

고온기 분만사 내 냉방 시설의 종류가 모돈의 번식성적 및 스트레스 지표에 미치는 영향

오승민¹, 최요한², 김동우³, 하상훈³, 김조은², 정현정², 김진수^{3*}

¹경상북도 축산기술연구소, ²농진청 국립축산과학원 양돈과, ³강원대학교 동물생명과학대학 동물산업융합학과

Effect of Different Cooling System on Performance and Hair Cortisol on Sows under Heat Stress

Seung-Min Oh¹, Yo-Han Choi², Dong-Woo Kim³, Sang-Hun Ha³,
Jo-Eun Kim², Hyun-Jung Jung², Jin-Soo Kim^{3*}

¹Gyeongsangbuk-do Livestock Research Institute,

²Swine Science Division, National Institute of Animal Science, Rural Development Administration,

³Department of Animal Industry Convergence, College of Animal Life Sciences, Kangwon National University

요약 본 연구는 고온기 분만사 내 냉방 시설의 종류가 모돈의 번식성적 및 스트레스 지표에 미치는 영향을 구명하기 위하여 실시되었다. 본 실험을 위해 경산돈(Landrace×Yorkshire; 242.84±2.89 kg) 40두를 공시하였으며, 냉방 시설에 기반하여 4처리 10반복, 반복당 1두씩 완전임의 배치하였다. 실험 처리구는 쿨링패드(CP; Cooling pad), 에어컨(AC, Air conditioner), 스나웃 쿨링(SC, Snout cooling) 및 안개분무(MS, Mist spray)로 구성되었으며, 포유기간(21일) 동안 진행되었다. 모돈의 성적에서 일일사료섭취량은 포유기간에서 CP 및 AC 처리구가 유의적으로 높게 나타났다($p<0.05$). 이유 시, 자돈의 체중은 AC처리구가 유의적으로 가장 높게 나타났으며($p<0.05$), SC처리구가 유의적으로 가장 낮게 나타났으며($p<0.05$). 모돈의 코티솔 농도는 SC 및 MS처리구가 CP 및 AC처리구보다 유의적으로 높게 나타났으며($p<0.05$). 자돈의 코티솔 농도는 MS처리구가 유의적으로 가장 높게 나타났으며($p<0.05$), CP처리구가 유의적으로 가장 낮게 나타났으며($p<0.05$). 모돈의 호흡수 및 직장온도는 MS처리구가 유의적으로 가장 높게 나타났으며($p<0.05$), AC처리구가 유의적으로 가장 낮게 나타났으며($p<0.05$). 결론적으로, 쿨링패드 및 에어컨 냉방시설이 스나웃 쿨링 및 안개분무 냉방시설보다 모돈의 생산성을 개선시킬 수 있을 것으로 사료된다.

Abstract This study was undertaken to determine the effect of different cooling systems on the performance and hair cortisol of sows under heat stress. During a 21-day experiment, a total of 40 multiparous sows (Landrace×Yorkshire; 242.84±2.89 kg) were allotted to 4 treatments, each with 10 replicates (1 sow per pen). The experimental treatments were CP (Cooling pad), AC (Air conditioner), SC (Snout cooling), and MS (Mist spray). We observed an increase in the average daily feed intake during lactation ($p<0.05$) in the CP and AC treatment groups. AC treatment had the highest ($p<0.05$) and SC treatment had the lowest ($p<0.05$) piglet weight at weaning. During lactation, sows administered SC and MS treatments had higher ($p<0.05$) hair cortisol accumulation, as compared with the AC and CP treatments. Hair cortisol accumulation in piglets during lactation was highest with MS treatment ($p<0.05$), and lowest after CP treatment ($p<0.05$). MS treatment had the highest ($p<0.05$), and AC treatment had the lowest ($p<0.05$) respiratory rate and rectal temperature during lactation. In conclusion, our results indicate that a cooling pad and air conditioning cooling system increases the productivity of a sow, as compared to snout cooling and mist spray cooling systems.

Keywords : Heat stress, Cooling system, Reproductive performance, Hair cortisol, Sows

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(세부과제번호: PJ01479601)의 지원 및 2021년도 농촌진흥청 국립축산과학원 전문연구원 과정 지원사업에 의해 이루어진 것임.

*Corresponding Author : Jin-Soo Kim(Kangwon national Univ.)

email: kjs896@kangwon.ac.kr

Received December 17, 2020

Revised January 5, 2021

Accepted March 5, 2021

Published March 31, 2021

1. 서론

최근 들어 지구온난화와 기후변화로 인하여 국내 여름의 폭염일수가 증가하고, 연평균 기온이 상승하고 있으며, 기상청[1] 발표에 따르면 국내 폭염일수는 2004년 15.6일에서 2018년 29.2일로 증가하였다고 보고하였다. 이러한 폭염일수 증가와 더불어 장마로 인한 고온다습한 무더위는 가축에 고온스트레스를 유발시켜 생산성을 감소시키는 것으로 알려져 있다[2,3].

여름철 고온 스트레스는 가축의 사양관리에서 중요한 환경학적 요인으로 작용한다[4]. 특히, 돼지의 경우, 지방층이 두껍고, 땀샘이 발달하지 않아 피부를 통한 땀 배출 기능이 원활하지 못하여 체내의 대사열을 외부로 방출하는 능력이 부족하여[5,6] 다른 가축들보다 고온 환경에 취약하다. 고온스트레스는 돼지의 사료섭취량을 감소시키며[7], 영양소의 소화 및 흡수율을 감소로 인해 사료요구율을 증가시킨다고 보고되어 있다[8]. 특히, 고온 스트레스는 모돈의 사료섭취량을 저하시키고, 유생산량 및 이 유체중을 감소시켜[9] 생산성을 낮추는 것으로 보고하였다. 또한, 에너지 불균형을 유발하여 생산성을 저하시키고, 난소 기능과 관련된 생식문제를 유발하는 것으로 알려져 있다[10]. 이러한 문제를 해결하고 예방하기 위하여 냉방 시설이 이용되고 있다. 냉방 시설은 열교환 냉방 방식 및 기화식 냉방 방식 등의 원리를 이용하며, 돈사 건물 전체와 개별 돼지를 대상으로 냉각하는 방법으로 나눌 수 있다[11]. 돈사 건물 전체를 냉방하는 방법으로는 쿨링패드(Cooling pad), 에어컨(Air conditioner) 및 안개분무(Mist spray) 등의 냉각 방법이 있다. 쿨링패드는 기화식 냉방 방식으로 액체가 기체로 증발할 때에 발생하는 필요한 증발열을 이용한 냉방 방식이다. 에어컨은 열교환 냉방 방식으로 차가운 냉매가 냉각 코일 속을 지나며, 뜨거운 공기가 지니고 있던 열을 빼앗아 주위의 공기가 시원하게 냉방되는 방식이다. 안개분무(Mist spray)는 물의 증발 원리를 이용한 냉각 방법으로, 환기 시설과 같이 이용되어 진다[12,13]. 개별 돼지를 대상으로 냉방하는 방법으로는 스나웃 쿨링(Snout cooling)이 있다. 스나웃 쿨링은 덕트(Duct)를 통하여 시원한 바람을 모돈의 머리 부분에 송풍하는 방법이다[14]. 냉방 시설에 관련된 선행연구 중 냉각시설들의 비교에 대한 연구는 미비한 실정이다.

따라서, 본 연구는 고온기 분만사 냉방 시설 방법이 모돈의 번식성적 및 스트레스 지표에 미치는 영향을 구명하고자 수행하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 실험동물 및 실험설계

고온기 분만사 내 냉방 시설 방법이 모돈의 번식성적 및 스트레스 지표에 미치는 영향을 구명하기 위하여 경산돈(Landrace×Yorkshire; 242.84±2.89 kg) 40두를 공식동물로 사용하였다. 실험설계는 냉방 시설 종류에 따라서 쿨링패드(CP; Cooling pad), 에어컨(AC, Air conditioner), 스나웃 쿨링(SC, Snout cooling) 및 안개분무(MS, Mist spray)로 하였다. 산차와 체중에 기반하여, 총 4처리 10반복, 반복당 1두씩 Randomized Complete Block Designs에 따라 배치하였다. 본 실험 기간은 임신 112일령에 개체를 선발하여 분만 직후부터 포유기간(21일) 동안 수행하였다.

처리구에 따라서 독립적인 분만방에서 진행되었으며, 각 분만사에는 길이 2,400 mm, 폭 1,800 mm의 동일한 분만틀이 설치되었다. 모든 분만틀에는 자돈을 위하여 보온 박스 및 보온등이 구비되었다. 냉각 시설은 평균 분만사 내 온도가 25 ℃ 일때 작동하도록 설정하였다.

Table 1. Chemical composition of experimental diet

Item	Basal lactation diet
Calculated composition, %	
ME, kcal/kg	3,350
CP	20.13
Ca	0.75
Av. P	0.32
Lys	1.15
Met +Cys	0.72

ME, metabolizable energy; CP, crude protein; Ca, calcium; P, phosphorus; Lys, lysine; Met, methionine; Cys, cysteine.

2.2 실험사료 및 사양관리

본 실험에 사용된 옥수수-대두박 기초배합사료는 National Research Council[15]에 기준하여 권장하는 영양소 수준을 충족하거나 초과하도록 설정하였다. 설정된 실험사료의 화학적 조성은 Table 1에 나타내었으며, 가루형태로 배합하였다.

실험사료와 물은 원하는 시간에 섭취할 수 있도록 자유채식 시켰으며, 기타 첨가제나 약품은 일체 사용하지 않았다. 실험을 진행하는 동안 모돈의 일반적인 사양관리는 본 연구실의 관행법에 준하여 실시하였다.

2.3 조사항목

2.3.1 온도 및 온습도지수

실험기간 동안 실제 환경온도를 분석하기 위하여 배지 방 마다 온·습도 데이터로거(TENMARS, TM-305U, Taiwan)를 설치하여 측정하였다. 측정된 온도와 습도는 Dikmen 등(2008)[16]이 제시한 공식을 이용하여 온습도지수(THI, Temperature and Humidity Index)를 산출하였다. 산출식은 다음과 같다.

$$THI = (1.8 \times T + 32) - [(0.55 - 0.0055 \times RH) \times (1.8 \times T - 26.8)] \quad (1)$$

Where, T denotes temperature(°C), RH denotes relative humidity(%)

2.3.2 모돈 및 번식성적

모돈의 체중과 등지방 두께는 임신 112일령과 이유시점에 개체별로 측정하였다. 포유기간 체중 변화와 등지방 두께 변화는 임신 112일령과 이유시점 사이의 변화로 산출하였다. 등지방 두께는 초음파 측정기(SONG KANG GLC, Anyscan BF, Korea)를 이용하여 모돈의 제 10늑골을 기준으로 6.5 cm 지점에서 3회 측정하여 평균값을 산출하였다. 일일사료섭취량(ADFI, average daily feed intake)은 이유기간과 발정재귀일 동안 사료섭취량을 조사하여 산출하였다. 번식 성적은 각 모돈 개체의 분만 시와 이유 시 자돈의 두수와 체중을 측정하여 산출하였다.

2.3.3 코티졸 농도

분만 시 모돈과 자돈의 등쪽 털을 일부 제거한 후, 실험 종료 시 각 개체별 해당부분의 새로 자란 털을 채취하여, 털 코티졸 분석에 이용하였다. 털 시료의 세척 및 코티졸 추출 방법은 Ataallahi 등(2019)[17]의 방법에 따라 진행하였다. 채취된 털은 Isopropanol을 이용하여 3회 세척 후, 35 °C 진공건조기에서 건조 후, 약 50 mg의 털을 강철 비즈가 들어있는 EML plastic tube에 넣어 Bead beater(tacoTMPrep, 50/60 Hz 2A, GeneReach Biotechnology Corp, Taiwan)를 통해 분쇄 후, Methanol을 이용하여 코티졸을 추출하였다. 추출된 시료는 Cortisol ELISA kit (ADI- 900-071, Enzo Life Sciences, Inc., US)을 이용하여 측정하였다.

2.3.4 호흡수 및 직장온도

모돈의 호흡수와 직장온도는 실험기간 동안 모든 개체로부터 매일 4회씩(08:00, 12:00, 16:00 및 20:00) 측정

된 값들의 평균치를 관측치로 이용하였다. 호흡수는 스톱워치를 이용하여 1분 동안 모돈의 복부 움직임을 육안으로 관찰하여 측정하였으며, 직장온도는 모돈의 직장 내 디지털 체온계(SATO, SK-1260, Japan)를 삽입하여 측정하였다.

2.3.5 통계분석

본 실험에서 측정한 데이터는 SAS (Statistical Analysis System, SAS Institute Inc., USA)[18] 프로그램의 One-way ANOVA를 이용하여 분석하였으며, 사후검정은 Turkey 검정을 이용하였다. 통계 유의적 차이는 $p < 0.05$ 이면 통계적으로 유의성이 있는 것으로 인정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 온습도지수

실험기간 동안 온도 및 열량지수는 Fig. 1과 같다. 돈사 내부 온도범위는 24.71-31.49 °C, 온습도지수는 73.63-86.96 °C 로 나타났다. 온습도지수는 불쾌지수로서 적정범위는 74미만으로 알려져 있으며[19], 본 연구에서 스나웃 쿨링과 안개분무 처리구는 실험기간 동안 80보다 높은 것으로 나타났다. 기상청[1]에 의하면 2020년은 33년만에 가장 장마를 기록하였으며, 이로 인하여 안개분무와 스나웃쿨링 처리구의 경우 습도조절을 할 수 없기 때문에 온습도지수가 높아진 것으로 판단되어진다.

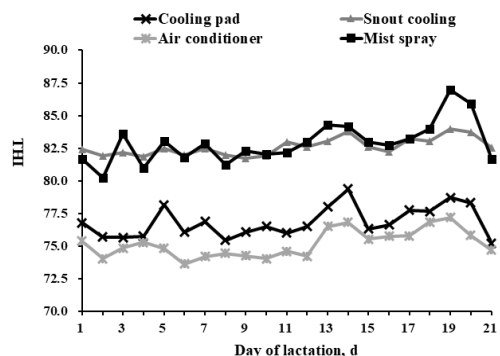


Fig. 1. Temperature-humidity index (THI) during experimental period.

3.2 모돈 및 번식 성적

고온기 분만사 내 냉각 시설에 따른 모돈의 사양 성적

은 Table 2과 같다. 체중 및 등지방 두께는 처리구간 유의적인 차이가 나타나지 않았으며, 일일사료섭취량은 쿨링패드 및 에어컨 처리구에서 유의적으로 높게 나타났다($p<0.05$).

Table 2. Effect of different cooling system on sows performance under high ambient temperature

Cooling system	CP	SC	AC	MS	SEM	p-value
BW, kg						
d 112	243.21	246.18	239.14	240.87	1.78	0.537
Weaning	208.36	210.46	204.82	204.66	1.43	0.415
Loss during Lactation ¹	34.85	35.72	34.32	36.21	0.86	0.874
BF, mm						
d 112	20.47	21.71	19.85	20.61	0.29	0.138
Weaning	15.67	16.66	15.20	15.44	0.25	0.191
Loss during Lactation ²	4.80	5.05	4.65	5.17	0.27	0.910
ADFI kg/d						
During lactation,	5.51 ^a	5.09 ^b	5.73 ^a	4.85 ^b	0.09	<0.001
Weaning to estrus interval,d	5.30	5.60	5.50	5.80	0.12	0.525

¹calculated the change in sow's BW between d 112 and weaning period.

²calculated the change in sow's BF thickness between d 112 and weaning period.

^{a,b}means with different superscripts in the same row differ significantly($p<0.05$).

^cCP, Cooling Pad; SC, Snout cooling; AC, Air conditioner; MS, Moist spray; SEM, standard error of means; BW, body weight; BF, backfat thickness; ADFI, average daily feed intake.

고온기 분만사 내 냉방 시설에 따른 모돈의 번식 성적은 Table 3과 같다. 복당 산자수와 자돈의 생시체중은 처리구간 유의적인 차이가 나타나지 않았으며($p>0.05$), 복당체중은 또한 처리구간 유의적인 차이가 발견되지 않았다. 하지만 자돈의 이유 체중은 에어컨 처리구에서 유의적으로 가장 높게 나타났다($p<0.05$).

선행연구[20,21]에 의하면 분만사 내 온도가 증가하면 모돈의 사료섭취량은 감소한다고 보고하였으며, 이는 체온 상승을 방지하는 주요 생리학적 반응으로 보고되었다. 사료섭취량의 감소를 해결하기 위하여 다양한 냉방시설에 대한 선행연구가 진행되었다[22,23].

Stansbury 등(1987)[24]과 McGlone 등(1988)[25]은 스나웃 쿨링 냉방시설에서 모돈의 사료섭취량은 증가한다고 보고하였으나, Raap 등(1988)[26]은 스나웃 쿨링 냉방시설에서 모돈의 사료섭취량, 모돈의 체중 감소 및 자돈의 체중 증가에 미치는 유의적인 영향이 나타나지 않았다고 보고하였다.

Table 3. Effect of different cooling system on litter performance under high ambient temperature

Cooling system	CP	SC	AC	MS	SEM	p-value
Litter size						
Total born	12.20	12.80	12.40	12.90	0.44	0.939
Weaned	10.90	11.30	10.50	11.20	0.44	0.925
Piglet weight, kg						
At birth	1.33	1.38	1.35	1.34	0.26	0.923
At weaning	6.17 ^{ab}	5.90 ^b	6.25 ^a	5.84 ^b	0.06	0.040
Litter weight, kg						
At birth	15.58	16.18	15.03	15.92	0.66	0.941
At weaning	66.57	67.13	65.03	65.54	2.76	0.994

^{a,b}means with different superscripts in the same row differ significantly($p<0.05$).

^cCP, Cooling Pad; SC, Snout cooling; AC, Air conditioner; MS, Moist spray; SEM, standard error of means.

Morales 등(2013)[27]은 모돈의 사료섭취량이 스나웃 쿨링 냉방시설보다 에어컨 냉방시설에서 증가하였고 보고하였다. 반면에, 출생 시 자돈의 무게는 에어컨 냉방시설과 스나웃 쿨링 냉방시설에서 유의적인 차이가 나타나지 않았다고 보고하였으며, 이는 에어컨 냉방시설이 직접적으로 분만사 내 실내 온도를 낮추어 자돈의 임계 온도(CT, Critical temperature) 보다 낮기 때문으로 보고하였다. 또한, 스나웃 쿨링 냉방시설은 분만사 내 온도를 낮추지 않고, 모돈의 온도를 직접적으로 낮추어 모돈이 냉방시설 가까이에 더 오래 머무르며 사료섭취량을 감소시킨 것으로 보고하였다. 본 연구의 결과도 이와 유사하게 나타났는데, 쿨링패드 및 에어컨 처리구가 돈사 내 환경온도를 낮춰 모돈의 사료 섭취 시간을 증가시킨 것으로 사료된다.

3.3 코티졸 농도

고온기 분만사 내 냉방 시설에 따른 모돈과 자돈의 코티졸 농도는 Fig. 2와 같다. 모돈의 코티졸 농도는 스나웃 쿨링 및 안개분무 처리구에서 유의적으로 높게 나타났다($p<0.05$). 자돈의 코티졸 농도는 안개분무 처리구에서 유의적으로 가장 높게 나타났으며($p<0.05$), 쿨링패드 처리구에서 유의적으로 가장 낮게 나타났으며($p<0.05$).

코티졸 농도는 고온 스트레스를 판단하는 척도로 알려져 있다[28]. 이전 연구결과들에 따르면 코티졸 농도는 고온 환경에서 증가한다고 보고하였다[29,30].

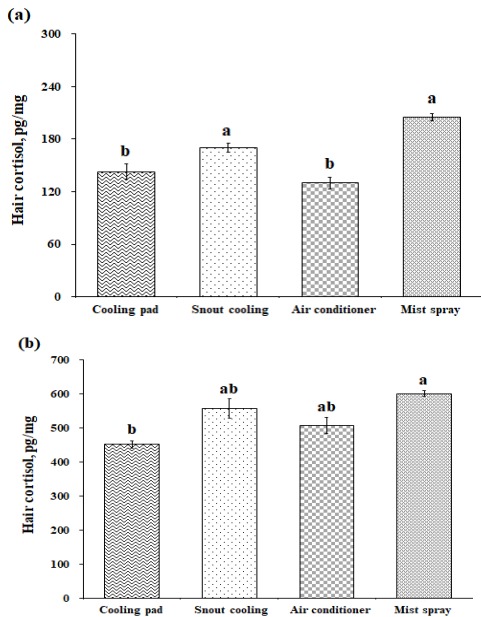


Fig. 2. Effect of different cooling system on hair cortisol accumulation in sows(a) and piglets(b) during lactation period under high ambient temperature. a, b means with different superscripts on the bar differ significantly ($p < 0.05$).

현재까지 모돈과 포유자돈에서 냉방시설에 따른 코티졸 농도에 관한 선행연구가 존재하지 않는다. Quiñero 등, (2009)[31]의 연구에 의하면 모돈의 머리 부분에 물을 뿌려주는 스프링클러와 쿨링패드 냉방시설을 설치하였을 때, 혈중 코티졸 농도는 유의차가 없었지만, 혈중 호중구:림프구 비율은 쿨링패드 처리구에서 유의적으로 낮게 나타났다($p < 0.05$). corticosteroid 농도는 짧은 기간 동안의 스트레스 지표로서 효과적이지만, 혈중 호중구:림프구 비율은 보다 중장기적인 기간 동안의 스트레스 지표로서 더 효율적이다.

본 연구에서 쿨링패드와 에어컨 처리구에서 모돈이 가장 스트레스를 덜 받은 것으로 사료된다. Johnson 등 (2018)[32]의 연구에 따르면 포유자돈에게 32-38 °C의 환경을 제공한 결과로 고온스트레스를 받음으로써 호흡수, 피부 및 직장온도가 유의적으로 증가하는 것으로 나타났다으며, 이유 직후 코티졸 수치가 가장 높은 것으로 나타났다($p < 0.05$). 본 연구 결과, 쿨링패드 처리구에서 자돈의 코티졸 수치가 가장 낮은 것은 돈사 내 온습도가 성장하는데 있어 가장 적당하기 때문에 고온스트레스를 덜 받은 것으로 판단되어진다.

3.4 호흡수 및 직장온도

고온기 분만사 내 냉각 시설에 따른 모돈의 호흡수 및 직장온도는 Fig. 3과 같다. 모돈의 호흡수와 직장온도는 에어컨 처리구에서 유의적으로 가장 낮게 나타났으며 ($p < 0.05$), 안개분무 처리구에서 유의적으로 가장 높게 나타났다($p < 0.05$).

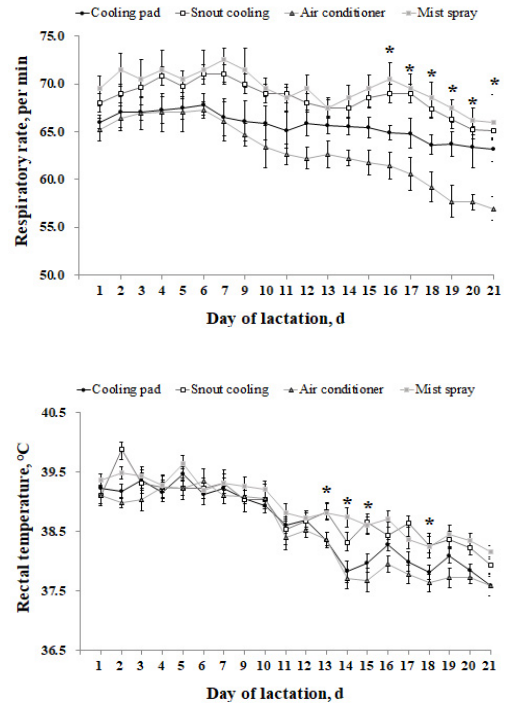


Fig. 3. Effect of different cooling system on respiratory rate and rectal temperature of sows during lactation period under high ambient temperature. Asterisks(*) indicate statistical significance ($p < 0.05$).

호흡수 및 직장온도는 고온 스트레스를 확인하는 지표로 사용되고 있다[33]. 이전 연구들은 고온 스트레스에 노출된 돼지의 호흡수가 증가한다고 보고하였다[34,35]. Williams 등(2013)[36]은 고온 스트레스 환경에서 모돈의 호흡수가 포유기간에 가장 높고 포유기간 종료 후 가장 낮았다고 보고하였으며, 포유 중 호흡수의 증가는 모돈의 하한 임계 온도에 대한 일반적인 이해로 보고하였다. 이러한 결과는 포유 기간 동안 대사율이 증가하여 호흡을 통한 체온조절을 위한 것으로 판단되어진다.

Gody'n 등(2018)[37]은 안개분무 냉방시설이 모돈의 호흡수를 감소한다고 보고하였으며, Romanini 등

(2008)[38]과 Watanabe 등(2019)[39]은 증발 냉방 시설이 모돈의 호흡수 및 체온을 감소시킨다고 보고하였다. 또한, Justino 등(2014)[40]은 쿨링패드 시설이 모돈의 호흡률 및 체온을 감소시킨다고 보고하였다. Bull 등(1997)[12]은 증발 냉각 시설(쿨링패드)이 스나웃 쿨링 시설보다 모돈의 호흡률 및 직장온도를 감소시킨다고 보고하였다.

이러한 결과는 냉방 시설의 냉각 방식에 기인한 것으로 사료된다. 전체를 냉방하는 방식이 개체를 직접 냉방하는 방식보다 효율적인 것으로 사료된다.

4. 요약 및 결론

본 연구는 고온기 분만사 내 냉방시설의 종류가 모돈의 번식성적 및 스트레스 지표에 미치는 영향을 구명하기 위해 실시하였다. 포유기간 동안 모돈의 사료섭취량은 쿨링패드와 에어컨 처리구에서 높았으며, 자돈의 이유체중은 에어컨 처리구에서 높게 나타났다. 모돈의 털 중 코티졸 수치는 쿨링패드와 에어컨 처리구에서 낮았으며, 자돈은 쿨링패드 처리구에서 낮게 나타났다. 모돈의 호흡수와 직장온도는 쿨링패드와 에어컨 처리구에서 낮게 나타났다.

따라서 결과들을 종합해 보았을 때 고온기 분만사 내 쿨링패드와 에어컨 설치 시 모돈의 성적에 부정적인 영향을 나타내지 않으며, 번식성적, 코티졸 농도, 호흡수 및 직장온도에 긍정적인 효과가 있음을 시사한다.

References

[1] Korea Meteorological Administration, 2019 Abnormal climate rept, Korea Meteorological Administraion, pp10, 2020.

[2] 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: <http://dx.doi.org/10.2527/jas1988.66123112x>

[2] F. N. Reece, J. W. Deaton, & L. F. Kubena, "Effects of high temperature and humidity on heat prostration of broiler chickens", *Poultry Science*, Vol.51, No.6, pp.2021-2025, 1972.
DOI: <https://doi.org/10.3382/ps.0512021>

[4] J. Yu, P. Yin, F. Liu, G. Cheng, K. Guo, A. Lu & 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://dx.doi.org/10.1016/j.cbpa.2010.01.008>

[5] R. C. Wolp, N. E. B. Rodrigues, M. G. Zangeronimo, V. S. Cantarelli, E. T. Fialho, R. Philomeno & 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: <http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2012.04.014>

[6] 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>

[7] 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. No. pp. 86(8), 1789-1798, 2008.
DOI: <https://doi.org/10.2527/jas.2007-0801>

[8] 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: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2016.17.12.407>

[9] M. C. Lucy, & T. J. Safranski, "Heat stress in pregnant sows: thermal responses and subsequent performance of sows and their offspring", *Molecular Reproduction and Development*, Vol.84, No.9, pp.946-956, 2017.
DOI: <https://doi.org/10.1002/mrd.22844>

[10] A. Nardone, B. Ronchi, N. Lacetera & U. Bernabucci, "Climatic effects on productive traits in livestock", *Veterinary Research Communications*, Vol.30, No.1, pp.75-81, 2006.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11259-006-0016-x>

[11] D. R. Stender, J. D. Harmon, J. D. Weiss & D. Cox, "Comparison of different styles of swine finishing facilities within a uniform production system", *Applied Engineering in Agriculture*, Vol.19, No.1, pp.79, 2003.
DOI: <http://dx.doi.org/10.13031/2013.12734>

[12] R. P. Bull, P. C. Harrison, G. L. Riskowski & H. W. Gonyou, "Preference among cooling systems by gilts under heat stress", *Journal of animal science*, Vol.75, No.8, pp.2078-2083, 1997.
DOI: <http://dx.doi.org/10.2527/1997.7582078x>

[13] 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>
- [14] M. Barbari, M. Bianchi & F. S. Guerri, "PRELIMINARY ANALYSIS OF DIFFERENT COOLING SYSTEMS OF SOWS IN FARROWING ROOM". *Journal of Agricultural Engineering*, Vol.38, No.1, pp.53-58, 2007.
DOI: <https://doi.org/10.4081/jae.2007.1.53>
- [15] National Research Council(NRC), "Nutrient requirements of swine", *Livestock Production Science*, pp.208-238, The national academies press, 2012.
- [16] S. Dikmen, E. Alava, E. Pontes, J. M. Fear, B. Y. Dikmen, T. A. Olson, P. J. Hansen, "Differences in thermoregulatory ability between slick-haired and wild-type lactating Holstein cows in response to acute heat stress", *Journal of dairy science*, Vol.91, No.9, pp.3395-3402, 2008.
DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1072>
- [17] M. Ataollahi, J. G. Nejad, J. Takahashi, Y. Song, K. Sung, J. Yun & K. Park, "Effects of environmental changes during different seasons on hair cortisol concentration as a biomarker of chronic stress in Korean native cattle", *International Journal of Agriculture and Biology*, Vol.21, No.6, pp.1166-1172, 2019.
DOI: <https://doi.org/10.17957/IJAB/15.1007>
- [18] SAS. 2012, SAS Software for PC. Release 9.3, SAS Institute. Ins, Cart, NC, USA.
- [19] K. Wegner, C. Lamertz, G. Das, G. Reiner, M. Gaulty, "Effects of temperature and temperature-humidity index on the reproductive performance of sows during summer months under a temperate climate", *Animal Science Journal*, Vol.87, No.11, pp.1334-1339, 2016.
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/asi.12569>
- [20] N. Quiniou & J. Noblet, "Influence of high ambient temperatures on performance of multiparous lactating sows", *Journal of animal science*, Vol.77, No.8, pp.2124-2134, 1999.
DOI: <https://doi.org/10.2527/1999.7782124x>
- [21] D. Renaudeau, N. Quiniou & J. Noblet, "Effects of exposure to high ambient temperature and dietary protein level on performance of multiparous lactating sows", *Journal of Animal Science*, Vol.79, No.5, pp.1240-1249, 2001.
DOI: <https://doi.org/10.2527/2001.7951240x>
- [22] M. Barbari & L. Conti, "Use of different cooling systems by pregnant sows in experimental pen", *Biosystems engineering*, Vol.103, No.2, pp.239-244, 2009.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2009.02.016>
- [23] J. Perin, T. S. Gaggini, S. Manica, D. Magnabosco, M. L. Bernardi, I. Wentz & F. P. Bortolozzo, "Evaporative snout cooling system on the performance of lactating sows and their litters in a subtropical region", *Ciência Rural*, Vol.46, No.2, pp.342-347, 2016.
DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20141693>
- [24] W. F. Stansbury, J. J. McGlone & L. F. Tribble, "Effects of season, floor type, air temperature and snout coolers on sow and litter performance", *Journal of Animal Science*, Vol.65, No.6, pp.1507-1513, 1987.
DOI: <https://doi.org/10.2527/jas1987.6561507x>
- [25] J. J. McGlone, W. F. Stansbury & L. F. Tribble, "Management of lactating sows during heat stress: effects of water drip, snout coolers, floor type and a high energy-density diet", *Journal of Animal Science*, Vol.66, No.4, pp.885-891, 1988.
DOI: <https://doi.org/10.2527/jas1988.664885x>
- [26] D. L. Raap, D. P. Froehlich, J. L. Julson & R. Woerman, "Zone and drip cooling comparisons for lactating swine", *Transactions of the ASAE*, Vol.31, No.6, pp.1774-1781, 1988.
DOI: <https://doi.org/10.13031/2013.30934>
- [27] O. E. dos Santos Morales, M. A. D. Gonçalves, A. A. Storti, M. L. Bernardi, I. Wentz & F. P. Bortolozzo, "Effect of different systems for the control of environmental temperature on the performance of sows and their litters", *Acta Scientiae Veterinariae*, Vol.41, No.1, pp.1-7, 2013.
- [28] T. T. T. Huynh, A. J. A. Aarnink, W. J. J. Gerrits, M. J. H. Heetkamp, T. T. Canh, H. A. M. Spooler & M. W. A. Verstegen, "Thermal behaviour of growing pigs in response to high temperature and humidity", *Applied animal behaviour science*, Vol.91, No.1-2, pp.1-16, 2005.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2004.10.020>
- [29] D. Elez, S. Vidović & G. Matić, "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>
- [30] 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>
- [31] J. Quiñonero, C. García-Santamaría, E. María-Dolores & E. Armero, "Physiological indicators of stress in gestating sows under different cooling systems", *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Vol.44, No.11, pp.1549-1552, 2009.
DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2009001100025>
- [32] J. S. Johnson, M. A. Aardsma, A. W. Duttlinger & K. R. Kpodo, "Early life thermal stress: impact on future thermotolerance, stress response, behavior, and intestinal morphology in piglets exposed to a heat stress challenge during simulated transport", *Journal of Animal Science*, Vol.96, No.5, pp.1640-1653, 2018.
DOI: <https://doi.org/10.1093/jas/sky107>

- [33] D. Renaudeau, J. L. Gourdine & N. R. St-Pierre, "A meta-analysis of the effects of high ambient temperature on growth performance of growing-finishing pigs", *Journal of Animal Science*, Vol.89, No.7, pp.2220-2230, 2011.
DOI: <https://doi.org/10.2527/jas.2010-3329>
- [34] R. Machado-Neto, C. N. Graves & S. E. Curtis, "Immunoglobulins in piglets from sows heat-stressed prepartum", *Journal of Animal Science*, Vol.65, No.2, pp.445-455, 1987.
DOI: <https://doi.org/10.2527/jas1987.652445x>
- [35] J. D. Spencer, R. D. Boyd, R. Cabrera & G. L. Allee, "Early weaning to reduce tissue mobilization in lactating sows and milk supplementation to enhance pig weaning weight during extreme heat stress", *Journal of Animal Science*, Vol.81, No.8, pp.2041-2052, 2003.
DOI: <https://doi.org/10.2527/2003.8182041x>
- [36] A. M. Williams, T. J. Safranski, D. E. Spiers, P. A. Eichen, E. A. Coate & M. C. Lucy, "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*, Vol.91, No.6, pp.2700-2714, 2013.
DOI: <https://doi.org/10.2527/jas.2012-6055>
- [37] D. Godyn, P. Herbut & S. Angrecka, "Impact of Fogging System on Thermal Comfort of Lactating Sows", *Transactions of the ASABE*, Vol.61, No.6, pp.1933-1938, 2018.
DOI: <http://dx.doi.org/10.13031/trans.12814>
- [38] C. E. B. Romanini, Y. B. Tolon, I. D. A. Nääs & D. J. D. Moura, "Physiological and productive responses of environmental control on housed sows", *Scientia Agricola*, Vol.65, No.4, pp.335-339, 2008.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162008000400002>
- [39] P. H. Watanabe, T. A. Azevedo, M. A. do Nascimento Silva, N. M. Oliveira, T. R. Gomes, T. S. Andrade & J. A. D. Barbosa Filho, "Cooling ventilation at farrowing for sows from first to third parturition", *Comunicata Scientiae*, Vol.9, No.4, pp.556-564, 2018.
DOI: <https://doi.org/10.14295/cs.v9i4.1098>
- [40] E. Justino, I. D. A. Nääs, T. M. Carvalho, D. P. Neves & D. D. A. Salgado, "The impact of evaporative cooling on the thermoregulation and sensible heat loss of sows during farrowing", *Engenharia Agricola*, Vol.34, No.6, pp.1050-1061, 2014.
DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-69162014000600003>

오 승 민(Seung_Min Oh)

[정회원]



- 2016년 2월 : 강원대학교 동물생명과학전공 (농학학사)
- 2018년 2월 : 강원대학교 동물영양학 (농학석사)
- 2018년 1월 ~ 현재 : 경상북도 축산기술연구소 농업연구사

<관심분야>

동물영양, 가축사양

최 요 한(YoHan Choi)

[정회원]



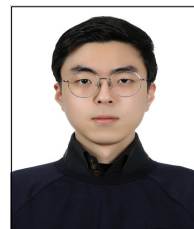
- 2015년 2월 : 강원대학교 동물생명과학전공 (농학석사)
- 2019년 2월 : 강원대학교 동물생명과학전공 (농학박사)
- 2019년 4월 ~ 현재 : 농촌진흥청 국립축산과학원 박사후 연구원

<관심분야>

동물영양 및 사양, 동물복지

김 동 우(Jin-Soo Kim)

[준회원]



- 2019년 2월 : 강원대학교 동물생명시스템학과 (농학학사)
- 2019년 3월 ~ 현재 : 강원대학교 동물산업융합전공 석사과정

<관심분야>

동물영양, 가축사양

하 상 훈(Sang-Hun Ha)

[준회원]



- 2020년 8월 : 강원대학교 동물자원과학전공 (농학학사)
- 2020년 9월 ~ 현재 : 강원대학교 동물자원과학과 석사과정

<관심분야>
동물영양, 가축사양

김 진 수(Jin-Soo Kim)

[정회원]



- 2010년 2월 : 강원대학교 동물영양학 (농학석사)
- 2012년 2월 : 강원대학교 동물영양학 (농학박사)
- 2013년 ~ 2016년 : University of Minnesota research fellow
- 2017년 2월 : 강원대학교 동물산업융합 학과 조교수

<관심분야>
동물영양 및 사양, 축사시설

김 조 은(Jo-Eun Kim)

[정회원]



- 2016년 8월 : 경상대학교 농업생명과학대학 축산학과 (농학석사)
- 2019년 3월 ~ 현재 : 충남대학교 (농학박사과정)
- 2012년 10월 ~ 현재 : 농촌진흥청 국립축산과학원 농업연구사

<관심분야>
동물영양, 미생물제

정 현 정(Hyun_Jung Jung)

[정회원]



- 1998년 2월 : 서울대학교 농업생명과학대학 축산학과 (농학석사)
- 2002년 8월 : 서울대학교 농업생명과학대학 농생명공학부 (농학박사)
- 2005년 12월 ~ 2017년 12월 : 농촌진흥청 국립축산과학원 농업연구사
- 2018년 1월 ~ 현재 : 농촌진흥청 국립축산과학원 농업연구관

<관심분야>
동물영양, 가축사양