

환경온도가 비육돈의 호흡수, 직장 온도 및 체표면 온도에 미치는 영향

천시내¹, 박규현¹, 최희철², 김종복², 권경석², 이준엽², 우샘이², 양가영², 전중환^{2*}

¹강원대학교 동물생명과학대학, ²농촌진흥청 국립축산과학원 축산환경과

Effect of environmental temperature on respiration rate, rectal temperature and body-surface temperatures in finishing pigs

Si-Nae Cheon¹, Kyu-Hyun Park¹, Hee-Chul Choi², Jong-bok Kim², Kyeong-Seok Kwon²,
Jun-Yeob Lee², Saem-Ee Woo², Ga-Yeong Yang², Jung-Hwan Jeon^{2*}

¹College of Animal Life Science, Kangwon National University

²National Institute of Animal Science, R.D.A

요 약 최근 우리나라도 지구온난화와 기후 변화의 영향으로 여름이 길어지고 기온이 상승하는 등 이상기후 현상에 의한 피해가 속출하고 있으며 특히, 축산 분야에서 환경온도는 가축의 생산성과 직접적인 연관이 있으므로 매우 중요하다. 본 연구는 열 환경에 관한 가축 사양관리 자료를 확보하기 위해 환경온도에 따른 돼지의 호흡수, 피부 및 직장온도의 변화를 조사하였다. 비육돈[(Landrace x Yorkshire) x Duroc, 98.3 ± 6.6kg] 4두를 공시하였으며, 완전 밀폐되어 있는 온습도제어실(Chamber) 내부에 대사틀(150 x 48 x 109 cm)을 설치하여 실험을 실시하였다. 비육돈은 3일간 (25.2 ± 2.4°C, 83.0 ± 5.9%)의 적응 기간을 가진 다음, 동일한 상대습도(68.4 ± 5.9%) 내에서 환경온도(22°C, 24°C, 26°C, 28°C, 30°C)를 구분하여 이틀씩 노출시켰으며, 이 때 별도의 휴식시간 제공 없이 총 10일간 연속적으로 실험을 실시하였다. 사료섭취량(kg/day), 음수량(ℓ/day), 호흡수(breaths/min), 직장온도(°C) 및 체표면 온도(°C)를 하루 2회 측정하였으며, 체표면 온도는 머리, 귀, 목, 등, 옆구리 등 5부위를 측정하여 기록하였다. 실험결과, 호흡수는 26°C 구간에서 분당 52.83 ± 15.7회로 증가하기 시작하였고, 30°C 구간에서는 71.25 ± 18.3회로 22°C와 24°C 구간에 비하여 약 2배 증가하였다($p < 0.05$). 체표면 온도는 환경온도에 더욱 민감하게 반응하는 것으로 나타났는데 환경온도 30°C 구간에서는 측정부위별 온도가 모두 5~7°C씩 증가하였다. 특히 귀와 옆구리 부위의 체표면 온도가 각각 39.84 ± 1.1°C, 39.33 ± 1.0°C로 다른 3부위(머리, 목, 등)의 체표면 온도에 비하여 높게 나타났다. 반면, 직장온도와 사료 섭취량 및 음수량에서는 유의적인 차이가 없었다.

Abstract Recently, Korea has been affected by extreme weather events including extended summers and increased temperatures caused by global warming and climate change. Environmental temperature is especially important to the livestock industry because it is closely related to livestock productivity. This study was conducted to investigate the influence of different environmental temperatures on respiration rate, rectal temperature and body-surface temperature in finishing pigs. Pigs (98.3 ± 6.6kg) were housed in individual cages inside an experimental chamber and exposed continuously to one of five environmental treatments (22°C, 24°C, 26°C, 28°C, 30°C) for 10 days without providing additional rest time. Feed and water intake, respiration rate, rectal temperature and body-surface (head, ear, neck, back, side) temperature were measured two times daily during the experimental period. A significant increase in respiration rate from 26°C and in body-surface temperature from 24°C ($p < 0.05$) was observed. At 30°C, the respiration rate had almost doubled and the body-surface temperature increased by about 5°C-7°C. Moreover, ear skin temperature was very sensitive to environmental temperature. However, feed intake, water intake and rectal temperature did not change significantly during the experiment.

Keywords : Body-surface temperature, Environmental temperature, Pigs, Rectal temperature, Respiration rate

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(세부과제번호: PJ00844206)의 지원에 의해 이루어진 것임

*Corresponding Author : Jung-Hwan Jeon(National Institute of Animal Science, R.D.A)

Tel: +82-63-238-7440 email: jeon75@korea.kr

Received October 2, 2018

Revised (1st November 21, 2018, 2nd December 7, 2018)

Accepted January 4, 2019

Published January 31, 2019

1. 서 론

돼지는 가금류와 마찬가지로 피부의 땀샘이 발달되어 있지 않아 호흡을 통해 체온을 조절한다. 그러나 몸집에 비해 폐의 용량이 상대적으로 작을 뿐만 아니라 체질적으로 피하지방층이 두껍기 때문에 열 발산 능력이 매우 낮다[1,2]. 따라서 돼지는 고온다습한 환경에 매우 민감하며, 체중이 50 kg 이상인 비육돈의 경우 더위 스트레스에 보다 예민하다[3, 4]. 특히, 일반농장에서 사육되고 있는 돼지는 생산성 및 품질향상을 위해 개량된 품종으로 주변 환경온도의 변화에 대해 열 조절 능력이 부족하기 때문에 이에 대한 관리가 매우 중요하다[5, 6, 7].

모든 항온동물은 건강하게 생활하고 높은 생산성을 발휘할 수 있는 열적 중성역(Thermoneutral zone)이라는 환경온도 범위가 있는데, 돼지(55~110 kg)의 경우 10~24℃ 범위로 알려져 있다[8]. 만약 이 범위를 벗어난 고온에 노출되면 돼지는 열 스트레스의 영향을 최소화하기 위하여 차가운 곳에 몸을 접촉시켜 열을 발산시키거나, 핏터거림(Painting)을 통해 체온을 떨어뜨리게 된다[9]. 따라서 돼지가 고온에 노출되면 가장 먼저 돼지의 행동 포지션과 호흡수에 변화가 발생한다. 이후 돼지의 직장 온도가 증가하고 사료섭취량 및 체중이 점차 감소하면서 돼지의 성장률이 저하되며, 상황이 더욱 심각해질 경우에는 폐사에 이르기까지 한다[10, 11, 12, 13]. 따라서 축사 내의 열 환경 관리를 위한 공기속도, 상대습도, 무리 크기, 바닥 재질 그리고 쿨링 시스템 등에 따른 돼지의 행동 및 생리적 변화와 관련된 많은 연구들이 수행되고 있다[6, 12, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21].

최근 지구온난화와 기후변화에 대한 세계적인 관심이 고조되고 있는 가운데 우리나라도 여름이 길어지고 기온이 상승하는 등 이상기후 현상에 따른 피해가 속출하고 있다. 특히 축산에서 환경온도는 가축의 생산성과 직접적인 연관이 있으므로 매우 중요하다. 따라서 최근 국내에서도 고온기 가축 사양관리 기술에 대한 관심이 증가하고 있으며, 고온 스트레스 저감 및 동물복지를 고려한 사양기술, 사료 첨가제, 가축생체정보를 이용한 ICT 장비 개발 등 다양한 연구가 진행되고 있다. 그러나 국내에는 이와 관련된 기초 연구가 매우 부족하며, 국외 자료에 의존하고 있는 실정이다.

따라서 본 연구는 열 환경에 관한 가축 사양관리 자료를 확보하기 위해 환경온도 증가에 따른 돼지의 호흡수, 체표면 온도 및 직장온도의 변화를 조사하였다. 본 연구

에서 얻어진 자료들은 향후 축사시설 및 관리기술의 개발 및 개선에 있어 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시동물 및 사육시설

본 실험은 농촌진흥청 국립축산과학원 환경제어연구동 내에 설치되어 있는 온습도제어실(Experimental chamber)에서 수행되었으며, 이 온습도제어실은 완전 밀폐되어 있는 공간으로 외부에서 임의로 환경온도와 상대습도를 제어할 수 있는 시설이다(Fig. 1). 총 4두의 비육돈[(Landrace x Yorkshire) x Duroc, 98.3 ± 6.6kg]을 공시하였으며, 대사틀(150 × 48 × 109 cm)을 제작하여 실험에 활용하였다. 돼지는 3일간 (25.2 ± 2.4℃, 83.0 ± 5.9%)의 적응 기간을 가진 다음 22℃, 24℃, 26℃, 28℃, 30℃의 환경온도에 이틀씩 차례대로 노출되었으며, 별도의 휴식시간 제공 없이 총 10일간 연속적으로 실험이 진행되었다.



Fig. 1. Photograph of the experimental chamber

상대습도는 실험기간 동안 68.4 ± 5.9%로 유지되었다. 사료는 오전(10:00)과 오후(16:00) 매일 2회 총 3kg을 급여하였으며, 음수는 자유 급이 하였다. 조명은 명기 8시간(10:00~18:00)과 암기 16시간(18:00~10:00)이었다.

2.2 조사항목 및 조사방법

조사기간 동안 매일 하루 2회(11:00, 17:00)씩 돼지의 사료섭취량(kg/day), 음수량(ℓ/day), 호흡수(breaths/min), 직장 온도 및 체표면 온도(℃)를 측정하여 기록하였다. 사료섭취량은 급여량과 잔량의 차이를 계산하여 기록하

였으며, 음수량은 개별로 설치되어 있는 음수량계를 이용하여 측정하였다. 호흡수는 스톱워치를 이용하여 돼지의 복부 움직임을 육안으로 관찰하여 측정하였다. 직장 온도는 디지털 체온계(SATO, SK-1260, Japan)를 직장 내 삽입하여 측정하였으며, 체표면 온도는 적외선 체온계(FLUKE, Fluke-561, USA)를 이용하여 돼지의 머리, 귀, 목, 등, 옆구리 총 8곳을 측정하였다. 체표면 온도 측정부위의 상세 위치는 Figure 2와 같으며, 머리의 체표면 온도는 돼지의 눈과 눈 사이 정 가운데에서 위로 약 5~7cm 지점을 측정하였고, 귀의 체표면 온도는 귀 뒤쪽 윗부분을 측정하였다. 목의 체표면 온도는 목덜미 중앙 부분을 측정하였으며, 등의 체표면 온도는 어깨와 엉덩이 사이를 상, 중, 하 3곳으로 나누어 차례대로 측정하였고, 옆구리의 체표면 온도는 측면의 좌우 대각선 교차점인 복부 정 가운데 부위를 측정하였다.

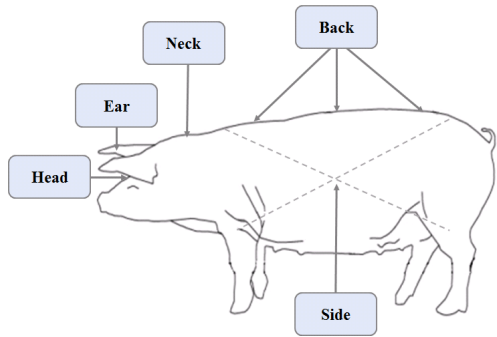


Fig. 2. Measuring sites for body-surface temperatures in pigs

2.3 통계분석

본 시험에서 얻어진 모든 결과는 SAS(Statistical Analysis Systems Institute Inc., 2000)의 분산분석(ANOVA)을 이용하여 분석하였으며, 처리구간의 유의성은 Duncan's multiple range test (Duncan, 1955)를 이용하여 검증하였다.

3. 결과 및 고찰

각 환경온도별 돼지의 호흡수, 직장 온도 및 체표면 온도의 평균값과 표준편차는 Table 1과 같으며, 이전 연구들과 마찬가지로 고온 환경에 대한 돼지의 첫 반응으로 호흡수가 가장 먼저 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 26℃구간에서 호흡수가 처음 증가하기 시작하였고 ($p<0.05$), 30℃구간에서는 처음보다 약 2배 증가한 결과를 나타냈다. 체표면 온도의 경우, 24℃구간에서부터 유의적인 증가를 나타냈으나, 그 수치가 적정온도 범위 이내였다. 그러나 26℃구간에서부터 일부 부위(목, 등, 옆구리)의 체표면 온도가 적정온도 범위를 벗어나기 시작하였고, 30℃구간에서는 처음보다 5~7℃가 증가하였다. 반면, 직장온도와 사료 섭취량 및 음수량에 있어서는 유의적인 변화가 없었다.

처음 22℃와 24℃구간에서 비육돈의 호흡수가 평균 34~35 bpm으로 측정되었다. 이 결과는 비육돈의 평균 호흡수가 25~35 bpm이라는 이전 연구 결과와 유사한 결과이다[22]. 반면, 26℃구간에서는 비육돈의 호흡수가

Table 1. Mean responses to different thermal conditions

Item	Environmental temperature (℃)				
	22	24	26	28	30
Feed intake (kg/day)	2.85 ± 0.2 ^a	2.66 ± 0.3 ^a	2.79 ± 0.0 ^a	2.79 ± 0.0 ^a	2.80 ± 0.0 ^a
Water intake (ℓ/day)	2.96 ± 0.6 ^a	3.13 ± 0.7 ^a	3.16 ± 0.7 ^a	3.10 ± 0.7 ^a	3.25 ± 0.8 ^a
Respiration Rate (breaths/min)	34.44 ± 8.5 ^c	34.75 ± 6.8 ^c	52.83 ± 15.7 ^b	43.6 ± 11.7 ^{bc}	71.25 ± 18.3 ^a
Rectal Temperature (℃)	37.59 ± 1.0 ^a	37.35 ± 1.1 ^a	38.17 ± 0.6 ^a	37.87 ± 1.8 ^a	38.53 ± 0.7 ^a
Body-surface Temperature (℃)					
Head	33.49 ± 2.6 ^d	34.78 ± 1.0 ^c	35.78 ± 1.1 ^{bc}	37.00 ± 0.7 ^b	38.53 ± 0.7 ^a
Ear	25.34 ± 5.4 ^d	31.81 ± 5.4 ^c	35.92 ± 3.0 ^b	39.39 ± 0.6 ^b	39.84 ± 1.1 ^a
Neck	31.17 ± 2.4 ^d	34.72 ± 1.7 ^c	36.52 ± 1.2 ^b	37.15 ± 0.9 ^b	38.28 ± 1.1 ^a
Back	32.12 ± 3.4 ^c	34.51 ± 2.5 ^b	36.60 ± 1.8 ^a	37.42 ± 1.3 ^a	38.79 ± 1.1 ^a
Side	33.42 ± 2.6 ^c	34.63 ± 2.0 ^c	37.23 ± 1.9 ^b	37.83 ± 1.3 ^{ab}	39.33 ± 1.0 ^a

¹Pigs were maintained in a temperature-controlled room at a cycling temperature of 22 to 30℃.

²Mean ± standard deviation of several variables.

^{abcd} Columns with differing superscripts are significantly different ($p<0.05$).

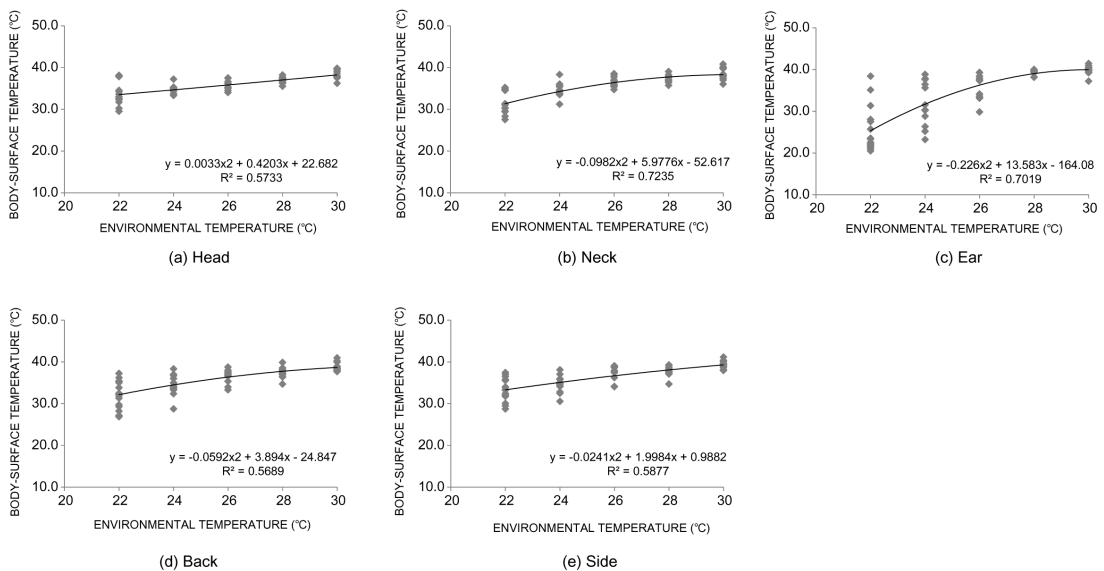


Fig. 3. Changes of body-surface temperature in pigs

51 bpm으로 처음 유의적인 증가를 보였고, 30°C구간에서는 71 bpm으로 처음보다 약 2배 증가한 결과를 나타냈다($p < 0.05$). Brown-Brandl et al. (2001)도 본 연구와 비슷한 결과를 보였는데[6], 비육돈을 18, 24, 28, 32°C의 환경온도에 각각 노출시킨 결과, 28°C구간에서 돼지의 호흡수가 60.7 bpm으로 처음 유의적인 증가를 나타내었고, 32°C구간에서는 72.6 bpm이었다. 그러나 Huynh et al.(2005b)이 보고한 바에 따르면[17], 비교적 낮은 온도인 22.4°C에서 열 스트레스에 대한 반응으로 돼지의 호흡수가 증가하기 시작하였고, 그 이유를 그룹 사육 형태에 따른 영향인 것으로 보고하였다. 돼지의 사육형태가 열 발생량 및 손실량에 영향을 주어 열 스트레스를 가중할 수 있기 때문이다. 한편, Christon(1988)에 따르면[23], 오전 보다 오후 시간대에 비육돈의 호흡수가 훨씬 높고, 그 수치가 120 bpm으로 본 연구결과 보다 훨씬 높게 나타났다. 이러한 연구결과는 상대습도의 차이에 의한 결과인 것으로 생각된다. Huynh et al.(2005b)은 고온다습한 환경에서 돼지가 체온을 낮추기 위한 Wallowing 행동을 더 빨리 취한다고 보고한 바 있다[17]. 이 외에 많은 연구에서 상대습도가 돼지의 체감온도 및 체온조절에 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다[24, 25]. 따라서 향후에는 환경온도와 더불어 상대습도의 변화가 열 스트레스에 미치는 영향에 대한 좀 더 많

은 연구가 수행되어야 할 것으로 생각된다.

직장온도의 증가는 호흡수 증가에 이어 나타나는 열 스트레스 지표이다. 많은 연구에서 고온에 노출된 지 24 시간 이내 돼지의 직장온도가 최고치에 도달하게 되며, 이후 점진적으로 감소한다고 보고되었다[26, 27, 28]. 육성비육돈의 직장온도는 38~40°C 범위에 해당되는데[29], Huynh et al.(2005b)에 따르면 26.1°C에서 돼지의 직장온도가 증가하기 시작한다[17]. 그러나 본 연구에서는 22°C에서 30°C까지 온도가 상승하는 동안 직장온도에 큰 변화가 없는 것으로 나타났다. 돼지의 사육형태가 그룹사육이 아닌 대사률을 활용한 개별사육 형태로 실험을 실시하였기 때문에 상대적으로 열 스트레스가 줄어든 결과인 것으로 생각된다. 또한, 본 연구에서는 돼지를 고온 환경에 급격하게 노출시킨 것이 아니라 단계적으로 환경온도를 증가시켰기 때문에 직장온도의 변화가 크게 나타나지 않았다고 판단된다.

체표면 온도는 더위와 추위로부터 체온을 유지하기 위해 체내 열을 생산 또는 손실시킴으로써 달라지는데 열적 중성역에서 돼지의 체표면 온도는 평균 32~35°C이다[30, 31]. 본 연구의 결과에서도 열적 중성역에 포함되는 22°C와 24°C에서 돼지의 귀 부위를 제외한 나머지 체표면 온도는 평균 31~35°C로 측정되었으며, 이후 환경온도가 올라갈수록 체표면 온도가 계속 증가하는 것으로

나타났다. 전체적으로 환경온도가 증가함에 따라 체표면 온도가 완만한 증가를 보였으나, 귀 부위 체표면 온도는 다른 부위의 체표면 온도에 비하여 상대적으로 급격한 증가를 나타냈다(Fig. 3). 또한, 30℃구간에서 귀의 체표면 온도가 평균 39℃이상으로 다른 부위보다 더 높게 측정되었는데 이러한 결과는 혈관계 반응으로 인한 피부의 온도 변화가 신체의 중앙보다 말단 부위에서 더 높기 때문이며[32], 귀 부위의 체표면 온도가 돼지의 열 쾌적성을 알려주는 좋은 지표가 될 것이라는 Andersen et al. (2008)의 보고와도 매우 연관성이 높은 연구결과이다[33].

4. 결론

돼지를 각각의 대사열에 공시한 후 22℃, 24℃, 26℃, 28℃, 30℃의 환경온도에 차례대로 노출시킨 결과, 이전 연구들과 마찬가지로 호흡수가 가장 먼저 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 26℃구간에서 호흡수와 일부 부위(목, 등, 옆구리)의 체표면 온도가 적정범위 보다 더 높았다. 한편, 귀 부위의 체표면 온도가 환경온도에 매우 민감하게 반응하는 것을 볼 수 있었다. 반면, 직장온도와 사료 섭취량 및 음수량에 있어서는 유의적인 변화가 없었는데, 본 연구에서는 돼지가 고온 환경에 급격히 노출된 것이 아니라 단계적으로 노출됨에 따라 열에 대한 내성이 생겨서 열 스트레스에 대한 반응이 늦어진 것으로 판단되며, 사육형태나 상대습도 등 돼지의 열 스트레스를 가중할 수 있는 요인들이 비교적 적었던 것으로 생각된다. 따라서 향후에는 온도뿐만 아니라 습도와 풍속 등 다양한 환경에서의 돼지의 생리적, 행동학적인 접근이 추가적으로 이루어져야 할 것으로 보인다.

References

- [1] D. L. Ingram, "Stimulation of Cutaneous Glands in the Pig", *Journal of Comparative Pathology*, Vol.77, No.1, pp. 93-103, 1967.
DOI: [https://doi.org/10.1016/s0021-9975\(67\)80012-4](https://doi.org/10.1016/s0021-9975(67)80012-4)
- [2] A. van Lankveld, S. Schaumberger, "Overcoming Heat Stress in Pigs through Nutrition", 2015. Available From: <https://www.biomim.net/en/articles/overcoming-heat-stress-in-pigs-through-nutrition>
- [3] W. G. Pond, J. H. Maner, "Swine Production and Nutrition", AVI Publishing Co., CT, U.S., 1984.
DOI: <https://doi.org/10.1007/978-1-4684-6873-1>
- [4] N. Quiniou, S. Dubois, J. Noblet, "Voluntary Feed Intake and Feeding Behaviour of Group-Housed Growing Pigs are Affected by Ambient Temperature and Body Weight", *Livestock Production Science*, Vol.63, pp. 245 - 253, 2000.
DOI: [https://doi.org/10.1016/s0301-6226\(99\)00135-9](https://doi.org/10.1016/s0301-6226(99)00135-9)
- [5] S. Bloemhof, P. K. Mathur, E. H. van der Waaij, J. I. Leenhouwers, E. F. Knol, "Genetic Aspects of Heat Stress in Pigs Expressed in Fertility Traits", In : Ben Salem H. (ed.), Lóopez-Fran cos A. (ed.). Feeding and Management Strategies to Improve Livestock Productivity, Welfare and Product Quality under Climate Change, Zaragoza: CIHEAM / INRAT / OEP / IRESA / FAO, pp. 259-269, 2013.
Available From: <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=QC2015600281>
- [6] T. M. Brown-Brandl, R. A. Eigenberg, J. A. Nienaber, S. D. Kachman, "Thermoregulatory Profile of a Newer Genetic Line of Pigs" *Livestock Production Science*, Vol.71, No.2, pp. 253-260, 2001.
DOI: [https://doi.org/10.1016/s0301-6226\(01\)00184-1](https://doi.org/10.1016/s0301-6226(01)00184-1)
- [7] T. M. Brown-Brandl, J. A. Nienaber, H. Xin, R. S. Gates, "A Literature Review of Swine Heat Production", *Transactions of the ASAE*, Vol.47, No.1, pp.259, 2004.
DOI: <https://doi.org/10.13031/2013.15867>
- [8] R. Myer, R. Bucklin, "Influence of Hot-Humid Environment on Growth Performance and Reproduction of Swine", University of Florida. U.S., AN107, 2001.
Available From: <https://edis.ifas.ufl.edu/an107>
- [9] L. Norrgren, J. M. Levengood, "Ecology and Animal Health (No. 2)", Baltic University Press. 2012.
- [10] T. M. Brown-Brandl, J. A. Nienaber, L. W. Turner, "Acute Heat Stress Effect on Heat Production and Respiration Rate in Swine", *Transactions of the ASABE*, Vol.41, No.3, pp.789 - 793, 1998.
DOI: <https://doi.org/10.13031/2013.17216>
- [11] A. Collin, J. van Milgen, S. Dubois, J. Noblet, "Effect of High Temperature on Feeding Behaviour and Heat Production in Group-Housed Young Pigs", *British Journal of Nutrition*, Vol.86, No.1, pp.63 - 70, 2001.
DOI: <https://doi.org/10.1079/bjn2001356>
- [12] T. T. T. Huynh, A. J. A. Aarnink, W. J. J. Gerrits, M. J. H. Heetkamp, T. T. Canh, H. A. M. Spoolder, M. W. A. Verstegen, "Thermal Behaviour of Growing Pigs in Response to High Temperature and Humidity". *Applied Animal Behaviour Science*, Vol. 91, No.1, pp.1-16, 2005a
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2004.10.020>
- [13] 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>
- [14] D. Rinaldo, J. Le Dividich, J. Noblet, "Adverse Effects of Tropical Climate on Voluntary Feed Intake and Performance of Growing Pigs", *Livestock Production Science*, Vol.66, pp.223 - 234, 2000.
DOI: [https://doi.org/10.1016/s0301-6226\(00\)00181-0](https://doi.org/10.1016/s0301-6226(00)00181-0)
- [15] A. Haussermann, E. Vranken, J. M. Aerts, E. Hartung, T. Jungbluth, D. Berckmans, "Evaluation of Control

- Strategies for Fogging Systems in Pig Facilities", *Transactions of the ASABE*, Vol.50, No.1, pp.265-274, 2007.
DOI: <https://doi.org/10.13031/2013.22407>
- [16] T. T. T. Huynh, A. J. A. Aarnink, C. T. Truong, B. Kemp, M. W. A. Verstegen, "Effects of Tropical Climate and Water Cooling Methods on Growing Pigs' Responses", *Livestock Science*, Vol.104, No.3, pp.278-291, 2006.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2006.04.029>
- [17] 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, 2005b.
DOI: <https://doi.org/10.2527/2005.8361385x>
- [18] D. A. Orlov, T. Jungbluth, K. V. Zhuchayev, M. L. Kochneva, O. V. Bogdanova, N. Hammer, J. Threm, "The Influence of Cooling System on the Fattening Pig Welfare Parameters", *Biosciences Biotechnology Research Asia*, Vol.13, No.2, pp.725-732, 2016.
DOI: <https://doi.org/10.13005/bbra/2091>
- [19] K. Sällvik, K. Walberg, "The Effects of Air Velocity and Temperature on the Behaviour and Growth of Pigs", *Journal of Agricultural Engineering Research*, Vol.30, pp.305-312, 1984.
DOI: [https://doi.org/10.1016/s0021-8634\(84\)80031-1](https://doi.org/10.1016/s0021-8634(84)80031-1)
- [20] 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>
- [21] Z. Shi, B. Li, X. Zhang, C. Wang, D. Zhou, G. Zhang, "Using Floor Cooling as an Approach to Improve the Thermal Environment in the Sleeping Area in an Open Pig House", *Journal of Biological Engineering*, Vol.93, No.3, pp.359-364, 2006.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2005.12.012>
- [22] J. J. Zimmerman, L. A. Karriker, A. Ramirez, K. J. Schwartz, G. W. Stevenson, "Disease of Swine(10th edition)", John Wiley & Sons, Inc., 2012.
- [23] R. Christon, "The Effect of Tropical Ambient Temperature on Growth and Metabolism in Pigs", *Journal of Animal Science*, Vol.66, pp.3112-3123, 1988.
DOI: <https://doi.org/10.2527/jas1988.66123112x>
- [24] S. E. Curtis, "Physiological Responses and Adaptations of Swine" In: M. K. Yousef (ed.) *Stress Physiology in Livestock*, No.2, pp.62-63, Las Vegas, Nevada, 1985.
Available From: <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US8630972>
- [25] J. A. Nienaber, G. L. Hahn, R. A. Eigenberg, "Quantifying Livestock Responses for Heat Stress Management: A Review" *International Journal of Biometeorology*, Vol.42, pp.183-188, 1999.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s004840050103>
- [26] S. R. Morrison, L. E. Mount, "Adaptation of Growing Pigs to Changes in Environmental Temperature", *Animal Production*, Vol.13, No.1, pp. 51-57, 1971.
DOI: <https://doi.org/10.1017/s0003356100029421>
- [27] 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, 2002.
DOI: <https://doi.org/10.1051/rnd.2002005>
- [28] D. Renaudeau, E. Huc, J. Noblet, "Acclimation to High Ambient Temperature in Large White and Caribbean Creole Growing Pigs", *Journal of Animal Science*, Vol.85, pp.779 - 790, 2007.
DOI: <https://doi.org/10.2527/jas.2006-430>
- [29] P. H. R. F. Campos, L. Floc'h, J. Noblet, D. Renaudeau, "Physiological Responses of Growing Pigs to High Ambient Temperature and/or Inflammatory Challenges", *Revista Brasileira de Zootecnia*, Vol.46, No.6, pp.537-544, 2017.
DOI: <https://doi.org/10.1590/s1806-92902017000600009>
- [30] R. Geers, W. Van der Hel, J. Verhagen, M. Verstegen, V. Goedseels, H. Brandsma, D. Berckmans, "Surface Temperatures of Growing Pigs in Relation to the Duration of Acclimation to Air Temperature or Draught", *Journal of Thermal Biology*, Vol.12, No.4, pp.249-255, 1987.
DOI: [https://doi.org/10.1016/0306-4565\(87\)90024-6](https://doi.org/10.1016/0306-4565(87)90024-6)
- [31] T. T. T. Huynh, A. J. A. Aarnink, M. W. A. Verstegen, W. J. J. Gerrits, B. Kemp, M. J. W. Heetkamp, "Pigs' Physiological Responses at Different Relative Humidities and Increasing Temperatures", *ASAE/CSAE Annual International Meeting*, paper number 044033, 2004.
DOI: <https://doi.org/10.13031/2013.17688>
- [32] D. P. Stombaugh, W. L. Roller, "Temperature Regulation in Young Pigs During Mild Cold and Severe Heat Stress", *Transaction of the ASAE*, Vol.20, No.6, pp.1110-1118, 1977.
DOI: <https://doi.org/10.13031/2013.35712>
- [33] H. M. L. Andersen, E. Jørgensen, L. Dybkjær, B. Jørgensen, "The Ear Skin Temperature as an Indicator of the Thermal Comfort of Pigs", *Applied Animal Behaviour Science*, Vol.113, No.1, pp.43-56, 2008.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2007.11.003>

천 시 내(Si-Nae Cheon)

[준회원]



- 2015년 2월 : 경상대학교 동물자원학과 (농학석사)
- 2015년 2월 ~ 10월 : 농촌진흥청 국립축산과학원 축산환경과 인턴연구원
- 2016년 2월~ 8월 : (주)한국육류연구소 선임연구원
- 2017년 3월 ~ 현재 : 강원대학교 동물생명과학 박사과정

<관심분야>

동물복지, 동물행동, 동물발성음

박 규 현(Kyu-Hyun Park)

[정회원]



- 2003년 10월 : 구엘프대학교 축산 대기전공 (M.Sc.)
- 2008년 2월 : 구엘프대학교 축산대 기전공 (Ph.D.)
- 2007년 7월 ~ 2013년 8월 : 농촌진흥청 국립축산과학원 축산환경과 연구사
- 2013년 9월 ~ 현재 : 강원대학교 동물생명과학대학 동물산업융합과 조교수

<관심분야>

축산대기환경, 축산기후변화대응

권 경 석(Kyeong-Seok Kwon)

[정회원]



- 2010년 8월 : 서울대학교 지역시스템공학 (공학석사)
- 2016년 8월 : 서울대학교 지역시스템공학 (공학박사)
- 2017년 2월 ~ 현재 : 농촌진흥청 국립축산과학원 연구사

<관심분야>

시설환경, 대기환경, 전산유체역학

최 희 철(Hee-Chul Choi)

[정회원]



- 2003년 8월 : 충남대학교 낙농학 가축영양학 (농학박사)
- 1986년 6월 ~ 현재 : 농촌진흥청 가금과, 축산환경과 연구사, 연구관
- 2012년 2월 ~ 2014년 3월 : 국립축산과학원 가금과장

<관심분야>

가축사육시설, 사육환경, 동물복지, 가축정밀관리

이 준 엽(Jun-Yeob Lee)

[정회원]



- 1998년 8월 : 강원대학교 축산학과 (농학석사)
- 2009년 8월 : 강원대학교 사료생산 공학과 (농학박사)
- 2011년 12월 ~ 현재 : 농촌진흥청 국립축산과학원 축산환경과 연구사

<관심분야>

동물복지, 축산 스마트팜

김 종 복(Jong-Bok Kim)

[정회원]



- 2006년 9월 : UCLA Electrical Eng.(공학석사)
- 2006년 10월 ~ 2018년 1월 : LG 이노텍 책임연구원
- 2018년 2월 ~ 현재 : 농촌진흥청 국립축산과학원 연구관

<관심분야>

축산 스마트팜, 반려동물 ICT

우 샘 이(Saem-Ee Woo)

[정회원]



- 2013년 2월 : 충남대학교 낙농산업 과학 (농학사)
- 2014년 8월 ~ 현재 : 농촌진흥청 국립축산과학원 연구사

<관심분야>

동물복지, 반려동물

양 가 영(Ka-Young Yang)

[정회원]



- 2012년 2월 : 강원대학교 축산학
동물자원학 (농학석사)
- 2016년 8월 : 강원대학교 축산학
동물시스템과학 (농학박사)
- 2017년 2월 ~ 현재 : 농촌진흥청
국립축산과학원 전문연구원

<관심분야>

동물복지, 동물행동

전 중 환(Jung-Hwan Jeon)

[정회원]



- 2003년 2월 : 경상대학교 응용생명
과학부 (이학석사)
- 2006년 2월 : 경상대학교 응용생명
과학부 (이학박사)
- 2006년 6월 ~ 2007년 7월 :
University of British Columbia
(연구원)
- 2007년 12월 ~ 현재 : 농촌진흥청
국립축산과학원 연구사

<관심분야>

동물복지, 동물행동, 동물발성음