

## **Fizjologiczne i behawioralne mechanizmy u świń w odpowiedzi na działanie wysokich temperatur powietrza**

**Dorota Godyń<sup>1</sup>, Jacek Nowicki<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Instytut Zootechniki Państwowy Instytut Badawczy, Zakład Systemów i Środowiska Produkcji, 32-083 Balice k. Krakowa,*

<sup>2</sup>*Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Zakład Hodowli Trzody Hlewniej i Drobного Inwentarza, al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków*

Szeroko rozumiany dobrostan i produktywność zwierząt gospodarskich są w znacznym stopniu uzależnione od warunków środowiskowych. W tym aspekcie dużą rolę odgrywają warunki termiczno-wilgotnościowe. Zbyt wysoka temperatura jest jednym z kluczowych czynników mogących negatywnie oddziaływać na organizm zwierzęcia. Wśród różnych gatunków zwierząt fermowych świń są szczególnie podatne na stres cieplny (Renaudeau i in., 2006; Bracke, 2011). Ocena wskaźników fizjologicznych oraz obserwacja zachowania zwierząt stanowią cenne źródło informacji w poszukiwaniach najlepszych rozwiązań zapobiegających skutkom stresu cieplnego. Przedmiotem tego artykułu jest przedstawienie literatury oraz wskazanie nowych kierunków badań w aspekcie metod diagnozowania stresu cieplnego u świń poprzez szeroko rozumianą analizę wskaźników fizjologicznych oraz obserwacje behawioralne.

### **Procesy termoregulacyjne**

Regulacja temperatury ciała jest jednym z najważniejszych mechanizmów zapewniających homeostazę całego ustroju. Odpowiednie warunki termiczne panujące wewnątrz organizmu gwarantują sprawność metaboliczną, która w dużym stopniu zależy od pracy enzymów. Stąd, zarówno znaczne obniżenie, jak i wzrost temperatury wewnętrznej mogą mieć niekorzystny wpływ na działalność biokatalizatorów. Niska temperatura ciała skutkuje zahamowaniem aktywności enzymatycznej, podobnie długotrwale utrzymująca się wysoka temperatura może przyczynić się do wyczerpania zasobów metabolicznych i w konsekwencji prowadzić do inaktywacji enzymów

(Sosnowski i in., 2015). Istnieją dwa główne terminy odnoszące się do ciepłoty ciała: temperatura wewnętrzna, która określa warunki termiczne panujące w rejonie jamy brzusznej, klatki piersiowej i czaszki oraz temperatura zewnętrzna, odnosząca się do powierzchni skóry, tkanki podskórnej i mięśni. Mechanizmy termoregulacyjne pozwalają utrzymać temperaturę wewnętrzną na względnie stałym poziomie, natomiast temperatura powłoki ciała charakteryzuje się znaczną zmiennością. Uważa się, że skóra pełni funkcję buforu między wnętrzem ciała a środowiskiem zewnętrznym. Z tego powodu wartości temperatury skóry zależą od wielkości wymiany ciepła między tymi obszarami (Lim i in., 2008).

Bilans cieplny jest procesem dynamicznym, uzależnionym od wielu mechanizmów i pracy wielu narządów. Regulacja wytwarzania i oddawania ciepła jest związana z reakcjami, głównie układu nerwowego, krążenia oraz pracy hormonów. Centrum termoregulacji stanowi ośrodek zlokalizowany w podwzgórze. Do niego docierają informacje o wahanach temperatury zarówno z powierzchniowych, jak i głębokich warstw ciała. Regulacja temperatury obejmuje trzy główne etapy: obwodową i korową percepcję, integrację ośrodkową, a także autonomiczne i behawioralne odpowiedzi eferentne (Sosnowski i in., 2015).

Oddziaływanie wysokich temperatur otoczenia uruchamia procesy zwiększenia utraty ciepła z organizmu. Jednym z pierwszych objawów niekorzystnego wpływu wysokich temperatur na organizm zwierzęcia jest mniejsze pobranie paszy oraz zmiana behawioru (Kemp i Versteegen, 1987; Hahn, 1985). Równocześnie następuje większy

przepływ krwi przez skórę (rozszerzenie naczyń krwionośnych), który wpływa na zwiększenie strat ciepła na drodze promieniowania, konwekcji i przewodzenia. Następuje pobudzenie gruczołów potowych i intensywniejsze oddawanie ciepła na drodze ewaporacji (Guyton i Hall, 2006). Wraz ze wzrostem temperatury powietrza jedyną efektywną drogą utraty ciepła z organizmu pozostaje właśnie ewaporacja. U świń proces utraty ciepła poprzez parowanie wody (przez skórę) jest utrudniony z uwagi na niewielką ilość gruczołów potowych oraz obecność znacznej ilości tkanki tłuszczowej. Proces ten można wspomagać poprzez zwilżanie powierzchni skóry, niemniej jednak głównym sposobem utraty ciepła u tych zwierząt w okresie trwania upałów jest parowanie wody z dróg oddechowych (Huynh i in., 2005 b). Oddawanie ciepła poprzez ewaporację jest jednak w znacznym stopniu uzależnione od zawartości pary wodnej w powietrzu (Marai i in., 2007). Równoczesne oddziaływanie wysokiej temperatury oraz wysokiej wilgotności względnej powietrza potęguje uczucie dyskomfortu termicznego (Huynh i in., 2005 b).

Dla każdego gatunku zwierząt gospodarskich i poszczególnych grup technologicznych zostały ustalone wartości graniczne określające ich strefy obojętności cieplnej. Strefa ta określa takie warunki otoczenia, w których zwierzę wykazuje minimalny wysiłek metaboliczny do utrzymania stałej temperatury wewnętrznej, a zmianie podlega jedynie temperatura skóry. W warunkach strefy komfortu termicznego oddawanie ciepła na drodze parowania jest utrzymywane na najniższym poziomie (Curtis, 1983). Huynh i in. (2005 b) ustalili, że wzrost częstości oddechu u tuczników wzrasta gwałtownie przy temperaturze powietrza 22,4°C. Z kolei Brown-Brandl i in. (2012), opierając się między innymi na pomiarach temperatury skóry tułowia tuczników stwierdzili, że górny próg strefy komfortu termicznego dla tej grupy mieści się w przedziale od 20,4 do 22,8°C. Quiniou i Noblet (1999) podają, że temperatura powietrza, przy której następuje gwałtowny wzrost oddawania ciepła na drodze ewaporacji u maciór karmiących wynosi 22°C. Według Black i in. (1993), optymalna temperatura powietrza dla prosiąt mieści się w przedziale 30–37°C, a dla loch karmiących zakres ten wynosi 12–22°C. Myer i Bucklin (2012) donoszą, że maciory karmiące doświadczają negatywnych

skutków już przy temperaturze powietrza 20°C. Z kolei według Quiniou i in. (2001), temperatury powyżej 26°C są krytyczne dla tej grupy zwierząt. W zależności od czasu ekspozycji zwierzęcia na upał występują różnego rodzaju zmiany w jego zachowaniu. Wysokie temperatury wywołują także szereg reakcji fizjologicznych, które umożliwiają lepsze przystosowanie się zwierząt do panujących warunków.

### **Zmiany behawioralne obserwowane u świń narażonych na stres ciepły**

Zmiana zachowania pod wpływem wysokiej temperatury powietrza jest związana ze świadomym wykorzystywaniem elementów środowiska jako czynników umożliwiających pochłanianie nadmiaru ciepła z organizmu zwierzęcia (Schmidt-Nielsen, 1997). W naturalnych warunkach jest to podstawowy sposób, w jaki zwierzę radzi sobie z niekorzystnym oddziaływaniem wysokich temperatur powietrza. W chowie przemysłowym możliwości pełnej ekspresji takich zachowań są często ograniczone. Na podstawie obserwacji behawioralnych można przyjąć, że świnię utrzymywane alkierzowo najwięcej czasu spędzają leżąc lub śpiąc (Fraser, 1983). U młodych świń czas spędzany w ten sposób zajmuje 65% doby (Morrison i in., 2007). Podczas upałów może on wzrosnąć do 90% (Huynh i in., 2005 a). Pedersen i in. (2003) stwierdzili, że u świń utrzymywanych początkowo w temperaturze 10°C, a następnie 28°C poziom dobowej aktywności został zredukowany z 20 do 8%. Wraz ze wzrostem temperatury powietrza w chlewni obserwowano także częstsze przyjmowanie przez zwierzęta pozycji bocznej podczas leżenia (Huynh i in., 2005 a). Autorzy ci stwierdzili, że wzrost częstotliwości przyjmowania przez tuczniki pozycji leżącej następował już w temperaturze powyżej 18,8°C. Istotne było także spostrzeżenie, że powyżej tej wartości świnię preferowały leżenie na rusztach zamiast na betonowej podłodze. Ta tendencja była prawdopodobnie związana z chłodnym powietrzem przepływającym przez ruszty. Przyjęcie pozycji bocznej umożliwiającej kontakt z podłożem jak największej powierzchni ciała sprzyja utracie ciepła na drodze przewodzenia, niemniej jednak w warunkach fermowych wymaga znacznej przestrzeni przypadającej na zwierzę w kojcu (Spoolder i in., 2012). Tym bardziej, że w upalne dni zwierzęta ograniczają kontakt z innymi osob-

nikami (Sutherland i in., 2007). Być może stąd wynika także obserwowana wyższa tendencja do leżenia oraz tarzania się w odchodach (Huynh i in., 2005 a). Warto dodać, że częste przyjmowanie przez zwierzęta pozycji leżącej w miejscach zanieczyszczonych odchodami nie jest naturalną potrzebą świń. W naturalnych warunkach zwierzęta unikają miejsc defekacji. Takie zachowanie w sytuacji oddziaływania wysokich temperatur powietrza w chlewni wynika głównie z braku innych możliwości oddawania nadmiaru ciepła i świadczy o niskim poziomie dobrostanu zwierząt (Aarnink i in., 2001; Huynh i in., 2005 a). Ponadto, jest niekorzystne także z uwagi na zwiększoną podczas tych zachowań emisję amoniaku (Aarnink i in., 1996). Tarzanie się (w błocie) jest ewolucyjnym mechanizmem świń, umożliwiającym im oddawanie ciepła na drodze parowania wody z powierzchni skóry. Mount (1979) stwierdził, że uniemożliwienie tego odruchu świniom poprzez utrzymywanie ich w czystych, suchych kojcach przyczynia się do zwiększenia częstości oddechu (ziania). Wobec przesłanek związanych głównie z poprawą dobrostanu, obecnie coraz częściej wykorzystuje się, także w warunkach intensywnej produkcji, systemy umożliwiające chłodzenie zwierząt. Bezpośrednie zraszanie skóry, umożliwianie zwierzętom wypoczynku na chłodnym podłożu czy technologie zapewniające chłodzenie powietrza w chlewniach w znacznym stopniu przyczyniają się do zwiększenia komfortu świń (Godyń, 2016). Badania dotyczące efektywności systemów chłodzenia zwierząt często opierają się na obserwacjach behawioralnych. W doświadczeniu Barbari i Conti (2009) zastosowano test preferencji u loch. Samice umieszczano w kojcach wyposażonych w różnego typu rozwiązania chłodzące. W jednej części kojca zastosowano chłodzenie strumieniem powietrza o dużej prędkości, w innym miejscu poza chłodzeniem powietrzem dodatkowo skrapiano podłogę kojca wodą. W temperaturze powietrza wynoszącej około 22°C samice preferowały przebywanie w części kojca bez systemu chłodzenia lub wybierały miejsce chłodzone tylko strumieniem powietrza. W okresie, kiedy temperatura otoczenia wynosiła około 30°C, częstotliwość przebywania samic w części kojca wyposażonej zarówno w system chłodzenia powietrzem, jak i system zwilżania podłoża gwałtownie wzrastała.

### **Fizjologiczna odpowiedź na stres cieplny**

Oddziaływanie ponadnormatywnych temperatur powietrza na organizm zwierzęcia stwarza potrzebę spełnienia wymagań warunków środowiskowych i pociąga za sobą aktywację systemów neuronalnych, neurohormonalnych, jak również mechanizmów związanych z działaniem systemu odpornościowego. Stopień stymulacji tych systemów determinuje intensywność reakcji stresowej, a także konsekwencje, jakie niesie ona dla organizmu (Dikmen i Hansen, 2008). Według Huynh i in. (2005 b), pierwsze fizjologiczne reakcje na działanie wysokich temperatur powietrza to zwiększenie skórnego przepływu krwi oraz wzrost częstotliwości oddechu. Według tych autorów, szybszy oddech oraz wzrost temperatury powierzchni skóry pozwalają świniom utrzymać wewnętrzną ciepłotę ciała na bezpiecznym poziomie. Soerensen i Pedersen (2015) podają, że normalne wartości temperatury rektalnej u odpoczywających w warunkach termoneutralnych świń powinny kształtować się na poziomie: dla prosiąt 39,5°C, dla tuczników 39,3°C, dla loszek 38,8°C a dla loch 38,3°C. Z kolei, temperatura powierzchni skóry u świń utrzymywanych w optymalnych warunkach wynosi od 33 do 35°C (Huynh i in., 2005 b). Black i in. (1993) stwierdzili, że u loch utrzymywanych w temperaturze 28°C następuje wzrost ciepłoty skóry do 36,8°C. Sapkota i in. (2016) poddali tuczniaki działaniu nagłej, wysokiej temperatury powietrza (39,3°C). Po okresie 30 minut w takim środowisku świnię przenoszone były do warunków termoneutralnych. W doświadczeniu tym ustalono, że temperatura skóry tułowia podwyższała się z 33,5 do 40,5°C, po czym w warunkach komfortu termicznego, po godzinie od zastosowanej procedury następował spadek tej wartości do około 35,8°C. Autorzy ci badali ponadto wewnętrzną temperaturę ciała (mierzoną w przewodzie pokarmowym). Wraz ze wzrostem temperatury otoczenia rosła temperatura ciała (z 39,3 do 40,3°C) i jej wysoka wartość utrzymywała się jeszcze przez godzinę od momentu przeniesienia zwierząt do warunków termoneutralnych. Przy długotrwałym (od kilkunastu godzin do kilku dni) narażeniu zwierząt na wysokie temperatury wyróżnia się dwie fazy odpowiedzi organizmu (Renaudeau i in., 2007; Renaudeau i in., 2010). Początkowo (24–48 h od wystąpienia sytuacji stresowej) na-

stępuje nagły wzrost w wartościach temperatury skóry, częstości oddechu i temperatury rektalnej. Po tym wstępnym okresie stwierdzany jest stopniowy spadek wartości omawianych parametrów do utrzymującego się relatywnie stałego poziomu. Ta druga faza aklimatyzacji jest związana ze zmniejszającą się produkcją ciepła metabolicznego (Renaudeau i in., 2012). U zwierząt utrzymywanych w wysokich temperaturach powietrza jednym z kluczowych objawów jest zredukowane pobranie pokarmu (Quiniou i in., 2001; Renaudeau i in., 2007). Według Pearce i in. (2013), spożycie paszy może zmniejszyć się nawet o 47% u świń utrzymywanych w temperaturach powyżej strefy termoneutralnej. Huynh i in. (2005 b) dostrzegli, że zwierzęta poddawane działaniu wysokich temperatur zwiększają pobranie wody kosztem pobrania pokarmu. Mniejszy poziom pobranej energii sprzyja mniejszej produkcji ciepła, a znaczna ilość dostarczonej wody wzmacnia procesy ewaporacyjne (Brown-Brandl i in., 1998; Huynh i in., 2005 b). Istotną rolę w kontrolowaniu przemian metabolicznych i tym samym utrzymywaniu stałej ciepłoty ciała pełnią hormon tyreotropowy oraz hormony tarczycy. Wydzielanie tych hormonów determinują zmiany temperatury otoczenia oraz czynniki stresowe. Trijodotyronina i tyroksyna mają działanie kalorygenne, wpływając na przemianę węglowodanów i tłuszczów w organizmie (Silvia, 2006). Stąd, jednym z kluczowych mechanizmów związanych z aklimatyzacją do wysokich temperatur jest obniżony poziom T3 i T4 (Bernabucci i in., 2010). Poddawanie zwierząt działaniu krótkotrwałego stresu cieplnego jest również rozpatrywane jako zjawisko wywołujące aktywację osi podwzgórze-przysadka-kora nadnerczy. Tym samym, powoduje ono wysoki poziom kortyzolu w surowicy krwi (Sapolsky i in., 2000). Glikokortykoidy są wytwarzane i uwalniane w celu zwiększenia katabolizmu tkanek bogatych w białko i tłuszcz, tak aby zasilić komórki w glukozę (Dallman i Hellhammer, 2011). Natomiast, u świń utrzymywanych w wysokich temperaturach powietrza przez długi okres czasu stężenie kortyzolu utrzymuje się na dużo niższym poziomie niż u osobników przebywających w optimum temperaturowym (Kim i in., 2009). Być może jest to zjawisko wynikające z próby aklimatyzacji do niesprzyjających warunków środowiskowych, związane głównie z redukcją ciepła metabolicz-

nego (Campos i in., 2017). Obecnie coraz więcej uwagi poświęca się także roli insuliny w odpowiedzi organizmu na stres cieplny (Pearce i in., 2013). Pomimo obniżenia poziomu pobrania paszy u zwierząt przebywających w wysokich temperaturach powietrza zawartość insuliny we krwi utrzymuje się u nich na wysokim poziomie (Sanz Fernandez i in., 2015). Ponadto, zwierzęta utrzymywane w wysokich temperaturach powietrza, poddawane testom tolerancji glukozy, wykazują wyższy poziom insuliny w odpowiedzi na tę procedurę w porównaniu z osobnikami utrzymywanymi w optymalnych warunkach (Sanz Fernandez i in., 2015). Wzmoczona utylizacja glukozy jest jedną z konsekwencji stresu cieplnego u zwierząt. Najnowsze badania wskazują na to, że aktywacja systemu immunologicznego zachodząca podczas działania ponadnormatywnych temperatur powietrza jest związana właśnie ze zwiększonym zapotrzebowaniem na glukozę komórek układu odpornościowego (Baumgard i Rhoads, 2013). Wzrost koncentracji insuliny może też mieć związek z komórkową odpowiedzią na stres cieplny, w tym aktywacją białek szoku cieplnego (heat shock proteins – HSP) (Li i in., 2006), zwłaszcza że molekuły te są zaangażowane także w procesy odpowiedzi immunologicznej (Musiał i Zwolińska, 2010). W aspekcie ochrony komórek przez działaniem wysokich temperatur dość dobrze poznana jest rola białek HSP70 (Flanagan i in., 1995). Należą one do grupy białek o silnie konserwatywnej sekwencji aminokwasowej. Pełnią różne role w obrębie komórki oraz poza nią, między innymi biorą udział w procesie formowania odpowiedniej konformacji dla nowo syntetyzowanych białek, a także w renaturacji uszkodzonych białek. Ich ekspresja wzrasta w sytuacjach działania czynników stresowych. Poza oddziaływaniem wysokich temperatur wzrost aktywności białek HSP był także stwierdzany podczas infekcji, obecności toksyn czy oddziaływania promieniowania UV (Jakubowicz-Gil i Gawron, 1999). Ponadto, w przypadku świń zwiększoną ekspresję białek HSP70 stwierdzono w tkankach zwierząt narażonych na stres związany z transportem oraz u prosiąt poddawanych odsadzeniu (Sarma i in., 2016).

Badanie ekspresji omawianych białek, jak również oznaczanie poziomu czynnika szoku cieplnego (HSF) może stanowić dodatkowe źródło informacji o wpływie działania wysokich tem-

peratur na organizm zwierzęcia (Min i in., 2015). Dlatego też, biorąc pod uwagę wpływ upału na funkcjonowanie samej komórki, warto skupić się także na zjawisku stresu oksydacyjnego, związanej z tym zwiększonej produkcji reaktywnych form tlenu oraz wzmożonego procesu peroksydacji lipidów (Altan i in., 2003). Obecnie badania poziomu enzymów antyoksydacyjnych oraz innych markerów umożliwiających diagnozowanie zwiększonej produkcji wolnych rodników coraz częściej wywołują zainteresowanie naukowców zajmujących się tematyką skutków stresu cieplnego u zwierząt fermowych (Montilla i in., 2014).

Globalny wzrost produkcji zwierzęcej wymaga odpowiednich programów hodowlanych, skupiających się głównie na uzyskiwaniu zwierząt o najlepszym potencjale genetycznym. Niemniej jednak, osobniki charakteryzujące się wysoką produktywnością wykazują znaczne problemy z adaptacją do wysokich temperatur powietrza (Renaudeau i in., 2012).

Obecnie także rozwój epigenetyki rzuca nowe spojrzenie na tą tematykę. Boddicker i in. (2014) uważają, że czynniki środowiska (w tym stres cieplny) oddziałujące zarówno w życiu prenatalnym, jak i postnatalnym mogą wpływać na modyfikację DNA. Autorzy ci stwierdzili m.

in. wzrost poziomu insuliny u 19-tygodniowych tuczników pochodzących z miotów uzyskanych od loszek poddawanych działaniu stresu ciepłego w okresie niskiej ciąży.

Przykłady tego typu badań z zakresu genetyki i epigenetyki stanowią nowe trendy i obszary zainteresowań naukowców w aspekcie zapobiegania skutkom stresu cieplnego u zwierząt gospodarskich.

### **Podsumowanie**

Przytoczone publikacje wskazują na rozwój metod, które umożliwiają coraz lepsze zrozumienie procesów związanych z oddziaływaniem wysokich temperatur powietrza na organizm zwierzęcia. Monitorowanie zachowania oraz ocena szeroko rozpatrywanych wskaźników fizjologicznych mogą przyczynić się do podjęcia bardziej efektywnych działań profilaktycznych zapewniającym zwierzętom większy komfort w okresie letnich upałów. Lepsza zdrowotność stada, jak również wyższy poziom dobrostanu przekładają się bezpośrednio na polepszenie produktywności zwierząt i tym samym ograniczenie strat ekonomicznych. Tematyka zawarta w tym artykule jest niezwykle aktualna w dobie zmian klimatycznych związanych z globalnym ociepleniem.

### **Literatura**

- Aarnink A.J.A., Van Den Berg A.J., Keen A., Hoeksma P., Verstegen M.W.A. (1996). Effect of slatted floor area on ammonia emission and on the excretory and lying behaviour of growing pigs. *J. Agri. Eng. Res.*, 64: 299–310.
- Aarnink A.J.A., Schrama J.W., Verheijen R.J.E., Stefanowska J. (2001). Pen fouling in pig houses affected by temperature. In: *Livestock environment VI*, Galt House Hotel Louisville, Kentucky, pp. 180–186.
- Altan O., Pabuccuoglu A., Alton A., Konyalioglu S., Bayraktar H. (2003). Effect of heat stress on oxidative stress, lipid peroxidation and some stress parameters in broilers. *Br. Poultry Sci.*, 4: 545–550.
- Barbari M., Conti L. (2009). Use of different cooling systems by pregnant sows in experimental pen. *Biosyst. Eng.*, 103: 239–244.
- Baumgard L.H., Rhoads R.P. (2013). Effects of heat stress on postabsorptive metabolism and energetics. *Ann. Rev. Anim. Biosci.*, 1: 311–337.
- Bernabucci U., Lacetera N., Baumgard L.H., Rhoads R.P., Ronchi B., Nardone A. (2010). Metabolic and hormonal acclimation to heat stress in domesticated ruminants. *Animal*, 4: 1167–1183.
- Black J.L., Mullan B.P., Lorschy M.L., Giles L.R. (1993). Lactation in the sow during heat stress. *Livest. Prod. Sci.*, 35: 153–170.
- Boddicker R.L., Seibert J.T., Johnson J.S., Pearce S.C., Selsby J.T., Gabler N.K., Lucy M.C., Safranski T.J., Rhoads R.P., Baumgard L.H., Ross J.W. (2014). Gestational heat stress alters postnatal offspring body composition indices and metabolic parameters in pigs. *PLoS One* 9, e110859.
- Bracke M.B.M. (2011). Review of wallowing in pigs: Description of the behaviour and its motivational basis. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 132: 1–13.
- Brown-Brandl T.M., Nienaber J.A., Turner L.W. (1998). Acute heat stress effects on heat production and respiration rate in swine. *Transactions of the ASAE*, 41: 789–793.

- Brown-Brandl T.M., Eigenberg R.A., Purswell J.L. (2012). Determining heat tolerance in finishing pigs using thermal imaging. Proc. 9th International Livestock Environment Symposium, pp. 8–12.
- Campos P.H.R.F., Le Flo'h N., Noblet J., Renaudeau D. (2017). Physiological responses of growing pigs to high ambient temperature and/or inflammatory challenges. R. Bras. Zootec., 46 (6): 537–544.
- Curtis S.E. (1983). Environmental management in animal agriculture. Ames, IA: Iowa State 67, University Press, 409 pp.
- Dallman M.F., Hellhammer D. (2011). Regulation of the hypothalamo-pituitary-adrenal axis, chronic stress, and energy: The role of the brain and networks. In: Contrada R.J., Baum A. (eds). The Handbook of Stress Science: Biology, Psychology, and Health. New York: Springer Publishing Company, pp. 11–36.
- Dikmen S., Hansen P.J. (2008). Is the temperature humidity index the best indicator of heat stress in lactating dairy cows in a subtropical environment? J. Dairy Sci., 92: 109–116.
- Flanagan S.W., Ryan A.J., Gisolfi C.V., Moseley P.L. (1995). Tissue-specific HSP70 response in animals undergoing heat stress. Am. J. Physiol., 268: 28–32.
- Fraser L.R. (1983). Ca<sup>2+</sup> is required for mouse sperm capacitation and fertilization *in vitro*. J. Androl., 3: 412–419.
- Godyń D. (2016). Ochładzanie ewaporacyjne w zapobieganiu skutkom stresu cieplnego u bydła i trzody chlewnej. Rocz. Nauk. Zoot., 43 (1): 3–14.
- Guyton A.C., Hall J.E. (2006). Textbook of medical physiology. 11th ed. Philadelphia, PA, USA: Elsevier Saunders, pp. 890–900.
- Hahn G.L. (1985). Management and housing of farm animals in hot environments. In: M.K. Yousef (ed.), Stress physiology in livestock, No. II. CRC Press, pp. 152–171.
- Huynh T.T.T., Aarnink A.J.A., Gerrits W.J.J., Heetkamp M.J.H., Canh T.T., Spoolder H.A.M., Kemp B., Verstegen M.W.A. (2005 a). Thermal behaviour of growing pigs in response to high temperature and humidity. Appl. Anim. Behav. Sci., 91 (1–2): 1–16.
- Huynh T.T.T., Aarnink A.J.A., Verstegen M.W.A., Gerrits W.J.J., Heetkamp M.J.W., Kemp B., Canh T.T. (2005 b). Effects of increasing temperatures on physiological changes in pigs at different relative humidities. J. Anim. Sci., 83: 1385–1396.
- Jakubowicz-Gil J., Gawron A. (1999). Rozmieszczenie i rola białek szoku termicznego w komórce zwierzęcej. Post. Biol. Kom., 26: 267–283.
- Kemp B., Verstegen M.W.A. (1987). The influence of climatic environment on sows. In: M.W.A. Verstegen and A.M. Henken (eds), Energy metabolism in farm animals: effects of housing, stress and disease. 115 pp.
- Kim B.G., Lindemann M.D., Cromwell G.L. (2009). The effects of dietary chromium(III) picolinate on growth performance, blood measurements, and respiratory rate in pigs kept in high and low ambient temperature. J. Anim. Sci., 87: 1695–1704.
- Li G., Ali I.S., Currie R.W. (2006). Insulin induces myocardial protection and Hsp70 localization to plasma membranes in rat hearts. Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol., 291 (4): 1709–1721.
- Lim C.L., Byrne C., Lee J.K. (2008). Human thermoregulation and measurement of body temperature in exercise and clinical settings. Ann. Acad. Med., 37: 347–353.
- Marai I.F.M., El-Darawany A.A., Fadiel A., Abdel-Hafez M.A.M. (2007). Physiological traits as affected by heat stress in sheep – a review. Small Rumin. Res., 71: 1–12.
- Min L., Cheng J., Shi B., Yang H., Zheng N., Wang J. (2015). Effects of heat stress on serum insulin, adipokines, AMP-activated protein kinase, and heat shock signal molecules in dairy cows. J. Zhejiang Univ. Sci., B, 16 (6): 541–548.
- Montilla S.I.R., Johnson T.P., Pearce S.C., Gardan-Salmon D., Gabler N.K., Ross J.W., Rhoads R.P., Baumgard L.H., Lonergan S.M., Selsby J.T. (2014). Heat stress causes oxidative stress but not inflammatory signaling in porcine skeletal muscle. Temperature, 1: 42–50.
- Morrison R.S., Johnston L.J., Hilbrands A.M. (2007). The behaviour, welfare, growth performance and meat quality of pigs housed in a deep-litter, large group housing system compared to a conventional confinement system. Appl. Anim. Behav. Sci., 103 (1–2): 12–24.
- Mount L.E. (1979). Adaptation to thermal environment: Man and his productive animals. Edward Arnold Limited, Thomson Litho Ltd., East Kilbride, Scotland.
- Musiał K., Zwolińska D. (2010). Białka szoku cieplnego w przewlekłej chorobie nerek. Obrońcy czy agresorzy? Nefrol. Dial. Pol., 14 (3): 206–210.
- Myer R., Bucklin R. (2012). Influence of hot-humid environment on growth performance and reproduction of swine.

- University of Florida IFAS Extension. AN107 Available at: <http://edis.ifas.ufl.edu/pdffiles/AN/AN10700.pdf>
- Pearce S.C., Gabler N.K., Ross J.W., Escobar J., Patience J.F., Rhoads R.P., Baumgard L.H. (2013). The effects of heat stress and plane of nutrition on metabolism in growing pigs. *J. Anim. Sci.*, 91: 2108–2118.
- Pedersen S., Sousa P., Andersen L., Jensen K.H. (2003). Thermoregulatory behaviour of growing finishing pigs with access to outdoor areas. *Agricultural Engineering International CICR, Manuscript BC 03 002 (16)*: 1682–1130.
- Quiniou N., Noblet J. (1999). Influence of high ambient temperatures on performance of multiparous lactating sows. *J. Anim. Sci.*, 77 (8): 2124–2134.
- Quiniou N.J., Noblet J., Van Milgen J., Dubois S. (2001). Modeling heat production and energy balance in group-housed growing pigs exposed to low or high environmental temperatures. *Brit. J. Nutr.*, 84: 97–106.
- Renaudeau D., Leclercq-Smekens M., Herin M. (2006). Difference in skin characteristics in European (Large White) and Caribbean (Creole) growing pigs with reference to thermoregulation. *Anim. Res.*, 55: 209–217.
- Renaudeau D., Huc E., Noblet J. (2007). Acclimation to high ambient temperature in Large White and Caribbean Creole growing pigs. *J. Anim. Sci.*, 85: 779–790.
- Renaudeau D., Anais C., Tel L., Gourdine J.L. (2010). Effect of temperature on thermal acclimation in growing pigs estimated using a nonlinear function. *J. Anim. Sci.*, 88: 3715–3724.
- Renaudeau D., Collin A., Yahav S., Basilio V. de, Gourdine J.L., Collier R.J. (2012). Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress in livestock production. *Animal*, 6: 707–728.
- Sanz Fernandez V.M., Johnson J.S., Abuajamieh M., Stoakes S.K., Seibert J.T., Cox L., Kahl S., Elsasser T.H., Ross J.W., Isom S.C., Rhoads R.P., Baumgard L.H. (2015). Effects of heat stress on carbohydrate and lipid metabolism in growing pigs. *Physiol. Rep.*, 3: e12315.
- Sapkota A., Herr A., Johnson J.S., Lay D.C. (2016). Core body temperature does not cool down with skin surface temperature during recovery at room temperature after acute heat stress exposure. *Livest. Sci.*, 191: 143–147.
- Sapolsky R.M., Romero L.M., Munck A.U. (2000). How do glucocorticoids influence stress responses? Integrating permissive, suppressive, stimulatory, and preparative actions. *Endocr. Rev.*, 21: 55–89.
- Sarma H., Puro K., Kumar A., Mahanta N., Das M., Dewry R.K., Rajkhowa D.J., Sen. A. (2016). Impact of heat shock protein (Hsp) expression in swine: a review. *J. Cell Tissue Res.*, 16 (2): 5733–5735.
- Schmidt-Nielsen K. (1997). *Fizjologia zwierząt. Adaptacja do środowiska*. Wyd. Nauk. PWN, ss.752–756.
- Silva J.E. (2006). Thermogenic mechanisms and their hormonal regulation. *Physiol Rev.*, 86: 435–464.
- Soerensen D., Pedersen L. (2015). Infrared skin temperature measurements for monitoring health in pigs: a review. *Acta Vet. Scand.*, 57 (1): 1–11.
- Sosnowski P., Mikrut K., Krauss H. (2015). Hipotermia – mechanizm działania i patofizjologiczne zmiany w organizmie człowieka. *Post. Hig. Med. Dośw.*, 69: 69–79.
- Spooler H.A.M., Aarnink A.A.J., Vermeer H.M., Riel J.V., Edwards S.A. (2012). Effect of increasing temperature on space requirements of group housed finishing pigs. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 138 (3–4): 229–239.
- Sutherland M.A., Niekamp S.R., Johnson R.W., Van Alstine W.G., Salak-Johnson J.L. (2007). Heat and social rank impact behaviour and physiology of PRRS-virus-infected pigs. *Physiol. Behav.*, 90: 73–81.

## **PHYSIOLOGICAL AND BEHAVIOURAL MECHANISMS IN PIGS IN RESPONSE TO HIGH AMBIENT TEMPERATURES**

### **Summary**

Preventing the effects of heat stress on livestock farms is a key factor ensuring animal health and welfare. High ambient temperatures cause changes in animal behaviour as well as in a widely considered physiological response, including the activation of neuronal, neurohormonal and immune systems. Monitoring and analysis of physiological parameters and observation of animal behaviour contributes to a better understanding of adaptation processes and is a source of information necessary to take appropriate preventive methods. The aim of this article was the review of literature and the indication of new directions of research in the aspect of methods for diagnosing heat stress in pigs.

**Key words:** pigs, heat stress, behaviour, physiology