



**ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ  
ΚΡΗΤΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ  
ΤΜΗΜΑ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ**

**ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΒΑΡΕΩΝ  
ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΟΝ  
ΤΡΟΠΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΟΡΓΑΝΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ**

**Καρτσωνάκη Μαρία**

*Εισηγητής: Δρ. Πλούταρχος Τσικαλάς Καθηγητής*

**Ηράκλειο  
Σεπτέμβριος 2006**

Αφιερώνεται στην οικογένειά μου!

### **Ευχαριστίες**

Η συγγραφή της παρούσας εργασίας πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της εκπόνησης της πτυχιακής μου διατριβής στο εργαστήριο Θρέψης φυτών – Γονιμότητας εδαφών της σχολής Τεχνολογίας Γεωπονίας του Α.Τ.Ε.Ι. Κρήτης.. Αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω θερμά τον Δρ. Τσικαλά Πλούταρχο για την άριστη συνεργασία μας, καθώς επίσης και για την σημαντική συμβολή του στη πραγματοποίηση της εργασίας αυτής.

Επίσης οφείλω να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στην κυρία Γκούμα, στην κυρία Παπαδάκη Αναστασία και στην κυρία Φουκαράκη Σοφία για την βοήθειά τους κατά την συλλογή πληροφοριών.

Τέλος ευχαριστώ όλους όσους συνέβαλαν με κάθε τρόπο στην πραγματοποίηση της πτυχιακής εργασίας και μου συμπαραστάθηκαν μέχρι την ολοκλήρωσή της.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

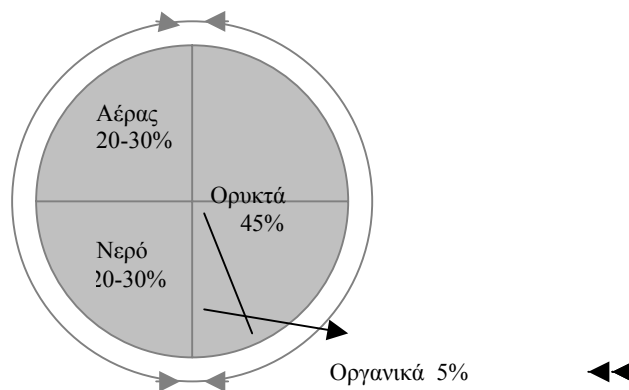
1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	4
2	1	4
3	3.1.1 ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ	5
4	3.1.2 ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ	6
5	3.2 ΟΡΓΑΝΙΚΑ ΥΛΙΚΑ	9
6	3.2.1 ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ	9
7	3.2.2 ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ	10
8	3.2.3 ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ	10
9	3.2.4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ	12
10	3.2.5 ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ	14
11	2.2.6. Παράγοντες που επηρεάζουν τα επίπεδα της οργανικής ουσίας στο έδαφος.....	16
12	3.2.7 ΟΡΓΑΝΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ	19
13	3.3 ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ	19
14	3.3.1 ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ	21
15	3.3.2 ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ	24
16	3.3.3 ΕΚΣΤΡΑΧΜΟΣ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ	25
17	3.3.4 ΕΚΣΤΡΑΧΜΟΣ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ	21
18	3.4 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	25
19	3.4.1 ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ	40
20	3.4.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ	41
21	3.4.3 ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ	42
22	4	44
23	5 ΣΥΖΗΤΗΣΗ	54
24	6 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	59

## 2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 2.1. ΕΛΔΑΦΟΣ

Το έδαφος είναι το ανώτερο τμήμα του φλοιού της γης που φέρει βλάστηση με μηδενική ή ασθενή συγκόλληση μεταξύ των κόκκων (οι κόκκοι διαχωρίζονται με ήπια ανάδευση του υλικού στο νερό). Είναι ένα πολύ οργανωμένο σύστημα φυσικών, χημικών, και βιολογικών διεργασιών που έτσι διαμορφώνεται μια κατάσταση που είναι διαφορετική για κάθε τύπο έδαφους.

Το έδαφος απαρτίζεται από οργανικά στοιχεία καθώς επίσης και από αποσαθρωμένα πετρώματα και ορυκτά. Τα συστατικά ενός εδάφους είναι τα στερεά συστατικά (χαλίκια, άμμος, άργιλος, ιλύς), τα οργανικά συστατικά, το νερό και ο αέρας. Αν από ένα τέτοιο σύστημα απουσιάζει ένα από τα συστατικά αυτά τότε δε γίνεται λόγος για έδαφος αλλά για μία άλλη κατάσταση που συνήθως ονομάζεται θρεπτικό υπόστρωμα. Σε ένα τυπικό έδαφος οι αναλογίες αυτών των στοιχείων είναι 45% περίπου στερεά υλικά, 5% οργανικά υλικά, 20-30% νερό και 20-30% αέρας (Εικόνα 1) (Τσικαλάς 2003).



Εικόνα 1. Κύρια συστατικά τυπικού εδάφους

### 2.1.1. Προέλευση του εδάφους

Το έδαφος προήλθε από την μηχανική ή/και χημική αποσάθρωση των πετρωμάτων, που διαμορφώνεται με την επίδραση του νερού, του αέρα, της οργανικής ύλης και των ζώντων οργανισμών, καθώς και από την περαιτέρω διαφοροποίησή της στην ίδια ή σε άλλη θέση, του χαλαρού υλικού που προέκυψε από αυτή. Βράχοι ή πετρώματα είναι τα υποκείμενα του εδάφους υλικά με ισχυρή συγκόλληση μεταξύ των κόκκων τους (οι κόκκοι δεν διαχωρίζονται με ήπια ανάδευση του υλικού στο νερό).

Η μηχανική αποσάθρωση οφείλεται σε παράγοντες τεκτονισμού, κλιματικών μεταβολών όπως ο παγετός, οι συνεχείς θερμοκρασιακές μεταβολές, η διάβρωση από το νερό και τον αέρα, οι λειτουργίες φυτών, ζώων, ανθρώπου, ανάπτυξη ριζών, φυτών κλπ. Η μηχανική αποσάθρωση οδηγεί σε κατατεμαχισμό και θρυμματισμό των βράχων και δημιουργεί κυρίως χονδρόκοκκα εδάφη (χάλικες και άμμους).

Η χημική αποσάθρωση προκαλεί την αποσύνθεση των πετρωμάτων λόγω χημικών διαδικασιών όπως οξείδωση, αναγωγή, υδρόλυση, ενυδάτωση, ενανθράκωση κλπ. Η χημική αποσάθρωση δημιουργεί κυρίως λεπτόκοκκα εδάφη (ιλύς και αργίλος).

Το είδος του παραγόμενου εδάφους εξαρτάται από τον βαθμό μεταφοράς των προϊόντων της αποσάθρωσης των βράχων. Έτσι έχουμε :

- Υπολειμματικά ή αυτόχθονα εδάφη (residual soils): Πρακτικώς δεν υπάρχει μεταφορά των προϊόντων της αποσάθρωσης των βράχων. Ένα παράδειγμα επιτόπου αποσάθρωσης βράχων είναι ο επιφανειακός μανδύας.
- Κορήματα (talus soils): Με μικρή μεταφορά έως τους πρόποδες βουνού μέσω βαρύτητας .
- Ιζηματογενή εδάφη : Με μεταφορά των προϊόντων αποσάθρωσης από το νερό και απόθεση στον πυθμένα θαλασσών ή λιμνών.

Σε ορισμένες περιπτώσεις η μεταφορά των προϊόντων της αποσάθρωσης γίνεται και από τον αέρα (αιολικές αποθέσεις). Η μεταφορά και απόθεση των ιζηματογενών εδαφικών σχηματισμών με το νερό οδηγεί στο διαχωρισμό τους

κατά μέγεθος κόκκων. Έτσι, χονδρόκοκκα ιζήματα (χαλίκια και άμμος) αποτίθενται συνήθως στις κοίτες των ποταμών και σε περιοχές κοντά στις εκβολές τους. Αντίθετα, τα λεπτόκοκκα ιζήματα (ιλύς και άργιλος) μεταφέρονται αιωρούμενα σε μεγάλες αποστάσεις και αποτίθενται με αργό ρυθμό στον πυθμένα των θαλασσών και των λιμνών, μακριά από τις εκβολές των ποταμών, σχηματίζοντας οριζόντιες ή περίπου οριζόντιες στρώσεις. Αρκετά συνηθισμένη είναι και η διαδοχική απόθεση στρώσεων χονδρόκοκκων και λεπτόκοκκων ιζημάτων στην ίδια περιοχή, που οφείλεται είτε σε τεκτονικές κινήσεις του γήινου φλοιού (που συχνά μετατρέπουν κοίτες ποταμών σε πυθμένες ωκεανών και το αντίθετο), είτε στη διαδοχή περιόδων έντονων βροχοπτώσεων και απορροών.

Ανεξάρτητα από τον τρόπο γένεσης, μεταφοράς και απόθεσης των εδαφών, η διάταξη των κόκκων τους δημιουργεί κενά (πόρους) τα οποία, κατά την ιζηματογένεση στους πυθμένες των θαλασσών, επληρούντο με νερό. Στο χρονικό διάστημα, όμως, που μεσολάβησε από την ιζηματογένεση πολλοί εδαφικοί σχηματισμοί βρέθηκαν τελικά πάνω από τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα και το νερό των πόρων αντικαταστάθηκε μερικά ή ολικά από αέρα. Έτσι, σήμερα, τα περισσότερα εδάφη περιέχουν στους πόρους τους και νερό και αέρα.

### **2.1.2. Συστατικά του εδάφους**

Ένα αντιπροσωπευτικό έδαφος αποτελείται από στερεά συστατικά ανόργανης και οργανικής προέλευσης καθώς, επίσης και από χώρους οι οποίοι καταλαμβάνονται από νερό και αέρα. Σε ορισμένο όγκο εδάφους τα ποσοστά συμμετοχής των παραπάνω συστατικών είναι κατά προσέγγιση τα εξής:

Ανόργανα στερεά συστατικά	45%
Οργανικά στερεά συστατικά	5%
Αέρας και νερό	50%

Σε ένα μέσης σύστασης έδαφος, ο αέρας και το νερό συμμετέχουν με το ίδιο ποσοστό.

Η φυσική αποσάθρωση των πετρωμάτων δημιουργεί την λεπτή γη που υποδιαιρείται με βάση την ισοδύναμη διάμετρο σε mm, σε χονδρή άμμο, σε λεπτή άμμο, ιλύ και άργιλο (μηχανικά κλάσματα) (Πίνακας 1).

Επίσης, το μέγεθος των μηχανικών κλασμάτων του εδάφους επιδρά στις χημικές ιδιότητες του εδάφους εξαιτίας των ιδιοτήτων που χαρακτηρίζουν τις επιφάνειες των μικρών εδαφικών σωματιδίων.

Πίνακας 1 Διάμετρος μηχανικών κλασμάτων σε mm.

Κατηγορία μηχανικών κλασμάτων	Ευρωπαϊκό σύστημα	Αμερικανικό σύστημα
Βράχοι	>600	>600
Λίθοι	<b>Σκελετικά υλικά</b> 600 – 200	600 – 200
Πέτρες	200 – 75	75 – 2
Χαλίκια	75 – 2	> 2
Χονδρή άμμος	2 – 0,2	2 – 0,2
Λεπτή άμμος	0,2 – 0,02	0,2 – 0,05
Ιλύς	<b>Λεπτή γη</b> 0,02 – 0,002	0,05 – 0,002
Αργίλλος	< 0,002	< 0,002

\* Το Ευρωπαϊκό σύστημα χρησιμοποιεί το 60 μm ως όρια μεταξύ λεπτής άμμου και ιλύος. Το αμερικάνικο σύστημα χρησιμοποιεί το 50 μm. Για πρακτικούς λόγους η χονδρή και η λεπτή άμμος χαρακτηρίζονται με τον όρο άμμος.

Κάθε κλάσμα μηχανικής σύστασης του εδάφους επηρεάζει με διαφορετικό τρόπο τις φυσικές και χημικές του ιδιότητες, εξαιτίας των διαφορών στην ορυκτολογική τους σύσταση. Κατά κύριο λόγο τα τεμαχίδια της άμμου αλλά και της ιλύος, θεωρούνται αδρανή τεμαχίδια και αποτελούνται συνήθως από πρωτογενή ορυκτά. Κατά κανόνα, τα τεμαχίδια της αργίλου αποτελούνται από δευτερογενή ορυκτά τα οποία εκδηλώνουν αρνητικά φορτία, με αποτέλεσμα να συγκρατούν, υπό ανταλλάξιμη μορφή κυρίως, τα απαραίτητα για την θρέψη των φυτών ανόργανα συστατικά και νερό. Τα τεμαχίδια κυρίως της αργίλου και κατά δεύτερο λόγο της ιλύος και της άμμου δεν βρίσκονται στο έδαφος



μεμονωμένα αλλά συνήθως είναι συγκροτημένα πολλά μαζί σε μεγαλύτερες μονάδες που ονομάζονται συσσωματώματα.

Οι παράγοντες που προβάλλουν την συσσωμάτωση είναι τα υδροξείδια και οξυυδροξείδια του σιδήρου και του αργιλίου, τα διάφορα ανθρακικά άλατα και η οργανική ουσία.

## **2.2. ΟΡΓΑΝΙΚΑ ΥΛΙΚΑ**

Είναι γνωστός ο ρόλος της οργανικής ουσίας στο έδαφος και η επίδρασή της άμεσα ή έμμεσα στην ανάπτυξη και απόδοση των φυτών. Αυτό συμβαίνει διότι η οργανική ουσία του εδάφους ενισχύει την ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων και λειτουργεί σαν δεξαμενή θρεπτικών στοιχείων για την ανάπτυξη της καλλιέργειας (Φουκαράκη,2005).

Η επαρκής και συνεχής (ενσωματωμένη) οργανική ουσία στο έδαφος έχει πολλαπλά ωφέλη, όπως την βελτίωση της δομής και τον αερισμό του εδάφους, την απόδοση κρίσιμων αφομοιώσιμων στοιχείων για τα φυτά, τη δημιουργία οργανικού αζώτου που αποδίδεται βραδύτερα και έτσι περιορίζει σημαντικά την έκπλυση και την αύξηση της υδατοϊκανότητα, ώστε ένα έδαφος που έχει πλούσια οργανική ουσία να απαιτεί λιγότερες αρδεύσεις.

Γενικά, η οργανική ουσία παίζει σημαντικό ρόλο στην διατήρηση της περιεκτικότητας της ατμόσφαιρας σε CO<sub>2</sub> καθώς και στις φυσικές και χημικές ιδιότητες του εδάφους (Σινάνης, 1997)

### **2.2.1. Προέλευση της οργανικής ουσίας**

Η οργανική ουσία του εδάφους προέρχεται από υπολείμματα ή απορρίμματα φυτικής ή ζωικής προέλευσης που ενσωματώνονται στο έδαφος, όπως π.χ. ρίζες, φύλλα, βλαστοί, διάφοροι ζωντανοί ή νεκροί μικροοργανισμοί, κοπριά ζώων κ.τ.λ., ανεξάρτητα από το στάδιο αποσύνθεσής τους.

Τα πετρώματα είναι εκτεθειμένα στους μικροοργανισμούς της ατμόσφαιρας οι οποίοι εγκαθίστανται στις επιφάνειές τους και μεταφέρονται με τον άνεμο ή την βροχή και αφού εγκατασταθούν αρχίζουν να σχηματίζουν αποικίες στις επιφάνειες των πετρωμάτων. Στις περιπτώσεις αυτές, οι οργανισμοί τρέφονται από τα στοιχεία που προέρχονται από την αποσύνθεση καθώς επίσης φωτοσυνθέτουν και παράγουν οργανικές ενώσεις.

Οι ζωντανοί οργανισμοί επιφέρουν χημικές μετατροπές στα φυτικά και ζωικά υπολείμματα. Οι μετατροπές αυτές είναι διασπάσεις και συνθέσεις απλών ενώσεων που είναι απαραίτητες για την θρέψη των φυτών και επιδρούν ευνοϊκά στις φυσικές ιδιότητες του εδάφους.

Ο όρος οργανική ουσία του εδάφους χρησιμοποιείται για όλα τα οργανικά συστατικά του εδάφους (φυτικά και ζωικά υπολείμματα) συμπεριλαμβανομένου και του χούμου. Ο χούμος δεν είναι μόνο το μέρος εκείνο των οργανικών υπολειμμάτων, που εξαιτίας της ανθεκτικότητας των ουσιών στις χημικές διασπάσεις από τις οποίες αποτελείται παρέμεινε αναλλοίωτο ή ελαφρά αλλοιωμένο στο έδαφος, αλλά είναι και το προϊόν χημικών διασπάσεων και αλλοιώσεων, συγχρόνως δε και το προϊόν συνθέσεων που συμβαίνουν στο έδαφος (Μήτσιος, 1999).

### **2.2.2. Χούμος του εδάφους**

Με τον όρο χούμος εννοούμε οργανικά συστατικά, που έχουν υποστεί διαφόρου βαθμού μεταβολές και βρίσκονται σε διάφορα στάδια αποσύνθεσης και ανασύνθεσης νέων συστατικών από τους οργανισμούς του εδάφους (Μήτσιος, 1999).

Οι μικροοργανισμοί του εδάφους αποικοδομούν κάθε νεκρή οργανική ύλη, ώστε τα φυτά να βρίσκουν την τροφή που μπορούν να αφομοιώσουν. Στη

συνέχεια από τα φυτά ζουν τα ζώα και ο άνθρωπος. Τα οργανικά υλικά που συμβάλουν στη θρέψη των φυτών ονομάζονται χούμος (οργανική ουσία του εδάφους).

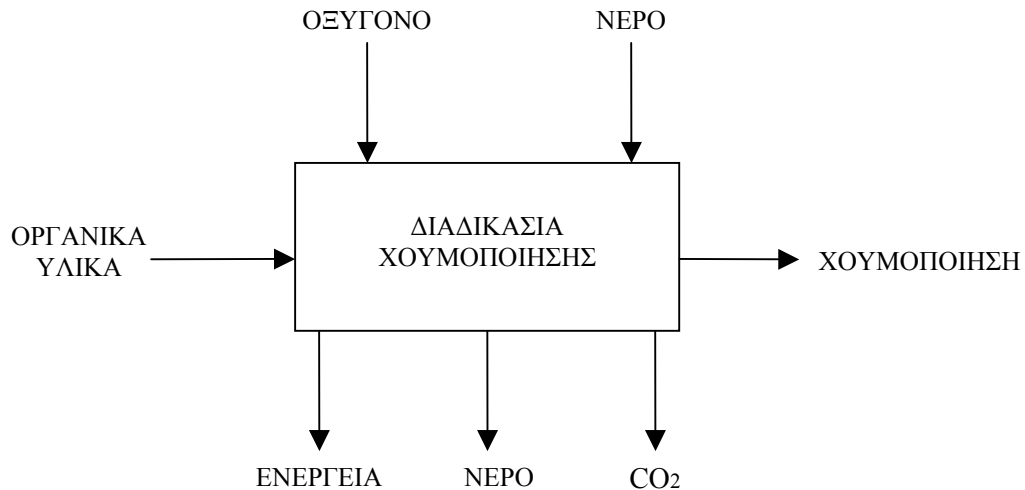
Η διαδικασία της χουμοποίησης είναι μικροβιακή, αερόβια και θερμόφιλη.

Μικροβιακή: Για την διαδικασία της χουμοποίησης είναι υπεύθυνοι ένας μεγάλος, ποικιλόμορφος και πολυπληθέστερος συνδυασμός διαφορετικών μικροοργανισμών (μύκητες, βακτήρια, ζύμες κ.α.) καθώς και οργανισμών κ.α.

Αερόβια: Η παρουσία επαρκούς ποσότητας οξυγόνου είναι αναγκαία για την γρήγορη, αποτελεσματική και χωρίς προβλήματα αποδόμηση της οργανικής ουσίας με την βοήθεια των αερόβιων μικροοργανισμών. Αν η περιεκτικότητα του οξυγόνου έχει πέσει χαμηλότερα από το 1%, οι μικροοργανισμοί που επικρατούν τότε είναι μεθανογενείς και το οξυγόνο αποτελεί τοξικό παράγοντα (Μανιός Θ. 2002).

Θερμόφιλη: Με την μικροβιακή αποδόμηση παράγεται ενέργεια που έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας των υλικών που αποδομούνται.

Κατά την χουμοποίηση διασπώνται πολύπλοκα οργανικά μόρια σε απλούστερες οργανικές ενώσεις ή και οργανικά στοιχεία κάτω από τη δράση των μικροοργανισμών, με ταυτόχρονη απελευθέρωση κυρίως CO<sub>2</sub>, υδρατμών και ενέργειας (Εικόνα 2) (Μανιός Θ. 2002).



Εικόνα 2. Γενική σχηματική εικόνα του ισοζυγίου κατά τη διάρκεια της χουμοποίησης.

Κατά την διάσπαση του χούμου ελευθερώνονται κατιόντα όπως το  $\text{Ca}^{2+}$ , το  $\text{Mg}^{2+}$ , το  $\text{K}^+$ , το  $\text{Mn}^{2+}$  κ.τ.λ. και άλλα στοιχεία όπως το άζωτο, το θείο, τον φώσφορο, το βόριο, το χλώριο, το υδρογόνο και το οξυγόνο.

Ο χούμος των διαφόρων εδαφικών τύπων έχει ιδιαίτερα χαρακτηριστικά εξαιτίας των συνθηκών σχηματισμού του, όπως επίσης με βάση ορισμένες ιδιότητες του χούμου οφείλεται η δημιουργία μερικών πεδολογικών χαρακτηριστικών στις οποίες βασίζεται η ταξινόμηση των εδαφών σε μεγάλες ομάδες. Στη συνέχεια περιγράφονται οι τρεις κύριοι τύποι χούμου (Μήτσιος, 1999).

\* **Χούμος του πρώτου τύπου.** Ο χούμος αυτός είναι χαρακτηριστικός των πολύ εκπλυμένων εδαφών που σχηματίζονται τυπικά από μητρικά υλικά όξινου χαρακτήρα, σε κλιματολογικές συνθήκες με πολλές βροχές και χαμηλές ή υψηλές θερμοκρασίες. Στα εδάφη αυτά ο χούμος βρίσκεται σε μικρά ποσοστά και είναι ευκίνητος με αποτέλεσμα να λαμβάνει μέρος στη εδαφογένεση.

\* **Χούμος του δεύτερου τύπου.** Ο χούμος του τύπου αυτού είναι χαρακτηριστικός των εδαφών που δεν εκπλύνονται και είναι ουδέτερης αντίδρασης. Τα εδάφη αυτά βρίσκονται σε περιοχές με λίγες βροχοπτώσεις και με μέσες θερμοκρασίες. Ο χούμος στα εδάφη των περιοχών αυτών είναι

πλουσιότερος σε χουμικά οξέα με αποτέλεσμα να μην είναι ευκίνητος αλλά αντίθετα να είναι ανενεργός σχετικά με την μετακίνηση των διαφόρων υλικών στα διάφορα σημεία της εδαφικής κατανομής.

\* **Χούμος του τρίτου τύπου.** Ο χούμος του τύπου αυτού χαρακτηρίζεται ουδέτερα ή αλκαλικής αντίδρασης εδάφη με κλίμα και βλάστηση ημερήμου. Στα εδάφη αυτά υπάρχει μικρή ποσότητα χούμου και πτωχού σε χουμικά οξέα.

Επίσης ο χούμος μπορεί να διακριθεί στις παρακάτω κατηγορίες:

1. Εφεδρικός χούμος, που περιλαμβάνει την οργανική ουσία που βρίσκεται στο έδαφος και η οποία δεν έχει χουμοποιηθεί.

2. Σταθερός χούμος, ο οποίος έχει υποστεί κάποια αποσύνθεση, εμφανίζει ορισμένες φυσικοχημικές ιδιότητες και αποσυντίθεται δύσκολα από τους μικροοργανισμούς.

3. Θρεπτικός χούμος, που βρίσκεται σε προχωρημένο στάδιο αποσύνθεσης και εμφανίζεται βιολογικά ενεργός.

### 2.2.3. Σύνθεση της οργανικής ουσίας

Τα φυτικά υπολείμματα αποτελούνται από νερό 20 – 90%, από ανόργανα συστατικά, που αποτελούν την τέφρα και συνίστανται από Ca, Mg κ.τ.λ. 1 – 10% και ανόργανα συστατικά σε ποσότητα μικρότερη του 50% νωπών υπολειμμάτων (Μήτσιος, 1999).

Από τα ανόργανα συστατικά τα σημαντικότερα είναι σύμφωνα με τους Μήτσιος, 1999 και Παπαδάκη, 2003:

I) Υδατάνθρακες: Άμυλο – πηκτίνες – κυτταρίνες – ημικυτταρίνες. Αποτελούν ποσοστό των οργανικών συστατικών με τιμή μεγαλύτερη του 50%.

II) Άζωτούχα συστατικά: Πρωτεΐνες, απλές και σύνθετες, αμινοξέα, πεπτίδια κ.τ.λ. και αποτελούν ποσοστό μικρότερο του 20% της ξηρής ουσίας. Οι πρωτεΐνες είναι το συστατικό που περιέχει άζωτο και θείο που απελευθερώνονται στο έδαφος.

III) Λιγνίνη: Αποτελεί το τρίτο σε περιεκτικότητα οργανικό συστατικό αφού κυμαίνεται μεταξύ του 5 – 30% της ξηρής ουσίας. Παρουσιάζει όξινο χαρακτήρα και βρίσκεται στα κυτταρικά τοιχώματα μαζί με τις κυτταρίνες και τις ημικυτταρίνες.

IV) Λίπη, κήροι, ρητίνες: περιέχονται σε μικρές ποσότητες, μικρότερες του 5%, μέσα στα φυτικά υπολείμματα. Αποτελούν είτε αποθησαυριστικές ουσίες (λίπη), είτε προστατευτικές όπως οι κηροί και οι ρητίνες στις επιφάνειες των φύλλων και στα κωνοφόρα δέντρα αντίστοιχα.

Η κατά προσέγγιση περιεκτικότητα της οργανικής ουσίας στα κυριότερα στοιχεία είναι: C = 47%, O = 44%, H = 7%, N = 2% (Παπαδάκη, 2003).

#### **2.2.4. Αποσύνθεση της οργανικής ουσίας**

Η αποσύνθεση της οργανικής ουσίας επιτυγχάνεται με διάφορες διεργασίες οι οποίες αλληλοκαλύπτονται και ο ρυθμός διάσπασης των οργανικών υλικών στο έδαφος επηρεάζεται από το οξυγόνο, την υγρασία, την θερμοκρασία, το pH του εδάφους, αλλά κυρίως από τη σχέση C/N των υλικών αυτών. Ο άνθρακας αποτελεί δείκτη αποταμιευμένης ενέργειας στο έδαφος για τους μικροοργανισμούς, ενώ το άζωτο αποτελεί βασικό συστατικό των πρωτεϊνών τους.

Η αποδόμηση των οργανικών υλικών είναι μία καθαρά μικροβιακή διαδικασία στην οποία παίρνουν μέρος πλήθος μικροοργανισμών. Οι μικροοργανισμοί αυτοί αποδομούν τις μεγαλομοριακές οργανικές ενώσεις σε απλούστερες μέσω κυρίως των διαδικασιών μεταβολισμού τους.

Η αποσύνθεση της οργανικής ουσίας ξεκινάει με την δράση της μικροπανίδας του εδάφους όπως γαιοσκώληκες, αρθρόποδα (μυρμήγκια, τερμίτες και σκαθάκια) και γαστερόποδα (σαλιγκάρια). Αυτοί οι μικροοργανισμοί τεμαχίζουν το οργανικό υλικό σε μικρότερα τεμαχίδια (Φουκαράκη, 2005).

Στη συνέχεια ακολουθεί η διάσπαση των απλών μορίων (σάκχαρα), κυρίως από βακτήρια που αποτελούν το κυρίαρχο είδος μικροοργανισμών καθόλη τη διάρκεια της αποσύνθεσης (Μανιός, 2002).

Μετά την ολοκλήρωση της παραπάνω φάσης έχουμε την εμφάνιση των μυκήτων και ακτινομυκήτων (μεσόφιλη φάση). Οι μικροοργανισμοί αυτοί προσβάλλουν τα πλέον δύσκολα αποδομούμενα οργανικά μόρια όπως αυτά της κυτταρίνης και της λιγνίνης.

Τέλος ακολουθούν οι διεργασίες μικροβιακής φύσεως όπου γίνεται η ολοκλήρωση της αποδόμησης των οργανικών μορίων και την παραγωγή ενός πλούσιου σε οργανική ουσία υλικό αλλά χωρίς την τοξική δράση που η μεγάλη συγκέντρωση οργανικής ουσίας παρουσιάζει. Το τελικό προϊόν της αποσύνθεσης (χούμος) είναι ένα υλικό άμορφο, χωρίς κυτταρική δομή, με αποτέλεσμα να μην μπορεί να προσδιοριστεί το φυτό ή ο μικροοργανισμός από τα οποία προέκυψε. Είναι σκούρου χρώματος, έχει όξινη αντίδραση και αποτελείται από ένα σύνολο οργανικών ουσιών με διαφορετικές ιδιότητες, διαφορετική διαλυτότητα σε αλκάλια και οξέα και με διαφορετικά μοριακά βάρη.

#### **2.2.5. Περιεκτικότητα της οργανικής ουσίας στο έδαφος.**

Το θεμέλιο της πρωτογενούς παραγωγής είναι το υγιές έδαφος, που είναι ένας ζωντανός οργανισμός, που περιέχει εν δυνάμει όλες τις μορφές ζωής. Στα υποβαθμισμένα εδάφη, που περιέχουν ελάχιστη ποσότητα οργανικής ουσίας, τα φυτά αναγκάζονται να τραφούν από τα υδατοδιαλυτά στοιχεία των λιπασμάτων ελλείψει άλλης τροφής. Έτσι αποκτούν κακή υγεία και δίνουν προϊόντα κακής ποιότητας.

Τα εδάφη που η περιεκτικότητά τους σε οργανική ουσία φτάνει σε ποσοστό μέχρι το 20% χαρακτηρίζονται σαν ανόργανα, ενώ εκείνα στα οποία το ποσοστό αυτό είναι υψηλότερο, χαρακτηρίζονται σαν οργανικά (Σινάνης, 1997).

Η διάσπαση της οργανικής ουσίας στο έδαφος που γίνεται με την βοήθεια των μικροοργανισμών και έχει σαν αποτέλεσμα να εκλύεται CO<sub>2</sub> σε ποσότητες τόσο μεγάλες, έτσι ώστε να θεωρείται η κυριότερη πηγή αναπλήρωσης των απωλειών της ατμόσφαιρας σε CO<sub>2</sub> που συνεπάγεται η φωτοσύνθεση των φυτών. Η τιμή του πηλίκου C/N στους φυτικούς ιστούς (Πίνακας 2) ευνοεί την μικροβιακή δράση, άρα και την διάσπαση της οργανικής ουσίας. Η τιμή αυτή κυμαίνεται από 25/1 έως 30/1. Σε περίπτωση μεγαλύτερης τιμής, οι μικροοργανισμοί αν εξασφαλίσουν από το έδαφος το άζωτο που υπολείπεται, αποδομούν το οργανικό υλικό, διαφορετικά, η δραστηριότητά τους αναστέλλεται έως ότου βρεθεί κάποια πηγή αζώτου που να ικανοποιεί τη σχέση C/N.

Με δεδομένο επίσης, ότι στο έδαφος ο μισός περίπου φώσφορος, το 75% του ολικού θείου και περισσότερο από το 90% του αζώτου, βρίσκονται υπό μορφή οργανικών ενώσεων, η οργανική ουσία μπορεί να θεωρηθεί και σαν σημαντική πηγή των τριών αυτών στοιχείων.

Πίνακας 2 . Ποσοστά C, N και C/N σε οργανικά υλικά σε συνδυασμό με το έδαφος (Φουκαράκη, 2005).

<b>Οργανικό υλικό</b>	<b>% C</b>	<b>% N</b>	<b>C / N</b>
Πριονίδι από πεύκο	50	0,05	600
Πριονίδι από φυλλοβόλα δέντρα	46	0,1	400
Άχυρα σιταριού	38	0,5	80
Υπολείμματα χαρτιού	54	0,9	61
Καλαμπόκι για ζωοτροφή	40	0,7	57
Υπολείμματα ζαχαροκάλαμου	40	0,8	50
Εδαφοκάλυψη με βρώμη	40	1,1	37
<b>Μικροοργανισμοί εδάφους</b>			
Βακτήρια	50	10	5
Ακτινομύκητες	50	8,5	6
Μύκητες	50	5	10

Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα της οργανικής ουσίας σαν πηγή θρεπτικών στοιχείων για τα φυτά είναι ότι τα απελευθερώνουν σταδιακά, καθώς η



διάσπασή της γίνεται σχετικά αργά και με την βοήθεια μικροοργανισμών με αποτέλεσμα να μην γίνεται έκπλυση με το νερό της στράγγισης.

#### **2.2.6. Παράγοντες που επηρεάζουν τα επίπεδα της οργανικής ουσίας στο έδαφος.**

Ο χρόνος που χρειάζεται για να ολοκληρωθεί η διαδικασία της αποσύνθεσης κυμαίνεται από λίγες ημέρες έως μερικά χρόνια και εξαρτάται από τις συνθήκες που επικρατούν μέσα στο έδαφος και από την ποιότητα των φυτικών υπολειμμάτων που προστίθενται στο έδαφος και αποτελούν τροφή για τους μικροοργανισμούς (Φουκαράκη, 2005).

Η τοποθέτηση των υπολειμμάτων μέσα ή πάνω στο έδαφος είναι ένας φυσικός παράγοντας που συμβάλει στα επίπεδα της αποσύνθεσης. Η επιφανειακή εναπόθεση των οργανικών ουσιών επιφέρει χαμηλότερα και περισσότερο διαφοροποιημένα επίπεδα αποσύνθεσης σε σχέση με την ενσωμάτωση των υπολειμμάτων αυτών μέσα στο έδαφος (Φουκαράκη, 2005). Το έδαφος περιέχει ποσότητες μικροχλωρίδας, όπως επίσης ο αέρας και το νερό, και φυσικά και τα οργανικά υπολείμματα. Έτσι, κατά την ενσωμάτωση των υπολειμμάτων αυτών μέσα στο έδαφος, δεν είναι απαραίτητη η επιπλέον προσθήκη μικροβιακού μολύσματος.

Το ποσοστό της οργανικής ουσίας σε ένα έδαφος σχετίζεται με τις κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής, τα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά του εδάφους και τη γεωργική μεταχείρισή του. Έτσι σε περιοχές με ξηροθερμικό κλίμα η περιεκτικότητα των εδαφών σε οργανική ουσία κυμαίνεται συνήθως σε χαμηλά επίπεδα αφού αυτές οι συνθήκες δεν ευνοούν την ανάπτυξη μεγάλης φυτικής βλάστησης και ακόμη η σχηματιζόμενη οργανική ουσία αποδομείται πολύ γρήγορα (Μανιός, Β. et al. 2000). Όσο υγρότερο και ψυχρότερο είναι το κλίμα, τόσο η περιεκτικότητα του εδάφους σε οργανική ουσία είναι μεγαλύτερη. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η υγρασία ευνοεί την μεγαλύτερη αύξηση της φυτικής μάζας με αποτέλεσμα την μεγαλύτερη προσθήκη φυτικής μάζας στο έδαφος. Στα εδάφη της βόρειας και

δυτικής Ευρώπης το ποσοστό της οργανικής ουσίας είναι μεγαλύτερο από 3% με 4%, ενώ σε ανάλογα εδάφη των παραμεσογείων χωρών η περιεκτικότητα σε οργανική ουσία είναι συνήθως μικρότερη από 2% (Μήτσιος, 1999).

Τα εδάφη με ελαφριά σύσταση περιέχουν μικρότερο ποσοστό οργανικής ουσίας ενώ, αντίθετα, εδάφη βαριάς σύστασης (αργιλώδη εδάφη) διατηρούν την οργανική ουσία. Αυτό συμβαίνει διότι στα ελαφριάς σύστασης εδάφη εντείνεται η καλή στράγγιση και ο καλός αερισμός, με αποτέλεσμα την μείωση της περιεκτικότητάς τους σε οργανική ουσία.

Τα διάφορα οργανικά υπολείμματα έχουν συνήθως μια υψηλή αναλογία C/N. Οι μικροοργανισμοί αφομοιώνουν το 1/3 περίπου του μεταβολιζόμενου C και τον υπόλοιπο το ελευθερώνουν ως CO<sub>2</sub>, κατά την αποδόμηση των οργανικών ενώσεων. Η περιεκτικότητα κατά μέσο όρο του μικροβιακού κυττάρου σε C και N είναι 50% και 5% αντίστοιχα, που σημαίνει ότι κατά μέσον όρο η σχέση C/N στο μικροβιακό κύτταρο είναι 10/1. Από τα στοιχεία αυτά προκύπτει ότι η άριστη τιμή της σχέσης C/N στο προς χώνευση υλικό είναι 30/1. Επομένως προκύπτει ότι στην περίπτωση κατά την οποία η αρχική σχέση C/N στο υλικό είναι πάνω από 30/1, είναι αναγκαία η προσθήκη ανόργανου αζώτου και σε τέτοια ποσότητα που να διορθωθεί η ανωτέρω σχέση σε 30/1 και να συνεχιστεί η αποδόμηση των οργανικών υλικών (Μανιός Θ. 2002).

Ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει άμεσα την αποδόμηση των οργανικών υλικών είναι το pH του εδάφους, δεδομένου ότι ασκεί καθοριστικό ρόλο στο φάσμα των αναπτυσσόμενων μικροοργανισμών. Ως άριστο pH για την αποδόμηση των οργανικών υλικών θεωρείται το ελαφρώς αλκαλικό, δεδομένου ότι ευνοεί τη δραστηριότητα των βακτηρίων χωρίς να περιορίζει εκείνη των μυκήτων .

Το μέγεθος των τεμαχιδίων των οργανικών υλικών επηρεάζει σημαντικά την μικροβιακή δραστηριότητα, αφού τα μικρά τεμαχίδια αυξάνουν την δυνάμενη επιφάνεια που είναι ικανή να προσβληθεί από τα εξωκυτταρικά ένζυμα των μικροοργανισμών χωρίς αυτό να σημαίνει ότι είναι επιθυμητό να είναι σε κατάσταση σκόνης.

Η αποσύνθεση της οργανικής ουσίας στο έδαφος, εκτός από τους παραπάνω παράγοντες, εξαρτάται και από την ποσότητα της θερμοκρασίας και της υγρασίας που υπάρχει στο έδαφος. Η θερμοκρασία παίζει σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη των μικροοργανισμών του εδάφους. Η βέλτιστη θερμοκρασία κυμαίνεται μεταξύ 25°C και 35°C. Επίσης, όταν η υγρασία είναι ικανοποιητική επικρατούν στο έδαφος αερόβιες συνθήκες και είναι επίσης ικανοποιητική και η ανάπτυξη των μικροοργανισμών. Όταν το έδαφος καλύπτεται με νερό τότε επικρατούν αναερόβιες συνθήκες και οι μικροοργανισμοί δεν μπορούν να επιζήσουν.

### **2.2.7. Οργανικά εδάφη**

Οργανικά χαρακτηρίζονται τα εδάφη που σχηματίζονται σε συνθήκες με κακή στράγγιση και σε υγρά ή μετρίως υγρά κλίματα διότι, ευνοούν την παραγωγή και την συσσώρευση μεγάλων ποσοτήτων οργανικών υλικών. Τα εδάφη αυτά περιέχουν μεγάλα ποσά (>20% και μέχρι 80%) οργανικής ουσίας.

Επίσης παρουσιάζουν μικρή αφομοιωσιμότητα των στοιχείων από τα φυτά που οφείλεται στην υψηλή υγρασία, μεγάλη ικανότητα συγκράτησης νερού και στην ύπαρξη χουμικών ενώσεων μικρού βαθμού πολυμερισμού. Παρόλα αυτά τα εδάφη παρουσιάζουν υψηλή γονιμότητα και έχουν χαμηλή φαινομενική πυκνότητα (μικρότερη από 0,5g.cm<sup>-3</sup>), που έχει μεγάλη σημασία για την αύξηση του ριζικού συστήματος των φυτών. Σε συνθήκες ξηρασίας παρουσιάζεται εύκολα διάβρωση του οργανικού εδάφους.

Έχουν μεγάλη περιεκτικότητα σε άζωτο και θείο και μεγαλύτερες τιμές C/N (>20) από εκείνες που παρατηρούνται στα ανόργανα εδάφη. Παρουσιάζουν μεγάλη ειδική επιφάνεια, μέχρι και 3000 m<sup>2</sup>g<sup>-1</sup>) καθώς και μεγάλη ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων, η οποία ευνοεί τη προσρόφηση κατιόντων και κυρίως αυτών του ασβεστίου.

Στα οργανικά εδάφη παρατηρείται χαμηλή κατά βάρος περιεκτικότητα σε κάλιο, φώσφορο και μαγνήσιο. Επίσης, η διαθεσιμότητα του χαλκού βρίσκεται

σε χαμηλά επίπεδα, μερικές δε φορές το ίδιο παρατηρείται για το μαγγάνιο και τον ψευδάργυρο.

### 2.3. ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ

Βαρέα μέταλλα ονομάζονται τα στοιχεία του περιοδικού συστήματος με ατομικό βάρος μεγαλύτερο αυτού του Fe και με πυκνότητα (d) μεγαλύτερη από 5g/cc (Κράκα et al) (Πίνακας 3 και 4).

Πίνακας 3. Ομάδα του περιοδικού συστήματος, πυκνότητα και ατομικό βάρος βαρέων μετάλλων (Κράκα et al.1990)

Ομάδα περιοδικού συστήματος	IB	IB	IB	IIB	IIB	IIB	IVA	IVA	VIII	VIII	VII	VIB	VIIIB	VIII
Βαρέα μέταλλα	Cu	Ag	Au	Zn	Cd	Hg	Pb	Sn	Fe	Co	Ni	Cr	Mn	Pt
Πυκνότητα (d)	8.96	10.5	19.3	7.14	8.65	13.6	11.4	7.3	7.86	8.9	8.9	7.19	7.43	21.4
Ατομικό βάρος	63.54	107.87	196.967	65.37	112.4	200.59	207.19	118.69	55.847	58.93	58.7	51.996	54.938	195.09

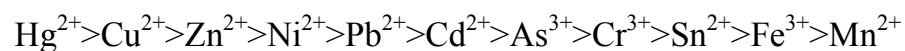
Πίνακας 4. Πυκνότητα και ατομικό βάρος βαρέων μετάλλων (Παπαδάκη Αναστασία, 2003)

Βαρέα μέταλλα	Σύμβολο	Πυκνότητα (d) (g/cm <sup>3</sup> )	Ατομικό βάρος	
Antimony	Αντιμόνιο	Sb	6,6	121,76
Bismuth	Βισμούθιο	Bi	9,8	208,98
Cadmium	Κάδμιο	Cd	8,6	112,41
Chromium	Χρώμιο	Cr	7,2	51,99
Cobalt	Κοβάλτιο	Co	8,9	58,93
Copper	Χαλκός	Cu	9,0	63,54

Gold	Χρυσός	Au	19,3	196,97
Iron	Σίδηρος	Fe	7,9	55,85
Lead	Μόλυβδος	Pb	11,3	207,2
Manganese	Μαγγάνιο	Mn	7,4	54,94
Mercury	Υδράργυρος	Hg	13,6	200,59
Molybdenum	Μολυβδαίνιο	Mo	10,2	95,94
Nickel	Νικέλιο	Ni	8,9	58,69
Osmium	Όσμιο	Os	22,5	190,23
Platinum	Λευκόχρυσος	Pt	21,5	195,09
Selenium	Σελήνιο	Se	7,3	78,96
Silver	Άργυρος	Ag	10,5	107,86
Tin	Κασσίτερος	Sn	7,3	118,71
Tungsten	Βολφραμίμο	W	19,3	183,84
Uranium	Ουράνιο	U	18,7	238,07
Vanadium	Βανάδιο	V	6,1	50,95
Zinc	Ψευδάργυρος	Zn	7,2	65,39
Zirconium	Ζιρκόνιο	Zr	6,5	91,22

Πολλά από αυτά τα μέταλλα σε μικρές ποσότητες είναι απαραίτητα για τη δράση των βιταμινών και τις ζωτικές λειτουργίες. Σε μεγάλες ποσότητες, αντίθετα, προκαλούν σειρά δυσμενών επιδράσεων. Συνήθως μεταφέρονται μέσω των αστικών λυμάτων και των βιομηχανικών καταλοίπων με τα νερά της βροχής ή των ποταμών ενώ δεν βιοαποδομούνται, αλλά τελικώς καθιζάνουν.

Η σειρά τοξικότητας για τα διάφορα μέταλλα που βρίσκονται στο έδαφος δίδεται ως εξής :



Η τοξικότητα των βαρέων μετάλλων εξαρτάται από τη συγκέντρωσή τους, το είδος του μετάλλου, την ύπαρξη και συνεργατική δράση άλλων μετάλλων, το είδος του οργανισμού και την μορφή με την οποία είναι διαθέσιμα στο περιβάλλον. Συγκεκριμένα, ορισμένα όπως ο σίδηρος (Fe) και το τρισθενές χρώμιο (Cr(III)) αποτελούν απαραίτητα ιχνοστοιχεία για τον ανθρώπινο οργανισμό, ενώ άλλα όπως ο υδράργυρος (Hg), το κάδμιο (Cd), ο μόλυβδος

(Pb), το νικέλιο(Ni) και το αρσενικό (As) παρουσιάζουν πολύ υψηλή τοξικότητα ακόμη και σε χαμηλές συγκεντρώσεις (Στασινάκης. 2003).

### 2.3.1. Περιεκτικότητα βαρέων μετάλλων στο έδαφος

Τα βαρέα μέταλλα βρίσκονται στο επιφανειακό έδαφος σε μικρές σχετικά συγκεντρώσεις σαν συστατικά ανόργανων ή οργανικών ενώσεων και σαν προσροφημένα ιόντα στα κolloειδή του. Για παράδειγμα το Cd και ο Hg, σε τυπικά εδάφη, υπάρχουν σε μικρές ποσότητες ενώ, το Ni και ο Pb κυμαίνονται από 10 – 100 mg/Kg και 16 – 50 mg/Kg αντίστοιχα (Πίνακας 5.) (Κράκα et al). Η περιεκτικότητά τους στο χώμα εξαρτάται από την μόλυνση των υπόγειων και επιφανειακών νερών, από τη γεωλογική προέλευση του εδάφους, τις συγκεντρώσεις στον αέρα και κυρίως από τις ανθρώπινες δραστηριότητες (απόθεση βιομηχανικών αποβλήτων, δημιουργία μεγάλων αστικών κέντρων κ.τ.λ.). Οι Fleischer, Williams και David αναφέρουν ότι σημαντικές πηγές Cd στο έδαφος είναι τα φωσφορικά λιπάσματα και οι ποσότητες κόμποστ λάσπης βιολογικού καθαρισμού (Κράκα et al).

Πίνακας 5. Περιεκτικότητα διαφόρων εδαφών σε βαρέα μέταλλα και ανώτατα όρια ανοχής σε mg/Kg ξηρού εδάφους (Κράκα et al. 1990).

Στοιχεία	Αργιλλώδη εδάφη		Αμμώδη εδάφη		Επιφανειακό	Ανεκτά όρια
					έδαφος	επιφανειακού εδάφους
Zn	117	151	44	14	10 – 50	300
Cu	23	77	11	2	5 – 20	100
Cr	78	69	26	19	10 – 50	100
Ni	33	42	5	8	10 – 50	50
Pb	43	56	31	17	0.1 – 20	100

Cd	0.5	1.1	0.3	0.3	0.1 – 1	5
Hg	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1 – 1	5
As	14	11.6	2	2	2 – 20	20
Mn	-	1024	-	67	-	-

Για τη χρήση της ιλύος στην γεωργία, παρατηρείται συσσώρευση των βαρέων μετάλλων στο ανώτερο στρώμα του εδάφους (κύρια μέχρι 10cm). Επειδή όμως οι δασικές εκτάσεις είναι πολλές φορές όξινες, έχουν σαν αποτέλεσμα την αύξηση της κινητικότητας των μετάλλων.

#### Σίδηρος, Fe

Προσλαμβάνεται σαν δισθενές ή τρισθενές κατιόν ( $Fe^{++}$ ,  $Fe^{+++}$ ), αλλά συνηθέστερα σαν δισθενές (Τσαπικούνης.1997). Η έλλειψη σιδήρου ευνοείται σε εδάφη με υψηλό pH και πλούσια σε ασβέστιο, ή σε εδάφη με χαμηλό pH και πλούσια σε φώσφορο. Επίσης την έλλειψή του την ευνοούν τα αμμώδη και οργανικά εδάφη.

Η περίσσεια σιδήρου ευνοεί την τροφοπενία του μαγγανίου (Mn), ενώ αντιμετωπίζεται ικανοποιητικά με την ρύθμιση του pH.

#### Μαγγάνιο, Mn

Το μαγγάνιο βρίσκεται στο έδαφος και προσλαμβάνεται από το ριζικό σύστημα των φυτών σαν κατιόν ( $Mn^{++}$ ). Η έλλειψή του ευνοείται από εδάφη με υψηλή αλατότητα, υψηλό pH και κακή στράγγιση. Επίσης, αμμώδη και οργανικά εδάφη ή εδάφη με έντονη εκμετάλλευση θα οδηγήσουν πιθανόν σε έλλειψη του εν λόγω στοιχείου. Συχνά αντιμετωπίζεται τοξικότητα μαγγανίου σε εδάφη με χαμηλό pH.

#### Ψευδάργυρος, Zn

Η συγκέντρωση του ψευδάργυρου στο έδαφος αλλάζει και κυμαίνεται από 38 μέχρι 100 p.p.m., και εξαρτάται από τον τύπο του εδάφους. Προσλαμβάνεται από τα φυτά σαν κατιόν ( $Zn^{++}$ ).

Τα αμμώδη ή οργανικά εδάφη ευνοούν την έλλειψη ψευδαργύρου. Επίσης, εδάφη αλκαλικής αντίδρασης και με υψηλά επίπεδα αφομοιώσιμου φωσφόρου ευνοούν την εμφάνιση τροφοπενιών.

#### Χαλκός

Είναι ένα δυσκίνητο στοιχείο που βρίσκεται στο έδαφος και προσλαμβάνεται από τα φυτά σαν κατιόν ( $\text{Cu}^{++}$ ). Αμμώδη και οργανικά εδάφη ή εδάφη με έντονη εκμετάλλευση ευνοούν την έλλειψη χαλκού.

#### Μολυβδαίνιο, Mo

Το μολυβδαίνιο (Mo) βρίσκεται στο έδαφος και προσλαμβάνεται από τα φυτά σαν μολυβδαινικό ανιόν ( $\text{Mo}^-$ ). Η παρουσία υψηλών συγκεντρώσεων στο έδαφος, ψευδαργύρου (Zn), χαλκού (Cu), νικελίου (Ni), καθώς και θεικών, μειώνει την πρόσληψή του από τα φυτά. Αμμώδη και οργανικά εδάφη και εδάφη με έντονη εκμετάλλευση ευνοούν την έλλειψή του.

#### Βόριο, Bo

Τα όρια επάρκειας του βορίου στο έδαφος είναι σε πολύ χαμηλές τιμές, περίπου 0,5 ppm. Τιμές μεγαλύτερες από 1 ppm θεωρούνται υψηλές και γενικά είναι πιθανόν το στοιχείο να δράσει τοξικά στα φυτά.

Ελαφριά εδάφη και εδάφη με έντονη έκπλυση ευνοούν την έλλειψη του βορίου ενώ, εδάφη με υψηλά επίπεδα  $\text{Ca}^{++}$  και  $\text{PO}_4^{--}$  μειώνουν την απορρόφησή του από τα φυτά. Τέλος, την πρόσληψη βορίου την επηρεάζουν το pH, τα ορυκτά της αργίλου και οι οργανικές ουσίες. Αύξηση του pH πέραν του 6,3 – 6,5 συνεπάγεται απότομη μείωση του διαθέσιμου στα φυτά βορίου.

Τα βαρέα μέταλλα μπορεί να αποτελέσουν δυνητικές τοξικές ουσίες για τα φυτά και τους ζωντανούς οργανισμούς. Ανάλογα με την τοξικότητά τους, τα βαρέα μέταλλα διακρίνονται σε δύο κατηγορίες (Ανδρεαδάκης)

1. Αυτά που είναι τοξικά για τα φυτά και μπορούν να προκαλέσουν σοβαρή μείωση στην παραγωγή.

2. Αυτά που δεν προκαλούν προβλήματα στην ανάπτυξη των φυτών, αλλά μπορεί να προκαλέσουν σημαντικές οργανικές βλάβες στους ανθρώπους και τα ζώα που τα καταναλώνουν ή καταναλώνουν άμεσα τα μέταλλα αυτά.



### 2.3.2. Περιεκτικότητα βαρέων μετάλλων σε οργανικά υλικά

Είναι γνωστό ότι τα βαρέα μέταλλα εντοπίζονται κυρίως στα οργανικά υλικά που προστίθενται στο έδαφος, καθώς και στα λιπάσματα που χορηγούνται σε αυτό. Οι κύριες και δευτερεύουσες πηγές βαρέων μετάλλων παρουσιάζονται στον πίνακα 6. Είναι βέβαιο ότι για να αυξηθεί η συγκέντρωση βαρέων μετάλλων στο έδαφος, θα πρέπει να προστεθούν σε αυτό κυρίως ορισμένα λιπάσματα (οργανικά και ανόργανα). Δευτερευόντως, η αύξηση των βαρέων μετάλλων στο έδαφος οφείλεται στο περιβάλλον ή από την αποσάθρωση των ορυκτών και των πετρωμάτων του εδάφους (Παπαδάκη, 2003).

Το χρώμιο και ο μόλυβδος παρουσιάζουν πολύ μικρή κινητικότητα στο έδαφος καθώς απορροφούνται από την οργανική ύλη του εδάφους. Σε ορισμένες περιπτώσεις, η προσθήκη ιλύος σε αγροτικά εδάφη μπορεί να προκαλέσει μείωση της περιεκτικότητας των φυτών σε μόλυβδο καθώς αυξάνεται η δημιουργία συμπλόκων ενώσεων μολύβδου και οργανικών ενώσεων που περιέχονται στην ιλύ ( Ανδρεαδάκης).

Πίνακας 6. Πηγές βαρέων μετάλλων στο έδαφος (Παπαδάκη, 2003, Fergusson, 1990).

Πηγές	Στοιχεία
<i>Κύριες πηγές</i>	
Λιπάσματα (π.χ. φωσφορικά)	Cd, Pb, As
Ασβέστης	As, Pb
Εντομοκτόνα	Pb, As, Hg
Ιλύς βιολογικού καθαρισμού	Cd, Pb, As
Πότισμα	Cd, Pb, As
Κοπριά	As, Se
<i>Δευτερεύουσες πηγές</i>	
Καυσαέρια αυτοκινήτων	Pb
Χυτήρια	Pb, Cd, Sb, As, Se, In, Hg
Κλίβανοι αποτέφρωσης	Pb, Cd
Περιοχές μεταλλίων	Pb, Cd, As, Hg

Ελαστικά τροχών	Cd
Χρώματα (διαβρωμένα)	Pb, Cd
Θάλασσα	Se
Απορρίμματα	Pb, Cd, As
Αερολύματα	Pb, As, Cd, Se
Καρβουνοκάμινια	As, Se, Sb, Pb
Cloroalkalicell	Hg

### 2.3.3. Επίδραση των βαρέων μετάλλων στα φυτά

Τα περισσότερα βαρέα μέταλλα είναι απαραίτητα για την κανονική ανάπτυξη των φυτών. Παρ' όλο που τα απαιτούμενα αυτά στοιχεία σε μεγάλη ποσότητα ήταν γνωστά από το παρελθόν, η εξακρίβωση των απαραίτητων ιχνοστοιχείων έγινε πολύ αργότερα (1920 – 1939), εκτός από τον σίδηρο ο οποίος αναγνωρίστηκε ως απαραίτητο στοιχείο για τη θρέψη των φυτών πολύ νωρίτερα (1844 – 1845) (Παπαδάκη. 2003). Τα βαρέα μέταλλα, λοιπόν, που ανήκουν στα απαραίτητα ιχνοστοιχεία για τα φυτά είναι ο σίδηρος, ο χαλκός, το μαγγάνιο, ο ψευδάργυρος και το μολυβδαίνιο.

#### Ο ρόλος των βαρέων μετάλλων στα φυτά

##### Σίδηρος

Ένας μεγάλος αριθμός βασικών συστατικών στα φυτά, περιέχει σίδηρο. Στις ενώσεις αυτές, ο σίδηρος παίζει σημαντικό οξειδοαναγωγικό ρόλο όπως επίσης και στις αντιδράσεις μετατροπής ενέργειας (φωτοσύνθεση και αναπνοή). Επίσης συμβάλλει στη σύνθεση της χλωροφύλλης και για τον λόγο αυτό σε περιπτώσεις έλλειψης παρατηρούνται χλωρωτικά φαινόμενα.

Ο σίδηρος παίρνει μέρος στο μόριο των σιδηροπρωτεϊνών, καταλάση, κυτόχρωμα a, b, c, φεροδοξίνη και περοξειδάση, των κυτοχρωμάτων, της φερεδοξίνης και της καταλάσης (Παπαδάκη. 2003, Τσαπικούνης. 1997). Τέλος απαντάται στα ένζυμα νιτρικής και νιτρώδους αναγωγάσης που παίρνουν μέρος στην μετατροπή των νιτρικών σε αμμωνία και στο ένζυμο νιτρογενάση που είναι υπεύθυνο για την αζωτοδέσμευση.

### Ψευδάργυρος

Είναι στοιχείο που χρειάζεται από όλα τα φυτά. Στο έδαφος υπάρχει σε ποσότητες που είναι ικανοποιητικές για την αύξηση των φυτών.

Θεωρείται ότι παίζει σπουδαίο ρόλο στις οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις και ότι είναι απαραίτητο συστατικό δια την σύνθεση της θρυπτοφάνης, η οποία αποτελεί πρόδρομο μορφή του IAA. Ο ψευδάργυρος δρα ως μεταλλικό συστατικό των ενζύμων, είτε ως λειτουργικός, δομικός ή ρυθμιστικός συμπαράγοντας μεγάλου αριθμού ενζύμων. Επίσης σχετίζεται με τον μεταβολισμό των υδατανθράκων, των πρωτεϊνών, των αυξινών και του RNA (Καραταγλής. 1994), και είναι συστατικό των μεταλλοενζύμων όπως: αλκοολική αφυδρογονάση, αφυδρογονάση του γλουταμινικού οξέος, 3-P αφυδρογονάση της D-γλυκεριναλδεΐδης κ.α. (Παπαδάκη. 2003).

### Μαγγάνιο

Τα φυτά παραλαμβάνουν το μαγγάνιο από το έδαφος σε μορφή κατιόντων  $Mn^{2+}$  και με την ίδια μορφή μεταφέρονται από την ρίζα στον βλαστό.

Το μαγγάνιο συμμετέχει στην φωτοσυνθετική απελευθέρωση του οξυγόνου στο φωτοσύστημα II. Επίσης περιέχεται στο ένζυμο υπεροξειδική δισμουτάση (SOD) που συμμετέχει στην φωτόλυση του νερού και προστατεύει το φωτοσυνθετικό μηχανισμό από τις δηλητηριώδεις επιδράσεις του οξυγόνου. Τέλος, το μαγγάνιο θεωρείται ενεργοποιητής μερικών ενζύμων του κύκλου του Krebs και συνεπώς είναι καθοριστικό για τον μεταβολισμό των υδατανθράκων.

### Χαλκός

Ο χαλκός βρίσκεται στο έδαφος σχεδόν αποκλειστικά με την μορφή των δισθενών κατιόντων του  $Cu^{2+}$ . Η μέση τιμή του στο έδαφος δεν ξεπερνά τα 10 – 20 ppm (Καραταγλής. 1994), ενώ τα μεγαλύτερα ποσοστά του είναι συνήθως ενωμένα με μικρού μοριακού βάρους οργανικά υλικά. Συνεπώς οι μεγαλύτερες ποσότητες του χαλκού που βρίσκονται στο έδαφος, διατίθενται με μορφή που δεν είναι άμεσα διαθέσιμη στα φυτά. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να παραλαμβάνουν από το έδαφος πολύ μικρές ποσότητες χαλκού.

Στα φυτά, οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις, εντοπίζονται στα φύλλα και ειδικότερα στους χλωροπλάστες. Διαπιστώθηκε ότι περίπου το 70% του συνολικού χαλκού των φύλλων απαντάται στους χλωροπλάστες (Καραταγλής, 1994).

Ο χαλκός αποτελεί σημαντικό συστατικό μερικών πρωτεϊνών και μερικών ενζύμων, όπως της πλαστοκυανίνης, της υπεροξειδικής δισμουτάσης (SOD), της κυτοχρωμικής οξειδάσης, της ασκορβικής οξειδάσης και της φαινολάσης. Επίσης είναι ενεργοποιητής ενζύμων και συμμετέχει, σαν συστατικό ενζύμων, σε οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις.

### Μολυβδαίνιο

Τα περισσότερα εδάφη περιέχουν ικανοποιητικές και σε διαθέσιμη μορφή ποσότητες μολυβδαινίου. Η κυριότερη μορφή με την οποία προσλαμβάνεται από τα φυτά είναι η  $\text{MoO}_4^{-2}$ . Το μολυβδαίνιο αναγνωρίζεται ως ένα από τα βασικότερα μικροστοιχεία, παρόλο που οι απαιτήσεις των φυτών είναι χαμηλότερες από οποιοδήποτε άλλο στοιχείο.

Το μολυβδαίνιο παίζει σπουδαίο ρόλο στα ενζυμικά συστήματα που συμμετέχουν στη δέσμευση και στη μεταφορά του αζώτου. Επίσης περιέχεται σε ορισμένα ένζυμα όπως είναι η οξειδάση/δεϋδρογονάση της ξανθίνης, η νιτρική ρεδοκτάση και η νιτρογενάση. Τέλος, παίζει σημαντικό ρόλο στην αναγωγή των νιτρικών μέσα στο φυτό ( $\text{NO}^{-3} \rightarrow \text{NH}^{+4}$ ).

### Βόριο

Το βόριο χρειάζεται για την σύνθεση αζωτούχων βάσεων, μεταξύ των οποίων και η ουρακίλη, η οποία είναι βασικό συστατικό του RNA καθώς και για την σύνθεση του DNA και στη γλυκόλυση. Επίσης συμμετέχει στην μεταφορά των σακχάρων κατά μήκος των κυτταρικών μεμβρανών των φυτών. Παίζει σημαντικό ρόλο στην κυτταροδιαίρεση και στην σύνθεση πηκτίνης, ενώ ασκεί ρυθμιστικό ρόλο στη δραστηριότητα της πολυφαινολάσης.

### Κοβάλτιο

Το κοβάλτιο είναι απαραίτητο στα συμβιωτικά αζωτοδεσμευτικά βακτήρια (ριζόβια) των ψυχανθών. Είναι, επίσης, απαραίτητο για το σχηματισμό της

βιταμίνης B<sub>12</sub> (κυανοκαβαλαμίνης), οποία είναι σημαντική για τον σχηματισμό της αιμογλοβίνης, η οποία απαιτείται για την δέσμευση του O<sub>2</sub>.

Γίνεται λοιπόν σαφές ότι υπάρχουν βαρέα μέταλλα που είναι απαραίτητα στοιχεία για τη θρέψη των φυτών (Πίνακας 7). Απαιτούνται όμως σε μικρές ποσότητες έναντι άλλων και γι' αυτό ανήκουν στα μικροστοιχεία.

Πίνακας 7. Μέσος όρος Βαρέων μετάλλων στα φυτά (Fergusson. 1990).

Στοιχείο	Φαγώσιμα φυτά (μg g <sup>-1</sup> )
As	0,01 – 1,15
Bi	≈ 0,06
Cd	0,05 – 2,0
Hg	0,013 – 0,17
In	0,001
Pb	0,2 – 20
Sb	0,0001 – 0,2
Se	0,001v – 0,5
Te	0,013 – 0,35
Tl	0,03 – 0,3

### **Επιπτώσεις των βαρέων μετάλλων στα φυτά**

#### Αργίλιο, Al

Το αργίλιο μπορεί να προκαλέσει σημαντική μείωση της απόδοσης σε όξινα εδάφη με pH<5,5. Σε εδάφη με pH>7 τα ιόντα του αργιλίου καθιζάνουν και για τον λόγο αυτό δεν προκαλούν τοξικά συμπτώματα στα φυτά.

#### Κάδμιο, Cd

Το κάδμιο προκαλεί τοξικά συμπτώματα στα παντζάρια, στα ζαχαρότευτλα, στα φασόλια, όταν περιέχεται στο νερό άρδευσης ή σε θρεπτικά διαλύματα σε συγκεντρώσεις 0,1 mg/l. Συσσωρεύεται στα φυτά και στα εδάφη σε συγκεντρώσεις επικίνδυνες για τον άνθρωπο.

### Κοβάλτιο, Co

Το κοβάλτιο σε συγκεντρώσεις 0,1 mg/l σε θρεπτικά διαλύματα προκαλεί τοξικά συμπτώματα στην τομάτα. Αντίθετα, σε ουδέτερα και αλκαλικά εδάφη καθίστανται αδρανές.

### Χαλκός, Cu

Ο χαλκός προκαλεί τοξικά συμπτώματα στα φυτά όταν οι συγκεντρώσεις του στο νερό άρδευσης κυμαίνονται από 0,1 mg/l σε 1,0 mg/l.

### Σίδηρος, Fe

Όταν τα φυτά αναπτύσσονται σε καλά αεριζόμενα εδάφη, ο σίδηρος δεν προκαλεί φαινόμενα τοξικότητας.

### Μόλυβδος, Pb

Όταν παρατηρηθούν υψηλές συγκεντρώσεις μολύβδου στα εδάφη, τότε παρατηρείται παρεμπόδιση της ανάπτυξης των φυτικών κυττάρων.

### Μαγγάνιο, Mn

Το μαγγάνιο βρίσκεται σε υψηλές συγκεντρώσεις στα όξινα εδάφη και προκαλεί προβλήματα σε πολλά φυτά, ακόμα και σε χαμηλές συγκεντρώσεις.

### Μολυβδαίνιο, Mo

Το μολυβδαίνιο δεν προκαλεί τοξικά συμπτώματα στα φυτά σε κανονικές συγκεντρώσεις. Αντίθετα, είναι επικίνδυνο στοιχείο για τους ζωντανούς οργανισμούς (ζώα, άνθρωπο), που τρέφονται με τροφές προερχόμενες από εδάφη που περιέχουν μόλυβδο σε υψηλές συγκεντρώσεις.

### Νικέλιο, Ni

Σε ουδέτερα και αλκαλικά εδάφη, το νικέλιο δεν προκαλεί τοξικά συμπτώματα στα φυτά. Αντίθετα, όταν στο νερό άρδευσης υπάρχουν συγκεντρώσεις 0,5 – 1 mg/l, παρατηρούνται τοξικότητες.

### Σελήνιο, Se

Το σελήνιο προκαλεί τοξικά συμπτώματα στα φυτά ακόμα και σε χαμηλές συγκεντρώσεις των 0,025 mg/l στο νερό άρδευσης.

### Κασσίτερος, Sn και Βολφάμιο, W

Τα στοιχεία αυτά (κασσίτερος και βολφράμιο), δεν είναι απαραίτητα για τη θρέψη των φυτών, ενώ είναι άγνωστη η αντοχή των φυτών στα στοιχεία αυτά (Μήτσιος, 1999).

#### Βανάδιο, V

Το βανάδιο προκαλεί τοξικά συμπτώματα στα φυτά ακόμα και σε χαμηλές συγκεντρώσεις..

#### Ψευδάργυρος, Zn

Ο ψευδάργυρος προκαλεί σε μεγάλο εύρος συγκεντρώσεων τοξικότητες στα φυτά. Σε εδάφη με  $pH > 6,0$  δεν προκαλεί τοξικά συμπτώματα, όπως επίσης δεν έχουν παρατηρηθεί τοξικότητες σε ελαφριάς σύστασης εδάφη και σε οργανικά εδάφη.

### **2.3.4. Επίδραση των βαρέων μετάλλων στον άνθρωπο**

Τα βαρέα μέταλλα μπορούν να βλάψουν τα φυτά, τα ζώα και τον άνθρωπο με τη πρόσληψή τους από τα φυτά και την είσοδό τους στις τροφικές αλυσίδες, με την άμεση πρόσληψη από τα ζώα κατά την βοσκή και με τη ρύπανση επιφανειακών και υπόγειων υδάτινων στρωμάτων. Ορισμένα φυτά δεσμεύουν τα βαρέα μέταλλα με τη μορφή χηλικών συμπλοκών με οργανικά μόρια χαμηλού Μοριακού Βάρους..

#### **Ο ρόλος των βαρέων μετάλλων στον άνθρωπο**

##### Σίδηρος

Ο σίδηρος συνδέεται στενά με τις οξειδο-αναγωγικές αντιδράσεις που παίρνουν μέρος στους ζωντανούς οργανισμούς. Συνδυάζεται με την σφαιρίνη (πρωτεΐνη) και σχηματίζει την αιμοσφαιρίνη. Βρίσκεται στο συκώτι, στην σπλήνα, στον μυελό των οστών και επίσης, σαν συστατικό των οστών.

##### Μαγγάνιο

Το μαγγάνιο παίζει σπουδαίο ρόλο στη σύνθεση των γλυκοπρωτεϊνών (συνδυασμός σακχάρων και πρωτεϊνών) στα κύτταρα του ανθρώπινου

σώματος. Οι γλυκοπρωτεΐνες προστατεύουν τα κύτταρα του ανθρώπου από την εισβολή των ιών.

### Ψευδάργυρος

Ο ψευδάργυρος παίρνει μέρος στην σύνθεση των πρωτεϊνών και των νουκλεϊκών οξέων και επίσης, θεωρείται ως ασπίδα του ανθρώπινου οργανισμού απέναντι σε μικρόβια και ιούς, λόγω της αύξησης των λευκών αιμοσφαιρίων. Τέλος ο ψευδάργυρος εμφανίζεται ως συστατικό στοιχείο περισσότερων από ογδόντα σωματικών ενζύμων και ορμονών.

### Χρώμιο

Το τρισθενές χρώμιο ( $Cr^{+3}$ ) είναι πολύ σημαντικό στοιχείο για τον ανθρώπινο οργανισμό, διότι επιτρέπει στους μύες να παίρνουν τα σάκχαρα από το αίμα. Επίσης ενισχύει τον ρόλο της ινσουλίνης.

### Σελήνιο

Το σελήνιο δρα σαν αντιοξειδωτικό στα κύτταρα και στους ιστούς του ανθρώπου, προστατεύοντάς τα από τις συνέπειες της οξειδωσης. Επίσης παρεμποδίζει το σχηματισμό καρκίνου.

### Μολυβδαίνιο

Το μολυβδαίνιο είναι απαραίτητο για την υγεία του ανθρώπου, διότι είναι συστατικό τριών ενζυμικών συστημάτων που σχετίζονται με τον μεταβολισμό των θερμιδογόνων ουσιών.

### Χαλκός

Ο χαλκός προστατεύει τον οργανισμό από οξειδωτικές ουσίες και επίσης, αποτελεί συστατικό πολλών ενζύμων (όπως της οξειδάση του κυτοχρώματος) καθώς και ιστών του ανθρώπινου σώματος.

## **Επιπτώσεις των βαρέων μετάλλων στον άνθρωπο**

Τα παραπάνω μέταλλα σε μικρές ποσότητες είναι απαραίτητα για την ομαλή λειτουργία του οργανισμού. Σε μεγαλύτερες ποσότητες είναι δυνατόν να γίνουν τοξικά και να προξενήσουν δηλητηριάσεις και πολλών ειδών παθήσεις στον ανθρώπινο οργανισμό. Έτσι, έχουν καθοριστεί οριακές τιμές σε



πολλές περιπτώσεις, οι οποίες θα πρέπει να λαμβάνονται σοβαρά υπόψη. Στον πίνακα 8 παρουσιάζονται ενδεικτικά τα ανώτατα όρια διαφόρων στοιχείων στο πόσιμο νερό για τον ανθρώπινο οργανισμό.

Πίνακας 8. Επίπεδα τοξικών ουσιών στο πόσιμο νερό για τον άνθρωπο (Παπαδάκη, 2003).

<b>Στοιχείο</b>	<b>Ανώτατο όριο</b>
Αλουμίνιο	5,0
Αρσενικό	0,2
Βερύλλιο	-
Βόριο	5,0
Κάδμιο	0,05
Χρόμιο	1,0
Κοβάλτιο	1,0
Χαλκός	0,5
Φθόριο	2,0
Σίδηρος	-
Μόλυβδος	0,1
Μαγγάνιο	-
Υδράργυρος	0,01
Μολυβδαίνιο	0,5
Νιτρικά + νιτρώδη	100
Νιτρώδη	10
Σελήνιο	0,05
Βανάδιο	0,1
Ψευδάργυρος	25
Ολικά διαλυτά στερεά	10.000

#### Μόλυβδος

Έχει αποδειχθεί ότι ο μόλυβδος είναι τοξικός σε επίπεδα πολύ μικρότερα από εκείνα που παλαιότερα αναγνωρίζονταν ως όρια για συμπτώματα δηλητηρίασης. Αυτά τα φαινόμενα (της δηλητηρίασης) προέρχονται από την επίδραση ιχθών μολύβδου σε βιοχημικούς μηχανισμούς του εγκεφάλου και του κεντρικού νευρικού συστήματος. Οι συνέπειες είναι ιδιαίτερα σοβαρές στα παιδιά και μπορεί να προκαλέσουν μόνιμη καταστροφή του εγκεφάλου και του κεντρικού νευρικού συστήματος. Ο μόλυβδος προκαλεί αυξημένη αρτηριακή πίεση, ανωμαλίες στην σύνθεση του αίματος, υπερκινητικότητα και βλάβες στον εγκέφαλο (Μαμάης 2005 – 2006).

#### Χαλκός

Ο χαλκός προκαλεί αναιμία και κίρρωση του ήπατος (Μαμάης 2005 – 2006).

#### Υδράργυρος

Ο ανόργανος υδράργυρος ο οποίος είναι λιγότερο τοξικός, μπορεί με φυσικούς τρόπους, δηλαδή με την παρέμβαση μεθανογενών βακτηριδίων που υπάρχουν στον πυθμένα δεξαμενών νερού, να μετατραπεί σε τοξικό οργανικό υδράργυρο. Ο οργανικός υδράργυρος συγκεντρώνεται κυρίως στον εγκέφαλο του ανθρώπου και προκαλεί νευροκινητικά συμπτώματα και πολλά από αυτά μπορεί να καταλήξουν και στον θάνατο (Μαμάης 2005 – 2006).

Επίσης ο οργανικός υδράργυρος είναι υπαίτιος για εγκεφαλικές παραλύσεις, μακροκεφαλία, νοητική καθυστέρηση, στραβισμό και για ελαφρές οδοντικές ανωμαλίες.

Ο ανόργανος υδράργυρος έχει συνδεθεί με αυξημένη συχνότητα εμμηνορρυσιακών διαταραχών και αποβολών, σε γυναίκες που εκτίθενται σε χώρους εργασίας (Κίτσιου. 1992).

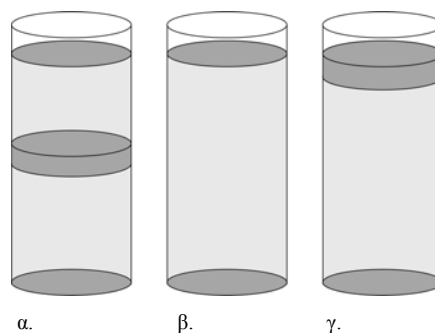
#### Κάδμιο

Το κάδμιο είναι ένα από τα πιο τοξικά βάρεια μέταλλα. Η απορρόφηση του καδμίου γίνεται κυρίως από το γαστρεντερικό και το αναπνευστικό σύστημα και κατανέμεται με την κυκλοφορία σε ολόκληρο τον οργανισμό, κυρίως όμως στο ήπαρ και στους νεφρούς. Ο νεφρός είναι το κατεξοχήν συσσωρευτικό και συγχρόνως το όργανο στόχος για το κάδμιο. Η τοξική δράση του καδμίου στους νεφρούς μπορεί να προκαλέσει μορφολογικές και ιστολογικές αλλοιώσεις, δυσλειτουργία και νεφρική ανεπάρκεια. . Επίσης δρα στα οστά και στο αιμοποιητικό, ενώ έρευνες έχουν δείξει ότι είναι ύποπτο καρκινογενέσεων και τερατογενέσεων (Μαμάης 2005 – 2006). Επίσης το κάδμιο κατηγορείται για παραμορφώσεις των οστών, αλλοιώσεις στους πνεύμονες, υπέρταση, καρκίνο του προστάτη και μεταλλαξιογόνο δράση (Αντωνίου et al. 1989).

### 3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

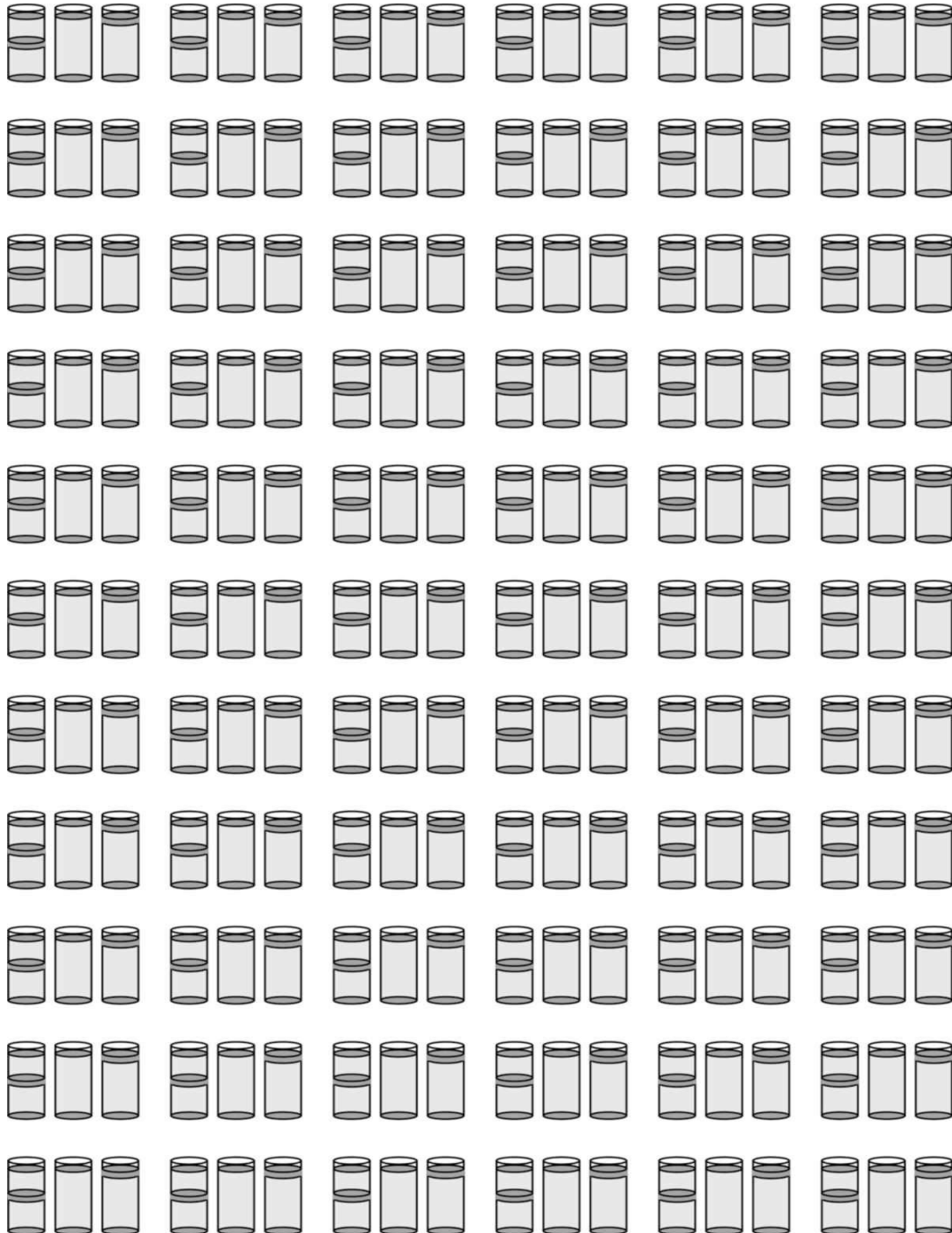
Το πείραμα πραγματοποιήθηκε κατά το χρονικό διάστημα Ιούνιος – Οκτώβριος 2004 στο εργαστήριο Θρέψης φυτών – Γονιμότητας εδαφών του Α.Τ.Ε.Ι Ηρακλείου. Σκοπός του πειράματος αυτού ήταν να διερευνηθεί η αλληλεπίδραση της εφαρμογής οργανικών υλικών στην περιεκτικότητα σε βαρέα μέταλλα του εδάφους, καθώς και η διαμόρφωση των επιπέδων τους ανάλογα με την τοποθέτησή τους μέσα σε αυτό.

Κατά τη διάρκεια του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν πέντε οργανικά υλικά σε τέσσερις επαναλήψεις σε συνολικά επτά δειγματοληψίες. Σε κάθε οργανικό υλικό πραγματοποιήθηκαν τρεις τοποθετήσεις (ενσωμάτωσή του στο έδαφος, επιφανειακή τοποθέτηση σε στρώμα και τοποθέτηση σε στρώμα σε βάθος 10 περίπου εκατοστών από την επιφάνεια), όπως φαίνεται στην εικόνα 1. Στο συγκεκριμένο πείραμα εξετάστηκαν και οι τέσσερις θέσεις του εδάφους στις τρεις τοποθετήσεις των οργανικών υλικών κατά τις πέντε πρώτες δειγματοληψίες. Και στις πέντε δειγματοληψίες, οι τοποθετήσεις και οι επεμβάσεις καταστρέφονταν προκειμένου να πραγματοποιηθούν οι αναλύσεις των οργανικών υλικών και του εδάφους. Οι παραμένουσες επαναλήψεις όλου του πειράματος δέχονταν τις ίδιες φροντίδες και κατά συνέπεια τα αποτελέσματα να γενικεύονται για ολόκληρο το πείραμα.



Εικόνα 1. Τοποθετήσεις οργανικού υλικού στους σωλήνες:  
α. Σε στρώμα σε βάθος 10 περίπου εκ. από την επιφάνεια  
β. Ενσωμάτωσή του στο έδαφος  
γ. Επιφανειακή τοποθέτηση σε στρώμα

Κάθε δειγματοληψία περιλάμβανε 64 σωλήνες {(5 οργανικά υλικά \* 4 επαναλήψεις \* 3 τοποθετήσεις) + 4 επαναλήψεις για τον μάρτυρα}, και ολόκληρο το πείραμα αποτελούνταν από 448 σωλήνες. Στην εικόνα 2 παρουσιάζεται η διάταξη των σωλήνων σε κάθε δειγματοληψία.



Εικόνα 2. Διάταξη των σωλήνων σε κάθε δειγματοληψία

Τα οργανικά υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για τη διεξαγωγή του πειράματος παρασκευάστηκαν στο εργαστήριο υποστρωμάτων της Σχολής

Τεχνολογίας Γεωπονίας του Α.Τ.Ε.Ι. Ηρακλείου και παρουσιάζονται στον πίνακα 1. Το οργανικό υλικό ΕF αποτελούνταν από ελαιοπυρήνες και φύλλα ελιάς από διφασικό ελαιουργείο σε αναλογία 1:2 αντίστοιχα. Το TP περιείχε φυτικά υπολείμματα τομάτας με προσμίξεις από πυρηνόξυλο. Το FK προήλθε από την επεξεργασία των πράσινων υπολείμματα των φαγητών της λέσχης του Α.Τ.Ε.Ι. Ηρακλείου σε συνδυασμό με κλαδοκάθαρα. Το οργανικό υλικό TK περιλάμβανε φυτικά υπολείμματα τομάτας με προσμίξεις από κληματίδες. Τέλος το LK αποτελούνταν από λάσπη του βιολογικού καθαρισμού Ηρακλείου και κλαδοκάθαρα ενώ το Μ ήταν ο μάρτυρας που περιείχε σκέτο έδαφος. Το έδαφος που χρησιμοποιήθηκε στους σωλήνες προήλθε από το αγρόκτημα του Α.Τ.Ε.Ι. Ηρακλείου.

Πίνακας 1. Οργανικά υλικά του πειράματος

1	<b>EF</b>	Ελαιοπυρήνες και φύλλα ελιάς από διφασικό ελαιουργείο σε αναλογία 1:2
2	<b>TP</b>	Φυτικά υπολείμματα τομάτας με προσμίξεις από πυρηνόξυλο
3	<b>FK</b>	Πράσινα υπολείμματα από τα φαγητά της λέσχης με κλαδοκάθαρα
4	<b>TK</b>	Φυτικά υπολείμματα τομάτας με προσμίξεις από κληματίδες
5	<b>LK</b>	Λάσπη βιολογικού καθαρισμού με κλαδοκάθαρα
6	<b>M</b>	Μάρτυρας (σκέτο έδαφος)

Τα οργανικά υλικά αρχικά κοσκινίστηκαν με κόσκινο που είχε άνοιγμα οπών 4mm για να απομακρυνθούν τα μεγάλα κομμάτια τα οποία περιέχονταν μέσα σε αυτά και στη συνέχεια τοποθετήθηκαν στους σωλήνες. Χρησιμοποιήθηκαν περίπου 3.500 cm<sup>3</sup> από κάθε οργανικό υλικό που στη συνέχεια, μετά το κοσκίνισμα, ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα, από κάθε οργανικό υλικό χωριστά, τοποθετήθηκε αρχικά στο πυριαντήριο για ξήρανση στους 75° C και ακολούθως έγιναν οι απαραίτητες διαδικασίες για την παρασκευή των stock διαλυμάτων προκειμένου να προσδιοριστούν οι συγκεντρώσεις των διαφόρων στοιχείων.

Για τις τοποθετήσεις των οργανικών υλικών, επιφανειακά και σε βάθος, χρησιμοποιήθηκε ύφασμα (μουσελίνα). Το ύφασμα κόπηκε σε διαστάσεις 12 x 15 cm μέσα στο οποίο τοποθετήθηκε το κάθε οργανικό υλικό χωριστά, και στη

συνέχεια έκλεισε με λαστιχάκι. Έτσι δημιουργήθηκαν υφασμάτινα σακουλάκια που περιείχαν τα οργανικά υλικά (το κάθε σακουλάκι περιείχε ένα οργανικό υλικό) σε ποσότητα  $60 \text{ cm}^3$  τα οποία στη συνέχεια τοποθετήθηκαν μέσα σε κάθε σωλήνα, ανάλογα με το πειραματικό σχέδιο.

Για την ενσωμάτωση πραγματοποιήθηκε η εξής διαδικασία που καταγράφεται παρακάτω. Μέσα σε σιδερένιους αναδευτήρες τοποθετήθηκε το κάθε ένα οργανικό υλικό, ποσότητα ίση με  $3.500 \text{ cm}^3$ , μαζί με  $16.000 \text{ cm}^3$  έδαφος (σε καθένα από: 5 οργανικά υλικά \* 4 επαναλήψεις \*  $800 \text{ cm}^3$  έδαφος) και αναδευτήκαν για 15 λεπτά περίπου.

Οι σωλήνες που χρησιμοποιήθηκαν ήταν κατασκευασμένοι από μαύρο πλαστικό PVC και είχαν μήκος 29,5 cm, διάμετρο 6,5 cm και πάχος 2 mm. Αρχικά πλύθηκαν καλά πριν χρησιμοποιηθούν με σκοπό να απομακρυνθούν τυχόν ουσίες που μπορεί να υπήρχαν και οι οποίες θα μπορούσαν να μολύνουν το δείγμα. Στη συνέχεια και στην κάτω επιφάνεια του κάθε σωλήνα τοποθετήθηκε διηθητικό χαρτί και στερεώθηκε με λαστιχάκι γύρω από αυτόν. Πάνω σε κάθε σωλήνα αναγράφηκε η επανάληψη και η επέμβαση που αντιστοιχούσε.

Σε κάθε σωλήνα προστέθηκαν συνολικά  $800 \text{ cm}^3$  εδάφους (εκτός από την ενσωμάτωση), με τη βοήθεια ενός γυάλινου ογκομετρικού κυλίνδρου των  $1.000 \text{ cm}^3$ . Συγκεκριμένα, για την τοποθέτηση σε βάθος, αρχικά τοποθετήθηκαν  $400 \text{ cm}^3$  εδάφους, στη συνέχεια ακολούθησε η προσθήκη με τα σακουλάκια που περιείχαν το οργανικό υλικό (ένα σε κάθε τοποθέτηση) και στη συνέχεια προστέθηκαν τα υπόλοιπα  $400 \text{ cm}^3$  εδάφους. Για την επιφανειακή τοποθέτηση προστέθηκε ολόκληρη η ποσότητα του εδάφους ( $800 \text{ cm}^3$ ) και στη συνέχεια τοποθετήθηκαν στην επιφάνεια τα σακουλάκια με το οργανικό υλικό. Για την ενσωμάτωση προστέθηκε ποσότητα  $800 \text{ cm}^3$  μίγματος σε κάθε σωλήνα, που αντιστοιχούσε στη ποσότητα του οργανικού υλικού και του εδάφους μαζί, ανάλογα με το πειραματικό σχέδιο. Μετά την ολοκλήρωση των τοποθετήσεων και με τη χρήση ενός βαριδιού έγιναν 5 χτυπήματα στο έδαφος σε όλους τους σωλήνες.

Στη συνέχεια ακολούθησε το πρώτο πότισμα στις 21 Ιουνίου 2004. Αρχικά προστέθηκε σε όλους τους σωλήνες η ίδια ποσότητα νερού ίση με 100 ml. Η

ποσότητα αυτή θεωρήθηκε ως η καταλληλότερη διότι δεν υπήρχε απορροή νερού και διαπιστώθηκε μετά τη χρήση τεσσάρων σωλήνων στους οποίους τοποθετήθηκαν 800 cm<sup>3</sup> εδάφους και προστέθηκαν 100, 150, 200 και 250 ml νερού αντίστοιχα.

Το πότισμα των σωλήνων γινόταν συγκεκριμένες μέρες, πριν από την κάθε δειγματοληψία, και με καθορισμένες ποσότητες νερού η οποίες υπολογίζονταν ως εξής: σε ογκομετρικό κύλινδρο των 1.000 ml με διάμετρο ίδια περίπου με εκείνη των σωλήνων, τοποθετήθηκε νερό μέχρι την χαραγή και ελέγχονταν καθημερινά η ποσότητα του νερού που εξατμιζόταν μέσα σε αυτόν. Η πρώτη μέτρηση ξεκίνησε μετά το τέλος της πρώτης προσθήκης νερού στους σωλήνες (100 ml). Παρατηρήθηκε λοιπόν ότι καθημερινά εξατμιζονταν ποσότητα νερού ίση με 10 ml περίπου και αυτή ήταν η ποσότητα που προσθετόταν στους κυλίνδρους του πειράματος. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκαν και άλλα ποτίσματα σε συγκεκριμένες ημερομηνίες, οπότε η ποσότητα του νερού που προστέθηκε συνολικά κάθε δειγματοληψία καθώς και οι ημερομηνίες διεξαγωγής των δειγματοληψιών καταγράφονται στον πίνακα 2.

Η πρώτη δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε στις 30 Ιουνίου 2004 κατά την οποία εκκενώθηκαν όλοι οι σωλήνες και το έδαφος που περιείχαν τοποθετήθηκε μέσα σε κεσεδάκια πάνω στα οποία αναγράφονταν η επέμβαση και η επανάληψη που αντιστοιχούσαν. Τα σακουλάκια που περιείχαν το οργανικό υλικό τοποθετήθηκαν ακριβώς όπως ήταν, χωρίς να ανοιχτούν, μέσα σε πλαστικά κεσεδάκια και μετά από δύο ημέρες παρατηρήθηκε ότι είχε εξατμιστεί σχεδόν όλο το νερό που περιείχαν. Αντίθετα, το χώμα τοποθετήθηκε σε μεγαλύτερα πλαστικά κεσεδάκια περιεκτικότητας 1.000 ml όπου αναγράφονταν πάνω και η τοποθέτηση (για την τοποθέτηση σε βάθος χρησιμοποιήθηκαν δύο κεσεδάκια, ένα για το χώμα που τοποθετήθηκε αρχικά και ένα για το χώμα που τοποθετήθηκε πάνω από το οργανικό υλικό) και στη συνέχεια αφέθηκε να εξαερωθεί. Η παραπάνω διαδικασία έγινε κατά τον ίδιο τρόπο σε όλες τις περαιτέρω δειγματοληψίες που ακολούθησαν.

Πίνακας 2. Ημερομηνίες, ημέρες δειγματοληψιών και οι ποσότητες νερού που προστέθηκαν συνολικά.

Δειγματοληψία	Ημερομηνία		Ποσότητα νερού (ml)	Ημέρες δειγματοληψίας
	30	2004		
<b>A</b>	30	Ιουνίου 2004	100	1
<b>B</b>	10	Ιουλίου 2004	190	10
<b>Γ</b>	20	Ιουλίου 2004	240	20
<b>Δ</b>	10	Αυγούστου 2004	410	40
<b>E</b>	30	Αυγούστου 2004	530	60
<b>Z</b>	29	Σεπτεμβρίου 2004	730	90
<b>H</b>	29	Οκτωβρίου 2004	880	120

### 3.1 Προετοιμασία των δειγμάτων για ανάλυση.

Μετά την αεροζήρανση των δειγμάτων ακολούθησε ήπια λειοτριβήση και κοσκίνισμα. Κατά την λειοτριβήση τοποθετήθηκε κάθε ένα δείγμα μέσα σε γουδί από πορσελάνη στην οποία δόθηκε προσοχή ούτως ώστε να μην σπάσουν τυχόν πέτρες και χαλίκια που υπήρχαν. Στη συνέχεια ακολούθησε κοσκίνισμα με τη βοήθεια κόσκινου το οποίο είχε άνοιγμα οπών 2mm (ή 10 mesh). Οι διαδικασίες αυτές έχουν ως στόχο την ομογενοποίηση του δείγματος, έτσι ώστε, κάθε φορά που υπάρχει ανάγκη να διενεργηθεί μία ανάλυση, να μπορεί να παίρνεται αντιπροσωπευτικό μέρος του δείγματος.

Αναφέρεται ότι η ξήρανση του δείγματος σε πυριαντήριο δεν συνιστάται διότι αυτό θα έχει επίδραση στις τιμές των προσδιοριζόμενων στοιχείων όπως π.χ. αυτή του αφομοιώσιμου καλίου (Σινάνης 1997).

Το έδαφος που διήρθε από το κόσκινο, το οποίο χαρακτηρίζεται σαν λεπτή γη, συλλέχθηκε και φυλάχτηκε μέσα σε πλαστικά σακουλάκια, όπου αναγράφονταν πάνω και η τοποθέτηση (για την τοποθέτηση σε βάθος χρησιμοποιήθηκαν δύο κεσεδάκια, ένα για το χώμα που τοποθετήθηκε αρχικά και ένα για το χώμα που τοποθετήθηκε πάνω από το οργανικό υλικό), για να υποβληθεί στη συνέχεια σε ανάλυση.

### 3.2 Ανάλυση δειγμάτων εδάφους.



Προκειμένου να αποκτηθούν πληροφορίες για την μεταβολή της συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων στο έδαφος σε σχέση με τις διαφορετικές τοποθετήσεις οργανικών υλικών σε αυτό, πραγματοποιήθηκε η ανάλυση εδάφους. Αξίζει να σημειωθεί ότι για να ληφθούν οι παραπάνω πληροφορίες χρειάστηκε να γίνουν αναλύσεις εδάφους κατά τις πέντε πρώτες δειγματοληψίες.

Οι μετρήσεις των στοιχείων έγιναν με τη βοήθεια της μεθόδου του οξικού αμμωνίου. Σύμφωνα με την μέθοδο αυτή, ζυγίστηκαν 4 gr από κάθε ένα από τα 420 δείγματα εδάφους  $\{(5 \text{ οργανικά υλικά} * 4 \text{ επαναλήψεις} * 3 \text{ τοποθετήσεις}) + 4 \text{ επαναλήψεις για τον μάρτυρα}\} * 5 \text{ δειγματοληψίες}$  και τοποθετήθηκαν σε ειδικά πλαστικά μπουκαλάκια. Τα δείγματα αυτά μεταφέρθηκαν και τοποθετήθηκαν σε σωλήνα φυγοκέντρου των 50 ml αφού πρώτα τοποθετήθηκαν μέσα και 33 ml κανονικού διαλύματος οξικού αμμωνίου με  $\text{pH} = 7$  καθώς και 2 ml απιονισμένου νερού.

Το μείγμα που δημιουργήθηκε ανακινήθηκε για 5 λεπτά σε ανακινητήρα ελλειψοειδούς κίνησης και στη συνέχεια φυγοκεντρήθηκε για άλλα 5 λεπτά στο ειδικό μηχάνημα φυγοκέντρου. Μετά το τέλος της φυγοκέντρωσης το υπερκείμενο υγρό διηθήθηκε και συλλέχθηκε σε ογκομετρική φιάλη των 100 ml. Για τη διήθηση χρησιμοποιήθηκαν χωνιά, ηθμοί Whatman No 41, στατήρες και ογκομετρικές φιάλες των 100 ml. Η διαδικασία αυτή της προσθήκης οξικού αμμωνίου στους σωλήνες, της ανακίνησής τους, της φυγοκέντρωσης αυτών και της διήθησης του υγρού που προέκυψε, επαναλήφθηκε άλλες δύο φορές στο ίδιο δείγμα εδάφους. Στη συνέχεια, το συνολικό εκχύλισμα που συλλέχθηκε στις ογκομετρικές φιάλες από κάθε δείγμα, συμπληρώθηκε στα 100 ml ακριβώς. Έπειτα τα διαλύματα αυτά μεταφέρθηκαν με τη βοήθεια μικρού χωνιού, σε πλαστικά μπουκαλάκια πάνω στα οποία αναγράφηκε ο αριθμός μητρώου των δειγμάτων που αντιστοιχούσε. Τέλος συγκεντρώθηκαν τα 420 stock διαλύματα που προέκυψαν από την εκχύλιση του εδάφους και τοποθετήθηκαν στο ψυγείο έως ότου προσδιοριστούν τα διάφορα στοιχεία.

### 3.3 Προσδιορισμός των στοιχείων.

Για τον προσδιορισμό των στοιχείων Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn, χρησιμοποιήθηκε το φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης όπου κάθε φορά επιλέγονταν η κατάλληλη λυχνία με το χαρακτηριστικό μήκος κύματος για το κάθε στοιχείο. Ο προσδιορισμός του Καλίου πραγματοποιήθηκε με την τεχνική emission στο όργανο που προαναφέρθηκε (φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης).

Για την μέτρηση των περισσότερων στοιχείων απαιτήθηκε η πραγματοποίηση αραιώσεων. Για την μέτρηση των στοιχείων Ca, Mg ο συντελεστής αραιώσης (Σ.Α) ήταν 196 ενώ, για την μέτρηση του Καλίου απαιτήθηκε αραιώση 1:13 ( Σ.Α. = 14). Τέλος για τα στοιχεία Cu, Fe, Mn και Zn δε χρειάστηκε καμία αραιώση και οι μετρήσεις έγιναν από τα αρχικά stock διαλύματα.

Μετά το πέρας των μετρήσεων και με τη βοήθεια του προγράμματος EXEL του ηλεκτρονικού υπολογιστή, πραγματοποιήθηκαν οι κατάλληλοι υπολογισμοί προκειμένου να προκύψουν ειδικές formules (τύποι). Αρχικά έγινε αναγωγή των μετρήσεων στην ποσότητα του stock διαλύματος (100 ml) από το οποίο πάρθηκε το δείγμα στο οποίο μετρήθηκαν τα διάφορα στοιχεία, λαμβάνοντας υπόψη τους συντελεστές αραιώσης. Στη συνέχεια ακολούθησε αναγωγή στη ξηρή ουσία του κάθε δείγματος. Οι τύποι που προέκυψαν και βοήθησαν για τις μετατροπές αυτές παρουσιάζονται παρακάτω :

- ✓ Για Ca και Mg :  $A^1 * 1960 / 4000$
- ✓ Για K :  $A * 140 / 4000$
- ✓ Για Cu, Fe, Mn και Zn :  $A * 25$

1. Όπου A είναι οι τιμές που κατέγραψε το όργανο.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν εκφράστηκαν για τα στοιχεία Cu, Fe, Mn και Zn σε ppm, ενώ τα Ca, Mg και K εκφράστηκαν σε ποσοστά επί τοις εκατό.

#### 4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Μετά από τη στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων προέκυψαν οι πίνακες 9 και 10 οι οποίοι παρουσιάζουν την ύπαρξη ή όχι στατιστικά σημαντικών διαφορών των στοιχείων στις δειγματοληψίες (samp.), στις επεμβάσεις (om.), στις τοποθετήσεις (topo.) και στις αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους.

Ο συμβολισμός \*\*\* υποδηλώνει ότι η σημαντικότητα είναι μικρότερη από 0,001. Το σύμβολο \*\* σημαίνει ότι η σημαντικότητα είναι μεγαλύτερη από 0,001 και μικρότερη από 0,01 ενώ το \*, ότι είναι μεγαλύτερη από 0,01 αλλά μικρότερη από 0,05. Το ns ( non significant difference) υποδηλώνει ότι δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές και ο συμβολισμός αυτός χρησιμοποιείται όταν η σημαντικότητα είναι μεγαλύτερη από 0,05.

Πίνακας 9. Σημαντικότητες των δεδομένων του πειράματος κατά παρατήρηση

	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>K</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>
<b>Δειγματοληψίες</b>	***	***	***	**	***	*	***
<b>Οργανικά υλικά</b>	ns	***	**	ns	***	ns	ns
<b>Τοποθετήσεις</b>	ns	***	*	ns	***	ns	***
<b>Δειγματοληψίες * Οργ. Υλικά</b>	ns	ns	**	**	**	**	ns
<b>Δειγματοληψίες * Τοποθετήσεις</b>	ns	*	ns	ns	***	ns	*
<b>Οργανικά υλικά * Τοποθετήσεις</b>	ns	***	ns	ns	***	ns	***
<b>Δειγματοληψίες * Οργ. Υλικά * Τοποθετ.</b>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις μετρήσεις που έγιναν στο έδαφος, στο οποίο πραγματοποιήθηκαν διάφορες επεμβάσεις με οργανικά υλικά σε διαφορετικές τοποθετήσεις, στις πέντε δειγματοληψίες, παρουσιάζονται στους πίνακες που ακολουθούν.

Οι δύο πρώτοι πίνακες αφορούν τις αναλύσεις που έγιναν στο έδαφος χωρίς να παρουσιάζονται τα οργανικά υλικά και οι τοποθετήσεις που πραγματοποιήθηκαν. Στον πίνακα 11 αναφέρονται οι επί τις εκατό (%) περιεκτικότητες των μακροστοιχείων Ca, Mg, K, όπως αυτές διαμορφώθηκαν σε κάθε μία από τις πέντε δειγματοληψίες του πειράματος. Στον πίνακα 12 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων (Fe, Mn, Cu, Zn) εκφρασμένες σε ppm, όπως επίσης διαμορφώθηκαν σε κάθε μία από τις πέντε δειγματοληψίες του πειράματος.

Οι δύο επόμενοι πίνακες αφορούν τις συγκεντρώσεις των στοιχείων (μακροστοιχείων και ιχνοστοιχείων) στο έδαφος σε κάθε μία δειγματοληψία χωριστά. Ο πίνακας 13 παρουσιάζει τους μέσους όρους των μακροστοιχείων, εκφρασμένων σε επί τις εκατό (%), και των ιχνοστοιχείων, εκφρασμένων σε ppm, σε κάθε ένα από τα έξι οργανικά υλικά (EF, TP, FK, TK, LK, M).

Επίσης, στον πίνακα 14 παρουσιάζονται οι περιεκτικότητες των μακροστοιχείων και των ιχνοστοιχείων στο έδαφος εκφρασμένες σε επί τις εκατό (%) και σε ppm αντίστοιχα, σε κάθε μία από τις πέντε διαφορετικές τοποθετήσεις του εδάφους που πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια του πειράματος (επιφανειακή, 2: ενσωμάτωση, 3: έδαφος πάνω από την τοποθέτηση οργανικού υλικού σε στρώμα σε βάθος 10 περίπου εκατοστών και 4: έδαφος κάτω από την τοποθέτηση οργανικού υλικού σε στρώμα σε βάθος 10 περίπου εκατοστών).

Οι Εικόνες 1 έως 7 που ακολουθούν, αναφέρονται στις συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων στο έδαφος (Εικόνες 1-3: μακροστοιχεία και Εικόνες 4-7: ιχνοστοιχεία), ανάλογα με τα οργανικά υλικά, σε όλες τις δειγματοληψίες .

	Zn	Cu	Mn	Fe	K	Mg
οργανικά υλικά	ns	ns	***	*	ns	***
Τοποθετήσεις	ns	ns	***	ns	ns	***
<b>Οργανικά υλικά * Τοποθετήσεις</b>	ns	ns	***	ns	ns	***
οργανικά υλικά	ns	ns	***	ns	ns	***
Τοποθετήσεις	ns	ns	***	ns	ns	***
<b>Οργανικά υλικά * Τοποθετήσεις</b>	ns	ns	***	ns	ns	***
οργανικά υλικά	***	*	***	*	ns	ns
Τοποθετήσεις	***	ns	***	ns	ns	**
<b>Οργανικά υλικά * Τοποθετήσεις</b>	***	ns	***	ns	ns	**
οργανικά υλικά	ns	ns	***	**	***	ns
Τοποθετήσεις	**	ns	***	ns	***	*
<b>Οργανικά υλικά * Τοποθετήσεις</b>	**	ns	***	ns	***	ns
οργανικά υλικά	ns	*	***	ns	***	***
Τοποθετήσεις	***	ns	***	ns	***	***
<b>Οργανικά υλικά * Τοποθετήσεις</b>	*	ns	***	ns	***	***

Πίνακας 11. Μέση περιεκτικότητα των μακροστοιχείων ανά δειγματοληψία.

Δειγματοληψίες	Ca %	Mg %	K %
<b>ΠΡΩΤΗ</b>	0.856 cd <sup>1</sup>	0.051 b	0.079 a
<b>ΔΕΥΤΕΡΗ</b>	0.911 bc	0.051 b	0.060 b
<b>ΤΡΙΤΗ</b>	0.919 b	0.053 b	0.051 b
<b>ΤΕΤΑΡΤΗ</b>	1.092 a	0.058 a	0.029 c
<b>ΠΕΜΠΤΗ</b>	0.860 d	0.047 c	0.027 c

1. Μέσοι όροι με διαφορετικά γράμματα που διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά κατά Duncan στο επίπεδο 0,05

Πίνακας 12. Μέση περιεκτικότητα των ιχνοστοιχείων ανά δειγματοληψία.

Δειγματοληψίες	Cu ppm	Fe ppm	Mn ppm	Zn ppm
<b>Πρώτη</b>	0.540 b	1.976 ab	3.164 d	0.115 d
<b>Δεύτερη</b>	0.742 ab	2.120 ab	3.924 c	0.338 bc
<b>Τρίτη</b>	0.956 a	1.457 bc	4.107 b	0.297 c
<b>Τέταρτη</b>	1.100 a	1.268 c	4.234 b	0.399 a
<b>Πέμπτη</b>	0.972 a	2.370 a	4.507 a	0.345 b

1. Μέσοι όροι με διαφορετικά γράμματα που διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά κατά Duncan στο επίπεδο 0,05

Πίνακας 13. Μέση περιεκτικότητα των στοιχείων ανά οργανικό υλικό (EF, TP, FK, TK, LK, M), σε κάθε δειγματοληψία χωριστά.

Πρώτη δειγματοληψία						
Ca %	Mg %	K %	Cu ppm	Fe ppm	Mn ppm	Zn ppm

<b>EF</b>	0,843 ab*	0,049 c	0,112 a	0,797 a	3,346 a	2,792 c	0,101 a
<b>TP</b>	0,844 a b	0,050 b c	0,063 a	0,408 a	1,100 b	3,364 b	0,177 a
<b>FK</b>	0,851 a b	0,048 c	0,088 a	0,501 a	1,061 b	2,789 c	0,103 a
<b>TK</b>	0,888 a	0,057 a	0,076 a	0,540 a	1,501 a b	3,777 a	0,110 a
<b>LK</b>	0,865 a b	0,052 b	0,061 a	0,438 a	2,631 a b	3,220 b	0,094 a
<b>M</b>	0,819 b	0,047 c	0,052 a	0,606 a	2,938 a b	2,669 c	0,075 a

#### Δεύτερη δειγματοληψία

	Ca %	Mg %	K %	Cu ppm	Fe ppm	Mn ppm	Zn ppm
<b>EF</b>	0,893 a	0,046 c	0,052 a	0,701 a	1,431 a	3,353 c	0,351 a
<b>TP</b>	0,927 a	0,052 b	0,073 a	1,211 a	2,192 a	4,311 b	0,367 a
<b>FK</b>	0,905 a	0,048 c	0,039 a	0,815 a	2,759 a	3,589 c	0,302 a
<b>TK</b>	0,923 a	0,061 a	0,069 a	0,525 a	1,344 a	4,984 a	0,283 a
<b>LK</b>	0,908 a	0,051 b	0,072 a	0,506 a	3,084 a	3,636 c	0,394 a
<b>M</b>	0,910 a	0,047 c	0,037 a	0,550 a	1,273 a	2,906 d	0,306 a

#### Τρίτη δειγματοληψία

	Ca %	Mg %	K %	Cu ppm	Fe ppm	Mn ppm	Zn ppm
<b>EF</b>	0,930 ab	0,051 ab	0,043 a	0,491 a	2,342 a	3,452 d	0,241 bc
<b>TP</b>	0,909 ab	0,055 a	0,055 a	0,517 a	2,349 a	4,477 b	0,280 b
<b>FK</b>	0,909 ab	0,054 ab	0,060 a	0,794 a	0,922 a	3,963 c	0,284 b
<b>TK</b>	0,941 a	0,055 a	0,066 a	1,745 a	0,751 a	4,922 a	0,417 a
<b>LK</b>	0,913 ab	0,050 ab	0,035 a	1,305 a	0,941 a	3,972 c	0,289 b
<b>M</b>	0,885 b	0,048 b	0,045 a	0,681 a	1,380 a	3,119 d	0,200 c

#### Τέταρτη δειγματοληψία

	Ca %	Mg %	K %	Cu ppm	Fe ppm	Mn ppm	Zn ppm
<b>EF</b>	1,171 ab	0,061 ab	0,023 c	1,709 a	0,769 b	3,711 cd	0,355 ab
<b>TP</b>	1,094 ab	0,058 ab	0,033 b	0,774 a	1,196 ab	4,430 b	0,395 ab
<b>FK</b>	0,975 b	0,050 b	0,017 cd	1,133 a	1,755 a	3,964 c	0,422 a
<b>TK</b>	1,109 ab	0,063 a	0,053 a	0,698 a	1,757 a	4,947 a	0,438 a
<b>LK</b>	1,063 ab	0,057 ab	0,023 c	1,095 a	0,966 ab	4,294 b	0,414 a
<b>M</b>	1,285 a	0,059 ab	0,015 d	1,450 a	0,861 b	3,525 d	0,288 b

#### Πέμπτη δειγματοληψία

	Ca %	Mg %	K %	Cu ppm	Fe ppm	Mn ppm	Zn ppm
<b>EF</b>	0,826 b	0,043 cd	0,017 c	1,288 a	2,700 a	4,220 c	0,338 a
<b>TP</b>	0,846 ab	0,048 b	0,032 b	1,753 a	3,552 a	4,770 ab	0,336 a
<b>FK</b>	0,846 ab	0,045 bc	0,018 c	0,456 a	2,028 a	4,434 bc	0,297 a
<b>TK</b>	0,909 a	0,056 a	0,053 a	0,467 a	1,788 a	5,108 a	0,388 a
<b>LK</b>	0,880 ab	0,047 b	0,018 c	0,916 a	2,021 a	4,223 c	0,367 a
<b>M</b>	0,831 b	0,039 d	0,013 d	0,899 a	1,420 a	3,625 d	0,338 a

\* Μέσοι όροι με διαφορετικά γράμματα διαφέρουν στατιστικά σημαντικά κατά Duncan στο επίπεδο σημαντικότητας 0,05

Πίνακας 14. Μέση περιεκτικότητα των στοιχείων ανά τοποθέτηση, σε κάθε δειγματοληψία χωριστά.

	Ca %	Mg %	K %	Cu ppm	Fe ppm	Mn ppm	Zn ppm
<b>Επιφανειακή</b>	0.843 a	0.055 a	0.081 a	0.511 a	2.173 a	3.463 a	0.137 a

<b>2</b>	0.864 a	0.049 bc	0.090 a	0.508 a	1.607 a	2.671 b	0.082 a
<b>3</b>	0.860 a	0.048 c	0.077 a	0.567 a	1.958 a	2.961 b	0.124 a
<b>4</b>	0.866 a	0.052 b	0.073 a	0.561 a	1.974 a	3.659 a	0.125 a
<b>Μάρτυρας</b>	0.819 a	0.047 c	0.052 a	0.606 a	2.938 a	2.669 b	0.075 a

#### Δεύτερη δειγματοληψία

	Ca %	Mg %	K %	Cu ppm	Fe ppm	Mn ppm	Zn ppm
<b>Επιφανειακή</b>	0.906 a	0.056 a	0.066 a	0.857 a	2.096 a	4.214 b	0.408 a
<b>2</b>	0.905 a	0.047 b	0.055 a	0.673 a	2.128 a	3.428 c	0.311 a
<b>3</b>	0.911 a	0.049 b	0.049 a	0.628 a	2.221 a	3.545 c	0.252 a
<b>4</b>	0.924 a	0.053 a	0.073 a	0.849 a	2.204 a	4.713 a	0.386 a
<b>Μάρτυρας</b>	0.910 a	0.047 b	0.037 a	0.550 a	1.273 a	2.906 d	0.306 a

#### Τρίτη δειγματοληψία

	Ca %	Mg %	K %	Cu ppm	Fe ppm	Mn ppm	Zn ppm
<b>Επιφανειακή</b>	0.922 a	0.057 a	0.058 a	0.977 a	1.621 a	4.353 b	0.369 a
<b>2</b>	0.928 a	0.055 ab	0.050 a	0.970 a	1.512 a	3.665 c	0.276 b
<b>3</b>	0.912 a	0.050 bc	0.040 a	0.787 a	1.314 a	3.784 c	0.260 bc
<b>4</b>	0.920 a	0.050 bc	0.058 a	1.148 a	1.398 a	4.826 a	0.304 ab
<b>Μάρτυρας</b>	0.885 a	0.048 c	0.045 a	0.681 a	1.380 a	3.119 d	0.200 c

#### Τέταρτη δειγματοληψία

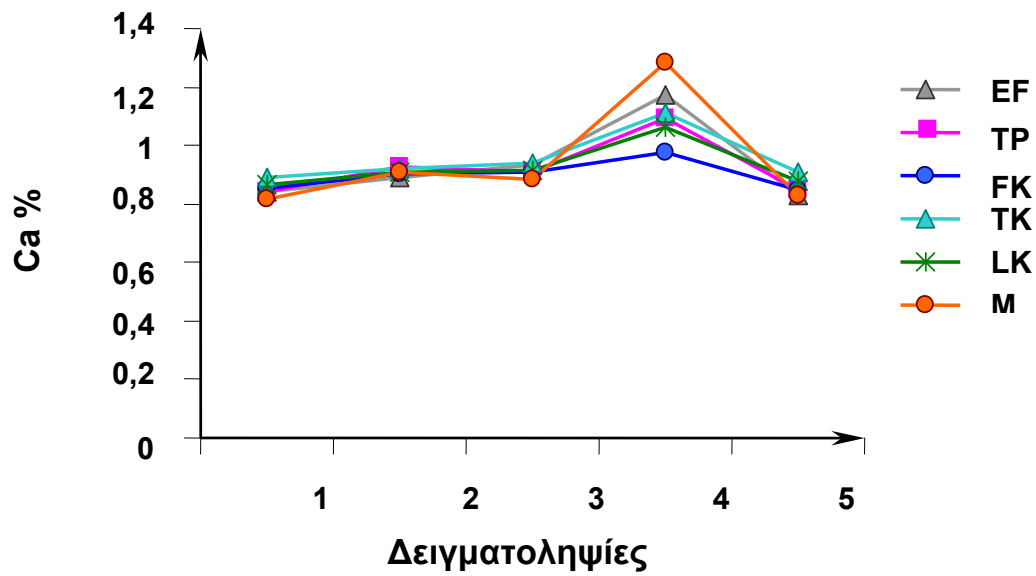
	Ca %	Mg %	K %	Cu ppm	Fe ppm	Mn ppm	Zn ppm
<b>Επιφανειακή</b>	1.045 ab	0.060 a	0.033 b	1.070 a	1.188 a	4.660 a	0.478 a
<b>2</b>	0.986 b	0.050 a	0.026 bc	0.822 a	1.317 a	3.970 b	0.343 bc
<b>3</b>	1.106 ab	0.059 a	0.020 cd	1.235 a	1.310 a	4.006 b	0.433 ab
<b>4</b>	1.191 ab	0.062 a	0.041 a	1.201 a	1.339 a	4.440 a	0.366 abc
<b>Μάρτυρας</b>	1.285 a	0.059 a	0.015 d	1.450 a	0.861 a	3.525 c	0.288 c

#### Πέμπτη δειγματοληψία

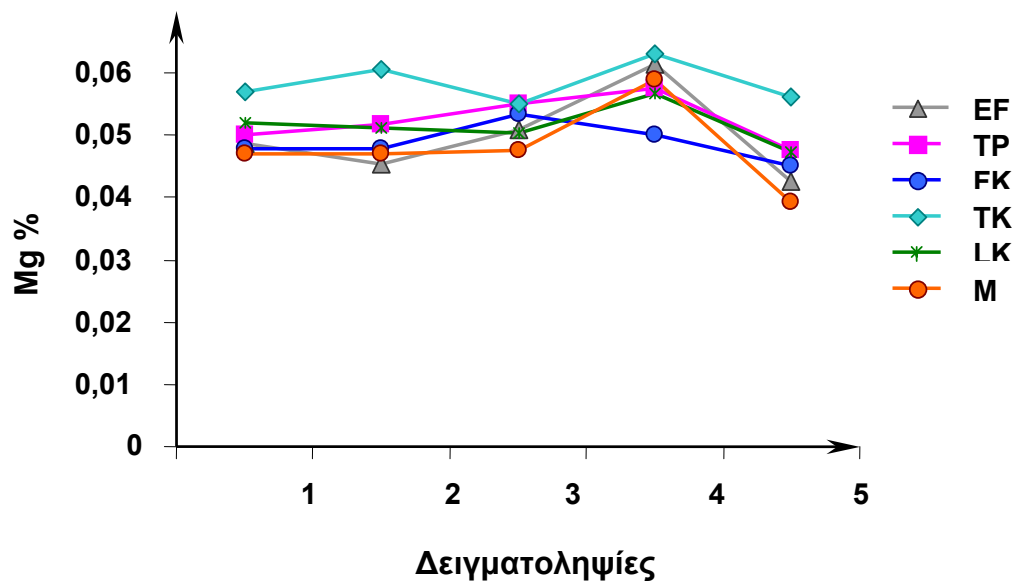
	Ca %	Mg %	K %	Cu ppm	Fe ppm	Mn ppm	Zn ppm
<b>Επιφανειακή</b>	0.891 a	0.053 a	0.030 b	0.804 a	2.594 a	4.906 a	0.458 a
<b>2</b>	0.848 a	0.043 c	0.023 c	0.978 a	2.635 a	4.193 c	0.324 b
<b>3</b>	0.858 a	0.047 bc	0.019 d	1.031 a	2.343 a	4.484 bc	0.321 b
<b>4</b>	0.849 a	0.048 b	0.038 a	1.091 a	2.099 a	4.623 ab	0.278 b
<b>Μάρτυρας</b>	0.831 a	0.039 d	0.013 e	0.899 a	1.420 a	3.625 d	0.338 b

\* Μέσοι όροι με διαφορετικά γράμματα διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά κατά Duncan στο επίπεδο σημαντικότητας 0,05

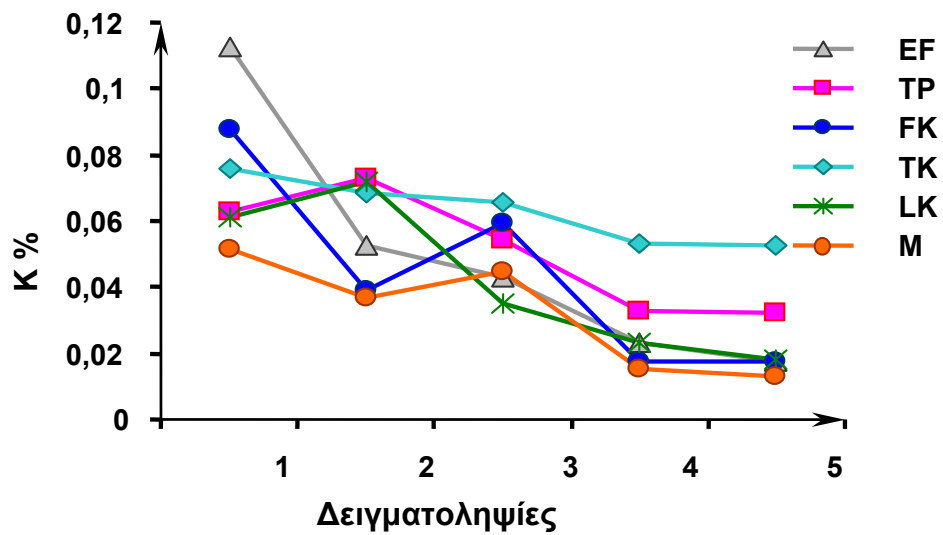




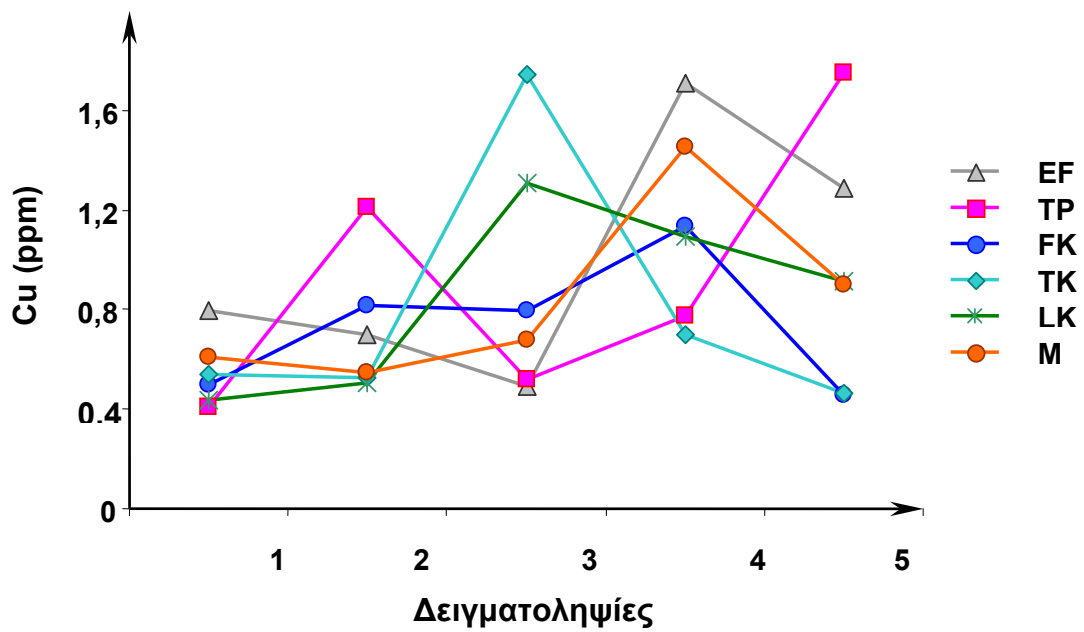
Εικόνα 1. Συγκέντρωση (%) του ασβεστίου (Ca) στα οργανικά υλικά των δειγματοληψιών του πειράματος.



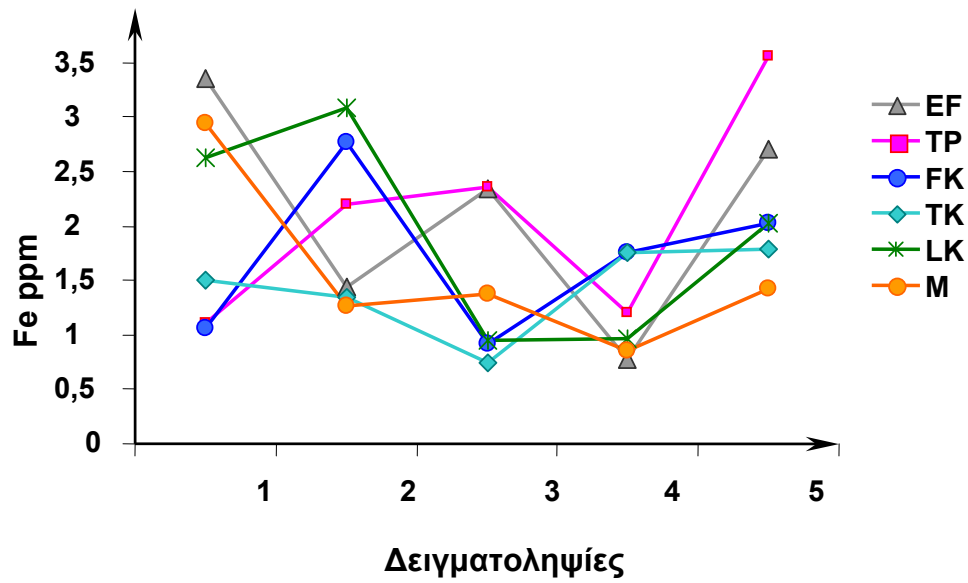
Εικόνα 2. Συγκέντρωση (%) του μαγνησίου (Mg) στα οργανικά υλικά των δειγματοληψιών του πειράματος.



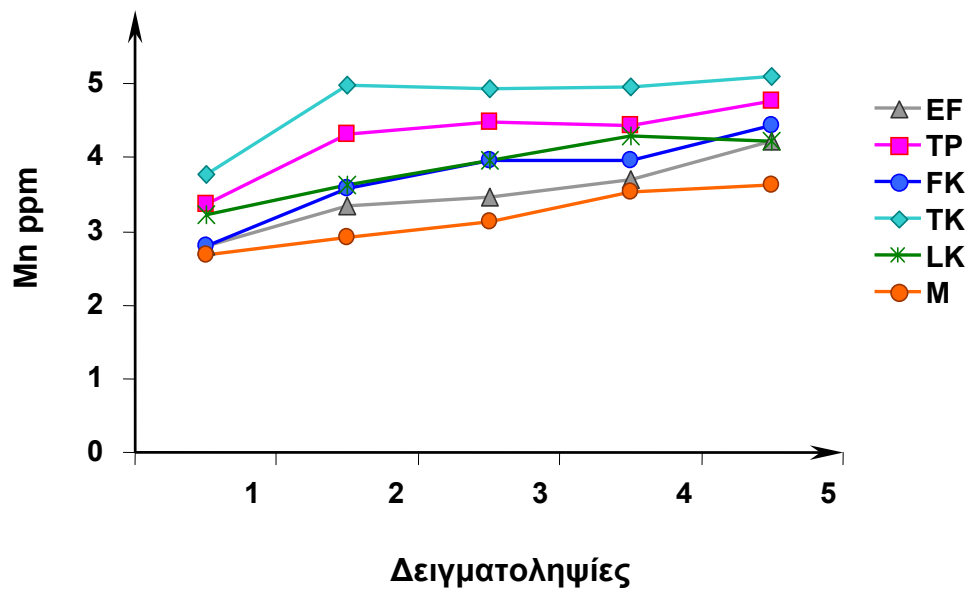
Εικόνα 3. Συγκέντρωση (%) του καλίου (K) στα οργανικά υλικά των δειγματοληψιών του πειράματος.



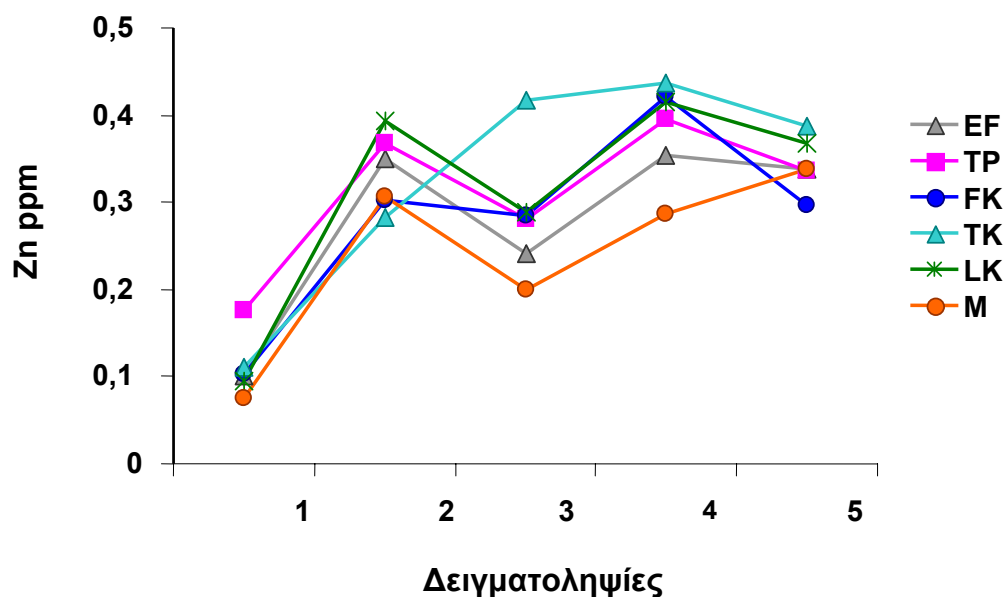
Εικόνα 4. Συγκέντρωση (ppm) του χαλκού (Cu) στα οργανικά υλικά των δειγματοληψιών του πειράματος.



Εικόνα 5. Συγκέντρωση (ppm) του σιδήρου (Fe) στα οργανικά υλικά των δειγματοληψιών του πειράματος.



Εικόνα 6. Συγκέντρωση (ppm) του μαγγανίου (Mn) στα οργανικά υλικά των δειγματοληψιών του πειράματος.



Εικόνα 7. Συγκέντρωση (ppm) του ψευδαργύρου (Zn) στα οργανικά υλικά των δειγματοληψιών του πειράματος.

## 5. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Από τα δεδομένα του πειράματος προκύπτουν ενδείξεις ότι στις δειγματοληψίες παρουσιάστηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές σε επίπεδο 0,001 σε όλα τα στοιχεία (Ca, Mg, K, Mn, Zn), εκτός από το Fe που παρουσίασε σημαντικές διαφορές σε επίπεδο 0,01 και τον Cu σε επίπεδο 0,5. Στα οργανικά υλικά παρουσιάστηκαν σημαντικές διαφορές στο Mg και στο Mn σε επίπεδο 0,001, ενώ στο K οι διαφορές που παρουσιάστηκαν ήταν στο επίπεδο 0,01. Στις τοποθετήσεις συνέβη ότι ακριβώς και στις δειγματοληψίες με τη μόνη διαφορά ότι στο Zn παρουσιάστηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές στο επίπεδο 0,001 και στο K σε επίπεδο 0,5 (Πίνακας 9).

Από τα στοιχεία του πίνακα 10 προκύπτουν ενδείξεις ότι τα στοιχεία Cu, Fe και Ca δεν παρουσίασαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές στα οργανικά υλικά και στις τοποθετήσεις σε όλες τις δειγματοληψίες. Αντίθετα, το Mn και

το Mg παρουσίασαν διαφορές σε επίπεδο 0,001 σε όλες τις δειγματοληψίες. Εξαιρέση αποτελεί το Mg που κατά τη τρίτη και τέταρτη δειγματοληψία δεν παρουσίασε διαφορές στα οργανικά υλικά ενώ παρουσίασε διαφορές στις τοποθετήσεις σε επίπεδο 0,01 και 0,5 αντίστοιχα. Ο Zn παρουσίασε διαφορές σε επίπεδο 0,001 κατά τη τρίτη δειγματοληψία και κατά τη πέμπτη δειγματοληψία στις τοποθετήσεις. Ενώ, κατά τη τέταρτη δειγματοληψία παρουσίασε διαφορές στις τοποθετήσεις σε επίπεδο 0,01. Το K παρουσίασε στατιστικώς σημαντικές διαφορές σε επίπεδο 0,001 κατά τη τέταρτη και πέμπτη δειγματοληψία στα οργανικά υλικά και στις τοποθετήσεις.

Σχετικά με τη διαφοροποίηση των στοιχείων κατά τη πρώτη δειγματοληψία είναι πασιφανές ότι το Ca, το Mg, ο Fe και το Mn παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στο επίπεδο σημαντικότητας 0,05 (Πίνακας 13). Έτσι στο Ca, το TK και το LK σημείωσαν κατά φθίνουσα σειρά τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις, ενώ τη μικρότερη παρουσίασε ο μάρτυρας. Το οργανικό υλικό TK (Φυτικά υπολείμματα τομάτας με προσμίξεις από κληματίδες) σημείωσε τη μεγαλύτερη συγκέντρωση στο Mn και Mg, ενώ τις μικρότερες, κατά φθίνουσα σειρά, παρουσιάστηκαν στα EF, FK και M. Το οργανικό υλικό EF παρουσίασε τη μεγαλύτερη συγκέντρωση σιδήρου, ενώ τη μικρότερη τη παρουσίασαν τα TP και FK.

Κατά τη δεύτερη δειγματοληψία, το Mg και το Mn παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στο επίπεδο σημαντικότητας 0,05. Το οργανικό υλικό TK παρουσίασε τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις μαγνησίου και μαγγανίου ενώ, οι μικρότερες κατά φθίνουσα σειρά, παρατηρήθηκαν στα οργανικά υλικά FK, M και EF. Εξαιρέση αποτελεί το μαγγάνιο του οποίου η μικρότερη συγκέντρωση παρατηρήθηκε στον μάρτυρα.

Η τρίτη δειγματοληψία παρουσιάζει στατιστικά σημαντικές διαφορές στο επίπεδο σημαντικότητας 0,5 για τα στοιχεία Ca, Mg, Mn και Zn. Η υψηλότερη τιμή των στοιχείων αυτών παρουσιάστηκε κατά τη προσθήκη του οργανικού υλικού TK (φυτικά υπολείμματα τομάτας με προσμίξεις από κληματίδες), ενώ για το μαγνήσιο (Mg) υψηλή τιμή παρουσιάστηκε επίσης, στο οργανικό υλικό TP (φυτικά υπολείμματα τομάτας με προσμίξεις από πυρηνόξυλο). Αντίθετα,

η χαμηλότερη τιμή στα προαναφερθέντα στοιχεία παρουσιάστηκε στο μάρτυρα (σκέτο έδαφος)

Σχετικά με τη διαφοροποίηση των στοιχείων κατά την τέταρτη δειγματοληψία είναι πασιφανές ότι όλα τα στοιχεία (Ca, Mg, K, Fe, Mn, Zn) εκτός του χαλκό (Cu), παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στο επίπεδο σημαντικότητας 0,05. Το οργανικό υλικό TK (Φυτικά υπολείμματα τομάτας με προσμίξεις από κληματίδες), παρουσίασε τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις στα στοιχεία Mg, K, Fe, Mn και Zn ενώ ο μάρτυρας σημείωσε τις μικρότερες ( εκτός από το μαγνήσιο (Mg), που σημείωσε το οργανικό υλικό FK και τον σίδηρο που παρουσίασε τις μικρότερες συγκεντρώσεις ο μάρτυρας και το οργανικό υλικό EF). Για το ασβέστιο (Ca), τη μικρότερη τιμή τη σημείωσε το οργανικό υλικό FK (Πράσινα υπολείμματα από τα φαγητά της λέσχης με κλαδοκάθαρα) ενώ τη μεγαλύτερη συγκέντρωση, ο μάρτυρας.

Στη πέμπτη δειγματοληψία το Ca, το Mg, το K, το Mn και ο Zn παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στο επίπεδο σημαντικότητας 0,05. Το οργανικό υλικό TK παρουσίασε τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις των στοιχείων αυτών ενώ ο μάρτυρας τις μικρότερες, με εξαίρεση το ασβέστιο (Ca) που οι μικρότερες κατά φθίνουσα σειρά, παρατηρήθηκαν στο μάρτυρα και στο οργανικό υλικό EF (Ελαιοπυρήνες και φύλλα ελιάς από διφασικό ελαιουργείο σε αναλογία 1:2).

Μελετώντας συνολικά τον πίνακα 13 παρατηρείται ότι η τέταρτη δειγματοληψία στην οποία τοποθετήθηκαν 410 ml νερού, παρουσίασε στατιστικώς σημαντικές διαφορές στα περισσότερα στοιχεία. Επίσης το οργανικό υλικό TK (Φυτικά υπολείμματα τομάτας με προσμίξεις από κληματίδες), σημείωσε τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις των στοιχείων συγκριτικά με τα άλλα οργανικά υλικά σε όλες τις δειγματοληψίες. Τέλος, για τον χαλκό παρατηρείται ότι δεν σημειώνει καμία στατιστικώς σημαντική μεταβολή στη συγκέντρωσή του ανάλογα με τα οργανικά υλικά και ανάλογα με τις δειγματοληψίες.

Σχετικά με τις τοποθετήσεις των οργανικών υλικών, όσον αφορά τις συγκεντρώσεις των στοιχείων στο έδαφος παρατηρείται σύμφωνα με τον

πίνακα 14 ότι ο χαλκός (Cu) και ο σίδηρος (Fe) δεν παρουσίασαν καμία στατιστικώς σημαντική διαφορά καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος .

Αναλυτικότερα, κατά τη πρώτη και δεύτερη δειγματοληψία, στατιστικώς σημαντικές διαφορές στο επίπεδο σημαντικότητας 0,05 παρουσίασαν τα στοιχεία μαγνήσιο (Mg) και μαγγάνιο (Mn). Έτσι, στα στοιχεία αυτά το έδαφος πάνω από την τοποθέτηση οργανικού υλικού σε στρώμα σε βάθος 10 περίπου εκατοστών καθώς και ο μάρτυρας σημείωσαν κατά φθίνουσα σειρά τις μικρότερες συγκεντρώσεις. Αντίθετα, το έδαφος κάτω από την τοποθέτηση οργανικού υλικού σε στρώμα σε βάθος 10 περίπου εκατοστών και η επιφανειακή τοποθέτηση των οργανικών υλικών σημείωσαν τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις Mg και Mn.

Στη τρίτη δειγματοληψία (κατά την 20<sup>η</sup> ημέρα του πειράματος), το Mg, το Mn και ο Zn παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στο επίπεδο σημαντικότητας 0,05. Ο μάρτυρας σημείωσε τη μικρότερη συγκέντρωση των στοιχείων αυτών ενώ η επιφανειακή τοποθέτηση των οργανικών υλικών, τη μεγαλύτερη. Εξαιρέση παρουσιάζει το μαγγάνιο (Mn) που παρουσίασε τη μεγαλύτερη συγκέντρωση στο έδαφος που βρίσκονταν κάτω από την τοποθέτηση οργανικού υλικού σε στρώμα σε βάθος 10 περίπου εκατοστών.

Σχετικά με τη διαφοροποίηση των στοιχείων κατά την τέταρτη δειγματοληψία είναι πασιφανές ότι τα στοιχεία Ca, K, Mn και Zn παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στο επίπεδο σημαντικότητας 0,05. Όλα τα στοιχεία αυτά παρουσίασαν τη μικρότερη συγκέντρωσή τους στο μάρτυρα, εκτός από το ασβέστιο (Ca) που σημείωσε τη μέγιστη. Το ασβέστιο, τη μικρότερη συγκέντρωση τη παρουσίασε κατά την ενσωμάτωση των οργανικών υλικών στο έδαφος. Το έδαφος που βρίσκονταν κάτω από την τοποθέτηση οργανικού υλικού σε στρώμα σε βάθος 10 περίπου εκατοστών και η επιφανειακή τοποθέτηση οργανικού υλικού σημείωσαν κατά φθίνουσα σειρά τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις μαγγανίου (Mn). Αντίθετα τη μεγαλύτερη συγκέντρωση καλίου (K) παρουσίασε το έδαφος που βρίσκονταν κάτω από τη τοποθέτηση οργανικού υλικού σε στρώμα ενώ, τη μεγαλύτερη συγκέντρωση ψευδαργύρου (Zn) σημείωσε το έδαφος κατά την ενσωμάτωση των οργανικών υλικών.

Κατά την 60<sup>η</sup> ημέρα του πειράματος ( πέμπτη δειγματοληψία) σημειώθηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές στο επίπεδο σημαντικότητας 0,05 στα στοιχεία Mg, K, Mn και Zn. Το Mg, το Mn και ο Zn παρουσίασαν τις μέγιστες συγκεντρώσεις κατά την επιφανειακή τοποθέτηση οργανικού υλικού. Το κάλιο σημείωσε τη μεγαλύτερη συγκέντρωση στο έδαφος που βρίσκεται κάτω από την τοποθέτηση οργανικού υλικού σε στρώμα σε βάθος 10 περίπου εκατοστών. Αντίθετα, τις μικρότερες συγκεντρώσεις και στα τέσσερα αυτά στοιχεία εμφανίστηκαν στον μάρτυρα (σκέτο έδαφος).

Γενικά, σύμφωνα με τον πίνακα 14, παρατηρούνται οι μέγιστες τιμές των στοιχείων καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος, κατά την επιφανειακή τοποθέτηση οργανικού υλικού και στο έδαφος που βρίσκεται κάτω από την τοποθέτηση οργανικού υλικού σε στρώμα σε βάθος 10 περίπου εκατοστών. Επίσης, σημειώνονται στατιστικώς σημαντικές μεταβολές σε επίπεδο σημαντικότητας 0,05 στον Zn μετά την 20<sup>η</sup> ημέρα και μέχρι το τέλος του πειράματος. Στο κάλιο (K) εμφανίζονται στατιστικώς σημαντικές μεταβολές σε επίπεδο σημαντικότητας 0,05 μετά την 40<sup>η</sup> ημέρα, στο μαγνήσιο (Mg) παρουσιάζονται μέχρι την 20<sup>η</sup> ημέρα και στο ασβέστιο σημειώνεται μία στατιστικώς σημαντική μεταβολή σε επίπεδο σημαντικότητας 0,05 κατά τη τέταρτη δειγματοληψία (40<sup>η</sup> ημέρα του πειράματος) στην οποία έχουν καταναλωθεί 410 ml νερού.

Συγκρίνοντας τις συγκεντρώσεις των στοιχείων στο έδαφος σε κάθε δειγματοληψία με τις συγκεντρώσεις των στοιχείων στο έδαφος ανάλογα με τα οργανικά υλικά (Εικόνες 1 έως 7) παρατηρούνται διακυμάνσεις τόσο στα μακροστοιχεία, όσο και στα ιχνοστοιχεία.

Η απότομη μείωση ή αύξηση της συγκέντρωσης ορισμένων στοιχείων είναι πιθανό να οφείλεται στην ποσότητα του νερού που προστέθηκε κατά τη διάρκεια του πειράματος και πριν τη διεξαγωγή κάθε δειγματοληψίας, δεν υπάρχουν όμως αποδεικτικά στοιχεία για κάτι τέτοιο.



## **6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- Damblon Eric. 1993. Heavy metals concentration in some organic materials and in tomato plant tissues. Rapport for diploma. T.E.I. Crete.
- Fred Adams. 1984. Soil acidity and liming. Second edition. AGRONOMY 3 - 49
- Jack E. Fergusson. 1990. THE HEAVY ELEMENTS: Chemistry, enviromental impact and health effects. . Pergamon press.
- Jensen. J, Pedersen. MB. 2006. Ecological risk assessment of contaminated soil. 186: 73 -105.
- Jimmy J. Street. Gerald Kidder. 2001. Swedish Environmental Protection Agency. Soil and Plant Nutrition. Claes Bernes.
- Langley A., Gilbey M., Kennedy B. 2003. Heavy Metal Phytotoxicity in Soils. Proceeding of the fifth National Workshop on the Assessment of Site Contamination.
- Martin-Prével P., Gagnard J., Gautier P. 1984. PLANT ANALYSIS. Technique et Documentation - Lavoisier
- Orfeo Turno Rotini. 1984. Gli elementi fitonutritivi e la fertilità del terreno. Edagricole
- Ravi Naidu., Danielle Oliver. Stuart McConell. Heavy Metal Phytotoxicity in Soils.
- Ανδρεαδάκης Α. Διαχείριση στερεών αποβλήτων και ιλύος. ΑΓΡΟΤΙΚΗ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΙΛΥΟΣ.
- Αντωνίου Β, Επιβατιανός Π. 1989. Η τοξικολογική σημασία του καδμίου σήμερα. Ελληνική Ιατρική.
- Γασπαράτος Δ., Χαϊντούτη Κ., Τενερίδης Δ., Τσαγκαλίδης Α. 2004. Βαθμός συσσώρευσης βαρέων μετάλλων σε συγκρίματα Σιδήρου – Μαγγανίου εδαφών με ατελή στράγγιση.
- Γκίκας Πέτρος. Ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση λυμάτων.

- Ζαμπετάκης Α. Λ., Μανιός Β. Θ., Καρατζάς Γ. Καινοτομικές μέθοδοι εξυγίανσης ρυπασμένων εδαφών και υπόγειων υδάτων. Η τεχνολογία της φυτοεξυγίανσης.
- Ισραϊλίδης Κ. Ι. Αξιοποίηση κομποστοποιημένου πυρηνόξυλου και υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείου σαν εδαφοβερτιωτικό. Ινστιτούτο Τεχνολογίας Γεωργικών Προϊόντων . ΕΘΙΑΓΕ.
- Καραγιαννίδης Ν. 2002. Διερεύνηση της επίδρασης της ρύπανσης του εδάφους με τα βαρέα μέταλλα Pb και Cd στην ανάπτυξη και τη δράση του ανδομυκορριζικού μύκητα *Glomus mosseae* σχετικά με την πρόσληψη του P, των βαρέων μετάλλων και την ανάπτυξη φυτών βαμβακιού. Αγροτική έρευνα. 25 (2): 5-14
- Καραταγλής Σ. Κωνσταντίνος. 1999. Φυσιολογία φυτών. Art of text. Τρίτη έκδοση. 4: 141-168
- Κίτσιου-Τζέλη Σοφία. 1992. Παράγοντες τερατογένεσης και συγγενείς ανωμαλίες. Σοφία Κίτσιου-Τζέλη.
- Κράκα Ευαγγελία, Λιάπης Ευθύμης. 1990. Επίδραση διαφόρων οργανικών υλικών που χρησιμοποιήθηκαν σαν εδαφοβελτιωτικά στην περιεκτικότητα των φύλλων και των καρπών τομάτας και πιπεριάς σε βαρέα μέταλλα. Πτυχιακή Εργασία. Σ.Τ.Ε.Γ. Τ.Ε.Ι. Κρήτης.
- Λαζαρίδης Κ. Κολουμπής Π. Σκουλαξινού Σ. Κανακόπουλος Δ. Λώλος Γ. 2002. Προδιαγραφές ποιότητας και διάθεσης κόμποστ: Η Ελληνική και Διεθνής εμπειρία.
- Μαμάης Δ. 2005 – 2006. Οικολογία για μηχανικούς. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Μανιός Β. Κριτσωτάκης Γ. Μανιός. Θ. 2000. Εφαρμογές Κόμποστ στην Γεωργία: Ανάγκες σε κόμποστ, βελτιωτικά εδάφους και υποστρώματα. Προδιαγραφές ποιότητας. Νομικό πλαίσιο.
- Μανιός Θρασύβουλος. 2002. Χουμοποίηση Οργανικών Υπολειμμάτων. Σ.Τ.Ε.Γ., Τ.Ε.Ι. Κρήτης 6-16
- Μήτσιος. Κ. Ιωάννης. 1999. Εδαφολογία. Zymel. 1 – 7, 27 – 32, 52, 74 – 78, 135 – 152

- Ουζουνίδου Γεωργία. Ν. 1993. Μελέτη της επίδρασης βαρέων μετάλλων σε αυτοφυεί φυτικά είδη μεταλλοφόρων περιοχών της β. Ελλάδας.
- Παπαδάκη Αναστασία. 2003. Επίδραση εδαφοβελτιωτικών στη συγκέντρωση βαρέων μετάλλων στα φυτικά μέρη του ραπανιού (*Raphanus sativus*). Πτυχιακή διατριβή. Σ.Τ.Ε.Γ. Τ.Ε.Ι. Κρήτης
- Σινάνης Κωνσταντίνος. 1997. Εργαστηριακές ασκήσεις εδαφολογίας. Σ.Τ.Ε.Γ. Τ.Ε.Ι. Κρήτης. 62-68.
- Σινάνης Κωνσταντίνος. 1997. Σημειώσεις εδαφολογίας. Σ.Τ.Ε.Γ. Τ.Ε.Ι. Κρήτης.
- Στασινάκης Σ. Αθανάσιος. 2003. Εισαγωγή στην περιβαλλοντική μηχανική. Πανεπιστήμιο Αιγαίου. Τμήμα Περιβάλλοντος
- Τσαουσίδου. Π. Τσακαλίδης. Α. Γκάρτζος. Ε. Χαϊντούτη. Κ. Γασπαράτος. Δ. Ταρενίδης. Δ. 2004. Κατανομή των Fe, Al, Cu, Co, Cr, Ni, Zn σε εδάφη Alfisols του νομού Κιλκίς που σχηματίστηκαν σε Γάββρο.
- Τσαπικούνης Φάνης. 1997. Θρέψη – Λίπανση των φυτών. Μέρος Β'. Στοιχεία: Πρόσληψη – Κινητικότητα – Συμπτώματα – Ρόλος. Τροφοπενίες: Οδηγός αναγνώρισης τροφοπενιών σε τομάτα, αγγούρι, φασόλι, πεπόνι, πατάτα, αραβόσιτο, ξυνά. Α. Σταμούλη.
- Τσικαλός Π. 2003. Θρέψη φυτών – Γονιμότητα εδαφών. Πλουτάρχου Ευαγγελίου Τσικαλά
- Φουκαράκη Σοφία. 2005. Διακύμανση της συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων σε οργανικά υλικά ανάλογα με την τοποθέτησή τους στο έδαφος. Πτυχιακή διατριβή. Σ.Τ.Ε.Γ. Α.Τ.Ε.Ι. Κρήτης.

## ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΙΣ

[www.aegeaskek.gr/eco-agro/pdf/enotita2.pdf](http://www.aegeaskek.gr/eco-agro/pdf/enotita2.pdf)

[www.civil.ntua.gr/~kawadas/Books/Env%20Geotechnics/ch-4.pdf](http://www.civil.ntua.gr/~kawadas/Books/Env%20Geotechnics/ch-4.pdf)

[www.civil.ntua.gr/~kawadas/Books/soil%Mechanics/ch02.pdf](http://www.civil.ntua.gr/~kawadas/Books/soil%Mechanics/ch02.pdf)

[www.dbserver.forthnet.gr/Praxis/servlet/praxis.PServlet?s=praxis.TMShowPublic?id=58&l=el](http://www.dbserver.forthnet.gr/Praxis/servlet/praxis.PServlet?s=praxis.TMShowPublic?id=58&l=el)

[www.ecocrete.gr/index.php?option=com\\_content&task=view&id=191&Itemid=82](http://www.ecocrete.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=191&Itemid=82)

[www.envirohelp.eu.com](http://www.envirohelp.eu.com)

[www.epem.gr/pdfs/2002-8.pdf](http://www.epem.gr/pdfs/2002-8.pdf)

[www.erasmus.gr/web/pages.asp?lang=2\\$page1601](http://www.erasmus.gr/web/pages.asp?lang=2$page1601)

[www.igme.gr](http://www.igme.gr)

[www.nagref.gr/journals/ae/ae25\(2\)\\_abstracts\\_el.htm](http://www.nagref.gr/journals/ae/ae25(2)_abstracts_el.htm)

[www.oikoen.gr/selides-compost.htm](http://www.oikoen.gr/selides-compost.htm)

[www.thiassia.gr/newpage203.htm](http://www.thiassia.gr/newpage203.htm)