

반추위 발효 조절 항생제 대체 물질이 한우 거세우 생산성과 육질특성에 미치는 영향*

류채화** · 박해령*** · 조상범**** · 최낙진*****

Effects of Dietary formulated feed Additive on Growth Performance and Carcass Traits in Hanwoo Steers

Ryu, Chaehwa · Park, Hae-Ryoung · Cho, Sangbuem · Choi, Nag-Jin

The present study was conducted to evaluate the effects of dietary formulated feed additive on growth performance and carcass traits of Hanwoo steers. A formulated feed additive reported to reduce heat load in the rumen in our previous research was used (Cho et al., 2014). Total 32 herds of Hanwoo steers were assigned into two groups of control and treatment. Total mixed ration was provided as basal diet for cattle and 100 g of additive was supplemented on diet for treatment. Feeding trial was performed during 120 days before slaughter. For growth performance, 3 periods (0~90 days; 90~120 days; 0~120 days) were allotted and average daily gain, feed requirement and final body weight were determined. Loin meat between 12th and 13th rib was used for meat quality analysis after slaughtering. Only 1st period showed significantly improved growth performance of treatment ($P<0.05$) and there were no significant difference in other periods. At 3rd periods (overall), a trend of increased average daily gain was found at treatment ($P=0.075$). Carcass performance and quality did not show significant differences between treatment and control ($P>0.05$). In meat quality, treatment showed significant increment in all measured meat colors ($P<0.05$) and significantly less shearing force compared to the control ($P<0.05$). Although no significant difference in growth performance and carcass yield were found, remarkably improved economic status was detected in

* 본 논문은 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: 011978022016)의 지원과 중소기업청 이전기술개발 사업(과제번호 S2331288)의 지원에 의해 이루어진 것임.

** 전북대학교 축산학과

*** 농업기술실용화재단 농식품분석팀

**** Co-corresponding author, (주)칼스엔비티 순환농축산연구소, 전북대학교 동물자원과학과 (chosb@e-cals.co.kr)

***** Corresponding author, 전북대학교 동물자원과학과(nagjin@jbnu.ac.kr)

treatment group. In conclusion, it could be suggested that application of a formulated feed additive specialized in reduction of heat load in the rumen was able to increase economical balance through enhancing heat stress condition of ruminant and growth.

Key words : *additive, carcass traits, Hanwoo, heat stress, rumen temperature*

I. 서 론

반추동물에 있어 생산성 향상을 위하여 사용되어온 대부분의 항생제는 반추위 발효 조절에 그 작용기전을 두고 있다. 생산성 향상을 위한 반추위 발효조절은 섭취된 영양소의 소화율 향상뿐 만 아니라 외부 환경 변화로 기인하는 스트레스 완화의 목적도 포함된다. 대표적인 반추위 발효 조절용 항생제로서 모넨신과 같은 ionophore 계 항생제를 들 수 있으며, 반추위 발효열을 조절하는 특징이 있는 것으로 알려져 있다(Kim, 2015). 그러나 항생제 사용의 금지로 인하여 잔류의 문제가 없는 대체 소재의 개발이 절실히 요구되고 있는 실정이다. 따라서 천연 소재를 이용한 반추위 발효조절과 반추위 발효조절을 통한 스트레스 저감은 지속 가능한 축산에 있어 매우 중요한 소재라 할 수 있다.

가축이 받는 스트레스 중 문제의 심각성이 높은 원인 중 하나로 열적 스트레스를 들 수 있다. 최근 문제시 되는 외기 환경 온도 상승으로 인한 열적 스트레스는 지구 온난화가 가장 큰 문제라 알려져 있다. 또한 지구 온난화 문제는 앞으로도 더욱 심화되어 폭염의 발생 빈도와 지속시간 등이 증가할 것으로 예측되고 있다(Lee et al., 2010). 온난화로 인한 기후 변화는 생태계의 변화뿐 만 아니라 농축산업 전반에 지대한 영향을 미치고 있다. 특히 가축의 건강 상태에 의존도가 높은 축산업의 경우, 그 피해가 심각한 실정이다. 가축은 영양 상태뿐 만 아니라 환경적인 요인에 의하여 생산성에 큰 차이를 나타내며, 환경적 요인들에 는 기온, 풍속, 습도, 방사 및 복사열 등이 있다. 이러한 환경 요인들은 유생산, 증체량, 성장속도 및 번식기능 등의 변화에 큰 영향을 주는 것으로 알려져 있다(Hong et al., 1997). 외부 열에 대한 가축의 반응은 가축이 대응할 수 있는 온도에 따라서 나뉘어지며, 적정 임계 온도를 넘어서면 환경온도에서는 체온 유지를 위한 에너지 소모가 증가하고, 이에 따른 유지 에너지 요구량이 증가하게 된다. 유지에너지의 증가는 제한된 사료에너지로부터의 생산에너지 이용 효율 감소를 초래하여 생산성 감소의 결과를 나타낸다(Schneider et al., 1984; Kim et al., 2006). 따라서 가축 생산성 유지 및 복지 확보를 위하여 열적 환경 조절은 매우 중요한 문제이다. 그늘 제공, 음수 시설 추가확보, 냉각수 분무 등의 물리적인 외에 반추위 발효열 조절과 같은 대사열(metabolic heat load) 조절이 반추동물 열 스트레스 감소의 방법이 될 수 있다. 왜냐하면, 반추동물의 체온 조절에 있어 반추위 온도의 조절이 매우 중요하

기 때문이다(Russell, 1986). 본 연구에서는 반추위 발효열 조절이 한우 생산성과 육질 특성에 미치는 영향을 알아보기 위한 목적으로 수행되었다. 본 연구에서는 반추위 발효열 조절을 통한 체온 조절 기능 조성물(Cho et al., 2014)을 비육 후기 한우 거세우에 급여하여 그 생산성과 육질특성에 대한 효과를 조사하였다.

II. 재료 및 방법

1. 시험동물, 시험사료 및 사양관리

본 연구에서는 한우 거세우 32두(600±50 kg)를 시험동물로 사용하였고, 전라북도 김제 소재의 한우 농가에서 사양시험을 진행하였다. 각각 4두의 시험동물들을 한 우방에 배치하고, 총 4개의 우방을 대조구에 그리고 4개의 우방을 처리구에 배치하였다. 시험동물들은 체중과 체격을 고려하여 각 우방에 배치하였고, 시험동물의 우방배치와 각 우방에 대한 시험구 설정은 완전 임의 배치법에 따라서 진행하였다. 시험사료로는 섬유질 완전배합사료(Total mixed ration, TMR)를 사용하였으며, 두당 일일 12 kg의 TMR을 제한급여하였다. 시험사료의 영양소 성분은 Table 1에서 보는 것과 같다. 반추위 온도 조절을 위한 보조사료는 선행연구 결과(Cho et al., 2014)에 따라 배합된 것을 사용하였으며, (주칼스(경기도 성남시)에서 공급받아 사용하였다. 보조사료는 두당 일일 100 g 씩 급여하였다. 물과 미네랄 블록은 시험동물이 자유롭게 접근하여 섭취할 수 있도록 하였으며, 나머지 사양관리는 일반적인 관행방법과 동일하게 진행하였다.

Table 1. Chemical composition of experimental diet

Item ¹⁾	Content (%)
DM	64.08
----- % DM basis -----	
OM	90.08
CP	14.47
EE	3.11
NDF	37.70
ADF	15.07

¹⁾ DM; dry matter, OM; organic matter, CP; crude protein, EE; ether extract, NDF; neutral detergent fiber, ADF; acid detergent fiber.

2. 외관상 소화율 평가

영양소 소화율은 외관상 소화율 평가 방법에 따라서 측정하였다(Van Keulen and Young, 1977). 사양시험 개시일을 기준으로 0, 30일, 60일 및 90일에 시험동물의 분을 채취하였고, 분에 함유된 AIA (Acid insoluble ash) 측정으로 통하여 소화율을 산출하였다.

3. 성장 효율 평가

시험동물의 성장은 사양시험 개시일을 기준으로 0일, 90일 및 120일에 체중을 측정하여 평가하였다. 사료 섭취율은 매일 섭취하고 남은 사료량을 측정하여 계산하였다. 얻어진 체중결과와 사료섭취량 결과를 바탕으로 일당 증체량 및 사료 요구율을 평가하였다.

4. 도체 특성 평가

시험 종료 후, 시험동물들은 (주)축림(전북 익산시)에 출하하여 도축되었고, 축산물품질평가원의 등급판정기준에 따라서 도체중, 육량특성(등지방 두께, 배 최장근 단면적 및 육량지수) 및 육질특성(근내 지방도, 육색, 지방색, 성숙도 및 조직감)을 통하여 육량등급과 육질 등급을 조사하였다.

5. 육질 특성 평가

육질평가를 위한 쇠고기 시료는 갈비 12번째 마디에서 13번째 마디의 등심(M. longissimus dorsi) 부위를 사용하였다. 고기성적은 축림에서 바로 구입해온 시험동물의 쇠고기를 구입하여 진공상태로 -80℃에 바로 냉동보관 후 분석 2일 전 cold room에서 천천히 해동시킨 후 pH, 육색, 전단력(WBs) 및 가열 감량(cooking loss)을 분석하였다. pH는 시료에 직접 pH meter (NWKbinar, pH-K21, Germany)를 이용하여 측정하였다. 육색은 시료를 절단하여 공기 중에 약 30분간 발색시킨 후 색차계(Spectrophotometer: CM-2500d, Konica, Minolta)를 이용하여 L (명도), a (적색도) 및 b (황색도)의 반복 측정한 평균값을 결과 값(Sci)으로 이용하였다. 가열 감량(cooking loss)은 지방을 제거한 시료를 적정범위(340-380 kg)로 절단하여 각각의 시료 무게 측정 후, 70℃의 항온수조에서 시료 내부온도가 70℃가 되었을 때까지 가열하였다. 가열이 끝난 후 바로 30분 동안 냉각을 시킨 후 감량된 무게를 측정하고, 가열 감량(cooking loss)을 계산하였다. 전단력(WBs)은 가열 감량(cooking loss)이 끝난 시료를 0.5 inch의 core로 근섬유 결 방향으로 시료를 6반복 채취한 다음 전단력 측정기(Warner-Bratzler shear meter; G-R Elec. Mfg. Co., USA)로 측정하였다. 분석조건은 Crosshead speed는 400 mm/min, load cell은 40 kgf 및 Puncture diameter는 0.5 inch (1.27 cm)로 설정하였다.

6. 통계 분석

반추위 발효열 조절 보조사료의 급여가 한우 거세우 생산성에 대한 효과 가설검정은 student t-test를 통한 T-검정으로 수행하였고, 유의성 신뢰수준은 95%으로 설정하였고, 90~94%까지는 경향성 판단기준으로 설정하였다. 일련의 통계분석은 SPSS 프로그램(Version 18, IBM, NewYork, USA)을 사용하였다.

Ⅲ. 결 과

1. 외관상 소화율

외관상 소화율은 자연적 지표인 AIA를 분석 결과를 바탕으로 사료 섭취량과 채취한 분의 양을 이용하여 계산하였고 그 결과는 Table 2에서 보는 것과 같다. 외관상 소화율은 유의성은 없었지만 모든 기간에서 대조구보다 시험구가 수치적으로 높게 나타났다.

Table 2. Effect of experimental additive on nutrient digestibility (%) of Hanwoo steers

Day	Control	Treatment	SEM ¹⁾	P value
0	62.36	69.32	2.47	0.222
30	52.90	55.20	1.76	0.532
60	56.35	59.83	1.41	0.346
90	48.83	52.34	2.62	0.525
Overall	53.08	57.09	1.22	0.102

¹⁾ Standard error of mean.

2. 사양성적

시험동물의 시험구별 사양성적은 Table 3에서 보는 것과 같다. 본 시험에서는 사양성적을 총 3개의 구간으로 비교하였다. 첫 번째 구간은 시험 개시일로부터 90일까지, 두 번째 구간은 90일 이후부터 출하시(120일)까지 그리고 마지막 구간은 전 시험기간 동안으로 설정하였다. 첫 번째 구간에서 일당 증체량과 사료 요구율의 유의적인 차이가 나타났다 ($P < 0.05$). 보조사료를 급여한 처리구에서 대조구에 비하여 높은 일당 증체량과 낮은 사료 요구율을 나타내었다. 하지만 구간 종료시 체중에서는 시험구별 유의적인 차이는 관찰되지

않았다($P>0.05$). 두 번째 구간에서는 일당 증체량, 사료 요구율 및 구간 종료 체중 모두에서 시험구별 유의적인 차이가 관측되지 않았다($P>0.05$). 전 시험기간 동안의 일당 증체량은 보조사료를 급여한 처리구가 대조구에 비하여 높은 경향을 나타내었다($P=0.075$). 그러나 사료 요구율에서는 시험구별 유의적인 차이는 관측되지 않았다($P>0.05$).

Table 3. Effect of experimental additive on growth performance of Hanwoo steers

	Control	Treatment	SEM ¹⁾	p value
Individual body weight (kg)	602.56	605.31	7.827	0.946
— 0 ~ 90 days —				
Average daily gain (kg/day)	0.41	0.58	0.044	<0.05
Feed requirement (kg/day/animal)	35.88	26.85	2.963	<0.05
Final body weight (kg)	643.23	654.25	9.272	0.660
— 90 ~ 120 days —				
Average daily gain (kg/day)	0.64	0.65	0.047	0.962
Feed requirement (kg/day/animal)	28.88	23.81	4.186	0.554
Final body weight (kg)	665.77	674.58	9.698	0.764
— 0 ~ 120 days —				
Average daily gain (kg/day)	0.47	0.60	0.035	0.075
Feed requirement (kg/day/animal)	28.13	224.27	1.591	0.241

¹⁾ Standard error of mean.

3. 도체성적

시험동물의 시험구별 도체성적은 Table 4에서 보는 것과 같다. 도체중, 등지방두께, 등심면적, 육량지수, 상강도, 육색, 지방색 및 성숙도에서 시험구별 유의적인 차이가 관측되지 않았다.

Table 4. Effect of experimental additive on carcass characteristics of Hanwoo steers

	Control	Treatment	SEM ¹⁾	P value
Yield traits				
Carcass weight (kg)	383.31	403.75	6.106	0.102
Back-fat thickness (mm)	17.63	17.94	1.161	0.868
Loin area (cm ²)	88.63	90.63	1.535	0.600

	Control	Treatment	SEM ¹⁾	P value
Yield index	62.72	62.29	0.774	0.746
Yield grade (%), A : B : C	6:56:38	13:31:56	-	-
Quality traits				
Marbling score	4.63	5.13	0.298	0.409
Meat color	4.75	4.69	0.090	0.772
Fat color	2.81	2.94	0.058	0.244
Texture	3.06	3.19	0.129	0.645
Maturity	1.44	1.19	0.081	0.124
Meat grade (%) of 1++:1+:1:2:3	0:31:38:31:0	0:56:25:13:6	-	-

¹⁾ Standard error of mean.

4. 육질특성

시험동물의 시험구별 육질특성은 Table 5에서 보는 것과 같다. 육색의 명도(CIE L*), 적색도(CIE a*) 그리고 황색도(CIE b*) 모두에서 시험구별 유의적인 차이가 관찰되었다(P<0.05). 보조사료를 급여한 처리구가 대조구에 비하여 높은 명도, 적색도 및 황색도를 나타내었다. 가열감량은 시험구별 유의적인 차이를 나타내지 않았다(P>0.05). 쇠고기의 전단력은 처리구가 대조구에 비하여 유의적으로 낮게 나타났다(P<0.05).

Table 5. Effect of experimental additive on meat characteristics of Hanwoo steers

		Control	Treatment	SEM ¹⁾	p value
pH		5.54	5.56	0.008	0.552
Meat color	CIE L* ²⁾	36.04	38.63	0.472	<0.05
	CIE a*	19.14	21.75	0.497	<0.05
	CIE b*	14.09	16.51	0.427	<0.05
Cooking loss (%)		17.82	19.63	0.647	0.185
WBs ³⁾ (kgf)		3.97	2.50	0.165	<0.05

¹⁾ Standard error of mean.

²⁾ Commission Internationale de l'Eclairage; L*: brightness, a*: redness, b*: yellowness.

³⁾ Warner-Bratzler shear force.

IV. 고 찰

항온동물이 정상적인 대사활동을 유지하기 위한 외기 열환경을 열적 중성역(thermal neutral zone)이라고 하며, 외기온도가 열적 중성역을 벗어나면 열적 스트레스가 발생한다 (Attebery and Johnson, 1969). 열적 스트레스는 가축 생산성 저하에 큰 영향을 미치며, 생산성 변화 민감성에 대한 외기 온도 및 습도는 상호 U 형태의 반응 관계를 가지고 있다 (Morignat et al., 2015). 특히 외기 온도와 습도가 열적 중성역을 벗어나는 고온 다습 조건에서는 반추동물의 사료 섭취량이 크게 감소하고, 이에 따른 증체량 저하 및 생산성 감소의 결과를 초래하게 된다(Yadav et al., 2013). 고온조건에서의 사료섭취량 감소는 체내 열 균형과 연관되어 있다. 비육중기 이후의 육우의 경우, 체내 지방으로 인한 절연 효과 때문에 체외로의 열 배출이 더욱 용이하지 않다. 따라서 이러한 조건에서의 열 균형은 반추위 열 생산 감소를 통하여서만 획득될 수 있다(Yadav et al., 2013). 두 번째는 에너지 분배이다. 고온 조건에도 불구하고 많은 에너지가 반추위로 유입될 경우, 원활한 에너지 배분이 이루어지지 않아 에너지 효율이 낮아 질 수 있다(Bernabucci et al., 2010). 반추위 발효 형태 또한 열 발생량을 기준으로 설명될 수 있다. 반추위에서는 섭취된 사료 영양소들이 미생물에 의한 발효를 통해 반추동물의 에너지원인 휘발성지방산과 유기산으로 전환된다. 이러한 과정에는 열과 가스 발생이 수반되며 사료 총에너지의 10~20% 수준이 열과 가스로 소실된다. 하지만 열 발생은 반추위 온도를 유지하는데 필수적이다(France and Dijkstra, 2005). 섭취된 영양소의 반추위내 발효 형태에 따라서 반추위내 열 발생량이 다르게 나타날 수 있다. 즉 반추위로 유입된 포도당을 이용한 동형 젖산 발효(homo-lactic fermentation)는 다양한 휘발성 지방산 생산 발효보다 열 발생량이 낮다(Russell and Strobel, 2005). 즉 반추위 미생물들은 열 발생량을 낮추기 위해서 에너지원인 휘발성 지방산 보다는 젖산 생산이 더욱 유리하다고 판단할 수 있다. 따라서 고온 스트레스 환경에서 반추위 미생물들은 열 발생률이 낮은 젖산 발효를 선호하게 되고, 결과적으로는 반추위내 환경이 더욱 산성으로 진행될 수 있다. 결론적으로 반추위내 열 발생량을 낮출 수 있다면, 젖산 보다는 에너지 효율과 섬유소 분해를 향상에 도움이 되는 다양한 휘발성 지방산 생성으로의 대사 방향 조절이 가능해 질 수 있다. 그리고 에너지 효율의 향상은 생산성 향상에 도움을 줄 수 있다. 이에 본 연구에서는 반추위 온도를 낮추는데 효과가 있는 물질들을 한우에 급여함으로써 생산성에 미치는 영향을 조사하였다.

반추위 온도 조절을 통하여 영양소 소화율의 개선 효과를 기대하였으나, 본 연구에서는 대조구와 온도조절제 급여 처리구 간의 유의적인 차이는 나타나지 않았다(Table 2). 그러나 성장 효율에서는 급여 초기(0~90일)에 처리구가 대조구에 비하여 유의적으로 높게 나타났다($P < 0.05$, Table 3). 비록 급여 후기(90~120일)에서는 유의적인 차이는 나타나지 않았지만, 시험 전체 기간 동안의 일당 증체량은 처리구가 대조구에 비하여 높은 경향을 나타내었다

($P=0.075$, Table 3). 급여 개시 3개월후부터 나타난 더딘 변화는 반추위내 미생물 환경의 적응으로 해석될 수 있다. 세균, 곰팡이 그리고 원생동물 등 다양한 미생물들이 공존하는 반추위 환경은 섭취되는 영양소의 형태 혹은 식물화학물질(phytochemicals) 등에 대하여 대단히 잘 적응한다(Mbiriri et al., 2015). 즉 이러한 적응 현상도 본 연구에서 나타난 급여 후기의 완만한 효과에 대한 한 가지 원인으로 고려 될 수 있을 것이다. 출하 성적인 도체 특성에서도 대조구와 처리구간의 유의적인 차이는 관찰되지 않았다(Table 4). 비록 유의적인 차이는 아니지만 도체중은 처리구가 대조구보다 89.8% 신뢰수준으로 높게 나타났다. 반추위 온도를 낮게 조절하는 기술은 비육우 생산성에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 판단되었다. 도체 특성과 다르게 육색은 시험구간의 유의적인 차이가 나타났다(Table 5). 쇠고기의 육색은 등급 판정에 있어 중요한 요인으로 작용하며, 소비자의 구매 욕구에도 그 영향을 미치고, 일반적으로 명도, 적색도 그리고 황색도로 구분되는 육색은 각각 36.04~38.63, 19.14~21.75 및 14.09~16.51의 정상범위를 가지고 있다(Kang et al., 2010). 육색의 변화는 육조직 구성 특성, 근육의 구조, 육색소의 양 및 화학적 특성 그리고 반사되는 빛과 같은 광학적 특징에 따라서 나타난다(Warriss and Brown, 1987). 본 연구의 대조구와 처리구에서 생산된 쇠고기들은 모두 정상적인 육색 범위에 속하였고, 처리구가 대조구에 비하여 유의적으로 선명하고 붉은 육색을 나타내었다($P<0.05$, Table 5). 육질 특성에서 주목할 점은 전단력이다. 전단력의 경우 처리구(2.50 WBs)가 대조구(3.97 WBs)에 비하여 유의적으로 낮게 나타났다(Table 5). 전단력은 부드러운 식감과 -0.72의 상관관계를 갖고 소비자들의 선택에 큰 영향을 미치는 것으로 보고된 바 있다(Destefanis et al., 2008). 즉 반추위 온도를 낮게 조절 한 처리구가 대조구에 비하여 보다 부드러운 고기를 생산하였음을 알 수 있었다. 또한 비육우의 성격적 특성, 즉 성격이 급하거나, 안정감이 낮은 비육우일수록 보다 질긴 고기를 생산하는 것으로 보고된 바 있다(Behrends et al., 2009). 이러한 현상을 거꾸로 유추하면, 반추위 온도를 낮게 조절하는 것은 비육우의 안정감 회복에도 도움을 주며, 결과적으로 보다 부드러운 고기를 생산할 수 있다는 새로운 가설을 도출할 수 있었다.

[Submitted, October. 10, 2016 ; Revised, November. 8, 2016 ; Accepted, November. 10, 2016]

References

1. Attebery, J. T. and H. D. Johnson. 1969. Effects of Environmental Temperature, Controlled Feeding and Fasting on Rumen Motility. *J. Anim. Sci.* 29(5): 734-737.
2. Behrends, S. M., R. K. Miller, F. M. Rouquette, R. D. Randel, B. G. Warrington, T. D. A.

- Forbes, T. H. Welsh, H. Lippke, J. M. Behrends, G. E. Carstens, and J. W. Holloway. 2009. Relationship of Temperament, Growth, Carcass Characteristics and Tenderness in Beef Steers. *Meat Sci.* 81: 433-438.
3. Bernabucci, U., N. Lacetera, L. H. Baumgard, R. P. Rhoads, B. Ronchi, and A. Nardone. 2010. Metabolic and Hormonal Acclimation to Heat Stress in Domesticated Ruminants. *Animal* 4: 1167-1183.
 4. Cho, S., D. T. Mbiriri, K. Shim, A. L. Lee, S.-J. Oh, J. Yang, C. Ryu, Y.-H. Kim, K.-S. Seo, J.-I. Chae, Y. K. Oh, and N.-J. Choi. 2014. The Influence of Feed Energy Density and a Formulated Additive on Rumen and Rectal Temperature in Hanwoo Steers. *Asian Australas. J. Anim. Sci.* 27(11): 1652-1662.
 5. Destefanis, G., A. Brugiapaglia, M. T. Barge, and E. Dal Molin. 2008. Relationship Between Beef Consumer Tenderness Perception and Warner-Bratzler Shear Force. *Meat Sci.* 78: 153-156.
 6. France, J. and J. Dijkstra. 2005. Volatile fatty acid production. Pages 157-175 in *Quantitative Aspects of Ruminant Digestion and Metabolism*. J. Dijkstra, J. M. Forbes, and J. France, ed. CABI, Oxfordshire OX10, UK.
 7. Hong, K. S., T. Y. Chung, H. Sano, A. Shiga, Y. Nakashima, and K. Ambo. 1997. Combined Effects of VFA Composition of Rumen Fluid and Heat Exposure on Rumen Fermentation Characteristics and Tissue Responsiveness to Insulin in Sheep. *Korean J. Ani. Nutr. Feedstuffs* 21(3): 271-284.
 8. Kang, S. J., Y.-H. Moon, K.-S. Park, H.-S. Park, and I.-C. Jung. 2010. Effect of Maturity and Marbling Score on Meat Quality Properties in Korean Native Fattening Hanwoo. *J. East Asian Soc. Diet. Life* 20(2): 248-253.
 9. Kim, E. J. 2012. Reducing Greenhouse Gas Emissions in Ruminants: Minireview. *Korean J. Organic Agri.* 20(2): 185-200.
 10. Kim, H. S., W. S. Lee, H. J. Lee, K. S. Ki, K. S. Baek, B. S. Ahn, and M. A. Khan. 2006. Effects of Higher Dietary Cation With or Without Protected Fat and Niacin on the Milk Yield and Thermoregulatory Ability in Holstein During Summer Heat Stress. *J. Ani. Sci. Technol.* 48: 555-562.
 11. Lee, D. G., J. Y. Byon, Y. J. Choi, and K. R. Kim. 2010. Relationship Between Summer Heat Stress (Perceived Temperature) and Daily Excess Mortality in Seoul During 1991~2005. *J. Korean Soc. Atmos. Environ.* 26(3): 253-264.
 12. Mbiriri, D. T., S. Cho, C. I. Mamvura, and N. J. Choi. 2015. Assessment of Rumen Microbial Adaptation to Garlic Oil, Carvacrol and Thymol Using the Consecutive Batch

- Culture System. *J. Vet. Sci. Anim. Husbandry*. 3(4): 1-7.
13. Morignat, E., E. Gay, J. L. Vinard, D. Calavas, and V. Hénau. 2015. Quantifying the Influence of Ambient Temperature on Dairy and Beef Cattle Mortality in France from a Time-series Analysis. *Environ. Res.* 140: 524-534.
 14. Russell, J. B. 1986. Heat Production by Ruminant Bacteria in Continuous Culture and Its Relationship to Maintenance Energy. *J. Bacteriol.* 168: 694-701.
 15. Russell, J. B. and H. J. Strobel. 2005. Microbial energetics. Pages 229-261 in *Quantitative Aspects of Ruminant Digestion and Metabolism*. 2nd ed. J. Dijkstra, J. M. Forbes, and J. France, ed. CABI, Oxfordshire OX10, UK.
 16. Schneider, P. L., D. K. Beede, C. J. Wilcox, and R. J. Collier. 1984. Influence of Dietary Sodium and Potassium Bicarbonate and Total Potassium on Heat-stressed Lactating Dairy Cows. *J. Dairy Sci.* 67(11): 2546-2553.
 17. Van Keulen, J. and B. A. Young. 1977. Evaluation of Acid-Insoluble Ash as a Natural Marker in Ruminant Digestibility Studies 1, 2. *J. Anim. Sci.* 44(2): 282-287.
 18. Warriss, P. D. and S. N. Brown. 1987. The Relationships Between Initial pH, Reflectance and Exudation in Pig Muscle. *Meat Sci.* 20(1): 65-74.
 19. Yadav, B., G. Singh, A. K. Verma, N. Dutta, and V. Sejian. 2013. Impact of Heat Stress on Rumen Functions. *Veterinary World* 6: 992-996.