

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 mérsélkelhetők 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 mindeztől 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 stresszszorral 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 HŐSTRESSZ 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. kitágulásával, 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)

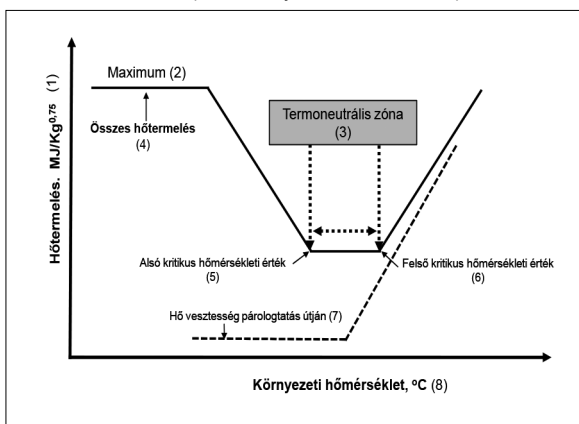


Figure 1 Relationship between the heat production of animals and the ambient temperature. The thermoneutral zone (Babinszky and Halas, 2019b)

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)
Szoptató 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 CO_2 távozik a szervezetből. A CO_2 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)

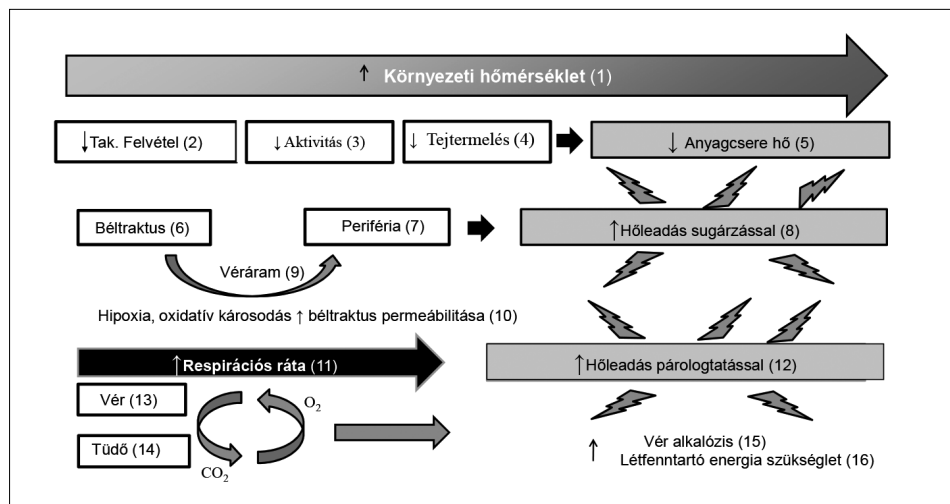


Figure 2. Overview of heat management in the pig (Cottrell et al., 2015)

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 száját; 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 hízósértések esetén
(Vandelannoote és mtsai, 2020)

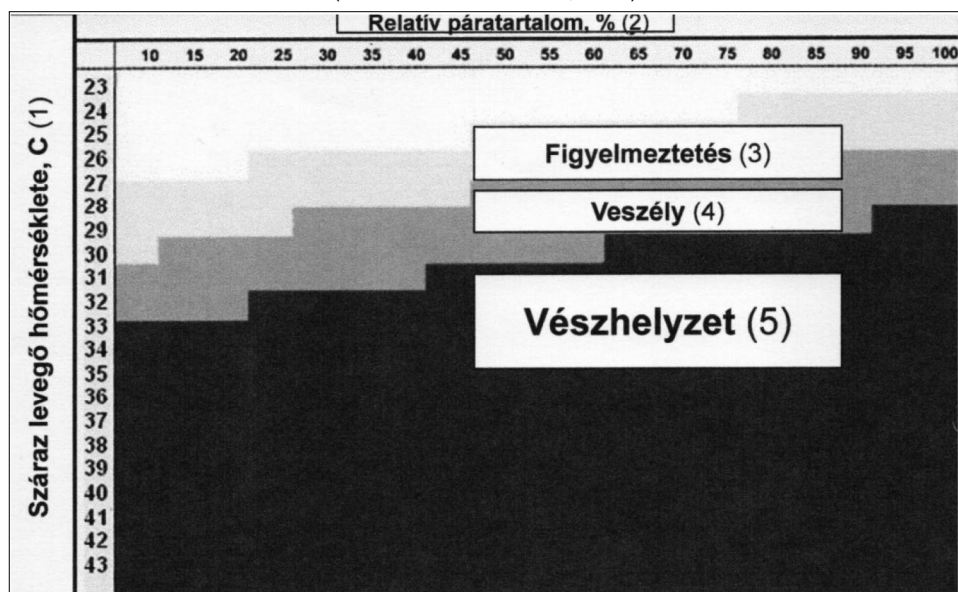


Figure 3. Temperature and humidity stress index for growing and fattening swine

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 így módon megvédik az egészséges sejteket. Megkülönböztünk enzimatis és nem-enzimatis 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 ($O_2^{\cdot-}$), a NADP⁺-oxidáz pedig hidrogén-peroxidot (H_2O_2) termel ①. Az $O_2^{\cdot-}$ 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 inaktíválja, ezért a hidrogén-peroxidnak vízzel és molekuláris oxigénné történő bontását a kataláz enzim végzi, amely első sorban 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.

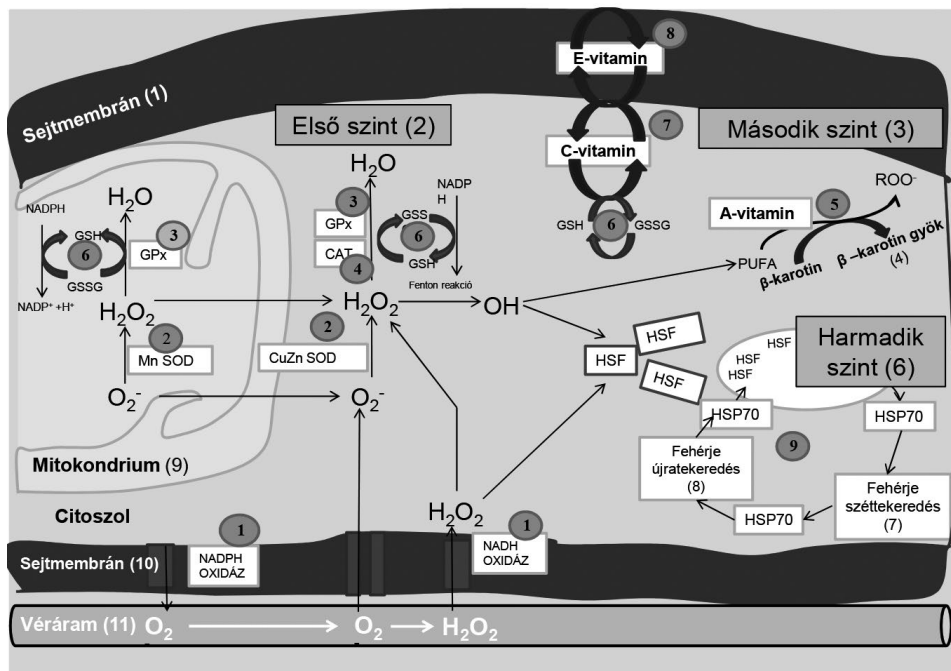
Az első védelmi vonallal egy időben működik az ún. második védelmi vonal, amelybe a kis molekulájú antioxiidáns típusú vegyületek detoxifikációs, ill. regenerációs reakciói tartoznak. A GSH-nak fontos szerepe van a sejtek redoxciklusában. Ez a tripeptid, az élő szervezet legjelentősebb kis molekulájú 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, $O_2^{\cdot-}$, 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; H_2O : víz; H_2O_2 : hidrogén peroxid; HSF: hőssokk faktor; HSP70: hőssokk fehérje 70; Mn SOD: mangán szuperoxid-dizmutáz; NADH: nikotinamid-adenin-dinukleotid; NADP⁺: oxidált nikotinamid-adenin-dinukleotid-foszfát; NADPH: nikotinamid-adenin-dinukleotid-foszfát; O_2^- : 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; H_2O = water; H_2O_2 = 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, O_2^- = 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 szaka-szainak 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 hizlalás 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)

Megnevezés (1)	„A” genotípus ¹ (2)		„B” genotípus ² (3)		Statistikai analízis (P-érték) (4)		
	22°C	30°C	22°C	30°C	Gen. ⁴ (6)	Hőm. ⁵ (7)	Gen. x Hőm. ⁶ (8)
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, kereskedelembe kapható fajta; ²Kereskedelembe kapható fajta x Brazil Piauí (F-1); ³Root Mean Square Error; ⁴Genotípus; ⁵Környezeti hőmérséklet; ⁶Genotípus x környezeti hőmérséklet interakció; ⁷Átlagos napi takarmányfelvétel; ⁸Átlagos napi súlygyarapodás; ⁹Fajlagos takarmányértékesítés; ¹⁰Hátszalónna 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 Piauí 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 energianyerésre 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 hővesztességgel 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 esetében 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 többek 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. Kíváncsú, 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 élősúlyú 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 ionegyensúlyának 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-homerseklet-karos-hatasainak-csokkentese-a-sertes-es-brojlertakarmanyozasban>
- 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-haszonallatok-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. 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)) <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.