

Τα μυστικά δέσμευσης αζώτου από τα φυτά

Τα αζωτοβακτήρια και οι παράγοντες που επηρεάζουν τη διαθεσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων του εδάφους

ΤΩΝ ΔΡ. ΛΟΥΚΑ Τ. ΠΙΣΤΟΛΗ & ΤΑΞΙΑΡΧΗ Λ. ΠΙΣΤΟΛΗ*

ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ**

Ομολογούμε από τώρα ότι στο θέμα του παρόντος κεφαλαίου θα επιμείνουμε κάπως περισσότερο.

Ο λόγος είναι απλός, σε σημαντικό βαθμό και επιβεβλημένος από την κατάσταση υγείας του πλανήτη μας. Η βιομηχανία, γενικώς, σ' ένα απολύτως ανταγωνιστικό οικονομικό σύστημα έφερε τα πράγματα στα όριά τους και τώρα ψάχνουμε τα γιατρικά. Η κατάσταση βέβαια ταιριάζει στη λαϊκή ρήση, «να σε κάψω Γιάννη μου να σ' αλείψω λάδι», όμως αυτή είναι.

Έχουμε οδηγηθεί στην άκρη του γκρεμού. Αυτό είναι κάκιστο αλλά υπό μίαν άποψη και ελπιδοφόρο.

Είναι η στέρεη άποψη του Νίκου Καζαντζάκη: «Αν δεν φτάσει ο άνθρωπος στο κείλος του γκρεμού, δεν βγάνει η ράχη του φτερούγες να πετάξει!» Ελπίζουμε ότι η περιβαλλοντική κρίση θα επιταχύνει την έρευνα πάνω στη βιολογική αζωτοδέσμευση, η πορεία της οποίας είναι ήδη μακρά.

Ένας μελλοντικός στόχος είναι λ.χ. η

δημιουργία αζωτοδεσμευτικών δημητριακών, με εργαλείο τη γενετική μηχανική.

Προς την κατεύθυνση αυτή πιο γόνιμη φαίνεται η ενσωμάτωση βακτηριακών γονιδίων στα φυτά. Η ενσωμάτωση γονιδίων ψυχανθών τα οποία θα κωδικοποιούν ιδιότητες σχετικές με την εγκατάσταση της συμβιωτικής σχέσης ρίζας – φυματίου, είναι τουλάχιστον πάρα πολύ δύσκολη. Βέβαια η σχετική έρευνα, στόχος της οποίας είναι, η κατά το δυνατόν μικρότερη χρήση αζωτούχων λιπασμάτων, έχει ένα ευρύ πεδίο και πέραν της γενετικής μηχανικής. Προς το παρόν αρκούμαστε στις όποιες επιτυχίες της και βέβαια στα πλεονεκτήματα της αμειψισποράς με τα ψυχανθή.

Θεωρητικά, η ποσότητα του αζώτου που βρίσκεται στη στήλη του αέρα (στη σύνθεση του αέρα το 80% είναι αζώτο) που υψώνεται πάνω από ένα εκτάριο (72.000 – 80.000 τόνοι αζώτου) είναι αρκετή να καλύψει τις ανάγκες των καλλιεργούμενων σε αυτή φυτών για ένα εκατομμύριο χρόνια, περίπου. Και φαίνεται παράδοξο, ενώ τα φυτά κολυμπούν μέσα στο μοριακό αζώτο (N₂), να μην μπορούν να το χρησιμοποιήσουν και να προτιμούν μόνο ενώσεις του με οξυγόνο, υδρογόνο ή άν-

θρακα. Έτσι ξεκινάει ο D. Davidescu και συν. το βιβλίο του «Το αζώτο στη γεωργία» (1976). Η παραδοξότητα αυτή οδήγησε τον σπουδαίο Λίμπιχ (θυμηθείτε το περίφημο βαρέλι του) να λαθέψει στους σχεδιασμούς του, εκτιμώντας ότι τα φυτά μπορούν να παίρνουν αζώτο από τον αέρα και να φτιάξει το δικό του λίπασμα – το βάπτισε κιόλας με το όνομά του - με φασφόρο και κάλι, μόνο. Το χωράφι όμως δεν ... σεβάστηκε το κύρος του επιστήμονα και το λίπασμα απέτυχε. Ίσως, αν ο Λίμπιχ εκτιμούσε περισσότερο τους ποιητές¹, να είχε αποφύγει το λάθος.

Συνεχίζοντας, πρέπει να πούμε ότι οι γνωστές μας βιομηχανίες, αυτή την ανεξάντλητη πηγή αζώτου χρησιμοποιούν, του ατμοσφαιρικού, για την παραγωγή των αζωτούχων λιπασμάτων. Οι Regnault (1840), Haber (1909) και Bosch (1913)... ευθύνονται γι' αυτό. Ο πρώτος έδειξε τη δυνατότητα (η μέθοδος του ήταν πολύπλοκη και μόνο εργαστηριακή), ο δεύτερος απλοποίησε την πολύπλοκη δυνατότητα κι ο τρίτος πραγματοποίησε τη δυνατότητα βιομηχανικής παραγωγής αμμωνίας από τον αέρα. Οι δύο τελευταίοι, τιμήθηκαν, για το σπουδαίο τους επίτευγμα, με Nobel².

Η λυτρωτική εξίσωση της εργασίας τους έχει ως εξής:

Αέρας + φυσικό αέριο + νερό = αμμωνία + διοξείδιο του άνθρακα.

Η αμμωνία αυτή αποτελεί τη βάση για την παραγωγή άλλων αζωτούχων λιπασμάτων, όπως η ουρία και η θειική αμμωνία. Η αμμωνία χρησιμοποιείται επίσης για την παραγωγή νιτρικού οξέος, το οποίο με τη σειρά του θα χρησιμοποιηθεί στην παραγωγή λιπασμάτων με νιτρικό αζώτο, όπως λ.χ. η νιτρική αμμωνία, το νιτρικό ασβέστιο, αλλά και το συνθετικό νιτρικό κάλι.

Στα βακτήρια τώρα και πρώτα στις συμβιώσεις, γενικά.

Μεγάλη υπόθεση οι συμβιώσεις! Πόσο μεγάλη; Αρκεί να θυμηθούμε την Αμερικανίδα βιολόγο Lynn Margulis που υποστήριξε πειστικά (1970) ότι τόσο τα μιτοχόνδρια, (η έδρα της κυτταρικής αναπνοής) όσο και οι κλωροπλάστες (η έδρα της φωτοσύνθεσης), που στην αρχή ήταν ενδοκυτταρικά παράσιτα (βακτήρια βαθιά κόκκινα και κυανοβακτήρια, αντίστοιχα), στην πορεία εξελίχθηκαν σε συμβιώτες!

Η φύση λοιπόν «τοποθέτησε» στον άνετο ενδοκυτταρικό χώρο τα «εργαλεία» για την διαιώνιση της ζωής.

Τα συμβιωτικά αζωτοβακτήρια Το ειδύλλιο

Φτιάσαμε έτσι, με λίγη υπομονή και στα συμβιωτικά αζωτοβακτήρια (από τα γένη Rhizobium και Bradyrhizobium).

Υπάρχει μία μεγάλη κατηγορία φυτών που ωφελείται από την ανεξάντλητη δεξαμενή του ατμοσφαιρικού αζώτου (N₂), τα ψυχανθή και η ικανότητά τους οφείλεται στη συμβίωσή τους με τα αζωτοβακτήρια.

Οι προκαρυωτικοί αυτοί οργανισμοί διαθέτουν τον ενζυματικό εξοπλισμό να δεσμεύουν το N₂, να το ανάγουν σε αμμωνία και να το δίνουν στο φυτό, παίρνοντας ως αντάλλαγμα τα προϊόντα της φωτοσύνθεσης.

Κάποια ογκίδια που σχηματίζονται στις ρίζες των φυτών, γνωστά ως φυμάτια, πιστοποιούν την εν λόγω συμβίωση.

Πώς ξεκινά το «ειδύλλιο», τώρα.

Όπως μας είναι ήδη γνωστό, τα ριζίδια εκκρίνουν διάφορες ουσίες από τις οποίες επωφελούνται οι μικροοργανισμοί της ριζόσφαιρας.

Μεταξύ αυτών των ουσιών είναι και το αμινοξύ τρυπτοφάνη (στα ψυχανθή οι εκκρίσεις αμινοξέων είναι αυξημένες), την οποία τα βακτήρια είναι ικανά να την μετατρέψουν σε αυξίνη (IAA).

Θα την συναντήσουμε και παρακάτω. Συνεχίζουμε.

Η αναγνώριση των δύο εταίρων, φυτού και βακτηρίου, γίνεται με τη βοήθεια ειδικών πρωτεϊνών και ειδικών σακκάρων. Τις πρωτεΐνες αυτές, που ονομάζονται λεκτίνες³, τις συνθέτει το φυτό ενώ τα σάκχαρα (πολυσακχαρίτες) τις συνθέτει το βακτήριο με την «προτροπή» του φυτού.

Οι λεκτίνες αναγνωρίζουν τους πολυσακχαρίτες κι έτσι οι δύο εταίροι συνδέονται πλέον μεταξύ τους.

Τα βακτήρια αποικίζουν τα ριζικά τριχίδια στο άκρο τους, το οποίο με τον αποικισμό συσπρέφεται σαν αγκίστρι, δημιουργώντας ένα χώρο όπου αυτά πολλαπλασιάζονται και από εκεί εισέρχονται στο κύτταρο. Τα εργαλεία τους για τη συσπρέψη και την είσοδό τους στο κύτταρο είναι ορμόνες και ένζυμα. Πιθανόν οι αυξίνες που προαναφέραμε μαζί με ένζυμα όπως λ.χ. η «διαβρωτική» πολυγαλακτουρονιδάση.

Στα κύτταρα του ριζικού τριχιδίου τα βακτήρια εισέρχονται υπό κάλυψη, δηλαδή καλυμμένα σε μια κυτταρινική φύση μεμβράνη, μια σωληνοειδή ίνα, που όλο και προχωράει μέχρι να φτάσει στο φλοιό, σε ένα χώρο που το φυτό έχει μεριμνήσει να προ-

Αζώτο

Θεωρητικά, η ποσότητα του αζώτου που βρίσκεται στη στήλη του αέρα (στη σύνθεση του αέρα το 80% είναι αζώτο) που υψώνεται πάνω από ένα εκτάριο (72.000 – 80.000 τόνοι αζώτου) είναι αρκετή να καλύψει τις ανάγκες των καλλιεργούμενων σε αυτή φυτών για ένα εκατομμύριο χρόνια, περίπου.

Η περιβαλλοντική κρίση θα επιταχύνει την έρευνα πάνω στη βιολογική αζωτοδέσμευση, η πορεία της οποίας είναι ήδη μακρά. Ένας μελλοντικός στόχος είναι λ.χ. η δημιουργία αζωτοδεσμευτικών δημητριακών, με εργαλείο τη γενετική μηχανική.

Υπάρχει μία μεγάλη κατηγορία φυτών που ωφελείται από την ανεξάντλητη δεξαμενή του ατμοσφαιρικού αζώτου (N₂), τα ψυχανθή και η ικανότητά τους οφείλεται στη συμβίωσή τους με τα αζωτοβακτήρια.

ετοιμάσει, παίρνοντας ερεθίσματα από τα βακτήρια, πριν καν αυτά εισέλθουν στα κύτταρα της ρίζας. Πρόκειται για έναν ιστό που δημιουργείται κατόπιν επανειλημμένων κυτταροδιαρροών και συνιστά το πρωτογενές μερίστωμα του φυματίου. Εκεί η ίνα διακλαδίζεται, σπάει και απελευθερώνει τα βακτήρια, όχι όμως τελείως. Τα κομμάτια της μεμβράνης γίνονται πλέον κάλυμμα για κάθε βακτήριο ή για ομάδες βακτηρίων, γιατί η απόλυτη απελευθέρωσή τους θα τα έβλαπτε. Εκεί μέσα τα βακτήρια πολλαπλασιάζονται.

Τι θα τα έβλαπτε; Θα το έβλαπτε το δεσμεύει το ατμοσφαιρικό αζώτο και το μετατρέπει σε αμμωνία (NH₃)⁴, η νιτρογενάση, είναι ευαίσθητη, λειτουργεί πλημμελώς ή και καθόλου παρουσία οξυγόνου. Αυτό είναι φυσικό αφού πρόκειται για διαδικασία αναγωγής, κι ως εκ τούτου χρειάζονται αναγωγικές συνθήκες.

Και δεν τελειώνει εδώ η προστασία των βακτηρίων από το επιβλαβές οξυγόνο. Το ίδιο το φυτό «παρασκευάζει» στο φυμάτιο, μια κόκκινη χρωστική, την ψυχανθαιμοσφαιρίνη (leghaemoglobin) η οποία – διαθέτοντας αίμη ως προσθετική ομάδα – δεσμεύει το οξυγόνο (όπως η αιμοσφαιρίνη του ζωικού αίματος δεσμεύει το οξυγόνο του αέρα στους πνεύμονες) και το διαθέτει στα σημεία όπου επιτελείται η αναπνοή. Δηλαδή η οξείδωση των σακκάρων της φωτοσύνθεσης, που δέχονται τα φυμάτια – όντας συνδεδεμένα με το αγωγό σύστημα του φυτού – προς απόκτηση ενέργειας, ώστε να συνεχίσουν απρόσκοπτα τη δουλειά τους, τη δέσμευση του ατμοσφαιρικού αζώτου και την παραγωγή αμμωνίας.

Όταν τα φυμάτια γίνονται γκριζωπά, από κόκκινα, σημαίνει μειωμένη ψυχανθαιμοσφαιρίνη και ασθενή λειτουργία των φυματίων.

Η αμμωνία που παράγουν τα βακτήρια με τον εξοπλισμό τους, την νιτρογενάση, συνδέεται με το γλουταμινικό οξύ – μεσολαβώντας του φυτικού ενζύμου γλουταμινική συνθετάση – δίνοντας γλουταμίνη, ένα αμινοξύ που λειτουργεί σαν εφεδρεία αμινομάζων για τη σύνθεση των αζωτούχων ενώσεων (αμινοξέα, πρωτεΐνες κ.λ.π.).

*ΓΕΩΠΟΝΟΙ

** ΤΟ ΠΑΡΟΝ ΚΕΙΜΕΝΟ ΕΙΝΑΙ ΠΡΟΔΗΜΟΣΙΕΥΣΗ ΑΠΟ ΤΟ ΒΙΒΛΙΟ: «ΓΕΩΠΟΝΕΙΟΝ- ΤΟ ΡΙΖΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ & ΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗ ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΘΡΕΠΤΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ», ΠΟΥ ΘΑ ΕΚΔΟΘΕΙ ΣΥΝΤΟΜΑ.



Λύση τα αζωτοβακτήρια

1. Πενήντα χρόνια πριν, στην εκπονή του 18ου αιώνα, ο παππούς του Καρόλου Δαρβίνου, Έρασμος Δαρβίνος, περισσότερο ποιητής και λιγότερο επιστήμονας, υποστήριξε στο βιβλίο του: «Η φιλοσοφία της γεωργίας και της κτηνοτροφίας» (1799), την πρωτοποριακή για την εποχή του άποψη ότι το αζώτο και ο φωσφόρος είναι απαραίτητα συστατικά των φυτών και συνεπώς το έδαφος πρέπει να εμπλουτίζεται με αυτά τα στοιχεία. Φυσικά ότι με χημικά λιπάσματα, αφού δεν υπήρχαν τότε, αλλά με κοπριά και οστεάλευρο.

2. Τα Nobel δεν δίνονται πάντα με πολιτικές σκοπιμότητες

3. Οι λεκτίνες είναι πρωτεΐνες εξειδικευμένες να αναγνωρίζουν και να συνδέονται επιλεκτικά (το όνομά τους προέρχεται από το λατινικό legere που σημαίνει επιλέγω) με άλλες πρωτεΐνες που φέρουν σάκχαρα, τις γλυκοπρωτεΐνες. Η διάδοσή τους στα φυτά αποδίδεται στο ότι τα προσπατεύουν από προσβολές μυκήτων και βακτηρίων, δεσμεύοντας επιλεκτικά γλυκοπρωτεΐνες των κυτταρικών μεμβρανών.

Λεκτίνες υπάρχουν και στις τροφές (κυρίως σε φιστίκια, όσπρια, δημητριακά, γάλα, αυγά κ.ά.).

Κάποιες δίαιτες έχουν στη βάση τους μια θεωρία σύμφωνα με την οποία οι λεκτίνες των τροφών αντιδρούν διαφορετικά σε άτομα με διαφορετικές ομάδες αίματος. Λεκτίνες υπάρχουν επίσης στην επιφάνεια των κυτταρικών μεμβρανών των βακτηρίων. Το μητρικό γάλα περιέχει κάποια σπάνια σάκχαρα όπου προσκολλώνται οι λεκτίνες των βακτηρίων αποτρέποντας έτσι τις μολύνσεις στα νεογνά. Από τα κακά που προκαλούν οι λεκτίνες, τα πιο γνω-

στά είναι οι πεπτικές διαταραχές (δυσπεψία) και τα αλλεργικά φαινόμενα. Άτομα με δυσανεξία σε κάποια λεκτίνη παρουσιάζουν αλλεργίες σε τροφές. Η γλουτένη των σιτηρών είναι μια σύνθετη πρωτεΐνη, μέρος της οποίας είναι λεκτίνη, από όπου προκαλείται και η γνωστή μας δυσανεξία στη γλουτένη.

4. Κόβει τους δεσμούς μεταξύ των δύο ατόμων που N₂ (N≡N) και ενώνει το κάθε άτομο με τρία άτομα υδρογόνου, δημιουργώντας δύο άτομα αμμωνίας (2 x NH₃).