

고온환경에서 사료 내 조섬유 수준이 육성돈의 성장, 고온 스트레스 지표, 혈구구성, 혈액이화학지표, 영양소 소화율에 미치는 영향

김조은, 박현주, 김채현, 백수현, 홍준선, 정용대, 사수진, 이지환, 최요한*
국립축산과학원 양돈과

Effects of Dietary Crude Fiber Levels on Growth Performance, Heat Stress Index, Blood Cell Composition, Hematological Profile and Nutrient Digestibility in Growing Pigs under Heat Stress condition

Jo Eun Kim, Hyun Ju Park, Chae Hyun Kim, Soo Hyun Back, Jun Seon Hong,
Yong Dae Jeong, Soo Jin Sa, Ji Hwan Lee, Yo Han Choi*
Swine Science Division, National Institute of Animal Science, Rural Development Administration

요약 본 시험은 고온환경에서 사료 내 조섬유 수준이 육성돈의 성장, 고온 스트레스 지표, 혈구구성, 혈액이화학지표 영양소 소화율에 미치는 영향을 구명하기 위해 수행하였다. 본 시험을 위해 3월교잡종 육성돈 75두를 공시하였고, 개시체중(49.69 ± 0.48 kg)을 기반으로 3처리 5반복, 반복당 5두씩 완전입의 배치하였다. 시험기간은 4주간 수행하였으며, 수행기간동안 평균 THI(THI, Temperature-humidity index)는 85.31 ± 0.09 로 나타났다. 시험 처리구는 조섬유(CF, Crude fiber)수준 3수준으로 LF(LF, Low Fiber, CF 2.8%), MF(MF, Medium Fiber, CF 3.8%), HF(HF, High Fiber, CF 4.8%)로 구성하였다. 고온환경에서 MF에 비해 HF에서 일당증체량이 유의적으로 증가하였다($p=0.043$). 사료섭취량, 사료효율은 유의적인 차이가 나타나지 않았다. 혈구구성은 Eosinophil이 조섬유 수준이 높아질수록 유의적으로 낮아졌으나($p<0.05$), 이외 혈구 및 혈액 이화학성분은 유의적인 차이가 없었다. 영양소 소화율의 경우 조섬유 수준이 높아질수록 건물, GE(GE, Gross Energy), NDF(NDF, Neutral Detergent Fiber), ADF(ADF, Acid Detergent Fiber) 소화율이 유의적으로 감소했으나($p<0.05$), 이외 다른 영양성분은 유의적인 차이가 없었다. 본 시험의 결과를 종합하였을 때, 고온환경에서 사료 내 조섬유 수준 4.8%까지 생산성 개선에 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다.

Abstract This experiment was conducted to determine the effects of dietary crude fiber levels on growth performance, heat stress index, blood cell composition, hematological profiles, and nutrient digestibility in growing pigs. 75 crossbred growing pigs (Landrace×Yorkshire×Duroc, initial body weight 49.69 ± 0.48 kg) were randomized to 3 treatments with 5 replicates per treatment. The experimental duration was 4 weeks, and the average Temperature-Humidity Index (THI) during this period was 85.31 ± 0.09 . The experimental treatments involved three crude fiber (CF) levels, LF (Low Fiber, CF 2.8%), MF (Medium Fiber, CF 3.8%), and HF (High Fiber, CF 4.8%). Average daily gain (ADG) was significantly higher HF than MF under heat stress conditions ($p=0.043$), but feed intakes and feed efficiencies were no different. Blood analysis showed that eosinophil count decreased significantly as CF level increased ($p<0.05$), but no significant differences were observed for other cells or hematological parameters. Furthermore, the digestibilities of dry matter, gross energy (GE), neutral detergent fiber (NDF), and acid detergent fiber (ADF) decreased significantly as the CF level increased ($p<0.05$), but no significant differences were observed for other nutrients. The study shows that increasing the dietary CF level to 4.8% does not influence the growth performance of growing pigs exposed to heat stress.

Keywords : Growing Pig, Crude Fiber, Heat Stress, Growth Performance, Physiological Characteristics

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(세부과제번호: RS-2020-RD009413)의 지원에 의해 수행되었음.

*Corresponding Author : Yo Han Choi(National Institute of Animal Science)

email: cyh6150@korea.kr

Received March 4, 2024

Revised April 15, 2024

Accepted May 3, 2024

Published May 31, 2024

1. 서론

우리나라의 여름철 고온다습한 환경은 양돈산업에 있어 큰 비용손실을 야기한다[1]. 그 이유는 돼지는 생리적으로 땀샘발달 미약 및 두꺼운 피하지방층으로 인해 체열을 외부로 발산하는데 어려움이 있기 때문이다[2]. 고온환경에 노출되면 돼지는 생리적으로 체온을 조절하기 위해 호흡량이 증가하고[3], 소화 등의 대사에 의한 체열 발생을 줄이기 위하여 사료섭취량이 10~30% 감소한다[4]. 체열발산을 위한 피하 혈류량 증가 및 장관 내 혈류량 감소로 인한 장 상피세포 손상과 이에 따른 영양소 소화·흡수율이 저하되어[5], 성장정체로 인한 생산성이 급격히 저하된다. Oh 등[6]의 연구에 따르면 육성기 고온 스트레스 노출 시 사료섭취량이 24.9% 감소하고 일당증체량이 24.8% 감소한다고 보고하였다. 또한, Kim 등[1]의 연구에서는 사료 섭취량의 저하에 따른 영양소 이용 효율 저하로 혈중 BUN, Protein 함량이 변화하였다고 보고하였다. 하지만, 고온 스트레스를 받은 돼지 생리적 특성을 고려한 사료 영양수준이 필요할 것으로 판단되나, 현재 한국사양표준의 경우 온도변화를 고려하지 않은 성장단계별 영양수준을 제시하고 있어[7] 이를 고려한 사료 영양수준 제시가 필요한 실정이다.

사료 내 조섬유는 섬유질을 총칭하는 성분으로 복잡한 형태의 화합물로서 단위동물은 이를 소화시킬 수 있는 소화효소를 분비하지 못하고, 장내미생물에 의해 제한적으로 활용된다[8]. 또한 섬유질은 영양소 소화율을 감소시키고[9], 섬유질 함량이 증가할수록 사료 부피가 증가하여 포만감으로 인한 사료섭취량 저하를 일으킨다[10]. 이외에도, 섬유질이 증가할수록 체내 대사열이 증가한다고 알려져 있어[11], 사료 내 섬유질 함량이 높을수록 고온기 돼지의 영양소 이용효율을 저하시켜 성장 정체를 악화시킬 것으로 예상되나, 일반적인 온도일 때, 사료 영양소 소화율이 저하된다는 연구들이 주로 진행되어 [8-10] 고온기 돼지 사료섭취량 및 영양소 소화율 등을 고려한 적정 수준에 대한 연구는 미비한 실정이다.

따라서, 본 연구는 일반적인 육성돈 사료 내 조섬유 수준이 3~4%임을 고려하여, 고온 환경에서 영양소 이용 효율을 높이기 위한 사료 내 조섬유 수준을 구명하고자, 고온환경에서 육성돈의 사료 내 조섬유 수준이 성장성적, 고온 스트레스 지표, 혈구 구성 및 혈액 이화학성분, 영양소 소화율에 미치는 영향을 분석하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시동물 및 실험설계

본 시험은 충남 천안시 국립축산과학원 양돈과 시험돈사에서 수행되었으며, 공시동물은 평균체중 $49.69 \pm 0.48\text{kg}$ 의 3원교잡종(Landrace×Yorkshire×Duroc) 75두를 공시하였다(Table 1). 처리구는 사료 내 조섬유 함량을 3가지 수준으로 나누어 LF(Low fiber, CF 2.8%), MF(Medium fiber, CF 3.8%) 및 HF(High fiber, CF 4.8%)으로 구성하여 총 3처리 5반복, 반복당 5두로 구성하여 처리구별 15두씩 완전임의배치하였다. 시험은 4주간 수행되었다.

시험기간 동안 사육환경온도는 일평균 온도가 30℃ 이상 유지될 수 있도록 조절하였으며, 사양환경의 실제 온습도 지수는 온습도지수(THI)는 85.31 ± 0.09 로 나타났다.

시험사료는 NRC 2012[4]에 제시되는 일일 영양소 요구량에 충족하게 설계하였으며, 본 시험에 사용된 사료의 배합비는 Table 2와 같다. 시험기간동안 사료와 음수는 자율채식 시켰으며, 사료 외 기타 사료첨가제, 약품 등은 일체 사용하지 않았다. 시험기간 동안 폐사 및 환축은 발생하지 않았다.

Table 1. Experimental design according to dietary crude fiber levels in growing pig under heat stress condition

Treatment	Crude Fiber level		
	LF (2.8%)	MF (3.8%)	HF (4.8%)
Replication	5	5	5
No. of Replication	5	5	5
Total	25	25	25

Table 2. Ingredients and calculated composition of the experimental diets.

Ingredients	Crude Fiber level		
	LF (2.8%)	MF (3.8%)	HF (4.8%)
Corn	70.61	60.56	56.50
Soybean meal	23.05	17.02	16.66
DDGS ¹	-	5.00	5.00
Rapeseed meal	-	3.00	3.00
Palm kernel meal	-	3.00	3.00
Rice bran(detailed)	-	3.00	3.00
Soy hull	-	0.49	3.91
Animal fat	1.66	3.19	4.17
Molasses	2.00	2.00	2.00
DCP ²	1.04	0.91	0.90
Lime stone	0.69	0.75	0.72

Salt	0.30	0.30	0.30
Lysine(78%)	0.15	0.25	0.27
Methionine(98%)	0.04	0.04	0.04
Threonine(98.5%)	0.05	0.07	0.09
Tryptophan(99%)	0.00	0.02	0.02
Valine(98.5%)	-	-	0.02
Choline	0.05	0.05	0.05
Mineral premix	0.15	0.15	0.15
Vitamin premix	0.15	0.15	0.15
Phytase	0.05	0.05	0.05
Calculated composition			
ME ³ , kcal/kg	3300	3300	3300
CP ⁴ , %	15.99	15.99	15.99
CF ⁵ , %	2.80	3.8	4.80
Crude fat, %	4.08	6.05	6.95
Available P	0.27	0.27	0.27
Ca	0.58	0.58	0.58
SID ⁶ Lysine	0.83	0.83	0.83
SID Methionine	0.25	0.24	0.24
SID Threonine	0.52	0.52	0.52
SID Tryptophan	0.14	0.147	0.14

Abbreviation: ¹DDGS, Dried Distiller's Grains with Solubles; ²DCP, Dicalcium Phosphate; ³ME, Metabolic Energy; ⁴CP, Crude protein; ⁵CF, Crude Fiber; ⁶SID, Standardized Ileal Digestible

2.2 조사항목

2.2.1 환경온도 및 습도

시험기간동안 온도(T, Temperature) 및 습도(RH, Relative humidity)는 30분 간격으로 데이터로거(Testo SE&Co., 174-H)를 이용하여 측정하였고, 온습도지수(THI)는 Dikmen과 Hansen[12]이 제시한 공식인 $THI = (1.8 \times T + 32) - [(0.55 - 0.0055 \times RH) \times (1.8 \times T - 26.8)]$ 을 이용하여 계산하였다.

2.2.2 사양성적

사양성적을 조사하기 위해 시험 개시 및 종료시점에 개체별로 체중(BW, Body weight)을 측정하였고, 시험기간으로 나누어 개체의 일당증체량(ADG, Average daily gain)을 계산하였다. 사료섭취량은 사육펜단위로 하여 시험기간동안 총 사료급여량에서 남은 사료량을 제외한 후 두수로 나누어 일일사료섭취량(ADFI, Average daily feed intake)을 산출하였다. 사료효율(G:F, Gain to Feed Ratio)은 일일사료섭취량에 일당증체량을 나누어 산출하였다.

2.2.3 직장온도, 호흡수 측정

직장온도와 호흡수는 일주일에 1번, 오전 10시에 각각 측정하였다.

직장온도는 디지털 체온계(Testo-108-2, Instrumentos

Testo S.A., Cabrils, Spain)를 직장에 3cm를 삽입하여 측정하였다. 호흡수의 경우 시험축이 누운상태일 때, 1분간 흉부의 움직임 횟수를 측정하였다.

2.2.4 혈액채취 및 분석

혈액분석을 위해 시험 종료 시점에 경정맥에서 혈액 10ml를 채취하여 EDTA(EDTA, Ethylenediaminetetraacetic acid)처리 튜브(BD Difco, 3ml, BD367856) 및 SST tube(SST tube, Serum Separating tube, BD Difco, 8.5ml, BD367953)에 분주하였다.

EDTA 튜브에 채취된 전혈은 혈액세포를 측정하기 위해 자동혈구분석기(HEMAVET 950 FS, Drew scientific, UK)를 사용하여 분석하였다.

채혈직후 4℃에서 2,000×g, 20분 원심분리를 통하여 혈청을 분리한 후 -80℃에 보관하였다가 혈청 내 Protein, Blood Urea Nitrogen(BUN), Creatinine, Cholesterol, Triglyceride, Non-esterified fatty acid(NEFA), Glucose, Cortisol 분석에 활용하였다.

2.2.5 영양소 소화율 분석

영양소 소화율을 측정하기 위하여 시험 종료 일주일 전부터 지시제인 Chromic oxide(Cr₂O₃)을 시험사료 내 0.05%로 첨가하여 급여하였다. 분 채취는 시험 종료 3일 전부터 각 돈방에서 수집하였다. 수집한 분은 열풍 건조기에서 60℃에 72시간 건조를 실시한 후 분석에 이용하였다.

2.3 통계분석

데이터 통계분석은 R 소프트웨어(version 4.3.1)을 이용하였다. 데이터는 R의 Agricolae 패키지를 활용하여 one-way ANOVA분석을 수행하였고, 사후검정은 Turkey 검정을 이용하였다. $p < .05$ 일 때 유의성이 있는 것으로 판단하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 성장성적

고온환경에서 육성돈 사료 내 조섬유 수준에 따른 성장성적 변화는 Table 3과 같다. 고온 환경에서 조섬유 수준에 따른 체중, 일당 사료섭취량, 사료효율은 유의미한 차이가 나타나지 않았다. 일당 증체량의 경우 HF에서

일당증체량이 MF에 비해 유의미하게 높게 나타났다 ($p<.05$). 이는 사료효율에 유의적인 차이가 나타나지 않았고, 사료섭취량이 MF에 비해 HF에서 증가하는 경향이 반영된 결과로 판단된다. Jørgensen 등[11]의 연구결과에서도 섬유질함량에 따른 체중차이는 나타나지 않았고, Millet 등[13]은 사료 내 조섬유 수준을 9%까지 증가하여도 육성·비육돈 일당 증체량, 일일사료섭취량, 사료효율이 유의미한 차이가 나타나지 않았다고 보고하였다. 본 시험결과 고온환경에서 사료 내 조섬유 수준을 비교하였을 때 생산성에 차이가 나타나지 않았는데, 기존의 연구결과를 고려하였을 때, 조섬유 수준 4.8% 까지 생산성에 유의미한 영향을 미치지 않을 것으로 사료된다. 시험기간 내 폐사 및 환축은 발생하지 않았다.

Table 3. Effect of crude fiber level in growing pig diets on growth performance under heat stress condition

	Crude Fiber level			SEM ¹	p-value
	LF (2.8%)	MF (3.8%)	HF (4.8%)		
Initial BW ² , kg	49.10	49.74	49.58	0.940	0.991
Final BW ² , kg	62.57	62.46	65.23	0.919	0.407
ADG ³ , kg/day	0.49 ^{ab}	0.47 ^b	0.58 ^a	0.020	0.043
ADFI ⁴ , kg/day	1.59	1.52	1.71	0.048	0.252
Gain:Feed	0.31	0.29	0.31	0.012	0.667

^{abc} Values with different superscripts in the same row differ significantly($p<.05$)

Abbreviation: ¹SEM, Standard error mean; ²BW, Body weight; ³ADG, Average daily gain; ⁴ADFI, Average feed intake.

3.2 직장온도 호흡수

고온환경에서 육성돈 사료 내 조섬유 수준에 따른 직장온도 호흡수 변화는 Fig. 1과 같다. 고온환경에서 사료 내 조섬유 수준에 따른 직장온도, 호흡수는 유의미한 차이가 나타나지 않았다.

직장온도와 호흡수는 돼지 고온 스트레스의 지표이다 [14]. 직장온도는 고온에 노출된 지 24시간 이내 돼지 직장온도가 최고치에 도달하며, 이후 점진적으로 감소한다고 보고되었다[15,16]. 본 연구에서는 직장온도가 사료 처리에 따른 유의미한 차이는 없었으나, 시간에 따른 차이가 나타났다. 개시부터 13일차 까지 점진적으로 증가하다가 25일차에 유의적으로 감소하였다($p<.05$). 호흡수 또한 사료처리에 따른 유의미한 차이는 나타나지 않았고, 시간에 따른 차이가 나타났는데, 개시 이후 13일까지 일정한 호흡수를 유지하다 25일차에 유의미하게 감소하였다($p<.05$). Serviento 등[17]의 연구와 비슷한 경향을

나타내었는데, 장기간 노출 시 20일 이후 체온, 호흡수가 유의미하게 감소하는 결과는 장기간 고온 노출의 영향인 것으로 판단되나, 직장온도와 호흡수 변화에 대해 20일 이후 의 변화요인 구명을 위해 적온과 고온환경과의 비교, 일자별 변화 등 추가적인 연구가 필요하다.

고온 스트레스에 노출 시 돼지가 체온을 낮추기 위해 호흡수가 높아진다[18]. 본 연구에서도 평균온도 $32.4\pm 0.05^{\circ}\text{C}$, 평균 상대습도 $77.2\pm 0.16\%$, 평균 THI 85.71 ± 0.09 의 고온환경에 지속적으로 노출됨에 따라 호흡수가 100회 이상 나타났다. 이는 적온인 25°C 이하 [19]일 때 나타나는 호흡수보다 높은 횟수로[14], 시험이 종료되는 시점까지 지속적으로 고온 스트레스에 노출되었음을 나타내었다.

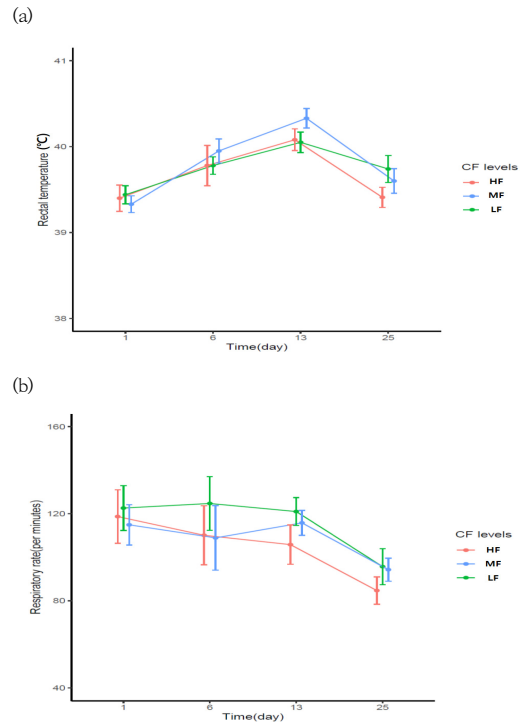


Fig. 1. Effect of crude fiber levels on rectal temperature(a) and respiratory rate(b) in growing pigs under heat stress condition

3.3 혈구구성

고온환경에서 육성돈 사료 내 조섬유 수준에 따른 혈구구성 변화는 Table 4와 같다. 고온기 사료 내 조섬유 수준이 높아질수록 혈액 내 Eosinophil이 유의미하게 감소하였다($p<.05$). 이외 다른 혈구 성분들은 유의미한

차이가 나타나지 않았다.

고온 스트레스로 인한 혈구구성 변화는 돼지의 생리학적 변화를 나타내는 지표로 이용되나[1], 기존에 보고된 연구결과들을 살펴보면 혈구성상이 일치하지 않는 것으로 나타난다[1,20]. Waltz 등[20]의 연구에서는 고온 스트레스가 White Blood Cell, Red Blood Cell, Hematocrit의 수준에 영향을 미치지 않는다고 보고된 반면, Kim 등[1]의 연구에서는 고온 스트레스로 인해 혈중 Neutrophil 농도가 증가하여 면역체계 저하가 발생했다고 보고하였다. 사료 내 조섬유 수준이 높아질수록 Eosinophil이 유의미하게 감소하였는데, Eosinophil은 allergic inflammation 반응과 연관이 높고[21], Eosinophil은 IL-5수준에 따라 생성되며, Eosinophil이 생성됨에 따라 면역관련 Cytokine, Immunoglobulin 등의 분비가 자극된다고 알려져 있다[22]. 또한, 고온 스트레스로 인한 장 상피세포 손상이 발생하기 때문에[5] 이로 인한 면역반응이 발생할 것으로 사료된다. 따라서, 고온 스트레스 유무 및 사료 내 조섬유 수준이 면역반응에 미치는 영향에 대해 추가적인 연구가 필요하다.

Table 4. Effects of crude fiber level in growing pig diets on complete blood cell count under heat stress condition.

	Crude Fiber level			SEM ¹	p-value
	LF (2.8%)	MF (3.8%)	HF (4.8%)		
RBC ² , K/ μ l	7.05	7.32	7.15	0.116	0.626
WBC ³ , K/ μ l	15.90	16.72	15.49	0.571	0.666
HCT ⁴ , %	37.86	37.90	38.70	0.792	0.891
HGB ⁵ , g/dL	11.32	11.70	11.56	0.186	0.713
PLT ⁶ , K/ μ l	362.5	386.4	326.5	12.624	0.143
NEU ⁷ , K/ μ l	5.03	5.19	4.91	0.407	0.960
LYM ⁸ , K/ μ l	9.08	9.72	9.57	0.227	0.495
MONO ⁹ , K/ μ l	1.24	1.32	1.33	0.061	0.803
EOS ¹⁰ , K/ μ l	0.54 ^a	0.47 ^{ab}	0.32 ^b	0.030	0.009
BASO ¹¹ , K/ μ l	0.01	0.01	0.01	0.002	0.745

^{abc} Values with different superscripts in the same row differ significantly ($p < .05$)

Abbreviation: ¹SEM, Standard error mean; ²RBC, Red blood cell; ³WBC, White blood cell; ⁴HCT, Hematocrit; ⁵HGB, Hemoglobin; ⁶PLT, Platelet; ⁷NEU, Neutrophil; ⁸LYM, Lymphocyte; ⁹MONO, Monocyte; ¹⁰EOS, Eosinophil; ¹¹BASO, Basophil.

3.4 혈액 이화학성분

고온환경에서 육성돈 사료 내 조섬유 수준에 따른 혈액 이화학성분 변화는 Table 5와 같다. 혈중 NEFA(NEFA, Non Esterified Fatty acid) 함량의 경우 MF(CF 3.8%) 처리구에서 높게 나타나는 경향은 나타났으나 유의미한 차이는 나타나지 않았다($p = .053$). 이외 다른 항목에서도 유의미한 차이가 나타나지 않았다.

혈액 이화학성분은 체내 에너지, 단백질, 지질 등 영양소 대사반응의 결과물로 환경변화에 따른 생리적 상태, 영양적인 조건 등에 의해 달라진다[3]. 그러나 본 연구결과는 Oh 등[6]의 연구에서 육성기에 혈액 생화학 지표가 유의미한 차이가 나타나지 않은 결과와 유사하였다. Choi 등[24]에서 Rapeseed meal을 사료 내 최대 12% 까지 첨가하여도 혈중 Cholesterol, Glucose, BUN이 차이가 나타나지 않았다는 결과와도 유사하였는데, 본 연구에서도 동일한 환경조건에서 사료 내 조섬유 수준은 혈중 이화학 성분에 유의미한 영향을 미치지 않은 것으로 사료된다.

혈중 Cortisol은 스트레스를 판단하는 지표로 활용된다[23]. 본 연구에서 고온기 사료 내 조섬유 수준에 따른 혈중 Cortisol 함량에 유의미한 차이가 나타나지 않았는데, 이는 앞선 결과(성장성적, 고온 스트레스 지표, 혈액 이화학지표)에서 나타난 것과 같이 고온기 사료 내 조섬유 수준이 고온 스트레스를 저감하는데 영향을 미치지 않은 것으로 판단된다.

Table 5. Effects of crude fiber level in growing pig diets on blood characteristics under heat stress condition

	Crude Fiber level			SEM ¹	p-value
	LF (2.8%)	MF (3.8%)	HF (4.8%)		
Protein, g/dL	6.88	7.01	6.97	0.089	0.842
BUN ² , mg/dL	10.40	9.00	9.00	0.393	0.257
Creatinine, mg/dL	1.48	1.56	1.47	0.038	0.573
Cholesterol, mg/dL	97.10	94.45	95.30	1.973	0.863
Triglyceride, mg/dL	43.80	44.82	34.40	2.289	0.124
NEFA ³ , μ Eq/L	47.80	81.82	51.70	6.644	0.053
Glucose, mg/dL	77.80	82.45	78.80	1.057	0.160
Cortisol, μ g/dL	1.48	1.84	2.27	0.222	0.365

Abbreviation: ¹SEM, Standard error mean; ²BUN, Blood urea nitrogen; ³NEFA, Nonesterified fatty acid.

3.5 영양소 소화율

고온환경에서 육성돈 사료 내 조섬유 수준에 따른 영양소 소화율은 Table 6과 같다. 사료 내 조섬유 수준이 높아질수록 건물(DM), GE, NDF, ADF 소화율이 유의미하게 감소하였다($p < .05$). 이외 조단백질(CP), 조지방(EE), 조섬유(CF), 조회분(Ash)의 경우 유의미한 차이가 나타나지 않았다. 고섬유 사료는 영양소 소화율에 부정적인 영향을 미친다고 알려져 있다[24]. 섬유질이 높을수록 소화효소의 작용을 억제하는데, 특히 Insoluble fiber 함량이 높을수록 소화율이 떨어진다고 보고되었다[9,24]. 본 연구에서 사료 내 조섬유 수준을 조절하기 위해 사용

한 원료인 DDGS, Rapeseed meal, Rice bran, Soy hull은 Insoluble fiber 함량이 높은 원료이기 때문에 [8], 조섬유 수준이 높아진 것이 건물, GE, NDF, ADF 소화율이 감소한 데 영향을 미친 것으로 판단된다.

Table 6. Effects of crude fiber level in growing pig diets on nutrients digestibility under heat stress condition.

Digestibility	Crude Fiber level			SEM ¹	p-value
	LF (2.8%)	MF (3.8%)	HF (4.8%)		
DM ² (%)	86.87 ^a	85.41 ^{ab}	77.31 ^a	1.710	0.034
CP ³ (%)	85.69	81.97	77.69	1.935	0.254
EE ⁴ (%)	56.31	80.29	67.25	5.069	0.155
CF ⁵ (%)	62.42	58.06	51.44	3.451	0.458
Ash(%)	58.96	51.14	39.47	4.632	0.236
NDF ⁶ (%)	68.09 ^{ab}	73.65 ^a	54.11 ^b	3.402	0.039
ADF ⁷ (%)	87.82 ^a	89.62 ^a	77.29 ^b	4.414	0.005
GE ⁸ (kcal/kg)	86.05 ^a	83.95 ^{ab}	75.86 ^b	1.845	0.044

^{abc} Values with different superscripts in the same row differ significantly(p<.05)

Abbreviation: ¹SEM, Standard error mean; ²DM, Dry matter; ³CP, Crude protein; ⁴EE, Ether Extract; ⁵CF, Crude fiber; ⁶NDF, Neutral detergent fiber; ⁷ADF, Acid detergent fiber; ⁸GE, Gross Energy.

4. 요약 및 결론

본 연구는 일반적인 육성돈 사료 내 조섬유 수준이 3~4%임을 고려하여, 고온 환경에서 영양소 이용효율을 높이기 위한 사료 내 조섬유 수준을 구명하고자, 고온환경에서 육성돈의 사료 내 조섬유 수준이 성장성적, 고온 스트레스 지표, 혈구 구성 및 혈액 이화학성분, 영양소 소화율에 미치는 영향을 분석하였다. 연구 결과 사료 내 조섬유 수준이 높아질수록 건물(DM), GE, NDF, ADF 소화율이 감소하였고, 이외 성장성적, 혈액 이화학 특성, CP, CF, Ash, EE 소화율은 영향을 미치지 않았다. 이를 종합하여 볼 때, 사료 내 조섬유는 소화율이 저하시키나, 조섬유 4.8%까지는 사료효율, 증체량 등에 부정적인 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다. 또한, 고온기 조섬유 수준에 따라 Eosinophil이 유의미하게 낮아진 것을 보아 사료 섬유질이 고온 스트레스를 받은 육성돈에 면역학적인 반응에 영향을 미친 것으로 보이나, 이를 위해 면역학적 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다.

Reference

[1] K. H. Kim, K. S. Kim, J. E. Kim, K. H. Seol, J. K. Hong, H. Y. 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 DOI: <https://doi.org/10.14397/jals.2015.49.1.103>

[2] 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.1-3, pp. 148-153, 2012 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2012.04.014>

[3] S. C. Pearce, N. K. Gabler, J. W. Ross, J. Escobar, J. F. Patience, R. P. Rhoads, L. H. Baumgard, "The effects of heat stress and plane of nutrition on metabolism in growing pigs", *Journal of Animal Science*, Vol.91, No.5, pp.2108-2118, 2013 DOI: <https://doi.org/10.2527/jas.2012-5738>

[4] National Research Council, "Nutrient requirements of swine", p.420, The national academies press Washington, D. C. , 2012, p.69-210 DOI: <https://doi.org/10.17226/13298>

[5] F. Liu, J. Yin, M. Du, P. Yan, J. Xu, X. Zhu, J. Yu, "Heat-stress-induced damage to porcine small intestinal epithelium associated with downregulation of epithelial growth factor signaling", *Journal of Animal Science*, Vol.87, No.6, pp.1941-1949, 2009 DOI: <https://doi.org/10.2527/jas.2008-1624>

[6] S. Y. Oh, Y. D. Jeong, D. W. Kim, Y. J. Min, D. J. Yu, K. H. Kim, Y. H. Kim, "Effect of heat stress on growth performance and physiological changes of pigs in commercial farm", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.18, No.7, pp.130-139, 2017 DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2017.18.7.130>

[7] Y. J. Min, Y. D. Jeong, D. W. Kim, S. H. Lee, K. H. Kim, D. J. Yu, Y. H. Kim, "Effects of Dietary Energy and Levels of Betaine on Nutrient Digestibility and Physiological Responses in Growing Pigs with Heat Stress", *Annals of Animal Resource Science*, Vol.28, No.2, pp.56-63, 2017 DOI: <https://doi.org/10.12718/AARS.2017.28.2.56>

[8] P. Yang, J. Zhao, : Fiber digestibility in growing pigs fed common fiber-rich ingredients-A systematic review", *Annals of Animal Science*, Vol.22, No.2, pp.537-550, 2021 DOI: <https://doi.org/10.2478/aoas-2021-0050>

[9] J. Noblet, G. Le Goff, "Effect of dietary fibre on the energy value of feeds for pigs", *Animal Feed Science and Technology*, Vol.90, No.1-2, pp.35-52, 2001 DOI: [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(01\)00195-X](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(01)00195-X)

[10] J. Bindelle, P. Keterme, A. Buldgen, "Nutritional and environmental consequences of dietary fibre in pig nutrition: a review", *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, Vol.12, pp.69-80, 2008 DOI: <https://hdl.handle.net/2268/19202>

[11] H. Jørgensen, X. Q. Zhao, B. O. Eggum, "The influence

- of dietary fibre and environmental temperature on the development of the gastrointestinal tract, digestibility, degree of fermentation in the hind-gut and energy metabolism in pigs”, *British Journal of Nutrition*, Vol.75, No.3, pp.365-378, 1996
DOI: <https://doi.org/10.1079/BJN19960140>
- [12] S. Dikmen, P. J. Hansen, “Is the temperature-humidity index the best indicator of heat stress in lactating dairy cows in a subtropical environment?”, *Journal of Dairy Science*, Vol.92, No.1, pp.109-116, 2009
DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1370>
- [13] S. Millet, T. Meyns, M. Aluwé, D. De Brabander, R. Ducatelle, “Effect of grinding intensity and crude fibre content of the feed on growth performance and gastric mucosa integrity of growing-finishing pigs”, *Livestock Science*, Vol.134, No.1-3, pp.152-154, 2010
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2010.06.123>
- [14] S. N. Cheon, K. H. Park, H. C. Choi, J. B. Kim, K. S. Kwon, J. Y. Lee, S. E. Woo, G. Y. Yang, J. H. Jeon, “Effect of environmental temperature on respiration rate, rectal temperature and body-surface temperatures in finishing pigs”, *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.20, No.1, pp.103-110, 2019
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2019.20.1.103>
- [15] S. R. Morrison, L. E. Mount, “Adaptation of growing pigs to changes in environmental temperature”, *Animal Science*, Vol.13, No.1, pp.51-57, 2010
DOI: <https://doi.org/10.1017/S0003356100029421>
- [16] A. Collin, M. J. Vaz, J. Le Dividich, “Effects of high temperature on body temperature and hormonal adjustments in piglets”, *Reproduction Nutrition Development*, Vol.42, No.1, pp.45-53
DOI: <https://doi.org/10.1051/rnd:2002005>
- [17] A. M. Serviento, E. Labussière, M. Castex, D. Renaudeau, “Effect of heat stress and feeding management on growth performance and physiological responses of finishing pigs”, *Journal of Animal Science*, Vol.98, No.12, pp.1-15, 2020
DOI: <https://doi.org/10.1093/ias/skaa387>
- [18] T. T. T. Huynh, A. J. A. Aarnink, M. W. A. Verstegen, W. J. J. Gerrits, M. J. W. Heetkamp, B. Kemp, T. T. Canh, “Effects of increasing temperatures on physiological changes in pigs at different relative humidities”, *Journal of Animal Science*, Vol.83, No.6, pp.1385-1396, 2005
DOI: <https://doi.org/10.2527/2005.8361385x>
- [19] N. Quiniou, J. Noblet, J. van Milgen, S. Dubois, “Modelling heat production and energy balance in group-housed growing pigs exposed to low or high ambient temperatures”, *British Journal of Nutrition*, Vol.85, No.1, pp.97-106, 2001
DOI: <https://doi.org/10.1079/BJN2000217>
- [20] X Waltz, M Baillot, P Connes, JL Gourdine, L Philibert, E Beltan, T Chalabi, D Renaudeau, “Effect of heat stress on blood rheology in different pigs breeds”, *Clinical Hemorheology and Microcirculation*, Vol.58, No.3, pp.395-402, 2014
DOI: <https://doi.org/10.3233/CH-131722>
- [21] G. J. Gleich, “Mechanisms of eosinophil-associated inflammation”, *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, Vol.105, No.4, pp.651-663, 2000
DOI: <https://doi.org/10.1067/mai.2000.105712>
- [22] Gleich, G. J. “Mechanisms of eosinophil-associated inflammation.” *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, Vol.105, No.4, pp. 651-663, 2000
DOI: <https://doi.org/10.1067/mai.2000.105712>
- [23] H. B. Choi, J. H. Jeong, D. H. Kim, Y. Lee, H. Kwon, Y. Y. Kim, “Influence of Rapeseed Meal on Growth Performance, Blood Profiles, Nutrient Digestibility and Economic Benefit of Growing-finishing Pigs”, *Asian-Australasian Journal of Animal Science*, Vol.28, No.1, pp.1345-1353, 2015
DOI: <http://dx.doi.org/10.5713/ajas.14.0802>
- [24] A. K. Agyekum, C. M. Nyachoti, “Nutritional and metabolic consequences of feeding high-fiber diets to swine: a review”, *Engineering*, Vol.3, No.5, pp.716-725, 2017
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ENG.2017.03.010>

김 조 은(Jo Eun Kim)

[정회원]



- 2016년 8월 : 경상대학교 농업생명과학대학 축산학과 (농학석사)
- 2019년 3월 ~ 2021년 2월 : 충남대학교 박사과정 수료
- 2012년 10월 ~ 현재 : 농촌진흥청 국립축산과학원 농업연수사

<관심분야>

동물영양, 미생물체

박 현 주(Hyun Ju Park)

[정회원]



- 2022년 2월 : 단국대학교 생명자원과학대학 동물자원학과 (농학석사)
- 2023년 3월 ~ 현재 : 단국대학교 동물생명공학과 동물생명공학(박사과정)
- 2022년 3월 ~ 2023년 2월 : 농촌진흥청 국립축산과학원 전문연구원

<관심분야>

동물영생리, 단위동물사양

김 채 현(Chae Hyun Kim)

[준회원]



- 2022년 2월 : 국립강원대학교 동물생명과학대학 동물산업융합학과 (농학학사)
- 2022년 3월 : 농촌진흥청 국립축산과학원 산학연

<관심분야>

동물번식, 돼지번식생리

정 용 대(Yong-Dae Jeong)

[정회원]



- 2008년 2월 : 전북대학교 축산학 기금영리생리전공 (농학석사)
- 2016년 2월 : 전북대학교 축산학 양돈영양생리 (농학박사)
- 2016년 3월 ~ 2023년 7월 : 농촌진흥청 국립축산과학원 박사후 연구원

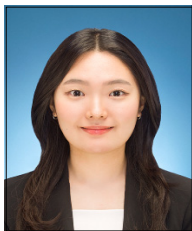
- 2023년 7월 ~ 현재 : 농촌진흥청 국립축산과학원 농업연구사

<관심분야>

동물영양생리, 단위동물 사양

백 수 현(Soo Hyun Back)

[정회원]



- 2022년 2월 : 강원대학교 동물생명과학전공 (농학학사)
- 2023년 7월 ~ 현재 : 농촌진흥청 국립축산과학원 농업연구사

<관심분야>

동물번식, 돼지번식생리

사 수 진(Soo Jin Sa)

[정회원]



- 2002년 2월 : 강원대학교 축산대학 축산학과 (농학석사)
- 2006년 2월 : 강원대학교 축산대학 축산학과 (농학박사)
- 2007년 2월 ~ 2009년 1월 : University of Nottingham(영국) 박사후연구원

- 2009년 9월 ~ 현재 : 농촌진흥청 국립축산과학원 농업연구관

<관심분야>

동물번식, 생명공학

홍 준 선(Jun Seon Hong)

[정회원]



- 2020년 8월 : 충남대학교 축산학과 (농학석사)
- 2023년 8월 : 충남대학교 축산학과 (농학박사)
- 2023년 6월 : 농촌진흥청 국립축산과학원 전문연구원

<관심분야>

단위동물영양, 단위동물사양

이 지 환(Ji Hwan Lee)

[정회원]



- 2019년 2월 : 충북대학교 농업생명환경대학 축산학과 (농학석사)
- 2022년 2월 : 충북대학교 농업생명환경대학 축산학과 (농학박사)
- 2022년 4월 ~ 2023년 12월 : University of Georgia(alnrn) 박사후연구원

- 2024년 2월 ~ 현재 : 농촌진흥청 국립축산과학원 전문연구원

<관심분야>

동물영양생리, 단위동물 사양

최요한(Yo Han Choi)

[정회원]



- 2015년 2월 : 강원대학교 동물생명과학전공 (농학석사)
- 2019년 2월 : 강원대학교 동물생명과학전공 (농학박사)
- 2019년 4월 ~ 2021년 12월 : 농촌진흥청 국립축산과학원 박사후연구원
- 2022년 1월 ~ 현재 : 농촌진흥청 국립축산과학원 농업연구사

<관심분야>

동물영양·사양