

# Nitrogénkötő szimbiózis

## „CSEVEGŐ” NÖVÉNYEK ÉS BAKTÉRIUMOK

A pillangós virágú virágú növényekről régóta tudjuk, hogy a gyökérükön látható gümők belsejében olyan baktériumok vannak, amelyek képesek a levegő nitrogénjét megkötni és a növény számára felhasználhatóvá alakítani, illetve átadni. Ennek a rendkívül hatékony, szimbiotikus nitrogénkötési folyamatnak a molekuláris biológiai hátterét néhány évtizede kutatják a szakemberek. Az 1970-es évek óta tanulmányozzák, hogy milyen molekulák és gének szükségesek a baktériumok részéről a szimbiózis kialakításához és működtetéséhez, majd a technikai fejlődésnek köszönhetően úgy húsz évvel később a növényi partnerek vizsgálata is elkezdődhetett.

Ennek eredményeként egyre több ismeretünk van arról, hogy milyen sejtszintű folyamatok mennek végbe, milyen jelmolekulák szükségesek a mindkét fél számára előnyös kapcsolat kialakulásához, és milyen gének vesznek részt benne. Olyan „párbeszéd” tárul így elénk, amelynek révén a két partner azonosítja egymást, s egyúttal biztosítják azokat a folyamatokat, amelyek a gyökérgümő teljes kialakulásához és működéséhez szükségesek. A napjainkban folyó genomprogramok segítségével pedig azt is kideríthetjük, hogy a szimbiózisra szakosodott gének rokonai megtalálhatók-e más növényekben is, és ha igen, ez milyen reményekkel kecsegtet.

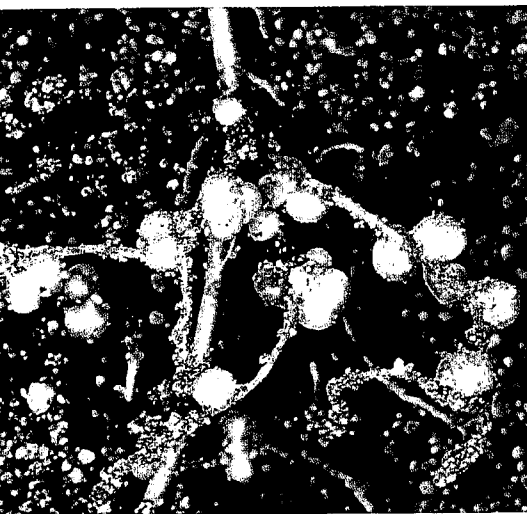
### BAKTÉRIUMOK KULCSSZEREPBEN

A nitrogén alapvető építőeleme az élő szervezeteknek, amelyet a magasabb rendű élőlények – mint a növények is – kizárólag vegyületeiből képesek felvenni. A nitrogén tehát kötött formában áll rendelkezésükre, és hozzáférhetőségéről a növénytermesztés során kell gondoskodni, amit a modern mezőgazdaság legtöbbször műtrágya alkalmazásával ér el. Bár ez hatékony megoldás, és számottevően növeli a terméshozamokat, a műtrágyák előállításában azonban energiaigényes, és túlzott használatukért nagy árat kell fizetnünk. A levegő, a víz és a talaj elszennyeződése ugyanis egyre súlyosabb gondokat okoz. Emiatt nagy igény van a műtrágyázás kiváltására, a természetben előforduló, hatékony nitrogénkötési folyamat jobb kihasználására.

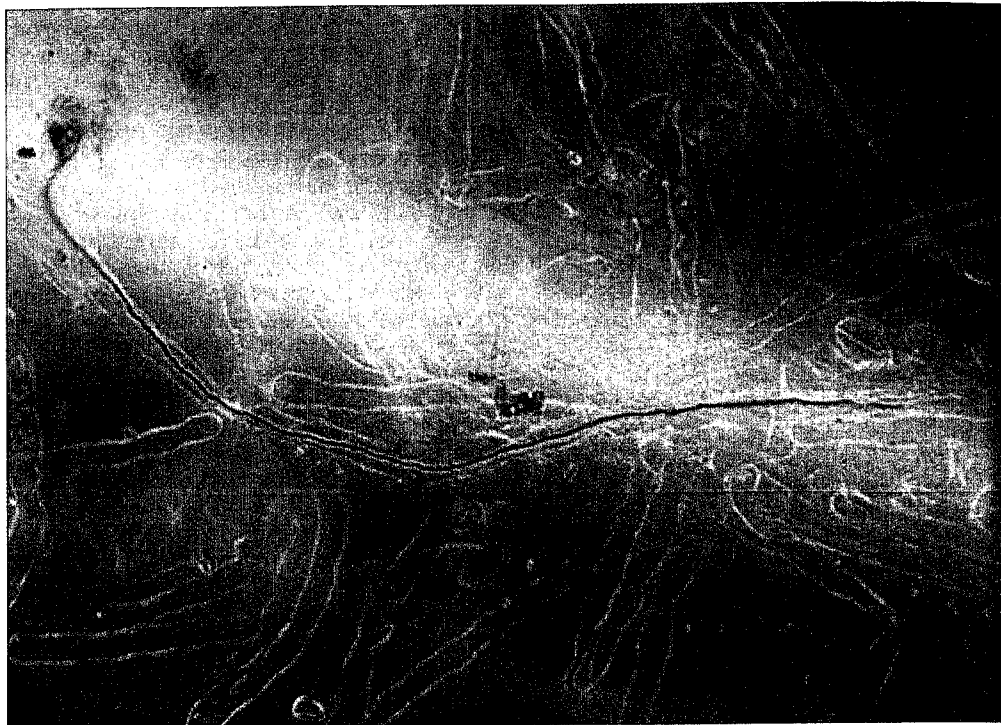
A nitrogén gáz formájában ugyan korlátlanul rendelkezésre áll a levegőben, ám az élőlények számára nem egyszerű a hasznosítása. De nem is lehetetlen! Néhány, alacsonyabbrendű szervezet képes arra, hogy a nitrogéngázt egy enzim segítségével redukció

A molekuláris biológiai kutatások egyik fontos feladata, hogy a természetet alkalmassá tegye a légköri nitrogén hasznosítására szimbiotikus baktériumok segítségével. Erre ma még csak a pillangós virágú növények képesek, minden más növény csak kötött formában, kémiai anyagok révén jut hozzá ehhez a nélkülözhetetlen tápelemhez. A nitrogéntartalmú műtrágyák nem csupán drágák, hanem erősen környezetszennyezők is. A kemikáliák visszaszorítására vagy éppen kiváltására reményekre jogosító kutatások folynak világszerte. Az MTA Szegedi Biológiai Kutatóközpont Genetikai Intézetében a világ élvonalába tartozó kutatásokat végeznek a témakörben.





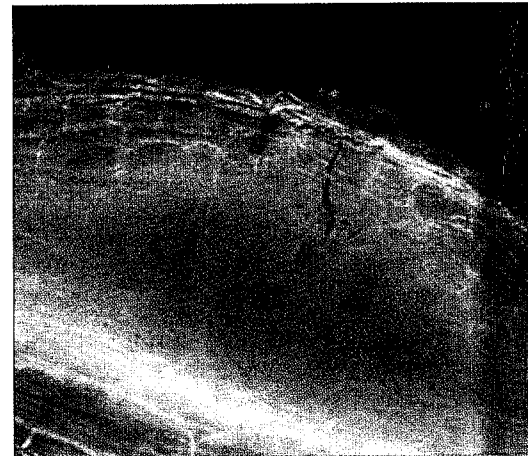
A nitrogénkötés helyszínei a gyökérgümők  
CULTIRIS Képigynökség  
DR. JEREMY BURGESS felvétele



A pillangós virágú takarmánynövények, így  
a baltacim is, a levegő nitrogénjét hasznosítják  
DR. PINKE GYULA felvétele



Gyökérgümők kinagyított képe



A szimbiózis kezdeti folyamatai a növény gyökérében. A felső képen Rhizobiumok haladnak a gyökérszőr infekciós fonálában (a baktériumok lilára festve), lent az infekciós fonál és a benne levő baktériumok bejutása követhető nyomon a már kialakult gümőkezdeménybe (a baktériumokat kékre, míg a növekvő gümőkezdeményt rózsaszínre festették)

révén ammóniává alakítsa, amelyet azután beépít szerves molekulákba. A növények között a pillangósvirágúak (például a lucerna, a bab, a borsó, a lencse, a szója stb.) képesek arra, hogy nitrogénkötő szimbiózisban éljenek ilyen baktériumokkal, amelyeket összefoglaló néven *Rhizobium*oknak hívunk.

Ez a kölcsönösen előnyös együttélés a földfelszín alatt, a növény gyökerén jön létre, ahol a fiatal, még növekvő gyökérszőrök hordozó zónában alakul ki az új, növényi szerv, a gyökérgümő. Ebben telepednek le a *Rhizobium* baktériumok, itt végzik a nitrogénkötést és megfelelő formában továbbítják a növénynek felhasználásra. Cserébe a baktériumok elegendő táplálékhoz (szénhidrátokhoz, aminosavakhoz, fehérjékhez) jutnak – ezeket a gazdanövény állítja elő –, és adottá válnak a feltételek, hogy osztódással megsokszorozzák magukat.

#### JELBESZÉD A KÉMIA NYELVÉN

A nitrogénkötő szimbiózis kialakulása igen izgalmas témakör. Arra keressük a választ, hogy két, egymástól törzsfelődéstanilag távol álló szervezet miként képes létrehozni egy eny nyire specifikus, finoman hangolt együttélési formát. A kutatások immár negyedik évtizede

újabb és újabb felfedeznivalóval szolgálnak a molekuláris biológusok számára. A jelenséget még ennél is régebb óta vizsgálják, hiszen már a XIX. században beszámoltak a pillangósvirágúak gyökerén látható, fura képződményekről, a gümőről, és „lakóikról”, a baktériumokról.

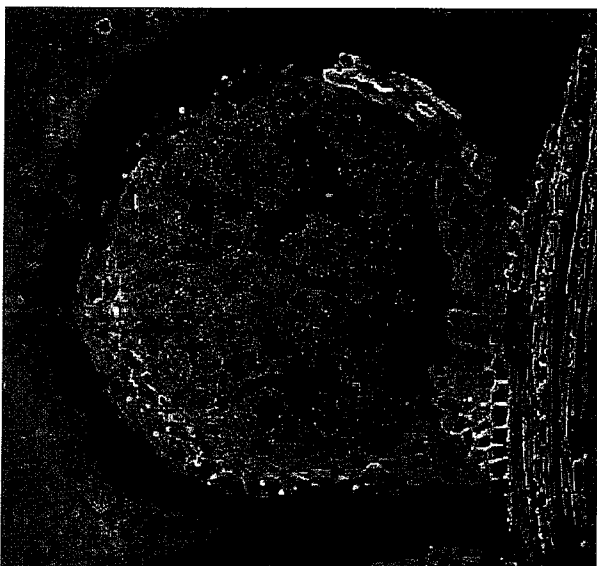
A szimbiózis kialakulásának szabad szemmel, illetve mikroszkóppal látható folyamatát szépen le lehetett írni. Amikor a pillangós virágú növény magjából új palánta kel ki, a gyökerén még nincsenek baktériumokkal megrakott gümők. Kialakulásukhoz a gazdanövény először elkezd a baktériumokkal „beszélgetni”. Gyökerén keresztül folyamatosan a fajra jellemző flavonoidokat bocsát ki, s ha megfelelő *Rhizobium* baktériumok vannak a közelében, azok képesek ezeket kémiai jelemolekulaként érzékelni. Ezek hatására a baktériumok elindulnak a jelek forrása felé, és közben speciális, gümőképző molekulákat bocsátanak ki, amelyek hatására a növény



A nitrogénmentes táptalajon nevelt, néhány hetes lucernanövények a szimbiota Rhizobium nélkül gyengén növekednek (balra). Nitrogénkötő baktériumok jelenlétében (jobbra) a szimbiózisuk révén valósul meg a nitrogénellátás

gyökereinek egyes részeiben lényeges változások következnek be.

Elsőször a gyökérszőrök görbülése figyelhető meg, majd a gyökérszőr teljesen körbeveszi a csúcsára tapadt baktériumokat. Ezt követően a baktériumok bejutnak a gyökérszőr belsejébe, ahol egy növényi sejtmembránnal burkolt, fertőzési (szakmai szóval infekciós) fonál jön létre. Ebben a baktériumok állandó sokszorozódás közepette haladnak a gyökér közepe felé, az osztódó kéregsejtek pedig létrehozzák a gümőt. Ennek belsejében a baktériumok az infekciós fonálról lefűződnek, elfoglalják helyüket a növényi sejtekben, és erősen módosulva úgynevezett bakteroidokká alakulnak át,



A nitrogénkötő gümő keresztmetszeti képe. A belsejében piros fluoreszcens fehérjével jelölt Rhizobium baktériumok töltik ki a növényi sejteket. A körben a növény gümő, illetve gyökér sejtjeit zöld fluoreszcens fehérje teszi láthatóvá (A SZERZŐ kutatócsoportjának felvétele)

miközben az osztódásuk leáll. Az ekkor már termelődő nitrogénáz enzimük révén ebben a formában válnak képessé a nitrogén megkötésére, vagyis ammóniává való redukálására.

A genetikai és a molekuláris biológiai vizsgálatok révén azt is megismerhettük, milyen összehangolt folyamatok eredményezik a látható átalakulásokat. Fény derült például arra, hogy a növények gyökerén fejlődő gümők pontosan szabályozott, egymásra épülő molekuláris folyamatok eredményeként jönnek létre. Ehhez azonban elengedhetetlen bizonyos specifikus jelmolekulák termelése, valamint ezeknek a megfelelő érzékelése mindkét szimbiotikus partnerben. Ezt a növényben és a baktériumban is számos gén teszi lehetővé, amelyek erre a feladatra szakosodtak az evolúció során.

A jelmolekulák ugyan hasonló természetűek, mégis olyan, egyedül jellegeik is vannak, amelyek nagyon szigorúan meghatározzák, hogy egy Rhizobium baktériumtörzs melyik növényvel képes szimbiózist kialakítani. Például az a baktériumtörzs, amelyik a lucerna gyökerén levő gümőkben köti a nitrogént, a borsó gyökerén nem tudja ezt létrehozni, hozzá egy másik Rhizobium törzs „passzol”. Napjainkban mintegy húszezerféle pillangós virágú növényt és legálább kilencven ezer-száz ezer olyan baktériumfajt ismerünk, amely gyökérgümőben él.

#### A MOLEKULÁRIS BIOLÓGIA SEGÍTHET

A nitrogénkötő szimbiózist kutató szakemberekben természetes felmerültek a folyamat kiaknázásában rejlő gyakorlati lehetőségek is. Az egyik legrégebbi cél az volt, hogy a különböző pillangós virágú növények és szimbiota baktériumaik közötti folyamatok jellemzésével minél hatékonyabb nitrogénkötő szimbiózisra képes párosokat azonosítsanak. Ezek segítségével már kaphatók olyan baktériumtenyészetek, amelyeket a pillangós virágú növények természetesen kiegészítőként adva a szimbiózis hatékonyabbá tehető.

Távolabbi cél, hogy a folyamat részletes megismerése után a pillangós virágú növények e páratlan képességével más növényfajokat is felruházzanak. Első hallásra ez olyan elképzelésnek (fikciónak) tetszhet, amelyen még a biológusok többsége is elnézően mosolyog. Ugyanakkor egyértelmű, hogy a nitrogénkötés e természetes formája a leghatékonyabb, és beláthatatlan előnyt jelent az élőlények számára.

Jelenleg csak a pillangós virágú növényeket látják el baktériumok közvetlenül nitrogénnel, de ennek is pozitív hatása van a környezet számára, hiszen e növények révén a talaj feldúsul a többi növény számára is hasznosítható nitrogénnel. A fenntartható mezőgazdasági fejlődés számára – amely a jövő túlnépesedett emberiségét lesz hivatott ellátni megfelelő minőségű és mennyiségű élelmiszerral – azonban egyértelműen nagy segítséget jelentene, ha szimbiotikus nitrogénkötéssel sikerülne kiváltani a nitrogéntartalmú műtrágyák alkalmazásának nagy részét.



Kutatócsoportunk elemzi a növények fejlődését

#### ÚJ FELFEDEZÉSEK

A kutatás eredményeinek szintézisével közelebb jutunk a folyamat molekuláris alapjainak egyre teljesebb leírásához, a specifikus funkciókat irányító szimbiotikus gének megismeréséhez, amely elengedhetetlen minden további tervezgetéshez. A genetikai vizsgálatoknak, valamint az új genomikai módszereknek és genomprogramoknak köszönhetően derült fény arra, hogy a nitrogénkötő szimbiózist irányító gének nagy részéhez hasonló tulajdonságú gének más növényekben is léteznek. Újabb és újabb szimbiotikus génről bizonyítják, hogy ha a más növényekben előforduló, vele hasonló szerkezetű (homológ) gént megfelelően kifejeztetjük egy adott pillangós virágú növényben, az képes ellátni egy meghatározott szimbiotikus funkciót.

A szimbiotikus gének azonosításával párhuzamosan széleskörűen vizsgálják evolúciós fejlődésüket és a homológ géneket is, mert ezáltal közelebb kerülünk a távoli cél eléréséhez. Ennek jegyében a közelmúltban a Bill & Melinda Gates Alapítvány két nagyszabású munka támogatásába fogott. Az egyiknek az a célja, hogy Afrikában minél szélesebb körben megismertesse a gazdálkodókkal a pillangós virágú növények termesztését, Rhizobium baktériumokkal való kezelését. Ez a program igazi szemléletváltást igényel a felhasználóktól ([www.n2africa.org](http://www.n2africa.org)).

A másik kutatási projektben még csak az első lépéseket teszik meg abba az irányba, hogy más termesztett növény is képes legyen a biológiai nitrogénkötésre ([www.ensa.ac.uk](http://www.ensa.ac.uk)). Ez a program még nagyon sok és kitartó kutatómunkát igényel, de a folyamat genetikai alapjairól egyre gyarapodó információk vannak. Így mindenképp érdemes folytatni a további kutatásokat, hiszen lényeges változást hozhatnak mindannyiunk életébe.

**DR. ENDRE GABRIELLA,**  
tudományos főmunkatárs  
MTA SZBK Genetikai Intézete

# NE FELEDJE!

MAJDI MEGTALÁLJA A VILÁGAT  
MINDENKÉPP VILÁGNA?