

SEMNIFICAȚII ECOLOGICE ALE RELAȚIILOR SIMBIOTICE ÎN LUMEA VEGETALĂ

MARIA-MAGDALENA ZAMFIRACHE*, C. TOMA*, MIHAELA NIȚĂ*

Key words: symbiosis, bacteria, fungi, actinomycetes, environment.

Abstract: through this paper we want to put together some information, conforming to evolution of life, referring to symbiotic relations as a special kind of relation established between vegetal organisms.

Termenul de „simbioză“ definește interacțiunea continuă și obligatorie, cu caracter fizic, între două sau mai multe organisme ce beneficiază de aceasta. Simbioza se distinge de parazitism - exploatarea unui organism de către altul, fără beneficiu pentru organismul exploatat - și de mutualism - coexistența între două organisme pentru beneficiul lor natural, dar fără integrare fizică permanentă între ele. Ea este mai degrabă un parazitism reciproc, deoarece fiecare partener parazitează într-o oarecare măsură pe celălalt, profitând de pe urma lui, în sensul dobândirii pe această cale de substanțe necesare vieții. Întrucât ambele organisme acționează în aceeași direcție, în cele din urmă se instalează o stare de echilibru și de toleranță reciprocă. Adesea nu se poate stabili o limită distinctă între relațiile simbiotice și cele de parazitism, prin simbioză, atunci când se ajunge la echilibru între parteneri, creându-se noi posibilități de viață pentru organismele implicate; acestea ajung să suporte astfel condiții ecologice externe, pe care nici unul din simbioziți, luați separat, nu le-ar putea suporta.

Este logic să admitem faptul că în natură există relații străvechi de conviețuire a microorganismelor cu plantele verzi, proces în care fiecare partener găsește condiții optime de dezvoltare, realizându-se o cooperare biologică a bacteriilor, ciupercilor și actinomicetelor pe de o parte și a cormofitelor pe de altă parte. S-au creat astfel condiții avantajoase, fără de care partenerii fie că nu se mai pot dezvolta în condiții de izolare fizică, fie că are loc o diminuare considerabilă a potențialului lor biologic. Unii autori admit chiar faptul că unele caractere morfologice și fiziologice ale plantelor superioare au apărut în procesul de cooperare a microorganismelor cu cormofitele, cooperare ce afectează însăși evoluția lor.

Această cooperare se realizează pe trei căi principale; rizosfera, micoriza și simbioza propriu-zisă. Etapizarea prezentată are în vedere gradul de „intimitate“ spațială ce se stabilește între cei doi participanți, cât și „nivelul de integrare fiziologică“ a acestora.

Rizosfera reprezintă, în conformitate cu cercetările moderne, „sfera de influență“ din jurul sistemului radicular, în care se face simțită influența acestuia și care determină

* Universitatea „Al. I. Cuza“ Iași - Facultatea de Biologie

proliferarea microorganismelor existente aici. Printre aceste microorganisme se găsesc **paraziți** susceptibili de a provoca boli plantelor vasculare, dar eventuala lor nocivitate este contrabalansată prin activitatea microorganismelor benefice plantelor: **organismele descompunătoare** -ce favorizează formarea humusului sau **procariote** - capabile să fixeze azotul atmosferic și care îmbogățesc astfel solul în ioni minerali. Deci microorganismele rizosferei realizează o verigă de legătură importantă între plantă și mediul de viață înconjurător (Fig. 1)

Tot în rizosferă se manifestă efectele directe ale exudatelor foliare spălate de precipitații și ale descompunerii frunzelor căzute; ca urmare, gradientul influenței rădăcinii nu mai este strict dependent de distanță.

Microorganismele rizosferei participă la nutriția cu azot și cu substanțe minerale în favoarea plantelor. Ele intervin atât în procesele de amonificare, cât și în cele de nitrificare. Cea mai mare importanță a rizosferei în hrănirea cu azot a plantelor constă în urgentarea ciclului biologic al azotului în natură. Prin complexitatea relațiilor interspecifici pe care le generează, **rizosfera**, comparată cu un „nor“ de microbi ce înconjoară rădăcina plantei, este vitală pentru supraviețuirea și creșterea plantelor care, pentru a o menține, se dispensează de o cantitate importantă din producția lor fotosintetică, producție pe care o pun la dispoziție micilor parteneri subterani

Micorizele sunt relații mutualistice complexe, stabilite în natură în mod obișnuit între **fungii solului și plantă**. Ele servesc la optimizarea rezervei de minerale pentru planta gazdă și oferă compuși organici și adăpost ecologic fungilor.

Se consideră că **micotrofia** constituie un proces extrem de răspândit la plantele ce aparțin unor unități sistematice foarte diferite, fiind întâlnită de la briofite până la angiosperme, chiar dacă la plantele vasculare se individualizează doar câteva grupuri prin ignoranța cvasigenerală pentru această formă de simbioză (ecvisetaceele, ciperaceele, poligonalele, centrospermalele, brasicaceele, saxifragaceele și diferite plante acvatice - de la hidroperidale până la nimfeacee).

Aceste simbioze nu corespund, cel mai adesea, decât unei stări de echilibru la „frontiera bolii“, după cum foarte frumos afirma NÖEL BERNARD.

Partenerul microbiont în această relație interspecifică este limitat în extensia sa și este localizat cu destulă precizie în raport cu diferitele țesuturi ale gazdei sale.

În ciuda morfologiei aparent bine distinctă a tipurilor majore de micorize, există în realitate un univers limitat în spațiu și timp, ce se întinde de la **ectomicorizele autentice**, până la **endomycorizele** cele mai tipice, trecând prin **ectoendomycorizele de joncțiune** (Fig. 2a, 2b și 2c).

Micorizele **peritrofe** reprezintă o relație stabilă, în care ciupercile se dezvoltă în imediata apropiere a rădăcinilor plantei gazdă, formând o rețea discretă sau ceva mai densă de miceliu în jurul acestora, fără însă a avea un contact direct cu ele; în acest caz este vorba deci de un **strat lax format în rizosferă**. Principalul lor rol este de a stabiliza pH-ul din jurul rădăcinilor plantelor gazdă, permițându-le acestora din urmă să se dezvolte în condiții de mediu neconcorde cu exigențele lor ecologice.

Ectomicorizele constituie o asociație simbiotică în care filamentele miceliene se dezvoltă în contact strâns cu rădăcinile plantei gazdă, formând un **manșon ce acoperă**

vârful acestora; ele pătrund puțin printre celulele parenchimului cortical radicular, colonizând numai spațiile intercelulare.

Astfel de micorize caracterizează sistemele radiculare ale multor esențe lemnoase (gimnosperme și angiosperme) apărând, cu rare excepții, la speciile din pădurile regiunilor tropicale și subarctice și mult mai rar la latitudini mici, în pădurile subtropicale și tropicale.

Ectomicorizele suportă o bogată rizosferă bacteriană, unii din acești germeni trăiesc în straturile externe ale mantoului (adesea în contact cu hifele lizate), altele situându-se în gelul care înconjoară complexul micorizian.

Conform părerii lui DOMMERGUES [2], planta gazdă beneficiază în acest caz de numeroase avantaje de pe urma stabilirii interrelațiilor specifice cu ciupercile:

* **Longevitate sporită a rădăcinilor** - rădăcina cu ectomicorize rămânând funcțională un interval de timp net superior unei rădăcini obișnuite, dependentă de eficiența perilor săi absorbantși efemeri.

* **O mai bună aprovizionare a plantei cu nutrienți din sol** - grație partenerilor lor fungici, arborii pot beneficia de o nutriție convenabilă, chiar pe soluri în care diversele elemente naturale se găsesc în concentrații inferioare pragului normal de fertilitate.

* **Absorbția selectivă a anumitor ioni** - ce se realizează de către manșonul fungic „continuu“, care permite plantelor purtătoare să reziste pe soluri acide sau marginale, fiind ferite de penetrația nefastă a unor metale grele.

* **Baraj eficient împotriva diferiților patogeni de origine telurică** - funcție realizată datorită producerii de antibiotice de către ciupercile simbiote.

* **Toleranță sporită față de adversitățile mediului** - în special față de unele toxine din sol, de temperaturile anormale (înalte sau scăzute), de pH-ul neadecvat sau de uscăciunea relativă a mediului (ajutor manifestat și în cazul endomicorizelor).

La rândul ei, ciuperca simbiotă are anumite avantaje în asociația pe care o realizează cu planta gazdă:

- **Obținere de nutrienți esențiali** - în special glucide simple, furnizate de către planta gazdă, majoritatea ciupercilor ectomicoriziene fiind incapabile să utilizeze celuloza sau lignina ca sursă de carbon pentru creștere.

- **Protecție împotriva competitorilor** - suprafața rădăcinilor scurte constituind un „loc de azil“ pentru speciile fungice ectomicoriziene, adesea puțin apte să lupte cu arme egale cu ciupercile telurice, exclusiv saprofite.

- **„Fructificare posibilă“** - doar în relație cu gazda, pentru ciupercile ectomicoriziene obligate.

Ectoendomicorizele prezente la unele ericacee și pirolacee, pot fi considerate drept „variații morfologice particulare ale ectomicorizelor“ sau ca un semn de agresivitate a ciupercii, ce conduce la o slăbire a plantei.

Endomicorizele se întâlnesc mai ales pe rădăcinile laterale tinere, cu aspect normal și nu conțin nici mantou, nici rețeaua lui HARTING, ci doar hife intercelulare, ce trimit haustori foarte dezvoltați în celulele parenchimului cortical al rădăcinii.

În toate cazurile endofitul nu ocupă decât cortexul radicular, neatingând stelul și nici chiar endoderma.

Deosebite ca structură și funcție sunt endomicorizele de la acei reprezentanți ai familiei *Orhidaceae* care, lipsiți de clorofilă, sunt considerați de către biologi drept „paraziți ai așezatului lor fungic”. Aceștia se întâlnesc atât în zonele temperate, cât și în cele tropicale și este cert faptul că își obțin glucidele „via” ciupercă, relațiile dintre cei doi parteneri manifestându-se în acest caz mai complex.

Pe lângă efectele pozitive legate de fenomenul de creștere a plantei gazdă (datorată și unei absorbții îmbunătățite), endomicorizele exercită o influență benefică și asupra înfloririi la unele solanacee ornamentale - specii de *Petunia*, precum și asupra producției de polen a inflorescenței mascule la *Zea mays* L.

În natură există numeroase situații în care toate tipurile de micorize sunt întâlnite împreună la plantele lor suport. Se pare că în aceste situații atributele fiziologice distinctive ale fungilor micorizali cuplați cu diferite tipuri de rădăcini ale plantelor gazdă pot conduce la o reparare funcțională; astfel, asociațiile respective ale plantelor interconectate reușesc să ocupe fiecare propria sa nișă ecologică.

Schimbările tipului micorizal predominant în interiorul acestor zone pot fi influențate direct de modificările locale ale calității solului, iar aceasta din urmă este mai clar demonstrată, la rândul ei, prin analizele succesiunii vegetației pe anumite soluri.

Astăzi se pune întrebarea dacă micorizele - acești simbiozi mutualistici complecși - reprezintă un exemplu clasic de coevoluție sau nu? Pentru a putea răspunde trebuie subliniat faptul că în orice mod ar putea fi definit fenomenul de coevoluție, scopul său este acela ca două organisme să se dezvolte astfel încât să-și aducă o serie de modificări adaptative progresive unul altuia.

Analizele efectuate atât pe fosile, cât și pe micorize existente în flora actuală, indică faptul că micorizele au o foarte mare vechime și nu sugerează că fenomenul de coevoluție ar avea loc în timpurile noastre. S-ar părea mai degrabă că ar fi vorba despre fenomene de evoluție paralelă (independentă), benefice pentru ambii parteneri. Nișa ecologică furnizează astfel endofitului condiții metabolice „indiferente”, în timp ce adaptarea gazdei este îmbunătățită prin protecția împotriva umezelii și a altor forme de stress și prin pregătirea nutrienților.

Se pare deci că este vorba despre un mecanism ce servește două scopuri: conduce gazda în rezistență diferitelor presiuni selectivă, permițându-i astfel să se dezvolte și conferă endofitului maximă stabilitate, menținându-i condițiile de mediu compatibile inițiale.

Astfel, apare de necontestat - după cum a subliniat PIROZYNSKI - ideea că evoluția plantelor terestre este „o problemă a micotrofismului”; aceasta nu trebuie însă să implice și faptul că ea ar fi „o problemă a coevoluției” [1, 4].

Dacă micorizarea controlată are efecte deosebite, astăzi se desfășoară cercetări intense pe plan internațional, vizând optimizarea sa. În viitor, ea va fi folosită probabil mai ales în procesele de refacere a ecosistemelor naturale, în stadiile finale ale succesiunii ciclurilor nutriționale, pentru a asigura închiderea acestora și pentru a preveni pierderile de resurse ale întregului ecosistem.

Simbiozele propriu-zise fixatoare de azot apar în special la reprezentanți ai dicotiledonatelor apetală și dialipetală (Fig. 3). Deci, fixarea azotului atmosferic este o însușire veche a lumii vegetale, aceste două grupe de plante fiind, cronologic vorbind, anterioare gamopetalălor și monocotiledonatelor.

Familia *Leguminosae*, una dintre cele mai răspândite familii de plante de pe Pământ, are cel mai mare procentaj de specii capabile să realizeze simbioze fixatoare de azot cu specii ale genului *Rhizobium*.

Se consideră astăzi că doar 20% din speciile de leguminoase fac obiectul cercetărilor în legătură cu fenomenul de nodulare și se pare că 90% dintre speciile cercetate nodulează. Deci, chiar în cadrul acestei familii fenomenul nu este absolut necesar.

Desigur că azotul atmosferic mobilizat în mod simbiotic nu reprezintă singura sursă de azot pentru aceste specii, ele fiind capabile să utilizeze în paralel și azotul mineral. Rolurile celor două surse posibile variază foarte mult în funcție de condițiile de cultură și de specia analizată. Acestea reprezintă un atu pentru leguminoase, ale căror semințe au necesități ridicate în azot pentru a realiza sinteza proteinelor proprii.

Se admite astăzi că nodozitățile sau nodulii rădăcinilor de leguminoase sunt produsul simbiozei fizatoare de azot, care implică bacterii din trei genuri: *Rhizobium*, *Bradyrhizobium* și *Azorhizobium*, numite în mod generic, de către YANG și JOHNSON, în 1889, „rhizobii“.

Formarea unui nodul reprezintă un răspuns al potențialei gazde la o anumită specie de bacterie din genurile menționate, inițierea și maturarea sa ulterioară fiind un proces interactiv și complex, ce induce schimbări biochimice și morfologice în ambii simbionți și care conduce la apariția capacității de reducere a azotului atmosferic.

Dezvoltarea nodulului pe rădăcina de leguminoase ridică probleme interesante în legătură cu diferențierea celulară a plantei și cu organizarea nodulului, ca expresie a genelor componente ale genomurilor bacteriene și ale plantei (LONG, 1989; NAP și BISSELING, 1990). Acest sistem se dovedește, de asemenea, un model potrivit pentru studierea mecanismelor implicate în morfogeneza celulelor plantei.

Astfel, nodulul radicular al speciilor de leguminoase este considerat ca „un microcosmos al diferențierii celulare“, ce implică câteva procese de bază, prezente la toate plantele aflate într-un moment sau altul al creșterii și dezvoltării, procese care au fost răsturnate și modificate de către microorganismul simbiotic, iar apoi au fost reorganizate pentru a se stabili o nouă ordine și organizare a gazdei, cu mai multe tipuri de celule specializate [4] (Fig. 4).

Dacă rezultanta activității nodulului se exprimă lapidar prin *fixarea azotului liber*, fiecare din cei doi parteneri beneficiază și de binefacerile asociatului său.

Totuși, în etapa actuală, nu putem da un răspuns clar întrebării „care organism al asocierii simbiotice *Rhizobium* - leguminoase, leguminoasa sau bacteria, fixează azotul din aer ?“.

În natură, pe lângă leguminoase, există și alte grupe de plante, capabile să formeze noduli cu microorganisme asemănătoare celor aparținând genului *Rhizobium*, sau chiar cu specii ale acestuia.

Semnalăm în acest sens cazul speciilor *Podocarpus lawrencii* (dintre gymnosperme), *Trema aspera* și *Trema cannabina* (familia *Ulmaceae*).

Nu se cunoaște încă cu exactitate care este eficiența funcțională a nodozităților formate pe rădăcinile acestor plante, dar probabil că asocierea este benefică pentru plantele gazdă. Acestea încurajează încercările practicienilor de a lărgi sfera asocierilor simbiotice ale speciilor de *Rhizobium* la alte plante de cultură, dincolo de cadrul tradițional al plantelor leguminoase.

La rândul lor, plantele actinorizale - plante cu flori ce poartă în mod constant nodozități radiculare, al căror ocupant este o actinomicetă - joacă un rol major în natură: în silvicultură, în producerea „carburantului” lemnos, a îngrășămintelor naturale, în agricultură, în lichidarea și stabilizarea dunelor sau a eroziunii suprafețelor înclinate sau în contracararea prejudiciilor aduse de către om.

Aceste „nonleguminoase nodulate” prezintă semne de extremă vechime și sunt prezente pe arii foarte întinse, neocupate încă de agricultură: în regiuni arctice, temperate, subtropicale, tropicale, lipsind doar în zonele polare. Chiar dacă sunt mult mai puțin numeroase ca număr de specii, comparativ cu leguminoasele, ele dezvoltă, fără îndoială, o masă de actinomicorize pe suprafața globului, comparabilă cu cea a bacteriorizelor. Este vorba în acest caz de specii esențialmente pioniere pe soluri umede, cum sunt de exemplu speciile de *Hippophaë* în Scandinavia și cele din genul *Shepherdia* în Canada.

Spre deosebire de bacteriorize, fiecare actinoriză corespunde nu unei singure rădăcini invadate, ci unui grup de rădăcini modificate (Fig. 6). Adesea rădăcinile ce găzduiesc actinomiceta sunt grupate în aglomerări ceribriforme, ceea ce justifică termenul propus de către MIEHE în 1918, dar puțin utilizat în zilele noastre, de rizotamnion; în acest caz se observă o hipertrofiere a cortexului fiecărei rădăcini elementare a actinorizei.

Biologia endosimbiontului actinomicetic - specii ale genului *Frankia* - este mai puțin cunoscută, comparativ cu cea a genului *Rhizobium* - specii responsabile de formarea nodozităților la leguminoase.

Majoritatea esențelor lemnoase înzestrate cu actinorize sunt capabile să colonizeze în mod special solurile sărace în azot. Multe din ele au jucat un rol esențial după glaciațiunea din Pleistocen în Europa și în America de Nord, când retragerea ghețurilor a permis degajarea substratului puțin fertil. Partea cea mai importantă a aportului de azot în sol în aceste ținuturi nordice reprezintă rezultatul activității speciilor de *Alnus*, *Dryas*, *Hippophaë*, *Myrica*, *Shepherdia* și a „asociațiilor” lor ascunși.

Azotul fixat de către speciile ne-leguminoase, purtătoare de actinorize, este redat solului în primul rând prin intermediul frunzelor ce furnizează o literă mai bogată în azot combinat decât a altor plante nefixatoare de N_2 . Azotul combinat din sistemul lor radicular devine disponibil numai după moartea plantei.

Faptul că există deja plante purtătoare de actinorize în familii botanice foarte îndepărtate evolutiv între ele, ne incită astăzi să presupunem că probabilitățile de asociere ale plantelor cu specii din genul *Frankia* sunt mult mai frecvente decât șansele de asocieri ale acestora cu specii ale genului *Rhizobium*.

Ținând cont de indiscutabilele merite ale unor asemenea specii fixatoare de azot liber, am putea spune, așa cum o făceau DOMMERGUES și colaboratorii, în 1985: „Dacă cercetătorii ar putea transmite capacitatea de nodulare actinomicoriziană plantelor non-fixatoare de azot, noile plante ar putea fi utilizate pentru producerea de biomasă în solurile cele mai deșertice, acolo unde orice altă tentativă de punere în valoare este sortită eșecului”.

*
* *
*

Din cele prezentate până acum reiese cu claritate faptul că însușirea unei plante de a învinge condițiile ecologice adverse (în legătură cu fertilitatea redusă a solului, cât și cu factorii de climat local) este condiționată adesea de eficacitatea asocierii sale cu microorganismele simbiotice. Este, de asemenea, neîndoielnică, afirmația potrivit căreia plasticitatea ecologică a unei plante poate fi profund modulată de asocierea sa microbială.

Actinorizele, bacteriorizele și micorizele sunt auxiliare foarte prețioase pentru speciile pionier - plante capabile să creeze sau să reconstituie un covor vegetal în zone aparent sortite semideșertului. Asocierile simbiotice manifestă în noile condiții create un pregnant fenomen de intrajutorare, care creează adevărate organisme complexe - „superorganisme” -, de o importanță ecologică deosebită. Aceste asociații cu beneficii reciproce joacă un rol esențial în ecosistemele naturale, specialiștii încercând astăzi să asigure în mod deosebit existența și buna lor funcționare, ca o condiție imperios necesară pentru reușita constituirii și funcționării normale a ecosistemelor artificiale - alternativă umană la oferta naturii.

Se impune astăzi să nu se considere simbiozele într-o manieră romantică, ele fiind într-adevăr asocieri armonioase, dar care pot evidenția uneori întâlnirea unui organism vegetal superior cu un germene invadator, în care pot apare situații limită: fie victoria germenului care depășește reacția gazdei, aceasta sfârșind prin a sucumba, fie superioritatea plantei gazdă care ajunge să se facă „respectată” brutalizând „intrusul” pe care îl elimină chiar, vindecându-se.

Simbioza aduce deci o soluție intermediară, pe cât de originală, pe atât de bogată în consecințe, a cărei diversitate pare infinită.

Simbioza se cantonează între aceste două cazuri extreme - **maladia mortală și maladia invinsă** - această situație de echilibru a forțelor dând iluzia unei uniuni „fără pereche”, pe când ea nu este decât „o viață în comun” prelungită într-o toleranță reciprocă.

Putem deci considera, în cele din urmă, că numeroase organisme „știu” să se comporte în funcție de condițiile pe care le întâlnesc în natură. Deci, starea de simbioză depinde mai mult de un ansamblu complex de condiții ecologice și fiziologice decât de identitatea precisă a partenerilor.

Cu alte cuvinte, trăsătura definitorie a fenomenului de simbioză și constituire echilibrul durabil între partenerii aduși de hazard poate „față în față”

Bibliografie

1. Boullard, B., 1990 – Les symbioses intimes entre Végétaux. In *Guerre et Paix dans le Regne Végétal*, Editeur des Preparation Grandes Ecoles Medicine, p.: 184-325.
2. Dommergues, J., Mangenet, F., 1970 – Les associations mycorrhiziennes. In *Ecologie microbiène du sol*, Manson et al. ed. Paris, p.: 595-660
3. Gorenflot, R., 1990 – Les Cormophytes et la symbiose. In *Biologie Végétale - Plantes supérieures*, Tome 1 - Appareil végétatif, 4^e édition, Paris New-York Barcelone Milan Mexico Sao Paolo.
4. Scannerini, S., Fasolo-Bofante, P., 1979 – Plants and mycorrhizae fungi: Coevolution or not coevolution? In *Endocytobiology IV* Lyon, July 4-8, INRA Paris 1990, p.: 77-81.

Explicația figurilor

Fig. 1 – Rolul microorganismelor în zona rădăcinii plantei ca intermediari în transferul de nutrienți între sol și plantă: (a) în sol bacteriile sunt concentrate pe suprafața materiei organice unde există într-o stare metabolică joasă, datorată disponibilității restrictive de carbon. (b) Când o rădăcină crește prin sol, va avea loc o admisie (intrare) de carbon în jurul și chiar în spatele vârfului. Într-o parte specifică a solului, carbonul derivat va fi astfel adăugat ritmic prin înaintarea vârfului radicular. Bacteriile vor începe să crească. Ele vor începe apoi să elibereze suficient azot din materia organică pentru a satisface necesarul lor de creștere. (c) Creșterea bacteriilor atrage protozoarele. (d) Când protozoarele consumă bacteriile, o treime a azotului bacterial este eliberat ca NH_4^+ . (e) Parte din amoniu va fi preluat de către rădăcină.

Fig. 2 a – Schema tipurilor de micorize.

Fig. 2 b – Ectomicoriza: raporturile dintre gazdă și ciupercă, de-a lungul rădăcinii. Zona 1: ciupercă formează un manșon în contact cu rădăcina dar nu penetrează nici scufia, nici rizoderma. Zona 2: ciupercă pătrunde (se instalează) printre celulele rizodermeice, formând rețeaua Hartig. Zona 3: ciupercă penetrează în celulele senescente ale rizodermei și ale scoarței; manșonul degenerază. Funcționarea meristemelor secundare va antrena exfolierea în întregime a zonei corticale.

Fig. 2 c – Tipuri de micorize. Ciupercă este subliniată prin punctare: a) Ectomicoriză de esență forestieră; b) Ectomicoriză de mesteacăn; c) Ectomicoriză cu vezicule de strușiori (pteridofite); d) Ectomicoriză cu pelotoni de *Trichomanes* (pteridofite).

Fig. 3 – Arborele genealogic simplificat al fanerogamelor angiosperme și localizarea în interiorul acestui arbore a ordinilor de plante cuprinzând: 1) Bacteriofile sau bacteriozite (triunghiuri negre); 2) Actinorize (puncte negre).

Fig. 4 – Dezvoltarea unui nodul de mazăre, ilustrând conexiuni vasculare, figură adaptată de BOND (1948). Cheie: (a) țesut vascular al rădăcinii; (b) țesut de nodul vascular; (c) endodermă a rădăcinii; (d) endodermă a nodulului; (e) endodermă vasculară a nodulului; (f) meristemul nodulului; (g) regiune centrală infectată; (*) indică zona unde celulele post-meristemice sunt invadate de cordoanele de infecție conținând rizobii.

Fig. 5 – Dialogul „bacterie-leguminoasă”.

Fig. 6 – Structura unui nodul cu *Frankia*. A) Schema secțiunii longitudinale printr-o rădăcină nodulată ramificată, B) Celulă ce conține endofitul sub forma unui filament ramificat înconjurat de plasmalemei celulei gazdă.

María-Magdalena Zamfrache et colab.

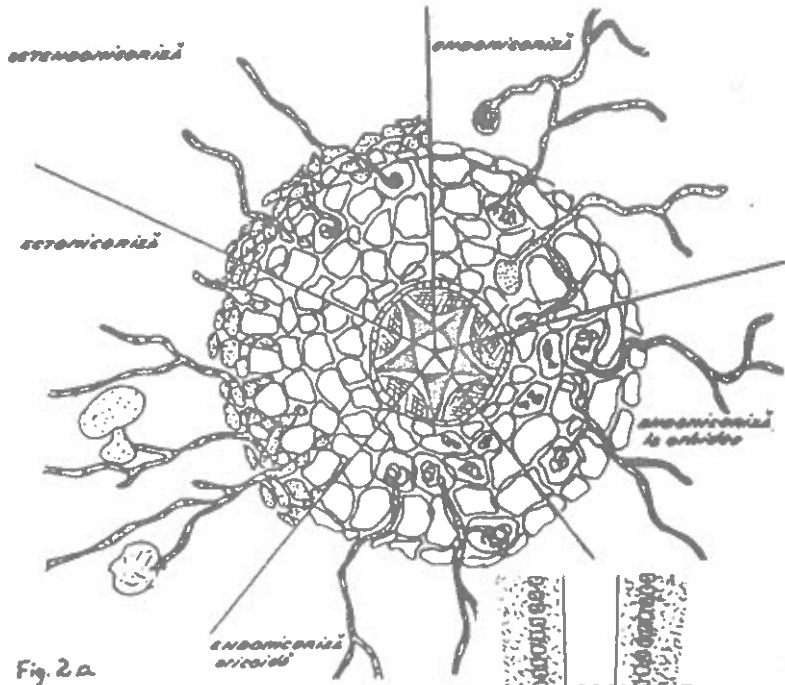


Fig. 2a

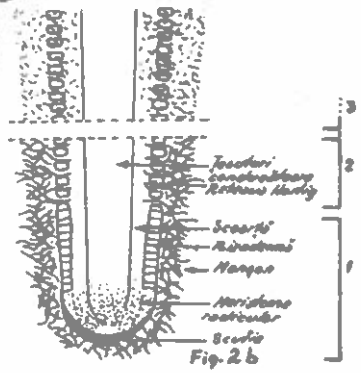


Fig. 2b

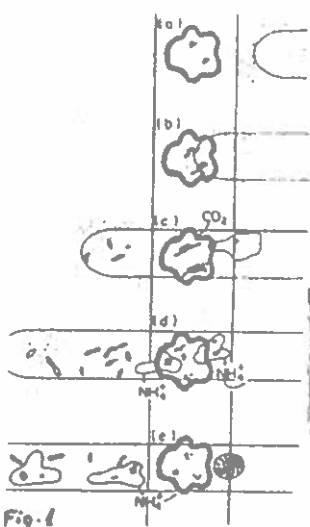


Fig. 2c

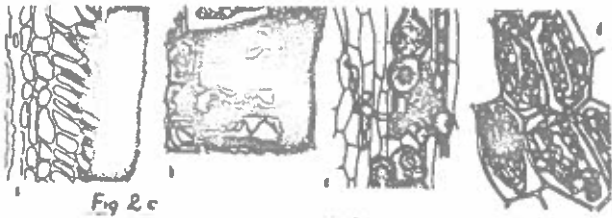


Fig. 2d

