

고온 스트레스가 비육돈의 성장에 미치는 영향

김용희[#] · 이재인[#] · 송민호^{*}

충남대학교 동물자원과학부

Effects of heat stress on growth performance of finishing pigs

Yonghee Kim[#], Jae In Lee[#], Minho Song^{*}

Division of Animal and Dairy Science, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

Received: Apr 9, 2024
Revised: Apr 29, 2024
Accepted: Jun 30, 2024[#]These authors contributed equally to this study.***Corresponding author**Minho Song
Division of Animal and Dairy Science,
Chungnam National University,
Daejeon 34134, Korea
Tel: +82-42-821-5776
E-mail: mhsong@cnu.ac.krCopyright © 2024 Korean Society of Animal Science and Technology. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.**ORCID**Yonghee Kim
<https://orcid.org/0009-0009-8334-3706>
Jae In Lee
<https://orcid.org/0009-0002-2024-3299>
Minho Song
<https://orcid.org/0000-0002-4515-5212>**Competing interests**

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

Funding sources

Not applicable.

Abstract

This study was conducted to investigate effects of high humidity under high temperature conditions on rectal temperature, growth performance, blood profiles, and immune responses of finishing pigs. In a randomized complete block design [block = initial body weight (BW)], 120 finishing pigs (initial BW = 49.62 ± 1.15 kg) were allotted to 2 temperature treatments [thermal neutral condition [temperature-humidity index (THI) 68: 23°C, 35%] and heat stress condition (THI 87: 33°C, 80%); 5 pig/pen; 12 replicates/treatment] during 2 weeks. The diet based on corn-soybean meal was formulated to meet or exceed the nutrient requirements of finishing pigs. Pigs had access to feed and water *ad libitum*. The rectal temperature of one pig per replicate was measured daily throughout the experimental period to monitor changes in body temperature. Blood samples were collected from 1 pig per replicate at the beginning and end of the experiment. Measurements were growth performance [BW, average daily gain (ADG), average daily feed intake (ADFI), and gain to feed ratio], blood profiles [the number of white blood cells (WBC), red blood cells, hemoglobin, hematocrit, and platelet] measured by an automated hematology analyzer calibrated for porcine blood, and immune responses (cortisol, tumor necrosis factor-alpha, interleukin-6, interleukin-1beta, and transforming growth factor-beta1) by the ELISA kits. The daily rectal temperature of pigs under THI 87 was higher ($p < 0.05$) during the overall experimental period than those under THI 68. Pigs under THI 87 had lower ($p < 0.05$) ADG and ADFI than those under THI 68. The number of WBC of pigs under THI 87 was decreased ($p < 0.05$) compared with those under THI 68. In conclusion, this study suggests that exposure to high humidity in combination with high temperature has a negative impact on growth performance of finishing pigs.

Keywords: Inishing pigs, Heat stress, Temperature**서론**

축산 산업에 있어서 고온 스트레스는 경제적으로 큰 손실을 초래하고 있다[1]. 축산 동물 중에서 돼지는 고온 스트레스에 더욱 쉽게 노출되는 특성을 보이는데, 이는 두꺼운 피부와 제한된 땀샘 기능으로 인해 고온 상황에서 체온 조절의 어려움을 겪기 때문이다[2,3]. 이러한 고온 스트

Acknowledgements

Not applicable.

Availability of data and material

Upon reasonable request, the datasets of this study can be available from the corresponding author.

Authors' contributions

Conceptualization: Kim Y, Song M. Data curation: Kim Y, Lee JI, Song M. Formal analysis: Kim Y, Lee JI, Song M. Methodology: Kim Y, Lee JI, Song M. Software: Kim Y, Lee JI, Song M. Validation: Kim Y, Lee JI, Song M. Investigation: Kim Y, Lee JI, Song M. Writing - original draft: Kim Y, Song M. Writing - review & editing: Kim Y, Lee JI, Song M.

Ethics approval and consent to participate

The experimental protocol for this study was reviewed and approved by the Institutional Animal Care and Use Committee of Chungnam National University, Daejeon, Korea (approval: #202203A-CNU-062).

레스가 유발되면 돼지의 성장성, 번식 및 육질 등의 저하와 폐사율의 증가로 생산성 문제로 이어진다[4-8]. 이는 돼지의 고온 상황에서 생존을 위한 전략으로, 체내의 대사 열을 줄이기 위한 평균 일당 섭취량 감소로부터 나타나게 된다[9]. 또한, 고온 스트레스는 위장관의 혈관을 수축시켜 열을 발산하도록 혈류의 흐름을 말초로 보내며[10], 이로 인해 장내 혈액 및 영양소 공급의 감소로 저산소증, 삼투압 불균형 및 장 상피의 염증 등을 유발하여 장막의 기능과 완전성을 저하시킨다[11].

온습도 지수(temperature-humidity index, THI)는 온도와 상대 습도의 영향을 단일 값으로 표현하여, 환경으로부터 동물에 영향을 미치는 정도를 평가하기 위하여 개발되어 널리 사용되어 왔다[12]. 하지만, 이전 연구에 따르면 돼지의 고온 스트레스 실험은 온도 지수를 통한 단일 분석이 주로 이용되었다. 이는 고온 상황에서 습도 지수에 따른 호흡으로부터의 증발열 효율을 간과할 수 있다. 따라서 본 연구는 고온 조건에서 높은 습도가 비육돈의 직장온도, 생산성, 혈액지표 및 면역 반응에 어떠한 영향을 미치는지 알아보고자 하였다.

재료 및 방법

본 실험의 절차는 충남대학교 동물실험윤리위원회(IACUC)의 승인을 받았다. 모든 실험동물은 실험 지침과 규정을 준수하여 취급 및 사료를 채취하였다.

실험 설계 및 동물 사료

본 실험에서 교잡된 120두의 비육돈[(Landrace × Yorkshire) × Duroc; 초기체중 = 49.62 ± 1.15 kg]을 2가지의 각 환경에 따라 펜당 5마리씩 12반복으로 나누어 14일 동안 완전임의배치법으로 진행되었다. 환경 조건은 이전 연구를 근거로 온도 중립 조건(THI 68: 23℃, 35%)과 고온 스트레스 조건(THI 87: 33℃, 80%)을 설정하였다[13]. 기초 사료는 비육돈의 영양소 요구 사항을 충족하거나 초과하도록 배합하였다(Table 1). 돼지는 실험 기간 동안 사료와 물을 자유롭게 섭취할 수 있도록 하였다.

데이터 및 사료 채취

실험 시작 및 종료 시 각 펜의 모든 돼지는 개별 체중과 급여된 사료량 및 잔여량을 각각 측정하여 일당 증체량, 일당 섭취량 및 사료효율을 바탕으로 성장성을 평가하였다. 직장온도는 반복당 1두의 돼지로부터 윤활 처리된 온도계(MT-200; 34℃-42℃ ± 0.1℃; Microlife AG, Taipei, Taiwan)를 직장에 2.5 cm 삽입하여 측정하였다. 혈액 시료는 0 및 14일에 EDTA 튜브와 일반 혈액 튜브에 각각 10 mL씩 경정맥에서 21 g 바늘을 이용하여 채혈하였다. 일반 혈액 튜브로 채취한 혈액은 혈청을 얻기 위해 4℃에서 5분 동안 3,000×g으로 원심분리를 진행하였다. 혈청 시료는 면역 반응 분석을 위하여 마이크로 튜브에 옮겨 냉동 보관(-20℃)하였다[14].

혈액 시료 분석

일반 혈액지표는 EDTA 튜브에서 채혈한 시료를 8-parameter hematology analyzer(Scil vet abc™ Animal Blood Counter, Scil Animal Care Company, Alfort, France)를 이용하여 분석하였다. 이 분석기를 이용하여 white blood cells(WBC), red blood cell(RBC), emoglob(HGB), hematocrit (HCT), platelet(PLT), mean cell volume(MCV), mean corpuscular hemoglobin(MCH) 및 mean corpuscular hemoglobin concentration(MCHC)를 측정한다. 혈청 시료는 돼지의 ELISA kits

Table 1. Composition of experimental diets for finishing pigs (as-fed basis)

Item	Basal diet
Ingredient (%)	
Corn	81.42
Soybean meal, 44%	14.90
Limestone	1.30
Monocalcium phosphate	1.00
Iodized salt	0.30
Vit-min premix ¹⁾	0.30
L-lysine HCl	0.44
DL-methionine	0.10
L-threonine	0.17
L-tryptophan	0.03
L-valine	0.04
Total	100.00
Calculated energy and nutrient contents	
Metabolizable energy (Mcal/kg)	3.34
Crude protein (%)	14.0
Calcium (%)	0.69
Phosphorus (%)	0.53
Lysine (%)	0.97
Methionine (%)	0.33

¹⁾ Provided per kilogram of diet: vitamin A, 12,000 IU; vitamin D₃, 2,500 IU; vitamin E, 30 IU; vitamin K₃, 3 mg; D-pantothenic acid, 15 mg; nicotinic acid, 40 mg; choline, 400 mg; and vitamin B₁₂, 12 µg; Fe, 90 mg; Cu, 8.8 mg from copper sulfate; Zn, 100 mg from zinc oxide; Mn, 54 mg from manganese oxide; I, 0.35 mg from potassium iodide; Se, 0.3 mg from sodium selenite.

(R&D System, Minneapolis, MN, USA)를 이용하여 cortisol, TNF- α , TGF- β 1, IL-1 β 및 IL-6를 분석한다.

통계분석

모든 데이터는 SAS(SAS Institute, Cary, NC, USA)의 PROC GLM을 이용하여 분석을 진행하였다. 실험 단위는 펜으로 설정되었고 직장온도, 성장성, 혈액지표 및 면역반응의 통계모델은 주요 효과로 THI 와 보조 변수인 공변량으로 체중을 포함하였다. 데이터 결과는 LSMEAN \pm SEM으로 나타났다. 유의 수준은 $p < 0.05$ 로 설정했으며, p 값이 0.05와 0.10 사이인 경우는 유의 수준에 미치는 영향을 보여주는 경향으로 간주하였다(Fig. 1).

결 과

실험 시작 후 1일차에 환경 처리구 간 직장온도의 유의적인 차이가 나타나지 않았지만, Fig. 1과 같이 THI 87 처리구는 THI 68 처리구보다 2-14일차에서 유의적으로 높은 수치를 보였다($p < 0.05$). 성장성 지표로 최종 체중, 일당 증체량 및 일당 섭취량은 THI 87 처리구에서 THI 68

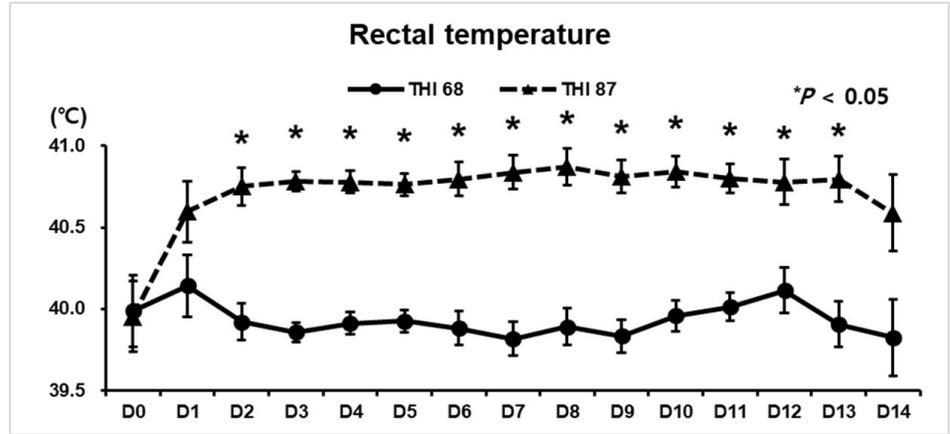


Fig. 1. Rectal temperature of pigs in environmental treatments. Rectal temperature of each pig was measured daily. Data are shown as mean ± SEM. THI 68 = temperature 24°C–25°C and humidity 35% (circle), and THI 87 temperature 32°C–33°C and humidity 80% (triangle). THI, temperature–humidity index.

처리구에 비하여 낮은 수치를 보였지만($p < 0.05$), 처리구 간 사료 효율의 차이는 나타나지 않았다(Table 2). 추가적으로, Table 3에서 혈액지표 중 WBC와 PLT가 THI 87 처리구에서 THI 68 처리구에 비하여 낮은 경향을 보였다($p < 0.10$). 하지만, 환경 처리구 간 면역반응에 대한 차이는 없는 것으로 나타났다(Table 4).

결론

고온으로부터 발생한 스트레스는 축산 동물에 경제적으로 부정적인 영향을 미친다. 돼지에서 고온 스트레스의 노출은 생산성 저하와 폐사 및 질병 발생률을 증가시키고 도체특성(단백질 함량 감소 및 지방 증가)에도 영향을 미치는 것으로 알려져 있다[1]. 이는 고온 스트레스로부터 생존을 위한 전략으로 대사열을 줄이고 열 방출을 최대화 하기 위해 식욕 억제, 사료 섭취량의 감소 및 호흡수의 증가가 나타난다[9]. 이러한 특징은 돼지가 주변 온도에 따른 섭식 행동과

Table 2. Effects of THI on growth performance of finishing pigs

Item	Treatments		SEM	<i>p</i> -value
Temperature (°C)	23–24	32–33		
Humidity (%)	35	80		
THI ¹⁾	68	87		
Day 0 to 14				
Initial BW (kg)	50.44	48.81	0.52	0.058
Final BW (kg)	59.99	54.10	0.98	0.003
ADG (kg/d)	0.764	0.504	0.03	0.001
ADFI (kg/d)	1.676	1.182	0.15	0.050
G:F (kg/kg)	0.468	0.434	0.03	0.467

The data reported represent the means of 12 replicates (5 pigs/pen).

¹⁾THI = (1.8 × temperature + 32) - [(0.55 - 0.0055 × relative humidity) × (1.8 × temperature - 26.8)].

THI, temperature–humidity index; BW, body weight; ADG, average daily gain; ADFI, average daily feed intake; G:F, gain-to-feed ratio.

Table 3. Effect of THI on blood profiles of finishing pigs

Item	Treatments		SEM	<i>p</i> -value
Temperature (°C)	23-24	32-33		
Humidity (%)	35	80		
THI ¹⁾	68	87		
WBC (10 ³ / μ L)				
D0	19.81	19.92	1.14	0.945
D14	20.26	17.88	0.53	0.013
RBC (10 ⁶ / μ L)				
D0	6.06	6.13	0.37	0.891
D14	6.14	6.42	0.27	0.484
HGB (g/dL)				
D0	10.93	10.34	0.81	0.622
D14	10.93	10.92	0.81	0.995
HCT (%)				
D0	32.06	30.79	1.26	0.499
D14	32.84	33.14	1.73	0.905
PLT (10 ³ / μ L)				
D0	454.32	413.42	31.67	0.388
D14	474.49	403.31	26.35	0.093
MCV (fl)				
D0	49.25	49.29	1.26	0.984
D14	47.37	49.24	1.75	0.478
MCH (pg)				
D0	15.89	15.79	0.62	0.913
D14	15.99	15.99	0.69	0.998
MCHC (g/dL)				
D0	32.24	32.34	0.60	0.915
D14	32.68	32.52	0.69	0.875

The data reported represent the means of 12 replicates (5 pigs/pen).

¹⁾THI = (1.8 × temperature + 32) - [(0.55 - 0.0055 × relative humidity) × (1.8 × temperature - 26.8)].

THI, temperature-humidity index; WBC, white blood cell; RBC, red blood cell; HGB, hemoglobin; HCT, hematocrit; PLT, platelet; MCV, mean cell volume; MCH, mean corpuscular hemoglobin; MCHC, mean corpuscular hemoglobin concentration.

생산성이 쉽게 영향을 받는 것을 알 수 있다. 한편, 상대 습도의 경우 일반적인 상황에서 영향을 주지 않지만 고온인 상황에서 높은 습도의 수준은 부정적인 영향을 악화시킨다. 돼지는 고온 스트레스 상황에서 호흡을 통한 증발 열 손실에 의존도가 높아 습도의 수준이 주요한 조건으로 고려된다[5]. 따라서 본 연구는 온도와 습도를 고려한 THI 지수를 기반으로 외부의 환경과는 독립적으로 일정하게 2주 동안 실험 진행을 통하여 생산성과 생리적 변화를 조사하였다.

본 연구 결과로 THI 87 처리구는 실험 기간 동안 THI 68 처리구에 비하여 직장온도가 상승하였다. 이는 고온 스트레스를 받은 돼지의 일반적인 반응으로 이전 연구 결과들과 일치하게 나타났다[15]. 따라서 다른 연구들을 토대로 돼지들은 호흡수 및 수분 섭취량의 증가와 함께

Table 4. Effects of THI on immune and stress responses of finishing pigs

Item	Treatments		SEM	<i>p</i> -value
Temperature (°C)	23-24	32-33		
Humidity (%)	35	80		
THI ¹⁾	68	87		
<hr/>				
TNF-α (pg/mL)				
D0	84.09	85.16	18.37	0.969
D14	93.56	99.70	16.17	0.801
TGF-β1 (pg/mL)				
D0	1,220.94	1,180.67	274.67	0.922
D14	1,283.78	1,277.77	145.54	0.978
IL-6 (pg/mL)				
D0	142.65	133.02	6.16	0.331
D14	140.02	132.12	5.44	0.362
IL-1β (pg/mL)				
D0	43.44	44.00	1.56	0.813
D14	37.67	43.49	3.98	0.360
Cortisol (ng/mL)				
D0	32.17	31.07	2.26	0.748
D14	31.88	33.78	1.55	0.435

The data reported represent the means of 12 replicates (5 pigs/pen).

¹⁾THI = (1.8 × temperature + 32) - [(0.55 - 0.0055 × relative humidity) × (1.8 × temperature - 26.8)].

THI, temperature-humidity index; TNF-α, tumor necrosis factor-α; TGF-β1, transforming growth factor-β1; IL-6, interleukin-6; IL-1β, interleukin-1β.

고온 스트레스를 받고 있음을 예견할 수 있다[16,17].

또한, 본 연구에서 고온 스트레스로 인해 평균 일당 사료 섭취량의 유의적인 감소로 나타났다. 이는 대사 과정과 증발을 통한 열 생성을 최소화하려는 전략으로 보인다[11,18]. 사료 섭취량 감소와 연결하여 THI 87 처리구는 THI 68 처리구에 비하여 최종 체중과 평균 일당 증체량이 유의적으로 낮았다. 한편, 고온 스트레스 상황에서 근육 감소와 지방 축적 증가하는 체성분의 변화도 이러한 결과에 영향을 미친다[1,18].

혈액지표의 결과는 THI 87 처리구에서 THI 68 처리구에 비해 WBC 수가 감소하는 경향을 보였다. 이는 많은 선행 연구의 결과와 일치하며, WBC의 비율은 단핵구, 호중구 및 호산구의 증가와 림프구의 감소를 유도한다고 보고되었다[19-21]. 하지만 RBC, HGB, HCT, PLT, MCV, MCH 및 MCHC의 유의적 차이를 보이지 않았다. 이는 이전 연구 결과를 바탕으로 볼 때 고온 스트레스 기간과 품종에 따라 다르게 영향을 받을 수 있으며, 고온 스트레스 기간의 구간에 따른 혈액지표 변화에 대한 연구가 더 필요하다.

앞선 연구에 따르면 고온 스트레스 동안 대사 열 생산을 줄이기 위해 장 상피의 혈액이 재분 배된다. 이때 장 내 환경 변화는 장막의 손상을 초래하며 외부로부터 많은 항원이 유입되면서 면역반응이 일어난다[17]. 따라서 일부 연구에서는 LPS 주입 실험과 동일하게 면역 물질이 증가할 것이라 예측했지만, 일부 다른 연구에서 TNF-α와 IL-1b가 감소함을 보였다[22,23]. 본 연구에서 면역반응 지표인 cortisol, TNF-α, TGF-β1, IL-1β 및 IL-6는 THI 수준에 따른 유의차가

나타나지 않았다.

REFERENCES

1. St-Pierre NR, Cobanov B, Schnitkey G. Economic losses from heat stress by US livestock industries. *J Dairy Sci.* 2003;86:E52-77. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)74040-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)74040-5)
2. Brown-Brandl TM, Nienaber JA, Xin H, Gates RS. A literature review of swine heat production. *Trans ASAE.* 2004;47:259-70. <https://doi.org/10.13031/2013.15867>
3. Spiers DE, Spain JN, Sampson JD, Rhoads RP. Use of physiological parameters to predict milk yield and feed intake in heat-stressed dairy cows. *J Therm Biol.* 2004;29:759-64. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2004.08.051>
4. Lefaucheur L, Le Dividich J, Mourot J, Monin G, Ecolan P, Krauss D. Influence of environmental temperature on growth, muscle and adipose tissue metabolism, and meat quality in swine. *J Anim Sci.* 1991;69:2844-54. <https://doi.org/10.2527/1991.6972844x>
5. Myer R, Bucklin R. Influence of hot-humid environment on growth performance and reproduction of swine [Internet]. 2007 [cited 2023 May 30]. <http://edis.ifas.ufl.edu/AN107>
6. Ross JW, Hale BJ, Gabler NK, Rhoads RP, Keating AF, Baumgard LH. Physiological consequences of heat stress in pigs. *Anim Prod Sci.* 2015;55:1381-90. <https://doi.org/10.1071/AN15267>
7. Oh SY, Jeong YD, Kim DW, Min YJ, Yu DJ, Kim KH, et al. Effect of heat stress on growth performance and physiological changes of pigs in commercial farm. *J Korea Acad Ind Coop Soc.* 2017;18:130-9. <https://doi.org/10.5762/KAIS.2017.18.7.130>
8. Ma X, Wang L, Shi Z, Chen W, Yang X, Hu Y, et al. Mechanism of continuous high temperature affecting growth performance, meat quality, and muscle biochemical properties of finishing pigs. *Genes Nutr.* 2019;14:1-15. <https://doi.org/10.1186/s12263-019-0643-9>
9. Mayorga EJ, Renaudeau D, Ramirez BC, Ross JW, Baumgard LH. Heat stress adaptations in pigs. *Anim Front.* 2019;9:54-61. <https://doi.org/10.1093/af/vfy035>
10. Lambert GP. Stress-induced gastrointestinal barrier dysfunction and its inflammatory effects. *J Anim Sci.* 2009;87:E101-8. <https://doi.org/10.2527/jas.2008-1339>
11. Pearce SC, Gabler NK, Ross JW, Escobar J, Patience JF, Rhoads RP, et al. The effects of heat stress and plane of nutrition on metabolism in growing pigs. *J Anim Sci.* 2013;91:2108-18. <https://doi.org/10.2527/jas.2012-5738>
12. Wegner K, Lambertz C, Das G, Reiner G, Gauly M. Effects of temperature and temperature-humidity index on the reproductive performance of sows during summer months under a temperate climate. *Anim Sci J.* 2016;87:1334-9. <https://doi.org/10.1111/asj.12569>
13. Xin H, Harmon J. Livestock industry facilities and environment: heat stress indices for livestock [Internet]. Iowa State University. 1998 [cited 2023 Mar 1]. <https://dr.lib.iastate.edu/handle/20.500.12876/33087>
14. Lee SA, Whenham N, Bedford MR. Review on docosahexaenoic acid in poultry and swine nutrition: consequence of enriched animal products on performance and health characteristics. *Anim Nutr.* 2019;5:11-21. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2018.09.001>
15. Yu J, Yin P, Liu F, Cheng G, Guo K, Lu A, et al. Effect of heat stress on the porcine small intestine: a morphological and gene expression study. *Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol.* 2010;156:119-28. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2010.01.008>
16. Patience JF, Umboh JF, Chaplin RK, Nyachoti CM. Nutritional and physiological responses of growing pigs exposed to a diurnal pattern of heat stress. *Livest Prod Sci.* 2005;96:205-14. <https://doi.org/10.1016/j.livprodsci.2005.01.012>

17. Pearce SC, Mani V, Boddicker RL, Johnson JS, Weber TE, Ross JW, et al. Heat stress reduces intestinal barrier integrity and favors intestinal glucose transport in growing pigs. *PLOS ONE*. 2013;8:e70215. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0070215>
18. Collin A, van Milgen J, Dubois S, Noblet J. Effect of high temperature on feeding behaviour and heat production in group-housed young pigs. *Br J Nutr*. 2001;86:63-70. <https://doi.org/10.1079/BJN2001356>
19. Mashaly MM, Hendricks GL 3rd, Kalama MA, Gehad AE, Abbas AO, Patterson PH. Effect of heat stress on production parameters and immune responses of commercial laying hens. *Poult Sci*. 2004;83:889-94. <https://doi.org/10.1093/ps/83.6.889>
20. Morrow-Tesch JL, McGlone JJ, Salak-Johnson JL. Heat and social stress effects on pig immune measures. *J Anim Sci*. 1994;72:2599-609. <https://doi.org/10.2527/1994.72102599x>
21. Seelenbinder KM, Zhao LD, Hanigan MD, Hulver MW, McMillan RP, Baumgard LH, et al. Effects of heat stress during porcine reproductive and respiratory syndrome virus infection on metabolic responses in growing pigs. *J Anim Sci*. 2018;96:1375-87. <https://doi.org/10.1093/jas/sky057>
22. Gabler NK, Koltjes D, Schaumberger S, Raj Murugesan G, Reisinger N. Diurnal heat stress reduces pig intestinal integrity and increases endotoxin translocation. *Transl Anim Sci*. 2018;2:1-10. <https://doi.org/10.1093/tas/txx003>
23. Lee IK, Kye YC, Kim G, Kim HW, Gu MJ, Umboh J, et al. Stress, nutrition, and intestinal immune responses in pigs: a review. *Asian-Australas J Anim Sci*. 2016;29:1075-82. <https://doi.org/10.5713/ajas.16.0118>