

고온기 온습도지수가 홀스타인종 젖소 착유우의 호흡수, 직장온도 및 반추활동 시간에 미치는 영향 연구

박지후, 최희철, 이현정, 김언태, 손준규, 김동현*
농촌진흥청 국립축산과학원 낙농과

A Study on the Effect of Temperature-Humidity Index on the Respiration Rate, Rectal Temperature and Rumination Time of Lactating Holstein Cow in Summer Season

Ji Hoo Park, Hee Chul Choi, Hyun Jeong Lee, Eun Tae Kim,
Jun Kyu Son, Dong Hyeon Kim*

Dairy Science Division, National Institute of Animal Science, Rural Development Administration

요약 본 연구는 환경 온·습도가 젖소의 호흡수, 직장온도 등의 생리지표와 반추활동 시간에 미치는 영향을 알아보고자 수행되었다. 시험에 활용된 공시축은 홀스타인종 착유우 20두를 활용하였으며 젖소의 고온 스트레스 수준을 구분하기 위해 우사의 온도와 습도를 측정하여 환산된 온·습도지수(Temperature-Humidity Index)를 세 단계로 나누어 이용하였다. 각 단계별 온·습도지수는 1단계(T1)가 70~75, 2단계(T2)가 76~81, 3단계(T3)가 82~87로 구분되었다. 연구결과, 분당 호흡수(회/분)는 T1에서 58.60으로 나타났으며, T2에서는 66.12, T3에서 84.05로 나타났으며 시험축의 직장온도(°C)는 T1에서 38.41, T2에서 38.69, T3에서 39.05로 나타나 두 지표 모두 온·습도지수가 증가함에 따라 값이 유의하게 증가하였다($P < 0.05$). 체표면 온도(°C)는 T1에서 36.41, T2에서 36.51, T3에서 37.39로 나타났으며 T1·T3 간 유의한 차이를 보였다($P < 0.05$). 반추활동량(분/일)은 T1에서 473.10, T2에서 454.76, T3에서 399.60로 나타나 온·습도지수가 높아질수록 반추활동 시간은 감소하는 것을 확인하였다($P < 0.05$). 최근 기후온난화로 인한 낙농산업의 피해가 지속될 것으로 전망됨에 따라 향후 젖소의 복지 증진과 고온 스트레스 감소 방안 마련을 위한 지속적인 연구가 필요할 것으로 보인다.

Abstract This study investigated the effects of environmental temperature and humidity on the physiological indicators such as respiratory rate, rectal temperature, and rumination time in cows. Twenty lactating Holstein cows were used for this study. The temperature/humidity index, which can be measured by the temperature and humidity of barns, was divided into three stages to distinguish the heat stress level of cows. The temperature and humidity indexes of each stage were classified into 70 ~ 75 for T1, 76 ~ 81 for T2, and 82 ~ 87 for T3, respectively. The respiratory rates per minute were 58.60 at T1, 66.12 at T2, and 84.05 at T3, respectively ($P < 0.05$), and the average rectal temperatures (°C) of the cows were 38.41 in T1, 38.69 in T2 and 39.05 in T3, respectively ($P < 0.05$). The body surface temperatures (°C) were 36.41 in T1, 36.51 in T2, and 37.39 in T3, respectively. The rumination times (minutes/day) were 473.10 in T1, 454.76 in T2, and 399.60 in T3, respectively ($P < 0.05$). As global warming continues to damage the dairy industry, further research is needed to improve the welfare of dairy cows and reduce their heat stress.

Keywords : Heat Stress, Temperature-Humidity Index, Rumination Time, Respiration Rate, Rectal Temperature

본 연구는 농촌진흥청 연구사업(과제번호: PJ01273-국내 낙농가의 젖소 생산비 절감 우수사례 조사 분석 및 적용 연구)의 지원에 의해 이루어진 것임. 본 연구는 2019년도 농촌진흥청 국립축산과학원 전문연구원 과정 (김동현) 지원 사업에 의해 이루어진 것임.

*Corresponding Author : Dong Hyeon Kim(Rural Development Administration)

email: kimdh3465@korea.kr

Received October 10, 2019

Accepted November 1, 2019

Revised October 31, 2019

Published November 30, 2019

1. 서론

젖소는 항온동물(homeotherm)로서 적정 범위를 벗어나는 온도에서는 체온 유지를 위한 추가적인 에너지가 소모된다. 일반적인 젖소 착유우의 적정 사육온도는 5~25 ℃이며[1] -0.5~20 ℃의 온도 범위를 열적중성역(Thermoneutral zone, TNZ), 즉 체온유지를 위한 추가 에너지가 소모되지 않는 범위라고 한다[2]. 높은 환경 온도로 인해 체온이 증가하면서 체내에서 열 발산을 위해 추가 에너지를 소모하기 시작하는 온도를 상한임계온도(upper critical temperature)라고 하는데[3], 고온으로 인해 젖소가 스트레스를 받지 않는 최고 임계온도는 25~26 ℃로 알려져 있으며 그 이상의 온도에 노출될 경우 젖소는 고온 스트레스를 받는다[4].

젖소의 고온 스트레스는 온도 뿐 아니라 습도에도 밀접한 연관이 있다. 홀스타인종 젖소는 29 ℃의 온도, 40%의 상대습도의 환경조건에서 유량이 약 3% 감소하는 것에 비해, 같은 온도(29 ℃)에서 상대습도가 90% 수준으로 증가하면 유량이 31% 감소한다[5]. 이러한 특성을 반영하여 젖소의 고온 스트레스 정도를 가능하게 해주는 지표로서 온-습도지수(Temperature-Humidity Index)를 활용할 수 있다. 온-습도지수란 축사 환경의 온도와 습도를 반영하여 가축이 받는 고온 스트레스를 지수화한 것으로[6] 사람의 불쾌지수와 유사한 의미를 가진다. 온-습도지수는 Thom(1958)이 최초로 가축 고온 스트레스 지표로 활용하였으며[7], 가축 보존 연구소(The Livestock Conservation Institute)에서 온-습도지수 단계별 가축의 생물학적 반응을 평가하고 스트레스 단계를 나누었다[8-9].

고온 스트레스는 젖소의 생산성에 직접적인 영향을 준다. 고온환경에서 젖소는 체온을 일정한 수준으로 유지하기 위해 추가적인 에너지를 소모하며 이는 체내 에너지 균형으로 이어져 결과적으로 유량 생산을 위한 에너지가 부족하게 된다[10-11]. 전 세계에 사육되는 젖소 중 약 50%가 열대지역에서 사육되고 있으며 이로 인해 전체 낙농가 중 약 60%에서 젖소의 고온 스트레스로 인한 심각한 경제적 피해를 입고 있다고 보고하였다[12].

가축의 고온 스트레스를 예방하기 위해서는 스트레스를 지표화하고 스트레스 단계에 따른 사양관리 방안 마련이 필요하다. 젖소의 고온 스트레스를 정량적으로 평가하기 위해 활용할 수 있는 지표로는 체온, 호흡수 등이 있다. 소의 체온은 고온 스트레스의 대표적 지표로서 활용되어 왔으며[13] Bandaranayaka와 Holmes(1976)

에 의하면 소의 고온 스트레스 지표로서 호흡수 및 직장 온도의 증가, 대사변화를 활용할 수 있다고 보고된 바 있다[14]. 고온환경에 노출될 경우 소의 반추활동량 또한 감소하여 면역력을 감소시키며 대사성 질병 발생 빈도를 증가시킨다[15].

최근 젖소의 고온 스트레스로 인한 경제·산업적 피해가 증가하고 있어 이를 위한 관련 연구의 필요성이 대두되고 있다. 특히, 국내 환경에 적합한 고온 스트레스 연구는 더욱이 부족한 실정이다. 이에 본 연구는 국내 젖소의 고온 스트레스 정도를 파악하기 위해 환경온도 범위를 이용하여 호흡수, 직장온도, 반추활동 시간 변화를 분석하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시축 및 사양관리

본 연구는 충청남도 천안시 소재의 국립축산과학원 착유우사에서 2019년 5월부터 10월까지 실시하였다. 공시 가축은 홀스타인종(Holstein) 젖소로서 착유우 20두를 대상으로 하였으며, 다산차(multiparous) 젖소 12두, 초산차(primiparous) 젖소 8두를 공시하였다. 공시축은 톱밥이 깔린 우사에서 사육되었으며 시험 시작일을 기준으로 평균 비유일수는 160±63일로, 두당 평균 유량은 36.84 kg/d였다. 공시된 젖소에게는 매일 오전 10:00에 TMR 사료를 공급하였고 TMR 사료와 물은 자유채식 하였으며 배합사료는 두당 6.4 kg을 제한급여 하였다. 공시축에게 급여한 TMR 사료와 배합사료의 일반성분 분석을 위하여 AOAC 방법[16]에 따라 시료의 조단백질, 조섬유, 조지방 및 조회분 함량 등에 대해 분석하였으며 그 결과는 Table 1과 같다.

Table 1. Chemical composition of the basal diets (% DM)

Item	TMR	Concentrate
Moisture	46.32	11.81
Crude Protein	8.09	19.79
Crude Fat	2.99	5.62
Crude Fiber	10.84	6.36
Crude Ash	3.43	6.82
NDF	21.78	22.15
ADF	12.75	9.94

2.2 우사 온도 및 상대습도 측정

우사 내 실시간 환경 온·습도 측정을 위하여 축사환경 진단시스템(LEMS, ㈜에그리로보텍, 대한민국)을 이용하여 온도 및 상대습도 데이터를 1분 간격으로 수집하였다. 수집된 온도 및 상대습도는 시험축의 직장온도와 호흡수를 측정할 날의 오후 14시를 기준으로 온·습도지수로 환산되었으며 본 시험에서 활용된 온·습도지수 환산식은 아래와 같다.

$$THI = (0.8 \times \text{온도}(^{\circ}\text{C})) + [\text{상대습도}(\%) \times (\text{온도}(^{\circ}\text{C}) - 14.4)] + 46.4 \quad [17]$$

젖소의 고온 스트레스 수준을 구분하기 위해 우사의 온도와 습도를 측정하여 환산된 온·습도지수 단계를 세 단계로 나누었다. 각 단계별 온·습도지수는 각각 1단계(T1)가 70~75, 2단계(T2)가 76~81, 3단계(T3)가 82~87로 구분되었다.

2.3 체온 및 호흡수 측정

고온이 젖소의 체내에 미치는 생리적인 영향을 알아보기 위해 각 온·습도지수 단계별 젖소의 호흡수 및 직장온도, 체표면 온도를 측정하였다. 호흡수와 직장온도, 체표면 온도는 오후 14시에 측정하였다. 호흡수는 Spiers 등(2004)의 방법에 따라 젖소가 움직이지 않는 상태에서 10초 간 복부의 움직임을 관찰한 뒤 6을 곱하여 분당 호흡수로 환산하였다. 직장온도는 디지털 체온계(Polygreen digital thermometer, Polygreen Co., Ltd., China)를 젖소의 직장 내에 삽입한 후 측정하였다. 체표면 온도는 적외선 체온계(Isprobe, Boomcare, Korea)를 이용하여 시험축의 좌측 볼 부위의 표면 온도를 측정하였다. 약 5개월의 시험기간 중 직장온도 및 호흡수를 총 8회 측정하였다.

2.4 반추활동량 수집 및 분석

반추활동 시간을 측정하기 위하여 시험축의 목에 목걸이형 태그(HR-Tag, SCR Engineers Ltd.)를 부착하여 로봇착유기(Astronaut A3, LELY, Netherlands)와 연동된 프로그램(Time for cows, LELY, Netherlands)을 통해 개체별로 24시간 동안의 반추시간을 계산하였다. 목에 부착된 데이터 이력 기록 장치(logger)는 내부에 마이크 기능이 장착되어 소의 반추 및 소화된 내용물의 역류하는 소리를 인식하는 원리로 작동하였다.

2.5 통계분석

본 연구에서 얻어진 결과는 SAS program (version 9.2)을 이용하여 분산분석(ANOVA)을 실시하였으며, 사후분석은 Duncan을 이용하여 유의수준 0.05를 기준으로 검정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 온습도, 체온 및 호흡수

시험기간 동안 수집된 온도 및 습도 변화, 온·습도지수의 변화는 Figure 1과 2와 같다. 전체 시험기간의 오후 14시를 기준으로 우사 내 환경온도의 범위는 18.8 ~ 35.15 °C로 나타났으며 상대습도의 범위는 26.45 ~ 95.20 %로 나타났다. 측정된 온도 및 습도를 토대로 온·습도지수를 계산한 결과 그 범위는 64 ~ 88로 나타났다. 이 중 본 연구에서 분석한 날짜의 온도 범위는 24.4 ~ 34.84 °C 였으며 상대습도의 범위는 55 ~ 91.9 %로 기록되었다. 수집된 온도와 습도를 토대로 계산된 온·습도지수의 범위는 70 ~ 86로 계산되었으며 측정일 중 온·습도지수가 70 대를 보이는 횟수가 총 4회, 80 대를 보인 횟수가 총 4회로 나뉘었다.

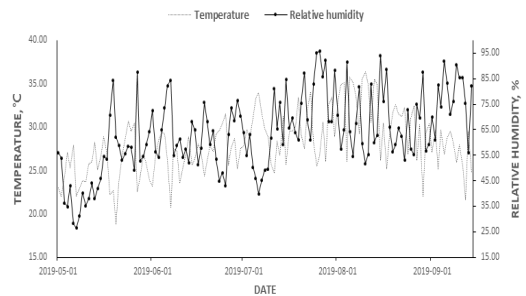


Fig. 1. Daily pattern of air temperature and relative humidity at 14:00 during experimental period.

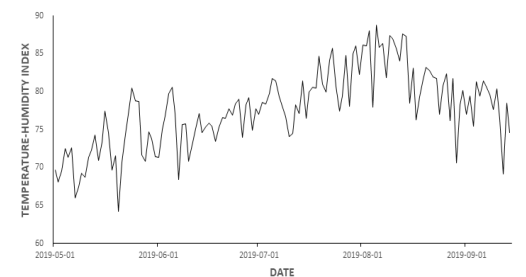


Fig. 2. Daily pattern of temperature-humidity index at 14:00 during experimental period.

St-Pierre 등(2003)의 연구에 의하면 젖소의 생산성과 복지에 고온 환경이 악영향을 미친다고 보고되었으며 스트레스의 강도는 양적으로 예측이 가능하다고도 알려져 있다[19]. 젖소의 경우 고온 스트레스를 정량적으로 파악하기 위해서 대표적으로 활용되는 지표로 분당 호흡수와 직장온도가 널리 활용되고 있다. 육우의 경우에도 고온환경에서 호흡수와 환경온도 간 상관관계를 파악하는 것이 사양관리에 필수적이라고 보고된 바 있다[20]. 특히 가축의 직장온도가 증가하기 시작하는 임계온도보다 호흡수가 증가하는 임계온도가 낮다고 보고되어 있어 [20-21] 고온 스트레스 수준을 빠르게 파악하기 위한 지표로서 분당 호흡수가 활용되고 있다. 본 시험에서 측정된 시험축의 분당 평균 호흡수, 직장온도와 체표면 온도를 Table 2에 나타냈다. 분당 평균 호흡수의 경우 T1구에서 58.60으로 나타났으며, T2구에서는 66.12, T3구에서 84.05회로 나타나 온·습도지수가 증가함에 따라 분당 호흡수가 증가하였고 시험구 간 통계적으로 유의적인 차이를 나타냈다($P < 0.05$). 이는 열 부하를 받은 젖소의 호흡수가 즉각적으로 증가한다고 보고된 국외 연구결과 [22]와 일치하며 서늘한 환경에서 분당 약 20회로 나타나던 호흡수가 32 °C 이상의 온도에서는 약 100회까지도 증가하는 것으로 나타난다고 보고한 선행연구 결과 [23]와도 일치한다. Berman(2005)에 의하면 젖소의 분당 호흡수가 70 ~ 80회 사이로 나타나면 고온 스트레스 저감을 위한 처치가 필요하다는 지표로 볼 수 있는데 [24], 본 연구의 T3 시험구에서 호흡수가 84.05로 측정되어 시험축이 고온 스트레스를 받고 있다는 의미로 해석할 수 있다.

직장온도는 체내 열 균형 정도를 알 수 있는 중요한 지표 중 하나로서 가축의 고온 스트레스의 영향을 평가하는데 적합하며, 직장온도가 1 °C만 상승하여도 생산성에 큰 영향을 주는 것으로 알려져 있다[25]. 본 연구에서 측정된 직장온도(°C)는 T1에서 38.41, T2에서 38.69, T3에서 39.05로 나타나 온·습도지수가 증가함에 따라 직장온도 또한 증가하는 값을 나타냈으며 세 시험구 간 직장온도는 통계적으로 유의적인 차이를 보였다($P < 0.05$). 정상적인 상태의 젖소가 80을 넘는 온·습도지수 조건에서 직장온도가 38.3 ~ 38.7 °C를 초과하면 체온 항상성을 유지하지 못하며 고온 스트레스를 받고 있다는 것을 의미하는데[26] 본 연구결과 온·습도지수가 82 ~ 87일 때(T3) 직장온도가 39.05 °C로 나타나 시험축이 고온 스트레스 상태에 처해있음을 확인하였다. 이렇듯 열 스트레스를 받은 젖소의 직장온도 및 호흡수가 증가하는

부분에 대한 연구는 다수 보고된 바 있다[27-28]. 젖소의 왼쪽 볼 부위에서 측정된 체표면 온도(°C)는 T1구에서 36.41, T2구에서 36.51, T3구에서 37.39로 나타났으며 통계분석 결과 T1·T2 간 유의적 차이는 보이지 않았지만 T3와는 차이를 나타냈다($P < 0.05$).

Table 2. Body temperature and respiration rate of dairy cows exposed to heat stress

Variable*	T1	T2	T3	SEM
RR, times/min	58.60 ^c	66.12 ^b	84.05 ^a	17.82
RT, °C	38.41 ^c	38.69 ^b	39.05 ^a	0.53
ST, °C	36.41 ^b	36.51 ^b	37.39 ^a	0.4

RR = Respiration rate, RT = Rectal temperature, ST = Surface temperature

a, b, c within rows means bearing different superscripts differ at $P < 0.05$

* T1 = THI 70~75, T2 = THI 76~81, T3 = THI 82~87

3.2 반추활동 시간

본 연구결과 고온 스트레스에 노출된 젖소의 반추활동 시간을 Table 3에 나타내었다. 1일 반추활동 시간(분)은 T1구에서 473.10, T2구에서 454.76, T3구에서 399.60로 나타났으며 시험구가 사육되는 환경의 온·습도지수가 높아질수록 반추활동 시간은 감소하는 것을 확인하였다. 반추활동 시간에 대한 통계분석 결과 T1 및 T2구 간에는 유의적 차이가 없었으나 T3구와 T1·T2구 간에는 차이가 확인되었다($P < 0.05$). 온·습도지수 변화와 반추활동량 간의 관계를 알아보기 위해 변화량을 Figure 3과 같이 나타내었다. 그림에 나타난 바와 같이 온·습도지수는 여름철인 7, 8월에 가까워질수록 상승하다가 9월에 이르면서 감소하였으나 1일 총 반추활동 시간은 7, 8월에 가파르게 감소하고 9월에 점차 상승하는 양상을 나타냈다. 비유 중인 고능력우가 하루 중 반추활동에 보내는 시간은 약 340 ~ 540분으로 보고되어 있는데[29-31] 본 시험의 세 시험구의 평균 반추활동 시간은 모두 이 범위 내에 포함되었다. 반추활동량은 소의 스트레스 요인과의 연관성이 있다. 대표적으로 급성 스트레스[32], 질병 [33], 밀사사육[34] 등과 연관성이 있다고 밝혀져 있다. Kadzere 등(2002)의 연구결과에서는 고온 스트레스 또한 반추활동량과 관련이 있는 것으로 밝혀져[35] 본 연구결과와 일치하였다.

Table 3. Rumination time of dairy cow exposed to different temperature-humidity index

Variable [*]	T1	T2	T3	SEM
RT, min/day	473.10 ^a	454.76 ^a	399.60 ^b	53.61

RT = Rumination time

^{a, b} within rows means bearing different superscripts differ at $P < 0.05$

^{*} T1 = THI 70~75, T2 = THI 76~81, T3 = THI 82~87

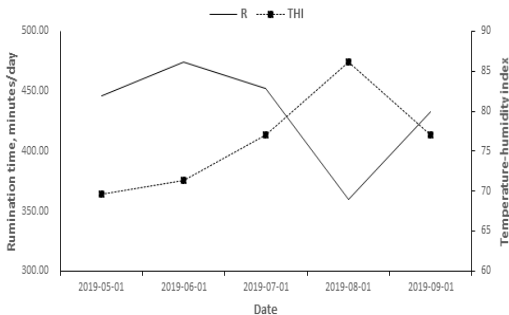


Fig. 3. Changes in rumination time and temperature-humidity index during experimental period.

* R = Rumination time (minutes / day),
THI = Temperature-Humidity Index

4. 결론

본 연구는 환경 온·습도가 젖소의 직장온도 및 호흡수, 반추활동 양상 변화 등에 미치는 영향을 알아보고자 수행되었다. 시험에 활용된 공시축은 초산차 및 다산차의 홀스타인종 착유우 20두를 활용하였으며 시험 시작일을 기준으로 평균 비유일수는 160 ± 63 일이며 두당 평균 유량은 36.84 kg/d였다. 젖소의 고온 스트레스 수준을 구분하기 위해 우사의 온도와 습도를 측정하여 환산된 온·습도지수(Temperature-Humidity Index) 단계를 세 단계로 나누었다. 각 단계별 온·습도지수는 각각 1단계(T1)가 70~75, 2단계(T2)가 76~81, 3단계(T3)가 82~87로 구분되었다. 연구결과 분당 평균 호흡수(회/분)의 경우 T1구에서 58.60으로 나타났으며, T2구에서는 66.12, T3구에서 84.05로 나타나 온·습도지수가 증가함에 따라 분당 호흡수가 증가하였고 시험구 간 통계적으로 유의적인 차이를 나타냈다($P < 0.05$). 시험축의 직장 온도(°C)는 T1구에서 38.41, T2구에서 38.69, T3구에서 39.05로 나타나 온·습도지수와 양의 상관관계를 나타냈으며 세 시험구 간 직장온도는 통계적으로 유의적인 차

이를 보였다($P < 0.05$). 젖소의 왼쪽 볼 부위에서 측정된 체표면 온도(°C)는 T1구에서 36.41, T2구에서 36.51, T3구에서 37.39로 나타났으며 통계분석 결과 T1·T2구 간 유의적 차이는 보이지 않았지만 T3구와는 차이를 나타냈다($P < 0.05$). 반추활동량(분/일)의 경우 T1구에서 473.10, T2구에서 454.76, T3구에서 399.60로 나타났으며 시험구가 사육되는 환경의 온·습도지수가 높아질수록 반추활동 시간은 감소하는 것을 확인하였다($P < 0.05$).

그 간의 낙농 연구는 유생산량 증가를 위한 방향으로 진행되어 왔다. 그러나 최근 기후온난화 등의 영향이 커지고 있으며 이로 인한 낙농산업의 피해가 지속될 것으로 전망됨에 따라 향후 낙농연구 분야에서도 젖소의 복지 증진과 고온 스트레스 감소 방안 마련을 위한 지속적인 연구가 필요할 것으로 보인다.

References

- [1] S. Roenfeldt, "You can't afford to ignore heat stress", *Dairy Management*, Vol.35, No.5, pp.6-12, 1998.
- [2] H. D. Johnson, *Bioclimatology and the Adaptation of Livestock*, Elsevier Science Publ. Co., 1987, pp.35-57
- [3] M. K. Yousef, *Basic Principles. Stress Physiology in Livestock*, Vol.1, CRC Press., 1985, pp.217
- [4] A. Berman, Y. Folman, M. Kaim, M. Mamen, Z. Herz, D. Wolfenson, A. Arieli, Y. Graber, "Upper critical temperatures and forced ventilation effects for high-yielding dairy cows in a subtropical climate", *Journal of Dairy Science*, Vol.68, No.0, pp.1488-1495, 1985.
DOI: [http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(85\)80987-5](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(85)80987-5)
- [5] W. Bianca, "Reviews of the progress of dairy science. Section A. Physiology Cattle in a hot environment", *J. Dairy Res.*, Vol.32, No.0, pp.291-345, 1965.
- [6] National Oceanic and Atmospheric Administration, *Livestock hot weather stress, Reg. Operations Manual Lett*, US Dept. Commerce, Natl. Weather Serv. Central Reg., USA, C-31-76
- [7] E. C. Thom, "Cooling degree days", *Air Conditioning, Heating and Ventilating*, Vol.55, No.0, pp.65-69, 1958.
- [8] J. C. Whittier, *Hot weather livestock stress*, Univ. Missouri. Ext., 1993, Available from: <https://extension2.missouri.edu/g2099> (accessed Oct., 1993)
- [9] D. V. Armstrong, "Heat stress interactions with shade and cooling", *J. Dairy Sci.*, Vol.77, No.0, pp.2044-2050, 1994.
DOI: [http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(94\)77149-6](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(94)77149-6)

- [10] A. Nardone, B. Ronchi, N. Lacetera, U. Bernabucci, "Climatic effects on productive traits in livestock", *Vet. Res. Commun.*, Vol.30, No.0, pp.75-81, 2006.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11259-006-0016-x>
- [11] A. Nardone, B. Ronchi, N. Lacetera, M. S. Ranieri, U. Bernabucci, "Effects of climate changes on animal production and sustainability of livestock systems", *Livest. Sci.*, Vol.130, No.0, pp.57-69, 2010.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2010.02.011>
- [12] D. Wolfenson, Z. Roth, R. Meidan, "Impaired reproduction in heat-stressed cattle: Basic and applied aspects", *Anim. Reprod. Sci.*, Vol.60, No.0, pp.535-547, 2000.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0378-4320\(00\)00102-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-4320(00)00102-0)
- [13] J. W. Fuquay, A. B. Zook, J. W. Daniel, W. H. Brown, W. E. Poe, "Modifications in free stall housing for dairy cows during summer", *J. Dairy Sci.*, Vol.62, No.0, pp.566-577, 1979.
- [14] D. D. Bandaranayaka, C. W. Holmes, "Changes in the composition of milk and rumen contents in cows exposed to a high ambient temperature with controlled feeding", *Trop. Anim. Health Prod.*, Vol.8, No.0, pp.38-46, 1976.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/BF02383364>
- [15] D. Temple, F. Bargo, E. Mainau, I. Ipharraguerre, X. Manteca, Heat stress and efficiency in dairy milk production: A practical approach, Farm Animal Welfare Education Centre, 2015, Available from: <https://www.fawec.org/en/fact-sheets/31-cattle/131-heat-stress-and-efficiency-in-dairy-milk-production-a-practical-approach> (accessed May, 2015)
- [16] AOAC, Official methods of analysis (15th ed.), Association of Official Analytical Chemists, 1990, pp.771
- [17] T. G. Fox, T. P. Tylutki, "Accounting for the Effects of Environment on the Nutrient Requirements of Dairy Cattle", *J. Dairy Sci.*, Vol.81, No.0, pp.9085-9095, 1998.
DOI: [http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(98\)75873-4](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(98)75873-4)
- [18] D. E. Spiers, J. N. Spain, J. D. Sampson, R. P. Rhoads, "Use of physiological parameters to predict milk yield and feed intake in heat-stressed dairy cows", *Journal of Thermal Biology*, Vol.29, No.0, pp.759-764, 2004.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtherbio.2004.08.051>
- [19] N. R. St-Pierre, B. Cobanov, G. Schnitkey, "Economic losses from heat stress by US livestock industries", *J. Dairy Sci.*, Vol.86 (E. Suppl.), No.0, pp.E52-E77, 2003.
DOI: [http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)74040-5](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)74040-5)
- [20] G. L. Hahn, A. M. Parkhurst, J. B. Gaughan, "Cattle respiration rate as a function of ambient temperature", *ASAE Mid-Central Conference*, USDA, USA, MC97-121, 1997.
- [21] G. L. Hahn, Y. R. Chen, J. A. Nienaber, R. A. Eigenberg, A. M. Parkhurst, "Characterizing animal stress through fractal analysis of thermoregulatory responses", *J. Therm. Biol.*, Vol.17, No.0, pp.115-120, 1992.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0306-4565\(92\)90008-4](http://dx.doi.org/10.1016/0306-4565(92)90008-4)
- [22] T. M. Brown-Brandl, R. A. Eigenberg, J. A. Nienaber, G. L. Hahn, "Dynamic response indicators of heat stress in shaded and non-shaded feedlot cattle, Part 1: Analyses of indicators", *Biosyst. Eng.*, Vol.90, No.0, pp.451-462, 2005.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2004.12.006>
- [23] J. E. Johnston, R. E. McDowell, R. R. Shrode, J. E. Legates, Summer climate and its effect on dairy cattle in the Southern region, In: Southern Cooperative Series Bulletin, Louisiana Agric. Exp. Stat. S. Coop. Ser., 1959, pp.63
- [24] A. J. Berman, "Estimates of heat stress relief needs for Holstein dairy cows", *J. Anim. Sci.*, Vol.83, No.0, pp.1377-1384, 2005.
- [25] R. E. McDowell, N. W. Hooven, J. K. Camoens, "Effects of climate on performance of Holsteins in first lactation", *J. Dairy Sci.*, Vol.59, No.0, pp.965-973, 1976.
DOI: [http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(76\)84305-6](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(76)84305-6)
- [26] F. Abeni, L. Calamari, L. Stefanini, "Metabolic conditions of lactating Friesian cows during the hot season in the Po valley. 1. Blood indicators of heat stress", *Int. J. Biometeorol.*, Vol.52, No.0, pp.87-96, 2007.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00484-007-0098-3>
- [27] E. A. Omar, A. K. Kirrella, A. Soheir, A. Fawzy, F. El-Keraby, "Effect of water spray followed by forced ventilation on some physiological status and milk production of post calving Friesian cows", *Alex. J. Agric. Res.*, Vol.4, No.0, pp.71-81, 1996.
- [28] H. D. Johnson, Depressed chemical thermogenesis and hormonal functions in heat, In: Environmental Physiology: Aging, Heat, and Altitude, Elsevier, 1980, pp.3-9
- [29] P. J. Kononoff, A. J. Heinrichs, D. A. Buckmaster, "Modification of the Penn State forage and TMR separator and the effects of moisture content on its measurements", *J. Dairy Sci.*, Vol.86, No.0, pp.1858-1863, 2003.
- [30] K. A. Beauchemin, W. Z. Yang, "Effects of physically effective fiber on intake, chewing activity, and ruminal acidosis for dairy cows fed diets based on corn silage", *J. Dairy Sci.*, Vol.88, No.0, pp.2117-2129, 2005.
DOI: [http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)72888-5](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)72888-5)
- [31] W. Z. Yang, K. A. Beauchemin, "Effects of physically effective fiber on chewing activity and ruminal pH of dairy cows fed diets based on barley silage", *J. Dairy Sci.*, Vol.89, No.0, pp.217-228, 2006.
DOI: [http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72086-0](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72086-0)
- [32] M. S. Herskin, L. Munksgaard, J. Ladewig, "Effects of acute stressors on nociception, adrenocortical responses and behavior of dairy cows", *Physiol.*

Behav., Vol.83, No.0, pp.411-420, 2004.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/i.physbeh.2004.08.027>

- [33] S. S. Hansen, P. Norgaard, C. Pedersen, R. J. Jorgensen, L. S. B., Mellau, J. D. Enemark, "The effect of subclinical hypocalcaemia induced by Na2EDTA on the feed intake and chewing activity of dairy cows", *Vet. Res. Commun.*, Vol.27, No.0, pp.193-205, 2003.
- [34] R. J. Grant, J. L. Albright, "Effect of animal grouping on feeding behavior and intake of dairy cattle", *J. Dairy Sci.*, Vol.84, No.0, pp.E156- E163, 2001.
DOI: [http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(01\)70210-X](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(01)70210-X)
- [35] C. T. Kadzere, M. R. Murphy, N. Silanikove, E. Maltz, "Heat stress in lactating dairy cows: A review", *Livest. Prod. Sci.*, Vol.77, No.0, pp.59-91, 2002.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0301-6226\(01\)00330-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0301-6226(01)00330-X)

박 지 후(Ji Hoo Park)

[정회원]



- 2014년 8월 ~ 현재 : 국립축산과학원 농업연구사

〈관심분야〉
젖소 사양, 행동

최 희 철(Hee Chul Choi)

[정회원]



- 1991년 8월 : 건국대학교 대학원 가축질병학과 (수의석사)
- 2003년 8월 : 충남대학교 농과대학원 낙농학과 (농학박사)
- 2012년 2월 ~ 2014년 3월 : 국립축산과학원 가금과장
- 2014년 3월 ~ 현재 : 국립축산과학원 농업연구관

〈관심분야〉
축산시설, 사육환경, 스마트팜

이 현 정(Hyun Jeong Lee)

[정회원]



- 1992년 2월 : 서울대학교 농과대학원 축산학과 (농학석사)
- 1999년 2월 : 서울대학교 농생명과학대학원 동물자원과학과 (농학박사)
- 1992년 7월 ~ 2016년 6월 : 국립축산과학원 연구사
- 2016년 7월 ~ 현재 : 국립축산과학원 농업연구관

〈관심분야〉
스마트팜, 생명공학

김 언 태(Eun Tae Kim)

[정회원]



- 2007년 2월 : 서울대학교 농생명공학부 (농학석사)
- 2012년 8월 : 경상대학교 응용생명과학과 (이학박사)
- 2019년 2월 ~ 현재 : 국립축산과학원 농업연구사

〈관심분야〉
반추동물영양, 미생물 발효대사

손 준 규(Jun Kyu Son)

[정회원]



- 2004년 2월 : 강원대학교 축산학과(농학석사)
- 2008년 2월 : 강원대학교 축산학과(농학박사)
- 2008년 2월 ~ 2009년 1월 : 국립축산과학원 박사후연구원
- 2009년 2월 ~ 현재 : 국립축산과학원 농업연구사

〈관심분야〉
가축번식, 생리

김 동 현(Dong Hyeon Kim)

[정회원]



- 2013년 2월 : 경상대학교 일반대학원 응용생명과학부 응용생명과학전공 (이학석사)
- 2014년 12월 ~ 2016년 2월 : University of Florida 방문연구원

- 2016년 2월 : 일반대학원 응용생명과학부 응용생명과학전공 (이학박사)
- 2016년 2월 ~ 2019년 2월 : University of Florida 박사 후 연구원
- 2019년 2월 ~ 현재 : 농촌진흥청 국립축산과학원 낙농과 전문연구원

〈관심분야〉

반추영양생리, 조사료