

고온환경에서 육성돈의 성장 및 행동변화 비교

전다연, 정학재, 사수진, 진현주, 김조은, 민예진, 최요한, 정용대, 박현주
국립축산과학원 양돈과
e-mail: jeondayeon@korea.kr

Comparison of growth performance and behavior under high ambient temperature in growing pigs

Da-Yeon Jeon, Hak-Jae Chung, Soo-Jin Sa, Hyun-Ju Jin, Jo-Eun Kim, Ye-Jin Min, Yo-Han Choi, Yong-Dae Jeong, Hyun-Ju Park
Dept. of Swine Science, National Institute of Animal Science, Korea

요약

가축 사육에서 고온은 생산성에 영향을 미치는 중요한 환경 조건 중 하나이다. 특히 돼지는 생리학적으로 더위를 낮추는 기능이 미비하여 고온 환경에 영향을 받기 쉽다. 고온 환경은 돼지에게 더위 스트레스를 유발하여 성장률, 번식성적, 행동의 변화를 초래한다. 본 연구에서는 고온 환경에서 육성돈의 성장률 및 행동에 변화가 있는지를 확인하고자 하였다. 고온 환경의 평균 온도는 33.3°C, 평균 상대습도 67.7%로 평균 THI는 86.0이었으며, 고온 환경에서 일당증체량(ADG, Average daily gain)과 일당사료섭취량(ADFI, Average daily feed intake)은 감소하였다(각각 $p < 0.01$, $p < 0.05$). 사료 효율(FE, Feed efficiency)에서는 환경에 따른 유의차를 확인할 수 없었다. 반면, 호흡수(RR, Respiratory rate)와 직장온도(RT, Rectal temperature)는 고온 환경에서 증가하였다($p < 0.01$). 또한, 고온 환경에서 '사료섭취(feeding)', '서 있는 자세(standing)', '배를 깔고 누운 자세(sternal lying)'의 개체 비율은 감소하고($p < 0.01$) '옆으로 누운 자세(lateral lying)'는 증가하였다($p < 0.01$). 본 연구를 통해 얻어진 결과는 추후 돼지 행동을 자동 분류하는 인공지능 모델에 적용하여 더위 스트레스를 받는 집단을 조기에 발견하는 데 활용할 수 있을 것이다.

1. 서론

가축 사육 시 온도, 습도와 같은 환경은 직·간접적으로 가축의 생산성에 영향을 미치는 중요한 요인이다(Ratnakaran 등, 2017). 특히 돼지는 각질화된 땀샘으로 인해 피부를 통한 땀 배출이 미비하고, 두꺼운 피하지방층은 체내의 열 발산을 어렵게 만들기 때문에(Oh 등, 2017) 더위에 약하며, 주로 체내의 열은 잠열(sensible heat)의 형태 또는 호흡기를 통해 발산한다(Renaudeau 등, 2007). 가축의 행동은 생산성과 동물 복지를 측정하는 데 유용한 지표이다. 행동은 크게 개체유지 행동과 사회행동으로 나눌 수 있으며 개체유지 행동은 생명유지와 본능적인 생리현상에 관련된 행동이며 사회행동은 군집을 이루고 있는 집단에서 일어나는 상호작용에 행동 대항 것이다(Moon 등, 2014). 돼지의 행동을 관찰하여 돼지의 생리를 이해하는 것은 생산성 향상으로 이어질 수 있으며, 이상행동이 관찰되고 발생 빈도가 증가한다면 돼지에게 현재의 생활환경이 이상적이지 않은 것으로 볼 수 있어 이를 조치함으로써 동물복지를 향상시킬 수 있다. 오랜 기간 동안 가축의 행동은 주로 관리자가 육안으로 직접 관찰하여 기록하였고, 점차 발전하여 GPS장치나 가속도계를 이용하여 위치를 추적하

고 행동을 추정할 수 있게 되었으며, 현재는 여러 연구에서 컴퓨터를 기반으로 동물을 추적하고 자세 변화, 공격성 같은 행동 특징을 자동으로 기록할 수 있는 방법을 제시하고 있다(Bonneau 등, 2021). 따라서 본 연구의 목적은 고온 환경에서 육성돈의 성장률 및 행동에 변화가 있는지를 확인하고자 하였다. 성장률과 직장온도, 호흡수와 같은 알려진 더위지표를 통해 고온 환경의 육성돈이 더위 스트레스가 있는지 확인하고, 카메라 관찰을 통해 얻어진 영상을 통해 고온과 적온 환경에서 행동 변화가 있는지 확인하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시동물 및 환경

국립축산과학원 양돈과에서 보유하고 있는 3원교잡종(LYD) 육성돈 32두에 대하여 6월 중순부터 7월 중순까지 총 4주간 관찰하였다. 4주간 고온(heat) 환경의 온·습도지수(THI; temperature-humidity index)는 86.0, 적온(cool) 환경의 평균 THI는 72.9로 측정되었다. 육성돈들은 1.7m×2.45m 크기의 펜 8개에서 2마리씩, 각 환경별로 16마리가 사육되었다. 32두의 평균 개시체중은 46.1kg, 종료체중은 69.5kg였다.

2.2 데이터 수집

환경온도는 환경별로 2개의 온·습도 데이터 로거에서 1시간 간격으로 수집된 측정값의 평균을 구하였다. 시험 개시 전·후 체중을 측정하여 개체별 증체량을 산출하였고, 투입된 사료와 사료잔량의 무게 차로 펜별 사료 섭취량을 추정하였다. 호흡수와 직장온도는 주 3회 오전 9시~12시 사이에 측정하였다. 돼지가 누운 상태에서 1분 동안 호흡으로 인해 배가 움직이는 횟수를 호흡수로 기록하였으며, 직장온도는 온도계를 항문에 넣고 온도변화가 없을 때까지 충분히 기다린 후 측정값을 기록하였다. 돈방 내 천장에 카메라를 설치하여 실험 기간 4주 중 3주간 행동 및 자세를 관찰하였다. 총 8대의 카메라는 돈방 천장높이의 문제로 바닥과 90°C의 각도를 이루도록 설치하지 못하였으나, 최대한 사각지대가 없도록 하는 위치에 설치하였다. 행동 및 자세는 30분 간격으로 정지영상을 확인하여 취하고 있는 행동 및 자세별 두수를 기록하였다. 직장온도 및 호흡수를 측정하거나 사양관리를 위해 사람이 돈방 내에 존재할 경우는 기록에서 제외하였다. 돼지 두 마리가 붙어 있을 경우 정지영상의 전·후 상황을 토대로 다른 돼지와 의 간섭 정도에 따라 ‘치기·밀기·물기(knock/push/bite)’와 ‘싸움(fight)’ 여부를 확인하였다. 돼지가 벽면에 접촉하는 것은 슬랏 전체 면적 중 벽면과 접해 있는 방향 바닥의 약 17%에 앉거나 누워 있는 개체에 대해 해당 개체의 면적이 약 90% 이상 포함되어 있는 것을 기준으로 측정하였다.

2.3 통계분석

환경온도에 따른 생산성, 더위지표, 행동 및 자세 비율은 데이터에 따라 Student t-test, Welch's t test, Wilcoxon rank sum test를 이용하여 분석하였다($p < 0.05$). 모든 분석은 R 소프트웨어(ver.4.1.1, R Core Team, Austria)를 이용하여 실시하였다.

3. 주요결과 및 고찰

고온 환경의 평균 온도는 33.3°C, 평균 상대습도 67.7%로 평균 THI는 86.0이었다. 반면, 적온 환경의 평균 온도는 24.0°C, 평균 상대습도 74.9%로 평균 THI는 72.9였다. THI 값 St-Pierre 등(2003)에 의거하여 산출하였으며, 국립축산과학원의 가축사육기상정보시스템에 따르면 돼지에서 THI가 64 이상~73 미만은 쾌적한 상태로 정상적인 활동을 보이는 반면, THI 83 이상~93 미만은 강한 더위 스트레스를 받는 상태로 호흡수와 체온이 증가하고 사료섭취량 감소 및 탈수의 위험이 있다.

고온 환경에서 일당증체량(ADG, Average daily gain)과 일당사료섭취량(ADFI, Average daily feed intake)은 감소하였으나, 사료효율(FE, Feed efficiency)은 환경에 따른 유의차를 확인할 수 없었다(표 1). 환경온도는 돼지의 사료 섭취량에

직접적인 영향을 줌으로써 성장에 영향을 주는 중요한 요인으로(Renaudeau 등, 2011), 고온 환경에서 사료 섭취를 줄이는 방향으로 조절하여 열 생산을 감소시킬 수 있으며, 사료 섭취량이 감소하면 체지방의 축적과 성장을 위해 필요한 영양소가 제한되기 때문에 증체량 또한 감소한다(Olcza 등, 2015). Oliveira 등(2019)에 따르면 열 스트레스 조건에서 육성·비육돈의 성장에 미치는 연구들을 메타분석한 결과 사료 대비 증체 비율(Feed to gain ratio)은 온도에 따른 변화가 없었으나 일당증체량의 감소는 비육돈이 출하 체중에 도달하는데 어려움을 보였다.

호흡수(RR, Respiratory rate)와 직장온도(RT, Rectal temperature)는 고온 환경에서 증가하였다($p < 0.01$, 표 1). 마찬가지로 Podder 등(2022)은 여름, 겨울 및 우기에 수퇘지, 미임신돈, 임신돈에서 더위 스트레스를 관찰한 결과 직장온도, 호흡수, 심박수가 여름에 더 증가한다는 결과를 발표하였다. 일당증체량, 사료섭취량, 호흡수 및 직장온도의 결과를 통해 고온환경에서 육성돈이 더위 스트레스를 받고 있다는 전제를 확인할 수 있었다.

특정 시점에서 각각의 개체가 취하는 행동 및 자세를 전체 두수로 나눈 비율로 행동 및 자세 변화를 확인하였다(표 2). 고온 환경에서 ‘사료섭취(feeding)’, ‘서 있는 자세(standing)’, ‘배를 깔고 누운 자세(sternal lying)’의 개체 비율은 감소하고($p < 0.01$) ‘옆으로 누운 자세(lateral lying)’는 증가하였다($p < 0.01$). 또한, 개체가 ‘앉거나(sitting)’, ‘누워 있을 때(sternal, half-lateral, lateral lying)’ 상대적으로 온도가 낮은 벽면에 접촉하는 개체 수는 전체두수 대비 비율과 앉거나 누운 개체 수 대비 비율 모두 고온 환경에서 유의하게 높았다($p < 0.01$, 그림 1). 반추동물에서는 열 스트레스가 있는 개체에서 사료 섭취량이 감소하고, 반추행동이 줄어들고, 배변·배뇨 빈도수가 감소하였다(Ratnakaran 등, 2017). 동일한 선행연구에서 더위 스트레스를 받은 젖소는 바람과 공기의 대류에 의해 신체 표면에서 증발하는 열 손실을 최대화 하고 뜨거운 지표면으로부터 오는 더위를 피하기 위해 서 있는 시간이 증가하였다. 다만, 스프링클러나 선풍기와 같이 온도를 내릴 수 있는 장치가 있을 경우 누워 있는 시간이 증가하였다. 반대로 우리의 연구 결과에서는 더위 스트레스를 받은 경우 서 있는 시간이 줄어들었으나, 행동 및 자세를 정지영상으로 판단하였기 때문에 ‘서 있는 자세(standing)’에 걸터다니는 행동을 포함한 것이 결과에 영향을 미쳤을 수도 있다. 그러나 스프링클러나 선풍기와 비슷하게 온도가 낮은 벽에 기대는 행동은 고온 환경에서 더 많이 관찰되었다. 우리의 연구 결과에서 ‘음수(drinking)’ 개체의 비율은 환경 온도에 따라 유의차가 없었으며, 비육돈에서 선행연구 결과 역시 낮 시간, 밤 시간, 전체 시간동안 음수량은 더위 스트레스를 받았을 때와 차이가 없었다(Kpodo 등, 2021). 그러나, 더위 스트레스에 행동 지표로

적용할 수 있는지는 관찰 기간 및 관찰 빈도를 증가시키거나 음수량과 음수 지속시간 데이터를 추가적으로 조사할 필요할 것으로 생각된다.

추가적으로 본 연구에서 고려되어야 할 점은 관찰되는 다리의 개수를 기준으로 총 3가지로 분류하였으나 돼지 두마리가 겹쳐 있거나, 카메라의 사각지대에서 누워 있는 돼지의 다리가 정확히 보이지 않을 경우 모두 ‘비스듬히 누운 자세 (half-lateral lying)’로 표기하여 현장에서 직접 관찰했을 때와 카메라로 관찰한 결과에 차이가 있을 것으로 생각된다. 그리고 영상 화질의 문제로 배뇨·배변 행동을 관찰하기 어려웠으나, 추후 연구 시 더 큰 사육공간을 확보하고 바닥 슬랏의 종류를 달리하는 등의 방법으로 사료섭취, 음수, 배변 및 배뇨 공간이 구분된다면 카메라 관찰을 통해서도 배뇨·배변 빈도수를 측정 또는 추정 할 수 있을 것으로 사료된다.

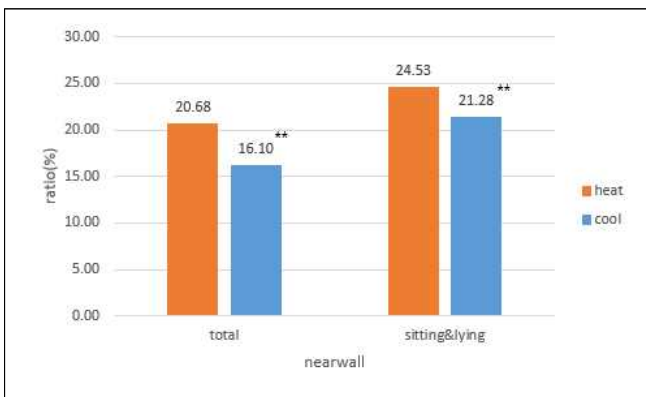
[표 1] 고온·적온 환경에 따른 육성돈의 성장률, 더위지표 변화 비교

Item		Heat(n=16)	Cool(n=16)	p-value
Growth performance	ADG	0.79±0.14	1.01±0.19	<0.01
	ADFI	1.88±0.16	2.34±0.44	<0.05
	FE	0.42±0.06	0.44±0.08	0.54
Heat stress index	RR	99.22±25.20	66.66±11.55	<0.01
	RT	39.76±0.37	39.42±0.33	<0.01

* ADG, Average daily gain, ADFI, Average daily feed intake; FE, Feed efficiency; RR, Respiratory rate; RT, Rectal temperature

[표 2] 고온·적온 환경에 따른 육성돈의 행동 및 자세 비율 변화

Parameter (%)	Temperature		p-value
	Heat(n=359)	Cool(n=359)	
feeding	7.85±0.51	12.66±0.63	<0.01
drinking	3.53±0.27	3.15±0.28	0.06
knock/push/bite	0.45±0.10	0.78±0.14	0.07
fight	0.03±0.03	0.18±0.63	0.10
standing	3.85±0.31	7.42±0.50	<0.01
sitting	1.60±0.18	1.71±0.17	0.46
sternal lying	5.38±0.33	7.37±0.42	<0.01
half-lateral lying	20.87±0.66	22.44±0.63	0.05
lateral lying	56.42±1.16	44.29±1.33	<0.01



[그림 1] 고온·적온 환경에 따라 육성돈이 앉거나(sitting) 누워 있는 자세 (sternal, half-lateral, lateral lying)로 돈방의 벽에 접촉하는 비율의 변화. 전체 두수 대비 벽에 접촉하는 비율(total, 좌); 앉거나 누워 있는 두수 대비 벽에 접촉하는 비율(sitting&lying, 우).

4. 결론

고온 환경에서 육성돈의 성장률과 행동 변화를 비교하였다. 고온 환경은 THI 86.0으로 돼지에게 더위 스트레스를 주는 환경으로 조성하였으며, 더위 스트레스를 받은 집단에서 일당증체량, 일당사료섭취량이 감소하고 호흡수와 직장온도가 증가하였다. 관찰한 자세와 행동 중 사료섭취와 서 있는 자세의 비율은 감소하였으나, 배를 깔고 누운 자세와 옆으로 누운 자세의 비율은 증가하였다. 그러나 영상 촬영 시 사각지대, 서 있는 자세에 걸터다니는 행동을 포함한 점을 고려하였을 때 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다. 또한, 행동의 빈도 외에 지속 시간과 공간적 환경까지 고려하면 정확한 행동 변화에 대한 결과를 얻을 수 있을 것이다. 본 연구를 통해 얻어진 결과는 돼지 행동 자동분류 인공지능 모델에 적용하여 더위 스트레스를 받는 집단을 조기에 발견하는 데 활용할 수 있을 것으로 생각한다.

참고문헌

- [1] "돼지의 열 스트레스지수에 따른 사양관리 포인트", 돼지 사양관리지침, 국립축산과학원 가축사육기상정보시스템, 2019
- [2] Bonneau M., Pouillet N., Beranice D., Dantec L., Canario L., Gourdine JL., "Behavior Comparison During Chronic Heat Stress in Large White and Creole Pigs Using Image-Analysis", *Frontiers in Animal Science*, Vol.2, 2021
- [3] Kpodo K., Duttlinger A., Maskal J., McConn B., Johnson J., "Effects of Feed Removal during Acute Heat Stress on the Cytokine Response and Short-Term Growth Performance in Finishing Pigs", *Animals*, 11(1):205, 2011
- [4] Moon YG., Ha DM., Jeon JH., Kim DH., "A study on the Selection of Specific Behaviours of Pigs as a Measure of Animal Welfare Assessment", *Journal of Agriculture & Life Science*, 48(5):63-72, 2014
- [5] Olcza K., Nowicki J., Klocek C., "Pig behaviour in relation to weather conditions - a review", *Annals of Animal Science*, 15(3):601-610, 2015
- [6] Oh SY., Jeong, YD., Kim DW., Min YJ., Yu DJ., Kim KH., Kim YH., "Effect of heat stress on growth performance and physiological changes of pigs in commercial farm", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, 18(7):130-139, 2017
- [7] Oliveira A., Vanelli K., Sotomaior C., Weber S., Batista

- L., "Impacts on performance of growing-finishing pigs under heat stress conditions: a meta-analysis", *Costal Veterinary Research Communications*, 43(1):37-43, 2019
- [8] Podder M., Bera S., Naskar S., Sahu D., Mukherjee J., Patra A., "Physiological, blood biochemical and behavioural changes of Ghongroo pigs in seasonal heat stress of a hot humid tropical environment", *International Journal of Biometeorology*, 66:1349-1364, 2022
- [9] Ratnakaran A., Sejian S., Jose V., Vaswani S., Bagath M., Krishnan G., Beena V., Devi P., Varma G., Bhatta, R., "Behavioral Responses to Livestock Adaptation to Heat Stress Challenges", *Asian Journal of Animal Science*, 11(1):1-13, 2017
- [10] Renaudeau D., Huc E., Noblet, J., "Acclimation to high ambient temperature in Large White and Caribbean Creole growing pigs", *Journal of Animal Science* 85(3):779-790, 2007
- [11] Renaudeau D, Gourdine JL, St-Pierre NR, "A meta-analysis of the effect of high ambient temperature on growing - finishing pigs" *Journal of Animal Science*, 89(7):2220-2230, 2011
- [12] St-Pierre NR., Cobanov R., Schnitkey G., "Economic losses from heat stress by US Livestock Industries", *Journal of Dairy Science* 86:52-77, 2003