

A hőstressz hatása az élettani és viselkedési paraméterek alakulására választás előtti borjaknál és tejelő teheneknél

Szalai Szilvia^{1*}, Bodnár Ákos², Jurkovich Viktor³

¹Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Állatbiotechnológiai és Állattudományi Doktori Iskola, Gödöllő, Magyarország

²Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Állattenyésztési Tudományok Intézet, Állattenyésztés-technológiai és Állatjóléti Tanszék, Gödöllő, Magyarország

³Állatorvostudományi Egyetem, Állatvédelmi Központ, Budapest, Magyarország

*Levelező szerző, e-mail: Szalai.Szilvia.2@phd.uni-mate.hu

Beérkezett: 2025. július 27.; elfogadva: 2026. február 6.

Összefoglalás

A kutatás célja a hőstressz viselkedési és élettani paraméterekre gyakorolt hatásainak vizsgálata volt olyan kritikus időszakokban, mint a választás előtti borjúkor, a laktáció csúcsa, valamint az ellés és az ivarzás körüli napok tejhasznú szarvasmarhában. A borjak árnyékolása hőstressznapokon mérsékelte a rektális hőmérsékletet, a légzésszámot, a szívritmusértékeket és a kortizolszintet. Nagy termelésű tehenek laktációs csúcsa körül nagyobb légsebességű ventilátorok hatékonyan csökkentették a testhőmérsékletet, és pozitív hatással voltak a fekvési viselkedés, a kérődzési idő és a napi tejtermelés alakulására. Az ellés körüli hőstressz magas tranzíciós megbetegedési aránnyal járt, amelynek előrejelvezhetőségét vizsgáltuk az ellést megelőző öt és az ellést követő tizennégy nap bendőhőmérséklet, kérődzési idő és aktivitás adatai alapján. A hőstressz során az ösztradiol kiegyenlítettebb volt G7G ovulációsinkronizáció mellett, szemben a hagyományos OvSynchhel. Az ivarzási viselkedést érzékszervi bírálat, kamerafelvételek és aktivitásjelző rendszer adatai alapján értékeltük; a hőstresszes és a hősemleges időszakokban jelentős eltéréseket tapasztaltunk.

Kulcsszavak: hőstressz, tejelő szarvasmarha, viselkedés és élettan, hőmérséklet-páratartalom-index

The effect of heat stress on the physiological and behavioural parameters of pre-weaning calves and lactating dairy cows

Szilvia Szalai¹, Ákos Bodnár², Viktor Jurkovich³

¹Hungarian University of Agriculture and Life Sciences, Doctoral School of Animal Science, Gödöllő, Hungary

²Hungarian University of Agriculture and Life Sciences, Institute of Animal Sciences, Department of Animal Husbandry and Animal Welfare, Gödöllő, Hungary

³University of Veterinary Medicine, Centre for Animal Welfare, Budapest, Hungary

Summary

The aim of this study was to investigate the effects of heat stress on behaviour and physiological parameters during critical periods such as the pre-weaning phase in calves and peak lactation, peripartum and estrus periods in dairy cows. We have studied the acute physiological responses of calves (n=8 shaded, n=8 unshaded) to heat stress over a 5-day period. Providing shade to calves on days of heat stress significantly reduced their rectal temperature, respiratory rates, heart rates, and cortisol levels. On heat-stress days, the average and maximum values of rectal temperature, respiratory and heart rates were higher in unshaded calves. Based on our results, shading of young calves is an adequate method for alleviating acute heat stress. In high-yielding dairy cows, we assessed the effectiveness of tem-

perature-dependent fans with higher air speed during peak lactation (days 80–180 in milk). Air velocity was significantly higher in the experimental barn (1.5–2.5 m/s) compared to the control barn (0.2–0.5 m/s). Cows in the experimental group exhibited lower vaginal temperature, lying behaviour did not differ significantly, and eating and rumination time increased toward the end of the study. The average milk yield per day was consistently higher by approximately 3 L/day ($p < 0,05$). These findings suggest that enhanced ventilation can effectively reduce physiological heat stress and support productivity under warm conditions. The incidence and predictability of periparturient diseases under heat stress were analysed using rumen temperature, rumination time, and activity data from 5 days before to 14 days after calving. Rumination time decreased before calving, hitting the lowest point two days after birth in sick cows. Activity levels increased before calving but took longer to return to normal in sick cows. These findings underscore the value of precision monitoring tools for early disease detection and intervention. The impact of heat stress on oestrous behaviour and conception rates was evaluated using hormonal assays, visual scoring, video recordings, and activity monitoring systems. Estrus behaviour, especially standing and mounting, was significantly reduced under heat stress, occurring five to seven times more frequently in winter than in summer. Estrus detection rate was 86% in winter and 53% in summer. Pregnancy rates also declined sharply in summer (10%) compared to winter (39%), with all summer pregnancies in the G7G group. Hormonal analysis showed that estradiol levels remained consistent in the G7G group, whereas in the OVS group, it was significantly higher in winter than in summer. Our findings indicate that heat stress impairs estrus expression and pregnancy rates in dairy cows. However, the choice of hormone synchronisation protocol (G7G) and the use of an automated estrus detection system may help to improve reproductive performance during this season.

Keywords: heat stress, dairy cattle, behaviour and physiology, temperature-humidity index

1. Bevezetés

Az egyre gyakrabban előforduló szélsőségesen meleg időjárási környezet rontja a szarvasmarhák jóllétét és termelési mutatóit (Kovács *et al.* 2020), továbbá növelheti elhullási arányukat (Morignat *et al.* 2015). A hőstressz közvetlen és közvetett hatással lehet az állatok normál élettani, anyagforgalmi, hormonális működésére és immunrendszerére. A választás előtti borjak hőstressz elleni védelmére kevesebb figyelmet fordítanak, mivel nagyobb testfelület/testtömeg arányuk miatt kisebb a hőterhelésük, mint a termelő teheneké (Broucek *et al.* 2009). A születés utáni hőterhelés azonban nagymértékben befolyásolhatja a felnevelés eredményességét (Tao–Dahl 2013; Dado–Senn *et al.* 2020). A hőterhelés csökkentésére különböző stratégiák alkalmazhatók: például az etetési idők eltolása hűvösebb időszakokra (Polisky–Keyserlingk 2017), takarmánykiegészítők etetése. Azonban bizonyos hőmérséklet és páratartalom felett csupán a párologtató hűtés és a szellőztetőrendszerek (ventilátorok és vízpermetezők) bizonyulnak hatékonyak (Armstrong 1994). A légmozgást elősegítő és a konvekciót növelő ventilátorberendezések csökkenthetik a légzsámszámot és a rektális hőmérsékletet, valamint elősegítik a szárazanyag-felvételt (Ji *et al.* 2020).

A szárazon álló tehenek hőstressz elleni védelme kiemelten fontos, hiszen a hőstressz negatív hatással lehet különböző paraméterekre – születési súly, az ellés lefolyása, termelésbe lendülés, tranzíciós betegségek kialakulásának kockázata stb. –, amelyek jelentősen befolyásolják az állatok élettartamát és a tejtermelés jövedelmezőségét (LeBlanc 2010). Az ellést követő első tíz laktációs napban végzett kórmonitorozás alapján korán fel lehet ismerni azokat a teheneket, amelyeknél nagyobb valószínűséggel alakulnak ki egészségügyi problémák a laktáció első hónapjában (Calamari *et al.* 2014). Az ellés

előtti kórjelzési információk ígéretes eredményeket mutatnak az ellés utáni metritis és szubklinikai ketózis kockázatának kitett tehenek azonosításában (Schirmann *et al.* 2013; Cocco *et al.* 2021).

A nyári gyenge fertilitás a különféle stresszhatások kumulatív hatásainak eredménye, amelyek közvetlen és közvetett mechanizmusok révén befolyásolják a reprodukív hormonháztartás egyensúlyát, rontják a petesejtek minőségét, és gátolják az embrió optimális fejlődését (Pereira *et al.* 2015; Dovolou *et al.* 2023). A megnövekedett testhőmérséklet megváltoztatja a tehenek állási és fekvési viselkedését (Allen *et al.* 2015), továbbá befolyásolja az ivarzás időtartamát és intenzitását (Hansen 1997). Kísérleteink célja a hőstressz viselkedésre és élettani paraméterekre gyakorolt hatásainak feltérképezése olyan kritikus időszakokban, mint a választás előtti borjúkor, a laktáció csúcsa, valamint az ellés és az ivarzás. A borjak árnyékolásának és a magas tejtermelésű tehenek hűtésének hatását vizsgáltuk különböző viselkedési és élettani paramétereken keresztül, továbbá az ellés körüli megbetegedések előrejelezhetőségét és az ivarzási viselkedés változását hőstresszes időszakokban. Jelen közlemény az első szerző doktori kutatásainak rövidített összefoglalása.

2. Anyag és módszer

A hőstressz hatását vizsgáltuk a viselkedési és élettani paraméterekre eltérő korcsoportokban és laktációs stádiumokban, kiemelten a tejelő szarvasmarha ágazatot érintő kritikus időszakokban, mint például a választás előtti időszak, a laktáció csúcsa, az ellés és az ivarzás. A hőmérséklet és a relatív páratartalom méréséhez VOLT-CRAFT DL-181THP (Conrad Electronic SE, Hirschau, Németország) adatrögzítőket helyeztünk az állatok mikrokozmoszába. A hőmérséklet–páratartalom-indexek kiszá-

mítása Mader és szerzőtársai (Mader et al. 2006) képlete alapján történt:

$$THI = (0,8 \times T) + (RH/100) \times (T - 14,4) + 46,4$$

ahol T = száraz léghőmérséklet (°C), RH = relatív páratartalom (%).

2.1. Első kísérlet

A tejhasznú, választás előtti borjak hőstresszre adott akut élettani válaszait értékeltük árnyékolt és nem árnyékolt környezetben (Szalai et al. 2022). Rektális hőmérsékletet, légzésszámot és szívritmust mértünk, összefüggéseket keresve az élettani mutatók, a környezeti hőmérséklet, a relatív páratartalom és a THI között. Emellett nem invazív nyálmintavételi protokollt dolgoztunk ki a kortizolkoncentráció méréséhez, ami alapján értékeltük az árnyékolás kedvező hatását.

2.1.1. Kísérleti elrendezés, állatok

Az árnyékoló szerkezethez szoktatás a vizsgálatok előtti két napon megtörtént. Az 1. kísérleti napon (kontroll, max. 28,3 °C) az összes borjú (n=16) (életkor = 46,7 ± 2,4 nap, testtömeg = 74,3 ± 2,6 kg) árnyékolva volt huszonnégy órán keresztül, majd az árnyékolót (32,5 × 3,4 m zöld raschelháló) eltávolítottuk a borjúházak feléről, kialakítva ezzel az árnyékolt (n=8) és nem árnyékolt (n=8) csoportokat. A kísérlet 2. napját tekintettük hőstresszes napnak (max. 37,7 °C az árnyékolt borjúházak környezetében), a 3–5. napot pedig a stressz utáni időszaknak (3. nap max. 30,3 °C, 4. nap max. 26,5 °C, 5. nap max. 24,3 °C az árnyékolt borjúházak környezetében).

2.1.2. Viselkedési és élettani paraméterek

A légzésszámot (belégzés/perc) az oldalsó hasizmok légzés közbeni mozgásának számlálásával figyeltük meg és rögzítettük az 1. nap 0:00 óra (első megfigyelés) és az 5. nap 24:00 óra (utolsó megfigyelés) között, négyóránként, minden kísérleti állat esetében.

A légzésszám megfigyelését követően azonnali rektális hőmérsékletmérés következett (Digi-Vet SC 12; Jørgen Kruuse A/S, Langeskov, Dánia).

A szívritmust PolarV800 órával (elektródaöv+szenzor) rögzítettük a kísérleti 1. nap (0:00 óra) és az 5. nap (24:00 óra) között. A nyálmintavételekhez szintetikus tampont (Salivette cortisol, Sarstedt, Nümbrecht-Rommelsdorf, Németország) használtunk négyórás időközönként. A kortizolszintet extrakció nélküli, közvetlen radioimmunoassay (RIA) eljárással határoztuk meg.

2.2. Második kísérlet

Nagyobb légsebességet biztosító ventilátorok alkalmazása mellett figyeltük meg a tehén- és istállóhűtés hatékonyságát különböző élettani és viselkedési paraméterek alapján.

2.2.1. Kísérleti elrendezés, állatok

Két nagy termelésű csoportból húsz-húsz állatot jelöltünk ki kísérleti istállóban (1B, új lamellás, hőmérséklettől függő teljesítményű ventilátorok; VES ECV Air; VES-Artex, Chippewa Falls, WI, USA), illetve kontroll-istállóban (3B, meglévő régi típusú ventilátorok). Mindkét istálló déli oldalról nyitott, mélyalmos, külső karámszerrel és párasítóval felszerelt fedett etetőúttal. A mintavételek a nyár folyamán történtek négy alkalommal.

2.2.2. Viselkedési és élettani paraméterek, adatgyűjtés

Az állatok testhőmérsékletét hatóanyagmentes CIDR (Zoetis Co., Parsippany, NJ, USA) applikátorba erősített iButton (Maxim Integrated Products Inc., San Jose, CA, USA) hőmérséklet-adatgyűjtővel, harmincperces gyakorisággal rögzítettük, öt napon keresztül a mintavételi alkalmakkor. A fekvési viselkedést mintavételenként három napon keresztül szenzoros adatgyűjtővel rögzítettük (HOB0 Pendant G Logger; Onset Computer Corp., Bourne, USA), amelyet az állatok bal hátsó lábára erősítettünk rugalmas pólya segítségével. A telepírányítási rendszerből (AfiCollar; Afimilk., Afikim, Izrael) kinyert adatok alapján elemeztük a takarmányfelvételt, a kérődzést és a napi tejtermelést májustól augusztusig, a laktáció 80–180. napjáig.

2.3. Harmadik kísérlet

A kísérlet során az ellést megelőző öt és az ellést követő tizennégy napon keresztül vizsgáltuk az állatok testhőmérsékletét, aktivitását és kérődzési idejének alakulását hőstresszes időszakban, egészséges és tranzíciós megbetegedésben szenvedő csoportokban (Szalai et al. 2025a). Precíziós eszközök (nyaktranszponder, bendőbólush) által gyűjtött adatok elemzésével összefüggéseket kerestünk a betegségek előrejelzési lehetőségeivel, továbbá elemeztük az élettani paraméterek hőstressz alatti normalizálódásának alakulását.

2.3.1. Kísérleti elrendezés, állatok

A kísérletbe összesen negyven klinikailag egészséges, többször ellett tehén került bevonásra (átlagos laktációs szám: 3,1 ± 1,2; testkondíció-pontszám (BCS): 3,7 ± 0,3), hőstressz-időszakban (június–augusztus). A tehének peripartum egészségi állapota alapján két vizsgálati csoportot alakítottunk ki: egy egészséges csoportot (HE, n=26; 14. DIM napig nem mutattak megbetegedést), illetve egy beteg csoportot (DI, n=14; tranzíciós megbetegedést diagnosztizálva: ketózis, mastitis, metritis, magzatburok-visszamaradás).

2.3.2. Viselkedési és élettani paraméterek

A kérődzési idő és az aktivitás mérése (RuminAct® HR-Tags, SCR Engineers Ltd., Netanya, Izrael) nyaktranszponderrel történt, amely kétórás időintervallumokban rögzítette az adatokat. A recésbendő-hőmérséklet mérése tízperces gyakorisággal, SmaXtec (SmaXtec Animal Care GmbH, Graz, Ausztria) bóluszokkal valósult meg. A kísérleti intervallum során képződött adatokat a Heat-time Pro programból és a SmaXtec applikációból Excel táblázatba exportáltuk további statisztikai elemzésre.

2.4. Negyedik kísérlet

A nyári vemhesülési eredmények jelentős csökkenése mögötti viselkedésbeli és élettani változásokat vizsgáltuk a kísérlet során (Szalai et al. 2025b). A hőstresszes időszakban az ivarzás kifejeződése jelentősen korlátozódik, valamint a hormonszintek alakulása, az aktivitás mértéke és eloszlása is változik.

2.4.1. Kísérleti elrendezés, állatok

A kísérletben ötvennyolc klinikailag egészséges, ovulációs-zinkronizált tehén vett részt hősemleges (NHS; THI_{max}=48; n=28) és hőstresszes (HS; THI_{max}=80; n=30) időszakban. Az állatok az alkalmazott hormonprogram szerint mindkét időszakban G7G és OvSynch (OS) csoportra voltak osztva, a következők szerint: HS-G7G: n=15; laktációs napok száma (DIM): 68,1 ± 1,9; ellések száma: 2,1 ± 1,2; HSOVS: n=15; DIM: 160,7 ± 64,6; ellések száma: 1,9 ± 0,6; NHSG7G: n=15; DIM: 66,1 ± 1,6; ellések száma: 2,7 ± 1,2; NHSOVS: n=13; DIM: 157,3 ± 64,1; ellések száma: 2,5 ± 1,3. A G7G programba a 48±3 DIM tehének kerültek, az OvSynchbe a sikertelen termékenyülést követően. A G7G program a következők szerint zajlott: prosztaglandin F2α (PGF2α; kloprosztenol, 0,250 mg, 2 ml, Syncoprost; Vetem S.p.A., Porto Empedocle, Olaszország) injekció, amelyet két nappal később gonadotropin-felszabadító hormon (GnRH; gonadorelin, 50 µg, 2 ml, Ovarelin; Ceva Santé Animale, Libourne, Franciaország) beadása követett. Ezt követően, hét nappal később egy hétnapos OvSynch (OVS) protokollt alkalmaztunk dupla PGF-kezeléssel, amely a következőképpen épült fel: GnRH, hét nap, PGF2α, 24 óra, PGF2α, 32 óra, GnRH, 16 óra, majd időzített mesterséges termékenyítés. A vemhességvizsgálat a 35. napon membránslip technikával történt.

2.4.2. Vérvétel, ivarzás, kamerarendszer, aktivitásmérő

Közvetlenül a termékenyítést megelőzően vért vettünk a tehének färokvénájából a hormonvizsgálatokhoz, majd az ivarzási jelek értékelését 1-től 3-ig terjedő skálán pontoztuk három paraméter alapján: ivarzási nyálka mennyi-

sége, leugrálás nyomai, méh errigáltsága. Az ivarzási viselkedésformák megfigyeléséhez a termékenyítést megelőző tizenkét órában Smart PSS (DH Vision Inc., Hannover, MD, USA) éjjellátó kamerarendszert alkalmaztunk, amely a teljes istállót lefedte, továbbá a felhajtóutat és az elővárakozót. Az aktivitási adatokat a BouMatic HeatSeeker (BouMatic, Madison, WI, USA) nyaktranszponder rögzítette.

3. Statisztikai módszerek

Az adatok normál eloszlását Levene-teszttel, a hibavariancia-egyenlőséget Shapiro-Wilk-próbával végeztük az árnyékolt és nem árnyékolt csoportnál egyaránt. Az állatalapú hőstresszindikátorok és a termikus paraméterek közötti összefüggéseket Pearson-féle korrelációval értékeltük. Fisher-féle z-transzformáción alapuló z-teszt segítségével 0,05 szignifikancia mellett megvizsgáltuk, hogy van-e különbség a korrelációs együtthatók között a környezet alapján (árnyékolt vs. nem árnyékolt). Az árnyékolás hatását az állatok termikus mikrokozonyzetére a meteorológiai adatok alapján t-próbával hasonlítottuk össze 0,05 szignifikanciaszinten. A nyálkörtizol-koncentrációt árnyékolt és nem árnyékolt borjaknál lineáris kevert modellek alkalmazásával hasonlítottuk össze.

Hatékonyabb hűtéstechnológia mellett a hőstresszre adott válaszok és magyarázó változók közötti összefüggések értékelésére lineáris vegyes modelleket illesztettünk. A modellekben fix hatásként szerepeltek: a csoport (kísérleti vs. kontroll), a termelési nap/hét, a külső hőmérséklet, a mintavétel időpontja, a napszak, valamint ezek kétváltozós interakciói. Random (véletlen) hatásként pedig az állatok azonosítója (fülszám) mint „egyedi” hatás került bevonásra. A modellkiválasztás az Akaike-információs kritérium (AIC) értékének nagyságán alapult, elsősorban a nem szignifikáns tényezők fokozatos elhagyásával. A csoportok közötti utólagos összehasonlításokat a Bonferroni-Holm-módszerrel korrigált p-értékek alapján végeztük. A szignifikanciaszintet p<0,05-ben határoztuk meg.

Az átlagos, illetve maximum napi bendőhőmérséklet és átlagos, illetve maximum napi THI összefüggését a korrelációs együtthatóval jellemeztük. A napi átlagos kérődzési időt és aktivitást a csoportok között lineáris kevert hatású modellel hasonlítottuk össze.

Az ivarzásszinkronizációs protokollok és az évszak hatásának elemzése során a kategorikus változók esetében a csoportokon belüli arányokat évszakonként hasonlítottuk össze Fisher-féle egzakt próba segítségével. A folytonos változók esetében a paraméterek átlagait csoport, évszak, valamint ezek interakciós tényezője mentén két-faktoros varianciaanalízissel (ANOVA) vizsgáltuk. A post hoc elemzések során a többszöri összehasonlításból adódó hibalehetőségek korrekciójára Tukey-féle módszert alkalmaztunk. A statisztikai szignifikanciaszint minden esetben p<0,05 értékben került meghatározásra.

4. Eredmények

4.1. Első kísérlet

4.1.1. Az élettani paraméterek összefüggése a THI-vel

Az 1. napon (kontroll) nem találtunk statisztikailag igazolható eltérést a környezeti hőmérséklet maximális és átlagértékeiben ($p=0,875$, $p=0,920$), illetve a THI-ben ($p=0,930$, $p=0,945$). A 2. nap (0:00 óra) és 4. nap (24:00 óra) között mért értékek bizonyítják az árnyékolás pozitív hatását a hőkönyezetre. A 2. napon megfigyelt maximális hőmérséklet és THI 16:00 órákor a nem árnyékolt egyedi ketrec környezetében magasabb volt, mint az árnyékolt kísérleti csoportnál ($43,7 \pm 0,1$ vs. $37,7 \pm 0,1$ °C, $p=0,005$ és $86,4 \pm 0,1$ vs. $78,2 \pm 0,1$ °C, $p<0,001$). Az árnyékolt egyedi ketrecekben a nem árnyékolt csoporthoz képest csökkent a hőterhelés, ami az átlaghőmérsékletben is tükröződött hőstressznapokon ($28,5 \pm 0,1$ vs. $24,2 \pm 0,1$ °C, $p<0,001$) és a THI-ben is ($78,1 \pm 0,1$ vs. $71,3 \pm 0,1$, $p=0,011$).

A maximum és az átlagos napi környezeti hőmérséklet az árnyékolt csoportnál alacsonyabb volt, mint a nem árnyékolt egyedi ketrecek környezetében a 3. kísérleti napon ($p<0,001$ és $p=0,005$) és a 4. napon ($p=0,008$ és $p=0,012$). A maximális és az átlagos THI hasonló eltérést mutatott az árnyékolt és nem árnyékolt csoportok között a posztstressz-időszak első két napján (3. nap $p=0,003$, $p=0,014$; 4. nap $p=0,015$, $p=0,026$). Az 5. napon nem volt különbség a maximális és az átlagos napi környezeti hőmérséklet ($p=0,395$, $p=0,420$), illetve a THI-értékek ($p=0,526$, $p=0,545$) között. A rektális hőmérséklet közepes korrelációt mutatott, míg a fiziológiai paraméterek esetében erős korrelációt tapasztaltunk a meteorológiai értékekkel. Ezek alapján a légzésszám és a szívritmus megfelelőbbnek bizonyult a rektális hőmérsékletnél az akut stressz mérésére tejelő borjakban.

4.1.2. Rektális hőmérséklet, légzési frekvencia, szívritmus, kortizol

Bár a rektális hőmérséklet átlagértékei nem tükrözték az árnyékolás pozitív hatását a 2. napon ($p=0,865$), a testhőmérséklet maximális értékeiben szignifikáns, de nem jelentős csoportbeli különbségeket találtunk ($0,5$ °C, $p=0,046$) a végbélben mért maximális testhőmérséklet között. Ezek az eredmények arra utalnak, hogy a kísérleti állatok hőszabályozó képessége megfelelően működött. Kísérletünkben nagyobb volt a különbség a 2. és 3. napon, ugyanis a nem árnyékolt környezetben a borjak maximális légzésszáma átlagosan 25,9 és 17,8 belégzés/perccel volt magasabb. A légzésszám napi átlaga is magasabb volt az árnyékolásban nem részesült borjaknál a 2. ($p=0,008$) és a 3. napon ($p=0,010$) árnyékolt társaikhoz képest. Az árnyék nélküli borjak még a 4. napon is szignifikánsan magasabb maximális légzésszámot mutattak ($p=0,025$), ami arra utal, hogy hosszabb időbe telik akklimatizálódniuk a hőterhelt környezethez.

Az árnyék nélküli borjaknak magasabb volt a maximális és az átlagos szívritmusuk a 2. napon ($p<0,001$ és $p=0,010$) és a 3. napon ($p=0,005$ és $p=0,012$), ami feltehetően a gyakoribb lélegzetvételek nyomán megnövekedett fizikai aktivitás következménye. A szívfrekvencia napközben fokozatosan emelkedett, 12:00 és 14:00 óra között érte el a maximumát. A minimumértékek 02:00 órákor voltak megfigyelhetők mind az árnyékolással ellátott, mind az árnyékolás nélküli borjak esetében a kísérlet teljes tartama során – az 5. nap kivételével, amikor a minimumok 04:00 órákor mutatkoztak.

Az átlagos nyálkortizol az árnyékolt borjaknál az 1. napon (kontroll) 6,5–10,2 ng/g, a nem árnyékolt borjaknál 6,7–9,3 ng/g között változott. A 2. napon mindkét csoportban kiegyensúlyozott maradt 8:00 óráig, majd hirtelen 51 százalékkal emelkedett az árnyékolt és 342 százalékkal a nem árnyékolt borjaknál. A csúcspont 12:00 óra körül érte el ($p=0,586$ és $p<0,001$). A nem árnyékolt csoportban magasabb kortizolkoncentrációt tapasztaltunk 12:00, 16:00 és 24:00 órákor ($p<0,001$, $p<0,001$ és $p=0,046$). Az árnyékolt borjak esetében a csökkenés (20:00 és 24:00 óra között, $p=0,009$) – a napali emelkedéshez hasonlóan (12:00 és 16:00 óra között, $p=0,025$) – négyórás késéssel következett be az árnyék nélküli borjakhoz képest. A 3. napon mindkét csoportban 12:00-kor tetőzött a nyál kortizolszintje, majd a délután folyamán az árnyék nélküli borjaknál a kortizolszint 16:00 órára a csúcspont felére csökkent (48,3 százalék, $p=0,039$), míg az árnyékos borjaknál a csökkenés mérsékelt volt (26,1 százalék, $p=0,675$). A 4. napon mindkét csoportban hasonló volt a 3. naphoz. Az 5. napon az árnyékos borjaknál 7,2 és 9,4 ng/g, az árnyék nélküli borjaknál pedig 8,0 és 11,9 ng/g között mozgott, mindkét csoportban visszatért a kontrollnapon mért értékekhez.

4.2. Második kísérlet

4.2.1. Az istálló mikroklímája, légsebesség

A napi átlagos hőmérséklet a kísérlet során meghaladta a 20 °C-ot, akár a napi átlag 30 °C magasságába is emelkedett. A napi átlagos THI-érték június és augusztus között néhány napot leszámítva meghaladta a 68-as hőstressz-határértéket. A hőmérséklet és a THI is igen magas volt a mintavételi időszakokban. A kísérleti és a kontrollistállóban egy tipikus, hőterhelt nyári napon a legalacsonyabb hőmérsékleti és THI-értékeket – ahogyan várható volt – hajnalban, 3 és 5 óra között lehetett mérni. Ezután fokozatosan növekedett a hőterhelés, amely délután 3 óra körül érte el a maximumot.

A légsebesség a kontrollistállóban 0,2–0,8 m/s, míg a kísérleti istállóban 1,5–2,8 m/s között változott. Az istállók területén egyenletesen elosztott tizenkét mérési pont alapján a számított átlagos légsebesség a kontrollistállóban $0,32 \pm 0,27$ m/s, míg a kísérleti istállóban $2,3 \pm 0,46$ m/s volt ($p<0,001$).

4.2.2. Vaginális hőmérséklet, fekvési viselkedés, takarmányfelvétel, kérődzés, tejtermelés

Az állatok hüvelyben mért testhőmérséklete szintén jellegzetes napi ritmust mutat a háromnapos mintavételi periódusban mind a négy alkalommal, és jól korrelál az istállóban mért hőmérséklettel és THI-értékkel. A hőstressz-periódusokban az állatok átlagos testhőmérséklete jóval meghaladta a 39,2 °C-os határértéket, akár 41,5 °C-os maximumértékkel. A hőség idején az új ventilátorok magasabb légsebesség miatti extra hűtő hatása jól megmutatkozott, a kísérleti csoportban az átlagos testhőmérséklet-értékek alacsonyabbak voltak.

A hőmérséklet emelkedésével az állatok kevesebb időt töltenek pihenéssel. A második mintavételi periódusban, amely egy kicsit hűvösebb volt a többi alkalomhoz képest, a fekvési idő megközelítette a kívánt értéket. A többi időszakban megmutatkozott a hőstressz hatása: az állatok kevesebb időt töltöttek fekvéssel. A legalacsonyabb értékek az első periódusban voltak megfigyelhetők, ekkor volt a legmelegebb.

A vizsgált állatok esetében a takarmányfelvétellel töltött idő 4,5 és 6,5 óra/nap között alakult a kísérlet idején. A két csoport között szignifikáns különbség mutatkozott ($p < 0,001$) a laktáció körülbelül 21. hetétől, ami elsősorban a tejtermeléssel volt összefüggésben.

A vizsgált tehenek kérődzési ideje az intenzív tartásban elfogadható normál érték tartományába esett: az átlagos napi nyolc óra kiváló, különösen hőstresszben, ami feltehetően a magas színvonalú, hőstresszre optimalizált takarmányozásnak köszönhető. A kérődzéssel töltött idő némileg csökkent a laktáció előrehaladtával, de a két csoport között nem volt jelentős különbség.

A tejtermelést a laktáció 80. napjától elemezttem, amikor a vizsgált állatok már biztosan a kísérleti és a kontrollcsoportban voltak. A két csoport közötti mintegy napi átlag 3 liter ($3,82 \pm 1,78$ liter) különbség minden időpontban statisztikailag szignifikáns volt ($p = 0,0390$). Ez részben magyarázható azzal, hogy a kísérleti csoport tehenei több időt töltöttek takarmányfelvétellel, ami feltehetően magasabb szárazanyag-felvételt jelent, másrészt a jobb hűtés következtében mérhető alacsonyabb testhőmérséklet miatt a hőstressz biológiai költsége (a kompenzáció energiaigénye) kisebb, így több energia maradt tejtermelésre.

4.3. Harmadik kísérlet

4.3.1. Hőmérséklet–páratartalom-index, bendőhőmérséklet

A kísérleti időszakban az állatok komoly hőstressznek voltak kitéve, amit a bendőhőmérsékleti és a környezeti hőmérsékleti értékek is alátámasztanak. Az ellések ebben a hőterhelt intervallumban zajlottak le, ami elősegíthette az ellés körüli megbetegedések kialakulását a hőstressz jól ismert immunsuppresszív hatása miatt. A bendőhőmérséklet 39 °C és 41 °C között mozgott, vagyis az álla-

tok fokozott hőstressznek voltak kitéve. A bendőhőmérséklet és a hőmérséklet–páratartalom-index között szignifikáns, de mérsékelt összefüggés áll fenn ($0,27$; $p < 0,0001$). Az átlagos bendőhőmérséklet az ellés körüli időszakban hasonló mintázatot követ az egészséges és a megbetegedett tehenek esetében is, az ellés napján jelentős fiziológiás csökkenéssel. A napi átlagos bendőhőmérséklet szignifikáns összefüggést mutatott az ellésig hátralévő napok, valamint az ellés utáni napok számával ($p < 0,0001$), továbbá a hőmérséklet–páratartalom-indexszel (THI) ($p < 0,0001$). Ugyanakkor a vizsgálati időszakban (-5 és $+14$ nap az elléshez képest) a posztpartum betegségek jelenléte nem volt szignifikáns hatással a bendőhőmérsékletre. A bendőhőmérséklet változására látszólag inkább az ellés, mint a THI változása volt hatással ebben az időszakban. Az ellés körüli fiziológiás testhőmérséklet-csökkenés hőstressz idején is megfigyelhető volt. A maximális testhőmérséklet esetenként elérte a 41 °C-ot, ami jelentős terhelés a szervezet számára.

4.3.2. Kérődzés, aktivitás

Az egészséges tehenek napi átlagos kérődzési ideje az ellést megelőzően 360 ± 45 perc, míg az ellést követően 400 ± 37 perc volt; ezzel szemben a beteg állatoknál alacsonyabb értékeket figyeltünk meg (330 ± 37 , illetve 291 ± 31 perc). A napi átlagos kérődzési időt (-5 és $+14$ nap az elléshez képest) szignifikánsan befolyásolta az ellés körüli napok száma ($p < 0,0001$), a posztpartum problémák jelenléte ($p < 0,0001$), valamint a hőmérséklet–páratartalom-index (THI) ($p = 0,0293$). A kérődzési idő a vemhesség utolsó napjaiban fokozatosan csökkent; a legalacsonyabb értéket az egészséges csoportban az ellést megelőző napon, míg a beteg csoportban az ellés utáni 2. napon (2. DIM) érte el. A két csoport között szignifikáns különbség volt kimutatható a $-1.$ és a 2. napon. A kérődzési idő az egészséges csoportban csökkent, míg a beteg állatok esetében nem változott jelentősen az ellés előtti napokon. A csökkenés azonban az egészséges tehenek esetében néhány napon belül normalizálódott, míg a beteg állatoknál ez jóval több időt igényelt. Az aktivitás az ellést megelőzően növekedett, majd az egészséges teheneknél az ellés utáni 4. napon, míg a beteg csoportnál csak az 5–7. napon tért vissza a normál értékre.

4.4. Negyedik kísérlet

4.4.1. Istállóklíma, hormonvizsgálat

A maximális THI-indexek a nyári kísérlet során szinte végig 68-as THI-küszöbértéket meghaladó, hőterhelt időszakot jelentettek a tehenek számára, ami nem biztosított kedvező feltételeket a megtermékenyülésnek és az embrió beágyazódásának, fejlődésének. Az ösztrogénhormonok közül az ivarzási viselkedésért felelős ösztrodial átlagos koncentrációja a G7G programban az évszaktól függetlenül hasonló értékeket mutatott, míg az OVS program esetében a téli időszakban szignifikánsan

magasabb volt ($p < 0,001$) a nyárihoz képest. A többi vizsgált hormon (LH, inzulin, prolaktin, IGF-1) koncentrációjában nem volt szignifikáns különbség a nyári és a téli időszakban.

4.4.2. Ivarzási viselkedés, vemhesülés

A hőstresszes időszakban a tehenek többsége nappal nem mutatott ivarzást. Egyes egyedek intenzíven mozogtak, társaikat követték és szaglástak, azonban a tipikus álló és felugró viselkedés a nyári vizsgálat során nem volt megfigyelhető. Álló és felugró viselkedés reggel volt jellemző, amikor fejés után a termékenyítésre vártak. Ezzel szemben télen a tehenek többsége közvetlenül a TAI-t megelőző napon, a délutáni GnRH-injekció beadása után kezdte mutatni az ivarzási viselkedést. Az álló és felugró viselkedés gyakorisága szintén eltért a két évszakban: télen ötször több (összesen 125 télen és 25 nyáron, átlagosan $10,4 \pm 12,4$ /tehen télen és $2,1 \pm 4,0$ /tehen nyáron) felugrás és több mint hétszer annyi (összesen 124 télen és 16 nyáron, átlagosan $10,3 \pm 11,6$ /tehen télen és $1,3 \pm 11,6$ /tehen nyáron) álló ivarzás volt megfigyelhető a kamerafelvételek alapján. A G7G program esetében a téli időszakban intenzívebb ivarzási viselkedés volt megfigyelhető. Amennyiben a csendes és az intenzív ivarzást mutató egyedeket egy csoportként kezeljük, az ivarzó állatok aránya nyáron 53 százalék, míg télen 87 százalék volt. A nyári időszakban az állatok csaknem fele egyáltalán nem mutatott ivarzási jeleket. Az OVS program esetében az ivarzó állatok számában nem volt statisztikailag igazolható különbség az évszakok között, ugyanakkor az ivarzási viselkedés megjelenési formája és időbeli eloszlása jelentősen eltért.

A vemhesülés arányának alakulását vizsgálva az évszak függvényében bebizonyosodott, hogy hősemleges időszakban mindkét hormonprogram eredményesebben működött. A G7G program esetében nem volt szignifikáns különbség az évszak tekintetében, míg az OVS programban részt vevő állatok közül szignifikánsan több ($p = 0,035$) tehen vemhesült a hősemleges időszakban. A téli időszakban a vizsgálatban részt vevő állatok 39 százaléka vemhesült, míg a nyári időszakban ez az arány mindössze 10 százalék volt; az érintett állatok mind G7G hormonprogramban részesültek.

5. Következtetések

Kísérleteink során a hőstressz hatásait vizsgáltuk különböző életszakaszokban. Eredményeink így többféle aspektusból világítják meg a beavatkozás fontosságát, annak érdekében, hogy az ágazat állatjóléti és gazdasági szempontból is hatékonyan tudjon termelni a hőterhelt időszakokban is.

Az árnyékolás hatékonyan csökkenti a hőstressz élettani és endokrin mutatókkal mérhető negatív hatásait a választás előtti tejhasznú borjakban. Eredményeink alapján egyértelműen javasolt a megfelelő mikroklíma kialakítása

– elsősorban az árnyékolás biztosítása – a nyári hónapokban, mivel ez elősegíti a borjak közérzetének javítását, az akut stressz mérséklését, és hosszú távon hozzájárul az állatjóléti és állategészségügyi szempontból kedvezőbb tartási környezethez. A szívfrekvencia és a légzésszám mint valós időben, nem invazív módon mérhető paraméterek hasznos eszközök lehetnek a hőstressz gyors detektálására és a preventív intézkedések célzott alkalmazására.

A megnövelt légsebesség javította a hőkomfortot, elősegítette a testhőmérséklet szabályozását, továbbá hozzájárult a jobb takarmányfelvételhez és tejtermeléshez. Tekintettel a globális hőmérséklet emelkedésére és az állattenyésztésre gyakorolt kedvezőtlen hatásokra, a tehen- és istállóhűtés optimalizálása – mint a légsebesség növelése – költséghatékony és fenntartható stratégiát kínál a hőstressz kezelésére.

Az ellés körüli időszakban jelentkező hőstressz jelentős hatással van a tejelő tehenek egészségi állapotára, mivel befolyásolja a kérődzési időt, a reticulorumen-hőmérsékletet és az aktivitást. Vizsgálatunk megerősítette, hogy a posztpartum megbetegedések kialakulása előtt már a vemhesség utolsó szakaszában csökken a kérődzési idő, ami potenciális korai betegségindikátorként szolgálhat. A reticulorumen-hőmérséklet az ellés körül csökkent, amit elsősorban maga az ellés befolyásolt; mérsékelt korrelációt figyeltünk meg a hőmérséklet–páratartalom-indexszel (THI) összefüggésben. Az aktivitás az ellés előtt nőtt, azonban a beteg állatoknál tartósabban fennmaradt ez a fokozott aktivitás, ami valószínűleg a diszkomfortérzet és a stressz következménye. Eredményeink rávilágítanak a precíziós monitoringrendszerek jelentőségére a korai detektálás és beavatkozás szempontjából, amelyek javíthatják az állatok egészségi állapotát, és támogatják a tranzíciós időszakot.

Az ivarzás felismerése alapvetően befolyásolja a tejtermelő szarvasmarhák szaporodásbiológiai eredményeit és az állomány termelékenységét. Hőstressz idején különösen fontos a másodlagos jelek – például aktivitásnövekedés, nyálkaürítés, péraikipulás, nyugtalanság, bógés, agonizálás, követés, szaglászás, nyaldosási viselkedés – megfigyelése és értékelése, mivel az ugrások gyakran elmaradnak, vagy csendes ivarzás formájában jelennek meg. Kísérleteink során a G7G protokoll kiegyensúlyozottabb hormonstátuszt és stabilabb ösztrodiolszintet biztosított nyáron is, ami növelte a sikeres vemhesülési arányt. A G7G programban részt vevő teheneknél nyáron és télen is hasonló ösztrodiolszinteket mértünk, míg az OVS csoportban nyáron szignifikánsan alacsonyabb volt az érték. Az aktivitásjelző rendszerek és az ovulációs szinkronizálás alkalmazása indokolt esetben hatékony kombináció lehet a tejelő állományok eredményes termékenyítése érdekében. A hűtési rendszerek alkalmazása megakadályozza az állatok testhőmérsékletének jelentős emelkedését, elősegítve ezzel a hormonális és anyagcseré-egyensúly fenntartását. A kiegyenlített vemhesülési eredmények biztosításával elkerülhetők a hullámozó ellés-

számok, ami hozzájárul a folyamatos, magas szintű tejtermeléshez és a gazdaság jövedelmezőségének fenntartásához.

Köszönetnyilvánítás

A kísérletek a C1785923. számú projekt keretében, a Kulturális és Innovációs Minisztérium Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a KDP-2021 pályázati program finanszírozásában valósultak meg.

A második kísérlet a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alap támogatásával valósult meg. Szerz. szám: 2018-1.1.2-KFI-2018-00147, a projekt címe: A hőstressz kivédését célzó komplex tartás- és takarmányozástechnológiai fejlesztés az immunfunkciók és a szaporodásbiológiai mutatók javításával.



Irodalomjegyzék

- Allen, J. D., Hall, L. W., Collier, R. J. & Smith, J. F. (2015) Effect of core body temperature, time of day, and climate conditions on behavioral patterns of lactating dairy cows experiencing mild to moderate heat stress. *Journal of Dairy Science*, Vol. 98. No. 1. pp. 118–127. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7704>
- Armstrong, D. V. (1994) Heat stress interaction with shade and cooling. *Journal of Dairy Science*, Vol. 77. No. 7. pp. 2044–2050. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(94\)77149-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(94)77149-6)
- Broucek, J., Kisac, P. & Uhrincat, M. (2009) Effect of hot temperatures on the hematological parameters, health and performance of calves. *International Journal of Biometeorology*, Vol. 53. No. 2. pp. 201–208. <https://doi.org/10.1007/s00484-008-0204-1>
- Calamari, L., Soriani, N., Panella, G., Petrer, F., Minuti, A. & Trevisi, E. (2014) Rumination time around calving: An early signal to detect cows at greater risk of disease. *Journal of Dairy Science*, Vol. 97. No. 6. pp. 3635–3647. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7709>
- Cocco, R., Canozzi, M. E. A. & Fischer, V. (2021) Rumination time as an early predictor of metritis and subclinical ketosis in dairy cows at the beginning of lactation: Systematic review and meta-analysis. *Preventive Veterinary Medicine*, Vol. 189. Article No. 105309. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2021.105309>
- Dado-Senn, B., Dahl, G. E., Quillet, V. & Laporta, J. (2020) Methods for assessing heat stress in preweaned dairy calves exposed to chronic heat stress or continuous cooling. *Journal of Dairy Science*, Vol. 103. No. 9. pp. 8587–8600. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18381>
- Dovolou, E., Giannoulis, T., Nanas, L. & Amiridis, G. S. (2023) Heat stress: A serious disruptor of the reproductive physiology of dairy cow. *Animals*, Vol. 13. No. 11. Article No. 1846. <https://doi.org/10.3390/ani13111846>
- Hansen, P. J. (1997) Strategies for enhancing reproduction of lactating dairy cows exposed to heat stress. In: *Proceedings of the 16th Annual Convention American Embryo Transfer Association*. Madison. pp. 62–72.
- Ji, B., Banhazi, T., Ghahramani, A., Bowtell, L., Wang, C. & Li, B. (2020) Modelling of heat stress in a robotic dairy farm. Part 4: Time constant and cumulative effects of heat stress. *Biosystems Engineering*, Vol. 199. pp. 73–82. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2020.07.014>
- Kovács, L., Kézér, F. L., Póti, P., Boros, N. & Nagy, K. (2020) Short communication: Upper critical temperature–humidity index for dairy calves based on physiological stress parameters. *Journal of Dairy Science*, Vol. 103. No. 3. pp. 2707–2710. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17459>
- LeBlanc, S. (2010) Monitoring metabolic health of dairy cattle in the transition period. *Journal of Reproduction and Development*, Vol. 56 Suppl. pp. 29–35. <https://doi.org/10.1262/jrd.1056S29>
- Mader, T. L., Davis, M. S. & Brown-Brandl, T. (2006) Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle. *Journal of Animal Science*, Vol. 84. No. 3. pp. 712–719. <https://doi.org/10.2527/2006.843712x>
- Morignat, E., Gay, E., Vinard, J. L., Calavas, D. & Hénaux, V. (2015) Quantifying the influence of ambient temperature on dairy and beef cattle mortality in France from a time-series analysis. *Environmental Research*, Vol. 140. pp. 524–534. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2015.05.001>
- Pereira, M. H. C., Wiltbank, M. C., Barbosa, L. F. S. P., Costa, W. M., Carvalho, M. A. P. & Vasconcelos, J. L. M. (2015) Effect of adding a gonadotropin-releasing-hormone treatment at the beginning and a second prostaglandin F_{2α} treatment at the end of an estradiol-based protocol for timed artificial insemination in lactating dairy cows during cool or hot seasons of the year. *Journal of Dairy Science*, Vol. 98. No. 2. pp. 947–959. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8523>
- Polsky, L. & Keyserlingk, M. A. G. von (2017) Invited review: Effects of heat stress on dairy cattle welfare. *Journal of Dairy Science*, Vol. 100. No. 11. pp. 8645–8657. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12651>
- Schirmann, K., Chapinal, N., Weary, D. M., Vickers, L. & Keyserlingk, M. A. G. von (2013) Short communication: Rumination and feeding behavior before and after calving in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, Vol. 96. No. 11. pp. 7088–7092. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7023>
- Szalai, S., Bodnár, Á., Fébel, H., Bakony, M. & Jurkovich, V. (2025a) Rumination Time, Reticulorumen Temperature, and Activity in Relation to Postpartum Health Status in Dairy Cows during Heat Stress. *Animals*, Vol. 15. No. 11. Article No. 1616. <https://doi.org/10.3390/ani15111616>
- Szalai, S., Bodnár, Á., Fébel, H., Bakony, M. & Jurkovich, V. (2025b) Effects of Heat Stress on Estrus Expression and Pregnancy in Dairy Cows. *Animals*, Vol. 15. No. 12. Article No. 1688. <https://doi.org/10.3390/ani15121688>
- Szalai Sz., Kovács L. & Bodnár Á. (2022) A hőstressz élettani hatásainak vizsgálata tejhasznú borjakon. In: Bene Sz. (szerk.) XXVIII. Ifjúsági Tudományos Fórum, Keszthely, 2022. május 19. Konferenciakötet. Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Georgikon Campus, Keszthely. pp. 77–82. <https://press.mater.uni-mate.hu/55/1/XXVIII.%20Ifj%C3%BAs%C3%A1lg%20Tudom%C3%A1nyo%20%C3%B3r%C3%B3m%202022.pdf>
- Tao, S. & Dahl, G. E. (2013) Invited review: Heat stress effects during late gestation on dry cows and their calves. *Journal of Dairy Science*, Vol. 96. No. 7. pp. 4079–4093. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-6278>

Open Access nyilatkozat: A cikk a Creative Commons Attribution 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) feltételei szerint publikált Open Access közlemény, melynek szellemében a cikk bármilyen médiumban szabadon felhasználható, megosztható és újraközölhető, feltéve, hogy az eredeti szerző és a közlés helye, illetve a CC License linkje és az esetlegesen végrehajtott módosítások feltüntetésre kerülnek. (SID_1)