

ANIMAL

# Effect of heat stress on growth performance and blood profiles in finishing pigs

Byeonghyeon Kim<sup>1</sup>, Hye Ran Kim<sup>1</sup>, Ki Hyun Kim<sup>2</sup>, Minji Kim<sup>1</sup>, Youl-Chang Baek<sup>1</sup>, Sung Dae Lee<sup>1</sup>, Jin Young Jeong<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Animal Nutrition & Physiology Team, National Institute of Animal Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea

<sup>2</sup>Animal Welfare Team, National Institute of Animal Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea

\*Corresponding Author: jeong73@korea.kr

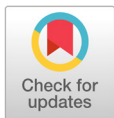
## Abstract

A biomarker is needed to monitor and manage the health of pigs from heat stress (HS). Therefore, we investigated the effects of HS on growth performance, nutrient digestibility, and blood profiles in finishing pigs. A total of 12 finishing pigs (n = 12) were raised in thermal neutral (TN; 25°C) conditions for a 3-d adaptation period. After the adaptation, 6 pigs were exposed to HS at 33°C (HS33) for 5 d. The pigs were fed the same diet based on corn and soybean meal. Chromic oxide was added to all the diets at a level of 2 g·kg<sup>-1</sup> as an indigestible marker for the determination of the apparent total tract digestibility (ATTD) of nutrients and amino acids. Blood samples were collected after the adaptation and heat treatment to verify the blood profiles. The HS33 pigs had a lower (p < 0.01) average daily feed intake (ADFI) and higher (p < 0.05) rectal temperature compared to the TN pigs. However, there was no difference in the ATTD of nutrients and amino acids. The HS33 pigs had reduced (p < 0.05) levels of serum glucose, non-esterified fatty acids (NEFA), total protein, albumin, and calcium compared to the TN pigs. However, the level of total bilirubin was increased (p < 0.05) in the HS pigs. In conclusion, HS reduced the feed intake and had an adverse effect on health. Altered blood profiles as a result of a negative energy balance are expected to be biomarkers of HS in finishing pigs.

**Keywords:** biomarker, digestibility, feed intake, rectal temperature

## Introduction

돼지에게 과도한 열 노출은 체온과 호흡수를 증가시키고 고온 스트레스(heat stress, HS)를 받은 돼지는 섭취하는 사료에 의해 발생하는 대사열을 줄이기 위해 자발적으로 사료 섭취량을 줄이게 된다(Pearce et al., 2012; Williams et al., 2013). 특히, 돼지는 체온을 조절하기 위한 땀샘이 발달하지 않아 높은 주변 온도에 취약하기 때문에 혈액의 이동을 통해 체온을 조절하게 된다(Mayorga et al., 2019). 고온에 노출된 돼지의 혈액은 가장 온도가 높은 심부에서 피부 방향으로 이동하여 복사열 방출을 통해 체온을 낮추는 역할을 한다(Lambert, 2009; Cottrell



### OPEN ACCESS

**Citation:** Kim B, Kim HR, Kim KH, Kim M, Baek YC, Lee SD, Jeong JY. 2020. Effect of heat stress on growth performance and blood profiles in finishing pigs. Korean Journal of Agricultural Science 47:683-691. <https://doi.org/10.7744/kjoas.20200056>

**Received:** July 13, 2020

**Revised:** August 20, 2020

**Accepted:** August 24, 2020

**Copyright:** © 2020 Korean Journal of Agricultural Science



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.

et al., 2015). 하지만, 이러한 현상은 장관으로 이동하는 혈류량을 줄일 뿐만 아니라, 혈류를 통해 이동하는 영양분과 산소의 공급 또한 줄어들게 된다(Gabler and Pearce, 2015). 이로 인해, HS는 장 세포의 저산소증을 일으키고 산화 및 질산화 스트레스를 유발해 장 용모 길이를 감소시키게 된다(Pearce et al., 2013a; Cui and Gugu, 2015; Gabler and Pearce, 2015). 이러한 장 용모의 변화는 소화 능력을 떨어뜨리고 필수아미노산인 아르기닌(arginine)과 히스티딘(histidine)의 소화율을 저하시킨다(Pearce et al., 2012; Morales et al., 2016). 결과적으로, HS는 성장률과 사료 효율을 떨어뜨려 경제적 손실을 일으키게 된다(Lu et al., 2007; Gabler and Pearce, 2015; Ross et al., 2015).

HS는 성장률에 부정적인 역할 뿐만 아니라, 체내 에너지, 단백질 및 지방과 관련된 대사 물질의 변화를 일으킨다(Carbone et al., 2012; Pearce et al., 2012; Lu et al., 2018). HS로 인한 생산성 감소를 줄이고 혹서기 돼지 관리를 위해 혈액과 타액 내 대사 물질 분석을 통한 생체 지표 변화에 대한 연구가 진행되었으며(Dou et al., 2017; Cui et al., 2019), 이러한 생체 지표들은 HS로부터 가축을 관리하기 위한 잠재적인 지표로써 사용될 수 있을 것이다(Cui et al., 2019). 현재까지 HS와 대사 물질 변화의 상관성에 대한 연구가 진행되고 있지만, 생체 지표를 개발하기 위해서는 HS가 돼지 생리 변화에 미치는 영향에 대한 더 나은 이해가 필요하다. 따라서, 본 연구는 HS가 돼지의 대사 및 생리에 미치는 영향을 성장률, 소화율 및 혈액 생화학 분석을 통해 잠재적인 생체 지표를 제시하고자 하였다.

## Materials and Methods

본 실험은 국립축산과학원 동물사육시설에서 실시되었으며 동물실험윤리위원회(Institutional Animal Care Use Committee, IACUC) 운영 규정을 준수하고 승인을 받았다(No. 2019-1732).

### 공시 동물 및 실험 방법

시험 동물은 체중 76 kg 전후 거세 비육돈 12두를 공시하였다. 시험 동물은 항온·항습이 유지되는 챔버에서 대사 틀에 3일간 사육 온도 25°C, 상대습도 60%의 조건(thermal neutral, TN)으로 적응기간을 두었다. 적응 기간 이후, 6두를 TN으로 계속 5일간 처리하였고 나머지 6두를 사육 온도 33°C, 상대습도 60%의 조건(heat stress at 33°C, HS33)으로 5일간 처리하였다.

시험기간 동안 급여 사료는 옥수수·대두박 위주로 한국돼지사양표준(NIAS, 2017) 영양소 요구량 이상 배합한 사료를 1일 2회로 3 kg씩 급여하였고 물은 자유 채식하였다. 시험 사료의 원료 구성과 화학적 조성은 Table 1과 같다.

### 조사 항목 및 조사 방법

돼지의 증체량 및 사료섭취량을 조사하였고 마지막 날(d 5)에 체온계(Microlife, Widnau, Switzerland)를 이용하여 직장 온도를 측정하였다. 혈액 시료는 적응기간이 끝난 후, 실험 개시 전(d 0) 그리고 종료 날(d 5) 각 10:00에 경정맥에서 혈청 튜브를 이용해 채취하여 원심분리기로 4°C에서 15분간 원심분리(1,660 × g) 후 상층액을 액체 질소로 급속 동결하여 분석 전까지 -80°C에서 냉동 보관하였다.

**Table 1.** Ingredients and chemical composition of the experimental diets.

Items	Ratio (%)
Ingredients (%)	
Com	57.30
Soybean meal, 44%	25.00
Wheat bran	11.50
Molasses	1.40
Soybean oil	2.00
Limestone	1.00
Lysine, 78%	0.40
Salt	0.40
Tricalcium phosphate	0.50
Vitamin-mineral premix <sup>z</sup>	0.50
Calculated composition	
Digestible energy (kcal·kg <sup>-1</sup> )	3,400
Crude protein (%)	18.00
Lysine (%)	1.37
Methionine + Cysteine (%)	0.70
Total phosphorus	0.51

<sup>z</sup> Supplied per kg of diet: Vit A 5,000,000 IU; Vit D3 1,000,000 IU; Vit E 1,000 mg; Vit B1 150 mg; Vit B2 300 mg; Vit B12 1,500 mg; niacin amide 1,500 mg; DL-calcium pantothenate 1,000 mg; folic acid 200 mg; Vit H 10 mg; choline chloride 2,000 mg; Mn 3,800 mg; Zn 1,500 mg; Fe 4,000 mg; Cu 500 mg; I 250 mg; Co 100 mg; Mg 200 mg.

일당 증체량(average daily gain, ADG)은 개시 체중과 종료 체중 및 실험 기간을 통해 계산하였고 일당사료섭취량(average daily feed intake, ADFI)은 전체 사료섭취량에서 시료채취시점에 남은 사료량을 제외하여 계산하였다.

외관전장소화율(apparent total tract digestibility, ATTD) 분석을 하기 위해 2 g·kg<sup>-1</sup>의 indigestible marker (chromic oxide, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)를 사료에 첨가 및 급여하여 분 샘플을 채취 후, 분석 전까지 -20°C에서 냉동 보관하였다. 사료와 분 내 영양소를 분석하기 위한 화학 분석방법은 AOAC (2005)를 참고하였으며, 소화율을 측정하기 위해 Stein et al. (2007)의 방법을 참고하여 계산하였고 공식은 다음과 같다.

$$ATTD = \left[ 1 - \left( \frac{\text{Nutrient}_{\text{digesta}}}{\text{Nutrient}_{\text{diet}}} \right) \times \left( \frac{\text{Cr}_{\text{diet}}}{\text{Cr}_{\text{digesta}}} \right) \right] \times 100 \quad (1)$$

혈청 내 지표 분석은 혈액 생화학 분석기(Catalyst Dx, IDEXX Labs Inc., Westbrook, USA)를 사용하여 분석하였으며 분석항목으로는 글루코스(glucose), 콜레스테롤(cholesterol), 트리글리세라이드(triglycerides), 비에스테르화 지방산(non-esterified fatty acids, NEFA), 크레아티닌(creatinine), 요소 질소(urea nitrogen), 크레아틴 키나아제(creatine kinase), 총 단백(total protein), 알부민(albumin), aspartate aminotransferase (AST), alanine aminotransferase (ALT), gamma-glutamyltransferase (GGT), 총 빌리루빈(total bilirubin), 무기 인(inorganic phosphate, IP), 칼슘(calcium) 및 마그네슘(magnesium)이 있다.

## 통계 분석

실험 데이터는 HS 처리와 시간 변화에 따른 2 × 2 factorial arrangement로 분석되었고 개체(pig)를 실험 단위로 이용하였다. 통계 처리는 SAS 프로그램(SAS Inst. Inc., Cary, NC, USA)의 GLM procedures를 이용하여 진행하였고 HS 처리, 시간 및 이들의 interaction을 포함한다. 평균 간의 유의성 검정은 95% 유의수준으로 분석하였다.

## Results and Discussion

본 연구에서 HS를 받은 돼지들의 성장률 및 사료섭취량이 감소하고 직장 온도가 증가한 것으로 보아 HS가 돼지에게 영향을 준 것으로 판단된다. 이전 연구결과에 의하면, 급성(acute)과 만성(chronic) HS 모두 돼지의 증체량과 섭취량을 감소시키고 직장 온도를 증가시켰다(Pearce et al., 2014; Lu et al., 2018). HS33 처리구의 ADG는 TN처리구보다 낮은 경향( $p = 0.065$ )을 보였고 ADFI 또한 유의적( $p < 0.01$ )으로 감소하였지만, 직장 온도는 유의적( $p = 0.013$ )으로 높았다(Table 2). 하지만, 일반 성분의 소화율과 fecal output (Table 3 and Table 4) 그리고 필수·비필수 아미노산의 소화율을 측정한 결과(Table 5 and Table 6), HS에 의한 차이는 없었다. 이는 이전 연구에 비해 처리 온도가 상대적으로 낮았고 HS33 처리가 장 용모에 부정적인 영향을 미치지 않은 것으로 판단된다(Morales et al., 2016).

**Table 2.** Effect of heat stress on growth performance and rectal temperature in finishing pigs (n = 6 per treatment).

Items	Treatments		SEM	p-value
	TN	HS33		
ADG (kg·d <sup>-1</sup> )	1.35	1.09	0.09	0.065
ADFI (kg·d <sup>-1</sup> )	3.02a	2.30b	0.11	< 0.01
RT (d 5, °C)	38.60b	39.30a	0.18	0.013

TN, thermal neutral; HS33, heat stress at 33°C; SEM, standard error of the mean; ADG, average daily gain; ADFI, average daily feed intake; RT, rectal temperature.

a, b: Different letters within differ significantly ( $p < 0.05$ ).

**Table 3.** Effect of heat stress on apparent total tract digestibility (ATTD, %) in finishing pigs (n = 6 per treatment).

Items	Day of experiment				SEM	p-value		
	d 0		d 5			Trt	Time	Trt × Time
	TN	HS33	TN	HS33				
DM	78.20	76.82	79.29	82.40	2.24	0.777	0.287	0.469
CP	80.68	79.87	81.04	85.42	2.73	0.638	0.435	0.490
EE	64.81	59.85	57.95	67.43	2.89	0.573	0.929	0.087
CF	32.31	34.97	37.89	50.07	5.45	0.329	0.183	0.526
Ash	45.37	42.37	43.45	52.47	3.13	0.487	0.348	0.177
NDF	33.97	34.48	44.45	45.58	5.35	0.965	0.178	0.977
ADF	27.62	31.62	40.45	43.89	6.21	0.664	0.158	0.974
Ca	28.67	29.71	32.05	45.46	3.56	0.155	0.069	0.221
P	34.66	32.98	30.16	41.37	3.73	0.361	0.704	0.221

TN, thermal neutral; HS33, heat stress at 33°C; SEM, standard error of the mean; DM, dry matter; CP, crude protein; EE, ether extract; CF, crude fiber; NDF, neutral detergent fiber; ADF, acid detergent fiber; Ca, calcium; P, phosphorus; Trt, treatment; Trt × Time, treatment × time interaction.

**Table 4.** Effect of heat stress on fecal output ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  DM intake) in finishing pigs ( $n = 6$  per treatment).

Items	Day of experiment				SEM	p-value		
	d 0		d 5			Trt	Time	Trt $\times$ Time
	TN	HS33	TN	HS33				
DM	217.94	234.08	204.21	174.55	22.96	0.830	0.257	0.472
CP	36.62	38.59	35.44	27.42	5.26	0.675	0.398	0.492
EE	23.10	26.56	27.22	21.20	1.96	0.636	0.818	0.097
CF	22.54	21.87	20.40	16.51	1.87	0.381	0.161	0.535
Ash	34.59	36.82	35.33	29.86	2.05	0.566	0.281	0.188
NDF	72.42	72.53	60.09	60.38	6.07	0.981	0.159	0.991
ADF	28.41	27.09	23.04	21.88	2.50	0.719	0.141	0.982
Ca	10.98	10.92	10.32	8.33	0.56	0.195	0.051	0.225
P	3.58	3.70	3.77	3.18	0.21	0.419	0.589	0.231

TN, thermal neutral; HS33, heat stress at 33°C; SEM, standard error of the mean; DM, dry matter; CP, crude protein; EE, ether extract; CF, crude fiber; NDF, neutral detergent fiber; ADF, acid detergent fiber; Ca, calcium; P, phosphorus; Trt, treatment; Trt  $\times$  Time, treatment  $\times$  time interaction.

**Table 5.** Effect of heat stress on apparent total tract digestibility (ATTD, %) of indispensable amino acids in finishing pigs ( $n = 6$  per treatment).

Items	Day of experiment				SEM	p-value		
	d 0		d 5			Trt	Time	Trt $\times$ Time
	TN	HS33	TN	HS33				
Met	68.08	69.93	72.42	82.51	5.00	0.286	0.137	0.458
Thr	67.74	72.78	74.98	81.89	4.26	0.212	0.094	0.842
Val	73.48	76.95	79.34	85.18	3.86	0.281	0.111	0.780
Ile	68.79	72.70	75.93	82.44	4.28	0.278	0.087	0.784
Leu	74.01	77.57	79.85	85.42	3.47	0.242	0.087	0.792
Phe	72.30	77.35	84.21	84.21	3.56	0.152	0.130	0.855
Lys	82.28	83.99	86.12	89.61	2.66	0.379	0.119	0.760
His	83.34	85.22	87.03	90.20	2.33	0.331	0.105	0.803
Arg	87.02	88.10	90.20	91.90	1.88	0.505	0.106	0.882

TN, thermal neutral; HS33, heat stress at 33°C; SEM, standard error of the mean; Met, methionine; Thr, threonine; Val, valine; Ile, isoleucine; Leu, leucine; Phe, phenylalanine; Lys, lysine; His, histidine; Arg, arginine; Trt, treatment; Trt  $\times$  Time, treatment  $\times$  time interaction.

**Table 6.** Effect of heat stress on apparent total tract digestibility (ATTD, %) of dispensable amino acids in finishing pigs ( $n = 6$  per treatment).

Items	Day of experiment				SEM	p-value		
	d 0		d 5			Trt	Time	Trt $\times$ Time
	TN	HS33	TN	HS33				
Cys	81.43	77.12	83.24	90.00	3.23	0.731	0.052	0.133
Asp	75.71	79.14	80.95	86.30	3.32	0.238	0.103	0.792
Ser	76.98	80.67	81.47	86.99	2.92	0.164	0.106	0.776
Gly	69.99	73.54	75.60	83.51	4.33	0.239	0.115	0.648
Ala	64.98	67.02	71.79	81.26	5.64	0.360	0.103	0.552
Tyr	70.60	75.17	75.98	83.61	3.96	0.173	0.126	0.727
Pro	81.25	83.90	85.04	89.62	2.49	0.197	0.096	0.724
Glu	82.33	84.39	85.88	90.27	2.50	0.252	0.100	0.673

TN, thermal neutral; HS33, heat stress at 33°C; SEM, standard error of the mean; Cys, cysteine; Asp, aspartic acid; Ser, serine; Gly, glycine; Ala, alanine; Tyr, tyrosine; Pro, proline; Glu, glutamic acid; Trt, treatment; Trt  $\times$  Time, treatment  $\times$  time interaction.

HS는 급성과 만성으로 구분되며 HS종류에 따라 대사 및 생리 지표의 변화가 달라진다. 급성 HS를 받은 돼지는 일시적인 사료 섭취 감소로 인해 공급되는 영양분이 제한(restriction)되어 부족한 에너지를 보충하기 위해 장관 내 glucose transporter의 유전자 발현을 증가시켜 glucose의 흡수를 증가시키게 된다(Pearce et al., 2012; Pearce et al., 2013b). 또한, 근육 내 단백질 손상 및 분해를 유발하게 된다(Gabler and Pearce, 2015; Pearce et al., 2015). 일반적으로, 섭취하는 영양분이 사용되는 에너지보다 많은 positive energy balance (PEB) 상태에서는 체중이 증가하지만, 사용되는 에너지보다 섭취하는 영양분이 적어질 경우, negative energy balance (NEB) 상태로 전환된다(Hill et al., 2013). 만성 HS의 경우, 지속적인 사료 섭취 감소로 인해 공급되는 영양분이 고갈(depletion)되어 부족한 에너지를 보충하기 위해 급성 HS로 인해 발생한 지방 분해 산물을 이용해 에너지원으로 쓰이게 된다(Lu et al., 2018; Cui et al., 2019). 따라서, 만성 HS로 인한 지속적인 영양분 부족은 NEB상태를 유발하고 급성 HS에 의해 흡수가 증가된 glucose와 지방분해 산물을 에너지로 이용하게 된다.

혈액 내 에너지 및 지방과 관련된 지표들을 측정한 결과, HS 효과에 의해 혈액 내 glucose와 NEFA수치가 유의적( $p < 0.01$ )으로 감소하였으며(Table 7) 이러한 결과는 부족한 에너지 공급을 위해 glucose와 NEFA가 에너지원으로 이용된 것으로 보인다(Lim and Ki, 2019). 또한, triglycerides의 수치는 처리구간 유의적( $p = 0.058$ )인 차이가 없었는데, 이는 NEFA가 에너지원으로 이용됨으로써 부족한 에너지 공급을 위한 triglycerides의 mobilization이 불필요했기 때문으로 판단된다(Cui et al., 2019).

단백질 분해 관련 지표들의 수치를 본 결과, 본 연구결과에서 사용된 5일간의 HS처리는 근육에 손상을 주진 않은 것으로 판단된다. Creatinine은 muscle breakdown의 지표로써 심각한 HS가 지속되면 증가하게 된다(Pearce et al., 2013a). 이전 연구 결과에 의하면, 35°C로 HS를 주었을 때 creatinine 수치가 증가하였지만, 본 연구결과에서는 creatinine 수치가 HS 효과에 대한 차이가 없는 것으로 보아 HS33 처리구는 심각한 단계가 아닌 것으로 보인다(Pearce et al., 2013a). 또한, urea nitrogen과 creatine kinase는 근육 단백질의 손상을 나타내는 척도 인데, 본 연구 결과에서 감소하는 경향( $p < 0.10$ )을 보였다(Table 7). 반면에, 급성 HS는 blood urea nitrogen 수치를 증가시킨 것으로 보아 근육 단백질의 손상을 주는 것으로 보인다(Pearce et al., 2013a). 하지만, HS에 의해 줄어든 사료섭취량을 TN 처리구에 pair-feeding한 결과 차이가 없었으며 이는 urea nitrogen 수치는 영양분 부족이 아닌 HS에 의한 영향이 더 큰 것으로 보인다(Pearce et al., 2015).

본 연구에서 HS를 받은 돼지들의 혈액 내 지표로 보아 HS가 건강에 부정적인 영향을 끼친 것으로 보인다. Total protein과 albumin 수치를 측정한 결과, HS 효과에 의해 수치가 유의적( $p < 0.05$ )으로 낮았다(Table 7). Albumin은 negative acute-phase protein으로 HS나 영양분의 공급이 원활하지 않을 때 감소되는 것으로 보고되었으며 이로 인해 albumin과 globulin의 총량을 의미하는 total protein 수치도 감소한 것으로 보인다(Attia et al., 2017; Santos et al., 2018; Soeters et al., 2019). Total bilirubin은 HS 효과에 의해 유의적( $p = 0.033$ )으로 증가하였으며 HS에 의한 혈류의 변화와 산소 공급 부족으로 인한 저산소증(anorexia) 때문에 증가한 것으로 판단된다(Mazzullo et al., 2014). 또한, 혈액 내 칼슘 함량이 HS 효과에 의해 유의적( $p = 0.012$ )으로 감소하였다(Table 8). HS에 의한 과호흡은 호흡성 알칼리증(respiratory alkalosis)을 유발하고 산염기 균형(acid-base balance)을 변화시킨다(Odom et al., 1986). 이로 인한 혈액의 pH 증가는 칼슘과 혈중 단백질의 결합을 증가시켜 혈액 내 칼슘 이온의 수치를 상대적으로 낮춘 것으로 판단된다(Samuel et al., 2018).



**Table 7.** Effect of heat stress on blood profiles in finishing pigs (n = 6 per treatment).

Parameters	Day of experiment				SEM	p-value		
	d 0		d 5			Trt	Time	Trt × Time
	TN	HS33	TN	HS33				
Glucose (mg·dL <sup>-1</sup> )	99.25	89.17	102.50	83.67	2.75	<0.001	0.719	0.174
Cholesterol (mg·dL <sup>-1</sup> )	96.75	89.67	89.25	88.33	4.71	0.458	0.414	0.566
Triglycerides (IU·L <sup>-1</sup> )	35.75	24.83	47.50	39.67	4.11	0.058	0.011	0.741
NEFA (mEq·L <sup>-1</sup> )	0.075	0.053	0.088	0.053	0.007	0.002	0.423	0.423
Creatinine (mg·dL <sup>-1</sup> )	1.42	1.19	1.41	1.53	0.08	0.498	0.062	0.055
Urea nitrogen (mg·dL <sup>-1</sup> )	14.10	13.85	20.58	15.02	1.24	0.053	0.014	0.074
Creatine kinase (IU·L <sup>-1</sup> )	4,442.00	1,011.67	2,202.75	1,555.67	923.04	0.066	0.424	0.196
Total protein (g·dL <sup>-1</sup> )	7.65	6.98	7.55	7.38	0.17	0.040	0.432	0.198
Albumin (g·dL <sup>-1</sup> )	4.05	3.45	4.18	3.72	0.10	<0.001	0.086	0.518
AST (IU·L <sup>-1</sup> )	52.00	27.83	32.25	31.67	6.37	0.101	0.280	0.117
ALT (IU·L <sup>-1</sup> )	46.50	48.33	44.50	45.50	3.96	0.753	0.592	0.926
GGT (IU·L <sup>-1</sup> )	30.50	32.17	29.00	35.33	3.98	0.382	0.854	0.607
Total bilirubin (mg·dL <sup>-1</sup> )	0.023	0.038	0.008	0.020	0.005	0.033	0.014	0.787

TN, thermal neutral; HS, heat stress at 33°C; SEM, standard error of the mean; NEFA, non-esterified fatty acids; AST, aspartate aminotransferase; ALT, alanine aminotransferase; GGT, gamma-glutamyltransferase; Trt, treatment; Trt × Time, treatment × time interaction.

**Table 8.** Effect of heat stress on blood electrolytes in finishing pigs (n = 6 per treatment).

Parameters	Day of experiment				SEM	p-value		
	d 0		d 5			Trt	Time	Trt × Time
	TN	HS33	TN	HS33				
IP (mg·dL <sup>-1</sup> )	7.08	6.48	6.33	6.43	0.18	0.251	0.066	0.104
Calcium (mg·dL <sup>-1</sup> )	13.55	12.45	13.95	12.90	0.34	0.012	0.276	0.948
Magnesium (mg·dL <sup>-1</sup> )	2.30	2.07	2.38	2.28	0.09	0.133	0.175	0.500

TN, thermal neutral; HS, heat stress at 33°C; SEM, standard error of the mean; IP, inorganic phosphate; Trt, treatment; Trt × Time, treatment × time interaction.

## Conclusion

본 연구는 HS 처리에 따른 비육돈의 성장률, 직장 온도, 소화율 및 혈액 성상에 미치는 영향을 평가하였다. HS는 증체량과 사료섭취량을 감소시켰으며 이는 섭취하는 사료로 인해 발생하는 대사열을 줄이기 위한 것으로 판단된다. 하지만, HS가 소화율에 미치는 부정적인 영향은 없었다. 혈액 생화학 분석 결과, 사료 섭취량 감소로 인한 부족한 에너지를 공급하기 위해 혈중 glucose와 NEFA가 에너지원으로 쓰인 것으로 보이며 이는 HS에 의해 NEB상태로 전환된 것으로 판단된다. 하지만, 근육 단백질의 손상을 의미하는 지표들의 수치는 차이가 없는 것으로 보아 본 연구에서 처리한 HS가 근육 단백질에 미치는 영향이 크진 않았던 것으로 보인다. 따라서, HS에 의한 혈액 성상 변화를 통해 HS로부터 가축을 관리하기 위한 잠재적 생체지표로서 활용 가능할 것으로 보인다.

## Acknowledgements

본 연구는 농촌진흥청 연구사업(세부과제번호: PJ01457401)의 지원 및 2019년도 농촌진흥청 국립축산과학원 전 문연구원 과정 지원사업에 의해 수행되었습니다.

## Authors Information

Byeonghyeon Kim, <https://orcid.org/0000-0003-4651-6857>

Hye Ran Kim, <https://orcid.org/0000-0003-2207-3668>

Ki Hyun Kim, <https://orcid.org/0000-0002-9834-2126>

Minji Kim, <https://orcid.org/0000-0003-2106-1921>

Youl-Chang Baek, <https://orcid.org/0000-0003-4454-5339>

Sung Dae Lee, <https://orcid.org/0000-0002-9167-4099>

Jin Young Jeong, <https://orcid.org/0000-0002-8670-7036>

## References

- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 2005. Official methods of analysis. 18th ed. AOAC Int., Arlington, VA, USA.
- Attia YA, Al-Harhi MA, El-Shafey AS, Rehab YA, Kim WK. 2017. Enhancing tolerance of broiler chickens to heat stress by supplementation with vitamin E, vitamin C and/or probiotics. *Annals of Animal Science* 17:1155-1169.
- Carbone JW, McClung JP, Pasiakos SM. 2012. Skeletal muscle responses to negative energy balance: Effect-s of dietary protein. *Advances in Nutrition* 3:119-126.
- Cottrell JJ, Liu F, Hung AT, DiGiacomo K, Chauhan SS, Leury BJ, Furness JB, Celi P, Dunshea FR. 2015. Nutritional strategies to alleviate heat stress in pigs. *Animal Production Science* 55:1391-1402.
- Cui Y, Gugu X. 2015. Proteomic changes of the porcine small intestine in response to chronic heat stress. *Journal of Molecular Endocrinology* 55:277-293.
- Cui Y, Wang C, Hao Y, Gu X, Wang H. 2019. Chronic heat stress induces acute phase responses and serum metabolome changes in finishing pigs. *Animals* 9:395.
- Dou S, Villa-Vialaneix N, Liaubet L, Billon Y, Giorgi M, Gilbert H, Gourdine JL, Riquet J, Renaudeau D. 2017. <sup>1</sup>H-NMR-Based metabolomic profiling method to develop plasma biomarkers for sensitivity to chronic heat stress in growing pigs. *PLoS ONE* 12:1-18.
- Gabler NK, Pearce SC. 2015. The impact of heat stress on intestinal function and productivity in grow-finish pigs. *Animal Production Science* 55:1403-1410.
- Hill JO, Wyatt HR, Peters JC. 2013. The importance of energy balance. *European Endocrinology* 9:111-115.
- Lambert GP. 2009. Stress-induced gastrointestinal barrier dysfunction and its inflammatory effects. *Journal of Animal Science* 87:101-108.
- Lim HJ, Ki KS. 2019. Effects of induced heat stress on temperature response and biochemistry: alteration of biochemical constituents in Holstein calves by heat stress. *Korean Journal of Agricultural Science* 46:637-643.
- Lu Q, Wen J, Zhang H. 2007. Effect of chronic heat exposure on fat deposition and meat quality in two genetic types of chicken. *Poultry Science* 86:1059-1064.
- Lu Z, He X, Ma B, Zhang L, Li J, Jiang Y, Zhou G, Gao F. 2018. Serum metabolomics study of nutrient metabolic variations in chronic heat-stressed broilers. *British Journal of Nutrition* 119:771-781.
- Mayorga EJ, Renaudeau D, Ramirez BC, Ross JW, Baumgard LH. 2019. Heat stress adaptations in pigs. *Animal Frontiers* 9:54-61.
- Mazzullo G, Rifici C, Lombardo SF, Agricola S, Rizzo M, Piccione G. 2014. Seasonal variations of some blood parameters in cow. *Large Animal Review* 20:81-84.
- Morales A, Pérez M, Castro P, Ibarra N, Bernal H, Baumgard LH, Cervantes M. 2016. Heat stress affects the apparent and standardized ileal digestibilities of amino acids in growing pigs. *Journal of Animal Science* 94:3362-3369.
- NIAS (National Institute of Animal Science). 2017. Korean feeding standard for swine. NIAS, RDA, Wanju, Korea.



- Odom TW, Harrison PC, Bottje WG. 1986. Effects of thermal-induced respiratory alkalosis on blood ionized calcium levels in the domestic hen. *Poultry science* 65:570-573.
- Pearce SC, Fernandez MS, Torrison J, Wilson ME, Baumgard LH, Gabler NK. 2015. Dietary organic zinc attenuates heat stress-induced changes in pig intestinal integrity and metabolism. *Journal of Animal Science* 93:4702-4713.
- Pearce SC, Gabler NK, Ross JW, Escobar J, Patience JF, Rhoads RP, Baumgard LH. 2013a. The effects of heat stress and plane of nutrition on metabolism in growing pigs. *Journal of Animal Science* 91:2108-2118.
- Pearce SC, Mani V, Boddicker RL, Johnson JS, Weber TE, Ross JW, Baumgard LH, Gabler NK. 2012. Heat stress reduces barrier function and alters intestinal metabolism in growing pigs. *Journal of Animal Science* 90:257-259.
- Pearce SC, Mani V, Boddicker RL, Johnson JS, Weber TE, Ross JW, Rhoads RP, Baumgard LH, Gabler NK. 2013b. Heat stress reduces intestinal barrier integrity and favors intestinal glucose transport in growing pigs. *PLoS ONE* 8:1-9.
- Pearce SC, Sanz-Fernandez MV, Hollis JH, Baumgard LH, Gabler NK. 2014. Short-term exposure to heat stress attenuates appetite and intestinal integrity in growing pigs. *Journal of Animal science* 92:5444-5454.
- Ross JW, Hale BJ, Gabler NK, Rhoads RP, Keating AF, Baumgard LH. 2015. Physiological consequences of heat stress in pigs. *Animal Production Science* 55:1381-1390.
- Samuel TR, Prudhvi K, Kumar PN, Sravani NS, Tajaswi N, Alekya B, Govardhini B, Rajagopalan B. 2018. Assessment of ionized calcium levels in various acid base disorders in ICU patients. *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research* 49:60-64.
- Santos LS, Pomar C, Campos PHRF, da Silva WC, Gobi JP, Veira AM, Fraga AZ, Hauschild L. 2018. Precision feeding strategy for growing pigs under heat stress conditions. *Journal of Animal Science* 96:4789-4801.
- Soeters PB, Wolfe RR, Shenkin A. 2019. Hypoalbuminemia: Pathogenesis and clinical significance. *Journal of Parenteral and Enteral Nutrition* 43:181-193.
- Stein HH, Sève B, Fuller MF, Moughan PJ, de Lange CFM. 2007. Invited review: Amino acid bioavailability and digestibility in pig feed ingredients: Terminology and application. *Journal of Animal Science* 85:172-180.
- Williams AM, Safranski TJ, Spiers DE, Eichen PA, Coate EA, Lucy MC. 2013. Effects of a controlled heat stress during late gestation, lactation, and after weaning on thermoregulation, metabolism, and reproduction of primiparous sows. *Journal of Animal Science* 91:2700-2714.