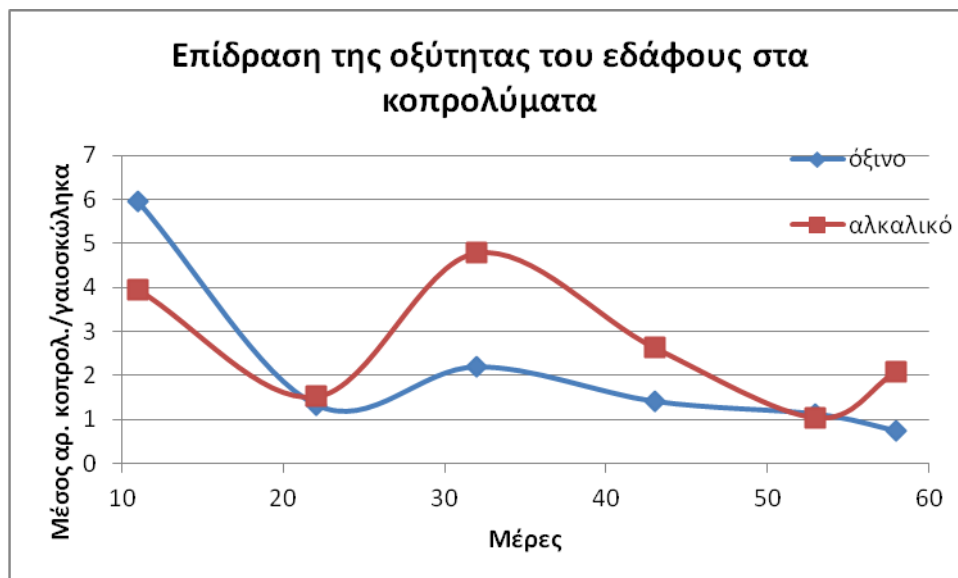
Πίνακας 3.20: Συντελεστές συσχέτισης (r) των κοπρολυμάτων με το χρόνο για κάθε συνδυασμό οξύτητας και τροφής και η σημαντικότητά τους (για $\alpha=5\%$).

Μεταχείριση	Συντελ. Συσχ.	Correlation	Count	Lower 95%	Upper 95%	Signif Prob
Αλκαλικό- μηδική	-0,2501	-0,2559	20	-0,6274	0,2104	0,2761
Αλκαλικό - μουριά	-0,4235	-0,4181	23	-0,7083	-0,0072	0,0471*
Όξινο - μηδική	-0,7989	-0,8094	19	-0,9240	-0,5618	<,0001*
Όξινο - μουριά	-0,5546	-0,5546	24	-0,7828	-0,1947	0,0049*

Παρόλη τη στατιστική σημαντικότητα των συντελεστών, είναι καλύτερο να μην υπολογισθούν ευθείες γραμμικής παλινδρόμησης, διότι τα

διαγράμματα δείχνουν μεγάλη χρονική διακύμανση που δεν μπορεί να ερμηνευθεί καλά με μια ευθύγραμμη σχέση.

Στη συνέχεια, μελετήθηκε η επίδραση κάθε παράγοντα χωριστά στα κοπρολύματα. Παρακάτω δίνεται η γραφική παράσταση του αριθμού των επιφανειακών κοπρολυμάτων με το χρόνο υπό την επίδραση του τύπου του εδάφους.



Σχήμα 3.10: Μεταβολή του αριθμού των επιφανειακών κοπρολυμάτων των γαιοσκωλήκων με το χρόνο υπό την επίδραση της οξύτητας του εδάφους.

Αντίθετα με το βάρος τα κοπρολύματα παραλλάσσουν σημαντικά στα 2 εδάφη μέσα στο χρόνο. Συγκρίνοντας τα δύο σχήματα 3.4 και 3.10 είναι φανερό ότι, από την δεύτερη μέτρηση και μετά τα επιφανειακά κοπρολύματα στο όξινο έδαφος είναι λιγότερα από το αλκαλικό, αντίθετα από το βάρος. Άρα στο αλκαλικό έδαφος τα ζώα είναι πιο δραστήρια από ότι στο όξινο, αλλά και πιο αδύνατα.

Είναι φανερό ότι, στην αρχή του πειράματος εμφανίζονταν περισσότερα κοπρολύματα στο όξινο έδαφος απ' ότι στο αλκαλικό. Η αύξηση της υγρασίας (μετά την 21^η πειραματική μέρα) είχε στο αλκαλικό έδαφος κατ' αρχάς, θετική επίδραση στην επιφανειακή δραστηριότητα των γαιοσκωλήκων. Στο όξινο έδαφος είχε πολύ μικρή θετική επίδραση, η οποία

οφείλεται, προφανώς, στην αντίδραση μόνο της μεταχείρισης όξινο - μουριά. Τα κοπρολύματα μειώνονται με το χρόνο. Ο μεγαλύτερος αριθμός κοπρολυμάτων παρατηρείται στην πρώτη μέτρηση (11 μέρες) στο όξινο έδαφος και είναι περίπου 6 κοπρ./γαιοσκώληκα (πιν. 3.21). Η τιμή αυτή διαφέρει στατιστικά από τις υπόλοιπες για το όξινο έδαφος, αλλά δεν διαφέρει από το αλκαλικό στον ίδιο χρόνο (περίπου 4), όπως φαίνεται στον πίνακα 3.22. Η μικρότερη τιμή (0,68) παρατηρείται στο όξινο έδαφος στο τέλος του πειράματος (58^η μέρα) και διαφέρει σημαντικά από την αντίστοιχη του αλκαλικού (1,08) (πιν. 3.22).

Οι μέσοι του αριθμού των κοπρολυμάτων στους 2 τύπους εδαφών, όπως μεταβλήθηκαν με το χρόνο, και η σημαντικότητα των διαφορών τους φαίνεται παρακάτω.

Πίνακας 3.21: Μέσοι αριθμοί επιφανειακών κοπρολυμάτων σε κάθε χρόνο και ανάλογα με τον τύπο εδάφους.

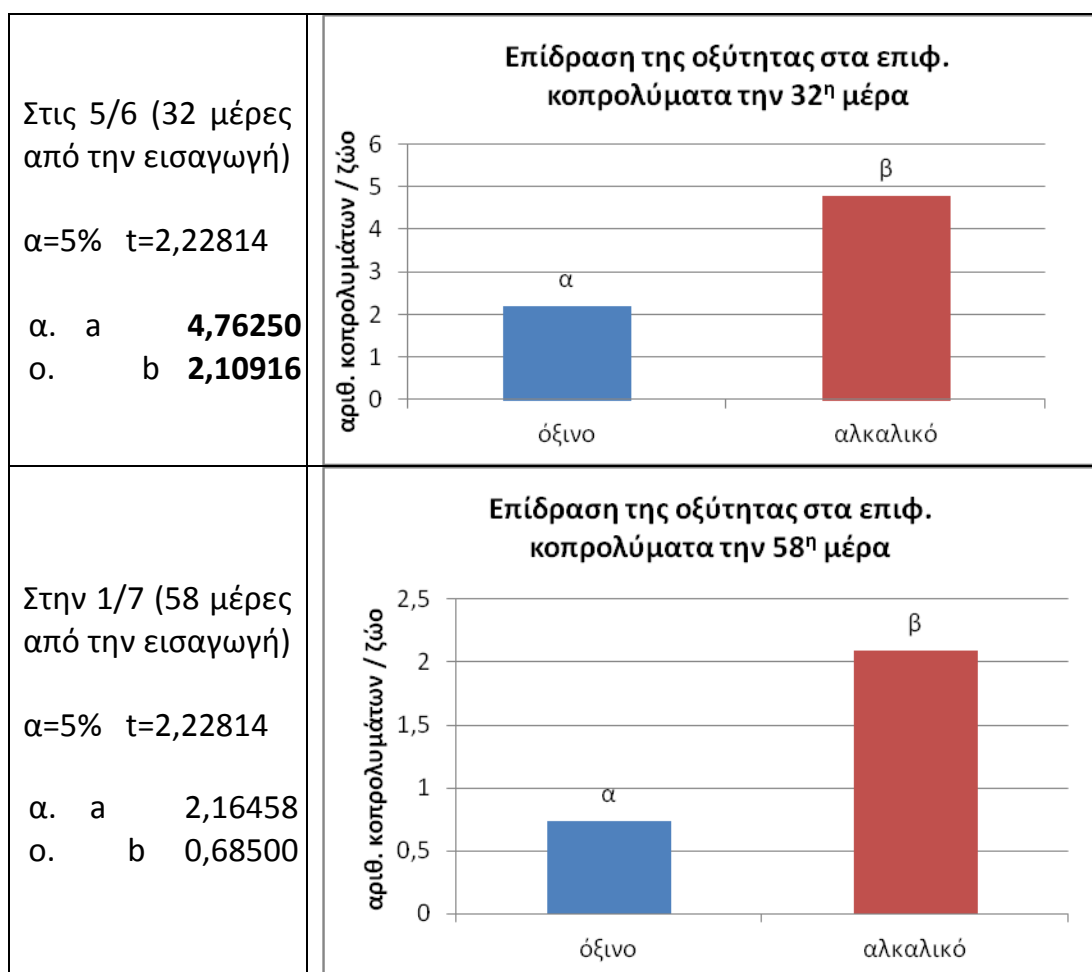
	Δοκιμασία Student's		
	α=5% t=2,03951		
Όξινο	11	a	5,95500
	32	b	2,10916
	22	b	1,35791
	43	b	1,27583
	53	b	1,05250
	58	b	0,68500
Αλκαλικό	α=5% t=2,03951		
	32	a	4,76250
	11	a	3,95500
	43	b	2,42791
	58	b	2,10833
	22	b	1,43500
	53	b	1,08125

Ο παράγοντας οξύτητα εδάφους δεν έχει σημαντική επίδραση στα κοπρολύματα των γαιοσκωλήκων, σύμφωνα με την ανάλυση διασποράς. Οι μέσοι του αριθμού των κοπρολυμάτων των γαιοσκωλήκων, όπως διαμορφώθηκαν στο σύνολο του πειράματος για τους 2 τύπους εδαφών, δεν διαφέρουν σημαντικά και δίνονται στη συνέχεια:

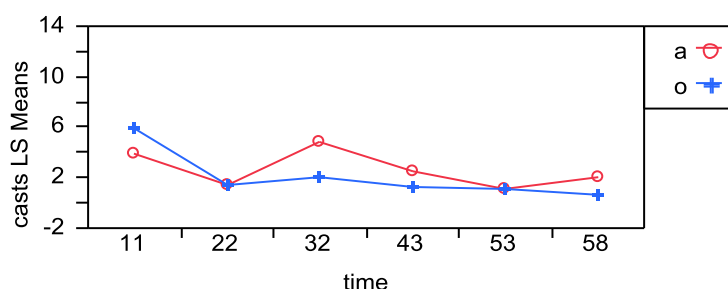
	Δοκιμασία Student's $\alpha=5\%$ $t=1,98793$	
Όξινο	a	2,0725694
Αλκαλικό	a	2,6283333

Όσον αφορά την κύρια επίδραση του παράγοντα «οξύτητα εδάφους» ήταν σημαντική στις παρακάτω 2 ημερομηνίες:

Πίνακας 3.22: Στατιστικά σημαντικές επιδράσεις της οξύτητας του εδάφους στον αριθμό των επιφανειακών κοπρολυμάτων.



Μελετήθηκε η αλληλεπίδραση οξύτητας εδάφους και χρόνου, η οποία βρέθηκε σημαντική.



Σχήμα 3.11: Γραφική παράσταση της αλληλεπίδρασης της οξύτητας του εδάφους και του χρόνου στον αριθμό των επιφανειακών κοπρολυμάτων των γαιοσκωλήκων.

Είναι φανερό ότι, στο όξινο έδαφος στην αρχή του πειράματος η δραστηριότητα των γαιοσκωλήκων είναι εντονότερη από ότι στο αλκαλικό έδαφος. Η δραστηριότητα μειώνεται και στις 2 περιπτώσεις, όμως τα ζώα που αναπτύχθηκαν στο αλκαλικό έδαφος αντέδρασαν πολύ θετικά στην αύξηση της υγρασίας της 21^{ης} μέρας αντίθετα από τα ζώα του όξινου εδάφους και έκτοτε εμφανίζουν πάντα μεγαλύτερη δραστηριότητα. Για το επόμενο 20ήμερο η δραστηριότητα τους περιορίζεται και πάλι και τέλος αυξάνεται ελάχιστα. Στο όξινο έδαφος η δραστηριότητα μειώνεται με το χρόνο προοδευτικά. Πρέπει να σημειωθεί ότι κατά την 43^η, 53^η και 58^η ημέρα παρατηρήθηκαν πολλά κοπρολύματα στο εσωτερικό του εδάφους στο αλκαλικό χώμα.

Συμπεραίνεται ότι, ο παράγοντας χρόνος επηρεάζει την οξύτητα των εδαφών, χωρίς αυτό να σχετίζεται με την τροφή και αυτό έχει αντίκτυπο στα κοπρολύματα.

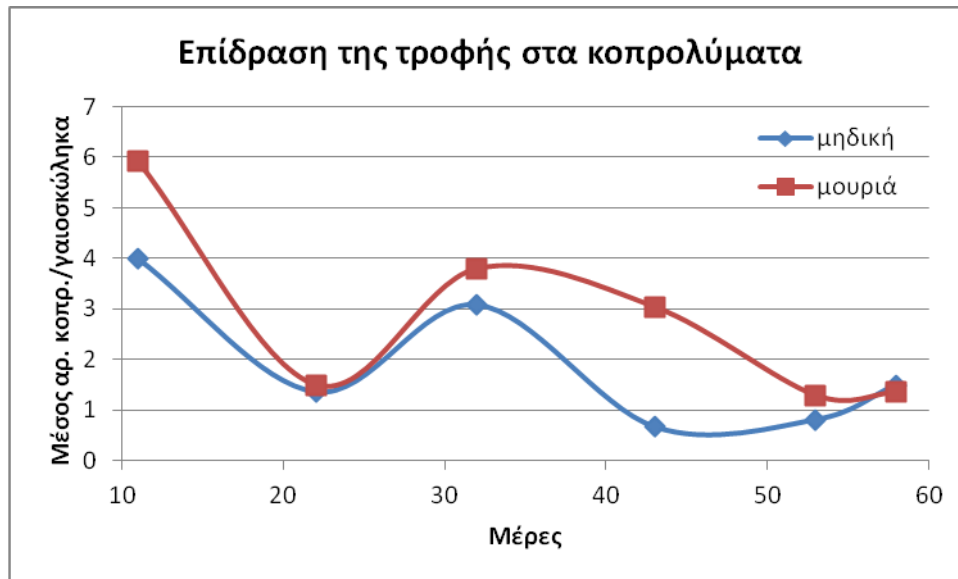
Οι συντελεστές γραμμικής συσχέτισης των κοπρολυμάτων με το χρόνο, στους 2 τύπους εδαφών, είναι σημαντικοί αλλά πολύ μικροί. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι συντελεστές και η σημαντικότητα τους.

Πίνακας 3.23: Συντελεστές γραμμικής συσχέτισης του αριθμού των επιφανειακών κοπρολυμάτων με το χρόνο στους 2 τύπους εδαφών (* σημαντικός κατά 5%).

	Συντελ. Συσχ.	Corelation	Count	Lower 95%	Upper 95%	Signif Prob
Όξινο	-0,5942	-0,6004	43	-0,7631	-0,3661	<,0001*
Αλκαλικό	-0,3318	-0,3326	43	-0,5755	-0,0358	0,0293*

Είναι προτιμότερο να μην υπολογισθεί η γραμμική παλινδρόμηση των κοπρολυμάτων με το χρόνο στα 2 εδάφη, διότι λόγω των μεγάλων διακυμάνσεων, πολύ λίγη παραλλακτικότητα μπορεί να ερμηνευθεί με μία ευθύγραμμη σχέση. Πράγματι, το στατιστικό πρόγραμμα υπολογίζει ποσοστό 34,5% ($R_{\acute{o}\xi.}^2$) για το όξινο και μόνο 8,9% ($R_{\alpha\lambda\kappa.}^2$) για το αλκαλικό έδαφος.

Για τους παράγοντες χρόνος και τροφή η ANOVA έδειξε έλλειψη σημαντικότητας στην αλληλεπίδραση. Από το διάγραμμα που ακολουθεί παρατηρούμε ότι και στις 2 τροφές τα επιφανειακά κοπρολύματα αρχικά μειώνονται με το χρόνο, όπως και το βάρος των γαιοσκωλήκων. Και οι 2 τροφές αντιδρούν αρχικά θετικά στην αύξηση της υγρασίας του υποστρώματος. Οι γραμμές της μηδικής και της μουριάς μεταβάλλονται ομοιόμορφα. Ο αριθμός των κοπρολυμάτων στην μηδική πάντα υπολείπεται της μουριάς, όπως συμβαίνει και με το βάρος. Ο μεγαλύτερος αριθμός κοπρολυμάτων σημειώθηκε στην εισαγωγή των γαιοσκωλήκων στα κελιά (11^η μέρα) (όπως και στην περίπτωση της οξύτητας) σε τροφή μουριά και ήταν 5,9 κοπρ./γ. Η τιμή αυτή διαφέρει σημαντικά από όλες τις υπόλοιπες της μουριάς (πιν.3.24), αλλά δεν διαφέρει από της μηδικής στην ίδια δειγματοληψία (περίπου 4 κοπρ./γ.), όπως φαίνεται στον πίνακα 3.25.



Σχήμα 3.12: Μεταβολή των κοπρολυμάτων των γαιοσκωλήκων με το χρόνο υπό την επίδραση της τροφής.

Αντίθετα με το βάρος, ο χρόνος δεν επηρεάζει την επίδραση της τροφής στα επιφανειακά κοπρολύματα (αλληλεπίδραση τροφής x χρόνου μη σημαντική). Συγκρίνοντας τα δύο σχήματα 3.7 και 3.12 είναι φανερό ότι, η μηδική και η μουριά επηρεάζουν ομοιόμορφα το βάρος και τα επιφανειακά κοπρολύματα. Όπως είναι λογικό, η τροφή ερμηνεύει καλύτερα τα κοπρολύματα από την οξύτητα του εδάφους.

Οι μέσοι των κοπρολυμάτων στις 2 τροφές, όπως μεταβλήθηκαν με το χρόνο, και η σημαντικότητα των διαφορών τους φαίνεται παρακάτω.

Πίνακας 3.24: Μέσος αριθμός κοπρολυμάτων σε κάθε χρόνο και στις 2 τροφές.

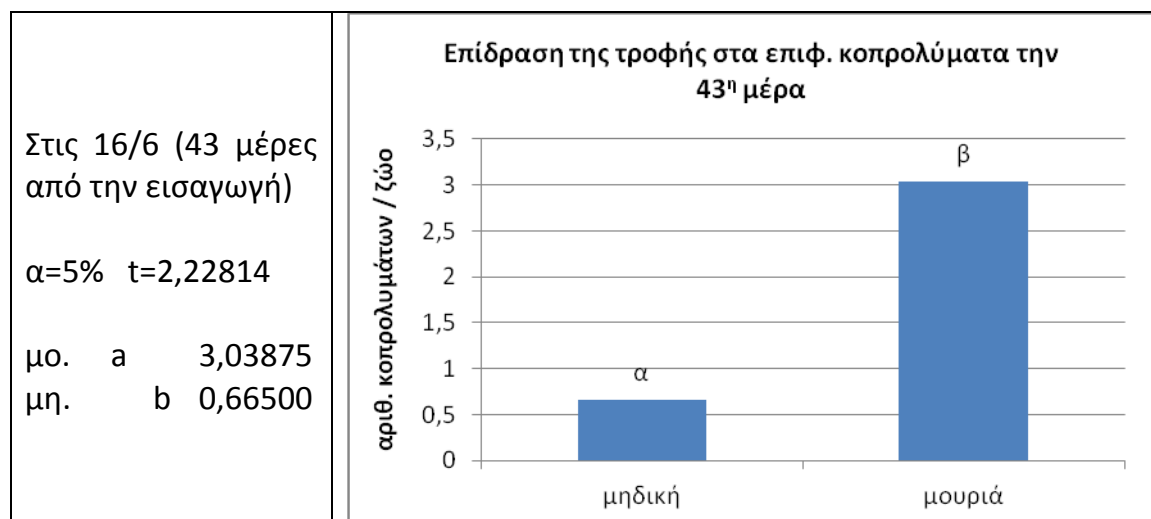
	Δοκιμασία Student's			
	α=5% t=2,05183			
Μηδική	11	a	3,99750	
	32	a	3,08166	
	58	b	1,49833	
	22	b	1,29666	
	53	b	0,80500	
	43	b	0,66500	
	α=5% t=2,03011			
Μουριά	11	a	5,91250	
	32	b	3,79000	
	43	b	c	3,03875
	22		c	1,49625
	53		c	1,32875
	58		c	1,29500

Οι μέσοι των κοπρολυμάτων των γαιοσκωλήκων όπως διαμορφώθηκαν στο σύνολο του πειράματος για τους 2 τύπους τροφής διαφέρουν σημαντικά και δίνονται στη συνέχεια:

	Δοκιμασία Student's α=5% t=1,99897	
Μηδική	a	1,8906944
Μουριά	b	2,8102083

Όσον αφορά την κύρια επίδραση του παράγοντα «τροφή» ήταν στατιστικά σημαντική μόνο σε μία δειγματοληψία, σύμφωνα με τον πίνακα 3.25:

Πίνακας 3.25: Στατιστικά σημαντικές επιδράσεις της τροφής στα επιφανειακά κοπρολύματα.



Εξετάσθηκε η συσχέτιση των κοπρολυμάτων με το χρόνο στις 2 τροφές. Στον παρακάτω πίνακα δίνονται οι συντελεστές συσχέτισης και η σημαντικότητα τους.

Πίνακας 3.26: Συντελεστές γραμμικής συσχέτισης του αριθμού των επιφανειακών κοπρολυμάτων με το χρόνο για κάθε τροφή (* σημαντικός κατά $\alpha = 5\%$).

	Συντελ. Συσχ.	Correlation	Count	Lower 95%	Upper 95%	Signif Prob
Μηδική	-0,5198	-0,5306	39	-0,7248	-0,2583	0,0005*
Μουριά	-0,4967	-0,4940	47	-0,6841	-0,2410	0,0004*

Στην περίπτωση της τροφής, όπως και στην περίπτωση της οξύτητας η ευθύγραμμη σχέση δεν αποδίδει καλά την μεταβολή των κοπρολυμάτων με το χρόνο. Το στατιστικό πρόγραμμα αποδίδει σε ευθύγραμμη σχέση μόνο το 26,2% ($R_{μηδ.}^2$) των διαφορών για τη μηδική και το 22,7% ($R_{μουρ.}^2$) για τη μουριά, γι' αυτό δεν υπολογίζουμε ευθείες παλινδρόμησης.

Όσον αφορά τον παράγοντα χρόνο, αυτός βρέθηκε ότι είναι αρνητικά και σημαντικά συσχετισμένος με τα κοπρολύματα των γαιοσκωλήκων και έχει σημαντική επίδραση στα κοπρολύματα σύμφωνα με την ANOVA. Η απαραίτητη αύξηση του επιπέδου της υγρασίας που έγινε την 21^η μέρα του πειράματος, μετέβαλλε την συμπεριφορά των ζώων από την στιγμή αυτή και στη συνέχεια, οπότε δεν είναι ανεπηρέαστη και σαφής η επίδραση του χρόνου στα κοπρολύματα, ώστε να βρεθεί μία σχέση που την καθορίζει. Πάντως, είναι δεδομένη η αρνητική επίδραση του παράγοντα αυτού. Η κύρια επίδραση του χρόνου και η σημαντικότητα των διαφορών των μέσων δίνεται στη συνέχεια:

Πίνακας 3.27: Μέσος αριθμός κοπρολυμάτων σε κάθε δειγματοληπτικό χρόνο και η σημαντικότητα των διαφορών τους.

Δοκιμασία Student's		
α=5% t=1,99897		
11	a	4,9550000
32	b	3,4358333
43	c	1,8518750
58	c	1,3966667
22	c	1,3964583
53	c	1,0668750

Στην συνέχεια παρουσιάζεται ο πίνακας του μέσου αριθμού κοπρολυμάτων στις διάφορες δειγματοληψίες και γίνεται η σύγκριση των διαφορών τους.

Πίνακας 3.28: Μέσος αριθμός επιφανειακών κοπρολυμάτων των γαιοσκωλήκων σε κάθε δειγματοληπτικό χρόνο.

Χρόνος	Διαφορές κατά Student's
15/5	$\alpha=5\%$ $t=2,20099$
	ο.μο. a 7,33000
	ο.μη. a b 4,58000
	α.μο. a b 4,55000
	α.μη. b 3,41500
26/5	$\alpha=5\%$ $t=2,20099$
	α.μο. a 1,83000
	ο.μη. a 1,55333
	α.μη. a 1,20750
	ο.μο. a 1,16250
5/6	$\alpha=5\%$ $t=2,22814$
	α.μο. a 4,91500
	α.μη. a 4,61000
	ο.μο. a b 2,66500
	ο.μη. b 1,55333
16/6	$\alpha=5\%$ $t=2,22814$
	α.μο. a 3,91250
	ο.μο. a b 2,16500
	α.μη. b 0,94333
	ο.μη. b 0,38666
26/6	$\alpha=5\%$ $t=2,22814$
	ο.μο. a 1,49500
	α.μο. a 1,08000
	α.μη. a 1,00000
	ο.μη. a 0,61000
1/7	$\alpha=5\%$ $t=2,22814$
	α.μη. a 2,66666
	α.μο. a b 1,66250
	ο.μο. b 1,04000
	ο.μη. b 0,33000

Παρατηρούμε ότι οι μέσοι διαφέρουν στατιστικά σημαντικά μόνο στις παρακάτω δειγματοληψίες: 15/5, 5/6, 16/6 και 1/7.

Εξετάσθηκε η συσχέτιση των κοπρολυμάτων με το βάρος των γαιοσκωλήκων:

Πίνακας 3.29: Συσχέτιση των επιφανειακών κοπρολυμάτων με το βάρος των γαιοσκωλήκων.

	Συντ. Συσχ.	Correlation	Count	Lower 95%	Upper 95%	Signif Prob
Πείραμα	0,4699	0,4712	86	0,2881	0,6210	<,0001*
Όξινο	0,5091	0,5091	43	0,2464	0,7021	0,0005*
Αλκαλικό	0,5561	0,5600	43	0,3122	0,7365	<,0001*
Μηδική	0,4406	0,4406	39	0,1453	0,6639	0,0050*
Μουριά	0,47	0,4675	47	0,2082	0,6653	0,0009*
Όξινο-μηδική	0,7062	0,7062	19	0,3711	0,8786	0,0007*
Όξινο-μουριά	0,3848	0,3848	24	-0,0221	0,6823	0,0634
Αλκαλ.-μηδική	0,4201	0,4201	20	-0,0276	0,7274	0,0652
Αλκαλ.-μουριά	0,6972	0,6943	23	0,3951	0,8603	0,0002*

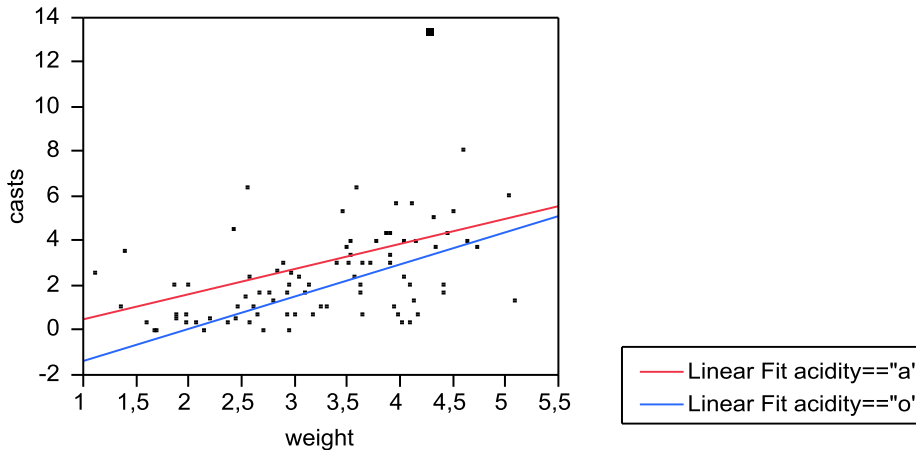
*σημαντική με πιθανότητα $p = 0,050$.

Είναι φανερό ότι τα κοπρολύματα σχετίζονται πάντα θετικά και στις περισσότερες φορές σημαντικά με το βάρος των γαιοσκωλήκων.

Οι ευθείες γραμμικής παλινδρόμησης για τον τύπο του εδάφους δίνονται στο παρακάτω σχήμα 3.13 και είναι:

- για το αλκαλικό έδαφος: $\hat{Y} = -0,67426 + 1,1254964x_{weight}$
(ερμηνεύει το 29,69% ($= R_{αλκ.}^2$) της παραλλακτικότητας)
- για το όξινο έδαφος: $\hat{Y} = -2,810221 + 1,4366677x_{weight}$
(ερμηνεύει το 24,11% ($= R_{οξ.}^2$) της παραλλακτικότητας)

Οι συντελεστές β είναι σημαντικοί.



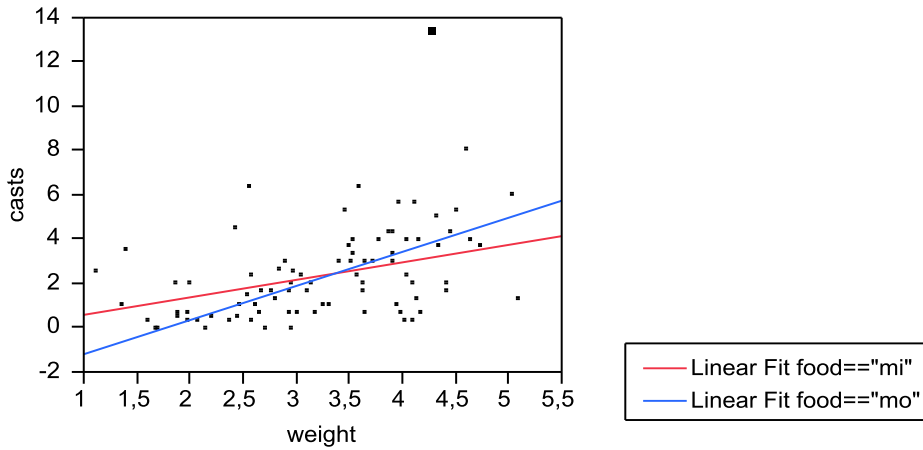
Σχήμα 3.13: Γραμμική παλινδρόμηση των επιφανειακών κοπρολυμάτων με το βάρος των γαιοσκωλήκων στους 2 τύπους εδαφών.

Είναι φανερό ότι, όσο πιο μεγάλο βάρος έχουν οι γαιοσκώληκες (στην αρχή του πειράματος), τόσο περισσότερα κοπρολύματα εμφανίζονται και τόσο μικρότερη η επίδραση της οξύτητας του εδάφους. Πάντως, λόγω της καμπυλόγραμης μεταβολής των κοπρολυμάτων και λόγω της αντίδρασης των γαιοσκωλήκων στην αύξηση υγρασίας είναι καλύτερα να μην βγάλουμε συμπεράσματα από τις γραμμές παλινδρόμησης.

Οι ευθείες γραμμικής παλινδρόμησης για την τροφή δίνονται στο παρακάτω σχήμα 3.14 και είναι:

- για τη μηδική: $\hat{Y} = -0,25159 + 0,7990292xweight$
(ερμηνεύει το 17,24% (= $R_{μηδ.}^2$) της παραλλακτικότητας)
- για τη μουριά: $\hat{Y} = -2,743446 + 1,544807xweight$
(ερμηνεύει το 20,11% (= $R_{μουρ.}^2$) της παραλλακτικότητας)

Οι συντελεστές β είναι σημαντικοί.



Σχήμα 3.14: Γραμμική παλινδρόμηση των επιφανειακών κοπρολυμάτων με το βάρος των γαιοσκωλήκων στις 2 τροφές.

Είναι φανερό ότι, όταν τα ζώα έχουν μεγάλο βάρος (στην αρχή του πειράματος), είναι πιο δραστήρια στην επιφάνεια με τροφή μουριά παρά με τροφή μηδική. Όταν αδυνατίζουν (τέλος του πειράματος) γίνονται περισσότερο δραστήρια στη μηδική.

Πρωτεΐνη γαιοσκωλήκων

Μελετήθηκε η μεταβολή στην πρωτεΐνη των γαιοσκωλήκων από τους 2 παράγοντες καθώς και η επίδραση αυτών στις διάφορες παραμέτρους του εδάφους. Για την πρωτεΐνη η ANOVA έδειξε σημαντικές διαφορές στους μέσους των μεταχειρίσεων, αλλά όχι στην αλληλεπίδραση της οξύτητας με την τροφή. Οι 2 αυτοί παράγοντες έχουν σημαντική επίδραση στην πρωτεΐνη των γαιοσκωλήκων. Στη συνέχεια δίνονται οι μέσες τιμές περιεκτικότητας σε πρωτεΐνη για κάθε μεταχείριση και γραφικά οι επιδράσεις της οξύτητας και της τροφής.

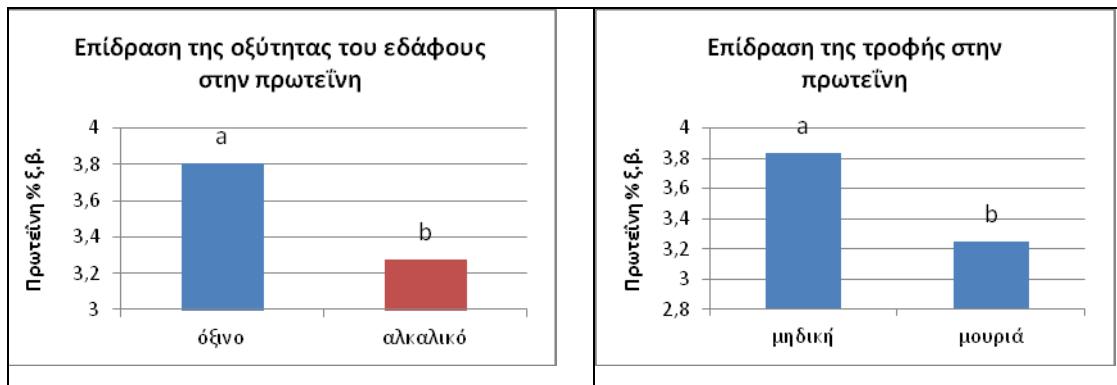
Πίνακας 3.30: Μέση περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη (% του ξ.β.) στους 2 τύπους εδαφών και τροφής.

Δοκιμασία Student's $\alpha=5\%$ $t=2,17881$			
ο.μη.	a		4,1400
α.μη		b	3,5275
ο.μο.		b c	3,4775
α.μο.		c	3,0200

Το όξινο – μηδική είναι ο καλύτερος συνδυασμός και το αλκαλικό – μουριά ο χειρότερος, αν και δεν διαφέρει στατιστικά από το όξινο – μουριά.

Πίνακας 3.31: Επίδραση της οξύτητας του εδάφους και της τροφής στην πρωτεΐνη των γαιοσκωλήκων.

Οξύτητα εδάφους $\alpha=5\%$ $t=2,17881$			Τροφή $\alpha=5\%$ $t=2,17881$		
ο	a	3,80875	μη.	a	3,83375
α	b	3,27375	μο.	b	3,24875



Είναι φανερό ότι στο όξινο έδαφος τα ζώα έχουν περισσότερη πρωτεΐνη στους ιστούς τους απ' ότι στο αλκαλικό. Επίσης, όσα διατρέφονται με μηδική σε σχέση με όσα τρέφονται με μουριά. Τα αποτελέσματα αυτά δεν συμφωνούν με το βάρος των γαιοσκωλήκων της 58^{ης} μέρας, στο οποίο η οξύτητα δεν είχε σημαντική επίδραση, ενώ η τροφή είχε την αντίθετη επίδραση, δηλαδή όσα διατρέφονται με μηδική έχουν μικρότερο βάρος από όσα διατρέφονται με μουριά (πιν. 3.13).

Ιδιότητες του εδάφους

Για τις διάφορες παραμέτρους του εδάφους βρέθηκε ότι σε καμία περίπτωση δεν είναι σημαντική η αλληλεπίδραση της οξύτητας και της τροφής. Οι μέσοι διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους και δίνονται στον παρακάτω πίνακα. Για το pH υπολογίσθηκε η διαφορά από τις αρχικές τιμές του, ώστε να έχουμε καλύτερη εκτίμηση των μεταβολών.

Πίνακας 3.32: Μέσοι των εδαφικών παραμέτρων και η σημαντικότητα των διαφορών τους.

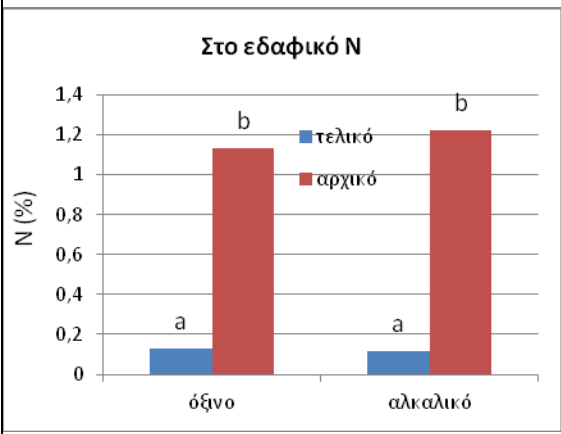
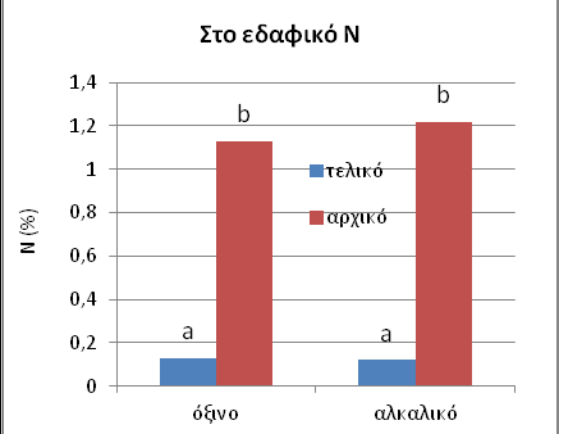
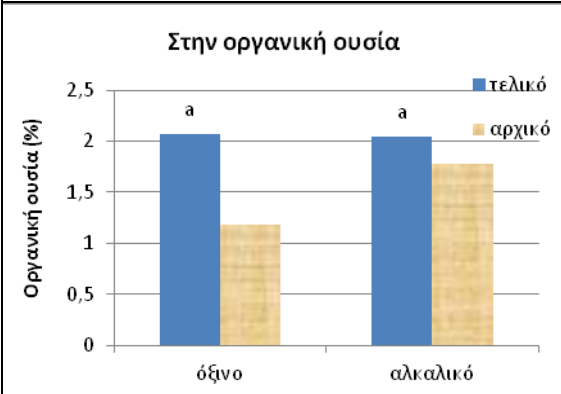
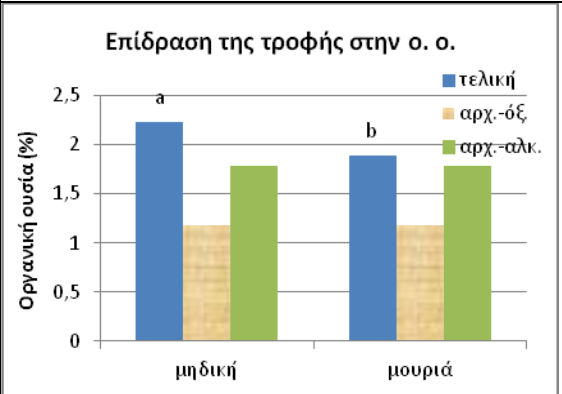
ΔpH α=5% t=2,17881	ο.μη.	a		0,2225
	α.μη.	a	b	0,1325
	α.μο.		b c	-0,0250
	ο.μο		c	-0,0750
CEC (meq/100g εδ.) α=5% t=2,17881	α.μο.	a		35,750
	α.μη.	a		34,000
	ο.μο		b	29,000
	ο.μη.		b	26,250
CO ₂ (mg/100g εδ./24 ώρες στους 25°C) α=5% t=2,17881	α.μο.	a		77,500
	α.μη.	a		73,500
	ο.μο		b	57,000
	ο.μη.		b	55,000
N _{tot.εδ.} (%) α=5% t=2,17881	ο.μη.	a		0,13500
	ο.μο	a		0,12175
	α.μη.	a		0,11900
	α.μο.	a		0,11900
Οργανική ουσία (%) α=5% t=2,17881	ο.μη.	a		2,2575
	α.μη.	a		2,1950
	α.μο.		b	1,8900
	ο.μο		b	1,8875

Στη συνέχεια δίνονται οι επιδράσεις της οξύτητας του εδάφους και της τροφής στις παραμέτρους του εδάφους.

Πίνακας 3.33: Επίδραση της οξύτητας και της τροφής στις παραμέτρους του εδάφους.

Οξύτητα εδάφους α=5% t=2,17881				Τροφή α=5% t=2,17881																					
ΔρΗ	ο	a	0,07375	ΔρΗ	μη.	a	0,1775																		
<u>Μη σημαντική</u>	α	a	0,05375	μο.	b	b	-0,0500																		
<p>Στη μεταβολή του pH</p> <table border="1"> <caption>Στη μεταβολή του pH</caption> <thead> <tr> <th>Τύπος</th> <th>ΔρΗ</th> <th>Significance</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>όξινο</td> <td>0,07375</td> <td>a</td> </tr> <tr> <td>αλκαλικό</td> <td>0,05375</td> <td>a</td> </tr> </tbody> </table>				Τύπος	ΔρΗ	Significance	όξινο	0,07375	a	αλκαλικό	0,05375	a	<p>Στην οξύτητα του εδάφους</p> <table border="1"> <caption>Στην οξύτητα του εδάφους</caption> <thead> <tr> <th>Τύπος</th> <th>ΔρΗ</th> <th>Significance</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>μηδική</td> <td>0,1775</td> <td>a</td> </tr> <tr> <td>μουριά</td> <td>-0,0500</td> <td>b</td> </tr> </tbody> </table>				Τύπος	ΔρΗ	Significance	μηδική	0,1775	a	μουριά	-0,0500	b
Τύπος	ΔρΗ	Significance																							
όξινο	0,07375	a																							
αλκαλικό	0,05375	a																							
Τύπος	ΔρΗ	Significance																							
μηδική	0,1775	a																							
μουριά	-0,0500	b																							
CEC	α	a	34,875	CEC	μο.	a	32,375																		
	ο	b	27,625		μη.	b	30,125																		
<p>Στην CEC του εδάφους</p> <table border="1"> <caption>Στην CEC του εδάφους</caption> <thead> <tr> <th>Τύπος</th> <th>CEC (meq/100g εδ.)</th> <th>Significance</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>όξινο</td> <td>27,625</td> <td>b</td> </tr> <tr> <td>αλκαλικό</td> <td>34,875</td> <td>a</td> </tr> </tbody> </table>				Τύπος	CEC (meq/100g εδ.)	Significance	όξινο	27,625	b	αλκαλικό	34,875	a	<p>Στην CEC του εδάφους</p> <table border="1"> <caption>Στην CEC του εδάφους</caption> <thead> <tr> <th>Τύπος</th> <th>CEC (meq/100g εδ.)</th> <th>Significance</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>μηδική</td> <td>30,125</td> <td>b</td> </tr> <tr> <td>μουριά</td> <td>32,375</td> <td>a</td> </tr> </tbody> </table>				Τύπος	CEC (meq/100g εδ.)	Significance	μηδική	30,125	b	μουριά	32,375	a
Τύπος	CEC (meq/100g εδ.)	Significance																							
όξινο	27,625	b																							
αλκαλικό	34,875	a																							
Τύπος	CEC (meq/100g εδ.)	Significance																							
μηδική	30,125	b																							
μουριά	32,375	a																							
CO ₂	α	a	75,50	CO ₂	μο.	a	67,25																		
	ο	b	56,00	<u>Μη σημαντική</u>	μη.	a	64,25																		
<p>Στη μικροβιακή δραστηριότητα</p> <table border="1"> <caption>Στη μικροβιακή δραστηριότητα</caption> <thead> <tr> <th>Τύπος</th> <th>CO₂ (mg)</th> <th>Significance</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>όξινο</td> <td>56,00</td> <td>b</td> </tr> <tr> <td>αλκαλικό</td> <td>75,50</td> <td>a</td> </tr> </tbody> </table>				Τύπος	CO ₂ (mg)	Significance	όξινο	56,00	b	αλκαλικό	75,50	a	<p>Στη μικροβιακή δραστηριότητα</p> <table border="1"> <caption>Στη μικροβιακή δραστηριότητα</caption> <thead> <tr> <th>Τύπος</th> <th>CO₂ (mg)</th> <th>Significance</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>μηδ.</td> <td>64,25</td> <td>a</td> </tr> <tr> <td>μουρ.</td> <td>67,25</td> <td>a</td> </tr> </tbody> </table>				Τύπος	CO ₂ (mg)	Significance	μηδ.	64,25	a	μουρ.	67,25	a
Τύπος	CO ₂ (mg)	Significance																							
όξινο	56,00	b																							
αλκαλικό	75,50	a																							
Τύπος	CO ₂ (mg)	Significance																							
μηδ.	64,25	a																							
μουρ.	67,25	a																							

Πίνακας 3.33 (συνέχεια)

Οξύτητα εδάφους $\alpha=5\%$ $t=2,17881$				Τροφή $\alpha=5\%$ $t=2,17881$			
$N_{\text{tot.εδ.}}$	ο	a	0,128375	$N_{\text{tot.εδ.}}$	μη.	a	0,127000
<u>Μη σημαντική</u>	α	a	0,119000	<u>Μη σημαντική</u>	μο.	a	0,120375
							
Οργ. ουσία	ο	a	2,0725	Οργ. ουσία	μη.	a	2,22625
<u>Μη σημαντική</u>	α	a	2,0425	<u>Μη σημαντική</u>	μο.	b	1,88875
							

Είναι φανερό ότι, η οξύτητα του εδάφους δεν διαφοροποιεί σημαντικά την οργανική ουσία, το N του εδάφους και την μεταβολή του pH, ενώ παρατηρούνται σημαντικές επιδράσεις στην ΙΑΚ και την μικροβιακή δραστηριότητα. Για την ΙΑΚ δεν έγιναν συγκρίσεις με τις μητρικές τιμές, ώστε να διαπιστωθούν οι μεταβολές. Βλέπουμε όμως ότι το αλκαλικό έδαφος έχει μεγαλύτερη ΙΑΚ από το όξινο. Το αλκαλικό έδαφος έχει μεγαλύτερη μικροβιακή δραστηριότητα από το όξινο.

Σχετικά με την τροφή, αυτή δεν επηρεάζει το N του εδάφους και τη μικροβιακή δραστηριότητα, αλλά επηρεάζει το pH, την οργανική ουσία και την ΙΑΚ. Η μηδική αυξάνει το pH του εδάφους και η μουριά το μειώνει. Η

μηδική έχει θετικότερη επίδραση στην οργανική ουσία του εδάφους σε σχέση με τη μουριά. Η μηδική έχει μικρότερη ΙΑΚ στο έδαφος από την μουριά.

Τα εδάφη απέκτησαν τελικά τις παρακάτω μέσες τιμές pH:

Πίνακας 3.34: Οξύτητα εδαφών πριν και μετά το πείραμα.

	Όξινο	Αλκαλικό
Αρχικό pH	6,4	7,36
Τελικό pH	6,47375 ± 0,202692	7,41375 ± 0,139687

Στη συνέχεια μελετήθηκε η πιθανή συσχέτιση των παραμέτρων του εδάφους, της πρωτεΐνης και του τελικού βάρους των γαιοσκωλήκων μεταξύ τους. Οι συντελεστές συσχέτισης δίνονται στην συνέχεια.

Πίνακας 3.35: Συντελεστές συσχέτισης (r) της πρωτεΐνης των γαιοσκωλήκων, του βάρους τους και των παραμέτρων του εδάφους.

	N gaios.	CEC	CO ₂	Ntotal soil	Org. mat.	ΔpH	weig 1/7
N gaiosk		-0,7263	-0,5542	0,2328	0,4027	0,5908	-0,4326
CEC	-0,7263		0,7122	-0,4280	-0,2972	-0,1755	0,0097
CO ₂	-0,5542	0,7122		-0,1411	-0,2802	-0,2350	-0,0344
Ntotal soil	0,2328	-0,4280	-0,1411		0,0873	0,2931	0,0715
Organ. Mat.	0,4027	-0,2972	-0,2802	0,0873		0,5558	-0,5386
ΔpH	0,5908	-0,1755	-0,2350	0,2931	0,5558		-0,5614
weig 1/7	-0,4326	0,0097	-0,0344	0,0715	-0,5386	-0,5614	

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι σημαντικοί συντελεστές συσχέτισης των παραπάνω μεταβλητών.

Πίνακας 3.36: Σημαντικότητα των σημαντικών συντελεστών συσχέτισης (r) των παραμέτρων του εδάφους, της πρωτεΐνης και του βάρους των γαιοσκωλήκων.

Variable	by Variable	Correlation	Count	Lower 95%	Upper 95%	Signif. Prob
CEC	N gaiosk	-0,7263	16	-0,8985	-0,3603	0,0014*
CO ₂	N gaiosk	-0,5542	16	-0,8236	-0,0807	0,0259*
CO ₂	CEC	0,7122	16	0,3347	0,8928	0,0020*
ΔpH	N gaiosk	0,5908	16	0,1345	0,8404	0,0160*
ΔpH	Organic mat	0,5558	16	0,0830	0,8244	0,0254*
weig 1/7	Organic mat	-0,5561	14	-0,8391	-0,0362	0,0389*
weig 1/7	ΔpH	-0,6114	14	-0,8622	-0,1196	0,0202*

Το βάρος είναι σημαντικά και αρνητικά συσχετισμένο με την οργανική ουσία και τη μεταβολή της οξύτητας. Η πρωτεΐνη είναι σημαντικά και αρνητικά συσχετισμένη με τη μικροβιακή δραστηριότητα και την CEC και θετικά με τη μεταβολή του pH. Το βάρος και η πρωτεΐνη των γαιοσκωλήκων δεν σχετίζονται σημαντικά.

4. Συζήτηση

Εκτίμηση του βλαστικού σταδίου της τροφής

Τα αποτελέσματα του πειράματος δείχνουν ότι καμία από τις δύο τροφές δεν είναι κατάλληλη για διατροφή των γαιοσκωλήκων. Ένας λόγος είναι ότι τα φύλλα ήταν χλωρά, αντίθετα από ότι συμβαίνει στην φύση, όπου οι γαιοσκώληκες τρέφονται με φύλλα ή άλλο υλικό σε αποσύνθεση. Τα χλωρά φύλλα διαφέρουν πολύ σε σύνθεση από όσα έχουν υποστεί απόπτωση λόγω εποχής, διότι πολλά συστατικά έχουν μεταναστεύσει στους αποθησαυριστικούς ιστούς του κορμού και των κλάδων ή έχουν μετακινηθεί στους καρπούς του φυτού. Η διαδικασία αποσύνθεσης των φύλλων αρχίζει ήδη όταν αυτά βρίσκονται ακόμα πάνω στο φυτό με την προσβολή τους από μύκητες. Οι οργανισμοί αυτοί έχουν την ικανότητα να διεισδύουν στα γερασμένα κύτταρα προσβάλλοντας ακόμα και το δυσκολοχώνευτο κυτταρικό τοίχωμα (Lavelle et al., 2005). Το φυτικό υλικό αποσυντίθεται από διάφορα είδη μυκήτων και τελευταία σε διαδοχή έρχονται τα βακτήρια, αφού οι μύκητες έχουν πεθάνει. Κάπου ανάμεσα σ' αυτή τη διαδοχή βρίσκονται οι γαιοσκώληκες. Είναι εξ άλλου γνωστή η ιδιότητα των γαιοσκωλήκων να παράγουν «middens» με σκοπό την επεξεργασία της τροφής τους από μικροοργανισμούς.

Το φυτικό υλικό, λόγω βλαστικού σταδίου, ενδέχεται να περιέχει βλαβερά συστατικά για τους γαιοσκώληκες. Οποσδήποτε περιέχει πολλά οξέα, σε σχέση με το γερασμένο φυτικό υλικό. Αυτό φάνηκε από τις μετρήσεις της οξύτητας. Η μηδική είχε πολύ όξινη αντίδραση (5,75), ενώ η μουριά είχε ελαφρά αλκαλική αντίδραση (7,06) – πιν. 3.7. Μετά από μερικές ώρες, το pH του διηθήματος παρουσίασε μεταβολή, μείωση στην μουριά και αύξηση στη μηδική. Είναι επομένως φανερό ότι κάποιες αντιδράσεις

συμβαίνουν και ότι παράγονται δευτερογενείς ενώσεις που τουλάχιστον στην περίπτωση της μηδικής έχουν αρνητικές επιδράσεις στους γαιοσκώληκες.

Ο Edwards (2004) αναφέρει ότι τα φρέσκα φυτικά υλικά δεν είναι αποδεκτά ως τροφή από τους γαιοσκώληκες λόγω έκλυσης αντιδιαιτητικών παραγόντων και αποδίδει την απώλεια βάρους που παρατηρείται σε πειράματα μικρόκοσμου στο γεγονός ότι οι γαιοσκώληκες δεν έχουν δυνατότητα μετακίνησης και επιλογής της τροφής τους, όπως συμβαίνει στη φύση. Η μηδική και όλα τα ψυχανθή περιέχουν αλληλοπαθητικές ουσίες της ομάδας των ισοφλαβονών (Σιδηράς, 2005), που στο έδαφος μετατρέπονται σε φαινόλες. Είναι υπεύθυνες για την κόπωση των εδαφών από την καλλιέργεια ψυχανθών και για παρεμπόδιση ανάπτυξης των αζωτοβακτηρίων. Οι Curry et al (2007) αναφέρουν ότι η ύπαρξη φαινολών στο σιτηρέσιο των γαιοσκωλήκων αποτελεί ανασταλτικό παράγοντα για την ανάπτυξη τους. Οι García et al. (2002) αναφέρουν ότι φυτικά υπολείμματα πλούσια σε πολυφαινόλες μειώνουν το βάρος των γαιοσκωλήκων. Ο Edwards (2004) αναφέρει ότι τα φυτικά υπολείμματα έχουν υψηλή ποιότητα εφ' όσον περιέχουν μικρές ποσότητες πολυφαινολών και ιδίως τανίνες. Το φύλλωμα της μουριάς είναι πλούσιο σε τανίνες (1,61 – 2,21% της ξηράς ουσίας κατά τον Minamizawa (1997)). Ακόμα αναφέρει ότι η διατροφή νεαρών *Aloobophora caliginosa* με χλωρά φύλλα μηδικής είχε ως αποτέλεσμα μεγάλη θνησιμότητα των ζώων εξ αιτίας των σαπωνινών, που είναι γλυκοζίτες και μάλιστα αντιδιαιτητικοί παράγοντες. Στον αγρό οι αλληλοπαθητικές ουσίες δρουν για μικρό χρονικό διάστημα (2 εβδομάδες – 1 μήνα). Σε ένα πείραμα μικρόκοσμου όμως, όπως το δικό μας, όπου το κελί επανατροφοδοτείται με τροφή σε εβδομαδιαία βάση, οι ουσίες αυτές μπορεί να είναι μονίμως παρούσες.

Ένας άλλος λόγος στον οποίο μπορεί να αποδοθεί η απώλεια βάρους είναι το πειραματικό κελί. Πρόκειται για πλαστικό κουτάκι μικρού σχετικά όγκου, που διαφέρει πάρα πολύ από το ανοιχτό έδαφος. Στο μικρόκοσμο

αυτό δεν συμβαίνει διήθηση, έκπλυση και εξατμισοδιαπνοή. Χρησιμοποιήθηκε βεβαίως απεσταγμένο νερό, αλλά οι εισροές από την τροφή και τα προϊόντα του μεταβολισμού των γαιοσκωλήκων δεν έχουν δυνατότητα διαφυγής. Οποσδήποτε θα πρέπει να συνέβη αύξηση της αλατότητας και είναι γνωστή η ευαισθησία των ζώων αυτών στα άλατα. Επίσης στο μικρόκοσμο δεν υπάρχουν φυτά που απορροφούν ιόντα με τις ρίζες τους και αποδίδουν ριζικά εκκρίματα. Ακόμα τα φυτά διαπνέουν και εκλύουν CO₂ στο έδαφος. Θα λέγαμε ότι ο μικρόκοσμος τείνει με την πάροδο του χρόνου να γίνει μία λιμνάζουσα δεξαμενή, χωρίς να διαθέτει μηχανισμούς εξυγίανσης. Βεβαίως το έδαφος έχει μεγάλη ικανότητα αυτορρύθμισης και διατήρησης των χημικών του ιδιοτήτων, όχι μόνο της οξύτητας, αλλά αυτή η ικανότητα περιορίζεται αρκετά μέσα σε ένα κελί πειραματισμού. Κατά την γνώμη μου ο αερισμός ήταν καλός, το ίδιο και η δυνατότητα εξάτμισης. Αυτό εξ άλλου φάνηκε από τη μεταβολή του βάρους των κελιών. Ο Edwards (2004) αναφέρει ότι ο περιορισμός των γαιοσκωλήκων σε μικρό χώρο εντατικοποιεί τη δραστηριότητα τους, όπως συμβαίνει σε ορισμένες μικροθέσεις στο έδαφος.

Ένας άλλος λόγος που μπορεί να συνέβαλε στο αδυνάτισμα των ζώων είναι το βάθος του χώματος. Αναφέρεται (Curry et al., 2007) ότι για τα ανεκικά είδη, καλό είναι το χώμα να έχει βάθος τουλάχιστον 10εκ. Άλλοι ερευνητές δεν θεωρούν αυτό ως προϋπόθεση, ενδέχεται όμως, να βελτιώνει τις συνθήκες διαβίωσης κατά τον πειραματισμό.

Ένας άλλος λόγος που πρέπει να αναφερθεί είναι η εποχή πειραματισμού. Παρότι βρέθηκε ο καλύτερος χώρος για την εγκατάσταση του πειράματος, οι θερμοκρασίες τον μήνα Μάιο και Ιούνιο ήταν σχετικά υψηλές για τους γαιοσκώληκες. Καταμετρήθηκαν θερμοκρασίες από 21,8°C ως 24,6°C και λαμβάνονταν κατά τις θερμότερες ώρες της ημέρας. Οι θερμοκρασίες αυτές δεν είναι ιδανικές για το είδος *Octodrilus complanatus*, το οποίο έχει

ορτ. περίπου 10°C. Τα ζώα παρόλα αυτά παρέμειναν δραστήρια στο υγρό έδαφος του μικρόκοσμου.

Τέλος, τα εδάφη μας έχουν χαμηλό λόγο C/N και οι τροφές που χρησιμοποιήσαμε έχουν επίσης αρκετό N. Είναι πιθανόν κατά την έναρξη του πειράματος, με την απότομη ενεργοποίηση των μικροοργανισμών, λόγω ύγρυνσης, αλλά και λόγω της ύπαρξης των γαιοσκωλήκων, οι οποίοι είναι γνωστό ότι διασπούν τον λήθαργο των μικροοργανισμών και εξ αιτίας του ότι το έδαφος δεν είχε δημιουργήσει καλή δομή, να έγινε ανοργανοποίηση του αζώτου και παραγωγή τοξικών επιπέδων αμμωνίας. Ίσως για το λόγο αυτό συνέβησαν θάνατοι στην αρχή του πειράματος. Ο Edwards (2004) αναφέρει ότι κατά την διαδικασία παραγωγής vermicompost, παρουσιάζεται ιδιαίτερη ευαισθησία στην αμμωνία και τα ανόργανα άλατα και ότι, αν υπάρξει δυνατότητα επιλογής, οι γαιοσκώληκες μετακινούνται σε πιο όξινα περιβάλλοντα.

Πάντως, η ύπαρξη νεοεκκολαφθέντων ατόμων, υποδηλώνει ότι, οι συνθήκες του πειράματος προφανώς ήταν οι κατάλληλες για την εκκόλαψη και την επιβίωση των νεαρών ζώων και ότι η κύρια αιτία απώλειας βάρους και πρωτεΐνης είναι το βλαστικό στάδιο της τροφής.

Επίδραση της τροφής και της οξύτητας στους εδαφικούς παράγοντες

Το pH μεταβάλλεται από την τοποθέτηση των δύο τροφών πάνω στα εδάφη, ώστε τελικά να προκύπτουν σημαντικές διαφορές στην χημική αντίδραση του κάθε εδάφους λόγω διαφορετικής τροφής. Η μηδική αυξάνει το pH των εδαφών, ενώ η μουριά το μειώνει συνολικά.

Όταν τοποθετούμε ψιλοκομμένη τροφή πάνω στο χώμα, είναι σαν να προσθέτουμε τέφρα, δηλαδή κυρίως μεταλλικά ιόντα και οργανική ουσία. Τα μεταλλικά ιόντα μέσα στο έδαφος διαλύονται και δίνουν υδροξύλια, αυξάνοντας το pH. Η οργανική ουσία με τις ενεργές της ομάδες, κυρίως $-OH^-$ και $-COOH$, μπορεί να μειώσει ή να αυξήσει το pH. Οι δύο τροφές έχουν

αρκετή τέφρα. Η οργανική ουσία της μουριάς είναι πιο ευδιάλυτη, άρα και πιο ευκολοχώνευτη και πιο άμεσα δραστική. Προφανώς περιέχει περισσότερα οξέα, γι' αυτό προκαλεί μείωση του pH. Κατά τη μικροβιακή της διάσπαση παράγονται οξέα και CO₂, δηλαδή παράγοντες οξύνισης του εδάφους. Αντίθετα, η μηδική έχει ανθεκτική οργανική ουσία, δηλαδή, βραχυπρόθεσμα αδρανή. Έτσι, η επίδραση της μηδικής οφείλεται κυρίως στην τέφρα και γι' αυτό αυξάνει το pH.

Μεταβολή του pH επιφέρει και η ίδια η παρουσία των γαιοσκωλήκων σε ένα έδαφος, όπως αναφέρουν οι Moore et al. (2013). Αυτοί, διερευνώντας την επίδραση γαιοσκωλήκων σε δασικά οικοσυστήματα, βρήκαν σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ της παρουσίας των ζώων αυτών και της προσθήκης γύψου στο pH του εδάφους. Η έκκριση CaCO₃ από τους ασβεστικούς αδένες μαζί με την επεξεργασία του εδάφους και της τροφής στο πεπτικό σύστημα των γαιοσκωλήκων οδηγούν σε αύξηση του pH. Ο Edwards (2004) αναφέρει ότι τα τοιχώματα των στομών των γαιοσκωλήκων έχουν αυξημένο pH σε σχέση με το περιβάλλον έδαφος, λόγω της παρουσίας της υποδερμικής βλέννας των γαιοσκωλήκων.

Το επιθυμητό εύρος pH για τους γαιοσκώληκες είναι 4,5 – 7,5, αλλά υπάρχουν διαφορές ανάμεσα στα είδη, ώστε, αλκαλοποίηση των εδαφών, με γύψο, μέσα σ' αυτό το εύρος να δημιουργήσει αλλαγές στην σύνθεση του πληθυσμού. Αλκαλοποίηση μέσα στο ευνοϊκό εύρος μπορεί να βελτιώσει την ανάπτυξη των γαιοσκωλήκων επιδρώντας έμμεσα, δηλαδή πάνω στην βλάστηση.

Μία ιδιότητα του εδάφους που επιδρά στους γαιοσκώληκες και εξαρτάται από το pH είναι η απονιτροποίηση του οργανικού N, της οποίας ενδιάμεσο προϊόν είναι τα τοξικά νιτρώδη ανιόντα (NO₂⁻). Σε αλκαλικά περιβάλλοντα, επειδή τα βακτήρια της απονιτροποίησης είναι πολύ δραστήρια, συμβαίνει συσσώρευση νιτρωδών. Ακόμα, σε αλκαλικά περιβάλλοντα συμβαίνει παραγωγή αέριας αμμωνίας, η οποία επίσης είναι

τοξική. Επομένως, η μηδική και το αλκαλικό έδαφος ενδέχεται να επέδρασαν αρνητικά στους γαιοσκώληκες και για τον λόγο αυτό.

Τα εδάφη έχουν μεγάλη ρυθμιστική ικανότητα. Έτσι, η μεταβολή της οξύτητας τους από την τοποθέτηση των τροφών στην επιφάνεια τους αποδείχθηκε θετική αλλά όχι σημαντική.

Η Ι.Α.Κ. εξαρτάται κυρίως από την περιεκτικότητα του εδάφους σε άργιλο και οργανική ουσία και από το pH, με το οποίο αυξάνεται. Παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο τροφών όσον αφορά την Ι.Α.Κ., με μεγαλύτερη τιμή στη μουριά. Αυτό δεν μπορεί να ερμηνευθεί με τη μεταβολή του pH, διότι, σύμφωνα με τα αποτελέσματα, θα είχαμε την αντίθετη επίδραση. Αποδίδεται, επομένως στην οργανική ουσία και στη χημική σύσταση των τροφών. Η μηδική αυξάνει την οργανική ουσία σε σχέση με τη μουριά και μάλιστα οι δύο μέσοι διαφέρουν σημαντικά. Επομένως, ούτε στην οργανική ουσία μπορεί να αποδοθεί η αύξηση της Ι.Α.Κ. Άρα η χημική σύσταση των τροφών είναι υπεύθυνη. Πράγματι, η βιβλιογραφία αναφέρει ότι ο μεν σανός της μηδικής έχει ολική τέφρα 8,9% (Κοντσιώτου, 2005), τα δε φύλλα μουριάς 16% (εργαστήριο Μελισσοκομίας- Σηροτροφίας Γ.Π.Α.).

Ένας άλλος παράγοντας που μπορεί να συνεισφέρει στη μεταβολή της Ι.Α.Κ. είναι οι γαιοσκώληκες. Αναφέρεται από πολλούς ερευνητές ότι τα κοπρολύματα τους έχουν μεγαλύτερη Ι.Α.Κ. από το περιβάλλον έδαφος. Βεβαίως, οι γαιοσκώληκες αναπτύσσονται και στους δύο τύπους τροφής και στα δύο εδάφη. Όμως, είναι δυνατόν, λόγω της καλύτερης ανάπτυξης στη μουριά, να συνέβαλαν στην αύξηση της Ι.Α.Κ. σε σχέση με τη μηδική, στην οποία δεν ευημερούν.

Τα εδάφη διαφέρουν σημαντικά ως προς την Ι.Α.Κ., αλλά επειδή δεν έχουμε υπολογίσει τις αρχικές τιμές της, δεν μπορούμε να κάνουμε συγκρίσεις.

Η μικροβιακή δραστηριότητα εξαρτάται από τους τροφικούς πόρους, τους περιβαλλοντικούς παράγοντες (θερμοκρασία και υγρασία) και από εδαφικούς παράγοντες και ιδίως το pH και πιθανές ανασταλτικές ουσίες μέσα στο έδαφος. Οι δύο τροφές δεν διαφοροποιήθηκαν ως προς τη μικροβιακή δραστηριότητα σημαντικά. Τα δύο εδάφη έδειξαν την εξής επίδραση: Το αλκαλικό ήταν καλύτερο από το όξινο. Από τα εδάφη μας, το αλκαλικό βρίσκεται μέσα στο εύρος του μικροβιακού ορτ για τα βακτήρια (6,5 – 7,5), ενώ το όξινο έχει λίγο χαμηλότερο pH. Επομένως η μικροβιακή δραστηριότητα μπορεί να ερμηνευθεί από αυτή την απόκλιση. Η παρουσία κοπρολυμάτων είναι ένας παράγοντας μεγάλου δυναμικού μικροβιακής δραστηριότητας, δεδομένου ότι τα κοπρολύματα είναι πλούσια σε μικρόβια. Στην τελευταία μέτρηση βρέθηκε ότι το αλκαλικό έδαφος έχει σημαντικά μεγαλύτερο αριθμό επιφανειακών κοπρολυμάτων από το όξινο, άρα το αποτέλεσμα που βρίσκουμε ερμηνεύεται και από την παραγωγή κοπρολυμάτων. Όμως οι γαιοσκώληκες που ενεργοποιούν τους μικροοργανισμούς ευημερούν καλύτερα στο όξινο έδαφος και από αυτή την άποψη αναμένονται τα αντίθετα αποτελέσματα. Ο Edwards (2004) αναφέρει ότι τα νεοσχηματισμένα κοπρολύματα έχουν μεγαλύτερη μικροβιακή δραστηριότητα από την ενσωμάτωση οργανικών υπολειμμάτων στο έδαφος, λόγω των εύληπτων μορφών N που περιέχουν. Παρόλα αυτά, οι γαιοσκώληκες έχουν και αρνητική επίδραση επί των μικροβίων, διότι τους καταναλώνουν. Άλλοι ερευνητές αναφέρουν (από Edwards, 2004) ότι, σε πειράματα μικρόκοσμου οι γαιοσκώληκες μειώνουν τη μικροβιακή δραστηριότητα και κινητοποιούν τα αποθέματα N από το σώμα των μικροβίων. Όσον αφορά τους τροφικούς πόρους, δηλαδή την οργανική ουσία, αυτή δεν διαφέρει σημαντικά στα δύο εδάφη στο τέλος του πειράματος. Αρχικά όμως, το αλκαλικό έδαφος είχε μεγαλύτερο ποσοστό οργανικής ουσίας από το όξινο (κατά 0,6 μονάδες περίπου (πιν.2.1)), άρα και δυνατότητα εντατικότερης δράσης για τα μικρόβια.

Η οργανική ουσία διαφέρει σημαντικά στους δύο τύπους τροφής, με μεγαλύτερη τιμή στη μηδική. Η μηδική έχει περισσότερες ακατέργαστες ίνες, δηλαδή C τον οποίο διασπούν οι μικροοργανισμοί με πολύ αργό ρυθμό. Επομένως αυτός παραμένει μέσα στο έδαφος και καταμετρείται τελικά ως συστατικό του. Μεταξύ των δύο εδαφών, δεν παρατηρούνται σημαντικές διαφορές στην οργανική ουσία, παρότι αρχικά τα δύο εδάφη είχαν μάλλον μεγάλη διαφορά. Αυτό οφείλεται στην εντατικότερη δράση των βακτηρίων αποδόμησης στο πιο πλούσιο έδαφος (το αλκαλικό) σε σχέση με το φτωχότερο (το όξινο).

Τέλος, το N του εδάφους δεν διαφέρει σημαντικά μεταξύ των δύο τροφών, ούτε μεταξύ των δύο εδαφών. Αυτό οφείλεται στο ότι οι αρχικές εισροές από τα εδάφη ήταν παρόμοιες. Οι εισροές από τις δύο τροφές ήταν επίσης παρόμοιες.

Είναι αξιοσημείωτο ότι, τελικά, το N του εδάφους μειώθηκε πολύ σε σχέση με το αρχικό. Πιθανές αιτίες είναι η χρήση του από τα έμβια όντα (γαιοσκώληκες και μικροοργανισμούς), καθώς και απώλειες υπό αέρια μορφή, που πρέπει να ήταν σημαντικές λόγω της υψηλής εποχιακής θερμοκρασίας.

Επίδραση της τροφής στους γαιοσκώληκες

Μεταξύ των 2 τροφών η μηδική υπολείπεται σημαντικά της μουριάς και όσον αφορά το βάρος των γαιοσκωλήκων και τη δραστηριότητα (κοπρούματα). Αντίθετα αυξάνει το ποσοστό της πρωτεΐνης τους.

Η μηδική έχει μία πολύ αρνητική επίδραση στο βάρος κατά την έναρξη του πειράματος, μάλλον διότι τα ζώα αρνούνται να την καταναλώσουν. Στη συνέχεια, αφού εξοικειωθούν τα ζώα σ' αυτή, η απώλεια βάρους μεταξύ μουριάς – μηδικής είναι μάλλον ισόποση. Η επίδραση της τροφής στην επιφανειακή δραστηριότητα είναι σημαντική στο σύνολο της. Μάλλον η επιφανειακή δραστηριότητα εξαρτάται κυρίως από την υγρασία, γι' αυτό

παρατηρείται αύξηση κατά την 32^η μέρα. Έκτοτε μειώνεται αλλά για λόγους ανεξάρτητους από την υγρασία. Η επιφανειακή δραστηριότητα σχετίζεται θετικά με το βάρος, όχι όμως πάντα σημαντικά (μεταχειρίσεις ομί και απο). Αυτό είναι αναμενόμενο, δεδομένου ότι τα ανεκικά είδη, υπό φυσιολογικές συνθήκες, πρέπει να ανέβουν στην επιφάνεια για να διατραφούν, άρα δραστηριοποιούνται επιφανειακά.

Τα αποτελέσματα δεν συμφωνούν με τους Bradley et al. (2011) που βρήκαν ότι η βιομάζα των γαιοσκωλήκων αυξάνεται όταν διατρέφονται με μηδική σε σχέση με φύλλα δενδρωδών καλλιεργειών (στη μελέτη αυτή δεν εξετάστηκε η μουριά) ή καλαμποκιού. Οι ίδιοι ερευνητές διαπίστωσαν οξύνηση του εδάφους από τη μηδική. Πιθανολογούν ότι οι δενδρώδεις καλλιέργειες παράγουν φύλλωμα με υψηλά ποσοστά φαινολικών ουσιών, που είναι ανελκυστικά για τους γαιοσκώληκες και βρήκαν ότι τα φύλλα της μηλιάς περιέχουν μονοτερπένια που δρουν ως απωθητικά. Οι Shipitalo et al. (1988) βρήκαν ότι τα *Lubricus terrestris* και *L. rubellus* αύξησαν το βάρος και τα κοπρολύματα τους τρεφόμενα με μηδική. Ακόμα, η μηδική ως καλλιέργεια αναφέρεται (Ramos et al., 2010) ότι ευνοεί τους γαιοσκώληκες μέσω των θετικών επιδράσεων του ριζικού της συστήματος στο έδαφος.

Οι δύο τροφές, όπως παρουσιάζονται στον πίνακα 2.2, διαφέρουν λίγο. Κυρίως διαφέρουν στις ακατέργαστες ίνες, των οποίων η περιεκτικότητα είναι τριπλάσια στη μηδική. Η μηδική είναι άριστη χονδροειδής τροφή, με υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη και ίνες. Ο σανός της έχει μικρή περιεκτικότητα σε ευκολοχώνευτους υδατάνθρακες (λίπος και σάκχαρα όχι ανώτερα των 6,5% (Κοντσιώτου, 2005) και μεγάλη περιεκτικότητα σε ακατέργαστες ίνες (κυτταρίνη και λιγνίνη). Οι γαιοσκώληκες έχουν τη δυνατότητα να διασπούν τις ίνες στον πεπτικό τους σωλήνα, όμως η αφομοίωση αυτών των ουσιών είναι πολύ μικρότερη από τους ολιγοσακχαρίτες και τα λιπίδια. Τα ζώα που τρέφονται με μηδική έχουν στη διάθεσή τους αρκετές αζωτούχες ουσίες για να συνθέσουν την πρωτεΐνη τους

αλλά λιγότερη αξιοποιήσιμη ενέργεια. Επιπλέον στη μηδική συχνά βρίσκονται ουσίες με τοξική δράση όπως οι σαπωνίνες – συστατικό που προκαλεί στα μηρυκαστικά την παραγωγή αφρού στο αναπνευστικό και ανώτερο πεπτικό σύστημα και μπορεί να προκαλέσει ακόμα και θάνατο – και αντιβιοτικά – όπως αυτά κατά του μυκοβακτηρίου (*Mycobacterium tuberculosis*) και του κολοβακτηρίου (*Escherichia coli*).

Τα φύλλα της μουριάς έχουν εξίσου υψηλή πρωτεΐνη (πιν. 2.2) με τη μηδική, έχουν το ήμισυ σε ακατέργαστες ίνες και μεγάλη περιεκτικότητα σε διαλυτούς υδατάνθρακες (τουλάχιστον 21% σύμφωνα με τον Minamizawa (1997)). Οι Yao et al. (2000) και οι Ly et al. (2001) βρήκαν ότι έχουν μεγάλη θρεπτικότητα και πεπτικότητα για τους χοίρους και τα μηρυκαστικά, αντίστοιχα. Το εργαστήριο Μελισσοκομίας και Σηροτροφίας του Γ.Π.Α. (προσωπική επικοινωνία) καταγράφει ότι, η μουριά περιέχει υψηλή πρωτεΐνη και δεν έχει τοξικές επιδράσεις όπως αυτές που παρουσιάζονται σε μονογαστρικά ζώα από το σανό των ψυχανθών.

Επίδραση της οξύτητας στους γαιοσκώληκες

Το όξινο περιβάλλον είναι σημαντικά καλύτερο για το βάρος των γαιοσκωλήκων και την πρωτεΐνη τους από το αλκαλικό, ενώ δεν επηρεάζεται σημαντικά η επιφανειακή δραστηριότητα στα δύο εδάφη. Με την πάροδο του χρόνου η επιφανειακή δραστηριότητα μεταβάλλεται σημαντικά, όχι όμως το βάρος. Δηλαδή, ενώ τα ζώα είναι πιο δραστήρια στο όξινο έδαφος στην αρχή του πειράματος, αργότερα γίνονται πιο δραστήρια στο αλκαλικό έδαφος, ίσως λόγω δυσφορίας, ενώ στο όξινο η δραστηριότητα συνεχώς μειώνεται, ίσως διότι τα ζώα μπορούν να επιβιώσουν αρκετά καλά στο εσωτερικό του εδάφους. Η προσθήκη επιπλέον νερού κατά την 21^η μέρα, δείχνει να είναι πιο σημαντική στον καθορισμό της επιφανειακής δραστηριότητας από το χρόνο ή άλλους παράγοντες. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του πειράματος μας, ο γαιοσκώληκας *Octodrilus complanatus*

έχει ψηλότερο βάρος στο ελαφρά όξινο έδαφος (pH: 6,4) σε σχέση με το ελαφρά αλκαλικό (pH: 7,34).

Οι προτιμήσεις των γαιοσκωλήκων σε διάφορες εδαφικές οξύτητες έχουν μελετηθεί από πολλούς ερευνητές. Οι Auclerc et al. (2013) διερεύνησαν την επιφανειακή δραστηριότητα ειδών γαιοσκωλήκων σε πολύ όξινα (pH 4) και λιγότερο όξινα (pH 5,5) εδάφη και βρήκαν σημαντικά μεγαλύτερη δραστηριότητα σε εδάφη με υψηλότερα pH. Οι Moore et al. (2013) βρήκαν ότι η εφαρμογή Ca σε δασικά εδάφη με πολύ χαμηλό pH (4,3) έχει θετική επίδραση, μεταξύ άλλων, στην ανάπτυξη και αναπαραγωγή διαφόρων ειδών ενώ δεν επηρεάζει κάποια άλλα είδη.

Συσχέτιση των παραμέτρων

Παρατηρούμε από τους πίνακες 3.35 και 3.36 ότι, η πρωτεΐνη των γαιοσκωλήκων και το βάρος τους δεν είναι σημαντικά συσχετισμένα. Η πρωτεΐνη σχετίζεται σημαντικά και αρνητικά με την I.A.K. και τη μικροβιακή δραστηριότητα και θετικά με την μεταβολή του pH. Αυτές οι τρεις παράμετροι χαρακτηρίζουν το όξινο έδαφος και τη μηδική (πιν. 3.33), άρα επιβεβαιώνεται η θετικότερη επίδραση του όξινου εδάφους στην πρωτεΐνη, σε σχέση με το αλκαλικό και της μηδικής σε σχέση με τη μουριά, όπως έχει ήδη αναφερθεί (πιν. 3.31). Ακόμα είναι προφανές ότι, τα μικρόβια του εδάφους και οι γαιοσκώληκες δρουν ανταγωνιστικά στο έδαφος.

Το βάρος των γαιοσκωλήκων σχετίζεται σημαντικά και αρνητικά με την μεταβολή του pH και την οργανική ουσία. Αυτές οι δύο παράμετροι διαφοροποιούνται σημαντικά με την τροφή και όχι με τον τύπο του εδάφους (πιν. 3.33), όπως εξάλλου έχει αναλυθεί στον πίνακα 3.9. Μεταξύ των 2 τροφών η μουριά έχει αρνητικότερη επίδραση στις 2 αυτές παραμέτρους, άρα, μεγαλύτερο βάρος σε σχέση με τη μηδική.(πιν. 3.33).

Η μικροβιακή δραστηριότητα και η I.A.K. σχετίζονται θετικά (πιν. 3.36). Αυτές οι παράμετροι διαφοροποιούνται ανάλογα με τον τύπο του εδάφους

και είναι αυξημένες στο αλκαλικό έδαφος σε σχέση με το όξινο (πιν. 3.33). Η τροφή διαφοροποιεί μόνο την ΙΑΚ και δεν επιδρά σημαντικά στη μικροβιακή δραστηριότητα. Άρα, οι παράμετροι ΙΑΚ και μικροβιακή δραστηριότητα σχετίζονται θετικά στους διάφορους τύπους εδαφών.

Η οργανική ουσία και η μεταβολή του pH σχετίζονται θετικά (πιν. 3.36) και αυτές οι παράμετροι χαρακτηρίζουν την τροφή, ενώ είναι αδιάφορες στους 2 τύπους εδαφών (πιν. 3.33). Άρα, η τροφή είναι υπεύθυνη για τις μεταβολές στις 2 αυτές παραμέτρους και η μηδική έχει μεγαλύτερες τιμές σε σχέση με τη μουριά.

5. Συμπεράσματα

- Η χλωρή αποξηραμένη τροφή είναι ακατάλληλη για διατροφή των γαιοσκωλήκων, προφανώς λόγω του ότι περιέχει αλληλοπαθητικές ουσίες ή αντιτροφικούς παράγοντες.
- Η μηδική επηρεάζει περισσότερο αρνητικά το βάρος των γαιοσκωλήκων από ότι η μουριά, προφανώς λόγω της ύπαρξης των σαπωνίνων που είναι ισχυροί αντιτροφικοί παράγοντες γνωστοί από τις αρνητικές επιδράσεις τους στα εκτρεφόμενα ζώα και λόγω της υψηλής περιεκτικότητας σε ακατέργαστες ίνες. Η μηδική αυξάνει την πρωτεΐνη των γαιοσκωλήκων σε σχέση με τη μουριά.
- Το ελαφρά όξινο έδαφος είναι καλύτερο για το βάρος και την πρωτεΐνη των γαιοσκωλήκων σε σχέση με το ελαφρά αλκαλικό.
- Η επιφανειακή δραστηριότητα δεν εξαρτάται από οξύτητα του εδάφους. Εξαρτάται από την τροφή, κυρίως όμως από την περιεκτικότητα του υποστρώματος σε υγρασία.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Anderson, J.M. (1988).** Invertebrate-Mediated Transport Processes in Soils. in: Biological Interactions in Soil. Edwards, B.R, Stinner, D. Stinner & S. Rabatin (eds). ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS B.V., The Netherlands. pp: 5 – 19.
- Aira, M., F. Monroy and J. Domnquez (2009).** Changes in bacterial numbers and microbial activity of pig slurry during gut transit of epigeic and anecic earthworms. *Journal of Hazardous Materials* 162: 1404 – 1407.
- Auclerc, A., J. Nahmani, P. Huguier, Y. Capowiez, D. Aran & F. Guerold (2011).** Adapting ecotoxicological tests based on earthworm behavior to assess the potential effectiveness of forest soil liming. *Pedobiologia* 54S: S63 – S68.
- Auclerc, A., Y. Capowiez, F. Guerold & J. Nahmani (2013).** Application of X-ray tomography to evaluate liming impact on earthworm burrowing activity in an acidity forest soil under laboratory conditions. *Geoderma* 202-203: 45 – 50.
- Bender, D.A. (2008).** Introduction to Nutrition and Metabolism. 4th edition. CRC Press-Taylor and Francis Group, Boca Raton.
- Bilalis, D., I. Tzortzi, E. Vavoulidou, A. Karkanis, N. Emmanouel, A. Efthimiadou, N. Katsenios, S. Patsiali & L. Delaporta (2013).** Effects of aluminium and moisture levels on aluminium bioaccumulation and protein content in the earthworm *Octodrilus complanatus*. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* vol.13, N^o 4.
- Bostrm, U. (1995).** Earthworm populations (Lumbricidae) in ploughed and undisturbed leys. *Soil & Tillage Research* 35: 125 – 133.
- Bradley, R.L., J. Whalen, P.-L. Chagnon, M. Lanoix & M.C. Alves (2011).** Nitrous oxide production and potential denitrification in soils from riparian buffer strips: Influence of earthworms and plant litter. *Applied Soil Ecology* 47: 6 – 13.

- Briones, M.J.I., N.J. Ostle & T.G. Pearce (2008).** Stable isotopes reveal that the calciferous gland of earthworms is a CO₂-fixing organ. *Soil Biology & Biochemistry* 40: 554 – 557.
- Canti, M.G. & T.G. Pearce (2003).** Morphology and dynamics of calcium carbonate granules produced by different earthworm species. *Pedobiologia* 47, 511 – 521.
- Canti, M.G. (2009).** Experiments on the origin of ¹³C in the calcium carbonate granules produced by the earthworm *Lumbricus terrestris*. *Soil Biology and Biochemistry* 41: 2588 – 2592.
- Γιάσογλου, Ν.Ι. (1981).** Μαθήματα Γεωργικής Χημείας (Εδαφολογία) Ι. Περιγραφή του Εδαφικού Συστήματος. Πολυγρ. εκδ. Ν. ΠΑΝΑΓΟΠΟΥΛΟΥ, Αθήνα
- Clause, J., S. Barot, B. Richard, T. Decaëns & E. Forey (2013).** The interactions between soil type and earthworm species determine the properties of earthworm casts. *Applied Soil Ecology* xxx (2013) xxx-xxx.
- Curry, J.P. & O. Schmidt (2007).** The feeding ecology of earthworms – A review. *Pedobiologia* 50: 463 – 477.
- D’Mello, J.P.F. (2000).** Farm Animal Metabolism and Nutrition. CABI Publishing, UK.
- Edwards, C.A. & K.E. Fletcher (1988).** Interactions between Earthworms and Microorganisms in Organic-matter Breakdown. in: Biological Interactions in Soil. Edwards, B.R, Stinner, D. Stinner & S. Rabatin (eds). ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS B.V., The Netherlands. pp: 235 – 247.
- Edwards, C.A. (2004).** Earthworm Ecology. 2^d edition. CRC Press LLC, Florida, USA.
- García, J.A. & C. Fragoso (2003).** Influence of different food substrates on growth and reproduction of two tropical earthworm species (*Pontoscolex corethrulus* and *Amyntas cortices*). *Pedobiologia* 47: 754 – 763.
- Gibney, M.J., I.A. Macdonald & H.M. Roche (2008).** Διατροφή και Μεταβολισμός. Επιστημονικές εκδόσεις ΠΑΡΙΣΙΑΝΟΥ Α.Ε., Αθήνα.

- Grassé, P.P. (1959).** Traité de Zoologie. Anatomie, Systematique, Biologie. tome V, premier fascicule. Masson et C^{ie} éditeurs: Libraires de l'Academie de Medicine. Paris.
- Hickman, Cl.P., L.S. Roberts & A. Larson (2002).** Ζωολογία. Ολοκληρωμένες Αρχές, Α' τόμος. εκδ. «ΙΩΝ», Περιστέρι.
- Hlava, J. & O. Kopecky (2013).** Earthworm population responses to deciduous forest soil acidity and vegetation cover. *Scientia Agriculturae Bohemica* 44 (3): 133 – 137.
- Hulugalle, N.R., P.C. Entwistle & R.K. Mensah (1999).** Can lucern (*Medicago sativa* L.) strips improve soil quality in irrigated cotton (*Gossypium hirsutum* L.) fields? *Applied Soil Ecology* 12: 81 – 92.
- Isermeyer, H. (1952).** Zeitschr. Pflanzenern., Dung., Bodenk. 52: 26
- Καλαϊσάκης, Π., Γ. Ζέρβας & Κ. Φεγγερός (2000).** Διατροφή Αγροτικών Ζώων. Εργαστήριο διατροφής Ζώων του τμήματος Ζωικής Παραγωγής του Γ.Π.Α. εκδ. Α. Σταμούλης, Αθήνα.
- Kautz, T., M. Lüsebrink, S. Pätzold, D. Vetterlein. R. Pide, M. Athmann, P.M. Küpper, U. Perkons & U. Köpke (2014).** Contribution of anecic earthworms to biopore formation during cultivation of perennial ley crops. *Pedobiologia* 57: 47 – 52.
- Kherbouche, D., f.B. Reversat, A. moali & P. Lavelle (2012).** The effect of crops and farming practices on earthworm communities in Soumman valley, Algeria. *European Journal of Soil Biology* 48: 17 – 23.
- Koepf, H. (1950).** Bodenatmung, die Möglichkeiten ihrer Bestimmung und ihre Bedeutung für die Charakterisierung des Bodenzustandes. Diss. Hohenheim.
- Κοντσιώτου, Ε.Κ. (2005).** Η Μηδική. Καλλιέργεια και Χρήση. εκδ.: Αγροτύπος Α.Ε. Αθήνα.
- Λαζαρίδου-Δημητριάδου, Μ. (1991).** Ζωολογία Ασπονδύλων. Έκδοση 3^η. εκδ. ΓΙΑΧΟΥΔΗ-ΓΙΑΠΟΥΛΗ Ο.Ε., Θεσσαλονίκη.
- Lal, R. (1988).** Effects of Macrofauna on Soil Properties in Tropical Ecosystems. in: *Biological Interactions in Soil*. Edwards, B.R, Stinner, D. Stinner & S.

Rabatin (eds). ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS B.V., The Netherlands. pp: 101 – 116.

Lambkin, D.C., M.G. Canti, T.G. Pearce & M.E. Hodson (2011a). Dissolution rates of earthworm-secreted calcium carbonate. *Applied Geochemistry* 26: S67 – S69.

Lambkin, D.C., K.H. Gwilliam, C. Layton, M.G. Canti, T.G. Pearce & M.E. Hodson (2011b). Soil pH governs production rate of calcium carbonate secreted by the earthworm *Lumbricus terrestris*. *Applied Biochemistry* 26: S64 – S66.

Lambkin, D.C., K.H. Gwilliam, C. Layton, M.G. Canti, T.G. Pearce & M.E. Hodson (2011c). Production and dissolution rates of earthworm – secreted calcium carbonate. *Pedobiologia* 54S: S119 – S129.

Lavelle, P., L. Brussaard & P. Hendrix (1999). Earthworm Management in the Tropical Agroecosystems. CABI Publishing, UK.

Lavelle, P. & A.V. Spain (2005). Soil Ecology. Kruwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands.

Lowe, C.N. & K.R. Butt (2005). Culture techniques for soil dwelling earthworms: A review. *Pedobiologia* 49: 401 – 413.

Lowe, C.N. & K.R. Butt (2007). Earthworm culture, maintenance and species selection in chronic ecotoxicological studies: A critical review. *European Journal of Soil Biology* 43: S281 – S288.

Lowenfels, J. & W. Lewis (2006). Teaming with Microbes. A Gardener's Guide to the Soil Food Web. Timber Press, Inc. Portland, U.S.A.

Ly, J., C. Ty, C. Phiny & T.R. Preston (2001). Some aspects of the nutritive value of leaf meals of *Trichanthera gigantean* and *Morus alba* for Mong Cai pigs. *Livestock Research for Rural Development* (13) 3 - <http://www.cipav.org.co/1rrd13/3/ly133.htm>

Minamizawa, K. (1997). Moriculture. Science of Mulberry Cultivation. eds: A.A.Balkema, Rotterdam, Netherlands.

- Monroy, F.M., Aira M., Gago, J.Á. & J. Domínguez (2007).** Life cycle of the earthworm *Octodrilus complanatus* (Oligochaeta, Lumbricidae). C.R. Biologies 330: 389 – 391.
- Moore, J.D., R. Ouimet & P. Bohlen (2013).** Effects of liming on survival and reproduction of two potentially invasive earthworm species in a northern forest Podzol. Soil Biology & Biochemistry 64: 174 – 180.
- Pavlíček, T. & C. Csuzdi (2006).** Species richness and zoogeographic affinities of earthworms in Cyprus. European Journal of Soil Biology 42: S111 – S116.
- Πελεκάσης, Κ.Ε.Δ. (1986).** Μαθήματα Γενικής Ζωολογίας. (Α', Γενικόν μέρος). εκδ. 3^η. Πανεπιστημιακές εκδ. Α.Γ.Σ.Α., Αθήνα.
- Pérés, G., f. Vandenbucke, M. Guernion, M. Hedde, T. Beguiristain, F. Douay, S. Houot, D. Piron, A. Richard, A.Bispo, C. Grand, L. Galsimies & D. Cluzeau (2011).** Earthworm indicators as tools for soil monitoring, characterization and risk assessment. An example from the national Bioindicator programme (France). Pedobiologia 54S: S77 – S87.
- Pilar Ruiz, M., M. Ramajo, j.B. Jesús, D. Trigo & D.J. Díaz Cosín (2006).** Selective feeding of the earthworm *Hormogaster elisae* (Oligochaeta, Hormogastridae) in the laboratory culture. European Journal of Soil Biology 42: S289 – S295.
- Προφήτου-Αθανασιάδου, Δ. (2012).** Γενική και Εφαρμοσμένη Ζωολογία. εκδ. Γιαχούδη, Θεσσαλονίκη.
- Ramos, M.E., E. Benítez, P.A. García & A.B. Robles (2010).** Cover crops under different management vs. frequent tillage in almond orchards in semiarid conditions: Effects on soil quality. Applied Soil Ecology 44: 6 – 14.
- Redmond, C.T., A. Kesheimer & D.A. Potter (2014).** Earthworm community composition, seasonal population structure, and casting activity on Kentucky golf courses. Applied Soil Ecology 75: 116 – 123.
- Römbke, J., J.P. Sousa, T. Schouten & F. Riepert (2006).** Monitoring of soil organisms: a set of standardized field methods proposed by ISO. European Journal of Soil Biology 43, S61 – S64.

- Sánchez, E.G., B. Muñoz, M.H. Garvín, J.B. Jesús & D.J. Díaz Cosín (1997).** Ecological preferences of some earthworm species in southwest Spain. *Soil Biology & Biochemistry* 29, No 3/4: 313 – 316.
- Sauvant, D., J.-M. Perez & G. Tran (2004).** Tables of composition and nutritional value of feed materials. Wageningen Academic Publishers. The Netherlands & INRA Editions, Paris.
- Scullion, J. & A. Malik (2001).** Organic Matter in Restored Soils as Affected by Earthworms and Land Use. *in: Sustainable Management of Soil Organic Matter*. Rees, R.M., B.C. Ball, C.D. Campbell & C.A. Watson (eds). CABI Publishing, UK. pp: 377 – 385.
- Shipitalo, M.J., R. Protz & A.D. Tomlin (1988).** Effect of diet on the feeding and casting activity of *Lubricus terrestris* and *L. rubellus* in laboratory culture. *Soil Biology and Biochemistry* 20(2): abs
- Stojanović, M., T. Milutinović & S. Karaman (2008).** Earthworm (Lumbricidae) diversity in the central Balkans: An evaluation of their conservation status. *European Journal of Soil Biology* 44: 57 – 64.
- Τζώρτζη, Ι.Ε. (2010).** Επίδραση 4 συγκεντρώσεων αργιλίου στο έδαφος πάνω στη βιοσυσσώρευση σε γαιοσκώληκες του γένους *Octodrilus*. Μεταπτ. Διατριβή, Γ.Π.Α. Μεταπτυχιακό Τμήμα Επιστήμης Φυτικής Παραγωγής. Αθήνα.
- Vavoulidou, E., L. Dellaporta & D.J. Bilalis (2010).** Collagen distribution in the tissue of the earthworm *Octodrilus complanatus*. *Advances of the 4th International Oligochaeta Taxonomy Meeting* (abstract).
- Versteegh, W.A.A., S. Black & M.E. Hodson (2014).** Environmental control on the production of calcium carbonate by earthworms. *Soil Biology & Biochemistry* 70: 159 – 161.W
- Walkey, A. & I.A. Black (1934).** An examination of the Degtiareff methods for determining soil organic and a proposed modification of cromic acid titration method. *Soil Science* 37: 29 – 38.
- Yao, J., B. Yan, X.Q. Wang & J.X. Liu (2000).** Nutritional evaluation of mulberry leaves as feeds for ruminants. *Livestock research for rural development* 12 (2) – <http://www.cipav.org.co/1rrd12/2/yao122.htm>

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΕΛΛΗΝΙΚΗ	2
ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΑΓΓΛΙΚΗ	4
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	6
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	7
1.1 Εδαφική οξύτητα.....	7
1.2 Διατροφή.....	16
1.3 Πρωτεΐνες.....	21
1.4 Γαιοσκώληκες.....	28
Οικολογικές κατηγορίες.....	35
Ρόλος των γαιοσκωλήκων στη φύση.....	36
Οικολογικές προτιμήσεις.....	42
1.5 Ο γαιοσκώληκας <i>Octodrilus complanatus</i> (Dugés, 1828).....	45
2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	46
Στατιστική ανάλυση.....	51
Σκοπός της μελέτης.....	51
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	52
Βάρος γαιοσκωλήκων.....	54
Επιφανειακά κοπρολύματα.....	73
Πρωτεΐνη γαιοσκωλήκων.....	91
Ιδιότητες του εδάφους.....	93
4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ	98
Εκτίμηση του βλαστικού σταδίου της τροφής.....	98
Επίδραση της τροφής & της οξύτητας στους εδαφικούς παράγοντες.....	101
Επίδραση της τροφής στους γαιοσκώληκες.....	105
Επίδραση της οξύτητας στους γαιοσκώληκες.....	107
Συσχέτιση των παραμέτρων.....	108
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	110
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	111
7. ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	117