

# Συμβιωτικοί μικροοργανισμοί στη ριζόσφαιρα των Φυτών

Στο πλαίσιο του προγράμματος:  
**«Ευφυής Γεωργία και Κυκλική Βιοοικονομία – SmartBIC»**



Πακέτο Εργασίας 3: Ανάπτυξη ολοκληρωμένων παρεμβάσεων κυκλικής οικονομίας και αξιοποίησης των υποπροϊόντων του γεωργικού και αγροβιομηχανικού τομέα

## Επιμορφωτές:

Δρ. Ιορδάνης Χατζηπαυλίδης<sup>1</sup>, Δρ. Κωνσταντίνος Οιχαλιώτης<sup>2</sup>, Δρ. Ηώ Κεφαλογιάννη<sup>1</sup>,  
Δρ. Βασιλική Τσάγκου<sup>1</sup>, Δρ. Μυρτώ Τσικνιά<sup>2</sup>, Δημήτρης Τσιγωνάκης<sup>1</sup>, Γιάννης Ζαφειρίου<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Εργαστήριο Γενικής & Γεωργικής Μικροβιολογίας, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών

<sup>2</sup>Εργαστήριο Εδαφολογίας, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

# Αλληλεπιδράσεις φυτών-μικροοργανισμών \*

Πολλές ομάδες μικροοργανισμών του εδάφους αλληλεπιδρούν με τα φυτά.

Οι ομάδες αυτές είναι συχνά δύσκολο να κατηγοριοποιηθούν ταξινομικά

Αντίθετα η λειτουργική τους κατηγοριοποίηση τους είναι ιδιαίτερα χρήσιμη

*Η αλληλεπίδραση αυτή πραγματοποιείται στην «ριζόσφαιρα»*

\* Η παρουσίαση αυτή εστιάζει στους εδαφικούς μικροοργανισμούς που συμβιώνουν με τα φυτά (συμβιωτικοί αζωτοδεσμευτικοί μικροοργανισμοί και μυκορριζικοί μύκητες). Για μια αναλυτική παρουσίαση βλ. «Συμβιωτικοί μικροοργανισμοί στη ριζόσφαιρα των Φυτών\_Σημειώσεις\_SmartBIC 2022»

*Κυριότερες λειτουργικές ομάδες μικροοργανισμών που αλληλεπιδρούν με τα φυτά:*

*Συμβιωτικοί:*

Συμβιωτικά αζωτοδεσμευτικά βακτήρια

Μυκκόριζες

Ενδοφυτικά βακτήρια

*Συνεργιστικοί:*

Συνεργιστικά αζωτοδεσμευτικά βακτήρια

Μικροοργανισμοί ριζόσφαιρας

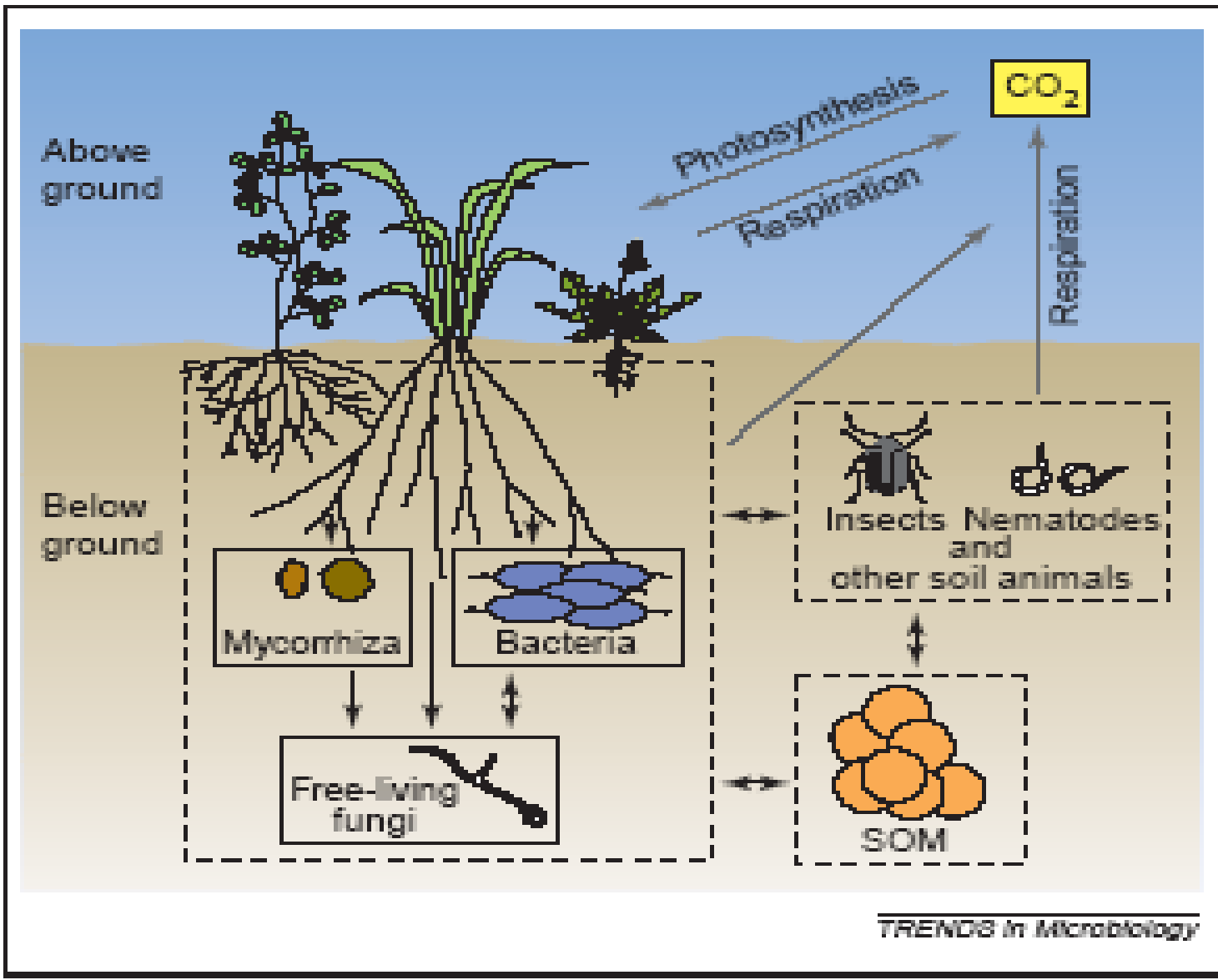
Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR)

*Φυτοπροστατευτικοί:*

Φυτοπροστατευτικοί μύκητες και βακτήρια

*Παθογόνοι:*

Παθογόνοι μύκητες και βακτήρια



# Τύποι αλληλεπιδράσεων οργανισμών

Αμοιβαιότητα – αμοιβαία συνεργασία- συμβίωση  
(mutualism)

Κοινοβίωση (Commensalism)

Παραβίωση (Neutralism)

Ανταγωνισμός (Antagonism)

Παρασιτισμός (Parasitism)

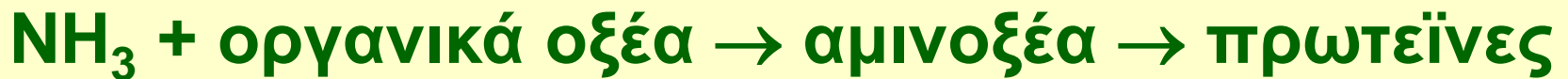
# Θετικές Συμβιωτικές Αλληλεπιδράσεις:

## 1. Αζωτοδεσμευτικοί μικροοργανισμοί:

Αρκετοί μικροοργανισμοί του εδάφους έχουν την ικανότητα να δεσμεύουν ατμοσφαιρικό άζωτο (N<sub>2</sub>) και να το μετατρέπουν σε αμμωνία:

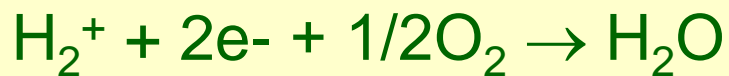
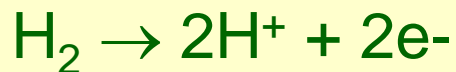


Η αμμωνία μετατρέπεται άμεσα στα κύτταρα των μικροβιακών και φυτικών ιστών σε αμινοξέα και πρωτεΐνες:



Η αντίστοιχη **μη-βιολογική** διαδικασία αζωτοδέσμευσης είναι η ενεργοβόρα χημική διαδικασία παραγωγής αμμωνίας από  $N_2$  (αντίδραση Haber-Bosch) και απαιτεί **1200 °C και πίεση 500 atm!**

Μερικοί από τους αζωτοδεσμευτικούς οργανισμούς, διαθέτουν ένζυμα υδρογονάσης που μπορούν να οξειδώσουν το υδρογόνο που εκλύεται από την αντίδραση της αζωτοδέσμευσης με τη βοήθεια κάποιου αποδέκτη ηλεκτρονίων (συνήθως του οξυγόνου):



Η αντίδραση αυτή επαναδεσμεύει ένα μέρος της ενέργειας που χάνεται επαναδημιουργώντας ATP.

Το ένζυμο που είναι υπεύθυνο για την βιοχημική αντίδραση της αζωτοδέσμευσης (1) είναι η **νιτρογενάση**.

Η νιτρογενάση περιέχει **σίδηρο** και **μολυβδαίνιο** (ή εναλλακτικά βανάδιο) και απαιτεί την παρουσία κατιόντων **Mg<sup>2+</sup>** για να λειτουργήσει.

Η παρουσία οξυγόνου εγγύς της νιτρογενάσης θα κατέστρεφε την αναγωγική διαδικασία και την ίδια την νιτρογενάση.

Από την άλλη πλευρά όμως, τόσο οι ρίζες των φυτών όσο και οι περισσότεροι αζωτοδεσμευτικοί μικροοργανισμοί χρειάζονται οξυγόνο για τις υπόλοιπες λειτουργίες τους

Το ρόλο της μεταφοράς οξυγόνου στα βακτηριοειδη του φυματίου και της παράλληλης διατήρησης αναεροβικών συνθηκών για την νιτρογενάση, αναλαμβάνει μια σιδηροπρωτεΐνη, η **ψυχαιμογλοβίνη (leghemoglobin)**



Το πρώτο συστατικό μέρος της νιτρογενάσης είναι τετραμερές και αποτελείται από μια πρωτεΐνη με δύο άτομα Mo και 22 άτομα Fe.

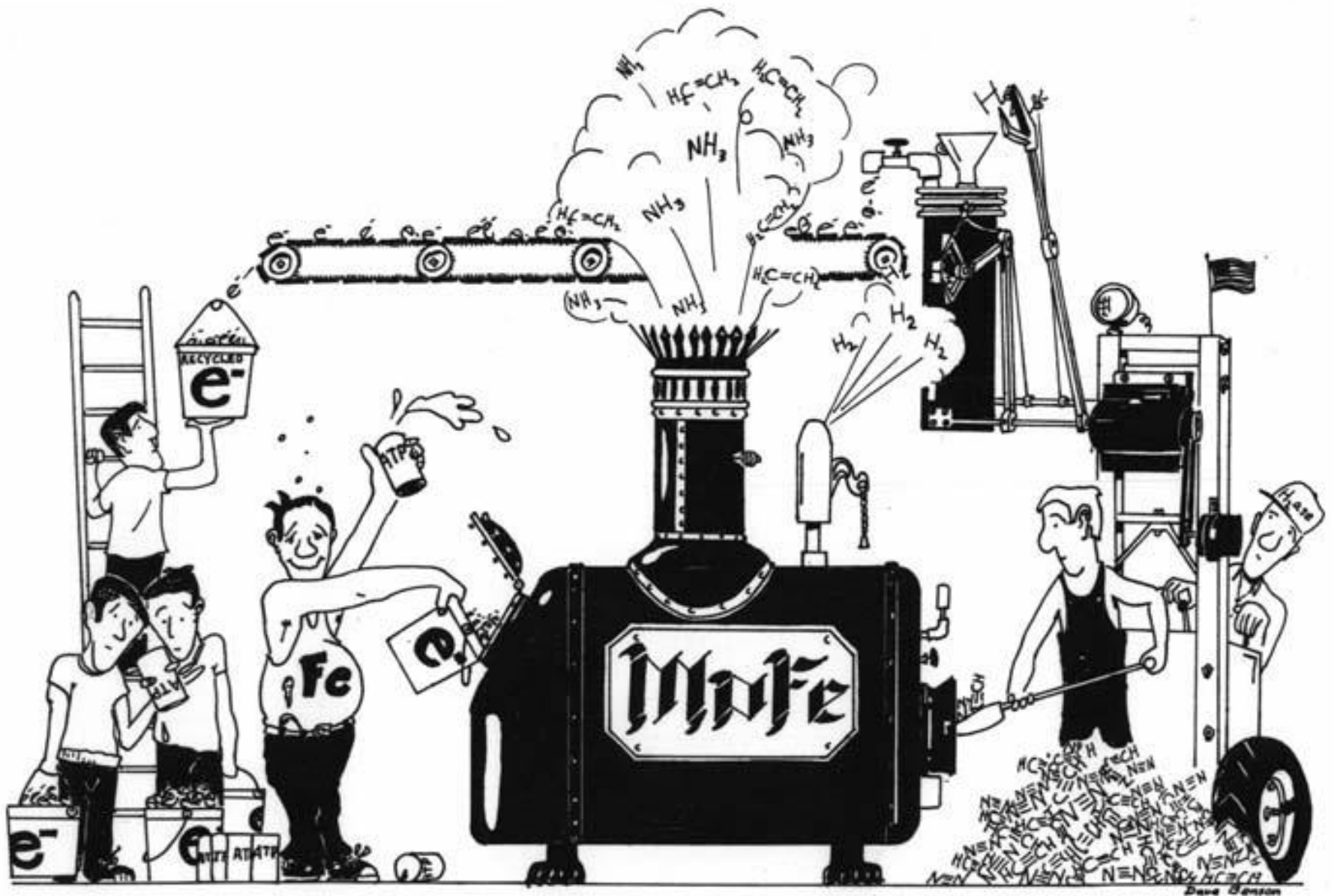
Αποτελεί τη θέση όπου γίνεται η αναγωγή του  $N_2$  και ονομάζεται **MoFe-πρωτεΐνη ή δινιτρογενάση**.

Το δεύτερο μέρος είναι διμερές, αποτελείται από μια πρωτεΐνη με τεσσера άτομα σιδήρου και τέσσερα άτομα θείου.

Παρέχει (μέσω αναγωγής υποστωμάτων σιδήρου) τα ηλεκτρόνια που απαιτούνται για την αναγωγή του  $N_2$  που γίνεται στη δινιτρογενάση.

Γι' αυτό ονομάζεται **αναγωγή της δινιτρογενάσης**, ή απλά **Fe-πρωτεΐνη**.

Αυτό είναι και το ενεργοβόρο στάδιο όπου το ATP μετατρέπεται σε ADP.



The Nitrogenase Machine

# Κατηγορίες αζωτοδεσμευτικών οργανισμών

## Συμβιωτικοί και ελεύθεροι

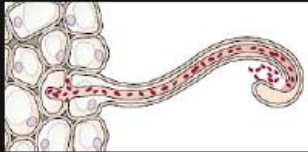
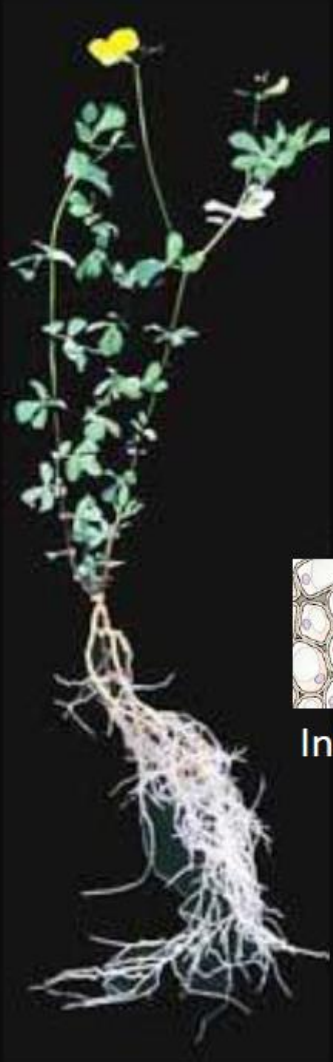
### **Συμβιωτικοί αζωτοδεσμευτικοί οργανισμοί**

(1) Συμβιωτικοί με ψυχανθή (*Rhizobium*, *Azorhizobium*, *Bradyrhizobium*). Βακτήρια, (Rhizobia).

- Σχηματίζουν με τις ρίζες του φυτού ξενιστή, **τα φυμάτια**.
- Εκεί μέσα πολλαπλασιάζονται και με την ωρίμανση του φυματίου μετασχηματίζονται μορφολογικά στα «βακτηροειδή».
- Η αζωτοδέσμευση πραγματοποιείται μέσα στο φυμάτιο
- Η παροχή άνθρακα είναι η σπουδαιότερη συμβολή του φυτού προς τα βακτήρια.

Rhizo + bios

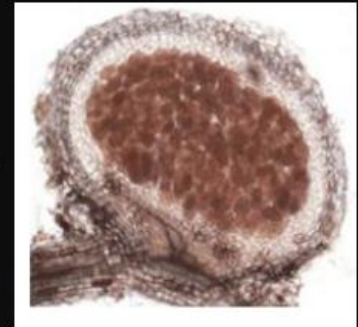
Rhizobium



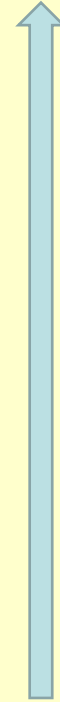
Infection thread



N-fixing nodules



**Οργανικός C**



**NH<sub>4</sub> & οργανικές  
αζωτούχες  
ενώσεις**

**Σηματοδότηση  
(signaling)  
από τη ρίζα  
(αίτημα  
εναρξης  
συμβίωσης)**



**Σήμα  
«αδειοδότησης»  
έναρξης  
αζωτοδέσμευσης  
από το υπέργειο  
μέρος  
  
(ελεγχόμενο από  
την επάρκεια N  
στη ρίζα)**

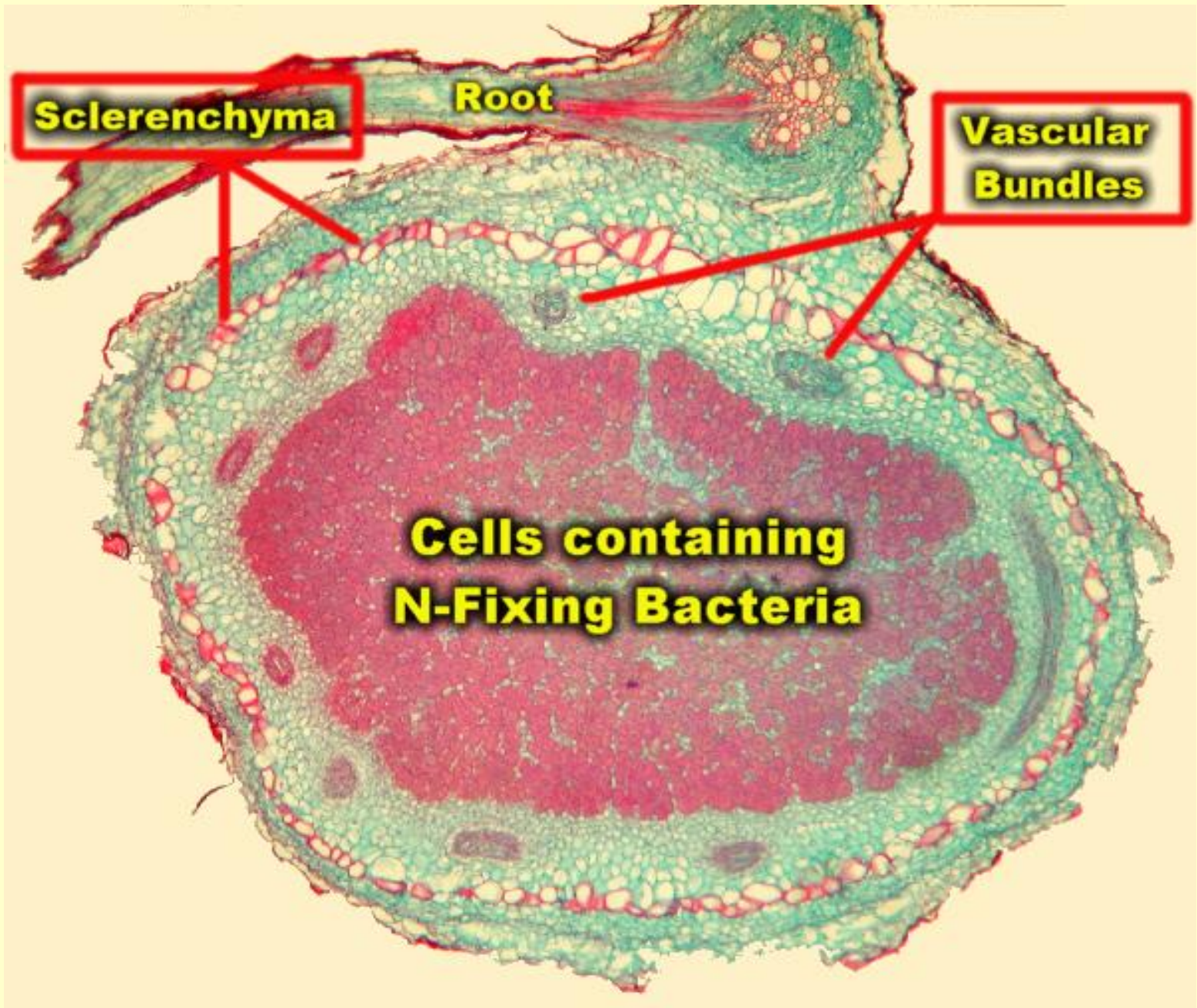






Jim Deacon University of Edinburgh

Ρίζα τριφυλλιού (*Trifolium* sp.) που φέρει φυμάτια με συμβιωτικά αζωτοδεσμευτικά βακτήρια του γένους *Rhizobium*.  
Τα δύο φυμάτια δεξιά έχουν υποστεί μερική σύνθλιψη και το ροζ χρώμα εμφανίζεται λόγω της παρουσίας ψυχαιμογλοβίνης



**Sclerenchyma**

**Root**

**Vascular Bundles**

**Cells containing  
N-Fixing Bacteria**



### Συμβιωτικοί με μή-ψυχανθή φυτά (Frankia).

Είναι ακτινομήκητες του γένους Frankia που συμβιώνουν με αρκετά αγγειόσπερμα, κυρίως δασικά φυτά. όπως Alnus, Casuarina και Eleagnus.

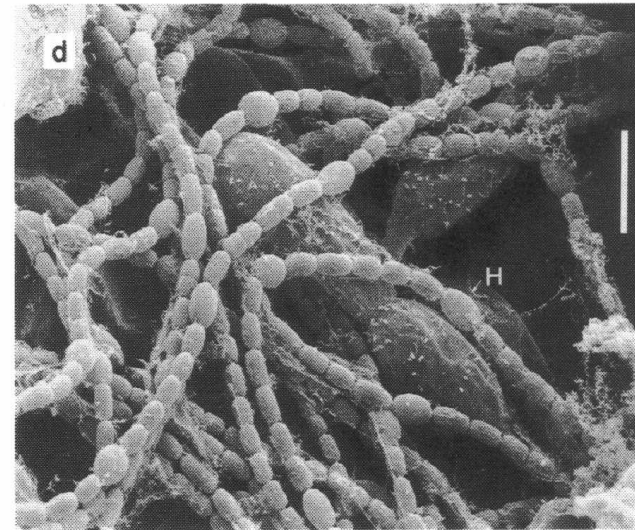
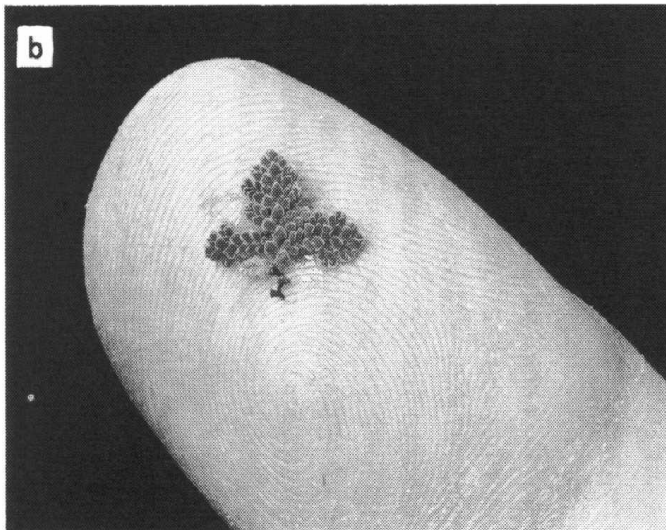
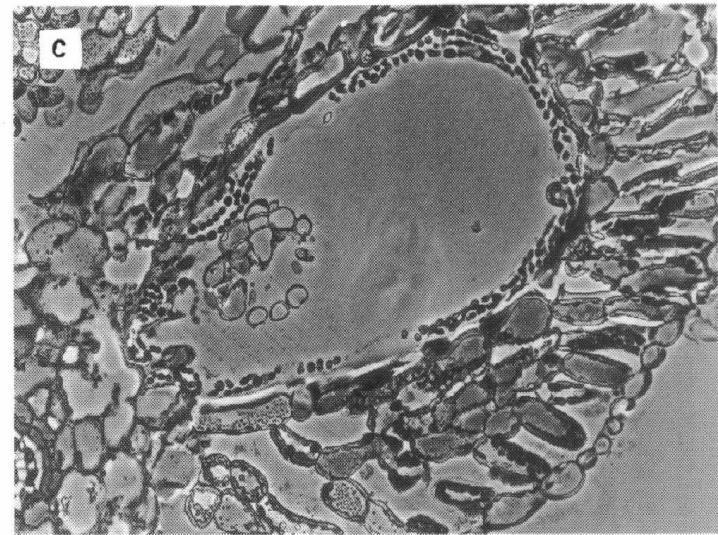
### Συνεργιστικοί (associative) με φυτά.

Προκαλούν μορφολογικές διαφοροποιήσεις των φυτικών ιστών, αλλά δεν σχηματίζουν τυπικά, ενεργά φυμάτια. (π.χ. τα κυανοβακτήρια του γένους Anabena που σχηματίζουν ετεροκύστες και αζωτοδεσμεύουν σε κοιλότητες των φύλλων μιας μικρής υδροχαρούς φτέρης του γένους Azolla).



Συμβιωτική αζωτοδέσμευση πραγματοποιείται και από **Ακτινομύκητες** που σχηματίζουν φυμάτια σε ρίζες και υπέργειους ιστούς συγκεκριμένων δένδρων (π.χ. Betulaceae) και ξηρικών θαμνων (Ceanothus)





**Figure 2.8** The *Azolla-Anabaena* symbiosis. a) A dense mat of *Azolla pinnata* fronds in Rwanda. b) A single *Azolla pinnata* frond. c) Transverse section through an *Azolla pinnata* frond showing symbiotic *Anabaena* in leaf cavity. d) Scanning electron micrograph of *Anabaena azollae* filaments with heterocysts in *Azolla* leaf cavity (photographs b,c,d J.H. Becking).





Η μικροσκοπική φτέρη *Azolla pinnata*

## Μη μορφολογικά σχετιζόμενοι.

Ανήκουν και επηρεάζονται από το περιβάλλον της ριζόσφαιρας ή της φυλλόσφαιρας του φυτού, αλλά δεν προκαλούν μορφολογική διαφοροποίηση των ιστών του.

## Ελεύθεροι αζωτοδεσμευτικοί οργανισμοί

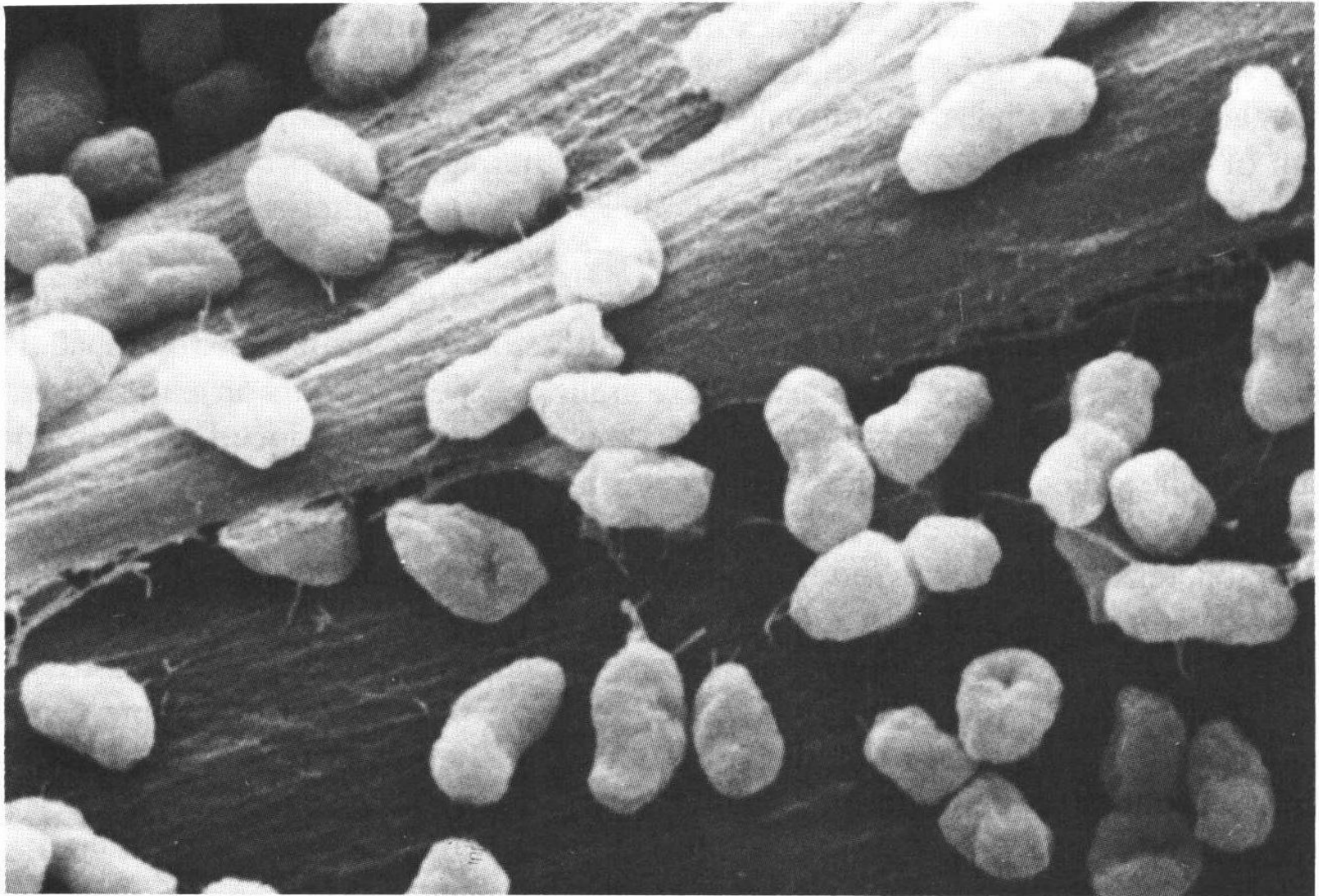
Ζουν και αζωτοδεσμεύουν ελεύθερα σε έδαφος και νερό χωρίς την ανάγκη άμεσων ή έμμεσων εξαρτήσεων από φυτό-συμβιωτή.

Διαφορετικά ταξινομικά κυανοβακτήρια και βακτήρια (π.χ. βακτήρια *Azotobacter*, και *Azospirillum*).

Εκτός από τα φωτοτροφικά αζωτοδεσμευτικά βακτήρια και τα κυανοβακτήρια (που επίσης αντλούν ενέργεια από το φως), χρειάζονται μια ευαποδομήσιμη πηγή άνθρακα για να καλύψουν τις ενεργειακές τους ανάγκες (ιδιαίτερα αυξημένες λόγω της αζωτοδεσμευτικής διαδικασίας)

Αυτό δεν είναι εύκολο να βρεθεί στις ανταγωνιστικές συνθήκες του εδαφικού περιβάλλοντος.





**FIGURE 10.2** Scanning electron micrographs of *Azospirillum brasilense* adsorbed to root hairs of maize. (From Patriquin, 1982.)

# Σημασία και περιορισμοί της βιολογικής αζωτοδέσμευσης

Το άζωτο που δεσμεύεται βιολογικά σε όλο τον πλανήτη με τη διαδικασία της αζωτοδέσμευσης εκτιμάται πως φτάνει τους **175 εκατομμυρίων τόνων** ετησίως.

Τα **ψυχανθή** που αζωτοδεσμεύουν αποτελεσματικά μπορούν να δεσμεύσουν **3 – 10 kg N ανά στρέμμα**.

Η αμμωνία δρα επισχετικά στην παραγωγή νέας νιτρογενάσης, ενώ τα νιτρικά παρεμποδίζουν τόσο το σχηματισμό φυματίων από τα συμβιωτικά αζωτοδεσμευτικά βακτήρια, όσο και την ίδια τη διαδικασία αζωτοδέσμευσης στα ήδη σχηματισμένα φυμάτια.

Η **μή συμβιωτική (ελεύθερη)** αζωτοδέσμευση δεσμεύει σημαντικές ποσότητες αζώτου στα φυσικά οικοσυστήματα. Όμως η αποτελεσματικότητά της στα γεωργικά οικοσυστήματα είναι μάλλον οριακή και αμφισβητείται από αρκετούς ερευνητές.

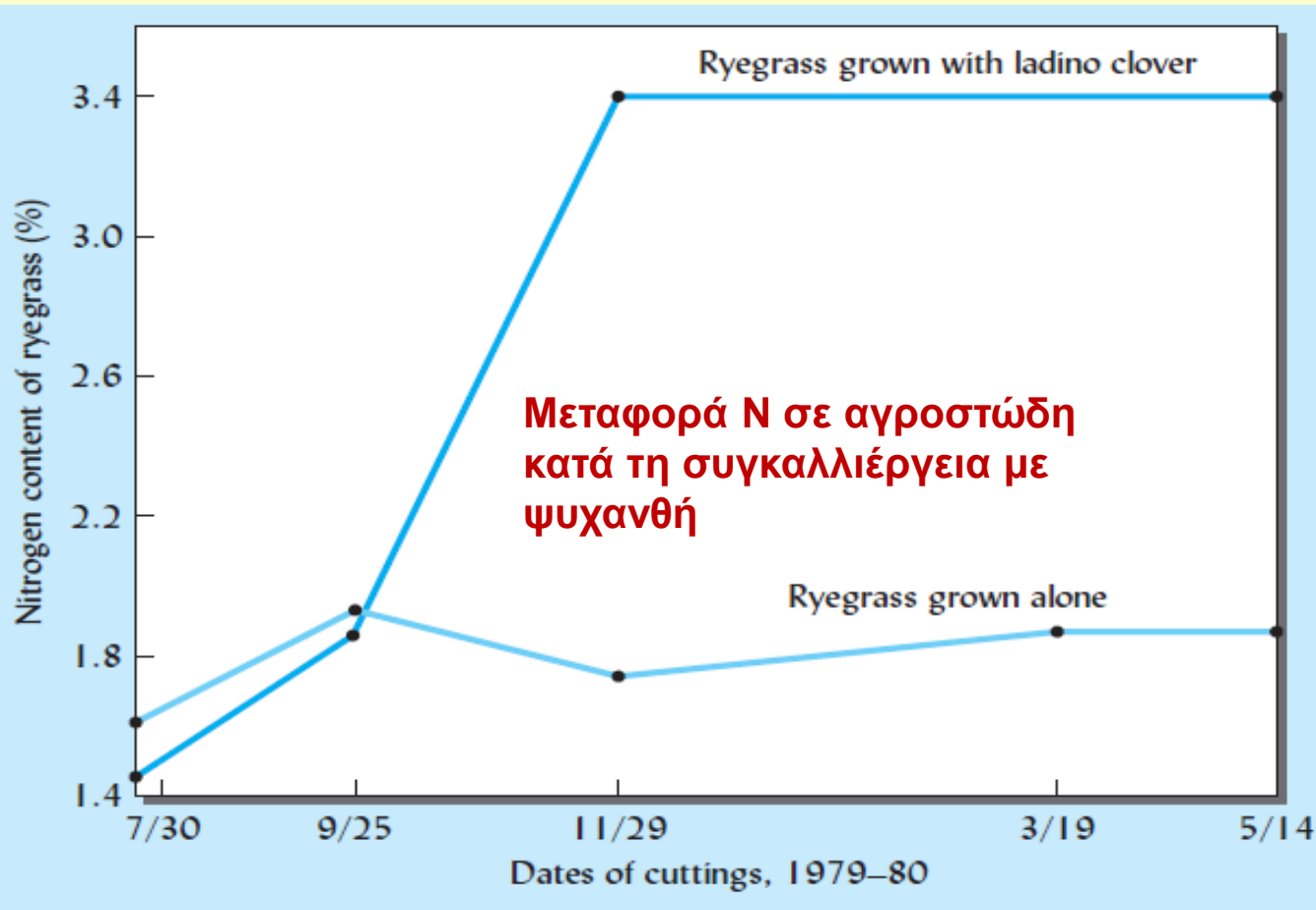


# Τυπικά Επίπεδα αζωτοδέσμευσης διαφόρων συστημάτων \*

Καλλιέργεια ή φυτό	Μικροοργανισμός	Σχετικά επίπεδα αζωτοδέσμευσης, Kg N/ha/yr
<b>Συμβίωση</b>		
<b>Ψυχανθή (με φυμάτια)</b>		
Λευκένινη ( <i>Leucaena leucocephala</i> )	Βακτήρια ( <i>Rhizobium</i> )	100-500
Ψευδοακακία ( <i>Robina</i> spp.)		75-200
Μηδική ( <i>Medicago sativa</i> )		150-250
Τριφύλλι ( <i>Trifolium pratense</i> L.)		100-150
Λούπινο ( <i>Lupinus</i> )		50-100
Βίκος ( <i>Vicia vileosa</i> )		50-150
Φασόλια ( <i>Phaseolus vulgaris</i> )		30-50
Φασόλια μαυρομάτικα ( <i>Vigna unguiculata</i> )	Βακτήρια ( <i>Bradyrhizobium</i> )	50-100
Αραχίδα ( <i>Arachis</i> )		40-80
Σόγια ( <i>Glycine max</i> L.)		50-150
<i>Cajanus</i>		150-280
<i>Pueraria</i>		100-140
<b>Μη-ψυχανθή (με φυμάτια)</b>		
Κλήθρο ( <i>Alnus</i> )	Ακτινοβακτήρια ( <i>Frankia</i> )	50-150
Είδη του γένους <i>Gunnera</i>	Κυανοβακτήρια <sup>a</sup> ( <i>Nostoc</i> )	10-20
<b>Μη-ψυχανθή (χωρίς φυμάτια)</b>		
<i>Digitaria decumbens</i>	Βακτήρια ( <i>Azospirillum</i> )	5-30
Πάσπαλο ( <i>Paspalum notatum</i> )	Βακτήρια ( <i>Azobacter</i> )	5-30
<i>Azolla</i>	Κυανοβακτήρια <sup>a</sup> ( <i>Anabena</i> )	150-300
<b>Μη συμβιωτικά</b>	Βακτήρια ( <i>Azobacter, Clostridium</i> )	5-20
	Κυανοβακτήρια <sup>a</sup> (διάφορα είδη)	10-50

<sup>a</sup> Ορισμένες φορές αναφέρονται και ως κυανο-πράσινα φύκη.

\* Από Brady and Weil "Η φύση και οι ιδιότητες των εδαφών" 14<sup>η</sup> έκδοση (Εκδ. Εμβρυο 2011)



Περιεκτικότητα lolium (αγροστώδους βοσκής) σε άζωτο σε πέντε διαφορετικές κοπές όταν αυτό αναπτύχθηκε σε μονοκαλλιέργεια ή σε συγκαλλιέργεια με έρπον τριφύλλι. Το άζωτο που δεσμεύτηκε από το τριφύλλι δεν ήταν διαθέσιμο στο γρασίδι τις πρώτες δύο κοπές και η περιεκτικότητά του ήταν μικρή. Στις επόμενες κοπές φαίνεται ότι το άζωτο είναι διαθέσιμο και προσλήφθηκε από το lolium αυξάνοντας την περιεκτικότητά του σε άζωτο. Αυτό πιθανότατα να οφείλεται στην ανοργανοποίηση των νεκρών ιστών του ριζικού συστήματος του τριφυλλίου. [Από Broadbent et al. (1982)]

## 2. ΜΥΚΟΡΡΙΖΕΣ

Οι μυκορριζικοί μύκητες (MM) έχουν ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο στην απορρόφηση φωσφόρου από τα φυτά, αλλά πιθανά και στην ανοργανοποίηση οργανικών μορφών του και στην διαλυτοποίηση ανόργανων μορφών του στο έδαφος.

Οι μυκορριζικοί μύκητες (MM) αποικούν με διάφορους τρόπους την εξωτερική επιφάνεια της ρίζας και το χώρο μεταξύ επιδερμίδας και ενδοδερμίδας.

Παρουσιάζουν τεράστια εξελικτική ιστορία και θεωρούνται πιθανοί εξελικτικοί πρόδρομοι των σημερινών ριζών των φυτών

Περιλαμβάνουν πολλά είδη, που ανήκουν στους ασκομήκυτες, τους βασιδιομήκητες ή τους ζυγομήκυτες.

Η συμβιωτική σχέση του φυτού με τον μυκορριζικό μύκητα (MM) ονομάζεται **Μυκόρριζα**

Η βασική συμβιωτική σχέση των **MM** με τα **φυτά** είναι:

*Οργανικός-C:* από **Φυτό** → προς **MM**

*P, Zn, Cu:* από **MM** → προς **Φυτό**

*η μυκορριζική κατάσταση αποτελεί το κανόνα στα φυτά και όχι την εξαίρεση!*

## Βασικά οφέλη για το σύστημα φυτό-έδαφος:

Αποτελεσματικότερη απορρόφηση και ενδοφυτική μεταφορά θρεπτικών στοιχείων (κυρίως P, Zn, Cu, και δευτερευόντως Ca, Mg, Mn, Fe)

Αντοχή φυτών σε χαμηλά υδατικά δυναμικά

Φυτοπροστασία (από παθογόνα εδάφους και πιθανά νηματώδεις)

Αποικισμός και εξάπλωση φυτών σε οριακά εδαφικά οικοσυστήματα

Σταθεροποίηση συσσωματωμάτων εδάφους

Έμμεση υποβοήθηση αζωτοδέσμευσης (μέσω της βελτιωμένης απορρόφησης P)

Παροχή φυτοορμονών (;)

# Τύποι μυκορριζικών μηκύτων

# 1. Δενδρόμορφοι Ενδομυκορριζικοί Μύκητες (arbuscular mycorrhizal fungi-AMF)

ή κυστοφόρες-δενδρόμορφες μυκόρριζες  
(vesicular-arbuscular mycorrhizae- VAM)

Φύλλο: *Glomeromycota*

Τάξη: *Glomerales*

Οικογένεια: *Glomaceae*

Γένος: *Glomus, Sclerocystis*

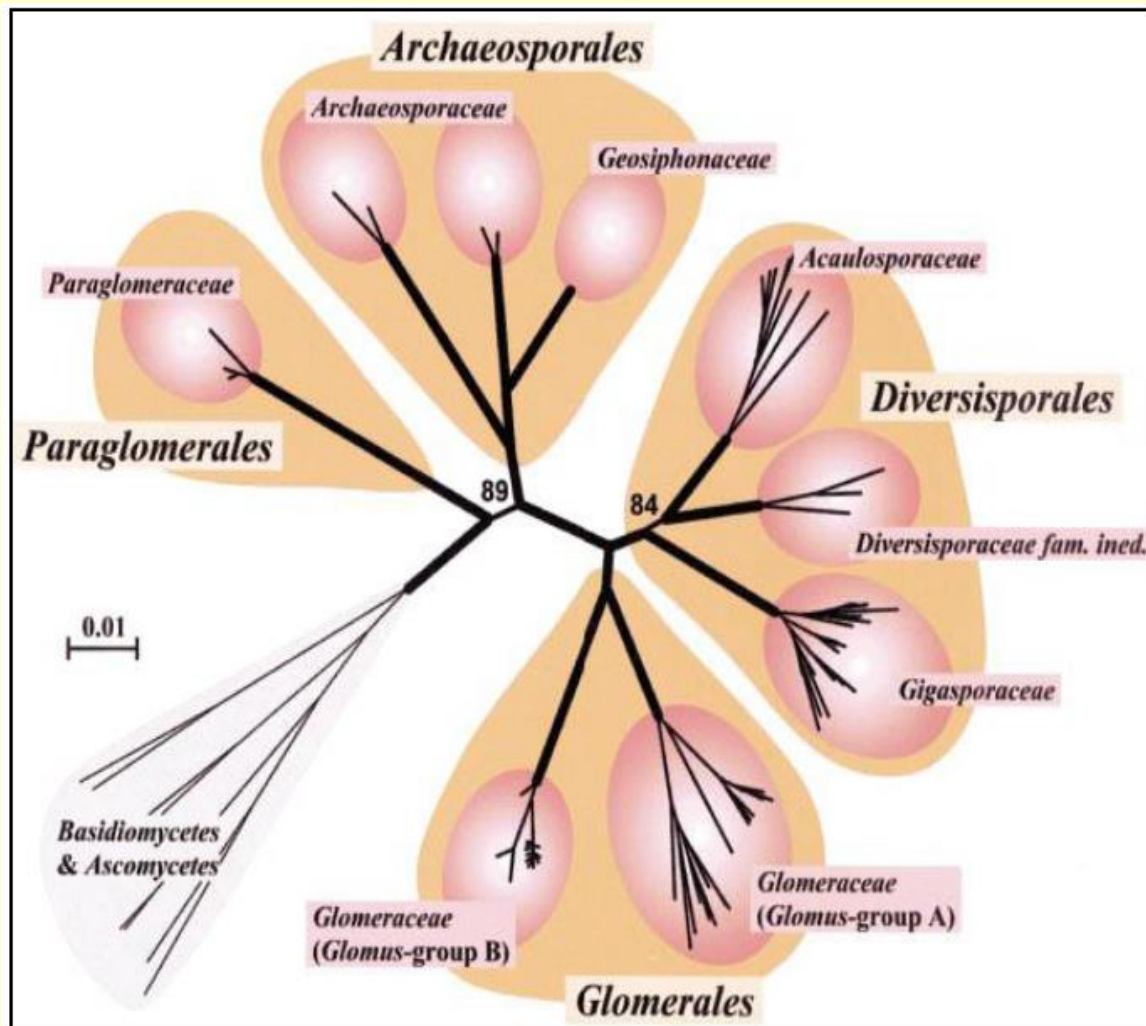
Οικογένεια: *Acaulosporaceae*

Γένος: *Acaulospora, Entrophospora*

Οικογένεια: *Gigasporaceae*

Γένος: *Gigaspora, Scutellospora*

Πλέον στο φύλλο  
*Glomeromycota*  
περιέχονται και τρεις  
ακόμη τάξεις  
*Paraglomerales,*  
*Archaeosporales* και  
*Diversisporales.*  
Συνολικά στο φύλλο  
*Glomeromycota*  
περιέχονται 4 Τάξεις,  
10 Οικογένειες, 14  
γένη και 225 είδη.



Φυλλογενετική ταξινόμηση των δενδροειδών μυκορριζικών μυκήτων όπως παρουσιάζεται από τους Schussler et al (2001) και η οποία βασίζεται σε ανάλυση της αλληλουχίας του 18S rRNA γονιδίου.  
 \*Με την βοήθεια μοριακών δεικτών η ταξινόμηση αυτή βρίσκεται υπο διαρκή αναθεώρηση / βελτίωση.





**Acaulospora denticulata**



**Scutelospora erythropha**

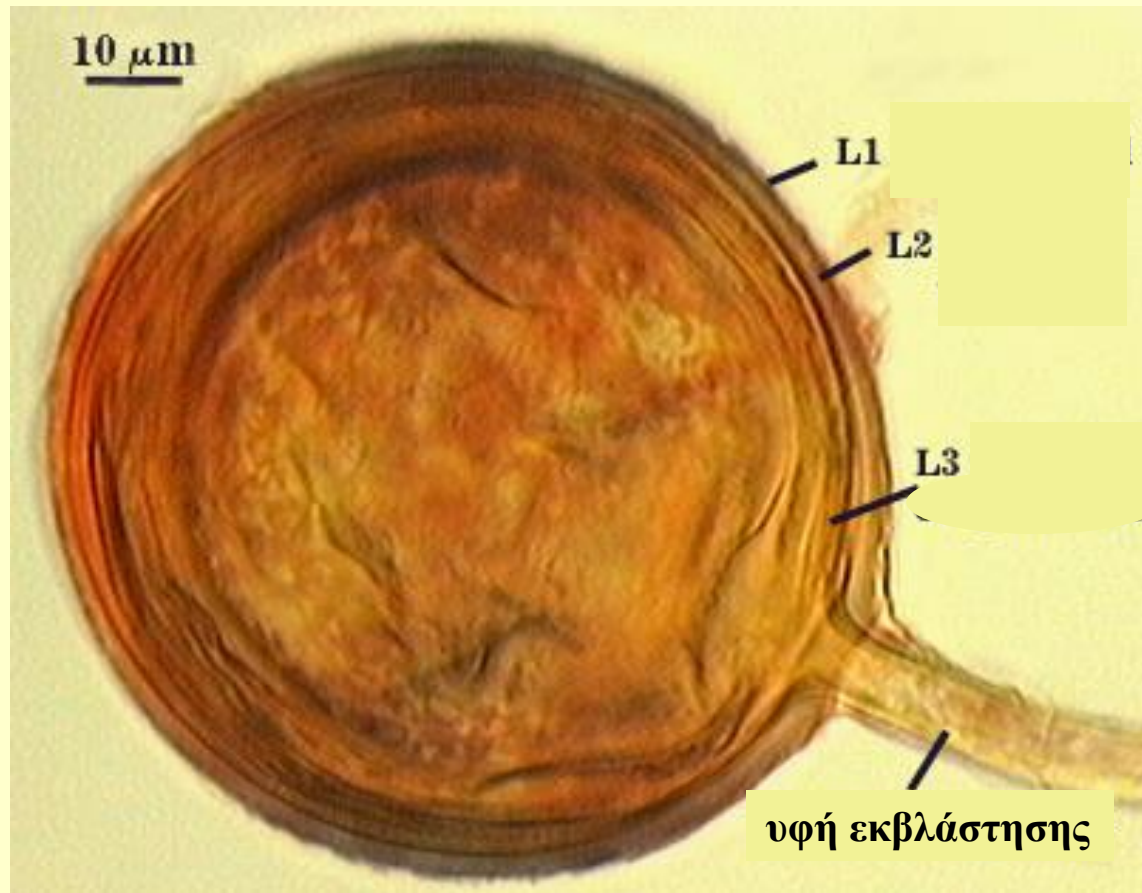


**Glomus tortuosum**

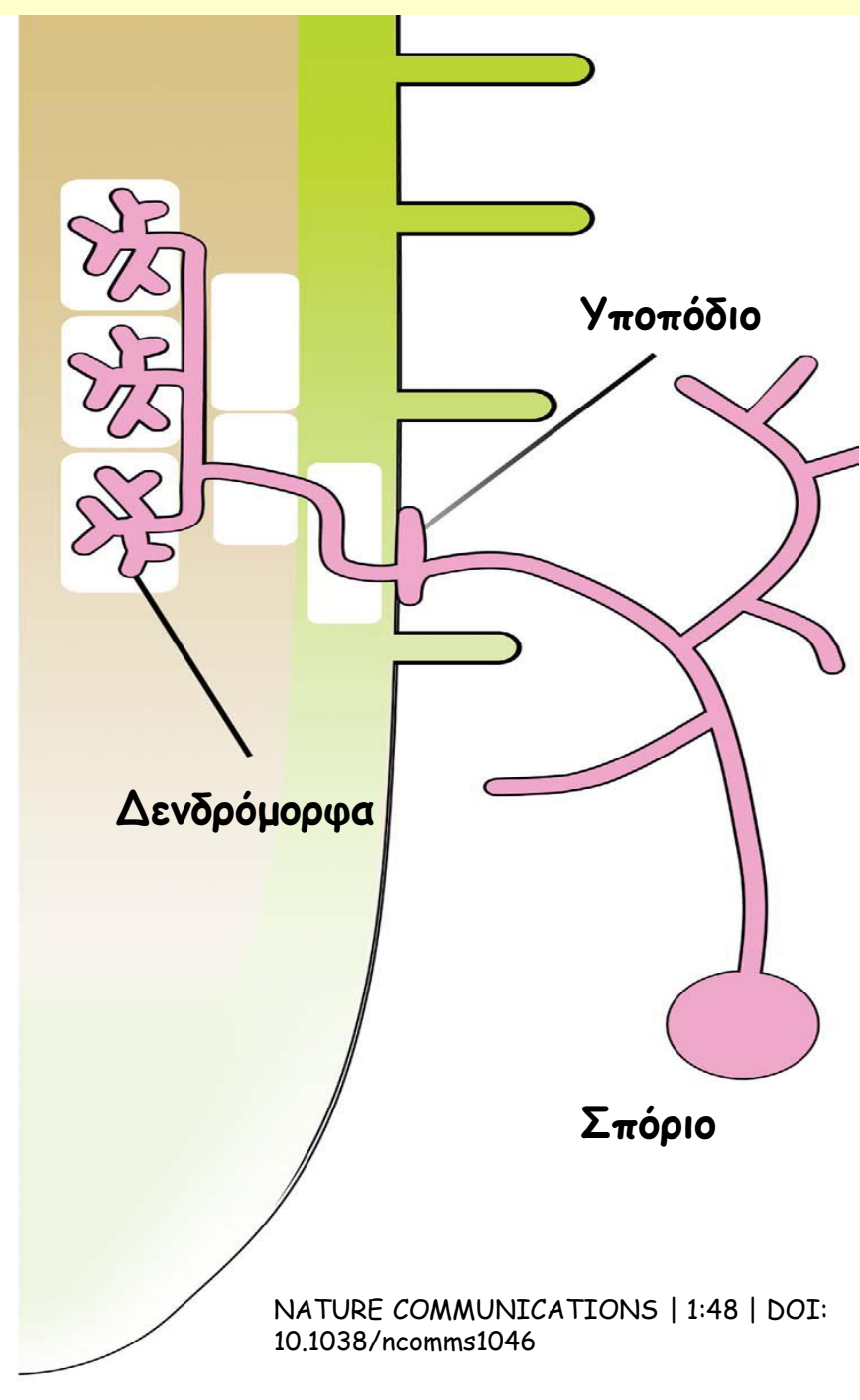
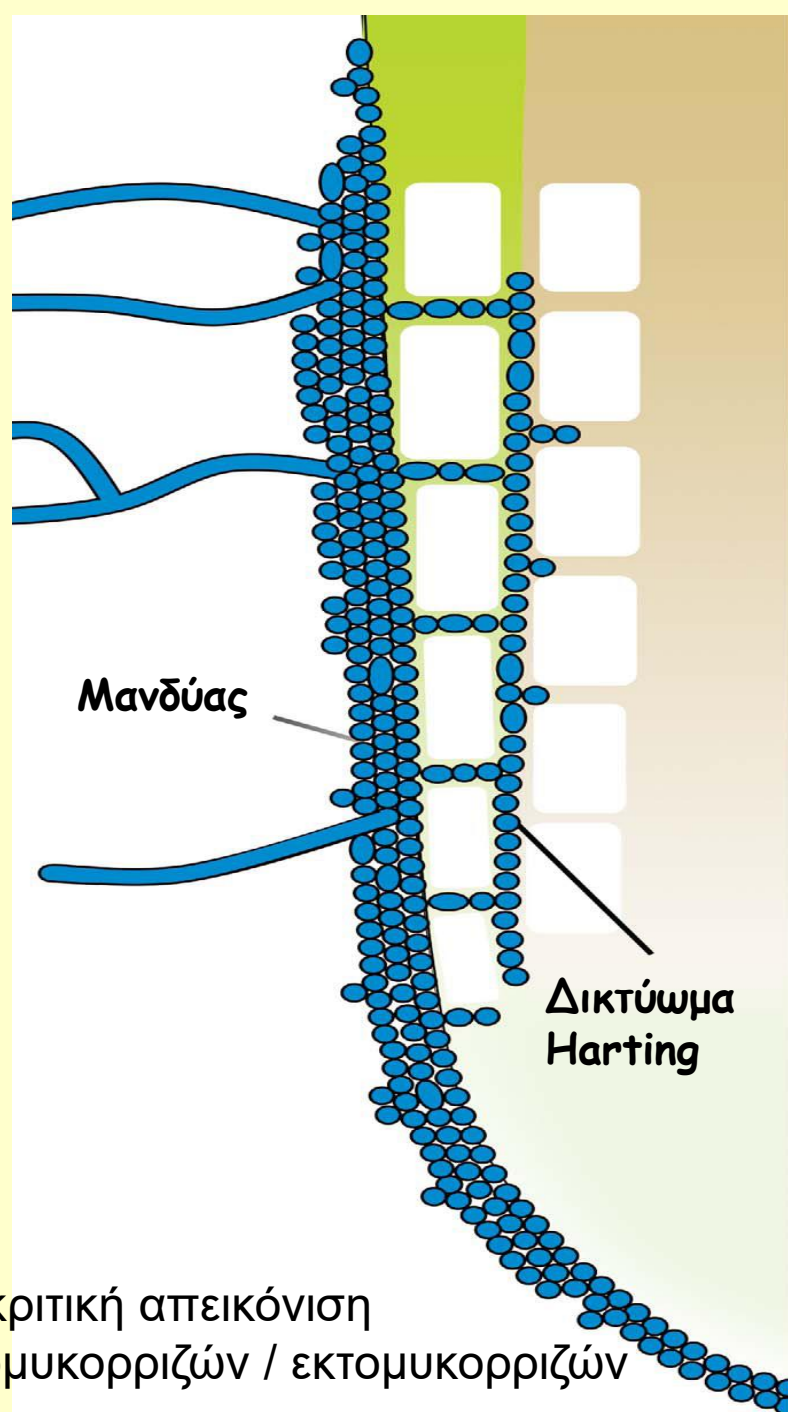


**Glomus intraradices**

Σπόριο *G. intraradices* με υφή εκβλάστησης  
(subtending hyphae)

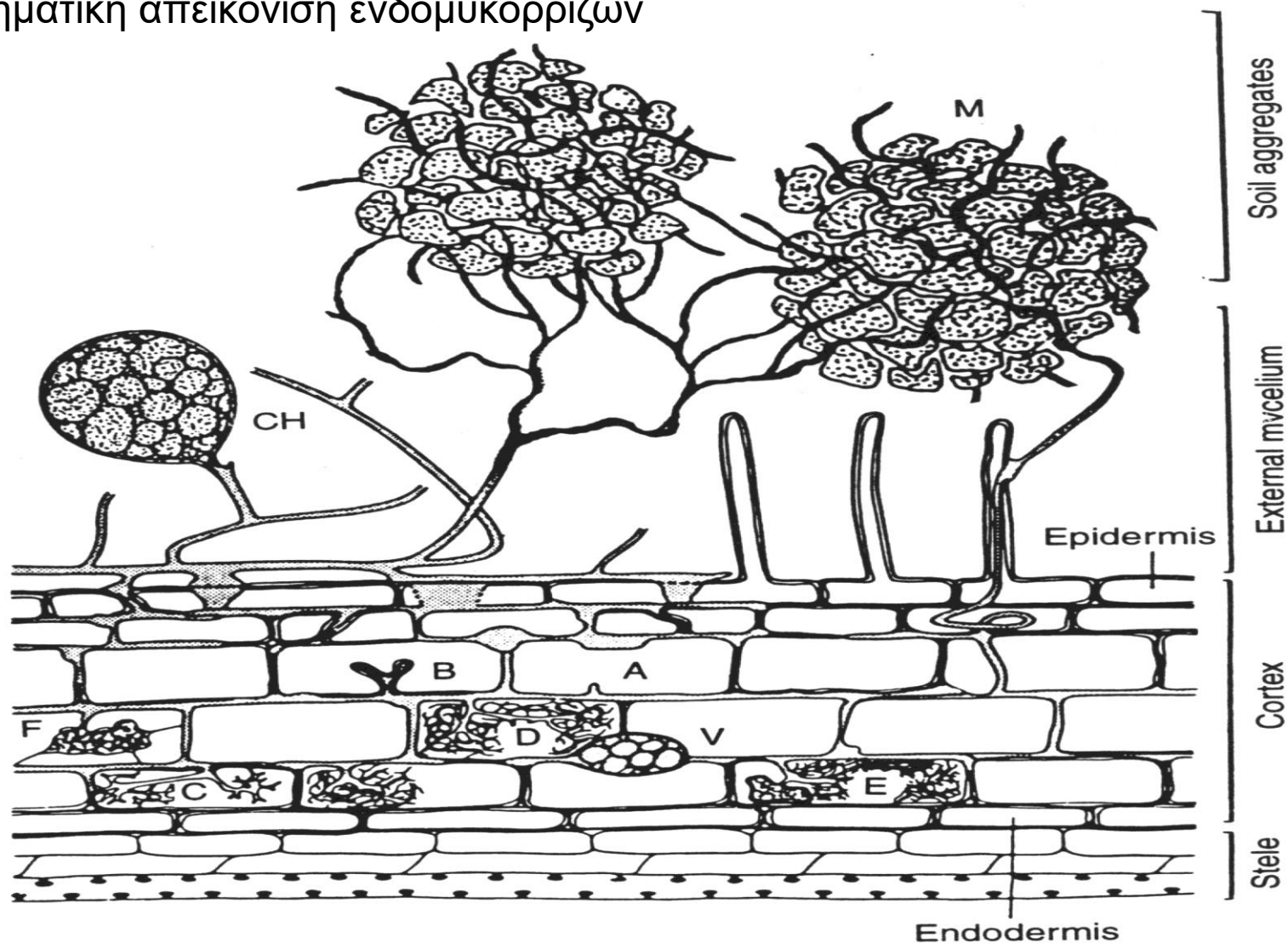




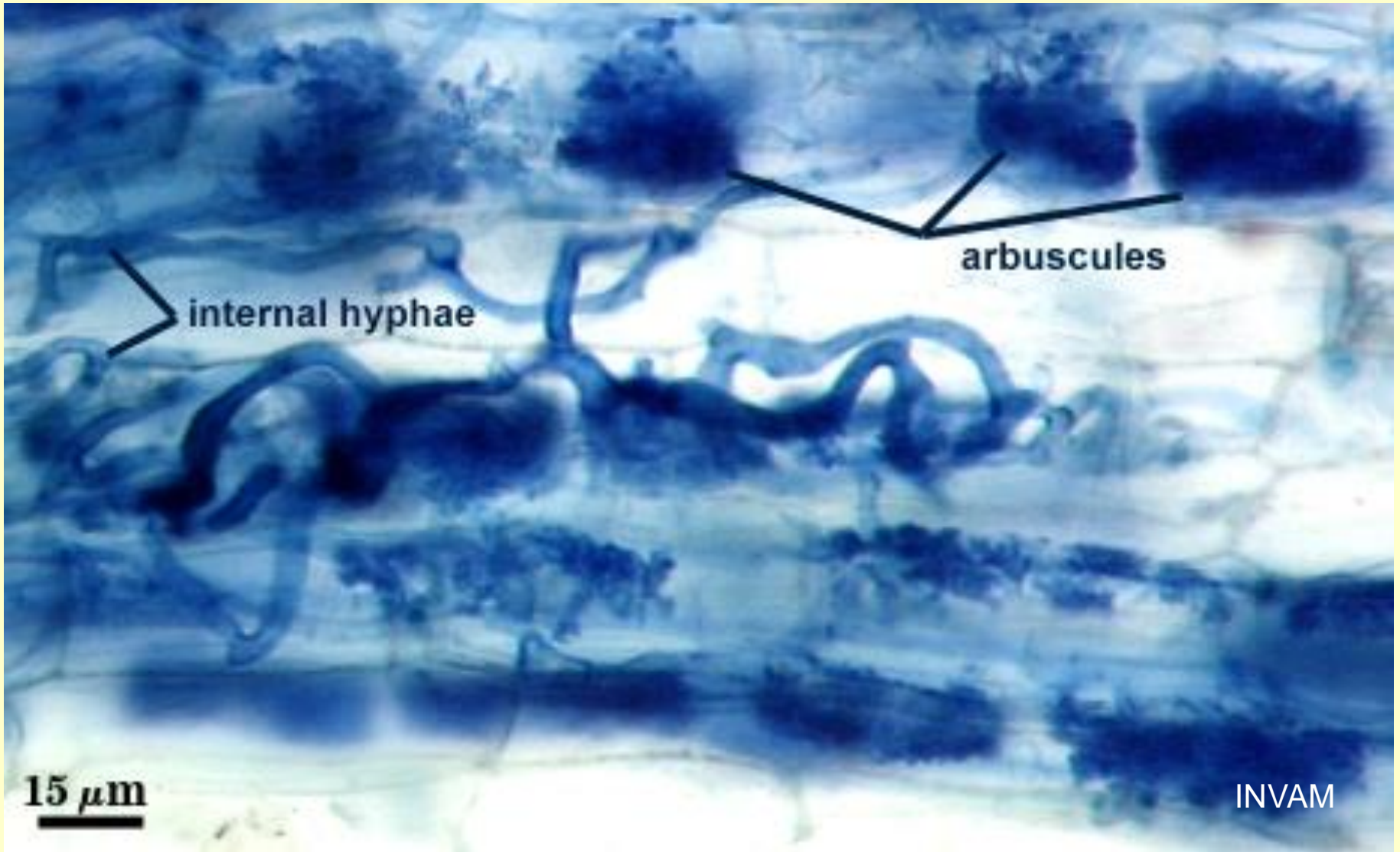


Συγκριτική απεικόνιση  
ενδομυκορριζών / εκτομυκορριζών

## Σχηματική απεικόνιση ενδομυκορριζών



**FIGURE 11.4** Schematic diagram of the association of arbuscular mycorrhizal fungi and soil aggregate of a plant root. The external mycelium bears large chlamydospores (CH). Infection of the plant can occur through root hairs or between epidermal cells. Arbusculae at progressive stages in development and senescence are shown (A–F) as is a vesicle (V), and macroaggregate (M). (Adapted from drawings by Sanders *et al.*, 1976 and Bethlenfalvay and Linderman, 1992.)



Μικροσκοπική απεικόνιση υφών (hyphae) και δενδρόμορφων (arbuscules) ενδομυκορριζικών μυκήτων στη ρίζα



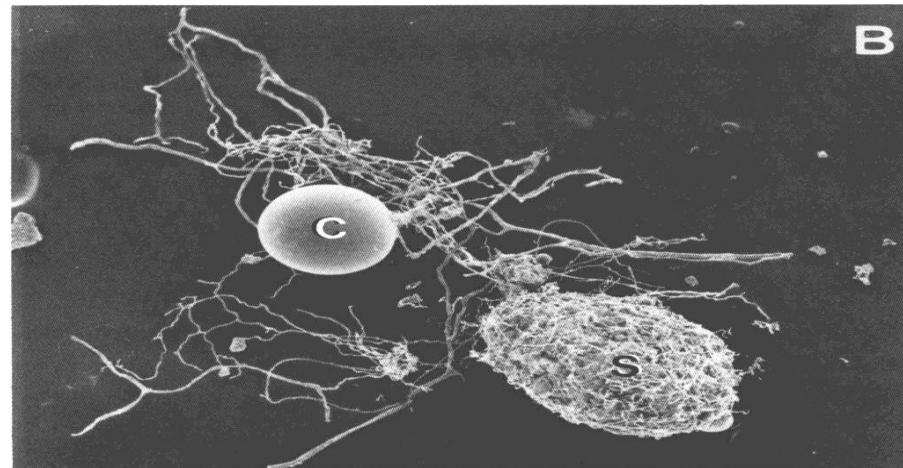
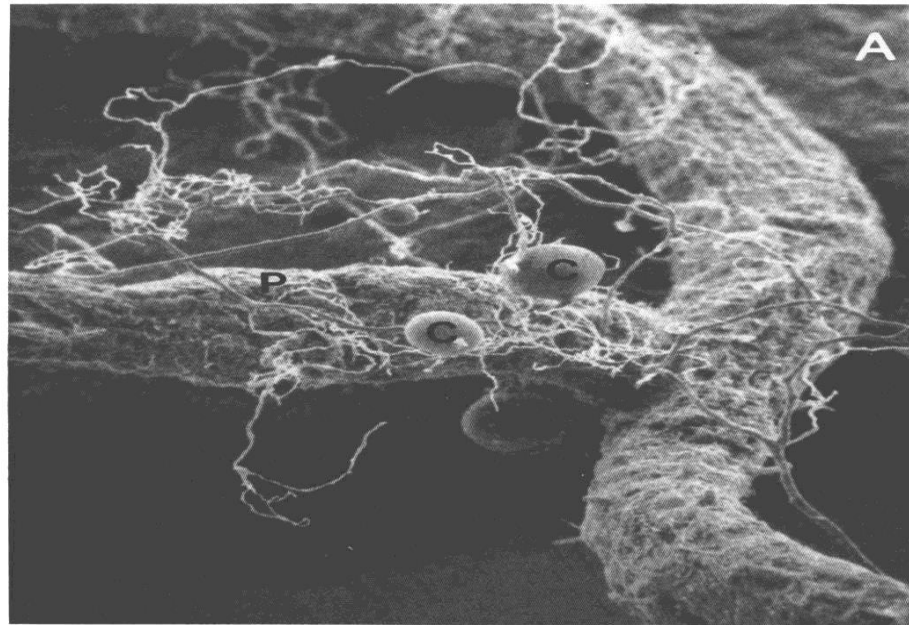
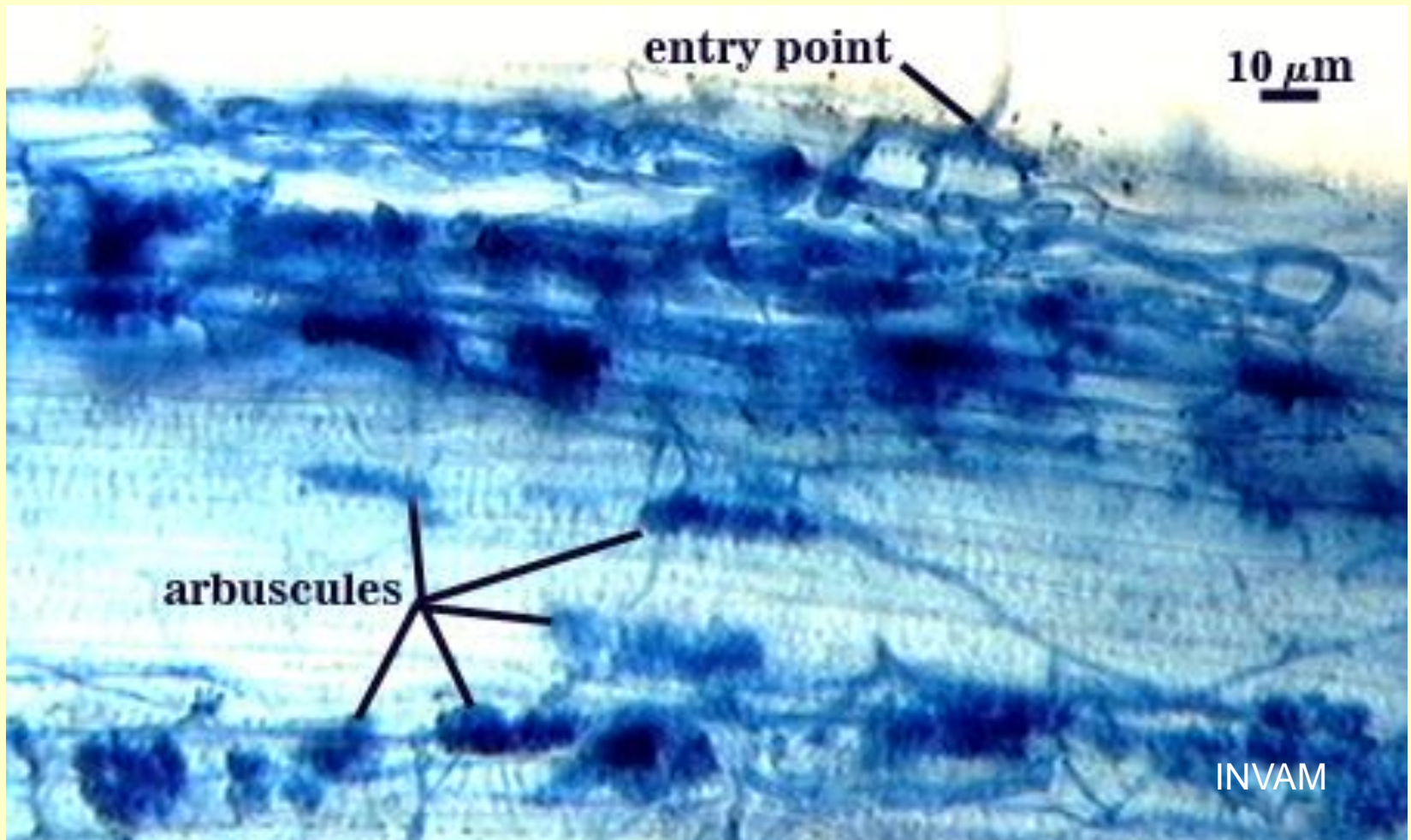


FIGURE 11.6 Scanning electron micrographs of *Glomus* spp. (A) Chlamydospores (C) and hyphae (P) of *G. fasciculatum* on a soybean root, (B) Sporocarp (S), probably containing a single spore and chlamydospore (C) of *G. mosseae*. (From Brown and King, 1982.)

Απεικόνιση υφών, σπορίων και κυστιδίων ενδομυκορριζικών μυκήτων με ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης



Μικροσκοπική απεικόνιση υφών (hyphae) και δενδρόμορφων (arbuscules) ενδομυκορριζικών μυκήτων στη ρίζα



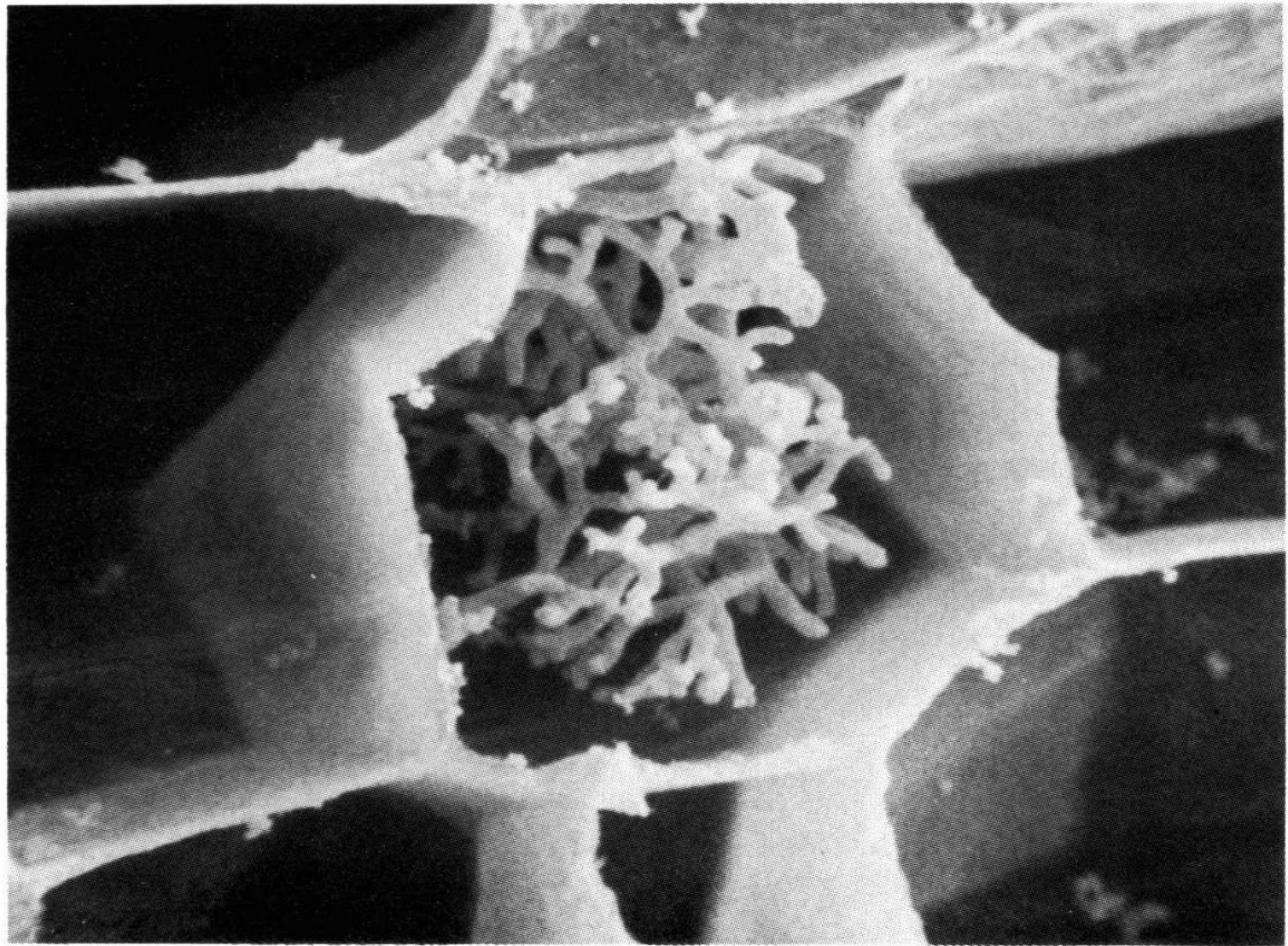
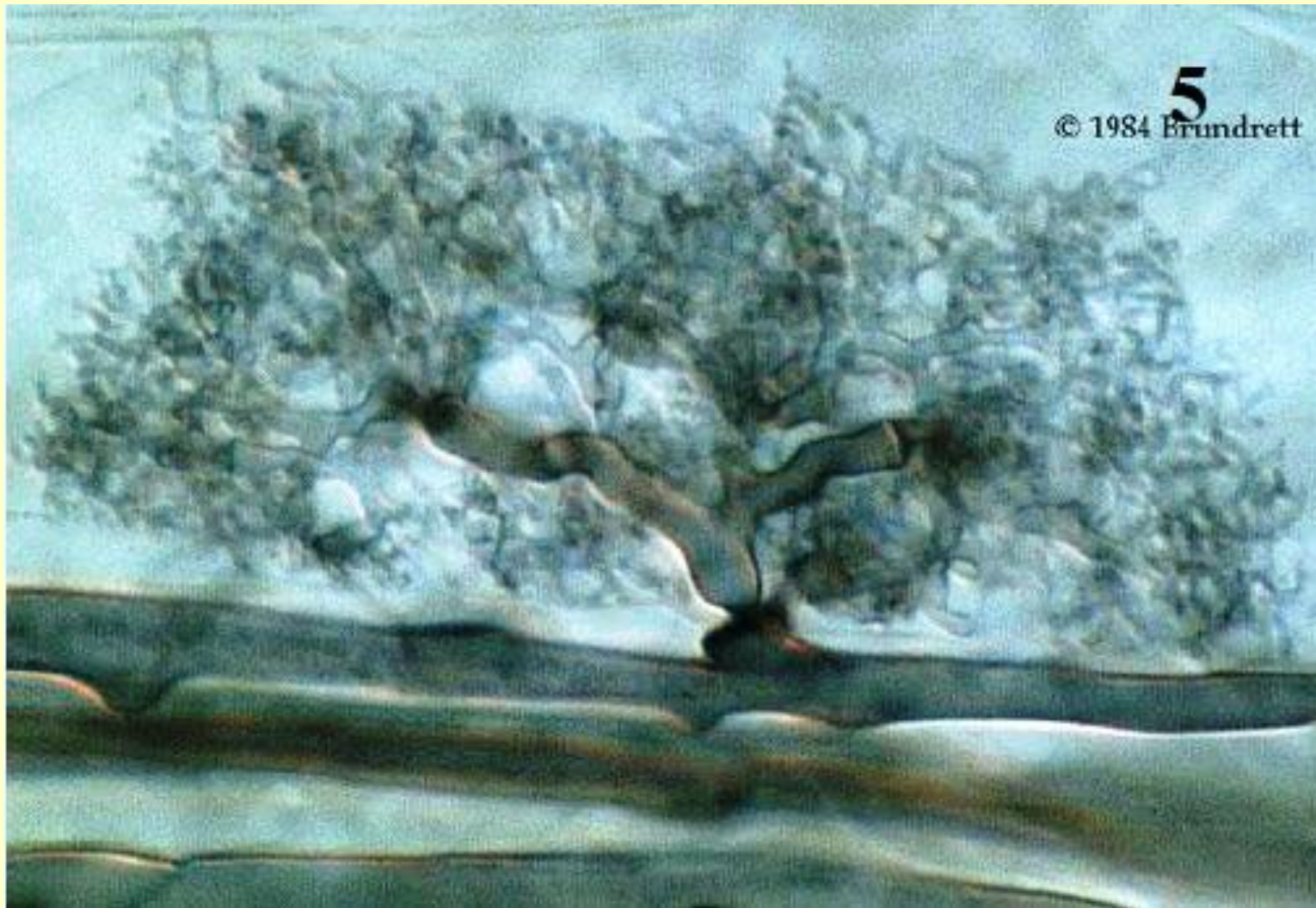


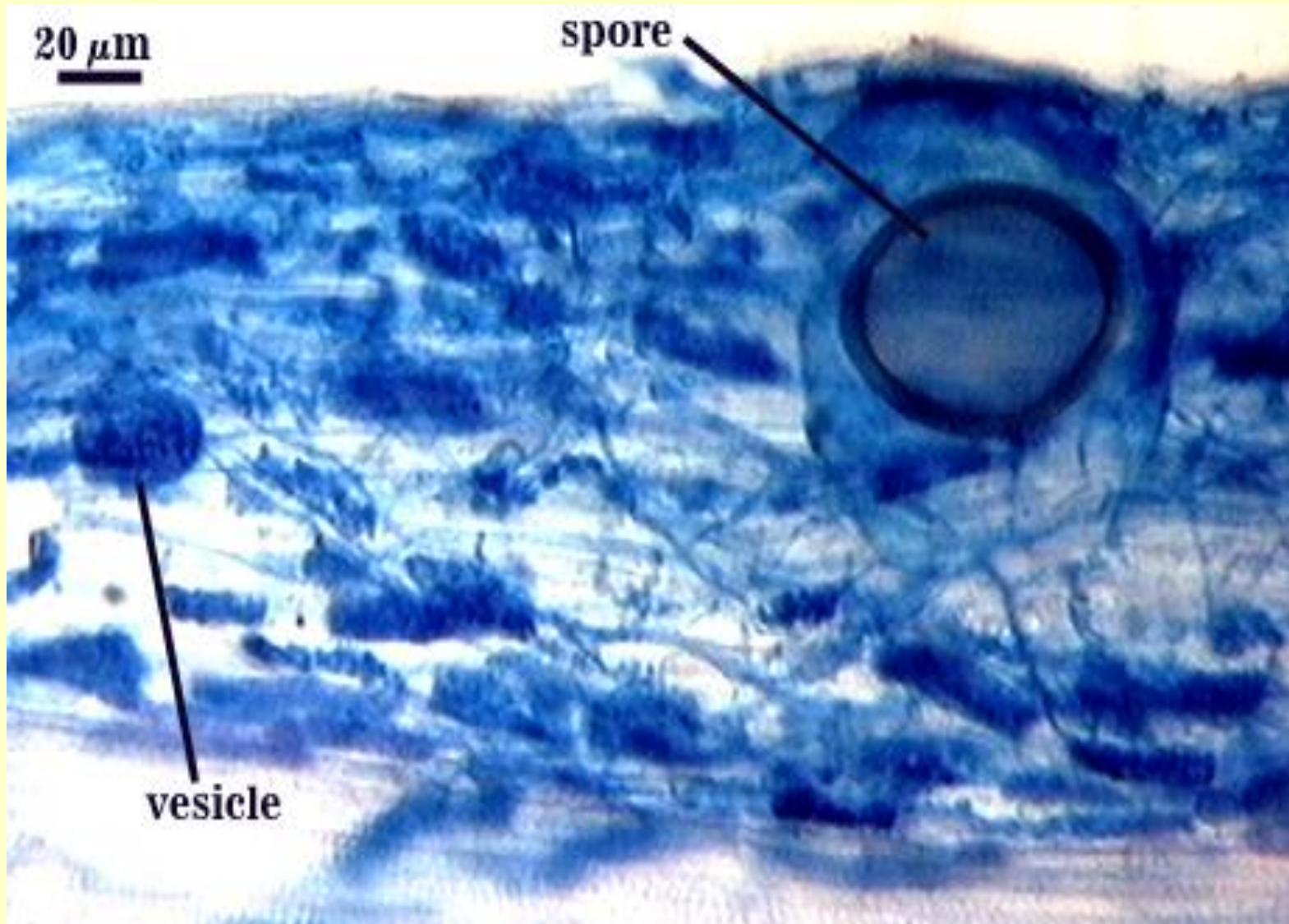
FIGURE 11.5 Arbuscule development, showing how the hyphal branches fill the cytoplasmic volume. (From Kinden and Brown, 1976.)

Απεικόνιση δενδρόμοφου (arbuscule) με ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης



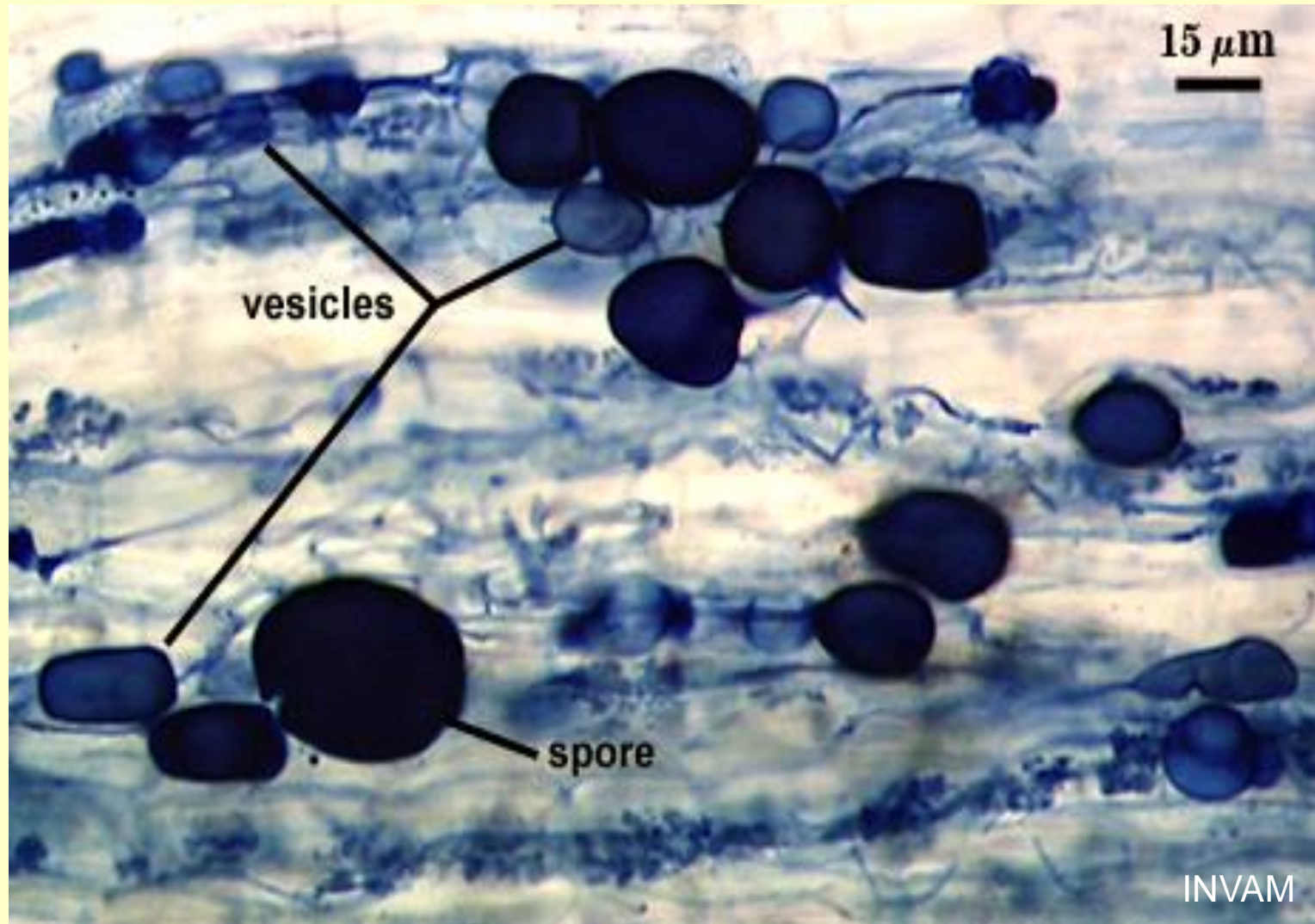


Δενδρόμοφο (arbuscule) ενδομυκορριζικού μύκητα  
(Brundrett 1984)



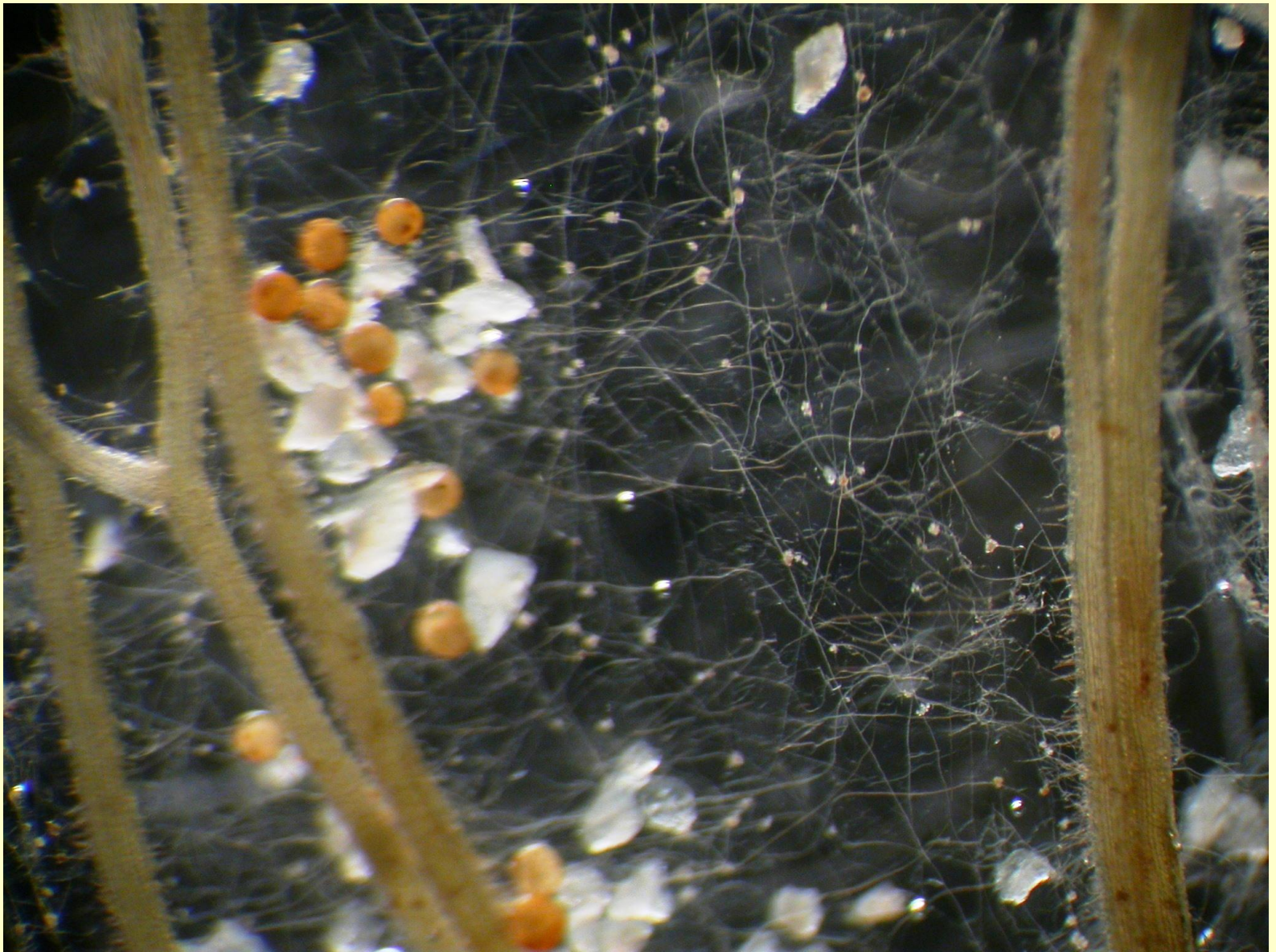
Μικροσκοπική απεικόνιση σπορίων και κυστιδίων (vesicle) ενδομυκορριζικών μυκήτων στη ρίζα





Μικροσκοπική απεικόνιση σπορίων και κυστιδίων (vesicle) ενδομυκορριζικών μυκήτων στη ρίζα





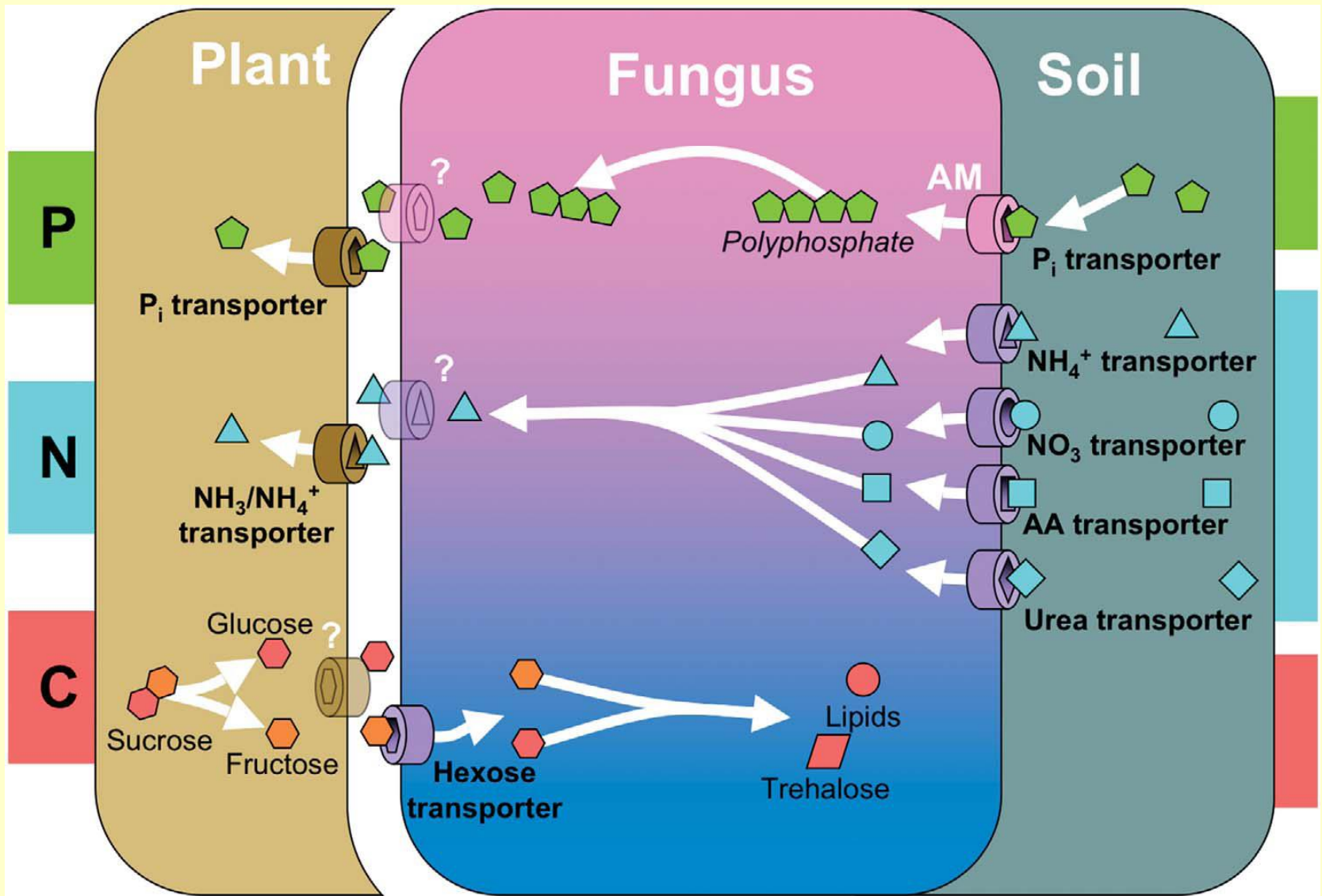
**Gigaspora margarita network between lotus corniculatus roots**

Δίκτυο υφών ενδομυκορριζικών μυκήτων μεταξύ ριζών

## Στριγκολακτόνες:

Ανακαλύφθηκαν σχετικά πρόσφατα.  
Είναι ορμόνες του φυτού που  
ρυθμίζουν την διακλάδωση των  
βλαστών

Εκκρίνονται και διαχέονται στη  
ριζόσφαιρα όπου αποτελούν σήμα για  
την βλάστηση ενδομυκοριζικών  
σπορίων και την διακλάδωση του  
μυκηλίου (αύξηση πιθανότητας  
επαφής με τη ρίζα)



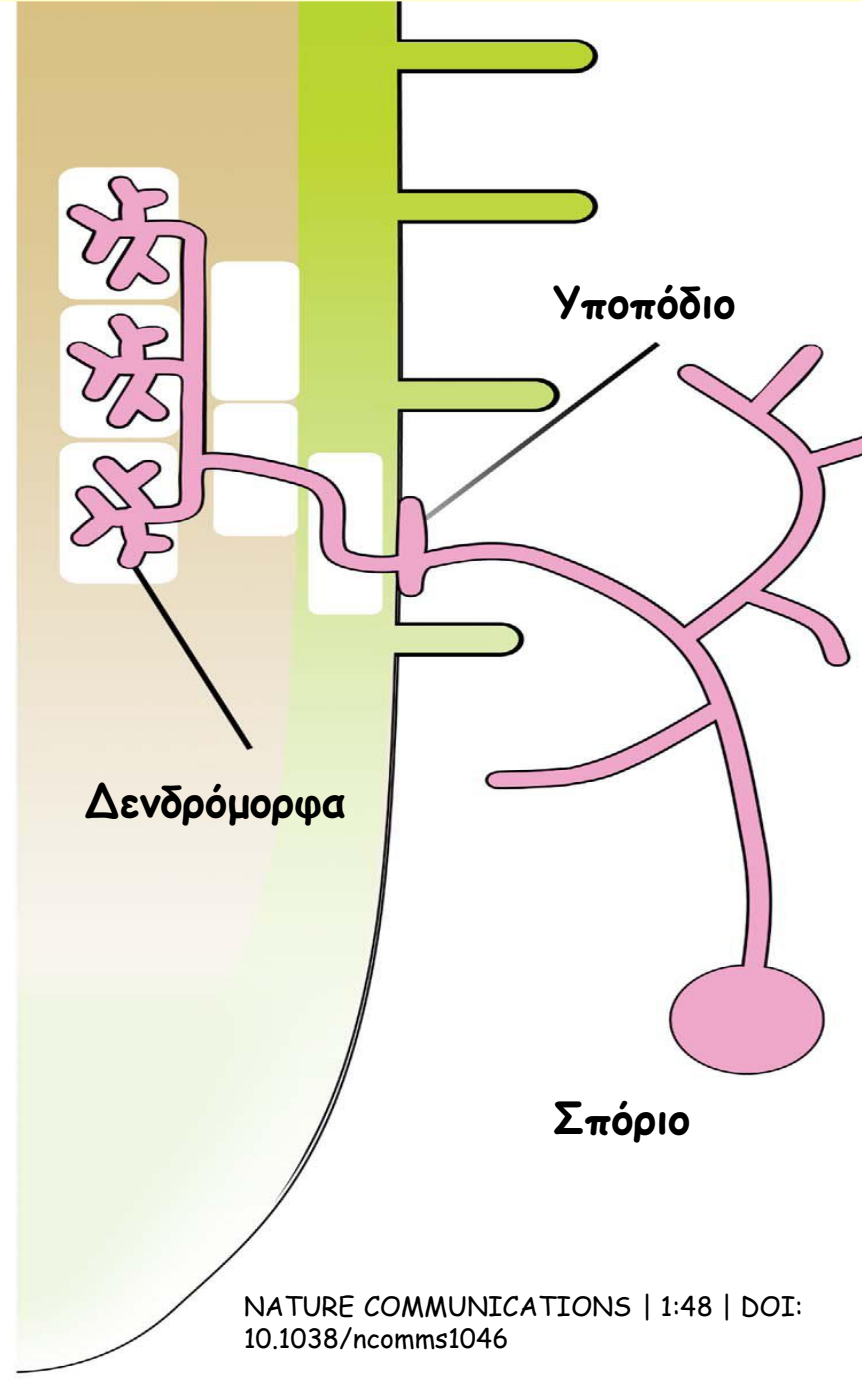
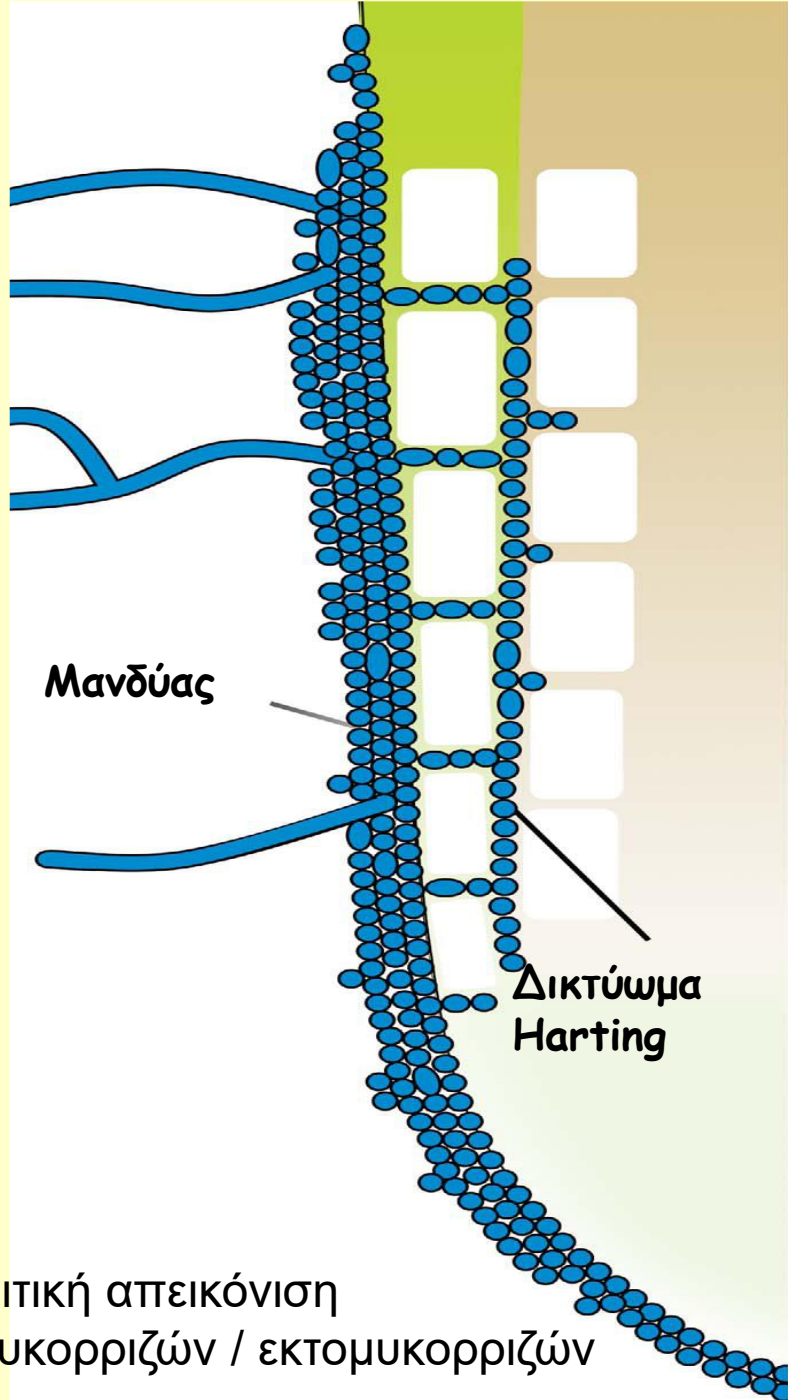
Μεταφορείς φωσφόρου, αζώτου και άνθρακα  
στην ενδομυκορριζική σχέση

## **2. Εκτομυκορριζικοί μήκυτες** **(Βασιδιομύκητες, Ασκομύκητες, Ζυγομύκητες)**

Στις ρίζες των φυτών σχηματίζουν παχύ μυκητικό έλυτρο (κολεό, sheath) ή μυκητικό μανδύα (mantle) και το δικτύωμα του Harting.

Οι μυκηλιακές υφές εξέρχονται από το μυκητικό μανδύα προς το έδαφος σχηματίζοντας «κορδόνια υφών (strands) που καταλήγουν σε ριζόμορφα (επιμήκεις σχηματισμούς πυκνά πλεγμένων υφών μελανού εξωτερικού χρωματισμού που εξειδικεύονται στην απορρόφηση και μεταφορά νερού, και βοηθούν στην επιμόλυνση νέων ξενιστών).



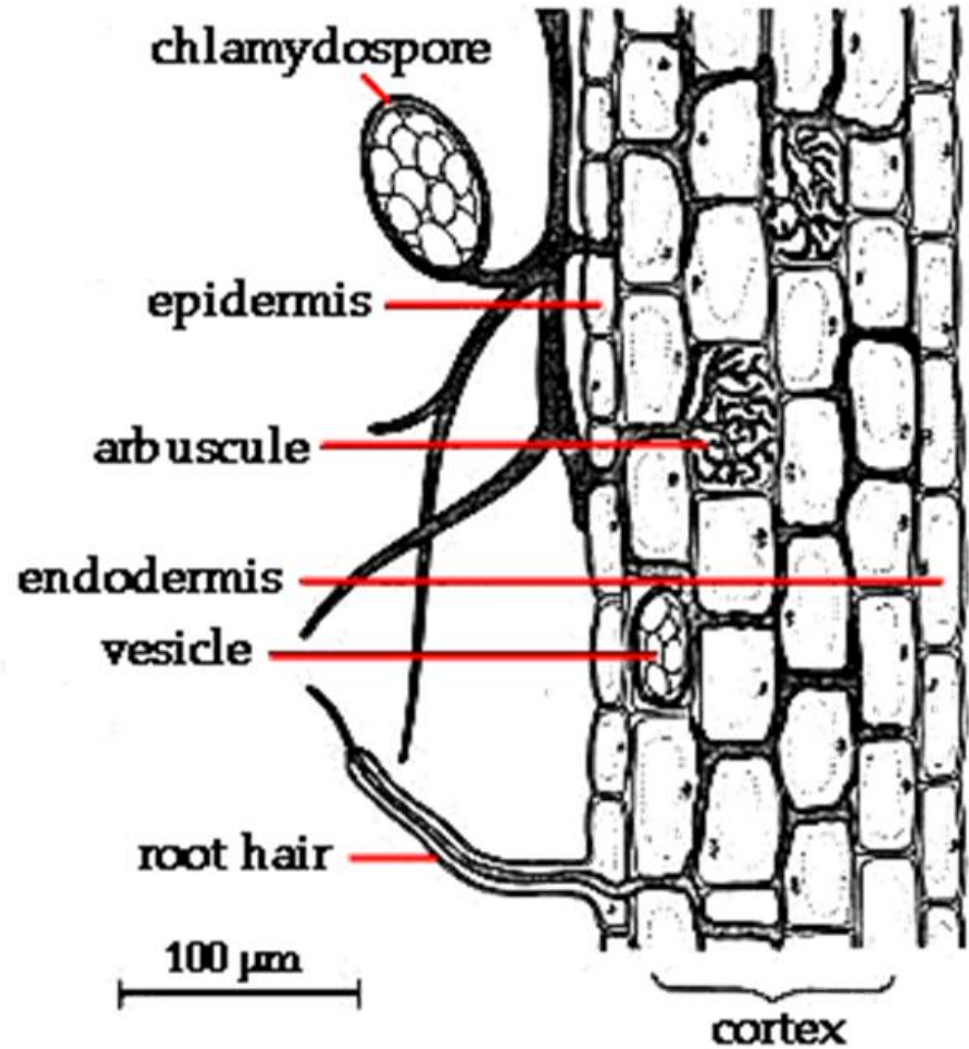
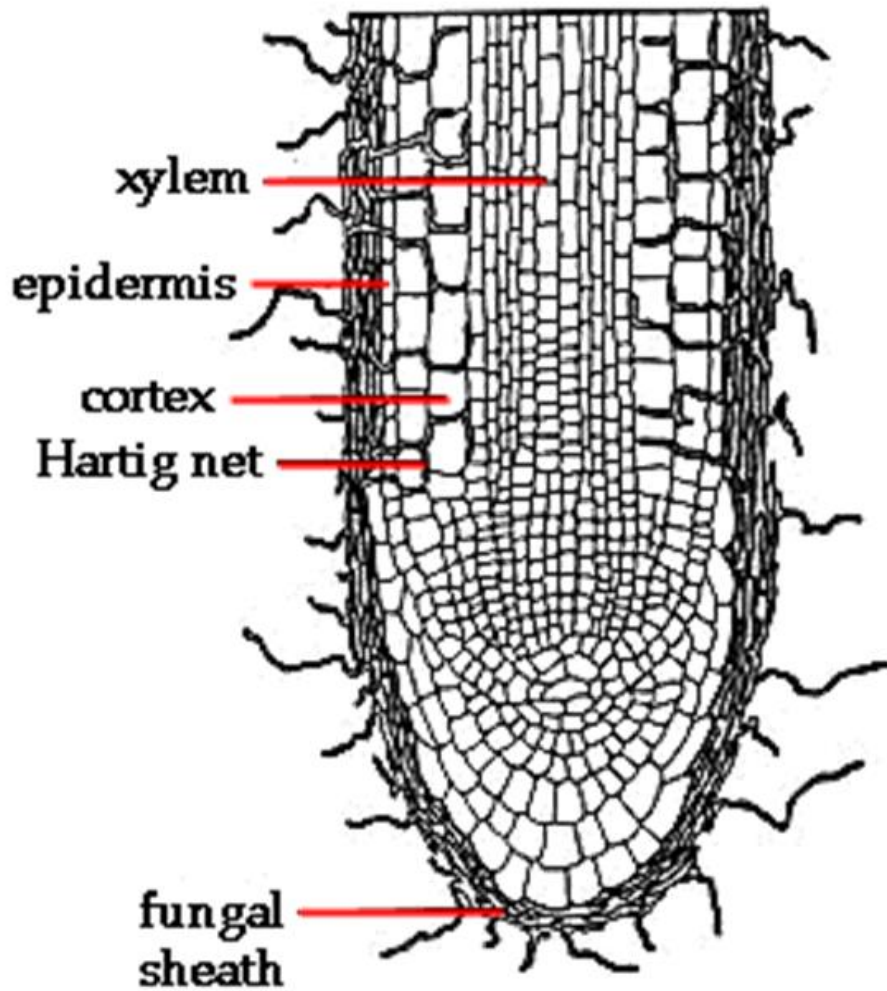


Συγκριτική απεικόνιση  
ενδομυκορριζών / εκτομυκορριζών

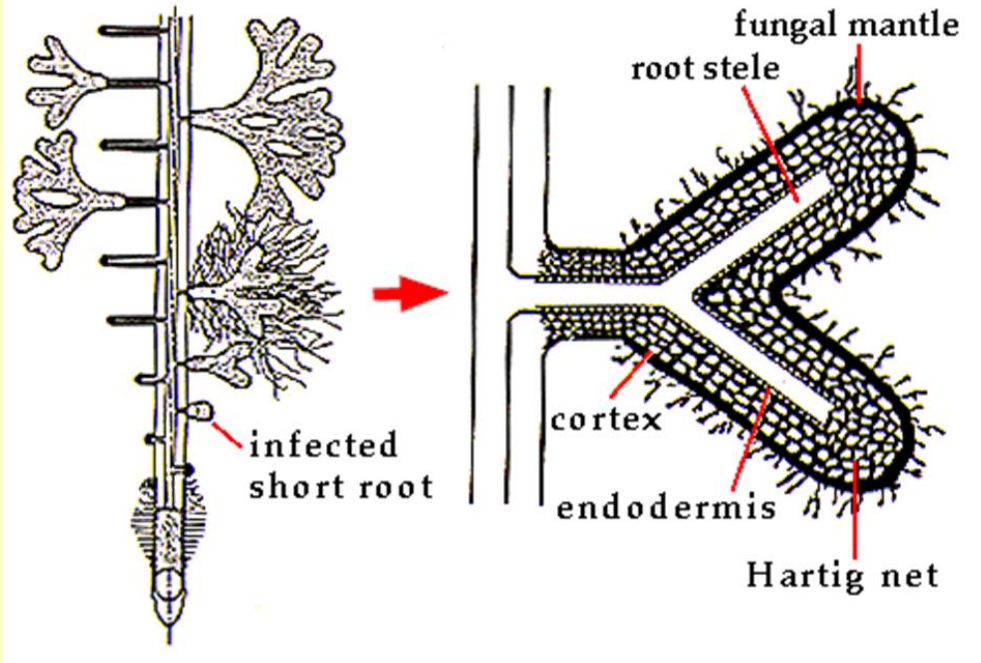
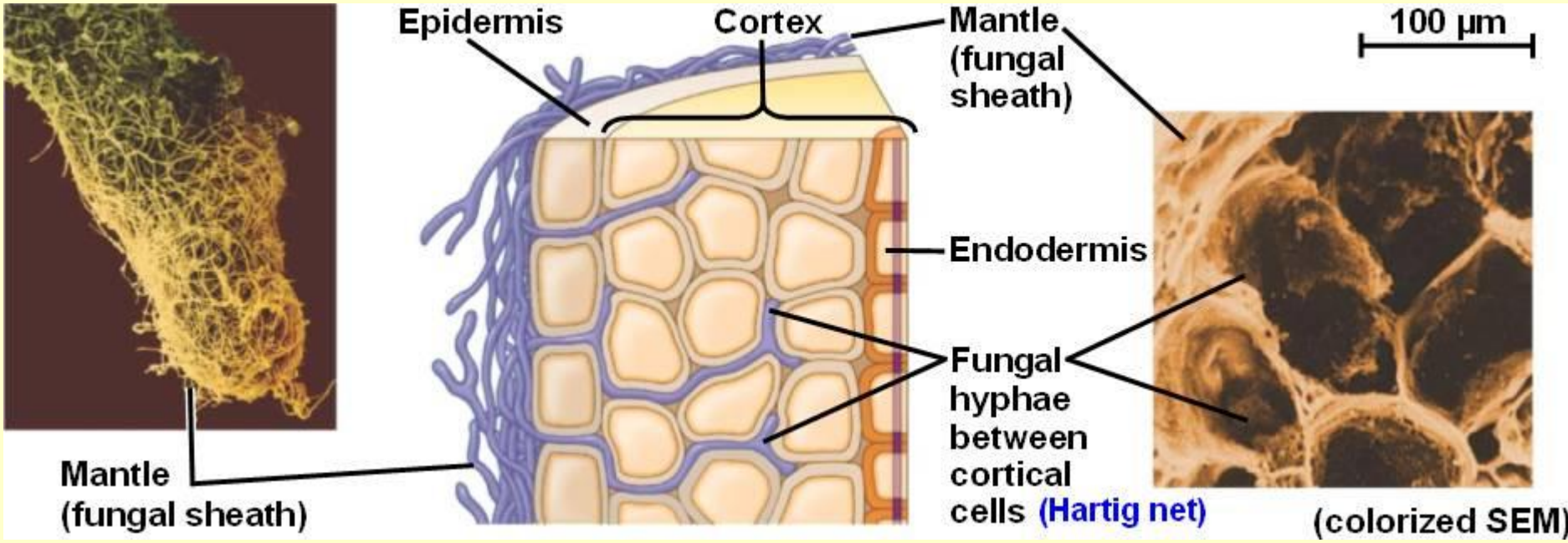


## Ectomycorrhizae

## Endomycorrhizae



Συγκριτική απεικόνιση  
ενδομυκορριζών / εκτομυκορριζών



Μορφολογικά χαρακτηριστικά εκτομυκορριζών

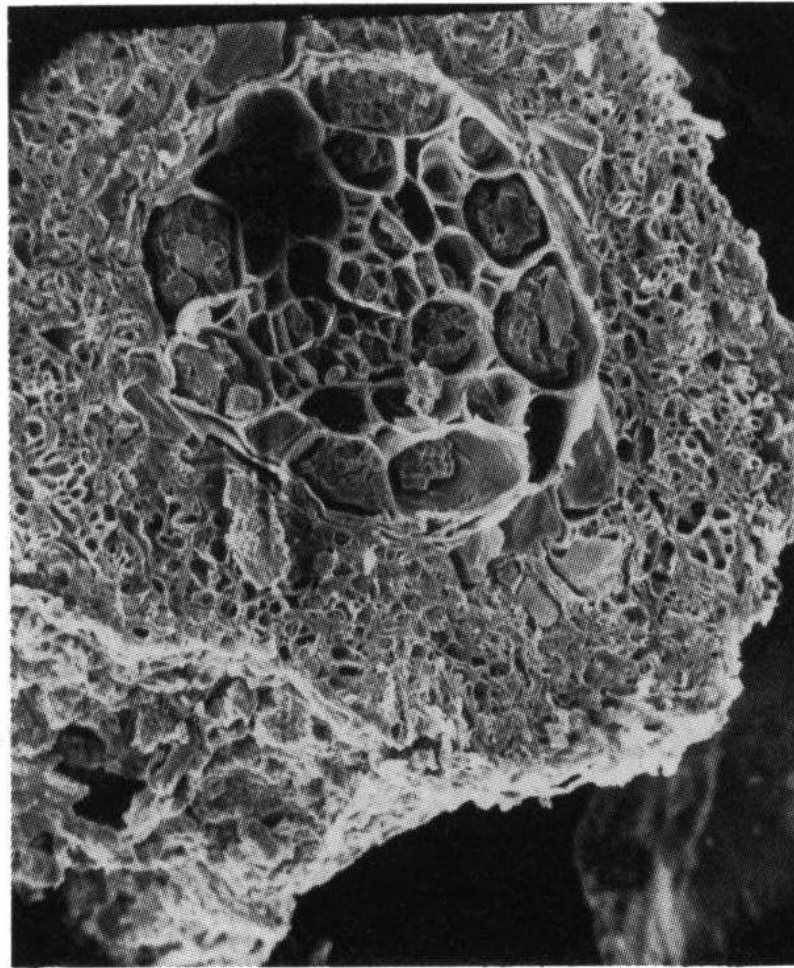




**Εικόνα 2.** Εκτομυκόρριζες: Συμβίωση *Eucalyptus maculata* και *Astraeus pteridis* υπό ελεγχόμενες συνθήκες όπου παρατηρούνται οι εκτομυκόρριζες και οι μυκηλιακές τους υφές (ΠΗΓΗ: Molina και Trappe 2002)

*Astraeus pteridis* (Boletaceae)



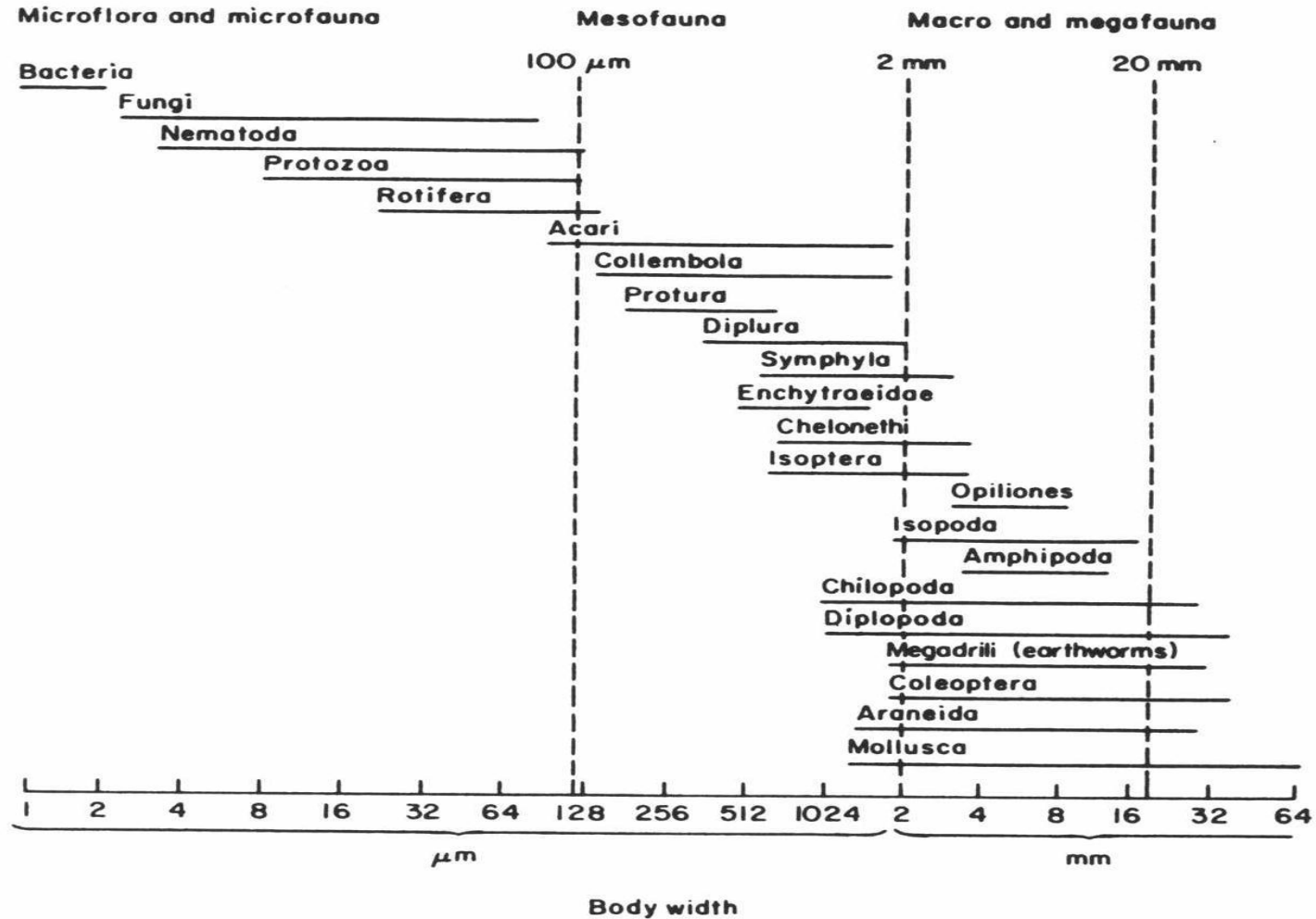


**FIGURE 11.1** Scanning electron micrographs of cross section of pine root with mantle of ectomycorrhizal fungi, 300 $\times$ .

Απεικόνιση εκτεταμένου εκτομυκορριζικού μανδύα γύρω από την ρίζα πεύκου



# Αλληλεπιδράσεις φυτών με άλλους εδαφικούς οργανισμούς



**FIGURE 4.3** Size classification of organisms in decomposer food webs by body width (Swift *et al.*, 1979).

Κατάταξη εδαφικών μικροοργανισμών ανάλογα με το μέγεθός τους

Φυτοφάγοι-παθογόνοι νηματώδεις και έντομα αλλά και θηλαστικά αλληλεπιδρούν άμεσα με το φυτό

*Η εδαφική μεσοπανίδα αλληλεπιδρά έμεσα:*

Επιδρά στην αποδόμηση των φυτικών υπολειμμάτων, ιδιαίτερα στην πρώιμη φάση, μετασχηματίζοντάς τα τόσο φυσικά (θρυμματισμός) όσο και βιοχημικά (πέψη).

Συντελεί στην ανακατανομή τους μέσα στην εδαφική κατατομή.

Τροποποιεί τη δομή του εδάφους αποδιαρθρώνοντας εδαφικά συσσωματώματα, αποθέτοντας επεξεργασμένες ύλες και διαμορφώνοντας ένα δίκτυο αλληλένδετων ορυγμάτων.

οι γαιοσκώληκες κυριαρχούν στα εύκρατα εδάφη,  
οι γαιοσκώληκες και οι τερμίτες στα υγρά, τροπικά εδάφη  
οι τερμίτες στους ημιάνυδρους ή άνυδρους τροπικούς.



Οι διαφορετικές κατηγορίες μικροοργανισμών αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Κλασικό παράδειγμα, τα αρπακτικά πρωτόζωα (θηρευτές) αλληλεπιδρούν έμμεσα με το φυτό. Θηρεύοντας βακτήρια προκαλούν ταχύτερη απελευθέρωση ανόργανου άνθρακα και αζώτου στο έδαφος

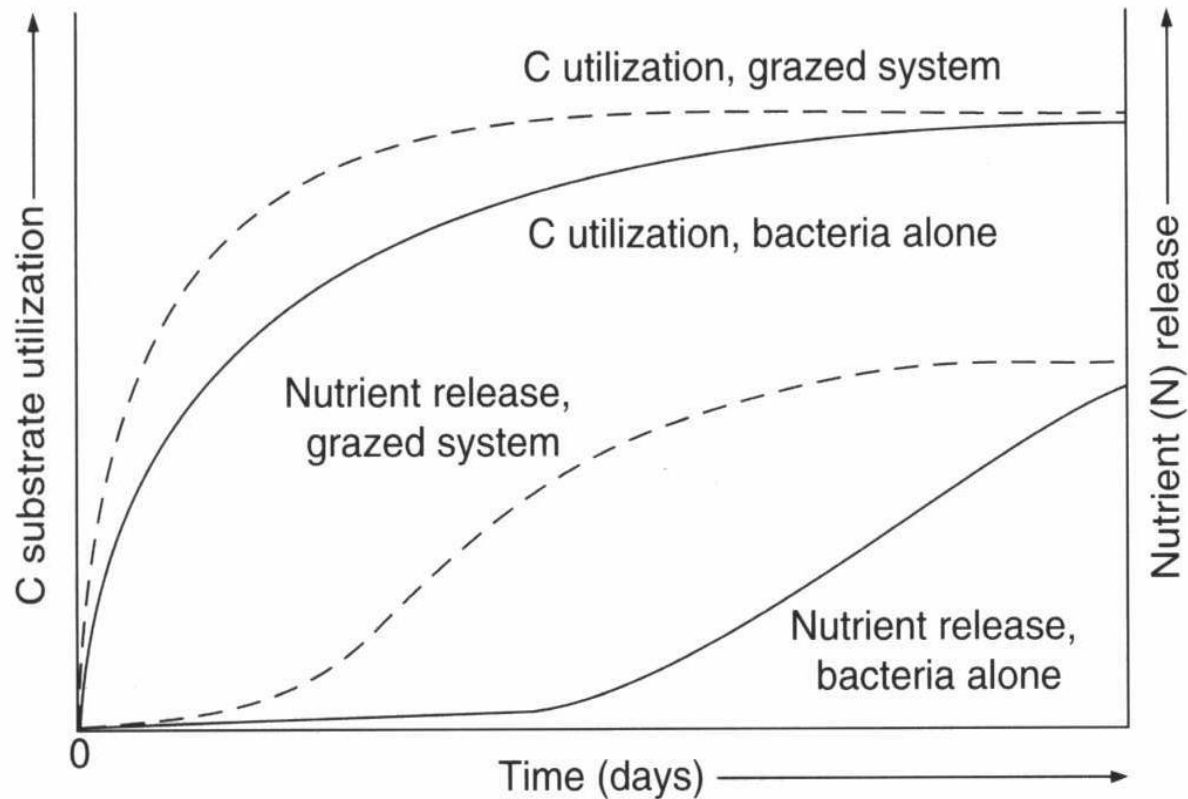


FIGURE 4.8 Conceptual curves of nutrient mineralization in grazed and ungrazed microcosms. (From Anderson *et al.*, 1981.)