

ÁLLATTENYÉSZTÉS és TAKARMÁNYOZÁS

2023. 72. 3

Alapítás éve: 1952

ÁLLATTENYÉSZTÉS – TARTÁS – TAKARMÁNYOZÁS



Kihívások a hazai állattenyésztésben
Challenges in Hungarian animal breeding

Tudományos konferencia a Gödöllői Királyi Kastélyban
Scientific conference at the Royal Palace of Gödöllő

SCIENTIFIC DAY ON ANIMAL BREEDING

„Challenges in Hungarian animal breeding„

**CONFERENCE AT THE ROYAL
PALACE OF GÖDÖLLŐ**

Organiser:

**Animal Science Committee
of Section of Agricultural Sciences
of the HAS**

Papers included in this issue are the edited and peer-reviewed version of the oral presentations at the Animal Breeding Scientific Day at the Royal Palace of Gödöllő on 21st November 2023

ÁLLATTENYÉSZTÉSI TUDOMÁNYOS NAP

„Kihívások a hazai állattenyésztésben“

TUDOMÁNYOS KONFERENCIA A GÖDÖLLŐI
KIRÁLYI KASTÉLYBAN

Rendező:

**MTA Agrártudományok Osztály
Állattudományi Bizottsága**

*Az e számban található cikkek a 2023. november 21-én
rendezett Állattenyésztési Tudományos Napon elhangzott
előadások szerkesztett és lektorált változatai*

TARTALOM - CONTENTS

Babinszky László: Takarmányozási stratégiák a hőstressz káros hatásainak csökkentésére a sertéstartásban 201

Lázár Bence – Tokodyné Szabadi Nikolett – Tóth Roland – Ecker András – Urbán Martin – Várkonyi Eszter – Liptói Krisztina – Góczy Elen: A napos kori hőkezelés transzgenerációs hatásainak vizsgálata házityúkban..... 221

Dublecz Károly – Kiss Brigitta – Kesete Goitom Tewelde – Bartos Ádám – Pál László – Magyar Marianna – Benedek Zsuzsanna – Such Nikoletta: Az ammónia emisszió csökkentésének takarmányozási lehetőségei a baromfi ágazatban 231

Horn Péter – Horváth László – Mézes Miklós – Urbányi Béla: Az édesvízi akvakultúra jövője a klímaváltozás tükrében. 247

Orbán László – Somfalvi-Tóth Katalin – Müller Tamás – Kovács Balázs – Molnár Tamás – Szeverényi Ildikó – Horváth Ákos – Urbányi Béla: A klímaváltozás lehetséges hatásai tenyésztett halaink fiziológiájára és szaporodására 266

Ferincz Árpád – Müller Tamás – Weiperth András – Lente Vera – Hegedűs Anna – Csenki Zsolt – Bányai Zsombor – Dérer István – Urbányi Béla: A klímaváltozás lehetséges hatásai a halgazdálkodásra - esettanulmányok és kezelési lehetőségek 283

Címlap kép (Frontpage photograph)

climate change-1001629060.jpg (Getty Images)

TAKARMÁNYOZÁSI STRATÉGIÁK A HŐSTRESSZ KÁROS HATÁSÁNAK CSÖKKENTÉSÉRE A SERTÉSTARTÁSBAN

BABINSZKY LÁSZLÓ

ÖSSZEFOGLALÁS

Jelen közlemény célja annak bemutatása, hogy a magas környezeti hőmérséklet és az általa okozott hőstressz milyen kedvezőtlen hatást gyakorol a sertés különböző élettani folyamataira, valamint a termelésére. További cél annak bemutatása, hogy e kedvezőtlen hatások miképpen mérsékelhetők különböző takarmányozási módszerekkel. A szerző az idevonatkozó szakirodalmi adatok alapján megállapítja, hogy a hőstressz hatására jelentős szabadgyök képződés következik be, az antioxidáns- prooxidáns egyensúly eltolódik a prooxidáns folyamatok irányába. A magas környezeti hőmérséklet következtében a sertés nem képes leadni a metabolikus hőt a környezetének, és így hősokk alakul ki. A hőstressz káros hatásának csökkentésére többféle takarmányozási lehetőség áll rendelkezésre. Így pl. koncentráltabb takarmány etetése, a takarmány zsírtartalmának növelése, alacsony fehérjetartalmú takarmány etetése szintetikus aminosav kiegészítéssel, továbbá a takarmány betainnal (trimetil-glicinnel), A-, C-, E-vitaminnal, és/vagy cinkkel és szelénnel való kiegészítése. Az állati szervezet ionegyensúlyának javítására javasolható a takarmány nátrium- és kálium-bikarbonáttal, ammónium-kloriddal, vagy kálium szulfáttal való kiegészítése. A szerző a telepi adottságoktól és a hőstressz mértékétől függően az előbb felsorolt módszerek különböző kombinációját javasolja.

SUMMARY

Babinszky, L.: NUTRITIONAL STRATEGIES TO REDUCE THE HARMFUL EFFECTS OF HEAT STRESS IN PIG FARMING

The aim of the paper is to present the negative effects of high environmental temperature on the different physiological processes and performance and also to recommend different feeding methods to reduce these effects in pig nutrition. Based on the scientific findings, the author demonstrates that heat stress results in significant free radical formation, and the antioxidant-prooxidant balance shifts in the direction of prooxidant processes. As a result of the high ambient temperature, the pig is unable to release metabolic heat to its environment and thus heat shock develops. Several nutrition tools are available to reduce the harmful effects of heat stress: thus, e.g. feeding more concentrated diets, increasing the fat content of the feed. Further possibilities are feeding low-protein diet with synthetic amino acid supplementation, and supplementing the diet with betaine (trimethylglycine), vitamins A, C, E, and/or zinc and selenium. To improve the ion balance of the animal, it is recommended to supplement the diet with sodium and potassium bicarbonate, ammonium chloride, or potassium sulfate. The author recommends different combinations of the methods listed above, depending on the conditions of the pig farms and the degree of heat stress.

BEVEZETÉS

A globális felmelegedésnek többféle definíciója létezik. A NASA (2023) szerint a globális felmelegedés a Föld felszínének az iparosodás előtti időszak óta (1850 és 1900 között) megfigyelt hosszú távú felmelegedése az emberi tevékenység, elsősorban a fosszilis tüzelőanyagok égetésének következtében, ami növeli a hőt megkötő üvegházhatású gázok mennyiségét a Föld légkörében.

A *National Geographic* (2019) meghatározása szerint az éghajlatváltozás nemcsak az átlaghőmérséklet emelkedését, hanem a szélsőséges időjárási jelenségeket, a vadon élő állatok populációinak és élőhelyeinek megváltozását, a tengerszint emelkedését és számos egyéb hatást is magában foglal. Mindezek a változások azért jelentkezők, mert az ember hőcsapdát okozó üvegházhatású gázokat juttat a légkörbe, megváltoztatva az éghajlati övek határát, az évszakok ritmusát, amelyhez mindezedig minden élőlény alkalmazkodott.

Mindkét meghatározásban közös, hogy elsősorban az emberiség ipari tevékenységét teszi felelőssé a nagymértékű üvegházhatású gázok a légkörbe jutásáért.

Közismert, tény, hogy a globális felmelegedés a mezőgazdasági termelést is nagymértékben befolyásolja.

Bár mind a növénytermesztés, mind az állattenyésztés színvonala számos tényezőtől (pl. környezeti, biológiai, közgazdasági, kulturális, stb.) függ, közülük már napjainkban is, de hosszú távon mindenképpen, a környezeti tényezőkhöz tartozó klímaváltozás az egyik legmeghatározóbb (*Babinszky és Halas, 2019a*).

Az idevonatkozó nemzetközi és hazai vizsgálatok eredményei mind azt mutatják, hogy a Kárpát-medencében a negatív hatások a jövőben erőteljesebben fognak érvényesülni (*Dunkel, 2019*). A klímaváltozásra adott válasz során kiemelt jelentősége van a klimatológusok által elkészített éghajlati szcenáriók minél pontosabb helyi leképezésének és értékelésének, továbbá ezen információknak a regionális termelési tapasztalatokkal és adatokkal való összekapcsolásának. A cselekvési programok, a válaszadás és annak elemei, a megelőzés, az alkalmazkodás, a kárenyhítés és a helyreállítás elsősorban az adott régióra valószínűsíthető éghajlati változásokra építhetők fel (*Dunkel, 2019*).

Régi gyakorlati tapasztalat, hogy a magas környezeti hőmérséklet kedvezőtlenül befolyásolja a gazdasági állatok termelését (*Babinszky és mtsai, 2011a, Babinszky és mtsai, 2011b*).

Az is ismeretes, hogy más haszonállatfajokhoz képest a sertések érzékenyebbek a magas környezeti hőmérsékletre, mivel nem képesek izzadni és elég hatékonyan ventilálni. A hőstresszre fiziológiai és viselkedési mechanizmusok egész komplexumával reagálnak, mely mechanizmusok célja a környezetbe leadott hő mennyiségének fokozása, és/vagy a hőtermelés minimalizálása (*Huynh és mtsai, 2005*).

Jelen közlemény célja annak bemutatása, hogy a magas környezeti hőmérséklet, és az általa okozott hőstressz milyen kedvezőtlen hatást gyakorol a sertések különböző élettani folyamataira, valamint termelésére, továbbá e kedvezőtlen hatások miképpen mérsékelhetők takarmányozási módszerekkel. A közleménynek ugyancsak célja, hogy felhívja a figyelmet arra, hogy magas környezeti hőmérséklet esetén csak a szakszerű takarmányozás nem elegendő, a megfelelő mennyiségű és minőségű ivóvíz is nélkülözhetetlen a biztonságos termelés érdekében.

A STRESSZHEZ VALÓ ALKALMAZKODÁS SZAKASZAI

Selye János 1936-ban a *Nature* c. folyóirat szerkesztőjéhez írt levelében javasolta először, hogy a szervezetnek a tartós stresszhez való alkalmazkodási folyamatát az általános adaptációs szindrómával (General Adaptation Syndrome: GAS) jellemezzék. Eszerint az alkalmazkodásnak a következő három szakaszát különböztethetjük meg (Valló, 2013; Legg és Higuera, 2018):

1. *Riasztási szakasz (Alarm reaction stage)*: a szervezetben a stresszrel való találkozáskor a stressz jellegzetes tünetei jelentkeznek, mint pl. szaporább szívverés, emelkedő vérnyomás, növekvő vércukorszint, stb.

2. *Adaptációs, rezisztencia szakasz (Resistance stage)*: ha a stresszor folyamatos hatása mellett lehetséges az alkalmazkodás, akkor kifejlődhet a megfelelő ellenállás. Az alarm reakció jelei látszólag eltűnnek, és az ellenálló képesség a normális szint fölé emelkedik.

3. *Kimerülési szakasz (Exhaustion stage)*: Amennyiben túl hosszú ideig fennállnak a stresszor túlságosan erős hatásai, az alkalmazkodási (adaptációs) energia kimerülhet. Ismét megjelennek az alarm reakció jelei, károsodik az immun- és bélrendszer, betegségek alakulnak ki, és végül bekövetkezhet a halál.

Szükséges azt is megjegyezni, hogy a kimerülés állapotának jelei nagymértékben hasonlítanak az alarm-reakció jelenségeihez.

A GAS tehát arra hívja fel a figyelmet, hogy a stresszornak az élő szervezetre gyakorolt hatását legnagyobb mértékben a szervezet alkalmazkodóképessége határozza meg.

Selye koncepciója szerint erős és tartós stressz esetén az adaptáció harmadik (kimerülési) szakaszában már igen erős, negatív fiziológiai változások történnek az állat és az ember szervezetében.

A HÓSTRESSZ FONTOSABB NEGATÍV ÉLETTANI HATÁSAI

Táplálóanyagok emészthetősége. Szakirodalmi adatok bizonyítják, hogy a magas környezeti hőmérséklet negatívan befolyásolhatja a táplálóanyagok emészthetőségét (Ross és mtsai, 2015). A fehérje emészthetőségben, és így a fehérje forgalomban bekövetkező negatív hatások bizonyítottan csökkentik a tej- és hústermelést, valamint a növekedést (Patience és mtsai, 2005).

Bélegészség. Ugyancsak kutatási adatok bizonyítják, hogy a hőstressz hatással van a bél egészségére és működésére, a mikrobiom összetételére (Horváth és Babinszky, 2020).

A hőstressz során csökken az emésztőrendszerbe jutó vér mennyisége, a szervezet ezzel csökkenti a keletkezett hőt (Lambert és mtsai, 2002). Ennek következtében a bélcsatornában hypoxia alakulhat ki (Hall és mtsai, 1999).

Az idevonatkozó vizsgálatok szerint a bélhámsejtek igen érzékenyek a csökkent oxigén- és táplálóanyag ellátásra, ami fokozott ATP-felhasználáshoz és oxidatív stressz kialakulásához vezet (Rollwagen és mtsai, 2006). Ez a folyamat viszont korlátozza a bélsejtek közötti speciális kapcsolatok, az ún. „tight junction” működését, és olyan további morfológiai változásokhoz vezet, amelyek ronthatják a belek barrier-funkcióját (Lambert és mtsai, 2002; Lambert, 2009; Horváth és Babinszky, 2020).

A szakirodalom a hőstressz további negatív hatásaként írja le a takarmányfelvétel csökkenése miatti gyors testsúlyvesztést a sertéseknél, ami hiperinzulinémia kialakulásához vezet, azaz a vér inzulin koncentrációja a normális értékhez képest lényegesen megemelkedik (Pearce és mtsai, 2015).

Immunrendszer. Számos tanulmány mutatja be az immunrendszer és a hőstressz közötti kapcsolatot. Általánosságban megállapítható, hogy a hőstressz hatására az immunrendszer aktivitása csökken. Ugyancsak csökken a lép, a máj, a csecsemőmirigy tömege, ami e szervek csökkent működését eredményezi. Hőstressz hatására ugyancsak csökken az IgM- és az IgG termelés, valamint a makrofágok fagocita-aktivitása. A tartósan magas környezeti hőmérséklet hatására csökken a T-sejtek és nő az NK- (natural killer) sejtek száma (Hammami, és mtsai, 1998).

Energiaforgalom és hőtermelés. Szakirodalmi adatok bizonyítják, hogy magas környezeti hőmérséklet esetén zavart szenved az antioxidáns rendszer és a homeosztázis, továbbá nő a szabadgyökök képződése és a stresszhormonok mennyisége, ennek következtében pedig csökken az állatok ellenálló képesség is (Akbarian és mtsai, 2015; Li, 2011; Yang és mtsai, 2010).

A hőstressz elleni takarmányozási módszerekkel történő hatékony védekezés érdekében feltétlenül ismernünk kell azokat a változásokat, melyek hőstressz esetén az állat energia forgalmában, valamint a pro- és antioxidáns státuszában bekövetkeznek.

A termoreguláció az állatok azon képessége, mellyel hideg és meleg környezeti viszonyok között is képesek fenntartani állandó testhőmérsékletüket. A termoreguláció magában foglalja mindazokat a viselkedési- és fiziológiai- adaptációs mechanizmusokat, melyeket a változó környezeti hőmérséklet vált ki az állatból (Noblet és mtsai, 2001). Mindezek természetesen hatással vannak az állatok energia forgalmára is. A szervezet a környezeti hőmérséklet változására úgy reagál, hogy ameddig csak lehetséges, megpróbálja fenntartani a hőtermelés és hőleadás egyensúlyát. Gyakorlati szempontból a magas hőmérséklet sokkal kritikusabbnak tekinthető, mint a hideg környezet. A magas környezeti hőmérséklet ugyanis nem csak az energia- és a táplálóanyagok metabolizmusának megváltoztatása révén rontja az állatok teljesítményét, hanem felborítja a szervezet homeosztázisát is, melynek mind az állatok védekező képességére, mind pedig a termék minőségére nézve káros következményei vannak (Babinszky és Halas, 2019a).

Az 1. ábrán az állatok hőtermelése és a környezeti hőmérséklet közötti összefüggés látható. Fontos tudni, hogy az állatok hőtermelése energetikai és termelési szempontból is veszteséget jelent, hiszen minél nagyobb a hőtermelés, annál kevesebb energia fordítható a termékképzésre. Következésképpen elemi érdekünk fűződik ahhoz, hogy az állatok hőtermelését csökkentsük. Ennek különösen akkor van nagy jelentősége, ha a környezeti hőmérséklet magas, hiszen ebben a szituációban az állat nem képes a termelt hőt a környezetének leadni. Ez pedig ún. hőtorlódással (hősokkal) jár, ami a takarmány felvétel, és így az állat termelésének csökkenését eredményezi.

Mint azt az 1. ábra is mutatja, az állat hőtermelése az ún. termoneutrális zónában, vagy más néven a komfort zónában legkisebb.

A termoneutrális zóna az a hőmérsékleti tartomány, amelyben az állatok fizikai módszerekkel (pl. a vérerek összehúzódásával, ill. kitérülésével, vagy a bőr pórusainak záródásával vagy nyitásával) képesek szabályozni testhőmérsékletüket.

Ebben a tartományban az állatoknak nincs szükségük extra energiára az állandó testhőmérsékletük fenntartására. A termoneutrális zóna alsó értékét alsó kritikus értéknek, a felső értékét felső kritikus értéknek nevezzük. A sertésekre vonatkozó alsó és felső kritikus hőmérsékleti értékeket az amerikai FASS (2010) ajánlása alapján az 1. táblázatban foglaltuk össze.

1. ábra Az állatok hőtermelése és a környezeti hőmérséklet közötti összefüggés. A termoneutrális zóna (Babinszky és Halas, 2019b)

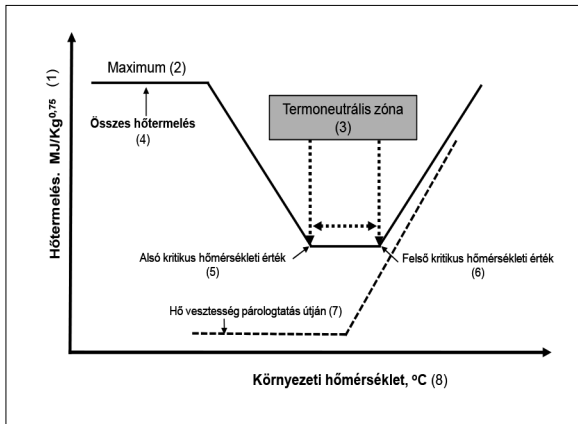


Figure 1 Relationship between the heat production of animals and the ambient temperature. The thermoneutral zone (Babinszky and Halas, 2019b)

heat production, MJ/kg^{0.75} (1); maximum (2); thermoneutral zone (3); total heat production (4); lower critical temperature (5); upper critical temperature (6); evaporative heat loss (7); environmental temperature, °C (8)

1. táblázat

Alsó- és felső kritikus hőmérséklet különböző korú és élő súlyú sertések esetén
(FASS, 2010)

	Kritikus hőmérséklet (°C) (1)	
	Alsó (2)	Felső (3)
Szojtató koca malacaival(4)		
Koca (5)	15	26
Malac (6)	32	Nincs egyértelmű érték (7)
Malac, 3-15 kg (8)	26	32
Malac, 15-35 kg (9)	18	26
Növendék sertés, 35-75 kg (10)	15	25
Hízó sertés, 70-100 kg (11)	10	25
Koca, kan > 100 kg (12)	10	25

Table 1 Lower and upper critical temperatures for pigs of different ages and live weights (FASS, 2010)

critical temperature, °C (1); lower (2); upper (3); lactating sow with piglets (4); sow (5); piglet (6); there is no clear value (7); piglet, 3-15 kg (8); piglet, 15-13 kg (9); growing pig, 35-75 kg (10); fattening pig (11); sow, boar > 100 kg (12)

A táblázat adataiból kitűnik, hogy mind az alsó, mind a felső kritikus hőmérsékleti értékek esetében igen nagy eltérés mutatkozik attól függően, hogy melyik korcsoportról vagy súlykategóriáról van szó.

Abban az esetben, ha az állatok kikerülnek a termoneutrális zónából a hidegebb vagy a melegebb környezetbe, - bár eltérő okok miatt - a hőtermelésük, és így az energia veszteségük is növekszik, az energia értékesülés hatékonysága pedig romlik.

Ha a környezeti hőmérséklet az alsó kritikus hőmérsékleti pont alatt van, akkor az alapanyagcsere során termelődő hőmennyiség nem elegendő a testhőmérséklet fenntartására.

Ezért az állatok extra energia felhasználásával, ún. kémiai hőtermeléssel (a táplálóanyagok elégetésével) tudják csak a fajra, korcsoportra jellemző testhőmérsékletet biztosítani. Amennyiben a testhőmérséklet fenntartásához a kémiai hőtermelés nem elegendő, a hiányzó hőt fizikai aktivitással (izommunkával) biztosítják. Ha a környezet hőmérséklete az adott állatfaj termoneutrális zónája feletti hőmérsékleti tartományban van, akkor az állatok hőtermelése ugyancsak emelkedik. Ilyen körülmények között az állatok intenzívebb vérkeringéssel és tüdőventilációval próbálják testhőmérsékletüket szinten tartani, ami ugyancsak többlet energiát igényel.

Tudnunk kell, hogy ha a környezeti hőmérséklet a felső kritikus érték felett van, a szervezet hőleadása egyre korlátozottabbá válik. A kisebb takarmány felvétel kisebb hőtermelést okoz, ezért annak érdekében, hogy a hőtermelés és a hőleadás egyensúlyban maradjon, az agy ún. „feedback mechanizmusának” köszönhetően az állat takarmány felvétele csökken. Az étvágy csökkenés hátterében tehát az áll, hogy a magas környezeti hőmérséklet hőtorlódást okoz a szervezetben, a hyperthermia (növekvő vagy magas testhőmérséklet) pedig a nyúltagyban csökkenti az étvágyközpont aktivitását. A takarmányfelvétel csökkenését tehát a testhőmérséklet növekedése váltja ki. A hőstressz hatására bekövetkező viselkedésbeli változások is a hőtermelés csökkentését célozzák, ezért pl. az állatok fizikai aktivitása jelentősen mérséklődik (Babinszky és Halas, 2019b).

A hőstressz során a táplálóanyagok és az energia értékesülés hatékonyságában bekövetkező csökkenés oka egyrészt az állatok növekvő energiafelhasználása, másrészt a szervezetben lévő oldatok elektrolit egyensúlyának felborulása, ami zavart idézhet elő a fehérje forgalomban is (Patience, 1990).

Nagy melegben az izzadságmiriggyel nem rendelkező állatok szaporább légzéssel (lihegéssel, zihálással) próbálnak megszabadulni a felesleges hőtől. A gyors légcserével azonban jelentős mennyiségű CO₂ távozik a szervezetből. A CO₂ savas karakterű, légköri nyomáson gáz halmazállapotú vegyület, melynek csökkenése alkalosist okoz a test folyadéktereiben.

A 2. ábra a hőstressz káros hatásait foglalja össze sertéseknél (Cottrell és mtsai, 2015).

Mint az ábrán is látható, a magas környezeti hőmérséklet hatására csökken az állatok takarmányfelvétele és emiatt az állatok növekedése, ugyanakkor növekszik az elhullás. A kocáknál pedig csökken a termékenység, valamint a tejtermelés és így az alom súlygyarapodása is.

Az 2. ábra azt is mutatja, hogy a hőstressz alatti hődisszipáció (az energia egy részének visszafordíthatatlan átalakulása hővé) növekedése miatt a sertéseknél

2. ábra A sertés hőgazdálkodásának áttekintése (Cottrell és mtsai, 2015)

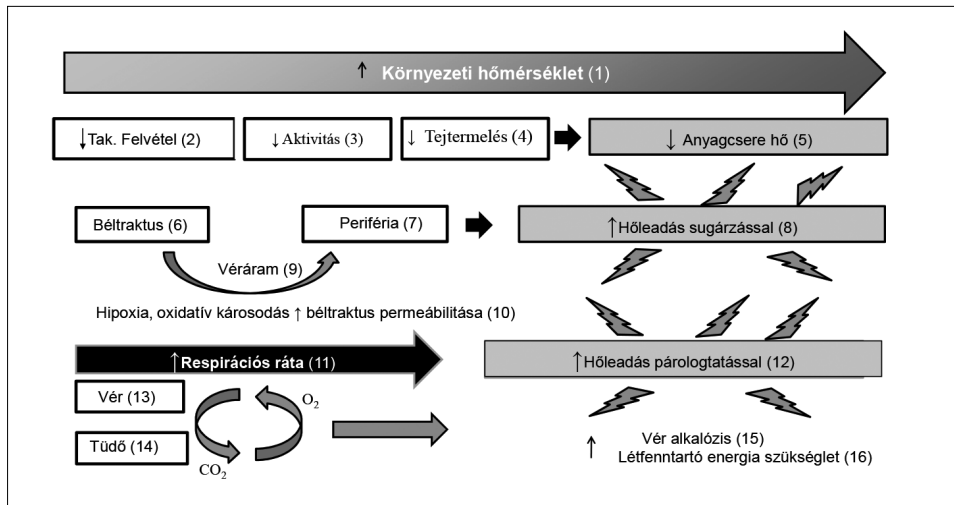


Figure 2. Overview of heat management in the pig (Cottrell et al., 2015)

ambient temperature (1); feed intake (2); activity (3); milk yield (4); metabolic heat (5); GIT tract (6); periphery (7); radiant heat loss (8); blood stream (9); hypoxia, oxidative damage, GIT permeability (10); respiration rate (11); evaporative heat loss (12); blood (13); lungs (14); blood alkalosis (15); maintenance energy demand (16)

csökken a metabolikus hőtermelés, és növekszik a sugárzás és párologás útján történő hőleadás. Ez azt jelenti, hogy a sertések a hőleadást a termelés rovására növelik (Cottrell és mtsai, 2015).

A hőterhelés kialakulásához a környezeti hőmérséklet és páratartalom együttesen járul hozzá. Ha magas a páratartalom, a sertéseknél már sokkal alacsonyabb hőmérsékleten kialakul a hőstressz. A hőstressz mértékének jellemzésére dolgozták ki az Iowa Állami Egyetemen a stressz-index diagramot (3. ábra) (Vandelannoote és mtsai, 2020).

A stressz-index nagy segítséget nyújt a sertéstartóknak a hőstressz elkerülésére szolgáló stratégiák kidolgozásában és végrehajtásában. Mint az a 3. ábrán látható, a veszélyhelyzetet az iowai Állami Egyetem kutatói a következő három kategóriára osztották fel annak megfelelően, hogy milyen az épületben lévő levegő hőmérséklete és páratartalma (Vandelannoote és mtsai, 2020):

1. **Figyelmeztetés (Alert):** Felkészülés a szükséges hűtési intézkedések megtételére; növelni kell a szellőzés sebességét; ahol lehetséges, ott be kell kapcsolni a hűtőventilátorokat; figyelemmel kell kísérni az állatok viselkedését, mint pl. zihálást vagy nyitott szájat; ügyelni kell az ivóvízellátásra (elegendő mennyiségű víz áll-e az állatok rendelkezésére, illetve az önitatók megfelelően működnek-e).
2. **Veszély (Danger):** Ahol a technikai feltételek adottak, alkalmazni kell további hűtési módszereket (állatok permetezése, a szellőztetés intenzitásának növelése).
3. **Vészhelyzet (Emergency):** Kerülni kell a vágási súlyt elért állatok szállítását. A „Veszély” kategóriában felsorolt intézkedéseken kívül a nap legmelegebb szakaszában a napi adagot több kisebb adagban kell adni, csökkenteni kell

3. ábra Hőmérséklet- és páratartalom stressz index növekedék és hizósertések esetén
(Vandelannoote és mtsai, 2020)

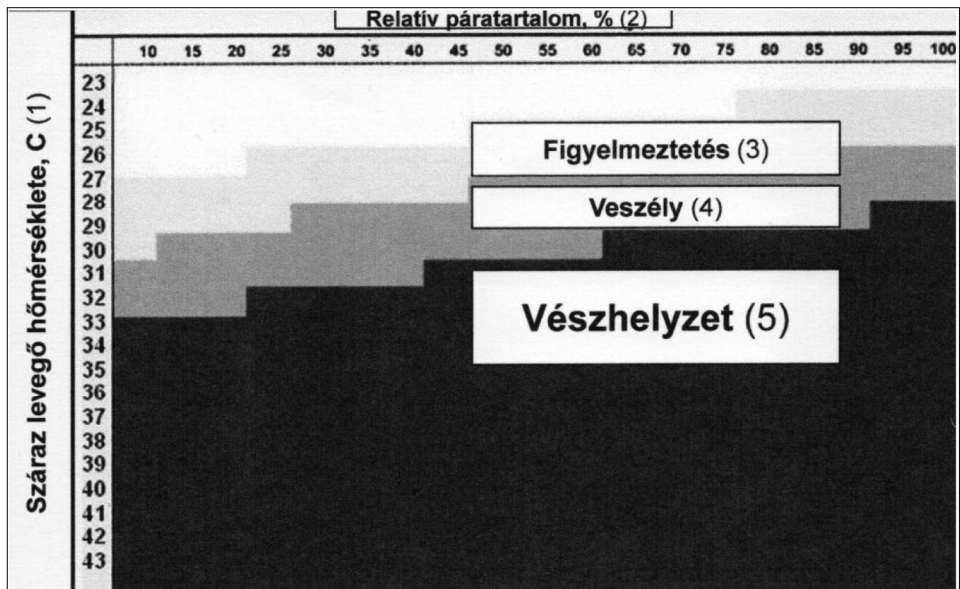


Figure 3. Temperature and humidity stress index for growing and fattening swine

dry-bulb temperature, °C (1); relative humidity, % (2); alert (3); danger (4); emergency (5)

a teremvilágítás intenzitását azért, hogy az állatok aktivitása kisebb legyen, és így a hőtermelésük is csökkenjen.

Mint az eddigiekből is kiderül, ez az ajánlás feltételez egy bizonyos technikai hátteret a sertéstelepeken. Azonban - elsősorban a régebben épített telepeken - ezeknek a technikai berendezéseknek a beszerzése és üzemeltetése igen költséges, és nem biztos, hogy ez a pótlólagos beruházás rentábilis lenne.

Többek között ez is az oka annak, hogy sok országban különböző takarmányozási módszerekkel próbálnak védekezni a magas környezeti hőmérséklet és a hőstressz ellen.

Prooxidáns és antioxidáns mérleg. A magas környezeti hőmérséklet okozta negatív hatások takarmányozás útján történő mérséklése érdekében ismernünk kell azokat a legfontosabb biokémiai és élettani változásokat, melyek a hőstressz hatására az állati szervezetben lejátszódnak. Ezért röviden jellemezzük az antioxidánsokat, valamint a háromszintű antioxidáns védelmi rendszer általános működését.

Antioxidánsok. Az antioxidánsok az élő szervezetben és a táplálékban megtalálható természetes vagy mesterséges vegyületek. Képesek ellensúlyozni a szabadgyökök okozta károsodásokat azáltal, hogy stabilizálni vagy deaktiválni tudják a szabadgyököket, és ily módon megvédik az egészséges sejteket. Megkülönböztünk enzimátikus és nem-enzimátikus antioxidánsokat (Horváth és Babinszky, 2019). Az előbbieket lehetnek elsődlegesek (CAT: kataláz; SOD: szuperoxid-dizmutáz; GPx: glutation peroxidáz) vagy másodlagosak (GR: glutation-reduktáz). Míg az ún.

nem-enzimatis antioxiidánsok közé tartoznak a különböző vitaminok (pl. C-, E-, A-vitamin), valamint az ásványi anyagok egy része (pl. szelén, cink) (Rahman, 2007).

Háromszintű antioxiidáns rendszer. Ismeretes, hogy hőstressz hatására jelentős szabadgyök képződés következik be, az antioxiidáns-prooxiidáns egyensúly eltolódik a prooxiidáns folyamatok irányába, és a lipidperoxidációs folyamatok következtében nekrosis lép fel. Ha valamilyen stressz (pl. hőstressz) hatására felszaporodnak a prooxiidánsok, akkor a háromszintű antioxiidáns védelmi rendszer aktiválódik, amit vázlatosan a 4. ábra foglal össze (Horváth és Babinszky, 2019).

Mint azt a 4. ábra mutatja, stressz esetén a képződött szabadgyökök egy része az első, az ún. enzimatis út vonalon keresztül eliminálódik (Horváth és Babinszky, 2019). A citoszolban a NADPH-oxidáz szuperoxid-aniont (O_2^-), a NADP⁺-oxidáz pedig hidrogén-peroxidot (H_2O_2) termel ①. Az O_2^- vízzel való reakcióban H_2O_2 -dá alakul, melyet a SOD enzim katalizál ②. A H_2O_2 eliminálását a GPx végzi redukált glutation (GSH) felhasználásával. A GPx a citoszolban és a mitokondriumban is megtalálható, ez katalizálja a glutation oxidációját. Az enzim aktivitása függ a pentóz-foszfát ciklus során keletkezett GSH és NADPH mennyiségétől ③. A nagy koncentrációban jelen lévő H_2O_2 a SOD-t inaktiválja, ezért a hidrogén-peroxidnak vízzel és molekuláris oxigénné történő bontását a kataláz enzim végzi, amely elsősorban a vörösvérsejtek peroxiszómáiban (egyszeres hártával körülvett apró sejt szervecskék) található ④. A β -karotin májban történő lebontása során A-vitamin képződik. Az A-vitamin képes hozzákapcsolódni a peroxil gyökhöz, ezáltal megakadályozza a lipidek peroxidációját ⑤.

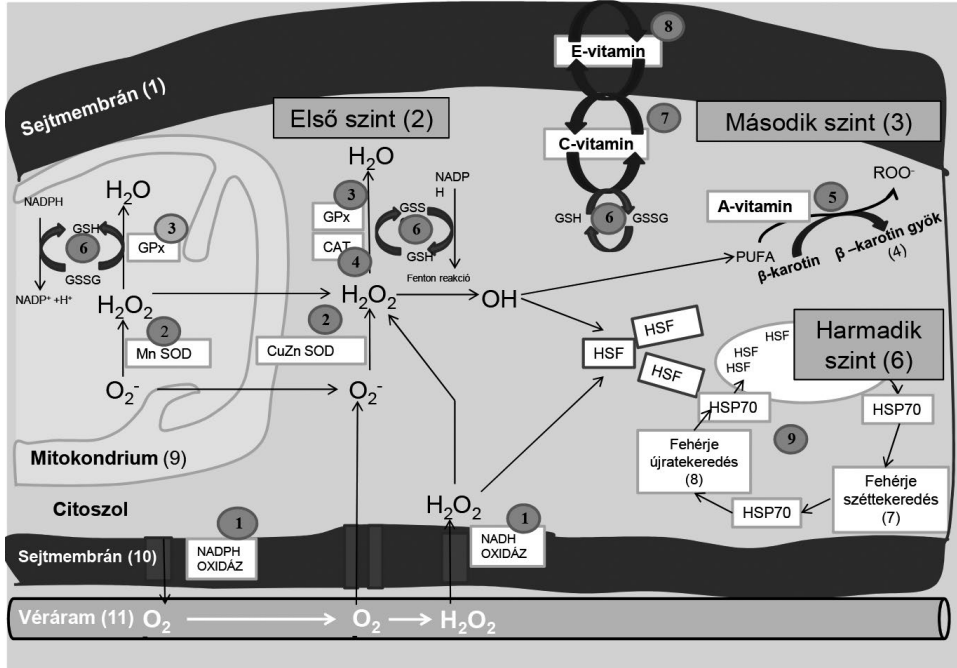
Az első védelmi vonallal egy időben működik az ún. második védelmi vonal, amelybe a kis molekulájú antioxiidáns típusú vegyületek detoxifikációs, ill. regenerációs reakciói tartoznak. A GSH-nak fontos szerepe van a sejtek redoxciklusában. Ez a tripeptid, az élő szervezet legjelentősebb kis molekulájú antioxiidánsa, valamint a GPx-nek kofaktora. Mindemellett erős redukálószer.

A NADPH-függő GR katalizálta reakcióban alakul vissza GSH-vá, biztosítva az egészséges szervezetre jellemző arányt (a redukált és az oxidált forma aránya 500: 1). A GSH képes regenerálni az aszkorbátot is ⑥ (Horváth és mtsai, 2016). A C-vitamin képes az, O_2^- , H_2O_2 , hidroxil gyököt (OH \cdot) és a molekuláris oxigént (O_2) megkötni és semlegesíteni, valamint az E-vitamint biológiailag aktív molekulává regenerálni ⑦. Az E-vitamin a sejtmembránban egy ún. láncmegtörő antioxiidáns szerepet tölt be, mely képes csökkenteni a lipid-peroxidációt ⑧.

A védelmi rendszer harmadik szintje akkor lép működésbe, amikor a károsodás már igen nagymértékű. A sérült rendszereket (fehérje, DNS) ekkor az ún. chaperonok (dajkafehérjék), valamint a DNS-repair enzimek javítják, illetve távolítják el a szervezetből. Alapvető funkciójuk van a szervezet védekezésében, de emellett transzport- és apoptózis folyamatok fontos résztvevői is. Mind endogén, mind exogén stressz-válaszra indukálódnak, expresszójukat a hő-sokk faktorok (HSF) szabályozzák ⑨. Az egyik legismertebb hő-sokk-fehérje a HSP70, mely a citoplazmában található.

Összefoglalva tehát megállapítható, hogy a háromszintű antioxiidáns rendszer első és második védelmi vonala egymást erősítő (szinergizáló) és regeneráló hatással rendelkezik. Fiziológias körülmények között közvetlen enzimatis út vonalon keresztül az enzimek által katalizált reakciók megelőzik, illetve gátolják a szabadgyök képződést. A második védelmi vonal olyan antioxiidáns tulajdonságú

4. ábra A háromszintű antioxidáns rendszer* (Horváth és Babinszky, 2019)



*Az ábrában látható rövidítések:

CAT: kataláz; Cu SOD, Zn SOD: réz- és cink szuperoxid-dizmutáz; GPx: glutation peroxidáz; GR: glutation reduktáz; GSH: glutation; GSSG: glutation diszulfid; H₂O: víz; H₂O₂: hidrogén peroxid; HSF: hő sokk faktor; HSP70: hő sokk fehérje 70; Mn SOD: mangán szuperoxid-dizmutáz; NADH: nikotinamid-adenin-dinukleotid; NADPH: oxidált nikotinamid-adenin-dinukleotid-foszfát; NADP⁺: oxidált nikotinamid-adenin-dinukleotid-foszfát; NADPH: nikotinamid-adenin-dinukleotid-foszfát; O₂⁻: superoxid anion gyök; OH: hidroxil gyök; PUFA: többszörösen telítetlen zsírsav; ROO⁻: peroxil gyök.

Figure 4. Three level antioxidant system (Horváth and Babinszky, 2019)

*Abbreviations in the figure:

CAT= catalase; Cu SOD, Zn SOD= copper- and zinc superoxide dismutase; GPx= glutathione peroxidase; GR: glutathione reductase; GSH= glutathione; GSSG= glutathione disulphide; H₂O= water; H₂O₂= hydrogen peroxide; HSF= heat shock factors; HSP70= heat shock protein 70; Mn SOD= manganese superoxide dismutase; NADH=nicotinamide-adenine-dinucleotide; NADP⁺= oxidized nicotinamide-adenine-dinucleotide-phosphate, NADPH=nicotinamide-adenine-dinucleotide-phosphate, O₂⁻= superoxide anion radical, OH= hydroxyl radical, PUFA= polyunsaturated fatty acids; ROO⁻= peroxy radical.

cell membrane (1); first level (2); second level (3); β-carotene radical (4); third level (6); unfolded proteins (7); refolded proteins (8); mitochondrion (9); cell membrane (10); blood flow (11).

vegyületeket tartalmaz, melyek képesek a keletkezett szabadgyököket semlegesíteni, a lipidperoxidáció okozta láncreakciókat megelőzni és megállítani.

Amennyiben a szabadgyökök semlegesítése nem következik be, a károsodott molekulák helyreállítására vagy eltávolítására van szükség, azért, hogy a sejtek homeosztázisa helyreálljon. Ezt a folyamatot az ún. chaperon fehérjék végzik. A harmadik védelmi vonal feladata pedig a makromolekulák károsodott szakaszainak kijavítása, továbbá a hibás/sérült konformációjú fehérjék szerkezetének helyreállítása, valamint az irreverzibilisen károsodott fehérjék lebontása (Horváth és

mtsai, 2016; Horváth és Babinszky, 2018; Horváth és Babinszky, 2019; Babinszky és Halas, 2019a; Babinszky és mtsai, 2019; Babinszky és mtsai, 2021).

Szükséges hangsúlyozni, hogy takarmányozási módszerekkel (pl. a takarmányhoz kevert antioxidáns tulajdonságokkal bíró vitaminokkal és mikroelemekkel; lásd később) kisebb mértékben az elsőt, míg nagyobb mértékben a második védelmi rendszert tudjuk pozitív irányban befolyásolni.

A HŐSTRESSZ HATÁSA A SERTÉSEK TELJESÍTMÉNYÉRE

Tekintettel arra, hogy a takarmányfelvételt követően megnő a szervezet hőtermelése (emésztési hő: digest heat production), a hőegyensúly fenntartása érdekében nagy melegben az állatok táplálékfelvétele csökken. Ezért a gyakorlatban gyakran alkalmazott módszer, hogy a napi takarmányt több kisebb adagban vagy a hűvösebb napszakban adják az állatoknak.

Kísérleti eredmények bizonyítják, hogy míg a takarmányfogyasztás 25°C-on 20%-kal, addig 30°C-on 40%-kal, 35°C-on pedig már 60%-kal csökken. A 30-33°C-os meleg periódus után azonban a sertések túljutnak a krízisen, és kompenzációs növekedést mutatnak. Azonban 36°C-nál magasabb környezeti hőmérséklet esetén már ez a kompenzációs mechanizmus nem működik. A termoneutrális tartománynál 8°C-kal melegebb hőmérséklet befolyásolja a táplálóanyagok emészthetőségét is (*Quiniou és mtsai, 2000*).

Ismeretes, hogy a sertések számára a lizin általában az elsődleges limitáló aminosav. Ezért a csökkenő mennyiségű ileálisan emészthető lizin negatívan hat a napi testsúlygyarapodásra, a napi fehérjebeépülésre és a takarmányértékesítésre egyaránt (*Babinszky és Halas, 2009*). Míg a hizulás első felében (25-60 kg) 0,6 g, addig a második felében (60-110 kg) 0,5 g ileálisan emészthető lizin / MJ emészthető energia arány szükséges a hízó abrakkeverékekben.

Moreira és mtsai (2021) egy a kereskedelemben kapható sertés fajtával, valamint ennek *Piau* fajtával keresztezett F1 állományból származó állataival vizsgálták a hőstressz hatását. A szerzők azt találták, hogy genotípustól függetlenül a sertések hőstressznek való kitettsége esetén csökkent az átlagos napi takarmány felvétel (-372 g/nap; $p < 0,01$), a napi súlygyarapodás (-185 g/nap; $p < 0,01$) és megnőtt a fajlagos takarmányértékesítés (+0,48 kg/kg; $p = 0,01$) (2. táblázat).

TAKARMÁNYOZÁSI STRATÉGIÁK HŐSTRESSZ ESETÉN

Tekintettel arra, hogy a takarmányfelvételt követően megnő a szervezet hőtermelése, a hőegyensúly fenntartása érdekében nagy melegben az állatok táplálékfelvétele csökken. Ezért a gyakorlatban gyakran alkalmazott módszer, hogy a napi takarmányt több kisebb adagban vagy a hűvösebb napszakban adják az állatoknak. Ugyanakkor az előzőekben tárgyaltak alapján további megoldások is javasolhatók hőstressz esetén. *Babinszky és Halas (2019a)*, valamint *Babinszky és mtsai (2019)* azokat a módszereket ajánlják, melyek (1) csökkentik az állatok hőtermelését, (2) ellensúlyozzák a táplálóanyag felvétel csökkenését és (3) csökkentik a hőstressz okozta anyagcserében bekövetkező változásokat.

Tartós hőstressz esetén érdemes mindezen módszereket együtt alkalmazni a gazdasági haszonállatok termelési színvonalának és az állati termék minőségének biztosítása érdekében (*Babinszky, 2022a*).

A környezeti hőmérséklet hatása az eltérő genetikai kapacitású sertések teljesítményére (Moreira és mtsai, 2021)

2. táblázat

Megnevezés (1)	"A" genotípus ⁽²⁾		"B" genotípus ⁽³⁾		Statistikai analízis (P-érték) (4)		
	22°C	30°C	22°C	30°C	Gen. ⁽⁴⁾ (6)	Hőm. ⁽⁷⁾	Gen. x Hőm. ⁽⁸⁾ (9)
Állatok száma (n) (9)	8	6	9	7			
Induló testtömeg, kg (10)	71,8	71,7	70,3	68,3	2,1	<0,01	0,62
Átl. tak. felvétel, g/d ⁷ (11)	2933	2512	2669	2346	287	0,82	0,35
Átl. súlygyar. g/d ⁸ (12)	1015	773	724	596	193	<0,01	0,39
Fajl. tak. ért., kg/kg ⁹ (13)	2,96	3,55	3,75	4,11	0,87	<0,01	0,86
Záró testtömeg, kg (14)	78,9	76,5	75,4	72,4	1,4	<0,01	0,39
Hátszal. vast., mm ¹⁰ (15)	17,3	16,6	24,5	23,8	4,4	<0,01	0,99

Jelmagyarázat: ¹Átlagos, kereskedelemben kapható fajta; ²Kereskedelemben kapható fajta x Brazíliai Piaú (F-1); ³Root Mean Square Error; ⁴Genotípus; ⁵Környezeti hőmérséklet; ⁶Genotípus x környezeti hőmérséklet interakció; ⁷Átlagos napi takarmányfelvétel; ⁸Átlagos napi súlygyarapodás; ⁹Fajlagos takarmányértékesítés; ¹⁰Hátszalóna vastagság.

Table 2. The effect of environmental temperature on the performance of pigs with different genetic capacities (Moreira et al, 2021)

item (1); genotype "A" (2); genotype "B" (3); statistical analysis, P-value (4); Root Mean Square Error (5); genotype (6); environmental temperature (7); genotype x temperature interaction (8); number of animals (9); initial body weight (10); average daily feed intake (11); average daily gain (12); feed conversion rate (13); final body weight (14); backfat thickness (15)

Footnote: ¹Commercial breed; ²Commercial and crossbred (Brazilian Piaú x commercial) pigs; ³Root Mean Square Error; ⁴Genotype; ⁵Environmental temperature; ⁶Genotype x Temperature interaction; ⁷Average daily feed intake; ⁸Average daily gain; ⁹Feed conversion rate; ¹⁰Backfat thickness.

(1) A szervezet hőtermelésének csökkentését célzó takarmányozási lehetőségek

A szervezet hőtermelését a következő módszerekkel lehet befolyásolni:

- takarmány kiegészítése zsírral
- alacsony fehérjetartalmú takarmány etetése szintetikus aminosav kiegészítésével az ún. ideális fehérje elv figyelembevételével
- a takarmány betainnal (trimetil-glicinnel) való kiegészítésével

Takarmány kiegészítése zsírral. Más táplálóanyagokhoz képest a szervezetben való értékesülése során a zsírnak a legkisebb a hőtermelése, akár zsírbeépülésre, akár energianyérésre fordítódik. Ezért a nagy zsírtartalmú takarmányok csökkentik az állatok összes hőtermelését. Hőstressz során ezért a takarmány visszautasítása kisebb, vagy egyáltalán nem tapasztalható, ha zsírkiegészítést alkalmazunk. A takarmányok zsírkiegészítésével nő a keverék energia tartalma, mivel a zsírforrások (növényi és állati eredetűek) energiatartalma nagyobb a többi táplálóanyaghoz viszonyítva. A kritikus hőmérséklet felett a takarmány zsírkiegészítésével az állat energiaszükséglete pontosan kielégíthető, még akkor is, ha a takarmányfelvétel valamelyest csökken.

A hőleadás nehézségekre ütközik laktáció alatt is. A szoptató kocák étvágya csökken, így a napi takarmányfelvételük is. Ennek következtében a tejtermelésük kisebb, így a malacok nem jutnak elég tejhez, ezért lassabban fejlődnek és nőhet az éhezés, valamint a mortalitásra való hajlam. Az idevonatkozó vizsgálatok eredményei azonban azt mutatják, hogy a laktáció alatt a nyári (meleg) időszakban a szoptató kocák nagy zsírtartalmú (125 g/kg szárazanyag) takarmánnyal való etetésekor a kocák hőtermelése csökken, ami pozitívan befolyásolja a kocák energia- és takarmányfelvételét (Babinszky, 1998) (3. táblázat).

3. táblázat

A takarmány zsírtartalmának hatása a szoptatókocák hőtermelésére és a tejtermelés energetikai hatékonyságára (Babinszky, 1998)

Megnevezés (1)	Takarmány zsírtartalma (2)		RMSE ¹ (3)
	AZS ² (4)	NZS ³ (5)	
ME felvétel (MJ/kg ^{0.75} /nap) (6)	1445	1404	112
Hőtermelés (MJ/kg ^{0.75} /nap) (7)	771 ^a	719 ^b	18
Tejtermelés energetikai hatékonysága (%) (8)	70 ^a	73 ^b	1

¹ Root Mean Square Error

² AZS: Alacsony zsírtartalom (37 g zsír/kg szárazanyag);

³ NZS: Nagy zsírtartalom (125 g zsír/kg szárazanyag).

^{a, b} Az azonos sorban eltérő betűvel jelölt átlagok szignifikánsan különböznek egymástól (p<0,05).

Table 3. The effect of the fat content of the diet on the heat production of lactating sows and the energetic efficiency of milk production (Babinszky, 1998)

item (1); fat content of the diet (2); Root Mean Square Error (3); low fat content (37 g fat/kg dry matter) (4); high fat content (125 g fat/kg dry matter) (5); ME intake (MJ/kg^{0.75}/d) (6); heat production (MJ/kg^{0.75}/d) (7); energetic efficiency of milk production, % (8)

^{a, b} Different superscripts in the same row indicate significant difference between treatments (p<0.05).

A zsírnak a takarmányhoz való hozzáadása azért idézi elő a hőtermelés csökkenését, mert a zsírnak kisebb a hőnövekménye (Heat Increment), mint a szénhidrátoké. A hőnövekmény (hőszaporulat) a takarmány elfogyasztása és emésztése, valamint a táplálóanyagoknak a bélből történő felszívódása és szállítása során keletkező összes hő. A hőnövekmény fontos információt ad a különböző táplálóanyagok hatékonyságában mutatkozó különbségekről.

Alacsony fehérjetartalmú takarmány etetése szintetikus aminosav kiegészítéssel. Az ideális fehérje elv szerint összeállított takarmány pontosan fedezi a fehérje szintézishez szükséges aminosavakat, így nincs olyan aminosav, ami feleslegben lenne. Az aminosavak oxidációja jelentős hővesztéssel jár, ami nagy melegben megterheli a szervezet hőháztartását. Az ideális fehérje elv figyelembevételével összeállított abrakkeverékek esetén a hőszaporulat minimális, így az nem csökkenti az állatok takarmányfelvételét.

A takarmány betainnal (trimetil-glicinnel) való kiegészítése. A betain (trimetil-glicin) egy köztes anyagcsere termék, mely a szervezetben elsősorban kolinból képződik. A betain befolyásolja az ozmotikus viszonyokat és metil donorként részt vesz bizonyos folyamatokban. Schrama és mtsai (2003) vizsgálatai igazolták, hogy termoneutrális milióban tartott sertéseknél a takarmány betain kiegészítése (1,23 g/kg) csökkentette az állatok hőtermelését. Egyre több adat áll rendelkezésünkre arra vonatkozóan, hogy hőstressz során a betain etetés sertés mellett baromfi esetében is hatékonyan alkalmazható. A hatásmechanizmus valószínűleg összetett, hiszen a hőtermelés csökkentésén kívül nagyon fontos, hogy a szervezet antioxidáns védelmében kulcsszerepet játszó glutation peroxidáz enzim szintéziséhez metil donorként járul hozzá, valamint az a tény, hogy a sejtek ozmolaritásának szabályozásával támogatja a szervezet vízvisszatartását.

(2) A táplálóanyag ellátás csökkenését kompenzáló takarmányozási lehetőségek

Tekintettel arra, hogy mind a takarmány felvétel, mind pedig a táplálóanyagok emészthetősége csökken a hőstressz hatására nagy melegben, koncentráltabb, emészthető táplálóanyagban gazdag takarmányokat kell használni. Ennek megvalósításához igénybe kell venni a takarmánygyártás-technológia adta lehetőségeket (hidrotermikus kezelések, mikronizálás, stb.), illetve növelni kell a vitaminok és ásványi anyagok mennyiségét, esetleg javítani ezek biológiai hozzáférhetőségét. A táplálóanyagok biológiai hozzáférhetőségének javítása egyrészt pl. sertések estében a vékonybél végéig történő emésztés javításával, másrészt a felszívódott táplálóanyagok értékesülésének fokozásával (pl. szerves kötésű mikroelemek) érhető el. A táplálóanyagok (fehérjék, aminosavak, zsírok, P, Ca, stb.) ileális emészthetőségét ún. szubsztrát (takarmány) specifikus enzimekkel (xilanáz, glükánáz, fitáz, stb.) tudjuk javítani.

Azon módszerek alkalmazása, melyek javítják a táplálóanyagok emészthetőségét és biológiai hozzáférhetőségét környezetvédelmi szempontból is kívánatos. A táplálóanyagok emészthetőségének és értékesülésének javításával, valamint az állatok szükségletének pontos kielégítésével jelentősen csökkenthető az állattartás okozta környezeti terhelés is. Ugyanakkor elmondható, hogy a takarmányok táplálóiértékének javítása különösen fontossá válik meleg klimatikus viszonyok között.

(3) A hőstressz metabolikus hatásainak csökkentése

A hőstressz különösen nagy kihívást jelent a szervezet antioxidáns védelme, valamint az ionegyensúly fenntartása szempontjából. Az antioxidáns védelemben az E-vitamin, a C-vitamin, az A-vitamin, a mikroelemek közül a Se valamint a Zn játszik főszerepet. Az idevonatkozó vizsgálatok eredményei szerint a felsorolt táplálóanyagok javítják a gazdasági haszonállatok lipidperoxidáció elleni védelmét, azonban hőstressz során ezen antioxidánsok iránti igénye is nagyobb a szervezetnek. Ezért fontos kiemelni, hogy bár a vitamin- és ásványi anyag kiegészítés nem minden esetben javítja a meleg környezetben tartott állatok termelési színvonalát vagy az állati termék minőségét, azonban az állat egészségi állapotának fenntartásához mindenképpen nélkülözhetetlenek. Hőstressz során megnő a Na és K ürítés, valamint a szervezet vízvesztése is, melyek együttes hatására megváltozhat a szervezet sav/bázis egyensúlya. A monovalens (egyértékű) ionok takarmánnyal történő pótlásával a test vízvisszatartásának csökkenése enyhíthető. Erre alkalmas só készítmények között az ammónium-klorid, a Na- és a K-bikarbonát, a Na- és K-hidrokarbonát, a K-szulfát, melyeket a baromfi, a sertés, de a kérődző takarmányozásban egyaránt használnak.

A klímaváltozás nemkívánatos következményei nagyobb mértékben csökkenthetők az itt felsorolt lehetőségek együttes alkalmazásával.

A HŐSTRESSZ HATÁSA A SERTÉSEK VÍZSZÜKSÉGLETÉRE

A gazdasági haszonállatok szakszerű takarmányozása mellett a jó minőségű és elegendő mennyiségű ivóvíz biztosítása minden körülmények között fontos előfeltétele a jó minőségű állati eredetű élelmiszer alapanyagok termelése szempontjából. Ez a megállapítás különösen igaz magas környezeti hőmérséklet és hősokk esetén. Kívánatos, hogy a jó minőségű ivóvíz tiszta, egészséges, emberi fogyasztásra is alkalmas legyen, és elegendő mennyiségben álljon az állatok rendelkezésére függetlenül attól, hogy istállózott vagy legelő tartásról van-e szó.

Az ivóvíz minőségét általános (nem specifikus) és specifikus paraméterek alapján határozzák meg. A specifikus paraméterek meghatározásához egzakt kémiai, mikrobiológiai és bakteriológiai vizsgálatok elvégzése szükséges.

Általánosságban elmondható, hogy a jó minőségű ivóvíz friss, nem meleg és nem túl hideg (legkedvezőbb hőmérséklet: 10-15°C), tiszta, áttetsző, szagtalan, közepesen kemény (8 -18 német keménységi fok) jó ízű, szerves anyagot csak nyomokban, fertőző mikroorganizmusokat, élősködőket, petéket, kénhidrogént, fenolokat és egyéb mérgező anyagokat viszont egyáltalán nem tartalmaz.

Az állatok ivóvízfelvételét gyakorlatilag az határozza meg, hogy milyen mennyiségű folyadék szükséges a homeosztázis fenntartásához.

Az állatok vízszükségletét (vízfelvételét) több tényező is befolyásolja (*Babinszky, 2022b*).

Így pl.

- az állat faja, kora, élősúlya
- a súlygyarapodás mértéke és annak kémiai összetétele
- a reprodukciós fázis (vemhesség, laktáció)
- a fizikai aktivitás mértéke
- a takarmány típusa (száraz vagy nedves)

- a takarmány összetétele, sótartalma
- a takarmány (szárazanyag) felvétel mértéke
- a környezet hőmérséklete és relatív páratartalma

A fenti tényezők közül napjainkban különösen aktuális és fontos ismerni a környezeti hőmérsékletnek az állatok vízszükségletére gyakorolt hatását.

Sertések esetében akár nedvesen, akár szárazon takarmányozunk, mindig szükség van külön vízfelvételi lehetőségre. Különösen kritikus a vízfelvétel a laktáció idején, valamint magas környezeti hőmérséklet (hősokk) esetén. Általánosan elfogadott szabály, hogy a közel termoneutrális zónában tartott választott malacok vízfogyasztása a malacnevelés időszakában a mindenkori takarmányfogyasztás 2-2,5-szerese. A hízósertések napi vízigénye 6-8 liter, a vemhes kocáké 8-10 liter, a szoptató kocáké 24-45 liter (*Babinszky, 2022*).

Hőstressz esetén azonban az állati szervezet vízvesztése jelentősen megnő, így a vízszükséglet megemelkedik. Kísérletek igazolták, hogy pl. egy 60-70 kg élő súlyú sertés hőstressz során 1°C környezeti hőmérséklet növekedés esetén napi 115 g vizet veszít (*Huynh és mtsai 2005*). *Schiavon és Emmans (2000)* becslése szerint a sertések vízfelvétele napi 0,1 literrel nő a környezeti hőmérséklet minden 1°C-os emelkedésével a 6°C és 32°C közötti széles skálán (*Meunier-Salaün és mtsai, 2017*).

KÖVETKEZTETÉSEK

A jelen közleményben bemutatott és megbeszélt adatok alapján az alábbi fontosabb következtetések vonhatók le:

1. A gazdasági haszonállatok a magas környezeti hőmérsékletet kevésbé tolerálják, mint a hidegebb környezetet, ezért a takarmányozási stratégiák kialakításánál elsősorban a hőstressz negatív hatásának csökkentésére vagy eliminálására kell törekednünk.

2. A hőstressz hatására jelentős szabadgyök képződés következik be, az antioxidáns- prooxidáns egyensúly eltolódik a prooxidáns folyamatok irányába. A lipidperoxidációs folyamatok következtében nekrozis lép fel, az állatok termelése és az állati eredetű élelmiszer alapanyag minősége pedig romlik.

3. A sertéstartásban a hőstressz káros hatásának csökkentésére többféle takarmányozási lehetőség áll rendelkezésre:

A szoptatókoca takarmányába ajánlatos nagyobb adagú zsírt (125 g zsír/kg sz.a.) keverni. A betainnak 1,23 g/kg koncentrációban való takarmányba keverése ugyancsak hozzájárul az állatok hőtermelésének csökkentéséhez. További lehetőség a hőstressz okozta takarmány felvétel csökkenésének kompenzálására a koncentráltabb táplálóanyag tartalmú takarmány etetése. Az állat antioxidáns státusza javítható a takarmánynak A-, C-, E-vitaminnal, és/vagy cinkkel és szelénnel való kiegészítésével. Az állati szervezet ionegyensúlynak javítására javasolható a takarmány nátrium- és kálium-bikarbonáttal, ammónium-kloriddal, vagy kálium szulfáttal való kiegészítése.

Az adalékok alkalmazásának mértéke elsősorban a telepen etetett alaptakarmány energia-, táplálóanyag-, ásványianyag- és vitamintartalmától, valamint a telepi állomány genetikai konstrukciójától, továbbá az aktuális környezeti hőmérséklettől függ.

4. Hőstressz esetén az ajánlott takarmányozási módszerek kombináltan is alkalmazhatók.

5. Magas környezeti hőmérséklet esetén különösen fontos, hogy a sertéseknek jó minőségű és elegendő mennyiségű ivóvíz álljon rendelkezésére.

IRODALOMJEGYZÉK

- Akbarian, A. - Golian, A. - Kermanshahi, H. - De Smet, S. - Michiels, J. (2015): Antioxidant enzyme activities, plasma hormone levels and serum metabolites of finishing broiler chickens reared under high ambient temperature and fed lemon and orange peel extracts and Curcuma xanthorrhiza essential oil. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.*, 1. 150-162.
- Babinszky, L. (1998): Dietary fat and milk production (Chapter 8). In: M.W.A. Verstegen, P. J. Moughan and J.W. Schrama (Eds). *The Lactating Sow*. Wageningen Pers. Wageningen. The Netherlands. 143-157.
- Babinszky, L. (2022a): Lehetőségek a magas környezeti hőmérséklet káros hatásának csökkentésére a sertés- és a brojler takarmányozásban. E-könyv. Szaktudás Kiadó, Budapest. ISBN 978-963-575-090-0 <https://szaktudas.hu/webshop/656-lehetosegek-a-magas-kornyezeti-homerseket-karos-hatasainak-csokkentese-a-sertes-es-brojliertakarmanyozasban>
- Babinszky, L. (2022b): A gazdasági haszonállatok vízigenye. Minőség és mennyiség. E-könyv. Szaktudás Kiadó, Budapest. ISBN 978-963-575-100-6 <https://szaktudas.hu/webshop/707-a-gazdasagi-hazonallatok-vizigenye>
- Babinszky, L. - Halas, V. (2009): Innovative swine nutrition: some present and potential applications of latest scientific findings for safe pork production. *It. J. Anim. Sci.*, 8. 7-20.
- Babinszky, L. - Dunkel, Z. - Tóthi, R. - Kazinczi, G. - Nagy, J. (2011a): The impacts of climate change on agricultural production, *Hung. Agric. Res.*, 2. 14-20.
- Babinszky, L. - Halas, V. - Verstegen, M. W. A. (2011b): Impacts of climate change on animal production and quality of animal food products (Chapter 10). In: H. Blanco and H. Kheradmand (Eds). *Climate Change – Socioeconomic Effects*. InTech Open Publisher London. UK. 165-190.
- Babinszky, L. - Halas, V. (2019a): Az éghajlatváltozás, a növények fotoszintézise és a haszonállatok takarmányozása közötti kapcsolat (15. fejezet). In: Babinszky L. és Halas V. (Szerk.) *Innovatív takarmányozás*. Akadémiai Kiadó, Budapest., 643-696.
- Babinszky, L. - Halas, V. (2019b): Létfenntartó táplálóanyag szükséglet (8.2. fejezet). In: Babinszky L. és Halas V. (Szerk.) *Innovatív takarmányozás*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 380-399.
- Babinszky, L. - Horváth, M. - Remenyik, J. - Verstegen, M. W. A. (2019): The adverse effects of heat stress on the antioxidant status and performance of pigs and poultry and reducing these effects with nutritional tools (Chapter 8). In: W. H. Hendriks, M. W. A. Verstegen and L. Babinszky (Eds). *Poultry and pig nutrition, Challenges of the 21st century*. Wageningen Academic Publishers. 187–208.
- Babinszky, L. - Szabó, Cs. - Horváth, M. (2021): Perspective Chapter: Using feed additives to eliminate harmful effects of heat stress in broiler nutrition (Chapter 5). In: L. Babinszky, J. Oliveria, M. Santos (Eds.). *Advanced studies in the 21st century animal nutrition*. Intech Open Publisher, London, UK, 71-98.
- Cottrel, J. J. - Liu, F. - Hung, A. T. - DiGiacomo, K. - Chauhan, S. S. - Leury, B. J. - Furness, J. B. - Celi, P. - Dunshea, F. R. (2015): Nutritional strategies to alleviate heat stress in pigs. *Anim. Prod. Sci.*, 55. 1391–1402.
- Dunkel, Z. (2019): Az éghajlatváltozás (15.2. fejezet). In: Babinszky L. és Halas V. (Szerk.) *Innovatív takarmányozás*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 644-649.
- FASS (*Federation of Animal Science Societies*). (2010): *Guide for the care and use of agricultural animals in agricultural research and teaching*. Federation of Animal Science Societies, Savoy, IL, USA

- Hall, D. M. - Baumgardner, K. R. - Oberley, T. D. - Gisolfi, C. V. (1999): Splanchnic tissues undergo hypoxic stress during whole body hyperthermia. *Am. J. Physiol. Gastrointest. Liver Physiol.*, 5. 1195-1203.
- Hammami, M. M. - Bouchama, A. - Shail, E. - Aboul-Enein, H. Y. - Al-Sedairy, S. (1998): Lymphocyte subsets and adhesion molecules expression in heatstroke and heat stress. *J. Appl. Physiol.*, 84. 1615-1621.
- Horváth, M. - Asbóth, G. - Gálné Remenyik, J. - Babinszky, L. (2016): A hő-stressz káros hatása a brojler antioxidáns státuszára és ezen hatás csökkentése takarmányozással: I. rész A hő-stressz és az antioxidáns védelmi rendszer. *Magy. Állatorvosok*, 8. 471-481.
- Horváth, M. - Babinszky, L. (2018): Impact of selected antioxidant vitamins (vitamin A, E and C) and micro minerals (Zn, Se) on the antioxidant status and performance under high environmental temperature in poultry. A review. *Acta Agric. Scand. Section A: Anim. Sci.*, 3. 151-160.
- Horváth, M. - Babinszky, L. (2019): A környezeti hőmérséklet hatása a gazdasági haszonállatok prooxidáns és antioxidáns mérlegére (15.4. fejezet). In: Babinszky L. és Halas V. (Szerk.) *Innovatív takarmányozás*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 668-673.
- Horváth, M. - Babinszky, L. (2020): A hőstressz káros hatásának csökkentése nagy genetikai kapacitású hízősertésekben speciális diétákkal. *Magy. Állatorvosok*, 3. 145-158.
- Huynh, T. T. - Aarnink, A. J. A. - Verstegen, M. W. A. - Gerrits, W. J. J. - Heetkamp, M. J. W. - Kemp, B. - Cahn, T. T. (2005): Effects of increasing temperatures on physiological changes in pigs at different relative humidities. *J. Anim. Sci.*, 83. 1385-1396.
- Lambert, G. P. (2009): Stress-induced gastrointestinal barrier dysfunction and its inflammatory effects. *J. Anim. Sci.*, 87. 101-108.
- Lambert, G. P. - Gisolfi, C. V. - Berg, D. J. - Moseley, G. P. L. - Oberley, L. W. - Kregel, K. C. (2002): Selected contribution: Hyperthermia-induced intestinal permeability and the role of oxidative and nitrosative stress. *J. App. Physiol.*, 4. 1750-1761.
- Legg, T. - Higuera, V. (2018): What is general adaptation syndrome? <https://www.healthline.com/health/general-adaptation-syndrome>
- Li, Y. R. (2011): Free radicals and related reactive species (Chapter 2). In: Y. R. Li (Ed). *Free Radical Biomedicine: Principles, Clinical Correlations and Methodologies*. Bentham Science Publishers. 10-39.
- Meunier-Salaün, M. C. - Chiron, J. - Etoze, F. - Fabre, A. - Laval, A. - Pol, F. - Prunier A. - Ramonet, Y. - Nielsen, B. L. (2017): Review: Drinking water for liquid-fed pigs. *Animals*, 5. 836-844.
- Moreira, V. E. - Veroneze, R. - Teixeira, A. R. - Campos, L. D. - Lino, L. F. L. - Santos, G. A. S. - Silva, B. A. N. - Campos, P. H. R. F. (2021): Effects of ambient temperature on the performance and thermoregulatory Responses of commercial and crossbred (Brazilian Piau Purebred Sires × Commercial Dams) growing-finishing pigs. *Animals*, 11. 3303. <https://doi.org/10.3390/ani11113303>.
- NASA (*National Aeronautics and Space Administration*). (2023): Global warming: Global Warming vs. Climate Change | Facts – Climate Change: Vital Signs of the Planet ([nasa.gov](https://climate.nasa.gov)) <https://climate.nasa.gov/global-warming-vs-climate-cha>.
- National Geographic. (2019): What is global warming, facts and information ([nationalgeographic.com](https://www.nationalgeographic.com/environment/article/global-warming-overview)) <https://www.nationalgeographic.com/environment/article/global-warming-overview>
- Noblet, J. - Le Dividich, J. - van Milgen, J. (2001): Thermal environment and swine nutrition, In: A. J. Lewis and L. L. Southern (Eds). *Swine Nutrition*. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA. 519-544.
- Patience, J. F. (1990): A review of the role of acid-base balance in amino acid nutrition. *J. Anim. Sci.*, 68. 398-408.
- Patience, J. F. - Umboh, J. F. - Chaplin, R. K. - Nyachoti, C. M. (2005): Nutritional and physiological responses of growing pigs exposed to a diurnal pattern of heat stress. *Livest. Prod. Sci.*, 2-3. 205-214.

- Quiniou, N. - Dubois, S. - Noblet, J. (2000): Voluntary feed intake and feeding behavior of group-housed growing pigs are affected by ambient temperature and body weight. *Livest. Prod. Sci.*, 3. 245–253.
- Rahman, K. (2007): Studies on free radicals, antioxidants and co-factors. *Clinic. Interven. in Aging*. 2. 219-236.
- Rollwagen, F. M. - Madhavan, S - Singh, A. - Li, Y. Y. - Wolcott, K. - Maheshwari, R. (2006): IL-6 protects enterocytes from hypoxia-induced apoptosis by induction of bcl-2 mRNA and reduction of fas mRNA. *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, 4. 1094-1098.
- Ross, J. W. - Hale, B. J. - Gabler, N. K. - Rhoads, R. P. - Keating, A. F. - Baumgard, L. H. (2015): Physiological consequences of heat stress in pigs. *Anim. Prod. Sci.*, 12. 1381-1390.
- Schiavon, S. – Emmans, G. C. (2000): A model to predict water intake of a pig growing in a known environment on a known diet. *Brit. J. Nutr.*, 84. 873–883.
- Schrama, J.W. - Heetkam, M. J. W. - Simmins, P. H. – Gerrits, W. J. J. (2003): Dietary betaine supplementation affects energy metabolism of pigs. *J. Anim. Sci.*, 81. 1202-1209.
- Valló, Á. (2013): A stressz élettani hatásai. <http://www.valloagnes.hu/content/view/page:stressz-elettani-hatasai/p:63-71>
- Vandelannoote, L. - Vermeer, H. - Romans, E. F. - Rawlikowska, A. M. - Courboulay, V. (2020): Solutions for heat stress. EU PiG Innovation Group. Technical Report – Welfare. Deliverable D4.12. *Ref. Ares (2020) 4602851 - 04/09/2020*. 42.
- Yang, L. - Tan, G. Y. - Fu, Y. Q. – Feng, J. H. – Zhang, M. H. (2010): Effects of acute heat stress and subsequent stress removal on function of hepatic mitochondrial respiration, ROS production and lipid peroxidation in broiler chickens. *Comp. Biochem. Physiol. Part C: Toxicology & Pharmacology*. 2. 204-208.

Érkezett: 2023. július

Szerző címe: Babinszky L.
Debreceni Egyetem
Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar
Takarmányozás Élettani Tanszék
Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Kaposvári Campus
Élettani és Takarmányozástani Intézet
babinszky@agr.unideb.hu

Author's address: University of Debrecen
Faculty of Agricultural and Food Sciences and Environmental Management
Department of Animal Nutrition Physiology
H-4032 Debrecen, Böszörményi út 138.
Hungarian University of Agriculture and Life Sciences Kaposvár Campus
Institute of Animal Physiology and Nutrition
H-7400 Kaposvár, Guba S. út 40.

A NAPOS KORI HŐKEZELÉS TRANZGENERÁCIÓS HATÁSAINAK VIZSGÁLATA HÁZITYÚKBAN

LÁZÁR BENCE - TOKODYNÉ SZABADI NIKOLETT - TÓTH ROLAND - ECKER ANDRÁS -
URBÁN MARTIN - VÁRKONYI ESZTER - LIPTÓI KRISZTINA - GÓCZA ELEN

ÖSSZEFOGLALÁS

A jövőben az állatok adaptációs képességének kiaknázása elengedhetetlen lesz egy hatékonyabb, versenyképesebb állattenyésztés kialakításában. A kutatásunk célja egy olyan eljárás kidolgozása volt, amely lehetővé teszi a magas hőmérséklet tolerálására képes baromfi vonalak létrehozását. Ennek érdekében egy speciális hőkondicionálási módszert kívántunk alkalmazni, amely segít enyhíteni a magas hőmérséklet okozta stressz következményeit. A vizsgálataink során ősvarsejteket (primordial germ cell, PGC) használtunk, amelyek hatékonyan alkalmazhatók a génmegőrzésben, illetve *in vitro* modellrendszerekben is, a molekuláris biológiai folyamatok tanulmányozására. 26 ősvarsejt vonalat hoztunk létre kontroll (C), hőkondicionált majd hőstresszen átesett (HTHS), illetve csak hőstresszelt (HS) állatok utódjainak embrióiból izolált ősvarsejtekből. Az RNS-szekvenálási és a teljes genom biszulfid szekvenálási (WGBS) adatok elemzésével számos expressziós különbséget azonosítottunk a hőkondicionált és a hőstresszelt PGC-vonalak között. Szignifikáns különbségeket figyeltünk meg a DMRT1 transzkripció faktor expressziós profiljában is. Eredményeink arra utalnak, hogy a hőkondicionálás epigenetikai változásokat indukál a csírasejtekben, és ezek a változások öröklődhetnek a következő generációkra.

SUMMARY

Lázár, B. – Tokodyné Szabadi, N. – Tóth, R. – Ecker, A. – Urbán, M. – Várkonyi, E. – Liptói, K. – Gócza, E.: INVESTIGATION OF THE TRANSGENERATIONAL EFFECTS OF DAY-OLD HEAT TREATMENT IN DOMESTIC CHICKENS

In developing the future of agriculture, the adaptation ability of animals will play an important role. Our research aimed to create a method that enables the creation of poultry lines capable of tolerating higher temperatures. For this purpose, we wanted to use a specialized heat conditioning technique to moderate the consequences of high temperature-induced stress. Our research utilizes primordial germ cells (PGCs), which are progenitors of germ cells and are effectively used for genetic preservation and studying molecular biological processes as an *in vitro* model system. We established 26 PGC lines derived from offspring of control (C), heat-conditioned and heat-stressed (HTHS), and only heat-stressed (HS) animals. We identified numerous expression differences between the heat-conditioned and heat-stressed PGC lines by analysing the RNA sequencing and whole genome bisulfite sequencing (WGBS) data. Significant differences were observed in the DMRT1 transcription factor expression profile, too. Our results indicate that heat conditioning induces epigenetic changes in germline cells, and these changes can be inherited by subsequent generations.

IRODALMI ÁTTEKINTÉS

A globális felmelegedés és éghajlatváltozás hatásai közé tartozik a környezeti tényezők egyre szélesebb skálán történő ingadozása, éves és szezonális szinteken is, extrém éghajlati eseményekkel kombinálva. Ezért a rövid-, illetve a hosszútávú alkalmazkodás az állatok számára egyre nagyobb kihívást jelent, mivel a környezeti feltételek jelentősen változhatnak generációról generációra. A globális felmelegedés különböző stresszhatásoknak teszi ki a gazdasági haszonállatokat is, a megnövekedett hőstressz, a takarmányok összetételének állandó változása a rendelkezésre álló alapanyagok folyamatos változása, valamint újabb és újabb kórokozók megjelenése miatt (*Rojas-Downing és mtsai, 2017; Godde és mtsai, 2021*).

A kutatókat régóta foglalkoztatja a házityúk alkalmazkodó képességének javítása. A cél az, hogy a hűvösebb éghajlatú területeken kitenyészített, nagyobb hús-, és tojás termelési képességekkel rendelkező házityúk teljesítménye ne romoljon magas átlaghőmérsékletű környezetben sem. A magas hőmérséklet negatívan befolyásolja mind a szaporodásbiológiai, mind a termelési paramétereket, ez pedig súlyos gazdasági károkat okoz (*Nawab és mtsai, 2018; Lara and Rostagno, 2013*).

Ezek a stresszhatások az ivarsejtekben epigenetikai változásokat hoznak létre, ami segíthet az utódok jobb alkalmazkodó képességének kialakításában a megújuló környezeti feltételek között (*Sun és mtsai, 2017*). Azonban, ha az epigenetikai átprogramozás időszakában extrém stresszhatások érik az egyedeket, ez negatívan is befolyásolhatja a termelést, szaporodást és az egészséget. Ezért a negatív hatások enyhítése érdekében különös figyelmet kell fordítani az állatok megfelelő gondozására azokban az időszakokban, amikor az epigenetikai változások kódolódnak az ivarsejtekben, amelyek aztán a következő generációkra is átadódhatnak (*Gershoni, 2023*). Ezt el lehet érni az állatházak hűtési technológiájának javításával, nagy hangsúlyt fektetve az ivarérésre és a későbbi reprodukciós időszakban történő hűtésre. További javulás érhető el az állatok megfelelő takarmányozásával. Tenyésztési technológiák általában kevesebb hím egyed bevonását igénylik a tenyésztési folyamatba, ezért egyetlen egyedben létrejövő negatív változás is hatással lehet az egész populációra.

Az utóbbi években számos tanulmány jelent meg arról (*Dunislawska és mtsai, 2021; Sasaki és Matsui, 2008; Kota és Feil, 2010; Verdikt és Allard, 2021*), hogy az epigenetikai változások, beleértve a DNS metilációt és a hiszton módosulását, fontos szerepet játszanak az ivarsejtek differenciálódása során. Epigenetikai változások irányítják az ivarsejtek érésének folyamatát, beleértve az ősvarsejtek vándorlását, elköteleződését, a DNS metilációs mintázatának letörlődését és ivarfüggő újra metilálódását az emlősök ivarsejtjeinek esetében.

A DNS metiláció és a hiszton módosulások közötti kölcsönhatások tanulmányozása nem egyszerű. Új technológiák, új megközelítések szükségesek, amelyek lehetővé teszik a genetikai és az epigenetikai változások nyomon követését. Ezen folyamatok jobb megismerése segítséget jelenthet az termékletlenség kezelésében, valamint az epigenetikai szabályozások funkciójának jobb megértésében.

Az epigenetikai szabályozás során a gének expressziós szintjének, a transzkripció sebességének megváltozása jön létre az adott gének szabályozó régiói-

1. ábra A: A hőstressz hatására a HSF1 (hősokk faktor 1) trimereket alkot, majd foszforilálódik és kötődik a HSP gének átírását szabályozó HSE (hősokk faktor reguláló) régióhoz a sejtmagban, ezzel aktiválva a HSP expresszióját. B: A hőstressz hatására a HSP-k promótere hipermetilálódik, a nukleosómák átrendeződését befolyásoló dezacetiláz (NuRD) közreműködésével, így közvetlenül befolyásolja az HSP-k expresszióját (Wu és mtsai, 2020)

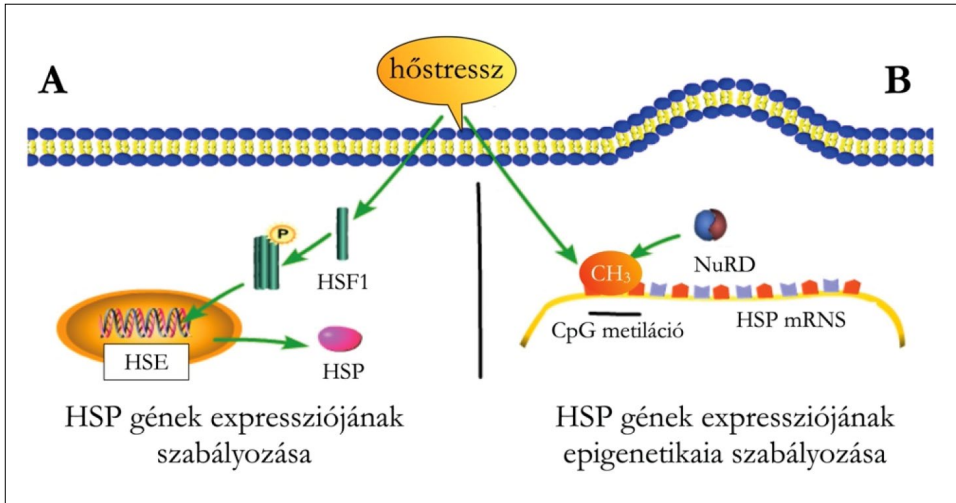


Figure 1. A: Under heat stress, HSF1 (heat shock factor 1) forms trimers, then becomes phosphorylated and binds to the HSE (heat shock factor regulatory) region that regulates the transcription of HSP genes in the cell nucleus, thereby activating HSP expression. B: Under heat stress, the promoter of HSP genes undergoes hypermethylation, facilitated by the nucleosome remodelling deacetylase (NuRD), thereby directly influencing the expression of HSP genes (Wu et al., 2020).

nak metilációs szintjében történő változás, illetve a hiszton fehérje módosulások következtében, az ezekhez kapcsolódó jelátviteli útvonalak szabályozása révén (Wu és mtsai, 2020). Az 1. ábra a hőstressz hatására bekövetkező szabályozás két lehetséges útjával szemlélteti. A hősokk faktorok hatására megemelkedhet a hősokk fehérjék expressziója (1.A), de a hősokk fehérjék promóter régiójának hipermetilációja révén ezek expressziója csökkenhet is (1.B) (Wu és mtsai, 2020). Érdekes kettősség mutatkozhat meg eltérő ivarú egyedeknél a hőkezelés hatására létrejövő változások esetében a DMRT1 expressziós szintjében, amiben a Dmrt1 gén promóterének CpG szigeteiben a hímek és nőstények esetében található eltérő metilációs mintázata is szerepet játszhat (2. ábra). (Jia és mtsai, 2019).

Bár számos tanulmány készült a hősokk fehérjék (HSP) szabályozásának genetikai és epigenetikai mechanizmusairól, számos kérdés és probléma továbbra is tisztázásra vár. A HSP család számos tagja más-más szerepet játszik a folyamatok szabályozásában. A kutatások nagyobb része a HSP70 szerepét vizsgálta, *in vivo* és *in vitro* módszerekkel egyaránt. Azonban eltérő sejt kultúrákat használtak, eltérő fajok esetében, vagy különböző szerveket vizsgáltak, így nehéz ezekből az eredményekből egységes következtetéseket levonni (Perini és mtsai, 2021; Balakrishnan és mtsai, 2023).

Az ősvarsejt (primordial germ cell, PGC) az a sejt típus, amely képes a genetikai anyag átadására a következő generációk számára. Eredetük nem az embrionális

2. ábra A: A *Dmrt1* gén promóterében található CpG szigetek. B, C: A vizsgált régióban a CpG szigetek eltérő metilációs mintázatot mutattak a pontyfélék ivarszerveiben. Míg a petefészekben nagyrészt metiláltak a CpG szigetek, addig a hímek esetében nem található metilált régió. A kitöltött körök a metilált pozíciókat jelölik (Jia és mtsai, 2019)

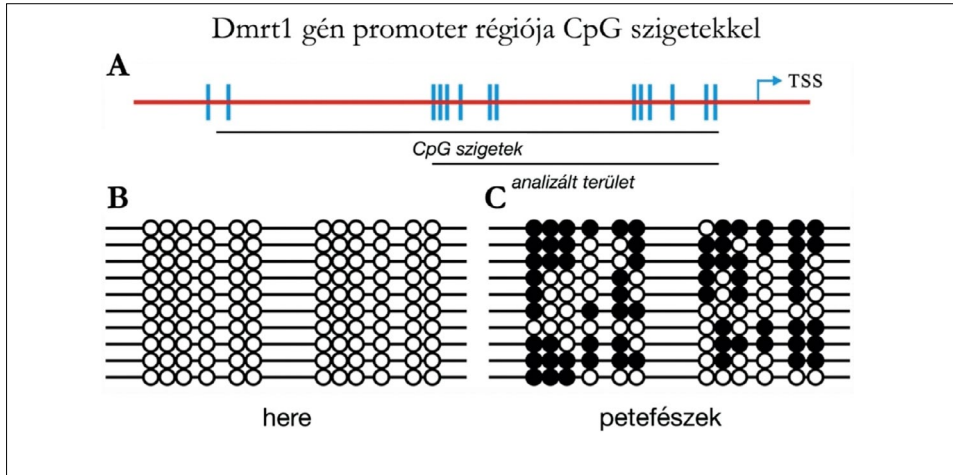


Figure 2. A: The position of *Dmrt1* promoter CpG island, with each vertical line representing the position of the CpG dinucleotide. B, C: Bisulfite sequencing results of *Dmrt1* promoter CpG island in the genomes of *C. alburnus* testes and ovaries. Open and filled circles indicate unmethylated or methylated positions (Jia és mtsai, 2019)

gonádokhoz köthető, csak az embrionális fejlődés során vándorolnak az ivarlécekhez (Tagami és mtsai, 2017). Számos fajjal ellentétben a madár ősvarsejtek vándorlása a véráramban történik, így azok a vérből izolálhatók, megfelelő sejtenyészítő médium alkalmazásával ősvarsejt vonalak hozhatók létre azokból (Whyte és mtsai, 2015). Ezek a sejtenyészetek kiváló *in vitro* vizsgálati lehetőséget biztosítanak – többek között – az epigenetikai folyamatok tanulmányozásában is.

Ebben a közleményben azon kutatásunk eredményeiről számolunk be, amelyben ősvarsejtek esetében vizsgáltuk a hőkondicionálás, illetve a hőstressz hatására létrejött molekuláris biológiai változásokat RNS szekvenálás és teljes genom biszulfit szekvenálás alapján.

Kutatásunk célja az volt, hogy kidolgozzunk egy olyan eljárást, amely lehetővé teszi a magasabb környezeti hőmérséklet tolerálására képes baromfi vonalak kialakítását egy optimális fiatalkori hőkezelési módszer kidolgozásával, amelynek eredményeként egy olyan állomány hozható létre, amely tolerálja a magasabb környezeti hőmérsékletet (Loyau és mtsai, 2016).

ANYAG ÉS MÓDSZER

A sejtenyészési és molekuláris biológiai vizsgálatokat a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Genetika és Biotechnológia Intézetének, Állatbiotechnológia Tanszékén, az Alkalmazott Embriológia és Őssejt Biológia csoport sejtenyészítő laboratóriumában végeztük.

A kendermagos erdélyi kopasznyakú tyúkok tartása és hőkezelése

A megtermékenyített kendermagos erdélyi kopasznyakú tyúktojásokat a Nemzeti Biodiverzitás- és Génmegőrzési Központ, Haszonállat-génmegőrzési Intézete (NBGK-HGI) bocsájtotta a rendelkezésünkre, illetve az állatkísérletek is itt folytak az állatok védelméről és kíméletéről szóló 1998. évi XXVIII. törvénynek megfelelően, amihez a Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal Állategészségügyi és Állatvédelmi Igazgatósága adott engedélyt.

A tojásokat MIDI F500S keltetőgépben (PL Machine Ltd., Tárnok, Hungary) 37,5 °C-on, 60%-os páratartalom mellett keltették. A kikelés után a csibéket infravörös lámpa alá helyezték 32 °C-on, nedvszívó papíralmon. A takarmány és a víz *ad libitum* hozzáférhető volt. A hőkezeléshez a hőmérsékletet 38,5 °C-ra, a páratartalmat pedig 60%-ra állítottuk be (HT). A kezelés 12 órán keresztül tartott. A kontroll állatokat 32 °C-on tartottuk (C). Ezután a hőkezelés és a kezelést nem kapott állatokat azonos körülmények között neveltük fel. Az ivarérettséget követően (23 hetesen) a hőkezelés csoportot és a kondicionálást nem kapott állatok egy csoportját 30°C-on, 12 hétig, egy légtérben, faforgács és zeolit keverék almon, 16 órás világítási ciklus mellett, a takarmány és a víz *ad libitum* adása mellett hőstressznek tettük ki (HS). Azokat az állatokat, amelyek

3. ábra A kísérlet folyamat ábrája

(Forrás: Saját szerkesztés. Házi tyúk és embrió grafika: Pataki Luca)

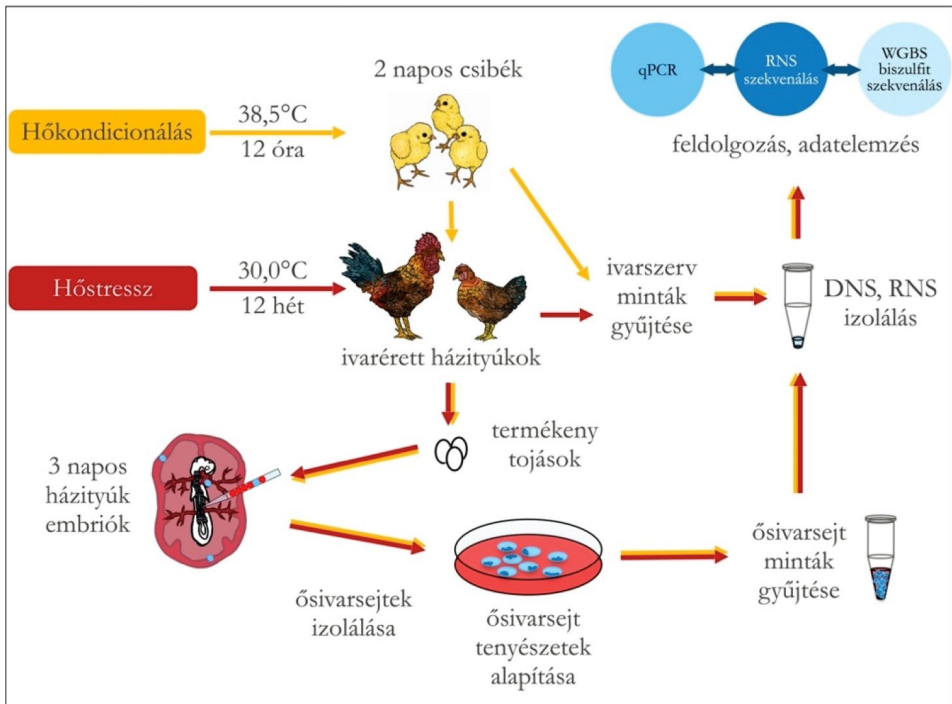


Figure 3. The general outline of the experiment. (Source: Own editing. Graphic of chicken and embryo: Luca Pataki)

nem kaptak sem hőkondicionálást, sem hőstresszt (HS) kontrollként használtak (C). Az utód generációk létrehozásához az azonos kezelést kapott kakasokat és tojókat párosítottuk (3. ábra).

Ősivarsejtek izolálása, in vitro tenyésztése

A megtermékenyített tojásokat keltetőgépbe helyeztük (37,5 °C, 60%-os páratartalom), majd 2,5 nap elteltével vért vettünk az embriókból (Hamburger-Hamilton féle nevezéktan HH14-16-os stádium) (Hamburger és Hamilton, 1992). A vérvétel az embrió dorzális aortáján keresztül történt egy üveg mikrokapillárisal, amivel 1-2 µl vért tudunk összegyűjteni. Ezt a mennyiségű vért egy speciális tenyésztőmediumba helyeztük, ami csak az ősivarsejtek fejlődését támogatja, így négy héten belül homogén ősivarsejt tenyészeteket tudunk alapítani. A felhasznált médium elkészítésének leírása a skóciai Roslin Intézettől származik (Whyte és mtsai, 2015).

DNS izolálás

A DNS izolálása az összes létrehozott ősivarsejt vonalból egyedileg történt a High Pure PCR Template Preparation Kittel (Roche Diagnostics, Basel, Switzerland) a hozzá tartozó protokoll alapján. Az izolálás során kapott DNS minták koncentrációját NanoDrop (ND-1000, Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA) spektrofotométerrel mértük.

Teljes genom biszulfid szekvenálás

A sejtvonalakból kapott DNS minták metilációs mintázatának feltérképezése céljából végzett teljes genom biszulfid szekvenálást az UD-GenoMed Medical Genomic Technologies Kft. (Debrecen) szolgáltatta. A kapott DNS metilációs adatok elemzését Dr. Likó István (UD-GenoMed Medical Genomic Technologies Kft.) végezte.

RNS izolálás

Az RNS izolálása az összes létrehozott ősivarsejt vonalból egyedileg, az RNAqueous Total RNA Isolation Kit (Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA) segítségével, a gyártó protokollja alapján történt. Az izolálás során kapott RNS koncentrációját NanoDrop (ND-1000, Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA) spektrofotométerrel mértük.

RNS szekvenálás

Az RNS szekvenálást Bertrand Pain (Stem-Cell and Brain Research Institute, USC1361 INRA, U1208 INSERM, 69675 Bron, France) és kutatócsoportja végezte a kezelési csoportonként összeállított RNS pool mintáinkból (C, HS, HTHS).

qPCR vizsgálatok

Az ősvarsejt mintákból izolált RNS-ből reverz transzkripcióval cDNS-t szintetizáltunk a gyártó által meghatározott protokoll alapján (High-Capacity cDNA Reverse Transcription Kit, Life Technologies, Carlsbad, CA). A qPCR reakcióhoz SYBR Green Master Mix-et (Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA) használtunk, és a reakciókat egy Eppendorf Mastercycler Realplex (AG 22331, Hamburg) típusú készülékben végeztük. A vizsgálat során háztartási génként a konstitutívan expresszálandó GAPDH gén kifejeződését mértük. A relatív expressziókat a kontroll mintákhoz viszonyítva számoltuk ki. Minden minta/primer esetében 3 párhuzamos mérést végeztünk.

Statisztikai elemzés

A célgén expresszióját vagy represszióját a belső kontrollgénhez viszonyítva minden mintában GenEx program (MultiD Company) segítségével számítottuk ki a $2^{-\Delta\Delta C_t}$ módszer (Rao és mtsai, 2013) használatával. A vizsgált csoportok közötti statisztikai különbségeket a GenEx 6.0 szoftver segítségével elemeztük, ahol a $p < 0,05$ értékeket vettük szignifikánsnak (* $p < 0,05$).

EREDMÉNYEK

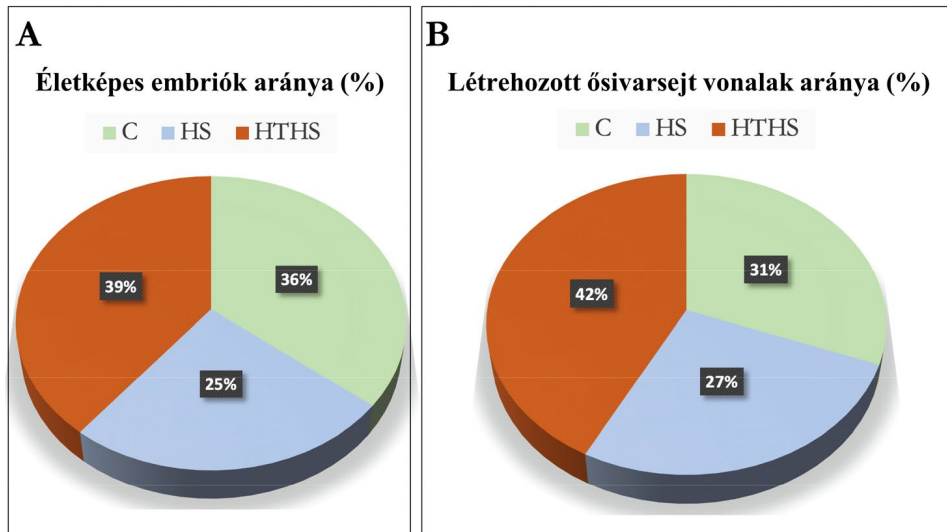
Kutatásunk célja az volt, hogy kidolgozzunk egy olyan speciális hőkezelési (hőkondicionálási) eljárást, amelynek segítségével a magas környezeti hőmérséklet okozta stressz következményeit mérsékelni lehet. Korábbi kutatásaink során a hőkondicionálás, illetve a hőstressz hatására létrejövő molekuláris változásokat közvetlenül a hőkezelést követően, illetve ivarérett korban ivarszervi mintákban vizsgáltuk (Tóth és mtsai, 2021).

Jelen vizsgálatban csoportonként 47 tojásból indultunk ki és 26 ősvarsejt vonalat hoztunk létre a különböző kísérleti csoportokba tartozó állatok utódjaiból (4. ábra). Az alapítás sikerességét a 4.A ábra mutatja. Az általunk alkalmazott hőkondicionálás javította az életképes embriók túlélési arányát a hőstresszes környezeti körülmények között. A kontroll, a két napos korban hőkondicionált és ivarérett korban 12 hétig hőstressznek kitett, illetve csak hőstressznek kitett állatok utódaiból hoztuk létre a vizsgálatokban alkalmazott ősvarsejt vonalakat (4.B ábra). Minden újonnan alapított ősvarsejt vonalból mélyhűtöttünk és eltároltuk azokat a génbankban. A sejtvonalakból gyűjtött egyedi mintákból DNS-t és RNS-t izoláltunk (3. ábra).

A különböző kezelési csoportokból származó mintákat „pooloztuk” (C, HTHS, HS minták). Kezelésenként három-három párhuzamos mintát elküldtünk RNS szekvenálásra. A szekvenálási adatokat elemeztük, majd elkezdtük a kapott eredmények qPCR-vizsgálatokkal történő megerősítését. Mind a poolozott, mind az egyedi mintákból történtek qPCR mérések. A qPCR mérések során a poolozott minták esetében, így a DMRT1 esetében is, a kapott eredmények alátámasztották az RNS szekvenálással kapott expressziós mintázatokat.

Érdemes megjegyezni, hogy amikor az egyedi vonalakból külön elemzéseket végeztünk a qPCR segítségével, jelentős eltérést kaptunk az azonos kezelésen

4. ábra A kontroll (C), a két napos korban hőkonticionált és ivarérett korban 12 hétig hőstressznek kitett (HTHS), illetve csak hőstressznek kitett állatok (HS) utódaiból létrehozott ősvarsejt vonalak



A: A vizsgálatban felhasznált életképes embriók aránya a különböző kísérleti csoportok esetében. B: A különböző kísérleti csoportok esetében létrehozott ősvarsejt vonalak aránya

Figure 4. The offspring of animals from the experimental groups (control (C), heat-conditioned at two days of age and exposed to heat stress for 12 weeks during sexual maturity (HTHS), and exposed to heat stress only (HS)) were used to establish primordial germ cell lines.

A: Proportion of viable embryos used in the study for different experimental groups. B: Proportion of primordial germ cell lines established for different experimental groups.

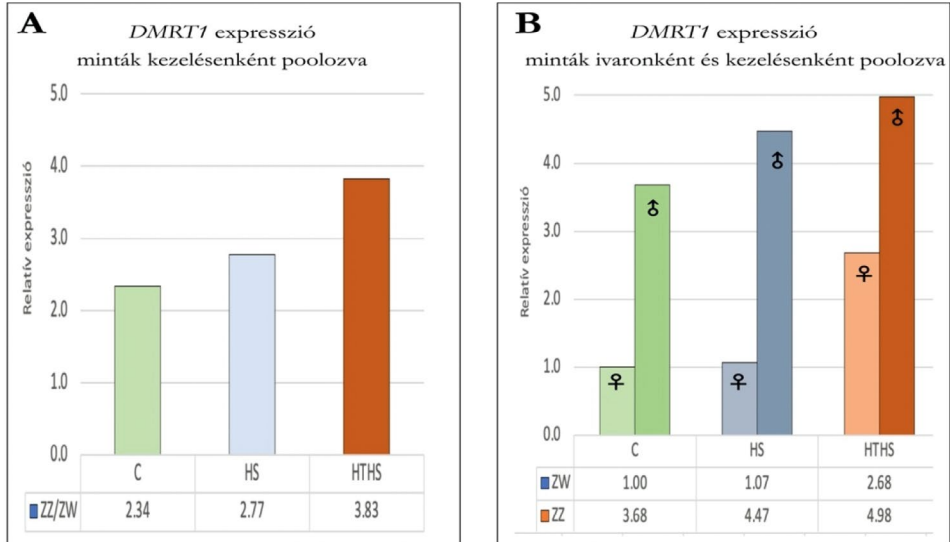
átesett hím és tojó embrióból alapított vonalak esetében. A *DMRT1* expressziója a ZZ és ZW genotípusú sejt vonalak esetében jelentősen eltér, ezt az 5. ábra jól szemlélteti. A *Dmrt1* gén a Z kromoszómán helyezkedik el, a hímeknél ennek a fehérjének a koncentrációja magas a herékben. A *DMRT1* expressziója szükséges ahhoz, hogy normálisan működő hím ivarszerv fejlődjön ki.

Az RNS minták alapján kapott eredmények tükrében a DNS minták esetében már a ZZ genotípusú (hím) és ZW genotípusú (tojó) ősvarsejt vonalakat külön „pooloztuk” (HTHS-ZZ, HTHS-ZW, HS-ZZ, HS-ZW), és ezeket a csoportokat küldtük teljes genom biszulfid szekvenálásra (WGBS). A kapott eredmények feldolgozása jelenleg is zajlik.

Az előzetes eredmények alapján, mivel a hőkonticionálás a kezelt utódok ősvarsejtjeiből létrehozott sejttenyészetek sejtjeiben is kimutatható génexpressziós változásokat idézett elő, elmondható, hogy a kezelés okozta epigenetikai változások az utód generációkra is átadódtak. A hőstressz során szerepet játszó faktorok expressziós szint változása az utód generációban is kimutatható.

Eredményeink alátámasztják a fiatalkori hőkezelés fontosságát.

5. ábra A kontroll (C), a két napos korban hőkondicionált és ivarérett korban 12 hétig hőstressznek kitett (HTHS), illetve csak hőstressznek kitett állatok (HS) utódaiból ősvarsejt vonalak esetében kapott relatív expressziós értékek. A háztartási génként a GAPDH-t, referencia mintaként egy kontroll ZZ ősvarsejt vonalat használtunk.



A: A minták kezelésenként lettek poolozva. B: A minták kezelésenként és ivaronként lettek poolozva. ZZ - hím ősvarsejt vonal, ZW - nőstény ősvarsejt vonal

Figure 5. The relative expression values obtained for primordial germ cell lines derived from the control (C), heat-conditioned at two days of age and exposed to heat stress for 12 weeks during sexual maturity (HTHS), and offspring of animals exposed to heat stress only (HS). The housekeeping gene GAPDH was used as a reference, and a control ZZ primordial germ cell line was used as a reference sample.

A: The samples were pooled per treatment. B: The samples were pooled per treatment and sex. ZZ - male primordial germ cell line, ZW - female primordial germ cell line.

KÖVETKEZTETÉSEK

Munkánk célja az volt, hogy feltárjuk a magas környezeti hőmérséklet okozta stressz hatásait a baromfi szaporodásbiológiai paramétereire. Ehhez házityúk ősvarsejt tenyészeteket használtunk modellrendszerként. A biotechnológiában régóta próbálkoztak madárembrió eredetű sejtvonalak létrehozásával, azonban csak 2015-ben vált lehetségessé a hím és nőivarú madár ősvarsejtek (PGC) hosszú távú fenntartása *in vitro* tenyészetekben. Az ősvarsejt tenyészetek *in vitro* tenyésztése, illetve a tenyésztést követő mélyhűtése minden eddiginél hatékonyabb módszer az őshonos és védett madarak genetikai változatosságának megőzésére.

Ősvarsejt vonalakat alapítottunk kontroll, két napos korban hőkondicionált és ivarérett korban 12 hétig hőstressznek kitett, illetve csak hőstressznek kitett állatok utódaiból. A különböző eredetű ősvarsejt tenyészetek RNS expressziós mintázatának megismerésével olyan új gének voltak azonosíthatók, amelyek szerepet játszanak a hőstresszre adott válaszban. Mivel a hőkondicionálás az

ősivarsejtekben is génexpressziós szint változásokat okozott, megállapítható, hogy a kezelés által okozott epigenetikai változások átörökíthetők az utód generációkra. Az RNS szekvenálási adatokból nyert eredményeket tervezzük a teljes genom biszulfid szekvenálás során kapott eredményeinkkel is összevetni, hogy igazolni tudjuk a fiatalkori hőkezelés hatásosságát.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatásokat a GÉNNET21 (VEKOP-2.3.2-16 - 2016-00012), 2019-2.1.11-TÉT-2019-00036 és NKFIH OTKA FK124708 azonosítójú pályázataink, továbbá az Agrár-biotechnológia és precíziós nemesítés az élelmiszerbiztonságért című és RRF-2.3.1-21-2022-00007 azonosító számú pályázat támogatták.

IRODALOMJEGYZÉK

- Balakrishnan, K. N. – Ramiah, S. K. – Zulkifli, I. (2023): Heat shock protein response to stress in poultry: A Review. Animals, 13. <https://doi.org/10.3390/ani13020317>.*
- Dunislawska, A. – Siwek, M. – Stadnicka, K. – Bednarczyk, M. (2021): Comparison of the transcriptomic and epigenetic profiles of gonadal primordial germ cells of White Leghorn and Green-Legged Partridge-like chicken embryos. Genes, 12. <https://doi.org/10.3390/genes12071090>.*
- Gershoni, M. (2023): Transgenerational transmission of environmental effects in livestock in the age of global warming. Cell Stress & Chaperones, <https://doi.org/10.1007/s12192-023-01325-0>.*
- Godde, C. M. – Mason-D’Croz, D. – Mayberry, D. E. – Thornton, P. K. – Herrero, M. (2021): Impacts of climate change on the livestock food supply chain; a Review of the evidence. Global Food Security 28. 100488. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.gfs.2020.100488>.*
- Hamburger, V. – Hamilton, H. L. (1992): A series of normal stages in the development of the chick embryo. Developmental Dynamics, 195. 231–72.*
- Jia, Y. – Zheng, J. – Chi, M. – Liu, S. – Jiang, W. – Cheng, S. – Gu, Z. – Chen, L. (2019): Molecular identification of Dmrt1 and its promoter CpG methylation in correlation with gene expression during gonad development in Culter Alburnus. Fish Physiol. Biochem., 45. 245–52.*
- Kota, S. K. – Feil, R. (2010): Epigenetic transitions in germ cell development and meiosis. Develop. Cell, 19. 675–86.*
- Lara, L. J. – Rostagno, M. H. (2013): Impact of heat stress on poultry production. Animals, 3. 356–69.*
- Loyau, T. – Hennequet-Antier, C. – Coustham, V. – Berri, C. – Leduc, M. – Crochet, S. – Sannier, M. (2016): Thermal manipulation of the chicken embryo triggers differential gene expression in response to a later heat challenge. BMC Genomics, 17. 329. <https://doi.org/10.1186/s12864-016-2661-y>.*
- Nawab, A. – Ibtisham, F. – Li, G. – Kieser, B. – Wu, J. – Liu, W. – Zhao, Y. (2018): Heat stress in poultry production: Mitigation strategies to overcome the future challenges facing the global poultry industry. J. Thermal Biol., 78. 131–39.*
- Perini, F. – Cendron, F. – Rovelli, G. – Castellini, C. – Cassandro, M. – Lasagna, E. (2021): Emerging genetic tools to investigate molecular pathways related to heat stress in chickens: A review. Animals, 11. <https://doi.org/10.3390/ani11010046>.*
- Rao, X. – Huang, X. – Zhou, Z. – Lin, X. (2013): An improvement of the 2^{-ΔΔCT} method for quantitative real-time polymerase chain reaction data analysis. Biostatistics, Bioinformatics and Biomathematics, 3. 71–85.*
- Rojas-Downing, M. M. – Nejadhashemi, A. P. – Harrigan, T. – Woznicki, S. A. (2017): Climate change and livestock: Impacts, adaptation, and mitigation. Climate Risk Management, 16. 145–63.*

- Sasaki, H. – Matsui, Y. (2008): Epigenetic events in mammalian germ-cell development: Reprogramming and beyond. *Nature Reviews Genetics*, 9. 129–40. <https://doi.org/10.1038/nrg2295>.
- Sun, Y. C. – Wang, Y. Y. – Ge, W. – Cheng, S. F. – Dyce, P. W. – Shen, W. (2017): Epigenetic regulation during the differentiation of stem cells to germ cells. *Oncotarget*, 8. 57836–44. <https://doi.org/10.18632/oncotarget.18444>.
- Tagami, T. – Miyahara, D. – Nakamura, Y. (2017): Avian primordial germ cells . In *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 1001:1–18. Springer New York LLC. https://doi.org/10.1007/978-981-10-3975-1_1.
- Tóth, R. – Tokodyné Szabadi, N. – Lázár, B. – Buda, K. – Végi, B. – Barna, J. – Patakiné Várkonyi, E. – Liptói, K. – Pain, B. – Gócza, E. (2021): Effect of post-hatch heat-treatment in heat-stressed Transylvanian naked neck chicken. *Animals*, 11. <https://doi.org/10.3390/ani11061575>.
- Verdikt, R. – Allard, P. (2021): Metabolo-epigenetics: The interplay of metabolism and epigenetics during early germ cells development. *Biol. Reproduct.*, 105. 616–624.
- Whyte, J. – Glover, J. D. – Woodcock, M. – Brzeszczynska, J. – Taylor, L. – Sherman, A. – Kaiser, P. – McGrew, M. J. (2015): FGF, insulin, and SMAD signaling cooperate for avian primordial germ cell self-renewal. *Stem Cell Reports*, 5. 1171–1182.
- Wu, J. – Zhang, W. – Li, C. (2020): Recent advances in genetic and epigenetic modulation of animal exposure to high temperature. *Frontiers in Genetics*, 11. <https://doi.org/10.3389/fgene.2020.00653>.

Érkezett: 2023. július

A szerzők címe: Lázár B. – Tokodyné Szabadi N. – Tóth R. – Ecker A. – Urbán M. – Gócza E.
Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Szent István Campus, Genetika és
Biotechnológia Intézet, Állatbiotechnológia Tanszék

Authors' adress: Hungarian University of Agriculture and Life Science, Szent István Campus
Institute of Genetics and Biotechnology, Animal Biotechnology Department
H-2100 Gödöllő, Szent-Györgyi Albert u. 4.
gocza.elen@uni-mate.hu

Lázár B. – Várkonyi E. – Liptói K.
Nemzeti Biodiverzitás- és Génmegőrzési Központ Haszonállat-génmegőrzési
Intézet
National Centre for Biodiversity and Gene Conservation,
Institute for Farm Animal Gene Conservation
H-2100 Gödöllő, Isaszegi út 200.

AZ AMMÓNIA EMISSZIÓ CSÖKKENTÉSÉNEK TAKARMÁNYOZÁSI LEHETŐSÉGEI A BAROMFI ÁGAZATBAN

DUBLECZ KÁROLY – KISS BRIGITTA – KESETE GOITOM TEWELDE – BARTOS ÁDÁM –
PÁL LÁSZLÓ – MAGYAR MARIANNA – BENEDEK ZSUZSANNA – SUCH NIKOLETTA

ÖSSZEFOGLALÁS

Köztudott, hogy az ammóniakibocsátás legfőbb forrása a mezőgazdaság és az állattenyésztés. Emiatt szükségszerű feladata a gazdálkodóknak, kutatóknak olyan gyakorlatok kidolgozása, amelyek segítségével a gazdasági állatok termelésének romlása nélkül csökkenthető az ammónia emisszió. A takarmányozás kulcsfontosságú tényezője ezeknek a törekvéseknek. Az ammóniakibocsátás mind környezetvédelmi, mind állatjóléti szempontból hátrányos a baromfiágazatnak. A madarakra gyakorolt lehetséges hatások közé tartoznak a légúti betegségek, vírusfertőzések, a termelés romlása és a nagyobb arányú elhullás. A baromfi istállóban az ammónia képződésének fő forrása a vizelettel ürülő húgysav-nitrogén. A takarmányozási technológiák közül megoldás lehet az aminosavval kiegészített, alacsony fehérjetartalmú tápok etetése, az ideális fehérje elv követése, a több hizlási fázis alkalmazása, valamint olyan takarmány-adalékanyagok használata, amelyek csökkentik a nitrogénkiválasztást, a vizelet nitrogén arányát és ezáltal az ammónia felszabadulását a trágyából. Ebben az áttekintésben a baromfi fajokra jellemző alapértelmezett értékek, a legújabb irodalmi adatok és a különböző fajok, hasznosítási típusok nitrogén kiválasztásának sajátosságai kerülnek bemutatásra.

SUMMARY

Dublecz, K. – Kiss, B. – Goitom Tewelde, K. – Bartos, Á. – Pál, L. – Magyar, M. – Benedek, Zs. – Such, N.: NUTRITIONAL ASPECTS FOR MITIGATING THE AMMONIA EMISSION OF THE POULTRY SECTOR

Since agriculture and animal farming is responsible mostly for ammonia emission, it is a very important task for the farmers and researchers to develop such practices that can be used to reduce ammonia emissions without compromising the production parameters. Among these practices nutrition is one of the most effective. Ammonia emission is a concern for the poultry industry from both environmental and animal welfare point of view. Potential effects on birds include respiratory diseases, viral infections, decreased production, and higher mortality. The main source of ammonia production in broiler houses is the uric acid nitrogen of urine. Among the nutritional possibilities feeding amino acid supplemented low protein diets, following the ideal protein concept in diet formulation, applying more fattening phases, and using different feed additives are known to mitigate the nitrogen excretion, the ratio of the urinary nitrogen and this way to lower the ammonia release from the manure. In this article the poultry specific default values and the latest literature data are discussed. The specific aspects of the different poultry species are also introduced.

AZ AMMÓNIA EMISSZIÓ, MINT KÖRNYEZETI PROBLÉMA

A levegő minőségének kérdése helyi, országos és EU-s léptékben is növekvő figyelem alatt áll. Az ammónia az egyik legjelentősebb légköri szennyező anyag, mely nagyobb távolságra is eljuthat, majd száraz vagy nedves ülepedés útján visszakerülhet a talajba és a felszíni vizekbe. Természetes ökoszisztémákban a mezőgazdasági tevékenységből származó ammónia nitrogén túltrágyázást okoz, hozzájárul a biológiai sokféleség csökkenéséhez, a környezet általános savasodásához és erdőpusztuláshoz vezet (Bittman és mtsai, 2014; Krupa, 2003) (1. ábra). A légkör a nagyon finom, porszerű anyagok koncentrációja összefüggést mutat az ammónia kibocsátással (Wu és mtsai, 2016; Giannakis, 2019), mivel a gáz halmazállapotú ammónia légkörbe kerülve, más vegyületekkel együtt, ammónium ionná alakulva 2,5 mikrométernél kisebb átmérőjű részecskékké (PM_{2,5}) alakul, melyek a széllel nagy távolságokra jutnak (Krupa, 2003, Sutton és mtsai, 2011). A képződött részecskék mérettartományától és kémiai összetételétől függ annak egészségkárosító mértéke (WHO, 2013; Schraufnagel és mtsai, 2019). A kis szemcseméretű szálló pornak és az ózonnak való kitettség világszerte körülbelül 4,55 millió korai halálesetért felelős évente, ebből 274 000-et (azaz 6%-ot) jegyeztek az Európai Unióban (Lelieveld és mtsai, 2018). Ehhez a szennyezéshez a mezőgazdaság nagy mértékben járul hozzá az ammónia kibocsátáson keresztül (Behera és mtsai, 2010).

1. ábra A mezőgazdaságból származó ammóniakibocsátás és az ammónia átalakulásának környezeti következményei a nitrogénciklusban (Sigurdson és mtsai, 2018)

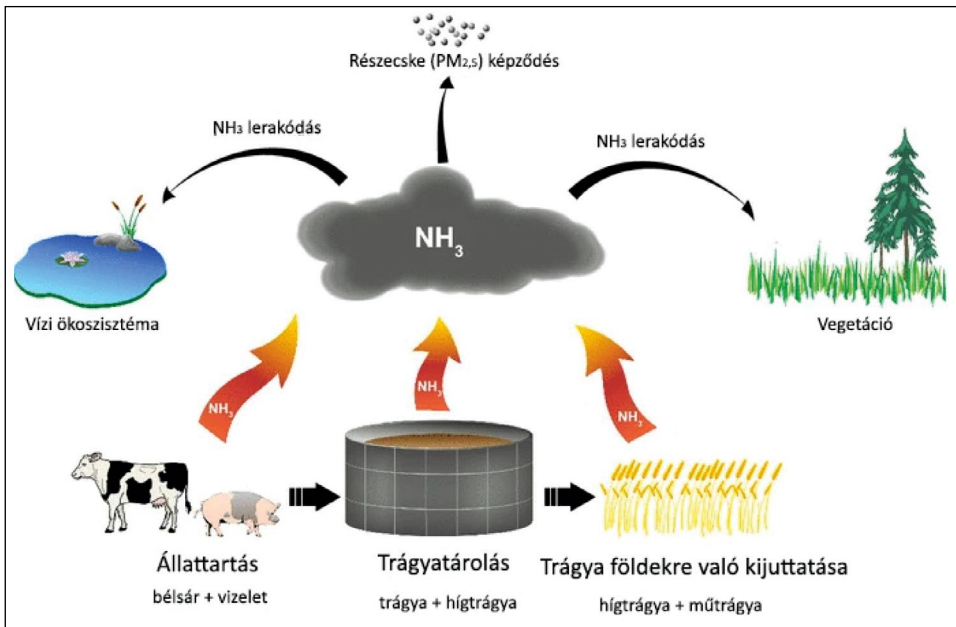


Figure 1. Ammonia emission from agriculture and environmental consequences of the ammonia transformation in the nitrogen cycle (Sigurdson et al, 2018)

Magyarország 2022. évi légszennyező leltárjelentése szerint az országos ammónia kibocsátás 92%-a mezőgazdasági eredetű, melynek közel fele (49%) a trágya kezelése, 16 %-a a szervestrágyák szántóföldi kijuttatása, 31 %-a pedig a műtrágyázás során jut a levegőbe. Az egyes gazdasági állatfajok trágyakezelésével összefüggő kibocsátáshoz a baromfitartás 13 %-ban járul hozzá (IIIR, 2022).

Az Európai Környezetvédelmi Ügynökség (EEA) 2023. júniusában tette közzé az éves elemzését az EU tagállamai által szolgáltatott légszennyezési adatokról. Eszerint a leginkább problémás terület a légszennyező anyagok közül továbbra is az ammóniakibocsátás. A jelentés szerint az NH_3 emisszió csökkentési kötelezettségeit 16 ország már 2021-re tudta teljesíteni. Ezek Belgium, Ciprus, Csehország, Észtország, Finnország, Franciaország, Németország, Görögország, Olaszország, Málta, Hollandia, Lengyelország, Románia, Szlovákia, Szlovénia és Spanyolország. Akiknek még további 10% csökkentési kötelezettségük van Ausztria, Bulgária, Dánia, Magyarország, Írország, Lettország, Litvánia, Luxemburg, Portugália és Svédország. Magyarországnak emellett még a kis szemcseméretű szálló por tekintetében van csökkentési elmaradása, aminek kialakulása közvetlen kapcsolatban áll az ammónia emisszióval, hiszen a szekunder részecskék a légkörbe jutó gáznemű kibocsátások kémiai reakciói során keletkeznek. Az Európai Bizottság Harmadik Tiszta Levegő Kitekintés című tanulmánya arra a következtetésre jutott, hogy a jelenleg érvényben lévő intézkedések nem elegendőek az NH_3 -kibocsátás olyan mértékű csökkentésére, amely a kibocsátáscsökkentési kötelezettségvállalások teljesítéséhez szükséges, és több tagállamban további intézkedéseket kell bevezetni. Ezek főként az állatok elhelyezésére és takarmányozására, a trágya tárolására és a földön való kiszórására vonatkozó bevált gyakorlatokat, valamint a fenntartható műtrágyahasználatra vonatkoznak. (EEA, 2023). Egy 2023-as nemzetközi műhold alapú kimutatás szerint az Unió csökkentési stratégiák hatékonyak voltak. A legnagyobb kibocsátás csökkenés Közép- és Kelet-Európában (-38%) és Nyugat-Európában (-37%), kisebb csökkenés Észak- (-17%) és Dél-Európában (-7,6%) volt megfigyelhető 2013-2020 között (Tichý és mtsai, 2023).

Az állati trágyából felszabaduló ammónia nagy része a karbamid hidrolíziséből származik (Varel és mtsai, 2006). A felesleges N kiválasztási folyamata baromfinál eltér az emlősökétől, a nitrogén anyagcsere végterméke esetükben nem karbamid, hanem húgysav. A húgysavval sokkal több energia távozik a szervezetből, mint az emlősöknél a karbamiddal. Baromfinál nehézséget jelent, hogy kloakájuk lévén a bélsár és a vizelet keverten, együtt ürül ki a szervezetből, emiatt nehéz az ürülék és a vizelet nitrogén különválasztása. Azonban abból a tényből kiindulva, hogy a baromfi vizeletében a N-forgalom végtermékei közül a húgysav fordul elő a legnagyobb mennyiségben (70-80%), a kevert ürülék húgysav tartalmából következtetni lehet a vizelettel ürülő nitrogén mennyiségére (O'dell és mtsai, 1960; Juhász és Schmidt, 2002). A húgysav és az ammónia nitrogén tartalmának összege O'Dell és mtsai (1960), valamint Tasaki és Okumura (1964) szerint is szoros korrelációt mutat a vizelet összes nitrogén tartalmával. A húgysav és karbamid hidrolízisét mikrobiális eredetű ureáz enzim végzi, vagyis a trágyából az ammónia felszabadulása bakteriális tevékenység következménye (Zhang és mtsai, 1991). Az NH_3 képződését közvetlenül olyan tényezők szabályozzák, mint a pH, a hőmérséklet és az alom nedvességtartalma (Elliott és Collins, 1982). Az ürülék szárazanyag tartalmának növelése pozitívan hat az alomminőségre, ami

csökkentheti a talpbetegségek kialakulását, valamint az ammónia felszabadulását (Brouček és mtsai, 2015).

A baromfitartásból származó ammónia emisszió mértékét alapvetően meghatározzák, így a kibocsátás-csökkentési intézkedéseknek a következő területeket kell érinteniük:

- a telepi nitrogén menedzsment a teljes N-ciklus figyelembevételével;
- az állatállomány takarmányozási stratégiái;
- állattartási technikák;
- trágyatárolási technikák;
- és a trágya kijuttatási technikák.

A továbbiakban ezek közül csupán a takarmányozási aspektusokat tekintjük át.

CSÖKKENTETT FEHÉRJETARTALMÚ TÁPOK ETETÉSE

A baromfi és sertéstápokban több évtizede használjuk a lizint és a metionint a tápok fehérjetartalmának komplettálására. Napjainkban már a kristályos treonin, a valin, az izoleucin, az arginin és a triptofán is a takarmányipar rendelkezésére áll. A kristályos aminosavak kiegészítésével folyamatosan csökkenthető a tápok fehérjetartalma, többnyire azok ára is. A kisebb fehérjetartalmú tápok etetésének gazdaságosságát általában a fehérjetakarmányok, döntően a szójadara és a kristályos aminosavak ára határozza meg.

A rendelkezésre álló irodalmi adatok alapján a sertés és a baromfi fajok között a tápok fehérjesszintjének csökkenthetősége lényegesen különbözik. Sertésnél több kutatási eredmény is arról számol be, hogy kristályos aminosav kiegészítőkkal akár 4%-os fehérjecsökkentés is megvalósítható a termelési eredmények romlása nélkül (Figueroa és mtsai, 2003; Kerr és mtsai, 2003). Ezzel szemben a baromfi fajoknál a tápokban a fehérjetartalom csökkentésekor számos esetben romló termelési paraméterekről számoltak be. Ennek részben az a magyarázata, hogy a fehérjecsökkentett tápokban megváltozó aminosav arányok miatt, egyes nem esszenciális aminosavak hiányával kell számolni. Azok a kísérletek, amelyekben a kontroll és a fehérjecsökkentett tápok emészthető lizintartalma megegyezett, továbbá mindkét tápra jellemző volt, hogy az aminosav arányok megfelelték az ideális fehérje elvre vonatkozó ajánlásoknak, azt bizonyították, hogy tojtyúkokkal, brojlersirkékkel átlagosan 2%-os fehérjecsökkentés valósítható meg a termelési eredmények romlása nélkül.

A hazánkban meghatározó baromfi fajok és hasznosítási típusok esetében az 1. táblázatban látható táp fehérje szint csökkentési kategóriákat lehet definiálni az irodalmi adatok és a tenyésztői ajánlások alapján. A fehérjecsökkentés megvalósításakor a 2. táblázatban látható aminosav kiegészítések indokoltak a hazai tápok összetétele alapján. Amennyiben a fehérje szint csökkenés nem párosul növekvő mértékű aminosav kiegészítéssel, akkor ugyan kisebb N-ürítéssel számolhatunk, de a fehérje hasznosulása romlik és emiatt az összes ürített nitrogénen belül nő az ammónia képződést generáló, ún. TAN (total ammoniacal nitrogen) hányad. Ez egyértelműen kedvezőtlen az ammónia emisszió szempontjából.

1. táblázat

Baromfi tápok fehérjecsökkentésének indikatív értékei (Bittman és mtsai, 2014)

Faj (16)	Fázis (17)	1. kategória (1)	2. kategória (2)	3. kategória (3)
		(kismértékű) (4)	(közepes mértékű) (5)	(nagymértékű) (6)
Brojlercsirke (7)		<i>Bittman és mtsai (2014)</i>		
	indító (12)	22-23	21-22	20-21
	nevelő (13)	21-22	20-21	19-20
	befejező (14)	20-21	19-20	18-19
Tojótúyúk (8)		Tenyésztői ajánlás alapján (Hy-Line, 2018)		
	18-40 hét (15)	17	16,5	15,5
	40 hét <	16	15,5	14,5
		Hybrid guidelines (2015)		
	0-4 hét	27	26,5	25,5
	5-8 hét	24,5	24	23
	9-12 hét	22	21,5	20,5
	13-16 hét	18,5	18	17
	16 hét <	16	15,5	14,5
Kacsa (10)		Tenyésztői ajánlás alapján (Cherry Valley, 2017)		
	indító I.	21-22	20-21	19-20
	indító II.	19-20	18-19	17-18
	nevelő	17,5-18,5	16,5-17,5	15,5-16,5
	befejező	16-17	15-16	14-15
Jérce (11)		Tenyésztői ajánlás alapján (Hy-Line, 2018)		
	indító I.	19,5	19	18
	indító II.	17,5	17	16
	nevelő	16,5	16	15
	befejező	15	14,5	13,5
	tojó előkészítő (16)	16	15,5	14,5

Table 1. Indicative values of the protein reduction in poultry feeds (Bittman et al, 2014)

1. category (1); 2. category (2), 3. category (3); to a small extent (4); to a medium extent (5); to a high extent (6); broiler chicken (7); laying hens (8); turkey (9); duck (10); pullet (11); starter (12); grower (13); finisher (14); 18-40 week (15); species (16); phase (17)

2. táblázat

Csökkentett fehérjetartalmú baromfi tápok szükséges aminosav kiegészítése

Faj (16)	Fázis (17)	1. kategória (1)	2. kategória (2)	3. kategória (3)
		kismértékű (4)	közepes mértékű (5)	nagymértékű (6)
Brojler- + csirke (7)	indító (12)	MET, LYS, THR, VAL	MET, LYS, THR, VAL	MET, LYS, THR, VAL, ILE, ARG
	nevelő (13)	MET, LYS, THR, VAL	MET, LYS, THR, VAL	MET, LYS, THR, VAL, ILE, ARG
	befejező (14)	MET, LYS, THR, VAL	MET, LYS, THR, VAL	MET, LYS, THR, VAL, ILE, ARG
Tojóttyúk (8)				
	18-40 hét (15)	MET, LYS, THR, VAL, ILE	MET, LYS, THR, VAL, ILE, ARG	MET, LYS, THR, ILE, VAL
	40 hét <	MET, LYS	MET, LYS, THR, ILE	MET, LYS, THR, VAL, ILE, ARG
Pulyka (9)				
	0-4 hét	MET, LYS, THR	MET, LYS, THR, VAL	MET, LYS, THR, VAL, ILE
	5-8 hét	MET, LYS, THR	MET, LYS, THR	MET, LYS, THR, VAL
	9-12 hét	MET, LYS, THR	MET, LYS, THR, VAL	MET, LYS, THR, ILE, VAL, ARG
	13-16 hét	MET, LYS, THR	MET, LYS, THR	MET, LYS, THR, VAL, ARG
16 hét <	MET, LYS	MET, LYS, THR	MET, LYS, THR, ARG	
Kacsa (10)				
	indító I.	MET, LYS, THR	MET, LYS, THR	MET, LYS, THR, VAL
	indító II.	MET, LYS, THR	MET, LYS, THR	MET, LYS, THR, VAL
	nevelő	MET, LYS, THR	MET, LYS, THR	MET, LYS, THR, VAL
befejező	MET, LYS, THR	MET, LYS, THR	MET, LYS, THR, VAL	
Jérce (11)				
	indító I.	MET, LYS, THR	MET, LYS, THR, ILE, VAL	MET, LYS, THR, ILE, VAL, ARG
	indító II.	MET, LYS, THR, ILE	MET, LYS, THR, ILE	MET, LYS, THR, ILE, VAL, ARG
	nevelő	MET, LYS, THR, ILE	MET, LYS, THR, ILE	MET, LYS, THR, ILE
	befejező	MET, LYS	MET, LYS	MET, LYS, THR, ILE
tojó előkészítő (16)	MET, LYS, THR	MET, LYS, THR, ILE	MET, LYS, THR, ILE, VAL	

MET = metionin, LYS = lizin, THR = treonin, VAL = valin, ILE = izoleucin, ARG = arginin,

Table 2. Required amino acid supplementation of the reduced protein containing poultry feeds

1. category (1); 2. category (2), 3. category (3); to a small extent (4); to a medium extent (5); to a high extent (6); broiler chicken (7); laying hens (8); turkey (9); duck (10); pullet (11); starter (12); grower (13); finisher (14); 18-40 week (15); species (16); phase (17)

AZ IDEÁLIS FEHÉRJE ELV ALKALMAZÁSA

Az ideális fehérje elv lényege, hogy az állatok a termelési szint és a létfenntartás szükségletének változása miatt eltérő arányban igénylik a különböző aminosavakat (D'Mello, 1994). Az aminosav arányokat a lizinhez, a termékelőállítás esetében általában elsődlegesen limitáló aminosavhoz viszonyítjuk és arra törekszünk, hogy valamennyi esszenciális aminosav meghaladja a szükségletet, illetve lehetőség szerint a többlet is minimális legyen (Lemme, 2003). Ennek az a gyakorlati jelentősége, hogy a N-ürítés és ammónia emisszió mértékét az ideális fehérje elvtől történő nagyobb eltérések, a hiányok és a többletek egyaránt megnövelik és elsősorban a vizelet eredetű N arányát befolyásolják. A gyakorlatban a receptúrázás során lehet az aminosav arányokra vonatkozóan is korlátokat megadni.

A HIZLALÁSI FÁZISOK SZÁMA

A baromfi fajok esetében ez az ammónia emissziót befolyásoló lehetőség kisebb mozgásteret jelent mert a hústípusú baromfi fajoknál (brojlercsirke, pecsénye kacsá, pecsénye liba) rövid a hizlalási idő és eleve 3-4 fázisú hizlalást végeznek a termelők. A pulykahizlalásban is 6 illetve 8 fázis tekinthető általánosnak. A termelési fázisok számának növelését a tápgyártási és logisztikai kapacitások is limitálják.

TAKARMÁNYADALÉKANYAGOK

Az exogén enzimek közül az NSP-bontóknak (xilanáz, glükánáz, celluláz stb.), a proteázoknak és a fitáznak van emészthetőséget befolyásoló hatása. Ezek az enzimek elsősorban a fehérje emészthetőségét és ezáltal a fajlagos mutatókat javítják. Hatásuk annyiban releváns az ammónia emisszió szempontjából, hogy használatukkal csökkenthető a N-ürítés mértéke.

Bizonyos előflórás készítmények úgyszintén módosíthatják az állatok nitrogén ürítését és az ürülék N-tartalmú anyagainak arányát. A probiotikumokban található mikrobák egyrészt fehérje bontó enzimeket termelnek, amelyek javítják az emészthetőséget, másrészt a patogén baktériumok számát csökkentik és ezáltal a kisebb lesz az elhullás, a megbetegedések kialakulásának és a gyulladással immunválasz reakciók kockázata. Ezáltal javulnak a termelési eredmények, az állomány N-retenciója (Reis és mtsai., 2017). A probiotikumok, kiürülve az állat szervezetéből módosíthatják az alom mikroflóráját is (Such és mtsai, 2021a).

Az előzőekben említett takarmányozási tényezők közül a termelési eredmények romlása nélkül a leghatékonyabban a tápok fehérjetartalmának csökkentése befolyásolja az ammónia emissziót. A különböző ammónia emissziót csökkentő takarmányozási módszerek hatása egy szintig additívnek tekinthető. A gyakorlatban például kombinálva használják a csökkentett fehérjetartalmú tápokot és a különböző enzimeket, probiotikumokat.

BAROMFI FAJOK TAN ÜRÍTÉSE

Az ammónia emissziós leltár készítésekor a sertés és a baromfi fajok esetében is általánosan 70%-os TAN default értékkel számolnak. A genetikai előrehaladás azonban mindkét monogasztrikus állatcsoportban jelentős volt az elmúlt évtizedekben. Folyamatosan javult az állatok takarmányértékesítése, N-retenciója és ezáltal nem csupán a N-ürítése, hanem azon belül a vizelettel távozó karbamid vagy húgysav részaránya is. A 3. táblázatban a rendelkezésre álló kutatási eredmények és azok egyéb korcsoportoknak történő megfeleltetése látható. A számok azt mutatják, hogy ezen a téren komoly tartalékaink vannak a hazai leltár pontosítása terén.

3. táblázat

Különböző baromfi fajok TAN ürítése (Dublecz és mtsai, 2021)

Faj	TAN
Brojlercsirke (1)	45%
Kacsa előnevelés (2)	47%
Kacsa hizlalás (3)	47%
Pulyka előnevelő (4)	45%
Pulyka hizlalás bak (5)	50%
Pulyka hizlalás tojó (6)	40%
Jércenevelés (7)	40%
Tojótyúk (8)	40%

Table 3. TAN excretion of different poultry species

broiler chicken (1); duck pre-rearing (2); duck fattening (3); turkey pre-rearing (4); turkey fattening of males (5); turkey fattening of females (6); pullet growing (7); laying hen (8)

FAJI SPECIALITÁSOK

Brojlercsirke

A brojlercsirkék nitrogén hasznosítása az összes baromfifaj közül a leginkább kutatott. A csirkéket általában vegyes ivarban hizlaljuk, a jércék és a kakasok növekedési erélyben megnyilvánuló különbsége a rövid hizlalási idő miatt nem számottevő. A tenyésztőszervezetek takarmányozási ajánlása alapján a nevelési fázisok során az állatok eltérő nyersfehérje tartalmú takarmányt igényelnek. Ennek mennyisége a szükségleti értékek változásával az életkor előrehaladtával csökken. Irodalmi adatok szerint brojlercsirkék és a tojótyúkok nitrogén retenciója közel 50-60%-os, ezt azonban egyes nitrogén emisszió csökkentést célzó takarmányozási stratégiával lehet befolyásolni. Az egyik leginkább kutatott takarmányozási stratégia a nyersfehérje csökkentés aminosav kiegészítéssel. A 4. táblázat az ehhez kapcsolódó kutatási eredményeket mutatja be.

Egyéb takarmányozási módszerek is léteznek a nitrogén ürítés befolyásolására. A takarmány-adalékanyagok, például enzimek, probiotikumok és szerves savak használata úgyszintén javítja az állatok N-retencióját (5. táblázat).

4. táblázat

Kutatási eredmények a brojlercsirke tápok nyersfehérje csökkentésének témájában

Kutatás	Táp	Fehérjeszint	Aminosav-kiegészítés	Nitrogén-űrités	Teljesítmény-mutatók
<i>Blair és mtsai</i> (1999)	kukorica/ búza/ szója	20%-ról 18%-ra a nevelő fázisban	lizin, metionin, treonin, triptofán	27%-os csökkenés a napi nitrogén űritésben	Nincs statisztikailag igazolható különbség a testtömegben
<i>Ullrich és mtsai</i> (2018)	kukorica/ szójadara	22,0-20,5-20%- ról 20,2-18,6- 18,1%-ra a 3 fázis során	lizin, arginin	15,2%-os csökkenés a nitrogén űritésben	Statisztikailag igazolható javulás a testtömeg esetén
<i>Such és mtsai</i> (2021b)	kukorica/ búza/ szójadara	21,3-20,4%-ról 19,4-18,3%-ra a nevelő és befejező fázisban	lizin, metionin, treonin, valin, izoleucin, arginin	23%-os csökkenés a nitrogén űritésben	Nincs statisztikailag igazolható különbség a termelési paramé- terek esetén
<i>Strifler és mtsai</i> (2022)	kukorica/ búza/ szójadara	22,6-20,8- 18,9%-ról 21,2- 19,8-17%-ra a 3 fázis során	lizin, metionin, valin, treonin, arginin, izoleucin	12%-os javu- lás a nitrogén retencióban	Nincs statisztikailag igazolható különbség a termelési paramé- terek esetén
<i>Malomo és mtsai</i> (2013)	kukorica / szójadara	22%-ról 16%-ra a teljes terme- lési időben	metionin, lizin	65%-os csökkenés a nitrogén űritésben	Csökkenett testtömeg és takarmányfogyasz- tás
<i>Rezaei és mtsai</i> (2004)	kukorica / szójadara	20,8-18,1%-ról 18,4-16,4%-ra a nevelő és befejező fázisban	lizin	K:0,868 LP:0,758 g/ nap	Csökkenett a testtömeggyarapodás és a takarmányfelvétel
<i>Attia és mtsai</i> (2020)	kukorica/ szójadara	18%-ról 15%- ra a befejező fázisban	metionin, lizin	21%-os csök- kenés nitro- gén-űritésben	Nem befolyásolta a termelési paramé- tereket

Table 4. Research on the reduction of crude protein content of poultry feeds

Tojóttyúk

A tápok nyersfehérje szintjének csökkentését tojóttyúkok esetén körültekintően kell elvégezni a termeléssel összefüggő élettani sajátosságok miatt. A tojóttyúkok termelését nagymértékben befolyásolja a jércenevelés hatékonysága. A tojóttyúkok specialitása a többi állatfajhoz képest, hogy táplálóanyag szükségletük a nap folyamán is jelentősen változik, ami azzal magyarázható, hogy a tojásképződés jelentős részben az éjszakai órákban történik, amikor a tyúkok nem fogyasztanak takarmányt. *Boorman és mtsai* (2013) szerint a tojásfehérjeszintézis napszaki változása miatt a tyúkok fehérjeszükséglete a nap bizonyos szakaszaiban nagyobb és kisebb is lehet, mint amennyit a takarmányadag tartalmaz. A tyúk kalcium, foszfor, energia és fehérje igényének napszaki változása miatt már a gyakorlatban is elterjedtek az ún. osztott takarmányozási technológiák, amikor kétfajta tápot etetnek. A délelőtti táp több fehérjét és energiát, míg a délután etetett takarmány több kalcium forrást tartalmaz. Ezzel

5. táblázat

Kutatási eredmények a vizelet nitrogén ürtés arányának befolyásolásával kapcsolatban

Kutatás	Táp	Módszer	Vizelet nitrogén arány	Nitrogén ürtés	Teljesítmény-mutatók
<i>Such és mtsai</i> (2021a)	kukorica/ szója	pre- és probiotikum kiegészítés	12%-os vizelet nitrogén arány csökkenés probiotikum etetés hatására	nem változott	Nincs statisztikailag igazolható különbség a termelési paramétereiben
<i>Such és mtsai</i> (2023)	kukorica/ búza/ szója	probiotikum/ szimbiotikum kiegészítés	25,6%-os vizelet nitrogén arány csökkenés probiotikum etetés hatására	nem változott	Nincs statisztikailag igazolható különbség a termelési paramétereiben
<i>Woyengo és mtsai</i> (2010)	kukorica/ szója	fitáz kiegészítés	nincs adat	6,6% javulás a nitrogén retencióban	Statisztikailag igazolható javulás a termelési paramétereiben

Table 5. Research on the manipulation of the rate of urinary nitrogen excretion

a módszerrel csökkentett fehérjefelvétel mellett sem romlik a tojástermelés, javul viszont a tyúkok N-retenciója.

Alagawany és mtsai (2016) vizsgálatai során a különböző nyersfehérje tartamú tápokon metionin és probiotikum kiegészítések alkalmazásának hatását vizsgálták a nitrogén ürtésére és retenciójára. Eredményeik szerint a 18% fehérjetartalmú kontroll táppal szemben a 16%-os nyersfehérje szintű takarmánykeverék 1,95g-ról 1,57g-ra csökkentette a tyúkok nitrogén ürtését. Ezáltal javult a N-retenció is javult 0,34g-ról 0,62g/napra. A probiotikum kezelés esetén hasonló szignifikáns hatásról számoltak be, a nitrogénürités 1,55-ről 1,06g/nap-ra változott, ellentétben a retenciával, ami a kontrolltáp esetén 0,50g/nap, probiotikum kezelés esetén pedig 0,95g/nap volt.

A madarak életkora és termelési szintje nagymértékben befolyásolhatja a fehérje szükségletet. A jércenevelés során például nem cél az intenzív növekedés és a takarmánnyal felvett fehérje nagyobb részben létfenntartásra fordítódik. A tojóttyúkoknál viszont a tojással kiválasztott jelentős fehérje miatt már a termékbe épülő nitrogén válik dominánssá. A táp százalékában kifejezett fehérjetartalom a madarak életkorának növekedésével azért csökken, mert az állatok növekedési üteme csökken, takarmányfelvevő kapacitása viszont nő (*Bertechini*, 2012). Ezt támasztja alá *Soares és mtsai* (2017) munkája, ahol a jércék napi létfenntartó nitrogén szükségletét 294, 331 és 355 mg/ttkg^{0,67}-nak találták az indító, nevelő és befejező fázisokban. A jércék nitrogén retenciója pedig 3200, 2633 és 1826 mg/ttkg^{0,67} volt. Mivel a jércékkel eleve kis fehérjetartalmú tápokot etetünk, a N-ürités csökkentése érdekében végzett kutatásokat ezzel a baromfi csoporttal nem végeztek.

Pulyka

Pulykával már sokkal kevesebb kísérleti eredménnyel találkozunk. A pulyka takarmányozás specialitása, hogy a nevelés két fázisú. Az előnevelést erre szakosodott telepeken végzik, majd 6 hetesen kerülnek az állatok a hizlaló telepekre. Úgyszintén jellemző a pulyka fajra a nagy ivari dimorfizmus. Emiatt a tojót és

6. táblázat

Kutatási eredmények a tojó tápok nyersfehérje csökkentésének témájában
(Chalova, 2016)

Kutatás	Táp	Fehérjeszint	Aminosav- kiegészítés	Nitrogén- űrités	Teljesítmény-mutatók
<i>Blair és mtsai</i> (1999)	kukorica/ búza/ szója	17%-ról 13,5%-ra termelés alatt	lizin, metionin, treonin, triptofán	35%-os csökkenés a napi nitrogén űritésben	Nincs statisztikailag igazolható különbség a tojástermelésben és minőségben 13,5 és 17%-os fehérjeszint esetén
<i>Summers</i> (1993)	kukorica/ búza/ szója	19-17%-ról 11%-ra	lizin, metionin	40%-os csökkenés nitrogén űritésben	Nincs statisztikailag igazolható különbség a tojástermelésben, azonban a tojástömeg csökkent 11%-os fehérjeszint esetén a 19%-os képest
<i>Latshaw és Zhao</i> (2011)	kukorica/ kukorica glutén/ búza/ szója	17-ről 13 g nyersfehérje/ nap	lizin, metionin, treonin, triptofán, izoleucin, valin, fenil-alanin	30%-os csökkenés nitrogén űritésben	Nincs statisztikailag igazolható különbség a tojástermelésben, de nőtt a takarmányfogyasztás
<i>Sloan és mtsai</i> (1995)	kukori- ca/ szója- dara	15,5%-ról 12,7%-ra	metionin	16%-os csökkenés nitrogén űritésben	A tojás mérete és a termelés csökkent
<i>Keshavarz és Austic</i> (2004)	kukori- ca/árpa/ szója- dara	16%-ról 13%-ra	metionin, lizin, triptofán, izoleucin, valin	45%-os csökkenés nitrogén űritésben	Nincs különbség a tojástermelésben, tojástömegben és takarmányfogyasztásban. Alacsonyabb takarmányértékesítés

Table 6. Research results on the reduction of crude protein content of laying hen feeds (Chalova, 2016)

a bakokat elkülönítetten, eltérő ideig és végsúlyra hizlaljuk. Mindezek a jellegzetességek természetesen a takarmányozást is érintik.

A rendelkezésre álló kutatási eredmények alapján ha az alapvető aminosav-szükségletek teljesülnek, akkor a tápok nyersfehérje-tartalma csökkenthető (*Sell és mtsai*, 1994; *Waibel és mtsai*, 1995; *Boling és Firman*, 1997; *Kidd és mtsai*, 1997; *Waldroup és mtsai*, 1997). Mivel a pulyka esetében is jelentős volt az új genotípusok, hibridek teljesítmény növekedése, *Applegate és mtsai* (2008) azt vizsgálták, hogy hizlalás egyes fázisaiban 1-2%-os nyersfehérje szint növelésének, illetve a lizin, metionin és a treonin szükségletet (*NRC*, 1994) 10%-kal meghaladó biztosítása, milyen módon befolyásolja a bakpulykák súlygyarapodását, a mellhús kihozatalt és a N-űritést. A kezelések nem befolyásolták a pulykák súlygyarapodását, takarmányfelvételét, a fajlagos takarmányfelhasználást és a mellhús kihozatalt sem. Ugyanakkor, ha a lizin és a metionin mellett a tápok treonint is tartalmaztak, akkor 10,8%-kal csökkent az alom N-tartalma. *Lingens és mtsai* (2021) szerint a

pulykák nitrogén hasznosításának javítása során problémát jelent, hogy az ileális emésztési együtthatókat brojlercsirkékkel határozták meg. Egyes kutatások során megállapították azonban, hogy az emésztési együtthatók különböznek a pulykák és brojlerek esetén, aminek orvoslására javaslatokat is megfogalmaztak (Kluth, 2006; Kozłowski, 2011; 2012). Lingens és mtsai (2021) vizsgálatai során 3%-os fehérjecsökkentést (18-15%) végeztek lizin- és metionin-kiegészítéssel. Ennek során a kísérleti tápokot standardizált csípőbélben emészthető aminosavak (SID) alapján állították össze (Lemme és mtsai, 2004a, 2004b, 2020). Eredményeik szerint a teljesítményparamétereket negatívan befolyásolták a kezelések. Megállapították, hogy az emésztési együtthatók különbözősége befolyással lehetett a fehérjecsökkentés hatékonyságára (Kluth, 2006 ;Kozłowski, 2011; 2012). Ezzel ellentétben Kluth és Rodehutscord (2006) a szójadara emészthetőségének vizsgálata során nem számolt be lényeges különbségekről brojlercsirkék, pulykák és pekingi kacsák között.

Kacsa

Hazánkban a pecsenyekacsa termelés a legdinamikusabban növekvő szegmense a baromfi ágazatnak. A brojlercsirkéhez hasonlóan a kacsák hizlalása is vegyes ivarban történik. A Pekingi típusú pecsenyekacsa esetében nincs lényeges eltérés a két ivar növekedése között. A kacsák N-ürítéséről több kutatás és összefoglaló tanulmány is született (Adeola, 2006). Az emésztőrendszer fejlődése a növekedés során eltérő a brojlerek és a víziszárnyasok esetében (Jamroz és mtsai, 2001, 2002, 2004), és különbségek vannak az aminosavak emésztőképességében is a brojlerek és kacsák között (Kluth és Rodehutscord, 2006). Ebből következik, hogy a brojlercsirkékkel meghatározott emésztési együtthatók nem feltétlenül alkalmazhatók kacsákra (Akinde és mtsai, 2010). Akinde és mtsai (2010) vizsgálatai során megállapították, hogy a kacsák endogén nitrogén-ürítése, a kacsa testtömegétől és életkorától függően lényegesen meghaladja a brojlercsirkékkel mért értékeket. Xie és mtsai (2017) eredményei alapján az emészthető aminosav alapon összeállított, kristályos aminosavakkal kiegészített 15%-os nyersfehérje tartalmú táp etetése nem befolyásolta kedvezőtlenül a pekingi kacsák súlygyarapodását és testösszetételét. A 13,54%-os nyersfehérje tartalmú táp etetése esetén már nőtt a hasúri zsír mennyisége. Egyes kacsatípusok fehérjeszükséglete is azonban eltérhet a hasznosítási típus szerint. Baéza és mtsai (2012) mulard kacsák fehérjeszükségletének megállapítására végeztek kísérletet. Minden termelési fázisban 5 fehérjeszintet alkalmaztak. Ennek során megállapították, hogy a nagyobb fehérjetartalmú takarmányok etetésekor romlott a fehérje hasznosulása és a 23,8, 15,4 és 13,8%-os fehérjeszintek bizonyultak a legkedvezőbbnek az indító, nevelő és befejező fázisban. A fehérje szint csökkentése az indító fázisban 42%-ról 54%-ra, a nevelő fázisban 42%-ról 47%-ra, a befejező szakaszban pedig 45%-ról 79%-ra növelte a kacsák N-retencióját. Ennek következtében az ürülék nitrogéntartalma a takarmány nitrogéntartalmával lineárisan úgyszintén növekedett. Dublec és mtsai (2018) eredményei alapján a kacsák kevésbé érzékenyen reagálnak a tápok fehérjeszintjének változására, mint a brojlercsirkék. Kísérletükben még a 2,5%-os fehérjecsökkentett táp sem eredményezett változást a termelési paraméterekben, viszont 60 Ft-al csökkentette az egy kacsára jutó takarmányköltséget.

KÖVETKEZTETÉSEK

A baromfi ágazat a hazai agrárgazdaság egyik meghatározó jelentőségű szegmense, az export és a hazai lakosság állati fehérjével történő ellátása szempontjából egyaránt. A termékelőállítás hatékonyságának folyamatos javításán túl valamennyi állattenyésztési ágazatban egyre nagyobb súllyal esik latba a fenntarthatósági és környezetvédelmi szempontok figyelembevétele. Ebből a szempontból az ammónia emisszió az egyik legégetőbb probléma. Jelen cikkünkben a különböző baromfi fajokra vonatkozóan rendelkezésre álló takarmányozási lehetőségeket mutatjuk be. Természetesen a takarmányozáson túl, számos egyéb tényező, a tartástechnológia, az alom minősége, a trágyatárolás és trágya szántóföldre történő kijuttatása úgyszintén hatással van az elillanó ammónia mennyiségére. Az Agrárminisztérium megbízásából, az elmúlt években több kutatóintézettel együttműködve telepi szintű ammónia kalkulátort is kifejlesztettünk a sertés és baromfitartó gazdák részére. Ezekkel az ingyenesen hozzáférhető internetes felületű kalkulátorokkal az állattartók maguk is tudják értékelni jelenlegi helyzetüket és segítséget kapnak a lehetséges ammónia emisszió csökkentési alternatívákról.

IRODALOMJEGYZÉK

- Adeola, O. (2006): Review of research in duck nutrient utilization. *Int. J. Poult. Sci.*, 5. 201-218.
- Akinde, O. A. – Kluth, H. – Rodehutsord, M. (2010): Studies on the inevitable losses of nitrogen in Pekin ducks. *Arch. Geflügelk.*, 74. 233-239.
- Alagawany, M. – Abd El-Hack M. E. – Arif, M. (2016): Individual and combined effects of crude protein, methionine, and probiotic levels on laying hen productive performance and nitrogen pollution in the manure. *Env. Sci. Pollut. Res.*, 23. 22906–22913.
- Applegate, T. – Powers, A. – Angel, R. – Hoehler, D. (2008): Effect of amino acid formulation and amino acid supplementation on performance and nitrogen excretion in turkey toms. *Poult. Sci.*, 87. 514-520.
- Attia, Y. A. – Bovera, F. – Wang, J. – Al-Harhi, M. A. – Kim, W. K. (2020): Multiple amino acid supplementations to low-protein diets: Effect on performance, carcass yield, meat quality and nitrogen excretion of finishing broilers under hot climate conditions. *Animals*, 10. 973.
- Baéza, E. – Bernadet, M. D. – Lessire, M. (2012): Protein requirements for growth, feed efficiency, and meat production in growing mule ducks. *J. Appl. Poult. Res.*, 21. 21-32.
- Behera, S. N. – Sharma, M. (2010): Investigating the potential role of ammonia in ion chemistry of fine particulate matter formation for an urban environment. *Sci. Total Environ.*, 408. 3569–3575.
- Bertechini, A. G. (2012): Nutrição de monogástricos. p 301. Lavras, Brazil: Editora UFLA. ISBN: 978-85-8127-016-6
- Bittman, S. – Dedina, M. – Howard, C. M. – Oenema, O. – Sutton, M. A. (eds) (2014): Options for ammonia mitigation: Guidance from the UNECE task force on reactive nitrogen. Centre for Ecology and Hydrology, Edinburgh, UK; ISBN: 978-1-906698-46-1
- Blair, R. – Jacob, J. P. – Ibrahim, S. – Wang, P. (1999): A quantitative assessment of reduced protein diets and supplements to improve nitrogen utilisation. *J. Appl. Poult. Res.*, 8. 25-47.
- Boling S. D. – Firman J. D. (1997): A low-protein diet for turkey poults. *Poult. Sci.*, 76. 1298-1301.
- Boorman, K. N. (2013): Dietary constraints on nitrogen retention. Protein deposition in animals: Proceedings of Previous Easter Schools in Agricultural Science Butterworths, London, 147-166.
- Brouček, J. – Čermák, B. (2015): Emission of harmful gases from poultry farms and possibilities of their reduction. *Ekologia Bratislava*, 34. 89–100.

- Chalova, V. I. – Kim, J. H. – Patterson, P. H. – Ricke, S. C. – Kim, W. K. (2016): Reduction of nitrogen excretion and emissions from poultry: a review for conventional poultry. *World Poult. Sci. J.*, 72. 509-520.
- D'Mello, J. P. F. (1994): Responses of growing poultry to amino acids. In *Amino acids in animal nutrition* (ed. JPF D'Mello 2nd edition) pp. 205–244. CAB International, Wallingford, UK.
- DublecZ, F. – Bustyaházai, L. – Pócza, Sz. – Takaró, V. – Husvéth, F. – Pál, L. – Márton, A. – Such, N. – Koltay, I. – DublecZ, K. (2018): A broiler csirke és a pecsényekacsa ileális aminosav-emésztőképességének összehasonlítása. Konferenciakiadvány, 1-5. XXIV. Ifjúsági Tudományos Fórum, 2018. május 24. Keszthely
- DublecZ, K. – Benedek, Zs. – Koltay, I. A. (2021): Húshasznú baromfi fajok és különböző genotípusú sertésekre vonatkozó kutatási feladatok támogatása. Kutatási jelentés, Agrárminisztérium.
- EEA, *European Environment Agency* (2023): Briefing no. 15/2023, Air pollution in Europe: 2023 reporting status under the National Emission reduction Commitments Directive. ISBN: 978-92-9480-586-7. doi: 10.2800/149724
- Elliott, H. A. – Collins, N. E. (1982): Factors affecting ammonia release in broiler houses. *Am. Soc. of Agric. Eng. Trans.*, 25. 413–418.
- Figueroa, J. L. – Lewis, A. J. – Miller, P. S. – Fischer, R. L. – Diedrichsen, R. M. (2003): Growth, carcass traits, and plasma amino acid concentrations of gilts fed low-protein diets supplemented with amino acids including histidine, isoleucine, and valine. *J. Anim. Sci.*, 81. 1529–1537.
- Giannakis, E. – Kushta, J. – Bruggeman, A. – Lelieveld, J. (2019): Costs and benefits of agricultural ammonia emission abatement options for compliance with European air quality regulations. *Environ. Sci. Eur.*, 31. 93. doi: 10.1186/s12302-019-0275-0
- IIR (2022): Hungary Informative Inventory Report 1990-2020; <https://cdr.eionet.europa.eu/hu/un/clrtap/iir/envyjdna/>
- Jamroz, D. – Jakobsen, K. – Orda, J. – Skorupińska, J. – Wiliczekiewicz, A. (2001): Development of the gastrointestinal tract and digestibility of dietary fibre and amino acids in young chickens, ducks and geese fed diets with high amounts of barley. *Comp. Physiol. Biochem.*, 130. 643-652.
- Jamroz, D. – Jakobsen, K. – Bach Knudsen, K. C. – Wiliczekiewicz, A. – Orda, J. (2002): Digestibility and energy value of non-starch polysaccharides in young chickens, ducks and geese, fed diets containing high amounts of barley. *Comp. Physiol. Biochem.*, 131. 657-668.
- Jamroz, D. – Wiertelcki, T. – Wiliczekiewicz, A. – Orda, J. – Skorupińska, J. (2004): Dynamics of yolk sac resorption and post-hatching development of the gastrointestinal tract in chickens, ducks and geese. *J. Anim. Phys. Anim. Nutr.*, 88. 239-250.
- Juhász, A. – Schmidt, J. (2002): Apparent and true digestibility of protein and amino acids in poultry feeds: I. Methods of determining protein and amino acid digestibility in poultry. *Acta Agron. Óvárieni.*, 44. 87–94.
- Kerr, B. J. – Southern, L. L. – Bidner, T. D. – Friesen, K. G. – Easter, R. A. (2003): Influence of dietary protein level, amino acid supplementation, and dietary energy levels on growing-finishing pig performance and carcass composition. *J. Anim. Sci.*, 81. 3075–3087.
- Keshavarz, K. – Austic, R. E. (2004): The use of low-protein, low-phosphorus, amino acid- and phytase-supplemented diets on laying hen performance and nitrogen and phosphorus excretion. *Poult. Sci.*, 83. 75-83.
- Kidd, M. T. – Kerr, B. J. – England, J. A. – Waldroup, P. W. (1997): Performance and carcass composition of large white toms as affected by dietary crude protein and threonine supplements. *Poult. Sci.*, 76. 1392-1397.
- Kluth, H. – Rodehutscord, M. (2006): Comparison of amino acid digestibility in broiler chickens, turkeys, and pekin ducks. *Poult. Sci.*, 85. 1953–1960.
- Krupa, S. (2003): Effects of atmospheric ammonia (NH₃) on terrestrial vegetation: a review. *Envir. Poll.*, 124.179–221.
- Latshaw, J. D. – Zhao, L. (2011): Dietary protein effects on hen performance and nitrogen excretion. *Poult. Sci.*, 90. 99-106.

- Lelieveld, J. – Haines, A. – Pozzer, A. (2018): Age-dependent health risk from ambient air pollution: a modelling and data analysis of childhood mortality in middle-income and low-income countries. *Lancet Planet Health*, 2. (7) e292–e300.
- Lemme, A. (2003): The “Ideal Protein Concept” in broiler nutrition 1. Methodological aspects - Opportunities and limitations. *AminoNews*, 2-9. Available at https://www.researchgate.net/publication/284800241_The_Ideal_Protein_Concept_in_broiler_nutrition_1_Methodological_aspects_-_Opportunities_and_limitations (verified 24 January 2022).
- Lemme, A. (2020): Turkey Times. In Proceedings of the 14th Turkey Science and Production Conference, Chester, UK, 4–6. March, 79–86.
- Lemme, A. – Frackenpohl, U. – Petri, A. – Meyer, H. (2004a): Effects of reduced dietary protein concentrations with amino acid supplementation on performance and carcass quality in turkey toms 14 to 140 days of age. *Int. J. Poult. Sci.*, 3. 391–399.
- Lemme, A. – Ravindran, V. – Bryden, W. L. (2004b): Ileal digestibility of amino acids in feed ingredients for broilers. *World’s Poult. Sci. J.*, 60. 423–438.
- Lingens, J. B. – Abd El-Wahab, A. – de Paula Dorigam, J. C. – Lemme, A. – Brehm, R. – Langeheine, M. – Visscher, C. (2021): Evaluation of methionine sources in protein reduced diets for turkeys in the late finishing period regarding performance, footpad health and liver health. *Agriculture*, 11. 901.
- Malomo, G. A. – Bolu, S. A. – Olutade, S. G. (2013): Effects of dietary crude protein on performance and nitrogen economy of broilers. *Sus. Agric. Res.*, 2. 52–57.
- O’dell, B. L. – Woods, W. D. – Laerdal, Osm. A. – Muniz Jeffay A. – Savage, J. E. (1960): Distribution of the major nitrogenous compounds and amino acids in chicken urine. *Poult. Sci.*, 39. 426–432.
- Reis, M. P. – Fassani, E. J. – Garcia, A. A. P. – Rodrigues, P. B. – Bertechini, A. G. – Barrett, N. – Persia, M. E. – Schmidt, C. J. (2017): Effect of *Bacillus subtilis* (DSM 17299) on performance, digestibility, intestine morphology, and pH in broiler chickens. *J. Appl. Poult. Res.*, 26. 573–583.
- Rezaei, M. H. – Moghaddam, N. – Pour Reza, J. – Kermanshahi, H. (2004): The effects of dietary protein and lysine levels on broiler performance, carcass characteristics and N excretion. *Int. J. Poult. Sci.*, 3. 148–152.
- Schraufnagel, D. – Balmes, J. – De Matteis, S. – Hoffman, B. – Kim, W. J. – Perez-Padilla, R. – Rice, M. – Sood, A. – Vanker, A. – Wuebbles, D. (2019): Health benefits of air pollution reduction. *Ann. Am. Thorac. Soc.*, 16. 1478–1487.
- Sell, J. L. – Jeffrey, M. J. – Kerr, B. J. (1994): Influence of amino acid supplementation of low-protein diets and metabolizable energy feeding sequence on performance and carcass composition of toms. *Poult. Sci.*, 73. 1867–1880.
- Sloan, D. R. – Harms, R. H. – Barnard, D. – Nordstedt, R. (1995): Effect of diet on feces composition and the implications on environmental quality. *J. Appl. Poult. Res.*, 4. 379–383.
- Soares, L. – Kazue Sakomura, N. – Cesar de Paula Dorigam, J. – Liebert, F. – Quintino do Nascimento, M. – Batista, J. – Fernandes, K. (2019): Nitrogen maintenance requirements and potential for nitrogen retention of pullets in growth phase. *J. Anim. Phys. Anim. Nutr.*, 103. 1168–1173.
- Striffler, P. – Horváth, B. – Such, N. – Zsarnóczay, S. – Dublec, K. – Pál, L. (2022): Eltérő nyersfehérje- és energiaszintű takarmányok hatása brojler kakasok termelési eredményeire, nitrogénretenciójára és az ürülék nitrogénformáira. XXVIII. Ifjúsági Tudományos Fórum, Keszthely, tanulmánykötet, 1-7.
- Such, N. – Csitári, G. – Stankovics, P. – Wágner, L. – Koltay, I. A. – Farkas, V. – Pál, L. – Striffler, P. – Dublec, K. (2021a): Effects of probiotics and wheat bran supplementation of broiler diets on the ammonia emission from excreta. *Animals*, 11. 2703.
- Such, N. – Pál, L. – Striffler, P. – Horváth, B. – Koltay, I. A. – Rawash, M. A. – Farkas, V. – Mezőlaki, Á. – Wágner, L. – Dublec, K. (2021b): Effect of feeding low protein diets on the production traits and the nitrogen composition of excreta of broiler chickens. *Agriculture*, 11. 781.
- Such, N. – Mezőlaki, Á. – Rawash, M. A. – Tewelde, K. G. – Pál, L. – Wágner, L. – Schermann, K. – Poór, J. – Dublec, K. (2023): Diet composition and using probiotics or symbiotics can modify the

- urinary and faecal nitrogen ratio of broiler chicken's excreta and also the dynamics of in vitro ammonia emission. *Animals*, 13. 332.
- Summers, J. D. (1993): Reducing nitrogen excretion of the laying hen by feeding lower crude protein diets. *Poult. Sci.*, 72. 1473-1478.
- Sutton, M. – Howard, C. – Erisman, J. – Billen, G. – Bleeker, A. – Grennfelt, P. – Grizzetti, B. (Eds.). (2011): *The European nitrogen assessment: Sources, effects and policy perspectives*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Tasaki, I. – Okumura, J. (1964): Effect of protein level of diet on nitrogen excretion in fowls. *J. Nutr.*, 83. 34–38.
- Tichý, O. – Eckhardt, S. – Balkanski, Y. – Hauglustaine, D. – Evangelidou, N. (2023): Decreasing trends of ammonia emissions over Europe seen from remote sensing and inverse modelling. EGUSphere, preprint repository. <https://doi.org/10.5194/egusphere-2023-641>
- Ullrich, C. – Langeheine, M. – Brehm, R. – Taube, V. – Siebert, D. – Visscher, C. (2018): Influence of reduced protein content in complete diets with a consistent arginine–lysine ratio on performance and nitrogen excretion in broilers. *Sustainability*, 10. 3827.
- Varel, V. H. – Wells, J. E. – Miller, D. N. (2006): Combination of a urease inhibitor and a plant essential oil to control coliform bacteria, odour production and ammonia loss from cattle waste. *J. Appl. Microbiol.*, 102. 472-477.
- Waibel, P. E. – Carlson, C. W. – Liu, J. K. – Brannon, J. A. – Noll, S. L. (1995): Replacing protein in corn-soybean turkey diets with methionine and lysine. *Poult. Sci.*, 74. 1143-1158.
- Waldroup, P. W. – England, J. A. – Waldroup, A. L. – Anthony, N. B. (1997): Response of two strains of large white male turkeys to amino acid levels when diets are changed at three-or four-week intervals. *Poult. Sci.*, 76. 1543-1555.
- WHO - World Health Organization (2013): Health effects of particulate matter. Policy implications for countries in eastern Europe, Caucasus and Central Asia. Available online: http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0006/189051/Health-effects-of-particulate-matter-final-Eng.pdf. (accessed on 04.14.2021)
- Woyengo, T. A. – Slominski, B. A. – Jones, R. O. (2010): Growth performance and nutrient utilization of broiler chickens fed diets supplemented with phytase alone or in combination with citric acid and multcarbohydrase. *Poult. Sci.*, 89. 2221-2229.
- Wu, Y. – Gu, B. – Erisman, J. W. – Reis, S. – Fang, Y. – Lu, X. – Zhang, X. (2016): PM2.5 pollution is substantially affected by ammonia emissions in China. *Environ. Pollut.*, 86–94.
- Xie, M. – Jiang, Y. – Tang, J. – Wen, Z. G. – Zhang, Q. – Huang, W. – Hou, S. S. (2017): Effects of low-protein diets on growth performance and carcass yield of growing White Pekin ducks. *Poult. Sci.*, 96. 1370-1375.
- Zhang, R. – Ishibashi, K. – Day, D. L. (1991): Experimental study of microbial decomposition in liquid swine manure, and generation rates of ammonia. in *Proceedings of the Livestock Waste Management Conference, American Society of Agricultural Engineers*. St. Joseph, MI, USA. 23–26 April

Érkezett: 2023. július

A szerzők címe: Dublecz K. – Kiss B. – Goitom Tewelde K. – Bartos Á. – Pál L. – Magyar M. – Benedek Zs. – Such N.
Magyar Agrár és Élettudományi Egyetem, Georgikon Campus, Takarmányozási és Takarmányozás-élettani Tanszék

Authors' address: Hungarian University of Agriculture and Life Sciences, Georgikon Campus, Department of Animal Nutrition and Nutritional Physiology
H-8360 Keszthely, Deák Ferenc u. 16.
dublecz.karoly@uni-mate.hu

AZ ÉDESVÍZI AKVAKULTÚRA JÖVŐJE A KLÍMAVÁLTOZÁS TÜKRÉBEN

HORN PÉTER – HORVÁTH LÁSZLÓ – MÉZES MIKLÓS – URBÁNYI BÉLA

ÖSSZEFOGLALÁS

A globális felmelegedés és klímaváltozás előrejelzése több, mint 30 éves múltra tekint vissza. Egyértelműen kijelenthető, hogy ezen folyamatok hatásai a mezőgazdaságot is érintik, és jelenleg a problémák azonosítása és az esetleges megoldások és javaslatok megfogalmazása történt meg. A klímaváltozás lokálisan és globálisan előre nem pontosan megjósolható, szélsőséges, klimatikus anomáliákat hozhat, amelyekben az akvakultúrában leginkább a hazánkra is jellemző tógazdasági haltenyésztés lesz érintett. A szélsőséges időjárás, az extrém meleg időszakok, a csapadék egyenetlen eloszlása komoly kihívásokkal állítja szembe tógazdasági haltermelőket: víztakarékos technológiák, a körforgásos gazdálkodásban rejlő lehetőségek, valamint a kutatás és a tudomány eredményeinek gyakorlatba történő ültetése alapelemei lesznek a jövő tógazdasági haltermelésének. Ezen időjárási hatásokkal szemben az intenzív, zártrendszerű haltermelési rendszerek nyújthatnak védelmet, amelyek szerepe a lakosság halellátásában a jövőben megnövekedik. Az eddigi folyamatokkal összhangban ezért az intenzív halnevelési rendszerek további térhódítása várható, annál is inkább, mert várhatóan a természetesvízi halászat által nyerhető halmenyiség további mérséklődésével lehet számolni, ugyanakkor növekedni fog a halfogyasztási igény.

SUMMARY

Horn, P. - Horváth, L. – Mézes, M. – Urbányi, B.: THE FUTURE OF FRESHWATER AQUACULTURE IN THE LIGHT OF CLIMATE CHANGE

Global warming and climate change projections go back more than 30 years. These processes affect agriculture and that the problems have now been identified and possible solutions and proposals formulated. Climate change may bring extreme climatic anomalies that cannot be accurately predicted locally or globally and will affect aquaculture, especially pond fish farming, which is typical of our country. Extreme weather and temperatures and uneven rainfall patterns will pose serious challenges for pond fish farmers: water-saving technologies, the potential of a circular economy, and the application of research and science will be the building blocks for future pond fish production. Intensive fish production systems can protect against these weather impacts and will play an increasing role in the future supply of fish to the population. Therefore, in line with past trends, further expansion of intensive fish farming systems is expected, even more so as the quantity of fish available from fisheries is expected to decrease further. At the same time, the demand for fish consumption will increase.

BEVEZETÉS ÉS IRODALMI ÁTTEKINTÉS

Az édesvízi és tengeri akvakultúra, mint állati eredetű termék előállító szektor a világ leggyorsabban fejlődő állattenyésztési ágazata (FAO 2022). A globális felmelegedés valósága ma már tagadhatatlan: számos tengeri és édesvízi ökoszisztémában az évszakonkénti hőmérséklet fokozatos emelkedése tapasztalható, ami szélesebb körű hőingadozással és a szélsőséges hóhullámok gyakoribbá válásával párosul (IPCC, 2014; Frölicher és mtsai, 2018; Collins és mtsai, 2019). Az akvakultúra és halgazdálkodásra ható éghajlatváltozás okai és hatásai különbözőek, melyeket az 1. ábra mutat be. A halak túlnyomó többsége poikilotherm, így ezek az éghajlati változások valószínűleg erőteljes hatással lesznek fiziológiájukra, ami az egyedek, a populációk és a fajok szintjére, és így a halászatra, halgazdálkodásra és akvakultúrára is kihat (Pörtner és Farrell, 2008; Pörtner és Peck, 2010; Seebacher és Franklin, 2012; McKenzie és mtsai, 2016).

A halak alapvetően három fő reakcióval képesek válaszolni az élőhelyük folyamatos felmelegedésére: (i) a fajok elterjedésének szélességi el- és kitolódása, a mérsékelt égövi és szubtrópusi halak mozgásával-vándorlásával (Parmesan és Yohe, 2003; Perry és mtsai, 2005; Hickling és mtsai, 2006; Poloczanska és mtsai, 2013); (ii) a fő életről-események fenológiájának változásai, például a vándorlás és az ívás (évszakhoz és vízhőmérséklethez) időzítése, vagy a szaporodási időszakok hosszának megváltozása (Poloczanska és mtsai, 2013; Crozier és Hutchings, 2014; Myers és mtsai, 2017; Rogers és Dougherty, 2019), és (iii) az átlagos testméret csökkenése, amely a felnőttkori végső méret csökkenésével és a fiatalabb és kisebb egyedek arányának növekedésével függ össze a populációkban (Daufresne és mtsai, 2009; Gardner és mtsai, 2011; Audzijonyte és mtsai, 2020).

1. ábra Az akvakultúra-termelésre ható éghajlatváltozás okai és hatásai
(Abisha és mtsai, 2022)



Figure 1. Causes and impacts of climate change affecting aquaculture production

Tény, hogy ezen várható, és részben már tapasztalt jelenségek háttérben álló mechanizmusok élettani háttere még messze nem teljesen tisztázott, de feltételezhető, hogy legalább részben az egyes fajok genetikájában rögzült fiziológiai funkciók és válaszok vezérik azokat, amelyek vagy fenotípusos plaszticitást, vagy evolúciós folyamatokat tükröznek (Wang és Overgaard, 2007; Pörtner és Farrell, 2008; Pörtner és Peck, 2010; Huey és mtsai, 2012; Seebacher és mtsai, 2015; Stillman, 2019; Goikoetxea és mtsai, 2021).

ÖSSZEFÜGGÉS AZ ÉDESVÍZI AKVAKULTÚRA ÉS A KLÍMAVÁLTOZÁS KÖZÖTT

Az édesvízi akvakultúra jövője és a globális felmelegedés között összetett és komplex összefüggések vannak. Globális felmelegedés hatására az édesvízi ökoszisztémák is változnak, és ez kihívásokat jelent az akvakultúra számára (McKenzie és mtsai, 2021). Az alábbiakban néhány fontos tényezőt kívánunk bemutatni.

Vízminőség: A globális felmelegedés növeli a vízhőmérsékletet, ami hatással van az akvakultúra rendszerek vizeinek minőségére. A melegedő vizekben megnő a hínár- és algavirágzás kockázata, ami csökkenti a víz oxigéntartalmát és emiatt negatív hatással lehet a halak egészségi állapotára. Emellett a melegebb vízben a halaknak nagyobb táplálkozási igényük van, ami megnövelheti a takarmányköltségeket. A takarmányozási költségek növekedéséhez az is hozzájárul, hogy tavi körülmények között megváltozik a fito- és zooplankton aránya az előbbieik javára, ami csökkenti a tavi természetes biomassza mennyiségét (Pulsifer és Laws, 2021), ezzel megnövelve a hozamok maximalizálása érdekében a kiegészítő takarmányok szükségese mennyiségét.

Rendelkezésre álló vízmennyiség: A globális felmelegedés hatására egyes régiókban drasztikus mértékben csökkenhet az édesvíz mennyisége. Az akvakultúra rendszerek számára ez problémákat okozhat, mivel a halaknak megfelelő mennyiségű és minőségű vízre van szükségük. Az alacsony vízállás korlátozhatja az akvakultúra kapacitás kihasználtságát és termelékenységét (Little és mtsai, 2016).

Betegségek és kórokozók terjedése: A melegedő vizek kedvező környezetet teremthetnek a betegségek és kórokozók számára. Amennyiben a halak hőstressznek vannak kitéve, az stresszhatásként jelentkezik, ami gyengíti immunválasz képességüket és növeli a betegségekkel szembeni fogékonyságukat. Ez jelentős gazdasági veszteségeket okozhat az akvakultúra rendszerek számára, amelynek komoly gazdasági kihatásai is lehetnek (Little és mtsai, 2016).

Egységnyi halmennyiség előállításának energiaigénye: Smil (2022) újszerű megközelítésben közölt számításokat arra vonatkozóan, hogy 1 kilogramm hal előállításának komplex energia igénye gázolaj mennyiségben kifejezve hogyan függ össze az előállítás módjával. Az 1. táblázat Smil adatai alapján mutatja be az egyes intenzív halnevelési rendszerek és halászati formák gázolajban kifejezett környezeti lábnyomát 1 kilogramm termék előállítása esetén. A növényevő halfajok intenzív nevelése jellemezhető a legkisebb, míg a ragadozó fajok előállítása jelentősen nagyobb környezetterheléssel. A tengeri halfajok közül a szardínia és a makréla halászata nagyon hatékony. Meglepő módon a tengeri fajok, ebbe beleértve a „tenger gyümölcsei” halászatát is, meglepően nagymértékű (átlagosan) gázolajban kifejezett környezetterheléssel jár. Megjegyzésre érdemes az, hogy Smil

számításai szerint 1 kilogramm fehérkenyér gyártása ugyanabba a tartományba esik, mint a növényevő halfajok intenzív körülmények közötti nevelése.

1. táblázat

Egy kilogramm hal előállításának energiaigénye gázolajban kifejezve, az előállítás módjától függően (Smil, 2022)

Halfajok (1)	Termelés módja (2)	Gázolaj (ml) (3)
Növényevők (pl. fehér és pettyes busa, amur) (4)	Intenzív (8)	>300
Ragadozók (pl. farkassügér) (5)	Intenzív (8)	2000 – 2500
Szardínia, makréla (6)	Halászat (9)	kb. 100
Tengeri fajok átlaga (7)	Halászat (9)	kb. 700

Table 1. Diesel oil needed in millilitres to produce one kg of fish as influenced by species and system of production

fish species (1); system of production (2); diesel oil ml (3); herbivorous species, as Chinese silver, bighead and grass carp (4); carnivorous species as sea bass (5); sardines, mackerel (6); average of fish and other “frutti di mare” (7); intensive (8); fishing (9)

A víz oxigéntartalmának változása és annak hatásai

A globális felmelegedés egyik legerőteljesebb hatása a vizek oxigéntartalmának változásán érhető tetten. A halak és a vízi élőlények jelentős hányada a vízben oldott oxigént használja fel a lélegzéséhez. Régóta ismert, hogy a víz oxigéntartalma (oxigén kapacitása) fordítottan arányos mértékben változik annak hőmérsékletével. A klímaváltozás és az édesvíz oldott oxigéntartalma között számos összefüggés és kölcsönhatás áll fenn. A klímaváltozás hatással van az édesvizek hőmérsékletére, a vízhozamra, a légkör nedvességtartalmára és más tényezőkre, amelyek közvetlenül vagy közvetve befolyásolják az oldott oxigéntartalmat.

Az oxigénnek a biológiai rendszerekben betöltött általános és kiemelkedő jelentőségére atomjainak sajátos szerkezete ad magyarázatot. Az oxigén elektron vonzó képessége (elektron negativitása) nagy, ezeket a hiányzó elektronokat környezetéből agresszív módon képes megszerezni. Jó példa erre az ózon (O₃) viselkedése, amikor átmenetileg 3 oxigénatom kapcsolódik egymáshoz. Az ózon molekula azonban instabil, O₂ molekulára, amelyben két oxigén atom 2 -2 elektronja kovalens kötést alkot, és egy agresszív oxigén atomra („nascens” oxigén) bomlik. Az oxigén atom stabil, telített elektronhéj kialakítására törekszik, ezért környezetéből pl. a baktériumok-gombák anyagából elektront rabol elpusztítva azokat (fertőtlenítő hatás). A szénatom mind elektronleadással, mind felvétellel képes telített elektron héjat, illetve kovalens kötésű elektronpárokat létrehozni, ezért az agresszív oxigén atommal kapcsolódva a szerves makromolekulákban rögzített energia felszabadításában az élő sejtek energiatermelő organelleumaiban az enzimatikusan lehasított metil csoportokat „oxidálja”, széndioxid végtermék keletkezése mellett, ami a keringés segítségével a légzőszerven újabb O₂ molekulára cserélődik.

Az oxigén a földi élet egyik kulcseleme. A bioszféra élőlényei nagy többsége mind a szárazföldi mind a vízi ökoszisztémában aerob életmódot folytat, homeosztázisuk fenntartásához, életvitelükhöz, anyagcsere folyamataikhoz az

oxigén (O_2) nélkülözhetetlen. A szárazföldi biotok aerobionta élőlényei az atmoszférában stabilan 21% részarányban jelenlévő gázalakú oxigént használnak fel. A hidroszféra élőlényei közül a döntő többség vízben oldott oxigént vesz fel rendszerint parciális nyomáskülönbségből adódó diffúzió révén, míg elenyésző kisebbségük kétféle oxigént (gázalakú, illetve oldatban lévő) oxigént is képes hasznosítani. Az oldott oxigén szintjétől függően a vízi élőhelyek esetén, extrém körülmények között az aerob életmód lehetetlenné válik. A vízi élőlények oxigénfelvétele különböző módon történhet (kopolyú légzés, bőrlégzés, bállégzés).

A vízben oldott oxigén kb. 80%-ban a vízi autotrof élőlények (vízi makrofiták, algák és cianobaktériumok) napenergiát megkötő asszimilációjának, szervesanyag építésének melléktermékeként keletkezik. A nem biológiai eredetű oxigén részben diffúzióval jut be a víz-levegő határfelületen, illetve beoldódás, keveredés útján, pl. hullámozás hatására oldódik be.

Mivel élővizeink oxigéntartalma döntő arányban élőlények élettevékenységéből származik, kézenfekvő, hogy azok aktivitása, élet-tevékenysége nagyban befolyásolja az aktuális oxigénszintet. Nappal az oldott oxigén szint a Nap felkelésétől kezdve növekedik, éjjel az ökoszisztéma „légzése” következtében csökken. A napszakos ingadozás és az élőlények rendelkezésére álló oxigén szint nagysága tehát az autotrof szervezetek aktivitásától függ. Mivel a szerves vegyületeket termelő asszimiláció növényi tápanyag és napfény függő, ezen tényezők mértéke az oxigén szintet is erősen befolyásolják. Ezen túl az oldott oxigén szintjét az oxigénfogyasztó heterotrof szervezetek mennyisége is meghatározza.

Az ún. oligotróf, alultáplált vizekben a napszakos oxigénszint változás kicsi, az éjszakai szervesanyag lebomlás a nappal megtermelt mennyiséget gyakorlatilag elfogyasztja, a szerves biomasza felhalmozása közelít a nullához. Ezzel szemben az eutróf, magas tápanyag szinttel rendelkező tavakban a nappali órákban a szervesanyag termelés erőteljes, az oxigénszint a délutáni órákban többszáz százalékos oxigén telítettséget is elérhet, éjjel viszont ennek megfelelően az oxigén fogyasztás is magas, esetenként a kockázati határt is elérheti. A nagy halterméshez intenzív szervesanyag szintézis szükséges, ezért, ha a halastó nem eutróf, azzá kell tennünk (*Woynarovich és Zámbo, 1963*).

Az oxigén szint aktuális mértéke ezért a számos befolyásoló tényező miatt állandóan változik, alkalmi meghatározása kevés információt nyújt (*Padisák, 2005*). Ezzel szemben a 24 órás oxigén sorozat-vizsgálat számos beavatkozás, döntés meghozatalában segíthet (*Uhlmann, 1975, Felföldy, 1981*). A 6 óránként mért oxigénszint meghatározás alapján a megrajzolt grafikonból egyszerűen leolvasható a rendszer, pl. a halastavi ökoszisztéma maximális szervesanyag termelése, produkciója (O_{max}). Ezzel szemben a hajnali/kora reggeli adat a rendszer oxigén fogyasztására (Respiráció) enged következtetni. A rendszer 24 órás oxigénfogyasztása egyrészt a heterotrof szervezetek (baktériumok, vízi gerinctelenek és halak) 24 órás együttes oxigénfogyasztásából, légzéséből, másrészt az algaállomány teljes 24 órás oxigénfogyasztása teszi ki. Ez a két komponens együttesen becsülhető a hajnali oxigén méréssel (O_{min}). Önmagukból az oxigénmérésekből nem tudjuk, hogy mennyi a tó összesített egész napi oxigén fogyasztása (a rendszer légzése), de a délután mért oxigénmaximum és a következő nap reggeli óráiban mért oxigénminimum közötti különbség jelzi, hogy mennyi összes oxigént fogyaszt a rendszer az éjszakai, asszimilációmentes időszakban ($O_{max}-O_{min}$). Feltételezve,

hogyan az adott ökoszisztéma nappali légzése azonos az éjszakaival, akkor ez azt jelenti, hogy a nappali összes légzés csökkentette a nappali alga produkció mért értékét, ezért a produkció számításakor ezt a mért különbséget ($O_{max}-O_{min}$) kétszeresen kell figyelembe venni (éjszakai és nappali összes oxigén fogyasztás, de csak az éjszakai mérhető. Emiatt ennek az értéknek kétszeresét kell hozzáadnunk a délután mért maximális oxigén mennyiséghez.

$$P = O_{max} + 2 * (O_{max} - O_{min})$$

Hasonló gondolatmenettel számíthatjuk ki az R értéket is. Az összes légzés (Respiráció) érték tehát a reggel mért, korábbi időszakból származó „maradék” oxigénszint és a mért éjszakai oxigénfogyasztás összege, valamint a nappali oxigénfogyasztás ($O_{max}-O_{min}$) érték kétszerese.

$$R = O_{min} + 2 * (O_{max} - O_{min})$$

A P/R hányadosból következtethetünk az adott rendszer növényi tápanyagokkal való ellátottságára. Ha a 24 óra alatt mért hányados értéke 1-nél nagyobb, a megtermelt szerves anyag mérleg pozitív, pl. eutróf halastavak esetén. Amennyiben a P/R hányados közel van az 1-hez, a rendszer egyensúlyban van, azaz annyi szervesanyag bomlik le, mint amennyi termelődik, pl. oligotróf tavak esetén. Ha a P/R értéke egynél kisebb, a tó hipertróf, mert éjszaka több szervesanyag bomlik le, mint a nappal megtermelt mennyiség. Az ilyen tavak haltenyésztés céljára alkalmatlanok, biztos a halak pusztulása, mert éjszaka minden oxigén felhasználódik.

A fentiek mellett a 24 órás oxigéngörbe lefutása is hasznos információkat nyújthat. Ha a délutáni és a hajnali adat között az esés meredek, ez azt jelzi, hogy a fitoplankton disszimilációja mellett a heterotróf oxigénfogyasztó szervezetek (vízi baktériumok, halak, zooplankton) biomasszája és oxigénfogyasztása is nagy. Ilyen esetben a halastavaknál érdemes a napfényes reggeli órákban meszezéssel gyériteni a fitoplankton és a bakterioplankton állományát. Ha a reggeli és délutáni adat közötti grafikon-szakasz meredeksége egyenes, ez stabil biológiai termelést és puffert vízi környezetet jelez, ha viszont a grafikon meredek és akár többszáz százalékos oxigén telítettséget mutat, alga virágzás kezdetére következtethetünk, készülni kell a havária elhárítására, pl. a tó levegőztetésével vagy vízfrissítéssel a hajnali kritikus órákban.

A túlzottan magas algaszint (vízvirágzás) azért jelentős kockázat, mert éjjel az alga állomány is oxigén fogyasztóvá válik, a heterotróf élőlényekkel együtt, ezért hajnalra akár a teljes rendelkezésre álló oxigénkészlet elfogy és halpusztulás következhet be. Ha a fitoplankton állomány a túlszaporodás miatt elpusztul (összeomlik), a bakteriális szervesanyag lebontás hirtelen drasztikus oxigénhiányt okozhat.

Az oxigénhiány okozta havária elkerülésének előre jelzése éppen a globális felmelegedés okozta szélsőségek gyakoribbá válásával, gyors kialakulásával okozhat nagy veszteségeket az akvakulturákban, különösen az intenzív népesítésű halállományok között.

A klímaváltozás a vizek felmelegedése miatt, mint korábban említettük, felgyorsítja a poikilotherm élőlények anyagcsere folyamatait, ezért ez már önmagában is fokozza a tavi energiavándorlás sebességét a különböző trofítási szintek között (Horváth és mtsai, 2022). Ezt a hatást a haltermelőknek fokozottan kell a jövőben figyelembe venni mind az állományok népesítése, mind a takarmányozás intenzitása során.

Csapadék és vízhozam változás: A klímaváltozás hatására megváltozik a csa-

padék évszaki eloszlása és a vízhozamok. Bizonyos területeken csökkenhet az évi összes csapadék mennyisége, és ezáltal csökkenhet az édesvíz mennyisége is. Az alacsonyabb vízhozam csökkentheti az oxigén oldódását és keveredését is a vízben, ami az egyes vízrétegekben élő élőlények számára kedvezőtlen körülményeket teremthet (*Troell és mtsai, 2014*).

Eutrofizáció: A klímaváltozás egyik hatása lehet az édesvízi környezetekben tapasztalható eutrofizáció fokozódása. Az eutrofizáció során a tápanyagok (például foszfor és nitrogén) túlzottan nagy mennyiségben kerülnek be az édesvízbe, amelynek hatása, hogy fokozzák az alga növekedést. Az algák elszaporodása viszont oxigénhiányt okozhat, mert a túlzottan nagy mennyiségben jelenlévő alga lebontása során a baktériumok megnövekedett aktivitása oxigént von el a vízből (*Cochrane és mtsai, 2009*). Lényeges emellett, hogy a víz hőmérséklet növekedésével megváltozik a tavi ökoszisztémában a fito- és zooplanktonok aránya is az előbbieknél javára, amely szintén növeli az eutrofizáció mértékét (*Pulsifer és Laws, 2021*).

Tengerszint emelkedés: A klímaváltozás hatására a világtengerek szintje is emelkedik, aminek következtében az édesvízi élőhelyek, például a folyók deltavidékei, a lagúnák és mocsarak vízének sótartalma nő. Az édesvizek sótartalmának növekedése negatívan befolyásolhatja az élőlények, így például a halak, valamint a mikro- és makrogerinctelenek túlélését, mivel a megnövekedett sótartalom csökkenti az oldott oxigén tartalmat (*Bryndum-Buchholz és mtsai, 2018*).

Extrém időjárási események: A klímaváltozás során egyre gyakoribbak lehetnek az extrém időjárási események, így például hosszú aszályos időszakok vagy intenzív esőzések. Az aszályok csökkentik az édesvíz mennyiségét és hozzáférhetőségét, ami a víz térfogatarányos oxigéntartalmának csökkenéséhez vezethet. Az intenzív esőzések ugyanakkor növelhetik a vízhozamot, mert áradásokat okozhatnak, amelyek zavarokat okozhatnak az édesvízi ökoszisztémákban, emellett befolyásolhatják a vizek oldott oxigéntartalmát is (*Thiault és mtsai, 2015*).

A megnövekedett légköri széndioxid hatása a különböző víztípusok kémiai folyamataira és a biológiai eseményekre

Az aktuális adatok szerint Földünk légkörében a vulkáni kitörések, az erdőtüzek és az emberi tevékenységek eredményeként megnövekedett és napjainkban is folyamatosan növekszik a globális felmelegedés egyik legfontosabb tényezőjeként számoltartott széndioxid gáz (CO₂) koncentrációja (*Ewing és mtsai, 2010; Karl és Trenberth, 2013*). Az ipari forradalom kezdete óta a Föld légkörében a szén-dioxid gáz mennyisége 280 ppm-ről 380 ppm-re nőtt (*Boyd, 2010*). Ez a magasabb széndioxid szint nemcsak a szárazföldi ökoszisztémák összetételét és életfolyamatait módosította, hanem napjainkban már kimutatható változásokat okozott a különböző víztípusok kémiai összetételében és ennek hatásaként a vizek biocönózisában (*Gosh és mtsai, 2020*).

A folyamatok megértéséhez át kell tekintenünk a széndioxid és annak vizeinkben előforduló vegyületeinek szerepét és változásait.

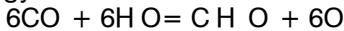
A széndioxid a Föld légterében (az atmoszférában) gáz alakban van jelen. Ez a kis mólsúlyú gáz vízben jól oldódik, vizes oldatában az addig kovalens kötésben lévő molekula ionos kötésben lévő anionná alakul (hidrokarbonát anion HCO₃⁻ből

karbonát anion CO_3^{2-}). A hidrokarbonát és karbonát anionok a vízben pozitív töltésű kationokhoz kapcsolódnak azok elektronegativitásának erőssége függvényében. Kation szegény környezetben pl. desztillált víznek minősülő tiszta esővízben a légkörből beoldódó széndioxidhoz hidrogén ionok (H^+) kapcsolódhatnak. A hidrogén ion, mint egyetlen elektronjától megfosztott gyenge kation (proton, mert a hidrogén atommagjában nincs neutron) a széndioxiddal gyenge savat, szénsavat (H_2CO_3) képez, ezért az esővíz pH értéke mindig enyhe savasságot mutat (pH 6,5 körüli érték) (Horváth és mtsai, 2022).

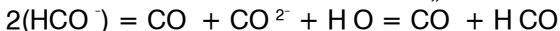
Mind az édesvizekben, mind a tengerek (óceánok) vízében számos, az elektronegativitás (elektron vonzó képesség) szempontjából a hidrogénnél sokkal erősebb kation található. Ezek között Földünkön dominálnak a következők: nátrium ion (Na^+), kálium ion (K^+), magnézium ion (Mg^{2+}) és kalcium ion (Ca^{2+}). A fenti sorrend a kationok elektron- negativitásának erősségét is jelenti.

Amikor a vízi ökoszisztémákban széndioxid molekula keletkezik (az élőlények anyagcsere végtermékeként, vagy az elhalt szervesanyagok mikrobiális lebontása során, illetve a víz fölötti légkörből diffúzióval történő beoldódás során), ez a széndioxid a jelen lévő kationokkal széntartalmú vegyületet alkot. A vizekben zajló biológiai szervesanyag szintézis ezekből a széndioxid tartalmú egyszerű szénvegyületekből indul ki (Felföldy, 1981). Természetesen a nagy molekula tömegű szerves makromolekulák szintéziséhez nagy számú széndioxid molekulára és élő (vízi) növényekre van szükség, mivel a széndioxid molekulák összekapcsolásához a növények klorofillja nélkülözhetetlen.

A vízi növények a szerves szintézishez szükséges széndioxidot vagy a vízben kis koncentrációban mindig jelenlévő kovalens kötésű egyensúlyi széndioxidból vagy a hidrokarbonát ionokból veszik fel vízfelvétel mellett:



A végeredmény 1 molekula egyszerű cukor és 6 molekula oxigén lesz. Leegyszerűsítve, a vízben oldott oxigén, ami a biológiai szervesanyag termelés mellékterméke, biztosítja a vízi élőlények anyagcserefolyamataihoz (légzés) nélkülözhetetlen oxigént. Amikor a vízi növények a hidrokarbonát anionból kivonják a széndioxidot a kation + hidrokarbonát anion alkotta „só” a következő egyenlet szerint alakul át:



Így tehát két molekula egyszerű széndioxid hidrokarbonát anion átalakul egy molekula két vegyértékű karbonát anionná. A folyamat reverzibilis, éjjel a vizek disszimilációja - légzése, lebontási folyamatai- idején a magas széndioxid szint a karbonát ionokat visszaoldja hidrokarbonáttá, így a víz pH értéke stabilan semleges közeli marad. Ez a kétirányú (reverzibilis) kémiai folyamat a kalciumban és magnéziumban gazdag vizek stabil pH viszonyait eredményezi, lehetővé téve a kiegyenlített vízi környezetet, ami a vízi ökoszisztémák, köztük a halastavak stabil biológia szervesanyag termelésének alapteltétele (Órdög, 2000).

A globális felmelegedés egyes víztípusokra gyakorolt hatásainak mértéke nagyban függ attól, hogy a fent érintett széntartalmú anionok milyen mennyiségben vannak jelen és milyen kationokhoz kapcsolódnak. Mint korábban jeleztük, a vizekben előforduló domináns kationok között a két szélső értéket, a legkisebb elektron- negativitással bíró nátrium és a legnagyobb elektron-negativitású kalcium képviseli. Ez a két különböző kation vizes közegben szerves szén tartalmú anionokkal (hidrokarbonát, illetve karbonát anionok) nagyon eltérő tulajdonságú

vegyületet képez a vízi növények széndioxid felvételének (asszimilációjának) eredményeként. A kis atomtömegű nátrium ion a karbonát anionnal kapcsolódva a pH értéket drasztikusan emeli, mivel a nátrium ion sokkal erősebben lúgosít, mint amennyire a gyenge savmaradékként viselkedő karbonát ion savanyítani képes, azaz a nátrium lúgos kémhatását a karbonát ion nem közömbösíti. Az ilyen víz lúgos kémhatású, a megnövekedett pH érték pedig a vízben jelenlévő gyengén bázikus hatású ammónium ionból, amit disszociált ammóniának is neveznek, a halakra toxikus disszociálatlan ammónia kiválását eredményezi, amely erősen toxikus vegyület, már igen kis koncentrációban (0,1 mg/liter fölött) is drasztikus halpusztulásokat eredményez (Hegyí és Lefler, 2016).

Ugyanakkor, ha a széndioxidtól megfosztott hidrokarbonát, azaz a karbonát anion két vegyértékű kalcium kationhoz kapcsolódik, akkor vízoldhatatlan kalcium karbonátot képez, ami parányi kalcit kristálykák formájában az üledékbe kezd szedimentálódni, miközben a víz pH értéke gyakorlatilag változatlanul a semleges tartományban marad, tehát a hidrokarbonát-karbonát páros a kalcium – magnézium kation páros jelenlétében nagyon hatékony stabil puffer rendszert alkot. Az ilyen stabil pH-val rendelkező víztest ideális tenyész-környezetet (stabil ökoszisztémát) jelent az élőlény együttesek számára. Ezzel szemben a nátrium-kálium túlsúlyú vizekben a nappali erős asszimilációs aktivitás (széndioxid kivonás) pufferhatás hiányában a pH növekedése, lúgos irányba történő eltolódása miatt a toxikus ammónia képződésnek nagy esélye van (Ördög, 2000).

A fent ismertetett folyamatok alapján nyilvánvaló, hogy a kalciumban gazdag vizekben akár az endogén, akár az exogén eredetű széndioxid (hidrokarbonát) jelenlétében, a globális felmelegedés káros hatása mérsékelt, mivel minden egyes kiülepedő kalcium karbonát kristály 2 molekula széndioxidot von ki a rendszerből és szállít a vizek üledékébe, ezért a képződött széndioxid nem kerül a légkörbe. A Földtörténeti korok alatt így keletkeztek a hatalmas kiterjedésű mészkőhegységek, kiegészülve az elpusztult vízi élőlények szilárd mészvázáival. Jogosnak tűnik az a megállapítás, hogy a mészkőhegységek a Glóbusz legnagyobb szénraktárai (Horváth és mtsai, 2022).

A kalcium és magnézium ionok tehát igen hatékony széndioxid csapdázó kationok (Padisák, 2005). A Kárpát medence körüli hegykoszorú sok üledékes, magas mésztartalmú kőzetet tartalmaznak, ennek eredményeként a hazánkba érkező vizek kalcium és magnézium tartalma magas, ami mind a tavak biológiai termelése, mind klímavédelmi szempontból igen kedvező. Az ilyen stabil környezetet biztosító víztípusokban üzemelő piscikultúrák, mint pl. hazai halastavakban nevelt pontyállományok érvényesíteni tudják mindazokat az előnyöket, amelyekkel a hidegvérű (poikilotherm) akvakultúrákban humán fogyasztásra tenyésztett élőlények rendelkeznek a melegvérű (homoiotherm) állatfajokkal szemben (Horn és Urbányi, 2020).

Az alacsony mésztartalmú vulkanikus alapkőzeteken keletkezett tavak, illetve a magas nátrium tartalmú tengervíz pufferkapacitása alacsony, ezért mind a belső eredetű, mind a kívülről, pl. légköri diffúzióval bejutó széndioxid és más savas jellegű vegyület többek között a savas esőkkel érkező kén vegyületek és salétromos savak a víztestek elsavanyodását idézik elő, ami visszafordíthatatlanul megváltoztatja a korábbi élőlényegyüttesek összetételét (csökkenti a biodiverzitást) és mennyiségi arányait (biomasszát). Ezekben a mész-szegény víztípusokban a

megnövekedett légköri széndioxid tovább fokozza az elsavanyodási folyamatokat, mivel a széndioxid parciális koncentrációjának növekvő különbsége a légkör és az aktuális víztest között fokozza a széndioxid diffúzióját, amit a kalcium ion hiánya, illetve alacsony szintje nem kompenzál, ezért ezeknek a vizeknek az elsavanyodása, ebbe beleértve a hatalmas méretű tengereket is, már napjaink kézzelfogható jelensége. Az elsavanyosodás egyik, feltételezett magyarázata a konzervatív, kis ökológiai valenciájú (stenoeik) korallok pusztulásának.

A mészvegyületekben gazdag eutróf állóvizek a biológiai szervesanyag termelés okozta intenzív szénkörforgás során a létrejött, majd elpusztult élőlények szervesanyagainak kiülepedése során hatalmas széndioxid-raktárokként is fel-foghatók (Verdegen és Boshma, 2009, Robb és mtsai, 2017, MacLeod és mtsai, 2020) jelentős mértékben csökkentve a légköri széndioxid terhelés mértékét. A földtörténeti korokban így keletkeztek a különböző fosszilis energiahordozók hatalmas mennyiségei a tőzegtől a ligniten át a barna és fekete szénig, illetve a kőolajig, amelyeknek elégetésekor a rögzített széndioxid humán hatásra egyre fenyegetőbb mértékben kerül a légkörbe, illetve a víztestekbe.

A klímaváltozás hatása a halak élettani folyamataira

Az elmúlt időszakban számos tanulmány készült a klímaváltozás valós és vélt hatásairól a csontos halak élettani folyamataira. Alaptézis, hogy a halak, mint változó teshőmérsékletű gerincesek, fiziológiai folyamataira extrém módon hat a külső környezet hőmérséklete, így az ebben generálódó változások -természetesen különböző mértékben- befolyásolják a szervek és szervrendszerek működését. Szomorú tény, hogy az elmúlt 10 évben publikált tanulmányok szinte mindegyike megállapítja, hogy nem rendelkezünk -egyelőre- kellő tudással és ismerettel, hogy a klímaváltozás vs. hal fiziológia hatásaira és problémáira egyértelmű válaszokat adjunk.

Alix és mtsai (2020) átfogó áttekintést nyújtottak az optimálisnál magasabb hőmérsékletnek a csontoshalak szaporodásbiológiai folyamataira, ezen belül a gonádok fejlődésére és a halak szaporodását befolyásoló neuroendokrin rendszer fiziológiájára gyakorolt hatásairól, azzal a céllal, hogy megértsék annak a populációdinamikára, a halászatra és az akvakultúrára gyakorolt hatásait. A szerzők áttekintik, hogy az extrém meleg hogyan befolyásolja a reprodukív fejlődést lárvakortól az ívásig, ami a hipotalamusz-hipofízis-gonád tengely szabályzó működéséhez kapcsolódik. Megvizsgálták azokat a környezeti és biológiai tényezőket, amelyek módosíthatják ezeket a hatásokat, valamint az ivarsejtek minőségére, a spermiumképződésre/ovulációra és az ívásra gyakorolt negatív következményeket. Az áttekintés az ismerethiányok és azon területek kiemelésével zárul, ahol az új technológiák segíthetnek megérteni és előre jelezni az éghajlatváltozásnak a halak szaporodásbiológiai folyamataira gyakorolt hatásait.

Régóta ismert, hogy a hőmérséklet befolyásolja a halfajaink ivarának (nemének) kialakulását. *Geffroy és Wedekind (2020)* áttekintették, hogy a globális felmelegedés milyen módon torzíthatja a nemek arányát vadon élő halpopulációkban, ami potenciálisan mélyreható következményekkel járhat a populáció dinamikájára nézve. Ezen folyamatok különösen a stresszválaszok vagy az epigenetikai mechanizmusokon keresztül valósulnak meg, illetve a hőmérséklettől függő életké-

pességre (nemek közötti eltérő mortalitás), a nemek meghatározására gyakorolt hatásokat veszik figyelembe. A laboratóriumi vizsgálatok többsége azt jelzi, hogy a hőmérséklet olyan módon befolyásolja a nemek arányát, hogy a felmelegedés többnyire a hímek arányát növeli, amelyet néhány vadon élő populáción végzett vizsgálat is megerősített. A szerzők azzal a reménysugárral zárják tanulmányukat, hogy a transzgenerációs plaszticitás esetleg enyhítheti a felmelegedésnek a nemek közötti arányra gyakorolt hatását.

Alfonso és mtsai (2021) laboratóriumi vizsgálatok alapján értékelték a felmelegedésnek a halak stresszfiziológiájára gyakorolt hatásait, és ebből vontak le megállapításokat azzal kapcsolatban, hogy mi várható vadon élő populációkban. Azt tapasztalták, hogy a krónikus hőmérséklet-emelkedés olyan fiziológiai terhelést jelent, amely megváltoztathatja a halak egyéb stresszorokkal szemben mutatott ellenállóképességét, míg a szélsőséges hőhullámok közvetlen stresszreakciókat váltanak ki, mindezek pedig potenciális (negatív) következményekkel járhatnak a fitnessre és állati jólétre nézve.

McKenzie és mtsai (2021) azt vizsgálták, hogy a hőtűrés fajon belüli változékonysága hogyan lehet az adott faj globális felmelegedéssel szembeni ellenállóképességének egyik legfontosabb indikátora. Az áttekintés a tűrőképesség intraspecifikus variációjának három elemére vonatkozó empirikus bizonyítékokat vizsgálta: i) hogyan változik a tolerancia az egyes életszakaszokban, ii) a tolerancia fenotípusos plaszticitásának kiterjedt bizonyítékai vannak, amelyek esetében további kutatásokra van szükség a mögöttes mechanizmusok megértéséhez és annak feltáráshoz, iii) a felmelegedéssel szembeni helyi (lokális) alkalmazkodás és a tolerancia öröklődőképességének bizonyítékai. Az áttekintés az intraspecifikus variáció ezen formáinak ökológiai és evolúciós jelentőségét hangsúlyozza, egyben rámutat a további kutatások szükségességére.

Találhatóak emellett olyan tanulmányok is az elmúlt időszak közleményei között, amelyek kísérletes úton, gyakorta termelési körülmények között vizsgálták a felmelegedés hatásait egy adott halfajra. *Christensen és mtsai* (2020) például azt vizsgálták, hogyan befolyásolja az anyagcserét a hőmérséklet és a testméret az európai sügérben (*Perca fluviatilis* L.). Bizonyítékot találtak arra, hogy a nagyobb méretű állatok melegebb hőmérsékleten rosszabbul teljesítenek, ami potenciálisan kihat a sügerek méretére és méret eloszlására, azaz a populáció átlagos méretét a kisebb mérettartomány irányába tolja el.

A hazai haltenyésztés lehetőségei a klímaváltozás során

A magyar mezőgazdaság, erdészet és halászat nemzetgazdasági ág (együttesen) a bruttó hazai termék, a GDP termeléséhez 2021-ben 3,9 százalékkal járult hozzá (MAHAL, 2022). Az állattenyésztő ágazaton belül a halászati ágazat folyamatos emelkedést produkált a nemzeti össztermékhez való hozzájárulásával, annak ellenére, hogy az ágazat általánosságban elavult technikai feltételekkel rendelkezik. Kis mérete ellenére a halászati ágazatra több ellátó és kiszolgáló ágazat épül. A rekreációs célú halászat és horgászat nagy része, emellett több környezet- és természetvédelmi program, illetve ezek gazdasági-társadalmi teljesítménye is ezen az ágazaton alapszik.

Magyarországon 2021-ben az Agrárközgazdasági Intézet statisztikai adatgyűjtése

alaján akvakultúra-termeléssel 377 vállalkozás foglalkozott, a halastó művelési ágba sorolt tóterület nagysága 29 594 hektár, az üzemelő tavak területe 26 585 hektár volt. A korábbi évek gyakorlatának megfelelően a különböző korosztályú és különféle célra termelt halak egymáshoz viszonyított arányában nem történt lényegi változás. A halastavak 62 százalékán étkezési méretű halak termelése, 26 százalékán növendék-, 8 százalékán ivadéknevelés történik, a fennmaradó 4 százalékot pedig egyéb célra hasznosítják a gazdák (MAHAL, 2022).

A hazai tógazdasági termelésre jellemző a regionalitás, mivel a régiók halastavak területének nagysága és termelési adottságai igen eltérők, sőt bizonyos térségben egyáltalán nem történik haltermelés. A területileg is legnagyobb alföldi régiók szerepe kiemelkedő a haltermelésben, több éve változatlanul ugyanaz a három régió (Észak-Alföld, Dél-Dunántúl és Dél-Alföld) adja, haltermelés 82,4 százalékát (MAHAL, 2022).

Az alföldi területekre az ún. körtöltéses, míg a dunántúli területekre az ún. völgyzárógátas tavak a jellemzőek. A halászati ágazatban ténylegesen felhasznált víz mennyisége 2021-ben meghaladta a 302 millió köbmétert, ami 2,5 százalékkal kevesebb, mint egy évvel korábban, így egy hektárnyi üzemelt tóterületre átlagosan 11 649 köbméter vízfelhasználás jutott. A legtöbb vízmennyiséget a csapadékban szegény régiókban használták fel a tavak feltöltésére és utánpótlására. Az Észak-Alföldön 136 millió köbméter, a Dél-Dunántúl 60 millió köbméter, a Dél-Alföldön 63 millió köbméter vizet használtak fel, ami 85 százalékát jelenti az ágazat teljes vízfelhasználásának 2021-ben (MAHAL, 2022). A völgyzárógátas tavak vízszintjét jellemzően a lehulló csapadék mennyisége befolyásolja, így az aszályos időjárás ezeket a halastavakat sújtotta leginkább. A magas hőmérséklet és csapadékszegény időjárás miatt egyes helyeken nagyobb volt a párolgási veszteség a tavakon, mint a befolyó víz mennyisége, ezért több gazdálkodó kényszerlehalászásokat végzett a halállomány megőrzése érdekében.

Az elmúlt évek haltermelésének eredményét mutatja be a 2. táblázat. Az adatokból megállapítható, hogy arányaiban az intenzív üzemi haltermelés mennyisége sokkal erőteljesebben nő, mint a tógazdasági termelésé. Ezt nem írhatjuk kizáró-

2. táblázat

Tógazdasági és intenzív üzemi haltermelés (MAHAL, 2022)

Év (1)	Tógazdasági haltermelés (2)		Intenzív üzemi haltermelés (3)		Tógazdasági + intenzív termelés összesen (4)	
	tonna (5)					
	bruttó (6)	étkezési (7)	bruttó (6)	étkezési (7)	bruttó (6)	étkezési (7)
2017	21 208	14 893	4 199	3 364	25 407	18 257
2018	22 541	14 414	4 246	3 487	26 787	17 901
2019	20 619	13 536	4 740	3 801	25 359	17 337
2020	21 353	14 395	5 277	4 051	26 630	18 446
2021	21 184	13 592	5 672	4 364	26 856	17 956

Table 2. Pond fish and intensive farming production

year (1); pond fish production (2); intensive system production (3); pond fish and intensive farming production-total (4); tonnes (5); gross volume (6); market size (7)

lagosan a „klímaváltozás számlájára”, de a termelési környezet állandósága és kiszámíthatósága biztosan hozzájárul ezen trend alakulásához.

A klímaváltozás hatása hazánk egyes területeinek ún. elsivatagosodása. Az elsivatagosodás elsősorban az éghajlati viszonyokkal, a növényzet kiirtásával és az ennek következtében létrejövő talajerózióval függ össze. Ugyanakkor természetesen a többi természetföldrajzi tényező módosító szerepe is fontos. A domborzat, a talaj fizikai és kémiai tulajdonságai, a felszínközeli (talajképző) kőzet mind szerepet játszanak abban, hogy milyen gyors és milyen mértékű lesz az elsivatagosodás (Kertész, 2008). Több tanulmány kiemeli, hogy ezen hatások összefüggenek a talajvíz mélyebb rétegek szintekbe kerülésével, és azt hangsúlyozzák, hogy a természetes- és/vagy mesterséges tavak nagyon fontos szerepet tölthetnek be az elsivatagosodás folyamatainak lassításában és megállításában (Reynolds és mtsai, 2007).

A fentiek alapján elmondható, hogy a hazai tógazdasági haltermelési ágazat fennmaradása és fenntarthatósága közvetett ágazatai, és közvetlen nemzetgazdasági érdekek mellett kiemelt fontosságú.

Kihívások és azokra adható válaszok:

- a hazai haltermelés 79%-át a tógazdaságok biztosítják, amely termelési volumen a jelenlegi intenzív rendszerekben megtermelt halmennyiséggel nem pótolható. Ennek csökkenése az import haltermékek piaci bővülését eredményezné, amelyek fogyasztói ára (annak magas volta miatt) a halfogyasztás csökkenését eredményezné.
- az ágazatnak is illesztenie szükséges a meglévő termeléstechológiáját a klímaváltozás adta lehetőségekhez:
 - o át kell gondolni a vízmegtartás kérdését, így a termeléstechológiában alkalmazott ún. szárazon állást minimalizálni szükséges (ez elsősorban a körtöltéses tavakra volt jellemző), és minden vízutánpótlást a lehalászásokat követően szükséges felfogni és megtartani,
 - o az extrém meleg okozta vízhőmérséklet emelkedés negatív korrelációban van a víz oldott oxigéntartalmával, így a kiegészítő levegőztetés és oxigénbeoldás technológiai hátterét ki kell alakítani, így szükség esetén azonnali beavatkozással a haváriákat megelőzhetjük,
 - o a vízminőség rávilágít arra a tényre is, hogy a víz paramétereinek ellenőrzése (hőmérséklet, oldott oxigén és pH) a hagyományos kézi mérésekkel már nem biztosítja a termelés problémamentességét, szükséges tehát a modern technika adta mérőrendszerek bevezetése és telepítése, melyek online adattovábbítással, folyamatos mérésekkel segítik a tógazdát, és egyben megelőzhetővé teszik az extrém oxigénhiányos helyzeteket,
 - o a melegedő víztest hatással lesz az alga és plankton produktumra. Ha a vízfelmelegedés nem lesz extrém, akkor ezen szervezetek gradációja felgyorsul, amely szoros összefüggésben van a víz oldott oxigén szintjével, és ezen gyors változások detektálása szintén felkészültséget és beruházást igényel a tógazdától,
 - o a gyors vízhőmérséklet emelkedés a tavi trágyázás technológiáját is átalakítja, a magas vízhőmérséklet a trágyázási adagok átalakítását, a vízi környezethez illesztett adagok kalkulálást igényli.

- a jó tógazdasági gyakorlat szerint az ideális termelési környezetben a természetes takarmány (a tóban termelődő elsősorban plankton és algabiomassza) és a kiegészítő takarmány aránya 50%-50% (másnéven: a természetes hozam és a mesterséges hozam aránya egyenlő). Ezen alapvetéseket akarva-akaratlanul elfeledte a szakma az elmúlt években. A viszonylag olcsón beszerezhető gabona takarmány („kombájn alól” vagy tört szemként) eltorzította a szakmánkban kialakított, szakmai tapasztalásokon alapuló alapvetéseit a takarmányozásban. Megfeledkeztünk az évről-évre termelődő és megújuló plankton biomasszáról, amit ingyen kapunk a természettől, és amellyel felelősen bánva (pl. szerves trágyázással) hónapokig ki tudjuk egészíteni halaink táplálóanyag szükségletét. Ennek eredményeként az FCR (Feed Conversation Ratio-takarmány értékesítési együttható) 1:4 aránya eltolódott a felhasznált takarmány mennyiség irányába (átlagosan 1:6, de volt, ahol 1:8 mutatószámokat is tapasztaltak).
- a klímaváltozás generálta problémák még hangsúlyosabbá teszik a tudományos eredmények gyakorlatba való ültetésének szükségességét. Olyan genetikai háttérrel rendelkező halfajták és vonalak kitenyésztése szükséges, amelyek képesek az extrémebb időjárásból adódó vízi környezethez adaptálódni, így a termelés volumene szinten tartható. Ehhez alapként a hazai ponty tájfajták kiváló kiindulási potenciált biztosíthatnak a szakma számára. Különböző halpatogének és kórokozók gradálnak a mediterrán térségből Észak-Európa irányába, melyekkel halfajaink eddig nem találkoztak. Ezen betegségek felismerését, azok kezelését, és esetlegesen rezisztens halfajták kiválasztását igényli az ágazat, amelyre szintén készülni szükséges.

KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

Annak érdekében, hogy az édesvízi akvakultúra sikeres legyen a globális felmelegedés kihívásaival szemben, több intézkedésre és beavatkozásra van szükség, melyeket összefoglalóan a 2. ábra mutat be.

Az ábrán bemutatott megoldási lehetőségek és javaslatok mellett fontos szerepe lehet az alábbi tevékenységeknek is:

Fenntartható vízgazdálkodás: A vízminőség megőrzése és a megfelelő vízmennyiség biztosítása érdekében elengedhetetlen a fenntartható vízgazdálkodás. Víztakarékos technológiák alkalmazása, a víz újrahasznosítása és a vízminőség monitorozása segíthet csökkenteni a kockázatokat.

Betegségkezelés és megelőzés: Az akvakultúrában elengedhetetlen a megfelelő betegségkezelési és megelőzési stratégiák kidolgozása. A hatékony megelőzési, szükség esetén vakcinázási programok, a betegségmonitoring és a megfelelő táplálkozás a halak immunrendszerének erősítéséhez és a betegségek terjedésének csökkentéséhez vezethet.

Környezetbarát termelés technológia: Az édesvízi akvakultúrában a fenntartható termelési módszerek alkalmazása segíthet csökkenteni a környezeti hatásokat. Például a tógazdasági halgazdaságok körforgásos termelőrendszerbe illesztése, az intenzív kagyló- vagy ráktermesztési rendszerek alkalmazása, a környezetbarát takarmányok használata mind hozzájárulhatnak a fenntarthatósághoz.

Klímaváltozáshoz való alkalmazkodás: Az akvakultúra szereplőinek alkalmazkodniuk kell a klímaváltozáshoz és a változó környezeti feltételekhez. Ez magában

2. ábra Az éghajlatváltozással szembeni alkalmazkodási módok és megoldási lehetőségek (Abisha és mtsai, 2022 alapján)

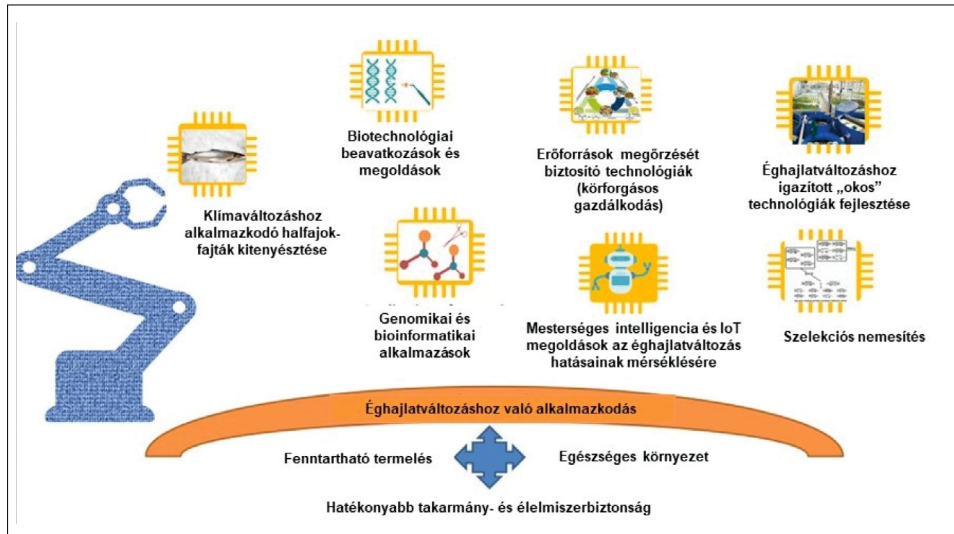


Figure 2. Different climate-resilient adaptations against challenging climate change

foglalhatja az új fajták és hibridek kitenyészítését, az új termesztési módszerek kidolgozását, valamint a folyamatos kutatás-fejlesztés és az oktatás támogató bevonását a fejlesztésekbe.

A fentiek alapján megállapítható, hogy a klímaváltozás hatásainak felmérése folyamatban van, de az azokra adható válaszok és megoldási javaslatok minimálisan állnak rendelkezésre. Aligha vitatható, hogy a tógazdasági haltermelés meghatározó szerepet fog játszani a jövőben is Magyarországon, de nem hagyható figyelmen kívül, hogy a kiszámíthatatlan időjárási hatásokkal szemben az intenzív, zártrendszerű haltermelési rendszerek védelmet nyújthatnak. Ezért az intenzív halnevelési megoldások további terjedésével is számolnunk kell, sokoldalúan támogatva az innovációs folyamatokat is.

IRODALOMJEGYZÉK

- Abisha, R. - Krishnani, K. K. - Sukhdhane, K. - Verma, A. K. - Brahmane, M. - Chadha, N. K. (2022): Sustainable development of climate-resilient aquaculture and culture-based fisheries through adaptation of abiotic stresses: a review. *J. Water Clim. Change*, 13. 2671-2689.
- Alfonso, S. - Gesto, M. - Sadoul, B. (2021): Temperature increase and its effects on fish stress physiology in the context of global warming. *J. Fish Biol.*, 98. 1496-1508.
- Alix, M. - Kjesbu, O. S. - Anderson, K. C. (2020): From gametogenesis to spawning: How climate-driven warming affects teleost reproductive biology. *J. Fish Biol.*, 97. 607-632.
- Audzijonyte, A. - Richards, S. A. - Stuart-Smith, R. D. - Pecl, G. - Edgar, G. J. - Barrett, N. S. - Blanchard, J. L. (2020): Fish body sizes change with temperature but not all species shrink with warming. *Nat. Ecol. Evol.*, 1. 1-6.
- Boyd, C. E. (2010): Aquaculture ponds hold carbon. *Global Aquaculture Advocate*, digital magazine, March/April 23-24

- Boyd, C. E. – Wood, C. W. – Chaney, P. L. – Queiroz, J. F. (2010): Role of aquaculture pond sediments in sequestration of annual global carbon emissions. *Environm. Pollut.*, 158. 2537–2540.
- Bryndum-Buchholz, A. - Spijkers, J. - Kok, K. - Verburg, P. H. (2018): Global map of exposure to criticality in marine aquaculture. *Earth's Future*, 6. 393-414.
- Christensen, E. A. F. - Svendsen, M. B. S. - Steffensen, J. F. (2020): The combined effect of body size and temperature on oxygen consumption rates and the size-dependency of preferred temperature in European perch *Perca fluviatilis*. *J. Fish Biol.*, 97. 794–803.
- Cochrane, K. - De Young, C. - Soto, D. - Bahri, T. (2009): Climate change implications for fisheries and aquaculture: overview of current scientific knowledge. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 530. Retrieved from <http://www.fao.org/docrep/012/i0990e/i0990e00.htm>
- Collins, M. - Sutherland, M. - Bouwer, L. - Cheong, S.-M. - Frölicher, T. - Jacot Des Combes, H. - Tibig, L. (2019): Extremes, abrupt changes and managing risk. In H.-O. Pörtner, - D. C. Roberts, - V. Masson-Delmotte, - P. Zhai, - M. Tignor, - E. Poloczanska (Eds.), IPCC special report on the ocean and cryosphere in a changing climate Retrieved from: Geneva: IPCC. <https://www.ipcc.ch/srocc/cite-report>.
- Crozier, L. G. - Hutchings, J. A. (2014): Plastic and evolutionary responses to climate change in fish. *Evol. Appl.*, 7. 68–87.
- Daufresne, M. - Lengfellner, K. - Sommer, U. (2009): Global warming benefits the small in aquatic ecosystems. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 106. 12788–12793.
- FAO (2022): The State of World Fisheries and Aquaculture 2022: Towards Blue Transformation. FAO. <https://doi.org/10.4060/cc0461en>
- Ewing, B. - Reed, A. - Galli, A. - Kitzes, J. - Wackernagel, M. (2010): Calculation methodology for the national footprint accounts, Oakland: Global Footprint Network. 1-22.
- Felföldy, L. (1981): A vizek környezettana, általános hidrobiológia Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 1-289.
- Frölicher, T. L. - Fischer, E. M. - Gruber, N. (2018): Marine heatwaves under global warming. *Nature*, 560. 360–364.
- Gardner, J. L. - Peters, A. - Kearney, M. R. - Joseph, L. - Heinsohn, R. (2011): Declining body size: A third universal response to warming? *Trends Ecol. Evol.*, 26. 285–291.
- Geffroy, B. - Wedekind, C. (2020): Effects of global warming on sex ratios in fishes. *J. Fish Biol.*, 97. 596–606.
- Goikoetxea, A. - Sadoul, B. - Blondeau-Bidet, E. - Aerts, J. - Blanc, M. O. - Parrinello, H. - Geffroy, B. (2021): Genetic pathways underpinning hormonal stress responses in fish exposed to short- and long-term warm ocean temperatures. *Ecol. Indic.*, 120. 106937.
- Hegyi, Á. - Lefler, K. (2016): Horgászvizek üzemeltetésének gyakorlata. Szerzői kiadás 39-41.
- Hickling, R. - Roy, D. B. - Hill, J. K. - Fox, R. - Thomas, C. D. (2006): The distributions of a wide range of taxonomic groups are expanding Polewards. *Glob. Change Biol.*, 12. 450–455.
- Horn, P. – Urbányi, B. (2020): A haltenyésztés versenyképessége más állattenyésztési ágazatokkal az állati fehérje termeléssel összefüggésben. *Állattenyésztés és Takarmányozás*, 69. 281-292.
- Horváth, L. – Hegyi, Á. – Béres, B. - Csorbai, B. – Urbányi, B. (2022): Környezetkímélő Haltenyésztés. MATE Gödöllő, 1-237.
- Huey, R. B. - Kearney, M. R. - Krockenberger, A. - Holtum, J. a. M. - Jess, M. - Williams, S. E. (2012): Predicting organismal vulnerability to climate warming: Roles of behaviour, physiology and adaptation. *Philos. Trans. R. Soc. Lond., B, Biol. Sci.*, 367. 1665–1679.
- IPCC (2014): Climate change 2014: Synthesis report. Geneva, Switzerland: Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Karl, T. R. – Trenberth, K. E. (2013): Modern global climate change. *Science*, 302. 1719-1723.
- Kertész, Á. (2008): A klíma- és környezetváltozások földtudományi összefüggései. *Magyar Tudomány*, 169. 715-719.
- Little, D. C. - Newton, R. W. - Beveridge, M. C. (2016): Aquaculture: A rapidly growing and significant source of sustainable food? Status, transitions and potential. *Proc. Nutr. Soc.*, 75. 274-286.

- MAHAL (2022): Fehér könyv: Jelentés a szervezet működésének 2021. évi eredményéről, Budapest, 1-68.
- McKenzie, D. J. - Axelsson, M. - Chabot, D. - Claireaux, G. - Cooke, S. J. - Corner, R. A. - Hamer, B. (2016): Conservation physiology of marine fishes : State of the art and prospects for policy. *Conserv. Physiol.*, 4. 1–20.
- McKenzie, D. J. - Geffroy, B. - Farrell, A. P. (2021): Effects of global warming on fishes and fisheries. *J. Fish Biol.*, 98. 1489-1492.
- McKenzie, D. J. - Zhang, Y. - Eliason, E. J. - Schulte, P. M. - Blasco, F. R. - Claireaux, G. - Farrell, A. P. (2021): Intraspecific variation in tolerance of warming in fishes. *J. Fish Biol.*, 98. 1536–1555.
- MacLeod, M. J. - Hasan, M. R. - Robb, D. H. F. - Mamun-Ur-Rashid, M. (2020): Quantifying greenhouse gas emissions from global aquaculture. *Sci. Rep.*, 10. [11679].
- Myers, B. J. E. - Lynch, A. J. - Bunnell, D. B. - Chu, C. - Falke, J. A. - Kovach, R. P. - Paukert, C. P. (2017): Global synthesis of the documented and projected effects of climate change on inland fishes. *Rev. Fish Biol. Fisheries*, 27. 339–361.
- Ördög, V. (2000): Halastavak hidrobiológiája – a tókezelés hidrobiológiai alapjai. In Horváth L. (szerk.): Halbiológia és haltenyésztés. Mezőgazda Kiadó, Budapest 344-385.
- Padisák, J. (2005): Általános limnológia. ELTE Eötvös Kiadó, 1-310.
- Parmesan, C. - Yohe, G. (2003): A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*, 421. 37–42.
- Perry, A. L. - Low, P. J. - Ellis, J. R. - Reynolds, J. D. (2005): Climate change and distribution shifts in marine fishes. *Science*, 308. 1912-1915.
- Poloczanska, E. S. - Brown, C. J. - Sydeman, W. J. - Kiessling, W. - Schoeman, D. S. - Moore, P. J. - Brander, K. - Bruno, J. F. - Buckley, L. B. - Burrows, M. T. - Duarte, C. M. - Halpern, B. S. - Holding, J. - Kappel, C. V. - O'Connor, M. I. - Pandolfi, J. M. - Parmesan, C. - Schwing, F. - Thompson, S. A. - Richardson, A. J. (2013): Global imprint of climate change on marine life. *Nat. Clim. Change*, 3. 919-925.
- Pörtner, H. O. - Farrell, A. P. (2008): Physiology and climate change. *Science*, 322. 690–692.
- Pörtner, H. O. - Peck, M. A. (2010): Climate change effects on fishes and fisheries: Towards a cause-and-effect understanding. *J. Fish Biol.*, 77. 1745–1779.
- Pulsifer, J. - Laws, E. (2021): Temperature dependence of freshwater phytoplankton growth rates and zooplankton grazing rates. *Water*, 13. 1591.
- Reynolds, J. - F. - Stafford-Smith, M. D. - Lambin, E. F. - Turner, B. L. - Walker, B. (2007): Global desertification: Building a science for dryland development. *Science*, 316. 847-851.
- Robb, D. H. - MacLeod, M. - Hasan, M. R. - Soto, D. (2017): Greenhouse gas emissions from aquaculture: a life cycle assessment of three Asian systems. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper* (609), FAO, Rome, 1-110. <https://www.fao.org/3/i7558en/i7558en.pdf>
- Rogers, L. A. - Dougherty, A. B. (2019): Effects of climate and demography on reproductive phenology of a harvested marine fish population. *Glob. Change Biol.*, 25. 708–720.
- Seebacher, F. - Franklin, C. E. (2012): Determining environmental causes of biological effects: The need for a mechanistic physiological dimension in conservation biology. *Philos. Trans. R. Soc. Lond., B, Biol. Sci.*, 367. 1607–1614.
- Seebacher, F. - White, C. R. - Franklin, C. E. (2015): Physiological plasticity increases resilience of ectothermic animals to climate change. *Nat. Clim. Change*, 5. 61–66.
- Smil, V. (2022): Understanding food production. In: *How the World really works. The science behind how we got here and where we are going.* 40-68. Viking. Penguin Random House Ltd. London.
- Stillman, J. H. (2019): Heat waves, the new Normal: Summertime temperature extremes will impact animals, ecosystems, and human communities. *Physiology*, 34. 86–100.
- Thiault, L. - Marzloff, M. - Kaplan, D. M. (2015): How climate-driven disturbances interact to destabilize ecosystems: a conceptual model. *Ecol. Monogr.*, 85. 263-280.
- Troell, M. - Joyce, A. - Chopin, T. - Neori, A. - Buschmann, A. H. - Fang, J. G. - Jonell, M. (2014): Perspectives and challenges for the future of aquaculture in the context of climate change.

- In Global change and sustainable development (437-470). Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-017-8739-1_15
- Uhlmann, D.* (1975): Hydrobiologie, ein Grundriss für Ingenieure und Naturwissenschaftler VEB, G. Fischer Verlag, Jena, 1-345.
- Verdegem, M.-Bosma, R.* (2009): Water withdrawal for brackish and inland aquaculture, and options to produce more fish in ponds with present water use. *Water Policy Suppl.*, 11. 52–68.
- Wang, T. - Overgaard, J.* (2007): Ecology. The heartbreak of adapting to global warming. *Science*, 315. 49–50.
- Woynárovich, E. -Zámbó, I.* (1963): A halhústermelés megszervezése és eredményei a Bikali Állami Gazdaságban. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 1-88.

Érkezett: 2023. augusztus

Szerzők címe: Horn P.
Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Kaposvári Campus

Authors' address: Hungarian University of Agricultural and Life Sciences
Kaposvár Campus
H-7400, Kaposvár, Guba S. u. 40.
Horn.Peter@uni-mate.hu

Mézes M. - Horváth L. - Urbányi B.
Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Szent István Campus
Hungarian University of Agricultural and Life Sciences
Szent István Campus
H-2100, Gödöllő, Páter K. u. 1.

A KLÍMAVÁLTOZÁS LEHETSÉGES HATÁSAI TENYÉSZTETT HALAINK ÉLETTANÁRA ÉS SZAPORODÁSÁRA

ORBÁN LÁSZLÓ - SOMFALVI-TÓTH KATALIN - MÜLLER TAMÁS - KOVÁCS BALÁZS -
MOLNÁR TAMÁS - SZEVERÉNYI ILDIKÓ - HORVÁTH ÁKOS - URBÁNYI BÉLA

ÖSSZEFOGLALÁS

Hazánkban egyes éghajlati modellek prognózisa szerint az éves átlaghőmérséklet akár 5 °C-kal is megemelkedhet az évszázad végére. Ennek következtében természetes vizeink átlaghőmérséklete is várhatóan jelentősen megnő majd az ívás és az ivadék nevelkedésének időszakában. A magasabb vízhőmérséklet feltehetően hatással lesz majd tenyésztett halaink anyagcseréjére, hormonháztartására és immunrendszerére is, de talán a legjelentősebb változások a szaporodásbiológia területén várhatóak. Ez a szemlélő cikk a nemzetközi szakirodalom alapján számba veszi a haltenyésztés legfontosabb halfajain és azok modelljein elvégzett kísérleteket. A kapott eredmények alapján elemzi a hazai akvakultúra kilátásait és javaslatot tesz azok javítására.

SUMMARY

Orbán, L. – Somfalvi-Tóth, K. – Müller, T. – Kovács, B. – Molnár, T. – Szeverényi, I. – Horváth, Á. – Urbányi, B.: POTENTIAL EFFECTS OF CLIMATE CHANGE ON THE PHYSIOLOGY AND REPRODUCTIVE BIOLOGY OF OUR CULTURED FISH SPECIES

By the end of this century, the yearly average temperature of Hungary might be increased by 5 °C according to some climatic models. Due to this fact, the yearly average temperature of our natural waters is expected to be substantially higher, including the spawning season and the period of larval development. Increased water temperatures are expected to have an effect onto the metabolism, endocrinology and immune system of our farmed food fish species, but the most drastic changes are expected in the area of their reproduction. This review will survey the peer-reviewed literature and summarize the experiments performed on the most important cultured food fish species. Based on the results of these studies, we analyze the possible strategies for the Hungarian aquaculture industry and offers a suggestion for their potential improvement.

BEVEZETÉS ÉS IRODALMI ÁTTEKINTÉS

A jelenkori éghajlatváltozás bizonyítottan az emberiség tevékenységének következménye (*Trenberth, 2018*). Fő oka, hogy felborult bolygónk energiaháztartása, azaz éghajlati rendszerünk több energiát nyel el, mint amennyit visszaver vagy kibocsát. Ennek a halmozódó energiatöbbletnek egy részét hó formájában felszíni vizeink, azaz az óceánok, tengerek, tavak, és folyók raktározzák. A globális felszíni hőmérséklet-változás kimenetele az éghajlati scenáriók szerint eltérő lehet. A jelenlegi kibocsátási tendenciák mellett az öt lehetséges forgatókönyv ('shared socioeconomic pathway', SSP) közül a fenntarthatóságot biztosító, leginkább kívánatos SSP1-es út helyett a legvalószínűbbnek a középutas SSP2-es és a regionális konfliktusok kiéleződését valószínűsítő SSP3-as irányok tűnnek (*Riahi és mtsai, 2017*). A Föld átlaghőmérséklete az ipari forradalom előtti időszakhoz képest mára 1,09 °C-kal, míg az óceánok felszíni hőmérséklete 0,9 °C-kal emelkedett. Ennek a változásnak a szárazföldi, óceáni és édesvízi ökoszisztémákra gyakorolt negatív hatásait már most is érzékeljük. A biodiverzitás csökken, az ökoszisztémák és az egyes fajok élettere szűkül és/vagy eltolódik, a fásszárú ökoszisztémák mortalitása növekszik, az erdőtüzek száma és intenzitása egyaránt nő.

Hazánkban is egyértelműen megmutatkoznak a globális éghajlatváltozás jelei. Az éves középhőmérséklet a XX. század eleje óta kb. 1 °C-kal emelkedett meg, ezen belül is a nyár átlaghőmérséklete az 1960-as évekhez képest közel 2 °C-kal magasabb (*Lakatos és Bihari, 2013*). A csapadék mind térben, mind időben a legváltozékonyabb meteorológiai elem, ugyanakkor mennyiségében, valamint időbeli és területi eloszlásában is kimutathatók trendszerű folyamatok. Általánosságban elmondható, hogy az éves csapadék mennyiségének országos átlaga csökkent. Arányaiban a legnagyobb mértékben a tavasz és ősz váltak szárazabbá, a csapadékmennyiség 1901-től lineáris trendet feltételezve 20%-kal, illetve 17%-kal lett kevesebb az említett évszakokban. Nyáron valamelyest nőtt a csapadékösszeg, de ennek időbeli eloszlásában és intenzitásában változások figyelhetők meg. A nyári időszakban nőtt a száraz, csapadékszegény időszakok aránya is, ugyanakkor az érkező csapadék rövid idő alatt, nagy intenzitással hullott le (*Lakatos és Bihari, 2013*).

Az évszázad végéig a regionális klímamodell ('regional climate model', RCM) szimulációk alapján további jelentős változások valószínűsíthetők térségünkben (*1A. ábra*). Az 1961–1990 referencia időszakhoz képest a 2021–2050 közötti időszakban az éves átlaghőmérséklet 1–2 °C-kal lehet magasabb, bár egyes szimulációk a 2 °C feletti változás esélyét sem zárják ki, így az évszázad végére a változás mértéke elérheti országos átlagban a 2–5 °C-ot. Évszakos bontásban valószínűleg nyáron emelkedhet legnagyobb mértékben az átlaghőmérséklet, egyes szimulációk szerint 2100-ig akár a 6 °C-os hőmérséklet emelkedést sem lehet kizárni. Legkisebb mértékben a tavasz mutat változást, de a változás itt is jelentős, hiszen a jövő század elejére elérheti ebben az évszakban is a hőmérséklet-emelkedés akár a 4 °C-ot is (*1A. ábra; Pongrácz és mtsai, 2013a*).

A csapadék tekintetében visszafogottabb, ugyanakkor a mezőgazdaság számára mégis figyelmet és felkészülést igénylő változás körvonalazódik az RCM szimulációk alapján az 1961-1990-es referencia időszakhoz képest (*Pongrácz és mtsai, 2013b*). A nyári hónapokban jelenik meg egyértelműen a szárazodó ten-

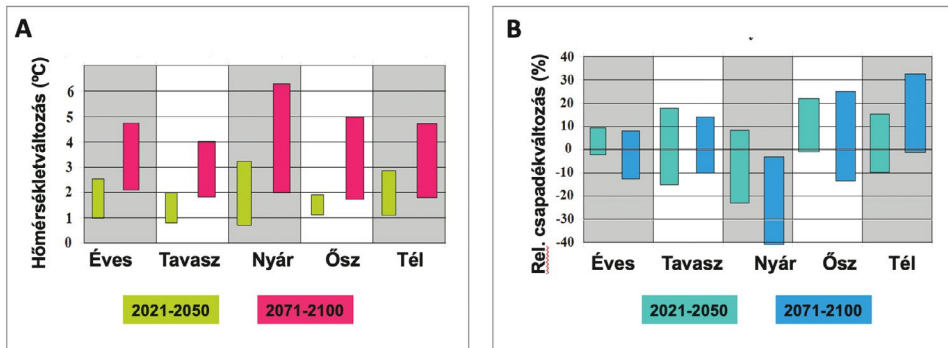
dencia, amely főként a 2071–2100 közötti időszakban válik majd kifejezettebbé. Ekkorra a relatív csapadékváltozás mértéke akár 30–40%-os csökkenést is mutathat majd. A tél ezzel szemben csapadékosabb lehet a referencia időszakhoz képest a 2021–2050 közötti időszakban átlagosan 10%-kal, ami az évszázad végére elérheti akár a 20–30%-ot is (1B. ábra).

Az éghajlat nagy hatással van a vízi ökoszisztémák fizikai, kémiai és biológiai folyamataira (De Stasio és mtsai, 1996; Delpla és mtsai, 2009; Teixeira-de Mello és mtsai, 2009). A levegő és a víz hőmérséklete szorosan összefügg (Arai, 1981; Caissie, 2006), és a vízhőmérséklet a vízi rendszerekben zajló fizikai-kémiai és biológiai folyamatok nagy részének fő mozgatórugója (Brett, 1970). Ez mind az abiotikus, mind a biotikus viszonyokra hatással van: az Arrhenius-féle összefüggés szerint egy adott kémiai reakció sebessége minden 10°C-os hőmérsékletnövekedéssel megduplázódik (Regier és mtsai, 1990).

A halak (és más taxonok) három módon reagálhatnak hosszú távon az éghajlatváltozás okozta környezeti változásokra (Holt, 1990; Jackson és Overpeck, 2000; Reusch és Wood, 2007): a) a fenotípusos plaszticitás segítségével próbálnak megbirkózni a megváltozott feltételekkel; b) genetikailag alkalmazkodnak hozzájuk; vagy c) elvándorolnak megfelelőbb élőhelyekre. Amennyiben ezek a válaszok sikertelenek, akkor lokálisan, vagy akár globálisan is kihalhatnak (Holt, 1990).

Az összes édesvízi halfaj változó testhőmérsékletű, azaz poikiloterm. Emiatt a vízhőmérséklet kulcsfontosságú hatással van élettani folyamataikra és ökológiai eloszlásukra a különböző élőhelyeken (Tonn, 1990; Jackson és mtsai, 2001;

1. ábra Hazánkban a XXI. század végéig az átlagos éves és évszakos hőmérséklet jelentős emelkedése, és a relatív csapadék megoszlásának jelentős szezonális átrendeződése várható



A) Várható hőmérsékletváltozás a 2021–2050 (zöld) és 2071–2100 (bordó) időszakokra; B) Várható csapadékváltozás a 2021–2050 (cián) és 2071–2100 (kék) időszakokra. A referencia időszak mindkét esetben a 1961–1990 periódus volt. Az oszlopok magassága 11 modellszimulációból kapott eredmény alapján alakult ki (Pongrácz és mtsai, 2011 alapján).

Figure 1. The yearly and seasonal average temperatures are expected to be substantially increased, whereas the relative volume of precipitation will be rearranged among the seasons in Hungary, by the end of the century.

A) Expected yearly and seasonal average temperatures during the 2021–2050 (green) and 2071–2100 (magenta) periods; B) Expected yearly and seasonal average relative precipitation volumes during the 2021–2050 (cyan) and 2071–2100 (blue) periods. Reference period for both cases: 1961–1990. The bars represent the results of 11 different simulation methods (based on Pongrácz et al., 2011)

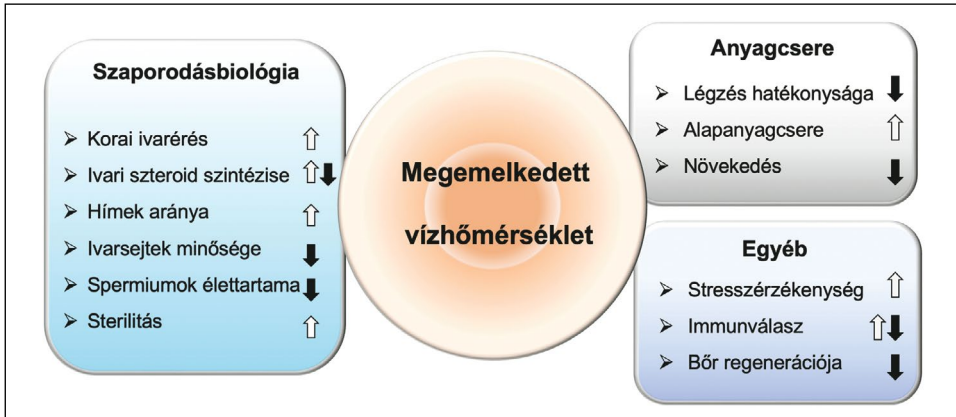
Cussac és mtsai, 2009) vagy egy adott édesvízi ökoszisztémán belül (Fry, 1937; Magnuson és mtsai, 1979; Hamrin, 1986).

Fry (1947) a hőmérsékletnek a halakra gyakorolt öt fő hatását vázolta fel: a) szabályozó (anyagcsere- és fejlődési sebesség); b) irányító (orientációs válaszreakciót serkentő); c) korlátozó (aktivitást, mozgást és eloszlást befolyásoló); d) alkalmazkodó (más környezeti tényezőkre való kifejeződést gátló vagy befolyásoló); és e) letális hatások, amelyek vagy közvetlenül a halak halálát okozzák, vagy közvetve stresszhatásként hatnak. Az ezen különböző hatásokhoz kapcsolódó hőmérsékleti küszöbértékek fajonként és fajon belüli egyedenként eltérőek, sőt egyedszinten is változhatnak, például az ontogenezissel, vagy fejlődési állapottal.

A MEGEMELKEDETT VÍZHŐMÉRSÉKLET ÁLTALÁNOS HATÁSAI A HALAKRA

A hőmérséklet közvetlen hatással van a halak alapanyagcseréjére: a víz hőmérsékletének emelkedésével növekszik az alapanyagcsere szintje (Glencross és Bermudes, 2010), következésképpen a fenntartáshoz szükséges energia- és fehérje szükséglet is (2. ábra). A legtöbb édesvízi és tengeri halfaj növekedésére a klímaváltozás negatív hatással van (Huang és mtsai, 2021): az ázsiai tengeri sügér (*Lates calcarifer*) például 30 °C-on a bruttó energiabevitele egyharmadát az alapvető életfolyamatok fenntartásra használja fel, míg 20 °C-on csak 10%-ra van szüksége (Glencross és Bermudes, 2012). Ugyanakkor néhány halfajban, így például az atlanti lazacnál (*Salmo salar*) az optimális tartományon belüli kisebb hőmérséklet-emelkedés a növekedési erély emelkedését eredményezheti (Reid és mtsai, 2015).

2. ábra A megemelkedett vízhőmérséklet jelentősen befolyásolja a halak élettanát és szaporodását



Jelek magyarázata: Felfelé mutató fehér nyíl – az adott paraméter szintjének emelkedése; Lefelé mutató sötét nyíl – az adott paraméter szintjének csökkenése; Fehér és fekete nyilak – komplex hatás. (A bemutatott paraméterek listája nem teljes.)

Figure 2. Increased water temperature exerts substantial effects on the physiology and reproduction of teleosts.

Labels: White arrow pointing up – increased parameter; Dark arrow pointing down – decreased parameter; White and dark arrows – complex effect. (A selected set of parameters only are shown).

Vízi állatokban a vízhőmérséklet hatása a tápanyagok emészthetőségére jellemzően minimális. A lazacfélékkel kapcsolatos kutatások azt mutatják, hogy a fehérjék és a lipidek emészthetőségében csak kisebb eltérések mutathatók ki a hőmérséklet függvényében (*Amin és mtsai, 2014; Huguet és mtsai, 2015*). Általában az anyagcserével foglalkozó tanulmányok arra utalnak, hogy az éghajlatváltozással összefüggő magasabb hőmérsékletnek minimális hatása lesz a vízi állatok tápanyag- vagy energiaemészthetőségére, legalábbis addig, amíg az emelkedés az egyes fajok számára „optimális” tartományt meg nem haladja (*Reid és mtsai, 2019*).

Egyes halfajok már bizonyos mértékig alkalmazkodtak ahhoz, hogy megbirkózzanak a szövetek szintjén jelentkező hipoxiával, pl. magas glikolitikus kapacitás és/vagy az anyagcsere lassításának képessége (*Almeida-Val és mtsai, 2000*) és a vér O_2 transzportjának gyors növelésével útján. Sokuk képes a víz felszíni légzésre és/vagy a légköri oxigén hasznosításra, úszóhólyagon, módosult kopolytún, ajkakon, szájüregen, bőrön, uszonyokon vagy a gyomor-bél traktus részein keresztül (*Luis és mtsai, 2022*).

Az emelkedő széndioxid-szint okozta savasodás nem csak a tengerekben, de az édesvizekben is megfigyelhető, és ez hatással lehet a halak élettanára. A savasodás fiziológiai stresszt eredményez, ami gátolja a lárvafejlődést és növekedést, illetve károsíthatja az érzékszerveket. A savasodás szintén gátolja a külső és belső szilárdító váz kalcifikációját (*Reid és mtsai, 2019*), ennek elsősorban a kagylókra és a rákokra van közvetlen hatása. A halak esetében egészen a közelmúltig kevésbé foglalkoztak a savasodás lehetséges hatásaival, bár ismereteink régóta vannak ezzel kapcsolatban. Tudjuk, hogy sok faj jól tolerálja az alacsony pH-t, míg mások nagyon érzékenyen reagálnak rá és rövid idő alatt eltűnnek a savasodó vizekből. A lárvák általában érzékenyebben reagálnak a víz savasodására, mint a kifejlett egyedek (*Muniz, 1990; Chen és mtsai, 2022*). Emellett azt is megfigyelték, hogy a savasodás hatására felszabaduló fémionok (alumínium, magnézium) jelenléte, illetve mennyiségének növekedése is jelentősen befolyásolja a halak túlélését. Hasonló szintű savasság mellett alumínium ionok hiányában sokkal jobb a túlélési arány (*Almer és mtsai, 1974*). Más esetekben szöveti károsodást mutattak ki vadon élő halakban, ami elsősorban a szagló rendszert ('olfactory system') érintette, az azonban nem ismert, hogy milyen következménye lehet ennek a tenyésztett egyedekben.

Recirkulációs rendszerekben a CO_2 -szint, és annak savasító hatása gyakran meghaladja a jövőbeli időszakokra előre jelzett értéket is, anélkül, hogy ez negatív hatást gyakorolna a halakra. Ennek az eltérésnek azonban számos oka lehet, mint például az eltérő táplálkozás, a megnövekedett CO_2 -tolerancia, (indirekt) szelekció (*Ellis és mtsai, 2017*), de nagy különbségek lehetnek a veleszületett CO_2 -toleranciát illetően is (*Damsgaard és mtsai, 2015*).

A MEGEMELKEDETT VÍZHŐMÉRSÉKLET LEHETSÉGES HATÁSAI A HALAK SZAPORODÁS-ÉLETTANÁRA

A magas vízhőmérséklet a halak szaporodás-élettanára is jelentős hatást gyakorol. A szaporodás a legtöbb halfajban egy adott hőmérsékleti tartományhoz kötött (*Miranda és mtsai, 2013*), de az ezen belül bekövetkező kisebb változások is

jelentősen módosíthatják a reprodukzív folyamatokat. Ismert, hogy a hőmérséklet változása több halfajban az ivararányok eltolódását eredményezi, mégpedig az alacsony hőmérséklet az ikrás, míg a magas hőmérséklet a tejes egyedek túlsúlya felé (Geffroy és Wedekind, 2020; Strüssmann és mtsai, 2010; 1997). Atlanti lazacban a magas hőmérséklet mind a gametogenezis, mind a végső érés szakaszában jelentős mértékben befolyásolja a szaporodással kapcsolatos élettani folyamatokat. Károsítja az ivarmirigyek szteroid-szintézisét, a máj vitellogenin termelését, megváltoztatja a májban található ösztrogén-receptorok viselkedését, illetve a végső érés során késlelteti, vagy meg is akadályozza az androgének és az érést kiváltó szteroidok termelése közötti váltást (Pankhurst és King, 2010).

A hőmérséklet emelkedésének közvetett hatásaként jelentkező hipoxia a szteroid prekursor koleszterin hozzáférhetőségét csökkenti és ezzel közvetetten akadályozza az ivarmirigyek szteroid-szintézisét, illetve az aromataz gén expressziójának gátlásával közvetlenül is hat az ivari folyamatokra (Servili és mtsai, 2020). Az ilyen változásoknak talán leginkább kitett korallzátonyokon élő bohóchalakban a hőmérséklet 1,5 °C-os, illetve 3 °C-os emelése csökkentette a gonadoszomatikus indexet, a 17 β -ösztadiol koncentrációját, sőt szintén negatívan hatott az ikra mennyiségére és termékenységére is (Miller és mtsai, 2015). Megfigyelték ugyanakkor, hogy a korallzátonyokon élő halak gyorsan, néhány nemzedéken belül alkalmazkodni tudnak a magasabb hőmérséklethez és helyre tudják állítani a szaporodás-élettani funkcióikat (Donelson és mtsai, 2012).

A hőmérséklet emelkedésének hatására megváltozik az ivarsejtek viselkedése is. A spermiumok energia-felhasználása felgyorsul és ennek megfelelően a mozgásuk is intenzívebbé válik: a mozgó sejtek aránya és sebessége nő, míg az aktív mozgás ideje csökken (Dadras és mtsai, 2017). A dél-amerikai *Colossoma macropomum* fajban az emelkedő hőmérséklettel párhuzamosan nő a spermiumokban az oxidatív stresszel kapcsolatos mutatók (glutathion-S-transzferáz és szuperoxid-dizmutáz aktivitás, illetve lipid-peroxidáció) szintje, valamint a DNS-károsodás mértéke is (Castro és mtsai, 2020). A sebes pisztráng (*Salmo trutta*) alpesi populációiban a vízhőmérséklet kb. 5 °C-os emelése még abban az esetben is károsan hatott a szaporodásbiológiai folyamatokra, ha a hőmérséklet éves ingadozásának mértéke azonos maradt a természetessel. Magasabb hőmérsékleten a tejesek később kezdték meg a spermiációt és az rövidebb ideig is tartott, valamint a fent már említett oxidatív stresszparaméterek értékei is megnöttek. Az ikrások később ovuláltak, az ikra termékenysége romlott, annak foszfolipid és szabad zsírsav-tartalma csökkent (Lahnsteiner és Leitner, 2013).

A vízhőmérséklet emelkedésének hatására korábbi életkorban és kisebb testtömegnél következhet be az ivarérés ('precocious maturation'), amit több faj és éghajlati viszony esetén is megfigyeltek (Rolls és mtsai, 2017).

A HŐMÉRSÉKLET EMELKEDÉSÉNEK HATÁSA A STRESSZRE ÉS IMMUNVÁLASZRA HALAKBAN

A halak ektotermek, azaz belső hőforrásaik elenyésző szerepet játszanak testhőmérsékletük szabályozásában, ezért rendkívül érzékenyek a hőmérséklet-változásokra. Míg az eurytermikus, azaz a hőmérséklet széles skáláját elviselő halfajok könnyebben alkalmazkodnak a hirtelen hőmérsékletváltozásokhoz,

addig a sztenotermikus azaz csak szűk hőmérsékleti tartományban életképes fajok általában jóval sérülékenyebbek (*Ream és mtsai, 2003*). A hőmérsékletnek a korai fejlődési szakaszokra gyakorolt hatása hosszú távú hatásokkal járhat, módosíthatja az izomnövekedést, a hőtűrést, az ivar kialakulását, a szaporodást, a stresszválaszt, az immunfunkciókat, az úszóteljesítményt, sőt még a csontrendszeri deformitások előfordulását is (*Alfonso és mtsai, 2020*).

A (hő)stressznek való korai életkori kitettség a hipotalamusz – agyalapi mirigy – mellékvese tengely ('HPA axis') plaszticitását indukálja, és a stresszre való túlérzékenységgel vagy éppen a glükokortikoidok csökkent termelésével jár együtt. A halak esetében ez a plaszticitás azt jelenti, hogy az embrionális fejlődés során a hőviszonyok megváltozása jelentősen módosíthatja fejlődési pályájukat, hosszú távon befolyásolhatja élettani jellemzőiket és megváltoztathatja azon képességüket, mely lehetővé teszi, hogy az új környezeti kihívásokkal később megbirkózzanak. Ezt a hőlenyomatnak ('thermal imprinting') nevezett jelenséget az aranydurbincsban (*Sparus aurata L.*) vizsgálták részletesen. Az optimálisnál magasabb hőmérsékleten keltetett lárvák esetében csökkent a kortizolválasz amplitúdója, függetlenül attól, hogy a keltetést követően magas vagy alacsony hőmérsékleten tartották a lárvát. Ezt a módosult stresszválaszt az agyalapi mirigyben a *proopiomelanocortin (pomc)* gén megnövekedett expressziója alakította ki. A keléskor bekövetkezett hőmérséklet-csökkenés ezen felül a stressztől függetlenül befolyásolta a kifejlett egyedek élettanát is, melyek így szignifikánsan magasabb glükóz-, nátrium- és káliumszintet mutattak a kontrollhoz képest (*Mateus és mtsai, 2017a*). A hőlenyomat azonban más területeken is kifejtheti hatását. Az alacsony keltetési hőmérséklet hatása a kifejlett korban hideghatásnak kitett egyedekben hatással volt a csontok homeosztázisára is. A kezelést követően az alkalikus foszfátáz (Alp) és a tartarát-rezisztens savas foszfátáz (Trap) enzimek aktivitása (melyek az oszteoblaszt- és oszteoklaszt-aktivitás indikátorai), valamint a csontok kalcium tartalma is csökkent ezekben az egyedekben (*Mateus és mtsai, 2017b*). Egy másik kísérletben úgy vizsgálták a regenerációs képesség alakulását az eltérő hőmérsékleten keltetett csoportokban, hogy egy eltávolított pikkely okozta sérülés regenerálódását követték nyomon. A károsodott epidermisz három nap után minden halnál regenerálódott, függetlenül a hőmérséklettől. Azonban az alacsony hőmérsékleten inkubált ikrából származó halaknál az epidermisz vékonyabb volt a többi csoporthoz képest, kevesebb kehelysejtet és kevesebb melanomakrofágot tartalmazott (*Mateus és mtsai, 2023a*).

Természetes körülmények között a környezet hőmérséklete hatással van az ektoterm élőlények táplálékfelvételére, így a halakban is a hőmérséklet csökkenése rövidebb-hosszabb éhezési periódusokat eredményezhet. Az éhezésre adott élettani válasz és az azt követő felépülési szakasz azonban jelentős egyedi eltéréseket mutathat, így a hőlenyomat itt is szerepet játszhat. A farkassügér (*Dicentrarchus labrax*) esetében a magas hőmérsékleten keltetett ikrából származó ivadék májában és előbelében jelentős morfológiai és metabolikus változásokat tapasztaltak (*Mateus és mtsai, 2023b*). A megváltozott májanyagcsere eredményeként csökkent a szövetekben elraktározott lipidtartalom, míg az előbél esetében az atrófia a glükoneogenezisben résztvevő foszfoenol-piruvát karboxiláz (*pck1*) és a fehérje-felszívódást szabályozó peptid transzporter 1 (*pept1*) gének megváltozott expressziójával volt összefüggésben. Az alacsony hőmérsékleten

keltetett csoportnál a táplálékmegvonás nem változtatta meg jelentősen az előbbi morfológiáját, és a májparenchima is hamarabb helyreállt a regeneráció során (*Mateus és mtsai, 2023b*).

A veleszületett immunrendszer a szervezet első védelmi vonala, amely a kórokozók felismerésére, eliminálására szolgál. A második védelmi vonal az adaptív (vagy szerzett) immunitás, amely specifikus antitestválaszokat és hosszú távú immunológiai emlékezetet hoz létre (*Flajnik, 1996*). A hőmérséklet optimális szint alá csökkenésével a veleszületett immunaktivitás is csökken, de a szerzett immunitással szemben alacsony hőmérsékleten is aktív marad, és bizonyos mértékig kompenzálja annak gátlását. A fajspecifikus hőmérsékleti tartományokon belül a veleszületett és szerzett immunitás együttesen, optimálisan működik. A viselkedési láz alkalmazásával (mely során a fertőzött egyed az eltérő környezeti hőmérsékletű pontok közül a számára optimális, melegebb helyeket keresi fel) a halak aktívan maximalizálják immunrendszerük hatékonyságát (*Scharsack és Franke, 2022*). A hőstressznek kitett halakban, amikor viselkedésbeli választási lehetőség nélkül történik a változás, a hőmérséklet negatívan hat a glükokortikoid válaszra, a veleszületett immunitásra, az oxidatív stresszválaszra, valamint a limfociták számának és proliferációs ütemének csökkenését okozza (*Boltana és mtsai, 2018*). A hőnyomat azonban a halak immunválaszára is befolyással lehet. *Mateus és mtsai (2017a)* a fejvесе melanomakrofág központjainak ('melano macrophage', MMC) hisztomorfometriai mérésével, illetve a makrofágokkal kapcsolatos mRNS-ek nyomonkövetésével vizsgálták a hőnyomat immunrendszerre kifejtett hatását aranydurbincsban. A korai fejlődés során magas hőmérsékleten nevelt halak kifejtett kori immunfunkciója megváltozott, a fejvесе állományában megfogytakozott az MMC-k száma és jelentősen csökkent a dopakróim tautomeráz enzim aktivitása is, melynek eredményeképpen növekedhet a melanogén intermedierek citotoxikus hatása.

KÉT ESETTANULMÁNY

Kiválasztottunk két olyan specifikus példát, melyek segítenek részletesebben illusztrálni, hogyan változhatnak meg halak esszenciális biológiai funkciói a megemelkedett vízhőmérséklet hatására. Az első tanulmány a magas vízhőmérséklethez sikeresen alkalmazkodott hévízi törpeponty példáját ismerteti, míg a második a hő okozta ivareltolódás vizsgálatát elemzi a zebradánió modellen.

A melegvízhez alkalmazkodott hévízi törpeponty

A Hévízi-tó állatvilága egyedi, a világon egyedülálló természetes tőzegmedrű melegvízes gyógytó jellege miatt. A mindössze 4,4 hektáron elterülő tóban – ahol a vízhőmérséklet télen 24–26 °C, nyáron 34–35 °C – élő halfajok többsége alkalmi vendég. Mindössze 4–5 betelepített melegkedvelő adventív halfaj, valamint egy őshonos halfaj volt képes önfenntartó állományt kialakítani. A hévízi törpeponty (*Cyprinus carpio carpio morpha hungaricus*) elszigetelt populációja a szélsőséges hőmérsékleti és kémiai viszonyokhoz alkalmazkodott (*Herman, 1887*). A populáció – az alkalmazkodás egyik következményeként – törpenövésű egyedekből áll, melyek, jóllehet a nemesített pontyfajtákhoz hasonlóan rendelke-

nek zsírraktárakkal, nagyon kis méretűek és már egyévesen szaporodóképesek (Müller és mtsai, 2022). A szakirodalmi leírások alapján a mérsékelt égövön a 4–5 nyaras korban ivaréretté váló ponty ívási ideje a tavaszi–nyár eleji időszakra esik (legfőképp május hónapra), amikor a vízhőmérséklet 17–20 °C közé emelkedik (Horváth és Urbányi, 2000). Ezzel szemben a Hévízi tóban a pontyok természetes ívását február végén, 27–28 °C-os vízben figyelték meg (Müller és mtsai, 2022). A megfigyelések szerint termásvízi környezetben az ivarok aránya jelentősen eltolódik a hímek irányába: minden ikrásra közel három tejes jut (1:2,9; Specziár és mtsai, 2013). A szaporodásbiológiai megfigyeléseken túl az itt élő pontyok más jelentős élettani különbségeket is mutatnak természetesvízi és tógazdaságban nevelt társaikhoz képest. A hévízi pontyfilé zsírsavprofiljában a telített zsírsavak részaránya például kb. 1,3-szorosa volt a halastavi pontyokénak (Varga és mtsai, 2011; 2013). Valószínűnek tűnik, hogy a termásvízi magas testhőmérsékletnél a sejtmembránok fluiditásának fenntartásához kevesebb telítetlen zsírsav is elegendő.

A megemelkedett vízhőmérséklet halak ivarára gyakorolt hatásának tanulmányozása a zebradánió modellben

Régóta tudjuk, hogy a megfelelő fejlődési időszakban alkalmazott hosszantartó, szubletális hő sokk a hímek irányába billenti az ivararányt számos halfajban (Baroiller és mtsai, 1999). Ugyanakkor a folyamat genetikai, illetve epigenetikai hátteréről az ismereteink meglehetősen hiányosak.

A fenti jelenséggel kapcsolatos kutatások a haszonhal fajok mellett egyre gyakrabban alkalmazták a zebradániót, mert ez a csíkos díszhal az elmúlt évtizedek során a kiemelkedően fontos fejlődésbiológia és genetikai gerinces modellek egyikévé vált (Lele és Krone, 1996). A zebradánió ivarát elsődlegesen genetikai tényezők határozzák meg. Míg a vadon élő zebradánió populációk ivarát a ZZ/ZW ivari kromoszómás rendszer alakítja ki, addig több házasított vonalban poligénes ivarmeghatározás alakult ki (Wilson és mtsai, 2014). A hőkezelés ennek megfelelően nem az ivarmeghatározásra hat, hanem a differenciálódó ivarszervet 'téríti el' a here irányába.

A zebradánió hőkezeléssel végzett ivarbillentéséről korábban már többen beszámoltak (Uchida és mtsai, 2004; Abozaid és mtsai, 2012), de a folyamatot vezérlő és abban részt vevő géneket, illetve genetikai kaskádokat csak a közelmúltban kezdték el analizálni (Ribas és mtsai, 2017). Eredményeik azt mutatták, hogy a házasított AB vonalban a családok különböző mértékben válaszolnak a hőkezelésre: egyesekben drasztikusan eltolódik az ivararány a hímek (tejesek) irányába, míg másokra nincs jelentős hatással a hőkezelés. Az előbbi csoportból kezelték egy olyan családot, melyben a hímek aránya a kiindulási 30%-ról 90%-ra tolódott el, azaz a kezelt csoportban a hímek 2/3-a fenotípusosan átszexálódott genetikai nőstény (angolul 'neomale') volt (Ribas és mtsai, 2017). A kontroll és kezelt csoportok mindkét ivarának ivarszerveit összehasonlító transzkriptomikai vizsgálatnak alávetve a következőket tapasztalták:

- a) Míg a kezeletlen kontroll csoportban a génextpressziós mintázatok mindkét ivarban egyöntetű, de egymástól jelentősen eltérő képet mutattak, addig a kezelt csoportban mindkét ivar mintázata két-két csoportra oszlott meg;

b) A kezelt hímek nagyobb hányada (80%) teljesen megegyező génexpressziós profilt mutatott a kezeletlen hímekével, a maradék két egyedben az eltérő szintű expressziót mutató gének ('differentially expressed genes', röviden DEG) aránya mindössze 5-6 % volt.

c) A kezelésnek ellenálló nőtények (ikrások) zömének az ivarszervi génexpressziója alig tért el a kezeletlen ikrásokétól, azonban találtak két olyan egyedet is, melyek ivarszerve fenotípusosan petefészeknek nézett ki, de génexpressziós profilja sokkal közelebb állt a heréhez, mint a petefészekhez (*Ribas és mtsai, 2017*).

A szerzők a fentiekből azt a következtetést vonták le, hogy a hő indukálta ivarátfordulás egy olyan többlépcsős folyamat, mely az ivarszerv génexpressziós mintázatának *in vivo* átprogramozásával kezdődik, melyet csak némi késéssel követ a korai petefészek fenotípusos átalakulása (*Ribas és mtsai, 2017*). Későbbi vizsgálatok azt is kiderítették, hogy a háziasított vonalakhoz hasonlóan a vad populációk nőivarú egyedeire is hasonló módon hat a hőmérséklet és az így létrejött 'neomale' egyedekben a spermaszám magasabb a normál hímekénél (*Valdivieso és mtsai, 2022*).

Brown és munkatársai (2015) a megemelt hőmérséklet és az endokrin rendszerre ható vegyületek (angolul 'endocrine disrupting compounds', azaz EDC) együttes hatását vizsgálták. Eredményeik azt mutatták, hogy a kétféle stressz hatása összeadódott, így komolyabb mértékben tolták el a vizsgált csoportok ivararányát, mint az egyedül alkalmazott stresszorok. Ebből arra a következtetésre jutottak, hogy ezeknek a faktoroknak az együttes hatása jelentősen felgyorsíthatja a természetes vízi zebra-dánió populációk és más, hőre érzékeny ivarmeghatározással rendelkező fajok állományának leromlását, különösképpen a kisebb, beltenyésztett populációk esetében.

MIT TEHETÜNK A KEDVEZŐTLEN HATÁSOK ENYHÍTÉSE ÉRDEKÉBEN?

Az éghajlatváltozás édesvízi halakra gyakorolt lehetséges hatásait vizsgálva *Shuter és Meisner (1992)* két kérdést tett fel:

a) Hogyan módosulnak a vízi élőhelyek az éghajlatváltozás hatására?

b) Hogyan reagálnak majd a halak az élőhelyek változására mind egyed-, mind populáció szinten?

Noha több, mint harminc év telt el a fenti kérdések feltétele óta, a gyakorlati szakemberek, a kutatás-fejlesztésben és szabályozási környezetben dolgozók még mindig keresik rájuk a választ. Mind a mai napig nem teljesek az ismereteink azzal kapcsolatban, hogy az éghajlatváltozás milyen drasztikus változásokat okoz a vízi ökoszisztémákban, és milyen módszereket és technológiákat kellene kidolgoznunk ezek hatásainak kiküszöbölésére vagy legalább enyhítésére (*Moritz és Agudo, 2013; Wilsey és mtsai, 2013*), tehát egyelőre nincs megnyugtató válaszunk a fenti kérdésekre.

A világ akvakultúrájának nagy részét érintő éghajlatváltozás hatásaira vonatkozó ismeretek és/vagy az adatok hozzáférhetősége hiányos. Hogyan alakulhatott ki ez a helyzet? Minden ország, melynek gazdaságában a vízhasznosítás és vízgazdálkodás, azon belül is a halászat, halgazdálkodás és akvakultúra jelentős, önálló programokban próbálja feltárni a lehetséges hatásokat, és azok

kivédésére különböző scenáriókat állítanak fel. Ezek az akciótervek többnyire az adott nemzetek nyelvén készülnek, és csak töredéküket fordítják le angolra. A globális megoldásokat összefoglaló és figyelő tanulmányok áttekintése az angol nyelvű tudományos szakirodalomra támaszkodik, amely nagymértékben a fejlett régiók tengeri rendszereire összpontosít. Így vélelmezhető, hogy sok praktikus és használható megoldás nem kerül be az ismereti rendszerbe. Lokális megoldási javaslatok készültek ugyan az édesvízi akvakultúra területén is a potenciális ágazati veszteségek mérséklésére, mint például Vietnam (*Binh és mtsai, 2017*), Ausztrália (*Hobday és mtsai, 2018*) és Hawaii (*McCoy és mtsai, 2017*) esetében, de ezek értelemszerűen sajátos aspektusokra, környezetre és lehetőségekre építve tesznek megállapításokat, és nehezen alkalmazhatók a mi mérsékeltövi akvakultúránkban.

Továbbá, a különböző elemzések és vizsgálatok nem feltétlenül tükrözik a világ akvakultúra-termelésében bekövetkező, prognosztizálható változások nagy részét. A tanulmányok csupán töredéke tér ki említés szinten arra, hogy a súly szerint a világ legnagyobb mennyiségben termelt négy halfaja közül háromra milyen hatással lesz az éghajlatváltozás. A világ akvakultúra hozamának 29%-át adja az amur (*Ctenopharyngodon idella*), a fehér busa (*Hypophthalmichthys molitrix*) és a ponty (*Cyprinus carpio*) termelése (FAO, 2022). Ezek a halfajok komoly szerepet töltenek be egyes térségek, országok állati eredetű fehérje ellátásában. Ennek okai között előkelő helyen szerepelnek a genetikai rugalmasságukból (azaz alkalmazkodóképességükből) és nagymértékű tűrőképességükből eredő sokoldalúságuk, amelyek lehetővé teszik, hogy különböző rendszerekben és környezetben nagy mennyiségben termeljék őket. Ezt az adaptációs képességet az is jól mutatja, hogy a világ több térségében, ahová emberi tevékenység hatására kerültek be, invazív fajként kezelik őket, és az új élőhelyekről való kiirtásuk vagy visszaszorításuk nehézkes. A fentiekből valószínűsíthető, hogy ezek a fajok magas fokú toleranciára képesek több stressz faktoral szemben, és ezáltal a többi halfajnál valamivel jobban fognak alkalmazkodni az éghajlatváltozás okozta környezetváltozáshoz (*Crichigno és mtsai, 2016; Weber és mtsai, 2016; Erickson és mtsai, 2018; Prechtel és mtsai, 2018*).

Ezért nem lehetséges az, hogy egy-egy tulajdonságot kiemelve bocsátkozzunk prognózisokba az éghajlatváltozást illetően: a problémát komplex módon szükséges értelmezni és kezelni. A fentiek alapján már érzékelhető, miért nem lehetséges „jó tanácsokat és gyakorlati javaslatokat” adni az éghajlatváltozás okozta hatásokra és változásokra. A különböző javaslatok és előrejelzések alapján az látható, hogy a problémákra adható válaszok közül kiemelkedik a genetika, mint eszköz és módszertan. A víz hőmérsékletének emelkedése, és az ennek hatására bekövetkező kémiai és fizikai változások olyan fajhibridek, vagy fajon belüli fajták és változatok kitenyésztését tehetik majd szükségessé, melyek képesek lesznek tolerálni a változások okozta környezetmódosulást (pl. *Sparks és mtsai, 2017*). Ezzel párhuzamosan a különböző halbetegségek kórokozóinak az inváziója és nyomása is növekedni fog, melyekre a különböző új és újszerű kezelések mellett az ellenállóképes fajták/változatok szelekciója lehet az egyik megoldás.

Az emelkedő hőmérséklet átalakítja a halak ivási időszakát, sőt akár az ivási időtartamát is, emiatt az ivási viselkedésük is módosulhat. Várhatóan a természetben előbb fognak ivni a halfajaink, és ezzel szoros összefüggésben a természetes

táplálékul szolgáló mikro- és makrogerinctelenek rendelkezésre állása is fontos kérdéseket vet fel: hogyan tolerálják majd a táplálékszervezetek a környezeti változásokat. Az emelkedő hőmérséklet maga után vonja a megnövekedő táplálékigényt. Ennek felmérése és a helyes válaszok megadása, a potenciális válaszok analízise szintén vizsgálatokat és elemzéseket igényelnek, melyek alapja szintén az adaptív genetikai vonalak létrehozásában keresendő.

Jelenleg hazánk akvakultúrából származó halhús termelésének több, mint kétharmadát a tavakban és holtágakban működő extenzív és félintenzív termelő egységek szolgáltatják. Mivel a fenti problémák elsősorban ezt az ágazatot fogják sújtani, előtérbe kerülnek majd az intenzív rendszerek, melyekben a halakat fokozottan szabályozott és ellenőrzött körülmények között állítják elő. Sajnos, az így előállított halhús költsége ugyanazon halfaj esetében jelentősen magasabb annál, amit extenzív és félintenzív körülmények között biztosítani lehet. Így, amennyiben nem sikerül a fenti problémára megoldást találnunk, akkor a már a következő két évtized során várható hazai halhús piacán a fajok megoszlásának átrendeződése és a termékek árának emelkedése is.

Összefoglalva: sajnos egyelőre a hazai gyakorlati és elméleti szakembereknek nem állnak a rendelkezésükre olyan megoldások, melyekkel a globális klímaváltozás által okozott problémákat gyorsan és jelentősen enyhíteni lehetne. Véleményünk szerint olyan célzott K+F projektekre lenne mielőbb szükség hazánkban is, melyek az éghajlatváltozás okozta hatások vizsgálatára fókuszálnak, és megoldási javaslatokat adhatnak a különböző scenáriókra. Nincs már több időnk a várakozásra, cselekednünk kell minél előbb!

KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A globális klímaváltozás következtében vizeink átlaghőmérséklete várhatóan jelentősen meg fog emelkedni a következő évtizedekben, és ez minden bizonnyal komoly hatással lesz majd tenyésztett halaink élettanára és szaporodására. Várhatóan csökken majd légzésük hatékonysága, felgyorsul az alapanyagcseréjük és ennek eredményeképpen lassulni fog a növekedésük. Az immunrendszerükben és szaporodásbiológiájukban is olyan kedvezőtlen változások várhatóak, melyek hatására az állományok generációkon átívelő fenntartása eddig nem ismert nehézségekbe ütközhet.

Mivel jelenleg nincsen gyors és hatékony megoldás fenti problémák megoldására, nagyon fontos lenne, hogy minél előbb célzott pályázatok induljanak ezeken az alkalmazott kutatási területeken.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A szerzők ezúton mondanak köszönetet kutatócsoportjaik tagjainak, illetőleg hazai és külföldi együttműködőknek, akik munkájukkal hozzájárultak a laborjaikban elért kutatási eredményekhez. Szeverényi Ildikó és Orbán László munkáját az NKFIH Élvi Kutatási Kiválósági Programja támogatja (KKP 140353). Horváth Ákos kutatásait az NKFIH K129127 és 138425 projektek támogatásával végzi.

IRODALOMJEGYZÉK

- Abozaid, H. – Wessels, S. – Hörstgen-Schwark, G. (2011): Effect of rearing temperatures during embryonic development on the phenotypic sex in zebrafish (*Danio rerio*). *Sexual Development*, 5. 259–265. <https://doi.org/10.1159/000330120>
- Alfonso, S. – Gesto, M. – Sadoul, B. (2021): Temperature increase and its effects on fish stress physiology in the context of global warming. *Journal of Fish Biology*, 98. 1496–1508. <https://doi.org/10.1111/jfb.14599>
- Almeida-Val, V. M. F. – Val, A. L. – Duncan, W. P. – Souza, F. C. A. – Paula-Silva, M. N. – Land, S. (2000): Scaling effects on hypoxia tolerance in the Amazon fish *Astronotus ocellatus* (Perciformes: Cichlidae): contribution of tissue enzyme levels. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 125. 219–226. [https://doi.org/10.1016/S0305-0491\(99\)00172-8](https://doi.org/10.1016/S0305-0491(99)00172-8)
- Almer, B. – Dickson, W. – Ekstroem, C. – Hoernstroem, E. – Miller, U. (1974): Effects of acidification on Swedish lakes. *Ambio* (Norway), 3. 30–36. <https://www.osti.gov/etdeweb/biblio/5551139>
- Amin, M. N. – Barnes, R. K. – Adams, L. R. (2014): Effect of temperature and varying level of carbohydrate and lipid on growth, feed efficiency and nutrient digestibility of brook trout, *Salvelinus fontinalis* (Mitchill, 1814). *Animal Feed Science and Technology*, 193. 111–123. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.04.016>
- Arai, T. (2017): Climatic and geomorphological influences on lake temperature. *SIL Proceedings*, 21. 130–134. <https://doi.org/10.1080/03680770.1980.11896969>
- Baroiller, J. F. – Guiguen, Y. – Fostier, A. (1999): Endocrine and environmental aspects of sex differentiation in fish. *Cellular and Molecular Life Sciences CMLS*, 55. 910–931. <https://doi.org/10.1007/s000180050344>
- Boltana, S. – Sanhuesa, N. – Donoso, A. – Aguilar, A. – Crespo, D. – Vergara, D. – Arriagada, G. – Morales-Lange, B. – Mercado, L. – Mackenzie, S. (2018). The expression of TRPV channels, prostaglandin E2 and pro-inflammatory cytokines during behavioural fever in fish. *Brain, Behavior, and Immunity*, 71. 169–181. <https://doi.org/10.1016/j.bbi.2018.03.023>
- Brett, J. (1970): Environmental factors, part I. Temperature. In O. Kinne (Ed.), *Marine Ecology* 50. 515–560. Wiley
- Brown, A. R. – Owen, S. F. – Peters, J. – Zhang, Y. – Soffker, M. – Paull, G. C. – Hosken, D. J. – Wahab, M. A. – Tyler, C. R. (2015): Climate change and pollution speed declines in zebrafish populations. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 112(11), E1237–E1246. <https://doi.org/10.1073/pnas.1416269112>
- Caissie, D. (2006): The thermal regime of rivers: A review. *Freshwater Biology*, 51. 1389–1406. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2006.01597.x>
- Castro, J. S. – Braz-Mota, S. – Campos, D. F. – Souza, S. S. – Val, A. L. (2020): High temperature, pH, and hypoxia cause oxidative stress and impair the spermatoc performance of the Amazon fish *Colossoma macropomum*. *Frontiers in Physiology*, 11. 772. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00772>
- Crichigno, S. – Cordero, P. – Blasetti, G. – Cussac, V. (2016): Dispersion of the invasive common carp *Cyprinus carpio* in southern South America: Changes and expectations, westward and southward. *Journal of Fish Biology*, 89. 403–416. <https://doi.org/10.1111/jfb.12969>
- Cussac, V. E. – Fernández, D. A. – Gómez, S. E. – López, H. L. (2009): Fishes of southern South America: A story driven by temperature. *Fish Physiology and Biochemistry*, 35. 29–42. <https://doi.org/10.1007/s10695-008-9217-2>
- Dadras, H. – Dzyuba, B. – Cosson, J. – Golpour, A. – Siddique, M. A. M. – Linhart, O. (2017): Effect of water temperature on the physiology of fish spermatozoon function: A brief review. *Aquaculture Research*, 48. 729–740. <https://doi.org/10.1111/are.13049>
- Damsgaard, C. – Gam, L. T. H. – Tuong, D. D. – Thinh, P. V. – Huong Thanh, D. T. – Wang, T. – Bayley, M. (2015): High capacity for extracellular acid–base regulation in the air-breathing fish

- Pangasianodon hypophthalmus*. Journal of Experimental Biology, 218. 1290–1294. <https://doi.org/10.1242/jeb.117671>
- De Stasio Jr. – B. T. – Hill, D. K. – Kleinhans, J. M. – Nibbelink, N. P. – Magnuson, J. J. (1996): Potential effects of global climate change on small north-temperate lakes: Physics, fish, and plankton. Limnology and Oceanography, 41. 1136–1149. <https://doi.org/10.4319/lo.1996.41.5.1136>
- Delpla, I. – Jung, A.-V. – Baures, E. – Clement, M. – Thomas, O. (2009): Impacts of climate change on surface water quality in relation to drinking water production. Environment International, 35(8), 1225–1233. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2009.07.001>
- Donelson, J. M. – Munday, P. L. – McCormick, M. I. – Pitcher, C. R. (2012): Rapid transgenerational acclimation of a tropical reef fish to climate change. Nature Climate Change, 2. 1. <https://doi.org/10.1038/nclimate1323>
- Ellis, R. P. – Urbina, M. A. – Wilson, R. W. (2017): Lessons from two high CO₂ worlds – future oceans and intensive aquaculture. Global Change Biology, 23. 2141–2148. <https://doi.org/10.1111/gcb.13515>
- Erickson, R. A. – Eager, E. A. – Kocovsky, P. M. – Glover, D. C. – Kallis, J. L. – Long, K. R. (2018): A spatially discrete, integral projection model and its application to invasive carp. Ecological Modelling, 387. 163–171. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2018.09.006>
- FAO (2022): The State of World Fisheries and Aquaculture 2022. Towards Blue Transformation. FAO. <https://doi.org/10.4060/cc0461en>
- Flajnik, M. F. (1996): The immune system of ectothermic vertebrates. Veterinary Immunology and Immunopathology, 54. 145–150. [https://doi.org/10.1016/S0165-2427\(96\)05685-1](https://doi.org/10.1016/S0165-2427(96)05685-1)
- Fry, F. (1937): The summer migration of the cisco, (*Leucichthys arctedi*) (LeSueur), in Lake Nipissing, Ontario. (No. 55; Publications of the Ontario Fisheries Research Laboratory, 1–91). https://scholarworks.umass.edu/fishpassage_reports/484
- Fry, F. E. J. (1947): Effects of the environment on animal activity. University of Toronto Studies in Biology, 55. 1–62.
- Geffroy, B. – Wedekind, C. (2020): Effects of global warming on sex ratios in fishes. Journal of Fish Biology, 97. 596–606. <https://doi.org/10.1111/jfb.14429>
- Glencross, B. – Bermudes, M. (2010): Effect of high water temperatures on the utilisation efficiencies of energy and protein by juvenile barramundi, *Lates calcarifer*. Fisheries and Aquaculture Journal, 2010, FAJ-14. <https://doi.org/10.4172/2150-3508.1000014>
- Glencross, B. D. – Bermudes, M. (2012): Adapting bioenergetic factorial modelling to understand the implications of heat stress on barramundi (*Lates calcarifer*) growth, feed utilisation and optimal protein and energy requirements – potential strategies for dealing with climate change? Aquaculture Nutrition, 18. 411–422. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2011.00913.x>
- Hamrin, S. F. (1986): Vertical distribution and habitat partitioning between different size classes of vendace, *Coregonus albula*, in thermally stratified lakes. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 43. 1617–1625. <https://doi.org/10.1139/f86-200>
- Herman O. (1887): A magyar halászat könyve. A.K.M. Természettudományi Társulat.
- Hobday, A. J. – Spillman, C. M. – Eveson, J. P. – Hartog, J. R. – Zhang, X. – Brodie, S. (2018): A framework for combining seasonal forecasts and climate projections to aid risk management for fisheries and aquaculture. Frontiers in Marine Sci., 5. 137. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmars.2018.00137>
- Holt, R. D. (1990): The microevolutionary consequences of climate change. Trends in Ecology & Evolution, 5. 311–315. [https://doi.org/10.1016/0169-5347\(90\)90088-U](https://doi.org/10.1016/0169-5347(90)90088-U)
- Horváth, L. – Urbányi, B. (2000): Halak szaporodásbiológiája. In Halbiológia és Haltenyésztés (Második kiadás, 214–343). Mezőgazda Kiadó.
- Huang, M. – Ding, L. – Wang, J. – Ding, C. – Tao, J. (2021): The impacts of climate change on fish growth: A summary of conducted studies and current knowledge. Ecological Indicators, 121, 106976. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106976>

- Huguet, C. T. – Norambuena, F. – Emery, J. A. – Hermon, K. – Turchini, G. M. (2015): Dietary n-6/n-3 LC-PUFA ratio, temperature and time interactions on nutrients and fatty acids digestibility in Atlantic salmon. *Aquaculture*, 436. 160–166. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.11.011>
- Jackson, D. A. – Peres-Neto, P. R. – Olden, J. D. (2001): What controls who is where in freshwater fish communities – the roles of biotic, abiotic, and spatial factors. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 58. 157–170. <https://doi.org/10.1139/f00-239>
- Jackson, S. T. – Overpeck, J. T. (2000): Responses of plant populations and communities to environmental changes of the late Quaternary. *Paleobiology*, 26. 194–220. <https://doi.org/10.1017/S0094837300026932>
- Lahnsteiner, F. – Leitner, S. (2013): Effect of temperature on gametogenesis and gamete quality in brown trout, *Salmo trutta*. *Journal of Experimental Zoology Part A: Ecol. Genet. Physiol.*, 319. 138–148. <https://doi.org/10.1002/jez.1779>
- Lakatos, M. – Bihari, Z. (2013): A XX. század során észlelt hazai éghajlati változások. In J. Bartholy & R. Pongrácz (Eds.), *Klímváltozás* (pp. 27–49): ELTE TTK FFI Meteorológiai Tanszék. <https://ttk.elte.hu/dstore/document/874/book.pdf>
- Lele, Z. – Krone, P. H. (1996): The zebrafish as a model system in developmental, toxicological and transgenic research. *Biotechnology Advances*, 14. 57–72. [https://doi.org/10.1016/0734-9750\(96\)00004-3](https://doi.org/10.1016/0734-9750(96)00004-3)
- Luis Val, A. – Wood, C. M. (2022): Global change and physiological challenges for fish of the Amazon today and in the near future. *J. Exper. Biol.*, 225. jeb216440. <https://doi.org/10.1242/jeb.216440>
- Mac Nhu Binh – Le Van An – Nguyen Thi Thanh Thuy – Ngo Thi Huong Giang – Ho Thi Thu Hoai – Truong Van Dan. (2016): Impact of climate change on aquaculture in Phu Vang District, Thua Thien Hue Province, Vietnam. *Agriculture and Development Discussion Series 2016–3*. Southeast Asian Regional Center for Graduate Study and Research in Agriculture (SEARCA). <https://ideas.repec.org/p/sag/seadps/2016366.html>
- Magnuson, J. J. – Crowder, L. B. – Medvick, P. A. (1979): Temperature as an ecological resource. *American Zoologist*, 19. 331–343. <https://doi.org/10.1093/icb/19.1.331>
- Mateus, A. P. – Costa, R. A. – Cardoso, J. C. R. – Andree, K. B. – Estévez, A. – Gisbert, E. – Power, D. M. (2017a): Thermal imprinting modifies adult stress and innate immune responsiveness in the teleost sea bream. *Journal of Endocrinology*, 233. 381–394. <https://doi.org/10.1530/JOE-16-0610>
- Mateus, A. P. – Costa, R. – Gisbert, E. – Pinto, P. I. S. – Andree, K. B. – Estévez, A. – Power, D. M. (2017b): Thermal imprinting modifies bone homeostasis in cold-challenged sea bream (*Sparus aurata*). *Journal of Experimental Biology*, 220. 3442–3454. <https://doi.org/10.1242/jeb.156174>
- Mateus, A. P. – Costa, R. A. – Sadoul, B. – Bégout, M.-L. – Cousin, X. – Canario, A. VM. – Power, D. M. (2023a): Thermal imprinting during embryogenesis modifies skin repair in juvenile European sea bass (*Diacentrarchus labrax*). *Fish & Shellfish Immunology*, 134. 108647. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2023.108647>
- Mateus, A. P. – Costa, R. A. – Herrero, J. J. – Sadoul, B. – Bégout, M. L. – Cousin, X. – Canario, A. V. M. – Power, D. M. (2023b): The impact of egg thermal regimes on the response to food deprivation and refeeding in juvenile European sea bass (*Diacentrarchus labrax*). *Aquaculture*, 575. 739806. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.739806>
- McCoy, D. – McManus, M. A. – Kotubetey, K. – Kawelo, A. H. – Young, C. – D'Andrea, B. – Ruttenberg, K. C. – Alegado, R. 'Anolani. (2017): Large-scale climatic effects on traditional Hawaiian fishpond aquaculture. *PLoS ONE*, 12. e0187951. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0187951>
- Miller, G. M. – Kroon, F. J. – Metcalfe, S. – Munday, P. L. (2015): Temperature is the evil twin: Effects of increased temperature and ocean acidification on reproduction in a reef fish. *Ecological Applications*, 25. 603–620. <https://doi.org/10.1890/14-0559.1>
- Miranda, L. A. – Chalde, T. – Elisio, M. – Strüssmann, C. A. (2013): Effects of global warming on fish reproductive endocrine axis, with special emphasis in pejerrey *Odontesthes bonariensis*. *General and Comparative Endocrinology*, 192. 45–54. <https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2013.02.034>

- Moritz, C. – Agudo, R. (2013): The future of species under climate change: Resilience or decline? *Science*, 341. 504–508. <https://doi.org/10.1126/science.1237190>
- Müller, T. – Bógó, B. – Ferincz, Á. – Horváth, J. – Staszny, Á. – Weipert, A. – Ivánovics, B. – Lente, V. – Specziár, A. – Urbányi, B. (2022): A kivétel erősíti a szabályt? Hévízi törpenövesű vadponty egyedi ivarérese és ivása. XLVI. Halászati Tudományos Tanácskozás, 2022. május 25-26. Szarvas. Összefoglalók 105–106. <http://real.mtak.hu/143423/>
- Muniz, I. P. (1990): Freshwater acidification: Its effects on species and communities of freshwater microbes, plants and animals. *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh, Section B: Biological Sciences*, 97. 227–254. <https://doi.org/10.1017/S026972700005364>
- Ospina-Álvarez, N. – Piferrer, F. (2008): Temperature-dependent sex determination in fish revisited: Prevalence, a single sex ratio response pattern, and possible effects of climate change. *PLoS ONE*, 3(7), e2837. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0002837>
- Pankhurst, N. W. – King, H. R. (2010): Temperature and salmonid reproduction: Implications for aquaculture. *Journal of Fish Biology*, 76. 69–85. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2009.02484.x>
- Pongrácz, R. – Bartholy, J. – Miklós, E. (2011): Analysis of projected climate change for Hungary using ensembles simulations. *Applied Ecology and Environmental Research*, 9. 387–398.
- Pongrácz, R. – Pieczka, I. – Bartholy, J. (2013a): A várható éghajlatváltozás dinamikus modelleredmények alapján: Csapadék. In J. Bartholy & R. Pongrácz (Eds.), *Klímaváltozás* (pp. 145–163). Budapest, ELTE TTK FFI Meteorológiai Tanszék. <https://ttk.elte.hu/dstore/document/874/book.pdf>
- Pongrácz, R. – Pieczka, I. – Bartholy, J. (2013b): A várható éghajlatváltozás dinamikus modelleredmények alapján: Hőmérséklet. In J. Bartholy & R. Pongrácz (Eds.), *Klímaváltozás* (134–144). ELTE TTK FFI Meteorológiai Tanszék. <https://ttk.elte.hu/dstore/document/874/book.pdf>
- Prechtel, A. R. – Coulter, A. A. – Etchison, L. – Jackson, P. R. – Goforth, R. R. (2018): Range estimates and habitat use of invasive silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*): Evidence of sedentary and mobile individuals. *Hydrobiologia*, 805. 203–218. <https://doi.org/10.1007/s10750-017-3296-y>
- Ream, R. A. – Theriot, J. A. – Somero, G. N. (2003). Influences of thermal acclimation and acute temperature change on the motility of epithelial wound-healing cells (keratocytes) of tropical, temperate and Antarctic fish. *Journal of Experimental Biology*, 206. 4539–4551. <https://doi.org/10.1242/jeb.00706>
- Regier, H. A. – Holmes, J. A. – Pauly, D. (1990): Influence of temperature changes on aquatic ecosystems: An interpretation of empirical data. *Transactions of the American Fisheries Society*, 119. 374–389. [https://doi.org/10.1577/1548-8659\(1990\)119<0374:IOTCOA>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8659(1990)119<0374:IOTCOA>2.3.CO;2)
- Reid, G. K. – Gurney-Smith, H. J. – Marcogliese, D. J. – Knowler, D. – Benfey, T. – Garber, A. F. – Forster, I. – Chopin, T. – Brewer-Dalton, K. – Moccia, R. D. – ... Silva, S. D. (2019): Climate change and aquaculture: Considering biological response and resources. *Aquaculture Environment Interactions*, 11. 569–602. <https://doi.org/10.3354/aei00332>
- Reusch, T. B. H. – Wood, T. E. (2007): Molecular ecology of global change. *Molecular Ecology*, 16. 3973–3992. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2007.03454.x>
- Riahi, K. – van Vuuren, D. P. – Kriegler, E. – Edmonds, J. – O'Neill, B. C. – Fujimori, S. – Bauer, N. – Calvin, K. – Dellink, R. – Tavoni, M. (2017): The sShared socioeconomic pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. *Global Environmental Change*, 42. 153–168. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.05.009>
- Ribas, L. – Liew, W. C. – Díaz, N. – Sreenivasan, R. – Orbán, L. – Piferrer, F. (2017): Heat-induced masculinization in domesticated zebrafish is family-specific and yields a set of different gonadal transcriptomes. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 114. E941–E950. <https://doi.org/10.1073/pnas.1609411114>
- Scharsack, J. P. – Franke, F. (2022): Temperature effects on teleost immunity in the light of climate change. *Journal of Fish Biology*, 101. 780–796. <https://doi.org/10.1111/jfb.15163>

- Servili, A. – Canario, A. V. M. – Mouchel, O. – Muñoz-Cueto, J. A. (2020): Climate change impacts on fish reproduction are mediated at multiple levels of the brain-pituitary-gonad axis. *General and Comparative Endocrinology*, 291. 113439. <https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2020.113439>
- Shuter, B. J. – Meisner, J. D. (1992): Tools for assessing the impact of climate change on freshwater fish populations. *GeoJournal*, 28. 7–20. <https://doi.org/10.1007/BF00216402>
- Sparks, M. M. – Westley, P. A. H. – Falke, J. A. – Quinn, T. P. (2017): Thermal adaptation and phenotypic plasticity in a warming world: Insights from common garden experiments on Alaskan sockeye salmon. *Global Change Biology*, 23. 5203–5217. doi:10.1111/gcb.13782
- Specziár, A. – Staszny, Á. – Horváth, Á. – Urbányi, B. – Müller, T. (2013): A hévízi törpenövésű magyar vadponty populációbiológiai és morfológiai vizsgálata (2007-2013). XXXVII. Halászati Tudományos Tanácskozás, Szarvas, 2013. május 22-23. <http://real.mtak.hu/28927/>
- Strüssmann, C. A. – Conover, D. O. – Somoza, G. M. – Miranda, L. A. (2010): Implications of climate change for the reproductive capacity and survival of New World silversides (family Atherinopsidae). *Journal of Fish Biology*, 77. 1818–1834. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2010.02780.x>
- Strüssmann, C. A. – Saito, T. – Usui, M. – Yamada, H. – Takashima, F. (1997): Thermal thresholds and critical period of thermolabile sex determination in two atherinid fishes, *Odontesthes bonariensis* and *Patagonina hatcheri*. *Journal of Experimental Zoology*, 278. 167–177. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-010X\(19970615\)278:3<167::AID-JEZ6>3.0.CO;2-M](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-010X(19970615)278:3<167::AID-JEZ6>3.0.CO;2-M)
- Teixeira-de Mello, F. – Meerhoff, M. – Pekcan-Hekim, Z. – Jeppesen, E. (2009): Substantial differences in littoral fish community structure and dynamics in subtropical and temperate shallow lakes. *Freshwater Biology*, 54. 1202–1215. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2009.02167.x>
- Tonn, W. M. (1990): Climate change and fish communities: A conceptual framework. *Transactions of the American Fisheries Society*, 119. 337–352. [https://doi.org/10.1577/1548-8659\(1990\)119<0337:CCAFCA>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8659(1990)119<0337:CCAFCA>2.3.CO;2)
- Trenberth, K. E. (2018): Climate change caused by human activities is happening and it already has major consequences *Journal of Energy & Natural Resources Law*, 36. 463-481. <https://doi.org/10.1080/02646811.2018.1450895>
- Uchida, D. – Yamashita, M. – Kitano, T. – Iguchi, T. (2004): An aromatase inhibitor or high water temperature induce oocyte apoptosis and depletion of P450 aromatase activity in the gonads of genetic female zebrafish during sex-reversal. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 137. 11–20. [https://doi.org/10.1016/S1095-6433\(03\)00178-8](https://doi.org/10.1016/S1095-6433(03)00178-8)
- Valdivieso, A. – Ribas, L. – Monleón-Getino, A. – Orbán, L. – Piferrer, F. (2020): Exposure of zebrafish to elevated temperature induces sex ratio shifts and alterations in the testicular epigenome of unexposed offspring. *Environmental Research*, 186. 109601. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109601>
- Valdivieso, A. – Wilson, C. A. – Amores, A. – da Silva Rodrigues, M. – Nóbrega, R. H. – Ribas, L. – Postlethwait, J. H. – Piferrer, F. (2022): Environmentally-induced sex reversal in fish with chromosomal vs. polygenic sex determination. *Environmental Research*, 213. 113549. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113549>
- Varga, D. – Müller, T. – Specziár, A. – Fébel, H. – Hancz, C. – Bázár, G. – Urbányi, B. – Szabó, A. (2013): A note on the special fillet fatty acid composition of the dwarf carp (*Cyprinus carpio carpio*) living in thermal Lake Hévíz, Hungary. *Acta Biologica Hungarica*, 64. 34–44. <https://doi.org/10.1556/abiol.64.2013.1.4>
- Varga, D. – Müller, T. – Specziár, A. – Hancz, C. – Szabó, A. (2011): A hévízi törpenövésű vadponty zsírsavösszetétele. XXXV. Halászati Tudományos Tanácskozás, Szarvas, 2011. május 25.-26., 31-32.
- Weber, M. J. – Hennen, M. J. – Brown, M. L. – Lucchesi, D. O. – St. Sauver, T. R. (2016): Compensatory response of invasive common carp *Cyprinus carpio* to harvest. *Fisheries Research*, 179. 168–178. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2016.02.024>

- Wilsey, C. B. – Lawler, J. J. – Maurer, E. P. – McKenzie, D. – Townsend, P. A. – Gwozdz, R. – Freund, J. A. – Hagmann, K. – Hutten, K. M. (2013): Tools for assessing climate impacts on fish and wildlife. Journal of Fish and Wildlife Management, 4(1), 220–241. <https://doi.org/10.3996/062012-JFWM-055>*
- Wilson, C. A. – High, S. K. – McCluskey, B. M. – Amores, A. – Yan, Y. – Titus, T. A. – Anderson, J. L. – Batzel, P. – Carvan, M. J. – III, Schartl, M. – Postlethwait, J. H. (2014): Wild sex in zebrafish: Loss of the natural sex determinant in domesticated strains. Genetics, 198. 1291–1308. <https://doi.org/10.1534/genetics.114.169284>*

Érkezett: 2023. július

Szerzők címe: Orbán L. – Molnár T. – Szeverényi I.

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Akvakultúra és
Környezetbiztonsági Intézet, Alkalmazott Halbiológiai Tanszék

Authors' address: Department of Applied Fish Biology, Institute of Aquaculture and Environmental
Safety, Hungarian University of Agriculture and Life Sciences
H-8360 Keszthely, Deák Ferenc utca 16.
Orban.Laszlo@uni-mate.hu

Somfalvi-Tóth K.

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Növénytermesztési-tudományok
Intézet, Agronómia Tanszék

Department of Agronomy, Institute of Agronomy, Hungarian University of
Agriculture and Life Sciences
H-7400 Kaposvár, Guba Sándor utca 40.

Müller T.

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Akvakultúra és Környezetbiztonsági
Intézet, Természetesvízi Halökológiai Tanszék

Department of Freshwater Fish Ecology, Institute of Aquaculture and Environmental
Safety, Hungarian University of Agriculture and Life Sciences
H-2100 Gödöllő, Páter Károly utca 1.

Kovács B.

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Akvakultúra és Környezetbiztonsági
Intézet, Molekuláris Ökológiai Tanszék

Department of Molecular Ecology, Institute of Aquaculture and Environmental
Safety, Hungarian University of Agriculture and Life Sciences
H-2100 Gödöllő, Páter Károly utca 1.

Horváth Á. – Urbányi B.

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Akvakultúra és Környezetbiztonsági
Intézet, Halgazdálkodási Tanszék

Department of Aquaculture, Institute of Aquaculture and Environmental Safety,
Hungarian University of Agriculture and Life Sciences
H-2100 Gödöllő, Páter Károly utca 1.

A KLÍMAVÁLTOZÁS LEHETSÉGES HATÁSAI A TERMÉSZETESVÍZI HALGAZDÁLKODÁSRA: ESETTANULMÁNYOK ÉS KEZELÉSI LEHETŐSÉGEK

FERINCZ ÁRPÁD – MÜLLER TAMÁS – WEIPERTH ANDRÁS – LENTE VERA – HEGEDŰS
ANNA – CSENKI ZSOLT – BÁNYAI ZSOMBOR – DÉRER ISTVÁN – URBÁNYI BÉLA

ÖSSZEFOGLALÁS

A klímaváltozás önmagában egy természetes folyamat. Napjaink problémáit a jelenség megváltozott (felgyorsult) sebessége adja. Tanulmányunkban röviden áttekintjük azokat a halgazdálkodási szempontból lehetséges következményeket, amelyek már napjaink történéseiben is tetten érhetők. A klíma szélsőségesebbé válásának hatásait az egyed, a populáció, a faj és az élőlényközösség szintjén értelmezzük, illetve hazai (kísérletes és természetesvízi) példákon keresztül mutatjuk be. Az egyedi, ill. egyed alatti szerveződési szint tekintetében a zebra-dánión (*Danio rerio*) végzett többgenerációs kísérletek eredményeit értékeljük: a lassú hőmérséklet emelés hatással van a növekedésre és az ivararányra is. A halpopulációk szintjén értelmezett hatások elemzésénél a fokozottan védett lápi póc (*Umbra krameri*) példáján keresztül bemutatjuk, hogyan vezethetnek a megváltozott időjárási körülmények a helyi populációk eltűnéséhez. A lehetséges faji szintű hatásokat a fogassüllő (*Sander lucioperca*) és a kősüllő (*Sander volgensis*) hibridizációján keresztül értelmezzük. A klímaváltozásra talán legérzékenyebben az élőlényközösségek reagálnak, ezt a Hévíz-lefolyó, illetve a dél-balatoni vizes élőhelyek halközösségeinek példájával illusztráljuk. A hosszú távú alkalmazkodás egyik kulcsmomentuma a negatív hatások mérséklése. Ennek alapja lehet a jelenlegi gazdálkodási gyakorlatok dinamikus módosítása, a monitoring rendszerek fejlesztése valamint a vízkészlet-gazdálkodás rendszer szintű fejlesztése.

SUMMARY

Ferincz, Á. - Müller, T. - Weiperth, A. - Lente, V. - Hegedűs, A. - Csenki, Zs. - Bányai, Zs. - Dérer, I. - Urbányi, B.: POTENTIAL EFFECT OF CLIMATE CHANGE ON FISHERY MANAGEMENT IN HUNGARY: CASE STUDIES AND MITIGATION POSSIBILITIES

Climate change itself is a natural process. Its global negative effects are derived from the altered (increased) speed, which cannot be compared to the speed of adaptability of organisms. In this study, the fishery management and fish ecological consequences are reviewed via existing case studies from within the territory of Hungary. The effect of climate extremities has been introduced on different levels of organization. Individual, population, species and community level examples has been provided. On individual level the results of a multigeneration zebrafish (*Danio rerio*) case study has been presented: the slow increase of temperature caused growth and sex ratio alterations as well. Population level impacts has been illustrated with the example of European mudminnow (*Umbra krameri*), where the changed weather conditions lead to local extinctions. Fish assemblage (community) structure is considered to the most susceptible for climate change effects. Changes of fish fauna of Lake Hévíz outflow and the marshland areas of the Balaton-catchment has been described as case studies. The key factor of the long-term climate adaptation is the effective mitigation: the dynamic changes in present management practices, the development of monitoring systems and the systematic level change of water management practices.

A PROBLÉMÁK FORRÁSA: KLÍMAVÁLTOZÁS SEBESSÉGE

A klímaváltozás alapvetően természetes folyamat. Az elmúlt földtörténeti korok során a klíma folyamatos, dinamikus változása jellemző volt, napjainkra azonban a folyamat oly mértékben felgyorsult, hogy az élőlények adaptációjának sebességével nem összemérhető (Heino és mtsai, 2015). Ez utóbbi a probléma mozgatórugója. Megjegyzendő, hogy sok esetben a folyamat gyorsasága miatt már a korábban referencia állapotnak tekintett ismereteinket is a klímaváltozás következményeinek lehet tekinteni, legalább részben (Hermoso és Clavero, 2013). A klímaváltozás az élet szerveződésének szinte minden szintjén (egyed, populáció, faj, élőlényközösség) hat, a hatás erőssége pedig az egyenlítőtlől a sarkkörök felé haladva növekszik (Woodward és mtsai, 2010; Pérez-Ruzafa és mtsai, 2018).

Az egyed szintjén értelmezett hatások rendszerint az élettani (alapvetően biokémiai) folyamatok megváltoztatásából adódnak. Természetesen a magasabb szerveződési szinteken értelmezett hatások alapja is lehet az egyed, de sok esetben a pontos mechanizmus még nem tisztázott (Gardner és mtsai, 2011). Ennek értelmében egy adott populáció lokális extinkciója az erősödő felmelegedés hatására feltehetően biokémiai eredetű okra vezethető vissza, mégis populáció szintű hatásként értelmezzük. Ekként értelmezhető például, hogy a csapadékeloszlás egyre szélsőségesebb válásával a korábban állandó vízű vízfolyások, illetve sekély tavak egyre gyakrabban száradnak ki. A rekolonizáció során rendszerint előnyre tesznek szert a tág tűrésű, gyakorta idegenhonos fajok és az eredeti közösség szerkezet jelentősen módosulhat (Heino és mtsai, 2015; Erős és mtsai, 2015; Ferincz és mtsai, 2016).

Az alábbiakban Magyarországon végzett vizsgálatok és leírt esettanulmányok áttekintésével illusztráljuk a klímaváltozás egyes szerveződési szinteken értelmezett hatásait, illetve igyekszünk a halgazdálkodási ágazat hatékonyabb klímaadaptációját megalapozó javaslatokat is megfogalmazni.

KLÍMAVÁLTOZÁS AZ EGYED SZINTJÉN: VIZSGÁLATOK ZEBRADÁNIÓN

A hőmérsékletfüggő szex-determinációval jellemezhető élőlények extrém érzékenyek a klímaváltozás hatásaira (Brown és mtsai, 2015). A zebradánió ivarának determináltsága meglehetősen komplex, poligénes (PSD, poligenic sex determination) és részben környezeti (pl. hőmérséklet: TRSD, temperature regulated sex determination) tényezők által determinált folyamat (Shang és mtsai, 2006; Bradley és mtsai, 2011; Liew és Orbán, 2013). A faj embrionális gonádfejlődésére jellemző, az ún. juvenilis hermafroditizmus (Takahashi, 1977), azaz minden zebradánió egyedben, genetikailag meghatározott nemétől függetlenül 10-12 napos korra kialakul egy ovárium szerű szerv, amely a hím genetikai determináltságú egyedekben 23-25 napos korban tesztikularizálódik. Ebben a folyamatban szerepet játszik – több máig ismeretlen faktor mellett – a CYP450-es aromatáz enzim, amely az androgén-ösztrogén átalakulást katalizálja a juvenilis ováriumban (Uchida és mtsai, 2004; Liew és Orbán, 2013). Az aromatáz expressziója a hőmérséklet növelésének hatására növekszik, így a juvenilis korban hőstresszt szenvedett zebradánió populáció ivararánya erősen eltolódik a hímek irányába (Sfakianakis és mtsai, 2012; Brown és mtsai, 2015).

1. ábra A zebradánió ivararányának eltolódása a hőmérséklet lassú emelésének hatására

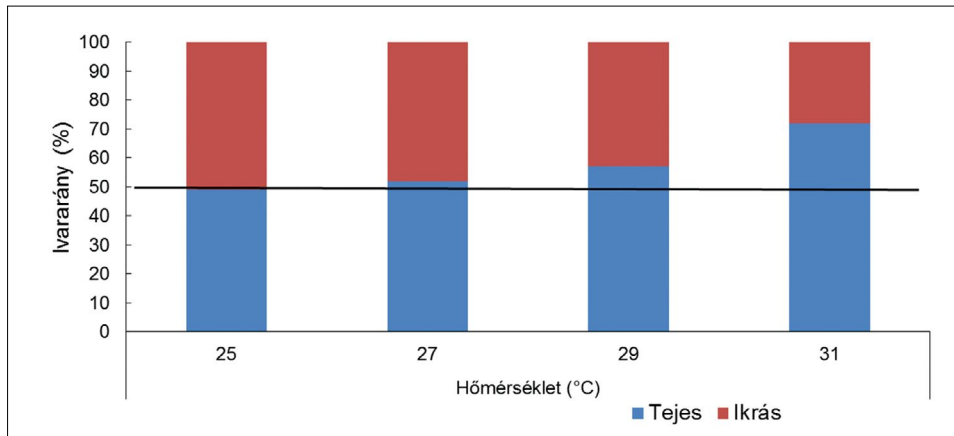


Figure 1. Sex ratio shift in zebrafish after slow increment of temperature

Ezt igazoltuk a SZIE (jelenleg MATE) Halgazdálkodási Tanszékén végzett kísérletek során is (1. ábra). A többgenerációs vizsgálatsorozat közben a tartórendszer (Tecniplast Zebtec Benchtop) vizének hőmérsékletét a 25 °C-os kiindulási állapotról hetente 0,1°C-kal emeltük, ezzel modellezve a klímaváltozás hőmérsékleti komponensének hatását. A zebradánió generációs idejét 90 napnak tekintettük, amely után az adott kohorsz egyedeit szaporítottuk és az így nyert ivadékokkal folytattuk tovább a kísérletet. Az ivararány eltolódásának mértéke folyamatos növekedést mutatott a

2. ábra A zebradánió (*Danio rerio*) növekedése különböző célhőmérsékleteken. A hőmérséklet emelését négy generáción keresztül végeztük, heti 0,1 °C-os lépésekben. Az egyes generációkban mindig az azt megelőző kohorsz utódait vizsgáltuk

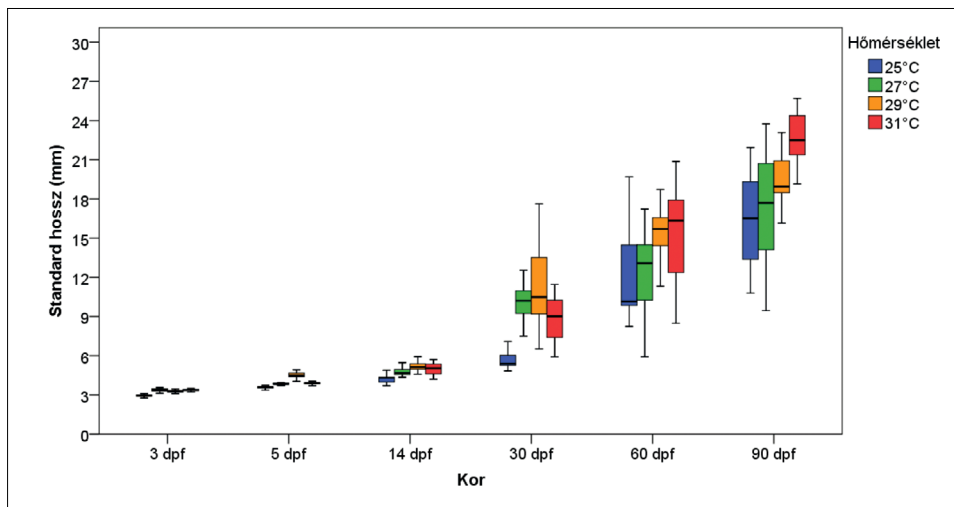


Figure 2. Growth of zebrafish (*Danio rerio*) on different target temperatures. Temperature increase was processed via four generation, with 0.1 °C weekly

hőmérséklet növekedésével és a kísérlet végére (4 generáció, 31 °C meghaladta a 20%-ot. Az ivararány eltolódása természetesvízi halpopulációk és a különböző, nem hőmérsékletszabályozott akvakultúra rendszerben nevelt fajok esetében is csökkentheti a szaporodás hatékonyságát (*Honeycutt és mtsai, 2019; Edmands, 2021*).

A vizek átlaghőmérséklet emelkedése nyomán számos közvetett (pl. patogének elterjedési területének növekedése) és közvetlen (anyagcsere folyamatok gyorsulása) hatással kell számolni, melyek kumulatív hatása jellemzően negatívak a halgazdálkodásra és haltermelésre (*Weber és mtsai, 2015; Panicz és mtsai, 2022*). Ezen hatásokat némiképp ellensúlyozhatja, hogy magasabb hőmérsékleten a halak növekedése akár jelentősen is gyorsabb lehet. A fenti többgenerációs kísérletek eredményeit tekintve zebradánió esetében statisztikai módszerrel igazolható módon (Kruskal-Wallis ANOVA, $p < 0,05$) akár 50%-kal is növekedhet a standard testhossz, miközben a tartóvíz hőmérséklete (négy generáció, azaz hozzávetőleg egy év) leforgása alatt 6 °C-t emelkedett (2. ábra).

KLÍMAVÁLTOZÁS A POPULÁCIÓ SZINTJÉN: A LÁPI PÓC ELTŰNÉSE

Bár közvetlen gazdasági jelentősége nincs, a Közép-Duna vidékén endemikus lápi póc (*Umbra krameri*) Magyarország halfaunájának kiemelt természeti és ökológiai értékkel jellemezhető halfaja. Megőrzésében a hazai állományok kulcsfontosságúak, mivel a világállomány legnagyobb része itt él (*Takács és mtsai, 2015; Müller és mtsai, 2020*). A faj elsődleges élőhelyei az egykori nagy kiterjedésű lápok és mocsarak már a XIX. század nagyszabású szabályozási és lecsapolási munkálatainak köszönhetően eltűntek. A XX. század végére állományai jórészt másodlagos élőhelyekre, első sorban dús makrovegetációval jellemezhető csatornába szorultak vissza. Az elmúlt évek, de különösen a 2022-es év szélsőségesen aszályos időjárása (*Horváth és Breuer, 2023*) számos, első sorban tiszántúli populáció lokális kihalását okozta (*Nyeste és mtsai, 2022a, 2022b*). A kiszáradás nyilvánvaló és drámai hatása mellett a klímaváltozás más módon is veszélyezteti a faj fennmaradását. Az elmúlt években gyakorta fordultak elő erős lehűlések a faj szaporodási időszakában (március – április). A „Lápi póc fajvédelmi mintaprogram” keretében végzett vizsgálatok alapján ilyen esetekben az ívás vagy sikertelen volt, ivadék nem volt kimutatható a kísérleti tavakban (*Tatár és mtsai, 2022*). Mivel a faj egyedei jellemzően rövid ideig (3-4 év) élnek, így ugyanennyi, egymást követő, szélsőséges időjárású (tavaszi hideg, nyári aszály) év nagy területen okozhat lokális kihalási eseményeket. A helyzetet tovább súlyosbítja az inváziós amurgéb (*Perccottus glenii*) térhódítása (*Somogyi és mtsai, 2023*), amely felhívja a figyelmet két önmagában is veszélyekkel járó folyamat interakciójának, potenciálisan additív hatásának lehetőségére.

KLÍMAVÁLTOZÁS A FAJ SZINTJÉN: FEHÉRKÖVES A BALATONBAN

A Balatonban szimpatrikusan előforduló süllőfajok – fogassüllő (*Sander lucioperca*), kőszüllő (*Sander volgensis*) – ívásának idejét legnagyobb mértékben két tényező: a nappalok hossza (cirkadián ritmus), illetve a víz hőmérséklet határozza meg (*Sziráki és mtsai, 2021*). Az ívóhelyek környezeti jellemzőit (aljazat, mélység stb.) tekintve jelentős átfedés mutatkozik a fajok között. Átlagos időjárás

körülmények között a fogassüllő ívik hamarabb: március végén, április legelején. Az ívás általában 1 hét alatt lezajlik. Ezzel szemben a kőszüllő ívása április végétől következik be és elhúzódó. A két faj hibridjét, a fehérekövest először mesterségesen hozták létre 2004-ben annak érdekében, hogy ötvözzék a fogassüllő növekedési erélyét a kőszüllő táplálkozási sajátosságaival, kihasználva, hogy a kőszüllő később, nagyobb testméret mellett tér át a ragadozó életmódra. Később (2008-ban) azonban természetes ívásból származó fehéreköves került elő a Balatonból (Müller és mtsai, 2004, 2010). A tavaszi időszakban egyre gyakrabban tapasztalható (Erdődiné Molnár és Kovács, 2022) hőmérsékleti anomáliák (hidegbetörések, hirtelen felmelegedések) nyomán várható, hogy egyre gyakrabban jelennek meg hibridek, amelyek elterjedése potenciálisan veszélyeztetheti mindkét halgazdálkodási szempontból fontos halfaj genetikai állományának integritását.

KLÍMAVÁLTOZÁS AZ ÉLŐLÉNYKÖZÖSSÉG SZINTJÉN: INVÁZIÓS FAJOK, VÍZGAZDÁLKODÁS ÉS EGYÉB ANTROPOGÉN HATÁSOK

A klímaváltozás napjainkban megtapasztalható ökológiai és halgazdálkodási hatásai legkönnyebben a halközösség szintjén érhetők tetten. Az alábbi esettanulmányok közös jellemzői, hogy nem önmagában a klímaváltozás, hanem jellemzően valamely más antropogén eredetű hatás is közrejátszik a folyamatok alakításban.

Hazánk legnagyobb ökológiai kockázattal és inváziós potenciállal jellemezhető halfaja az ezüstkárász (*Carassius gibelio*) (Ferincz és mtsai, 2016a). Korábbi, a Balaton-vízgyűjtő lenitkus élőhelyein végzett vizsgálatok kimutatták, hogy a faj lokális inváziót facilitálják a kiszáradások. Mivel az ezüstkárászok rendelkeznek egy meglehetősen hatékony oxigénhiány tűrési mechanizmussal, valamint inváziós állományaik jellemzően ginogenetikus szaporodás módúak, az őshonos fajokkal szemben előnnyel rendelkeznek, mind a refúgiumokban való túlélés, mind a rekolonizáció során (Ferincz és mtsai, 2016b). A szélsőséges időjárási események, így az aszályok várható gyakoribbá válása (IPCC, 2023) nyomán a fenti folyamat egyre több helyen okozhatja az ezüstkárász előretörését és a halfauna homogenizációját, amely pedig veszélyezteti a hatékony horgászati célú halgazdálkodás megvalósítását is.

A Hévízi-tó (a világ legnagyobb természetes, fürdőzésre alkalmas termáltava) fő kifolyóján 2015-ben észleltek két trópusi eredetű, az akvaristák körében kedvelt bölcsőszájú halfajt (*Perciformes*: Cichlidae) a tűzfejű tarkasügért (*Vieja melanura*) és jaguársügért (*Parachromis managuensis*) (Takács és mtsai, 2017). Napjainkra ez a két faj nagymértékben átalakította a kifolyó legalább 500m-es körzetének halközösségét, teljesen kiszorítva többek közt a fokozottan védett lápi pócot az élőhelyről (3. ábra) (Lente és mtsai, 2022).

A klímaváltozás hatásainak erősödésével (a vízfolyás alsó szakaszának hőmérséklet emelkedése, különösen a téli időszakban) várhatóan egyre nagyobb vízfolyás szakaszon jelennek meg a trópusi eredetű fajok. Ezen kívül további veszélyt jelenthet az evolúciós folyamatok (adaptáció, mutáció) felgyorsulása, melyek következtében az eredendően melegigényes fajok hőmérsékleti toleranciája megváltozhat.

3. ábra Trópusi halfajok elterjedése és évszakos dinamikája a Hévízi-tó fő kifolyójának felső szakaszán

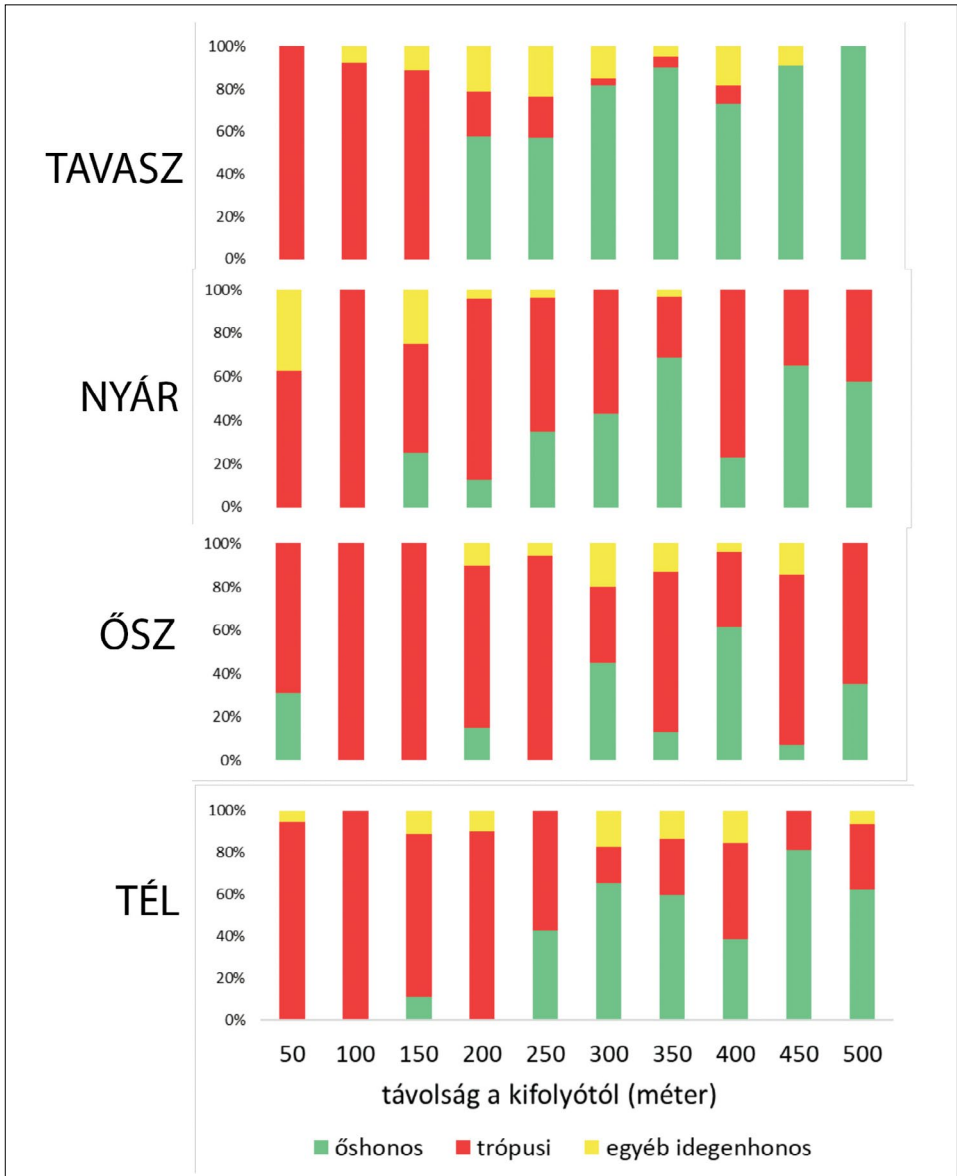


Figure 3. Distribution and seasonal dynamics of tropical non-indigenous fish species on the main outflow of Lake Hévíz

A NEGATÍV HATÁSOK CSÖKKENTÉSÉNEK LEHETŐSÉGEI

A vízminőség monitoring fejlesztése

A halgazdálkodók egyre több esetben kerülnek szembe a vízminőség hirtelen megváltozásával és ennek következményeivel: szélsőséges esetben tömeges halpusztulással, melyek mind jelentős gazdasági kárt jelentenek (*Galappathi és mtsai, 2020*). A közép-európai régióra jellemző fél-extenzív halgazdálkodási létesítmények közös jellemzője, hogy vízminőségi problémáik a fokozott növényi tápanyagterhelésből adódnak. Ezt a jelenséget a klímaváltozás következtében előforduló szélsőséges hőmérsékleti és vízjárási viszonyok tovább erősíthetik (*Hlaváč és mtsai, 2014*). Ezzel párhuzamosan felértékelődik az autonóm és folyamatos mérésre alkalmas monitoring egységek szerepe. A halgazdálkodási létesítmények üzemeltetési gyakorlatában a legtöbb, gyors beavatkozást igénylő hidrobiológiai folyamat észlelése visszavezethető egyetlen mérhető paraméterre, ez pedig az oldott oxigén mennyisége. Ha ezt a paramétert folyamatosan („in situ”) monitorozzuk, és akár jól definiált küszöbértékek elérésekor beavatkozunk, akkor elkerülhetők a halpusztulások. Az elsődleges növényi tápanyagokat tartalmazó vegyületek között több olyan vegyületet találunk, melyek a halakra nézve toxikusak: ezek a vegyületek (ammónia, kénhidrogén) jellemzően redukált formák, amelyek anaerob (oxigénmentes) környezetben – leggyakrabban az üledékben – képződnek és perzisztensek, vízben oldott oxigén jelenlétében viszont gyorsan oxidálódnak. Emiatt a kénhidrogén és ammóniamérgezés megelőzéséhez is elsődleges fontosságú az oxigénhiányos állapot megelőzése. Mivel a szóban forgó tavak jellemzően sekélyek, így limnológiai értelemben vett klasszikus és perzisztens rétegzettség nem alakul ki esetükben. Rövid ideig (órák, napok) tartó rétegzettség azonban kialakulhat és rövid úton oxigénhiányhoz vezethet a legalsó rétegekben, amelyek teret adhatnak a fentebb említett, káros, anaerob folyamatoknak.

A fentiek mellett kiemelt fontosságú a tápanyagterhelés víztest-szintű, egyedi elemzése is, mely során figyelembe kell venni a vízgyűjtő szintű (pl. tisztított szennyvíz bevezetés; mezőgazdasági eredetű bemosódás) és a víztest belső terhelését is (halgazdálkodási tevékenységek: etetőanyag, trágyázás, takarmány; az üledék mobilizálható tápanyagtartalma).

A halgazdálkodási gyakorlat megváltoztatása

Napjainkban a magyarországi halgazdálkodási vízterületekre kihelyezett halak legnagyobb része (2022-ben több mint 90%-a) ponty. Ennek oka egyrészt a horgászok igényeinek kielégítése, másrészt pedig az elérhető telepítőanyag rendelkezésre állása, azaz a haltermelő gazdaságok termelési szerkezete (*Hegedűs és mtsai, 2021*). Bár kétségtelen, hogy a ponty tág tűrűsű faj, az ökoszisztéma rezisztenciája és rezilienciája szempontjából telepítésének létjogosultsága több esetben megkérdőjelezhető (*Vilizzi és mtsai, 2014; Kaemingk és mtsai 2017*). Az egyre szélsőségesebbé váló, a természetes ivásból származó szaporulat szempontjából károkat okozó vízjárási és hőmérsékleti viszonyok miatt egyrészt szükségessé válik bizonyos fajok (pl. domolykó, jász, márna, menyhal) állományá-

nak megsegítése, másrészt az ökológiai rendszer komplexitása (pl. a magasabb fajsám) elősegíti annak regenerációs képességet is (Erős és mtsai, 2015; Lennox és mtsai, 2019). A későbbiekben tehát minél nagyobb mértékben figyelembe kell venni az halgazdálkodási tervek elkészítésekor (és a telepítések kivitelezésekor) az adott víztestre jellemző halegyüttes (közösség) referencia-állapotát, ill. a telepített halfajokat a lehető legnagyobb mértékben diverzifikálni kell (Hegedűs és mtsai, 2021). Ehhez mindenekelőtt szükséges azon halfajok (elsősorban az áramlások-velő pontyfélék) üzemi szintű szaporítási módszertanának és lárwanevelésének kidolgozása, amelyek a diverzifikáció alapjai lehetnek.

A vízkészlet-gazdálkodás átalakítása

A minél hatékonyabb klíma-adaptációhoz szükségesnek látjuk a vízkészlet-gazdálkodás rendszer szintű átalakítását is. A korábbi gyakorlattal ellentétben az ország egész területén ösztönözni kell az Integrált Vízgazdálkodás megvalósulását, kiemelten a víz visszatartását. Ehhez sok esetben nem csak szemléletváltásra, hanem a meglévő műszaki megoldások áttervezésére vagy éppen újak kivitelezésére van szükség (Szilágyi 2022; Szűcs és mtsai, 2022). A vízvisszatartás megvalósításához hozzájárulhat a kis- és közepes vízfolyások komplex rehabilitációja: a bevágott, kimélyített medrének legalább részleges rekonstrukciója, illetve a tisztított szennyvíz bevezetések tápanyagtartalmának csökkentése. A klímamodellek által egyre gyakoribbnak jósolt szélsőségesen csapadékos időszakokban érkező vizeket logikus lépés lenne nagy kapacitású tártározókban megtartani. Ehhez egyrészt a meglévő, jelentős részben az 1970-es években épült, napjainkra műszaki és hidrobiológiai szempontból is jelentősen leromlott tározórendszer is alkalmazható, de csak jelentős rekonstrukciós munkák, pl. a nagy szervesanyag tartalmú üledék eltávolítása után.

A halgazdálkodási létesítmények biodiverzitás-fenntartó funkciójának erősítése és értékelése

A közép-európai sík- és dombvidéki táj jellegzetes alkotói a főként mesterséges eredetű, funkciójukat tekintve halgazdálkodási létesítményként (haltermelő gazdaság, illetve horgászó funkcióval) üzemelő tavak. Eredetük ellenére ezen víztestek jellemzően lokális biodiverzitás „forró-pontoknak” (hotspot) tekinthetők (Hill és mtsai, 2016). A halgazdálkodási létesítmények ökológiai szempontú, a relatív biodiverzitás fenntartó szerepének megítélésére alkalmazható módszer kifejlesztése napjainkig nem történt meg, annak ellenére sem, hogy egy objektív kritériumrendszeren alapuló minősítő rendszer gyakorlati alkalmazására döntéshozói oldalról is igény mutatkozik (Rosset és mtsai, 2013). A korábbi vizsgálatok egybehangzó következtetése, hogy a mesterséges eredetű kis tavak összessége vízgyűjtő szinten gyakorta nagyobb arányban képes a biodiverzitás fenntartására, mint a természetes tavak és vízfolyások (Zamora Marin és mtsai, 2021). Kifejlesztettek néhány regionális viszonyokra (Brit-szigetek, Appenninek, Svájc) alkalmazható minősítő indexet is, amelyek azonban eltérő, speciális jellegüknél fogva nem alkalmazhatók közép-európai viszonyok között (Oertli és mtsai, 2005; Solimi és mtsai, 2009; Trigal és mtsai, 2009). A fenti okokból szükségesnek tartjuk a közép-európai régió halgazdálkodási

létesítményeire alkalmazható, multimetrikus ökológiai állapotértékelő módszertan kifejlesztését, valamint ezen alapulva az támogatási rendszerek ésszerűsítését.

Az idegenhonos fajok terjedésével és ennek környezeti okaival összefüggő problémák kezelése

Az adott víztestbe szándékosan vagy véletlenül telepített halak (vagy más élőlények) nem szükségszerűen válnak invázióssá, illetve nem jellemezhetőek feltétlenül ökológiai vagy gazdaság károkozással (*Garcia-Berthou, 2007*). Ez jellemzően az adott élőhely által biztosított környezeti tényezőktől, az adott faj tűrőképességétől, illetve a kettő interakciójától, azaz a környezet indukálta evolúciós folyamatoktól (adaptáció) függ (*Shea és Chesson 2002*). Az egyes fajok inváziós potenciáljának megítélésére rendelkezésre állnak ugyan jól használható protokollok (pl. FISK, AS-ISK), de ezek jellemzően nem tudják kezelni a potenciálisan megjelenő mikroevolúciós folyamatokat (*Ferincz és mtsai, 2017; Vilizzi és mtsai, 2021*). Azaz például a mérsékeltövi termálvízzel terhelt élőhelyre bekerülő trópusi díszhal-fajok ökológiai kockázatát alul becsülik. Emiatt szükséges ezen protokollok további fejlesztése, melyben a klímaváltozás generálta potenciális evolúciós változások következményei is megjelennek (*Vilizzi és mtsai, 2022*).

Nem lehet eléggé hangsúlyozni a minél szélesebb körű és a horgásztársadalom esetében kiemelt jelentőségű ismeretterjesztés fontosságát (*Ferincz és mtsai, 2020*). A horgászok tevékenységükkel közvetlenül, megfogalmazott igényeikkel közvetve, számosságukból adódóan jelentős hatással vannak vizeink ökológiai állapotára, ezáltal a klímaváltozás hatásaival szembeni rezilienciájukra. A horgász szervezetek (MOHOSZ tagszövetségek, egyesületek) vezető tisztségviselőinek általános ökológiai ismereteinek erősítése mellett kiemelt szerepet kell, hogy jusson az inváziós fajok (első sorban az ezüstkárász és a fekete törpeharcsa) elleni védekezés (első sorban a megelőzés) fontosságának.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kézirat alapját képező vizsgálatokat támogató projektek az alábbiak voltak: NKFIH-831-10/2019; TKP2020-NKA-16; GINOP 2.3.2-15-2016-00004; Horizon2020 678396: Tools for Assessment and Planning of Aquaculture Sustainability; KTIA-AIK-12-1-2013-0017, NVKP_16-1-2016-0003, UNKP-23-4-I-MATE-10.

IRODALOMJEGYZÉK

- Bradley, K. M. - Breyer, J. P. - Melville, D. B. - Broman, K. W. - Knapik, E. W. - Smith, J. R. (2011): An SNP-based linkage map for zebrafish reveals sex determination loci. G3 1. 3–9.*
- Brown, A. R. – Owen, S. F. – Peters, J. – Zhanga, Y. – Soffker, M. – Paull, G. C. – Hoskend, D. J. – Wahab, M. A. – Tyler, C. M. (2015): Climate change and pollution speed declines in zebrafish populations, Proceedings of the National Academy of Sciences, 1237-1246.*
- Edmands, S. (2021): Sex ratios in a warming world: Thermal effects on sex-biased survival, sex determination, and sex reversal. J. Heredity, 112. 155–164.*

- Erdődiné Molnár, Zs. – Kovács, A. (2022): Újabb fagykáros tavasz után aszályos nyár. A 2021-es év agrometeorológiai áttekintése Agroforum: a növényvédők és növénytermesztők havilapja, 33. 34-41.
- Erős, T. – Takács, P. – Czeglédi, I. – Sály, P. – Speziár, A. (2015): Taxonomic- and trait-based recolonization dynamics of a riverine fish assemblage following a large-scale human-mediated disturbance: the red mud disaster in Hungary. *Hydrobiologia*, 758. 31-45.
- Ferincz, Á. – Horváth, Zs. – Staszny, Á. – Ács, A. – Kovács, N. – Vad, Cs. F. – Csaba, J. – Sütő, Sz. – Paulovits, G. (2016b): Desiccation frequency drives local invasions of non-native gibel carp (*Carassius gibelio*) in the catchment of a large, shallow lake (Lake Balaton, Hungary). *Fisheries Res.*, 173. 37-44.
- Ferincz, Á. – Staszny, Á. – Takács, P. – Urbányi, B. – Vilizzi, L. – Paulovits, G. – Copp, G. H. (2016a): Risk assessment of non-native fishes in the catchment of the largest Central-European shallow lake (Lake Balaton, Hungary). *Hydrobiologia*, 780. 85-97.
- Ferincz, Á. – Staszny, Á. – Weiperth, A. – Juhász, V. – Urbányi, B. – Dérer, I. (2020): Horgászvizeink problémáiról általánosan. Állattenyésztés és Takarmányozás, 69. 336-344.
- Galappaththi, E. K. – Ichien, S.T. – Hyman, A. A. – Aubrac, C. J. – Ford, J. D. (2020): Climate change adaptation in aquaculture. *Rev. Aquacult.*, 12. 2160-2176.
- Garcia-Berthou, E. (2007): The characteristics of invasive fishes: what has been learned so far? *J. Fish Biol.*, 71. 33–55.
- Gardner, J. L. – Peters, A. – Kearney, M. R. – Joseph, L. – Heinsohn, R. (2011): Declining body size: a third universal response to warming. *Trends in Ecology and Evolution*, 26. 285–291.
- Hegedűs, A. – Ferincz, Á. – Urbányi, B. – Weiperth, A. – Lente, V. – Keszte, Sz. – Dérer, I. – Staszny, Á. (2021): Magyarországi horgászkezelésű vizek halgazdálkodási szempontú kérdőíves felmérése. *Halászat*, 114. 115-122.
- Heino, J. – Erkinaro, J. – Huusko, A. – Luoto, M. (2015): Climate change effects on freshwater fishes, conservation and management. In G. Closs, M. Krkosek, & J. Olden (Eds.), *Conservation of Freshwater Fishes (Conservation Biology*, pp. 76-106). Cambridge: Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9781139627085.004
- Hermoso, V. – Clavero, M. (2013): Revisiting ecological integrity 30 years later: Non-native species and the misdiagnosis of freshwater ecosystem health. *Fish and Fisheries*, 14. 416–423.
- Hill, M. J. - Hassall, C. - Oertli, B. - Fahrig, L.- Robson, B. J. - Biggs, J.- Samways M. J.- Usio N. - Takamura N. - Krishnaswamy J. - Wood, P. J. (2018). (2018): New policy directions for global pond conservation. *Conservation Letters*.;11: e12447.
- Hlaváč, D. - Adámek, Z. - Hartman, P. - Másílo, J. (2014): Effects of supplementary feeding in carp ponds on discharge water quality: a review. *Aquacult Int.*, 22. 299–320.
- Honeycutt, J. L. – Deck, C. A. – Miller, S. C. – Severance, M. E. – Atkins, E. B. – Luckenbach, J. A. – Godwin, J. (2019): Warmer waters masculinize wild populations of a fish with temperature-dependent sex determination. *Sci. Reports*, 9. doi:10.1038/s41598-019-42944-x
- Horváth, Á. - Breuer H. (2023): A víz körforgalma a légkörben és a 2022-es rendkívüli aszály meteorológiai háttere. *Légkör: az Országos Meteorológiai Intézet szakmai tájékoztatója*, 2023. 68. 2-8.
- IPCC 2023: (*Climate Change 2023: Synthesis Report: A Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)*]. IPCC, Geneva, Switzerland, (in press)
- Kaemingk, M. A. – Jolley, J. C. – Paukert, C. P. – Willis, D. W. – Henderson, K. – Holland, R. S. – Wanner, G. A. – Lindvall, M. L. (2017): Common carp disrupt ecosystem structure and function through middle-out effects. *Marine and Freshwater Res.*, 68. 718-731.
- Lennox, R. J.- Crook, D. A.- Moyle, P. B.- Struthers, D. P.- Cooke, S. J. (2019): Toward a better understanding of freshwater fish responses to an increasingly drought-stricken world. *Rev Fish Biol Fisheries* 29. 71–92. <https://doi.org/10.1007/s11660-018-09545-9>.
- Lente, V. – Staszny, Á. – Weiperth, A. – Hegedűs, A. – Keszte, Sz. – Urbányi, B. – Ferincz, Á. (2022): Distribution, growth and feeding studies of two invasive cichlids (*Vieja* sp. and *Parachromis*

- sp.) in a natural thermal water habitat of temperate Central Europe. In: Zasadil, P.; Ludvíková, V.; Báldi, A. Prague, 79.
- Liew, CW. – Orbán, L. (2013): Zebrafish sex: a complicated affair. Briefings in Functional Genomics, 2-16.
- Müller, T. – Taller, J. – Kolics, B. – Kovács, B. – Urbányi, B. – Specziár, A. (2010): First record of natural hybridization between pikeperch *Sander lucioperca* and Volga pikeperch *S. volgensis*. J. Appl. Ichthyol., 26. 481-484.
- Müller, T. – Taller, J. – Nyitrai, G. – Kucska, B. – Cernák, J. – Bercsényi, M. (2004): Hybrid of pikeperch, *Sander lucioperca* L. and Volga perch, *S. volgensis* (Gmelin). Aquacult. Res., 35. 915-916.
- Müller, T. – Urbányi, B. – Staszny, Á. (2020): Veszélyeztetett lápi halak megóvása (lápi póc, réticsík, széles kárász) [2. mód. kiad.] Gödöllő, Magyarország: Vármédia Print Kft, 264.
- Nyeste, K. – Somogyi, D. – Bereczki, Cs. – Antal, L. (2022a): Halmentés a beregi Zsid-tónál, Halászat, 115. 14-15.
- Nyeste, K. – Tatár, S. – Uzochukwu, I. – Antal, L. – Tóth, B. – Somogyi, D. (2022): Lápi pócok (*Umbra krameri*) mentése a Hejő-főcsatornából. Halászat, 115. 21.
- Oertli, B. – Auderset, J. D. – Castella, E. – Juge, R. – Lehmann, A. – Lachavanne, J. (2005): PLOCH: A standardized method for sampling and assessing the biodiversity in ponds. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems. 15, 665 - 679. 10.1002/aqc.744.
- Panicz, R. – Całka, B. – Cubillo, A. – Ferreira, J. G. – Guildler, J. – Kay, S. – Kennerley, A. – Lopes, A. – Lencart E. S., J. – Taylor, N. – Eljasik, P. – Sadowski, J. – Hofsoe-Oppermann, P. – Keszka, S. (2022): Impact of climate-driven temperature increase on inland aquaculture: Application to land-based production of common carp (*Cyprinus carpio* L.). Transboundary and Emerging Diseases, 69. e2341– e2350. <https://doi.org/10.1111/tbed.14577>
- Pérez-Ruzafa, A. – Pérez-Marcos, M. – Marcos C. (2018): From fish physiology to ecosystems management: Keys for moving through biological levels of organization in detecting environmental changes and anticipate their consequences, *Ecolog. Indicators*, 90. 334-345.
- Rosset, V. – Simaika, J. P. – Arthaud, F. – Bornette, G. – Vallod, D. – Samways, M. J. – Oertli, B. (2013): Comparative assessment of scoring methods of the conservation value of biodiversity in ponds and small lakes. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystem*, 23. 23– 36.
- Sfakianakis, G. – Leris, I. – Mylonas, K. – Kentouri, M. (2012): Temperature during early life determines sex in zebrafish, *Danio rerio* (Hamilton, 1822), *J. Biological Research-Thessaloniki*, 17. 68-73.
- Shang, E. H. H. – Yu, R. M. K. – Wu, R. S. S. (2006): Hypoxia affects sex differentiation and development leading to a male dominated population in zebrafish (*Danio rerio*). *Environ. Sci. & Technol.*, 40. 3118-3122.
- Shea, K. – Chesson, P. (2002): Community ecology theory as a framework for biological invasions. *Trends in Ecology and Evolution*, 17. 170–176.
- Solmini, A. G. – Bazzanti, M. – Ruggiero, A. – Carchini, G. (2009): Developing a multimetric index of ecological integrity based on macroinvertebrates of mountain ponds in central Italy. *Hydrobiologia*, 597. 109–123.
- Somogyi, D. – Erős, T. – Mozsár, A. – Czeglédi I. –, Szeles J. –, Tóth, R. – Zulklipl, N. –, Antal L. – Nyeste K. (2023): Intraguild predation as a potential explanation for the population decline of the threatened native fish, the European mudminnow (*Umbra krameri* Walbaum, 1792) by the invasive Amur sleeper (*Perccottus glenii* Dybowski, 1877) NEOBIOT 83. 95-107.
- Szilágyi, F. (2022): Az integrált vízgazdálkodás lehetőségei a Laskó-patak vízgyűjtőjén. *Hidrologiai közlöny*, 102. 26-40.
- Sziráki, B. – Staszny, Á. – Juhász, V. – Weiperth, A. – Nagy, G. – Fodor, F. – Havranek, M. – Koltai, T. – Szári, Zs. – Urbányi, B. – Ferincz, Á. (2021): Testing the efficiency of artificial spawning nests for pikeperch (*Sander lucioperca* L.) under natural conditions (Lake Balaton, Hungary). *Fisheries Res.*, 243. 106070.
- Szűcs, P. – Madarász, T. – Ilyés, Cs. (2022): A vízgazdálkodás szerepe a klímavédelemben. *Hidrologiai közlöny*, 2022. 102. 16-21.

- Takács, P. – Czeglédi, I. – Ferincz, Á. – Sály, P. – Specziár, A. – Vitál, Z. – Weiperth, A. – Erős T. (2017): Non-native fish species Hungarian waters: historical overview, potential sources and recent trends in their distribution, *Hydrobiologia*, 795. 1-22.
- Takács, P. – Erős, T. – Specziár, A. – Sály, P. – Vitál, Z. – Ferincz, Á. – Molnár, T. – Szabolcsi, Z. – Bíró, P. – Csoma, E. (2015): Population genetic patterns of threatened European mudminnow (*Umbra krameri* Walbaum, 1792) in a fragmented landscape: Implications for conservation management. *PLOS ONE* 10 (9). e0138640.
- Takahashi, H. (1977): Juvenile hermaphroditism in the zebrafish, *Brachydanio rerio*. *Bulletin of Faculty of Fisheries Hokkaido University*, 28. 57-65.
- Tatár, S. – Tóth, B. – Csányi, B. – Szekeres, J. – Urbányi, B. – Müller, T. (2022): A Lápi póc Fajvédelmi Mintaprogram (2008-) tapasztalatai. *Halászatfejlesztés*, 39. 165-171.
- Trigal, C. – García-Criado, F. – Fernandez-Alaez, C. (2009): Towards a multimetric index for ecological assessment of Mediterranean flatland ponds: the use of macroinvertebrates as bioindicators. *Hydrobiologia*, 618. 109-123.
- Uchida, D. – Yamashita, M. – Kitano, T. (2004): An aromatase inhibitor or high water temperature induce oocyte apoptosis and depletion of P450 aromatase activity in the gonads of genetic female zebrafish during sex-reversal. *Comp Biochem Physiol. A. Mol. Integr. Physiol.*, 137. 11-20.
- Vilizzi, L. – Thwaites Leigh, A. – Smith Benjamin, B. – Nicol Jason, M. – Madden Chris, P. (2014): Ecological effects of common carp (*Cyprinus carpio*) in a semi-arid floodplain wetland. *Marine and Freshwater Res.*, 65. 802-817.
- Vilizzi, L. – Copp, G. H. – Hill, J. E. – Adamovich, B. – Aislabie, L. – Akin, D. – Al-Faisal, A. J. – Almeida, D. – Azmai, M.N. A. – Bakiu, R. – Bellati, A. – Bernier, R. – Bies, J. M. – Bilge, G. – Branco, P. – Bui, T. D. – Canning-Clode, J. – Cardoso, R. H. A. – Castellanos-Galindo, G. A. – Castro, N. – Chaichana, R. – Chainho, P. – Chan, J. – Cunico, A. M. – Curd, A. – Dangchana, P. – Dashinov, D. – Davison, P. I. – de Camargo, M. P. – Dodd, J. A. – Durland, D. A. L. – Edsman, L. – Ekmekçi, F. G. – Elphinstone-Davis, J. – Erős, T. – Evangelista, C. – Fenwick, G. – Ferincz, Á. – Ferreira, T. – Feunteun, E. – Filliz, H. – Forneck, S. C. – Gajduchenko, H. S. – Gama Monteiro, J. – Gestoso, I. – Giannetto, D. – Gilles, A. S. – Gizzi, F. – Glamuzina, B. – Glamuzina, L. – Goldsmit, J. – Gollasch, S. – Goulletquer, P. – Grabowska, J. – Harmer, R. – Haubrock, P. J. – He, D. – Hean, J. W. – Herczeg, G. – Howland, K. L. – İlhan, A. – Interesova, E. – Jakubčinová, K. – Jelmert, A. – Johnsen, S. I. – Kakareko, T. – Kanongdate, K. – Killi, N. – Kim, J. – Kirankaya, Ş. G. – Kňazovická, D. – Kopecký, O. – Kostov, V. – Koutsikos, N. – Kozic, S. – Kuljanishvili, T. – Kumar, B. – Kumar, L. – Kurita, Y. – Kurtul, I. – Lazzaro, L. – Lee, L. – Lehtiniemi, M. – Leonardi, G. – Leuven, R. S.E.W. – Li S. – Lipinskaya, T. – Liu, F. – Lloyd, L. – Lorenzoni, M. – Luna, S. A. – Lyons, T. J. – Magellan K. – Malmström, M. – Marchini, A. – Marr, S. M. – Masson, G. – Masson, L. – McKenzie, C. H. – Memedem, D. – Mendoza, R. – Minchin, D. – Miossec, L. – Moghaddas, S. D. – Moshobane, M. C. – Mumladze, L. – Naddafi, R. – Najafi-Majd, E. – Năstase, A. – Năvodaru, I. – Neal, J. W. – Nienhuis, S. – Nimitim, M. – Nolan E. T. – Occhipinti-Ambrogi, A. – Ojaveer H. – Olenin S. – Olsson, K. – Onikura, N. – O'Shaughnessy, K. – Paganelli, D. – Parretti P. – Patoka J. – Pavia, R. T. B. – Pellitteri-Rosa, D. – Pelletier-Rousseau, M. – Peralta Elfrizson M., Perdikaris, C. – Pietraszewski, D. – Piria, M. – Pitois S. – Pompei, L. – Poulet N. –, Preda C. – Puntilla-Dodd, R. – Qashqaei, A. T. – Radočaj, T. – Rahmani, H. – Raj, S. – Reeves, D. – Ristovska, M. – Rizevsky, V. – Robertson, D. R. – Robertson, P. – Ruykys L. – Saba, A. O. – Santos, J. M. – Sari, H. M. – Segurado, P. – Semenchenko, V. – Senanan, W. – Simard, N. – Simonović, P. – Skóra, M. E. – Slovák, Š. K. – Smeti, E. – Šmídová T. – Špelić, I. – Srébalienè, G. – Stasolla G. – Stebbing, P. – Števove, B. – Suresh, V. R. – Szajbert, B. – Ta, K. A. T. – Tarkan, A. S. – Tempesti, J. – Therriault, T. W. – Tidbury, H. J. – Top-Karakuş, N. – Tricarico, E. – Troca, D. F.A. – Tsiamis, K. – Tuckett, Q. M. – Tutman, P. – Uyan, U. – Uzunova, E. – Vardakas L. – Velle, G. – Verreycken H. – Vintsek L. – Wei, H. – Weiperth, A. – Weyl, O. L.F. – Winter, E. R. – Włodarczyk, R. – Wood, L. E. – Yang, R. – Yapıcı, S. – Yeo, S. S.B. – YoŪrtçuoŪlu, B. – Yunnies, A. L.E. – Zhu, Y. – Zięba, G.

- Žitňanová, K. – Clarke, S. (2021): A global-scale screening of non-native aquatic organisms to identify potentially invasive species under current and future climate conditions. *Science of the Total Environment*, 788. 147868
- Vilizzi, L. – Piria, M. – Pietraszewski, D. – Kopecký, O. – Špelić, I. – Radočaj, T. – Šprem N. – Ta Kieu, A. T. – Tarkan, A. S. – Weiperth, A. – YoŪurtçuoŪlu, B. – Candan, O. – Herczeg, G. – Killi, N. – Lemić, D. – Szajbert, B. – Almeida, D. – Al-Wazzan, Z. – Atique, U. –, Bakiu, R. – Chaichana, R. – Dashinov, D. – Ferincz, Á. – Flieller, G. – Gilles, Jr. A. S. – Gouilletquer, P. – Interesova, E. – Iqbal, S. – Koyama, A. – Kristan, P. – Li Shan, Lukas, J. – Moghaddas, S. D. – Monteiro, J. G. – Mumladze, L. – Olsson, K. H. – Paganelli, D. – Perdikaris, C. – Pickholtz, R. – Preda C. – Ristovska, M. – Švolíková, K. S. – Števove, B. – Uzunova, E. – Vardakas, L. – Verreycken, H. – Wei, H. – Zięba, G. (2022): Development and application of a multilingual electronic decision-support tool for risk screening non-native terrestrial animals under current and future climate conditions. *NeoBiota*, 76. 211-236.
- Weber, M. J. – Brown, M. L. – Wahl, D. H. – Shoup, D. E. (2015): Metabolic theory explains latitudinal variation in common carp populations and predicts responses to climate change. *Ecosphere* 6(4). 54.
- Woodward, G. – Perkins, D. M. – Brown, L. E. (2010): Climate change and freshwater ecosystems: Impacts across multiple levels of organization. *Phil. Trans. R. Soc. B* 365. 2093–2106.
- Zamora M. J. – Ilg, C. – Demierre, E. – Bonnet, N. – Wezel, A. – Robin, J. – Vallod, D. – Calvo, J. – Oliva-Paterna, F. – Oertli, B. (2021): Contribution of artificial waterbodies to biodiversity: A glass half empty or half full? *Sci. Total Environment.*, 753. 141987.

Érkezett: 2023. július

Szerzők címe: Ferincz, Á. – Müller, T. – Weiperth, A. – Lente, V. – Hegedűs, A. – Bányai, Zs.
Magyar Agrár és Élettudományi Egyetem, Akvakultúra és Környezetbiztonsági
Intézet, Természetesvízi Halökológiai Tanszék

Authors' address: Hungarian University of Agriculture and Life Sciences, Institute of Aquaculture
and Environmental Safety, Department of Freshwater Fish Ecology
H-2100, Gödöllő, Páter K. u. 1.
ferincz.arpad@uni-mate.hu

Csenki, Zs.
Magyar Agrár és Élettudományi Egyetem, Akvakultúra és Környezetbiztonsági
Intézet, Környezettotoxicológiai Tanszék
Hungarian University of Agriculture and Life Sciences, Institute of Aquaculture
and Environmental Safety, Department of Environmental Toxicology

Dérer, I.
Magyar Országos Horgász Szövetség
H-1124, Budapest, Korompai u. 17.

Urbányi, B.
Magyar Agrár és Élettudományi Egyetem, Akvakultúra és Környezetbiztonsági
Intézet, Halgazdálkodási Tanszék
Hungarian University of Agriculture and Life Sciences, Institute of Aquaculture
and Environmental Safety, Department of Aquaculture



MAGYAR NEMZETI
VIDÉKI HÁLÓZAT

EGYÜTT A MAGYAR VIDÉKÉRT!

MAGYARORSZÁG
KORMÁNYA



Európai Unió

Európai Mezőgazdasági
Vidékfejlesztési Alap



A VIDÉKI TÉRSÉGEKBE BERUHÁZÓ EURÓPA



- › VIDÉKFEJLESZTÉS
- › AGRÁRSZAKKÉPZÉS
- › TERMÉSZETMEGŐRZÉS
- › KÖRNYEZETVÉDELEM

ÁLLATTENYÉSZTÉS ÉS TAKARMÁNYOZÁS

Főszerkesztő (Editor-in-chief): FÉBEL Hedvig (Herceghalom)

Társfőszerkesztő (Co-editor): MÉZES Miklós (Gödöllő)

Szerkesztőbizottság (Editorial board):

Elnök (President): HORN Péter (Kaposvár)

MANABE, N. (Japán),

ROSATI, A. (EAAP, Olaszország),

ANTON István (Herceghalom),

BALOGH Krisztián (Gödöllő),

BODÓ Imre (Szentendre),

DUBLECZ Károly (Keszthely),

HIDAS András (Gödöllő),

HOLLÓ István (Kaposvár),

HULLÁR István (Budapest),

HUSVÉTH Ferenc (Keszthely),

KOMLÓSI István (Debrecen),

KOVÁCSNÉ GAÁL Katalin

(Mosonmagyaróvár),

MIHÓK Sándor (Debrecen),

PÓTI Péter (Gödöllő),

RÁTKY József (Budapest),

SZABÓ Ferenc

(Mosonmagyaróvár),

URBÁNYI Béla (Gödöllő),

WAGENHOFFER Zsombor

(Budapest),

ZSARNÓCZAI Gabriella (Szeged)

Szerkesztőség: Magyar Agrár és Élettudományi Egyetem Élettani és Takarmányozástani

(Editorial office): Intézet Takarmányozás-élettani csoport

Hungarian University of Agriculture and Life Sciences Institute of Physiology

and Nutrition Group of Nutrition physiology

2053 Herceghalom, Gesztenyés út 1.

A cikkeket kivonatolja a CAB International (UK) a CAB Abstracts c. kiadványban

The journal is abstracted by CAB International (UK) in CAB Abstracts

Felelős kiadó (Publisher): Bozzay Péter ügyvezető, HOI Nonprofit Kft.

ISSN 0230-1814 (Nyomtatott) ISSN 3003-9932 (Online)

A lap az Agrárminisztérium tudományos folyóirata

This is a scientific quarterly journal of the Ministry of Agriculture founded in 1952

(„Állattenyésztés”) by Prof. József Czakó

A kiadást támogatja (sponsored by): Agrárminisztérium

MTA Könyv- és Folyóiratkiadó Bizottsága

Megjelenik évente négyszer

A folyóiratokra a kiadónál fizethet elő az alábbiak szerint.

Előfizetési szándékát kérjük, jelezze az info@agrarlapok.hu címen, vagy az alábbi postacímen:

Herman Ottó Intézet Nonprofit Kft., 1223 Budapest, Park u. 2.

A borítékra kérjük, írja rá: „Folyóirat-rendelés”.

Az előfizetési díjat a Herman Ottó Intézet Nonprofit Kft. 10032000-00286662-00000017 számlaszá-

mára való utalással egyenlítheti ki. Az átutalás közlemény rovatában szíveskedjen a folyóirat és az

előfizető nevét feltüntetni. Előfizetési díj: 8800Ft/év

Bármely más információért forduljon bizalommal kollégáinkhoz a lenti elérhetőségek bármelyikén:

e-mail: info@agrarlapok.hu, telefon: 06-1/362-8100

Nyomta: Zemplén-Vektor Kft., 3900 Szerencs, Csalogány köz 5.