

HŐSTRESSZ HATÁSÁRA AKTIVÁLÓDÓ FIZIOLÓGIAI VÁLASZOK HÁZITYÚKBAN, A HŐHÁZTARTÁS FENNTARTÁSA ÉRDEKÉBEN

TOKODYNÉ SZABADI NIKOLETT - SIMA KRISZTINA - TÓTH ROLAND - LÁZÁR BENCE -
PATAKINÉ VÁRKONYI ESZTER - LIPTÓI KRISZTINA - GÓCZA ELEN

ÖSSZEFOGLALÁS

A közelmúltban egyre gyakoribbá váltak a szélsőségesen meleg nyarak, amivel szemben a modern baromfi fajták fokozott érzékenységet mutatnak, így a hőstressz negatív hatásai jelentős gazdasági károkhoz vezettek a baromfiiparban. Az egy főre jutó baromfihús-fogyasztás globális szintű emelkedése miatt, sem a tartástechnológiai fejlesztések, sem a takarmány adalékanyagok alkalmazása nem volt elegendő a hőstressz okozta károk ellensúlyozására, így innovatívabb megközelítésekre volt szükség. A molekuláris genetikai módszerek segítségével kiválasztott fajták hőtoleranciája javult, de nélkülözhetetlen a molekuláris biológiai eszközök használata a házityúkból lezajló élettani folyamatok, immunológiai változások megértésében is, elősegítve ezzel a jobb adaptációs képességgel rendelkező baromfifajták létrehozását.

SUMMARY

Tokodyné Szabadi, N. – Sima, K. – Tóth, R. – Lázár, B. – Patakiné Várkonyi, E. – Liptói, K. – Gócza, E.: PHYSIOLOGICAL RESPONSES TO HEAT STRESS IN DOMESTIC CHICKEN TO MAINTAIN HEAT BALANCE

Extremely hot summers have recently become more common and modern poultry breeds have shown increased sensitivity to the negative effects of heat stress, which have led to significant economic loss in the poultry industry. Due to the increasing per capita consumption of poultry meat, neither the advances in housing technology, nor the use of feed additives were sufficient enough to offset the damage caused by heat stress. Therefore, more innovative approaches were needed. Breeds selected by genetic markers have shown improved heat tolerance and the use of molecular techniques is essential for sustainable poultry production. Molecular biological tools are also indispensable for understanding the physiological processes and immunological changes in domestic chickens, helping to create poultry breeds with better adaptation capabilities.

BEVEZETÉS

A baromfi háziasítására utaló írásos emlékek Kr. e. 1400-ból valók, fogságban történő tenyésztését pedig Ázsiában és Kínában jóval korábban megkezdték, mint Európában vagy Amerikában. A mai házityúk (*Gallus gallus domesticus*) fajták eredete Indiába vezethető vissza, egy közös ősből származtatják (bankivatyúk (*Gallus gallus*)), amely a mai napig megtalálható az indiai és délkelet-ázsiai erdőkben (West és Zhou, 1989).

A baromfitenyésztés jelentősége évről évre nő az egész világon. Az ENSZ Élelmезésügyi és Mezőgazdasági Szervezetének (FAO) kimutatásai szerint az éves globális baromfihús-termelés 2019-ben elérte a 130,5 millió tonnát, ami a globális hústermelés 38,9%-a. A leghatékonyabb állati fehérje előállítását teszi lehetővé a baromfihús és tojástermelő ágazat. Az egyre növekvő mennyiségi igény minőségi változásokat eredményezett a tenyésztésben és tartástechnológiában.

A TÉMA AKTUALITÁSA

Az Éghajlat-változási Kormányközi Testület (IPCC, *Intergovernmental Panel on Climate Change*) által elfogadott éghajlati változás modellek szerint a Föld felszíni hőmérséklete 1990 és 2100 között akár 6,4°C-kal is megnőhet (IPCC, 2007). A folyamatosan növekvő globális átlaghőmérséklet következtében a baromfiágazat legnagyobb problémája az állatokat sújtó hőstressz. Ilyenkor megváltozik a madarak viselkedése, felborulnak az élettani és immunológiai folyamatok, ami negatív

1. ábra Termikus zónák a környezeti hőmérséklet függvényében (<https://innovad-global.com/innovad-develops-first-high-concentration-stable-liquid-vitamin-solution>)

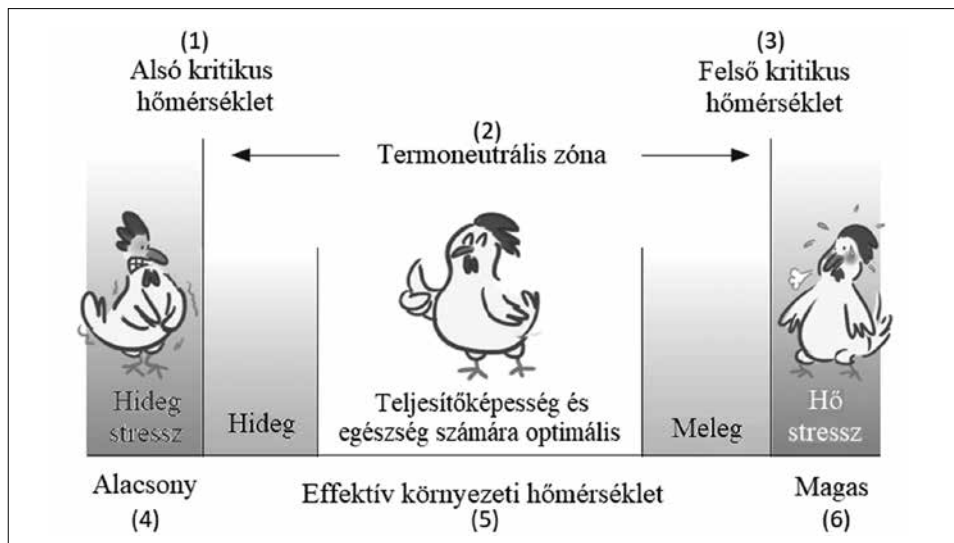


Figure 1. Thermal zones related to the environmental temperature

lower critical temperature (1); thermoneutral zone (2); upper critical temperature (3); cold (4); effective ambient temperature (5); high (6)

hatással van az állatok növekedésére, egészségére, termékenységre egyaránt. Nagyobb gazdaságokban az egyre melegebb nyári periódusok jelentős gazdasági kiesést okoznak, ami tovább nehezíti a növekvő piaci igények kielégítését.

Az évtizedek óta tartó szelekció eredményeként olyan gazdaságilag jobban teljesítő fajtákat alakítottak ki, amelyek gyakran háromszor gyorsabban nőnek,

2. ábra A hőmérséklet és páratartalom arányának hatása a baromfi stressz indexére (hőstressz index = $0,6 \times \text{száraz hőmérséklet} + 0,4 \times \text{nedves hőmérséklet}$) (Xin és Harmon, 1998)

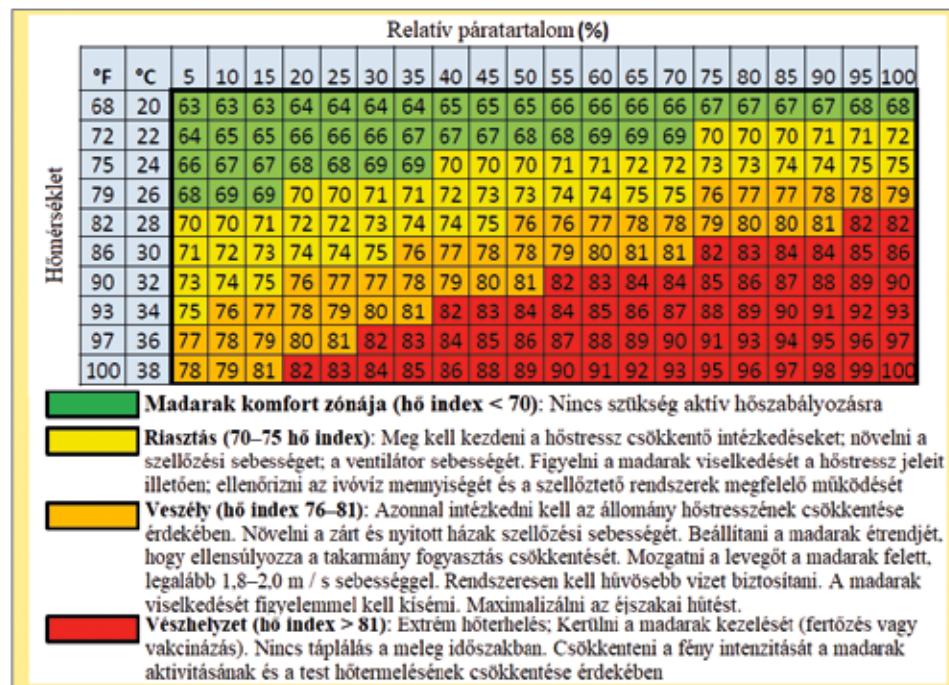


Figure 2. Effect of temperature and humidity ratio on poultry stress index

- Bird Comfort Zone (heat index < 70):** No action needed; a good time to prepare for future hot weather.
- Alert (heat index 70-75):** Begin taking heat stress reduction measures in the flock; increase ventilation rate; increase fan speed and use foggers (run foggers based on relative humidity). Monitor bird behavior for signs of heat stress; ensure drinker and ventilation systems are functioning properly.
- Danger (heat index 76-81):** Heat stress conditions exist; take immediate measures to reduce heat stress in the flock. Increase ventilation rate in closed houses and use evaporative cooling based on relative humidity; in open houses run stir fans and misters. Adjust nutrient density of bird's diet to match any reduction in feed consumption. Move air over the birds at a minimum velocity of 1.8–2.0 meters/second. Periodically flush water lines with cooler water. Closely monitor flock behavior. Maximize nighttime cooling.
- Emergency (heat index > 81):** Extreme heat stress conditions exist; avoid handling birds for transfer or vaccination. Do not feed during the hottest part of the day. Decrease light intensity to reduce bird activity and body heat production.

mint a hagyományos fajták, nagyobb az anyagcsere aktivitásuk, de ezáltal több testhő is termelnek, ami következtében érzékenyebbek lesznek a hőmérséklettől függő környezeti változásokra (Deeb és Cahaner, 2002). Az ivarérett házityúk testhőmérséklete 41-42°C, nincsenek izzadság mirigyei, így érzékenyebb a magas környezeti hőmérsékletre, főleg, ha az emelkedett hőmérséklethez magas páratartalom is társul. A madarak számára megfelelő környezet, a termoneutrális zóna 19-22°C, ebben a tartományban testhőmérsékletük állandó, normál magatartást mutatnak. Ennek a zónának a felső értékét elérve, illetve a felett egyre inkább romlik a madarak teljesítménye, míg végül a testhőmérséklet eléri az állatokra nézve letális szintet (1. ábra).

A testhő csökkentése aktív folyamat, aminek egyik szereplője a párologtatási mechanizmus a bőrfelületen és a légzőrendszeren keresztül. A testfelület és levegő nedvességének grádiense határozza meg a párologtatás útján történő hűtést. A magas környezeti hőmérséklet magas relatív páratartalommal kombinálva hipertermiát idéz elő, amely csökkenti a takarmány-felvételt és hasznosítást, a növekedést, a tojástermelést, a hús- és tojás minőséget és az állatok életképességét (Rajkumar és mtsai, 2011; Xie és mtsai, 2014) (2. ábra).

HŐSTRESSZ HATÁSA A HÁZITYÚK SZERVEZETÉBEN

A szervezet a belső egyensúly fenntartására törekszik. Ehhez ennek az állapotnak a felborulását okozó ingereknek a kivédése szükséges. Ha az inger nem túl erős, általános életfolyamatok mennek végbe, amit adaptációnak nevezünk (Brown, 1959). Ha az inger erős, és hatására a belső egyensúly felborul, a szervezet specifikus, (pl.: immunválasz), és nem-specifikus válaszokkal reagál. A szervezet nem specifikus válaszát a testet ért nem fajlagos igénybevételekre „stresszállapotnak” nevezzük.

Magas környezeti hőmérsékleti körülmények között a madarak egyre több energiát fordítanak a testhőmérséklet szabályozására. A felesleges hő elvezetése négy mechanizmus révén valósul meg. A konvekció (légáramlás) során a csirkék legyeznek a levegőt, a környezet felé igyekeznek átadni a testhőt a ritkábban tollazott bőrfelület szabadon hagyásával, széttárlják szárnyaikat, ezekhez szorosan kapcsolódik a perifériás vérátáramlás növelése. Sugárzással, elektromágneses hullámok vezetnek a hőt a távoli, hűvösebb tárgyak felé. Hővezetés útján a hűvösebb közeg keresésével és közvetlen érintkezéssel hűtik magukat, a madarak kaparják a földet, az almot és fekszenek, illetve fontos még a párologtatás az úgynevezett lihegés, de ez csak akkor hatásos, ha nem túl magas a páratartalom, illetve nagyobb mértékű vízfogyasztás mellett a kiválasztás fokozása (3. ábra).

A különböző hővesztési mechanizmusokat összekapcsoló legfontosabb elem a vér, szerepe a vazodilatációban és a passzív vízvezetés során is megnyilvánul. A kapillárisokban a vér áramlása a test periferiáján növekszik, a belső szerveknél csökken (Wolfenson és mtsai, 1981), lassul az emésztés, romlik a tápanyag-hasznosítás. A légzési sebesség növekszik (215-235 lélegzet/perc), a plazma CO₂ szint és a sav-bázis egyensúly felborul. Ha ez a stresszt előidéző állapot hosszabb ideig fennáll az kiszáradáshoz és a vérmennyiség csökkenéséhez vezethet. A csökkent vérmennyiség megváltoztatja a vénás visszaáramlást, és a vérkeringést a felső légutakban, ami hipertermiát és végül elhullást okoz.

3. ábra A csirke hővezető mechanizmusai (Hy-Line International, 2016)

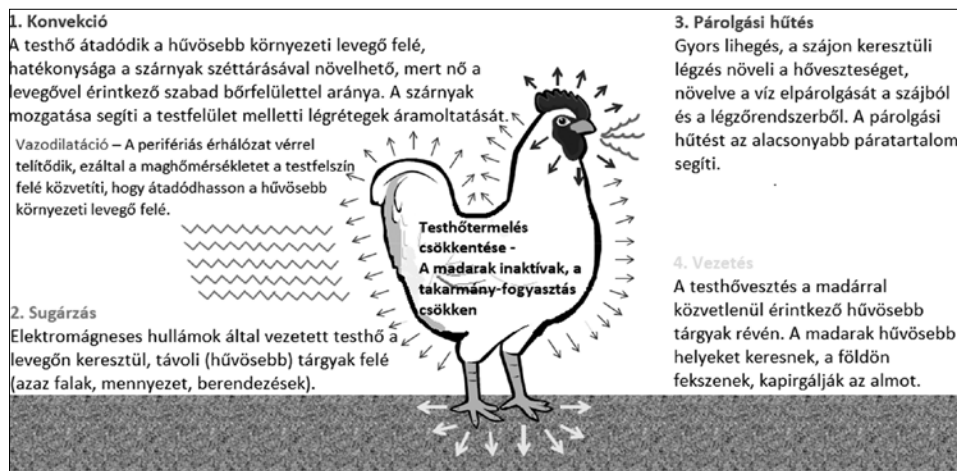


Figure 3. Excess body heat of the chicken is removed by four different mechanisms

convection (1); radiation (2); evaporative cooling (3); conduction (4)

A végbemenő fiziológiai változásokat sejtszintű károsodások kísérik, aminek következtében megjelenő szignál molekulák jelátviteli útvonalakat, neuroendokrin és molekuláris válaszokat aktiválnak. A csökkent takarmányfelvétel is hozzájárul a hipotalamusz - hipofízis - mellékvese tengely aktiválódásához, ami megváltoztatja a neuroendokrin profilt. A homeosztázis felborulása a növekedés lassulásához, kevesebb tojástermeléshez és húsminőség romláshoz vezet, ugyanis növekszik a lipid peroxidáció (Babinszky és mtsai, 2011), megváltozik az elektrolit egyensúly, gyengül az emésztés, csökken a plazmafehérje- és a kalciumszint (Lin és mtsai, 2006). A madarak képesek viszont aktív anyagcserével szabályozni a testfolyadékaik pH-ját, metabolikus savak felhalmozásával próbálják megtartani a sav-bázis egyensúly normál állapotát. A hidrogén ionok bikarbonát ionokkal kombinálva szénsavvá alakulnak, ami savas irányba tolja a közeg pH-ját, a szénsavat a szénsav-anhidráz szén-dioxidra és vízre bontja, a szén-dioxid a tüdőn, míg a hidrogén ionok a vesén keresztül ürülnek ki, és az így felszabaduló bikarbonát ionok aránya határozza meg a bázikus értéket (Ruiz-Lopez és Austic, 1993) (4. ábra).

A metabolikus alkalózis egy olyan anyagcserezavar okozta állapot, amelyben a vér a túlságosan magas bikarbonátszint miatt lúgos. A takarmányfelvétel csökkenésével kevesebb az ásványi anyagok, a nátrium és kálium felvétele, aminek szabályoznia kellene a bázis raktárakat. Emellett a megnövekedett hemodilúció (a vérplazma térfogatának megnövekedése a vörösvérsejtekhez képest) tovább csökkenti a plazma nátrium és kálium szintjét a fokozott vízfelvétel és kiválasztás útján. A légzőrendszeren keresztül, lihegés útján a csökkent vér szén-dioxid szint vezet a bikarbonát ion túlsúlyhoz (Borges és mtsai, 2004).

Mivel sok energia kell a fiziológiai válaszok végrehajtásához, az immunválasz csökken, ami a timusz, lép és máj relatív súlyának csökkenésében is megmutatkozik. Az összes keringésben lévő ellenanyag szintje alacsony, pl.: IgM és IgG (Ghazi és mtsai, 2012; Felver-Gan és mtsai, 2012). Madarakban a B sejtek

4. ábra Hőstressz indukálta sav-bázis egyensúly felborulásának ellensúlyozása
(Hy-Line International, 2016)

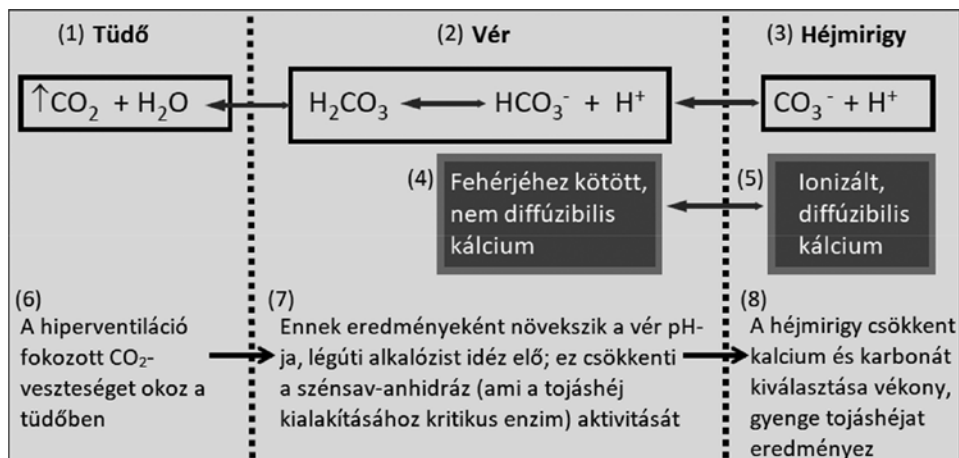


Figure 4. Demonstration of acid/base balance disruption caused by heat stress.

lungs (1); blood (2); shell gland (3); protein-bound, non-diffusible calcium (4); ionized diffusible calcium (5); hyperventilation causes increased loss of CO_2 gas from the lungs (6); blood pH increases as a result, producing a respiratory alkalosis; this reduces the activity of carbonic anhydrase (an enzyme critical to form eggshell) (7); reduced secretion of calcium and carbonate by the shell gland results in thin, weak eggshells (8)

a Fabricius-tömlőből (latinul *Bursa fabricii*) fejlődnek, ennek a súlyvesztését és a limfociták számának csökkenését is leírták a szakirodalomban (Aengwanich, 2008). A stressz során növekszik a kortikoid- és a vércukorszint, a glükokortikoid felszabadulás okozza a nyiroksejtek pusztulását, ami a limfociták számának csökkenéséhez vezet. A limfocitáknak fontos szerepe van az antitestek előállításában, hiányuk zavart okoz a kórokozókkal szembeni védő funkciókban. Ezzel szemben a heterofil granulociták felszabadulása fokozódik a csontvelőből, de fagocitáló és baktericid aktivitásuk csökken (Berne és Levy, 1998). A gyenge immunitás miatt a vírusok, baktériumok felhalmozódnak a húsból, ami a húsminőség romlása mellett már az élelmiszer-biztonságot is veszélyezteti (Lara és Rostagno, 2013).

Hőstressznek kitett állatok szervezetében sejtszinten a legtöbb fehérjeszintézis lelassul, mert nem jut elegendő energia a növekedési mechanizmusok számára. Azonban az úgynevezett hősokk fehérjék (*heat shock protein* – HSP) közül számos HSP szintézise magas, mivel ezek az erősen konzervált fehérjék védő funkciókat töltenek be. Hőérzékeny fehérjékhez kötődve védik a fehérje szerkezetet, gátolják azok aggregálódását és lebontását. Továbbá szerepük van a citoskeletális integritás fenntartásában és a sejtciklus szabályozásban is. Megtalálhatók az extracelluláris környezetben, ahol stimulálják az immunsejteket. A különböző szövetekben, szervekben más-más fehérje aktiválódik, a madár ivarszervekben a hím gonádokban a HSPD1 és HSPA5 fehérjék apoptotikus folyamatokban vesznek részt, a HSP70 és HSP90 molekuláris chaperonok, a fehérjék globuláris szerkezetének kialakításával előzik meg a hibás aggregátumok kialakulását a spermatogenezisben (Wang és mtsai, 2015). Tojókban a HSP25 expressziója

emelkedik meg, ami a tüszősejtek fehérjekárosodását jelzi (Cheng és mtsai, 2015). A véráramlás átcsoportosítása a szervek kárára valósul meg. A HSP70 és HSP90 expressziójának emelkedése figyelhető meg az ileum területén (Varasteh és mtsai, 2015). A HSP70 emelkedett szintje figyelhető meg a stresszelt állatok hipotalamuszában, de a HSP90 szintje változatlan maradt (Zhang és mtsai, 2014). A máj metabolikusan aktív szerv, ezért érzékenyebb a stresszre, ami a HSP-k szintjében is megmutatkozik. A máj központi szerepet tölt be a szervezetet ért behatásokra aktiválódó válaszreakciókban, az általa termelt fehérjék indítják be az anyagcsere és immunválaszokat.

Tehát a szövetek között egyértelmű a HSP-k expressziójának különbsége, profilja, ennek oka lehet a szövetek funkciójának és metabolikus aktivitásának különbsége. Valamint szembeutó különbség mutatkozott a különböző házityúk fajták között, illetve annak függvényében, hogy a hőstressz mennyi ideig állt fenn (Murugesan és mtsai, 2017).

HŐSTRESSZEL SZEMBENI VÉDEKEZÉS KÖZVETLEN ÉS KÖZVETETT ALTERNATÍVÁI

A magas környezeti hőmérséklet hatásának következtében a baromfiállományt sújtó hőstressz negatív hatásait közvetlen fizikai úton, a megfelelő tartástechnológia alkalmazásával ellensúlyozhatjuk. Figyelni kell az ólak helyes kialakítására, hogy megfelelő legyen a szellőzés, kerülni kell a túlzásúfolttságot és törekedni kell a megfelelő vízellátásra. A szellőzést maximalizálni kell a felhalmozódott széndioxid, ammónia és magas páratartalmú levegő kicseréléséhez, amely szabályozható klímaberendezések telepítésével, azonban ez növeli a termelés költségeit. Kulcsfontosságú az ivóvíz ellátottság és annak hőmérséklete. A termoneutrális zónában a madarak víz-takarmány fogyasztása 2:1-hez, ami 38°C-os környezetben 8:1-re módosul. Az itatók esetében a víz átfolyási értékének legalább 70ml/perc-nek kell lennie. Az ivóvíz alacsonyabb hőmérsékleten való tartása (25°C alatt) pedig megkönnyíti a tyúkok belső hőmérsékletének csökkentését, javítva a víz-takarmány fogyasztás arányát (Hy-Line International, 2016).

Hőstresszel szembeni ellenállóképesség javításának közvetett útja a madarak szervezetének adaptációját elősegítő takarmányozás, célzott tenyésztés bizonyos kedvező génekre, hőkondicionálás alkalmazása. Azonnali megoldást eredményez például speciális összetételű takarmánnyal való etetés, illetve az etetések idejének optimalizálása. Meleg időben az alacsony fehérjetartalmú táp, néhány esszenciális aminosavval kiegészítve jobb eredményt ad, mint a magas fehérjetartalmú (Daghir, 2009). Továbbá a hőstressz növeli az ásványi anyagok és vitaminok kiválasztását, lassul azok metabolizmusa, így csökken a szérumban és a májban a vitaminok koncentrációja (Sahin és mtsai, 2009). A zsírban oldódó vitaminokat a magasabb zsírtartalmú tápokhoz, míg a vízoldékony vitaminokat az ivóvízhez kell adni. Például a C-vitamin a leghatékonyabb antioxidáns, 1g/l ivóvíz adagolása javasolt (Daghir, 2009). Emellett fontos még az elektrolitok pótlása is, a NaHCO₃ kiegészítés javítja a felső légúti alkalózis miatt kialakuló hidrogén-karbonát hiányt (Benton és mtsai, 1998).

Számos gén befolyásolja a hőtűrést. Néhány, mint például a „kopasz nyak” (Na) gén domináns, ami közvetlenül befolyásolja a hőtűrést a tollborítottság

csökkentésével (Cahaner és mtsai, 1992). Másik génnek nemhez kötötten, receszszíven öröklődnek, ilyen például a törpességet okozó (dw) gén, amely a csökkent testméret által csökkenti az anyagcsere termelte hőmennyiséget. A *frizzle* (F) gén a tollak kifelé hajlását okozza, ami segíti a testfelszíni hőleadást, brojlerek esetében csökkent a tollazat súlya (Deeb és mtsai, 1993).

A legújabb kutatások azonban egy megfelelő kezelési, hőkondicionálási eljárás kidolgozására irányulnak. Számos szakirodalom leírja a korai (fiatal/csibe korú) hőkondicionálás pozitív hatásait felnőtt korban. Ez egy rövidebb ideig tartó (12-24 óra) 36°C-38°C-on való nevelést jelent, aminek következtében javul a felnőtt állatok hővel szembeni ellenállóképessége (Lin és mtsai, 2006; Kőrösiné és mtsai, 2005; Szabó és mtsai, 2009; Liptói és mtsai, 2010, Anand és mtsai, 2016).

A NAIK - MBK Alkalmazott Embriológia és Össejt Kutatócsoportjának, illetve az NBGK HGI (régi nevén HÁGK) munkatársainak egy optimális hőkezelési eljárás kidolgozása a céljuk, amellyel az előzetes hőkezelésen átesett baromfiállomány hőtűrő képességét javíthatnák, így nem csökkenne a termelt tojásszám, nem romlana a húsmínőség még magas környezeti hőmérséklet esetén sem. A kísérletükben az állatokat három csoportra különítették el: hőkezelt és hőstresszelt, csak hőstresszelt, illetve kontroll állatok alkották a csoportokat. A hőkezelést a kikelést követő második napon végezték, a csibéket 12 órán keresztül 38,5°C-on tartották. A hőstresszt 24 hét elteltével ivarérett korban alkalmazták, 12 hétig 30°C-os környezetben való tartással (5. ábra) (Tokodyné Szabadi és mtsai, 2019).

A *HSP70* és *miR-138* expressziót határozták meg a mintákban. A *HSP70* és *miR-138* emelkedett expressziója volt megfigyelhető a hím jobb oldali gonádokban,

5. ábra Hőkondicionálási kísérlet metodikájának sematikus ábrája
(Tokodyné Szabadi és mtsai, 2019)

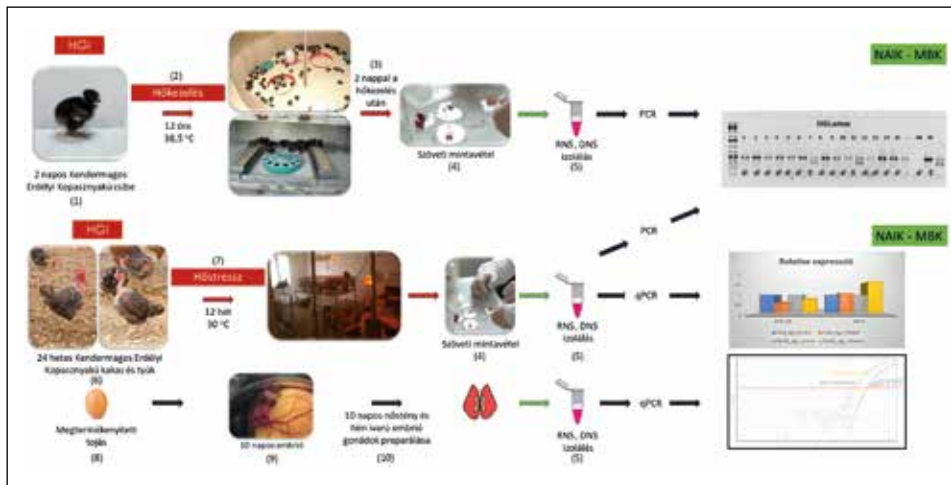


Figure 5. Schematic diagram of the method of heat conditioning experiment

2 days old Transylvanian Naked Neck Chick (1); heat treatment (2); 2 days after hatching (3); collection of tissues samples (4); RNA, DNA isolation (5); 24 weeks old Transylvanian Naked Neck cock and hen (6); heat stress (7); fertilized egg (8); day 10 of incubation (9); dissection the gonads from 10 days old female and male embryos (10)

míg az összejt specifikus markerek jobb/bal oldali aszimmetriát mutattak (*Tokodyné Szabadi és mtsai, 2020*). Ezzel szemben az agyszövet mintákon elvégzett mérések során a *HSP70* emelkedett, míg a miR-138 csökkent expresszóját figyelték meg a hőkezelt állatok esetén a kontrollcsoporthoz képest (5. ábra) (*Anand és mtsai, 2016; Tokodyné Szabadi és mtsai, 2019*).

Számos publikáció támasztja alá azt, hogy a mikro RNS-ek fontos szerepet játszanak a hőstressz hatásának csökkentésében. A miRNS-ek kulcsfontosságúak a génexpresszió szabályozásában. Hőstressz hatására a számos miRNS közül a miR-138 expressziójának változását emelik ki, mint lehetséges következményt, ami többek között korrelációt mutat a hősokk fehérjék expressziójával is. Egy izraeli kutatócsoport írta le a miR-138 szerepét a hipotalamikus neurogenesis szabályozásában (*Kisliouk és mtsai, 2014*). Ezt követően egy újabb tanulmányukban taglalták egy lehetséges jelátviteli útvonal elemeit. Ebben a válaszreakcióban a miR-138 kötődik a Reln 3'UTR-hez, ennek következtében gátolja a Reln expresszióját, ami elősegíti a neuronok vándorlását. Ez a gátlás gátlása eredményezte szöveti átrendeződés a madarak esetében fiatal korban lehetséges, ekkor még aktív a neuronális plaszticitás. Ez az eredmény megerősíti a hőkonkondicionálás elvégzésének időzítését (*Kisliouk és mtsai, 2017*).

Egyre több kutatás irányul az akklimatizációs tulajdonság örökölhetőségére is, ami epigenetikai változások átadásával valósulhat meg. Az epigenetika ugyanis a gének és termékeik ok-okozati kölcsönhatását vizsgálja, amelyek meghatározzák a fenotípust (*Deans és Maggert, 2015*). Epigenetikus módosítások, például a DNS metilezése megváltoztatja a hiszton szerkezetet, tanulmányok igazolják, hogy hőhatásra lezajló ilyen átrendeződések stabilizálják a házityúk embriók fejlődését (*Li és mtsai, 2015*).

KÖVETKEZTETÉSEK

A baromfihús fogyasztása évről évre a globális húsfogyasztás egyre nagyobb hányadát teszi ki. A megnövekedett piaci igények kielégítése céljából, egyre gyorsabban növekedő és nagyobb húshozamú fajták kerülnek a piacra. Ezzel párhuzamosan a globális felmelegedés következtében a megemelkedett környezeti hőmérséklettel szembeni ellenállósága az új fajtáknak drasztikusan lecsökkent. A magas környezeti hőmérséklet esetében a húsminőség romlik, termékenység és tojásmennyiség csökkenése, illetve az állomány elhullása következhet be, ami egyre súlyosabb veszteségeket generál a baromfiágazatban. A hőstresszről szóló szakirodalom jelentősebb része a közvetett védekezési stratégiákra összpontosít, a tartástechnológia optimalizálása és adalékanyagok alkalmazásának hatásait elemzik. Ezeknek a hatékonysága nagyon változó, befolyásolja a földrajzi elhelyezkedés, nem alkalmazható egy egységes protokoll különböző fajták esetében.

A közelmúltban újabb módszerek is előtérbe kerültek, ideértve a baromfifajták genetikai marker alapú kiválasztását. A molekuláris technikák használata a baromfitenyésztésben egy fenntartható gazdaságot eredményez.

A biotechnológia, illetve genomika területén zajló fejlesztések egyre inkább elősegítik a gyakorlatban zajló tenyésztőmunka sikerességét. Napjainkban már rendelkezésünkre áll a teljes tyúk genom, több millió, már azonosított egyedi nukleotid polimorfizmussal (*Hillier és mtsai, 2004, Wong és mtsai, 2004*). Azonban

fontos megjegyezni, hogy a genom analízisek nem fogják kiváltani a hagyományos szelekciós módszereket, sokkal inkább a kettő szoros együttműködését teszik lehetővé a hatékonyság növelésével. Az innovációra, mint lehetőségre kell tekinteni, ami akár egy jól működő hálózattá kövacsolhatná a vállalkozás - oktatás - kutatás és fejlesztés intézményeit (Horn, 2008).

A molekuláris biológiai eszközök elősegítik a jelátviteli útvonalak, élettani folyamatok és immunválaszok megértését, ami segítheti a fajták jobb adaptációját a változó éghajlathoz.

Hőstresszre aktiválódó válaszreakciókban a HSP-k szerepe már bizonyított. A HSP-k expressziója növekszik, fehérjekárosodás megakadályozására irányuló jelátviteli utakat indukál. A legújabb kutatások kiemelik az epigenetika adaptációs előnyeit a hőkonkondicionálás során. Azonban ennek a kezelésnek az optimalizálásához még további kísérletekre van szükség. Illetve a HSP-k és molekuláris rendszerek közötti kölcsönhatás részletesebb megismerése is szükséges egy minden fajtára egységesen alkalmazható eljárás kidolgozásához, ami a fenntartható gazdaságok létrejöttéhez szükséges.

KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

A kutatást CGIAR CCAFS (Mezőgazdasági Minisztérium) és a GÉNNET_21 (VEKOP-2.3.2-16-2016-00012) pályázatok támogatásával végeztük.

IRODALOMJEGYZÉK

- Aengwanich, W. (2008): Pathological changes and the effects of ascorbic acid on lesion scores of bursa of Fabricius in broilers under chronic heat stress. *Res. J. Vet. Sci.*, 1. 62-66.
- Anand, M. – Tóth, R. – Alayu, K. – Nagy, A. – Lázár, B. – Patakiné Várkonyi, E. – Liptói, K. – Gócsa, E. (2016): Examination the expression pattern of HSP70 heat shock protein in chicken PGCs and developing genital ridge. *Scientific Papers: Anim. Sci. Biotechnolog.*, 49. 78-82.
- Babinszky, L. – Halas, V. – Verstegen, M. W. A. (2011): Impacts of climate change on animal production and quality of animal food products, climate change. *Climate Change – Socioeconomic Effects*, Dr Houshan Kheradmand (Ed.) ISBN 978-953-307-411-5.
- Benton, C. E. – Balnave, D. – Brake, P. J. (1998): The use of dietary minerals during heat stress in broilers. *Prof. Anim. Sci.*, 14. 193-196.
- Berne, R. M. – Levy, M. N. (1998): *Fisiologia*. 4th. ed. Guanabara, Rio de Janeiro, Brazil.
- Borges, S. A. - Fischer da Silva, A. V. - Majorka, A. - Hooge, D. M. - Cummings, K. R. (2004): Physiological responses of broiler chickens to heat stress and dietary electrolyte balance (sodium plus potassium minus chloride, milliequivalents per kilogram). *Poult. Sci.*, 83. 1551-8.
- Brown, K. I. (1959): Stress and its implications in poultry production. *Worlds Poult. Sci. J.*, 15. 255-263.
- Cahaner, A. – Deeb, N. – Gutman, M. (1992): Improving broiler growth at high temperatures by the naked neck gene. *Proceedings of the 19th World's Poultry Congress, Amsterdam, the Netherlands*, 2. 57-60.
- Cheng, C. Y. – Tu, W. L. – Wang, S. H. – Tang, P. C. – Chen, C. F. - Chen, H. H. – Lee, Y. P. – Chen, S. E. – Huang, S. Y. (2015): Annotation of differential gene expression in small yellow follicles of a broiler-type strain of Taiwan country chickens in response to acute heat stress. *PLoS One*, 10. (11) e0143418.
- Daghir, N. J. (2009): Nutritional strategies to reduce heat stress in broilers and broiler breeders. *Lohmann Info.*, 44. 6-15.

- Deans, C. – Maggert, K. A. (2015): What do you mean, "Epigenetic"? *Genetics*, 199. 887-96.
- Deeb, N. – Cahaner, A. (2002): Genotype-by-environment interaction with broiler genotypes differing in growth rate. 3. Growth rate and water consumption of broiler progeny from weight-selected versus nonselected parents under normal and high ambient temperatures. *Poult. Sci.*, 81. 293-301.
- Deeb, N. – Yunis, R. – Cahaner, A. (1993): Genetic manipulation of feather coverage and its contribution to heat tolerance of commercial broilers. In: Gavora, J.S. and Boumgartner, J.(eds) *Proceedings of the 10th International Symposium on Current Problems in Avian Genetics*, Nitra, Slovakia, 36.
- Felver-Gant, J. N. – Mack, L. A. – Dennis, R. L. – Eicher, S. D. – Cheng, H. W. (2012): Genetic variations alter physiological responses following heat stress in 2 strains of laying hens. *Poult. Sci.*, 91. 1542-51.
- Ghazi, H. S. – Habibian, M. – Moeini, M. M. – Abdolmohammadi, A. R. (2012): Effects of different levels of organic and inorganic chromium on growth performance and immunocompetence of broilers under heat stress. *Biol. Trace. Elem. Res.*, 146. 309-317.
- Hillier, L. A. W. és 175 társszerző (2004): INTERNATIONAL CHICKEN GENOME SEQUENCING CONSORTIUM. Sequence and comparative analysis of the chicken genome provide unique perspectives on vertebrata evolution. *Nature*, 432. 695-716.
- Horn, P. (2008): A baromfitenyésztés fejlődésének kilátásai, új kihívások, veszélyforrások és lehetőségek. *Állattenyésztés és Takarmányozás*, 57. 389-401.
- Hy-Line International, 2016 https://www.hyline.com/userdocs/pages/TU_HEAT_ENG.pdf, Letöltve: 2019.11.17.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2007): Climate change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability. summary for policy makers. Online at <http://www.ipcc.cg/SPM13apr07.pdf>
- Kisliouk, T. – Cramer, T. – Meiri, N. (2014): Heat stress attenuates new cell generation in the hypothalamus: a role for miR-138. *Neuroscience*, 26. 624-36.
- Kisliouk, T. – Cramer, T. – Meiri, N. (2017): Methyl CpG level at distal part of heat-shock protein promoter HSP70 exhibits epigenetic memory for heat stress by modulating recruitment of POU2F1-associated nucleosome-remodeling deacetylase (NuRD) complex. *J. Neurochem.*, 141. 358-372.
- Kőrösiné M. A. – Nógrádi J. – Varga S. – Podmaniczky B. - Gerendai D. – Szabó Zs. (2005): Madarak hőtüdő-képességének javítása és a hőstressz csökkentésének lehetőségei a baromfitartásban, AGRO-21 füzetek, MTA VAHAVA project, 67-80.
- Lara, L. J. – Rostagno, M. H. (2013): Impact of heat stress on poultry production. *Animals (Basel)*, 3. 356–369.
- Li, C. - Guo, S. - Zhang, M. - Gao, J. - Guo, Y. (2015): DNA methylation and histone modification patterns during the late embryonic and early postnatal development of chickens. *Poultry Sci.*, 94. 706-21.
- Lin, H. – Jiao, H. C. – Buyse, J. – Decuypere, E. (2006): Strategies for preventing heat stress in poultry. *World Poultry Sci. J.*, 62. 71-86.
- Liptói, K. – Szabó, Zs. – Podmaniczky, B. - Kőrösiné Molnár, A. (2010): Preliminary investigation of the effect of heat treatment on fertility and embryonic mortality in goose. *World Poultry Sci. J.*, 66. 513.
- Murugesan, S. – Ullengala, R. – Amirthalingam, V. (2017): Heat shock protein and thermal stress in chicken. In: Asea A., Kaur P. (eds) *Heat Shock Proteins in Veterinary Medicine and Sciences*. Heat Shock Proteins, 12.
- Rajkumar, U. - Reddy, M. R. - Rama Rao, S. V. - Radhika, K. - Shanmugam, M. (2011): Evaluation of growth, carcass, immune competence, stress parameters in Naked Neck chicken and their normal siblings under tropical winter and summer temperatures. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.*, 24. 509–516.
- Ruiz-Lopez, B. – Austic, R. E. (1993): The effect of selected minerals on the acid-base balance of growing chicks. *Poultry Sci.*, 72. 1054–1062.

- Sahin, K. – Sahin, N. – Kucuk, O. – Hayirli, A. – Prasad, A. S. (2009): Role of dietary zinc in heat stressed poultry: a review. *Poultry Sci.*, 88. 2176-83.
- Szabó, Zs. – Kőrösiné, M.A. – Podmaniczky, B. – Végi, B. – Horel, K. (2009): A fiatalokori hőkezelés hatása a brojlerek teljesítményére és húsmínőségére. *Állattenyésztés és Takarmányozás*, 58. 173-191.
- Tokodyné Szabadi, N. – Tóth, R. – Lázár, B. – Drobnyák, Á. – Kőrösiné Molnár, A. – Patakiné Várkonyi, E. – Liptói, K. – Gócza, E. (2019): Developing an effective method to eliminate the negative effects of climate change in chicken: the role of miR-138 in adaptation. *Proceedings of the XIth European symposium on Poultry Genetics*. ISBN 978-80-907442-4-0. 87.
- Tokodyné Szabadi, N. – Tóth, R. – Lázár, B. – Gócza, E. (2020): Klímaváltozás káros hatásainak kivédése baromfiban. *Tavaszi Szél - Spring Wind 2019 I. kötet* Budapest, Magyarország: Doktoranduszok Országos Szövetsége, 164-171.
- Varasteh, S. - Braber, S. - Akbari, P. - Garssen, J. - Fink-Gremmels, J. (2015): Differences in susceptibility to heat stress along the chicken intestine and the protective effects of galactooligosaccharides. *PLoS One*, 10. (9) e0138975.
- Wang, S. H. - Cheng, C. Y. - Tang, P. C. - Chen, C. F. - Lee, Y. P. - Huang, S. Y. (2015): Acute heat stress induces differential gene expressions in the testes of a broiler-type strain of Taiwan country chickens. *PLoS One*, 10. (5) e0125816.
- West, B. - Zhou, B. X. (1989): Did chickens go north? New evidence for domestication. *World Poultry Sci. J.*, 45. 205-218.
- Wolfenson, D. - Frei, Y. F. - Snapir, N. - Berman, A. (1981): Heat stress effects on capillary blood flow and its redistribution in the laying hen. *Pflugers Arch.*, 390. 86-93.
- Wong, G. K. és 114 társszerző (2004): A genetic variation map for chicken with 2.8 million single-nucleotide polymorphisms. *Nature*, 432. 717-22.
- Xie, J. - Tang, L. - Lu, L. - Zhang, L. - Xi, L. - Liu, H. C. - Odle, J. - Luo, X. (2014): Differential expression of heat shock transcription factors and heat shock proteins after acute and chronic heat stress in laying chickens (*Gallus gallus*). *PLoS One*, 9. (7) e102204.
- Xin, H. - Harmon, J. D. (1998): Livestock industry facilities and environment: Heat stress indices for livestock. *Agriculture and Environment Extension Publications*, 163.
- Zhang, W. W. - Kong, L. N. - Zhang, X. Q. - Luo, Q. B. (2014): Alteration of HSF3 and HSP70 mRNA expression in the tissues of two chicken breeds during acute heat stress. *Genet. Mol. Res.*, 13. (4) 9787-9794.
- <https://innovad-global.com/innovad-develops-first-high-concentration-stable-liquid-vitamin-solution>

Érkezett: 2019. december

A szerzők címe: Tokodyné Szabadi N. - Sima K. - Tóth R. - Lázár B. - Gócza E.
Nemzeti Agrárkutatási és Innovációs Központ, Mezőgazdasági
Biotechnológiai Kutatóintézet

Authors' adress: National Agricultural Reserch and Innovation Centre, Agriculture
Biotechnology Institute
H – 2100, Gödöllő Szent-Györgyi Albert u. 4.
tokodyne.szabadi.nikolett@abc.naik.hu

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