

지구온난화에 따른 국내 기후변화와 젖소 착유우의 생산효율에 미치는 영향 평가 : 모델 시뮬레이션을 이용한 접근*

이정진*** · 이준성*** · 김종남*** · 서자겸*** · 조남철*** ·
박성민**** · 기광석**** · 서성원**

Climate Change by Global Warming and Its Effects on Production Efficiency of Lactating Dairy Cows in Korea : a Simulation Modeling Approach

Lee, Jung-Jin · Lee, Jun-Sung · Kim, Jong-Nam · Seo, Ja-Keum ·
Jo, Nam-Chul · Park, Seong-Min · Ki, Kwang-Seok · Seo, Seong-Won

The objectives of this study were to access climate change by global warming in Korea, and to investigate its effects on production efficiency of lactating dairy cows. Two regions, Daegu and Daekwanryung, were selected to represent a warm and a cold area, respectively. Time-series analyses on meteorological records for 25 years (from January 1, 1988 to December 31, 2012) revealed significant and different climate changes in two regions. In the warm area there has been a significant ($P<0.05$) increase in low temperature during the summer, which can cause heat stress to the animal. On the other hand, a decrease in low temperature during the winter was observed in the cold region ($P<0.01$), and cold stress in winter can thus be an issue in this region. Simulations using a model integrated the Korean feeding standard for dairy cattle and the environmental effect module of Cornell Net Carbohydrate and Protein System, indicated that a reduction in feed efficiency can be a problem during the winter in the cold region while during the summer in the warm area. We conclude that the effect of climate change by global warming varies in different areas in Korea and a region-specific management

* 본 논문은 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호 : PJ009289)의 지원에 의해 이루어졌습니다.

** Corresponding author, 충남대학교 동물바이오시스템과학과(E-mail : swseo@cnu.kr)

*** 충남대학교 동물바이오시스템과학과

**** 농촌진흥청 국립축산과학원

strategy should be developed in order to maintain productivity, health and welfare of lactating dairy cows.

Key words : *climate change, dairy cows, efficiency, simulation*

I. 서 론

지난 100년간(1906~2005) 지구 평균 지표온도는 $0.74 \pm 0.18^\circ\text{C}$ 정도 상승하였으며, 급속한 경제발전을 이룩하고 있는 동아시아지역의 경우 그 상승률이 더욱 큰 것으로 보고된다(IPCC, 2007). 지구 온난화에 따른 기후 변화에 의해 동·식물 종의 조성, 생태계의 구조와 가용한 영양소, 식생의 변화 등 많은 부분에 변화가 있을 것으로 전망되며(Bonan, 1996), 농업 전반에 있어 기후 변화에 따른 영향 평가 및 적응기술 개발의 필요성이 대두되고 있다. 특히, 낙농업은 품종개량에 오랜 시일이 걸리고, 시설 투자비용이 높은 특성으로 인해 기후 변화에 빠르게 적응하기 어려운 한계를 지니며, 이에 따라 기후변화에 따른 악영향이 매우 클 것으로 예상된다.

국내에서 젖소로 이용되는 홀스타인 품종의 적정 환경온도는 $5 \sim 25^\circ\text{C}$ 이며(McDowell, 1972), 적정 온도 범위 안에서 사육될 때 최상의 생산성을 보임과 동시에 적은 에너지를 소비하게 된다(Folk, 1974). 그러나 환경온도가 적정 온도 범위를 넘어서게 되면 환경온도에 의한 스트레스를 받게 되며 이에 따라 젖소의 건강과 생산성은 직·간접적으로 영향을 받게 된다. 또한 극심한 기온 변화를 장시간 겪게 될 때, 적절한 조치를 취하지 않는 것은 집단 폐사를 유발하기도 하는 것으로 보고된다(West, 2003; Zimbelman, 2008). 아울러 고온 스트레스 상에서는 사료섭취량이 감소하고, 호흡과 음수량이 증가하며, 호르몬의 변화로 인해 번식능력과 생산성이 저감된다(Armstrong, 1994; Kadzere et al., 2002; Collier and Zimbelman, 2007). St-Pierre 등(2003)은 기온상승으로 인한 고온 스트레스로 인해 미국 내 낙농부에서 8억9천7백만 달러의 경제적 손실이 있을 것으로 추산한 바 있다. 더욱이 젖소 생산성의 증가로 인해 대사에 따른 열발생량이 높아졌기 때문에 고온에 의한 스트레스는 가중될 수 있을 것으로 예상된다(Hansen, 2007). 겨울철의 저온 스트레스도 젖소의 생산성에 악영향을 미치는 데, 겨울철 저온 스트레스에 의해 젖소의 일당 증체량 및 증체효율이 대략 5~10% 정도 감소하는 것으로 보고된다(Hoelscher, 2001).

지구온난화 및 기후변화에 따른 겨울의 저온 스트레스, 여름의 고온 스트레스에 의한 젖소의 건강과 생산성 저하는 더욱 가속화될 전망이므로, 온도 스트레스에 의한 낙농우의 생산성 저하를 최소화하고, 동물의 복지와 건강을 증진시키기 위한 사양기술의 개발이 시급한 실정이다. 하지만 이에 대한 국내 연구는 매우 미흡한 실정이며, 환경온도 및 기후변화가 젖소의 생산성에 미치는 영향에 대한 과학적 평가도 이루어진 바 없다.

따라서 본 연구는 국내 기후변화의 양상을 조사하고, 모델 시뮬레이션 기법을 이용하여 이러한 기후변화가 젓소 착유우의 생산성에 미치는 영향을 평가하기 위하여 수행되었다. 이를 위해, 최근 개정된 한국젓소사양표준(2012)에 Cornell Net Carbohydrate and Protein System(CNCPS)의 환경에 따른 젓소의 영양소 요구량 및 공급량 변화 예측 모듈(Fox et al, 2004)을 융합한 모델을 구축하고, 기상청의 자료에 근거하여 시뮬레이션을 실시하였다.

II. 재료 및 방법

1. 국내 기후변화 조사

지구온난화에 의해 우리나라의 기후가 어떻게 변화되었는지를 조사하고, 기후변화에 따른 낙농 착유우의 생산효율 변화를 보고자 저온지역과 고온지역을 선정하여 두 지역의 과거 기후자료를 분석하고, 이를 바탕으로 모델 시뮬레이션을 실시하였다.

대표적인 저온, 고온 지역으로 각각 평균 기온이 낮은 대관령과 최고기온이 높은 대구를 선정하였고, 두 지역의 지난 25년간(1988년 1월부터 2012년 12월) 월평균 평균기온, 최저기온, 풍속, 상대습도의 관측치 자료를 기상청(<http://www.kma.go.kr>)으로부터 수집하여 변화양상을 시계성 분석(time-series analysis)을 이용하여 조사하였다.

통계분석은 SAS(SAS Institute, Inc., Carey, NC, USA)의 PROC GLM을 이용하여 실시하였고, 유의수준을 0.05%로 하여 통계적 유의성을 분석하였다.

2. 기후변화를 고려한 젓소의 영양소 요구량 및 생산성 예측 모델

한국 젓소 사양표준(2012)의 프로그램 개발에 이용된 Microsoft Excel을 기반으로 한 젓소의 영양소 요구량, 공급량 및 생산성 예측 시스템을 기본 모델로 이용하였다. 본 연구를 위해 기본 모델에 환경에 따른 영양소 요구량의 변화를 고려한 CNCPS의 환경 모듈을 융합하여 기후변화에 따른 젓소의 영양소 요구량 및 생산성을 예측할 수 있는 모델 시스템을 구축하였다. CNCPS의 환경 모듈에 포함되는 변수 및 식은 Fox 등(2004)에 의해 정리되어 있다.

간략히 정리하면, CNCPS의 환경 모듈은 온도와 함께 습도, 풍속을 고려한 유효온도지수(effective temperature index)를 설정하고, 이에 따라 젓소의 건물섭취량과 유지를 위한 정미 에너지 요구량을 보정한다. 저온 환경에서 젓소의 섭취량이 증가하는 것을 고려하여 환경 온도가 -20℃ 미만인 경우에는 섭취량이 정상 대비 16%까지 증가하고, 고온의 경우 섭취량이 감소하되, 밤에 온도가 떨어지지 않는 열대야 시, 정상치의 70% 이하까지 급격히 감소하는 것으로 예측한다. 또한 젓소의 유지에너지 요구량을 예측함에 있어서도 CNCPS의 환

경 모델은 현재뿐만 아니라 지난달의 환경온도에 따라 젖소의 기초대사량을 변화시킨다. 예를 들어 지난달의 평균온도가 -10도, 5도 및 15도인 경우 기초대사량은 각각 28%, 11% 및 3% 증가하며, 30도인 경우 기초대사량은 2~3% 감소하여 유지에너지 요구량은 11% 증가하는 것으로 예측한다.

3. 모델 시뮬레이션

1) 동물 및 사료 정보

비유 증기(90일)의 홀스타인 젖소 착유우(체중: 650kg, 증체량: 0kg, 경산우)가 1일 평균 30kg의 우유(유지방 4.1%, 유단백 3.2%)를 생산하고, 한국 젖소사양표준(2012)의 착유우 1일 영양소 요구량표를 작성하는 데 이용되었던 사료를 섭취하는 것으로 가정하여 모델 시뮬레이션을 실시하였다.

Table 1. Diet formulation and estimated chemical composition of the total mixed ration used for the model simulation (% on DM basis or as stated)

Item	%	Item	%
Diet composition		Estimated nutrient composition*	
Alfalfa hay	8.96	Dry matter, % As-fed	86.3
Kline hay	6.22	Crude protein	16.6
Timothy hay	8.29	Ether extract	4.2
Oat hay	8.09	Crude ash	5.7
Corn silage	4.57	aNDF	40.6
Beet pulp	7.93	Non-fiber carbohydrate	35.9
Cotton seed	8.36	UIP1x	31.1
Ground corn	8.00	TDN	73.0
Concentrate mix	39.59	ME1x, Mcal/kg DM	2.8
		NE1x, Mcal/kg DM	1.8

* aNDF; neutral detergent fiber analyzed with heat stable α -amylase and without sodium sulfite, UIP1x; undegradable intake protein at maintenance level intake, ME1x; metabolisable energy at maintenance level intake, NE1x; net energy for lactation at maintenance level intake

정리하면, 착유우에게 반추동물용 섬유질배합사료(total mixed ration, TMR)를 급여한다고

가정하되, TMR에 포함된 원료사료는 알팔파건초(CP: 17.0% 건물, NDF: 53.0% 건물), 클라인건초(CP: 13.1% 건물, NDF: 70.7% 건물), 티모시건초(CP: 10.8% 건물, NDF: 61.4% 건물), 연맥건초(CP: 9.5% 건물, NDF: 63.0% 건물), 옥수수사일리지(CP: 9.4% 건물, NDF: 70.4% 건물), 비트펄프(CP: 10.7% 건물, NDF: 44.6% 건물), 면실(CP: 21.7% 건물, NDF: 40.0% 건물), 옥수수(CP: 9.8% 건물, NDF: 10.0% 건물), 농축 배합사료(CP: 17.6% 건물, NDF: 28% 건물)이다. TMR의 배합비와 예측된 영양소 함량은 Table 1에 나타나 있다. 그 밖의 입력치는 기본 값을 가정하였다.

2) 기후변화에 따른 모델 시뮬레이션

모델 시뮬레이션은 선정된 두 지역(대관령과 대구)에서 기후를 제외한 모든 조건이 동일한 상태에서 동물을 사육하는 것으로 가정하고 실시하였다. 모델을 이용해 지난 25년간의 월별 온도, 상대습도 및 풍속 그리고 해당 월 전월의 온도 및 상대습도를 기준으로 동물의 영양소 요구량 및 이용효율과 이에 따른 우유 생산량을 예측하였다. 열대야를 정하는 기준으로 해당월의 평균 최저기온을 선정하였는데, 만약 해당 월의 평균 최저기온이 20°C 이상인 경우에는 열대야인 것으로 가정하였다.

건물섭취량은 예측된 건물섭취량을 그대로 사용하였으며, 우유생산량은 대사에너지가능 유량과 대사단백질 가능 유량 중 최저치로 예측하였다. 또한 예측결과를 바탕으로 지역별, 월별 사료 효율(사료 건물 1kg으로 생산할 수 있는 kg 우유)을 계산하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 우리나라 고온·저온 지역의 기후변화

평균 기온이 낮은 대관령과 최고 기온이 높은 대구의 지난 25년간(1988년 1월부터 2012년 12월) 월평균 일평균기온, 최저기온, 풍속, 상대습도의 관측치 변화 양상을 보면, 지구온난화로 인해 국내 기후가 유의적으로 변화하였으며, 그 변화 양상은 대관령과 대구에서, 즉 기온이 낮은 지역과 높은 지역에서 차이가 있음을 알 수 있다(Fig. 1). 평균기온의 경우 대구는 매년 0.023°C씩 온도가 증가하였으나 통계적으로 유의하지 않았고($P>0.05$), 대관령은 매년 0.042°C씩 유의하게($P<0.01$) 증가하였다. 연평균 최저기온의 경우 대구에서는 연 0.041°C씩 유의적으로($P<0.01$) 증가하였고, 대관령에서는 증가하지 않았다. 평균온도 수치만을 살펴보면, 대구는 1988년과 2012년에 각각 13.4°C와 14.1°C, 대관령은 같은 기간에 각각 5.8°C와 6.5°C로 나타났으며, 두 지역에서 지난 25년간 소폭 상승하였다.

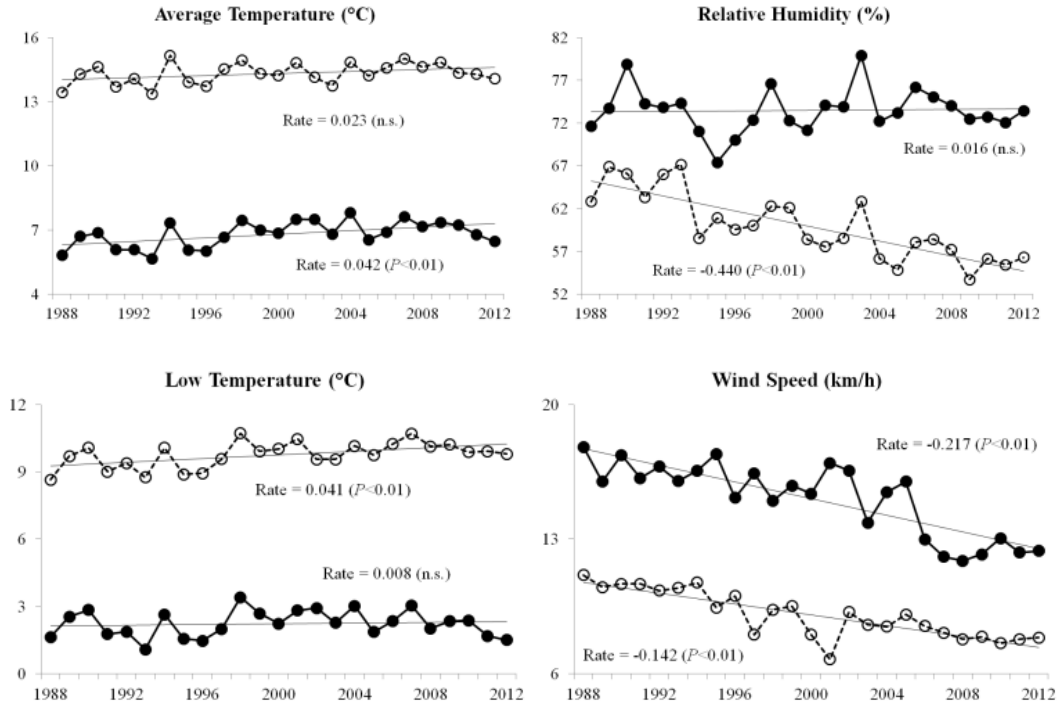


Fig. 1. Changes in yearly average temperature, low temperature, relative humidity, and wind speed over the last 25 years (from January, 1988 to December, 2012) in Daegu (open circle) and Daekwanryung (closed circle)

대관령은 상대습도에서 유의적인 변화양상이 나타나지 않은 반면, 대구에서는 지난 25년간 연평균 0.44%씩 상대습도의 유의적($P<0.01$) 감소가 있었다. 풍속의 경우에는 대구와 대관령 모두에서 유의적인($P<0.01$) 감소가 있었는데, 대관령과 대구에서 각각 연평균 시속 0.217, 0.142 km씩 감소하였다.

동물이 체감하는 온도는 상대습도와 풍속에 따라 달라질 수 있다(Furukawa et al., 1984; Baeta et al., 1987). 일반적으로 동물이 체감하는 온도에 따른 스트레스를 수치화하기 위해 가장 많이 이용되는 수치로 온도와 습도를 고려한 온습도지수(temperature-humidity index, THI)가 있다(Thom, 1959). 하지만 젖소의 온도스트레스를 수치화하기 위한 온습도지수의 적정성에 대한 계속된 논란이 있었으며, 온습도지수를 올바르게 계산하기 위해 기존의 공식과는 별도로 다양한 공식들이 개발되었다(Dikmen and Hansen, 2009). CNCPS에서는 온도와 습도만이 아니라 풍속과 일광노출시간을 같이 고려하여 유효온도지수(effective temperature index)를 개발하고 동물이 실제로 체감하는 온도를 계산하고 있다(Fox and Tylutki, 1998).

유효온도지수에 따르면, 지난 25년간 대구와 대관령 지역에서 나타난 풍속의 감소는 젖소의 온도스트레스를 가중시킬 위험이 있다. 풍속이 시속 20km에서 13.6km로 감소함에 따

라 젖소가 체감하는 온도는 환경온도가 20°C 일 때까지는 변화가 없으나, 환경온도가 25, 30, 35°C로 높을 경우에는 이러한 풍속의 감소에 따른 유효온도지수가 각각 2°C, 2.5°C, 3°C 씩 증가하게 된다. 겨울철 풍속의 감소는 오히려 체감온도를 높이는 긍정적인 영향이 있지만, 여름철 풍속의 감소는 고온스트레스를 가중시키는 악영향을 끼칠 가능성이 높다.

한편, 대구지역의 상대습도의 감소는 다행히 고온스트레스를 줄여주는 작용을 할 수 있다. Mader 등(2006)에 의하면 상대습도가 높을수록 소가 느끼는 체감온도와 고온스트레스는 가중된다.

상대습도 감소가 유효온도지수에 미치는 영향을 보면, 상대습도가 67%에서 52%로 감소됨에 따라 유효온도지수는 환경온도가 25, 30, 35°C 일 때, 각각 2°C, 3°C, 5°C 씩 감소한다. 따라서 대구지역의 상대습도 감소는 유효온도지수를 감소시켜 젖소가 받는 고온스트레스를 저감하는 효과가 있다.

온대지방의 홀스타인 품종의 적정 환경온도가 5~15°C 이고(Sirohi and Michaelowa, 2007), 젖소가 적응을 통해 온도스트레스를 받지 않고, 추가적인 생리변화 없이 생산 활동을 할 수 있는 온도가 5~25°C(McDowell, 1972)라는 점을 고려할 때, 평균기온만을 기준으로 생각한다면 문제가 없다고 생각할지 모르나 봄, 여름, 가을, 겨울의 사계절의 변화가 확실한 대한민국에서 여름의 고온과 겨울의 저온은 낙농우의 생리적 적정온도의 범위를 벗어나게 되어 생산성의 악화가 예상된다.

따라서 각 지역별로 여름(6, 7, 8월)과 겨울(12, 1, 2월)을 구분하여 지난 25년간의 기후변화 특히 평균온도와 최저온도의 변화를 분석한 결과, 특이점은 동일 지역에서도 평균기온의 변화가 여름과 겨울에 다른 양상을 보인다는 것이다. 대관령의 여름(6, 7, 8월)의 평균기온은 지난 25년간 평균 0.088°C 씩($P < 0.01$) 증가한 반면(Fig. 2), 겨울(12, 1, 2월)의 평균기온은 같은 기간에 유의적인 변화가 없었다(Fig. 3). 이는 대관령의 경우 여름의 기온 상승이 연평균 기온의 상승을 야기했음을 의미한다.

또한, 최저기온의 변화양상 또한 지역별, 계절별 차이를 보이는데, 연평균 기온에서 유의적 변화가 없었던 대구의 경우에도 여름의 평균 최저기온은 지난 25년간 연평균 0.057°C 씩($P < 0.05$) 증가하였다(Fig. 2). 특히, 2003년 여름이후, 젖소의 고온스트레스에 결정적인 영향을 미치는 열대야가 대구에서 지속적으로 관측되었다. 젖소는 생리적으로 최고 기온이 높고 낮음과는 별도로 일일 최저 기온이 20°C 미만으로 떨어지지 않는 경우 심한 고온 스트레스를 받는다(NRC, 1981). 이와는 반대로, 주간에 고온에 노출된 경우라도 야간에 3~6시간 동안 고온상태를 벗어난다면 고온스트레스를 크게 경감시킬 수 있다(Igono et al., 1992). 이러한 생리적 특성을 보정하고자 CNCPS의 환경모듈은 동일한 일평균 온도 상에서도 야간에 온도가 20°C 미만으로 떨어지지 않는 열대야가 발생하는 경우 섭취량의 감소와 유지정미에너지 요구량의 증가를 예측하고 있다(Fox et al., 2004).

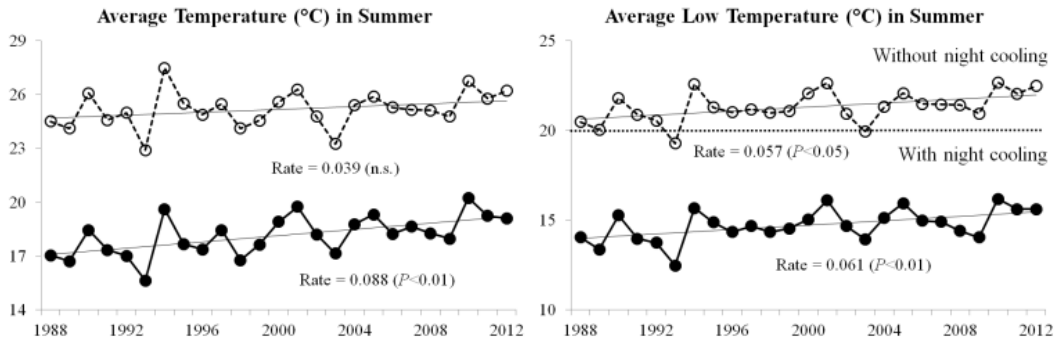


Fig. 2. Changes in average temperature and low temperature during the summer months (June, July and August) over the last 25 years (from January, 1988 to December, 2012) in Daegu (open circle) and Daekwanryung (closed circle)

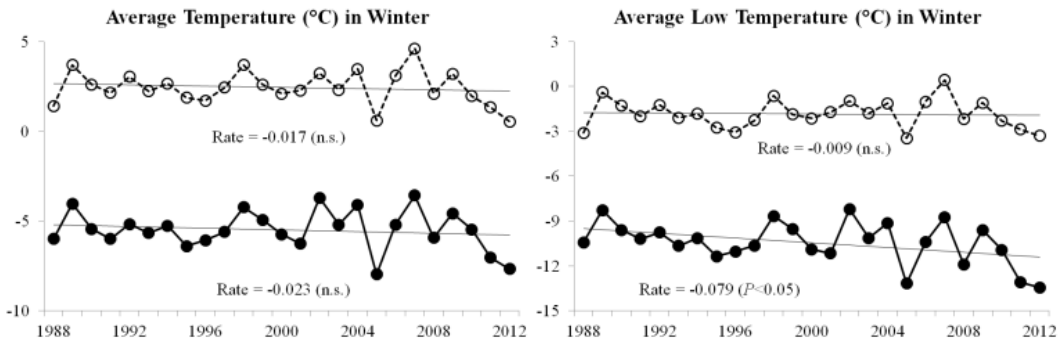


Fig. 3. Changes in average temperature and low temperature during the winter months (December, January and February) over the last 25 years (from January, 1988 to December, 2012) in Daegu (open circle) and Daekwanryung (closed circle)

대구 관측소에서 관측된 2012년 6, 7, 8월의 평균기온은 26.2°C 인데, CNCPS의 환경모듈은 고온으로 인해 건물섭취량이 예상 섭취량에 비해 1.5% 감소하고, 유지 정미에너지 요구량은 6.0% 증가할 것으로 예측한다. 에너지 요구량은 증가하는 반면, 섭취량은 감소하기 때문에 생산성은 감소하게 된다. 하지만, 그 기간 동안 평균 최저기온은 22.5°C 였기 때문에 추가적 고온스트레스로 인한 건물섭취량의 감소는 1.5%가 아니라 5.8%로 예측되며, 이에 따라 생산성의 감소는 더욱 심각한 것으로 나타났다.

대구에서는 여름철 최저기온 상승이 문제가 되는 반면, 대관령에서는 이와는 반대로 겨울철 최저기온의 하강이 문제가 되고 있다. 지난 25년간 대관령의 겨울의 평균기온은 차이가 없었으나, 최저기온은 매년 0.079°C 씩 유의적으로 감소되었다(P<0.05, Fig. 3).

겨울철 기온의 감소는 섭취량의 증가 및 유지 정미에너지 요구량의 증가를 가져오며

(Young, 1975) 이에 따라 동일한 양의 우유를 생산하기 위해 더 많은 양의 사료를 먹기 때문에 생산효율이 감소되어 경제적 손실이 야기된다. 더욱이 하부임계온도(lower critical temperature), 즉 동물의 생리적 저온스트레스가 급격히 상승하는 온도 이하로 환경온도가 내려가는 경우에는 극심한 저온스트레스로 인하여 사료섭취량과 생산량이 급감하게 된다 (Young, 1981).

2012년 12월부터 2013년 2월까지 대관령의 일평균기온, 최저기온, 상대습도, 풍속은 각각 -7.2°C , -13.3°C , 65.6%, 시속 14.4km이었다. 이러한 정보를 바탕으로 모델을 시뮬레이션한 결과, 온도에 따른 스트레스가 없을 때와 비교하여 건물섭취량과 유지 정미에너지 요구량은 각각 8.0%, 15.1% 증가한다. 같은 시기에 섭취량과 환경조건에 근거한 착유우의 하부임계온도는 12.2°C 로 예측되었는데, 만약 환경온도가 최저기온인 -13.3°C 로 내려가면, 섭취량과 유지 정미에너지 요구량은 추가적인 저온스트레스로 인해 온도스트레스가 없을 때 대비 각각 12.0%, 18.8% 증가한다.

2. 기후변화에 따른 사료효율의 변화

지난 25년간 지구 온난화에 따른 기후변화로 인한 낙농 착유우의 연 평균 사료효율(1kg의 사료 건물로 생산되는 우유의 양 kg)의 변화는 대구의 경우 약간 감소하는 수치(-0.0002)를 보였으나 유의적이지 않았으며, 대관령은 유의적($P < 0.01$)로 증가(0.0009)하는 것으로 나타났다(Fig. 4).

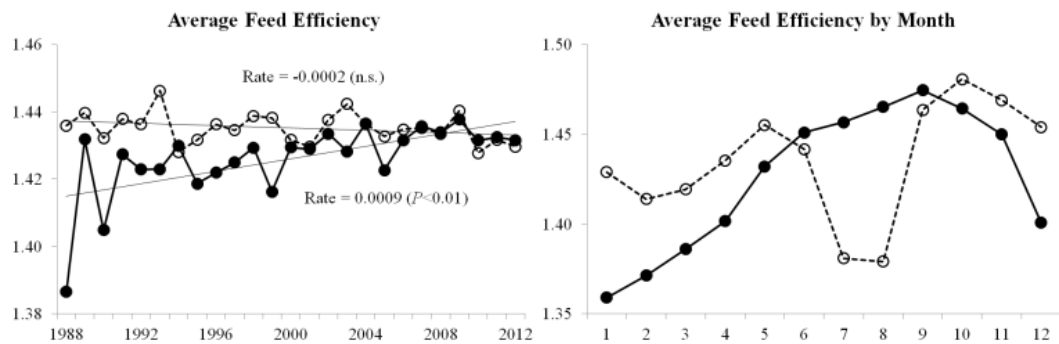


Fig. 4. Changes in average feed efficiency (kg milk production divided by kg dry matter intake) of a lactating dairy cow predicted by model simulation over the last 25 years (from January, 1988 to December, 2012) [left] and average feed efficiency in each month over the last 25 years [right] in Daegu (open circle) and Daekwan-ryung (closed circle)

이는 기후변화로 인한 영향력이 지역 간에 편차가 있음을 의미한다. 저온지역인 대관령은 극심한 추위의 겨울을 제외하고는 기온의 상승으로 인해 저온에 따른 동물의 유지에너지 요구량 증가가 발생하는 빈도가 감소하였고, 여름철의 온도는 고온스트레스를 야기할 정도는 아니기 때문에 오히려 사료효율이 증가되었다. 반면, 고온지역인 대구의 경우 봄, 여름, 가을철에는 온도스트레스에 대한 영향이 없고, 여름의 기온상승으로 인해 고온스트레스에 노출되는 정도가 높아져 사료효율이 감소하는 경향을 보이긴 하였으나 유의적이지는 않았다.

지역별 시뮬레이션을 통해 지난 25년간 각 월별 평균 사료효율을 계산한 결과를 보면 (Fig. 4), 지역에 따라 월별 사료효율의 변이와 환경온도에 따른 사양관리 전략이 달라야 함을 알 수 있다. 대관령의 경우 1월에 최저, 9월에 최고의 사료효율을 보인다. 이와는 반대로 대구의 경우 7, 8월에 최저, 10월에 최고의 사료효율을 보이며, 겨울에도 1.41 이상의 사료효율을 유지한다.

따라서 낙농가의 생산성을 유지하기 위해서 대구와 같은 고온지역에서는 여름철의 고온스트레스를 막기 위한 방안을 마련하는 것이 필요하다. 스프링클러 등의 냉각 시설과 시원한 음수의 공급은 여름철 고온스트레스 저감에 효과적인 방법이 될 것이며(Armstrong, 1994; Collier et al., 2006), 우사의 통풍이 잘 되도록 유도하는 것도 중요하다(Nienaber and Hahn, 2007). 이와는 반대로 대관령과 같은 저온지역에서는 겨울의 저온스트레스를 저감하기 위한 노력을 기울여야 한다. 사료 및 음수가 결빙되지 않도록 하여 동물이 충분히 사료를 섭취할 수 있도록 해야 하며, 특히 우사 바닥의 깔짚상태를 건조하게 유지하는 것이 중요하다(Mader, 2003). 또한 햇빛에 노출되는 시간을 늘리고(Bergen et al., 2007), 기온이 떨어지는 야간의 체온저하를 막기 위해 저녁에 사료의 섭취를 유도하는 것도 한 방법이다(Bergen et al., 2008).

IV. 요약

지난 25년간 지구온난화로 인한 국내 기후변화 양상은 지역 간에 차이가 있어, 고온지역은 평균온도의 증가를 보이지는 않았으나, 최저기온의 지속적인 상승과 그에 따른 열대야 발생을 확인할 수 있었다. 또한 그로 인한 젖소의 고온스트레스 발생, 섭취량의 감소 및 생산성 저하가 예상된다.

저온지역의 경우에는 여름철 평균온도 및 최저온도의 상승으로 인해 연평균기온이 유의적으로 상승한 반면, 겨울철에는 오히려 최저기온의 지속적인 하강이 관찰됨에 따라 동물의 저온스트레스가 가중될 것으로 예상된다. 착유우가 저온스트레스 상태에 있을 때는 에너지요구량과 건물섭취량이 증가하여 생산 효율이 떨어지며, 사료효율의 감소로 경제성은

감소되고 우유 생산비는 증가한다. 특히, 극심한 저온스트레스 또는 사료, 음수 및 우사바닥의 결빙은 섭취량 감소를 야기하며 이에 따른 생산성의 저하는 더욱 가중될 것으로 예상된다.

결론적으로 지구온난화로 인한 기후변화에 따른 지역별 영향은 다르며, 온도 스트레스에 의한 낙농우의 생산성 저하를 최소화하고, 동물의 복지와 건강을 증진시키기 위해서는 지역별 기후변화 특성에 맞춘 사양기술의 개발이 필요하다.

[논문접수일 : 2013. 10. 22. 논문수정일 : 2013. 10. 29. 최종논문접수일 : 2013. 10. 30.]

Reference

- Armstrong, D. V. 1994. Heat stress interactions with shade and cooling. *J. Dairy Sci.* 77: 2044-2050.
- Baeta, F. C., N. F. Meador, M. D. Shanklin, and H. D. Johnson. 1987. Equivalent temperature index at temperatures above the thermoneutral for lactating dairy cows. Paper 87-4015 in *Proc. Am. Society Agric. Eng. Am. Soc. Agric. Eng., St. Joseph, MI.*
- Bergen, R. D., A. D. Kennedy, K. S. Schwartzkopf-Genswein, and T. Lawson. 2007. Effects of feeding time on thermoregulation of beef heifers during the winter. *Can. J. Anim. Sci.* 87: 307-313.
- Bergen, R. D., K. S. Schwartzkopf-Genswein, T. A. McAllister, and A. D. Kennedy. 2008. Effects of feeding time on behaviour, thermoregulation and growth of steers in winter. *Can. J. Anim. Sci.* 88: 369-379.
- Bonan, G. 1996. The NCAR land surface model (LSM version 1.0) coupled to the NCAR community climate model. Technical report NCAR/TN-429 + STR, NCAR Boulder, Colorado.
- Collier, R. J., G. E. Dahl, and M. J. VanBaale. 2006. Major advances associated with environmental effects on dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 89: 1244-1253.
- Collier, R. J. and R. B. Zimelman. 2007. Heat stress effects on cattle: what we know and what we don't know. *Proc. of the Southwest Nutrition and Management Conference, The University of Arizona, Tucson, February 23rd.*
- Dikmen, S. and P. J. Hansen. 2009. Is the temperature-humidity index the best indicator of heat stress in lactating dairy cows in a subtropical environment? *J. Dairy Sci.* 92: 109-116.
- Folk, G. E. 1974. *Textbook of environmental physiology.* Lea and Febiger, Philadelphia, PA, pp.

97-118.

- Fox, D. G., L. O. Tedeschi, T. P. Tylutki, J. B. Russell, M. E. Van Amburgh, L. E. Chase, A. N. Pell, and T. R. Overton. 2004. The Cornell Net Carbohydrate and Protein System Model for evaluating herd nutrition and nutrient excretion. *Anim. Feed Sci. & Technol.* 112: 29-78.
- Fox, D. G. and T. P. Tylutki. 1998. Accounting for the effects of environment on the nutrient requirements of dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 81: 3085-3095.
- Furukawa, R., Y. Kariya, H. Matsumoto, and S. Terui. 1984. Studies on meteorological factors on physiological functions in cattle. *Bull. Natl. Grassl. Res. Inst.* 27: 70-77.
- Hansen, P. J. 2007. Exploitation of genetic and physiological determinants of embryonic resistance to elevated temperature to improve embryonic survival in dairy cattle during heat stress. *Theriogenology* 68S: S242-S249.
- Hoelscher, M. A. 2001. Adverse winter conditions increase cost of production. *Feedstuffs.* 73:5.
- Igono, M. O., G. Bjotvedt, and H. T. Sanford-Crane. 1992. Environmental profile and critical temperature effects on milk production of Holstein cows in desert climate. *Int. J. Biometeorol.* 36: 77-87.
- Kadzere, C. T., M. R. Murphy, N. Silanikove, and E. Maltz. 2002. Heat stress in lactating dairy cows: a review. *Livest. Prod. Sci.* 77: 59-91.
- Mader, T. L. 2003. Environmental stress in confined beef cattle. *J. Anim. Sci.* 81(E. Suppl. 2): E110-E119.
- Mader, T. L., M. S. Davis, and T. Brown-Bradl. 2006. Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 84: 712-719.
- McDowell, R. E. 1972. Improvement of livestock production in warm climates. W. H. Freeman and Co., San Francisco, CA, pp. 66-110.
- National Institute of Animal Science. 2012. Korean feeding standard for dairy cattle. Rural Development Administration, Korea.
- National Research Council. 1981. Effect of environment on nutrient requirements of domestic animals. Natl. Acad. Press, Washington, DC.
- Nienaber, J. A. and G. L. Hahn. 2007. Livestock production system management responses to thermal challenges. *Int. J. Biometeorol.* 52: 149-157.
- Sirohi, S. and A. Michaelowa. 2007. Sufferer and cause: Indian livestock and climate change. *Climatic Change* 85: 285-298.
- St-Pierre, N. R., B. Cobanov, G. Schnitkey. 2003. Economic losses from heat stress by US livestock industries. *J. Dairy Sci.* 86: E52-E77.

- Thom, E. C. 1959. The discomfort index. *Weatherwise*. 12: 57-59.
- West, J. W. 2003. Effects of heat stress on production in Dairy Cattle. *J. Dairy Sci.* 86: 2131-2144.
- Young, B. A. 1975. Effects of winter acclimatization on resting metabolism of beef cows. *Can. J. Anim. Sci.* 55: 619-625.
- Young, B. A. 1981. Cold stress as it affects animal production. *J. Dairy Sci.* 52: 154-163.
- Zimbelman, R. B. 2008. Management strategies to reduce effects of thermal stress on lactating dairy cattle. Ph. D. Dissertation. The university of Arizona.