



ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑΚΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΚΑΙ ΑΝΘΟΚΟΜΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

**Άξιολόγηση οργανικών υλικών σε καλλιέργεια
πιπεριάς υπό κάλυψη'**

ΝΗΣΩΤΑΚΗΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ

Ηράκλειο, 2008

ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑΚΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΚΑΙ ΑΝΘΟΚΟΜΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

**Άξιολόγηση οργανικών υλικών σε καλλιέργεια
πιπεριάς υπό κάλυψη'**

ΝΗΣΩΤΑΚΗΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ

Εισηγητής: Δρ. Πλούταρχος Τσικαλάς Καθηγητής

Ηράκλειο, 2008

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 Παπαδάκη Αναστασία και στους κυρίους Σηνιολάκη Χριστόφορο και Βιαννιτάκη Μιχαήλ 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. ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	7
2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	8
2.1 Γενική αναφορά στην πιπεριά.....	8
Βοτανικά χαρακτηριστικά.....	8
Θερμοκρασίες.....	9
Φωτισμός.....	9
Έδαφος.....	10
Λίπανση.....	10
Εχθροί – Ασθένειες – Φυσιολογικές Ανωμαλίες.....	11
2.2 Γενικά στοιχεία των compost.....	12
2.2.1. Ποιοτικά κριτήρια των compost.....	13
2.2.2 Προβλήματα των compost.....	14
2.3 Βαρέα μέταλλα.....	16
2.3.1. Περιεκτικότητα βαρέων μετάλλων στο έδαφος.....	18
2.3.2. Περιεκτικότητα βαρέων μετάλλων σε οργανικά υλικά.....	21
2.3.3. Ο ρόλος και η επίδραση των βαρέων μετάλλων στα φυτά.....	22
2.3.4. Επιπτώσεις των βαρέων μετάλλων στα φυτά.....	25
2.3.5. Ο ρόλος και η επίδραση των βαρέων μετάλλων στον άνθρωπο.....	27
2.4 Φυτοεξυγίανση.....	28
Φυτοεξαγωγή (Phytoextraction).....	29
Φυτοαποικοδόμηση ή Φυτομετασχηματισμός Phytotransformation).....	29
Φυτοσταθεροποίηση (Phytostabilization).....	29
Ριζοφιλτράρισμα (Rhizofiltration).....	29
Ριζοαποικοδόμηση (Rhizosphere bioremediation).....	29
2.5 Νομική θέση.....	30
2.6 Φυλλοδιαγνωστική.....	32
2.6.1 Οι διακυμάνσεις της συγκέντρωσης των ανόργανων θρεπτικών στοιχείων στα φύλλα.....	36
2.6.2 Δειγματοληψία για ανάλυση του φυτού.....	38
Οι παράμετροι της δειγματοληψίας	38
Κριτήρια απόρριψης ακαταλλήλων δειγμάτων.....	39

Συγκριτικές δειγματοληψίες.....	39
Στατιστική επάρκεια & αξιοπιστία του αποτελέσματος.....	40
Διαγνωστικοί πίνακες.....	40
Συλλογή συμπληρωματικών στοιχείων.....	41
Μεταφορά του δείγματος στο εργαστήριο.....	41
Δειγματοληψία στην πιπεριά.....	42
2.6.3 Προετοιμασία του δείγματος για ανάλυση.....	43
Καθαρισμός δείγματος.....	43
Ξήρανση σε φούρνο.....	44
Μετατροπή του φυτικού ιστού σε σκόνη (άλεσμα).....	44
Φύλαξη του δείγματος.....	44
Προσδιορισμός υγρασίας.....	44
Καταστροφή της οργανικής ουσίας (καύση).....	44
3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	45
3.1 Εγκατάσταση πειράματος.....	45
4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	50
Σύγκριση οργανικών υλικών ως προς το ύψος.....	51
Σύγκριση οργανικών υλικών ως προς το πλάτος.....	51
5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	

1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στις μέρες μας η σωστή διαχείριση και αξιοποίηση φυσικών πόρων είναι περισσότερο από ποτέ επιβεβλημένη. Στα πλαίσια της σωστής διαχείρισης εντάσσεται η επαναχρησιμοποίηση απορριμμάτων, αποβλήτων και υπολειμμάτων καλλιεργειών. Το εργαστήριο διαχείρισης στερεών υπολειμμάτων και αποβλήτων του ΤΕΙ Κρήτης παράγει διάφορα κόμποστ από απορρίμματα, απόβλητα και υπολείμματα καλλιεργειών τα οποία προορίζονται για χρήση σε καλλιέργειες. Ο σκοπός του πειράματος είναι η αξιολόγηση τεσσάρων οργανικών υλικών σε καλλιέργεια πιπεριάς υπό κάλυψη.

Για την επίτευξη του σκοπού αυτού λοιπόν εγκαταστάθηκε ένα πείραμα στο αγρόκτημα του ΤΕΙ Κρήτης, με οκτώ επεμβάσεις σε τέσσερις επαναλήψεις και πέντε γλάστρες ανά πειραματικό τεμάχιο. Το πειραματικό σχέδιο που ακολουθήθηκε ήταν το πλήρως τυχαίοποιημένο (Randomised blocks). Στις 160 συνολικά γλάστρες φυτεύτηκαν φυτά πιπεριάς ποικιλίας φλάσκα. Τα οργανικά υλικά που αξιολογήθηκαν ήταν τα εξής: κόμποστ από ελαιοπυρήνα, κόμποστ από υπολείμματα Χανίων, κόμποστ από κλαδοκάθαρα του δήμου Ηρακλείου και κόμποστ λάσπης βιολογικού καθαρισμού. Τα παραπάνω υλικά χρησιμοποιήθηκαν σε δύο δόσεις το καθένα. Οι μετρήσεις του πειράματος αφορούν την ανάπτυξη των φυτών, την παραγωγή και την περιεκτικότητα των οργανικών υλικών καθώς και των φυτικών ιστών σε βαρέα μέταλλα.

Για την αξιολόγηση των οργανικών υλικών απαιτείται εκτός από ανάλυση εδάφους και ανάλυση φυτικών ιστών. Η εφαρμογή της φυλλοδιαγνωστικής προϋποθέτει σωστή δειγματοληψία φυτικού ιστού, συλλογή συμπληρωματικών στοιχείων και σωστή μεταφορά και μεταχείριση του δείγματος στο εργαστήριο προκειμένου να προσδιοριστούν τα διάφορα θρεπτικά στοιχεία. Εκτός από αυτά κρίσιμο είναι το στάδιο της αξιολόγησης των αποτελεσμάτων βάση του οποίου γίνονται συγκρίσεις και παραπομπές σε διαγνωστικούς πίνακες.

2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

2.1 ΓΕΝΙΚΗ ΑΝΑΦΟΡΑ ΣΤΗ ΠΙΠΕΡΙΑ

Η πιπεριά που καλλιεργείται στην Ελλάδα ανήκει στο είδος *Capsicum annuum* της οικογένειας *Solanaceae*. Κατάγεται από την τροπική Αμερική όπου είναι πολυετές θαμνώδες φυτό. Στις εύκρατες ζώνες καλλιεργείται ως ετήσιο φυτό γιατί νεκρώνεται από τις χαμηλές θερμοκρασίες του χειμώνα.

Στη χώρα μας καλλιεργείται στο θερμοκήπιο και στο ύπαιθρο σε έκταση περίπου 40.000 στρ με ετήσια παραγωγή 90.000 τόνων περίπου. Οι κυριότερες ποικιλίες είναι η πράσινη της Νέας Μαγνησίας με τους γλυκούς και σαρκώδεις καρπούς, Φλωρίνης με τους κόκκινους καρπούς γλυκούς ή καυτερούς, σχήματος κωνικού, μακριού, μετρίου μεγέθους που τρώγονται ψητές, γίνονται πάπρικα ή κονσερβοποιούνται, Τσούσκα με ελαφριά καυτερή γεύση και κιτρινοπράσινο χρώμα, κίτρινη Κουφαλιών, πιπερούδι που γίνεται τουρσί και καλλιεργείται στις περιοχές της Θεσσαλονίκης. Η ξερή, τριμμένη κόκκινη πιπεριά σε ορισμένες περιοχές είναι γνωστή και σαν μπούκοβο.

Βοτανικά χαρακτηριστικά

Η πιπεριά είναι φυτό ποώδες με ύψος 60-120 cm ανάλογα την ποικιλία. Το ριζικό σύστημα του φυτού είναι πλούσιο διακλαδιζόμενο που σε πορώδες έδαφος μπορεί να φτάσει και το 1 μέτρο. Οι βλαστοί αρχικά είναι ποώδεις και αργότερα ξυλοποιούνται από τη βάση προς τα πάνω. Το φυτό με το πέρασμα του χρόνου αποκτά θαμνώδη μορφή συνέπεια του ότι μετά από μια ορισμένη ανάπτυξη οι βλαστοφόροι οφθαλμοί μετατρέπονται σε ανθοφόρους. Τα φύλλα είναι σχετικά μικρά, ανοικτού πράσινου χρώματος, οξύληκτα και λεία. Τα άνθη είναι μονήρη, ερμαφρόδιτα, μικρά και συνήθως αυτόγονιμοποιούνται, αλλά είναι δυνατή η διασταύρωση μεταξύ ανθέων της ίδιας η άλλης ποικιλίας. Αποτελούνται από το κάλυκα με 5 σέπαλα, τη στεφάνη με 5 λευκά πέταλα, 5 στήμονες με ιώδης ανθηρές, έναν ύπερο με στυλό μακρύτερο από τους στήμονες και στη βάση του μια δίχωρη ή τρίχωρη ωοθήκη.

Ο καρπός είναι ράγα. Το σχήμα του είναι από επίμηκες κωνικό έως σφαιρικό και το μέγεθος του είναι ανάλογο με τη ποικιλία. Είναι πολύσπερμος με πολλά κενά εσωτερικά χωρίσματα. Τον καρπό της πιπεριάς σαν λαχανικό τον τρώμε άωρο

(τρυφερό) και στο στάδιο αυτό έχουμε πράσινες, κιτρινοπράσινες, κίτρινες και κόκκινες πιπεριές. Η καυστική ουσία που υπάρχει στους καρπούς ορισμένων ποικιλιών είναι η καψαϊκίνη. Τέλος ο καρπός της πιπεριάς είναι 'μη κλιμακτηρικός' σε αντίθεση με τη τομάτα (Πεδιαδιτάκης, 2002).

Θερμοκρασίες

Ως προς τις απαιτήσεις σε θερμοκρασίες, απαιτείται μια ελάχιστη θερμοκρασία εδάφους 14-15 °C, ενώ άριστη είναι 24-28 °C, για το φύτευμα των σπόρων. Για την καλή και γρήγορη ανάπτυξη των σπορόφυτων άριστη θερμοκρασία (αέρος) ημέρας 24-25 °C και νύχτας 16-18 °C.

Από τη μεταφύτευση στο έδαφος μέχρι το τέλος της καλλιέργειας, άριστη θερμοκρασία ημέρας 22-26 °C, νύχτας 18-20 °C με εξαίρεση τις περιόδους καρπόδεσης που η άριστη θερμοκρασία ημέρας είναι 20-22 °C και νύχτας 16-17 °C. Στις περισσότερες ποικιλίες δε γίνεται καρπόδεση αν η θερμοκρασία της νύχτας δεν πέσει κάτω από τους 20 °C (παρατηρείται περισσότερο στις μεγαλόκαρπες ποικιλίες).

Το ποσοστό καρπόδεσης μειώνεται όταν κατά τη διάρκεια της ημέρας επικρατούν θερμοκρασίες άνω των 28 °C και κάτω των 15 °C. Στους 0 °C το φυτό νεκρώνεται.

Φωτισμός

Η πιπεριά είναι φυτό ουδέτερο γενικά ως προς τη φωτοπερίοδο το φως δεν είναι απαραίτητο στη σύνθεση των κόκκινων χρωστικών της πιπεριάς. Το φυτό απαιτεί υψηλές εντάσεις φωτισμού για κανονική ανάπτυξη και καρποφορία. Οι καρποί όμως πρέπει να σκιάζονται από τα φύλλα για την αποφυγή του καψίματος από τον ήλιο. Για τη κανονική ανάπτυξη του φυτού απαιτείται σχετική ατμοσφαιρική υγρασία από 65-80%, με άριστα 70-75%. Σχετική υγρασία αέρα κάτω από 60% κάνει τα φυτά να υποφέρουν με αποτέλεσμα χαμηλές αποδόσεις και υποβαθμισμένη ποιότητα προϊόντων. Η κανονική ανθοφορία και καρπόδεση επηρεάζεται σημαντικά από την επαρκή υγρασία του εδάφους.

Έδαφος

Γενικά ευδοκιμεί σε πολλούς τύπους εδαφών. Προτιμά ελαφριά, σταγγερα, γόνιμα, πλούσια σε οργανική ουσία εδάφη. Άριστο έδαφος για τη πιπεριά θεωρείται το αμμοπηλώδες με αρκετή οργανική ουσία. Έχει παρατηρηθεί όμως ότι η βιομηχανική πιπεριά αποκτά καλύτερο χρώμα σε κάπως βαρύτερα εδάφη. Πάντως σε περιοχές που συμβαίνουν το φθινόπωρο πρόωροι παγετοί προτιμούνται ελαφρά εδάφη γιατί εκεί η ωρίμανση είναι πρωιμότερη.

Ευνοϊκότερο pH εδάφους για την ανάπτυξη του φυτού είναι 5,5 – 7,0. Τα αλμυρά εδάφη δεν είναι κατάλληλα γι' αυτή την καλλιέργεια γιατί η ανάπτυξη του φυτού επιβραδύνεται. Αυτή η επιβράδυνση επηρεάζει το μέγεθος του καρπού και τη ποσότητα παραγωγής.

Λίπανση

Οι απαιτήσεις της πιπεριάς σε θρεπτικά στοιχεία είναι μικρές μέχρι την καρπόδεση της πρώτης ταξιανθίας και αυξάνονται κατακόρυφα κατά την περίοδο από την 90η μέχρι την 130η μέρα από τη φύτευση. Οι τιμές που παραθέτονται παρακάτω και αφορούν τη λίπανση της πιπεριάς έχουν ανακοινωθεί από το Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης.

α) Υπαιθρια Καλλιέργεια

Βασική Λίπανση

Άζωτο (N) : 7 – 10 μονάδες/στρέμμα

Φώσφορος (P₂O₅) : 5 – 7,5 μονάδες/στρέμμα

Κάλιο (K₂O) : 10 – 20 μονάδες/στρέμμα

Μαγνήσιο (MgO) : 5 – 8 μονάδες/στρέμμα

β) Καλλιέργεια στο Θερμοκήπιο

Βασική Λίπανση

Άζωτο (N) : 30 – 40 μονάδες/στρέμμα

Φώσφορος (P₂O₅) : 15 – 22 μονάδες/στρέμμα

Κάλιο (K₂O) : 7,5 – 10 μονάδες/στρέμμα

Μαγνήσιο (MgO) : 8 μονάδες/στρέμμα

Επιφανειακή Λίπανση

Φώσφορος (P₂O₅) : 8 – 12 μονάδες/στρέμμα

Κάλιο (K₂O) : 12 – 20 μονάδες/στρέμμα

Οι επιφανειακές λιπάνσεις γίνονται μέσω του συστήματος άρδευσης :

- η πρώτη γίνεται πριν την άνθιση
- οι 8 – 10 υδρολιπάνσεις που ακολουθούν ξεκινούν από την ανάπτυξη των πρώτων καρπών (Υπουργείο Γεωργίας). Συνιστάται η προσθήκη 4–5 τόνων/ στρέμμα κοπριάς (Πεδιαδιτάκης, 2002).

Εχθροί – Ασθένειες – Φυσιολογικές Ανωμαλίες

Μερικοί από τους σημαντικότερους ζωικούς εχθρούς είναι: Ανθονόμος, Σκουλήκια της πιπεριάς, Αφίδες, Αλευρώδης, Τετράνυχος, Θρύπες και Νηματώδεις. Ασθένειες: Τήξεις σπορείων, Αδρομυκώσεις, Σηψηρριζίες, Βοτρύτης, Σκληροτίνια, Ωίδιο, Ανθράκωση και σήψη ώριμων καρπών. Επίσης, Μωσαϊκή αγγουριάς, Μωσαϊκή του καπνού και Καρούλιασμα των φύλλων. Μερικές από της σημαντικότερες φυσιολογικές ανωμαλίες είναι: α) Ηλιόκαμμα που προκαλείται από έντονο και άμεσο ηλιακό φως, β) Σχίσσιμο του καρπού που οφείλεται σε διαταραχές θρέψης και ακατάστατο πότισμα και γ) Σήψη της κορυφής του καρπού που οφείλεται σε ξηρασία (Πεδιαδιτάκης, 2002).



Εικόνα 1. Φυτό πιπεριάς

2.2 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΩΝ COMPOST

Ο όρος Κόμποστ (Compost) αναφέρεται στα προϊόντα εκείνα που προκύπτουν από οργανικά υλικά, μετά από μια διαδικασία που ονομάζεται Κομποστοποίηση (Composting). Αυτά μπορεί να είναι φύλλα ελιάς, στέμφυλα, λάσπη βιολογικού καθαρισμού κ.α.

Κομποστοποίηση είναι η διαδικασία της αερόβιας βιολογικής αποδόμησης των οργανικών υλικών κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες για την παρασκευή οργανοχουμικών, εδαφοβελτιωτικών υλικών. Τα προϊόντα που παράγονται λέγονται Κόμποστ . Η ποιότητα του Κόμποστ εξαρτάται κυρίως από την πρώτη ύλη ή από τις προσμίξεις των πρώτων υλών, αλλά επηρεάζεται και από τη σωστή εφαρμογή της Κομποστοποίησης (Ασσαργιωτάκη, 1998).

Η περιεκτικότητα των Κόμποστ σε βαρέα μέταλλα είναι γενικά χαμηλή. Η χρήση βιοκόμποστ σαν θρεπτικό υπόστρωμα μπορεί να περιοριστεί εάν το έδαφος έχει υψηλή αλατότητα. Η έρευνα των Vogtman, et.al, 1993, αναφέρει ότι το φυτοκόμποστ έχει χαμηλή περιεκτικότητα σε οργανική ουσία, χαμηλή περιεκτικότητα σε άζωτο (N), πεντοξείδιο φωσφόρου (P_2O_5) και οξειδίο καλίου (K_2O) σε σχέση με το βιοκόμποστ. Το ίδιο ισχύει και με την αλατότητα. Επίσης Compost που προήλθε από συνολικά απόβλητα έχει πολύ χαμηλή περιεκτικότητα σε οξειδίο καλίου (K_2O), ενώ άλλοι τύποι compost περιείχαν πολύ υψηλή περιεκτικότητα (K_2O) σε σχέση με το φυτοκόμποστ. Η ποιότητα ενός compost εξαρτάται κυρίως από το είδος και την σύνθεση της πρώτης ύλης, επηρεάζεται επίσης από το βαθμό καθαρότητας της πρώτης ύλης και από τον τύπο της τεχνολογίας που χρησιμοποιήθηκε κατά τη κομποστοποίηση (composting).

Το αρχικό μέγεθος των τεμαχιδίων του οργανικού υλικού, προς Κομποστοποίηση , επηρεάζει αναλογικά την κοκκομετρική σύνθεση του τελικού Κόμποστ και είναι γνωστό πως αυτό δεν είναι επιθυμητό να είναι σε κατάσταση σκόνης. Από πειράματα που έχουν γίνει φαίνεται ότι το άριστο μέγεθος των τεμαχιδίων είναι μεταξύ του 1,5cm και 7,5cm περίπου. (Μανιός, 1995)

2.2.1. ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΤΩΝ COMPOST

Τα ποιοτικά κριτήρια για ένα άριστο προς χρήση Κόμποστ είναι:

- 1. Περιεκτικότητα σε νερό**, η οποία δεν θα πρέπει να ξεπερνάει το 45%. Συνιστάται για λεπτόκοκκα υλικά να είναι έως 35% και για χονδρόκοκκα υλικά έως 60% και αυτό προκειμένου να υπάρξουν άριστες συνθήκες για διεργασίες, όπως κοσκίνισμα κ.α.
- 2. Το pH**, η μέση τιμή του οποίου συνιστάται στο 7,56 η οποία είναι ικανοποιητική για χρήση σε οποιοδήποτε έδαφος. Το PH εξαρτάται από την προέλευση των συστατικών της πρώτης ύλης που περιέχει το Κόμποστ.
- 3. Η περιεκτικότητα σε άλατα**, είναι βασικό κριτήριο για την χρήση του Κόμποστ. Ένα Κόμποστ με υψηλή περιεκτικότητα σε άλατα δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για γλάστρες, παρά μόνο σε μικρές ποσότητες. Σε αγροτικές εφαρμογές ή παρτέρια μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν εδαφοβελτιωτικό. Η μέση περιεκτικότητα σε άλατα που είναι ασφαλής για την χρήση compost είναι 3,899 g/L φρέσκιας ύλης (Handry Vogtman, et.al., 1993). Η περιεκτικότητα σε άλατα αποτελεί περιοριστικό παράγοντα όταν αυτό πρόκειται να χρησιμοποιηθεί σαν υπόστρωμα. Καθορίζεται από τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν καθώς και από τον βαθμό στράγγισης.
- 4. Οργανική ουσία**. Άριστης ποιότητας compost θεωρείται αυτό που έχει μεγαλύτερο από 20% οργανική ουσία επί της ξηράς βάσης.
- 5. Λόγος C/N**. Ο λόγος C/N διαφέρει πολύ ανάλογα με τα υλικά του compost. Η χρήση compost με υψηλή αναλογία C/N έχει ως αποτέλεσμα την ακινητοποίηση του αζώτου στο έδαφος. Προκειμένου να μην υπάρχει ανταγωνισμός μεταξύ του ριζικού συστήματος και των μικροοργανισμών του εδάφους για το άζωτο θα πρέπει το compost να έχει αναλογία C/N =18 ή λιγότερο. Περίπου άριστα επίπεδα για καλλιέργεια είναι C/N = 16,96 (Vogtman, et al., 1993).
- 6. Άζωτο (N)**. Το άζωτο αποτελεί ένα από τα βασικά θρεπτικά στοιχεία. Ο μέσος όρος της περιεκτικότητας Κόμποστ σε ολικό άζωτο είναι 1,15% επί της ξηράς ουσίας. Σύμφωνα με έρευνες που αφορούν την ποιότητα του Κόμποστ, περισσότερο από 90% του αζώτου που βρέθηκε ήταν

οργανικό. Η πιο διαθέσιμη μορφή αζώτου που βρέθηκε για τα φυτά ήταν το νιτρικό. Ανάλογα με τον τύπο του εδάφους και τις επικρατούσες κλιματολογικές συνθήκες ένα επιπλέον 5-15% του οργανικού αζώτου μπορεί να είναι διαθέσιμο στα φυτά μέσα σε μια καλλιεργητική περίοδο με την διαδικασία της ανοργανοποίησης.

- 7. Φωσφόρος (P).** Η τιμές του φωσφόρου κυμαίνονται γύρω στο 0,62% επί της ξηρής ουσίας, ενώ το 20-40% του ολικού φωσφόρου είναι διαθέσιμο στα φυτά.
- 8. Κάλιο (K).** Η περιεκτικότητα καλίου εξαρτάται από την πρώτη ύλη των compost. Η μέση περιεκτικότητα compost σε κάλιο είναι 1,01% επί της ξηρής ουσίας. Περισσότερο από 85% του συνολικού καλίου είναι διαθέσιμο στα φυτά. Εξ' αιτίας της υψηλής υδατοδιαλυτότητας του καλίου, μπορεί να εκπλυθεί εάν η Κομποστοποίηση γίνει χωρίς κάλυψη.
- 9. Ασβέστιο (Ca) & Μαγνήσιο (Mg).** Το μαγνήσιο και το ασβέστιο δρουν ως βάσεις εάν βρίσκονται με την μορφή οξειδίων, υδροξειδίων και ανθρακικών. Το ασβέστιο ευνοεί το σχηματισμό συσσωματωμάτων. Η προσθήκη συστατικών που δρουν ως βάσεις επιδρούν στο PH του εδάφους, ενώ σε συνδυασμό με το pH του Κόμποστ μεταβάλλουν την διαθεσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων στο φυτό. Κατά μέσο όρο τα compost περιέχουν 0,8% MgO και 3,95% Ca επί της ξηράς ουσίας. Συχνά και τα δύο συστατικά συναντιούνται στα ίδια εδάφη, όπως για παράδειγμα στον ασβεστόλιθο και στον δολομίτη.

2.2.2 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΤΩΝ COMPOST

Τα compost, όταν δεν έχει ολοκληρωθεί η χώνευση τους ή όταν δεν είναι πλήρως «ώριμα», μπορούν να προκαλέσουν στα φυτά διάφορες τροφopenίες και κυρίως N, αλλά ακόμη και φυτοτοξικά συμπτώματα. Συμπερασματικά αναφέρεται ότι οι φυτοτοξικές ουσίες, που είτε υπάρχουν στα οργανικά υπολείμματα είτε παράγονται κατά τη φάση της ταχείας κυρίως αποδόμησης, διασπώνται κι αυτές στα επόμενα στάδια της χώνευσης και της ωρίμανσης. Για το λόγο αυτό είναι απαραίτητο κατά την παρασκευή των compost, τη φάση της χώνευσης να ακολουθεί περίοδος

2-3 μηνών για την ωρίμανση τους. Ένα άλλο σοβαρό πρόβλημα των κομποστ, αλλά σχεδόν αποκλειστικά αυτών που παρασκευάζονται από τα αστικά απορρίμματα και τη ΛΒΚΛ, είναι η αυξημένη περιεκτικότητα τους σε βαρέα μέταλλα. Για το λόγο αυτό επιβάλλεται ο έλεγχος της περιεκτικότητας τους σ' αυτά πριν από τη χρήση τους σε καλλιέργειες. Η ύπαρξη βαρέων μετάλλων στα κομποστ παίζει εξέχοντα ρόλο στην ποιότητα τους. Τα φυτοκόμποστ περιέχουν σημαντικά λιγότερο μόλυβδο, χαλκό και ψευδάργυρο από τα βιοκόμποστ. Τα αίτια γι' αυτό δεν είναι πολύ ξεκάθαρα. Λέχθηκε ότι η συμμετοχή αποβλήτων του νοικοκυριού στα βιοκόμποστ, αυξάνει τις συγκεντρώσεις σε βαρέα μέταλλα. Μετά από έρευνες που έγιναν η θεωρία αυτή απορρίφθηκε (Vogtman, et.al., 1993). Βασικό πρόβλημα του παραγόμενου κομποστ από δημοτικά απορρίμματα, εκτός το υψηλό κόστος παραγωγής του, είναι η περιεκτικότητά του σε βαρέα μέταλλα που ποικίλει από πόλη σε πόλη και από χώρα σε χώρα, ανάλογα με την προέλευση των απορριμμάτων, οικιακά, βιομηχανικά κ.λ.π. (Μανιός, 1995)

Εάν πηγή των οργανικών υλικών είναι εδάφη επιβαρημένα με βαρέα μέταλλα, η περιεκτικότητά τους στα κομποστ που παράγονται θα είναι αυξημένη. Τα αίτια της επιβάρυνσης των εδαφών με βαρέα μέταλλα είναι κυρίως η αλόγιστη χρήση ξένων υλικών για εδαφοβελτιωτικά, κομποστοποίηση φύλλων, υπολειμμάτων φύλλων και η χρήση λιπασμάτων, που περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις σε βαρέα μέταλλα. Σημαντική πηγή μόλυνσης αποτελεί και η χρήση στάχτης από τζάκια σαν λίπασμα.

Σύμφωνα με μία έρευνα (Petruzzelli, et al., 1989), με την διαδικασία διαδοχικής εξαγωγής, διάφορες κλάσεις μετάλλων μπορούν να αναγνωριστούν. Τα υδατοδιαλυτά μέταλλα αντιπροσωπεύουν το πιο κινητό και ενδεχομένως το πιο επικίνδυνο κλάσμα για το έδαφος με την προσθήκη του κόμποστ. Τα διαφορετικά φυσικά κλάσματα των κόμποστ επιδρούν στις συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων. Υψηλότερες συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων έχουν τα λεπτότερα κλάσματα, μικρότερα του 1mm. Ειδικά στην περίπτωση του μόλυβδου, η αύξηση της συγκέντρωσης του είναι 50%. Το λεπτό αυτό κλάσμα συμμετέχει περισσότερο από τα άλλα στην περιβαλλοντολογική μόλυνση από βαρέα

μέταλλα. Σύμφωνα με τα παραπάνω μπορούμε να πούμε ότι ένας πιθανός τρόπος μείωσης της μόλυνσης των κομποστ από βαρέα μέταλλα είναι η απομάκρυνση του λεπτότερου κλάσματος, μικρότερο του 1 mm.

2.3. ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ

Βαρέα μέταλλα ονομάζονται τα στοιχεία του περιοδικού συστήματος με ατομικό βάρος μεγαλύτερο του Fe και με πυκνότητα (d) μεγαλύτερη από 5 g/cc (Κράκα και Λιάπης,1990) . Στο πίνακα 1 και 2 που ακολουθούν φαίνονται όλα τα βαρέα μέταλλα η πυκνότητα και το ατομικό βάρος του κάθε ενός.

Πίνακας 1. Ομάδα του περιοδικού συστήματος, πυκνότητα και ατομικό βάρος βαρέων μετάλλων (Κράκα και Λιάπης,1990)

Ομάδα περιοδικού συστήματος	IB	IB	IB	IIB	IIB	IIB	IVA	IVA	VIII	VIII	VII	VIB	VIB	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	196.96	65.37	112.4	200.59	207.19	118.69	55.847	58.93	58.7	51.996	54.938	195.09

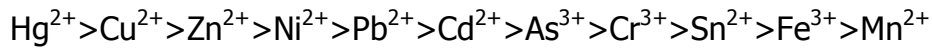
Πίνακας 2. Πυκνότητα και ατομικό βάρος βαρέων μετάλλων (Παπαδάκη, 2003)

Βαρέα μέταλλα		Σύμβολο	Πυκνότητα (d) (g/cm³)	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	Βολφραϊμιο	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 κατάλοιπων 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^{3+}) 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 3.) (Κράκα και Λιάπης, 1990). 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 και Λιάπης, 1990) .

Πίνακας 3. Περιεκτικότητα διαφόρων εδαφών σε βαρέα μέταλλα και ανώτατα όρια ανοχής σε mg/Kg ξηρού εδάφους (Κράκα και Λιάπης,1990) .

Στοιχεία	Αργιλώδη εδάφη	Αμμώδη εδάφη	Επιφανειακό έδαφος	Ανεκτά όρια 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^{+2} , Fe^{+3}), 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^{+2}). 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 ppm και εξαρτάται από τον τύπο του εδάφους. Προσλαμβάνεται από τα φυτά σαν κατιόν (Zn^{+2}). Τα αμμώδη ή οργανικά εδάφη ευνοούν την έλλειψη ψευδαργύρου. Επίσης, εδάφη αλκαλικής αντίδρασης με υψηλά επίπεδα αφομοιώσιμου φωσφόρου ευνοούν την εμφάνιση τροφοπενιών.

Χαλκός Cu

Είναι ένα δυσκίνητο στοιχείο που βρίσκεται στο έδαφος και προσλαμβάνεται από τα φυτά σαν κατιόν (Cu^{+2}). 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 (Mo^{-2}). Η παρουσία υψηλών συγκεντρώσεων στο έδαφος, ψευδαργύρου (Zn), χαλκού (Cu), νικελίου (Ni), καθώς και θεικών, μειώνει την πρόσληψή του από τα φυτά. Εδάφη αμμώδη, οργανικά 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 Ca^{+2} και PO_4^{-3} 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, 1998).

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 4. 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 σύμπλοκων ενώσεων μολύβδου και οργανικών ενώσεων που περιέχονται στην ιλύ (Ανδρεαδάκης, 1998).

Πίνακας 4. 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
Καρβονοκάμινια	As, Se, Sb, Pb
Cloroalkalicell	Hg

2.3.3. Ο ρόλος και η 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.

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 για 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 συμπάροντας μεγάλου αριθμού ενζύμων. Επίσης σχετίζεται με τον μεταβολισμό των υδατανθράκων, των πρωτεϊνών, των αυξινών και του RNA (Καράταγλης, 1999), και είναι συστατικό των μεταλλοενζύμων όπως: αλκοολική αφυδρογονάση, αφυδρογονάση του γλουταμινικού οξέος, 3-P αφυδρογονάση της D-γλυκεριναλδεϋδης 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 (Καράταγλης, 1999), 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 (Καράταγλης, 1999).

Ο χαλκός αποτελεί σημαντικό συστατικό μερικών πρωτεϊνών και μερικών ενζύμων, όπως της πλαστοκυανίνης, (Παπαδάκη, 2003) της υπεροξειδικής δισμουτάσης (SOD), της κυτοχρωμικής οξειδάσης, της ασκορβικής οξειδάσης και της φαινόλασης. 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 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 (ριζόβια) αζωτοδεσμευτικά βακτήρια των ψυχανθών. Είναι επίσης, απαραίτητο για το σχηματισμό της βιταμίνης B₁₂ (κυανοκαβαλαμίνης), που είναι σημαντική για τον σχηματισμό της αιμογλοβίνης, η οποία απαιτείται για την δέσμευση του O₂.

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

Πίνακας 5. Μέσος όρος βαρέων μετάλλων στα φυτά (Fergusson, 1990).

Στοιχείο	Συγκέντρωση (μg g⁻¹)
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

2.3.4. 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, 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 μολύβδο 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 Βολφράμιο, 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.

2.3.5. Ο ρόλος και η 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.

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. 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 οξειδάσης του κυτοχρώματος) καθώς και ιστών του ανθρώπινου σώματος.

2.4 ΦΥΤΟΕΞΥΓΙΑΝΣΗ

Η φυτοεξυγίανση χρησιμοποιεί μια βασική γενική ιδέα «το φυτό απορροφά τους ρύπους μέσω του ριζικού συστήματος». Αποτελεί μια νέα σχετικά τεχνολογία που συνίσταται στην χρήση φυτών για τον καθαρισμό (απορρύπανση) εδαφών, νερών και ιζημάτων από ανόργανους και οργανικούς ρύπους. Με βάση το είδος του ρύπου, το είδος του φυτού, την παρουσία ή μη των κατάλληλων μικροοργανισμών του εδάφους στην ριζόσφαιρα του φυτού, αναπτύσσονται διάφοροι μηχανισμοί που διαχειρίζονται τον ρύπο και εξυγιαίνουν το έδαφος. Η φυτοεξυγίανση είναι

πιο αποτελεσματική στην πράξη όταν συνδυάζει περισσότερους του ενός μηχανισμούς. Αναφορικά οι μηχανισμοί αυτοί είναι φυτοεξαγωγή, φυτοαποικοδόμηση, φυτοσταθεροποίηση, ριζοφιλτράρισμα και ριζοαποικοδόμηση.

Φυτοεξαγωγή (Phytoextraction).

Είναι η απορρόφηση των ρύπων (βαρέων μετάλλων) από το ριζικό σύστημα των φυτών και η αποθήκευση τους στο υπέργειο τμήμα, (βλαστοί, φύλλα). Τα φυτά που έχουν αυτή την ικανότητα ονομάζονται υπερσυσσωρευτές. Έπειτα τα φυτά συγκομίζονται και συνήθως αποτεφρώνονται. Η στάχτη που περιέχει τον ρύπο αποθηκεύεται και έτσι μειώνεται ο όγκος που περιέχεται ο ρύπος. Το πιο δύσκολο μέταλλο στην συσσώρευση του από φυτά υπερσυσσωρευτές είναι ο μόλυβδος και αυτό γιατί συσσωρεύεται στις δευτερεύουσες ρίζες των φυτών με αποτέλεσμα να μην μπορεί να απομακρυνθεί με την συγκομιδή τους.

Φυτοαποικοδόμηση ή Φυτομετασχηματισμός Phytotransformation).

Είναι η απορρόφηση των ρύπων από το ριζικό σύστημα του φυτού και ο μεταβολισμός τους σε άλλα προϊόντα λιγότερο τοξικά που, είτε αποθηκεύονται στα φυτά, είτε εξαχνούνται στην ατμόσφαιρα.

Φυτοσταθεροποίηση (Phytostabilization).

Είναι η ακινητοποίηση των ρύπων στο έδαφος από το ριζικό σύστημα των φυτών.

Ριζοφιλτράρισμα (Rhizofiltration).

Είναι η απορρόφηση / φιλτράρισμα των ρύπων (μετάλλων) από το ριζικό σύστημα των φυτών. Οι ρίζες απορροφούν και ακινητοποιούν σ' αυτές τους ρύπους.

Ριζοαποικοδόμηση (Rhizosphere bioremediation).

Είναι η απορρόφηση των οργανικών ρύπων από το πυκνό ριζικό σύστημα των φυτών, η διατήρηση τους σ' αυτές και η αποδόμηση τους εν συνεχεία από μικροοργανισμούς που εποίκουν στη ριζόσφαιρα.

Εκτός από την φυτοεξυγίανση υπάρχουν και άλλοι τρόποι απορρύπανσης, σύμφωνα με πείραμα που έγινε στην Πενσυλβάνια βρέθηκε ότι αναμιγνύοντας κομποστ από απόβλητα επεξεργασμένα, πλούσια σε σίδηρο και ασβέστιο με χώμα πλούσιο σε ψευδάργυρο, μειώνεται η τοξικότητα

ψευδαργύρου λόγω της δέσμευσης του από το σίδηρο του κομποστ. Έτσι μειώνεται η προσρόφηση ψευδαργύρου από το φυτό. Ύστερα από αιματολογικές και ουρολογικές εξετάσεις των κατοίκων της περιοχής που κατανάλωναν λαχανικά καλλιεργούμενα σε πλούσιες με ψευδάργυρο εκτάσεις με τον παραπάνω τρόπο, δεν βρέθηκε κανένα ίχνος ψευδαργύρου και καδμίου, το οποίο δημιουργεί σοβαρές βλάβες στον ανθρώπινο οργανισμό.

2.5 ΝΟΜΙΚΗ ΘΕΣΗ

Το ισχύον μέχρι σήμερα νομοθετικό πλαίσιο χρονολογείται από τον Αύγουστο του έτους 1991 με την δημοσίευση του στην εφημερίδα της κυβέρνησης Αρ. Φύλλου 641/7-8-91. Στο άρθρο 12 του τεύχους αυτού καθορίζονται οι οριακές τιμές για την περιεκτικότητα των βαρέων μετάλλων στο έδαφος, στην ιλύ καθώς επίσης και οι ποσότητες που επιτρέπεται να εισαχθούν σε ετήσια βάση στα καλλιεργούμενα εδάφη, ώστε με τον καθορισμό των κατάλληλων μεθόδων, όρων και περιορισμών να αποφεύγονται τυχόν επιβλαβείς επιπτώσεις στο έδαφος, στη γεωργική παραγωγή, στα ζώα και στην υγεία του ανθρώπου.

Πίνακας 6. Οριακές τιμές συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων στην ιλύ που χρησιμοποιείται στη γεωργία σε mg/kg ξηράς ουσίας.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	ΟΡΙΑΚΕΣ ΤΙΜΕΣ
Κάδμιο	20 έως 40
Χαλκό	1000 έως 1750
Νικέλιο	300 έως 400
Μόλυβδος	750 έως 1200
Ψευδάργυρος	2500 έως 4000
Υδράργυρος	16 έως 25
Χρώμιο	-

Πηγή: Εφημερίδα της Κυβερνήσεως 1991

Οι αρμόδιες αρχές μπορούν να επιτρέπουν την υπέρβαση των παραπάνω οριακών τιμών, σε περίπτωση που η ιλύς προορίζεται για χρήση σε εδάφη που καλλιεργούνται για εμπορικά προϊόντα, όπως είναι οι ζωοτροφές. Σε

καμία περίπτωση όμως, οι μέγιστες συγκεντρώσεις μετάλλων δεν πρέπει να υπερβαίνουν, κατά ποσοστό ανώτερο του 50%, τις παραπάνω τιμές. Αυτό που δεν πρέπει να ξεχνάμε είναι να μην προκύψει κανένας κίνδυνος για τον άνθρωπο, το περιβάλλον και τα υπόγεια ύδατα.

ΑΠΑΓΟΡΕΥΣΕΙΣ: Η χρησιμοποίηση της ιλύος απαγορεύεται στις ακόλουθες περιπτώσεις:

- > Σε λειμώνες ή εκτάσεις καλλιέργειας ζωοτροφών, εφόσον οι λειμώνες πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για βοσκή ή οι ζωοτροφές πρόκειται να συγκομισθούν, πριν από την περίοδο ενός ορισμένου χρονικού διαστήματος. Για τον καθορισμό του χρονικού αυτού διαστήματος λαμβάνονται υπόψη η γεωγραφική και κλιματολογική κατάσταση και δεν μπορεί να είναι κατώτερο από τρεις εβδομάδες.
- > Σε καλλιέργειες οπωροκηπευτικών κατά την περίοδο της βλάστησης, με εξαίρεση τις καλλιέργειες οπωροφόρων δέντρων.
- > Σε εδάφη που προορίζονται για καλλιέργειες οπωροκηπευτικών, οι οποίες συνήθως βρίσκονται σε άμεση επαφή με το έδαφος και κανονικά καταναλώνονται σε νωπή κατάσταση, για περίοδο δέκα μηνών πριν από την συγκομιδή και κατά την διάρκεια της συγκομιδής (Εφημερίδα της Κυβερνήσεως, 1991).

Γενικά η ιλύς θα πρέπει να αναλύεται κάθε 6 μήνες ή 12 μήνες το πολύ, ανάλογα την ποιότητα της και την προέλευση της. Οι παράμετροι που εξετάζονται κατά την ανάλυση της είναι:

- | | |
|----------------|---------------|
| ■ Ξηρή ουσία | ■ Χαλκός |
| ■ Οργανική ύλη | ■ Νικέλιο |
| ■ pH | ■ Μόλυβδος |
| ■ Άζωτο | ■ Υδράργυρος |
| ■ Φώσφορος | ■ Ψευδάργυρος |
| ■ Κάδμιο | ■ Χρώμιο |

2.6 Φυλλοδιαγνωστική

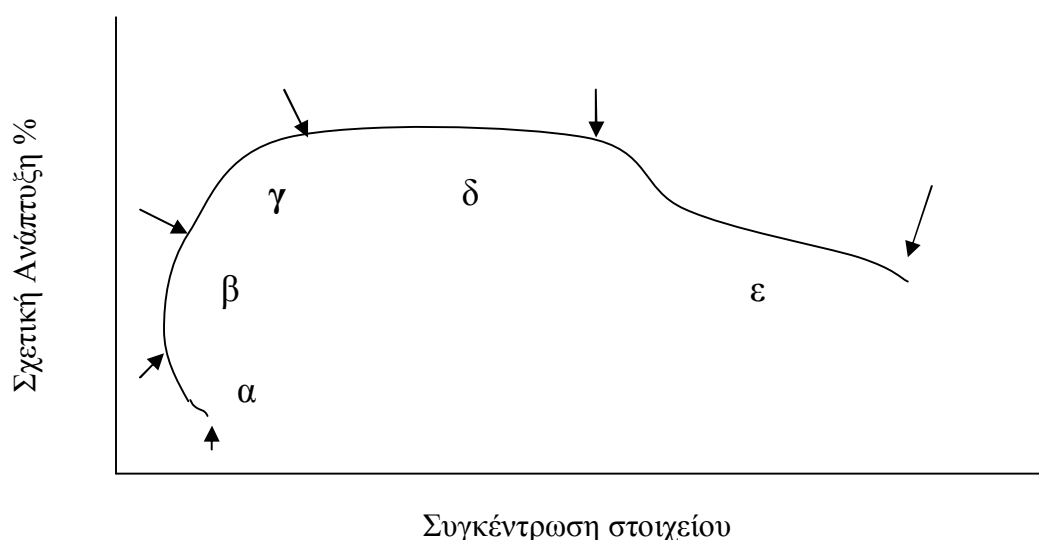
Η κανονική ανάπτυξη του φυτού προϋποθέτει την ύπαρξη των θρεπτικών στοιχείων σε ορισμένη ποσότητα και σχέση μεταξύ τους μέσα σ' αυτό. Επομένως η περιεκτικότητα του ίδιου του φυτού σε ανόργανα συστατικά μπορεί να δώσει χρήσιμες πληροφορίες για τον κανονικό ή μη εφοδιασμό αυτού σε διάφορα θρεπτικά στοιχεία. Κατά συνέπεια, η χημική ανάλυση του φυτού μπορεί να αποτελέσει διαγνωστική μέθοδο, την ιστοδιαγνωστική. Στη διαγνωστική χημική ανάλυση δεν χρησιμοποιείται ολόκληρο το φυτό, αλλά ένα τμήμα αυτού, συνήθως ένα όργανο, όπως είναι τα φύλλα, οι καρποί, τα στελέχη κ.ά. Κατά κανόνα αναλύονται τα φύλλα και γι' αυτό η μέθοδος είναι γνωστή ως φυλλοδιαγνωστική. Υπάρχουν βέβαια και περιπτώσεις που χρειάζεται να αναλυθούν και άλλοι φυτικοί ιστοί.

Η έμφαση στη χημική ανάλυση των φύλλων δεν είναι τυχαία. Είναι γνωστή η συμβολή του οργάνου αυτού στη ζωή του φυτού. Τα πράσινα φύλλα είναι η έδρα βασικών λειτουργιών του μεταβολισμού, στις οποίες μετέχουν όλα τα ανόργανα στοιχεία που απορροφούνται και μεταφέρονται σ' αυτά, ενώ παραμένουν στα φύλλα πάνω από το 50% του συνόλου των ανόργανων του φυτικού σώματος. Συνεπώς η κατάσταση του φυτικού ιστού σε θρεπτικά στοιχεία δεν επηρεάζει μόνο την αποδοτικότητα της φωτοσυνθετικής μηχανής, αλλά και ολόκληρο το μεταβολικό δίκτυο και τελικά την ανάπτυξη του φυτού.

Η ιδιαίτερη αυτή φυσιολογική αποστολή των φύλλων εξηγεί την χρησιμοποίηση του οργάνου αυτού ως δείκτη της θρεπτικής κατάστασης του φυτικού οργανισμού για όλα τα ανόργανα θρεπτικά στοιχεία. Στην πράξη η περιεκτικότητα των φύλλων σε θρεπτικά στοιχεία κάτω από ορισμένες προϋποθέσεις συσχετίζεται κατ' ευθείαν με την ανάπτυξη του φυτού και δίνει ένα μέτρο των επιδράσεων που ασκούνται από διάφορους παράγοντες πάνω στην απορρόφηση και μεταφορά των ανόργανων στοιχείων μέσα στο φυτό.

Στη γενική της μορφή, η συσχέτιση της περιεκτικότητας των φύλλων σε ένα θρεπτικό στοιχείο με την ανάπτυξη του φυτού έχει την μορφή της καμπύλης που φαίνεται στην εικόνα 2. Η καμπύλη αυτή απεικονίζει το αποτέλεσμα του

συνδυασμού των επιδράσεων που ασκούν οι αυξανόμενες δόσεις ενός στοιχείου πάνω στη συγκέντρωση αυτού στα φύλλα και στην απόδοση του φυτού. Οι περιοχές α, β και γ της καμπύλης αντιπροσωπεύουν τρεις διαφορετικές καταστάσεις τροφοπενίας (Τσικαλάς, 1999).



Εικόνα 2. Σχέση της περιεκτικότητας των φύλλων στο στοιχείο ως προς τη φυτική αύξηση ή παραγωγή.

Η **περιοχή α** αντιστοιχεί σε πολύ σοβαρή έλλειψη. Στην κατάσταση αυτή η χορήγηση του θρεπτικού στοιχείου αυξάνει την απόδοση χωρίς ταυτόχρονη αύξηση της συγκέντρωσης στα φύλλα. Μάλιστα η αύξηση της απόδοσης έχει ως συνέπεια την πτώση του επιπέδου του στοιχείου επειδή η ποσότητα από αυτό που εισέρχεται στο φυτό είναι αναλογικά μικρότερη από την αύξηση της φυτικής μάζας που προκάλεσε η χορήγηση του στοιχείου.

Η **περιοχή β** αντιπροσωπεύει ηπιότερη έλλειψη. Εδώ η χορήγηση του θρεπτικού στοιχείου επιφέρει αύξηση της απόδοσης χωρίς ουσιαστική μεταβολή στην συγκέντρωση του στοιχείου στα φύλλα. Τόσο στην περιοχή α, όσο και στην περιοχή β το φυτό παρουσιάζει ορατά συμπτώματα.

Η **περιοχή γ** αντιστοιχεί στην κατάσταση εκείνη κατά την οποία το φυτό αντιδρά θετικά στην χορήγηση του θρεπτικού στοιχείου μέχρι ενός ανωτάτου ορίου, αλλά δεν εμφανίζει ορατά συμπτώματα. Το τμήμα αυτό της καμπύλης

αντιπροσωπεύει το στάδιο της κρυφής έλλειψης. Η αύξηση της συγκέντρωσης πέρα από την περιοχή γ δεν συνοδεύεται από αύξηση της απόδοσης.

Η **περιοχή δ** στην αρχή αντιπροσωπεύει κατάσταση επάρκειας και στο πιο προχωρημένο τμήμα της κατάσταση περίσσειας και υπερκατανάλωσης του στοιχείου χωρίς ποσοτικές μεταβολές στην απόδοση. Στο ανώτερο τμήμα της περιοχής δ είναι δυνατόν να παρατηρηθούν ποιοτικές επιπτώσεις στα προϊόντα και η πλευρά αυτή παρουσιάζει πολύ μεγάλη σπουδαιότητα από γεωργική άποψη.

Στην **περιοχή ε** η αυξημένη παρουσία του θρεπτικού στοιχείου μέσα στους ιστούς αρχίζει να ασκεί δυσμενείς επιδράσεις που περιορίζουν την ανάπτυξη και μπορούν να προκαλέσουν ακόμα και τον θάνατο, αν ξεπεραστούν τα όρια αντοχής του φυτού. Η περιοχή αυτή περιλαμβάνει τις τοξικές για το φυτό συγκεντρώσεις του στοιχείου.

Μεταξύ των περιοχών γ και δ, δηλαδή των καταστάσεων έλλειψης και επάρκειας υπάρχει μία τιμή που αντιπροσωπεύει την άριστη συγκέντρωση του στοιχείου μέσα στο φύλλο. Πρόκειται για την συγκέντρωση που δείχνει ακριβώς το επίπεδο εφοδιασμού στο οποίο εξασφαλίζεται η μέγιστη απόδοση. Η συγκέντρωση αυτή ονομάζεται και κρίσιμη συγκέντρωση, γιατί αποτελεί το όριο της μετάβασης από την έλλειψη στην περίσσεια. Εξ' αιτίας της επίδρασης διαφόρων παραγόντων, στην πράξη μία κρίσιμη συγκέντρωση για κάθε στοιχείο στα φύλλα δεν έχει μία σταθερή τιμή αλλά κυμαίνεται μέσα σε στενά όρια, που πρέπει να προσδιορίζονται με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια. Τα όρια αυτά προσδιορίζουν την κρίσιμη περιοχή η οποία έχει και το μεγαλύτερο πρακτικό ενδιαφέρον γιατί υποδεικνύει τις κρυφές ελλείψεις και προφυλάσσει από υπερκατανάλωση θρεπτικών στοιχείων που αποτελούν ένα κοινό χαρακτηριστικό της σύγχρονης γεωργικής τεχνικής (Τσικαλάς, 1999).

Οι περιοχές της καμπύλης καθορίζονται πειραματικά με την ανάπτυξη φυτών στον αγρό και σε συνθετικά θρεπτικά διαλύματα. Σε κάθε είδος ή και ποικιλία φυτού τα όρια των περιοχών αυτών είναι διαφορετικά. Επειδή όμως ακόμα και στο ίδιο το φυτό η περιεκτικότητα των φύλλων σε θρεπτικά στοιχεία δεν είναι σταθερή και κυμαίνεται ανάλογα με την ηλικία, την θέση τους και την εποχή, τα όρια των περιοχών αυτών αναφέρονται πάντοτε σε καθορισμένα φύλλα

που επιλέγονται ύστερα από σχετική έρευνα. Ένας άλλος βασικός όρος για την διαμόρφωση των ορίων είναι η απουσία άλλων περιοριστικών για την καλλιέργεια παραγόντων.

Ο χημικός προσδιορισμός των θρεπτικών στοιχείων αφορά στην ολική περιεκτικότητα της ξηρής ουσίας των φύλλων. Οι συγκεντρώσεις αυτών εκφράζονται για μεν τα μακροστοιχεία ως εκατοστιαίο ποσοστό, για δε τα ιχνοστοιχεία ως μέρη στο εκατομμύριο (ppm ή mg/kg ξηρής μάζας). Οριακές τιμές έχουν διαμορφωθεί για ένα σημαντικό αριθμό καλλιεργούμενων φυτών και χρησιμοποιούνται στην πράξη. Όμως είναι ευνόητο ότι η χρησιμοποίηση των τιμών αυτών για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων από την χημική ανάλυση φύλλων απαιτεί την αυστηρή τήρηση των όρων που στηρίχτηκε ο καθορισμός τους σε ότι αφορά στο είδος των φύλλων, την ηλικία τους και το βλαστικό στάδιο συλλογής.

Πολλές φορές η διαγνωστική χημική ανάλυση εφαρμόζεται για την επιβεβαίωση των αποτελεσμάτων της μακροσκοπικής εξέτασης του φυτού. Για τον σκοπό αυτό συλλέγονται φύλλα συγχρόνως από άρρωστα και υγιή φυτά και συγκρίνεται η περιεκτικότητα αυτών σε θρεπτικά στοιχεία για τα οποία υπάρχουν ενδείξεις ελλειπών εφοδιασμού της καλλιέργειας. Αυτή η χρησιμοποίηση της φυλλοδιαγνωστικής συμβάλλει αποτελεσματικά στη διάγνωση διαταραχών της ανόργανης θρέψης και παρουσιάζει το πλεονέκτημα ότι γίνεται σε οποιαδήποτε εποχή και χωρίς να είναι αναγκαία η προσφυγή σε καθορισμένα όρια.

Επομένως, η φυλλοδιαγνωστική επιτρέπει την εξακρίβωση του βαθμού εφοδιασμού μίας καλλιέργειας σε θρεπτικά στοιχεία και της αναμενόμενης αντίδρασής της στη χορήγηση ενός ή περισσότερων από αυτά. Το αποτέλεσμα αυτό έχει ιδιαίτερη πρακτική αξία γιατί σχετίζεται άμεσα με το είδος των λιπασμάτων που χρειάζεται η καλλιέργεια για να καλυφθούν οι πραγματικές ανάγκες της. Με την μέθοδο αυτή δεν είναι δυνατόν να καθοριστεί η ποσότητα και η μορφή των λιπασμάτων. Η αδυναμία όμως αυτή δεν μειώνει την αποτελεσματικότητα της μεθόδου. Το βασικό ερώτημα που απασχολεί κάθε καλλιεργητή είναι ποια θρεπτικά στοιχεία είναι ενδεχόμενο να περιορίζουν την ανάπτυξη των φυτών που καλλιεργεί κάθε φορά. Η απάντηση

που δίνεται στο ερώτημα αυτό με βάση τα δεδομένα της φυλλοδιαγνωστικής είναι η πιο αξιόπιστη που μπορούμε να επιτύχουμε σήμερα.

Η παραπέρα χρησιμοποίηση των δεδομένων αυτών για την βελτίωση της ανόργανης θρέψης της καλλιέργειας εξαρτάται και από άλλους παράγοντες και κυρίως τις ιδιότητες του εδάφους. Για τον λόγο αυτό η φυλλοδιαγνωστική αποδίδει και αξιοποιείται περισσότερο όταν συνδυάζεται με αναλύσεις εδάφους, οι οποίες παρέχουν τις απαραίτητες πληροφορίες για την αιτιολογία των τροφопενιών και την αποτελεσματική χορήγηση των θρεπτικών στοιχείων που χρειάζεται μία καλλιέργεια.

Αντί της ολικής ποσότητας των θρεπτικών στοιχείων σε ορισμένες περιπτώσεις εξετάζεται η παρουσία αυτών στους ιστούς με την μορφή ιόντων. Τα ιόντα αυτά προσδιορίζονται με κατάλληλες χρωματομετρικές αντιδράσεις που εκτελούνται κατ' ευθείαν σε ζωντανούς ιστούς ή σε εκχυλίσματα αυτών. Πρόκειται για ποιοτικές εξετάσεις ή ποσοτικές αναλύσεις που χρησιμεύουν για την επιβεβαίωση της μακροσκοπικής διάγνωσης και τον έλεγχο τροφοδότησης των φυτών με θρεπτικά στοιχεία κατά την χρονική στιγμή που εκτελείται η χημική δοκιμή.

2.6.1. Οι διακυμάνσεις της συγκέντρωσης των ανόργανων θρεπτικών στοιχείων στα φύλλα.

Κατά την διάρκεια της βλαστικής περιόδου σε κάθε φυτικό ιστό πραγματοποιούνται μεταβολές της συγκέντρωσης των θρεπτικών στοιχείων. Παρακολουθώντας αυτές τις μεταβολές με συχνές δειγματοληψίες και χημική ανάλυση, αποκαλύπτονται συχνά έντονες και απότομες αυξομειώσεις της συγκέντρωσης ορισμένων στοιχείων και χαρακτηριστικές τάσεις που σχετίζονται άμεσα με τα διάφορα στάδια της βλαστικής περιόδου (άνθηση, καρπόδεση, αύξηση και ωρίμανση καρπών).

Αυτές οι μεταβολές οφείλονται σε διακινήσεις θρεπτικών στοιχείων μεταξύ των διαφόρων οργάνων. Ανάλογα με την κινητικότητά τους τα ανόργανα θρεπτικά στοιχεία κατατάσσονται σε:

Ευκίνητα: N, P, K, Mg, Na, S, Cl

Μέτριας κινητικότητας: Fe, Mn, Zn, Cu, Mo, και

Δυσκίνητα: Ca, B.

Τα ευκίνητα στοιχεία μπορούν να μεταφερθούν από ένα όργανο σε άλλο, ενώ τα δυσκίνητα μεταφέρονται δύσκολα ή δεν μεταφέρονται καθόλου. Επομένως, η παρακολούθηση των μεταβολών των συγκεντρώσεων στους διάφορους φυτικούς ιστούς αποκαλύπτει την δυναμική κατάσταση στην οποία βρίσκονται τα θρεπτικά στοιχεία μέσα σ'αυτούς. Η ποσότητα ενός θρεπτικού στοιχείου που προσδιορίζεται σε ένα συγκεκριμένο ιστό μία συγκεκριμένη χρονική στιγμή μπορεί να περιγραφεί από το ισοζύγιο μάζας για αυτό το θρεπτικό στοιχείο μέσα στον ιστό:

$$\text{συσσώρευση} = \text{είσοδος} - \text{έξοδος} + \text{παραγωγή} - \text{κατανάλωση}$$

Ο ιστός δεν παράγει, ούτε καταναλώνει θρεπτικά στοιχεία. Επομένως, η συσσώρευση του θρεπτικού στοιχείου (δηλαδή η ποσότητα που προσδιορίζεται) είναι το αποτέλεσμα της διαφοράς των ποσοτήτων που εισήλθαν στον ιστό και εξήλθαν από αυτόν. Οι εξαγωγές θρεπτικών στοιχείων μπορούν να γίνουν από φύλλα και παλαιά όργανα προς τα κέντρα ζήτησης που είναι τα μεριστώματα, τα νέα όργανα και ιδιαίτερα οι αναπτυσσόμενοι καρποί. Σ'αυτή την δυναμική κατάσταση πρέπει να ληφθεί υπόψη και ο ανταγωνισμός μεταξύ των κέντρων ζήτησης (δηλαδή των οργάνων-αποδεκτών). Εκτός από τα διάφορα στάδια της βλαστικής περιόδου και οι διάφορες επεμβάσεις στο φυτό (βλαστολόγημα, κορυφολόγημα, συλλογή καρπών κλπ) συνοδεύονται ή ακολουθούνται από χαρακτηριστικές μεταβολές. Εφαρμόζοντας το προηγούμενο ισοζύγιο μάζας για κάποιο θρεπτικό στοιχείο στα φύλλα, διακρίνονται οι εξής περιπτώσεις:

- (1) Η ποσότητα του θρεπτικού στοιχείου που εισέρχεται στο φύλλο είναι μεγαλύτερη από την ποσότητα που εξέρχεται προς τα κέντρα ζήτησης. Σ'αυτή την περίπτωση αυξάνει η ποσότητα του θρεπτικού στοιχείου στο φύλλο (θετική συσσώρευση). Τέτοια κατάσταση παρατηρείται σ'ένα νεαρό φύλλο.
- (2) Η ποσότητα του θρεπτικού στοιχείου που εισέρχεται στο φύλλο είναι ίση προς την ποσότητα που εξέρχεται προς τα κέντρα ζήτησης.

Σ'αυτή την περίπτωση διατηρείται η ποσότητα του θρεπτικού στοιχείου φύλλο (μηδενική συσσώρευση). Τέτοια κατάσταση παρατηρείται σ'ένα ώριμο φύλλο. (3) Η ποσότητα του θρεπτικού στοιχείου που εισέρχεται στο φύλλο είναι μικρότερη από την ποσότητα που εξέρχεται προς τα κέντρα ζήτησης. Σ'αυτή την περίπτωση μειώνεται η ποσότητα του θρεπτικού στοιχείου στο φύλλο (αρνητική συσσώρευση). Τέτοια κατάσταση παρατηρείται σ'ένα γερασμένο φύλλο.

2.6.2. Δειγματοληψία για ανάλυση του φυτού

Οι παράμετροι της δειγματοληψίας

Κατά τη συλλογή φυτικού ιστού που προορίζεται για ανάλυση, για τον προσδιορισμό της περιεκτικότητάς του σε στοιχεία, πρέπει να ληφθούν υπόψη ορισμένες παράμετροι που μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά το αποτέλεσμα της ανάλυσης, όπως:

- το συγκεκριμένο όργανο ή μέρος του φυτού
- η θέση του πάνω στο φυτό,
- το στάδιο της ανάπτυξης του φυτού ή ο χρόνος δειγματοληψίας,
- ο αριθμός μερών από κάθε φυτό, και
- ο αριθμός φυτών που θα επιλεγούν για δειγματοληψία.

Για το λόγο αυτό η διαδικασία της δειγματοληψίας πρέπει να καθοριστεί επακριβώς, για να υπάρχει στατιστική αξιοπιστία του αποτελέσματος και να είναι δυνατή η σύγκρισή του με γνωστές οριακές τιμές ή συνηθισμένες τιμές για να ερμηνευτεί. Οι παράμετροι της συλλογής δείγματος φυτικού ιστού επισημάνθηκαν και αναλύθηκαν από τον Jones, et. al., (1971). Όταν δεν δίνονται οι οδηγίες για συγκεκριμένη δειγματοληψία ή είναι άγνωστες, τότε η συλλογή γίνεται από τα νεαρά ώριμα φύλλα της κορυφής.

Κριτήρια απόρριψης ακατάλληλων δειγμάτων

Κατά την συλλογή των φυτικών δειγμάτων υπάρχουν και ορισμένα κριτήρια για να αποφύγουμε τη συλλογή αυτών που είναι ακατάλληλα. Συγκεκριμένα, δεν πρέπει να συλλέγονται δείγματα φυτικού ιστού (ή να ενσωματώνονται σε σύνθετα δείγματα φυτικοί ιστοί) από φυτά τα οποία:

- βρίσκονται κάτω από κλιματική ή θρεπτική καταπόνηση διάρκειας
- έχουν καταστραφεί μηχανικά ή από έντομα
- έχουν προσβληθεί από ασθένεια
- έχουν καλυφθεί με σκόνη ή έδαφος
- έχουν ψεκαστεί με υλικά από τα φύλλα (εκτός αν αυτές οι πρόσθετες ουσίες μπορούν να απομακρυνθούν αποτελεσματικά)
- βρίσκονται σε πλευρικές γραμμές
- σκιασμένα φύλλα μέσα στη φυτεία
- νεκροί φυτικοί ιστοί

Αν και μπορούμε να αναλύουμε το οποιοδήποτε φυτικό μέρος, ή ακόμη και ολόκληρο το φυτό, η βιολογική σημασία της κάθε ανάλυσης είναι διαφορετική και μπορεί να είναι περιορισμένη ή μικρής σημασίας. Για παράδειγμα, στην ανάλυση φρούτων ή σπόρων, μία ανάλυση ολόκληρου του φυτού ή ενός από τα μέρη του κατά την ωρίμαση ή συλλογή δεν παρέχει συνήθως αξιόπιστη πληροφόρηση για την θρεπτική κατάσταση του φυτού κατά την διάρκεια των αρχικών σταδίων της αύξησης (Τσικαλάς, 2003).

Συγκριτικές δειγματοληψίες

Η δειγματοληψία από δύο διαφορετικούς πληθυσμούς φυτών για συγκριτικούς λόγους μπορεί να παρουσιάσει δυσκολία, όταν μερικοί τύποι καταπόνησης έχουν προκαλέσει διαφορές στο στάδιο ανάπτυξης. Στην περίπτωση που είναι επιθυμητή η συλλογή ιστού για συγκριτικούς σκοπούς από δύο ή περισσότερες ομάδες φυτών που παρουσιάζουν ποικίλλα σημεία πιθανής ανεπάρκειας σε θρεπτικά στοιχεία, μπορεί να παρουσιαστεί δυσκολία στη δειγματοληψία και στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων λόγω της επίδρασης της θρεπτικής καταπόνησης των φυτών κατά την αύξηση και την ανάπτυξή τους (Jarrell and Beverly, 1981). Η συγκέντρωση των στοιχείων σε ένα φυτικό ιστό βασίζεται στην ξηρή μάζα του ιστού αυτού. Οποιοσδήποτε παράγοντας

επηρεάζει την ξηρή μάζα του φυτού θα επηρεάσει και την στοιχειακή του συγκέντρωση. Επομένως, απαιτείται να δοθεί μεγάλη προσοχή για να εξασφαλίσουμε ότι συλλέγονται αντιπροσωπευτικά δείγματα για τέτοιες συγκρίσεις και ότι η ερμηνεία του αποτελέσματος της ανάλυσης λαμβάνει υπόψη την κατάσταση των φυτών κατά την δειγματοληψία.

Στατιστική επάρκεια & αξιοπιστία του αποτελέσματος

Ο συνδυασμός του αριθμού των φυτών που θα επιλεγούν για δειγματοληψία με τον αριθμό των δειγμάτων από κάθε φυτό, καθορίζει την ποιότητα του αποτελέσματος της ανάλυσης. Έτσι, οι απαιτήσεις που θέτουμε για την ακρίβεια και την αξιοπιστία του αποτελέσματος θα υπαγορεύσουν τον αριθμό των φυτικών μερών από κάθε φυτό όπως και τον αριθμό των φυτών που θα συλλεγούν ώστε να κάνουμε ένα αντιπροσωπευτικό σύνθετο δείγμα (αποδεκτή μέτρηση). Στη συνέχεια θα πρέπει να καθορίσουμε πόσα σύνθετα δείγματα είναι αναγκαία για να εξασφαλίσουμε αποδεκτή επανάληψη.

Είναι προτιμότερο να επιλέξουμε περισσότερα φυτά για δειγματοληψία παρά να συλλέξουμε περισσότερο ιστό από λιγότερα φυτά. Όσο αυξάνει ο αριθμός των επιμέρους φυτών που επιλέγονται για δειγματοληψία και η ποσότητα του ιστού που συλλέγεται, τόσο αντιπροσωπευτικότερο θα είναι το τελικό δείγμα από τον πληθυσμό που θα αξιολογηθεί. Η μέση τιμή των αποτελεσμάτων από αρκετά δείγματα είναι ακριβέστερη από τη μέτρηση ενός μόνο σύνθετου δείγματος που προκύπτει από την συνένωση αυτών των δειγμάτων.

Διαγνωστικοί πίνακες

Όταν θέλουμε να κάνουμε στοιχειακή ανάλυση του φυτού, πρέπει πρώτα απ' όλα να κάνουμε κατάλληλη δειγματοληψία φυτικού μέρους για το οποίο τα αποτελέσματα της ανάλυσης να είναι συγκρίσιμα με γνωστές και αποδεκτές τιμές. Οι τιμές δίδονται συνήθως σε πίνακα στον οποίο αναγράφονται τα έξης στοιχεία:

- ❖ Είδος και ποικιλία φυτού.
- ❖ Μέρος φυτού που πάρθηκε το δείγμα και στάδιο ανάπτυξης.
- ❖ Θρεπτικά στοιχεία που εξετάστηκαν.
- ❖ Όρια περιεκτικότητας για κάθε στοιχείο ξεχωριστά.

Συλλογή συμπληρωματικών στοιχείων

Η συλλογή και ανάλυση δείγματος εδάφους ή υποστρώματος από την ριζόσφαιρα του φυτού στο οποίο πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία μπορεί να προσφέρει αξιοσημείωτη βοήθεια στην ερμηνεία της στοιχειακής ανάλυσης. Ο αριθμός των δειγμάτων που θα ληφθούν, το βάθος δειγματοληψίας κ.λπ. πρέπει να διαμορφώνονται σύμφωνα με τις τρέχουσες αντιλήψεις της δειγματοληψίας του εδάφους.

Μεταφορά του δείγματος στο εργαστήριο

Η αποθήκευση του δείγματος και η μεταφορά του στο εργαστήριο είναι κρίσιμος παράγοντας για να λάβουμε ακριβή αποτελέσματα ανάλυσης. Κατά την συλλογή του φυτικού ιστού πρέπει να φροντίσουμε να μην αλλοιωθεί χημικά το δείγμα από εξωγενή υλικά, όταν έρθει σε επαφή με τα εργαλεία ή τα δοχεία της δειγματοληψίας. Μετά από λίγες ώρες το νωπό φυτικό υλικό θα αρχίσει να αποδομείται και να χάνει ξηρή μάζα αν ο φυτικός ιστός δεν ψυχθεί ή δεν απομακρυνθεί η πρόσθετη υγρασία. Αν ο χρόνος μεταφοράς στο εργαστήριο ξεπεράσει τις 12 ώρες, πρέπει να απομακρύνουμε την πρόσθετη υγρασία με ξήρανση στον αέρα και να τοποθετήσουμε τον ιστό σε δοχείο με θερμοκρασία 4 °C. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα για τους χυμώδεις ιστούς.

Ο νωπός φυτικός ιστός δεν πρέπει να καταψύχεται κατά την διάρκεια της αποθήκευσης ή της μεταφοράς. Οι συνθήκες κατά την μεταφορά στο εργαστήριο, όπως η θερμοκρασία και η υδατική κατάσταση του ίδιου του ιστού, μπορεί να επηρεάσουν την ακεραιότητα του ιστού. Επομένως, για αναλύσεις με ιδιαίτερες απαιτήσεις σε ακρίβεια πρέπει να γίνει και η μέτρηση ενός δείγματος-μάρτυρα, δηλαδή ενός δείγματος που θα αναλυθεί αμέσως υπό συνθήκες αναφοράς. Ο νωπός φυτικός ιστός δεν πρέπει να τοποθετείται σε πλαστικές σακούλες αν η θερμοκρασία δεν διατηρείται στους 4 °C. Συνιστάται να παραδίδεται ο φυτικός ιστός στο εργαστήριο μέσα σε 24 ώρες το πολύ από την συλλογή, ανεξάρτητα από την μέθοδο που χρησιμοποιείται για να ελεγχθεί η απώλεια της ξηρής μάζας (Τσικαλάς, 1999).

Δειγματοληψία στην πιπεριά.

Η συλλογή δείγματος από φυτά πιπεριάς γίνεται ως εξής:

- ❖ Κατά την έναρξη της άνθησης συλλέγονται 25 – 30 υγιή φύλλα από κάθε φυτό κατά της πρώτες πρωινές ώρες της ημέρας. Επιλέγουμε το νεότερο ώριμο φύλλο από τη κορυφή του φυτού συνήθως το 5⁰ - 6⁰.
- ❖ Κατά το τέλος της άνθησης συλλέγονται 25 – 30 υγιή φύλλα από τη κορυφή του κάθε φυτού της πρώτες πρωινές ώρες της ημέρας. Επιλέγουμε το νεότερο ώριμο φύλλο του φυτού συνήθως το 5⁰ - 6⁰.

Οι τιμές των θρεπτικών στοιχείων όπως καθορίζονται από τους Jones, et al., (1991) περιγράφονται στον πίνακα 7.

Πίνακας 7. Πληροφοριακός πίνακας ανάλυσης φυτικών ιστών.

CROP	Pepper, bell type (<i>Capsicum annum</i>, Grossum Group)		
NUMBER	25		
PLANT PART	Most recent fully developed leaf		
TIME	First bloom to final 1/3		
ELEMENT	LOW%	SUFFICIENT%	HIGH %
N	3.50-3.99	4.00-6.0	>6.0
P	0.23-0.34	0.35-1.0	>1.0
K	3.60-3.99	4.00-6.0	>6.0
Ca	0.80-0.99	1.00-2.5	>2.5
Mg	0.26-0.29	0.30-1.0	>1.0
	ppm		
B	23-24	25-75	>75
Cu	4-5	6-25	>25
Fe	50-59	60-300	>300
Mn	40-49	50-250	>250
Zn	18-19	20-200	>200

2.6.3 Προετοιμασία του δείγματος για ανάλυση.

Η προετοιμασία του φυτικού ιστού για εργαστηριακή ανάλυση περιλαμβάνει διαδικασίες οι οποίες θα τροποποιήσουν τόσο τις φυσικές όσο και τις χημικές ιδιότητες του φυτικού ιστού. Συνεπώς, ο χρήστης πρέπει να εξασκηθεί στην λήψη μέτρων ελαχιστοποίησης των αλλαγών αυτών και να ακολουθεί εκείνες τις διαδικασίες που έχουν βρεθεί ως πιο κατάλληλες για το φυτικό δείγμα που θα αναλυθεί στο εργαστήριο.

Κατά την προετοιμασία του φυτικού ιστού πρέπει να πληρούνται δύο κριτήρια: 1) το δείγμα πρέπει να φέρεται σε κατάλληλη μορφή για συγκεκριμένη εργαστηριακή ανάλυση, και 2) το εργαστηριακό δείγμα να είναι ομοιογενοποιημένο. Τα βήματα που απαιτούνται για την προετοιμασία είναι ο καθαρισμός του φυτικού ιστού, η ξήρασή του και η καύση του. Κατά τον καθαρισμό απομακρύνεται έδαφος, σκόνη και άλλες εξωγενείς ουσίες που μπορεί να επηρεάσουν την εργαστηριακή ανάλυση.

Καθαρισμός δείγματος

Ο καθαρισμός είναι απολύτως απαραίτητος, ιδιαίτερα αν μας ενδιαφέρουν ο σίδηρος (Fe) και το αλουμίνιο (Al). Η επιφάνεια του νωπού φύλλου πλένεται με ένα αραιό διάλυμα απορρυπαντικού (2%) για να απομακρυνθεί η σκόνη και οι βρωμιές, ακόμη και αν δεν είναι εμφανώς ορατά. Πλύσιμο μόνο με νερό ή αραιό οξύ δεν απομακρύνει τις περισσότερες αποθέσεις και βρωμιές. Ο αποτελεσματικός καθαρισμός εξαρτάται από την τραχύτητα του φύλλου και την παρουσία κεριού στην επιφάνειά του, καθώς επίσης από το είδος και την συγκέντρωση της ανεπιθύμητης ουσίας. Το πλύσιμο δεν είναι απαραίτητο αν ο προς ανάλυση ιστός έχει επιλεγεί προσεκτικά και δεν ενδιαφερόμαστε για Fe ή Al. Ιστοί που εκτίθενται σε συχνές βροχοπτώσεις ή δεν διαβρέχονται με ψεκασμούς αγροχημικών που περιέχουν θρεπτικά στοιχεία, δεν χρειάζεται να πλυθούν. Η διαδικασία του καθαρισμού πρέπει να γίνει γρήγορα με ελάχιστη έκθεση στο διάλυμα πλύσης, για να αποφευχθούν απώλειες διαλυτών συστατικών όπως το B και το K από τον ιστό (Τσικαλάς, 1999).

Ξήρανση σε φούρνο

Η ξήρανση σε φούρνο στους 80 °C απομακρύνει όλο το συγκρατημένο νερό. Ξήρανση σε χαμηλότερες θερμοκρασίες δεν απομακρύνει όλο το νερό των περισσότερων ιστών, ενώ ξήρανση σε υψηλές θερμοκρασίες μπορεί να οδηγήσει σε θερμική αποικοδόμηση, μειώνοντας έτσι το ξηρό βάρος.

Μετατροπή του φυτικού ιστού σε σκόνη (άλεσμα)

Μετά την ξήρανση σε φούρνο, τα τεμαχίδια της ξηρής φυτικής μάζας λειοτριβούνται και μετατρέπονται σε σκόνη με κατεργασία σε μύλο, ώστε να πάρουμε κατάλληλο δείγμα για εργαστηριακή ανάλυση. Ο ιστός μπορεί να μολυνθεί από την επαφή με τις μεταλλικές επιφάνειες του μύλου, γι'αυτού απαιτείται κατάλληλος εργαστηριακός μύλος.

Φύλαξη του δείγματος

Η σκόνη του φυτικού ιστού τοποθετείται σε γυάλινο φιαλίδιο ή φιαλίδιο από πολυαιθυλένιο, κλείνουμε το φιαλίδιο και το τοποθετούμε σε ψυχρό, σκοτεινό και ξηρό περιβάλλον

Προσδιορισμός υγρασίας

Προκειμένου να προσδιοριστεί η υγρασία των αλεσμένων φυτικών ιστών τοποθετούνται 1-2 gr δείγματος σε κάψα πορσελάνης ζυγίζονται και στη συνέχεια τοποθετούνται σε πυριαντήριο στους 104 °C για 24 ή 48 ώρες ή μέχρι σταθερού βάρους μετά από αυτό το δείγμα τοποθετείται σε ξυραντηρα για να κρυώσει και να μην πάρει υγρασία από το περιβάλλον καταγράφεται το βάρος και γίνονται οι κατάλληλοι υπολογισμοί.

Καταστροφή της οργανικής ουσίας (καύση)

Για τη διαδικασία της ανάλυσης απαραίτητη προϋπόθεση είναι η καταστροφή της οργανικής ουσίας του δείγματος που γίνεται με τη διαδικασία της υγρής καύσης.

3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

3.1 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Κατά την καλλιεργητική περίοδο 2007 σε γυάλινο θερμοκήπιο του αγροκτήματος του Α.Τ.Ε.Ι Κρήτης εγκαταστάθηκε ένα πείραμα σε δοχεία (γλάστρες), προκείμενου γίνει αξιολόγηση τεσσάρων διαφορετικών οργανικών υλικών στην ανάπτυξη φυτών πιπεριάς

Για το πείραμα χρησιμοποιήθηκαν περίπου 1 κυβικό χώμα το οποίο προερχόταν από το αγρόκτημα του Α.Τ.Ε.Ι. Κρήτης και τα εξής οργανικά υλικά :

- ❖ Κομποστ ελαιοπυρήνας
- ❖ Κομποστ υπολειμμάτων Χανίων
- ❖ Κομποστ κλαδοκάθαρων Δήμου Ηρακλείου
- ❖ Κομποστ λάσπης βιολογικού καθαρισμού

Τα παραπάνω οργανικά υλικά προέρχονταν από το εργαστήριο διαχείρισης στερεών υπολειμμάτων & υγρών αποβλήτων του Α.Τ.Ε.Ι. Κρήτης. Τα σπορόφυτα της πιπεριάς αγοράστηκαν από φυτώριο του Ηρακλείου μετά από επιλογή ώστε να είναι απολύτως όμοια μεταξύ τους.

Το χώμα συλλέχθηκε και πριν χρησιμοποιηθεί κοσκινίστηκε σε κόσκινο διαμέτρου 10mm προκείμενου να επιτευχθεί ομοιομορφία στα κλάσματα του. Το κάθε οργανικό υλικό εφαρμόσθηκε σε δυο αναλογίες 10% και 20%. Η εφαρμογή των οργανικών υλικών έγινε με ενσωμάτωση τους στο έδαφος με τη χρήση ηλεκτρικού αναδευτήρα (μπετονιέρα), μέσα στον οποίο τοποθετούνταν χώμα και οργανικό υλικό τηρούμενων των αναλογιών, αυτό έγινε για κάθε υλικό και σε κάθε αναλογία ξεχωριστά. Στη συνέχεια γεμίστηκαν οι γλάστρες και ακολούθησε η φύτευση των φυταρίων. Στην εικόνα 3 που ακολουθεί βλέπουμε το κόσκινο και τον αναδευτήρα που χρησιμοποιήθηκαν.



Εικόνα 3. Αναδευτήρας και κόσκινο

Οι επεμβάσεις του πειράματος ήταν τέσσερα οργανικά υλικά σε δυο διαφορετικές αναλογίες το κάθε ένα. Οι οχτώ αυτές επεμβάσεις έγιναν σε τέσσερις επαναλήψεις.

Με τον τρόπο αυτό είχαμε τριάντα δύο συνολικά πειραματικά τεμάχια και στο κάθε τεμάχιο υπήρχαν πέντε γλάστρες έτσι σε ολόκληρο το πείραμα χρησιμοποιήθηκαν εκατόν εξήντα γλάστρες συνολικά.

Η τοποθέτηση των γλαστρών στο χώρο έγινε σύμφωνα με το πλήρως τυχαίο σχέδιο (Randomized blocks). Πριν την τελική τοποθέτηση των γλαστρών στο χώρο, το έδαφος ισοπεδώθηκε και τοποθετήθηκε πανί εδαφοκαληψης για την αποφυγή ζιζανίων και τον καλύτερο φωτισμό μέσω της ανάκλασης. Στην εικόνα 4 βλέπουμε την τελική θέση των φυτών.



Εικόνα 4. Γενική άποψη του πειράματος σε γυάλινο θερμοκήπιο στο αγρόκτημα του Τ.Ε.Ι Κρήτης.

Στον πίνακα 8 που ακολουθεί φαίνονται αναλυτικά οι επεμβάσεις του πειράματος .

Πίνακας 8. Επεμβάσεις του πειράματος.

Ν ^ο Επεμβ.	ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ		ΓΛΑΣΤΡΕΣ/ ΕΠΕΜΒΑΣΗ	ΕΠΑΝΑΛΗΨΕΙΣ	ΣΥΝΟΛΟ ΓΛΑΣΤΡΩΝ
1	Compost Ελαιοπυρήνας	10%	5	4	20
2	Compost Ελαιοπυρήνας	20%	5	4	20
3	Compost υπολειμμάτων Χανίων.	10%	5	4	20
4	Compost υπολειμμάτων Χανίων.	20%	5	4	20
5	Compost Κλαδοκάθαρα Δήμου Ηρακλείου	10%	5	4	20
6	Compost Κλαδοκάθαρα Δήμου Ηρακλείου	20%	5	4	20
7	Compost Λ.Β.Κ	10%	5	4	20
8	Compost Λ.Β.Κ	20%	5	4	20
					160

Στον πίνακα 9 παρουσιάζεται το σχέδιο εγκατάστασης του πειράματος στο χώρο του θερμοκηπίου. Κάθε αριθμός συμβολίζει μια επέμβαση η οποία αποτελείται από πέντε γλάστρες.

Πίνακας 9. Σχέδιο εγκατάστασης.

5	8	7	2	4	6	1	3
4	3	6	7	2	1	8	5
7	5	1	4	8	6	2	3
6	4	5	2	3	8	1	7

1. Compost ελαιοπυρήνας 10%
2. Compost ελαιοπυρήνας 20%
3. Compost υπολειμμάτων Χανίων 10%
4. Compost υπολειμμάτων Χανίων 20%
5. Compost κλαδοκάθαρων Δήμου Ηρακλείου 10%
6. Compost κλαδοκάθαρων Δήμου Ηρακλείου 20%
7. Compost λάσπης βιολογικού καθαρισμού 10%
8. Compost λάσπης βιολογικού καθαρισμού 20%

Στην εικόνα 5 που ακολουθεί παρουσιάζεται το πειραματικό σχέδιο που ακολουθήθηκε.

I	000000	000000	000000	000000	000000	000000	000000	000000
	5	8	7	2	4	6	1	3
II	000000	000000	000000	000000	000000	000000	000000	000000
	4	3	6	7	2	1	8	5
III	000000	000000	000000	000000	000000	000000	000000	000000
	7	5	1	4	8	6	2	3
IV	000000	000000	000000	000000	000000	000000	000000	000000
	6	4	5	2	3	8	1	7

Εικόνα 5. Διάταξη πειραματικού σχεδίου.

Μετά τη φύτευση που πραγματοποιήθηκε στις 6 Μαρτίου 2007 τα φυτά ποτίστηκαν μέχρι απορροής υπό τις οπές της γλάστρας. Στη συνέχεια γινόταν καθημερινά υδρολίπανση με θρεπτικό διάλυμα περιεκτικότητας 200 ppm N, 200 ppm K και 50 ppm P από το οποίο ποτίζονταν τα φυτά με 500ml / φυτό. Ακολούθησε υποστύλωση των φυτών με σπάγκους οι οποίοι δένονταν σε οριζόντιο σύρμα που είχε τοποθετηθεί πάνω από κάθε σειρά φυτών. Γινόταν ακόμη συστηματική απομάκρυνση των ζιζανίων και οι απαραίτητες επεμβάσεις για προστασία από εχθρούς και ασθένειες ομοιόμορφα σε όλα τα πειραματικά τεμάχια.

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Κατά τη διάρκεια του πειράματος λήφθηκαν παρατηρήσεις σχετικά με το ύψος των φυτών και το πάχος των βλαστών. Δεν πραγματοποιήθηκαν άλλες μετρήσεις λόγω καταστροφής του πειράματος από έντονα καιρικά φαινόμενα. Στον πίνακα 10 φαίνεται η επίδραση των επεμβάσεων στο ύψος και το πλάτος των φυτών.

Πίνακας 10. Διαφορές Μ.Ο. του ύψους και του πλάτους των φυτών.

ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ	ΥΨΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ
1	28.50 a	8.47 b
2	26.70 a b	8.25 a b
3	24.65 b c	8.32 a b
4	23.70 c	8.32 a b
5	27.07 a b	8.80 b
6	25.10 b c	8.06 a b
7	23.72 c	7.65 a
8	26.21 a b c	8.82 b

1. Compost ελαιοπυρήνας 10%
2. Compost ελαιοπυρήνας 20%
3. Compost υπολειμμάτων Χανίων 10%
4. Compost υπολειμμάτων Χανίων 20%
5. Compost κλαδοκάθαρων Δήμου Ηρακλείου 10%
6. Compost κλαδοκάθαρων Δήμου Ηρακλείου 20%
7. Compost λάσπης βιολογικού καθαρισμού 10%
8. Compost λάσπης βιολογικού καθαρισμού 20%

Σύγκριση οργανικών υλικών ως προς το ύψος

Οι δυο δόσεις εφαρμογής σε κάθε οργανικό υλικό δεν παρουσίασαν σημαντικές διαφορές αλλά η δόση εφαρμογής ανά οργανικό υλικό εμφάνισε στατιστικώς σημαντικές διαφορές. Έτσι το Α* οργανικό υλικό στη μικρή περιεκτικότητα διαμόρφωσε το μεγαλύτερο ύψος φυτών το οποίο διαφέρει στατιστικώς σημαντικά με το Β* οργανικό υλικό καθώς και με τη μεγάλη περιεκτικότητα του Γ* οργανικού υλικού και την μικρή περιεκτικότητα του Δ* οργανικού.

Η χαμηλή περιεκτικότητα του Β οργανικού υλικού δεν διαφέρει με το Γ οργανικό υλικό ανεξάρτητα με τη περιεκτικότητα και με το Δ οργανικό υλικό στην υψηλή δόση.

Το Γ οργανικό υλικό συγκρινόμενο με το Δ οργανικό υλικό στη υψηλή του δόση δεν παρουσιάζει στατιστικά σημαντικές διαφορές το αντίθετο συνέβη όταν συγκρίνουμε την τη χαμηλή δόση των δυο οργανικών υλικών.

Το μεγαλύτερο ύψος διαμορφώθηκε από την υψηλή δόση του Β οργανικού υλικού που όμως δε διαφέρει από την υψηλή δόση του Γ και του Δ οργανικού υλικού.

Σύγκριση οργανικών υλικών ως προς το πλάτος

Γενικά τα οργανικά υλικά δεν παρουσίασαν διαφορές ως προς τα πλάτος των φυτών της πιπεριάς. Το Δ οργανικό υλικό όμως στη χαμηλή δόση διαμόρφωσε το μικρότερο πλάτος φυτών το οποίο διαφέρει στατιστικώς σημαντικά από όλα τα άλλα οργανικά υλικά ανεξάρτητου δόσης.

**Α) Compost ελαιοπυρήνας.*

**Β) Compost υπολειμμάτων Χανίων.*

**Γ) Compost κλαδοκάθαρων Δήμου Ηρακλείου.*

**Δ) Compost λάσπης βιολογικού καθαρισμού.*

Έτσι, τα οργανικά υλικά που χρησιμοποιήθηκαν στο πείραμα φαίνεται να διαφοροποίησαν το ύψος και το πλάτος των φυτών της πιπεριάς. Το κόμποστ από ελαιοπυρήνα έδωσε τα υψηλότερα φυτά ενώ το κόμποστ υπολειμμάτων Χανίων τα χαμηλότερα φυτά. Όμως ως προς το πλάτος και τα δύο αυτά οργανικά υλικά διαμόρφωσαν υψηλές τιμές. Συμπερασματικά πάντως θα λέγαμε ότι η ένδειξη αυτή δεν τεκμηριώνεται πλήρως λόγω καταστροφής του πειράματος με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν επαρκή στοιχεία.

Επίσης, θα μπορούσαμε να πούμε ότι για την εφαρμογή της φυλλοδιαγνωστικής είναι απαραίτητο να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στα παρακάτω στάδια:

- Δειγματοληψία φυτικών ιστών
- Ανάλυση φυτικών ιστών
- Αξιολόγηση-ερμηνεία αποτελεσμάτων

Τα στάδια αυτά θα πρέπει να πραγματοποιούνται τηρώντας καθορισμένα πρωτόκολλα προκειμένου τα αποτελέσματα των αναλύσεων να είναι συγκρίσιμα με τους διαγνωστικούς πίνακες. Οι πίνακες αυτοί αναφέρουν διάφορες παραμέτρους όπως φυτικό μέρος, στάδιο ανάπτυξης, χρόνο δειγματοληψίας και βάσει αυτών καθορίζουν χαμηλές, επαρκείς και υψηλές τιμές θρεπτικών στοιχείων. Έτσι γίνεται κατανοητό ότι αν δεν τηρηθούν οι παράμετροι αυτοί η ερμηνεία των αποτελεσμάτων δεν αποτελεί αξιόπιστο δείκτη της θρεπτικής κατάστασης του φυτού.

Επίσης είναι σημαντικό να γνωρίζουμε ότι στην Ελλάδα δεν έχουν γίνει ανάλογες μελέτες για την δημιουργία τέτοιων διαγνωστικών πινάκων με αποτέλεσμα να χρησιμοποιούνται πίνακες που δημιουργήθηκαν για να εξυπηρετήσουν ανάγκες άλλων χωρών. Θα πρέπει να πραγματοποιηθούν και στη χώρα μας αντίστοιχα πειράματα που θα έχουν σαν στόχο τον καθορισμό διαγνωστικών πινάκων αλλά κάτω από ελληνικές συνθήκες καλλιέργειας.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Compost Science & Utilization. Hardy Vogtmann, et. al., 1993. Quality, physical characteristics, nutrient content, heavy metals and organic chemicals in biogenic waste compost. Vol. 1. No 4. p.p. 69-87.
- Jarrell, W., and Beverly, R.B., (1981). The dilution effect in plant nutrition studies. *Advances in Agronomy* 34: 197-224.
- Jones, Jr., J.B, Large R.L., Pfeiderer, D.B., and Klosky, H.S., (1971). How to properly sample for a plant analysis. *Soils and Crops* 23: 15-18.
- Jones, J., Wolf, Jr., B., Mills, H., A., 1991. *Plant analysis handbook*
- Petruzzelli, G., et. al., 1989. Chemical speciation of heavy metals in different size fractions of compost from solid urban wastes., Vol. 10. p.p. 521-526.
- Ανδρεαδάκης, Α., 1998 Διαχείριση στερεών αποβλήτων και ιλύος. Αγροτική αξιοποίηση ιλύος.
- Ασσαργιωτάκη, Ε., 1998. Παρασκευή και Χρήση Compost από ξυλώδη υπολείμματα. 148 σελ.
- Καράταγλης, Σ., Κωνσταντίνος., 1999. Φυσιολογία φυτών. Art of text. Τρίτη έκδοση. 4: 141-168.
- Κράκα, Ευαγγελία, Λιάπης, Εύθυμης., 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.
- Μανιός, Β., 1995. Σημειώσεις Γενικής Λαχανοκομίας. Τ.Ε.Ι. Κρήτης, Σ.Τ.Ε.Γ.. Ηράκλειο. 128 σελ.
- Μήτσιος, Κ., Ιωάννης., 1999. Εδαφολογία. *Zyamel*. 1 – 7, 27 – 32, 52, 74 – 78, 135 – 152.
- Παναγόπουλος, Χ., Γ., 2000. Ασθένειες Κηπευτικών Καλλιεργειών. Εκδόσεις Σταμούλη, Β' Έκδοση. Αθήνα. 480 σελ.
- 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

- Πεδιαδιτάκης, Γ., 2002. Σημειώσεις Ειδικής Λαχανοκομίας. Τ.Ε.Ι. Κρήτης, Σ.Τε.Γ.. Ηράκλειο. 36 σελ.
- Στασινάκης, Σ., Αθανάσιος. 2003. Εισαγωγή στην περιβαλλοντική μηχανική. Πανεπιστήμιο Αιγαίου. Τμήμα Περιβάλλοντος
- 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., 1999. Ανάλυση Φυτικών Ιστών. Τ.Ε.Ι. Κρήτης, Σ.Τε.Γ.. Ηράκλειο. 162 σελ.
- Τσικαλός, Π., 1999. Σημειώσεις Εργαστηρίων Φυλλοδιαγνωστικής. Τ.Ε.Ι. Κρήτης, Σ.Τε.Γ.. Ηράκλειο. 157 σελ.
- Τσικαλός, Π., 2003. Θρέψη φυτών – Γονιμότητα εδαφών. Πλουτάρχου Ευαγγελίου Τσικαλά. Ηράκλειο. 202 σελ.