

ELTŰNNEK A BÉKALÁNYOK?



(FOTÓ: LACZI MIKLÓS)

A kétéltűeket világszerte veszélyeztető egyik legfontosabb tényező a klímaváltozás. Az emelkedő átlaghőmérséklet és az egyre gyakrabban előforduló szélsőséges időjárási jelenségek olyan mértékű hőstressznek tehetik ki ezeket az állatokat, hogy az többek között megzavarhatja az ivari fejlődésüket, ami kiegyensúlyozatlan ivararányokhoz és akár teljes populációk összeomlásához vezethet. Arról azonban, hogy a kétéltűek esetében milyen magas hőmérséklet vezet ivarváltáshoz, vagyis a genetikailag meghatározott nemmel ellentétes nem kialakulásához, meglepően keveset tudunk.

Az Agrártudományi Kutatóközpont Növényvédelmi Intézet (ATK NÖVI) Lendület Evolúciós Ökológiai Kutatócsoportjának munkatársai két hazai kétéltűfaj ebihalait magas hőmérsékleteknek kitéve kimutatták, hogy a barna varangy esetében még 30 Celsius-fok hatására sem módosul az ivararány. Ezzel szemben ha erdei békákat ér lárvakori fejlődésük érzékeny szakaszában néhány napig 28 Celsius-fok vagy afölötti hőmérséklet, akkor csaknem minden egyed hím lesz. A kétéltűek megőrzését célzó kutatásoknak ezért az ivari fejlődést is figyelembe véve kell felderíteniük az egyes fajok hőérzékenységet, különben a klímaváltozás okozta hőmérséklet-emelkedés következtében elveszíthetjük ezeknek a karizmatikus és ökológiai szempontból igen fontos állatfajoknak a tetemes részét.

Kétéltűek veszélyben

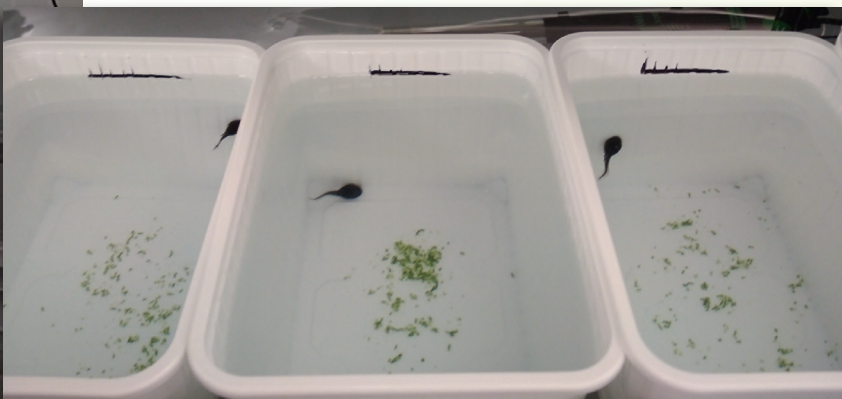
A kétéltű fajok mintegy harmadát fenyegeti kihalás napjainkban, és a fajok 41 százaléka kisebb-nagyobb mértékű

egyedszámcsökkenést mutat. A leginkább veszélyeztető tényezők közé tartozik az élőhelyeik eltűnése, a környezet-szennyezés, az invazív fajok (ragadozók és versenytársak) betelepülése, valamint a különböző fertőző betegségek terjedése mellett a klímaváltozás is. Közülük gyakran több is egyszerre helyezi nyomás alá a populációkat. A klímaváltozás elősegíti egyes fertőző betegségek terjedését, mint például a *Batrachochytrium dendrobatidis* okozta kitridiomikózist (az erről szóló cikkünket *A kórokozó Achilles-sarkának célbavétele* címmel lásd az ÉT/2019/41-es számában – *A szerk.*). Más kórokozók, mint a ranavírusok, már korábban szétterjedtek, a hőmérséklet emelkedése most az általuk okozott betegséget teszi sokkal súlyosabb lefolyásúvá. Mindezek következtében hatékony természetvédelmi beavatkozásokra van szükség, amelyeket csak pontos információk birtokában lehet megtervezni és kivitelezni.

A klímaváltozás hatására bekövetkező felmelegedés és a meteorológiai szélsőségek gyakoriságának

növekedése közvetlenül is hozzájárulhat a kétéltűpopulációk számának és méretének csökkenéséhez. A kétéltűek többsége igen érzékeny a klimatikus tényezők, különösen a hőmérséklet és a csapadékmennyiség megváltozására, mert meszes héjat nélkülöző petéik, valamint vízben fejlődő lárváik védtelenek a kiszáradás ellen, de az átalakult egyedek bőre is nagymértékben átjárható a víz számára. A klímaváltozás hatására eltolódhat a fajok földrajzi elterjedése, módosulhatnak napi és éves aktivitási mintázataik, az időszakos víztestekben szaporodó fajok peterakóhelyei pedig véglegesen el is tűnhetnek. Mivel a kétéltűek kulcsfontosságú szereplői az ökológiai hálózatoknak, mindezen változásoknak az életközösségek szerkezetére és az ökoszisztémák működésére egyaránt mélyreható következményei lehetnek.

A túl magas hőmérséklet önmagában is károsíthatja a változó testhőmérsékletű kétéltűeket. Egyrészt okozhatja pusztulásukat, de ezt az egyedek árnyékos, hűvösebb helyek felkeresésével



Ebihalak a kísérleti berendezésben, amelyet az ivadékok 6 napig történő melegejtésére használtunk. A tálcákra helyezett 2 literes fehér dobozokban egyesével tartottuk az ebihalakat. A tálcákat vízzel töltöttük fel, amelynek kellő és egyenletes hőmérsékletét termosztátos akváriumfűtő és vele szemben elhelyezett vízkeverő biztosította. A legfelső polcon lévő dobozok a vízserékhez használt, tisztított víz előmelegítésére szolgáltak. (FOTÓK: HETTYEY ATTILA)

általában el tudják kerülni, különösen mivel a fajok túlnyomó többsége – legalábbis felnőtt korban – a 32 Celsius-fok, de akár a 35 Celsius-fok feletti hőmérsékletet is elviseli hosszabb-rövidebb ideig. A magas hőmérséklettel szemben érzékenyebb életszakaszokban, mint például lárvakorban, már 30 Celsius-fok körüli hőmérsékleten is csökkenhet az egyedek túlélési esélye. Jelentkezhetnek kevésbé látványos, szubletális, azaz ártalmas, de nem végzetes hatások is, mint például a növekedés és a fejlődés lassulása, amelyek ugyancsak károsan hathatnak az egyedek szaporodási és túlélési esélyeire.

Hőstressz okozta ivarváltás

A kétéltűek ivara ugyan genetikailag meghatározott, de az extrém magas vagy extrém alacsony hőmérséklet

megzavarhatja ivari fejlődésüket is. Az átlaghőmérséklet emelkedése és a szélsőséges időjárási jelenségek növekvő gyakorisága és intenzitása következtében egyre nagyobb eséllyel találkozhatnak káros mértékben megnövekedett hőmérséklettel lárvakori fejlődésük alatt. Ez az időszak ivarszerveik fejlődése szempontjából a legérzékenyebb életszakasz.

A túl magas, 30 Celsius-fok körüli vagy azt meghaladó hőmérséklet az eddigi vizsgálatok szerint elsősorban a genetikailag nőstény kétéltűek esetében okoz ivarváltást. Ennek mechanizmusa az, hogy a magas hőmérséklet hatására megemelkedett stresszhormonszint gátolja egy olyan enzim – a citokróm P450 aromataz – termelődését, amelynek feladata a hím nemi hormonok női nemi hormonná: ösztrogénné alakítása.

Eközben a magas hőmérséklet hatására megnő a tesztoszteron termeléséért felelős enzimek (3 β -HSD és 17 β -HSD) aktivitása az ivarmirigyek előtelepeiben. Ez a két folyamat ahhoz vezet, hogy a genetikailag nőstény ivarú egyedekben a petefészek-kezdemények herékké fejlődnek, így életük hátralévő részét hímekeként élik le.

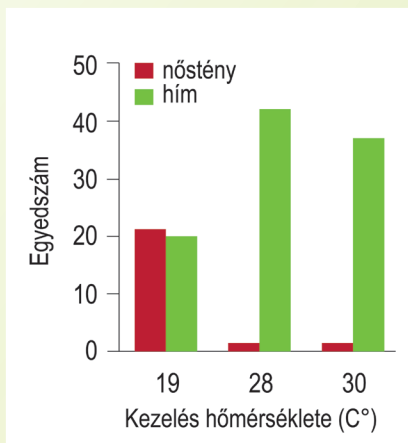
A peterakásra képes nőstények eltűnése egész populációk összeomlásához vezethet. Mivel az egyedek genetikai ivarának meghatározása egyelőre csak néhány kétéltű faj esetében megoldott, a hőstressz okozta ivarváltás megállapítása pedig nagyon idő- és munkaigényes feladat, csak kevés kutatás foglalkozott a problémával. A vizsgálatok igen alacsony számából következően rendkívül keveset tudunk arról, hogy pontosan milyen magas hőmérséklet jelent veszélyt a kétéltűek ivari fejlődésére

Ivarérett erdei béka (FOTÓ: BOMBAY BÁLINT)



Fiatal barna varangy (FOTÓ: BOMBAY BÁLINT)





Fejlett ebihalakat ért hőstressz hatása erdei békák...

nézve, és hogy a hőstressz időtartama és időzítése mennyire fontos a káros hatások kialakulása szempontjából.

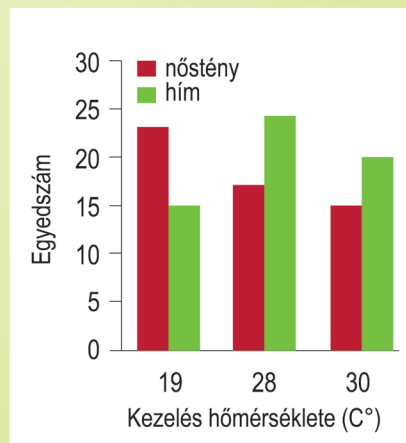
Egy konkrét kísérlet

Annak felderítésére, hogy a lárvakori fejlődés alatt a hőmérséklet-emelkedés mértéke és időzítése hogyan befolyásolja a kétéltűek életmenetét és ivari fejlődését, az ATK NÖVI Lendület Evolúciós Ökológiai Kutatócsoportjának munkatársai elvégeztek egy kísérletet, amelyben ebihalakat állandó 19 Celsius-fokon, vagy a lárvállapot három egymás utáni szakaszának valamelyikében 28, illetve 30 Celsius-fokra melegített környezetben tartottak hat napig. Az állatok átalakulása után 3 hónappal boncolással határozták meg, hogy heréik vagy petefészkeik alakultak-e ki. A kísérletet két, hazánkban is gyakori fajon, az erdei békán (*Rana dalmatina*) és a barna varangyon (*Bufo bufo*) végezték el. Ez a két faj a varangyfélék (*Bufo*) és a valódibékafélék (*Rana*) világszerte elterjedt, népes kétéltűsaládjait képviseli, ami az eredmények általánosíthatósága szempontjából is előnyös volt.

Az erdei béka-ebihalak rosszul viselték a megemelt hőmérsékletet: a hőkezelések hatására, függetlenül azok időzítésétől, lassabban fejlődtek, kisebbre nőttek az átalakulásig, és kevesebb zsírt tudtak felhalmozni a boncolásig. Emellett a korai lárvastádiumban 30 Celsius-fokos hőkezelésen átesett ebihalak 54 százaléka elpusztult, bár a később alkalmazott hőkezelés már nem okozott pusztulást. A legfontosabb eredmény azonban az volt, hogy ha az erdei béka ebihalakat bármikor 30 Celsius-fok érte 6 napon keresztül, akkor az a hímek túlsúlyához vezetett: fiatal és közepesen fejlett ebihalakat ért hőstressz következtében minden nőstényre több mint 4 hím jutott, míg ha fejlett ebihalakat ért a magas hőmérséklet, akkor a nőstények és hímek aránya 1:37 lett. A 28 Celsius-fokos kezelés csak abban az esetben okozott ivarváltást, ha az fejlett ebihalakat ért, ám ekkor a hatás ugyancsak ijesztő mértékű volt: a nőstény:hím arány 1:42-nek adódott! A barna varangyok ezzel szemben jól bírták a magas hőmérsékleteket: a hőkezelések hatására fejlődésük felgyorsult, átalakulásuk mért tömegük csak kismértékben csökkent, ugyanakkor sem túlélésüket, sem ivari fejlődésüket nem befolyásolta a melegítés egyik hőmérsékleten és egyik időpontban alkalmazva sem.

Felkészülés a legrosszabbra

Kutatási eredményeink arra hívják fel a figyelmet, hogy a klímaváltozás következtében egyre gyakrabban előforduló, néhány napos tavaszi és kora nyári hóhullámoknak rejtett, mégis igen súlyos következményei lehetnek bizonyos kétéltűfajok populációira nézve. Ha a szaporodóhelyként szolgáló víztestek (elsősorban a sekély vizű időszakos kisvizek és pocsolák) hőmérséklete néhány napra eléri a 28–30 Celsius-fokot, a magas hőmérsékletre érzékeny fajok ivararánya eltolódhat, ami már



...és barna varangyok ivararányára (A SZERZŐ ÁBRÁI)

középtávon is lokális kipusztulásukhoz vezethet. A magas hőmérséklet okozta károkat ráadásul a növekedés, zsírraktározás és fejlődés lelassulása tovább súlyosbíthatja, az alacsony hőtűrésű fajok esetén pedig egy ilyen korai hóhullám a sekély és napsütötte, így erőteljesen felmelegedő pocsolákban nevelkedő egyedek körében akár tömeges pusztulást is előidézhethet.

Mindezek értelmében fel kell készülnünk a klímaváltozás által a kétéltűekre jelentett veszélyek elhárítására. Ennek első lépése a kétéltűfajok hőtűrésének alapos vizsgálata kell hogy legyen. Ezt követően a kapott kísérletes eredményeket a természetes élőhelyek jelenlegi hőviszonyait leíró adatokkal, valamint a klímaváltozást szimuláló modellek jövőbeni hőmérséklet-viszonyaival egybevetve, ki kell jelölnünk a veszélyes régiókat és élőhelytípusokat, valamint a veszélyeztetett fajok körét. Végül időben ki kell alakítanunk a lehetséges hőmérséklet-csökkentő beavatkozások minél szélesebb eszköztárát is. Ha mindezt megteszük, biztosíthatjuk az alacsony hőtűrésű kétéltűfajok túlélését mindaddig, amíg evolúciós folyamatok révén alkalmazkodnak a másként végzetesen gyorsan változó klimatikus és egyéb környezeti viszonyokhoz.

HETTYEY ATTILA, BERTALAN RÉKA
UJSZEGI JÁNOS, UJHEGYI NIKOLETT
BÓKONYI VERONIKA
ATK NÖVI

A cikk az MTA Bolyai János Kutatási Ösztöndíjának, az ITM ÚNKP Bolyai+ ösztöndíjának, valamint a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal (NKFIH) K-124375 és K-115402 pályázatának támogatásával készült.

Párhozó barnavarangypár (FOTÓ: LACZI MIKLÓS)

