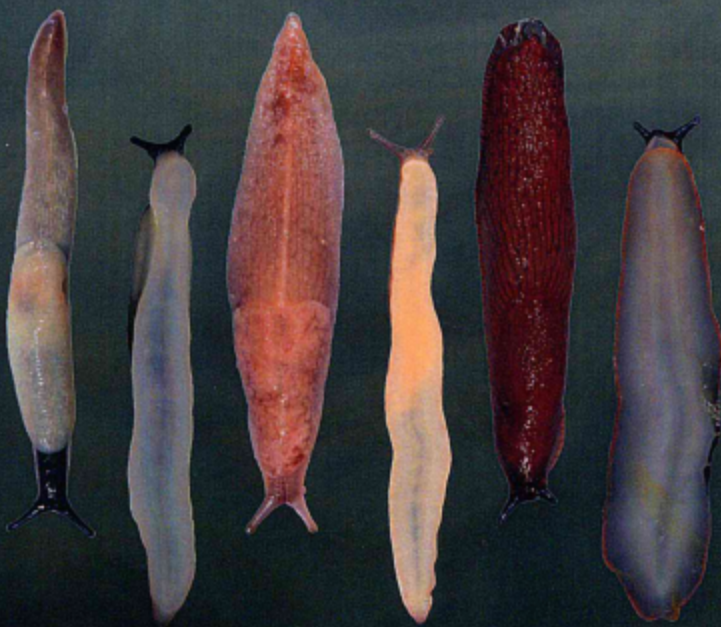


Kontschán Jenő (szerk.)

IDEGENHONOS ÉS INVÁZIÓS FAJOKKAL KAPCSOLATOS KUTATÁSOK

az ELKH Agrártudományi Kutatóközpont
Növényvédelmi Intézetében



Eötvös Loránd Kutatási Hálózat
Agrártudományi Kutatóközpont
Növényvédelmi Intézet

Azon képek, amelyeknél nincs a forrás megjelölve, azok a szerzők eredeti képei.

Kiadó:
INFORM Kiadó

Felelős vezető:
Bolyki Etelka

ISBN 978-615-5666-50-6



INFORM
Kiadó & Nyomda

1149 Budapest, Angol u. 34.
www.informkiado.hu

Budapest, 2021/46

INVAZÍV KÓROKOZÓK HATÁSA A HAZAI KÉTÉLTŰEKRE ÉS A TERMÉSZETVÉDELMI KEZELÉS EGY LEHETSÉGES MÓDJA

Hettyey Attila, Ujszegi János és Herczeg Dávid

Az invazív kórokozók terjedésének okai és következményei

Az invazív fajok terjedése, így az invazív kórokozók is, az elmúlt néhány évtizedben soha nem látott léptéket ért el a globalizáció miatt. Az óriási mértékű, egész földet behálózó áruforgalom és a turisztikai és üzleti célú utazások hatalmas volumene, az utazás időtartamának a modern technikának köszönhető drasztikus lerövidülése, valamint a vonatkozó szabályok és alkalmazásuk kis hatékonysága is közrejátszik a probléma eszkalálódásában. Míg például a XIV. századi nagy pestisjárvány európai szétterjedése több mint egy évig tartott, a Covid19-koronavírus-járvány Kínából való kijutása után egy hónapon belül minden kontinensre eljutott, újabb hónappal később pedig az országok nagy többségében már jelen volt. A fertőző betegségek jelenkori gyors és széleskörű terjedése természetesen nem csak az embereken élősködő kórokozókra jellemző, hanem a növényeket és állatokat betegítő mikrobákra is. Az invazív, vagyis az új területeken elterjedő kórokozók sikerességét és egyben veszélyességét az okozza, hogy az általuk megfertőzött gazdaszervezetek, a közös evolúciós múlt híján, akár teljesen védtelenek lehetnek velük szemben, így a fertőzés terjedése gyors, az okozott betegség pedig igen súlyos lehet.

A természetes közösségekben terjedő invazív kórokozók okozta fertőző betegségeket a napjainkban is folyó tömeges fajvesztés egyik legfontosabb okaként tartjuk számon. Ugyanakkor, a biodiverzitás-csökkenés mellett a mezőgazdasági állattartásnak okozott károk is ijesztő mértékűek lehetnek, gondoljunk csak a távolkeletről származó madárinfluenza, vagy az afrikai eredetű sertéspestis megjelenését követő járványokra és a nyomukban

elrendelt kényszervágások és embargók okozta veszteségekre. Végül, ha a betegség zoonotikussá válik, vagyis a vad-, haszon- vagy társként tartott állatokról az emberre is át tud adódni, ami például a pestis, a lépfene, vagy a veszettség esetében kialakult, de a közelmúltban az ebola, az AIDS, vagy a Zika-láz esetében is megfigyelhető volt, akkor mindjárt az emberi egészséget és életet közvetlenül is fenyegető problémával állunk szemben.

Invazív kórokozók által okozott betegségek kétéltűeknél

A **kitridiomikózis** egy igen virulens fertőző betegség, azaz súlyos megbetegedést okoz, ami nagymértékben csökkenti a megfertőződött egyedek túlélési és szaporodási esélyét. Jelenleg is terjedőben van, nincs természetes körülmények között alkalmazható ellenszere, és a kétéltűeket támadja, miközben ezek világszerte visszaszorulóban vannak, ezért ez a betegség napjaink egyik legnagyobb természetvédelmi problémája. A kitridiomikózis okozta a vadon élő gerinces állatok körében a valaha feljegyzett legnagyobb arányú, betegségre visszavezethető biodiverzitás-csökkenést: 200 kétéltű faj esetében okozott dokumentált, drasztikus egyedszámcsökkenést, és több mint 70 faj végleges eltűnését írjuk a számlájára.

A kitridiomikózis kórokozói a *Batrachochytrium dendrobatidis* (Bd) és *Batrachochytrium salamandrivorans* (Bsal) rajzospórás gombafajok (utóbbi kifejezetten a farkos kétéltűeket betegíti meg). Eredetük a Koreai-félszigetre tehető, ahonnan az elmúlt száz év alatt terjedtek szét az emberi tevékenység (kereskedelem és állattartás), valamint természetes folyamatok (fertőzött állatok migrációja) útján. Amint azt

az ATK NÖVI kutatóinak részvételével kimutatták, a Bd Európa nagy részében, és Magyarországon is sokféle megtalálható (1. ábra). A Bsal-ról jóval kevesebbet tudunk, de ez is a Távol-Keletről származik, és Európában egyelőre csak hollandiai, belgiumi és németországi vadon élő populációkban mutatták ki a jelenlétét. A gomba a kétéltűek bőrében él és szaporodik, majd onnan juttatja ki fertőző képleteit, a zoospórákat, amelyek újrafertőzik a gazdaállatot, vagy a közelében lévő egyéb kétéltűeket. Gondolhatnánk, hogy egy bőrbetegség nem okozhat súlyos problémát, de a kétéltűek bőre még egészséges egyedek esetében is nagymértékben átjárható a víz, a sók és különféle szennyezőanyagok számára, emellett a legtöbb faj esetében, mivel tüdejük kezdetleges, fontos szerepet tölt be a légzésben is. Éppen ezért ha a bőrük működőképessége lecsökken, az hamar a kétéltűek halálához vezethet.

az ivarérett egyedek összegyűlnek a szaporodási helyül szolgáló vizekben. Az ebihalakban nem okoz betegséget a Bd, mivel esetükben csak a szájképletekben tud megtelepedni, és abban sem szokott számottevő kárt okozni. Az átalakulás során azonban szétterjedhet és erősen felszaporodhat a gomba a fertőzött állatok testfelületén. Ilyenkor néhány nap alatt kialakul a betegség, aminek tünete a bőr megvastagodása, az erős hámlás, és a fekélyesedés. Az állatok apatikusak lesznek, nagymértékben lefogynak, és végül sok esetben elpusztulnak. Egy járvány csúcán frissen átalakult kisbékák tetemeinek tömege boríthatja a vizek partját, de kifejlett békák esetében is megfigyeltek már kitridiomikózisokozta tömeges pusztulásokat a nászidőszakban.

A Bd mellett a kétéltűek másik legpusztítóbb kórokozói a **Ranavírusok**, melyek lineáris, kettős-szálú DNS örökítő anyaggal rendelkeznek és rendszertani-

lag az *Iridoviridae* családba tartoznak. Az ide sorolt vírusokat két külön alcsaládra bonthatjuk, amelyből az *Alphairidovirinae* alcsalád tagjai a vizes élőhelyekhez kötődő, változó testhőmérsékletű gerincesekben, vagyis a halakban, kétéltűekben, és részben a hüllőkben okoznak kóros elváltozásokat. A vírus a gazdasejtek saját DNS-ének, RNS-einek és fehérjéinek előállítását gátolja, ami a sejt halálához, nagyobb léptékben a fertőzött állat elpusztulásához vezethet. Az egyes Ranavírusok igen erősen eltérnek egymástól gazdafaj-spektrumukban, illetve az okozott betegségek lefolyásában és súlyos-

ságában. A Frog Virus 3 (FV3) és az ahhoz nagymértékben hasonló (FV3-like) vírusok komoly problémát okoznak a természetes kétéltű populációkban, amely



1. ábra: A Bd magyarországi előfordulása jelenlegi ismereteink szerint: a piros háromszögek a 2009 és 2015 között gyűjtött Bd-pozitív minták származási helyét, a fekete pöttyök a 2009 és 2015 között gyűjtött Bd-negatív minták, a fehér pöttyök a 2005 előtt gyűjtött múzeumi minták származási helyét jelölik (mind Bd-negatív volt). A kördiagramok a 14 vizsgált régió mintáiban talált Bd-vel fertőzött egyedek arányát ábrázolják (piros: fertőzött egyedek, fehér: nem fertőzött egyedek). A csillagok a két legintenzívebben mintázott területet jelölik. (Az ábra eredeti közlése: Vörös és mtsai. 2018)

A kétéltűek elsősorban a vizes közegben fertőződnek meg a Bd-vel, vagyis a vízben töltött lárvális fejlődésük során, illetve nászidőszakban, amikor

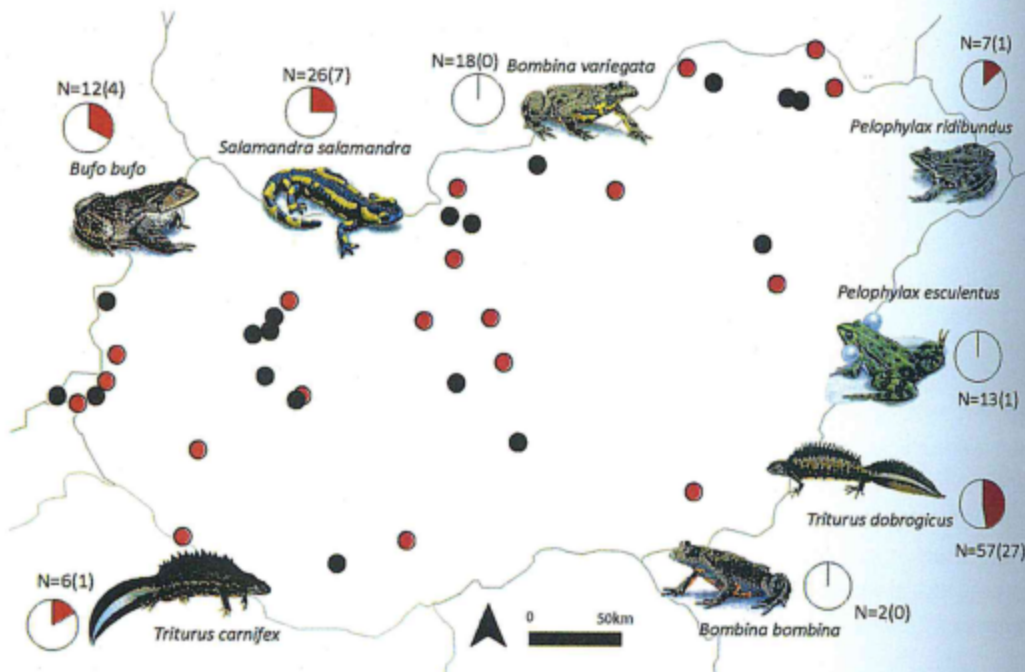
járványszerű, tömeges elhullási események formájában is jelentkezhet. Az FV3 kiemelkedő veszélyessége magas fertőző képessége mellett abban rejlik, hogy igen hatékonyan képes gazdafajt váltani, akár halak és kétélűek között is könnyen átadódhat.

Bár vita van arról, hogy a Ranavírusok a világ mely tájain tekinthetők invazívnak, az általánosan elfogadott tény, hogy terjedőben vannak, aminek elsődleges oka az emberi tevékenység (kétélűek kereskedelmi célú tenyésztése és áttelepítése, kétélűek immunvédelmét károsító vegyszerek tömeges alkalmazása), de a klímaváltozás is közrejátszhat az egyre gyakoribb és egyre pusztítóbb fertőzési hullámok kialakulásában. A Ranavírusok jelenlétét eddig legalább 175 különböző gazdafajból, 6 kontinens, 32 országból jelentették. Egy az ATK NÖVI egyik munkatársának közreműködésével magyarországi természetes élőhelyeken végzett felmérés bizonyította, hogy a Ranavírusok az egész ország területén előfordulnak (2. ábra). A nyolc vizsgált faj egyedei közül a foltos szalamandra (*Salamandra salamandra*),

az alpesi tarajosgöte (*Triturus carnifex*), a dunai tarajosgöte (*Triturus dobrogicus*), a barna varangy (*Bufo bufo*) és a tavi béka (*Pelophylax ridibundus*) egyedeiből mutatták ki a Ranavírusokat, melyek közül a dunai tarajosgöte populációk voltak a legnagyobb arányban fertőzöttek.

Invazív kórokozóval történő megfertőződés rejtett káros hatásai

A Bd-fertőzésnek fajonként eltérő következményei lehetnek: vannak fajok, amelyek csak hordozói a gombának, de nem betegszenek meg tőle, mások jóformán el sem kapják a fertőzést, míg megint mások megbetegszenek, ha elkapják a fertőzést. Utóbbi esetben a betegség lehet enyhe, vagy súlyos lefolyású, és akár az egyed elpusztulásával is végződhet. Még ha életben is marad a betegségen átesett egyed, lehetnek a fertőzésnek rejtett, de akár hosszú távon is megmaradó káros következményei. Az ATK NÖVI kutatói kísérletesen vizsgálták, hogy

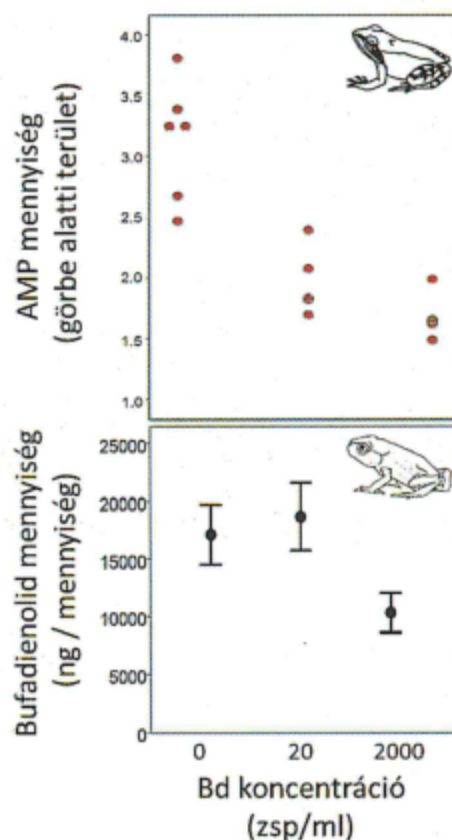


2. ábra: A ranavírusok hazai előfordulása jelenlegi ismereteink szerint: piros pöttyök jelzik a pozitív eseteket, fekete pöttyök a negatívakat. Az egyes fajok mellett megjelenő kördiagramok a pozitív (piros) minták arányát jelölik. (Az ábra eredeti közlése: Vörös és mtsai. 2020)

milyen következményekkel járhat a Bd-fertőzés két Magyarországon is előforduló kétéltűfaj, az erdei béka (*Rana dalmatina*) és a barna varangy esetében (Ujszegi és mtsai. 2021). Hazai kétéltűeken korábban nem végeztek hasonló kutatást. Azért is izgalmas ezen két faj vizsgálata, mert ezek egymástól igen különböző anyagokat választanak el bőrükben: az erdei béka bőrváladéka nagy mennyiségben tartalmaz antimikrobiális peptideket (AMP-k), amelyek hatékonyan védik az állatokat különféle kórokozók ellen, míg a barna varangyok bőrében bufadienolid mérgek termelődnek, melyek elsősorban ragadozók ellen nyújtanak védelmet, de egyes mikrobákkal szemben is hatékonyak. A kísérlet során az ebihalak egy részét mesterségesen fertőzték Bd-vel, a maradékot érintetlenül hagyták (kontroll csoport), majd a fertőzésnek a lárvális fejlődés alatti és átalakulás utáni hatásait is vizsgálták.

Az eredmények szerint az erdei béka messzenemően ellenálló a fertőzéssel szemben, hiszen a kísérlet végén csak néhány állatról volt kimutatható a Bd, és a kísérletes fertőzés nem befolyásolta sem a túlélést, sem a testtömeget, sem a fejlődés sebességét. Ez egybevág a korábbi terepi megfigyelésekkel, melyek során kevés fertőzött erdei békát találtak Európában és hazánkban egyaránt. A barna varangy ezzel szemben fogékony volt a fertőzésre, vagyis mind ebihalkorban, mind a kísérlet végén a megfertőzött egyedek közül sok fertőzött volt, de a fertőzés nem befolyásolta az előbb említett életmenet-változókat, vagyis a vizsgált hazai barna varangyok igen jól tolerálták a Bd jelenlétét, sokkal jobban, mint a korábban már vizsgált nyugat-európai populációk egyedei. A kémiai védekezésrel kapcsolatban a kutatók mindkét fajnál ugyanazt tapasztalták: a Bd jelenléte ebihalkorban nem befolyásolta az AMP-k, illetve bufadienolid mérgek termelődését, viszont átalakulás után már csökkentette ezen kémiai védekezésben résztvevő anyagok mennyiségét (3. ábra). Ezt okozhatta az AMP-ket és bufadienolidokat elválasztó bőrmirigyek fizikai károsodása, a Bd által termelt, immunvédekezést gátló anyagok, vagy a fertőzés hatására megnövekedett stresszhormonszint. Bármilyen is volt a mechanizmus,

úgy tűnik, a fertőzésnek látványos közvetlen hatások nélkül is lehetnek káros következményei, ami jelen esetben az átalakulás után, a kémiai védekezés meggyengüléseként manifesztálódott. A meggyengült kémiai védekezés feltehetően mind a kórokozók, mind a ragadozók ellen kevésbé véd, így a Bd-fertőzés látványos pusztulási események nélkül is csökkentheti az egyedek túlélési esélyeit, és ezáltal az érintett populációk hosszútávú fennmaradása is veszélybe kerülhet.



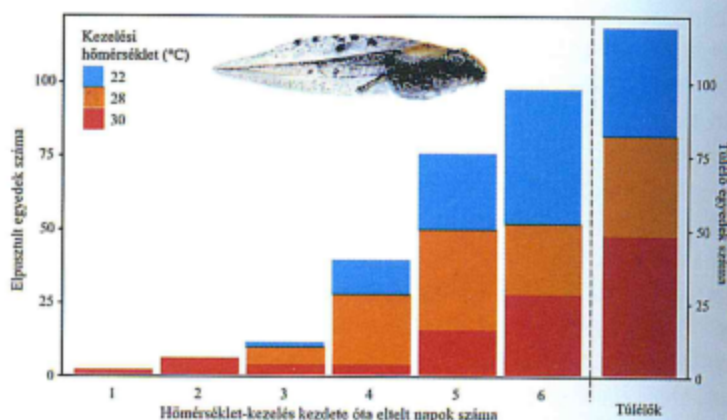
3. ábra: Erdei béka (felül) és barna varangy (alul) juvenilis egyedeinek bőrén található antimikrobiális peptidek (AMP; Brevinin 1-Da; a mennyiséget a kromatogram görbe alatti területéből becsülték) illetve bufadienolid mérgek mennyisége (átlag±SE) lárvakori *Batrachochytrium dendrobatidis* (Bd) fertőzés hatására. A kísérletes fertőzést 3 zoospóra (zsp) koncentrációval (0 (kontroll), 20, illetve 2000 zsp/ml) végezték a lárvális fejlődés során. (Az ábra eredeti közlése: Ujszegi és mtsai. 2021, az illusztrációkat Verebélyi Viktória készítette)

Invazív kórokozók együttes fertőzésének következményei

A kórokozók együttes előfordulása a gazdaszervezetben gyakori jelenségnek tekinthető a természetben. Ahogy azt az ATK NÖVI munkatársai egy összefoglaló cikkben leírták, az együttes fertőzési események hatása a gazdaegyedekre nagymértékben függ a résztvevő kórokozóktól, a különböző kórokozókkal történő megfertőződés időbeliségétől (a fertőzések sorrendjétől és a köztük eltelt időtől), a külsőleges tényezők közül pedig elsősorban a hőmérséklettől (Herczeg és mtsai. 2021). A Bd és a Ranavírusok a feljebb írtak alapján komoly fenyegetést jelentenek a kétéltű-közösségekre külön-külön is, de az általuk jelentett veszélyt együttes előfordulásuk tovább fokozhatja. Arról azonban, hogy a Bd-vel és Ranavírussal történő együttes fertőződés ténylegesen hogyan hat a kétéltűekre, illetve hogy milyen kölcsönhatások játszódnak le a kórokozók között a fertőzés során, és ezt milyen környezeti tényezők befolyásolják, alig tudunk valamit. Korábbi kutatások szerint a környezeti hőmérséklet nagymértékben befolyásolhatja a kétéltűek kórokozójának fertőző- és betegítő képességét egyaránt. A kétéltűek és kórokozók különböző hőtűrési képességgel és különböző hőmérsékleti optimummal jellemezhetők. A legtöbb kétéltű tolerálja, sőt kedveli a 30–32 °C feletti környezeti hőmérsékletet, míg a Bd 27–28 °C felett már nem szaporodik, a Ranavírusok pedig 30 °C-ig sokszorozódnak sikeresen. Ezekből a megfigyelésekből kiindulva vizsgálták az ATK NÖVI kutatói, hogy az erdei béka *Rana dalmatina* és a barna varangy *Bufo bufo* ebihalak, hogyan reagálnak a Bd és egy Ranavírus (FV3) együttes jelenlétére, illetve

hogy a 22 °C-ról 28 vagy 30 °C-ra megemelt környezeti hőmérséklet hogyan befolyásolja a fertőzött ebihalak túlélését.

Az eredmények szerint a két békafaj merőben eltérően reagált a kezelésekre. Az erdei békák különösen fogékonyak voltak a Ranavírus-fertőzésre, ami a túlélésüket is jelentősen lecsökkentette, függetlenül attól, hogy a Bd-vel is meg voltak fertőzve. Ezzel szemben a Bd-fertőzésre csak elenyésző mértékben voltak fogékonyak. Továbbá, 30 °C-on jóval alacsonyabb volt a Ranavírus fertőzési intenzitása, mint 22 °C-on, és feltételezhetően ennek a következményeként több ebihal élt túl a kísérlet végéig, mint 28 °C-on. Ezzel szemben a barna varangy ebihalak szinte teljesen leküzdötték a Ranavírus fertőzést, és a Bd-fertőzöttséget is minimális szinten tudták tartani. Mindezek következtében a kísérlet során 120 erdei béka és mindössze 4 barna varangy egyed pusztult el (4. ábra). A 30 °C-os környezeti hőmérséklet ezek szerint a Ranavírusokra fogékony fajok számára előnyös lehet a Ranavírusok jelenlétében, ugyanakkor további kutatást igényel annak felderítése, hogy mely tényezők játszhattak közre a két vizsgált faj fogékonyságában tapasztalt különbségek kialakításában.



4. ábra: A Ranavírussal fertőzött, majd a kísérlet során elpusztult, illetve a kísérlet végéig életben maradt erdei béka ebihalak száma a kísérletes fertőzés után 1 nappal kezdődő, 6 napig tartó hőmérséklet-kezelések során. A 30 °C-on kezelt ebihalak szignifikánsan nagyobb valószínűséggel érték meg a kísérlet végét, mint a 28 és 22 °C-on kezelt egyedek. (Az ebihal illusztrációját Bombay Bálint készítette)

Az invazív kórokozók elleni védekezés egy lehetséges módja

A kitridiomikózis, ahogyan a kétéltűek több más fertőző betegsége is, laboratóriumi körülmények között jól kezelhető, de természetes körülmények között is hatékonyan és biztonságosan alkalmazható eljárás ellene mindmáig hiányzik. Az ATK NÖVI kutatói egy összefoglaló cikkben (Hettyey és mtsai. 2019) vetették fel, hogy a Bd és a kétéltűek eltérő hőmérséklet-igényeit és hőtűrését ki lehetne használni egy természetes élőhelyeken is alkalmazható kezelés kifejlesztéséhez.

Az ötlet lényege, hogy természetes élőhelyeken kihelyezett aktívan, vagy passzívan fűtött búvóhelyek segítségével kellene lehetővé tenni a változó testhőmérsékletű kétéltűek számára, hogy kellőképpen felmelegedjenek, és az így kialakuló „láz” segítségével legyőzzék a kórokozókat. Erre azért van lehetőség, mert a Bd számára ideális hőmérséklet (18–24 °C) alacsonyabb, mint a legtöbb kétéltű által elérni kívánt testhőmérséklet (26–30 °C), így a kétéltűek szívesen tartózkodnának a számukra felkínált „melegedőkben” (5. ábra), miközben a megemelkedett testhőmérséklet hatására a Bd szaporodása és növekedése lassulna, vagy akár le is állna. Ahogy azt már említettük, a melegítéssel történő fertőtlenítés korábbi laboratóriumi vizsgálatokban hatásosnak bizonyult. Az ATK NÖVI kutatói jelenleg azon dolgoznak, hogy meghatározzák a hatékony fertőtlenítéshez szükséges kezelési hőmérséklet és időtartam kombinációit, és ellenőrizték, hogy a kétéltűek hőkereső viselkedése elég-e ahhoz, hogy ha rendelkezésükre áll megfelelő melegedő hely, a megemel-



5. ábra: A lokális melegítés lehetséges eszközei: (a) fűtőpanel, (b) fűtőelemmel felszerelt szárazföldi búvóhely (Natassia Chacon fotója), (c) vízbe helyezhető készülék (1: meleg víz kiáramlását megakadályozó oldalfal, 2: hőszigetelés, 3: fűtőelemek, 4: ebihalak bejutását lehetővé tevő rés, 5: úszók, 6: elektromos kábelek, 7: készülék vízbe helyezését segítő felfüggesztés). (Az ábra eredeti közlése: Hettyey és mtsai. 2019)

kedett testhőmérséklet hatására eltűnjön róluk a Bd. Amennyiben sikerül olyan eszközöket kifejleszteni, amelyek természetes körülmények között is kellő hőmérsékletre képesek melegíteni a kétéltűeket, és ezeket az eszközöket a vadon élő kétéltűek szívesen használják is, a javasolt eljárás sok faj esetében jelenthet megoldást a Bd-vel és egyéb hűvös-adaptált kórokozóval szemben, miközben a kezelés által a környezetnek okozott károk elhanyagolhatók maradnának. A lokális melegítés így a biodiverzitás megőrzésének egy fontos eszközévé válhat, aminek segítségével az elkövetkező évtizedek során számtalan kétéltűpopulációt és fajt lehetne megmenteni a kipusztulástól.

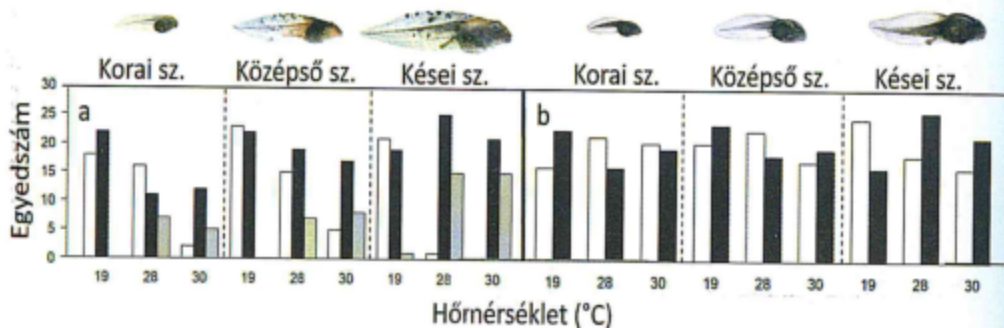
Az invazív kórokozók elleni terápiás hőkezelés rejtett veszélyei

A Bd-elleni terápiás hőkezelés okozhat problémákat is a kezelt egyedeknél, amiket fel kell deríteni, nehogy nagyobb kárt okozzunk az alkalmazásával,

mint amennyit használunk vele. Emellett a klímaváltozás következtében a legtöbb helyen emelkedik az éves középhőmérséklet, egymás után dőlnek meg a melegrekordok és egyre gyakoribbak és súlyosabbak a hőhullámok, ami a kétéltűekre, mint változó testhőmérsékletű és könnyen kiszáradó állatokra is jelentős hatással bírhat. Ennek ellenére a megemelkedett hőmérséklet kétéltűekre gyakorolt káros hatásai alig ismertek. Ezek felderítésére az ATK NÖVI kutatói erdei béka és barna varangy ebihalakat tettek ki 6 napig 19, 28, vagy 30 °C-nak az ebihalakori fejlődésük elején, közepén, vagy végén, és feljegyezték az egyedek túlélését, átalakulásuk idejét, és kondícióját. Mivel a kétéltűek ivara genetikailag meghatározott, de az ivari fejlődést a hőmérséklet is befolyásolhatja, a kísérlet végén boncolás útján meghatározták az átalakult fiatal békák nemét is (fenotípusos ivar), amit erdei békák esetében genetikai ivarmeghatározással is kiegészítettek.

A 30 °C-os hőmérsékletnek kitett erdei béka egyedek túlélése jelentősen lecsökkent. Az időzítéstől függetlenül mind a 28 °C, mind a 30 °C-os kezelés hatására később alakult át az egyedek, és a 30 °C-os hőkezelések lecsökkentették a testtömeget és a tartalék tápanyagok mennyiségét. Mindezek mellett a 30 °C-os kezelés az összes vizsgált ebihalakori fejlődési szakaszban alkalmazva, a 28 °C-os kezelés pedig a kései fejlődési

szakaszban alkalmazva nagymértékben eltolta az ivararányt a hímek irányába (6. ábra). A genetikai ivarmeghatározás eredményei egyértelművé tették, hogy a magas hőmérsékleteken tapasztalt eltoltt ivararányt nem ivarfüggő pusztulás okozta, hanem az, hogy a genetikailag nőstény egyedek nagy arányban hímmé alakultak. Ezzel szemben a barna varangyok esetében a túlélést és az ivararányt nem befolyásolta a megemelt hőmérséklet. Az egyedek fejlődése ugyanakkor mind 28, mind 30 °C hatására felgyorsult, az átalakulásukkor mért tömegük pedig lecsökkent, míg a tartalék tápanyagok mennyisége nem változott. Az eredményekből tehát az látszik, hogy a magas hőmérséklet (28–30 °C), és annak időzítése fajoként eltérő módon és mértékben befolyásolhatja a kétéltűeket. A vizsgált két faj vonatkozásában megállapítható, hogy az erdei béka igen érzékeny a magas hőmérsékletre, míg a barna varangy jól viseli azt. Fontos következtetés, hogy az ebihalak kórokozók elleni hőkezelése csak az adott faj életkorfüggő hőérzékenységének ismeretében ajánlható. Az eredmények ugyanakkor a klímaváltozás várható, kétéltűekre gyakorolt káros hatásait is előrevetítik: az életmenet befolyásolásán túl az ivararány eltolódása az érzékeny fajok esetében különösen nagy problémát okozhat, hiszen az egyik ivar túlsúlyba kerülése a populációk összeomlásához vezethet.



6. ábra: Erdei béka (a) és barna varangy (b) egyedek fenotípusos ivarának alakulása a korai, középső és kései lárvális szakasz alatt alkalmazott 19, 28, és 30 °C-os kezelések hatására. A fehér oszlopok a nőstény fenotípusú egyedek számát, a fekete oszlopok a hím fenotípusú egyedek számát, a szürke oszlopok a fenotípusosan hímmé alakult, genetikailag nőstény egyedek számát jelölik (utóbbit csak az erdei békáknál vizsgálták). Az ebihalak illusztrációt Bombay Bálint készítette

Köszönetnyilvánítás

Köszönjük a Lendület Evolúciós Ökológiai Kutatócsoport munkatársainak és hallgatóinak a kísérletekben nyújtott segítségét. A kutatásokhoz szükséges engedélyeket az ATK NÖVI etikai bizottsága, valamint a Pest Megyei Kormányhivatal (PE/KTF/3596-6/2016, PE/KTF/3596-7/2016, PE/KTF/

3596-8/2016) állították ki. A vizsgálatok pénzügyi háttérét a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal (K-115402 és K-124375), a Magyar Tudományos Akadémia Lendület programja (LP2012-24/2012), Fiatal Kutatói Ösztöndíja és Bolyai János Kutatási Ösztöndíja, valamint az Innovációs és Technológiai Minisztérium Új Nemzeti Kiválóság Programja (ÚNKP-20-5 és ÚNKP-21-5) támogatta.

IRODALOM

- Herczeg D., Ujszegi J., Kásler A., Holly D., Hettyey A. 2021. Host-multiparasite interactions in amphibians: a review. *Parasites & Vectors*, 14: 296.
- Hettyey A., Ujszegi J., Herczeg D., Holly D., Vörös J., Schmidt B.R., Bosch J. 2019. Mitigating disease impacts in amphibian populations: capitalizing on the thermal optimum mismatch between a pathogen and its host. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 7: 254.
- Ujszegi J., Ludányi K., Mórincz Á.M., Krüzselyi D., Drahos L., Drexler T., Németh M.Z., Vörös J., Garner T.W.J., Hettyey A. 2021. Exposure to *Batrachochytrium dendrobatidis* affects chemical defences in two anuran amphibians, *Rana dalmatina* and *Bufo bufo*. *BMC Ecology and Evolution*, 21: 135.