

Sejterőművek, nyersanyaggyáraik

A fosszilis tüzelőanyagok (szén, kőolaj és földgáz) növekvő felhasználása következtében kialakult környezetszennyezés és klímaváltozás, valamint az erőforrások kimerülése miatt egyre nagyobb az igény tiszta, megújuló energiaforrások és környezetbarát nyersanyagok alkalmazására. Alternatív üzemanyagként a növényi eredetű bioetanol és biodízel felhasználása válik egyre szélesebb körűvé. Ezek előállítására azonban meglehetősen költséges, és súlyos társadalmi konfliktusra vezethet, mivel a bioüzemanyaggyártása végett termesztett növények egyre több termőföldet, vizet és termelőkapacitást vonnak el az élelmiszer-termeléstől, ekképp a növekvő létszámú emberiség élelmiszerral való ellátása mind nagyobb veszélybe kerülhet. Az utóbbi években ezért egyre nagyobb

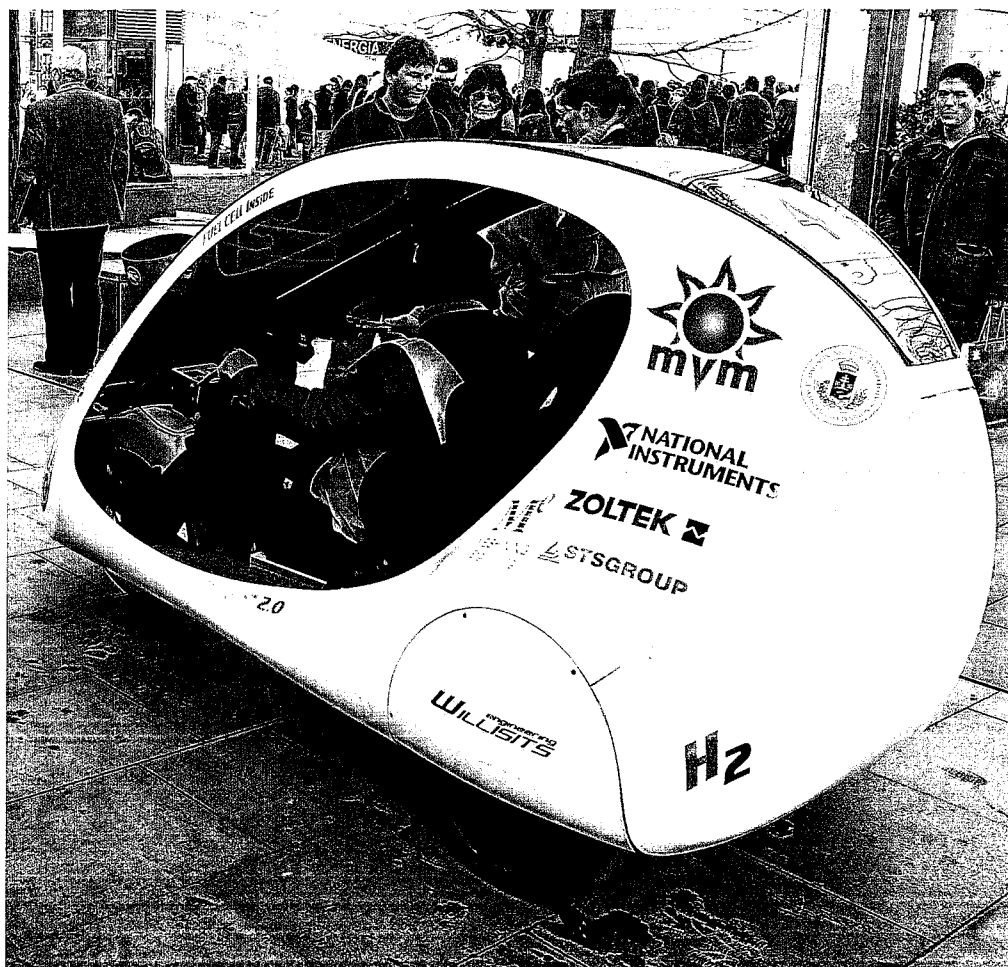
jelentőségűek a cianobaktériumok hasznosításával foglalkozó kutatások.

VERSENYKÉPES SZERVEZETEK

A cianobaktériumok (régebben kék-zöld algák vagy kékbaktériumok) igen ősi, körülbelül 3,5 milliárd éves prokarióta (valódi sejtmag nélküli) élőlények, amelyeknek meghatározó szerepük volt bolygónk élővilágának formálásában. Oxigénfejlesztő fotoszintézisük révén kulcsszerepet játszottak a légkör kialakításában és a növények evolúciójában is. Ősi cianobaktériumokból fejlődtek ki a növények fotoszintézist végző sejt szervecskéi, a zöld színtestek. A növények fotoszintéziséhez hasonlóan a napsugárzás energiájának felhasználásával vízből, szén-dioxidból és a környezetben előforduló mikroelemekből építik fel szervezetüket, amely lehet egysejtű,



Laboratóriumi körülmények között, lombikban nevelt cianobaktérium-kultúrák



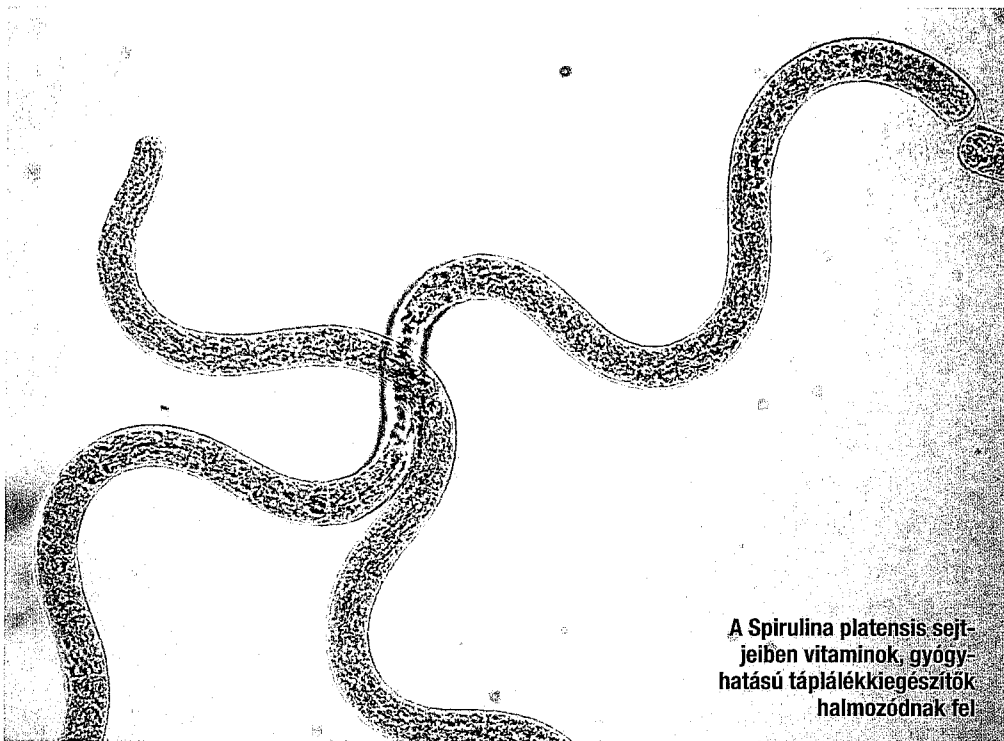
fonalas vagy telepes szerveződésű. Mindehhez nem igényelnek termőföldet (tehát nem vetélytársai a mezőgazdasági növényeknek), hiszen édesvízben vagy tengervízben szaporíthatók.

Bizonyos fajaik képesek olyan extrém (szélsőséges) körülmények között is szaporodni, ahol más élőlények – növények és állatok – már nem maradnának életben. A *Spirulina*-fajok például nagy sótartalmú tavakban, igen lúgos kémhatású környezetben élnek. Esszenciális zsírsavakat, vitaminokat, antioxidánsokat, fehérjéket tartalmazó sejtjeiket gyógyhatású táplálékkiegészítőként és kozmetikumok alapanyagaként használják.

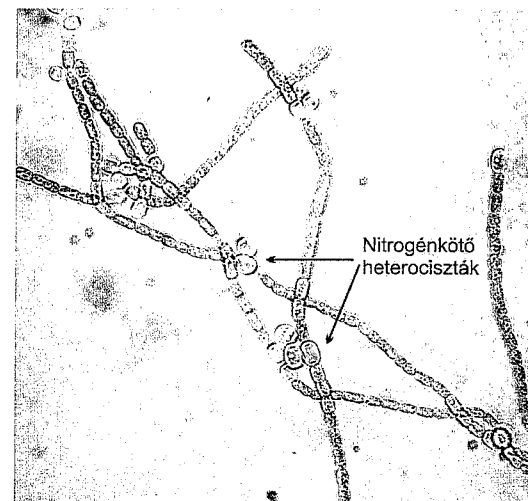
A cianobaktériumok ideális körülmények között gyorsan osztoznak, és képesek olcsón, mesterséges körülmények között nagy mennyiségű biomasszát létrehozni. A fotoszintézis révén megkötött napenergia nagyobb részét tárolják szerves molekulák formájában, mint a zöld növények, így energiafelhasználásuk hatékonyabb. További előnyük, hogy aránylag kicsi az örökítőanyaguk. Eddig már több mint negyven törzs örökítőanyagának a bázissorrendjét (szekvenciáját) ismerjük, és e törzsek

A biohidrogén a magyar fejlesztésű tüzelőanyag-cellás jármű hajtóanyaga is lehet
MTI Fotó – SZIGETVÁRI ZSOLT felvétele

A világméretű környezetvédelmi gondok sürgető orvoslására mind fontosabbá válnak azok a kutatások, amelyek a károk enyhítését, még inkább megelőzését szolgálják. Ebben sokat segíthet a zöldenergia szélesebb körű hasznosítása, új környezetkímélő erőforrások felkutatása. Így akár a törzsfajlás alacsonyabb fokára jutott szervezetek is egészen új utat kínálhatnak az emberiség számára. A biotechnológiai módszerek alkalmazásával szinte hihetetlen lehetőségek kínálkoznak. Az MTA Szegedi Biológiai Kutatóközpontjában – a Szegedi Tudományegyetemmel együttműködve – a cianobaktériumok „hadra fogásával” a nemzetközi kutatások élvonalába tartozó kutatásokat végeznek. Meddig jutottak? Cikkünk erre keresi a választ.



A *Spirulina platensis* sejteiben vitaminok, gyógyhatású táplálékkiegészítők halmozódnak fel



Nitrogénkötő heterocisztákat tartalmazó *Anabaena* sejtek

közül több genetikai módosításra is, alkalmas. Mindez lehetővé teszi biotechnológiai hasznosításukat is környezetbarát módon és olcsón állíthatók elő bioüzemanyagok vagy az ipar számára szükséges nyersanyagok.

HIDROGÉNTERMELŐ „MASINÁK”

Intézetünk munkatársai évtizedek óta foglalkoznak a cianobaktériumok fotoszintézisének kutatásával. Jelenleg a Szegedi Tuda-

mányegyetem kutatóival együttműködve a cianobakteriális fotoszintézis és a nanotechnológia összeházasításán fáradoznak. A feladat a fotoszintézisben szerepet játszó fehérjék és enzimek nanorészecskékké való telepítése. Ha a kutatás sikerrel jár, nanorészecskék felületén hozhatnak létre stabil, később akár ipari méretekben is jól kezelhető energiatermelő rendszert. Ígéretesek azok a kutatások is, amelyek energiaforrásként

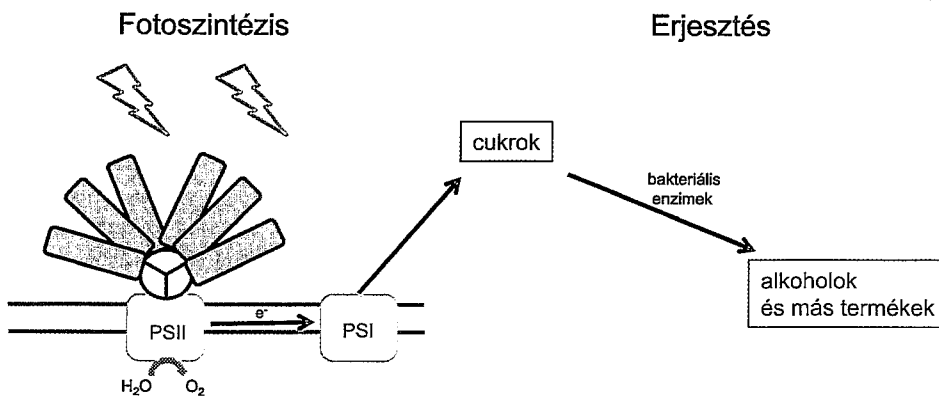
hidrogéngáz előállítására használnák ezeket a mikrobákat.

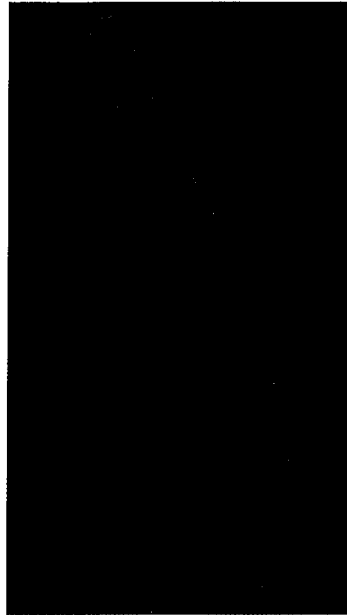
A biohidrogén környezetbarát energiaforrás, sem az előállítása, sem a felhasználása során nem keletkezik üvegházhatást okozó szén-dioxid. A cianobaktériumok többsége képes hidrogént termelni bizonyos körülmények között hidrogenáz enzimeik segítségével. Az enzim igen érzékeny az oxigén jelenlétére, ezért egy fotoszintetizáló sejtben, amelyben oxigén is termelődik, csak kis hatékonysággal működik.

A fonalas cianobaktériumok körében vannak olyanok, amelyek nitrogénáz enzimükkel képesek a légköri nitrogén megkötésére. Ezek a fajok felhasználhatók a mezőgazdaságban a termőtalaj nitrogéntartalmának növelésére. A nitrogénkötésre képes sejtekben a nitrogénáz enzim működése során a reakció melléktermékeként hidrogén is képződik. Minthogy ez az enzim is érzékeny oxigénre, ezekben a cianobaktériumokban a nitrogén megkötése speciális részecskékben, úgynevezett heterocisztákban történik oxigénmentes körülmények között.

Jelenlegi ismereteink szerint egy fonalas, heterocisztás *Anabaena*-törzs képes a legtöbb hidrogént előállítani. A kutatók egyrészt genetikai módosítással próbálják növelni a

A fotanol működési elve. Az összes reakció ugyanabban a genetikailag módosított cianobaktériumsejtben játszódik le





Szilikát-nanorészecskék felületén vörösen fluoreszkálnak a megkötött cianobakteriális, fénybegyűjtő pigmentfehérje-komplexek
A SZERZŐK rajza és felvételei

Osztódó *Synechococcus* sp. PCC7942 sejtek. A sejtekben levő fénybegyűjtő pigmentek a gerjesztő fényben vörösen fluoreszkálnak

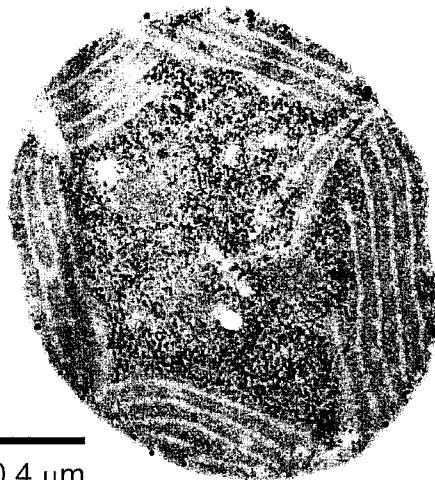
hidrogén termelését, ugyanakkor csökkenteni az enzimek oxigénnel szembeni érzékenységét, másrészt olyan fotobioreaktor kidolgozása a céljuk, amelyben hatékonyan és kis költséggel tudnak minél több hidrogént termeltetni. A kutatás fontosságát az is jelzi, hogy az Európai Unió egyik tudományos programja keretében az utóbbi öt évben mintegy négymillió eurót fordított a cianobakteriális hidrogéntermelés fejlesztésére.

„NYERSANYAGGYÁR” FUTÓSZALAGON

Biodízel előállításához olyan algasejteket használnak, amelyek nagy mennyiségben választanak ki zsírszerű anyagokat (lipideket). A cianobaktériumok általában nem halmoznak fel a sejthejében lipideket, de minthogy gyorsan szaporodnak, nagy tömegű biomasszát hozhatnak létre, amelynek lipídtartalma genetikai módosítással a többszörösére növelhető.

A bioetanol előállítása általában növényi eredetű cukor felhasználásával történik, amelyekből bakteriális erjesztés során képződik alkohol. A fotoszintetizáló cianobaktériumokra azonban nem jellemzők erjesztési folyamatok, amelyek bennük csak sötétben vagy oxigénmentes környezetben, kis hatékonysággal játszódnak le. A nehézségek megszüntetését célozza a *fotanol* (ezt a fotoszintézis és *etanol* szavakból alkották) technológia kidolgozása. Ez az eljárás kihasználja a cianobaktériumoknak azt a képességét, hogy a napfény energiájának felhasználásával vízből és szén-dioxidból szerves molekulákat építenek fel, míg az erjesztő baktériumoknak azt a tulajdonságát hasznosítja, amellyel a szerves molekulákat lebontva alkoholokat állítanak elő.

A molekuláris biológia eszközeivel úgy módosíthatjuk a cianobaktériumokat, hogy a fotoszintézis során előállított molekulá-



0,4 µm

Bizonyos *Synechocystis*-fajok üzemanyag-termelésre is alkalmasak (elektronmikroszkópos kép)

kat a beépített enzimek közvetlenül alkohollá vagy más, üzemanyagként, akár egyéb ipari nyersanyagként felhasználható terméké alakítsák. Ahhoz azonban, hogy biztonságosan, tartósan fenntarthassunk, és gazdaságosan működtethessünk egy „nyersanyaggyár” élőlényt, nélkülözhetetlen a felhasznált mikroorganizmusok genetikájának, anyagcsere-folyamatainak és szabályozásuknak alapos ismerete. Természetesen azokról a cianobaktériumokról tudjuk a legtöbbet, amelyeket a leggyakrabban tanulmányoznak a kutatólaboratóriumokban, és teljes örökítőanyaguk évek óta ismert. Ezek a *Synechocystis* sp. PCC6803 és a *Synechococcus* sp. PCC7942

egysejtű cianobaktériumok, valamint néhány fonalas, nitrogénkötő *Anabaena*-törzs. Legelőbb ezeknek az ipari felhasználása várható.

A cianobaktériumokra azonban nem csak, mint energia-, üzemanyag- vagy ipari nyersanyagok lehetséges forrásaira számíthatunk. Számos törzsből vontak ki úgynevezett *bioaktív anyagokat*, amelyek között vannak baktérium- és vírusellenes, valamint gombaölő tulajdonságú, illetve védekező (immun-) rendszert stimuláló (erősítő) és gyulladáscsökkentő szerek is.

Gyógyszerfejlesztőknek már sikerült olyan bioaktív anyagokat (kuracin A-t, kriptoficint) előállítaniuk, amelyek gyógyszerként használhatók például a rákos betegségek kezelésében. Mások (cianovirin-N, spirulan, ciklikus polipeptidok) az AIDS kórokozója, a HIV, illetve egyéb, súlyos betegségeket okozó vírusok elleni küzdelemben alkalmazhatók. Érdemes folytatni a további bioaktív anyagok utáni kutatásokat, különösen a nagy egyedszámban élő tengeri és a szélsőséges körülményeket is elviselni kényesülő szárazföldi, valamint mérget (toxint) termelő fajok között. E szervezetekben ugyanis nagyobb valószínűséggel vannak jelen a többi mikroorganizmussal szemben védő, illetve a környezeti stressz elviselését segítő bioaktív anyagok.

„MŰANYAGOK” SEJTEKBŐL

Bizonyos cianobaktériumok bőséges szénforrás esetén képesek elraktározni az asszimilált szén-dioxidot *poliészterek* formájában. Ezek a sejtekből kivont polimerek hasonló tulajdonságúak, mint a kőolajszármazékból előállított műanyagok. Nagy előnyük, hogy biológiai úton lebomlanak, ezáltal a környezetet nem terheli „műanyagok”, például csomagolóanyagok készítésére alkalmasak. Európa némely országában és az amerikai földrészen is működnek már olyan üzemek, amelyek ilyen csomagolóanyagok előállítására képesek.

Mind a bioaktív molekulák, mind a poliészterek és más nyersanyagok szintézise fokozható a sejtekben genetikai módosítással és a tenyésztési körülmények gondos megválasztásával. Vannak olyan cianobaktériumok, amelyek más mikroorganizmusokkal biofilmet alkotva felhasználhatók olajjal vagy nehézfémekkel szennyezett területek biológiai tisztítására, méregtelenítésére. De arra is van példa, hogy már sikeresen alkalmazták őket ipari szennyvizek kezelésére is. A kutatóknak tehát bőségesen maradt megoldandó feladatuk. Igen reménykeltő, hogy talán már a közeljövőben környezetkímélő, megújuló energia-, üzemanyag- és nyersanyagforrásként tekinthetünk a cianobaktériumokra, ezekre az ősi, de a környezeti változásokhoz kiválóan alkalmazkodott, parányi élőlényekre.

RACSKÓNÉ DR. DOMONKOS ILDIKÓ – DR. UGHY BETTINA,
tudományos munkatársak
MTA Szegedi Biológiai Kutatóközpont
Növénybiológiai Intézete

NE FELEDJE!

SEPTEMBER 16 – AZ OZON VILÁGNAPJA
SEPTEMBER 21 – TAKARÍTÁSI VILÁGNAP
OKTÓBER 4 – AZ ÁLLATOK VILÁGNAPJA