

# A KÓROKOZÓ ACHILLES-SARKA

FOTÓ: LACZI MIKLÓS



Az állat- és növényvilágban is megtalálhatók a járványokat okozó kórokozók, amelyek ugyanúgy viselkednek, mint az embereket fertőző patogének. Ám míg az emberekre is áttérjedő járványokról a fejlett orvosi hálózatnak és a médiának köszönhetően hamar értesülünk, különösen, ha nagy a halálos áldozatok száma, addig az állatok ezreit vagy akár millióit elpusztító ragályos betegségekről gyakran megkésve vagy csak utólag, populációk, netán egész fajok kipusztulása után szerzünk tudomást. A kitridiomikózis az elmúlt 50 év alatt 500 faj hanyatlásához vezetett, közülük 90 faj véglegesen eltűnt, és további sok száz faj létét fenyegeti világszerte. Megmentésükre érdekes vizsgálatokba fogott a cikkszerző által vezetett ATK NÖVI Lendület Evolúciós Ökológiai Kutatócsoport.

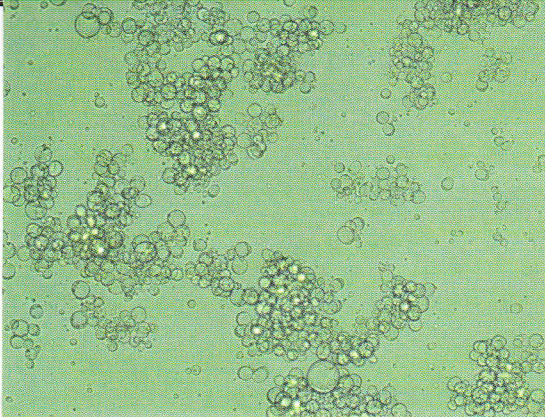
**A** fertőző betegségek okozta járványok végigkísérték az emberiség történelmét. Időről időre megtizedelték a népességet, néha országnyi területeket néptelenítettek el, olykor egész birodalmakat döntöttek romba. Gondoljunk csak a pestisre, a kolerára vagy a himlőre. A járványok súlyossága sokszor arra volt visszavezethető, hogy a kórokozók (vírusok, baktériumok, protozoák, gombák) a különféle emberi tevékenységek következtében (kereskedelem, felfedező expedíciók, hadjáratok stb.) olyan népességgel találkoztak, amelyekkel korábban nem, így az érintett emberek jórészt védtelenek voltak velük szemben, mivel a kórokozónak és az új gazdaszervezeteinek nem volt közös evolúciós múltja.

A korábbi együttélés hiányában a gazdaszervezetek immunrendszere szinte fegyvertelen az újonnan megjelenő, ismeretlen kórokozó ellen, ami ennek következtében hatékonyan terjed, és az egyedekben gyorsan felszaporodva igen erős tüneteket, végül gyakran halált okoz. Néhány nemzedék elég lehet ahhoz, hogy gyakorlatilag eltűnjenek a betegség ellen védtelen egyedek (genotípusok) és csak a védeltséget biztosító géneket hordozó emberek maradjanak fenn (szelekció). Fertőzőképességüket fenntartva, a kórokozók elemi érdeke, hogy csökkentsék a gazdaszervezetben okozott károkat, így elkerülve annak gyors pusztulását, ugyanakkor biztosítva maguknak a szaporodáshoz és terjedéshez szükséges környezetet, vagyis a beteg minél hosszabb ideig tartó életben maradását (attenuáció).

Ha egy gazdaszervezet túléli az első megfertőződést, a kórokozóval való későbbi találkozások során immunrendszere tanulékonyságának köszönhetően nagyfokú védeltséget élvezhet (immunizáció). Ezentúl fegyverkezési verseny alakul ki a gazdaszervezet és a kórokozó között, amiben előbbinek a kórokozó kiirtása, de legalábbis drasztikus visszaszorítása, utóbbinak pedig a gazdaszervezet immunrendszerének kijátszása vagy gyengítése és saját szaporodásának maximalizálása a célja (kompetitív koevolúció).

Az ilyen folyamatok rendszerint ahhoz vezetnek, hogy a járványos megbetegedések súlyossága – az első megjelenésükhöz képest – idővel csökken. Ugyanakkor nagy szerepe van a járványos betegségek megfékezésében





**Batrachochytrium dendrobatidis sporangiumcsomói tenyészetben, 100x-os nagyítás mellett** (FOTÓ: UJSZEGI JÁNOS)



**Egy Bd-sporangiumcsomó, amelynek bal oldali sporangiumán jól látható a zoospórákat kieresztő papilla, benne pedig zoospórák. A többi sporangium között van kiürült és erőfélben lévő is (400x-os nagyítás).**  
(FOTÓ: UJSZEGI JÁNOS)

a tudományos ismeretek robbanás-szerű növekedésének is. Az ezek nyomán megváltozott tisztálkodási szokások, az ételmszer-biztonsági és járványellenes intézkedések, valamint az orvoslás hatalmas mértékű fejlődése egyaránt hozzájárulnak az életveszélyes megbetegedéseket okozó ragályos kórok visszaszorulásához.

### Alattomos bőrfertőzés

Az emberi társadalmakhoz hasonlóan az állat- (és növény)világban ugyan-csak léteznek járványokat keltő kórokozók. A vadon élő állatok valaha dokumentált legpusztítóbb fertőző betegsége a jelenleg is gyors ütemben terjedő *kitridiomikózis*, amelyet a *Batrachochytrium dendrobatidis* (továbbiakban *Bd*) nevű rajzospóras kitrid gomba okoz. A *Bd* kétélrtűek keratinizáló, vagyis külső, keratinnal feltöltődő sejtekből álló bőrrétegében telepszik meg, ott alakítja ki szaporítóképleteit, a sporangiumokat, amelyekben rajzospórák fejlődnek. Utóbbiak a bőr hámlása során kerülnek a környezetbe és fertőzik újra a gazdaállatot vagy a közelében lévő egyéb kétélrtűeket. A fertőzés így közvetlenül „csak” a bőr felszínközeli réteget érinti.

Mivel azonban a kétélrtűek bőre a légzésben és a só-víz-háztartás egyensúlyának fenntartásában egyaránt

fontos szerepét tölti be, működőképességének csökkenése, majd a betegség előrehaladtával annak felborulása szívleálláshoz vezethet. A *Bd* a rajzospórák miatt vizes közegben terjed, így elsősorban lárvakorban, illetve a szaporodási időszak alatt tud új gazdaállatokat megfertőzni. A megfertőződött ebihalakban a *Bd* nem okoz betegséget, mivel ekkor még csak az állatok szájképlete keratinizálódik. Ilyenkor valamelyest csökkent aktivitás, lassabb növekedés és egyes esetekben a szájképlet elszíneződése utalhat a fertőzés meglétére.

Az átalakulás során azonban a keratinizáló bőrfelületek megnövekedése miatt néhány nap alatt szétterjed a gomba a testfelületen. Ekkor a külső bőrréteg megvastagodhat, bőrpír, fekélyesedés és erőteljes hámlás figyelhető meg, ugyanakkor az állatok letargikussá válnak és erősen lefogy-nak. Mire az egyedek befejezik az átalakulást és elhagynak a lárvális fejlődésük során használt víztestet, oly mértékben felszaporodhat rajtuk a *Bd*, ami már a halálukhoz vezet. Ilyen esetekben a frissen átalakult kisbékák tetemeinek százaléka boríthatják a kisvízek partvonalát. A kisbékák mellett a kifejlett kétélrtűek esetében is sokszor megfigyeltek kitridiomikózis okozta tömeges pusztulásokat.

### Koreából terjedt szét

A tény, hogy a *Bd* a kétélrtűeket támadja, különösen aggasztó. Nemcsak azért, mert a kétélrtűek fontos pozíciót töltenek be a táplálékláncban, nagyobb általánosságban pedig az ökológiai rendszerekben, hiszen ez a legtöbb állat- (és általában élőlény)csoportról elmondható. Nem is azért, mert annyi ikonikus faj tartozik közéjük (gondoljunk csak a „cuki” zöld levelibékára, a mesebeli varangyos békára, a hihetetlenül kék nászruhájú

mocsári békára, az ízletes combú ökörbékára vagy sokak kedvelt hobbiállataira, a karmosbékákra, hiszen ez igen emberközpontú megközelítés. Leginkább azért ijesztő a kitridiomikózis, mert a kétélrtűeket támadja, amelyek élőhelyeik eltűnése miatt mára amúgy is a legveszélyeztetettebb gerinces csoporttá váltak: jelenleg a kétélrtűfajok harmadát fenyegeti a kipusztulás veszélye a Természetvédelmi Világszövetség (IUCN) 2019-es adatai szerint.

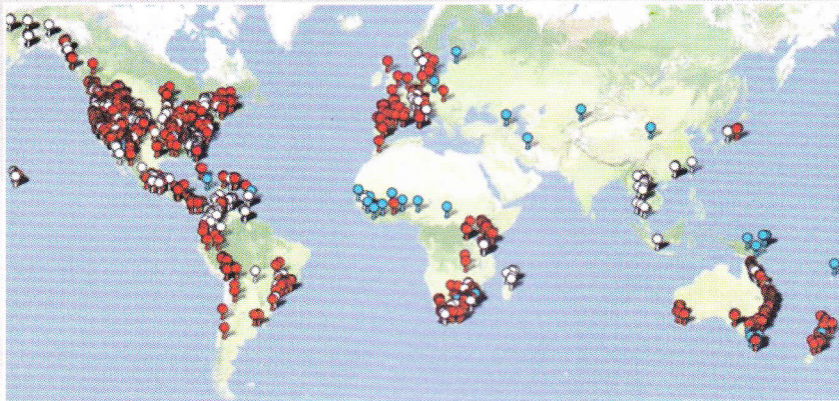
A legfrissebb kutatások szerint a *Bd* a Koreai-félszigetről származik és onnan terjedt szét az egész világon az elmúlt száz év alatt, nagy földrajzi lépésekben elsősorban az emberi tevékenység (kereskedelem és állattartás), helyi szinten pedig főleg természetes folyamatok (a *Bd*-t hordozó állatok migrációja) útján. Amikor a *Bd* megérkezik egy új területre, hullámszerűen terjed tovább, megtizedelt, gyakran összeomló kétélrtűállományokat hagyva maga mögött. A klímaváltozás következtében a gomba számára kedvezőbbé váló környezet vagy új genetikai vonalak megjelenése olyan helyeken is pusztító járványokat okozhat, ahol korábban nem jelentett veszélyt a jelenléte.

**A kitridiomikózis jól látható tünetei: letargia és fogyás (balra), bőrpír és fekélyesedés (középen), valamint intenzív hámlás és végül pusztulás (jobbra)**

(FOTÓK: VANCE T. VREDENBURG, BRIAN GRATWICKE SCBI, EMANUELE BIGGI)







A *Bd* kitrid gomba világszintű elterjedése; piros: *Bd* jelenléte, fehér és kék: *Bd*-mentes helyek  
(FORRÁS: WWW.BD-MAPS.NET)



Kétéltűek kitridiomikózis okozta tömeges pusztulása (FOTÓ: VANCE T. VREDENBURG)

Magyarországon a *Bd* számos helyen előfordul (elsősorban domb- és hegyvidékeinken, de például a Hortobágyon is) és több fajon is megtalálta Vörös Judit és kutatócsoportja (Magyar Természettudományi Múzeum), különösen vöröshasú és sárgahasú unkákon, valamint a kecskebéka-komplex fajainak egyedein, de kitridiomikózis okozta tömeges pusztulást hazánkban még nem tapasztaltak.

#### A hűvöset szereti

A kétéltűek többféleképpen védekeznek a kórokozók ellen. Sok faj bőre antimikrobiális peptideket termel, mások esetében a mikrobák ellen is védelmet nyújtó mérgeket találunk. A kétéltűek bőrén megtelepedhetnek a kórokozók ellen védelmet biztosító baktériumok is, de egyes fajok esetében azt is leírták, hogy ezek a baktériumok olyan módon változtathatják meg az állatok viselkedését, aminek segítségével elkerülhetik a megfertőződést vagy csökkenthetik a fertőzés intenzitását (beteg egyedek vagy csoportosulások elkerülése, kórokozók számára előnytelen helyek felkeresése stb.). A kétéltűek emellett hatékony veleszületett és adaptív immunrendszerrel is rendelkeznek. Mindezen mechanizmusok ellenére sok faj veszélyeztetett a kitridiomikózis által, és csak akkor van esélye a megmaradásra, ha egyedeit hatékonyan tudjuk segíteni e veszélyes betegséggel szemben.

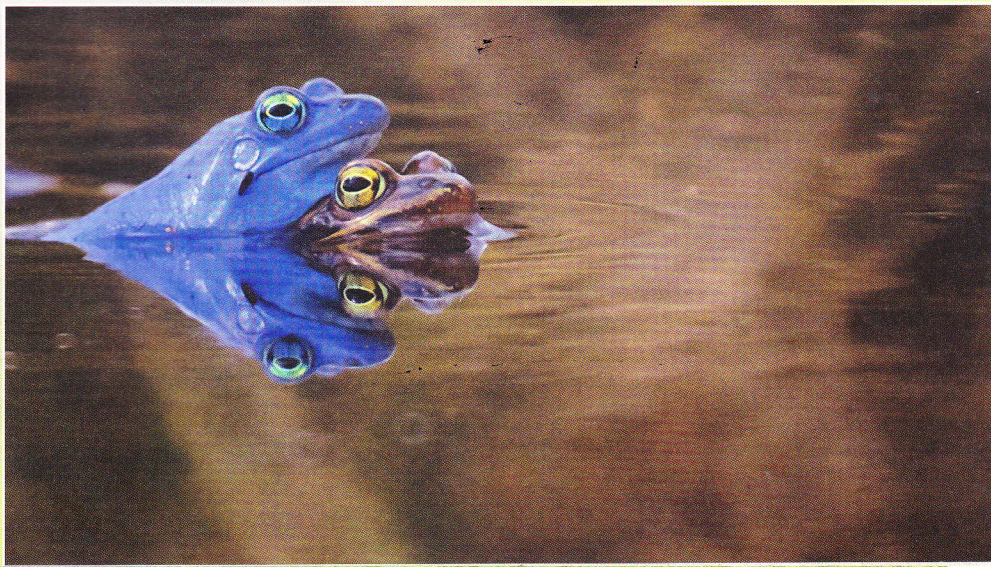
Több *Bd*- és kitridiomikózis-ellenes kezelési javaslat is napvilágot látott az elmúlt években. Felvetődött a sók, gombaölő szerek és probiotikumok

használata, a tömeges immunizálás (oltás), a *Bd*-toleranciára történő mesterséges szelekció, a *Bd*-zoospórákat fogyasztó mikroszkopikus ragadozók felszaporítása és bevetése. Ezek közül több módszer is hatékonynak bizonyult – laboratóriumi körülmények között. A magas költségek miatt azonban csak néhány tucat faj védelmét lehet megoldani populációik mesterséges körülmények közötti fenntartásával. Olyan kezelési eljárásra van tehát szükség, amelyet természetes élőhelyeken is alkalmazni lehet. Sajnos, az említett módszerek egyike sem ilyen. Némelyik a környezetre vagy épp a kétéltűekre kifejtett súlyosan káros mellékhatásai következtében, mások a hatalmas költségek miatt, megint mások azért, mert kivitelezhetetlenek vagy egyszerűen nem hatékonyak természetes körülmények között.

Mit lehet ezután tenni? Hogyan védhetjük meg a kétéltűeket természetes környezetükben a *Bd*-fertőzés és a

nyomában kialakuló kitridiomikózis ellen? Véleményünk szerint a *Bd*-nek is van támadható Achilles-sarka, s azt a kétéltűek védelmére célba vehetjük. Már a 2000-es évek elején felfedezték, hogy a *Bd* érzékeny a melegre. Laboratóriumi in vitro (*Bd*-táptalajon végzett) és in vivo (élő kétéltűek bevonásával végzett) kísérletekben egyaránt kimutatták, hogy a *Bd* számára ideális hőmérséklet 20 Celsius-fok körül van, 24 Celsius-fokig még jól növekszik, de afölött lassul a növekedése, 28 Celsius-foknál melegebb környezetben pedig elpusztul. A változó testhőmérsékletű kétéltűek viszont általában kedvelik és keresik a 25–28 Celsius-fok körüli hőmérsékletet, sőt, a 28–30 Celsius-fokot is jól viselik. Ennek megfelelően tucatnyi laboratóriumban végzett kísérlet igazolja, hogy melegítés segítségével hatékonyan *Bd*-mentesíteni lehet a kétéltűeket. Emellett természetes élőhelyeken végzett vizsgálatok egész sorában kimutatták, hogy a *Bd*-fertőzött állatok aránya, és egyes egyedeken belül a fertőzés intenzitása egyaránt nagyobb a hűvösebb élőhelyekhez kötődő populációkban, valamint egy-egy populáción belül az év hűvösebb szakában és az átlagosan alacsonyabb hőmérsékleteken tartózkodó

Párhozó mocsári békák (FOTÓ: LACZI MIKLÓS)







**Vízbe meríthető fűtőegység. Az alján lévő rések teszik lehetővé az ebihalak számára, hogy alulról beússzanak az akváriumfűtők által felmelegített vízterbe, amelyet a szigetelt oldalfalak tartanak egybe. Az oldalfalak felső külső pereme mentén elhelyezett úszók tartják a fűtőegységet a vízfelszínen.**

(FOTÓ: HETTYEY ATTILA)

egyedekben. Mindezekből következik, hogy ha a kétéltűek környezetét fel tudjuk melegíteni 28 Celsius-fok fölé, azzal sikeresen kezelhetjük a *Bd*-vel fertőzött egyedeket és megelőzhetjük a betegség terjedését.

Felmerül a kérdés, hogy ha a megemelt hőmérséklet segítségével ilyen hatékonyan lehet kezelni a kétéltűeket, akkor miért nem alkalmazzák ezt a módszert természetes populációkban? A választ a látszólag hatalmas energiaszükségletben kereshetjük. Ahhoz, hogy akár csak 1 köbméter víz hőmérsékletét 10 Celsius-fokkal megemeljük, 12 kilowattóra elektromos munkára van szükség, ami gyakorlatilag lehetetlenné teszi még egy kis tavacska vizének felmelegítését is. A kétéltűek szárazföldi élőhelyének egészét pedig, ahol az egyedek szétszóródva élnek, teljesen felmelegíteni végképp lehetetlen. Néhol megoldást jelenthet az árnyékolás csökkentése és a hőmérséklet ezáltal

emelése, ugyanakkor a fák és bokrok kivágása sokszor nem járható út az okozott kár miatt, valamint pusztán az árnyékolás csökkentése sok helyütt nem vezetne kellő mértékű hőmérséklet-emelkedéshez.

### Meghívó a melegedőbe

A megoldást kis élőhelyfoltok *felmelegítése* jelentheti. Mindannyian látunk már napozó békákat üldögni a vízparton. Ilyenkor valójában azt figyeljük meg, ahogy a kétéltűek termoregulálnak, vagyis ahogy a napozás segítségével megemelik testhőmérsékletüket a számukra ideális tartományba. Ennek az általánosan jellemző viselkedésüknek köszönhetően nincs szükség arra, hogy egész víztesteket vagy szárazföldi élőhelyeket felmelegítsünk. Elég, ha lokálisan lehetővé tesszük a kétéltűek számára, hogy elérjék a számukra ideális testhőmérsékletet, természetes melegkereső viselkedésüknek köszönhetően fel fogják keresni ezeket a melegített foltokat. Azok a kétéltűfajok, amelyek egyedei térben és időben csoportosulnak, vagyis időről időre viszonylag kis területre összegyűlnek (például a nászidőszakban a kis tavacskába gyűlő ivarérett egyedek, a tavacskában fejlődő ebihalak vagy a kisvizeket az átalakulás után elhagyó metamorfok), különösen alkalmasak lehetnek a lokális melegítéses kezelésre. Ehhez a szárazföldön olyan búvóhelyeket helyezhetünk ki, amelyeket egy termosztát által vezérelt fűtőegység köré építettünk, míg az ebihalak számára hőszigetelt „szoknyával” körbevert akváriumfűtők segítségével biztosíthatunk nekik meleg foltokat. A fűtéshez szükséges áramot (kilowattónként körülbelül 100 fűtött búvóhelyet vagy 2 vízmelegítőszettet működtethetünk) ideális esetben vezetékről, annak hiányában napelemek vagy generátor segítségével biztosíthatjuk. A módszer természetes körülmények közötti alkalmazásához szükséges eszközök kifejlesztése és optimalizálása folyamatban van.

Ahhoz, hogy biztonságosan és hatékonyan alkalmazhassuk a lokális melegítést, még rengeteg kutatásra van szükség. Meg kell tudnunk például, hogy milyen hőmérsékleten,

pontosan mennyi ideig kell kezelnünk az állatokat a *Bd*-fertőzés visszaszorításához, illetve teljes eltüntetéséhez, és hogy ez milyen mértékben faj- és életkorfüggő. Azt is meg kell állapítanunk, hogy a terápiás hőkezelésnek vannak-e káros mellékhatásai a kétéltűekre nézve (növekedés lassulása, fejlődési rendellenességek kialakulása, ivari működés károsodása stb.), és ha vannak, akkor ezeket hogyan lehet ellensúlyozni (például hőmérséklet-ingadozás megengedésével). Alaposan meg kell vizsgálnunk azt is, hogy mi történik, ha a *Bd* mellett hőkedvelő kórokozók (mint amilyenek a Ranavírusok) is jelen vannak a kétéltűpopulációban, hiszen hiába nyomjuk el a *Bd*-fertőzés növekedését a megemelt hőmérséklet segítségével, ha eközben ideális körülményeket teremtünk egy másik kórokozó számára, amely felszaporodva ugyancsak képes elpusztítani az állatokat. Sok izgalmas kérdés vár tehát még megválaszolásra, de intenzív kutatómunka folyik hazai és külföldi kutatócsoportok részvételével, amelynek elsődleges célja, hogy mihamarabb alkalmazható legyen ez a módszer a természetes körülmények között élő kétéltűpopulációkban.

Nagy előnye a lokális melegítés módszerének, hogy lehetővé teszi a *Bd* és a kétéltűek ismételt találkozását, ezáltal olyan mikroevolúciós változások bekövetkezését, amelyeknek köszönhetően a kétéltűek idővel védettebbé válhatnak a kitridiomikózzal szemben. A módszer segítségével megelőzhető a populációk összeomlása és így elkerülhető az értékes genetikai variáció elvesztése. Bár a lokális melegítés segítségével nem tudjuk egész földrajzi régiókból eltüntetni a *Bd*-t, és a hűvöskedvelő fajokon sem tudunk vele segíteni, de ha várakozásainknak megfelelő eredményeket kapunk, és a lokális melegítés biztonságosan alkalmazható lesz természetes körülmények között is, akkor segítségével sok száz kétéltűpopulációt és fajok tucatjait menthetjük meg.

**HETTYEY ATTILA**, biológus  
Agrártudományi Kutatóközpont,  
Növényvédelmi Intézet

(A cikk az MTA Bolyai János Kutatási Ösztöndíjának, valamint az EMMI ÚNKP Bolyai+ ösztöndíjának támogatásával készült.)