KJOAS

ISSN (Print) : 2466-2402
ISSN (Online) : 2466-2410

ANIMAL

Nutrient requirement for maintenance and nutritional changes of the Hanwoo steers in early-fattening stage under heat stress

Chang Weon Choi*

Department of Animal Resources, Daegu University, Gyeongsan 38453, Korea

*Corresponding author: changchoi@daegu.ac.kr

Abstract

Four early-fattening Hanwoo steers weighing 247 ± 13.5 kg were used within a 4 × 4 Latin square design to establish a nutrient requirement for maintenance and to investigate nutritional changes in the steers under heat stress condition. The steers were fed four different energy level diets: 100% (control) and 100%, 115% and 130% of total digestible nutrients (TDN) requirement of the early-fattening Hanwoo steers for maintenance based on the Korean Feeding Standard for Hanwoo. The steers in the control were housed with no stress (temperature 24℃ and humidity 60%), whereas the steers in the other groups were under heat stress (temperature 30℃ and humidity 70%). True digestibilities of dry matter (DM) and other nutrients were not significantly ($p > 0.05$) affected by heat stress (i.e., control vs T100). This may be the result of a lower DM intake than that of the Korean feeding standard due to the establishment of the nutrients requirement under heat stress. Heat stress and different energy intake levels did not affect the blood metabolite concentrations. Average daily gain (ADG) for T100 (-69.6 g) was lower than that of the control (-44.6 g, numerically), T115 (44.6 g, $p < 0.05$) and T130 (83.3 g, $p < 0.05$), respectively. Based on the ADG and TDN intake, the equation ($Y = 0.1814X + 111.5$) for the TDN requirement of the early fattening Hanwoo steers for maintenance was calculated, indicating that 11.5% of TDN requirement for maintenance under heat stress may be additionally supplied.

Keywords: heat stress, early-fattening stage, hanwoo steers, requirement, digestibility

CrossMark
click for updates

OPEN ACCESS

Citation: Choi CW. 2018. Nutrient requirement for maintenance and nutritional changes of the Hanwoo steers in early-fattening stage under heat stress. Korean Journal of Agricultural Science 45:74-83.

DOI: https://doi.org/10.7744/kjoas.20180005

Editor: Heekwon Ahn, Chungnam National University, Korea

Received: October 10, 2017

Revised: January 26, 2018

Accepted: February 3, 2018

Copyright: © 2018 Korean Journal of Agricultural Science.

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Introduction

이상기후로 인해 폭염이 발생한 2016년 한해 동안 국내 농축산업의 피해는 농작물 약 16,600 ha, 가축 폐사 4,444,876 두로 보고될 정도로 심각한 상황이다(KMA, 2017). 세계적으로 기후변화에 의한 지구온난화의 문제가 심각해지면서 관련 연구가 매우 다양하게 이루어지는데(IPCC, 2007; Park et al., 2015), 국외의 경우 열스트레스에 장기간 노출될 경우 소는 체온상승, 에너지 요구량 증가, 유량 감소 등이 보고된 바 있다(Colditz and Kellaway, 1972; West et al., 1999; Tapki and Şahin, 2006), 국내의 경우 대동물 시험 특성 상 장기간 온도 및 습도를 조절할 수 있는 환경시설 확보가 어려워 관련 연구가 거의 전무한 실정이다(Cho et al., 2016). 다만, 대동물을

대상으로 하절기에 개방형 우사에서 실시된 연구가 일부 있으나(Ahn et al., 2003; Kim et al., 2006; Oh et al., 2008), 가장 중요한 조건인 열 스트레스(온도 및 습도)의 지속적인 제어가 불가능하고 오히려 실험기간 중 온도의 증감이나 강우여부 등 날씨 변화에 따라 실험 결과 및 해석에 영향을 미칠 수 있어 정확한 실험 수행이 어렵다(Oh et al., 2008; Cho et al., 2016).

일반적으로 가축의 능력은 유전적 특징, 온도 및 습도 등 다양한 환경 조건, 생산가치 등 여러 요인에 따라 달라질 수 있다(RDA, 2012). 따라서, 열 스트레스 등 환경요인을 고려한 연구결과의 도출은 가축의 능력을 정확히 측정하는 데 절대적으로 필요한 요소이나, 현재는 국내 연구 결과 부족으로 해외자료를 인용하고 있는 실정이다(Cho et al., 2016). 가축의 유지에너지 요구량은 실제 사양현장을 고려할 때 이론적 수치로 생각될 수 있다(Ferrell and Jenkins, 1984). 왜냐하면 유지에너지 요구량은 체중증감이나 생산활동없이 체온조절, 근육운동, 혈액순환 등 생명유지만을 위해 반드시 요구되는 에너지의 양인데 비해 사양현장에서는 생산활동을 목표로 하고 있고, 특히 비육우는 체중증가가 바로 생산활동이라는 목표이기 때문이다(Ferrell and Jenkins, 1984; RDA, 2012). 그러나 육우의 에너지 요구량 중 약 70%가 유지를 위해 사용됨을 고려할 때(Ferrell and Jenkins, 1984), 유지를 위한 에너지 요구량의 정확한 설정과 이에 따른 사양은 매우 중요하다고 보여진다(Cho et al., 2016).

최근 본 연구팀은 온도와 습도를 자동으로 제어할 수 있는 연구시설을 이용하여 한우가 지속적으로 열스트레스에 노출 시 유지에너지 요구량이 증가될 수 있음을 번식우(Park et al., 2015)와 육성우(Cho et al., 2016)를 대상으로 발표한 바 있다. 이 연구들에서 열스트레스 하에서 유지를 위한 TDN 요구량은 한우 번식우의 경우 현재 한국사양표준(RDA, 2012)에서 제시하고 있는 TDN 요구량 기준, 11.2%를 증량 급여해야 하며(Park et al., 2015), 한우 거세육성우의 경우 15.0%를 증량 급여해야 유지를 위한 TDN 요구량을 충족할 수 있다고 보고하였다(Cho et al., 2016).

따라서, 본 연구에서는 열스트레스 환경조건 하에서 우리나라 고유 축종인 한우의 성장단계별 영양소 요구량 및 영양학적 기초 자료 확보를 위해 열스트레스 노출 시 비육전기 한우 거세우의 유지를 위한 영양소 요구량 설정 및 이에 따른 소화율, 혈액대사물질 변화 등 대사생리 변화에 대해 조사하였다.

Materials and Methods

실험설계 및 사양관리

본 실험은 비육전기 거세한우 4두(평균체중 247 ± 13.5 kg)를 공시하여 4 × 4 라틴 방각법을 이용하여 수행하였다. 한국사양표준(RDA, 2012)의 비육전기 한우 거세우의 유지를 위한 TDN 요구량을 기준으로 TDN 100% (대조구) 및 3개의 열스트레스 처리구, 즉 TDN 100% (T100), TDN 115% (T115) 및 TDN 130% (T130)로 시험구 배치를 하였다. 총 실험기간은 총 17주이었으며, 적응기간(4주), 본 실험기간(3주/period × 4 periods = 12주) 등 16주 동안 실시하였고, 진정소화율 측정을 위해 1주 동안 절식대사실험을 실시하였다.

공시동물은 온도 및 습도가 일정하게 유지될 수 있는 온습도 자동 제어 연구동 내 대동물 시험케이지에서 개별 사육하였다. 온도 및 습도를 기준으로 쾌적한 상태 및 열스트레스 설정은 Bilby et al. (1990)이 제안한 온습도지수(temperature and humidity index, THI) 공식을 적용하였다.

$$THI = 1.8 \times TEM + 32 - 0.55(1 - HUM/100) \times (1.8 \times TEM - 26) \quad (1)$$

공식에서 THI, TEM 및 HUM은 각각 온습도지수, 온도 및 습도를 나타낸다. 전 실험기간 동안 대조구는 온도 24℃, 습도 60% (THI = 71.5, 쾌적한 상태), 처리구의 환경은 온도 30℃, 습도 70% (THI = 81.4, 심각한 스트레스 상태)로 설정하였다. 대조구의 온도 및 습도는 우리나라 평균기온을 고려하여 열스트레스를 받지 않는 상태로 설정하였고 처리구는 우리나라가 아열대 지역으로 변화되어 평균기온이 30℃를 넘고 잦은 강우로 인해 높은 습도를 유

지하는 상태를 가정하여 설정하였다(Park et al., 2015).

영양소 소화율 및 체중 측정

열스트레스 하에서 유지를 위한 에너지 요구량 설정이라는 연구목적 상 급여 사료의 전량 섭취가 반드시 필요하여 사료급여량은 한국사양표준의 건물요구량 대비 낮게 공급하였다. 따라서, 급여된 사료는 섭취 중 자연적으로 발생하는 약간의 손실량을 제외하고는 모두 섭취되었다. 실험에 사용된 사료는 볏짚과 옥수수 중심의 시판 배합사료를 건물 기준 34:66의 비율로 급여하였다. 실험 전 기간 동안 물과 비타민-미네랄 블록은 공시동물이 자유롭게 섭취할 수 있도록 관리하였다. 매 period 마지막 4일 동안 매일 분 배설량을 측정하고 배설된 분의 10%를 60℃ dry oven에서 72시간 완전 건조하고 Thomas wiley mill (Thomas scientific, Model4, New Jersey, USA)의 40 mesh를 이용하여 분쇄하였다. 실험에 사용한 사료 및 채취한 분의 일반성분, neutral detergent fiber (NDF) 및 acid detergent fiber (ADF) 함량은 Park et al. (2015)이 수행한 방법에 의해 분석하였고, 사료의 화학적 성분은 Table 1과 같다. 소화율은 가축이 섭취한 사료의 양과 배설한 분의 양을 채취하여 측정하였으며, 각 영양소 소화율은 [(사료의 영양소 함량 - 분의 영양소 함량) / 사료의 영양소 함량] × 100으로 도출하였다. 공시동물의 체중은 매 period의 시작 및 종료 시 오전 사료 급여 전에 측정하였다.

Table 1. Chemical composition of experimental feeds (% of DM basis).

Composition	Rice straw	Concentrate L[z]	Concentrate M[z]	Concentrate H[z]
Dry matter (DM)	90.66	88.54	89.11	88.26
Crude protein	4.26	12.44	13.37	11.81
Crude fiber	35.60	7.57	7.11	8.51
Ether extract	2.05	3.48	3.65	3.02
Crude ash	13.18	5.14	5.58	4.73
Neutral detergent fiber	62.01	32.94	33.54	28.81
Acid detergent fiber	36.09	16.01	17.15	14.75

[z]Concentrates L, M and H contained 68, 71 and 74% of total digestible nutrients, respectively; The experimental animals had free access to water and a mineral block during the entire experiment.

혈액대사물질

혈액은 각 period 마지막 날 한우의 경정맥에서 10 mL의 혈액을 채취한 후, 원심분리(3,000 rpm, 10분)하여 혈청을 분리하고, 분석 시까지 −60℃ 냉동고에 보관하였다. 각 혈액대사물질은 Park et al. (2015)에서 설명한 바와 같이 분석하였다.

통계분석

본 실험의 결과는 SAS (2002)의 GLM (general linear model)을 이용하여 분산분석하고 시험구 평균 간 비교는 Duncan's multiple range test (5% 유의수준)로 하였다.

Results and Discussion

사료섭취량

전 실험 기간 동안 동일한 에너지를 급여하고 열스트레스 조건(즉, 대조구 vs T100) 은 사료섭취량 및 영양소 섭

취량에서 통계적 유의성이 나타나지 않았다($p > 0.05$; Table 2). 같은 열스트레스 조건 하에서 TDN 급여 수준이 높을수록 사료섭취량 및 영양소 섭취량은 조지방을 제외하고는 유의성있게 높게 섭취하였다($p < 0.05$). 고온 환경에서 사료섭취량에 대한 연구 결과를 보면, Colditz and Kellaway (1972)는 프레시안 어린 암소들의 경우 사료 섭취율이 14%에서 17% 사이로 감소하였으며, 젖소가 고온에서 열에 대한 스트레스를 받았을 경우 건물 섭취량이 감소한다고 보고하였다(West et al., 1999; West, 2003). 한우 비육우를 이용한 시험에서도 열스트레스는 건물섭취량의 감소를 가져온다고 보고하였다(Kwak and Ha, 1996). 일반적으로 열스트레스에 의한 사료섭취량 감소는 동물의 열적 중성대(thermoneutral zone)의 온도보다 환경온도가 높을 때 발생한다고 알려져있는데, 비육우의 열적 중성대는 15 - 25℃로 알려져 있다(NRC, 1987). 하지만, 현재 결과가 기존 연구와 달리 사료섭취량의 감소가 발생하지 않았던 것은 본 시험의 주 목적인 열스트레스 하에서 영양소 요구량 설정을 달성하기 위해서 사료의 전량섭취가 전제 조건이었던 바 한국사양표준의 건물요구량(RDA, 2012) 대비 낮은 수준에서 급여가 가능하도록 사료급여량을 설계하였기 때문으로 판단된다(Cho et al., 2016).

Table 2. Effect of heat stress and total digestible nutrients (TDN) intake levels on dry matter (DM) intake and nutrient intake of early fattening Hanwoo steers fed rice straw and concentrate.

Items (kg/d)	Treatments[y]				SEM[z]
	Control	T100	T115	T130	
Rice straw	1.25c	1.23c	1.38b	1.58a	0.028
Concentrate	2.51c	2.47c	2.66b	2.92a	0.058
Total DM	3.75c	3.71c	4.04b	4.50a	0.088
Nutrient intake					
Organic matter	3.46c	3.42c	3.71b	4.15a	0.088
Crude protein	0.37c	0.36c	0.42b	0.58a	0.009
Neutral detergent fiber	1.60c	1.58c	1.75b	1.82a	0.038
Acid detergent fiber	0.85c	0.84c	0.96b	1.00a	0.020
Ether extracts	0.11c	0.11c	0.13a	0.12b	0.002
Nitrogen free extract	1.38bc	1.37c	1.42b	1.80a	0.033

a, b, c: Means in a row with different superscripts are significantly different ($p < 0.05$).
[y]Hanwoo steers for control were housed under the condition of temperature humidity index (THI) 71.5 (no stress) and the steers for T100, T115 and T130 treatments were housed under the condition of THI 81.4 (severe stress), respectively; Hanwoo steers (n = 16) in control, T100, T115 and T130 were fed TDN 100, 100, 115 and 130% of TDN maintenance requirement for Hanwoo steers according to Korea Feeding Standard for Hanwoo (RDA, 2012).
[z]Standard error of the mean.

진정 소화율

절식 대사를 통해 도출된 진정 건물소화율은 69.0 - 72.3%의 범위로 나타났으며, 시험구 간 통계적 유의성이 없었지만($p > 0.05$; Table 3), 대조구 보다 처리구에서 수치적으로 낮은 소화율을 보였다. 유기물(OM) 소화율 또한 대조구와 비교 시 T100 및 T115 처리구에서 유의성은 나타나지 않았으나, 수치적으로 대조구가 가장 높았고, 섭취량이 가장 높은 T130구가 73.9%로 통계적으로 가장 낮았다($p < 0.05$). OM 소화율과 유사하게 NDF와 ADF 소화율에서도 대조구와 T100구가 T115구와 T130구 보다 유의하게 높게 나타났다($p < 0.05$). 이러한 결과는 본 연구팀에 의해 수행된 한우 육성우를 이용한 기존 연구에서도 유사한 결과가 나타났는데, 쾌적한 상태에 있는 육성우의 영양소 소화율이 열스트레스 처리구보다 수치적으로 높았으며 에너지 급여 수준은 소화율을 감소시키는 것으로 보고되었다(Cho et al., 2016). 하지만, 일반적으로 열스트레스는 가축에게 소화율 증가를 가져오는데(Christopherson, 1985; Tajima et al., 2007), 열스트레스에 의한 건물 섭취량 감소가 장관 내 사료 체류 시간을 증가시켜 소화율을 높

인다고 알려져 있다(Tajima et al., 2007). 이런 연구 결과의 차이는 실험목적 상 사료급여 방식의 차이에서 비롯되었다고 유추할 수 있는데, 즉 본 연구팀의 실험은 사료 섭취량에서와 같이 전량 섭취를 통한 영양소 요구량 설정이었고 타 연구팀은 열스트레스에 의한 소화율 영향을 조사하는 것이 1차적 목적이라는 점이 연구 결과의 차이를 가져왔다고 생각된다(Cho et al., 2016). 한편, 조단백질과 조지방의 진정 소화율은 다른 영양소의 소화율과는 다소 다르게 나타났는데, 이것은 열스트레스 또는 에너지 공급 수준에 영향이라기 보다는 Table 2에서 나타난 바와 같이 그 영양소들의 섭취량이 비교적 낮은 수준에서 비롯된 것으로 큰 의미를 부여하기는 어려울 것으로 추측된다. 건물 섭취량이 많아질수록 소화율이 낮아지는 것으로 알려져 있는데(Van Soest, 1994), 본 시험에서도 처리구 간 건물 섭취량이 높아질수록 건물 및 OM 소화율이 수치적으로 낮아져 기존의 문헌과 일치하였다.

Table 3. Effect of heat stress and total digestible nutrients (TDN) intake levels on nutrient digestibility (%) of early fattening Hanwoo steers fed rice straw and concentrate.

Items	Treatments[y]				SEM[z]
	Control	T100	T115	T130	
Dry matter (DM)	72.3	71.3	70.7	69.0	2.00
Organic matter	77.0a	76.0ab	75.3ab	73.9b	1.67
Crude protein	65.2b	65.1b	66.1b	71.8a	3.23
Neutral detergent fiber	69.8a	68.2a	67.4ab	63.3b	2.67
Acid detergent fiber	66.9a	65.0a	64.1ab	59.0b	3.41
Ether extracts	90.0ab	88.3b	92.0ab	89.8ab	1.82
Nitrogen free extract	87.3	86.9	86.1	86.8	1.49

a, b: Means in a row with different superscripts are significantly different ($p < 0.05$).
[y]Hanwoo steers for control were housed under the condition of temperature humidity index (THI) 71.5 (no stress) and the steers for T100, T115 and T130 treatments were housed under the condition of THI 81.4 (severe stress), respectively; Hanwoo steers (n = 16) in control, T100, T115 and T130 were fed TDN 100, 100, 115 and 130% of TDN maintenance requirement for Hanwoo steers according to Korea Feeding Standard for Hanwoo (RDA, 2012).
[z]Standard error of the mean.

혈액대사생리

열스트레스 유무 및 열스트레스 조건 하에서 에너지 공급 수준은 비육전기 한우거세우의 혈액대사물질에는 유의적 영향을 주지 않았다($p > 0.05$; Table 4). 동물체의 면역기능을 나타내는 주요 지표인 혈중 면역글로불린 G (IgG) 함량은 대조구의 경우 912.0 mg/dL, 처리구의 경우 847.3 - 868.7 mg/dL의 수준으로 나타났고, 환경변화 적응과 관련된 생리대사물질인 thyroxine 함량은 대조구가 6.20 μg/dL, 처리구가 5.58 - 6.18 μg/dL로 나타나 대조구가 수치적으로 높은 경향을 보였다. Park et al. (2015)의 보고에서 열스트레스는 한우 번식우의 혈중 IgG 함량에 유의적 영향을 미치지 않았다. 소의 혈중 thyroxine의 경우 열스트레스가 가해지면 낮아진다고 보고되었는데(Marai et al., 1995; Song et al., 2014), 현재 연구 결과의 대조구와 T100구와 유사한 결과라고 판단된다. 본 연구팀에 의해 수행된 연구 결과에서도 같은 수준의 에너지가 공급되었을 때 열스트레스에 의해 thyroxine의 농도는 수치적으로 감소되었다(Park et al., 2015; Cho et al., 2016). 한편, 현재 연구결과에서는 T115 및 T130구에서 수치적이지만 대조구 대비 각각 증가 및 감소되는 현상이 나타났는데, 이는 thyroxine 호르몬이 이화작용 촉진 등 체내 물질 대사와 관련이 있고 시상하부에서 갑상선자극호르몬 방출호르몬의 분비 및 억제로 thyroxine의 과부족을 조절한다는 점을 미루어 보아 체내의 일반적인 생리적 현상으로 판단된다(Shaffer et al., 1981; Marai et al., 1995). 스트레스와 관련된 혈중 cortisol 농도는 대조구, T100, T115 및 T130구에서 각각 4.48, 4.38, 4.45 및 6.80 μg/dL로 나타났다. 일반적으로 열스트레스에 노출되면 혈중 cortisol 농도를 증가한다고 알려져 있는데(Arnone and Dantzer, 1980; Elvinger et

al., 1992), 현재 연구 결과에서는 T130구에서만 수치적으로 다소 높게 나타나 전술한 기존 보고와는 다른 결과를 보였다. 한우 번식우와 육성거세우를 대상으로 한 연구에서는 열스트레스에 의한 cortisol 농도변화는 나타나지 않는 것으로 보고되어 현재 결과와 유사하였다(Park et al., 2015; Cho et al., 2016).

혈중 포도당, 혈중요소태질소(BUN) 등 영양대사학적 지표들은 열스트레스와 에너지 공급 수준에 의한 영향은 나타나지 않았다(Table 4). 일반적으로 열스트레스는 소, 돼지 등 가축의 혈중 포도당 함량 등 혈액 대사물질을 감소한다고 알려져 있다(Shaffer et al., 1981; Waltz et al., 2014). 현재 결과를 포함한 본 연구팀의 결과와 타 연구팀에 의한 기존의 연구와의 모순은 아마도 영양소 공급 시스템의 차이에서 비롯되었다고 추측된다(Shaffer et al., 1981; Waltz et al., 2014; Park et al., 2015; Cho et al., 2016). 즉, 사료 섭취량에서 언급한 바와 같이 본 연구팀의 연구에서는 유지 요구량 설정을 위해 공급되는 영양소의 전량 섭취를 유도한 반면 기존의 연구에서는 열스트레스에 의한 사료섭취량 등 영양학적 영향을 측정하는 것이 1차적 목적이므로 열스트레스에 의한 사료섭취량의 감소가 나타났고 이로 인해 혈중 포도당의 감소가 야기되기 때문이다(Segura et al., 1979; Shaffer et al., 1981). 현재 연구에서는 혈중 포도당 외에도 다른 대사물질도 유사한 결과를 보이는데, 이러한 점은 비록 열스트레스에 노출되더라도 에너지 등 사료영양소의 추가공급이 이루어진다면 체내 영양생리학적 반응은 정상 수준 또는 유사한 수준을 유지할 수 있음을 의미한다(Park et al., 2015; Cho et al., 2016).

Table 4. Effect of heat stress and total digestible nutrients (TDN) intake levels on blood metabolites of early fattening Hanwoo steers fed rice straw and concentrate.

Items	Treatments[y]				SEM[z]
	Control	T100	T115	T130	
Immunoglobulin G (mg/dl)	912.0	847.3	862.3	868.7	178
Thyroxine (μg/dl)	6.30	5.95	6.48	6.00	0.61
Cortisol (μg/dl)	4.48	4.38	4.45	6.80	2.96
Albumin (g/dl)	3.58	3.60	3.63	3.60	0.25
Glucose (mg/dl)	62.75	55.75	53.25	57.67	11.75
Triglyceride (mg/dl)	19.75	23.50	26.25	24.67	5.82
Creatinine (mg/dl)	1.41	1.59	1.48	1.47	0.18
Blood urean nitrogen (mg/dl)	10.30	11.43	11.68	9.40	2.02
Total protein (g/dl)	6.80	6.70	6.70	6.73	0.31

[y]Hanwoo steers for control were housed under the condition of temperature humidity index (THI) 71.5 (no stress) and the steers for T100, T115 and T130 treatments were housed under the condition of THI 81.4 (severe stress), respectively; Hanwoo steers (n = 16) in control, T100, T115 and T130 were fed TDN 100, 100, 115 and 130% of TDN maintenance requirement for Hanwoo steers according to Korea Feeding Standard for Hanwoo (RDA, 2012).
[z]Standard error of the mean.

체중 변화 및 열 스트레스 노출 시 영양소 요구량 설정

시험기간 동안 공시축의 증체량은 -0.63 - 1.17 kg으로 나타났으며, 일당증체량은 T100구가 -69.6 g으로 가장 낮았으며, 처리구 간에서는 에너지 공급 함량이 높을수록 증체가 높게 나타나 T115와 T130구가 각각 44.6와 83.3 g으로 유의성있게 높았다($p < 0.05$; Table 5). 비록 통계적 유의성은 없었지만, 동일한 에너지를 공급한 대조구와 T100구를 비교하면 열스트레스에 노출된 공시축의 체중감소가 더 발생했다는 결과는 소화된 에너지가 열스트레스에 의해 체열발생 등의 손실이 일어난 것으로 추측된다. 또한, 열 스트레스 노출된 처리구 간에는 에너지 공급 수준이 높아짐에 따라 체중 역시 증가된 것은 이상적인 결과라 판단된다. 한우 번식우 및 육성거세우를 대상으로 실시한 연구에서도 쾌적한 상태의 시험구보다 열 스트레스 처리구에서 체중감소가 더 일어났고, 열 스트레스 처리구 간은

에너지 공급수준이 증가함에 따라 체중증가가 일어났다고 보고된 바 있다(Park et al., 2015; Cho et al., 2016). 현재 연구에서 사용된 비육우의 경우 생산활동에 요구되는 에너지의 70%가 유지를 위해 사용되고(Ferrell and Jenkins, 1984), 열스트레스에 노출되면 열발산량의 증가, 체온 상승 등으로 에너지 소비가 추가적으로 요구된다고 알려져 있다(RDA, 2012). 한편 현재 연구에서 대조구는 한국사양표준의 유지를 위한 한우 비육우의 TDN 요구량을 공급하였음에도 불구하고 대조구의 체중 감소 현상은 현재 한우 비육우 유지를 위한 TDN 요구량은 증량되어야 함을 시사하는 것으로 향후 한국사양표준 개정 시 추가적인 유지 에너지 요구량 설정 연구가 필요할 것으로 사료된다.

Fig. 1은 현재 연구에서 실험설계된 TDN 공급 수준 및 일당증체량(Table 5)을 기준으로 열스트레스 조건 하에서 비육전기 한우 거세우의 유지를 위한 TDN 요구량을 설정하였다. 현재 실험결과를 토대로 구한 산정식(Y = 0.1814X + 111.5)에 대입하면 증체량이 0이 되는 지점, 즉 열스트레스 노출 시 유지를 위한 비육전기 한우 거세우 TDN 요구량은 현재 한국사양표준(RDA, 2012) 요구량 대비 11.5%를 증량 급여해야 충족될 수 있을 것으로 사료된다. 이것은 한국사양표준에서 일본 자료를 토대로 제시한 열스트레스 노출 시 유지요구량의 약 10% 에너지 소비가 추가적으로 발생할 수 있다는 것과 유사하다(RDA, 2012). 또한, 열스트레스 노출 시 한우 번식우(11.2%) 및 거세육성우(15.0%)의 추가 요구되는 TDN 요구량 역시 현재 결과와 유사하였다(Park et al., 2015; Cho et al., 2016).

Table 5. Effect of heat stress and total digestible nutrients (TDN) intake levels on changes in body weight (BW) of early fattening Hanwoo steers fed rice straw and concentrate.

Items	Treatments[x]				SEM[y]
	Control	T100	T115	T130	
Initial BW (kg)	247.1	247.3	248.0	244.5	13.53
Final BW (kg)	246.5	246.3	248.6	245.7	13.51
BW gain (kg)	-0.63b	-0.98b	0.63a	1.17a	0.62
ADG[z] (g/d)	-44.6b	-69.6b	44.6a	83.3a	44.87

a, b: Means in a row with different superscripts are significantly different ($p < 0.05$).
[x]Hanwoo steers for control were housed under the condition of temperature humidity index (THI) 71.5 (no stress) and the steers for T100, T115 and T130 treatments were housed under the condition of THI 81.4 (severe stress), respectively; Hanwoo steers (n = 16) in control, T100, T115 and T130 were fed TDN 100, 100, 115 and 130% of TDN maintenance requirement for Hanwoo steers according to Korea Feeding Standard for Hanwoo (RDA, 2012).
[y]Standard error of the mean.
[z]Average daily gain.

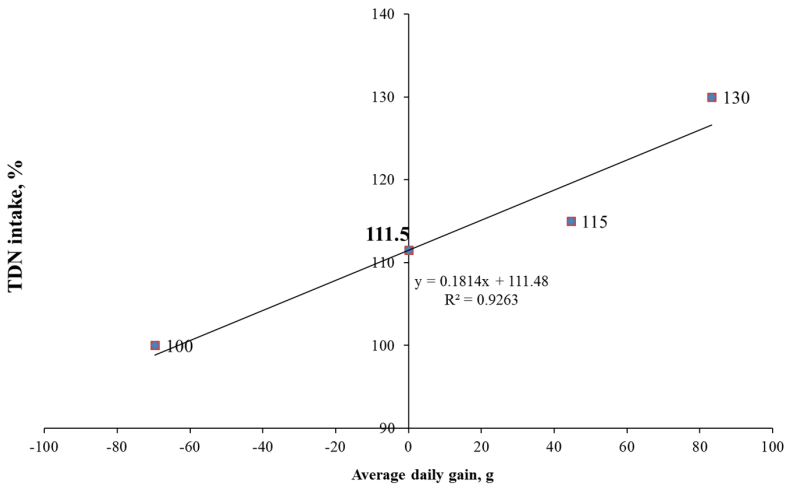

Fig. 1. Relationship between total digestible nutrients (TDN) intake level and average daily gain in early fattening Hanwoo steers fed rice straw and concentrate under heat stress.

현재 도출된 결과를 토대로 열스트레스 노출 시 비육전기 한우 거세우의 유지를 위한 영양소 요구량을 재설정하였다(Table 6). 한국사양표준 요구량 대비 11.5% 증량을 기준으로 계산하면 체중이 247 kg (현재 공시축 평균 체중)일 경우 TDN 함량을 2.60 kg으로 급여하여야 하며, 대사에너지와 가소화에너지 또한 각각 9.32과 11.36 Mcal로 증량되어야 하며, 대사단백질과 조단백질은 317과 524 g으로 산출되었다.

Table 6. Nutrient requirement of early fattening Hanwoo steers for maintenance under heat stress.

BW[y] (kg)	Nutrient requirement[z]							
	DMI (kg)	CP (%)	TDN (%)	ME (Mcal)	DE (Mcal)	TDN (kg)	MP (g)	CP (g)
247	4.61z	12.0	56.4	9.32	11.36	2.60	317	524

[y]Body weight
[z]Calculated based on Korean Feeding Standard for Hanwoo (2012); DMI, Dry matter intake; CP, Crude protein; TDN, Total digestible nutrients; ME, Metabolizable energy; DE, Digestible energy; MP, Metabolizable protein.

Conclusion

평균체중 247 ± 13.5 kg인 비육전기 한우 거세우 4두를 공시하여 4 × 4 Latin 방각법으로 설계하여 열스트레스 하에서 영양소 요구량 설정과 영양학적 변화를 조사하였다. 한우 거세우는 볏짚과 배합사료를 이용하여 한국사양표준에 제시된 한우 거세비육우 유지를 위한 TDN 요구량 대비, 100% (대조구), 100%, 115% 및 130% 수준의 에너지가 공급되었다. 대조구의 거세우는 쾌적한 상태(온도 24℃, 습도 60%)에서 사육되었고, 반면에 나머지 3그룹은 심각한 열스트레스에 노출되어 사육되었다(온도 30℃, 습도 70%). 절식대사시험을 통해 도출된 건물과 다른 영양소의 진정 소화율은 열스트레스에 의한 유의적 차이는 나타나지 않았다($p > 0.05$). 이것은 열 스트레스 노출 시 영양소 요구량 재설정을 위해 한국사양표준보다 낮게 급여된 건물섭취량의 결과에서 기인한 것으로 추측된다. 열스트레스와 서로 다른 에너지 공급은 혈액대사물질 농도에 영향을 미치지 않았다. 대조구 및 열 스트레스 노출된 처리구인 T100, T115 및 T130의 일당증체량은 각각 -44.6, -69.6, 44.6 및 83.3 g으로 나타났다. 열스트레스 노출된 처리구의 일당증체량을 기준으로 비육전기 한우 거세우의 유지를 위한 TDN 요구량 추정식($Y = 0.1814X + 111.5$)을 도출하였고, 이것은 현재 한국사양표준 대비 열 스트레스 노출 시 11.5% 의 TDN을 추가적으로 급여해야 함을 의미한다.

Acknowledgements

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업(PJ007800062013) 수행결과의 일부로 연구비 지원에 감사드립니다.

References

Ahn BS, Jeong HY, Ki KS, Choi YL, Kweon UG, Kim NC. 2003. The environmental effects on the activities and rectal temperature of Holstein cows in a summer season. Journal of Animal Science and Technology 45:163-168.

Arnone M, Dantzer R. 1980. Does frustration induce aggression in pigs? Applied Animal Ethology 6:351-362.

Bilby TR, Baumgard LH, Collier RJ, Zimbelman RB, Rhoads ML. 1990. Heat Stress Effects on Fertility: Consequences and Possible Solutions. Bull. Department of Animal Sciences, University of Arizona, USA.

Cho YK, Choi SH, Han OK, Park JH, Choi CW. 2016. A study on changes in feed digestibility and establishment of energy requirement for maintenance of growing Hanwoo steers under sever heat stress. Journal of Agriculture &

Life Science 50:163-172. [in Korean]

Christopherson RJ. 1985. The thermal environment and the ruminant digestive system. pp. 163-180. In Stress Physiology in Livestock. Yousef, M.K. ed. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.

Colditz PJ, Kellaway RC. 1972. The effect of diet heat stress on feed intake, growth, and nitrogen metabolism in Friesian, F1 Brahman×Friesian, and Brahman heifers. Journal of Agricultural Research 23:717-725.

Elvinger F, Natzke RP, Hansen PJ. 1992. Interactions of heat stress and bovine somatotropin affecting physiology and immunology of lactating cows. Journal of Dairy Science 75:449-462.

Ferrell CL, Jenkins TG. 1984. Energy utilization by mature, nonpregnant, nonlactating cows of different types. Journal of Animal Science 58:234-243.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2007. Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Group I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. pp. 1-104. eds.] IPCC, Geneva, Switzerland.

Kim HS, Lee WS, Lee HJ, Ki KS, Baek KS, Ahn BS, Khan MA. 2006. Effects of higher dietary cation with or without protected fat and niacin on the milk yield and thermoregulatory ability in Holsteins during summer heat stress. Journal of Animal Science and Technology 48:555-562. [in Korean]

KMA (Korea Meteorological Administration). 2017. Abnormal Climate Report 2016.

Kwak BO, Ha JK. 1996. Effect of heat stress and feeding time on growth performance of finishing Korean native bulls in summer. Korean Journal of Animal Nutrition and Feed 20:437-442. [in Korean]

Marai IFM, Habeeb AA, Daader AH, Yousef HM. 1995. Effects of Egyptian subtropical summer conditions and the heat stress alleviation technique of water spray and a diaphoretic on the growth and physiological functions of Friesian calves. Journal of Arid Environment 30:219-225.

NRC (National Research Council). 1987. Nutrient requirements of beef cattle. National Academy Press. Washington DC. USA.

Oh YK, Joeng CS, Kim DH, Seol YJ, Lee SC, Lee HJ, Lee SS, Kim KH. 2008. Effects of sodium bicarbonate and vitamin supplementation on milk production and composition in lactating Holstein cows under heat stress condition. Journal of Animal Science and Technology 50:705-712. [in Korean]

Park DW, Hwangbo S, Han OK, Jo IH, Choi CW. 2015. A study on establishment of nutrient requirement for maintenance of Hanwoo cow under heat stress. Journal of Agriculture & Life Science 49:225-235. [in Korean]

RDA (Rural Development Administration). 2012. Korean feeding standard for Hanwoo. 3rd Edition. National Institute of Animal Science. Wanju, Korea. [in Korean]

SAS (Statistical Analysis System). 2002. Statistical Analysis System ver., 9.1. SAS Institute Inc., Cary, USA.

Segura ET, Roussel JD, Satterlee DG, Gomila LF, Shaffer L, Bergeron JC. 1979. Interaction of exogenous corticotropin and environment on protein bound iodine and other plasma biochemical parameters. Journal of Dairy Science 62:278-283.

Shaffer L, Roussel JD, Koonce KL. 1981. Effects of age, temperature-season, and breed on blood characteristics of dairy cattle. Journal of Dairy Science 64:62-70.

Song X, Luo J, Fu D, Zhao X, Bunlue K, Xu Z, Qu M. 2014. Traditional Chinese medicine prescriptions enhance growth performance of heat stressed beef cattle by relieving heat stress responses and increasing apparent nutrient digestibility. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences 27:1513-1520.

Tajima K, Nonaka I, Higuchi K, Takusari N, Kurihara M, Takenaka A, Mitsumori M, Kajikawa H, Aminov RI. 2007. Influence of high temperature and humidity on rumen bacterial diversity in Holstein heifers. Anaerobe 13:57-64.

Tapki I, Şahin A. 2006. Comparison of the thermoregulatory behaviours of low and high producing dairy cows in a hot environment. Applied Animal Behaviour Science 99:1-11.

Van Soest PJ. 1994. Nutritional ecology of the ruminant (2nd edition). Cornell University Press, Ithaca, NY, USA.

Waltz X, Baillot M, Connes P, Gourdine JL, Philibert L, Beltan E, Chalabi T, Renaudeau D. 2014. Effect of heat stress on blood rheology in different pigs breeds. Clinical Hemorheology and Microcirculation 58:395-402.

West JW, Hill GM, Fernandez JM, Mandebvu P, Mullinix BG. 1999. Effects of dietary fiber on intake, milk yield, and digestion by lactating dairy cows during cool or hot, humid weather. Journal of Dairy Science 82:2455-2465.

West JW. 2003. Effects of heat-stress on production in dairy cattle. Journal of Dairy Science 86:2131-2144.