

기후변화로 인한 젖소에 미치는 영향

김기연
서울대학교 수의과대학
수의사
kiyeon1@snu.ac.kr



채준석
서울대학교 수의과대학
동물병원 내과교수
jschae@snu.ac.kr



우리나라의 기후구는 온대에서 아열대 기후구로 변화되어 가고 있다. 기상청에서 발표한 우리나라 기후구 변화에 대한 모델링연구에 따르면 2070년에서 2100년으로 가면 아마도 남한의 산악지형을 제외한 모든 지역은 아열대 기후구에 포함될 것으로 예측하고 있다. 여름철 폭염의 횟수가 잦아지고, 그 지속 시간이 길어지고 있는 것을 보면 실감을 하게 된다. 이러한 기후변화에 따라 낙농 농가에 있어서 소가 받는 열 스트레스(heat stress)로 인한 경제적 손실이 커지고 있는 현실이다.

1. 젖소에서 열 스트레스의 영향

모든 동물들은 적온범위(thermo-neutral zone)라 불리는 주변 환경 온도범위를 갖고 있다. 이는 건강과 활동하기 좋은 온도의 범위이며, 상한한계온도(upper critical temperature)는 열 스트레스가 동물에게 영향을 미치기 시작하는 시점으로 열 스트레스에는 높은 온도와 높은 습도 그리고 복사에너지가 들어간다. 간략하게 표현하면, 열 스트레스는 소가 신체의 온도 균형을 유지하기 위해 필요한 적정 수준의 열을 발산할 수 없는 시점이라 정의할 수 있다.

열 스트레스를 유도하는 환경적인 요인들은 온습지수(temperature humidity index: THI)를 이용해 계산할 수 있다. THI를 계산하기 위해 사용되는 수식들이 많이 있는데, 이 수식들은 보통 온도와 습도를 이용하며, 한 예로서 다음과 같은 수식이 있다.

$$THI = \text{건구온도(dry bulb temperature, } ^\circ\text{C)} + 0.36 \times \text{이슬점온도(dew point temperature } ^\circ\text{C)} + 41.2$$

젖소에서 THI가 72 보다 커질 때 열 스트레스가 나타나기 시작한다. THI가 증가함에 따라 젖소가 보이는 스트레스의 증상은 표 1에 나타나 있다. 소 신체 대사상의 가벼운 변화와 유량의 변화에서부터 잠재적으로는 소의 폐사까지 나타날 수 있다.

표 1. 젖소에서 열 스트레스 수준에 따라 나타나는 임상증상

THI	스트레스 수준	증상
< 72	없음	
72-79	경도(mild)	- 음지에 모여 있음, 호흡률 증가, 혈관확장 - 유량에 미치는 영향은 적다.
80-89	중등도(moderate)	- 침 생성 증가, 호흡률 증가 - 사료 섭취량 감소 가능, 음수량 증가, 체온상승, 유량과 번식 감소
90-98	심함(severe)	- 체온 상승으로 불안감, 팬팅, 과도한 침의 생성 - 유량과 번식이 눈에 띄게 감소
>98	위험(danger)	- 폐사에 이를 수 있음.

동물에서 열 스트레스의 결과로 나타나는 변화들을 보면 다음과 같다.

- 1) 체온 상승 : 39.2°C 이상(정상체온 : 38.6°C)
- 2) 호흡수 증가 : 70~80/분 이상
- 3) 일일 에너지 유지량(maintenance energy requirement : MER) 증가 - 젖소는 초과된 열을 발산시키고, 체온을 유지하기 위해 대사를 증진시킨다. 호흡수의 증가가 한 예이다. 보통 동물이 열 스트레스를 받을 때에는 MER이 20~30%정도 올라간다. 이로 인해 우수생산 같은 생산적 기능에 쓰이는 에너지가 줄어들고, 피부로 가는 혈류량이 증가하여 열의 발산을 도우며, 동시에 몸의 중심에 흐르는 혈류량은 감소한다.
- 4) 사료 영양소의 이용 : 나트륨과 칼륨의 손실과 열 스트레스 사이에 연관성이 있다. 이는 호흡률의 증가와 관련이 있는데, 산-염 균형(acid-base balance)을 이동시켜 대사성 알칼리증(metabolic alkalosis)을 유도한다. 동시에 영양분 이용의 효율을 떨어뜨린다.

1) 대사성 알칼리증
 - 원인 : 산의 상실(구토, 중탄산염 과다 투여)
 - 보상 : 호흡중추억제(이산화탄소 배출 위해 환기저하, 신장에서 산배출 감소)
 - 증상 : 수소의 배출이 감소하여 칼륨의 재흡수도 감소(저칼륨혈증)

2) 호흡성 알칼리증
 - 원인 : 호흡중추(폐에서 이산화탄소 많이 제거)
 - 보상 : 신장에서 산의 배출 감소, 중탄산염 재흡수 감소
 - 증상 : 과호흡, 저칼륨혈증, 저칼슘혈증

- 5) 건물 사료 섭취 : 젖소는 열 스트레스를 받으면 건물 사료의 섭취가 줄어들며, 장기간 받으면 섭취도 마찬가지로 장기간 감소하게 된다. 일반적으로 우군에서 10~20%의 감소가 나타난다.
- 6) 유량 : 보통 열 스트레스를 받게 되면 유량이 감소하게 되는데 강도에 따라 일시적일 수도 있고, 장기간 지속될 수도 있다. 보통 10%에서 25% 이내로 감소하게 된다. 2005년 여름철에 뉴욕의 많은 우군에서 두당 2.27~6.8 kg/일의 유량 감소가 보고된 바 있다. 젖소의 비유 초기에 열 스트레스를 받아 유량이 감소하면, 향후 비유기간 동안 생산할 전체적인 유량이 감소하게 되며, 비유 말기에 천천히 회복된다.
- 7) 번식 : 열 스트레스에 의해 젖소의 번식률도 떨어지며, 발정횟수도 변화가 나타난다. 번식에 미치는 영향은 열 스트레스에 노출된 뒤 몇 달 뒤에 그 영향이 나타날 수 있으며, 그 영향은 다음과 같다.
 - 발정기의 길이가 짧아지고 그 강도가 약해짐.
 - 수태율의 감소
 - 난포의 성장, 크기 발생 감소
 - 초기 태아사의 위험 증가
 - 태자의 성장과 송아지의 크기 감소

2. 열 스트레스의 심각성을 결정짓는 요인

여러 인자들이 열 스트레스의 심각성에 영향을 미치는데, 그 주요인자들은 다음과 같다.

- 1) 실제 온도와 습도
- 2) 열 스트레스를 받은 기간
- 3) 야간 냉각의 여부와 정도

- 4) 환기와 공기의 흐름
- 5) 소의 크기
- 6) 열 스트레스를 받기 전 유량과 건물 섭취 정도(고능력 우의 경우 열 스트레스의 영향을 더 받음)
- 7) 우사 형태 : 환기, 과밀사육 등.
- 8) 음수로의 접근성
- 9) 품종
- 10) 모색
- 11) 털의 길이

[예시]

열 스트레스가 젖소에서 건물섭취와 유량에 어떤 영향을 미치는지 Connel Net carbohydrate and Protein System(CNCPS) 모델을 이용하여 평가해 볼 경우 다음과 같다. 36 kg의 우유를 생산하는 635 kg인 젖소에게 먹이는 사료를 평가해 보았을 경우, 초기의 일량 사료는 환경 온도가 15.6℃일 때를 맞춰서 실시되었고, 그 후 온도, 습도 혹은 야간온도를 다양하게 변화 시켜 측정하였다. 야간 온도는 야간 냉각 효과를 보기 위해 측정하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

- 1) 일일유지 요구량은 15.6℃에서 보다 32.2℃에서 22% 증가하였다.
- 2) 건물 섭취 추정량은 첫 번째 시행에서 보다 네 번째 시행에서 18% 감소하였다.
- 3) 대사 가능한 에너지원으로 추정된 유량은 첫 번째 시행에서 보다 네 번째 시행에서 32% 감소하였다.
- 4) 대사 가능한 단백질원으로 추정된 유량은 첫 번째 시행에서 보다 네 번째 시행에서 20% 감소하였다.

다섯 번째 시행에서 추가 에너지를 제공해주기 위해 일량 사료에 0.45 kg의 1위 bypass 지방원을 첨가하였을 경우는 약 3.62 kg의 일당 유량 증가(약 14%)를 예측할 수 있다. 농가에서는 이득이 되겠지만, 이 방법은 열 스트레스를 효과적으로 줄이는 방법은 아니다. 이 예시는 소가 겪고 있는 열 스트레스를 경감시켜 줄 방법을 찾는 것이 중요하다는 점을 보여준 예이다. 이 연구결과는 열 스트레스 효과를 보기 위한 시뮬레이션이라는 것이며, 실제 농장에서 소들이 보이는 반응은 다양하게 나타날 것이다.

표 2. 예상 건물 섭취량과 유량

시행	온도(°C)	습도	야간온도(°C)	일일유지 요구량 ¹ (Mcal)	건물사로 섭취량 (kg)	예상유량 ² (kg)	예상유량 ³ (kg)
1	15.6	50	10	16.38	22.1	38.7	37.1
2	32.2	50	15.6	18.27	21.4	35.3	35.8
3	32.2	70	15.6	19.95	21.0	33.2	35.3
4	32.2	70	23.9	19.95	18.1	25.9	29.7
5	32.2	70	23.9	19.95	18.5	29.8	29.6

1. 일일유지요구량 : 일일 유지 요구량을 충족시키기 위한 에너지
 2. 대사 가능한 에너지원으로 추정된 유량
 3. 대사 가능한 단백질원으로 추정된 유량

3. 열 스트레스가 경제성에 미치는 영향

농장 전체를 단위로 이를 측정할 수 있는 간단한 방법은 없다. 현 유가를 기준으로 유량이 4.5 kg 감소하면 소득은 각 착유소 당 매일 1.5 달러(미국의 경우)의 손실을 입게 된다. 번식에서의 변화는 장기간 봐야하는 문제이며 추정하기는 더 어렵다. 오하이오 주립 대학교의 한 연구팀에서 이에 대한 연구를 수행하였는데, 미국의 모든 가축을 대상으로 하였으며, 각 주마다 그 손실을 추정하였고, 몇 가지 주요 내용은 다음과 같다.

- 1) 열 스트레스에 경감시키기 위해 최소한의 처치를 하였을 경우 미국에서 사용되는 년 간 추정 비용은 최소 24 억 달러 이다.
- 2) 열 스트레스를 경감시키기 위해 정상적인 처치를 하였을 경우 그 비용은 17억 달러로 감소한다.
- 3) 국가적으로 모든 착유 젖소에서 열 스트레스 경감 처치를 했을 경우 예상되는 손실은 15억 달러에서 9억달러로 감소한다.
- 4) 손실의 가장 큰 부분은 전체 손실의 52%를 차지하는 젖소이며, 육우, 양돈, 양계의 손실은 각각 21%, 17%, 10%를 차지한다.
- 5) 뉴욕에서 열스트레스로 인한 연간 손실액은 2,500만 달러이며, 낙농이 차지하는 부분은 95% 이상이다. 이를 바탕으로 추정해 보면 열 스트레스 경감 처치가 가장 필요

한 분야는 낙농임을 알 수 있다.

- 6) 미국의 경우, 평균적으로 젖소는 연간 14%의 시간이 열 스트레스에 노출되어 있으며, 플로리다의 경우 49%, 뉴욕의 경우 8%로 지역마다 다르게 나타난다. 따라서 우리나라의 경우도 지역의 날씨에 따라 서로 다른 영향이 나타날 것이다.
- 7) 예상되는 두당 평균 건물사로 섭취량의 감소는 뉴욕에서 약 69 kg이며 두당 평균 유량 감소는 약 139 kg이다.
- 8) 따라서 젖소에서 열 스트레스 경감 처치를 해주는 것이 경제적으로 이득이 될 것으로 본다.

4. 소의 열 방출

동물들은 체온을 유지시키거나 열을 방출시키기 위해 많은 기전을 가지고 있다.

- 1) 전도 : 열은 따뜻한 표면에서 차가운 표면으로 이동한다. 따라서 소들은 이를 위해 직접적으로 피부를 표면에 접촉할 수 있는 공간이 필요하다.
- 2) 대류 : 열을 받은 피부 바로 위에 있는 공기층은 시원한 공기로 대체 된다.
- 3) 복사 : 열은 따뜻한 환경에서 시원한 환경으로 방출될 수 있다.
- 4) 기화 : 땀이나 습기가 피부나 호흡기관에서 기화된다.

소들은 일차적으로 증발에 의한 냉각 메커니즘을 이용할 수 있다. 전도, 대류, 복사에 의한 열 조절 능력은 거의 갖고 있지 않다.

5. 열 스트레스를 줄이는 방법

젖소에서 열 스트레스의 영향을 최소화시키는데 도움이 되는 많은 방법들이 있다. 두 가지 기본적인 방법은 일량 사료 조절과 환경에 변화를 주는 것이다.

1) 일량 사료 조절

일량 사료 조절의 목적은 1위의 유지와 소의 건강을 유지하기 위해 에너지와 단백질의 섭취를 증가시키는 것이다. 사료 조절시 쉽게 유흡당하기 쉬운 점은 곡류의 양을 늘리고 목초의 양을 줄이는 것이다. 이런 사료 조성의 변화는 1위의 산성화를 유도하고 소의 건강을 저해시킨다. 아래와 같이 사료의 조성은 영양 전문가의 도움을 받아 특정 우군에 맞는 사료 조합을 맞춰 줘야한다.

가. 가능하면 고품질의 목초를 선택하여 먹인다.

나. 효과적인 섬유소의 수준을 유지하되, 일일 사료량의 섬유(산성세제 불용성 섬유소(Acid detergent fiber, ADF), 중성세제 불용성 섬유소(neutral detergent fiber, NDF))의 비율을 낮춘다. 이는 대두, 대두박, 사탕 무박, 굴껍질 같은 비섬유성 부산물(non-fiber byproduct feed) 등을 첨가함으로써 가능하다.

다. 추가적으로 지방성분을 첨가해주는 것을 고려한다. 하지만 총 지방 수준이 총건물사료량에서 5~5.5%를 초과하면 안 된다.

라. 소화율이 높은 성분의 사료를 선택한다. 이것은 영양분을 이용하면서 생산되는 열의 발생을 낮춰준다.

마. 사료 내 단백질 비율은 용해성이고, 1위에서 분해되는 단백질 양을 최소화 시켜 맞춘다. 동물은 초과분의 단백질을 몸으로부터 배출하는데 에너지를 써야한다.

바. 버퍼(나트륨 중탄산염(sodium bicarbonate), 산화마그네슘(magnesium oxide), 세스퀴 탄산나트륨(sodium sesquicarbonate))를 첨가해 정상 1위 환경을 유지시켜 주는데 도움을 준다.

사. 열 스트레스를 받은 소에서 나타나는 K⁺의 손실을 보상해주기 위해 사료내 K의 비율을 높이는 것을 고려해 준다. 사료 내 Mg⁺⁺ 비율도 높여줄 필요가 있다.

아. 사료에 이스트(yeast)나 이스트 배양액을 첨가해주는 것이 도움이 될 수도 있다.

2) 급이 조절

급이 조절도 열 스트레스의 영향을 최소화시키기 위한 한 방안이 될 수 있다. 주요 고려사항은 다음과 같다.

가. 항상 신선하고 입맛에 맞고 고품질의 사료가 사료통에 있어 사료 섭취가 최상이 되도록 한다. 만약 사료통 안의 사료가 따듯하거나, 냄새가 변질되었거나 상했으면 즉시 폐기 처분한다.

나. 사료가 사료통 밖으로 떨어져있지는 않은지, 소들이 사료에 접근성이 좋은지 확인한다.

다. 사료가 골고루 섞여져서 매일 일정한 양이 공급되고 있는지 확인한다.

라. 모든 소들이 동시에 사료를 섭취할 수 있는지 확인한다.

마. 소들이 거친 조사료를 골라내고 먹지 않는지 확인한다. 만약 그렇다면 사료에 물이나 당밀을 섞어주면 사료의 점도가 높아져 골라먹기 어려워진다.

바. 소의 행동에 따라 사료 급이 시간을 조절해줄 필요가 있다. 소들은 낮 동안에서도 시원한 시기에 더 많은 사료를 먹으며, 사료의 기호 패턴이 바뀔 수 있다.

3) 물

가. 음수통에 깨끗하고 신선한 물이 담겨있는지 확인한다.

나. 음수통은 충분히 넓게 확보되어 있어야 하며, 소 한 마리당 적어도 5~7.5 m²의 공간이 확보 되어야 한다.

다. 한 우군 당 1개 이상의 음수설비가 있어야 소들 간 경쟁이 줄고 음수를 쉽게 섭취할 수 있다.

라. 착유 후 신선한 물이 공급되는지 확인한다.

마. 음수통에 물이 채워지기 위해 적절한 압력이 걸리고 있는지 확인한다.

바. 열 스트레스를 받으면 음수량은 20~50% 가량 증가하게 된다. 적절한 양의 물이 제공되고 있는지 확인한다.

4) 우사와 시설 조절

가. 과밀 사육되고 있다면 이를 최소화해야 한다.

나. 착유 전 대기 공간에 착유 소들이 얼마나 오래 머무는지 확인한다. 경우에 따라서 이 대기 공간은 과밀 상태일 가능성이 높고, 대부분의 농장에서 열 스트레스에 노출되기 쉬운 위치이다.

다. 직사광선을 피하게 해줄 그늘이 모든 소들에게 돌아갈 만큼 충분히 넓게 형성되어 있어야 한다.

라. 우사안의 기류가 얼마만큼 유지되고 있는지 확인한다. 1.78~2.33 m/s가 적절한 수치이다. 그렇지 않다면 우사에 환기를 위해 개방시킬 수 있는 시설이 있는지 확인한다. 대부분의 경우 환기를 돕기 위해 팬(fan)을 설치해야 할 경우가 많다.

마. 스프링클러나 안개 분무기를 설치할 수 있는지 확인한다. 이 목적은 피부를 젖게 만든 뒤 증발열을 이용해 체온을 낮추려는 것이다. 단, 소를 살짝 젖게 만드는 것이 지 물에 흠뻑 젖게 만들면 안 된다.☺

참고 문헌

- Berman, A. 2005. Estimates of heat stress relief needs for Holstein dairy cows. *J. Anim. Sci.* 83:1377-1384.
- Fox, D.G. and T.P. Tytlutki. 1998. Accounting for the effects of environment on the nutrient requirements of dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 81:3085-3095.
- Climate Change and Agriculture: Promoting Practical and Profitable Responses II-23.
- Hahn, G.L. 1999. Dynamic responses of cattle to thermal heat loads. *J. Anim. Sci.* 77(Suppl. 2):10-20.
- Hansen, P.J. and C. F. Archiga. 1999. Strategies for managing reproduction in the heatstressed dairy cow. *J. Anim. Sci.* 77(Suppl. 2):36-50.
- Jordan, E.R. 2003. Effects of heat stress on reproduction. *J. Dairy Sci.* 86:(E, Suppl):E104-E114.
- King, V.L., S.K. Denise, D.V. Armstrong, M. Torabi and F. Wiersma. 1988. Effects of a hot climate on the performance of first lactation Holstein cows grouped by coat color. *J. Dairy Sci.* 71:1093-1096.
- Klinedinst, P.L., D.A. Wilhite, G. L. Hahn and K.G. Hubbard. 1993. The potential effects of climate change on summer season dairy cattle milk production and reproduction. *Climate Change* 23:21-36.
- McGovern, R.E. and J.M. Bruce. 2000. A model of the thermal balance for cattle in hot conditions. *J. Agric. Engng. Res.* 77(1):81-92.
- National Research Council. 1981. Effect of environment on nutrient requirements of domestic animals. National Academy Press, Washington, D.C.
- National Research Council. 1996. Nutrient requirements of beef cattle. 7th rev. ed. National Academy Press, Washington, D.C.
- National Research Council. 2001. Nutrient requirements of dairy cattle. 7th rev. ed. National Academy Press, Washington, D.C.
- Ravagnolo, O., I. Misztal and G. Hoogenboom. 2000. Genetic component of heat stress in dairy cattle, development of heat index function. *J. Dairy Sci.* 83:2120-2125.
- Sanchez, W.K., M.A. McGuire and D.K. Beede. 1994. Macromineral nutrition by heat stress interactions in dairy cattle: review and original research. *J. Dairy Sci.* 77:2051-2079.
- St-Pierre, N.R., B. Cobanov and G. Schnitkey. 2003. Economic losses from heat-stress by US livestock industries. *J. Dairy Sci.* 86(E, Suppl):E52-E77.
- West, J.W. 1999. Nutritional strategies for managing the heat-stressed dairy cow. *J. Anim. Sci.* 77(Suppl. 2):21-35.
- West, J.W. 2003. Effects of heat stress on production in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 86:2131-2144.