

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΧΗΜΕΙΑΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

“ΑΓΡΟΧΗΜΕΙΑ ΚΥΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΚΑΛΩΝΕΡΓΕΙΕΣ”

Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΘΕΙΚΩΝ ΑΝΙΟΝΤΩΝ ΣΤΗ ΣΥΣΧΩΡΕΥΣΗ ΝΙΤΡΙΚΩΝ
ΣΤΟΥΣ ΦΥΤΙΚΟΥΣ ΙΣΤΟΥΣ ΜΑΡΟΥΛΙΟΥ ΤΥΠΟΥ Loose leaf,
ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΟΡΓΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΑΝΟΡΓΑΝΩΝ ΛΙΠΑΣΜΑΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΕΥΣΤΑΘΙΟΣ Π. ΒΑΣΔΕΚΗΣ

ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΣ ΚΑΡΙΠΙΔΗΣ
Αναπληρωτής Καθηγητής
ΤΕΧΝΟΠΕΙΡΟΥ

Ιωάννινα Μάιος 2006



ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η Διπλωματική διατριβή αυτή έγινε στα πλαίσια του προγράμματος μεταπτυχιακών σπουδών με τίτλο «Αγροχημεία και βιολογικές καλλιέργειες» που πραγματοποιήθηκε στο Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων από τα τμήματα Χημείας και Βιολογικών Εφαρμογών και από τα τμήματα Φυτικής Παραγωγής, Ανθοκομίας και Αρχιτεκτονικής Τοπίου καθώς και από το τμήμα Ζωικής Παραγωγής του ΤΕΙ Ηπείρου.

Η επιλογή του θέματος έγινε σε συνεργασία με τον επιβλέποντα Καθηγητή κ. Χαράλαμπο Καριπίδη και με βάση την επιθυμία του γράφοντα να προσεγγίσει ένα χώρο που αφορά άμεσα την υγεία μας και αποτελεί πηγή σημαντικού προβληματισμού, όχι μόνο των ίδιων των καταναλωτών λαχανικών, αλλά και κυβερνήσεων των κρατών μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης και άλλων κρατών και παράλληλα των μεγάλων διεθνών οργανισμών, όπως ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας.

Με την εργασία αυτή πιστεύουμε πως θα βάλουμε και εμείς ένα μικρό λιθαράκι στην όλη προσπάθεια ευαισθητοποίησης της κοινής γνώμης, καθώς τα νιτρικά ανιόντα θεωρούνται από τις πιο επικίνδυνες ουσίες για την υγεία των καταναλωτών.

: Για να γίνει αυτή η μελέτη πάνω στην καλλιέργεια των μαρουλιών εργάστηκαν πολλοί τους οποίους και ευχαριστώ. Ιδιαίτερα θέλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα Καθηγητή κ. Χ. Καριπίδη για την αμέριστη συμπαράστασή του σε αυτή τη δύσκολη προσπάθεια, τον κ. Δ. Σάββα για τις πολύτιμες συμβουλές του και την παράθεση πλήθους βιβλιογραφίας, τους κ. Τ. Αλμπάνη και κ. Θ. Βλεσιδή από το τμήμα Χημείας για τις συμβουλές και τη βοήθειά τους, τον κ. Ν. Μαλισσιόβα γιατί τόσα χρόνια με βοήθησε να αγαπήσω αυτό που κάνω στο εργαστήριο Θρέψης Φυτών - Λιπασματολογίας, το φίλο μου Σ. Ραπακούση που με βοήθησε στην καλλιέργεια των μαρουλιών και τέλος τους Π. Πατσωνάκη και Σ. Στρατάκη που βοήθησαν στις αναλύσεις των φυτικών ιστών.

Ιωάννινα Μάιος 2006

Ευστάθιος Π. Βασδέκης



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η συσσώρευση νιτρικών στους φυτικούς ιστούς διαφόρων φυτών και η κατανάλωσή τους από τον άνθρωπο, με όλα τα σοβαρά επακόλουθα για την υγεία τους, ευαισθητοποίησε τα τελευταία χρόνια την κοινή γνώμη. Έτσι η πίεση του κόσμου για την εξασφάλιση τροφίμων απαλλαγμένων από επικίνδυνες τοξικές ουσίες, οδήγησε την Ευρωπαϊκή Ένωση και τα κράτη μέλη της, σε λήψη μέτρων για τον περιορισμό των νιτρικών σε πολλά φυλλώδη λαχανικά, που παρουσιάζουν αυξημένη τάση συσσώρευσής των στους φυτικούς ιστούς τους.

Είναι γνωστό ότι οι αγρότες της Βόρειας και Κεντρικής Ευρώπης για κλιματολογικούς λόγους, που οφείλονται στις χαμηλές θερμοκρασίες και στον περιορισμένο φωτισμό, που επικρατούν στις χώρες αυτές κυρίως την περίοδο του χειμώνα, χρειάζονται περισσότερες αζωτούχες λιπάνσεις για την παραγωγή μεγάλων μαζών βλάστησης σε πράσινα λαχανικά. Στην Ελλάδα, λόγω του μεσογειακού της κλίματος, το πρόβλημα δεν είναι τόσο έντονο και εντοπίζεται κυρίως κατά τους χειμερινούς μήνες (Δεκέμβριο, Ιανουάριο, Φεβρουάριο) σε περιόδους με μεγάλα διαστήματα νέφωσης.

Το πρόβλημα των νιτρικών στα λαχανικά απασχολεί τους ερευνητές εδώ και πολλά χρόνια, ιδιαίτερα όμως τα τελευταία χρόνια, που οι διαιτολογικές απόψεις συνέτειναν στην αύξηση της κατανάλωσης πράσινων λαχανικών.

Ελπιδοφόρα αποτελέσματα προς την κατεύθυνση της λύσης αυτού του προβλήματος, έχουν δώσει ορισμένα πειράματα βελτίωσης των υφισταμένων ποικιλιών μέσω διασταύρωσης με γονότυπους, που τείνουν να συσσωρεύουν μικρές μόνο ποσότητες νιτρικών, κάτω από οποιεσδήποτε συνθήκες περιβάλλοντος και θρεπτικής κατάστασης του εδάφους (Reinink, 1988).

Σήμερα, τα λαχανικά αποτελούν την κυριότερη πηγή εισροής νιτρικών στον οργανισμό των ενήλικων ανθρώπων. **Εκτιμάται πως περισσότερο από 80% της μέσης ημερήσιας εισροής νιτρικών στον οργανισμό προέρχεται από τα λαχανικά.**

Εκτός από τα λαχανικά ο κίνδυνος από την αυξημένη ποσότητα νιτρικών συνδέεται και με τις τροφές φυτικής προέλευσης, ιδίως σε κράτη και κοινωνίες με χαμηλή μεταποιητική τεχνολογία, λόγω του πρόχειρου και κακού τρόπου μεταποίησης και διατήρησης των προϊόντων, αλλά και λόγω της εύκολης βακτηριακής μόλυνσης, που διευκολύνει τη συσσώρευση νιτρικών. Στη βιβλιογραφία αναφέρονται μεγάλες ζημιές στη δημόσια υγεία, όπου χρησιμοποιήθηκαν γεωργικά προϊόντα που είχαν λιπανθεί, μεταποιηθεί και διατηρηθεί σε πρωτόγονες συνθήκες.



Στην εργασία αυτή μελετήθηκε η επίδραση του είδους της λίπανσης (ανόργανης ή οργανικής) πάνω στη συσσώρευση νιτρικών στα παλιά εξωτερικά φύλλα και στα νεώτερα εσωτερικά φύλλα μιας καλλιέργειας μαρουλιού τύπου Loose leaf (κατσαρό κεφαλωτό), με σταθερή την ποσότητα του διατιθέμενου αζώτου σε όλες τις επεμβάσεις, σε συνδυασμό με τρία επίπεδα θεικής λίπανσης, πάνω στη συσσώρευση νιτρικών στα παλιά εξωτερικά φύλλα και στα νεώτερα εσωτερικά, με τη χρησιμοποίηση λιπασμάτων που επιτρέπονται στη βιολογική γεωργία και περιέχουν θειικά ιόντα, όπως το θειικό καλιομαγνήσιο.

Σκοπός του πειράματος ήταν να μελετηθεί η συμπεριφορά των νιτρικών κατά τη χειμερινή περίοδο σε φυτά δείκτες (μαρούλια), που παρουσιάζουν τάσεις συσσώρευσης νιτρικών στους ιστούς τους, με τη χρήση αυξημένων ποσοτήτων θεικών λιπασμάτων, σε έδαφος θερμοκηπίου που δέχτηκε ανάλογα ανόργανη ή οργανική λίπανση.

Από τη βιβλιογραφία και από ερευνητικές εργασίες είναι γνωστό ότι υπάρχουν πολλές ομοιότητες στη βιοχημεία των ατόμων του θείου (S) και του αζώτου (N). Ακόμη γνωρίζουμε ότι η έλλειψη θείου οδηγεί σε συγκέντρωση νιτρικών στα λαχανικά, επειδή μειώνει τη δραστηριότητα του ενζύμου νιτρική ρεδουκτάση, που είναι υπεύθυνη για την αναγωγή των νιτρικών σε νιτρώδη με τελικό προϊόν τα αμμωνιακά και έχει ως αποτέλεσμα τη συγκέντρωση των νιτρικών στους φυτικούς ιστούς. Επίσης είναι γνωστό ότι η αφομοίωση των θεικών είναι ανάλογη με την αφομοίωση των νιτρικών.

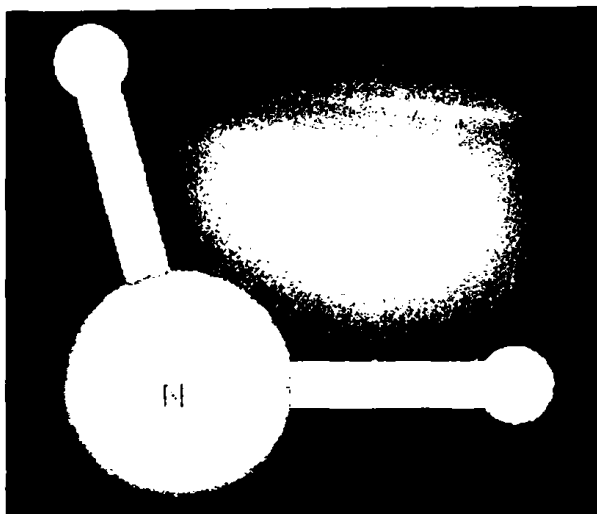
Ο απώτερος λοιπόν στόχος του πειράματος ήταν η μείωση των νιτρικών ιόντων σε φυτά μαρουλιού, με τη χρησιμοποίηση αυξημένων ποσοτήτων θεικών, χωρίς φυσικά να επηρεάζεται η απόδοση της καλλιέργειας. Η βιβλιογραφία καθώς και δημοσιευμένες ερευνητικές εργασίες που αφορούν το θέμα αυτό, δηλαδή την επίδραση των θεικών πάνω στη συσσώρευση νιτρικών στους φυτικούς ιστούς είναι πολύ περιορισμένη.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΓΕΝΙΚΑ

Στοιχείο ΑΖΩΤΟ.



Με το χαρακτηρισμό αυτό, ο LAVOISIER, που το ανακάλυψε ως συστατικό της ατμόσφαιρας, θέλησε να δηλώσει ότι (σε αντίθεση με το οξυγόνο) ο άνθρωπος και τα ζώα δεν έχουν ανάγκη από το άζωτο της ατμόσφαιρας, δηλαδή δεν είναι στοιχείο απαραίτητο για τη ζωή (Α-ΖΩΤΟ).

Η εξέλιξη της επιστήμης όμως αποκάλυψε ακριβώς το αντίθετο για το στοιχείο αυτό. Είναι το τέταρτο πιο συχνά στοιχείο που απαντάται στη φύση μετά το Ο, Η και C. Αποτελεί το 15% του ξηρού βάρους των κυττάρων. Συμμετέχει στα μόρια των αμινοξέων που αποτελούν τα δομικά υλικά των πρωτεϊνών. Και εάν λάβει κανείς υπόψη του ότι οι μύες του σώματος μας, τα εσωτερικά όργανα μας, τα ένζυμα αλλά και ο ίδιος ο γενετικός μας κώδικας είναι πρωτεϊνικής σύστασης, αναμφισβήτητα το ΑΖΩΤΟ είναι το στοιχείο της ζωής. Χωρίς αυτό δεν υπάρχει ζωή.

Προμηθευτής του πολύτιμου αυτού στοιχείου είναι η τροφή μας, κυρίως οι ζωικές τροφές και οι υψηλής βιολογικής αξίας φυτικές τροφές, όπως τα όσπρια, οι ξηροί καρποί, καθώς και τα πράσινα λαχανικά.

Στην ουσία όμως όλα ξεκινούν από αυτό που λέγεται ΦΥΤΟ.

Ο Κύκλος του N

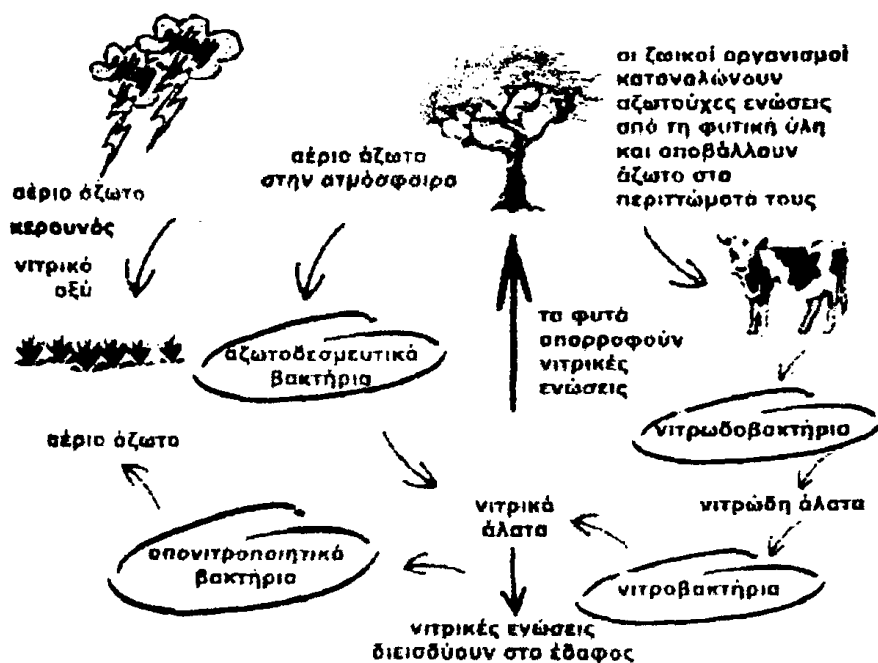
Η τρίτη θεμελιώδης λειτουργία επιπρόσθετα με τη φωτοσύνθεση και την αναπνοή είναι η αζωτοδέσμευση. Η διεργασία αυτή είναι μέρος των αντιδράσεων του κύκλου του αζώτου. Πολλά συστατικά των ζωντανών κυττάρων περιέχουν άζωτο, όπως πρωτεΐνες και τα παράγωγά τους (πεπτόνες, πολυπεπτίδια, αμινοξέα, λεκιθίνη), νουκλεϊνικά οξέα, πουρίνες, πυριμιδίνες, πορφυρίνες (κυτόχρωμα, χλωροφύλλη), αλκαλοειδή, αμίδια,



αμίνες και βιταμίνες (ανευρίνη, ριβοφλαβίνη, πυριδοξίνη, βιοτίνη, παντοθενικό οξύ, νικοτινικό οξύ).

Τα άτομα του N, αυτών των ενώσεων προκύπτουν από τον κύκλο του N, ο οποίος ξεκινά από τα αποθέματα της ατμόσφαιρας. Το άζωτο αφαιρείται από την ατμόσφαιρα με τη διεργασία της αζωτοδέσμευσης και επιστρέφει στην ατμόσφαιρα με την απονιτροποίηση.

Εκτιμάται ότι 25×10^6 τόνοι αζώτου αφαιρούνται ετησίως από τα εδάφη των Η.Π.Α. με τα συγκομιζόμενα προϊόντα και με έκπλυση των εδαφών. Για αποκατάσταση της γονιμότητας, 3×10^6 τόνοι αζώτου προστίθενται ετησίως υπό μορφή λιπασμάτων (κοπριά, ούρα, λιπάσματα).



ΕΙΚΟΝΑ 1: Ο ΚΥΚΛΟΣ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ

Επίσης ένα άλλο ισοδύναμο ποσό προστίθεται με τη βροχόπτωση, με ενυδάτωση των οξειδίων του N που σχηματίζονται στην ατμόσφαιρα με τις ηλεκτρικές εκκενώσεις. Το πιο σημαντικό τμήμα (10^7 τόνοι N) επιστρέφει με βιολογική δέσμευση του N.

Διάφορες ανόργανες και πάρα πολλές οργανικές ενώσεις N μπορεί να θεωρηθούν ως συστατικά του κύκλου του N. Εδώ υπάγονται τα εξής:

- N_2 (αέριο άζωτο- 78% του αέρα που αναπνέουμε)
- NH_3 (αμμωνία)
- NH_4^+ (αμμωνιακό κατιόν)
- NO_3^- (νιτρικό ανιόν)
- NO_2^- (νιτρώδες ανιόν)



➤ NH_2OH (Υδροξυλαμίνη)

➤ Οργανικό άζωτο (πρωτεΐνες, αμινοξέα, αλκαλοειδή κ.α)

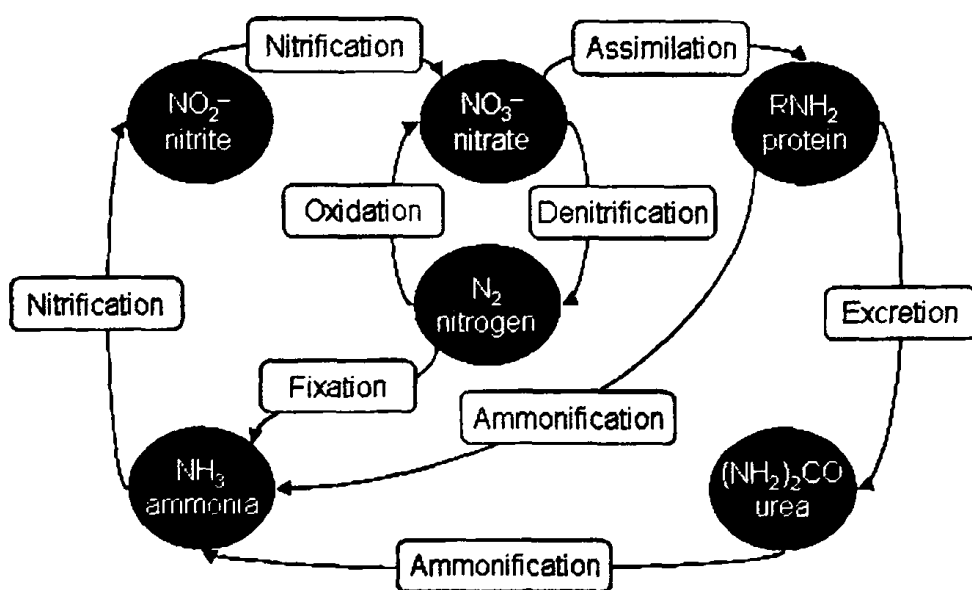
Από αυτά προκύπτει ότι το άτομο του N μπορεί να έχει διάφορους αριθμούς οξείδωσης όπως:

NO_3	NO_2	N_2O_2	N_2	NH_2OH	NH_3
+5	+3	+1	0	-1	-3

Έτσι το άζωτο στη φύση μπορεί να απαντάται, είτε σε πολύ οξειδωμένη μορφή (NO_3), είτε σε μορφή που βρίσκεται σε κατάσταση αναγωγής (NH_3).

Το N είναι θεμελιώδες συστατικό των πρωτεϊνών και είναι τόσο για τα φυτά, όσο και για τον άνθρωπο ο πιο κοινός περιοριστικός παράγοντας της αύξησης των. Το N αν και απαρτίζει περίπου το 78% του ατμοσφαιρικού αέρα, είναι θρεπτικό στοιχείο, που συνήθως βρίσκεται σε ανεπαρκή εφοδιασμό στο έδαφος για τις καλλιέργειες. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι η μορφή του αέριου αζώτου (N_2) στην ατμόσφαιρα είναι αδρανής και μη χρήσιμη για την πλειονότητα των έμβιων όντων. Το αέριο N μπορεί να χρησιμοποιηθεί από οργανισμούς μόνο αφού έχει δεσμευτεί ή ενωθεί με άλλα στοιχεία, όπως O_2 ή H_2 .

Σήμερα η δέσμευση του αζώτου για την παραγωγή λιπασμάτων, πραγματοποιείται στις βιομηχανίες, με σύνθεση της αμμωνίας από H_2 και ατμοσφαιρικό N_2 και χρησιμοποίηση μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας ($930 \text{ kJ} \times \text{mol}^{-1}$), για να σπάσει ο πολύ ισχυρός δεσμός των δύο ατόμων αζώτου ($\text{N} \equiv \text{N}$).



ΕΙΚΟΝΑ 2: ΚΥΚΛΟΣ ΑΖΩΤΟΥ

Στη φύση η αζωτοδέσμευση γίνεται από μερικά γένη βακτηρίων (*Cyanobacterium*, *Rhizobium* κ.α.). Τα ανώτερα φυτά δεν ανέπτυξαν την



➤ NH_2OH (Υδροξυλαμίνη)

➤ Οργανικό άζωτο (πρωτεΐνες, αμινοξέα, αλκαλοειδή κ.α)

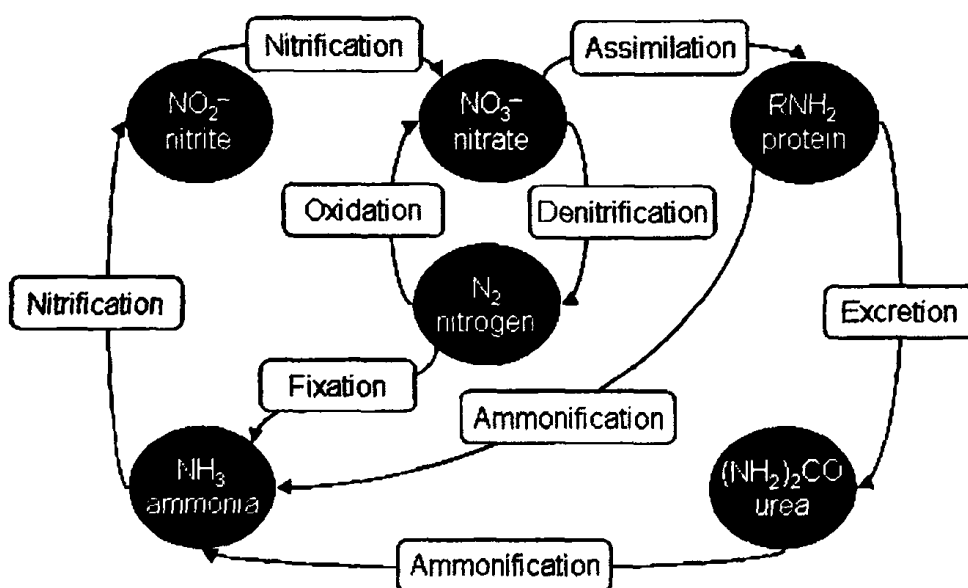
Από αυτά προκύπτει ότι το άτομο του N μπορεί να έχει διάφορους αριθμούς οξειδωσης όπως:

NO_3	NO_2	N_2O_2	N_2	NH_2OH	NH_3
+5	+3	+1	0	-1	-3

Έτσι το άζωτο στη φύση μπορεί να απαντάται, είτε σε πολύ οξειδωμένη μορφή (NO_3), είτε σε μορφή που βρίσκεται σε κατάσταση αναγωγής (NH_3).

Το N είναι θεμελιώδες συστατικό των πρωτεϊνών και είναι τόσο για τα φυτά, όσο και για τον άνθρωπο ο πιο κοινός περιοριστικός παράγοντας της αύξησης των. Το N αν και απαρτίζει περίπου το 78% του ατμοσφαιρικού αέρα, είναι θρεπτικό στοιχείο, που συνήθως βρίσκεται σε ανεπαρκή εφοδιασμό στο έδαφος για τις καλλιέργειες. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι η μορφή του αέριου αζώτου (N_2) στην ατμόσφαιρα είναι αδρανής και μη χρήσιμη για την πλειονότητα των έμβιων όντων. Το αέριο N μπορεί να χρησιμοποιηθεί από οργανισμούς μόνο αφού έχει δεσμευτεί ή ενωθεί με άλλα στοιχεία, όπως O_2 ή H_2 .

Σήμερα η δέσμευση του αζώτου για την παραγωγή λιπασμάτων, πραγματοποιείται στις βιομηχανίες, με σύνθεση της αμμωνίας από H_2 και ατμοσφαιρικό N_2 και χρησιμοποίηση μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας ($930 \text{ kJ} \times \text{mol}^{-1}$), για να σπάσει ο πολύ ισχυρός δεσμός των δύο ατόμων αζώτου ($\text{N} \equiv \text{N}$).



ΕΙΚΟΝΑ 2: ΚΥΚΛΟΣ ΑΖΩΤΟΥ

Στη φύση η αζωτοδέσμευση γίνεται από μερικά γένη βακτηρίων (*Cyanobacterium*, *Rhizobium* κ.α.). Τα ανώτερα φυτά δεν ανέπτυξαν την



τι μερικά συμμετέχουν έμμεσα, με άνωστή περίπτωση είναι αυτή των άνω Rhizobium. Άλλα βακτήρια ζουν ελεύθερα στο έδαφος ή στο έλμα χρειάζονται οξυγόνο ενώ άλλα ένωτέρω οργανισμοί δίνουν ως αρχικό ζύμο τη νιτρογενάση.

οξείδραματικά τα τελευταία χρόνια ζατά συνέπεια η αζωτοδέσμευση τείνει ζωτούχου λίπανσης.



ικανότητα για αζωτοδέσμευση, αν και μερικά συμμετέχουν έμμεσα, με συμβίωση με τα βακτήρια. Η πιο γνωστή περίπτωση είναι αυτή των ψυχανθών με τα βακτήρια του γένους *Rhizobium*. Άλλα βακτήρια συμβιώνουν με άλλους ξενιστές και άλλα ζουν ελεύθερα στο έδαφος ή στο νερό. Μερικά είναι φωτοσυνθετικά, άλλα χρειάζονται οξυγόνο ενώ άλλα ζουν σε αναερόβιες συνθήκες. Όλοι οι ανωτέρω οργανισμοί δίνουν ως αρχικό προϊόν αμμωνία και έχουν ως κοινό ένζυμο τη νιτρογενάση.

Η τιμή των λιπασμάτων έχει αυξηθεί δραματικά τα τελευταία χρόνια επηρεάζοντας σημαντικά το κόστος. Κατά συνέπεια η αζωτοδέσμευση τείνει να μειώσει σημαντικά το κόστος της αζωτούχου λίπανσης.

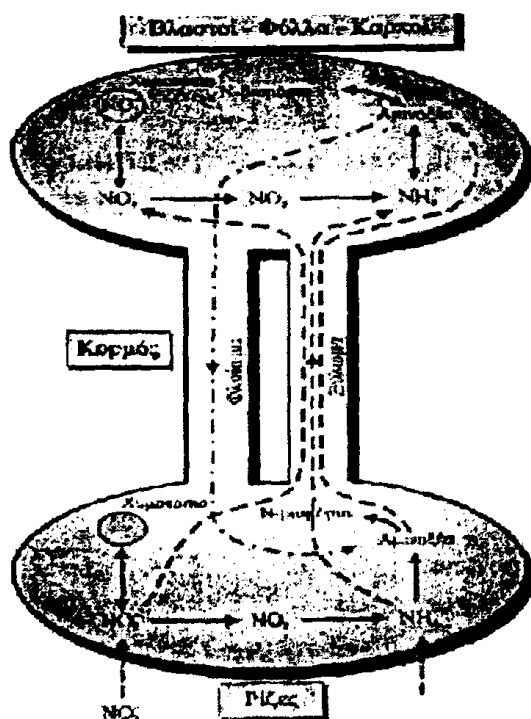


ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΝΙΤΡΙΚΑ ΙΟΝΤΑ

Χρησιμοποίηση των νιτρικών ιόντων από τα φυτά

Η συγκέντρωση των νιτρικών στους φυτικούς ιστούς αποτελεί ένα φυσιολογικό φαινόμενο, που συνδέεται άμεσα με το μεταβολισμό του αζώτου στα φυτά. Τα φυτά μπορούν να απορροφήσουν το άζωτο είτε υπό μορφή νιτρικών (NO_3^-), είτε υπό μορφή αμμωνιακών (NH_4^+) ιόντων και στη συνέχεια το ανάγουν και το ενσωματώνουν στα διάφορα όργανά τους. Ενώ όμως, η αμμωνιακή μορφή αζώτου δεν είναι συγκεντρώσιμη, γιατί είναι τοξική για τα φυτά, η νιτρική μορφή συγκεντρώνεται στα μιτοχόνδρια των κυττάρων και χρησιμοποιείται από τα φυτά για να αντισταθμίσει τα θετικά φορτία των ιόντων καλίου, μαγνησίου, ασβεστίου, νατρίου, κ.λπ. και όχι μόνο, αλλά επιπλέον έχει και ωσμωρυθμιστική δράση για την αποκατάσταση τυχόν ελλείψεων των οργανικών συντελεστών στα μιτοχόνδρια.



ΕΙΚΟΝΑ 3: ΧΡΗΣΗ ΝΙΤΡΙΚΩΝ ΚΑΙ ΑΜΜΩΝΙΑΚΩΝ ΙΟΝΤΩΝ ΑΠΟ ΤΑ ΦΥΤΑ

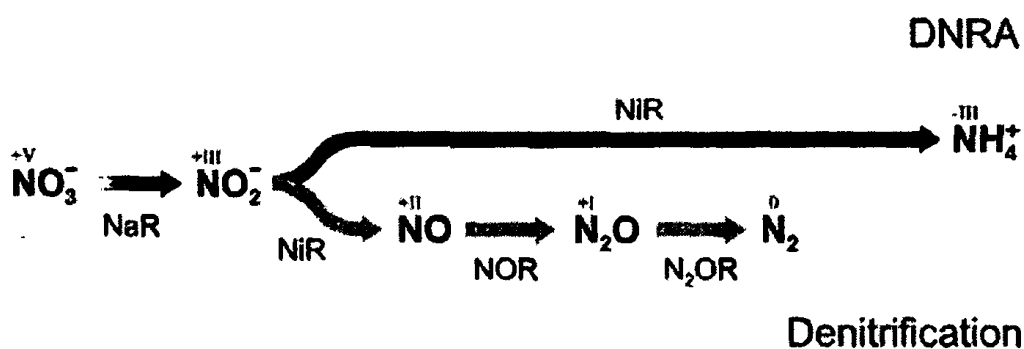
Τα ιόντα NH_4^+ μόλις απορροφηθούν χρησιμοποιούνται στη σύνθεση των αμινοξέων και άλλων αζωτούχων ενώσεων (πουρίνες, πυριμιδίνες, ορισμένα συνένζυμα κ.α.).

Τα νιτρικά ιόντα (NO_3^-), αντίθετα, όταν απορροφηθούν από το φυτό θα πρέπει να οργανοποιηθούν μέσω αναγωγής. Αυτό πραγματοποιείται μέσω του ενζύμου ρεδουκτάση των νιτρικών (NR) που συντίθεται και



ενεργοποιείται από την παρουσία του υποστρώματος του, δηλαδή των νιτρικών ιόντων.

Σε αντίθεση με τα αμμωνιακά ιόντα, **το ποσοστό των νιτρικών που δεν ανάγεται από τα ένζυμα μπορεί να συγκεντρωθεί στα κύτταρα**, χωρίς να βλάψει το φυτό, αλλά παράλληλα αποτελεί και σημαντική πηγή αποθησαυρισμένων θρεπτικών ουσιών. Μάλιστα, το ποσοστό του νιτρικού αζώτου στους ιστούς, στα πρώτα στάδια ανάπτυξης των φυτών (διαπιστώνεται μέσω φυλλοδιαγνωστικής), αποτελεί σημαντικό δείκτη της υγιεινής κατάστασης της καλλιέργειας και συνδέεται άμεσα με το τελικό παραγωγικό αποτέλεσμα.



ΕΙΚΟΝΑ 4: ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ ΤΩΝ ΝΙΤΡΙΚΩΝ ΙΟΝΤΩΝ ΣΕ ΑΜΜΩΝΙΑΚΑ

Το χαμηλό ποσοστό συγκέντρωσης των νιτρικών μέσα στο φυτό εκδηλώνεται με τα τυπικά συμπτώματα της έλλειψης αζώτου, ενώ η περίσσεια των αμμωνιακών ιόντων εκδηλώνεται με τα ίδια συμπτώματα της έλλειψης καλίου, γιατί υπάρχει υψηλός ανταγωνισμός μεταξύ των δύο αυτών στοιχείων. Ωστόσο, μόνο στις περιπτώσεις όπου η μοναδική πηγή αζώτου είναι η αμμωνιακή, μπορούν να εκδηλωθούν ζημιές στους ιστούς των φυτών.

Από όσα αναφέραμε παραπάνω, προκύπτει ότι **τα νιτρικά αποτελούν διεργασία φυσικής σύνθεσης στα φυτά**, η συσσώρευση των οποίων στους φυτικούς ιστούς επηρεάζεται από όλους τους παράγοντες που εμπλέκονται στην αφομοίωση του αζώτου. Δυστυχώς, η παρουσία των νιτρικών στα βρώσιμα τμήματα των φυτών μπορεί να δημιουργήσει σοβαρά προβλήματα στους καταναλωτές, από τη στιγμή που τα νιτρικά, όταν φαγωθούν, μπορούν να αναχθούν σε νιτρώδη, τα οποία με τη σειρά τους, μπορούν να ενωθούν με τις ελεύθερες αμίνες και να σχηματίσουν νιτροζαμίνες, ενώσεις εξαιρετικά καρκινογόνες. Το πέρασμα από τα νιτρικά σε νιτρώδη μπορεί να συμβεί και μέσω ενζυματικής μορφής.

Συστήματα πρόσληψης νιτρικών

Το σύστημα πρόσληψης των νιτρικών ιόντων στα φυτά είναι ενεργό, πολυφασικό και ρυθμιζόμενο από ενδογενείς και εξωγενείς παράγοντες. Οι πρωτεΐνες-μεταφορείς νιτρικών ιόντων διακρίνονται σε:

- Πρωτεΐνες με υψηλή συγγένεια, υπεύθυνες για την πρόσληψη



νιτρικών ιόντων από χαμηλές συγκεντρώσεις (μικρότερες του 1 mM). Η πρόσληψη ακολουθεί κινητική Michaelis-Menten, έχουν K_m ¹ 300 μ M και ορισμένες επάγονται από την υψηλή συγκέντρωση νιτρικών. Αυτή η ρύθμιση φαίνεται να συμβαίνει στο μεταγραφικό επίπεδο, αφού απαιτείται σύνθεση RNA και πρωτεΐνης.

• **Πρωτεΐνες με χαμηλή συγγένεια**, υπεύθυνες για την πρόσληψη νιτρικών ιόντων από υψηλές συγκεντρώσεις (~1 mM). Είναι επίσης ηλεκτρογενείς και συνοδεύονται από συμμεταφορά κατιόντων. Ωστόσο, η ταχύτητα πρόσληψης έχει γραμμική σχέση με τη συγκέντρωση του υποστρώματος, με K_m ίσο ή μεγαλύτερο του 0,5 mM. Τα γονίδια τους εκφράζονται συνεχώς.

Και τα δύο συστήματα ελέγχονται με ανάδρομη παρεμπόδιση (feedback inhibition) από υψηλή ενδογενή συγκέντρωση νιτρικών στα ριζικά κύτταρα και, ενδεχομένως, από άλλα μεταβολικά παράγωγα της αναγωγής των νιτρικών (νιτρώδη, αμμωνία ή γλουταμίνη).

Μέχρι τώρα έχει κλωνοποιηθεί πρωτεΐνη-μεταφορέας μεγάλης συγγένειας για τα νιτρικά από μύκητες και φύκη, όπως το γονίδιο *crna* του *Aspergillus*. Το μετάλλαγμα *crna* έχει 2-4 φορές μειωμένη ικανότητα πρόσληψης νιτρικών, αλλά τα μικύλια επιβιώνουν σε μέσο με νιτρικά. Το *crna* ανήκει σε μια οικογένεια, που περιλαμβάνει και τα γονίδια *niad* και *niia*, που κωδικοποιούν τη νιτρική και νιτρώδη αναγωγή, αντίστοιχα. Το *crna* κωδικοποιεί μια μεμβρανική πρωτεΐνη με 10-12 διαμεμβρανικά τμήματα. Στη *Chlamydomonas* έχουν ταυτοποιηθεί δύο σχετικά γονίδια, τα *nar-3* και *nar-4*. Οι πρωτεΐνες NAR-3 και NAR-4 έχουν 80% ομολογία στο C-αμινοτελικό άκρο, ενώ έχουν την ίδια αλληλουχία κατά 27% και 31%, αντίστοιχα, με τη πρωτεΐνη CRNA του *Aspergillus*.

Πρόσφατα (2002), απομονώθηκε από το κριθάρι ένας κλώνος cDNA, ο *pbch*, που κωδικοποιεί μια πρωτεΐνη 55 kD με 12 διαμεμβρανικές περιοχές και έχει 32% και 50% ομολογία με τις πρωτεΐνες CRNA και NAR-3, αντίστοιχα. Αντίγραφο του γονιδίου συσσωρεύονται στα ριζικά κύτταρα παρουσία νιτρικών ιόντων. Την πενταετία (2000-2004) έχουν χαρακτηριστεί από φυτικά είδη δύο γονιδιακές οικογένειες, οι *nrt1* και *nrt2*, που κωδικοποιούν πρωτεΐνες-μεταφορείς νιτρικών ιόντων στα φυτά. Οι NRT2 είναι πρωτεΐνες-μεταφορείς υψηλής συγγένειας. Οι NRT1 είναι πρωτεΐνες-μεταφορείς με διττή συγγένεια (χαμηλό και υψηλό K_m και λέγονται αντίστοιχα HATS και LATS (high και low affinity transport systems). Οι NRT2 επάγονται από τα νιτρικά και τους υδατάνθρακες ενώ καταστέλλονται από την αμμωνία και τα αμινοξέα. Η ρύθμιση των πρωτεϊνών NRT2 γίνεται μεταμεταγραφικά, με φωσφορυλιώσεις-αποφωσφορυλιώσεις που παρεμποδίζονται από την αμμωνία και τη γλουταμίνη.

Σε ό,τι αφορά τις πρωτεΐνες-μεταφορείς χαμηλής συγγένειας, έχει

¹ Το K_m είναι η σταθερά Michaelis-Menten και υποδηλώνει τη συγγένεια της πρωτεΐνης με το υπόστρωμα, στην προκειμένη περίπτωση με τα νιτρικά ιόντα.

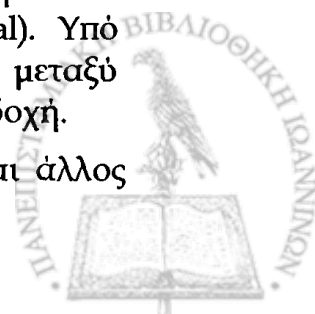


απομονωθεί το γονίδιο *chl1*(= *ηtr1*) από την *Arabidopsis*, που κωδικοποιεί μια πρωτεΐνη-μεταφορέα νιτρικών χαμηλής συγγένειας. Το *chl1* κωδικοποιεί ένα πεπτιδίο 590 αμινοξέων με MW 65 kD. Δεν έχει σημαντική ομολογία με άλλες πρωτεΐνες-μεταφορείς νιτρικών που έχουν κλωνοποιηθεί. Το γονίδιο εκφράζεται κυρίως στις ρίζες, αυξάνεται με προσθήκη νιτρικών εντός 30 min και φθάνει στη μέγιστη τιμή σε 2 ώρες. Επίσης, αυξάνεται με μείωση του εξωτερικού pH, παρουσία και απουσία νιτρικών. Γονιδιακή ανάλυση έχει δείξει ότι στην *Arabidopsis* υπάρχουν και άλλα ομόλογα γονίδια. Το γονίδιο είναι μέλος μιας οικογένειας τουλάχιστον πέντε γονιδίων. Ένα από αυτά κωδικοποιεί μια πρωτεΐνη-μεταφορέα πεπτιδίου. Πρωτεΐνες όπως οι **CHL1** στα ζώα είναι μεταφορείς πεπτιδίων, ιδιαίτερα στο έντερο.

Η απαιτούμενη ενέργεια για την πρόσληψη νιτρικών ιόντων από το έδαφος, όπου η συγκέντρωσή τους κυμαίνεται από 10 μ M έως 100 mM, προέρχεται από διαβαθμισμένη συγκέντρωση κατιόντων κατά μήκος της κυτταρικής μεμβράνης, με τη βοήθεια της H^+ -ATPάσης. Η πρόσληψη των νιτρικών ανιόντων από τα κύτταρα των ριζών γίνεται κατά μήκος τιμών ηλεκτρικού δυναμικού μεταξύ -100 και -250 mV (αρνητικό φορτίο στο εσωτερικό του κυττάρου). Αν θεωρηθούν ως εξωτερική συγκέντρωση νιτρικών ιόντων τα 2 mM και ηλεκτρικό δυναμικό τα -110 mV, τότε η αναμενόμενη κυτταροπλασματική συγκέντρωση νιτρικών ιόντων θα ήταν 28 nM, σύμφωνα με την εξίσωση Nest. Όμως, οι κυτταροπλασματικές συγκεντρώσεις νιτρικών που έχουν προσδιορισθεί σε ριζικά κύτταρα βρώμης κυμάνθηκαν από 1 έως 5 mM, δηλαδή 35 έως 175 φορές μεγαλύτερες από τις αναμενόμενες. Επομένως, η πρόσληψη νιτρικών γίνεται όχι με βάση τα ωσμωτικά φαινόμενα, αλλά με δαπάνη ενέργειας, με ηλεκτρογενή συμμεταφορά πρωτονίων. Κατά την πρόσληψη των νιτρικών γίνεται μια βραχεία (1-2 min) αποπόλωση της πλασματικής μεμβράνης, που λαμβάνει χώρα έως και 60 mV περισσότερο θετική στο εσωτερικό του κυττάρου. Η χρήση παρεμποδιστών της H^+ -ATPάσης της πλασματικής μεμβράνης ή η αλκαλίωση του εξωτερικού διαλύματος, παρεμποδίζει την πρόσληψη. Οξύνιση του προκαλεί αύξηση της πρόσληψης χλωριόντων, τα οποία είναι ανάλογα των νιτρικών, από κυστίδια πλασματικής μεμβράνης που έχουν γεμίσει προηγουμένως με χλωριόντα. Αν η πρόσληψη ενός νιτρικού ανιόντος συνοδευόταν από συμμεταφορά ενός μόνο κατιόντος δεν θα παρατηρούσαν αποπόλωση της μεμβράνης. Επομένως, η πρόσληψη συνοδεύεται από συμμεταφορά δύο κατιόντων. Η επαναφορά του δυναμικού ισως γίνεται από την ενεργοποίηση της H^+ -ATPάσης.

Γενικά, η πρόσληψη νιτρικών από τις ρίζες είναι μικρότερη από τη μέγιστη ικανότητα πρόσληψής τους (uptake capacity). Αυτό ενισχύει την άποψη ότι η πρόσληψη βρίσκεται κάτω από αρνητικό έλεγχο, δηλαδή ότι περιορίζεται από κάποιο σήμα επάρκειας (safety signal), παρά ότι ενεργοποιείται από κάποιο θετικό σήμα έλλειψης (demand signal). Υπό συνθήκες ισορροπίας (steady-state conditions), η ανακύκλωση αμινο-N μεταξύ υπέργειου και υπόγειου φυτικού τμήματος υποστηρίζει την πρώτη εκδοχή.

Ο ενδοκυτταρικός έλεγχος του pH από οργανικά οξέα είναι άλλος



ένας πιθανός μηχανισμός ρύθμισης της πρόσληψης νιτρικών. Κατά την αναγωγή των νιτρικών ελευθερώνονται αλκαλικά ιόντα (1 mol ισοδύναμο υδροξυλίου για κάθε mol ανηγμένων νιτρικών). Για την ομοιοστασία του κυττάρου συντίθενται οργανικά οξέα, κυρίως οξαλοξικό από φωσφοενολοπυροσταφυλικό και HCO_3^- , με τη δράση της καρβοξυλάσης του φωσφοενολοπυροσταφυλικού οξέος (PEP carboxylase) στα φύλλα. Ο αριθμός όμως των αρνητικών φορτίων που ελευθερώνονται κατά την αναγωγή των νιτρικών, είναι 3 φορές μεγαλύτερος από τα συσσωρευμένα καρβοξύλια, επειδή τα τελευταία μεταφέρονται ως μηλικό κάλιο στις ρίζες, όπου αποκαρβοξυλιώνονται. Το NHC_3^- εξέρχεται από τη ρίζα και το μηλικό κάλιο συνοδεύει στο ξύλωμα ένα νέο ανιόν νιτρικών, που μεταφέρεται στα φύλλα. Έτσι, η ταχύτητα μεταφοράς του μηλικού καλίου εξαρτάται από την ταχύτητα αναγωγής των νιτρικών στα φύλλα και αντανακλά το επίπεδο μεταβολισμού του N. Επομένως, ίσως το μηλικό κάλιο να είναι υπεύθυνο για τον συντονισμό πρόσληψης και αναγωγής νιτρικών. Η προσθήκη μηλικού οξέος στο διάλυμα θρέψης προκαλεί αύξηση της ταχύτητας πρόσληψης.

Στα ανώτερα φυτά, η πρόσληψη νιτρικών ρυθμίζεται, εκτός από τους ενδογενείς παράγοντες που προαναφέρθηκαν, και από περιβαλλοντικούς παράγοντες, όπως είναι η φωτεινή ένταση, η θερμοκρασία και οι συνθήκες καταπόνησης (υδατικής, θερμοκρασιακής, αλατότητας κ.ά.), καθώς και από ενδογενείς παράγοντες, όπως η διαθεσιμότητα υδατανθράκων.

Σύστημα πρόσληψης ιόντων αμμωνίας

Τα αμμωνιακά ιόντα είναι η δεύτερη, μετά τα νιτρικά, σημαντική πηγή азώτου για τα φυτά. Η σημασία τους είναι μεγαλύτερη στα όξινα εδάφη, όπου η ταχύτητα νιτροποίησης και επομένως η διαθεσιμότητα νιτρικών ιόντων είναι μικρή. Η πρόσληψη των αμμωνιακών ιόντων έχει χαρακτηριστεί ως πολυφασική, σε διάφορα φυτικά είδη, υποδηλώνοντας τη συμμετοχή πολλών συστημάτων μεταφοράς. Οι τιμές της σταθεράς Michaelis-Menten, K_m , είναι $10\text{-}70 \mu\text{M}$.

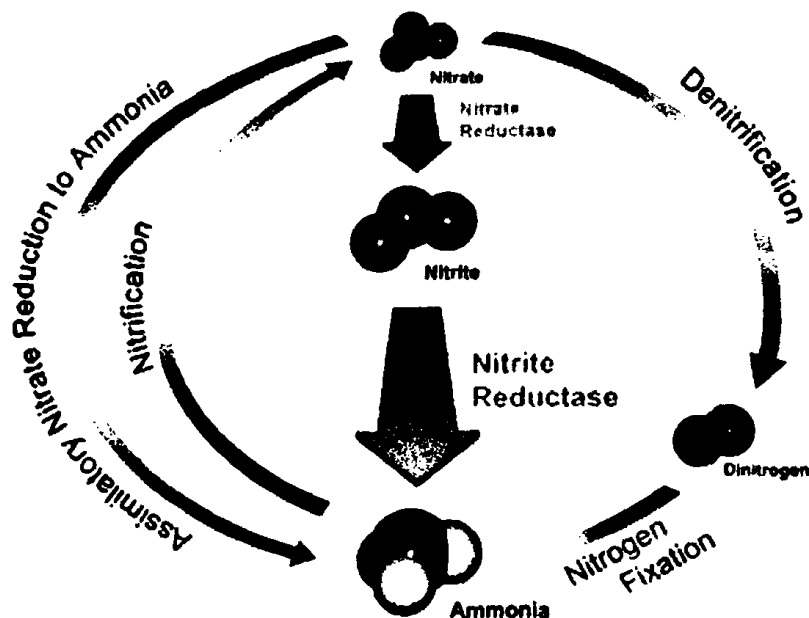
Η πρόσληψη των αμμωνιακών ιόντων γίνεται με τη μεσολάβηση μιας μεμβρανικής πρωτεΐνης-μεταφορέα περίπου 500 αμινοξέων, υδρόφοβης, με διαμεμβρανικές περιοχές. Η ενέργεια που απαιτείται προέρχεται από την κινητήρια δύναμη πρωτονίων (proton motive force).

Τελευταία έχουν χαρακτηριστεί τα γονίδια που κωδικοποιούν τους μεταφορείς της αμμωνίας. Το γονίδιο *amt1* (ammonia transporten), από την *Arabidopsis* και την τομάτα, είναι ομόλογο του μεταφορέα αμμωνίας του σακχαρομύκητα.

Αναγωγή νιτρικών ιόντων

Προκειμένου τα φυτά να χρησιμοποιήσουν το ανόργανο άζωτο για να





ΠΗΓΗ: www.img.bio.uni-goettingen.de/ms-www/images/S

ΕΙΚΟΝΑ 5: ΑΝΑΓΩΓΗ NO_3^- σε NH_4^+

συνθέσουν αμινοξέα πρέπει να το έχουν διαθέσιμο υπό τη μορφή αμμωνιακών ιόντων. Επομένως, όταν τα φυτά προσλαμβάνουν από το έδαφος το άζωτο ως αμμωνία, αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί αμέσως χωρίς καμιά μετατροπή. Μάλιστα, επειδή είναι τοξική, αποθηκεύεται σε πολύ μικρές ποσότητες, σε αντίθεση με τα νιτρικά ιόντα, που ναι μεν μπορούν να αποθηκευτούν στα χυμοτόπια σε μεγαλύτερες ποσότητες, όμως προκειμένου να χρησιμοποιηθούν πρέπει πρώτα να αναχθούν σε αμμωνιακά ιόντα από το φυτό.

Μετά την πρόσληψη των νιτρικών από τις ρίζες, ένα μέρος τους μεταφέρεται στο κυτταρόπλασμα ή στα χυμοτόπια των κυττάρων των ριζών για άμεση χρήση ή για αποθήκευση, ένα άλλο μέρος τους επανεξέρχεται (efflux) και ένα τρίτο μέρος τους μεταφέρεται μέσω των αγγείων του ξύλου στα υπέργεια μέρη του φυτού για αποθήκευση ή άμεση χρήση.

Με τα νιτρικά (NO_3^-), ως την κυρίαρχουσα μορφή αζώτου στο έδαφος, τα φυτά και οι μικροοργανισμοί ανέπτυξαν μια ικανότητα να χρησιμοποιούν το ανιόν (NO_3^-), ως κύρια πηγή N, που απαιτείται για την αύξηση και ανάπτυξη τους. Έτσι τα ανώτερα φυτά και οι μικροοργανισμοί που χρησιμοποιούν NO_3^- πρέπει πρώτα να το ανάγουν σε NH_4^+ . Η αναγωγή των NO_3^- σε NH_4^+ αντιστοιχεί στη μεταβολή του (+5) θετικού σθένους του N στα νιτρικά σε (-3) του αρνητικού σθένους των αμμωνιακών, ήτοι κατά 8 σθένη και άρα την προσθήκη 8 e^- στο νιτρικό N. Η αναγωγή αυτή απαιτεί ενέργεια 100 kcal/mol περίπου. Επειδή η αναγωγή αυτή είναι ισχυρά ενεργοδυναμική αντίδραση και τέτοιες αντιδράσεις δεν μπορούν να γίνουν στους ζώντες



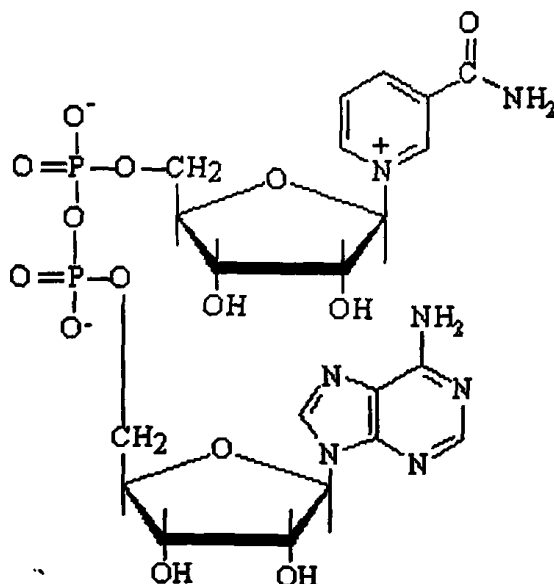
οργανισμούς μόνο με μία αντίδραση και επειδή τα ένζυμα που τις καταλύουν είναι φορείς ενός ή δύο ηλεκτρονίων, στην πράξη έχουμε πολλές αντιδράσεις οι οποίες γίνονται για να φτάσουμε στο τελικό αποτέλεσμα.

Η άμεση χρήση των νιτρικών στα κύτταρα της ρίζας ή στα κύτταρα των υπέργειων οργάνων, περιλαμβάνει ως πρώτο βήμα την αναγωγή τους. Αυτή η διαδικασία αποτελείται από τουλάχιστον δύο αντιδράσεις: την αναγωγή των νιτρικών σε νιτρώδη και των νιτρωδών σε αμμωνιακά, όπου τα NADH^2 (νικοτιναμιδ-αδενιν-δινουκλεοτίδιου) ή NADPH δρουν ως αναγωγικά μόρια.

Η αναγωγή των νιτρικών σε νιτρώδη γίνεται στο κυτταρόπλασμα με τη βοήθεια της νιτρικής αναγωγάσης (nitrate reductase, NR). Υπάρχουν 3 ισοένζυμα NR, που διαφέρουν ως προς το αναγωγικό μέσο που χρησιμοποιούν. Το πλέον σύνηθες είναι το NADH-NR , το δεύτερο είναι το NAD(P)H (Νικοτιναμιδο-αδενινο-φωσφορικο-δινουκλεοτίδιο), που χρησιμοποιεί NADH ή

² NADH

Νικοτιναμιδ-αδενιν-δινουκλεοτίδιου (NAD^+)



NADPH³ και το τρίτο είναι το NADPH-NR, που έχει βρεθεί



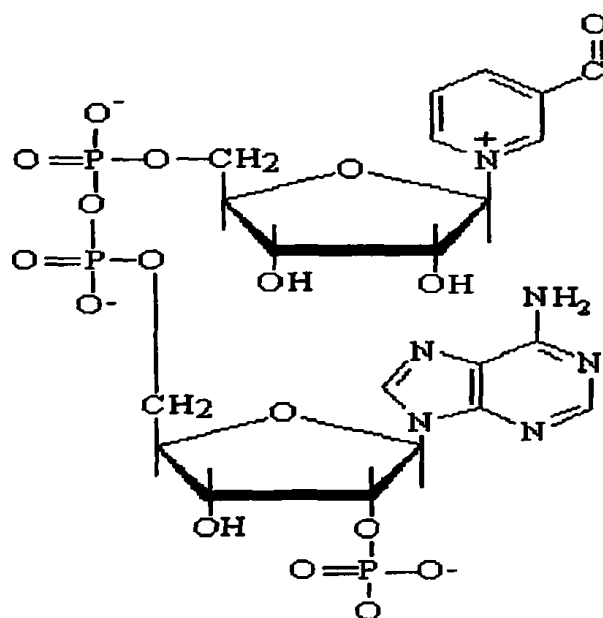
ΕΙΚΟΝΑ 6: ΠΡΩΤΕΪΝΗ ΡΕΔΟΥΚΤΑΣΗ ΤΩΝ ΝΙΤΡΙΚΩΝ (NR)

Πηγή: : www.siu.edu/departments/biochem/chime

και φύκη. Το ένζυμο βρίσκεται κυρίως στο κυτταρόπλασμα

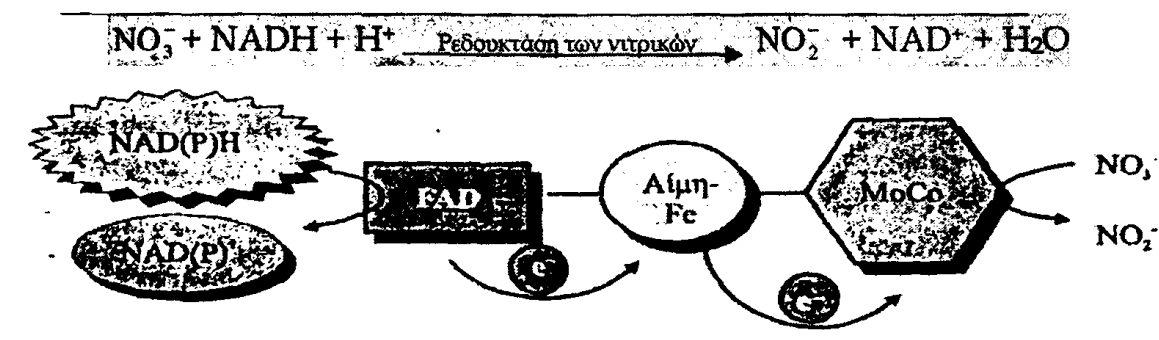
³ NADP⁺

Νικοτιναμίδο-
αδενινο-
φωσφορικο-
δινουκλεοτίδιο
(NADP⁺)



επιδερμίδας και του φλοιού των ριζών, καθώς και στα κύτταρα του μεσόφυλλου στα φύλλα.

Το ένζυμο αυτό είναι ένα σύνθετο μεταλλοένζυμο, που σχηματίζει ομοδιμερή ή ομοτετραμερή μιας υπομονάδας 100-200 kD. Έχει περιοχές πρόσδεσης με το NAD(P)H και τα νιτρικά. Μεταφέρει δύο ηλεκτρόνια στο νιτρικό ιόν από NAD(P)H, με τη βοήθεια τριών αναγωγικών κέντρων που αποτελούνται από δύο προσθετικές ομάδες, φλαβινο-αδενινω-δινουκλεοτίδιο (flavin adenine dinucleotide, FAD) και αίμη⁴, και έναν συμπαραγοντα MoCo. Το N-άκρο της NR ενώνεται με το μεσαίο με την αίμη και το C-άκρο με το FAD.



ΕΙΚΟΝΑ 7: ΑΝΤΙΔΡΑΣΗ ΠΟΥ ΚΑΤΑΛΥΕΤΑΙ ΑΠΟ ΤΗ ΝΙΤΡΙΚΗ ΑΝΑΓΩΓΑΣΗ

Η NR κωδικοποιείται από το γονίδιο *nia*. Το γονίδιο αυτό και οι cDNA κλώνοι του έχουν κλωνοποιηθεί σε αρκετά φυτικά είδη. Σύγκριση των αλληλουχιών δείχνει μεγάλη ομολογία τόσο μεταξύ των φυτών, μυκήτων και φυκών όσο και μεταξύ των ισοενζύμων, γεγονός που υποδεικνύει όμοια τεταρτογενή δομή και καταλυτική δράση για όλες τις ευκαρυωτικές NR.

Αναγωγή νιτρικών ιόντων σε νιτρώδη

Στο πρώτο στάδιο της αναγωγής των NO_3^- σε NH_4^+ πραγματοποιείται η αναγωγή τους σε NO_2^- και η αντίδραση γίνεται σύμφωνα με την εξίσωση:



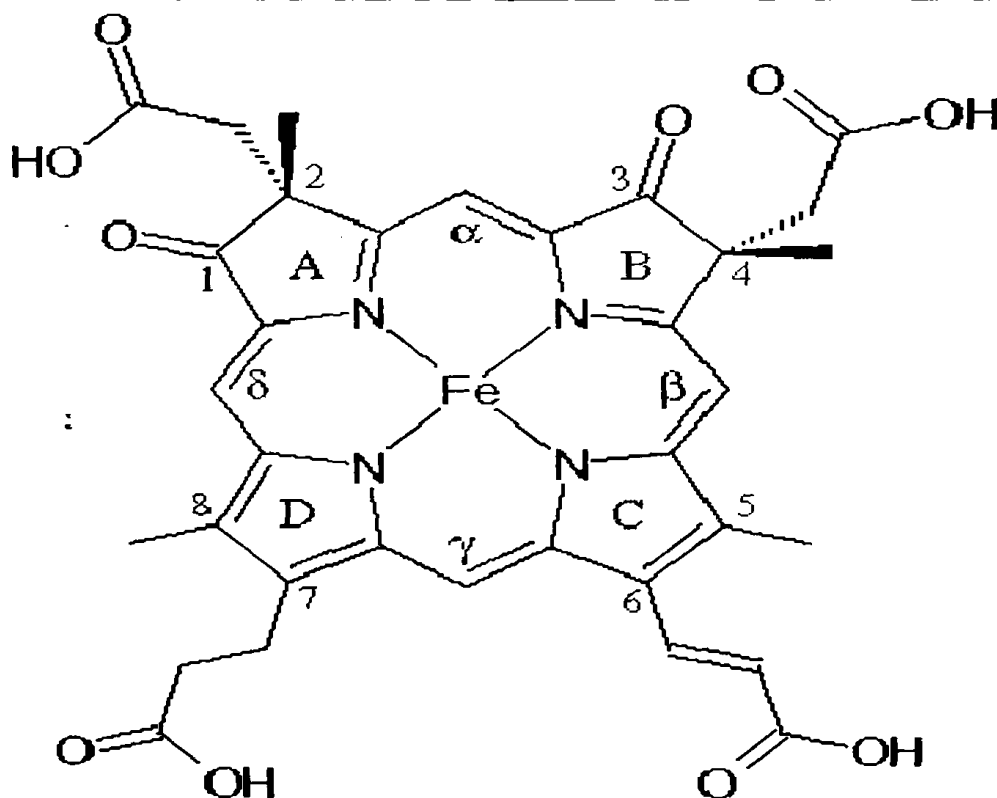
Το ένζυμο που καταλύει την αντίδραση αυτή όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω είναι η ρεδουκτάση των νιτρικών⁵ ή νιτρική αναγωγή (NR)

⁴ Η αίμη είναι μια ένωση που περιέχει σίδηρο και βρίσκεται σε διάφορα σημαντικά βιολογικά μόρια. Η αιμογλοβίνη και η μυογλοβίνη είναι πρωτεΐνες που περιέχουν αίμη και συμμετέχουν στην μεταφορά και την αποθήκευση του οξυγόνου.

⁵ Η ρεδουκτάση των νιτρικών είναι φλαβοπρωτεΐνη με προσθετική ομάδα το φλαβινο-αδενινο-δινουκλεοτίδιο (FAD), η ενεργότητα του οποίου απαιτεί την παρουσία Μολυβδαίνιου (MoO_4^{2-}). Το ένζυμο αυτό διακρίνεται από την πλαστικότητα του γιατί μπορεί να δέχεται e^- από πολλούς δότες. Το μόριο του ενζύμου αποτελείται από πολλές πολυπεπτιδικές αλυσίδες, η σύσταση των οποίων καθορίζεται από πολλούς παράγοντες.

Η συγκέντρωση του ενζύμου στους φυτικούς ιστούς και η ενζυμική δραστηριότητά του κυμαίνονται από πολύ μικρές τιμές έως μηδέν, μέχρι πολύ υψηλές τιμές.

διαχωρίστηκε και καθαρίστηκε από εκχυλίσματα βακτηρίων, ανωτέρων φυτών από τους Sato και Egami (1949). Δότης ηλεκτρονίων e^- για αναγωγή NO_3^- στα ανώτερα φυτά στις περισσότερες περιπτώσεις είναι το νικοτιναμιδο-αδενινο-δινουκλεοτίδιο (NADH). Σε μερικές περιπτώσεις δότης e^- είναι το νικοτιναμιδο-αδενινο-φωσφορικό δινουκλεοτίδιο (NADPH). Επίσης η ανοιγμένη φλαβίνη μπορεί να αποτελέσει δότη e^- για πολλά φυτά. Η NR είναι το μόνο ένζυμο στα φυτά που περιέχει στο μόριο του μολυβδαίνιο (Mo), το οποίο και είναι θεμελιώδες συστατικό του. Η δραστηριότητα του ενζύμου μπορεί να αυξηθεί με τη χορήγηση NO_3^- ή με το φως (induction). Έτσι, έλλειψη του στοιχείου αυτού προκαλεί συσσώρευση των νιτρικών ιόντων στα



Πηγή: WWW.metallo.scripps.edu/PROMISE/CYTCD1.html

Η παρουσία και η συγκέντρωση του ενζύμου είναι συνάρτηση της παρουσίας ή όχι των νιτρικών στο εδαφικό διάλυμα, της ταχύτητας απορρόφησης τους, της διάχυσής τους μέσα στο φυτό και της στάθμης αυτών στους φυτικούς ιστούς εκεί όπου γίνεται η αναγωγή. Η μεγάλη αυτή διακύμανση της συγκέντρωσης του ενζύμου και της ενζυμικής δραστηριότητάς του οφείλεται στον γρήγορο ρυθμό του μεταβολισμού της ενζυμικής πρωτεΐνης (σύνθεση και αποδομή της). Διαπιστώθηκε ότι ο χρόνος της ζωής του ενζύμου κυμαίνεται από 4-60 ώρες με μέσο όρο τις 8-14 ώρες και εξαρτάται από το είδος του φυτού, τη φυσιολογική κατάστασή του και από διάφορες εξωτερικές συνθήκες (φωτισμός, θερμοκρασία, υδατική κατάσταση του φυτού κ.α.). Ο γρήγορος ρυθμός του μεταβολισμού του ενζύμου έχει ως αποτέλεσμα να ελαττώνεται πολύ γρήγορα όταν λείπουν τα νιτρικά από το εδαφικό διάλυμα. Η παρουσία των νιτρικών αντίθετα επάγει τη σύνθεση του ενζύμου, η στάθμη του οποίου, εφόσον διατηρείται η στάθμη των νιτρικών στο υπόστρωμα σταθερή, φτάνει μετά από κάποιο χρόνο σε σταθερή κατάσταση και σταθερή ενεργότητα, γιατί το ένζυμο συντίθεται και αποδομείται με σταθερό ρυθμό.

Η βιοσύνθεση της ρεδουκτάσης των νιτρικών, σε αντίθεση με τη ρεδουκτάση των νιτρικών, γίνεται στο κυτόπλασμα και παρεμποδίζεται από την παρουσία NH_4^+ . Κατά συνέπεια η άφθονη παρουσία και απορρόφηση αμμωνιακών αλάτων από το εδαφικό διάλυμα, παρεμποδίζει τη βιοσύνθεση της ρεδουκτάσης των νιτρικών.



φυτικά κύτταρα, με σύμπτωμα τη χλώρωση των φύλλων.

Η ενέργεια της αναγωγής (NADPH) προέρχεται από τη φωτεινή ενέργεια. Το NADPH παράγεται στους χλωροπλάστες. Τα σάκχαρα από τους χλωροπλάστες μεταφέρονται και μεταβολίζονται με γλυκόλυση στο κυτόπλασμα. Η οξείδωση της 3-φωσφορικής γλυκερυναλδεύδης είναι η τελική πηγή του NADH για την αναγωγή NO_3^- . Οι ρίζες και οι μη χλωροφυλλούχοι ιστοί μπορούν να ανάγουν NO_3^- . Στις περιπτώσεις αυτές η ενέργεια (NADH) προέρχεται από τον αναπνευστικό μεταβολισμό των φυτών (προκύπτει από τη γλυκόλυση και δίνει τα e^- για την αναγωγή NO_3^-).

Τα φυτά μπορούν να διαιρεθούν σε 3 ομάδες, σε σχέση με τη θέση όπου γίνεται η αναγωγή του NO_3^- :

- ♦ Το ξύλο πολλών φυτικών ειδών, κυρίως ξυλωδών φυτών, περιέχει όλο το άζωτο σε οργανική μορφή. Στα φυτά αυτά η αναγωγή NO_3^- , γίνεται στις ρίζες. Ως παράδειγμα αναφέρεται η μηλιά. Σε πολλά άλλα φυτά επίσης η αναγωγή NO_3^- γίνεται στις ρίζες όπως *Vaccinium*, *Rhododendron* κλπ.
- ♦ Σε πολλά φυτά οι ανιόντες χυμοί περιέχουν N κατά 95-99% υπό νιτρική μορφή. Στα φυτά αυτά η αναγωγή γίνεται στα φύλλα. Ως παράδειγμα αναφέρεται το φυτό *Xanthium*.
- ♦ Άλλα φυτά διατηρούν ενεργό νιτρική αναγωγάση τόσο στις ρίζες, όσο και στα φύλλα. Πολλά καλλιεργούμενα φυτά ανήκουν σε αυτή την κατηγορία.

Αναγωγή νιτρώδων ιόντων σε αμμωνιακά

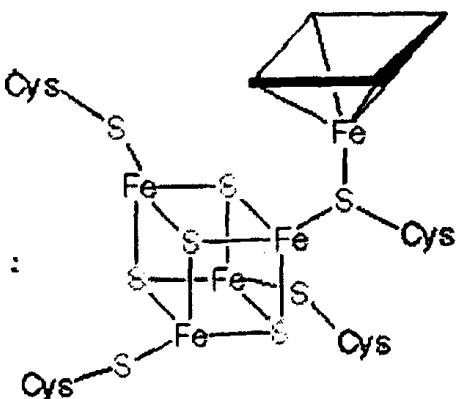
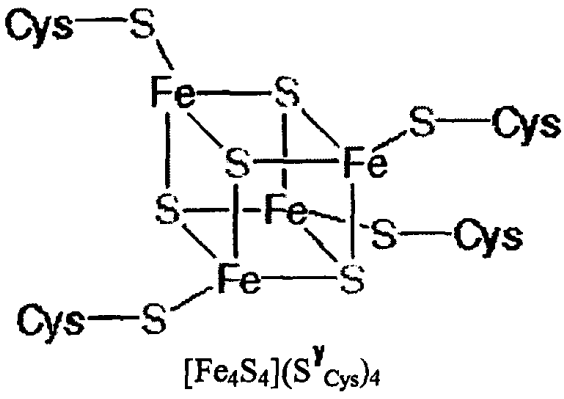
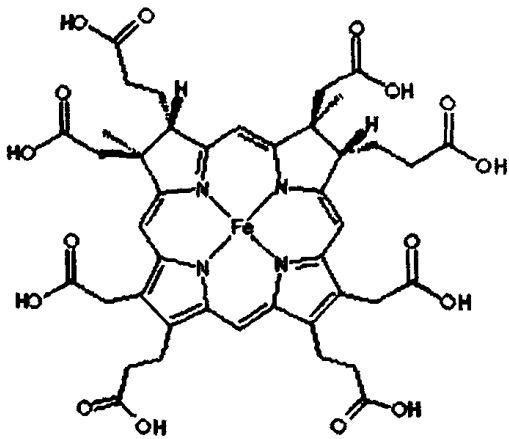
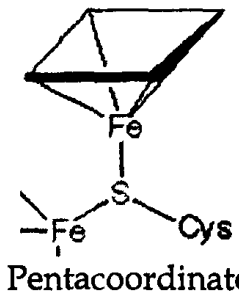
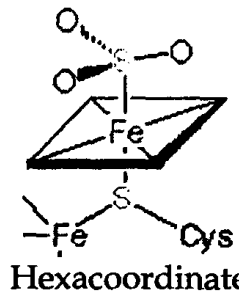
Τα νιτρώδη (NO_2^-) είναι τοξικά για το κύτταρο. Έτσι, το επόμενο βήμα



ΕΙΚΟΝΑ 8: ΠΡΩΤΕΪΝΗ ΠΕΔΟΥΚΤΑΣΗ ΤΩΝ ΝΙΤΡΩΔΩΝ (NiR)
Πηγή: WWW.srs.dl.ac.uk/mbg/images/nir.pic1.gif

μετά την αναγωγή των νιτρικών σε νιτρώδη στο κυτταρόπλασμα είναι η άμεση μεταφορά τους στους χλωροπλάστες των φύλλων ή στα πλαστίδια των κυττάρων της ρίζας για άμεση αναγωγή τους σε αμμωνιακά ιόντα με τη δράση της νιτρώδους αναγωγάσης⁶ ή νιτρώδης ρεδουκτάση (nitrite reductase, NiR).

⁶ Η ρεδουκτάση των νιτρώδων (NiR) είναι ένα ένζυμο που βρίσκεται στους χλωροπλάστες και τα πλαστίδια (σε αντιδιαστολή με τη ρεδουκτάση των νιτρικών. Κωδικοποιείται από το πυρηνικό DNA και μεταφέρεται στους χλωροπλάστες αφήνοντας πίσω του ένα πεπτιδίο μεταφοράς 30 αμινοξέων. Το ένζυμο είναι ένα μονομερές 60-70 kD με δύο αναγωγικά κέντρα, ένα συροαιμικό-Fe και ένα κέντρο σιδηροθείου (Fe_4S_4). Το C-άκρο της πρωτεΐνης περιέχει τα δύο αναγωγικά κέντρα και το N-άκρο ενώνεται με τη φερρεδοξίνη.

Sirohaem - Fe_4S_4 κέντρο (γενική δομή)	Άκρο Fe-S	
	 $[\text{Fe}_4\text{S}_4](\text{S}^{\text{Y}}_{\text{Cys}})_4$	
Τύπος Αιμης	Συντονισμός Αιμης - Fe	Axial iron ligand(s)
 Sirohaem	 Pentacoordinate	$\text{S}^{\text{Y}}_{\text{Cys}}$
	 Hexacoordinate	$\text{S}^{\text{Y}}_{\text{Cys}}$; SO_3^{2-} , HSO_3^- , NO_2^- , PO_4^{3-} or other ligand



Η αναγωγή περιλαμβάνει μεταφορά 6 ηλεκτρονίων, σε αντίθεση με την αναγωγή των νιτρικών σε νιτρώδη, που περιλαμβάνει μεταφορά 2 ηλεκτρονίων. Πηγή των ηλεκτρονίων είναι η ανηγμένη φερρεδοξίνη (Fd_{red}), που ανάγεται στους χλωροπλάστες με τη φωτοσυνθετική μη κυκλική μεταφορά ηλεκτρονίων. Στους μη φωτοσυνθέτοντες ιστούς, όπως είναι οι ρίζες, το NADPH που παράγεται από την οξείδωση της φωσφορικής πεντόζης ανάγει μια πρωτεΐνη όμοια με τη φερρεδοξίνη.

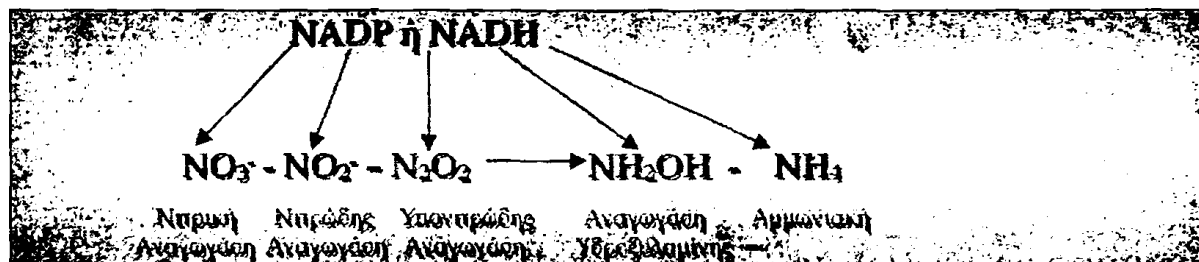
Η αναγωγή των NO_2^- σε NH_3 γίνεται σύμφωνα με την εξίσωση:



Όπου $6 FdFe^{++}$ = ανηγμένη φερρεδοξίνη δότης των $6 e^-$

όπου $6 FdFe^{+++}$ = οξειδωμένη φερρεδοξίνη

Η διεργασία επαναλαμβάνεται με περαιτέρω αναγωγή και σχηματισμό άλλων ενδιάμεσων προϊόντων, όπως υπονιτρώδη ιόντα, υδροξυλαμίνη και NH_3 . Η αναγωγή NO_3^- σε NH_3 ακολουθεί την εξής πορεία:



Κάθε αντίδραση περιλαμβάνει την προσθήκη 2 ηλεκτρονίων e^- στο άτομο N, που προέρχονται από NADPH ή NADP. Από την έρευνα προέκυψε ότι κάθε ένζυμο απαιτεί φλαβινο-αδενινο-δινουκλεοτίδιο (FAD) και μέταλλο, ως ενεργοποιητές.

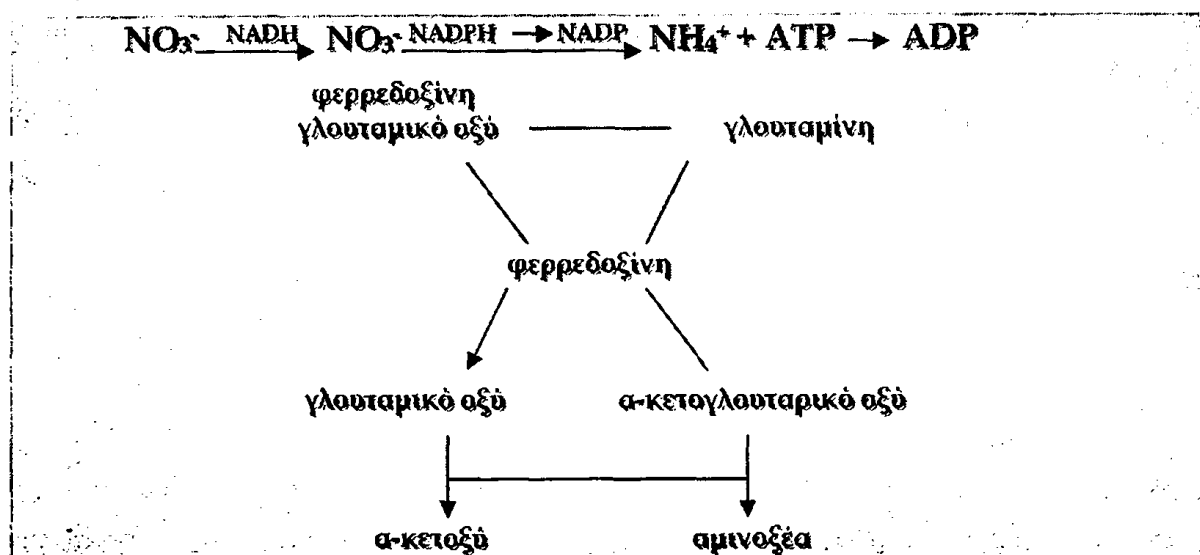
Το νιτρικό ιόν (NO_3^-) πρέπει να αναχθεί πριν την αφομοίωσή του. Το αμμωνιακό ιόν (NH_4^+) όμως μόλις απορροφηθεί, μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη σύνθεση αμινοξέων και λοιπών οργανικών ενώσεων. Έτσι εξοικονομείται ενέργεια όταν χορηγείται NH_4^+ αντί NO_3^- στο φυτό, διότι λιγότερη αναγωγή

Δότης των e^- της αναγωγής είναι η φερρεδοξίνη, η οποία είναι ένας από τους πλέον αρχικούς δέκτες e^- στις αναγωγικές διαδικασίες του φωτοσυστήματος I, κατά τη διαδικασία μετατροπής της φωτεινής ενέργειας σε χημική. Επομένως η αναγωγή των νιτρώδων στα φύλλα και τους χλωροπλάστες εξαρτάται από το φως. Η ρεδοукτάση των νιτρώδων είναι όπως προαναφέρθηκε μια σιδηρο-τετραϋδρο- πορφυρίνη, περιέχει δύο άτομα Fe ανά μόριο ενζύμου, με δύο γειτονικούς πορφυρινικούς δακτυλίους ανηγμένους και οκτώ καρβοξυλικές ρίζες στις πλάγιες ρίζες. Από έρευνες του Siegel (1974) βρέθηκε ότι η ρεδοукτάση των νιτρώδων έχει την ίδια προσθετική ομάδα με τη ρεδοукτάση των θειωδών η οποία ονομάζεται και σιροσάιμη.

Η NiR κωδικοποιείται από το γονίδιο *nit*. Το γονίδιο αυτό και οι κλώνοι έχουν απομονωθεί και χαρακτηριστεί από ανώτερα φυτά, με ένα ή δύο αντίγραφα ανά απλοειδές γονιδίωμα. Στον καπνό υπάρχουν τέσσερα αντίγραφα, δύο από κάθε γονέα. Τα δύο γονίδια κάθε γονέα εκφράζονται διαφορετικά στα φύλλα και στις ρίζες. Σύγκριση των αλληλουχιών δείχνει υψηλή ομολογία, 75-80%, ενώ υπάρχει χαμηλή ομολογία μεταξύ φυτών και μυκήτων, εκτός της NiR από κυανοβακτήρια, που μοιάζει περισσότερο με εκείνη των φυτών παρά των εντεροβακτηρίων.



είναι απαραίτητη κατά τη διάρκεια της αφομοίωσης. Η διαδικασία της αφομοίωσης NO_3^- σε αμινοξέα και πρωτεΐνες είναι όμοια με αυτή του αμμωνίου. Η αναγωγή NO_3^- και NH_4^+ σε αμινοξέα γίνεται σύμφωνα με το σχήμα:



ΕΙΚΟΝΑ 9: ΑΝΑΓΩΓΗ ΤΩΝ NO_3^- & NH_4^+ ΣΕ ΑΜΙΝΟΞΕΑ

Η συγκέντρωση αμινοξέων στο φυτό μπορεί να αναστείλει τη δράση του ενζύμου νιτρική αναγωγή. Επίσης έχει βρεθεί ότι φυτά που έχουν προσαρμοστεί σε θρέψη με NH_4^+ , περιέχουν μια πρωτεΐνη, που αναστέλλει τη δράση της νιτρικής αναγωγής. Σε υψηλές συγκεντρώσεις NH_4^+ η πρωτεΐνη αυτή προσδένεται στη νιτρική αναγωγή και την καθιστά ανενεργή. Η αναστολή της αναγωγής NO_3^- με NH_4^+ μειώνεται, όταν η αφομοίωση NH_4^+ περιορίζεται, λόγω ανεπάρκειας εφοδιασμού με άνθρακα C από τη φωτοσύνθεση. Επίσης μεταβολές στο οξειδοαναγωγικό δυναμικό των φυτικών κυττάρων, μπορεί να επηρεάσουν τη δραστηριότητα του ενζύμου νιτρική αναγωγή.

Η αμμωνία δεν είναι μόνο ο αναστολέας του ενζύμου νιτρική αναγωγή, αλλά και ο μεταβολίτης, μέσω του οποίου η αντίστροφη εμφάνιση της οξειδωμένης ενεργού μορφής της νιτρικής αναγωγής, μετατρέπεται *in vivo* στην ανοιγμένη αδρανή μορφή. Το ένζυμο ρεδουκτάση των νιτρωδών είναι η πρωτεΐνη, στην οποία μια ομάδα σιδηροπορφυρίνης καταλύει τη μεταφορά $2e^-$. Δεδομένου ότι δεν χρειάζεται το πρώτο στάδιο αναγωγής κατά τη διάρκεια της αφομοίωσης NH_4^+ , τα NADH και NADPH δεν καταναλώνονται. Μελέτη της αφομοίωσης NO_3^- και NH_4^+ έδειξε ότι τα πρωταρχικά προϊόντα της αφομοίωσης είναι το γλουταμικό οξύ και η γλουταμίνη.

Μια ποσότητα NH_4^+ μπορεί να παράγει ασπαρτικό οξύ και αλανίνη. Η γλουταμίνη παρεμποδίζει την τοξικότητα NH_4^+ και επίσης αποτελεί μορφή αποθησαυρισμού του N. Η αφυδρογονάση του γλουταμικού είναι το ένζυμο που είναι υπεύθυνο για την ενσωμάτωση του N στην α -αμινοομάδα των

αμινοξέων. Σύμφωνα με πρόσφατες απόψεις το NH_4^+ αφομοιώνεται στα ανώτερα φυτά μέσω της συνδυασμένης λειτουργίας της συνθετάσης της γλουταμίνης και της υδρογονάσης του γλουταμικού οξέος, όπου το γλουταμικό ενεργεί ως ο πρώτος δέκτης του ανοιγμένου N. Το ένζυμο συνθετάση της γλουταμίνης αναστέλλεται από το τελικό προϊόν (γλουταμίνη).

Η χρησιμοποίηση του N, όπου αερόβιοι μικροοργανισμοί και ανώτερα φυτά ανάγουν το NO_3^- σε NH_4^+ με σκοπό να ενσωματώσουν το N σε πρωτεΐνη των κυττάρων τους, φέρεται με το όνομα αφομοίωση νιτρικών (NO_3^- assimilation). Είναι δύσκολο να κατανοηθεί γιατί στη φύση το NH_4^+ οξειδώνεται εύκολα σε NO_3^- , το οποίο με τη σειρά του πρέπει ξανά να αναχθεί σε NH_4^+ , προτού να ενσωματωθεί σε αμινοξέα. Ένα πλεονέκτημα είναι κατά πάσα πιθανότητα ότι το NO_3^- αντιπροσωπεύει μια πιο σταθερή μορφή αποθησαυρισμένου N από ότι είναι το πτητικό NH_4^+ , αν και η παρουσία του τελευταίου ως NH_4^+ είναι πιο πιθανή σε ουδέτερα και όξινα εδάφη. Ένα δεύτερο πλεονέκτημα είναι ότι το μόριο της αμμωνίας είναι μάλλον τοξικό και κατά συνέπεια δεν μπορεί να αποθηκευτεί στους ιστούς, ενώ τα νιτρικά είναι σχετικά λιγότερο τοξικά και μπορούν να εύκολα να συγκεντρωθούν σε μεγάλες ποσότητες στον κυτταρικό χυμό των φυτών.

Μερικοί μικροοργανισμοί όπως *Escherichia coli* και *B. subtilis* ανάγουν NO_3^- σε NH_4^+ για άλλο σκοπό. Οι μικροοργανισμοί αυτοί χρησιμοποιούν το NO_3^- ως το τελικό δέκτη ηλεκτρονίων αντί του O_2 . Τα ενδιάμεσα προϊόντα είναι NO_2 , N_2O και NH_2OH . Η διεργασία αυτή καλείται αναπνοή νιτρικών (NO_3^- respiration). Πολλά βακτήρια (*Pseudomonas denitrificans*, *denitrobacillus*) στα οποία παρατηρείται αναπνοή NO_3^- παράγουν N_2 αντί για NH_3 . Το N_2 επιστρέφει στην ατμόσφαιρα και αυτή η μετατροπή καλείται απονιτροποίηση. Ελάχιστα είναι γνωστά για τα ένζυμα που παίρνουν μέρος σε αυτή.

Ρύθμιση της αναγωγής των νιτρικών ιόντων

Η αφομοίωση των αμμωνιακών ιόντων, τα οποία προέρχονται από την αναγωγή των νιτρικών, είναι μια σύνθετη διαδικασία που απαιτεί ενέργεια και συνδέεται με τη φωτοσύνθεση και τον μεταβολισμό του άνθρακα, ενώ αυτή καθαυτή η αναγωγή των νιτρικών ιόντων είναι μια επίσης ενεργοβόρα αντίδραση. Επομένως, η ρύθμιση της αναγωγής είναι και αυτή πολύπλοκη. Στα φυτά, η νιτρική ρεδουκτάση (NR) και νιτρώδης ρεδουκτάση (NiR) ρυθμίζονται θετικά από τα νιτρικά ιόντα, τα σάκχαρα, το διοξείδιο του άνθρακα, τις κυτοκινίνες και το φως και αρνητικά από τα προϊόντα της αφομοίωσης της αμμωνίας και κυρίως από το γλουταμικό και τη γλουταμίνη. Οι παράγοντες αυτοί συνδέουν την αναγωγή των νιτρικών με τη φωτοσύνθεση και τον μεταβολισμό του άνθρακα.

- Τα νιτρικά ιόντα είναι το κυριότερο μήνυμα για την έκφραση των *η1α*,



ηii και *chl*. Η παρουσία νιτρικών, ακόμη και σε χαμηλή συγκέντρωση (10 μ M), προκαλεί έκφραση τους. Στις ρίζες, η έκφραση της NR είναι μεγαλύτερη απ' ό,τι στα φύλλα και εντοπίζεται περισσότερο στα κύτταρα των ριζικών τριχιδίων. Στους βλαστούς, η ενεργότητα εντοπίζεται στον ηθμό και στα γειτονικά παρεγχυματικά κύτταρα. Στα φύκη και στους μύκητες, αλλά όχι στα ανώτερα φυτά, η παρουσία αμμωνίας καταστέλλει τη γονιδιακή της έκφραση.

- **Τα αζωτούχα βιομόρια** που προέρχονται από την αφομοίωση της αμμωνίας επηρεάζουν την έκφραση των γονιδίων *nia* και *nii*. Αποτελέσματα με απενεργοποίηση της γλουταμινικής συνθετάσης, που συμμετέχει στην αφομοίωση των αμμωνιακών ιόντων (βλ. παρακάτω) σε κυτταροκαλλιέργειες σπανακιού, παρουσία και απουσία γλουταμίνης, έδειξαν ότι ίσως η γλουταμίνη επιδρά αρνητικά στις ποσότητες των *nia*- και *nii*-mRNA και στις ενεργότητες των NR και NiR.
- **Κιρκαδικοί ρυθμοί⁷:** Οι ποσότητες των *nia*-mRNA και της πρωτεΐνης NR, καθώς και η ενεργότητά της στα φύλλα ή στους βλαστούς των φυτών, έχουν μέγιστες τιμές το πρωί και λίγες ώρες μετά. Το ίδιο παρατηρείται για το *nii*-mRNA και την πρωτεΐνη και για την ενεργότητά της NiR, αλλά με μικρότερη αύξηση. Σε φυτά καπνού και *Arabidopsis*, η αύξηση του *nia*-mRNA στα φύλλα διατηρείται για τουλάχιστον 24 ώρες μετά τη μεταφορά των φυτών σε συνεχές φως ή σκοτάδι, κάτι που συνηγορεί στο ότι το φαινόμενο είναι κιρκαδικό. Η κυκλική διακύμανση των *nia*, και *nii*-mRNA μπορεί να προκαλείται από τη γλουταμίνη, της οποίας οι συγκεντρώσεις ακολουθούν αντίθετη τάση.
- **Φως και υδατάνθρακες:** Το φως είναι ένας άλλος παράγοντας που αυξάνει την έκφραση των NR και NiR. Τα *nia*- και *nii*-mRNA αυξάνονται όταν φυτά που έχουν παραμείνει για λίγο στο σκοτάδι μεταφερθούν στο φως, και αντιστρόφως. Ερευνητικά αποτελέσματα των τελευταίων χρόνων έχουν δείξει ότι η έκφραση του γονιδίου *nia* επάγεται από το φως, σε μεταγραφικό, μεταφραστικό και μεταμεταφραστικό επίπεδο, και ότι αυτό συνδέεται με τη διαθεσιμότητα σκελετών άνθρακα, που απαιτούνται για την σύνθεση αμινοξέων. Αντίθετα, η έκφραση του *nii* δεν φαίνεται να επηρεάζεται από τη διαθεσιμότητα υδατανθράκων.
- **Ορμόνες:** Η NR επηρεάζεται επίσης από τις ορμόνες. Η NR αυξάνεται παρουσία εξωγενούς βενζυλαδενίνης. Σε ορισμένα φυτικά είδη η δράση αυτή απαιτεί την παρουσία φωτός ή νιτρικών. Η επίδραση της κυτοκινίνης στην αύξηση της NR γίνεται, τουλάχιστον μερικά, σε μεταγραφικό επίπεδο, ενώ το ABA ματαιώνει την αύξηση του *nia*-

⁷ **Κιρκαδικοί ρυθμοί:** Κύκλοι φυσιολογικών μεταβολών που διαρκούν 24 ώρες



mRNA.

- **Άλλοι παράγοντες:** Διάφορες συνθήκες καταπόνησης, όπως είναι η υδατική καταπόνηση, τα χαμηλά επίπεδα CO₂ ή η απουσία φωτός, προκαλούν μείωση της ενεργότητας της NR, που οφείλεται σε φωσφορυλίωση, ενώ η φωτοενεργοποίηση οφείλεται σε αποφωσφορυλίωση με δράση της φωσφατάσης 2A.

Ο μεταβολισμός άνθρακα επιδρά στην αναγωγή των νιτρικών, αφού η ενσωμάτωση της αμμωνίας και η σύνθεση των αζωτούχων ενώσεων προϋποθέτει ότι τα αντίστοιχα υποστρώματα είναι διαθέσιμα.

Προτιμήσεις των φυτών στην απορρόφηση και χρήση NO₃⁻ και NH₄⁺

Τα φυτά διαφέρουν στην ικανότητα τους να απορροφούν και χρησιμοποιούν NH₄⁺ και NO₃⁻ ως πηγή N. Μερικά ασβεστόφοβα φυτά (*calcifuges*) προσαρμόζονται ή αντέχουν στη χρήση N υπό μορφή κυρίως NH₄⁺. Φαίνεται ότι η ανισορροπία ιόντων είναι ο παράγοντας που συμβάλλει στην προτίμηση NH₄⁺ ή NO₃⁻. Φυτά που προτιμούν NO₃⁻ δείχνουν συμπτώματα έλλειψης Mg και Ca, όταν τους χορηγηθεί NH₄⁺. Το ροδόδενδρο και η αζαλέα αναπτύσσονται καλύτερα σε NH₄⁺ από ότι σε NO₃⁻. Το NH₄⁺ μείωσε το pH του φυτικού ιστού ενώ τα NO₃⁻ αύξησαν την απορρόφηση και το pH των ιστών.

Φυσιολογικές επιδράσεις των μορφών N στα φυτά

Φυτά που αναπτύσσονται σε εδάφη που περιέχουν αμμωνιακά ιόντα (NH₄⁺) χωρίς καθόλου νιτρικά (NO₃⁻), περιέχουν μικρότερες συγκεντρώσεις Ca, Mg, K και υψηλότερες συγκεντρώσεις P και S. Τα φυτά που δέχθηκαν μόνο NH₄⁺ είχαν υψηλότερο ολικό άζωτο, ελεύθερα αμινοξέα, αμιδία και NH₄⁺. Χορήγηση NH₄⁺ σε τομάτα κατά την άνθηση οδηγεί στο σύμπτωμα 'blossom end rot' (ξηρή σήψη κορυφής), λόγω ανταγωνισμού από το NH₄⁺ της απορρόφησης Ca. Το περιεχόμενο σε οργανικά οξέα ήταν σημαντικά χαμηλότερο σε φυτά που είχαν τραφεί με NH₄⁺.

Πιστεύεται ότι για τα περισσότερα είδη φυτών, η κανονική θρέψη περιλαμβάνει την απορρόφηση υψηλής αναλογίας αζώτου στη μορφή NO₃⁻. Έτσι η θρέψη με NH₄⁺ είναι μια τεχνητή και εξαιρετική περίπτωση, αν και υπάρχουν μερικά φυτά όπως του γένους *Pinus* που προτιμούν αμμωνιακό N και μπορούν να αναπτύσσονται σε εδάφη όπου οι συνθήκες είναι δυσμενείς για νιτροποίηση. Στα είδη που έχουν προσαρμοστεί και αναπτύσσονται κάτω από υψηλό NH₄⁺, δεν παρατηρήθηκε τροφопενία Ca και Mg.



Συγκέντρωση NO_3^- σε φυτά μαρουλιού και σπανακιού

Μερικά λαχανικά, όπως το μαρούλι και το σπανάκι συγκεντρώνουν πολλά NO_3^- στους ιστούς τους. Τα φυτά αυτά δεν έχουν, την ικανότητα να ανάγουν τα NO_3^- , στη ρίζα ή ανάγουν μικρό μέρος στις ρίζες και μεταφέρουν τα περισσότερα νιτρικά στα φύλλα. Τα NO_3^- μπορεί να συγκεντρώνονται στα φύλλα, όταν η αναγωγή τους σε NH_4^+ σε ορισμένες περιπτώσεις δεν μπορεί να καλύψει το σύνολο του απορροφούμενου νιτρικού αζώτου, από το έδαφος. Ως εκ τούτου η αποθήκευση των νιτρικών (NO_3^-) στους ιστούς των φυτών είναι αναπόφευκτη (Bloom-Zandstra, 1989).

Δεν συμβαίνει το ίδιο με τη φάση των νιτωδών, διότι η περαιτέρω εξέλιξη της μετατροπής των νιτωδών (NO_2^-) σε αμμωνιακά (NH_4^+), είναι ταχεία και η νιτωδής φάση εξαιρετικά ασταθής.

Υψηλά επίπεδα NO_3^- στα φύλλα μπορούν να προκαλέσουν τοξικότητα και ιδιαίτερα όταν η συσσώρευση αυτών των προϊόντων αυξάνει τα επίπεδα NO_3^- .



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ NO_3^- ΣΤΑ ΦΥΤΑ ΚΑΙ ΣΤΟΝ ΑΝΘΡΩΠΟ

Η συγκέντρωση NO_3^- στους φυτικούς ιστούς αποτελεί φυσιολογικό φαινόμενο, που συνδέεται άμεσα με το μεταβολισμό του αζώτου στα φυτά και προκύπτει από την απορρόφηση των νιτρικών ιόντων σε μεγαλύτερη ποσότητα από αυτή που ανάγεται. Η συγκέντρωση NO_3^- εξαρτάται από τον γονότυπο, την περιεκτικότητα του εδάφους σε NO_3^- και τις κλιματικές συνθήκες κάτω από τις οποίες αναπτύσσονται τα φυτά. Τελευταία το ενδιαφέρον εστιάζεται στη συγκέντρωση NO_3^- στις τροφές. Η αναγωγή NO_3^- σε NO_2^- και οι δυσμενείς δράσεις αυτής της αναγωγής στον άνθρωπο και τα ζώα είναι υπεύθυνες γι' αυτό το ενδιαφέρον.

Ανάμεσα στις τροφές που καταναλώνονται, τα νωπά και τα κονσερβοποιημένα λαχανικά είναι οι κυριότερες πηγές NO_3^- για τον ανθρώπινο οργανισμό.

: Κίνδυνοι στην υγεία από νιτρικά (NO_3^-) και νιτρώδη (NO_2^-)

Σε κανονικά επίπεδα, τα νιτρικά (NO_3^-) από μόνα τους δεν είναι τοξικά, αλλά αντίθετα βοηθούν στη θεραπεία των πληγών και των εγκαυμάτων, ελέγχουν την πίεση του αίματος και ενισχύουν τη λειτουργία του εγκεφάλου. Τα νιτρικά όταν εισέλθουν στην κυκλοφορία του αίματος δεν παίρνουν μέρος στις κανονικές βιολογικές διεργασίες. Αντίθετα αποβάλλονται σχετικά γρήγορα με τα ούρα κατά 80% περίπου ή με τα περιτώματα (σε ποσοστό 1-2%) και ανακυκλώνονται με το σάλιο.

Τα NO_3^- και τα NO_2^- σε μικρές συγκεντρώσεις είναι ακίνδυνα για τον άνθρωπο, αλλά σε υψηλές συγκεντρώσεις ή κάτω από ειδικές συνθήκες μπορούν να γίνουν πολύ επικίνδυνα, που σε κάποιες περιπτώσεις μπορούν να επιφέρουν ακόμη και το θάνατο.

Η τοξικότητα NO_3^- είναι σχετικά χαμηλή και ποικίλλει ευρέως. Η μοιραία δόση για ενήλικες είναι 15-70 mgr NO_3^- -N/Kgr ζώντος βάρους. Τα νιτρώδη σχηματίζονται από αναγωγή των νιτρικών ή χορηγούνται με τα συντηρημένα τρόφιμα. Η μοιραία δόση νιτρώδων (NO_2^-) για τον άνθρωπο είναι περίπου 20 mgr NO_2^- -N/Kgr ζώντος βάρους.

Πριν την κατάποση η αναγωγή NO_3^- σε NO_2^- μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη δράση μικροοργανισμών που βρίσκονται στο νερό, τα φυτά ή τις τροφές, κατά την συντήρησή τους ή λόγω βακτηριακής μόλυνσης



των τροφών σε ανοιχτά δοχεία. Επίσης ένζυμα, που απαντώνται στην φύση μπορεί να συμβάλουν σε κάποια συγκέντρωση NO_3^- σε συντηρημένες τροφές.

Με υγιές πεπτικό σύστημα τα NO_3^- απορροφούνται γρήγορα, χωρίς αναγωγή στο ανώτερο τμήμα του πεπτικού σωλήνα. Ανωμαλίες στο πεπτικό σύστημα καθυστερούν την απορρόφηση NO_3^- και αυξάνουν τις πιθανότητες αναγωγής. Η αναγωγή NO_3^- σε NO_2^- είναι πιο πιθανή στα παιδιά σε σύγκριση με τους ενήλικες, λόγω της μικρότερης οξύτητας των πεπτικών τους υγρών, γεγονός που επιτρέπει την επιβίωση των αναγωγικών βακτηρίων του γένους *E. coli* και *Clostridium*.

Τοξικότητα NO_3^- - NO_2^- στον άνθρωπο

Από τη φύση τους η δράση των νιτρικών δεν είναι τοξική, όταν όμως εισέλθουν στο αίμα, το δισθενές ιόν σιδήρου (Fe^{+2}) της αιμογλοβίνης μπορεί να οξειδωθεί στην τρισθενή μορφή (Fe^{+3}), με αποτέλεσμα τη δημιουργία μεθαιμογλοβίνης, η οποία σε υψηλά ποσοστά στο αίμα, μπορεί να οδηγήσει σε συμπτώματα ασφυξίας τον άνθρωπο, λόγω της αδυναμίας μεταφοράς οξυγόνου στους περιφερειακούς ιστούς.

Η μεθαιμογλοβίνη απαρτίζει το 1% της αιμογλοβίνης σε υγιέα άτομα, το 4% στα νεογέννητα παιδιά και το 6% ή και περισσότερο σε μωρά με αναπνευστικά προβλήματα ή διάρροια. Η μικρή ποσότητα μεθαιμογλοβίνης, που κανονικά παράγεται, μπορεί να μετατραπεί ενζυματικά ξανά σε αιμογλοβίνη. Αν η ταχύτητα μετατροπής της μεθαιμογλοβίνης είναι μικρότερη από την ταχύτητα συγκέντρωσης, τότε έχουμε μεγάλη συγκέντρωση μεθαιμογλοβίνης στο αίμα με επιζήμιες συνέπειες για την υγεία μας.

Τα μωρά είναι πολύ πιο ευαίσθητα στη μεθαιμογλοβίνη σε σύγκριση με τα μεγαλύτερα παιδιά ή τους ενήλικες και κυρίως οι επιπτώσεις επαυξάνονται στα μωρά εκείνα, τα οποία υποφέρουν από γαστρεντερικά προβλήματα. Το πρόβλημα εμφανίζεται έντονα σε χώρες τις Αφρικής, που γίνεται χρήση νερού από πηγάδια με έντονη βακτηριακή μόλυνση. Μελέτες στο Ισραήλ έδειξαν ότι καταστάσεις, όπως η διάρροια, είναι η κύρια αιτία παραγωγής μεθαιμογλοβίνης και όχι οι πιθανές ποσότητες των νιτρικών σε τρόφιμα και νερό (Hegewch - Shiloah 1982).

Η αιμογλοβίνη των νεογέννητων παιδιών μετατρέπεται πολύ πιο εύκολα σε μεθαιμογλοβίνη, σε σύγκριση με την αιμογλοβίνη των μεγαλύτερων παιδιών. Η οξεία τοξικότητα NO_2^- εμφανίζεται ως κυάνωση (μεθαιμογλοβιναιμία) με κυανοπορφύρο αποχρωματισμό του δέρματος και των χειλιών και εμφανίζεται όταν το 15% της αιμογλοβίνης οξειδώνεται σε μεθαιμογλοβίνη. Όταν το ποσοστό ανέλθει στο 70% ή και περισσότερο μεθαιμογλοβίνη στο αίμα, μπορεί να αποβεί μοιραία για τον άνθρωπο.



των τροφών σε ανοιχτά δοχεία. Επίσης ένζυμα, που απαντώνται στην φύση μπορεί να συμβάλουν σε κάποια συγκέντρωση NO_3^- σε συντηρημένες τροφές.

Με υγιές πεπτικό σύστημα τα NO_3^- απορροφούνται γρήγορα, χωρίς αναγωγή στο ανώτερο τμήμα του πεπτικού σωλήνα. Ανωμαλίες στο πεπτικό σύστημα καθυστερούν την απορρόφηση NO_3^- και αυξάνουν τις πιθανότητες αναγωγής. Η αναγωγή NO_3^- σε NO_2^- είναι πιο πιθανή στα παιδιά σε σύγκριση με τους ενήλικες, λόγω της μικρότερης οξύτητας των πεπτικών τους υγρών, γεγονός που επιτρέπει την επιβίωση των αναγωγικών βακτηρίων του γένους *E. coli* και *Clostridium*.

Τοξικότητα NO_3^- - NO_2^- στον άνθρωπο

Από τη φύση τους η δράση των νιτρικών δεν είναι τοξική, όταν όμως εισέλθουν στο αίμα, το δισθενές ιόν σιδήρου (Fe^{+2}) της αιμογλοβίνης μπορεί να οξειδωθεί στην τριθενή μορφή (Fe^{+3}), με αποτέλεσμα τη δημιουργία μεθαιμογλοβίνης, η οποία σε υψηλά ποσοστά στο αίμα, μπορεί να οδηγήσει σε συμπτώματα ασφυξίας τον άνθρωπο, λόγω της αδυναμίας μεταφοράς οξυγόνου στους περιφερειακούς ιστούς.

Η μεθαιμογλοβίνη απαρτίζει το 1% της αιμογλοβίνης σε υγεία άτομα, το 4% στα νεογέννητα παιδιά και το 6% ή και περισσότερο σε μωρά με αναπνευστικά προβλήματα ή διάρροια. Η μικρή ποσότητα μεθαιμογλοβίνης, που κανονικά παράγεται, μπορεί να μετατραπεί ενζυματικά ξανά σε αιμογλοβίνη. Αν η ταχύτητα μετατροπής της μεθαιμογλοβίνης είναι μικρότερη από την ταχύτητα συγκέντρωσης, τότε έχουμε μεγάλη συγκέντρωση μεθαιμογλοβίνης στο αίμα με επιζήμιες συνέπειες για την υγεία μας.

Τα μωρά είναι πολύ πιο ευαίσθητα στη μεθαιμογλοβίνη σε σύγκριση με τα μεγαλύτερα παιδιά ή τους ενήλικες και κυρίως οι επιπτώσεις επαυξάνονται στα μωρά εκείνα, τα οποία υποφέρουν από γαστρεντερικά προβλήματα. Το πρόβλημα εμφανίζεται έντονα σε χώρες τις Αφρικής, που γίνεται χρήση νερού από πηγάδια με έντονη βακτηριακή μόλυνση. Μελέτες στο Ισραήλ έδειξαν ότι καταστάσεις, όπως η διάρροια, είναι η κύρια αιτία παραγωγής μεθαιμογλοβίνης και όχι οι πιθανές ποσότητες των νιτρικών σε τρόφιμα και νερό (Hegewch - Shiloah 1982).

Η αιμογλοβίνη των νεογέννητων παιδιών μετατρέπεται πολύ πιο εύκολα σε μεθαιμογλοβίνη, σε σύγκριση με την αιμογλοβίνη των μεγαλύτερων παιδιών. Η οξεία τοξικότητα NO_2^- εμφανίζεται ως κυάνωση (μεθαιμογλοβιναιμία) με κυανοπορφυρό αποχρωματισμό του δέρματος και των χειλιών και εμφανίζεται όταν το 15% της αιμογλοβίνης οξειδώνεται σε μεθαιμογλοβίνη. Όταν το ποσοστό ανέλθει στο 70% ή και περισσότερο μεθαιμογλοβίνη στο αίμα, μπορεί να αποβεί μοιραία για τον άνθρωπο.



Η συγκέντρωση μεθαιμογλοβίνης μπορεί να προκληθεί και από πολλές ενώσεις όπως: μονοξείδιο του άνθρακα (CO), phenacetin, χρώματα ανιλίνης, και το λούστρο των επίπλων. Εκτός από την κυάνωση, η τοξικότητα NO_3^- ή NO_2^- εκδηλώνεται με πιο χρόνια συμπτώματα όπως:

- Τα NO_3^- και NO_2^- καταστρέφουν την καροτίνη των τροφών και προκαλούν έλλειψη βιταμίνης Α σε άνθρωπο και ζώα, ενώ στον άνθρωπο μπορούν να προκαλέσουν βλάβη στο θυροειδή.
- Τα NO_2^- προκαλούν ταχυκαρδίες, εμετούς και διάρροια.
- Τα NO_2^- στα ζώα αυξάνουν την ανάγκη για ιώδιο λόγω των ανωμαλιών που προκαλούνται στο θυροειδή αδένες.
- Υψηλή συγκέντρωση NO_2^- στις τροφές δίνει ανώμαλο ηλεκτροεγκεφαλογράφημα και πνευματική καθυστέρηση σε ασθενείς με κληρονομική μεθαιμογλοβιναιμία.
- Ανωμαλία στα έμβρυα από την νιτροζαμίνη που σχηματίζεται από αντίδραση νιτρωδών και ορισμένων οργανικών αμινών.

: Πηγές NO_3^- ή NO_2^- που προκαλούν μεθαιμογλοβιναιμία

- ❑ **Τα φάρμακα.** Η μεθαιμογλοβιναιμία έχει άμεση σχέση με την χρήση φαρμάκων, όπως νιτρωδών ενώσεων για τις καρδιοπάθειες (amyl nitrate, sodium nitrate) φαρμάκων κατά της διάρροιας (νιτρικό βισμούθιο), διουρητικών, φαρμάκων κατά εγκαυμάτων κ.λ.π
- ❑ **Το πόσιμο νερό.** Το νερό είναι μια από τις πιο συνηθισμένες αιτίες της δηλητηρίασης από NO_2^- των παιδιών. Αποστείρωση με βρασμό αυξάνει την συγκέντρωση νιτρικών. Η ανώτατη επιτρεπόμενη συγκέντρωση νιτρικών ριζών (NO_3^-) στο πόσιμο νερό σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (Π.Ο.Υ.) και την Ευρωπαϊκή Επιτροπή υπεύθυνη για την ποιότητα των υδάτων θα πρέπει να είναι μικρότερη από 50 mg/lit η οποία ισοδυναμεί με 11,3 mg/lit (NO_3^- -N).
- ❑ **Οι συντηρημένες τροφές (κρέατα-ψάρια).** Τα NO_3^- ή τα NO_2^- χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία παρασκευής αλλαντικών. Τέτοια προϊόντα επιτρέπεται να περιέχουν 500 mg/Kgr σε (NO_2^- -N) ή 200 mg/Kgr σε (NO_2^- -N). Σκοπός των ενώσεων αυτών είναι να δώσουν ερυθρορόδινο χρώμα στα προϊόντα, να προσθέτουν ζώνες και να εμποδίσουν την ανάπτυξη ενός σπορογόνου βακτηρίου, του *Clostridium botulinum*⁸, η τοξίνη⁹ του οποίου προκαλεί βουτολισμό,

⁸ botulinum : προέρχεται από τη Λατινική λέξη botulus που σημαίνει αλλαντικό

⁹ τοξίνη 100.000 φορές πιο τοξική από το αέριο των νεύρων σαρίνη



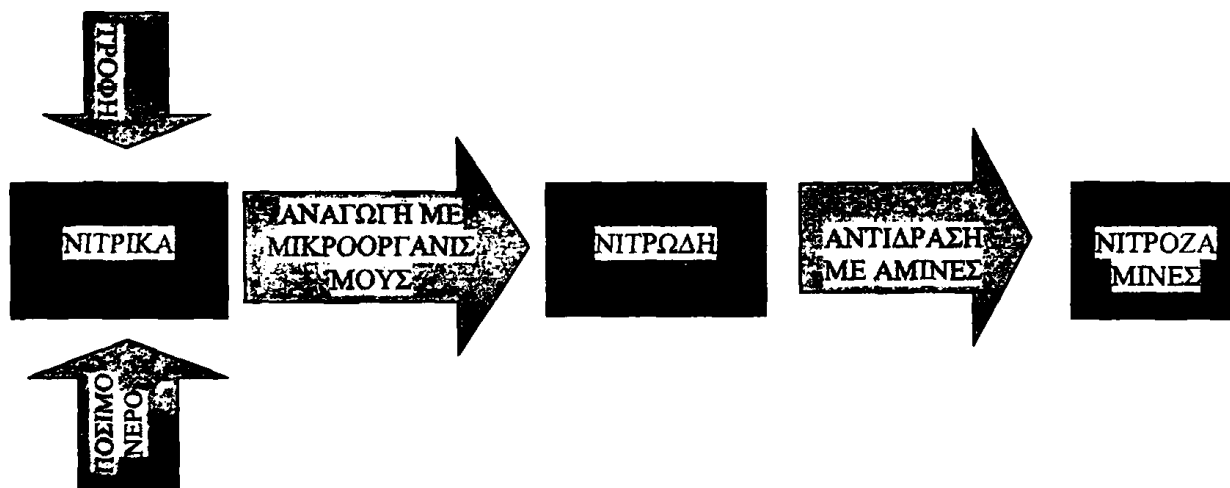
οδηγώντας στην παράλυση και κατά περίπτωση στο θάνατο.

- ❑ **Τα λαχανικά.** Πολλά λαχανικά περιέχουν στους φυτικούς τους ιστούς υψηλή συγκέντρωση NO_3^- . Τέτοια φυτά είναι το μαρούλι, το σπανάκι, το λάχανο, το καρότο, το παντζάρι, το ραδίκι, το σέλινο κ.α. Σαν ανώτερο ασφαλές επίπεδο προτείνεται συγκέντρωση μέχρι 0,1 % σε ξηρή ουσία.

Νιτροζαμίνες

Κατά την πέψη των τροφών τα νιτρώδη ιόντα (NO_2^-) με τη βοήθεια κάποιων μικροοργανισμών που βρίσκονται στο πεπτικό σύστημα, μπορούν να αναχθούν σε νιτρώδεις ενώσεις, οι οποίες είναι ιδιαίτερα τοξικές. Τα νιτρώδη ιόντα βιολογικά, είναι περισσότερο δραστικά και επομένως είναι δυναμικά τοξικά. Έτσι η μεγαλύτερη ανησυχία για την υγεία των ανθρώπων σήμερα είναι τα νιτρώδη που βρίσκονται στις τροφές ή σχηματίζονται από τα νιτρικά ή παράγονται ενδογενώς στον οργανισμό.

Η παρουσία NO_2^- και των δευτερογενών αμινών μαζί στο αίμα, μπορεί να οδηγήσει στον σχηματισμό νιτροζαμινών, που θεωρούνται υπεύθυνες για την ανάπτυξη καρκίνου σε πολλά όργανα του ανθρώπινου σώματος ή σε πολλές περιπτώσεις προκαλούν μεταλλάξεις και τερατογεννέσεις. Τα νιτρώδη (από τις τροφές ή αυτά που σχηματίζονται με την αναγωγή των νιτρικών ή ενδογενώς) μπορούν να αντιδράσουν με αμίνες και να σχηματίσουν νιτροζαμίνες. Οι νιτροζαμίνες μπορεί να προέρχονται από τις τροφές στις οποίες προστίθενται κυρίως ως συντηρητικά, τον καπνό τσιγάρου και τα ορεκτικά.



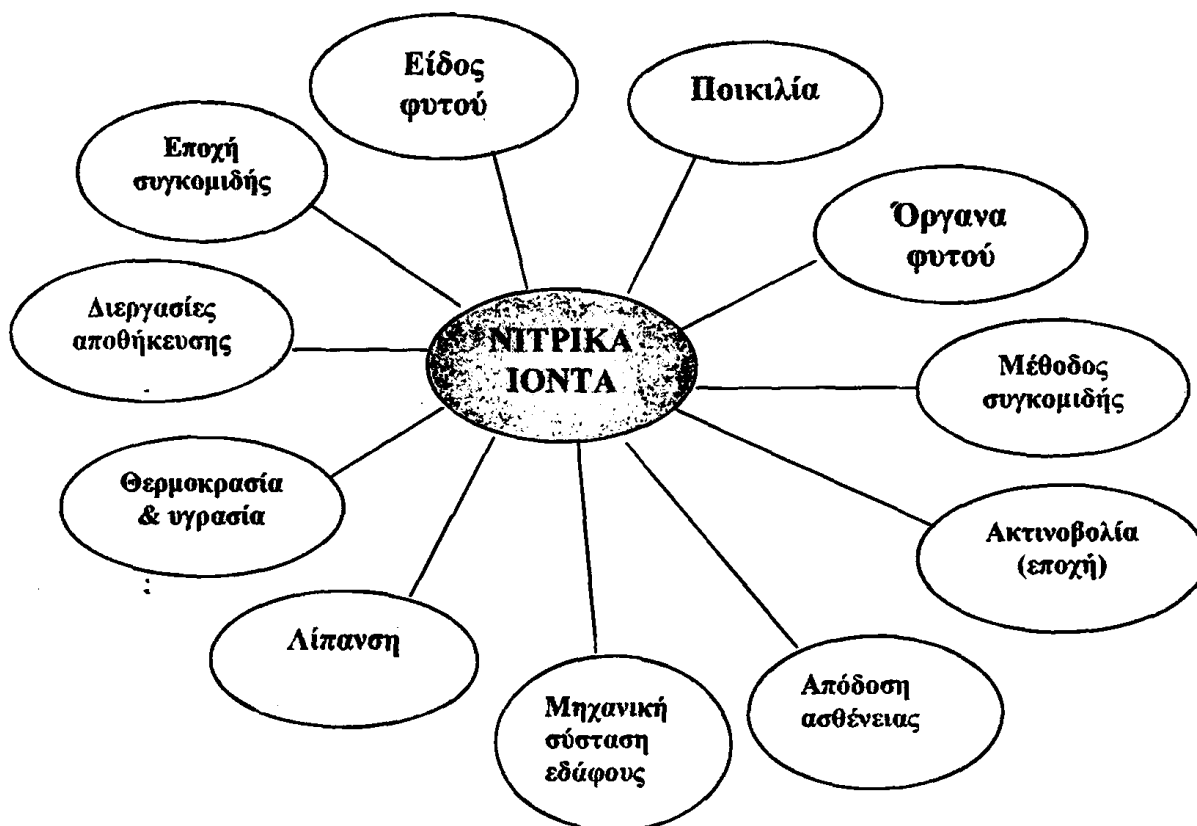
ΕΙΚΟΝΑ 10: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ ΝΙΤΡΟΖΑΜΙΝΩΝ

Η συσσώρευση νιτρικών ριζών στον ανθρώπινο οργανισμό σε πολλές περιπτώσεις είναι δυνατόν να προκαλέσει βλάβες στο θυροειδή, ταχυκαρδία και άλλες ηπιότερης μορφής παθολογικές ασθένειες.



ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ NO_3^- ΣΤΑ ΦΥΤΑ

Η συγκέντρωση NO_3^- στους φυτικούς ιστούς επηρεάζεται από διάφορους κλιματικούς και γενετικούς παράγοντες.



ΕΙΚΟΝΑ 11: ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ ΣΕ ΝΙΤΡΙΚΑ

Α. Κλιματικοί παράγοντες

Οι κλιματικοί παράγοντες επηρεάζουν την συγκέντρωση NO_3^- τόσο σε μακροπρόθεσμη βάση, όσο και βραχυπρόθεσμα. Ελάχιστη συγκέντρωση παρατηρείται στις 4 το απόγευμα. Μέγιστο σε νιτρικά εμφανίζεται από τις 4 το απόγευμα ως 8 το πρωί. Η συγκέντρωση NO_3^- στους φυτικούς ιστούς βρίσκεται πάντα σε δυναμική ισορροπία, διότι αντιπροσωπεύει τη διαφορά μεταξύ απορρόφησης και αναγωγής μέσα στο φυτό. Επίσης μπορεί να λάβει χώρα μεταφορά από και προς ένα φυτικό τμήμα, μετά την απορρόφηση NO_3^- . Έτσι η συγκέντρωση NO_3^- μπορεί να μεταβληθεί με τροποποίηση μιας τουλάχιστον από τις πιο πάνω διεργασίες.

Σύμφωνα με τα σημερινά δεδομένα οι κλιματικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη συγκέντρωση νιτρικών στα φυτά είναι:



- ♦ **Φως.** Μείωση της έντασης φωτός ακολουθείται από αυξημένη συγκέντρωση NO_3^- . Το πρώτο στάδιο στην αναγωγή NO_3^- είναι η μετατροπή NO_3^- σε NO_2^- με το ένζυμο νιτρική αναγωγή (NR), που είναι μια μεταλλοφλαβοπρωτεΐνη. Το στάδιο αυτό είναι που καθορίζει την ταχύτητα αναγωγής. Το ένζυμο NR χάνει την αναγωγική ικανότητα πολύ γρήγορα στο σκοτάδι.

Ως προς την ένταση του φωτός παρατηρήθηκαν τα ακόλουθα: Η βράχυνση της φωτοπερίόδου αυξάνει τη συγκέντρωση NO_3^- .

Όσο αφορά την ποιότητα φωτός η δραστηριότητα του ενζύμου NR είναι μεγαλύτερη σε κυανό φως (380-470 nm) και άρα η συγκέντρωση NO_3^- είναι μικρότερη σε κυανό, σε σχέση με το ερυθρό φως (680-740 nm). Κατά την ανεπαρκή ένταση του φωτισμού ή τον περιορισμό της φωτεινής ημέρας, επιβραδύνεται η φωτοσύνθεση και επομένως μειώνεται η δημιουργία υδατανθράκων, γεγονός που οδηγεί στη μειωμένη αξιοποίηση των νιτρικών στην σύνθεση αμινοξέων (στις πρωτεϊνικές διαδικασίες). Ο παράγοντας αυτός αποκτά ιδιαίτερη σημασία για θερμοκηπιακές καλλιέργειες. Πειράματα σε σπανάκι έδειξαν ότι περνώντας από τα 6.460 LUX στα 37.660 LUX, η συγκέντρωση των νιτρικών στους ιστούς των φυτών μειώθηκε από 5,58% της ξηράς ουσίας σε 1,51% ξηράς ουσίας.

- ♦ **Θερμοκρασία.** Η θερμοκρασία επηρεάζει την απορρόφηση, μεταφορά και αναγωγή NO_3^- . Πτώση της θερμοκρασίας οδηγεί σε συγκέντρωση NO_3^- . Γι' αυτό σε χειμερινές καλλιέργειες μαρουλιών, λόγω των χαμηλών θερμοκρασιών, παρατηρούνται υψηλότερα ποσοστά NO_3^- σε σχέση με τις ανοιξιότικες καλλιέργειες. Η πτώση της θερμοκρασίας τη νύχτα δεν έχει τόσο μεγάλη επίδραση στην απορρόφηση NO_3^- όσο στην αναγωγή, γεγονός που οδηγεί σε συγκέντρωση NO_3^- . Η επίδραση της θερμοκρασίας ποικίλλει ανάλογα με το φυτικό είδος. Σύμφωνα με τους Gammore και Kafkasi (1980) σε έρευνα θερμοκηπίου όταν η θερμοκρασία στο ριζικό σύστημα είναι άνω των 17° C τα νιτρικά προτιμούνται από τα φυτά. Ενώ κάτω από 17° C τα αμμωνιακά είναι η καλύτερη πηγή αζώτου. Επίσης θερμοκρασία >30° C μπορεί να μειώσει τη δραστηριότητα της NR σε πολλά φυτά. Μεταξύ έντασης φωτός και θερμοκρασίας παρατηρείται αλληλεπίδραση, όσο αφορά την συγκέντρωση NO_3^- . Σε πολλές περιπτώσεις η θερμοκρασία ασκεί μέγιστη επίδραση με υψηλό N και χαμηλή ένταση φωτός. Το φως ασκεί την μέγιστη δράση σε υψηλή θερμοκρασία και υψηλό άζωτο.
- ♦ **Συγκέντρωση CO_2** Μείωση της συγκέντρωσης CO_2 συντελεί σε αύξηση της συγκέντρωσης NO_3^- . Αντίθετα εμπλουτισμός της ατμόσφαιρας σε CO_2 , μειώνει τη συγκέντρωση NO_3^- .



Β. Γενετικοί παράγοντες

Οι ποικιλίες σπανακιού με λεία φύλλα περιέχουν πολύ λιγότερα NO_3^- σε σύγκριση με τις ποικιλίες που έχουν σγουρά φύλλα, επίσης μεγαλύτερες συγκεντρώσεις βρέθηκαν σε ποικιλίες μαρουλιών κεφαλόμορφου (Butter head) τύπου. Οι διαφορές στις συγκεντρώσεις NO_3^- μπορεί να σχετίζονται με διαφορές στην απορρόφηση, αφομοίωση ή μεταφορά των NO_3^- . Στις ποικιλίες με λεία φύλλα η δραστηριότητα του ενζύμου NR είναι πολύ μεγαλύτερη, σε σύγκριση με τις σγουρές ποικιλίες. Πολλές φορές παρατηρείται συγκέντρωση NO_3^- στους μίσχους, διότι η δραστηριότητα του ενζύμου NR είναι μικρή. Η επιλογή γονότυπων με υψηλή δραστηριότητα NR τόσο στο υπέργειο τμήμα όσο και στις ρίζες, εξασφαλίζει την αναγωγή NO_3^- . Η δραστηριότητα του ενζύμου NR είναι ένα χαρακτηριστικό που κληρονομείται.

Πειραματικά αποτελέσματα του σταθμού Αγρονομίας και Φυσιολογίας Ι' INDRA D' ANTIDE'S έδειξαν ότι: Σε δύο διαφορετικές ποικιλίες μαρουλιού που δέχτηκαν την ίδια μεταχείριση αζώτου οι συγκεντρώσεις νιτρικών στα φύλλα δύο διαφορετικών ποικιλιών είναι διαφορετικές. Έχουμε για την ποικιλία APOLLO συγκέντρωση NO_3^- σε φύλλα 3.700 mgr/Kgr ενώ στην ποικιλία KLOEK 2.360 mgr/ Kgr

Διαπιστώθηκε ακόμη ότι οι πρώιμες ποικιλίες παρουσιάζουν μεγαλύτερη τάση συσσώρευσης νιτρικών (NO_3^-) στους ιστούς τους.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ NO_3^- (σε ppm) ΝΩΠΙΩΝ ΛΑΧΑΝΙΚΩΝ

Τμήμα φυτού	Λαχανικό	Lee	Maynard και Barker
Φύλλο	Λάχανο	207	165
"	Μαρούλι	63	170
"	Σπανάκι	468	524
Μίσχος	Σέλινο	226	535
"	Τεύτλο	548	600
"	Καρότο	76	32
"	Ραδίκι	456	402
Καρπός	Μπιζέλι	—	26
"	Τομάτα	—	20
Βλαστός	Σπαράγγι	—	25
Βολβός	Κρεμμύδι	—	14
Κόνδυλος	Πατάτα	—	42
Ανθοταξία	Μπρόκολα	214	—
"	Κουνουπίδι	238	—

Πηγή: Lee, Maynard, Barker

Εφοδιασμός NO_3^- καλλιεργούμενων σε θρεπτικό υπόστρωμα

Παρατηρείται υψηλή συγκέντρωση στα φυτά, όταν η συγκέντρωση NO_3^- στο θρεπτικό υπόστρωμα είναι υψηλή ή όταν παρεμποδίζεται από διάφορους παράγοντες ο μεταβολισμός τους μέσα στα φυτά.



Λίπανση και συσσώρευση νιτρικών

Η αποφυγή της συσσώρευσης των NO_3^- , σύμφωνα με τα όρια που έχουν θεσπιστεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση και τους διεθνείς οργανισμούς αποτελεί πλέον υποχρέωση των παραγωγών λαχανικών. Είναι προφανές ότι ο παράγοντας πάνω στον οποίο χρειάζεται να παρέμβουμε καταρχήν είναι το άζωτο. Τα αζωτούχα λιπάσματα (νιτρική αμμωνία, νιτρικό ασβέστιο, κ.λ.π.) ευνοούν τη συσσώρευση των νιτρικών μολονότι, διεγείροντας τη δράση της ρεδουκτάσης των νιτρικών, επιταχύνουν τους ρυθμιστές ανάπτυξης των φυτών (γνωρίζουμε ότι τα καλύτερα λαχανικά είναι εκείνα που παράγονται σε μικρό χρονικό διάστημα), με βάση το μέσο όρο του καλλιεργητικού κύκλου του κάθε είδους και της κάθε ποικιλίας.

Από έρευνες που έγιναν, βρέθηκε ότι η χρήση οργανικών ή αμμωνιακών λιπασμάτων ευνοούν τη συσσώρευση νιτρικών στα φυτά. Τα αμμωνιακά λιπάσματα (ουρία, θειικό αμμώνιο, κ.λ.π.) περιορίζουν τον κίνδυνο της συσσώρευσης των νιτρικών, τουλάχιστον μέχρις ότου δε μετατρέπονται με τη σειρά τους σε νιτρικό άζωτο στο έδαφος.

Συνεπώς και στις δύο περιπτώσεις είναι βασικό να προσέξουμε τη δόση και την εποχή χορήγησης των αζωτούχων λιπασμάτων. Οι μειωμένες δόσεις και η εποχή χορήγησης της τελευταίας δόσης (να απέχει πολύ από τη συλλογή) μπορούν να αποτελέσουν μεθόδους μείωσης των ποσοστών συσσώρευσης του νιτρικού αζώτου στους ιστούς των πιο επικίνδυνων ειδών.

Δε θα πρέπει να υποβαθμίζεται, ωστόσο, το νιτρικό άζωτο που περιέχει το έδαφος (το φυσικό) και που μπορεί να σχηματιστεί κατά τρόπο ανεξέλεγκτο μετά την αποσύνθεση της οργανικής ουσίας (λόγου χάριν μετά από αμειψισπορά ψυχανθών ή χλωρής λίπανσης). Γι' αυτό το λόγο αυτοί οι τύποι εδαφών θα πρέπει να αποκλείονται από την καλλιέργεια εκείνων των λαχανικών, που είναι ικανά να συγκεντρώσουν μεγάλες ποσότητες νιτρικών.

Ο ανταγωνισμός μεταξύ νιτρικού και αμμωνιακού αζώτου στο υπόστρωμα καλλιέργειας, παρέχει μια περαιτέρω ευκαιρία ελέγχου της συσσώρευσης των νιτρικών. Αλλά αυτό είναι δυνατόν μόνο στα φτωχά σε οργανική ουσία εδάφη (αμμώδη εδάφη, κοκκινοχώματα) όπου, με μια σωστή διαχείριση της ανόργανης λίπανσης, μπορούμε να ικανοποιήσουμε τις απαιτήσεις της καλλιέργειας,

Ορισμένες έρευνες απέδειξαν ότι τα αμμωνιακά λιπάσματα που χορηγούνται στα λαχανικά, τα οποία καλλιεργούνται σε φτωχά σε οργανική ουσία εδάφη, παρέχουν τη δυνατότητα παραγωγής μεγάλων ποσοτήτων προϊόντων με χαμηλά ποσοστά NO_3^- , ενώ στα πλούσια σε οργανική ουσία εδάφη το αμμωνιακό άζωτο δε διακόπτει τη συσσώρευση των νιτρικών, λόγω υπερβολικής παρουσίας νιτρικού αζώτου στο έδαφος. Και αυτό γιατί τα φυτά απορροφούν αμμωνιακό άζωτο, χωρίς όμως να πειράζει, εάν στο μέσο καλλιέργειας υπάρχει και μια μέτρια ποσότητα νιτρικού αζώτου, που μπορεί



να καλύψει τις ποσότητες εκείνες, που συνδέονται με το μεταβολισμό του αζώτου. Σύμφωνα με τα είδη, για να πραγματοποιηθεί αυτός ο μηχανισμός, η σχέση μεταξύ NO_3^- και NH_4^+ αζώτου, μπορεί να κυμαίνεται από 1 μέχρι 10.

Ο ανταγωνισμός μεταξύ του νιτρικού και του αμμωνιακού αζώτου μπορεί πιο εύκολα να ρυθμιστεί στις καλλιέργειες σε θρεπτικά υποστρώματα, όπου επίσης μπορούμε να μειώσουμε δραστικά τη συγκέντρωση των νιτρικών στους φυτικούς ιστούς, καταργώντας το άζωτο του θρεπτικού διαλύματος στα τελευταία στάδια της καλλιέργειας, υποχρεώνοντας έτσι τα φυτά να χρησιμοποιήσουν τα μεγάλα ποσοστά νιτρικού αζώτου που ήδη έχουν συσσωρεύσει. Πιο δύσκολη είναι αντίθετα η ρύθμιση στο χωράφι.

Τέλος ο παράγοντας που φέρει την κύρια ευθύνη της εμφάνισης του προβλήματος στον ανησυχητικό βαθμό που υπάρχει σήμερα είναι η εφαρμοζόμενη αζωτούχος λίπανση. Κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες (συνθήκες εργαστηρίου) η συσσώρευση NO_3^- είναι συνάρτηση της ποσότητας και του τύπου της παρεχομένης λίπανσης.

Σε πειραματική καλλιέργεια σπανακιού σε φυτοδοχεία (Μάνος & Παπαδόπουλος, 1986), διαπιστώθηκε ότι η αμμωνιακή λίπανση έδωσε μικρότερη συσσώρευση νιτρικών σε φύλλα σπανακιού απ' όση η νιτρική. Παρά τις μεγάλες ποσότητες που προστέθηκαν, η συσσώρευση NO_3^- είναι σαφώς χαμηλότερη στις μεταχειρίσεις με οργανική λίπανση.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2: ΝΙΤΡΙΚΟ ΚΑΙ ΟΛΙΚΟ ΑΖΩΤΟ ΣΤΑ ΒΡΩΣΙΜΑ ΜΕΡΗ ΝΩΠΙΟΥ ΠΡΟΪΟΝΤΟΣ

ΜΟΡΦΗ ΛΙΠΑΝΣΗ	Ποσότητα	ΝΙΤΡΙΚΟ Mgt/kg	ΑΖΩΤΟ Mgt/φυτό	ΟΛΙΚΟ ΑΖΩΤΟ Mgt/φυτό	Ποσότητα NO_3^- σε σχέση με ολικό N
Νιτρική Αμμωνία	10 μον/στρ	551	10,38	72	14,14 %
«	20 μον/στρ	1127	28,02	112	25,01 %
«	30 μον/στρ	1371	34,35	109	31,50 %
Θειική Αμμωνία	10 μον/στρ	553	11,52	83	13,87 %
«	20 μον/στρ	893	23,91	115	20,79 %
«	30 μον/στρ	1021	26,46	120	22,05 %
Οργανική Λίπανση	5 τον./στρ	198	4,26	76	6,08 %
«	10 τον./στρ	311	8,15	90	9,06 %
«	15 τον./στρ	546	14,14	114	12,40 %
Μικτή Λίπανση	5 τον./στρ + 10 μον./στρ	600	17,99	126	14,27 %

ΠΗΓΗ: Μάνος Γ. - Παπαδόπουλος Γ (1986)



ΠΙΝΑΚΑΣ 3: ΑΠΟΔΟΣΕΙΣ ΣΕ ΝΩΠΙΟ ΠΡΟΪΟΝ ΚΑΙ ΞΗΡΗ ΟΥΣΙΑ ΦΥΤΩΝ ΣΠΑΝΑΚΙΟΥ

ΟΡΓΗ ΛΙΠΑΝΣΗΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	Αποδόσεις σε νωπό προϊόν gr/δοχείο	Αποδόσεις σε ξηρή ουσία gr/δοχείο	Ποσοστό ξηράς ουσίας επί
Νιτρική Αμμωνία	10 μον. /στρ	18,84	1,42	7,58
«	20 μον. /στρ	24,87	1,93	7,77
«	30 μον. /στρ	25,06	1,96	7,86
Θειική Αμμωνία	10 μον. /στρ	20,84	1,63	7,83
«	20 μον. /στρ	26,78	2,09	7,82
«	30 μον. /στρ	25,92	2,14	8,28
Οργαν. λίπανση	5 τον./στρ	23,37	1,86	7,99
«	10 τον./στρ	26,22	2,00	7,63
«	15 τον./στρ	25,91	2,17	8,40
Μικτή λίπανση	5 τον./στρ + 10 μον./στρ	29,98	2,37	7,91

ΠΗΓΗ: Μάνος Γ. - Παπαδόπουλος Γ (1986)

Η μικτή λίπανση έδωσε μια ενδιάμεση περιεκτικότητα σε NO_3^- . Οι αποδόσεις, όπως φαίνεται στον πίνακα, τόσο στην ανόργανη όσο και στην οργανική λίπανση δεν διαφέρουν μεταξύ τους ειδικά στις δυο υψηλότερες δόσεις, όπου χορηγήθηκαν 20 και 30 μονάδες αζωτούχου λίπανσης και 10 με 15 τόνοι κοπριάς στο στρέμμα αντίστοιχα. Τις καλύτερες αποδόσεις έδωσε η μικτή λίπανση. Στο χωράφι, όπου έχουμε συνδυασμένη δράση πολλών παραγόντων, το φαινόμενο της συσσώρευσης των νιτρικών γίνεται πολύπλοκο.

Οι συντελεστές αξιοποίησης από τα φυτά του αζώτου σε συνθήκες υπαίθρου σπάνια φτάνει το 60% και με την αύξηση των δόσεων των αζωτούχων λιπασμάτων ο συντελεστής αξιοποίησης μειώνεται, με αποτέλεσμα οι απώλειες να αυξάνουν. Σε πειράματα που έγιναν στο Αγρίνιο την άνοιξη του 1988 σε καλλιέργεια καπνού, βρέθηκε ότι οι απώλειες αζώτου σε συνάρτηση με τις μονάδες αζώτου ανά στρέμμα, κυμάνθηκαν σε διαφορετικά επίπεδα, όπως φαίνεται και στο σχετικό πίνακα. Αξίζει να επισημανθεί ότι την περίοδο αυτή επικράτησε έντονη ξηρασία, ενώ σε συνθήκες αυξημένων βροχοπτώσεων οι απώλειες N μπορεί να φτάσουν στο 80% των παρεχόμενων



μονάδων.

Παρεχόμενες μονάδες N/στρ	Απώλειες Αζώτου
12	25 %
25	34 %
60	48 %

Θα λέγαμε συνοψίζοντας ότι μιλάμε για απώλειες N των αζωτούχων λιπασμάτων κατά μέσο όρο 20-30 % κι όμως αντιμετωπίζουμε πρόβλημα συσσώρευσης NO_3^- , πρόκειται για δύο αντιφατικές διαπιστώσεις .

Για να καταλάβουμε τι συμβαίνει θα πρέπει και στο χωράφι (όπως και στο εργαστήριο) να επισημάνουμε το ρόλο στη συσσώρευση νιτρικών της ποσότητας και του τύπου του λιπάσματος.

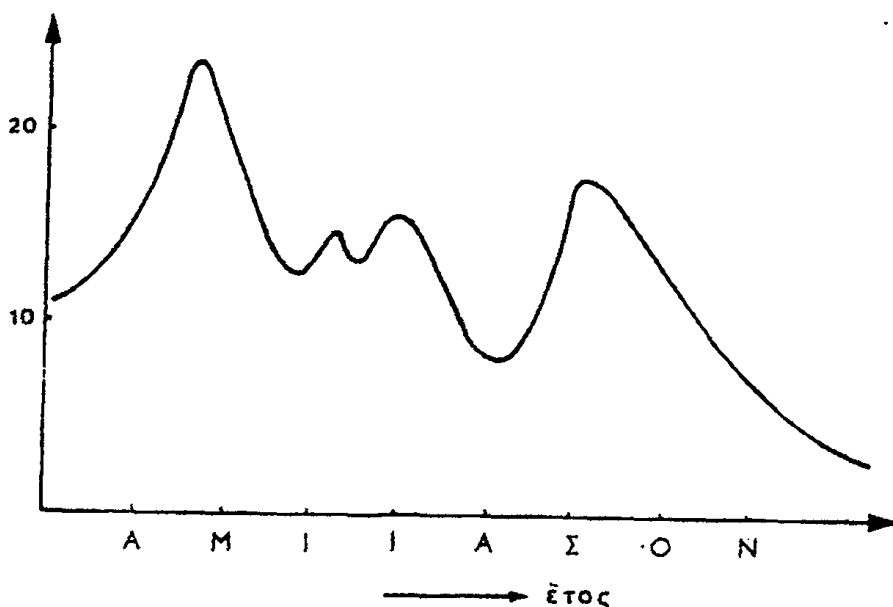
Χορηγούνται συχνά ανεξέλεγκτα ποσότητες σε νιτρική μορφή ή με τη μορφή κοπριάς, όπου στην δεύτερη περίπτωση ο έλεγχος αποδέσμευσης του οργανικού αζώτου είναι δύσκολος. Είναι επίσης άσκοπη, αν όχι επικίνδυνη, η χορήγηση συμπληρωματικής αζωτούχας λίπανσης, κυρίως νιτρικής μορφής, λίγο καιρό πριν τη συγκομιδή.

Έχει αποδειχθεί πειραματικά σε φυτά καρότου ότι η συσσώρευση νιτρικών στα υπόγεια μέρη τους, εξαρτάται από την ποσότητα νιτρικού αζώτου στο έδαφος κατά τα τελευταία στάδια ανάπτυξης των φυτών.

Εξετάζοντας τον τύπο του εδάφους, θα πρέπει να σταθούμε στην μηχανική του σύσταση, διότι ενώ σε ένα αργιλώδες έδαφος μπορεί να έχουμε κάποια συγκράτηση των NO_3^- , στα λεπτόκοκκα συστατικά του, άρα και πιθανή συσσώρευση, με τις ίδιες δόσεις σε ένα αμμουδερό, ειδικά μετά από έντονη βροχόπτωση, έχουμε έκπλυση και διήθηση των NO_3^- σε βαθύτερα στρώματα από αυτό του ριζοστρώματος. Επίσης η οξύτητα επιδρώντας πάνω στους μικροοργανισμούς, μπλοκάρει την νιτροποίηση, οπότε φυτά που προέρχονται από όξινα χωράφια, μπορεί να έχουν μικρότερες συγκεντρώσεις NO_3^- , από αντίστοιχα φυτά αλκαλικών ή ουδέτερων χωραφιών, αν και έχουν δεχθεί τις ίδιες μεταχειρίσεις.

Δεν λησμονούμε βέβαια και την ετήσια διακύμανση του νιτρικού αζώτου στο έδαφος, όπως αυτή προκύπτει από παρατηρήσεις του Πανεπιστημίου ROTH AMSTED στην Αγγλία. Τα νιτρικά στο έδαφος παρουσιάζουν ένα μέγιστο κατά τις αρχές του καλοκαιριού κι ένα μέγιστο δεύτερο στις αρχές φθινοπώρου.





ΕΙΚΟΝΑ 12: Η ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΤΟΥ ΝΙΤΡΙΚΟΥ ΑΖΩΤΟΥ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΟΥ ΕΤΟΥΣ.

ΠΗΓΗ: Πανεπιστήμιο ROTH AMSTED Αγγλίας

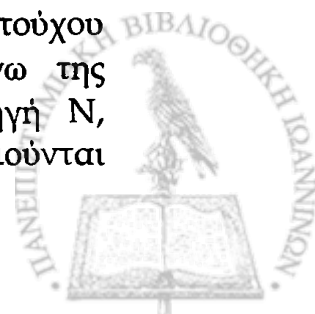
Από πειράματα που πραγματοποιήθηκαν (Μάνος και Παπαδόπουλος, 1986) σε επίπεδο 4 παραγωγών με καλλιέργεια καρότου και την χρήση της παραδοσιακής μκτής λίπανσης, απέδειξαν ότι η συσσώρευση NO_3^- εξαρτάται στενά από τη σύμπτωση των φάσεων, υψηλής απορρόφησης θρεπτικών στοιχείων από τα φυτά και των περιόδων έντονης ανοργανοποίησης της οργανικής ουσίας του εδάφους.

Συγκεκριμένα στο 1^ο δείγμα τον Αυγούστου, οι τιμές NO_3^- -N βρισκόταν κάτω από το όριο των 67,7 mg/kg, ενώ το Σεπτέμβριο όπου το φυτά βρίσκονται στο τελευταίο στάδια ανάπτυξης, όλες οι πειραματικές μονάδες ξεπέρασαν το όριο. Το Σεπτέμβριο παρατηρήθηκε και έντονη ανοργανοποίηση του δεσμευμένου οργανικού αζώτου στην κοπριά.

Εάν τους παραπάνω παράγοντες μπορούμε κατά κάποιον τρόπο να τους επηρεάσουμε, είναι δύσκολο (εάν όχι αδύνατον) να ελέγξουμε τις κλιματικές παραμέτρους και τις δραστηριότητες της μικροχλωρίδας. Ρυθμίζοντας το pH του εδάφους και εφαρμόζοντας αποστράγγιση σε υγρά εδάφη (αναερόβιες συνθήκες), επηρεάζουμε έστω και έμμεσα την δραστηριότητα των μικροοργανισμών του εδάφους.

Η συγκέντρωση NO_3^- στα λαχανικά προκύπτει, κυρίως από τα NO_3^- που προστίθενται ή σχηματίζονται στο θρεπτικό υπόστρωμα. Το ποσό N και το είδος λιπάσματος που χορηγείται, καθώς και ο χρόνος και η μέθοδος εφαρμογής του καθορίζουν την δράση των λιπασμάτων στην συγκέντρωση NO_3^- στα λαχανικά.

Η συνήθης αρχή είναι ότι με αύξηση του επιπέδου της αζωτούχου λίπανσης, αυξάνεται η συγκέντρωση NO_3^- στα λαχανικά. Λόγω της ανοργανοποίησης και νιτροποίησης το NO_3^- είναι η κύρια πηγή N, ανεξάρτητα από την πηγή N που χορηγείται. Υλικά που ανοργανοποιούνται



γρήγορα συντελούν σε ταχεία συγκέντρωση NO_3^- .

Από τα λιπάσματα σε καλλιέργεια σπανακιού τη μικρότερη αύξηση NO_3^- στα φύλλα έδωσε η ουρία και την μέγιστη το νιτρικό κάλιο (KNO_3).

Το ιόν NH_4^+ μειώνει την απορρόφηση NO_3^- σε σχέση με την δράση των ιόντων Ca, K, Na και Mg. Επίσης το ιόν NH_4^+ αναστέλλει την δράση του ενζύμου NR, ενώ το ιόν NO_3^- προάγει την δραστηριότητα του ενζύμου.

Αναστολείς νιτροποίησης

Η χρήση αμμωνιακών λιπασμάτων και αναστολέων νιτροποίησης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο της συγκέντρωσης NO_3^- στα λαχανικά.

Επίδραση λοιπών στοιχείων στην συγκέντρωση NO_3^-

- Ο εφοδιασμός Φωσφόρου (P) δεν επιδρά σημαντικά στην συγκέντρωση NO_3^- στα λαχανικά.
- Η έλλειψη Θείου (S) οδηγεί στην συγκέντρωση NO_3^- στα λαχανικά. Έλλειψη S μειώνει την δραστηριότητα του ενζύμου NR και οδηγεί σε συγκέντρωση NO_3^- στους φυτικούς ιστούς. Έχει μεγάλη σημασία να διατηρήσουμε άριστο επίπεδο S για να αποφευχθεί η συγκέντρωση NO_3^- στους φυτικούς ιστούς. Επίσης η έλλειψη S μειώνει την αποτελεσματικότητα χρησιμοποίησης N στα φυτά. Έτσι η τροφопενία S μπορεί να αυξήσει την απώλεια N από γεωργικά εδάφη, μέσω της απονιτροποίησης και της έκπλυσης.
- Η παρουσία Καλίου (K) αυξάνει την απορρόφηση NO_3^- .
- Δεν παρατηρήθηκε συγκεκριμένη τάση της επίδρασης Ασβεστίου (Ca) στην συγκέντρωση NO_3^- στα λαχανικά. Έλλειψη Ca μειώνει την αύξηση των ριζών με συνέπεια και την απορρόφηση NO_3^- . Το Ca ασκεί επίδραση στην απορρόφηση NO_3^- και πιθανώς στην αναγωγή του. Σε αντίθεση με τα NO_3^- που ευνοούν την προσρόφηση Ca και Mg και εμποδίζουν αυτή των φωσφορικών (Μπούρμπος - Σκουντριδάκης 1990).

Επίδραση ιχνοστοιχείων

Εξετάζοντας τον παράγοντα ιχνοστοιχεία, θα πρέπει να έχουμε βαθιά συνειδητοποιήσει τον καθοριστικό τους ρόλο στην ισορροπία θρέψης του φυτού, ξέχωρα από τις απαραίτητες συγκεντρώσεις τους που είναι κάποια μέρη στο εκατομμύριο (ppm).

Ειδικότερα ενδιαφέρον παρουσιάζει το ιχνοστοιχείο Μολυβδαίνιο



(Μο) που αποτελεί βασικό δομικό συστατικό της νιτρικής ρεδουκτάσης ή νιτρικής αναγωγάσης), η οποία καταλύει την αντίδραση μετατροπής των νιτρικών (NO_3^-) σε νιτρώδη (NO_2^-) μέσα στο φυτό. Σε φυτά με έλλειψη Μο τα NO_3^- συγκεντρώνονται και φθάνουν ως το 3% του ξηρού βάρους. Φυτά που λιπαίνονται με NH_4^+ δεν παρουσιάζουν τέτοια εξάρτηση από το Μο. Η έλλειψη Μο οδηγεί σε συγκέντρωση NO_3^- . Αντίστοιχα το ιχνοστοιχείο Μαγγάνιο (Μη) αποτελεί συστατικό της Νιτρώδους Ρεδουκτάσης, του ενζύμου που είναι υπεύθυνο για την περαιτέρω μετατροπή των νιτρώδων. Όσον αφορά τα μη θεμελιώδη στοιχεία η αύξηση του εναλλακτικού Νατρίου (Να) στο έδαφος αυξάνει την απορρόφηση NO_3^- .

Πολλοί ερευνητές επιχείρησαν να κάνουν χρήση του γεγονότος αυτού στην γεωργική πρακτική. Συγκεκριμένα στην περιοχή LIMOUSINE της κεντροδυτικής Γαλλίας η εταιρεία DIERAL που παράγει παιδικές τροφές σε βαζάκια εφάρμοσε ένα εκτεταμένο πρόγραμμα παροχής των δύο αυτών ιχνοστοιχείων στα φυτά είτε από το έδαφος, είτε από το φύλλωμα. Με τον τρόπο αυτό επιτεύχθηκε μεγαλύτερη ενεργοποίηση των ενζύμων, και μετατροπή των νιτρικών. Όμως σε φυτά που έχουν την τάση να απορροφούν μεγάλες ποσότητες νιτρικών (όπως το σπανάκι και το καρότο), η προσθήκη αυτή δεν μπόρεσε να επιλύσει παρά ένα μέρος του προβλήματος. Οι δυνατότητες αύξησης της ποσότητας των αναγωγικών ενζύμων είναι περιορισμένες. Στόχος μας βέβαια είναι η αποφυγή τροφοπενιών Μαγγανίου (Μη) ή Μολυβδαινίου (Μο). Η πρώτη παρατηρείται σε υψηλή pH λόγω οξείδωσης του αφομοιώσιμου δισθενούς Μαγγανίου (Μη) σε οξείδιο του Μαγγανίου (MnO_2) από τη δράση μικροοργανισμών, ενώ η δεύτερη είναι φαινόμενο των όξινων εδαφών.

Άλλοι παράγοντες

Πέρα όμως από όλους αυτούς τους παράγοντες που αφορούν τον φυτικό οργανισμό αυτόν καθ' αυτόν και τη συμπεριφορά τους, υπάρχουν και κάποιοι άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν τη συσσώρευση νιτρικών στους φυτικούς ιστούς όπως:

Το ζιζανιοκτόνο σιμαζίνη Η σιμαζίνη προκαλεί σημαντική αύξηση των πρωτεϊνών των φύλλων και ακόμη σημαντική αύξηση της ρεδουκτάσης των νιτρικών, χωρίς να είναι γνωστό αν πρόκειται για άμεση ή έμμεση επενέργεια.

Το ζιζανιοκτόνο 2,4 D. Ραντίζοντας (παλαιότερα γιατί σήμερα έχει απαγορευτεί η χρήση του) για την καταπολέμηση των ζιζανίων στο χωράφι, επηρεαζόταν επικίνδυνα η συγκέντρωση των NO_3^- στα φυτά. Συγκεκριμένα το ζιζανιοκτόνο 2,4 D ανακόπτει την διαδικασία νιτροποίησης στο έδαφος, που σημαίνει ότι η εφαρμοζόμενη αζωτούχα λίπανση, επιφέρει αποτελέσματα μήνες μετά, εφόσον παρήλθε η δράση του ζιζανιοκτόνου, οπότε στο φυτό παρέχονται νιτρικά πιθανότατα σε ακατάλληλο βλαστικό στάδιο (π.χ. η



περίοδος πριν από τη συγκομιδή). Στο καλαμπόκι και στα ζαχαρότευτλα αυξανόταν απότομα η συγκέντρωση των νιτρικών μετά από ψεκασμό με 2,4 D. Η άμεση κατανάλωση τέτοιων φυτών, ειδικά από τα μηρυκαστικά ζώα είναι επιβλαβής. Κατά την αποθήκευση, επίσης καλαμποκιού, σόργου και βρώμης που περιείχαν νιτρικά, αυτά σχημάτισαν οξείδια του αζώτου και η παραμονή εργατών μέσα στις αποθήκες ακόμη και για μικρό χρονικό διάστημα, προκάλεσε σε αυτούς χημική πνευμονία, όπως ενδεικτικά αναφέρουν οι μελέτες που έγιναν από την Ιατρική Σχολή του Πανεπιστημίου της Μινεσότα στις ΗΠΑ.

Ταχύτητα απορρόφησης ανιόντος και κατιόντος του ίδιου άλατος

Το κατιόν και το ανιόν ενός άλατος έχουν διαφορετική ταχύτητα απορρόφησης από τα φυτά. Στην περίπτωση που το κατιόν απορροφάται γρηγορότερα από το ανιόν από το ριζικό σύστημα του φυτού, η διαφορά σε αρνητικά φορτία καλύπτεται με τη σύνθεση από το φυτό οργανικών οξέων, τα οποία στο φυσιολογικό pH του κυττάρου είναι κατά 80-90% υπό μορφή ανιόντων. Τα οργανικά οξέα που παράγονται από το φυτό σχετίζονται άμεσα με την απορρόφηση των ιόντων. Από μέτρηση του περιεχομένου σε οργανικά οξέα, βρέθηκε ότι **το μεγαλύτερο περιεχόμενο είχαν τα κύτταρα σε φυτά που λιπάνθηκαν με θειικό κάλιο (K_2SO_4)**. Εκεί παρατηρήθηκε και μεγαλύτερη απορρόφηση νιτρικών (Θεριός 1996).

Έτσι προκύπτει το συμπέρασμα ότι **όσο μεγαλύτερο είναι το περιεχόμενο των ριζών σε οργανικά οξέα, τόσο μεγαλύτερη είναι η απορρόφηση των νιτρικών**. Μάλιστα η ποσότητα των νιτρικών ιόντων που απορροφάται είναι στοιχειομετρικά ισοδύναμη με τη σύνθεση του μηλικού οξέος στο φυτό.

Το περιεχόμενο των φυτών σε οργανικά οξέα μπορεί να επηρεαστεί με την ανόργανη θρέψη. Έτσι τοποθέτηση του ριζικού συστήματος σε άλας με ταχεία απορρόφηση κατιόντων και βραδεία ανιόντων (K_2SO_4) επαυξάνει τη σύνθεση οργανικών οξέων, ενώ τοποθέτηση σε άλατα βραδείας απορρόφησης κατιόντων και ταχείας ανιόντων ($CaCl_2$) μειώνει τη σύνθεσή τους.

Καταλήγουμε συνεπώς στο συμπέρασμα ότι η συσσώρευση των νιτρικών στο φυτό επηρεάζεται από γενετικούς, κλιματικούς και καλλιεργητικούς παράγοντες που δρουν συνεργηστικά και μπορούν να ελεγχθούν με την ορθή διαχείριση της αζωτούχου λίπανσης, αλλά μόνο μετά από μια προσεκτική αγρονομική στάθμιση των ειδικών συνθηκών καλλιέργειας.

Κατανομή NO_3^- στα φυτά

Τα νιτρικά τείνουν να κατανέμονται ανομοιόμορφα στα φυτά, με τάση συγκέντρωσης σε ορισμένα όργανα. Γενικά μπορούμε να πούμε ότι η συγκέντρωση NO_3^- είναι μικρότερη σε ανθικά τμήματα και αυξάνεται στον



καρπός ή στον σπόρο, στις ρίζες, στους βλαστούς, στα φύλλα και ιδιαίτερα στους μίσχους και τις νευρώσεις (Σιμώνης 1991). Μέσα στο ίδιο φυτό η συγκέντρωση NO_3^- είναι υψηλότερη σε γηραιότερους ιστούς. Στην ντομάτα υψηλότερη συγκέντρωση NO_3^- βρέθηκε στο μίσχο των φύλλων. Έτσι έχουμε μεγαλύτερη συγκέντρωση NO_3^- στα φυλλώδη λαχανικά παρά στη ντομάτα και τα αγγούρια όπου το προϊόν είναι ο καρπός.

Μερικά φυτά συγκεντρώνουν πολλά νιτρικά. Παρατηρείται όμως σημαντική διακύμανση στην συγκέντρωση NO_3^- στα ίδια όργανα, αλλά σε διαφορετικά φυτά (π.χ. οι ρίζες τεύτλων περιέχουν πολλά NO_3^- , ενώ τα καρότα γενικά έχουν πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις). Τα τεύτλα, το σπανάκι και το ραδίκι απορροφούν και συγκεντρώνουν NO_3^- . Επίσης τα φυτά που συγκεντρώνουν νιτρικά είναι τα μπρόκολα, το σέλινο, το μαρούλι, το παντζάρι και άλλα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4: ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΝΙΤΡΙΚΩΝ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΑ ΕΙΔΗ ΦΥΤΩΝ
(Sicilliano et al 1975)

ΕΙΔΟΣ ΦΥΤΟΥ	Περιεκτικότητα NO_3^- σε ppm νωπού βάρους
Αραβόσιτος	45
Ντομάτα	62
Κουνουπίδι	547
Λάχανο	635
Μαρούλι	850
Σπανάκι	1.860
Σέλινο	2.340
Παντζάρι	2.760

Πηγή: Σιμώνης 1991

Στον πίνακα 5 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι περιεκτικότητες σε νιτρικά σε συνδυασμό με τον αριθμό των ημερών μετά τη φύτευση για φυτά μαρουλιού, ενώ στον πίνακα 6 δίνονται οι συγκεντρώσεις σε νιτρικά στον καρπό φυτών κόκκινης πιπεριάς και κολοκυθιού, όσον αφορά πριν και μετά την ωρίμανση του καρπού.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5: ΣΧΕΣΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΝΙΤΡΙΚΩΝ ΚΑΙ ΗΛΙΚΙΑΣ ΦΥΤΩΝ ΜΑΡΟΥΛΙΟΥ

ΗΜΕΡΕΣ ΜΕΤΑ ΤΟ ΦΥΤΡΩΜΑ	Νιτρικά νωπών φυτικών ιστών (mg/Kgr)
63	4.139
75	3.942
81	3.477

Πηγή: Σταθμός Αγρονομίας & Φυσιολογίας I' INTRA D' ANTIDES PARIS 1986



ΠΙΝΑΚΑΣ 6: ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΝΙΤΡΙΚΩΝ ΠΡΙΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΩΡΙΜΑΝΣΗ

ΦΥΤΟ	Προ της ωρίμανσης σε mgr/Kgr	Ωριμοί καρποί σε mgr/Kgr
Κόκκινη πιπεριά	210	23
Κόκκινη πιπεριά	230	40
Κολοκύθι	470	90

Πηγή: Σταθμός Αγρονομίας & Φυσιολογίας I' INTRA D' ANTIDES PARIS 1986

Είναι προφανές ότι τα νεώτερα φυτά και τα ανώριμα έχουν τις υψηλότερες συγκεντρώσεις. Ειδικά οι άγουροι καρποί μπορεί να περιέχουν 10 φορές μεγαλύτερες συγκεντρώσεις από τους ώριμους καρπούς.

Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται η σημασία που θα πρέπει να δώσουμε στο τμήμα και στο όργανο του φυτού που θα χρησιμοποιήσουμε.

ΠΙΝΑΚΑΣ 7: ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΣΤΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΝΙΤΡΙΚΩΝ ΣΕ ΤΜΗΜΑΤΑ ΦΥΤΩΝ ΜΑΡΟΥΛΙΟΥ ΤΗΣ ΠΟΙΚΙΛΙΑΣ RAVEL

ΦΥΛΛΑ	% ξηρή ουσία σε νωπό προϊόν	NO ₃ ⁻ στην ξηρή ουσία (mgr/Kgr)	NO ₃ ⁻ στην ξηρή ουσία (%)
Εξωτερικά	4,42	3.030	6,85
Μεσαία	3,78	1.410	3,72
Εσωτερικά	4,42	670	1,52

Πηγή: Ερευνητικός σταθμός της CHAN GINS (1987)

Ο ερευνητικός σταθμός της CHAN GINS καθιστά φανερό ότι η συγκέντρωση σε NO₃⁻ των εξωτερικών φύλλων μπορεί να κυμαίνεται και 5 φορές παραπάνω από τα NO₃⁻ που περιέχουν τα εσωτερικά φύλλα. Έχει ακόμα διαπιστωθεί ότι το φυτό χρησιμοποιεί σαν άμεσες αποθήκες νιτρικών τους μίσχους και τους βλαστούς του όπου φέρουν τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις παρά τους καρπούς του.

Η συγκέντρωση NO₃⁻ σε επεξεργασμένα λαχανικά είναι πολύ μικρότερη από ότι σε νωπά λαχανικά. Γενικά η συγκέντρωση NO₃⁻ σε κονσέρβα σπανάκι είναι το 60% του νωπού σπανακιού, που οφείλεται στο ξέπλυμα αυτών κατά τη διαδικασία πλυσίματος και κυρίως κατά το βράσιμο (blanching). Με το βρασμό των λαχανικών απομακρύνεται σημαντικό μέρος των νιτρικών, που περιέχονται σε αυτά. Έτσι το νερό που έβρασαν λαχανικά δεν πρέπει να καταναλώνεται.



Νιτρικά και εσωτερική ζημιά στα κουτιά των κονσερβών

Τα NO_3^- ενεργούν ως οξειδωτικός παράγοντας και προκαλούν αποκασιτέρωση των κουτιών των κονσερβών. Η οξείδωση των δοχείων οφείλεται τόσο στα νιτρικά όσο και σε άλλους παράγοντες όπως οξαλικό οξύ, pH του προϊόντος κ.λ.π.

Νιτρικά και ποιότητα των επεξεργασμένων προϊόντων

Η συγκέντρωση N και NO_3^- στα λαχανικά ασκεί σημαντική επίδραση στην ποιότητα ορισμένων επεξεργασμένων προϊόντων. Έτσι στα τεύτλα η συγκέντρωση σακχαρόζης και γλουταμίνης σχετίζονται με την λίπανση N. Τόσο η σακχαρόζη όσο και η γλουταμίνη παίζουν σημαντικό ρόλο στην ποιότητα των τεύτλων. Χωρίς προσθήκη αζωτούχου λιπάσματος οι ρίζες των τεύτλων έχουν χαμηλή συγκέντρωση NO_3^- και γλουταμίνης και μικρή απόδοση.

· Χορήγηση N προ της σποράς σε τεύτλα, είχε ως συνέπεια την δημιουργία ριζωμάτων με υψηλή συγκέντρωση NO_3^- που σταδιακά μειωνόταν με τον χρόνο ως 0,01% NO_3^- -N (ξηρό βάρος) στην συγκομιδή. Η απόδοση σε ριζώματα ήταν υψηλή με 1,79% ολικό N.

· Χορήγηση αζώτου κατά μήκος των γραμμών σε καλλιέργεια τεύτλων αύξησε την συγκέντρωση NO_3^- -N και γλουταμίνης στις ρίζες, η απόδοση όμως δεν είναι τόσο υψηλή, όπως με χορήγηση N προ της φύτευσης.

Λόγω της συγκέντρωσης γλουταμίνης με αύξηση της χορήγησης N στα τεύτλα, παρατηρήθηκε σχηματισμός της ένωσης 2-pyrrolidone-5-carboxylic acid (PCA) από την ευαίσθητη στην θερμική επεξεργασία γλουταμίνη και συμβάλλει στην απόκτηση δυσοσμίας στα κονσερβοποιημένα τεύτλα.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΝΙΤΡΙΚΑ ΣΤΑ ΛΑΧΑΝΙΚΑ

Συγκέντρωση νιτρικών στα λαχανικά

Η αποφυγή της συγκέντρωσης των νιτρικών στα λαχανικά αποτελεί πλέον υποχρέωση του παραγωγού ο οποίος θα πρέπει να τηρεί τους κανόνες που έχει θεσπίσει η Ευρωπαϊκή Ένωση. Στη χώρα μας και ιδίως στη νότια Ελλάδα ωστόσο, οι συγκεντρώσεις στα λαχανικά, φαίνεται να είναι σαφώς χαμηλότερες συγκριτικά με εκείνες που διαπιστώνονται στις χώρες της βόρειας Ευρώπης. Αυτό οφείλεται στο ότι στην Ελλάδα επικρατούν συνθήκες (φωτισμού, θερμοκρασίας), που αυξάνουν την αποτελεσματικότητα της ρεδουκτάσης σχεδόν ολόκληρο το χρόνο. Εξαιρέση αποτελεί η χειμερινή περίοδος όπου οι ώρες φωτισμού περιορίζονται και οι θερμοκρασία πέφτει με έντονες διακυμάνσεις μεταξύ ημέρας και νύχτας.

Λαχανικά με υψηλή συσσωρευτική ικανότητα

Η δυναμική του κινδύνου ποικίλλει σημαντικά σε σχέση με τα διάφορα τμήματα του φυτού. Γενικά η συσσώρευση των νιτρικών στα ανθικά όργανα είναι πάρα πολύ χαμηλή. Αυξάνει σταδιακά στους καρπούς, σπόρους, φύλλα, ρίζες, μίσχους και στελέχη. Ορισμένα φυτά συνήθως αποτελούν μεγάλους συσσωρευτές νιτρικών, όπως το σπανάκι, το μαρούλι, το σέλινο, το λάχανο, το μπρόκολο, το κουνουπίδι, το ρεπάνι, το παντζάρι, ενώ το καρότο, το κρεμμύδι, η πατάτα, το φασολάκι και η γλυκοπατάτα, αποτελούν μικρούς συσσωρευτές νιτρικών.

ΠΙΝΑΚΑΣ 8: ΜΕΣΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΠΡΟΣΛΗΨΗ ΝΙΤΡΙΚΩΝ ΚΑΤΑ ΚΑΤΟΙΚΟ ΣΤΙΣ ΗΠΑ

Πηγή νιτρικών	ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΠΡΟΣΛΑΜΒΑΝΟΜΕΝΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΝΙΤΡΙΚΩΝ	
	Mgr	%
Λαχανικά	86,1	81,2
Φρούτα	1,4	1,3
Γάλα και προϊόντα	0,2	0,2
Ψωμί	2,0	1,9
Νερό	0,7	0,7
Διατηρημένο κρέας	15,6	14,7
ΣΥΝΟΛΟ	106,0	100,0



Καλά θα είναι να έχουμε υπόψη, ότι αυτή η ταξινόμηση δεν είναι δεδομένη, αφού η συγκέντρωση των νιτρικών μπορεί να εξαρτηθεί από γενετικούς, κλιματικούς και καλλιεργητικούς παράγοντες. Μεγάλη διαφορά μπορεί να παρατηρηθεί ακόμη και μεταξύ των ίδιων οργάνων διαφορετικών ειδών, π.χ. η ρίζα του παντζαριού και του ρεπανιού συσσωρεύουν νιτρικά, ενώ η ρίζα του καρότου και της πατάτας καθόλου ή ελάχιστα. Παλιά όργανα παρουσιάζουν μεγαλύτερα ποσοστά νιτρικών σε σχέση με τα νεότερα του ίδιου φυτού: τα εξωτερικά φύλλα (που συνήθως δεν τα τρώμε) του μαρουλιού παρουσιάζουν συγκεντρώσεις ακόμη και διπλάσιες από τα εσωτερικά.

Τα φρέσκα λαχανικά συνήθως περιέχουν περισσότερα νιτρικά από τα διατηρημένα. Αυτό οφείλεται στο ξέπλυμα που υφίστανται στη φάση του πλυσίματος και κυρίως κατά το βράσιμο. Στα φρέσκα προϊόντα που συγκεντρώνονται χωρίς να καταψυχθούν, μόλις συλλέγουν, το ποσοστό των νιτρικών είναι πάντα μεγαλύτερο λόγω της αναγωγής των νιτρικών που καταρχήν είναι ενζυμική (πολύ υψηλή, πάνω από 10° C) και βακτηριακή στη συνέχεια, χαρακτηριστική των διατηρημένων προϊόντων που δεν καταψύχονται κανονικά. Το σημαντικό πλεονέκτημα των νωπών λαχανικών, είναι ωστόσο, η μεγάλη περιεκτικότητα βιταμίνης C, η οποία αντιδρά σαν αντίδοτο και εμποδίζει το σχηματισμό νιτροζαμινών.

Τα διάφορα φυτικά είδη, ανάλογα με τη γενετική τους προέλευση, που αποτελεί βασικό παράγοντα ελέγχου της περιεκτικότητάς τους σε νιτρικά, κατατάσσονται σε διάφορες κατηγορίες, με βασικό κριτήριο τη συσσωρευτική τους ικανότητα σε νιτρικά. Τα λαχανοκομικά φυτά διαφέρουν ως προς το βαθμό συσσωρεύσης νιτρικών που συνήθως μπορεί να φθάσουν. Υπάρχουν φυτά που συσσωρεύουν αρκετά μεγάλες ποσότητες όπως σπανάκι, μαρούλι, παντζάρι και άλλα λιγότερο επικίνδυνα όπως τομάτες, αρακάς, πατάτες. Ο πίνακας ταξινομεί τα λαχανικά σε 5 ομάδες σύμφωνα με την ανώτερη περιεκτικότητά τους σε NO_3^- , που συνήθως έχουν:

ΠΙΝΑΚΑΣ 9: ΛΑΧΑΝΙΚΑ ΠΟΥ ΣΥΝΗΘΩΣ ΠΕΡΙΕΧΟΥΝ ΝΙΤΡΙΚΑ (NO_3^-)

$\text{NO}_3^- < 200$ (mgr/Kgr)	$\text{NO}_3^- < 500$ (mgr/Kgr)	$\text{NO}_3^- < 1.000$ (mgr/Kgr)	$\text{NO}_3^- < 2.500$ (mgr/Kgr)	$\text{NO}_3^- > 2.500$ (mgr/Kgr)
Πατάτα Αρακάς Λάχανο Βρυξ Ντομάτα Φασόλι ξερό Σπαράγγι Πιπεριά κοκκ Γλυκοπατά τα Μανιτάρι	Μελιτζάνα Μπρόκολο Πεπόνι Αγγούρι Κουνουπίδι Κρεμμύδι άσπρ Όσπρια	Λάχανο άσπρ Λάχανο κόκκ Λάχανο κατσ Καρότο Φασολάκια Κάρδαμο Κολοκυθάκι	Ραδίκι κατσ. Μαϊντανός Πράσο Γογγύλι	Μαρούλι Σέλινο Ραπανάκι Σπανάκι Παντζάρι Άνηθος Αντράκλα

Πηγή: Σιμώνης 1991



Το Επιστημονικό Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης, για να καθορίσει τα όρια των μέγιστων αποδεκτών ποσοστών νιτρικών (οδηγία 194/31-12-1997) έθεσε αυτό το πρόβλημα διαφοροποιώντας τις αποδεκτές συγκεντρώσεις σύμφωνα με την περίοδο καλλιέργειας. Αλλά αυτό φαίνεται ότι αντιβαίνει προς την τόσο επικίνδυνη τοξικότητα των νιτρικών, που δεν θα έπρεπε να αλλάζει σύμφωνα με την περίοδο του έτους.

Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (OMS ή WHO) όρισε την ημερήσια ανεκτή δόση για έναν ενήλικα στα 5 mgr νιτρικών ανά κιλό σωματικού βάρους και αυτή των νιτρώδων στα 0,2 mgr ανά κιλό σωματικού βάρους εκφρασμένα αντιστοίχα σε νιτρικό κάλιο (KNO_3) και νιτρώδες νάτριο (NaNO_2). Διαπιστώθηκε δε ότι με τα φρούτα και τα λαχανικά στον ανθρώπινο οργανισμό εισάγεται περίπου το 8,2 % σε νιτρικά και μόνο το 0,7 % από το πόσιμο νερό. Έρευνες και δοκιμές απέδειξαν ότι οι συγκεντρώσεις των νιτρικών στα λαχανικά μας βρίσκονται μέσα στα θεμιτά πλαίσια που έχει προσδιορίσει η Ε.Ε. και απέχουν κατά πολύ από εκείνα της βόρειας Ευρώπης. Αυτό δε σημαίνει ότι δεν πρέπει να λαμβάνονται όλα εκείνα τα προληπτικά μέτρα για να διατηρηθούν μέσα στα ενδεικνυόμενα όρια.

Ο κίνδυνος των νιτρικών στα λαχανικά περιορίζεται όταν τηρούνται οι κανόνες που παρέχουν τη δυνατότητα διατήρησης της φρεσκάδας αυτών των προϊόντων, όταν καταναλώνονται νωπά ή όταν μεταποιούνται. Ήδη το Συμβούλιο του αμερικάνικου κογκρέσου είχε εκφράσει τις ανησυχίες του από τα πρώτα χρόνια της δεκαετίας του '60 και είχε επισημάνει τους σοβαρούς κινδύνους που εγκυμονεί η λήψη των νιτρικών από τους καταναλωτές, που πέρα από τα λαχανικά, υπάρχουν στο νερό, στα συντηρητικά και προσθετικά των ψαριών, κρεάτων κλπ.

Ο κίνδυνος των νιτρικών που συνδέεται με τις τροφές φυτικής προέλευσης παραμένει υψηλός στις κοινωνίες με χαμηλή μεταποιητική τεχνολογία, λόγω του πρόχειρου και κακού τρόπου μεταποίησης και διατήρησης των προϊόντων, αλλά και λόγω της εύκολης βακτηριακής μόλυνσης, που διευκολύνει τη συσσώρευση των άκρως επικίνδυνων νιτρικών. Στη βιβλιογραφία αναφέρονται μεγάλες ζημιές στη δημόσια υγεία, όπου χρησιμοποιήθηκαν γεωργικά προϊόντα που είχαν λιπανθεί, μεταποιηθεί και διατηρηθεί σε πρωτόγονες συνθήκες.

Για τα διάφορα είδη λαχανικών έχουν καθοριστεί σε ορισμένες χώρες, τιμές αναφοράς σε νιτρικά (χωρίς δίωξη σε περίπτωση υπέρβασης) ή τιμές περιορισμού (με δίωξη σε περιπτώσεις υπέρβασης) σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα:



ΠΙΝΑΚΑΣ 10: ΟΡΙΑ ΝΙΤΡΙΚΩΝ ΣΤΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΛΑΧΑΝΙΚΑ ΣΕ ΟΡΙΣΜΕΝΕΣ ΧΩΡΕΣ

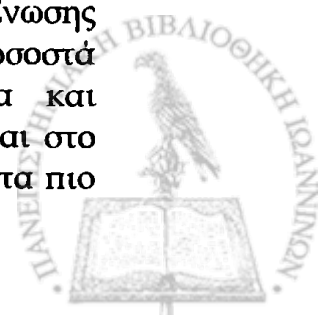
	Ρωσία		Γερμανία		Ολλανδία	Αυστρία	Ελβετία	
προϊόν	Αγρός (όριο)	Θερμοκήπιο (όριο)	Τιμή αναφοράς	όριο	όριο	όριο	Τιμή αναφοράς	όριο
Μαρούλι	2000	3000	3000		3000 (1) 4500 (1)	3000 (1) 4000 (2)	3500	4000
Μαρούλι (καρδιά)					3000 (1) 4500 (1)	3000 (1) 4000 (2)		
Καλαμπόκι (σαλάτα)			2500				3500	
Σπανάκι	2000	3000	2000		3500 (1) 4500 (2)	2000 (3) 3000 (4)		
Παντζάρι	1400		3000		3500 (5) 4000 (6)	3500 (1) 4500 (2)	3000	
Ραδίκι						3500 (1) 4500 (2)		
Αντίδι			3000		3000 (3)	2500 (1)		
Λάχανο	900 500					1500	875	
Καρότο	400 250					1500		
Παιδικές τροφές				250		250	250	

(1) καλοκαίρι, (2) χειμώνας, (3) συγκομιδή έως Ιούνιο, (4) συγκομιδή από Ιούλιο, (5) συγκομιδή Ιούλιο έως Μάρτιο, (6) Απρίλιο έως Ιούνιο

(σε mg NO₃/kg νωπής όλης)

Συγκέντρωση νιτρικών στα μαρούλια και το σπανάκι

Στις 31 Ιανουαρίου 1997 η επιτροπή γεωργίας της Ευρωπαϊκής Ένωσης εξέδωσε μια οδηγία (194/97) που προσδιορίζει τα μέγιστα αποδεκτά ποσοστά για ορισμένες ουσίες που περιέχονται στα βρώσιμα προϊόντα και συγκεκριμένα αναφέρονται τα ποσοστά των νιτρικών στο σπανάκι και στο μαρούλι. Παραλείπουμε τα εκατό σημεία αναφοράς και παραθέτουμε τα πιο



σημαντικά:

"Λαμβάνοντας υπόψη ότι θα είναι σκόπιμο να επανεξετάσουμε και ενδεχομένως να μειώσουμε τα καθορισμένα ποσοστά για το μαρούλι και το σπανάκι πριν την 1^η Οκτώβρη του 1998 λαμβάνοντας υπόψη ότι εισακούσθηκε η άποψη του Επιστημονικού Συμβουλίου Δημόσιας Διατροφής σε ότι αφορά τα ποσοστά που μπορούν να επηρεάσουν τη δημόσια υγεία, λαμβάνοντας υπόψη ότι τα προβλεπόμενα όρια από τον κανονισμό είναι σύμφωνα με την άποψη του Διαρκούς Συμβουλίου των βρώσιμων προϊόντων, τα εν λόγω προϊόντα δεν πρέπει να παρουσιάζουν, τη στιγμή που βρίσκονται στην αγορά, ποσοστά νιτρικών (επικίνδυνα) μεγαλύτερα από εκείνα που καθορίστηκαν με την εγκύκλιο. Στην περίπτωση δικαιολογημένων καταστάσεων τα κράτη μέλη, στο έδαφος τους, μπορούν να επιτρέψουν την πώληση μαρουλιών και σπανακιών που περιέχουν νιτρικά σε μεγαλύτερα ποσοστά από εκείνα που καθορίζει η εγκύκλιος.

Η εγκύκλιος καθορίζει τα εξής:

Σπανάκια (μέγιστα αποδεκτά ποσοστά νιτρικών για νωπό)

- από την 1^η Νοεμβρίου μέχρι 31 Μαρτίου: 3.000 mgr NO_3^- /Kgr
- : □ από την 1^η Απριλίου μέχρι 31 Οκτωβρίου: 2.500 mgr NO_3^- /Kgr
- Διατηρημένο και κατεψυγμένο σπανάκια (μέγιστα αποδεκτά ποσοστά νιτρικών για όλο το έτος): 2000 mgr NO_3^- /Kgr.

Μαρούλια (μέγιστα αποδεκτά ποσοστά νιτρικών για νωπά προστατευόμενα σε θερμοκήπια, αλλά και σε μαρούλια που καλλιεργούνται στην ύπαιθρο)

- από την 1^η Οκτωβρίου μέχρι 31 Μαρτίου: 4.500 mgr NO_3^- /Kgr νωπού βάρους για φυτά υπό κάλυψη
- από την 1^η Οκτωβρίου μέχρι 31 Μαρτίου: 4.000 mgr NO_3^- /Kgr νωπού βάρους για υπαίθρια καλλιέργεια
- από την 1^η Απριλίου μέχρι 30 Σεπτεμβρίου : 3.500 mgr NO_3^- /Kgr νωπού βάρους για φυτά υπό κάλυψη
- από την 1^η Απριλίου μέχρι 30 Σεπτεμβρίου : 3.000 mgr NO_3^- /Kgr νωπού βάρους για υπαίθρια καλλιέργεια

Για μαρούλια τύπου Iceberg:

- 2.500 mgr NO_3^- /Kgr νωπού βάρους για φυτά υπό κάλυψη
- 2.000 mgr NO_3^- /Kgr νωπού βάρους για υπαίθρια καλλιέργεια



Νιτρικά άλατα σε τρόφιμα που προορίζονται για βρέφη και μικρά παιδιά (κανονισμός ΕΚ αριθ. 655/2004): Μείωση των νιτρικών αλάτων στο χαμηλότερο δυνατό επίπεδο για την ευάλωτη αυτή πληθυσμιακή ομάδα και σε τιμές μικρότερες από 200 mg NO_3^- /Kg t

Μέγιστα επιτρεπτά όρια, ως προς την περιεκτικότητα σε νιτρικά, έχουν θεσπιστεί για ορισμένα λαχανικά σε διάφορες χώρες και στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Με βάση τον Κανονισμό αριθμ. 194/97 της Ευρωπαϊκής Ένωσης, "τα κράτη μέλη πρέπει να λάβουν κατάλληλα μέτρα επαγρύπνησης σχετικά με την παρουσία νιτρικών προσμίξεων στα τρόφιμα".

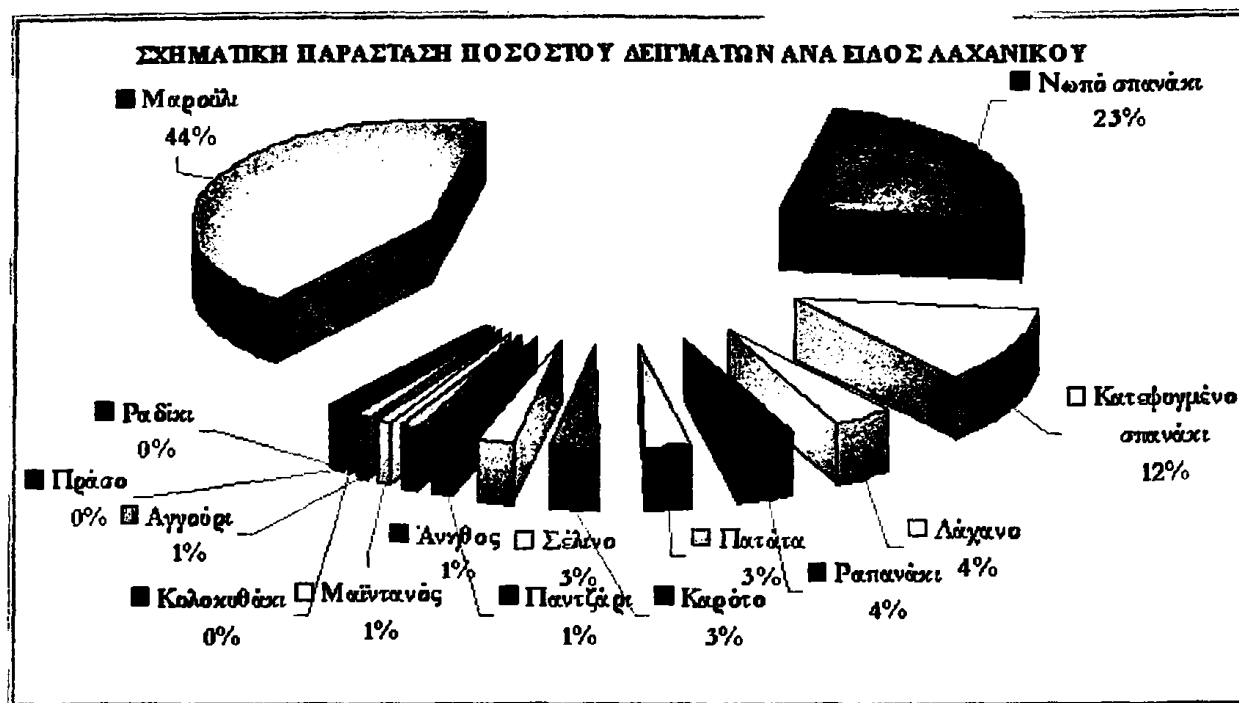
Στις χώρες, όπου γίνονται έλεγχοι έχουν αναφερθεί πολύ υψηλές περιεκτικότητες νιτρικών σε ορισμένα λαχανικά. Για παράδειγμα, στη Μεγάλη Βρετανία βρέθηκε περιεκτικότητα σε νιτρικά, υψηλότερη από τα επιτρεπόμενα όρια, στο 30% των δειγμάτων εγχώριου σπανακιού και στο 22% των δειγμάτων εισαγόμενου σπανακιού.

Στη χώρα μας μέχρι και πριν από λίγα χρόνια δεν γίνονταν συστηματικοί έλεγχοι σε λαχανικά, ως προς την περιεκτικότητά τους σε νιτρικά. Ωστόσο σήμερα, μετά από έρευνες του Εργαστηρίου Λαχανοκομίας του Τμήματος Γεωπονίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, του Ινστιτούτου Εδαφολογίας Θεσσαλονίκης, του Εθνικού Ιδρύματος Αγρότικών Ερευνών καθώς και του Ενιαίου Φορέα Ελέγχου Τροφίμων (ΕΦΕΤ), προέκυψε ότι στα εγχώρια λαχανικά που διακινούνται από τις Κεντρικές Λαχαναγορές της χώρας, οι τιμές σε νιτρικά είναι χαμηλότερες από τις τιμές νιτρικών που έχουν βρεθεί σε πολλές ευρωπαϊκές χώρες (κυρίως βόρειες).

Από τον ΕΦΕΤ και την εταιρεία Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης Βιομηχανικών Τροφίμων (ΕΤΑΤ Α.Ε.) σε κάποιο «πρόγραμμα παρακολούθησης των επιπέδων των νιτρικών αλάτων σε λαχανικά σε συμμόρφωση με τον Κανονισμό (ΕΚ) αριθ. 466/2001 της Επιτροπής της 8ης Μαρτίου 2001 για τον καθορισμό μεγίστων τιμών ανοχής για ορισμένες προσμείξεις στα τρόφιμα», που υλοποιήθηκε τους Νοέμβριο – Δεκέμβριο 2001, έγινε έρευνα που αφορούσε συλλογή δειγμάτων λαχανικών από επιχειρήσεις λιανικής και χονδρικής πώλησης. Στο σύνολο των διακοσίων εβδομήντα (270) δειγμάτων που ελήφθησαν, κανένα δεν βρέθηκε να υπερβαίνει τις μέγιστες τιμές ανοχής για ορισμένες προσμείξεις σύμφωνα με το Παράρτημα Ι του Κανονισμού ΕΚ 466/2001 της Επιτροπής.

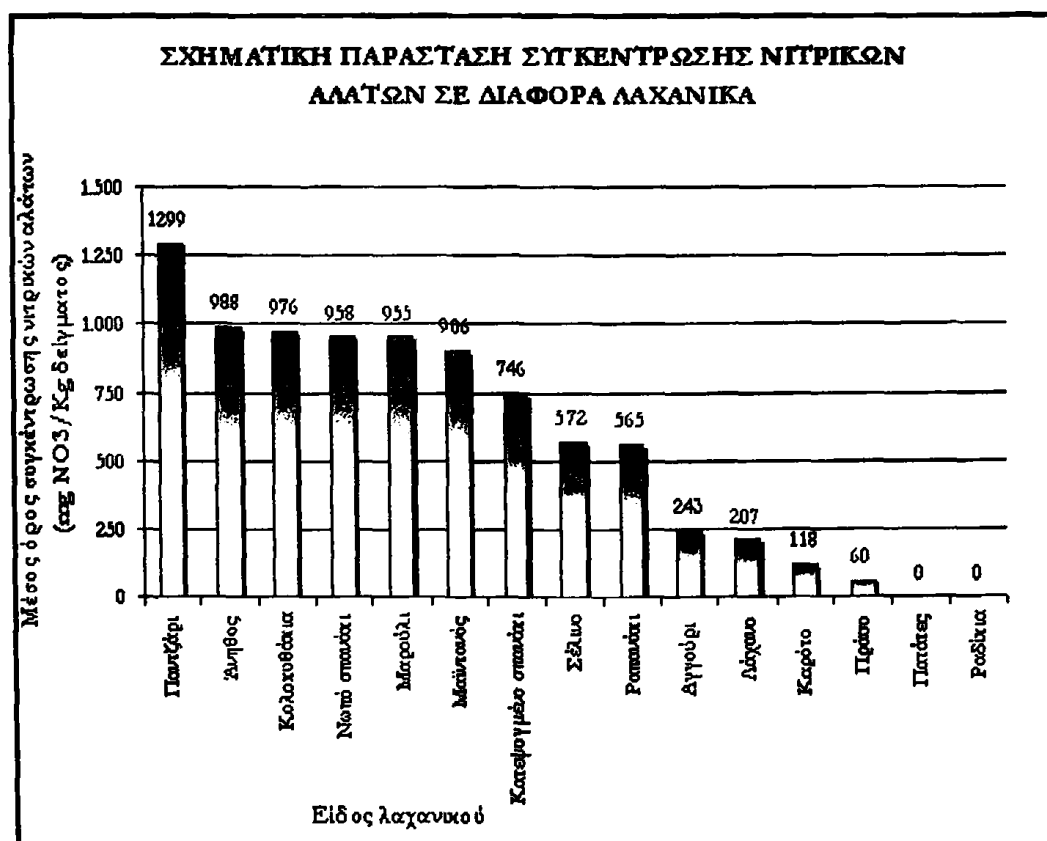
Στις παρακάτω γραφικές παραστάσεις αποτυπώνονται τα αποτελέσματα αυτής της έρευνας:





ΕΙΚΟΝΑ 13: ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΠΟΣΟΣΤΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΑΝΑ ΕΙΔΟΣ ΛΑΧΑΝΙΚΟΥ

Πηγή: ΕΦΕΤ



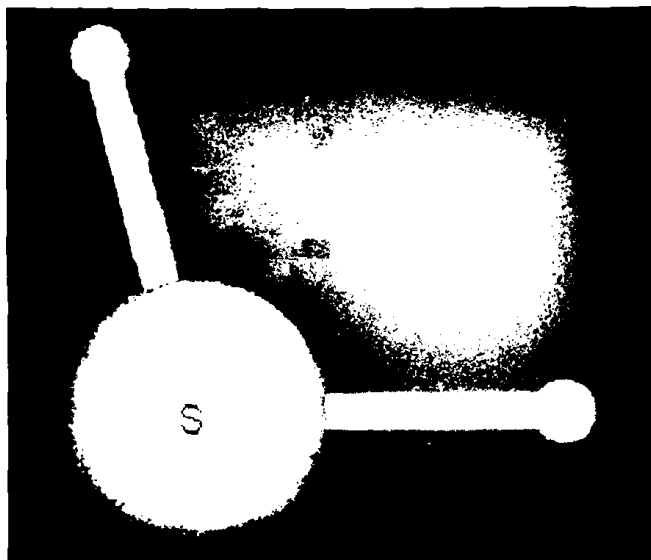
ΕΙΚΟΝΑ 14: ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΝΙΤΡΙΚΩΝ ΙΟΝΤΩΝ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΑ ΛΑΧΑΝΙΚΑ
Πηγή: ΕΦΕΤ

Για το μαρούλι και το σπανάκι, οι περιεκτικότητες ήταν κατά πολύ χαμηλότερες από τα μέγιστα επιτρεπτά όρια που έχουν θεσπιστεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση. Ωστόσο, δεν υπάρχουν δεδομένα για την περιεκτικότητα σε νιτρικά των εισαγόμενων στη χώρα μας λαχανικών.



ΣΤΟΙΧΕΙΟ ΘΕΙΟ

ΓΕΝΙΚΑ



Το θείο είναι γνωστό στον άνθρωπο για περισσότερα από 6.000 χρόνια, ενώ η ευρεία χρήση του άρχισε πριν από 2.000 χρόνια. Το 2.000 π.Χ. οι Αιγύπτιοι χρησιμοποιούσαν το θείο για τη λεύκανση του βαμβακιού και των λινών και ακόμη για την παρασκευή χρωστικών και βαφών. Επίσης χρησιμοποιήθηκε από τους αρχαίους Έλληνες και τους Ρωμαίους για θρησκευτικούς σκοπούς, αλλά και ως απολυμαντικό φάρμακο.

Ο ρόλος του θείου για την αύξηση των φυτών είναι γνωστός εδώ και 150 χρόνια. Το θείο είναι ένα από τα μακροστοιχεία, αν και τα φυτά χρειάζονται πολύ λιγότερο, από ότι N ή K. Οι ποσότητες S που απαιτούνται από τις περισσότερες καλλιέργειες είναι συγκρίσιμες με τις απαιτούμενες ποσότητες Mg. Πολύ προτού γίνει γνωστός ο θεμελιώδης ρόλος του στα φυτά, το θείο χρησιμοποιήθηκε υπό μορφή γύψου. Τα τελευταία χρόνια αυξάνεται το ενδιαφέρον για το S ως θρεπτικό στοιχείο, λόγω της επίδρασης του τόσο στην απόδοση, όσο και στην ποιότητα των προϊόντων.

Όπου εφαρμόζονται μέτρα περιορισμού της ρύπανσης, η ποσότητα S από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα τείνει να μειωθεί. Αυτό θα οδηγήσει, ιδιαίτερα σε περιοχές με έλλειψη, σε πιο έντονη τροφопενία. Η τροφопενία S παρουσιάζεται με μεγαλύτερη συχνότητα κάτω από τις εξής συνθήκες:

- ❑ Χρησιμοποίηση υψηλής καθαρότητας λιπασμάτων, τα οποία δεν περιέχουν S.
- ❑ Μεγάλες αποδόσεις και μεγαλύτερη απορρόφηση S.
- ❑ Πιο αποτελεσματικός έλεγχος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και μείωση



του S της ατμόσφαιρας

- Μειωμένη χρήση του S, ως φυτοφαρμάκου
- Μείωση της οργανικής ουσίας στο έδαφος.

Τελευταία καταβάλλεται προσπάθεια μείωσης των προβλημάτων από έλλειψη S, όπως με αποκέντρωση της βιομηχανίας και με αυξημένη χρήση λιπασμάτων και οργανικής ουσίας που περιέχουν S.

Φυσιολογική δράση S

Το μεγαλύτερο ποσοστό του θείου προσλαμβάνεται από τα φυτά κυρίως με τη μορφή θειικών ανιόντων (SO_4^{2-}) με τις φυτικές ρίζες από το εδαφικό διάλυμα και η πρόσληψη αυτή συνδυάζεται με την προσρόφηση και άλλων ανιόντων όπως (NO_3^-), (HPO_4^{2-}) και Cl^- . Ένα ποσοστό θείου προσλαμβάνεται ως διοξείδιο του θείου (SO_2) από τα φύλλα και χρησιμοποιείται από τα φυτά, αφού προηγουμένως μετατραπεί σε θειική μορφή.

Η αναγκαία ποσότητα S για μια καλλιέργεια συσχετίζεται με το ποσό του χορηγούμενου N-ούχου λιπάσματος. Έλλειψη S επιβραδύνει την αύξηση των φυτών, διότι το S διαδραματίζει τους εξής ρόλους:

- Είναι συστατικό των αμινοξέων κυστίνη, κυστεΐνη¹⁰ και μεθειονίνη¹¹, που αποτελούν τμήμα των πρωτεϊνών.
- Σύνθεση της χλωροφύλλης, αν και η χλωροφύλλη δεν περιέχει S.
- Ενεργοποίηση μερικών πρωτεολυτικών ενζύμων, όπως η παπαΐνη.
- Σύνθεση μερικών βιταμινών, όπως βιοτίνη, θειαμίνη (βιταμίνη B₁), γλουτοθειόνη, λιποϊκό οξύ καθώς και το συνένζυμο A.
- Σχηματισμός μερικών σουλφιδρυλικών δεσμών¹², που έχουν σχέση με τα δομικά χαρακτηριστικά του πρωτοπλάσματος. Η πυκνότητα των σουλφιδρυλικών δεσμών σχετίζεται με την αντοχή στο ψύχος ή την ξηρασία.
- Σχηματισμός ελαίων, όπως του κρεμμυδιού και φυτών της οικογένειας Cruciferae.
- Σχηματισμός φερρεδοξίνης, που διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη

¹⁰ Κυστεΐνη= $[\text{HS}-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_2)\text{COOH}]$

¹¹ Μεθειονίνη= $[\text{CH}_3\text{S}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_2)\text{COOH}]$

¹² Οι σουλφιδρυλικές ομάδες των πρωτεϊνών και των συνενζύμων έχουν ιδιαίτερη σημασία για τη δομή των πρωτεϊνών και τους καταλυτικούς χαρακτήρες των ενζύμων. Σε ορισμένα μάλιστα από αυτά (τα σουλφιδρυλο-ένζυμα), η θειολική ή σουλφιδρυλική ομάδα αποτελεί το κέντρο της καταλυτικής δράσης. Το ίδιο ισχύει και για τα περισσότερα συνένζυμα.



φωτοσύνθεση.

- Σχηματισμός αζωφερρεδοξίνης, που παίρνει μέρος στην αζωτοδέσμευση με τα βακτήρια του γένους *Rhizodium*.
- Δραστηριότητα της ATP-σουλφουρυλάσης, ενός ενζύμου που παίρνει μέρος στο μεταβολισμό του S.
- Δραστηριότητα του ενζύμου νιτρική αναγωγή, που είναι υπεύθυνη για τη μετατροπή του NO_3^- -N σε αμινοξέα και κατόπιν σε πρωτεΐνη.

Καλλιέργειες και θείο

Οι καλλιέργειες διαφέρουν στις απαιτήσεις τους σε S, όπως προκύπτει από τη συγκέντρωση S σε πολλά φυτά. Καλλιέργειες με υψηλές αποδόσεις, όπως σακχαρότευτλα, καλαμπόκι και σόγια περιέχουν περισσότερο S από πολλές άλλες καλλιέργειες. Τα λαχανικά και το βαμβάκι χρειάζονται ενδιάμεσες ποσότητες S. Η μηδική αν και είναι μια καλλιέργεια με τη μεγαλύτερη αντίδραση στο S, δεν απαιτεί μεγάλες ποσότητες S. Τα πιο πολλά αγρωστώδη απαιτούν λιγότερο S. Έτσι το απαιτούμενο S στις περισσότερες καλλιέργειες είναι σχεδόν ίσο με τις απαιτήσεις σε P και Mg. Οι ελάχιστες απαιτήσεις σε S στις διάφορες καλλιέργειες δίνονται και στον πίνακα 11.

ΠΙΝΑΚΑΣ 11: Η ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΘΡΕΠΤΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΠΟΥ ΑΦΑΙΡΟΥΝΤΑΙ ΑΠΟ ΜΙΑ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ, ΑΝΑ ΕΤΟΣ ΚΑΙ ΣΤΡΕΜΜΑ

Καλλιέργεια	Αποδόσεις Kg/στρ	N	P	K	S	Mg
		Kg/στρ				
Καλαμπόκι	1.200	34,3	5,0	22,0	4,7	7,1
Σόργο	800	28,8	5,4	20,5	4,3	2,5
Σιτάρι	500	15,6	3,2	10,4	2,3	2,5
Κριθάρι	500	15,6	2,6	13,0	2,6	-
Ρύζι	700	14,5	2,4	14,4	1,9	1,6
Σόγια	350	21,6	2,6	11,7	1,1	1,4
Αραχίδα	350	25,6	2,3	11,7	2,9	3,3
Καπνός	350	11,0	1,3	18,7	2,5	2,8
Πατάτα	2.500	20,8	2,5	26,6	2,8	2,5
Σακχαρότευτλα	7.000	14,1	2,0	24,5	9,4	11,5

Οι ανάγκες των καλλιεργειών σε S ικανοποιούνται με συγκέντρωση 2-5 mgr/lit S στο εδαφικό διάλυμα. Το S επίσης έχει και συμπληρωματική δράση πέραν του θρεπτικού του ρόλου, ήτοι οξινίζει το έδαφος και αυξάνει τη διαθεσιμότητα των στοιχείων P, Zn και Mg.

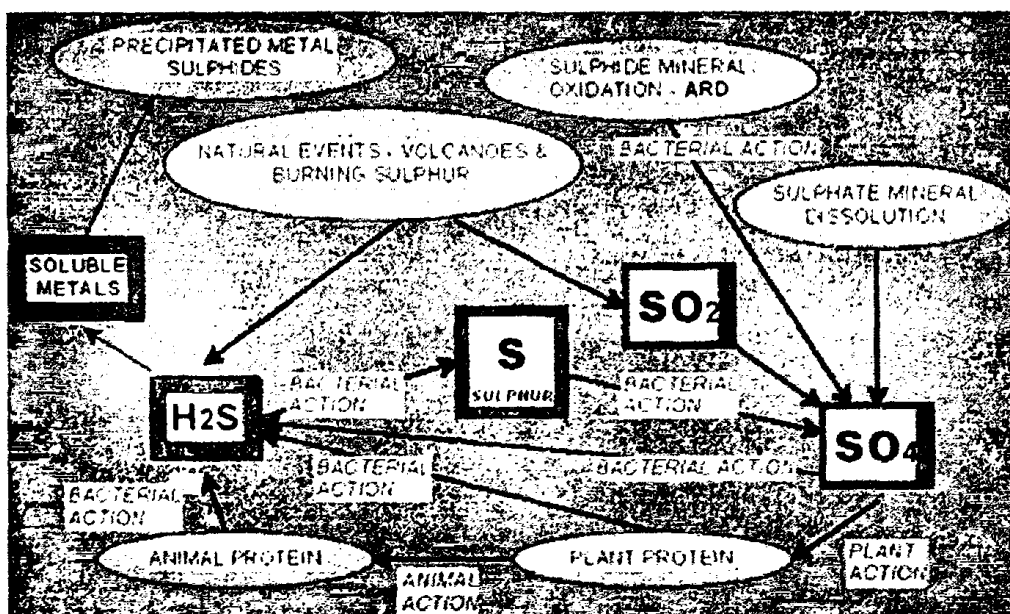
Ο κύκλος του θείου

Οι μετατροπές που παθαίνουν οι διάφορες μορφές θείου στο έδαφος



και οι ανταλλαγές με την ατμόσφαιρα, μπορούν να θεωρηθούν ότι μετέχουν σε ένα 'κύκλο του θείου' ανάλογο προς τον 'κύκλο του αζώτου'. Κατά κάποιο τρόπο τελείως ανάλογο προς την ανοργανοποίηση του οργανικού αζώτου του εδάφους (και τη νιτροποίηση), το φαινόμενο της ανοργανοποίησης του θείου εξαρτάται επίσης από την τιμή C/S (ή καλύτερα N/S). Ο λόγος N:S στους φυτικούς ιστούς δίνει μια καλή ένδειξη επάρκειας θείου και είναι περίπου 18:1 ή μικρότερη (Dijkshoorn - Van Wisk, 1967) που θεωρείται επαρκής για την άριστη ανάπτυξη και την πρωτεϊνική σύνθεση των φυτών. Στο έδαφος, όταν το πηλίκο αυτό έχει μεγάλη τιμή, παρατηρείται ακινητοποίηση των διαλυτών μορφών του θείου στο έδαφος.

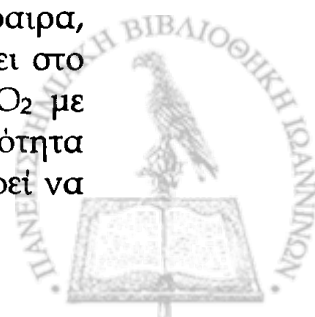
Ο στερεός φλοιός της γης περιέχει περίπου 0,1% S και βρίσκεται σε αποθέσεις μαζί με καλιίτη και γύψο. Απαντάται ως σουλφίδια (χρυσού), θειικά άλατα, σε υδρόθειο (H_2S) και σε οργανικές μορφές, σε συνδυασμό με C και N.



ΕΙΚΟΝΑ 15: Ο ΚΥΚΛΟΣ ΤΟΥ ΘΕΙΟΥ

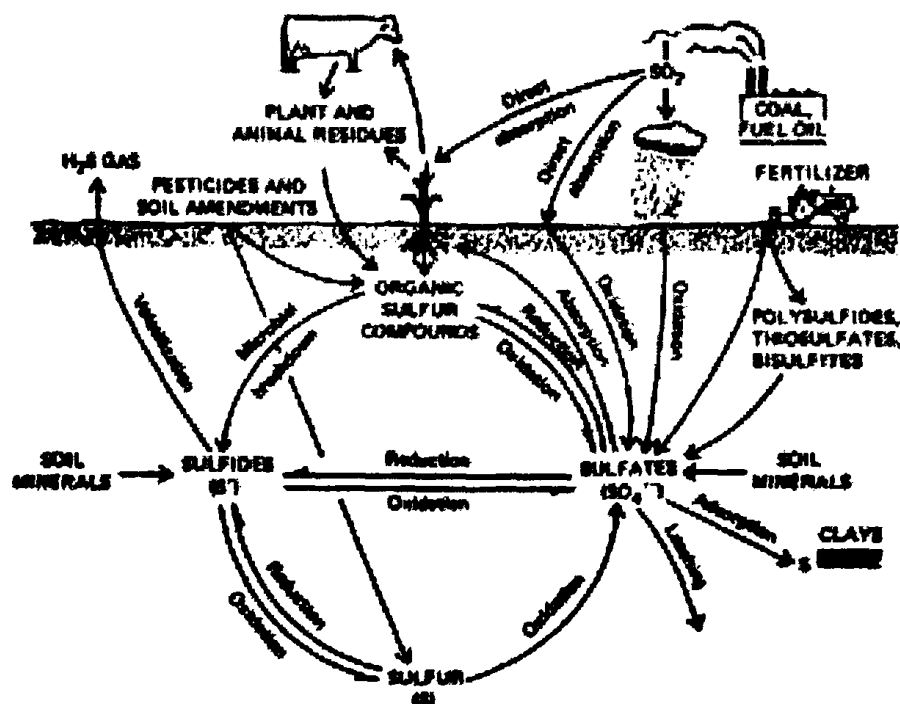
Το S σήμερα στα περισσότερα καλλιεργημένα εδάφη βρίσκεται ως οργανική ουσία, διαλυτά θειικά ανιόντα (SO_4^{2-}) στο εδαφικό διάλυμα ή προσροφημένο στα κolloειδή του εδάφους (η συγκράτηση αυτή είναι ασθενής). Σε πολλά εδάφη μπορεί να υπάρχει και ως θειικό ασβέστιο ή γύψος ($CaSO_4$). Σε ξηρά εδάφη οι θειικές ρίζες με το Ca, Mg, Na και K συχνά κατακρημνίζονται σε μεγάλες ποσότητες στην εδαφοτομή. Επίσης σημαντικές ποσότητες ανταλλάξιμων (SO_4^{2-}) μπορεί να βρίσκονται σε εδάφη που περιέχουν ορυκτά της αργίλου του τύπου 1:1 και ένυδρα οξείδια Fe και Al.

Επίσης ένα μέρος του εδαφικού S προέρχεται από την ατμόσφαιρα, από καύση προϊόντων που περιέχουν S. Μέρος αυτού του S επιστρέφει στο έδαφος με τη βροχή. Τα φυτά επίσης μπορεί να προσλαμβάνουν SO_2 με διάχυση μέσα στα φύλλα. Το S αυτό μεταβολίζεται από τα φυτά. Η ποσότητα S που επιστρέφει με τη βροχή στο έδαφος, ανά στρέμμα και έτος, μπορεί να



Σε καλά αεριζόμενα εδάφη το S απαντάται ως SO_4^{2-} . Λόγω του αρνητικού του φορτίου, το SO_4^{2-} σε διαπερατά εδάφη εκπλύνεται εύκολα, εκτός και αν προσροφηθεί σε υπάρχοντα θετικά φορτία σε υδροξείδια Fe, οξείδια Al, στον καολινίτη ή την οργανική ουσία. Η συγκέντρωση θεικών στα εδάφη είναι της τάξης των 2,1 gr/Kgr εδάφους.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω το θείο ως συστατικό των διαφόρων ενώσεων του πρωτοπλάστη, βρίσκεται με τη μορφή του σουλφιδικού θείου με σθένος (-2). Δεδομένου ότι το θείο απορροφάται με μορφή SO_4^{2-} σθένους (+6), προτού ενσωματωθεί σε οργανικές ενώσεις πρέπει να αναχθεί από τη μορφή των θεικών με σθένος (+6) σε σουλφίδιο (H_2S) σθένους (-2). Όταν το άτομο του S απελευθερώνεται από οργανικές ενώσεις πρέπει να οξειδωθεί από μικροοργανισμούς του εδάφους του γένους *Thiobacillus triooxidans* σε SO_4^{2-} προκειμένου να προσληφθεί από τα φυτά.



Τα ανώτερα φυτά και πολλοί μικροοργανισμοί χρησιμοποιούν το SO_4^{2-}



ως πηγή S. Η αφομοίωση των (SO_4^{2-}) είναι ανάλογη με την αφομοίωση των νιτρικών και αφορά μια σειρά από αντιδράσεις όπου το SO_4^{2-} ανάγεται σε σουλφίδιο και χρησιμοποιείται για το σχηματισμό κυστεΐνης. Η όλη διαδικασία είναι μια εξαιρετικά ενδόθερμη διαδικασία, η οποία απαιτεί ενέργεια της τάξης των 180 kcal/mol. Η αναγωγή των θεικών θεωρείται η πιο ενεργοδυναμική αντίδραση που γίνεται στα ζωντανά κύτταρα¹³. Το αρχικό στάδιο περιλαμβάνει την ενεργοποίηση του SO_4^{2-} με αδενοσινοτριφωσφορικό οξύ (ATP) και καταλήγει στο σχηματισμό αδενοσίνης-5-φωσφοθεικής (APS) και στο τέλος της ένωσης 3-φωσφοαδενοσίνης-5-φωσφοθεικής (PAPS). Η αρχική αντίδραση καταλύεται με ATP σουλφουριλάση και έχει ως εξής:

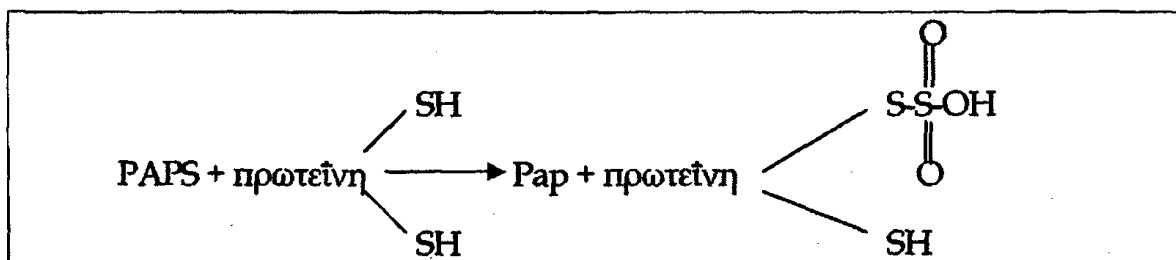


Το δεύτερο στάδιο πραγματοποιείται με το ένζυμο APS κινάση και δίνει:

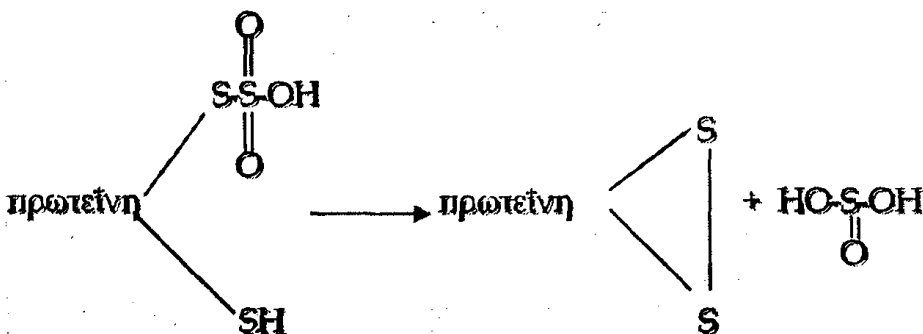


$$\text{To DG} = -11.000 \text{ kcal / mol}$$

Η ένωση αυτή χρησιμοποιείται ως δότης S σε ενώσεις όπως υδατάνθρακες, φαινόλες και στερόλες. Επίσης η ένωση PAPS είναι υπόστρωμα για αναγωγή του S^{+6} σε S^{+4} ως σουλφίδιο. Το ένζυμο που καταλύει αυτή την αναγωγή 2 ηλεκτρονίων είναι η PAPS αναγωγάση. Η ένωση PAPS μεταφέρεται σε μια διθειόλη πρωτεΐνης με μικρό μοριακό βάρος σύμφωνα με την εξίσωση:



Η θειοθεική πρωτεΐνη υφίσταται οξειδοαναγωγή η οποία απελευθερώνει δισουλφίδιο με αριθμό οξείδωσης του S = +4



Αναγωγή του δισουλφιδίου σε διθειόλη με NADPH

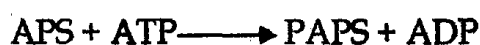
¹³ (Bandurski, 1965, -Wilson, 1962)



ως πηγή S. Η αφομοίωση των (SO_4^{2-}) είναι ανάλογη με την αφομοίωση των νιτρικών και αφορά μια σειρά από αντιδράσεις όπου το SO_4^{2-} ανάγεται σε σουλφίδιο και χρησιμοποιείται για το σχηματισμό κυστεΐνης. Η όλη διαδικασία είναι μια εξαιρετικά ενδόθερμη διαδικασία, η οποία απαιτεί ενέργεια της τάξης των 180 kcal/mol. Η αναγωγή των θεικών θεωρείται η πιο ενεργοδυναμική αντίδραση που γίνεται στα ζωντανά κύτταρα¹³. Το αρχικό στάδιο περιλαμβάνει την ενεργοποίηση του SO_4^{2-} με αδενοσινοτριφωσφορικό οξύ (ATP) και καταλήγει στο σχηματισμό αδενοσίνης-5-φωσφοθεικής (APS) και στο τέλος της ένωσης 3-φωσφοαδενοσίνης-5-φωσφοθεικής (PAPS). Η αρχική αντίδραση καταλύεται με ATP σουλφουρυλάση και έχει ως εξής:

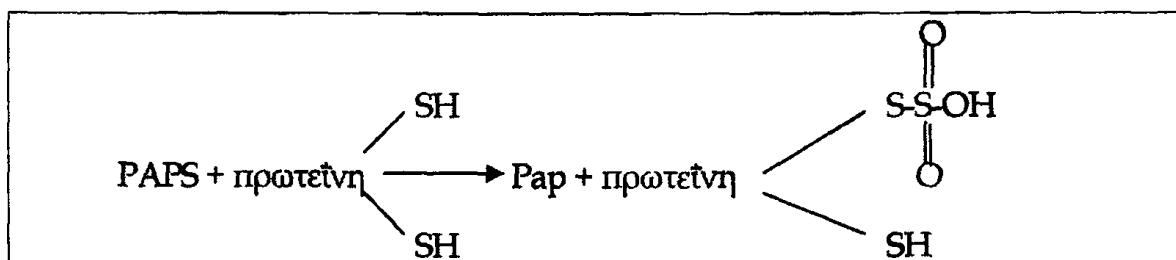


Το δεύτερο στάδιο πραγματοποιείται με το ένζυμο APS κινάση και δίνει:

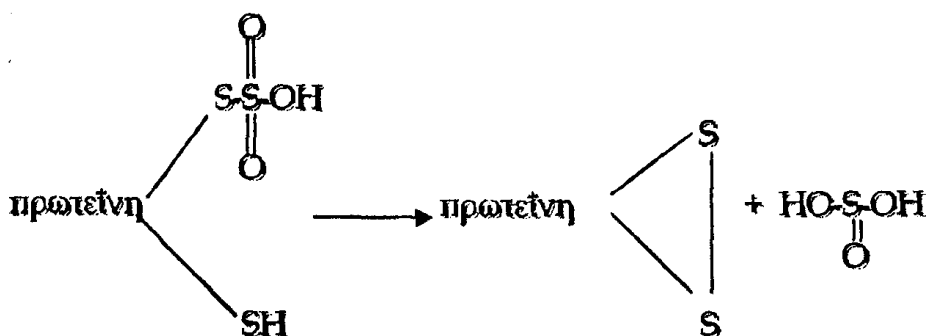


$$\text{To DG} = -11.000 \text{ kcal / mol}$$

Η ένωση αυτή χρησιμοποιείται ως δότης S σε ενώσεις όπως υδατάνθρακες, φαινόλες και στερόλες. Επίσης η ένωση PAPS είναι υπόστρωμα για αναγωγή του S^{+6} σε S^{+4} ως σουλφίδιο. Το ένζυμο που καταλύει αυτή την αναγωγή 2 ηλεκτρονίων είναι η PAPS αναγωγάση. Η ένωση PAPS μεταφέρεται σε μια διθειόλη πρωτεΐνης με μικρό μοριακό βάρος σύμφωνα με την εξίσωση:



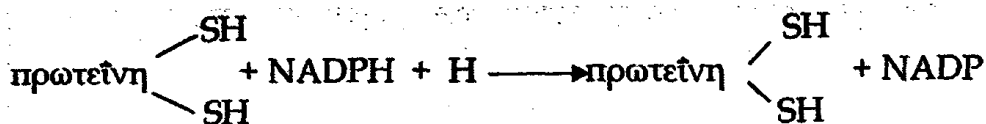
Η θειοθεική πρωτεΐνη υφίσταται οξειδοαναγωγή η οποία απελευθερώνει δισουλφίδιο με αριθμό οξείδωσης του S = +4



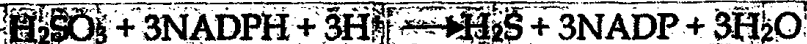
Αναγωγή του δισουλφιδίου σε διθειόλη με NADPH

¹³ (Bandurski, 1965, -Wilson, 1962)



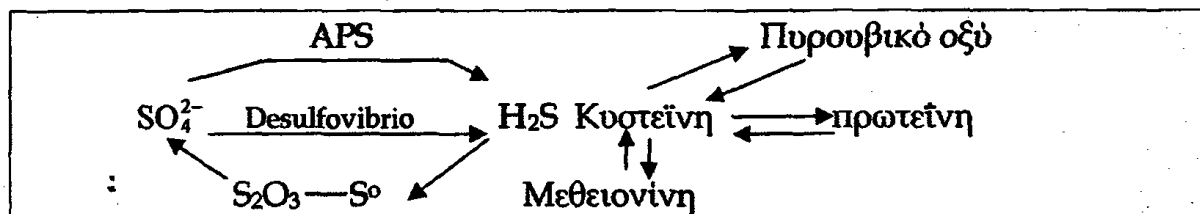


Στη συνέχεια γίνεται αναγωγή σε H_2S με το ένζυμο ρεδοукτάση των θεικών¹⁴ ή θεική αναγωγή. Συνολικά απαιτούνται 6 ηλεκτρόνια για αυτή την αναγωγή και χορηγούνται από 3 mol NADPH:



Το τελευταίο στάδιο της αφομοίωσης S περιλαμβάνει την αντίδραση H_2S με Ο-ακετυλ-σερίνη η οποία έχει τύπο $[\text{CH}_3\text{OCH}_2\text{CH}(\text{NH}_2)\text{COOH}]$, για σχηματισμό του αμινοξέος κυστεΐνη $[\text{HSCCH}_2\text{CH}(\text{NH}_2)\text{COOH}]$.

Η κυστεΐνη χρησιμοποιείται από τα φυτά και τους μικροοργανισμούς ως κύρια πηγή θείου για το σχηματισμό μεθειονίνης. Ενδιάμεσα προϊόντα σε αυτή τη διεργασία είναι η cystathione και ομοκυστίνη.

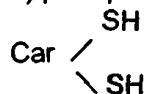


ΕΙΚΟΝΑ 17: ΑΝΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΟΞΕΙΔΩΣΗ ΤΩΝ ΕΝΩΣΕΩΝ ΠΟΥ ΠΕΡΙΕΧΟΥΝ ΘΕΙΟ

¹⁴ Η ρεδοукτάση των θεικών (sulfur reductase) είναι μια πρωτεΐνη που αποτελείται από τρεις παράγοντες:

1) μία τρoσφεράση

2) μια πρωτεΐνη χαμηλού βάρους με σουλφιδρλικές ομάδες που ονομάζεται φορέας (car)

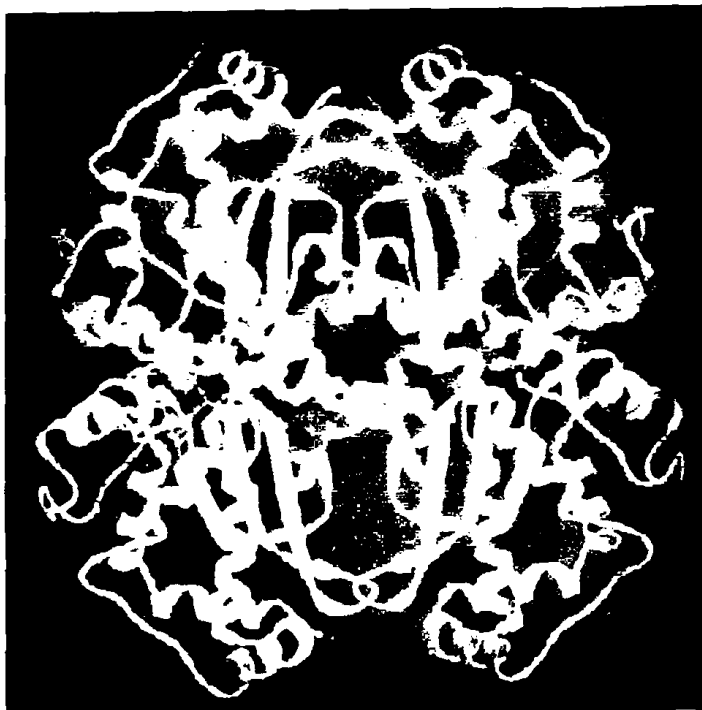


και 3) μία ρεδοукτάση.

Η τρoσφεράση καταλύει τη μετατροπή της θειώδους ρίζας, μετά την αναγωγή της θεικής, από το APS σε θειοθειική πρωτεΐνη. Πάνω στην πρωτεΐνη αυτή δρα η ρεδοукτάση η οποία ανάγει τη θειώδη ρίζα σε σουλφιδική ρίζα. Δότης των e^- στην τελευταία αναγωγή είναι η φερρεδοξίνη, η δε ρεδοукτάση που συμμετέχει ονομάζεται ρεδοукτάση των θειωδών.

Στα φυτά η ρεδοукτάση των θειικών βρίσκεται στα πλασμίδια και τα οποία περιέχουν φλαβίνες, γιατί τα e^- κατά την αναγωγή των θειικών μεταφέρονται στη σιροαΐμη (ρεδοукτάση των θειικών) από την φερρεδοξίνη που παράγεται από τη φωτοχημική φάση κατά τη φωτοσύνθεση.





ΕΙΚΟΝΑ 18: ΡΕΔΟΥΚΤΑΣΗ ΤΩΝ ΘΕΙΩΔΩΝ

ΠΗΓΗ: www.siu.edu/departments/biochem/chime_rasmol/iron_sulfur

Απελευθέρωση θείου από οργανικές ενώσεις

Τα ζώα, τα φυτά και πολλοί μικροοργανισμοί περιέχουν το ένζυμο cysteine desulfurylase, που καταλύει την αντίδραση:



Και το H_2S στη συνέχεια μας δίνει θειοθειικά:



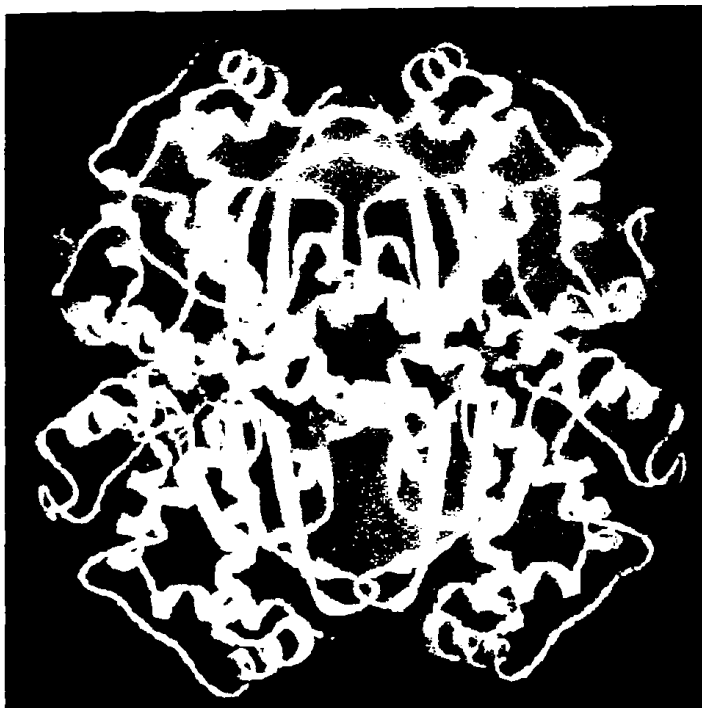
Φυσιολογική δράση του θείου

Η φυσιολογική δράση του θείου σε ένα φυτικό οργανισμό είναι θεμελιώδης. Μέσα στο φυτό το S μπορεί να συγκεντρωθεί ως SO_4^{2-} ή ως συστατικό της ένωσης γλουταθείο. Το γλουταθείο είναι μια μορφή αποθησαυρισμού του αναχθέντος S. Ενδέχεται η συγκέντρωση γλουταθείου να αποτελεί μηχανισμό αντιμετώπισης της υπερβολικής ποσότητας του S μέσα στο φυτό. Το S παίζει σημαντικό ρόλο στο σχηματισμό των χλωροπλαστών και της χλωροφύλλης, επίσης δρα καταλυτικά στη μεγάλη συγκέντρωση των νιτρικών στα φυτά (Σιμώνης Α, 1995).

Το N και το S είναι κύρια συστατικά των πρωτεϊνών, έτσι η έλλειψη S επηρεάζει την αξιοποίηση N μέσα στο φυτό για τη σύνθεση πρωτεΐνης. Η έλλειψη θείου¹⁵ μπορεί να εμπλουτίσει τα παραγόμενα φυτικά προϊόντα σε

¹⁵ Τα συμπτώματα τροφопενίας θείου είναι ανάλογα με τα συμπτώματα της τροφопενίας αζώτου και εκδηλώνονται με γενική καχεξία του φυτού και προοδευτικό κιτρίνισμα των





ΕΙΚΟΝΑ 18: ΡΕΔΟΥΚΤΑΣΗ ΤΩΝ ΘΕΙΩΔΩΝ

ΠΗΓΗ: www.siu.edu/departments/biochem/chime_rasmol/iron_sulfur

Απελευθέρωση θείου από οργανικές ενώσεις

Τα ζώα, τα φυτά και πολλοί μικροοργανισμοί περιέχουν cysteine desulfurylase, που καταλύει την αντίδραση:



Και το H_2S στη συνέχεια μας δίνει θειοθειικά:



Φυσιολογική δράση του θείου

Η φυσιολογική δράση του θείου σε ένα φυτικό οργανισμό θεμελιώδης. Μέσα στο φυτό το S μπορεί να συγκεντρωθεί ως συστατικό της ένωσης γλουταθείο. Το γλουταθείο είναι η αποθησαυριστική μορφή του αναχθέντος S. Ενδέχεται η συγκέντρωση να αποτελεί μηχανισμό αντιμετώπισης της υπερβολικής ποσότητας στο φυτό. Το S παίζει σημαντικό ρόλο στο σχηματισμό των χλαστών και της χλωροφύλλης, επίσης δρα καταλυτικά στη μέγιστη σύζευξη των νιτρικών στα φυτά (Σιμώνης Α, 1995).

Το N και το S είναι κύρια συστατικά των πρωτεϊνών, έτσι η S επηρεάζει την αξιοποίηση N μέσα στο φυτό για τη σύνθεση πρωτεϊνών. Η έλλειψη θείου¹⁵ μπορεί να εμπλουτίσει τα παραγόμενα φυτικά προϊόντα.

¹⁵ Τα συμπτώματα τροφοπενίας θείου είναι ανάλογα με τα συμπτώματα της αζώτου και εκδηλώνονται με γενική καχεξία του φυτού και προοδευτική μείωση της ανάπτυξης.



μη πρωτεϊνικό άζωτο, συμπεριλαμβανομένου του NO_3^- -N στους φυτικούς ιστούς. Έτσι έχει μεγάλη σημασία η διατήρηση του άριστου επιπέδου S στα φυτά, ώστε να αποφευχθεί η μεγάλη συγκέντρωση (NO_3^-) στους φυτικούς ιστούς (Θερίος Ι. 1996).

Το S περιέχεται σε διάφορα θειοαμινοξέα (μεθειονίνη, κυστεΐνη, κυστίνη, θειαμίνη κ.λ.π.) που είναι αναντικατάστατα συστατικά των πρωτεϊνών. Τρεις ακόμη ενώσεις η ανευρίνη, η βιοτίνη και η φερρεδοξίνη, καθώς και το συνένζυμο Α της αναπνοής περιέχουν το στοιχείο αυτό. Προϊόντα με χαρακτηριστική οσμή, όπως το κρεμμύδι και η μουστάρδα, περιέχουν S. Το S είναι ενεργοποιητής ενζύμων όπως η παπαΐνη, βρομελίνη και φυκίνη.

Το ιόν του ανάγεται προκειμένου να χρησιμοποιηθεί από τα φυτά. Προσλαμβάνεται ως SO_4^{2-} . Τα SO_4^{2-} που δεν χρησιμοποιούνται από τα φυτά συσσωρεύονται στα φύλλα και λιγότερο στους σπόρους, από όπου μπορεί να κινητοποιηθεί αν χρειαστεί. Η θειική μορφή (SO_4^{2-}) του θείου απαντάται και στο πλασματικό υγρό. Εκεί το βρίσκουμε όχι μόνο ως θεικό ασβέστιο αλλά και ως θεικό ανιόν (SO_4^{2-}) που δρα ανταγωνιστικά στα νιτρικά ιόντα (NO_3^-) και ανιόντα χλωρίου Cl.

:

φύλλων από τα κατώτερα και μεγαλύτερης ηλικίας φύλλα προς τα νεώτερα. Οι τροφοπενίες θείου είναι σπάνιες και περιορίζονται σε εδάφη περιοχών με μεγάλες βροχοπτώσεις και έντονη κλίση του εδάφους. Επίσης εμφανίζεται σε απομακρυσμένες περιοχές από βιομηχανική δραστηριότητα ή από μεγάλους αυτοκινητοδρόμους.





ΕΙΚΟΝΑ 19: ΜΕΤΑΒΟΛΙΣΜΟΣ ΘΕΙΟΥ

Μορφές S στο έδαφος και η χρησιμοποίησή του από τα φυτά

Τα εδάφη περιέχουν ανόργανο και οργανικό S. Τα φυτά χρησιμοποιούν αποκλειστικά την ανόργανη μορφή (SO_4^{2-}). Πολλά εδάφη σε υγρές και σε εύκρατες περιοχές περιέχουν μικρές ποσότητες ανόργανου S. Σε τέτοια εδάφη τα φυτά γρήγορα χρησιμοποιούν το S που ανοργανοποιείται με οξείδωση της οργανικής ουσίας μαζί με το S από το διαλυμένο στο νερό της βροχής και το SO_4^{2-} που προσροφάται από τα εδάφη. Τα SO_4^{2-} που χρησιμοποιούνται από τα φυτά προέρχεται από την οργανική ουσία. Έτσι το οργανικό S αναφέρεται ως αποθεματικό S.

Το SO_4^{2-} απαντάται στα εδάφη σε 3 μορφές, στο εδαφικό διάλυμα, ως ιζημα και ως προσροφημένο στην επιφάνεια των ορυκτών της αργίλου. Η γύψος είναι η πιο συνήθης μορφή SO_4^{2-} υπό μορφή ιζήματος. Η διαλυτότητα της γύψου είναι μικρή (450 $\mu\text{gr S/ml H}_2\text{O}$). Η συγκέντρωση SO_4^{2-} σε ισορροπία με $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ είναι πολλές φορές μεγαλύτερη από τη συγκέντρωση που χρειάζονται τα φυτά για άριστη θρέψη. Τα περισσότερα εδάφη με υψηλό βαθμό αποσάθρωσης περιέχουν προσροφημένο SO_4^{2-} .

Η συγκέντρωση SO_4^{2-} στο εδαφικό διάλυμα ποικίλει και κυρίως σε εδάφη που έχουν μικρή ικανότητα να προσροφούν SO_4^{2-} . Αν και τα εδάφη έχουν αξιόλογη ικανότητα να προσροφούν SO_4^{2-} η συγκέντρωση του SO_4^{2-} στο διάλυμα εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον επί της % κορεσμό με SO_4^{2-} . Τα θειοθειικά λιπάσματα είναι χημικώς ασταθείς ενώσεις σε όξινο διάλυμα και παράγουν SO_2 και στοιχειακό S. Τα πολυσουλφίδια είναι χημικώς ασταθείς ενώσεις και παράγουν κολλοειδές S και σουλφίδια, όταν προστίθενται στο έδαφος. Τα σουλφίδια οξειδώνονται γρήγορα σε στοιχειακό S.

Θεικές ενώσεις

Ανεξάρτητα από τη μορφή με την οποία χορηγείται το S στο έδαφος, το τελικό προϊόν σε καλά αεριζόμενα εδάφη είναι τα θειικά ιόντα (SO_4^{2-}). Το SO_4^{2-} σχηματίζει μικρής διαλυτότητας άλατα με Ca. Το SO_4^{2-} κατακρημνίζεται μαζί με το CaCO_3 στο έδαφος και γίνεται σχετικά μη διαθέσιμο για το φυτό. Σε υγρά εδάφη τα SO_4^{2-} είναι λιγότερο ευκίνητα στο έδαφος απ' ό,τι τα NO_3^- ή τα ιόντα Cl^- και δυσκολότερα εκπλύνονται. Αυτό εξηγεί γιατί οι απώλειες σε S είναι μικρότερες σε σύγκριση με το N.

Εδάφη με υψηλό βαθμό αποσάθρωσης έχουν σημαντική ικανότητα προσρόφησης SO_4^{2-} . Η προσρόφηση SO_4^{2-} είναι συνάρτηση της συγκέντρωσης. Λιπάσματα που αυξάνουν τη συγκέντρωση των SO_4^{2-} στο εδαφικό διάλυμα, αυξάνουν την προσρόφηση. Τα φυτά μπορούν να χρησιμοποιήσουν τα προσροφημένα SO_4^{2-} . Η προσρόφηση μπορεί να μειώσει τις απώλειες των θειικών λιπασμάτων, με μείωση της έκπλυσης. Προσθήκη P μειώνει την ικανότητα του εδάφους για προσρόφηση SO_4^{2-} .



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

ΜΑΡΟΥΛΙ (*Lactuca Sativa* L.)

Οικογένεια: Σύνθετα (Compositae)

Υποδιαίρεση: Liguliflorae

Γένος: Lactuca

Συνώνυμα: Λακτούκη, Μαρούλιον, Μαϊούνιον (Βυζάντιο),
Θρίδαξ, Σαλάτα

Αγγλικά: Lettuce **Γαλλικά:** Laitue **Γερμανικά:** Kopfsalat **Ιταλικά:**
Lettuga **Ισπανικά:** Lechuga **Πορτογαλικά:** Alface

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το καλλιεργούμενο μαρούλι (*Lactuca sativa* L.) είναι ένα φυλλώδες λαχανικό που χρησιμοποιείται ευρύτατα στην ανθρώπινη διατροφή, κυρίως σε νωπή κατάσταση για παρασκευή σαλατών. Συχνά όμως καταναλώνεται και μαγειρεμένο, σε φαγητά στα οποία συμμετέχουν και λαχανικά είτε ως κυρία τροφή είτε ως γαρνιτούρα (συνοδευτικό της κυρίας τροφής). Το μαρούλι είναι πλούσιο σε βιταμίνες και ιδιαίτερα σε αυτές του συμπλέγματος Β καθώς επίσης και σε ανόργανα θρεπτικά στοιχεία όπως το κάλιο και το μαγνήσιο. Υψηλή είναι επίσης η περιεκτικότητα του και σε οργανικά οξέα όπως μηλικό, κιτρικό κ.α. καθώς και σε άλλες οργανικές ουσίες με χαρακτηριστική, ευχάριστη γεύση, (π.χ. λακτουκίνη), με συνέπεια να εκτιμάται ιδιαίτερα ως λαχανικό, όχι μόνο για την διαιτητική του αξία αλλά και για την γευστικότητά του.

Το μαρούλι ήταν γνωστό ως λαχανικό στους αρχαίους Αιγυπτίους. Από την Αίγυπτο, η καλλιέργεια του μαρουλιού διαδόθηκε στους αρχαίους Έλληνες και στη συνέχεια από αυτούς στους Ρωμαίους. Στην κεντρική και βόρεια Ευρώπη το μαρούλι έγινε γνωστό κατά την εποχή του Καρλομάγνου, δηλαδή γύρω στο 800 μ.Χ. Η καλλιέργεια του μαρουλιού υπό κάλυψη πρέπει κατά πάσα πιθανότητα να πρωτοεμφανίστηκε την εποχή του Λουδοβίκου του 14ου, δεδομένου ότι σε κείμενα της εποχής αναφέρεται η παρουσία μαρουλιού στο βασιλικό τραπέζι ακόμη και τον Ιανουάριο. Σήμερα το μαρούλι καλλιεργείται σε όλο τον κόσμο τόσο στην ύπαιθρο όσο και υπό κάλυψη σε θερμοκήπια.

Το μαρούλι ως καλλιέργεια έχει πολύ μικρότερες απαιτήσεις σε θερμοκρασία σε σύγκριση με τα καρποδοτικά λαχανικά όπως η ντομάτα, το αγγούρι, κλπ. για να ευδοκιμήσει. Γι' αυτό η καλλιέργεια του στην ύπαιθρο στις μεν ψυχρότερες περιοχές της εύκρατης ζώνης (π.χ. κεντρική και βόρεια Ευρώπη) είναι δυνατή σε όλη την διάρκεια της θερμής εποχής (Μάρτιος έως Οκτώβριος), ενώ στις θερμότερες περιοχές της (π.χ. νοτιότερες περιοχές της μεσογειακής Ευρώπης) είναι δυνατή ακόμη και τον χειμώνα. Επίσης πρέπει να ειπωθεί ότι το μαρούλι είναι ένα ποώδες φυτό που δεν αναπτύσσεται σε ύψος,



με συνέπεια στις θερμοκηπιακές καλλιέργειες μαρουλιού το μεγαλύτερο μέρος του όγκου του θερμοκηπίου να παραμένει αναξιοποίητο. Γι' αυτούς τους λόγους στην νότια Ευρώπη και επομένως και στην Ελλάδα η καλλιέργεια του μαρουλιού στο θερμοκήπιο είναι λιγότερο συχνή και παρουσιάζει λιγότερο ενδιαφέρον σε σύγκριση με την καλλιέργεια καρποδοτικών λαχανικών.

Τύποι μαρουλιού

Τα καλλιεργούμενα μαρούλια ανάλογα με τη μορφή και τη διάταξη των φύλλων διακρίνονται στις ακόλουθες ομάδες:

- Κως ή Ρωμάνα (Cos or Romaine) *Lactuca sativa* var. romana
- Λείο, κεφαλωτό (Butterhead) *Lactuca sativa* var. capitata
- Κατσάρο κεφαλωτό (Crisphead, Iceberg ή Curly) *Lactuca sativa* var. Capitata
- Χαλαρό ανοιχτό φύλλωμα (Loose leaf) *Lactuca sativa* var. Crispa

Εποχή καλλιέργειας στο θερμοκήπιο

Σε αντίθεση με τα καρποδοτικά λαχανικά, το μαρούλι συγκομίζεται άπαξ ή το πολύ σε δύο δόσεις. Στην περίπτωση του μαρουλιού δηλαδή δεν έχουμε φυτά που βρίσκονται συνεχώς σε παραγωγή. Έτσι, μετά την πρώτη ή δεύτερη το πολύ συγκομιδή που είναι και η τελευταία, θα πρέπει να ξαναφυτευτεί νέα καλλιέργεια στο θερμοκήπιο αν θέλουμε να συνεχισθεί η παραγωγή μαρουλιού. Δεδομένου ότι κάθε καλλιέργεια μαρουλιού συνήθως δεν διαρκεί πάνω από 6-7 εβδομάδες (μεταφύτευση έως συγκομιδή), είναι προφανές ότι η συνεχής εκμετάλλευση του θερμοκηπίου απαιτεί την διαδοχική φύτευση αρκετών καλλιεργειών στη διάρκεια μιας χρονιάς.

Σε ορισμένα θερμοκήπια όμως, το μαρούλι καλλιεργείται μόνο για ορισμένους μήνες τον χειμώνα, κατά την διάρκεια των οποίων δεν μπορούν να καλλιεργηθούν θερμοαπαιτητικά λαχανικά λόγω του πολύ υψηλού κόστους για θέρμανση. Στις περιπτώσεις αυτές, η κύρια καλλιέργεια είναι ένα θερμοαπαιτητικό καρποδοτικό λαχανικό (π.χ. αγγούρι, ντομάτα) ενώ το μαρούλι φυτεύεται ως δεύτερη καλλιέργεια.

Στα ελληνικά θερμοκήπια το μαρούλι καλλιεργείται κυρίως κατά την διάρκεια της ψυχρής εποχής, δηλαδή από τον Νοέμβρη έως τον Απρίλη. Το καλοκαίρι αφενός υπάρχει μεγάλη προσφορά από υπαίθριες καλλιέργειες και αφετέρου οι πολύ υψηλές θερμοκρασίες που διαμορφώνονται στο θερμοκήπιο δεν επιτρέπουν στο μαρούλι να αναπτυχθεί και να ευδοκιμήσει κανονικά. Πρέπει βέβαια να τονισθεί ότι στη χώρα μας ακόμη και τον χειμώνα ο κύριος όγκος του προσφερομένου στην αγορά μαρουλιού προέρχεται από υπαίθριες καλλιέργειες της νότιας Ελλάδας κυρίως.



Θρεπτική αξία μαρουλιού

Εκτός από λαχανικό, το φυτό αυτό είναι και καλό κατευναστικό, αφού περιέχει υπνωτικές ιδιότητες. Ωφελεί το νευρικό σύστημα είναι και θεωρείται επίσης αποτελεσματικό στις περιπτώσεις νευρασθένειας, αλλά και κατά του ίκτερου. Οι "ηρεμιστικές" ιδιότητες του μαρουλιού, αποδίδονται στο συστατικό που έχει το **λακτουάριο**. Η ναρκωτική του ιδιότητα, δεν είναι τοξική για αυτό συνιστάται στα παιδιά. Έχουν καταγραφεί περιστατικά, σε ανθρώπους προχωρημένης ηλικίας, που το μαρούλι φέρνει ύπνο. Είναι επίσης αποτελεσματικό κατά της γρίπης.

ΠΙΝΑΚΑΣ 12: ΣΥΣΤΑΣΗ ΦΥΛΛΩΝ ΜΑΡΟΥΛΙΟΥ (ανά 100 gr βρώσιμου προϊόντος)

ΣΤΟΙΧΕΙΑ	Κεφαλωτό (Butterhead)	Ρωμάνα (Cos or Romaina)	Κατσάρο κεφαλωτό (Crisphead)
Ενέργεια (θερμίδες)	11	16	11
Νερό (g)	96	94	95
Πρωτεΐνες (g)	1,2	1,6	0,8
Λίπη (g)	0,2	0,2	0,1
Υδατάνθρακες (g)	1,2	2,1	2,3
Βιταμίνη Α (IU)	1200	2600	300
Βιταμίνη Β1 (mg)	0,07	0,10	0,07
Βιταμίνη Β2 (mg)	0,07	0,10	0,03
Βιταμίνη C (mg)	9	24	5
Νιασίνη (mg)	0,4	0,5	0,3
Άλατα Ca (mg)	40	36	13
Άλατα Fe (mg)	1,1	1,1	1,5
Άλατα Mg (mg)	16	6	7
Άλατα P (mg)	31	45	25

ΠΗΓΗ: Howard et al., (1962)



ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΥ ΑΓΡΟΥ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΜΑΡΟΥΛΙΟΥ

Εισαγωγή

Σκοπός του πειράματος

Το άζωτο αποτελεί το σημαντικότερο μακροστοιχείο στην ανόργανη διατροφή των φυτών τόσο ποσοτικά όσο και ποιοτικά. Η επαρκής τροφοδότηση άζωτο καθορίζει σε μέγιστο βαθμό το μέγεθος της παραγωγής των καλλιεργούμενων φυτών. Η αύξηση της χορηγούμενης αζωτούχου λίπανσης είναι αρνητικά συσχετισμένη με την παρουσία νιτρικών ανιόντων στα φύλλα των περισσότερων φυλλωδών λαχανικών. Σήμερα, τα λαχανικά αποτελούν την κυριότερη πηγή εισροής νιτρικών στον οργανισμό των ενήλικων ανθρώπων. Εκτιμάται πως περισσότερο από 80% της μέσης ημερήσιας εισροής νιτρικών στον οργανισμό προέρχεται από τα λαχανικά. Η συσσώρευση νιτρικών στους φυτικούς ιστούς διαφόρων φυτών και η κατανάλωσή τους από τον άνθρωπο, έχει ευαισθητοποιήσει την κοινή γνώμη καθώς τα νιτρικά ανιόντα θεωρούνται ότι μπορεί να είναι επικίνδυνα για την υγεία των καταναλωτών. Έτσι στην Ευρωπαϊκή Ένωση έχουν οριστεί μέγιστα αποδεκτά ποσοστά νιτρικών για διάθεση των νωπών προϊόντων στην κατανάλωση, τόσο σε προϊόντα από θερμοκήπια, όσο και σε υπαίθριες καλλιέργειες φυλλωδών λαχανικών.

Διάφορες μέθοδοι έχουν αναφερθεί για την μείωση της περιεκτικότητας σε νιτρικά στα μαρούλια και σε άλλα φυλλώδη λαχανικά, με ή χωρίς επίδραση στην παραγωγή. Ορισμένες από αυτές βασίζονται στην αρνητική συσχέτιση μεταξύ NO_3^- και φωτοσυνθετικά ενεργού ακτινοβολίας (Calvin and Atkins, 1974, Steingröver et al, 1993) ή της θερμοκρασίας (Santamaria et al, 1996). Άλλες μέθοδοι σχετίζονται με αλλαγές στο θρεπτικό διάλυμα, για παράδειγμα με χρήση αμινοξέων (biofertilizers) (Günes et al, 1994) ή αλλαγές στην σχέση $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ (Boon et al, 1990, Santamaria et al, 1996) ή την ελάττωση του χορηγούμενου NO_3^- -N προ της συγκομιδής (Alt and Ströwer, 1982, Boon et al, 1990, Marlogio, 1995, Carrasco, 1992). Επίσης έχει εφαρμοσθεί η αλλαγή στην ισορροπία των ανιόντων στο θρεπτικό διάλυμα με την μερική αντικατάσταση των νιτρικών ανιόντων με ιόντα Cl^- κατά το τέλος της περιόδου ανάπτυξης των φυτών του μαρουλιού (Steingröver et al, 1993, Santamaria et al, 1996, Urrestarazu et al, 1998).

Οι παραπάνω μέθοδοι βρίσκουν εφαρμογή σε ελεγχόμενες συνθήκες και κυρίως σε υδροπονικές καλλιέργειες. Στον αγρό η εφαρμογή των ανωτέρω μεθόδων δεν είναι εφαρμόσιμη (αδυναμία ελέγχου της ακτινοβολίας,



θερμοκρασίας και της σχέσης $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$, υποβάθμιση του εδάφους από υπολείμματα Cl^- , ή υψηλού κόστους όπως η εφαρμογή των αμινοξέων).

Το είδος της χορηγούμενης αζωτούχου λίπανσης θεωρείται ότι επηρεάζει την συσσώρευση νιτρικών στα φύλλα. Αναφέρεται ότι η οργανική λίπανση είχε μικρότερη επιβάρυνση με νιτρικά ανιόντα στο μαρούλι σε σύγκριση με την ανόργανη λίπανση (Gianquinto et al, 1992, Παύλου κ.α., 2003). Το τελευταίο έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον γιατί εκτός από την δυνατότητα της εύκολης εφαρμογής στον αγρό έχει ξεχωριστή σημασία στα πλαίσια της Βιολογικής Γεωργίας, όπου δεν αρκεί η μείωση των νιτρικών για την παραγωγή ποιοτικών προϊόντων αλλά θα πρέπει και το ύψος της παραγωγής να είναι τέτοιο ώστε να ανταγωνίζεται τα συμβατικά παραγόμενα προϊόντα (μέσο βάρος κεφαλής και συνολικά παραγόμενη ποσότητα νωπού προϊόντος).

Δυνατότητα εφαρμογής στον αγρό φαίνεται να έχει και η ρύθμιση της ισορροπίας των ανιόντων στο ριζόστρωμα των φυτών με την χορήγηση SO_4^{2-} τα οποία πιθανά μπορούν να υποκαταστήσουν τα Cl^- στον ανταγωνισμό με τα NO_3^- και στην ελάττωση της συγκέντρωσης των τελευταίων στα φυτικά χυμοτόπια. Τα SO_4^{2-} αντίθετα με τα Cl^- δεν φαίνεται να υποβαθμίζουν το έδαφος ενώ παράλληλα πιστεύεται ότι μπορεί να έχουν ανάλογη επίδραση (Urrestarazu et al, 1998, Paparozzi, 1999). Ειδικά για τα SO_4^{2-} αναφέρεται η αλληλεπίδραση του θείου με το άζωτο στην πρόσληψή τους από διάφορα φυτά (Dale et al, 1991, Paparozzi et al, 1994, Macz et al, 2001), ενώ η αύξηση της συγκέντρωσης θείου στα κύτταρα θεωρείται ότι ενισχύει και διεγείρει την δράση του συστήματος της ρεδοκτάσης των νιτρικών και κατ' επέκταση περιορίζει την συσσώρευση των νιτρικών στα κυτταρικά χυμοτόπια.

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι να διερευνηθεί η επίδραση του είδους της λίπανσης (ανόργανης ή οργανικής) με σταθερή την ποσότητα του διατιθέμενου αζώτου σε όλες τις επεμβάσεις, σε συνδυασμό με τρία επίπεδα θεικής λίπανσης, πάνω στη συσσώρευση νιτρικών στα παλιά εξωτερικά φύλλα και στα νεώτερα εσωτερικά φύλλα μιας καλλιέργειας μαρουλιού.

Υλικά και μέθοδοι

Α. Επιλογή ποικιλίας

Για καλλιέργεια επιλέχτηκε η **ποικιλία Italica** του τύπου μαρουλιών **Crispa** ή **φυλλώδους τύπου**, επειδή τα μαρούλια αυτού του τύπου παρουσιάζουν μεγαλύτερη συσσώρευση νιτρικών.

Τα φυτά της ποικιλίας Italica δεν σχηματίζουν κεφαλή και τα φύλλα των φυτών είναι κυματοειδή (ογουρά) τραγανά και εύθραυστα. Το χρώμα των φύλλων κυμαίνεται από μέτριο έως βαθύ πράσινο. Η εμφάνιση των φυτών είναι καλή, με ικανοποιητική ανθεκτικότητα στο περιφερειακό κάψιμο των



φύλλων.



ΕΙΚΟΝΑ 20: ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ ΤΕΙ ΗΠΕΙΡΟΥ – ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΑΓΡΟΣ

Β. Σπορά και ανάπτυξη στο σπορείο

Κατά την εγκατάσταση του πειραματικού αγρού σε γυάλινο στο ΤΕΙ Ηπείρου στην Άρτα έγιναν τα ακόλουθα:

Ο πολλαπλασιασμός του μαρουλιού έγινε με σπόρο. σπάρθηκαν αρχικά στο σπορείο στις 2 Δεκεμβρίου 2004.

Η σπορά έγινε σε μεγάλα ομαδικά κιβώτια σποράς, αποστειρωμένο υπόστρωμα κατάλληλης σύστασης. Η ποσότητα σπόρου που χρησιμοποιήθηκε ήταν στα 15-20 gr/στρέμμα να σημειωθεί ότι ο σπόρος του μαρουλιού αμέσως μετά την σπέρση βρίσκεται σε κατάσταση λήθαργου και δεν βλαστάνει. Γι' αυτό

σπορά πρόσφατα συγκομισθέντων σπόρων μαρουλιού δεν συνιστάται.

Οι σπόροι του μαρουλιού φυτρώνουν συνήθως 5-8 μέρες μετά την σπορά, ανάλογα με την θερμοκρασία που επικρατεί μέσα στο μέσο σποράς (εδαφικό μίγμα ή υπόστρωμα). Το φύτευμα των σπόρων στο σπορείο μας έγινε 11 ημέρες αργότερα.

Για να επιτευχθεί σύντομο και ομοιόμορφο φύτευμα του σπόρου η θερμοκρασία στο μέσο σποράς θα πρέπει να ανέρχεται στους 15-18° C. Μετά το φύτευμα τα νεαρά μαρουλόφυτα δέχτηκαν τις ίδιες περιποιήσεις όπως όλα τα νεαρά σπορόφυτα στο σπορείο (άρδευση, λίπανση, φυτοπροστασία, κλπ.) και στη συνέχεια, μόλις έφτασαν στο κατάλληλο για τον σκοπό αυτό στάδιο μεταφύτευτηκαν στο θερμοκήπιο.

Γ. Μεταφύτευση

Η εγκατάσταση της καλλιέργειας στο έδαφος του θερμοκηπίου έγινε στις 17 Ιανουαρίου 2005 με μεταφύτευση των σποροφύτων που προέκυψαν, αφού πρώτα τα φυτάρια έφτασαν στο κατάλληλο στάδιο ανάπτυξης.

Πριν την μεταφύτευση των φυταρίων στο θερμοκήπιο, το έδαφος προετοιμάστηκε κατάλληλα. Κατ' αρχήν μια έκταση του θερμοκηπίου χωρίστηκε με σκοινιά και πασσάλους, κατά μήκος σε τρεις γραμμές πλάτους 1,5 m. Ανάμεσα από τις γραμμές διαμορφώθηκε διάδρομος μήκους 1,0 m. Εντός των γραμμών διαμορφώθηκαν 36 τεμάχια διαστάσεων 2,0 × 1,5 m.



ΕΙΚΟΝΑ 21: ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΥ ΑΓΡΟΥ - ΦΥΤΕΥΣΗ ΜΑΡΟΥΛΙΩΝ

Οι εργασίες που έγιναν με σκοπό την προετοιμασία του εδάφους είναι σε γενικές γραμμές το όργωμα, ο ψιλοχωματισμός του με την βοήθεια ενός φρεζαρίσματος και για κάθε τεμάχιο ξεχωριστά η ενσωμάτωση της κοπριάς

κότας και των ενδεδειγμένων λιπασμάτων.

Η διάρκεια παραμονής των νεαρών σποροφύτων του μαρουλιού στο σπορείο μέχρι την ημέρα της μεταφύτευσης τους, ανήλθε στις 6 εβδομάδες. Τα σπορόφυτα του μαρουλιού ήταν έτοιμα για μεταφύτευση όταν απέκτησαν 4 πραγματικά φύλλα. Σε αυτό το μέγεθος το νωπό βάρος τους ανήλθε κατά μέσο όρο στα 1,8 gr περίπου.

Η μεταφύτευση έγινε χειρωνακτικά. Η ακριβής πυκνότητα φύτευσης του μαρουλιού που υιοθετήθηκε εξαρτήθηκε:

- από την καλλιεργούμενη ποικιλία
- από το ελάχιστο μέγεθος που επιδιώκεται να έχουν τα φυτά όταν συγκομίζονται. Γενικά υφίσταται μία αρνητική συσχέτιση μεταξύ του μεγέθους των φυτών στο στάδιο της συγκομιδής και της πυκνότητας φύτευσης.
- από τον έλεγχο της καλλιέργειας σε 'επιμολύνσεις' των φυτών με θεραπευτικά στοιχεία από τα διπλανά τεμάχια.

Συνθήκες περιβάλλοντος στο θερμοκήπιο

Το μαρούλι είναι ψυχροαπαιτητικό λαχανικό. Η θερμοκρασία που θα πρέπει να επικρατεί στον χώρο του σπορείου μετά το φύτευμα των σπόρων και μέχρι την μεταφύτευση είναι 15° C την ημέρα και 8° C την νύχτα. Μετά την μεταφύτευση, οι θερμοκρασίες που συνιστώνται στο θερμοκήπιο είναι 10° C την ημέρα και 6° C την νύχτα, ενώ στους 18-20° C θα πρέπει να τίθεται σε λειτουργία το σύστημα εξαερισμού.

Η άριστη σχετική υγρασία (Σ.Υ.) για το μαρούλι μέσα στο θερμοκήπιο κυμαίνεται μεταξύ 70-80%. Χαμηλές τιμές σχετικής υγρασίας έχουν σαν συνέπεια την εμφάνιση της φυσιολογικής ανωμαλίας "κάψιμο του περιθωρίου των φύλλων". Αντίστοιχα, υπερβολικά υψηλή σχετική υγρασία έχει σαν συνέπεια την αύξηση του ποσοστού προσβολών από βοτρυτή, σκληρωτίνια καθώς και άλλες μυκητολογικές ασθένειες που προσβάλλουν συνήθως το μαρούλι.





ΕΙΚΟΝΑ 22: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΑΓΡΟΣ - ΦΥΤΑ ΜΑΡΟΥΛΙΟΥ ΣΕ ΑΝΑΠΤΥΞΗ

Καλλιεργητικές φροντίδες

Λόγω του μεγέθους του και της διάταξης των φύλλων του το μαρούλι καταναλώνει μέσω της διαπνοής μικρές μόνο ποσότητες νερού, ιδιαίτερα τον χειμώνα, όπου κατά κύριο λόγο καλλιεργείται στην Ελλάδα. Γι' αυτό τόσο η συχνότητα του ποτίσματος και η ποσότητα νερού ανά άρδευση ήταν περιορισμένες, ώστε να αποφεύγεται ο κίνδυνος εμφάνισης ασθενειών που ευνοούνται από την υπερβολική υγρασία.

Δ. Ανάλυση εδάφους

Από ανάλυση που έγινε στο έδαφος του θερμοκηπίου από την επιλεγμένη έκταση των 300 m² περίπου, σε τρία δείγματα (βάθος δειγματοληψίας 0-30 Cm) προέκυψαν τα ακόλουθα αποτελέσματα:

ΠΙΝΑΚΑΣ 13: ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΤΕΙ ΗΠΕΙΡΟΥ

	A	B	Γ	Μέσος όρος	Επίπεδο
Οργανική ουσία %	1,5	1,7	2,2	1,8	Χαμηλό
pH	6.6	6.8	7.1	6.8	Ελαφρός όξινο
Μηχανική σύσταση	Αμμοπηλώδε	Αμμοπηλώδες	Αμμοπηλώδες		
P σε ppm (OLSEN)	16	18	27	20,3	Πολύ υψηλό
K σε ppm (οξικό αμμώνιο)	178	165	182	175	Μέσο
Ca σε ppm (οξικό αμμώνιο)	287	323	189	266	Υψηλό
Mg σε ppm (οξικό αμμώνιο)	22	17	24	21	μέσο
S σε ppm (LiCl)	4	5	4	4	Χαμηλό

Για τον προσδιορισμό του διαθέσιμου S στο έδαφος, 50 gr εδάφους του θερμοκηπίου εκχειλίστηκαν με ανακίνηση 50 cm³ από διάλυμα χλωριούχου λιθίου (LiCl) 1M.

Απαιτήσεις σε θρεπτικά στοιχεία των μαρουλιών

Οι απαιτήσεις των μαρουλιών σε θρεπτικά στοιχεία είναι οι ακόλουθες:

Λιπαντικές μονάδες (Kg/στρ)		
N	P ₂ O ₅	K ₂ O
10-12	5-6	20-28

Ενδεικτικό πρόγραμμα λίπανσης της υπό κάλυψη καλλιέργειας μαρουλιού

Λιπαντικές μονάδες (Kg/στρ)		
N	P ₂ O ₅	K ₂ O
6-10	7,5-12	15-25



ΠΙΝΑΚΑΣ 14: ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΛΙΠΑΝΣΗΣ ΜΑΡΟΥΛΙΟΥ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗ ΧΗΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

I Κωδικός Περιεκτικότητας							
	0	1	2	3	4	5	>5
Περιεκτικότητα εδάφους σε N (mg/l)	0-25	26-50	50+	50+	50+	50+	50+
Προσθήκη N σε g/m ² νιτρικής αμμωνίας	35	15	0	0	0	0	0
Περιεκτικότητα εδάφους σε P (mg/l)	0-9	10-15	16-25	26-45	46-70	71-100	>101
Προσθήκη P σε g/m ² τριπλού υπερφωσφορικού	100	70	70	35	35	15	0
Περιεκτικότητα εδάφους σε K (mg/l)	0-60	61-120	121-240	245-400	405-600	605-900	>905
Προσθήκη K σε g/m ² θειικού καλίου (0-0-48)	70	70	70	35	35	0	0
Περιεκτικότητα εδάφους σε Mg (mg/l)	0-25	26-50	51-100	101-175	176-250	255-350	>355
Προσθήκη Mg σε g/m ² Κιζερίτη	110	80	30	0	0	0	0

Πηγή: ADAS Αγγλίας 1982

Σύμφωνα με τον Τσαπικούνη (1997), μια καλλιέργεια μαρουλιού και για παραγωγή 3,92 τόνων το στρέμμα αφαιρεί από το έδαφος

N	P	K
10,634 (Kg/στρ.)	1,343 (Kg/στρ.)	19,030 (Kg/στρ.)

Σύμφωνα με το Διεθνές Ινστιτούτο Καλίου για κάθε τόνο νωπού προϊόντος μαρουλιού απομακρύνονται από το έδαφος και τα εξής:



(Σε Kgr θρεπτικού στοιχείου ανά τόνο προϊόντος)

Είδος Φυτού	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	SO ₃
Μαρούλι	3,0	1,5	5,0	1,5	0,5	0,5
Σπανάκι	5,0	2,5	7,0	2,0	1,5	1,0

ΠΗΓΗ: Tistale et al (Παπαδάκης 1994)

Λιπάνσεις πειραματικού μέρους

Οι λιπαντικές επεμβάσεις που έγιναν στον πειραματικό αγρό ήταν συνολικά έξι (6) και αφορούσαν τον συνδυασμό δύο τύπων αζωτούχου λίπανσης (ανόργανης και οργανικής προέλευσης) σε συνδυασμό με τρία επίπεδα θειικής λίπανσης, 0, 15 και 30 μονάδων/στρ θείου υπό την μορφή του θειικού καλιομαγνήσιου, λιπάσματος το οποίο επιτρέπεται στην Βιολογική Γεωργία. Σε κάθε τεμάχιο εφαρμόστηκαν 20 μονάδες/στρ αζώτου οργανικής ή ανόργανης προέλευσης. Για κάθε μια από τις παραπάνω μεταχειρίσεις έγιναν μετά από τυχαιοποίηση έξι επαναλήψεις (τεμάχια). Πιο συγκεκριμένα εφαρμόστηκαν, για κάθε μια από τις έξι μεταχειρίσεις του πειράματος, οι εξής λιπαντικές επεμβάσεις στο έδαφος του θερμοκηπίου:

- ✓ Για την **οργανική λίπανση** εφαρμόστηκε σε όλα τα τεμάχια (18 σε αριθμό) επεξεργασμένη κοπριά ορνίθων σε μορφή pellets, προερχόμενη από το εργοστάσιο του Πτηνοτροφικού Συνεταιρισμού Ιωαννίνων 'Πίνδος' στο Ροδοτόπι Ιωαννίνων. Μετά από ανάλυση της κοπριάς βρέθηκε ότι περιείχε τις παρακάτω ποσότητες θρεπτικών στοιχείων:

N	P	K	Ca	Mg
4,0%	3,2%	3,4%	4,6%	0,8%

Εκτός από αυτά η εταιρία που την επεξεργάζεται μετά από μετρήσεις βρήκε και τα ακόλουθα:

Οργανική Ουσία 75-80%
Υγρασία 10-20%

Για να καλυφτούν λοιπόν οι απαιτούμενες ποσότητες σε N, P και K χρησιμοποιήθηκε ποσότητα 500 Kgr επεξεργασμένης κοπριάς ορνίθων ανά στρέμμα ή 1 Kgr στα 2 m². Έτσι εφαρμόστηκαν 20 Kgr/στρ N, 16 Kgr/στρ P, 17 Kgr/στρ K, 23 Kgr/στρ Ca και 4 Kgr/στρ Mg ή 40 gr/τεμάχιο N, 32 gr/τεμάχιο P, 34 gr/τεμάχιο K, 46 gr/τεμάχιο Ca και 8 gr/τεμάχιο Mg.

- ✓ Για την **ανόργανη λίπανση** εφαρμόστηκαν σε όλα τα τεμάχια (18 σε αριθμό) τα εξής λιπάσματα:



- Νιτρική αμμωνία (με τύπο 34,5-0-0 εκ των οποίων 17% αμμωνιακό N και 17,5% νιτρικό N) σε ποσότητα 85 gr/τεμάχιο ή 42,5 Kgr/στρ
- Νιτρικό κάλιο (με τύπο 13,5 - 0 - 46,2) σε ποσότητα 80 gr/τεμάχιο ή 40 Kgr/στρ (το άζωτο σε νιτρική μορφή).
- Φωσφορικό κάλιο (με τύπο 0 - 52 - 34) σε ποσότητα 38 gr/τεμάχιο ή 19 Kgr/στρ.

Ετσι σε κάθε τεμάχιο προσθέσαμε 20 μονάδες N (7,22 μονάδες N σε αμμωνιακή μορφή και 12,84 σε νιτρική μορφή), 9,88 μονάδες P και 24,94 μονάδες K.

- ✓ Στα παραπάνω τεμάχια τόσο στην οργανική όσο και στην ανόργανη λίπανση εφαρμόστηκαν τρία διαφορετικά επίπεδα θεικής λίπανσης (0, 15 και 30 μονάδες/στρ S) με το λίπασμα θεικό καλιο-μαγνήσιο (με τύπο 0 - 0 - 30 + 10% Mg +18% S), του οποίου η χρήση επιτρέπεται στη Βιολογική Γεωργία και σε ποσότητες στα τεμάχια:

ΤΕΜΑΧΙΟ	O ₀ & A ₀	O ₁₅ & A ₁₅	O ₃₀ & A ₃₀
ΘΕΙΙΚΟ ΚΑΛΙΟΜΑΓΝΗΣΙΟ σε kgr/στρ	-	83,0	166,5
ΘΕΙΟ σε kgr/στρ	0,0	14,54	29,94

Όπου O₀: Οργανική λίπανση + 0 S

O₁₅ Οργανική λίπανση + 15 S

O₃₀ Οργανική λίπανση + 30 S

A₀: Ανόργανη + 0 S

A₁₅ Ανόργανη + 15 S

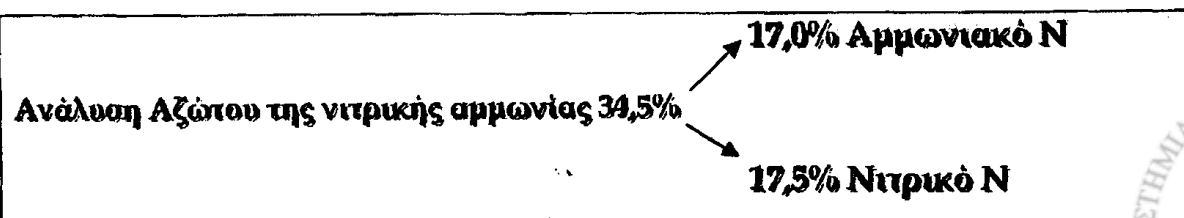
A₃₀ Ανόργανη + 30 S

Στον πειραματικό αγρό εφαρμόστηκαν τρεις επεμβάσεις S για την οργανική (O₀, O₁₅ & O₃₀) και τρεις για την ανόργανη λίπανση (A₀, A₁₅ & A₃₀). Η συγκομιδή των φυτών έγινε στο μέγιστο εμπορεύσιμο μέγεθος στις 3 Μαρτίου 2005.

Χαρακτηριστικά λιπασμάτων που χορηγήθηκαν

ΝΙΤΡΙΚΗ ΑΜΜΩΝΙΑ (NH₄NO₃)

ΤΥΠΟΣ ΛΙΠΑΣΜΑΤΟΣ: 34,5-0-0 + 0,5 Mg



Είναι υδατοδιαλυτό λίπασμα, κατάλληλο για όλους τους τύπος εδαφών. Είναι πολύ υγροσκοπικό με αποτέλεσμα πολλές φορές να απορροφά υγρασία και να γίνεται συμπαγής 'πετρώνει'. Επίσης όταν είναι σε επαφή με υλικά που περιέχουν C σχηματίζει εκρηκτικό μίγμα (πυρίτιδα). Το μέγεθος των κόκκων του κατά 92 % είναι 2-4 mm. Το λίπασμα αυτό είναι κατά 98,6% NH_4NO_3 και περιέχει 0,2% H_2O , 0,5% αδιάλυτα συστατικά, 0,05 % οργανική ουσία και έχει $\text{pH} = 5,7$.

Το λίπασμα είναι πολύ ευδιάλυτο στο έδαφος, όπου με ελάχιστη υγρασία διαλυτοποιείται διασπώμενη σε ιόντα αμμωνίου (NH_4^+) και νιτρικά ιόντα (NO_3^-). Σε διάστημα λίγων εβδομάδων τα αμμωνιακά ιόντα μετατρέπονται σε νιτρικά με μικροβιακή δράση, η οποία απαιτεί όμως κατάλληλη θερμοκρασία και $\text{pH} > 5$. Επίσης τα αμμωνιακά ιόντα εάν δεν απορροφηθούν από τις ρίζες των φυτών συγκρατούνται από τα κολλοειδή του εδάφους, σε αντίθεση με τα νιτρικά τα οποία παρουσιάζουν μεγάλη ευκινησία, δεν συγκρατούνται στο έδαφος και εάν δεν απορροφηθούν από τις ρίζες, εκπλύνονται προς το υπέδαφος και τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα.

ΝΙΤΡΙΚΟ ΚΑΛΙΟ (KNO_3)

ΤΥΠΟΣ ΛΙΠΑΣΜΑΤΟΣ: (13,5-0-46,2)

Συντίθεται είτε από NaNO_3 είτε από KCl και νιτρικό οξύ με συνεχή κρυστάλλωση και διαχωρισμό του KNO_3 . Είναι φυσιολογικά αλκαλικό λίπασμα. Αποτελεί πλούσια πηγή υδατοδιαλυτού καλίου και συγχρόνως πηγή νιτρικού N. Είναι κρυσταλλικό ή κοκκώδες και είναι πολύ ευδιάλυτο στο νερό. Χρησιμοποιείται σε εντατικές καλλιέργειες και για διαφυλλικές λιπάνσεις, κατεξοχήν δε σε συστήματα υδρολιπάνσεων.

ΦΩΣΦΟΡΙΚΟ ΚΑΛΙΟ (KH_2PO_4)

Άλλη ονομασία : ΟΡΘΟΦΩΣΦΟΡΙΚΟ ΔΙΣΟΞΙΝΟ ΚΑΛΙΟ (Monopotassium Phosphate)

ΤΥΠΟΣ ΛΙΠΑΣΜΑΤΟΣ: (0-52-34)

Είναι πλήρης υδατοδιαλυτό λίπασμα σε κρυσταλλική μορφή, χημικά καθαρό. Περιέχει 52% P_2O_5 και 34% K. Είναι άριστο λίπασμα ως πηγή καλίου και φωσφόρου. Χρησιμοποιείται είτε αυτούσια, είτε σαν συστατικό P και K για υδρολιπάνσεις και υδροπονικές καλλιέργειες.

ΘΕΙΙΚΟ ΚΑΛΙΟΜΑΓΝΗΣΙΟ ($\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4$)

ΤΥΠΟΣ ΛΙΠΑΣΜΑΤΟΣ: (0-0-30 + 10 Mg + 18 S)

Είναι κοκκώδες καλιούχο λίπασμα με υψηλή περιεκτικότητα σε Mg. Η περιεκτικότητά του σε στοιχεία είναι: 30% K_2O , 10% Mg και 18% S. Αποτελεί πηγή αφομοιώσιμου Καλίου, Μαγνησίου και Θείου ταυτόχρονα. Συνήθως χορηγείται πριν τη φύτευση για τα ετήσια φυτά.



ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΗ ΚΟΠΡΙΑ ΟΡΝΙΘΩΝ

Για την οργανική λίπανση χρησιμοποιήθηκε επεξεργασμένη κοπριά ορνίθων σε μορφή Pellets προερχόμενη από το εργοστάσιο του Πτηνοτροφικού Συνεταιρισμού Ιωαννίνων.

Η μέθοδος επεξεργασίας της κοπριάς που εφαρμόστηκε, είναι η φυσική αερόβια ζύμωση των πτηνοτροφικών αποβλήτων από τα πτηνοτροφία του Συνεταιρισμού. Κατά τη μέθοδο αυτή τα πτηνοτροφικά απόβλητα μεταφέρονται σε ειδικές τάφρους από τοιμέντο, όπου με συνεχές ανακάτεμα και ύγρανση επιτυγχάνεται η αερόβια ζύμωση (θερμοκρασία μάζας 65-70° C) σε μικρό σχετικά χρονικό διάστημα (25-30 ημέρες, ανάλογα με τη θερμοκρασία περιβάλλοντος), η απολύμανση του προϊόντος και η μείωση της υγρασίας του. Το τελικό προϊόν, μετά από διαδικασία κοκκοποίησης, συσκευάζεται σε μορφή Pellets.

Παρακάτω παραθέτουμε τα πλεονεκτήματα της επεξεργασμένης κοπριάς ορνίθων:

- Έχει ομοιομορφία κόκκων
- Είναι απαλλαγμένη από παθογόνους μικροοργανισμούς
- Έχει σταθερότητα δομής
- Δεν περιέχει σπόρους ζιζανίων
- Έχει σχετικά χαμηλή υγρασία (10-20%)
- Έχει απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία για τα φυτά σε ικανοποιητικές ποσότητες σε σχέση με όλα τα άλλα είδη κοπριάς ζώων. Ακόμη περιέχει Mg και ιχνοστοιχεία τα οποία βρίσκονται σε χηλική μορφή.
- Περιέχει μεγάλο ποσοστό (20-25%) πρωτεϊνών υψηλής βιολογικής αξίας (σε χώρες όπως οι ΗΠΑ και η Γαλλία χρησιμοποιείται μετά από επεξεργασία για τροφή των μηρυκαστικών).

ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΦΥΤΙΚΩΝ ΙΣΤΩΝ ΜΑΡΟΥΛΙΟΥ

Τρόπος και χρόνος δειγματοληψίας

Η συλλογή των φύλλων έγινε στο μέσο, περίπου της ανάπτυξης των φυτών. Συλλέξαμε τα νεότερα ώριμα φύλλα από την κορυφή του φυτού και τα εξωτερικά παλαιότερα φύλλα από τα φυτά μαρουλιού. Σε κάθε τεμάχιο συλλέξαμε 10-15 φύλλα για το δείγμα των νέων φύλλων και άλλα τόσα αντίστοιχα στα παλιά φύλλα.



ΕΙΚΟΝΑ 23: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΑΓΡΟΣ - ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΦΥΛΛΩΝ ΜΑΡΟΥΛΙΟΥ

Δειγματοληψία και παραλλακτικότητα

- ✓ Για να αποφευχθεί η παραλλακτικότητα (Jones et al. 1971, H. D. Chapman 1973) σε τιμές μεταξύ των φυτών μαρουλιού μέσα στο θερμοκήπιο κατά τη δειγματοληψία, ερευνήθηκε με σχολαστικότητα 'η υγεία' των φύλλων.
- ✓ Επειδή η κατανομή των θρεπτικών στοιχείων μέσα στα φυτά δεν είναι ομοιόμορφη, γι' αυτό επιλέχθηκε να γίνει δειγματοληψία και εξωτερικών παλιών φύλλων και εσωτερικών νεότερων φύλλων.
- ✓ Είναι γνωστό ότι οι φυσιολογικά νέοι ιστοί υπόκεινται σε συνεχείς αλλαγές στις ποσότητες των θρεπτικών τους στοιχείων

Μεταφορά και αποθήκευση δειγμάτων

Τα δείγματα μετά τη συλλογή τους τοποθετήθηκαν σε χάρτινες



σακούλες και μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο αμέσως για ανάλυση. Με τον τρόπο αυτό αποφεύχθηκε η δράση των διαφόρων μικροοργανισμών πάνω στην αποδόμηση της φυτικής μάζας.

Προετοιμασία των φυτικών ιστών για ανάλυση

Επειδή το πλύσιμο των φύλλων δεν κρίθηκε απαραίτητο, γιατί ενδέχεται με το πλύσιμο να απομακρυνθούν και κάποιες ποσότητες νιτρικών, επελέγη η μέθοδος του ξηρού καθαρισμού, με απομάκρυνση όλων των ξένων υλών από την επιφάνεια των φύλλων με ένα στεγνό πανί.

Ξήρανση σε φούρνο

Η ξήρανση των φυτικών ιστών του δείγματος έγινε σε φούρνο στους 70° C για 48 ώρες με σκοπό την απομάκρυνση όλης της ποσότητας του συγκρατημένου νερού και την καταστροφή των ενζύμων με σκοπό τη διακοπή όλων των διεργασιών μέσα στους φυτικούς ιστούς. Ξήρανση σε χαμηλότερες θερμοκρασίες δεν απομακρύνει όλο το νερό των ιστών, ενώ ξήρανση σε υψηλές θερμοκρασίες, μπορεί να οδηγήσει σε θερμική αποικοδόμηση και διάσπαση της οργανικής ουσίας, μειώνοντας έτσι το ξηρό βάρος.

Άλεσμα των φυτικών ιστών

Μετά την ξήρανση των δειγμάτων ακολούθησε η άλεσή τους με ειδικό μύλο με μαχαίρια από ανοξείδωτο χάλυβα, έτσι ώστε να μην επηρεαστεί το αποτέλεσμα της ανάλυσης και παράλληλα με τη μείωση του μεγέθους των σωματιδίων του φυτικού ιστού, καθιστά το υλικό εύκολο στους χειρισμούς και ομοιόμορφο.

Οι κονιορτοποιημένοι ιστοί τοποθετήθηκαν ξανά στο φούρνο, για ξήρανση τους στους 65° C για 24 ώρες, με σκοπό την αφαίρεση τυχόν υγρασίας που προστέθηκε κατά το στάδιο της λειοτρίβησης.

Προσδιορισμός υγρασίας

Μια βασική παράμετρος που πρέπει να υπολογιστεί στα δείγματα είναι η υγρασία των φυτικών ιστών, γιατί πρέπει να βρούμε το πραγματικό βάρος των φυτικών ιστών.

Στους φυτικούς ιστούς λοιπόν που συλλέξαμε ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία: Σε πορσελάνινες κάψες, αφού πήραμε το απόβαρο, ζυγίσαμε ποσότητα 1 gr αλεσμένων φυτικών ιστών. Στη συνέχεια οι κάψες τοποθετήθηκαν σε πυριαντήριο στους 104 °C για 24 ώρες. Μετά μεταφέρθηκαν και τοποθετήθηκαν σε χωνευτήριο για να κρυώσουν. Αφού κρύωσαν ζυγίστηκαν αμέσως και με βάση τις προηγούμενες μετρήσεις από τον παρακάτω τύπο υπολογίζουμε την υγρασία των δειγμάτων:



$$\text{ΥΓΡΑΣΙΑ \%} = \frac{[\text{Βάρος(Κάψας+Φ.Ι.)}] - [\text{Βάρος (κάψας + ξηρό δείγμα)}]}{[\text{Βάρος(Κάψας+Φ.Ι.)}] - \text{Βάρος κάψας}} \times 100$$

Αποθήκευση - συντήρηση

Μετά την άλεση και τη δεύτερη ξήρανση το δείγμα συλλέχτηκε σε πλαστικές διαφανείς σακούλες που κλείνουν αεροστεγώς και αποθηκεύτηκε στο ψυγείο.

Στατιστική επάρκεια και αξιοπιστία αποτελέσματος.

Η οργάνωση του πειραματικού αγρού, η στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων και η γενική δοκιμασία του F έγινε σύμφωνα με το σχέδιο των Τυχαιοποιημένων Πλήρων Ομάδων σε ένα 2×3 διπαραγοντικό πείραμα με έξι επαναλήψεις (ομάδες), με 10 φυτά μαρουλιού ανά τεμάχιο σε δύο γραμμές φύτευσης. Από τα φυτά αυτά μετρήσιμα στοιχεία πάρθηκαν από 5 φυτά.

Στο πείραμά μας έγιναν προσδιορισμοί σε τρεις μεταβλητές, τόσο στα εξωτερικά όσο και στα εσωτερικά φύλλα της κεφαλής των φυτών. Οι μεταβλητές που προσδιορίστηκαν είναι:

α) Στην συγκέντρωση των νιτρικών ανιόντων (NO_3^-)

β) Στο ολικό θείο όπως αυτό εκφράζεται με τον προσδιορισμό των θειικών ανιόντων

γ) Στην συγκέντρωση των κατιόντων καλίου.

Επίσης έγινε και προσδιορισμός του μέσου βάρους της κεφαλής των φυτών για να διαπιστωθεί αν υπάρχει σημαντική διαφορά στο τελικό προϊόν ανάλογα με το είδος της εφαρμοζόμενης λίπανσης.

Ο συνδυασμός του αριθμού των φυτών που θα επιλεγούν για τη δειγματοληψία (επανάληψη), με τον αριθμό των δειγμάτων από κάθε φυτό, καθορίζει και την ποιότητα του αποτελέσματος της ανάλυσης. Επειδή τα μαρούλια παρουσιάζουν μικρή τιμή στο συντελεστή παραλλακτικότητας (CV) σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, ο αριθμός φύλλων δειγματοληψίας μειώνεται.

Έτσι επελέγη η διαδικασία της δειγματοληψίας περισσότερων φυτών από την ίδια μεταχείριση, γιατί θεωρήθηκε ότι το δείγμα που αξιολογήθηκε είναι αντιπροσωπευτικότερο της θρεπτικής κατάστασης των φυτών. Η μέση τιμή των αποτελεσμάτων από τη συνένωση περισσότερων του ενός δειγμάτων από το ίδιο τεμάχιο είναι ακριβέστερη, από τη μέτρηση ενός δείγματος από ένα φυτό.

Η δειγματοληψία των παλιών και νεότερων φύλλων επελέγη, γιατί έπρεπε να εξεταστεί η ποσότητα των νιτρικών, που εκ των πραγμάτων ήταν διαφορετική στα δύο αυτά διαφορετικά σημεία του φυτού. Τα φύλλα δειγματοληψίας που επιλέγηκαν ήταν απαλλαγμένα από προσβολές εντόμων,



$$\text{ΥΓΡΑΣΙΑ \%} = \frac{[\text{Βάρος(Κάψας+Φ.Ι)}] - [\text{Βάρος (κάψας + ξηρό δείγμα)}]}{[\text{Βάρος(Κάψας+Φ.Ι)}] - \text{Βάρος κάψας}} \times 100$$

Αποθήκευση - συντήρηση

Μετά την άλεση και τη δεύτερη ξήρανση το δείγμα συλλέχτηκε σε πλαστικές διαφανείς σακούλες που κλείνουν αεροστεγώς και αποθηκεύτηκε στο ψυγείο.

Στατιστική επάρκεια και αξιοπιστία αποτελέσματος.

Η οργάνωση του πειραματικού αγρού, η στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων και η γενική δοκιμασία του F έγινε σύμφωνα με το σχέδιο των Τυχαιοποιημένων Πλήρων Ομάδων σε ένα 2×3 διπαραγοντικό πείραμα με έξι επαναλήψεις (ομάδες), με 10 φυτά μαρουλιού ανά τεμάχιο σε δύο γραμμές φύτευσης. Από τα φυτά αυτά μετρήσιμα στοιχεία πάρθηκαν από 5 φυτά.

Στο πείραμά μας έγιναν προσδιορισμοί σε τρεις μεταβλητές, τόσο στα εξωτερικά όσο και στα εσωτερικά φύλλα της κεφαλής των φυτών. Οι μεταβλητές που προσδιορίστηκαν είναι:

α) Στην συγκέντρωση των νιτρικών ανιόντων (NO_3^-)

β) Στο ολικό θείο όπως αυτό εκφράζεται με τον προσδιορισμό των θειικών ανιόντων

γ) Στην συγκέντρωση των κατιόντων καλίου.

Επίσης έγινε και προσδιορισμός του μέσου βάρους της κεφαλής των φυτών για να διαπιστωθεί αν υπάρχει σημαντική διαφορά στο τελικό προϊόν ανάλογα με το είδος της εφαρμοζόμενης λίπανσης.

Ο συνδυασμός του αριθμού των φυτών που θα επιλεγούν για τη δειγματοληψία (επανάληψη), με τον αριθμό των δειγμάτων από κάθε φυτό, καθορίζει και την ποιότητα του αποτελέσματος της ανάλυσης. Επειδή τα μαρούλια παρουσιάζουν μικρή τιμή στο συντελεστή παραλλακτικότητας (CV) σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, ο αριθμός φύλλων δειγματοληψίας μειώνεται.

Έτσι επελέγη η διαδικασία της δειγματοληψίας περισσότερων φυτών από την ίδια μεταχείριση, γιατί θεωρήθηκε ότι το δείγμα που αξιολογήθηκε είναι αντιπροσωπευτικότερο της θρεπτικής κατάστασης των φυτών. Η μέση τιμή των αποτελεσμάτων από τη συνένωση περισσότερων του ενός δειγμάτων από το ίδιο τεμάχιο είναι ακριβέστερη, από τη μέτρηση ενός δείγματος από ένα φυτό.

Η δειγματοληψία των παλιών και νεότερων φύλλων επελέγη, γιατί έπρεπε να εξεταστεί η ποσότητα των νιτρικών, που εκ των πραγμάτων ήταν διαφορετική στα δύο αυτά διαφορετικά σημεία του φυτού. Τα φύλλα δειγματοληψίας που επιλέγηκαν ήταν απαλλαγμένα από προσβολές εντόμων,



ασθενειών και αλλοιωμένα από μηχανικές βλάβες. Δεν επιλέγηκαν φύλλα που είχαν διάφορους αποχρωματισμούς στο έλασμα τους.

Ένα άλλο στοιχείο που επίσης προσέχτηκε, ήταν η μη δειγματοληψία φύλλων από φυτά, τα οποία ήταν στις άκρες των τεμαχίων και γειτόνευαν με τα διπλανά τεμάχια. Αυτό έγινε για να μειώσουμε τη στατιστική παραλλακτικότητα, από επηρεασμό της θρεπτικής τους κατάστασης από τη λίπανση του διπλανού τεμαχίου.

ΠΙΝΑΚΑΣ 15: ΤΙΜΕΣ ΘΡΕΠΤΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΕ ΦΥΛΛΑ ΜΑΡΟΥΛΙΟΥ

N	P	K	Ca	Mg	B	Mo	Cu	Mn	Zn
4,0-4,5 %	0,45-0,7 %	4,2-6,0 %	1,2-2,1 %	0,35-0,6 %	25-60 ppm	0,2-1,0 ppm	30-100 ppm	30-80 ppm	7-15 ppm

Πηγή: Bergmann (1986)

ΠΙΝΑΚΑΣ 16: ΤΙΜΕΣ ΘΡΕΠΤΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΕ ΕΞΩΤΕΡΙΚΑ ΦΥΛΛΑ ΜΑΡΟΥΛΙΟΥ

ΣΤΟΙΧΕΙΟ	Πολύ Χαμηλή	Χαμηλή	Φυσιολογική	Υψηλή	Πολύ υψηλή
N (%)	<2,08	2,8-3,0	3,1-4,0	>5,0	
P (%)			0,35-0,60	0,7-0,8	>0,8
K (%)	<3,0	3,0-3,5	4,5-8,0	8,0-9,0	>9,0
Ca (%)			0,8-2,0		
Mg (%)	<0,16	0,16-0,20	0,3-0,7	0,8-0,9	
S (%)			0,2-0,3		
Na (%)			0,0-0,3	0,4-0,6	>0,7
Cl (%)			0,0-1,4	1,6-2,0	>2,0
Cu (ppm)		5	7-80		
Zn (ppm)	<20	20-24	25-250		
Mn (ppm)	<12	12-15	50-300	600-1800	>2000
Fe (ppm)			50-100		
B (ppm)	<11	11-20	25-55		

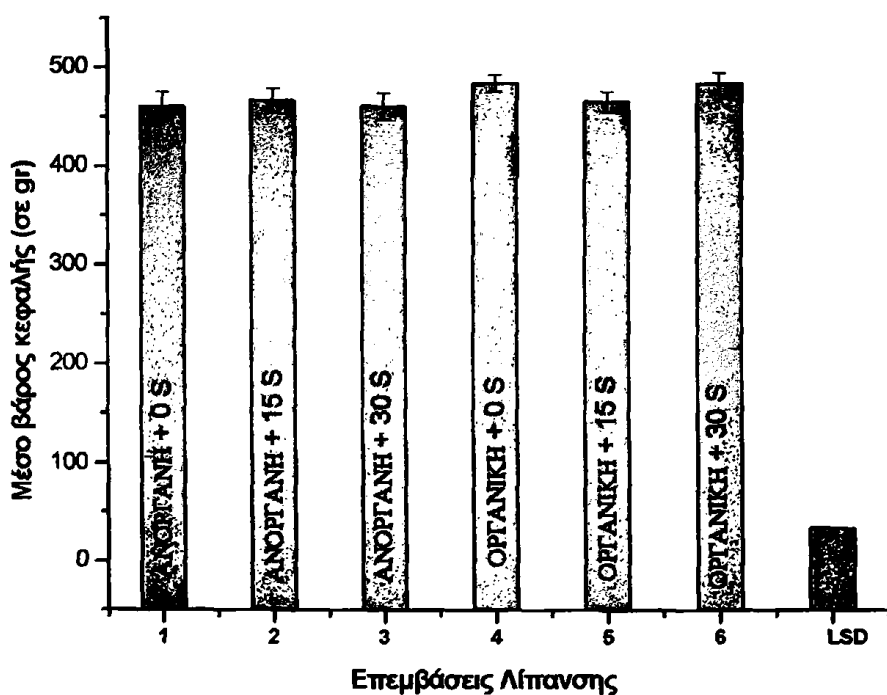
Πηγή: Weir and Cresswell 1993 – Inkata Press



ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Βάρος κεφαλής φυτών μαρουλιού

Παρακάτω παρουσιάζονται οι μέσες τιμές του βάρους των κεφαλών των φυτών κατά το στάδιο της συγκομιδής για τις 6 επεμβάσεις του πειράματος. Από την στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων αυτών δεν προέκυψε καμιά διαφορά στο βάρος των συγκομιζόμενων κεφαλών, το οποίο κυμαίνεται μεταξύ 450 και 500 γρ.



ΕΙΚΟΝΑ 32: ΜΕΣΕΣ ΤΙΜΕΣ ΒΑΡΟΥΣ ΚΕΦΑΛΩΝ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ ΜΑΡΟΥΛΙΟΥ ΚΑΤΑ ΤΑ ΣΤΑΔΙΑ ΤΗΣ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΕΞΙ ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

ΠΙΝΑΚΑΣ 21: Μέσοι όροι και τυπικά σφάλματα του βάρους της κεφαλής των φυτών του μαρουλιού για τις 6 επεμβάσεις του πειράματος

Είδος μεταχείρισης	Μέσο βάρος κεφαλής (σε gr)
Ανόργανη + 0 μον S	460,14 ± 14,8
Ανόργανη + 15 μον S	466,6 ± 12,44
Ανόργανη + 30 μον S	461,133 ± 13,22
Οργανική + 0 μον S	483,86 ± 8,4
Οργανική + 15 μον S	464,9 ± 10,5
Οργανική + 30 μον S	483,53 ± 11,18
LSD	33,5

1. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΝΙΤΡΙΚΟΥ ΑΖΩΤΟΥ

Εκχύλιση δειγμάτων φυτικών ιστών

Για τον προσδιορισμό του νιτρικού αζώτου στους φυτικούς ιστούς ή και σε άλλα εκχυλίσματα έχουν αναπτυχθεί πολλές μέθοδοι. Η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος είναι η μέθοδος Kjeldahl. Εκτός από αυτή σήμερα έχουν αναπτυχθεί πολλές χρωματομετρικές μέθοδοι, που μας δίνουν αξιόπιστα αποτελέσματα, μεγάλης ακριβείας και η κάθε μία από αυτές διαφέρει από τις άλλες, τόσο στη διαδικασία παραλαβής των νιτρικών στο διάλυμα, όσο και στην ανάπτυξη χρώματος ή τη μέτρηση της απορρόφησης, έστω και χωρίς χρώμα στην περιοχή UV.

Χρωματομετρική μέθοδος

Το δείγμα των φυτικών ιστών καλό είναι να αναλύεται αμέσως μετά την κατεργασία του για τον προσδιορισμό των νιτρικών. Αν αυτό δεν μπορεί να γίνει οι φυτικοί ιστοί μπορούν να διατηρηθούν για λίγες ημέρες στο ψυγείο προκειμένου να αποφευχθεί μικροβιακή και ενζυμική δραστηριότητα που επηρεάζει την περιεκτικότητα των φυτικών ιστών σε νιτρικά. Για περισσότερο καιρό το δείγμα μπορεί να διατηρηθεί σε θερμοκρασία -10°C .

Ύλικά μια όργανα

- 1)Φασματοφωτόμετρο.
- 2)Δοκιμαστικοί σωλήνες
- 3)Αναδευτήρας
- 4)Υδατόλουτρο
- 5)Χρωματόμετρο ή σπεκτοφωτόμετρο
- 6)Αυτόματες πιπέτες των 5 και 10 ml

Αντιδραστήρια

Διάλυμα νιτρικού αζώτου 100 ppm. Παρασκευάζεται διαλύοντας 0,722 gr νιτρικού καλίου (KNO_3) σε 1 lt νερό.

Εκχυλιστικό διάλυμα. Παρασκευάζεται διαλύοντας 25 gr θειικού χαλκού ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) και 3,3 gr θειικού αργύρου (Ag_2SO_4) σε 5 lt. Καλύτερα ο θειικός άργυρος να διαλύεται σε ζεστό νερό.

Μίγμα υδροξειδίου του ασβεστίου $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ και ανθρακικού μαγνησίου- υδροξειδίου μαγνησίου ($\text{MgCO}_3 + \text{Mg}(\text{OH})_2$). Παρασκευάζεται μίγμα με ένα μέρος $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ και δύο μέρη $\text{MgCO}_3 + \text{Mg}(\text{OH})_2$ μέσα σε γουδί



με πάρα πολύ καλό ανακάτεμα. Η λειοτριβίση και η ανάδευση μπορεί να γίνουν με ειδικό μύλο άλεσης.

Ενεργός άνθρακας (Carcoal activated). Χρησιμοποιείται για τον αποχρωματισμό των εκχυλισμάτων. Ο ενεργός άνθρακας πρέπει να ξεπλένεται με απεσταγμένο ή απιονισμένο νερό και να ξηραίνεται πριν τη χρησιμοποίησή του.

Τρόπος εργασίας

- ✓ Σε κωνική φιάλη των 100 ή 150 ml ζυγίζουμε ποσότητα αλεσμένων φυτικών ιστών, συνήθως 0,5 gr.
- ✓ Στη συνέχεια προσθέτουμε ποσότητα εκχυλιστικού διαλύματος [(CuSO₄ · 5H₂O) + (Ag₂SO₄)] 50 ml.
- ✓ Στην κωνική φιάλη προσθέτουμε και ενεργό άνθρακα 0,25 gr.
- ✓ Η φιάλη πωματίζεται και αναδεύεται για 1 λεπτό με μηχανικό αναδευτήρα ή με το χέρι κατά διαστήματα για 30 min.
- ✓ Προσθέτουμε ποσότητα 0,5 gr μίγματος [Ca(OH)₂] - MgCO₃, ανακινούμε το δείγμα και το αφήνουμε στη συνέχεια σε ηρεμία για 20 min.
- ✓ Το διάλυμα διηθείται με ηθμό Whatman No 2 ή κάποιο αντίστοιχο.

Ανάπτυξη χρώματος

Αρχή της μεθόδου

Δύο moles NO₃ αντιδρούν με ένα mole χρωμοτροπικού οξέως και σχηματίζουν σύμπλοκο με κίτρινο χρώμα που απορροφά στα 410 nm Υπολείμματα χλωρίου και κάποια οξειδία μπορεί να αναπτύξουν κίτρινο χρώμα με το χρωμοτροπικό οξύ γι αυτό προστίθεται θεικό οξύ.

Αντιδραστήρια

Διάλυμα Θεικής ουρίας: Παρασκευάζεται διαλύοντας 5 gr ουρίας και 4 gr Na₂SO₃ σε 100 ml απεσταγμένο νερό.

Αντιδραστήριο χρωμοτροπικού οξέος: Παρασκευάζεται διαλύοντας 0,1 gr χρωμοτροπικού οξέως σε 100 ml θεικού οξέως (H₂SO₄). Διατήρηση για 2 εβδομάδες σε σκούρα φιάλη.

Standard Νιτρικών (με μορφή N στα νιτρικά): Παρασκευάζεται διάλυμα 1.000 ppm με την προσθήκη 0,720 gr νιτρικού καλίου (KNO₃) σε 100 ml νερό. Στη συνέχεια το διάλυμα αυτό αραιώνεται δέκα φορές ώστε να προκύψει



με πάρα πολύ καλό ανακάτεμα. Η λειοτριβίση και η ανάδευση μπορεί να γίνουν με ειδικό μύλο άλεσης.

Ενεργός άνθρακας (Carcoal activated). Χρησιμοποιείται για τον αποχρωματισμό των εκχυλισμάτων. Ο ενεργός άνθρακας πρέπει να ξεπλένεται με απεσταγμένο ή απιονισμένο νερό και να ξηραίνεται πριν τη χρησιμοποίησή του.

Τρόπος εργασίας

- ✓ Σε κωνική φιάλη των 100 ή 150 ml ζυγίζουμε ποσότητα αλεσμένων φυτικών ιστών, συνήθως 0,5 gr.
- ✓ Στη συνέχεια προσθέτουμε ποσότητα εκχυλιστικού διαλύματος [(CuSO₄ · 5H₂O) + (Ag₂SO₄)] 50 ml.
- ✓ Στην κωνική φιάλη προσθέτουμε και ενεργό άνθρακα 0,25 gr.
- ✓ Η φιάλη πωματίζεται και αναδεύεται για 1 λεπτό με μηχανικό αναδευτήρα ή με το χέρι κατά διαστήματα για 30 min.
- ✓ Προσθέτουμε ποσότητα 0,5 gr μίγματος [Ca(OH)₂] - MgCO₃, ανακινούμε το δείγμα και το αφήνουμε στη συνέχεια σε ηρεμία για 20 min.
- ✓ Το διάλυμα διηθείται με ηθμό Whatman No 2 ή κάποιο αντίστοιχο.

Ανάπτυξη χρώματος

Αρχή της μεθόδου

Δύο moles NO₃ αντιδρούν με ένα mole χρωμοτροπικού οξέως και σχηματίζουν σύμπλοκο με κίτρινο χρώμα που απορροφά στα 410 nm Υπολείμματα χλωρίου και κάποια οξειδία μπορεί να αναπτύξουν κίτρινο χρώμα με το χρωμοτροπικό οξύ γι αυτό προστίθεται θειικό οξύ.

Αντιδραστήρια

Διάλυμα Θεικής ουρίας: Παρασκευάζεται διαλύοντας 5 gr ουρίας και 4 gr Na₂SO₃ σε 100 ml απεσταγμένο νερό.

Αντιδραστήριο χρωμοτροπικού οξέος: Παρασκευάζεται διαλύοντας 0,1 gr χρωμοτροπικού οξέως σε 100 ml θειικού οξέως (H₂SO₄). Διατήρηση για 2 εβδομάδες σε σκούρα φιάλη.

Standard Νιτρικών (με μορφή N στα νιτρικά): Παρασκευάζεται διάλυμα 1.000 ppm με την προσθήκη 0,720 gr νιτρικού καλίου (KNO₃) σε 100 ml νερό. Στη συνέχεια το διάλυμα αυτό αραιώνεται δέκα φορές ώστε να προκύψει



διάλυμα των 100 ppm. Με κατάλληλη αραιώση γίνεται η παρασκευή των standards διαλυμάτων.

Διαδικασία

- ✓ Παίρνουμε 2 ml δείγματος και τα τοποθετούμε σε δοκιμαστικό σωλήνα.
- ✓ Προσθέτουμε μία σταγόνα από το αντιδραστήριο της θειικής ουρίας με συνεχή ανάδευση.
- ✓ Αφήνουμε το δείγμα σε ηρεμία για 4 min.
- ✓ Προσθέτουμε 1 ml από το αντιδραστήριο του χρωμοτροπικού οξέος με συνεχή ανάδευση.
- ✓ Στη συνέχεια προσθέτουμε 7 ml πυκνού θειικού οξέος (H_2SO_4).
- ✓ Αναδεύουμε για λίγο.
- ✓ Τοποθετούμε το δείγμα στο υδατόλουτρο σε θερμοκρασία 10-20° C για 45 min.
- ✓ Παρασκευή standards διαλυμάτων:

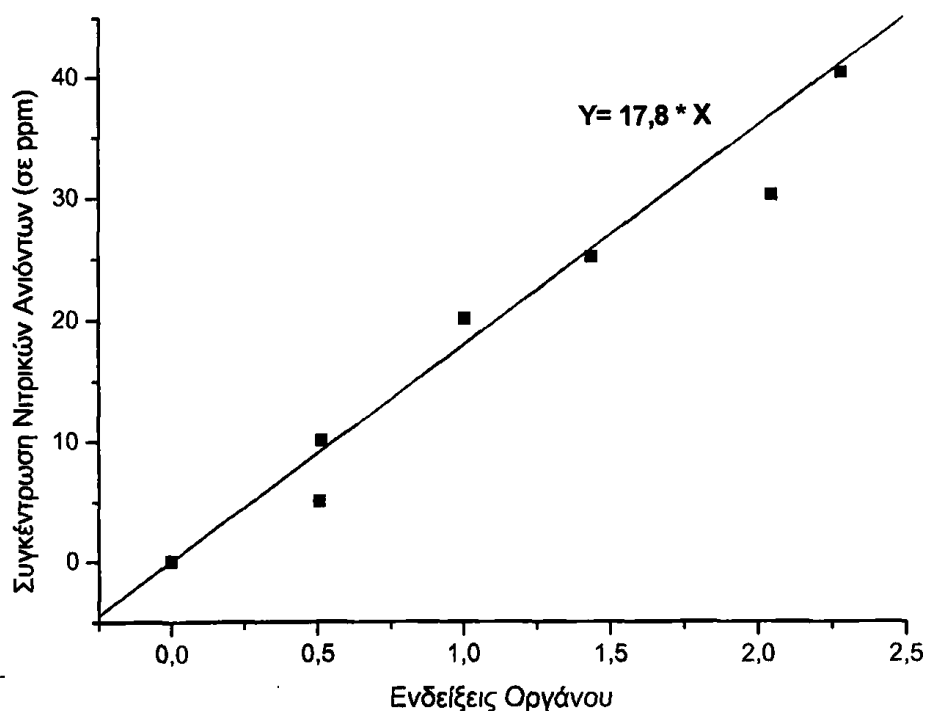
STANDARDS 100 ppm (ml) N	Νερό (σε ml)	Τελική συγκέντρωση (σε ppm) N
0.0	2.0	0.0
0.1	1.9	5.0
0.2	1.8	10.0
0.3	1.5	15.0 κ.ο.κ.

Αφού προσθέσουμε τις παραπάνω ποσότητες νερού και διαλύματος 100 ppm N (παρασκευασμένο από νιτρικό κάλιο) σε δοκιμαστικούς σωλήνες ακολουθούμε την ίδια διαδικασία με τα δείγματα.

- ✓ Μετράμε τα STANDARDS διαλύματα στο φασματοφωτόμετρο σε μήκος κύματος 410 nm και κατασκευάζουμε την καμπύλη αναφοράς.
- ✓ Στη συνέχεια στο ίδιο μήκος κύματος μετράμε και τα δείγματά μας.

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται η καμπύλη αναφοράς που προσδιορίστηκε με βάση τα standard διαλύματα του πειράματός μας.





ΕΙΚΟΝΑ 24: Καμπύλη αναφοράς για τον προσδιορισμό νιτρικών (όπως προέκυψε από τη μέτρηση των STANDARD διαλυμάτων).

Η παραπάνω καμπύλη αναφοράς αφορά την γραμμική σχέση η οποία προκύπτει από την στατιστική επεξεργασία της γραμμικής παλινδρόμησης της συγκέντρωσης των νιτρικών πάνω στις ενδείξεις του φασματοφωτόμετρου και η οποία είναι :

$$Y = 17,8 \times X$$

όπου Y η συγκέντρωση των νιτρικών σε ppm που αντιστοιχεί στην τιμή X της ένδειξης του φασματοφωτόμετρου. Επειδή η τιμές Y αφορούν τις συγκεντρώσεις NO_3^- σε ppm στο εκάστοτε διάλυμα που εισάγεται προς μέτρηση στο φασματοφωτόμετρο, ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης των NO_3^- στα φύλλα του μαρουλιού και η επεξεργασία των αποτελεσμάτων, έγινε ύστερα από αναγωγή των ppm σε mg NO_3^- /kgr νωπού βάρους¹⁶.

Εξωτερικά φύλλα

Στον πίνακα 17 παρουσιάζονται οι μέσοι όροι και τα τυπικά σφάλματα των νιτρικών ανιόντων που προσδιορίστηκαν από τα εξωτερικά φύλλα των φυτών του πειράματος. Η ανάλυση της διασποράς και η γενική δοκιμασία του F (πίνακας ανάλυσης της διασποράς παρατίθεται στο παράρτημα) φανερώνει

¹⁶ Για την μετατροπή των ppm σε mg /kgr νωπού βάρους, υπολογίσθηκε αρχικά η περιεκτικότητα σε mg νιτρικών του δείγματος των 500 mg ξηρών ιστών, τα οποία ανάγονται σε βάρος νωπών ιστών λαμβάνοντας υπόψη τον συντελεστή αφυδάτωσης. Από την τιμή αυτή αναλογικά προσδιορίζεται η περιεκτικότητα σε νιτρικά ανά χιλιόγραμμο νωπού βάρους



ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική επίδραση στην συγκέντρωση των NO_3^- στα εξωτερικά φύλλα των φυτών του μαρουλιού ανάλογα με το είδος της παρεχόμενης λίπανσης (ανόργανης ή οργανικής μορφής, με προσθήκη ή όχι επιπλέον θείου). Και αυτό παρά το γεγονός ότι η συνολικά χορηγούμενη ποσότητα αζώτου στα φυτά ήταν σε κάθε περίπτωση η ίδια.

ΠΙΝΑΚΑΣ 17: Μέσοι όροι και τυπικά σφάλματα της συγκέντρωσης των NO_3^- στα εξωτερικά φύλλα φυτών μαρουλιού ανάλογα με το είδος της λίπανσης (Ανόργανης ή οργανικής μορφής, με προσθήκη ή όχι επιπλέον θείου).

Είδος επέμβασης	Συγκέντρωση NO_3^- σε mg/kgr νωπού βάρους
Ανόργανη + 0 μον S	1465 ± 57,43 β
Ανόργανη + 15 μον S	1862 ± 116,35 α
Ανόργανη + 30 μον S	1348 ± 59 βγ
Οργανική + 0 μον S	1541 ± 121 β
Οργανική + 15 μον S	1131 ± 45 γ
Οργανική + 30 μον S	858 ± 58 δ
LSD	301

Οι μέσοι οι οποίοι συνοδεύονται από το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικά μεταξύ τους σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=0,05$

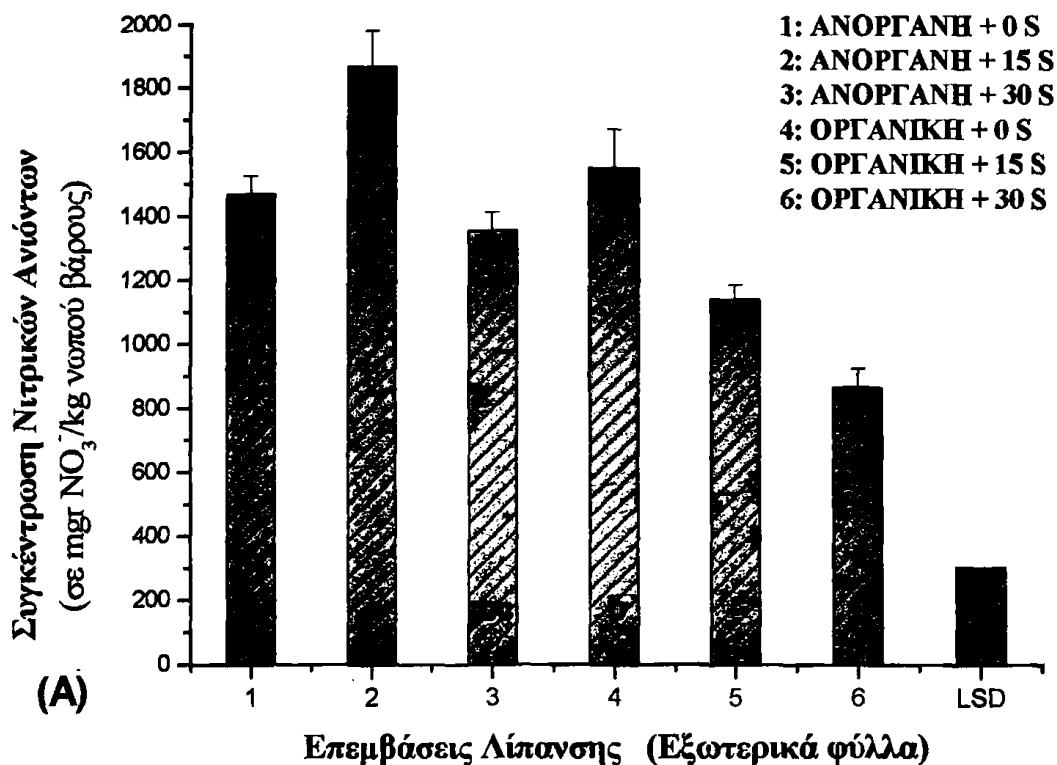
Πιο συγκεκριμένα διαπιστώνεται ότι:

- α) δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των ομάδων κάτι που σημαίνει ότι η συνεισφορά του αγρού στην ολική παραλλακτικότητα ήταν μικρή.
- β) τόσο η χορήγηση θείου ως θειικό καλιομαγνήσιο όσο και το είδος της αζωτούχου λίπανσης (ανόργανης ή οργανικής προέλευσης) επιδρούν στην συγκέντρωση των NO_3^- στα φύλλα
- γ) υπάρχει στατιστικά σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ είδους λίπανσης και παρουσίας θείου στην συγκέντρωση των NO_3^- .

Η παρουσία σημαντικής αλληλεπίδρασης μεταξύ των παραγόντων «θείο» και «είδος λίπανσης» φανερώνει ότι η επίδραση του παράγοντα «θείο» στην συγκέντρωση των NO_3^- είναι διαφορετική στην περίπτωση χορήγησης οργανικής μορφής αζώτου σε σχέση με την ανόργανη λίπανση. Στην πρώτη περίπτωση είναι σαφές ότι η παρουσία SO_4^{2-} επιφέρει μείωση στην συγκέντρωση των NO_3^- στα εξωτερικά φύλλα, ενώ στην περίπτωση της ανόργανης λίπανσης δεν προκαλείται μείωση των NO_3^- αλλά αντίθετα παρατηρείται αύξηση όταν χορηγούνται 15 μονάδες θείου μαζί με την αζωτούχο λίπανση.

Τα παραπάνω παρουσιάζονται στο ιστόγραμμα της εικόνας 25.





ΕΙΚΟΝΑ 25: Μεταβολές στην ποσότητα των νιτρικών ανιόντων στα εξωτερικά (Α) μαρουλιού (Looseleaf) ανάλογα με το είδος της λίπανσης (οργανικής ή ανόργανης με προσθήκη ή όχι θειικού καλιομαγνήσιου). Οι μεταχειρίσεις που φέρουν το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικά σημαντικά σε επίπεδο σημαντικότητας 0,05.

Εσωτερικά φύλλα

Ανάλογα αποτελέσματα παρουσίασαν και τα εσωτερικά φύλλα της κεφαλής των φυτών του μαρουλιού (πίνακας ανάλυσης της διασποράς παρατίθεται στο παράρτημα).

Πιο συγκεκριμένα διαπιστώνεται ότι:

- α) δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των ομάδων.
- β) τόσο η χορήγηση θείου ως θειικό καλιομαγνήσιο όσο και το είδος της αζωτούχου λίπανσης (ανόργανης ή οργανικής προέλευσης) επιδρούν στην συγκέντρωση των NO₃⁻ στα φύλλα
- γ) αντίθετα με τα εξωτερικά φύλλα, δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ είδους λίπανσης και παρουσίας θείου στην συγκέντρωση των NO₃⁻.

Στον πίνακα 18 παρουσιάζονται οι αντίστοιχοι μέσοι όροι και τα τυπικά σφάλματα των νιτρικών ανιόντων που προσδιορίστηκαν από τα εσωτερικά φύλλα των φυτών του πειράματος. Τόσο στην περίπτωση της

ανόργανης μορφής λίπανσης όσο και στην περίπτωση της οργανικής, η αύξηση του χορηγούμενου θείου προκάλεσε την ελάττωση της συγκέντρωσης των NO_3^- στα εσωτερικά φύλλα της κεφαλής. Αξιοσημείωτο είναι ότι στατιστικά οι μικρότερες τιμές NO_3^- παρατηρήθηκαν στην περίπτωση των φυτών που δέχθηκαν οργανική λίπανση και επίσης το γεγονός ότι όταν η οργανική λίπανση δεν συνοδεύτηκε με θειικό καλιομαγνήσιο, παρουσίασε αρκετά υψηλές τιμές NO_3^- , ανάλογες με εκείνες που προσδιορίστηκαν από τα φυτά που δέχθηκαν ανόργανη λίπανση.

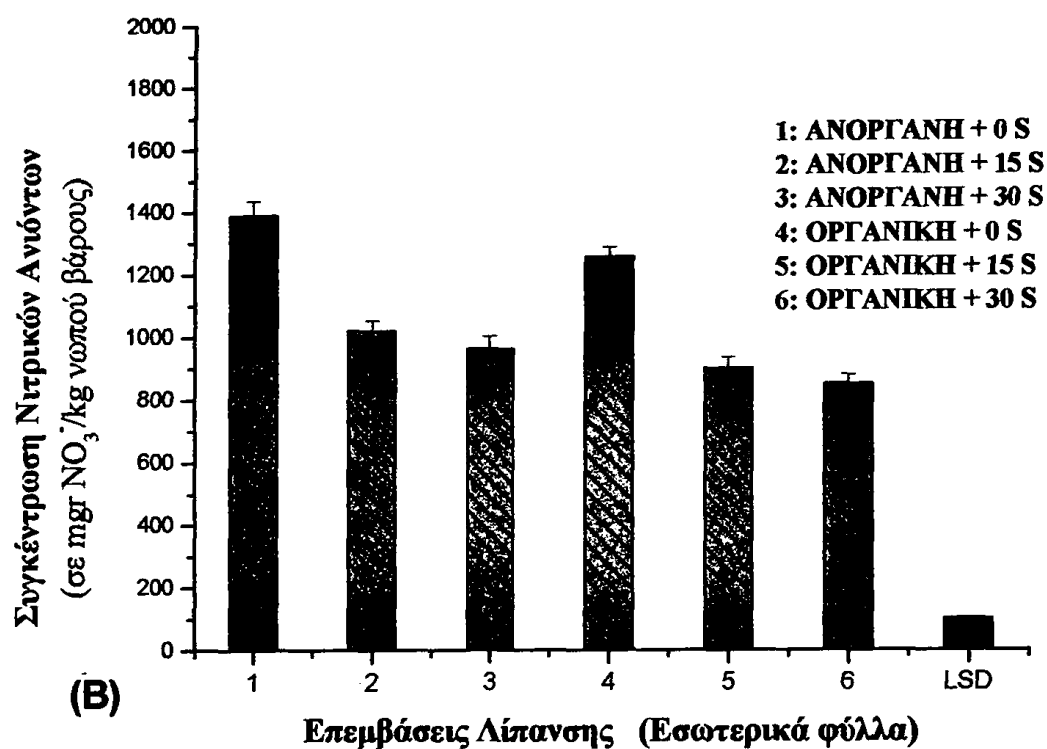
ΠΙΝΑΚΑΣ 18: Μέσοι όροι και τυπικά σφάλματα της συγκέντρωσης των NO_3^- στα εσωτερικά φύλλα φυτών μαρουλιού ανάλογα με το είδος της λίπανσης (Ανόργανης ή οργανικής μορφής, με προσθήκη ή όχι επιπλέον θείου).

Είδος επέμβασης	Συγκέντρωση NO_3^- σε mg/kgt νωπού βάρους	
Ανόργανη + 0 μον S	1387± 45	α
Ανόργανη + 15 μον S	1017± 33	γ
Ανόργανη + 30 μον S	961 ± 41	γδ
Οργανική + 0 μον S	1254± 32	β
Οργανική + 15 μον S	898 ± 35	δ
Οργανική + 30 μον S	847 ± 29	δ
LSD	100	

Οι μέσοι οι οποίοι συνοδεύονται από το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικά μεταξύ τους σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=0,05$

Τα παραπάνω αποτελέσματα παρουσιάζονται στο ιστόγραμμα της εικόνας 26.





ΕΙΚΟΝΑ 26: Μεταβολές στην ποσότητα των νιτρικών ανιόντων και εσωτερικά φύλλα (B) μαρουλιού (Looseleaf) ανάλογα με το είδος της λίπανσης (οργανικής ή ανόργανης με προσθήκη ή όχι θειικού καλιομαγνήσιου). Οι μεταχειρίσεις που φέρουν το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικά σημαντικά σε επίπεδο σημαντικότητας 0,05.

2. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ S

Για προσδιορισμό των αναγκών των φυτών σε S μπορεί να μετρηθούν τα εξής:

1) Το ολικό S

2) SO_4^{2-}

3) Ο λόγος N/S

4) SO_4^{2-} /ολικό S

Το ολικό S σχετίζεται με τον εφοδιασμό σε S των φυτών. Οι κρίσιμες όμως τιμές επηρεάζονται από το τμήμα του φυτού από όπου παίρνουμε το δείγμα, από το στάδιο της αύξησης κλπ. Οι τελευταίες μέθοδοι απαιτούν 2 αναλύσεις, που αυξάνουν το κόστος και την παραλλακτικότητα. Το μειονέκτημα των 4 αυτών κριτηρίων είναι η δειγματοληψία που περιορίζεται σε βραχεία περίοδο. Για καλύτερη ανάλυση της σχέσης του S με τα άλλα θρεπτικά στοιχεία μπορεί να χρησιμοποιηθεί το σύστημα DRIS.

ΜΕΘΟΔΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΘΕΙΚΩΝ ΣΕ ΦΥΤΙΚΟΥΣ ΙΣΤΟΥΣ ΜΑΡΟΥΛΙΟΥ

Μετατροπή του θείου των φυτικών ιστών σε θειικά (SO_4^{2-})

Αντιδραστήρια

Οξειδωτικό μίγμα: 2 gr. οξειδίου του αργύρου (Ag_2O) και 50 gr μονόξινο ανθρακικό νάτριο (NaHCO_3) (ποιότητα ACS)

Αντιδραστήριο προστασίας της στάχτης Όξινο ανθρακικό νάτριο NaHCO_3

Διαλύτης στάχτης: 1M οξικό οξύ (58 ml/lit απεσταγμένο νερό)

STANDARDS Θεικών: Παρασκευάζονται από θειικό κάλιο (K_2SO_4)

Διαδικασία

- ✓ Ζυγίζουμε 0,100 +- 0,005 gr. ξηρών (εντός φούρνου) φυτικών ιστών σε σκόνη (100 mesh) και τα τοποθετούμε σε πορσελάνινη κάψα.
- ✓ Προσθέτουμε 0,52 +-0,005 gr οξειδωτικού μίγματος και τα αναμειγνύουμε κτυπώντας ελαφρά την κούπα στον πάγκο.
- ✓ Προσθέτουμε 0,5 +-0,005 gr NaHCO_3 καλύπτοντας πλήρως το δείγμα.
- ✓ Τοποθετούμε τις κάψες σε φούρνο υψηλών θερμοκρασιών στους 550°C



για τρεις ώρες και ακολούθως τις απομακρύνουμε μέχρι να κρυώσουν.

- ✓ Προσθέτουμε σε κάθε κάψα με προσοχή 15 ml από το διαλύτη στάχτης.
- ✓ Για την επιτάχυνση της εξουδετέρωσης και απομάκρυνσης του CO_2 και διάλυσης της στάχτης, θερμαίνουμε της κάψες σε θερμαντική πλάκα στους 200°C για 20 λεπτά.
- ✓ Το περιεχόμενο της κάψας αφού κρυώσει, μεταφέρεται σε ογκομετρική φιάλη με τη βοήθεια ενός χωνιού, ξεπλένοντάς την με απεσταγμένο νερό, φτάνοντας τον όγκο του διαλύματος στα 20 ml.

Θολομετρική μέθοδος

Ιδιότητες - χαρακτηριστικά: Τα θειικά ιόντα (SO_4^{2-}) καθιζάνουν μέσω οξικού οξέος με χλωριούχο βάριο (BaCl_2) προς σχηματισμό κρυστάλλων θειικού βαρίου (BaSO_4) ομοιόμορφου μεγέθους. Η απορρόφηση του φωτός από το αιώρημα του θειικού βαρίου (BaSO_4) μετράται με ένα φασματοφωτόμετρο και η συγκέντρωση των θεικών (SO_4^{2-}) προσδιορίζεται δια μέσου συγκριτικής αντιπαραβολής με μια καμπύλη αναφοράς που δημιουργείται από διαλύματα γνωστής συγκέντρωσης.

Επιμολύνσεις - αποκλίσεις: Έγχρωμα ή αιωρούμενα υλικά σε μεγάλες ποσότητες μπορεί να επηρεάσουν τα αποτελέσματα. Μερικά αιωρούμενα υλικά μπορεί να απομακρυνθούν από το διάλυμα με φιλτράρισμα. Αν τα παραπάνω είναι μικρά σε σύγκριση με τη συγκέντρωση των θεικών ανιόντων (SO_4^{2-}), γίνεται διόρθωση με τη χρησιμοποίηση τυφλών διαλυμάτων χωρίς τη χρήση χλωριούχου βαρίου (BaCl_2).

Πυρίτιο σε περίσσεια 500 mgr/lit προκαλεί επίδραση στα αποτελέσματα και σε νερά ή διαλύματα με μεγάλες ποσότητες οργανικών ουσιών μπορεί να μην είναι δυνατή η καθίζηση του θειικού βαρίου (BaSO_4) ικανοποιητικά.

Οι προσδιορισμοί γίνονται σε θερμοκρασία δωματίου. Διακύμανση θερμοκρασίας 10°C δεν προκαλεί σοβαρά σφάλματα.

Ελάχιστη συγκέντρωση προσδιορισμού θεικών (SO_4^{2-}): περίπου 1 ppm

Συσκευές

1) *Μαγνητικός αναδευτήρας:* Εφαρμόζεται σταθερή ταχύτητα ανάδευσης. Χρησιμοποιούνται μαγνήτες με σταθερό σχήμα και μέγεθος. Η ταχύτητα ανάδευσης δεν είναι κρίσιμη, αλλά πρέπει να είναι σταθερή σε όλες της μεταχειρίσεις

2) Φωτόμετρα

- Φασματοφωτόμετρο: Μέτρηση για τα θειικά στα **420 nm**.



εφοδιασμένο με φωτεινή διαδρομή των 2,5 ως 10 cm.

- Νεφελόμετρο
- Χρωμόμετρο

3) Μεζούρες των 0,2 ως 0,3 ml

Αντιδραστήρια

1) Ρυθμιστικά διαλύματα

✓ Ρυθμιστικό διάλυμα Α: διαλύονται 30 gr χλωριούχο μαγνήσιο ($\text{MgCl}_2 \times 6 \text{H}_2\text{O}$), 5 gr οξικό νάτριο ($\text{CH}_3\text{COONa} \times 3 \text{H}_2\text{O}$), 1 gr νιτρικό κάλιο (KNO_3) και 20 ml οξικό οξύ (CH_3COOH) (glacial 99%) σε 500 ml απεσταγμένο νερό και ακολούθως τροποποιείται το διάλυμα στα 1000 ml.

✓ Ρυθμιστικό διάλυμα Β: (απαραίτητο όταν η συγκέντρωση θεικών είναι $< 10 \text{ ppm}$)

Επιπλέον των παραπάνω υλικών προστίθενται και 0,111 gr θεικό νάτριο (Na_2SO_4)

✓ Ρυθμιστικό διάλυμα ΕΛΟΤ. Αντί των παραπάνω αντιδραστηρίων ο ΕΛΟΤ συνιστά το ακόλουθο ρυθμιστικό διάλυμα: Σε 300 ml απεσταγμένο νερό διαλύονται 75 ml χλωριούχου νατρίου (NaCl). Προστίθενται 30 ml πυκνό υδροχλωρικό οξύ (HCl), 100 ml αιθυλική αλκοόλη 95% ή ισοπροπυλική αλκοόλη και 50 ml γλυκερίνη. Το διάλυμα ομογενοποιείται.

2) Χλωριούχο Βάριο (BaCl_2) σε κρυστάλλους (20-30 mesh).

3) STANDARDS διαλύματα θεικών: Για παρασκευή 100 PPM S διαλύονται 0,5437 gr άνυδρο K_2SO_4 αποξηραμένο στους 140°C για δύο ώρες σε απεσταγμένο νερό σε φιάλες των 1000 ml.

Διαδικασία

- Σχηματισμός αιωρήματος θεικού βαρίου

- ✓ Λαμβάνεται ποσότητα 100 ml δείγματος ή μικρότερη η οποία αραιώνεται με απεσταγμένο νερό σε φιάλη των 100 ml. Το διάλυμα αυτό τοποθετείται σε κωνική φιάλη των 250 ml.
- ✓ Προστίθενται 20 ml από το ρυθμιστικό διάλυμα ή 5 ml από το ρυθμιστικό διάλυμα του ΕΛΟΤ και αναμειγνύονται με μαγνητικό αναδευτήρα.
- ✓ Ενώ γίνεται η ανάδευση με σταθερή ταχύτητα προστίθεται μια μεζούρα χλωριούχο βάριο (BaCl_2), οπότε και αρχίζει η μέτρηση του χρόνου



ανάδευσης (1 λεπτό ακριβώς).

Υπολογισμός της θολότητας

- ✓ Αμέσως μετά την ανάδευση μεταφέρεται μικρή ποσότητα (ανάλογα με το όργανο μέτρησης) στην κυψελίδα του οργάνου.
- ✓ Η θολότητα μετράται στα $5 \pm 0,5$ λεπτά αν χρησιμοποιηθεί το A ή B buffer ή στα 4 λεπτά αν χρησιμοποιηθεί το ρυθμιστικό διάλυμα του ΕΛΟΤ.

- **Κατασκευή της καμπύλης αναφοράς:** Για τα STANDARDS από 0 - 40 ppm (ανά 5 ppm). Πάνω από 40 ppm η ακρίβεια περιορίζεται.

- **Διόρθωση για θολά ή έγχρωμα δείγματα:** Χρησιμοποιούνται τυφλά δείγματα χωρίς την προσθήκη χλωριούχου βαρίου (BaCl_2).

- **Υπολογισμός**

$$\text{mgr}(\text{SO}_4^{2-})/\text{lt} = \frac{\text{mgr}(\text{SO}_4^{2-}) \times 100}{\text{ml δείγματος}}$$

Αν εφαρμοστεί το buffer A προσδιορίζεται η συγκέντρωση των θεικών απευθείας από την καμπύλη αναφοράς μετά την αφαίρεση της απορρόφησης του δείγματος πριν την προσθήκη BaCl_2 .

Αν εφαρμοστεί το buffer B αφαιρείται η συγκέντρωση των θεικών του τυφλού δείγματος από την φαινόμενη συγκέντρωση θεικών όπως προσδιορίζεται παρακάτω. Εξ αιτίας του γεγονότος ότι η καμπύλη αναφοράς δεν είναι ευθεία, αυτό δεν είναι ισοδύναμο με την αφαίρεση της απορρόφησης των τυφλών από την απορρόφηση του δείγματος.

Καμπύλη αναφοράς SO_4^{2-} του πειράματος

Με βάση τα πρότυπα διαλύματα SO_4^{2-} καταρτίστηκε η παρακάτω καμπύλη της εικόνας . Η σχέση μεταξύ συγκέντρωσης SO_4^{2-} (εξαρτημένη μεταβλητή) και ενδείξεων του φασματοφωτόμετρου (ανεξάρτητη μεταβλητή) αποδίδεται από μια μαθηματική συνάρτηση η οποία προκύπτει από την ανάλυση της μη γραμμικής παλινδρόμησης της συγκέντρωσης των SO_4^{2-} πάνω στις τιμές του φασματοφωτόμετρου και είναι :

$$Y = \frac{A_1 - A_2}{e^{(X-X_0)}} + A_2$$
$$1 + \frac{dX}{dX}$$

όπου Y : Οι τιμές των SO_4^{2-} σε ppm

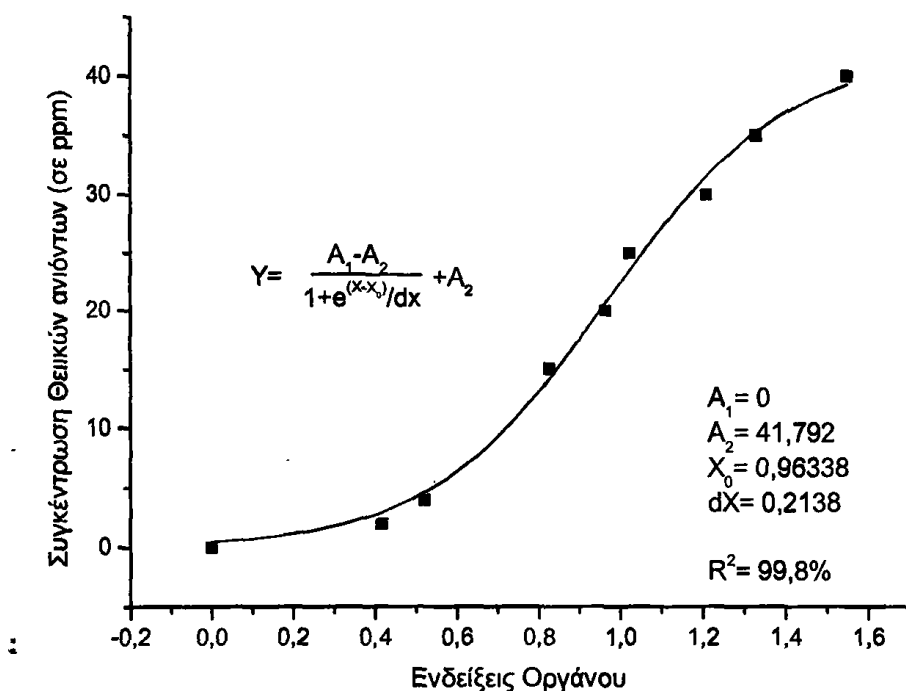
A_1 : Η ελάχιστη τιμή συγκέντρωσης $\text{SO}_4^{2-} = 0$ ppm



A_2 : Η μέγιστη μετρίσιμη τιμή συγκέντρωσης $\text{SO}_4^{2-} = 41,792 \text{ ppm}$

X_0 : Το σημείο καμπής της ένδειξης του φασματοφωτόμετρου = 0,9338

$dX = 0,2138$



ΕΙΚΟΝΑ 27 : Καμπύλη αναφοράς για τον προσδιορισμό θεικών (όπως προκύπτει από τη μέτρηση των STANDARDS)

Οι τιμές που προκύπτουν από την παραπάνω σχέση αφορούν την συγκέντρωση των SO_4^{2-} σε ppm στα διαλύματα τα οποία παρασκευάστηκαν από τα δείγματα των φυτών. Τα αποτελέσματα του πειράματος και η στατιστική τους επεξεργασία έγιναν ύστερα από αναγωγή τους σε $\text{mg SO}_4^{2-} / \text{kg}$ νωπού βάρους.

Στον πίνακα 19 παρουσιάζονται οι μέσοι όροι και τα τυπικά σφάλματα της περιεκτικότητας σε S των εξωτερικών φύλλων της κεφαλής των φυτών μαρουλιού, όπως αυτή εκφράζεται από την ποσότητα των εκχυλιζόμενων SO_4^{2-} , για τις έξι επεμβάσεις του πειράματος. Στον πίνακα 20 παρουσιάζονται οι αντίστοιχοι μέσοι όροι και τα τυπικά σφάλματα της περιεκτικότητας σε S των εσωτερικών φύλλων της κεφαλής των φυτών του πειράματος.

ΠΙΝΑΚΑΣ 19 : Μέσοι όροι και τυπικά σφάλματα της συγκέντρωσης των SO_4^{2-} που απομονώθηκαν από τα εξωτερικά φύλλα φυτών μαρουλιού ανάλογα με το είδος της λίπανσης (Ανόργανης ή οργανικής μορφής, με προσθήκη ή όχι επιπλέον θείου).

Είδος επέμβασης	Ποσότητα S (σε mg SO_4^{2-} /kgf νωπού βάρους)
Ανόργανη + 0 μον S	514,14 ± 39,5 γ
Ανόργανη + 15 μον S	670,34 ± 55,8 αβγ
Ανόργανη + 30 μον S	829,38 ± 28,8 α
Οργανική + 0 μον S	580,79 ± 53,7 βγ
Οργανική + 15 μον S	716,81 ± 77,8 αβγ
Οργανική + 30 μον S	762,2 ± 57,8 αβ
LSD	143,3

Οι μέσοι οι οποίοι συνοδεύονται από το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικά μεταξύ τους σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=0,05$

Η ανάλυση της διασποράς και η γενική δοκιμασία του F για τις τιμές της ποσότητας SO_4^{2-} , από τα εξωτερικά φύλλα της κεφαλής των φυτών, έδειξε ότι δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική επίδραση του παράγοντα «είδος λίπανσης» όπως επίσης και ότι δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ του είδους λίπανσης και της προσθήκης θεικής λίπανσης. Αντίθετα υπάρχει σημαντική επίδραση του παράγοντα «θεική λίπανση» και μάλιστα η περιεκτικότητα σε θείο στα φύλλα της κεφαλής αυξάνεται με την αύξηση της ποσότητας της παρεχόμενης θεικής λίπανσης. Ακριβώς αντίστοιχα αποτελέσματα βρέθηκαν και στα εσωτερικά φύλλα της κεφαλής των φυτών.

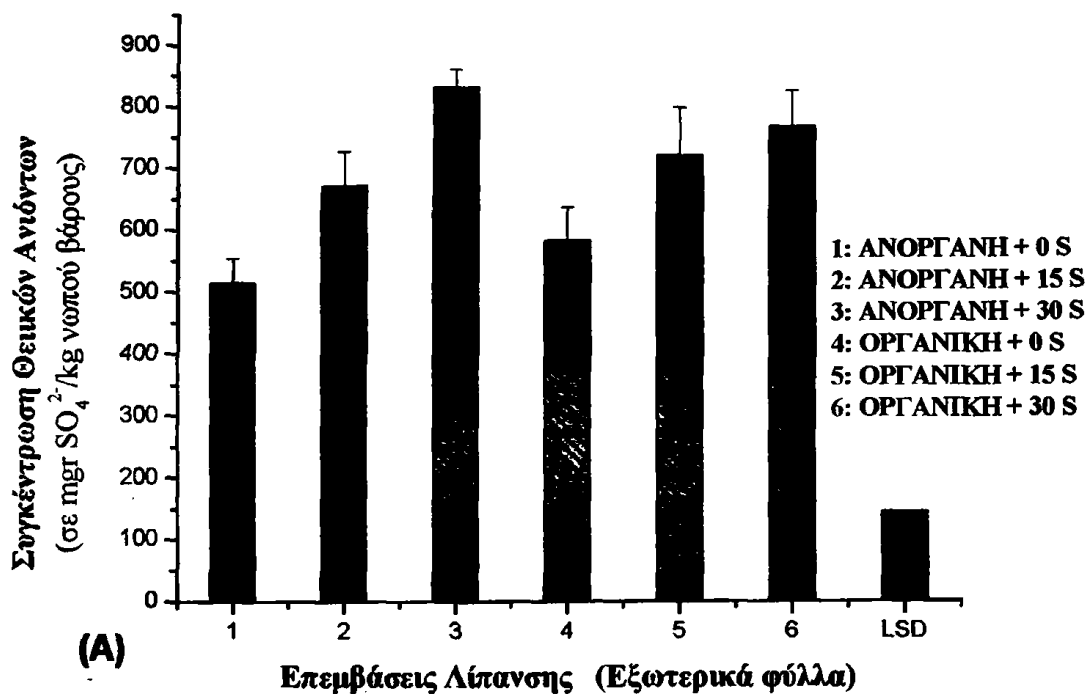
ΠΙΝΑΚΑΣ 20: Μέσοι όροι και τυπικά σφάλματα της συγκέντρωσης των SO_4^{2-} που απομονώθηκαν από τα εσωτερικά φύλλα φυτών μαρουλιού ανάλογα με το είδος της λίπανσης.

Είδος επέμβασης	Ποσότητα S (σε mg SO_4^{2-} /kgf νωπού βάρους)
Ανόργανη + 0 μον S	380,57 ± 36,7 β
Ανόργανη + 15 μον S	512,94 ± 50,7 β
Ανόργανη + 30 μον S	822,154 ± 51,5 α
Οργανική + 0 μον S	371,29 ± 20,8 β
Οργανική + 15 μον S	484,04 ± 62,7 β
Οργανική + 30 μον S	681,39 ± 91,1 α
LSD	143,3

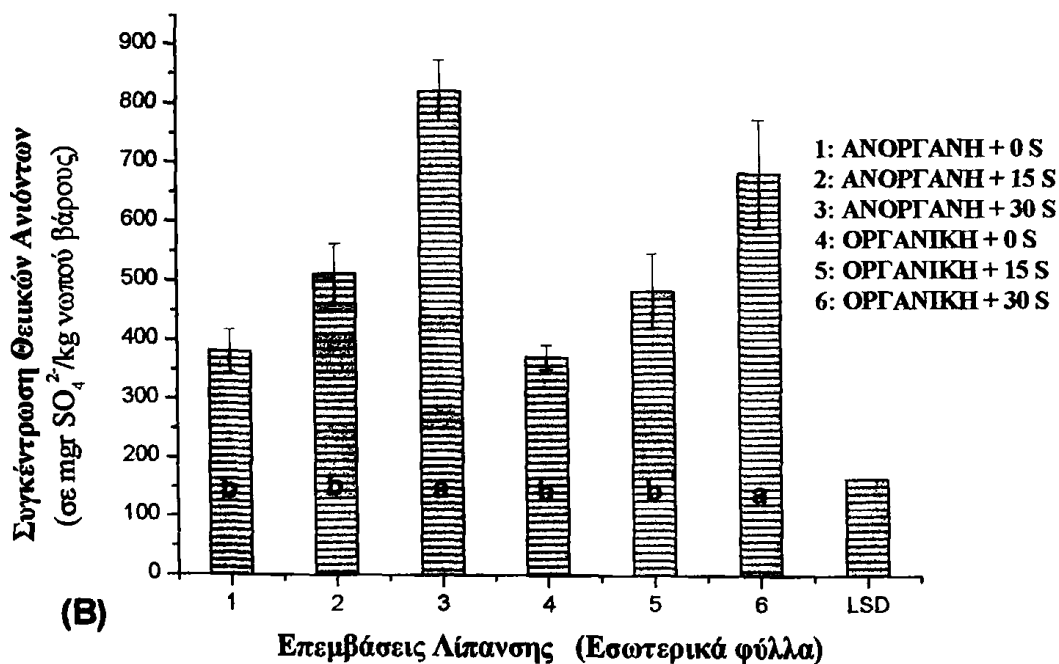
Οι μέσοι οι οποίοι συνοδεύονται από το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικά μεταξύ τους σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=0,05$

Τα παραπάνω παρουσιάζονται σχηματικά και στις παρακάτω εικόνες:





ΕΙΚΟΝΑ 28: Μεταβολές της περιεκτικότητας σε S (όπως αυτή εκφράζεται από την ποσότητα των εκχυλιζόμενων θεικών ανιόντων), στα εξωτερικά (Α) φύλλα μαρουλιού (Looseleaf) ανάλογα με το είδος της λίπανσης (οργανικής ή ανόργανης, με προσθήκη ή όχι θειικού καλιομαγνήσιου).



ΕΙΚΟΝΑ 29: Μεταβολές της περιεκτικότητας σε S (όπως αυτή εκφράζεται από την ποσότητα των εκχυλιζόμενων θεικών ανιόντων), στα εσωτερικά φύλλα (Β) μαρουλιού (Looseleaf) ανάλογα με το είδος της λίπανσης (οργανικής ή ανόργανης, με προσθήκη ή όχι θειικού καλιομαγνήσιου)..

3. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΛΙΟΥ ΣΕ ΦΥΤΙΚΟΥΣ ΙΣΤΟΥΣ ΜΑΡΟΥΛΙΟΥ

Μέθοδος μέτρησης καλίου Υγρή καύση

Αντιδραστήρια

- Πυκνό νιτρικό οξύ (HNO_3)
- Υπερχλωρικό οξύ (HClO_4) 70%

Διαδικασία

- ο Ζυγίζουμε 1gr ξηρών αλεσμένων φυτικών ιστών μαρουλιού και τα τοποθετούμε σε ποτήρι ζέσεως των 100 ml.
- ο Προσθέτουμε με προσοχή πρώτα 5 ml νιτρικό οξύ (HNO_3) και μετά 2 ml υπερχλωρικό οξύ (HClO_4).
- ο Καλύπτουμε τα ποτήρια ζέσεως με ένα γυαλί ωρολογίου και τα τοποθετούμε σε πλάκα θέρμανσης στους $180-200^\circ \text{C}$, μέχρι να σταματήσουν να βγαίνουν σκούροι καπνοί και το διάλυμα γίνει διαυγές.
- ο Τέλος διηθούμε σε διηθητικό χαρτί με τη βοήθεια υδροβολέα και συγκεντρώνουμε το διήθημα (διαυγές υγρό) σε ογκομετρική φιάλη των 100 ml, αφού ξεπλύνουμε το γυαλί ωρολογίου και το ποτήρι ζέσεως και συμπληρώνουμε τον όγκο με απιονισμένο νερό μέχρι τη χαραγή της ογκομετρικής φιάλης.
- ο Τα δείγματα μπορούν να φυλαχτούν στο ψυγείο για ένα τετράμηνο.

Προσδιορισμός Καλίου

Η ανάλυση των φύλλων για τον προσδιορισμό του καλίου έγινε, επειδή κατά την λίπανση του πειραματικού αγρού προστέθηκαν εκτός από τις αυξημένες ποσότητες θείου και κάλιο.

Ο προσδιορισμός καλίου σε δείγματα φυτικών ιστών μαρουλιού έγινε με τη χρήση του φλογοφωτόμετρου. Η φλογοφωτομετρία βασίζεται στην ιδιότητα των μετάλλων να εκπέμπουν ακτινοβολία και να δίνουν ορισμένο χρώμα, όταν εκτεθούν πάνω σε κάποια φλόγα.

Υλικά και όργανα

- Σιφώνια των 5, 10, 20 ml
- Ογκομετρικές φιάλες του 1 lt



- Κωνικές και ογκομετρικές φιάλες των 50, 100 και 200 ml
- Ποτήρια ζέσεως των 50 και 100 ml
- Μαγνητικός αναδευτήρας
- Ζυγός
- Φλογοφωτόμετρο

Αντιδραστήρια

- Χλωριούχο κάλιο (KCl)
- Stock διάλυμα 1000 ppm K. Παρασκευάζεται διαλύοντας 1,9068 gr KCl σε ογκομετρική φιάλη του 1lt.
- Standards διαλύματα των 0, 5, 10, 30, 50, 75, 100 ppm K^+ . Παρασκευάζονται διαλύοντας από το Stock διάλυμα των 1000 ppm σε φιάλες των 100 ml αντίστοιχα τις ποσότητες:

Standards K σε ppm	Ποσότητες σε ml από το διάλυμα των 1000 ppm
5	0,5
10	1,0
20	2,0
30	3,0
40	4,0
50	5,0
75	7,5
100	10,0

Διαδικασία

Ανοίγουμε το φλογοφωτόμετρο 3 ώρες πριν τη μέτρηση για να ζεσταθεί. Τοποθετούμε το φίλτρο μέτρησης καλίου. Στη συνέχεια ρυθμίζουμε το όργανο σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή. Αυτό γίνεται με τη χρήση του μικρότερου και μεγαλύτερου standards διαλύματος (για 0 ppm το όργανο ρυθμίζεται να δείχνει 0 και για 100 ppm το όργανο ρυθμίζεται να δείχνει 100).

Τέλος γίνεται η μέτρηση των αγνώστων μετά την καύση δειγμάτων και σημειώνεται η ένδειξη οργάνου για το κάθε δείγμα μας.

Κατασκευή της καμπύλης αναφοράς

Για τα STANDARDS από 0, 10, 20, 30, 40, 50, 75 και 100 ppm κατασκευάζουμε την καμπύλη αναφοράς.



Υπολογισμός

Από την καμπύλη αναφοράς παίρνουμε τις τιμές σε ppm των αγνώστων δειγμάτων. Επειδή τα δείγματα που μετρήσαμε ήταν αραιωμένα ($\Sigma.A.=5$), για να υπολογίσουμε τη συγκέντρωση του αρχικού αγνώστου δείγματος, πολλαπλασιάζουμε τα ppm από την καμπύλη αναφοράς επί τον συντελεστή αραιώσης.

Οι τιμές που προκύπτουν από την παραπάνω σχέση αφορούν την συγκέντρωση των σε ppm στα διαλύματα τα οποία παρασκευάστηκαν από τα δείγματα των φυτών. Τα αποτελέσματα του πειράματος και η στατιστική τους επεξεργασία έγιναν ύστερα από αναγωγή τους σε $\text{mg K}^+ / \text{kg}$ νωπού βάρους.

Στον πίνακα 21 παρουσιάζονται οι μέσοι όροι και τα τυπικά σφάλματα της περιεκτικότητας σε K^+ των εξωτερικών φύλλων της κεφαλής των φυτών μαρουλιού, για τις έξι επεμβάσεις του πειράματος.

ΠΙΝΑΚΑΣ 21: Μέσοι όροι και τυπικά σφάλματα της συγκέντρωσης των K^+ που απομονώθηκαν από τα εξωτερικά φύλλα φυτών μαρουλιού ανάλογα με το είδος της λίπανσης (Ανόργανης ή οργανικής μορφής, με προσθήκη ή όχι επιπλέον θείου).

Είδος επέμβασης	Ποσότητα K^+ (σε mg / kg νωπού βάρους)
Ανόργανη + 0 μον S	$746,66 \pm 33,73$ δ
Ανόργανη + 15 μον S	$1590 \pm 28,63$ β
Ανόργανη + 30 μον S	$1736,66 \pm 17,45$ α
Οργανική + 0 μον S	800 ± 47 δ
Οργανική + 15 μον S	$1416 \pm 59,49$ γ
Οργανική + 30 μον S	$1700 \pm 38,46$ αβ
LSD	116,48

Οι μέσοι οι οποίοι συνοδεύονται από το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικά μεταξύ τους σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=0,05$

Στον πίνακα 22 παρουσιάζονται οι αντίστοιχοι μέσοι όροι και τα τυπικά σφάλματα της περιεκτικότητας σε K^+ των εσωτερικών φύλλων της κεφαλής των φυτών του πειράματος.

Η ανάλυση της διασποράς και η γενική δοκιμασία του F για τις τιμές της ποσότητας K^+ , από τα εξωτερικά φύλλα της κεφαλής των φυτών, έδειξε ότι δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική επίδραση του παράγοντα «είδος λίπανσης». Αντίθετα υπάρχει σημαντική επίδραση του παράγοντα «θειική λίπανση» και μάλιστα η περιεκτικότητα σε κάλιο στα φύλλα της κεφαλής αυξάνεται με την αύξηση της ποσότητας της παρεχόμενης θειικής λίπανσης. Επίσης διαπιστώνεται ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ του είδους λίπανσης και της προσθήκης θειικής λίπανσης.



ΠΙΝΑΚΑΣ 22: Μέσοι όροι και τυπικά σφάλματα της συγκέντρωσης των K^+ που απομονώθηκαν από τα εσωτερικά φύλλα φυτών μαρουλιού ανάλογα με το είδος της λίπανσης.

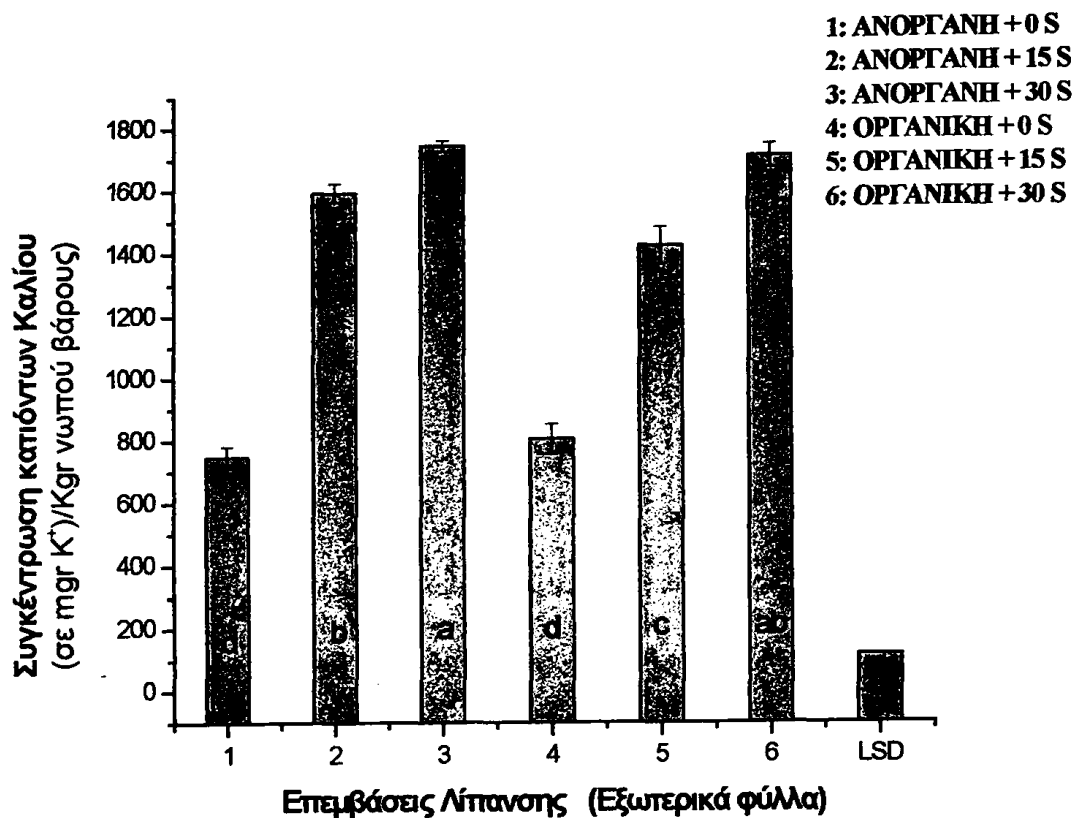
Είδος επέμβασης	Ποσότητα K^+ (σε mg /kgf νωπού βάρους)
Ανόργανη + 0 μον S	713,33 ± 41,2 β
Ανόργανη + 15 μον S	1533,33 ± 25,12 β
Ανόργανη + 30 μον S	1756,66 ± 30,73 α
Οργανική + 0 μον S	746,66 ± 46,66 β
Οργανική + 15 μον S	1308 ± 53,88 β
Οργανική + 30 μον S	1636 ± 42,61 α
LSD	106,7

Οι μέσοι οι οποίοι συνοδεύονται από το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικά μεταξύ τους σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=0,05$

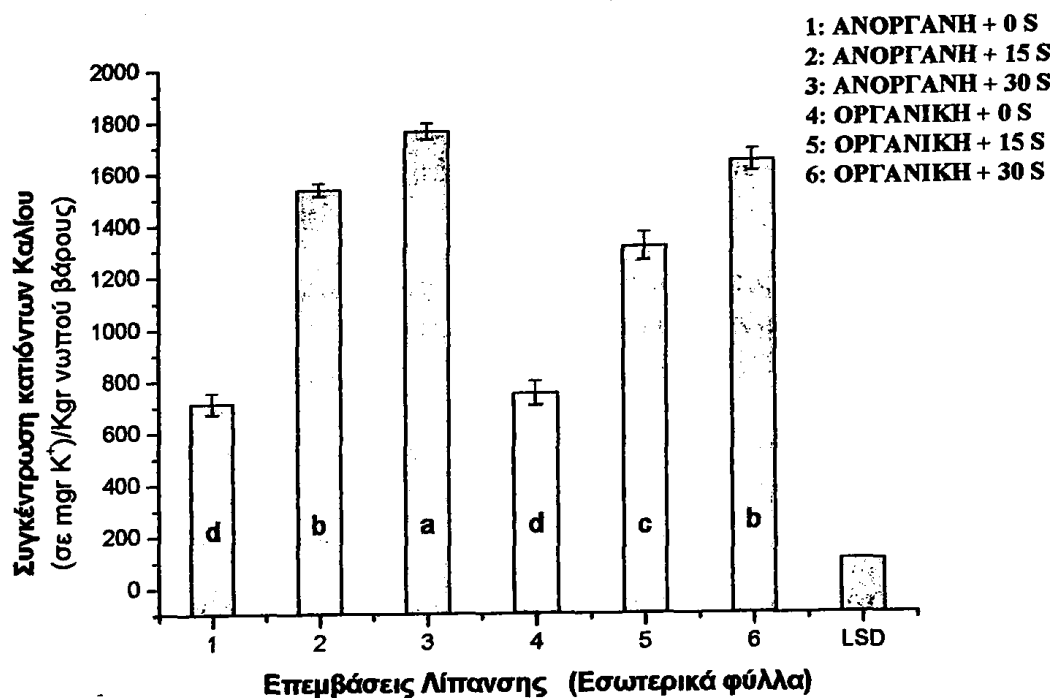
Αντίστοιχα αποτελέσματα βρέθηκαν και στα εσωτερικά φύλλα της κεφαλής των φυτών. Εδώ επιπλέον βρέθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά και μεταξύ του είδους της παρεχόμενης λίπανσης (οργανικής ή ανόργανης προέλευσης). (Πίνακες ανάλυσης της διασποράς παρατίθενται στο παράρτημα).

Η αλληλεπίδραση του παράγοντα «Είδος λίπανσης» και του παράγοντα «Ποσότητα Θεικού καλιομαγνήσιου» στην συγκέντρωση των K^+ στα φύλλα του μαρουλιού φανερώνει ότι η παρατηρούμενη αύξηση της συγκέντρωσης του καλίου όταν αυξάνεται η χορηγούμενη ποσότητα του θεικού καλιομαγνήσιου, εξαρτάται παράλληλα και από την προέλευση της ταυτόχρονα χορηγούμενης αζωτούχου λίπανσης. Συνολικά περισσότερη ποσότητα K^+ συσσωρεύεται στα φυτά που δέχτηκαν ανόργανης μορφής λίπανση σε σχέση με τα φυτά που λιπάνθηκαν με την κοπριά των πουλερικών.





ΕΙΚΟΝΑ 30 : Μεταβολές στην ποσότητα των κατιόντων καλίου στα εξωτερικά φύλλα μαρουλιού ανάλογα με το είδος της λίπανσης (οργανικής ή ανόργανης, με προσθήκη ή όχι θειικού καλιομαγνήσιου). Οι μεταχειρίσεις που φέρουν το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικά σημαντικά σε επίπεδο σημαντικότητας 0,05.



ΕΙΚΟΝΑ 31 : Μεταβολές στην ποσότητα των κατιόντων καλίου στα εσωτερικά φύλλα μαρουλιού ανάλογα με το είδος της λίπανσης (οργανικής ή ανόργανης με προσθήκη ή όχι θειικού καλιομαγνήσιου). Οι μεταχειρίσεις που φέρουν το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικά σημαντικά σε επίπεδο σημαντικότητας 0,05.

ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από πολλούς ερευνητές {(Dikshoorn W., Van Wisk L., 1969), (Pumphrey V., Moore P., 1965). (Stewart A., 1966) δημοσιεύτηκαν κατά καιρούς, αποτελέσματα πειραμάτων στα οποία φαίνεται η αλληλεπίδραση μεταξύ θείου και αζώτου.

Αποτέλεσμα αυτής της αλληλεπίδρασης φαίνεται πως είναι ο περιορισμός της βιοσυσσώρευσης των νιτρικών ανιόντων στα φύλλα του μαρουλιού όταν χορηγούνται ταυτόχρονα και θειικά ανιόντα. Η πιθανή εξήγηση είναι ότι τόσο το άζωτο όσο και το θείο προσλαμβάνονται από το φυτό, κυρίως με τη μορφή ανιόντων (NO_3^- και SO_4^{2-}), που ο μηχανισμός αλληλεπίδρασής τους στις θέσεις απορρόφησης των ριζών, του κορμού και των κυττάρων των φύλλων είναι ανταγωνιστικός.

Πράγματι από τα αποτελέσματα του πειράματος, στα φυτά που έγινε εφαρμογή οργανικής λίπανσης παρατηρείται μια σημαντική ελάττωση της συγκέντρωσης των νιτρικών όσο αυξάνεται η δόση της θειικής λίπανσης (από 1500 mg/kg ν.β. μειώνεται στα 1100 mg/kg ν.β στην δόση των 15 μονάδων S και φθάνει τα 850 mg/kg ν.β στις 30 μονάδες S). (πίνακες 17 & 18)

Αυτή η μείωση στην συγκέντρωση των νιτρικών δεν παρατηρείται όμως στην περίπτωση των εξωτερικών φύλλων των φυτών που δέχθηκαν ανόργανη λίπανση και μάλιστα η συγκέντρωση των νιτρικών κατά την λίπανση με 15 μονάδες θείου ήταν μεγαλύτερη από κάθε άλλη μεταχείριση.

Αντίθετα, μείωση των νιτρικών στα εξωτερικά φύλλα, παρουσιάσθηκε μόνο όταν η χορηγούμενη ποσότητα θείου έφθασε τις 30 μονάδες. Η αύξηση της συγκέντρωσης των νιτρικών στην περίπτωση της χορήγησης 15 μονάδων θείου (ως θειικό καλιομαγνήσιο) πιθανόν οφείλεται στην δράση του καλίου. Το κάλιο αναφέρεται ότι αυξάνει την απορρόφηση των νιτρικών και η περίπτωση αυτή των εξωτερικών φύλλων αυτό δείχνει. Στην περίπτωση της χορήγησης 30 μονάδων S, η μείωση των νιτρικών σε σχέση με την περίπτωση των 15 μονάδων, ίσως οφείλεται στην αύξηση της στάθμης του θείου και στην εντατικοποίηση της ρεδουκτάσης των νιτρικών.

Αντίθετα στις περιπτώσεις όπου η πηγή αζώτου ήταν οργανικής προέλευσης (οι οποίες είναι παρόμοιας έκφρασης με τα εσωτερικά φύλλα), πιθανά οφείλεται στο είδος της καλιούχου λίπανσης (οργανικής μορφής και θειικό καλιομαγνήσιο). Στην περίπτωση της ανόργανης λίπανσης, το μεγαλύτερο μέρος του χορηγούμενου καλίου (25 μονάδες) ήταν εξόχως διαλυτό και άμεσα διαθέσιμο (σε αντίθεση με την κοπριά και το θειικό καλιομαγνήσιο) για τα φυτά στα αρχικά στάδια ανάπτυξης. Στις περιπτώσεις της οργανικής λίπανσης το κάλιο δεν είναι αμέσως διαθέσιμο για τα φυτά αλλά κινητοποιείται βαθμιαία. Επίσης η οργανική ουσία διαθέτει και επιπλέον θέσεις ιοντοανταλλαγής καθιστώντας έτσι την δράση του καλίου (αναφορικά με την αύξηση των νιτρικών) περιορισμένη.



Στα νεαρά φύλλα δεν παρατηρήθηκε ανάλογη διαφοροποίηση στη συσσώρευση των νιτρικών καθώς το υπερβολικό κάλιο (στην περίπτωση της ανόργανης λίπανσης) εκπλύνεται πιο έντονα με αποτέλεσμα η όποια επίδρασή του στην απορρόφηση των νιτρικών να μην είναι μεγάλη και η επίδραση του θείου να γίνεται εμφανής ακόμη και στις 15 μονάδες, και όλα αυτά σε συνδυασμό με το γεγονός ότι στα νεαρά φύλλα γίνεται έντονη μεταβολική δραστηριότητα και όχι στα παλαιά όπου έχει ολοκληρωθεί η ανάπτυξή τους.

Αξιοσημείωτο είναι ότι η μέση συγκέντρωση των νιτρικών στα εξωτερικά φύλλα των φυτών που δέχθηκαν την οργανική λίπανση, χωρίς την πρόσθετη λίπανση με θειικά, δεν παρουσίασε στατιστικά σημαντική διαφορά με την συγκέντρωση νιτρικών που μετρήθηκε στα φυτά που δέχθηκαν ανόργανη λίπανση.

Στα εσωτερικά (νεαρά) φύλλα της κεφαλής, φαίνεται ότι τόσο στην περίπτωση της ανόργανης όσο και στην περίπτωση της οργανικής λίπανσης η συγκέντρωσή τους μειώνεται σημαντικά με την αύξηση της χορηγούμενης θεικής λίπανσης. Η περιοριστική δράση είναι εντονότερη στην περίπτωση της οργανικής λίπανσης η οποία γενικά παρουσίασε χαμηλότερες συγκεντρώσεις νιτρικών από την αντίστοιχη ανόργανη λίπανση. Αξίζει να τονισθεί ότι η μέση τιμή των νιτρικών στην περίπτωση των φυτών που δέχθηκαν οργανική λίπανση χωρίς προσθήκη θεικού καλιομαγνήσιου, ήταν σημαντικά αυξημένη, φθάνοντας στα επίπεδα των φυτών που δέχθηκαν ανόργανη λίπανση.

Όσον αφορά το συνολικό S, παρατηρείται σε κάθε περίπτωση μια σταθερή αύξηση των τιμών του στα φύλλα του μαρουλιού, όσο αυξάνεται η παρεχόμενη ποσότητα θεικού καλιομαγνήσιου (πίνακες 19 & 20). Αντίστοιχα αποτελέσματα με τα θεικά ανιόντα βρέθηκαν από την ανάλυση των φύλλων του μαρουλιού και για τα κατιόντα Καλίου, τόσο στα εξωτερικά όσο και στα εσωτερικά φύλλα της κεφαλής των φυτών (πίνακες 21 & 22).

Από τα αποτελέσματα του πειράματος φαίνεται ότι:

- Η πρόσθετη λίπανση των φυτών του μαρουλιού με θεικό καλιομαγνήσιο, δεν προκάλεσε στατιστικά σημαντική μεταβολή στο μέσο βάρος των κεφαλών των φυτών ανεξάρτητα από το είδος της λίπανσης που δέχθηκαν (οργανικής ή ανόργανης μορφής) και ανεξάρτητα από την δόση της πρόσθετης λίπανσης με θεικό καλιομαγνήσιο.
- Δεν βρέθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά στην συγκέντρωση νιτρικών στα φύλλα (εσωτερικά ή εξωτερικά) του μαρουλιού μεταξύ των φυτών που δέχθηκαν ανόργανη και των φυτών που δέχθηκαν οργανική λίπανση, όταν δεν έγινε ταυτόχρονα και προσθήκη θεικού καλιομαγνήσιου.
- Η πρόσθετη λίπανση με θεικό καλιομαγνήσιο φαίνεται ότι περιορίσε την συγκέντρωση των νιτρικών στο μαρούλι, τουλάχιστο όσον αφορά τα φυτά που δέχθηκαν οργανικής μορφής λίπανση, τόσο στα εσωτερικά όσο και στα



εξωτερικά φύλλα της κεφαλής.

Κρίνεται σκόπιμο να σημειωθεί ότι τα συμπεράσματα της εργασίας αυτής ως αποτέλεσμα πειράματος στο έδαφος θερμοκηπίου, έχουν προσανατολιστικό χαρακτήρα και η επιβεβαίωσή τους πρέπει να γίνει με αντίστοιχα πειράματα σε φυτοδοχεία με ελεγχόμενες συνθήκες ή σε σύστημα υδροπονικής καλλιέργειας.



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- **ADAS leaflet, 662 (1982)** *Protected lettuce production No 2. Soil preparation, Nutrition and Planting*
- **Αναλογίδης Δ. Α. (1989)** 'NO₃ -N ως δείκτης διαθεσιμότητας εδαφικού αζώτου...' Πρακτικά 2^{ου} Πανελληνίου εδαφολογικού συνεδρίου Λάρισα
- **Αναλογίδης Δημήτριος (2000)** Έδαφος θρεπτικά στοιχεία και φυτική παραγωγή Αθήνα
- **Βάρκα Θ., Χρυσούλη Α., (1979)** Επίδραση του θείου στην απόδοση και την στοιχειακή σύσταση της μηδικής Περιοδικό Γεωργική Έρευνα Τεύχος 111
- **Βασδέκης Ε, Καριπίδης Χ, Σάββας Δ., (2005)** Επίδραση ανόργανης ή οργανικής λίπανσης στη συσσώρευση νιτρικών στα φύλλα μαρουλιού καλλιεργούμενου στο έδαφος. Πρακτικά 22^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου Ελληνικής Εταιρείας της Επιστήμης των Οπωροκηπευτικών Πάτρα
- **Βασδέκης Ε., -Μπιζας Δ., (2005)** Θρέψη φυτών-Λιπασματολογία Σημειώσεις εργαστηρίων ΤΕΙ Ηπείρου Άρτα
- **Benton Jr, Wolf B., Mills A., (1991)** *Plant Analysis Handbook*. Micro-Macro Publishing Inc. USA
- **Blom-Zandstra M. and J. E. M. Lambe (1985)** *The role of nitrate in the osmoregulation of Letusse (Lactuca sativa L.) grown at different light intensities.* J. Ext. Bot., 36
- **Γαλάτης Β., Γανωτάκης Δ., Γκάνη Κ., Καραμπουρνιώτης Γ., Κοτζαμπάσης Κ., Κωνσταντινίδου Ε., Μανέτας Ι., Ρουμπελάκη Κ., (2002)** Φυσιολογία Φυτών από το μόριο στο περιβάλλον Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης
- **Γρηγοροπούλου Ε. (1990)** Το πρόβλημα της συσσώρευσης νιτρικών στους ιστούς λαχανοκομικών φυτών Πτυχιακή εργασία Άρτα
- **Cataldo A., Haroon M., Schrader E., Youngs L., (1975)** *Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid.* Commun. Soil. Sci. Plant Anal. 6
- **Conley, M. E. , E. T. Paparozzi and W. W. Stroup. (2002).** *Leaf anatomical and nutrient concentration responses to nitrogen and sulfur applications in poinsettia.* J. Plant Nutrition 25
- **Dirkshoorn W., Van Wisk L., (1967)** *The sulfur requirement of plants as evidenced by the S-N ratio in the organic matter* Plant and Soil 26
- **Εκδόσεις Ζεϋς (1998)** Οδηγός λίπανσης



- **Gianquinto, G., Borin M., (1992).** *Nitrate content in vegetable crops as affected by soil characteristics, rate and type of fertilization.* In: Scaife A. (Ed.) Proc. Second Congress of the European society of Agronomy, Warwick, 23-28/8/92, 256-257.
- **Θεριός Ιωάννης (1996)** *Ανόργανη θρέψη και λιπάσματα* Αθήνα
- **Kalra P. Yash (1996)** *Handbook of Reference Methods for Plant Analysis* USA
- **Καββαδίας Β., Πασχαλίδης Χ., Παύλου Γ., Κοσμίδης Η., (2004)** *Επίδραση της αλατότητας από NaCl και της αζωτούχου λίπανσης στη χημική σύσταση του μαρουλιού* Πρακτικά 21^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου Ελληνικής Εταιρείας της Επιστήμης των Οπωροκηπευτικών Άρτα
- **Κουκουλάκης Π., Μπλαδανοπούλου Σ., Σιμώνης Α., Γκαντιδης Ν. (1990)** *Η συγκέντρωση νιτρικών στα φυλλώδη λαχανικά* Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωργικής Έρευνας τόμος Α΄
- **Κουιμτζή Θ., Φυτιάνου Κ., Σαμαρά Κ. (1998)** *Χημεία Περιβάλλοντος,* Θεσσαλονίκη
- **Κωνσταντινίδης Γ., Ζαχάκος Λ. (1992)** *Λίπανση με επεξεργασμένη κοπριά ορνιθών* Περιοδικό Γεωργική Τεχνολογία Τεύχος Δεκεμβρίου
- **Μαλισσιόβας Νικόλαος (1998)** *Λιπασματολογία* Σημειώσεις εργαστηρίων ΤΕΙ Ηπείρου Άρτα
- **Μάνος Γ. - Παπαδόπουλος Γ. (1986)** *Η επίδραση της αζωτούχου λίπανσης στη συσσώρευση νιτρικών στους ιστούς των λαχανοκομικών φυτών* Περιοδικό Αγροτικά θέματα τεύχος 5
- **Macz, O., Paparozzi, E. T. and W. W. Stroup. (2001).** *The effect of nitrogen and sulfur applications on pot chrysanthemum production and post-harvest performance I. Leaf nitrogen and sulfur concentrations.* J. Plant Nutrition 24(1):111-130
- **Νιάβης Κωνσταντίνος (1981)** *Μαθήματα φυσιολογίας φυτών-Ανόργανη διατροφή των φυτών* Αθήνα
- **Παπαδάκης Γ. (1994)** *Έδαφος και θρεπτικά στοιχεία* Εκδόσεις Παναγροτικής Κρήτης
- **Paparozzi, E. T. (1999).** *Nitrogen and sulfur interaction in floricultural crops.* Acta Horticulturae 481:379-383.
- **Ολύμπιος Χρίστος (1987)** *Γενική και ειδική λαχανοκομία* Αθήνα
- **Ολύμπιος Χρίστος (2001)** *Η τεχνική της καλλιέργειας των κηπευτικών στα θερμοκήπια* Αθήνα



- **Πασχαλίδης Χ.** (1989) *Λιπάσματα και ρύπανση του περιβάλλοντος* Περιοδικό Αγροτικός Συνεργατισμός τεύχος 12
- **Παύλου, Γ.Χ., Οιχαλιώτης Κ.Δ., και Καββαδίας, Β.Α.,** (2003). *Επίδραση οργανικής και ανόργανης λίπανσης στην παραγωγή και στην συσσώρευση νιτρικών στο μαρούλι σε σχέση με την εποχή καλλιέργειας*. Πρακτικά 21^{ου} Πανελληνίου Επιστημονικού Συνεδρίου της Ε.Ε.Ε.Ο. (2):67-70
- **Σάββας Δημήτριος** (1996) *Σημειώσεις ειδικής Λαχανοκομίας* ΤΕΙ Ηπείρου Άρτα
- **Σετάτου Ε.** (1999). *Νιτρορύπανση. Το πρόβλημα με τα νιτρικά και η αντιμετώπισή του*. Πρακτικά διημερίδας «Θρέψη, Λίπανση, Περιβάλλον», Λάρισα, 18-19 Νοεμβρίου 1999, 203-211.
- **Σιμώνης Δ. Α** (1997) *Οι 10 μύθοι για τα ανόργανα λιπάσματα* Περιοδικό Γεωργία - Κτηνοτροφία Τεύχος 4
- **Σιμώνης Α.** (2000). *Νιτρικά και Υγεία*. 8ο Παν. Εδαφολογικό Συνέδριο, Καβάλα.
- **Σιμώνης Α. , Σετάτου Ε.** (1992) *Αποτελεσματικότητα Αζώτου – παράγοντες που την επηρεάζουν και τρόποι βελτίωσής της V. Απονιτροποίηση* Περιοδικό Γεωπονικά τεύχος 340
- **Σιμώνης Α - Σετάτου Ε.** (1993) *Ο ρόλος του εδάφους στη διατροφή μας. Οργανικά και ανόργανα λιπάσματα και ποιότητα γεωργικών προϊόντων* . Περιοδικό Γεωπονικά τεύχος 345
- **Σιμώνης Α - Σετάτου Ε.** (1995) *Το πρόβλημα με τα νιτρικά* Περιοδικό Γεωργική Τεχνολογία τεύχος 3
- **Σίωμος Αναστάσιος** (2001) *Νιτρικά και φυτορμόνες στα λαχανικά και μέτρα προστασίας του καταναλωτή* Περιοδικό Καταναλωτικό Βήμα Τεύχος Απριλίου -Μαΐου
- **Στεργίου Β, Ακουμιανάκης Κ. , Μουστάκας Ν., Ολύμπιος Χ., Πάσσαμ Χ.,** (2004) *Η επίδραση της αζωτούχου λίπανσης στην περιεκτικότητα νιτρικών στα φύλλα δύο ποικιλιών μαρουλιού* Πρακτικά Ελληνικής Εταιρίας Οπωροκηπευτικών Τόμος 11 Τεύχος Α.
- **Steingrover, E.G., Steenhuizen, J.W., and Vander Boon, J.,** (1993). *Effects of low light intensities at night on nitrate accumulation in lettuce grown on a recirculating nutrient solution*. Netherlands J. Agric. Sci. 41(1): 13-21.
- **Stryer Lubert** (1997) *Βιοχημεία Πανεπιστημιακές εκδόσεις Κρήτης Τόμος πρώτος*



- **Tabatabai M. A.** (1983) *Methods of Measurement of Sulfur in Soil, Plant Materials and Waters* Agronomy Department Iowa State University, USA
- **Τσαντίλας Χ.,** (1998) *Αξιολόγηση αποτελεσμάτων εδαφικών και φυτικών αναλύσεων* Περιοδικό Γεωργία και κτηνοτροφία Τεύχος 2
- **Τσαπικούνης Φάνης** (1995) *Θρέψη-λίπανση των φυτών Μέρος Α' Βάρδα*
- **Τσαπικούνης Φάνης** *Θρέψη-λίπανση των φυτών Μέρος Δ' Αθήνα*
- **Τσικαλός Πλούταρχος** (2003) *Θρέψη φυτών - Γονιμότητα εδαφών* ΤΕΙ Κρήτης Ηράκλειο
- **Τσιτσιάς Κυριάκος** *Λιπασματολογία* ΟΕΔΒ Αθήνα 1987
- **Urrestarazu, M; Postigo, A; Salas, M; Sanchez, A; Carrasco, G.,** (1998). *Nitrate accumulation reduction using chloride in the nutrient solution on lettuce growing by NFT in semiarid climate conditions.* Journal of Plant Nutrition, 21 (8) pp. 1705-1714.
- **Hegesch E. - Shiloah J.** (1982) *Blood nitrates and infant methaimoglobinaemia* Clinica Chimica Acta

ΠΕΡΙΟΔΙΚΑ - ΕΦΗΜΕΡΙΔΕΣ

- *Εφημερίδα Ευρωπαϊκής Ένωσης Οδηγία 194/1997,*

Κανονισμοί 466/2001, 563/2002, 655/2004

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΙΣ

www.kepka.org/Grk/info/Nutricion/nut003_005.htm

www.ipk-gatersleben.de

www.firstinfloriculture.org/pdf/2005_7_nitro_sulfur_part2.pdf

www.botany.ubc.ca/biol351/351h.htm

www.scripps.edu/~stroupe/

www.siu.edu/departments/biochem/chime_rasmol/iron_sulfur



Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΘΕΙΙΚΩΝ ΑΝΙΟΝΤΩΝ (SO_4^{2-}) ΣΤΗ ΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗ ΝΙΤΡΙΚΩΝ (NO_3^-) ΣΤΟΥΣ ΦΥΤΙΚΟΥΣ ΙΣΤΟΥΣ ΜΑΡΟΥΛΙΟΥ ΤΥΠΟΥ Iceberg ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΟΡΓΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΑΝΟΡΓΑΝΩΝ ΛΙΠΑΣΜΑΤΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	2
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.....	3
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....	5
ΓΕΝΙΚΑ.....	5
Στοιχείο ΑΖΩΤΟ.....	5
Ο Κύκλος του Ν.....	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....	9
ΝΙΤΡΙΚΑ ΙΟΝΤΑ.....	9
Χρησιμοποίηση των νιτρικών ιόντων από τα φυτά.....	9
Συστήματα πρόσληψης νιτρικών.....	10
Σύστημα πρόσληψης ιόντων αμμωνίας.....	13
Αναγωγή νιτρικών ιόντων.....	13
Αναγωγή νιτρικών ιόντων σε νιτρώδη.....	17
Αναγωγή νιτρώδων ιόντων σε αμμωνιακά.....	19
Ρύθμιση της αναγωγής των νιτρικών ιόντων.....	23
Προτιμήσεις των φυτών στην απορρόφηση και χρήση NO_3^- και NH_4^+	25
Φυσιολογικές επιδράσεις των μορφών Ν στα φυτά.....	25
Συγκέντρωση NO_3^- σε φυτά μαρουλιού και σπανακιού.....	26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....	27
ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ NO_3^- ΣΤΑ ΦΥΤΑ ΚΑΙ ΣΤΟΝ ΑΝΘΡΩΠΟ.....	27
Κίνδυνοι στην υγεία από νιτρικά (NO_3^-) και νιτρώδη (NO_2^-).....	27
Τοξικότητα NO_3^- - NO_2^- στον άνθρωπο.....	28
Πηγές NO_3^- ή NO_2^- που προκαλούν μεθαιμογλοβιναιμία.....	29
Νιτροζαμίνες.....	30
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.....	31
ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ NO_3^- ΣΤΑ ΦΥΤΑ.....	31
Α. Κλιματικοί παράγοντες.....	31
Β. Γενετικοί παράγοντες.....	33
Εφοδιασμός NO_3^- καλλιεργούμενων σε θρεπτικό υπόστρωμα.....	33
Λίπανση και συσσώρευση νιτρικών.....	34
Αναστολείς νιτροποίησης.....	39
Επίδραση λοιπών στοιχείων στην συγκέντρωση NO_3^-	39
Επίδραση ιχνοστοιχείων.....	39
Άλλοι παράγοντες.....	40
Ταχύτητα απορρόφησης ανιόντος και κατιόντος του ίδιου άλατος.....	41
Κατανομή NO_3^- στα φυτά.....	41
Νιτρικά και εσωτερική ζημιά στα κουτιά των κονσερβών.....	44
Νιτρικά και ποιότητα των επεξεργασμένων προϊόντων.....	44
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6.....	45
ΝΙΤΡΙΚΑ ΣΤΑ ΛΑΧΑΝΙΚΑ.....	45



Συγκέντρωση νιτρικών στα λαχανικά.....	45
Λαχανικά με υψηλή συσσωρευτική ικανότητα.....	45
Συγκέντρωση νιτρικών στα μαρούλια και το σπανάκι.....	48
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7.....	53
ΣΤΟΙΧΕΙΟ ΘΕΙΟ.....	53
ΓΕΝΙΚΑ.....	53
Φυσιολογική δράση S.....	54
Καλλιέργειες και θείο.....	55
Ο κύκλος του θείου.....	55
Φυσιολογική δράση του θείου.....	60
Μορφές S στο έδαφος και η χρησιμοποίησή του από τα φυτά.....	63
Θεικές ενώσεις.....	63
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8.....	64
ΜΑΡΟΥΛΙ (Lactuca Sativa L.).....	64
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	64
Τύποι μαρουλιού.....	65
Εποχή καλλιέργειας στο θερμοκήπιο.....	65
Θρεπτική αξία μαρουλιού.....	66
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9.....	67
ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΥ ΑΓΡΟΥ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΜΑΡΟΥΛΙΟΥ.....	67
Α. Επιλογή ποικιλίας.....	68
Β. Σπορά και ανάπτυξη στο σπορείο.....	69
Γ. Μεταφύτευση.....	70
Συνθήκες περιβάλλοντος στο θερμοκήπιο.....	71
Καλλιεργητικές φροντίδες.....	72
Απαιτήσεις σε θρεπτικά στοιχεία των μαρουλιών.....	73
Λιπάνσεις πειραματικού μέρους.....	75
Χαρακτηριστικά λιπασμάτων που χορηγήθηκαν.....	76
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10.....	79
ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΦΥΤΙΚΩΝ ΙΣΤΩΝ ΜΑΡΟΥΛΙΟΥ.....	79
Τρόπος και χρόνος δειγματοληψίας.....	79
Δειγματοληψία και παραλλακτικότητα.....	79
Μεταφορά και αποθήκευση δειγμάτων.....	79
Προετοιμασία των φυτικών ιστών για ανάλυση.....	80
Ξήρανση σε φούρνο.....	80
Άλεσμα των φυτικών ιστών.....	80
Προσδιορισμός υγρασίας.....	80
Αποθήκευση - συντήρηση.....	81
Στατιστική επάρκεια και αξιοπιστία αποτελέσματος.....	81
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11.....	83
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	83
Βάρος κεφαλής φυτών μαρουλιού.....	83
1. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΝΙΤΡΙΚΟΥ ΑΖΩΤΟΥ.....	84
Εκχύλιση δειγμάτων φυτικών ιστών.....	84
Χρωματομετρική μέθοδος.....	84
Υλικά μια όργανα.....	84
Αντιδραστήρια.....	84
Τρόπος εργασίας.....	85
Ανάπτυξη χρώματος.....	85
Αρχή της μεθόδου.....	85
Αντιδραστήρια.....	85
Διαδικασία.....	86
2. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ S.....	92
ΜΕΘΟΔΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΘΕΙΚΩΝ ΣΕ ΦΥΤΙΚΟΥΣ ΙΣΤΟΥΣ ΜΑΡΟΥΛΙΟΥ.....	92
Μετατροπή του θείου των φυτικών ιστών σε θειικά (SO_4^{2-}).....	92



Θολομετρική μέθοδος	93
Υπολογισμός της θολότητας	95
Καμπύλη αναφοράς SO_4^{2-} του πειράματος	95
3. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΛΙΟΥ ΣΕ ΦΥΤΙΚΟΥΣ ΙΣΤΟΥΣ ΜΑΡΟΥΛΙΟΥ	99
Μέθοδος μέτρησης καλίου Υγρή καύση	99
Αντιδραστήρια	99
Διαδικασία	99
Προσδιορισμός Καλίου	99
Υλικά και όργανα	99
Αντιδραστήρια	100
Διαδικασία	100
Κατασκευή της καμπύλης αναφοράς	100
Υπολογισμός	101
ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	105
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	108
ΠΕΡΙΟΔΙΚΑ - ΕΦΗΜΕΡΙΔΕΣ	111
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΙΣ	111
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	112



