

고온스트레스가 일반 양돈농가의 돼지 생산성 및 생리 변화에 미치는 영향

오서영, 정용대, 김두완, 민예진, 유동조, 김기현, 김영화*
농촌진흥청 국립축산과학원

Effect of heat stress on growth performance and physiological changes of pigs in commercial farm

Seo Young Oh, Yong Dae Jeong, Doo Wan Kim, Ye Jin Min, Dong Jo Yu,
Ki Hyun Kim, Young Hwa Kim*
National Institute of Animal Science, RDA

요약 본 연구는 고온스트레스가 일반 양돈농가의 육성돈 및 비육돈의 성장단계별 생산성 및 혈액내 생리지표에 미치는 영향 구명하고자 실시하였다. 공시동물은 각각 180두씩 3원교잡(L×Y×D)의 육성돈 및 비육돈을 사용하였고 처리구는 적온기와 고온기로 나누었으며 여름철을 고온기, 가을철을 적온기로 상징하였다. 육성돈과 비육돈은 평사에 처리당 3반복, 반복당 30두씩 배치하였다. 사육기간동안 온습도변화를 통해 열량지수를 산출하였고 생산성 및 생리적 변화는 성장단계별로 확인하였다. 적온기의 평균온도와 열량지수는 각각 16.8℃, 61.4이며 고온기의 평균온도는 25℃ 그리고 열량지수는 74.3을 나타냈다. 육성돈의 체중, 평균일당증체량 및 평균사료섭취량은 고온기에서 적온기보다 감소했다(p<0.01). 또한, 비육돈의 모든 생산지표들은 적온기에 비해 고온기에서 저하됐다(p<0.01). 육성돈의 혈중 백혈구와 호중구는 적온기보다 고온기에서 감소했다(p<0.05). 비육돈의 혈구조성은 온도에 영향을 받지 않았다. 육성돈의 혈중 생화학특성은 변화가 없으며 적온기에 비해 고온기의 비육돈은 혈중 총단백질 및 비에스테르형지방산 증가했고 글루코스는 감소했다. 면역글로블린 G와 코르티솔은 육성돈에서는 차이가 없으며 비육돈은 고온기에서 코르티솔이 증가했다(p<0.01). 본 실험결과, 고온은 돼지의 생산성을 저하시키며 일부 혈액내 생화학적 지표에 영향을 미친다. 그리고, 온도조절을 통한 고온스트레스 영향이 아닌 계절에 따른 사육온도에 의한 생산성저감을 의미하므로 향후 양돈농가에서 고온스트레스를 조절할 수 있는 사양기술 및 사료개발에 유용한 정보로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

Abstract This study investigated the effect of heat stress on the performance and blood characteristics in commercial pig farms. A total of 180 growing pigs and 180 finishing pigs were assigned to two treatments consisting of thermal-neutral period(TNP) and high-temperature period(HTP) with three replications in floor pen, respectively. Feeding trials in the TNP and HTP were individually performed in autumn and summer seasons, respectively. Temperature-humidity index(THI) was calculated by temperature and humidity. Performance and physiological responses were identified per growth stages and feeding trial. Average temperature and THI were 16.8℃ and 61.4 at the TNP, and 25℃ and 74.3 at the HTP, respectively. Growing pigs in HTP exhibited lower BW, ADG and ADFI than in TNP(p<0.01). Similarly, finishing pigs showed lower growth parameters in HTP than in TNP(p<0.01). Lymphocytes and neutrophils of growing pigs were lower in HTP than in TNP(p<0.05). The serum T-PRO and NEFA in finishing pigs were higher in HTP than in TNP(p<0.05). In HTP, finishing pigs had higher cortisol levels than in TNP. Therefore, HTP can negatively influence growth performance and nutritional metabolism in pigs. Our results may provide useful information for developing feeding programs and diets to control heat stress for swine farms.

Keywords : Blood characteristic, Commercial farm, Heat stress, Performance, Pigs

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(과제번호: PJ01160301, 과제명: 하절기 돼지 성장단계별 생산성 향상 기술개발)과 2017년도 농촌진흥청 국립축산과학원 전문연구원 과정 지원사업에 의해 이루어진 것임.

*Corresponding Authors : Young-Hwa Kim (National Institute of Animal Science)

Tel: +82-41-580-3448, email: yhkims@korea.kr

Received May 1, 2017

Revised June 16, 2017

Accepted July 7, 2017

Published July 31, 2017

1. 서론

1.1 연구의 배경

하절기의 고온 스트레스는 가축의 성장과 건강에 영향을 미치는 주된 환경학적 요인이다[1]. 고온 스트레스는 돼지에서 성장, 사료섭취량 감소, 영양소 소화 및 흡수율 저하 그리고 육질에 부정적인 영향을 미치는 것으로 많은 이전 연구들에서 보고되고 있다[2-5]. 또한, 경제동물들 중 돼지는 다양한 요인들의 복합적인 작용으로 인하여 다른 가축들보다 고온환경에 취약하다. 그 원인은 생리적으로 체온조절기능이 잘 발달되어 있지 않으며, 각질화된 땀샘으로 인해 피부를 통한 땀 배출기능이 미비하고 더불어 두꺼운 피하지방층은 체내의 열 발산을 어렵게 만든다[6,7].

고온 스트레스가 양돈산업에 미치는 과급효과가 매우 크기 때문에 많은 연구자들에 의해서 생산성, 생리학적 변화, 장관의 소화효소 분비 및 형태학적 변화, 체액 전해질 불균형, 골격근의 성장과 발달 등 다양한 관점에서 고온스트레스의 영향을 구명하는 연구들이 시도되고 있다. 고온 스트레스는 돼지의 사료섭취량을 저하시켜 생산성이 저해되며[8], 높은 주변 환경온도는 스트레스로 작용하여 소화관 내 장 상피세포의 손상을 유발하여 영양소의 소화와 흡수율을 감소시켜 사료요구율을 증가시킨다[1,9]. 또한, Pearce et al.[10]는 고온스트레스가 체내 영양물질대사변화를 야기하여 혈중 생화학성분 수준이 변화하였다고 보고하였다. 한편, 고온환경에서는 체온조절을 위한 호흡수 증가[11]에 따라 체액의 산-염기 균형이 깨지게 되며[12], 음수량 증가에 따라 전해질 불균형 및 혈중 혈구구성 변화를 초래하는 것으로 보고되고 있다[13,14].

1.2 연구의 목적

돼지에서 고온스트레스 관련 생리생화학적 변화 탐구에 대한 선행연구는 대부분 통제된 실험조건(*in vitro*)에서 이루어지고 있어[15] 실제 고온환경이 조성되는 자연적인 조건에서의 영향에 대한 연구는 미비한 실정이다. 따라서 실질적으로 국내 하절기 돼지의 생산성감소에 대한 정량화가 요구되며, 농가에 미치는 영향이 어느 정도 인지 수치화 할 수 있는 연구가 필요한 실정이다. 따라서, 본 연구는 일반 양돈농장 조건의 환경에서 적온기와 고온기에서 육성돈과 비육돈의 성장단계별 생산성과 열

역학적 변화를 조사하여 일반 농가수준에서의 생산성 저하 수준을 검토하고자 수행하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 시험동물 및 시험설계

본 시험은 충남 세종시 연기군의 일반 양돈농장에서 시행되었으며, 시험에 이용된 공시동물은 3원교잡(Landrace×Yorkshire×Duroc) 육성돈(체중 30~70kg)과 비육돈(체중 60~100kg)으로 구분하여 각 180두씩 총 360두 공시하였다. 처리구는 적온기 사육구와 고온기 사육구로 나누어 pen당 30두씩 2처리구를 3반복하였고 성장단계가 다른 육성돈과 비육돈에서 각각 사양시험을 수행하였다. 시험사육기간은 돼지의 적정 사육온도 구간에 해당하는 적온기(2015년 9월 25일부터 2015년 11월 19일)에서 55일간, 고온 스트레스가 유발되는 사육온도 구간인 고온기(2015년 6월 12일부터 2015년 8월 5일)에서 54일간 진행되었다. 시험사료는 한국사양표준(2012)에 충족하는 시판사료를 이용하였으며 시험사료의 화학적 조성은 Table 1에 나타내었다. 시험기간 동안 사료와 음수는 자유채식을 실시하였다.

Table 1. Chemical composition of experimental diets

Items	Growth stage	
	Growing phase	Finishing phase
DE, kcal/kg	3,490	3,400
CP, %	19.5	16.0
Lysine, %	1.2	0.9
Ca, %	0.68	0.45
Total P, %	0.58	0.40

The values are provided by the manufacture of commercial diet. These levels meet the nutrient requirement of each growth stage. DE, digestible energy, CP, crude protein, Ca, calcium, P, phosphorus.

2.2 조사항목 및 조사방법

2.2.1 온습도 및 열량지수

시험기간 동안의 실제 환경온도를 분석하기 위하여 시험 농장 지역의 온·습도 데이터를 기상청의 자료를 이용하여 분석하였다(Table 2). 분석된 온도와 습도를 이용하여 Dikmen과 Hansen(2008)이 제시한 공식을 이용하여 열량지수(THI, Temperature and Humidity Index)를 산출하였다. 산출식은 다음과 같다.

Table 2. Temperature and THI for experimental period

Items	Experimental periods								
	Initial	1 wk	2 wk	3 wk	4 wk	5 wk	6 wk	7 wk	Finish
High temperature, °C									
Thermal neutral	27.2	27.4	24.8	21.1	23.9	19.6	15.5	16.6	14.3
High temperature	30.4	29.5	28.1	28.1	26.9	30.0	29.1	30.5	33.2
Average temperature, °C									
Thermal neutral	22.3	21.2	17.6	14.9	16.9	14.6	18.0	13.0	12.5
High temperature	25.0	24.5	23.5	23.3	22.7	25.8	23.7	27.3	28.9
Average THI									
Thermal neutral	69.9	67.9	62.5	58.7	61.9	58.2	63.2	55.6	54.6
High temperature	73.0	73.0	72.0	71.8	71.0	76.2	72.1	79.3	80.5

Data are provided by Korea Meteorological Administration. Thermal neutral period is from 25th September to 19th November, 2015. High temperature period is from 12th June to 5th August, 2015.

THI, temperature-humidity index, was calculated with temperature and humidity by as follow equation: $THI = (1.8 \times Tdb + 32) - [(0.55 - 0.0055 \times RH) \times (1.8 \times Tdb - 26.8)]$; Tdb, dry bulb temperature; RH, relative humidity.

$$THI = (1.8 \times Tdb + 32) - [(0.55 - 0.0055 \times RH) \times (1.8 \times Tdb - 26.8)]$$

Tdb = dry bulb temperature

RH = relative humidity

2.2.2 성장성적

생산성적조사를 위하여 시험 개시시점과 종료시점에 전자저울을 이용해 체중(Body weight, BW)을 개체별로 측정하였으며, 사료섭취량은 pen단위로 하여 시험개시부터 종료시까지 급여한 총사료량에 사육기간과 pen내 공기동물 마리수를 나누어 일당사료섭취량(Average daily feed intake, ADFI)을 계산하였다. 측정된 개체체중은 사육기간으로 나누기하여 개체의 일당증체량(Average daily gain, ADG)을 구하였다. 사료요구를

(Feed conversion ratio, FCR)은 일당증체량에 일당사료섭취량을 나누어 산출하였다.

2.2.1 혈액 채취 및 분석

혈액분석을 위하여 각 실험의 종료시점에서 처리당 9두씩 평균체중에 준하는 개체 총 36두를 선발하여 경정맥을 통한 채혈을 실시하였다. 채혈 직후 혈액은 EDTA가 처리된 tube와 혈청분리용 tube에 분주하였다. 혈청 tube에 분주된 혈액은 2,000×g, 20 min, 4°C의 조건에서 원심분리를 통하여 혈청을 분리한 -80°C 냉동고에서 분석 전까지 보관하였다.

EDTA가 처리된 tube에 분주한 전혈을 이용하여 자동혈구분석기(Hemavet 950FS, Drew scientific, UK)를 통해 혈액 중 leukocytes계 혈구 분석을 실시하였으며,

Table 3. Effects of heat stress on growth performance in growing and finishing pigs

(N=3)

Items ¹⁾	Thermal neutral	High temperature	SEM ²⁾	P value
Growing pigs				
Initial BW, kg	29.2	31.1	0.67	0.184
Final BW, kg	73.5	64.4	2.20	0.006
ADG, g	806	606	46	0.001
ADFI, g	1,675	1,308	86	0.003
FCR, g/g	2.1	2.2	0.03	0.227
Finishing pigs				
Initial BW, kg	59.4	60.0	1.09	0.839
Final BW, kg	105.3	91.9	3.12	0.003
ADG, g	850	592	60	0.002
ADFI, g	2,177	1,849	79	0.009
FCR, g/g	2.56	3.13	0.14	0.008

Values are means. Thermal neutral period is from 25th September to 19th November, 2015. High temperature period is from 12th June to 5th August, 2015.

¹⁾Growing pig weighed 30 kg to 70 kg. Finishing pigs weighed 60 kg to 100 kg. BW, body weight; ADG, average daily gain; ADFI, average daily feed intake; FCR, feed conversion ratio.

²⁾SEM, standard error mean.

Table 4. Effects of heat stress on leukocytes count in blood of growing and finishing pigs (N=9)

Items ¹⁾ ×10 ³ /uL	Thermal neutral	High temperature	SEM ²⁾	P value
Growing pigs				
White Blood Cell (WBC)	18.8	15.5	0.83	0.042
Neutrophil	8.57	5.94	0.63	0.031
Lymphocyte	9.13	8.47	0.54	0.552
Monocyte	0.74	0.77	0.06	0.847
Eosinophil	0.29	0.26	0.03	0.655
Basophil	0.04	0.05	0.01	0.706
Finishing pigs				
White Blood Cell	16.1	14.6	0.55	0.188
Neutrophil	6.74	5.65	0.35	0.123
Lymphocyte	8.42	8.36	0.32	0.930
Monocyte	0.68	0.32	0.09	0.058
Eosinophil	0.25	0.26	0.02	0.909
Basophil	0.03	0.05	0.00	0.121

Values are means. Thermal neutral period is from 25th September to 19th November, 2015. High temperature period is from 12th June to 5th August, 2015.

¹⁾Growing pig weighed 30 kg to 70 kg. Finishing pigs weighed 60 kg to 100 kg.

²⁾SEM, standard error mean.

혈청 내 glucose, total cholesterol(T-CHO), total protein(T-PRO), triglyceride(TG), blood urea nitrogen(BUN) 및 non-esterified fatty acid(NEFA)의 농도는 자동생화학 분석기(7180, Hitachi, Japan)를 이용하여 분석하였다. 혈중 Cortisol과 immunoglobulin G(IgG)는 ELISA kit(IgG, E101-104, Bethy Laboratories, USA; cortisol, CSB-E06811p, Cusabio Biotech, China)를 이용하여 제조사의 매뉴얼에 따라 microplate reader를 이용하여 측정하였다.

2.4 통계분석

수집된 자료는 ver. 17 SPSS를 이용하여 분석하였다. 성장성적의 분석된 모든 데이터는 pen(n=3) 단위로 처리하였고 혈액특성은 처리구당 수집한 혈액샘플(n=9)을 sample size로 하여 분석하였다. 처리구간의 유의성검증은 t-test를 이용하여 분석하였으며, 유의수준은 p value가 0.05이하에서 통계적인 유의성을 인정하였다.

Table 5. Effects of heat stress on blood biochemical components in growing and finishing pigs (N=9)

Items ¹⁾	Thermal neutral	High temperature	SEM ²⁾	P value
Growing pigs				
Glucose, mg/dL	87.6	88.4	1.74	0.822
T-CHO, mg/dL	85.0	76.9	2.62	0.124
T-PRO, g/dL	6.6	7.1	0.15	0.131
TG, IU/L	32.8	38.4	2.98	0.365
BUN, mg/dL	13.7	10.3	0.87	0.053
NEFA, uEq/L	27.3	26.8	1.52	0.880
Finishing pigs				
Glucose, mg/dL	80.6	68.2	2.54	0.049
T-CHO, mg/dL	77.7	86.0	2.62	0.086
T-PRO, g/dL	6.4	7.0	0.13	0.008
TG, IU/L	31.0	52.8	4.91	0.120
BUN, mg/dL	14.7	13.3	1.05	0.999
NEFA, uEq/L	24.9	63.6	5.46	0.000

Values are means. Thermal neutral period is from 25th September to 19th November, 2015. High temperature period is from 12th June to 5th August, 2015.

¹⁾Growing pig weighed 30 kg to 70 kg. Finishing pigs weighed 60 kg to 100 kg. T-CHO, total-cholesterol; T-PRO, total-protein; TG, triglyceride; BUN, blood urea nitrogen; NEFA, non-esterified fatty acid.

²⁾SEM, standard error mean.

3. 연구결과

3.1 온도 및 열량지수

실험기간 동안 온도 및 열량지수는 Table 2에 나타내었다. 적온기의 평균온도와 열량지수는 각각 16.8℃와 61.4이었으며, 고온기의 평균온도와 열량지수는 25.0℃와 74.3로 계산되었다.

3.2 생산성적

Table 3에는 적온기와 고온기 조건에서 육성돈과 비육돈의 생산성을 나타내었다. 육성돈의 사료섭취량은 고온기에서 적온기에 비해 감소했다($p=0.003$). 또한, 고온기의 육성돈에 일당증체량($p=0.001$) 및 종료체중($p=0.006$)은 적온기보다 감소하였다. 그러나, 사료요구율은 온도에 따른 처리구간 차이가 없었다.

비육돈의 사료섭취량은 적온기보다 고온기에 감소했다($p=0.001$). 고온에 노출된 비육돈의 일당증체량은 적온기에 비해 작게 계산되었다($p=0.002$). 그 결과, 종료체중은 고온기동안 감소하였다($p=0.003$). 사료요구율은 고온스트레스에 의해 유의한 증가를 나타냈다($p=0.008$).

3.3 혈액학적 분석

3.3.1 혈중 leukocytes계 혈구

Table 4는 고온기 환경이 육성돈과 비육돈의 혈액 내 leukocytes계 혈구조성에 미치는 영향을 나타내었다. 육성돈에서는 leukocytes계 혈구가 고온 스트레스에 의해 유의한 변화가 있으나 비육돈에서는 유의한 차이가 관찰되지 않았다. 육성돈의 총 백혈구 수치는 적온기에 비해 고온기에서 유의하게 감소되는 것으로 나타났으며($p=0.042$), 백혈구 중에서 호중구만 유의하게 감소되고($p=0.031$), 다른 백혈구계 세포들은 온도에 의한 차이를 보이지 않았다.

3.3.2 혈액생화학 성분

고온 스트레스가 혈중 생화학 성분에 미치는 영향은 Table 5에 나타내었다. 육성돈에 있어서는 고온 스트레스가 혈액생화학 성분에 미치는유의한 영향은 관찰되지 않았으나, 혈중 요소태질소(BUN)의 함량은 고온기에서 적온기보다 감소하는 경향을 나타냈다($p=0.053$; 13.7 vs. 10.3 mg/dL). 한편, 비육돈의 혈중 glucose가 고온스트레스에 의하여 유의하게 감소하였으며($p=0.049$), 총

단백질(T-PRO, $p=0.008$)과 비에스테르형 지방산(NEFA, $p<0.001$)의 농도는 고온 스트레스에 의해 유의하게 증가했다. 총 콜레스테롤(T-CHO)의 농도는 고온스트레스에 의해 다소 증가되는 경향을 나타내었다($p=0.086$).

3.3.3 Serum IgG와 cortisol

혈중 IgG 및 cortisol의 함량을 분석한 결과는 Table 6과 같다. 혈중 면역단백질 중 하나인 IgG의 함량은 고온스트레스에 의한 차이를 나타내지 않았다. 스트레스 호르몬인 cortisol의 농도는 육성돈의 경우 높은 환경온도에 의한 영향이 관찰되지 않았지만, 비육돈의 경우에는 적온기에 비해 고온기에서 유의하게 증가했다($p<0.01$).

Table 6. Effects of heat stress on serum IgG and cortisol in growing and finishing pigs (N=9)

Items ¹⁾	Thermal neutral	High temperature	SEM ²⁾	P value
Growing pigs				
IgG, mg/ml	37.3	40.7	2.3	0.491
Cortisol, ng/ml	10.6	12.0	2.0	0.731
Finishing pigs				
IgG, mg/ml	40.0	35.1	2.5	0.337
Cortisol, ng/ml	5.5	16.6	2.2	0.008

Values are means. Thermal neutral period is from 25th September to 19th November, 2015. High temperature period is from 12th June to 5th August, 2015.

¹⁾Growing pig weighed 30 kg to 70 kg. Finishing pigs weighed 60 kg to 100 kg. IgG, immunoglobulin G

²⁾SEM, standard error mean

4. 고찰

돼지에서 고온스트레스는 체내 대사 및 체조직의 발달에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다[1,8,9,10,11]. 기존의 대부분의 선행연구들은 사육환경을 제어할 수 있는 chamber room과 같은 *in vitro* 조건에서 수행하였다 [15]. 그러나, 실제 사육공간인 양돈농장내 실제온도 또는 돼지가 느끼는 체감온도는 시간이나 습도에 따라 차이가 발생한다. 따라서, 본 연구는 실험적 조건이 아닌 실제 사육환경 내 돼지가 고온에 노출 시 초래되는 영향을 구명하고자 실시하였다.

사양시험기간동안 공시동물이 고온에 노출된 시기인 여름의 평균온도는 25℃로 고온환경을 조성하기에 다소 낮은 수치를 나타내었으나, 이는 24시간의 전체 평균기온을 표시한 것으로 실제 고온기 동안의 평균 최고온도

는 29.5°C로 육성비육돈의 적정 사육온도 보다 훨씬 높은 온도환경이 조성되었다. 또한, 시험 개시 시점에서의 적온기와 고온기 간 평균온도 차이는 약 2.7°C이며, 열량지수는 3.1의 차이가 있으나, 시간이 경과함에 따라 차이가 점차 벌어져 종료시점에서는 평균온도가 16.4°C, 열량지수는 25.9의 차이가 관찰되었다. 이는 적온기에는 시험기간이 가을에서 겨울로 진행됨에 따라 온도 및 열량지수가 감소하고, 고온기에는 6월 이후 장마를 지나 폭염기로 가면서 점차 온도와 열량지수가 증가했기 때문이다. 이는 고온기 시험기간동안 시간이 경과함에 따라 고온스트레스의 영향이 점차 커지는 것을 의미한다.

육성기에서 고온스트레스동안 사료섭취량은 적온기의 1,675 g보다 약 22% 감소한 1,308 g으로 유의한 감소를 보였다. 비육돈의 사료섭취량은 적온기와 고온기에 각각 2,177 g과 1,849 g으로 나타나 약 17%의 감소했다. 이러한 결과는 이전 White et al.[8]의 연구결과와 일치한다. 다른 연구도 온도 및 열량지수가 증가함에 따라 사료섭취량 감소폭이 커진다고 보고하였다[14]. 사양시험기간동안 음수량을 측정하지 않았지만 물의 섭취빈도가 증가함이 관찰되었다. 높은 환경온도는 음수량을 증가시켜 돼지의 사료섭취욕구 저하를 유도해 사료섭취량 감소를 유발하는 것으로 보인다. 일반적으로 사료섭취량의 감소는 돼지의 성장에 부정적인 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서도 고온스트레스에 노출된 육성돈의 일당증체량은 적온기의 806 g보다 약 200 g 낮은 606 g으로 나타났으며 종료체중은 적온기와 고온기에 각각 73.5 kg과 64.4 kg으로 감소를 보였다. 비육돈의 일당증체량에 있어서도 적온기가 850 g인 반면 고온기에는 592 g으로 적온기 대비 고온기에 30% 감소되었다. 또한, 종료체중도 고온기동안에 약 13.4 kg의 저하되었다. 돼지의 일당증체량은 일령이 증가함에 따라 증가하며 체중이 증가할수록 스트레스 민감도가 높은 것으로 알려져 있다[16,17]. 본 연구에서도 육성기와 비육기를 비교하였을 때, 고온 스트레스에 의한 육성기의 증체량 감소보다 비육기의 감소폭이 더욱 큰 것으로 나타났다(육성기 25% vs. 비육기 30%). 실질적으로 일반적인 사육환경에서는 육성기에서 비육기로 성장단계가 경과될수록 일당증체량은 더욱 증가되어[14, 17] 체내 영양소요구량 높아져 사료섭취량이 증가한다[18]. 따라서, 체중증가량과 사료섭취량을 기반으로 하여 사료의 가치를 나타내는 사료요구율은 고온기에 현저한 증가를 예상

하였다. 비육돈은 고도의 유의적 증가를 보였으나 육성돈은 고온기에 2.2, 적온기에 2.1로 계산되어 고온스트레스에 의한 영향을 받지 않았다. 체중이 무거운 비육돈이 육성돈에 비해 고온스트레스 민감도가 높은 것으로 사료된다.

백혈구계 혈액세포는 외부 항원에 반응하여 항체를 생성하는 역할을 수행하는데 대표적인 것은 호중구로 외부 스트레스에 노출되면 감소한다[19]. 특히, 호중구는 백혈구 중에서도 차지하는 비율이 크고 주요 기능은 세균이나 바이러스 같이 외부에서 침입하는 미생물을 방어하는 기능을 하며 비특이적 면역에 관여한다. 따라서 고온기에 호중구의 수가 감소하는 것은 고온의 환경에서 외부로부터 유입될 수 있는 질병전파에 취약성을 가짐을 시사한다. 한편, Hick et al.[20]의 연구는 고온 스트레스가 혈중 백혈구 계 세포수에 영향을 미치지 않는다고 보고하였고, Morrow-Tesch et al.[21]과 Kim et al.[14]은 고온 환경에서 호중구의 수가 증가하는 것으로 보고하여 본 연구와는 상반된다. 또한, Klem et al.[22]에 의해 제시된 백혈구계 혈구의 reference range 내에 본 연구결과들은 존재한다. 이들 이외에도 고온스트레스에 대한 혈구의 변화에 대하여 많은 연구자들 사이에서 일치하지 않는 결과가 보고되고 있다[23-25]. 이는 혈액 내 혈구의 수준은 다양한 내·외인적 요인(성별, 생리적 상태, 나이, 사료, 사육환경, 온도, 조명 등)에 의하여 그 수준 및 정도가 달라진다고 보고되고 있어[26-27] 고온 스트레스에 의한 hematological parameters의 변화에 관한 연구는 향후 더욱 정밀한 조건에서 연구되어야 할 필요성이 있다.

혈액 생화학 성분의 수준은 체내 장기의 기능 혹은 영양학적 상태를 나타내는 지표로 활용이 된다. 특히 glucose 및 BUN, NEFA 등은 체내에서 에너지 및 지질, 아미노산과 질소대사를 나타내는 지표로 이용된다[28]. 본 연구의 결과에서 비육돈의 경우 고온스트레스에 의하여 혈중 glucose 함량이 감소하였는데, 이는 고온스트레스에 의해 사료섭취량이 감소하여 에너지 섭취수준이 감소되었음을 시사한다. NEFA의 경우에 체내 에너지 요구량에 비하여 흡수되는 에너지의 수준이 낮을 경우에 이를 보충하기 위하여 체 지방조직으로부터 유리되어 나오는 지방산의 일종으로 glucose 함량 감소와 함께 에너지 이용률이 저하되어 있는 생리적인 상태를 나타낸다[29,30]. 본 연구의 결과에서 적온기의 혈중 NEFA 수준

에 비하여 고온기에 고도의 유의성으로 가지고 증가하는 것이 관찰되었다. 이러한 생화학지표들의 변화는 고온기에 사료섭취량 감소와 더불어 영양소 이용률 저하됨을 시사한다. 다만, 돼지의 경우에 있어서는 체중이 증가할 수록 환경 스트레스에 대한 민감도는 더욱 높아지는 것으로 알려져 있다[31]. 따라서, 본 연구의 결과에서 육성돈에서 혈액생화학성분 변화에 대한 유의미한 영향을 얻지 못한 것은 성장단계에 따른 고온스트레스에 대한 민감도의 차이에서 올 수 있음을 고려할 수 있다.

혈중 cortisol은 외부의 스트레스 자극에 대해 체내에서 방어할 수 있는 에너지의 생성과정에 관여하는 호르몬으로, 외부 스트레스에 의해 자극을 받으면 시상하부에서 corticotropin-releasing factor(CRF)가 분비되고 이것이 뇌하수체를 자극하여 부신피질 자극호르몬을 분비시킨다. 이 호르몬은 다시 부신피질에서 cortisol의 방출을 증가시킨다. 따라서 혈중 cortisol은 일반적으로 스트레스를 판단하는 지표로서 활용되고 있다. 이미 많은 연구자들에 의해서 고온스트레스는 혈중 cortisol의 농도를 증가시키는 것으로 보고되어 왔다[32-34,1]. 우리의 연구에서도 비육돈에 있어서 고온 스트레스에 의하여 혈중 cortisol의 농도가 유의하게 증가하였으며, 이들의 연구와도 일치하는 결과를 보여주었다. 다만, 육성돈에 있어서는 고온스트레스에 의한 cortisol의 농도가 유의한 변화를 보여주지 않았는데, 이는 앞선 결과(생산성적, 혈액생화학)들에서 언급하였듯이 육성돈의 고온스트레스의 영향이 비육돈에 비하여 낮았을 가능성을 고려할 수 있다.

5. 결론

본 연구의 결과를 종합해보면, 국내 하절기 동안 돼지 생산성은 적온기인 가을철 사육에 비하여 체중 30~70 kg 구간인 육성돈에서 사료섭취량이 22% 감소하고 증체량이 25% 감소되는 것으로 나타났다. 체중 60~100kg 구간인 비육돈에 있어서는 사료섭취량이 17% 감소하였고, 일당증체량은 30%가 감소되는 것으로 관찰되었다. 또한 혈액학적 분석을 통해 고려하였을 때, 고온스트레스는 영양소 이용성을 저하시키고 체내 대사 변화를 야기하는 것으로 나타났다. 이러한 영향을 고려하였을 때, 하절기 동안의 생산성 저하는 산술적인 계산에서 출하일령을 최소 17일에서 최대 28.5일까지 지연시킬 수 있는 것으로 결론지어 지며, 이는 통제된 조건에서의 고온스

트레스 영향이 아닌 일반적인 사육환경에서 계절에 의한 생산성 저하의 개념에서 의미가 있다. 이러한 결과는 향후 양돈농가에서 고온스트레스를 저감할 수 있는 사양기술, 사료개발에 유용한 정보로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

References

- [1] J. Yu, P. Yin, F. Liu, G. Cheng, K. Guo, A. Lu, X. Zhu, W. Luan, J. Xu, "Effect of heat stress on the porcine small intestine: a morphological and gene expression study", *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, vol. 156, no. 1, pp. 119-128, 2010.
DOI: <http://doi.org/10.1016/j.cbpa.2010.01.008>
- [2] A. N. Bhattacharya, F. Hussain, "Intake and utilization of nutrients in sheep fed different levels of roughage under heat stress", *Journal of Animal Science*, vol. 38, no. 4, pp. 877-886, 1974.
DOI: <https://doi.org/10.2527/jas1974.384877x>
- [3] R. Christon, "The effect of tropical ambient temperature on growth and metabolism in pigs", *Journal of Animal Science*, vol. 66, no. 12, pp. 3112 - 3123, 1988,
DOI: <https://doi.org/10.2527/jas1988.66123112x>
- [4] M. Onderci, K. Sahin, N. Sahin, M. F. Gursu, D. Doerge, F. H. Sarkar, O. Kucuk O, "The effect of genistein supplementation on performance and antioxidant status of Japanese quail under heat stress", *Archives of Animal Nutrition*, vol. 58, no. 6, pp. 463 - 471, 2004.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/00039420400020017>
- [5] Z. Y. Zhang, G. Q. Jia, J. J. Zuo, Y. Zhang, J. Lei, L. Ren, D. Y. Feng, "Effects of constant and cyclic heat stress on muscle metabolism and meat quality of broiler breast fillet and thigh meat", *Poultry Science*, vol. 91, no. 11, pp. 2931 - 2937, 2012.
DOI: <https://doi.org/10.3382/ps.2012-02255>
- [6] R. C. Wolp, N. E. B. Rodrigues, M. G. Zangeronimo, V. S. Cantarelli, E. T. Fialho, R. Philomeno, R. R. Alvarenga, L. F. Rocha, "Soybean oil and crude protein levels for growing pigs kept under heat stress conditions", *Livestock Science*, vol. 147, no. 1, pp. 148-153, 2012.
DOI: <http://doi.org/10.1016/j.livsci.2012.04.014>
- [7] D. W. Kim, Y. H. Kim, K. S. Kim, K. H. Kim, "Effect of mixing of suckling piglets on change of body surface temperature in sows and piglets", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, vol. 18, no. 1, pp. 135-140, 2017.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2017.18.1.135>
- [8] H. M. White, B. T. Richert, A. P. Schinckel, J. R. Burgess, S. S. Donkin, M. A. Latour, "Effects of temperature stress on growth performance and bacon quality in grow-finish pigs housed at two densities". *Journal of Animal Science*, vol. 86, no. 8, pp. 1789-1798, 2008.
DOI: <https://doi.org/10.2527/jas.2007-0801>

- [9] K. H. Kim, K. S. Kim, D. W. Kim, S. J. Sa, Y. H. Kim, "Effects of supplementation of dietary betaine on apparent nutrient digestibility and physiological responses in finishing pigs", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, vol. 17, no. 12, pp. 407-414, 2016.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2016.17.12.407>
- [10] S. C. Pearce, V. Mani, T. E. Weber, R. P. Rhoads, J. F. Patience, L. H. Baumgard, N. K. Gabler, "Heat stress and reduced plane of nutrition decreases intestinal integrity and function in pigs", *Journal of Animal Science*, vol. 91, no. 11, pp. 5183-5193, 2013.
DOI: <http://doi.org/10.2527/jas.2013-6759>
- [11] J. Lopez, G. W. Jesse, B. A. Becker, M. R. Ellersieck, "Effect of temperature on the performance of finishing swine: effects of a hot, diurnal temperature on average daily gain, feed intake and feed efficiency" *Journal of Animal Science*, vol. 69, no. 5, pp. 1843-1849, 1991.
DOI: <https://doi.org/10.2527/1991.6951843x>
- [12] B. D. Rose, "Clinical physiology of acid-base and electrolyte disorders", New York: McGraw-Hill Education, 1989.
- [13] X. Waltz, M. Baillot, P. Connes, B. Bocage, D. Renaudeau, "Effects of hydration level and heat stress on thermoregulatory responses, hematological and blood rheological properties in growing pigs", *PLoS one*, vol. 9, no. 7, pp. e102537, 2014.
DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0102537>
- [14] K. H. Kim, K. S. Kim, J. E. Kim, K. H. Seol, J. K. Hong, Y. H. Jung, J. C. Park, Y. H. Kim, "Changes of serum electrolytes and hematological profiles in Yorkshire at a high ambient temperature", *Journal of Agriculture & Life Science*, vol. 49, no. 1, pp. 103-113, 2015.
- [15] J. F. Patience, J. F. Umboh, R. K. Chaplin, C. M. Nyachoti, "Nutritional and physiological responses of growing pigs exposed to a diurnal pattern of heat stress", *Livestock Production Science*, vol. 96, no. 2, pp. 205-214, 2005.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livprodsci.2005.01.012>
- [16] K. H. Kim, K. S. Kim, J. E. Kim, D. W. Kim, K. H. Seol, S. H. Lee, B. J. Chae, Y. H. Kim, "The effect of optimal space allowance on growth performance and physiological responses of pigs at different stages of growth", *Animal*, vol. 11, no. 3, pp. 478-485, 2017.
DOI: <https://doi.org/10.1017/S1751731116001841>
- [17] L. C. M. De Haer, P. Luiting, H. L. M. Aarts, "Relations among individual (residual) feed intake, growth performance and feed intake pattern of growing pigs in group housing", *Livestock Production Science*, vol. 36, no. 3, pp. 233-253, 1993.
DOI: [https://doi.org/10.1016/0301-6226\(93\)90056-N](https://doi.org/10.1016/0301-6226(93)90056-N)
- [18] NRC, "Nutrient requirements of swine", *Livestock Production Science*, pp. 4-64, The national academies press, 2012.
- [19] J. J. McGlone, J. L. Salak, E. A. Lumpkin, R. I. Nicholson, M. Gibson, R. L., "Shipping stress and social status effects on pig performance, plasma cortisol, natural killer cell activity and leukocyte number", *Journal of Animal Science*, vol. 71, no. 4, pp. 888-896, 1993.
- [20] T. A. Hicks, J. J. McGlone, C. S. Whisnant, H. G. Kattesh, R. L. Norman, "Behavioral, endocrine, immune, and performance measures for pigs exposed to acute stress", *Journal of Animal Science*, vol. 76, no. 2, pp. 474-483, 1998.
DOI: <https://doi.org/10.2527/1998.762474x>
- [21] J. L. Morrow-Tesch, J. J. McGlone, J. L. Salak-Johnson, "Heat and social stress effects on pig immune measures". *Journal of Animal Science*, vol. 72, no. 10, pp. 2599-2609, 1994.
DOI: <http://doi.org/10.2527/1994.72102599x>
- [22] T. B. Klem, E. Bleken, H. Morberg, S. I. Thoresen, T. Framstad, "Hematologic and biochemical reference intervals for Norwegian crossbred grower pigs", *Veterinary Clinical Pathology*, vol. 39, no. 2, pp. 221-226, 2010.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1939-165X.2009.00199.x>
- [23] Y. Hyun, M. Ellis, S. E. Curtis, R. W. Johnson, "Environmental temperature, space allowance, and regrouping: Additive effects of multiple concurrent stressors in growing pigs", *Journal of Swine Health Production*, vol. 13, no. 3, pp. 131-138, 2005.
<https://www.aasv.org/shap/issues/v13n3/v13n3p131>
- [24] A. Chmielowiec-Korzeniowska, L. Tymczyna, M. Babicz, "Assessment of selected parameters of biochemistry, hematology, immunology and production of pigs fattened in different seasons", *Archiv Tierzucht*, vol. 55, no. 5, pp. 469-479, 2012.
- [25] X. Waltz, M. Baillot, P. Connes, J. L. Gourdine, L. Philibert, E. Beltan, T. Chalabi, D. Renaudeau, "Effect of heat stress on blood rheology in different pigs breeds", *Clinical Hemorheology Microcirculation*, vol. 58, no. 3, pp. 395-402, 2014.
ion, vol. 13, no. 3, pp. 131-138, 2005.
DOI: <https://doi.org/10.3233/CH-131722>
- [26] R. M. Friendship, J. H. Lumsden, I. McMillan, M. R. Wilson, "Hematology and biochemistry reference values for Ontario swine", *Canadian Journal of Comparative Medicine*, vol. 48, no. 4, pp. 390-393, 1984.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/article/PMC1236090/>
- [27] K. R. Park, Y. C. Cho, "The abnormal rates of blood pressures and blood biochemical properties with BMI in health checkup examinees", *Journal of the Korea Academia- Industrial Cooperation Society*, vol. 11, no. 12, pp. 4843-4853, 2010.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2010.11.12.4843>
- [28] K. H. Kim, K. S. Kim, D. W. Kim, S. J. Sa, Y. H. Kim, "Evaluation of valid time for analysis of complete blood cell in pig blood using the Hemavet 950FS", *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, vol. 18, no. 1, pp. 194-201, 2017.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2017.18.1.194>
- [29] K. Konigsson, G. Savoini, N. Govoni, G. Invernizzi, A. Prandi, H. Kindahl, M.C. Veronesi, "Energy balance, leptin, NEFA and IGF-I plasma concentrations and resumption of post partum ovarian activity in swedish red and white breed cows", *Acta Veterinaria Scandinavica*, vol. 50, no. 3, pp. 3, 2008.
DOI: <https://doi.org/10.1186/1751-0147-50-3>
- [30] R. G. Vernon, "Effects of diet on lipolysis and its regulation", *Proceedings of the Nutrition Society*, vol 51,

no. 3, pp. 397-408, 1992.

DOI: <https://doi.org/10.1079/PNS19920053>

- [31] M. S. Edmonds, B. E. Arentson, G. A. Mente, "Effect of protein levels and space allocations on performance of growing-finishing pigs", Journal of Animal Science, vol. 76, no. 3, pp. 814 - 82, 1998.
DOI: <https://doi.org/10.2527/1998.763814x>
- [32] D. Elez, S. Vidovic, G. Matic, The influence of hyperthermic stress on the redox state of glucocorticoid receptor. Stress, vol. 3, no. 3, pp. 247 - 255, 2000.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3109/10253890009001129>
- [33] K. Z. Mahmoud, F. W. Edens, E. J. Eisen, G. B. Havenstein, "Ascorbic acid decreases heat shock protein 70 and plasma corticosterone response in broilers (Gallus gallus domesticus) subjected to cyclic heat stress", Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology, vol. 137, no. 1, pp. 35 - 42, 2004.
DOI: <http://doi.org/10.1016/j.cbpc.2003.09.013>
- [34] T. W. Pace, R. I. Gaylord, E. Jarvis, M. Girotti, R. L. Spencer, "Differential glucocorticoid effects on stress-induced gene expression in the paraventricular nucleus of the hypothalamus and ACTH secretion in the rat", Stress, vol. 12, no. 5, pp. 400-411, 2008.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/10253890802530730>

오 서 영(Seo-Young Oh)

[준회원]



- 2017년 2월 : 충북대학교 농업생명 환경대학 축산학과 (농학학사)
- 2017년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 대학원 농업생명환경대학 축산원 예식품공학부 축산학전공 재학 (농학석사)

<관심분야>

동물영양, 가축사양

정 용 대(Yong-Dae Jeong)

[정회원]



- 2008년 2월 : 전북대학교 축산학 가금영양생리전공 (농학석사)
- 2016년 2월 : 전북대학교 축산학 분자영양생리 (농학박사)
- 2016년 3월 ~ 현재 : 농촌진흥청 국립축산과학원 박사 후 연구원

<관심분야>

영양생리, 유전체

김 두 완(Doo-Wan Kim)

[정회원]



- 1998년 2월 : 전남대학교 농과대학 축산학과 (축산학학사)
- 2016년 2월 : 전북대학교 축산학과 (식육가공석사)
- 2006년 3월 ~ 현재 : 농촌진흥청 국립축산과학원 농업연구사

<관심분야>

가축사양, 식육

민 예 진(Ye-Jin Min)

[정회원]



- 2016년 2월 : 충남대학교 농과대학 동물자원생명과학과 (농학학사)
- 2016년 10월 ~ 현재 : 농촌진흥청 국립축산과학원 농업연구사

<관심분야>

동물영양, 가축사양

유 동 조(Dong-Jo Yu)

[정회원]



- 1997년 2월 : 충남대학교 농과대학 축산학과 (농학석사)
- 2001년 8월 : 충남대학교 농과대학 축산학과 (농학박사)
- 2006년 4월 ~ 2016년 4월 : 농촌진흥청 국립축산과학원 농업연구사
- 2016년 4월 ~ 현재 : 농촌진흥청 국립축산과학원 농업연구관

<관심분야>

동물영양, 가축사양

김 기 현(Ki-Hyun Kim)

[정회원]



- 2009년 8월 : 한경대학교 동물낙농생명과학전공 (농학석사)
- 2013년 3월 : 교토대학교 응용생물과학전공 (농학박사)
- 2013년 4월 ~ 2017년 2월 : 농촌진흥청 국립축산과학원 박사 후 연구원
- 2017년 2월 ~ 현재 : 농촌진흥청 국립축산과학원 농업연구사

<관심분야>

동물영양, 반려동물대사

김 영 화(Young-Hwa Kim)

[정회원]



- 1997년 2월 : 전남대학교 대학원 축산학과 (농학석사)
- 2002년 2월 : 경상대학교 대학원 축산학과 (농학박사)
- 1987년 5월 ~ 1991년 12월 : 영천군농촌지도소 농촌지도사
- 1992년 1월 ~ 현재 : 농촌진흥청 국립축산과학원 농업연구사

<관심분야>

동물영양, 가축사양