

Gyilkos fehér pamacsok A denevéreket pusztító gomba

GÖRFÖL TAMÁS

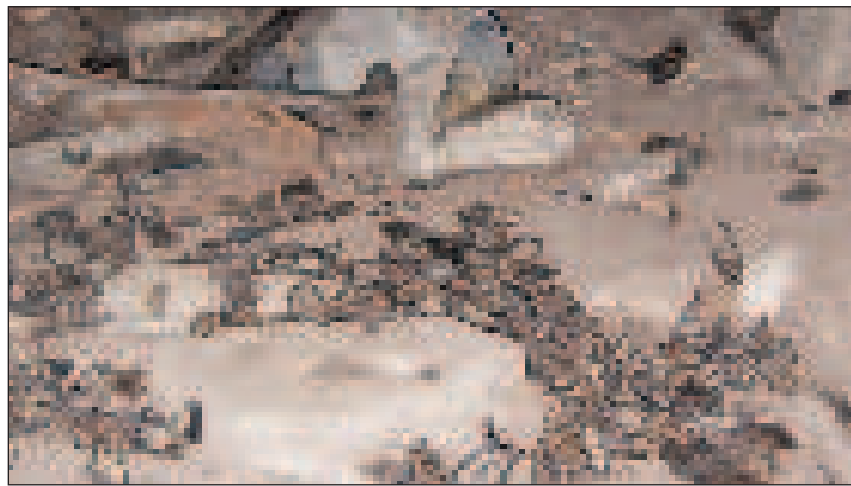
Több New York állambeli barlangban is borzalmas látvány fogadta 2007 telén az évente esedékes téli denevérellenőrzést és -felmérést végző kutatókat: a népes kolóniák helyett a földön halmokban heverő denevéreket találták.

katasztrófával állunk szemben. A denevérek szabad bőrfelületein megtelepedő gombát 2009-ben írták le a tudomány számára új fajként *Geomyces destructans* néven. Később átsoportolták a *Pseudogymnoascus* nemzetségbe, melybe további talaj- és

hiszen az észak-amerikai fajok többsége rovarrevő, a mérsékelt égövi tél pedig nem a rovarbőségéről híres.

A fehérorr-tünetegyüttest az összes hibernáló észak-amerikai denevérfajnál megfigyelték. Ezek a *Myotis lucifugus*, a *M. septentrionalis*, a *M. sodalis*, a *M. leibii*, a *M. grisescens*, az *Eptesicus fuscus* és a *Perimyotis subflavus*. További fajok esetében (*Lasiurus borealis*, *Myotis austroriparius*, *Lasionycteris noctivagans*, *Corynorhinus rafinesquii* és *C. townsendii*) csak molekuláris biológiai módszerek segítségével sikerült a gomba jelenlétét kimutatni. Az említett, a betegség által érintett denevérfajok közül kettő (*M. sodalis* és *M. grisescens*) eleve ritka és veszélyeztetett volt, de a gomba pusztításai nyomán további fajok teljes vagy helyi kipusztulása is fenyeget, még az olyan, korábban gyakori fajok esetében is, mint a *M. lucifugus*. A *M. septentrionalis* nevű fajt a gomba megjelenése óta már át kellett sorolni az erősen veszélyeztetett védelmi kategóriába, de további fajok védelmi státuszának ártértékelése is várható.

A gomba első észak-amerikai bizonyítéka egy barlangász fényképfelvétele, melyet még 2006-ban készített a New York állambeli Howe-barlangban. Mivel a denevérek számos faja vonul nyári és téli szálláshelyei között – esetenként akár több száz kilométeres távolságokat is megtéve –, a gomba gyors terjedésnek indult, hatalmas



Elpusztult denevérek az Aelous-barlang alján (University of Tennessee)

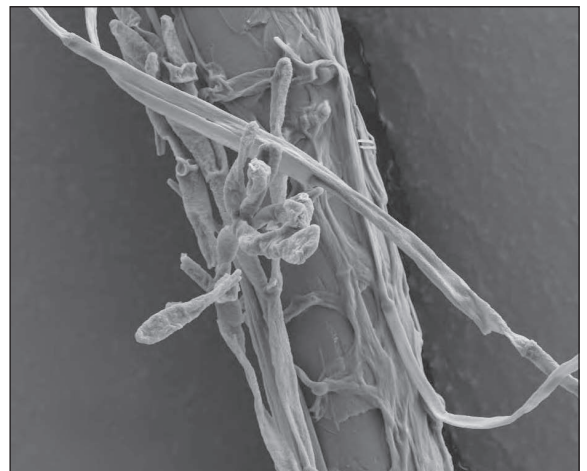
Orrukon és egyéb bőrfelületeiken fehér pamacsok voltak megfigyelhetők, a pusztulásukat okozó betegség innen kapta nevét: fehérorr-tünetegyüttes (White-Nose Syndrome, WNS).

A denevérek közel 1300 fajt ismerjük, melyek közül Észak-Amerikában mintegy 50 faj él. A denevérek a táplálkozás terén is igen sokfélék: a rovarrevők mellett a trópusokon jelentős a gyümölcssevő fajok száma, de előfordulnak nektárfogyasztók, halakkal, kétlábúkkal, kismamákokkal vagy éppen vérrel táplálkozók is. Igen fontos ökoszisztéma-szolgáltatásokat köszönhetünk nekik, hiszen a nektárfogyasztók fontos növénybeporzók, a gyümölcssevők pedig magterjesztő tevékenységükkel hajtanak hasznot az emberiségnek. A mérsékelt égövben elsősorban rovarrevő fajokat találunk, melyek a kártevőnek számító rovarok fogyasztásával nélkülözhetetlenek a mezőgazdaság számára.

Az Észak-Amerikában tapasztalt, denevéreket veszélyeztető fehérorr-tünetegyüttes igencsak befolyásolhatja a helyi ökoszisztémákat, hiszen már az első évben látszott, hogy komoly ökológiai

korhadéklakó gombafajok is tartoznak. A *P. destructans* lassú fejlődésű, hidegkedvelő gombafaj, ezért a hibernációs időszakban alacsony hőmérsékleten telelő denevérek tökéletes „körülkörülményeket” biztosítanak számára. A telelés során – az ősztől tavaszig tartó időszakban – a denevérek a hibernáció előtt felhalmozott zsírszövetekből fedezik energiaszükségletüket, ezért energiaspórolás céljából légzésszámuk és pulzusuk, illetve immunrendszerük aktivitása is jelentősen csökken ezen időszakban. A gomba ekkor támadja meg a denevéreket, ami túl gyakori felbredést okoz, emiatt aztán a tartalék tápanyagok idő előtt felhasználódnak. A denevérek az éhhaláltól próbálva menekülni, télvíz idején is a barlangok környékén repkednek táplálékot keresve. Az energia pótlására a legtöbb esetben nincs lehetőségük,

A *Pseudogymnoascus destructans* gombafonalai (Gudrun Wibbelt felvétele)



pusztítást okozva. Mára az Egyesült Államok 29 államában, valamint Kanada öt tartományában kimutatták a betegség, valamint további három államban egyelőre csak a gomba jelenlétét. A kór többnyire a földrészt keleti részén fordul elő, de észlelték az egyik legnyugatibb államban, Washingtonban is. A térképen jól látszik a gomba terjedése Észak-Amerika nagyobb mészkőhegységeiben, ahol a legtöbb denevér telél. Megjelenése esetén a denevéralomány gyakran 95–100%-a elpusztul.

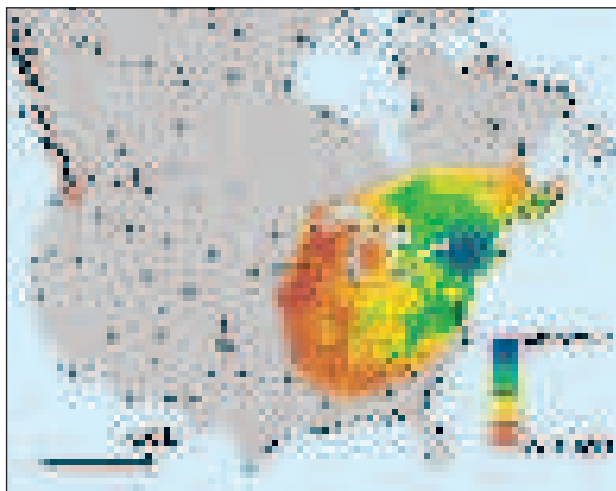
A denevérek szárnyvitorlája fiziológiailag aktív, azon keresztül gázcserre történik, valamint részt vesz a vízháztartás egyensúlyban tartásában is. A gomba behatol a szövetekbe, és ott gyulladásokat okozhat. A fertőzött denevérek egészséges társaiknál sokkal többször ébrednek fel a téli időszakban, mely ébredések alatt testük felmelegítéséhez rengeteg energiát kell elpazarolniuk. Nagy valószínűséggel a felborult fiziológiai egyensúly és a tápanyagok felhasználása okozza a denevérek pusztulását. Ha a denevérek túl is élnek a fertőzést, a felébredés után az addig nyugalomban lévő immunrendszer aktivizálódik, és heves támadásba lendül a gomba ellen. Ennek mértéke azonban gyakran túlzott, mely a denevérekre veszélyes szöveti gyulladásokhoz és az átlagosnál jobban megemelkedett testhőmérséklethez (következésképpen több energia felhasználásához) vezet. Az aktív időszakban amúgy is magasabb testhőmérséklet elegendő lenne a gomba fejlődésének gátlására, ezért az immunrendszer ilyenkor heves reakciója teljesen felesleges. A szöveti elhalások a röpképességet is negatívan befolyásolhatják, melyek még tovább csökkenthetik a tápanyagraktárak feltöltésének esélyét. A gyakori ébredés okait még nem teljesen ismerjük, de valószínűleg összefüggésben van a szárnyvitorlán keresztül történő vízvesztéssel, melynek fokozódását tapasztalták a fertőzött állatok esetében.

Viselkedésminták eltérések is megfigyelhetők a beteg denevérekénél. Sok esetben az állatok egymáshoz közel vagy egymással érintkezve telelnek, hogy egymást melegebben kevesebb energiát használjanak fel. A fertőzött denevérek azonban az ébredések után gyakran magányosan függenek a barlangok mennyezetéről. Ezzel elkerülhetik, hogy szintén fertőzött társaik esetleg más bőrfelületeiket is megfertőzzék a gombával, de így az energetikailag kedvezőbb környezet elvész.

Az, hogy az összes hibernáló denevérfaj érintett a betegségben Észak-Amerikában, igen rémisztő képet fest a jövőről. Három

egérfulűdenevér-fajra (*M. septentrionalis*, *M. lucifugus* és *M. sodalis*), valamint a *P. subflavus*-ra igen kedvezőtlenül hat a járvány, míg két másik fajt (*M. leibii* és *E. fuscus*) kevésbé veszélyeztet. A többi észak-amerikai faj közül ugyan jó néhányon kimutatták már a gomba jelenlétét, de nem betegedtek meg tőle. A denevérek pusztulásával kapcsolatban a barlangok mérhető paramétereiben is tapasztaltak eltéréseket. A melegebb barlangokban volt például a legnagyobb a *M. lucifugus*-elhullások aránya, míg a *M. sodalis* esetében a páratartalom befolyásolta a mortalitást.

A denevérek környezetéből vett minták segítségével bizonyították, hogy nemcsak a



A WNS terjedése Észak-Amerikában (Lorch et al. 2016)

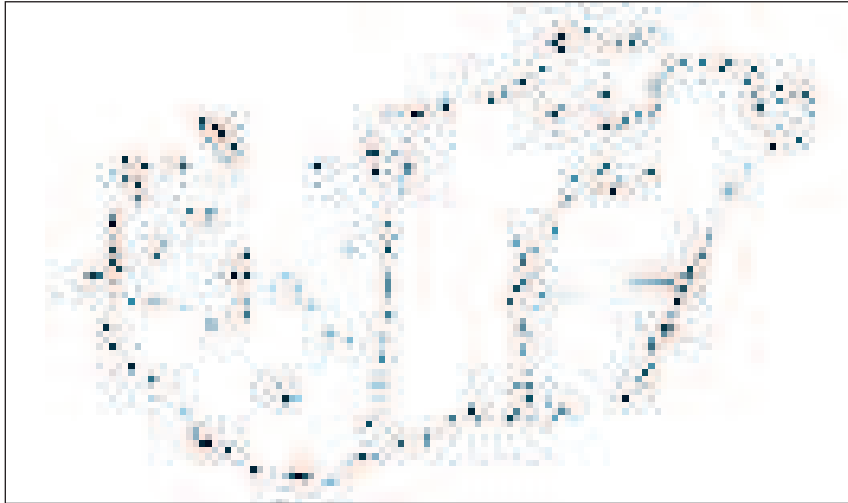
denevérek, hanem a barlangfalakon, illetve a barlangok aljzatán is megtalálhatóak a *P. destructans* spórái, tehát a denevéreknek nem feltétlenül kell egymással érintkezniük a fertőzéshez. Ennek következtében hiába néptelenednek el egyes barlangok a denevérek nyári szálláshelyre való költözése miatt, a következő télen ugyanúgy megjelenik a gomba az állatokon. Vizsgálatok bizonyították, hogy akár öt éven keresztül is fertőzőképes maradhat a gomba a barlangfalán, ezért hiába pusztul ki egy adott állomány a barlangból, egy esetleges rekolonizáció esetén a fertőzés ugyanúgy elpusztíthatja a denevéreket, mint előtte. Ez a legrosszabb lehetőség egy körkörös esetben, hiszen az a gazda kipusztulása után sem tűnik el. További probléma, hogy a denevérek élősködő szárnyatkák összes vizsgált példányán megtalálták a gombát. Vektorszerepüket erősíti az is, hogy táplálkozásuk során a denevérek bőrén apró sebeket ejtenek, melyeken keresztül a gomba könnyebben megtámadhatja a gazdát.

Az Észak-Amerikában tapasztaltak miatt nagy figyelem irányult az európai denevérekre is. Elsőként Franciaországból jelezték a gomba előfordulását, de ezzel párhuz-

osan még számos más országból is kimutatták, köztük Magyarországról is. Fényképfelvételek és korábbi megfigyelések támasztják alá, hogy a gomba régóta jelen van az európai flórában, de mert különösebb jelentőséget nem tulajdonítottak neki, nem igazán figyelt fel rá senki. Az utóbbi években azonban a gomba Európa más tájaihoz hasonlóan, Magyarországon is egyre több barlangból kerül elő, melyeknek csak egy része köszönhető a nagyobb figyelemnek. Valószínűleg a gomba bizonyos fokú terjedése is tapasztalható, azonban – az európai denevérek „szerencséjére” – esetükben nagyobb gondot nem okoz. A magyarországi denevérek január–február tájékán jelennek meg a látható gombafonalak, de igazán csak február végére, márciusra alakulnak ki a jellegzetes pamacsok az orron és a szárnyon. A denevérek valószínűleg a hosszú együttélés során hozzászoktak a gomba jelenlétéhez, és azok az egyedek válogatódottak ki az evolúció során, melyek elviselik a fertőzést. Eddig kilenc európai faj esetében bizonyították a gombafertőzést: közönséges denevér (*Myotis myotis*), tavi denevér (*M. dasycneme*), bajuszos denevér (*M. mystacinus*), vízi denevér (*M. daubentonii*), Brandt-denevér (*M. brandtii*), csonkafülű denevér (*M. emarginatus*), horgasszörű denevér (*M. nattereri*), nagyfülű denevér (*M. bechsteini*) és *M. escalerae*, valamint további

négy, nem az egérfulű-denevérek közé tartozó faj esetében. Ilyen az északi késeidenevér (*Eptesicus nilssonii*), a barna hosszúfűlűdenevér (*Plecotus auritus*), a nyugati pisze-denevér (*Barbastella barbastellus*) és a kis patkósdenevér (*Rhinolophus hipposideros*). Az utóbbi években Ázsiában (Kelet-Oroszország és Északkelet-Kína) is sikerült kimutatni a gomba jelenlétét. Kínában összesen hat fajnál (*Myotis macrodactylus*, *M. chinensis*, *M. pilosus*, *M. adversus*, *Murina ussuriensis*, *Rhinolophus ferrumequinum* és *R. pusillus*). Nyáron vett minták esetében is sikerült molekuláris biológiai módszerekkel a gomba jelenlétének igazolása mind a barlangfalakon, mind a denevérekben, de a prevalencia sokkal alacsonyabb volt, mint a téli mintáknál. A gomba vizsgált genomrégiója 100%-ban megegyezett az európai és az amerikai mintákkal, így ugyanarról a gombafajról beszélhetünk az ázsiai esetében is. Az eredményekből kitűnik, hogy a gomba valószínűleg a teljes palearktikus régióban elterjedt.

Az Amerikából és Európából származó törzsek genomikai vizsgálata bizonyította, hogy az Észak-Amerikában élő gomba megjelenése behurcolás következménye. Mi több, a gomba Európán belüli eredetét a genom vizsgálatán túl a gomba egyik vírusa, egy partitív vírus segítségével is vizsgálható, mivel a vírus az



A *Pseudogymnoascus destructans* magyarországi elterjedése (Görföl et al. 2013)

összes amerikai izolátumban megtalálható, de csak néhány európai gombatorzrszóból volt kimutatható. Mivel nincsenek olyan denevérek, melyek a két kontinens között vonulnának, ezért feltételezhető, hogy a gomba emberi „segítséggel” került át. Ezt valószínűsíti az is, hogy egy kiindulópontja van a járványnak, a már említett népszerű turistacélpont. Az Észak-Amerikában élő denevérfajok számára teljesen ismeretlen volt a gomba, melyhez nem tudtak alkalmazkodni, ezért hatalmas pusztítást tud véghezvinni köztük. Európában a gomba nem mindig hatol olyan mélyen a szövetekbe, mint Észak-Amerikában, valamint a fertőzés kevésbé a szárnyvitorlát, inkább az orrot érinti. Ez szerepet játszhat abban, hogy

kevesébé borítja fel a denevérek fiziológiai háztartását. Szintén szerepet játszhat a járvány kialakulásában az, hogy a gomba megjelenése előtt az amerikai denevérek kolóniák nagysága mintegy tízszere volt az Európában megfigyelhetőnek. A járvány kitérése óta a kolóniák átlagos egyedszáma már nem tér el a két kontinens között. Felvetődik a kérdés, hogy talán a gomba Európában is hatással volt a denevérpulációkra és ezért alakult ki a kisebb kolónianagyság? Vajon a későbbiekben Észak-Amerikában is beáll egy egyensúlyi helyzet az Európaihoz hasonló kolóniamérettel?

Mivel a gomba megtalálható a barlangok falán, illetve aljzatán, sőt a denevérek külső élősködőin is, az embereknél és tenyésztett állatoknál alkalmazott módszer – a fertőzött egyedek elkülönítése és gyógyítása/elpusztítása – nem működhet. Egyrészt a beteg egyedek befogása is megoldhatatlan feladatot és számukra hatalmas zavarást jelent, másrészt visszatelepítésük után ugyanúgy megfertőződhetnek a környezetben tovább jelenlévő gombával. Általános gombaölő szerek használata sem lehetséges, hiszen a barlangok olyan élőhelyek, ahol nagyon sok élőlény alkot kényes egyensúlyt, köztük számos más gombafaj is. Az itt lévő élővilágnak szüksége van a gombák jelenlétére, teljes kiirtásuk nem jöhet szóba. A bevezetett védelmi intézkedések jelenleg a barlangok lezárására és a

Fertőzött közönséges denevér (*Myotis myotis*) a Bakonyban (A szerző felvétele)



barlangász-felszerelések fertőtlenítésére korlátozódnak. A lezárások és a fertőtlenítés megelőzi a gomba ember általi továbbhurcolását, de egyrészt ez nem mindig vezet eredményre (lásd a gomba áthurcolása Washington államba, a nyugati partvidékre), másrészt a denevérek vonulásával előbb-utóbb minden olyan helyre eljut a kórokozó, ahol megtalálja életfeltételeit.

Számos kutatás folyik a gomba elleni hatékony módszerek kifejlesztésére. Vizsgálják a denevéreken/denevérekben élő vírusok, baktériumok és más gombák esetleges hatását a *P. destructans*-ra. A nagyon sokféle élőhelyen előforduló *Pseudomonas* nemzetségbe tartozó baktériumok egyik képviselője, a *P. fluorescens* több izolátuma is hatékonyan mutatkozott a fehérorr-tünetegyüttest okozó gomba növekedésének megakadályozására. Egy gombáról, a *Trichomonas* nemzetségbe tartozó *T. polysporum*-ról is megállapították, hogy hidegtűrő és meg tud telepedni a denevérek bőrén, és arra is képes, hogy gátolja a *P. destructans* növekedését, de a „gyilkos gomba” közeli rokonára, a *P. pannorum*-ra nincs negatív hatással.

Egy másik lehetőség a mesterséges telelőhelyek kialakítása és azok évről évre történő teljes fertőtlenítése. Tennessee államban van erre példa, ahol egy katonai bunkert alakítottak át denevérszállássá, de ezek a próbálkozások globális szinten biztosan nem oldják meg a gomba jelentette problémát. Bár még gyerekcipőben járnak az ilyen irányú vizsgálatok, a leginkább veszélyeztetett denevérfajokat célzó, mesterséges körülmények között zajló szaporító programok kidolgozása segíthet megőrzésükben és az esetleges későbbi visszatelepítésükben.

Összefoglalva elmondható, hogy rengeteg megválaszolatlan kérdés van még a gomba hatásmechanismusával, az amerikai és az európai kontinensen tapasztalható különbségek okaival és a gomba elleni védekezés lehetőségeivel kapcsolatban. Az idő gyorsan telik, a denevérek milliói pusztulnak, de igazán reménykeltő változások még nem születtek. ◆

Irodalom

- Frick et al. 2015. Chapter 9: White-Nose Syndrome in Bats. pp. 245-263. In: Voigt & Kingston (szerk.) Bats in the Anthropocene: Conservation of Bats in a Changing World. Springer, 606 pp.
- Görföl et al. 2013. A denevérek fehérortünetegyüttesét okozó gomba (*Geomyces destructans*) magyarországi előfordulása. Magyar Állatorvosok Lapja, 135(3): 163170.
- Lorch et al. 2016. First detection of bat White-Nose Syndrome in Western North America. mSphere, 1(4): e00148-16.