

젖소 착유환경 쿨링 시스템 적용이 고온기 착유우 유생산성 및 고온 스트레스에 미치는 영향

박지후, 엄준식, 임동현, 박성민, 김동현, 최태정
국립축산과학원 낙농과
e-mail: jihook@korea.kr

Impact of Milking Environment Improvement on Milk Yield and Heat Stress Responses in Dairy Cows

Jihoo Park, Junsik Eom, Donghyun Lim, Seongmin Park,
Donghyeon Kim, Tejeong Choi
National Institute of Animal Science

요 약

본 연구는 고온기 젖소 착유환경 개선이 고온 스트레스 및 생산성에 미치는 영향을 구명하고자 수행하였다. 시험축으로 12두의 홀스타인종 착유우(1.6±0.5산, 비유일수 145±79일)를 활용하였으며 실험은 14일 간 수행하였다. 대조구 6두는 관행적으로 활용되는 착유대기장을 이용하였으며 처리구 6두는 착유 전 쿨링시스템(10×9 m²)을 적용한 착유대기장에서 30분 간 대기 후 착유를 실시하였다. 연구결과, 쿨링시스템을 적용한 착유대기장의 환경온도가 미적용 대비 약 1.3℃ 감소하였으며 고온 스트레스 수준을 나타내는 주요지표인 호흡 수($p<0.05$) 및 직장온도는 대조구 대비 처리구에서 감소하였다. 또한 처리구에서 유지방 함량이 증가하였으며($p<0.05$) 체세포 수는 저감되는 결과($p<0.01$)를 확인하였다. 혈액성상 분석 결과 처리구에서 NEFA($p<0.01$), total cholesterol($p<0.05$) 함량이 유의하게 증가하는 것을 확인하였다. 이러한 결과를 종합하였을 때, 착유 전 쿨링 시스템 적용이 착유우의 고온 스트레스를 저감시켜 유생산 및 대사에 긍정적인 영향을 줄 수 있음을 시사한다.

1. 서론

젖소의 고온 스트레스(heat stress)는 전 세계 낙농 산업이 직면한 가장 심각한 문제 중 하나로, 특히 여름철 고온다습한 환경에서는 젖소의 생산성과 건강에 큰 영향을 미친다. 젖소는 반추 가축 중에서도 대사율이 높아 소화 과정에서 다량의 발열이 일어나기 때문에 체온 조절에 취약하다. 또한 체열 방출 능력이 낮고, 피하지방층이 두꺼워 체내 열 축적이 쉽게 발생한다. 이러한 생리적 특성은 젖소가 고온 스트레스에 민감하게 반응하는 원인으로 작용한다.

고온 스트레스는 사료 섭취량 감소와 반추 활동 저하를 유발하고, 이는 곧바로 산유량 저하로 이어진다. 특히 고온 환경에서는 젖소가 정상적인 에너지 대사를 유지하기 어려워지고, 번식률 저하, 면역력 감소, 질병 발생 위험 증가와 같은 부정적 영향도 발생한다. 실제로 여러 연구에서 여름철 산유량 감소 폭은 우사 내 냉방 설비 유무에 따라 뚜렷하게 차이가 나는 것으로 보고되었다[1, 2]. 이

는 낙농가의 직접적인 경제적 손실뿐 아니라 장기적으로는 젖소의 수명과 복지에도 부정적인 영향을 끼친다.

낙농시설 내 다양한 공간 중에서도 착유대기장(holding pen)은 열 스트레스 관리에 있어 중요하다. 젖소는 착유 전 일정 시간 동안 좁은 공간에 밀집되어 대기하게 되는데, 이 구간은 환기와 통풍이 원활하지 못하고, 젖소 간 밀집도가 높아 체열 축적이 심화되는 특성이 있다. 특히 하루에 2회 이상, 때로는 3회 이상 착유가 이루어지는 경우 젖소는 반복적으로 열 스트레스 상황에 노출되며, 이는 착유 효율성과 산유 성적에도 영향을 줄 수 있어 착유대기장 환경을 개선하는 것은 단순히 쾌적성 확보를 넘어 낙농 생산성 향상과 직결된다.

따라서 본 연구는 착유대기장 내 쿨링시스템 효과를 다각도로 분석하기 위하여 온도 변화, 산유 성적 변화 등을 종합적으로 검토하여 효과성을 규명하고자 한다. 이를 통해 낙농 현장에서 활용 가능한 실질적 가이드라인을 제시하고, 지속가능한 낙농 생산을 위한 기초 자료를 제공하는 데 기여하고자 한다.

2. 재료 및 방법

본 연구에서는 홀스타인종 착유우 12두(1.6 ± 0.5 산, 비유일수 145 ± 79 일)를 공시하여 실시하였다. 급여 사료는 한국가축사양표준(2022)의 영양소 요구량에 따라 국립축산과학원 낙농과에서 제조된 TMR을 이용하였다.

착유환경 쿨링시스템 적용이 젖소의 생산성과 고온 스트레스에 미치는 영향을 구명하기 위하여 2025년 8월 (THI 79.37 ± 2.34)에 2주에 걸쳐 시험을 수행하였다. 시험축 착유는 매일 오전(08:00), 오후(18:00) 2회 이뤄졌으며 착유 전 대조구 6두는 관행적으로 활용되는 착유 대기장을 이용, 처리구 6두는 착유 전 쿨링시스템($10 \times 9 \text{ m}^2$)을 적용한 착유대기장을 이용하여 두 처리구 모두 30분 간 대기 후 착유를 실시하였다. 쿨링시스템은 온습도 변화에 따라 작동하는 고압분무 및 송풍제어 컨트롤러와 직경 1,060mm, 풍속 11,300CFM의 송풍팬, 노즐직경 0.15mm, 분무양 31.7 gal/h의 노즐로 구성되었으며 도면은 figure 1과 같다.

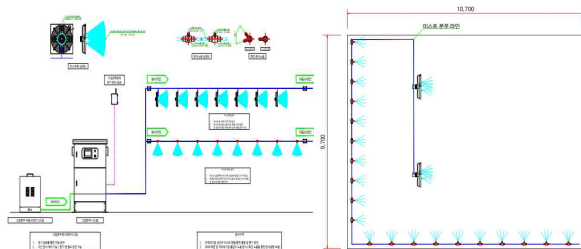


Fig. 1. Cooling System Layout for Holding Pen.

쿨링 시스템 적용 유무에 따른 온도 및 습도 데이터의 경우 디지털 온습도계(Testo 625)를 이용하여 실험 1, 7, 14일에 측정하였으며 수집된 온도와 습도는 아래의 수식에 따라 THI(온습도지수)로 환산되었다.

$$\text{THI} = (1.8 \times \text{온도} + 32) - [(0.55 - 0.0055 \times \text{상대습도}) \times (1.8 \times \text{온도} - 26.8)]$$

호흡 수 및 직장온도는 고온 스트레스 수준을 측정하는 지표로 활용되며 본 실험에서는 각 실험기간에 걸쳐 실험 시작 후 1, 7, 14일 총 3번에 걸쳐 측정하였으며, 측정시간은 쿨링 시스템 노출 직후인 09:00~10:00 사이에 이루어졌다. 호흡 수의 측정은 젖소의 뒷갈비와 요각 사이의 움직임을 관찰하여 분당 호흡수를 2회 측정 후 평균값을 이용하였으며 직장온도는 정밀체온계(microlife)로 2회 측정하여 평균값을 이용하였다.

혈액은 실험 시작 후 14일에 시험축의 경정맥으로부터

10mL vacutainer에 채취하였다. 채취한 혈액은 원심분리기를 이용해 혈청을 분리하였다. 생화학 성분은 자동생화학분석기(7180, Hitachi, Japan)을 이용하여 분석하였다.

유량은 실험 기간 14일을 기준으로 측정하였으며 유성분인 유지방, 유단백질, 유당, 무지고형분 및 총고형물 함량은 실험 14일 차 샘플링한 우유를 Milkoscan(Foss Technology, Denmark)을 이용하여 분석하였다.

본 연구에서 산출된 데이터는 SAS program(version 9.2)을 이용하여 분산분석(ANOVA)을 수행하였으며 사후검정은 Duncan을 이용해 $p < 0.05$ 수준으로 유의성 검정을 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

실험기간 동안 평균 THI 지수는 79.37 ± 2.34 였으며, 최대값은 82.6, 최소값은 76으로 분석되었다. Roenfeldt(1998)의 연구결과[3]에 따라 실험기간 동안 평균 THI 지수는 72 이상이었으므로 고온 스트레스 환경에서 실험이 진행되었음을 확인하였다.

쿨링 시스템 적용 및 미적용 시 온도는 미적용 시 30.9°C , 적용 시 29.6°C 로 쿨링 시스템을 적용할 경우 약 1.3°C 의 온도 저감 효과를 확인하였다.

쿨링 시스템 적용에 따른 호흡 수와 직장온도 변화는 Table 1과 같다. 처리구의 호흡수가 대조구의 호흡수보다 유의적으로 높았다($p < 0.05$). 호흡수의 경우 고온 스트레스 측정을 위한 대표적인 생리적 지표로서 THI가 상승함에 따라 호흡수가 증가한다는 선행 연구결과들이 다수 보고되었다[1, 4]. 직장 및 체표온도의 경우 처리구에서 대조구보다 낮은 경향을 보였으나 유의차는 확인되지 않았다.

Table 1. Effects of heat stress and cobalt administration on respiration rate, rectal temperature and ruminal pH of lactating Holstein cows.

Items ¹⁾	Control	Treatment	SEM	p value
RR	62.2	52.0	2.3	<0.05
RT	39.4	39.2	0.1	0.38
BT	34.3	34.1	0.1	0.32

1) RR : Respiration Rate (no./min); RT : Rectal Temperature ($^\circ\text{C}$); BT : Body Surface Temperature ($^\circ\text{C}$)

혈액 생화학 분석 결과는 table 2와 같다. 모든 시험축의 결과값은 정상범위 안에 있는 것으로 확인되었으며 [5], 혈액 내 콜레스테롤과 GGT 농도는 대조구와 비교해서 처리구에서 유의하게 높았다($p < 0.05$). 혈 중 NEFA

농도의 경우도 처리구에서 높게 나타났다($p<0.01$). 고온 스트레스가 젖소의 혈 중 콜레스테롤 함량을 감소시키고 GGT 효소 등에 영향을 줄 수 있다는 선행 연구결과[6]에 따라, 처리구에서 고온 스트레스 수준이 낮게 나타났음을 확인할 수 있다.

Table 2. Effects of heat stress and cobalt administration on blood metabolites in lactating Holstein cows.

Items ¹⁾	Control	Treatment	SEM	<i>p</i> value
ALB (g/dl)	3.8	3.9	0.0	0.07
BUN (mg/dL)	15.9	16.5	0.4	0.51
TCHOL (mg/dl)	189.8	224.5	8.8	<0.05
GLU (mg/dL)	49.4	49.3	1.9	0.97
AST (U/L)	82.2	81.9	2.1	0.93
GGT (U/L)	26.7	30.8	1.0	<0.05
NEFA (mmol/L)	86.9	165.4	13.7	<0.01

1) ALB : Albumin; BUN : Blood urea nitrogen; TCHOL : Total cholesterol; GLU : Glucose; AST : Aspartate transferase; ALT : Alanine transaminase; GGT : Gamma-glutamyltransferase; LD : Lactate dehydrogenase; TG : Triglycerides; CK : Creatine Kinase; IP : Inorganic phosphorus; NEFA : Non-esterified fatty acids.

유생산성 분석 결과는 table 3과 같다. 유량 및 유단백, 유당의 함량은 유의적인 차이를 보이지 않았으나 유지방의 함량은 처리구에서 높은 수치를 보였으며($p<0.05$) 체세포 수의 경우 대조구에서 높은 수치를 보였다($p<0.01$). 이러한 결과는 고온 스트레스가 유지방 생산을 감소시키고 체세포 수를 증가시킨다는 선행연구 결과[7]에 따라 쿨링 시스템 적용이 고온 스트레스 저감에 효과적으로 작용하였음을 시사한다.

Table 3. Effects of heat stress and cobalt administration on milk yield and composition in lactating Holstein cows.

Items	Control	Treatment	SEM	<i>p</i> value
Milk yield (kg)	26.1	26.2	0.5	2.0
Milk fat (%m/m)	3.0	3.6	0.1	<0.05
Milk protein (%m/m)	3.0	3.1	0.0	0.21
Lactose (%m/m)	4.8	4.8	0.0	0.9
Cells (kcells/ml)	49.2	13.9	6.2	<0.01

4. 결론

본 연구는 여름철 젖소 착유 환경의 쿨링 시스템 적용 효과를 평가하였다. 처리구는 대조구에 비해 호흡수가 유의적으로 높았으며, 직장온도와 체표온도는 낮은 경향을 보였다. 혈액 분석에서는 콜레스테롤, GGT, NEFA 농도

가 처리구에서 유의적으로 높아 쿨링 시스템이 고온 스트레스를 완화했음을 확인하였다. 또한 유지방 함량은 처리구에서 높았고 체세포수는 대조구에서 증가하여, 유질 개선에도 긍정적 효과가 나타났다. 이러한 결과는 쿨링 시스템이 젖소의 고온 스트레스 저감과 생산성 및 유방 건강 유지에 효과적으로 기여함을 시사한다.

사사

본 연구는 농촌진흥청 국립축산과학원 연구과제(RS-2024-00400030)로 수행되었음.

참고문헌

- [1] West, J. W. (2003). Effects of heat-stress on production in dairy cattle. *Journal of dairy science*, 86(6), 2131-2144.
- [2] Gao, S. T., Guo, Z. T., Baumgard, L. H., Ma, L., & Bu, D. P. (2021). Cooling ameliorates decreased milk protein metrics in heat-stressed lactating Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 104(11), 12139-12152.
- [3] S. Roenfeldt, (1998). "You can't afford to ignore heat stress", *Dairy Management*, 35, 5, 6-12.
- [4] Li, H., Zhang, Y., Li, R., Wu, Y., Zhang, D., Xu, H., Zhang, Y., Qi, Z. (2021). Effect of seasonal thermal stress on oxidative status, immune response and stress hormones of lactating dairy cows. *Animal Nutrition*, 7(1), 216-223.
- [5] 정숙한, 정영훈, 최창용, 도윤정, 조아라, 오상익, 김은주, 하승민, 정하연, 류재규, 김수희. (2019). 국내 젖소의 혈액 대사인자 프로파일 분석. *한국동물위생학회지* (KOJVS), 42(2), 121-126.
- [6] Antanaitis, R., Džermeikaitė, K., Krištolaitytė, J., Ribelytė, I., Bepalovaitė, A., Bulvičiūtė, D., Kotryna, T., Baumgartner, W. (2024). Impact of Heat Stress on the In-Line Registered Milk Fat-to-Protein Ratio and Metabolic Profile in Dairy Cows. *Agriculture*, 14(2), 203.
- [7] Cartwright, S. L., Schmied, J., Karrow, N., & Mallard, B. A. (2023). Impact of heat stress on dairy cattle and selection strategies for thermotolerance: a review. *Frontiers in veterinary science*, 10, 1198697.