

온습도지수를 활용한 젖소의 기후변화 영향변동 예측

김 별¹ · 임정수² · 조성백² · 황옥화² · 양승학^{2*}

¹전북대학교 축산학과, ²농촌진흥청 국립축산과학원 축산환경과

Predicted Impacts of Climate Change on Dairy Cattle using Temperature Humidity Index (THI)

Byul Kim¹, Joung-Soo Lim², Sung-Back Cho², Ok-Hwa Hwang², Seung-Hak Yang^{2*}

¹Department of Animal Science, Chonbuk National University, Jeonju, 561-756, Korea,

²National Institute of Animal Science, R.D.A., Suwon 441-706, Korea

ABSTRACT

The climate of the earth is expected to change rapidly and continuously. Despite climate change is expected to impact on productivity of crop and livestock, a study for adaptation and impact of livestock to global warming is not enough. This study was performed to develop a method to evaluate the effects of heat stress on dairy cattle. Feedlot environment and health status of livestock were measured through an infrared thermography camera and a temperature-humidity sensor. Environmental factors such as temperature and humidity were measured to calculate the Temperature humidity index (THI). The change of the milk yield was similar to THI data pattern, suggesting that THI might play an important role to predict the effect of climate change on dairy cattle. THI data would be useful to predict long-term climate change effects on dairy cattle with RCP8.5 scenario.

(Key words : Climate change, Dairy cattle, Infrared thermography camera, RCP8.5, THI)

서 론

IPCC 제5차 평가보고서(IPCC, 2013)에서 2100년까지 온실가스 농도 기준으로 4개의 대표시나리오(대표농도경로(RCP: Representative Concentration Pathway))를 제시하였는데, 지구의 기후는 최근 인류의 역사에서 지속적이고 빠른 속도로 변화할 것으로 예측하였고, RCP8.5 시나리오에 따르면 2050년 기준 우

리나라 기온은 3.2℃ 상승하고 연강수량은 15.6%, 해수면은 27 cm 증가할 것이라고 보고하였다.

이러한 기후변화가 축산업에 미치는 영향에 대한 연구는 고온 환경에서 가축이 받는 열 스트레스의 영향이 주를 이루었다(Gu, 2009). 가축의 열 스트레스는 환경적인 요인에 의해 발생되며, 환경적인 요인은 온도뿐만 아니라 상대습도, 복사열, 풍속, 강우량

*Corresponding author : Seung-Hak Yang, National Institute of Animal Science, R.D.A., Suwon 441-706, Korea. Tel: +82-31-290-1714, E-mail: y64h@korea.kr

2014년 5월 16일 투고, 2014년 5월 30일 심사완료, 2014년 6월 8일 게재확정

등이 해당한다고 보고하였다(Bohmanova et al., 2007; Bouraoui et al., 2002; Chase, 2006; Igono and Johnson, 1990; Ravagnolo and Misztal, 2000). 그러나, 이용할 수 있는 데이터가 제한적이기 때문에 가축의 열 스트레스에 대한 대부분의 연구는 온도 그리고 상대 습도에 주로 집중되었다(Bohmanova et al., 2007; Bouraoui et al., 2002; Correa-Calderon et al., 2004; Igono et al., 1985; Igono and Johnson, 1990; Ravagnolo and Misztal, 2000; St-Pierre et al., 2003; West, 2003).

Mc Dowell 등(1976)은 온습도지수(Temperature Humidity Index, THI)가 열 기후 조건의 지표(indicator)로서 사용될 수 있다고 제안하였다. 젖소에 대한 열 스트레스 영향 평가를 위해 열대지역 연구에서 THI가 활용되었다(Bouraoui et al., 2002).

열 스트레스를 유도하는 환경조건은 THI 방정식을 이용하여 계산할 수 있으며 가축의 종류에 따라 계산식이 상이하다(Chase, 2006). THI 값의 변화에 따라 생물학적인 반응을 평가하고 젖소의 스트레스 수준을 mild, moderate, severe stress로 범주화하는 연구가 진행되었다(Armstrong, 1994; Whitter, 1993). Akyuz 등(2010)은 THI 값에 따라 열 스트레스를 세 가지 수준(mild stress 72~79, moderate stress 79~89, heavy stress >89)으로 구별하였다. Armstrong(1994)의 연구에서도 마찬가지로 유사한 범위로 나타냈으며, THI 값이 98을 초과하면 가축이 폐사한다고 보고하였다. THI는 열 스트레스를 평가할 수 있는 가장 일반적이고 정확한 평균값이며(Akyuz et al., 2010), 젖소의 생산성에 대한 열 스트레스의 영향을 결정하기 위해 효과적으로 이용될 것이라고 보고하였다(Kučević et al., 2013). Johnson (1985)과 Du Preez 등(1990)은 THI 값이 35~72 일 때는 열 스트레스가 유량에 영향을 끼치지 않았고, THI 값이 72에 이르고 76 이상일 때 유량과 사료 섭취량이 감소

하기 시작했다고 보고하였다(Johnson, 1980). 또한 THI 값이 75 이상으로 증가했을 때 젖소의 체온이 상승하고 심장박동수가 빨라지며 호흡수가 증가하였다고 보고하였다(Abeni et al., 1993). 이와 같이 기후변화영향평가 연구흐름은 주로 THI가 중심이 되어 진행되고 있으며 측정을 위한 방법론에 대한 연구도 병행되고 있다.

한편, 가축이 스트레스를 받게 되면 생리학적인 과정에 의해 가축의 열 생산과 열 손실이 발생되는데(poikalainen et al., 2012), 이것은 적외선 열화상을 이용하여 확인가능하다고 보고하였다(Stewart et al., 2005). 적외선 열화상은 가축의 스트레스 및 복지수준을 분석하기 위한 유용한 도구로서 이용되고 기상 조건, circadian & ultradian rhythm, 사료 섭취 시간, 착유, 행동분석에 활용가능하다고 보고하였다(Stewart et al., 2005; Johnson et al., 2011; Kastberger and Stachl, 2003; Knížzková et al., 2007). 이전의 연구에서 적외선 열화상은 젖소의 감염 초기 진단 시스템에 이용되었으며(Rainwater-Lovett et al., 2009; Schaefer et al., 2004, 2012), 환경적인 온도 모니터링과 결부되어 유방염을 조기에 발견하기 위한 방법으로 시도되었다(Berry et al., 2003).

본 연구에서는 가축의 기후변화 영향 및 취약성 평가를 통해 고온 장기화에 대한 대응기술 개발 마련을 위하여 열화상카메라를 이용한 축사환경 및 체표온도를 원격측정하고 THI를 활용한 가축영향평가 실시 및 젖소의 기후변화 영향예측모델을 제시하였다.

재료 및 방법

1. 시험장소 및 시험기간

무선 열화상감시카메라를 이용한 축사환경 원격측정 및 THI를 활용한 가축영향평가를 위하여 국립축산과학원 착유우사를 시험우사

로 이용하였으며, 시험우사에서 착유우 10두를 공시하여 2013년 6~10월에 본 시험을 수행하였다.

2. 열화상카메라를 이용한 축사환경 원격 측정 및 가축의 체표온도 측정방법

축사내부의 실제 열환경 및 행동을 관측하기 위해서 기존의 축사환경 무선화상전송시스템을 보완하여 축사내부에 무선 열화상감시카메라(THERMALIS[®], LSL Systems, Korea)를 설치하였다. 무선 열화상장치를 설치한 후 5.8 Ghz 주파수대역을 사용하는 고속 데이터전송시스템을 활용하여 실시간으로 축사내부를 관찰하였다. 시스템 설치 모식도는 Fig. 1과 같다. 온습도를 측정하기 위해 5개의 온습도센서를 축사 내부에 공간적으로 배치시킨 후 데이터를 수집하였다. 실시간 모니터링을 실시하기 위해 축사와 연구소와의 화상무선전송시스템을 이용하였다.

가축의 체표온도 및 축사 내부온도는 적외선열화상 카메라를 이용하여 매일 오전, 오후에 측정하였으며 온습도센서를 이용하여 축사내부 THI를 측정하였다. 유량의 변동을

조사하기 위해 오전, 오후 유량을 각각 측정하여 기록하였다.

3. 온습도지수와 기후변화 영향에 측모델을 활용한 전자기후도 제작

전자기후도 작성에 필요한 데이터를 수집하기 위해서 2013~2100년 평균온도, 상대습도는 230개 지자체, 온도, 습도부분에 대해서만 추출하여 지역 포인트별 데이터를 편집하였다. 지역별로 추출하여 편집한 데이터를 바탕으로 지역별 THI 값을 생성하였다. THI 값은 다양한 THI 방정식 중 젖소의 열 스트레스 수준을 나타내기 위해 만들어진 THI 방정식 $[(1.8 \times \text{온도} + 32) - 0.55(1 - \text{상대습도}/100) \times (1.8 \times \text{온도} - 26)]$ 을 이용하여 계산하였다(Bohmanova et al., 2007; NRC, 1971). 도출된 THI 값은 230개 시군구 속성데이터와 결합(결합시 공통필드는 시군구명)하였다. 속성 결합된 테이블을 바탕으로 지도에 반영하여 전자기후도를 표출하였다. THI 값에 따라 스트레스 수준을 No stress (~72), Mild stress (72~78), Moderate stress(78~89), Severe stress(89~)로 구분해 표현하였고 폐사 결과가 없으므로, 98 이상의

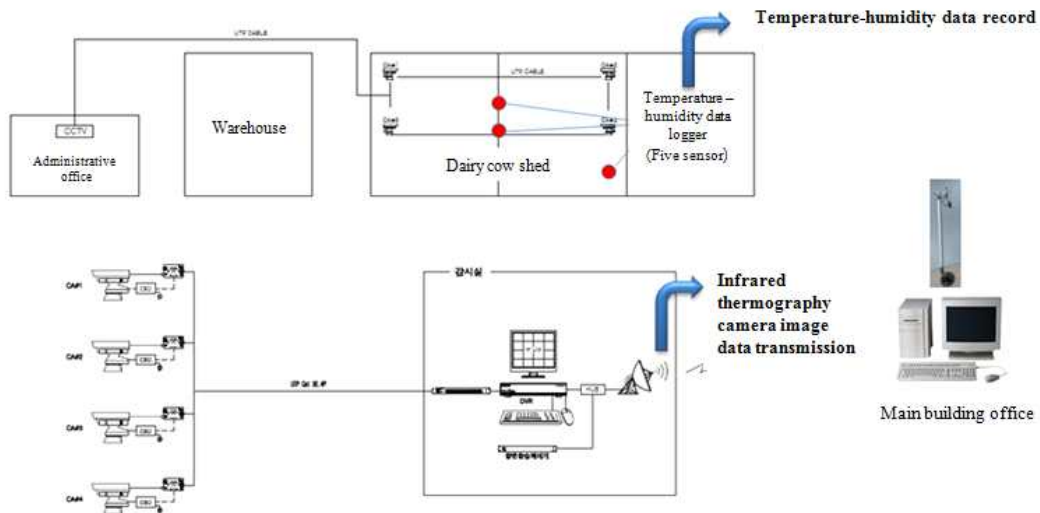


Fig. 1. Infrared thermography camera image data transmission mimetic diagram.

구간은 “Severe stress”에 포함시켰다(Armstrong, 1994; Whitter, 1993). 전자기후도 검수 및 추출은 최종적으로 THI가 적용된 Map에 빠진 Data 값이나 잘못 적용된 부분 상호 검수 (null 값 감수)를 하였다. 위의 방식으로 2013, 2050, 2100년도 7, 8월 데이터를 나누어 추출하였다.

4. 통계 분석

오전·오후 착유량 결과에 대한 통계 분석은 SAS 9.2 package (2009)의 Student t-test를 이용하여 비교하였다.

결과 및 고찰

1. 축사환경 및 가축의 체표온도 분석

적외선 측정장치를 이용하여 사료섭취 및 음수행동을 관찰하였다. 열화상 측정장치를 통해 인간의 접근없이 가축의 자연스러운 행동을 관찰할 수 있었고 열성과호흡 및 반추회수 등을 측정하는 것이 가능했다(Fig. 2). 축사내온도 및 가축의 부위별 온도 분포가 서로 다른 색깔로 표시되어 있어 가축의 생체변화 모니터링 시스템이 가능했으며 축사환경 및 가축의 체표온도를 측정할 수 있었

다. 뿐만 아니라 단 시간 내에 동물당 많은 수의 사진을 제공할 수 있었다(Poikalainen et al., 2012). 이를 통해 가축은 주변환경에 예민하므로 무인 원격 열화상 측정장치를 활용하여 자가 가축의 상태 측정 및 예측에 이용하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

2. THI와 우유생산량과의 관련성

오전, 오후 우유생산량, 총 우유 생산량, 오전-오후 우유생산량(오전 우유생산량에서 오후 우유생산량을 뺀 값), THI 및 최저온도의 관계는 Fig. 3을 통해 나타내었다.

THI와 총 우유생산량의 관계를 조사한 결과, 7월 중순에 THI 값은 80을 넘었으며 THI 값이 80을 넘은 시점에서 총 우유생산량이 감소하기 시작했다. THI 값이 가장 높았을 때는 8월 초이며 이 때 THI 값은 90을 나타내었고 이 때 총 우유생산량은 약 26 kg을 기록했으며 7월 중순에 비해 약 6 kg 감소한 것으로 나타났다. 이를 통해 THI 값이 일정한 수준을 넘었을 때 THI 값의 상승에 따라 총 우유생산량이 감소한다고 사료된다. 또한 밤 최저온도가 25℃ 이상인 열대야기간 중 총 우유생산량은 최저 우유생산량을 나타내었고, 오전 착유량과 오후 착유량이 역전되는 경향을 보였으나 유의적으로 차이가 없었

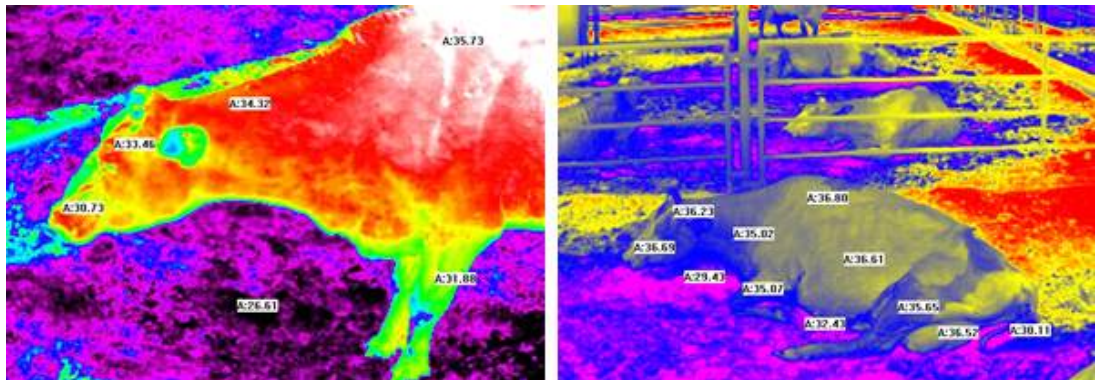


Fig. 2. Feedlot environment and dairy cows skin temperature measurement using infrared thermography camera. 2.

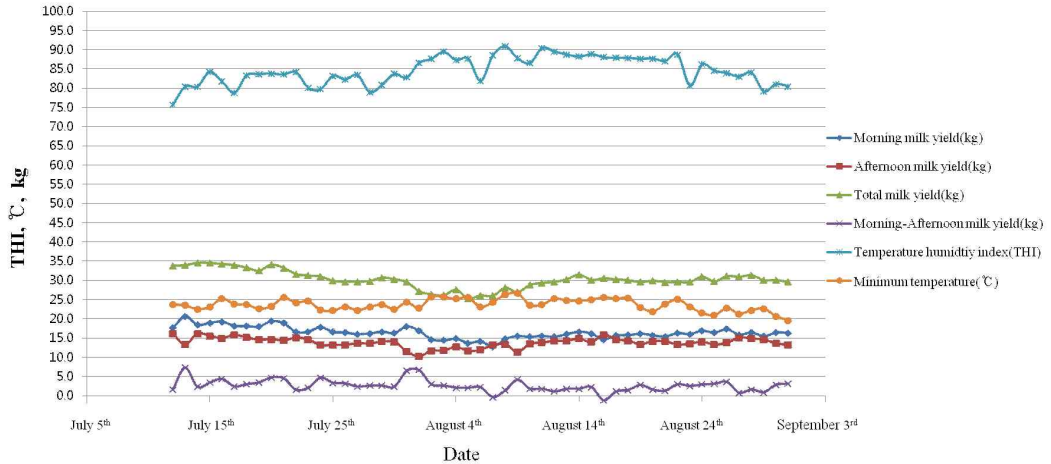


Fig. 3. The relationship between milk yield and THI.

다($P>0.05$). 그림에도 불구하고 연구결과로부터 유량은 온도의 영향을 받을 수 있으며, 오전 착유량에 의해 총 우유생산량이 결정될 수 있음을 시사하였다.

3. THI를 이용한 젖소의 전자기후도

RCP8.5 사용에 있어서 최근까지 포스트 코토체제의 확립이 지연되고 나라별 이해관계에 따라 국제적인 온실기체 감축계획 이행이 현실적으로 불가능한 것으로 드러나자 우리 정부에서는 5차 보고서 작성에 사용된 RCP8.5를 표준시나리오로 채택하였고(Kim et al., 2012), 본 연구에서도 동일한 시나리오를 활용하였다.

중장기 기후변화 영향예측모델을 제시하기 위해 2013, 2050, 2100년의 7, 8월의 전자기후도를 제작한 결과, 2013년도 전자기후도에서 7월 강원도에는 열 스트레스 영향이 없다가 8월에는 경미한 것으로 나타났고 7월 강원도를 제외한 지역은 경미한 영향을 받은 것으로 나타났다가 8월에는 심한 영향을 받은 것으로 나타났다. 이를 통해 8월에는 7월에 비해 열 스트레스 영향이 진행된 것을 알 수 있었다. 현재는 7월에 비해 8월에 열 스트레스 영향이 높지만 2050년을 기점으로 7

월에 열 스트레스 영향이 높아짐을 알 수 있었다(Fig. 4). 이것은 2013년에 비해 열 스트레스의 진행이 빨라짐을 알 수 있다. 또한 열 스트레스의 심각단계가 전국에 확대될 것으로 예측되었다. 이 결과로부터 고온기에는 한반도의 동쪽도 기후변화 영향의 심각단계가 포함되어 적극적인 적응대책이 시급한 것으로 사료된다.

결론

본 연구는 국립축산과학원 시험우사에서 착유우 10두를 이용하여 6~10월동안 시험을 수행하였는데, 무선 열화상 감시카메라 및 THI를 활용하여 축사환경 및 가축의 영향평가를 실시하였다. 무선 열화상장치를 설치한 후 5.8 Ghz 주파수 대역을 사용하는 고속 데이터전송 시스템을 활용하여 실시간으로 축사내부 및 가축의 상태를 관찰하였다. 열화상 카메라를 통해 관찰한 결과 가축의 체표 온도는 전반적으로 등부위가 상대적으로 높았으며 다리쪽은 낮게 나타났다. 또한 축사내부를 관찰한 결과 위치에 따른 축사바닥의 온도차가 매우 컸는데 가축분뇨로부터 유래된 열 발생에 의한 것으로 판단된다. THI와 총 우유생산량의 관계를 조사한 결과, 7월

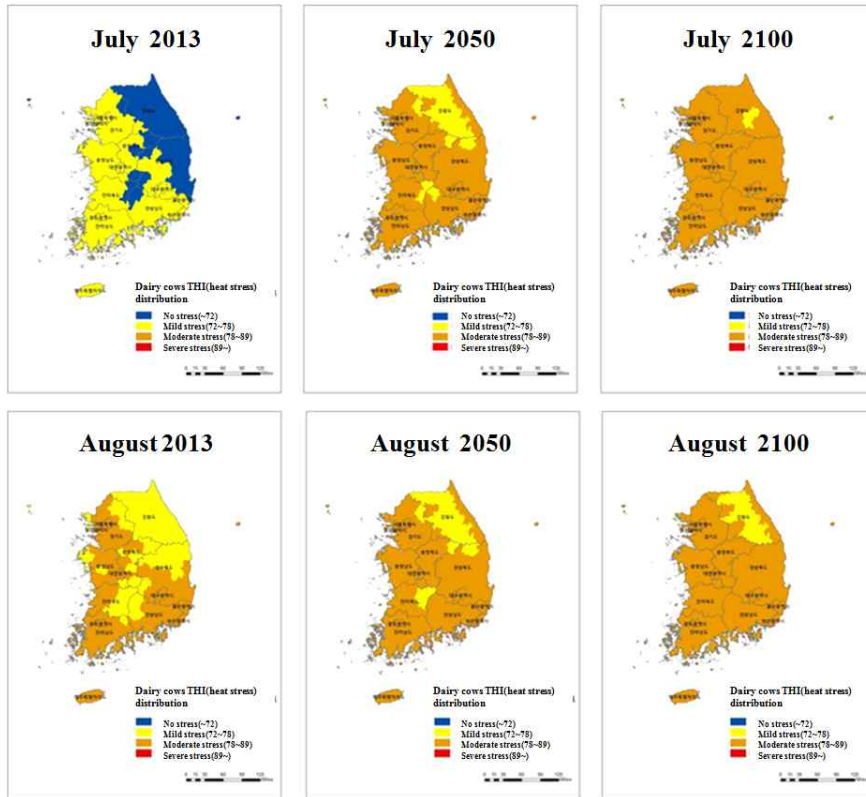


Fig. 4. Climatic change prediction model (RCP8.5).

중순에 THI 값은 80를 넘었으며 THI 값이 80를 넘은 시점에서 총 우유생산량이 감소하기 시작했다. THI 값이 가장 높았을 때는 8월 초이며 이 때 THI 값은 90을 나타내었고 이 때 총 우유생산량은 7월 중순에 비해 약 6 kg 감소한 것으로 나타났다. 이를 통해 THI 값이 일정한 수준을 넘었을 때 THI 값의 상승에 따라 총 우유생산량이 감소한다고 사료된다. 또한 밤 최저온도가 25℃ 이상인 열대야기간 중 총 우유생산량은 최저 우유생산량을 나타내었고, 오전 착유량과 오후 착유량이 역전되는 경향을 보였으나 유의적으로 차이가 없었다($P>0.05$). 그럼에도 불구하고 연구결과로 부터 유량은 온도의 영향을 받을 수 있으며, 오전 착유량에 의해 총 우유생산량이 결정될 수 있음을 시사하였다. 중장기 기후변화 영향 예측모델을 제시하기 위

해 최초로 젖소용 THI를 기후변화 신시나리오 RCP8.5에 적용하여 2013, 2050, 2100년의 7, 8월의 전자기후도를 제작한 결과, 현재는 8월에 열 스트레스 영향이 높지만 2050년을 기점으로 7월에 열 스트레스 영향이 높아짐을 알 수 있었다. 전자기후도의 결과로 부터 열 스트레스의 심각단계가 전국에 확대될 것으로 예측되었다. 고온기에는 한반도의 동쪽도 기후변화 영향의 심각단계에 포함되어 적극적인 적응대책이 시급함을 나타냈다.

사 사

본 논문은 농촌진흥청 공동연구사업(과제 번호: PJ00852701)의 지원에 의해 이루어진 것임

인 용 문 헌

1. Abeni, F., Maianti, M.G., Calamari, L., Cappa, V., Stefanini, L., 1993. Effects of heat stress on lactating dairy cows and feeding strategy to reduce its impact on milk yield and quality. *Annali della Facoltà di Agraria*. 33, 151-170.
2. Akyuz, A., Boyaci, S., Cayli, A., 2010. Determination of critical period for dairy cows using temperature humidity index. *J. Anim. Vet. Adv.* 9(13), 1824-1827.
3. Armstrong, D.V., 1994. Heat stress interactions with shade and cooling. *J. Dairy Sci.* 77, 2044-2050.
4. Berry, R.J., Kennedy, A.D., Scott, S.L., Kyle, B.L., Schaefer, A.L., 2003. Daily variation in the udder surface temperature of dairy cows measured by infrared thermography: potential for mastitis detection. *Can. J. Anim. Sci.* 83, 687-693.
5. Bohmanova, J., Misztal, I., Cole, J.B., 2007. Temperature-Humidity Indices as Indicators of Milk Production Losses due to Heat Stress. *J. Dairy Sci.* 90, 1947-1956.
6. Bouraoui, R., Lahmar, M., Majdoub, A., Djemali, Mand., Belyea, R., 2002. The relationship of temperature-humidity index with milk production of dairy cows in a Mediterranean climate. *Anim. Res.* 51, 479-491.
7. Chase, L.E., 2006. Climate Change Impacts on Dairy Cattle. *Climate Change and Agriculture: Promoting Practical and Profitable Responses*. Cornell University, Ithaca, NY. Online: <http://climateandfarming.org/pdfs/FactSheets/III.3Cattle.pdf>
8. Correa-Calderon, A., Armstrong, D., Ray, D., DeNise, S., Enns, M., Howison, C., 2004. Thermoregulatory responses of Holstein and Brown Swiss heat-stressed dairy cows to two different cooling systems. *Int. J. Biometeorol.* 48, 142-148.
9. Du Preez, J.H., Giesecke, W.H., Hattingh, P.J., 1990. Heat stress in dairy cattle and other livestock under Southern African conditions. Temperature-humidity index mean values during the four main seasons, Onderstepoort *J. Vet. Res.* 57, 77-86.
10. Gu, H.S., 2009. The impact of climate change on livestock: Research trends in foreign countries livestock. *J. Climate.* 4(2), 110-117.
11. Igono, M.O., Steevens, B.J., Shanklin, M.D., Johnson, H.D., 1985. Spray cooling effects on milk production, milk, and rectal temperatures of cows during a moderate temperate summer season. *J. Dairy Sci.* 68, 979-985.
12. Igono, M.O., Johnson, H.D., 1990. Physiological stress index of lactating dairy cows based on diurnal pattern of rectal temperature. *J. Interdiscip. Cycle Res.* 21, 303-320.
13. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC: AR5), 2013. WGII The Intergovernmental Panel on Climate Change 5th Assessment Report.
14. Johnson, H.D., 1980. Environmental management of cattle to minimize the stress of climate changes, *Int. J. Biometeor.* 24 (Suppl. 7, Part 2), 65-78.
15. Johnson, H.D., 1985. Physiological responses and productivity of cattle, in: Yousef M.K. (Ed.), *Stress physiology in livestock*. Basic principles, CRC Press, Boca Raton, Florida. 1, 4-19.

16. Johnson, S.R., Rao, S., Hussey, S.B., Morley, P.S., Traub-Dargatz, J.L., 2011. Thermographic eye temperature as an index to body temperature in ponies. *J. Equine Vet. Sci.* 31, 63-66.
17. Kastberger, G., Stachl, R., 2003. Infrared imaging technology and biological applications. *Behav. Res. Meth. Instrum. Comput.* 35, 429-439.
18. Kim, D.J., Kim, J.H., Roh, J.H., Yun, J.I., 2012. Geographical migration of winter barley in the Korean peninsula under the RCP8.5 projected climate condition. *KJAFM.* 14(4), 161-169.
19. Knížková, I., Kunc, P., Gürdil, G.A.K., Pinar, Y., Selvi, K.C., 2007. Applications of infrared thermography in animal production. *J. Fac. Agric. OMU.* 22, 329-336.
20. Kučević, D., Plavšić, M., Trivunović, S., Radinović, M., Bogdanović, V., 2013. Influence of microclimatic conditions on the daily production of dairy cows. *Biotechnol. Anim. Husb.* 29(1), 45-51.
21. Mc Dowell, R.E., Hooven, N.W., Camoens, J.K., 1976. Effects of climate on performance of Holsteins in first lactation. *J. Dairy Sci.* 59, 965-973.
22. National Research Council. 1971. A guide to environmental research on animals. *Natl. Acad. Sci., Washington, DC.*
23. Poikalainen, V., Praks, J., Veermae, I., Kokin, E., 2012. Infrared temperature patterns of cow's body as an indicator for health control at precision cattle farming. *Agronomy Research: Biosystem Engineering Special Issue 1*, 187-194.
24. Rainwater-Lovett, K., Pacheco, J.M., Packer, C., Rodriguez, L.L., 2009. Detection of foot-and-mouth disease virus infected cattle using infrared thermography. *Vet. J.* 180, 317-324.
25. Ravagnolo, O., Misztal, I., 2000. Genetic component of heat stress in dairy cattle, parameter estimation. *J. Dairy Sci.* 83, 2126-2130.
26. Schaefer, A.L., Cook, N.J., Tessaro, S.V., Dereg, D., Desroches, G., Dubeski, P.L., Tong, A.K.W., Godson, D.L., 2004. Early detection and prediction of infection using infrared thermography. *Can. J. Anim. Sci.* 84, 73-80.
27. Schaefer, A.L., Cook, N.J., Bench, C., Chabot, J.B., Colyn, J., Liu, T., Okine, E.K., Stewart, M., Webster, J.R., 2012. The non-invasive and automated detection of bovine respiratory disease onset in receiver calves using infrared thermography. *Res. Vet. Sci.* 93, 928-935.
28. Stewart, M., Webster, J.R., Schaefer, A.L., Cook, N.J., Scott, S.L., 2005. Infrared thermography as a non-invasive tool to study animal welfare. *Anim. Welf.* 14:319-325.
31. St-Pierre, N.R., Cobanov, B., Schmitkey, G., 2003. Economic losses from heat stress by US livestock industries. *J. Dairy Sci.* 86(E Suppl.), 52-77.
33. West, J.W., 2003. Effects of heat-stress on production in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 86, 2131-2144.
34. Whittier, J.C., 1993. Hot weather livestock stress. *Univ. Missouri. Ext. Bull. Mt. Vernon.* G2099.