

Τ.Ε.Ι ΜΕΣΟΛΟΓΓΙΟΥ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ (Σ.ΤΕ.Γ)

ΤΜΗΜΑ: ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑΚΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ & ΑΝΘΟΚΟΜΙΑΣ

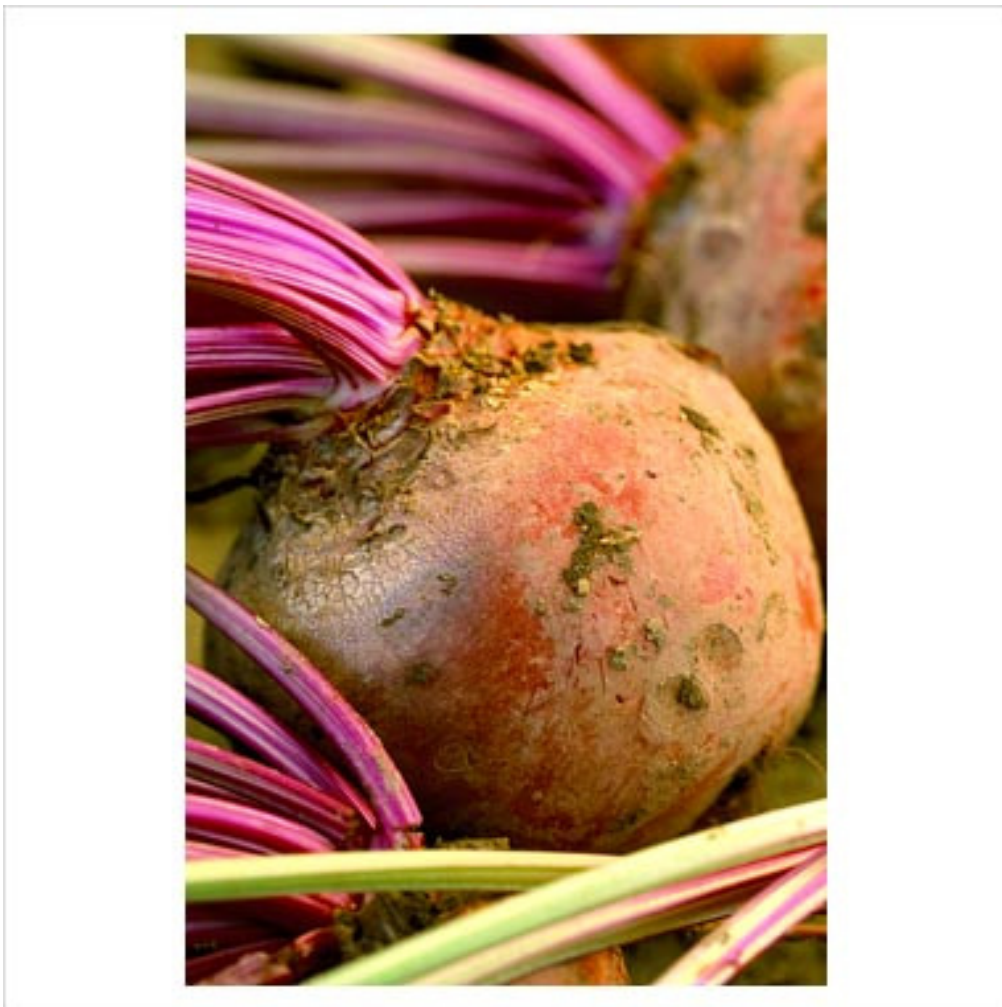
(ΘΕ.Κ.Α)

ΘΕΜΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ:

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΤΟΥ ΚΑΔΜΙΟΥ (Cd) ΣΤΙΣ

ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥΣ ΚΑΙ ΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΕ

ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΠΑΝΤΖΑΡΙΟΥ (*Beta Vulgaris* L.)



ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΓΕΩΡΓΑΚΟΠΟΥΛΟΣ ΝΕΚΤΑΡΙΟΣ

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ: ΠΑΠΑΣΑΒΒΑΣ ΑΓΓΕΛΟΣ

Π Ε Ρ Ι Ε Χ Ο Μ Ε Ν Α

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΠΑΝΤΖΑΡΙ (Beta Vulgaris)

1.1 Καταγωγή, βοτανικοί χαρακτήρες.....	5
1.2 Χρωστικές ουσίες παντζαριού.....	7
1.3 Καλλιέργεια, λίπανση, σπορά, ποικιλίες	7
1.4 Συγκομιδή, διαλογή, συντήρηση.....	9
1.5 Εχθροί και ασθένειες.....	9

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΥΔΡΟΠΟΝΙΑ

2.1 Ορισμός	10
2.2 Η υδροπονία ως διαδικασία παράγωγης τροφίμων.....	10
2.3 Ιστορική αναδρομή.....	11
2.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα υδροπονίας.....	12
2.5 Υποστρώματα υδροπονίας.....	14
2.5.1 Καλλιέργειες σε ανόργανα πορώδη υποστρώματα.....	16
2.5.2 Καλλιέργειες σε οργανικά πορώδη υποστρώματα.....	17
2.6 Καλλιέργειες χωρίς πορώδη υποστρώματα.....	17

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΦΩΤΟΣΥΝΘΕΣΗ

3.1 Εισαγωγή.....	20
3.2 Μηχανισμός της φωτοσύνθεσης.....	20

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ

4.1 Ορισμός.....	22
4.2 Βιοσυσσωρευση των βαρέων μετάλλων.....	22
4.3 Τοξικότητα των βαρέων μετάλλων.....	23

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΚΑΔΜΙΟ – ΦΥΤΟΕΚΧΥΛΙΣΗ

5. Ορισμός.....	25
5.1 Τοξικότητα του καδμίου.....	25
5.2 Φυτά αποκατάστατες μολυσμένων εδαφών.....	27
5.3 Υπεραποθηκευτικά φυτά	27

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΕΡΕΥΝΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΦΥΤΟΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΚΑΔΜΙΟΥ

6.1 Εισαγωγή	29
6.2 Η τοξικότητα του καδμίου.....	30
6.2.1 Κυτταρογενετικές επιδράσεις του καδμίου.....	31
6.3 Αντοχή διαφόρων φυτών στο κάδμιο.....	31
6.4 Επιδράσεις του καδμίου στο μεταβολισμό των φυτών.....	33
6.5 Φυτοτοξικότητα.....	33
6.6 Η φυτοτοξικότητα και οι αλληλεπιδράσεις με τα άλλα στοιχεία.....	35
6.6.1 Αλληλεπίδραση καδμίου με άλλα μέταλλα.....	36
6.6.2 Αλληλεπιδράσεις μεταξύ καδμίου και ψευδαργύρου.....	36
6.7 Η απορρόφηση και μεταφορά του καδμίου.....	37
6.8 Φυσιολογία και βιοχημεία της φυτοτοξικότητας του καδμίου	39

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑ.....	41
-------------------------	----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

8.1 Ανάπτυξη της καλλιέργειας	42
8.2. Σύστημα άρδευσης και σύσταση θρεπτικού διαλύματος	42
8.3. Μέτρηση ξηρού βάρους.....	43
8.4. Μέτρηση Χλωροφυλλών.....	43
8.4.1. Το φορητό χλωροφυλλόμετρο.....	43
8.4.1.1. Αρχή λειτουργίας του SPAD -502.....	44
8.4.2 Μέθοδος DMSO.....	46
8.5. Μέτρηση φυσιολογικών παραμέτρων.....	46

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

9.1. Επίδραση της συγκέντρωσης του καδμίου (Cd) στις φυσιολογικές παραμέτρους των φύλλων των φυτών.....47

9.2. Επίδραση της συγκέντρωσης του καδμίου (Cd) στην παραγωγή βιομάζας.....49

9.3. Επίδραση της συγκέντρωσης του καδμίου (Cd) στην συγκέντρωση των χλωροφυλλών.....51

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....52

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....53

Κ Ε Φ Α Λ Α Ι Ο 1

ΠΑΝΤΖΑΡΙ (*Beta Vulgaris*)

1.1 Καταγωγή, βοτανικοί χαρακτήρες.

Το λαχανικό τεύτλο ή παντζάρι είναι φυτό της οικογένειας *Chenopodiaceae* της τάξης *Caryophyllales*, που φυτρώνει μόνο στην Ευρώπη, όπως και Δυτική Ασία. Το σημερινό παντζάρι είναι απόγονος του λευκού παντζαριού που κατάγεται από τη Μεσόγειο. Το βοτανολογικό τους όνομα *Beta* προέρχεται από το γράμμα Βήτα λόγω της ομοιότητάς τους με αυτό και *vulgaris* σημαίνει κοινό. Στο ίδιο είδος ανήκουν τα ζαχαρότευτλα και τα κτηνοτροφικά τεύτλα. Είναι φυτό μονοετές, σαρκώδες και χυμώδες. Φύλλα ακεραία με χοντρό και μακρύ μίσχο. Άνθη ερμαφρόδιτα, πρασινωπά ή κοκκινωπά, μονήρη, μικρά, ενωμένα σε ομάδες από 2-6 στο ίδιο σημείο, ταξιανθίες. Ρίζες σαρκώδεις, με σχήμα σφαιρικό ή κωνικό, με χρώμα κόκκινο ή ωχρόλευκο. Ο σπόρος μικρός, που μοιάζει με τους αγκαθωτούς σπόρους του σπανακιού.

Ο Θεόφραστος ονομάζει το «τεύτλιον το μέλαν», επίσης το παντζάρι έχει και άλλα ονόματα όπως τεύτλο, κοκκινογούλι, γογγύλια, ανάλογα την περιοχή της Ελλάδος. Η Αφροδίτη λέγεται ότι έτρωγε παντζάρια για να διατηρείται όμορφη. Σύμφωνα με έναν αγγλικό μύθο, αν ένας άντρας και μια γυναίκα έτρωγαν το ίδιο παντζάρι, θα ερωτεύονταν. Στην Αφρική τα παντζάρια χρησιμοποιούνται ως αντίδοτο στη δηλητηρίαση από κυάνιο.

Η συστηματική καλλιέργεια του τεύτλου άρχισε από τους Γερμανούς και τους Γάλλους μετά από 1800. Η ανάπτυξη της καλλιέργειας των παντζαριών είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την ανακάλυψη της ζάχαρης που εξάγεται από αυτό. Τον 17ο αιώνα ο αγρονόμος Olivier de Serres παρατήρησε ότι το βρασμένο λευκό παντζάρι (ζαχαρότευτλο) παράγει έναν χυμό όμοιο με το σιρόπι ζάχαρης, το 1747 ο πρώτος χημικός Sigismund Marggraf απέδειξε ότι οι κρύσταλλοι από τον γλυκό χυμό του παντζαριού ήταν ίδιοι με αυτούς που έβγαζαν από το ζαχαροκάλαμο. Ένας μαθητής του, ο Franz Karl Achard, ξεκίνησε τελικά να παράγει για εμπορικούς σκοπούς τη ζάχαρη ανοίγοντας την πρώτη βιομηχανία το 1801 στην Πολωνία. Στις αρχές του 1800 η ζάχαρη από ζαχαροκάλαμο ήταν ακόμα πολύ διαδεδομένη. Όμως οι Ναπολεόντειοι Πόλεμοι με το μπλοκάρισμα της εισαγωγής ζάχαρης οδήγησαν στην περαιτέρω ανάπτυξη των πειραματισμών με τα ζαχαρότευτλα μέχρι που το 1811

κάποιοι Γάλλοι επιστήμονες έδειξαν στον Ναπολέοντα γλυκά κουλούρια που είχαν φτιάξει με ζάχαρη από λευκό παντζάρι. Ο αυτοκράτορας διέταξε τότε την καλλιέργειά τους σε 32.000 εκτάρια έκταση και χάρη στην παρέμβαση του Benjamin Delessert, που άνοιξε στη Γαλλία τις πρώτες εγκαταστάσεις που παρήγαγαν ζάχαρη από ζαχαρότευτλα μέσα σε λίγα χρόνια δημιουργήθηκαν 300 βιομηχανίες ζάχαρης από λευκό παντζάρι σε όλη την Ευρώπη

Το παντζάρι, αποτελεί μια εξαιρετική πηγή, βιταμινών και ιχνοστοιχείων, με χαμηλές θερμίδες (44 θερμίδες/100 γραμμάρια). Το χαρακτηριστικό χρώμα του παντζαριού οφείλεται στις betalains (μπεταλαΐνες), χρωστικές ουσίες, είναι φθηνές και δεν παρουσιάζουν αλλεργικές παρενέργειες, όποτε τις καθίστα εμπορικά χρήσιμες, κυρίως στην ζαχαροπλαστική (παγωτό, καραμέλες κλπ) επίσης και στις σάλτσες (ταραμάς, κλπ). Το παντζάρι είναι πλούσιο σε φυλλικό οξύ, το οποίο είναι απαραίτητο για τον πολλαπλασιασμό των κυττάρων λόγω της συμμετοχής του στη σύνθεση των νουκλεϊκών οξέων και απαραίτητο για τη λειτουργία του νευρικού συστήματος. Επίσης, είναι πλούσιο σε κάλιο και σε φυτικές ίνες.



Αναλυτικότερα το παντζάρι περιέχει:

Νερό	86,50%
Πρωτεΐνες.....	1,55%
Λίπος.....	0,10%
Υδατάνθρακες.....	8,50%
Ίνες.....	2,55%
Μεταλλικά άλατα.....	1,00%
Βιταμίνες.....	B ₁ , B ₂ , B ₆ , C

1.2 Χρωστικές ουσίες παντζαριού

Αυτές οι χρωστικές ουσίες που συναντούμε στο παντζάρι είναι οι μεταλαΐνες (betalains) που έχουν πάρει το όνομα τους από την οικογένεια των παντζαριών (*beta*). Είναι χρωστικές με γλυκιά γεύση, και με το χρώμα τους μαζί κάνουν ένα συνδυασμό ελκυστικό για τους ανθρώπους.

Οι μεταλαΐνες είναι αλκαλοειδής χρωστικές ουσίες που συναντιούνται σε μερικές οικογένειες φυτών που ανήκουν στην τάξη *Caryophyllales*, αλλά όχι σε άλλα φυτά. Είναι υδατοδιαλυτές χρωστικές και ταξινομούνται στις κόκκινες Μπετακυανίνες (Betacyanins), αυτές απορροφούνται στα 535-550nm, και στις κίτρινες Μπεταξανθίνες (Betaxanthins) που απορροφούνται στα 475-550nm κλίμακα. Η κύρια μετακυανίνη είναι η μετανίνη, που αποτελεί το 75% έως 95% των συνολικών χρωστικών του παντζαριού και δεν συνυπάρχει στο ίδιο φυτό μαζί με τις ανθοκυανίνες.

Δεν υπάρχουν επιστημονικές ενδείξεις που να αποδεικνύουν ότι οι χρωστικές αυτές έχουν προστατευτική σημασία στις ακτίνες UV, δεν έχουν δώσει θετικά αποτελέσματα και στην φυτοπροστασία, δεν απωθούν τις επιθέσεις των εντόμων, δεν προστατεύουν τα φυτά από καμία μυκητολογική ασθένεια και ιό.

1.3 Καλλιέργεια, λίπανση, σπορά, ποικιλίες

Τα τεύτλα ευδοκιμούν σε καλά στραγγιζόμενα εδάφη, λίγο όξινα, αμμοπηλώδη ή ίλυαμμώδη. Το ιδανικότερο pH εδάφους είναι 6,0-7,0. Αντέχει τις χαμηλές θερμοκρασίες, όμως στην καλλιέργεια τους είναι πολύ απαιτητικά. Για την προετοιμασία του εδάφους χρειάζεται βαθιές αρόσεις και με δυσκοσβάρνισμα για

ψιλοχωμάτισμα, με σκοπό την εξοικονόμηση υγρασίας κατά την διάκια της καλλιέργειας. Συνιστάτε κοπριά σε ποσότητα 3-4τόνοι ανά στρέμμα και λίπανση ανάλογα με την γονιμότητα του εδάφους. Μια καλή λίπανση είναι 60-100kg μικτό λίπασμα τύπου 8-8-8, καθώς και επιφανειακή λίπανση με 20-30kg νιτρικού λιπάσματος στο κάθε στρέμμα, όταν τα φυτά έχουν ύψος περίπου 10-15cm. Σε πηλώδη εδάφη χρειάζεται περισσότερο κάλιο παρά άζωτο. Για να αποφευχθεί η ενδόσηψη των τεύτλων συνίσταται 2-4kg βόρακας ανά στρέμμα.

Η σπορά σε μικρή κλίμακα γίνεται με το χέρι και σε μεγαλύτερες εκτάσεις με σπαρτικές μηχανές χειρός ή σπαρτική πολλών σειρών που κινείτε με ελκυστήρα. Η σπορά γίνεται από το Φεβρουάριο έως τον Ιούνιο κατευθείαν σπορά στους αγρούς με πολύ φρέσκους σπόρους, εάν ο σπόρος είναι άνω του ενός έτους, συνιστάτε βύθιση του σπόρου σε νερό για 4-5ημέρες. Για ένα στρέμμα τεύτλων χρειάζονται 1-1,25kg σπόρου. Η σπορά γίνεται σε αυλάκια 3cm βάθος που απέχουν μεταξύ τους 20-30cm και οι γραμμές απέχουν 20-25cm. Μετά την σπορά οι γραμμές πρέπει να αραιώνονται σε αποστάσεις 8-10cm. Το αραιώμα επιβάλλεται επειδή ένας σπόρος δίνει 1-6 φυτά. Οι αποστάσεις και οι αναλογία βάρος σπόρου ανά στρέμμα καθορίζεται από την ποικιλία του τεύτλου, επίσης από την ποικιλία καθορίζεται και ο χρόνος ωρίμανση του.

Οι καλλιεργούμενες ποικιλίες ταξινομούνται ανάλογα με το σχήμα και το χρόνο ωρίμανσης τους σε:

α) Σφαιρικές, πεπλατυσμένες, πρώιμες, όπως είναι: *Crosby's Egyptian*, *Green Top Buching*, *Rudy Queen* και *Early Wonder*.

β) Σφαιρικό, πρώιμες. Η *Detroit Dark Red* είναι σφαιρική και χρησιμοποιείται για κονσερβοποίηση και οικιακούς λαχανόκηπους. Η *Detroit Short Top* έχει μικρά φύλλα και είναι κατάλληλη για δεματοποίηση.

γ) Μακρόρριζες, όψιμες ποικιλίες, όπως η *Long Dark top* και η *Long Smooth Blood*.

Σημαντικό ρόλο έχουν οι ποικιλίες των κτηνοτροφικών τεύτλων γνωστά ως ζαχαρότευτλα διαφέρουν από τα κηπευτικά στο μέγεθος του κονδύλου, τα οποία είναι πολύ μεγάλα και φτάνουν συνήθως τα 800γραμμάρια μέχρι το 1κιλό. Έχουν μεγάλη περιεκτικότητα σε σακχαρόζη, η οποία κυμαίνεται στις τώρα καλλιεργούμενες βελτιωμένες γερμανικές και γαλλικές παραλλαγές από 16-20%, αλλά ακόμα και σε 34% του βάρους τους. Η καλλιέργεια των ζαχαρότευτλων είναι ικανοποιητική, γιατί έχει άφθονα υποπροϊόντα (φύλλα, λαιμοί, πολτός, μελάσα κλπ), τα οποία είναι

χρήσιμα για την κτηνοτροφία και ιδίως για τα γαλακτοπαραγωγά ζώα. Οι κτηνοτροφικές παραλλαγές, δηλαδή τα κτηνοτροφικά τεύτλα, υπάρχουν και αυτά σε πολλές μορφές, ως προς το σχήμα, το χρώμα, το μέγεθος, όπως λ.χ. το τεύτλο-μαμούθ, που το βάρος του φτάνει τα 10-12kg με περιεκτικότητα σε σάκχαρα 8%.

1.4 Συγκομιδή, διαλογή, συντήρηση

Η συγκομιδή αρχίζει όταν οι ριζοκόνδυλοι έχουν διάμετρο 3-6cm. Τα παντζάρια και τα φύλλα που προορίζονται για κατανάλωση όσο μικρότερα συγκομίζονται τόσο τρυφερά είναι. Κριτήρια ποιότητας είναι το μικρό μέγεθος των κονδύλων και η τρυφεράδα των φύλλων. Η συγκομιδή σε μεγάλες εκτάσεις γίνεται και με συλλεκτικές μηχανές που κόβουν τα φύλλα των τεύτλων. Η απόδοση είναι περίπου 2.000-2.500kg ανά στρέμμα. Μετά τα τεύτλα πλένονται και συσκευάζονται σε διαφανείς πλαστικές σακούλες ή κιβώτια. Οι ριζοκόνδυλοι διατηρούνται για περισσότερο χρόνο, χωρίς τα φύλλα τους. Με μηχανές συγκομιδής και τα τεύτλα που προορίζονται για τη βιομηχανία. Στην περίπτωση αυτή τα τεύτλα τοποθετούνται σε ειδικά κιβώτια των 500kg και μπορούν να αποθηκευθούν μέχρι 5-6 μήνες σε ψυγεία με θερμοκρασία 0°-1° C και 85%-95% σχετική υγρασία. Στην Ευρώπη τα περισσότερα τεύτλα πωλούνταν βραστά, έτυμα για σαλάτα.

1.5 Εχθροί και ασθένειες

Από τα έντομα, μεγάλη ζημία προξενούν τα συρματοσκούλικα και οι νηματώδεις που καταπολεμούνται με απεντομώσεις εδάφους ή αμειψισπορά. Η κάμπια του παρεγχύματος (*Begomyia Vicia*), που ανοίγει στοές στο φύλλο. Η κερκοσπορίαση (*Cercospora Beticola*), που χαρακτηρίζεται από τις καφετιές κηλίδες στα φύλλα και η σκωρίαση (*Uromyces Beta*), που σχηματίζει σκωριόχρωμες μικρές κηλίδες πάνω στα φύλλα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΥΔΡΟΠΟΝΙΑ

2.1 Ορισμός

Η υδροπονία είναι μέγεθος καλλιέργειας φυτών εκτός εδάφους, σύμφωνα με την οποία οι ρίζες των φυτών αναπτύσσονται είτε σε στερεά υποστρώματα εμποτισμένα με τεχνητό θρεπτικό διάλυμα είτε απευθείας στο θρεπτικό διάλυμα από το οποίο τα φυτά προορίζονται τις απαραίτητες για την ανάπτυξή τους ποσότητες νερού και θρεπτικών στοιχείων. Απαραίτητη προϋπόθεση για την επιτυχία μιας υδροπονικής καλλιέργειας είναι η τροφοδότηση των φυτών με θρεπτικό διάλυμα κατάλληλης σύστασης.

Τα υποστρώματα υδροπονικών καλλιεργειών συνήθως είναι πορώδη υλικά, φυσικά ή προερχόμενα από βιομηχανική επεξεργασία, τα οποία χάρη στην ύπαρξη των πόρων είναι σε θέση να συγκρατούν νερό (θρεπτικό διάλυμα) και αέρα σε κατάλληλες για την ανάπτυξη των φυτών αναλογίες. Έτσι, στο βαθμό που το θρεπτικό διάλυμα με το οποίο τροφοδοτούνται περιέχει τα απαραίτητα για την ανάπτυξη των φυτών θρεπτικά στοιχεία, τα υποστρώματα μπορούν να υποκαθιστούν το έδαφος. Τα περισσότερα υποστρώματα υδροπονίας στις συνηθισμένες συνθήκες καλλιέργειας συμπεριφέρονται χημικώς ως αδρανή υλικά, δεδομένου ότι πρακτικά δεν αποδίδουν ούτε δεσμεύουν ήδη υπάρχοντα στο θρεπτικό διάλυμα ιόντα (Σάββας 2003).

2.2 Η υδροπονία ως διαδικασία παράγωγης τροφίμων

Η ανάπτυξη των φυτών απουσία του φυσικού εδάφους, με την πρώτη ματιά θα μπορούσε να αξιοποιηθεί αρνητικά, γιατί είναι μια διαδικασία που απομακρύνει την παραγωγή την παραγωγή των τροφίμων από το φυσικό περιβάλλον. Αν όμως ληφθεί υπόψη ότι, για να καλυφθούν οι ανάγκες της ανθρωπότητας σε τροφή, αναγκάζεται ο άνθρωπος να εκχερσώνει τεράστιες εκτάσεις δασών, ότι η συνεχής εντατική καλλιέργεια του εδάφους συμβάλει στην καταστροφή αυτού του φυσικού πόρου και ότι, για να γίνει δυνατή η συνεχής καλλιέργεια ενός φυτού στο ίδιο έδαφος, χρησιμοποιούνται μεγάλες ποσότητες χημικών φυτοφαρμάκων τα οποία συχνά περνούν στα τρόφιμα ζημιώνοντας την υγεία των καταναλωτών, τότε η ανάπτυξη των

φυτών εκτός του φυσικού εδάφους, σε πολλές περιπτώσεις, προστατεύει το περιβάλλον και την υγεία.

Η άποψη ότι στην υδροπονία τα φυτά καλλιεργούνται σε ανόργανα χημικά διαλύματα και επομένως είναι κατώτερης θρεπτικής αξίας είναι απλοϊκή, γιατί και στη καλλιέργεια του εδάφους, με εξαίρεση την καλλιέργεια, και εκεί τα φυτά καλλιεργούνται με τη χρήση χημικών λιπασμάτων και μάλιστα στην υδροπονία τα λιπάσματα που χρησιμοποιούνται είναι πολύ πιο καθαρά και απαλλαγμένα βαρέων μετάλλων.

Και στην περίπτωση του εδάφους και στην περίπτωση της υδροπονίας η ρίζα αποτελεί το φίλτρο ελέγχου της εισόδου των διαφόρων χημικών στοιχείων στα όργανα του φυτού.

Γενικά τα προϊόντα της υδροπονικής καλλιέργειας δε διαφέρουν σε γεύση και άρωμα από αυτά που καλλιεργούνται με το συνηθισμένο τρόπο στο έδαφος, μάλιστα από τα αποτελέσματα της επιστημονικής έρευνας αποδεικνύεται ότι περιέχουν ανόργανα στοιχεία και βιταμίνες ακριβώς στην ίδια ποσότητα με τα υψηλής ποιότητας προϊόντα εδάφους.(Μαυρογιαννόπουλος 2006)

2.3 Ιστορική αναδρομή

Από το Μεσαίωνα και μέχρι το 18^ο αιώνα ήταν κοινή πίστη ότι τα φυτά τρέφονταν μόνο με το νερό και ότι το έδαφος τους προσέφερε μόνο τη στήριξη.

Η υδροπονία ξεκίνησε μετά το 18^ο αιώνα , ως εργαλείο για ακαδημαϊκή έρευνα στη θρέψη των φυτών και πολύ αργότερα (20^ο αιώνα) εξελίχθηκε σε μέθοδο παραγωγής.

Κατά την περίοδο 1860 έως 1900 στη Γερμανία η υδροπονική καλλιέργεια αποτελεί ένα γενικά παραδεκτό εργαλείο έρευνας. Η πυκνότητα των διαλυμάτων σε ανόργανα θρεπτικά στοιχεία κυμαινόταν από 0,1-0,6%. Την εποχή αυτή προσδιορίστηκαν ως απαραίτητα 10 από τα αναγκαία ανόργανα στοιχεία για την ανάπτυξη των φυτών.

Μετά το 1900,εκτός από τις χημικές ιδιότητες των στοιχείων, δόθηκε προσοχή και στις φυσικές ιδιότητες του υποστρώματος ανάπτυξης και του περιβάλλοντος της ρίζας γενικά (οσμωτική πίεση, θερμοκρασία, συγκέντρωση οξυγόνου, οξύτητα).

Το 1914 ο W.E.Tottingham δημοσίευσε μια ερευνητική εργασία για την ποιοτική σύνθεση των στοιχείων του διαλύματος και τη φυσιολογική τους επίδραση στο φυτό (προτείνει συνολική συγκέντρωση 0,6% ή 2,5 atm οσμωτική πίεση, με βάση το

διάλυμα Κνορς). Το 1919 -1920 ο Hoagland ότι τα διαλύματα με συγκέντρωση λιπαντικών στοιχείων από 0,48 έως 1,45% έδιναν πολύ καλό αποτέλεσμα, αρκεί να ανανεωνόταν συχνά. Κατά την περίοδο αυτή όλες οι πειραματικές εργασίες γινόταν σε υπόστρωμα άμμου.

2.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα υδροπονίας

α) Πλεονεκτήματα

1. Το πρώτο και προφανέστερο πλεονέκτημα της υδροπονίας είναι η ριζική αντιμετώπιση των προβλημάτων που προκαλούν στις θερμοκηπιακές καλλιέργειες οι μεταδιδόμενες μέσω του εδάφους ασθένειες (φουζάριο, βερτισίλλιο, πύθια, πυρηνοχαίτη, έντομα εδάφους, νηματώδεις, ορισμένα βακτήρια και φυτοϊοί κλπ).
2. Εφόσον στις υδροπονικές καλλιέργειες το χώμα δεν έρχεται καθόλου σε επαφή με το φυτό και ιδιαίτερα με τις ρίζες του, δεν υφίσταται ανάγκη για απολύμανση του εδάφους. Αποφεύγεται επομένως η εφαρμογή χημικών απολυμαντικών υψηλής τοξικότητας όπως το βρωμιούχο μεθύλιο, η χρήση των οποίων εγκυμονεί σοβαρούς κινδύνους για την υγεία τόσο των παραγωγών όσο και των καταναλωτών.
3. Μέσω της μεταπήδησης στην υδροπονία λύνεται ριζικά το πρόβλημα της χαμηλής γονιμότητας που εμφανίζουν πολλά εδάφη θερμοκηπίου, είτε λόγω υπερεντατικής εκμετάλλευσης και μονοκαλλιέργειας (κόπωση εδαφών) είτε λόγω δυσμενών φυσικών ιδιοτήτων (πχ. Πολύ βαριά η πολύ ελαφρά εδάφη, εδάφη ουσία, εναλατωμένα εδάφη, κλπ).
4. Ιδιαίτερη χρήσιμη είναι η υδροπονία όταν το χρησιμοποιούμενο για άρδευση νερό έχει υψηλή περιεκτικότητα σε άλατα (ηλεκτρική αγωγιμότητα πάνω από 1-1,5ds m-1). Στις περιπτώσεις αυτές η υδροπονία είναι ίσως ο μόνος τρόπος επιτυχημένης αντιμετώπισης του προβλήματος.
5. Στις υδροπονικές καλλιέργειες το κόστος θέρμανσης είναι μειωμένο. Όπως είναι γνωστό, η εξάτμιση νερού συνοδεύεται πάντοτε από κατανάλωση ενέργειας υπό μορφή λανθάνουσας θερμότητας. Σε ένα θερμοκήπιο που καλλιεργείται υδροπονικά όμως, η εξάτμιση νερού από την επιφάνεια του εδάφους είναι πρακτικά αμελητέα, δεδομένου ότι αυτό είναι καλυμμένο με πλαστικά φύλλα. Συνεπώς οι ανάγκες σε ενέργεια για τη θέρμανση του αέρα μειώνονται.

6. Έχει αποδειχθεί ότι η καλλιέργεια τόσο πάνω σε καλής ποιότητας υποστρώματα όσο και σε καθαρό θρεπτικό διάλυμα (π.χ. N.F.T.) επιφέρει σημαντική προώμιση. Αυτό οφείλεται κυρίως στις υψηλότερες θερμοκρασίες που διαμορφώνονται στο χώρο του ριζοστρώματος όταν τα φυτά καλλιεργούνται εκτός εδάφους.
7. Στις υδροπονικές καλλιέργειες η θρέψη των φυτών είναι πολύ πιο ακριβής, μπορεί να ελέγχεται και να εποπτεύεται καλύτερα και με μεγαλύτερη αξιοπιστία και επίσης μπορεί να διορθώνεται ευκολότερα και ταχύτερα σε περίπτωση που έχει διαπραχθεί κάποιο λάθος.
8. Η καλλιέργεια των φυτών εκτός εδάφους απαλλάσσει τον καλλιεργητή από τις εργασίες της προετοιμασίας του εδάφους (όργωμα, φρεζάρισμα ,βασική λίπανση κλπ)
9. Οι καλύτερες φυσικοχημικές ιδιότητες των υποστρωμάτων σε σύγκριση με το έδαφος , η αριστοποίηση της θρέψης και η διατήρηση υψηλότερων θερμοκρασιών στο ριζόστρωμα κατά την διάρκεια της ψυχρής εποχής του έτους έχουν σαν αποτέλεσμα την αύξηση των αποδόσεων.
10. Η αριστοποίηση της θρέψης που μπορεί να επιτευχθεί μέσω της μεταπήδησης στην υδροπονία αλλά και η αποφυγή μιας σειράς προβλημάτων τα οποία έχουν ήδη εκτεθεί πιο πάνω, έχει σαν συνέπεια τα παραγόμενα στις υδροπονικές καλλιέργειες λαχανικά και καλλωπιστικά φυτά να είναι καλύτερης ποιότητας.
11. Τέλος η υδροπονία πλεονεκτεί σαν καλλιέργεια στο ότι σέβεται και προστατεύει λαμβάνει χώρα σε κλειστό υδροπονικό σύστημα.

β) Μειονεκτήματα

1. Το κόστος της αρχικής εγκατάστασης μιας υδροπονικής μονάδας είναι σημαντικό. Το κόστος αυτό συνίσταται κυρίως στη δαπάνη αγοράς των πάγιων εγκαταστάσεων παρασκευής και τροφοδοσίας του θρεπτικού διαλύματος καθώς και στα έξοδα προμήθειας του υποστρώματος καλλιέργειας.
2. Η εμφάνιση των δυσμενών επιδράσεων ενός λανθασμένου χειρισμού είναι πιο γρήγορη και συχνά πιο έντονη στις υδροπονικές καλλιέργειες.
3. Η εφαρμογή υδροπονίας σε μια θερμοκηπιακή μονάδα προϋποθέτει ότι ο επικεφαλής της επιχείρησης θα πρέπει να διαθέτει ένα ελάχιστο μορφωτικό επίπεδο.

4. Στα κλειστά υδροπονικά συστήματα υφίσταται κίνδυνος εύκολης εξάπλωσης μιας μόλυνσης μέσω του ανακυκλούμενου θρεπτικού διαλύματος εφόσον προσβληθεί ένα φυτό. Στην πράξη βέβαια ο κίνδυνος αυτός είναι σχετικά μικρός.
5. Ορισμένοι παραγωγοί παραπονούνται ότι στα ανοιχτά υδροπονικά συστήματα η κατανάλωση λιπασμάτων είναι αυξημένη σε σύγκριση με το έδαφος. Στην υδροπονία σε αντίθεση με το έδαφος ο καλλιεργητής πρέπει να χορηγεί όλα τα απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία στα φυτά.

2.5 Υποστρώματα υδροπονίας

Στις υδροπονικές καλλιέργειες το υπόστρωμα αποτελεί ένα υποκατάστατο του εδάφους και επομένως θα πρέπει να είναι σε θέση να επιτελεί όλες τις λειτουργίες που γίνονται από το χώμα και μάλιστα με καλύτερο τρόπο. Μόνο όταν εκπληρώνεται αυτή η προϋπόθεση είναι οικονομικά σκόπιμη η χρήση υποστρώματος αντί της καλλιέργειας στο έδαφος.

Η βασική λειτουργία την οποία καλούνται να επιτελέσουν επιτυχώς τα υποστρώματα είναι η εξασφάλιση καλής ισορροπής θρέψης στα φυτά.

Ο προφανέστερος τρόπος εξασφάλισης καλής και ισορροπής θρέψης στα φυτά στις υδροπονικές καλλιέργειες είναι η χρησιμοποίηση υποστρωμάτων που συμπεριφέρονται όπως είναι ένα πολύ καλό και γόνιμο έδαφος. Σύμφωνα με αυτή την προσέγγιση του προβλήματος, τα χρησιμοποιούμενα υποστρώματα θα πρέπει να έχουν πολλή καλή και ομοιόμορφη δομή, υφή και σύσταση και να διαθέτουν υψηλό επίπεδο ικανότητας ανταλλαγής κατιόντων. Θα πρέπει δηλαδή να μπορούν να συγκρατούν μεγάλες ποσότητες θρεπτικών ιόντων όταν αυτά υπάρχουν σε περίσσεια στο εδαφικό διάλυμα και αντίστοιχα, να μπορούν άμεσα να απελευθερωθούν αξιόλογες ποσότητες από αυτά όταν στο χώρο του ριζοστρώματος δημιουργούνται συνθήκες ανεπάρκειας. Τα υποστρώματα αυτά συνήθως περιέχουν οργανική ουσία είτε σε μορφή τύρφης είτε σε κάποια άλλη μορφή και μπορούν να χαρακτηρισθούν ως χημικώς ενεργά υποστρώματα.

Υπόστρωμα καλλιέργειας	Κατηγορία	Μέθοδος
Χωρίς στέρεο υπόστρωμα	<ul style="list-style-type: none"> Καλλιέργεια σε ρέον θρεπτικό διάλυμα 	N.F.T., N.G.S.
	<ul style="list-style-type: none"> Καλλιέργεια σε ψεκαζόμενο θρεπτικό διάλυμα 	Αεροπονίας
Ανόργανο αδρανές υπόστρωμα	<ul style="list-style-type: none"> Καλλιέργεια σε φυσικά αδρανή υλικά. 	Άμμου, ελαφρόπετρας, κροκάλων, βερμικουλίτη, κ.ά.
	<ul style="list-style-type: none"> Καλλιέργεια σε διογκωμένα ορυκτά. 	Περλίτη, ορυκτοβάμβακα, διογκωμένης αργίλου κ.ά.
Οργανικό υπόστρωμα	<ul style="list-style-type: none"> Καλλιέργεια σε φυσικά οργανικά υποστρώματα 	Τύρφης, ινών καρύδας, φλοιών δένδρων, λεπύρων ρυζιού κ.ά.
	<ul style="list-style-type: none"> Καλλιέργεια σε διογκωμένα συνθετικά οργανικά υλικά . 	Πολυουρεθάνης, ουριοφορμαλδευδης, πολυστερίνης κ.ά.
ΜΑΥΡΟΓΙΑΝΝΟΠΟΥΛΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ 2006		

Μια άλλη προσέγγιση στην επιλογή καταλλήλων για υδροπονία υποστρωμάτων είναι αυτή η οποία απορρίπτει την ιδέα της χρησιμοποίησης ενός υλικού που θα ρυθμίζει την θρέψη των φυτών με τον ίδιο τρόπο όπως το έδαφος. Σύμφωνα με αυτή τη προσέγγιση, το υπόστρωμα θα πρέπει να μην ασκεί καμία ρύθμιση στην προσφορά θρεπτικών στοιχείων στα φυτά με συνέπεια να είναι δυνατός ο πλήρης έλεγχος της θρέψης μέσω της λίπανσης και μόνο.

Τα υλικά αυτά δηλαδή θα πρέπει να μην συκρατούν αλλά και μην αποδίδουν ανόργανα ιόντα στο περιεχόμενο σε αυτά θρεπτικό διάλυμα. Τα υλικά που χαρακτηρίζονται από μια τέτοια συμπεριφορά ονομάζονται χημικώς αδρανή υποστρώματα και χρησιμοποιούνται ευρύτατα στην υδροπονία.

Για είναι σε θέση ένα υπόστρωμα να επιτελεί με τον καλύτερο τρόπο τον ρόλο για τον οποίο προορίζεται θα πρέπει να έχει τα εξής χαρακτηριστικά :

1. Σταθερή δομή, ώστε να μην αποσυντίθεται εύκολα.
2. Ικανοποιητική αναλογία μεταξύ νερού και αέρα στην κατάσταση της υδατοϊκανότητας.
3. Ομοιομορφία στην σύσταση , στην εμφάνιση και στην συμπεριφορά από άποψη θρέψης.
4. Απαλλαγμένο από παθογόνα, ζωικούς εχθρούς και σπόρους ζιζανίων.
5. Εύκολο στη χρήση του και γενικά στους καλλιεργητικούς χειρισμούς.
6. Σχετικά χαμηλό κόστος.

Εκτός από αυτά τα χαρακτηριστικά ένα καλό υπόστρωμα θα πρέπει ή να είναι χημικά αδρανές ή να διαθέτει μεγάλη ανταλλακτική ικανότητα και κατάλληλο P.H. εφόσον είναι χημικά ενεργό.

2.5.1 Καλλιέργειες σε ανόργανα πορώδη υποστρώματα

Καλλιέργεια σε ορυκτοβάμβακα:

Ο ορυκτοβάμβακας είναι διογκωμένο ανόργανο υλικό. Οι πρώτες ύλες από τις οποίες γίνεται είναι ο βασάλτης, ασβεστόλιθος και γαιάνθρακας, σε αναλογία 4:1:1. Το PH του είναι περίπου 7. Παρουσιάζει πολύ χαμηλή ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα.

Καλλιέργεια σε πυριτική άμμο:

Συνήθως χρησιμοποιείται κρυσταλλική άμμος προερχόμενη από την κοίτη των ποταμών, η οποία έχει περιεκτικότητα άνω του 50% σε διοξείδιο του πυριτίου και μηδενική ανταλλακτική ικανότητα.

Καλλιέργεια σε χαλίκι:

Το χαλίκι είναι ένα χονδρόκοκκο υπόστρωμα. Η χημική του σύσταση ποικίλει και εξαρτάται από το μητρικό πέτρωμα από το οποίο προέρχεται.

Καλλιέργεια σε πετροβάμβακα:

Είναι το πλέον διαδεδομένο διεθνώς υπόστρωμα υδροπονικών καλλιεργειών. Είναι ένα ανόργανο ινώδες υλικό το οποίο παράγεται με θερμική επεξεργασία ενός μείγματος που αποτελείται κατά 60% από διάβαση, 20% από ασβεστόλιθο και 20% από άνθρακα.

Καλλιέργεια σε περλίτη:

Ο περλίτης είναι ηφαιστειακά, υαλώδες αργιλλοπυριτικό πέτρωμα λευκού χρώματος, το οποίο περιέχει και κρυσταλλικό νερό σε ποσοστό 2-6%.

Καλλιέργεια σε ελαφρόπετρα:

Πρόκειται για ένα αργιλλοπυριτικό ηφαιστειογενές ορυκτό το οποίο δεν έχει τη συμπαγή υφή άλλων πετρωμάτων αλλά φέρει εκτεταμένο πορώδες σε όλη τη μάζα του.

Καλλιέργεια σε βερμικουλίτη:

Ανόργανο υλικό με PH=7. Έχει υψηλή ικανότητα συγκράτησης νερού, υψηλό πορώδες 75-85% και χαμηλή πυκνότητα. Δεν περιέχει άλατα, αλλά έχει υψηλή ρυθμιστική και εναλλακτική ικανότητα.

2.5.2 Καλλιέργειες σε οργανικά πορώδη υποστρώματα

Καλλιέργεια σε σάκους τύρφης:

Η τύρφη είναι οργανικό υλικό που αποτελείται από μερικώς αποδομημένα υπολείμματα φυτών. Σχηματίζεται με βραδεία αποσύνθεση των φυτικών ιστών σε περιβάλλον με σχετική έλλειψη οξυγόνου. Οι φυσικές και χημικές ιδιότητες της τύρφης την κάνουν ένα πολύ κατάλληλο υπόστρωμα για την ανάπτυξη των φυτών.

Καλλιέργεια σε Ίνες καρύδας:

Είναι οργανικό υλικό, υποπροϊόν που προέρχεται από τους καρπούς της καρύδας. Παρουσιάζει σταθερότητα και πολύ ευνοϊκό περιβάλλον για την ανάπτυξη της ρίζας. Είναι υλικό με υψηλό πορώδες 95-97% και χαμηλή πυκνότητα 82 kg/m³. Έχει επίσης υψηλή υδροικανότητα και PH μεταξύ 5 έως 6.

Καλλιέργεια σε δεμάτια άχυρου:

Είναι οργανικό υλικό με σχετικά υψηλή συγκράτηση νερού και θρεπτικών στοιχείων. Έχει υψηλό πορώδες και μέτρια πυκνότητα. Επίσης έχει υψηλή σχέση C:N και για αυτό, για να διευκολυνθεί η ζύμωση, διαβρέχεται καλά με διάλυμα νιτρικής αμμωνίας.

Καλλιέργεια σε ζυμωμένο φλοιό κωνοφόρων:

Είναι οργανικό υλικό με υψηλή συγκράτηση νερού και θρεπτικών στοιχείων. Έχει σχετικά υψηλό πορώδες (73-83%) και χαμηλή ως μέτρια πυκνότητα. Το PH είναι 5.0-6.5, έχει σχετικά υψηλή περιεκτικότητα σε άλατα και υψηλή σχέση C:N.

2.6 Καλλιέργειες χωρίς πορώδη υποστρώματα

Καλλιέργεια σε μεμβράνη θρεπτικού διαλύματος (N.F.T.):

Με τη μέθοδο αυτή τα φυτά αναπτύσσονται σε μακριά αδιάβροχα κανάλια, όπου ρέει ένα πολύ ρηχό ρεύμα ανακυκλούμενου θρεπτικού διαλύματος. Η ρίζα αναπτύσσεται πάνω στο θρεπτικό διάλυμα, χωρίς να υπάρχει κανένα πορώδες υπόστρωμα. Με την ανάπτυξη της ρίζας δημιουργείται ένα παχύ πλέγμα ριζών, στο οποίο συμπλέκονται οι ρίζες από όλα τα φυτά του καναλιού και το οποίο αποτελεί το κάτω στήριγμα των φυτών.

Το κλειδί της επιτυχίας στο N.F.T. είναι:

- ομοιόμορφη κλίση του καναλιού για ομοιόμορφη ροή του νερού, χωρίς τοπικές ανωμαλίες,
- το πλάτος του καναλιού να είναι αρκετό, ώστε το νερό να ρέει ομοιόμορφα σε όλο το μήκος,
- η βάση του καναλιού να είναι τελείως επίπεδη και οριζόντια,
- η παροχή του θρεπτικού διαλύματος να ρυθμίζεται συνεχώς, έτσι ώστε στο τέλος των καναλιών να υπάρχει πάντα μια μικρή ροή, χωρίς όμως να υψώνεται η στάθμη του διαλύματος στα κανάλια.

Καλλιέργεια σε πολλαπλά κανάλια (NGS):

Με τη μέθοδο αυτή αναπτύσσονται σε μακριά αδιάβροχα κανάλια κατασκευασμένα από πλαστικό φύλλο, λευκό από την έξω και μαύρο από την εσωτερική, χωρίς πορώδες υπόστρωμα. Το κάθε κανάλι κρέμεται από δυο οριζόντια σύρματα που στηρίζονται σε κατακόρυφα στηρίγματα μπηγμένα στο έδαφος, με τέτοιο τρόπο που το κανάλι να έχει μια κλίση 1.5%. Το θρεπτικό διάλυμα ψεκάζεται στη ρίζα με μικρούς ψεκαστές στο επάνω διαμέρισμα, στη θέση που είναι τοποθετημένο το φυτό. Η ρίζα αναπτύσσεται στο θρεπτικό διάλυμα διεισδύοντας σε όλα τα διαμερίσματα. Η μέθοδος αυτή θεωρείται ότι πλεονεκτεί έναντι του N.F.T. γιατί επιτρέπει καλύτερη οξυγόνωση και γίνεται δυνατό να παρέχεται πολύ περισσότερο νερό από αυτό που απορροφά, η ρίζα, χωρίς να δημιουργούνται προβλήματα αερισμού και για αυτό δεν απαιτείται συνεχής ρύθμιση νερού.

Καλλιέργεια με τη μέθοδο της αεροπονίας:

Είναι ένα κλειστό σύστημα, όπου τα φυτά αναπτύσσονται σε μακριά αδιάβροχα κανάλια σταθερού σχήματος, χωρίς πορώδες υπόστρωμα. Το ριζικό σύστημα των φυτών δε βρίσκεται συνεχώς μέσα στο θρεπτικό διάλυμα, αλλά κρέμεται μέσα στο κανάλι και ψεκάζεται συνεχώς με θρεπτικό διάλυμα. Με το σύστημα αυτό γίνεται

άριστη στράγγιση του πλεονάζοντος διαλύματος και επομένως πολύ καλή οξυγόνωση της ρίζας. Τα κανάλια αυτά τοποθετούνται με κλίση 1-1,5% και στο επάνω μέρος είναι ανοικτά ή φέρουν οπές όπου τοποθετούνται τα φυτά. Η στήριξη των φυτών στις οπές των κλειστών καναλιών γίνεται με σφουγγάρι πολυουρεθάνης. Η στεγανοποίηση των καναλιών γίνεται με πλαστικό φύλλο. (Μαυρογιαννόπουλος Γ. 2006)

Κ Ε Φ Α Λ Α Ι Ο 3

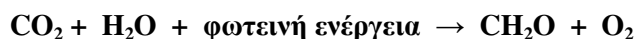
ΦΩΤΟΣΥΝΘΕΣΗ

3.1 Εισαγωγή

Κάθε φυτικός οργανισμός προμηθεύεται τα βασικά και απαραίτητα συστατικά για την διατροφή του από το έδαφος. Για όλα τα ζώα και τους περισσότερους μικροοργανισμούς τα συστατικά της διατροφής τους δεν περιέχουν μόνο βασικά στοιχεία, αλλά ταυτόχρονα και μια πηγή χημικής ενέργειας, μέσω της οποίας ικανοποιούνται οι ενεργειακές τους ανάγκες.

Στα αυτότροφα φυτά η κατάσταση διαφέρει, γιατί οι θρεπτικές τους πηγές (CO₂, H₂O και ανόργανα ιόντα) είναι χαμηλής ενεργειακής κατάστασης και συνεπώς δεν είναι σε θέση να ικανοποιήσουν τις ενεργειακές απαιτήσεις τους. Η αφομοίωση τέτοιων ανόργανων θρεπτικών ουσιών απαιτεί πράγματι ενέργεια. Στα αυτότροφα φυτά οι απαιτήσεις αυτές ικανοποιούνται αρχικώς με την απορρόφηση του φωτός. Η μοναδική αυτή ικανότητα των φυτικών κυττάρων να απορροφούν φωτεινή ενέργεια και να την μετατρέπουν σε χημική είναι μια από τις βασικότερες βιολογικές λειτουργίες. Όλοι οι οργανισμοί, με εξαίρεση μερικούς αυτότροφους οργανισμούς, εξαρτώνται από αυτήν την μετατροπή της ενέργειας.

Η μετατροπή της φωτεινής ενέργειας σε χημική συνδέεται στενά με την μετατροπή του CO₂ σε οργανικά συστατικά. Για δεκαετίες και οι δυο αντιδράσεις (μετατροπή της ενέργειας και δέσμευση του CO₂) θεωρούνταν ως μια πολύπλοκη αντίδραση που περιγράφονταν από την γενική εξίσωση:



Η αντίδραση αυτή δείχνει κατά βάση ότι η φωτοσύνθεση είναι ο συνδυασμός του CO₂ και του H₂O για τον σχηματισμό διαφόρων υδατανθράκων με την απελευθέρωση οξυγόνου, το οποίο μπορεί να προέρχεται, είτε από το πρώτο, είτε από το δεύτερο ανόργανο συστατικό, που συμμετέχει στην αντίδραση. Επομένως δεν ήταν γνωστός ο δότης του οξυγόνου όποτε η πλήρης εξίσωση της φωτοσύνθεσης έχει ως εξής:



3.2 Μηχανισμός της φωτοσύνθεσης

Για να εξηγηθεί ο μηχανισμός της φωτοσύνθεσης διατυπώθηκαν κατά καιρούς διάφορες απόψεις από πολλούς ερευνητές. Η όλη διαδικασία πραγματοποιείται με

σειρά αλληλοδιαδοχικών φυσικών και χημικών φαινομένων, τα οποία δεν έχουν πλήρως διευθυνθεί, παρά το γεγονός ότι μεγάλη μερίδα ερευνητών εργάστηκε και εργάζεται με το θέμα αυτό. Τελικός σκοπός των διαδοχικών φυσικοχημικών φαινομένων είναι η αναγωγή του CO₂ προς τη θεμελιώδη ομάδα των υδατανθράκων (H-C-OH) με υδρογόνο, που ελευθερώνεται από τη φωτόλυση του H₂O.

Η αλυσίδα των επιμέρους αντιδράσεων οδηγεί στο σχηματισμό της τελικής ουσίας, που κατά κανόνα είναι η γλυκόζη, από το CO₂ της ατμόσφαιρας. Μεγάλο μέρος των αντιδράσεων αυτών είναι ανεξάρτητο του φωτός, με άλλα λόγια μπορούν να συμβούν τόσο παρουσία φωτός, όσο και στο σκοτάδι, γι' αυτό και χαρακτηρίστηκαν από τον Blackman ως «σκοτεινές αντιδράσεις» σε αντίθεση προς τις «φωτεινές αντιδράσεις». Οι τελευταίες για να πραγματοποιηθούν προϋποθέτουν την ύπαρξη φωτός και είναι ανεξάρτητες της θερμοκρασίας, ενώ αντίθετα οι «σκοτεινές αντιδράσεις» εξαρτώνται από αυτήν.

Έχει βρεθεί ότι οι «σκοτεινές αντιδράσεις» της φωτοσύνθεσης πραγματοποιούνται πάνω ή μέσα στις μεμβράνες των θυλακοειδών. Τα τελικά προϊόντα των αντιδράσεων αυτών είναι συστατικά υψηλής ενέργειας (ATP και NADPH₂), που θα χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια για τη σύνθεση των σακχάρων κατά την διάρκεια των «σκοτεινών αντιδράσεων». Αντίθετα οι «σκοτεινές αντιδράσεις» λαμβάνουν χώρα στο στρώμα των χλωροπλαστών.

Κ Ε Φ Α Λ Α Ι Ο 4

ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ

4.1 Ορισμός

Βαρέα ονομάζονται τα μέταλλα με ατομικό βάρος μεγαλύτερο αυτού του σιδήρου (Fe). Ο όρος "βαρέα μέταλλα", παρότι περιλαμβάνει πολλά άλλα, αναφέρεται κυρίως στον μόλυβδο (Pb), τον υδράργυρο (Hg), τον χαλκό (Cu), το κάδμιο (Cd), και το χρώμιο (Cr). Τα βαρέα μέταλλα είναι φυσικά συστατικά του φλοιού της γης. Δεν μπορούν να διασπαστούν σε απλούστερες μορφές ή να καταστραφούν.

Πολλά από αυτά τα μέταλλα σε μικρές ποσότητες είναι απαραίτητα για τη δράση των βιταμινών και τις ζωτικές λειτουργίες. Σε μεγάλες ποσότητες προκαλούν σειρά δυσμενών επιδράσεων.

Σε μικρή έκταση εισάγονται στον ανθρώπινο οργανισμό μέσω των τροφίμων, του πόσιμου νερού και του αέρα. Σαν ιχνοστοιχεία, μερικά βαρέα μέταλλα (π.χ. χαλκός, σελήνιο, ψευδάργυρος) είναι απαραίτητα για να διατηρηθεί ο μεταβολισμός του ανθρώπινου σώματος.

4.2 Βιοσυσσώρευση των βαρέων μετάλλων

Τα βαρέα μέταλλα είναι επικίνδυνα επειδή τείνουν να βιοσυσσωρεύονται. Βιοσυσσώρευση σημαίνει αύξηση στη συγκέντρωση μιας χημικής ουσίας σε έναν βιολογικό οργανισμό με την πάροδο του χρόνου, συγκρινόμενη με τη συγκέντρωση της χημικής ουσίας στο περιβάλλον. Οι ενώσεις συσσωρεύονται στα έμβια όντα οποτεδήποτε λαμβάνονται, και αποθηκεύονται γρηγορότερα από ότι διασπώνται (μεταβολίζονται) ή εκκρίνονται.

Ο ακόλουθος πίνακας εμφανίζει μικρές επιλεγμένες τιμές για το πόσο αποτελεσματικά οι οργανισμοί είναι σε θέση να απορροφήσουν τον υδράργυρο, το κάδμιο και το μόλυβδο και πόσο γρήγορα μπορούν να ξεφορτωθούν αυτές τις ουσίες.

Μέταλλο	Οργανισμός	Αποτελεσματική απορρόφηση (πόσο από το διαθέσιμο μέταλλο απορροφάται από το ενδεικνυόμενο ιστό	Χρόνος ζωής υπολείμματος (ο χρόνος που απαιτείται για να μειωθεί η συγκέντρωση στους ιστούς στο μισό)
Μόλυβδος	Θηλαστικό	5-10% μέσω του έντερου 30-50% μέσω των πνευμόνων	40 ημέρες για μαλακούς ιστούς 20 χρόνια στα κόκαλα
Κάδμιο	Ψαρί-Θηλαστικό	1% μέσω του έντερου 1-7% μέσω του έντερου 7-50% μέσω των πνευμόνων	24-63 ημέρες 10-50% της διάρκειας ζωής στο συκώτι 10-30 χρόνια στα νεφρά
Υδράργυρος	Θηλαστικό	>95% για τον οργανικό υδράργυρο μέσω του έντερου >15% για τον ανόργανο υδράργυρο	500-1000 ημέρες για τον μεθυλικό υδράργυρο στην φώκια και στο δελφίνι 52-93 ημέρες για τον μεθυλικό υδράργυρο και 40 ημέρες για τον ανόργανο υδράργυρο στο σώμα του ανθρώπου

4.3 Τοξικότητα των βαρέων μετάλλων

Η τοξικότητα μπορεί να εκφραστεί ως νευροφυσιολογικές διαταραχές, γενετικές αλλοιώσεις των κυττάρων (μεταλλάξεις), επιδράσεις στην ενζυμική και ορμονική δραστηριότητα, στις βασικές λειτουργίες του οργανισμού, στην αναπαραγωγή, στην τερατογένεση και καρκινογένεση.

Η σειρά τοξικότητας για τα πιο γνωστά βαρέα μέταλλα, ξεκινώντας από το περισσότερο τοξικό για τον ανθρώπινο οργανισμό, είναι η εξής:

Hg > Cu > Zn > Ni > Pb > Cd > As > Cr > Sn > Fe > Mn.

Τα βαρέα μέταλλα είναι φυσικά συστατικά του φλοιού της γης. Δεν μπορούν να διασπαστούν σε απλούστερες μορφές ή να καταστραφούν. Σε μικρή έκταση εισάγονται στον ανθρώπινο οργανισμό μέσω των τροφίμων, του πόσιμου νερού και του αέρα. Σαν ιχνοστοιχεία, μερικά βαρέα μέταλλα (π.χ. χαλκό, σελήνιο, ψευδάργυρο) είναι απαραίτητα για να διατηρηθεί ο μεταβολισμός του ανθρώπινου σώματος. Εντούτοις, σε υψηλότερες συγκεντρώσεις μπορούν να είναι τοξικά. Δηλητηρίαση από τα βαρέα μέταλλα μπορεί να προκύψει, παραδείγματος χάριν, από τη μόλυνση πόσιμου νερού (π.χ. σωλήνες μολύβδου), υψηλές συγκεντρώσεις στο περιβάλλοντα αέρα κοντά σε πηγές εκπομπής, ή εισαγωγή μέσω της τροφικής αλυσίδας.

Τα βαρέα μέταλλα είναι επικίνδυνα επειδή τείνουν να βιοσυσσωρεύονται. Βιοσυσσώρευση σημαίνει αύξηση στη συγκέντρωση μιας χημικής ουσίας σε έναν βιολογικό οργανισμό με την πάροδο του χρόνου, συγκρινόμενη με τη συγκέντρωση της χημικής ουσίας στο περιβάλλον. Οι ενώσεις συσσωρεύονται στα έμβια όντα οποτεδήποτε λαμβάνονται, και αποθηκεύονται γρηγορότερα από ότι διασπώνται (μεταβολίζονται) ή εκκρίνονται.

Επιπλέον, η τροφική δηλητηρίαση από τα βαρέα μέταλλα είναι πολύ σπάνια και στις περισσότερες περιπτώσεις εμφανίζεται μόνο μετά από περιβαλλοντική ρύπανση. Το πιο γνωστό παράδειγμα τέτοιας περιβαλλοντικής ρύπανσης εμφανίστηκε στην Ιαπωνία μεταξύ 1932-55.

Από το 1932 τα λύματα που περιείχαν υδράργυρο απελευθερώνονταν από τις εργασίες χημικών ουσιών Chisso στον κόλπο Μινιμάτα στην Ιαπωνία. Ο υδράργυρος συσσωρεύεται στα πλάσματα της θάλασσας και οδηγεί τελικά σε δηλητηρίαση από τον υδράργυρο στον πληθυσμό. Το 1952, τα πρώτα κρούσματα της δηλητηρίασης υδραργύρου εμφανίστηκαν στον πληθυσμό του κόλπου Μινιμάτα στην Ιαπωνία, προκαλούμενη από την κατανάλωση ψαριών μολυσμένων από υδράργυρο. Συνολικά 500 μοιραία περιστατικά καταγράφηκαν στη δεκαετία του '50. Από τότε, η Ιαπωνία έχει τους πιο αυστηρούς περιβαλλοντικούς νόμους στο βιομηχανοποιημένο κόσμο

Κ Ε Φ Α Λ Α Ι Ο 5

ΚΑΔΜΙΟ – ΦΥΤΟΕΚΧΥΛΙΣΗ

5. Ορισμός

Το κάδμιο, ένα βαρύ μέταλλο που βρίσκεται στο περιοδικό σύστημα των στοιχείων στην ομάδα ΙΙΒ κάτω από τον υδράργυρο. Εμφανίζεται στο γήινο φλοιό σε μια συχνότητα από 0,2 ppm. Καθαρές ενώσεις Cd υπάρχουν στη φύση πολύ σπάνια, όπως ο σφαλερίτης καδμίου CdS, με 77,6% κυρίως απαντά στο φλοιό της Cd στη Σκωτία, Πενσυλβανία και Τσεχοσλοβακία. Ένα άλλο ορυκτό με περίπου 61% Cd, ο ατοβίτης CdO₃, εμφανίζεται στην Τσουμέμπ (Ναμίμπια) Cd-O με περίπου 88% Cd, εμφανίζεται σε μορφή άμορφου ή κρυσταλλικού καλύμματος πάνω σε μεταλλεύματα καλαμίνης στη Σαρδηνία. Βασικής σημασίας για την εκμετάλλευση Cd είναι εντούτοις αποκλειστικά μεταλλεύματα Zn με περιεκτικότητα σε Cd μέχρι 0,4%. Ακόμα μεταλλεύματα Pd- και Cd που περιέχουν Zn παρουσιάζουν αρκετό Cd, για να εξασφαλίσουν αρκετό και οικονομικό προϊόν. Το κάδμιο ανακαλύφθηκε σε μεταλλεύματα Zn στην Ομπερσέσιεν (Oberschlesien). Σήμερα, το βρίσκουμε κυρίως στο Κονγκό, στον Καναδά, το Περού, τις Η Π Α και Πολωνία.

Επίσης το κάδμιο χρησιμοποιείται στην γαλβανοτεχνική, το μεγαλύτερο μέρος του απαντάται για την παράγωγή προστατευτικών στρωμάτων ανθεκτικών στη διάβρωση. Το κάδμιο αποδίδει πολύ λεπτά λεία καλύμματα που είναι κατάλληλα και για περαιτέρω γαλβανική επεξεργασία, είναι αντιτριβικό μέταλλο και χρησιμοποιείται σε κινητήρες, ακόμα και στην ηλεκτροτεχνία ως κράμα ηλεκτροδίων σε ανορθωτές.

5.1 Τοξικότητα του καδμίου

Το κάδμιο και οι ενώσεις του, είναι χωρίς αμφιβολία τοξικά. Τέλος της δεκαετίας του '30, όταν εμφανίστηκε επιδημία στην Ιαπωνία με το όνομα «ασθένεια Ιται-ιτάι », διεξήχθη μια δύσκολη έρευνα ανά το κόσμο που επικεντρωνόταν στις πιθανές αιτίες δηλητηριάσεων από κάδμιο και την επίδραση στον άνθρωπο και τα ζώα.

Περιοχές κοντά σε μεταλλεία και βιομηχανικές μονάδες επεξεργασίας μετάλλων καθώς και χώροι απόρριψης επικίνδυνων αποβλήτων αποτελούν σημαντικές εστίες κινδύνου έκθεσης του ανθρώπου σε κάδμιο. Εργαζόμενοι σε τέτοιες εγκαταστάσεις ή όσοι διέμεναν κοντά και εισέπνευσαν κάδμιο παρουσίασαν εκτενείς βλάβες του αναπνευστικού συστήματος και έχουν καταγραφεί πολλά θανατηφόρα κρούσματα. Η

πρόσληψη καδμίου από τον άνθρωπο γίνεται κυρίως δια της τροφής. Το κάδμιο μεταφέρεται πρώτα με την κυκλοφορία του αίματος στο ήπαρ ενώνεται με πρωτεΐνες και σχηματίζει σύμπλοκα που μεταφέρονται στα νεφρά. Το κάδμιο συσσωρεύεται στα νεφρά και προκαλεί βλάβες στην ομαλή λειτουργία του ουροποιητικού συστήματος. Χρειάζεται πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα μέχρι να απομακρυνθεί από τον οργανισμό του ανθρώπου το κάδμιο που έχει συσσωρευτεί (Temmerman and Hoening 2004).

Τέλος, μεγάλο κίνδυνο διατρέχουν οι καπνιστές, επειδή ο καπνός περιέχει ποσότητα καδμίου (1mg έως 2mg(d/g)). Η λήψη καδμίου μέσω του καπνού από το τσιγάρο αποτελεί μεγαλύτερο κίνδυνο απ' ότι η λήψη από τροφές, των οποίων η περιεκτικότητα οφείλεται από μολυσμένα εδάφη. Μια εξέταση για πιθανή δηλητηρίαση Cd μπορεί να γίνει μέσω εξέτασης ουρών (>20 mg Cd/L ούρων).

5.2 Φυτά αποκατάστατες μολυσμένων εδαφών

Η φυτική αποκατάσταση είναι μια ανερχόμενη και πολλά υποσχόμενη τεχνολογία η οποία στηρίζεται στην χρήση φυτών με απώτερο στόχο τον καθαρισμό και την ανασυγκρότηση του περιβάλλοντος. Επίπονη και συνεχής έρευνα ανέδειξε την εκ φύσεως ικανότητα μερικών φυτών να ακινητοποιούν, να μεταβολίζουν και να υποβαθμίζουν μεγάλη ποικιλία ρυπογόνων ουσιών.

Η αποκατάσταση εδαφών που έχουν μολυνθεί από τοξικά μέταλλα προκαλεί ιδιαίτερα το ενδιαφέρον των επιστημόνων διότι σε αντίθεση με τις οργανικές ουσίες, τα μέταλλα δεν μπορούν να υποβαθμιστούν με αποτέλεσμα να πρέπει να απομακρυνθούν, ενώ παράλληλα η απομάκρυνση τους αποτελεί μια πολυδάπανη ενέργεια.

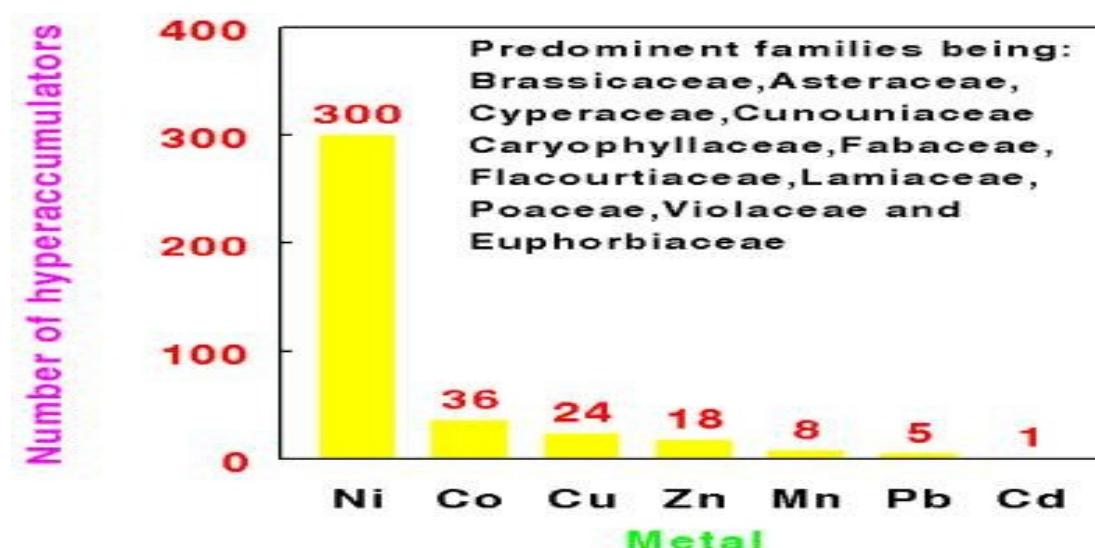
Επιπροσθέτως, η διαδικασία απομάκρυνσης των μετάλλων προϋποθέτει την χρήση κάποιων φυσικοχημικών ουσιών οι οποίες με την σειρά τους επηρεάζουν και αναστέλλουν την γονιμότητα των εδαφών, με αποτέλεσμα την ανισορροπία μεταξύ των οικοσυστημάτων. Η φυτική αποκατάσταση φαίνεται να αποτελεί μια οικονομική και συνάμα φιλική προς το περιβάλλον εναλλακτική μορφή τεχνολογίας. Όπως έχει αποδειχθεί μερικά φυτά έχουν την φυσική ικανότητα να απορροφούν πολλά τοξικά μέταλλα από το έδαφος, παρόλα αυτά όμως η φυτική επεξεργασία βρίσκεται ακόμα σε πειραματικό στάδιο και η εμπορευματοποίηση της διαφαίνεται μακρινή. Κατά καιρούς πολλές επιστημονικές προτάσεις έχουν κατατεθεί που να αφορούν την

αποκατάσταση των μολυσμένων εδαφών, πολλές από τις οποίες αφορούν την φυτοεκχύλιση.

Φυτοεκχύλιση είναι η διαδικασία κατά την οποία γίνεται χρήση βελτιωμένων φυτών, με στόχο την απομάκρυνση ανόργανων ρυπογόνων ουσιών, κυρίως μετάλλων, από μολυσμένα εδάφη. Η απορρόφηση των μετάλλων λαμβάνει χώρα μέσω των ριζών, στις οποίες βρίσκεται η πλειοψηφία των μηχανισμών που δρουν ανασταλτικά στη ρύπανση του εδάφους. Οι εκκρίσεις των ριζών επηρεάζουν τον αριθμό και τη δραστηριότητα των μικροοργανισμών, τη συσσώρευση και τη σταθερότητα των σωματιδίων του εδάφους γύρω από τις ρίζες και τη διαθεσιμότητα των στοιχείων. Πιο αναλυτικά, για την ικανότητα αυτή των φυτών και τον τρόπο απορρόφησης, αναφέρετε στο επόμενο κεφάλαιο.

5.3 Υπεραποθηκευτικά φυτά

Το ενδιαφέρον για την φυτοεκχύλιση άρχισε να γίνεται ακόμα μεγαλύτερο με την ανακάλυψη των υπεραποθηκευτικών σε μεταλλικές ουσίες φυτών. Υπεραποθηκευτικά, ονομάζονται τα φυτά που έχουν την ικανότητα να αποθηκεύουν έως και 100 φορές μεγαλύτερη ποσότητα μεταλλικών ουσιών στις ρίζες και τα φύλλα τους από ότι ένα κοινό φυτό.



Έτσι, ένα φυτό που ανήκει σε αυτό το είδος, μπορεί να συγκεντρώσει περισσότερο από 10 ppm Hg, 100 ppm Cd, 1000 ppm Co, Cr, Cu, Pb, 10000 ppm Zn και Ni. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι από τα 400 περίπου είδη φυτών που έχουν μελετηθεί για

την φυτοεκχύλιση, 45 οικογένειες έχει αποδειχθεί ότι ανήκουν στην κατηγορία των υπεραποθηκευτικών φυτών (Baker *et al.*, 2000). Πρόσφατα μια φτέρη του γένους *Pteris vitatta*, η οποία συλλέχθηκε από μια εγκαταλελειμμένη δασική έκταση, αποδείχθηκε ότι μπορεί να συλλέξει μέχρι και 14500 ppm Αρσενικού, χωρίς να παρουσιάζει την παραμικρή τοξικότητα (Ma *et al.*, 2001).

Αποτελέσματα αυτά υποδηλώνουν ότι η φυτοεκχύλιση είναι μια μέθοδος εφικτή και μπορεί τελικά να εφαρμοστεί σε εδάφη με μεγάλη σχετικά συγκέντρωση σε μεταλλικές ουσίες. Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζονται μερικές ποικιλίες υπεραποθηκευτικών φυτών με τις αντίστοιχες βιοαποθηκευτικές τους δυνατότητες:

Είδος φυτού	Μέταλλα	Συγκέντρωση σε φύλλα (ppm)	Αναφορές
<i>Thalpi caerulescens</i>	Zn, Cd	39600:1800	Baker and Walker (1990)
<i>Ipomea alpine</i>	Cu	12300	Baker and Walker (1990)
<i>Sebertia acuminata</i>	Ni	25% by wt. dried sap	Jaffre <i>et al.</i> (1976)
<i>Haumaniastrum robertii</i>	Co	10200	Brooks (1977)
<i>Astragalus racemosus</i>	Se	14900	Beath <i>et al.</i> (1937)

Για την λεπτομερέστατη περιγραφή των βιοχημικών φαινομένων που λαμβάνουν χώρα στις ρίζες και τα φύλλα των φυτών κατά την διαδικασία της φυτοεκχύλισης,

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΕΡΕΥΝΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΦΥΤΟΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΚΑΔΜΙΟΥ

6.1 Εισαγωγή

Φυσιολογικά τα βαρέα μέταλλα ανευρίσκονται στο έδαφος σε μικρές ποσότητες. Υψηλές συγκεντρώσεις τους περιορίζονται κατά κύριο λόγο σε συγκεκριμένα ορυκτά και είναι συνήθως παρόντα σε μορφές που δεν είναι εύκολα βίο-διαθέσιμες. Η διάθεση των βαρέων μετάλλων σε βιολογικά προσβάσιμες μορφές ως αποτέλεσμα της ανθρώπινης δραστηριότητας, μπορεί να βλάψει ή να αλλάξει και τα φυσικά και τα ανθρωπογενή οικοσυστήματα (Tyler *et al.*, 1989). Η χημική επίδραση των βαρέων μετάλλων στα εδαφικά διαλύματα (ειδοπλασία), εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό απ' το αναφερόμενο, το pH, την παρουσία άλλων ιόντων. Οι τοξικές δράσεις των ιόντων των βαρέων μετάλλων ουσιαστικά ασκούνται στα ενζυμα. Η αναστολή των ενζύμων μπορεί να οφείλεται είτε στη δημιουργία καταλυτικώς δραστικών ομάδων ή σε μετουσίωση πρωτεϊνών. Η παρατεταμένη έκθεση των εδαφών σε βαρέα μέταλλα συνεπάγεται σημαντική ελάττωση της δραστηριότητας των εδαφικών ενζύμων (Tyler *et al.*, 1989). Κοινά χαρακτηριστικά της μόλυνσης των εδαφών από βαρέα μέταλλα είναι η παρεμπόδιση αποσύνθεσης των καταλοίπων του μεταβολισμού και της αναπνοής του εδάφους. Πολλές άλλες μελέτες απέδειξαν τοξικές επιρροές απ' τα βαρέα μέταλλα στα μιτοχόνδρια και στα εξωκυτταρικά ενζυμα του εδάφους (Foy *et al.*, 1978). Το κάδμιο είναι ένα μη-κύριο βαρύ μέταλλο, ρυπαντικό του περιβάλλοντος και προέρχεται από διάφορες βιομηχανικές δραστηριότητες, εξορύξεις καθώς και από καυσαέρια αυτοκίνητων (Foy *et al.*, 1978). Θεωρείται εξαιρετικά σημαντικό ρυπαντικό εξαιτίας της υψηλής του τοξικότητας και μεγάλης διαλυτότητας στο νερό, το οποίο συνεπάγεται εκτεταμένη εξάπλωση του στα υδάτινα οικοσυστήματα (Lockwood, 1979). Οι υδάτινοι οργανισμοί μπορούν να προσλάβουν κάδμιο απευθείας από επιμολυσμένο νερό ή μέσω της τροφικής αλυσίδας (Hart and Scaife, 1977). Ένας καλός βιολογικός δείκτης της υδατικής μόλυνσης από βαρέα μέταλλα είναι ο υάκινθος του νερού (Rosac *et al.*, 1981). Πολλοί συγγραφείς έχουν αναφερθεί στις τοξικές επιδράσεις του καδμίου (Mukherjee *et al.*, 1984, Sharma *et al.*, 1985). Η τοξικότητα του καδμίου σε γενετικό και οικολογικό επίπεδο στα ζώα και σε άλλους τομείς έχει περιγραφεί από πολλούς ερευνητές (Webb, 1979. Nriagu, 1980. Degreave, 1981. Bhattacharya and Chaudhuri, 1995).

Το κάδμιο είναι φυσιολογικά παρόν στο περιβάλλον, ανευρίσκεται στο έδαφος και στα ιζήματα σε συγκεντρώσεις που υπερβαίνουν γενικά το 1μg/kg (Peterson and Alloway, 1979) και οι ολικές συγκεντρώσεις σε μη μολυσμένο θαλάσσιο νερό, όπου υπάρχει κυρίως σε σύμπλοκα με χλώριο, είναι γενικά μικρότερες από 1μg/kg (Mohlenberg and Jensen, 1980).

Επιπλέον, έχουν αναφερθεί έμμεσες επιδράσεις του μετάλλου στο φυσικό περιβάλλον, όπως οι μεταβολές της τιμής του pH και της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα στο νερό που συνεπάγονται των τοξικών επιδράσεων του καδμίου στη φωτοσύνθεση (Ravera, 1974, 1984). Πρόσφατη πρόοδος στη μελέτη των βαρέων μετάλλων και των αλληλεπιδράσεων τους με τα κύρια χημικά στοιχεία έχει αυξήσει κατά πολύ την κατανόηση του μηχανισμού της τοξικότητας τους σε βιοχημικό επίπεδο στην μελέτη των βαρέων μετάλλων και των αλληλεπιδράσεων τους με τα κύρια χημικά στοιχεία έχει αυξήσει κατά πολύ την κατανόηση του μηχανισμού της τοξικότητας τους σε βιομηχανικό επίπεδο (Abdulla *et al.*, 1985)..

6.2 Η τοξικότητα του καδμίου

Τα συμπτώματα της τοξικότητας του καδμίου είναι εύκολα αναγνωρίσιμα. Στα φυτά τα γενικότερα συμπτώματα είναι παρεμπόδιση της ανάπτυξης και χλώρωση. Η χλώρωση μπορεί να εμφανίζεται στην ανεπάρκεια Fe, ενώ έχει μελετηθεί για πολλά χρόνια και η αλληλεπίδραση των βαρέων μετάλλων με το σίδηρο. Η χλώρωση από την περίσσεια του καδμίου πιθανότατα οφείλεται σε άμεση ή έμμεση αλληλεπίδραση με το φυλλικό σίδηρο. Ο Haghiri (1973) ανέφερε ότι η υψηλή περιεκτικότητα καδμίου στο διάλυμα λίπανσης τις καλλιέργειας εμποδίζει την απορρόφηση σιδηρού από τα φυτά. Ο Root *et al.*, υπέθεσε ότι η προερχόμενη απ' το κάδμιο χλώρωση στα φύλλα του καλαμποκιού ίσως οφείλεται σε αλλαγές της αναλογίας Fe:Zn. Για άλλους ερευνητές η τοξικότητα του καδμίου φάνηκε να προκαλεί ανεπάρκεια φώσφορου ή να οδηγεί σε προβλήματα μεταφοράς μαγγανίου (Godbold and Hytter-mann, 1985). Μεγάλο ποσοστό της μελέτης πάνω στη φυσιολογία της τοξικότητας του καδμίου άφορα ένα είδος ή ποικιλία φυτού. Γενικά, το κάδμιο έχει αποδειχτεί ότι παρεμβαίνει στην απορρόφηση, μεταφορά και χρήση διαφόρων (Ca, Mg, P και K) και νερού από τα φυτά. Οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των παραπάνω μετάλλων στα βιολογικά συστήματα επηρεάζονται από πολλούς παράγοντες (Sharma *et al.*, 1985). Η τοξικότητα του στο υδρόβιο φυτό Duckweed (*Lemna*), είναι ανεξάρτητη της

θερμοκρασίας μεταξύ 20-30°C (Nasu και Kugimoto, 1981). Η αύξηση του pH συνήθως αυξάνει τη θνησιμότητα σ' ένα μεγάλο εύρος ειδών.

6.2.1 Κυτταρογενετικές επιδράσεις του καδμίου

Το κάδμιο είναι από τα μη- κύρια βαρέα μέταλλα αλλά είναι ισχυρός ενζυμικός αναστολέας (Lockwood, 1976). Έχει θεωρηθεί εξαιρετικά σημαντικό ρυπαντικό εξαιτίας της υψηλής τοξικότητας του και της μεγάλης διαλυτότητας του στο νερό. Η έκθεση τριών ειδών green algae (φύκια) στο CdCl₂ είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ενδομιτοχονδρικών κοκκίων τα οποία περιέχουν κάδμιο (Silverberg, 1976). Παρατηρήθηκε διόγκωση, δημιουργία κενοτόπιων και εκφύλιση των μιτοχονδρίων, γεγονότα που υποδηλώνουν σημαντική κυτταροτοξικότητα. Ο Rosas *et al.*, αναφέρει αναστολή απ' το κάδμιο της κυτταρικής αναπαραγωγής και ανέφερε το χαμηλό μιτωτικό δείκτη του φυτού *Eichhornia cassipes* όταν αυτό εκτέθηκε σε διάλυμα καδμίου. Χρωμοσωματικές μεταλλάξεις παρατηρήθηκαν στα κρεμμύδια (Avanzi, 1950), φασόλια (Oehlkers, 1953), μπιζέλια (Von Rosen, 1954) και στο κριθάρι (Degreve, 1971). Η κυτταροτοξική δράση του καδμίου στα φυτά που εκτίθενται σε κάδμιο για 24 ώρες έχει σαν αποτέλεσμα το κάδμιο να εισχωρεί στα κύτταρα προκαλώντας διαταραχές στη φυσιολογία και γενετικές ανωμαλίες, ιδιαίτερα σε συγκεντρώσεις από 1,5-10mg/l. Ανέφερε επίσης ότι το Cd ανέστειλε την κυτταρική διαίρεση και προκαλούσε εξαλλαγές στα χρωμοσώματα. Η αναστολή του κυτταρικού πολλαπλασιασμού, που αποδεικνύεται απ' τον χαμηλό μιτωτικό δείκτη, ήταν ανάλογη της συγκέντρωσης και του χρόνου της έκθεσης στο Cd. Η πρόκληση πύκνωσης στα ριζικά κύτταρα επιβεβαίωσε την κυτταροτοξική δράση του Cd. Το φαινόμενο αυτό παρατηρήθηκε επίσης στο πρωτόπλασμα του *Nicotiana tabacum* (Siegel, 1977).

6.3 Αντοχή διαφόρων φυτών στο κάδμιο

Το φαινόμενο της αντοχής των φυτών στα βαρέα μέταλλα έχει κεντρίσει το ενδιαφέρον φυσιολόγων, γεωπόνων και βιολόγων (Baker, 1987). Η ανάπτυξη αντοχής στα μέταλλα είναι ο κύριος τρόπος να μειωθούν οι βλαβερές συνέπειες της υπερβολικής έκθεσης στα ιόντα των βαρέων μετάλλων (Tyler *et al.*, 1989). Οι κλασικές μελέτες στα είδη των αγγειωδών φυτών δεν αποδεικνύουν αναμφισβήτητα ότι τα ανθεκτικά είδη είναι συναγωνιστικά κατώτερα σε φυσιολογικά εδάφη. Η αντοχή αγγειωδών φυτών στα βαρέα μέταλλα δε συνεπάγεται συνήθως περιορισμένη

απορρόφηση των στοιχείων αυτών απ' τις ρίζες. Αυτό σημαίνει ότι τα ανθεκτικά φυτά με υψηλή ικανότητα να ακινητοποιούν ιόντα των βαρέων μετάλλων στους ριζικούς ιστούς τους πιθανώς πρέπει ν' ανανεώνουν τα πιο ενεργά μέρη της υπό το έδαφος βιομάζας τους συχνότερα απ' τα μη ανθεκτικά φυτά στα φυσιολογικά εδάφη.

Τα είδη και οι ποικιλίες των φυτών διαφέρουν πολύ στην ανθεκτικότητα όσον αναφορά την περίσσεια Cd που υπάρχει στο υλικό ανάπτυξης τους (Hertstein and Jager, 1986). Σε αρκετά είδη οι διαφορές αυτές είναι γενετικά ελεγχόμενες. Οι στενά συγγενικοί γονότυποι είναι αξιόλογα εργαλεία για τη μελέτη των φυσιολογικών μηχανισμών της τοξικότητας ή της αντοχής. Η διαπληθυσμική παραλλαγή της ανθεκτικότητας των φυτικών ειδών στο Cd έχει αναφερθεί από αρκετούς ερευνητές (Bradshaw, 1984; Symeonidis *et al.*, 1985). Ο Epstein (1969) επισήμανε ότι ένα στοιχείο σε περίσσεια μπορεί να παρεμβαίνει στο μεταβολισμό μέσω ανταγωνισμού στην απορρόφηση, απενεργοποίηση ενζύμων, εκτόπιση σημαντικών ουσιών απ' τις λειτουργικές τους τοποθεσίες ή εξαλλαγή της δομής του νερού. Πολλά εκ των παραπάνω πιθανώς προκαλούν μετατροπές στη δομή και λειτουργία των κυτταρικών μεμβρανών. Οι ακριβείς παθογενετικοί μηχανισμοί της τοξικότητας του Cd ή της ανθεκτικότητας σ' αυτό είναι ακόμα υπό συζήτηση. Ενδέχεται να ποικίλλουν ανάλογα με τα είδη και τις ποικιλίες των φυτών που ελέγχονται από διαφορετικά γονίδια μέσω διαφορετικών βιοχημικών πορείων.

Τα φυτά που είναι ανθεκτικά στο Cd προφανώς πρέπει να' ναι ικανά είτε να εμποδίζουν την απορρόφηση της περισσειας Cd ή να αποτοξικοποιούν το Cd αφού έχει απορροφηθεί. Διάφοροι φυσιολογικοί παράγοντες σχετίζονται με τη διαφορική αντοχή στο Cd, όπως παραδείγματος χάρη το pH. Σύμφωνα με τους Antonovics *et al.*, (1971) και Woolhouse (1983), μπορούμε να υποθέσουμε ότι υπάρχουν διάφοροι ειδικοί μηχανισμοί αντοχής ανάμεσα στους πληθυσμούς, οι οποίοι σχετίζονται με τη μόλυνση της αρχικής τους περιοχής καλλιέργειας. Οι Hartstein και Jager (1986) υποδεικνύουν ότι ένας βασικός μηχανισμός αντοχής στο Cd έχει συσχετιστεί στους ανθεκτικούς πληθυσμούς των, *Agrostis tenuis* και *Arrhenatherum elatius*, μετά την προστασία των βλαστών από περίσσεια Cd. Επίσης αναφέρουν αλλαγές στη δραστηριότητα ενζύμων, όπως η υπεροξειδάση και η οξική φωσφατάση, που υποδεικνύουν μεταβολική απάντηση των φυτών σε συνθήκες στρεσαρίσματος. Κατόπιν, ο Ernst (1980) ανέφερε ότι η δραστηριότητα της οξικής φωσφατάσης και υπεροξειδάσης ήταν αυξημένη στα ανθεκτικά στο Cd φυτά. Οι Foy *et al.* (1978) και Jager *et al.* (1983) υποστήριξαν ότι οι συγκεντρώσεις του Cd στα φυτά ήταν συχνά

διαφορετικές στις ρίζες από τους βλαστούς. Βρέθηκε πως τα ανθεκτικά στα μέταλλα φυτά που δείχνουν ελαττωμένη συσσώρευση του σχετικού μετάλλου στους βλαστούς συσσωρεύουν υψηλότερα ποσά στις ρίζες συγκριτικά με τα μη ανθεκτικά φυτά των ίδιων ειδών (Baker, 1984: Coughtrey και Martin, 1979: Woolhouse, 1983). Έχει αναφερθεί ότι διαφορετικά είδη της υδάτινης τις μικρο και μακρο χλωρίδας συσσωρεύουν υψηλές συγκεντρώσεις Cd (Kumada et al., 1973: Stokes et al., 1973: Ravera, 1984).

6.4 Επιδράσεις του καδμίου στο μεταβολισμό των φυτών

Γενικά, πολλά είδη φυτών παρουσιάζουν αντίσταση ή μπορεί να είναι ανθεκτικά σε συγκεκριμένα βαρέα μέταλλα. Αυτό πιθανώς επιτυγχάνεται μέσω παγίδευσης των μετάλλων αυτών με μεταλλοδεσμευτικές πρωτεΐνες. Ο Overnell (1975) ανέφερε ότι 0,01-0,1mg/l Cd μειώνουν τη συγκεντρώσει του ATP και της χλωροφύλλης σε πολλά είδη και ελαττώνουν την παραγωγή O₂. Ο Li (1987) πρότεινε ότι η μεμβράνη του φυκιού *Thalassiosira* ήταν η κύρια περιοχή δράσης του Cd, παρόλο που η έκθεση των φυκιών στα βαρέα μέταλλα συχνά έχει ως αποτέλεσμα την απώλεια του κυτταρικού αζώτου. Ασυνήθιστες πρωτεΐνες, πλούσιες σε μέταλλα και κυστεΐνη, που ονομάζονται μεταλλοθειονίνες, αναγνωρίστηκαν ως κάποιες απ' τις κύριες μεταλλοδεσμευτικές πρωτεΐνες σε διάφορα είδη φυτών και μικροοργανισμών (Fujita και Kawanishi, 1986). Μεταγενέστερες μελέτες έδειξαν ότι σύμπλοκα που δεσμεύουν Cd παρόμοια με τις μεταλλοθειονίνες υπάρχουν σε αρκετά ανώτερα φυτά, όπως η ντομάτα (Bartolf *et al.*, 1980), το φασόλι (Weigel και Jager, 1980), ο καπνός (Wagner και Trotter, 1984), η σόγια (Casterline και Barnett, 1982), το ρύζι (Kaneta *et al.*, 1983) και η *Agrostis gigantea* (Rauser, 1984). Οι Fujita και Kawanishi (1986) αναφέρουν την απομόνωση και χαρακτηρισμό ενός Cd-δεσμευτικού σύμπλοκου από ιστό ρίζας του υδρόβιου *hyacinth* που καλλιεργήθηκε σε υλικό που περιείχε δισθενές Cd. Έδειξαν επίσης ότι το σύμπλοκο της ρίζας του υδρόβιου *hyacinth* που δεσμεύει Cd ήταν πανομοιότυπο με το Cd-BPI ανόργανο θείο του fission yeast, το οποίο απελευθερώνεται εύκολα ως υδρόθειο με οξינוποίηση.

6.5 Φυτοτοξικότητα

Για την αξιολόγηση των επιδράσεων στη βιοχημεία και φυσιολογία των τοξικών μετάλλων πρέπει να εξεταστούν οι συνθήκες (διαφορετικά μέταλλα και οι συγκεντρώσεις τους) που συνδέονται με τη φυτοτοξικότητα στη φύση (Cunnigham *et*

al., 1975). Υπάρχουν πολλές μελέτες που δεν έχουν βασιστεί στις σχετικές συγκεντρώσεις των μετάλλων που συνδέονται με τα είδη. Πριν ξεκινήσει κάποιο πείραμα για τη φυτοτόξικότητα πρέπει να' ναι πλήρως γνώστης της κινητικότητας του μετάλλου στα φυτικά συστήματα, της απορρόφησης και μεταφοράς του.

Η διαθεσιμότητα του μετάλλου στο έδαφος εξαρτάται απ' την απορροφητική ικανότητα του εδάφους, καθώς και από φυτικούς παράγοντες, όπως εξιδρώματα της ρίζας για μείωση ή συμπλοκοποίηση του μετάλλου. Έχουν αναπτυχθεί διάφορες ιδέες για την ισορροπία ενός μετάλλου στο έδαφος και τη μετακίνηση του απ' το έδαφος στη ρίζα. Είναι διαθέσιμες πολλές αναφορές για μοντέλο της χημικής δραστηριότητας των μεταλλικών ιόντων στο έδαφος (Hodgson, 1963, 1969; Lindsay, 1972, 1973, 1974; Santillan-Medrano και Jurinak, 1975; Street *et al.*, 1977). Μελέτες πάνω στο Cd απέφεραν αρκετά συμπεράσματα για το μοντέλο αυτής της χημικής ισορροπίας. Καταρχάς, τα μέταλλα που απορροφώνται από οργανική υλη, άργιλο και απ' τα υδροξείδια των Fe, Mn και Al κάνουν τη μεταλλική δραστηριότητα να' ναι σημαντικά μικρότερη απ' τις τιμές ισορροπίας των γνωστών ανόργανων ενώσεων. Δημιουργούνται διαλύτες, μικρού μοριακού βάρους, αδρανοποιημένες ενώσεις των μετάλλων στα εδάφη. Αυτό διατηρεί τη δραστηριότητα των ελεύθερων μετάλλων σε χαμηλά επίπεδα, αλλά αυξάνει κατά πολύ τη συγκέντρωση των διαλυτών μετάλλων. Η απορρόφηση και η δημιουργία συμπλόκων επηρεάζονται ιδιαίτερω απ' το pH του εδάφους (Tiller *et al.*, 1972; Graham, 1973). Στο εύρος τιμών του pH των παραγωγικών αγροτικών εδαφών, η ρύθμιση του pH θα επηρεάσει την πρόσληψη του ιζηματογενούς Cd των περισσότερων σοδειών μόνο σε μικρό βαθμό. Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις Cd των σπόρων προέκυψαν σε pH εδάφους στο 6.0. Ο Street *et al.* (1977) ανακάλυψε ότι η πρόσληψη Cd απ' το καλαμπόκι ήταν λιγότερη σε πιο όξινα εδάφη που είχαν ταυτόχρονα μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε οργανική υλη. Ανέφερε επίσης ότι τα φυτά καλαμποκιού που αναπτύσσονται σε εδάφη τροποποιημένα με άλας καδμίου ($CdSO_4$) προσλάμβαναν μεγαλύτερη ποσότητα μετάλλου από αυτά σε εδάφη με ιζήματα που περιείχαν Cd. Ο Hinesly *et al.* (1984) ανέφερε μειωμένη πρόσληψη βαρέων μετάλλων σε φυτά με αυξημένο pH εδάφους.

Πολλοί άλλοι παράγοντες του εδάφους παίζουν επίσης ρόλο στη δέσμευση μετάλλων είναι όμως λιγότερο σημαντικοί απ' το pH. Η οργανική υλη, άργιλος και τα υδροξείδια απορροφούν μέταλλα (Ellis και Knezek, 1972). Τα εδάφη με μεγάλη ικανότητα απορρόφησης μετάλλων παρέχουν μικρότερη δυνατότητα πρόσληψης μετάλλων στα φυτά.

Φυτοτοξικότητα από μέταλλα προκύπτει μόνο αν τα μέταλλα μπορούν να μετακινηθούν απ' το έδαφος στις ρίζες των φυτών. Πολλοί συγγραφείς έχουν συνοψίσει τη διαδικασία της μετακίνησης (Barder, 1974: Lindsay, 1974: Chaney *et al.*, 1975: Loneragan, 1975). Ο Barder περιέγραψε ένα μοντέλο αυτής της μεταφοράς χρησιμοποιώντας βαρέα μέταλλα, ενώ στα περισσότερα άλλα μοντέλα έχουν χρησιμοποιηθεί μακροστοιχεία (Claassen και Barber, 1976). Τα μέταλλα στα εδαφικά διαλύματα (ελεύθερα ιόντα, ζεύγη ιόντων συμπλοκών ενώσεων) μπορούν να μετακινηθούν μαζί με το νερό του εδάφους (μαζική ροή) καθώς το φυτό απορροφάει νερό για την διαπνοή. Υπέδειξαν επίσης ότι αν ο ρυθμός απορρόφησης μετάλλων σ' ένα φυτό υπερβεί το ρυθμό προσφοράς τους από μεταφορά μια ζώνη μειωμένης συγκέντρωσης δημιουργείται στη ρίζα και η κλίση αυτή της συγκέντρωσης προωθεί τη διάχυση απ' το έδαφος στη ρίζα. Εκτός του ρόλου που διαδραματίζουν οι σύμπλοκες ενώσεις, αναρίθμητοι άλλοι παράγοντες επηρεάζουν τα μεταλλικά σύμπλοκα: το εδαφικό pH, η συγκέντρωση και η δυνατότητα απορρόφησης του μετάλλου, η υφή του εδάφους, η πυκνότητα φορτίου του εδάφους, η υδατοικανότητα και οι συγκεντρώσεις άλλων συστατικών και κατιόντων. Ο Smiley (1974) ανέφερε ότι η μεταβολή του εδαφικού pH πλησίον της ρίζας μπορεί να επηρεάσει έντονα τη μετακίνηση του μετάλλου προς τη ρίζα. Έχουν γίνει πολύ λίγες μελέτες πάνω στη μετακίνηση των μετάλλων στη ζωή της ρίζας.

6.6 Η φυτοτοξικότητα και οι αλληλεπιδράσεις με τα άλλα στοιχεία

Σε ιδανικές συνθήκες, κάθε μέταλλο που επιφέρει φυτοτοξικότητα προκαλεί κάποια χαρακτηριστικά συμπτώματα που επιτρέπουν τη διάγνωση της. Επιπλέον, τα συμπτώματα αυτά θα είναι εμφανή πριν προκύψουν αξιοσημείωτες οικονομικές ή οικολογικές βλάβες (Hewitt, 1966). Τα γενικότερα συμπτώματα είναι η παρεμπόδιση της ανάπτυξης και χλώρωση. Η χλώρωση μπορεί να φαίνεται ότι οφείλεται σε έλλειψη Fe και οι αλληλεπιδράσεις των τοξικών μετάλλων με το Fe έχουν μελετηθεί για πολλά χρόνια. Η χλώρωση παρουσία περίσσειας Fe φαίνεται ότι οφείλεται σε άμεση ή έμμεση αλληλεπίδραση με φυλλικό Fe. Η ανάλυση χλωρωτικών νεαρών φυλλωμάτων έδειξε χαμηλό φυλλικό Fe όταν τα εδάφη ή τα διαλύματα περιείχαν υψηλό Cd (Haghiri, 1973: Garty *et al.*, 1992). Ο Chaney *et al.* (1975) ανέφερε ότι το Cd προκαλεί χλώρωση, η οποία παρατηρείται μόνο σε εδάφη με χαμηλό ή ουδέτερο pH και με χαμηλή επίσης διαθεσιμότητα Fe (Brown and Jones, 1975). Τα φύλλα που παρουσιάζουν συμπτώματα συνήθως έχουν υψηλότερες συγκεντρώσεις Fe απ' τα

φυσιολογικά φύλλα (Root *et al.*, 1975: White, 1976). Ο Root *et al.* (1975) ανέφερε ότι η χλώρωση που οφείλεται σε Cd μπορεί να προκύπτει από αλλαγές της αναλογίας Fe:Zn στα φύλλα του καλαμποκιού. Οι Imai και Siegel (1973) παρατήρησαν επαγόμενα απ' το Cd κυρτώματα στους μίσχους στην περίπτωση των φυτών φασολιάς. Ο Christensen (1984) ανέφερε πως μειώνει της συγκεντρώσεις Ca από 10^{-3} σε 10^{-2} M ελαττώνει την απορρόφηση Cd στα φυτά.

6.6.1 Αλληλεπίδραση καδμίου με άλλα μέταλλα

Η τοξικότητα του Cd δε μπορεί να ληφθεί υπόψη χωρίς να υπολογίσουμε τη μετατόπιση αρκετών άλλων βασικών χημικών στοιχείων. Αποδείχτηκε ότι στα φυτικά συστήματα οι τοξικές επιδράσεις του Cd τροποποιούνται από κύρια χημικά στοιχεία, όπως ο ψευδάργυρος, το ασβέστιο, ο σίδηρος, ο χαλκός και το μαγγάνιο. Επιπλέον, έχει αναφερθεί ότι οι πρωτεΐνες και οι βιταμίνες αλλάζουν την τοξικότητα του Cd. Ο Hewitt (1966) υπέθεσε ότι στοιχεία με παρόμοιες φυσικές και χημικές ιδιότητες δρουν ανταγωνιστικά μεταξύ τους σε βιολογικό επίπεδο. Παρόμοια στοιχεία συναγωνίζονται για τις θέσεις μεταφοράς και αποθήκευσης και εκτοπίζουν το ένα το άλλο από ενζυμικά δραστικές πρωτεΐνες και πρωτεΐνες-υποδοχείς. Το σελήνιο δρα ως συναγωνιστής του καδμίου, ενώ το Cd μπορεί να αναστείλει την τοξικότητα του χαλκού. Ο Moshe *et al.* (1972) δεν παρατήρησε συνεργειακή επίδραση στη *Chlorella* όταν Cd, Cu, Cr και Ni προστεθήκαν στο υλικό καλλιέργειας. Παρόλο που χαμηλά επίπεδα μόλυβδου ($< 1,0$ mg/l) στο φυτοπλαγκτόν, προκύπτει ανταγωνισμός όταν η συγκέντρωση μόλυβδου υπερβαίνει αυτή του καδμίου. Η προπαρασκευή του φυκιού με μέταλλα (Ni και Hg) ελαττώνει την τοξικότητα του καδμίου, αυτό μπορεί να είναι το αντίκτυπο του ανταγωνισμού μεταξύ των μετάλλων για τις θέσεις σύνδεσης των κυττάρων.

6.6.2 Αλληλεπιδράσεις μεταξύ καδμίου και ψευδαργύρου

Ο Zn και το Cd έχουν πολλές φυσικές και χημικές ομοιότητες, καθώς και τα δύο ανήκουν στην ομάδα II του περιοδικού πίνακα. Συνήθως ανευρίσκονται μαζί στα ορυκτά και ανταγωνίζονται μεταξύ τους για ποικιλία μορίων σύνδεσης. Επιπλέον, η αλληλεπίδραση μεταξύ των δύο αυτών στοιχείων στο βιολογικό σύστημα είναι πιθανώς παρόμοια. Το γεγονός ότι το κάδμιο είναι ένα τοξικά βαρύ μέταλλο και ο Zn ένα κύριο χημικό στοιχείο κάνει τη συσχέτιση αυτή ενδιαφέρουσα, καθώς αυξάνει την πιθανότητα να μπορούν να προληφθούν ή να θεραπευτούν με Zn οι τοξικές

επιδράσεις του καδμίου. Ο Hinsley *et al.* (1984) υπέδειξε ότι η απορρόφηση του καδμίου και του ψευδαργύρου απ' τα φυτά εξαρτάται απ' το pH του υλικού καλλιέργειας. Ο Ravera (1984) έδειξε ότι το κάδμιο είχε τοξικές επιδράσεις στα φυτά στην πορεία της φωτοσύνθεσης και ανέφερε επίσης ποικίλες αλλαγές στις βιολογικές δραστηριότητες. Επακόλουθες μελέτες επιβεβαίωσαν αυτά τα ευρήματα και επέκτειναν την αλληλεπίδραση και σε άλλες τοξικές επιδράσεις του καδμίου, όπως την αναστολή του κυτταρικού πολλαπλασιασμού και σε κυτταροτοξικές δράσεις (Rosas *et al.* 1984) όπως και καταστολή της ανάπτυξης στα φυτά (Chery *et al.*, 1984).

Οι βιοχημικοί μηχανισμοί της αλληλεπίδρασης Cd-Zn είναι άγνωστοι, αλλά διαφορές λειτουργίες σε κυτταρικό επίπεδο και υποκυτταρικό, όπως το ποσοστό Cd:Zn στους ιστούς, η προώθηση της σύνθεσης διαφορετικών τύπων ματαλλοθειονίνης, τα δεσμευτικά χαρακτηριστικά της μεταλλοθειονίνης, η αλλαγή της απορρόφησης και διανομής στους ιστούς ενός μετάλλου από το άλλο και ο ανταγωνισμός στο επίπεδο που ο ψευδάργυρος περιέχει μεταλλοένζυμα, είναι γνωστό ότι έχουν σχέση με τις αλληλεπιδράσεις. Τα τελευταία χρόνια έχει προταθεί ότι ένα Cd-δεσμευτικό σύμπλοκο παρόμοιο της μεταλλοθειονίνης υπάρχει σε αρκετά ανωτέρα φυτά, όπως η ντομάτα (Bartolf *et al.* 1980), τα φασόλια (Weigel και Jager, 1980) και το λάχανο (Wagner, 1984). Επακολούθως, οι Fujita και Kawanishi (1986) ανέφεραν την παρουσία ενός άλλου τύπου Cd-δεσμευτικού συμπλόκου, που ονομάστηκε Cd-BPI, σε ιστό ρίζας του υδρόβιου *hyacinth* που καλλιεργήθηκε σε περιβάλλον που περιείχε Cd²⁺. Ο Dadin *et al.* (1978) συμπέρανε ότι ο ψευδάργυρος και το κάδμιο συνδέονται σε διαφορετικές θέσεις (μόρια) σύνδεσης στις ρίζες του ρυζιού.

6.7 Η απορρόφηση και μεταφορά του καδμίου

Το Cd είναι ένα απ' τα πιο επικίνδυνα βαρέα μέταλλα εξαιτίας της υψηλής κινητικότητας του και της μικρής συγκέντρωσης που απαιτείται για να αρχίσουν να είναι εμφανείς οι επιδράσεις του στα φυτά (Barcelo και Proschneider, 1992). Οι Jervis (1976) ανακάλυψαν ότι οι ρίζες του μαρουλιού μεταφέρουν στους βλαστούς πολύ περισσότερο κάδμιο απ' το απορροφημένο συγκριτικά με άλλα καλλιεργούμενα φυτά όπως (*ryegrass* και *orchardgrass*). Η μεγαλύτερη μετατόπιση οφείλεται σε ενεργό μεταφορά ή σε έλλειψη απορρόφησης μετάλλων μέσω στερεών ή διαλυτών συνθέτων ουσιών στις ρίζες ή ίσως οφείλεται σε ανταλλαγή με τα Ca, Mn και Zn που μετακινούνται μέσω των ριζών (John, 1976). Ο Moral *et al.* (1994) ανέφερε ότι το

κάδμιο ήταν εύκολο να μεταφερθεί στα υπέργεια τμήματα της ντομάτας, αλλά δεν ανιχνεύεται στα φρούτα. Ο Hinsley *et al.* (1984) έδειξε ότι το pH των εδαφών είχαν μεγάλη επίδραση στη μεταφορά του καδμίου στο καλαμπόκι (*Zea mays* L.). ο John *et al.* (1972) υπέδειξε ότι το εδαφικό pH αλληλεπιδρά σημαντικά με το περιεχόμενο κάδμιο των ιζηματογενών εδαφών για να επηρεάσουν τις συγκεντρώσεις καδμίου στα φύλλα του καλαμποκιού. Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις καδμίου των σπόρων προκύπτουν σε εδαφικό pH της τάξης του 6.0 περίπου. Η απορρόφηση του καδμίου απ' το καλαμπόκι ήταν λιγότερη στο πιο όξινο έδαφος που έχει ταυτόχρονα οργανική ύλη (street *et al.*, 1977). Οι Garcia-Miragaya and Page (1976) ανακάλυψαν ότι οι αναλογίες καδμίου που ήταν σε ελεύθερο σύμπλοκο ήταν ανεξάρτητες της συγκέντρωσης του καδμίου σε τιμές pH πάνω του 6,0-8,5. Πολλοί παράγοντες στο έδαφος έχουν αποδειχτεί να επιδρούν στην απορρόφηση βαρέων μετάλλων απ' τα φυτά. Η απορρόφηση του καδμίου αυξάνεται με τη μείωση του εδαφικού pH (Lagerwerff, 1971: Miller *et al.*, 1976) και μειώνεται με την αύξηση της ικανότητας ανταλλαγής κατιόντων (Haghiri, 1974).

Το κάδμιο απορροφάται παθητικά (Cutler and Rains, 1974) και μεταφέρεται ελεύθερα (Jarvis *et al.*, 1976). Οι σύμπλοκες ενώσεις στα θρεπτικά διαλύματα μπορούν να βοηθήσουν την απορρόφηση του καδμίου (Francis and Rush, 1974). Έντονες αλληλεπιδράσεις μεταξύ Zn και Cd προκύπτουν στη μεταφορά και απορρόφηση του καδμίου (Chaney *et al.*, 1976: Chaney and Harnick, 1978). Προφανώς, μέρος της τοξικότητας του καδμίου είναι αποτέλεσμα παρεμβολής του καδμίου σε εξαρτώμενη απ' το Zn διαδικασία (Falchuk *et al.*, 1975).

Οι διαφορές στην ικανότητα των φυτών να συσσωρεύουν βαρέα μέταλλα έχει συνδεθεί με διάφορες στη μορφολογία των ριζών τους (Hemphill, 1972: Schierup and Larsen, 1981). Σύμφωνα με το τελευταίο, ένα φυτό πολλές και λεπτές ρίζες θα συσσωρεύσει περισσότερα μέταλλα από κάποιο με λίγες ρίζες και παχιές. Ο Wahben (1983) συνέκρινε την απορρόφηση και συσσώρευση των Cd, Mn, Zn, Mg και Fe σε τρία είδη φυκιών. Τα δυο είδη, *Halophila ovalis* και *Halophila uninervis* είχαν σημαντικά υψηλότερες και φωτοσυνθετικές και αναπνευστικές αναλογίες απ' το *Halophila stipulacea* (Wahbeh, 1983). Ο Chukwuma (1993) σύγκρινε τη συσσώρευση Cd, Pb και Zn σε καλλιεργήσιμα και άγρια φυτά σε εγκαταλειμμένο ορυχείο. Υπήρχε μια καθαρή μείωση της δυνητικής τοξικότητας του καδμίου από του Zn μέσω μιας απλής μαζικής επίδρασης κυρίως στα καλλιεργήσιμα φυτά, ενώ στα άγρια πιθανόν να αναπτύσσεται μηχανισμοί ανθεκτικότητας ανοχής των μετάλλων. Ο

McKenna *et al.*, (1993) απέδειξαν τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ Zn και Cd σε θρεπτικό διάλυμα και τις επιρροές τους στη συσσώρευση αμφοτέρων των μετάλλων στις ρίζες και τα φύλλα των φυτών. Ανέφερε υψηλές συγκεντρώσεις καδμίου στα γηραιότερα απ' τα νεότερα φύλλα στο μαρούλι και το σπανάκι. Η δυνητική συσσώρευση καδμίου στα γηραιά φύλλα δεν οφείλεται μόνο στο ρυθμό διαπνοής. Μέταλλοδεσμευτικά πεπτιδία ήταν παρόντα στα γηραιότερα φύλλα σε υψηλότερο ποσά απ' ότι στα νεότερα φύλλα του καπνού και το κάδμιο μεταφερόταν σε κενοτόπια ως μέσο αποτοξίνωσης (Vogeli-Lange and Wagner, 1990). Οι συγκεντρώσεις του καδμίου αναφέρθηκε να' ναι υψηλότερες στις ρίζες απ' ότι στους βλαστούς (Cataldo *et al.*, 1981; Rauser, 1986). Σύμφωνα με τη σύσταση του Εθνικού Ερευνητικού Συμβουλίου των ΗΠΑ το περιεχόμενο σε μόλυβδο στις σοδιές που προορίζονται για ζωοτροφές δεν πρέπει να' ναι περισσότερο από 0,5μg/g, ούτως ώστε να περιορίζεται η συγκέντρωση καδμίου στο ήπαρ και στους νεφρούς των ζώων που τρέφονται από αυτές για να προστατεύονται οι άνθρωποι από την τοξικότητα του καδμίου λόγω της συσσώρευσης του σε αυτά τα όργανα.

6.8 Φυσιολογία και βιοχημεία της φυτοτοξικότητας του καδμίου

Οι μελέτες πάνω στη φυσιολογία της τοξικότητας των μετάλλων είναι δύσκολες. Η δραστηριότητα ενός δεδομένου μετάλλου στο κυτταρόπλασμα επηρεάζεται από συνθετικές ενώσεις καρβοξυλικών και αμιδικών οξέων και απ' το pH. Ο Foy *et al.*, (1978) ανέφερε ότι η φυτοτοξικότητα των μετάλλων εξαρτάται απ' το pH, την οργανική ύλη και τα φωσφορικά του εδάφους. Η φυσιολογία της τοξικότητας των μετάλλων που συνήθως εμφανίζετε σε μεγάλες συγκεντρώσεις στην ρίζα, έχει σαν αποτέλεσμα της μη ζωτικής ανάπτυξης του φυτού. Η διαθεσιμότητα του καδμίου επηρεάζεται ισχυρά απ' το εδαφικό pH, ιδιαίτερα παρουσία σύνθετων ενώσεων, Cl^- (Hahne and Kroontje, 1973; Takijima *et al.*, 1973; Garcia-Miragaya and Page, 1976; Chaney and Giordano, 1977; Streer *et al.*, 1977). Παρόλο που έχουν αναφερθεί πολλές μελέτες της φυσιολογίας των φυτών (Bazzaz *et al.*, 1974; Koeppe *et al.*, 1975), το κάδμιο φαίνεται να απορροφάται παθητικά (Cutler and Rains, 1974) και να μεταφέρεται ελεύθερα (Jarvis *et al.*, 1976). Ο Simon (1977) έδειξε ότι μερικοί οργανισμοί είναι ανθεκτικοί στο κάδμιο εξαιτίας της ανάπτυξης ανθεκτικότητας. Έχουν αναφερθεί ιδιαίτερες αλληλεπιδράσεις μεταξύ Zn + Cd και Ca + Cd όσον αφορά την πρόσληψη και μεταφορά στα φυτά (Largerwerff and Biersdorf, 1972; John *et al.*, 1976; Chaney and Hundeman, 1977). Προφανώς ένα μέρος της τοξικότητας

του καδμίου είναι αποτέλεσμα της παρεμβολής του καδμίου σε διεργασίες εξαρτώμενες από το Zn (Falchuk *et al.*, 1975: Rorison, 1975). Όπως είναι λογικό, μια μελέτη πάνω στα χρόνια τοξικά επίπεδα είναι πιο ουσιώδης από μια πάνω στα οξεία τοξικά επίπεδα (Collins *et al.*, 1975: Cunningham *et al.*, 1977)

Κ Ε Φ Α Λ Α Ι Ο 7

ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Το κάδμιο είναι ένα από τα πιο επικίνδυνα βαρέα μέταλλο που ρυπαίνουν το περιβάλλον, λόγω της υψηλής του διαλυτότητας στο νερό και των χαμηλών συγκεντρώσεων που μπορούν να προκαλούν τοξικότητα στους ζωντανούς οργανισμούς.

Στην εργασία αυτή θελήσαμε να διερευνήσουμε την επίδραση της συγκέντρωσης του καδμίου στην ανάπτυξη και τις φυσιολογικές παραμέτρους σε φυτά παντζαριού μέσω της υδροπονικής καλλιέργειάς τους και χορηγώντας σε αυτά θρεπτικά διαλύματα με διαφορετικές συγκεντρώσεις καδμίου.

Κ Ε Φ Α Λ Α Ι Ο 8 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Πειραματόφυτο: Ως πειραματόφυτο επιδέχθηκε το *Beta Vulgaris*

8.1 Ανάπτυξη της καλλιέργειας

Οι σπόροι αναπτύχθηκαν σε δίσκους με απορροφητικό χαρτί, όπου ποτίζονταν καθημερινά. Τοποθετήσαμε τους δίσκους σε θάλαμο προβλάστησης στους 17-18°C για πέντε ημέρες. Μετά έγινε μεταφύτευση σε πέντε πλαίσια από ανοξείδωτο μέταλλο διαστάσεων 100x15x15 cm, τα οποία περιείχαν περλίτη.

8.2. Σύστημα άρδευσης και σύσταση θρεπτικού διαλύματος

Το θρεπτικό διάλυμα ήταν κοινό για όλες τις μεταχειρίσεις. Διέφερε όμως η συγκέντρωση καδμίου σε κάθε μεταχείριση που είχαν ως εξής:

1^η μεταχείριση: 0 ppm Cd (control ή μάρτυρας)

2^η μεταχείριση: 1 ppm Cd

3^η μεταχείριση: 10 ppm Cd

4^η μεταχείριση: 50 ppm Cd

5^η μεταχείριση: 100 ppm Cd

Η άρδευση γινόταν μέσω πέντε διαφορετικών δοχείων (ένα για κάθε πλαίσιο).

Σύσταση θρεπτικού διαλύματος

Μακροστοιχεία (mM)		Ιχνοστοιχεία (μM)	
KNO ₃	8	H ₃ BO ₃	45
Ca(NO ₃) ₂	4	MnCl ₃	9
MgSO ₄	2	ZnSO ₄	0,7
KH ₂ PO ₄	1	CuSO ₄	0,3
MgCl ₂	4	MoNaO ₄	0,1
NaFe - EDTA	0,4		

8.3. Μέτρηση ξηρού βάρους

Σαράντα ημέρες μετά την μεταφύτευση των φυτών στα πλαίσια καλλιέργειας επιλέχθηκαν τρία φυτά από κάθε πλαίσιο ώστε να προσδιορισθεί το ξηρό τους βάρος. Τα φυτά τοποθετήθηκαν σε πυριαντήριο με αέρα και σε θερμοκρασία 65°C . Εκεί παρέμειναν μέχρι να παρατηρηθεί σταθεροποίηση του βάρους τους μεταξύ δύο διαδοχικών ζυγίσεων. Η παραπάνω διαδικασία επαναλήφθηκε τρεις φορές κατά την διάρκεια του πειράματος.

8.4. Μέτρηση Χλωροφυλλών

Η πρώτη μέτρηση των χλωροφυλλών έγινε 40 ημέρες μετά την μεταφύτευση. Για την μέτρηση της χλωροφύλλης επιλέχθηκαν 5 φύλλα της ίδιας ηλικίας από κάθε πλαίσιο. Μετρήθηκαν με το SPAD-502 (Minolta) και στη συνέχεια κόπηκαν και μπήκαν σε αεροστεγή αριθμημένα σακουλάκια για την μεταφορά τους στο εργαστήριο, όπου και πλύθηκαν καλά με απιονισμένο νερό. Εκεί με ένα φελοτρυπητήρα διαμέτρου 0,65 cm, κόπηκαν 3 δίσκοι από κάθε φύλλο. Οι δίσκοι του κάθε φύλλου τοποθετήθηκαν σε δοκιμαστικό σωλήνα όπου προστέθηκαν 3 ml DMSO και μπήκαν στο φούρνο για 2 ώρες και σε θερμοκρασία 65 °C.

Τα διαλύματα που προέκυψαν φωτομετρήθηκαν σε φασματοφωτόμετρο (UV-1601, Shimadzu) αφού πρώτα αυτό μηδενίστηκε με καθαρό διάλυμα DMSO. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στα 648 και 665 nm για κάθε δοκιμαστικό σωλήνα. Για τον υπολογισμό της χλωροφύλλης χρησιμοποιήθηκαν οι παρακάτω τύποι:

$$\text{Chl}_a = (14,85 \times \text{ABS}_{665}) - (5,14 \times \text{ABS}_{648}) \text{ } \mu\text{gr Chl a/ml}$$

$$\text{Chl}_b = (25,48 \times \text{ABS}_{648}) - (7,36 \times \text{ABS}_{665}) \text{ } \mu\text{gr Chl b/ml}$$

$$\text{Chl} = \text{Chl}_a + \text{Chl}_b \text{ } \mu\text{gr Chl/ml}$$

Η μέτρηση των χλωροφυλλών επαναλήφθηκε τρεις φορές κατά την διάρκεια του πειράματος.

8.4.2. Το φορητό χλωροφυλλόμετρο

Τα επίπεδα της συγκέντρωσης των χλωροφυλλών στα φύλλα σχετίζεται άμεσα με την φωτοσυνθετική ικανότητα, με την συγκέντρωση του αζώτου και την παραγωγικότητα των φυτών. Μια σειρά περιβαλλοντικών παραγόντων, όπως έλλειψη νερού, ακραίες συνθήκες θερμοκρασίας και φωτισμού, έλλειψη O₂ στις ρίζες, ασθένειες από μύκητες ή βακτήρια κλπ., οδηγούν σε μείωση των επιπέδων των

χλωροφυλλών. Έτσι τα επίπεδα τους ιδιαίτερα για τα καλλιεργούμενα φυτά είναι ένας ευαίσθητος δείκτης κυρίως της επαρκείας αζώτου.

Μέχρι πρόσφατα ο προσδιορισμός των επιπέδων των χλωροφυλλών γινόταν με την κλασική βιομηχανική μέθοδο, δηλαδή τα φύλλα αποκόπτονταν από το φυτό και μεταφέρονταν στο εργαστήριο, όπου μετά από εκχύλιση σε οργανικό διαλύτη μετρούνταν φασματοφωτομετρικά η απορρόφηση των χλωροφυλλών και υπολογίζονταν η συγκέντρωσή τους από εξισώσεις της βιβλιογραφίας.

Οι μέθοδοι αυτές είναι χρονοβόρες και απαιτούν το κόσμημο και την μεταφορά φύλλων στο εργαστήριο. Πρόσφατα κυκλοφόρησε σε εμπορική μορφή το φορητό χλωροφυλλόμετρο (SPAD -502 της Minolta), το οποίο παρέχει μια άριστη ευκαιρία για ένα γρήγορο και μη καταστροφικό τρόπο υπολογισμού των επιπέδων των χλωροφυλλών στα φύλλα.

8.4.1.1. Αρχή λειτουργίας του SPAD -502

Η μέτρηση με το χλωροφυλλόμετρο στηρίζεται στην απορρόφηση από τα φύλλα σε δυο μήκη κύματος στα 650nm και 940nm. Οι μετρούμενες τιμές, ενδείξεις του SPAD -502 είναι ανάλογες με το περιεχόμενο των χλωροφυλλών στα φύλλα.

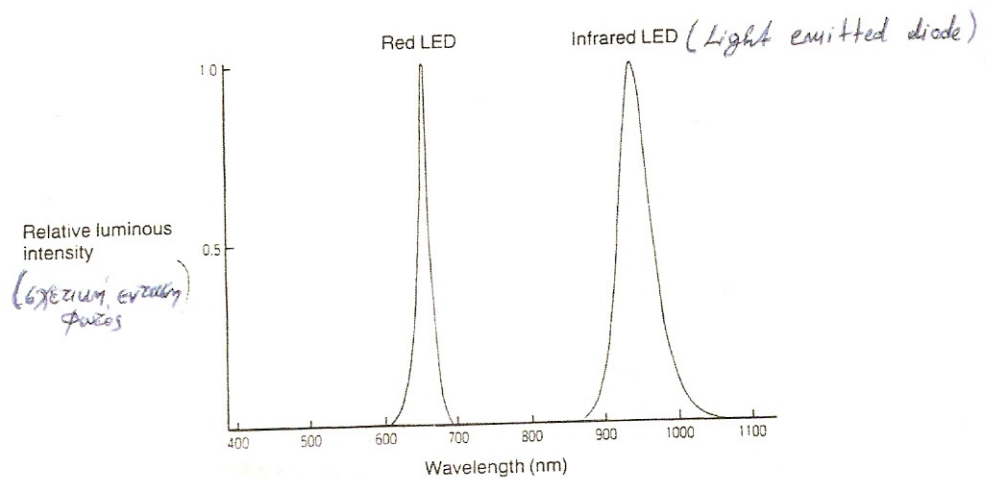
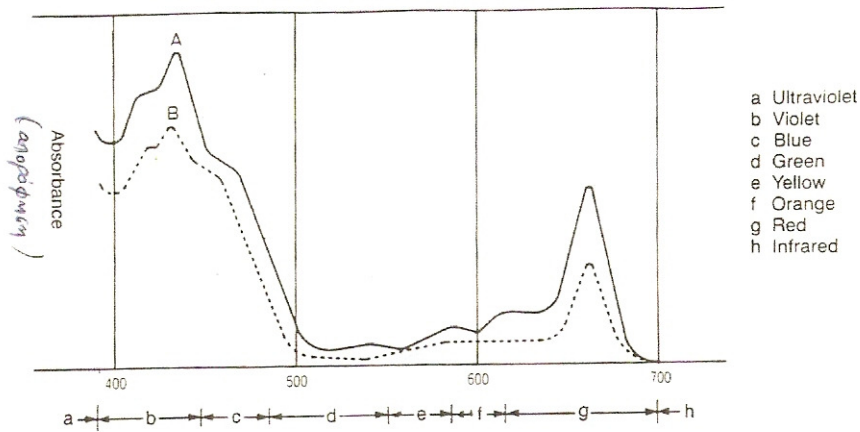
Από το παρακάτω σχήμα φαίνονται τα χαρακτηριστικά των χλωροφυλλών που εκχυλίζονται από τα φύλλα σε 80% διάλυμα ακετόνης. Η συγκέντρωση των χλωροφυλλών στα φύλλα Β είναι μικρότερη από τα φύλλα Α. Το γράφημα δείχνει επίσης ότι οι κορυφές απορρόφησης των χλωροφυλλών εντοπίζονται στις μπλε και κόκκινες περιοχές του ορατού φάσματος, ακτινοβολίας, με χαμηλή απορρόφηση στην πράσινη περιοχή και μηδενική απορρόφηση στην περιοχή υπέρυθρου.

Με βάση αυτού, τα μήκη κύματος που χρησιμοποιούνται στο SPAD -502 είναι στην κόκκινη περιοχή στα 650nm όπου η απορρόφηση είναι υψηλή και ανεπηρέαστη από την συγκέντρωση καροτενοειδών και στην περιοχή του υπέρυθρου 940nm όπου η απορρόφηση είναι εξαιρετικά χαμηλή.

Το φως που εκπέμπεται από τον ένα βραχίονα του SPAD -502 (στα δυο μήκη κύματος 650nm και 940nm), διαπερνά το φύλλο, όπου απορροφάται ένα μέρος του ανάλογα της συγκέντρωσης των χλωροφυλλών και ότι απομένει καταγράφεται σ' ένα φυτό αποδεκτή, μετατρέπεται σε αναλογικά ηλεκτρικά σήματα, τα οποία από ένα ψηφιακό επεξεργαστή εμφανίζονται στην οθόνη σε αυθαίρετες μονάδες – ενδείξεις του χλωροφυλλόμετρου.

Το όργανο πρέπει να καλιμπραρισθεί απέναντι στις ακριβείς συγκεντρώσεις χλωροφυλλών οι οποίες μετρούνται με τις κλασικές μεθόδους εκχύλισης.

Κατασκευάζεται μια πρότυπη καμπύλη η οποία δείχνει την συσχέτιση των τιμών του χλωροφυλλόμετρου με τις πραγματικές συγκεντρώσεις των χλωροφυλλών που μετριοούνται με εκχύλιση και φωτομέτρηση.



Για κάθε συγκέντρωση ή είδος καλλιέργειας ή ποικιλία, θα πρέπει να γίνει η πρότυπη καμπύλη. Από την πρότυπη καμπύλη και μέσα σε ελάχιστο χρόνο με την χρήση του χλωροφυλλόμετρου μπορεί και ο καλλιεργητής να ελέγχει κατά την διάρκεια της καλλιέργειας τα επίπεδα των χλωροφυλλών.

Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό, διότι η συγκέντρωση των χλωροφυλλών είναι ανάλογη της συγκέντρωσης του αζώτου στα φύλλα. Έμμεσα λοιπόν και με πολύ μεγάλη ακρίβεια σε συνεχή βάση δίνεται η δυνατότητα ελέγχου των επιπέδων αζώτου με, άμεσο και μη καταστροφικό τρόπο, και η δυνατότητα ρύθμισης της αζωτούχου λίπανσης, ώστε να μεγιστοποιείται η παραγωγή, αποφεύγοντας ταυτόχρονα την άσκοπη σπατάλη νιτρικών λιπασμάτων και την ρύπανση του περιβάλλοντος.

8.4.2 Μέθοδος DMSO

Βασίζεται στον προσδιορισμό των επιπέδων των χλωροφυλλών στα φύλλα και πραγματοποιείται με βιοχημικές μεθόδους, δηλαδή τα φύλλα αποκόπτονταν από το φυτό και μεταφέρονταν στο εργαστήριο, όπου μετά από εκχύλιση σε οργανικό διαλύτη μετριούνται φασματοφωτομετρικά η απορρόφηση των χλωροφυλλών και υπολογίζονταν οι συγκεντρώσεις τους από εξισώσεις της βιβλιογραφίας.

8.5. Μέτρηση φυσιολογικών παραμέτρων

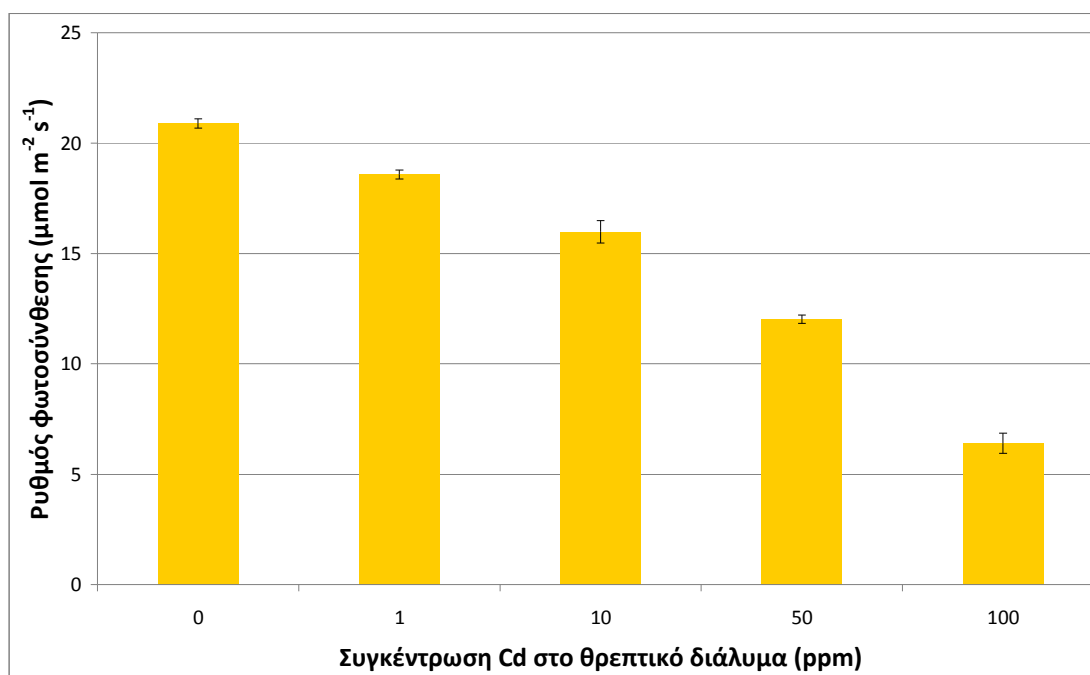
Η μέτρηση των φυσιολογικών παραμέτρων ξεκίνησε 40 ημέρες μετά την εφαρμογή των μεταχειρίσεων και πραγματοποιήθηκε με την χρήση του φορητού οργάνου μέτρησης της φωτοσύνθεσης LCI Portable Photosynthesis System (ADC BioScientific Ltd. England). Μετρήθηκε ο ρυθμός φωτοσύνθεσης ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$), ο ρυθμός διαπνοής ($\text{mmol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$) και η στοματική αγωγιμότητα του CO_2 ($\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$). Για τις μετρήσεις επιλέχθηκαν ώριμα φύλλα της ίδιας ηλικίας και οι μετρήσεις επαναλήφθηκαν την ίδια ώρα της ημέρας. Οι μετρήσεις επαναλήφθηκαν τρεις φορές.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

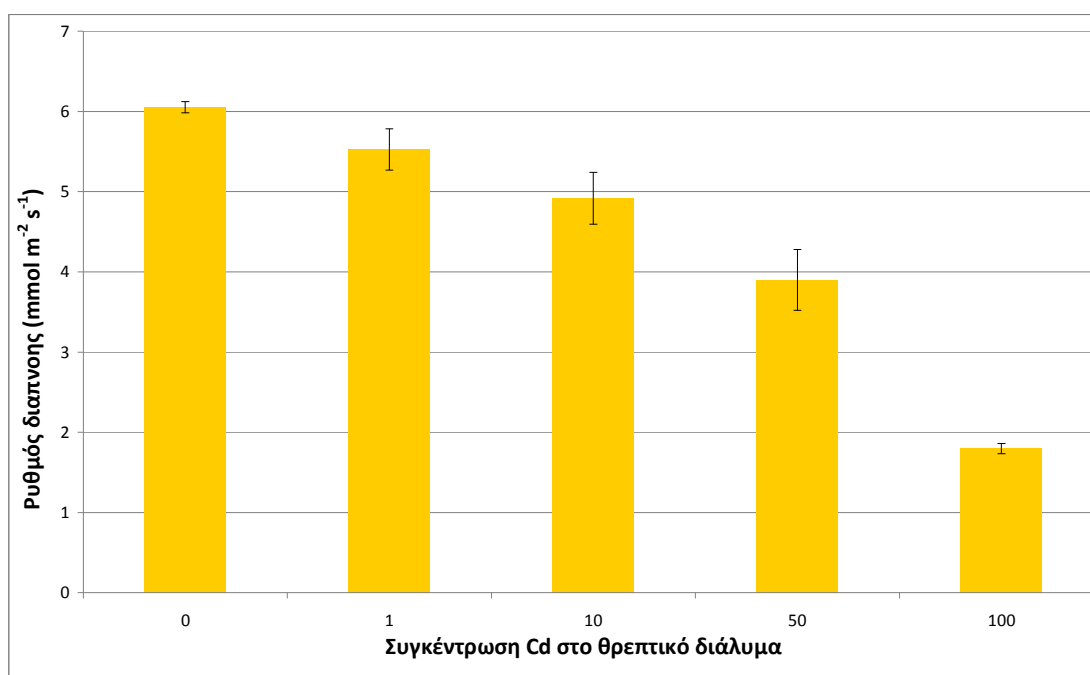
9.1. Επίδραση της συγκέντρωσης του καδμίου (Cd) στις φυσιολογικές παραμέτρους των φύλλων των φυτών.

Στην εικόνα 1 απεικονίζεται η επίδραση των διαφορετικών συγκεντρώσεων καδμίου στον ρυθμό φωτοσύνθεσης των φυτών. Από την εικόνα αυτή διαπιστώνουμε ότι οι τιμές του ρυθμού φωτοσύνθεσης κυμάνθηκαν από 6,4 $\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2\text{s}$ για την υψηλότερη συγκέντρωση Cd (100 ppm) έως 20,9 μmol στη μεταχείριση του μάρτυρα. Παρατηρήθηκε μείωση της τάξης του 69,5% στην ταχύτητα φωτοσύνθεσης ανάμεσα στον μάρτυρα και την υψηλότερη συγκέντρωση Cd (100 ppm)



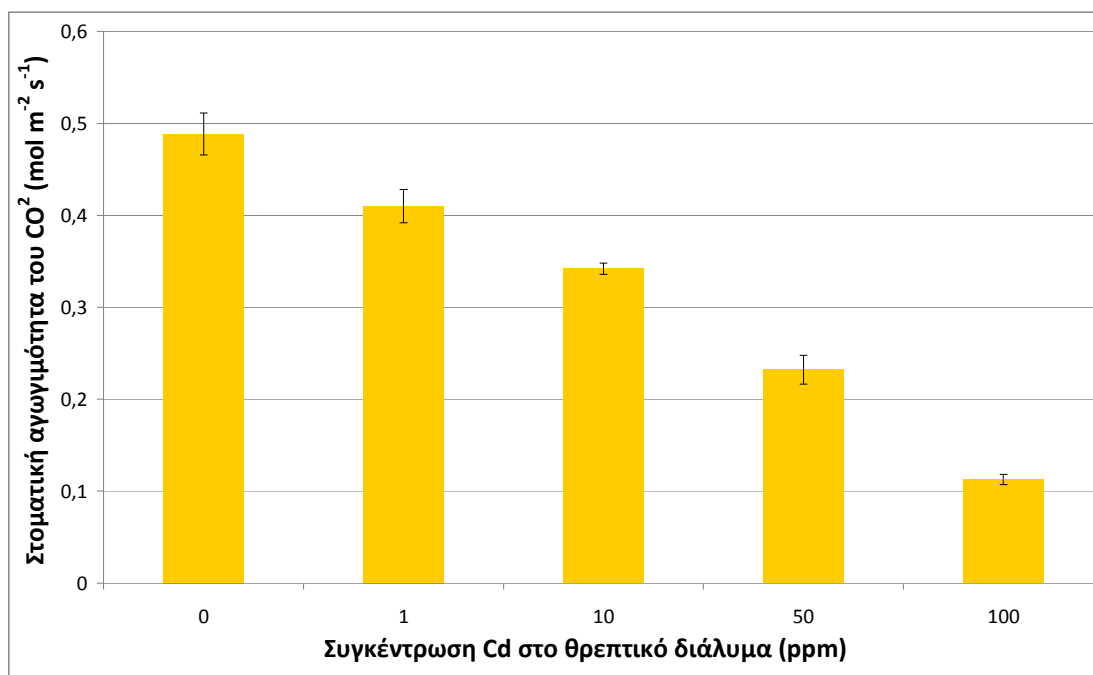
Εικόνα 1. Επίδραση της συγκέντρωσης του καδμίου (Cd) στο ρυθμό φωτοσύνθεσης των φύλλων των φυτών.

Στην εικόνα 2 απεικονίζεται η επίδραση των διαφορετικών συγκεντρώσεων καδμίου στον ρυθμό διαπνοής των φύλλων των φυτών. Από την εικόνα αυτή διαπιστώνουμε ότι οι τιμές του ρυθμού διαπνοής κυμάνθηκαν από 1,8 mmol CO₂/m²s για την υψηλότερη συγκέντρωση Cd (100 ppm) έως 6 mmol στη μεταχείριση του μάρτυρα. Παρατηρήθηκε μείωση της τάξης του 70% στην ρυθμού διαπνοής ανάμεσα στον μάρτυρα και την υψηλότερη συγκέντρωση Cd (100ppm)



Εικόνα 2. Επίδραση της συγκέντρωσης του καδμίου (Cd) στο ρυθμό διαπνοής των φύλλων των φυτών.

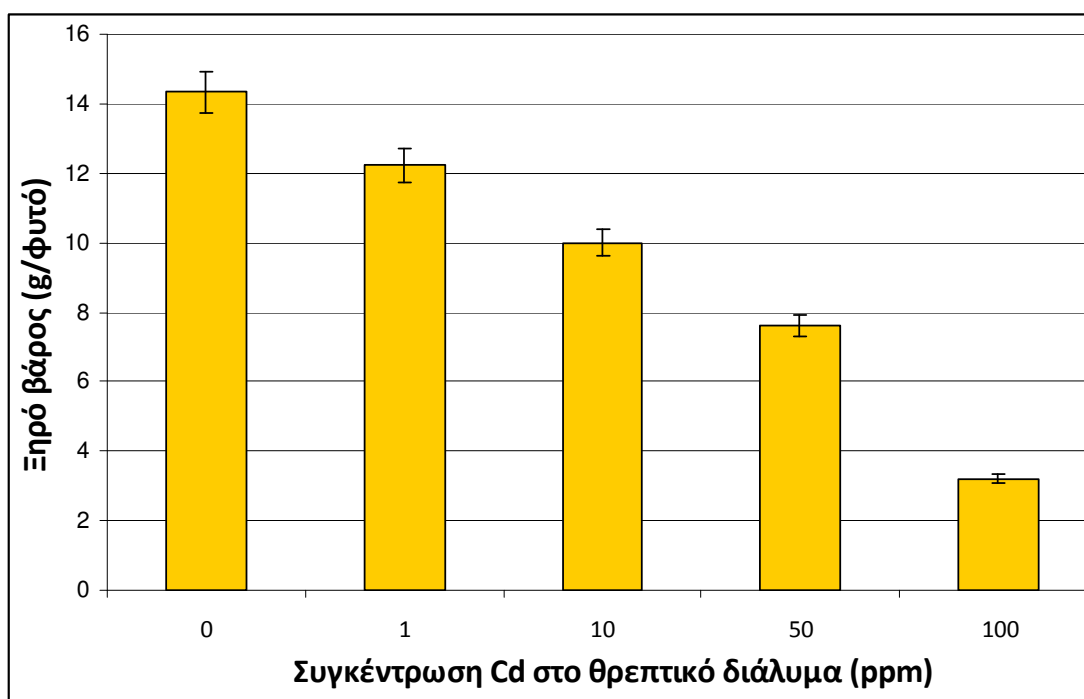
Στην εικόνα 3 απεικονίζεται η επίδραση των διαφορετικών συγκεντρώσεων καδμίου στην στοματική αγωγιμότητα του CO₂ των φύλλων των φυτών. Από την εικόνα αυτή διαπιστώνουμε ότι οι τιμές του ρυθμού διαπνοής κυμάνθηκαν από 0,11 mmol CO₂/ m²s έως 0,49 mmol CO₂/ m²s στη μεταχείριση του μάρτυρα. Παρατηρήθηκε μείωση της τάξης του 80% στο ρυθμό διαπνοής ανάμεσα στον μάρτυρα και την υψηλότερη συγκέντρωση Cd (100 ppm).



Εικόνα 3. Επίδραση της συγκέντρωσης του καδμίου (Cd) στην στοματική αγωγιμότητα του CO₂ των φύλλων των φυτών.

9.2. Επίδραση της συγκέντρωσης του καδμίου (Cd) στην παραγωγή βιομάζας.

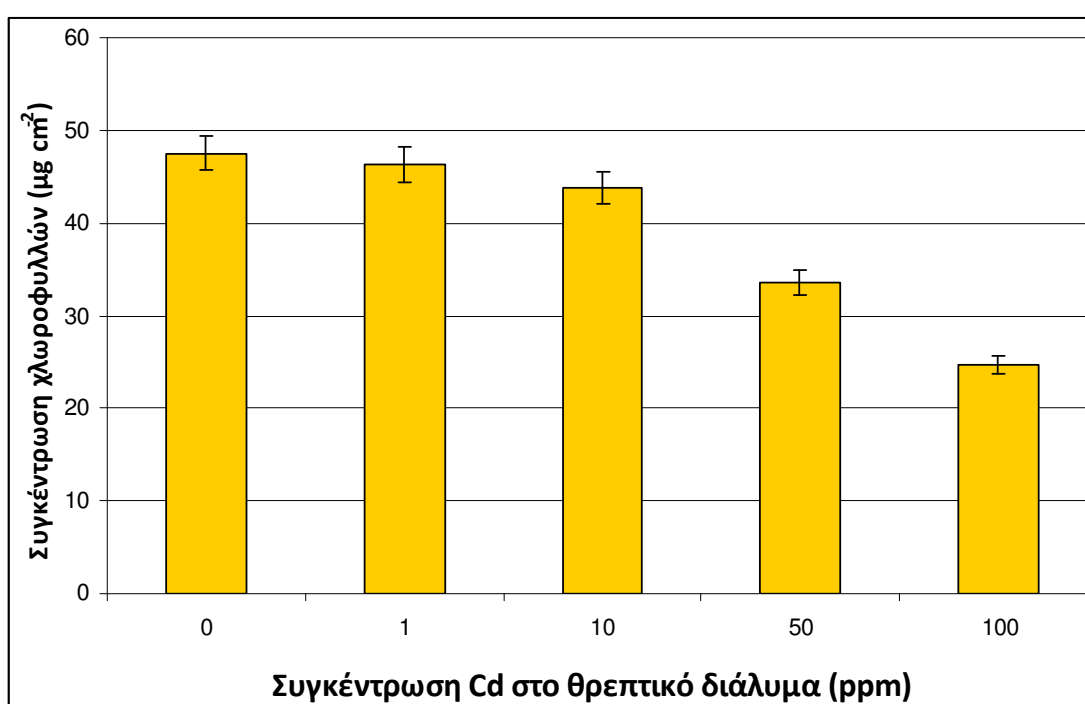
Στην εικόνα 4 απεικονίζεται η επίδραση των διαφορετικών συγκεντρώσεων καδμίου στην παραγωγή βιομάζας. Από την εικόνα αυτή διαπιστώνουμε ότι τα ξηρά βάρη των φυτών κυμάνθηκαν από 3,2 γραμ/φυτό έως 14,33 γραμ/φυτό στη μεταχείριση του μάρτυρα. Παρατηρήθηκε μείωση της τάξης του 77% στο ξηρό βάρος των φυτών που αναπτύχθηκαν κάτω από την υψηλότερη συγκέντρωση καδμίου σε σχέση με αυτά του μάρτυρα.



Εικόνα 4. Επίδραση της συγκέντρωσης του καδμίου (Cd) στην παραγωγή βιομάζας

9.3. Επίδραση της συγκέντρωσης του καδμίου (Cd) στην συγκέντρωση χλωροφυλλών.

Στην εικόνα 5 απεικονίζεται η επίδραση των διαφορετικών συγκεντρώσεων καδμίου στην συγκέντρωση χλωροφυλλών. Από την εικόνα αυτή διαπιστώνουμε η συγκέντρωση των χλωροφυλλών στα φύλλα των φυτών κυμάνθηκε από 24,6 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ έως 47,6 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ στη μεταχείριση του μάρτυρα. Παρατηρήθηκε μείωση της τάξης του 52% στην συγκέντρωση χλωροφυλλών στα φύλλα των φυτών που αναπτύχθηκαν κάτω από την υψηλότερη συγκέντρωση καδμίου σε σχέση με αυτά του μάρτυρα.



Εικόνα 5. Επίδραση της συγκέντρωσης του καδμίου (Cd) στην συγκέντρωση χλωροφυλλών.

Κ Ε Φ Α Λ Α Ι Ο 10

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι αυξημένες συγκεντρώσεις του καδμίου στο έδαφος μειώνουν σημαντικά την αύξηση των ριζών και των βλαστών στα φυτά και γενικότερα της βιομάζας. Επιπλέον προκαλούν έντονη χλώρωση και ξήρανση, επηρεάζουν την αφομοίωση των θρεπτικών στοιχείων και κυρίως του σιδήρου. Γενικά η περίσσεια καδμίου φαίνεται να επηρεάζει την πρόσληψη, την μεταφορά και την αφομοίωση αρκετών θρεπτικών στοιχείων όπως του Zn, Ca, Mg, P και K καθώς και την πρόσληψη και μεταφορά του νερού στα φυτά. Τέλος, σε υποκυτταρικό επίπεδο η περίσσεια καδμίου εμποδίζει την διαφοροποίηση των κυττάρων και προκαλεί έντονες γενετικές και φυσιολογικές διαταραχές.

Τα αποτελέσματα του πειράματος έδειξαν ότι αυξανόμενες συγκεντρώσεις καδμίου από 1 ppm έως 100 ppm στο θρεπτικό διάλυμα το οποίο χορηγείται στα φυτά έχει αρνητική επίδραση:

- Στον ρυθμό φωτοσύνθεσης των φύλλων των φυτών,
- Στον ρυθμό διαπνοής των φύλλων των φυτών,
- Στην στοματική αγωγιμότητα του CO² στα φύλλα των φυτών,
- Στην παραγωγή βιομάζας,
- Και στην συγκέντρωση των ολικών χλωροφυλλών στα φύλλα των φυτών.

Αυτό που είναι αξιοσημείωτο είναι ότι ακόμη και η μικρότερη συγκέντρωση καδμίου που εφαρμόστηκε στο συγκεκριμένο πείραμα (1 ppm) φαίνεται ότι είναι αρκετή για να δημιουργήσει πρόβλημα στα φυτά του παντζαριού. Αυτό φαίνεται συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των μετρήσεων της συγκεκριμένης μεταχείρισης με αυτά του μάρτυρα. Όσο αυξανόταν η συγκέντρωση του καδμίου στο θρεπτικό διάλυμα τόσο μεγαλύτερη ήταν και η μείωση που παρατηρήθηκε σε όλες τις φυσιολογικές παραμέτρους ανάπτυξης των φυτών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ΔΗΜΗΤΡΗΣ ΣΑΒΒΑΣ, ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ ΕΚΔΟΣΕΙΣ Τ.Ε.Ι ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ 1995, ΣΕΛΙΔΕΣ 17-40
- ΚΟΣΤΑΣ Π. ΠΑΡΑΣΚΕΥΟΠΟΥΛΟΣ, ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΨΥΧΑΛΟΥ 1986, ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΛΑΧΑΝΟΚΟΜΙΑ ΣΕΛΙΔΕΣ 95-97
- ΜΑΥΡΟΓΙΑΝΝΟΠΟΥΛΟΣ, Γ.Ν., ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ. ΕΚΔΟΣΕΙΣ Α.ΣΤΑΜΟΥΛΗΣ, Αθήνα 2006
- ΝΙΚΟΛΑΟΥ ΙΩΑΝ. ΣΠΑΡΤΣΗ – ΠΑΝΤΟΥΣΗ ΙΩΑΝ. ΚΑΛΤΣΙΚΗ , ΑΝΘΟΚΗΠΕΥΤΙΚΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ ΤΟΜΟΣ Α ΑΘΗΝΑ 1997 ΣΕΛΙΔΕΣ 103-105
- ΣΤΥΛΙΑΝΟΣ Σ. ΚΑΡΑΤΑΓΛΗΣ, ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ ΦΥΤΩΝ ΕΚΔΟΣΕΙΣ ART OF TEXT ΤΡΙΤΗ ΕΚΔΟΣΗ 1999
- ERNST HENGLEIN, ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΣΠΑΝΙΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ, ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΕΤΕ ΓΕΝΙΚΗ ΤΕΧΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΣΕΛΙΔΕΣ 15-17
- CIRO CIUFOLINI, ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΨΥΧΑΛΟΥ, ΛΑΧΑΝΟΚΟΜΙΑ ΚΗΠΕΥΤΙΚΗ ΓΕΝΙΚΗ ΚΑΙ ΕΙΔΙΚΗ, ΣΕΛΙΔΕΣ 225-226
-

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Agnieszka Piotrofska, Phytoextracton of Pb, Cr and Cd by Hemp During Sugar Industry Anaerobic Sewage Sludge Treatment, Institute of Food Technology of Plant Origin, Faculty of Food Technology, Agricultural University of Poznan.
- P. DAS, S. SAMANTARAY, G. R. ROUT, 1997. STUDIES ON CADMIUM TOXICITY IN PLANTS: A REVIEW. Enviromental Pollution, Vol. 98 No. 1 pp 29-36
- ROSAS I., CARBAJAL M. E., GOMEZ-ARROYO S., BELMONT R., VILLALOGOS-PIETRINI R., 1984. Cytogenetic effects on cadmium accumulation on water hyacinth (Eichornia crassipes). Environmental Research 33, 386-395.

- SHINANO, T., LEI, T.T., KAWAMUKAI, T., INOUI, M. T., KOIKE, T., and TADANO, T., 1996. Dimethylsulfoxide method for the extraction of chlorophylls *a* and *d* from the leaves of wheat, field bean, dwarf bamboo, and oak. *Photosynthetica*, Vol. 32, No.3 pp. 409-415.
- Kristin Boye, 2002. Phytoextraction of Cu, Pb and Zn – a greenhouse study, Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Soil Sciences

ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ (INTERNET)

- HEAVY METALS <http://www.amap.no/soaer7.htm#heavy%20metals>
- HEAVY METALS <http://www.idec.grtempo/pollution/page2c.htm>
- PHYTOEXTRACTION OF METALS FROM CONTAMINATED <http://www.engg.ksu.edu/HSRC/JHRS/vol2no5.pdf>
- BETALAINS <http://en.wikipedia.org/wiki/Betalain>