

Wpływ stresu cieplnego na wartości parametrów biochemicznych krwi u bydła mlecznego

KRZYSZTOF LUTNICKI, KLAUDIA MIĘTKIEWSKA, ŁUKASZ KUREK

Zakład Chorób Wewnętrznych Zwierząt Gospodarskich i Koni, Wydział Medycyny Weterynaryjnej,
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Głęboka 30, 20-612 Lublin

Otrzymano 18.02.2021

Zaakceptowano 15.05.2021

Lutnicki K., Miętkiewska K., Kurek Ł.

Effect of heat stress on the values of biochemical blood parameters of dairy cattle

Summary

The aim of the study was to determine the effect of heat stress on differences between selected biochemical blood parameters in cows in June and October, taking into account different housing systems and cooling systems used. The research was carried out on 60 cows from stanchion barns (farm A) and loose-house barns (farm B). Material for research, venous blood, was collected at the same time, in the morning, after milking and clinical examination. Then, parameters describing the energy balance and the activity indexes of the parenchymal organs as well as the mineral balance were determined. Milk production in both farms was clearly lower in June than in October, but the difference between milk yields obtained from the two farms was over 15% in June and only less than 10% (5-6 kg of milk) in October. Both farms A and B showed an increase in aspartate aminotransferase and creatine kinase. In farm A, the statistically significant increase exceeded the normal physiological range, which could indicate developing disturbances in the locomotor system caused by the impact of high temperature. Energy balance disturbances occurred only in farm A, where a statistically significant decrease in glucose and cholesterol concentration was found in June samples, which, according to the authors, could be related to a higher energy demand. The results of biochemical tests of venous blood collected in June may indicate the onset of fatty liver in cows (decreased cholesterol, glucose, and total protein levels, as well as increased bilirubin levels and GGTP activity) as a consequence of exposure to high temperatures. Heat stress has a significant impact on the functioning of the cow's organism, which will not always be manifested by characteristic clinical signs. Accurate laboratory analyses make it possible to diagnose changes developing as a result of cows being exposed to heat stress.

Keywords: heat stress, dairy cattle, biochemical research

Dobrostan bydła mlecznego jest kluczowym elementem opłacalności, produkcji i zachowania zdrowotności stada (10, 18). Wysokie wskaźniki upadków w stadzie krów prawie zawsze wiążą się z niską jakością życia zwierząt (18). Ważnymi elementami dobrostanu są: zapewnienie odpowiedniej powierzchni przypadającej na zwierzę, dostęp do stołu paszowego, właściwe warunki klimatyczne oraz podłoża ograniczające występowanie kulawizn (6). Zaniedbania w zarządzaniu gospodarstwem mogą powodować szereg reakcji stresowych, które są przyczyną niekorzystnych zmian w organizmie krowy. Ze względu na zmieniający się klimat i wzrastające średnie temperatury powietrza, dużym problemem staje się stres cieplny. Rozwija się on w następstwie oddziaływania temperatury otoczenia przekraczającej neutralne dla krów wartości. Bezpośredni wpływ na wystąpienie stresu cieplnego

mają: wysoka temperatura i wilgotność względna powietrza, ruch powietrza oraz natężenie promieniowania słonecznego (15). Wartości określające strefę obojętności cieplnej dla krów, definiowaną jako zakres temperatur, przy których straty ciepła z organizmu są w równowadze z minimalną produkcją ciepła, to znaczy taką, z jaką mamy do czynienia w warunkach przemiany podstawowej, zostały określone w granicach $-0,5-20^{\circ}\text{C}$ (1, 22). Zapewnienie tych temperatur z wilgotnością względną wynoszącą 60-80% gwarantuje zachowanie komfortu cieplnego krów (22). Thom (21) zaproponował wskaźnik oceny ryzyka wystąpienia stresu cieplnego – THI – Temperature Humidity Index. Obecnie w użyciu jest kilka wskaźników stresu cieplnego. Hahn (13) opracował wzór uwzględniający przeciętną temperaturę otoczenia oraz przeciętną wilgotność względną powietrza:

$THI = (0,81 \times TAVE) + RHUM (TAVE - 14,4) + 46,4$, gdzie TAVE – przeciętna temperatura otoczenia (stopnie Celsjusza), RHUM – przeciętna wilgotność powietrza (%).

W większości opracowań wartość THI równa 72 jest przyjmowana jako dolna granica, po przekroczeniu której widoczne są pierwsze objawy stresu cieplnego. Akyuz i wsp. (2) podali przedziały wartości THI, które określają: stres łagodny 72-79, umiarkowany 79-89 oraz ciężki > 89. Wskaźnik THI nie obejmuje jednak wszystkich parametrów wpływających na możliwość wystąpienia stresu cieplnego u bydła. Ze względu na istotne znaczenie ruchu powietrza oraz promieniowania słonecznego opracowano wzory uwzględniające te parametry: LWSI (Livestock Weather Safety Index), BGHI (Black Globe Humidity Index) oraz ESI (Environmental Stress Index) (7). Wykazano, że uwzględniający ruch powietrza wskaźnik LWSI skuteczniej prognozuje ryzyko wystąpienia stresu cieplnego w porównaniu ze wskaźnikiem THI, jednak pomiary te nie zawsze można uznać za wiarygodne ze względu na wymaganą precyzję ich wykonania (14, 15). Badania donoszą, że wskaźnik BGHI wykazuje większe korelacje z temperaturą wewnętrzną krów określoną za pomocą pomiaru rektalnego oraz ze spadkiem wydajności mlecznej niż wskaźnik THI (5). Inną metodą określającą narażenie na stres cieplny jest wykorzystanie technologii termografii w podczerwieni do pomiaru temperatury powierzchni skóry krów w połączeniu z pomiarem wilgotności – wskaźnik STHI (Skin Temperature Humidity Index) (24).

Według najnowszych badań najlepszą metodą prognozowania ryzyka wystąpienia stresu cieplnego jest ocena warunków mikroklimatycznych w połączeniu ze wskaźnikami fizjologicznymi, takimi jak: pomiar rektalny temperatury wewnętrznej, waginalny pomiar temperatury wewnętrznej, temperatura w żwaczu oraz temperatura mleka. Dodatkowo cennych informacji dotyczących narażenia krów na wysoką temperaturę dostarczają wszczepiane w skórę termorejestratory oraz termografia na podczerwień (20). Dopelnieniem całości badań określających ryzyko wystąpienia stresu termicznego u krów są badania laboratoryjne, które powinny uwzględniać parametry biochemiczne: gospodarkę hormonalną i mineralną, równowagę kwasowo-zasadową, parametry funkcji wątroby i inne.

W sytuacjach narażenia na stres cieplny szczególnego znaczenia nabiera schładzanie pomieszczeń, w których przebywają zwierzęta, poprzez wietrzenie budynków w wyniku otwierania okien i drzwi, utrzymywanie krów w zacienionych miejscach, stosowanie wentylacji (grawitacyjnej i mechanicznej) oraz zraszanie w połączeniu z wentylacją mechaniczną (9, 14). Wentylacja mechaniczna to najczęściej wentylatory podciśnieniowe i wtłaczające świeże powietrze wentylatory nadciśnieniowe oraz systemy kombinowane, czyli wentylatory podciśnieniowo-nadciśnieniowe. Te systemy różnią się wielkością strumienia powietrza,

czyli objętościowym natężeniem jego przepływu. W przypadku wentylacji nadciśnieniowej mamy do czynienia z większym strumieniem powietrza nawiewanego, a w przypadku podciśnieniowej – wywiewanego. Prędkość powietrza wytworzona przez wentylację mechaniczną powinna wynosić 1-2 m/s, a krowa ważąca 635 kg powinna mieć zapewniony dopływ świeżego powietrza w ilości: 800, 289 i 85 m³, odpowiednio do warunków pogodowych gorących, łagodnych i zimnych (16). Częstym rozwiązaniem jest stosowanie połączenia wentylacji mechanicznej ze zraszaniem wodą pod niskim lub wysokim ciśnieniem (3).

Celem badań było określenie wpływu stresu cieplnego na parametry biochemiczne krwi krów, z uwzględnieniem różnych systemów utrzymania oraz zastosowanych systemów chłodzących. Porównano również średnie wartości wskaźników biochemicznych krwi w chłodnym i gorącym okresie roku (dwa różne miesiące: czerwiec i październik) w oparciu o analizę ryzyka wystąpienia stresu cieplnego na podstawie średnich temperatur powietrza oraz parametrów fizjologicznych krów (ciepłota wewnętrzna, częstość oddechów).

Materiał i metody

Badaniami objęto 60 krów mlecznych rasy holsztyńsko-fryzyskiej (HF), pochodzących z dwóch gospodarstw z terenu Lubelszczyzny. Zwierzęta w momencie zakwalifikowania do badań miały od 3 do 5 lat, były w dobrej kondycji (BCS 3,25-4) i nie wykazywały objawów chorobowych przed rozpoczęciem badań, a wydajność mleczna krów objętych doświadczeniem wynosiła w tym okresie od 25 do 40 kg mleka. Żywnienie zwierząt oparte było na systemie TMR, a dawkę pokarmową dostosowano do okresu fizjologicznego, masy ciała i wydajności mlecznej. W skład dawki żywieniowej wchodziły: kiszka z kukurydzy, sianokiszka, siano, słoma, mieszanka zbóż (jęczmień, pszenica i owies), młóto browarniane, dodatek białkowy i mineralny. Ponadto każda krowa, której wydajność mleczna przekraczała 30 kg mleka dostawała dodatkowo 1 kg paszy treściwej zawierającej: owies, jęczmień, pszenicę, kukurydzę, złożony dodatek mineralny i białkowy na każde 2 litry produkowanego mleka. Krowy w obu gospodarstwach były pod oceną użyteczności mlecznej w oparciu o raporty wynikowe i raporty z próbnego udoju. Wybrane do badań zwierzęta podzielono na dwie grupy.

Grupa pierwsza (gr. A) to 30 krów, utrzymywanych w systemie uwiązowym, gdzie oprócz otwierania okien i drzwi uruchamiano w upalne dni tylko podciśnieniowy wentylator mechaniczny z czujnikiem temperatury, umiejscowiony na ścianie przy wejściu do obory. Regulator temperatury uruchamiający wyciąg był ustawiony na 21°C. Podczas wykonywanych badań w czerwcu temperatura powietrza wewnątrz obory średnio wynosiła 26°C, natomiast w październiku 12°C.

Grupę drugą (gr. B) stanowiło 30 krów mlecznych przebywających w oborze wolnostanowiskowej z wysokim stropem i dwójgim drzwi wejściowych. W budynku zamontowano dwa duże wentylatory nadciśnieniowe z trzema czujnikami temperatury umiejscowionymi przy wejściach

i pośrodku obory na wysokości kłębu krowy. Czujniki temperatury uruchamiały pracę wentylatorów w momencie wzrostu temperatury wewnątrz obory również powyżej 21°C. W czerwcu, podczas przeprowadzanych badań, średnia temperatura powietrza w oborze wynosiła 21°C, a w październiku 12°C.

Krew do badań pobierano jeden raz w czerwcu, kiedy średnie temperatury zewnętrzne osiągały w Polsce wysokie wartości z reguły powyżej 22,5°C oraz jednorazowo w październiku – średnie temperatury powietrza nie przekraczały przyjętych norm określonych dla komfortu cieplnego krów. Badania przeprowadzono w momencie, gdy temperatury powietrza w oborze wynosiły w czerwcu: 26°C w gospodarstwie A, 21°C w gospodarstwie B oraz w październiku: 12°C w gospodarstwie A i w gospodarstwie B. Materiał do badań – krew żylną pobierano o tej samej porze, w godzinach porannych, po udoju i po wykonaniu badania klinicznego. Krew pobierano z żyły szyjnej zewnętrznej do probówki Vacuette o objętości 9 ml z aktywatorem krzepnięcia. Następnie w laboratorium krew wirowano w wirowce w celu otrzymania surowicy. Po odwirowaniu część surowicy poddano badaniom biochemicznym, natomiast resztę kolekcjonowano zamrożoną w temperaturze –80°C w celu oznaczenia mikroelementów.

Badania biochemiczne obejmowały oznaczanie w surowicy krwi parametrów opisujących gospodarkę energetyczną, tj.: stężenie glukozy (GLUC), cholesterolu całkowitego (CHOL) i białka całkowitego (TP) oraz wskaźników czynności narządów mięsnych: stężenie bilirubiny całkowitej (BIL T), kreatyniny (CREA), aktywność aminotransferazy asparaginianowej (AST), γ -glutamylotransferazy (GGTP), kinazy kreatynowej (CK). Oceniano również gospodarkę mineralną ustroju, w tym: stężenie wapnia całkowitego ($Ca_{\text{całk}}$), fosforu nieorganicznego (Pn), magnezu całkowitego ($Mg_{\text{całk}}$), miedzi (Cu) i cynku (Zn) w surowicy. Oznaczenia przeprowadzono przy użyciu analizatora biochemicznego BS-130 firmy Shenzhen Mindray Bio-Medical Electronics Co. Ltd., wykorzystując zestawy odczynników firmy Corning. Stężenie Cu i Zn oznaczano metodą spektrometrii absorpcji atomowej (ASA) ze wzbudzeniem w płomieniu acetylen–powietrze.

Analizę statystyczną wyników wykonano przy użyciu programu komputerowego Statistica 10.0. Dla wszystkich wyników obliczono średnią statystyczną ($\bar{x}$) i odchylenie standardowe (SD). Do obliczenia istotności różnic wykorzystano metodę rang U Manna-Whitneya.

Wyniki i omówienie

Istotnymi czynnikami wpływającym na dobrostan zwierząt są warunki ich bytowania i odpowiednie zarządzanie stadem (12). W czerwcu u badanych krów w gospodarstwie uwiązowym (gr. A) zaobserwowano zwiększoną częstość oddechów (nawet do 47/min.) i intensywniejsze pobieranie wody. Ciężota wewnętrzna ciała mierzona w odbytnicy zazwyczaj była bliska górnej granicy fizjologicznej, zaś w upalne dni wynosiła około 39°C. Podczas badań przeprowadzanych w październiku nie zaobserwowano u krów takich objawów. U krów w systemie wolnostanowiskowym (gr. B), mimo panujących na zewnątrz upałów,

stwierdzono tylko nieznacznie zwiększoną częstość oddechów (między 33 a 36) i większe pragnienie. Podwyższoną ciężotą wewnętrzną ciała mierzona w odbytnicy odnotowano jedynie u 12 krów (od 38,8 do 39,4°C). W gospodarstwie uwiązowym w czerwcu notowano wyraźnie niższą produkcję mleka oraz więcej przypadków zaburzeń apetytu u krów w porównaniu do gospodarstwa wolnostanowiskowego. Różnice pomiędzy gospodarstwami w średniej produkcji mleka w tym miesiącu wynoszą ponad 15%, a w październiku około 10%. Badania własne zaprzeczają więc doniesieniom innych autorów, że krowy dotknięte niskim i umiarkowanym stresem cieplnym nie wykazują zmniejszonej produkcji mleka (17).

Stres cieplny powoduje wzrost temperatury wewnętrznej organizmu oraz wzrost częstości oddechów. Z badań przeprowadzonych przez Fabris i wsp. (8) wynika, że u krów narażonych na stres cieplny średni wzrost temperatury wewnętrznej mierzonej *per rectum* wynosił 0,3°C, natomiast średnia częstość oddechów na minutę była o 18 większa u krów będących w stresie cieplnym i wynosiła 49 oddechów/min. w porównaniu z grupą kontrolną (31 oddechów/min.). W eksperymencie wykonanym przez Garcia i wsp. (11) krowy narażone na stres cieplny wykazywały częstość oddechów zbliżoną do 80 na min., a Kadzere i wsp. (17) uważają, że na stres cieplny wskazuje częstość wyższa od 60 oddechów/min. W badaniach własnych również odnotowano wzrost ciężoty wewnętrznej i częstości oddechów, który przekraczał normy fizjologiczne dla bydła, jednak nie był to wzrost tak wysoki, jak w przypadku badań wspomnianych wyżej autorów. Zwierzęta z gospodarstwa A wykazywały średnio 47 oddechów/min w czerwcu, a te przebywające w gospodarstwie B 33-36 oddechów/min. Może to wskazywać, że stres cieplny u nieprzyzwyczajonych do takiego stanu zwierząt będzie pojawiał się przy niższych wartościach omawianych parametrów.

W przeprowadzonych badaniach w obu gospodarstwach odnotowano zmiany parametrów biochemicznych. Znacząco wyższe zmiany zaobserwowano jednak w gospodarstwie w systemie uwiązowym, szczególnie w czerwcu. W obu grupach stwierdzono wzrost aktywności AST i CK, jednak w gospodarstwie B wartości tych parametrów mieściły się w granicach norm fizjologicznych. W gospodarstwie A wzrost aktywności tych enzymów był istotny statystycznie. W obu gospodarstwach odnotowano istotne statystycznie podwyższenie stężenia bilirubiny i GGTP. Zmiany parametrów gospodarki energetycznej wystąpiły jedynie w gospodarstwie A, gdzie w badanych próbkach pobranej krwi żyłnej w czerwcu nastąpił istotny statystycznie spadek stężenia glukozy i cholesterolu. Istotnie statystycznie obniżenie stężenia białka całkowitego zaobserwowano w gospodarstwie A w badanej krwi żyłnej w pobraniu październikowym, podczas gdy w gospodarstwie B wartości tego parametru nie uległy żadnym zmianom. Odnotowano istotny statystycznie

wzrost stężenia mocznika w gospodarstwie A podczas pobrania krwi w czerwcu. Nie stwierdzono natomiast istotnych zmian w stężeniu makroelementów i mikroelementów w surowicy, zarówno w okresie jesiennym jak i letnim, jednakże średnie stężenia wapnia i fosforu były niższe w gospodarstwie A w porównaniu do gospodarstwa B (tab. 1). Zmiany aktywności AST i CK mogą być spowodowane przedłużającym się przebywaniem krów w pozycji leżącej i uciskiem na mięśnie. Wyniki badań biochemicznych krwi pobranej w czerwcu w gospodarstwie A znacznie przekraczają wartości referencyjne oraz wskazują na zaburzenia funkcji wątroby.

Rozbieżne opinie i wyniki badań autorów prac prowadzonych w przebiegu stresu cieplnego u krów wskazują na potrzebę bardzo dokładnych analiz, szczególnie w zakresie zaburzeń w gospodarce energetycznej. Badania Ronchi i wsp. (19), dowodzą, że stres cieplny powoduje zmniejszenie aktywności wątroby, co powinno prowadzić do obniżenia stężenia glukozy i cholesterolu. Bertoni (4) także uważa, że podczas stresu cieplnego zwiększa się zapotrzebowanie na energię (procesy termoregulacyjne) i zmniejsza spożycie paszy, co uznaje za przyczynę występowania ujemnego bilansu energetycznego i w konsekwencji zmniejszonej wydajności mlecznej. Z badań własnych również wynika, że w okresie występowania stresu cieplnego u krów następuje większe wykorzystanie glukozy (energii), ponieważ jej stężenia są istotnie niższe niż u zwierząt, u których zastosowano metody zapobiegania przegrzaniu. Natomiast Garcia i wsp. (11) stwierdzili, że u krów narażonych na stres cieplny stężenie glukozy we krwi jest wyższe niż u zwierząt nienarażonych na stres. Wise i wsp. (23) twierdzą, że zwiększone stężenie glukozy we krwi u krów pod wpływem stresu cieplnego może być związane z wyższym wydzielaniem kortyzolu w organizmie krów. West i wsp. (22) twierdzą, że wyższe stężenie cholesterolu w stresie cieplnym mogło odzwierciedlać niższe wydzielanie tyroksyny u zwierząt dotkniętych stresem cieplnym i jest mechanizmem redukcji wytwarzania ciepła metabolicznego. W przeciwieństwie do tego w otrzymanych własnych wynikach stężenie cholesterolu było istotnie niższe w stresie cieplnym u krów. Garcia i wsp. (11) w swoim badaniach obserwowali wzrost stężenia białka w surowicy u krów dotkniętych stresem cieplnym, uważając, że jest to związane z umiarkowanym odwodnieniem. W badaniach własnych, w przeciwieństwie do wyników Garcia i wsp. (11), stwierdzono obniżenie tego parametru

Tab. 1. Średnie wartości badanych parametrów krwi krów pochodzących z poszczególnych gospodarstw

Badane parametry w surowicy krwi		Gospodarstwo – okres pobrania (liczba badanych krów)			
		A – październik (30)	A – czerwiec (30)	B – październik (30)	B – czerwiec (30)
AST	iu/l	101,9* ± 46,9	130,8** ± 65,7	79,6 ± 12,4	88,0 ^b ± 36,8
Bilirubina	μmol/l	6,2* ± 5,3	8,1** ± 2,2	4,4* ± 2,2	5,6** ± 2,9
Glukoza	mmol/l	3,26* ± 0,57	2,71** ± 0,32	3,79 ± 0,50	3,59 ^b ± 0,62
CK	mmol/l	113,7* ± 42,8	164,3** ± 51,6	58,4 ± 16,3	79,3 ^b ± 21,2
GGTP	mmol/l	24,3* ± 4,7	32,5** ± 6,7	15,3 ± 4,2	19,3 ^b ± 7,1
Mocznik	mmol/l	4,4 ± 2,3	5,6 ± 1,4	4,1 ± 1,4	4,6 ± 1,6
Ca cał.	mmol/l	2,21 ± 0,49	2,11 ± 0,43	2,08 ± 0,71	2,03 ± 0,28
Mg cał.	mmol/l	1,01 ± 0,19	1,18 ± 0,13	0,99 ± 0,31	1,09 ± 0,13
Pn	mmol/l	1,52 ± 0,42	1,26 ± 0,39	1,65 ± 0,42	1,58 ± 0,29
TP	g/l	71* ± 5	65** ± 6	73 ± 4	73 ^b ± 3
Cholesterol	mmol/l	3,05* ± 0,23	1,99** ± 0,31	3,13 ± 0,55	3,20 ^b ± 0,78
Cu	μmol/l	11,09 ± 1,04	10,94 ± 1,36	12,05 ± 0,93	12,37 ± 1,01
Zn	μmol/l	92,4 ± 18,3	94,8 ± 22,4	99,2 ± 19,2	101,3 ± 9,1

Objaśnienia: * istotność różnic przy $p \leq 0,05$ w obrębie grup; literami a, b oznaczono istotność różnic przy $p \leq 0,05$ pomiędzy poszczególnymi grupami

na skutek prawdopodobnie spadku apetytu. Ponadto obniżenie stężenia białka mogło być także związane z jego wykorzystaniem do produkcji energii w sytuacji ujemnego bilansu energetycznego.

Stres cieplny wywiera znaczny wpływ na funkcjonowanie organizmu krów, jednakże w przypadku stanów umiarkowanych nie zawsze manifestowany jest przez charakterystyczne lub znaczące objawy kliniczne. Wyniki otrzymane w badaniach biochemicznych krwi wskazują na rozwijające się zmiany w narządach mięsnych, szczególnie w wątrobie. Zaburzenia te nie są jednak możliwe do rozpoznania nawet w szczegółowym badaniu klinicznym i równocześnie mogą początkowo nie wpływać na zachowanie zwierząt. Wyniki badań biochemicznych krwi żyłnej pobranej w czerwcu mogą wskazywać na początki stłuszczenia wątroby u krów (obniżony poziom cholesterolu, glukozy i białka całkowitego oraz podwyższone stężenie bilirubiny i aktywność GGTP), w konsekwencji narażenia zwierząt na działanie wysokiej temperatury. W badaniach własnych występowały natomiast niespecyficzne objawy w postaci spadku wydajności mlecznej i apetytu, do których mogły pośrednio przyczynić się zaburzenia w funkcji narządów mięsnych. Wszystkie te zmiany wskazują, że nawet słabo wyrażony stres może przyczynić się do gorszej jakości życia krów i pogorszenia ich stanu zdrowia. Dodatkowo otrzymane wyniki potwierdzają konieczność holistycznego podejścia do badań laboratoryjnych w stadach krów mlecznych.

Piśmiennictwo

1. Abdelnour S. A., Abd El-Hack M. E., Khafaga A. F., Arif M., Taha A. E., Noreldin A. E.: Stress biomarkers and proteomics alteration to thermal stress in ruminants: A review. J. Therm. Biol. 2019, 79, 120-134, doi: 10.1016/j.jtherbio.2018.12.013.

2. Akyuz A., Boyaci S., Cayli A.: Determination of critical period for dairy cows using temperature humidity index. *J. Anim. Vet. Adv.* 9, 1824-1827. *Asian J. Inform. Technol.* 2010, 18, 250-260, doi: 10.3923/javaa.2010.1824.1827
3. Amaral B. C. do, Connor E. E., Tao S., Hayen M. J., Bubolz J. W., Dahl G. E.: Heat-stress abatement during the dry period: Does cooling improve transition into lactation? *J. Dairy Sci.* 2009, 92, 5988-5999.
4. Bertoni G.: Effects of heat stress on endocrine-metabolic and reproductive status of the dairy cows. *Zootec. Nutr. Anim.* 1998, 24, 273-282.
5. Collier R., Hall L., Rungruang S., Zimbelman R.: Quantifying Heat Stress and Its Impact on Metabolism and Performance. *Proc. Florida Ruminant Nutrition Symp.* 2012.
6. Cook N. B., Nordlund K. V.: Review: The influence of the environment on dairy cow behavior, claw health and herd health lameness dynamics. *Vet. J.* 2009, 179, 360-369.
7. Eigenberg R. A., Brown-Brandt T., Nienaber J.: Development of a Livestock Weather Safety Monitor for Feedlot Cattle. *Appl. Engin. Agric.* 2007, 23, doi: 10.13031/2013.23666.
8. Fabris T. F., Laporta J., Skibieli A. L., Corra F. N., Senn B. D., Wohlgemuth S. E., Dahl G. E.: Effect of heat stress during early, late, and entire dry period on dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 2019, 102, 5647-5656.
9. Fraser D.: Assessing animal welfare at the farm and group level: The interplay of science and values. *Anim. Welf.* 2003, 12, 433-443.
10. Fraser D.: *Understanding Animal Welfare: The Science in Its Cultural Context.* Wiley-Blackwell, Oxford, UK 2008.
11. Garcia A. B., Letícia N. A., Cardoso de Cardoso M. F., Gonzalez F.: Relationships between heat stress and metabolic and milk parameters in dairy cows in southern Brazil. *Trop. Anim. Health Prod.* 2015, 47, 889-894.
12. Gieseke D., Lambertz C., Gauly M.: Relationship between herd size and measures of animal welfare on dairy cattle farms with freestall housing in Germany. *J. Dairy Sci.* 2018, 101, 7397-7411.
13. Hahn G. L.: Dynamic responses of cattle to thermal heat loads. *J. Dairy Sci.* 1999, 82, 10-20.
14. Hahn G. L., Gaughan J. B., Mader T. L., Eigenberg R. A.: Thermal Environment and Livestock Energetics. Thermal indices and their applications for livestock environments. USA. American Society of Agricultural and Biological Engineers 2009, 122.
15. Herbut P., Angrecka S.: Forming of temperature-humidity index (THI) and milk production of cows in the free-stall barn during the period of summer heat. *Anim. Sci. Pap. Rep.* 2012, 30, 363-372.
16. Holmes B., Cook N., Funk T., Graves R., Kammel D., Reinemann D. J., Zulovich J. M.: *Dairy Freestall Housing and Equipment.* 8th ed. Midwest Plan Service, Ames, IA 2013.
17. Kadzere C. T., Murphy M. R., Silanikove N., Maltz E.: Heat stress in lactating dairy cows: a review. *Liv. Prod. Sci.* 2002, 77, 59-91.
18. Keyserlingk M. A. G. von, Rushen J., de Passillé A. M., Weary D. M.: Invited review: The welfare of dairy cattle-Key concepts and the role of science. *J. Dairy Sci.* 2009, 92, 4101-4111.
19. Ronchi B., Bernabucci U., Lacetera N., Verini Supplizi A., Nardone A.: Distinct and common effects of heat stress and restricted feeding on metabolic status of Holstein heifers. *Zoot. Nutr. Anim.* 1999, 25, 11-20.
20. Sammad A., Wang Y. J., Umer S., Lirong H., Khan I., Khan A., Ahmad B., Wang Y.: Nutritional Physiology and Biochemistry of Dairy Cattle under the Influence of Heat Stress: Consequences and Opportunities, *Animals* 2020, 10, 793, doi: 10.3390/ani10050793.
21. Thom E. C.: The discomfort index. *Weatherwise* 1959, 12, 57-59.
22. West J. W.: Effects of heat stress on production in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 2003, 86, 2131-2144.
23. Wise M. E., Armstrong D. V., Huber J. T., Hunter R., Wiersma F.: Hormonal alterations in the lactating dairy cow in response to thermal stress. *J. Dairy Sci.* 1988, 71, 2480-2485.
24. Zimbelman R., Rhoads R., Rhoads M., Duff G., Baumgard L., Collier R.: A Re-evaluation of the Impact of Temperature Humidity Index (THI) and Black Globe Humidity Index (BGHI) on Milk Production in High Producing Dairy Cows. *Proc. 24th Annual Southwest Nutrition and Management Conference* 2009.

Autor korespondencyjny: dr hab. n. wet. Łukasz Kurek, ul. Głęboka 30, 20-512 Lublin; e-mail: lukasz.kurek@up.lublin.pl