

**Pál László – Bercsényi Miklós – Nagy Szabolcs –  
Farkas Valéria – Husvéth Ferenc**

Pannon Egyetem, Georgikon Kar, Állattudományi és Állattenyésztési Tanszék, Keszthely

## **A globális felmelegedés hatása az állatok szervezetére**

*Egyes éghajlati tényezők rendkívül fontos környezeti elemeket jelentenek az élő szervezetek számára. Ezek gyors változása olyan reakciókat indukálhat az élőlényekben, amelyek komoly élettani változásokhoz vezethetnek. Az extrém klimatikus viszonyok több szinten is zavart okozhatnak a vad- és háziállatok élettani működésében egyaránt. Jelen tanulmányban részletesen bemutatásra kerül az állatok szervezetét érő – a globális felmelegedésből eredő – hőmérséklet emelkedés hatása. A különböző hőforgalmi stratégiák és szabályozási folyamatok élettani szerepén túl szót ejtünk a külső hőmérséklethez történő alkalmazkodó képességről illetve, hogy miként hat a hőmérséklet a hüllők és halak ivarának kialakulására, valamint a gazdasági állatok termelésének hatékonyságára.*

### **A hőmérséklet hatásai az állati szervezetre**

**A**z állati szervezet a külső környezet nagymértékű változékonysága ellenére igyekszik fenntartani belső környezetének viszonylagos állandóságát. E homeosztázisnak nevezett állapotot jellemző tényezők csak bizonyos határértékek között változhatnak a szervezetben zajló élettani folyamatok zavartalansága érdekében. A hőmérséklet a szervezet szinte valamennyi életfunkciójára hatással van. A hőmérséklet változása a szervezetben befolyásolja a kémiai reakciók sebességét és a reakció-egyensúlyokat, módosítja a fehérjék (enzimek) szerkezetét, funkcióját. A hőmérséklet emelkedése fokozza a biológiai membránok lipidjeiben található zsírsavláncok mozgékonyágát, a membránok fluiditását. Az extrém magas hőmérséklet káros hatásai közé tartozik az enzimek aktivitásának, a sejtek energiahasznosításának csökkenése, a reaktív oxigén szabadgyökök termelésének növekedése. Magasabb testhőmérsékleten a gázok oldódása csökken a testnedvekben, ami megnehezíti a sejtek oxigénhez jutását, fokozza a légzést. A hőmérséklet csökkenése többek között megnöveli a testfolyadékok viszkozitását, a víz szerkezetének megváltozása a makromolekulák körül gátolja a nagy molekulák működése szempontjából fontos szerkezetváltozásokat (Ádám és Fehér, 1991).

### **Hőforgalmi stratégiák, az állati szervezet hőháztartása**

Az állati szervezet hőháztartását a hőtermelés és a hőleadás folyamatai határozzák meg. Az állatok nagyobb hányadában a testhőmérséklet a külső környezeti hőmérséklethez kapcsolatosan ingadozik. Ezekben a poikiloterm, változó testhőmérsékletű állatokban a hőtermelés és a hőleadás folyamatai nem kapcsolódnak a testhőmérséklet-szabályozás

vegetatív folyamataihoz, testhőmérsékletüket elsősorban viselkedésükkel képesek befolyásolni. A homeoterm, állandó testhőmérsékletű állatok, mint például a madarak és az emlősök testhőmérséklete vegetatívan szabályozottan, viszonylag szűk határok között változik. Bizonyos heteroterm állatfajok környezete nem teszi lehetővé a folyamatos homeotermia fenntartását, így néha a kevésbé energiaigényes poikilotermiára váltanak. Kistestű emlősök egy része erős lehűléskor „téli álomba” (hibernációba) kerül vagy a nyári nagy melege a „nyári nyugalommal” (esztivációval) reagál. A hőenergia forrása szerint az állatok az ektoterm és endoterm csoportokba sorolhatók. Az ektoterm fajok esetében a környezetből származó hőenergia (például napsugárzás) szolgáltatja a testhőmérséklet fenntartásához szükséges energiát. Az endoterm fajok a szervezetükben megtermelt hő egy részét képesek felhasználni a testhőmérséklet fenntartása érdekében. A két fogalom szélsőséges állapotokat ír le, az állatok többsége egy adott helyzetben eltérő mértékben, de egyszerre ekto- és endoterm (Moyes és Schulte, 2008).

A szervezetben zajló összes biokémiai folyamat hőtermeléssel jár, a felszabaduló hő legnagyobb része a sejtekben folyó biológiai oxidáció mellékterméke. A hőtermelés nagymértékben megnövekedhet az izommunka fokozódása vagy a táplálkozást követő emésztési és felszívódási folyamatok következtében. Az állatok a felesleges hőtől vezetés, áramlás, sugárzás és párolgás révén szabadulhatnak meg. A vezetés során az állat teste és az azzal közvetlenül érintkező anyag között hőkicserélődés jön létre. Az állatot körülvevő levegő felmelegszik és áramlással kisebb-nagyobb mértékben kicserélődik. A sugárzásos hőkicserélődés fizikai érintkezés nélkül zajlik. A víz elpárologtatása révén is létrejöhét hőleadás, amely végbemehet a test felszínén, a bőr pórusain keresztül, verejtékezés vagy lihegés segítségével.

### A hőszabályozás viselkedési és vegetatív folyamatai

A testhőmérséklet szabályozása minden állati szervezet esetében megvalósulhat bizonyos mértékben. A viselkedés megváltoztatása mind a poikiloterm, mind a homeoterm fajok számára lehetőséget biztosít a hőtermelés és a hőkicserélődés befolyásolására egyaránt. Hőtermelés növekedése valósulhat meg az izommunka vagy a táplálékfelvétel fokozásával. Az egyszerű alak- vagy testhelyzet-változtatások révén (összegömbölyödés, felület/tömeg arány változtatása) vagy például a környezet módosításával (fészek, odú építése) az állatok a hőleadást csökkentik.

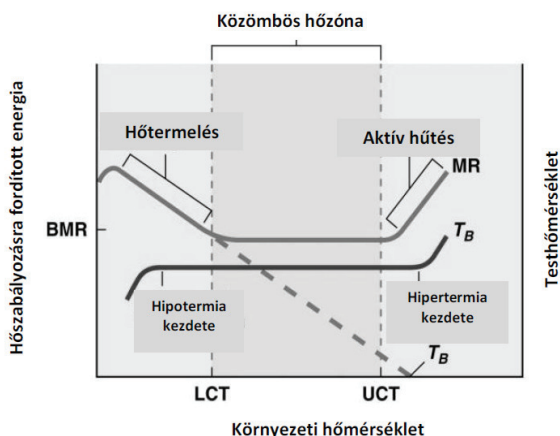
A hőszabályozás vegetatív folyamatai elsősorban a homeoterm szervezetek számára biztosítanak többféle lehetőséget a hőtermelés vagy a hőkicserélődés módosítására. Emlősök esetében a hőszabályozás központja a vegetatív életfunkciók irányításáért felelős hypothalamusban található. A hypothalamus-on átfolyó vér hőmérsékletét termosztátként érzékelik a „fűtőközpont” és a „hűtőközpont” magcsoportjainak idegsejtjei. A vér hőmérsékletének növekedése a hűtésért felelős idegsejteket ingerli, a paraszimpatikus idegrendszeri tónus fokozódásának hatására tágulnak a bőrfelszínhez közeli erek, intenzívebbé válik a verejtékezés, lihegés, nyáleválasztás. A csökkenő vérhőmérséklet hatására a szimpatikotónus fokozódik. Az erek összehúzódása, szőr- illetve tollborzolás, izomremegés figyelhető meg. A hőtermelés fokozódásához hozzájárul a megnövekedett adrenalin- és a pajzsmirigyhormon-szekréció hatására megemelkedő sejtszintű oxidáció, a glikogén és zsírtartalékok mozgósítása. A vérhőmérséklet elsődleges információ közvetítő szerepe mellett a testfelületen elhelyezkedő termoreceptorokból is jutnak információk a központba (Bárdos, Husvéth és Kovács, 2007).

A testfelszín hőmérséklete és a test mélyebb részeinek hőmérséklete között nagy különbségek lehetnek, és a hőmérséklet-eloszlás révén a környezeti hőmérséklettől is függő jellegzetes izoterma-régiók jönnek létre. A homeoterm szervezetek képesek arra,

hogy a véráramlás segítségével ellenáramú hőcserélődést hozzanak létre a felszínhez közeli „testköpeny” és a „testmag” között hőkonzerválás céljából (végtagok, agy, here szabályozó rendszerei).

### A külső hőmérséklethez történő alkalmazkodás

A homeoterm madarak és emlősök esetében létezik egy közömbös hőzóna (termoneutrális zóna), amely zónán belüli környezeti hőmérsékletek esetén a hőszabályozás folyamatai nem igényelnek energiát, az állat szervezetére az alapenergia-forgalom jellemző (1. ábra). A közömbös zóna alsó és felső pontja egyaránt kritikus hőmérsékletnek felel meg, mert ezeknél kisebb illetve nagyobb hőmérsékletek esetében energiaigényes vegetatív hőszabályozási mechanizmusok lépnek életbe. Az alsó kritikus hőmérsékletnél kisebb tartományban fokozódik az állat hőtermelése, a felső kritikus hőmérséklet felett pedig megnövekszik a hűtési folyamatokhoz szükséges energiaigény (Moyes és Schulte, 2008). Amikor a hőtermelés vagy a hőleadás már nem tudja kompenzálni a környezeti hőmérséklet negatív hatását, a testhőmérséklet drasztikus csökkenése (hipotermia) vagy növekedése (hipertermia) következhet be, ami akár halálos is lehet. A poikiloterm fajok esetében nem beszélhetünk közömbös hőzónáról, alsó vagy felső kritikus hőmérséklet-ről. Számukra is létezik azonban egy preferált, optimális működést biztosító környezeti hőmérséklet tartomány. Az alsó és felső letális hőmérsékleti értékek meghatároznak egy hőmérséklet-tűrési sokszöget, amelyen belül helyezkednek el a preferált hőmérsékleti érték.



1. ábra. A hőszabályozásra fordított energia, a testhőmérséklet és a környezeti hőmérséklet kapcsolata homeoterm fajokban ( $MR$ =energiaforgalom,  $T_B$ =testhőmérséklet,  $LCT$ =alsó kritikus hőmérséklet,  $UCT$ =felső kritikus hőmérséklet,  $BMR$ =alapanyagcsere) (forrás: Moyes és Schulte, 2008, 635. o.)

### A hőszabályozás alkalmazkodása a klímaváltozáshoz

Az állatok alkalmazkodása a klímaváltozás hatásaihoz változatos lehet a különféle hőszabályozási stratégiák miatt. A homeoterm fajoknak magasabb az alapanyagcserejük, mint a poikilotermeknek, és a környezeti hőmérsékleti skála szélesebb tartományában aktívak. Az energiafelvételüknek viszont nagyobb részét kell a hőszabályozásra fordítaniuk. A kisebb alapanyagcserejű poikilotermek a kisebb energia szükségletük miatt az

energiaforrásokban szegényebb, felmelegedő és száraz környezetben előnyt élvezhetnek. Az ektoterm fajok az endotermekhez képest sebezhetőbbek a globális felmelegedés hatásaival szemben, mivel alapvető élettani funkcióik, mint a mozgás, növekedés, szaporodás nagymértékben függnek a környezeti hőmérséklettől. A kutatások eredményei azt mutatják, hogy a trópusokon bekövetkező felmelegedés, bár arányaiban tekintve kismértékű, az itt élő ektotermek számára súlyos következményekkel járhat (*Deutsch, Tewksbury, Huey, Sheldon, Ghalambor, Haak és Martin*, 2008). A trópusi rovarok például viszonylag érzékenyek a hőmérséklet változására és élőhelyükön jelenleg a számukra optimális hőmérsékleti értékek közelében élnek. A nagyobb szélességi körökön, hidegebb környezetben élő társaik tágabb hőtoleranciával rendelkeznek, és a mostani hidegebb környezetük felmelegedése még kedvező is lehet életműködéseik és elterjedésük szempontjából. A forró szubtrópusi, sivatagi vidékeken élő nagytermetű endoterm emlősök (például számos gazellafaj) sikeres hőszabályozási stratégiája a felmelegedés hatására más területeken is elterjedhet. Ezen emlősök hőszabályozásának fontos része a cirkadián testhőmérséklet-ciklusok fenntartása, amelyben a 40 °C feletti környezeti hőmérséklet hatására nem az átlagos testhőmérsékletük emelkedik meg, hanem a ciklusok amplitúdója (*Ostrowski, Williams és Ismael*, 2006). A becslések szerint, a heteroterm endoterm állatok a globális felmelegedés által okozta változásokhoz jobban képesek alkalmazkodni, mint a tisztán homeoterm endoterm fajok (*Boyles, Seebacher, Smit és McKechnie*, 2011). A heterotermek esetében alkalmazott energiakonzerválási módszerek, mint a napi csökkent élettani aktivitással, kisebb testhőmérséklettel és anyagcserével járó nyugalmi időszakok (torpor), a hosszabb hibernáció és esztiváció (nyári nyugalom) rugalmas hőszabályozást tesznek lehetővé.

### A hőmérséklet hatása hüllők és halak ivarának kialakulására

A hőmérséklet az élettani folyamatok közül az ivar kialakulására is hatással lehet. Régióta ismert, hogy a tojásaikat homokban keltető krokodilok, teknősök vagy egyes gyíkok ivararányát a tojásaik keltetési hőmérséklete határozza meg. A 25 °C fölötti hőmérsékleten például a hidasgyík-tojásokból kizárólag nőstény utódok kelnek ki. Ezeknek a tojásoknak a keltetése során a legmagasabb és a legalacsonyabb hőmérséklet között akár 15 °C hőmérséklet-különbség is lehet. Nem mindegy az, hogy a magas vagy az alacsony külső hőmérséklet mikor éri a tojásban fejlődő embriót. Megfigyelték, hogy a hidasgyík esetében ez a hőmérsékletre érzékeny időszak az embrió fejlődésének középső harmadára esik (*Mitchell, Kearney, Nelson és Porter*, 2008).

A halak között ugyan elsősorban genetikai meghatározottsága van az ivarnak, de az emlősökhöz hasonló, alakilag is különböző ivarkromoszómák itt még nem alakultak ki. A vízben a hőmérséklet-ingadozás sem olyan nagyságú, mint például a szárazföldi homok felső, 15–40 cm-es rétegében, ahová a hidasgyík a tojásait rakja. Ennek ellenére a halak között is előfordulnak olyan fajok, amelyek ivarára jelentős hatással van a hőmérséklet.

Kutatók azt találták, hogy az ivar meghatározásáért felelős gén-kaszádok a törzsfelődés során sokféleképpen változtak. A mai halak ősei például három genom-kettőződésen is átmentek, ami nagyon jó lehetőséget biztosított a hasonló működésű gének változatainak kialakításához. Érdekes módon, bár az ivar meghatározó gén kaszádok felső szintjein nagy a változatosság, az alsóbb szintek génjei eléggé konzervatívak (*Shen és Wang*, 2014). Létrejötték olyan fajok, amelyekben az ivar-meghatározás nagyon erősen genetikailag determinált (Genetic Sex Determination, GSD), vannak, amelyekben ezt a hőmérséklet is befolyásolja (GSD+TE – Temperature) és vannak olyanok, amelyekben a hőmérséklet a döntő (Temperature-dependent sex determination, TSD). Utóbbira egy

Odontesthes binariensis nevű dél-amerikai hal jellemző, amelyik 17 °C-on fejlődve 100 százalékban nőtényekké, 29 °C-on pedig 100 százalékban hímekké fejlődik (Yamamoto, Zhang, Sarida, Hattori és Strüssmann, 2014).

Vannak olyan halfajok is, amelyek jelentős ivari kétalakúságot mutatnak. Erre közismert példa az elevenszülő guppi, amelyiknek a hímjei jóval kisebbek, mint a nőtények, viszont gyönyörű, színes farokúszót növesztenek. A tilápiák között pedig a hímek gyorsabban és nagyobbra nőnek. Mivel ezeket a halakat millió tonna szám étkezési célra tenyésztik, nem véletlen, hogy kifejlesztettek olyan módszereket, amelyekkel monoszex hím állományokat tudnak létrehozni. Ezeknél az ivar genetikai meghatározottsága jelentős, azonban megismerték, hogy a hőmérséklet is befolyásolja az ivar kialakulását.

A hazai halfajaink ebből a szempontból még kevésbé kutatottak. Talán kivételt jelent a ponty, amelynek ivar-meghatározását és hormonális ivarátfordítását magyar kutatók vizsgálták 40 éve (Nagy, Bercsényi és Csanyi, 1981). Megállapították, hogy a pontyban az emlősökhöz hasonló XX; XY nőtény homogamétás rendszer működik, és, hogy a hormonos ivarátfordításra alkalmas úgynevezett érzékeny időszak a kelés utáni 40–80 napos kor közé esik.

Felmerül a kérdés, hogy vajon a klímaváltozás hogyan hat egyes halfajok ivararányaira. Ez azért is fontos, mert az eltorzult arányok következtében egyes korosztályok, illetve populációk várható egyedszámai nagyon nagy kilengéseket eredményezhetnek. Ez nem csak elméleti problémát jelenthet, hanem a jelenségnek komoly gyakorlati következményei is lehetnek.

A Pannon Egyetemen a klímaváltozás lehetséges következményeit vizsgáló projektünkben a hőmérsékletnek csapósügér ivararányaira való hatását vizsgáltuk. Ez a faj szintén ivari kétalakúságot mutat. Itt az ivarérett halakban a nőtények nőnek nagyobbra, testtömegben ez akár 30–40 százalékot is jelent. Azonos korosztályú, 16 hónapos tejes és ikrás sügereket mutat az 2. számú ábra, melyen jól látható a jelentős méretbeli eltérés a nőtények javára.

Vizeink éves átlaghőmérsékletének változását ugyan még a legmerészebb klíma-prognózisok sem jelzik akár 50 éven belül sem 5 °C-nál magasabbra, az viszont igen valószínű, hogy egy-egy rövid időszakra, például négy-öt napra a szokásosnál akár 10 fokkal is melegebb lehet egy tó vize. Ebből az következik, hogy ha ez a hőmérséklet egy halembrió fejlődésének „ivari szempontból érzékeny” szakaszára esik, akkor komolyan befolyásolhatja annak ivarfejlődését.



2. ábra. Azonos korú csapósügerek jellemző méretbeli különbsége. Felül ikrás (nőtény), alul tejes (hím)

Két kísérlet-sorozatot végeztünk. Mindkettőben azt vizsgáltuk, hogy 10 °C hőemelkedésnek van-e hatása az ivarra. Mivel a ponty „érzékeny” ivarfejlődési időszaka alapján feltételeztük, hogy, a csapósügér ivara is 1–2 hónapos korban dől el, ezért az első sorozatban 15 és 60 napos kor között kezdtük a hőkezeléseket. Itt több kezdési és tartamkombináció se vezetett eredményre. Ugyanazokat az ivararányokat kaptuk a kezelt csoportokban, mint a normál hőmérsékleten tartott kontrollcsoportokban. Érdekes volt az is, hogy a kontrollcsoportok sem mutattak 50–50 százalékos ivari megoszlást, hanem közel 60:40 volt az arány a nőtények javára.

Mivel vannak olyan melegvízi halak, amelyekben az ivar már egy-két napon eldől (Liew és Orbán, 2013) a második sorozatot jóval korábbi kezdési időpontokkal hajtottuk végre. Azt tapasztaltuk, hogy a még ikrában lévő kelés előtti napon, valamint a kelést követő napon kezdett kezelések szignifikáns eltolódást okoztak az arányokban. A nőtény dominancia átfordult nagyjából 60:40 arányú hím dominanciába. Sikeredt igazolni azt, hogy a csapósügér ivar-meghatározása is GSD+TE típusú. A továbbiakban még extrém hőmérsékletek kipróbálását tervezzük. Ezek a kísérletek rámutatnak arra, hogy bár a sügér fajon belül is elképzelhetők populációs változások a klímaváltozás hatására, azonban annak nagysága várhatóan csekély lesz.

### A globális felmelegedés során mutatkozó magas hőmérsékletű periódusok hatása a gazdasági állatok termelésének hatékonyságára

A szakemberek által kimutatott hosszú távú felmelegedési tendencia rövidebb időperiódusokban szélsőséges klimatikus változásokkal jár együtt. Ezek között egyre többször mutatkoznak a nyári időszakban magas hőmérsékleti szakaszok, amikor a napi átlag- és csúcshőmérsékleti értékek olyan magas szintet érnek el, amelyek az állatok számára káros hatással vannak és úgynevezett hőstressz állapotot idéznek elő. Ezekben az időszakokban a környezeti hőmérséklet jelentősen meghaladhatja a konform hőmérsékleti zóna felső kritikus értékét és az állatok jelentős energiát áldoznak fel annak érdekében, hogy a maghőmérsékletük (a test belsejében mérhető) ne emelkedjen. A hőstressz súlyosságát azonban a környezet páratartalma jelentősen befolyásolja. Egy adott hőmérsékleti érték annál súlyosabb változásokat eredményez az állatok életfolyamataiban, minél nagyobb a páratartalom. A szakemberek a hőstressz súlyosságának mérése érdekében a környezeti hőmérséklet és a páratartalom hatásainak egységes mérése érdekében a hőmérséklet-páratartalom indexet (Temperature Humidity Index, THI) vezették be. Ezen mutató határértékeivel jól definiálni lehet azt, hogy a környezet hőmérsékleti és páratartalmi értékei milyen súlyos stresszhatást jelentenek a gazdasági állatoknak. A THI értékeiből pontosan megtudhatjuk azt, hogy a környezeti hőmérséklet mikor nem okoz káros hatásokat, mikor jelent enyhe vagy súlyos stresszt (akár halált) az állati szervezet számára.

1. táblázat. Hőmérséklet-páratartalom index (THI): Valamennyi esetben a THI azonos értékkel rendelkezik, bár a környezeti hőmérséklet eltérő (Baumgard, 2010).

Hőmérséklet, °F (°C)	Relatív páratartalom, %
84 (28)	15
80 (20)	30
77 (25)	50
75 (23)	65
72 (22)	95

Ha a környezeti hőmérséklet megközelíti egy háziállat testhőmérsékletét ( $>37\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) az állati szervezet hő folyamatai romlanak. Ennek eredményeként a testhőmérséklet emelkedik és az állatok a stressz jelét mutatják (3. ábra). Első jele az, hogy az állatok étvágytalanná válnak, kevesebbet esznek annak érdekében, hogy csökkenjen az emésztésből származó és a metabolikus hőtermelés. Egy 750kg súlyú tehén metabolikus hőtermelése körülbelül annyi, mint 9db 100 wattos hagyományos villanykörte napi hőtermelése, és ehhez még hozzájön minden 5 liter tej termelése esetében 1db előzőekben említett villanykörte hőtermelése. A takarmányfogyasztás szabályozása ugyancsak a hypothalamusban elhelyezkedő táplálékfelvételi központokban van. Ezek a központok (éhségérzetet és jóllakottságérzetet kiváltó központok) a hőszabályzó központok befolyása alatt állnak; melegben csökkentik, akár meg is szüntethetik, hidegben pedig fokozzák a takarmányfelvételt. A takarmányfelvétel beszüntetése, amellett, hogy segít az állatnak a hőháztartás fenntartásában, jelentős termeléskiesést eredményez. A fejlődő állatok növekedése (hústermelés) leáll, egy intenzíven termelő holstein fríz tehén tejtermelése a takarmányfelvétel beszüntetéséből adódóan akár 50 százalékkal is csökkenhet. Sikertült azonban azt is bizonyítani, hogy a táplálékanyag hiányából eredő termelés-csökkenés csak körülbelül 50 százalékkal felelős a termeléskiesésért, a csökkenést másik 50 százalékkal több élettani folyamat károsodása eredményezi (Rhoads, Rhoads, von Baale, Collier, Sanders, Weber, Crooker és Baumgard, 2009; Baumgard, 2010).



3. ábra. A globális felmelegedés okozta hőstressztől szenvedő tejelő tehén (Baumgard, 2010).

A neutrális hőmérsékleti zóna felső határát jelző kiritikus környezeti hőmérséklet felett az állati szervezet a testhőmérséklet hűtése érdekében, a metabolikus folyamatok lassítása mellett, számos más életfolyamattal igyekszik alkalmazkodni. Ezek között jelentős szerepet tölt be a párologtatás (a legtöbb állat esetében verejtékezés a bőrfelületen keresztül; a ragadozóknak lihegéssel a nyál elpárologtatásával), amely folyamatok döntően befolyásolják a szervezet vízháztartását. Ennek egyik eredménye a nyáltermelés csökkenése. A nyál az állatokban lényeges emésztőnedv. Kérdőzkben a testmérethez viszonyítottan bőséges nyáltermelésnek az előgyomrokban (bendő-recés egység) történő mikrobiális emésztésben, ezen keresztül a növényi rostok lebontásában fontos szabályozó funkciója van. Nagy puffer kapacitásának köszönhetően hozzájárul ahhoz, hogy a mikrobák által termelt nagy mennyiségű rövid szénláncú zsírsav (ecetsav, propionsav, vajsav, tejsav, stb.) produkció ellenére a gyomor pH-értéke a neutrálishoz közeli tartományban maradjon. A magas környezeti hőmérséklet hatására csökkenő nyáltermelés

eredményeként ez a pufferhatás nem működik tökéletesen, így a savak közömbösítése elmarad, amely a bendő pH-értékének csökkenésében, bendőacidózisban mutatkozik meg. Az acidózis eredményeként az előgyomrok mikroba-populációja tökéletlenül működik, a rost fermentációja (szálastakarmányok emésztése) károsodik, a keményítő lebontásában előtérbe kerülnek a nagyobb savtűrűségű élőszervezetek, elsősorban a *Lactobacillus* nemzetség képviselői. Ezen mikroszervezetek közismerten tejsavat termelnek.

*A nyári kánikula alkalmával kialakuló hőperiódusok legnagyobb és viszonylag gyorsan tapasztalható hatásai elsősorban a nagyobb méretű állatállományokban alakulhatnak ki.*

*Ha a hőmérséklet 37 °C fölé emelkedik, az istállók hűtésével és intenzív szellőztetéssel tudjuk segíteni állataink hőháztartásának egyensúlyban tartását. Ha a jelzett hőmérséklet tartósabbá válik (2–3 napnál hosszabb), az állat szervezete kimerül, a testhőmérséklet elkezd emelkedni és ez nagyon gyorsan az állat halálát eredményezi. Egy-egy ilyen hőperiódus alkalmával elegendő az, hogy valamilyen műszaki hiba következtében az állattartó telepen az elektromos szolgáltatás megszűnjön. Ilyenkor a szellőztető és hűtőberendezések 15–30 perces kihagyása elegendő ahhoz, hogy nagyszámú állat a „hősokk” eredményeként elpusztuljon.*

Ez a vegyület egy nagyon erős szerves sav, amely felszaporodása még fokozottabb bendőacidózist eredményez. A gyomor pH-értékének csökkenése a kérődzőkben különösen a nagy abrakhányadot tartalmazó, intenzíven termelő kérődzők esetében fokozott. Ebből kifolyólag a hőstressz emésztésre gyakorolt káros hatásait a nyári hőperiódusok alkalmával úgy enyhíthetjük, ha a takarmányban növeljük a jó minőségű szálastakarmány arányát és csökkentjük az abrak mennyiségét. A hőstressz eredményeként kialakuló bendőacidózis számos metabolikus zavar és egészségi probléma forrását jelentheti. Ezek közül tehenészetekben a talpfekély kialakulására hajlamosít, amelynek súlyos sántaság lehet a következménye.

A nyári kánikula alkalmával kialakuló hőperiódusok legnagyobb és viszonylag gyorsan tapasztalható hatásai elsősorban a nagyobb méretű állatállományokban alakulhatnak ki. Ha a hőmérséklet 37 °C fölé emelkedik, az istállók hűtésével és intenzív szellőztetéssel tudjuk segíteni állataink hőháztartásának egyensúlyban tartását. Ha a jelzett hőmérséklet tartósabbá válik (2–3 napnál hosszabb), az állat szervezete kimerül, a testhőmérséklet elkezd emelkedni és ez nagyon gyorsan az állat halálát eredményezi. Egy-egy ilyen hőperiódus alkalmával elegendő az, hogy valamilyen műszaki hiba következtében az állattartó telepen az elektromos szolgáltatás megszűnjön. Ilyenkor a szellőztető és hűtőberendezések 15–30 perces kihagyása elegendő ahhoz, hogy nagyszámú állat a „hősokk” eredményeként elpusztuljon. Ez a jelenség legnagyobb veszélyeket általában a nagytestű, tenyésztőjást termelő brojler szülő- vagy nagyszülő párok és az árutermelő brojlerállományok

esetében szokott okozni a nagy telepítési sűrűség miatt. Ezek esetében a túlmelegedés okozta elpusztulás az állomány méretétől függően többeszes nagyságrendű lehet.

A globális felmelegedésből adódó hőhatások az állatok szaporodásbiológiájában is káros folyamatokat válthatnak ki. A szaporodásbiológiai folyamatokat, mind a nőivar, mind a hímivar esetében a hypothalamus bizonyos magvaiban (idegsejt csoportosulá-



saiban) termelődő hormon a GnRH (gonadotropin releasing hormon) „karmesterként” irányítja. Ez a hormon szabályozza az agyalapi mirigy elülső lebenyében termelődő nemi hormonok, a tüszőérést serkentő hormon (*Follicle-stimulating hormone*, FSH) és a sárgatest kialakulását eredményező hormon (*Luteinizing hormone*, LH) szekréciónját, amelyek eredményeként a női ivarmirigyekben (petefészekben) petesejt, a hímeikében (herékben) termékenyítésre alkalmas ondósejt termelődik. A hőstressz eredményeként bekövetkező takarmányfelvétel csökkenése a szervezetben energiahányt eredményez, amely gátolja a GnRH szekréciónját. Ez utóbbi folyamat a nőivarú egyedekben rosszabb petefészek működést vált ki, amely eredményeként gyengébb ivarzással vagy annak kimaradásával együtt járó petesejtérést jelent, a vemhes állatok esetében embrióelhalást, elvetélést okozhat. A hímivarú állatok heréiben ugyanakkor csökken a hímivarsejtek termelődése és azok termékenyítő képessége.

A mérsékelt égövön számos állatfaj szigorú szezonális szaporodást mutat, ahol a szaporodási időszak közeledtét előrejelző tényező nem a hőmérséklet, hanem az évről évre biztosan ismétlődő naphossz-változás, így fennáll az esélye annak, hogy a szaporodási időszakban nem a számukra optimális hőmérsékleti körülményekkel találkoznak az állatok (*Bronson*, 1989).

A nőivarú állatok esetében a magas hőmérséklet a szaporodási ciklus bármelyik pontján zavart okozhat, az ivarzás tüneteinek csökkentésétől kezdve az embrionális fejlődés zavaraiig és az újszülött állatok nagyobb arányú elhullásáig. A leggyakrabban jelentkező hatás az embriók korai elhalása. A szaporodási siker csökkenését a hőstressz okozta viselkedésváltozások is csökkenthetik az ivarsejtképződés, illetve a hormonális egyensúly zavarai mellett.

A hímivarú állatok mindemellett másféle problémával is szembesülnek: a magas hőmérséklet közvetlenül is hat az ivarsejteket termelő szervekre, a herékre. Nem véletlen, hogy az emlősök heréi a testüregén kívül, a herezacskóban található: az optimális hímivarsejt-termelés alacsonyabb hőmérsékleten történik, mint az állat testhőmérséklete. A nagy meleg tehát megzavarja a hereműködést, amelynek eredménye azonban fajtól függően egy-két hónappal később jelentkezik csak, hiszen a spermiumok képződéséhez, éréséhez több hét is szükséges. A sérült, rendellenes ondósejtek pedig vagy nem is képesek megtermékenyíteni a petesejtet, vagy ha az általuk hordozott genetikai anyag, a DNS sérül, az eredmény ismét csak a korai embrióelhalás lesz.

A globális felmelegedés velejárájaként gyakran jelentkező hőstressz káros hatásainak kivédésére az állattenyésztési gyakorlatnak fel kell készülni. Az állattartó telepeket ma már olyan műszaki megoldásokkal tervezik, amelyek lehetőséget nyújtanak arra, hogy segítségükkel a magas környezeti hőmérséklet, akár a nyári kánikulai napok idején is, állatainknak védelmet nyújtsanak a hőstressz káros hatásai ellen. A modernebb telepeken az állatpihenő bokszok, a közlekedési folyosók, vagy etetőterek felett felszerelt vízpermetezésre alkalmas szórófejek, intenzív légcserével párosítva jó hűtést biztosítanak az állatok számára. Egyszerűbb körülmények között jó teljesítményű ventilátorok alkalmazásával, vagy a nyílászárók, karámok árnyékolásával olcsóbb, de hatékony védelmet biztosíthatunk állataink védelmére.

## Irodalomjegyzék

- Ádám György és Fehér Ottó (1991, szerk.): *Élettan biológusoknak*. Tankönyvkiadó, Budapest.
- Baumgard, L. (2010): *Effects of heat stress on lactating dairy cattle*. <http://www.docstoc.com/docs/49738180/Heat-stressppt--Effects-of-Heat-Stress-on-Lactating-Dairy-Cattle>
- Bárdos László, Husvéth Ferenc és Kovács Melinda, (2007, szerk.): *Gazdasági állatok anatómiájának és élettanának alapjai*. Mezőgazda Kiadó.
- Boyles, J. G., Seebacher, F., Smit, B. és McKechnie, A. E. (2011) Adaptive thermoregulation in endotherms may alter responses to climate change. *Integrative and Comparative Biology*, **51**. 5. sz. 676–690.
- Bronson, F. H. (1989): *Mammalian reproductive biology*. The University of Chicago Press, Chicago.
- Deutsch, C. A., Tewksbury, J. J., Huey, R. B., Sheldon, K. S., Ghalambor, C. K., Haak, D. C. és Martin, P. R. (2008): Impacts of climate warming on terrestrial ectotherms across latitude. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **105**. 18. sz. 6668–6672.
- Liew, W. C. és Orbán, L. (2013): Zebrafish sex: a complicated affair. *Briefings In Functional Genomics*, **13**. 2. sz. 172–187.
- Mitchell, N. J., Kearney, M. R., Nelson, N. J. és Porter, W. P. (2008): Predicting the fate of a living fossil: how will global warming affect sex determination and hatching phenology in tuatara? *Proceedings of the Royal Society B*, **275**. 1648. sz. 2185–2193.
- Moyes, C. D. és Schulte, P. M. (2008, szerk.): *Principles of Animal Physiology*. Pearson International Edition.
- Nagy, A., Bercsenyi, M. és Csanyi, V. (1981): Sex Reversal In Carp (Cyprinus-Carpio) By Oral-Administration Of Methyltestosterone. *Canadian Journal Of Fisheries And Aquatic Sciences*, **38**. 6. sz. 725–728.
- Ostrowski, S., Williams, J. B. és Ismael, K. (2006): Heterothermy and the water economy of free-living Arabian oryx (Oryx leucoryx). *Journal of Experimental Biology*, **206**. 9. sz. 1471–1478.
- Rhoads, M. L., Rhoads, L. P., von Baale, M. J., Collier, R. J., Sanders, S. R., Weber, W. J., Crooker, B. A. és Baumgard, L. H. (2009): Effect of heat stress and plane of nutrition on lactating Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, **92**. 5. sz. 1986–1997.
- Shen, Z. G. és Wang, H. P. (2014): Molecular players involved in temperature-dependent sex determination and sex differentiation in Teleost fish. *Genetics Selection Evolution*, **46**. 26. sz.
- Yamamoto, Y., Zhang, Y., Sarida, M., Hattori, R. S. és Strüssmann, C. A. (2014): Coexistence of Genotypic and Temperature-Dependent Sex Determination in Pejerrey Odontesthes bonariensis. *PLoS ONE*, **9**. 7. sz.