

Gonczlik Andrea

Az élő természet adományai*

A bioszféra és alkotó fajai számtalan közvetlen és közvetett adományt nyújtanak az emberiség számára. Az élő természet adományai lehetővé teszik, kiteljesítik és színesítik az emberi életet. Az élővilág közvetlen adományai materiális javak, a közvetettek pedig a szolgáltatások. A hatodik tömeges fajkihalás korszakában rendkívül fontos az élővilág adományainak minél szélesebb körű és behatóbb megismerése. Szükség van erre a tudásra annak érdekében, hogy értelmes javaslatokkal és tettekkel járulhassunk hozzá Földünk emberi életre alkalmas mivoltának megőrzéséhez.

Az élő természet adományai a materiális javak és a szolgáltatások köre csoportosíthatók. *Materiális javakhoz* az élőlények biomaszájának közvetlen hasznosításával jutunk. A materiális javak maguk az élőlények, bizonyos részeik, illetve szervezetük bizonyos anyagai. A közvetlen, kézzel fogható materiális javakon kívül számtalan közvetett adományt, rendszerint nehezebben felismerhető, komplexebb *szolgáltatást* is nyújt az élő természet. A természet szolgáltatásai (nature's services) elnevezést először Westman (1977) használta, majd a fogalom csiszolódásával Ehrlich és Ehrlich (1981) bevezették az „*élőlényközösségek szolgáltatásai*” (ecosystem services) kifejezést.

Myers (1996) szerint a szolgáltatások az élőlényközösségek azon funkcionális tulajdonságai, melyek bizonyíthatóan hasznosak az emberiségnek. Ezek magukban foglalják a biodiverzitás közvetett értékeit is. Myers definíciója azonban nem eléggé specifikus. Nem ad képet arról, hogy mik is a szolgáltatások valójában.

Daily szerint „*az élőlényközösségek szolgáltatásai olyan folyamatok és állapotok, melyeket maguk a közösségek vagy bizonyos fajaik hoznak létre. Ezek közül egyesek nélkülözhetetlenek az emberi élethez, mások gazdagítják azt. Továbbá biztosítják a biológiai sokféleséget és a közösségek, illetve tagjai által termelt anyagok (élelem, faanyag, ipari alapanyagok, gyógyszer-alapanyagok) folyamatos elérhetőségét. Az élőlények szolgáltatásai lényegében létfenntartó funkciók, mint a tisztítás, anyag-visszaforgatás. Ezen felül sok, kevésbé megfogható esztétikai és kulturális értéket is magukba foglalnak*” (Daily [1997b], 3. o.).

A szolgáltatások fogalmát az eddigieknél szélesebb értelemben érdemes használni. Myers (1996) és Daily (1997b) definíciói igazak ugyan a szolgáltatásokra, de mindkettő kiegészítésre szorul. Szolgáltatásoknak nevezük az élőlények és közösségeik által létrehozott mindazon állapotokat és folyamatokat, melyek nélkülözhetetlenek az emberi élethez, gazdagítják

* Az Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Karán 2004-ben Takács-Sánta András témavezetésével készült *Az élő természet adományai és veszélyeztetettségük* című szakdolgozat rövidített változata. A szakdolgozat teljes szövege elérhető a http://www.greenfo.hu/adatbazisok/szakdolgozatok_item.php?szd=9 címen.

azt, és értéket jelentenek az emberi társadalmaknak. (Az élőlények biomasszájának közvetlen felhasználása nem esik ebbe a kategóriába.) Ezen állapotok és folyamatok lehetnek emberi beavatkozástól mentesek, de ember által irányítottak is; ha hasznosak az emberiségnek, akkor szolgáltatásoknak nevezzük őket. Ezek sokszor egybeesnek az élőlények anyagcsere-funkcióival, mint például a talaj lebontóinak tevékenysége. Leggyakrabban nem individuális fajok tevékenységéről van szó, hanem egész közösségek vagy populációk közötti kapcsolatok révén létrejövő szolgáltatásokról (például a talaj létrehozása).

Vannak szolgáltatások, melyek erősen függenek az élőlényközösségek diverzitásától. Ilyen szolgáltatás például a biológiai növényvédelem, hiszen szinte minden egyes kártevő ellen a rá specializálódott kontroll ágens bevetése ajánlott. Vannak ugyanakkor olyan szolgáltatások is, melyekre az jellemző, hogy az élőlényközösségek a fajok számától függetlenül képesek nyújtani azokat. Példa erre a fotoszintézis, melynek mértékét kevéssé befolyásolja, hogy hány fajból álló növénytársulásról van szó. Itt főként a fotoszintézisre képes biomassza mennyisége a meghatározó. Egy nyárfa-ültetvény éppen olyan jól teljesítheti oxigén-kibocsátó szerepét, mint egy természetközeli erdő. A szolgáltatások egy folyamatos skálán helyezhetők el a diverzitásfüggés szempontjából – a függés erőssége széles skálán mozoghat.

Hasonlóképpen a szolgáltatások fajfüggése is eltérő mértékű lehet (Lerdau–Slobodkin [2002]). Bizonyos szolgáltatások minősége erős pozitív korrelációt mutat (szoros kapcsolatban áll) a szolgáltató élőlénycsoport összetételével, pontosabban meghatározott, a szolgáltatás nyújtására alkalmas fajok jelenlétével. Ilyenek többek között a nitrogén megkötése, a növényi illékony szerves vegyületek (VOC – volatile organic compounds) termelése, a beporzás vagy a növényi kártevők kontrollja. A nitrogén megkötésére például csak a nitrogénkötő mikroorganizmusok képesek. Nélkülük, bármilyen változatos is az élőlényközösség, nem jöhet létre nitrogénkötés.

Az élő természet adományainak csoportosítása

Az élővilág egyes szolgáltatásai sokszor elválaszthatatlanok egymástól vagy egymásra épülnek. Elkülönítésük ezért olykor természetellenes, ugyanakkor a szolgáltatások és a szolgáltató fajok megismerése szempontjából szükséges.

Az eddigi csoportosítások és kritikájuk

A legrégebbi, a természet adományaival foglalkozó, modern szemléletű tudományos cikk (Westman [1977]) már különbséget tesz a materiális javak és a természet szolgáltatásai között, ahogy ezt az összes későbbi csoportosításban is megfigyelhetjük. Westman a materiális javakat két fő szempontból tartja hasznosnak: az egyik a piacképes áruk (például hal, fa) közvetlen hasznosítása, a másik a társadalom számára értékes fajok (ter-

mesztett növények, tenyésztett állatok, faanyag) genetikai erőforrásainak megőrzése. A természet szolgáltatásait a cikk nem rendszerezve mutatja be, de nem is ez célja. Myersnél (1996) a főbb szolgáltatások (például klímaszabályozás, talajvédelem, beporzás, indikáció) inkább csak egymás mögé kerültek, átgondolt sorrendnek nincs nyoma.

Kunin és Lawton (1996) az élővilág értékeiről szóló tanulmányukban az élő természet adományait meglehetősen haszonelvű megközelítés szerint csoportosítják. Az egyik kategóriában a fajok mint piacképes áruk szerepelnek. Ilyenek az élelemként, a gyógyászati- és ipari alapanyagként használt élőlények. A szerzők ide sorolják a hobbiszintű halászat és vadászat során elejtett fajokat is. A másik kategóriába a nempiaci termékek és szolgáltatások tartoznak, mint a talajképzés, levegőtisztítás, de ezeket csak példaként említik. Ebben a kategóriában kiemelik viszont az esztétikai értékeket és a fajok ún. belső értékét is.

A Daily által szerkesztett könyv (1997a) a szolgáltatásokról szól, a materiális javak említése nélkül. A könyv a szolgáltatásokat a következő felosztásban tárgyalja. *Az éghajlat és az élet.¹ A talaj által nyújtott szolgáltatások.² A beporzók szolgáltatása. A biológiai növényvédelem és az agrártársadalmak.* Mindezzel az a legnagyobb probléma, hogy nem körvonalazza világosan az élő természet által nyújtott szolgáltatásokat, hanem azokat a természet egészébe ágyazva jeleníti meg. Így például szól a talaj mint biogeokémiai egész által nyújtott szolgáltatásról, vagy az egyes nagy biotopok (tengerek, édesvizek, erdők, füves területek) által nyújtott globális szolgáltatásokról. Ez jogos abban az értelemben, hogy a természet egészéért „szolgáltató”, és a valóságban nem különíthetők el az élő természet jelenségei az élettelen tényezők hozzájárulásától. Ugyanakkor ha az élővilág szolgáltatásairól beszélünk, szükséges ezek elválasztása az élettelen tényezők hozzájárulásától. A feladat nem lehetetlen, hiszen az élőlények tevékenysége – bár az élettelen természetbe ágyazva – jól körvonalazható és értékelhető. További gond, hogy a könyvben valójában jól átgondolt csoportosítás nem található. Az egyes szolgáltatások felsorolásánál keverednek a természetes körülmények között zajló és az ember által irányított szolgáltatások. Ilyen például a beporzás, ahol az ember által fenntartott méhpopulációk szolgáltatásait említik. Ugyanakkor nem található meg olyan hasonló szolgáltatások, melyeket az ember által alkalmazott élőlények irányítottan végeznek (például szennyvíztisztítás). Teljesen hiányzik a könyvből olyan fontos szolgáltatások említése, mint az energiabefogás, a légkör összetételének kialakítása vagy a természetes tisztítási folyamatok.

¹ Ez a fejezet kizárólag a biogeokémiai ciklusokról szól, holott az éghajlat szabályozásával kapcsolatban még számos mechanizmusban – mint a csapadékképződés, a hőmérséklet-szabályozás vagy a páratartalom alakulása – fontos szerepet játszanak az élőlények.

² E fejezetben szó esik a talajképzésről, a talaj vízciklusban játszott szerepéről, a tápanyagmegtartó és lebontó funkciójáról, valamint a talaj termékenységéről.

De Groot és munkatársai (2002) négy fő funkciót neveznek meg, melyből a materiális javakat és a szolgáltatásokat származtatják. (1) *A szabályozó funkciókból* erednek azok a szolgáltatások, amelyek fenntartják a nélkülözhetetlen ökológiai folyamatokat, mint amilyen az éghajlat-szabályozás, a talajképzés vagy a beporzás. (2) *Az élőhely funkciók* szolgáltatásai az élőhelyek, illetve szaporodási helyek biztosítása. (3) *A termelési funkciók* lényegében a közvetlen materiális javakat adják; élelmet, energiát, alapanyagokat és genetikai állományt. (4) *Az információ-funkciók* esztétikai élvezetet, rekreációs hasznot, kulturális és spirituális értéket jelentenek, illetve hozzájárulnak a tudomány és az oktatás munkájához.

E felosztásból is hiányzik a természetes és az ember által irányított szolgáltatások elkülönítése. Az utóbbi kategóriába tartozó szolgáltatások közül a szerzők nem említenek egyebet, csupán a beporzást és a kártevők kontrollját. Továbbá az élőhelyfunkcióból eredő szolgáltatásoknak csak sokszoros áttétellel, közvetett módon van értékük az emberi társadalmakban, emiatt nem célszerű a főbb szolgáltatások között említeni őket. (A szerzők célja ugyanis olyan rendszer kialakítása volt, amelybe a legfőbb adományok besorolhatók.) Az ilyen, többszörösen közvetett szolgáltatások említése olyan kérdésekhez vezet, mint például az, szolgáltatás-e, hogy növények léteznek a növényevők eltartására. Mivel a materiális javak, illetve a szolgáltatások mindenképpen csak ember általi hasznosságuk tükrében értelmezhető fogalmak, véleményem szerint ragaszkodnunk kell ahhoz, hogy az említett kategóriákba csak olyan folyamatok és állapotok tartozzanak, amelyek az ember számára egyértelműen hasznosak. Az élőhely funkcióból származó „szolgáltatások” pusztán alapot adnak a valódi szolgáltatások biztosításához.

A felsorolt tanulmányok közül egyetlenegy rendszerez (de Groot et al. [2002]), a többi a szolgáltatásokat átgondolt rendszer vagy sorrend nélkül írja le. Az összes említett tanulmányból hiányoznak az általam „technológiai felhasználások”-ként és „nem-fiziológiai szükségletek”-ként említett szolgáltatások. Utóbbiról éppen csak érintőlegesen tesznek említést (Kunin-Lawton [1996]; Daily [1997a]; de Groot et al. [2002]), előbbiről pedig – legalábbis külön kategória szintjén – egyik írás sem szól, holott e szolgáltatások átszövik mindennapjainkat.

Javaslat egy új csoportosításra

Az előzőekben felsorolt irodalmak az élővilág adományait materiális javakra és szolgáltatásokra bontva tárgyalják. E felosztás magától értetődő, így a továbbiakban ebből indulunk ki (1. táblázat).

A szolgáltatások további csoportosításának alapját az emberi szükségletek és felhasználások minőségi különbségei adják. A szolgáltatások három csoportja: (1) az ember fiziológiai szükségleteit kielégítő szolgáltatások, (2) a nem fiziológiai szükségleteket kielégítő szolgáltatások és (3) a technológiai felhasználások.

AZ ÉLŐ TERMÉSZETTŐL KAPOTT ADOMÁNYOK

MATERIÁLIS JAVAK	SZOLGÁLTATÁSOK		
	<i>Fiziológiai szükségletek</i>	<i>Nem fiziológiai szükségletek</i>	<i>Technológiai felhasználások</i>
<ul style="list-style-type: none"> • élelem és élelmiszeripari-alapanyagok • gyógyhatású anyagok és gyógyszer-alapanyagok • textilipari alapanyagok • biomassza-energia • egyéb közvetlen anyagszolgáltatások és ipari alapanyagok 	<ul style="list-style-type: none"> • atmoszféra (léggör) <ul style="list-style-type: none"> – az atmoszféra összetételének kialakítása, oxidáló léggör kialakítása és fenntartása – ultrabolya sugárzás elleni védelem – a léggör tisztítása – relatív éghajlati stabilitás fenntartása • hidroszféra (természetes vizek) <ul style="list-style-type: none"> – tisztítás • pedoszféra (talaj) <ul style="list-style-type: none"> – a talaj létrehozása és fenntartása – talajvédelem (víz- és tápanyagmegtartás) – a vízfolyás csökkentése, áradások és szárazság enyhítése – lebontás (mineralizáció, reciklizáció, detoxikáció) • energiabefogás • nitrogén megkötése • a növényi biomassza növelése és „egészségének” fenntartása • beporzás • növényi kártevők kontrollja 	<ul style="list-style-type: none"> • az élővilág mint lelki és esztétikai örömforrás • az élővilág szerepe az emberi kultúrák fennmaradásában • indikáció • bionika 	<ul style="list-style-type: none"> • élelmiszeripar <ul style="list-style-type: none"> – szeszipar – sütőipar – tejipar • textilipar • agrárkultúrák beporzása fenntartott beporzó ágensekkel • biológiai növényvédelem <ul style="list-style-type: none"> – állati kártevők ellen – növényi kórokozók ellen – gyomnövények ellen • technológiai tisztítás <ul style="list-style-type: none"> – szennyvíztisztítás – a talaj remediációja • hulladékkezelési eljárások <ul style="list-style-type: none"> – komposztálás – biogáztermelés

1. táblázat Az élő természettől kapott adományok

Az ember fiziológiai szükségleteit kielégítő szolgáltatások mindazok az élőlények által produkált állapotok és folyamatok, amelyek az ember biológiai lényét tartják életben. A nem-fiziológiai szükségletek az ember lelki, esztétikai igényeit elégítik ki, valamint hozzájárulnak az emberi kultúrák fennmaradásához. A „technológiai felhasználások” elnevezésű csoport tartalmazza mindazokat a folyamatokat, amelyekben az ember irányítottan alkalmazza az élőlények tevékenységét. Az élővilág adományainak itt összegyűjtött listája – bár szinte minden eddigi irodalomhoz képest részletesebb – természetesen nem teljes. Céloom azonban nem is a teljesség, hanem az élőlényközösségek legfontosabb szolgáltatásainak ismertetése és ezek értékeinek kiemelése.

Materiális javak

Materiális javakhoz az élőlények biomasszájának közvetlen hasznosításával jutunk. A materiális javak maguk az élőlények, bizonyos részeik, illetve szervezetük bizonyos anyagai. A materiális javak ismertetésén kívül e fejezet arról is szól, hogy az élővilág sokféleségéből fakadó materiális javakat miért kellene és hogyan lehetne jobban kihasználnunk. Materiális javak lehetnek (1) élelem és élelmiszeripari-alapanyagok, (2) gyógyhatású anyagok és gyógyszer-alapanyagok, (3) textilipari alapanyagok, (4) biomassza-energia, (5) egyéb közvetlen anyagszolgáltatások és ipari alapanyagok.

Élelem és élelmiszeripari alapanyagok

Talán ez a legtriviálisabb juttatás, ami eszünkbe jut a természet kapcsán. A természeti népek élelemhez jutását a helyi fajgazdagság biztosítja. A mezőgazdálkodást folytató népek – az emberiség jóval nagyobb része – a dokumentáltan ehető húszezer növényfaj töredékét vonták kiterjedt termesztés alá (Kunin–Lawton [1996]). A történelem során körülbelül háromezer faj termesztésével foglalkoztak a Föld különböző pontjain (Vietmeyer [1986]), ebből csupán húsz faj az, amelyet jelenleg tömegesen fogyasztunk.

Új fajok termesztésbe vonásával nőhet a termésátlag, kitolódhatnak a tolerancia-határok (bizonyos növények az eddig termesztésre nem alkalmas területeken is képesek lennének megélni), valamint növekedhet az ellenálló képesség bizonyos ágensekre nézve.

Termesztett növényeink fajsámát növelve, illetve kevert kultúrák alkalmazása révén stabilabb élőlényközösségek jönnének létre, és – kísérletek szerint (Ewel et al. [1991]) – bizonyos esetekben növekedhetne a produktivitás a monokultúrákhoz viszonyítva. Márpedig ha egy föld jobban terem, nem kell újakat termelésbe vonni a növekvő emberi népesség eltartása érdekében.

Földünkön a potenciálisan még megművelhető terület egyre csökken. Fontos lehet tehát bármely faj, amely számunkra ehető, és még olyan szélsőséges, eddig nem hasznosított területeken is megél, mint például egyes száraz vidékek (Kunin–Lawton [1996]). Az intenzív mezőgazdálkodás kö-

vetkeztében az agrártársulások faj- és genetikai diverzitása jelentősen csökkent. Ez maga után vonta az ellenálló képesség gyengülését (Vida [2001]). Az iparosított mezőgazdálkodás monokultúrái veszélyes mértékben ki vannak téve növénykárosító rovaroknak és más zavarásoknak, labilis közösséget jelentenek. A genetikai manipuláció alternatívája lehetne ezen a téren új, ellenálló fajok kiterjedt termesztésbe vonása. Új fajok bevonása mellett lényeges lehet a termesztett faj és rokonsági köre bizonyos tagjainak keresztezése is. „A rendszeres genetikai frissítés a tulajdonságok megtartásában, kialakításában nélkülözhetetlen, ehhez pedig főleg a vadon élő rokonsági kör genetikai anyagára van szükség. Az ellentmondás ott feszül, hogy a vad rokonsági kör fajait a napi gyakorlat általában gyomoknak tekinti és ennek megfelelően is kezelik őket.” (Márkus [1995], 29–31. o.)

Az állattartásból származik az emberi fehérjeszükséglet jelentős hányada. Mindezt döntő részben csupán kilenc faj biztosítja (szarvasmarha, sertés, juh, kecske, bivaly, házityúk, házikacsa, házilúd, pulyka). Az állattenyésztés színesebbé tételének első lépése a vadon élő fajok életben maradása, illetve tartása (Ehrlich–Ehrlich [1981]).

Gyógyhatású anyagok és gyógyszer alapanyagok

Az emberiség ösidők óta használja a természetben található anyagokat gyógyításra. Mind a keleti, mind pedig a nyugati orvostudomány rengeteg természetes eredetű anyagot alkalmaz. Növényekből, állatokból és mikroorganizmusokból egyaránt sokféle gyógyhatású anyag, illetve gyógyszer-alapanyag nyerhető.

Számos faj vet be kémiai fegyvert ellenségei kijátszására, illetve termel olyan anyagokat, amelyekkel megvédelheti magát. Ilyenek például a kártevők ellen hatékonyan berendezkedett növények, számos tengeri gerinctelen faj, gombák, mikroorganizmusok, hullók és kétéltűek. Ezek általában biológiailag aktív vegyületeket termelnek, amelyek a célszervezet anyagcseréjét változtatják meg.³

A gyógyászat, illetve a gyógyszeripar fontos célja, hogy minél több gyógyhatású természetes vegyületet találjon meg, fedezzen fel. A következő lépés ezek szintetizálása lehet, megelőzve ezzel a fajok túlhasználatát. Nem kellene tehát a kipusztulásba hajszolva begyűjteni az egyedeket. Biológiailag aktív vegyületek nyerésére alkalmas fajok nagyobb eséllyel találhatóak a trópusokon, ahol a diverzitás is nagyobb, mint a mérsékelt övben, továbbá a számos ízeltlábú faj elleni védekezésésként a növények sok alkaloidot⁴ és toxint (mérgező fehérjét) termelnek. A trópusi talajban ren-

³ Például a *Rouvolfia serpentina* nevű cserjéből nyerhető a *reserpine*, mely nyugtató és egyben antiskizofrén anyag is (Kunin–Lawton [1996]).

⁴ Bonyolult összetételű, nitrogéntartalmú szerves vegyületek gyűjtőneve. Nagy részük erős méreg, de egyesek kis mennyiségben gyógyhatásúak. Az alkaloidok közé tartozik például a kinin, a morfin és a kokain is.

geteg az aktív mikroorganizmus, melyek sok biológiailag aktív anyagot, illetve antibiotikumot termelnek (Kunin–Lawton [1996]).

Textilipari alapanyagok

Vannak olyan textíliák, amelyeket élőlényekből, illetve bizonyos részeikből állítanak elő. A leggyakrabban használt növényi eredetű textília a pamut és a len. A pamutot az emberiség évezredek óta ismeri, a gyapot (*Gossypium hirsutum*) tokterméséből kialakuló magszálakból nyerik. A gyapotszálakból nyert pamutszálakat fonási eljárásokkal alakítják fonallá. Már az ókori kultúrákban is ismert textilnövény volt a len (*Linum sp.*). A lenrostokat a növény szárából nyerik. Kevésbé elterjedt a kókuszdió, a kender és a juta használata. A kókuszdió kemény rostjából készítik futószőnyegek, padlóburkolatok, kötelek és kárpitok alapanyagát. A kender szárából nyert rostot kötélgyártásban, ponyvakészítésben használják szövétként. A juta szárrostjaiból csomagolóanyag, és tapéta-alapanyag készül.

Az állati eredetű textíliáink közül a gyapjú alapúak a legelterjedtebbek. A gyapjú az állat (például birka, kecske, teve, láma) testét borító szőrzet, melyet megfelelő technikával fonallá fonnak. Jellemzőes gyapjúszővetek a filc, a muszlin vagy a posztó.

A textilipar e fő alapanyagokon kívül még rengeteg élőlény anyagait használja. A tisztálkodáshoz használt luffa szivacs például többek között a *Luffa aegyptiaca* (Egyiptomban és Arábiában őshonos) és a *Luffa cylindrica* növényfajokból készül. A gyümölcs száraz, rostos szövetéből készül a növényiszivacs, melyet mosdószivaccsként használnak. Cipőtalpnak, képrámának és kosárnak is használják.

Biomassza-energia

Az emberiség nagy része ősidők óta használ fát energianyérésre. Ennek jelentős részét a természetes társulások faanyaga adja, de mára az energiafaültetvények is világszerte elterjedtek. Jó eredményekkel kecsgetnek továbbá az energiafű-ültetvények. Az Alföld szikes tájairól származó, illetve Közép-Ázsia száraz térségeiből begyűjtött növények keresztezésével hozták létre Magyarországon a Szarvasi-1 energiafűvet. A faj megterem bárhol, a legmostohább talajviszonyok és időjárási körülmények között is. Fűtőértéke egyenértékű a barnaszénével és az akáccal. Brit vizsgálatok *Miscanthus* fajokkal (elefántfű) folynak. Az elefántfű magas növésű, évelő, a cukornáddal rokon növény. Egyéves hajtásai három méter magasra is megnőnek és egy centiméter átmérőjűek. Az ültetvény legalább húsz évig termőképes marad. Az elefántfű szárazanyag hozama a második-harmadik évben elérheti a huszonöt tonnát hektáronként (Sági [1994]).

Egyéb közvetlen anyagszolgáltatások és ipari alapanyagok

Az emberek, illetve a különböző iparágak a fentiekén túl is nagyon sokszínűen használják az élő természet által nyújtott anyagokat. Rengeteg anya-

got készen kapunk a természettől, és ipari átalakítás nélkül használhatunk. Ezek – a teljesség igénye nélkül – a következők: faanyag, illatanyagok, fagyú, gyanta, gyapjú, méz, enyv, rost, bőr, selyem.

Az építőipar, a bútoripar, a papíripar és még számos iparág használ fát termékei előállításához. Különböző fafajok különböző céloknak felelnek meg, egyesek például bútornak jók, mások hajóépítésre stb. Minden faj eltér egy kicsit a másiktól olyan tulajdonságaiban, mint a sűrűség, a szín, a megmunkálhatóság, a gombára való fogékonyság, a növekedési ütem vagy az élőhelyi tolerancia (Kunin–Lawton [1996]).

Parafából kinyerhető a gumi alapanyaga, más fafajokból pedig olaj préselhető. Ilyen faj például a *Crambe abyssica*, a belőle származó erukasav-olaj magas hőmérsékleten kiváló kenőtulajdonságokkal rendelkezik, de bevonó- és műanyagok gyártására is alkalmas. Crambeolaj-alapú termék a Nylon 1313 is, amely nagyfokú nedvesség-ellenállósága révén gépjárművek alkatrészeként, valamint csövek, pumpák, kábelek gyártásában juthat szerephez (Sági [1994]). Kosmetikai alapanyagok, illatanyagok (például jobobaolaj, rózsaoilaj, ámbra) szintén nagy számban találhatók az élő természetben. Egy bizonyos kagylófajból korrózióálló ragasztót nyernek, hőforrások baktériumaival hőálló enzimek termeltethetők, egy puhatestű héjából nyert anyag rugalmas beton készítésére alkalmas (Kunin–Lawton [1996]). Rendkívül fontos ehelyütt a fajok sokfélesége, hiszen több fajból több, számunkra használható és fontos anyaghoz juthatunk.

Az élővilág szolgáltatásai

Fiziológiai szükségleteket kielégítő szolgáltatások

Az ebbe a csoportba tartozó szolgáltatások létfenntartó funkciót töltenek be, az ember fiziológiai szükségleteit elégítik ki, vagyis lehetővé teszik és fenntartják az életünkhöz nélkülözhetetlen körülményeket.

Légekör

A légekör jelenségei meghatározóak az élővilág mindenkori alakulásában, emellett az élőlények is jelentős szerepet játszanak a légekör folyamataiban. Az élőlények atmoszférát érintő szolgáltatásai (1) az atmoszféra összetételének és az oxidáló légekörnek a kialakítása és fenntartása; (2) a Napból érkező ultrabolya sugárzás elleni védelem; (3) a légekör tisztítása; (4) viszonylag stabil éghajlat fenntartása.

(1) Az élőlények anyagcseréjük során gázhalmazállapotú anyagokat használnak fel, illetve bocsátanak ki, hozzájárulván az atmoszféra összetételének kialakításához. Ha összehasonlítjuk a Naprendszer három szomszédos bolygóját körülfogó gázburkok kémiai összetételét, érdekes szabálytalanság figyelhető meg (2. táblázat). A gázkomponensek mennyisége ugyan nem, de az egymáshoz viszonyított arányuk a Vénusz és a Mars esetében

igen hasonló. Mindkét bolygó légkörét a szén-dioxid uralja, ami a Föld gázburkáról nem mondható el.

	CO ₂	N ₂	O ₂
Vénusz	98%	1,9%	<i>nyomokban</i>
Mars	95%	2,7%	0,13%
Föld	számított	98%	<i>nyomokban</i>
	tényleges	0,03%	21%

2. táblázat Három bolygó főbb gázainak térfogatszázalékos megoszlása (Dunkel [1996] nyomán)

A táblázat a Földre egy hipotetikus, számított „légkör” összetételét is feltünteti, amit a két szomszédos bolygó csillagászati adataiból és légköri összetételéből számítottak ki. A valódi érték ettől a feltételes értéktől lényegesen eltér, hiszen a tényleges földi légkörben a széndioxid-nyomás mindössze ezredrésze a Föld csillagászati helyzete alapján elvárható értéknek, míg az oxigénnyomás 700-szor nagyobb, mint az a Föld csillagászati helyzete alapján elvárható lenne (Dunkel [1996]).

A változás a Föld „élő bolygó” mivoltából származik, tehát az élőlények tevékenységének tudható be. Az élőlények fotoszintetizáló tevékenysége által biztosított és fenntartott magas oxigénszint tette lehetővé az oxigénes légzés kialakulását és fennmaradását. Mintegy hárommilliárd évvel ezelőtt a földi gázburkok még oxigénben szegény volt. Az élőlények – baktériumok, algák, majd később a magasabb rendű növények – a Föld redukáló légkörét oxidálóvá alakították aktív fotoszintézissel. Idővel az oxigénszint elérte a mai 21%-ot, ami az élőlények közreműködésével évmilliók óta nagyjából állandó.

(2) A légköri oxigénszint növekedésének következtében lassan kialakult a sztratoszféra ózonrétege, amely főszerepet játszik a Naptól érkező, az élőlények döntő többségére káros ibolyántúli sugarak kiszűrésében. Ennek hiányában a szárazföldi élet csupán néhány baktériumra korlátozódna.

(3) Ugyanakkor a magas oxigén-koncentráció oxidációs folyamatok révén működik közre a légkör *öntisztító folyamataiban*. Oxidáló ágensek – mint az ózon, a hidroxil-gyök, az illékony szerves vegyületek (VOC-k) – koncentrációja határozza meg az oxidáció mértékét. Az oxidált formák légkörből való távozása – száraz- és/vagy nedves kiülepedéssel – könnyebb, mint a redukáltaké.⁵

⁵ Az oxidáló ágensek egyik legfontosabb csoportja az illékony szerves vegyületek (VOC). A Föld kémiaiilag aktív VOC-kibocsátásában a növényeknek kiemelkedő szerepük van, a teljes mennyiség mintegy 80%-át adják. A növényi VOC-k milyensége és kibocsátásuk mértéke nagyon fajspecifikus, ezért a növénytársulások összetétel-változásai jelentős mértékben befolyásolják a VOC-k légköri koncentrációját, és ezáltal a légkör oxidáló, illetve tisztító kapacitását (Lerdau–Slobodkin [2002]).

(4) Az élővilág befolyásolja az *éghajlatot* is. Néhány irodalom szerint a klíma határozza meg azt, hogy egy adott helyen milyen növényzet alakul ki, miközben a fordított irányú hatás nem jelentős (például Walter–Breckle [1985]). Valóban döntő szerepe van az éghajlatnak a vegetáció milyenségében, mára azonban világossá vált, hogy a növényzet is befolyásolja a klímát mind lokális, mind regionális, mind pedig globális szinten (Hayden [1998]; Shukla–Mintz [1982]). A vegetáció az anyagkörforgalmakon, továbbá a bioszféra és az atmoszféra közötti energiaáramláson keresztül befolyásolja, szabályozza a klímát. Így a bioszféra jelentős mértékben járul hozzá egyes üvegházgázok, így a vízgőz, a szén-dioxid és a metán légköri jelenlétéhez, mennyiségük alakulásához. A természetes eredetű üvegházgázok (főként a vízgőz és a szén-dioxid) melegítő hatásának köszönhetően lakható a Föld. Nélkülük a globális felszíni átlaghőmérséklet körülbelül 33 Celsius-fokkal alacsonyabb lenne a mainál. A bioszféra – elsősorban a növénytakaró – azonban nemcsak mint speciális gáztermelő- és elnyelő közeg van befo-lyással a földi éghajlatra, hanem mint különleges felszíni borítás is. A növényzet jelentősen befolyásolja a földfelszín három, az éghajlat kialakításában meghatározó jellemzőjét: az albedót (a földfelszín fényvisszaverő képességét), az érdességet és az evapotranspirációt (a földfelszínről történő párologást és párologtatást) (Hayden [1998]).

Az albedó mértéke függ a felület színétől, érdességétől és a borítottság eloszlásától. A növényzet meghatározza a felszín albedóját. A nagy kiterjedésű, összefüggő erdők sötétek, elméletileg tehát albedójuk viszonylag kicsi. Ezzel ellentétben a trópusi kiterjedt erdőségek felett összefüggő felhőzet alakul ki az intenzív párologtatás miatt, növelvén az albedót.

A növényállománnyal borított felszín érdessége nagyobb, mint a kopár talajé. Ennek hatására megnő a talajközeli hőátvitel a felszínről a magasabb rétegek felé. Az érdes felszín az erősebb hőátadás miatt kevésbé hajlamos a melegedésre. A növényállománnyal borított felszín nagyobb érdessége hatással lehet a csapadék mennyiségére is. Az érdesebb vegetáció nagyobb feláramló légáramlásokat idéz elő. Ez végső soron segíti a csapadékképződést (Dunkel [1996]).

Shukla és Mintz (1982) modellje alapján megállapítható, hogy a szárazföldi evapotranspiráció erősen befolyásolja a csapadék mennyiségét és a hőmérsékletet. Shukla és munkatársa két szélsőséges helyzetet állítottak be, nevezetesen egy dús vegetációval borított Földet (maximális evapotranspiráció) és egy vegetációmentes Földet (párologtatás nincs). Európát, Amerikát és Ázsiát téve a kísérlet tárgyává, mindhárom helyszínen megfigyelték a csapadék mennyiségének jelentős csökkenését a vegetáció nélküli esetben. A felszíni hőmérséklet is jelentősen nő ekkor, mert nem lép fel a párologtatás (energiaigényes folyamat) okozta hűtés, s a Nap melegítő hatása jobban érvényesül a földfelszínen, hiszen kevesebb felhő képződik.

Az erdőségek éghajlatra gyakorolt hatása eltérő a Föld különböző pontjain. Az amazóniai erdők a talajfelszín és a felszínközeli levegő hőmérséklet-csökkenését és a csapadék mennyiségének növekedését okozzák (Shukla et al. [1990]; lásd még Salati–Nobre [1991]), míg a hidegövi, boreális erdők (a tajgaerdők) télen-nyáron csökkentik az albedót és így növelik a hőmérsékletet (vö. Bonan et al. [1992]). Az élővilág éghajlatot befolyásoló hatásánál kell megemlítenünk a biológiai eredetű kondenzációs magvakat⁶ és jégmagvakat⁷ is, amelyek segítenek a felhő- és csapadékképződésben.

Víz

Az élőlények hidroszférát érintő szolgáltatása leginkább a víztisztításban érhető tetten. A Föld minden felszíni és felszín alatti vizében öntisztulási folyamat (például szerves anyagok oxidálása, fémek átalakítása, vízdékonnyá tétele) zajlik elsősorban prokarióták (jórészt baktériumok) és algák révén. A vizek öntisztulása fontos adomány az emberiségnek, hiszen általa juthatunk tiszta vízhez az édesvíz-forrásokból.

A Föld természetes víztározóit (óceánok, tavak, folyók stb.) az emberi társadalmak hulladékanyagai raktáraiként is használják. Bizonyos élőlények, mint a kagylók vagy a szűrőkészülékkel táplálkozó élőlények (például szivacsok, csalánozók, zsákállatok) fizikailag szűrik át a vizet, így eltávolítják a lebegő anyagokat és tisztítják a vizet. A vizek lebontó élőlényközösségei a bekerülő anyagoktól mentesítik azt; lebontják (a mérgező anyagok esetében ez detoxikálást jelenthet), illetve a többi élőlény számára

⁶ A kondenzációs magvak finom, vízdoldható aeroszol-részecskék, melyek mérete egy mikrométer alatt van. A részecskék lehetnek szervetlen és szerves eredetűek is (Mészáros [1999]). A kondenzációs magvak azon aeroszol-részecskék, melyek megfelelő méretűek és összetételűek ahhoz, hogy a víz lecsapódjon rájuk. Gyorsan növekszenek, vízzel telítődnek és felhőcseppcskékké válnak (Frank et al. [2003]). A kondenzációs magvak forrásai főképp a talaj, az óceán, a növényzet égése és a fosszilis tüzelőanyagok égetése. Az élőlények számos kondenzációs magként viselkedő, illetve a légkörben kondenzációs maggá alakuló anyagot juttatnak a légkörbe. Ilyen például a bizonyos tengeri algák és baktériumok által kibocsátott dimetil-szulfid (DMS). A dimetil-szulfid a légkörbe jutva szulfáttá oxidálódik, és e szulfátrészecskék funkcionálnak felhőkondenzációs magvaként. Minél több kénvegyületet termelnek az algák, annál több lesz a felhő. Több felhőről a napsugárzás nagyobb hányada verődik vissza, így csökken a felszínközeli hőmérséklet (Charlson et al. [1987]).

⁷ Az atmoszférikus jégmag az a részecske, amely elindítja a víz–jég átalakulást 0 és -40 Celsius-fok között. A jégmagvak különböző összetételűek lehetnek, egyetlen közös vonásuk, hogy képesek a fázisátalakításra (Schaefer [1970]). Kísérletek bizonyítják, hogy bomló növényi anyagok származékai között sok aktív jégképzőt találunk. Továbbá – a kísérletek bizonyossága szerint – a talajok jobb jégképzők, mint a szervesanyag-tartalommal nem rendelkező agyag vagy homok. Elemzésekből kiderült, hogy a jégmagvak aktív, főként aerob bakteriális lebontás melléktermékei. Mivel a talaj szervesanyag-tartalma főképp a bomló növényi anyagból ered, így a biomasza mennyisége közvetetten növeli a jégképző aktivitást (Schnell–Vali [1972]).

nem felvehető formába alakítják őket (például komplexképzéssel). Az ipari forrásból származó anyagok fontos csoportja a nehézfémeké (például higany, ólom, ón, cink, arzén). Bár ezeket a mikroorganizmusok ártalmatlanítani nem képesek, a növények számára felvehetetlen formába tudják hozni és képesek is így tartani őket (Peterson–Lubchenko [1997]).

A szárazföldről és a légkörből emberi tevékenység hatására rengeteg szerves és szervetlen anyag érkezik a vizekbe (például nitrogén- és foszforvegyületek), amelyet a víz mikrobiális közösségei bontanak le. E közösségek tevékenysége, szolgáltatása nélkül az egyre fokozódó szervesanyag-tartalom miatt felgyorsulhat az eutrofizációs folyamat. A jelenség oxigénhiánnyal jár, továbbá az anaerob (vagyis az oxigénmentes körülményeket kedvelő) mikroorganizmusok gyors elterjedésével, ami mérgező anyagok, mint például dihidrogén-szulfid megjelenését eredményezi, így helyi fajkihalást okozhat.

Talaj

A talaj nélkülözhetetlen táplálékunk megtermeléséhez, de számos más funkciója is van. Ahogy a következőkben látni fogjuk, élőlények nélkül alig lenne talaj bolygónkon. Az élőlények szolgáltatásai között tartjuk számon (1) a talaj létrehozását és fenntartását, (2) a talajvédelmet, (3) a vízfolyás csökkentését, az áradások és a szárazság enyhítését, és (4) a lebontást (mineralizáció, reciklizáció, detoxikáció).

(1) A talajban minden szárazföldi élőlény, így az ember számára is nélkülözhetetlen anyagok találhatóak. A talaj összetett, háromfázisú, fizikai–kémiai–biológiai képződmény. *Keletkezése* lassú folyamat, melyben az élőlények nélkülözhetetlen szerepet játszanak. Sokszorosára, tízszeresére–ezerszeresére gyorsítják a kőzetek mállását, s ezáltal a talajképződés sebességét (Schwartzman–Volk [1989]). A kőzetmállás élőlények általi felgyorsításának főbb mechanizmusai (Lenton [1998]): (1) A növényi gyökérlégzésből és a talaj mikroorganizmusainak szervesanyag-lebontásából származó szén-dioxid jelentősen (tízszeresére–százszorosára) növeli a talaj széndioxid-koncentrációját. A szén-dioxid (pontosabban a belőle keletkező szén-sav) elősegíti a mállás folyamatát. (2) Különböző baktériumok és gombák speciális, duzzadásra képes poliszacharidokat termelnek, amelyek gyorsítják a kőzetek fizikai aprózódását. Nagyobb felület alakul ki, amelyen intenzívebb kémiai mállás lehetséges. A fizikai aprózódáshoz a növényi gyökek is hozzájárulnak a kőzetek repesztésével. (3) Az élőlények aktív folyamatokkal is gyorsítják a kőzetek mállását. Zuzmók és baktériumok különböző szerves és szervetlen savakat termelnek, amelyek mállasztják a kőzeteket. (4) A mállás oldható végtermékeit a mikroorganizmusok és a növények felveszik, fokozván a mállási reakciók ütemét.

A mállás folyamán növényi és állati eredetű szerves anyagok kerülnek az alakuló talajba, formálván annak fizikai és biológiai szerkezetét (Daily

et al. [1997]). A talaj rendkívül értékes része a humusz. Ez a talajbéli szerves anyagoknak egy viszonylag stabil frakciója, amely állati, növényi és mikrobiális maradványokból áll. A talaj fizikai tulajdonságaiért leginkább agyag- és humusztartalma felelős. A humusz tápanyag- és vízviszartartó kapacitása nagyobb az agyagénál. A mezőgazdaságban ezért fontos, hogy a termőtalajok humuszban gazdagok legyenek. A biológiai mállás folyamatában és a humuszképzésben rengeteg élőlény vesz részt. Mikroorganizmusok ezrei járulnak hozzá a folyamathoz anyagcseréjük során, de – többek között – férgek és ízeltlábúak is szép számmal munkálkodnak a talajban (Daily et al. [1997]).

(2) A talaj növényborítása segíti a talaj tápanyagainak megtartását. Elsősorban az erdők játszanak fontos szerepet a lavinák, földcsuszamlások, kőomlások és az erózió mértékének csökkentésében (Somogyi [2001]).⁸ A talajbéli tápanyagok mennyisége a rajta élő növények diverzitásától is függ.⁹

(3) A növényzet a talaj vízmegtartásában is jelentős szerepet játszik. A talajban gyökerező növények amolyan pufferszerepet töltenek be a talaj vízháztartásában, csökkentvén mind a szárazság, mind pedig az áradások kialakulásának lehetőségét. A növényvel borított területek vízmérlege sokkal kiegyensúlyozottabb, mint a vegetáció nélkülieké. A talajt érő csapadék nagy része beszívódik a talajba, majd bejut a növényi gyökerekbe, melyek a felszívott vizet lassan elpárologtatják. A növények gyökerei és a humuszos talaj kapillárisai rengeteg vizet képesek tárolni. A növényzet ezzel nem csupán saját vízellátását biztosítja, de csökkenti a felszíni elfolyás és az erózió mértékét, továbbá az esetleges többletvíz elfolyási sebességét is (Bormann et al. [1997]). A talaj vízmegtartó kapacitását javítja, ha több rajta a növényi biomassa,¹⁰ illetve ha a felszíni növényzet változatosabb.

(4) Az összes szárazföldi élőlény hulladékanyagait és magukat az elpusztult élőlényeket is a talajban élő *lebontók* távolítják el. Munkájuk nél-

⁸ Egy, a nedves trópusokon végzett, szabadföldi kísérlet szerint a fajgazdag vegetációval borított talaj sokkal termékenyebb maradt, mint a vegetációmentes. Az ötéves megfigyelés alatt a vegetáció nélküli talaj szervesanyag-tartalma drámaian csökkent a növényzettel borítottéhoz képest (Ewel et al. [1991]).

⁹ A fenti, nedves trópusokon végzett, szabadföldi kísérletből világossá vált, hogy az adott területen élő növényfajok diverzitása csak bizonyos mértékben befolyásolja a talajbéli tápanyag mennyiségét. Monokultúrák esetében azonban a talaj tápanyagtartalma csökkent. A kísérletekből annyi tanulság vonható le, hogy a diverzitás befolyásolja a talaj tápanyagtartalmát; továbbá a diverzitás növekedése körülbelül száz faj eléréséig növeli a talaj tápanyagtartalmát, e fajsám felett azonban a növekvő sokféleség már nem befolyásoló tényező ebből a szempontból. A talajbéli lebontók aktivitása szignifikánsan csökkent a vegetáció nélküli talajban, valószínűleg azért, mert nem volt friss szervesanyag-utánpótlás. Továbbá a növényzet hiánya miatt a víz és a szél jelentős kárt okozott a talajban, nőtt az erózió mértéke.

¹⁰ Adott földterületen, illetve víztérfogatban található élő növényi anyag mennyisége (valamilyen súlymértékben kifejezve).

kül a Föld felszínét vastag szervesanyag-szőnyeg borítaná. A talajban élő mikroorganizmusok diverzitása nem csupán rendszertani értelemben, de anyagcseréjükben is megmutatkozik. A mikrobák általi ásványosítás (szerves vegyületek szerveslenné bontása) legfőbb terméke a szén-dioxid, amely a növényi elsődleges produkció¹¹ egyetlen szénforrása (Meyer [1993]). Több ezer talajbéli lebontó fajt írtak már le, köztük sok rákot, atkát, természet, ezerlábút, férget, baktériumot, gombát, algát. Közülük a baktériumok a legnépesebbek. A lebontás során a lebontó fajok egyrészt nagy mennyiségű szerves anyagtól szabadítják meg a közösséget, másrészt felvehető tápanyagokat szolgáltatnak a növényeknek. A tápanyagok növények számára újra felvehetővé tételét (a reciklizációt) kizárólag a talajbéli mikroorganizmusok képesek biztosítani. A talajban „dolgozó” mikrobák tevékenysége egymásra épülő, meghatározott struktúrájú és összetett. A talajmikrobák lebontási folyamataik során sokszor képesek a talajba került mérgező anyagok detoxikálására is. A mechanizmusok nagyon hasonlóak a vízben lejátszódókhöz.

Energia befogás

Míg az anyagáramlás ciklikus, az energia áramlása egyirányú a Földön. A földi élet fő energiaforrása a Nap energiája. Ezt egyedül a fotoszintetizáló élőlények képesek hasznosítani, illetve továbbadni a táplálékláncban. A fotoszintézis esetében a szolgáltatás minősége kevéssé függ a fajok sokféleségétől, sokkal inkább a fotoszintetizáló biomassza mennyiségétől.

Nitrogén megkötése

A biológiai nitrogén megkötése során egyes szabadon, illetve növényekkel szimbiózisban élő prokarióták (például bizonyos baktériumok) a légköri nitrogént ammóniává redukálják.¹² E szolgáltatás rendkívüli fontossága abban rejlik, hogy a más élőlények számára nem felvehető kétatomos nitrogénmolekulát kizárólag az említett mikroorganizmusok képesek a növények számára felvehető formába alakítani. Vagyis döntő részben a nitrogénkötők által jut nitrogén a táplálékláncba. Nemcsak mennyiségük, de fajgazdságuk is rendkívüli jelentőségű. Minél több és többféle nitrogénkötő

¹¹ A fotoszintézis nyomán a fotoszintetizáló növények testében felhalmozott energia; az az energia-mennyiség, amely a tápláléklánc magasabb szintjein található élőlények (köztük az ember) rendelkezésére áll életfolyamataik fenntartásához (a másodlagos produkcióhoz).

¹² Szabadon élő nitrogénkötő fajok többek között a *Desulfovibrio vulgaris*, a *Bacillus polymixa*, az *Azotobacter vinelandii*, a *Thiobacillus ferrooxidans*, a *Nostoc mucorum* és a *Chlorobium limicola*. A természetes élőlényközösségek nitrogénháztartásában a szimbióta nitrogénkötő fajok játszanak meghatározó szerepet. Ilyenek például a *Rhizobium*, a *Frankia*, az *Anabaena*, az *Azorhizobium* nemzetségek fajai. Mezőgazdasági szempontból a legjelentősebb és leghatékonyabb nitrogénkötők a *Rhizobium-pillangós* szimbiózisok, amelyek erősen specializált asszociációk a *Rhizobium* és rokon nemzetségei, illetve a *Leguminosae* család fajai között (Sárvári [1998]).

élőlény van jelen egy élőlényközösségben, annál inkább biztosított a növények nitrogénellátása (a felvehető nitrogén gyakran limitáló tényező a szárazföldi társulásokban). Nitrogén megkötésére a nitrogénkötő prokariótákon kívül egyetlen faj képes, az ember. Az emberiség technológiai eljárást dolgozott ki a légköri nitrogén megkötésére. Mégsem mondhatjuk, hogy megtaláltuk a nitrogénkötő élőlények szolgáltatásait helyettesítő alternatívát. Még ha meg is tudnánk kötni a megfelelő mennyiségű nitrogént, komoly nehézségekbe ütköznénk akkor, amikor ezt az összes növényzettel borított talajba, illetve a vizekbe akarnánk juttatni.

A növényi biomasza növelése és „egészségének” fenntartása

A talaj rendkívül fontos lakói a szimbiotikus kapcsolatra képes gombák, amelyek a magasabbrendű növények gyökereihez kapcsoltnak élnek. Ezek a mikorrhizák. A mikorrhiza kapcsolat a természetes- és agrárközösségekben egyaránt nélkülözhetetlen.¹³ A mikorrhizák a növény értékes segítői a foszfor- és nitrogénvegyületek felvételében. Befolyásolják továbbá a gyökermenti talajlakó közösséget, csökkentik a növényi kórokozók számát, olykor növelik a nitrogénkötők egyedszámát és lazítják a talaj szerkezetét. A növényfajok körülbelül 90%-a szimbiotikus kapcsolatban áll mikorrhizás gombákkal.¹⁴

Beporzás

Mind a vadon virágzó növények, mind pedig termesztett társaik megporzásra szorulnak. Ez történhet szél, víz, rovarok, más gerinctelenek, illetve különböző gerinces fajok által. Mezőgazdasági tevékenységnél használatosak e célra „nevelt” beporzó fajok (például *Apis mellifera*) is. A vadon élő virágos növényfajok becsült száma körülbelül 240 000. Beporzásukban több mint 1200 gerinces faj vesz részt; a gerinctelen beporzók fajszáma pedig megközelíti a 300 000-et (Nabham–Buchmann [1997]).

A beporzók sokszor előnyben részesítenek bizonyos növényeket másokkal szemben. Nem minden faj egyedeit porozzák be egyenlő arányban, akár teljesen ki is hagyhatnak egy-egy fajt. Sok növényfaj beporzását több beporzó is végezheti.¹⁵ Mezőgazdasági terményeink élő beporzó ágensei

¹³ Ilyen kapcsolatot alkotnak például a *Terfezia* nemzetség egyes fajai a *Helianthemum* nemzetség fajaival (Kovács [2002]).

¹⁴ A mikorrhiza a növény szempontjából létfontosságú, melyet jól illusztrál a következő példa. Egy megfigyelés szerint a természetes vegetáció tarra vágása után a fiatal fák képtelenek voltak a túlélésre a mikorrhizák hiánya miatt (Moffat [1993]). A tarvágás után egy éven belül a talaj gombaállományának 90%-a eltűnt, a baktérium-biomaszra viszont két-háromszorosára nőtt. Az ültetett duglászfenyő-magvak háromnegyede elpusztult az első évben. Öt évvel később a fák 90%-a kipusztult. Világossá vált, hogy a talaj nem tudja eltartani, illetve megtartani a fákat. Ennek oka pedig az volt, hogy a talaj élőlényközössége egy füves területre jellemző, baktériumban gazdag közösséggé alakult.

¹⁵ Renner ([1995], idézi Nabham–Buchmann [1997]) kísérletet tett az állati beporzást igénylő növényfajok számának becsülésére. Olyan hatékony beporzást vett alapul, mely

két csoportra oszthatók. Az egyik a vad beporzó közösségeké, a másik a nevelt, irányítottan telepített beporzó kolóniák csoportja. Mezőgazdasági terményeink fő beporzó ágensei a különböző méhfajok. Az *Apis* nemzettségbe tartozó mézelő méh (*Apis mellifera*) a jelölt növények 15,5%-át porozza be. A vizsgált növényfajok 72%-a nem képes önbeporzásra, tehát beporzó vektorra van szüksége. A nevelt *Apis* méhkolóniákon kívül számos egyéb beporzó vektor vesz részt a természetett növények beporzásában. Már csak a méhek csoportján belül is meglehetősen diverzitás található: természetett növényeink beporzásához jelentősen hozzájárulnak az *Amegilla*, *Ancylloscelis*, *Bombus*, *Chalicodoma*, *Melipona*, *Peponapis*, *Xenoglossa* és más nemzetségek fajai is (Nabham–Buchmann [1997]).

Bár Amerikában a beporzás aránytalanul nagy részét az Európából bevitt *Apis mellifera* végzi, őshonos méhközösségek szintén részt vesznek benne. A Kremen és munkatársai (2002) által végzett kísérletsorozat azt mutatta, hogy természetes élőhelyhez közeli, organikus farmokon őshonos méhközösségek önmagukban is képesek a termény teljes mértékű beporzására. A kísérletet végzők azt találták, hogy e szolgáltatás fenntartásához a közösség összetételének állandó változása és az egyes fajok egyedszámának évszakos ingadozása miatt nélkülözhetetlen a beporzó fajok sokfélesége.¹⁶

Növényi kártevők kontrollja

Termesztett növényeink kártevőinek természetes (vagyis emberi beavatkozás nélküli) visszaszorítása, kontrollálása rendkívül fontos szolgáltatás, mely növeli mezőgazdasági rendszereink épségét, élelmezésünk biztonságát. A kártevők populációit saját természetes ellenségeik – ragadozók, élősködők vagy kórokozók –, tartják kordában”. E szolgáltatás pótlása nehéz, olykor nem is lehetséges. Ennek ellenére az ember feltalált és használ különböző szintetikus növényvédő szereket. Többükről bebizonyosodott azonban, hogy környezetszennyező, illetve egészségkárosító, ráadásul rendszerint költséges is. A szintetikus növényvédő szereket ma is széles körben használják a mezőgazdaságban. Ezek mellékhatásaként sokszor kiszorulnak, kipusztulnak a kártevők természetes ellenségei. A növények és kártevők koevolúciójuk (együttes evolúciójuk) során állandó „fegyverkezési versenyben” állnak egymással. A kártevők e versenyben újabb és újabb válaszreakciót (rezisztencia, lebontó apparátus) produkálnak a növények kémiai fegyverei ellen. A nö-

kielégítő és szükségszerű a növény túléléséhez és szaporodásához. A becsült 240 000 virágos növényfajból – melyek beporzását egy vagy több beporzó vektor végzi – 219 850 különböző fajt poroznak be állatok; 20 000 szélbeporzású, illetve önbeporzó; 150-nek pedig víz által terjed a virágpóra.

¹⁶ A növények viszonylag sok virága nem részeseül elég hatékony beporzásban. Ezt Burd (1994) szabályozott kísérlete is alátámasztja, amelynek tanúsága szerint az általa vizsgált virágos növényfajok közel felének szaporodási sikere nem a víz vagy a tápanyagok hiánya, hanem beporzóik ritkasága miatt korlátozott.

vényvédő szerekkel szemben is előbb-utóbb kialakul az ellenálló képesség, csökkentve a szerek hatásfokát. Ugyanakkor a ragadozó rovarok (a kártevők fogyasztói) semmiféle védekezési mechanizmussal nem rendelkeznek a kártevők elleni mérgekkel szemben, ezért a kártevőknél is komolyabban érintheti őket egy-egy permetezés. Könnyen belátható, hogy amennyiben a természetes ellenségek száma csökken, több mesterséges szert kell alkalmaznunk, ami tovább pusztítja ezeket az élőlényeket (Naylor–Ehrlich [1997]).

Az élővilág szolgáltatásai

Nem fiziológiai szükségleteket kielégítő szolgáltatások

Az ember lelki-esztétikai, kulturális és egyéb igényeit nem-fiziológiai szükségletekként tárgyaljuk.

Az élővilág mint lelki és esztétikai örömforrás

Pszichénk „jólléte” szoros kapcsolatban áll közérzetünkkel. Ehhez a jóllét-höz járul hozzá az élővilág. Wilson (1984) fogalmazta meg a *biofilia hipotézist*, miszerint az embernek a természethez, az élőkhöz való vonzódása mélyen gyökerezik és nélkülözhetetlen a normális fizikai és szellemi fejlődéshez. A természet hatással van érzelmi életünkre, esztétikai érzékünkre és lelki fejlődésünkre is. A hipotézis feltételezi, hogy az ember természet-höz való kötődése kifejezett előnyöket biztosított az evolúciós versenyben, az alkalmazkodásban, a fennmaradásban és a növekedésben az egyén és a faj szintjén is (Kellert [1993]).

Az emberiség nagy része rengeteg élményben részesül az élő természet által. Kedvünket leljük abban, ha „felfedezhetjük” a természetet és gyönyörködhetünk sokszínűségében. Az élő természet és az ember viszonyában is igaz Cicero mondása: *varietas delectat*. Egy olyan világban, ahol csak búzatábla és krumpliföld van, az élő természet nemigen nyújtana esztétikai élvezetet; egy réten, ahol több százféle növényfaj burjánzik (nem is beszélve az állatokról), vagy egy tavaszba boruló erdőben már szemet gyönyörködtetőbb látványban lehet részünk. Emberek százezrei választanak olyan szabadidős tevékenységeket, mint az ökoturizmus, természetjárás, séta az erdőben, botanikus- és állatkert-látogatás, vagy az állatok (például madarak) puszta szemlélése természetes élőhelyeiken. Az élővilág változatossága páratlan lehetőség arra, hogy kielégítse az emberi szellem kíváncsiságát és felfedezőkedvét (Kellert [1997]).

Az élővilág szerepe az emberi kultúrák fennmaradásában

Bizonyos élőlények rendkívül fontos szerepet játszanak az emberi (főként természetközeli) közösségek kultúrájának, s ezáltal magának a közösségnek a fennmaradásában. Kulturális kulcsfajoknak¹⁷ nevezünk bizonyos nő-

¹⁷ A témát Cristancho–Vining (2004) alapján mutatom be.

vény- és állatfajokat, amelyek hosszú távú jelenléte és szimbolikus értéke nélkülözhetetlen egy kultúra fennmaradásában. A kulturális kulcsfajok olyan fontos funkciókat töltenek be, amelyek nélkül jelentős zavar keletkezne a közösség kultúrájában.¹⁸

Kulturális kulcsfajról beszélünk, ha az alábbiak többsége teljesül. (1) A faj szorosan kötődik a közösségi kultúra mítoszaihoz, a közösség őseihez, vagy eredetéhez. (2) A faj központi szerepet játszik a közösségi tudás átadásában. (3) A faj jelenléte nélkülözhetetlen a fontos rituálékban, melyek biztosítják a közösség stabilitását. (4) A faj indirekt vagy direkt módon kapcsolódik olyan tevékenységekhez, amelyek a közösség alapszükségleteit elégítik ki. Ilyenek az élelemszerzés, a hajlékkészítés vagy a betegségek gyógyítása. (5) A faj jelentős spirituális vagy vallási értékkel bír az adott kultúrában. (6) A faj olyan élettérrel rendelkezik, amely vagy a közösség területén van, vagy a közösség tagjai számára hozzáférhető. (7) A közösség az adott fajt az egyik legfontosabbként tartja számon.

Indikáció

Az általános indikációs elv értelmében minden élőlény indikátor, vagyis indikál, jelez valamit. „*Minden populációnak egyszerre nagyon sokféle vonatkozásban – sokféle mintázatra vonatkoztatva – lehet indikátor szerepe.*” (Juhász-Nagy [1984]) Az emberi érzékelés határai, illetve háttértudásunk szabják meg azt, hogy milyen jeleket, elváltozásokat érzékelünk értelmezhető „jelnek”. Az indikátorfajok előfordulásukkal vagy hiányukkal jelzik az adott környezeti tényező bizonyos értéktartományát. Az ilyen fajok általában szűktérűsük a vizsgált környezeti tényezővel szemben. Az élőlények számunkra értelmezhető jelzéseit nevezzük bioindikációnak.

Édesvizek gerinctelen faunája, annak összetétele alkalmas az adott álló-, illetve folyóvíz szennyezettségének vizsgálatára. Többféle biotikus index is ismert, amelyekkel rövid idő alatt sok vizet lehet minősíteni, és ez gyakran megismételhető. Az indexek általában két információval számolnak, az adott élőhely fajdiverzitásával és a jelenlevő állatcsoportok szennyezésekkel szembeni érzékenységgel. Ha a biotikus indexek használatát

¹⁸ Például Amazónia különböző pontjain a koka segíti a tudás átadását a generációk között. A sámánok a kokát rituális szertartásokon rágsálgják, a hatása alatt kerülnek olyan tudatállapotba, mely lehetővé teszi a természetfeletti lényekkel való kommunikációt. A kokának itt többféle szimbolikus jelentése is van. Például emberi alakot is ölthet, aki a Természet Uraival tárgyal a természet javainak használatáról. A letuama nép eredettörténetében a koka szorosan kapcsolódik a bennszülöttek őseihez és kultúrájuk keletkezéséhez. Nélkülözhetetlen az olyan hagyományos rituálékban, mint a világgyógyítás vagy a betegségmegelőzés. További példát szolgáltat a Húsvét-sziget. Régészeti leletekből feltételezhető, hogy hajdani lakói számára egy pálmafaj, a *Jubaea chilensis* nélkülözhetetlen volt a kultúrájuk központi elemének számító koszbrok, a *moaik* mozgató-sához és felállításához. Valószínű, hogy a *Jubaea chilensis* kipusztítása volt az egyik fő oka a húsvét-szigeti kultúra hanyatlásának.

kémiai vizsgálatokkal kapcsoljuk össze, egyértelműen meghatározhatjuk a szennyeződés okait. Ez sok esetben segít, illetve hozzájárul a víztisztítási terv kialakításához.

Bizonyos növények, illetve növényi részek színük változásával jelzik környezetük kémhatásának változását. A juhsóska (*Rumex acetosella*) vagy a mezei árvácska (*Viola arvensis*) savanyú talajt jelez. Ezek az élőlények értékes információval segítik a talajjavítást végzők munkáját. Más növények pusztá jelenlétükkel utalnak bizonyos elemekre, sókra a talajban. Ezt a tulajdonságukat szokták kihasználni például fémek keresésére. Nitrogéndús talajt jelez többek között a nagy csalán (*Urtica dioica*). Ezt az információt felhasználhatja a jó mezőgazdász arra, hogy megtervezze, milyen típusú és mennyi nitrogén-műtrágyára lesz szüksége.

Az indikátorfajok érzékenyséjük miatt a környezeti tényezők változását mutatják, így alkalmasak a biomonitorozásra. Az élőlények alkalmasak szennyezések jelzésére is. Vízben, talajban és levegőben egyaránt találunk különböző élőlényeket, amelyek „méri” a közeg szennyezettségi fokát. Kutatók vizsgálták annak lehetőségét, hogy élőlényeket alkalmazzanak a különböző közegek szennyezettségének monitorozására, felváltva a lényegesen költségesebb eszközöket.¹⁹

Bionika

Az élővilág nemcsak szellemi inspirációt nyújt, de az emberek jólétét szolgáló tárgyak gyakorlati kivitelezésének is ihletője. Az evolúció sokmillió éve alatt a természet rengeteg problémára olyan tökéletes megoldásokat talált, amelyeknek nyomába sem érnek az ember technológiai próbálkozásai. A bionika az élő rendszerek egyes jellemzőit, szerkezeti megoldásait, alkalmazkodási mechanizmusait a gyakorlati és műszaki fejlesztések érdekében tanulmányozó tudományág.

A természettől ellesett ötletek felismerhetők az élet szinte minden területén. Ezek sokszor pusztá analógiákban nyilvánulnak meg, egyes élőlények utánzásának eredményei. Ilyenek a repülés (Leonardo da Vincitől napjainkig) vagy az úszás (pingvinek, delfinek hidrodinamikai vizsgálata alapján) technikai eszközökkel megvalósított változatai. A bionika megjelenik az építészetben is (például fához hasonló tetőszerkezet, fűszál alakú TV-to-

¹⁹ A víz monitorozására a vízi, szűrőkészülékkel rendelkező fajok csoportja bizonyult megfelelőnek. Egyes moszatfajok jelenléte, illetve mennyiségük jelzi a vizek szennyezettségi fokát. Ilyen indikátorfaj például a *Selenastrum capricornutum* nevű zöldalga, amely az édesvizek eutrofizálódását jelzi. A talajban a földgiliszták, a levegőben pedig a mézelő méh (*Apis mellifera*) tölthet be hasonló szerepet (Beattie [1992]). Általánosságban a beporzó fajok jól használhatók környezeti stressz (behurcolt kompetitorok, járványok, kórokozók, kémiai és fizikai faktorok, élőhely megváltozása) indikálására, illetve monitorozásra. Léteznek a levegő tisztaságára különösen érzékeny fajok is. Általában a zuzmók rendkívül érzékenyek a levegő kéndioxid-koncentrációjára. Bizonyos zuzmófajokat a levegő szennyezettségi fokának megállapítására alkalmaznak.

rony). Bizonyos élőlények érzékelési módjait vizsgálva jutott el az ember az ultrahang- és hőmérséklet-érzékelők technológiai megvalósításához.²⁰

Az élővilág szolgáltatásai – Technológiai felhasználások

A szolgáltatások harmadik csoportjába olyan élőlények általi tevékenységek tartoznak, amelyeket az ember különböző ipari, illetve technológiai folyamatokban irányítottan használ. Élőlényeket alkalmaznak például az élelmiszeriparban, a textiliparban, valamint a talaj- és víztisztítás során.

Élelmiszeripar

Az élelmiszeripari felhasználások közül a szeszipart, a sütőipart és a tejipart emeljük ki. Az *alkoholgyártás* során élesztőfajokat használnak: például borkészítéshez a borélesztőt (*Saccharomyces vini*), sörkészítéshez a sörélesztőt (*Saccharomyces carlsbergensis*). Az erjedés során a cukor alkohollá és szén-dioxiddá alakul át. Sör- vagy borkészítésnél a szén-dioxidot hagyják távozni az oldatból, hiszen az alkoholtermelés a cél (Horváthné-Varga [1998]).

A *sütőiparban* a kenyérdagasztásban szintén élesztőket használnak. Ebben az iparágban az élesztők széndioxid-termelő aktivitását használják ki. Az élesztőgombáknak köszönhetően erjedési folyamatok indulnak meg a nyers kenyértésztaiban, s ezáltal alakul ki a termék lyukacsos, laza belsejének. A kovász érlelésekor elszaporodnak az élesztőgombák és a tejsav-baktériumok. A tejsav-baktériumok között vannak olyanok, amelyek túlnyomórészt tejsavat termelnek, továbbá olyanok, amelyek tejsavon kívül jelentős mennyiségű ecetsavat, etil-alkoholt, szén-dioxidot és aromaanyagokat is előállítanak. Ennek következtében kellemes ízt, aromát adnak a kenyérnek. A termelt savak gátolják a kenyér nyúlósodását okozó mikroorganizmusokat, s így növelik a termék eltarthatóságát (Horváthné-Varga [1998]).

A legtöbb *tejipari* termék (például joghurt, kefir, sajt) előállításához mikroorganizmusokra van szükség. Sokféle baktériumot és gombát hasz-

²⁰ Talán az egyik legrégebbi élőlényektől „lopott” találmány a lokátor. Az egyik legismertebb, ultrahangot használó élőlényecsoporthoz a denevéreké. A denevérek visszhanglokátora 50–200 kHz-es hanghullámokat bocsát ki. A hanghoz hasonlóan az ultrahang is visszaverődik két különböző anyagi minőségű közeg határfelületéről. Megmérve a kibocsátás és a visszavert ultrahang észlelése közötti időt, meghatározható az ultrahang által megtett út, és ezáltal a vizsgált anyag vastagsága, vagy az anyagban talált egyenlőtlenségek (hibák) helye. A gyakorlatban éppen ezért az ultrahang legjelentősebb alkalmazása a különböző anyagok vastagságának, egyenlőtlenségeinek, hibáinak meghatározása. Az ultrahang visszaverődését felhasználják víz alatti mélységmérésre, jéghegyek, halrajok helyzetének meghatározására és nem utolsósorban katonai célokra. Használják továbbá az ultrahangot a hegesztés-technológiában, fémek vizsgálatára és az orvosi diagnosztikában is.

nálnak a tejjáparban. A savanyú tejkészítményeket pasztörözött tejből készítik mikroorganizmus-kultúrák felhasználásával.²¹

Textilipar

Vannak olyan textíliák, melyek előállításához élőlények tevékenységét használják. A selyem a textíliák között nagyon előkelő helyen szerepel. Selyemszálát sok hernyó (molyfajok, iloncák, araszolók stb. hernyója) fejleszt ugyan, de csak fiatal korában. Ekkor a fonál még gyenge, így felhasználásra nem alkalmas. Az igazi selyemhernyó szövőmirigye közvetlenül a bebábozódás előtt működik, és egy – némely fajnál olykor három – kilométer hosszú szálát ereszt.²² Jellegzetes selyemszövetek a szatén, a damaszt és a sifon. Pókháló-szálakból pókselymet tudnak előállítani, amelyet sebvarró-cérnaként használnak szemműtéteknél, illetve mesterséges inszalagot állítanak elő belőle.

Agrárkultúrák beporzása fenntartott beporzókkal

Termesztett növényeink beporzására szinte kizárólagosan az *Apis* nemzettségbe tartozó mézelő méhek kolóniáit alkalmazzák. A mézelő méh kolóniái világszerte nagy számban pusztulnak a növényvédő szerek, paraziták, szennyezések és élőhelyeik pusztulása miatt (Kevan [1999]). Ez sokszor komoly veszteség betakarításkor. Amerikában a méhészek által fenntartott kolóniák mérete csökkenőben van, főképpen két egzotikus, behurcolt atkafajnak köszönhetően. Bár a méhészek azt várják, hogy a méhekben idővel kialakul az atkák elleni rezisztencia (ahogy ez Európában történt), mégis aggódnak a méhek egyedszámának csökkenése, ezzel együtt mezőgazdasági terményeik nem megfelelő beporzása miatt. Az említett aggodalmak miatt kutatások indultak az *Apis mellifera* fajt potenciálisan helyettesítő nem-mézelő méhfajok mezőgazdasági alkalmazhatósága érdekében (Watambe

²¹ Vajgyártás során *Streptococcus lactis* és *Streptococcus cremoris* tejsav-baktériumokat használnak savtermelésre, a *Lactobacillus citrovorum* és *Lactobacillus dextranicum* fajok az aromatermelést végzik. Az étkezési túró gyártása során is vajkultúrát alkalmaznak az előbb említett mikroorganizmusokkal (Horváthné [1998]). Az állni hagyott tej tejsavképző baktériumok hatására megalvad. Az aludttejet *Lactobacillus bulgaricus*-szal oltva készítik a joghurtot, míg alkoholos erjedést kiváltó élesztőt is adva a kultúrához kefir kapunk (Szabó [1989]). Sajt érlelésekor tejsavbaktérium-tenyészetet használnak. Lágú és félkemény sajtok (például Pálpusztai, Lajta) készítésénél alkalmazzák az ún. rúzs-kultúrát, amelynek mikroorganizmusai sárgás-vöröses nyálkás bevonatot képeznek a sajt felületén és fehérjebontó enzimeik a sajtot kívülről befelé érlelik. A rokfórt és a márványsajt érlelésében a *Penicillium roqueforti*-nak van szerepe, a fehérpenészszel érő sajtknál (például camembert) a *Penicillium camemberti*-nek.

²² Igazi selyemhernyója van többek között az éjjeli nagy pávaszemnek (*Saturnia piri*), az európai selyempillének (*Pachypasa otus*) és a szederfá-selyempillének (*Bombyx mori*). Az utóbbi faj Kínából ered, de ma már az összes selyemhernyó-tenyésztő vidéken megtalálható. Ez ma a legnagyobb mértékben háziasított rovar, amely az ember segítő ápolása nélkül a szabadban meg sem élhetne.

[1994]). Egyéb, beporzásra alkalmas fajok felkutatása azért is hasznos lenne, mert nem minden termesztett növényfajnak az *Apis* nemzetség tagjai a legmegfelelőbb beporzói. Továbbá minél változatosabb lenne a beporzók közössége, annál biztonságosabbá és hatékonyabbá válna a beporzás.

Biológiai növényvédelem

A mezőgazdasági hozamok kártevők miatti csökkenése jelentős mértékű lehet. Globálisan a termelők az aratást megelőzően a termés 30–40%-át veszítik el a kártevők, illetve betegségek miatt (Baskin [1997]). A kémiai növényvédelem számos káros hatása miatt egyre több mezőgazdász ismeri fel a biológiai növényvédelemben rejlő lehetőségeket. A biológiai növényvédelem terjedőben van hatékonysága, gazdaságossága és tisztasága miatt. Alkalmazható (1) állati kártevőkkel szemben, (2) növényi kórokozókkal szemben vagy (3) gyomnövények ellen.

(1) Az állati kártevőkkel szembeni biológiai védekezés elsősorban ragadozó²³ és parazitoid ízeltlábúakat,²⁴ valamint ragadozó fonálférgeket²⁵ alkalmaz. A biológiai növényvédelem a növényi kártevőkben betegséget kiváltó vírusokat (például *bakulovírusok*), baktériumokat (például *Bacillus thuringiensis*) és gombákat (például *Lagenidium giganteum*) is használ. Az állati kártevők sokfélesége a védekezésben is sokféleséget kíván, hiszen specialista fajok alkalmazása biztonságosabb. Így a növényvédelem érdeke minél több, e célra használható faj felkutatása.

(2) „A növényi kórokozókkal szembeni védekezésre olyan mikroorganizmusokat használhatunk fel, amelyek képesek a növényi kórokozókat elpusztítani, szaporodásukat gátolni, illetve a növényt a fertőzéstől megvédeni.” (Turóczy [1999], 100. o.) A felhasználandó antagonistával (a növény kórokozójának pusztítója) szemben követelmény, hogy ne betegítse meg a védendő növényt, az embert vagy az állatokat. A kártevő elpusztítása történhet antibiotikum segítségével (ekkor a két antagonistát közvetlen érintkezése nem szükséges), illetve parazitizmus által (szükséges a fizikai kontaktus).²⁶

²³ Többek között atkafajokat (például *Amblyseius californicus* és *Phytoseiulus persimilis*), poloskákat (például *Macropodus caliginosus* és *Orius minutus*) és egyéb ragadozó fajokat (például *Harmonia axyridis* és *Chrysoperla carnea*).

²⁴ Lásd például a *Dacnusa sibirica* (aknázólegyek ellen), a *Aphidius colemani*, illetve az *Encarsia formosa* (levéltetvek ellen) alkalmazását. A parazitoidok nagyobb sikert hoztak gyakorlatban, mert e fajok gazdaköre sokkal szűkebb, mint a ragadozóké.

²⁵ Itt a *Steinernema* és a *Heterohabditis* nemzetségbe tartozó növényparazita fajok felhasználása a legelterjedtebb (Polgár [1999]).

²⁶ Az antibiotikus hatásra példa a *Trichoderma* nemzetségbe tartozó gombákból izolált gliotoxin nevű antibiotikum, mely elpusztítja a növényi kórokozó *Rhizoctonia*-t. Az *Ampelomyces quisqualis* nevű parazita gomba rendkívül gyorsan pusztítja a lisztharmat-fajokat (Turóczy [1999]).

(3) A gyomnövények csökkentik a termés mennyiségét és rontják a betakarított termés minőségét az agrárkultúrákban. Az utóbbi évtizedekben jelentőssé váló biológiai gyomirtás hatékony és környezetbarát alternatívája a kémiai módszereknek. Biológiai védekezéskor a gyomnövény természetes ellenségét (kártévőjét, kórokozóját) alkalmazzák, hogy a gyomnövény-populáció egyedszáma csökkenjen. Behurcolt gyomnövényekkel szemben hatékony módszer lehet egy őshonos növényevő alkalmazása. A gerincesek tudatos felhasználásában a legsikeresebb megoldásokat a növényevő halak alkalmazása jelenti lefolyástalan területeken hínár- és algairtás céljából. A gerincesek mellett ízeltlábúakat, gombákat és baktériumokat is használnak gyomnövények irtására (Schwarczinger–Pólgár [1999]).

Technológiai tisztítás

A tisztítási eljárások között (1) a szennyvizek tisztításáról, illetve (2) a talaj remediációjáról szólunk.

(1) A *szennyvíztisztítás* gyakorlatában a biológiai módszereket használják a legáltalánosabban. A biológiai szennyvízkezelési eljárások során a víz mikroorganizmusok számára hasznosítható szennyező komponensei egyrészt valamilyen formában beépülnek a mikrobacejtekbe, így a későbbiek során egyszerű fizikai módszerekkel elválaszthatók, másrészt a környezetet már nem károsító vegyületekké (például szén-dioxiddá, vízzé) alakulnak. A baktériumok rendkívül színes anyagcsere-repertoárral rendelkeznek. A szennyező komponensek biológiai lebontása, illetve átalakítása a biológiai szennyvíztisztítás során majdnem teljes mértékben anyagcserejük következménye.²⁷ Többsejtű gombákat is használnak a környezetvédelmi biotechnológiában. Viszonylagos savtűrő képességüknek és cellulózbontó enzimeiknek köszönhetően néhány ipari eredetű szennyvíz kezelésénél és szilárd szerves hulladékok komposztálásánál játszanak fontos szerepet. Az algák technológiai jelentősége a tavas tisztításnál kerül előtérbe. Az algák a nitrogén- és foszforvegyületek eltávolításával csökkentik a víz tápelem-tartalmát. A szennyezett vizekbe jutó mosószerek, detergensok komplex foszfátvegyületei a baktériumok tevékenysége folytán az algák számára felvehető formába alakulnak. Az algák az ammóniát is képesek eltávolítani a szennyezett vizekből, például istállók szennyvizéből is. Hosszas alkalmazkodás után bontják a rovarirtó szereket (például DDT) is, valószínűleg adaptív enzimindukció folytán. A kisebb mértékű, pusztán biológiai tisztítást alkalmazó szennyvízkezelés történhet magasabb rendű növényekkel, nádágyas szennyvíztisztítóokban. Egysejtű állatok és kerekese férgek is szerepet kapnak a biológiai szennyvíztisztítás folyamatában. Technológiai szerepük az elfolyó víz baktériumtartalmának csökkentése és az egyéb, lebegő szerves anya-

²⁷ A biológiai nitrifikáció (az ammónia nitráttá alakítása) folyamatában például kulcsszerepet játszanak a *Nitrosomonas* fajok, az ivóvíz denitrifikálására a *Pseudomonas denitrificans* alkalmas.

gok mennyiségének mérséklése.²⁸ Ismeretes még az Organica nevű komplex szennyvíztisztítási eljárás is. Az „Élőgép technológia” egy olyan eljárás, amely két-hármezer faj révén kiválasztja és semlegesíti a vízben levő szennyező anyagokat. A tisztításban a baktériumok mellett állati planktonok, algák, különböző növények, sőt kagylók, csigák és halak is részt vesznek. Az Élőgépen belül kialakuló változatos élőlényközösségek ellenálló rendszert képeznek, amely jól tűri a szennyvízterhelés ingadozását.²⁹

(2) A *remediáció* kifejezés a terület megjavítását, meggyógyítását, rendbehozatalát jelenti. Ezt a szakkifejezést használjuk arra a tevékenységre, amikor a talajt szennyező vegyi anyagok koncentrációját olyan kis értékre csökkentik, amelynek kockázata már elfogadható. A talajtisztítási eljárások során a mikroorganizmusokat irányítottan és koncentráltan helyezik a szennyezett talajba, és a biológiai lebontást tápanyag és oxigén bejuttatásával segítik. E mikrobfajok képesek a szennyezések lebontására, beleértve a talaj mérgegtelenítését is. A biológiai lebontási eljárások főképpen olajszennyezések, aromás szénhidrogének és fenolok eltávolítására használatosak (Moser–Pálmai [1999]). Fitoremediáció során a szerves vagy szeretlen szennyezések eltávolítása, átalakítása, megkötése növények segítségével történik. A szeretlen szennyezések egyik legmérgezőbb komponensei a nehézfémek. Talajok nehézfém-mentesítésére fémakkumuláló növényeket alkalmaznak. E növények rendszerint olyan önvédelmi mechanizmust alakítanak ki, amely megakadályozza, hogy anyagcseréjük a nehézfémek hatására sérülést szenvedjen. Ha a talajoldat fémtartalma megnő, fémtűrő és fémakkumuláló fajok terjednek el a szennyezett területen. Ez a megfigyelés vezette a kutatókat arra a gondolatra, hogy nehézfémekkel szennyezett talajok tisztítását növényekkel végezzék. A növény – fejlődése, növekedése során – felhalmozza szövetében a nehézfémet, így eltávolításával a terület mentesül a szennyezéstől. Ilyen esetben a növényt megsemmisítik (rendszerint elégetik). A területet a tisztítás idején természetesen lezárják, hogy a nehézfém-szennyezés ne terjedjen tovább.

Hulladékkezelési eljárások

A hulladékkezelési eljárások célja a hulladék mennyiségének minél nagyobb mértékű csökkentése, illetve a hulladék újrahasznosítható anyagainak elválasztása. Ez utóbbi természetesen nem mindig lehetséges, de napjainkban nagyon sok kutatás zajlik a hulladék-eredetű hasznos anyagok kinyerésére. Szerves hulladékokból mikrobiológiai eljárással például alkoholok, aminosavak, fehérjék állíthatók elő. A *komposztálás* olyan biológiai lebontás, amely során a szerves szennyezők mikroorganizmusok által ve-

²⁸ Az egysejtű állatok közül jelentős szerepet játszik a tisztításban a közönséges papucsállatka (*Paramecium caudatum*), a nyeles állatka (*Epistylis plicatilis*) és a harangállatka (*Vorticella striata*).

²⁹ <http://www.korte-organica.hu>

szélytelen alkotókra bomlanak (alakulnak át). Komposztálásra csak szerves hulladékok alkalmasak. A komposztálás történhet *in situ* és *ex situ* körülmények között. A legtöbb esetben a komposzthalomban természetesen jelenlévő mikroorganizmus-állomány elegendő, de ipari méretekben további mikroorganizmusokat is oltanak a komposzthalomba. A komposztálásban baktériumok és élesztőgombák vesznek részt. Végtermékként jó minőségű, szerves trágya keletkezik. A *biogáztermelés* oxigén hiányában zajló (anaerob) biológiai hulladékkezelési eljárás.³⁰ Metanogén prokarióták hatására főként metánt és szén-dioxidot tartalmazó gázelegy képződik. A depóniából vezetéken jut a gázelegy a felszínre, ahol azt elfáklýázzák és vízmelegítésre, fűtésre használják fel.

Zárszó

Az ember a bioszféra része, így függ annak alkotóelemeitől és azok kapcsolataitól. Sokszor ezekből a kapcsolatokból származnak olyan nélkülözhetetlen ökológiai szolgáltatások, melyek biztosítják az emberi életet és civilizációnk fennmaradását. Az élővilágtól származó materiális javak és szolgáltatások áttekintése után talán az élet minden lélegzétvételét értékeesebbnek és lenyűgözőbbnek tartjuk. Mélyebben eltűnődve rádöbbenhetünk, hogy létezésünk minden területén fontosak, sőt nélkülözhetetlenek az élőlények és az általuk nyújtott adományok. Civilizációnk fennmaradása érdekében fenn kell tartanunk a Föld biodiverzítását. Csak bizonyos mértékű sokféleség biztosíthatja azokat az adományokat, amelyeken jelenlegi jólétünk és gyermekeink jövője múlik.

HIVATKOZÁSOK

- Baskin, Y. [1997]: *The Work of Nature – How the Diversity of Life Sustains Us*; Island Press, Washington D. C.
- Beattie, A. J. [1992]: *Discovering New Biological Resources – Chance or Reason?*; BioScience 42, 290–292. o.
- Bonan, G. B. – Pollard, D. – Thompson, S. L. [1992]: *Effects of Boreal Forest Vegetation on Global Climate*; Nature 359, 716–718. o.
- Bormann, F. H. – Likens, G. E. – Fisher, D. W. – Pierce, R. S. [1997]: *Nutrient Loss Accelerated by Clear-cutting of a Forest Ecosystem*; in: Goudie, A. (szerk.): *The Human Impact Reader*; Blackwell Publishers, Oxford, 158–162. o.

³⁰ A biogázképződés során fermentáció zajlik savképző baktériumok (*Lactobacillus sp.*, *Clostridium sp.*, *Enterobacterium sp.*) segítségével. Végtermékként zsírsavak és alkoholok képződnek.

- Burd, M. [1994]: *Bateman's Principle and Plant Reproduction – The Role of Pollen Limitation in Fruit and Seed Set*; Botanical Review 60, 81–109. o.
- Charlson, R. J. – Lovelock, J. E. – Andreae, M. O. – Warren, S. G. [1987]: *Oceanic Phytoplankton, Atmospheric Sulphur, Cloud Albedo and Climate*; Nature 326, 655–661. o.
- Cristancho, S. – Vining, J. [2004]: *Culturally-defined Keystone Species*; Human Ecology Review, megjelenés alatt
- Daily, G. C. (szerk.) [1997a]: *Nature's Services*; Island Press, Washington D. C.
- Daily, G. C. [1997b]: *Introduction – What are Ecosystem Services?*; in: Daily [1997a], 1–10. o.
- Daily, G. C. – Matson, P. M. – Vitousek P. M. [1997]: *Ecosystem Services Supplied by Soil*; in: Daily [1997a], 113–133. o.
- de Groot, R. S. – Wilson, M. A. – Boumans, R. M. J. [2002]: *A Typology for the Classification, Description and Valuation of Ecosystem Functions, Goods and Services*; Ecological Economics 41, 393–408. o.
- Dunkel Z. [1996]: *Az élő felszín szerepe a légkör és az éghajlat alakításában*; Természet Világa I. Különszáma, 52–55. o.
- Ehrlich, P. – Ehrlich, A. [1981]: *Extinction – The Causes and Consequences of the Disappearance of Species*; Random House, New York (magyarul: *A fajok kihalása*; Göncöl Kiadó, Budapest, 1995)
- Ewel, J. J. – Mazzarino, M. J. – Berish, C. W. [1991]: *Tropical Soil Fertility Changes under Monocultures and Successional Communities of Different Structure*; Ecological Applications Vol. 1, No. 3, 289–302. o.
- Frank, G. – Chand D. – Mayol-Bracero, O. L. – González, S. – Soto, L. – Andreae, M. O. – Artaxo, P. [2003]: *Cloud Condensation Nuclei in the Amazon Basin*; Geophysical Research Abstracts 5, 13377. o.
- Hayden, B. P. [1998]: *Ecosystem Feedbacks on Climate at the Landscape Scale*; Phil. Trans. R. Soc. Lond. B 353, 5–18. o.
- Horváthné Mosonyi M. [1998]: *Élelmiszerismeret és technológia I*; Hajnal Imre Egészségtudományi Egyetem Egészségügyi Főiskolai Kar, Budapest
- Horváthné Mosonyi M. – Varga Zs. [1998]: *Élelmiszerismeret és technológia II*; Hajnal Imre Egészségtudományi Egyetem Egészségügyi Főiskolai Kar, Budapest
- Juhász-Nagy P. [1984]: *Beszélgetések az ökológiáról*; Mezőgazdasági Kiadó, Budapest
- Kellert, S. R. [1993]: *The Biological Basis for Human Values for Nature*; in: Kellert, S. R. – Wilson, E. O. (szerk.): *The Biophilia Hypothesis*; Island Press, Washington. 42–69. o.

- Kellert, S. R. [1997]: *The Value of Life – Biological Diversity and Human Society*; Island Press, Washington
- Kevan, P. G. [1999]: *Pollinators as Bioindicators of the State of the Environment – Species, Activity and Diversity*; Agriculture, Ecosystems and Environment 74, 373–393. o.
- Kovács M. G. [2002]: *Mikorrhiza vizsgálatok alföldi területeken*; PhD-értekezés, SZTE Növénytan Tanszék, Szeged
- Kremen, C. – Williams, N. M. – Thorp, R. W. [2002]: *Crop Pollination from Native Bees at Risk from Agricultural Intensification*; Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A. 99, 16812–16816. o.
- Kunin, W. E. – Lawton, J. H. [1996]: *Does Biodiversity Matter? Evaluating the Case for Conserving Species*; in: Gaston, K. J. (szerk.): *Biodiversity*; Blackwell Science, Oxford, 283–308. o.
- Lenton, T. M. [1998]: *Gaia and Natural Selection*; Nature 394, 439–446. o.
- Lerdau, M. – Slobodkin, L. [2002]: *Trace Gas Emissions and Species-dependent Ecosystem Services*; TRENDS in Ecology and Evolution, vol. 17, no. 7, 309–312. o.
- Márkus F. [1995]: *A biológiai sokféleség jelentősége a mezőgazdaságban*; Természet Világa II. különszám, 29–31. o.
- Mészáros E. [1999]: *New Results on the Chemical Composition of Aerosol Particles in the Atmosphere – Are Cloud Condensation Nuclei Produced by the Aiosphere?*; Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service 103/2, 85–91. o.
- Meyer, O. [1993]: *Functional Groups of Microorganisms*; in: Schulze E. D – Mooney H. (szerk.): *Biodiversity and Ecosystem Functions*; Springer-Verlag, Berlin, 68–71. o.
- Moffat, A. S. [1993]: *Clearcutting's Soil Effects*; Science 261, 1116. o.
- Moser M. – Pálmai Gy. [1999]: *A környezetvédelem alapjai*; Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest
- Myers, N. [1996]: *Environmental Services of Biodiversity*; Proc. Natl. Acad. Sci. USA 93, 2764–2769. o.
- Nabham, G. P. – Buchmann, S. L. [1997]: *Services Provided by Pollinators*; in: Daily [1997a], 177–195. o.
- Naylor, R. L. – Ehrlich, P. R. [1997]: *Natural Pest Control Services and Agriculture*; in: Daily [1997a], 151–177. o.
- Peterson, C. H. – Lubchenko, J. [1997]: *Marine Ecosystem Services*; in: Daily [1997a], 177–194. o.

- Polgár A. L. [1999]: *Antagonista élő szervezetek – hasznos élő szervezetek*; in: Polgár A. L. (szerk.): *A biológiai növényvédelem és helyzete Magyarországon*; MTA Növényvédelmi Kutatóintézete, Budapest, 67–100. o.
- Renner, S. [1995]: *Floral Rewardlessness in the Angiosperms*; Association for Tropical Biology Program and Abstracts 14
- Salati, E. – Nobre, C. A. [1991]: *Possible Climatic Impacts of Tropical Deforestation*; Climatic Change 19, 177–196. o.
- Sági F. [1994]: *Energiahasznosítás a mezőgazdaságban*; Országos Mezőgazdasági Központ és Dokumentációs Központ, Budapest
- Sárvári É. [1998]: *Nitrogén- és kénautotrófia*; in: Láng F. (szerk.): *Növényélettan – A növényi anyagcsere*; ELTE Eötvös Kiadó, Budapest
- Schaefer, V. J. [1970]: *Condensation Nuclei – Production of very large Numbers in Country Air*; Science 170, 851–852. o.
- Schnell, R. C. – Vali, G. [1972]: *Atmospheric Ice Nuclei from Decomposing Vegetation*; Nature 236, 163–165. o.
- Schwarczinger I. – Polgár A. L. [1999]: *Gyomnövények elleni biológiai védekezés*; in: Polgár A. L. (szerk.): *A biológiai növényvédelem és helyzete Magyarországon*; MTA Növényvédelmi Kutatóintézete, Budapest 152–181. o.
- Shukla, J. – Mintz, Y. [1982]: *Influence of Land-surface Evapotranspiration on the Earth's Climate*; Science 215, 1498–1501. o.
- Shukla, J. – Nobre, C. – Sellers, P. [1990]: *Amazon Deforestation and Climate Change*; Science 247, 1322–1325. o.
- Somogyi Z. [2001]: *Erdő nélkül?*; L'Harmattan, Budapest
- Szabó I. M. [1989]: *A bioszféra mikrobiológiája III*; Akadémiai Kiadó, Budapest
- Turóczy Gy. [1999]: *Biológiai védekezés növényi kórokozókkal szemben*; in: Polgár A. L. (szerk.): *A biológiai növényvédelem és helyzete Magyarországon*; MTA Növényvédelmi Kutatóintézete, Budapest, 100–152. o.
- Vida G. [2001]: *Helyünk a bioszférában*; Typotex Kiadó, Budapest
- Vietmeyer, N. D. [1986]: *Lesser-known Plants of Potential Use in Agriculture and Forestry*; Science 232, 1379–1384. o.
- Walter, H. – Breckle, S. [1985]: *Ecological Systems of the Geobiosphere*; Springer, Berlin
- Watambe, M. E. [1994]: *Pollination Worries Rise as Honey Bees Decline*; Science 265, 1170. o.
- Westman, W. E. [1977]: *How Much are Nature's Services Worth?*; Science 197, 960–964. o.
- Wilson, E. O. [1984]: *Biophilia – The Human Bond with other Species*; Harvard University Press, Cambridge